กทปส

โครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม

รายงานฉบับสมบูรณ์
(Final Report)

เสนอ

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม
เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.)

โดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วันที่ 13 มิถุนายน 2568

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 5
1.1 หลักการและเหตุผล 5
1.2 วัตถุประสงค์ 5
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน 6
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 6
1.5 ตัวชี้วัด 6
1.6 บุคลากรโครงการ 7
บทที่ 2 แนวทางการดำเนินโครงการ 9
2.1 กรอบแนวคิดในการดำเนินโครงการ 9
2.2 วิธีการและขั้นตอนดำเนินการ 11
บทที่ 3 หลักการและแนวคิดในการตรวจสอบคลื่นความถี่ 13
3.1 การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมในส่วนภาคอวกาศ (Space Segment) และส่วนภาคพื้นดิน (Ground Segment) ของไอทียู 13
3.1.1 วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบสเปกตรัม 13
3.1.2 แนวทางการตรวจสอบสเปกตรัมของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือไอทียู (International Telecommunication Union, ITU) 13
3.1.3 การตรวจสอบสเปกตรัม และอุปกรณ์ที่จำเป็น 14
3.1.4 รูปแบบสถานีตรวจสอบ 15
3.1.5 รูปแบบการวัดสัญญาณวิทยุ 17
3.1.6 การกำหนดตำแหน่งวงโคจรและองค์ประกอบวงโคจร 18
3.1.7 วิธีการวัด 19
3.1.8 การตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่นของดาวเทียมและยานอวกาศ 24
3.2 ระเบียบหรือข้อเสนอแนะของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือไอทียู (International Telecommunication Union, ITU) 56
3.2.1 นิยามและวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม 57
3.2.2 กฎระเบียบและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม 57
3.2.3 คำแนะนำ ITU-R SM.1392-3 (02/2021) ว่าด้วยเรื่องข้อกำหนดที่จำเป็นสำหรับระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุสำหรับประเทศกำลังพัฒนา 61
3.3 การศึกษาอำนาจหน้าที่ โครงสร้างอุปกรณ์ และระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของต่างประเทศ 63
3.3.1 การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี 63
3.3.1.2 โครงสร้างหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่ 64
3.3.2 การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของสาธารณรัฐประชาชนจีน 67
3.2.2.2 โครงสร้างหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่ ของสาธารณ รัฐประชาชนจีน 71
3.3.3 การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของสหรัฐอเมริกา 77

3.3.3.2 โครงสร้างหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่ 82
3.3.4 การตรวจสอบคลื่นความถี่ของอาเซียน 85
3.3.5 สรุปการศึกษาเชิงเปรียบเทียบของต่างประเทศ 89
3.4 กรณีศึกษาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของต่างประเทศ 95
3.4.1 กรณีศึกษา การตรวจสอบความถี่ดาวเทียม ของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี 95
3.4.2 กรณีศึกษา การตรวจสอบความถี่ดาวเทียม ของสาธารณรัฐประชาชนจีน 97
3.4.3 กรณีศึกษา การตรวจสอบความถี่ดาวเทียม ของสหรัฐอเมริกา 99
3.4.4 กรณีศึกษา การตรวจสอบความถี่ดาวเทียมของอินโดนีเซีย 101
บทที่ 4 แนวทางการตรวจสอบคลื่นความถี่ของกิจการอวกาศในประเทศไทย 103
4.1 อำนาจหน้าที่ หรือระเบียบที่เกี่ยวข้อง 103
4.1.1 หน่วยงานกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมในประเทศไทย 103
4.2 รูปแบบการตรวจสอบคลื่นความถี่ของกิจการดาวเทียมในประเทศไทย 118
4.2.1 สถานการณ์การใช้งานดาวเทียมในประเทศไทย 118
4.2.2 การคาดการณ์การรบกวนสัญญาณในอนาคต 122
4.2.3 ข้อเสนอแนะและแนวคิดการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศไทย 124
4.2.4 แนวทางการตรวจสอบคลื่นความถี่ของดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า 132
4.3 สรุปความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 134
1. กลุ่มผู้ให้บริการดาวเทียม (Satellite Operator) 134
2. กลุ่มผู้ให้บริการผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (Satellite Provider) 135
3. กลุ่มผู้ใช้บริการผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (Users) 137
บทที่ 5 ข้อเสนอแนะแนวจัดตั้งระบบตรวจสอบ และทิศทางแนวโน้มในการตรวจสอบคลื่นความถี่จากดาวเทียม 141
5.1 รูปแบบการตรวจจับคลื่นความถี่และแนวโน้มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง 141
5.1.1 คลื่นความถี่ (Frequency) 141
5.1.2 การตรวจสอบคลื่นความถี่ในภาคอวกาศ (Space Segment) และภาคพื้นดิน (Earth Segment) 143
5.1.3 เทคโนโลยีที่ใช้งานในการตรวจจับคลื่น 144
5.1.4 ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องของ ITU 151
5.1.5 เทคโนโลยีดาวเทียมสมัยใหม่ 155
5.2 แนวทางการใช้ AI ในการตรวจจับคลื่นความถี่ 160
5.2.1 หลักการและเหตุผลในการประยุกต์ใช้ AI 160
5.2.2 การประยุกต์ใช้ AI ในการตรวจจับสัญญาณรบกวน 161
5.2.3 ทรัพยากรที่ต้องการเพื่อใช้ในการสอน AI ในการตรวจจับสัญญาณ 164
5.2.4 ภาพรวมของผู้ให้บริการ AI สำหรับการตรวจจับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารดาวเทียม 166
5.2.5 แนวทางการประยุกต์ใช้บริการ SatSignature เพื่อการตรวจจับสัญญาณรบกวน 169
5.2.6 แนวทางการใช้ SatSignature เพื่อตรวจจับการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมโดยไม่ได้รับอนุญาต 172

5.2.7 แนวทางการใช้ SatSignature ในการสนับสนุน การปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านกฎระเบียบ (Regulatory Compliance) และ การเฝ้าระวังคลื่นความถี่ (Spectrum Monitoring) 175
5.2.8 สรุปสถานการณ์และอนาคตของการใช้ AI ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม 178
5.3 ข้อเสนอแนะการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม 179
5.3.1 ข้อเสนอแนะเชิงกฎหมาย ระเบียบในการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ 179
5.3.2 ข้อเสนอแนะเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศ (Space Segment) และภาคพื้นดิน (Earth Segment) ของ ITU..... 181
5.3.3 กรณีศึกษาจากการออกแบบตามข้อเสนอแนะเชิงเทคนิค 189
บทที่ 6 ข้อกำหนดและมาตรฐาน และวิธีการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม..... 197
6.1 รูปแบบของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับประเทศไทย 197
6.2 ข้อกำหนดเชิงเทคนิคและมาตรฐานอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องตลาด 199
6.3 แนวทางหรือขั้นตอนในการปฏิบัติในการตรวจสอบสเปกตรัม..... 202
6.3.1 แนวทางในการตรวจสอบหรือขั้นตอนในการปฏิบัติในการตรวจสอบสเปกตรัมของต่างประเทศ 202
6.3.2 แนวทางในการตรวจสอบหรือขั้นตอนในการปฏิบัติในการตรวจสอบสเปกตรัมของประเทศไทย 206
6.3.3 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ สำหรับสำนักงาน กสทช. ภายหลังติดตั้งระบบตรวจสอบสัญญาณคลื่นความถี่..... 208
6.4 การประเมินกรอบงบประมาณตามการออกแบบระบบ..... 209
6.4.1 การประเมินกรอบงบประมาณ 209
6.4.2 ข้อมูลอ้างอิงการประเมินกรอบเงินประมาณ 212
6.4.3 แหล่งข้อมูลอ้างอิงการประเมินกรอบเงินงบประมาณ 215
บทที่ 7 ผลการศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างระบบปัจจุบันกับระบบที่ออกแบบ ในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และความมั่นคง..... 217
บทที่ 8 การจัดอบรมเพื่อเผยแพร่ผลการศึกษา 219
8.1 รายงานการประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม 219
8.2 แบบประเมินความพึงพอใจผู้เข้ารับการอบรม 240
บรรณานุกรม 243
ภาคผนวก ก. การสัมภาษณ์เชิงลึก..... 247
สรุปผลการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 247
1) บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)..... 247
2) บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) 248
3) บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด..... 249
4) องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (Thai PBS)..... 250
5) บริษัท เอส ที ซี เน็ทเวิร์ค คอร์ปอเรชั่น จำกัด 251
6) บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)..... 252
7) บริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) 253

8) บริษัท วัน สามสิบเอ็ด จำกัด 254
9) กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย 255
10) สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม 256
ภาคผนวก ข รายงานการเข้าเยี่ยมชมสถานีดาวเทียมไทยคม ลาดหลุมแก้ว 258
ภาคผนวก ค รายงานสรุปการประชุมในรูปแบบออนไลน์ ร่วมกับคณะกรรมการ และผู้แทนสำนักงาน กสทช. 262
ภาคผนวก ง รายชื่อผู้เข้าร่วมการประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ โครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม 263
ภาคผนวก จ คู่มือแนวทางการตรวจสอบคลื่นความถี่ในกิจการอวกาศ 270
1. บทนำ 270
2. สรุปการศึกษาระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ของต่างประเทศ 271
3. แนวทางและเทคโนโลยีการตรวจจับคลื่นความถี่ 275
3.1 แนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ 276
3.2 ข้อเสนอแนะต่อการจัดตั้งการตรวจสอบคลื่นความถี่ 279
4. รูปแบบการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ 282
5. ข้อเสนอแนะเชิงกฎระเบียบต่อการตรวจจับคลื่นความถี่ในกิจการอวกาศของประเทศไทย 287
6. ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ สำหรับสำนักงาน กสทช. ภายหลังติดตั้งระบบตรวจสอบสัญญาณคลื่นความถี่ 289
7.การประเมินงบประมาณ 290
7.1 การประเมินกรอบงบประมาณ 290
7.2 ข้อมูลอ้างอิงการประเมินกรอบเงินประมาณ 292
7.3 แหล่งข้อมูลอ้างอิงการประเมินกรอบเงินงบประมาณ 294

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ด้วยพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติมกำหนดให้ กสทช. มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวกับการบริหารสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม และดำเนินการในฐานะหน่วยงานอำนวยการของรัฐบาลที่มีอำนาจในการบริหารกิจการสื่อสารระหว่างประเทศกับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือองค์การระหว่างประเทศอื่น รัฐบาลและหน่วยงานต่างประเทศตามที่อยู่ในหน้าที่และอำนาจของ กสทช. หรือตามที่รัฐบาลมอบหมาย รวมทั้งสนับสนุนการดำเนินการของรัฐเพื่อให้มีดาวเทียมหรือให้ได้มาซึ่งสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม และประสานงานเกี่ยวกับการบริหารคลื่นความถี่ทั้งในประเทศและระหว่างประเทศเพื่อให้เป็นไปตามแผนการบริหารสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม รวมถึงนโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วยการพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนการพิจารณาอนุญาตและกำกับดูแลการประกอบกิจการโดยใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศ (Landing Right) นอกจากนี้ ประกาศคณะกรรมการ กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง แผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ (พ.ศ. 2562) และที่แก้ไขเพิ่มเติม ได้กำหนดให้มีการจัดตั้งศูนย์ตรวจสอบคลื่นความถี่แห่งชาติ (National Spectrum Monitoring Center) ที่บูรณาการข้อมูลการตรวจสอบจากทุกหน่วยงานของสำนักงาน กสทช. เพื่อบูรณาการเชื่อมโยงข้อมูลการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ต่าง ๆ สำหรับใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา กำหนดแนวทางเชิงนโยบายด้านการบริหารคลื่นความถี่ของประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อสาธารณะและประชาชน

ปัจจุบันสำนักงาน กสทช. ยังไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจสอบคลื่นความถี่และติดตามการใช้คลื่นความถี่และวงโคจรดาวเทียม ดังนั้น เพื่อให้เกิดแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และเพื่อให้สำนักงาน กสทช. มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศ รวมถึงเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.) จึงมีแนวนโยบายในการสนับสนุนเพื่อให้ เกิดโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม เพื่อให้การดำเนินแนวทางด้านการบริหารคลื่นความถี่ของประเทศไทยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับอำนาจหน้าที่โครงสร้างการกำกับดูแล เครื่องมือ อุปกรณ์และระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศ (Space Segment) และ ภาคพื้นดิน (Earth Segment) ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือไอทียู (International Telecommunication Union, ITU) และประเทศสมาชิกอื่นของไอทียู

1.2.2 เพื่อเสนอแนะแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และทิศทางแนวโน้มการพัฒนาของเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียม

1.2.3 เพื่อให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศ และเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.3.1 ศึกษาข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมสำหรับกิจการดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศและภาคพื้นดินของไอทียู

1.3.2 ศึกษาอำนาจหน้าที่ โครงสร้างอุปกรณ์ และระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของต่างประเทศ อย่างน้อย 3 ประเทศ ประกอบด้วย สหรัฐอเมริกา สาธารณรัฐประชาชนจีน และสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

1.3.3 เสนอแนะแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบสำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และทิศทางแนวโน้มการพัฒนาของเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียม โดยวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบตามผลการศึกษาที่ได้จากข้อ 1.3.2 และ/หรือตามแนวทางการศึกษา

1.3.4 เสนอแนะเกี่ยวกับข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่องมือ อุปกรณ์ระบบ รวมทั้งวิธีการ ตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ที่ครอบคลุมย่านความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมตามตารางกำหนดคลื่นความถี่ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ และตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ ตลอดจนข้อเสนอด้านงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ ระบบที่สอดคล้องตามวิธีการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ที่ได้จากผลการศึกษา

1.3.5 ศึกษาและวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ ถึงแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบที่มีการใช้งานอยู่แล้วในปัจจุบัน เปรียบเทียบกับระบบที่พัฒนาขึ้น ทั้งในมิติความคุ้มค่าทางด้านการเงิน เศรษฐกิจ และความมั่นคง

1.3.6 จัดทำคู่มือข้อเสนอแนะและคู่มือการปฏิบัติงานให้สอดรับกับแนวทางในข้อ 1.3.4 และข้อ 1.3.5

1.3.7 จัดฝึกอบรมเพื่อเผยแพร่ผลการศึกษาที่ได้ให้กับเจ้าหน้าที่สำนักงาน กสทช. และผู้สนใจจำนวน 30 คนจำนวน 1 ครั้ง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สำนักงาน กสทช. สามารถตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่มีเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

1.4.2 สำนักงาน กสทช. สามารถนำเครื่องมือที่ได้รับจากโครงการมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกัน และการแก้ไขปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศ และเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ

1.5 ตัวชี้วัด

1.5.1 ผลผลิต

1) มีรายงานผลการศึกษาที่รวบรวมอำนาจหน้าที่ โครงสร้าง เครื่องมือ อุปกรณ์ และระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศและภาคพื้นดินของไอทียู และบทเรียนจากต่างประเทศ

2) มีแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

3) มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่องมือ อุปกรณ์ ระบบ รวมทั้งวิธีการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ที่ครอบคลุมย่านความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม

1.5.2 ผลลัพธ์

สำนักงาน กสทช. สามารถนำแนวทางที่ได้ไปจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และสามารถบริหารคลื่นความถี่ของประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 บุคลากรโครงการ

1. รศ.ดร.อุศนา ตัณฑุลเวศม์	หัวหน้าคณะผู้วิจัย
2. รศ.ดร.มงคล รักษาพัชรวงศ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านดาวเทียม
3. รศ.ดร.ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม	ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสื่อสาร
4. ดร.อรัชมน พิเชฐวรกุล	ผู้เชี่ยวชาญด้านกฎหมาย
5. นางสาวพรรษา บุนนาค	ผู้เชี่ยวชาญด้านนโยบายและแผน
6. นายลูกา เนตรเนรมิตร	ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสื่อสาร
7. นายสัณห์ อุทยารัตน์	ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านดาวเทียม
8. นายเอกพล หิรัญยเอกภาพ	ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านดาวเทียม
9. นางสาววรพรรณ วิริยะภาพ	ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสื่อสาร
10. นางสาวทักษพร ไทยกุล	เลขานุการโครงการ

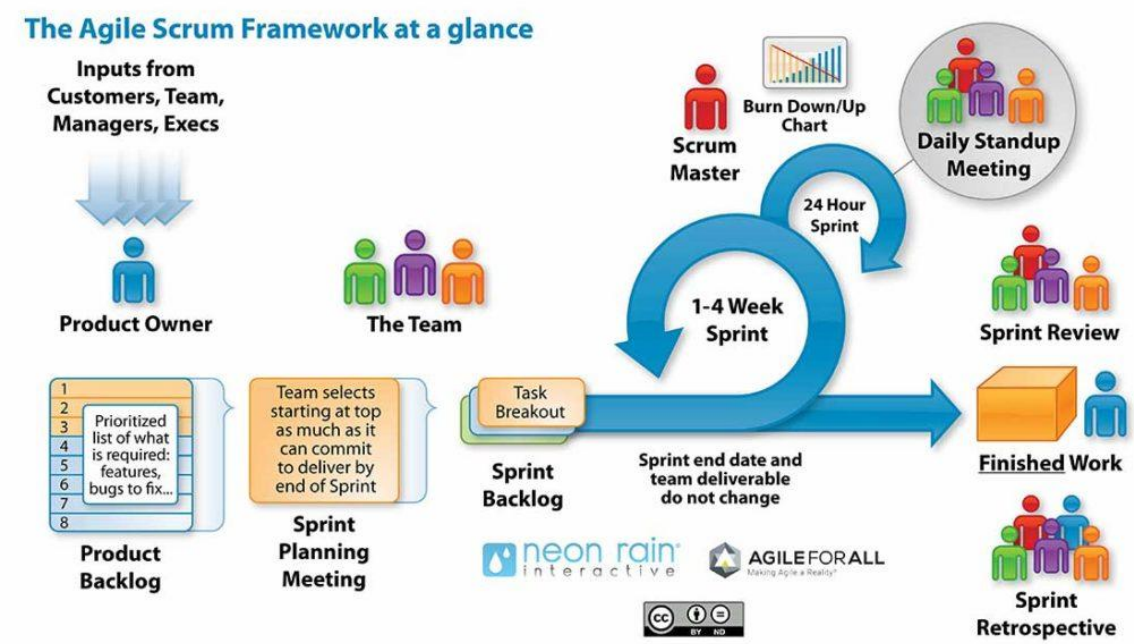
บทที่ 2 แนวทางการดำเนินโครงการ

2.1 กรอบแนวคิดในการดำเนินโครงการ

ในการดำเนินการคณะผู้วิจัยฯ ขอนำเสนอการประยุกต์ใช้โดยยึดหลักกรรมวิธีในการบริหารโครงการ (Project Management Methodology) ในการบริหารจัดการโครงการ เพื่อกำหนดเป้าหมาย ติดตามกิจกรรมและสิ่งที่จะส่งมอบ (Deliverables) ที่เกี่ยวข้องดังนี้

แนวคิดการบริหารจัดการโครงการแบบอไจล์ (Agile)

การทำงานแบบอไจล์ (Agile) หรือการทำงานในทีมที่ประกอบไปด้วยบุคลากรจากหลายสายงาน แทนการทำงานแบบส่งไม้ต่อระหว่างแผนก เน้นการสื่อสารระหว่างบุคคลเพื่อความเข้าใจกันให้มากยิ่งขึ้น กระจายอำนาจการตัดสินใจ และเปลี่ยนวิธีการทำงาน จากการกำหนดเป้าหมายระยะยาวแบบมุ่งไปครั้งเดียว เป็นแบบระยะสั้น ๆ หรือที่เรียกว่า สปรินท์ (Sprint) เพื่อให้สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงในโลกธุรกิจ ซึ่งเกิดขึ้นได้ทุกวัน และแก้ไขปัญหาข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งช่วยเรื่องต้นทุนที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง (Cost of Change) ด้วยแนวคิดที่ว่า Fail fast and Fail often ยอมรับความผิดพลาดได้หลายครั้ง แต่ต้องผิดพลาดให้เร็วและแก้ไขปรับตัวให้เร็วตามด้วย เพื่อเรียนรู้ความผิดพลาดจากครั้งก่อน จนสามารถสร้างสินค้าและบริการที่ตอบโจทย์ผู้บริโภคอย่างทันท่วงที



รูปที่ 1 การบริหารจัดการโครงการแบบอไจล์ (Agile)

การบริหารจัดการคุณภาพงาน ถือเป็นกระบวนการทำให้มั่นใจว่าโครงการที่จะดำเนินการสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และผลที่คาดว่าจะได้รับ โดยมีการดำเนินการเป็น 3 ส่วนได้แก่

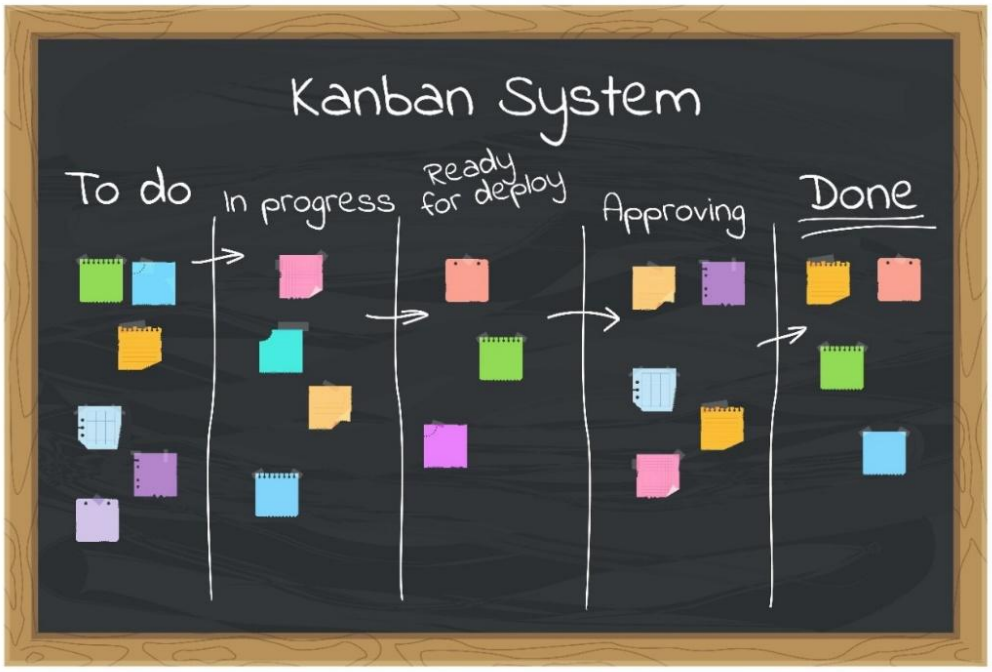
การวางแผนคุณภาพ (Quality Planning) โดยกำหนดมาตรฐานคุณภาพและแนวทางการดำเนินโครงการ ซึ่งหัวใจของการวางแผนคุณภาพ คือ เกิดมาตรฐานในเชิงคุณภาพ และเป็นส่วนหนึ่งของการวางแนวทางดำเนินโครงการ

การประกันคุณภาพ (Quality Assurance) เกี่ยวข้องกับการวางแผนการส่งมอบงานหรือสิ่งที่เกี่ยวข้อง อย่างเป็นระบบ และมีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เป็นเรื่องของการตรวจสอบผลการศึกษา ผลการวิเคราะห์และรายงานต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ เพื่อให้ตอบสนองความต้องการในเชิงข้อกำหนด กรอบการทำงาน (Framework) แบบ “Kanban”

กรอบการทำงานภายใต้แนวคิดอไจล์ มีหลากหลายวิธี วิธีที่ได้รับความนิยมในการใช้พัฒนางานคือ Kanban โดยเป็นแนวทางการทำงานที่นำแนวคิดของ Lean Thinking มาใช้ โดยมุ่งเน้นให้เกิดการลื่นไหลของงาน ด้วยการจำกัดปริมาณงานที่ทำ “พร้อม ๆ” กัน (Limit Work In Process หรือ WIP) ตามหลักการธรรมชาติที่ว่าถ้าเริ่มทำงานพร้อม ๆ กันเป็นจำนวนมากหรือไม่จำกัด งานจะเสร็จช้ากว่าการที่มีโฟกัสกับงานที่ทำพร้อม ๆ กันเป็นจำนวนจำกัด ซึ่งเหมาะกับงานบริการ (Service) ที่มีวิธีการที่ชัดเจน แต่ยังไม่มีความชัดเจนในเนื้อหาหรือความต้องการ

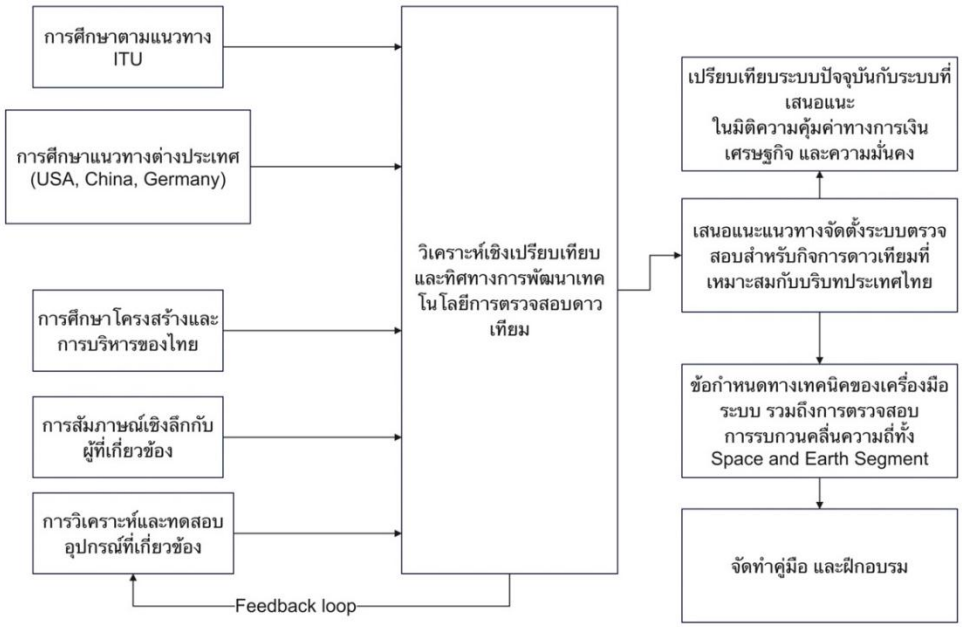
Kanban Board เป็นเครื่องมือการบริหารจัดการงานแบบ **Agile Management** ที่มีลักษณะเป็นกระดานและการ์ดที่ออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้งานเห็นภาพและควบคุมกระบวนการทำงาน (Workflow) ทั้งหมด โดยมีการแบ่งออกเป็นคอลัมน์ และมีการแสดงสถานะ (Status) เช่น Backlog, To Do, Doing, และ Done เป็นต้น เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงภาพรวมสถานะของงานแต่ละชิ้นว่าอยู่ในขั้นตอนไหน และใครเป็นผู้รับผิดชอบ ทำให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของงาน ลดปัญหางานสะดุด เพราะกระบวนการทำงานไปหยุดอยู่ที่ใครและตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกไปได้



รูปที่ 2 รูปแบบ Kanban Board

กรอบแนวคิดในการดำเนินโครงการ

กรอบแนวคิดของการจัดการภายใต้โครงการนี้จะใช้โมเดล IPO (Input Process Output) ซึ่งจะช่วยในการจัดเป็นกิจกรรมหรือ backlog ได้ดังนี้



รูปที่ 3 กรอบการดำเนินการโครงการตามแนวคิด IPO Model

2.2 วิธีการและขั้นตอนดำเนินการ

ภายใต้การดำเนินโครงการได้แบ่งกิจกรรมการดำเนินโครงการเป็น 10 กิจกรรมดังนี้

กิจกรรมที่ 1 การศึกษาการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมสำหรับดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ของไอทียู (เป็นไปตามขอบเขตการดำเนินงานข้อ 1.3.1)

โดยเป็นการศึกษาแนวทางข้อเสนอแนะของไอทียู ซึ่งจะใช้เป็น Blueprint สำคัญในการใช้พัฒนาหรือเสนอแนะระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่เป็นมาตรฐานสากล

กิจกรรมที่ 2 การศึกษาอำนาจหน้าที่ โครงสร้างอุปกรณ์ และระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของต่างประเทศอย่างน้อย 3 ประเทศ โดยเบื้องต้นประกอบด้วย สหรัฐอเมริกา สาธารณรัฐประชาชนจีน และสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (เป็นไปตามขอบเขตการดำเนินงานข้อ 1.3.2)

เพื่อศึกษาแนวโน้มการพัฒนาของเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียม รวมถึงรูปแบบการบริหารจัดการเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ที่เหมาะสมกับบริบทประเทศไทย

กิจกรรมที่ 3 การศึกษาอำนาจหน้าที่ โครงสร้างอุปกรณ์ และระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของประเทศไทย (อยู่ภายใต้ขอบเขตการดำเนินงานข้อ 1.3.3 และ 1.3.5)

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลสถานการณ์ในปัจจุบัน รวมถึงเปรียบเทียบเชิงวิเคราะห์กับระบบที่จะพัฒนาขึ้นใหม่ นอกจากนั้นจะทำการศึกษาข้อมูลดาวเทียมวงโคจรต่ำที่มีการสื่อสาร อาทิ Starlink เพื่อนำข้อมูลดาวเทียมวงโคจรต่ำ มาเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินศักยภาพระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม

กิจกรรมที่ 4 การสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย อาทิ บริษัทที่ประกอบกิจการดาวเทียม หน่วยงานความมั่นคง หน่วยงานภาครัฐที่ใช้งานคลื่นความถี่ดาวเทียม อย่างน้อย 10 หน่วยงาน (อยู่ภายใต้ขอบเขตการดำเนินงานข้อ 1.3.3 - 1.3.5)

โดยการสัมภาษณ์แบ่งเป็น 3 ส่วนได้แก่ ผู้ให้บริการดาวเทียม อาทิ บมจ. ไทยคม, บมจ. สามารถคอร์เปเรชัน, MUSPACE หน่วยงานภาครัฐ อาทิ NT, GISTDA, วิทยุการบิน หรือหน่วยงานการศึกษา

ที่มีการรับส่งข้อมูลดาวเทียม และหน่วยงานความมั่นคงและบรรเทาสาธารณภัย อาทิ ทหาร ตำรวจ และกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

ซึ่งจะเป็นการสัมภาษณ์เชิงลึก เพื่อนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องในด้านปัญหา อุปสรรค หรือแนวคิดในการแก้ไขปัญหามาใช้ในการพัฒนาข้อเสนอแนะ

กิจกรรมที่ 5 การวิเคราะห์และทดสอบเครื่องมือ อุปกรณ์ระบบ เพื่อกำหนดข้อกำหนดเชิงเทคนิค (เป็นไปตามขอบเขตการดำเนินงานข้อ 1.3.4)

เป็นกิจกรรมที่ดำเนินการเพื่อทดสอบเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง สำหรับกำหนดมาตรฐานเชิงเทคนิคที่เกี่ยวข้อง รวมถึงตรวจสอบผลการตรวจสอบสัญญาณรบกวนว่าสามารถเป็นไปตามที่เสนอแนะหรือไม่ เป็นกิจกรรมที่เป็นลักษณะ Feedback Loop เพื่อให้สามารถปรับปรุงมาตรฐานเชิงเทคนิคได้อย่างเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

กิจกรรมที่ 6 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา ด้วยข้อมูลจากกิจกรรมที่ 1-5 (เป็นไปตามขอบเขตการดำเนินงานข้อ 1.3.3)

เพื่อเสนอแนะแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบสำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และเสนอแนะข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่องมือ อุปกรณ์ระบบ รวมถึงวิธีการตรวจสอบการรบกวนคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศและภาคพื้นดิน

กิจกรรมที่ 7 เปรียบเทียบระบบตรวจสอบปัจจุบันกับระบบที่พัฒนาขึ้น ในเชิงมิติทางด้านการเงิน เศรษฐกิจ และความมั่นคง (เป็นไปตามขอบเขตการดำเนินงานข้อ 1.3.5)

กิจกรรมที่ 8 จัดทำคู่มือข้อเสนอแนะและคู่มือปฏิบัติงาน (เป็นไปตามขอบเขตการดำเนินงานข้อ 1.3.6) โดยจัดทำขึ้นอย่างน้อย 30 เล่ม

กิจกรรมที่ 9 จัดฝึกอบรมแก่เจ้าหน้าที่ กสทช และผู้ที่สนใจจำนวน 30 คน 1 ครั้ง (เป็นไปตามขอบเขตการดำเนินงานข้อ 1.3.7) โดยจัดฝึกอบรมในโรงแรมอย่างน้อย 3 ดาวในเขตกรุงเทพและปริมณฑล 1 ครั้ง

กิจกรรมที่ 10 จัดทำรายงาน

กิจกรรม	เดือนที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
กิจกรรมที่ 1 ศึกษาข้อเสนอแนะของไอทียู									
กิจกรรมที่ 2 ศึกษาแนวทางของต่างประเทศ									
กิจกรรมที่ 3 ศึกษาแนวทางปัจจุบันของประเทศไทย									
กิจกรรมที่ 4 สัมภาษณ์เชิงลึก									
กิจกรรมที่ 5 วิเคราะห์และทดสอบอุปกรณ์									
กิจกรรมที่ 6 ศึกษาเปรียบเทียบผลการศึกษา เพื่อออกข้อเสนอแนะ และมาตรฐานเชิงเทคนิค									
กิจกรรมที่ 7 จัดทำรายงานเปรียบเทียบผลในเชิงการเงิน เศรษฐกิจและความมั่นคง									
กิจกรรมที่ 8 จัดทำเอกสารข้อเสนอแนะและคู่มือ									
กิจกรรมที่ 9 จัดฝึกอบรม									
กิจกรรมที่ 10 จัดทำรายงาน									

บทที่ 3 หลักการและแนวคิดในการตรวจสอบคลื่นความถี่

3.1 การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมในส่วนภาคอวกาศ (Space Segment) และส่วนภาคพื้นดิน (Ground Segment) ของไอทียู

3.1.1 วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบสเปกตรัม

การตรวจสอบสเปกตรัม คือ การตรวจสอบกระบวนการจัดการสเปกตรัม สิ่งนี้จำเป็นในทางปฏิบัติ เนื่องจากในความเป็นจริงการใช้สเปกตรัมที่ได้รับอนุญาต ไม่ได้รับประกันว่าจะถูกนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ เพราะเหตุผลจากหลายปัจจัย เช่น ความซับซ้อนของอุปกรณ์ การโต้ตอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ ความผิดปกติของอุปกรณ์ หรือการใช้ในทางที่ผิดโดยเจตนา ปัญหานี้ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นจากการแพร่หลายของระบบไร้สายภาคพื้นดินและดาวเทียม รวมถึงอุปกรณ์ที่อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวน เช่น คอมพิวเตอร์และตัวปล่อยสัญญาณโดยไม่ได้ตั้งใจอื่น ๆ

การใช้สเปกตรัมเกิดขึ้น 24 ชั่วโมงตลอดทั้งปี ไม่ว่าจะเป็นในระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค หรือระดับโลก ดังนั้นการตรวจสอบสเปกตรัมก็ควรเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อแก้ปัญหาที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

โดยวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบสเปกตรัม เพื่อสนับสนุนกระบวนการจัดการสเปกตรัม รวมถึงบริหาร จัดสรรความถี่ และการวางแผนสเปกตรัม โดยเป้าหมายของการตรวจสอบ มีดังนี้

1. แก้ไขปัญหาการสัญญาณแทรกสอด (Interference) เชิงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นในระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค หรือระดับโลก เพื่อให้บริการและสถานีวิทยุสามารถอยู่ร่วมกัน และลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานบริการโทรคมนาคม ในขณะที่ให้ผลประโยชน์เชิงเศรษฐกิจ โดยการเข้าถึงบริการโทรคมนาคมที่ปราศจากสัญญาณรบกวนและเข้าถึงได้
2. รับประกันคุณภาพการรับสัญญาณวิทยุและโทรทัศน์ที่ยอมรับได้สำหรับประชาชน
3. ตรวจสอบข้อมูลที่มีความจำเป็นกับกระบวนการจัดการสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าขององค์กรเกี่ยวกับการใช้ความถี่และแบนด์วิดท์ (bandwidth) (เช่น การครอบคลุมช่องและความแออัด) การตรวจสอบลักษณะทางเทคนิคและการดำเนินงานที่เหมาะสมของสัญญาณที่ส่งผ่าน (การปฏิบัติตามใบอนุญาต) การตรวจจับและระบุเครื่องส่งสัญญาณผิดกฎหมายและตัวรบกวนที่อาจเกิดขึ้น และการสร้างและตรวจสอบบันทึกความถี่
4. ตรวจสอบข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับโปรแกรมที่จัดโดยสำนักงานวิทยุคมนาคมระหว่างประเทศ เช่น ในการจัดทำรายงานต่อการประชุมวิทยุคมนาคม ในการขอความช่วยเหลือพิเศษจากหน่วยงานในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นอันตราย ในการล้างการทำงานนอกแบนด์วิดท์ หรือในการช่วยเหลือหน่วยงานในการค้นหาความถี่ที่เหมาะสม

3.1.2 แนวทางการตรวจสอบสเปกตรัมของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือไอทียู (International Telecommunication Union, ITU)

งานตรวจสอบสเปกตรัม คือการสังเกตและวัดสเปกตรัมความถี่วิทยุเพื่อตรวจสอบการปรากฏตัว ตำแหน่ง และลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นข้อมูลนี้ใช้เพื่อประกันการใช้สเปกตรัมอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อระบุและแก้ไขปัญหาการแทรกสอด (Interference) และเพื่อบังคับใช้กฎระเบียบ โดยมีโครงสร้างการตรวจสอบสเปกตรัม ที่แตกต่างกันไปตามขนาดและความซับซ้อนของประเทศ หรือภูมิภาคที่กำลังตรวจสอบ อย่างไรก็ตามระบบส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบต่อไปนี้

1. สถานีตรวจสอบและประมวลผล สถานีเหล่านี้ติดตั้งเครื่องรับและสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) เพื่อตรวจจับและวัดการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ สถานีตรวจสอบอาจเป็นแบบติดตั้งหรือเคลื่อนย้ายได้ และอาจตั้งอยู่บนพื้นดินในอากาศ หรือในอวกาศ
2. ศูนย์ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล โดยรับข้อมูลจากสถานีตรวจสอบและประมวลผล เพื่อระบุและลักษณะของการแพร่กระจาย (Propagation) ของคลื่นวิทยุ ศูนย์อาจใช้ข้อมูลเพื่อสร้างรายงานและการแจ้งเตือนด้วย
3. หน่วยงานจัดการสเปกตรัม รับผิดชอบในการดูแลระบบตรวจสอบสเปกตรัมและใช้ข้อมูลเพื่อจัดการสเปกตรัมในลักษณะที่มีประสิทธิภาพและยุติธรรม

   จากคู่มือของ ITU พบว่าได้ให้คำแนะนำในการตรวจสอบสเปกตรัมในประเด็นดังต่อไปนี้

   - เทคนิคการตรวจสอบสเปกตรัม อธิบายเทคนิคการตรวจสอบสเปกตรัมที่หลากหลาย รวมถึงการหาทิศทาง การวิเคราะห์สัญญาณ และการตรวจจับสัญญาณแทรกสอด (Interference)
   - อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเลือกและใช้งานอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบสเปกตรัม
   - การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล อธิบายวิธีการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจสอบสเปกตรัม
   - การจัดการสเปกตรัม ให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีใช้ข้อมูลการตรวจสอบสเปกตรัมเพื่อจัดการสเปกตรัมในลักษณะที่มีประสิทธิภาพและยุติธรรม

3.1.3 การตรวจสอบสเปกตรัม และอุปกรณ์ที่จำเป็น

พบว่าหน้าที่การตรวจสอบสเปกตรัมของผู้ออกใบอนุญาต ต้องมีหน้าที่สำคัญในการตรวจสอบดังนี้

- การตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่น (Wave Propagation) เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการจัดสรรความถี่
- การสังเกตแบนด์วิดท์ (Bandwidth) และการวัดการความกว้างแถบครอบครอง (Occupied Bandwidth)
- การตรวจสอบกรณีของการแทรกสอด (Interference)
- การระบุและหยุดการแพร่กระจาย (Propagation) ที่ไม่ได้รับอนุญาต

เพื่อปฏิบัติงานตามที่ระบุไว้ข้างบน สถานีตรวจสอบต้องมีความสามารถในการระบุและค้นหาตำแหน่งการแพร่กระจายคลื่น และวัดลักษณะสำคัญของการแพร่กระจายคลื่น อุปกรณ์วัดของสถานีตรวจสอบทำหน้าที่ของอุปกรณ์ต่อไปนี้

- สายอากาศรอบทิศทาง (Omni-directional Antenna)
- สายอากาศแบบทิศทางเดียว (Uni-directional Antenna)
- เครื่องรับสัญญาณ (Receiver)
- เครื่องหาทิศทาง (Direction Finder)
- อุปกรณ์วัดความถี่ (Frequency Meter)
- เครื่องวัดความแรงสนาม (Field Strength Meter)
- อุปกรณ์วัดแบนด์วิดท์ (Bandwidth Meter)
- อุปกรณ์วัดการครอบครองช่องสัญญาณ (channel occupancy measurement equipment)

- อุปกรณ์บันทึกสเปกตรัมความถี่ (Spectrum Recorder)
- เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
- เครื่องวิเคราะห์สัญญาณเวกเตอร์หรือเครื่องวิเคราะห์การมอดูเลต (vector signal analyzers or modulation analyzers)
- ตัวถอดรหัส (Decoder)
- เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator)
- อุปกรณ์บันทึก (Recorder)

นอกจากอุปกรณ์ดังกล่าวยังมี อุปกรณ์วัดเพิ่มเติม ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์สำหรับความถี่ที่สูงกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภารกิจเพิ่มเติมและเฉพาะเจาะจงมากขึ้นของบริการตรวจสอบ เช่น

- การวัดความแรงสนามตามเส้นทาง (Field Strength Meter)
- การตรวจสอบเทคโนโลยีบรอดแบนด์ที่ทำงานสูงกว่า 3 GHz เช่น ระบบ ไว-ไฟ (Wi-Fi)
- การวัดสัญญาณโทรทัศน์บนสัญญาณวิดีโอ เช่น ความสว่างและโครมิแนนซ์ (Chrominance)
- การวัดพารามิเตอร์เฉพาะของเครือข่ายดิจิทัลการตรวจสอบการแพร่กระจาย (Propagation) ของลิงก์คงที่
- การวัดสัญญาณดาวเทียม

3.1.4 รูปแบบสถานีตรวจสอบ

รูปแบบสถานีตรวจสอบมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดคือ

1. สถานีตรวจสอบแบบอยู่กับที่
2. สถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่
3. สถานีตรวจสอบแบบขนส่งได้

3.1.4.1 สถานีตรวจสอบแบบอยู่กับที่

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในระบบตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ ในพื้นที่ครอบคลุมของสถานีตรวจสอบ โดยทั่วไปจะอนุญาตให้ดำเนินการวัดสัญญาณได้ทุกรูปแบบ โดยไม่มีข้อจำกัด เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดทางกายภาพ เช่น พื้นที่ตั้งสายอากาศ และแหล่งพลังงาน เป็นต้น

โดยมีสองวิธีในการกำหนดตำแหน่งของสถานีตรวจสอบแบบอยู่กับที่

วิธีที่หนึ่ง จัดตั้งได้ในสถานที่ ที่คาดว่ามีการรบกวนจากแทรกสอด (Interference) ที่มนุษย์สร้างขึ้นและการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ (Radio wave propagation) อยู่ในระดับต่ำ

วิธีที่สอง จัดตั้งในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นซึ่งสามารถรับการแพร่กระจายคลื่นได้หลายประเภท รวมถึงการแพร่กระจายคลื่นพลังงานต่ำ

วิธีแรกเหมาะสำหรับสถานีตรวจสอบความถี่สูงหรือเฮชเอฟ (high frequency, HF) เนื่องจากเครื่องมือตรวจสอบมีความไวต่อการรบกวนสูง และสภาพการแพร่กระจายของคลื่นเฮชเอฟ ทำให้สามารถตั้งสถานีตรวจสอบได้ห่างไกลจากสถานีส่งสัญญาณ สำหรับสถานีแบบที่สอง เหมาะสำหรับคลื่นความถี่สูงมากหรือวีเอชเอฟ (very high frequency, VHF) และคลื่นความถี่สูงยิ่งหรือยูเอชเอฟ (ultrahigh frequency, UHF) เนื่องจากสภาพการแพร่กระจายไม่อนุญาตให้สถานีตรวจสอบตั้งอยู่ห่างไกลจากเครื่องส่งสัญญาณได้ อย่างไรก็ตาม ต้องระมัดระวังอย่างยิ่งไม่ให้เครื่องรับได้รับสัญญาณที่แรงเกินไป เช่น จากเครื่องส่งสัญญาณ

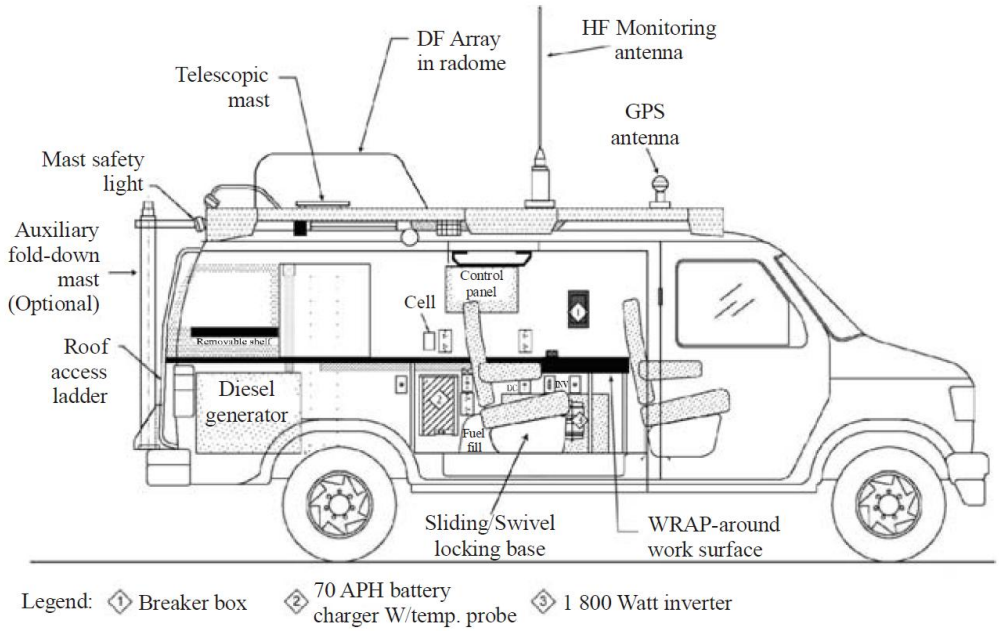
กระจายเสียง และสร้างสัญญาณผสม ในทางปฏิบัติ ความต้องการที่แตกต่างกันจะทำให้จำเป็นต้องจัดการอย่างเหมาะสม

ปัญหาหลักของสถานีตรวจสอบแบบอยู่กับที่ คือ สถานีเหล่านี้เป็นสถานีคงที่ และไม่สามารถสร้างสถานีเหล่านี้ได้ในจำนวนที่เพียงพอ เนื่องจากเงินลงทุนที่สูง

3.1.4.2 สถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่

สถานีตรวจสอบเคลื่อนที่มีหน้าที่ในการดำเนินการตรวจสอบทั้งหมดได้ โดยเฉพาะในกรณีที่เครื่องส่งสัญญาณส่งพลังงานในระดับต่ำ ที่ใช้สายอากาศแบบมีทิศทางสูงและลักษณะการแพร่กระจายจำเพาะ ที่ทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้โดยสถานีตรวจสอบแบบคงที่ได้

การออกแบบสถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่แตกต่างกันอย่างมากตามวัตถุประสงค์ ขอบเขต และสภาพการทำงาน ยานพาหนะที่นำมาใช้จำเป็นที่จะต้องได้รับการตกแต่งเป็นพิเศษเพื่อรองรับความซับซ้อนของอุปกรณ์และการทำงานที่เหมาะสม และยังต้องคำนึงถึงปัญหาเกี่ยวกับน้ำหนักและพลังงานที่ระบบต้องการ ในบางกรณีสถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่ต้องพกพาอุปกรณ์เพิ่มเติม เพื่อทำการวัดเฉพาะทางในสถานที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ง่ายด้วยยานพาหนะสำหรับสถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่ อาจจะอยู่ในรูปแบบรถยนต์ เครื่องบิน หรือเรือก็ได้ ตัวอย่างดังรูปที่ 4 จัดตั้งสถานีตรวจสอบเคลื่อนที่ในรูปแบบรถยนต์



รูปที่ 4 ตัวอย่างรถในการตรวจสอบสเปกตรัม [ที่มา ITU Handbook on Spectrum Monitoring]

3.1.4.3 สถานีตรวจสอบแบบขนส่งได้

แนวทางการใช้งานสถานีตรวจสอบแบบขนส่งได้ ผสมผสานคุณสมบัติและข้อดีบางประการของสถานีตรวจสอบแบบอยู่กับที่ และข้อดีบางประการของสถานีตรวจสอบเคลื่อนที่ สถานีตรวจสอบแบบขนส่งได้สามารถมีสายอากาศขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับสถานีตรวจสอบแบบอยู่กับที่ และสามารถขยายพื้นที่ปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานให้มีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ปฏิบัติงานในกรณีของสถานีตรวจสอบเคลื่อนที่ แต่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ในสถานที่ต่าง ๆ ตามที่ต้องการบริการตรวจสอบ

สถานีตรวจสอบแบบขนส่งได้ จะใช้อุปกรณ์ที่ต้องจัดเก็บในสถานที่ปิดที่สามารถปกป้องจากสภาพอากาศภายนอกได้ ขึ้นกับสถานที่ติดตั้ง รูปแบบการใช้งานสถานีตรวจสอบแบบนี้อาจจะต่างไป เช่น ถ้าสถานที่

มีขนาดเล็ก อาจจะต้องทำการสั่งการการตรวจสอบจากระยะไกล แต่ถ้าสถานที่มีขนาดใหญ่อาจจะติดตั้งเครื่องมือวัดในหลาย ๆ รูปแบบ สถานีตรวจสอบแบบขนส่งได้อาจจะสามารถวางไว้ในสถานที่เฉพาะเจาะจง เช่น บนพื้นดินหรือบนหลังคาของอาคารเป็นระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นจึงย้ายไปยังสถานที่อื่นตามความต้องการของบริการตรวจสอบ สถานีตรวจสอบแบบขนส่งได้ไม่ต้องการยานพาหนะพิเศษเหมือนสถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่ เมื่อต้องการเคลื่อนย้ายสถานีตรวจสอบจากสถานที่หนึ่งไปอีกสถานที่หนึ่ง นอกจากนี้แล้วโดยทั่วไปสถานีตรวจสอบแบบขนส่งได้ ยังสามารถใช้งานได้ในท้องถิ่น โดยยังควบคุมระยะไกลจากสถานีกลางผ่านการเชื่อมต่อสื่อสาร สามารถถ่ายโอนข้อมูลการวัดไปยังสถานีกลางได้โดยตรง

3.1.5 รูปแบบการวัดสัญญาณวิทยุ

เนื่องจากรูปแบบการรบกวนในระบบดาวเทียมประกอบด้วย

- การแทรกสอดช่องสัญญาณที่อยู่ติดกัน (Adjacent channel interference) การรบกวนประเภทนี้เกิดขึ้นจากสัญญาณพาหะที่ส่งจากดาวเทียมไปยังสถานีภาคพื้นดินในระบบเดียวกัน โดยตั้งอยู่ในลำคลื่นเฉพาะจุด (Spot Beam) จุดเดียวกันกับสถานีภาคพื้นดินที่กำลังพิจารณา การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบเอฟดีเอ็มเอ (FDMA) และทีดีเอ็มเอ (TDMA) จะมีการรบกวนชนิดนี้เนื่องจากตัวกรองที่ไม่สมบูรณ์
- การแทรกสอดช่องสัญญาณร่วม (Co-Channel Interference) การรบกวนช่องสัญญาณร่วมเกิดขึ้นจากสัญญาณพาหะที่ส่งจากดาวเทียมไปยังสถานีภาคพื้นดินของระบบเดียวกัน ที่ความถี่เดียวกันและโพลาไรเซชันเดียวกันกับสัญญาณพาหะผู้เสียหาย ในการร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบเอฟดีเอ็มเอ (FDMA) และทีดีเอ็มเอ (TDMA)
- การรบกวนข้ามช่องสัญญาณ (Cross Channel Interference) การรบกวนประเภทนี้เกิดขึ้นจากคลื่นพาห์ (Carrier) ที่ส่งจากดาวเทียมไปยังสถานีภาคพื้นดินของระบบเดียวกัน ที่ความถี่เดียวกันและโพลาไรเซชันมุมฉาก (Orthogonal Polarization) กับคลื่นพาห์ (Carrier) จากสถานีภาคพื้นดินผู้เสียหาย ถ้าใช้การสื่อสารผ่านโพลาไรเซชัน (Polarization) เพียงโพลาไรเซชัน (Polarization) เดียว แต่เกิดขึ้นในลำจุด (Beam) เดียวกันถ้าใช้การสื่อสารโพลาไรเซชันแบบคู่ (Dual Polarization)
- การแทรกสอดที่อยู่ติดกัน (Adjacent system Interference) การรบกวนประเภทนี้เกิดขึ้นจากสัญญาณพาหะที่ส่งโดยดาวเทียมดวงอื่นไปยังสถานีภาคพื้นดินของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมดวงอื่นส่งสัญญาณที่ความถี่เดียวกัน และโพลาไรเซชันเดียวกันกับสัญญาณพาหะสถานีภาคพื้นดินผู้เสียหาย เพื่อให้สามารถวัดการรบกวนแบบนี้ได้ จึงทำการวัดและตรวจสอบค่าดังต่อไปนี้
    1. ความถี่ (Frequency)
    2. ความถี่ดอปเพลอร์ (Doppler frequency)
    3. ความหนาแน่นฟลักเชิงพลังงาน (power-flux density) ในรูปแบบแบนด์วิดท์อ้างอิงและโดยรวม
    4. กำลังส่งออกอากาศสมมลแบบไอโซทรอปิกหรืออีไออาร์พี (Effective Isotropic Radiated Power: EIRP) , ค่าอีไออาร์พีของช่องสัญญาณ และค่าอีไออาร์พีของสัญญาณพาหะ
    5. อัตราส่วนพลังงานคลื่นพาหะต่อสัญญาณรบกวน (C/N_0)
    6. แบนด์วิดท์ และแบนด์วิดท์คลื่นพาหะ (Bandwidth and carrier bandwidth)
    7. การวัดสเปกตรัมนอกแบนด์ (Out-of-band spectrum measurements)
    8. คุณลักษณะการส่งสัญญาณ (Transmission characterization)

9. ชนิดการมอดูเลต (Identification of modulation type)
10. การบันทึกค่าสเปกตรัมที่วัด (Spectrum observations recording)
11. ค่าสเปกโตรแกรมแบบเร็ว (Fast spectrograms) เพื่อการดูช่องแบบรวดเร็ว และสัญญาณกวาด (Fast spectrograms to visualize fast slots drifts and sweeping signals)
12. การวัดค่าโพลาไรเซชัน (Polarization measurements)
13. ตำแหน่งดาวเทียมในวงโคจร (ที่ความถูกต้องอย่างน้อย 0.1°) (Satellite orbit position) (orbital position accuracy of at least 0.1°)
14. คุณลักษณะแถบความถี่ฐานของสัญญาณที่รับได้ (Base band characteristics of received signals i.e. BPSK, QPSK, QAM, FDM/FM)
15. อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Received signal-to-noise ratio)

เนื่องจากข้อมูลที่ต้องทำการวัดมีลักษณะคล้ายกับในการสื่อสารวิทยุโดยทั่วไป ยกเว้นในบางรายงานจะทำการอธิบายเพียงบางรายการเท่านั้น ที่มีความจำเป็นเฉพาะสำหรับดาวเทียม

3.1.6 การกำหนดตำแหน่งวงโคจรและองค์ประกอบวงโคจร

การกำหนดตำแหน่งวงโคจรเกี่ยวข้องกับดาวเทียมแบบวงโคจรค้างฟ้า (GSO) และการกำหนดองค์ประกอบวงโคจรเกี่ยวข้องกับดาวเทียมแบบวงโคจรไม่ค้างฟ้า (NGSO)

3.1.6.1 ดาวเทียมแบบวงโคจรค้างฟ้า (GSO Satellite)

ดาวเทียมแบบวงโคจรค้างฟ้า มักถูกรบกวนและมีผลต่อตำแหน่งของมันในวงโคจร และความผิดพลาดในแกนรองและค่าความเยื้องศูนย์กลาง ส่งผลให้ดาวเทียมแสดงการเคลื่อนที่แบบแกว่งไปมา เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงเมื่อสังเกตการณ์บนโลก

ดาวเทียมแบบวงโคจรค้างฟ้าที่ใช้ความถี่ที่จัดสรรให้ จะต้องรักษาวงโคจรอยู่ในช่วง ± 0.1° ของตำแหน่งลองจิจูดที่กำหนดไว้ ยกเว้นสำหรับสถานีทดลองบนดาวเทียมแบบวงโคจรค้างฟ้าซึ่งควรรักษาวงโคจรอยู่ในช่วง ± 0.5° ของตำแหน่งลองจิจูด และสำหรับดาวเทียมแบบแพร่สัญญาณ (Broadcasting-satellites) ในช่วงความถี่ 11.7-12.75 GHz ซึ่งควรถูกจำกัดตามที่ระบุใน [1]“Radio Regulations Appendix 30” ดังนั้นตำแหน่งวงโคจรถูกคำนวณจากการวัดมุมแอซิมัท (azimuth) และมุมเงย (elevation) ของสายอากาศที่รับสัญญาณ

3.1.6.2 ดาวเทียมแบบวงโคจรไม่ค้างฟ้า (NGSO Satellite)

การคำนวณขององค์ประกอบวงโคจรของดาวเทียมแบบวงโคจรไม่ค้างฟ้า (ข้อมูล ephemeris) จากการวัดที่มีความแม่นยำเพียงพอเป็นความต้องการขั้นพื้นฐานสำหรับ

- การระบุสถานีอวกาศที่ไม่รู้จัก
- การสำรวจเวลาที่เป็นไปได้ในการรับสัญญาณ
- การกำหนดล่วงหน้าของมุมแอซิมัท (azimuth) และมุมเงย (elevation) เป็นฟังก์ชันของเวลา เช่น สำหรับการควบคุมสายอากาศด้วยคอมพิวเตอร์ในกรณีที่ข้อมูลที่เผยแพร่โดยเป็นทางการไม่สามารถใช้ได้

สถานีตรวจวัดสำหรับบริการดาวเทียมที่ใช้การวัดโหมดแบบแพสซิฟ (passive) สามารถให้ข้อมูลมุมแอซิมัท (azimuth) และมุมเงย (elevation) และการเปลี่ยนความถี่ดอปเพลอร์ (Doppler) ตามเวลาได้ เนื่องจากการกำหนดตำแหน่งวงโคจรต้องการ การแก้ปัญหาสำหรับอย่างน้อยหกข้อมูล จึงจำเป็นต้องมีการวัด

หลายครั้งของปริมาณที่กล่าวมาข้างต้น โดยทั่วไปการกำหนดตำแหน่งวงโคจรเป็นผลลัพธ์ของกระบวนการทางสถิติ ซึ่งปริมาณข้อมูลที่มากขึ้นจะทำให้องค์ประกอบวงโคจรมีความแม่นยำมากขึ้น ในกรณีการตรวจวัดความถี่สูง เช่น เหนือ 1 GHz วิธีที่ใช้วิธีการประเมินการวัดมุมในมุมแอซิมัทและมุมเงย เป็นที่นิยมเนื่องจากความกว้างลำ (beamwidth) ที่แคบ

3.1.7 วิธีการวัด

ปัจจัยหลักที่ทำให้จำเป็นต้องใช้เทคนิคที่แตกต่างกันในการตรวจสอบ สังเกต และวัดการปล่อยสัญญาณจากดาวเทียม และสถานีอวกาศ เมื่อเทียบกับสัญญาณจากสถานีวิทยุแบบอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่บนหรือใกล้โลกมีดังนี้

1. ความแตกต่างระหว่างความถี่ที่รับและส่ง และลักษณะที่แตกต่างกันของความถี่ที่รับ ซึ่งเกิดจากการเลื่อนของดอปเพลอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับดาวเทียมที่ไม่ได้อยู่ในวงโคจรแบบค้างฟ้า (NGSO)
2. ความหนาแน่นฟลักเชิงพลังงานที่ต่ำ ณ จุดรับสัญญาณบนพื้นโลก เนื่องจากระยะทางไกลและกำลังส่งสัญญาณที่ต่ำ (Power flux density)
3. ระยะเวลาอันสั้นที่จะได้รับหรือส่งสัญญาณมาหรือจากดาวเทียมโคจรรอบโลกต่ำ
4. การเปลี่ยนแปลงทิศทางการส่งและรับสัญญาณของสายอากาศแบบทิศทางสูงที่ติดตั้งบนสถานีรับและส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมแบบวงโคจรไม่ค้างฟ้า

การวัดความถี่

สำหรับดาวเทียมแบบวงโคจรค้างฟ้า ผลกระทบความถี่ดอปเพลอร์มีน้อย ซึ่งสามารถวัดความถี่ได้โดยตรง การนำการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (เช่น การใช้ผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วหรือเอฟเอฟที (Fast Fourier Transform, FFT) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์วัด ส่งผลให้ความแม่นยำในการวัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก การปรับแต่งง่ายขึ้น และความเร็วในการวัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ไอทียูได้กำหนดข้อแนะนำในการวัดความถี่ในเอกสาร ITU-R SM.377

การวัดความถี่โดยทั่วไปหมายถึงกระบวนการเปรียบเทียบความถี่ที่ไม่ทราบค่า กับความถี่อ้างอิง โดยพิจารณาจากกระบวนการเปรียบเทียบนี้ วิธีการวัดความถี่ต่อไปนี้ใช้ที่สถานีตรวจสอบ โดยมีวิธีการวัดที่นิยมใช้ดังนี้

- วัดความถี่จังหวะหรือบีเอฟ (Beat frequency, BF)
- วัดความถี่ออฟเซตหรือโอเอฟ (Offset frequency, OF)
- วัดค่าลิซาโจซ์โดยตรงหรือดีแอล (Direct Lissajous, DL)
- นับความถี่หรือเอฟซี (Frequency counter, FC)
- ตัวแยกแยะความถี่หรือเอฟดี (Frequency discriminator, FD)
- การบันทึกเฟสหรืออาร์พี (Phase recording, PR)
- เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบกวาดเอเอสเอส (Swept spectrum analyzer, SSA)
- การวัดความถี่ ณ ขณะหนึ่งหรือไอเอฟเอ็ม (Instantaneous frequency measurement, IFM)
- ผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วหรือเอฟเอฟที (Fast Fourier Transform, FFT)

ในการวัด จำเป็นต้องพิจารณาถึงความผิดพลาดจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

1. ความผิดพลาดจากขั้นตอนการวัด ($\Delta f_M/f$)
2. ความผิดพลาดจากสัญญาณมอดูเลต ที่ใช้ในการวัด ($\Delta f_{mod}/f$)

3. ความผิดพลาดจากความถี่ของสัญญาณอ้างอิงที่ใช้วัด ($\Delta f_R/f$)
4. ความผิดพลาดจากคุณลักษณะทางเทคนิคของการวัด ซึ่งรวมถึงการอ่านค่าที่ไม่มีความแม่นยำ ($\Delta f_A/f$)
5. ความผิดพลาดจากเส้นทางการส่งสัญญาณ (Transmission path) ($\Delta f_T/f$)

โดยความผิดพลาดรวมสูงสุดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{\Delta f}{f} = \pm\left(\left|\Delta f_M/f\right| + \left|\Delta f_{mod}/f\right| + \left|\Delta f_R/f\right| + \left|\Delta f_A/f\right| + \left|\Delta f_T/f\right|\right) \quad (1)$$

สำหรับดาวเทียมแบบวงโคจรไม่ค้างฟ้า ผลกระทบของดอปเพลอร์จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาไปด้วย เพราะเมื่อมีความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสถานีอวกาศหรือดาวเทียมที่ส่งสัญญาณและสถานีตรวจสอบจะเกิดความแตกต่างของความถี่ที่เป็นสัดส่วนกับความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสัญญาณที่ส่งและรับ รูปที่ 5 หลักการของเลื่อนของความถี่จากผลกระทบของดอปเพลอร์ (Doppler) แสดงถึงการเกิดขึ้นของผลกระทบของดอปเพลอร์ โดยความถี่ที่สถานีตรวจสอบวัดได้มีค่าเป็น

$$f_R = \frac{cf_s}{c\text{-}v\cos\beta} \quad (2)$$

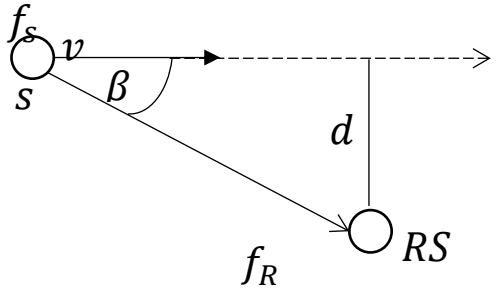
เมื่อ

- s แทนดาวเทียมและ R แทนสถานีตรวจสอบ
- f_s คือ ความถี่ที่ส่ง
- f_R คือ ความถี่ที่ตรวจวัดรับได้
- c คือ ความเร็วแสงในอวกาศ
- v คือ ความเร็วของดาวเทียม

และความถี่ที่สถานีตรวจสอบวัดได้ยังเปลี่ยนแปลงตามเวลาดังนี้

$$\frac{df_R}{dt} = \frac{f_s}{c} \cdot \frac{v^2}{d} \quad (3)$$

เมื่อ d คือ ระยะใกล้สุดของสถานีตรวจสอบ และเส้นการเคลื่อนที่ของดาวเทียม

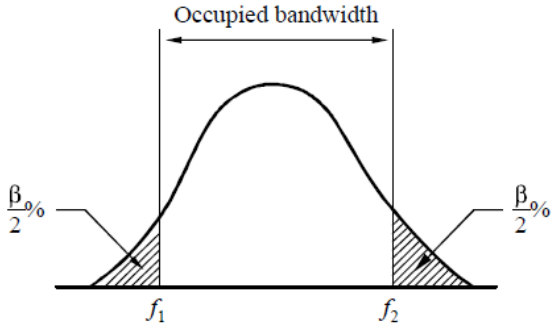


รูปที่ 5 หลักการของเลื่อนของความถี่จากผลกระทบของดอปเพลอร์

การวัดแบนด์วิดท์ (Bandwidth)

สำหรับดาวเทียมแบบวงโคจรค้างฟ้า โดยนิยามของแบนด์วิดท์ ตามไอทียู คือได้แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. **แบนด์วิดท์ที่จำเป็น (Necessary Bandwidth)** เป็นแบนด์วิดท์สำหรับชนิดของการส่งสัญญาณที่กำหนดให้มีความกว้างของช่วงความถี่ที่เพียงพอเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลได้ในอัตราที่ต้องการและมีคุณภาพตามเงื่อนไขที่ระบุ (ITU-R SM.328) การแพร่กระจาย (Propagation) ของสัญญาณจากตัวส่งที่อยู่นอกขอบเขตความถี่ที่จำเป็นเรียกว่า "การแพร่กระจายที่ไม่พึงปรารถนา" และมีส่วนประกอบสองส่วน
    a. การแพร่กระจาย (Propagation) นอกขอบเขตความถี่ การแพร่กระจายในความถี่หรือความถี่ที่อยู่ทันทีนอกขอบเขตความถี่ที่จำเป็นซึ่งเกิดจากกระบวนการมอดูเลต (Modulate) แต่ยกเว้นการแพร่กระจายที่ไม่พึงปรารถนา
    b. การแพร่กระจายที่ไม่พึงปรารถนา การแพร่กระจาย (Propagation) ในความถี่หรือความถี่ที่อยู่นอกขอบเขตความถี่ที่จำเป็นและระดับของสัญญาณที่อยู่นอกขอบเขตนี้สามารถลดลงได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการส่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การแพร่กระจายที่ไม่พึงปรารถนารวมถึงการแพร่กระจายฮาร์มอนิก (harmonic) การรบกวนกันระหว่างความถี่ที่เกิดจากการคูณระหว่างกระบวนการมอดูเลตหรือการแปลงความถี่ แต่ยกเว้นการแพร่กระจายนอกขอบเขตความถี่
2. **ความกว้างแถบครอบครอง (Occupied Bandwidth)** คือการกำหนดค่าขอบเขตความถี่ต่ำสุด (f_1) และสูงสุด (f_2) พลังงานที่แพร่กระจายในความถี่ที่สูงกว่าความถี่สูงสุด และพลังงานที่แพร่กระจายในความถี่ต่ำกว่าความถี่ต่ำสุด มีสัดส่วนที่ค่าพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ $\frac{\beta}{2}$ ของพลังงานเฉลี่ยรวมทั้งหมดของการแพร่กระจายที่กำหนดให้โดยค่ามาตรฐาน คือ $\frac{\beta}{2} = 0.5\%$ (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 ความกว้างแถบครอบครอง (Occupied Bandwidth) ตามนิยามของ ITU
[ที่มา คู่มือของไอทียู on Spectrum Monitoring]

เทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (digital signal processing, DSP) สามารถใช้ในการคำนวณความกว้างของช่วงความถี่ $\beta\%$ จากความหนาแน่นพลังงานสเปกตรัม (power spectral density, PSD) โดยเริ่มต้นประมาณ PSD ของสัญญาณรบกวนพื้นฐาน (noise floor) โดยใช้อัลกอริทึม DSP หนึ่งในหลายอัลกอริทึมที่เหมาะสม ค่า PSD ของสัญญาณรบกวนพื้นฐานจะทำการหาค่า Y เพื่อใช้ตั้งค่า PSD เป็นศูนย์หากพลังงานน้อยกว่า Y dB สำหรับสภาพแวดล้อมสัญญาณส่วนใหญ่ $Y = 6$ dB จะให้ผลลัพธ์ที่ดี ค่าพลังงานทั้งหมด P ของสัญญาณสามารถคำนวณโดยการรวมค่า PSD ในย่านความถี่ที่มีพลังงานของสัญญาณทั้งหมดจากการหาพื้นที่ใต้ค่า PSD หลังจากนั้นค่าความถี่ f_1 หาจากการหาพิกัดความถี่ที่ทำให้การคำนวณค่าปริพันธ์บนพีเอสดีจาก 0 ถึง f_1 มีค่าเท่ากับ $\frac{\beta}{2}P$ ค่าความถี่บน f_2 หาจากการหาพิกัดความถี่ที่ค่าปริพันธ์บนพีเอสดี จาก f_2 ถึงอนันต์มีค่าเท่ากับ $\frac{\beta}{2}P$ แบนด์วิดท์แถบครอบครองคือค่า $f_2 - f_1$ (รูปที่ 6)

นอกจากแบนด์วิดท์ทั้ง 2 แบบแล้วยังมีแบนด์วิดท์แบบ x-dB: ความกว้างของช่วงความถี่ที่สามารถกำหนดได้ว่าเมื่ออยู่นอกขอบเขตความถี่ต่ำสุดและสูงสุด ส่วนประกอบของสเปกตรัมที่เป็นลักษณะดีกรีหรือความหนาแน่นของพลังงานสเปกตรัมต่อหน่วยความกว้างของความถี่ที่สูงกว่าระดับการอ้างอิง 0 dB ที่กำหนดไว้ จะต้องน้อยลงอย่างน้อย x dB จากเอกสารของไอทียู "ความกว้าง x-dB" สามารถใช้ในการประมาณความกว้างความถี่แถบครอบครอง ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเป็นอย่างดีเกี่ยวกับชนิดของการแพร่กระจายและลักษณะการมอดูเลตเชิงสัญญาณ อย่างไรก็ตาม มีบางกรณี (เช่นรูปแบบการมอดูเลตเชิงดิจิทัลบางประเภท) ที่ "ความกว้าง x-dB" ไม่ใช่การประมาณความกว้างความถี่ที่ถูกใช้งานได้ดี

ในกรณีที่มีความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสถานีอวกาศและสถานีตรวจวัด ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler) จะส่งผลต่อค่าที่วัดได้ ดังนั้นปัจจัยสองอย่างที่ต้องพิจารณาด้วย คือ

1. ความถี่ทั้งหมดของสเปกตรัมเคลื่อนไประหว่างเวลาที่จำเป็นสำหรับการวัดความกว้างของแบนด์วิดท์
2. การเปลี่ยนความถี่มีค่าเล็กน้อยสำหรับส่วนประกอบของสัญญาณที่อยู่ใกล้ขอบบนของสเปกตรัมของการแพร่กระจาย เมื่อเทียบกับส่วนประกอบที่อยู่ใกล้ขอบล่าง ความแตกต่างนี้อาจมีค่าสูงถึงร้อยละของเฮิรตซ์สำหรับความกว้างของแบนด์วิดท์ที่กว้าง ผลกระทบนี้ทำให้ความกว้างของแบนด์วิดท์ที่สถานีตรวจวัดมองเห็นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

การควบคุมความถี่อัตโนมัติที่ตัวรับสถานีตรวจวัด สามารถชดเชยความเปลี่ยนแปลงความถี่ดอปเพลอร์ (Doppler) ของการแพร่กระจายได้ ในกรณีนี้วิธีการวัดปกติที่ใช้ในการกำหนดความกว้างของแบนด์วิดท์ที่สถานีตรวจวัดบนพื้นโลกสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงอย่างมาก หากสัญญาณที่ได้รับมีพลังงานที่น้อยมาก สามารถให้การแก้ไขความถี่ของออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ของตัวรับ โดยใช้สัญญาณอ้างอิง เช่น ความถี่ของคลื่นพาห์ (Carrier) หรือคลื่นนำร่อง (Pilot) ที่ถูกส่งออกจากสถานีอวกาศหรือดาวเทียม ที่ถูกกรองด้วยตัวกรองแบนด์พาส (Bandpass) ที่แคบมาก

การวัดความหนาแน่นฟลักเชิงพลังงาน (Power-Flux Density, PFD)

ความหนาแน่นฟลักเชิงพลังงาน คือพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยปกติจะแสดงเป็นหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) PFD สามารถใช้เพื่อวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังใช้ในการคำนวณปริมาณพลังงานที่สายอากาศสามารถส่งหรือรับได้ อีกด้วย PFD ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$S=\frac{P}{4\pi r^2} \tag{4}$$

โดยที่ S คือหนาแน่นฟลักเชิงพลังงาน (power flux density, PFD) ในหน่วย w/m^2

P คือพลังงานที่ส่งหรือรับได้ในหน่วยวัตต์

และ *R* คือระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในหน่วยเมตร

สถานีอวกาศหรือดาวเทียมต้องการให้ได้ค่าสูงสุดของ PFD ที่ผิวโลกต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ค่าสำหรับช่วงความถี่แต่ละช่วง บริการทางอวกาศ มุมมาถึง และเงื่อนไขการแชร์ ได้ถูกกำหนด โดยไอทียูในเอกสาร “RR Article 21 Section V”

ค่า PFD ถูกกำหนดอย่างเต็มที่ตามความกว้างของแบนด์วิดท์ที่ถูกใช้งาน ความกว้างของตัวกรองการวัดควรถูกเลือกตามนี้การวัดเหล่านี้มีความสำคัญหากต้องการคำนวณอีไออาร์พีของสถานีอวกาศ เป็นต้น สำหรับช่วงความถี่ต่ำกว่า 13 GHz และในกรณีที่มีสภาพอากาศแจ่มใส ความสูญเสียทางอากาศทั้งหมด

สามารถถูกนำมาใช้ในการคำนวณได้เป็น 0.1-0.2 dB โดยคำนวณค่าพีเอฟดีแบนด์วิดท์อ้างอิง และแบนด์วิดท์ทั้งหมดเป็น

$$pfd_{RBW}=P_{sys}\text{-}30\text{-}A_e\text{-}K_{BW}+K_{POL} \quad (5)$$

และ

$$pfd_{TOT}=P_{sys}\text{-}30\text{-}A_e+K_{POL} \quad (6)$$

โดยที่

- pfd_{RBW} คือ พีเอฟดีที่แบนด์วิดท์อ้างอิงในหน่วย $dB(W/m^2)$
- pfd_{TOT} คือ ค่าพีเอฟดีที่แบนด์วิดท์ทั้งหมดในหน่วย $dB(W/m^2)$
- P_{sys} คือ ค่ากำลังที่เข้ามาในหน่วย dBm
- A_e คือ ค่าพื้นที่ของสายอากาศที่มีผล
- K_{BW} คือ ค่าตัวแปรการแก้ไขสำหรับการวัดความกว้างของแบนด์วิดท์
- K_{POL} คือ ค่าตัวปรับแก้แบบโพลาไรเซชัน

ค่าพีเอฟดี ที่วัดได้ยังนำไปใช้คำนวณค่า EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) ของดาวเทียมได้จากสมการ

$$EIRP = pdf + 10\,log(4\pi d^2) + L_{ATM} \quad (7)$$

สมการที่ 7 สมการวิเคราะห์ค่า EIRP

โดยค่า d คือ ระยะทางจากดาวเทียมมายังสถานีตรวจสอบในหน่วยเมตร และ L_{ATM} คือ ค่าความสูญเสียของชั้นบรรยากาศเทียบกับอวกาศ ในหน่วย dB

การวัดค่าโพลาไรเซชัน (Polarization)

ความรู้เกี่ยวกับโพลาไรเซชัน (Polarization) ของสัญญาณดาวเทียมเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากการกำหนดลักษณะของสัญญาณพื้นฐานนี้สามารถช่วยในการระบุการแพร่กระจายที่ไม่รู้จักได้ ดังนั้น ระบบสายอากาศที่มีความสามารถ ควรสามารถแยกแยะระหว่างประเภทของโพลาไรเซชันได้ การนำเทคนิคการวัดโพลาไรเซชัน ลงในปฏิบัติการจะต้องพิจารณาถึงการใช้งานแบบโพลาไรเซชันคู่ (Dual Polarization) ที่อยู่ในช่วงความถี่เหนือ 1 GHz ที่ใช้ในบริการดาวเทียมแบบคงที่และบริการดาวเทียมส่งสัญญาณ เพื่อให้ได้เงื่อนไขการรับสัญญาณดาวเทียมและมีเงื่อนไขการวัดที่ดีที่สุดด้วยความหมาย ดังนี้

- สัดส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (C/N_0) สูงสุด
- สัดส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (C/I) สูงสุด โดยการแยกแยะโพลาไรเซชันอย่างเพียงพอระหว่างสัญญาณโพลาไรเซชันที่ตั้งฉากกัน

การวัดค่าโพลาไรเซชัน (Polarization) ที่ถูกต้อง จะทำให้ค่าโพลาไรเซชันของสายอากาศรับที่สถานีตรวจวัดสามารถปรับค่าได้ ให้ตรงกับค่าโพลาไรเซชันของสัญญาณที่ต้องการตรวจวัด ในกรณีค่าโพลาไรเซชันเป็นแบบเชิงเส้นคู่ สถานีตรวจวัดจำเป็นต้องใช้สายอากาศที่สามารถปรับระบบนาบโพลาไรเซชันได้ทุกทิศทาง และควรสามารถแยกแยะโพลาไรเซชัน อย่างน้อย 20 dB ได้

3.1.8 การตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่นของดาวเทียมและยานอวกาศ

การตรวจสอบการแพร่กระจาย (Propagation) คลื่นของดาวเทียมและยานอวกาศเป็นหน้าที่สำคัญของการจัดการสเปกตรัม เนื่องจากจะสามารถช่วยรับรองว่าการแพร่กระจาย (Propagation) คลื่นของยานอวกาศจะไม่แทกสอดบริการวิทยุอื่น ๆ คู่มือของไอทียูให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการและอุปกรณ์ที่สามารถใช้ในการตรวจสอบการแพร่กระจาย (Propagation) คลื่นของดาวเทียมและยานอวกาศ

โดยคู่มือแนะนำว่า ควรดำเนินการตรวจสอบดาวเทียมและยานอวกาศโดยใช้สถานีตรวจสอบแบบคงที่ แบบเคลื่อนที่ และแบบขนส่งได้ร่วมกัน สถานีตรวจสอบแบบคงที่สามารถตรวจสอบพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่สถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่และแบบขนส่งได้สามารถใช้เพื่อตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่นเฉพาะหรือตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่ ที่ไม่มีสถานีตรวจสอบแบบคงที่

นอกจากนี้ยังแนะนำให้ดำเนินการตรวจสอบยานอวกาศโดยใช้อุปกรณ์หลากหลายประเภท รวมถึงเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม เครื่องหาทิศทาง และเครื่องรับ เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมสามารถใช้เพื่อระบุและวัดลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของยานอวกาศ ในขณะที่เครื่องหาทิศทางสามารถใช้เพื่อระ บุตำแหน่งของแหล่งที่มาของการแพร่กระจายคลื่น เครื่องรับสามารถใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพของการแพร่กระจายคลื่นของยานอวกาศและระบุการรบกวนใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้น

อย่างไรก็ตาม แนวทางการทำงานของสถานีตรวจสอบวิทยุสำหรับบริการอวกาศโดยทั่วไปจะไม่แตกต่างจากแนวทางการทำงานของสถานีตรวจสอบวิทยุสำหรับบริการภาคพื้นดิน แต่การตรวจสอบวิทยุสำหรับบริการอวกาศต้องการใช้เครื่องมือวัดที่ซับซ้อนกว่า เช่น ระบบสายอากาศที่ซับซ้อนกว่า รวมถึงขั้นตอนการตรวจสอบและการวัดที่แตกต่างกัน สาเหตุหลักมาจากสถานีอวกาศตั้งอยู่บนดาวเทียมที่มีตำแหน่งขึ้นอยู่กับเวลา ยกเว้นดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้าหรือจีเอสโอ (Geostationary, GSO) ที่มีการควบคุมตำแหน่งอย่างเข้มงวด ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวงโคจรของวัตถุดังกล่าวเป็นเงื่อนไขเบื้องต้นที่สำคัญสำหรับการสังเกตและการวัดใด ๆ

เนื่องจากการตรวจสอบอวกาศแตกต่างจากการตรวจสอบภาคพื้นดินในทั้งเทคนิคการวัดและศัพท์เฉพาะ หน้าที่ของสถานีดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้

- การสังเกตสเปกตรัมความถี่วิทยุอย่างสม่ำเสมอและเป็นระบบ เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจจับและระบุการแพร่กระจาย (Propagation) คลื่นของสถานีอวกาศ
- การกำหนดการครอบครองและการใช้ทรานส์พอนเดอร์ (Transponder) หรือเครื่องส่งสัญญาณสถานีอวกาศเป็นเปอร์เซ็นต์
- การวัดและบันทึกลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสถานีอวกาศ
- การตรวจสอบและกำจัดการแทรกสอด (Interference) ที่เป็นอันตรายที่เกิดจากการแพร่กระจาย (Propagation) คลื่นของสถานีอวกาศอย่างเหมาะสม โดยร่วมมือกับสถานีตรวจสอบภาคพื้นดินและสถานีตรวจสอบอื่น ๆ สำหรับบริการอวกาศ
- การตรวจสอบและกำจัดสัญญาณแทรกสอด (Interference) ที่เป็นอันตรายต่อความถี่ที่ใช้โดยสถานีอวกาศ ซึ่งเกิดจากการแพร่กระจาย (Propagation) คลื่นของสถานีภาคพื้นดิน สถานีภาคพื้นดินที่ไม่รู้จัก หรือดาวเทียมอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น โดยการสังเกตและการใช้ทรานส์พอนเดอร์ (Transponsder) เพื่อหาสัญญาณรบกวน
- การวัดและบันทึกสำหรับโครงการทางเทคนิคและวิทยาศาสตร์
- การตรวจจับการใช้ทรานส์พอนเดอร์ (Transponders) โดยผิดกฎหมายและระบุแหล่งที่มา

- การใช้เทคนิคดาวเทียมพิเศษเพื่อระบุตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณบนโลก
- การตรวจสอบก่อนการยิงในระหว่างขั้นตอนก่อนการยิงจรวดเพื่อตรวจสอบความถี่ที่ใช้สำหรับการวัดระยะทางการสั่งการระยะไกล และการติดตามตำแหน่งวงโคจร การตรวจสอบก่อนการยิงนี้จะช่วยให้การยิงและช่วงวงโคจรมีประสิทธิภาพปลอดภัยยิ่งขึ้น

ในการตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่นของดาวเทียมและยานอวกาศ ยังต้องพิจารณาเมื่อดำเนินกิจกรรมการตรวจสอบที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณดาวเทียม โดยจะพิจารณาจากวงโคจรของดาวเทียม โดยแบ่งเป็นดาวเทียมแบบ วงโคจรค้างฟ้า และดาวเทียมแบบวงโคจรไม่ค้างฟ้า (Non-Geostationary Orbit, NGSO) สรุปรูปแบบสถานีตรวจสอบของแต่ละประเภทดาวเทียม และเส้นทางการส่งสัญญาณ

ตารางที่ 1 ประเด็นที่ต้องดำเนินการในแต่ละประเภทของดาวเทียม

รูปแบบดาวเทียม	**การส่งสัญญาณแบบดาวน์ลิงก์ (Downlink)**	**การส่งสัญญาณแบบอัปลิงก์ (Uplink)**
ดาวเทียมแบบวงโคจรค้างฟ้า (GSO)	การตรวจสอบมักดำเนินการจากสถานีตรวจสอบแบบอยู่กับที่เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศและความไวของระบบที่เหนือกว่าตำแหน่งสายอากาศที่จำเป็นสำหรับดาวเทียม จีเอสโอ (GSO) อยู่ตามแนวเส้นศูนย์สูตรเท่านั้น	การตรวจสอบการแพร่กระจาย (Propagation) จากสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียมไปยังดาวเทียมจีเอสโอที่รวมถึงสถานีส่งแบบจานรับสัญญาณขนาดเล็กมาก หรือวีแซต ที่พบในยานพาหนะเคลื่อนที่ เนื่องจากสายอากาศดาวเทียมที่มีลักษณะที่มีทิศทางสูงของสถานีส่งสัญญาณดาวเทียม อุปกรณ์วัดจำเป็นที่จะต้องอยู่ใกล้กับสายอากาศส่งสัญญาณหรือที่ใดที่หนึ่งใกล้การแพร่กระจายตรง (Direct Propagation)
ดาวเทียมแบบวงโคจรไม่ค้างฟ้า (NGSO)	การตรวจสอบส่วนมากดำเนินการจากสถานีตรวจสอบแบบอยู่กับที่ ที่มีสายอากาศแบบติดตามดาวเทียมได้ (หรือเป็นสถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่ที่สามารถติดตามดาวเทียมได้) สายอากาศสถานีตรวจสอบจะต้องติดตามตำแหน่งดาวเทียมอย่างต่อเนื่องโดยใช้หนึ่งในหลายวิธีการติดตามดาวเทียม	การตรวจสอบการแพร่กระจาย (Propagation) จากสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียมไปยังดาวเทียมเอ็นจีเอสโอ ทำได้โดยยานพาหนะเคลื่อนที่ เช่นเดียวกับกรณีจีเอสโอ ความสามารถ ในการส่งสัญญาณแบบที่ทิศทางสูงของสายอากาศสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียมทำให้อุปกรณ์วัดอยู่ใกล้กับสายอากาศส่งสัญญาณหรือที่ใดที่หนึ่งใกล้การแพร่กระจายตรง (Direct Propagation) ปัจจัยเพิ่มเติมคือสายอากาศส่งสัญญาณจะเคลื่อนที่เพื่อติดตามวงโคจรของดาวเทียม ทำให้การวัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแอมพลิจูด (Amplitude) ซับซ้อนขึ้น

3.1.8.1 เป้าหมายของการเฝ้าตรวจดาวเทียม

การเฝ้าตรวจดาวเทียมถือเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของกระบวนการบริหารจัดการคลื่นความถี่ โดยมีเป้าหมายหลัก 2 ประการ ได้แก่ (1) การประเมินการใช้ทรัพยากรของระบบดาวเทียม และ (2) การตรวจจับและแก้ไขปัญหาการรบกวนจากแหล่งที่ไม่พึงประสงค์ รายละเอียดของแต่ละเป้าหมายมีดังนี้

1. การประเมินการใช้ทรัพยากรของระบบดาวเทียม

การเฝ้าตรวจระบบดาวเทียมสามารถให้ข้อมูลเชิงเทคนิคที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์และประเมินการใช้ทรัพยากรของดาวเทียม ได้แก่

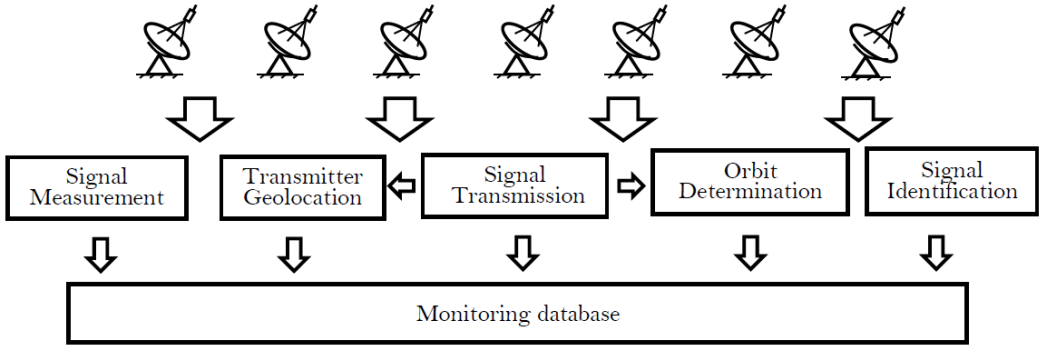
- **ระดับสัญญาณของตัวส่ง (Carrier) และตัวแปลงความถี่ (Transponder)**: เฝ้าตรวจจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้งานจริงเทียบกับที่ได้รับการจัดสรร
- **การครอบครองตำแหน่งวงโคจร**: วิเคราะห์ว่าตำแหน่งในวงโคจรถูกใช้งานจริงหรือเป็นเพียงการลงทะเบียนตามสิทธิ์
- **การใช้งานย่านความถี่**: ตรวจวัดความหนาแน่นของการใช้งานในแต่ละย่านความถี่
- **การจัดสรรตำแหน่งวงโคจรและความถี่ในระยะยาว**: ติดตามรูปแบบการใช้งานว่ามีการใช้อย่างต่อเนื่องหรือเพียงชั่วคราว
- **การปฏิบัติตามเกณฑ์ด้านพลังงาน เช่น Power Flux Density (pfd)**: เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับเกณฑ์มาตรฐานเพื่อประเมินความสอดคล้อง
- **พื้นที่ครอบคลุมของลำคลื่น (Beam Coverage)**: เฝ้าตรวจว่าแหล่งสัญญาณของดาวเทียมสามารถครอบคลุมพื้นที่ตามที่ระบุไว้จริงหรือไม่

2. การตรวจจับและการแก้ไขปัญหารบกวน

เป้าหมายสำคัญในการเฝ้าตรวจดาวเทียม คือ การระบุและจัดการกับแหล่งสัญญาณที่ก่อให้เกิดการรบกวน (Interference) ไม่ว่าจะมาจากภาคพื้นดินหรือจากดาวเทียมอื่น โดยได้มีแนวทางการดำเนินการที่สำคัญ ดังนี้

- **การหาตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณที่ก่อให้เกิดการรบกวน**: ใช้ระบบติดตามตำแหน่ง (Geolocation Systems) เพื่อตรวจหาตำแหน่งโดยประมาณของแหล่งสัญญาณ
- **การจำแนกลักษณะว่าแหล่งรบกวนมีการเคลื่อนที่หรือไม่**: ประเมินความถี่ในการเปลี่ยนตำแหน่งของสัญญาณ เพื่อแยกแยะระหว่างสถานีภาคพื้นเคลื่อนที่และสถานีคงที่
- **การเฝ้าตรวจและวิเคราะห์ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมที่ก่อให้เกิดการรบกวน**: วิเคราะห์รูปแบบของสัญญาณเพื่อเฝ้าตรวจว่าเป็นการรบกวนจากระบบดาวเทียมอื่นหรือไม่
- **การหาตำแหน่งที่แน่นอนของแหล่งรบกวนบนพื้นโลก**: เมื่อจำแนกสัญญาณได้แล้ว จะสามารถเจาะจงพิกัดของเครื่องส่งที่ก่อให้เกิดปัญหาได้
- **การเฝ้าตรวจพารามิเตอร์ของสัญญาณเทียบกับเงื่อนไขของใบอนุญาต**: เช่น ความถี่ พลังงาน ความกว้างแถบคลื่น เพื่อดูว่ามีการละเมิดเงื่อนไขหรือไม่
- **การยุติหรือบรรเทาการรบกวน**: ดำเนินมาตรการตามขั้นตอนทางเทคนิคหรือกฎหมายเพื่อระงับหรือจำกัดผลกระทบของสัญญาณรบกวนดังกล่าว

3. โครงสร้างของสถานีเฝ้าตรวจดาวเทียม



รูปที่ 7 โครงสร้างสถานีเฝ้าตรวจดาวเทียม [Ref ITU-R SM.2424-0]

จากข้อเสนอใน ITU-R SM.2424-0 ได้แสดงรูปร่างของโครงสร้างสถานีเฝ้าตรวจดาวเทียม โดยระบบเฝ้าตรวจควรประกอบด้วยโมดูลหลัก ได้แก่ หน่วยรับสัญญาณ (signal reception) หน่วยวัดพารามิเตอร์ RF ระบบแสดงผลและแจ้งเตือน (surveillance & alarming) ระบบระบุชนิดของสัญญาณ (signal identification) หน่วยส่งสัญญาณอ้างอิง (signal transmission) และระบบคำนวณวงโคจร (orbit determination) ซึ่งมีส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1 สายอากาศ (Antenna)

ในการเฝ้าตรวจสัญญาณจากดาวเทียม สายอากาศที่นิยมใช้งานมากที่สุดคือสายอากาศแบบพาราโบลา เนื่องจากสามารถปรับมุมให้หันไปยังดาวเทียมเป้าหมายได้อย่างแม่นยำและสามารถรองรับการติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียม โดยเฉพาะในกรณีของดาวเทียมที่ไม่ประจำที่ (non-GSO) ทั้งนี้ ขนาดของสายอากาศมีผลโดยตรงต่อค่า Gain ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการรับสัญญาณที่มีคุณภาพสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่ใช้รูปแบบมอดูเลต (modulation) ที่ซับซ้อน ซึ่งต้องการอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (C/N) ที่สูง

ในกรณีของการติดตามดาวเทียมค้างฟ้า Geostationary (GSO) ซึ่งอยู่กับที่ในมุมมองจากโลก อาจใช้สายอากาศแบบจานที่หันคงที่ได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อมีความจำเป็นต้องเฝ้าตรวจดาวเทียมหลายดวงภายในช่วงกว้างของมุมท้องฟ้า (wide spatial arc) สายอากาศแบบ Phased array เป็นอีกทางเลือกที่เหมาะสม โดยเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถปรับทิศทางของลำคลื่นได้ผ่านการควบคุมเฟสของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่แหล่งกำเนิดในสายอากาศ จึงสามารถสแกนหาดาวเทียมหลายดวงได้เกือบพร้อมกัน และมีความเหมาะสมกับสถานีเฝ้าตรวจที่ต้องติดตามดาวเทียมหลายดวงในเวลาเดียวกัน

โดยสถานีเฝ้าตรวจควรสามารถรับสัญญาณในย่านความถี่ที่ครอบคลุมการใช้งานของดาวเทียม ทั้งแบบดาวเทียมแบบวงโคจรค้างฟ้า (GSO) และดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า (non-GSO) ที่มักใช้คลื่นความถี่ในย่านคล้ายกัน ได้แก่ UHF, L, S, C, X, Ku และ Ka อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการใช้งานระบบอินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียมความเร็วสูงในอนาคต สถานีเฝ้าตรวจอาจมีความจำเป็นต้องขยายขึ้นไปถึงย่าน Q band และย่านที่สูงกว่านั้นเพื่อให้ครอบคลุมการเฝ้าระวังต่อไปได้ในอนาคต

ทั้งนี้ การระบุตำแหน่งของดาวเทียม สามารถประเมินเบื้องต้นได้จากการปรับมุมก้ม (elevation) และมุมทิศทาง (azimuth) ของสายอากาศ ซึ่งจะสามารถเรียกดูรูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้ผ่านเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer) ที่เชื่อมต่อกับสายอากาศดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของสายอากาศที่ใช้ในระบบเฝ้าตรวจดาวเทียม
[Ref: Tab. 5.1-7 ITU-R Spectrum Monitoring Handbook]

Parameter		Performance		
		L/S/C-Band	Ku-Band	Ka-band
Frequency Range		L band: 1 452 - 1 492 and 1 530 - 1 800 MHz S band: 2 100 - 2 300 and 2 500 - 2 690 MHz C band: 3 400 - 4 200 and 4 500 - 4 800 MHz	10.70 - 12.75 GHz	17.30 - 21.20 GHz
Maximum signal level at the input of Low noise amplifier (LAN) (dBm)		≤ -30	≤ -30	≤ -30
Power flux density (pfd) measurement performance (*C/N* at least 23 dB)		-155 dBW/m^2 in 4 kHz bandwidth	-165 dBW/m^2 in 4 kHz bandwidth	-160 dBW/m^2 in 4 kHz bandwidth
pfd measurement accuracy		±1	±1	±1
Figure of Merit (*G/T*) (dB/K)		L = 20 S = 23 C = 28	37	33
Reference frequency accuracy		Aging: one part in 10^{10} per day, Temperature: one part in 10^9 0° to 50° total change.		
Polarization		X, Y, left-hand circular, right-hand circular.		
Frequency resolution (kHz)		1		
Dynamic range (dB)		≥ 60		
Antenna	Dish diameter (m)	≥ 9	≥ 9	≥ 4.5
	Pointing accuracy (degrees)	0.15 – 0.04	0.02 – 0.017	0.025 – 0.02
	Beam width (degree)	1.6 – 0.5	0.22 – 0.18	0.27 – 0.22
	Step-track speed for GSO satellite's (degrees)	0.02 – 2/s, manual drive and auto step track (depending of the antennas location longitude and latitude)		
	Coverage for GSO satellites (degrees)	EL: 0 to 90, AZ: ≥ 60		

Parameter		Performance		
		L/S/C-Band	Ku-Band	Ka-band
	Coverage for non-GSO satellites (degrees)	EL: 0 to 85, AZ: $\geq 270^{\circ}$ (total azimuth coverage 360), store at 90		

3.2 การวัดสัญญาณ

ระบบรับสัญญาณที่ทันสมัยควรมีความสามารถในการวัดค่าพารามิเตอร์ทางคลื่นวิทยุ (RF parameters) ได้ทั้งในรูปแบบ เรียลไทม์ (real-time) และ ไม่เรียลไทม์ (non-real-time หรือ post-processing) ตลอดจนการวัดในช่วงเวลาที่กำหนดล่วงหน้า (fixed time measurements) เพื่อรองรับรูปแบบของการใช้งานดาวเทียมที่หลากหลาย โดยระบบควรมีแบนด์วิดท์สำหรับการวัด (measurement bandwidth) ที่กว้างเพียงพอ ซึ่งอย่างน้อยควรกว้างกว่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณดาวเทียมทั่วไป และควรมีความสามารถในการบันทึกข้อมูล IQ (In-phase and Quadrature) ที่มีแบนด์วิดท์เต็มของสัญญาณเพื่อรองรับการวิเคราะห์ในภายหลัง

ข้อมูล IQ ที่บันทึกไว้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการวิเคราะห์แบบเชิงลึก โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการเฝ้าตรวจสัญญาณย้อนหลัง เช่น ในเหตุการณ์การรบกวน (interference event) หรือกรณีที่มีข้อพิพาทเกี่ยวกับการใช้งานความถี่

ค่าพารามิเตอร์ RF ที่ระบบควรสามารถวัดได้แบบเรียลไทม์ ได้แก่

- ความถี่ศูนย์กลาง (Centre frequency)
- ค่าความถี่ดอปเพลอร์ (Doppler frequency)
- ความหนาแน่นฟลักซ์กำลัง (Power Flux Density – pfd) ทั้งในย่านความถี่อ้างอิงและแบบรวมทั้งหมด
- ค่ากำลังส่งสมมูลเชิงรังสีไอโซทรอบิก (Equivalent Isotropic Radiated Power – EIRP)
- อัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Carrier-to-noise density ratio – C/N_0)
- แบนด์วิดท์ของทรานสพอนเดอร์และของตัวพาหะ (Transponder and carrier bandwidth)
- สัญญาณนอกแถบ (Out-of-band spectrum)
- อัตราส่วนสัญญาณรับต่อเสียงรบกวน (Received signal-to-noise ratio – SNR)

ความสามารถเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นในการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบดาวเทียม การประเมินการใช้งานจริงเทียบกับการกำหนดค่าทางวิศวกรรม และการเฝ้าตรวจการปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านคลื่นความถี่ของหน่วยงานกำกับดูแล

3.3 การแสดงเอกลักษณ์สัญญาณ

การวิเคราะห์เอกลักษณ์ของสัญญาณ (signal identification) เป็นกระบวนการสำคัญในการเฝ้าตรวจและจำแนกแหล่งที่มาของการส่งสัญญาณจากดาวเทียม โดยเฉพาะในบริบทของการเฝ้าระวังการใช้งานความถี่ การวินิจฉัยปัญหาการรบกวน และการบังคับใช้ข้อกำหนดของหน่วยงานกำกับดูแลด้านคลื่นความถี่

ข้อมูล IQ (In-phase and Quadrature) ที่ได้รับจากระบบรับสัญญาณสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของสัญญาณในภายหลังได้อย่างละเอียด การตั้งค่าทริกเกอร์ที่เหมาะสมจะช่วยให้ระบบสามารถเริ่มต้นการบันทึกสัญญาณโดยอัตโนมัติเมื่อมีการตรวจจับสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์หรือ

มีคุณลักษณะแตกต่างจากค่าปกติ ซึ่งจะทำให้สามารถเก็บข้อมูลสำคัญไว้สำหรับการเฝ้าตรวจย้อนหลังได้อย่างครบถ้วน โดยระบบควรมีความสามารถในการเฝ้าตรวจและแสดงพารามิเตอร์ของสัญญาณต่อไปนี้

- อัตราส่วนรหัสข้อมูล (Code rate) และ อัตราความเร็วของสัญลักษณ์ (Symbol rate)
- ชนิดของการมอดูเลต (Modulation type) เช่น QPSK, 8PSK, BPSK, 16QAM
- รูปแบบของการเข้ารหัสข้อมูล (Source and channel coding) เช่น Reed-Solomon (RS), Turbo code, LDPC
- ระบบการเข้าถึงช่องสัญญาณร่วม (Multiple access scheme) เช่น TDMA, FDMA, SDMA, CDMA
- หมายเลขประจำตัวผู้ส่ง (DVB Carrier-Identification หรือ DVB-CID) ซึ่งใช้เพื่อระบุเจ้าของของสัญญาณดาวเทียมตามมาตรฐาน ETSI TS 103 129

นอกจากนี้ยังสามารถใช้พารามิเตอร์เสริมเพิ่มเติมในการวิเคราะห์เอกลักษณ์ของสัญญาณ เช่น

- โปรโตคอลของระบบสื่อสาร เช่น IP, DCME
- ระบบการสื่อสารที่ใช้ เช่น SNG, DVB-S, DVB-S2, COMTECH
- ชนิดของเครือข่ายสื่อสาร เช่น SkyWAN, iDirect, LinkWay/LinkStar

กระบวนการทั้งหมดนี้มีความสำคัญต่อการเฝ้าตรวจว่าแหล่งสัญญาณที่ตรวจพบมาจากระบบใด ผู้ให้บริการรายใด และอยู่ในกรอบการอนุญาตที่ชอบด้วยกฎหมายหรือไม่ ทั้งนี้ยังช่วยให้สามารถแยกแยะสัญญาณที่อาจก่อให้เกิดการรบกวนจากระบบอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

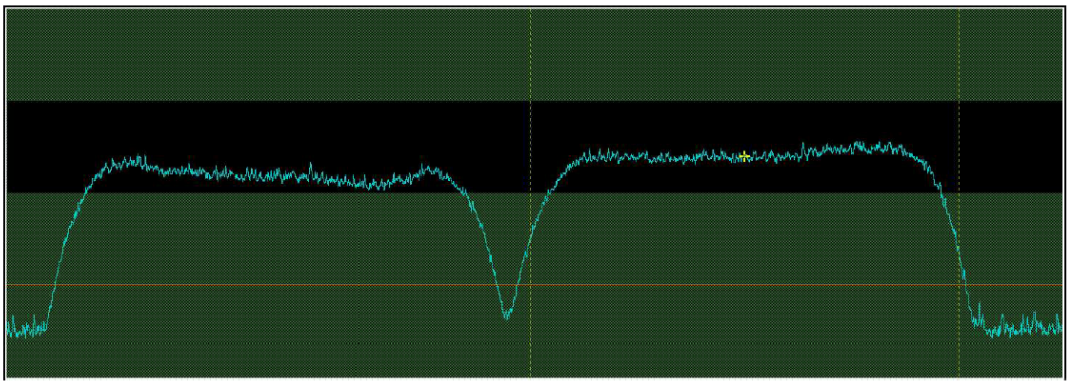
3.4 การเตือนและเฝ้าระวัง

การเฝ้าระวังสัญญาณ (signal surveillance) และการตั้งระบบเตือนภัย (alarm) เป็นกลไกสำคัญในการเฝ้าตรวจสภาวะผิดปกติหรือการใช้งานที่ไม่ได้รับอนุญาตในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์สัญญาณที่แตกต่างจากค่ามาตรฐานหรือค่าที่ได้รับอนุญาต

ระบบเฝ้าตรวจสัญญาณ ควรมีความสามารถในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้กับค่าที่กำหนดไว้ล่วงหน้าอย่างต่อเนื่อง และเมื่อค่าที่ตรวจพบเบี่ยงเบนจากเกณฑ์ที่กำหนด ระบบควรมีความสามารถในการส่งสัญญาณเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบในทันที ตัวอย่างของพารามิเตอร์ที่สามารถใช้ในการตรวจจับความผิดปกติ ได้แก่

- ความถี่ศูนย์กลางของสัญญาณ
- ความกว้างของแถบความถี่
- กำลังส่ง (EIRP)
- อัตราส่วนสัญญาณต่อเสียงรบกวน (S/N)
- ระดับ noise ในแถบกันชน (guard band)
- คุณลักษณะของการมอดูเลต (symbol rate, error vector magnitude - EVM)

ระบบสามารถตั้งค่า “ระดับแจ้งเตือน” ทั้งในกรณีที่พลังงานของสัญญาณสูงหรือต่ำกว่าปกติ โดยอาจกำหนดค่า threshold สำหรับทุกช่องสัญญาณที่เฝ้าตรวจ ตัวอย่างของระบบเตือนที่พบบ่อย ได้แก่ การแจ้งเตือนเมื่อค่ากำลังส่งต่ำกว่าค่าที่คาดไว้หรือสูงกว่าขีดจำกัดที่กำหนดไว้ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตัวอย่างการแจ้งเตือนเมื่อกำลังสัญญาณต่ำกว่าที่กำหนดไว้ [Ref ITU-R SM.2424.0]

ในระบบที่ทันสมัย การเฝ้าระวังสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติและต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่ต้องอาศัยการเฝ้าตรวจแบบ manual ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติแบบทันทีและดำเนินการตอบสนอง เช่น

- เริ่มบันทึกข้อมูล IQ โดยอัตโนมัติ
- ทำการวิเคราะห์มอดูเลชันแบบ real-time
- เรียกใช้งานระบบระบุพิกัด (geolocation) เพื่อระบุตำแหน่งต้นทางของสัญญาณผิดปกติ

การใช้เครื่องมือแสดงผล เช่น spectrogram ยังสามารถช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานเฝ้าตรวจสัญญาณที่ปรากฏช่วงสั้น ๆ สัญญาณที่เคลื่อนที่เร็ว หรือการลื่นไถลของช่องสัญญาณในระบบ TDMA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.5 การระบุเครื่องส่งบนโลก

การระบุพิกัด (geolocation) ของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่อยู่บนพื้นโลก เป็นกระบวนการสำคัญในภารกิจของสถานีเฝ้าตรวจดาวเทียม โดยเฉพาะเมื่อเกิดการรบกวนจากแหล่งภาคพื้นดินซึ่งอาจเป็นการส่งสัญญาณโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือมีพฤติกรรมการใช้งานที่ผิดจากเงื่อนไขใบอนุญาต

กระบวนการระบุพิกัด ที่ใช้งานในระบบเฝ้าตรวจดาวเทียมมักอาศัยเทคนิคการประมวลผลสัญญาณที่ได้รับจากดาวเทียมมากกว่าหนึ่งดวง โดยเฉพาะการใช้ อัลกอริธึมแบบ cross-correlation ซึ่งเปรียบเทียบลักษณะของสัญญาณเดียวกันที่รับได้จากดาวเทียมหลายตำแหน่ง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งต้นกำเนิดของสัญญาณนั้น

เนื่องจากการหาพิกัดด้วยวิธีระบุพิกัดมีข้อจำกัดทางเทคนิคหลายประการ เช่น ความไม่แน่นอนของข้อมูลวงโคจร (ephemeris) ความแม่นยำในการซิงโครไนซ์เวลา และลักษณะของระบบรับสัญญาณ ดังนั้น ผลลัพธ์จากการระบุพิกัดมักแสดงออกมาเป็น “พื้นที่ที่มีความน่าจะเป็นสูง” แทนที่จะเป็นพิกัดจุดเดียว โดยมีการรายงานผลในรูปแบบต่อไปนี้

- ค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดของจุดกึ่งกลางพื้นที่ที่คาดว่าเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ
- พิกัดความแม่นยำของพื้นที่ ซึ่งอาจแสดงในรูปของรูปวงรี โดยระบุแกนหลัก แกนรอง และมุมเบี่ยงเบนของแกนกับทิศเหนือ
- สถานะของแหล่งสัญญาณ ว่าเป็นเครื่องส่งที่อยู่กับที่ (fixed) หรือเคลื่อนที่ (mobile)

ในสถานการณ์ที่มีการรบกวนต่อเนื่องหรือต้องการข้อมูลยืนยันเพิ่มเติม การวิเคราะห์ร่วมกับระบบติดตามสัญญาณเคลื่อนที่ เช่น การเฝ้าตรวจเลื่อนของค่าดอปเพลอร์ (Doppler shift) หรือการวัดความแตกต่างของเวลามาถึง (Time Difference of Arrival- TDOA) เพิ่มเติม จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของแหล่งรบกวนได้

3.6 การส่งสัญญาณ และการระบุวงโคจร

ในระบบเฝ้าตรวจดาวเทียม การส่งสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินขึ้นสู่อวกาศมักไม่ใช่ฟังก์ชันหลัก อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีระบบเฝ้าตรวจอาจมีความจำเป็นต้องส่งสัญญาณอ้างอิง (reference signal) ขึ้นไปยังดาวเทียมเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน

สัญญาณอ้างอิงที่ใช้ในการเฝ้าตรวจควรมีคุณสมบัติเป็นแบบสเปกตรัมแผ่ (spread spectrum) เพื่อให้มีลักษณะทางสเปกตรัมที่กระจายพลังงานออกไปจนทำให้ตรวจจับได้ยาก และลดความเสี่ยงในการรบกวนกับสัญญาณของระบบสื่อสารดาวเทียมหลัก โดยทั่วไป สัญญาณอ้างอิงนี้จะถูกส่งจากสถานีที่ทราบตำแหน่งพิกัดแน่นอน เพื่อให้สามารถใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับมาจากดาวเทียมอีกฝั่งหนึ่งของลิงก์

ความแม่นยำของข้อมูลวงโคจร (ephemeris) มีผลโดยตรงต่อความถูกต้องของการคำนวณตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยเฉพาะในกระบวนการระบุพิกัดที่อาศัยตำแหน่งของดาวเทียมเป็นตัวแปรสำคัญ หากใช้ข้อมูลวงโคจรที่มีความคลาดเคลื่อนเกินกว่า 5 กิโลเมตร อาจทำให้พิกัดของแหล่งรบกวนที่คำนวณได้มีความผิดพลาดในระดับที่ยอมรับไม่ได้ โดยมี 3 วิธีหลักในการได้มาซึ่งข้อมูล ephemeris ที่แม่นยำ ได้แก่

1. การขอรับจากผู้ให้บริการดาวเทียมหรือผ่านแหล่งข้อมูลออนไลน์ วิธีนี้ให้ข้อมูลที่มีความถูกต้องสูงและเป็นทางเลือกหลักที่แนะนำ โดยเฉพาะเมื่อระบบดาวเทียมนั้นเป็นพันธมิตรหรือมีช่องทางความร่วมมืออยู่แล้ว
2. การวัดเชิงรุก (Active Orbit Determination) ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณจากหลายสถานีภาคพื้นที่กระจายตัวกันไปยังดาวเทียม และรับสัญญาณสะท้อนกลับเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของคลื่น เช่น Doppler shift, Radar, หรือ Interferometry วิธีนี้ต้องอาศัยสถานีหลายแห่งที่สามารถทำงานพร้อมกันและมีความแม่นยำด้านเวลาในระดับสูง รวมถึงมีระยะเวลาการวัดต่อเนื่องเป็นเวลาหลายชั่วโมง
3. การวัดเชิงรับ (Passive Orbit Determination) เป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องส่งสัญญาณขึ้นไปยังดาวเทียม ช่วยลดความเสี่ยงต่อการรบกวนจากตัวระบบเฝ้าตรวจเอง วิธีนี้อาศัยการวัด Time Difference of Arrival (TDOA) จากสัญญาณที่ดาวเทียมส่งลงมา โดยใช้สถานีรับอย่างน้อยสามแห่งที่อยู่ห่างกันเป็นรูปสามเหลี่ยมขนาดหลายร้อยกิโลเมตร และต้องมีการซิงโครไนซ์เวลาระหว่างสถานีอย่างแม่นยำผ่านสัญญาณ GPS จากนั้นใช้แบบจำลองวงโคจรเชิงคณิตศาสตร์ (orbital model regression) ในการวิเคราะห์ค่าที่วัดได้เพื่อระบุพิกัดของดาวเทียม

3.7 การเข้าหาจุดสัญญาณ

การเข้าหาจุดกำเนิดของสัญญาณ (signal homing) เป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อค้นหาแหล่งต้นทางของสัญญาณรบกวนบนพื้นโลกอย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในกรณีที่ได้มีการระบุพิกัดคร่าว ๆ ของสัญญาณรบกวนไว้ล่วงหน้าแล้วผ่านกระบวนการ geolocation การ homing เป็นการดำเนินการในขั้นต่อไปเพื่อ “เข้าใกล้” พื้นที่ต้องสงสัยและระบุตำแหน่งที่แท้จริงให้แคบลงจนสามารถระบุจุดได้ในระดับภาคสนาม ซึ่งระบบที่ใช้ในการเข้าหาสัญญาณมักอยู่ในรูปของ

- สถานีเฝ้าตรวจเคลื่อนที่ (mobile monitoring station)
- สถานีเฝ้าตรวจแบบพกพา (portable system)
- สถานีบนอากาศ (aerial platform) เช่น โดรน หรือเครื่องบินเบา

เครื่องมือเหล่านี้จะใช้เทคนิควัดค่ามุมเข้ามาของสัญญาณ (Angle of Arrival – AOA) หรือกำลังของสัญญาณ (Power of Arrival – POA) ร่วมกับการเดินทางเข้าใกล้พื้นที่ต้องสงสัยแบบเชิงพื้นที่อย่างเป็นระบบ เครื่องรับสัญญาณจะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง แล้วแสดงผลออกมาในรูปของกราฟหรือพิกัดแผนที่ เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถปรับเส้นทางหรือทิศทางของเครื่องมือจนเข้าใกล้ตำแหน่งต้นกำเนิดได้มากที่สุด

โดยทั่วไป วิธีการ homing จะดำเนินการในลักษณะของการสุ่มสำรวจเชิงเรขาคณิต โดยเริ่มจากจุดที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดและค่อย ๆ ลดขนาดพื้นที่เฝ้าตรวจลงจนสามารถระบุแหล่งกำเนิดได้อย่างชัดเจน ซึ่งขั้นตอนนี้มักเป็นจุดสิ้นสุดของกระบวนการสืบหาสัญญาณรบกวน และอาจนำไปสู่การดำเนินการตามกฎหมายหรือมาตรการทางเทคนิคอื่น ๆ ได้ทันที

3.8 เอกสารและฐานข้อมูล

ระบบเฝ้าตรวจดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพควรมีระบบเอกสารและฐานข้อมูลที่สามารถจัดเก็บ จัดการ และเรียกคืนข้อมูลได้อย่างเป็นระบบและแม่นยำ ทั้งนี้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในการวิเคราะห์ย้อนหลัง การสร้างรายงาน การดำเนินงานด้านกฎหมาย หรือการประสานงานระหว่างประเทศ
ฐานข้อมูลควรประกอบด้วยข้อมูลสองประเภทหลัก ได้แก่:

1. ข้อมูลการใช้งานความถี่ที่ได้รับอนุญาต – ได้แก่ ข้อมูลจากการลงทะเบียนผู้ใช้งานในประเทศ ข้อมูลการประสานงานระหว่างประเทศ และข้อมูลจาก ITU ซึ่งช่วยให้สามารถเปรียบเทียบสัญญาณที่ตรวจพบกับสิ่งที่ได้รับอนุญาตตามกฎหมายได้
2. ข้อมูลจากการเฝ้าตรวจจริง (Measured data) – เช่น ค่าความถี่ แบนด์วิดท์ กำลังส่ง รูปแบบการมอดูเลต และตำแหน่งของแหล่งสัญญาณ ข้อมูลนี้ควรถูกจัดเก็บพร้อมกับ metadata ที่เกี่ยวข้อง เช่น เวลาที่ตรวจพบ พิกัดของสถานีเฝ้าตรวจ และอุปกรณ์ที่ใช้ เพื่อการอ้างอิงที่ถูกต้องในภายหลัง

นอกจากการจัดเก็บข้อมูลแล้ว ระบบยังควรสนับสนุนการสร้างเอกสารประกอบ (documentation) ในรูปแบบของรายงานอย่างเป็นทางการ ซึ่งอาจรวมถึงรายงานเหตุการณ์สัญญาณรบกวน รายงานการเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดกับเงื่อนไขในใบอนุญาต และรายงานการวิเคราะห์ทางเทคนิคเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของหน่วยงานกำกับดูแล โดยเอกสารและฐานข้อมูลควรได้รับการจัดการอย่างปลอดภัยและมีความต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถใช้เป็นหลักฐานในการดำเนินงานทางเทคนิค กฎหมาย หรือความร่วมมือระหว่างประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้

3.9 การแสดงข้อมูลที่ได้รับการเฝ้าตรวจ

การแสดงผลข้อมูลที่ได้รับจากการเฝ้าตรวจสัญญาณ (data visualization) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถวิเคราะห์และทำความเข้าใจกับพฤติกรรมของสัญญาณได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในกรณีที่เกิดความผิดปกติ เช่น การรบกวนจากแหล่งสัญญาณที่ไม่รู้จัก การเบี่ยงเบนของพารามิเตอร์จากค่ามาตรฐาน หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งอาจ

ไม่สามารถตรวจจับได้จากการอ่านค่าด้วยตาเปล่าหรือการประมวลผลแบบตัวเลข ทั้งนี้ ได้มีเครื่องมือที่นิยมใช้สำหรับการแสดงผล ได้แก่

- สเปกโตรแกรม (Spectrogram) – เป็นรูปแบบการแสดงผลที่ใช้แกน x แทนเวลา แกน y แทนความถี่ และใช้สีแทนระดับพลังงานของสัญญาณ ทำให้สามารถมองเห็นพฤติกรรมของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้อย่างชัดเจน เช่น การเกิดสัญญาณรบกวนแบบ burst หรือการสแกนความถี่แบบ sweep
- กราฟกำลังตามเวลา (Power vs. Time) – แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณแบบเวลาต่อเนื่อง ใช้เพื่อตรวจจับเหตุการณ์ที่มีการสลับเปิด–ปิดสัญญาณ หรือความผิดปกติของระดับพลังงาน
- การแสดงผลแบบ overlay หรือเปรียบเทียบกับค่าปกติ – ช่วยให้สามารถสังเกตความแตกต่างของสัญญาณจากสภาวะปกติ เช่น การเบี่ยงเบนของความถี่พาห์ หรือความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น

ระบบที่ดีควรอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถปรับรูปแบบการแสดงผลได้ตามประเภทของข้อมูลและวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ เช่น การขยายสเกลของความถี่ การเลือกช่วงเวลาเฉพาะ หรือการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน (threshold) สำหรับการแจ้งเตือน

การแสดงผลที่มีประสิทธิภาพช่วยลดภาระในการตีความข้อมูลของเจ้าหน้าที่ และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงเทคนิคอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติและการบันทึกข้อมูลเชิงลึก (IQ recording)

3.10 การวิเคราะห์และค่าทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผลทางสถิติจากการเฝ้าตรวจสัญญาณดาวเทียมเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในการสนับสนุนการบริหารจัดการคลื่นความถี่และการตัดสินใจเชิงนโยบาย โดยเฉพาะในด้านการประเมินการใช้งานจริงของช่องความถี่ การตรวจจับแนวโน้มของการรบกวน และการวางแผนจัดสรรทรัพยากรในระยะยาว ระบบเฝ้าตรวจที่ทันสมัยควรมีความสามารถในการรวบรวมและวิเคราะห์ค่าทางสถิติจากการวัดต่าง ๆ เช่น

- จำนวนและอัตราความถี่ของเหตุการณ์ที่ตรวจพบ เช่น การรบกวน การเบี่ยงเบนของพารามิเตอร์ หรือการส่งสัญญาณผิดช่วงเวลา
- การวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลา เช่น ความถี่ของการรบกวนในช่วงกลางวัน/กลางคืน หรือในช่วงเวลาที่มีความหนาแน่นของการใช้งานสูง
- อัตราการใช้งานช่องสัญญาณ (channel occupancy rate) ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีวัดระดับความแออัดของย่านความถี่
- ค่าสถิติเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสูงสุด/ต่ำสุด ของพารามิเตอร์ที่วัดได้ เช่น EIRP, SNR, bandwidth

ข้อมูลสถิติเหล่านี้สามารถนำเสนอในรูปแบบของกราฟ ตาราง หรือรายงานวิเคราะห์เพื่อใช้ในการตัดสินใจเชิงบริหาร อาทิ

- การระบุย่านความถี่ที่มีการใช้งานต่ำกว่าศักยภาพและสามารถจัดสรรใหม่ได้
- การติดตามพฤติกรรมของผู้ใช้ที่อาจฝ่าฝืนเงื่อนไขของใบอนุญาต
- การประเมินผลกระทบของมาตรการลดการรบกวนที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับระบบ machine learning หรือ AI เพื่อค้นหารูปแบบ (patterns) หรือความผิดปกติ (anomalies) ที่อาจไม่สามารถสังเกตได้จากการวิเคราะห์แบบดั้งเดิม

3.11 เครื่องมือควบคุม

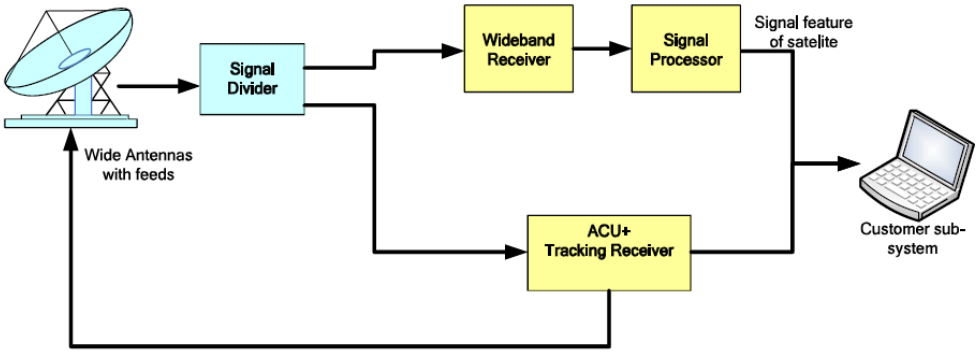
ระบบเฝ้าตรวจดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีฟังก์ชันการควบคุมอุปกรณ์ที่หลากหลาย ครอบคลุมทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถดำเนินการวัด วิเคราะห์ และเฝ้าตรวจสัญญาณได้อย่างยืดหยุ่นและแม่นยำในทุกสถานการณ์ องค์ประกอบที่สำคัญของระบบควบคุมอุปกรณ์ได้แก่

- การควบคุมสายอากาศ (Antenna Control) รวมถึงการปรับมุมก้ม–มุมเงย (elevation–azimuth control) เพื่อหันสายอากาศไปยังดาวเทียมเป้าหมายอย่างถูกต้อง โดยเฉพาะในกรณีของดาวเทียมที่เคลื่อนที่ (non-GSO) ระบบควรสามารถคำนวณตำแหน่งแบบ real-time จากข้อมูล ephemeris และควบคุมมอเตอร์หรือระบบหมุนให้สอดคล้องกับตำแหน่งของดาวเทียมตลอดเวลา
- การควบคุมอุปกรณ์วัด (Measurement Equipment Control) เช่น spectrum analyzer, signal recorder, demodulator หรือ decoder ที่สามารถตั้งค่าได้จากระยะไกลผ่านระบบซอฟต์แวร์ หรือระบบอัตโนมัติที่สามารถปรับย่านความถี่ กำหนดพารามิเตอร์การวัด และตั้งค่า trigger ได้ตามความจำเป็น
- การประสานงานระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ (Multi-Device Synchronization) ในระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายตัว เช่น สายอากาศมากกว่าหนึ่งชุด หรือเครื่องวัดหลายช่องสัญญาณ ควรมีระบบควบคุมกลางที่สามารถจัดลำดับการทำงาน ประสานเวลา และแบ่งภาระการวัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- ระบบควบคุมจากระยะไกล (Remote Access and Control) โดยเฉพาะในกรณีของสถานีเฝ้าตรวจที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกลหรือทำงานโดยไม่มีเจ้าหน้าที่ประจำ การควบคุมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือ VPN ช่วยให้สามารถดำเนินการบำรุงรักษา ดัดแปลง หรือปรับค่าการเฝ้าตรวจได้จากศูนย์ควบคุมหลัก

การควบคุมอุปกรณ์อย่างเป็นระบบและมีความยืดหยุ่นเป็นรากฐานของความสามารถในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่คาดคิด เช่น การรบกวนที่เกิดขึ้นทันที หรือการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของดาวเทียมที่เฝ้าตรวจ การมีระบบควบคุมที่สามารถทำงานอัตโนมัติหรือให้ผู้ปฏิบัติงานสั่งการได้แบบเรียลไทม์จะเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเฝ้าตรวจโดยรวมได้อย่างมีนัยสำคัญ

3.1.8.2 การประเมินการใช้ทรัพยากรของระบบดาวเทียม

การเฝ้าตรวจดาวเทียมสามารถใช้ในการประเมินการใช้ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับระบบดาวเทียมทั้งในด้านความถี่ ตำแหน่งวงโคจร ทรานสพอนเดอร์ และพลังงานที่ใช้ส่งสัญญาณ การวัดเหล่านี้สามารถแสดงให้เห็นว่าทรัพยากรถูกใช้จริงหรือไม่ และถูกใช้ในลักษณะที่สอดคล้องกับข้อมูลที่มีการขึ้นทะเบียนไว้หรือไม่ หากไม่มีสัญญาณปรากฏให้ตรวจวัดในระยะเวลาที่ยาวนานพอสมควร อาจสรุปได้ว่าทรัพยากรนั้นไม่ได้ถูกใช้งานอย่างแท้จริง ทั้งนี้รวมถึงการประเมินว่า ตำแหน่งวงโคจรที่ลงทะเบียนไว้มีการใช้จริงหรือเป็นเพียงการครอบครองตามสิทธิ์ทางกฎหมายเท่านั้น



รูปที่ 9 รูปแบบโครงสร้างระบบเฝ้าตรวจโดยปกติ [Ref: ITU-R SM.2424-0]

1. เทคนิคการวัดในการเฝ้าตรวจดาวเทียมแบบค้างฟ้า (GSO)

ในการเฝ้าตรวจการใช้งานของดาวเทียมค้างฟ้า (Geostationary Satellite – GSO) เทคนิคหลักประกอบด้วยการปรับสายอากาศให้ชี้ไปยังตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมเป้าหมาย และทำการสแกนย่านความถี่ที่ได้รับการจัดสรรให้กับระบบดาวเทียมนั้น เพื่อทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ส่งจากดาวเทียมมายังพื้นโลก

เนื่องจากดาวเทียม GSO มีตำแหน่งคงที่เมื่อมองจากพื้นโลก การเฝ้าตรวจจึงสามารถดำเนินการโดยใช้สายอากาศที่ตั้งคงที่หรือปรับครั้งเดียว จากนั้นทำการรับสัญญาณอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ เช่น ความถี่ใช้งาน แบนด์วิดท์ ระดับพลังงาน และลักษณะของสัญญาณมอดูเลชัน โดยเทคนิคที่ใช้ในการเฝ้าตรวจดาวเทียม GSO ได้แก่

- การวัดระดับพลังงานของช่องสัญญาณในแต่ละย่านความถี่
- การตรวจจับความถี่ของตัวพาห์ (carrier frequency) และพฤติกรรมของสัญญาณในเชิงเวลา
- การบันทึกข้อมูลสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการใช้งานในระยะยาว
- การวัดค่าความหนาแน่นของกำลัง (Power Flux Density – pfd) และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ระบุไว้ในเอกสารของ ITU

หากไม่พบสัญญาณใด ๆ ภายในย่านความถี่ที่จดทะเบียนไว้ และไม่พบลักษณะการทำงานของทรานสปอนเดอร์ อาจสรุปได้เบื้องต้นว่าทรัพยากรของระบบดาวเทียมนั้นยังไม่มีการใช้งานจริงในช่วงเวลาที่ทำการเฝ้าตรวจ เทคนิคการวัดทั่วไปในการตรวจสอบดาวเทียม GSO ได้แก่

- การวัดระดับพลังงานในช่องสัญญาณแต่ละช่อง
- การตรวจจับความถี่ของพาหะ (carrier frequency) และพฤติกรรมของสัญญาณ
- การบันทึกสเปกตรัมในช่วงเวลาที่ต่อเนื่อง เพื่อใช้วิเคราะห์แนวโน้มการใช้งาน
- การวัดค่า Power Flux Density (pfd) เพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดที่ระบุไว้ในเอกสารการขึ้นทะเบียนกับ ITU

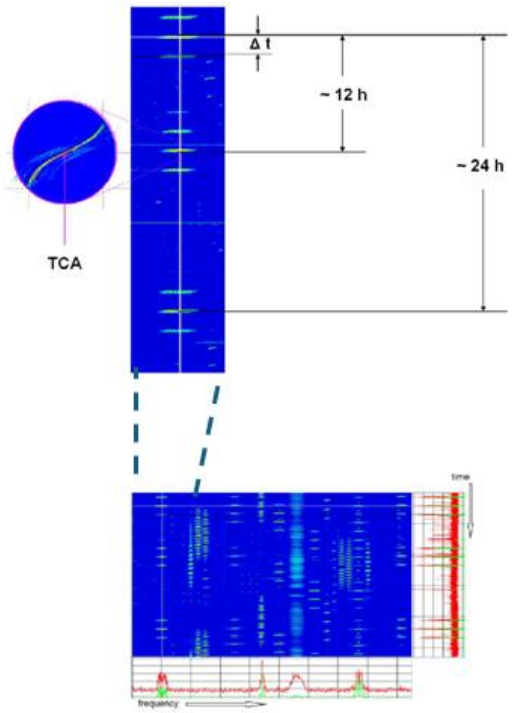
ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณจากดาวเทียมปรากฏในย่านความถี่ที่ลงทะเบียนไว้ และไม่มีสัญญาณแสดงถึงกิจกรรมของทรานสพอนเดอร์ การวิเคราะห์ผลการวัดอาจนำไปสู่ข้อสรุปว่าทรัพยากรดาวเทียมนั้นไม่ได้ถูกใช้งานอย่างแท้จริง แม้ว่าจะมีการขึ้นทะเบียนไว้แล้วก็ตาม

2. เทคนิคการเฝ้าตรวจดาวเทียมแบบไม่ค้างฟ้า (non-GSO)

การเฝ้าตรวจระบบดาวเทียมที่ไม่ประจำที่ (non-geostationary satellite orbit – non-GSO) มีความซับซ้อนและท้าทายมากกว่าการเฝ้าตรวจดาวเทียม GSO เนื่องจากดาวเทียมในระบบ non-GSO เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องตาม ทำให้การเฝ้าตรวจต้องอาศัยการติดตามตำแหน่งดาวเทียมอย่างแม่นยำในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้การเฝ้าตรวจมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องดำเนินการในช่วงที่ดาวเทียมเคลื่อนผ่านบริเวณที่สถานีตรวจสอบสามารถรับสัญญาณได้ ซึ่งเรียกว่าช่วงการผ่าน (pass) โดยทั่วไปอาจใช้ระยะเวลาตั้งแต่ไม่กี่นาทีไปจนถึงสิบกว่านาที ขึ้นอยู่กับวงโคจรของดาวเทียมและตำแหน่งของสถานีภาคพื้น กระบวนการเฝ้าตรวจดาวเทียม non-GSO มักเริ่มจากการระบุว่าเป็นดาวเทียมใด ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยข้อมูลต่อไปนี้

- เวลาในการผ่าน (Time of Closest Approach – TCA)
- รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของ Doppler shift ตามเวลา
- ค่ามุมก้มและมุมทิศทางของสายอากาศ (elevation/azimuth tracking)

เมื่อสามารถระบุดาวเทียมได้แล้ว ระบบเฝ้าตรวจสามารถทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ เช่น ความถี่ พลังงาน และรูปแบบการมอดูเลต ได้อย่างแม่นยำตลอดช่วงเวลาที่ดาวเทียมอยู่ในระยะที่สามารถตรวจจับได้



รูปที่ 10 การจัดเก็บข้อมูลเป็นเวลานาน 30 ชม [Ref: ITUR-SM.2424.0]

นอกจากนี้ การวัดค่า Doppler shift ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของดาวเทียมสามารถใช้ในการคำนวณค่าความเร็วสัมพัทธ์ และเมื่อรวมกับข้อมูลตำแหน่ง สามารถนำไปใช้คำนวณวงโคจรเบื้องต้นของดาวเทียมได้อีกด้วย และการวัดค่าความหนาแน่นของพลังงาน (pfd – power flux density) ตามตำแหน่งและมุมการรับของสถานีภาคพื้นยังสามารถใช้ในการสร้างกราฟพลังงาน (pfd curve) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับการประเมินการใช้ทรัพยากรและการตรวจสอบการปฏิบัติตามข้อกำหนดของระบบดาวเทียมในระดับสากล

3. วิธีการระบุเอกลักษณ์ของดาวเทียมและสัญญาณ

การระบุว่า สัญญาณที่ได้รับจากการเฝ้าตรวจเป็นของดาวเทียมดวงใด หรือระบบใด เป็นองค์ประกอบสำคัญของกระบวนการเฝ้าตรวจ การระบุสามารถทำได้หลายวิธีตามลักษณะของข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แนวทางหลัก ได้แก่

- **วิธีที่ A** มีข้อมูลพิกัดวงโคจร (Orbital Elements) พร้อมใช้งาน ในกรณีที่มีข้อมูลพิกัดวงโคจรของดาวเทียมอยู่แล้ว เช่น ในรูปแบบ TLE (Two-Line Element set) หรือข้อมูลจากผู้ให้บริการดาวเทียม การระบุสามารถทำได้โดยการคำนวณตำแหน่งของดาวเทียมตามเวลา และเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ได้รับสัญญาณจากสถานีเฝ้าตรวจ หากตำแหน่งของดาวเทียมตรงกับมุมที่สายอากาศหันรับสัญญาณ และมีลักษณะ Doppler shift ที่สอดคล้อง ก็สามารถระบุได้ว่าสัญญาณนั้นมาจากดาวเทียมดังกล่าว
- **วิธีที่ B** คำนวณพิกัดวงโคจรจากมุมการรับสัญญาณ (Observation Angles) เมื่อไม่มีข้อมูลวงโคจรโดยตรง แต่มีข้อมูลเกี่ยวกับมุมของสายอากาศขณะรับสัญญาณ (เช่น azimuth และ elevation) การระบุสามารถดำเนินการโดยประมาณพิกัดวงโคจรจากชุดของมุมการรับสัญญาณ ณ เวลาต่าง ๆ หากมีข้อมูลจากหลายสถานีที่อยู่ต่างกัน และมีการซิงโครไนซ์เวลาอย่างแม่นยำ ก็สามารถทำการไตรลาทเทอเรชัน (trilateration) เพื่อตีกรอบเส้นทางของดาวเทียมและเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูล
- **วิธีที่ C** เปรียบเทียบเวลาที่ตรวจพบจากหลายสถานี (Observation Times) ในกรณีที่มีเพียงข้อมูลเวลาในการตรวจพบสัญญาณจากหลายสถานี (แต่ไม่มีข้อมูลมุมรับสัญญาณหรือ Doppler shift) การระบุสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบเวลาในการผ่านของดาวเทียมที่บันทึกจากแต่ละสถานี และเทียบกับตารางการเคลื่อนที่ของดาวเทียมจากข้อมูลในฐานข้อมูล (เช่น TLE) เพื่อหาดาวเทียมที่มีลักษณะการผ่านสถานีแต่ละแห่งใกล้เคียงกับเวลาที่ตรวจพบมากที่สุด

วิธีนี้มีความแม่นยำต่ำกว่าวิธี A และ B เนื่องจากไม่ได้ใช้ข้อมูลเชิงมุมหรือเชิงความถี่ในการยืนยันตัวตนของดาวเทียม อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับความแม่นยำของเวลาที่บันทึกจากสถานีแต่ละแห่ง หากการซิงโครไนซ์เวลาไม่ดี หรือสถานีมีระยะห่างกันไม่มาก ความแตกต่างของเวลาที่ตรวจพบอาจไม่เพียงพอในการระบุดาวเทียมได้อย่างมั่นใจ ดังนั้นวิธี C ควรใช้ประกอบกับข้อมูลจากวิธีอื่น หรือใช้เป็นการตรวจสอบเบื้องต้นเท่านั้น

3.1.8.3 การระบุพิกัดดาวเทียม

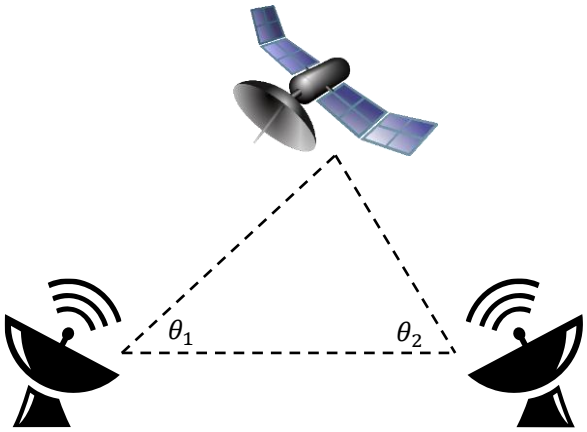
การระบุตำแหน่งของแหล่งสัญญาณรบกวนจากดาวเทียมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดการคลื่นความถี่และการบังคับใช้กฎระเบียบ หลักการระบุพิกัดสามารถแบ่งออกเป็น 4 วิธีหลัก ซึ่งเรียงลำดับจากวิธีการเบื้องต้นสู่เทคนิคที่แม่นยำยิ่งขึ้น ดังนี้:

1. การไตรแองกูเลชัน (Triangulation)

เป็นวิธีการวัดมุม (เช่น มุมก้มและมุมทิศทาง) จากสถานีภาคพื้น 2 แห่งขึ้นไปโดยใช้เส้นตรงที่ลากจากสถานีแต่ละแห่งไปยังแหล่งกำเนิดสัญญาณ และหาจุดตัดของเส้นเหล่านั้นเพื่อประมาณตำแหน่ง

ข้อจำกัด:

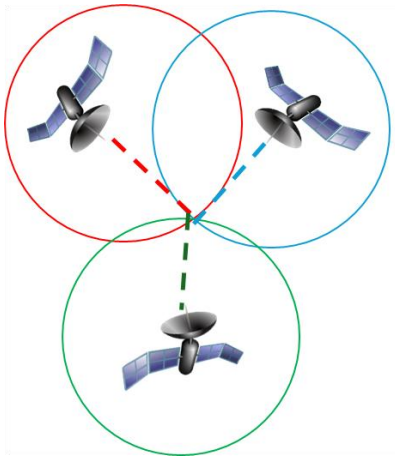
- ต้องใช้สายอากาศที่มีทิศทางแม่นยำสูง
- อ่อนไหวต่อความคลาดเคลื่อนของการวัดมุม และผลกระทบจากมัลติพาธ
- ไม่สามารถให้พิกัด 3 มิติได้หากไม่มีข้อมูลเสริม



รูปที่ 11 การทำ Triangulation ด้วยการวัดมุมตัดระหว่างจากรับ 2 จาน

2. การไตรลาทเทอเรชัน (Trilateration)

เป็นการหาตำแหน่งของดาวเทียมจากระยะห่างไปยังสถานีรับที่มีพิกัดแน่นอนอย่างน้อย 3 จุด (ใน 2 มิติ) หรือ 4 จุด (ใน 3 มิติ) โดยคำนวณจากจุดตัดของทรงกลมที่มีรัศมีตามระยะทาง วิธีนี้เป็นหลักการพื้นฐานของระบบ GPS และ GNSS แต่ต้องการการวัดเวลาการเดินทางของสัญญาณอย่างแม่นยำ ซึ่งยากในระบบดาวเทียมที่ไม่ได้เปิดเผยข้อมูล



รูปที่ 12 การไตรลาทเทอเรชัน (Trilateration)

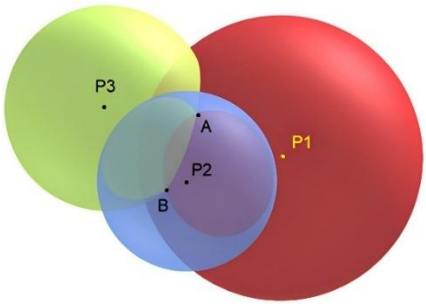
โดยพิกัดของดาวเทียมจะต้องเป็นตามสมการ

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = d_i^2 \quad (1)$$

เมื่อมีจุดอ้างอิงของเครื่องรับที่จุด $A(x_1, y_1, z_1), B(x_2, y_2, z_2), C(x_3, y_3, z_3), D(x_4, y_4, z_4)$ และดาวเทียมอยู่ที่จุด $P(x, y, z)$ และวัดระยะทางจากเครื่องรับได้เป็น d_i เมื่อนำ d_1^2 มาลบออกจาก d_2^2, d_3^2 และ d_4^2 จะได้ระบบสมการเป็น

$$
\begin{aligned}
2(x_2 - x_1)x + 2(y_2 - y_1)y + 2(z_2 - z_1)z \\
= d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 + z_2^2 - z_1^2 \\
2(x_3 - x_1)x + 2(y_3 - y_1)y + 2(z_3 - z_1)z \\
= d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 - x_1^2 + y_3^2 - y_1^2 + z_3^2 - z_1^2 \\
2(x_4 - x_1)x + 2(y_4 - y_1)y + 2(z_4 - z_1)z \\
= d_1^2 - d_4^2 + x_4^2 - x_1^2 + y_4^2 - y_1^2 + z_4^2 - z_1^2
\end{aligned}
\tag{2}
$$

โดยมี 3 สมการและ 3 ตัวแปรสามารถแก้หาคำตอบได้



รูปที่ 13 การทำ Trilateration ด้วยการวัดระยะทางจาก 3 เครื่องรับ
[Ref: https://en.wikipedia.org/wiki/Trilateration]

ในกรณีที่มีเครื่องรับเพียง 3 เครื่อง จะมี 2 คำตอบ แต่ในส่วนมากจะมีเพียงคำตอบเดียวที่เป็นไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 13 ตามแต่จุด A หรือ B จะเป็นจุดที่ไปได้เท่านั้น โดยอีกจุดอาจจะอยู่ใต้โลก หรือห่างจากโลกมาก การวัดระยะทางสามารถวัดได้จาก กำลังพลังงานที่ได้รับ received signal strength เวลาที่ได้รับเทียบกับเวลาส่ง ดังนั้นการทำ Trilateration มีข้อพิจารณาดังนี้

- ต้องการความแม่นยำในการวัดระยะทางหรือเวลาส่งสัญญาณ
- หากแหล่งส่งไม่เปิดเผยเวลาเริ่มส่งหรือพลังงานที่ใช้ จะทำให้วิธีนี้ใช้ได้ยาก

ด้วยข้อจำกัดของการวัดค่ากำลัง และเวลาจากเครื่องส่งแทรกสอด ทำให้การใช้ระยะจริงไม่สามารถทำได้ ดังนั้นยังมีวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องวัดโดยตรงเช่น TDOA และ FDOA ที่สามารถนำมาระบุตำแหน่งของแหล่งแทรกสอดได้อีกด้วย

3. ความต่างของเวลาที่สัญญาณมาถึง (TDOA)

เป็นเทคนิคที่วัดความต่างของเวลาที่สัญญาณมาถึงสถานีรับแต่ละแห่ง โดยไม่ต้องทราบเวลาเริ่มต้นที่ส่งสัญญาณ จากค่าดังกล่าวจะได้ไฮเปอร์โบลอยด์ของตำแหน่งที่เป็นไปได้ การตัดกันของไฮเปอร์โบลอยด์จากสถานีรับอย่างน้อย 3 ชุด จะให้พิกัดตำแหน่งที่แม่นยำ โดยมีสมการดังนี้

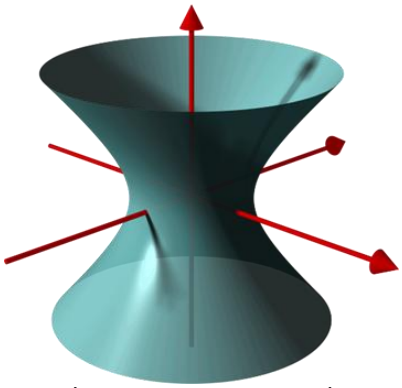
$$\Delta t_{21} = t_2 - t_1 \tag{3}$$

และ

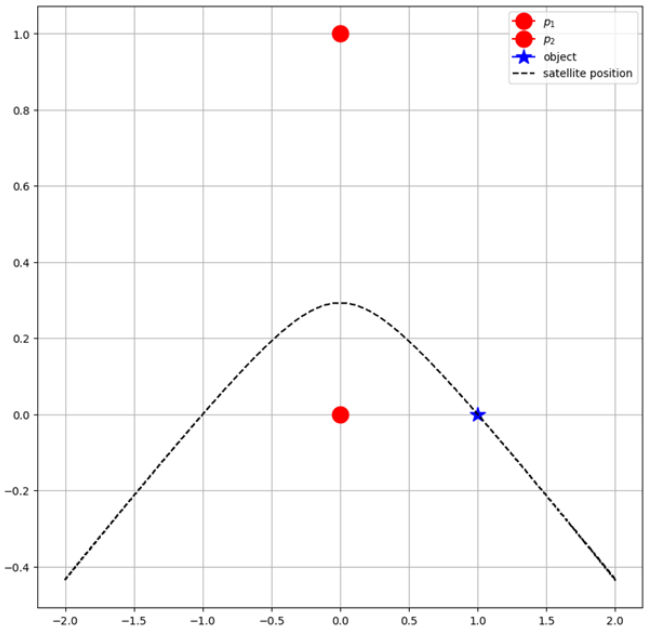
$$d_{21} = c \times \Delta t_{21} = d_2 - d_1 \tag{4}$$

เมื่อ c คือ ความเร็วแสง

จากการวัดค่า Δd_{12} ที่ได้ จะสามารถสร้างทรงไฮเพอร์โบลา (Hyperboloid) ได้ โดยมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 14 ดังนั้นเครื่องส่งที่แทรกสอดก็จะอยู่ตามเส้นที่เป็นไปได้ตามตัวอย่างในรูปที่ 15 เมื่อมีค่าเวลาที่แตกต่าง 4 ค่าจะสามารถกำหนดพิกัดบนโลกได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม เมื่อมีเพียง 3 ค่า ก็สามารถหาคำตอบได้ เพราะจุดที่เหลือไม่สามารถเป็นไปได้ทางกายภาพ



รูปที่ 14 ทรงไฮเพอร์โบลาที่เกิดจากทราบระยะเวลาที่แตกต่างในการรับสัญญาณ



รูปที่ 15 ตำแหน่งที่เป็นไปได้ของดาวเทียมเมื่อทราบค่า d_{12}

โดยสมการที่ต้องการแก้ไขมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมากและได้มีวิธีการหาคำตอบ เช่น ในงานของ (Chan และ Ho, 1994) กำหนดให้ที่จำนวนสถานีรับเท่ากับ 4 สถานี ให้พิกัดของดาวเทียมเป็น $\mathbf{u} = [x \quad y \quad z]^T$ สถานรับที่ 1 มี $\mathbf{p}_1 = [0 \quad 0 \quad 0]^T$ และ สถานีรับอื่นมี $\mathbf{p}_i = [x_i \quad y_i \quad z_i]^T$ โดย $i = 2,3$ และ 4 ระยะทางที่วัดได้มีค่าเป็น สามารถปรับเป็น

$$d_i^2 = \left(d_{i,1} + d_1\right)^2 = d_{i,1}^2 + 2d_{i,1}d_1 + d_1^2; \quad i = 2,3,4 \tag{5}$$

กำหนดให้ $\mathbf{u} = (x, y, z)$ และ $\mathbf{p}_i = (x_i, y_i, z_i)$ เป็นพิกัดของเครื่องส่งแทรกสอด และเครื่องรับที่ i จะได้ว่า

$$\begin{aligned} d_i^2 &= \|\mathbf{u} - \mathbf{p}_i\| = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 \\ &= (x^2 + y^2 + z^2) + 2(x_i x + y_i y + z_i z) \\ &\quad +(x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) \end{aligned} \tag{6}$$

ซึ่งเขียนได้เป็น

$$d_i^2 = \|\mathbf{u}\|^2 - 2(x_i x + y_i y + z_i z) + \|\mathbf{p}_i\|^2 \quad (7)$$

รวมสมการ (7) และ (5) ได้

$$d_{i,1}^2 + 2d_{i,1}d_1 + d_1^2 = \|\mathbf{u}\|^2 - 2(x_i x + y_i y + z_i z) + \|\mathbf{p}_i\|^2 \quad (8)$$

เมื่อนำสมการที่ (8) – (7) ในกรณี $i = 1$ ในสมการที่ (7) และกำหนดให้ $\|\mathbf{p}_1\| = 0$ ได้ว่า

$$d_{i,1}^2 + 2d_{i,1}d_1 = \|\mathbf{p}_i\|^2 - 2(x_i x + y_i y + z_i z) \quad (9)$$

เพราะ d_{i1} สามารถคำนวนได้จากสมการที่ (4) ตัวแปรมีเพียง (x, y, z, d_1) อย่างไรก็ตาม d_1 มีค่าตาม (x, y, z) ดังนั้นจะถูกพิจารณาว่าเป็นค่าคงที่ไว้ก่อน ทำให้เขียนสมการเชิงเส้นในรูปเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \|\mathbf{p}_2\|^2 \\ \|\mathbf{p}_3\|^2 \\ \|\mathbf{p}_4\|^2 \end{bmatrix} - d_1 \begin{bmatrix} d_{2,1} \\ d_{3,1} \\ d_{4,1} \end{bmatrix} - \frac{1}{2} \begin{bmatrix} d_{2,1}^2 \\ d_{3,1}^2 \\ d_{4,1}^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

ถ้าเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{bmatrix}$$

สามารถหาเมตริกซ์ผกผันได้ จะสามารถคำนวนค่า x, y, z ในรูป $j = a_j + b_j d_1$ ได้ เมื่อ $j = x, y, z$ และเมื่อนำค่า x, y, z นำไปใส่ในสมการที่ (6) จะได้เป็น

$$d_1^2 = (a_x + b_x d_1)^2 + \left(a_y + b_y d_1\right)^2 + (a_z + b_z d_1)^2 \quad (11)$$

ซึ่งจัดรูปเป็นสมการกำลัง 2 ที่สามารถหารากได้ 2 ค่า

$$d_1^2 = (a_x + b_x d_1)^2 + \left(a_y + b_y d_1\right)^2 + (a_z + b_z d_1)^2 \quad (12)$$

ซึ่งจัดรูปเป็นสมการกำลัง 2 ที่สามารถหารากได้ 2 ค่า

$$ad_1^2 + bd_1 + c = 0 \quad (13)$$

จากรายงานของ (Stefanski, 2009) พบว่า

$$d_1 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (14)$$

เป็นรากที่ควรนำไปใช้ในกรณีที่มีรากจำนวนจริงมากกว่า 1 ราก

ตัวอย่าง

กำหนดให้

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix}1\\1\\1\end{bmatrix}, \mathbf{p_1} = \begin{bmatrix}0\\0\\0\end{bmatrix}, \mathbf{p_2} = \begin{bmatrix}1\\0\\0\end{bmatrix}, \mathbf{p_3} = \begin{bmatrix}0\\1\\0\end{bmatrix}, \mathbf{p_4} = \begin{bmatrix}0\\0\\1\end{bmatrix}.$$

จะได้ว่า $d_1 = \sqrt{3}, d_2 = d_3 = d_4 = \sqrt{2}$ และ $\|\mathbf{p}_2\|^2 = \|\mathbf{p}_3\|^2 = \|\mathbf{p}_4\|^2 = 1$ สมการ (10) เขียนได้เป็น

$$\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\0 & 1 & 0\\0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\y\\z\end{bmatrix} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix}1\\1\\1\end{bmatrix} - d_1\begin{bmatrix}k\\k\\k\end{bmatrix} - \frac{1}{2}\begin{bmatrix}k^2\\k^2\\k^2\end{bmatrix}$$

เมื่อ $k = \sqrt{2} - \sqrt{3} = -0.318$ จากสมการข้างบนจะได้ ว่า

$$x = y = z = 0.5(1 - k^2) - kd_1 = 0.392 - 0.464d_1$$

เมื่อแทนลงในสมการที่ (12) จะได้

$$d_1^2 = 3(0.392 - 0.464d_1)^2 \approx 0.462 + 1.09d_1 + 0.646d_1^2$$

ที่เขียนเป็นพหุนามกำลัง 2 เป็น

$$0.462 + 1.09d_1 - 0.358d_1^2$$

โดยมีรากเป็น

$$d_1 = -0.377$$
$$d_1 = 3.46$$

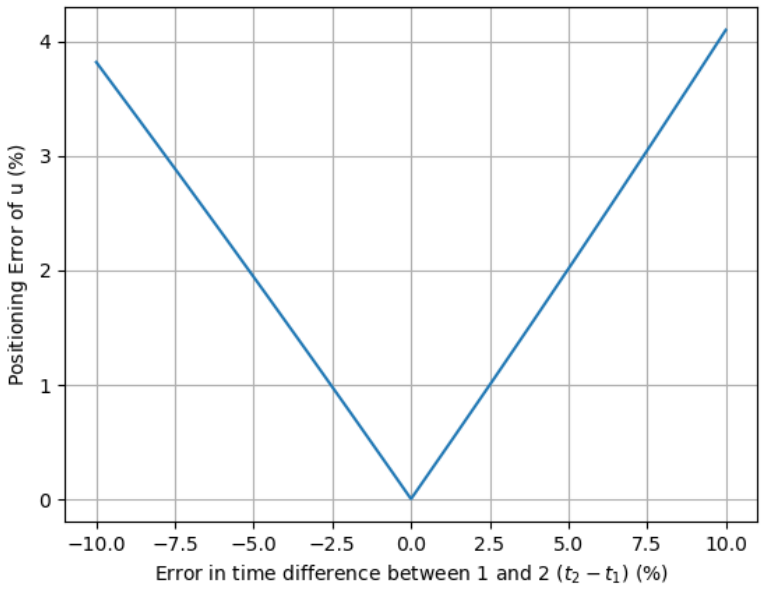
ค่าราก $d_1 = -0.377$ เป็นไปไม่ได้เพราะระยะทางไม่มีค่าติดลบ ดังนั้น $d_1 = 3.46$ เมื่อแทนค่ากลับไปได้

$$x = y = z = 0.5(1 - k^2) - k \times 3.46 = 2.0$$

ต่อมาพิจารณาถึงผลกระทบของการคำนวนความแตกต่างของเวลาระหว่างสถานีรับ 1 และ 2 $(t_2 - t_1)$ที่ผิดพลาดไป โดยกำหนดให้

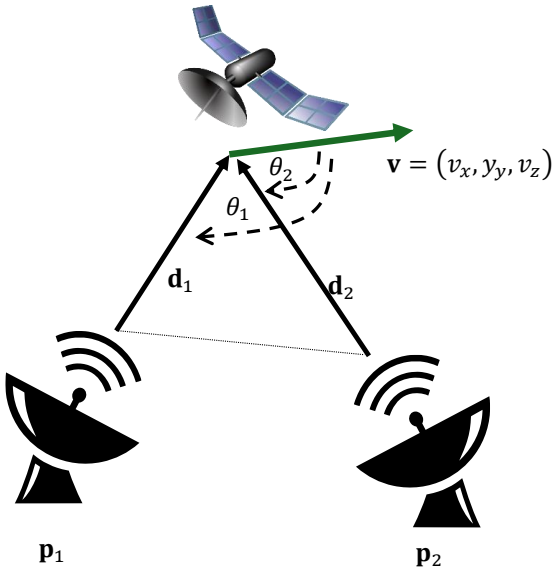
$$d_{2,1} = c(t_2 - t_1 + e)$$

โดยจะทำการคำนวนค่า $\mathbf{u}$ ในกรณีที่ความผิดพลาดจาก -10% ไปถึง $+10\%$ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่า การคำนวนความแตกต่างของเวลามีผลกระทบต่อความแม่นยำในการระบุพิกัด ดังนั้นการประสานเวลา (Synchronization) จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก



รูปที่ 16 ผลกระทบของความผิดพลาดในการคำนวณความแตกต่างขอเวลากับการระบุพิกัดของดาวเทียม

4. ความต่างของความถี่จากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ Doppler (FDOA)



รูปที่ 17 การวัดค่า Frequency Difference of Arrival

จากรูปที่ 17 ได้แสดงการวัดค่าแตกต่างของความถี่เนื่องจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ โดยพบว่าดาวเทียมที่ส่งสัญญาณแทรกสอดกำลังเดินทางจากจุด P_1 ไปยังจุด P_2 ส่งผลให้ความถี่ที่เคลื่องรับที่ 1 มีค่าลดลงและความถี่ที่เครื่องรับที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น โดยความถี่ที่เครื่องรับวัดได้มีค่าเป็น

$$f_i = \frac{f_0}{c} \|\mathbf{v}\| \cos\theta_i \tag{15}$$

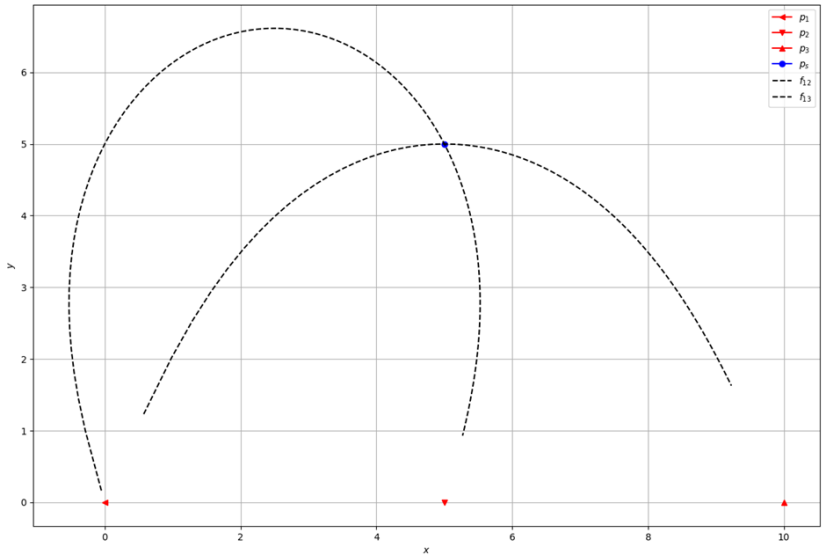
ทำให้ความถี่ที่แตกต่างกันระหว่าง 2 เครื่องรับมีค่าเป็น

$$f_{12} = f_1 - f_2 = \frac{f_0}{c} \|\mathbf{v}\| (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \tag{16}$$

ดังนั้น จะมีค่าชุดมุม θ_1 และ θ_2 หลายค่าที่นำไปสู่งค่าความถี่ที่แตกต่าง โดยจะได้ว่า

$$\cos\theta_2 = \cos\theta_1 - f_{12} \times \frac{c}{f_0\|\mathbf{v}\|} \tag{17}$$

จากสมการที่ 17 พบว่าเมื่อกำหนดค่า θ_1 จะได้ค่า θ_2 มาทำให้ปัญหากลายเป็นการระบุพิกัดด้วยวิธี AOA ก่อนหน้า**Error! Reference source not found.**แสดงการหาพิกัดเครื่องส่งสอดแทรกสอดที่พิกัด *(5,5)* เมื่อมีเครื่องรับจำนวน 3 เครื่องที่พิกัด *(0,0), (5,0)* และ *(10,0)* เมื่อมีการเคลื่อนที่ในแนวนอนด้วยความเร็ว 1 หน่วย และค่า $\frac{f_0}{c}\|v\| = 1000$ และวัดค่า $f_{12} = -707$ และ $f_{13} = -1414$ จะเห็นได้ว่าเมื่อทราบค่าความถี่ที่แตกต่างกันระหว่างเครื่องรับ 1 และ 2 และ เครื่องรับ 1 และ 3 จะได้เป็นกราฟของคู่มุม $\theta_1\&\theta_2$ และ $\theta_1\&\theta_3$ ตามเส้นประจุดตัดของเส้นประก็จะเป็นพิกัดของเครื่องแทรกสอด



รูปที่ 18 การหาพิกัดของเครื่องส่งสัญญาณแทรกสอดที่พิกัด (5,5) เมื่อมีเครื่องรับจำนวน 3 เครื่องที่พิกัด (0,0), (5,0) และ (10,0)

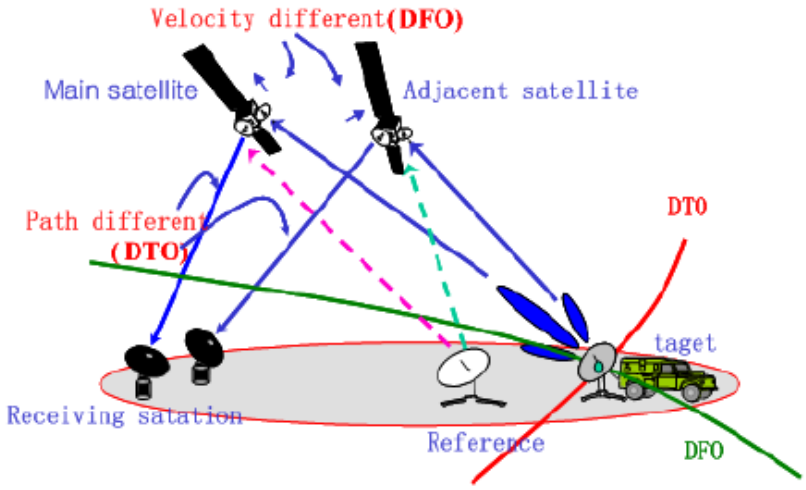
3.1.8.4 การแก้ไขปัญหาการรบกวน (Interference Resolution)

การรบกวนในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของบริการและความเชื่อถือได้ของระบบสื่อสาร โดยเฉพาะเมื่อเกิดจากแหล่งสัญญาณที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือเกิดจากความผิดพลาดของการใช้งานความถี่ การแก้ไขปัญหาการรบกวน (interference resolution) จึงเป็นภารกิจสำคัญของสถานีเฝ้าตรวจดาวเทียมและหน่วยงานกำกับดูแล โดยสามารถแบ่งการดำเนินการแก้ไขสามารถแบ่งออกเป็นลำดับขั้นตอน ดังนี้:

1. **การตรวจจับสัญญาณรบกวน** เริ่มต้นจากการเฝ้าตรวจย่านความถี่ที่ได้รับผลกระทบ และการระบุว่ามีสัญญาณผิดปกติปรากฏอยู่จริง โดยใช้การวิเคราะห์ค่าทางสเปกตรัม พลังงาน ความถี่ และลักษณะของมอดูเลต ซึ่งมักปรากฏในรูปแบบของสัญญาณที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของระบบที่ได้รับอนุญาต
2. **การวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณรบกวน** โดยลักษณะของสัญญาณรบกวนที่พบอาจแตกต่างกัน เช่น สัญญาณพาหะต่อเนื่อง (Continuous Wave – CW) สัญญาณแบบ TDMA หรือ Burst สัญญาณที่มาจากเรดาร์ และสัญญาณที่ไม่มีลักษณะเฉพาะ (unknown type) เป็นต้น
3. **หลักการในการระบุแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอด** ในการระบุแหล่งกำเนิดสัญญาณแทรกสอดสามารถดำเนินการได้หลากหลายวิธี ได้แก่

(1) การระบุตำแหน่งของเครื่องส่งบนโลกโดยใช้ดาวเทียม GSO สองดวง

การระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณบนพื้นโลกโดยใช้ดาวเทียม geostationary (GSO) สองดวง เป็นเทคนิคที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้จริงในระบบเฝ้าตรวจดาวเทียมในปัจจุบัน วิธีนี้อาศัยหลักการของ Time Difference of Arrival (TDOA) และ/หรือ Frequency Difference of Arrival (FDOA) ของสัญญาณเดียวกันที่ตรวจรับได้จากทั้งสองดาวเทียมดังแสดงในรูปที่ 19



รูปที่ 19 การระบุเครื่องส่งสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ดาวเทียม GSO 2 ดวง [Ref: ITUR-SM.2424.0]

การแก้ไขปัญหาการรบกวนได้มีแนวคิดพื้นฐาน คือ เมื่อมีแหล่งกำเนิดสัญญาณอยู่บนพื้นโลก สัญญาณที่ส่งออกมาจะเดินทางผ่านบรรยากาศไปยังดาวเทียม GSO ทั้งสองดวงที่อยู่ในตำแหน่งต่างกันในวงโคจร โดยสัญญาณจะไปถึงแต่ละดาวเทียมในช่วงเวลาที่แตกต่างกันเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับระยะทาง ซึ่งความต่างของเวลานี้สามารถนำไปใช้คำนวณค่าความต่างของระยะทาง และแปลงเป็นเส้นโค้งไฮเปอร์โบลา (hyperbola) บนพื้นโลก ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งที่เป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

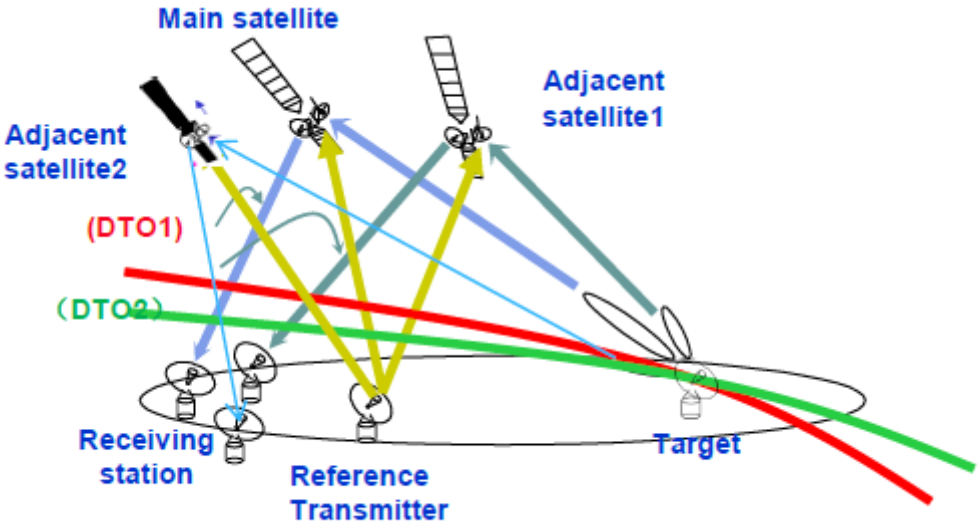
ทั้งนี้ในทางปฏิบัติ ดาวเทียมทั้งสองดวงจะต้องสามารถรับสัญญาณเดียวกันจากแหล่งกำเนิดบนโลก และส่งต่อสัญญาณที่ได้รับไปยังสถานีภาคพื้นเดียวกัน (หรือสถานีที่มีการซิงโครไนซ์เวลาอย่างแม่นยำ) เพื่อให้สามารถคำนวณค่าความต่างของเวลา (TDOA) หรือความถี่ (FDOA) ได้อย่างถูกต้อง โดยมีองค์ประกอบสำคัญของระบบ ดังนี้

- **ดาวเทียมหลักและดาวเทียมเสริม (main and adjacent satellite)** ทั้งสองต้องอยู่ในตำแหน่งที่สามารถรับสัญญาณจากแหล่งเดียวกัน และมีการแยกมุมการรับที่ชัดเจนเพียงพอ
- **RF chains หรือระบบรับคลื่นวิทยุ** จากทั้งสองดาวเทียมต้องมีความแม่นยำสูง และอาจรวมถึงตัวถอดรหัสสัญญาณ (demodulator) หากจำเป็น
- **การซิงโครไนซ์เวลา** สถานีรับภาคพื้นที่ใช้เปรียบเทียบข้อมูลจากทั้งสองดาวเทียมจะต้องมีการซิงโครไนซ์เวลาในระดับนาโนวินาที เพื่อให้คำนวณ TDOA ได้อย่างแม่นยำ
- **การประมวลผลสัญญาณร่วม** ข้อมูลจากทั้งสองดาวเทียมจะถูกนำมาวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อสร้างเส้นไฮเปอร์โบลา และหาจุดตัดที่สอดคล้องกับพิกัดบนพื้นโลก

วิธีนี้สามารถใช้ได้กับสัญญาณหลากหลายประเภท ทั้งสัญญาณพาห์ (CW), สัญญาณ burst หรือ TDMA และสามารถใช้ร่วมกับการประมวลผลด้านความถี่ (FDOA) เพื่อเพิ่มความแม่นยำโดยเฉพาะในกรณีที่แหล่งกำเนิดมีการเคลื่อนที่

(2) การระบุตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม GSO สามดวง

การระบุตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม geostationary (GSO) สามดวงถือเป็นวิธีที่ให้ความแม่นยำสูง เนื่องจากสามารถคำนวณค่าความต่างของเวลาการมาถึง (TDOA) ได้จากทุกคู่ของดาวเทียมสามดวง ซึ่งให้จำนวนคู่เปรียบเทียบทั้งหมด 3 คู่ โดยค่าความต่างเวลาแต่ละคู่จะกำหนดเส้นไฮเปอร์โบลา และตำแหน่งที่เป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดสัญญาณคือจุดตัดของไฮเปอร์โบลาเหล่านั้น



รูปที่ 20 การระบุพิกัดเครื่องส่งสัญญาณแทรกสอดด้วยความเทียม GSO 3 ดวง [Ref: ITUR-SM.2424.0]

โดยข้อได้เปรียบของการใช้สามดาวเทียมคือ ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาระบบ demodulation ที่ซับซ้อนหรือการวิเคราะห์ด้านความถี่เพิ่มเติม แต่ในทางปฏิบัติก็มีความซับซ้อนในด้านอื่น เช่น

- ความยากในการหาเส้นทางดาวเทียมสามดวงที่สามารถรับสัญญาณจากแหล่งเดียวพร้อมกัน
- ต้องใช้สถานีภาคพื้นที่มีการซิงโครไนซ์เวลาในระดับสูง
- อุปกรณ์ต้องสามารถรองรับการประมวลผลสัญญาณจากหลายแหล่งได้พร้อมกัน

แม้ว่าจะมีความแม่นยำสูง แต่การตั้งค่าระบบที่ซับซ้อนและต้นทุนที่สูงทำให้วิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยมในเชิงพาณิชย์มากนัก

(3) การระบุตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียมเพียงดวงเดียว

แม้ว่าโดยทั่วไปแล้ว ในการระบุตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียมเพียงดวงเดียวจะให้ข้อมูลไม่เพียงพอในการระบุตำแหน่งอย่างสมบูรณ์ แต่ก็มีเทคนิคบางประการที่สามารถใช้งานได้ในสถานการณ์เฉพาะ เช่น

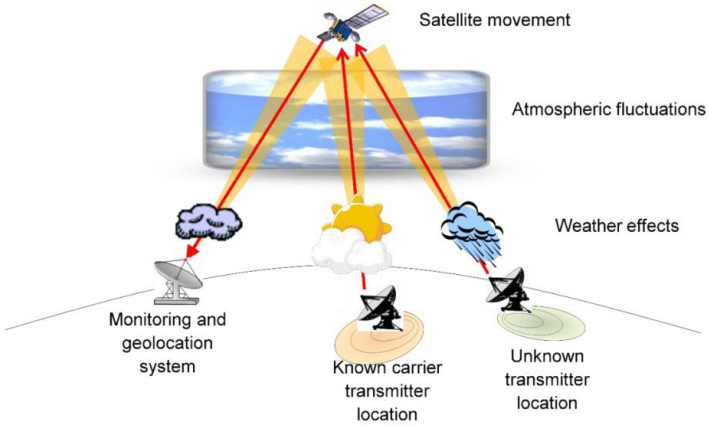
- วิธี Inverse Doppler: ใช้ Doppler shift ที่วัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในการรับสัญญาณขณะดาวเทียมเคลื่อนที่ หรือขณะแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ (ในกรณีที่ไม่ใช่ GSO)
- วิธีการระบุตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม GSO เพียงดวงเดียวร่วมกับการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเครื่องส่งที่รู้ตำแหน่ง แม้ว่าการระบุตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม geostationary (GSO) เพียงดวงเดียวนั้นจะมีข้อจำกัดด้านข้อมูลเชิงตำแหน่ง เนื่องจากไม่มีค่าความต่างของเวลา (TDOA) หรือค่าความต่างของความถี่ (FDOA) ให้ใช้เปรียบเทียบจากหลายมุมรับสัญญาณ แต่ก็ยังสามารถใช้แนวทางการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่จากเครื่องส่งบนพื้นโลกที่รู้ตำแหน่งแน่นอนได้ ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์ในบริบทของการตรวจสอบซ้ำ (validation) หรือการตรวจจับการเบี่ยงเบนของแหล่งสัญญาณ

หลักการของวิธีนี้คือ การเก็บข้อมูลสัญญาณจากแหล่งกำเนิดที่รู้พิกัดล่วงหน้า (เช่น เครื่องส่งจากสถานีวิทยุกระจายเสียง หรือดาวเทียมที่ได้รับอนุญาตแล้ว) แล้วบันทึกเป็น “ลายนิ้วมือของสัญญาณ” (signal fingerprint) ซึ่งอาจรวมถึง:

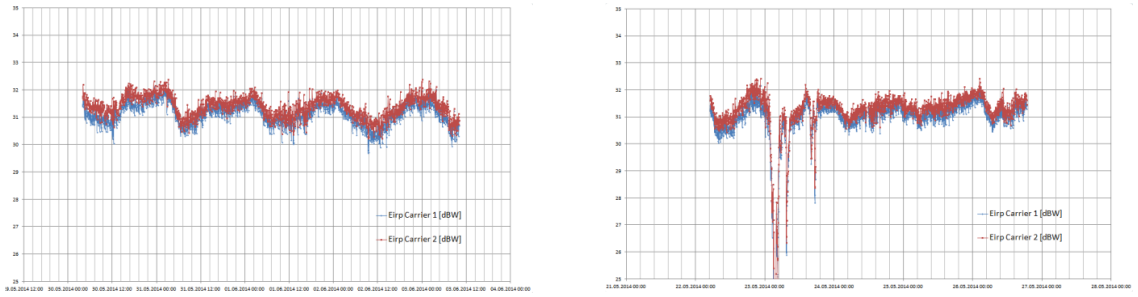
- ลักษณะของสเปกตรัม
- มอดูเลตและรูปแบบสัญญาณ
- ความถี่ศูนย์กลาง
- รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของ Doppler shift หากมีค่ากำลังเฉลี่ยและความผันผวนตามเวลา

โดยเมื่อเกิดเหตุการณ์รบกวนหรือพบสัญญาณที่ไม่คุ้นเคย ระบบจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ตรวจพบกับฐานข้อมูลของเครื่องส่งที่รู้พิกัด หากพบว่ามีลักษณะสัญญาณที่คล้ายกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจสรุปเบื้องต้นได้ว่าสัญญาณนั้นมาจากแหล่งเดียวกัน หรือจากระบบที่คล้ายกันในเชิงเทคนิค

การใช้งานจริงของวิธีนี้มีข้อดี คือ ไม่ต้องใช้โครงข่ายของดาวเทียมหรือสถานีภาคพื้นหลายแห่ง และสามารถนำไปใช้ในระบบที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรหรือในระบบที่ไม่สามารถติดตามดาวเทียมหลายดวงได้ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่สามารถให้พิกัดที่แน่นอนได้ด้วยตนเอง แต่เป็นการ “อนุมาน” ตำแหน่งโดยอิงจากรูปแบบทางเทคนิคของสัญญาณ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ร่วมกับวิธีอื่น เช่น การเฝ้าตรวจแบบเคลื่อนที่ หรือการวัดมุมเข้ามา (Angle of Arrival – AOA) เพื่อยืนยันตำแหน่งในเชิงพื้นที่



รูปที่ 21 ตัวอย่างการระบุพิกัดเครื่องส่งสัญญาณแทรกสอดด้วยวิธีเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเครื่องส่งที่รู้ตำแหน่ง [Ref: ITUR-SM.2424.0]



รูปที่ 22 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งจากค่ากำลังที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาพอากาศ (ซ้าย) และกรณีปกติ (ขวา) เมื่อมีเมฆมาบดบัง [Ref: ITUR-SM.2424.0]

จากรูปที่ 22 (ซ้าย) แสดงความผันแปรของกำลังสัญญาณสองชุด (สีแดงและสีน้ำเงิน) ซึ่งส่งมาจากสถานีอัปลิงก์เดียวกันในช่วงระยะเวลาสี่วัน จะเห็นได้ชัดถึงรูปแบบความเปลี่ยนแปลงเป็นวงรอบทุก 24 ชั่วโมง

ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนไหวของดาวเทียม รูปที่ 22 (ขวา)แสดงความผันแปรของกำลังสัญญาณที่เกิดจากอิทธิพลของสภาพอากาศ ในทั้งสองกรณี ความเปลี่ยนแปลงของกำลังสัญญาณมีลักษณะเกือบเหมือนกัน เนื่องจากทั้งสองสัญญาณถูกส่งออกมาจากสายอากาศอัปลิงก์เดียวกัน

ด้วยวิธีการนี้ การจะค้นหาตำแหน่งของสัญญาณรบกวน จะต้องทำการคำนวณความคล้ายคลึงระหว่างสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณอื่นที่ทราบแหล่งกำเนิด โดยทั่วไปมักดำเนินการในโดเมนความถี่ด้วยการหาค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างสัญญาณ หรือบางส่วนของสัญญาณเหล่านั้น ดังนั้น อัลกอริธึมในการหาค่าสหสัมพันธ์จึงเป็นหัวใจสำคัญของวิธีนี้ในแง่ของความแม่นยำ ประสิทธิภาพ และความสำเร็จของการระบุตำแหน่ง

แนวคิดนี้สามารถนำไปใช้ได้ในกรณีที่มีสัญญาณหลายชุดถูกส่งจากสถานีอัปลิงก์เดียวกัน หรือจากพื้นที่ทางภูมิศาสตร์เดียวกันกับตำแหน่งที่เป็นแหล่งรบกวน โดยระบบเฝ้าตรวจตัวพาหะสามารถติดตามสัญญาณทั้งหมดในพื้นที่นั้นได้ในระยะยาว และนำการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวน เช่น พลังงาน ความถี่ หรือความกว้างแถบสัญญาณ (ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของสภาพอากาศ) ไปเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของเครื่องส่งอื่น ๆ ที่เชื่อว่าอยู่ในพื้นที่เดียวกัน หากพบความสัมพันธ์ในเชิงบวก อาจสามารถสรุปได้ว่า ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนตรงกับ หรือตั้งอยู่ใกล้กับตำแหน่งของเครื่องส่งที่มีลักษณะสัญญาณสอดคล้องกัน ซึ่งความท้าทายของวิธีนี้อยู่ที่แนวทางการหาค่าสหสัมพันธ์และกลยุทธ์ในการเฝ้าตรวจ เนื่องจากการวัดค่าต่าง ๆ มักไม่ได้ดำเนินการในเวลาเดียวกันอย่างสมบูรณ์ (เช่น การวัดแบบซิงโครนัสเทียบกับการวัดแบบสลับรอบหรือ “round robin”) ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการได้ผลลัพธ์ที่มีความหมายจากการหาค่าสหสัมพันธ์ วิธีการนี้จึงต้องการการวัดพารามิเตอร์อย่างซิงโครนัสให้มากที่สุด สำหรับกรณีที่ต้องหาค่าสหสัมพันธ์จากการวัดที่ไม่ซิงโครนัส อาจต้องพิจารณาผลของการให้น้ำหนักตามความแตกต่างของเวลา การตรวจสอบความสมเหตุสมผล การลดความไม่ชัดเจนของข้อมูล เป็นต้น

ยิ่งไปกว่านั้น วิธีการนี้สามารถปรับปรุงให้แม่นยำยิ่งขึ้นได้โดยใช้ข้อมูลอื่นร่วมด้วย เช่น ข้อมูลฮาร์ดแวร์ของเครื่องส่งที่รู้พิกัดแล้ว หรือข้อมูลสภาพอากาศจากบุคคลที่สาม ตัวอย่างเช่น ข้อมูลสภาพอากาศสามารถนำมาใช้ช่วยลดความไม่ชัดเจน (ambiguity mitigation) ได้ โดยการระบุและคัดกรองกรณีที่ขัดแย้งกับสภาวะอากาศเฉพาะ

3.1.8.5 ข้อกำหนดของระบบระบุตำแหน่ง (Geolocation System Requirements)

ระบบระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนผ่านดาวเทียม จำเป็นต้องมีองค์ประกอบทางเทคนิคที่สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของแหล่งสัญญาณได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม และรองรับสถานการณ์การรบกวนที่เกิดขึ้นได้จริง โดยข้อกำหนดหลักของระบบ geolocation ประกอบด้วยประเด็นสำคัญต่อไปนี้

1. ดาวเทียม

สำหรับวิธีการระบุตำแหน่งที่ใช้ดาวเทียมมากกว่าหนึ่งดวง ดาวเทียมหลักและดาวเทียมข้างเคียงไม่ควรอยู่ใกล้กันเกินไป (ซึ่งจะทำให้การวัดค่าความต่างของเวลาการมาถึง – TDOA – ทำได้ยาก) และไม่ควรอยู่ห่างกันเกินไป (ซึ่งจะทำให้ระดับสัญญาณที่ได้รับจากดาวเทียมข้างเคียงต่ำเกินกว่าจะตรวจจับได้) นอกจากนี้ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในดาวเทียมข้างเคียงซึ่งเกิดจากสัญญาณครอสทอล์ก (crosstalk) ควรอยู่ในย่านความถี่และโพลาไรเซชันเดียวกันกับสัญญาณรบกวนที่ตรวจพบในดาวเทียมหลัก ดังแสดงในตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมแยกระหว่างดาวเทียมหลักกับดาวเทียมข้างเคียง กับแบนด์ความถี่อัปลิงค์และขนาดสายอากาศ ที่แนะนำโดย ITU

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมแยกระหว่างดาวเทียมหลักกับดาวเทียมข้างเคียง กับแบนด์ความถี่อัปลงค์และขนาดสายอากาศ (ที่มา ITUR-SM.2424.0)

Antenna Size (m)	C Band 6 GHz	X band 8 GHz	Ku Band 14 GHz	Ka Band 27.5 GHz	Ka Band 31 GHz
1.2	<15°	<15°	<15°	<10°	<9°
3	<15°	<15°	<15°	<10°	<8°
4.5	<13°	<13°	<12°	<8°	<7°
7.3	<12°	<11°	<10°	<7°	<5°
9	<10°	<10°	<10°	<6°	<3°
16	<10°	<9°	<8°	<3°	
32	<10°	<7°	<3°		

2. สถานีรับ

ควรมีลำคลื่นครอบคลุม (beam coverage) ของทรานสปอนเดอร์ทั้งในดาวเทียมหลักและดาวเทียมข้างเคียง ควรครอบคลุมทั้งสถานีส่งและสถานีรับพร้อมกัน เพื่อให้สามารถรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่อง นอกจากนี้ ระบบระบุตำแหน่ง (geolocation system) ต้องมีสมรรถนะที่เพียงพอ ทั้งในส่วนของชุดรับคลื่นวิทยุ (RF front-end), ระบบจัดเก็บข้อมูล (data acquisition) และซอฟต์แวร์ประมวลผล เพื่อให้สามารถดำเนินการวิเคราะห์ตำแหน่งได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้

3. เครื่องส่งอ้างอิง (Reference Transmitter)

ในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนผ่านดาวเทียม โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้เทคนิค TDOA (Time Difference of Arrival) และ FDOA (Frequency Difference of Arrival) เครื่องส่งอ้างอิง (reference transmitter) ถือเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากช่วยให้สามารถสอบเทียบ (calibrate) ระบบวัดค่าต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ

3.1.8.6 เทคนิคการระบุตำแหน่งของเครื่องส่งบนพื้นโลก

ในกระบวนการเพื่อการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิทยุที่ไม่ทราบตำแหน่งของเครื่องส่งบนพื้นโลกได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อการค้นหาแหล่งสัญญาณรบกวน การติดตามอุปกรณ์ หรือการใช้งานในภารกิจที่สำคัญ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจะสามารถจำแนกเทคนิคหลักได้ดังนี้

1. เทคนิคการลบสัญญาณพาห์ (Carrier Cancellation Technique)

เทคนิคการลบสัญญาณพาห์ (carrier cancellation) เป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้สนับสนุนการวิเคราะห์และระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีการส่งสัญญาณหลายชุด (multi-carrier) ผ่านช่องทรานสพอนเดอร์เดียวกัน ทำให้เกิดการทับซ้อนกันของสัญญาณในลักษณะที่ซับซ้อนและยากต่อการแยกวิเคราะห์

ซึ่งแนวคิดหลักของเทคนิคนี้คือ การลบ (subtract) สัญญาณที่รู้แหล่งกำเนิดแน่นอนออกจากสัญญาณรวมทั้งหมดที่รับได้ เพื่อให้เหลือเฉพาะสัญญาณที่ไม่ทราบแหล่งที่มา หรือสัญญาณรบกวนที่ต้องการวิเคราะห์ โดยทั่วไป วิธีนี้จะดำเนินการในโดเมนความถี่หรือโดเมนเวลา โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สเปกตรัม หรือการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital Signal Processing – DSP) โดยมีการดำเนินการหลัก ดังนี้

1) การระบุพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ทราบต้นทาง เช่น ความถี่ศูนย์กลาง, กำลังส่ง, รูปแบบมอดูเลต และแบนด์วิดท์
2) การสร้างสัญญาณจำลองเพื่อแทนสัญญาณที่ต้องการลบ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มาสร้างสัญญาณสังเคราะห์ขึ้น
3) การลบสัญญาณจำลองออกจากสัญญาณที่รับได้จริง ซึ่งจะช่วยลดองค์ประกอบของสัญญาณที่ทราบแหล่งที่มา และทำให้สัญญาณรบกวนที่ไม่รู้ที่มาเด่นชัดขึ้น
4) การวิเคราะห์สัญญาณที่เหลือหลังจากการลบ โดยใช้เทคนิคเช่น TDOA หรือ FDOA กับข้อมูลที่ถูกแยกออกมา เพื่อหาตำแหน่งของแหล่งรบกวน

เทคนิคนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในกรณีที่สัญญาณรบกวนถูกฝังอยู่ภายใต้สัญญาณอื่นที่มีพลังงานสูงกว่าและไม่สามารถตรวจจับได้จากการวิเคราะห์สเปกตรัมโดยตรง การลบพาหะที่ทราบตำแหน่งจึงช่วยเปิดเผยสัญญาณที่ถูกบดบัง และช่วยให้การระบุตำแหน่งทำได้แม่นยำขึ้น อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ต้องการข้อมูลพารามิเตอร์ของสัญญาณอ้างอิงที่ถูกต้องและครบถ้วน และระบบต้องมีความสามารถในการประมวลผลสัญญาณความละเอียดสูงอย่างมีประสิทธิภาพ

2. เทคนิคการประมวลผลแบบขยายกำลังสูง (High Gain Processing Technique)

เทคนิคการประมวลผลแบบขยายกำลังสูง (High Gain Processing) ใช้หลักการเพิ่มอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) เพื่อให้สามารถตรวจจับสัญญาณรบกวนที่มีความเข้มต่ำมากได้ เทคนิคนี้รวมถึงการรวมค่า (integration) ของสัญญาณในช่วงเวลาที่ยาวขึ้น การลดความละเอียดของข้อมูลที่ไม่จำเป็น และการวิเคราะห์แบบเฉพาะเจาะจง เช่น Narrowband filtering หรือ matched filtering ซึ่งช่วยให้สามารถแยกแยะสัญญาณรบกวนที่ฝังอยู่ภายใต้ noise หรือสัญญาณอื่นได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้กำลังรับสัญญาณที่สูง

3. เทคนิคการระบุลักษณะเคลื่อนที่ของเครื่องส่ง (Mobility Determination Technique)

เทคนิคนี้มุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบว่าเครื่องส่งสัญญาณรบกวนมีลักษณะ "อยู่กับที่" หรือ "เคลื่อนที่" โดยใช้การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น Doppler shift, ค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) หรือ pattern ของสัญญาณในโดเมนเวลา เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของสัญญาณ การรู้ว่าเครื่องส่งเคลื่อนที่หรือไม่ ช่วยในการคัดกรองแหล่งสัญญาณที่อาจเป็นต้นเหตุ และช่วยจำกัดขอบเขตพื้นที่ในการค้นหาตำแหน่งได้อย่างมาก

4. เทคนิคการระบุตำแหน่งเบื้องต้นจากสถานีรับเพียงสถานีเดียว (Rough Geolocation from Single-Site Monitoring)

แม้ว่าการระบุตำแหน่งโดยทั่วไปจะต้องใช้สถานีหลายแห่งหรือดาวเทียมหลายดวง แต่ในบางกรณีการเฝ้าตรวจจากสถานีเพียงแห่งเดียวก็สามารถใช้ระบุตำแหน่งเบื้องต้นได้ เทคนิคนี้อาศัยการประเมินค่ามุมก้ม–มุมเงยของสายอากาศ (azimuth–elevation), การวิเคราะห์ Doppler shift ตามเวลา, หรือการวัดกำลังสัญญาณและ pattern ของสัญญาณ เพื่อหาทิศทางหรือช่วงเวลาที่สัญญาณแรงที่สุด จากนั้นสามารถนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลภายนอก เช่น แผนที่ ความหนาแน่นของการใช้งาน และข้อมูลจากการเฝ้าระวังในอดีต เพื่อประมาณพื้นที่ต้นกำเนิดของสัญญาณรบกวน

3.1.8.7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำของการระบุตำแหน่ง

ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณรบกวนบนพื้นโลกโดยใช้ระบบผ่านดาวเทียมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการทั้งในด้านเทคนิค ได้แก่

1. ความแม่นยำของข้อมูลวงโคจรดาวเทียม (Satellite Ephemeris Accuracy)
2. ความแม่นยำของค่าพิกัดอ้างอิง
3. รูปแบบการจัดวางสถานีอ้างอิง
4. เวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง
5. ค่าหน่วงเวลา

3.1.8.8 การระบุเครื่องส่งที่ไม่ได้รับอนุญาต

การวัดตำแหน่งจากระบบ geolocation ผ่านดาวเทียมจะให้ผลลัพธ์เป็น พื้นที่โดยประมาณของตำแหน่งเครื่องส่งสัญญาณ ซึ่งอาจมีขนาดตั้งแต่หลายสิบไปจนถึงหลายร้อยตารางกิโลเมตร ดังนั้น เพื่อระบุพิกัดที่แท้จริงของเครื่องส่งที่ไม่ได้รับอนุญาตภายในพื้นที่ดังกล่าว จึงควรจัดส่งสถานีตรวจสอบเคลื่อนที่ (mobile monitoring station) เข้าไปดำเนินการในภาคสนาม

1. องค์ประกอบของระบบเฝ้าตรวจแบบเคลื่อนที่

ระบบเฝ้าตรวจแบบเคลื่อนที่ (Mobile Monitoring System) มีบทบาทสำคัญในการระบุและค้นหาตำแหน่งของเครื่องส่งที่ไม่ได้รับอนุญาตในพื้นที่ภาคสนาม โดยเฉพาะเมื่อระบบระบุตำแหน่งผ่านดาวเทียม (geolocation) ให้เพียงตำแหน่งโดยประมาณ ระบบแบบเคลื่อนที่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานในพื้นที่ดังกล่าวเพื่อดำเนินการตรวจสอบในระดับพื้นที่อย่างละเอียดและแม่นยำ องค์ประกอบหลักของระบบเฝ้าตรวจแบบเคลื่อนที่ควรประกอบด้วยอุปกรณ์แบบพกพาหรือกึ่งติดตั้งถาวร ดังนี้

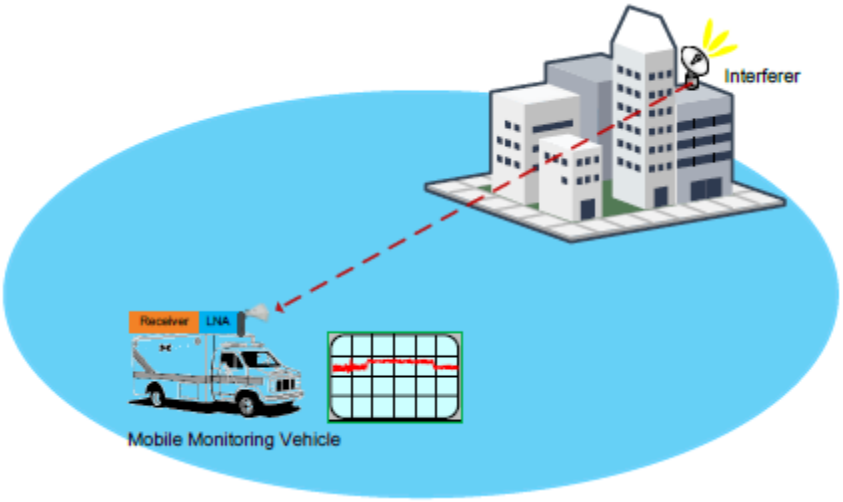
- แพลตฟอร์มสำหรับเฝ้าตรวจ (Monitoring Platforms) ได้แก่
    - แพลตฟอร์มภาคพื้น เช่น รถตรวจสอบคลื่นความถี่
    - แพลตฟอร์มทางอากาศ เช่น โดรน (UAV) เรือเหาะ หรือบอลลูนยึดตรึง (captive balloon)
- เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบพกพา (Portable Spectrum Analyzer) ใช้สำหรับแสดงและบันทึกข้อมูลสเปกตรัมของสัญญาณที่ตรวจพบ
- สายอากาศแบบมีทิศทางและรอบทิศ (Directional and Omnidirectional Antennas) เพื่อใช้ในการตรวจจับทิศทางของสัญญาณรบกวน
- อุปกรณ์ขยายสัญญาณรบกวนระดับต่ำ (LNA, LNB) และ ฟิลเตอร์กรองความถี่ (Bandpass Filters) ใช้สำหรับเพิ่มความไวในการรับสัญญาณและลดการรบกวนจากสัญญาณนอกย่านความถี่เป้าหมาย
- สาย RF คุณภาพสูงแบบสูญเสียต่ำ (Low Loss RF Cables):เพื่อคงคุณภาพสัญญาณระหว่างสายอากาศกับอุปกรณ์วิเคราะห์
- เครื่องรับสัญญาณ GPS และเข็มทิศ (GPS Receiver, Compass):เพื่อระบุพิกัดของตำแหน่งที่ดำเนินการตรวจสอบ
- อุปกรณ์รับ–ส่งข้อมูลและควบคุมระยะไกล (Data Transmission & Remote Control Devices) หากจำเป็นต้องส่งข้อมูลจากหน่วยภาคสนามไปยังศูนย์ควบคุมหรือเพื่อควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกล

2. วิธีการค้นหาในภาคพื้นดิน (Ground Search Methods)

เมื่อระบบระบุตำแหน่งผ่านดาวเทียมสามารถกำหนดขอบเขตโดยประมาณของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนได้แล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการดำเนินการ "ค้นหาในภาคสนาม" เพื่อระบุพิกัดที่แน่นอนของเครื่องส่ง วิธีการค้นหาในภาคพื้นดินสามารถทำได้หลายแนวทาง โดยอาศัยระบบตรวจสอบแบบเคลื่อนที่ (mobile monitoring system) และเทคนิคการวัดสัญญาณ

2.1 วิธีการแบบดั้งเดิมโดยเปรียบเทียบระดับความแรงของสัญญาณ (Conventional Approaches Based on Amplitude Comparison)

แนวทางการค้นหาภาคพื้นดินแบบดั้งเดิมที่ใช้กันแพร่หลายคือ การเปรียบเทียบค่าความแรงของสัญญาณ (signal strength) ตามตัวอย่างในรูปที่ 23 ที่ได้รับจากสายอากาศในทิศทางต่าง ๆ โดยอุปกรณ์ตรวจวัดจะหมุนสายอากาศ หรือเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ เพื่อระบุทิศทางที่ให้ค่าพลังงานสูงสุด ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ

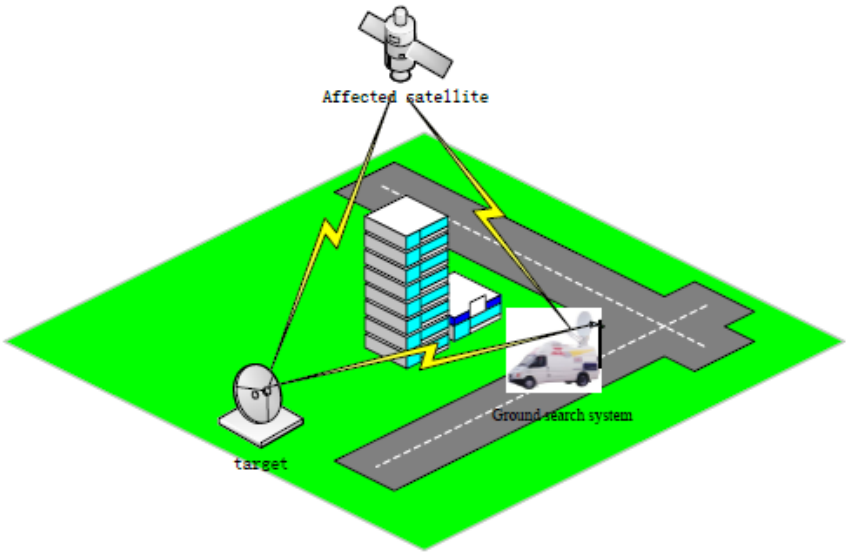


รูปที่ 23 การค้นหาสัญญาณแทรกสอดภาพพื้นดินโดยใช้ความเปรียบเทียบขนาดสัญญาณ [Ref: ITUR-SM.2424.0]

ข้อดีของวิธีนี้คือ ความเรียบง่ายของระบบและสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์พกพาทั่วไปแต่ก็มีข้อจำกัด เช่น มีความไวต่อมัลติพาธ (multipath) หรือการสะท้อนของสัญญาณ ความแม่นยำลดลงในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางหรือการรบกวนสูง และการเคลื่อนที่ต้องใช้เวลานาน หากพื้นที่เป้าหมายกว้าง อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ยังคงเป็นแนวทางพื้นฐานที่มีประโยชน์ในการค้นหาเบื้องต้นหรือใช้ร่วมกับวิธีอื่น

2.2 การใช้อัลกอริธึม Cross-Correlation เพื่อเพิ่มความไวของระบบ (Using Cross-Correlation Algorithm for Improving System Sensitivity)

เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจจับสัญญาณรบกวนที่มีพลังงานต่ำ หรือแฝงอยู่ภายใต้ noise วิธีการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นคือการใช้ อัลกอริธึมการหาค่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross-correlation) ระหว่างสัญญาณที่รับได้จากภาคสนามกับสัญญาณต้นแบบที่รู้จัก (template signal) ดังรูปที่ 24 หรือสัญญาณที่รับมาจากระบบเฝ้าตรวจดาวเทียม



รูปที่ 24 การค้นหาสัญญาณแทรกสอดด้วยการค้นหาค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างดาวเทียมและหน่วยค้นหา [Ref: ITUR-SM.2424.0]

หลักการคือ

- หากสัญญาณรบกวนมีลักษณะซ้ำกับสัญญาณต้นแบบ (เช่น ความถี่เดียวกัน, รูปแบบ burst เดียวกัน) ผลลัพธ์ของค่าความสัมพันธ์จะมีค่าสูง
- วิธีนี้สามารถระบุการมีอยู่ของสัญญาณแม้ในกรณีที่ SNR ต่ำมาก
- ยังสามารถนำไปใช้ในกรณีที่สัญญาณถูกรบกวนบางส่วน หรือมีความไม่ต่อเนื่อง

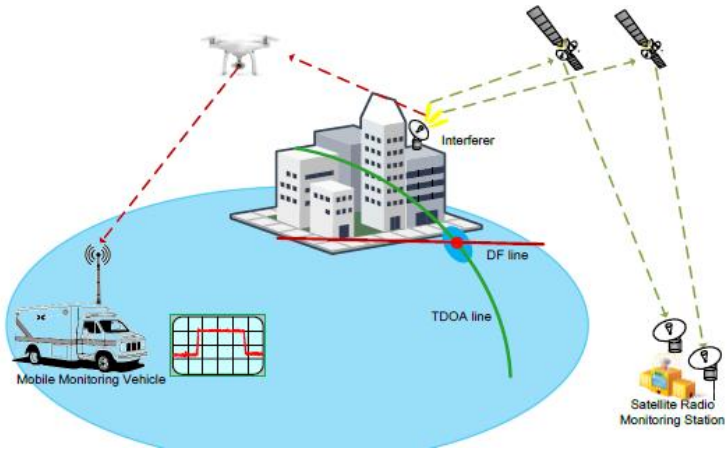
ข้อได้เปรียบของวิธี cross-correlation คือ

- ความไวสูงกว่า amplitude comparison หลายเท่า
- เหมาะสำหรับกรณีที่สัญญาณรบกวนปรากฏไม่ต่อเนื่อง (intermittent) หรือมีลักษณะ burst
- สามารถใช้ในระบบอัตโนมัติ หรือประมวลผลภายหลังจากการบันทึกข้อมูลภาคสนาม

อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ต้องการพลังการประมวลผลที่สูงกว่า และการตั้งค่าที่แม่นยำในการเลือก template signal ที่เหมาะสม

2.3 การใช้แนวทางการเฝ้าตรวจทางอากาศเพื่อการตรวจจับสัญญาณรบกวนอย่างรวดเร็ว

การเฝ้าตรวจทางอากาศ (Aerial Monitoring) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับสัญญาณรบกวนอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในกรณีที่พื้นที่เป้าหมายมีขนาดกว้าง หรือการเข้าถึงด้วยยานพาหนะภาคพื้นดินทำได้ยาก วิธีนี้ใช้แพลตฟอร์มทางอากาศ เช่น อากาศยานไร้คนขับ (UAV), บอลลูน, เครื่องบินขนาดเล็ก หรือเรือเหาะ เพื่อบรรทุกอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ และเคลื่อนที่เหนือตำแหน่งที่คาดว่าเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ดังแสดงตัวอย่างการใช้ UAV ร่วมกับดาวเทียม 2 ดวงในการระบุพิกัดของสัญญาณแทรกสอดในรูปที่ 25



รูปที่ 25 การค้นหาแหล่งสัญญาณแทรกสอดด้วยการใช้ UAV ร่วมกับดาวเทียม 2 ดวง [Ref: ITUR-SM.2424.0]

ข้อดีของการเฝ้าตรวจทางอากาศ

- ความเร็วในการเข้าถึงพื้นที่สามารถตรวจสอบพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาสั้นกว่าระบบภาคพื้นได้
- ลดข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ เหมาะสำหรับพื้นที่ที่เข้าถึงยาก เช่น ภูเขา ป่า เขตเมืองหนาแน่น
- เพิ่มมุมการรับสัญญาณสายอากาศที่ติดตั้งบนแพลตฟอร์มทางอากาศสามารถลดผลกระทบจากสิ่งกีดขวางและมัลติพาธได้

ข้อควรพิจารณาในการใช้งาน

- น้ำหนักและขนาดของอุปกรณ์ ต้องเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจสอบที่มีน้ำหนักเบาและประหยัดพลังงาน
- ความสามารถในการระบุตำแหน่งที่แม่นยำ จำเป็นต้องติดตั้งระบบระบุตำแหน่ง GPS และเข็มทิศแม่เหล็ก (digital compass) บนแพลตฟอร์ม
- การประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การใช้แพลตฟอร์มทางอากาศอาจต้องได้รับอนุญาตตามกฎหมายการบินพลเรือนของแต่ละประเทศ
- ข้อจำกัดด้านพลังงานและระยะเวลาบิน โดยเฉพาะในกรณีของโดรนขนาดเล็ก

3.1.5.9 การเฝ้าตรวจการรบกวนในระบบการสื่อสารระหว่างดาวเทียม (Inter-Satellite Link Interference Monitoring)

ในยุคที่ระบบดาวเทียมมีความซับซ้อนและความหนาแน่นสูง โดยเฉพาะระบบกลุ่มดาว (constellation) ที่โคจรรอบโลกในระดับต่ำ (LEO) และระดับกลาง (MEO) ได้มีการนำการสื่อสารระหว่างดาวเทียม (Inter-Satellite Links: ISLs) มาใช้เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรับส่งข้อมูลระหว่างกันโดยไม่ต้องผ่านสถานีภาคพื้นดิน การสื่อสารลักษณะนี้มีข้อได้เปรียบด้าน latency และความยืดหยุ่นในการจัดการเครือข่าย แต่ในขณะเดียวกันก็เพิ่มความเสี่ยงด้านการรบกวนจากดาวเทียมดวงอื่นในระบบหรือข้ามระบบ

1. ความท้าทายของการเฝ้าตรวจการรบกวนใน ISLs

ระบบเฝ้าตรวจคลื่นความถี่ในปัจจุบันส่วนใหญ่ได้รับการออกแบบมาสำหรับการสื่อสารระหว่างโลกกับอวกาศ ซึ่งไม่สามารถประยุกต์ใช้โดยตรงกับ ISLs ที่ดำเนินการในอวกาศได้ การเฝ้าตรวจสัญญาณระหว่างดาวเทียมจึงมีข้อจำกัดสำคัญ คือ ไม่สามารถสังเกตได้จากภาคพื้น ไม่มีระบบแจ้งเตือนที่อยู่ในตำแหน่งกลางของลิงก์ และการเคลื่อนที่ของดาวเทียมทำให้ลักษณะของการรบกวนเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

2. แนวทางทางเทคนิคในการเฝ้าตรวจการรบกวน

เพื่อจัดการกับข้อจำกัดดังกล่าว คณะผู้วิจัยฯ ได้มีข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคดังนี้

1) การติดตั้งระบบเฝ้าตรวจสัญญาณบนดาวเทียมเอง เช่น spectrum analyzer ขนาดเล็กที่สามารถวัดค่าความแรงของสัญญาณภายนอกและวิเคราะห์การรบกวน
2) การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับข้อมูล ephemeris เพื่อจำลองความน่าจะเป็นของการรบกวนระหว่างลิงก์
3) การใช้ AI หรือ Machine Learning เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของลิงก์และตรวจจับความผิดปกติของสัญญาณ

3. มุมมองจากรายงาน ESPI (2023)

จากการรายงานของ European Space Policy Institute (ESPI) ระบุถึงความสำคัญของ ISLs ในระบบโครงข่ายยุคใหม่ โดยชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นของการมีกรอบนโยบายที่ชัดเจนในการกำกับดูแลการใช้ความถี่สำหรับ ISLs โดยเฉพาะในกลุ่มดาวที่มีผู้ให้บริการหลายรายและใช้แถบความถี่ร่วมกัน รายงานยังแนะนำให้มีการพัฒนาเครือข่ายการแบ่งปันข้อมูลและการแจ้งเตือนความผิดปกติในลักษณะ real-time ระหว่างผู้ให้บริการดาวเทียม

4. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

สำหรับประเทศไทย สำนักงาน กสทช. ควรพิจารณาแนวทางการส่งเสริมการเฝ้าตรวจ ISLs ดังนี้

- สนับสนุนงานวิจัยและพัฒนา payload สำหรับติดตั้งบนดาวเทียมไทยในอนาคตเพื่อการตรวจจับสัญญาณรบกวน
- พัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์คลื่นและการใช้ความถี่ในอวกาศโดยใช้ข้อมูลจากการแจ้งกับ ITU
- เข้าร่วมกลุ่มศึกษาของ ITU-R เพื่อเสนอความเห็นเกี่ยวกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ ISLs
- พิจารณาร่วมมือกับผู้ให้บริการระหว่างประเทศเพื่อแบ่งปันข้อมูลการใช้ความถี่ในระดับวงโคจร

3.2 ระเบียบหรือข้อเสนอแนะของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือไอทียู (International Telecommunication Union, ITU)

คลื่นความถี่วิทยุเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีจำกัด และมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้วิทยุสื่อสารทั่วโลกจะต้องใช้คลื่นความถี่วิทยุนี้ ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด เพื่อให้เครือข่ายวิทยุสื่อสารต่าง ๆ สามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากสัญญาณรบกวน ปัจจุบันความต้องการคลื่นความถี่วิทยุเพิ่มมากขึ้น จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องมีการตรวจสอบคลื่นความถี่และวงโคจรดาวเทียมอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล เนื่องจากการตรวจสอบดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญในการรับรองการอยู่ร่วมกันของเครือข่ายวิทยุสื่อสารต่าง ๆ โดยไม่ก่อให้เกิดการแทรกสอด (Interference) ซึ่งกันและกัน อันจะส่งผลให้การบริการและสถานีวิทยุสามารถอยู่ร่วมกันได้อย่างลงตัว และลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานบริการโทรคมนาคมเหล่านี้ ในขณะที่ให้ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ โดยการเข้าถึงบริการโทรคมนาคมที่ปราศจากสัญญาณรบกวนและเข้าถึงได้ ด้วยเหตุนี้สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union, ITU) จึงได้กำหนดหลักการที่สำคัญเกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมไว้ดังนี้

3.2.1 นิยามและวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม[1]

การตรวจสอบคลื่นความถี่ คือ การสังเกตและวัดสเปกตรัมความถี่วิทยุเพื่อตรวจสอบการปรา กฏตัว ตำแหน่ง และลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ข้อมูลนี้ใช้เพื่อประกันการใช้สเปกตรัมอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อระบุและแก้ไขปัญหาการแทรกสอด และเพื่อบังคับใช้กฎระเบียบสเปกตรัม โดยมีโครงสร้างการตรวจสอบสเปกตรัมที่แตกต่างกันไปตามขนาดและความซับซ้อนของประเทศหรือภูมิภาคที่กำลังตรวจสอบ อย่างไรก็ตาม ระบบส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบต่อไปนี้

1. สถานีตรวจสอบ สถานีเหล่านี้ติดตั้งเครื่องรับและสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) เพื่อตรวจจับและวัดการแผ่คลื่นวิทยุ สถานีตรวจสอบอาจเป็นแบบติดตั้งหรือเคลื่อนย้ายได้ และอาจตั้งอยู่บนพื้นดิน ในอากาศ หรือในอวกาศ
2. ศูนย์ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล โดยรับข้อมูลจากสถานีตรวจสอบและประมวลผลเพื่อระบุลักษณะของสัญญาณ
3. หน่วยงานจัดการสเปกตรัม หน่วยงานนี้รับผิดชอบในการดูแลระบบตรวจสอบสเปกตรัมและใช้ข้อมูลเพื่อจัดการสเปกตรัมในลักษณะที่มีประสิทธิภาพและยุติธรรม

การตรวจสอบคลื่นความถี่ มีขึ้นเพื่อช่วยเหลือในการแก้ปัญหาการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ว่าจะในระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค หรือระดับโลก เพื่อให้บริการวิทยุและสถานีต่าง ๆ สามารถอยู่ร่วมกันได้อย่างเข้ากันได้ อีกทั้งยังช่วยลดทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและดำเนินการบริการโทรคมนาคมเหล่านี้ลง ในขณะที่ให้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจแก่โครงสร้างพื้นฐานของประเทศ ผ่านการเข้าถึงบริการโทรคมนาคมที่ปราศจากการรบกวนและสามารถเข้าถึงได้

3.2.2 กฎระเบียบและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้กำหนดกฎและข้อบังคับทั่วไป เกี่ยวกับการจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศและการจัดการคลื่นความถี่วิทยุไว้ในข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (Radio Regulation) โดยคำนึงถึงข้อบังคับระหว่างประเทศเหล่านี้ ประเทศสมาชิกแต่ละประเทศจึงต้องสร้างกฎหมายและกฎข้อบังคับที่เกี่ยวข้องของตนเอง เพื่อรองรับโครงสร้างพื้นฐานและเป้าหมายด้านวิทยุสื่อสารของประเทศตน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดเตรียมกรอบที่จำเป็นสำหรับการบริหารและบังคับใช้กระบวนการจัดการคลื่นความถี่ ทั้งนี้ข้อบังคับของแต่ละประเทศควรมีกระบวนการอนุมัติอุปกรณ์ รวมถึงข้อกำหนดและมาตรฐานสำหรับคุณลักษณะของเครื่องส่งสัญญาณไว้อย่างชัดเจนด้วย

ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (Radio Regulation) มาตรา 16 กำหนดถึงการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศอันมีสาระสำคัญ คือ หน่วยงานต่าง ๆ ต้องตกลงที่จะพัฒนาเครื่องมือตรวจสอบคลื่นความถี่ในขอบเขตที่สามารถปฏิบัติได้ โดยให้ความร่วมมือในการพัฒนาระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศอย่างต่อเนื่อง โดยคำนึงถึงคำแนะนำ ไอทียู-อาร์ (ITU-R) ที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยเหลือในขอบเขตที่สามารถปฏิบัติได้ในการบังคับใช้ข้อบังคับเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อช่วยให้แน่ใจว่ามีการใช้คลื่นความถี่วิทยุอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด และเพื่อช่วยในการขจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นอันตรายอย่างรวดเร็ว (มาตรา 16.1)

ระบบตรวจสอบระหว่างประเทศควรประกอบด้วยสถานีตรวจสอบที่ได้รับการเสนอชื่อโดยหน่วยงานทางปกครอง โดยส่งรายละเอียดถึงเลขาธิการตามมติ ITU-R 23 (Resolution ITU-R 23) และคำแนะนำ

[1] International Telecommunication Union, Handbook: Spectrum monitoring, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-23-2011-PDF-E.pdf, p. 4.

ITU-R SM.1139 (Recommendation ITU-R SM.1139) ทั้งนี้สถานีเหล่านี้อาจดำเนินการโดยหน่วยงานทางปกครอง (administration) หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ได้รับอนุญาต (authorization granted by the appropriate administration) หรือโดยรัฐวิสาหกิจ (public enterprise) หรือเอกชน (private enterprise) หรือโดยหน่วยงานบริการตรวจสอบร่วม (common monitoring service) ที่จัดตั้งโดยสองประเทศขึ้นไป หรือโดยองค์กรระหว่างประเทศ (international organization) (มาตรา 16.2) (WRC-15)

หน่วยงานทางปกครอง หรือหน่วยงานบริการตรวจสอบร่วมที่จัดตั้งโดยสองประเทศขึ้นไป หรือองค์กรระหว่างประเทศที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศ จะต้องกำหนดสำนักงานกลาง (centralizing office) ที่มีหน้าที่รับการส่งคำขอข้อมูลการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุทั้งหมดไปยังสำนักงานดังกล่าว และส่งต่อข้อมูลการตรวจสอบไปยังสำนักงาน (Bureau) หรือสำนักงานรวมศูนย์ของหน่วยงานบริหารอื่น ๆ (centralizing offices of other administrations) ต่อไป (มาตรา 16.3)

อย่างไรก็ตามบทบัญญัติเหล่านี้ไม่ส่งผลต่อการจัดเตรียมการตรวจสอบติดตามส่วนตัว (private monitoring) ที่จัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ (special purposes) โดยหน่วยงานทางปกครอง องค์กรระหว่างประเทศ รัฐวิสาหกิจ หรือเอกชน (มาตรา 16.4)

หน่วยงานต่าง ๆ ต้องดำเนินการตรวจสอบตามที่หน่วยงานอื่น ๆ หรือสำนักงานร้องขอ (มาตรา 16.5)

ข้อกำหนดด้านการบริหารและขั้นตอนการใช้งานและการดำเนินงานของระบบการตรวจติดตามระหว่างประเทศควรเป็นไปตามคำแนะนำ ITU-R SM.1139 (Recommendation ITU-R SM.1139) (WRC-12) (มาตรา 16.6)

สำนักงานบันทึกผลลัพธ์ที่จัดทำโดยสถานีตรวจสอบที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศ และจัดทำสรุปข้อมูลการตรวจสอบที่มีประโยชน์เป็นระยะ ๆ เพื่อให้เลขาธิการเผยแพร่ รวมทั้งรายชื่อสถานีที่ส่งข้อมูลดังกล่าวด้วย (มาตรา 16.7)

เมื่อหน่วยงานกำกับดูแลแจ้งต่อสำนักงานว่ามีการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุไม่เป็นไปตามข้อบังคับจากการสังเกตการณ์ และติดตามจากสถานีตรวจวัดแห่งหนึ่งแห่งใดที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่น (emission) สำนักงานต้องแจ้งให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบถึงการสังเกตการณ์ดังกล่าว (มาตรา 16.8)

ทั้งนี้ สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศยังได้ออกมติ ITU R 23-4 ว่าด้วยเรื่องการขยายระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่ระหว่างประเทศไปสู่ระดับโลกไว้เพิ่มเติม (RESOLUTION ITU R 23-4 Extension of the International Monitoring System to a worldwide scale) อันมีมติขยายเพิ่มเติมจากมาตรา 16 ของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศอันเป็นสาระสำคัญดังนี้[2]

1. หน่วยงานบริหารทั้งหมดที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศในขณะนี้ รวมถึงการติดตามการแพร่กระจายคลื่นจากสถานีอวกาศ (monitoring of space station emission levels) ควรได้รับการกระตุ้นให้ดำเนินการต่อไปในระดับสูงสุดเท่าที่จะทำได้
2. หน่วยงานบริหารที่ไม่ได้เข้าร่วมในระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศในปัจจุบันควรได้รับการกระตุ้นให้จัดเตรียมสิ่งอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุให้กับระบบดังกล่าว ตามมาตรา 16 ของ RR โดยใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องซึ่งมีอยู่ใน ITU R Handbook on Spectrum Monitoring ฉบับแก้ไขล่าสุด

[2] ITU, RESOLUTION ITU R 23-4 Extension of the International Monitoring System to a worldwide scale, https://www.itu.int/pub/R-RES-R.23

3. ควรส่งเสริมและปรับปรุงความร่วมมือระหว่างสถานีตรวจสอบของหน่วยงานบริหารที่แตกต่างกัน เพื่อให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลการตรวจสอบได้ รวมถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการติดตามการแพร่กระจายคลื่นจากสถานีอวกาศ เพื่อแก้ไขสัญญาณรบกวนที่เป็นอันตรายซึ่งเกิดจากสถานีส่งสัญญาณที่ระบุได้ยากหรือไม่สามารถระบุได้
4. ควรเร่งรัดให้หน่วยงานบริหารที่ตั้งอยู่ในแต่ละพื้นที่ของโลก ซึ่งมีสิ่งอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบไม่เพียงพอ ได้รับการส่งเสริมการจัดตั้งสถานีตรวจสอบเพื่อใช้เอง และทำให้สามารถใช้สถานีตรวจสอบได้ในระดับนานาชาติ ตามมาตรา 16 ของ RR
5. ข้อมูลที่จัดทำโดยสถานีตรวจสอบที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศนั้น อาจนำไปใช้โดยสำนักงานเพื่อจัดทำและเผยแพร่สรุปข้อมูลการตรวจสอบที่มีประโยชน์ในการใช้บังคับตามมาตรา 16 ของ RR
6. หน่วยงานที่มีระบบตรวจสอบภาคพื้นดินและภาคอวกาศขั้นสูง ควรรับเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานอื่นมาฝึกอบรมเกี่ยวกับเทคนิคการตรวจสอบ การค้นหาทิศทาง และการระบุตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ การติดต่อเบื้องต้น การฝึกอบรมดังกล่าวสามารถทำได้ที่สำนักงานกลางที่เกี่ยวข้องตามรายชื่อสถานีตรวจสอบระหว่างประเทศ (List VIII) ที่เผยแพร่โดยสำนักงานเลขาธิการใหญ่ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ

ภายใต้ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (Radio Regulation) มาตรา 16 ที่กำหนดโดย ITU คณะผู้วิจัยฯ มีข้อเสนอแนะต่อมาตราดังกล่าว ดังนี้

ข้อเสนอแนะของ ITU ตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ	**ข้อเสนอแนะสำหรับ กสทช.**
1. หน่วยงานต่าง ๆ ต้องตกลงที่จะพัฒนาเครื่องมือตรวจสอบคลื่นความถี่ในขอบเขตที่สามารถปฏิบัติได้ โดยให้ความร่วมมือในการพัฒนาระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศอย่างต่อเนื่อง โดยคำนึงถึงคำแนะนำ ไอทียู-อาร์ (ITU-R) ที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยเหลือในขอบเขตที่สามารถปฏิบัติได้ในการบังคับใช้ข้อบังคับเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อช่วยให้แน่ใจว่ามีการใช้คลื่นความถี่วิทยุอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด และเพื่อช่วยในการขจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นอันตรายอย่างรวดเร็ว (มาตรา 16.1)	1. กสทช. ควรพัฒนาเครื่องมือในการตรวจสอบคลื่นความถี่โดยอ้างอิงมาตรฐานข้อเสนอแนะของ ITU เป็นสำคัญ และบูรณาการระบบตรวจสอบคลื่นความถี่กับประเทศเพื่อนบ้าน เพื่อให้สามารถตรวจสอบและติดตามได้อย่างทันท่วงที และสามารถแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวน หรือการใช้งานที่ผิดกฎหมายได้
2. ระบบตรวจสอบระหว่างประเทศควรประกอบด้วยสถานีตรวจสอบที่ได้รับการเสนอชื่อโดยหน่วยงานทางปกครองโดยส่งรายละเอียดถึงเลขาธิการตามมติ ITU-R 23 (Resolution ITU-R 23) และคำแนะนำ ITU-R SM.1139 (Recommendation ITU-R SM.1139) ทั้งนี้สถานีเหล่านี้อาจดำเนินการโดยหน่วยงานทางปกครอง (administration) หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ได้รับอนุญาต (authorization granted by the appropriate administration) หรือโดยรัฐวิสาหกิจ (public enterprise) หรือเอกชน (private enterprise) หรือโดยหน่วยงานบริการตรวจสอบร่วม (common monitoring service) ที่	2. ในกรณีที่ต้องมีการจัดตั้งระบบตรวจสอบระหว่างประเทศขึ้น ควรมีการจัดตั้งหน่วยงานบริการตรวจสอบร่วม (common monitoring service) ที่จัดตั้งโดยสองประเทศขึ้นไปขึ้น และจะต้องกำหนดสำนักงานกลางที่มีหน้าที่รับการส่งคำขอข้อมูลการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุทั้งหมด และส่งต่อข้อมูลการตรวจสอบไปยังสำนักงานรวมศูนย์ของหน่วยงานบริหารอื่น ๆ ต่อไป ทั้งนี้ ในส่วนของประเทศไทย กสทช. ควรมีหน้าที่ในการเสนอชื่อสถานีและระบบตรวจสอบระหว่างประเทศดังกล่าว โดยอ้างอิงมาตรฐานข้อเสนอแนะของ ITU เป็นสำคัญ

ข้อเสนอแนะของ ITU ตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ	ข้อเสนอแนะสำหรับ กสทช.
จัดตั้งโดยสองประเทศขึ้นไป หรือโดยองค์กรระหว่างประเทศ (international organization) (มาตรา 16.2) (WRC-15)	
3. หน่วยงานทางปกครอง หรือหน่วยงานบริการตรวจสอบร่วมที่จัดตั้งโดยสองประเทศขึ้นไป หรือองค์กรระหว่างประเทศที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศ จะต้องกำหนดสำนักงานกลาง (centralizing office) ที่มีหน้าที่รับการส่งคำขอข้อมูลการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุทั้งหมดไปยังสำนักงานดังกล่าว และส่งต่อข้อมูลการตรวจสอบไปยังสำนักงาน (Bureau) หรือสำนักงานรวมศูนย์ของหน่วยงานบริหารอื่น ๆ (centralizing offices of other administrations) ต่อไป (มาตรา 16.3)	
4. บทบัญญัติเหล่านี้ไม่ส่งผลต่อการจัดเตรียมการตรวจสอบติดตามส่วนตัว (private monitoring) ที่จัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ (special purposes) โดยหน่วยงานทางปกครอง องค์กรระหว่างประเทศ รัฐวิสาหกิจ หรือเอกชน (มาตรา 16.4)	4. ในกรณีที่มีเตรียมการตรวจสอบติดตามส่วนตัว (private monitoring) ที่จัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ (special purposes) โดยหน่วยงานทางปกครอง องค์กรระหว่างประเทศ รัฐวิสาหกิจ หรือเอกชน บทบัญญัติก่อนหน้านี้ไม่ส่งผลต่อการจัดเตรียมหรือดำเนินการดังกล่าว
5. หน่วยงานต่าง ๆ ต้องดำเนินการตรวจสอบตามที่หน่วยงานอื่น ๆ หรือสำนักงานร้องขอ (มาตรา 16.5)	5. กสทช. ต้องดำเนินการตรวจสอบตามที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องร้องขอ
6. ข้อกำหนดด้านการบริหารและขั้นตอนการใช้งานและการดำเนินงานของระบบการตรวจติดตามระหว่างประเทศควรเป็นไปตามคำแนะนำ ITU-R SM.1139 (Recommendation ITU-R SM.1139) (WRC-12) (มาตรา 16.6)	6. ในกรณีที่มีระบบการตรวจติดตามระหว่างประเทศเกิดขึ้น ข้อกำหนดด้านการบริหารและขั้นตอนการใช้งานและการดำเนินงานของระบบการตรวจติดตามระหว่างประเทศควรเป็นไปตามคำแนะนำของ ITU เป็นสำคัญ
7. สำนักงานบันทึกผลลัพธ์ที่จัดทำโดยสถานีตรวจสอบที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศ และจัดทำสรุปข้อมูลการตรวจสอบที่มีประโยชน์เป็นระยะ ๆ เพื่อให้เลขาธิการเผยแพร่ รวมทั้งรายชื่อสถานีที่ส่งข้อมูลดังกล่าวด้วย (มาตรา 16.7)	7. กสทช. ควรบันทึกผลลัพธ์ที่จัดทำโดยสถานีตรวจสอบที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศ และจัดทำสรุปข้อมูลการตรวจสอบที่มีประโยชน์เป็นระยะ ๆ เพื่อให้ ITU เผยแพร่ รวมทั้งรายชื่อสถานีที่ส่งข้อมูลดังกล่าวด้วย
8. เมื่อหน่วยงานกำกับดูแลแจ้งต่อสำนักงานว่ามีการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุไม่เป็นไปตามข้อบังคับจากการสังเกตการณ์ และติดตามจากสถานีตรวจวัดแห่งหนึ่งแห่งใดที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่น (emission) สำนักงานต้องแจ้งให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบถึงการสังเกตการณ์ดังกล่าว (มาตรา 16.8)	8. เมื่อ กสทช. แจ้งต่อ ITU ว่ามีการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุไม่เป็นไปตามข้อบังคับจากการสังเกตการณ์ และติดตามจากสถานีตรวจวัดแห่งหนึ่งแห่งใดที่เข้าร่วมในระบบตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่น (emission) กสทช. ต้องแจ้งให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบถึงการสังเกตการณ์ดังกล่าวด้วย

3.2.3 คำแนะนำ ITU-R SM.1392-3 (02/2021) ว่าด้วยเรื่องข้อกำหนดที่จำเป็นสำหรับระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุสำหรับประเทศกำลังพัฒนา[3]

1. งานทั่วไป (General tasks)[4]

บริการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุมีงานหลักสี่ประการ ซึ่งสามารถอนุมานได้จากข้อบังคับเกี่ยวกับวิทยุ (RR) ดังนี้

- การตรวจสอบการติดตามการแพร่กระจายคลื่น (monitoring of emissions for compliance) เพื่อให้เป็นไปตามบทบัญญัติของการกำหนดความถี่
- การวัดปริมาณช่วงเวลาที่ช่องสัญญาณถูกใช้งาน (channel occupancy measurements) และการตรวจสอบช่องความถี่ที่ใช้งาน (channel occupancy measurements)
- การสืบสวนกรณีของการรบกวนที่เป็นอันตราย
- การระบุและกำจัดการแพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุที่ผิดกฎหมาย

2. งานด้านการวัดผล (Measurement tasks)

มีตัวอย่างการวัดผลสำคัญที่ควรทำ คือ

- การวัดคลื่นความถี่ (frequency measurements)
- การวัดความเข้มและความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (field strength and power-flux density measurements)
- การวัดแบนด์วิดท์ (bandwidth measurements)
- การวัดคุณสมบัติของสัญญาณที่ถูกมอดูเลต (modulation measurements)
- การวัดปริมาณช่วงเวลาที่คลื่นความถี่วิทยุถูกใช้งาน (spectrum occupancy measurements)
- การวิเคราะห์สัญญาณและการระบุเครื่องส่งสัญญาณ (signal analysis and transmitter identification)
- การค้นหาทิศทางและการกำหนดตำแหน่ง (direction finding and location determination)

3. ขอบเขตของระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ

มีคำแนะนำที่สำคัญ เพื่อให้หน่วยงานที่มีหน้าที่ในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุสำหรับประเทศกำลังพัฒนา ได้ตั้งคำถามต่อหน่วยงานของตน ในกรณีที่มีงบประมาณจำกัดและมีข้อกำหนดบางประการ อันนำมาซึ่งการที่ต้องจำกัดขอบเขตของระบบและเครือข่ายการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ ดังนี้

- สิ่งที่คาดหวังจากบริการ การตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุโดยละเอียด
- ช่วงความถี่ใดที่ควรสนใจ
- บริการวิทยุใดบ้างและการใช้งานเฉพาะของบริการเหล่านี้ ด้านใดบ้างที่มีความจำเป็นที่ต้องตรวจสอบ

[3] ITU, Recommendation SM.1392-3 (02/2021), Essential requirements for a spectrum monitoring system for developing countries, https://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1392-3-202102-I/en

[4] ข้อมูลเพิ่มเติม Recommendation ITU-R SM.1050. Chapters 1 and 2 of the ITU Handbook on Spectrum Monitoring approved in 2010.

- ภูมิภาคใดของประเทศ ที่จำเป็นต้องให้บริการการตรวจสอบในขั้นตอนปัจจุบันของการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ และควรครอบคลุมการตรวจสอบในระดับใด
- สามารถจัดหาเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการที่เป็นมืออาชีพ และผ่านการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดีเพียงพอได้หรือไม่
- สามารถจัดหาโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการทดสอบ และการบำรุงรักษาอุปกรณ์รวมถึงสายอากาศได้หรือไม่
- จำเป็นต้องแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสถานีตรวจสอบและศูนย์ตรวจสอบหรือไม่ และหากจำเป็น โครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นพร้อมใช้งานหรือไม่
- มีสถานที่ที่เหมาะสม สำหรับสร้างสถานีตรวจสอบแบบถาวรหรือไม่

การตอบคำถามข้างต้น สามารถช่วยให้เกิดการวางแผนระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุได้ดีมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ คำแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับข้อกำหนด ในการเลือกสถานที่ตั้งของสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เนื่องจากอาจไม่สามารถหาสถานที่ที่เหมาะสมได้โดยง่าย ดังนั้นทางสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศจึงได้กำหนดรายละเอียดพื้นฐานที่สำคัญไว้ในคำแนะนำเพิ่มเติมใน Report ITU-R SM.2356

4. สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ

บริการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุต้องมีอย่างน้อยหนึ่งอาคารพร้อมสำนักงาน ห้องเก็บของ และอาคารสำหรับซ่อมบำรุง ยิ่งไปกว่านั้น สถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนย้ายได้อาจมีความจำเป็นสำหรับงานตรวจสอบภาคสนาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการระบุแหล่งรบกวนที่เป็นอันตรายและการระบุเครื่องส่งสัญญาณที่ไม่ได้รับอนุญาตได้

5. การจัดการองค์กร การฝึกอบรมพนักงาน และการมีส่วนร่วมในระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศ

ประเทศกำลังพัฒนา มักประสบปัญหางบประมาณที่จำกัดและการขาดพนักงาน ดังนั้น จึงมีข้อแนะนำในเรื่องการฝึกอบรมพนักงาน เนื่องจากเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบทั้งหมด รวมทั้งควรมีการซ่อมแซม ปรับแต่ง ทดสอบ และบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญควบคู่กันไปด้วย ซึ่งหน่วยงานของประเทศกำลังพัฒนาอาจพิจารณาการฝึกอบรมพนักงานของตน โดยสามารถติดต่อกับภาคส่วนการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU-D) เช่น ITU Academy ได้

3.3 การศึกษาอำนาจหน้าที่ โครงสร้างอุปกรณ์ และระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของต่างประเทศ

3.3.1 การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

3.3.1.1 หน่วยงานกำกับดูแล และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

1. อำนาจหน้าที่ของหน่วยงานกำกับดูแลของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

กฎหมายโทรคมนาคมของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีปี ค.ศ. 1996[5] (Telecommunications Act 1996) กำหนดให้หน่วยงาน Federal Ministry of Posts and Telecommunications ซึ่งต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Post and Railways (Federal Network Agency) (Bundesnetzagentur : BNetzA) ตามมาตรา 1 ของกฎหมาย Federal Network Agency[6] เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบและกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคม รวมถึงกิจการดาวเทียม โดยมีอำนาจกำหนดหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องดังปรากฏในบางมาตราของ Telecommunication Act 1996 ได้แก่ มาตรา 16 วรรคหนึ่ง มาตรา 48 วรรคหนึ่ง มาตรา 60 วรรคห้า เป็นต้น และมาตรา 2 ของกฎหมาย Federal Network Agency

BNetzA ก่อตั้งขึ้นในปี 1998 โดยเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนเปิดเสรีตลาดไปรษณีย์และโทรคมนาคม มีภารกิจในการรับรองการแข่งขันที่ยุติธรรมและไม่เลือกปฏิบัติสำหรับผู้เข้าร่วมตลาดทั้งหมด โดยหน่วยงานกำกับดูแลโทรคมนาคมและไปรษณีย์ ซึ่งรับช่วงต่อความรับผิดชอบจากกระทรวงไปรษณีย์และโทรคมนาคมของรัฐบาลกลางในอดีตและได้เปลี่ยนชื่อเป็น Bundesnetzagentur (BNetzA) เมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม 2005

เมื่อวันที่ 1 มกราคม 2006 ขอบเขตงานของ BNetzA ได้รับการขยายให้ครอบคลุมถึงการกำกับดูแลภาคส่วนรถไฟ

ในปี 2011 BNetzA รับหน้าที่เกี่ยวข้องกับแผนการพัฒนาเครือข่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูง และต่อมาในเดือนมิถุนายน 2013 BNetzA ได้รับมอบหมายงานเพิ่มเติมเกี่ยวกับการขยายโครงข่ายไฟฟ้า ตั้งแต่นั้นมาหน่วยงานดังกล่าวก็มีหน้าที่รับผิดชอบในการดำเนินการตามขั้นตอนการอนุมัติแผนสำหรับโครงการขยายโครงข่ายไฟฟ้าข้ามพรมแดนของรัฐบาลกลางหรือประเทศเพิ่มเติม

ปัจจุบัน ในฐานะหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบโครงสร้างพื้นฐาน BNetzA เป็นผู้กำหนดเงื่อนไขทั่วไปสำหรับการแข่งขันที่เป็นธรรมในภาคส่วนเหล่านี้ และบทบาทในฐานะหน่วยงานกำกับดูแลจึงจำต้องทำหน้าที่บางอย่างในการคุ้มครองผู้บริโภคในเรื่องเครือข่ายพลังงาน การสื่อสาร และการขนส่งสมัยใหม่อีกด้วย[7]

สำหรับในบริบทการตรวจสอบการรบกวนสัญญาณการสื่อสารผ่านดาวเทียมในเยอรมนีนั้น BNetzA มีหน้าที่หลักในการจัดการคลื่นความถี่วิทยุและดูแลการสื่อสารผ่านดาวเทียมภายในประเทศ รวมทั้งมีหน้าที่สอบสวนข้อร้องเรียนเกี่ยวกับการรบกวนกันของคลื่นความถี่วิทยุ ทั้งยังต้องรักษาการปฏิบัติตามสนธิสัญญาระหว่างประเทศ และประสานงานกับประเทศอื่น ๆ ในสหภาพยุโรปและทั่วโลกด้วย โดยในการประสานงานดังกล่าวได้ทำงานร่วมกับ European Conference of Postal and Telecommunications

[5] Telecommunications Act 1996

[6] Law on the Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Post and Railways

[7] https://www.bundesnetzagentur.de/EN/General/Bundesnetzagentur/AboutUs/start.html#:~:text=We%20are%20Germany's%20main%20authority,the%20people%20using%20these%20networks.

Administrations (CEPT) เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ให้บริการดาวเทียมของเยอรมนีใช้ความถี่ให้สอดคล้องกับประเทศเพื่อนบ้านเพื่อป้องกันการรบกวน

BNetzA ยังทำงานร่วมกับกระทรวงกลาโหมเยอรมนีในการดำเนินการสื่อสารผ่านดาวเทียมทางทหาร และมีระเบียบการที่เข้มงวดในการป้องกันและลดการรบกวน โดยเฉพาะสำหรับการสื่อสารที่ปลอดภัยด้วย

2. กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียม

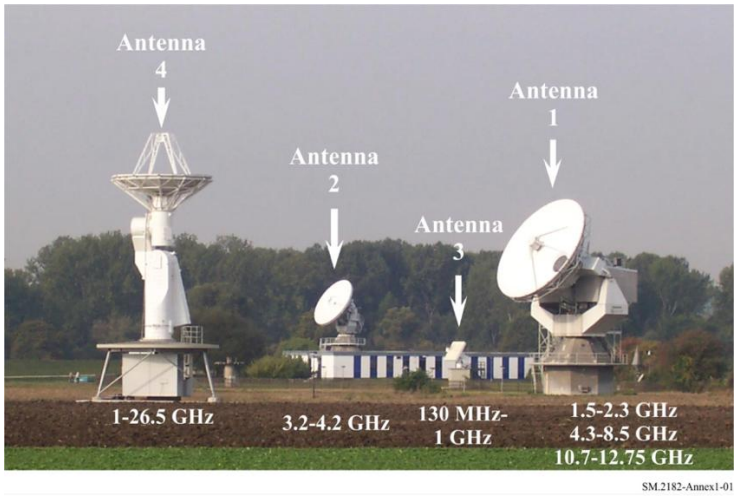
มาตรา 59 ของ Telecommunications Act 1996 กำหนดให้ Federal Network Agency มีหน้าที่คุ้มครองกิจการโทรคมนาคมของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีจากอันตราย อีกทั้งยังกำหนดให้มีหน้าที่กำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ และวงโคจรดาวเทียมอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนระหว่างกิจการสื่อสารดาวเทียมและกิจการสื่อสารภาคพื้นดิน

สำหรับกระบวนการทำงานที่สำคัญของ BNetzA ในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมนั้น BNetzA จะทำงานร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียม และสถานีภาคพื้นดิน โดยผู้ให้บริการดาวเทียมจะดำเนินการประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับการรบกวน รวมถึงความรุนแรง ย่านความถี่ที่ได้รับผลกระทบ และแหล่งที่มาที่เป็นไปได้ โดยจะบันทึกรายละเอียดของเหตุการณ์ (เวลา ความถี่ที่ได้รับผลกระทบ ผลกระทบทางภูมิศาสตร์) และรายงานการรบกวนไปยัง BNetzA ซึ่งเมื่อ BNetzA ได้รับรายงานการรบกวนและตรวจสอบรายละเอียดของเหตุการณ์เป็นที่ชัดเจนแล้ว BNetzA จะเริ่มการสอบสวนเพื่อหาต้นตอ ลักษณะ และสาเหตุของการรบกวน รวมทั้งติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิค ทั้งนี้ หากระบุได้ว่าเกิดการรบกวนเกิดขึ้นภายในเยอรมนี BNetzA จะออกการแจ้งเตือนหรือคำเตือนไปยังฝ่ายที่รับผิดชอบ และขอให้หยุดกิจกรรมที่รบกวนโดยทันที และหากการรบกวนมาจากต่างประเทศ BNetzA จะประสานงานกับ ITU หรือ CEPT เพื่อบรรเทาปัญหาในระดับนานาชาติต่อไป

3.3.1.2 โครงสร้างหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่ ของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

มีการดำเนินกิจการด้านการสื่อสารและโทรคมนาคมภายใต้องค์กร European Conference of Postal and Telecommunication ที่เป็นการรวมตัวกันของประเทศทั้งหมด 46 ประเทศในยุโรป ในการออกข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้งานคลื่นวิทยุและเครือข่ายด้านการสื่อสารและโทรคมนาคม โดยมีสำนักงาน European Communications Office (ECO) เป็นผู้ให้คำแนะนำและสนับสนุนข้อมูลในการกำหนดนโยบายและกระบวนการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้มีการทำบันทึกข้อตกลงเพื่อทำการจัดตั้งสถานีเฝ้าระวังกิจการดาวเทียมที่เมืองเลไฮม์ (Leeheim) ประเทศเยอรมนี ในปี 2003

ซึ่งสถานีดังกล่าวอยู่ภายใต้การดูแลของหน่วยงานกลาง Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Posts and Railways ในการบริการจัดการคลื่นความถี่ (Spectrum Management) และเฝ้าระวังคลื่นความถี่ (Spectrum Monitoring) โดยตั้งอยู่ใกล้แม่น้ำไรน์ (Rhine) ห่างจากกรุงแฟรงก์เฟิร์ตไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ประมาณ 35 กิโลเมตร และมีการติดตั้งจานรับสัญญาณขนาด 12 เมตร สำหรับใช้ในการตรวจจับและเฝ้าระวังความถี่ คลื่นสัญญาณรบกวน (Interference) ในช่องทางดาวเทียมสื่อสาร ซึ่งมีการดำเนินการในการตรวจสอบคลื่นความถี่ของดาวเทียม ช่องสัญญาณ และตำแหน่งของดาวเทียม รวมถึงการแก้ไขปัญหาและรับมือกับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น จาก 2 ทาง ได้แก่ สัญญาณรบกวนจากดาวเทียม และสัญญาณรบกวนจากดาวเทียมข้างเคียง ความต่างของเวลาและความถี่ของสัญญาณที่ได้รับที่สถานี เมื่อนำมาประมวลผลร่วมกับพิกัดเชิงพื้นที่ของผู้ส่ง จะทำให้ทราบถึงพิกัดที่มีการส่งคลื่นสัญญาณความถี่รบกวน และทำการจัดการความถี่นั้นโดยเร็ว



รูปที่ 26 แสดงจานรับสัญญาณที่สถานีเฝ้าระวังดาวเทียมที่เมืองเลไฮม์ ประเทศเยอรมนี

1. **Antenna 1** จานรับสัญญาณขนาด 12 เมตร (Cassegrain-beam-waveguide antenna) เป็นจานรับสัญญาณขนาดใหญ่สำหรับงานบรอดแบรนด์ (Broadband) ที่สามารถรับสัญญาณครอบคลุมช่วงความถี่ 1.0-13 GHz โดยแบ่งเป็น 1.5-1.8 GHz, 2.1-2.3 GHz และ 10.7-12.75 GHz ที่ถูกใช้ในการติดตาม/ตรวจจับ Monopulse (Monopulse tracking) สำหรับ high precision antenna pointing
2. **Antenna 2** จานรับสัญญาณขนาด 8 เมตร (Cassegrain antenna with a narrow-band feed) ครอบคลุมช่วงสัญญาณความถี่ 3.2-4.2 GHz สำหรับรับสัญญาณเฉพาะกิจ
3. **Antenna 3** จานรับสัญญาณรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 2.4 m × 2.4 m ครอบคลุมช่วงสัญญาณความถี่ 130-1 000 MHz
4. **Antenna 4** จานรับสัญญาณขนาด 7 เมตร (prime-focus antenna) เป็นจานรับสัญญาณแบบ Multi – band ครอบคลุมช่วงสัญญาณความถี่ 1-26.5 GHz ซึ่งในช่วงดังกล่าวครอบคลุม 8 ช่วงย่อย (Sub bands) ที่ซ้อนทับกันในแต่ละช่วง
5. **Antenna 5** จานรับสัญญาณขนาด 3 เมตร (prime-focus antenna) ครอบคลุมช่วงสัญญาณความถี่ 1-26.5 GHz สำหรับใช้ใน Ka – band ที่ช่วงสัญญาณ 17.7-21.2 GHz.
6. **Omnidirectional Antenna** ใช้ในการรับสัญญาณจากบนฟ้า บนช่องสัญญาณความถี่ที่กำหนด เช่น Multi – satellite system โดยครอบคลุมช่องสัญญาณความถี่ 100-2 500 MHz.
7. **Computer – controlled antenna tracking** ใช้ในการควบคุมจานรับสัญญาณหมายเลข 1,3 และ 4 สำหรับเฝ้าระวังดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า และดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า โดยมีชื่อเรียกว่า “two line elements” (TLE)

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของระบบเฝ้าระวังดาวเทียมที่เมืองเลไฮม์ ประเทศเยอรมนี

No.	Topics	System Characteristics
1	Location:	49°51'13" N 08°23'50" E
2	Visible geostationary arc:	67° W to 83° E
	Reference transmitter for the transmitter location system (calibrator for the correction for the satellite orbital elements)	C-Band: 5 850-6 850 MHz, Ku-Band: 12 750-14 500 MHz, Ka-Band: 17 300-18 400 MHz.
3	Frequency range	130 MHz to 26.5 GHz (TLS operation is limited to frequencies available at the Antennas 1, 2 and 5. They cover all the bands of the fixed-satellite service (space-to-Earth) up to 21.2 GHz. In detail the frequency bands are: 1.5-1.8/2.1-2.3/3.2-4.2/4.3-8.5/10.7-12.75/17.7-21.2 GHz.)
4	Frequency spectrum recorder	The frequency spectrum recorder can be connected to any antenna of the station. Six frequency bands of widths of up to 100 MHz each can be chosen freely. The spectra of these bands can be scanned quasi-simultaneously in a time-sharing mode and displayed in spectrograms.
5	Device for measurements below the noise floor	To measure emissions of low power flux-densities a monitoring method is available where the noise floor can be suppressed by typically 12 to 15 dB. This is achieved by multiple measurements of successive spectra, signal digitizing and processing. This device allows displaying spectra below the noise floor up to 100 MHz wide according to Recommendation ITU-R SM.1681.
6	Measurement parameters	– frequency; – Doppler frequency shift; – spectrum and bandwidth; – class of emission and type of modulation; – polarization; – power flux-density in the reference bandwidth; – total power flux-density; – e.i.r.p. In case of TV emissions: – sound subcarrier frequencies; – coding; – programme sources, etc.
7	measure and record orbital tracks	frequency range 1.5-1.8 GHz; 2.1-2.3 GHz 10.75-12.75 GHz with monopulse tracking.

3.3.2 การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของสาธารณรัฐประชาชนจีน

3.3.2.1 หน่วยงานกำกับดูแลและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมของสาธารณรัฐประชาชนจีน

จีนเริ่มก่อสร้างสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุขนาดใหญ่ในช่วงทศวรรษ 1990 ตลอดระยะเวลา 20 ปี ของการพัฒนาระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุแห่งชาติได้ถูกสร้างขึ้น ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการดำเนินการตรวจสอบคลื่นวิทยุตามปกติหรือกรณีพิเศษทั้งหมด (โดยพื้นฐานแล้วตอบสนองความต้องการในการตรวจสอบในช่วงความถี่ 20 MHz–3000 MHz)[8] ระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ในปัจจุบันเป็นไปตามแนวทางของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ในเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2013 ประธานาธิบดีโอบามาได้สั่งให้สำนักงานโทรคมนาคมและสารสนเทศแห่งชาติหรือเอ็นทีไอเอ (National Telecommunications and Information Administration, NTIA) ออกแบบและดำเนินโครงการนำร่องเพื่อตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่แบบเรียลไทม์ในชุมชนที่เลือกไว้ทั่วสหรัฐอเมริกา และได้มีการจัดทำบันทึกข้อตกลงของผู้บริหารเกี่ยวกับการขยายความเป็นผู้นำของอเมริกาในด้านนวัตกรรมไร้สาย (Executive Memorandum on Expanding America's Leadership in Wireless Innovation) ขึ้น หลังจากนั้น NTIA ได้ลงทุนโครงการนำร่องการตรวจสอบคลื่นความถี่[9] ในประเทศจีนขึ้น กลุ่มผู้นำกลางด้านความปลอดภัยและสารสนเทศทางอินเทอร์เน็ต (Central Leading Group for Internet Security and Informatization) ได้ถูกก่อตั้งขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2014 โดยมีประธานาธิบดีสีจิ้นผิงเป็นประธาน โดยความคิดริเริ่มดังกล่าวนี้ช่วยยกระดับความมั่นคงปลอดภัยของไซเบอร์ให้กลายเป็นกลยุทธ์ระดับชาติในจีน เพื่อให้บริการและบูรณาการเข้ากับกลยุทธ์ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ระดับชาติได้ดีขึ้น ส่งผลให้สำนักงานควบคุมวิทยุของกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Cyberspace Security Strategy, the Bureau of Radio Regulation of the Ministry of Industry and Information Technology) ได้ดำเนินโครงการวิจัยในเดือนมีนาคม 2015 เพื่อประเมินสถานะของการสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุที่ติดตั้งในพื้นที่ชายแดนของจีน[10]

กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศหรือเอ็มไอไอที (Ministry of Industry and Information Technology : MIIT) ของสาธารณรัฐประชาชนจีนก่อตั้งขึ้นในปี 2008 กระทรวงนี้แยกตัวออกมาจากกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและอุตสาหกรรมเพื่อขยายขอบเขตการทำงานและขอบเขตความรับผิดชอบให้กว้างขึ้น เอ็มไอไอที ขึ้นตรงต่อคณะรัฐมนตรีแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน และรับผิดชอบหลักเรื่องการบริหารบริษัทอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศของจีน อีกทั้ง เอ็มไอไอทียังเป็นหน่วยงานกำกับดูแลโทรคมนาคมในประเทศจีนอีกด้วย

หน่วยงานกำกับดูแลกิจการวิทยุคมนาคมถูกจัดตั้งขึ้นในกลไกการกำกับดูแล 2 ระดับ ได้แก่ กระทรวงอุตสาหกรรมสารสนเทศ และหน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมต่าง ๆ เช่น ในระดับจังหวัด ระดับปกครองตนเอง และระดับเทศบาล ดังนี้

---

[8] Bureau of Radio Regulation of the Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China (2016). The state radio management plan (2016–2020) of China.

[9] Expanding America's Leadership in Wireless Innovation (2013). Executive memorandum, Federal Register, 78, 119. Retrieved from: https:// www.ntia.doc.gov/federal-register-notice/2013/spectrum-monitoring-pilot-program

[10] Yang, J. J., Huang, M., & Lu, Q. N. (2015). State-of-the-art and Investment Demand of Radio Spectrum Management Technical Facilities in Borderlands of China. Kunming, China: Yunnan University Press.

1. หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของรัฐ: กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศมีหน้าที่กำกับดูแลวิทยุคมนาคมของรัฐ และมีฝ่ายกำกับดูแลวิทยุคมนาคมเป็นหน่วยงานบริหารเฉพาะ
2. หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับจังหวัด: หน่วยงานเหล่านี้บังคับใช้นโยบายกำกับดูแล
3. วิทยุคมนาคมของรัฐ และดำเนินการกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของเขตปกครองท้องถิ่นตามการอนุมัติของรัฐ
4. หน่วยงานระดับจังหวัด: หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับจังหวัดต่าง ๆ สามารถจัดตั้งหน่วยงานของตนในระดับจังหวัด ระดับเทศบาล หรือระดับเทศมณฑล เพื่อดำเนินงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของเขตปกครองที่เกี่ยวข้อง
5. หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของกองทัพ: คณะกรรมการกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของกองทัพมีหน้าที่รับผิดชอบงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมภายในระบบทหาร และสำนักงานคณะกรรมการกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของกองทัพเป็นหน่วยงานบริหารเฉพาะ
6. การประชุมร่วมกันที่จัดขึ้นโดยกรมกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของเอ็มไอไอทีและคณะกรรมการกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของกองทัพ: มีหน้าที่รับผิดชอบในการประสานงานเรื่องกฎระเบียบวิทยุคมนาคมที่จำเป็นต้องตัดสินใจผ่านการปรึกษาหารือระหว่างกองทัพและหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่น
7. อธิบดีกรมกระจายเสียง กรมภาพยนตร์และโทรทัศน์ กระทรวงรถไฟ และกระทรวงความมั่นคงสาธารณะ ฯลฯ: สามารถมอบหมายงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมและการนำนโยบายกำกับดูแลวิทยุคมนาคมไปปฏิบัติ ให้หน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบของตนเองตามเงื่อนไขการดำเนินงานบริการวิทยุคมนาคมของตน และเมื่อได้รับอนุญาตจากสถาบันกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของรัฐฯ

1) อำนาจหน้าที่ของหน่วยงานกำกับดูแลของสาธารณรัฐประชาชนจีน

จีน มีหน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุอยู่ 2 หน่วยงาน คือ

1. กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศหรือเอ็มไอไอที ความรับผิดชอบหลักของเอ็มไอไอทีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมโทรคมนาคม ได้แก่[11]
    - การกำหนดแผน นโยบาย กฎหมาย ระเบียบ และเกณฑ์ทางเทคนิคสำหรับอุตสาหกรรมสารสนเทศและกิจการโทรคมนาคม
    - การจัดการข้อมูลสาธารณะและเครือข่ายโทรคมนาคม รวมทั้งอินเทอร์เน็ต
    - การกำกับดูแลตลาดโทรคมนาคมและบริการในกิจการโทรคมนาคม
    - การประสานงานกับหน่วยงานรัฐบาลอื่น ๆ เพื่อกำหนดนโยบายและมาตรฐานสำหรับค่าบริการโทรคมนาคม
    - การจัดสรรและจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุ
    - การกำกับดูแลความปลอดภัยของเครือข่ายกิจการโทรคมนาคม

[11] https://www.dlapiperintelligence.com/telecoms/index.html?t=regulatory-bodies&c=CN#:~:text=The%20Ministry%20of%20Industry%20and,telecoms%20regulatory%20body%20in%20China.

2. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุของจีน คือ ศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติ (China Radio Monitoring Center) เป็นหน่วยงานสนับสนุนด้านเทคนิคของสถาบันกำกับดูแลวิทยุคมนาคมแห่งชาติ มีหน้าที่หลัก คือ
    - รับผิดชอบในการก่อสร้าง การดำเนินงาน การบำรุงรักษา และการจัดการโครงสร้างพื้นฐานในการติดตามตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ
    - รับผิดชอบในการดำเนินงานตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุและค้นหาแหล่งรบกวนสัญญาณวิทยุ สถานีวิทยุที่ผิดกฎหมาย และดำเนินการระงับใช้สถานีที่ไม่ได้รับอนุญาต
    - รับผิดชอบในการก่อสร้าง การดำเนินงาน การบำรุงรักษา และการจัดการโครงสร้างพื้นฐานของระบบสารสนเทศการจัดการวิทยุคมนาคมแห่งชาติ
    - รับผิดชอบในการก่อสร้าง การดำเนินงาน การบำรุงรักษา และการจัดการศูนย์ทดสอบอุปกรณ์วิทยุแห่งชาติและการทดสอบการรับรองอุปกรณ์ส่งสัญญาณวิทยุ
    - ศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติมีกลไกการกำกับดูแล 2 ระดับ คือ
        1) สถานีตรวจสอบวิทยุคมนาคมประจำจังหวัด: เป็นหน่วยงานสนับสนุนด้านเทคนิคของหน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมประจำจังหวัด และรับผิดชอบในการติดตามคลื่นความถี่วิทยุและควบคุมคุณภาพการทดสอบอุปกรณ์วิทยุ และการจัดการระบบสารสนเทศประจำจังหวัด
        2) สถานีตรวจสอบเมือง: เป็นหน่วยงานสนับสนุนด้านเทคนิคของหน่วยงานในพื้นที่และรับผิดชอบในการติดตามคลื่นความถี่วิทยุในพื้นที่

2) กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียม

กฎหมายที่ควบคุมภาคส่วนการสื่อสารประกอบด้วยสองส่วนหลักที่สำคัญ ส่วนแรก คือ บทบัญญัติเกี่ยวกับข้อมูลและการสื่อสารที่มีอยู่ในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เช่น รัฐธรรมนูญสาธารณรัฐประชาชนจีน กฎหมายอาญาและกฎหมายคุ้มครองความลับของรัฐ กฎหมายความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ กฎหมายความปลอดภัยข้อมูลของจีน ส่วนที่สอง คือ กฎหมายเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการสื่อสารโดยตรงอันเป็นกฎระเบียบหลักสำหรับบริการโทรคมนาคม เช่น กฎระเบียบสำหรับการจัดการโทรคมนาคม นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดในประเภทอุตสาหกรรมเฉพาะ เช่น ยานยนต์ การแพทย์ รวมถึงมาตรฐานระดับชาติจำนวนมาก

สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุได้แก่กฎหมายที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ข้อกำหนดการกำกับดูแลกิจการวิทยุคมนาคม สาธารณรัฐประชาชนจีน (Radio Regulatory Provision, People's Republic of China)[12]

ข้อกำหนดนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการเสริมสร้างการกำกับดูแลวิทยุคมนาคม เพื่อรักษาการส่งคลื่นความถี่วิทยุให้ปกติ พัฒนาและใช้งานทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุอย่างมีประสิทธิผล และรับประกันการให้บริการวิทยุคมนาคมทั้งหมดในประเทศได้อย่างปกติ (มาตรา 1) ข้อกำหนดนี้ใช้บังคับกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ การติดตั้งและการใช้งานสถานีวิทยุ การพัฒนา การผลิต การนำเข้า การขาย และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ส่งสัญญาณวิทยุ ตลอดจนการใช้อุปกรณ์ที่ไม่ใช่วิทยุซึ่งสามารถแผ่คลื่นความถี่วิทยุได้ภายในสาธารณรัฐประชาชนจีนอีกด้วย (มาตรา 2) และกำหนดให้คลื่นความถี่เป็นของรัฐ (มาตรา 3) โดยมี

[12] ข้อกำหนดการกำกับดูแลกิจการวิทยุคมนาคม สาธารณรัฐประชาชนจีน สืบค้นได้จาก https://lawinfochina.com/display.aspx?id=23032&lib=law&EncodingName=big5

State Council และ Central Military Commission มีหน้าที่บริหารจัดการคลื่นความถี่ (มาตรา 4) ทั้งนี้ ห้ามมีการใช้งานคลื่นความถี่ก่อนได้รับอนุญาต หรือห้ามก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อกิจการวิทยุคมนาคมอื่น (มาตรา 6)

ข้อกำหนดนี้กำหนดให้มีหน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของรัฐมีหน้าที่รับผิดชอบในการกำกับดูแลคลื่นความถี่วิทยุทั่วประเทศ โดยให้มีร่างแนวปฏิบัติและนโยบายการกำกับดูแลคลื่นความถี่วิทยุ บริหารคลื่นความถี่วิทยุและสถานีวิทยุอย่างเป็นเอกภาพ มีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การสืบสวนและการจัดการสัญญาณรบกวน กำกับดูแลคลื่นความถี่วิทยุที่เกี่ยวข้องกับต่างประเทศ และประสานงานการจัดการเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลคลื่นความถี่วิทยุ (มาตรา 8)

ทั้งนี้ หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของจังหวัด เขตปกครองตนเอง หรือเทศบาลที่ขึ้นตรงต่อรัฐบาลกลาง ภายใต้การนำของหน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของรัฐ ของจังหวัด เขตปกครองตนเอง หรือเทศบาลที่ขึ้นตรงต่อรัฐบาลกลาง มีหน้าที่รับผิดชอบในการกำกับดูแลวิทยุคมนาคมในสาขาอื่น ๆ นอกเหนือจากระบบการทหารของเขตบริหารของตน และตามที่หน่วยงานอนุมัติกำหนด ต้องออกใบอนุญาตการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ตรวจสอบผังการก่อสร้างและสถานที่ของสถานีวิทยุคมนาคม ออกใบอนุญาตสถานีวิทยุคมนาคมและรหัสที่เกี่ยวข้อง และมีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุการสอบสวนและการจัดการเรื่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลวิทยุคมนาคมภายในเขตบริหารของตน และประสานงานการจัดการเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลวิทยุคมนาคมภายในเขตบริหารของตน (มาตรา 10)

2. ข้อกำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุ สาธารณรัฐประชาชนจีน (Provisions for Radio Frequency Allocation, People's Republic of China)[13]

ข้อกำหนดนี้ มีขึ้นเพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุให้เต็มที่ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ รับประกันการทำงานตามปกติของบริการวิทยุคมนาคม และป้องกันการรบกวนระหว่างระบบต่าง ๆ ของบริการวิทยุคมนาคม สถานีวิทยุ และป้องกันการรบกวนระหว่างระบบต่าง ๆ ตามข้อบังคับวิทยุของสาธารณรัฐประชาชนจีน ข้อบังคับวิทยุคมนาคมของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ และสถานการณ์การพัฒนาบริการวิทยุคมนาคมของสาธารณรัฐประชาชนจีน

โดยมีการกำหนดให้ลักษณะดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเป็นการใช้คลื่นความถี่วิทยุโดยผิดกฎหมายเพื่อรบกวนการสื่อสารวิทยุตามข้อกำหนดดังกล่าว คือ (มาตรา 39)

- ใช้อุปกรณ์ของระบบวิทยุสื่อสารตามกฎหมายเพื่อรับเสียงหรือภาพที่รับรู้ได้ของคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้โดยผิดกฎหมาย
- ใช้อุปกรณ์วัด (measuring equipment) เพื่อวัดการระบุได้ของคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้โดยผิดกฎหมาย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ ในระบบวิทยุสื่อสารตามกฎหมายในจุดที่แตกต่างกันมากกว่าห้าจุด ภายในรัศมีการส่งสัญญาณของเสาอากาศของสถานีวิทยุความแรงของสนามไฟฟ้า ระหว่างคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้โดยผิดกฎหมายและสถานีตามกฎหมายเกินมาตรฐานใด ๆ ต่อไปนี้ 1.34 dBμV/m (เดซิเบลไมโครโวลต์ต่อเมตร) สำหรับช่องสัญญาณร่วม 2.48 dBμV/m สำหรับช่องสัญญาณที่อยู่ติดกันช่องแรก 3.64 dBμV/m สำหรับช่องสัญญาณที่อยู่ติดกันช่องที่สอง และ 4.74 dBμV/m สำหรับช่องสัญญาณที่อยู่ติดกันช่องที่สาม

[13] ข้อกำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุ สาธารณรัฐประชาชนจีน สืบค้นได้จาก https://www.global-regulation.com/translation/china/159334/peoples-republic-of-china-radio-frequency-allocation-provisions.html

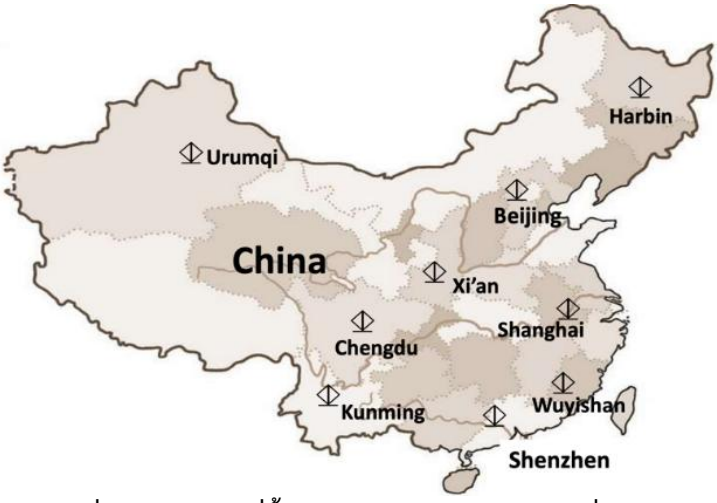
- ความแรงของสนามไฟฟ้าของความถี่วิทยุที่ใช้โดยผิดกฎหมาย ซึ่งได้รับการวัดโดยใช้อุปกรณ์ของสถานีตรวจสอบคงที่ ของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งชาติ ซึ่งความแรงของสนามไฟฟ้าของความถี่ระหว่าง 9 kHz และ 174 MHz เกิน 80 dBμV/m หรือความแรงของสนามไฟฟ้าของความถี่ระหว่าง 174 MHz และ 3 GHz เกิน 94 dBμV/m

สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ (Radio monitoring station) จะตรวจสอบสภาพแวดล้อมแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic environments) แบบเรียลไทม์ และพารามิเตอร์วิทยุ (radio parameters) เช่น ความถี่ที่ใช้โดยสถานีวิทยุทุกประเภท แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณและความคลาดเคลื่อนของความถี่ที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล การตรวจสอบสามารถค้นหาสถานีวิทยุที่มีพารามิเตอร์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดได้อย่างทันท่วงที จึงสามารถกำจัดแหล่งรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังทำหน้าที่ตรวจสอบอุปกรณ์เป็นประจำทุกปี เพื่อตรวจสอบอายุของส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่าง ๆ และความเสียหายอันจำเป็นเพื่อป้องกันการรบกวนกันของคลื่นความถี่วิทยุ ทั้งนี้ เมื่อมีการตรวจพบความผิดปกติต่าง ๆ สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุจะตรวจสอบคลื่นวิทยุเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน โดยแบ่งระดับการแก้ปัญหาดังนี้

- หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับจังหวัด เป็นผู้แก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนคลื่นสั้นพิเศษ
- หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับรัฐ ดำเนินการจัดระเบียบเครือข่ายตรวจสอบเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนคลื่นสั้นและแก้ไขปัญหานี้
- หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับรัฐ ดำเนินการจัดการกับสัญญาณรบกวนจากดาวเทียม

3.2.2.2 โครงสร้างหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่ ของสาธารณรัฐประชาชนจีน

กิจการด้านคลื่นวิทยุของประเทศจีน อยู่ภายใต้การบริหารจัดการของหลายหน่วยงาน รวมเรียกว่า The State Radio Regulation of China (SRRC) ซึ่งเป็นหน่วยงานสำคัญในการกำหนดกฎระเบียบด้านการรับ-ส่งคลื่นวิทยุในประเทศจีน รวมถึงการบริหารจัดการช่องสัญญาณ และคลื่นความถี่ การจัดสรรความถี่สำหรับบริการต่าง ๆ โดยมีการดำเนินงานเกี่ยวเนื่องกับหน่วยงานภายใต้กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Ministry of Industry and Information Technology) ศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าระวังคลื่นวิทยุ (The State Radio Monitoring Center, SRMC) และศูนย์บริหารจัดการคลื่นความถี่ (The State Radio Spectrum Management Center, SRSMC) เป็น 2 ศูนย์ที่ทำหน้าที่สนับสนุนข้อมูลทางด้านเทคนิคให้แก่ SRRC โดยมีจำนวน 9 ศูนย์ สำหรับ SRMC ในการบริหารจัดการตรวจสอบและเฝ้าระวัง



รูปที่ 27 แสดงแผนที่ตั้งศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าระวังคลื่นวิทยุ
(The State Radio Monitoring Center (SRMC)) *ในประเทศจีน*

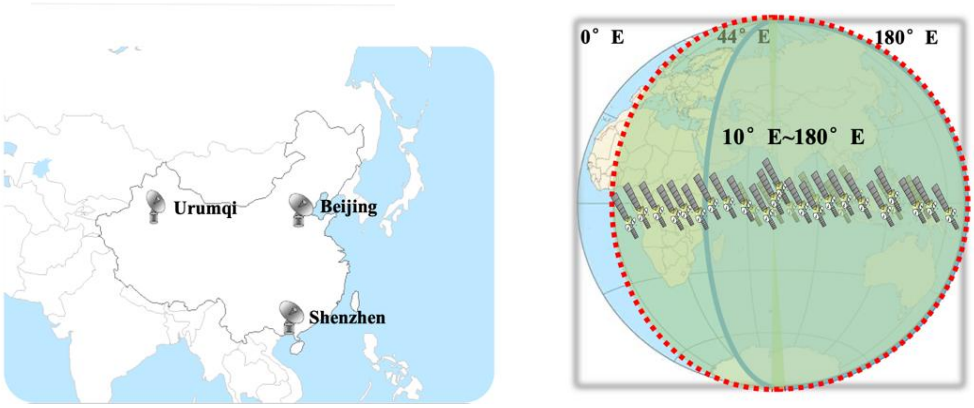
ซึ่งศูนย์เฝ้าระวังทั้ง 9 ศูนย์ ดังกล่าวสามารถแบ่งประเภทการเฝ้าระวังตามการดำเนินกิจการได้ทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ กิจการด้านอวกาศ (Space Monitoring) กิจการด้านคลื่นวิทยุ HF และกิจการด้านคลื่นวิทยุ VHF/UHF

รูปที่ 28 ศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าระวังคลื่นวิทยุ State Radio Monitoring Center (SRMC) *ประเทศจีน*

จะพบว่าศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าระวังคลื่นวิทยุ ที่ประเทศจีน จะมีเพียง 3 ศูนย์เท่านั้น ที่สามารถเฝ้าระวังทางกิจการดาวเทียม ได้แก่ ศูนย์เฝ้าระวังปักกิ่ง (Beijing) ศูนย์เฝ้าระวังเสินเจิ้น (Shenzhen) และศูนย์เฝ้าระวังอุรุมชี (Urumqi) ซึ่งจะทำการเฝ้าระวังดาวเทียมในรูปแบบวงโคจรไม่ค้างฟ้า และ GSO satellites ที่ visible arc of 50° East longitude to 180° East longitude โดยศูนย์เฝ้าระวังที่ปักกิ่งจะเป็นศูนย์เฝ้าระวังหลัก ที่มีความสำคัญในการบริหารจัดการความถี่ระดับประเทศ และสร้างความมั่นใจในประสิทธิภาพการใช้งานคลื่นความถี่ และการปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีเจ้าหน้าที่เฝ้าระวังจำนวน 25 คน (ข้อมูล ณ ปี ค.ศ. 2018) และมีอุปกรณ์อำนวยความสะดวก

ตารางที่ 4 จำนวนสถานีและอุปกรณ์สำหรับศูนย์เฝ้าระวังในประเทศจีน

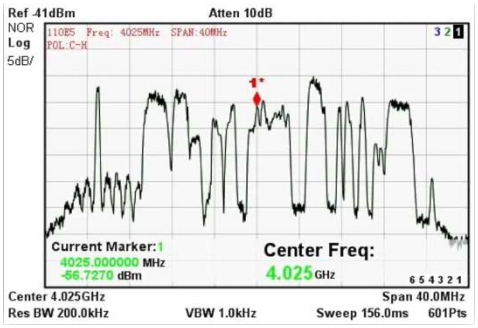
Facilities	Amount
Fixed Stations	3
Reference Transmitters	9
Mobile Stations	2
Geo location Systems	4
Portable equipment	9



(ซ้าย) (ขวา)

รูปที่ 29 (ซ้าย) สถานีตรวจสอบและเฝ้าระวังคลื่นวิทยุ (Fixed Station)

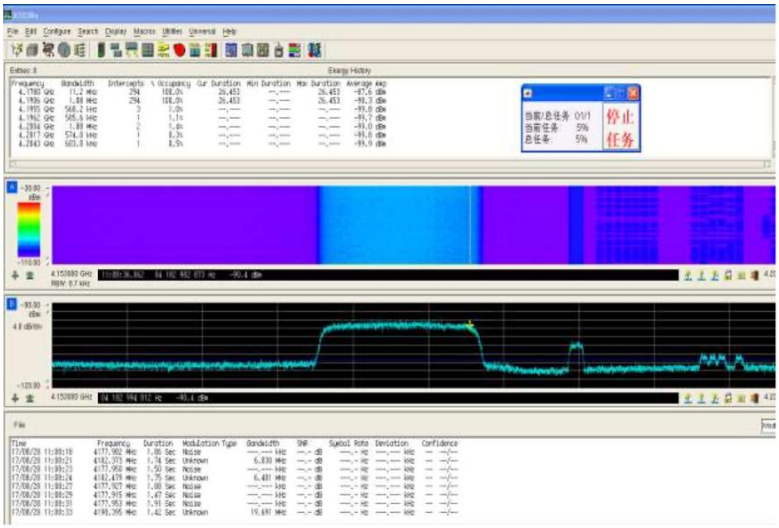
(ขวา) แสดงวงโคจรที่ครอบคลุมในการเฝ้าระวัง



Monitoring Band

GSO: L/S/X/C/Ku/Ka band

NGSO: L/S/X band



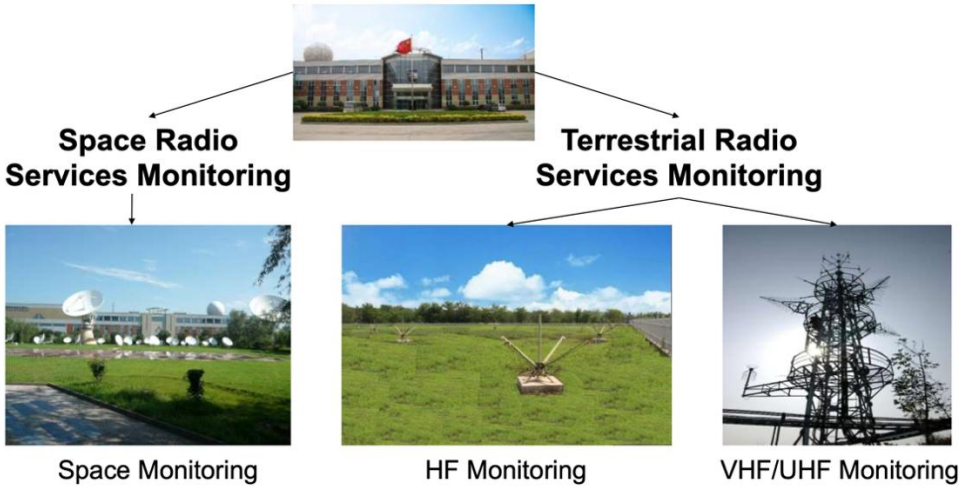
รูปที่ 30 Spectrum parameter and Occupancy Measurement

- Monitoring band:
  - GSO satellites in C/Ku band
  - Dual satellites geo-location & Triple satellites geo-location mode
  - Location accuracy: ≤10km

รูปที่ 31 Geo-location

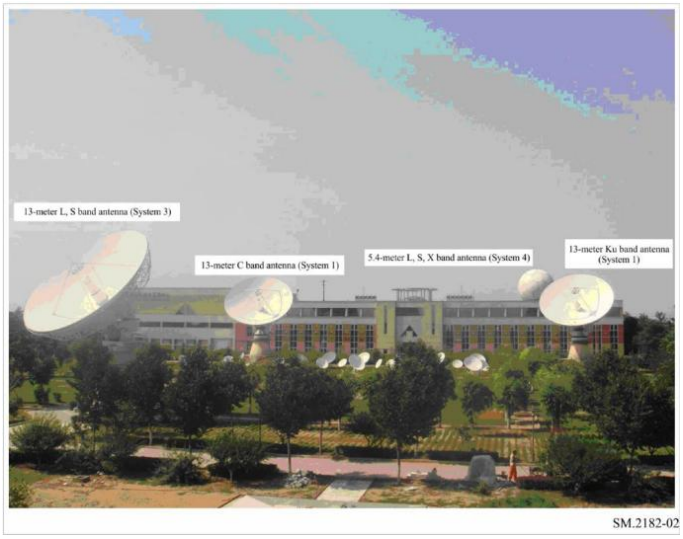
ศูนย์เฝ้าระวังที่ปักกิ่ง (Beijing) หรือ Beijing Monitoring Station ตั้งอยู่ที่ทางตอนใต้ของปักกิ่ง โดยเป็นสถานีที่ได้เข้าร่วมกับองค์กรเฝ้าระวังระหว่างประเทศ หรือ International Monitoring System ตั้งแต่ปี 2004 อีกทั้งยังเป็นสถานีเฝ้าระวังที่ใหญ่ที่สุดในทวีปเอเชีย และเป็นศูนย์ฝึกอบรมการเฝ้าระวัง และการบริหารจัดการคลื่นวิทยุในเอเชียแปซิฟิก โดยมีระบบเฝ้าระวังทั้งหมด 7 ระบบ ได้แก่

รูปที่ 32 แสดงที่ตั้งศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าระวังคลื่นวิทยุ (The State Radio Monitoring Center (SRMC)) ในปักกิ่ง



รูปที่ 33 แสดงกิจการศูนย์ตรวจสอบและเฝ้าระวังคลื่นวิทยุ
(The State Radio Monitoring Center (SRMC)) ในปักกิ่ง

1.1. **<u>ระบบที่ 1</u>** เป็นระบบที่ประกอบไปด้วยจาน C-band ขนาด 13 เมตร และจาน Ku-band ขนาด 13 เมตร (จาน Cassegrain) สำหรับเฝ้าระวังในส่วนของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า สำหรับรับสัญญาณและตรวจวัดอุปกรณ์ (มีจานสำรองขนาด 7.3 เมตร จำนวน 2 ใบ) โดยทำการตรวจวัดค่า 1) ความถี่ (frequency) 2) ความกว้างช่องสัญญาณ (bandwidth) 3) ประเภทของการมอดูเลต (modulation type) 4) การวัดความหนาแน่นฟลักเชิงพลังงาน (power flux density, PFD) 5) โพลาไรเซชัน (polarization) 6) satellite orbit (GSO)



รูปที่ 34 ภาพจานรับสัญญาณดาวเทียมสำหรับระบบที่ 1,3,4

รูปที่ 35 ภาพจานรับสัญญาณสำรอง (backup) ขนาด 7.3 เมตร

1.2. **<u>ระบบที่ 2</u>** เป็นระบบที่ประกอบไปด้วยจานขนาด 7.3 เมตร จำนวน 4 ใบ สำหรับ C-band และ Ku-dual band โดยมีภารกิจหลักในการตรวจสอบสัญญาณรบกวน (Interference) ของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ซึ่งสัญญาณรบกวนดังกล่าวจะถูกตรวจจับ ตรวจวัด และระบุสถานที่เกิดของสัญญาณรบกวน ด้วยความแม่นยำสูงภายในระยะ 10 กิโลเมตร

รูปที่ 36 ภาพจานรับสัญญาณดาวเทียมจำนวน 4 ใบ ขนาด 7.3 เมตร สำหรับระบบที่ 2 และจานส่งอ้างอิง (reference transmitter) บนดาดฟ้า

1.3. **<u>ระบบที่ 3</u>** เป็นระบบที่มีจานรับสัญญาณขนาด 13 เมตร สำหรับ L-band และ S-band เป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีหน้าที่เหมือนกับระบบที่ 1 แต่ใช้ในการเฝ้าระวังช่วงความถี่ (band) ที่แตกต่างกัน

1.4. **<u>ระบบที่ 4</u>** เป็นระบบที่มีจานรับสัญญาณขนาด 5.4 เมตร สำหรับ L-band S-band และ X-band สำหรับดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า เป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีหน้าที่ในการติดตามดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า จากการคำนวณและข้อมูลก่อนหน้า

1.5. **<u>ระบบที่ 5</u>** เป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณภาคส่ง โดยอ้างอิงจากสัญญาณภาคส่ง จำนวน 12 สัญญาณ ซึ่งสัญญาณอ้างอิงดังกล่าวจะตั้งอยู่ในบริเวณที่แตกต่างกันในประเทศ และจะมีส่วนสำคัญในการดำเนินการ ดังนั้น SRMC จึงทำการสร้างสัญญาณอ้างอิง 12 สัญญาณ และส่งตามสถานีส่งที่แตกต่างกัน 6 สถานี รวมถึงสถานีเฝ้าระวังที่ปักกิ่ง โปรแกรมในการควบคุมสัญญาณจะถูกติดตั้งในแต่ละศูนย์ เพื่อให้ SRMC สามารถควบคุมจานรับสัญญาณได้ผ่านทางเครือข่ายภายใน

1.6. **<u>ระบบที่ 6</u>** เป็นลักษณะของรถตรวจวัดสัญญาณเคลื่อนที่ ในการตรวจวัดสัญญาณรับและส่ง (Uplink and Downlink) ด้วยเครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบเคลื่อนที่ได้ รถดังกล่าวสามารถใช้ตรวจวัดสัญญาณภาคพื้นดิน ซึ่งสามารถรับคลื่นความถี่สัญญาณได้ตั้งแต่ 1 GHz – 18 GHz โดยใช้การปรับจานรับสัญญาณด้วยมือ นอกจากนี้ยังสามารถวัดสัญญาณพื้นฐาน และถอดรหัสสัญญาณโทรทัศน์ได้อีกด้วย

รูปที่ 37 ภาพรถตรวจวัดสัญญาณเคลื่อนที่

1.7. **<u>ระบบที่ 7</u>** เป็นระบบที่ถูกแยกมาสำหรับตรวจสอบสัญญาณบรอดแคสต์ (Broadcasting Satellite) ด้วยจานรับสัญญาณขนาดเล็ก (TVRO) จำนวน 24 ใบ ที่มีขนาดตั้งแต่ 1.8 – 3.2 เมตร ในการตรวจวัดสัญญาณรูปแบบบรอดแคสต์ (Broadcast) รวมถึงการใช้ตัวรับสัญญาณช่องโทรทัศน์ตามเลขช่อง เพื่อตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณ

รูปที่ 38 จานรับสัญญาณดาวเทียมแบบ TVRO

ซึ่งระบบดังกล่าว ที่กล่าวมาจะถูกแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์จำนวน 12 เครื่อง เมื่อมีการเข้าใช้งานผ่าน GUI หรือระบบ KVM ผู้ใช้งานจะสามารถเข้าถึงข้อมูลของระบบทั้ง 6 ได้อย่างง่ายดาย ยกเว้นในส่วนของรถเคลื่อนที่

3.3.3 การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของสหรัฐอเมริกา

3.3.3.1 หน่วยงานกำกับดูแลและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมของสหรัฐอเมริกา

สหรัฐอเมริกามีหน่วยงานหลักที่ดูแลเรื่องการสื่อสารโทรคมนาคมที่สำคัญ 2 หน่วยงาน ได้แก่ Federal Communications Commission (FCC) และ สำนักงานโทรคมนาคมและสารสนเทศแห่งชาติ (National Telecommunications and Information Administration : NTIA) โดย FCC มีหน้าที่หลักตามที่พระราชบัญญัติการสื่อสาร พ.ศ. 2477 แก้ไขเพิ่มเติม (Communications Act of 1934, as amended) ซึ่งกฎหมายกำหนดให้ FCC มีหน้าที่ในการควบคุมการสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างรัฐและต่างประเทศที่ไม่ใช่ของรัฐบาล รวมถึงการจัดการคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศ และการอนุญาตให้ผู้ประกอบการได้รับใบอนุญาตจากรัฐบาล ดำเนินการในสหรัฐอเมริกาภายใต้ข้อตกลงร่วมกัน ส่วน NTIA นั้นตั้งอยู่ในกระทรวงพาณิชย์ เป็นหน่วยงานฝ่ายบริหารที่มีหน้าที่หลักตามกฎหมายในการให้คำแนะนำประธานาธิบดีเกี่ยวกับประเด็นนโยบายโทรคมนาคม และข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า FCC เป็นหน่วยงานอิสระที่มีหน้าที่กำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง ส่วน NTIA เป็นหน่วยงานเดียวที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุมัติการใช้คลื่นความถี่ของรัฐบาลกลาง และเป็นที่ปรึกษาหลักของประธานาธิบดีเกี่ยวกับนโยบายโทรคมนาคม ทั้งนี้ ทั้งสองหน่วยงานจะต้องประสานงาน และสื่อสารมุมมองของฝ่ายบริหารของ FCC และ NTIA ร่วมกันเพื่อจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุของประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยคำนึงถึงประโยชน์สาธารณะ ซึ่งหน่วยงานทั้งสองมีความร่วมมือที่ยาวนาน และสม่ำเสมอเพื่อให้แน่ใจว่าการตัดสินใจเกี่ยวกับนโยบายคลื่นความถี่

จะส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจ รองรับความมั่นคงของชาติ รักษาความเป็นผู้นำระดับโลกของสหรัฐอเมริกา และส่งเสริมผลประโยชน์ที่สำคัญอื่น ๆ ของสหรัฐอเมริกา[14]

ปัจจุบันหน่วยงานและกรมของรัฐบาลกลางจำนวน 69 แห่งได้มีการส่งเสริมภารกิจของตนโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการสื่อสาร การนำทาง การออกอากาศ และวัตถุประสงค์อื่น ๆ ดังนั้น คลื่นความถี่วิทยุจึงได้รับการจัดสรรให้กับบริการ ให้บริการตามย่านคลื่นความถี่ที่ถูกระบุไว้ และอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์ทางเทคนิคและการบริการ โดยมีหน่วยงานของรัฐบาลกลางใช้บริการคลื่นความถี่วิทยุมากกว่า 40 บริการ และการกำหนดความถี่ของบริการเหล่านี้จะถูกดูแลโดย NTIA และยังได้มีการประสานงานผ่านการตรวจสอบร่วมกันกับคณะกรรมการกำกับดูแลกิจการสื่อสารหรือ FCC (Federal Communications Commission, FCC) ด้วย[15]

1. อำนาจหน้าที่ของหน่วยงานกำกับดูแลของสหรัฐอเมริกา

สำหรับหน่วยงานกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในสหรัฐอเมริกา คือ เอ็นทีไอเอ โดยสำนักงานบริหารจัดการคลื่นความถี่ (OSM) ของเอ็นทีไอเอเป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบหลักในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในสหรัฐอเมริกา และมี FCC ทำหน้าที่ตรวจสอบและแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนในกิจการโทรคมนาคม รวมถึงกิจการดาวเทียม

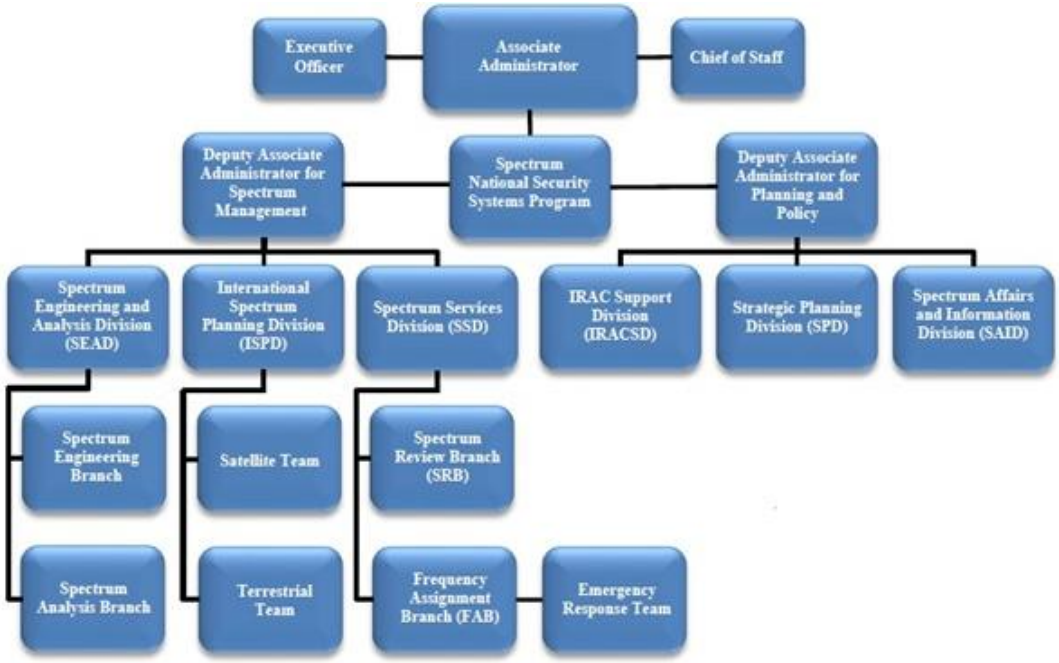
พระราชบัญญัติการสื่อสาร พ.ศ. 2477 แก้ไขเพิ่มเติม หัวข้อที่ 47 มาตรา 151 ประกอบกับคำสั่งของกระทรวงพาณิชย์ (Department of Commerce Organization Order : DOO) ที่ 10 - 10 ซึ่งมีผลบังคับใช้ในวันที่ 28 กันยายน 2535 ได้กำหนดให้ผู้ช่วยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงพาณิชย์ฝ่ายการสื่อสารและข้อมูล (Assistant Secretary of Commerce for Communications and Information) เป็นผู้ดูแล NTIA[16] ส่งผลให้ NTIA ได้รับการจัดตั้งเป็นหน่วยปฏิบัติการของกระทรวงพาณิชย์ และมีการแบ่งโครงสร้างดังต่อไปนี้

รูปที่ 39 โครงสร้างหน่วยปฏิบัติการของกระทรวงพาณิชย์ NTIA

[14] https://www.ntia.gov/other-publication/2022/memorandum-understanding-between-fcc-and-ntia

[15] Carlos M. Gutierrez and Meredith A. Baker, Spectrum management for the 21st century: The president's spectrum policy initiative, https://www.ntia.doc.gov/sites/default/files/publications/federalstrategicspectrumplan2008_0_0.pdf

[16] โดยที่มาของอำนาจเหล่านี้ได้ถูกรวบรวมไว้ในพระราชบัญญัติองค์กร NTIA, Pub. L. No. 102-538, 106 Stat. 3533 (1992) (รวบรวมไว้ที่ 47 U.S.C. 901 et seq.)



รูปที่ 40 โครงสร้างหน่วยปฏิบัติการของกระทรวงพาณิชย์ Office of Spectrum Management

การกำหนดนโยบายของ NTIA มุ่งเน้นไปที่การขยายการเข้าถึง และการนำอินเทอร์เน็ตบรอดแบรนด์มาใช้ในสหรัฐอเมริกา การขยายการใช้คลื่นความถี่โดยผู้ใช้ทั้งหมด และการทำให้แน่ใจว่าอินเทอร์เน็ตยังคงเป็นเครื่องมือสำหรับนวัตกรรมและการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง เป้าหมายเหล่านี้มีความสำคัญต่อความสามารถในการแข่งขันของอเมริกา ในเศรษฐกิจโลกในศตวรรษที่ 21 และในการตอบสนองความต้องการเร่งด่วนหลายประการของประเทศ เช่น การปรับปรุงการศึกษา การดูแลสุขภาพ และความปลอดภัยสาธารณะ อีกทั้งยังมีกิจกรรมเฉพาะของ NTIA ที่สำคัญได้แก่

- การจัดการการใช้คลื่นความถี่ของรัฐบาลกลางและระบุคลื่นความถี่เพิ่มเติมสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์
- การบริหารโครงการให้ทุนที่ส่งเสริมการใช้งานและบรอดแบรนด์และเทคโนโลยีอื่น ๆ ในสหรัฐอเมริกา
- การพัฒนานโยบายเกี่ยวกับประเด็นที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจโดยใช้อินเทอร์เน็ต รวมถึงความเป็นส่วนตัวออนไลน์ การคุ้มครองลิขสิทธิ์ ความปลอดภัยทางไซเบอร์ และการไหลเวียนของข้อมูลออนไลน์อย่างเสรี (global free flow of information online) ส่งเสริมเสถียรภาพ และความปลอดภัยของระบบชื่อโดเมนของอินเทอร์เน็ต (promoting the stability and security of the Internet's domain name system) ผ่านการมีส่วนร่วมในนามของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาในกิจกรรมของ Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN)
- ดำเนินการวิจัยและวิศวกรรมโทรคมนาคมขั้นสูงร่วมกับพันธมิตรทั้งจากรัฐบาลกลางและภาคเอกชน

นอกเหนือจากการทำงานร่วมกับหน่วยงานฝ่ายบริหารอื่น ๆ แล้ว NTIA ยังเป็นตัวแทนของฝ่ายบริหารในกิจกรรมด้านโทรคมนาคม และนโยบายข้อมูลทั้งในประเทศและต่างประเทศ อีกทั้ง NTIA ยังเป็นแหล่งข้อมูล และการวิจัยชั้นนำเกี่ยวกับสถานะของความพร้อมใช้งาน และการนำบรอดแบรนด์มาใช้ในสหรัฐอเมริกาอีกด้วย[17]

[17] https://www.ntia.gov/page/about-ntia

2. กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียม

กฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุของสหรัฐอเมริกา ได้แก่ พระราชบัญญัติการสื่อสาร พ.ศ. 2477 แก้ไขเพิ่มเติม (Communications Act of 1934, as amended) อันมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

ในบริบทของ FCC พิจารณาจากมาตรา 301 และมาตรา 302 ของกฎหมาย Communications Act of 1934 ที่กำหนดให้ FCC กำกับดูแลการใช้งานอุปกรณ์วิทยุคมนาคมเพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณรบกวน อีกทั้ง ตาม Title 47, Code of Federal Regulations, Section 25.274 of FCC Rules to assist satellite operators in interference resolution[18] ยังได้กำหนดมาตราการแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น โดยมีสำนักงาน Enforcement Bureau[19] ภายใต้ FCC ทำหน้าที่ตรวจสอบและแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนในกิจการโทรคมนาคม รวมถึงกิจการดาวเทียมด้วย

ในกรณีที่มีการรายงานการรบกวนไปยัง FCC หรือ NTIA (ขึ้นอยู่กับลักษณะของการรบกวน) จะมีการเริ่มการสอบสวน คือ สำหรับการรบกวนในเชิงพาณิชย์ จะมีการรับรายงานการรบกวนผ่าน International Bureau หรือ Office of Engineering and Technology ของ FCC แต่หากเป็นการรบกวนมีผลกระทบต่อดาวเทียมของรัฐบาลหรือการป้องกันประเทศ หน่วยงานที่จะเข้ามาดูแลจะเป็น NTIA ซึ่งทั้ง 2 หน่วยงานจะดำเนินการออกคำเตือนหรือร้องขอให้แหล่งที่มาของการรบกวนลดหรือหยุด หากระบุตัวได้ว่าเป็นผู้ใช้ภายในประเทศ แต่หากเป็นปัญหาระหว่างประเทศ FCC และ NTIA จะเริ่มช่องทางการทูตผ่าน ITU เพื่อแก้ไขปัญหาการข้ามพรมแดน

ในบริบทของ NTIA สำหรับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมของสหรัฐอเมริกานั้น ในเดือนมิถุนายนปี 2013 ได้มีการจัดทำ Executive Memorandum เรื่อง การขยายความเป็นผู้นำของอเมริกาในด้านนวัตกรรมไร้สาย (Expanding America's Leadership in Wireless Innovation) ขึ้น โดยประธานาธิบดีโอบามาได้มีคำสั่งให้สำนักงานโทรคมนาคมและสารสนเทศแห่งชาติ (National Telecommunications and Information Administration : NTIA) ออกแบบและดำเนินโครงการนำร่องเพื่อตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ในชุมชนที่ถูกเลือกทั่วประเทศขึ้น โดยโครงการนำร่องดังกล่าวจะสร้างหน่วยตรวจสอบต้นแบบขึ้น เพื่อให้ทำงานอย่างต่อเนื่องในสถานที่ห่างไกล โดยควบคุมระบบและอัปโหลดข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต โดยชุดข้อมูลมาตรฐานจะถูกรวบรวม และวิเคราะห์ภายในหน่วยและอัปโหลดกลับไปยังฐานข้อมูลส่วนกลาง โดยอิงจากหน่วยต้นแบบที่พัฒนา และทดสอบแล้วอย่างสมบูรณ์ และขึ้นอยู่กับเงินทุนที่มีอยู่ หน่วยตรวจสอบต้นแบบจะถูกสร้างขึ้นอย่างน้อย 10 หน่วย และนำไปใช้งานในเขตมหานครสำคัญสูงสุด 10 แห่ง ทั่วสหรัฐอเมริกา เมื่อนำไปใช้งานแล้ว หน่วยเหล่านี้จะตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุอย่างต่อเนื่อง และรวบรวมข้อมูลในย่านความถี่ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า จากนั้นจึงอัปโหลดไปยังฐานข้อมูลของส่วนกลาง[20]

ต่อมาเพื่อให้การตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น NTIA ได้ออก Notice of Inquiry (NOI) ขึ้น[21] เพื่อสำรวจศักยภาพในการส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง โดยใช้ประโยชน์จากแหล่งข้อมูล เทคโนโลยี และวิธีการใหม่ ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว

---

[18] Title 47 § 25.274 of Code of Federal Regulations (CFR)

[19] www.fcc.gov/enforcement

[20] https://www.federalregister.gov/documents/2013/08/19/2013-20148/spectrum-monitoring-pilot-program

[21] Karl B. Nebbia, Spectrum Monitoring Pilot Program, Federal Register/Vol. 78, No. 160/Monday, August 19, 2013/Notices , p. 1.

ข้อมูลการใช้งานสเปกตรัม จะไม่เปิดเผยต่อสาธารณะหรือหากจำเป็นต้องเผยแพร่ก็จะเผยแพร่ไม่บ่อยนัก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสภาพแวดล้อมของคลื่นความถี่วิทยุมีความแออัดมากขึ้น จึงมีการคาดการณ์ว่าจะมีความจำเป็นมากขึ้น ในการพิจารณาข้อมูลดังกล่าว เพื่อปรับปรุงการบริหารจัดการคลื่นความถี่วิทยุในสหรัฐอเมริกาต่อไป

อำนาจตามกฎหมายในการศึกษาการใช้คลื่นความถี่วิทยุ และการดำเนินการจัดทำ NOI นั้นมาจากพระราชบัญญัติการสื่อสาร พ.ศ. 2477 แก้ไขเพิ่มเติม มาตรา 4(i), 301, 302(a), 303(e), (f) และ (r) และ 403 โดยสามารถนำมาปรับใช้ได้ คือ NOI ทำหน้าที่ในการสำรวจแนวทางที่เป็นไปได้ในการเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลางผ่านแหล่งข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงเทคโนโลยี และวิธีการใหม่ ๆ เมื่อสภาพแวดล้อมของคลื่นความถี่วิทยุมีความหนาแน่นมากขึ้น การพิจารณาข้อมูลดังกล่าวอาจกลายเป็นกลไกที่มีคุณค่าเพิ่มขึ้นในการปรับปรุงการจัดการคลื่นความถี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจช่วยให้เข้าใจชุดข้อมูลขนาดใหญ่และซับซ้อนได้ง่ายขึ้น เพื่อให้การใช้ประโยชน์จากเครื่องมือต่าง ๆ ในปัจจุบันทำให้เกิดความเข้าใจการใช้คลื่นความถี่เชิงพาณิชย์ในอนาคต อีกทั้งยังสามารถช่วยระบุโอกาสใหม่ ๆ ในการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงเทคนิคและแนวทางการแบ่งปันคลื่นความถี่ใหม่ ๆ ต่อจากนี้จะมีส่วนช่วยให้ผู้ใช้บริการต่าง ๆ สามารถอยู่ร่วมกันได้ ดังนั้น NOI จึงมีขึ้นเพื่อดำเนินการสอบสวนทางเทคนิคที่ซับซ้อนมากขึ้นเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง รวมถึงวิธีที่จะใช้ประโยชน์จากความสามารถที่ทันสมัยเพื่อดำเนินการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่คุ้มต้นทุน แม่นยำ ปรับขนาดได้ และดำเนินการได้อย่างเหมาะสม โดยมีกระบวนการที่สำคัญดังต่อไปนี้[22]

1. ขอความคิดเห็นเกี่ยวกับความสามารถและข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่เกี่ยวกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุแบบเรียลไทม์

2. ขอความคิดเห็นเกี่ยวกับคำจำกัดความที่เป็นไปได้เพื่อวัดการใช้งานของคลื่นความถี่วิทยุ รวมถึงกรอบงานก่อนหน้านี้ที่ใช้ในการกำหนดการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ

3. ขอความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อควรพิจารณาเฉพาะสำหรับการศึกษาการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ

4. ขอความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อควรพิจารณาที่เกี่ยวข้องกับข้อมูล ดังต่อไปนี้

- ความท้าทายที่อาจเกิดขึ้นในการรวบรวมข้อมูลการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ รวมถึงต้นทุนและภาระการกำหนดมาตรฐาน และความแม่นยำทางเทคนิค

- ประโยชน์และข้อเสียของแหล่งข้อมูลที่เป็นไปได้ รวมถึงการระดมทุนจากประชาชน ฐานข้อมูลภายนอก การสร้างแบบจำลอง และการสังเกตโดยตรง

5. ขอความคิดเห็นเกี่ยวกับการดำเนินการในอนาคตที่อาจเกิดขึ้น เพื่อศึกษาการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุในระยะใกล้และระยะยาว

นอกจากนี้ ในระยะยาวได้มีการพิจารณาใน เรื่องการพิจารณาวิธีการอื่น เพื่อทำความเข้าใจการใช้คลื่นความถี่วิทยุได้ดียิ่งขึ้น โดยอิงตามลักษณะของการออกใบอนุญาต และการใช้งานของคลื่นความถี่ใดคลื่นความถี่หนึ่ง หรือพิจารณาขอข้อมูลการใช้งานที่บุคคลที่สามถือครองคลื่นความถี่วิทยุ และอาจมีการดำเนินการใด ๆ เพื่อสนับสนุนหรือสร้างแรงจูงใจในการแบ่งปันข้อมูล โดยอาจจะมีการพัฒนาข้อกำหนดที่อนุญาตให้แลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านรูปแบบเฉพาะได้ในอนาคต ทั้งนี้ ในระยะยาวอาจมีการพิจารณาแนวทางที่ไม่ผูกมัด เช่น คำชี้แจงนโยบายหรือข้อกำหนดข้อมูลที่ระบุแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด และคำจำกัดความของข้อมูลโครงสร้าง และการจัดรูปแบบที่แนะนำ เพื่อกำหนดแนวทางในการประเมินการใช้คลื่นความถี่ โดยแนวทาง

[22] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-395109A1.pdf

ดังกล่าวควรระบุคำชี้แจงปัญหา กรณีการใช้งาน และวิธีการตรวจสอบหรือการวัดในย่านความถี่ใดย่านหนึ่งอย่างชัดเจน และแนวทางดังกล่าว อาจมีการระบุบทบาทของข้อมูลการใช้งานในกระบวนการเฉพาะย่านความถี่ก็ได้

3.3.3.2 โครงสร้างหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่ของสหรัฐอเมริกา

กิจการดาวเทียมของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นกิจการภายใต้การดูแลของ Federal Communications Commission (FCC) ในการออกข้อกำหนดและควบคุมดูแลการสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างรัฐ ได้แก่ คลื่นความถี่วิทยุ โทรทัศน์ สายสัญญาณ ดาวเทียม และเคเบิล จำนวน 50 รัฐ ของประเทศโคลอมเบียและสหรัฐอเมริกา เป็นหน่วยงานกลางที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการออกข้อกำหนดทางการสื่อสารและโทรคมนาคมของประเทศสหรัฐอเมริกา

ศูนย์เฝ้าระวังดาวเทียมโคลอมเบีย (Columbia Satellite Monitoring) เป็นหนึ่งในภารกิจการเฝ้าระวังภายใต้การดูแลของ FCC ในการรักษาระดับการให้บริการดาวเทียม ตั้งแต่ปี 1979 โดยมีการจัดตั้งศูนย์ที่โคลอมเบีย รัฐแมรีแลนด์ (Maryland, United States of America) และทางตอนเหนือของกรุงวอชิงตัน DC ซึ่งสถานีดังกล่าวจะทำการเฝ้าระวังเฉพาะกิจการดาวเทียมเท่านั้น

รูปที่ 41 สถานีเฝ้าระวังกิจการดาวเทียม ภายในการดูแลของ FCC

ซึ่งโดยทั่วไปความรับผิดชอบของสถานีเฝ้าระวัง จะมีหน้าที่หลักในการตรวจสอบสัญญาณรบกวนทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งสถานที่ตั้งของสถานีเฝ้าระวังดังกล่าว โดยเฉพาะสถานีโคลอมเบียจะครอบคลุมถึงวงโคจรดาวเทียมภายในประเทศสหรัฐอเมริกา บริเวณโดยรอบและครอบคลุมการสนับสนุนข้อมูลให้แก่ FCC U.S. licensee และหน่วยงานกลางภาครัฐอื่นๆ ซึ่งสถานีดังกล่าวเป็นสถานีที่ได้ลงทะเบียนในนามประเทศสหรัฐอเมริกา กับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือไอทียู International ในการส่งข้อมูลสัญญาณรบกวน (Interference) และช่วยเหลือในการวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analysis) ให้แก่ประเทศสมาชิก

สถานีเฝ้าระวังโคลอมเบีย ประกอบไปด้วยจานรับสัญญาณหลักขนาด 5 เมตร (5-metre Scientific-Atlanta azimuth-over-elevation mount full motion antenna) ที่สามารถรับสัญญาณได้ครอบคลุมตั้งแต่ 1 – 12.2 GHz ใน 4 แบนด์ (band) มุมเฝ้าระวัง 5° West longitude to 148° West longitude.

รูปที่ 42 5-metre Scientific-Atlanta azimuth-over-elevation mount full motion antenna

นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งจานขนาด 3 เมตร (“polar mount” antenna) สำหรับใช้งานในมาตรฐาน C-band และ Ku-band ในการตรวจสอบสถานีดาวเทียมภายในประเทศสหรัฐอเมริกา (สำหรับวงโคจรประมาณ 72° West longitude to 137° West longitude)

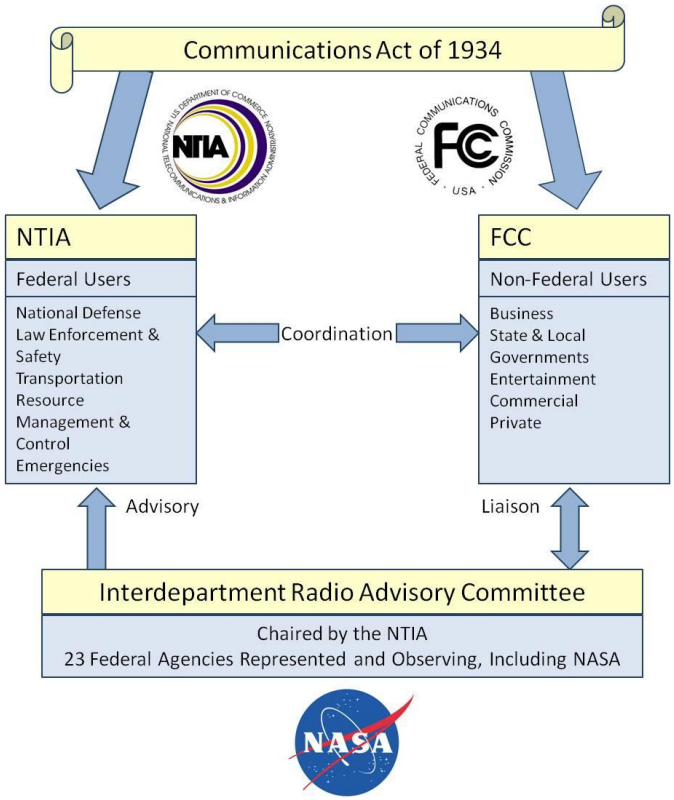
รูปที่ 43 3-metre “polar mount” antenna

ตารางที่ 5 แสดงคุณลักษณะของระบบเฝ้าระวังดาวเทียมของประเทศสหรัฐอเมริกา

No.	Topics	System Characteristics
1	Name of the station:	Columbia, Maryland (United States of America)
2	Geographical coordinates:	76°49’ West longitude 39°10’ North latitude
3	Information on main antenna in use:	5 m Cassegrain feed parabolic for frequency range 1 GHz to 12 GHz slew rate 17°/s
4	Range of azimuth and elevation angles:	0-360°, 0-90°.
5	Maximum attainable accuracy in determining orbital positions of space stations:	$\frac{0.3°}{f[\mathrm{GHz}]}$
6	Information on system polarization:	Dual orthogonal linear, mechanically adjusted (with electronically-derived circular polarization in some bands)
7	System noise temperature:	3.7 GHz – 4.2 GHz: 250 K 11.7 GHz – 12.2 GHz: 600 K
8	Ranges of frequencies with the maximum attainable accuracy of frequency measurement for each frequency range:	a) 1 GHz – 12 GHz: 1 × 10–9 b) 3.7 GHz – 4.2 GHz: 1 × 10–9 c) 11.7 GHz – 12.2 GHz: 1 × 10–9

No.	Topics	System Characteristics
9	Ranges of frequencies in which field strength or power flux-density measurements can be performed:	3.7 GHz – 4.2 GHz 11.7 GHz – 12.2 GHz
10	Minimum value of measurable field strength or power flux-density, with indication of attainable accuracy of measurement:	- 175 dBW/m2 ± 1 dB (3.7 GHz – 4.2 GHz) - 165 dBW/m2 ± 2 dB (11.7 GHz – 12.2 GHz)
11	Information available for bandwidth measurements:	Bandwidth measurements made in accordance with the methods described in Chapter 4.5 of the ITU Handbook on Spectrum Monitoring
12	Information available for spectrum occupancy measurements:	Spectrum trace information can be collected upon request
13	Information available for orbit occupancy measurements:	Orbit occupancy measurements can be carried out on request

จากการศึกษาองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration) หรือ องค์การนาซา (NASA) เป็นหน่วยงานส่วนราชการ รับผิดชอบในโครงการอวกาศและงานวิจัยห้วงอากาศอวกาศ (aerospace) ระยะยาวของสหรัฐอเมริกา คอยจัดการหรือควบคุมระบบงานวิจัยทั้งกับฝ่ายพลเรือนและฝ่ายทหาร พบว่าทางองค์การนาซา ได้มีการกำหนดกระบวนการในการบริหารคลื่นความถี่ (Spectrum Management) ให้มีความสอดคล้องและเป็นไปตามนโยบายของประเทศสหรัฐอเมริกา ตามโครงสร้างการบริหารจัดการ



รูปที่ 44 โครงสร้างการบริหารจัดการคลื่นความถี่ (Spectrum Management) ขององค์การ NASA
(ที่มา: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt_national_spectrum.html)

ซึ่งการดำเนินการทางกิจการทางอวกาศภายใต้หน่วยงานวิจัยอื่นๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะมีกระบวนการขอใช้งานคลื่นความถี่ที่เป็นไปตาม FCC และ NTIA ซึ่งในกรณีที่ประสบปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณรบกวน จะต้องทำการแจ้งให้สถานีเฝ้าระวังภายใต้ FCC ทราบเพื่อแก้ไขปัญหาอย่างเร่งด่วน

3.3.4 การตรวจสอบคลื่นความถี่ของอาเซียน

3.3.4.1 หน่วยงานกำกับดูแล และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียม อินโดนีเซีย

ปัจจุบันกระทรวงการสื่อสารและสารสนเทศ (Ministry of Communications and Informatics: MCI) ในอินโดนีเซีย MCI ทำหน้าที่รับผิดชอบด้านกิจการโทรคมนาคม การเผยแพร่ภาพและเสียงออกอากาศ เทคโนโลยีสารสนเทศ การสื่อสารสาธารณะ และกิจการข้อมูล และรวมทั้งพัฒนาภาคส่วนการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศของอินโดนีเซียให้มีระดับโลก มีการทำงานโดยแบ่งการกำกับดูแลออกเป็นหลายส่วนซึ่งแต่ละส่วนดำเนินงานภายใต้ MCI

และภาคเทคโนโลยี สื่อ และกิจการโทรคมนาคม (Technology, Media and Telecommunications sector: TMT) อยู่ภายใต้กระทรวงการสื่อสารและสารสนเทศ (Ministry of Communications and Informatics: MCI) ในอินโดนีเซีย MCI ทำหน้าที่กำกับดูแลและควบคุมภาค TMT รวมถึง (1) จัดการทรัพยากรและอุปกรณ์ของไปรษณีย์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (2) บริหารงานไปรษณีย์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (3) จัดการแอปพลิเคชันเทคโนโลยีสารสนเทศ และ (4) การจัดการข้อมูลและการสื่อสารสาธารณะ

สำหรับภาคแพร่ภาพกระจายเสียง (broadcasting sector) นั้นอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของคณะกรรมการการออกอากาศแห่งอินโดนีเซีย (Indonesian Broadcasting Committee: KPI) ซึ่งเป็นหน่วยงานกำกับดูแลอิสระที่ทำหน้าที่ในการดำเนินการตามนโยบายของรัฐ ทำหน้าที่การกำกับดูแลและการพัฒนาเนื้อหาการออกอากาศ และการดำเนินการออกอากาศในอุตสาหกรรมสื่อ

สำหรับด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ยังคงอยู่ภายใต้การกำกับดูแลร่วมกันของ MCI และหน่วยงานไซเบอร์และการเข้ารหัสแห่งชาติ (National Cyber and Crypto Agency: BSSN) แม้ว่าปัจจุบันจะไม่มีหน่วยงานอิสระที่กำกับดูแลการใช้งานในทางที่ผิดหรือการละเมิดการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลก็ตาม แต่คาดว่าจะมีการจัดตั้งหน่วยงานของรัฐที่จัดตั้งขึ้นใหม่และทำงานร่วมกับ MCI หลังจากที่มีการบังคับใช้กฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลฉบับใหม่ ซึ่งจะเข้ามาจัดการกับส่วนที่ขาดหายไปนี้และกำกับดูแลเรื่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคุ้มครองข้อมูลในอินโดนีเซีย[23]

3.3.4.2 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมของอินโดนีเซีย

กฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมมีหลายฉบับ ได้แก่

1. กฎหมายหมายเลข 36 ปี 2542 ว่าด้วยโทรคมนาคม (Law No. 36 of 1999 on Telecommunication) แก้ไขเพิ่มเติมล่าสุดโดยกฎหมาย Omnibus (กฎหมายหมายเลข 11 ปี 2563 ว่าด้วยการสร้างงาน)
2. กฎหมายหมายเลข 11 ปี 2551 ว่าด้วยข้อมูลข่าวสารและธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (Information and Electronic Transaction: EIT Law) แก้ไขเพิ่มเติมล่าสุดโดยกฎหมายหมายเลข 19 ปี 2559

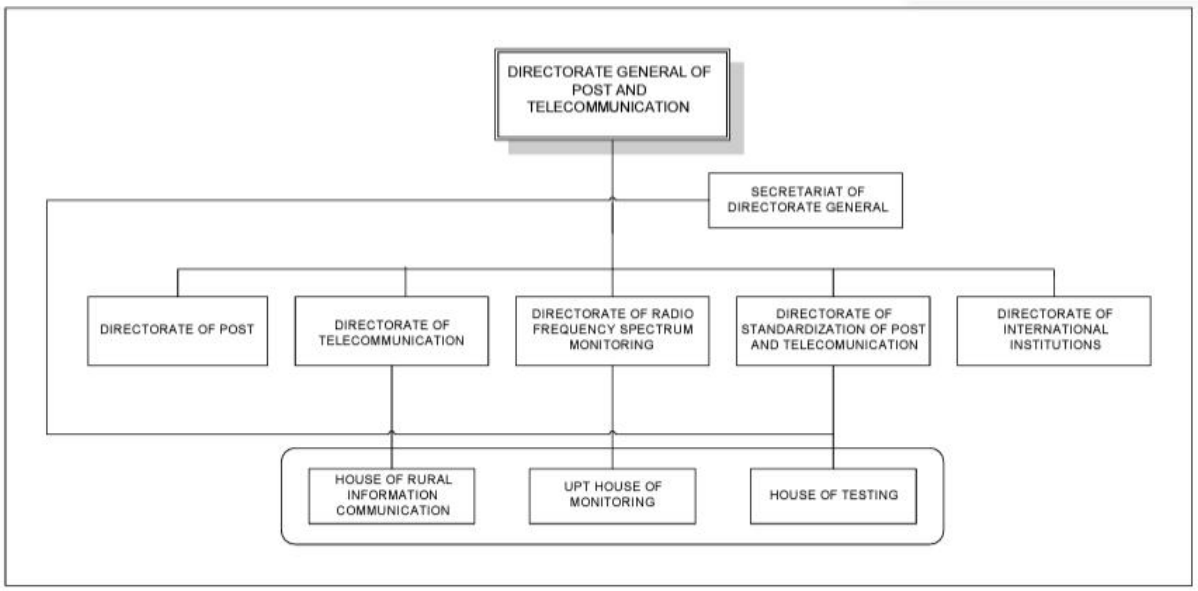
[23] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.bepartners.co.id/file/download/8227833the%20law%20review%20-%20indonesia%20chapter%20(1).pdf

3. ระเบียบรัฐบาลหมายเลข 46 ปี 2564 ว่าด้วยไปรษณีย์ โทรคมนาคม และการกระจายเสียง (Government Regulation No. 46 of 2021 on Post, Telecommunication and Broadcasting: GR 46/2564)
4. ระเบียบรัฐบาลหมายเลข 71 ปี 2562 ว่าด้วยการดำเนินการระบบและธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (Government Regulation No. 71 of 2019 on Electronic System and Transaction Operation: GR 71/2562)

สำหรับกฎหมายเกี่ยวกับคลื่นความถี่วิทยุนั้นอยู่ภายใต้กฎหมาย GR 46/2021 ซึ่งแก้ไขข้อบังคับของรัฐบาลหมายเลข 52 ปี 2000 ว่าด้วยการดำเนินการโทรคมนาคม (Government Regulation No. 52 of 2000 on Telecommunications Operation: GR 52/2000) และข้อบังคับ MCI หมายเลข 7 ปี 2021 ว่าด้วยการใช้คลื่นความถี่วิทยุ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกี่ยวข้องกับ "การใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการดำเนินการโทรคมนาคม" (MCI Regulation No. 7 of 2021 on the Use of Radio Frequency Spectrum) ส่งผลให้ผู้ถือใบอนุญาตประกอบธุรกิจที่เกี่ยวข้องสามารถดำเนินการดังต่อไปนี้ (1) การโอนสิทธิในการใช้คลื่นความถี่วิทยุกับผู้ประกอบการโทรคมนาคมรายอื่น และ (2) ความร่วมมือในการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (การแบ่งปันคลื่นความถี่) เพื่อใช้เทคโนโลยีใหม่เพื่อประโยชน์สาธารณะ โดยต้องไม่ขัดขวางการแข่งขันทางธุรกิจที่เป็นธรรม

สำหรับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุนั้น ปัจจุบันสำนักงานภูมิภาคสำหรับการตรวจสอบความถี่วิทยุ ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของกรมไปรษณีย์และโทรคมนาคม (Directorate General of Post and Telecommunication: POSTEL) ตามกฎหมาย Law No. 36 of 1999 on Telecommunication มีหน้าที่หลักในการรับผิดชอบในการดำเนินการ โดยมีหน่วยปฏิบัติการทางเทคนิค (Technical Implementer Unit: UPT) มีหน้าที่ในการดำเนินการกำกับดูแลและควบคุมในด้านการใช้คลื่นความถี่วิทยุซึ่งครอบคลุมกิจกรรมการสังเกตการณ์ การตรวจจับแหล่งกำเนิดการปล่อย การตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การบังคับใช้กฎหมาย การประเมินและการทดสอบทางวิทยาศาสตร์ การวัด การประสานงานการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การร่างแผนและโปรแกรม การจัดหาชิ้นส่วนอะไหล่ การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมอุปกรณ์ และกิจการบริหารและครัวเรือน ในการดำเนินการตามหน้าที่ โดย UPT จะปฏิบัติหน้าที่ดังต่อไปนี้ (1) ร่างแผนและโปรแกรม การจัดหาชิ้นส่วนอะไหล่ การบำรุงรักษาอุปกรณ์ตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ (2) การดำเนินการสังเกตการณ์ การตรวจจับแหล่งกำเนิดตำแหน่งการปล่อย การตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ (3) การดำเนินการสอบเทียบและการซ่อมแซมอุปกรณ์ตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ (4) การดำเนินการด้านบริหารและครัวเรือนของหน่วยปฏิบัติการทางเทคนิคของการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ (5) การประสานงานการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ (6) การบังคับใช้กฎหมายและการสอบสวนการละเมิดการใช้คลื่นความถี่วิทยุ (7) การให้บริการ/การร้องเรียนของชุมชนต่อการรบกวนคลื่นความถี่วิทยุ และ (8) การดำเนินการประเมินการทดสอบทางวิทยาศาสตร์ และการวัดคลื่นความถี่วิทยุ[24] ซึ่งมีโครงสร้างองค์กรดังนี้

[24] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://postel.go.id/downloads/44/20120124104838-Dastik-Smt2-2010-English.pdf



รูปที่ 45 โครงสร้างองค์กรของ Directorate General of Post and Telecommunication: POSTEL อินโดนีเซีย

3.3.4.3 หน่วยงานกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมของมาเลเซีย

ปัจจุบันคณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย (Malaysian Communications and Multimedia Commission: MCMC) ทำหน้าที่รับผิดชอบด้านการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคม โดย MCMC ก่อตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติคณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย ค.ศ. 1998 (Malaysian Communications and Multimedia Commission Act 1998) เพื่อทำหน้าที่เป็นหน่วยงานกำกับดูแลภาคอุตสาหกรรมการสื่อสารและมัลติมีเดียในมาเลเซีย โดยหน้าที่หลักของ MCMC คือ[25]

1. ให้คำแนะนำรัฐมนตรีเกี่ยวกับนโยบายระดับชาติสำหรับกิจกรรมการสื่อสารและมัลติมีเดีย

2. ปฏิบัติตามและบังคับใช้บทบัญญัติของพระราชบัญญัติคณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย ค.ศ. 1998 รวมทั้งควบคุมกิจกรรมการสื่อสารและมัลติมีเดียที่ไม่ได้ระบุไว้ในกฎหมายการสื่อสารและมัลติมีเดีย

3. พิจารณาและเสนอแนะการแก้ไขพระราชบัญญัติคณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย ค.ศ. 1998

4. กำกับดูแลและติดตามกิจกรรมการสื่อสารและมัลติมีเดียตลอดจนส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมการสื่อสารและมัลติมีเดีย

5. ส่งเสริมการแข่งขันในภาคอุตสาหกรรมการสื่อสารและมัลติมีเดีย รวมถึงการออกใบอนุญาตการบังคับใช้เงื่อนไขใบอนุญาตสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายและแอปพลิเคชัน พร้อมทั้งกำกับดูแลให้เกิดประสิทธิภาพและคุณภาพบริการ

6. กำกับดูแลทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคลื่นความถี่วิทยุเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและควบคุมดูแลให้การใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นไปตามกฎหมาย

7. กำกับดูแล พัฒนา และการควบคุมเนื้อหา (content regulation) ซึ่งรวมถึงการห้ามเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม ตลอดจนการให้ความรู้แก่สาธารณชนเกี่ยวกับประเด็นที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา

8. กำกับดูแลทางด้านไปรษณีย์

[25] https://www.mcmc.gov.my/en/about-us/our-responsibility

3.3.4.4 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมของมาเลเซีย

กฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมและคลื่นความถี่วิทยุ 2 ฉบับ ได้แก่

1. พระราชบัญญัติคณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย ค.ศ. 1998 (Malaysian Communications and Multimedia Commission Act 1998) เป็นกฎหมายหลักที่ควบคุมอุตสาหกรรมการสื่อสารและมัลติมีเดียในมาเลเซีย มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดแนวปฏิบัติ กำหนดขั้นตอนสำหรับแนวปฏิบัติที่ดีและกำหนดมาตรฐานของเนื้อหาที่เผยแพร่ต่อผู้ชมโดยผู้ให้บริการในอุตสาหกรรมการสื่อสารและมัลติมีเดียในมาเลเซีย โดยได้กำหนดกรอบการกำกับดูแลสำหรับอุตสาหกรรมการสื่อสารและมัลติมีเดียของมาเลเซียซึ่งมีขอบเขตที่กว้างตั้งแต่การจัดสรรคลื่นความถี่และการคุ้มครองผู้บริโภค ไปจนถึงการควบคุมเนื้อหาและกำหนดอำนาจในการสืบสวนอีกด้วย

2. ข้อบังคับการสื่อสารและมัลติมีเดีย ค.ศ.2000 (Communications and Multimedia (Spectrum) Regulations 2000) เป็นกฎข้อบังคับที่กำหนดกระบวนการทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคลื่นความถี่วิทยุเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และควบคุมดูแลให้การใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นไปตามกฎหมาย

สำหรับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุนั้น ไม่มีกฎหมายใดกำหนดหลักเกณฑ์ที่พึงกระทำไว้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามสามารถพิจารณาเพิ่มเติมได้จากข้อบังคับการสื่อสารและมัลติมีเดีย ค.ศ.2000 ข้อ 34 ที่กำหนดเกี่ยวกับการรบกวนคลื่นความถี่ไว้ โดยมีหลักการที่สำคัญ คือ คณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซียจะไม่รับผิดชอบ (shall not be responsible) ต่อการรบกวนเล็กน้อย (minor interference) การรบกวนร้ายแรง (major interference) และการรบกวนที่เป็นอันตราย (harmful interference) ซึ่งเกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ที่คณะกรรมการกำหนด (any part of the spectrum assigned by it) ทั้งนี้ หากคณะกรรมการฯ เชื่อว่าอุปกรณ์ใดก็ตามของผู้ประกอบการกำลังก่อให้เกิดการรบกวนร้ายแรงหรือการรบกวนที่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์วิทยุสื่อสารที่อื่นใด เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์หรืออุปกรณ์วิทยุสื่อสารนั้นจะต้องอนุญาตให้คณะกรรมการฯ ตรวจสอบอุปกรณ์หรืออุปกรณ์วิทยุสื่อสารเพื่อวัตถุประสงค์ในการระบุว่าอุปกรณ์กำลังก่อให้เกิดการรบกวนร้ายแรงหรือการรบกวนที่เป็นอันตรายดังกล่าวหรือไม่ โดยหากอุปกรณ์นั้นก่อให้เกิดการรบกวนร้ายแรงหรือการรบกวนที่เป็นอันตราย คณะกรรมการฯ อาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์ดำเนินการตามมาตรการที่จำเป็นเพื่อขจัดหรือลดการรบกวนให้เป็นไปตามความพึงพอใจของคณะกรรมการด้วยค่าใช้จ่ายของตนเอง ทั้งนี้ หากจำเป็นต้องดัดแปลงหรือแก้ไขอุปกรณ์นั้น การปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขจะต้องดำเนินการภายในระยะเวลาที่เหมาะสมและตามเงื่อนไขที่คณะกรรมการกำหนด

3.3.5 สรุปการศึกษาเชิงเปรียบเทียบของต่างประเทศ

คณะผู้วิจัยฯ ได้ดำเนินการสรุปเชิงเปรียบเทียบในการศึกษาบทบาทอำนาจหน้าที่ในกรณีศึกษาของต่างประเทศมาดังนี้

หลักการที่สำคัญ	สาธารณรัฐเยอรมนี	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สหรัฐอเมริกา	อินโดนีเซีย	มาเลเซีย
หน่วยงานกำกับดูแล	Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Post and Railways (Federal Network Agency) (Bundesnetzagentur : BNetzA)	1. กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Ministry of Industry and Information Technology: MIIT) 2. ศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติ (China Radio Monitoring Center) เป็นหน่วยงานสนับสนุนด้านเทคนิคของสถาบันกำกับดูแลวิทยุคมนาคมแห่งชาติ	1. Federal Communications Commission (FCC) 2. National Telecommunications and Information Administration: NTIA	ภาคเทคโนโลยี สื่อ และกิจการโทรคมนาคม Technology, Media and Telecommunications sector: TMT) อยู่ภายใต้กระทรวงการสื่อสารและสารสนเทศ (Ministry of Communications and Informatics: MCI)	คณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย (Malaysian Communications and Multimedia Commission: MCMC)
อำนาจหน้าที่ของหน่วยงานกำกับดูแล	1. มีหน้าที่หลักในการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคม กิจการไปรษณีย์ กิจการรถไฟ 2. ในบริบทการตรวจสอบการรบกวนสัญญาณการสื่อสารผ่านดาวเทียมในเยอรมนีนั้น BNetzA มีหน้าที่หลักในการจัดการคลื่นความถี่วิทยุและดูแลการสื่อสารผ่านดาวเทียมภายในประเทศ รวมทั้งมีหน้าที่สอบสวนข้อร้องเรียนเกี่ยวกับการรบกวนกันของ	1. MIIT รับผิดชอบหลักเรื่องการบริหารบริษัทอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศของจีน และเป็นหน่วยงานกำกับดูแลโทรคมนาคมในประเทศจีนอีกด้วย โดยรับผิดชอบด้านการกำหนดแผน นโยบาย กฎหมาย ระเบียบ และเกณฑ์ทางเทคนิคสำหรับอุตสาหกรรมสารสนเทศและกิจการโทรคมนาคมเป็นหลัก	1. FCC เป็นหน่วยงานอิสระที่มีหน้าที่กำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง 2. NTIA เป็นหน่วยงานเดียวที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุมัติการใช้คลื่นความถี่ของรัฐบาลกลาง และเป็นที่ปรึกษาหลักของประธานาธิบดีเกี่ยวกับนโยบายโทรคมนาคม	กำกับดูแลกิจการโทรคมนาคม	กำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมและไปรษณีย์

หลักการที่สำคัญ	สาธารณรัฐเยอรมนี	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สหรัฐอเมริกา	อินโดนีเซีย	มาเลเซีย
	คลื่นความถี่วิทยุ ทั้งยังต้องรักษาการปฏิบัติตามสนธิสัญญาระหว่างประเทศและประสานงานกับประเทศอื่น ๆ ในสหภาพยุโรปและทั่วโลกด้วย	2. ศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติ มีหน้าที่หลักคือ - รับผิดชอบในการก่อสร้าง การดำเนินงาน การบำรุงรักษาและการจัดการโครงสร้างพื้นฐานในการติดตามตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ - รับผิดชอบในการดำเนินงานตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุและค้นหาแหล่งรบกวนสัญญาณวิทยุและสถานีวิทยุที่ผิดกฎหมายโดยใช้เทคนิค และจัดการกับปัญหานี้โดยได้รับอนุญาต	ทั้งนี้ ทั้งสองหน่วยงานจะต้องประสานงานและสื่อสารมุมมองของฝ่ายบริหารของ FCC และ NTIA ร่วมกันเพื่อจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุของประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยคำนึงถึงเพื่อประโยชน์สาธารณะ		
กฎหมายที่ใช้ในการกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียม	มาตรา 59 ของ Telecommunications Act 1996 กำหนดให้ BNetzA มีหน้าที่กำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่และวงโคจรดาวเทียมอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนระหว่างกิจการสื่อสารดาวเทียมและกิจการสื่อสารภาคพื้นดิน	1. ข้อกำหนดการกำกับดูแลกิจการวิทยุคมนาคมสาธารณรัฐประชาชนจีน (Radio Regulatory Provision, People's Republic of China) ใช้บังคับกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ การติดตั้งและการใช้งานสถานีวิทยุ การพัฒนา การผลิต การนำเข้า การขาย และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ส่งสัญญาณวิทยุ ตลอดจนการใช้อุปกรณ์ที่	1. Communications Act of 1934 2. คำสั่งของกระทรวงพาณิชย์ (Department of Commerce Organization Order: DOO) ที่ 10-10	1. กฎหมายหมายเลข 36 ปี 2542 ว่าด้วยโทรคมนาคม (Law No. 36 of 1999 on Telecommunication) แก้ไขเพิ่มเติมล่าสุดโดยกฎหมาย Omnibus (กฎหมายหมายเลข 11 ปี 2563 ว่าด้วยการสร้างงาน) 2. ระเบียบรัฐบาลหมายเลข 46 ปี 2564 ว่าด้วยไปรษณีย์โทรคมนาคม และการกระจายเสียง (Government	1. พระราชบัญญัติคณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย ค.ศ. 1998 (Malaysian Communications and Multimedia Commission Act 1998) 2. ข้อบังคับการสื่อสารและมัลติมีเดีย ค.ศ.2000 (Communications and Multimedia (Spectrum) Regulations 2000)

หลักการที่สำคัญ	สาธารณรัฐเยอรมนี	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สหรัฐอเมริกา	อินโดนีเซีย	มาเลเซีย
		ไม่ใช่วิทยุซึ่งสามารถแผ่คลื่นความถี่วิทยุได้ภายในสาธารณรัฐประชาชนจีน (มาตรา 1) ตลอดจนมีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การสืบสวนและการจัดการสัญญาณรบกวน และกำกับดูแลคลื่นความถี่วิทยุที่เกี่ยวข้องกับต่างประเทศ และประสานงานการจัดการเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลคลื่นความถี่วิทยุ (มาตรา 8) 2. ข้อกำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุ สาธารณรัฐประชาชนจีน (Provisions for Radio Frequency Allocation, People's Republic of China) มีสาระสำคัญในการกำหนดให้ลักษณะดังต่อไปนี้ให้ถือว่าเป็นการใช้คลื่นความถี่วิทยุโดยผิดกฎหมายเพื่อรบกวนการสื่อสารวิทยุตามข้อกำหนดดังกล่าว (มาตรา 39)		Regulation No. 46 of 2021 on Post, Telecommunication and Broadcasting: GR 46/2564)	

หลักการที่สำคัญ	สาธารณรัฐเยอรมนี	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สหรัฐอเมริกา	อินโดนีเซีย	มาเลเซีย
กระบวนการทำงานที่สำคัญในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียม	1. BNetzA จะทำงานร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียม และสถานีภาคพื้นดิน โดยผู้ให้บริการดาวเทียมจะดำเนินการประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับการรบกวน รวมถึงความรุนแรง ย่านความถี่ที่ได้รับผลกระทบ และแหล่งที่มาที่เป็นไปได้ โดยจะบันทึกรายละเอียดของเหตุการณ์ (เวลา ความถี่ที่ได้รับผลกระทบ ผลกระทบทางภูมิศาสตร์) และรายงานการรบกวนไปยัง BNetzA 2. เมื่อ BNetzA ได้รับรายงานการรบกวนและตรวจสอบรายละเอียดของเหตุการณ์เป็นที่ชัดเจนแล้ว BNetzA จะเริ่มการสอบสวนเพื่อหาต้นตอลักษณะ และสาเหตุของการรบกวน รวมทั้งติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิค 3. หากระบุได้ว่าเกิดการรบกวนเกิดขึ้นภายในเยอรมนี	1. กำหนดให้หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของจังหวัดเขตปกครองตนเอง หรือเทศบาลที่ขึ้นตรงต่อรัฐบาลกลาง ภายใต้การนำของหน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของรัฐ โดยมีหน้าที่ออกใบอนุญาตการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ตรวจสอบผังการก่อสร้างและสถานที่ของสถานีวิทยุคมนาคม และมีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุการสอบสวนและประสานงานการจัดการเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลวิทยุคมนาคมภายในเขตบริหารของตน 2. เมื่อมีการตรวจพบความผิดปกติต่าง ๆ สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุจะตรวจสอบคลื่นวิทยุเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน โดยแบ่งระดับการแก้ปัญหา ดังนี้ - หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับจังหวัดเป็นผู้	1. NTIA เป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบหลักในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในสหรัฐอเมริกา และมี FCC ทำหน้าที่ตรวจสอบและแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนในกิจการโทรคมนาคม รวมถึงกิจการดาวเทียม 2. Communications Act of 1934 กำหนดให้ FCC กำกับดูแลการใช้งานอุปกรณ์วิทยุคมนาคมเพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณรบกวน 3. ในกรณีที่มีการรายงานการรบกวนไปยัง FCC หรือ NTIA (ขึ้นอยู่กับลักษณะของการรบกวน) จะมีการเริ่มการสอบสวน คือ สำหรับการรบกวนในเชิงพาณิชย์ จะมีการรับรายงานการรบกวนผ่าน International Bureau หรือ Office of Engineering and Technology ของ FCC แต่หากเป็นการรบกวนมีผลกระทบต่อดาวเทียมของรัฐบาลหรือการป้องกัน	กำหนดให้สำนักงานภูมิภาคสำหรับการตรวจสอบความถี่วิทยุ ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของกรมไปรษณีย์และโทรคมนาคม (Directorate General of Post and Telecommunication: POSTEL) ตามกฎหมาย Law No. 36 of 1999 on Telecommunication มีหน้าที่หลักในการรับผิดชอบในการดำเนินการ โดยมีหน่วยปฏิบัติการทางเทคนิค (Technical Implementer Unit: UPT) มีหน้าที่ในการดำเนินการกำกับดูแลและควบคุมในด้านการใช้คลื่นความถี่วิทยุซึ่งครอบคลุมกิจกรรมการสังเกตการณ์ การตรวจจับแหล่งกำเนิดการปล่อย การตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การบังคับใช้กฎหมาย การประเมินและการทดสอบทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น	1. คณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซียจะไม่รับผิดชอบต่อการรบกวนเล็กน้อย การรบกวนร้ายแรง และการรบกวนที่เป็นอันตราย ซึ่งเกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ที่คณะกรรมการกำหนด 2. หากคณะกรรมการฯ เชื่อว่าอุปกรณ์ใดก็ตามของผู้ประกอบการกำลังก่อให้เกิดการรบกวนร้ายแรงหรือการรบกวนที่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์วิทยุสื่อสารที่อื่นใด เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์หรืออุปกรณ์วิทยุสื่อสารนั้นจะต้องอนุญาตให้คณะกรรมการฯ ตรวจสอบอุปกรณ์หรืออุปกรณ์วิทยุสื่อสาร 3. คณะกรรมการฯ อาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์ดำเนินการตามมาตรการที่จำเป็นเพื่อขจัดหรือลดการรบกวนให้เป็นไปตามความ

หลักการที่สำคัญ	สาธารณรัฐเยอรมนี	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สหรัฐอเมริกา	อินโดนีเซีย	มาเลเซีย
	BNetzA จะออกการแจ้งเตือนหรือคำเตือนไปยังฝ่ายที่รับผิดชอบ และขอให้หยุดกิจกรรมที่รบกวนโดยทันที และหากการรบกวนมาจากต่างประเทศ BNetzA จะประสานงานกับ ITU หรือ CEPT เพื่อบรรเทาปัญหาในระดับนานาชาติต่อไป	แก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนคลื่นสั้นพิเศษ - หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับรัฐดำเนินการจัดระเบียบเครือข่ายตรวจสอบเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนคลื่นสั้นและแก้ไขปัญหานี้ - หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับรัฐดำเนินการจัดการกับสัญญาณรบกวนจากดาวเทียม	ประเทศ หน่วยงานที่จะเข้ามาดูแลจะเป็น NTIA 4. NTIA ได้ออก Notice of Inquiry (NOI) ขึ้นเพื่อสำรวจศักยภาพในการส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง		พึงพอใจของคณะกรรมการด้วยค่าใช้จ่ายของตนเอง 4. หากจำเป็นต้องดัดแปลงหรือแก้ไขอุปกรณ์นั้น การปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขจะต้องดำเนินการภายในระยะเวลาที่เหมาะสมและตามเงื่อนไขที่คณะกรรมการกำหนด

จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่าในปัจจุบันรูปแบบของกฎหมายต่างประเทศในประเด็นเกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมนั้นมีหลักการที่สำคัญไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ

1. ในบริบทของหน่วยงานกำกับดูแลนั้นกฎหมายของทุกประเทศกำหนดให้หน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมมีอำนาจหน้าที่ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรับรองการอยู่ร่วมกันของเครือข่ายวิทยุสื่อสารต่างๆ โดยไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวน อันจะส่งผลให้การบริการต่าง ๆ สามารถอยู่ร่วมกันได้ และลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานบริการโทรคมนาคม ถึงแม้ว่าบางประเทศอาจมีหน่วยงานกำกับดูแลในเรื่องดังกล่าวมากกว่าหนึ่งหน่วยงาน เช่น สาธารณรัฐประชาชนจีนกำหนดให้กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (MIIT) ทำหน้าที่ในการการกำหนดแผน นโยบาย กฎหมาย ระเบียบและเกณฑ์ทางเทคนิคสำหรับอุตสาหกรรมสารสนเทศและกิจการโทรคมนาคมเป็นหลัก และศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติมีหน้าที่รับผิดชอบในการดำเนินงานตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุและค้นหาแหล่งรบกวนสัญญาณวิทยุและสถานีวิทยุที่ผิดกฎหมายโดยใช้เทคนิค และจัดการกับปัญหานี้โดยได้รับอนุญาต เช่นเดียวกับสหรัฐอเมริกาที่กำหนดให้ FCC มีหน้าที่ในการควบคุมการสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างรัฐและต่างประเทศที่ไม่ใช่ของรัฐบาล และ NTIA เป็นหน่วยงานเดียวที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุมัติการใช้คลื่นความถี่ของรัฐบาลกลาง ในขณะที่อินโดนีเซียได้กำหนดให้สำนักงานภูมิภาคสำหรับการตรวจสอบความถี่วิทยุ ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของกรมไปรษณีย์และโทรคมนาคม (Directorate General of Post and Telecommunication: POSTEL) ตามกฎหมาย Law No. 36 of 1999 on Telecommunication มีหน้าที่หลักในการรับผิดชอบในการดำเนินการ โดยมีหน่วยปฏิบัติการทางเทคนิค (Technical Implementer Unit: UPT) มีหน้าที่ในการดำเนินการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ

2. กระบวนการทำงานที่สำคัญในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมนั้น แต่ละประเทศมีหลักการที่สำคัญ ดังนี้ เมื่อหน่วยงานกำกับดูแลได้รับรายงานการรบกวน สถานีตรวจสอบจะตรวจสอบคลื่นวิทยุเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน และเมื่อตรวจสอบรายละเอียดของเหตุการณ์เป็นที่ชัดเจนแล้ว จะมีการติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิคต่อไป เห็นได้ว่าหลังจากติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมแล้วกฎหมายของทุกประเทศไม่ได้มีการกำหนดขั้นตอนต่อไปว่าหน่วยงานกำกับดูแลต้องปฏิบัติอย่างไรต่อ เพื่อให้เกิดกระบวนการจัดการที่มีประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียม และแก้ปัญหาการรบกวนกันของคลื่นความถี่วิทยุอย่างบูรณาการร่วมกัน

อย่างไรก็ตามสหรัฐอเมริกาได้มีการจัดทำ Notice of Inquiry (NOI) ขึ้นเพื่อสำรวจศักยภาพในการส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง โดยใช้ประโยชน์จากแหล่งข้อมูล เทคโนโลยี และวิธีการใหม่ ๆ อันมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ การพิจารณาข้อมูลดังกล่าวอาจกลายเป็นกลไกที่มีคุณค่าเพิ่มขึ้นในการปรับปรุงการจัดการคลื่นความถี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจช่วยให้เข้าใจชุดข้อมูลคลื่นความถี่ได้ง่ายขึ้น เพื่อให้การใช้ประโยชน์จากปัญญาประดิษฐ์ ทำให้เกิดความเข้าใจการใช้คลื่นความถี่เชิงพาณิชย์ในอนาคต อีกทั้งยังสามารถช่วยระบุโอกาสใหม่ ๆ ในการใช้คลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงเทคนิคและแนวทางการแบ่งปันคลื่นความถี่ใหม่ ๆ ต่อจากนี้จะมีส่วนช่วยให้ผู้ใช้และบริการต่างๆ สามารถอยู่ร่วมกันได้

3.4 กรณีศึกษาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของต่างประเทศ

3.4.1 กรณีศึกษา การตรวจสอบความถี่ดาวเทียม ของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

ด้วยการขยายตัวของเครือข่าย 5G ทั่วยุโรป สำนักงาน BNetzA ของเยอรมนีต้องเผชิญกับความท้าทายในการแบ่งปันสเปกตรัมระหว่างการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่ใช้ความถี่ในย่าน C-band (3.4–4.2 GHz) ซึ่งมีการใช้สำหรับการส่งข้อมูล ข้อมูลอากาศ และการแพร่ภาพโทรทัศน์ และบริการ 5G ที่ใช้ย่านความถี่ใกล้เคียงกัน ทำให้ BNetzA ต้องรับผิดชอบในการตรวจสอบให้มั่นใจว่าการใช้งาน 5G ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนกับบริการดาวเทียม โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่การสื่อสารผ่านดาวเทียมมีความสำคัญ

วัตถุประสงค์ เป้าหมายหลักของ BNetzA คือการตั้งระบบตรวจสอบความถี่ดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพเพื่อ

1. ปกป้องบริการดาวเทียมที่มีอยู่ ลดการรบกวนต่อผู้ให้บริการดาวเทียม โดยเฉพาะในภาคการแพร่ภาพและการให้บริการข้อมูล
2. สนับสนุนการขยายเครือข่าย 5G อย่างมีประสิทธิภาพ อำนวยความสะดวกให้การขยายเครือข่าย 5G ทั่วเยอรมนีเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่มีความต้องการสูง
3. ลดการรบกวนข้ามพรมแดน เนื่องจากเยอรมนีมีพรมแดนติดกับหลายประเทศ การตรวจสอบการใช้ความถี่ข้ามพรมแดนเป็นสิ่งสำคัญเพื่อป้องกันการรบกวนกับบริการดาวเทียมและ 5G ของประเทศเพื่อนบ้าน

ความท้าทาย

1. ความหนาแน่นของสเปกตรัมใน C-band ย่านความถี่ C-band มีการใช้งานอย่างหนาแน่นโดยบริการดาวเทียมอยู่แล้ว การเพิ่ม 5G ในย่านความถี่ข้างเคียงทำให้ต้องมีการจัดการอย่างระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวน
2. ความต้องการที่แตกต่างกันในเมืองกับชนบท ในเขตเมือง การรบกวนจากดาวเทียมไม่เป็นปัญหามากนัก เนื่องจากมีโครงข่ายไฟเบอร์และเครือข่ายมือถือที่ครอบคลุมอยู่แล้ว แต่ในชนบทที่บริการดาวเทียมมีความจำเป็น ความเสี่ยงจากการรบกวนจึงสูงกว่า
3. การประสานงานข้ามพรมแดน เยอรมนีจำเป็นต้องทำงานร่วมกับหน่วยงานกำกับดูแลของประเทศเพื่อนบ้านเพื่อให้แน่ใจว่าการใช้ความถี่ถูกซิงโครไนซ์และป้องกันการรบกวนข้ามพรมแดน

แนวทางการแก้ปัญหาและเทคโนโลยี เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ BNetzA ได้นำกลยุทธ์การตรวจสอบและลดการรบกวนหลายชั้นมาใช้ โดยอาศัยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าและข้อตกลงระหว่างประเทศ

1. การติดตั้งสถานีตรวจสอบระยะไกล BNetzA ได้ติดตั้งสถานีตรวจสอบทั่วประเทศเยอรมนีเพื่อเฝ้าสังเกตย่านความถี่ที่ใช้โดยบริการดาวเทียมและ 5G สถานีเหล่านี้ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมที่ทันสมัยซึ่งสามารถตรวจจับรูปแบบการรบกวนได้ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่บริการดาวเทียมและ 5G ทับซ้อนกัน
2. การตรวจจับและรายงานการรบกวนแบบอัตโนมัติ BNetzA ได้นำระบบตรวจจับการรบกวนที่ใช้ AI มาใช้ซึ่งสามารถแจ้งเตือนเหตุการณ์การรบกวนอัตโนมัติและแจ้งผู้ให้บริการ เทคโนโลยีนี้ได้รับการพัฒนาร่วมกับบริษัทโทรคมนาคมของเยอรมันและยุโรป ทำให้ BNetzA สามารถตอบสนองต่อรายงานการรบกวนได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะบริการดาวเทียมที่มีความสำคัญสูง เช่น การพยากรณ์อากาศและการแพร่ภาพฉุกเฉิน

3. นโยบายการใช้ย่านป้องกันและการจำกัดพลังงาน เพื่อลดโอกาสการรบกวน BNetzA ได้กำหนดให้ผู้ให้บริการ 5G ใช้ย่านป้องกันระหว่างความถี่ของ 5G และดาวเทียม นอกจากนี้ยังมีการจำกัดพลังงานของตัวส่งสัญญาณ 5G ในพื้นที่ที่มีการใช้ดาวเทียมสูง ข้อจำกัดเหล่านี้มีความเข้มงวดมากขึ้นใกล้กับพรมแดนเยอรมนีเพื่อป้องกันการรบกวนกับบริการดาวเทียมของประเทศเพื่อนบ้าน
4. การประสานงานข้ามพรมแดนผ่าน CEPT BNetzA ได้ทำงานร่วมกับที่ประชุมฝ่ายบริหารไปรษณีย์และโทรคมนาคมแห่งยุโรป (CEPT) เพื่อกำหนดแนวทางการใช้ความถี่ข้ามพรมแดน ช่วยประสานการจัดสรรความถี่กับฝรั่งเศส สวิตเซอร์แลนด์ โปแลนด์ และประเทศเพื่อนบ้านอื่น ๆ เพื่อให้การใช้ย่าน C-band สอดคล้องกันและลดความเสี่ยงจากการรบกวน

ผลลัพธ์ แนวทางของ BNetzA ช่วยลดการรบกวนระหว่างบริการ 5G และดาวเทียมในเยอรมนีได้อย่างมีประสิทธิภาพ การติดตั้งสถานีตรวจสอบระยะไกลและการใช้การตรวจจับแบบ AI ช่วยลดระยะเวลาในการตอบสนองต่อปัญหาการรบกวนได้อย่างมาก ทำให้การดำเนินงานของดาวเทียมมีความเสถียรแม้ในพื้นที่ชนบท นอกจากนี้ การประสานงานกับ CEPT และประเทศเพื่อนบ้านยังช่วยให้ BNetzA จัดการปัญหาการใช้ความถี่ข้ามพรมแดนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้สภาพแวดล้อมของสเปกตรัมในภูมิภาคมีความเสถียรมากขึ้น

บทเรียนที่ได้เรียนรู้

- ความสำคัญของย่านป้องกันและการจำกัดพลังงาน การกำหนดย่านความถี่ป้องกันอย่างชัดเจนและการกำหนด การจำกัดพลังงานสำหรับตัวส่งสัญญาณ 5G มีความสำคัญในการป้องกันการรบกวนกับบริการดาวเทียม โดยเฉพาะในย่านความถี่ที่ใช้งานร่วมกัน
- ความจำเป็นของเทคโนโลยีการตรวจสอบขั้นสูง การตรวจสอบแบบเรียลไทม์ที่ใช้ AI และการตรวจจับอัตโนมัติช่วยให้สามารถระบุและแก้ไขการรบกวนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการลดความเสียหายจากการหยุดชะงัก
- การประสานงานข้ามพรมแดน การตรวจสอบสเปกตรัมที่มีประสิทธิภาพต้องการความร่วมมือระหว่างประเทศ บทบาทของ CEPT มีความสำคัญในการประสานความถี่ข้ามพรมแดนและป้องกันการรบกวนกับบริการดาวเทียมของประเทศเพื่อนบ้าน

จากกรณีศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า BNetzA ของเยอรมนีจัดการความซับซ้อนของการตรวจสอบความถี่และการจัดการ การรบกวนในภูมิภาคที่มีความหนาแน่นและเชื่อมโยงกันอย่างไร โดยสามารถขยายเครือข่าย 5G ได้อย่างมีประสิทธิภาพและในขณะเดียวกันก็ปกป้องการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่มีความสำคัญ
แหล่งข้อมูลที่สามารถตรวจสอบกรณีศึกษาเกี่ยวกับ BNetzA ของเยอรมนีและแนวทางการตรวจสอบความถี่ดาวเทียมและการจัดการการรบกวน โดยเฉพาะในเรื่อง 5G มีดังนี้

1. เอกสารอย่างเป็นทางการจาก BNetzA เผยแพร่รายงานและเอกสารอย่างเป็นทางการเกี่ยวกับการจัดสรรสเปกตรัม การจัดการการรบกวน และการตรวจสอบความถี่สำหรับบริการดาวเทียมและ 5G ซึ่งมีทรัพยากรเกี่ยวกับนโยบายย่าน C-band และการประสานงานความถี่ที่ทันสมัย สามารถศึกษาข้อมูลเหล่านี้ได้จากเว็บไซต์ของ Bundesnetzagentur
2. การประชุมฝ่ายบริหารไปรษณีย์และโทรคมนาคมแห่งยุโรป (CEPT) เนื่องจากเยอรมนีร่วมมือกับ CEPT ในการจัดการสเปกตรัมข้ามพรมแดน รายงานและข้อแนะนำของ CEPT ให้บริบทเกี่ยวกับการประสานความถี่ในย่าน C-band และการลดความเสี่ยงจากการรบกวนข้ามยุโรป ดูรายงานที่เกี่ยวข้องได้ในหน้า Electronic Communications Committee (ECC) ของ CEPT

3. สถาบันมาตรฐานโทรคมนาคมแห่งยุโรป (ETSI) ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้งานสเปกตรัมร่วมกันและการจัดการการรบกวน ซึ่งเยอรมนีได้ปฏิบัติตาม โดยเฉพาะสำหรับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างดาวเทียมและ 5G ในย่าน C-band เว็บไซต์ ETSI มีรายงานและมาตรฐานสำหรับการอ้างอิง
4. วารสารทางเทคนิคและสิ่งพิมพ์ วารสารเช่น Telecommunications Policy และ IEEE Xplore มีบทความที่กล่าวถึงการจัดการความถี่ของเยอรมนี โดยเฉพาะผลกระทบของ 5G ต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียม การค้นหาฐานข้อมูลเหล่านี้โดยใช้คำว่า “Germany BNetzA 5G satellite interference” จะให้ข้อมูลเชิงลึกเพิ่มเติมเฉพาะกรณี

3.4.2 กรณีศึกษา การตรวจสอบความถี่ดาวเทียม ของสาธารณรัฐประชาชนจีน

จีนได้พัฒนาและเปิดตัวระบบดาวเทียมนำทาง BeiDou (BDS) ของตนเอง ซึ่งเป็นระบบนำทางผ่านดาวเทียมระดับโลกที่รองรับทั้งการใช้งานพลเรือนและการทหาร การขยายตัวของเครือข่าย 5G ในจีนทำให้การจัดการคลื่นความถี่มีความท้าทายมากขึ้น เนื่องจากความเสี่ยงที่จะเกิดการรบกวนระหว่างเครือข่าย 5G ภาคพื้นดินกับการสื่อสารดาวเทียม โดยเฉพาะในย่านความถี่ C-band หน่วยงานที่รับผิดชอบในการตรวจสอบและจัดการการใช้คลื่นความถี่ดาวเทียมในจีนคือกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ และหน่วยบริการตรวจสอบคลื่นวิทยุแห่งประเทศจีน

วัตถุประสงค์หลักของระบบตรวจสอบความถี่ของจีน คือ

1. ปกป้องความสมบูรณ์ของการทำงานของ BeiDou ในฐานะองค์ประกอบสำคัญสำหรับการนำทาง การกำหนดเวลา และการระบุตำแหน่ง ระบบ BeiDou จำเป็นต้องได้รับการป้องกันจากการรบกวนของคลื่นความถี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เนื่องจากมีการใช้งานทั้งในภาคพลเรือนและกองทัพ
2. สนับสนุนการใช้งาน 5G การขยายตัวของ 5G จำเป็นต้องใช้ย่านความถี่ที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งรวมถึงย่านที่ใกล้เคียงกับความถี่ของการสื่อสารดาวเทียม ทำให้มีความเสี่ยงต่อการรบกวน
3. รับรองการปฏิบัติตามข้อกำหนดของกฎระเบียบความถี่ระหว่างประเทศ จีนยังต้องการให้เป็นไปตามแนวทางของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ เพื่อป้องกันการรบกวนข้ามพรมแดนและเพื่อให้แน่ใจว่าระบบดาวเทียมของจีนสามารถใช้งานร่วมกับระบบดาวเทียมทั่วโลกได้

ความท้าทาย

1. ความแออัดของคลื่นความถี่ในย่าน C-band ความถี่ C-band ที่ใช้งานร่วมกันโดยดาวเทียมและเครือข่าย 5G มีความเสี่ยงสูงต่อการรบกวน เนื่องจากความถี่ที่ใช้โดยระบบ BeiDou และผู้ให้บริการดาวเทียมพาณิชย์มีความใกล้เคียงกัน
2. สภาพแวดล้อมในเมืองที่มีความหนาแน่นสูง เมืองที่มีประชากรหนาแน่นในจีน ทำให้เกิดความท้าทายเพิ่มเติม เนื่องจากการตั้งเสาสัญญาณ 5G ใกล้กับสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียมเพิ่มโอกาสการรบกวนมากขึ้น
3. ความเสี่ยงจากการรบกวนระหว่างระบบ เนื่องจากมีผู้ให้บริการดาวเทียมหลายรายที่ใช้ความถี่ที่ทับซ้อนกัน การป้องกันการรบกวนไม่เพียงแค่จากแหล่งภาคพื้นดิน แต่ยังรวมถึงจากสัญญาณดาวเทียมที่ทับซ้อนกันด้วย

แนวทางการแก้ไขและเทคโนโลยี

เพื่อจัดการกับความท้าทายเหล่านี้ จีนได้ใช้วิธีการตรวจสอบและการจัดการความถี่แบบครอบคลุม ดังนี้

1. การติดตั้งสถานีตรวจสอบภาคพื้นดิน ได้ติดตั้งสถานีตรวจสอบทั่วประเทศจีน โดยเน้นที่พื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงซึ่งมีการใช้งานดาวเทียมและ 5G อย่างมาก สถานีเหล่านี้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบ RF ที่มีความไวสูง ซึ่งสามารถตรวจจับการรบกวนในย่าน C-band และย่านความถี่ดาวเทียมที่สำคัญอื่น ๆ ได้
2. การตรวจจับการรบกวนแบบเรียลไทม์ด้วย AI จีนได้รวมกระบวนวิธี AI เข้ากับระบบการตรวจสอบ ซึ่งช่วยในการตรวจจับ และจำแนกแหล่งที่มาของการรบกวนแบบเรียลไทม์ AI ถูกฝึกให้แยกแยะรูปแบบการรบกวนต่าง ๆ โดยสามารถระบุการรบกวนที่เกิดจากสถานีฐาน 5G และแหล่ง RF ใกล้เคียงได้
3. การกั้นแถบความถี่ และข้อจำกัดด้านกำลังส่งสำหรับสถานีส่ง 5G เพื่อบรรเทาปัญหาการรบกวน MIIT ได้กำหนดให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมต้องใช้แถบกั้นระหว่างความถี่ของ 5G และดาวเทียม นอกจากนี้ ตัวส่งสัญญาณ 5G ใกล้สถานีภาคพื้นดินของ BeiDou และพื้นที่ ที่มีความสำคัญอื่น ๆ จะต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดด้านกำลังส่งที่เข้มงวด
4. เทคโนโลยีการกรองแบบปรับได้ของ BeiDou ดาวเทียม BeiDou ได้ติดตั้งเทคโนโลยีการกรองแบบปรับได้ เพื่อลดการรบกวนจากแหล่งภาคพื้นดิน เทคโนโลยีนี้ช่วยให้ตัวรับสัญญาณของ BeiDou สามารถกรองสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการจากย่านความถี่ 5G ที่อยู่ใกล้เคียง ลดความเสี่ยงของการรบกวนโดยไม่กระทบต่อคุณภาพบริการ
5. การประสานงานระหว่างประเทศผ่าน ITU จีนได้ร่วมมือกับ ITU เพื่อป้องกันการรบกวนกับระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลก (GNSS) อื่น ๆ เช่น GPS ของสหรัฐอเมริกาและ Galileo ของยุโรป ความร่วมมือนี้ช่วยให้สอดคล้องกับมาตรฐานระดับโลกและลดความเสี่ยงของการรบกวนข้ามพรมแดน

ผลลัพธ์ แนวทางของจีนสามารถลดการรบกวนกับระบบ BeiDou ได้สำเร็จ ทำให้บริการการนำทางผ่านดาวเทียมมีความเชื่อถือได้ การใช้ AI ในการตรวจจับการรบกวนช่วยให้ตอบสนองต่อเหตุการณ์การรบกวนได้เร็วขึ้น ทำให้บริการของ BeiDou และบริการดาวเทียมพาณิชย์อื่น ๆ ยังคงดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ นโยบายของ MIIT เกี่ยวกับแถบกั้นความถี่และข้อจำกัดด้านกำลังส่งยังช่วยให้การขยายตัวของ 5G ในจีนเป็นไปอย่างมีผลกระทบน้อยที่สุดต่อบริการการสื่อสารดาวเทียม

ผลลัพธ์ที่ได้

- เทคโนโลยีการตรวจสอบขั้นสูงมีความสำคัญ การตรวจจับการรบกวนด้วย AI มีบทบาทสำคัญในการจัดการการรบกวนแบบเรียลไทม์ โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีการติดตั้งเครือข่ายหนาแน่น
- ความยืดหยุ่นของกฎระเบียบในการแบ่งปันคลื่นความถี่ โดยการใช้แถบกั้นและการกรองแบบปรับได้ จีนแสดงให้เห็นถึงวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการจัดการ การแบ่งปันคลื่นความถี่ระหว่างบริการ 5G และดาวเทียม
- การประสานงานระหว่างประเทศ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการทำงานร่วมกับ ITU ช่วยให้จีนสามารถรักษาความเข้ากันได้กับระบบดาวเทียมทั่วโลก ลดความเสี่ยงของการรบกวนข้ามพรมแดน

กรณีศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า MIIT และ CRMS ของจีนสามารถจัดการการตรวจสอบความถี่ดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ท่ามกลางการขยายตัวของบริการ 5G และบริการการนำทางผ่านดาวเทียม

โดยใช้กลยุทธ์การตรวจสอบภาคพื้นดิน AI และเทคโนโลยีการกรองแบบปรับได้เพื่อปกป้องการดำเนินงานของระบบดาวเทียมที่สำคัญ ในขณะเดียวกันก็สนับสนุนการเติบโตอย่างรวดเร็วของโครงสร้างพื้นฐานโทรคมนาคม

แหล่งข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้อง

1. กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (MIIT) MIIT เผยแพร่รายงานและประกาศเกี่ยวกับการจัดสรรคลื่นความถี่ การจัดการความถี่ และการใช้งานร่วมกันของ 5G และบริการดาวเทียม สามารถเข้าถึงเอกสารเหล่านี้ได้บนเว็บไซต์อย่างเป็นทางการของ MIIT
2. หน่วยบริการตรวจสอบคลื่นวิทยุแห่งประเทศจีน (CRMS) CRMS ดูแลการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในจีนและออกแนวทางและรายงานเกี่ยวกับกลยุทธ์การจัดการการรบกวน บางส่วนอาจสามารถอ่านได้เฉพาะภาษาจีน แต่สามารถติดตามข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้ในส่วนของ CRMS บนเว็บไซต์ของ MIIT
3. เอกสารของระบบนำทางดาวเทียม BeiDou สำนักงานข่าวสารสภารัฐบาลจีนและองค์การอวกาศแห่งชาติจีน (CNSA) เผยแพร่เอกสารไวท์เปเปอร์และข้อมูลทางเทคนิคเกี่ยวกับ BeiDou ซึ่งมักจะอธิบายถึงมาตรการที่ใช้ในการป้องกัน BeiDou จากการรบกวน สามารถค้นหาได้จากเว็บไซต์ CNSA และหน่วยงานการจัดการ GNSS และการใช้งานแห่งชาติจีน (CNAGA)
4. รายงานและข้อแนะนำของ ITU ในฐานะสมาชิกของ ITU ความพยายามในการจัดการความถี่และการประสานงานของจีนเกี่ยวกับ BeiDou และ 5G มักจะถูกกล่าวถึงในเอกสารของ ITU โดยเฉพาะในส่วนของแผนกการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ (ITU-R) ซึ่งมีการรายงานเกี่ยวกับแนวทางการแบ่งปันคลื่นความถี่ทั่วโลกและการเข้ากันได้ของ GNSS สามารถค้นหาเอกสารเหล่านี้ได้ที่เว็บไซต์ ITU-R
5. วารสารเทคนิค วารสาร เช่น IEEE Access และ Telecommunications Science มีบทความเกี่ยวกับการตรวจสอบความถี่ การแบ่งปันคลื่นความถี่ระหว่างระบบ 5G และดาวเทียม และเทคนิคการจัดการการรบกวนที่ใช้โดย BeiDou การค้นหาฐานข้อมูลเช่น IEEE Xplore โดยใช้คำสำคัญ เช่น “การลดการรบกวน BeiDou 5G ในจีน” อาจให้ข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงเพิ่มเติม
6. การวิเคราะห์ผลกระทบของ 5G ต่อระบบ Beidou RDSS ในย่านความถี่ 2.5 GHz พฤศจิกายน ค.ศ. 2022, GPS Solutions 27(1), DOI: 10.1007/s10291-022-01359-4

3.4.3 กรณีศึกษา การตรวจสอบความถี่ดาวเทียม ของสหรัฐอเมริกา

การเปิดตัวเครือข่าย 5G ในสหรัฐอเมริกาทำให้เกิดความต้องการใช้คลื่นความถี่เฉพาะมากขึ้น รวมถึงคลื่นความถี่ที่เคยใช้สำหรับการสื่อสารด้วยดาวเทียม (โดยเฉพาะย่านความถี่ C-band) FCC ได้จัดการประมูลส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ C-band (3.7-4.2 GHz) เพื่อใช้กับ 5G จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการรบกวนกับบริการดาวเทียมที่ยังคงใช้คลื่นความถี่ใกล้เคียงกัน ความเสี่ยงจากการซ้อนทับของคลื่นนี้ มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับผู้ให้บริการดาวเทียมที่ให้บริการกระจายเสียงและการส่งข้อมูล

วัตถุประสงค์ เป้าหมายหลักของ FCC คือการให้บริการ 5G สามารถขยายตัวได้ในย่าน C-band โดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนที่เป็นอันตรายต่อบริการดาวเทียมที่ยังคงใช้คลื่นความถี่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ FCC ต้องการพัฒนากรอบการทำงานที่ชัดเจนในการจัดการกรณีการรบกวนที่อาจเกิดขึ้นตามที่รายงานโดยผู้ให้บริการดาวเทียม

ความท้าทาย

1. การรบกวนในย่านคลื่นใกล้เคียง ความใกล้ชิดของคลื่นความถี่ 5G กับคลื่นความถี่ C-band ของดาวเทียมทำให้มีโอกาสสูงที่จะเกิดการรบกวน โดยเฉพาะในพื้นที่เมืองที่มีสถานีฐาน 5G หนาแน่น
2. ความไวสูงของตัวรับสัญญาณดาวเทียม ตัวรับสัญญาณภาคพื้นดินของดาวเทียมในย่าน C-band มีความไวสูงและสามารถรับสัญญาณจากตัวส่ง 5G ที่มีกำลังสูงในบริเวณใกล้เคียงได้ง่าย
3. การประสานงานกับภาคเอกชน ผู้ให้บริการดาวเทียมและผู้ให้บริการเครือข่ายมือถือมีผลประโยชน์ที่ขัดแย้งกัน ทำให้การประสานงานและการตกลงกลยุทธ์ลดการรบกวนเป็นเรื่องท้าทาย

แนวทางการแก้ไขและเทคโนโลยี

FCC ใช้วิธีการตรวจสอบความถี่และลดการรบกวนแบบสามด้าน ดังนี้

1. การแยกความถี่ FCC ได้กำหนดให้มีแถบกั้นความถี่ (guard band) ขนาด 20 MHz ระหว่างบริการดาวเทียมและ 5G เพื่อลดความเสี่ยงของการรบกวน แถบกั้นความถี่นี้ลดโอกาสที่สัญญาณจาก 5G จะรบกวนความถี่ของดาวเทียม แต่ยังไม่ใช่การแก้ไขปัญหาอย่างสมบูรณ์
2. การตรวจจับการรบกวนแบบเรียลไทม์ผ่านความร่วมมือกับภาคเอกชน FCC ได้ร่วมมือกับบริษัทอย่าง Intelsat และ SES ผู้ให้บริการดาวเทียมรายใหญ่ และยังได้ทำงานร่วมกับบริษัทเทคนิคเฉพาะทางที่เชี่ยวชาญด้านการตรวจสอบความถี่ เช่น Anterix และ Comsearch บริษัทเหล่านี้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบเฉพาะที่สถานีภาคพื้นดิน เพื่อให้สามารถตรวจจับการรบกวนจากการส่งสัญญาณ 5G ในบริเวณใกล้เคียงได้แบบเรียลไทม์
    - เทคโนโลยีการตรวจจับการรบกวน ระบบตรวจสอบใช้สเปกตรัมอะนาไลเซอร์เพื่อตรวจจับความแปรปรวนหรือรูปแบบที่ผิดปกติ ซึ่งอาจบ่งชี้การรบกวนจากแหล่งสัญญาณ 5G จากนั้นข้อมูลจะถูกประมวลผลด้วยกระบวนวิธีการเรียนรู้ของเครื่องที่สามารถแยกแยะการรบกวนจาก 5G ออกจากแหล่งอื่น ๆ ได้
3. การนำเสนอโปรโตคอลการลดการรบกวน FCC ได้จัดตั้งโปรโตคอล สำหรับรายงานและแก้ไขกรณีการรบกวน ผู้ให้บริการดาวเทียมจำเป็นต้องส่งรายงานการรบกวน ซึ่งจะนำไปสู่การสอบสวนที่นำโดย FCC หากพบว่ามีการรบกวนจริง ผู้ให้บริการ 5G จะปรับกำลังส่งสัญญาณ เปลี่ยนทิศทางสายอากาศของสถานีฐาน หรือใช้ตัวกรองเพิ่มเติมเพื่อลดการรบกวน

ผลลัพธ์การทำงานร่วมกันของ FCC กับผู้ให้บริการดาวเทียมและ 5G ช่วยลดกรณีการรบกวนได้สำเร็จ ทำให้ทั้งสองอุตสาหกรรม สามารถอยู่ร่วมกันได้ภายในย่านความถี่ C-band การใช้แถบกั้นความถี่และโซลูชันการตรวจสอบแบบเรียลไทม์ได้ผลดี โดยช่วยลดจำนวนรายงานการรบกวนที่เกิดขึ้น และคงความน่าเชื่อถือของบริการดาวเทียมอย่างต่อเนื่อง

ผลลัพธ์ที่ได้

- การวางแผนเชิงรุก การกำหนดแถบกั้นความถี่ก่อนการใช้งาน 5G ช่วยป้องกันปัญหาการรบกวนได้มาก ทำให้เห็นถึงความสำคัญของการวางแผนความถี่ล่วงหน้า
- การทำงานร่วมกันข้ามอุตสาหกรรม การประสานงานระหว่าง FCC ผู้ให้บริการดาวเทียม และบริษัท 5G มีความสำคัญต่อการแก้ไขปัญหาอย่างรวดเร็ว และกลายเป็นแบบอย่างในการจัดการกรณีการใช้ความถี่ร่วมกันที่คล้ายกัน

- การตรวจสอบที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี การใช้ AI และโซลูชันการตรวจสอบแบบเรียลไทม์ช่วยให้ FCC และผู้ให้บริการเอกชน สามารถตรวจจับและตอบสนองต่อการรบกวนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีความสำคัญต่อการรักษาคุณภาพบริการสำหรับผู้ใช้งานดาวเทียมและ 5G

กรณีศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า FCC และผู้ประกอบการในอุตสาหกรรม สามารถตรวจสอบและจัดการการใช้สเปกตรัมเพื่อจัดการกับการรบกวนในย่านความถี่ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องเผชิญกับเทคโนโลยีและบริการใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิงที่สำคัญสำหรับการอ่านเพิ่มเติม

1. รายงานและเอกสารการประชุม C-Band ของ FCC เอกสารอย่างเป็นทางการของ FCC เกี่ยวกับการประมูลคลื่นความถี่ C-band และกลยุทธ์การจัดการการรบกวนให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับโปรโตคอลและความร่วมมือของพวกเขา เอกสารสำคัญได้แก่ FCC Order 20-22 และรายงานต่อมาที่เกี่ยวกับการจัดสรรคลื่น C-band สำหรับ 5G ซึ่งสามารถเข้าถึงได้บนเว็บไซต์ของ FCC
2. แผนการเปลี่ยนผ่าน C-Band ของ Intelsat และ SES ในฐานะผู้ให้บริการดาวเทียมรายใหญ่ที่ได้รับผลกระทบจากการจัดสรรใหม่ของ C-band Intelsat และ SES ได้ส่งแผนการเปลี่ยนผ่าน และรายงานที่อธิบายกลยุทธ์การลดการรบกวนและความร่วมมือกับ FCC เอกสารเหล่านี้สามารถหาอ่านได้จากไฟล์ของ FCC หรือโดยตรงจากเว็บไซต์ของบริษัท เช่น การอัปเดตการเคลียร์ C-Band ของ Intelsat และหน้าการเปลี่ยนผ่าน C-Band ของ SES
3. รายงานทางเทคนิคของ Comsearch และ Anterix Comsearch และ Anterix บริษัทที่สนับสนุนการวิเคราะห์ความถี่และการตรวจสอบการรบกวน ได้เผยแพร่เอกสารปกขาวและรายงานเกี่ยวกับแนวทางการตรวจสอบความถี่แบบเรียลไทม์ ซึ่งรวมถึงการจัดการ C-band การเข้าถึงรายงานเหล่านี้อาจต้องค้นหาผ่านเว็บไซต์ หรือสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีและโทรคมนาคม
4. วารสาร IEEE Spectrum และ Telecommunications บทความในวารสาร เช่น IEEE Spectrum และ Telecommunications Policy ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความท้าทายในการแบ่งปันคลื่นความถี่และเทคนิคการลดการรบกวนที่ใช้กับ C-band การค้นหาฐานข้อมูล IEEE Xplore หรือคลังข้อมูลอื่น ๆ ด้วยคำสำคัญเช่น "การรบกวน C-band 5G ดาวเทียม FCC" สามารถให้ข้อมูลเชิงลึกได้

3.4.4 กรณีศึกษา การตรวจสอบความถี่ดาวเทียมของอินโดนีเซีย

อินโดนีเซียใช้ดาวเทียม Telkomsat และ SATRIA เป็นดาวเทียมสื่อสารหลักในการตรวจสอบสัญญาณรบกวน และเฝ้าระวังการรบกวนในช่วงความถี่ย่าน C-band และ Ku-band รวมถึงมีการพัฒนาระบบ GNSS Interference Detection System เพื่อนำมาตรวจจับการรบกวนที่ส่งผลต่อระบบนำทางและ GPS ที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการบินและการขนส่งทางทะเล โดยแนวทางการบริหารจัดการความถี่ร่วมกับประเทศเพื่อนบ้านจะเป็นปัญหาเรื่องการรบกวนข้ามพรมแดนกับประเทศมาเลเซียในเกาะกาลิมันตัน ซึ่งจะใช้การประสานงานและเจรจาภายใต้กรอบ ASEAN ในเรื่องความถี่ทับซ้อน

ในขณะเดียวกันอินโดนีเซียได้ติดตั้ง Fixed Monitoring Station และ Mobile Monitoring Unit ในพื้นที่ชุมชนหนาแน่น เพื่อตรวจสอบคลื่นรบกวนจากอุปกรณ์สื่อสาร อาทิ 5G FM และ Wi-Fi รวมถึงใช้เทคโนโลยี Geolocation เพื่อระบุแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในหมู่เกาะ สุลาเวสีและปาปัว เพื่อประสานงานแก้ไขปัญหาโดยเฉพาะการรบกวนบริเวณชายแดน รวมถึงเทคโนโลยีสมัยใหม่อาทิ Machine Learning และระบบ Real-Time Spectrum Monitoring ช่วยตรวจจับและรายงานคลื่นรบกวนได้ทันที

บทที่ 4 แนวทางการตรวจสอบคลื่นความถี่ของกิจการอวกาศในประเทศไทย

4.1 อำนาจหน้าที่ หรือระเบียบที่เกี่ยวข้อง

4.1.1 หน่วยงานกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมในประเทศไทย

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เป็นหน่วยงานอิสระทำหน้าที่กำกับดูแลโดยตรงเกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมในประเทศไทย ทั้งยังมีการจัดตั้งศูนย์ตรวจสอบคลื่นความถี่แห่งชาติ (National Spectrum Monitoring Center) ขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงอำนาจหน้าที่ของ กสทช. และสำนักงาน กสทช. และกฎหมายที่เกี่ยวข้องให้ชัดเจนเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการกำหนดแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทยต่อไป มีรายละเอียดดังนี้

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)

ด้วยพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติมกำหนดให้ สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) และสำนักงาน กสทช. มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมในประเทศไทย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาถึง 1. อำนาจหน้าที่ของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) และ 2. กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียม อันมีรายละเอียดดังนี้

1. อำนาจหน้าที่ของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)

พระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2560 และ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2562 มาตรา 27 กำหนดให้ กสทช. มีอำนาจหน้าที่ ดังนี้

1. จัดทำแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ ตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ แผนแม่บทกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ แผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม แผนความถี่วิทยุ และแผนเลขหมายโทรคมนาคม และดำเนินการให้เป็นไปตามแผนดังกล่าวต้องสอดคล้องกับนโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วยการพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม
2. กำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่ระหว่างคลื่นความถี่ที่ใช้ในกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ กิจการวิทยุคมนาคม และกิจการโทรคมนาคม
3. กำหนดลักษณะและประเภทของกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม
4. พิจารณาอนุญาตและกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่และเครื่องวิทยุคมนาคมในการประกอบกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม หรือในกิจการวิทยุคมนาคม และกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการอนุญาต เงื่อนไข หรือค่าธรรมเนียมการอนุญาตดังกล่าว ในการนี้ กสทช. จะมอบหมายให้สำนักงาน กสทช. เป็นผู้อนุญาตแทน กสทช. เฉพาะการอนุญาตในส่วนที่เกี่ยวกับเครื่องวิทยุคมนาคมตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขที่ กสทช. กำหนดก็ได้

5. กำหนดหลักเกณฑ์การใช้คลื่นความถี่ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและปราศจากการรบกวนซึ่งกันและกัน ทั้งในกิจการประเภทเดียวกันและระหว่างกิจการแต่ละประเภท
6. พิจารณาอนุญาตและกำกับดูแลการประกอบกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม เพื่อให้ผู้ใช้บริการได้รับบริการที่มีคุณภาพ ประสิทธิภาพ รวดเร็วถูกต้อง และเป็นธรรม และกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการอนุญาต เงื่อนไขหรือค่าธรรมเนียมการอนุญาตดังกล่าว
7. พิจารณาอนุญาตและกำกับดูแลการใช้เลขหมายโทรคมนาคม และกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการอนุญาต เงื่อนไข หรือค่าธรรมเนียมการอนุญาตดังกล่าว
8. กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการในการใช้หรือเชื่อมต่อ และหลักเกณฑ์และวิธีการในการกำหนดอัตราค่าใช้หรือค่าเชื่อมต่อโครงข่ายในการประกอบกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม ทั้งในกิจการประเภทเดียวกันและระหว่างกิจการแต่ละประเภท ให้เป็นธรรมต่อ ผู้ใช้บริการ ผู้ให้บริการและผู้ลงทุน หรือระหว่างผู้ให้บริการโทรคมนาคม โดยคำนึงถึงประโยชน์สาธารณะเป็นสำคัญ
9. กำหนดโครงสร้างอัตราค่าธรรมเนียมและโครงสร้างอัตราค่าบริการในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม ให้เป็นธรรมต่อผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการโดยคำนึงถึงประโยชน์สาธารณะเป็นสำคัญ
10. กำหนดมาตรฐานและลักษณะพึงประสงค์ทางด้านเทคนิคในการประกอบกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม
11. กำหนดมาตรการเพื่อป้องกันมิให้มีการกระทำอันเป็นการผูกขาดหรือก่อให้เกิดความไม่เป็นธรรมในการแข่งขันในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม
12. กำหนดมาตรการให้มีการกระจายบริการด้านโทรคมนาคมให้ทั่วถึง และเท่าเทียมกันตามมาตรา 50
    12.1 เรียกคืนคลื่นความถี่ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ หรือใช้ประโยชน์ไม่คุ้มค่า หรือนำมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่ายิ่งขึ้น ตามที่กำหนดไว้ในแผนซึ่งจัดทำขึ้นตาม (1) จากผู้ที่ได้รับอนุญาตเพื่อนำมาจัดสรรใหม่ ทั้งนี้ ตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่ กสทช. กำหนด โดยเงื่อนไขดังกล่าวต้องกำหนดวิธีการทดแทน ชดใช้ หรือจ่ายค่าตอบแทนสำหรับผู้ที่เรียกคืนคลื่นความถี่โดยให้คำนึงถึงสิทธิของผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการถูกเรียกคืนคลื่นความถี่ในแต่ละกรณีด้วย
13. คุ้มครองสิทธิและเสรีภาพของประชาชนมิให้ถูกเอาเปรียบจากผู้ประกอบกิจการ และคุ้มครองสิทธิในความเป็นส่วนตัวและเสรีภาพของบุคคลในการสื่อสารถึงกันโดยทางโทรคมนาคม และส่งเสริมสิทธิเสรีภาพและความเสมอภาคของประชาชนในการเข้าถึงและใช้ประโยชน์คลื่นความถี่ที่ใช้ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม
14. ดำเนินการในฐานะหน่วยงานอำนวยการของรัฐที่มีอำนาจในการบริหารกิจการสื่อสารระหว่างประเทศกับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือกับองค์กรระหว่างประเทศอื่น รัฐบาลและหน่วยงาน ต่างประเทศ ตามที่อยู่ในหน้าที่และอำนาจของ กสทช. หรือตามที่รัฐบาลมอบหมาย รวมทั้งสนับสนุนการดำเนินการของรัฐเพื่อให้มีดาวเทียมหรือให้ได้มาซึ่งสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม และประสานงานเกี่ยวกับการบริหารคลื่นความถี่ ทั้งในประเทศและระหว่างประเทศ ทั้งนี้ เพื่อให้เป็นไปตามแผน ซึ่งจัดทำตาม (1) และนโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วย การพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม

14.1 ดำเนินการให้ได้มาและรักษาไว้ซึ่งสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมอันเป็นสมบัติของชาติ และดำเนินการให้มีการใช้สิทธิดังกล่าวเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับประเทศชาติและประชาชน ในกรณีที่การรักษาสิทธิดังกล่าวก่อให้เกิดภาระแก่รัฐเกินประโยชน์ที่จะได้รับ กสทช. อาจสละสิทธิดังกล่าวได้ตามที่กำหนดในแผนการบริหารสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม และให้รายงานคณะรัฐมนตรีพร้อมทั้งประกาศเหตุผลโดยละเอียดให้ประชาชนทราบ ในการดำเนินการให้มีการใช้สิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมดังกล่าว ให้ กสทช. มีอำนาจกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไข การอนุญาตค่าธรรมเนียมและการยกเว้นค่าธรรมเนียมการอนุญาต รวมถึงค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการดำเนินการที่เกี่ยวข้องที่ผู้ขอรับอนุญาตหรือผู้รับอนุญาต แล้วแต่กรณี จะต้องรับภาระโดยค่าธรรมเนียมการอนุญาตดังกล่าวเมื่อหักค่าใช้จ่ายในการอนุญาตแล้วเหลือเท่าใดให้นำส่งเป็นรายได้แผ่นดิน

14.2 พิจารณาอนุญาตและกำกับดูแลการประกอบกิจการตามพระราชบัญญัตินี้โดยใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติ และกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการอนุญาต เงื่อนไข และค่าธรรมเนียม การอนุญาตดังกล่าว

15. วินิจฉัยและแก้ไขปัญหาการใช้คลื่นความถี่ที่มีการรบกวนซึ่งกันและกัน
16. ติดตามตรวจสอบและให้คำปรึกษาแนะนำการประกอบกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม
17. กำหนดลักษณะการควบรวม การครองสิทธิข้ามสื่อ หรือการครอบงำกิจการกระจายเสียง และกิจการโทรทัศน์ที่ใช้คลื่นความถี่ ระหว่างสื่อมวลชนด้วยกันเองหรือโดยบุคคลอื่นใด ซึ่งจะมีผลเป็นการขัดขวางเสรีภาพในการรับรู้ข้อมูลข่าวสารหรือปิดกั้นการได้รับข้อมูลข่าวสารที่หลากหลายของประชาชน
18. ส่งเสริมการรวมกลุ่มของผู้รับใบอนุญาต ผู้ผลิตรายการ และผู้ประกอบวิชาชีพสื่อสารมวลชนที่เกี่ยวกับกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์เป็นองค์กรในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อทำหน้าที่จัดทำมาตรฐานทางจริยธรรมของการประกอบอาชีพหรือวิชาชีพและการควบคุมการประกอบอาชีพหรือวิชาชีพกันเองภายใต้มาตรฐานทางจริยธรรม
19. ออกระเบียบหรือประกาศเกี่ยวกับการบริหารงานทั่วไป การบริหารงานบุคคลการงบประมาณการเงินและทรัพย์สิน และการดำเนินการอื่นของสำนักงาน กสทช. ตามมาตรา 58
20. อนุมัติงบประมาณรายจ่ายของสำนักงาน กสทช. รวมทั้งเงินที่จะจัดสรรเข้ากองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะตามมาตรา 52
21. พิจารณาและให้ความเห็นชอบเกี่ยวกับการจัดสรรเงินกองทุนตามที่คณะกรรมการบริหารกองทุนเสนอตามมาตรา 55
22. ให้ข้อมูลและร่วมดำเนินการในการเจรจาหรือทำความตกลงระหว่างรัฐบาลแห่งราชอาณาจักรไทยกับรัฐบาลต่างประเทศหรือองค์การระหว่างประเทศ ในเรื่องที่เกี่ยวกับการบริหาร คลื่นความถี่ กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์กิจการโทรคมนาคม หรือกิจการอื่นที่เกี่ยวข้อง

22.1 ให้ข้อมูลที่เกี่ยวกับการดำเนินการของ กสทช. และผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตจาก กสทช. ทั้งนี้ ในส่วนที่เกี่ยวกับดิจิทัลตามที่สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติร้องขอเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และจัดทำนโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วยการพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม

23. เสนอแนะต่อคณะรัฐมนตรีเพื่อให้มีกฎหมายหรือแก้ไขปรับปรุงหรือยกเลิกกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรคลื่นความถี่และการดำเนินการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคลื่นความถี่กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม
24. ออกระเบียบประกาศ หรือคำสั่งอันเกี่ยวกับอำนาจหน้าที่ของ กสทช.
25. ปฏิบัติการอื่นใดตามที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัตินี้หรือกฎหมายอื่นจากที่กล่าวมาข้างต้น เห็นได้ว่าตามมาตรา 27 กำหนดให้ กสทช. มีอำนาจหน้าที่ในการบริหารคลื่นความถี่และกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปราศจากการรบกวน ตลอดจนการตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ก็เป็นหนึ่งในหน้าที่ที่สำคัญของ กสทช. โดยมีสำนักงาน กสทช. เป็นผู้ตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ตามมาตรา 57 (3) แห่งพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายุเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม โดยให้สำนักงาน กสทช. ส่วนกลาง และสำนักงาน กสทช. ส่วนภูมิภาค มีการตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุม ได้ติดตามตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมในประเด็นต่าง ๆ

2. กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียม

การตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียม เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นการตรวจสอบว่าคลื่นความถี่วิทยุนั้นจะถูกนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ดังนั้น เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อสาธารณะและประชาชน จึงจำเป็นต้องศึกษากฎหมายที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมถึงความสอดคล้องกันของนโยบายและแผนระดับชาติที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และกำหนดแนวทางเชิงนโยบาย และกฎหมายด้านการบริหารคลื่นความถี่ของประเทศอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษากฎหมายภายในของประเทศไทย โดยมีสาระสำคัญดังต่อไปนี้

1. กฎหมายรัฐธรรมนูญ

รัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย เป็นกฎหมายที่มีศักดิ์สูงสุดของรัฐในการกำหนดรูปแบบการปกครอง ระเบียบราชการ อำนาจองค์กรต่าง ๆ ตลอดจนสิทธิต่าง ๆ ของประชาชนในประเทศ ซึ่ง ถือได้ว่ารัฐธรรมนูญเป็นกฎหมายแม่บทของกฎหมายทุกฉบับในรัฐ และรัฐธรรมนูญยังเป็นที่มาของการเกิดพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 ด้วย เนื่องจากรัฐธรรมนูญมาตรา 60 ได้มีการกำหนดให้มีองค์กรเพื่อรับผิดชอบและกำกับการดำเนินการเกี่ยวกับคลื่นความถี่ และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม ดังนี้ “รัฐต้องรักษาไว้ซึ่งคลื่นความถี่และสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมอันเป็นสมบัติของชาติเพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์แก่ประเทศชาติและประชาชน

การจัดให้มีการใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่ตามวรรคหนึ่ง ไม่ว่าจะใช้เพื่อส่งกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และโทรคมนาคม หรือเพื่อประโยชน์อื่นใด ต้องเป็นไปเพื่อประโยชน์สูงสุดของประชาชน ความมั่นคงของรัฐ และประโยชน์สาธารณะ รวมตลอดทั้งการให้ประชาชนมีส่วนได้ใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่ด้วย ทั้งนี้ ตามที่กฎหมายบัญญัติ

รัฐต้องจัดให้มีองค์กรของรัฐที่มีความเป็นอิสระในการปฏิบัติหน้าที่ เพื่อรับผิดชอบและกำกับการดำเนินการเกี่ยวกับคลื่นความถี่ให้เป็นไปตามวรรคสอง ในการนี้ องค์กรดังกล่าวต้องจัดให้มีมาตรการป้องกัน

มิให้มีการแสวงหาประโยชน์จากผู้บริโภคโดยไม่เป็นธรรมหรือสร้างภาระแก่ผู้บริโภคเกินความจำเป็นป้องกันมิให้คลื่นความถี่รบกวนกัน รวมตลอดทั้งป้องกันการกระทำที่มีผลเป็นการขัดขวางเสรีภาพในการรับรู้หรือปิดกั้นการรับรู้ข้อมูลหรือข่าวสารที่ถูกต้องตามความเป็นจริงของประชาชน และป้องกันมิให้บุคคลหรือกลุ่มบุคคลใดใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่โดยไม่คำนึงถึงสิทธิของประชาชนทั่วไป รวมตลอดทั้งการกำหนดสัดส่วนขั้นต่ำที่ผู้ใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่จะต้องดำเนินการเพื่อประโยชน์สาธารณะ ทั้งนี้ ตามที่กฎหมายบัญญัติ” ประกอบกับมาตรา 274 ที่กำหนดว่า “ให้คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติตามพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 เป็นองค์กรตามมาตรา 60 วรรคสาม และให้คณะรัฐมนตรีดำเนินการแก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติดังกล่าวให้เป็นไปตามบทบัญญัติแห่งรัฐธรรมนูญนี้ และเสนอต่อสภานิติบัญญัติแห่งชาติเพื่อพิจารณาภายในหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันประกาศใช้รัฐธรรมนูญนี้” ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งมาตรา 60 และมาตรา 274 ได้กำหนดวัตถุประสงค์ที่สำคัญ คือ

1. กฎหมายมีวัตถุประสงค์ให้เกิดการจัดตั้งองค์กรเพื่อทำหน้าที่ในการจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับดูแลการประกอบกิจการกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม และเกิดการตรากฎหมายลูก 2 ฉบับ ได้แก่ พระราชบัญญัติการประกอบกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ พ.ศ. 2551 และพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และฉบับที่แก้ไขเพิ่มเติมในการจัดตั้งคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) โดยมีสำนักงาน กสทช. เป็นหน่วยงานสนับสนุนการดำเนินการของ กสทช. (มาตรา 60)
2. กฎหมายมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการเพิ่มเติมและประกาศอำนาจหน้าที่ของ กสทช. ให้ชัดเจนมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องการรักษาคลื่นความถี่และสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียมเป็นสมบัติของชาติ ทั้งนี้ ได้มีการปรับปรุงแก้ไขพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเรื่อยมา เพื่อให้ทิศทางการบริหารคลื่นความถี่ ซึ่งเป็นทรัพยากรสื่อสารของชาติในระดับนโยบายมีความสอดคล้องกัน (มาตรา 274)

2. ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580)

ยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) เป็นแผนแม่บทหลักในการกำหนดทิศทางการพัฒนาประเทศระยะ 20 ปีข้างหน้า โดยรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย (พ.ศ. 2560) มาตรา 65 กำหนดให้ *“รัฐพึงจัดให้มียุทธศาสตร์ชาติเป็นเป้าหมายในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนตามหลักธรรมาภิบาลเพื่อใช้เป็นกรอบในการจัดทำแผนต่าง ๆ ให้สอดคล้องและบูรณาการกันเพื่อให้เกิดเป็นพลังผลักดันร่วมกันไปสู่เป้าหมายดังกล่าว...”* โดยมีวิสัยทัศน์ *“ประเทศไทยมีความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน เป็นประเทศพัฒนาแล้ว ด้วยการพัฒนาตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง”* เพื่อขับเคลื่อนประเทศให้ก้าวไปสู่สังคมที่ดี ตอบสนองต่อการบรรลุซึ่งผลประโยชน์แห่งชาติ ในการที่จะพัฒนาคุณภาพชีวิต สร้างรายได้ระดับสูง เป็นประเทศพัฒนาแล้ว และสร้างความสุขของคนไทยสังคมมีความมั่นคง เสมอภาคและเป็นธรรม ประเทศสามารถแข่งขันได้ในระบบเศรษฐกิจ โดยยุทธศาสตร์ชาติที่จะใช้เป็นกรอบแนวทางการพัฒนาในระยะ 20 ปี ประกอบด้วย 6 ยุทธศาสตร์ รายละเอียดดังนี้

1. ยุทธศาสตร์ชาติด้านความมั่นคง มีเป้าหมายการพัฒนาที่สำคัญ คือ ประเทศชาติมั่นคง ประชาชนมีความสุข เน้นการบริหารจัดการสภาวะแวดล้อมของประเทศให้มีความมั่นคง ปลอดภัย เอกราชอธิปไตย และมีความสงบเรียบร้อยในทุกระดับ
2. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน มีเป้าหมายการพัฒนาที่มุ่งเน้นการยกระดับศักยภาพของประเทศในหลากหลายมิติ
3. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการพัฒนา และเสริมสร้างศักยภาพทรัพยากรมนุษย์ มีเป้าหมายการพัฒนาที่สำคัญเพื่อพัฒนาคนในทุกมิติ และในทุกช่วงวัยให้เป็นคนดี เก่งและมีคุณภาพ
4. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างโอกาส และความเสมอภาคทางสังคม มีเป้าหมายการพัฒนาที่สำคัญที่ให้ความสำคัญการดึงเอาพลังของภาคส่วนต่าง ๆ ทั้งภาคเอกชน ประชาสังคม ชุมชนท้องถิ่นมาร่วมขับเคลื่อน
5. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างการเติบโตคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีเป้าหมายการพัฒนาที่สำคัญเพื่อนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในทุกมิติ
6. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการปรับสมดุลและพัฒนาระบบการบริหารจัดการภาครัฐ มีเป้าหมายการพัฒนาที่สำคัญเพื่อปรับเปลี่ยนภาครัฐที่ยึดหลัก “ภาครัฐของประชาชน เพื่อประชาชน และประโยชน์ส่วนรวม”

3. แผนยุทธศาสตร์สำนักงาน กสทช. ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2565-2570)[26]

สำนักงาน กสทช.ได้จัดทำแผนยุทธศาสตร์ สำนักงาน กสทช. ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2565 -2570) แล้วเสร็จ โดยได้อนุมัติให้ใช้แผนดังกล่าว เมื่อวันที่ 28 มิถุนายน 2565 โดยมีกระบวนการสร้างการมีส่วนร่วมของผู้บริหารและบุคลากรของสำนักงาน กสทช. ทุกระดับ การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น การจัดทำแบบสอบถาม การสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อขอรับมอบหมายนโยบายจาก กสทช. และเลขาธิการ กสทช. รวมทั้งการจัดประชุมระดมสมองทั้งในระดับผู้บริหาร และพนักงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดการบรูณาการความคิดและการมองทิศทางการพัฒนาสำนักงาน กสทช. โดยการกำหนดเป้าหมายรวมขององค์กรในทิศทางเดียวกัน การประสานความร่วมมือในการขับเคลื่อนภารกิจ และนำองค์กรไปสู่ภาพในอนาคตที่ต้องการ และมุ่งไปสู่เป้าหมายเดียวกัน โดยประกอบด้วย 4 ยุทธศาสตร์ 17 ตัวชี้วัด ซึ่งการจัดทำแผนยุทธศาสตร์ดังกล่าวนั้นสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี โดยยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับ กสทช. มีทั้งสิ้น 3 ยุทธศาสตร์ ได้แก่ 1. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน 2. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างโอกาส และความเสมอภาคทางสังคม 3. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการปรับสมดุลและพัฒนาระบบการบริหารจัดการภาครัฐ ดังนี้

1. ยุทธศาสตร์ชาติด้านความมั่นคงมีเป้าหมายการพัฒนาที่สำคัญ คือ ประเทศชาติมั่นคง ประชาชนมีความสุขเน้นการบริหารจัดการสภาวะแวดล้อมของประเทศให้มีความมั่นคง ปลอดภัย เอกราช อธิปไตย และมีความสงบเรียบร้อยในทุกระดับ เมื่อวิเคราะห์กรอบยุทธศาสตร์ชาติด้านความมั่นคงเทียบกับการปฏิบัติงานของ กสทช. สามารถวิเคราะห์เห็นความเกี่ยวข้องในเรื่องการเตรียมความพร้อมการป้องกัน และบรรเทาภัยสาธารณะ และภัยพิบัติตามแผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2562 - 2566) ในยุทธศาสตร์ที่ 3 การบริหารทรัพยากรโทรคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพ

[26] คณะกรรมการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติงาน (กตป), รายงานการติดตาม ตรวจสอบ และประเมินผลการปฏิบัติงาน กสทช. สำนักงาน กสทช. และเลขาธิการ กสทช ประจำปี 2565, หน้า 75-78.

2. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างโอกาสและความเสมอภาคทางสังคม มุ่งหวังการสร้างความเท่าเทียมกันของประชาชน โดยส่วนของ กสทช. ในฐานะที่เป็นหน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคม และกิจการกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ จึงมีความจำเป็นในการสร้างสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานในด้านกิจการกระจายเสียง ด้านกิจการโทรทัศน์ และด้านกิจการโทรคมนาคม โดยได้กำหนดนโยบายให้เหมาะสมกับบริบทที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีเป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ เพื่อพัฒนาศักยภาพในการกำกับดูแล และส่งเสริมกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมของประเทศไทย สามารถรองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ยุคเศรษฐกิจดิจิทัล
3. ยุทธศาสตร์ชาติด้านการปรับสมดุลและพัฒนาระบบการบริหารจัดการภาครัฐ มุ่งหวังในการสนับสนุนให้ประชาชนให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นมีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน เพิ่มความสะดวกในการดำรงชีวิต ภายใต้ยุทธศาสตร์นี้ กสทช. จึงเข้ามามีบทบาทในการสนับสนุนกฎระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายของภาครัฐ

4. แผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม

ประเทศไทยให้ความสำคัญกับการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม โดยการนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) มาใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุน (Enabling Technology) ในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ดังนั้น ประเทศไทยจึงมีนโยบายเร่งการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้เป็นเครื่องมือในการขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศโดยในบริบทของประเทศไทย เทคโนโลยีดิจิทัลสามารถตอบสนองความท้าทายที่ประเทศกำลังเผชิญอยู่ หรือเพิ่มโอกาสในการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม จึงได้ประกาศใช้แผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งถูกออกแบบให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

จากการศึกษาพบว่า กสทช. ได้มีการจัดทำนโยบาย และแผนการดำเนินการให้สอดดคล้องกับแผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม โดยยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับ กสทช. ตามมาตรา 27 แห่งพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ได้แก่ ยุทธศาสตร์ที่ 1 พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลประสิทธิภาพสูงให้ครอบคลุมทั่วประเทศ และยุทธศาสตร์ที่ 3 สร้างสังคมคุณภาพด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล รายละเอียดมีดังนี้

1. ยุทธศาสตร์ที่ 1 พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลประสิทธิภาพสูงให้ครอบคลุมทั่วประเทศ แผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ระบุไว้ว่า “โครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพทุกคนสามารถเข้าถึงและใช้ประโยชน์ เพื่อรองรับการเป็นดิจิทัลไทยแลนด์ ซึ่งถือเป็นการยกระดับเศรษฐกิจและสังคมของประเทศด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล โครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลที่สำคัญ ประกอบด้วย โครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ โทรคนาคม และการแพร่ภาพกระจายเสียงที่มีความทันสมัย มีคุณภาพ ขนาดเพียงพอ ครอบคลุมทุกพื้นที่ และสามารถให้บริการได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการติดต่อสื่อสาร การเชื่อมต่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลสารสนเทศ การค้าและพาณิชย์ การบริการภาครัฐ และเอกชน ตลอดจนการใช้งานรูปแบบต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการสร้างความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจ และความมั่นคงทางสังคมของประเทศ รวมทั้งเพื่อรองรับการเป็นศูนย์กลางด้านดิจิทัลในอนาคต”

ซึ่งเห็นได้ว่ามุ่งเน้นในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลให้มีประสิทธิภาพสูงให้ครอบคลุมทั่วประเทศ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์เทียบกับขอบเขตอำนาจหน้าที่ของ กสทช. แล้ว สามารถเห็นถึงความเกี่ยวข้องทางตรงใน 3 ประเด็น ดังนี้[27]

- การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับบริการอินเทอร์เน็ตบรอดแบรนด์ให้ครอบคลุมทั่วประเทศ
- การพัฒนานโยบาย หรือแผนเพื่อบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐาน คลื่นความถี่และบริการการหลอมรวมเทคโนโลยี
- การทำให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการเชื่อมต่อ และแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างประเทศ

5. แผนแม่บทบริหารคลื่นความถี่ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2564)

แผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2564) จัดทำขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับบทบัญญัติแห่งพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคม (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2562 และข้อบังคับวิทยุ ฉบับ ค.ศ. 2020 (Radio Regulations Edition of 2020) ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ รวมทั้งสอดรับกับนโยบายการใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบันและอนาคตของประเทศ โดยเริ่มจากการวางแผน กำหนดหลักเกณฑ์ จัดสรร และกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ให้มีประสิทธิภาพโดยจัดหาคลื่นความถี่ให้เพียงพอต่อความต้องการ ทันต่อการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีและสอดคล้องกับสากล โดยมีการปรับปรุงภาคผนวกและตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติของแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ (พ.ศ. 2562) ดังต่อไปนี้

1. ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป เว้นแต่การใช้บังคับตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ (พ.ศ. 2564) ให้เป็นไปตามข้อบังคับวิทยุฉบับ ค.ศ. 2020 ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ
2. ให้ยกเลิกภาคผนวก ก ท้ายประกาศ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง แผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ (พ.ศ. 2562) ลงวันที่ 27 สิงหาคม 2562 และให้ใช้ภาคผนวก ก ท้ายประกาศนี้แทน
3. ให้ยกเลิกภาคผนวก ข ท้ายประกาศ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง แผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ (พ.ศ. 2562) ลงวันที่ 27 สิงหาคม 2562 และให้ใช้ภาคผนวก ข ท้ายประกาศนี้แทน
4. ให้ยกเลิกตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ (พ.ศ. 2562) ท้ายประกาศ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง แผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ (พ.ศ. 2562) ลงวันที่ 27 สิงหาคม 2562 และให้ใช้ตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ (พ.ศ. 2564) ท้ายประกาศนี้แทน

โดยแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2564) มีเป้าประสงค์ ทั้งหมด 3 ประการ รายละเอียดดังนี้ (1) เพื่อให้ประเทศไทยมีคลื่นความถี่ที่เพียงพอต่อความต้องการ ทันกาล และสอดคล้องกับสากลโดยผ่านยุทธศาสตร์ในการบริหารคลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล (2) เพื่อเพิ่ม

[27] คณะกรรมการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติงาน (กตป), รายงานการติดตาม ตรวจสอบ และประเมินผลการปฏิบัติงาน กสทช. สำนักงาน กสทช. และเลขาธิการ กสทช ประจำปี 2565, หน้า 93-96.

ประสิทธิภาพการบริหารคลื่นความถี่ของ กสทช. และ (3) เพื่อเสริมสร้างบุคลากร และระบบการบริหารคลื่นความถี่ให้มีศักยภาพตามมาตรฐานสากล

6. แผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2567-2571)

กสทช. ได้กำหนดแผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2567 - 2571) ซึ่งเป็นแผนที่สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนการปฏิรูปประเทศด้านต่าง ๆ และนโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วยการพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการระยะ 5 ปี และใช้เป็นแนวทางการพัฒนาและการส่งเสริมการแข่งขันโดยเสรีอย่างเป็นธรรมระหว่างผู้ประกอบกิจการ แนวทางการอนุญาตให้ใช้ทรัพยากรโทรคมนาคม การอนุญาตและกำกับการประกอบกิจการโทรคมนาคม ตลอดจนการคุ้มครองผู้บริโภคในกิจการโทรคมนาคม โดยแผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม ฉบับที่ 3 นี้มุ่งเน้นการตอบสนองต่อบริบทที่มีการเปลี่ยนแปลงไป ทั้งในด้านการสนับสนุนให้ผู้ประกอบการรายใหม่เข้าสู่ตลาดโทรคมนาคม การเพิ่มโอกาสการเข้าถึงและใช้บริการโทรคมนาคมของประชาชนกลุ่มด้อยโอกาสในพื้นที่ห่างไกล หรือกลุ่มคนพิการ คนสูงอายุ เป็นต้น รวมทั้งยังส่งเสริมให้เกิดการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีโทรคมนาคมของภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ การบริหารจัดการภัยคุกคามทางไซเบอร์ที่อาศัยช่องทางโทรคมนาคมให้เกิดผลสัมฤทธิ์เพื่อลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ การบริหารทรัพยากรโทรคมนาคมให้เป็นไปอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพเพื่อขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัล โดยกำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนากิจการโทรคมนาคมไว้ ดังนี้

1. ยุทธศาสตร์ที่ 1 การพัฒนาสภาพแวดล้อมที่เอื้อให้เกิดการแข่งขันเพิ่มขึ้น และการเข้าสู่ตลาดโทรคมนาคมของผู้ประกอบการรายใหม่
2. ยุทธศาสตร์ที่ 2 การลดความเหลื่อมล้ำทางดิจิทัล และส่งเสริมการเข้าถึงและใช้ประโยชน์จากบริการโทรคมนาคมที่หลากหลาย
3. ยุทธศาสตร์ที่ 3 การบริหารทรัพยากรโทรคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความคุ้มค่าและเพียงพอต่อความต้องการใช้งาน
4. ยุทธศาสตร์ที่ 4 การอนุญาตและกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมและวิทยุคมนาคมให้เหมาะสมกับนิเวศอุตสาหกรรมดิจิทัล
5. ยุทธศาสตร์ที่ 5 การยกระดับการคุ้มครองและเสริมสร้างความเข้มแข็งแข็งแก่ผู้บริโภคในยุคดิจิทัล

7. พระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม และประกาศอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุของประเทศไทย

พระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ได้มีการกำหนดหลักเกณฑ์ที่สำคัญในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุไว้ ดังนี้

มาตรา 27 อำนาจหน้าที่ของ กสทช. คือ การบริหารคลื่นความถี่ และกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปราศจากการรบกวน ตลอดจนการตรวจสอบ และติดตามการใช้คลื่นความถี่ โดยมีสำนักงาน กสทช. เป็นผู้ตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ตามมาตรา 57 (3) โดย กสทช. เป็นผู้กำหนดระยะเวลาที่แน่นอนในการให้ผู้ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่ หรือใช้คลื่นความถี่คืนคลื่นความถี่ดังกล่าวเพื่อนำไปจัดสรรใหม่ หรือปรับปรุง

การใช้คลื่นความถี่ตามที่กำหนดไว้ในแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ตามตามมาตรา 48 โดยคำนึงประโยชน์สาธารณะ และความจำเป็นของการประกอบกิจการ และการใช้คลื่นความถี่ ทั้งนี้ให้นำเหตุแห่งความจำเป็นในการถือครองคลื่นความถี่ตามที่ได้รับแจ้งตามมาตรา 82 ได้กำหนดว่า “เมื่อมีการแต่งตั้ง กสทช. แล้ว ให้ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หน่วยงานของรัฐ หรือบุคคลใดที่ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่ หรือใช้คลื่นความถี่เพื่อการประกอบกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม อยู่ในวันที่พระราชบัญญัตินี้ใช้บังคับ มีหน้าที่แจ้งรายละเอียดการใช้ประโยชน์คลื่นความถี่ รวมทั้งเหตุแห่งความจำเป็นในการถือครองคลื่นความถี่ต่อ กสทช. ตามหลักเกณฑ์ และระยะเวลาที่ กสทช. กำหนด

ในการดำเนินการตามวรรคหนึ่ง ให้ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ และหน่วยงานของรัฐแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับการอนุญาต สัมปทาน หรือสัญญา รวมถึงอายุสัญญา และค่าสัมปทาน หรือค่าตอบแทนต่าง ๆ ตามการอนุญาต สัมปทาน หรือสัญญานั้นต่อ กสทช. ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ กสทช. กำหนด และให้ กสทช. ตรวจสอบความชอบด้วยกฎหมายของการอนุญาต สัมปทาน หรือสัญญานั้น พร้อมทั้งเปิดเผยข้อมูลและผลการตรวจสอบให้สาธารณชนทราบ” โดยสำนักงาน กสทช. ส่วนกลาง และสำนักงาน กสทช. ส่วนภูมิภาค มีการตรวจสอบ และติดตามการใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมในประเด็นต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

1) การตรวจสอบการครอบครองความถี่วิทยุ

สำนักงาน กสทช. ต้องดำเนินการตรวจสอบการครอบครองความถี่วิทยุเพื่อควบคุมความถี่วิทยุให้เป็นไปตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ ข้อกำหนด และเงื่อนไขที่สำนักงาน กสทช. อนุญาต เพื่อประโยชน์ในการจัดทำฐานข้อมูลการครอบครองช่องทางความถี่วิทยุมาใช้ประกอบพิจารณาการจัดสรรคลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งกรณี การจัดสรรช่องความถี่ใหม่ การจัดสรรช่องความถี่ใช้ร่วม การเรียกคืนช่องความถี่ที่ไม่มีการใช้งาน และเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตรวจสอบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต อยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐาน ISO 9001:2008 โดยสำนักงาน กสทช. ภาค และสำนักงาน กสทช. เขต ได้ดำเนินการตรวจสอบการครอบครองคลื่นความถี่ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่[28]

1.1) การตรวจปริมาณการใช้งานคลื่นความถี่

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ผลจากการตรวจสอบปริมาณการใช้งานความถี่ตั้งแต่ 30 – 3,000 เมกะเฮิรตซ์ ของสำนักงานกสทช. ส่วนภูมิภาค พบว่ามีการใช้งานความถี่หนาแน่นในบางช่วงความถี่ โดยมีสัดส่วนปริมาณการใช้งาน ดังนี้[29]

- ไม่พบการใช้งาน โดยอ้างอิงจากย่านความถี่ที่ยังไม่มีการกำหนดแผนความถี่ หรือมีการกำหนดแผนฯ แต่ยังไม่ได้รับการจัดสรร คิดเป็นร้อยละ 6
- กลุ่มปริมาณการใช้งานน้อย เช่น ย่านความถี่ที่มีกำลังส่งต่ำมาก หรือใช้งานอย่างเฉพาะเจาะจง อาทิ ไมโครโฟนไร้สาย RFID และ Studio - Transmitter Link คิดเป็นร้อยละ 29
- กลุ่มบริมาณการใช้งานปานกลาง คือ ย่านความถี่ที่ใช้สำหรับข่ายสื่อสารที่มีการใช้งานเฉพาะบางพื้นที่/บางช่วงเวลา เช่น ข่ายสื่อสารของหน่วยงานต่าง ๆ และ Trunked Radio คิดเป็นร้อยละ 15
- กลุ่มปริมาณการใช้งานสูง คือ ย่านความถี่ที่มีการใช้งานตลอดเวลา หรือกิจการที่มีโครงข่ายทั่วประเทศ เช่น สถานีวิทยุกระจายเสียง สถานีโทรทัศน์ภาคพื้นดิน

[28] กสทช., รายงานผลการปฏิบัติงานประจำปี 2566, https://www.nbtc.go.th/Information/AnnualReport/65888.aspx

[29] ข้อมูล ณ วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2566 โดยสำนักกิจการภูมิภาค สำนักงาน กสทช.

ในระบบดิจิทัล และสถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีโครงข่ายทั่วประเทศ คิดเป็นร้อยละ 52 โดยสัดส่วนปริมาณการใช้งานความถี่แยกตามประเภท

1.2) การตรวจสอบพิสูจน์ทราบการครอบครองคลื่นความถี่

เมื่อดำเนินการตรวจสอบปริมาณการใช้งานความถี่แล้ว สำนักงาน กสทช. ส่วนภูมิภาคมีการตรวจสอบพิสูจน์ทราบหน่วยงานที่ใช้งานคลื่นความถี่ให้มีฐานข้อมูลผู้ใช้ความถี่วิทยุที่เป็นปัจจุบันและมีรายละเอียดการใช้งานความถี่ในพื้นที่ย่านความถี่ 137 – 1,374 เมกะเฮิรตซ์ พบการใช้งานความถี่จำนวน 3,568 ความถี่ และได้ดำเนินการตรวจสอบพิสูจน์ทราบแล้วจำนวน 3,121 ความถี่ที่มีหน่วยงานใช้งาน รวมทั้งได้ปรับปรุงฐานข้อมูลผู้ใช้ความถี่วิทยุให้เป็นปัจจุบัน

2) การตรวจสอบแก้ไขการรบกวนคลื่นความถี่

การตรวจสอบแก้ไขการรบกวนคลื่นความถี่ มีต้นทางการดำเนินการตรวจสอบจากการได้รับแจ้งจากหน่วยงาน/กิจการที่ได้รับการรบกวน และพบการรบกวนจากการตรวจสอบการครอบครองความถี่ในการตรวจสอบการรบกวนสำนักงาน กสทช. ภาค และสำนักงาน กสทช. เขต จะดำเนินการค้นหาแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนและวิเคราะห์หาสาเหตุการรบกวนและดำเนินการแจ้งผลการตรวจสอบให้ผู้รับผิดชอบดำเนินการแก้ไขปัญหาการรบกวนซึ่งอาจมีการสั่งให้ระงับการแพร่คลื่นหรือระงับการใช้งานอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดการแพร่คลื่นรบกวนดังกล่าว เพื่อให้ผู้ประกอบกิจการดำเนินการแก้ไข รวมถึงการหาแนวทางป้องกันเพื่อมิให้เกิดปัญหาการรบกวนขึ้นอีก จากการตรวจสอบในปี พ.ศ. 2566 พบว่าสาเหตุการรบกวนเกิดจาก 1. การแพร่คลื่นแปลกปลอมจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 2. การแพร่คลื่นแปลกปลอมจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์เคเบิลทีวี 3. การแพร่คลื่นแปลกปลอมจากสถานีวิทยุคมนาคม 4. การแพร่คลื่นแปลกปลอมจากสถานีวิทยุกระจายเสียง

3) การตรวจสอบมาตรฐานการแพร่คลื่นวิทยุ

สำนักงาน กสทช. ดำเนินการตรวจสอบมาตรฐานการแพร่คลื่นวิทยุที่ได้มาตรฐาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดขั้นตอน วิธีการ และผู้รับผิดชอบในการตรวจสอบมาตรฐานทางเทคนิคการแพร่คลื่นความถี่วิทยุเพื่อควบคุมการแพร่คลื่นความถี่วิทยุให้เป็นไปตามมาตรฐาน และเงื่อนไขที่กำหนดตามใบอนุญาต และเพื่อบริการตรวจวัดทางเทคนิคของการแพร่คลื่นความถี่วิทยุตามที่ได้รับการร้องขอ หรือประสานความร่วมมือกับหน่วยงานทั้งในและต่างประเทศ ภายใต้ข้อกำหนดการตรวจสอบภายใต้ ISO 9001:2008 และข้อเสนอแนะของไอทียู ได้แก่ 1. การวัดความถี่ Band-width Field Strength และ 2. การตรวจวัดการแพร่แปลกปลอม (Spurious Emissions)

4) การตรวจสอบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต

สำนักงาน กสทช. ดำเนินการตรวจสอบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เป็นไปตามบทบัญญัติของข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ และพระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498 และประกาศหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องให้มีการใช้งานความถี่วิทยุอย่างถูกต้องประกอบกัน

5) การตรวจค้น และจับกุมตามกฎหมาย

สำนักงาน กสทช. ดำเนินการตรวจค้น และจับกุมผู้กระทำผิดตามพระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498 พระราชบัญญัติประกอบกิจการกระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์ พ.ศ. 2551 และพระราชบัญญัติประกอบกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2544 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การใช้คลื่นความถี่เป็นไปอย่างถูกต้องตามกฎหมาย ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนกัน รวมทั้งมีการใช้ติดตั้งเครื่องวิทยุคมนาคมโดยไม่ได้รับอนุญาต โดย กสทช.จะดำเนินการร่วมกับเจ้าหน้าที่ตำรวจในการตรวจค้น จับกุมผู้กระทำผิดเพื่อส่งให้พนักงานสอบสวนดำเนินคดีต่อไป

6) การกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม และการตรวจวัดระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force, EMF) ของสถานีวิทยุคมนาคม เพื่อให้เป็นไปตามประกาศ กทช. เรื่อง มาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม (กทช.มท.5001-2550) โดยผลจากการวัดจะนำมาเปรียบเทียบกับระดับขีดจำกัดการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องวิทยุคมนาคมที่สามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ใกล้ชิดบริเวณศีรษะ หรืออยู่ห่างจากร่างกายน้อยกว่า 20 เซนติเมตร ในตำแหน่งใช้งานปกติ ซึ่งอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption Rate, SAR)[30] ในย่านความถี่ 100 KHz -10 GHz สำหรับกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กจำเพาะไฟฟ้าจากการทำงาน และกลุ่มผู้ได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป ต้องมีไม่เกินค่าตามมาตรฐานที่ กทช.มท.5001-2550 กำหนด

7) การตรวจสอบผู้ประกอบกิจการค้าเครื่องและอุปกรณ์วิทยุคมนาคม[31]

สำนักงาน กสทช. ได้กำหนดกิจกรรมในการตรวจสอบผู้ประกอบกิจการค้าเครื่องและอุปกรณ์วิทยุคมนาคม เพื่อการกำกับดูแลให้เป็นไปตามประกาศ กสทช. เรื่อง การค้าเครื่องวิทยุคมนาคม และประกาศ กสทช. เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ผลิต นำเข้า จำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายหรือรับติดตั้งเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถใช้รับหรือแปลงสัญญาณในการรับรายการของกิจการกระจายเสียงหรือกิจการโทรทัศน์แบบบอกรับเป็นสมาชิก ซึ่งมีการกำหนดให้ผู้รับใบอนุญาตต้องจัดทำบัญชีแสดงรายการเครื่องวิทยุคมนาคม เครื่องรับ เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ ณ สถานที่ตั้งหรือสถานที่จัดเก็บ ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่ามีผู้ได้รับใบอนุญาตให้ค้า/ค้าเพื่อซ่อมแซม ซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคมและอุปกรณ์วิทยุคมนาคม ไม่ดำเนินการจัดทำบัญชีแสดงรายการเครื่องวิทยุคมนาคม เครื่องรับ เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ ซึ่งไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของประกาศ ทั้งนี้ สำนักงาน กสทช. ภาค ได้ดำเนินการตามมาตรการกำกับดูแลตามประกาศนั้น ๆ ต่อไป

8) การตรวจเครื่อง สถานี และใบอนุญาตวิทยุคมนาคม

สำนักงาน กสทช. ได้กำหนดกิจกรรมการตรวจเครื่องวิทยุคมนาคม สถานีวิทยุคมนาคม และใบอนุญาตวิทยุคมนาคม เพื่อการกำกับดูแลการปฏิบัติตามประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตและกำกับดูแลให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (หน่วยงาน อปท.) ใช้คลื่นความถี่ รวมถึงการกำกับดูแลให้ผู้รับใบอนุญาตปฏิบัติตามระเบียบ ข้อบังคับ เงื่อนไข หรือคำสั่งที่เกี่ยวข้อง จากการตรวจสอบพบว่า มีการใช้งานความถี่แต่ไม่มีการขอรับอนุญาตใช้ความถี่ ซึ่งสำนักงาน กสทช. ได้มีการประชาสัมพันธ์ให้หน่วยงานฯ ดำเนินการขออนุญาตและแก้ไข/ปรับปรุงการใช้งานความถี่ให้เป็นไปตามข้อมูลการอนุญาตเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

8. พระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498

พระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เป็นกฎหมายที่มีเจตนารมณ์เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ เงื่อนไข กำกับดูแล จัดสรรและบริหารคลื่นความถี่ เพื่อมิให้เกิดการรบกวนคลื่นความถี่ซึ่ง กันและกัน และเพื่อให้กิจการวิทยุคมนาคมเป็นไปโดยมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเครื่องวิทยุคมนาคมหรือเครื่องวิทยุสื่อสารเป็นอุปกรณ์ที่ต้องมีการกำกับดูแลการใช้งานเพื่อรักษาไว้ซึ่งความปลอดภัยและความสงบเรียบร้อยของประชาชน พระราชบัญญัติฉบับนี้ จึงมีการกำหนดหลักเกณฑ์ไว้ 2 ประการด้วยกัน คือ (1) กำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่และการใช้คลื่นความถี่ และ (2) กำกับดูแลการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม อันได้แก่

---

[30] 1. ค่าอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (SAR) ทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 6 นาทีใด ๆ

2. ค่าเฉลี่ยของ SAR สำหรับทั่วทั้งร่างกาย ได้จากผลหารของกำลังทั้งทั้งทั้งหมด (total power) ที่ดูดกลืนเข้าไปในร่างกาย และมวลทั้งหมดของร่างกาย (total mass)

3. ค่า SAR เฉพาะส่วน เป็นค่าเฉลี่ยต่อมวล 10 กรัม (g) ของเนื้อเยื่อส่วนเดียวกันที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

[31] กสทช., รายงานผลการปฏิบัติงานประจำปี 2566, https://www.nbtc.go.th/Information/AnnualReport/65888.aspx

กำหนดหลักเกณฑ์และเงื่อนไขการออกใบอนุญาต ออกกฎระเบียบเพื่อควบคุมการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม กำหนดมาตรฐานเครื่องวิทยุคมนาคม และการดำเนินคดี

ทั้งนี้ ภายหลังจากที่พระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 มีผลใช้บังคับ มาตรา 81 วรรคสอง ได้กำหนดให้บรรดาอำนาจหน้าที่ของรัฐมนตรี อธิบดีกรมไปรษณีย์โทรเลข และเจ้าพนักงานผู้ออกใบอนุญาตตามพระราชบัญญัติวิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498 และที่แก้ไขเพิ่มเติม เป็นอำนาจหน้าที่ของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) สำหรับการกำกับดูแลได้กำหนดให้

- กสทช. มีอำนาจแต่งตั้งเจ้าพนักงานผู้ออกใบอนุญาตได้ รวมถึงมีอำนาจวางระเบียบการขอและออกใบอนุญาต กำหนดวิธีเพิกถอนและพักใช้ใบอนุญาต กำหนดอัตราค่าธรรมเนียม กำหนดคุณลักษณะของเครื่องวิทยุคมนาคมได้ (มาตรา 29)
- กสทช. มีอำนาจประกาศกำหนดให้เครื่องวิทยุคมนาคมบางลักษณะหรือที่ใช้ในกิจการบางประเภท รวมถึงกำหนดให้สถานีวิทยุคมนาคมบางประเภทได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต (มาตรา 6 และมาตรา 11)
- เจ้าพนักงานผู้ออกใบอนุญาตมีอำนาจสั่งให้ผู้ใดที่กระทำการให้เกิดการรบกวนหรือขัดขวางต่อการวิทยุคมนาคม ระงับการกระทำนั้นหรือแก้ไขเปลี่ยนแปลงสิ่งที่ใช้กระทำนั้นเสีย หรือย้ายสิ่งที่ใช้กระทำความผิดไปให้พ้นได้ (มาตรา 15)
- เจ้าพนักงานผู้ออกใบอนุญาตมีอำนาจเพิกถอนหรือพักใช้ใบอนุญาตได้หากตรวจพบว่าผู้รับใบอนุญาตฝ่าฝืนต่อบทบัญญัติแห่งพระราชบัญญัตินี้ (มาตรา 19)

ทั้งนี้ บทบัญญัติกำหนดโทษทางอาญา ได้แก่

- ความผิดฐานมี ใช้ นำเข้า นำออก หรือค้าซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม หรือตั้งสถานีวิทยุคมนาคมโดยไม่ได้รับใบอนุญาตจากเจ้าพนักงานผู้ออกใบอนุญาต ปรับไม่เกิน 100,000 บาท หรือจำคุก ไม่เกิน 5 ปี หรือทั้งปรับทั้งจำ (มาตรา 6 มาตรา 11 ประกอบมาตรา 23)
- ความผิดฐานส่งหรือจัดให้ส่งข้อความอันเป็นเท็จหรือที่มิได้รับอนุญาตจากเจ้าหน้าที่ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ประเทศชาติและประชาชน ปรับไม่เกิน 100,000 บาท หรือจำคุกไม่เกิน 5 ปี หรือทั้งปรับทั้งจำ (มาตรา 16 ประกอบมาตรา 23)
- ความผิดฐานทำหน้าที่เป็นพนักงานวิทยุคมนาคมโดยไม่ได้รับใบอนุญาตจากเจ้าพนักงานผู้ออกใบอนุญาต ปรับไม่เกิน 40,000 บาท หรือจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือทั้งปรับทั้งจำ (มาตรา 7 ประกอบมาตรา 25)
- ความผิดฐานดักรับไว้ ใช้ประโยชน์ หรือเปิดเผยโดยมิชอบด้วยกฎหมายซึ่งข่าววิทยุคมนาคมที่มิได้มุ่งหมายเพื่อประโยชน์สาธารณะ หรือที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ประเทศชาติและประชาชน ปรับไม่เกิน 40,000 บาท หรือจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือทั้งปรับทั้งจำ (มาตรา 17 ประกอบมาตรา 25)
- ความผิดฐานจงใจกระทำให้เกิดการรบกวน หรือขัดขวางต่อการวิทยุคมนาคมปรับไม่เกิน 100,000 บาท หรือจำคุกไม่เกิน 5 ปี หรือทั้งปรับทั้งจำ (มาตรา 26)
- ความผิดฐานฝ่าฝืนคำสั่งให้ระงับการกระทำ หรือแก้ไขเปลี่ยนแปลง หรือย้ายสิ่งที่ใช้ในการกระทำให้เกิดการรบกวนหรือขัดขวางต่อการวิทยุคมนาคมโดยมิได้เจตนา ปรับไม่เกิน 40,000 บาท หรือจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือทั้งปรับทั้งจำ (มาตรา 15 ประกอบมาตรา 27)

9. ประกาศ กทช. ว่าด้วยมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ เรื่อง จานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดินในกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม (fixed - Satellite service) ที่ใช้วงโคจรค้างฟ้า (geostationary - satellite orbit) พ.ศ. 2551

มาตรฐานทางเทคนิคนี้ ระบุลักษณะทางเทคนิคขั้นต่ำสำหรับจานสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน (earth station) ในกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม (fixed-satellite service, FS) ที่ใช้วงโคจรของดาวเทียมค้างฟ้า (geostationary-satellite orbit, GSO) ในช่วงความถี่ 7 - 30 GHz มาตรฐานทางเทคนิคนี้ไม่ใช้บังคับกับจานสายอากาศดังต่อไปนี้

- จานสายอากาศของอุปกรณ์รับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (TV Receive Only) หรือการใช้งานอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน
- จานสายอากาศซึ่งใช้งานในลักษณะ earth station on board vessels (ESVs) ตามที่กำหนดไว้ในข้อบังคับวิทยุ (Radio Regulations) ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ
- จานสายอากาศซึ่งได้รับอนุญาตให้ทำหรือนำเข้าไว้แล้ว หรือที่ยังไม่ได้รับอนุญาตให้ทำหรือนำเข้าแต่ได้มีการทำสัญญาหรือมีข้อผูกพันทางกฎหมายกันไว้แล้วก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับการแสดงความสอดคล้องตามมาตรฐานทางเทคนิคนี้ ให้ใช้หลักการตรวจสอบและรับรองมาตรฐานเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ประเภท ก ตามที่กำหนดไว้ในประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง การตรวจสอบและรับรองมาตรฐานของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์

10. ประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียมกับกิจการประจำที่ และ กิจการประจำที่ผ่านดาวเทียมกับกิจการเคลื่อนที่ ฉบับที่ 1 และฉบับที่ 2

ฉบับที่ 1 เกี่ยวข้องกับหลักเกณฑ์การใช้คลื่นความถี่นี้ระบุการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียมกับกิจการประจำที่ และระหว่างกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียมกับกิจการเคลื่อนที่ในช่วง 2.5 – 42.5 GHz ในลักษณะที่ใช้คลื่นความถี่เป็นกิจการหลักร่วมกัน (Co-primary Services) เพื่อให้การใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการดังกล่าวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และปราศจากการรบกวนในระดับรุนแรง รวมทั้งกำหนดขั้นตอนการประสานงาน เพื่อให้การใช้คลื่นความถี่ร่วมกันดังกล่าวบรรลุผล

ฉบับที่ 2 เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปรับปรุงข้อกำหนดทางเทคนิคของการใช้ความถี่วิทยุร่วมกันระหว่างกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียมและกิจการอื่น ให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น และมีการยกเลิกภาคผนวก 1 และภาคผนวก 2 แนบท้ายประกาศคณะกรรมการกิจการ กระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง หลักเกณฑ์การใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียมกับกิจการประจำที่และกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียมกับกิจการเคลื่อนที่ ลงวันที่ 11 เมษายน 2560 โดยให้ใช้ภาคผนวก 1 และภาคผนวก 2 แนบท้าย ประกาศนี้แทน

11. (ร่าง) ประกาศ กสทช. ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่อ่อนไหวสูงทางด้านคลื่นความถี่ (Radio Quiet Zone) สำหรับกิจการวิทยุดาราศาสตร์

(ร่าง) ประกาศ กสทช. นี้เกี่ยวข้องกับพื้นที่อ่อนไหวสูงทางด้านคลื่นความถี่ สำหรับกิจการวิทยุดาราศาสตร์ โดยได้จัดประชุมหารือร่วมกับสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เมื่อวันที่ 19 เมษายน 2566 เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลมาตรการป้องกันการรบกวน ข้อมูลการตั้งสถานีวิทยุคมนาคมในพื้นที่ใกล้เคียงสถานีของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาขน) กรณีศึกษาแนวทางการจัดทำพื้นที่

อ่อนไหวสูงทางด้านคลื่นความถี่ในต่างประเทศ รวมทั้ง สอบถามสถานะการใช้งาน ข้อมูลทางเทคนิคของสถานีวิทยุคมนาคมในกิจการวิทยุดาราศาสตร์ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการพิจารณาความเหมาะสมในการปรับปรุงร่างประกาศดังกล่าวให้ครอบคลุมถึงกิจการสำรวจพิภพผ่านดาวเทียม

12. ประกาศคณะกรรมการนโยบายอวกาศแห่งชาติ เรื่องหลักเกณฑ์ในระดับรัฐเพื่อประกอบการพิจารณาอนุญาตให้ดาวเทียมต่างชาติให้บริการในประเทศเชิงพาณิชย์ พ.ศ. 2564

มีขอบเขต คือ เป็นการอนุญาตให้ดาวเทียมต่างชาติให้บริการในประเทศเชิงพาณิชย์ครอบคลุมกรณีผู้ประสงค์จะใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการประกอบกิจการซึ่งให้บริการดาวเทียมสื่อสารแก่บุคคลอื่น รวมถึงกรณีผู้ประกอบกิจการดาวเทียมต่างชาติที่ประสงค์จะประกอบกิจการซึ่งให้บริการดาวเทียมสื่อสารในประเทศไทย ซึ่งต้องได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคมตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบ กิจการโทรคมนาคม หรือใบอนุญาตประกอบกิจการโทรทัศน์หรือกิจการกระจายเสียงตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบกิจการกระจายเสียงและกิจการวิทยุโทรทัศน์ แล้วแต่กรณี ซึ่งประกาศฉบับดังกล่าวเป็นการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศในระดับรัฐ (State Level) โดยการพิจารณาว่ารัฐใดเป็นรัฐเจ้าของดาวเทียม จะต้องพิจารณาจากรัฐที่เป็นเจ้าของสิทธิข่ายงานดาวเทียมตามทะเบียนของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศเป็นหลัก หากรัฐที่เป็นเจ้าของสิทธิข่ายงานดาวเทียมตามทะเบียนของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศไม่ใช่รัฐที่มีความเชื่อมโยงที่แท้จริงกับดาวเทียมให้พิจารณารัฐที่เป็นเจ้าของดาวเทียมด้วยวิธี ดังต่อไปนี้ (1) รัฐที่มีอำนาจในการควบคุมการดำเนินงานของดาวเทียมนั้น (2) เมื่อการพิจารณาตามข้อ (1) ไม่สามารถหารัฐเจ้าของดาวเทียมได้ให้รัฐเจ้าของดาวเทียม หมายถึง รัฐที่มีบุคคลธรรมดาหรือนิติบุคคลสัญชาติตนถือหุ้นข้างมากและเป็นผู้มีอำนาจ ควบคุมที่แท้จริงของดาวเทียม

ทั้งนี้ การอนุญาตให้ใช้ดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศไทยเชิงพาณิชย์ ให้เป็นไปตามกรณี ดังต่อไปนี้ (1) ผู้ประกอบกิจการดาวเทียมไทยที่ประสงค์จะใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติของรัฐเจ้าของดาวเทียมที่เป็นสมาชิกองค์การการค้าโลก ในการประกอบกิจการซึ่งให้บริการดาวเทียมสื่อสารแก่บุคคลอื่น หรือ (2) ผู้ประกอบกิจการดาวเทียมต่างชาติของรัฐเจ้าของดาวเทียมที่เป็นสมาชิกองค์การการค้าโลกที่ประสงค์จะประกอบกิจการซึ่งให้บริการดาวเทียมสื่อสารในประเทศไทย โดยผู้ประสงค์จะประกอบกิจการต้องยื่นขอรับอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศเชิงพาณิชย์ต่อคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ กสทช. กำหนด

13. ประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศ พ.ศ. 2563

เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศในระดับผู้ประกอบการ (Firm Level) ในการขออนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศเชิงพาณิชย์ โดยมีหลักเกณฑ์ที่สำคัญ คือ ผู้ขอรับอนุญาตเพื่อใช้ในการให้บริการเชิงพาณิชย์จะต้องมีคุณสมบัติ คือ (1) เป็นบริษัทจำกัดหรือบริษัทมหาชนจำกัดที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมายไทย (2) เป็นตัวแทนของผู้ประกอบการดาวเทียมต่างชาติที่มีคุณสมบัติสอดคล้องตามนโยบายที่รัฐกำหนด โดยสิทธิที่ผู้รับอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติแต่ละสิทธิ เป็นการอนุญาตหนึ่งสิทธิต่อการเป็นตัวแทนผู้ประกอบการดาวเทียมต่างชาติแต่ละดวง โดยผู้รับอนุญาตสามารถขอรับอนุญาตเพื่อเป็นตัวแทนผู้ประกอบการดาวเทียมต่างชาติได้หลายดวง ทั้งนี้ ผู้ประกอบการดาวเทียมต่างชาติสามารถมีตัวแทน

ในประเทศไทยได้หลายรายเช่นกัน ทั้งนี้ การอนุญาตตามประกาศนี้ ให้มีระยะเวลาการอนุญาตห้าปีนับแต่วันที่ได้รับอนุญาตจาก กสทช. โดยมีค่าธรรมเนียมการอนุญาตสองล้านบาทต่อ 1 สิทธิ ในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม และมีค่าธรรมเนียมการอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศรายปีในอัตราร้อยละ 3.2 ของรายได้ก่อนหักค่าใช้จ่ายจากการประกอบกิจการดาวเทียม

4.2 รูปแบบการตรวจสอบคลื่นความถี่ของกิจการดาวเทียมในประเทศไทย

4.2.1 สถานการณ์การใช้งานดาวเทียมในประเทศไทย

จากการศึกษาการใช้งานวงโคจรดาวเทียม ในกิจการประเทศไทย พบว่า ดาวเทียมที่มีการใช้งานในประเทศไทย สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. วงโคจรดาวเทียมค้างฟ้า (Geostationary Orbit, GSO) เป็นวงโคจรดาวเทียมที่ตำแหน่งของดาวเทียมในวงโคจรดังกล่าวเสมือนอยู่ ณ ตำแหน่งเดิม สัมพัทธ์กับโลก
2. วงโคจรดาวเทียมไม่ค้างฟ้า (Non-Geostationary Orbit, NGSO) เป็นวงโคจรดาวเทียมที่ตำแหน่งของดาวเทียมในวงโคจรดังกล่าวไม่สัมพัทธ์กับโลก

ในปัจจุบันหน่วยงานควบคุมดูแลการใช้งานวงโคจรดาวเทียมดังกล่าว ได้แก่ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ (National Broadcasting and Telecommunications Commission (NBTC)) ที่มีการควบคุมดูแลดาวเทียมประเภทวงโคจรดาวเทียมประจำที่ในประเทศไทยเป็นจำนวนทั้งสิ้น 4 ดวง โดยสามารถแบ่งออกเป็น ดาวเทียมต่างประเทศที่ได้รับอนุญาต (Landing right satellites) จำนวน 4 ดวง และ 3 ดาวเทียมข้างเคียง (Adjacent Satellites) ตามรายละเอียดในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 วงโคจรดาวเทียมค้างฟ้า และคลื่นรบกวนอื่นๆที่อยู่ในการดูแลของ NBTC

Satellites under NBTC and adjacent satellites	Amount	Remark
Thai satellites	4	• Thaicom 4 (119.5E) • Thaicom 6 (78.5E) • Thaicom 7 (120E) • Thaicom 8 (78.5E)
Landing right satellites	4	• Asiasat 5 (100.5E) • AsiaSat 7 (105.5E) • AsiaSat 9 (122E) • Chinasat 12 (87.5E)
Adjacent satellites	3	• Apstar 7 (76.5E) • Telkom 3S (118E) • AsiaSat 9 (122E)

นอกจากนี้ยังมีการควบคุมดูแลดาวเทียมประเภทวงโคจรไม่ค้างฟ้า โดยสามารถแบ่งออกเป็นดาวเทียมไทยที่ได้รับอนุญาต จำนวน 3 ดวง และ ดาวเทียมต่างประเทศ จำนวน 1 ดวง ตามรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 วงโคจรดาวเทียมไม่ค้างฟ้า (Non-Geostationary Orbit, NGSO) ที่อยู่ในการดูแลของ NBTC

NGSO Satellites under NBTC	Amount	Remark
Thai satellites	3	• THEOS (NGSO) • THEOS2 (NGSO) • THEOS2-SMALLSAT (NGSO)
Foreign satellites	1	• Globalstar (NGSO)

การใช้งานดาวเทียมในข้อมูลข้างต้นดังกล่าวนั้น คณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ไม่ได้มีการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ในการสอดส่องดูแลกิจการดาวเทียมที่เกิดขึ้นจากการอนุญาตให้มีการใช้งานดาวเทียมดังกล่าว ซึ่งในส่วนของผู้ให้บริการ (Satellite Operators) จะเป็นผู้รับผิดชอบในการให้บริการ และตรวจสอบสัญญาณคลื่นความถี่รบกวนด้วยตนเอง จากการศึกษาพบประเภทของสัญญาณรบกวนแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. <u>การรบกวนการรับสัญญาณดาวเทียมจากเสาสัญญาณ 5G (5G interference)</u>

จากการศึกษากรณีการร้องเรียนเรื่องการตั้งเสาสัญญาณ 5G รบกวนจานดำ (2563) ซึ่งเป็นจานรับสัญญาณดาวเทียมจนทำให้ดูโทรทัศน์ตามปกติไม่ได้ โดยมีข้อมูลจากช่างติดตั้งจานดาวเทียมยืนยันว่าเป็นการรบกวนจากเสาสัญญาณ 5G ซึ่งคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ด้านการคุ้มครองผู้บริโภคและส่งเสริมสิทธิเสรีภาพ ได้มีการชี้แจงกรณีดังกล่าวว่าเกิดจากการรบกวนโดยคลื่นย่านอื่นที่ใกล้เคียงกัน โดยมีการจัดสรรคลื่น 2600 MHz หรือ 2.6 GHz สำหรับบริการ 5G ทำให้สามารถอนุมานได้ว่า เสาสัญญาณ 5G ที่ถูกร้องเรียนคือเสาสำหรับคลื่น 2600 MHz

จากข้อมูลทางเทคนิคพบว่า การรบกวนข้ามย่านความถี่อาจเกิดจากการที่เสาสัญญาณหลายแหล่งที่มีการปล่อยสัญญาณ 2600 MHz เป็นความถี่หลัก อาจจะมีการแพร่กระจายคลื่นความถี่คู่ควบ (Harmonics) ออกมาด้วย ซึ่งสัญญาณดังกล่าวอาจผสมกัน (Intermodulation) เกิดเป็นคลื่นความถี่ใหม่ไปรบกวนจานรับสัญญาณดาวเทียม หากเป็นกรณีนี้ต้องปรับปรุงการส่งสัญญาณเพื่อลดการผสมคลื่นความถี่จนเป็นคลื่นความถี่รบกวน หรืออาจเกิดจากหัวรับสัญญาณดาวเทียม (Low-noise block downconverter, LNB) ที่ติดตั้งบนจานรับสัญญาณดาวเทียมเป็นรุ่นเก่า ซึ่งมีย่านการรับสัญญาณครอบคลุมคลื่น 2600 MHz ด้วย เมื่อมีการติดตั้งเสาสัญญาณ 5G ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง ก็จะทำให้คลื่น 2600 MHz ซึ่งส่งจากเสาสัญญาณ 5G ด้วยความแรงกว่าสัญญาณดาวเทียมไปรบกวนจานรับสัญญาณดาวเทียมได้ ซึ่งในกรณีนี้การเปลี่ยน LNB ให้เป็นรุ่นใหม่ที่สามารถรับเฉพาะสัญญาณ C-band เท่านั้น จะเป็นการแก้ไขปัญหาที่ตรงจุดมากกว่า

ในการแก้ไขปัญหากรณีดังกล่าว คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้มีการส่งทีมงานไปตรวจวัดคลื่นที่จุดเกิดเหตุ และได้มีการเชิญผู้ประกอบการ 5G และผู้ประกอบการจานดาวเทียมไปร่วมตรวจสอบด้วย พบว่าเป็นปัญหากรณีที่ LNB เป็นรุ่นเก่าที่ครอบคลุมการรับสัญญาณในช่วงคลื่น 2600 MHz ได้ เมื่อทดสอบการเปลี่ยน LNB รุ่นใหม่แล้วสามารถรับชมรายการได้ตามปกติ

2. <u>การรบกวนเฉพาะที่ (Local interference)</u>

การรบกวนสัญญาณดาวเทียมจากเครื่องมืออุปกรณ์อื่น ๆ โดยส่วนมากมักจะเกิดขึ้นจากการรบกวนของสถานีภาครับของดาวเทียม ทำให้ประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียงกับการจุดกำเนิดสัญญาณรบกวนไม่สามารถใช้งานช่องสัญญาณดาวเทียม หรือรับชมรายการโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมได้ ยกตัวอย่างเช่น

1) อาการเกิดสัญญาณรบกวนจากคลื่นความถี่ไมโครเวฟสื่อสาร (Microwave) (2554) ซึ่งมีย่านความถี่ใช้งานภายในประเทศตั้งแต่ 2 – 4 GHz และ 15 -18 GHz ซึ่งการเกิดสัญญาณรบกวน

จากคลื่นไมโครเวฟจะเกิดขึ้นในวงจำกัด และเกิดการรบกวนในบางพื้นที่ เนื่องจากการรับ – ส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ เป็นการส่งสัญญาณในภาคพื้นดิน ที่มีกำลังส่งต่ำ ซึ่งมีผลให้พื้นที่รบกวนอยู่ในรัศมีประมาณ 5 กิโลเมตร หรืออยู่ในทิศทางการรับ – ส่งสัญญาณของคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งการรบกวนดังกล่าว จะทำให้เกิดปัญหาภาพขาดหายในการระหว่างการรับชม ระดับสัญญาณจากเครื่องรับจะมีลักษณะขึ้น-ลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อการใช้บริการของประชาชนในพื้นที่

2) การแพร่กระจายคลื่นสัญญาณรบกวน จากอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยมีกรณีศึกษาเป็นอุปกรณ์โคมไฟโซล่าเซลล์ ที่มีการเปิดปิดด้วยระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยคลื่นความถี่วิทยุ รบกวนสัญญาณดาวเทียม (2564) ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่า มีโคมไฟที่ใช้อุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหวในการเปิดปิดบางรุ่นใช้คลื่นความถี่วิทยุย่าน 3.7106 - 3.7928 GHz ซึ่งมีการแพร่คลื่นรบกวนการให้บริการโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมที่ใช้คลื่นความถี่ย่าน 3.7 GHz โดยการนำเข้าจำหน่าย และใช้อุปกรณ์ดังกล่าวถือว่าขัดต่อ พ.ร.บ.วิทยุคมนาคม พ.ศ. 2498 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ที่ระบุให้สามารถใช้งานได้ในคลื่นความถี่ย่าน 2.4 GHz ย่าน 5.8 GHz ย่าน 10.525 GHz ย่าน 24.125GHz และย่าน 78 GHz ซึ่งจากเหตุการณ์ดังกล่าวทางคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้เชิญหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย กรมศุลกากร สมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย ผู้ผลิตและผู้ค้าเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อหารือถึงแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหาต่อไป

3) การตั้งใจปล่อยคลื่นสัญญาณรบกวน เพื่อขัดขวางการรับชมโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม หรือการใช้บริการผ่านดาวเทียม โดยมีวัตถุประสงค์ส่วนบุคคล ยกตัวอย่างเช่น เหตุการณ์สร้างความรำคาญการรับชมช่องรายการโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมของผู้ไม่ประสงค์ดี ที่มีการส่งสัญญาณคลื่นรบกวนช่องสัญญาณดาวเทียมไทยคม 5 (2556) ซึ่งให้เช่าช่องสัญญาณเพื่อให้บริการออกอากาศและแพร่ภาพบนโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมเกือบ 20 ช่อง อาทิเช่น Asia Update Blue Sky รวมถึงฟรีทีวีที่ออกอากาศให้รับชมผ่านเครื่องรับสัญญาณ (Set Top Box) ในระบบโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (ช่อง 3, 5, 7, 9, ThaiPBS) จากการตรวจสอบพบว่า ช่วงแรกของการรบกวน เป็นการส่งคลื่นรบกวนสั้น ๆ ขึ้นลงตลอด เมื่อตรวจสอบแหล่งที่มาของการรบกวนดังกล่าวระบุได้ว่าคลื่นรบกวนไม่ได้มาจากแหล่งเดียวกัน เนื่องจากเป็นคลื่นรบกวนมีลักษณะแตกต่างกัน และการส่งสัญญาณรบกวนจะมีมากในช่วงหัวค่ำ ซึ่งตรงกับช่วงเวลาที่มีกิจกรรมการปราศรัย หรือแถลงทางการเมือง

คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้ทำการสั่งการให้สำนักงานเขต กสทช. ทั้ง 14 เขต ทั่วประเทศส่งรถตรวจสอบและหาทิศทางสัญญาณรบกวนจำนวน 20 คัน ลงพื้นที่โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกตรวจคลื่นรบกวนช่องสัญญาณดาวเทียมไทยคม จนกว่าจะมีคำสั่งให้หยุดดำเนินการ และทำการประกาศแจ้งไปยังผู้ดำเนินการส่งคลื่นรบกวนให้หยุดการกระทำดังกล่าว โดยทาง กสทช. จะมีการดำเนินการตามกฎหมายหากมีการตรวจสอบพบ

3. <u>การรบกวนจากไวแม็กซ์ (Wi-Max interference)</u>

ไวแม็กซ์ (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX) คือ เทคโนโลยีสำหรับบรอดแบนด์ “ไร้สาย” โดยเป็นมาตรฐานสำหรับการสร้างเครือข่ายไร้สายแบบหนึ่งจุดเชื่อมต่อไปยังอีกหลายจุด โดยมีมาตรฐานการทำงานตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 มาตรฐานการทำงานของ WiMAX

ลำดับที่	มาตรฐาน	ช่วงความถี่ที่ใช้งาน
1	IEEE 802.16	10 - 66 (GHz)
2	IEEE 802.16a	2- 11 (GHz)
3	IEEE 802.16e	2 – 6 (GHz)

ซึ่งการศึกษาการรบกวนจานรับสัญญาณดาวเทียมจากไวแม็กซ์ เป็นสิ่งที่มีการศึกษาและออกข้อเสนอแนะในการจัดสรรการใช้งานความถี่ ข้อแนะนำ และคำแนะนำในการปฏิบัติตนของผู้ใช้งานจานรับสัญญาณมาอย่างแพร่หลาย เพื่อไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวนในระหว่างการใช้งานจานรับสัญญาณดาวเทียม โดยสามารถยกตัวอย่างกรณีศึกษาการตรวจสอบสัญญาณรบกวนจากไวแม็กซ์ ได้เป็น 2 กรณี ดังต่อไปนี้

<u>กรณีศึกษา 1 :</u> กรณีตรวจสอบสัญญาณรบกวนระหว่างไวแม็กซ์ กับสถานีฐานของดาวเทียมไทยคม 5 ในย่านความถี่ Extended C Band 3.4 – 3.6 GHz (2550) โดยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้มีการอนุญาตให้ บริษัท ชินแซทเทลไลท์ จำกัด (มหาชน) ใช้ความถี่วิทยุย่านความถี่ Extended C Band 3.4 – 3.6 GHz เพื่อทดสอบสัญญาณการรบกวนระหว่างไวแม็กซ์ (คลื่นความถี่ IEEE 802.16e) กับสถานีฐานของดาวเทียมไทยคม 5 เนื่องจากเป็นความถี่เดิมที่ได้รับอนุมัติจัดสรรไว้แล้ว และเป็นไปตามที่กระทรวง ICT มีหนังสือแจ้งอย่างเป็นทางการแล้วให้ดำเนินการโดยประสานงาน เพื่อดำเนินการทดสอบเป็นการชั่วคราวอย่างเคร่งครัด พร้อมทั้งรายงานผลให้ทราบเป็นระยะ ๆ รวมถึงการจัดให้มีการหารือข้อคิดเห็นของที่ประชุมในการจัดหาข้อมูลผลการทดลองทดสอบไวแม็กซ์จาก Office of the Communications Authority (OFTA) ของ Hong Kong เพื่อใช้ประกอบการจัดทำแผนความถี่ให้มีความเหมะสมในทางปฏิบัติมากยิ่งขึ้นต่อไป

<u>กรณีศึกษา 2 :</u> เหตุการณ์การรบกวนของสัญญาณไวแม็กซ์กับจานรับสัญญาณดาวเทียม (2554) โดยมีการพบการเกิดคลื่นสัญญาณไวแม็กซ์ รบกวนการรับชมโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมของประชาชนในหลายพื้นที่ และบริเวณชายแดนประเทศไทย - ลาว โดยช่วงคลื่นความถี่ของไวแม็กซ์ จะซ้อนทับกับคลื่นความถี่ดาวเทียมในช่วงความถี่ระหว่าง 3.4 และ 3.7 GHz มีผลให้พื้นที่รับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม ไม่สามารถรับสัญญาณช่องโทรทัศน์ได้ทั้งหมด และเมื่อมีการตรวจสอบกล่องรับสัญญาณระดับสัญญาณของเครื่องรับพบว่าไม่ปรากฏระดับสัญญาณ ทำให้ประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวไม่สามารถรับชมรายการโทรทัศน์ทุกช่องรายการได้ โดยที่ผู้ประกอบการกล่องรับสัญญาณดาวเทียมไม่สามารถป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าวได้ ต้องอาศัยการตรวจสอบคลื่นสัญญาณรบกวนและดำเนินการแจ้งแก่คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ให้ดำเนินการแก้ไขปัญหาต่อไป

4. <u>การรบกวนจากวัตถุบนฟากฟ้า</u>

สำหรับดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Satellite) สัญญาณรบกวนมักจะเกิดจากดาวเทียมดวงอื่นที่มีวงโคจรอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งอาจจะมีวัตถุประสงค์ในการดักฟัง หรือปล่อยคลื่นสัญญาณรบกวนการให้บริการ การเคลื่อนที่ผ่านของดาวเทียมหลุดวงโคจร หรือในกรณีที่ดาวเทียมวงโคจรต่ำ เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ให้บริการของวงโคจรดาวเทียมค้างฟ้า ล้วนเป็นสาเหตุของคลื่นสัญญาณรบกวนทั้งสิ้น

จากการศึกษาข้อมูลสถานการณ์ปัจจุบันในประเทศไทยดังกล่าวข้างต้น พบว่า กรณีที่มีการเกิดสัญญาณรบกวน ส่วนใหญ่จะเกิดจากการแจ้งเหตุจากผู้ประกอบการดาวเทียม หรือผู้ให้บริการช่องสัญญาณ ดังนั้นการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ที่สามารถดำเนินการได้เอง โดยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) จะทำให้การเข้าถึงปัญหาเป็นไปได้อย่างรวดเร็วขึ้น

ลดผลกระทบของผู้ใช้งานดาวเทียมจากสัญญาณรบกวน รวมถึงเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนจัดสรรความถี่ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4.2.2 การคาดการณ์การรบกวนสัญญาณในอนาคต

ประเด็นเรื่องการรบกวนสัญญาณระหว่างดาวเทียม Oneweb และ Thaicom 9 ในอนาคตเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนและเป็นความท้าทายที่สำคัญในการบริหารจัดการสเปกตรัมในอวกาศของประเทศไทย เนื่องจากดาวเทียมทั้งสองประเภทมีลักษณะการโคจรและวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกัน ความแตกต่างพื้นฐานที่นำไปสู่โอกาสของการรบกวน

1. วงโคจร
    - OneWeb เป็นกลุ่มดาวเทียมวงโคจรต่ำ (LEO - Low Earth Orbit) โคจรอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 1,200 กิโลเมตร มีดาวเทียมจำนวนมาก (ปัจจุบันมี 648 ดวง) เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและครอบคลุมพื้นที่กว้างตามเวลา
    - Thaicom 9 เป็นดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (GEO - Geostationary Orbit) โคจรอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 36,000 กิโลเมตร เหนือเส้นศูนย์สูตร และดูเหมือนจะอยู่นิ่งเมื่อมองจากพื้นโลก ทำให้เหมาะสำหรับการให้บริการครอบคลุมพื้นที่กว้างแบบประจำที่
2. ย่านความถี่
    - OneWeb ใช้ย่านความถี่ Ku-band และ Ka-band สำหรับการสื่อสารกับสถานีภาคพื้นดินและผู้ใช้งาน
        - Uplink (Gateway-to-Satellite): 27.5 – 30.0 GHz (Ka-band)
        - Downlink (Satellite-to-Gateway): 17.8 – 20.2 GHz (Ka-band)
        - Uplink (User Terminal-to-Satellite): 12.75 – 14.5 GHz (Ku-band)
        - Downlink (Satellite-to-User Terminal): 10.7 – 12.7 GHz (Ku-band)
    - Thaicom 9 คาดว่าจะใช้ย่านความถี่ Ku/Ka-band ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับดาวเทียมสื่อสาร และอาจมีการใช้ C-band ด้วยในบางภารกิจ (ข้อมูลเฉพาะของ Thaicom 9 อาจต้องรอการประกาศอย่างเป็นทางการเมื่อดาวเทียมเข้าประจำที่)

โอกาสของการรบกวนระหว่าง LEO และ GEO เกิดขึ้นได้เนื่องจาก

- การใช้ย่านความถี่ร่วมกัน (Co-frequency Operation) ดาวเทียม LEO และ GEO หลายระบบได้รับอนุญาตให้ใช้ย่านความถี่เดียวกัน (โดยเฉพาะ Ku-band และ Ka-band) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่มีมูลค่าสูงและมีการใช้งานหนาแน่น
- "In-line interference" หรือ "Conjuncture Events" เป็นสถานการณ์ที่ดาวเทียม LEO เคลื่อนที่ผ่านแนวสายตา (Line-of-Sight) ระหว่างดาวเทียม GEO และสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม GEO ในช่วงเวลาสั้นๆ ดาวเทียม LEO อาจบังหรือรบกวนสัญญาณของดาวเทียม GEO ได้โดยตรง ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ (attenuation) หรือการรบกวน (interference)
- การรบกวนจาก Side-lobes ของเสาอากาศ แม้ว่าสถานีภาคพื้นดินจะชี้ไปที่ดาวเทียมเป้าหมาย แต่สัญญาณจาก Side-lobes (ลำแสงย่อย) ของเสาอากาศอาจไปรับสัญญาณจากดาวเทียมดวงอื่นที่โคจรผ่านเข้ามาในบริเวณใกล้เคียง ทำให้เกิดการรบกวน
- การจัดการพลังงาน (Power Flux Density - PFD) ดาวเทียม LEO มีกำลังส่งที่สูงพอที่จะเข้าถึงพื้นโลกในระยะใกล้ และหากไม่ได้มีการบริหารจัดการกำลังส่งที่ดี อาจส่งผลกระทบต่อสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม GEO ได้

แนวทางการลดการรบกวนในทางปฏิบัติ

ผู้ให้บริการดาวเทียมและหน่วยงานกำกับดูแล ควรมีการใช้มาตรการหลายอย่างเพื่อลดโอกาสของการรบกวน อาทิ

1. การออกแบบระบบ (System Design)
    - เทคนิคการมอดูเลตและเข้ารหัสขั้นสูง (Advanced Modulation and Coding) ช่วยให้ระบบทนทานต่อการรบกวนได้ดีขึ้น
    - การใช้ Polarization Diversity การส่งสัญญาณในแนวระนาบที่แตกต่างกัน (Vertical/Horizontal หรือ Circular Left/Right) เพื่อลดการรบกวน
    - Adaptive Beamforming การปรับรูปร่างของลำแสงของเสาอากาศให้ชี้ไปยังเป้าหมายอย่างแม่นยำและลดการแพร่กระจายสัญญาณไปยังทิศทางที่ไม่ต้องการ
    - Interference Cancellation Techniques การประมวลผลสัญญาณเพื่อตรวจจับและลบสัญญาณรบกวนออก
    - Dynamic Frequency/Resource Management การปรับเปลี่ยนความถี่หรือทรัพยากรการส่งสัญญาณแบบไดนามิก เพื่อหลีกเลี่ยงย่านความถี่ที่มีการรบกวนสูง
2. การประสานงานและการบริหารจัดการ (Coordination and Management)
    - การแลกเปลี่ยนข้อมูลวงโคจรและตารางการทำงาน (Orbital and Operational Data Exchange) OneWeb (หรือ NT ในฐานะผู้ให้บริการ OneWeb ในไทย) และ Thaicom ควรต้องแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสานงานกัน เพื่อคาดการณ์ช่วงเวลาที่ดาวเทียม LEO อาจเคลื่อนที่ผ่านแนวสายตาของ GEO และวางแผนการดำเนินงานเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวน
    - การปิดสัญญาณชั่วคราว (Power Off/Frequency Switching) ในช่วงเวลาที่ดาวเทียม LEO เคลื่อนที่ผ่านแนวสายตาของดาวเทียม GEO หรือสถานีภาคพื้นดินของ GEO ระบบ LEO อาจจำเป็นต้องลดกำลังส่ง หรือเปลี่ยนความถี่ชั่วคราว หรือปิดสัญญาณ (beam shut-off) เพื่อป้องกันการรบกวน ซึ่ง OneWeb มีกลไกนี้อยู่แล้ว
    - ข้อตกลงในการใช้งาน (Operational Agreements) ผู้ให้บริการอาจทำข้อตกลงร่วมกันเพื่อกำหนดแนวปฏิบัติในการลดการรบกวน
3. แนวทางการกำกับดูแลโดย กสทช.
    - กสทช. ในฐานะหน่วยงานกำกับดูแลในประเทศไทย จะต้องกำหนดเงื่อนไขในการอนุญาตให้ OneWeb ให้บริการในประเทศไทย ซึ่งรวมถึงข้อกำหนดเกี่ยวกับการป้องกันการรบกวนต่อดาวเทียมไทยคม และการปฏิบัติตามระเบียบของ ITU
    - หน่วยงานกำกับดูแลจะเฝ้าระวังการใช้คลื่นความถี่และการเกิดการรบกวนอย่างใกล้ชิด

โดยสรุปแล้ว โอกาสของการรบกวนสัญญาณระหว่าง OneWeb (LEO) และ Thaicom 9 (GEO) ในอนาคตมีอยู่จริง เนื่องจากมีการใช้ย่านความถี่ร่วมกันและการเคลื่อนที่ของดาวเทียม LEO ที่ตัดผ่านแนวสายตาของ GEO อย่างไรก็ตาม ปัญหาเหล่านี้สามารถบริหารจัดการได้ด้วยการออกแบบระบบที่ดี เทคนิคการลดการรบกวนขั้นสูง การประสานงานอย่างใกล้ชิดระหว่างผู้ให้บริการภายใต้กรอบของ ITU และการกำกับดูแลของหน่วยงานภายในประเทศ (เช่น กสทช.) เพื่อให้ทั้งสองระบบสามารถให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบที่สำคัญต่อกัน

4.2.3 ข้อเสนอแนะและแนวคิดการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศไทย

แนวคิดในการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศ สามารถอ้างอิงได้ตามกฎหมายคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Regulation, RR) ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณวิทยุ (Radio emissions monitoring) ตามเงื่อนไขและข้อกำหนดตามกฎหมาย โดยมีจุดประสงค์ในการหยุดยั้งคลื่นสัญญาณรบกวนจากการใช้งานคลื่นความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต โดยการตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านเทคนิค ยกตัวอย่างเช่น ความถี่ที่ใช้งาน (Frequency) ความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ (Frequency deviation) และ ประเภทการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณ (Class of Emission) ซึ่งมีการระบุประเภทการมอดูเลต (modulation) เป็นต้น รวมถึงวัตถุประสงค์ในการใช้งานคลื่นความถี่นั้น ซึ่งในบางกรณีอาจจะมีการตรวจสอบเนื้อหาการเผยแพร่ออกอากาศของกิจการดาวเทียมได้ หรือการตรวจสอบการใช้งานคลื่นความถี่สำหรับงานบริการอินเตอร์เน็ตดาวเทียม ว่าไม่มีการใช้งานที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ นอกเหนือจากที่ได้รับอนุญาต
2. การตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลความถี่และช่องสัญญาณ ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลความถี่ และช่องสัญญาณดังกล่าวถูกใช้โดยใครด้วยวิธีการอย่างไร ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะ (characteristic) ของการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณ โดยข้อมูลการใช้งานช่องสัญญาณดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการคลื่นความถี่ที่มีประสิทธิภาพ ปราศจากปัญหาสัญญาณรบกวน ไม่มีการทับซ้อนกันของคลื่นความถี่ที่ใช้งาน และสามารถใช้งานข้อมูลดังกล่าวเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์การใช้งานช่องสัญญาณภายในประเทศ และต่างประเทศได้อีกด้วย
3. การติดตามหาสาเหตุของการเกิดสัญญาณรบกวน (Interference) เพื่อสร้างบริการที่มีความเสถียร และปลอดภัย แก่ผู้ใช้บริการ
4. การตรวจสอบและการยุติการให้บริการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณผิดกฎหมาย เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการช่องสัญญาณ ให้สามารถใช้งานช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการให้/หรือรับบริการ

ซึ่งโดยทั่วไปแนวทางการตรวจสอบคลื่นความถี่ระดับชาติ (National emissions monitoring) อาจจะมีการปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมในการดำเนินการจากวัตถุประสงค์ของกฎหมายคลื่นความถี่วิทยุได้ตามตัวอย่างดังต่อไปนี้

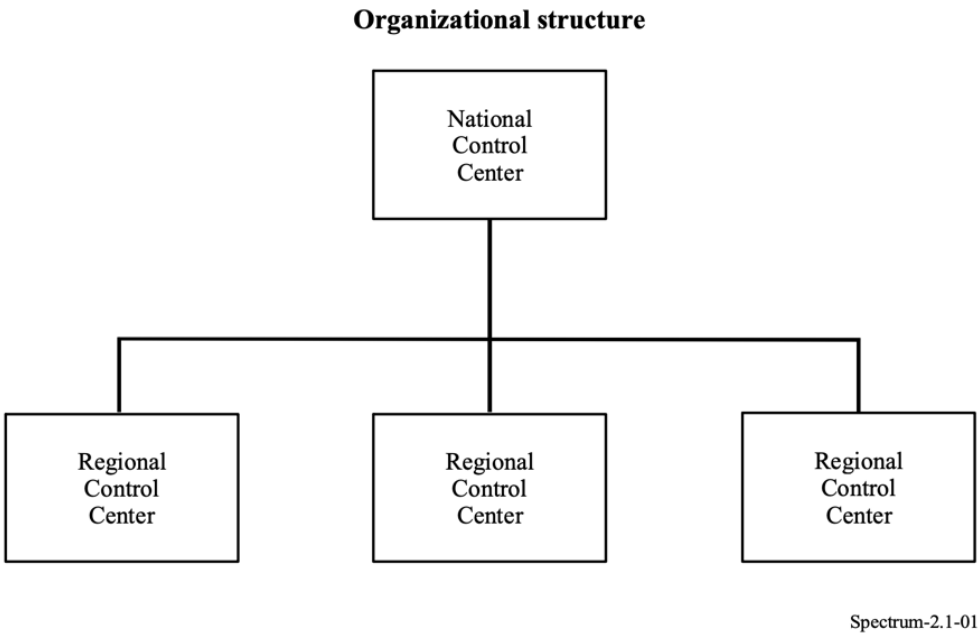
1) การให้ความช่วยเหลือในเหตุการณ์สำคัญ หรือสถานการณ์เฉพาะกิจ (Special Occasions) ยกตัวอย่างเช่น การแข่งขันกีฬา กิจกรรมที่มีการหมุนเวียนระดับประเทศ เช่น การแข่งรถ เป็นต้น ที่มีความต้องการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุในกรณีพิเศษ ซึ่งอาจเกิดคลื่นสัญญาณรบกวน (Interference) หรือการแทรกแซงสัญญาณ (intervening) ในช่วงเวลานั้น ๆ ดังนั้น การตรวจสอบคลื่นความถี่ที่ใช้งานจึงมีความสำคัญในการลดความรุนแรงของการรบกวนของสัญญาณ หรือการทำงานร่วมกันระหว่างทีมงานกำหนดการใช้งานช่องสัญญาณเพื่อกำหนดการใช้งานช่องสัญญาณเฉพาะกิจได้อย่างเหมาะสมต่อไป
2) การตรวจสอบพื้นที่ครอบคลุมของคลื่นวิทยุ ซึ่งมีค่าความแรงของสัญญาณ และคุณภาพที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยเน้นการตรวจสอบคุณภาพของการได้รับบริการตามพื้นที่ที่อยู่ภายใต้การควบคุมดูแลภายในประเทศ

3) การให้ความสำคัญต่อการศึกษาความสอดคล้องของอุปกรณ์ที่มีเกณฑ์ความเข้ากันได้ทางคลื่นวิทยุ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือหัวข้อที่มีความเกี่ยวข้องกับคลื่นวิทยุทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อใช้ในการบริหารจัดการคลื่นความถี่สำหรับบริการ หรือ ตรวจสอบคลื่นความถี่ที่มีการใช้งาน โดยการศึกษาวิธีการใหม่ ๆ ร่วมกับการทดสอบเทคโนโลยีที่ทันสมัย ให้เกิดเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาองค์กร และบุคลากรในองค์กร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาสถานการณ์การใช้งานดาวเทียมในประเทศไทย และแนวคิดจากการศึกษาการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียม ตามแนวคิดในการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศ ตามกฎหมายคลื่นความถี่วิทยุ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น สามารถทำการเสนอแนะแนวคิดการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศไทย ได้ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างบริหารการตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศไทย

โครงสร้างองค์กรสำหรับกิจการตรวจสอบคลื่นวิทยุ สามารถมีได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับจำนวนสถานีตรวจวัด และรูปแบบในการบริหารจัดการ ตามตัวอย่างโครงสร้างในรูปที่ 46



รูปที่ 46 ตัวอย่างโครงสร้างองค์กรสำหรับกิจการตรวจวัดคลื่นความถี่

โดยโครงสร้างประกอบไปด้วย ส่วนบริหารจัดการตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนกลางภายในประเทศ (National Control Center) ที่มีหน้าที่ในการกำหนดวัตถุประสงค์การดำเนินงาน บริหารจัดการอุปกรณ์และเครื่องมือ เป็นต้น ในบางประเทศมีการจัดตั้งส่วนบริหารจัดการตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนภูมิภาค (Regional Control Centers) สำหรับรับผิดชอบเฉพาะภูมิภาค เป็นรายภูมิภาค โดยมีบุคลากร ระบบควบคุมระยะไกล และระบบตรวจสอบแบบเคลื่อนที่ (mobile monitoring station) สำหรับทำภารกิจที่มีความแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค ซึ่งการบริหารจัดการดังกล่าวอาจจะมีการจัดตั้งศูนย์กลางการตรวจสอบข้อมูลคลื่นความถี่ (centralizing office) ที่มีการจัดสรรให้มีการทำงานร่วมกับส่วนบริหารจัดการตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนกลางภายในประเทศ หรือส่วนบริหารจัดการตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนภูมิภาค เพื่อทำการตรวจสอบ หรือ

ร่วมตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุกับส่วนงานต่าง ๆ โดยเป็นผู้รับผิดชอบในการทำหน้าที่ตรวจสอบความถี่ที่มีการใช้ทั้งหมด และอาจจะเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยงานจัดสรรการใช้งานความถี่ของประเทศ

ดังนั้น โครงสร้างการบริหารจัดการและการเฝ้าระวังคลื่นความถี่ดังกล่าว จึงเน้นหลักการสร้างแนวคิดในลักษณะของการจัดตั้งเป็นศูนย์กลาง (Centralize Monitoring) เพื่อควบคุมและกำกับดูแลกิจการดาวเทียมภายในประเทศ และเป็นไปภายใต้ข้อกำหนดของไอทียู เพื่อสร้างมาตรฐานในการกำกับดูแลที่อ้างอิงจากมาตรฐานที่มีการใช้งานทั่วโลกอยู่ในปัจจุบัน

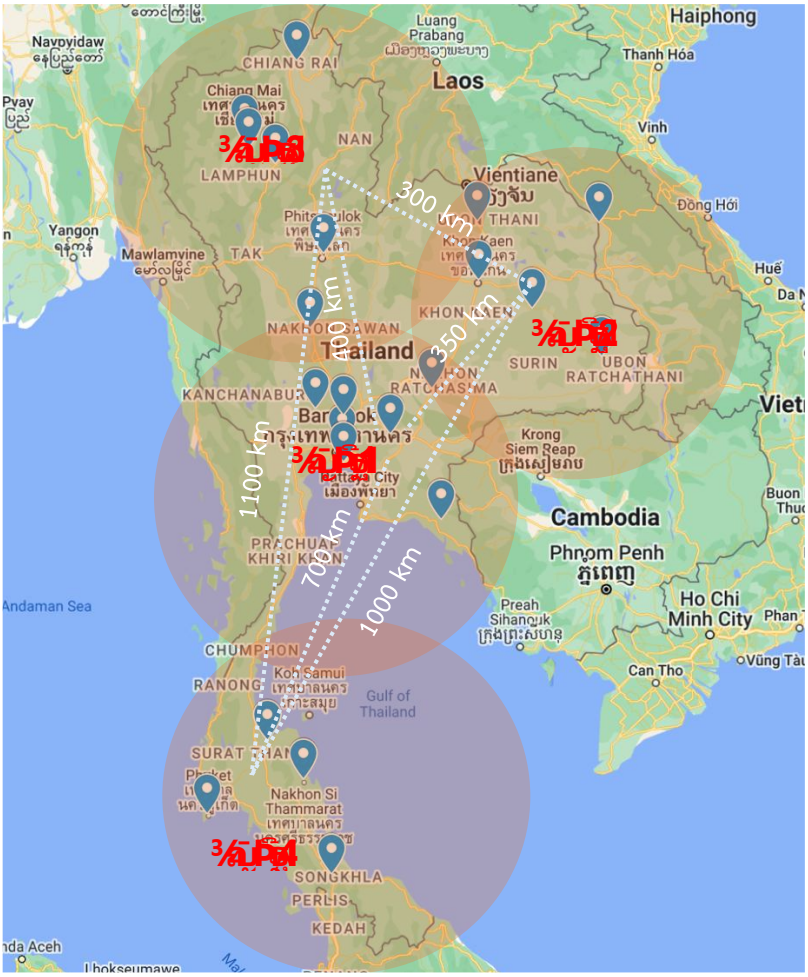
รูปที่ 47 ตัวอย่างโครงสร้างในการจัดทำข้อกำหนดเพื่อควบคุมดูแลคลื่นความถี่ภายในประเทศไทย

จากรูปที่ 47 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างโครงสร้างในการควบคุมดูแลคลื่นความถี่ภายในประเทศไทย โดยเริ่มจากคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ที่มีอำนาจหน้าที่ในการจัดทำแผนแม่บท จัดสรร และควบคุมการบริหารคลื่นความถี่ รวมถึงการกำหนดหลักเกณฑ์การใช้คลื่นความถี่ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและปราศจากการรบกวนซึ่งกันและกัน ซึ่งถือเป็นองค์กรที่มีอำนาจหน้าที่โดยตรงในการตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ โดยการดำเนินการควบคุมดูแลคลื่นความถี่ภายในประเทศไทย ควรมีความสอดคล้อง และมีมาตรฐานภายใต้แนวทางของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ และองค์กรที่มีหน้าที่ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ต่างประเทศ

ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบคลื่นความถี่จะสามารถนำใช้ในการวิเคราะห์และจัดทำแผนแม่บทหรือกระบวนการในการใช้งานคลื่นความถี่ โดยกำหนดเป็นมาตรฐานในการควบคุมดูแลผู้ให้บริการดาวเทียมภายในประเทศ (Thai Operator) และข้อเสนอแนะในการคุ้มครองสิทธิและเสรีภาพของประชาชนมิให้ถูกเอาเปรียบจากผู้ประกอบกิจการ

2. สถานที่ตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่

ในทางความสัมพันธ์เชิงภูมิประเทศ ได้มีการศึกษาความสำคัญของการตั้งสถานีดาวเทียม ซึ่งสามารถนำมาใช้เทียบเคียงกับการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ได้ โดยพื้นที่ของสถานีดังกล่าวต้องมีระยะทางห่างกันไม่น้อยกว่า 200 กิโลเมตร จากการศึกษาพื้นที่ควบคุมดูแลของสำนักงาน กสทช. ส่วนภูมิภาคที่มีการแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ภาค สามารถวัดระยะทางที่เหมาะสมในการติดตั้งสถานีตรวจสอบสัญญาณได้ดังรูปที่ 48

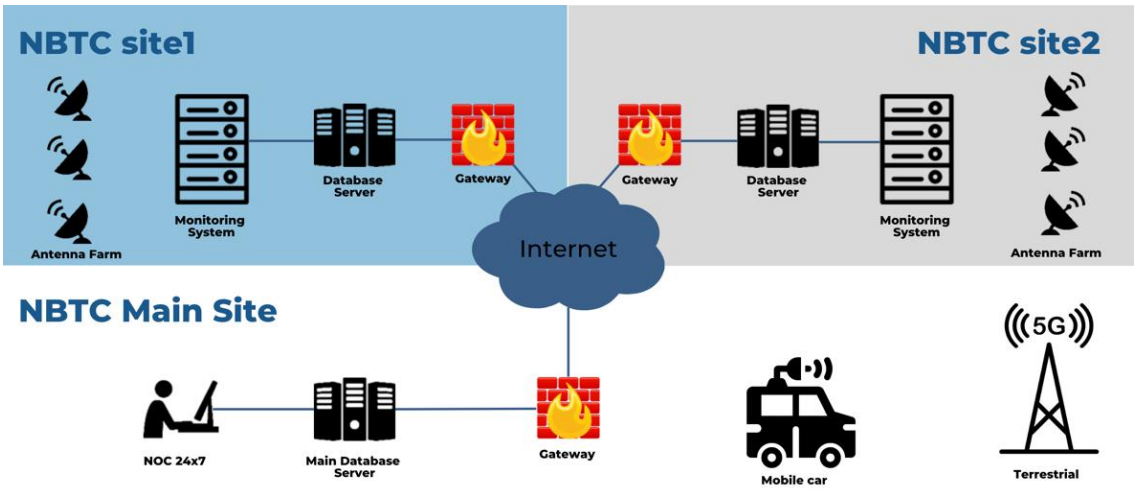


รูปที่ 48 แผนที่แสดงสำนักงาน กสทช. ในแต่ละภูมิภาค

หากมองถึงการทำงานของสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ตามโครงสร้างบริหารการตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศไทย (ข้อที่ 1) จะสามารถดำเนินการออกแบบให้สำนักงาน กสทช. ส่วนกลางเป็นศูนย์กลางในการบริหารจัดการตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนกลางภายในประเทศ (National Control Center) โดยทำการจัดตั้งเป็นศูนย์ควบคุมที่มีหน้าที่ในการกำหนดวัตถุประสงค์การดำเนินงาน บริหารจัดการอุปกรณ์และเครื่องมือ และรวบรวมข้อมูลในการวิเคราะห์สัญญาณจากส่วนภูมิภาค เป็นต้น นอกจากนี้ ควรมีการจัดตั้งสถานีตรวจสอบส่วนภูมิภาค ในพื้นที่ที่ได้รับเลือกของสำนักงาน กสทช. ส่วนภูมิภาค (Regional Control Centers) เพื่อใช้สำหรับปฏิบัติภารกิจพิเศษ หรือกรณีติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม ในกรณีที่ส่วนกลางมีพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการติดตั้ง เป็นต้น โดยสามารถจัดตั้งสถานีตรวจสอบภูมิภาคได้อย่างน้อยภูมิภาคละ 1 จุด รวมทั้งสิ้นอย่างน้อย 2 จุด ทั่วประเทศ (2 ภูมิภาค) โดยใช้หลักการสร้างสถานีอ้างอิง (Reference Site) เพื่อทำการวิเคราะห์ความสอดคล้องของค่าสัญญาณรบกวนที่วัดได้ ว่าเป็นค่าสัญญาณรบกวนที่มาจากดาวเทียมที่มีพฤติกรรมการเกิดสัญญาณรบกวนกินพื้นที่บริเวณกว้าง หรือเป็นค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสัญญาณรบกวนเฉพาะที่ (local interference)

อย่างไรก็ตาม จำนวนสถานีตรวจวัดในประเทศขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การดำเนินงาน พื้นที่จัดตั้งสถานี และงบประมาณในการจัดตั้ง โดยเป็นส่วนหนึ่งของแนวคิดการปฏิบัติงานในระดับประเทศ ซึ่งข้อกำหนดทางวัตถุประสงค์ดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดจำนวนการติดตั้งสถานี ภารกิจของแต่ละสถานีพื้นที่ติดตั้ง เครื่องมือ

และอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นในการใช้งาน เป็นต้น ให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ตามที่ได้มีการกำหนดไว้ โดยสามารถยกตัวอย่างภาพรวมการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 49 ตัวอย่างภาพรวมการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่ของสำนักงาน กสทช.

จากตัวอย่างจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ตามรูปที่ 49 สามารถชี้แจงรายละเอียดขององค์ประกอบของสถานี ได้ดังต่อไปนี้

1) สถานีตรวจวัดแบบประจำที่ (Fixed Monitoring Station)

สามารถแบ่งออกเป็นสถานีตรวจวัดหลัก (NBTC Main Site) และสถานีตรวจวัดภูมิภาคอ้างอิง ซึ่งสถานีตรวจวัดแบบประจำที่ มักจะเป็นศูนย์ควบคุมกลางของระบบตรวจสอบสัญญาณ โดยสามารถดำเนินการจัดตั้งสถานีให้มีพื้นที่ใช้สอยเหมาะสมกับการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ และอุปกรณ์สำนักงานได้อย่างไม่มีขีดจำกัด ซึ่งรวมถึงความต้องการทางไฟฟ้าและสาธารณูปโภคต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นอีกด้วย

การจัดตั้งสถานีตรวจวัดแบบประจำที่ ควรมีการจัดตั้งในพื้นที่ ที่มีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากคน (Man-made noise) และการปลดปล่อยคลื่นสัญญาณรบกวนน้อย หรือเป็นพื้นที่ ที่เกิดการรบกวนของสัญญาณบ่อยครั้ง ซึ่งรวมถึงการปลดปล่อยคลื่นสัญญาณรบกวนพลังงานต่ำ (low-power emissions) ซึ่งในกรณีแรกเหมาะสมกับการจัดตั้งสถานีตรวจวัดสัญญาณเอชเอฟ (HF) เนื่องจากสัญญาณเอชเอฟ จะค่อนข้างมีความอ่อนไหวง่ายเมื่อเกิดสัญญาณรบกวน ในขณะที่กรณีที่ 2 จะเหมาะกับการตรวจวัดสัญญาณประเภทวีเอชเอฟ/ยูเอชเอฟ (VHF/UHF) มากกว่า แต่สำหรับการตรวจวัดสัญญาณดาวเทียมนั้น การติดตั้งสถานีตรวจวัดจะต้องมีการคำนึงถึงสภาพภูมิประเทศ และพื้นที่ครอบคลุมของดาวเทียมที่ต้องการตรวจวัด ความต้องการวัดสัญญาณเฉพาะจากภายใน หรือทั้งภายในและภายนอกประเทศ และพื้นที่สำหรับติดตั้งอุปกรณ์จานรับสัญญาณดาวเทียม ที่มีเงื่อนไขของพื้นที่ในการเป็นพื้นที่เปิดโล่ง ปราศจากสิ่งกีดขวางการรับสัญญาณ เป็นต้น ซึ่งการคัดเลือกพื้นที่ตั้งสถานีดังกล่าว อาจจะต้องมีการคำนึงถึงปัจจัยทางด้านสังคมอื่น ๆ เช่น ค่าเช่าสถานที่ หรือความเหมาะสมของบริเวณชุมชนใกล้เคียง เพื่อประกอบการคัดเลือก

2) จานรับสัญญาณดาวเทียม (Antenna Farm)

การติดตั้งจานรับสัญญาณ สามารถทำได้จากการอ้างอิงข้อมูลดาวเทียมที่ทางคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์เป็นผู้ดูแล ดังนั้นการติดตั้งจานรับสัญญาณควรเป็นไปในทิศทางการติดตั้งจานรับสัญญาณ C-band ขนาด 3.8 เมตร จำนวน 8 ใบ จานรับสัญญาณ Ku-band ขนาด 3.8 เมตร จำนวน 2 ใบ และจานรับสัญญาณ Ku-band ขนาด 1.2 เมตร จำนวน 1 ใบ เพื่อทำการรับสัญญาณ สำหรับดาวเทียมชนิดวงโคจรค้างฟ้า โดยสามารถแสดงรายละเอียดการรับสัญญาณจากจานรับได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 9 การใช้งานจานรับสัญญาณในรูปแบบต่างๆ

จานรับสัญญาณ	จำนวน	ดาวเทียมไทย	ดาวเทียมต่างประเทศ	ดาวเทียมข้างเคียง
จานรับสัญญาณ C-band ขนาด 3.8 เมตร	8	Thaicom 6 (78.5E) Thaicom 7 (120E)	Asiasat 5 (100.5E) AsiaSat 7 (105.5E) AsiaSat 9 (122E) Chinasat 12 (87.5E)	Apstar 7 (76.5E) Telkom 3S (118E) AsiaSat 9 (122E)
จานรับสัญญาณ Ku-band ขนาด 3.8 เมตร	2	Thaicom 6 (78.5E) Thaicom 8 (78.5E)	-	-
สัญญาณ Ku-band ขนาด 1.2 เมตร	1	Thaicom 4 (119.5E)	-	-

และในส่วนของการติดตั้งจานรับสัญญาณประเภทวงโคจรไม่ค้างฟ้านั้น จะต้องมีการจัดหาจานรับสัญญาณที่สามารถรับสัญญาณดังกล่าวได้เป็นรายกรณีไป ขึ้นกับประเภทของบริการดาวเทียมที่ต้องการตรวจสอบ

การติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียม ไม่จำเป็นต้องทำการติดตั้งทุกสถานี แต่อาศัยการรับสัญญาณและการส่งข้อมูลจากสถานี ที่สามารถรับสัญญาณมาเก็บรวบรวมยังสถานีหลัก เพื่อทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์กลาง ในกรณีที่สถานที่ที่ได้รับเลือกให้เป็นสถานีตรวจวัดไม่สามารถหาพื้นที่เหมาะสมในการติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียมจำนวนหลายใบ

3) ระบบตรวจวัดสัญญาณ (Monitoring System)

เป็นระบบที่ติดตั้งในสถานีตรวจวัดสัญญาณแบบประจำที่ (Fixed monitoring station) โดยบางสถานีอาจจะเป็นในลักษณะของสถานีควบคุมระยะไกล (Remote controlled monitoring station) ที่มีการติดตั้งเฉพาะอุปกรณ์ตรวจวัดแบบมาตรฐาน ที่ไม่ต้องการผู้ใช้งาน โดยเป็นการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณที่วัดค่าได้แบบอัตโนมัติ หรือบางสถานีที่เป็นสถานีหลักอาจจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณขั้นสูงที่ต้องมีบุคลากรที่ได้รับการอบรมการใช้งานอุปกรณ์เป็นผู้ใช้งาน ดังนั้นการติดตั้งระบบตรวจวัดสัญญาณควรมีการคำนึงถึงวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นหลัก รวมถึงโครงสร้างในการส่งออกข้อมูล

4) ระบบบริหารจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล (Management information System and Database Server)

ระบบบริหารจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล เป็นระบบที่ใช้งานร่วมกับระบบตรวจวัดสัญญาณในการให้ข้อมูลที่มีความสำคัญ (Key factor) ที่สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจ โดยมีการวางแผนแนวทางโครงสร้างในการบริหารจัดการ เพื่อให้สามารถนำส่งข้อมูลถึงบุคคลปลายทางได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ในขณะเดียวกันระบบฐานข้อมูล ที่เป็นสถานที่เก็บข้อมูลสำคัญ และต้องมีระยะเวลาในการเข้าถึงข้อมูลอย่างรวดเร็ว หรือสามารถนำส่งข้อมูลไปยังสถานีอื่น ๆ ได้ ตามโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้

5) โครงสร้างพื้นฐาน

โครงสร้างพื้นฐานในที่นี้หมายรวมถึงพื้นที่ในการปฏิบัติงาน อุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน โปรแกรม (Program) /ซอฟต์แวร์ (Software) อุปกรณ์และโครงสร้างเน็ตเวิร์ค (Network) และสาธารณูปโภคต่าง ๆ ที่จำเป็นในการปฏิบัติงานในสถานี เป็นต้น การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานควรเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการตั้งสถานี และขอบเขตการดำเนินงานของสถานีนั้น ๆ

6) สถานีตรวจวัดแบบเคลื่อนที่ (Mobile Station)

เป็นสถานีตรวจวัดในลักษณะที่มีการขนย้ายอุปกรณ์ไปใช้งานนอกสถานที่ โดยเป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเคลื่อนย้ายได้ สามารถนำไปใช้งานเฉพาะกิจเพื่อการตรวจวัดสัญญาณอย่างใดอย่างหนึ่ง ในพื้นที่ที่ต้องการ

การออกแบบสถานีแบบเคลื่อนที่นั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ขอบเขตการดำเนินงาน ข้อจำกัดในการปฏิบัติงาน เป็นต้น ซึ่งความซับซ้อนของเครื่องมือ พลังงานไฟฟ้า การใช้งานในขณะที่มีการขับเคลื่อนยานพาหนะ หรือการใช้งานเครื่องมือวัดแบบพิเศษ ที่สามารถเคลื่อนย้ายไปในพื้นที่ที่ยานพาหนะไม่สามารถเข้าถึงได้ ล้วนแต่เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เพื่อให้การออกนอกสถานที่เป็นไปอย่างคุ้มค่าและได้ประสิทธิภาพสูงสุด

3. ระบบตรวจวัดสัญญาณคลื่นความถี่ (Monitoring System)

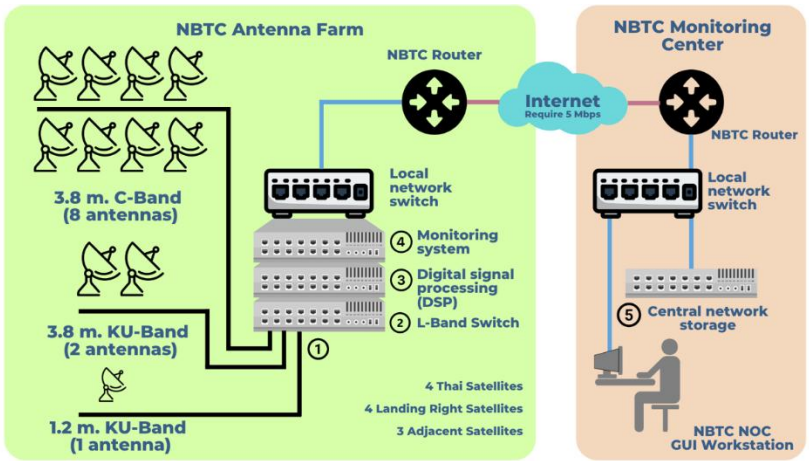
ในการตรวจสอบข้อมูลคลื่นความถี่ สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ควรมีความสามารถในการตรวจสอบ ระบุพิกัด (location) และตรวจวัดข้อมูลลักษณะเฉพาะที่มีความสำคัญ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1) ข้อมูลความถี่ (Frequency)
2) ข้อมูลความแรงของสัญญาณ (signal strength)
3) ข้อมูลความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth)
4) รูปแบบกระบวนการผสมคลื่นสัญญาณ (Modulation)
5) การตรวจสอบการครอบครองความถี่วิทยุ (Spectrum Occupancy. Measurement)
6) การค้นหาทิศทางของสัญญาณ (Direction finding)

ซึ่งในการตรวจวัดข้อมูลคลื่นความถี่ดังกล่าวข้างต้น จะต้องมีการใช้เครื่องมือพิเศษที่มีความเฉพาะเจาะจงในการตรวจสอบ โดยควรจะต้องมีเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ความจำเป็นต้องใช้ในการตรวจสอบ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1) จานรับสัญญาณ (Antennas)
2) เครื่องรับสัญญาณ (receivers)
3) อุปกรณ์ในการค้นหาทิศทางของสัญญาณ (direction finders)
4) อุปกรณ์ตรวจวัดช่องสัญญาณ (spectrum analyzers)
5) อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (recording equipment)

โดยทั่วไปแล้ว อุปกรณ์ตรวจวัดควรจะมีความครอบคลุมช่วงคลื่นความถี่อยู่ที่ 9kHz – 3GHz หากมีแผนในการการแยกสถานีเพื่อตรวจวัดช่วงความถี่ระหว่าง HF และ VHF/UHF สามารถแยกใช้งานอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดได้ เช่น ใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดช่วงความถี่ 9 kHz-30 MHz สำหรับสถานีตรวจวัดสัญญาณ HF และ 20 MHz-3 GHz สำหรับสถานีตรวจวัดสัญญาณ VHF/UHF และควรมีอุปกรณ์เฉพาะในการตรวจสอบคลื่นสัญญาณวิทยุแบบพิเศษ หรือมีความถี่สูง โดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ในการดำเนินกิจการเป็นสำคัญ



รูปที่ 50 ตัวอย่างภาพรวมการเชื่อมต่อระบบตรวจสอบสัญญาณ

จากรูปที่ 50 สามารถแสดงตัวอย่างภาพรวมการเชื่อมต่อระบบตรวจสอบสัญญาณได้โดยเริ่มต้นจาก (1) การนำเข้าสัญญาณ โดยการเชื่อมต่อสัญญาณจากจานรับสัญญาณดาวเทียม (2) การส่งผ่านสัญญาณดาวเทียมจากอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลเข้ามายังอุปกรณ์แปลงสัญญาณ และระบบตรวจวัด โดยอุปกรณ์แปลงสัญญาณจะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณที่ได้รับให้อยู่ในลักษณะของความถี่ในย่าน L-Band ซึ่งเป็นความถี่สัญญาณในรูปแบบที่เครื่องวัดสัญญาณส่วนใหญ่สามารถรองรับได้ (3) และการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณอยู่ในรูปแบบดิจิทัล (Digital Signal Processing) ในกรณีที่มีการรับสัญญาณเข้ารูปแบบอนาล็อก (Analog) (4) นำสัญญาณที่ได้มีการจัดการรูปแบบเข้าสู่ระบบตรวจวัดสัญญาณ เพื่อทำการตรวจวัดสัญญาณตามโปรแกรม (schedule) การตรวจวัดที่ได้มีการตั้งค่าไว้ และทำการเก็บข้อมูลในพื้นที่เก็บข้อมูลประจำสถานี (Local network storage) (5.) หรือนำส่งข้อมูลไปเก็บยังพื้นที่เก็บข้อมูลกลาง (Central network storage) โดยพื้นที่เก็บข้อมูลกลางส่วนใหญ่จะอยู่ที่สถานีตรวจวัดส่วนกลาง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานต่อไป

4. ข้อกำหนดด้านการบริหารจัดการสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่

การจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ นอกจากโครงสร้างองค์กรบริหาร สถานที่ตั้ง ระบบตรวจสอบคลื่นความถี่แล้วนั้น ทีมปฏิบัติการ (Operation) ยังต้องคำนึงถึงการออกกฎระเบียบ แบบแผนการปฏิบัติการ กระบวนการปฏิบัติที่เป็นมาตรฐาน และคำแนะนำในกรณีเกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน ให้การตรวจสอบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการจัดสรรงบประมาณเพื่อจัดตั้งสถานีดังกล่าว จึงต้องคำนึงถึงระบบที่ใช้ในการตรวจสอบ เครื่องมือเครื่องใช้สำนักงาน รวมถึงอุปกรณ์นอกสถานที่ที่มีความจำเป็นต่าง ๆ อีกด้วย โดยต้องมีการบริหารจัดการอุปกรณ์ บุคลากรที่เกี่ยวข้อง ตามตัวอย่างดังต่อไปนี้

1) การบริหารจัดการสถานีตรวจวัดเคลื่อนที่ ในลักษณะของทรัพยากรที่มีค่าใช้จ่าย ในกรณีที่ต้องมีการออกเดินทางตรวจสอบคลื่นความถี่นอกสถานที่ การจัดสรรงบประมาณที่จำเป็น กรณีที่ต้องออกนอกสถานที่หลายวัน เพื่อป้องกันค่าใช้จ่ายที่มากเกินความจำเป็น
2) การจัดสรรช่วงเวลาในการตรวจสอบสัญญาณคลื่นความถี่ โดยคลื่นสัญญาณรบกวนจะถูกพบบ่อยในช่วงเวลากลางคืน ทำให้ในบางประเทศมีการจัดตั้งทีมงานเพื่อตรวจสอบคลื่นสัญญาณตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง รวมถึงทีมงานสนับสนุนในกรณีที่เกิดปัญหาด้านเทคนิคที่มีความสำคัญเร่งด่วน
3) อุปกรณ์ ยานพาหนะ ที่ใช้ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ ต้องมีการบำรุงรักษาตามรอบอยู่เสมอ ซึ่งหมายความถึงในช่วงเวลาบำรุงรักษาอาจจะไม่สามารถใช้งานได้จนกว่าการบำรุงรักษาจะเสร็จสิ้น จึงต้องมีการวางแผนการใช้งานอุปกรณ์ให้ครอบคลุมการทำงานในแต่ละช่วงเวลาอย่างเหมาะสม
4) จัดมีให้การประชุมทีมงานที่เกี่ยวข้องเป็นประจำ เพื่อชี้แจงข้อมูลข่าวสารการปรับเปลี่ยนการดำเนินงานขององค์กร การกำหนดการใช้งานช่องสัญญาณความถี่ การอัพเดตข้อมูลข่าวสารทางด้านเทคโนโลยี กฎหมาย และเครื่องมือต่าง ๆ

ดังนั้น การดำเนินการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ นอกจากเรื่องโครงสร้างในการบริหารจัดการที่มีความสอดคล้องตามวัตถุประสงค์การดำเนินการ หรือแผนการปฏิบัติงานระดับประเทศแล้วนั้น ยังต้องมีการคำนึงถึงระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน งบประมาณใช้สอย และบุคลากรที่มีส่วนในการปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งมีการออกแบบนโยบาย แนวทางการปฏิบัติ ให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเน้นความมีมาตรฐานสากล รวมถึงมีการอัพเดตข้อมูลสมัยใหม่ให้แก่บุคลากร หรือการจัดสรรเครื่องมือประสิทธิภาพสูง ที่มีความทันสมัย เพื่อให้การดำเนินงานกิจการตรวจสอบคลื่นความถี่ดังกล่าว สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพปราศจากข้อจำกัดที่รบกวนการดำเนินงานได้อย่างแท้จริง

4.2.4 แนวทางการตรวจสอบคลื่นความถี่ของดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า

จากการศึกษาแนวทางการตรวจสอบคลื่นความถี่ของดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า (Non-Geostationary Orbit, NGSO) ค่อนข้างมีแนวทางคล้ายคลึงกับดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Orbit, GSO) โดยมีภาพรวมการตรวจสอบคลื่นความถี่ของทั้งสองแบบตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10 ภาพรวมความสำคัญในการตรวจสอบคลื่นความถี่ระหว่าง GSO และ NGSO

Satellite Type	Satellite spacecraft emission (Downlinks)	Satellite earth station emission (Uplinks)
GSO	การตรวจสอบสัญญาณส่วนใหญ่ จะกระทำโดยสถานีแบบประจำที่ (Fixed monitoring station) โดยมีการใช้งานจานรับสัญญาณประสิทธิภาพสูง ที่ต้องทำมุมหันไปยังทิศทางของดาวเทียมที่ต้องการตรวจสอบสัญญาณ	ตรวจสอบการปล่อยสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินไปยัง ดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า รวมถึงเครื่องรับสัญญาณ (VSATs) ที่มีการพบเห็นทั่วไป ซึ่งอาจจะตรวจสอบสัญญาณโดยใช้รถตรวจสอบสัญญาณได้ โดยการส่งสัญญาณที่สถานีภาคพื้นดิน มีความต้องการเครื่องมือตรวจวัดสัญญาณของอุปกรณ์ใกล้เคียง หรือบริเวณอื่น ๆ ที่สร้างความรบกวนต่อการส่งสัญญาณของจานส่งสัญญาณ
NGSO	การตรวจสอบสัญญาณส่วนใหญ่ จะกระทำโดยสถานีแบบประจำที่ (Fixed monitoring station) โดยมีการใช้งานจานแบบติดตาม (tracking antenna) ในการติดตามตำแหน่งของดาวเทียม ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการตรวจสอบสัญญาณ	ใกล้เคียงกับการตรวจสอบสัญญาณของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า โดยการส่งสัญญาณที่สถานีภาคพื้นดิน มีความต้องการเครื่องมือตรวจวัดสัญญาณของอุปกรณ์ใกล้เคียง หรือบริเวณอื่น ๆ ที่สร้างความรบกวนต่อการส่งสัญญาณของจานส่งสัญญาณ แต่ในส่วนของดาวเทียมประเภท NGSO จานส่งสัญญาณอาจจะมีการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งของดาวเทียม ทำให้มีความซับซ้อนในการหาตำแหน่งที่แน่นอนในการตรวจสอบ

ซึ่งแนวทางในการตรวจสอบสัญญาณ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณี

1. กรณีสัญญาณรบกวนระหว่างดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้าและดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (NGSO-to-GSO Interference) ด้วยการทำงานของดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า ที่เป็นลักษณะของวงโคจรดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า สามารถส่งสัญญาณรบกวนไปยังดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ในกรณีที่มีการใช้งานช่องสัญญาณ หรือคลื่นความถี่ใกล้เคียงกัน ซึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ระบบดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า อาจจะมีการใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Adaptive frequency allocation) การปรับบีมการส่งสัญญาณ (Beam forming) หรือการควบคุมพลังงานการส่งสัญญาณ (Power control) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะสามารถลดการเกิดสัญญาณรบกวนที่มีต่อดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าได้
2. กรณีสัญญาณรบกวนระหว่างดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า และดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า (GSO-to-NGSO Interference) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า มักเกิดขึ้นจากจานส่งสัญญาณของสถานีภาคพื้นดินที่มีกำลังในการส่งสูง ในช่องสัญญาณความถี่เดียวกันกับดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า ซึ่งในกรณีดังกล่าวถือเป็นกรณีร้ายแรงที่ถูกบันทึกไว้ในภาคการสื่อสารวิทยุของไอทียูหรือไอทียู-อาร์ (ITU Radiocommunication Sector, ITU-R) ในเรื่อง

การจัดสรรความถี่ใช้งาน และแนวปฏิบัติ การเปลี่ยนองศาของบีมในการส่งสัญญาณ (beam steering) หรือการปรับกำลังส่งที่สถานีภาคพื้นดิน (Adaptive power control) สามารถลดความเสี่ยงในการเกิดสัญญาณรบกวนของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าได้

3. กรณีสัญญาณรบกวนระหว่างดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้าและดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า ความเสี่ยงในการเกิดสัญญาณรบกวนระหว่างดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้าอาจเกิดจากการใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกัน ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการบริหารจัดการความถี่จากการกำหนดความถี่ที่สามารถใช้งานได้หรือการบริหารจัดการด้วยขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่ซับซ้อน ที่ซึ่งหมายรวมถึงขั้นตอนวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวน (Interference cancellation algorithm) หรือเทคนิคในการปรับเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณ (Adaptive modulation technique) ซึ่งจะสามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนภายในช่องสัญญาณเดียวกัน และป้องกันความแออัดของการใช้งานคลื่นความถี่ (Spectral congestion)

การศึกษาการตรวจสอบคลื่นความถี่ (Spectrum monitoring) เป็นหนึ่งในแนวทางการศึกษาของไอทียู-อาร์ ในกลุ่มของการบริหารจัดการคลื่นความถี่ (Spectrum management) หนึ่งในนั้นคือการพัฒนากระบวนการในการตรวจสอบคลื่นความถี่ ที่มีวัตถุประสงค์ในการบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นจากการรบกวนของคลื่นความถี่ดาวเทียมในวงโคจร ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น สร้างความแม่นยำ (Accurate) ต่อเนื่อง (Continuous) และมีการตรวจสอบในระยะเวลาใกล้เคียงความจริง (Real-time)

การพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบสัญญาณคลื่นความถี่ ในรูปแบบศูนย์กลางการเก็บข้อมูล สำหรับการเก็บข้อมูลดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า นับเป็นความท้าทายใหม่ ๆ เนื่องจากดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า มีวงโคจรที่ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานขนาดใหญ่ การสร้างระดับในการตรวจสอบให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการเก็บไว้ ถึงความสอดคล้องและความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ รวมไปถึงการคาดการณ์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้นั้น นับเป็นการสร้างปัญหาให้กับเจ้าหน้าที่เป็นอย่างมาก จากปัญหาเรื่องใบอนุญาต หรือกฎหมายในบางกรณี การสร้างระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ แยกแยะระหว่างสัญญาณรบกวนและไม่ใช่สัญญาณรบกวน หรือการให้คะแนน (score) ของ AI จะสามารถช่วยในการระบุสัญญาณรบกวน หรือวางแผนในการบรรเทาการเกิดสัญญาณรบกวนในการสื่อสารดาวเทียม ซึ่งอาจจะเป็นทางออกหนึ่งของการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้

การตรวจจับ และการระบุตัวตนของเครื่องส่งนิรนามที่ไม่ได้รับอนุญาตให้มีการส่งสัญญาณ นับเป็นวัตถุประสงค์ใหญ่ของการแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวน อย่างไรก็ตามการแยกแยะระหว่างปัญหาทางด้านกฎหมาย และการส่งสัญญาณที่ไม่ได้รับอนุญาตนับเป็นความท้าทาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความยาวคลื่นความถี่ที่มีการใช้งานหนาแน่น ทั้งเครื่องส่งที่ได้รับอนุญาต และไม่ได้รับอนุญาตมีการใช้งานรูปแบบการส่งสัญญาณที่คล้ายคลึงกัน ในทางกลับกัน การขาดหายของสัญญาณไม่ได้หมายถึงความถี่ที่ไม่ได้ใช้งานหรือไม่ได้กำหนดให้มีการใช้งาน เนื่องจากเครื่องส่งที่ได้รับอนุญาตอาจจะไม่ได้ทำการส่งสัญญาณในช่วงเวลาที่มีการตรวจสอบ ดังนั้น ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบ และข้อมูลการบริหารจัดการความถี่ อาจจะไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และช่องสัญญาณที่มีการใช้งานอาจจะไม่ได้ระบุถึงช่วงความถี่ที่ใช้งาน และเครื่องส่ง ในทางเดียวกัน ช่วงความถี่ที่มีการกำหนดให้ใช้งานอาจจะไม่ได้การันตีว่าผู้ที่ใช้งานมาจากเครื่องส่งที่ได้รับอนุญาต เป็นต้น

ดังนั้น ข้อปฏิบัติในการป้องกันสัญญาณรบกวน จึงควรเริ่มจากการที่ผู้ให้บริการดาวเทียม (Satellite Operators) หรือองค์กรที่มีหน้าที่ในการตรวจสอบดาวเทียม มีการกำหนดบทบาทและหน้าที่ชัดเจนในการลด

การรบกวนของสัญญาณรบกวน มีการกำหนดนโยบายที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพในการให้บริการ ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การติดตามและตรวจสอบข้อกำหนดทางด้านคลื่นวิทยุ (Monitoring and Verification of Radio Regulation Compliance) ซึ่งสำหรับผู้ออกกฎการตรวจสอบและติดตามข้อจำกัดของไอทียู ฉบับล่าสุด นับเป็นความท้าทายอย่างยิ่ง การตรวจจับที่มีประสิทธิภาพและการระบุกลไกการทำงานจะช่วยสร้างความเป็นธรรมในการใช้งานทรัพยากรทางอวกาศที่มีความเหมาะสมกับบรรทัดฐานการใช้งานของคลื่นความถี่
2) การตรวจสอบระดับการรบกวนของสัญญาณ (Verification of Interference Levels) ผู้ให้บริการดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit, LEO) ได้รับประโยชน์จากกลไกการทำงานการประเมินการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับข้อกำหนดกฎหมาย และในขณะเดียวกันผู้ให้บริการดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ก็เป็นผู้มีความต้องการในการระบุต้นกำเนิดของสัญญาณรบกวนและระดับการรบกวนเพื่อปกป้องบริการของตนเองเช่นกัน

ความท้าทายในการตรวจสอบคลื่นความถี่ของดาวเทียมวงโคจรไม่ค้างฟ้า จะไม่ได้อยู่ในหัวข้อ WRC-23 หรือในการรายงานการประชุม (Reports of the Conference Preparatory Meeting, CPM) ของไอทียู เนื้อหาของการวิเคราะห์จะอยู่ใน ITU-R Study Group หัวข้อ W1C ที่เป็นหัวข้อเกี่ยวกับการศึกษากระบวนการตรวจสอบคลื่นความถี่ ที่ไม่ได้มีการกำหนดว่าต้องมีการใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) อย่างไรก็ตามในบทที่ 22-5 (Resolution 22-5) ของไอทียู-อาร์ มีการระบุให้องค์กรตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศที่กำลังพัฒนา มีการพัฒนากระบวนการตรวจสอบคลื่นความถี่ ดังนั้นการพิจารณาความเกี่ยวข้องของการตรวจสอบคลื่นความถี่ ที่นำไปสู่การอภิปรายและสรุปผลด้วยวิธีการทางคอมพิวเตอร์ ร่วมกับประเทศต่าง ๆ รวมถึงองค์กรไอทียู จะเป็นการส่งเสริมให้เจ้าหน้าที่จากองค์กรในประเทศที่กำลังพัฒนา กลายเป็นองค์กรที่มีความเข้มแข็งในการบริหารจัดการคลื่นความถี่

4.3 สรุปความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

โดยคณะผู้วิจัยฯ จะทำการประสานงานกับหน่วยงานทั้ง 3 กลุ่มอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 10 หน่วยงาน โดยการจัดการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) กับผู้ที่เกี่ยวข้อง ผู้มีส่วนได้เสีย ผู้ได้รับผลกระทบ เป็นการสัมภาษณ์ทั้งในรูปแบบออนไลน์ (อินเทอร์เน็ต) หรือ ออฟไลน์ (การสัมภาษณ์ต่อหน้า หรือทางโทรศัพท์) ขึ้นอยู่กับความสะดวกของหน่วยงานผู้ให้สัมภาษณ์เป็นหลัก สามารถสรุปประเด็นที่สำคัญ ดังนี้

1. กลุ่มผู้ให้บริการดาวเทียม (Satellite Operator)

1.1 บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)

สรุปความคิดเห็นของบริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน) เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน โดยไทยคมให้บริการ 3 ด้านหลัก ได้แก่ Broadband Services, Broadcasting Services และ Transponder Services
- ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น
    - สัญญาณรบกวนจากดาวเทียมข้างเคียง (เช่น AsiaSat, Astra, Telcom)
    - สัญญาณรบกวนจากต่างประเทศ (รัสเซีย)
    - การรบกวนสัญญาณระหว่างสถานีดาวเทียมลาดหลุมแก้วกับสถานีภาคพื้นดินของผู้ให้บริการมือถือ (ช่วงความถี่ KU-Band)

- กรณีสัญญาณรบกวนจากต่างประเทศ (รัสเซีย) ต้องให้ กสทช. เป็นหน่วยงานกลางในการประสานงาน
- ไทยคมมีระบบและอุปกรณ์เฉพาะกิจการดาวเทียมในการตรวจสอบสัญญาณรบกวน เช่น Carrier Monitoring, Interference Verification, Uplink Access Test
- การจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่มีความจำเป็นและควรพัฒนา โดยเน้นการตรวจสอบดาวเทียม LEO ดาวเทียมผิดกฎหมาย อุปกรณ์ตรวจสอบ ความเชี่ยวชาญบุคลากร และฐานข้อมูลสัญญาณ กสทช. ควรมีระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ของตนเอง
- ปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย ความพร้อมด้านบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคนิคเกี่ยวกับดาวเทียมและความรู้ด้านระเบียบข้อบังคับของ ITU และของประเทศไทย

1.2 บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

สรุปความคิดเห็นของบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน NT ให้บริการ Broadcast เป็นหลัก ทั้งการสื่อสารข้อมูล Fiber optic, IP Star และ Broadcast โดยเน้น 2 ด้านคือ Uplink (ส่งต่อไปต่างประเทศ) และ Downlink (รับสัญญาณถ่ายทอด) ใช้ Asia Sat 5 สำหรับ Uplink/Downlink และ Thaicom 6 สำหรับบริการทีวีในประเทศ
- ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นปัญหาหลักคือการรบกวนสัญญาณ ทำให้คุณภาพสัญญาณลดลง
- เทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ที่หน่วยงานมีใช้ Spectrum Analyzer และการวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ประกอบ
- ข้อกำหนดนโยบายการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่ และบทบาทของ กสทช. เห็นว่า กสทช. ควรเป็นหน่วยงานหลักในการกำกับดูแลและตรวจสอบคลื่นความถี่ ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน
- ปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย เกิดจากขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในการตรวจสอบคลื่นความถี่ และจำนวนบุคลากรไม่เพียงพอ

2. กลุ่มผู้ให้บริการผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (Satellite Provider)

2.1 บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (Broadcast Service)

สรุปความคิดเห็นของบริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (Broadcast Service) เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น จากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด คือ ปัญหาคลื่นรบกวน ประกอบด้วย 1. C-Band และสัญญาณ 5G ที่เข้ามากวนในย่านความถี่ข้างเคียง 2. วงจรของ Solar cell ที่ทำการรบกวนสัญญาณ
- เทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ด้วยวิธีตรวจสอบด้วยตัวจับคลื่นความถี่ ลูกค้า/ผู้ใช้บริการมีการร้องเรียนไปยัง กสทช. และทาง กสทช. แจ้งมายังทาง PSIเพื่อเข้าตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นจากเสาส่งสัญญาณและจัดการแก้ไขในเรื่องการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์การรบกวน

กันระหว่างดาวเทียมข้างเคียงทาง PSI จะแจ้งปัญหาไปทาง Thaicom ที่เป็นผู้ให้บริการของPSI เพื่อให้ทาง Thaicom แก้ไขปัญหานั้น ๆ

- ดาวเทียมในปัจจุบัน มีทั้ง GEO และ LEO ซึ่งดาวเทียม LEO เราจะตรวจสอบด้วยวิธีใด ในเมื่อดาวเทียม LEO ไม่ใช่ดาวเทียมของไทย และมีจำนวนมากทางภาครัฐมีนโยบายที่ไม่ชัดเจน สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่จะเกิดขึ้นต้องมีนโยบายที่ชัดเจน ต้องมีการออกกฎหมายเพื่อใช้ในการตรวจสอบและในส่วนของบทบาทหน้าที่ คือเป็นผู้ออกใบอนุญาต และสามารถตรวจสอบ ตักเตือน ปรับ และสามารถเพิก หรือยกเลิกใบอนุญาต
- การทำงานควรการแก้ไขปัญหาอย่างรวดเร็ว ทาง กสทช.ควรมีบทบาทหน้าที่ที่ครอบคลุมมากกว่าที่เป็นอยู่ ณ ปัจจุบัน

2.2 องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (Thai PBS) (Broadcast Service)

สรุปความคิดเห็นของ (Thai PBS) เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ใช้บริการผ่านทาง Thaicom ปัญหาในการใช้บริการ มี 2 ด้านคือ

  1. ด้านเทคนิค เป็นการใช้บริการร่วมกับต่างชาติ เมื่อเกิดปัญหาการรบกวนไม่สามารถแก้ไขได้อย่างทันท่วงที ซึ่งป้องกันได้ค่อนข้างยาก สิ่งที่ทำได้คือการให้ความรู้กับลูกค้าที่มีการใช้บริการ Transponder เป็นประจำ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในวิธีการใช้งานดาวเทียมอย่างถูกต้อง และในส่วนของปัญหาจากสัญญาณ 5G ยังไม่ได้รับข้องร้องเรียนจากการรบกวน เนื่องจากมีการกำหนดข้อตกลงในการตรวจสอบก่อนการติดตั้ง

  2. ด้านการบริหารจัดการ ขึ้นอยู่กับศักยภาพของผู้ให้บริการ ว่ามีวิธีการในการให้บริการอย่างไร ซึ่งระหว่าง Thaicom และ NT มีความแตกต่างกันในเรื่องของการให้บริการ
- มีเทคโนโลยีอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบคลื่นความถี่คือ Spectrum Analyzer และเมื่อมีปัญหาข้อร้องเรียนเรื่องการรับชม มีการตรวจสอบ โดย การส่งเจ้าหน้าที่ทางเทคนิค ทีมวิศวกรเข้าไปตรวจสอบ ซึ่งส่วนใหญ่ปัญหาที่พบ คือ 1. ตำแหน่งจานเคลื่อนที่ ส่งผลกระทบต่อการรับสัญญาณ 2. มีน้ำ (น้ำฝนกรณีฝนตก) เข้าไปในตัวรับสัญญาณ
- การจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่มีความจำเป็น เพราะคือบทบาทหน้าที่ของ กสทช. ในการตรวจสอบและสิ่งที่ต้องพัฒนาคือ ความพร้อมด้านบุคลากร และเครื่องมือที่รองรับการตรวจสอบคลื่นความถี่นั้น ๆ ได้
- บทบาทของ กสทช. ต้องมีความรู้ องค์กรจะต้องมีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถและความเข้าใจเพื่อนำไปใช้ในการกำกับดูแลอย่างเหมาะสม
  1. กำกับดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ
  2. ส่งเสริมให้อุตสาหกรรมมีการเติบโต
  3. ต้องมีความรู้เท่าทัน ก้าวทันต่อเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอยู่ตลอด
- เนื่องจาก กสทช. กำกับดูแลอุตสาหกรรมไทยที่มีผลกระทบต่อประเทศค่อนข้างสูง จะเห็นได้ว่าแต่ละอุตสาหกรรมมีผลเชิงเศรษฐกิจของประเทศ สิ่งที่สำคัญ คือ กสทช. จำเป็นที่จะต้องรู้เท่าทันเพื่อการกำกับดูแลให้เกิดประโยชน์ ส่งเสริมให้อุตสาหกรรมเติบโตเพื่อประโยชน์ของชาติ

2.3 บริษัท เอส ที ซี เน็ทเวิร์ค คอร์ปอเรชั่น จำกัด (Broadband Service)

สรุปความคิดเห็นของ บริษัท เอส ที ซี เน็ทเวิร์ค คอร์ปอเรชั่น จำกัด เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- การให้บริการบริษัทเป็น Service Provider หรือเป็น Users ทางบริษัท เอส ที ซี เน็ทเวิร์ค คอร์ปอเรชั่น จำกัด เช่า Transponder จากทาง Thaicom ลูกค้าส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการแท่นขุดเจาะน้ำมันในทะเล ปัญหาจากการรบกวนสัญญาณคือ ดาวเทียมจากผู้ให้บริการด้วยกัน สาเหตุหลักคือเรื่องอุปกรณ์เสื่อมสภาพ อุปกรณ์รุ่นเก่า ที่จะทำการรบกวนสัญญาณกัน
- เทคโนโลยีการตรวจสอบคลื่นความถี่คือ Spectrum Analyzer และการแจ้งทาง Thaicom เพื่อให้ทำการตรวจสอบและแก้ไขปัญหา
- ควรใช้บริการหน่วยงานที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน และมีการออกกฎ ข้อบังคับ ในการตรวจสอบโดยใช้กฎหมาย มีความคิดเห็นว่าทาง กสทช. มีกฎระเบียบที่ไม่รัดกุม และทางด้านบุคลากรที่ไม่เพียงพอ ควรมอบหมายให้หน่วยงาน Thaicom/NT ที่เป็น satellite Operator เป็นหน่วยงานตรวจสอบคลื่นความถี่
- ควรมีการบริหารจัดการ มีการวางแผน โดยมีการเริ่มต้นตั้งแต่การออกใบอนุญาต และด้านบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน

3. กลุ่มผู้ใช้บริการผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (Users)

3.1 บริษัท อสมท จำกัด

สรุปความคิดเห็นของ บริษัท อสมท จำกัด เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- การใช้บริการดาวเทียม Thaicom (C-Band, KU-Band) ปัญหาการรบกวน คือ
    1. GPS มีปัญหา (รวน) มีการแจ้งรายงานต่อ สำนักงาน กสทช.
    2. สัญญาณรบกวนจากเครื่องบิน (การซ้อมรบ) มีผลต่อสัญญาณ
    3. เสา Base Station รบกวนสัญญาณ แก้ไขด้วยการย้ายจานและเปลี่ยน LNB
    4. การถูกรบกวนจากภาคพื้นดิน
- การแจ้งรายงานปัญหาการรบกวนสัญญาณไปยัง สำนักงาน กสทช. เพื่อตรวจสอบ
- ปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย
    1. ปัญหาการ Monitor ของการ Uplink, Downlink การตรวจสอบสัญญาณของสำนักงาน กสทช.
    2. การตรวจสอบ Uplink สามารถตรวจสอบได้ยาก
    3. ควรมีการตรวจสอบทางธุรกิจควบคู่กับการตรวจสอบทางเทคนิค
    4. เทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบ มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติด้านการตรวจสอบ
    5. ศักยภาพของสำนักงาน กสทช. ในด้านการ Operation ทั้งบุคลากรและเครื่องมืออุปกรณ์

3.2 บริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)

สรุปความคิดเห็นของ บริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- บริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Operator) มีการใช้บริการดาวเทียม โดยเช่า Transponder จากทาง Thaicom ปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการให้บริการ เกิดจากการรบกวนสัญญาณจาก Access Control (ระบบไม้กั้นอัตโนมัติ) รบกวน TrueVision Box

- บทบาทหน้าที่เป็นของทางสำนักงาน กสทช. ที่ต้องทำการตรวจสอบคลื่นความถี่ เพื่อกำกับดูแลการใช้หรือการให้บริการดาวเทียม ซึ่งควรจะเน้นการบังคับใช้กฎหมายในการดำเนินการโดยเฉพาะการตรวจจับที่ไม่ได้รับอนุญาติ
- ปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย ได้แก่
    1. บุคลากรในการตรวจสอบ
    2. ความคุ้มค่าในการลงทุนจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่

3.3 บริษัท วัน สามสิบเอ็ด จำกัด

สรุปความคิดเห็นของ บริษัท วัน สามสิบเอ็ด จำกัด เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- บริษัท วัน สามสิบเอ็ด จำกัด เป็นผู้ให้บริการ Service Provider ออกอากาศผ่านระบบดิจิทัลทีวีภาคพื้นดิน (DTT) แต่เนื่องจากสัญญาณไม่ครอบคลุมสำหรับ DTT จึงมีการใช้สัญญาณดาวเทียมในการส่งสัญญาณออกอากาศ เพื่อให้ครอบคลุมทั่วประเทศ โดยใช้ดาวเทียม Thaicom สัญญาณ C-Band และ KU-Band ปัญหาที่พบบ่อย ได้แก่
    1. KU-Band การรับสัญญาณไม่ได้ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศ (ฝน) และการปรับองศาที่ไม่ดีไม่เหมาะสม
    2. C-Band จากการตรวจสอบกับทางไทยคม ที่ได้มีการยกเลิกความถี่ 3.4-3.7 GHz ที่เคยใช้งานอยู่ และปรับเปลี่ยน LNB สำหรับผู้ชมทางบ้าน ในการรับสัญญาณความถี่ภาคพื้นดินเข้ามาทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณในบางครั้ง
- เนื่องจากสถานีเป็น Service Provider จึงใช้บริการผู้ให้บริการที่เป็น Network Provider ในการตรวจสอบและรับการรายงานเข้ามา หรือการรายงานจาก Provide ว่าผู้รับชมมีการร้องเรียนหรือไม่ แม้กระทั่งผู้ให้บริการที่เป็นกล่องรับสัญญาณต่าง ๆ กล่องรับดาวเทียม หรือกล่องรับดิจิทัลทีวีภาคพื้นดิน เพราะว่าทางช่องอาจจะมีช่องทางการสื่อสารกับผู้รับชม แต่ว่าส่วนใหญ่ผู้รับชมจะสื่อสารไปยังช่างที่มาติดตั้งมากกว่าการสื่อสารผ่านทางสถานี ทางสถานีจึงรับทราบปัญหาจากช่างผู้ติดตั้ง จำนวนผู้ใช้บริการ/การรับข้อร้องเรียนด้านการรับสัญญาณปัญหาจากสัญญาณรบกวน มีประมาณ 2-3 เคส/เดือน
- ในฐานะที่ทาง บริษัทฯ เป็น Service Provider และเป็น Content Provider ปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนส่งผลกระทบต่อ Content และ Service ในด้านของการรับชม หากมีสัญญาณรบกวนอาจจะทำให้ยอดการเข้าชมลดลง เรตติ้งลดลงและรายได้อาจลดลงไปด้วย
- มีความเห็นด้วยว่าหากทางสำนักงาน กสทช. จะมีการจัดตั้งสถานีตรวจคลื่นความถี่และบทบาทหน้าที่ของ กสทช. ควรทำหน้าที่ตรวจสอบ ควบคุมและกำกับดูแลอย่างทันท่วงที
- ปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย คือด้านบุคลากรที่มีความสามารถ มีองค์ความรู้ และมีจำนวนที่เพียงพอต่อการตรวจสอบ

3.4 กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

สรุปความคิดเห็นของ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- กรมฯ ใช้สัญญาณดาวเทียม ดาวเทียมสื่อสาร C-Brand ในการสื่อสารประชาสัมพันธ์แพร่ภาพและเสียง องค์ความรู้ในองค์กรและเป็นช่องทางสำรองสำหรับกรณีภัยพิบัติปัญหาและอุปสรรค คือ มีการรบกวนสัญญาณขณะออกอากาศ
- ปัจจุบันทางหน่วยงานมีการทำข้อตกลงการให้บริการ (SLA) กับทาง Thaicom ในการตรวจสอบสัญญาณคลื่นความถี่
- นโยบายการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่มีความจำเป็นในการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ของ กสทช. เพื่อให้มีหน่วยงานที่ต้องทำหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบเป็นส่วนกลาง เพื่อกำกับดูแลควบคุมการใช้สัญญาณ
- บทบาทหน้าที่ของ กสทช. ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ ซึ่งเป็นบทบาทหน้าที่ของหน่วยงาน กสทช. อยู่แล้ว ควรดูแลทุกระบบอย่างรอบด้าน ในด้านความมั่นคง ทาง กสทช. ควรมี เทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบ
- ปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย ควรพัฒนาด้านบุคลากร ให้มีความเชี่ยวชาญ มีองค์ความรู้ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบ เครื่องมือและอุปกรณ์ ที่สามารถตรวจสอบคลื่นความถี่ได้

3.5 สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม

สรุปความคิดเห็นของ สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม เกี่ยวกับประเด็นการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม และการตรวจสอบคลื่นความถี่ มีดังนี้

- สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหมใช้สัญญาณดาวเทียมสื่อสาร C-Band และ KU-Band ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการใช้บริการดาวเทียม คือ การรบกวนสัญญาณจากภาคพื้นดินมีสัญญาณรบกวนแทรกเข้ามา (ย่านความถี่เข้ามาแทรก)
- เทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน เมื่อพบปัญหาสัญญาณรบกวนจะทำการแจ้งปัญหาไปยัง กสทช. เพื่อให้ทาง กสทช เป็นผู้ทำการตรวจสอบปัญหา และทำการวิเคราะห์แก้ไขปัญหาจากสัญญาณรบกวนนั้นอุปกรณ์ในการตรวจสอบสัญญาณที่พร้อมกับสถานี คือ Spectrum Analyzer
- สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่มีความจำเป็น และควรเป็นบทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของ กสทช. ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ และทาง กสทช. ควรมีการพัฒนาด้านบุคลากรและอุปกรณ์ในการตรวจสอบ
- **ปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถีของประเทศไทย ได้แก่**
    1. ความสามารถของบุคลากร องค์ความรู้และความเชี่ยวชาญ ในด้านการตรวจสอบสัญญาณรบกวน
    2. กำหนดขอบเขตภารกิจ บทบาทหน้าที่ก่อนการกำหนดด้านอุปกรณ์
    3. ศึกษาแนวโน้มปัญหาที่เกิดขึ้น และที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

บทที่ 5 ข้อเสนอแนะแนวจัดตั้งระบบตรวจสอบ และทิศทางแนวโน้มในการตรวจสอบคลื่นความถี่จากดาวเทียม

5.1 รูปแบบการตรวจจับคลื่นความถี่และแนวโน้มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

5.1.1 คลื่นความถี่ (Frequency)

คลื่นความถี่ที่ดาวเทียม (Satellite) ใช้งานเป็นทรัพยากรสำคัญสำหรับการสื่อสารและบริการต่าง ๆ เช่น การสื่อสารโทรคมนาคม การกระจายเสียงและวิดีโอ การสำรวจข้อมูลระยะไกล และการนำทาง คลื่นความถี่เหล่านี้แบ่งออกเป็นหลายย่านความถี่ (Frequency Bands) ซึ่งมีคุณสมบัติและการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะของบริการและข้อกำหนดของ ITU (International Telecommunication Union) ดังนี้

- L-Band (1-2 GHz) ใช้สำหรับระบบนำทางดาวเทียม (GNSS) และการสื่อสารดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ (Mobile Satellite Communication)
- S-Band (2-4 GHz) ใช้สำหรับการสื่อสารทางอวกาศ (Space Communication) ระบบเรดาห์ และการกระจายเสียงแบบดาวเทียม (Satellite Digital Audio Broadcasting)
- C-band (4-8 GHz) ใช้สำหรับการถ่ายทอดสัญญาณโทรคมนาคมและโทรทัศน์ รวมถึงการสื่อสารแบบคงที่ (Fixed Satellite Services-FSS)
- X-band (8-12 GHz) ใช้สำหรับการสื่อสารทางทหาร ระบบเรดาห์ และการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing)
- Ku-band (12-18 GHz) ใช้สำหรับการกระจายเสียงและวีดีโอ (Broadcasting Satellite Services -BSS)) และอินเตอร์เน็ตผ่านดาวเทียม
- Ka-band (26-40 GHz) ใช้สำหรับอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านดาวเทียม
- V-band (40-75 GHz) ใช้สำหรับการสื่อสารดาวเทียมในอนาคต และการส่งข้อมูลความเร็วสูง

โดยประเด็นจากการรบกวนสัญญาณ เป็นปัญหาสำคัญที่สามารถลดคุณภาพของการสื่อสารหรือบริการผ่านดาวเทียม เช่น โทรคมนาคม การกระจายเสียง และอินเทอร์เน็ต โดยการรบกวนนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่

- การรบกวนสัญญาณโดยเจตนา (Intentional Interference) เกิดจากการโจมตีด้วยการแย่งคลื่นความถี่ (Jamming) เพื่อปิดกั้นการสื่อสาร หรือการปลอมแปลงสัญญาณ (Spoofing) การส่งสัญญาณปลอมเพื่อหลอกให้เครื่องรับทำงานผิดพลาด
- การรบกวนสัญญาณจากสิ่งแวดล้อม (Environmental Interference) เกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ อาทิ ฝน (Rain Face) ที่จะดูดซับสัญญาณในย่านความถี่สูง (Ku and Ka band) ดวงอาทิตย์ (Solar Interference) ที่เกิดจากการที่ดวงอาทิตย์อยู่แนวเดียวกับดาวเทียมและสถานีภาคพื้นดิน ความชื้นและเมฆ ลดความแรงสัญญาณในย่านความถี่สูง
- การรบกวนสัญญาณทางเทคนิค (Technical Interference) เกิดจากปัญหาด้านการออกแบบและตั้งค่าของระบบเครื่องส่งและรับสัญญาณ หรือการกำหนดความถี่ใกล้เคียงกันมากเกินไป
- การรบกวนสัญญาณโดยไม่ตั้งใจ (Unintentional Interference) เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ที่ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด อาทิ เสาอากาศที่ไม่ได้ปรับแต่งอย่างเหมาะสม อุปกรณ์ส่งสัญญาณ

ที่มีคุณภาพต่ำ และการสะท้อนของสัญญาณ (Multipath Interference) อาทิเช่น การรบกวนระหว่างดาวเทียมในวงโคจรเดียวกัน (Co-Channel Interference) การรบกวนข้ามช่องสัญญาณ (Adjacent Channel Interference)

ตารางที่ 11 สรุปการรบกวนสัญญาณในแต่ละย่านความถี่

ย่านความถี่	การใช้งานหลัก	รูปแบบการรบกวนสัญญาณ	สาเหตุหลัก
L-band	ดาวเทียมนำทาง	การสูญเสียสัญญาณ, Multipath	การรบกวนจากอุปกรณ์การ Jamming
S-band	การสื่อสารกับยานอวกาศ	การรบกวนจากสัญญาณ Wi-Fi การรบกวนจากเรดาห์	ความหนาแน่นของเครือข่าย Wi-Fi และการทับซ้อนของช่องสัญญาณ
C-band	การถ่ายทอดโทรทัศน์	สัญญาณลดคุณภาพจากสภาพอากาศ	Multipath และความหนาแน่นของคลื่น
X-band	การสื่อสารกับยานอวกาศ การสำรวจระยะไกล	Multipath	การทับซ้อนคลื่นความถี่จากแหล่งอื่น
Ku-band	การถ่ายทอดโทรทัศน์, อินเตอร์เน็ตผ่านดาวเทียม	สัญญาณลดคุณภาพจากสภาพอากาศ	Rain Fade
Ka-band	อินเตอร์เน็ตผ่านดาวเทียม	การรบกวนจากฝนและเมฆ	การสูญเสียพลังงานในอากาศและความชื้นในอากาศ
V-band	การส่งข้อมูลความเร็วสูง	Atmospheric Attenuation	การดูดซับสัญญาณในบรรยากาศ

ดังนั้น แนวทางในการแก้ไขปัญหาการรบกวนสัญญาณ จำเป็นจะต้องมี**ระบบตรวจสอบสัญญาณอัตโนมัติ (Automatic Interference Detection and Mitigation Systems, AIDMS)** ซึ่งใช้เทคโนโลยีตรวจจับ วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาการรบกวนสัญญาณในระบบสื่อสารดาวเทียมแบบอัตโนมัติ ช่วยปรับปรุงความเสถียรของบริการและลดผลกระทบจากการรบกวนที่อาจเกิดขึ้น โดยมีขั้นตอน 4 ขั้นตอนเบื้องต้น ได้แก่ 1. การตรวจจับสัญญาณ (Interference Detection) ด้วยการใช้การตรวจจับสเปกตรัม (Spectrum Monitoring) และการวิเคราะห์สัญญาณเวลา-ความถี่ (Time-Frequency Analysis) 2. การวิเคราะห์ (Interference Analysis) ด้วยการใช้ AI หรือ Machine Learning มาวิเคราะห์รูปแบบเพื่อประเมิน 3. การบรรเทาสัญญาณรบกวน (Interference Mitigation) เป็นการปรับเปลี่ยนการตั้งค่า เช่น การเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Frequency Hopping) การกรองสัญญาณ (Signal Filtering) และ 4. การรายงานและแจ้งเตือน (Reporting and Alerts)

โดยเทคโนโลยีที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีด้วยกัน 3 เทคโนโลยีได้แก่ Machine Learning, Software-Defined Radio (SDR) และ Geolocation Technology ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป ซึ่งจะสัมพันธ์กับการตรวจสอบคลื่นความถี่ที่อยู่ภายใต้การกำกับของ ITU

5.1.2 การตรวจสอบคลื่นความถี่ในภาคอวกาศ (Space Segment) และภาคพื้นดิน (Earth Segment)

การตรวจสอบคลื่นความถี่ ที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลของ ITU (International Telecommunication Union) เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการจัดการและควบคุมการใช้ทรัพยากรคลื่นความถี่ในอวกาศ เพื่อป้องกันการรบกวนระหว่างระบบดาวเทียมและการสื่อสารระหว่างประเทศ

โดยการตรวจสอบคลื่นความถี่จะใช้งานใน 4 ลักษณะได้แก่ หนึ่งการบริหารจัดการคลื่นความถี่ (Frequency Management) ตรวจสอบการใช้งานคลื่นให้สอดคล้องกับใบอนุญาต รวมถึงการบริหารจัดการทรัพยากรความถี่ให้เกิดประสิทธิภาพ สองการตรวจจับการรบกวน (Interference Detection) สามารถระบุที่มาของการรบกวนและแก้ไขปัญหาและป้องกันผลกระทบต่อการสื่อสารที่สำคัญ อาทิ การบินหรือการสื่อสารฉุกเฉิน สามการตรวจสอบระบบดาวเทียม (Satellite Monitoring) สามารถตรวจสอบสัญญาณดาวเทียมเพื่อป้องกันการรบกวนระหว่างระบบ และรองรับการติดตามสัญญาณดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (GEO) และวงโคจรต่ำ (LEO) รวมถึง สี่การบังคับใช้กฎระเบียบ (Regulatory Enforcement) ใช้ในการตรวจสอบและบังคับใช้กฎหมายเกี่ยวกับคลื่นความถี่ในพื้นที่รับผิดชอบและตรวจสอบการใช้งานคลื่นที่ผิดกฎหมาย

ระบบตรวจจับและติดตามสัญญาณ (Spectrum Monitoring Systems) เป็นระบบที่ใช้สำหรับตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่วิทยุในพื้นที่ต่าง ๆ รวมถึงในอวกาศ ระบบนี้ช่วยให้ผู้กำกับดูแลคลื่นความถี่ (Regulators) และผู้ให้บริการสามารถบริหารจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดปัญหาการรบกวนระหว่างสัญญาณ (Interference) โดยองค์ประกอบสำคัญของระบบ Spectrum Monitoring Systems ดังนี้

1) อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (Monitoring Receivers)

ใช้สำหรับตรวจจับความถี่ที่มีการใช้งานในพื้นที่ที่กำหนด มีความสามารถในการแยกแยะประเภทของสัญญาณ เช่น AM, FM, Digital Signals

2) สายอากาศและระบบรับสัญญาณ

สายอากาศแบบหลายความถี่ (Multi-band Antennas) ที่สามารถตรวจจับสัญญาณได้หลากหลายช่วงความถี่ ระบบหมุนเสาอากาศอัตโนมัติช่วยในการตรวจจับตำแหน่งของสัญญาณต้นทาง

3) ซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์และแสดงผล

ซอฟต์แวร์สำหรับแสดงข้อมูลคลื่นความถี่ในรูปแบบกราฟและแผนภูมิ เช่น Spectrograms หรือ Waterfall Displays และมีฟังก์ชันการวิเคราะห์คลื่น อาทิ การระบุแหล่งที่มาของสัญญาณ (Direction Finding, DF) และการตรวจจับการรบกวน (Interference Detection)

4) ระบบติดตามตำแหน่ง (Geolocation Systems)

ใช้เทคนิค Time Difference of Arrival (TDOA) หรือ Frequency Difference of Arrival (FDOA) เพื่อคำนวณตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรองรับทั้งการติดตามสัญญาณภาคพื้นดินและในอวกาศ

5) ฐานข้อมูลคลื่นความถี่ (Frequency Databases)

ใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้งานคลื่นความถี่ที่ได้รับอนุญาต เพื่อระบุว่ามีการใช้งานคลื่นความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือไม่

6) ระบบอัตโนมัติและปัญญาประดิษฐ์ (AI)

ระบบ AI ช่วยตรวจจับรูปแบบที่ผิดปกติของการใช้งานคลื่นความถี่ Machine Learning ช่วยปรับปรุงความแม่นยำในการวิเคราะห์สัญญาณและระบุปัญหา

5.1.3 เทคโนโลยีที่ใช้งานในการตรวจจับคลื่น

1) การระบุแหล่งที่มาของสัญญาณ (Direction Finding, DF)

คือกระบวนการหรือเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิทยุหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการตรวจจับทิศทางที่มาของสัญญาณนั้น มีด้วยกัน 3 แบบได้แก่ Single-Station DF สำหรับวัดทิศทางด้วยสถานีเดียว Multi-Station DF เพื่อระบุตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยการใช้หลายสถานี และ Mobile DF สำหรับใช้ในยานพาหนะเคลื่อนที่ เทคนิคที่ใช้งานโดยส่วนใหญ่ได้แก่

- Amplitude Comparison ใช้ความแรงสัญญาณที่รับได้จากทิศทางต่าง ๆ เพื่อระบุทิศทางที่มาของสัญญาณ
- Phase Interferometry เปรียบเทียบเฟสของสัญญาณที่รับจากสายอากาศหลายจุดเพื่อคำนวณมุมของแหล่งกำเนิด
- Time Difference of Arrival (TDOA) ใช้ความต่างของเวลาที่สัญญาณมาถึงแต่ละสถานีในการระบุแหล่งกำเนิด
- Correlative Interferometry วิเคราะห์รูปแบบสัญญาณด้วยการประมวลผลเชิงดิจิทัล

2) ความแตกต่างของเวลาในการเดินทาง (Time Difference of Arrival, TDOA)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยอาศัยความแตกต่างของเวลาในการเดินทางของสัญญาณวิทยุ (หรือคลื่นเสียง) ไปถึงเครื่องรับหลายตัวในตำแหน่งที่ต่างกัน วิธีนี้นิยมใช้ในระบบการสื่อสารและการนำทาง เช่น การติดตามสัญญาณจากดาวเทียม การกำหนดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณ และระบบการค้นหาและกู้ภัย (Search and Rescue Systems)

สำหรับการตรวจจับวัตถุภาคพื้นดินโดยดาวเทียมในวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit) เป็นวิธีการระบุตำแหน่งวัตถุโดยอาศัยการเปรียบเทียบเวลาที่สัญญาณถูกส่งจากวัตถุไปยังดาวเทียมหลายดวง โดยมีสมการพื้นฐานดังนี้

สมการคณิตศาสตร์พื้นฐานสำหรับ TDOA

1. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา

$$d_i = c \cdot t_i \quad d_i = c \cdot t_i \tag{8}$$

   - d_i: ระยะทางจากแหล่งกำเนิดสัญญาณถึงเซนเซอร์ตัวที่ ii
   - c: ความเร็วของสัญญาณ (เช่น ความเร็วเสียง หรือความเร็วแสง)
   - t_i: เวลาในการเดินทางของสัญญาณไปยังเซนเซอร์ตัวที่ ii

2. ความแตกต่างของเวลา (TDOA)

$$\Delta t_{ij} = t_j - t_i \tag{9}$$

   - Δt_{ij} ความแตกต่างของเวลาที่เซนเซอร์ i และ j ตรวจจับสัญญาณ
   - t_j, t_i เวลาที่เซนเซอร์ j และ i ตรวจจับสัญญาณ

3. สมการ TDOA: หากสมมติให้แหล่งกำเนิดสัญญาณอยู่ที่ตำแหน่ง (x, y, z) และเซนเซอร์ i และ j อยู่ที่ (x_i, y_i, z_i) และ (x_j, y_j, z_j) ตามลำดับ จะได้

$$\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2}-\sqrt{(x-x_j)^2+(y-y_j)^2+(z-z_j)^2}=c.\Delta t_{ij} \quad (10)$$

4. การใช้เซนเซอร์หลายตัว เพื่อหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณ จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์อย่างน้อย 3 ตัว (ในกรณี 2 มิติ) หรือ 4 ตัว (ในกรณี 3 มิติ) เพื่อแก้สมการที่มีตัวแปร x, y, z (และเวลา t ในบางกรณี)

ตัวอย่างการคำนวณ

- แหล่งกำเนิดสัญญาณอยู่ที่จุด (x,y)
- เซนเซอร์ 3 ตัวอยู่ที่ (x_1,y_1), (x_2,y_2),(x_3,y_3)
- ความเร็วของเสียง (c) = 343 m/s
- ความแตกต่างของเวลาที่วัดได้:
    - Δt_{12}=0.002 s
    - Δt_{13}=0.004 s

สมการที่ได้

1. สำหรับเซนเซอร์ 1 และ 2:

$$\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2}-\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2+(z-z_2)^2}=c.\Delta t_{12} \quad (11)$$

2. สำหรับเซนเซอร์ 1 และ 3:

$$\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2}-\sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2+(z-z_3)^2}=c.\Delta t_{13} \quad (12)$$

จากสมการทั้งสองนี้ สามารถแก้หา x และ y ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น การแก้สมการไม่เชิงเส้น (Non-linear Equations) หรือการใช้การคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Methods)

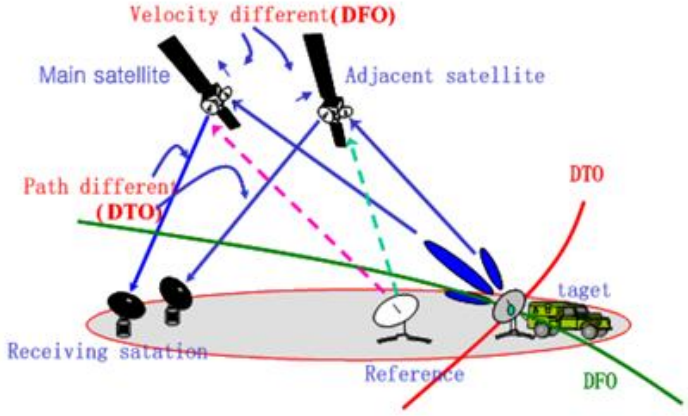
ภายใต้ระบบดาวเทียมหลายดวง (Constellation) ที่ดาวเทียมแต่ละดวงจะรับสัญญาณจากวัตถุที่เวลาต่างกันเล็กน้อย จะวัดสัญญาณเดินทางถึงดาวเทียมแต่ละดวง $(t_1, t_2, .., t_n)$ และคำนวณความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณมาถึงระหว่างดาวเทียมสองดวง ซึ่งจะสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณและดาวเทียมตามสมการ TDOA โดยจำเป็นจะต้องใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง (ในกรณี 3 มิติ) เพื่อแก้สมการและระบุตำแหน่งวัตถุ และการรับสัญญาณจำเป็นจะต้องมีการวางตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน (Receiver Station) ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อรับสัญญาณ

3) ความแตกต่างของความถี่ (Frequency Difference of Arrival, FDOA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยอาศัยความแตกต่างของความถี่ (Frequency Shift) ที่ตรวจพบจากเครื่องรับหลายตัว ซึ่งเกิดจาก Doppler Effect อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณและเครื่องรับ

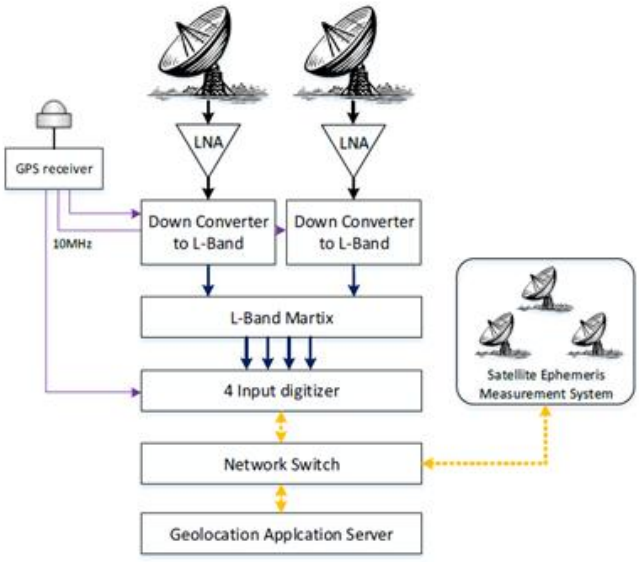
FDOA มักใช้ควบคู่กับ TDOA (Time Difference of Arrival) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยเฉพาะในกรณีที่แหล่งกำเนิดสัญญาณหรือเครื่องรับกำลังเคลื่อนที่

4) วิธีการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมสองดวง

วิธีการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมสองดวง ใช้การวัดค่าความแตกต่างของเวลาในการเดินทาง (Time Difference of Arrival, TDOA) และความแตกต่างของความถี่ (Frequency Difference of Arrival, FDOA) ระหว่างดาวเทียมหลัก (ดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบ) และดาวเทียมที่อยู่ใกล้เคียง โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 51 การแยกเชิงมุมระหว่างดาวเทียมหลักและดาวเทียมข้างเคียงเมื่อเทียบกับย่านความถี่ uplink และขนาดสายอากาศ



รูปที่ 52 ตัวอย่างระบบที่ใช้ดาวเทียมค้างฟ้า 2 ดวงในการระบุตำแหน่ง

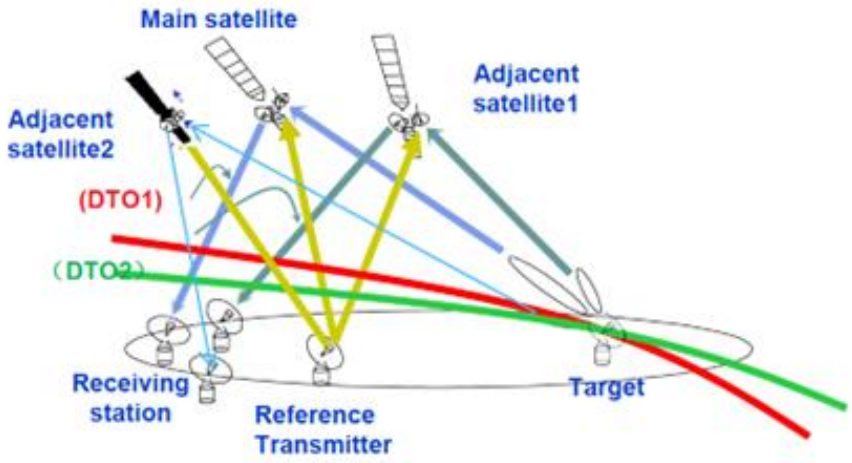
- **ระบบ** ตามรูปที่ 52 ระบบระบุตำแหน่งที่ใช้ดาวเทียมค้างฟ้า 2 ดวงประกอบด้วย เครื่องรับสัญญาณวิทยุ (RF) ที่ต่อเป็นห่วงโซ่ ตัวแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัล (Signal Digitizer) และเครื่องให้บริการหรือเซิร์ฟเวอร์ (Server) ที่มีโปรแกรมประยุกต์ในการระบุพิกัด โดยเครื่องขยายแบบสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier) หรือแอลเอ็นเอ (LNA) เชื่อมต่อกับเครื่องลดความถี่ (Down-Converter)
- **แนวคิด** ดาวเทียมหลักรับสัญญาณรบกวน ขณะที่ดาวเทียมใกล้เคียงซึ่งอยู่ในมุมที่แตกต่างกันเล็กน้อยจะรับสัญญาณเดียวกันนี้ในระดับกำลังที่ต่ำกว่า การระบุตำแหน่งการรบกวนจะทำได้โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง และความแตกต่างของความถี่ระหว่างดาวเทียมสองดวง

- **กระบวนการวัด** ค่าเวลาเดินทางของสัญญาณที่แตกต่าง (Time-Difference of Arrival) หรือทีดีโอเอ (TDOA) เป็นการวัดความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณรบกวนมาถึงดาวเทียมสองดวง ส่วนค่าความถี่ของสัญญาณที่มาถึงที่แตกต่าง (Frequency-Difference of Arrival) หรือ เอฟดีโอเอ (FDOA) วัดความแตกต่างของความถี่ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของสัญญาณที่เดินทางผ่านเส้นทางของดาวเทียมต่าง ๆ การตัดกันของเส้นทีดีโอเอและเอฟดีโอเอ จะสามารถใช้กำหนดพื้นที่วงรีที่มีแนวโน้มว่ามีแหล่งสัญญาณรบกวน

- **ความท้าทายและการใช้งาน** ความแม่นยำของวิธีการนี้ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงดาวเทียมและความแม่นยำของข้อมูลตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียม มักใช้ในกรณีที่มีดาวเทียม GSO สองดวงที่อยู่ใกล้กันในมุม 10°–15° เพื่อให้สามารถวัดสัญญาณจากด้านข้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) วิธีการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมสามดวง

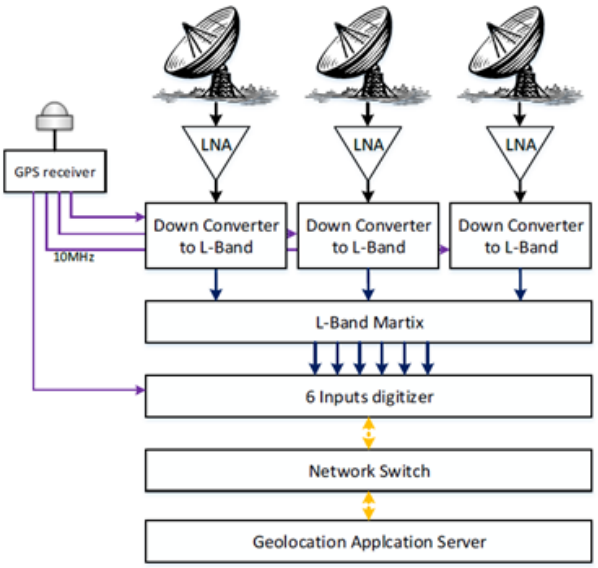
เทคนิคการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมสามดวงพัฒนาต่อจากวิธีการใช้ดาวเทียมสองดวง โดยเพิ่มดาวเทียมดวงที่สามเพื่อช่วยลดความผิดพลาดจากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมที่ไม่แม่นยำและข้อจำกัดอื่น ๆ



รูปที่ 53 แนวคิดของระบบระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมสามดวงโดยใช้ขั้นตอนวิธีทีดีโอเอ/ทีดีโอเอ

- **เพิ่มความแม่นยำ** ด้วยดาวเทียมสามดวง สามารถสร้างเส้นทีดีโอเอหลายเส้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการหาตำแหน่งโดยการใช้เส้นสามเหลี่ยมในแผนภูมิ (Triangulation) ดาวเทียมดวงที่สามจะช่วยลดความผันผวนของเส้นผ่านเอฟดีโอเอ ที่อาจเกิดจากความไม่แน่นอนของตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียม

- **ข้อกำหนดในการปฏิบัติงาน** วิธีการนี้ต้องการดาวเทียมสามดวงที่อยู่ในมุมที่ใกล้กัน เมื่อเป็นไปได้ วิธีนี้จะให้ข้อมูลการระบุตำแหน่งที่น่าเชื่อถือมากขึ้นโดยการเฉลี่ยข้อผิดพลาดที่อาจส่งผลต่อวิธีการใช้ดาวเทียมสองดวง

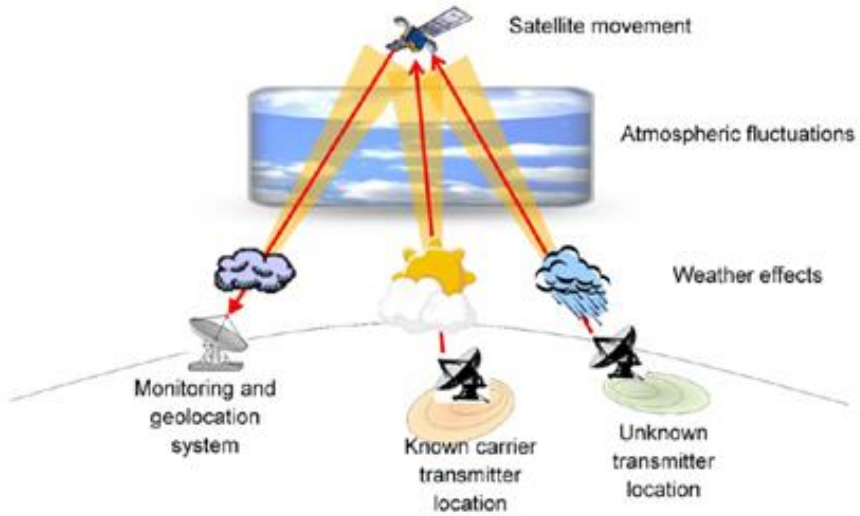


รูปที่ 54 แผนภูมิการทำงานของระบบที่ใช้ดาวเทียม 3 ดวง

- **การกำหนดค่าระบบ** ตัวรับสัญญาณทั้งสามตัวใน รูปที่ 54 ที่ประกอบด้วย LNA และเครื่องลดความถี่ (Down-converter) จะถูกใช้ในการประมวลผลสัญญาณ และตำแหน่งของสัญญาแทรกสอดจะถูกคำนวณด้วยวิธี TDOA/FDOA เซิร์ฟเวอร์ที่มีโปรแกรมประยุกต์ในการระบุพิกัด

6) วิธีการระบุตำแหน่งด้วยการเชื่อมโยงสัญญาณจากดาวเทียมเดี่ยว

ในกรณีที่มีดาวเทียมค้างฟ้าเพียงดวงเดียวสามารถใช้เทคนิคการเชื่อมโยงสัญญาณเพื่อระบุตำแหน่งของการรบกวนได้ (รูปที่ 55) โดยวิธีนี้ใช้การเปรียบเทียบรูปแบบการรบกวนกับแหล่งสัญญาณที่รู้จักบนโลก เช่น สถานีที่มีลักษณะการส่งสัญญาณคล้ายกัน



รูปที่ 55 แนวคิดของระบบระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมเดี่ยวโดยใช้การเปรียบเทียบสัญญาณกับสถานีส่งสัญญาณที่รู้จัก

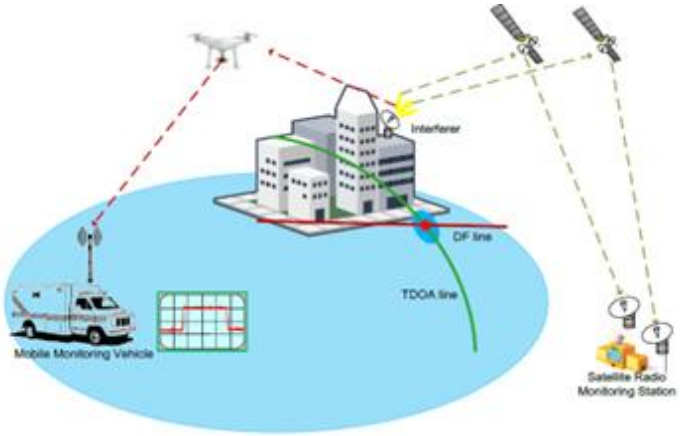
- **การหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ของความแปรผันของสัญญาณ** วิธีการนี้วัดความแปรผันของพลังงานในสัญญาณแทรกสอดตามเวลา โดยวิเคราะห์ลักษณะที่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมและการทำงาน เช่น สภาพอากาศและการเคลื่อนไหวของดาวเทียม หากพบความสอดคล้องระหว่างสัญญาณรบกวนและสถานีส่งสัญญาณที่รู้จักในพื้นที่ มีแนวโน้มว่าต้นกำเนิดมาจากที่เดียวกัน

- **ข้อจำกัดในการประสานเวลาของสัญญาณ** การประสานเวลา หรือ ซิงโครไนซ์ (Synchronize) ของสัญญาณสำหรับหาค่าสหสัมพันธ์การเชื่อมโยงอาจเป็นเรื่องท้าทาย เนื่องจากเวลาการวัดและอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน การใช้ขั้นตอนหาสหสัมพันธ์ขั้นสูงช่วยลดปัญหานี้ด้วยการปรับให้เข้ากับความแตกต่างของเวลาและตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

- **ข้อจำกัดในการใช้งาน** วิธีนี้เหมาะสำหรับดาวเทียมที่มีค้างฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงน้อยกว่า อย่างไรก็ตามความแม่นยำน้อยกว่าวิธีที่ใช้หลายดาวเทียมเนื่องจากพึ่งพาตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก

7) การตรวจสอบทางอากาศโดยใช้ยานบินไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle)

ยานบินไร้คนขับ หรือ ยูเอวี (UAV) มีข้อได้เปรียบในการแก้ไขปัญหาการรบกวนในสภาพแวดล้อมเมืองที่ซับซ้อนตาม รูปที่ 56



รูปที่ 56 วิธีการค้นหาสัญญาณรบกวนด้วย UAV โดยอ้างอิงจากเส้น TDOA และเส้น DF

- **ฟังก์ชันการทำงาน** ยูเอวีที่ติดตั้งสายอากาศแบบมีทิศทาง บินที่ระดับสูงเพื่อตรวจจับสัญญาณแทรกสอดจากแหล่งสัญญาณแทรกสอดโดยตรง โดยการหาทิศทางสัญญาณ (direction finding) หรือ ดีเอฟ (DF) ผ่านการเปรียบเทียบขนาดแอมพลิจูด ยูเอวีจะรวมข้อมูลทีดีโอเอจากดาวเทียมและเส้นดีเอฟจากพื้นดินเพื่อระบุตำแหน่งการรบกวนได้อย่างแม่นยำ

- **ข้อดี** ยูเอวีสามารถข้ามสิ่งกีดขวางเช่นอาคาร ทำให้ได้รับสัญญาณในเส้นสายตา ซึ่งยานพาหนะภาคพื้นดินไม่สามารถทำได้ ข้อได้เปรียบนี้ช่วยให้การแก้ไขปัญหาการรบกวนเร็วขึ้นมาก

- **การใช้งานในการระบุตำแหน่งการรบกวน** ยูเอวีเริ่มจากประมาณตำแหน่งเบื้องต้นและปรับตำแหน่งตามเส้นดีเอฟเพื่อลดขอบเขตพื้นที่และระบุตำแหน่งการรบกวนในที่สุด

การรวมเทคนิคการระบุตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม และการตรวจสอบภาคพื้นดินช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของการตรวจจับการรบกวน แต่ละวิธีมีข้อดีเฉพาะตัว และเมื่อใช้งานร่วมกันจะสร้างกรอบการทำงานที่แข็งแกร่ง ซึ่งเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับในหลายสภาพแวดล้อมและสถานการณ์การรบกวน ขณะที่วิธีผ่านดาวเทียมช่วยระบุตำแหน่งเริ่มต้น ระบบภาคพื้นดินและทางอากาศช่วยปรับผลลัพธ์เหล่านี้นำไปสู่การแก้ไขการรบกวนที่ประสบความสำเร็จ การพัฒนาในอนาคตของเทคโนโลยียูเอวี และขั้นตอนวิธีการเชื่อมโยงข้ามแบบเรียลไทม์สัญญาณถึงความแม่นยำที่สูงยิ่งขึ้น ช่วยให้การสื่อสารผ่านดาวเทียมไม่สะดุดในย่านความถี่ที่แน่นขึ้น

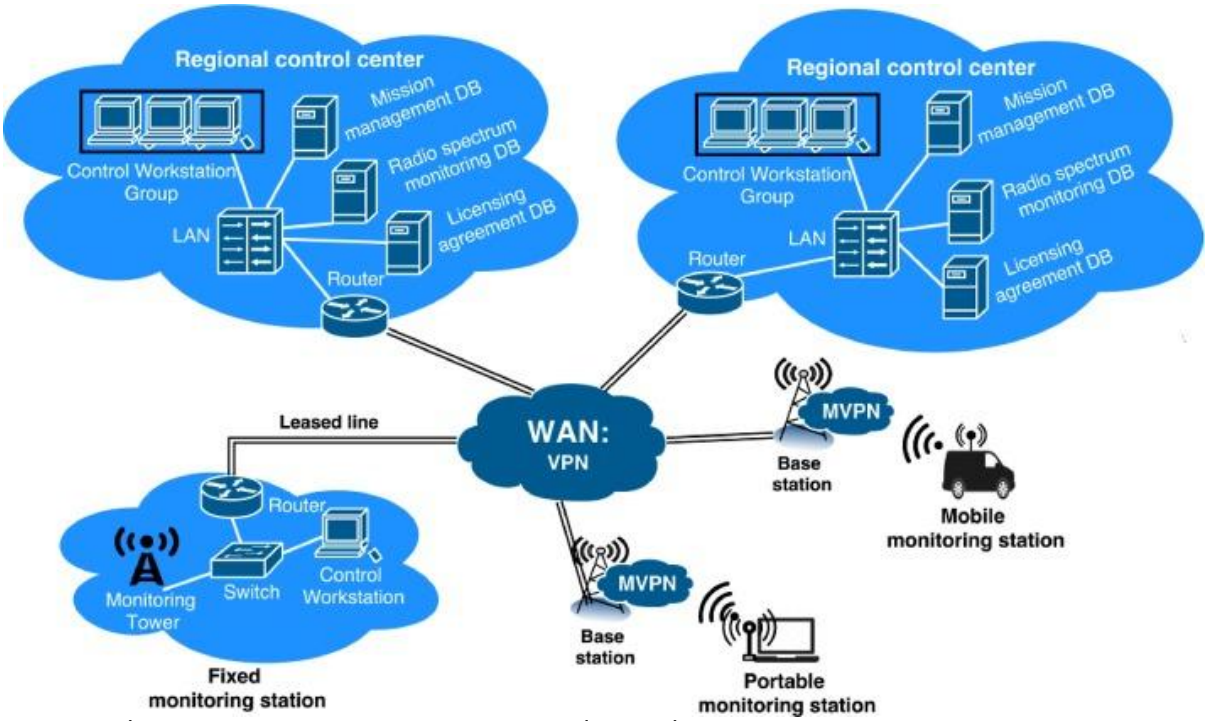
8) ซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์และแสดงผล (Software-Defined Radio: SDR)

ใช้ซอฟต์แวร์ตรวจสอบและบริหารจัดการคลื่นความถี่ รวมถึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในงานด้านการสื่อสารและการจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่ ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบ ประมวลผลและตีความข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับสัญญาณคลื่นความถี่ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพแทนการพึ่งพาฮาร์ดแวร์เฉพาะทาง โดยองค์ประกอบหลักของ SDR ได้แก่

อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย RF Front End ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณในย่านความถี่, ตัวประมวลผลสัญญาณ โดยทั่วไปจะใช้ CPU, GPU หรือ FPGA และสายอากาศ (Antenna)

อุปกรณ์ซอฟต์แวร์ โดยทั่วไปจะนิยมใช้ GNU Radio Matlab LabVIEW และ SDR#

โดยในอนาคตเทคโนโลยีนี้จะสามารถบูรณาการร่วมกับการใช้ Machine Learning การรองรับการใช้ร่วมกับ 5G หรือ 6G ในอนาคตได้ รวมถึงสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของเครือข่ายในเวลาจริงได้



รูปที่ 57 แสดงตัวอย่างโครงสร้างการตรวจสอบคลื่นความถี่ด้วยซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์และแสดงผล (Software-Defined Radio: SDR) จากการตรวจสอบความถี่หลายสถานีตรวจวัด

(Source: Yih-Chuan Lin and Zhe-Sheng Shih. Design and simulation of a radio spectrum monitoring system with a software-defined network.(2018).)

9) Machine Learning

เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจจับ วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาการรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารดาวเทียม โดยมีความสามารถดังนี้

1) ตรวจจับการรบกวน (Interference Detection) ด้วยการตรวจจับความผิดปกติในย่านความถี่ (Spectrum Anomaly Detection) ในลักษณะของ Unsupervised Learning
2) การจำแนกประเภทการรบกวน (Interference Classification) โดยใช้โมเดลในลักษณะของ Supervised Learning เช่น Decision Tree, Random Forest และ Convolutional Neural Networks (CNN) เป็นต้น

3) การระบุแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน (Source Localization) ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลจาก TDOA และ FDOA เพื่อระบุพิกัดแหล่งกำเนิดการรบกวนสัญญาณ
4) การบรรเทาการรบกวน (Inference Mitigation) สำหรับเพื่อปรับแต่งการตั้งค่าอัตโนมัติลดผลกระทบอาทิ การปรับกำลังส่ง เป็นต้น ด้วยการใช้ Reinforcement Learning เรียนรู้การปรับแต่งระบบในเวลาจริง
5) คาดการณ์การรบกวน (Interference Prediction) ด้วยการใช้ข้อมูลในอดีตมาคาดการณ์ความเป็นไปได้ในการเกิดสัญญาณรบกวนในอนาคต

5.1.4 ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องของ ITU

1. ITU-R SM.1045 แนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบความถี่และการจัดการสเปกตรัม

เป็นแนวทางที่ออกโดย International Telecommunication Union (ITU) เพื่อสนับสนุนการตรวจจับสัญญาณและการจัดการสเปกตรัม โดยมุ่งเน้นที่การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้สเปกตรัมวิทยุ การลดการรบกวนระหว่างผู้ใช้และการป้องกันการใช้งานผิดวัตถุประสงค์ โดยเฉพาะในระบบสื่อสารดาวเทียมและสถานีภาคพื้นดิน ซึ่งการจัดการที่มีประสิทธิภาพจะทำให้การใช้งานคลื่นความถี่เป็นไปอย่างมีระเบียบและปลอดภัย โดยมีองค์ประกอบได้แก่

1) การจัดสรรและตรวจจับสัญญาณ (Signal Monitoring and Detection)

แนะนำให้ใช้ระบบตรวจจับสัญญาณ (Spectrum Monitoring Systems) เพื่อเก็บข้อมูลสเปกตรัมที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานต่าง ๆ ช่วยให้สามารถตรวจสอบการใช้งานความถี่ในแต่ละพื้นที่ได้ และนำเทคโนโลยี SDR (Software-Defined Radio) เพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับสัญญาณที่มีความยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณในย่านความถี่ที่กว้างและปรับเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณได้อย่างรวดเร็ว

2) การตรวจจับการรบกวนและการแยกแหล่งที่มาของสัญญาณ (Interference Detection and Source Localization)

การตรวจจับการรบกวนช่วยระบุแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดจากการใช้คลื่นความถี่โดยไม่ได้รับอนุญาตหรือการใช้ความถี่ซ้ำ การใช้เทคนิค TDOA (Time Difference of Arrival) และ FDOA (Frequency Difference of Arrival) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน ร่วมกับการใช้เสาอากาศทิศทาง (Directional Antennas) จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับแหล่งสัญญาณและลดการรบกวนจากแหล่งสัญญาณที่ไม่ต้องการ

3) การประสานงานระดับนานาชาติและการบริหารจัดการคลื่นความถี่ (International Coordination and Spectrum Management)

การลงทะเบียนความถี่ (Frequency Registration) ITU แนะนำให้มีระบบการลงทะเบียนการใช้งานความถี่ เพื่อควบคุมการใช้งานความถี่ในระดับนานาชาติและป้องกันการทับซ้อนของสัญญาณระหว่างประเทศ และการกำหนดแถบความถี่เฉพาะ (Frequency Band Allocation) มุ่งเน้นการแบ่งปันความถี่ให้เหมาะสมตามลักษณะการใช้งานและความต้องการของแต่ละระบบ โดยเฉพาะระบบดาวเทียมและการสื่อสารภาคพื้นดิน

4) การป้องกันการรบกวน (Interference Mitigation)

การใช้อุปกรณ์กรอง (Filtering Equipment) เช่น การใช้ Bandpass Filters เพื่อกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการ โดยเฉพาะการใช้งานที่มีการทับซ้อนของสัญญาณในย่านความถี่ที่ใกล้เคียง หรือการใช้เทคนิค Adaptive Coding และ Beamforming เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับสัญญาณและลดการรบกวน

5) การตรวจสอบและประเมินผล (Monitoring and Evaluation)

ระบบการตรวจจับสัญญาณควรมีความสามารถในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณต่าง ๆ ในระยะเวลายาวเพื่อทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้ความถี่ และสามารถแยกแยะสัญญาณที่เกิดจากการใช้งานที่ถูกต้องจากสัญญาณรบกวนที่ผิดกฎหมาย

2. ITU-R S.1782 หลักการตรวจจับและลดการรบกวนในระบบดาวเทียม

เป็นแนวทางที่ออกโดย International Telecommunication Union (ITU) เพื่อจัดการกับการรบกวนในระบบดาวเทียม โดยมุ่งเน้นการตรวจจับสัญญาณรบกวนและการใช้วิธีการต่างๆ เพื่อลดผลกระทบจากการรบกวนในระบบดาวเทียมที่มีการใช้งานในหลายย่านความถี่ โดยมีแนวทางที่สำคัญ ดังนี้

1) การตรวจจับการรบกวน (Interference Detection)

การตรวจจับการรบกวนในระบบดาวเทียมต้องมีความแม่นยำและรวดเร็ว เพื่อที่จะสามารถระบุแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนได้ทันเวลา โดยการใช้ระบบตรวจจับสัญญาณ (Spectrum Monitoring Systems) ช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความถี่ที่ใช้งานและการรบกวนที่เกิดขึ้น ร่วมกับ SDR (Software-Defined Radio) ที่ ที่สามารถปรับเปลี่ยนและปรับแต่งได้ตามสภาพแวดล้อมและเงื่อนไขของการใช้งาน และใช้เทคนิค Time Difference of Arrival (TDOA) และ Frequency Difference of Arrival (FDOA) ตรวจจับและระบุตำแหน่งของแหล่งที่มาของการรบกวนได้อย่างแม่นยำ

2) การลดการรบกวน (Interference Mitigation)

การใช้เทคโนโลยี Adaptive Techniques เช่น Adaptive Coding and Modulation (ACM) ช่วยปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณในขณะเกิดการรบกวน โดยการปรับเปลี่ยนโหมดการสื่อสารให้เหมาะสมกับสภาพการรบกวนที่เกิดขึ้น การใช้ Beamforming (การปรับทิศทางของสัญญาณ) ช่วยลดการรบกวนจากแหล่งสัญญาณที่ไม่ต้องการ โดยการตั้งเสาอากาศในทิศทางที่เหมาะสมและส่งสัญญาณไปยังพื้นที่ที่ต้องการเท่านั้น และการปรับปรุงระบบกรองสัญญาณ (Filtering Systems)

3) การประสานงานระดับนานาชาติ (International Coordination)

ITU เน้นความสำคัญของการประสานงานระหว่างประเทศที่ใช้ระบบดาวเทียมในย่านความถี่เดียวกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนจากการใช้คลื่นความถี่ที่ทับซ้อนกัน โดยการใช้ International Telecommunication Regulations (ITRs) เพื่อกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งานความถี่และการป้องกันการรบกวนระหว่างประเทศ ด้วยการลงทะเบียนการใช้งานความถี่ใน Master International Frequency Register (MIFR)

4) การใช้ระบบการสื่อสารที่มีความทนทานต่อการรบกวน (Resilient Communication Systems)

ระบบดาวเทียมควรได้รับการออกแบบให้ทนทานต่อการรบกวน โดยการใช้เทคโนโลยี Error Correction Codes และ Forward Error Correction (FEC) ที่ช่วยลดผลกระทบจากการสูญเสียข้อมูลและเพิ่มความสามารถในการกู้คืนข้อมูลจากการรบกวน รวมถึงการใช้ Automatic Gain Control (AGC) และ Power Control ช่วยให้ระบบสามารถปรับระดับสัญญาณเพื่อให้การสื่อสารดำเนินไปได้โดยไม่สูญเสียคุณภาพแม้จะเกิดการรบกวน

5) การประเมินผลและการตรวจสอบ (Evaluation and Monitoring)

การตรวจสอบและประเมินผลการใช้งานคลื่นความถี่ในระบบดาวเทียมเป็นกระบวนการที่สำคัญในการจัดการการรบกวนอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ Spectral Management Tools เพื่อเก็บข้อมูลและวิเคราะห์สัญญาณที่อาจเกิดการรบกวน และการใช้ระบบตรวจจับอัตโนมัติ (Automatic Interference Detection Systems) ช่วยให้สามารถตรวจจับและรายงานการรบกวนได้ทันที

3. ITU-R SM.2093 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AI ในการจัดการคลื่นความถี่

เป็นแนวทางที่ออกโดย International Telecommunication Union (ITU) ซึ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคลื่นความถี่ (Spectrum Management) เทคโนโลยี AI มีบทบาทสำคัญในการช่วยจัดการสเปกตรัมที่มีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่การใช้งานคลื่นความถี่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และมีการรบกวนจากแหล่งต่าง ๆ รวมถึงการใช้สเปกตรัมร่วมกันจากหลายระบบ โดยมีหลักการสำคัญดังนี้

1) การใช้ AI เพื่อการจัดสรรคลื่นความถี่ (Spectrum Allocation)

การใช้ Machine Learning (ML) เพื่อพัฒนาระบบที่สามารถวิเคราะห์และประเมินสภาพแวดล้อมคลื่นความถี่ในเวลาจริงได้ ระบบที่ใช้ ML สามารถทำนายการใช้งานคลื่นความถี่ในอนาคตและปรับเปลี่ยนการจัดสรรให้เหมาะสมกับความต้องการ หรือที่เรียกว่า Dynamic Spectrum Access (DSA) ที่สามารถช่วยในการจัดสรรคลื่นความถี่แบบไดนามิก โดยสามารถปรับการใช้งานคลื่นความถี่ในเวลาจริงให้เหมาะสมกับสถานการณ์ เช่น การย้ายคลื่นความถี่ที่ไม่ได้ใช้งานจากผู้ใช้ในพื้นที่หนึ่งไปยังผู้ใช้ในพื้นที่อื่น

2) การตรวจจับการรบกวนและการแก้ไข (Interference Detection and Mitigation)

การตรวจจับการรบกวน (Interference Detection) ถูกใช้ในการตรวจจับการรบกวนในสเปกตรัม โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์และระบบตรวจจับสัญญาณแบบเรียลไทม์ ระบบจะใช้ Deep Learning ในการเรียนรู้ลักษณะของสัญญาณที่รบกวนและแยกแยะออกจากสัญญาณที่ถูกต้องได้อย่างแม่นยำ

การลดการรบกวน (Interference Mitigation) ช่วยในการวางแผนการลดการรบกวนโดยอัตโนมัติ เช่น การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของสัญญาณหรือการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของระบบให้เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบจากการรบกวนในระบบ

3) การวิเคราะห์ข้อมูลและการจัดการสเปกตรัม (Data Analytics and Spectrum Management)

การใช้ Big Data ร่วมกับ AI ช่วยในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานสเปกตรัม ข้อมูลจากระบบตรวจสอบสัญญาณและการใช้งานสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อค้นหารูปแบบการใช้งานที่ไม่เหมาะสมหรือพื้นที่ที่มีการใช้งานคลื่นความถี่อย่างไม่สมดุล หรือการ Predictive Analytics ทำนายแนวโน้มการใช้งานสเปกตรัมในอนาคต เช่น การคาดการณ์ช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้คลื่นความถี่สูงขึ้น ซึ่งช่วยในการจัดเตรียมการใช้งานล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้น

4) การประยุกต์ใช้ AI ในการจัดการคลื่นความถี่ร่วมกัน (Cooperative Spectrum Management)

การประสานงานระหว่างระบบต่าง ๆ (Inter-System Coordination) ช่วยในการประสานงานการใช้งานสเปกตรัมระหว่างระบบที่แตกต่างกัน เช่น ระบบดาวเทียม ระบบมือถือ และ Wi-Fi โดยสามารถตรวจจับและประสานงานการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างระบบเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ Reinforcement Learning หรือ Multi-agent Systems ที่ช่วยให้การจัดสรรสเปกตรัมมีความยืดหยุ่นและสามารถปรับตัวได้ตามสภาพแวดล้อม

5) การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ และการทดสอบ (Development and Testing of New Technologies)

AI มีบทบาทสำคัญในการทดสอบและพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารใหม่ ๆ เช่น 5G หรือ 6G ซึ่งมีความซับซ้อนในการจัดการคลื่นความถี่ โดยสามารถจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ และทดสอบการทำงานของเทคโนโลยีเหล่านี้ในสภาพแวดล้อมที่มีการรบกวน

6) การควบคุมและการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง (Continuous Control and Monitoring)

ช่วยในการจัดการการควบคุมและการตรวจสอบระบบสเปกตรัมในระยะยาว โดยสามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานคลื่นความถี่และลดความเสี่ยงจากการรบกวนได้อย่างต่อเนื่อง

4. ITU-R SM.1138: แนวทางสำหรับการตรวจสอบความถี่วิทยุในคลื่น RF, Microwave

เป็นแนวทางที่ออกโดย International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector (ITU-R) เพื่อสนับสนุนการตรวจสอบความถี่วิทยุในย่าน RF และ Microwave โดยมุ่งเน้นถึงการจัดการและตรวจสอบการใช้งานความถี่ รวมถึงการป้องกันการรบกวนสัญญาณ (interference) โดยเฉพาะในระบบที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม โดยมีวิธีในการตรวจสอบสัญญาณจากดาวเทียมด้วยการใช้เทคนิค Direction Finding (DF) ในการระบุทิศทางและแหล่งที่มาของสัญญาณ และประเมินข้อมูลเชิงเทคนิคที่ได้รับจาก Spectrum Analyzer เช่น Frequency, Bandwidth หรือ Modulation เพื่อยืนยันว่าเป็นสัญญาณจากดาวเทียมที่ได้รับอนุญาต หรือการวัด Power Level เพื่อประเมินกำลังส่งและวิเคราะห์สัญญาณรบกวนระหว่างช่องสัญญาณในพื้นที่ใช้งาน

ประเด็นสำคัญของแนวทางดังกล่าวคือ การที่จะต้องมีระบบตรวจจับแบบอัตโนมัติ ใช้ตรวจสอบการใช้งานความถี่ในพื้นที่และในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อประเมินและตรวจสอบการรบกวนจากสถานีภาคพื้นดิน หรือการประเมินการใช้งานคลื่นความถี่ว่าอยู่ในย่านที่ได้รับอนุมัติหรือไม่

โดยเมื่อพบปัญหาตามข้อเสนอแนะของ ITU พบว่าจะใช้แนวทางการเจรจาระหว่างผู้ให้บริการเพื่อปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของระบบ

5. ITU-R SM.1377: แนวปฏิบัติในการใช้ระบบตรวจสอบการรบกวน (Interference Monitoring) จากดาวเทียม

เป็นคำแนะนำเกี่ยวกับการตรวจสอบการรบกวน (Interference Monitoring) จากดาวเทียม โดยเน้นวิธีการป้องกันและจัดการการรบกวนในระบบดาวเทียม ทั้งในระดับภาคพื้นดินและในอวกาศ

การตรวจสอบในภาคพื้นดิน เป็นการใช้เครือข่ายสถานีติดตั้งสายอากาศและเครื่องมือวิเคราะห์สเปกตรัม เพื่อหาสัญญาณที่น่าสงสัย ด้วยการใช้ Spectrum Analyzer และ Direction Finder ร่วมกับการใช้ซอฟต์แวร์หรือระบบปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ตัวข้อมูลอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การตรวจสอบในภาคอวกาศ จะเน้นการวัดความผิดปกติของสัญญาณ เช่น ความหน่วงเวลา การลดทอนสัญญาณ หรือการเบี่ยงเบนความถี่ โดยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องได้แก่

- Software-Defined Radio (SDR) ที่จะช่วยให้การตรวจสอบความถี่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น
- Geolocation Technique สำหรับระบุตำแหน่งแหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน
- Machine Learning (ML) สำหรับวิเคราะห์รูปแบบของการรบกวนและคาดการณ์การเกิดซ้ำ

6. ITU-R SM.1537: การวิเคราะห์และระบุลักษณะของสัญญาณดาวเทียม

เป็นแนวทางสำหรับการวิเคราะห์และระบุลักษณะของสัญญาณจากดาวเทียม เพื่อให้สามารถตรวจสอบ ประเมิน และแก้ไขปัญหาการรบกวนหรือการใช้งานที่ไม่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นการวิเคราะห์เชิงเทคนิคของสัญญาณดาวเทียมในบริบทต่าง ๆ ทั้งการใช้งานทั่วไปและการจัดการกรณีที่เกิดปัญหา โดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องวิเคราะห์ได้แก่ ความถี่ที่ใช้งานของดาวเทียม ขนาดของช่องสัญญาณที่ดาวเทียมใช้งาน กำลังส่งที่ใช้งาน การมอดูเลต (Modulation) วิเคราะห์รูปแบบว่าเป็นลักษณะใด และโครงสร้างของเฟรมข้อมูล ว่าตรงตามมาตรฐานหรือไม่ เพื่อนำไปสู่การตรวจสอบความผิดปกติ เช่น การแพร่

แปลกปลอม (Spurious Emissions) โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์เหล่านี้กับฐานข้อมูลของดาวเทียม (รายงานการใช้งานที่ยื่นเสนอกับ ITU)

กระบวนการวิเคราะห์จะเริ่มจากการจัดเก็บข้อมูลด้วยเทคนิค Direction Finding (เพื่อระบุทิศทางของแหล่งกำเนิด) และใช้ Geolocation (เพื่อหาตำแหน่งของดาวเทียมหรือสถานีส่งสัญญาณภาคพื้นดิน)

แนวทางการจัดการเมื่อพบปัญหาตามข้อเสนอแนะของ ITU พบใน 2 กรณีคือ กรณีที่หนึ่งหากพบการรบกวนให้ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อดำเนินการแก้ไขปรับแก้ไขพารามิเตอร์ กรณีที่สองหากพบการใช้งานผิดกฎหมาย ให้ประสานงานกับ ITU หรือหน่วยงานกำกับดูแลเพื่อหยุดการใช้งานที่ไม่เหมาะสมและตรวจสอบว่าผู้ใช้งานได้รับอนุญาตอย่างถูกต้องหรือไม่

5.1.5 เทคโนโลยีดาวเทียมสมัยใหม่

1) 5G Non-Terrestrial Network (NTN)

เป็นเครือข่ายการสื่อสารที่รวมการใช้งานดาวเทียมและแพลตฟอร์มอื่นที่ไม่ได้อยู่บนพื้นดิน เช่น ระบบ Unmanned Aerial Systems (UAVs) หรือ High Altitude Platforms (HAPs) เพื่อสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐาน 5G โดย NTN ถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ความน่าเชื่อถือ และการครอบคลุมของเครือข่าย 5G ในสถานการณ์ที่เครือข่ายภาคพื้นดินอาจมีข้อจำกัด โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่

- **ความน่าเชื่อถือ (Reliability)** ช่วยให้บริการในพื้นที่ที่เครือข่ายภาคพื้นดินไม่สามารถครอบคลุมได้ เช่น บนรถไฟ เรือ หรือเครื่องบิน หรือในพื้นที่ที่การสื่อสารติดขัด อาทิ กรณีเกิดภัยพิบัติ
- **การให้บริการในพื้นที่ห่างไกล (Ubiquity)** ช่วยให้บริการในพื้นที่ห่างไกลหรือยากต่อการเข้าถึง หรือโครงสร้างพื้นฐานภาคพื้นดินไม่สามารถเข้าถึงได้ เช่น พื้นที่ชนบท ภูเขา หรือพื้นที่เกาะ
- **การขยายขนาดบริการ (Scalability)** ด้วยความสามารถของดาวเทียมในการกระจายสัญญาณในวงกว้าง NTN สามารถรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากโดยไม่ลดคุณภาพของเครือข่าย

NTN ถูกนำมาใช้ในกรณีการใช้งานที่สำคัญ ได้แก่

Enhanced Mobile Broadband (eMBB) รองรับการสตรีมวิดีโอและการใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงในพื้นที่ห่างไกล ตัวอย่างการให้บริการ Wi-Fi บนเครื่องบินหรือเรือสำราญ

Massive Machine-Type Communications (mMTC) สนับสนุน IoT ที่ใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ต้นทุนต่ำและมีปริมาณข้อมูลน้อย เช่น การติดตามยานพาหนะหรือการตรวจสอบโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ห่างไกล

Ultra-Reliable Low Latency Communications (uRLLC) การให้บริการที่ต้องการความน่าเชื่อถือสูงและเวลาแฝงต่ำ เช่น การควบคุมระยะไกลในโรงงานหรือการขับขี่อัตโนมัติ

ความท้าทายของการให้บริการ NTN คือ การเพิ่มขึ้นของดาวเทียม LEO เช่น โครงการ Starlink และ OneWeb เพิ่มโอกาสการรบกวนระหว่างระบบ และการแออัดของย่านความถี่ (Spectrum Congestion) ในย่านความถี่ Ku-band และ Ka-band มีผู้ใช้งานจำนวนมาก ทำให้เกิดการแย่งชิงทรัพยากร โดยประเภทของการรบกวนสัญญาณใน 4 ประเภทได้แก่

การรบกวนระหว่างดาวเทียม (Intra-NTN Interference) การใช้ความถี่เดียวกันระหว่างดาวเทียมในเครือข่ายเดียวกัน หรือระหว่างดาวเทียมในเครือข่ายต่างกัน เช่น ดาวเทียมวงโคจร LEO หลายดวงที่อยู่ใกล้กันตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณที่ซ้อนทับกันในระบบดาวเทียมที่ใช้การแบ่งคลื่นความถี่ (Frequency Reuse) เป็นต้น

การรบกวนระหว่าง NTN และเครือข่ายภาคพื้นดิน (NTN-Terrestrial Interference) เกิดจากการแบ่งปันคลื่นความถี่ระหว่างเครือข่ายดาวเทียมและระบบภาคพื้น เช่น 5G หรือ Wi-Fi เช่น ดาวเทียมที่ใช้ย่านความถี่ C-band หรือ Ku-band อาจรบกวนการทำงานของระบบ 5G ที่ใช้ย่านความถี่ใกล้เคียงกัน

การรบกวนระหว่างระบบดาวเทียมที่ใช้คลื่นความถี่ต่างกัน (Inter-System Interference) เช่น การรบกวนระหว่างดาวเทียมที่ทำงานในย่านความถี่ Ka-band กับระบบวิทยุหรือการสื่อสารอื่นในย่านความถี่เดียวกัน

การรบกวนจากแหล่งภายนอก (External Interference) เช่น การรบกวนจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ (ฝน, ไอระเหยในอากาศ) หรือสัญญาณจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น

ตารางที่ 12 สรุปการรบกวนสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ NTN และแนวทางแก้ไข

รูปแบบการรบกวน	สาเหตุ	ผลกระทบ	แนวทางแก้ไข
Inter-Layer Interference	การสื่อสารระหว่างดาวเทียมและเครือข่ายที่ใช้ความถี่ทับซ้อนกัน	คุณภาพสัญญาณลดลงและเกิดการรบกวนในช่องสัญญาณต่าง ๆ	ใช้ Frequency Reuse และ Beamforming เพื่อแยกช่องสัญญาณระหว่างชั้น
Ground-Based Interference	ความถี่ของ NTN ทับซ้อนกับระบบอื่น ๆ	สัญญาณรบกวน และลดประสิทธิภาพในการสื่อสาร	การจัดการ Spectrum และการปรับแต่ง Power
Weather Interference	ฝน เมฆ ทำให้สัญญาณใน Ka-band หรือ V-band ลดทอนลง	สัญญาณขาดหาย	ใช้เทคนิค Fade Mitigation หรือใช้ C-band หรือ Ku-band ในพื้นที่สภาพอากาศรุนแรง
Satellite Cross Talk	ดาวเทียมในวงโคจร LEO ใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน	ความถี่เปลี่ยนแปลงและข้อมูลเกิดผิดพลาด	ประสานงานระหว่างดาวเทียม
Doppler Shift	การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงของดาวเทียม LEO	ความถี่เปลี่ยนแปลงและข้อมูลเกิดผิดพลาด	ใช้ Doppler Compensation Technique
Multipath Interference	ภูมิประเทศ	Delay	MIMO Diversity Technique

2) Very Low Earth Orbit (VLEO)

เป็นดาวเทียมในวงโคจรต่ำมาก (Very Low Earth Orbit, VLEO) เป็นดาวเทียมที่โคจรรอบโลกที่ระดับความสูงระหว่าง 100 ถึง 450 กิโลเมตร ซึ่งต่ำกว่าดาวเทียม Low Earth Orbit (LEO) แบบดั้งเดิม (500-1200 กิโลเมตร) โดยมีจุดเด่นและข้อจำกัดเฉพาะตัวที่เหมาะสมกับการใช้งานในบางประเภท อาทิ การสื่อสารความเร็วสูง ได้แก่การใช้งานระบบอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงใน Starlink และ OneWeb การสังเกตการณ์โลก (Earth Observation) ใช้ในการติดตามทรัพยากรธรรมชาติ การตรวจจับสิ่งแวดล้อม การ

ติดตามและสื่อสาร IoT โดยการสื่อสารในวงโคจรต่ำต้องจัดการปัญหาการรบกวนและข้อกำหนดการใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกับระบบอื่น ทำให้เกิดความท้าทาย ทั้งในด้านการสื่อสารและการใช้งานร่วมกับระบบอื่น ๆ บนพื้นดินหรือในวงโคจรเดียวกัน โดยประเภทของการรบกวนสัญญาณเป็นดังนี้

การรบกวนระหว่างดาวเทียม (Intra-System Interference)

การใช้คลื่นความถี่เดียวกันระหว่างดาวเทียม VLEO ในเครือข่ายเดียวกัน เช่น โครงการที่มีดาวเทียมจำนวนมากอย่าง Starlink หรือ OneWeb ตัวอย่างเช่นการรบกวนจากการแบ่งคลื่นความถี่ (Frequency Reuse) หรือการแผ่กระจายลำแสง (Beam Overlap) ในดาวเทียมใกล้เคียง ส่งผลให้คุณภาพ หรือเกิดความล่าช้าของสัญญาณ

การรบกวนกับระบบดาวเทียมอื่น (Inter-System Interference)

การรบกวนจากการทำงานร่วมกันของดาวเทียมในวงโคจรต่าง ๆ เช่น LEO GEO หรือ HAPs ที่ใช้ย่านความถี่เดียวกัน โดยเฉพาะย่านความถี่ Ka-band หรือ Ku-band

การรบกวนกับเครือข่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial Interference)

เกิดจากการใช้งานคลื่นความถี่ที่ใกล้เคียงกันระหว่างดาวเทียม VLEO กับระบบภาคพื้น เช่น 5G หรือระบบ Wi-Fi

การรบกวนจากแหล่งภายนอก (External Interference)

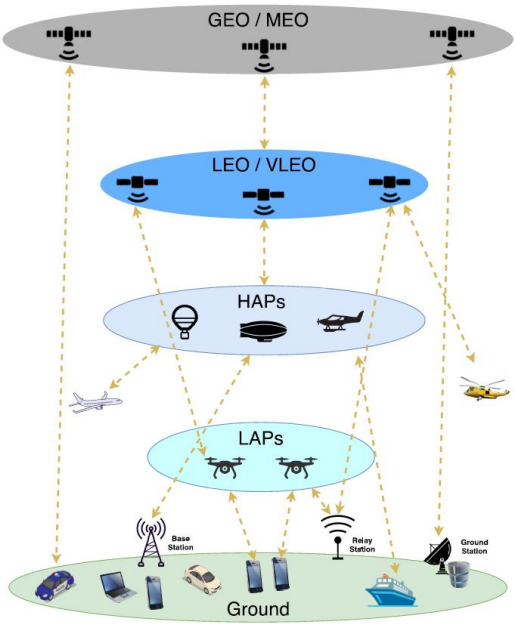
การรบกวนจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ (ฝน, ความชื้น) หรือแหล่งส่งสัญญาณอื่น ๆ เช่น อุปกรณ์วิทยุภาคพื้น

โดยในเบื้องต้น ITU แนะนำย่านความถี่เฉพาะ อาทิ Ku-band, Ka-Band และ V-band สำหรับดาวเทียมเพื่อลดความซ้ำซ้อน และการพัฒนาซอฟต์แวร์จัดการสัญญาณเพื่อตรวจจับและหลีกเลี่ยงความถี่ที่เกิดการรบกวน รวมถึงการใช้ Multi-Beam Antenna เพื่อเพิ่มความสามารถในการแยกสัญญาณระหว่างพื้นที่ใช้งาน ลดความทับซ้อนของคลื่น

3) Satcom-Assisted Aerial Networks

การใช้งานดาวเทียม (Satellite Communications หรือ Satcom) เพื่อสนับสนุนเครือข่ายการสื่อสารทางอากาศ โดยเครือข่ายดังกล่าวประกอบด้วยแพลตฟอร์มที่ลอยอยู่ในอากาศ เช่น **High Altitude Platforms (HAPs)** และ **Low Altitude Platforms (LAPs)** เช่น โดรนหรือบอลลูน เพื่อให้บริการสื่อสารในพื้นที่ที่การเข้าถึงของเครือข่ายภาคพื้นดินมีข้อจำกัด เช่น พื้นที่ชนบท ทะเลทราย หรือมหาสมุทร โดยมีองค์ประกอบดังนี้

- Very Low Earth Orbit (VLEO), Low Earth Orbit (LEO), Medium Earth Orbit (MEO) และ Geostationary (GEO) Satellites ดาวเทียมทำหน้าที่เชื่อมต่อเครือข่ายภาคพื้นดินกับแพลตฟอร์มทางอากาศ หรือช่วยสื่อสารระหว่างแพลตฟอร์มในอากาศ
- High Altitude Platforms (HAPs) แพลตฟอร์มที่ลอยอยู่ที่ระดับความสูง 15–25 กิโลเมตร เช่น บอลลูนหรือเครื่องบินไร้คนขับ ใช้สำหรับการกระจายสัญญาณในระดับภูมิภาค
- Low Altitude Platforms (LAPs) แพลตฟอร์มที่ทำงานใกล้พื้นโลก (0–4 กิโลเมตร) เช่น โดรนที่ใช้เป็นสถานีฐานเคลื่อนที่สำหรับการสื่อสารในพื้นที่เฉพาะ



รูปที่ 58 สถาปัตยกรรมเบื้องต้นของระบบ Satcom-Assisted Aerial Networks

โดยการรบกวนสัญญาณมีโอกาสเกิดขึ้น 4 ประเภทได้แก่

1. การรบกวนจากสัญญาณข้ามชั้น (Inter-Layer Interference)

ในกรณีที่มีการใช้เครือข่ายแบบหลายชั้น (Multi-Layer Communication Architecture) ซึ่งมีการเชื่อมต่อระหว่างแพลตฟอร์มอากาศ (HAPs/LAPs) กับดาวเทียม วงโคจรที่แตกต่างกัน (LEO, MEO, GEO) อาจทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณระหว่างเลเยอร์ เช่น **HAPs และ LEO:** เนื่องจากมีระยะทางที่ใกล้กับพื้นดินมากกว่า จึงต้องจัดการให้ช่องสัญญาณไม่ทับซ้อนกัน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Co-channel Interference และ **สัญญาณย้อนกลับ (Backhauling)** หากใช้ HAPs เป็นตัวกลางระหว่างดาวเทียมและพื้นดิน สัญญาณจากการสื่อสารใน HAPs อาจรบกวนกับลิงก์ดาวเทียมได้

2. การรบกวนจากการสะท้อนสัญญาณ (Multipath Interference)

ในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง เช่น การใช้งาน LAPs (โดรนหรือบอลลูน) ในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางหรือภูมิประเทศแบบป่าเขา การสะท้อนหรือการกระจายตัวของสัญญาณอาจทำให้เกิดการรบกวนหรือการสูญเสียประสิทธิภาพของลิงก์สื่อสาร

3. การรบกวนจากอุปกรณ์ภาคพื้นดิน (Ground-Based Interference)

อาทิเครือข่ายที่ทำงานบนความถี่เดียวกับระบบภาคพื้นดินไม่ว่าจะเป็น **5G หรือ Wi-Fi** หาก LAPs หรือ HAPs ใช้ความถี่ที่ใกล้เคียงกับเครือข่ายภาคพื้นดิน อาจเกิดปัญหาการรบกวนในบริเวณพื้นที่ที่การใช้งานทั้งสองแบบทับซ้อนกัน หรือ**การกระจายสัญญาณ:** ตัวอย่างเช่น การใช้งาน HAPs สำหรับการให้บริการเครือข่ายในภูมิภาคหนึ่งอาจรบกวนการทำงานของสถานีภาคพื้นดินในภูมิภาคใกล้เคียง

4. การรบกวนจากสภาพอากาศ (Weather Interference) ได้แก่

- เมฆหรือฝนหนาแน่นอาจทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณในย่านความถี่สูง เช่น Ka-band หรือ Q/V-band ซึ่งมักใช้สำหรับการสื่อสารที่มีแบนด์วิดท์สูง
- กระแสลมอาจส่งผลต่อการจัดตำแหน่งของแพลตฟอร์มในอากาศ ทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณที่เกิดจากการขาดความเสถียรในการส่งข้อมูล

4) Aeronautical and Maritime Tracking and Communication

บทบาทของดาวเทียมในระบบติดตามและสื่อสารสำหรับการบินและการเดินเรือ ซึ่งเป็นระบบที่คล้ายคลึงกับ Device-to-Device (D2D) Communications และ Internet of Things (IoT) ในแง่ของลักษณะการทำงาน เช่น การใช้ข้อมูลปริมาณต่ำ การสื่อสารแบบกระจัดกระจาย และโปรโตคอลที่เรียบง่าย โดยจะมีด้วยกัน 2 ระบบใหญ่ได้แก่ Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) ที่เป็นระบบที่ใช้ในอากาศยานเพื่อส่งข้อมูลตำแหน่งและสถานะการบินไปยังศูนย์ควบคุมการจราจรทางอากาศ โดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียมนำทาง อาทิ ระบบของ Aireon ที่ใช้งานดาวเทียม LEO ในการบริหารจัดการ และ Maritime Automatic Identification System (AIS) เป็นระบบการส่งข้อมูลระหว่างเรือและสถานีชายฝั่ง เพื่อลดความเสี่ยงในการชนกัน โดยใช้ลักษณะของการส่งข้อมูลตำแหน่ง ผ่าน Short-Range Tracking System อาทิ Exact Earth บนดาวเทียม LEO

โดยประเด็นที่มีความท้าทายในการบริหารจัดการในเทคโนโลยีนี้ได้แก่ ปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้งานดาวเทียมที่เพิ่มขึ้น การรบกวนสัญญาณ โดยเฉพาะในพื้นที่การใช้งานร่วมกันหลายระบบอาจจะเกิดการรบกวนจากสถานีภาคพื้นดิน และประเด็นความปลอดภัยของข้อมูล เป็นการป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์ในระบบติดตามที่มีความสำคัญทางยุทธศาสตร์ โดยประเด็นจากการรบกวนสัญญาณจะมีดังนี้

- การรบกวนสัญญาณจากระบบอื่น (Co-Channel Interference) โดยเฉพาะเมื่อมีระบบอื่นใช้ความถี่ในย่านเดียวกันในพื้นที่ อาทิ จากสถานีภาคพื้นดิน หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือการชนกันของสัญญาณในท่าเรือหรือเขตการบินที่มีปริมาณจราจรสูง
- การรบกวนจากสิ่งแวดล้อม (Environment Interference) จากชั้นบรรยากาศหรือภูมิประเทศ
- การรบกวนระหว่างอุปกรณ์ (Self-Interference) เกิดจากการใช้งานดาวเทียมหลายดวงในวงโคจรเดียวกัน หรือวงโคจรใกล้เคียง ทำให้เกิด Cross-Talk
- การรบกวนจากผู้ไม่หวังดี (Intentional Interference) เกิดจากการส่งคลื่นรบกวนโดยแหล่งที่ตั้งอยู่บนภาคพื้นดินหรือยานพาหนะ เพื่อตั้งใจปิดกั้นการรับส่งข้อมูล

5) SWARM Technology

เทคโนโลยี SWARM ได้รับแรงบันดาลใจจากพฤติกรรมของฝูงสัตว์ตามธรรมชาติ อาทิ ฝูงนก หรือฝูงมด เป็นแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันของหน่วยย่อยจำนวนมาก อาทิเช่น โดรน เซ็นเซอร์ หรือโหนดคอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยประสานงานร่วมกันเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์

หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยี คือ การกระจายศูนย์ (Decentralization) ซึ่งปราศจากจุดควบคุมจากส่วนกลาง เพื่ออำนวยความสะดวกและทำให้แต่ละหน่วยสามารถตัดสินใจในการแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็ว โดยอาศัยข้อมูลเฉพาะและทำการสื่อสารกับหน่วยใกล้เคียงเพื่อการทำงานร่วมกันในรูปแบบภาษา AI จากการเรียนรู้ของ Swarm Learning (SL) ซึ่งเป็นการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) แบบกระจายศูนย์ สำหรับการฝึกฝนโมเดลบนอุปกรณ์โดยไม่ต้องถ่ายโอนข้อมูลดิบไปมาระหว่างกัน ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในการรับ-ส่งข้อมูล และมีความปลอดภัยผ่านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนร่วมด้วย

ศักยภาพของเทคโนโลยี SWARM ในการตรวจจับคลื่นความถี่

เทคโนโลยี SWARM สามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจจับคลื่นความถี่ ดังนี้

- การใช้หน่วย SWARM จำนวนมาก เช่น โดรนหรือเซ็นเซอร์ขนาดเล็กที่ทำงานร่วมกัน ช่วยให้สามารถสแกนและตรวจสอบพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและครอบคลุมกว่าระบบเดี่ยว ตัวอย่างเช่น การตรวจจับดาวเทียม เป็นต้น

- การรวมข้อมูลจากหลายเซ็นเซอร์ช่วยเพิ่มความสามารถในการระบุแหล่งที่มาและลักษณะของสัญญาณได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น
- โครงสร้างแบบกระจายศูนย์ หากมีหน่วยใดล้มเหลว หน่วยอื่นยังคงสามารถทำงานต่อไปได้ ทำให้การตรวจสอบไม่หยุดชะงัก ระบบสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานเพื่อรองรับการสูญเสียหน่วยได้ ก่อให้เกิดความทนทานต่อความผิดพลาด (Fault Tolerance) และความยืดหยุ่น (Resilience)
- เทคโนโลยี SWARM ที่ผสานรวมกับปัญญาประดิษฐ์ (AI) และโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงข่ายประสาทเทียมที่ทำงานเร็วเป็นพิเศษ (ultra-fast neural networks) สามารถวิเคราะห์สัญญาณคลื่นความถี่ ได้อย่างรวดเร็วในระดับนาโนวินาทีและใช้พลังงานต่ำ ซึ่งสำคัญต่อการระบุและติดตามเป้าหมายขนาดใหญ่แบบเรียลไทม์ ทำให้เกิดการประมวลผลแบบขนานและความเร็วสูง

ความสามารถในการประมวลผลที่รวดเร็วนี้นำไปสู่วิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยให้สามารถระบุและตอบสนองต่อการเคลื่อนที่เร็วและซับซ้อนได้อย่างทันท่วงที ไม่ว่าจะเป็นการรบกวนสัญญาณหรือการสื่อสารแบบซ่อนเร้นในหลากหลายโดเมน ทั้งทางทหารและพลเรือน

5.2 แนวทางการใช้ AI ในการตรวจจับคลื่นความถี่

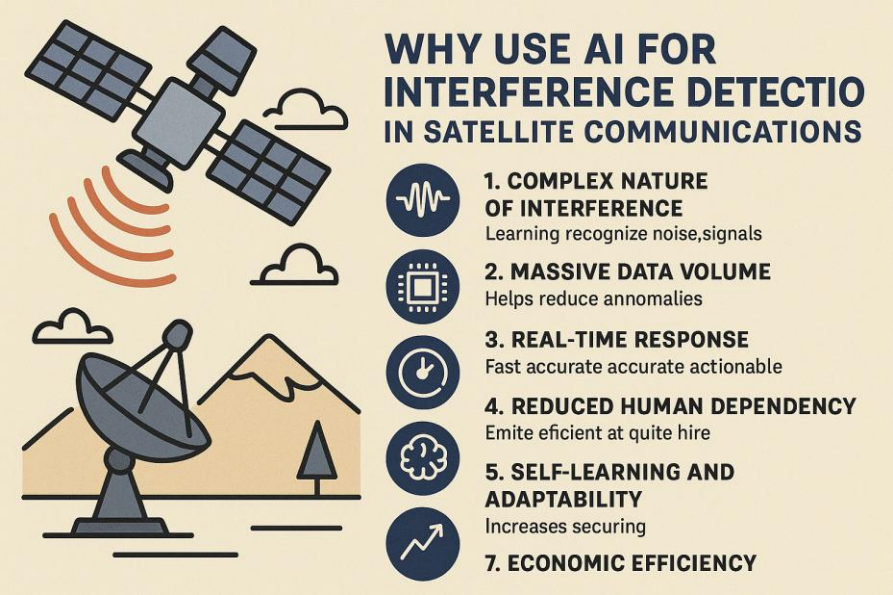
5.2.1 หลักการและเหตุผลในการประยุกต์ใช้ AI

ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมเผชิญกับความท้าทายหลายประการ เช่น การรบกวนจากสัญญาณอื่น การจงใจรบกวน (jamming) และความซับซ้อนของการจัดการทรัพยากรความถี่ในสภาพแวดล้อมที่มีการใช้งานหนาแน่น AI สามารถช่วยในการวิเคราะห์และตรวจจับสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถเรียนรู้รูปแบบของสัญญาณปกติและตรวจจับความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้แบบ Real-time ซึ่งการ AI สำหรับตรวจจับสัญญารบกวนในการสื่อสารดาวเทียม เพื่อช่วยเหลือหรือทดแทนกระบวนการที่ใช้งานอยู่เดิม มีเหตุผลและความจำเป็นหลัก ดังนี้

- ความซับซ้อนของสัญญารบกวน เนื่องจากสัญญารบกวนในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมมีหลายรูปแบบ เช่น สัญญาณกวนจากอุปกรณ์อื่น (RFI), สภาพอากาศ, หรือการโจมตีทางไซเบอร์ ซึ่ง AI สามารถเรียนรู้และระบุรูปแบบของสัญญารบกวนที่ซับซ้อนได้ดีกว่าวิธีแบบเดิม
- ปริมาณข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์มีเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมสร้างข้อมูลจำนวนมากแบบ Real-time การใช้ AI ช่วยประมวลผลข้อมูลทำได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยการใช้เทคนิค Machine Learning (ML) และ Deep Learning (DL) สามารถตรวจจับความผิดปกติในข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ความต้องการการตอบสนองแบบ Real-time การใช้ AI สามารถตรวจจับและแก้ไขปัญหาสัญญารบกวนได้อย่างทันทีและตลอดเวลา ลดเวลา Downtime ของระบบ สามารถช่วยป้องกันการสูญเสียข้อมูลหรือการขัดขวางการสื่อสารที่สำคัญ
- ลดการพึ่งพามนุษย์ ด้วยข้อจำกัดหลายประการ การตรวจสอบด้วยมนุษย์อาจเกิดข้อผิดพลาดหรือความล่าช้า AI ช่วยลดภาระงานและเพิ่มความแม่นยำ สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง
- การปรับตัวและเรียนรู้ด้วยตัวเอง จุดเด่นอีกประการหนึ่งของ AI คือสามารถปรับปรุงการเรียนรู้ด้วยตัวเองอย่างต่อเนื่อง (Adaptive Learning) จากข้อมูลใหม่ๆ ทำให้ระบบทำงานได้ฉลาดมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีศักยภาพในการตรวจจับสัญญารบกวนรูปแบบใหม่ที่อาจไม่เคยพบมาก่อน

- ความปลอดภัยและการป้องกันการโจมตี เนื่องจาก AI สามารถช่วยระบุการโจมตีทางไซเบอร์ เช่น การปลอมแปลงสัญญาณ (Spoofing) หรือการรบกวนจงใจ (Jamming) จึงทำให้เพิ่มความมั่นคงให้ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม
- เพิ่มประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจ การใช้ AI สามารถลดค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหาที่เกิดจากสัญญารบกวนในระยะยาว และช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของบริการสื่อสารผ่านดาวเทียม

สรุปได้ว่าการใช้ AI สำหรับตรวจจับสัญญารบกวนในการสื่อสารดาวผ่านเทียมเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากความสามารถในการประมวลผลข้อมูลที่ซับซ้อนและรวดเร็ว, การปรับตัวได้ดีกับรูปแบบสัญญารบกวนใหม่ ๆ และการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร ทำให้ระบบมีความเสถียรและปลอดภัยมากขึ้น สอดคล้องกับความต้องการและแนวโน้มการให้บริการดาวเทียมสื่อสารผ่านดาวเทียมที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน



รูปที่ 59 ความสำคัญในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AI ช่วยตรวจจับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม (ที่มา: ChatGPT)

5.2.2 การประยุกต์ใช้ AI ในการตรวจจับสัญญาณรบกวน

แนวทางการประยุกต์ใช้ AI ในการตรวจจับสัญญาณรบกวนในการสื่อสารผ่านดาวเทียม สามารถทำได้หลายรูปแบบตั้งแต่การติดตาม การตรวจจับ การตั้งรับ จนถึงการคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต AI จึงเป็นเครื่องมือที่ทรงพลังอย่างยิ่งในการเพิ่มห่วงโซ่คุณค่าของการให้บริการสื่อสารผ่านดาวเทียม และมีความจำเป็นต่อผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ให้กำกับดูแล และผู้ให้บริการโครงการสื่อสารผ่านดาวเทียม แนวทางการประยุกต์ใช้งานเป็นไปได้ ดังนี้

1. การตรวจจับความผิดปกติ (Anomaly Detection)

ทำหน้าที่ตรวจจับรูปแบบสัญญาณที่ผิดปกติ เช่น การลดลงของความแรงของสัญญาณอย่างฉับพลัน หรือเกิดสัญญาณรบกวนที่ไม่คาดคิด ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงการรบกวน โดยเทคนิค AI ที่ใช้ ได้แก่

- Autoencoders โครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกให้บีบอัดและสร้างข้อมูลกลับมาใหม่ หากมีข้อผิดพลาดในการสร้างกลับมาก แสดงถึงความผิดปกติ และ

- **LSTM (Long Short-Term Memory)** โครงข่าย RNN ที่เหมาะกับการเรียนรู้ข้อมูลที่มีลำดับเวลา โดยคาดการณ์ค่าสัญญาณถัดไป หากความผิดพลาดในการคาดการณ์สูง จะถือเป็นพฤติกรรมผิดปกติ งานวิจัยของ Henarejos et al. ได้เสนอการใช้ Deep Neural Networks (DNN) และ LSTM สำหรับการตรวจจับและจำแนกสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม

ตัวอย่างการใช้งาน ตรวจจับการสูญเสียหรือความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่ไม่สอดคล้องกับรูปแบบตามเวลา เช่น กลางวัน/กลางคืน หรือฤดูกาล

2. การจำแนกสัญญาณ (Signal Classification)

ทำหน้าที่จำแนกประเภทของสัญญาณที่เข้ามาในระบบ เพื่อจำแนกประเภทของสัญญาณรบกวน เช่น การรบกวนจากสัญญาณที่อยู่ในช่องความถี่เดียวกัน (co-channel interference) หรือการรบกวนจากสัญญาณที่อยู่ในช่องความถี่ใกล้เคียง (adjacent channel interference) โดยเทคนิค AI ที่ใช้ ได้แก่

- **CNN (Convolutional Neural Networks)** มีความสามารถในการสกัดคุณลักษณะจากภาพสเปกโตรแกรมหรือคลื่นสัญญาณ ใช้เรียนรู้รูปแบบความถี่-เวลา
- **SVM (Support Vector Machines)** เทคนิคคลาสสิกที่ใช้แยกประเภทข้อมูลในเชิงคุณลักษณะ เช่น ความถี่, ชนิดการมอดูเลต

ตัวอย่างการใช้งาน แยกแยะสัญญาณที่เกิดจากการรั่วไหลของสัญญาณ Wi-Fi, เรดาร์ภาคพื้นดิน หรือสัญญาณรบกวนโดยเจตนา

3. การระบุตำแหน่งแหล่งรบกวน (Source Localization)

ทำหน้าที่ประเมินตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจจับหลายแห่ง **เทคนิค AI ที่ใช้** คือ **Triangulation with ML** ที่ใช้แบบจำลองแบบมีผู้สอน (supervised learning) เช่น การถดถอยหรือโครงข่ายประสาทเทียม ฝึกจากข้อมูลคู่ของตำแหน่งกับคุณลักษณะของสัญญาณ เช่น TDoA (Time Difference of Arrival) กับ ความแรงของสัญญาณ

ตัวอย่างเช่น ระบบ SkyMon ILS ของ Eviden สามารถระบุแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว และได้มีการพัฒนาเพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของสัญญาณรบกวนด้วยข้อมูลจากดาวเพียงดวงเดียวอีกด้วย (One-satellite geolocation system—ILS One) รวมถึงการตรวจจับสถานีวิทยุที่ไม่ได้รับอนุญาตอื่น ๆ บนภาคพื้นดิน

4. การพยากรณ์การรบกวนล่วงหน้า (Predictive Interference Modeling)

ทำหน้าที่พยากรณ์เหตุการณ์รบกวนที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยอิงจากข้อมูลในอดีต, สิ่งแวดล้อม, หรือแนวโน้มการใช้งาน และปรับแต่งพารามิเตอร์ของระบบสื่อสารเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนที่อาจเกิดขึ้นด้วยเทคนิค AI อาทิ

- **AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA)** แบบจำลองทางสถิติที่ใช้ข้อมูลย้อนหลังและแนวโน้ม

- **Long Short-Term Memory (LSTM)** มีความสามารถในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ในข้อมูลลำดับเวลาแบบซับซ้อน เหมาะกับรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ตัวอย่างการใช้งาน คาดการณ์ว่าย่านความถี่ใดอาจถูกรบกวนในช่วงที่มีสภาพอากาศเฉพาะ หรือกิจกรรมทางทหาร

5. การจัดการทรัพยากรแบบปรับตัว (Adaptive Resource Management)

ทำหน้าที่ปรับค่าพารามิเตอร์ของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบเรียลไทม์ เช่น ความถี่, รูปแบบการมอดูเลต, หรือทิศทางของเสาอากาศ เพื่อหลีกเลี่ยงหรือบรรเทาการรบกวน ซึ่งเทคนิค AI ที่ใช้ ได้แก่

- **Reinforcement Learning (RL)** ตัวแทน AI เรียนรู้จากการโต้ตอบกับสภาพแวดล้อม โดยเลือกการกระทำที่ให้รางวัลสูงสุด
- **Q-Learning / Deep Q-Networks (DQN)** อัลกอริทึม RL ที่เรียนรู้ค่าฟังก์ชันรางวัลจากสถานะและการกระทำ

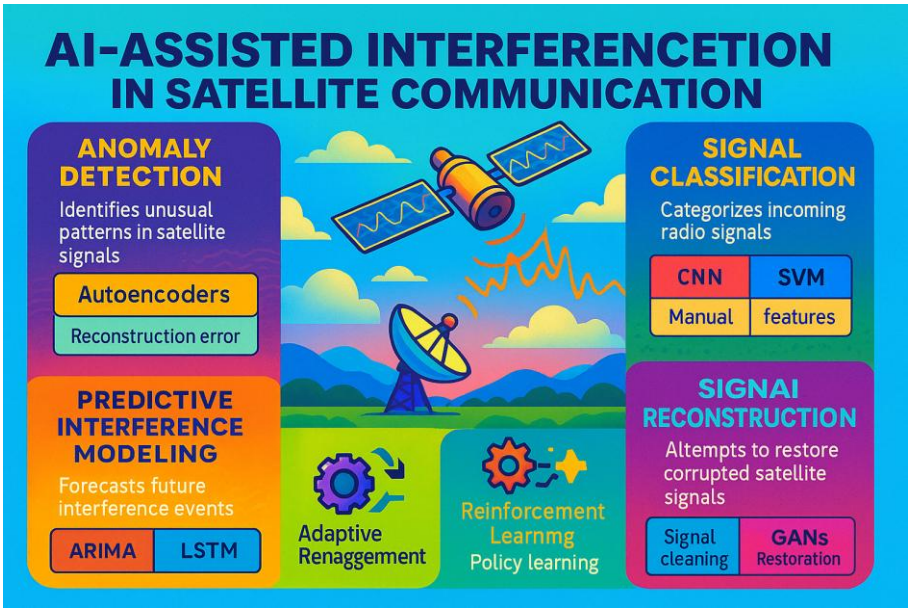
ตัวอย่างการใช้งาน: การเปลี่ยนความถี่แบบเรียลไทม์เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนจากการก่อกวน

6. การฟื้นฟูและทำความสะอาดสัญญาณ (Signal Reconstruction and Cleaning)

ทำหน้าที่พยายามกู้คืนสัญญาณดาวเทียมที่ถูกรบกวน ให้กลับมาใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุด โดยเทคนิค AI ที่ใช้ ได้แก่

- **Denoising Autoencoders** โครงข่ายที่ฝึกให้ลบสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณต้นฉบับ
- **GANs (Generative Adversarial Networks)** มีตัวสร้าง (Generator) ที่สร้างสัญญาณสะอาด และตัวแยกแยะ (Discriminator) ที่ตรวจสอบความสมจริง

ตัวอย่างการใช้งาน: การกู้คืนข้อมูลเทเลเมตรี ที่ถูกรบกวนในช่วงเวลาสั้น ๆ



รูปที่ 60 แสดงการประยุกต์ใช้ AI เพื่อช่วยระบุสัญญาณรบกวนและเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารผ่านดาวเทียม (ที่มา ChatGPT)

5.2.3 ทรัพยากรที่ต้องการเพื่อใช้ในการสอน AI ในการตรวจจับสัญญาณ

เพื่อให้ AI สามารถใช้งานในการตรวจจับและจัดการสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการเตรียมทรัพยากรในหลายด้านอย่างครบถ้วน เนื้อหาในส่วนนี้จึงเป็นข้อเสนอแนะสำหรับการเตรียมการพัฒนา AI ขึ้นใช้งานเองในอนาคต โดยสามารถแจกแจงความต้องการออกเป็น 5 หมวดหลัก ได้แก่ ข้อมูล บุคลากร เวลา ทรัพยากรคอมพิวเตอร์และพลังงาน และทรัพยากรสนับสนุนอื่น ๆ ดังนี้

1. ทรัพยากรข้อมูล (Data Requirements)

ประเภทข้อมูล	รายละเอียด	ปริมาณ (โดยประมาณ)
สัญญาณ (Raw I/Q Data)	ข้อมูล waveform จากดาวเทียมหรือสถานีภาคพื้น	10–100 TB ขึ้นกับ resolution และเวลา
สเปกตรัม (Spectrograms)	รูปภาพความถี่-เวลา สำหรับใช้กับ CNN	หลายแสนถึงล้านภาพ
ป้ายกำกับ (Labels)	ประเภทของสัญญาณ เช่น ปกติ, jamming, เรดาร์ ฯลฯ	>100,000 ตัวอย่าง
ข้อมูลแวดล้อม	สภาพอากาศ, เวลา, พิกัด, กิจกรรมมนุษย์	หลายปีต่อเนื่อง
ข้อมูลเชิงเวลา (Time Series)	เช่น SNR, RSSI, BER	หลายล้านจุดข้อมูล

2. ทรัพยากรบุคลากร (Human Resources)

ตำแหน่ง	บทบาท	จำนวน	เวลาที่ใช้
นักวิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Scientist)	พัฒนาโมเดล, วิเคราะห์ข้อมูล	2–3 คน	6–12 เดือน
วิศวกร ML/AI	ออกแบบ, ปรับแต่ง, deploy โมเดล	2–4 คน	6–18 เดือน
วิศวกรระบบสื่อสาร	ให้ความรู้ domain เฉพาะ เช่น modulation, RF	1–2 คน	Part-time (advisory)
ผู้จัดการโครงการ	ประสานงาน วางแผน timeline	1 คน	Full-time
ทีมเก็บข้อมูล	ตั้งสถานี, บันทึกข้อมูลภาคสนาม	2–4 คน	ช่วงต้นโครงการ 3–6 เดือน

3. เวลา (Time)

กลุ่มงาน	ระยะเวลาโดยประมาณ
เก็บรวบรวมและจัดระเบียบข้อมูล	3–6 เดือน
สร้างและทดสอบโมเดลเบื้องต้น	3 เดือน

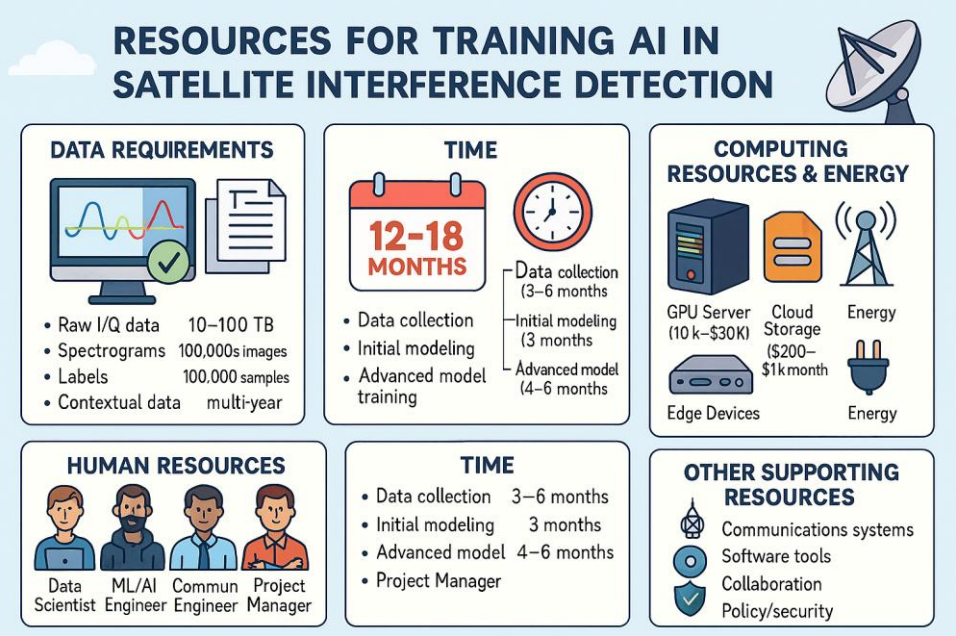
กลุ่มงาน	ระยะเวลาโดยประมาณ
ฝึกโมเดลขั้นสูง (เช่น CNN, LSTM, RL)	4–6 เดือน
ประเมินผลและนำไปใช้งานจริง (deployment)	3–6 เดือน
รวมระยะเวลาทั้งหมด	12–18 เดือน

4.ทรัพยากรคอมพิวเตอร์และพลังงาน

ทรัพยากร	รายละเอียด	ค่าใช้จ่ายโดยประมาณ
GPU Server	NVIDIA A100, RTX 6000 หรือเทียบเท่า	$10,000–$30,000 ต่อเครื่อง
Cloud Storage	AWS S3, GCP Cloud Storage	$200–$1000/เดือน (ขึ้นกับปริมาณข้อมูล)
Edge Devices (optional)	หากต้องการ inference บนสถานีภาคพื้น	$300–$2000 ต่อจุด
พลังงานไฟฟ้า	สำหรับฝึกและ inference	~2–5 kWh ต่อ session ฝึกโมเดลใหญ่

5. ทรัพยากรสนับสนุนอื่น ๆ

ประเภท	รายละเอียด
ระบบสื่อสาร	สถานีรับดาวเทียม, อุปกรณ์ spectrum analyzer
ซอฟต์แวร์	TensorFlow, PyTorch, MATLAB, GNURadio
ความร่วมมือ	องค์กรที่สามารถแบ่งปันข้อมูล เช่น กสทช. องค์กรอวกาศ หรือผู้ให้บริการดาวเทียม
นโยบาย/ความปลอดภัย	ต้องจัดการข้อมูลที่อาจมีความอ่อนไหว (spectrum data) อย่างรัดกุม



รูปที่ 61 แสดงทรัพยากรขั้นต่ำที่ต้องการสำหรับการสอน AI เพื่อการตรวจจับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารดาวเทียม (ที่มา ChatGPT)

5.2.4 ภาพรวมของผู้ให้บริการ AI สำหรับการตรวจจับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารดาวเทียม

ปัจจุบัน การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการตรวจจับและจัดการสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมมีความก้าวหน้าอย่างมาก โดยมีผู้ให้บริการเชิงพาณิชย์หลายรายที่นำเสนอเทคโนโลยีและบริการที่หลากหลาย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ตามลักษณะการให้บริการและเทคโนโลยีที่ใช้ ดังนี้

1. HawkEye 360

- **ลักษณะบริการ** บริการระบุตำแหน่งของสัญญาณวิทยุที่ตรวจจับได้จากดาวเทียม, ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับคุณลักษณะของสัญญาณวิทยุที่ตรวจพบ
- **เทคโนโลยี**
    - จับสัญญาณด้วยกลุ่มดาวเทียมขนาดเล็ก (CubeSats) ที่สามารถตรวจจับและระบุตำแหน่งของสัญญาณวิทยุจากแหล่งต่าง ๆ บนพื้นโลก
    - ใช้เทคนิคการวัดความแตกต่างของเวลาและความถี่ (Time Difference of Arrival - TDOA และ Frequency Difference of Arrival - FDOA) เพื่อระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน
    - พัฒนาอัลกอริธึมที่ใช้ AI และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อวิเคราะห์และจำแนกประเภทของสัญญาณรบกวน
    - การใช้งานในสถานการณ์จริง:
    - ในช่วงก่อนการรุกรานยูเครนของรัสเซีย HawkEye 360 ตรวจพบการรบกวนสัญญาณ GPS อย่างกว้างขวางในภูมิภาคดังกล่าว ซึ่งข้อมูลนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวางแผนและการตัดสินใจของหน่วยงานด้านความมั่นคง
    - ร่วมมือกับกองทัพสหรัฐฯ และหน่วยงานด้านความมั่นคงอื่น ๆ เพื่อให้บริการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรบกวนสัญญาณและการรับรู้สถานการณ์ในอวกาศ

2. SatSignature

- **ลักษณะบริการ** แพลตฟอร์มวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเรียลไทม์ผ่านระบบคลาวด์ รองรับการตรวจสอบ carrier, การวิเคราะห์สัญญาณ และการเก็บประวัติสเปกตรัม
- **เทคโนโลยี** ใช้ AI ในการวิเคราะห์สเปกตรัมและตรวจจับสัญญาณรบกวน
  ข้อดี:
    - ไม่ต้องติดตั้งฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม
    - เข้าถึงได้จากทุกที่ผ่านเว็บอินเทอร์เฟซ
    - มีบริการเก็บประวัติสเปกตรัมย้อนหลัง

  ข้อด้อย:
    - อาจมีข้อจำกัดในการปรับแต่งสำหรับความต้องการเฉพาะของลูกค้า
    - การพึ่งพาอินเทอร์เน็ตอาจส่งผลต่อความเสถียรของการเข้าถึงบริการ

3. Eviden (SkyMon)

- **ลักษณะบริการ** ระบบตรวจสอบ carrier และการระบุตำแหน่งสัญญาณรบกวนแบบครบวงจร พร้อม AI สำหรับการวิเคราะห์และคาดการณ์คุณภาพลิงก์ดาวเทียม
- **เทคโนโลยี AI** สำหรับการตรวจจับสัญญาณรบกวนและการคาดการณ์คุณภาพลิงก์
  ข้อดี:
    - ระบบครบวงจรที่รวมการตรวจสอบและการระบุตำแหน่งสัญญาณรบกวน
    - สามารถคาดการณ์คุณภาพลิงก์ดาวเทียมได้

  ข้อด้อย:
    - อาจมีค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งและบำรุงรักษา
    - ต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในการใช้งานระบบ

4. Slingshot Aerospace

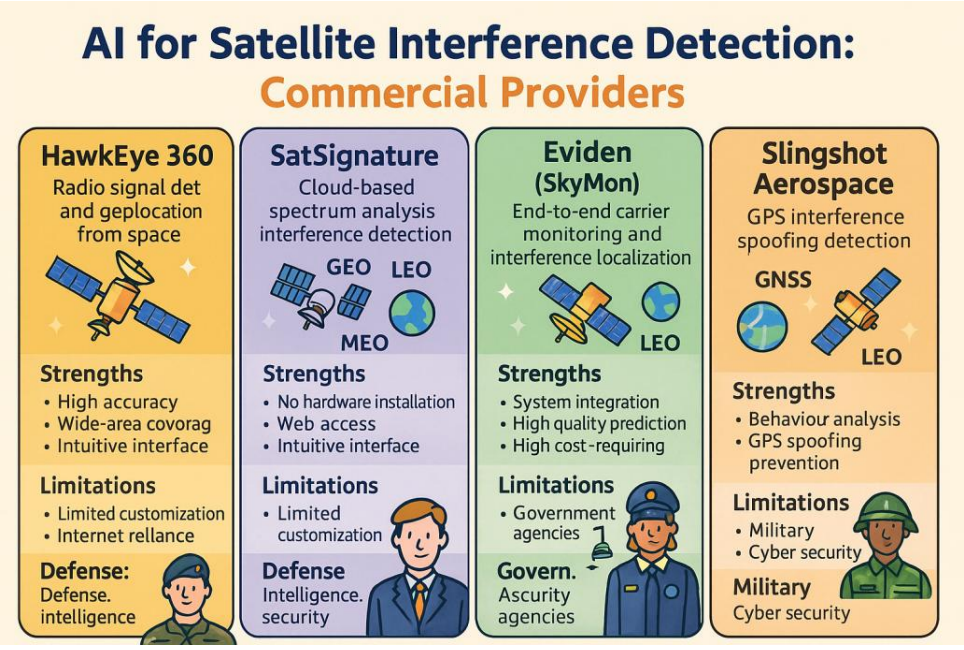
- **ลักษณะบริการ** ระบบตรวจจับการรบกวนและการปลอมแปลงสัญญาณ GPS โดยใช้ AI สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมและการคาดการณ์
- **เทคโนโลยี** AI สำหรับการตรวจจับการรบกวนและการปลอมแปลงสัญญาณ
  ข้อดี:
    - สามารถตรวจจับการรบกวนและการปลอมแปลงสัญญาณได้แม่นยำ
    - มีการวิเคราะห์พฤติกรรมเพื่อคาดการณ์เหตุการณ์ในอนาคต

  ข้อด้อย:
    - เน้นการใช้งานในด้านความมั่นคงและการทหาร อาจไม่เหมาะสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์ทั่วไป
    - การเข้าถึงบริการอาจจำกัดเฉพาะหน่วยงานที่ได้รับอนุญาต

ตารางที่ 13 ตารางเปรียบเทียบผู้ให้บริการ AI เชิงพาณิชย์สำหรับการตรวจจับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารดาวเทียม

ผู้ให้บริการ	ความเชี่ยวชาญหลัก	จุดแข็งหลัก	ข้อจำกัดหลัก	ประเภทดาวเทียมที่รองรับ	กลุ่มผู้ใช้งานหลัก
HawkEye 360	การตรวจจับและระบุตำแหน่งสัญญาณวิทยุจากอวกาศ	แม่นยำสูง, ครอบคลุมพื้นที่กว้าง, วิเคราะห์ด้วย AI	เน้นภารกิจด้านความมั่นคง, ไม่เปิดกว้างต่อผู้ใช้ทั่วไป	ดาวเทียม LEO (กลุ่มดาวเทียมของบริษัทเอง)	หน่วยงานความมั่นคง, กลาโหม, การข่าวกรอง
SatSignature	การวิเคราะห์สเปกตรัมและตรวจจับ interference ผ่านระบบคลาวด์	ไม่ต้องติดตั้งฮาร์ดแวร์, เข้าถึงผ่านเว็บ, ใช้งานง่าย	ปรับแต่งได้จำกัด, ขึ้นอยู่กับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต	GEO, MEO, LEO (รองรับหลายแพลตฟอร์ม)	ผู้ให้บริการดาวเทียม, ภาคโทรคมนาคม, รัฐวิสาหกิจ
Eviden (SkyMon)	การตรวจสอบ carrier และระบุตำแหน่งแหล่งรบกวนแบบครบวงจร	ระบบ end-to-end, คาดการณ์คุณภาพลิงก์ดาวเทียม	ต้นทุนสูง, ต้องการทีมงานเทคนิคเฉพาะทาง	GEO, MEO, LEO (ใช้งานได้กับดาวเทียมทุกระดับวงโคจร)	ผู้ให้บริการดาวเทียม, ภาครัฐ, หน่วยงานความมั่นคง
Slingshot Aerospace	ตรวจจับการรบกวนและปลอมแปลงสัญญาณ GPS	วิเคราะห์พฤติกรรม, ป้องกันการปลอมแปลง GPS	มุ่งเน้นการใช้งานทหาร/ความมั่นคง, ไม่เหมาะกับเชิงพาณิชย์ทั่วไป	GNSS (เช่น GPS, Galileo), LEO (วิเคราะห์สัญญาณจากภาคพื้น)	กองทัพ, องค์กรด้านความปลอดภัยไซเบอร์

- GEO (Geostationary Orbit) ให้บริการทางด้านดาวเทียมสื่อสารที่อยู่คงที่เหนือโลก เช่น อินเทอร์เน็ต โทรทัศน์ เป็นต้น
- MEO (Medium Earth Orbit) ให้บริการทางด้านระบบนำทาง เช่น Galileo GPS เป็นต้น
- LEO (Low Earth Orbit)) ให้บริการในดาวเทียมขนาดเล็ก, กลุ่มดาวดาวเทียม เช่น Starlink HawkEye เป็นต้น
- GNSS (Global Navigation Satellite System) ให้บริการทางด้านกลุ่มดาวเทียมนำทาง เช่น GPS GLONASS เป็นต้น



รูปที่ 62 แสดงผู้ให้บริการ AI สำหรับการตรวจจับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม (ที่มา ChatGPT)

จะเห็นได้ว่า การใช้ AI ในการตรวจจับและจัดการสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมมีความสำคัญอย่างยิ่งในยุคที่การสื่อสารผ่านดาวเทียมมีบทบาทมากขึ้น ผู้ให้บริการแต่ละรายมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้บริการควรพิจารณาจากความต้องการเฉพาะขององค์กร เช่น ความสามารถในการปรับแต่งระบบ, งบประมาณ, และความเชี่ยวชาญของบุคลากร **สำหรับโครงการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าบริการของ SatSignature และ Skymon น่าจะตอบสนองความต้องการของสำนักงาน กสทช. ได้อย่างเหมาะสม** โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้บริการผ่านระบบคลาวด์ของ SatSignature น่าจะเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาทดลองใช้งาน

ดังนั้น เนื้อหาในลำดับถัดไปจะเป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้บริการของ SatSignature ในการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารดาวเทียมเพื่อให้เกิดความเข้าใจในกระบวนการยิ่งขึ้น อย่างไรก็ดีเนื่องจากคณะผู้วิจัยไม่สามารถเข้าถึงการใช้บริการของ SatSignature โดยตรงได้ จึงใช้วิธีการสังเคราะห์กระบวนการจาก ChatGPT (ที่สามารถสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องของบริการ SatSignature) และดำเนินการเรียบเรียงเนื้อหาเพื่อนำเสนอต่อไป

5.2.5 แนวทางการประยุกต์ใช้บริการ SatSignature เพื่อการตรวจจับสัญญาณรบกวน

จากการศึกษาจะสามารถสรุปคุณลักษณะคุณสมบัติเด่น (Key Features) ของ SatSignature ในการตรวจจับสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม และประโยชน์ที่ได้รับ ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สรุปคุณลักษณะคุณสมบัติเด่น (Key Features) ของ SatSignature

คุณสมบัติ	คำอธิบาย	ประโยชน์
สถาปัตยกรรมแบบคลาวด์	โฮสต์อยู่บนโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ที่สามารถขยายได้ (เช่น AWS, Azure)	เข้าถึงได้จากทุกที่ รองรับปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่
การจำแนกสัญญาณด้วย AI	ใช้การเรียนรู้ของเครื่องเพื่อแยกแยะประเภทสัญญาณและตรวจจับความผิดปกติ (เช่น jamming, spoofing)	ตรวจจับสัญญาณรบกวนแบบเรียลไทม์ด้วยความแม่นยำสูง
ลายนิ้วมือสัญญาณดาวเทียม (RF Fingerprinting)	สร้าง “ลายเซ็น” เฉพาะตัวของเครื่องส่งสัญญาณดาวเทียม	ระบุแหล่งที่มาที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือแหล่งที่ผิดปกติได้
แดชบอร์ดตรวจสอบแบบเรียลไทม์	อินเทอร์เฟซผ่านเว็บพร้อมเครื่องมือแสดงผล	ตรวจสอบง่าย มีระบบแจ้งเตือน และเชื่อมโยงเหตุการณ์ได้สะดวก
การระบุตำแหน่งแหล่งรบกวน	ใช้เทคนิค TDOA/FDOA ร่วมกับ AI เพื่อการหาตำแหน่งแหล่งกำเนิด	ระบุตำแหน่งของแหล่งรบกวนได้อย่างแม่นยำ
การตรวจจับความผิดปกติอัตโนมัติ	เรียนรู้จากข้อมูลในอดีตเพื่อค้นหาและแจ้งเตือนภัยคุกคามที่เกิดขึ้นใหม่หรือเปลี่ยนแปลง	ป้องกันภัยคุกคามเชิงรุกได้ล่วงหน้า
การทำงานร่วมกับสถานีภาคพื้น	เชื่อมต่อกับโครงสร้างระบบตรวจจับ RF ที่มีอยู่เดิม	ยกระดับระบบเดิมให้รองรับความสามารถของ AI
ฐานข้อมูลสัญญาณย้อนหลัง	บันทึกเหตุการณ์สัญญาณและกรณีสัญญาณรบกวนต่าง ๆ	สนับสนุนการวิเคราะห์, ตรวจสอบย้อนหลัง และการปฏิบัติตามข้อกำหนด

คุณสมบัติ	คำอธิบาย	ประโยชน์
การควบคุมสิทธิ์และความปลอดภัยผู้ใช้งาน	มีระบบกำหนดสิทธิ์ตามบทบาท พร้อมการรักษาความปลอดภัยในสภาพแวดล้อมคลาวด์	เป็นไปตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและการควบคุมตามกฎระเบียบ

แนวทางการใช้ SatSignature เพื่อระบุสัญญาณรบกวนประเภทต่าง ๆ

การใช้บริการ SatSignature เพื่อ ระบุและแยกแยะระหว่าง intentional jamming และ unintentional interference มีแนวทางที่ชัดเจนและเป็นระบบ โดยอาศัยทั้งการวิเคราะห์สเปกตรัม การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และเครื่องมือแสดงผลแบบเรียลไทม์ ดังนี้

1. การตั้งค่าการเฝ้าระวัง (Spectrum Monitoring Configuration)

- ผู้ใช้สามารถตั้งค่าการเฝ้าระวังความถี่เป้าหมายที่ใช้งานอยู่ เช่น C-band, Ku-band หรือ X-band
- SatSignature จะทำการ ดักจับ carrier ทุกตัว ที่ปรากฏบนสเปกตรัมในย่านความถี่นั้น

2. การตรวจจับสัญญาณรบกวนแบบเรียลไทม์ โดยระบบจะใช้โมเดล AI/ML เพื่อ

- ตรวจสอบ anomalous power patterns เช่น สัญญาณแรงผิดปกติหรือเกินพิกัดในช่วงเวลาสั้น ๆ
- ตรวจจับ frequency hopping, broadband noise, หรือ burst pulses ที่มักพบใน intentional jamming
- ตรวจพบลักษณะการปล่อยสัญญาณผิดเวลา, ความถี่ซ้อน, หรือ signal reflection ที่อาจเกิดจาก unintentional interference

3. การวิเคราะห์เชิงลึก (Analytics & Classification) โดยสัญญาณที่ตรวจพบจะถูกนำเข้าโมเดลจำแนก (classifier) ตามลักษณะสัญญาณ ซึ่งจะระบุว่า

- Intentional Jamming: ความแรงสูง, มีรูปแบบต่อเนื่องหรือมีความถี่แปรเปลี่ยนเร็ว, อาจพุ่งเป้าไปยังลิงก์เฉพาะเจาะจง
- Unintentional Interference: ความถี่คงที่, สัญญาณคาบเกี่ยวจากระบบอื่น (เช่น VSAT ซ้อนกัน) หรือเกิดจากอุปกรณ์ขัดข้อง

จากนั้นข้อมูลจะถูก จัดลำดับความเสี่ยง (Risk Scoring) อัตโนมัติ เพื่อนำไปสู่การตอบสนองที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 15 รูปแบบการจำแนก (classifier) ตามลักษณะสัญญาณ

ลักษณะสัญญาณ	Intentional Jamming	Unintentional Interference
Bandwidth	กว้าง, ปรับเปลี่ยนเร็ว	แคบ, คงที่
Timing	ต่อเนื่อง, แบบ burst	เกิดเป็นช่วง ๆ
Location	มักพุ่งเป้าลิงก์สำคัญ	กระจาย, ไม่เฉพาะเจาะจง
Source identity	ไม่ทราบ, ปกปิดตัวตน	มักมาจากอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงแต่มีข้อผิดพลาด

4. การระบุตำแหน่งแหล่งกำเนิด (Geolocation)

- หากตรวจพบความผิดปกติ SatSignature สามารถใช้เทคนิค TDOA/FDOA ร่วมกับข้อมูลจากหลายจุดรับ เพื่อตำแหน่งแหล่งกำเนิด
- ระบบจะแสดงแผนที่แหล่งรบกวน พร้อมเวลาและลักษณะสัญญาณ

5. การแจ้งเตือนและการจัดการเหตุการณ์ (Alerting & Investigation)

- ระบบมีแดชบอร์ดสำหรับดูข้อมูลแบบเรียลไทม์ รวมถึง:
  - สเปกตรัมก่อน/หลังเหตุการณ์
  - ประวัติการรบกวนในช่วงเดียวกัน
  - แหล่งที่มาตามตำแหน่งและสถิติ
- สามารถ export ข้อมูลเพื่อนำไปใช้กับระบบ NOC หรือหน่วยงานกำกับดูแลได้

ตารางที่ 16 สรุปแนวทางการใช้บริการ SatSignature เพื่อระบุสัญญาณรบกวนประเภทต่าง ๆ

ขั้นตอน	การใช้งานผ่าน SatSignature
1. ตั้งค่าการเฝ้าระวัง	กำหนดย่านความถี่เป้าหมาย
2. ตรวจจับอัตโนมัติ	ใช้ AI วิเคราะห์ความผิดปกติของสัญญาณ
3. จำแนกประเภท	แยกเป็น intentional vs unintentional
4. ระบุตำแหน่ง	ใช้ TDOA/FDOA และแสดงผลบนแผนที่
5. แจ้งเตือน & ตรวจสอบ	ใช้แดชบอร์ดและส่งข้อมูลไปยังผู้ดูแลระบบ

ตัวอย่างสถานการณ์จำลอง (Simulation) ที่แสดงการใช้ระบบ SatSignature ในการแยกแยะและจัดการสัญญาณรบกวนแบบตั้งใจ (Intentional Jamming) พร้อมขั้นตอนการตอบสนองของระบบหากเกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน

Simulation: Identifying Interference with SatSignature

สถานการณ์: บริษัทสื่อสารผ่านดาวเทียมแห่งหนึ่งตรวจพบสัญญาณผิดปกติบนลิงก์ C-band (6 GHz) ที่ใช้งานเชื่อมต่อกับสถานีภาคพื้นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ผ่านระบบ SatSignature Cloud Monitoring

ช่วงเวลาเหตุการณ์: 09:15 – 09:30 น.

การดำเนินการของ SatSignature (ตามขั้นตอน)

ลำดับ	ขั้นตอน	รายละเอียด
1	สแกนความถี่อัตโนมัติ	ระบบ SatSignature ตรวจสอบความถี่ 6.2–6.4 GHz แบบ real-time ทุก 5 วินาที
2	ตรวจพบความผิดปกติ (09:17)	ระบบพบสัญญาณความแรงสูงแทรกเข้ามาใน 6.22 GHz
3	วิเคราะห์รูปคลื่น	สัญญาณที่พบเป็น broadband pulse กว้าง 20 MHz, ปรากฏทุก 1 วินาที
4	ML Classifier วิเคราะห์ผล	จำแนกว่าเป็น “Intentional Jamming” เนื่องจากรูปแบบ burst, ความถี่ไม่คงที่, ไม่มีลักษณะของ waveform จากอุปกรณ์ปกติ

ลำดับ	ขั้นตอน	รายละเอียด
5	แสดงบนแดชบอร์ด	ระบบแสดงผลบน web interface พร้อมไฮไลต์พิกัดบนแผนที่ว่า interference มาจากบริเวณห่างจากกรุงเทพฯ 70 กม. ทิศตะวันตกเฉียงใต้
6	แจ้งเตือนอัตโนมัติ	ส่ง email alert ไปยัง Network Operations Center (NOC)
7	จัดทำข้อเสนอแนะ	ระบบแนะนำให้เปลี่ยนลิงก์ไปยังความถี่ 6.42 GHz (ช่องสำรอง), ตรวจสอบสถานีรับในพิกัดที่ระบุ, แจ้งหน่วยงานกำกับดูแล

ตารางสรุปการเรียนรู้จาก Simulation

ประเภทสัญญาณรบกวน	วิธีการตรวจจับของระบบ	การวิเคราะห์ของ AI	การตอบสนอง
Intentional Jamming	Burst wideband, TDOA/FDOA geolocation	Classified as high-risk jamming	แจ้งเตือน, วางแผนย้ายความถี่, แจ้งหน่วยงานรัฐ
Unintentional Interference	Static overlap with known user pattern	Classified as low-risk VSAT spillover	แนะนำประสานความถี่, จัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล

5.2.6 แนวทางการใช้ SatSignature เพื่อตรวจจับการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมโดยไม่ได้รับอนุญาต

การใช้บริการ SatSignature เพื่อตรวจจับ การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมโดยไม่ได้รับอนุญาต (Unauthorized Satellite Transmissions) เป็นหนึ่งในกรณีการใช้งานสำคัญที่ผสานเทคโนโลยีการตรวจสอบสเปกตรัมและ AI เข้าด้วยกัน โดยมีวัตถุประสงค์ 3 ประการ ได้แก่

1. ตรวจจับ สัญญาณที่ไม่ได้ลงทะเบียนหรือไม่ได้รับสิทธิ์ จากผู้ให้บริการหรือองค์กรที่ไม่ได้รับอนุญาต
2. ป้องกันการแทรกแซงเครือข่ายดาวเทียมเชิงพาณิชย์หรือความมั่นคง
3. สนับสนุนหน่วยงานกำกับดูแลด้านความถี่และการสื่อสาร

แนวทางการดำเนินการด้วย SatSignature

1. Monitoring All Active Frequencies
    - SatSignature ทำการ สแกนย่านความถี่ที่ได้รับอนุญาตอย่างต่อเนื่อง เช่น C-band, Ku-band, Ka-band
    - ดึง Carrier Parameters เช่น center frequency, bandwidth, power level, และ polarisation จากสัญญาณที่ตรวจพบ
2. Carrier Fingerprinting & Comparison
    - ระบบจะ เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณ กับฐานข้อมูล carrier ที่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงาน (เช่น ITU, กสทช., หรือ operator ภายใน)
    - หากพบว่า carrier ไม่มีอยู่ใน whitelist หรือมีพฤติกรรมเบี่ยงเบน เช่น:
        - ความถี่เฉียงจากที่จดทะเบียน
        - ช่วงเวลาที่ไม่ควรมีการใช้งาน
        - ลายเซ็นของดาวเทียมที่ไม่ตรงกับเครื่องส่งสัญญาณที่ควรจะมีจะถูกจัดว่าเป็น “suspected unauthorized transmission”
3. RF Fingerprinting (ลายนิ้วมือของสัญญาณ)

- SatSignature ใช้เทคนิค RF Fingerprinting เพื่อสร้างลายเซ็นเฉพาะของอุปกรณ์ส่ง (transponder หรือ earth station)
- หากมี carrier ใหม่ที่ไม่มีลายเซ็นที่รู้จัก ระบบจะแจ้งเตือนว่าเป็นแหล่งใหม่ (Unknown Source)

4. AI-Based Classification
   - ใช้โมเดล Machine Learning วิเคราะห์ลักษณะ carrier เช่น:
     - ความสม่ำเสมอของ symbol rate
     - พฤติกรรม modulation
     - ความถี่เฉลี่ย และ spectral shape
   - หากพฤติกรรมสัญญาณ ผิดปกติจาก baseline หรือไม่ตรงกับ source ที่ควร จะถูกจัดเป็น unauthorized/misconfigured
5. Geolocation (ถ้าจำเป็น)
   - ใช้เทคนิค TDOA/FDOA จากการวัดหลายจุด (multi-ground station triangulation) เพื่อระบุพิกัดของแหล่งกำเนิดสัญญาณ
   - ข้อมูลนี้ช่วยให้ผู้ใช้สามารถ:
     - แจ้งเตือนผู้ดำเนินการ
     - ประสานงานกับเจ้าหน้าที่กำกับดูแลความถี่ในพื้นที่
6. การแสดงผลและการแจ้งเตือน
   - แสดงสัญญาณที่ตรวจพบแบบ real-time บน web-based dashboard
   - สัญญาณที่ไม่ได้รับอนุญาตจะถูกจัดหมวดหมู่พร้อม ระดับความเสี่ยง (Risk Level)
   - แจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่าน email, API webhook หรือ integration กับระบบ NOC

ตารางที่ 17 ตัวอย่างการนำไปใช้งานด้วย SatSignature

กรณีใช้งาน	การดำเนินการของระบบ SatSignature
ตรวจพบ VSAT ที่ตั้งผิดพิกัด	ตรวจจับความถี่นอกขอบเขต, แจ้งเตือนเป็น carrier ใหม่
มีผู้ตั้งสถานี uplink โดยไม่ได้รับอนุญาต	ระบบระบุว่าไม่มีข้อมูลลายเซ็นในฐานข้อมูล, แจ้งเตือนเป็น “unknown source”
มีการใช้ carrier ซ้อน (co-channel) โดยไม่รู้ตัว	ระบบวิเคราะห์ spectral overlap และแจ้งเตือนว่าเป็น uncoordinated signal

ตัวอย่างสถานการณ์จำลอง (Simulation) ที่แสดงกระบวนการที่ระบบ SatSignature ใช้ในการตรวจจับ การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมโดยไม่ได้รับอนุญาต (Unauthorized Satellite Transmission)

Simulation: Detecting Unauthorized Satellite Transmission with SatSignature
สถานการณ์: ระบบ SatSignature ทำการเฝ้าระวังการใช้งานความถี่ในย่าน Ku-band (14.0–14.5 GHz) สำหรับดาวเทียมเชิงพาณิชย์ที่ให้บริการในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
ช่วงเวลาเหตุการณ์: 14:32 น.

การดำเนินการของ SatSignature (ตามขั้นตอน)

ขั้นตอน	การกระทำของระบบ SatSignature	คำอธิบาย
1	เริ่มสแกนความถี่อัตโนมัติ	ระบบทำการตรวจสอบ Ku-band แบบ real-time ทุก 3 วินาที
2	ตรวจพบสัญญาณใหม่ใน 14.33 GHz	Carrier ใหม่มี symbol rate ~2 Mbps และ power สูงกว่าปกติ
3	เช็กฐานข้อมูล (Carrier Registry)	ไม่พบการลงทะเบียนลิงก์นี้ใน whitelist ของผู้ให้บริการดาวเทียม
4	เปรียบเทียบ RF Fingerprint	ไม่พบลายเซ็นที่ตรงกันในระบบ จัดประเภทเป็น Unknown Source
5	วิเคราะห์ลักษณะสัญญาณด้วย AI	โมเดล ML วิเคราะห์ว่า modulation pattern ไม่ตรงกับอุปกรณ์ของผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาต
6	ตั้งค่าสถานะ: Suspected Unauthorized Transmission	ระบบระบุเป็น “High-Risk” และย้ายไปยังแดชบอร์ดการแจ้งเตือน
7	ระบุตำแหน่งต้นทาง (Geolocation)	ใช้ TDOA จากสถานีภาคพื้น 3 แห่งในไทยและเวียดนาม ระบุตำแหน่งใกล้พรมแดนลาว
8	แจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ระบบ	ส่ง email + API alert ไปยัง NOC พร้อมข้อมูล carrier, waveform และตำแหน่งที่มา
9	จัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล	บันทึก carrier ID, timestamp, พิกัด, waveform, ความถี่ เพื่อใช้ในการสอบสวนหรือรายงาน กสทช.

ผลลัพธ์ของการจำลองนี้

คุณลักษณะ	ผลลัพธ์
ความถี่	14.33 GHz
ประเภทสัญญาณ	ไม่จดทะเบียน, power สูงผิดปกติ
สถานะ	**Unauthorized**
พิกัดแหล่งกำเนิด	ใกล้พรมแดนไทย-ลาว
การตอบสนอง	แจ้ง NOC, แจ้งหน่วยงานควบคุมความถี่, ตรวจสอบสถานีต้นทาง

สรุปความสามารถของ SatSignature ในการตรวจจับสัญญาณไม่ได้รับอนุญาต

ความสามารถ	ประโยชน์
ตรวจสอบความถี่อัตโนมัติ	ครอบคลุมแบบ real-time
RF Fingerprinting	แยกแยะ transmitter ที่รู้จักกับที่ไม่รู้จัก
AI Signal Analysis	ตรวจจับพฤติกรรมผิดปกติ
Geolocation	ระบุตำแหน่งต้นทางแม่นยำ
Alert System	แจ้งเตือนทีมปฏิบัติการทันที
Data Archiving	ใช้เป็นหลักฐานและวิเคราะห์ย้อนหลัง

5.2.7 แนวทางการใช้ SatSignature ในการสนับสนุน การปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านกฎระเบียบ (Regulatory Compliance) และ การเฝ้าระวังคลื่นความถี่ (Spectrum Monitoring)

การใช้บริการ SatSignature ในการสนับสนุน การปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านกฎระเบียบ (Regulatory Compliance) และ การเฝ้าระวังคลื่นความถี่ (Spectrum Monitoring) ถือเป็นหนึ่งในฟังก์ชันหลักของระบบ โดยเฉพาะสำหรับองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแล (เช่น กสทช., ITU, หรือหน่วยงานความมั่นคง) และผู้ให้บริการดาวเทียม โดยมีเป้าหมายหลัก คือ

1. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าการใช้ความถี่เป็นไปตามสิทธิการใช้งานที่กำหนดไว้
2. ตรวจจับความถี่ที่ถูกใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
3. ให้ข้อมูลที่โปร่งใสและตรวจสอบย้อนกลับได้แก่หน่วยงานกำกับดูแล

แนวทางการดำเนินงานโดยใช้ SatSignature

1. การตรวจสอบความถี่ตามแผนจัดสรร (Frequency Plan Enforcement)
    - ระบบสามารถตั้งค่าย่านความถี่ที่ควรใช้งานตามใบอนุญาตของผู้ให้บริการ
    - หากมี carrier ที่ไม่อยู่ในแผน หรืออยู่ในช่วงเวลาที่ไม่ได้รับอนุญาต ระบบจะ:
        - แจ้งเตือนผู้ควบคุม
        - บันทึกเป็น compliance violation พร้อมหลักฐาน waveform และพิกัด
2. การจับคู่กับฐานข้อมูลสากล (ITU, กสทช. ฯลฯ)
    - ระบบสามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล public เช่น:
        - ITU Space Services Database
        - หน่วยงานท้องถิ่น (e.g., กสทช.)
    - นำมาเปรียบเทียบกับ carrier ที่ตรวจพบในสเปกตรัม โดยแจ้งให้คัดกรองสัญญาณผิดปกติ
3. Real-Time Spectrum Monitoring
    - ใช้แดชบอร์ดแสดงสเปกตรัมที่ตรวจพบจากหลายจุดแบบเรียลไทม์
    - แสดงพิกัดต้นทางของสัญญาณ พร้อม carrier ID, symbol rate, modulation ฯลฯ
    - เหมาะกับการตรวจสอบ การรบกวนระหว่างประเทศ หรือ cross-border spillover
4. การบันทึกและรายงานเพื่อการตรวจสอบย้อนหลัง (Historical Audit & Forensics)
    - ทุกสถานการณ์จะถูกจัดเก็บลง ฐานข้อมูลเหตุการณ์ (event database) พร้อม:
        - ความถี่
        - เวลา
        - ลายเซ็นสัญญาณ (RF fingerprint)
        - ความเสี่ยงต่อกฎระเบียบ
    - ผู้ใช้สามารถดึงรายงานเพื่อส่งให้หน่วยงานกำกับดูแล หรือใช้เป็น หลักฐานการปฏิบัติตามในการตรวจประเมิน
5. การแจ้งเตือนอัตโนมัติและระบบ Workflow
    - หากพบกรณี non-compliance เช่น:
        - ใช้ความถี่เกินขอบเขต
        - ปรับพลังงานส่งเกินเกณฑ์
        - ใช้ดาวเทียมที่ไม่ได้รับสิทธิ
    - ระบบสามารถกำหนด workflow อัตโนมัติ เช่น:

- แจ้งเตือนผ่าน Email/API
- แจ้งหน่วยงานรัฐ
- เปิด ticket เพื่อตรวจสอบ

ตัวอย่างการใช้งานจริง

กรณี	การดำเนินงานของ SatSignature
มีผู้ส่งสัญญาณบนย่าน Ka-band โดยไม่ได้รับอนุญาต	ระบบแจ้งเตือนว่า carrier ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลของ กสทช.
บริษัทใช้ความถี่สูงเกินจากใบอนุญาต	SatSignature แสดงค่าพลังงาน + waveform เทียบกับกำหนดการใช้งาน
ตรวจสอบสัญญาณรบกวนที่ข้ามพรมแดน	ระบบระบุพิกัดแหล่งที่มา พร้อมระบุว่าผู้ใช้นั้นไม่มีสิทธิในความถี่ ณ พื้นที่ปลายทาง

สรุปความสามารถของ SatSignature ในด้านนี้

ความสามารถ	ประโยชน์
Carrier Registration Matching	ตรวจจับสัญญาณที่ไม่ได้รับอนุญาต
RF Fingerprinting	ยืนยันแหล่งที่มาและตรวจสอบย้อนหลัง
Dashboard & Alerting	ช่วยให้หน่วยงานรัฐหรือผู้ดูแลเครือข่ายตอบสนองได้รวดเร็ว
Event Archiving	เก็บข้อมูลครบถ้วนสำหรับ audit หรือการสืบสวน
API Integration	เชื่อมต่อกับระบบวิเคราะห์ของหน่วยงานอื่น

ตัวอย่างสถานการณ์จำลอง (Simulation) ที่แสดงกระบวนการที่ระบบ SatSignature ใช้ในการสนับสนุน การปฏิบัติตามกฎระเบียบและการเฝ้าระวังความถี่ (Regulatory Compliance & Spectrum Monitoring) สำหรับหน่วยงานกำกับดูแลหรือผู้ให้บริการดาวเทียม

Simulation: Supporting Regulatory Compliance & Spectrum Monitoring with SatSignature

สถานการณ์: สำนักงาน กสทช. (สมมุติ) กำลังตรวจสอบการใช้งานย่าน Ka-band (27.5–30.0 GHz) ของผู้ให้บริการดาวเทียมเชิงพาณิชย์รายหนึ่งในภูมิภาคเอเชีย เพื่อยืนยันว่าการใช้งานความถี่เป็นไปตามใบอนุญาต และไม่มีการใช้ช่องความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต

การดำเนินการของ SatSignature (ตามขั้นเวลา)

เวลา	การดำเนินการของระบบ SatSignature	รายละเอียด
10:00	เริ่มสแกนความถี่ Ka-band แบบต่อเนื่อง	ตั้งค่าการเฝ้าระวัง 27.5–30.0 GHz สำหรับทุก carrier
10:04	ตรวจพบ carrier ใหม่ใน 28.68 GHz	ไม่พบในตารางแผนการจัดสรรความถี่ที่ลงทะเบียนไว้
10:05	ระบบทำการ RF Fingerprinting	ไม่ตรงกับลายเซ็นของผู้ให้บริการที่ได้รับอนุญาต
10:06	ตรวจพบพลังงานส่งเกินค่ากำหนด (Tx Power 7 dBW)	ขณะที่ใบอนุญาตอนุญาตไม่เกิน 5 dBW
10:07	AI วิเคราะห์พฤติกรรมสัญญาณ	modulation แบบ burst, ช่วงเวลาแปรเปลี่ยน ผิดจาก carrier ปกติ

เวลา	การดำเนินการของระบบ SatSignature	รายละเอียด
10:08	จัดหมวดหมู่: Regulatory Violation - Unauthorized Uplink + Power Overlimit	ระบุเป็น High-Risk พร้อม flag บนแดชบอร์ด
10:09	ทำการ geolocation แหล่งกำเนิด	คำนวณพิกัดที่มาของสัญญาณจาก TDOA ได้อยู่ใกล้เขตชายแดนต่างประเทศ
10:10	ระบบส่ง รายงานอัตโนมัติ	ส่งรายงาน PDF + ไฟล์ waveform ไปยังหน่วยงานกำกับฯ และผู้รับผิดชอบ
10:11	เก็บบันทึกลง event archive	สัญญาณและรายละเอียดเก็บไว้สำหรับ audit หรือดำเนินคดี

รายละเอียดผลการตรวจจับ

รายการ	ค่า
ความถี่ที่ตรวจพบ	28.68 GHz
พลังงานส่ง (Tx Power)	7 dBW (เกินใบอนุญาต)
ผู้ให้บริการในระบบ	ไม่มี (unregistered)
การระบุแหล่งที่มา	อยู่ในเขตนอกเหนือการควบคุม (ข้ามพรมแดน)
สถานะ	**Regulatory Violation**

สรุปแนวทางการสนับสนุน Compliance ของ SatSignature

ความสามารถ	ประโยชน์ต่อการกำกับดูแล
ตรวจจับ carrier ที่ไม่ลงทะเบียน	ช่วยระบุการใช้งานผิดกฎหมาย
วิเคราะห์พลังงานส่งและ waveform	ช่วยตรวจสอบเงื่อนไขตามใบอนุญาต
Geolocation	ช่วยตรวจสอบต้นทางว่าอยู่ใน/นอกเขตที่ได้รับอนุญาต
ระบบแจ้งเตือนและรายงาน	ทำให้หน่วยงานรัฐสามารถตอบสนองได้ทันที
การเก็บประวัติเหตุการณ์	สร้างหลักฐานพร้อมใช้ในการรายงานต่อ ITU หรือการดำเนินคดี

5.2.8 สรุปสถานการณ์และอนาคตของการใช้ AI ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม

เป็นที่ชัดเจนว่า การประยุกต์ใช้ AI กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วและเริ่มถูกนำไปใช้งานจริงในหลายภาคส่วนของระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยเฉพาะในด้าน การบริหารจัดการสเปกตรัม (spectrum management) และการรักษาความมั่นคงของระบบสื่อสารดาวเทียม ซึ่งสามารถสรุปสถานการณ์ปัจจุบันได้ดังนี้

1. แนวโน้มการพัฒนา

- AI ได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องมือสำคัญในการตรวจจับ วิเคราะห์ และตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนที่ซับซ้อนในระบบดาวเทียม
- มีการลงทุนเป็นจำนวนมากจากองค์กรอวกาศ (เช่น NASA, ESA), บริษัทดาวเทียม (เช่น SES, Intelsat), และบริษัทเทคโนโลยี (เช่น Lockheed Martin, Airbus) เพื่อนำ AI มาเสริมระบบรักษาคุณภาพสัญญาณ
- แนวทางที่นิยม ได้แก่ Deep Learning, Reinforcement Learning, และ Time Series Forecasting (เช่น ARIMA, LSTM)

2. ตัวอย่างการใช้งานจริง

องค์กร / โครงการ	รายละเอียด
ITU + Kratos Defense	พัฒนาแพลตฟอร์มตรวจจับและระบุตำแหน่งสัญญาณรบกวน (RF Interference) โดยใช้ AI วิเคราะห์พฤติกรรมสเปกตรัมแบบเรียลไทม์
NASA	ใช้ Machine Learning เพื่อตรวจจับความผิดปกติในข้อมูล telemetry และดาวเทียมเพื่อการสื่อสารในระดับวงโคจร GEO
Lockheed Martin iSpace	ใช้ AI ในการวิเคราะห์พฤติกรรมที่ผิดปกติของสัญญาณ รวมถึงการแทรกแซงจากต่างประเทศ
SATCOM Analytics Tools (เช่น Kratos SpectralNet, RFeye)	ใช้ CNN และ LSTM ในการตรวจจับและจำแนกประเภทสัญญาณรบกวนทั้งแบบต่อเนื่องและแบบ burst

3. เทคโนโลยีหลักที่ถูกนำมาใช้

เทคโนโลยี	การใช้งานหลัก
CNN / Autoencoders	ตรวจจับสัญญาณผิดปกติจากภาพ spectrogram หรือ waveform
LSTM / ARIMA	พยากรณ์แนวโน้มของสัญญาณรบกวนล่วงหน้า
Reinforcement Learning	ปรับเปลี่ยนความถี่หรือกำลังส่งแบบอัตโนมัติเพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวน
Clustering / PCA / Isolation Forest	วิเคราะห์กลุ่มสัญญาณรบกวนที่ไม่รู้จักหรือเกิดขึ้นใหม่

4. ข้อจำกัดและความท้าทาย

- ความไม่แน่นอนของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน: เช่น การรบกวนจากอุปกรณ์บนพื้นดินที่ไม่ขึ้นทะเบียน
- ความต้องการข้อมูล labeled datasets สำหรับการเทรนโมเดล AI ยังมีน้อย
- ข้อจำกัดด้านการประมวลผลแบบ onboard (บนดาวเทียม) ยังทำให้ต้องพึ่งพาการประมวลผลภาคพื้น
- ปัญหาทางนโยบาย เช่น การระบุแหล่งที่มาของการรบกวนที่อาจเกี่ยวข้องกับความมั่นคง

5. แนวโน้มในอนาคต

- การพัฒนา AI onboard satellites สำหรับการตรวจจับและตอบสนองสัญญาณรบกวนโดยไม่ต้องส่งข้อมูลกลับมายังภาคพื้น
- การใช้ federated learning เพื่อให้หลายองค์กรแบ่งปันโมเดลโดยไม่ต้องแบ่งปันข้อมูลดิบ
- การพัฒนา AI + Cybersecurity Integration เพื่อรับมือกับสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นการโจมตีโดยตั้งใจ (เช่น spoofing, jamming)

5.3 ข้อเสนอแนะการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม

5.3.1 ข้อเสนอแนะเชิงกฎหมาย ระเบียบในการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่

ข้อเสนอแนะทางกฎหมายในการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของประเทศไทย

การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของประเทศไทยนั้นได้ถูกกำหนดไว้ในพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ตามมาตรา 27 โดยกำหนดให้ กสทช. มีอำนาจหน้าที่ในการบริหารคลื่นความถี่และกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปราศจากการรบกวน ตลอดจนการตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ก็เป็นหนึ่งในหน้าที่ที่สำคัญของ กสทช. โดยมีสำนักงาน กสทช. เป็นผู้ตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ตามมาตรา 57 (3) โดยให้สำนักงาน กสทช. ส่วนกลาง และสำนักงาน กสทช. ส่วนภูมิภาค มีการตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุม ได้ติดตามตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมในประเด็นต่าง ๆ

ซึ่งในทางปฏิบัติสำนักงาน กสทช. ภาค และสำนักงาน กสทช. เขต ได้ดำเนินการตรวจสอบการครอบครองคลื่นความถี่เป็นประจำในหลายประเด็น ได้แก่

1. ตรวจสอบการครอบครองความถี่วิทยุเพื่อควบคุมความถี่วิทยุให้เป็นไปตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ ข้อกำหนด และเงื่อนไขที่สำนักงาน กสทช. อนุญาต (การตรวจปริมาณการใช้งานคลื่นความถี่ และการตรวจสอบพิสูจน์ทราบการครอบครองคลื่นความถี่)

2. การตรวจสอบแก้ไขการรบกวนคลื่นความถี่ในกรณีได้รับแจ้งจากหน่วยงาน/กิจการที่ได้รับการรบกวน

3. การตรวจสอบมาตรฐานการแพร่คลื่นวิทยุเพื่อกำหนดขั้นตอน วิธีการ และผู้รับผิดชอบในการตรวจสอบมาตรฐานทางเทคนิคการแพร่คลื่นความถี่วิทยุเพื่อควบคุมการแพร่คลื่นความถี่วิทยุให้เป็นไปตามมาตรฐาน และเงื่อนไขที่กำหนดตามใบอนุญาต

4. การตรวจสอบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต เพื่อให้เป็นไปตามบทบัญญัติของกฎหมาย

5. การตรวจค้น และจับกุมตามกฎหมาย

6. การกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม และการตรวจวัดระดับการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม (EMF)

7. การตรวจสอบผู้ประกอบกิจการค้าเครื่องและอุปกรณ์วิทยุคมนาคม

8. การตรวจเครื่อง สถานี และใบอนุญาตวิทยุคมนาคม

ซึ่งการตรวจสอบคลื่นความถี่ดังกล่าวสอดคล้องกับกฎหมายระหว่างประเทศและข้อบังคับต่าง ๆ ของ ITU (ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (Radio Regulation) ITU-R SM.1537 เป็นต้น) อีกทั้งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกฎหมายของทั้ง 4 ประเทศดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นประกอบแล้ว

พบว่ากฎหมายไทยได้กำหนดกฎเกณฑ์ ทั้งในแง่อำนาจหน้าที่ของหน่วยงานกำกับดูแล และในแง่กฎระเบียบต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในกฎหมายไม่ต่างกันแต่อย่างใด กล่าวคือกำหนดให้หน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคม (กสทช) มีอำนาจหน้าที่ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ แต่สิ่งที่กฎหมายไทยไม่ได้กำหนดให้ชัดเจน คือ เมื่อ กสทช ได้มีการตรวจสอบแล้วพบแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนแล้ว กสทช จะต้องดำเนินการอย่างไรต่อไป

ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก ITU-R SM.1537 และกฎหมายต่างประเทศแล้ว จะเห็นได้ว่าในประเด็นดังกล่าวก็ไม่ได้ระบุการดำเนินการให้เป็นรูปธรรม ซึ่งในหลักการพื้นฐานที่สำคัญจะกำหนดไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อหน่วยงานกำกับดูแลได้รับรายงานการรบกวน สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุจะตรวจสอบคลื่นวิทยุเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน และเมื่อตรวจสอบรายละเอียดของเหตุการณ์เป็นที่ชัดเจนแล้ว จะมีการติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิคต่อไป

จากปัญหาดังกล่าวสามารถเสนอแนะในทางกฎหมายได้หลายแนวทาง ดังนี้

1. แก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม มาตรา 57 (3) ดังนี้ *"...ตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ตามหลักเกณฑ์ที่ กสทช กำหนด..."* อันจะส่งผลให้ กสทช สามารถออกกฎหมายลำดับรองในรูปแบบประกาศ หรือ ระเบียบอันเกี่ยวกับหลักเกณฑ์และวิธีการในการตรวจสอบคลื่นความถี่ได้ โดยในกฎหมายลำดับรองนั้นควรกำหนดรายละเอียดที่สำคัญ เช่น ข้อกำหนดและเงื่อนไขในการตรวจสอบคลื่นความถี่ ลักษณะการตรวจสอบคลื่นความถี่ ระยะเวลาการตรวจสอบคลื่นความถี่ การปฏิบัติตามข้อกำหนดและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบคลื่นความถี่ของผู้ได้รับอนุญาต การแก้ไขการรบกวน หรือการกำกับดูแลให้เป็นไปตามข้อกำหนดและเงื่อนไขในการตรวจสอบคลื่นความถี่ เป็นต้น ทั้งนี้ กสทช. **อาจพิจารณาหลักการจัดทำ NOI ของสหรัฐอเมริกาประกอบเพื่อสำรวจศักยภาพในการส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุได้**

และเมื่อมีการแก้ไขมาตรา 57 (3) แล้ว กสทช อาจพิจารณาเพิ่มเติมในการออกประกาศ เรื่อง "หลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน..." ได้ เพื่อกำหนดให้ผู้ที่ต้องการได้รับอนุญาตประกอบการคลื่นความถี่ย่านนั้น ๆ ต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด เช่น **อาจกำหนดให้ผู้รับอนุญาตต้องให้ความร่วมมือกับ กสทช ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ในกรณีที่ กสทช ติดต่อไป** หรืออาจกำหนดให้ผู้ได้รับอนุญาตต้องบูรณาการกับผู้ได้รับอนุญาตรายอื่นอันเกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่เพื่อดำเนินการแก้ไขการรบกวนกันของคลื่นความถี่ในเบื้องต้นเท่าที่จำเป็น เป็นต้น

2. กสทช อาจพิจารณาในการ**จัดทำคู่มือปฏิบัติการเกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่**เพื่อเป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้แก่ผู้รับใบอนุญาตได้ทราบแนวปฏิบัติที่ชัดเจนเพิ่มเติมได้ โดยมีข้อดีในการจัดทำคู่มือ คือ ชัดเจน เข้าใจง่าย เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานในเชิงปฏิบัติงาน โดยผู้ปฏิบัติสามารถทราบว่าควรปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขอย่างไร ทราบว่าควรทำอะไรก่อนหลังได้อย่างชัดเจนให้สอดคล้องกับนโยบาย หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยอาจประกอบไปด้วยสาระสำคัญ ได้แก่

- หลักเกณฑ์วิธีการปฏิบัติงาน (มาจากกฎ ระเบียบ คำสั่ง ประกาศ ข้อบังคับ มติที่ประชุม เกณฑ์มาตรฐาน เป็นต้น)
- แผนการปฏิบัติงาน เพื่อที่จะบอกว่าในการตรวจสอบคลื่นความถี่นั้นมีทั้งหมดกี่กิจกรรม/ขั้นตอนการปฏิบัติ กิจกรรมใดเริ่มเมื่อใด และสิ้นสุดการปฏิบัติการเมื่อใด เป็นต้น โดยสามารถเขียนในลักษณะ Flow Chart ได้

- เทคนิคการปฏิบัติงาน (ในกรณีที่การปฏิบัติงานต้อง อาศัยกฎ ระเบียบประกาศ เกณฑ์มาตรฐาน แนวคิดทฤษฎี เป็นต้น)
- ช่องทางการร้องเรียน
- แบบฟอร์มตัวอย่างและวิธีการกรอก (ถ้ามี)
- เอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่ผู้ปฏิบัติงานต้องยื่นต่อ กสทช

5.3.2 ข้อเสนอแนะเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศ (Space Segment) และภาคพื้นดิน (Earth Segment) ของ ITU

1. ข้อเสนอแนะต่อการจัดตั้งการตรวจสอบคลื่นความถี่ที่เกี่ยวข้องกับ GSO

จากการศึกษาข้อมูลการตรวจสอบคลื่นความถี่ และข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับ ITU ตามรายละเอียดดังที่กล่าวมา พบว่าการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่ในประเทศไทย ควรมีการจัดตั้งเพื่อให้เกิดการแก้ไขปัญหาการรบกวนสัญญาณคลื่นความถี่และบริหารจัดการตรวจสอบความถี่และการจัดการสเปกตรัมในระบบดาวเทียมที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน รวมถึงการดำเนินการเพื่อให้มีความสอดคล้องกับพันธกิจของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ในการจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุ กระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ประชาชน โดยมีวัตถุประสงค์การดำเนินงานของสถานีตรวจสอบความถี่ดังนี้

- เพื่อตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณวิทยุ (Radio emissions monitoring) ในระบบดาวเทียม ให้เป็นไปตามเงื่อนไขและข้อกำหนดตามกฎหมาย สามารถตรวจสอบและหยุดยั้งคลื่นสัญญาณรบกวนจากการใช้งานคลื่นความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านเทคนิค ยกตัวอย่างเช่น ความถี่ที่ใช้งาน (Frequency) ความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ค่าเบี่ยงเบนทางความถี่ (Frequency deviation) และ ประเภทการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณ (Class of Emission) ซึ่งมีการระบุประเภทการมอดูเลต เป็นต้น
- เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลความถี่ (frequency) และช่องสัญญาณ (channel) ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งาน มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลความถี่ และช่องสัญญาณดังกล่าวถูกใช้โดยใคร ด้วยวิธีการอย่างไร ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะ (characteristic) ของการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณ โดยข้อมูลการใช้งานช่องสัญญาณดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการคลื่นความถี่ที่มีประสิทธิภาพ ปราศจากปัญหาสัญญาณรบกวน ไม่มีการทับซ้อนกันของคลื่นความถี่ที่ใช้งาน และสามารถใช้งานข้อมูลดังกล่าวเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์การใช้งานช่องสัญญาณภายในประเทศและต่างประเทศได้อีกด้วย
- เพื่อติดตามหาสาเหตุของการเกิดสัญญาณรบกวน (Interference) เพื่อสร้างบริการที่มีความเสถียรและปลอดภัย แก่ผู้ใช้บริการ
- เพื่อตรวจสอบและการยุติการให้บริการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณผิดกฎหมาย เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการช่องสัญญาณ ให้สามารถใช้งานช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการให้/หรือรับบริการ
- เพื่อให้ความช่วยเหลือในเหตุการณ์สำคัญ หรือสถานการณ์เฉพาะกิจ (Special Occasions) ยกตัวอย่างเช่น การแข่งขันกีฬา กิจกรรมที่มีการหมุนเวียนระดับประเทศ เช่น การแข่งรถ เป็นต้น ที่มีความต้องการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุในกรณีพิเศษ ซึ่งอาจเกิดคลื่นสัญญาณรบกวน (Interference) หรือการแทรกแซงสัญญาณ (intervening) ในช่วงเวลานั้น ๆ ดังนั้นการตรวจสอบ

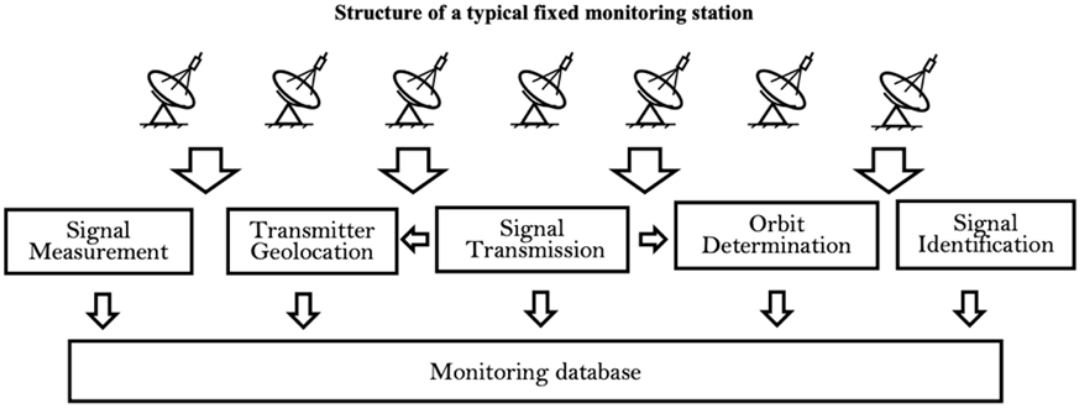
คลื่นความถี่ที่ใช้งานจึงมีความสำคัญในการลดความรุนแรงของการรบกวนของสัญญาณ หรือการทำงานร่วมกันระหว่างทีมงานกำหนดการใช้งานช่องสัญญาณ เพื่อกำหนดการใช้งานช่องสัญญาณเฉพาะกิจได้อย่างเหมาะสมต่อไป

- เพื่อตรวจสอบพื้นที่ครอบคลุมของคลื่นวิทยุ ซึ่งมีค่าความแรงของสัญญาณ และคุณภาพที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยเน้นการตรวจสอบคุณภาพของการได้รับบริการตามพื้นที่ที่อยู่ภายใต้การควบคุมดูแลภายในประเทศ
- เพื่อพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้งานเทคโนโลยีสมัยใหม่ เพื่อใช้ในการบริหารจัดการคลื่นความถี่สำหรับบริการ หรือ ตรวจสอบคลื่นความถี่ที่มีการใช้งาน โดยเปิดให้มีการศึกษาวิธีการใหม่ ๆ เช่นการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ร่วมกับการทดสอบเทคโนโลยีที่ทันสมัย ให้เกิดเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาองค์กร และบุคลากรในองค์กร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

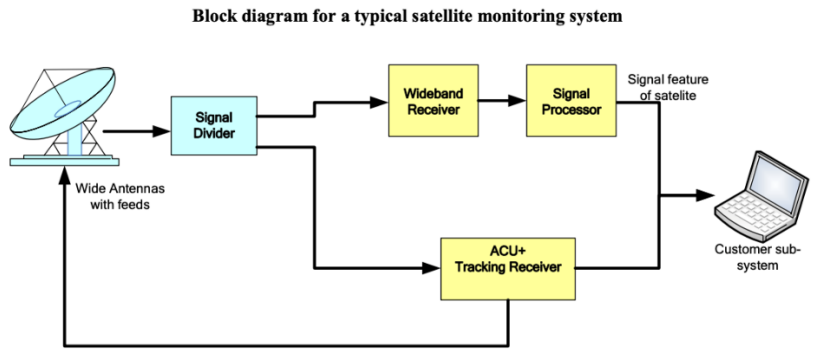
โดยในเบื้องต้นจำนวนสถานีตรวจวัดในประเทศขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การดำเนินงาน พื้นที่จัดตั้งสถานี และงบประมาณในการจัดตั้ง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแนวคิดการปฏิบัติงานในระดับประเทศ โดยวัตถุประสงค์จะเป็นตัวกำหนดจำนวนการติดตั้งสถานี ภารกิจของแต่ละสถานีพื้นที่ติดตั้ง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นในการใช้งาน

ข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคเบื้องต้น

คณะผู้วิจัยฯ เสนอแนะการจัดตั้งส่วนบริหารจัดการตรวจสอบคลื่นความถี่ตามคำแนะนำของ ITU-R SM.2424-0 โดยมีโครงสร้างของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 63 โครงสร้างทั่วไปของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ตามข้อเสนอแนะ ITU-R SM.2424-0



รูปที่ 64 แผนภาพการทำงานของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ตามข้อเสนอแนะ ITU-R SM.2424-0

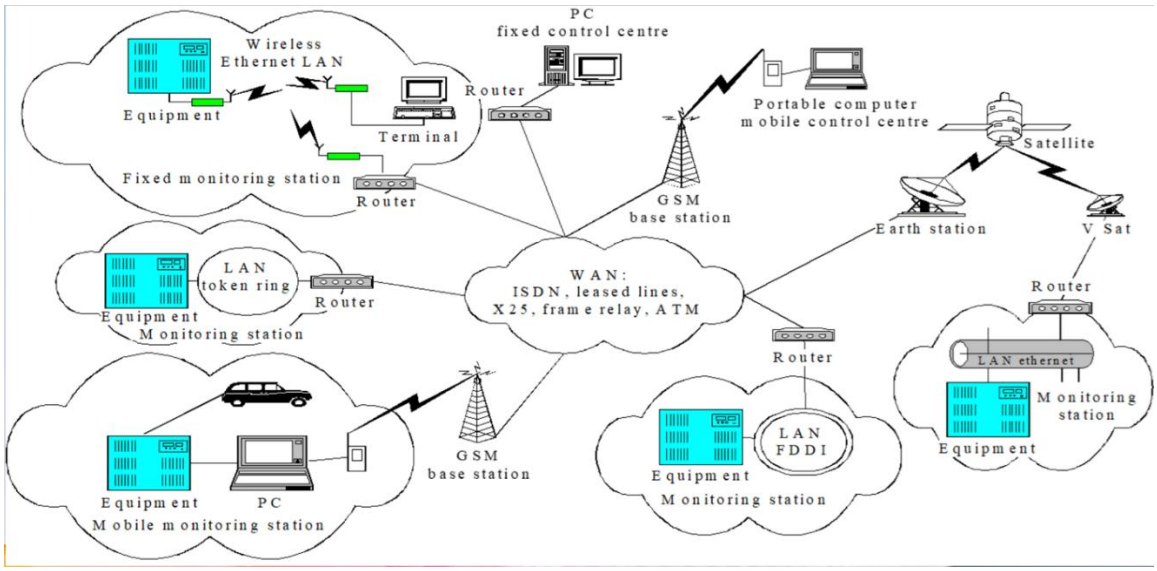
และจากข้อเสนอแนะของ ITU-R SM.1377 มีการกำหนดอุปกรณ์ที่จำเป็นที่สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านการสื่อสารและการจัดการความถี่ โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์ดังนี้

- Spectrum Analyzer ใช้สำหรับวัดและตรวจสอบความถี่ของสัญญาณจากดาวเทียมในช่วงความถี่ L-band, C-band, Ku-band, Ka-band และ V-band เป็นอย่างน้อย และ Sensitivity
- Software-Defined Radio (SDR) เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณที่สามารถปรับแต่งได้หลากหลายสำหรับการวิเคราะห์คลื่นความถี่
- RF Monitoring Receiver สำหรับตรวจสอบสัญญาณ RF ที่ส่งจากดาวเทียมเพื่อระบุแหล่งที่มา ซึ่งจะสัมพันธ์กับเทคนิคที่เลือกใช้งาน
- High-Gain Antenna ในลักษณะสายอากาศแบบจาน (Parabolic Dish Antenna) หรือสายอากาศแบบ Phased Array เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมในวงโคจรต่ำ
- GPS Disciplined Oscillator (GPSDO) สำหรับวัดเวลาและความถี่ โดยอ้างอิงกับระบบ GNSS ช่วยลดความคลาดเคลื่อนในวัดความถี่ของสัญญาณดาวเทียม

และเทคโนโลยีที่เลือกใช้ควรเป็น Geolocation สำหรับระบุตำแหน่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน บูรณาการควบคู่กับ Machine Learning เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการรบกวนและการคาดการณ์การเกิดซ้ำ ในขณะที่ ITU-R SM.1537 ระบุพารามิเตอร์ที่สำคัญอาทิ กำลังส่ง ความถี่ที่ใช้งาน ขนาดของช่องสัญญาณ เป็นต้น ในการนำมาประเมินกับรูปแบบการใช้งานปกติของดาวเทียมดวงนั้น ๆ

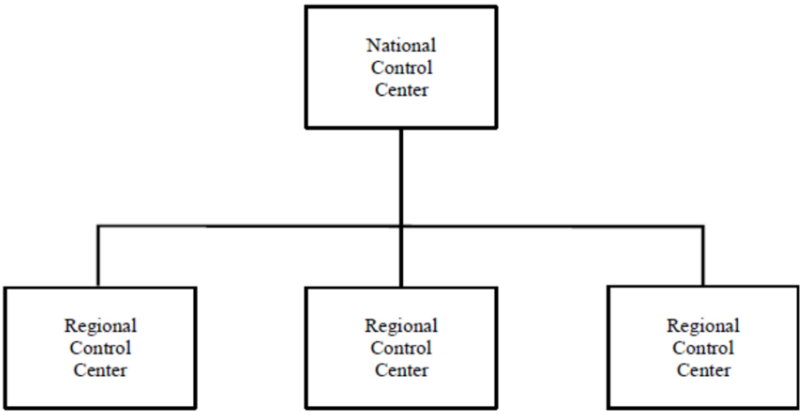
โดยเทคนิค Geolocation ตามข้อเสนอแนะ เน้นใช้เทคนิค TDOA เพื่อให้สามารถระบุแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนได้ ร่วมกับ AI ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ใน 3 ประเด็น ได้แก่

- การตรวจจับสัญญาณรบกวน (Interference Detection) สามารถระบุสัญญาณที่ผิดปกติและแจ้งเตือนในกรณีที่เกิดการรบกวน ด้วยการใช้ Deep Learning ในรูปแบบ Convolutional Neural Networks (CNNs)/Recurrent Neural Networks (RNNs) หรือเทคนิค Supervised Learning
- การระบุแหล่งกำเนิดของสัญญาณ (Source Localization) โดยการใช้ Geolocation Algorithms ระบุตำแหน่งและทิศทางของแหล่งกำเนิดของสัญญาณโดยใช้ข้อมูลจากสถานตรวจสอบหลายแห่ง
- การจัดการคลื่นความถี่ (Spectrum Management) ช่วยประเมินการใช้งานความถี่ในเวลาจริง ด้วยการใช้เทคนิค Reinforcement Learning โดยเรียนรู้จากการทดลองใช้งาน



รูปที่ 65 โครงข่ายของสถานีตรวจสอบความถี่ (ITU Academy-2020)

และจากการศึกษาการดำเนินงานการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่จากการดำเนินงานของสถานีตรวจวัดในต่างประเทศ และข้อเสนอแนะจาก ITU สามารถสรุปได้ว่าสำนักงาน กสทช. ควรมีการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนกลางภายในประเทศ (National Control Center) โดยเป็นส่วนงานที่ดำเนินงานจาก กสทช. ส่วนกลาง ที่มีหน้าที่ในการกำหนดวัตถุประสงค์การดำเนินงาน บริหารจัดการอุปกรณ์และเครื่องมือ ร่วมกับการจัดตั้งส่วนบริหารจัดการตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนภูมิภาค (Regional Control Centers) สำหรับความรับผิดชอบเฉพาะภูมิภาค เป็นรายภูมิภาค โดยมีบุคลากร ระบบควบคุมระยะไกล และระบบตรวจสอบแบบเคลื่อนที่ (mobile monitoring station) เป็นต้น สำหรับทำภารกิจที่มีความแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค และควรมีสถานีตรวจสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 66 แสดงตัวอย่างโครงสร้างศูนย์ควบคุมการตรวจสอบคลื่นความถี่ (ITU Academy – 2020)

สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่แบบประจำที่ (Fixed Monitoring Station)

เป็นระบบที่มีความสำคัญยิ่งในการดำเนินการตรวจวัดคลื่นความถี่ มีการแนะนำให้ระบบตรวจสอบคลื่นความถี่แบบประจำที่ควรจะติดตั้งในพื้นที่ที่ปราศจากคลื่นสัญญาณรบกวน (“clean” electromagnetic environment) รวมถึงเป็นสถานที่ที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งจานรับสัญญาณ สำหรับใช้รับสัญญาณดาวเทียมที่ต้องการเฝ้าระวัง

รูปที่ 67 ตัวอย่างสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่แบบประจำที่ (ITU Academy – 2020)

สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่แบบเคลื่อนย้ายได้ (Transportable monitoring station)

ถือเป็นอุปกรณ์สนับสนุนระบบตรวจสอบคลื่นความถี่แบบประจำที่รูปแบบหนึ่งที่สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานบนรถตรวจสอบคลื่นความถี่ หรือนำไปติดตั้งบนพื้นที่ชั่วคราวบนพื้นที่ที่ครอบคลุมของดาวเทียมที่สนใจนอกพื้นที่ครอบคลุมของสถานีตรวจวัดแบบประจำที่ โดยทั่วไปสามารถนำไปใช้งานบริเวณพื้นที่ชายแดนระหว่างประเทศ บริเวณท่าเรือ หรือพื้นที่สำคัญในภารกิจพิเศษ

สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่แบบเคลื่อนที่ (Mobile monitoring station)

เป็นระบบที่ติดตั้งบนยานพาหนะตรวจสอบ โดยสามารถใช้งานได้ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เหมาะสำหรับใช้งานตรวจสอบคลื่นความถี่ (Spectrum monitoring) โดยเน้นไปที่ Signal homing และ Direction finding ของสัญญาณรบกวนหรือเครื่องส่งที่สนใจ

รูปที่ 68 ตัวอย่างสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่แบบเคลื่อนที่ (ITU Academy – 2020)

สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ทางอากาศ (Aerial monitoring station)

ระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ทางอากาศ เป็นส่วนเสริมของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่แบบเคลื่อนที่ได้ โดยการติดตั้งอุปกรณ์บน UAV หรือ ยานพาหนะขนส่งทางอากาศ ตัวระบบมีความเหมาะสมในการหลบสัญญาณไม่พึงประสงค์ภาคพื้นดิน และสามารถใช้งานเพื่อตรวจสอบสัญญาณในรูปแบบ line-of-sight อย่างไรก็ตามการใช้ระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ทางอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง UAV ควรมีความระมัดระวังในเรื่องข้อกฎหมายการบิน และเสริมด้วยอุปกรณ์ตรวจสอบคลื่นความถี่แบบพกพา เป็นอุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกในการหาจุดกำเนิดของสัญญาณรบกวน หรือเครื่องส่งที่สนใจเฉพาะ

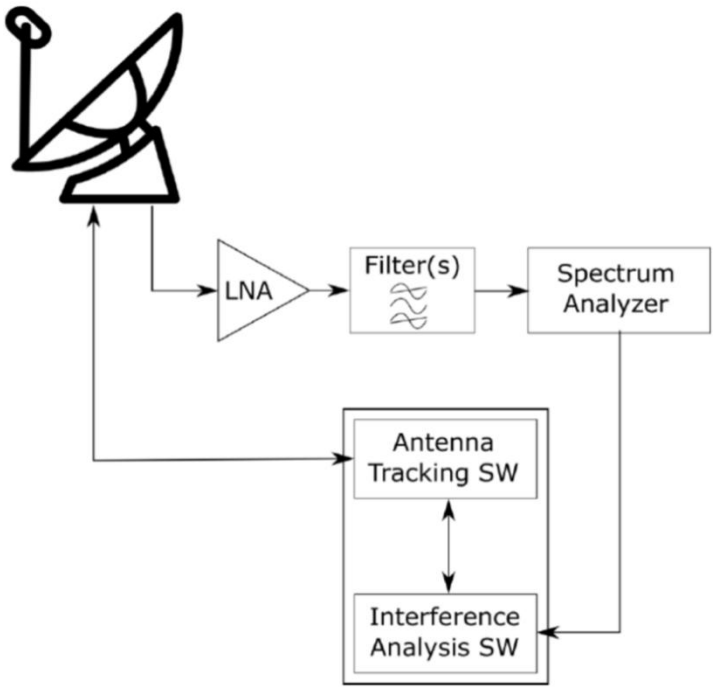
รูปที่ 69 ตัวอย่างอุปกรณ์ตรวจสอบคลื่นความถี่แบบพกพา (ITU Academy – 2020)

2. ข้อเสนอแนะต่อการจัดตั้งการตรวจสอบคลื่นความถี่ที่เกี่ยวข้องกับ NGSO

การออกแบบระบบเพื่อตรวจสอบและตรวจจับการใช้งานที่ผิดกฎหมายของดาวเทียมในวงโคจรที่ไม่อยู่กับที่ (NGSO) จำเป็นต้องใช้แนวทางแบบหลายชั้นที่ผสานรวม สถานีตรวจสอบภาคพื้นดิน การเฝ้าระวังจากอวกาศ การวิเคราะห์ข้อมูล และกรอบความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน โดยมีรายละเอียดในภาพรวมดังนี้

1. สถานีตรวจสอบภาคพื้นดิน ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานหลักของระบบ โดยจะประกอบด้วยการตรวจจับและติดตามดาวเทียม รวมถึงสัญญาณอื่นๆ
2. อุปกรณ์เฝ้าระวังจากอวกาศ หมายถึงเซ็นเซอร์ที่อยู่ในอวกาศเพื่อช่วยติดตามตำแหน่งและกิจกรรมของดาวเทียม โดยจะช่วยเฝ้าระวังตรวจสอบดาวเทียมที่เวลาจริง
3. ศูนย์ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล ทำหน้าที่ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลจากทั้งอุปกรณ์ภาคพื้นดินและอวกาศเพื่อระบุการกระทำผิด โดยรวบรวมข้อมูลจากสัญญาณ RF การติดตามวงโคจรและรายงานสัญญาณรบกวน และตรวจสอบด้วยการใช้ Machine Learning ตรวจจับพฤติกรรมผิดปกติของดาวเทียมและพัฒนาโมเดลเพื่อทำนายกิจกรรมที่อาจเข้าข่ายการกระทำผิด จากแนวโน้มและข้อมูลในอดีต นอกจากนี้ยังมีหน้าที่สร้างสัญญาณเตือนกิจกรรมที่น่าสงสัย และส่งต่อให้กับหน่วยงานบังคับใช้กฎหมายต่อไป
4. กรอบการรายงานและบังคับใช้กฎหมายแบบร่วมมือ นั้นคือการแบ่งปันข้อมูลร่วมกัน อาทิ หน่วยงานกำกับดูแล หรือการทำงานร่วมกันกับผู้ให้บริการดาวเทียม พร้อมทั้งกำหนดกลไกทางกฎหมายเพื่อบังคับใช้งาน

โดยเบื้องต้นโครงสร้างของระบบตรวจจับคลื่นความถี่จากดาวเทียม NGSO จะมีองค์ประกอบดังนี้



รูปที่ 70 โครงสร้างของระบบตรวจสอบ NGSO (ที่มา ESA NGSO-Sense | ESA CSC)

ซึ่งจะมีองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของ NGSO Monitoring ก็คือระบบ Antenna Tracking SW มีบทบาทสำคัญในการรักษาความแม่นยำในการเชื่อมต่อระหว่างสถานีภาคพื้นดินและดาวเทียมที่โคจรอย่างรวดเร็ว เพื่อใช้เซ็นเซอร์และอัลกอริธึมการคำนวณวงโคจรเพื่อปรับมุมของเสาอากาศให้ตรงกับดาวเทียมเป้าหมาย ด้วยการใช้ข้อมูล Two Line Element เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ตำแหน่งของดาวเทียม และปรับแต่งข้อมูลด้วย Doppler Effect ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของดาวเทียม และใช้จานรับสัญญาณแบบ Phase Array

เพื่อระบุการใช้งานที่ผิดกฎหมาย จำเป็นต้องเฝ้าติดตามสัญญาณดาวเทียม การดำเนินงานของสถานีภาคพื้นดิน และการใช้คลื่นความถี่ โดยมีเทคนิคที่สำคัญดังนี้

- การตรวจสอบคลื่นความถี่ (Spectrum Monitoring) ตรวจจับการส่งสัญญาณที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือการใช้คลื่นความถี่ผิดกฎหมายใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) หรือซอฟต์แวร์กำหนดคลื่นวิทยุ (Software Defined Radio—SDR) เปรียบเทียบสัญญาณที่ตรวจพบกับการจัดสรรความถี่ที่ได้รับอนุญาตในฐานข้อมูล ITU
- การยืนยันตัวตนของสัญญาณ (Signal Authentication) ตรวจสอบสัญญาณนั้นมาจากผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตหรือไม่ โดยการวิเคราะห์รูปแบบการมอดูเลต (Modulation) และการเข้ารหัสสัญญาณที่ได้รับอนุญาต
- การระบุตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน (Geolocation of Ground Stations) ค้นหาตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณที่ไม่ได้รับอนุญาต ด้วยเทคนิค TDOA (จากการติดตั้งสถานีเฝ้าระวังอย่างน้อย 3 แห่ง) โดยเปรียบเทียบตำแหน่งที่ตรวจพบกับสถานีภาคพื้นดินที่ได้รับอนุญาต

- การตรวจจับสัญญาณรบกวน (Interference Detection) ตรวจสอบการรบกวนที่อาจมีผลกระทบต่อบริการดาวเทียมที่ได้รับอนุญาต โดยเฝ้าติดตามคุณภาพการให้บริการ (QoS) สำหรับผู้ใช้ที่ถูกต้องหรือใช้ AI ในการตรวจสอบสัญญาณเพื่อค้นหาคลื่นแปลกปลอมหรือรูปแบบสัญญาณที่ผิดปกติ

ดังนั้นวิธีการตรวจสอบคลื่นสัญญาณจะดำเนินการดังนี้

ตารางที่ 18 การตรวจสอบสัญญาณเพื่อค้นหาคลื่นแปลกปลอม

กิจกรรมที่ผิดกฎหมาย	วิธีการตรวจจับ
การเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต (ผู้ใช้ที่ไม่มีใบอนุญาตเข้าถึงเครือข่ายดาวเทียม)	ตรวจสอบคลื่นความถี่ และยืนยันตัวตนของการส่งสัญญาณ (Uplink Authentication)
การก่อกวนสัญญาณ (Signal Jamming)	ตรวจจับสัญญาณรบกวน (Interference Detection) และระบุตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน (Geolocation)
การให้บริการบรอดแบนด์โดยไม่ได้รับอนุญาต	การวิเคราะห์รูปแบบการรับส่งสัญญาณ (Traffic Pattern Analysis) และการตรวจสอบผู้ใช้งาน (Customer Validation)
การจารกรรมที่ผิดกฎหมาย (การสกัดกั้นสัญญาณดาวเทียมโดยไม่ได้รับอนุญาต)	การตรวจสอบการเข้ารหัส (Encryption Monitoring) และการตรวจจับความผิดปกติ (Anomaly Detection)
การใช้คลื่นความถี่โดยไม่มีใบอนุญาต	การบังคับใช้กฎระเบียบด้านคลื่นความถี่

ระบบจะต้องสามารถช่วยจัดการการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ ป้องกันการรบกวนสัญญาณ โดยรองรับการตรวจจับและระบุตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณที่ไม่ได้รับอนุญาต รวมถึงช่วยตรวจสอบการดำเนินงานของผู้ให้บริการสัญญาณให้เป็นไปตามเงื่อนไขใบอนุญาต โดยคุณสมบัติที่สำคัญ

- **การล่าตัวการรบกวน (Interference Hunting)** ใช้สถานีตรวจสอบทั้งแบบติดตั้งถาวร แบบเคลื่อนที่ และแบบพกพาเพื่อตรวจหาการรบกวนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่างๆ
- **การตรวจจับเครื่องส่งสัญญาณผิดกฎหมาย** ระบบสามารถเปรียบเทียบข้อมูลจากฐานข้อมูลการจัดการคลื่นความถี่กับการวัดค่าจริงเพื่อระบุอุปกรณ์ที่ไม่ได้รับอนุญาต
- **การตรวจสอบการปฏิบัติตามใบอนุญาต** วัดค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดในใบอนุญาต เช่น กำลังส่งและการครอบคลุมของเครือข่าย
- **การวัดความหนาแน่นของการใช้คลื่นความถี่** ใช้ในการวางแผนและจัดสรรความถี่ให้เหมาะสม

และประเภทของสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับดาวเทียม NGSO ที่ควรจะมีสำหรับเฝ้าระวัง (อ้างอิงจาก Rohde & Schwarz Regulatory Spectrum Monitoring) ได้แก่

- **สถานีตรวจสอบถาวร (Fixed Stations)** ใช้สำหรับการตรวจสอบคลื่นความถี่อย่างต่อเนื่อง
- **สถานีตรวจสอบเคลื่อนที่ (Mobile Stations)** ใช้ในยานพาหนะเพื่อตรวจสอบในพื้นที่ที่ต้องการ
- **สถานีตรวจสอบพกพา (Portable Equipment)** อุปกรณ์ขนาดเล็กที่ใช้ในพื้นที่จำกัดหรือยากต่อการเข้าถึง
- **สถานีตรวจสอบทางอากาศ (Aerial Monitoring)** ใช้โดรนเพื่อตรวจสอบลิงก์สัญญาณไมโครเวฟและพื้นที่ที่ระบบภาคพื้นดินเข้าไม่ถึง

- **ศูนย์ควบคุม (Control Centers)**ทำหน้าที่ควบคุมเครือข่ายสถานีตรวจสอบทั้งหมดและประสานงานกับระบบจัดการคลื่นความถี่

ซึ่งมีความสอดคล้องกับระบบ LS Observation (ระบบของบริษัท LS telecom ประเทศเยอรมัน) พบว่ามีคุณสมบัติดังนี้

- **การจัดการคลื่นความถี่แบบบูรณาการ** ระบบสามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลการจัดการคลื่นความถี่เพื่อตรวจสอบว่าการใช้คลื่นเป็นไปตามที่ได้รับอนุญาต เพื่อเปรียบเทียบคลื่นความถี่ที่ได้รับอนุญาติ
- **การตรวจสอบการใช้งานคลื่นความถี่:** ตรวจหาความถี่ที่ไม่ได้ใช้หรือใช้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถบริหารจัดการคลื่นความถี่ได้อย่างเหมาะสม
- **การวิเคราะห์ข้อมูลอัตโนมัติ:** ระบบสามารถสกัดข้อมูลและสร้างรายงานโดยวิเคราะห์จาก AI โมเดล เพื่อช่วยให้หน่วยงานสามารถตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการคลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3.3 กรณีศึกษาจากการออกแบบตามข้อเสนอแนะเชิงเทคนิค

คลื่นความถี่เป็นทรัพยากรที่มีจำกัดและจำเป็นต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียม ระบบติดตามการใช้คลื่นความถี่ (Regulatory Spectrum Monitoring System) ช่วยให้สามารถบริหารจัดการทรัพยากรนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการรบกวนสัญญาณ ป้องกันการใช้ความถี่ซ้ำซ้อน และส่งเสริมการใช้งานอย่างเป็นธรรม นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในด้านความมั่นคงของประเทศและการควบคุมมาตรฐานสากล โดยระบบดังกล่าวมีวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

- ตรวจสอบและติดตามการใช้งานคลื่นความถี่ของดาวเทียมทั้งภาครัฐและเอกชน
- ควบคุมการใช้ความถี่ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของหน่วยงานกำกับดูแล เช่น ITU และ กสทช.
- ป้องกันการรบกวนสัญญาณจากระบบอื่นที่ใช้ความถี่ใกล้เคียง
- วิเคราะห์แนวโน้มการใช้งานเพื่อสนับสนุนการวางแผนและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการสื่อสาร
- สนับสนุนระบบเฝ้าระวังและรักษาความปลอดภัยทางไซเบอร์

เนื่องจากระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมในปัจจุบันมีความซับซ้อน การออกแบบระบบติดตามการใช้คลื่นความถี่จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัย อาทิเช่น

- Software-Defined Radio (SDR) ใช้ในการวิเคราะห์และปรับแต่งการรับ-ส่งสัญญาณ
- Machine Learning และ AI วิเคราะห์แนวโน้มการใช้งานและตรวจจับการรบกวนสัญญาณ
- Geolocation Technology ใช้ระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณผิดปกติ
- Big Data Analytics ประมวลผลข้อมูลจำนวนมากเพื่อให้เห็นภาพรวมของการใช้คลื่นความถี่
- Cloud Computing จัดเก็บและประมวลผลข้อมูลแบบกระจายตัวเพื่อรองรับระบบที่มีขนาดใหญ่

โดยแนวคิดการออกแบบระบบติดตามการใช้คลื่นความถี่ในปัจจุบัน เป็นการบูรณาการเทคโนโลยีข้างต้น เพื่อดำเนินการตามกระบวนการดังต่อไปนี้

1. การเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ ใช้เซ็นเซอร์และเสาสัญญาณที่สามารถตรวจจับและบันทึกการใช้ความถี่ในช่วงต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง
2. การวิเคราะห์และตรวจจับการรบกวน ใช้ AI และ Machine Learning เพื่อตรวจจับรูปแบบการรบกวนหรือการใช้คลื่นความถี่ที่ผิดปกติ

3. การแจ้งเตือนอัตโนมัติ เมื่อพบการใช้ความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือมีการรบกวน ระบบจะส่งแจ้งเตือนให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
4. การควบคุมและจัดสรรความถี่แบบอัจฉริยะ ใช้กระบวนวิธีในการบริหารจัดการความถี่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
5. การบูรณาการกับระบบดาวเทียมและภาคพื้นดิน ให้ระบบสามารถสื่อสารและทำงานร่วมกับสถานีภาคพื้นดินและดาวเทียมที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้าข้อมูลทางอินเตอร์เน็ตพบว่า ในปัจจุบันมีหลายบริษัทที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบติดตามการใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ครอบคลุมระบบสื่อสารดาวเทียมและระบบเซลลูลาร์ 5G/6G ในที่นี้ขอยกตัวอย่างระบบจาก Rohde & Schwarz[32]

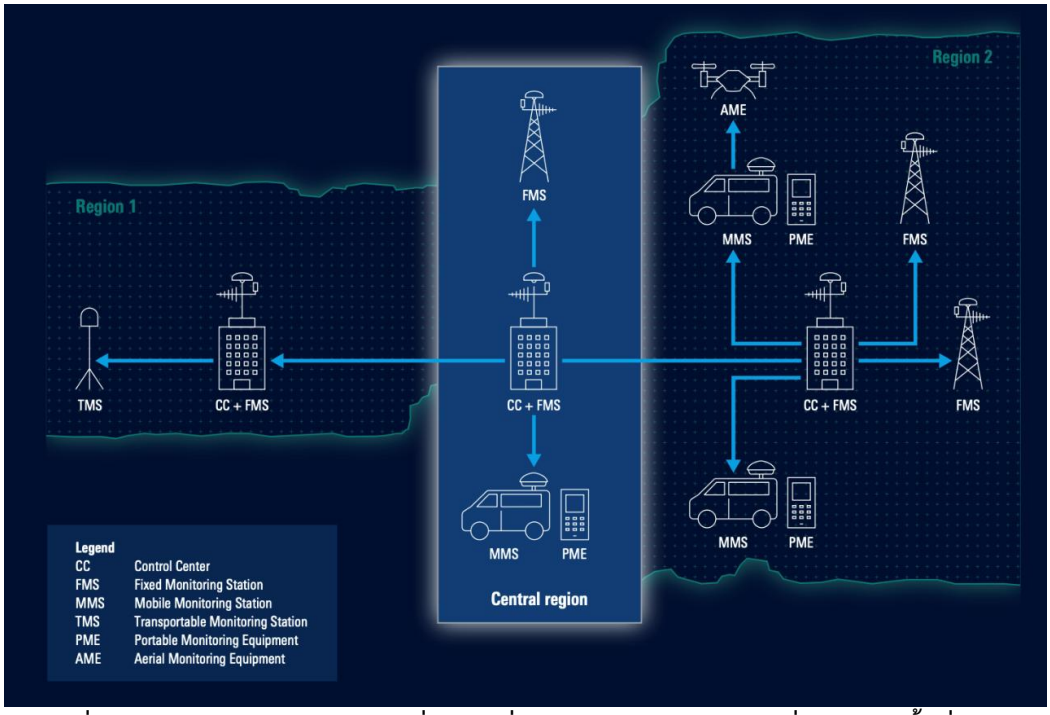
ระบบตรวจสอบและบริหารจัดการคลื่นความถี่ของ Rohde & Schwarz ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำในด้านเทคโนโลยีและการสื่อสาร ประกอบด้วยเทคโนโลยีที่มีความสามารถดังต่อไปนี้

1. **การติดตามสัญญาณแบบเรียลไทม์ (Real-time Spectrum Monitoring)**
   - ระบบสามารถตรวจสอบและบันทึกการใช้คลื่นความถี่ได้ตลอดเวลา
   - ช่วยให้หน่วยงานสามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ผิดปกติ เช่น การรบกวนสัญญาณ หรือการใช้คลื่นที่ไม่ได้รับอนุญาตได้อย่างรวดเร็ว
   - รองรับการใช้งานร่วมกับเครือข่ายสถานีตรวจสอบหลายแห่ง ทำให้สามารถติดตามการใช้ความถี่ได้ครอบคลุมพื้นที่กว้าง
2. **ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ (Automated Alerts and Notifications)**
   - หากพบการรบกวนสัญญาณหรือการใช้คลื่นความถี่ที่ผิดกฎหมาย ระบบสามารถแจ้งเตือนผู้ดูแลผ่านอินเทอร์เฟซหรืออีเมล
   - สามารถกำหนดค่าการแจ้งเตือนให้เหมาะสมกับประเภทของปัญหา เช่น การแจ้งเตือนระดับต่ำสำหรับการใช้คลื่นที่ใกล้ขีดจำกัด และการแจ้งเตือนระดับสูงเมื่อพบการใช้คลื่นที่ผิดกฎหมาย
3. **การใช้ AI และ Machine Learning ในการวิเคราะห์ (AI and ML for Spectrum Analysis)**
   - ระบบสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการใช้คลื่นความถี่และตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้น
   - ช่วยแยกแยะระหว่างการรบกวนสัญญาณที่เป็นอันตรายกับการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความถี่ที่เกิดขึ้นตามปกติ
   - สามารถคาดการณ์แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่ในอนาคตเพื่อช่วยในการวางแผนและบริหารจัดการ
4. **การวิเคราะห์การใช้คลื่นความถี่ (Occupancy Measurements)**
   - ระบบสามารถตรวจสอบว่าคลื่นความถี่ที่ได้รับการจัดสรรถูกใช้งานจริงหรือไม่
   - สามารถวิเคราะห์ระดับการใช้คลื่นในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ทราบว่ามีช่องว่าง (white spaces) ที่สามารถนำไปใช้ในอนาคตหรือไม่
   - สนับสนุนการวางแผนการจัดสรรความถี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

[32] Regulatory Spectrum Monitoring: Solution Overview (https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_brochures_and_datasheets/brochure/3683_9563_62/Rohde-Schwarz-Regulatory-Spectrum-Monitoring-bro-3683-9563-62-v0102-web.pdf)

5. **การตรวจจับและระบุตำแหน่งผู้ส่งสัญญาณที่ผิดกฎหมาย (Illegal Transmitter Detection and Geolocation)**

- ระบบสามารถเปรียบเทียบข้อมูลจากฐานข้อมูลความถี่ที่ได้รับอนุญาตกับสัญญาณที่ตรวจพบ
- ใช้เทคนิค **Direction Finding (DF)** หรือ **TDOA (Time Difference of Arrival)** เพื่อระบุตำแหน่งที่มาของสัญญาณที่ไม่ได้รับอนุญาต
- ช่วยให้หน่วยงานสามารถดำเนินมาตรการทางกฎหมายต่อผู้กระทำผิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 71 โครงสร้างระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ของ Rohde & Schwarz ที่ครอบคลุมพื้นที่กว้าง

องค์ประกอบของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ตามที่ปรากฏในรูปที่ 71 ประกอบด้วย

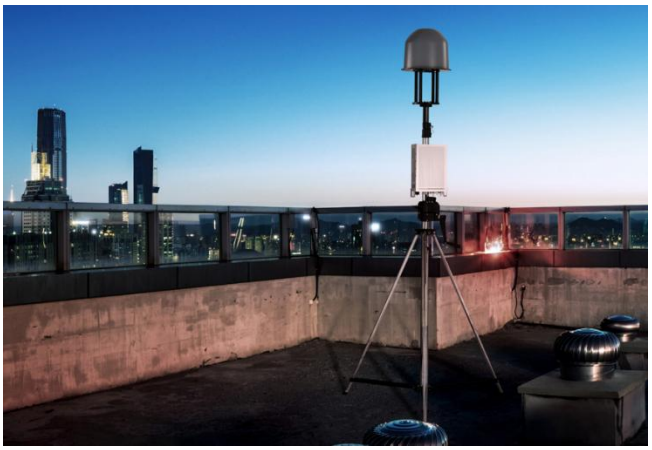
1. Fixed Monitoring Stations (สถานีตรวจสอบแบบติดตั้งประจำที่) เป็นสถานีตรวจจับหลักที่ติดตั้งอยู่กับที่และสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยติดตั้งสายอากาศที่มีความสามารถในการรับสัญญาณจากระยะไกล เหมาะสำหรับการเฝ้าระวังสัญญาณในพื้นที่กว้าง และการตรวจจับการรบกวนสัญญาณที่เกิดขึ้นเป็นประจำ และสามารถควบคุมจากระยะไกลหรือทำงานโดยอัตโนมัติ

รูปที่ 72 สถานีตรวจสอบแบบติดตั้งประจำที่

2. Mobile Monitoring Stations (สถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่) เป็นสถานีที่ติดตั้งในรถยนต์หรือยานพาหนะ เพื่อให้สามารถเข้าถึงพื้นที่ที่สถานีถาวรไม่สามารถตรวจสอบได้ โดยใช้สายอากาศที่สามารถติดตามและตรวจจับสัญญาณระหว่างการเคลื่อนที่ เหมาะสำหรับการติดตามแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ผิดกฎหมาย หรือการตรวจจับการรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว

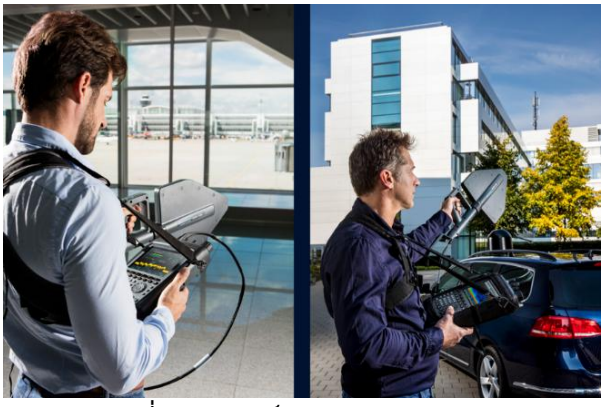
รูปที่ 73 สถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่

3. Transportable Monitoring Stations (สถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนย้ายได้) มีขนาดเล็กกว่าสถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่ และสามารถติดตั้งได้ชั่วคราวในพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบเฉพาะกิจ ใช้สำหรับตรวจสอบการใช้ความถี่ในงานสำคัญ เช่น งานกีฬา การประชุมระหว่างประเทศ หรือพื้นที่ที่มีการใช้งานคลื่นความถี่หนาแน่น สามารถควบคุมจากระยะไกลและทำงานแบบอัตโนมัติ



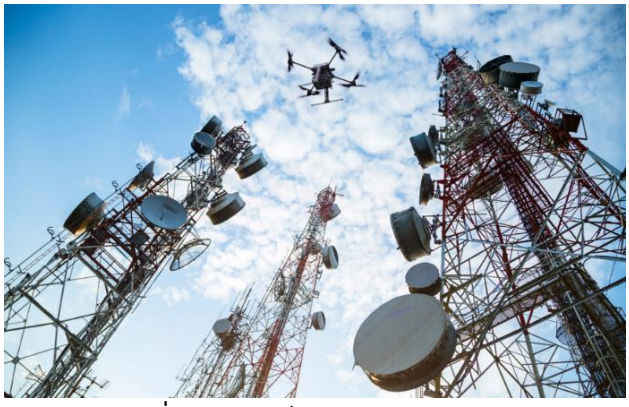
รูปที่ 74 สถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนย้ายได้

4. Portable Monitoring Equipment (อุปกรณ์ตรวจสอบแบบพกพา) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถถือไปใช้งานในพื้นที่จำกัด เช่น ภายในอาคาร หรือพื้นที่ที่เข้าถึงยาก รองรับการวิเคราะห์สัญญาณในช่วงความถี่ที่กว้าง และสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์ ใช้สำหรับการติดตามสัญญาณผิดกฎหมายระยะใกล้ หรือการตรวจสอบการรบกวนสัญญาณเฉพาะจุด



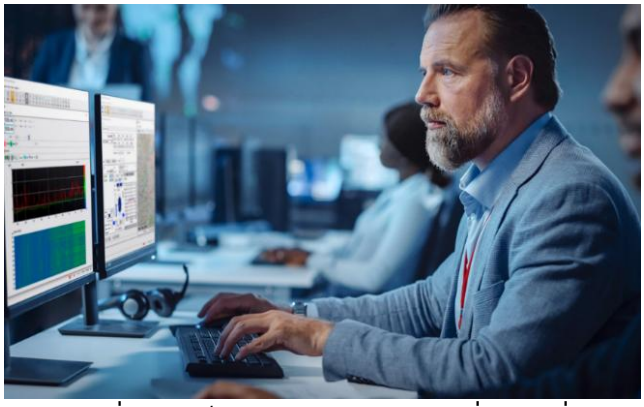
รูปที่ 75 อุปกรณ์ตรวจสอบแบบพกพา

5. Aerial Monitoring Equipment (อุปกรณ์ตรวจสอบทางอากาศ) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนโดรน (UAV) หรืออากาศยาน เพื่อใช้ตรวจสอบสัญญาณในพื้นที่ที่เข้าถึงยาก ใช้สำหรับตรวจจับและระบุตำแหน่งของคลื่นความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต เช่น การส่งสัญญาณผิดกฎหมายจากบนอาคารสูง ช่วยให้สามารถตรวจสอบเครือข่าย ไมโครเวฟลิงก์ (Microwave Links) และการสื่อสารในย่านความถี่สูงได้อย่างแม่นยำ



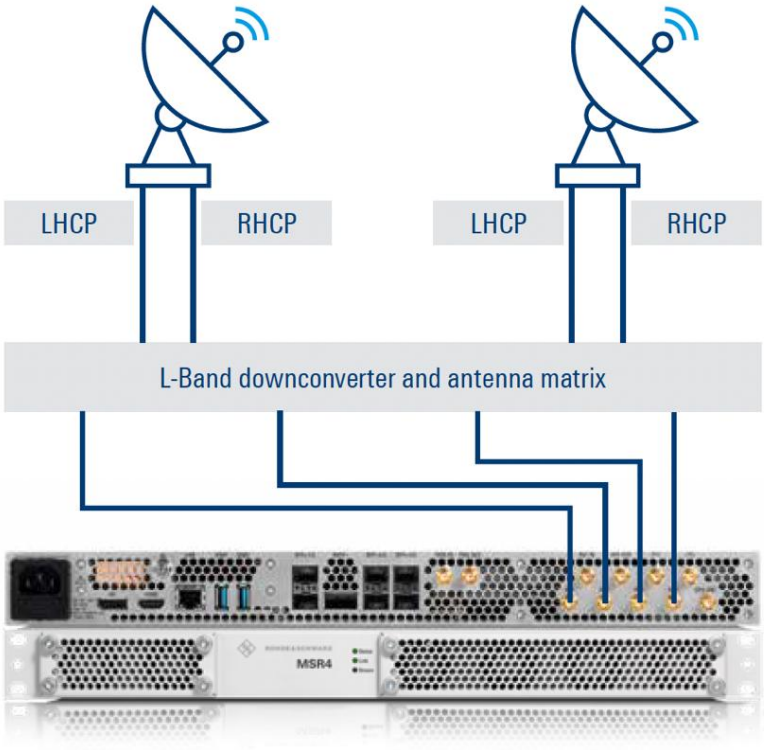
รูปที่ 76 อุปกรณ์ตรวจสอบทางอากาศ

6. Control Centers (ศูนย์ควบคุมระบบตรวจสอบคลื่นความถี่) เป็นศูนย์กลางที่รวบรวมข้อมูลจากสถานีตรวจสอบทุกประเภท และใช้ในการวิเคราะห์และบริหารจัดการคลื่นความถี่สามารถควบคุมสถานีตรวจสอบจากระยะไกล และตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบแบบเรียลไทม์ ใช้เป็นจุดศูนย์กลางในการวางแผนและดำเนินการตรวจสอบคลื่นความถี่ทั่วประเทศ

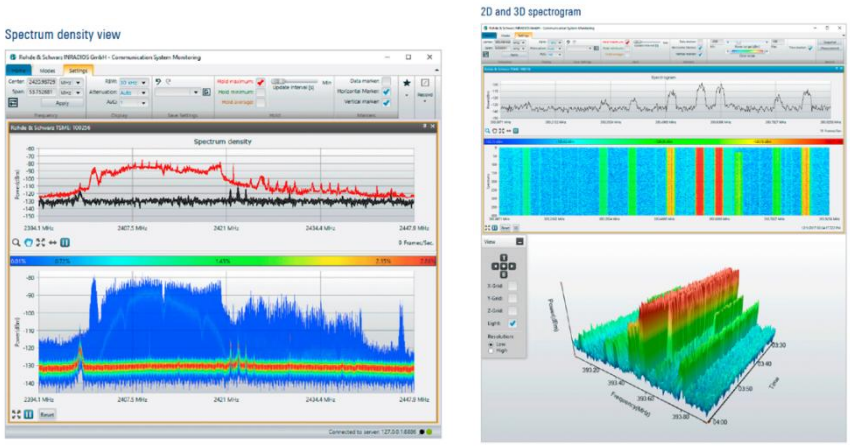


รูปที่ 77 ศูนย์ควบคุมระบบตรวจสอบคลื่นความถี่

ในส่วนของการประมวลผลสัญญาณดาวเทียม Rohde & Schwarz ได้พัฒนาระบบที่เรียกว่า R&S®SATCOM Link Observer[33] ซึ่งประกอบด้วย R&S®MSR4 multipurpose satellite receiver และ R&S®GSACSM ซอฟต์แวร์[34] เพื่อช่วยในการวางแผน ติดตามสถานะ ให้บริการ และตรวจสอบการใช้งานคลื่นความถี่ดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีสถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อดังแสดงในรูปที่ 78 และตัวอย่างฟังก์ชันการทำงานในรูปที่ 79 ถึงรูปที่ 81



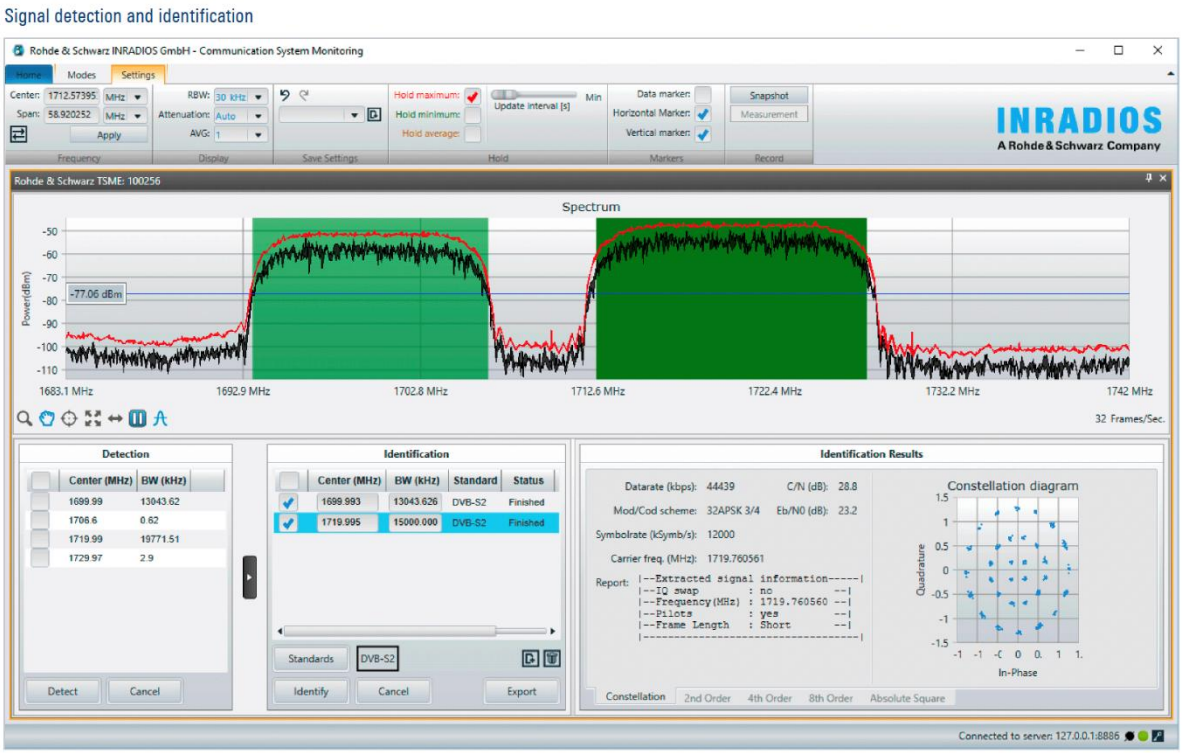
รูปที่ 78 รูปแบบการเชื่อมต่อ R&S®SATCOM Link Observer เข้ากับระบบสื่อสารดาวเทียม



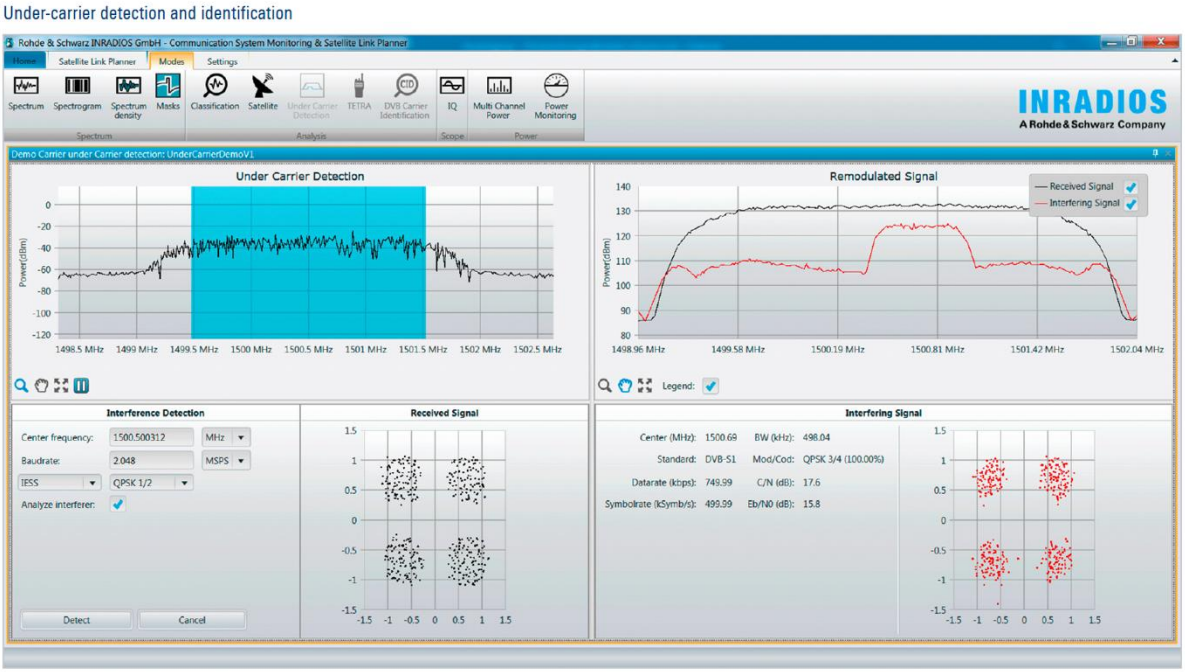
รูปที่ 79 การวัดค่าและแปลความสเปคตรัมของสัญญาณดาวเทียมที่ซับซ้อน

[33] https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_brochures_and_datasheets/brochure/3684_1450_62/RS-Bro-SATCOM-Link-Observer-3684-1450-62-v0200.pdf

[34] https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_brochures_and_datasheets/product_brochure/3683_4532_12/GSACSM_bro_en_3683-4532-12_v0200.pdf



รูปที่ 80 การสแกนความถี่เพื่อหาและระบุสเปคตรัมที่ต้องการโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 81 การตรวจจับและระบุสัญญาณรบกวนแบบ under-carrier

ระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ของ Rohde & Schwarz ถูกนำไปใช้งานจริงในหลายด้านเพื่อบริหารจัดการคลื่นความถี่ ป้องกันการรบกวน และสนับสนุนการใช้งานที่เป็นธรรม โดยมีการประยุกต์ใช้งานที่สำคัญดังนี้

1. การตรวจจับสัญญาณรบกวนและหาต้นตอสัญญาณที่ผิดปกติ (Interference Hunting) ตรวจสอบการรบกวนสัญญาณที่เกิดจากอุปกรณ์ผิดพลาดหรือไม่ได้มาตรฐาน หรือสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ที่ใช้งานคลื่นความถี่เดียวกันหรือใกล้เคียง ด้วยการใช้ AI วิเคราะห์รูปแบบสัญญาณที่ผิดปกติ เพื่อช่วยแยกแยะระหว่างสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นโดยเจตนาและอุบัติเหตุ โดยแนวทางการใช้งานของระบบจะเป็นดังนี้

- ใช้สถานีตรวจสอบแบบถาวร (Fixed Monitoring Stations) เพื่อตรวจสอบและบันทึกข้อมูลการใช้คลื่นความถี่ในพื้นที่ที่มีปัญหาการรบกวนสัญญาณ
- ใช้สถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนที่ (Mobile Monitoring Stations) เพื่อติดตามต้นตอของสัญญาณรบกวนในพื้นที่ที่ไม่ได้ครอบคลุมโดยสถานีประจำที่

2. การควบคุมและบังคับใช้กฎหมายด้านความถี่วิทยุ (Detection of Illegal Transmitter) ตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่โดยไม่ได้รับอนุญาตหรือการละเมิดข้อกำหนดด้านการปล่อยสัญญาณของอุปกรณ์สื่อสาร ด้วยเทคโนโลยี Geolocation และ Direction Finding (DF) เพื่อระบุตำแหน่งผู้ใช้คลื่นความถี่ผิดกฎหมาย และเปรียบเทียบข้อมูลจากฐานข้อมูลของหน่วยงานกำกับดูแล กับสัญญาณที่ตรวจพบ หากพบว่าไม่มีใบอนุญาต ระบบสามารถแจ้งเตือนและดำเนินการทางกฎหมายต่อผู้กระทำผิด โดยใช้สถานีตรวจสอบแบบพกพา (Portable Monitoring Equipment) เพื่อตรวจจับสัญญาณผิดกฎหมายในอาคารหรือพื้นที่ที่เข้าถึงยาก

3. การสนับสนุนกิจกรรมขนาดใหญ่ เช่น งานกีฬาและการประชุมระหว่างประเทศ (Assistance for Special Events) ซึ่งมีผู้ใช้คลื่นความถี่จำนวนมาก ทำให้เกิดความแออัดและการรบกวนสัญญาณ โดยใช้เทคโนโลยี AI และ Machine Learning เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการใช้คลื่นความถี่และแนะนำวิธีจัดสรรคลื่นให้เหมาะสม และใช้งานสถานีตรวจสอบแบบเคลื่อนย้ายได้ (Transportable Monitoring Stations) ติดตั้งบริเวณสถานที่จัดงานเพื่อตรวจสอบสัญญาณที่ใช้งานอยู่ เช่นการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกหรือฟุตบอลโลก ที่ต้องบริหารจัดการคลื่นความถี่ให้กับผู้สื่อข่าว ผู้ถ่ายทอดสด และเจ้าหน้าที่ หรือการประชุมสุดยอดระหว่างประเทศที่มีการใช้ระบบสื่อสารพิเศษเพื่อความปลอดภัยของบุคคลสำคัญ

4. การเฝ้าระวังคลื่นความถี่ในระบบสื่อสารสาธารณะและเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ (Verification of License-Compliant Operation) อาทิบางพื้นที่อาจมีความแออัดของคลื่นความถี่ ส่งผลให้คุณภาพสัญญาณลดลง หรือผู้ให้บริการโทรคมนาคมอาจไม่ได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดของใบอนุญาต โดยตรวจวัดคุณภาพของสัญญาณที่ปล่อยจากเสาส่ง (Cellular Network Analysis) และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดจากการใช้สถานีตรวจสอบแบบถาวรและแบบเคลื่อนที่

5. การสนับสนุนภารกิจด้านความมั่นคงและการป้องกันประเทศ (National Security and Defense) เช่น การใช้สัญญาณสื่อสารโดยกลุ่มที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลุ่มอาชญากรรม หรือผู้ก่อการร้าย หรือความจำเป็นในการปกป้องการสื่อสารทางทหารจากการรบกวนสัญญาณ ด้วยการใช้สถานีตรวจสอบแบบพกพาและทางอากาศ (Aerial Monitoring Equipment) เพื่อตรวจจับสัญญาณต้องสงสัยในพื้นที่ห่างไกล

จะเห็นได้ว่า ระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ของ Rohde & Schwarz ถูกนำไปใช้จริงในหลายด้าน ทั้งการป้องกันการรบกวนสัญญาณ การควบคุมและบังคับใช้กฎหมาย การบริหารจัดการคลื่นความถี่ในกิจกรรมสำคัญ และการสนับสนุนด้านความมั่นคง มีความครอบคลุมการติดตาม วิเคราะห์ และจัดการคลื่นความถี่ ทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ ลดปัญหาการรบกวน และสนับสนุนการใช้งานที่เป็นธรรมตามข้อกำหนดของหน่วยงานกำกับดูแล ด้วยเทคโนโลยีที่ล้ำสมัยและความสามารถในการปรับแต่งให้เหมาะสมกับความต้องการของแต่ละหน่วยงาน เช่น AI, Geolocation, และ Machine Learning ทำให้ระบบนี้เป็นเครื่องมือสำคัญในการบริหารจัดการคลื่นความถี่ในระดับประเทศและระดับโลก

บทที่ 6 ข้อกำหนดและมาตรฐาน
และวิธีการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม

6.1 รูปแบบของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับประเทศไทย

ภายใต้กรอบแนวคิดในการให้ตรวจสอบคลื่นความถี่ตามข้อเสนอแนะของ ITU-R SM.1377 ซึ่งจะมีองค์ประกอบฮาร์ดแวร์ที่สำคัญได้แก่

- High Gain Antenna ในลักษณะสายอากาศแบบจาน (Parabolic Dish Antenna) เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมค้างฟ้า และสายอากาศแบบ Phased Array เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมวงโคจรต่ำ
- RF Monitoring Receiver สำหรับตรวจสอบสัญญาณ RF ที่ส่งจากดาวเทียม
- Software-Defined Radio (SDR) อุปกรณ์สำหรับรับสัญญาณที่สามารถปรับแต่งคลื่นความถี่
- GPS Disciplined Oscillator (GPSDO) สำหรับวัดเวลาและความถี่ โดยอ้างอิงกับระบบ GNSS ช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการวัดความถี่ของสัญญาณดาวเทียม
- Spectrum Analyzer สำหรับวัดและตรวจสอบความถี่ของสัญญาณจากดาวเทียม

โดยเทคโนโลยีที่เลือกใช้จะเป็นเทคนิค Geolocation โดยใช้เทคนิค TDOA สำหรับระบุตำแหน่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน ควบคู่กับ Machine Learning ซึ่งจะช่วยตรวจสอบคลื่นความถี่ 2 เรื่องหลักได้แก่ การตรวจจับสัญญาณรบกวน (Interference Detection) การระบุแหล่งกำเนิดของสัญญาณ (Source Localization)

ซึ่งภายใต้ข้อเสนอแนะของ ITU สรุปได้ว่า สำนักงาน กสทช. ควรจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนกลางภายในประเทศ และควรจัดตั้งการตรวจสอบคลื่นในส่วนภูมิภาค เพื่อร่วมตรวจสอบข้อมูลคลื่นความถี่ โดยคณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ โดยแบ่งเป็น

Main System จำนวน 2 Site ที่จะต้องตั้งอยู่ห่างกันอย่างน้อย 300 กิโลเมตร และครอบคลุมประเทศไทย โดยมีองค์ประกอบดังนี้

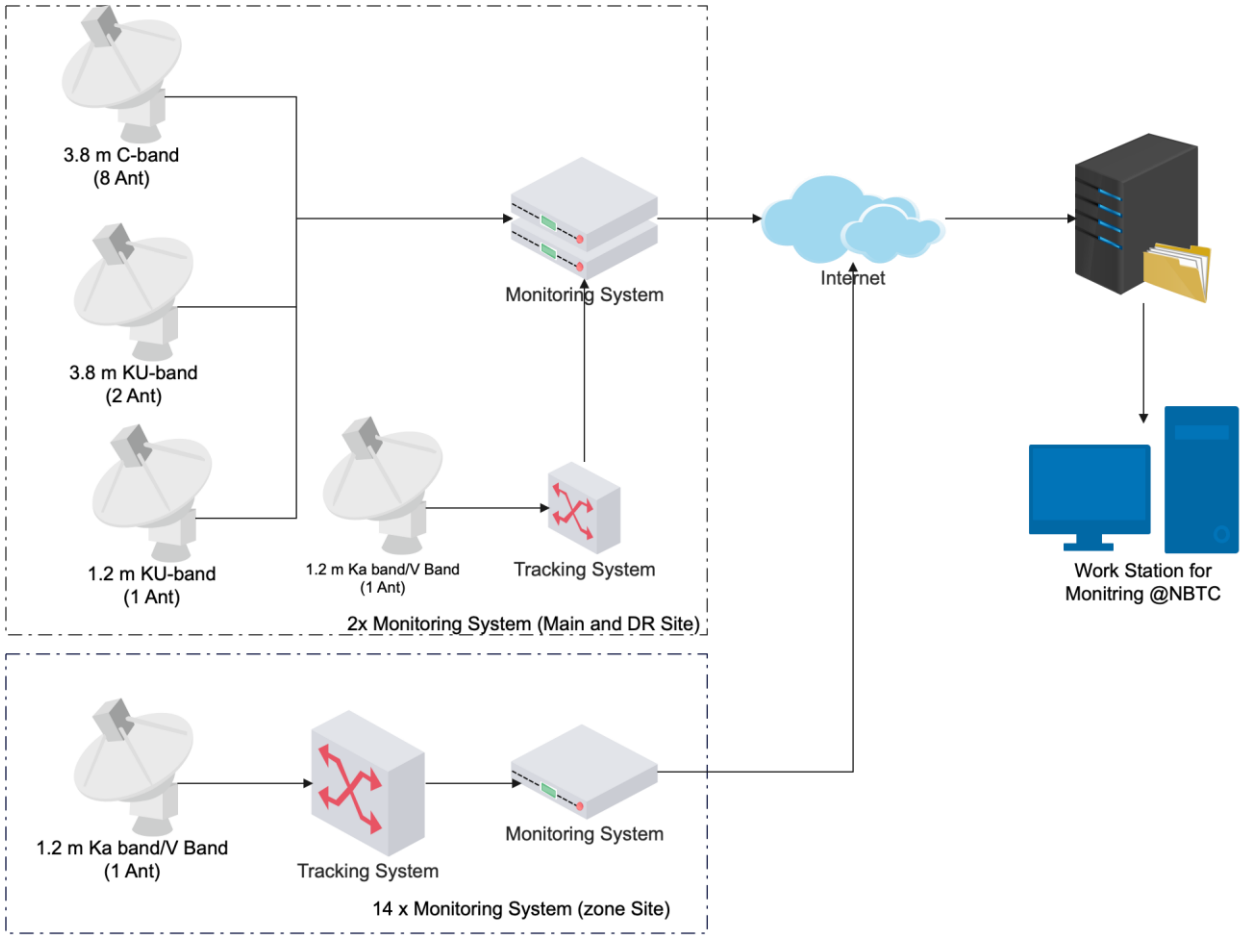
- ส่วนแรก C-band High Gain Antenna ในลักษณะสายอากาศแบบจาน จำนวน 8 จาน ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนดาวเทียมค้างฟ้าในย่านความถี่ C-band ในบริบทของประเทศไทย
- ส่วนที่สอง Ku-band High Gain Antenna ในลักษณะสายอากาศแบบจาน จำนวน 3 จาน ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนดาวเทียมค้างฟ้าในย่านความถี่ Ku band ในบริบทของประเทศไทย
- ส่วนที่สาม High Gain Antenna with Tracking System ในลักษณะของ Phased Array จำนวน 1 จาน โดยจะต้องรองรับย่านความถี่ Ka band V band เพื่อติดตามดาวเทียมวงโคจรต่ำ
- ส่วนที่สี่ Monitoring System ซึ่งทำหน้าที่ในการตรวจจับสัญญาณคลื่นความถี่

Zone System อย่างน้อยจำนวน 14 Site โดยติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจจับคลื่นความถี่สำหรับดาวเทียมวงโคจรต่ำ และจัดทำให้เป็นโครงข่ายเชื่อมโยงกับ Main System โดย 14 Site กำหนดจากสำนักงาน กสทช. เขตที่มี 14 เขต หรือสถานที่ที่ กสทช. กำหนด เพื่อให้สามารถครอบคลุมการตรวจจับสัญญาณได้ทั่วประเทศ โดยมีองค์ประกอบ

- ส่วนที่หนึ่ง High Gain Antenna with Tracking System ในลักษณะของ Phased Array จำนวน 1 จาน โดยจะต้องรองรับย่านความถี่ Ka band V band เพื่อติดตามดาวเทียมวงโคจรต่ำ

- ส่วนที่สอง Monitoring System ซึ่งทำหน้าที่ในการตรวจจับสัญญาณคลื่นความถี่

ในส่วนของ Zone System อาจจะ สถานีภาคพื้นดินไร้คนควบคุมสำหรับตรวจจับสัญญาณดาวเทียม (Unmanned Ground Stations for Satellite RF Monitoring) หรือ โดรน (UAVs) สำหรับตรวจจับสัญญาณรบกวนที่ส่งผลต่อสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม (UAVs for Ground-based Interference to Satellite Ground Stations) สำหรับตรวจจับคลื่นความถี่ที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม



รูปที่ 82 แนวคิดการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่แบบประจำที่ (ที่มา คณะผู้วิจัย)

และสัญญาณจะถูกบูรณาการร่วมกันทุกเขตผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต และสามารถตรวจจับสัญญาณได้ผ่าน Software-Defined Radio (SDR) รวมถึงระบบจำเป็นจะต้องประกอบด้วยส่วนวิเคราะห์วงโคจรของดาวเทียมทั่วโลก เพื่อให้ทราบถึงวงโคจรที่ผ่านประเทศไทย

และการคัดเลือกสถานที่ และการตรวจสภาพสัญญาณตามธรรมชาติที่มีอยู่ (Ambient Signal) ตามข้อเสนอแนะของ ITU-R SM.2352 ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของสถานที่ (Site Characteristics)

ควรจะห่างจากแหล่งรบกวนทางคลื่นความถี่ (RF Interference-Free Zone) อาทิ สถานีวิทยุ FM, โทรทัศน์ดิจิทัล, เสาสัญญาณโทรศัพท์มือถือ และเรดาร์ เป็นต้น และควรอยู่บนพื้นที่ที่มีภูมิประเทศสูง หรืออยู่ในที่โล่ง ช่วยลดการบดบังสัญญาณจากดาวเทียม รวมถึงสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (Environmental Conditions) ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลภาวะทางไฟฟ้า (Electromagnetic Pollution) และไม่ควรอยู่ใกล้สายไฟแรงสูงหรือโครงสร้างโลหะขนาดใหญ่ที่อาจรบกวนสัญญาณ

2. การวิเคราะห์สภาพสัญญาณรบกวนพื้นฐาน (Ambient RF Environment)

จะต้องมีการวิเคราะห์ระดับสัญญาณรบกวนพื้นฐาน (Baseline Noise Level Assessment) อย่างต่อเนื่อง และศึกษาความเสถียรของสัญญาณรบกวน (Stability of the Ambient RF Environment) โดยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนตามช่วงเวลา (เช่น กลางวัน vs กลางคืน)

3. การเข้าถึงและโครงสร้างพื้นฐานสนับสนุน (Accessibility & Infrastructure)

มีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลักได้แก่ ระบบแหล่งพลังงานไฟฟ้าต้องมีความเสถียร เครือข่ายสื่อสารจะต้องเชื่อมต่อกับศูนย์ควบคุมได้ตลอดระยะเวลา และสถานที่จะต้องปลอดภัยจากการบุกรุกหรือก่อกวนจากภายนอก

4. ความสอดคล้องกับกฎระเบียบและมาตรฐานสากล

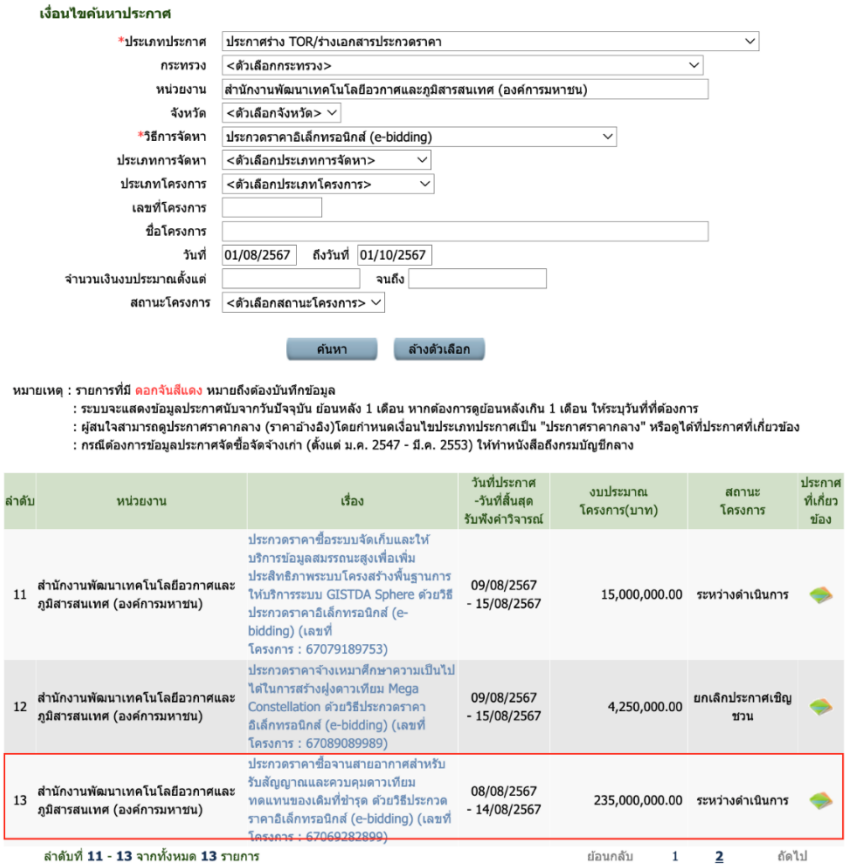
จะต้องปฏิบัติตามระเบียบ กฎเกณฑ์ หรือมาตรการของหน่วยงานกำกับดูแล และเป็นไปตามข้อเสนอแนะของ ITU รวมถึงจะต้องป้องกันการโจมตีด้าน Cyber Security

5. ความสามารถในการขยายระบบในอนาคต (Scalability & Future Expansion)

ควรเลือกสถานที่ที่สามารถรองรับการขยายตัวของระบบในอนาคต เช่น การเพิ่มอุปกรณ์รับสัญญาณหรือการรวมระบบตรวจสอบหลายความถี่

6.2 ข้อกำหนดเชิงเทคนิคและมาตรฐานอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องตลาด

จากการสืบค้นระบบ e GP พบว่าสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์กรมหาชน) ประกวดราคาซื้อจานสายอากาศสำหรับรับสัญญาณและควบคุมดาวเทียมทดแทนของเดิมที่ชำรุด ภายใต้งบประมาณ 235,000,000.00 บาท ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



เงื่อนไขค้นหาประกาศ

*ประเภทประกาศ: ประกาศร่าง TOR/ร่างเอกสารประกวดราคา
กระทรวง: <ตัวเลือกกระทรวง>
หน่วยงาน: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
จังหวัด: <ตัวเลือกจังหวัด>
*วิธีการจัดหา: ประกวดราคาอิเล็กทรอนิกส์ (e-bidding)
ประเภทการจัดหา: <ตัวเลือกประเภทการจัดหา>
ประเภทโครงการ: <ตัวเลือกประเภทโครงการ>
เลขที่โครงการ:
ชื่อโครงการ:
วันที่: 01/08/2567 ถึงวันที่: 01/10/2567
จำนวนเงินงบประมาณตั้งแต่: จนถึง:
สถานะโครงการ: <ตัวเลือกสถานะโครงการ>

ค้นหา ล้างตัวเลือก

หมายเหตุ : รายการที่มี ดอกจันสีแดง หมายถึงต้องบันทึกข้อมูล
: ระบบจะแสดงข้อมูลประกาศนับจากวันปัจจุบัน ย้อนหลัง 1 เดือน หากต้องการดูย้อนหลังเกิน 1 เดือน ให้ระบุวันที่ที่ต้องการ
: ผู้สนใจสามารถดูประกาศราคากลาง (ราคาอ้างอิง)โดยกำหนดเงื่อนไขประเภทประกาศเป็น "ประกาศราคากลาง" หรือดูได้ที่ประกาศที่เกี่ยวข้อง
: กรณีต้องการข้อมูลประกาศจัดซื้อจัดจ้างเก่า (ตั้งแต่ ม.ค. 2547 - มี.ค. 2553) ให้ทำหนังสือถึงกรมบัญชีกลาง

ลำดับ	หน่วยงาน	เรื่อง	วันที่ประกาศ -วันที่สิ้นสุดรับฟังคำวิจารณ์	งบประมาณโครงการ(บาท)	สถานะโครงการ	ประกาศที่เกี่ยวข้อง
11	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	ประกวดราคาซื้อระบบจัดเก็บและให้บริการข้อมูลสมรรถนะสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบโครงสร้างพื้นฐานการให้บริการระบบ GISTDA Sphere ด้วยวิธีประกวดราคาอิเล็กทรอนิกส์ (e-bidding) (เลขที่โครงการ : 67079189753)	09/08/2567 - 15/08/2567	15,000,000.00	ระหว่างดำเนินการ	
12	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	ประกวดราคาจ้างเหมาศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างฝูงดาวเทียม Mega Constellation ด้วยวิธีประกวดราคาอิเล็กทรอนิกส์ (e-bidding) (เลขที่โครงการ : 67089089989)	09/08/2567 - 15/08/2567	4,250,000.00	ยกเลิกประกาศเชิญชวน	
13	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	ประกวดราคาซื้อจานสายอากาศสำหรับรับสัญญาณและควบคุมดาวเทียมทดแทนของเดิมที่ชำรุด ด้วยวิธีประกวดราคาอิเล็กทรอนิกส์ (e-bidding) (เลขที่โครงการ : 67069282899)	08/08/2567 - 14/08/2567	235,000,000.00	ระหว่างดำเนินการ	

ลำดับที่ 11 - 13 จากทั้งหมด 13 รายการ ย้อนกลับ 1 2 ถัดไป

รูปที่ 83 ข้อมูลโครงการที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ บนระบบ eGP (สืบค้น วันที่ 20 มีนาคม 2568)

4.2.6.2 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม (Signal and Spectrum Analyzer) จำนวน 1 ชุด มีรายละเอียดคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) Frequency Range : 2 Hz to 26.5 GHz
(2) Frequency counter resolution : 0.001 Hz
(3) Resolution : 0.1 Hz
(4) Sweep time range (span = 0 Hz) : 1 µs to 6000s หรือดีกว่า
(5) Video bandwidths (standard) : 1 Hz to 10 MHz หรือดีกว่า
(6) Units of level axis : dBm, dBµV, dBmV, dBµA, dBpW
(7) Real-Time bandwidth : 512 MHz หรือ กว้างกว่า
(8) Noise Figure Measurement Function
(9) มีช่องต่อเชื่อมสัญญาณกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น RF Input, USB, LAN
(10) สามารถใช้งานได้ดีกับระบบไฟฟ้า (Power Supply) 220-230VAC, 50/60Hz โดยไม่ต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มเติม
(11) ส่งมอบสายนำสัญญาณความถี่ 3 GHz จำนวน 1 เส้น และเอกสาร Certificate of Calibration จำนวน 1 ชุด พร้อมหนังสือคู่มือการใช้งาน จำนวน 1 ชุด

รูปที่ 84 ข้อมูลรายละเอียดมาตรฐานอุปกรณ์ภายใต้โครงการจัดซื้อของ GISTDA

ราคากลาง โครงการการจัดหาจานสายอากาศสำหรับรับสัญญาณและควบคุมดาวเทียมทดแทนของเดิมที่ชำรุด

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ข้อเสนอบริษัท					ราคากลาง	
			ราคาต่อหน่วย					ต่อหน่วย	ราคารวมภาษี (บาท)
			จีโอ แคปาซิตี้	เอนเนอร์ทรอนิกซ์	โอเค จิเนท คอร์ปอเรชั่น	แพลท เนรา	บมจ. ไทยคม		
1	ระบบจานสายอากาศ Dual X/S Band (X-band TM, S-band TM/TC พร้อมอุปกรณ์)	1 ระบบ	180,400,000.00	185,200,000.00	178,878,037.38	180,100,000.00	179,200,000.00	180,755,607.48	193,408,500.00
1.1	ระบบจานสายอากาศ Dual X/S Band								
1.2	Antenna X-Band Feed System								
1.3	Antenna S-Band Feed System								
1.4	S-Band Down/Up Converter								-
1.5	เครื่องแสแสัญญาณ, เข้ารหัส-ถอดรหัสสัญญาณ S-Band TT&C Baseband Modulator and Demodulator								
1.6	เครื่องเข้า-ถอดรหัสสัญญาณดาวเทียม X-Band Modulators and Demodulators								
1.7	เครื่องแยกสัญญาณข้อมูลดาวเทียม (RF Matrix Switch)								
1.8	Network Time Protocol (Time Reference Synchronization)								
1.9	ถ่ายทอดเทคโนโลยีและการฝึกอบรม								
1.10	งานติดตั้ง (อาทิ สายสัญญาณ อุปกรณ์ร้อยท่อ และอุปกรณ์ติดตั้ง) ทดสอบ และทำไว้ซ้ำในการบริหารโครงการ								
2	**งานซื้อออนระบบจานสายอากาศและโครงสร้างพื้นฐานเดิม และงานปรับปรุงโครงสร้างฐานจานสายอากาศรองรับการติดตั้งระบบใหม่**	1 งาน	3,200,000.00	2,650,000.00	3,150,000.00	3,150,000.00	4,400,000.00	3,310,000.00	3,541,700.00
2.1	งานซื้อออนจานสายอากาศขนาด 13 เมตร พร้อมรถย้ายและจัดเก็บลงกล่อง								
2.2	งานซื้อออนเครื่องสำรองกระแสไฟฟ้า (UPS) พร้อมรถย้ายและจัดเก็บ								
2.3	งานซื้อออนเครื่องปรับอากาศภายในห้องฐานจานสายอากาศ พร้อมรถย้ายและจัดเก็บ								
2.4	งานซื้อออนสายต่อพ่วงพร้อมอุปกรณ์ประกอบ พร้อมรถย้ายและจัดเก็บ								
2.5	งานสำรวจ จัดทำแบบ และปรับปรุงฐานจานสายอากาศ								
3	**อุปกรณ์เครื่องมือตรวจสอบและวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมและบำรุงรักษาระบบจานสายอากาศ**	1 ชุด	18,000,000.00	16,800,000.00	20,864,018.69	18,100,000.00	19,600,000.00	18,672,803.74	19,979,900.00
3.1	อุปกรณ์แยกสัญญาณดาวเทียม (RF Matrix Switch)								
3.2	จานสายอากาศสำหรับตรวจจับคลื่นความถี่สัญญาณรบกวน (Microwave Directional Antenna)								
3.3	เครื่องวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม (Realtime Spectrum Analyzer)								
3.4	เครื่องกำเนิดสัญญาณรบกวนสำหรับทดสอบระบบจานสายอากาศ (Noise Sources)								
3.5	ชุดอุปกรณ์สำหรับบำรุงรักษาระบบจานสายอากาศ (Maintennance Tool Kits)								

รูปที่ 85 เอกสารราคากลางโครงการของ GISTDA โดย Monitoring System จะอยู่ในรายการ 3 ของเอกสาร โดยเฉลี่ยเป็นราคากลางในราคา 19,979,900.00 บาท (รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)

และเมื่อเปรียบเทียบยี่ห้อของระบบ Monitoring System 3 ยี่ห้อในท้องตลาดที่สามารถค้นหาคุณลักษณะ มีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

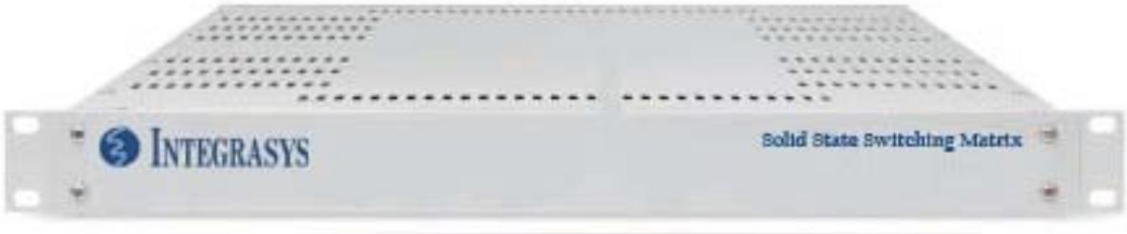
1) CALIAN รุ่น Decimator D4

สามารถที่จะวัด Satellite Noise, EIRP in a Bandwidth, Carrier EIRP frequency and C/N_0, Spectrum Analysis, Uplink Carrier Monitor, Power Meter Calibration, Downlink Calibration

รูปที่ 86 ตัวอย่าง CALIAN Decimator D4

2) Interrasys

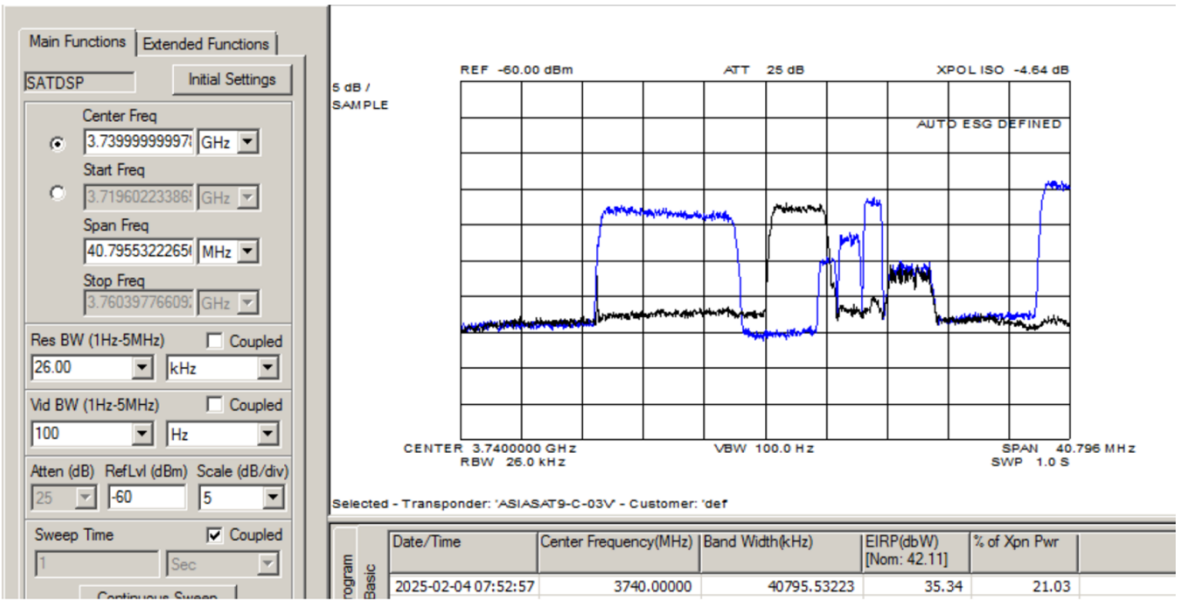
ตรวจสอบสัญญาณดาวเทียมความเร็วสูงสุด (200 Carrier/วินาที) รองรับการตรวจสอบดาวเทียมได้หลายดวงและหลายความถี่รองรับย่านความถี่ L, S, X, C, Ku และ Ka band พร้อมกัน รองรับการใช้งานหลายผู้ใช้พร้อมกัน และบันทึกข้อมูลสเปกตรัมเพื่อวิเคราะห์ย้อนหลังและสร้างรายงานอัตโนมัติ โดยมีโหมดการทำงาน 2 โหมดหลักได้แก่ โหมด Manual และโหมด Auto ทำให้สามารถตรวจสอบสัญญาณแบบผิดปกติตั้งค่าแจ้งเตือนได้



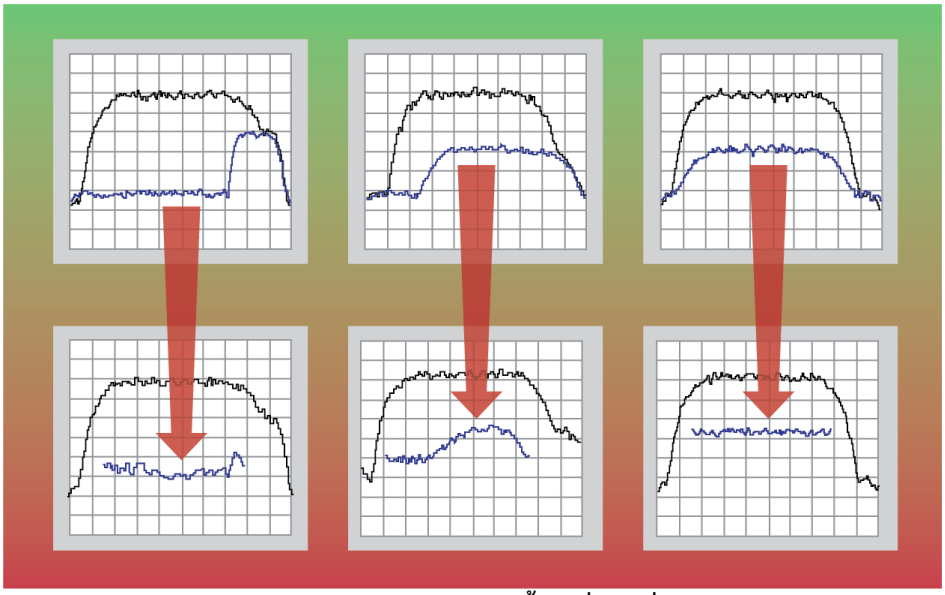
รูปที่ 87 ตัวอย่างอุปกรณ์ยี่ห้อ Interrasys

3) Monics

เป็นระบบตรวจสอบและจัดการการรบกวนของสัญญาณดาวเทียมที่ออกแบบมาสำหรับสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนในปัจจุบัน รองรับการจัดการผู้ใช้แบบ Role-Based และการมอนิเตอร์แบบ Real-Time โดยวิเคราะห์ปริมาณแบนด์วิดท์และประสิทธิภาพของช่องสัญญาณ ตรวจจับและแยกแยะสัญญาณที่ผิดพลาดหรือรบกวน และแสดงสถานะดาวเทียม และเครือข่ายสถานีภาคพื้นดิน บนแผนที่



รูปที่ 88 ตัวอย่างการวิเคราะห์ Cross POI AsianSat9 3V vs 3H จาก Monics



รูปที่ 89 เปรียบเทียบการแสดงผลสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ของทั้ง 3 ยี่ห้อ (ที่มา บมจ ไทยคม)

และเมื่อทำการเปรียบเทียมคุณสมบัติและการทำงานของทั้ง 3 ยี่ห้อที่มีในท้องตลาด สามารถสรุปได้ดังนี้

การเปรียบเทียบ	CALIAN	Interrasys	Monics
ข้อดี	สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ได้	ซอฟต์แวร์สามารถใช้งานได้หลากหลายวัตถุประสงค์	มีการวิเคราะห์ฟังก์ชัน Under Carriers ที่แม่นยำ
ข้อเสีย	ยังมีฟังก์ชันการใช้งานที่น้อย จำเป็นจะต้องเชื่อมโยงและพัฒนาซอฟต์แวร์อื่น ๆ เข้ามาร่วม	ฟังก์ชัน Under Carries ยังไม่สามารถแสดงผลได้อย่างชัดเจน	ไม่สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ได้

6.3 แนวทางหรือขั้นตอนในการปฏิบัติในการตรวจสอบสเปกตรัม

6.3.1 แนวทางในการตรวจสอบหรือขั้นตอนในการปฏิบัติในการตรวจสอบสเปกตรัมของต่างประเทศ

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้กำหนดถึงการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศไว้ในข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (Radio Regulation) มาตรา 16 อันมีสาระสำคัญ คือ หน่วยงานกำกับดูแลต่าง ๆ ควรต้องตกลงที่จะพัฒนาเครื่องมือตรวจสอบคลื่นความถี่ในขอบเขตที่สามารถปฏิบัติได้ โดยให้ความร่วมมือในการพัฒนาระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศอย่างต่อเนื่อง แต่ในมาตราดังกล่าวไม่ได้กำหนดชัดเจนถึงกรณีที่มีการตรวจสอบพบความผิดปกติเกิดขึ้นแล้วจะมีกระบวนการ แนวทาง หรือขั้นตอนที่จำเป็นต้องปฏิบัติอย่างใดต่อไป อย่างไรก็ตาม ทางสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในหลายประเด็น ดังต่อไปนี้

1. มีการแนะนำให้ใช้เทคโนโลยี SDR (Software-Defined Radio) เพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับสัญญาณ (ITU-R SM.1045)

2. มีการแนะนำให้ใช้เทคนิค TDOA (Time Difference of Arrival) และ FDOA (Frequency Difference of Arrival) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน ร่วมกับการใช้เสาอากาศทิศทาง (Directional Antennas) (ITU-R SM.1045)

3. มีการแนะนำให้มีระบบการลงทะเบียนการใช้งานความถี่ เพื่อควบคุมการใช้งานความถี่ในระดับนานาชาติและป้องกันการทับซ้อนของสัญญาณระหว่างประเทศ (ITU-R SM.1045) โดยในการประสานงานระหว่างประเทศในกรณีที่มีการใช้ระบบดาวเทียมในย่านความถี่เดียวกัน ควรใช้ ITRs เพื่อกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งานความถี่และการป้องกันการรบกวนระหว่างประเทศ ด้วยการลงทะเบียนการใช้งานความถี่ใน MIFR เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนจากการใช้คลื่นความถี่ที่ทับซ้อนกัน (ITU-R S.1782)

4. มีการแนะนำให้ใช้อุปกรณ์กรอง (Filtering Equipment) เพื่อกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการ (ITU-R SM.1045)

5. มีการแนะนำว่าควรมีระบบการตรวจจับสัญญาณควรมีความสามารถในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณต่าง ๆ ในระยะเวลายาวเพื่อทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้ความถี่ (ITU-R SM.1045)

6. มีการแนะนำว่าควรใช้เทคโนโลยี Adaptive Techniques ในการช่วยปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณในขณะเกิดการรบกวน (ITU-R S.1782)

7. มีการแนะนำว่าระบบดาวเทียมควรได้รับการออกแบบให้ทนทานต่อการรบกวน โดยการใช้เทคโนโลยี Error Correction Codes และ Forward Error Correction (FEC) (ITU-R S.1782)

8. มีการแนะนำว่าการตรวจสอบและประเมินผลการใช้งานคลื่นความถี่ในระบบดาวเทียมโดยการใช้ Spectral Management Tools จะช่วยให้สามารถตรวจจับและรายงานการรบกวนได้ทันที (ITU-R S.1782)

9. มีการแนะนำว่าในการประสานงานการใช้งานสเปกตรัมระหว่างระบบที่แตกต่างกัน เช่น ระบบดาวเทียม ระบบมือถือ และ Wi-Fi หากต้องการตรวจจับและประสานงานการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันระหว่างระบบเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจากการใช้ Reinforcement Learning หรือ Multi-agent Systems (ITU-R SM.2093)

10. มีการแนะนำว่าควรมีการจัดการการควบคุมและการตรวจสอบระบบสเปกตรัมในระยะยาว โดยสามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานคลื่นความถี่และลดความเสี่ยงจากการรบกวนได้อย่างต่อเนื่อง (ITU-R SM.2093)

11. มีการแนะนำว่าต้องมีระบบตรวจจับแบบอัตโนมัติ ใช้ตรวจสอบการใช้งานความถี่ในพื้นที่และในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อประเมินและตรวจสอบการรบกวนจากสถานีภาคพื้นดิน หรือการประเมินการใช้งานคลื่นความถี่ว่าอยู่ในย่านที่ได้รับอนุมัติหรือไม่ (ITU-R SM.1138)

สำหรับสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี Telecommunications Act 1996 กำหนดให้ BNetzA มีหน้าที่ดูแลการใช้คลื่นความถี่ รวมถึงหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนระหว่างกิจการสื่อสารดาวเทียมและกิจการสื่อสารภาคพื้นดิน โดยกำหนดให้ BNetzA จะทำงานร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียม และสถานีภาคพื้นดิน ในกรณีที่มีการตรวจสอบพบความสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นผู้ให้บริการดาวเทียมจะดำเนินการประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับการรบกวน รวมถึงความรุนแรง ย่านความถี่ที่ได้รับผลกระทบ และแหล่งที่มาที่เป็นไปได้ โดยจะบันทึกรายละเอียดของเหตุการณ์ (เวลา ความถี่ที่ได้รับผลกระทบ ผลกระทบทางภูมิศาสตร์) และรายงานการรบกวนไปยัง BNetzA ซึ่งเมื่อ BNetzA ได้รับรายงานการรบกวนและตรวจสอบรายละเอียดของเหตุการณ์เป็นที่ชัดเจนแล้ว BNetzA จะเริ่มการสอบสวนเพื่อหาต้นตอ ลักษณะ และสาเหตุของการรบกวน รวมทั้งติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิค ทั้งนี้ หากระบุได้ว่าเกิดการรบกวนเกิดขึ้นภายในเยอรมนี BNetzA จะออกการแจ้งเตือนหรือคำเตือนไปยังฝ่ายที่รับผิดชอบ และขอให้หยุด

กิจกรรมที่รบกวนโดยทันที และหากการรบกวนมาจากต่างประเทศ BNetzA จะประสานงานกับ ITU หรือ CEPT เพื่อบรรเทาปัญหาในระดับนานาชาติต่อไป

นอกจากนี้ BNetzA ยังมีการนำกลยุทธ์การตรวจสอบและลดการรบกวนหลายชั้นมาใช้ โดยอาศัยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าและข้อตกลงระหว่างประเทศ เช่น 1. มีการติดตั้งสถานีตรวจสอบระยะไกลทั่วประเทศเพื่อเฝ้าสังเกตย่านความถี่ที่ใช้ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมที่ทันสมัยซึ่งสามารถตรวจจับรูปแบบการรบกวนได้ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่บริการดาวเทียมและ 5G ทับซ้อนกัน 2. มีการนำระบบตรวจจับการรบกวนที่ใช้ AI มาใช้ซึ่งสามารถแจ้งเตือนเหตุการณ์การรบกวนอัตโนมัติและแจ้งผู้ให้บริการ 3. กำหนดให้ผู้ให้บริการ 5G ใช้ย่านป้องกันระหว่างความถี่ของ 5G และดาวเทียม นอกจากนี้ยังมีการจำกัดพลังงานของตัวส่งสัญญาณ 5G ในพื้นที่ที่มีการใช้ดาวเทียมสูงอีกด้วย

ในสาธารณรัฐประชาชนจีน กิจการด้านคลื่นวิทยุของประเทศจีนอยู่ภายใต้การบริหารจัดการของหลายหน่วยงาน รวมเรียกว่า The State Radio Regulation of China (SRRC) โดยมีศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติ (China Radio Monitoring Center) มีหน้าที่หลักในการดำเนินงานตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ โดยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ คือ ข้อกำหนดการกำกับดูแลกิจการวิทยุคมนาคมสาธารณรัฐประชาชนจีน และ ข้อกำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุสาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นกฎหมายหลักในประเด็นดังกล่าว โดยได้กำหนดถึงลักษณะของการใช้คลื่นความถี่วิทยุโดยผิดกฎหมายเพื่อรบกวนการสื่อสารวิทยุ และกำหนดหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การสืบสวนและการจัดการสัญญาณรบกวนให้เป็นหน้าที่ของศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติ ทั้งนี้มิได้มีการกำหนดชัดเจนถึงกรณีที่มีการตรวจสอบพบความผิดปกติเกิดขึ้นแล้วจะมีกระบวนการ แนวทาง หรือขั้นตอนที่จำเป็นต้องปฏิบัติอย่างใดต่อไป อย่างไรก็ตามจีนสามารถลดการรบกวนกับระบบ BeiDou ได้สำเร็จ โดยใช้แนวทางการติดตั้งสถานีตรวจสอบภาคพื้นดินทั่วประเทศจีน โดยเน้นที่พื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงซึ่งมีการใช้งานดาวเทียมและ 5G อย่างมาก ซึ่งมีการตรวจจับการรบกวนแบบเรียลไทม์ด้วย AI โดยมีการการกั้นแถบความถี่ (guard band) เพื่อบรรเทาปัญหาการรบกวน และมีการร่วมมือกับ ITU เพื่อป้องกันการรบกวนกับระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลก (GNSS) อื่น ๆ เช่น GPS ของสหรัฐอเมริกาและ Galileo ของยุโรป

ในประเทศสหรัฐอเมริกา กฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุของสหรัฐอเมริกาได้แก่พระราชบัญญัติการสื่อสาร พ.ศ. 2477 แก้ไขเพิ่มเติม (Communications Act of 1934, as amended) ในกรณีที่มีการรายงานการรบกวนไปยัง FCC หรือ NTIA (ขึ้นอยู่กับลักษณะของการรบกวน) จะมีการเริ่มการสอบสวน คือ สำหรับการรบกวนในเชิงพาณิชย์ จะมีการรับรายงานการรบกวนผ่าน International Bureau หรือ Office of Engineering and Technology ของ FCC แต่หากเป็นการรบกวนมีผลกระทบต่อดาวเทียมของรัฐบาลหรือการป้องกันประเทศ หน่วยงานที่จะเข้ามาดูแลจะเป็น NTIA ซึ่งทั้ง 2 หน่วยงานจะดำเนินการออกคำเตือนหรือร้องขอให้แหล่งที่มาของการรบกวนลดหรือหยุด หากระบุตัวได้ว่าเป็นผู้ใช้ภายในประเทศ แต่หากเป็นปัญหาระหว่างประเทศ FCC และ NTIA จะเริ่มช่องทางการทูตผ่าน ITU เพื่อแก้ไขปัญหาการข้ามพรมแดน ในบริบทของ NTIA สำหรับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมของสหรัฐอเมริกานั้นได้ออก Notice of Inquiry (NOI) ขึ้น เพื่อสำรวจศักยภาพในการส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง โดยใช้ประโยชน์จากแหล่งข้อมูล เทคโนโลยี และวิธีการใหม่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจช่วยให้เข้าใจชุดข้อมูลขนาดใหญ่และซับซ้อนได้ง่ายขึ้นเพื่อให้การใช้ประโยชน์จากเครื่องมือต่าง ๆ ในปัจจุบันทำให้เกิดความเข้าใจการใช้คลื่นความถี่เชิงพาณิชย์ในอนาคต โดยอำนาจตามกฎหมายในการศึกษาการใช้คลื่นความถี่วิทยุ และการดำเนินการจัดทำ NOI นั้นมาจากพระราชบัญญัติการสื่อสาร พ.ศ. 2477 แก้ไขเพิ่มเติม

นอกจากนี้ FCC ยังใช้วิธีการตรวจสอบความถี่และลดการรบกวนแบบสามด้าน คือ 1. มีการใช้แถบกั้นความถี่ (guard band) ขนาด 20 MHz ระหว่างบริการดาวเทียมและ 5G เพื่อลดความเสี่ยงของการรบกวน 2. มีการตรวจจับการรบกวนแบบเรียลไทม์ผ่านความร่วมมือกับภาคเอกชน และยังได้ทำงานร่วมกับบริษัทเทคนิคเฉพาะทางที่เชี่ยวชาญด้านการตรวจสอบความถี่ 3. มีการนำเสนอโปรโตคอลการลดการรบกวนสำหรับรายงานและแก้ไขกรณีการรบกวน โดยผู้ให้บริการดาวเทียมจำเป็นต้องส่งรายงานการรบกวน ซึ่งจะนำไปสู่การสอบสวนที่นำโดย FCC หากพบว่ามีการรบกวนจริง ผู้ให้บริการ 5G จะปรับกำลังส่งสัญญาณ เปลี่ยนทิศทางสายอากาศของสถานีฐาน หรือใช้ตัวกรองเพิ่มเติมเพื่อลดการรบกวนต่อไป

ในประเทศอินโดนีเซียสำหรับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุนั้น ปัจจุบันสำนักงานภูมิภาคสำหรับการตรวจสอบความถี่วิทยุ ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของกรมไปรษณีย์และโทรคมนาคม (Directorate General of Post and Telecommunication: POSTEL) ตามกฎหมาย Law No. 36 of 1999 on Telecommunication มีหน้าที่หลักในการรับผิดชอบในการดำเนินการ โดยมีหน่วยปฏิบัติการทางเทคนิค (Technical Implementer Unit: UPT) มีหน้าที่ในการดำเนินการกำกับดูแลและควบคุมในด้านการใช้คลื่นความถี่วิทยุซึ่งครอบคลุมกิจกรรมการสังเกตการณ์ การตรวจจับแหล่งกำเนิดการปล่อย การตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การบังคับใช้กฎหมาย การประเมินและการทดสอบทางวิทยาศาสตร์ การวัด การประสานงานการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การร่างแผนและโปรแกรม การจัดหาชิ้นส่วนอะไหล่ การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมอุปกรณ์ และกิจการบริหารและครัวเรือน แต่ไม่ได้มีการกำหนดชัดเจนถึงกรณีที่มีการตรวจสอบพบความผิดปกติเกิดขึ้นแล้วจะมีกระบวนการ แนวทาง หรือขั้นตอนที่จำเป็นต้องปฏิบัติอย่างใดต่อไป

อย่างไรก็ดี อินโดนีเซียใช้ดาวเทียม Telkomsat และ SATRIA เป็นดาวเทียมสื่อสารหลักในการตรวจสอบสัญญาณรบกวน และเฝ้าระวังการรบกวนในช่วงความถี่ย่าน C-band และ Ku-band รวมถึงมีการพัฒนาระบบ GNSS Interference Detection System เพื่อนำมาตรวจจับการรบกวนที่ส่งผลต่อระบบนำทางและ GPS ที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการบินและการขนส่งทางทะเล นอกจากนี้อินโดนีเซียได้ติดตั้ง Fixed Monitoring Station และ Mobile Monitoring Unit ในพื้นที่ชุมชนหนาแน่น เพื่อตรวจสอบคลื่นรบกวนจากอุปกรณ์สื่อสาร อาทิ 5G FM และ Wi-Fi รวมถึงใช้เทคโนโลยี Geolocation เพื่อระบุแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในหมู่เกาะอีกด้วย

สำหรับประเทศมาเลเซียคณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย (Malaysian Communications and Multimedia Commission: MCMC) ทำหน้าที่รับผิดชอบด้านการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมรวมถึงการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุด้วย โดยมีข้อบังคับการสื่อสารและมัลติมีเดีย ค.ศ.2000 (Communications and Multimedia (Spectrum) Regulations 2000) เป็นกฎข้อบังคับที่กำหนดกระบวนการทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคลื่นความถี่วิทยุเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และควบคุมดูแลให้การใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นไปตามกฎหมาย สำหรับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุนั้นไม่มีกฎหมายใดกำหนดหลักเกณฑ์ที่พึงกระทำไว้อย่างชัดเจน แต่มีหลักเกณฑ์ที่กำหนดเกี่ยวกับการรบกวนคลื่นความถี่ไว้ โดยมีหลักการที่สำคัญ คือ คณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซียจะไม่รับผิดชอบ (shall not be responsible) ต่อการรบกวนเล็กน้อย (minor interference) การรบกวนร้ายแรง (major interference) และการรบกวนที่เป็นอันตราย (harmful interference) ซึ่งเกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ที่คณะกรรมการกำหนด (any part of the spectrum assigned by it) ทั้งนี้ หากคณะกรรมการฯ เชื่อว่าอุปกรณ์ใดก็ตามของผู้ประกอบการกำลังก่อให้เกิดการรบกวนร้ายแรงหรือการรบกวนที่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์วิทยุสื่อสารที่อื่นใด เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์หรืออุปกรณ์วิทยุสื่อสารนั้นจะต้องอนุญาตให้คณะกรรมการฯ ตรวจสอบอุปกรณ์หรืออุปกรณ์วิทยุสื่อสารเพื่อวัตถุประสงค์ในการระบุว่าอุปกรณ์กำลัง

ก่อให้เกิดการรบกวนร้ายแรงหรือการรบกวนที่เป็นอันตรายดังกล่าวหรือไม่ โดยหากอุปกรณ์นั้นก่อให้เกิดการรบกวนร้ายแรงหรือการรบกวนที่เป็นอันตราย คณะกรรมการฯ อาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์ดำเนินการตามมาตรการที่จำเป็นเพื่อขจัดหรือลดการรบกวนให้เป็นไปตามความพึงพอใจของคณะกรรมการด้วยค่าใช้จ่ายของตนเอง ทั้งนี้ หากจำเป็นต้องดัดแปลงหรือแก้ไขอุปกรณ์นั้น การปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขจะต้องดำเนินการภายในระยะเวลาที่เหมาะสมและตามเงื่อนไขที่คณะกรรมการกำหนด

จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่า ในประเด็นเรื่องแนวทางหรือขั้นตอนในการปฏิบัติเมื่อมีการตรวจสอบพบการรบกวนกันของสเปกตรัมแล้ว จะต้องดำเนินการ หรือมีกระบวนการอย่างไรต่อไปนั้น ในทางกฎหมายของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือกฎหมายของหลายประเทศ เช่น จีน อินโดนีเซีย มาเลเซีย มิได้กำหนดแนวทางหรือกระบวนการไว้อย่างชัดเจน แต่ได้มีการกำหนดแนวทางของเทคโนโลยีในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุไว้โดยอาศัยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าและข้อตกลงระหว่างประเทศเป็นหลักในการดำเนินการ เช่น การตรวจจับการรบกวนแบบเรียลไทม์ด้วย AI โดยมีการการกั้นแถบความถี่ (guard band) เพื่อบรรเทาปัญหาการรบกวน และมีการร่วมมือกับ ITU เพื่อป้องกันการรบกวนกับระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลก (GNSS) อื่น ๆ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามสาธารณรัฐเยอรมนีและสหรัฐอเมริกาได้มีการกำหนดเพิ่มเติมทางด้านกฎหมายว่าในกรณีที่มีการตรวจพบการรบกวนกันของสเปกตรัมแล้วจะมีแนวทางอย่างไรในการปฏิบัติ เช่น กำหนดให้ BNetzA จะทำงานร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียม และสถานีภาคพื้นดิน ในกรณีที่มีการตรวจสอบพบความสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นผู้ให้บริการดาวเทียมจะดำเนินการประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับการรบกวน และรายงานการรบกวนไปยัง BNetzA ซึ่งเมื่อ BNetzA ได้รับรายงานการรบกวนจะเริ่มการสอบสวนเพื่อหาต้นตอ รวมทั้งติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิค โดยหากระบุได้ว่าเกิดการรบกวนเกิดขึ้นภายในเยอรมนี BNetzA จะออกการแจ้งเตือนหรือคำเตือนไปยังฝ่ายที่รับผิดชอบ และขอให้หยุดกิจกรรมที่รบกวนโดยทันที และหากการรบกวนมาจากต่างประเทศ BNetzA จะประสานงานกับ ITU หรือ CEPT เพื่อบรรเทาปัญหาในระดับนานาชาติต่อไป ในขณะที่สหรัฐอเมริกาก็มีข้อกำหนดโดยอาศัยหลักการเดียวกันกับเยอรมนี คือ ในกรณีที่มีการรายงานการรบกวนไปยัง FCC หรือ NTIA (ขึ้นอยู่กับลักษณะของการรบกวน) จะมีการเริ่มการสอบสวน คือ สำหรับการรบกวนในเชิงพาณิชย์ จะมีการรับรายงานการรบกวนผ่าน International Bureau หรือ Office of Engineering and Technology ของ FCC แต่หากเป็นการรบกวนมีผลกระทบต่อดาวเทียมของรัฐบาลหรือการป้องกันประเทศ หน่วยงานที่จะเข้ามาดูแลจะเป็น NTIA ซึ่งทั้ง 2 หน่วยงานจะดำเนินการออกคำเตือนหรือร้องขอให้แหล่งที่มาของการรบกวนลดหรือหยุด หากระบุตัวได้ว่าเป็นผู้ใช้ภายในประเทศ แต่หากเป็นปัญหาระหว่างประเทศ FCC และ NTIA จะเริ่มช่องทางการทูตผ่าน ITU เพื่อแก้ไขปัญหาการข้ามพรมแดน

6.3.2 แนวทางในการตรวจสอบหรือขั้นตอนในการปฏิบัติในการตรวจสอบสเปกตรัมของประเทศไทย

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เป็นหน่วยงานหลักในการดำเนินการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมในประเทศไทย เป็นไปตามพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติมมาตรา 27 ประกอบมาตรา 57 (3) มาตรา 48 และมาตรา 82 โดยกำหนดให้ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หน่วยงานของรัฐ หรือบุคคลใดที่ได้รับจัดสรรคลื่นความถี่ หรือใช้คลื่นความถี่เพื่อการประกอบกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมมีหน้าที่แจ้งรายละเอียดการใช้ประโยชน์คลื่นความถี่ รวมทั้งเหตุแห่งความจำเป็นในการถือครองคลื่นความถี่ต่อ กสทช. โดยปัจจุบันสำนักงาน กสทช. ส่วนกลาง และสำนักงาน กสทช. ส่วนภูมิภาค มีการตรวจสอบ และ

ติดตามการใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมในประเด็นต่าง ๆ เช่น การตรวจสอบการครอบครองคลื่นความถี่เพื่อควบคุมความถี่วิทยุให้เป็นไปตามมาตรฐาน การตรวจสอบแก้ไขการรบกวนของคลื่นความถี่ การตรวจสอบมาตรฐานการแพร่คลื่นวิทยุ การตรวจสอบผู้ประกอบกิจการค้าเครื่องและอุปกรณ์วิทยุคมนาคม เป็นต้น

สำหรับกรณีการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุนั้น ตามกฎหมายของประเทศไทยสอดคล้องกับกฎหมายระหว่างประเทศและข้อบังคับต่าง ๆ ของ ITU (ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (Radio Regulation) ITU-R SM.1537 เป็นต้น) อีกทั้งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกฎหมายของทั้ง 5 ประเทศดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะพบว่ากฎหมายไทยได้กำหนดกฎเกณฑ์ ทั้งในแง่อำนาจหน้าที่ของหน่วยงานกำกับดูแล และในแง่กฎระเบียบต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในกฎหมายไม่ต่างกันแต่อย่างใด คือ กำหนดให้หน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมมีอำนาจหน้าที่ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ แต่สิ่งที่กฎหมายไทยไม่ได้กำหนดให้ชัดเจน คือ เมื่อ กสทช ได้มีการตรวจสอบแล้วพบแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนแล้ว กสทช จะต้องดำเนินการอย่างไรต่อไป ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกฎหมายต่างประเทศแล้วและข้อบังคับของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศแล้ว จะเห็นได้ว่าในประเด็นดังกล่าวก็ไม่ได้ระบุการดำเนินการให้เป็นรูปธรรมสักเท่าใด ดังนั้น จึงสมควรพิจารณาเพิ่มเติมในการกำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติของ กสทช ให้ชัดเจนหลังจากตรวจพบการรบกวนกันของคลื่นความถี่วิทยุ โดยสามารถพิจารณาหลักการพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับสหรัฐอเมริกาและเยอรมนีจะพบว่าได้มีการกำหนดหลักการพื้นฐานที่สำคัญจะกำหนดไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อหน่วยงานกำกับดูแลได้รับรายงานการรบกวน สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุจะตรวจสอบคลื่นวิทยุเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน และเมื่อตรวจสอบรายละเอียดของเหตุการณ์เป็นที่ชัดเจนแล้ว จะมีการติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิคต่อไป โดยหากระบุได้ว่าเกิดการรบกวนเกิดขึ้นภายในประเทศ หน่วยงานกำกับดูแลจะออกการแจ้งเตือนหรือคำเตือนไปยังฝ่ายที่รับผิดชอบ และขอให้หยุดกิจกรรมที่รบกวนโดยทันที และหากการรบกวนมาจากต่างประเทศ หน่วยงานกำกับดูแลจะประสานงานกับ ITU หรือ CEPT เพื่อบรรเทาปัญหาในระดับนานาชาติต่อไป ซึ่งจากหลักการพื้นฐานดังกล่าว กสทช อาจพิจารณากำหนดการดำเนินการตรวจสอบจากการได้รับแจ้งจากหน่วยงาน/กิจการที่ได้รับการรบกวน และหากพบการรบกวนจากการตรวจสอบการสำนักงาน กสทช. ภาค และสำนักงาน กสทช. เขต จะดำเนินการค้นหาแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนและวิเคราะห์หาสาเหตุการรบกวนและดำเนินการแจ้งผลการตรวจสอบให้ผู้รับผิดชอบดำเนินการแก้ไขปัญหาการรบกวนซึ่งอาจมีการสั่งให้ระงับการแพร่คลื่นหรือระงับการใช้งานอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดการแพร่คลื่นรบกวนดังกล่าว เพื่อให้ผู้ประกอบกิจการดำเนินการแก้ไข รวมถึงการหาแนวทางป้องกันเพื่อมิให้เกิดปัญหาการรบกวนขึ้นอีก

2. เนื่องจากประเทศไทยมีประกาศเรื่อง Landing Right ทั้งในระดับ state level (ประกาศคณะกรรมการนโยบายอวกาศแห่งชาติ เรื่องหลักเกณฑ์ในระดับรัฐเพื่อประกอบการพิจารณาอนุญาตให้ดาวเทียมต่างชาติให้บริการในประเทศเชิงพาณิชย์ พ.ศ. 2564) และระดับ firm level (ประกาศ กสทช. เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศ พ.ศ. 2563) ดังนั้นในส่วนของประกาศระดับ firm level กสทช อาจพิจารณาเพิ่มเติมในเรื่องของหลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติเพิ่มเติมว่า ในการขออนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศเชิงพาณิชย์ นอกจากผู้ขอรับอนุญาตต้องได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคมตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบกิจการโทรคมนาคม หรือใบอนุญาตประกอบกิจการโทรทัศน์หรือกิจการกระจายเสียงตามกฎหมายว่าด้วยการประกอบกิจการกระจายเสียงและกิจการวิทยุโทรทัศน์

แล้วแต่กรณี (ข้อ 4) แล้ว กสทช อาจพิจารณาแก้ไขประกาศ เรื่องผู้ขออนุญาตต้องส่งเอกสารหลักฐานและข้อมูลเพื่อให้ กสทช พิจารณาเพิ่มเติมจากที่กำหนดไว้ใน (ข้อ 7) ของประกาศฉบับดังกล่าวได้ คือ ผู้ขออนุญาตต้องส่งข้อมูลในการตรวจสอบคลื่นความถี่ของผู้ขออนุญาต ในกรณีที่ กสทช มีการร้องขอ เพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิค และ กสทช อาจพิจารณาเพิ่มเติมจากที่กำหนดไว้ใน (ข้อ 10) ว่าผู้รับอนุญาตต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในการให้ความร่วมมือกับ กสทช ในการตรวจสอบและแก้ไขเพื่อหยุดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการรบกวนภายในประเทศไทย ทั้งนี้ กสทช ควรพิจารณาทำความร่วมมือกับผู้รับใบอนุญาตเพิ่มเติมในประเด็นที่เกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่ เพื่อให้ได้แนวปฏิบัติที่ชัดเจน และส่งเสริมให้เกิดกระบวนการที่มีประสิทธิภาพและเป็นรูปธรรมในการแก้ไขปัญหาต่อไป

6.3.3 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ สำหรับสำนักงาน กสทช. ภายหลังติดตั้งระบบตรวจสอบสัญญาณคลื่นความถี่

เมื่อระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการอวกาศตรวจพบ สัญญาณรบกวน (Interference) หรือการใช้งานความถี่ที่ผิดปกติ ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติจาก ITU (โดยเฉพาะใน ITU-R SM.1138, ITU-R SM.1537 และ ITU-R SM.2028) มีแนวทางดังนี้

1. การยืนยันและระบุแหล่งที่มาของสัญญาณ (Identification & Verification)

1.1 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ยืนยันว่าเป็นการรบกวนจริง ไม่ใช่สัญญาณที่เกิดจากข้อผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจสอบ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้งานความถี่ที่ได้รับอนุญาต

1.2 กำหนดพิกัดของแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน

ใช้เทคนิค Direction Finding (DF) หรือ Time Difference of Arrival (TDOA) เพื่อตรวจหาตำแหน่งของสัญญาณ เพื่อวิเคราะห์ว่าสัญญาณเกิดจากการแพร่กระจายผิดปกติของคลื่น (Propagation Anomalies) หรือเป็นการรบกวนโดยเจตนา

2. การแจ้งเตือนและประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (Notification & Coordination)

2.1 แจ้งเตือนหน่วยงานกำกับดูแล (Regulatory Authorities Notification) โดยส่งรายงานไปยัง หน่วยงานกำกับดูแลความถี่ของประเทศ (National Regulatory Authority – NRA) หรือรายงานไปยัง ITU Radiocommunication Bureau (ITU-R BR) หากเป็นปัญหาข้ามพรมแดน

2.2 ประสานงานกับผู้ใช้คลื่นความถี่ที่ได้รับผลกระทบ โดยแจ้งผู้ให้บริการดาวเทียมหรือหน่วยงานที่ใช้คลื่นความถี่ที่ได้รับผลกระทบ และแนะนำแนวทางป้องกันผลกระทบระยะสั้น เช่น การปรับจูนอุปกรณ์หรือการใช้ฟิลเตอร์ป้องกัน เป็นต้น

3. การดำเนินการแก้ไข (Mitigation & Resolution)

กรณีการรบกวนที่เกิดจากระบบที่ได้รับอนุญาต

- ประสานงานเพื่อให้ผู้ใช้คลื่นแก้ไขการตั้งค่าหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เป็นต้นเหตุ
- พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Reallocation) หรือกำหนดมาตรการควบคุมพลังงานส่ง

กรณีการรบกวนโดยไม่ได้รับอนุญาต (Unauthorized Transmission)

- ติดตามต้นตอของสัญญาณและดำเนินมาตรการทางกฎหมาย
- ประสานงานกับ ITU และองค์กรระหว่างประเทศเพื่อยุติการใช้งานที่ผิดกฎหมาย

กรณีการรบกวนโดยเจตนา (Harmful or Intentional Interference)

- จัดทำรายงานและส่งให้ ITU (ตาม Resolution 186 - ITU RR)
- ใช้มาตรการป้องกันเพิ่มเติม เช่น การเข้ารหัสสัญญาณ (Encryption) หรือการเปลี่ยนไปใช้ Frequency Hopping

4. การเก็บบันทึกและการรายงานผล (Logging & Reporting)

ทำการบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์แนวโน้มของการรบกวน จัดทำฐานข้อมูล (Interference Database) เพื่อวิเคราะห์และติดตามปัญหาในระยะยาว หรือรายงานสู่ระดับนานาชาติหากจำเป็นหากเป็นปัญหาข้ามพรมแดน หรือเกี่ยวข้องกับดาวเทียมต่างประเทศ ให้รายงานไปยัง ITU-R BR เพื่อให้มีการหารือในระดับสากล

6.4 การประเมินกรอบงบประมาณตามการออกแบบระบบ

จากรูปที่ 82 แนวคิดการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่แบบประจำที่ สามารถประเมินและแสดงรายการอุปกรณ์ได้ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.4.1 การประเมินกรอบงบประมาณ

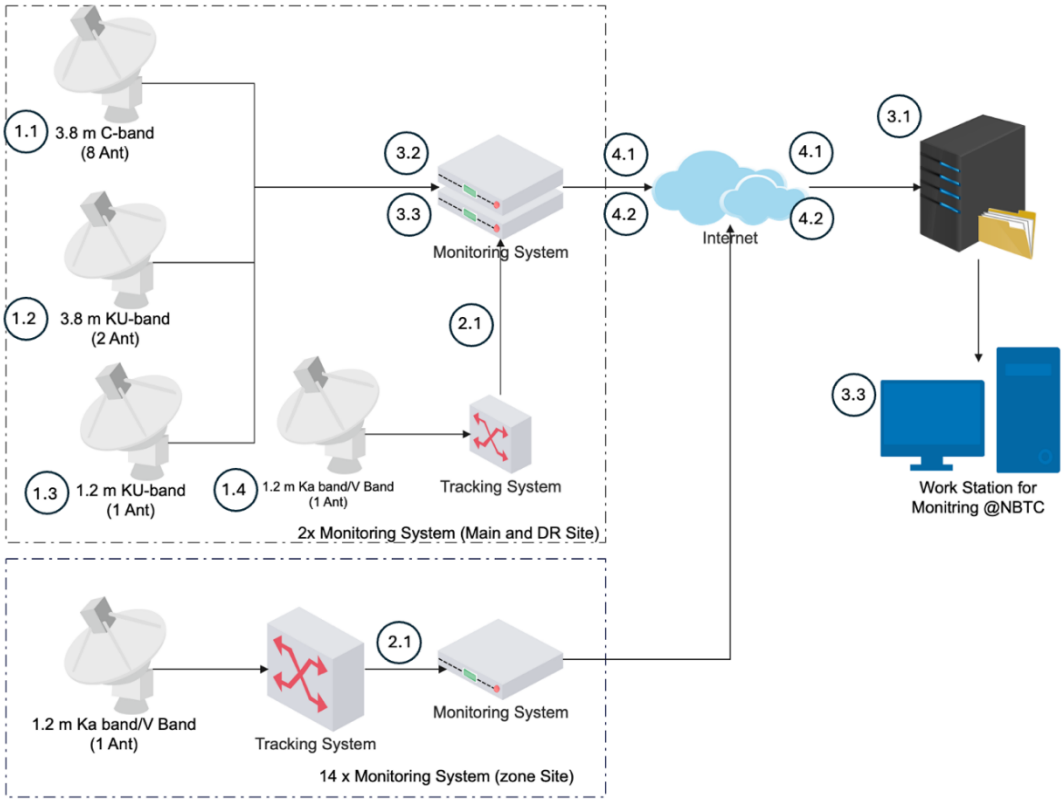
1) Main System จำนวน 2 Site ตามรายละเอียดต่อไปนี้

ที่	รายการอุปกรณ์	จำนวน
1	**ระบบจานรับสัญญาณดาวเทียม (Antenna System)**	
1.1	จานรับสัญญาณ C-Band ขนาด 3.8 เมตร (C-band High Gain Antenna)	16
1.2	จานรับสัญญาณ Ku-Band ขนาด 3.8 เมตร (Ku-band High Gain Antenna)	4
1.3	จานรับสัญญาณ Ku-Band ขนาด 1.2 เมตร (Ku-band High Gain Antenna)	2
1.4	จานรับสัญญาณ Ka-Band/V Band ขนาด 1.2 เมตร (High Gain Antenna with Tracking System) ในลักษณะของ Phased Array	2
2	**ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียม แบบ NGSO**	
2.1	ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียม แบบ NGSO	2
3	**ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียมและซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง (Core Spectrum Monitoring analysis and related software)**	
3.1	Center Monitoring System set (Center Database Server: CDS) @NBTC	
	Center Monitoring Server and Database	1
3.2	Monitoring System set (Local Network Server:LNS)	
	3.2.1 Spectrum Analyzer (Satellite DSP (Digital Signal Processing))	2
3.2	3.2.2 24 ports L-Band Switch	4
	3.2.3 Monitoring Server and Database	2

ที่	รายการอุปกรณ์	จำนวน
3.3	Workstation	
	3.3.1 Monitoring workstation (Main site and NBTC site)	3
4	**ระบบเน็ตเวิร์คและความปลอดภัยทางไซเบอร์ (Networking & Security)**	
4.1	24 ports Ethernet switch	5
4.2	Network Gateway (Firewall)	3

โดยข้อมูลรายละเอียดด้านงบประมาณในเบื้องต้น คณะผู้วิจัยฯ ไม่สามารถหาข้อมูลจากสาธารณะหรือการเปิดเผยจากหน่วยงานหรือผู้จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง จึงใช้วิธีการสังเคราะห์กระบวนการจาก ChatGPT ได้ดังต่อไปนี้ และสรุปเป็นรายละเอียดงบประมาณได้ดังนี้

รายการ	ราคาประเมิน (บาท)
1. ระบบจานรับสัญญาณดาวเทียม (Antenna System)	125,000,000.00
2. ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียม แบบ NGSO	25,000,000.00
3. ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียมและซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง (Core Spectrum Monitoring analysis and related software)	52,000,000.00
4 ระบบเน็ตเวิร์คและความปลอดภัยทางไซเบอร์ (Networking & Security)	10,000,000.00
5. งานจ้างเหมาจัดทำระบบตรวจสอบดาวเทียม (Integration & Services)	15,000,000.00
6. งานจัดทำห้องและจัดเตรียมสถานที่สำหรับจัดวางอุปกรณ์และติดตั้งจานรับสัญญาณ	10,000,000.00
7. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ซอฟต์แวร์ปัญญาประดิษฐ์ โปรแกรมบริหารจัดการและแสดงผล ระบบบันทึกข้อมูลสัญญาณ และอื่นๆ	63,000,000.00
8. ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการโครงการ (10%)	30,000,000.00
ราคารวม	**330,000,000.00**
ภาษีมูลค่าเพิ่ม (7%)	**23,100,000.00**
รวมทั้งสิ้น	**353,100,000.00**



รูปที่ 90 การประเมินกรอบงบประมาณตามอุปกรณ์ที่ออกแบบ

2) ส่วนที่สอง Monitoring System (Zone System) จำนวน 14 จุด

ที่	รายการอุปกรณ์	จำนวน
1. ระบบจานรับสัญญาณดาวเทียม (Antenna System)		
	จานรับสัญญาณ Ka-Band/V Band ขนาด 1.2 เมตร (High Gain Antenna with Tracking System) ในลักษณะของ Phased Array	14
2. ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียม แบบ NGSO		
	ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียม แบบ NGSO	14
3. ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียมและซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง (Core Spectrum Monitoring analysis and related software)		
3.1	Monitoring System set (Local Network Server:LNS)	
	3.1.1 Spectrum Analyzer (Satellite DSP (Digital Signal Processing))	14
	3.1.2 L-Band Switch	14
	3.1.3 Monitoring Server and Database	14
3.3	Workstation	
	3.3.1 Monitoring workstation (Zone site)	14
4. ระบบเน็ตเวิร์คและความปลอดภัยทางไซเบอร์ (Networking & Security)		
	24 ports Ethernet switch	28
	Network Gateway (Firewall)	14

6.4.2 ข้อมูลอ้างอิงการประเมินกรอบเงินประมาณ

จากการศึกษาคณะผู้วิจัยฯ ได้ดำเนินการประเมินราคาด้วยกระบวนการสืบค้น และศึกษาจากวิธีการสังเคราะห์กระบวนการโดย ChatGPT ซึ่งจะเป็นไปตามการประเมินราคาในอุปกรณ์จาก Main site ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการ และขนาดของระบบใน zone site ที่สามารถเลือกได้ตามความเหมาะสม โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้ มีรายละเอียดอ้างอิงการประเมินราคาดังนี้

1. Antenna System

Band	Type	Quantity	Notes
C-Band	3.8 m High-Gain	16	Fixed for GEO spectrum
Ku-Band	3.8 m High-Gain	4	GEO spectrum
Ku-Band	1.2 m High-Gain	2	Backup/mid-size station
Ka/V-Band	1.2 m Phased Array with Tracking	2	LEO Monitoring Ready (wideband)

Estimated Cost: 🟩 $2.5M

2. Leo Spectrum Monitoring System

Component	Qty	Notes
LEO Antenna System (motorized or phased array)	2	Auto-tracking with Ka/K-V capability
Integrated LEO Spectrum Analyzer	2	Real-time tracking spectrum sweep
LEO Monitoring Workstations	2	Local GUI and control
Telemetry Integration & Uplink Scan	Yes	For identifying satellite interference from LEO constellations

Estimated Cost (for both systems): 🟨 $500K

3. Core Spectrum Monitoring & Analysis

Component	Qty	Notes
DSP-Based Spectrum Analyzer	2	GEO-focused, remote access
L-Band Signal Switch (24 port)	4	Routing from multiple dishes
Monitoring Servers & Storage	2	Local signal processing
Center Database Server	1	NBTC HQ location
Operator Workstations	3	For spectrum review, analysis, alarms

Estimated Cost: 🟩 $850K

4. Monitoring & Analyzer Software

Component	Qty	Notes
Central Monitoring Platform	1	Master interface (Kratos / SatSignature)
Spectrum Analyzer SW Licenses	2	Includes LEO and GEO modules
Annual Support & Upgrades	1	Optional 24/7 hotline

Estimated Cost: 🟨 $220K

5. Networking & Cybersecurity

Component	Qty	Notes
Managed Ethernet Switch (24 port)	5	Internal signal/data routing
Network Firewall Gateway	3	Site-wide security (Fortinet, Cisco)
Storage Server (NAS)	1	Backup 3–6 months
Cybersecurity Suite	1	Endpoint + IDS/IPS protection

Estimated Cost: 🟩 $200K

6. Integration & Services

Description	Notes
Site survey + RF planning	All locations
Hardware deployment + cable routing	Multi-band setup
Full system integration	GEO + LEO + software + servers
Testing + Calibration + Acceptance	End-to-end
Operator training + Docs	Delivered in Thai + English
Support for 1 year	Onsite + remote

Estimated Cost: 🟨 $300K

7. Room Construction & Environmental Works

Item	Notes
RF-Shielded Monitoring Room (50 sqm)	Raised floor, cable trays
LEO Antenna Foundation (x2)	Concrete with grounding mesh
Redundant HVAC	For servers and ops room
Grounding & Electrical Infra	Lightning, surge protection

Estimated Cost: 🟨 $200K

8. Miscellaneous

Category	Description	Estimated Cost (USD
AI-Powered Interference Detection	Software module for automated RFI/EMI detection using ML	**$300K**
Real-Time Dashboard and Remote Access (NMS)	Custom GUI with analytics, alarms, remote web-based access	**$250K**
Signal Recording and Replay System	Continuous spectrum capture with historical playback (up to 180 days)	**$400K**
Cybersecurity Hardened Infrastructure	SOC integration, real-time monitoring, 2FA, audit logs	**$250K**
Contingency (10%)	Inflation buffer, price adjustment, logistics	**$923K**

โดยราคาที่ได้จากการประเมินเป็นไปในรูปแบบเหรียญสหรัฐ (USD) และเมื่อทำการเทียบราคาเป็นค่าเงินบาท (ไทย) ที่อัตราแลกเปลี่ยน 40 บาท จะสามารถเทียบได้ดังนี้

	Price (USD)	Thai THB (Rate 40THB:1USD)	X 25% for price variation
1. Antenna System	2.5M	100M	125M
2. Leo Spectrum Monitoring System	0.5M	20M	25M
3. Core Spectrum Monitoring & Analysis	0.85M	34M	41M
4. Monitoring & Analyzer Software	0.22M	8.8M	11M
5. Networking & Cybersecurity	0.2M	8M	10M
6. Integration & Services	0.3M	12M	15M
7. Room Construction & Environmental Works	0.2M	8M	10M
8. Miscellaneous			
8.1 AI power interference detection	0.3M	12M	15M
8.2 Real time dashboard and remote access	0.25M	10M	13M
8.3 Signal recording and replay system	0.4M	16M	20M
8.4 Cybersecurity Hardened Infrastructure	0.25M	10M	15M
9. Contingency (10%)	0.60M	23.88M	30M
Total budget	**6.57M**	**262.68M**	**330M**

หมายเหตุ: ราคาอิงตามอุปกรณ์เชิงพาณิชย์จริง ณ ปี 2024–2025 โดยต้นทุนไม่รวมการติดตั้ง การขนส่ง ศุลกากร และการฝึกอบรม ซึ่งโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้น 15–20% และสำหรับการใช้งานแบบเต็มรูปแบบ ให้ทำการประเมินราคาเพิ่มขึ้นจำนวน 500,000 –700,000 ดอลลาร์สหรัฐฯ สำหรับการรวมระบบ การออกใบอนุญาต NMS และการบำรุงรักษา 3 ปี

6.4.3 แหล่งข้อมูลอ้างอิงการประเมินกรอบเงินงบประมาณ

1. AVL Technologies. (2024, June 17). *2418 MEO/GEO Tracking Antenna*. https://avltech.com/2024/06/17/2418-meo-geo-tracking-antenna/
2. FMUSER. (n.d.). *WSA5000-418 Real-Time Spectrum Analyzer 100K-18G WSA5000-418*. https://www.fmuser.org/news/Electron/WSA5000-418-Real-Time-Spectrum-Analyzer-100K-18G-WSA5000-418.html
3. GlobeNewswire. (2016, September 8). *Monics Net 10.5 from Kratos Enhances Situational Awareness and Workforce Productivity of the Industry Leading Satellite Carrier Monitoring System*. https://www.globenewswire.com/news-release/2016/09/08/870431/0/en/Monics-Net-10-5-from-Kratos-Enhances-Situational-Awareness-and-Workforce-Productivity-of-the-Industry-Leading-Satellite-Carrier-Monitoring-System.html
4. Intelligence Community News. (n.d.). *Kratos Defense Launches Monics Net 10.5 Satellite Carrier Monitoring System*. https://intelligencecommunitynews.com/kratos-defense-launches-monics-net-10-5-satellite-carrier-monitoring-system/
5. ITU. (2018). *SmallSat Workshop Presentations*. https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2018-SmallSat/Presentations/22.pdf
6. Kratos Defense. (n.d.). *Monics*. https://www.kratosdefense.com/products/space/signals/rf-management/monics
7. Kratos Defense. (n.d.). *Spectrum Monitoring*. https://www.kratosdefense.com/systems-and-platforms/space-systems/military-and-government/spectrum-monitoring
8. Melcom. (n.d.). *WSA5000*. https://www.melcom.co.uk/uploads/wsa5000.pdf
9. Microwave Journal. (n.d.). *Low-Cost Signal Analysis*. https://www.microwavejournal.com/articles/21162-low-cost-signal-analysis
10. Orbital Connect. (n.d.). *Kratos Monics 200 Complete Interference Detection for HTS Spot Beams Fly Away Packages and Smaller Sites*. https://store.orbitalconnect.com/kratos-monics-200-complete-interference-detection-for-hts-spot-beams-fly-away-packages-and-smaller-sites/?srsltid=AfmBOoolHgUXgncJhAX-P0SGvBO3IfeEr_cBRksAQQyKtWwFuhtsFSbV
11. Orbital Connect. (n.d.). *Kratos Monics Net Advanced and Scalable Carrier Monitoring and Interference Identification Solution*. https://store.orbitalconnect.com/kratos-monics-net-advanced-and-scalable-carrier-monitoring-and-interference-identification-solution/?srsltid=AfmBOopNFslTNcIUzAAgKhUMKBLtEzpUkOavUTU3fgWajV33GVorvSz7
12. RITM Industry. (n.d.). *Spectrum Analyzer Tabletop Real-Time*. https://ritmindustry.com/catalog/spectrum-analyzers-signal-analyzers/spectrum-analyzer-tabletop-real-time/
13. SATMAGAZINE. (n.d.). *Story no. 1917065207*. https://www.satmagazine.com/story.php?number=1917065207

14. SatelliteToday. (2016, September 8). *Kratos Tackles RF Interference Monitoring Challenges Monics Enterprise*. https://www.satellitetoday.com/technology/2016/09/08/kratos-tackles-rf-interference-monitoring-challenges-monics-enterprise/
15. Techmarcom. (2018, September). *Brochure Monics Family Suite*. https://techmarcom.net/wp-content/uploads/2018/09/Brochure-Monics-Family-Suite.pdf
16. ThinkRF. (n.d.). *Real-Time Spectrum Analyzers*. https://thinkrf.com/products/real-time-spectrum-analyzers/
17. ThinkRF. (n.d.). *ThinkRF Partners Comint Consulting Complete SIGINT Solution*. https://thinkrf.com/thinkrf-partners-comint-consulting-complete-sigint-solution/
18. ThinkRF. (n.d.). *ThinkRF Releases Innovative S240 Real-Time Spectrum Analysis Software*. https://thinkrf.com/thinkrf-releases-innovative-s240-real-time-spectrum-analysis-software/
19. ThinkRF Support. (n.d.). *Solution 36000113035*. https://support.thinkrf.com/support/solutions/36000113035
20. YouTube. (n.d.). *YouTube video*. https://www.youtube.com/watch?v=8jQeMcMNu0A

บทที่ 7 ผลการศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างระบบปัจจุบันกับระบบที่ออกแบบในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และความมั่นคง

ระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียมมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจในหลายด้านทั้งในแง่ของการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสาร ความมั่นคง และการจัดการทรัพยากรความถี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยความสำคัญของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียม เพื่อ

- ป้องกันการรบกวนสัญญาณ ช่วยให้หน่วยงานที่กำกับดูแลสามารถติดตามการใช้งานคลื่นความถี่ป้องกันการรบกวนจากคลื่นที่ไม่ได้รับอนุญาต ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับธุรกิจที่พึ่งพาการสื่อสารผ่านดาวเทียม เช่น การแพร่ภาพ โทรคมนาคม และการสำรวจระยะไกล
- จัดการทรัพยากรความถี่ คลื่นความถี่เป็นทรัพยากรที่มีจำกัด ระบบตรวจสอบทำให้สามารถจัดสรรความถี่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด รองรับความต้องการของทั้งภาครัฐและเอกชน
- เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เทคโนโลยี 5G และ IoT ซึ่งมีความต้องการใช้งานคลื่นความถี่สูง การตรวจสอบช่วยให้เกิดความมั่นใจว่าเครือข่ายไร้สายเหล่านี้ทำงานได้อย่างราบรื่น

ผลกระทบในเชิงเศรษฐกิจของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่จะช่วยส่งเสริมอุตสาหกรรมดาวเทียมและการสื่อสารในการบริหารจัดการคลื่นความถี่ที่มีประสิทธิภาพ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ หมายความว่าถ้าสามารถจัดการคลื่นความถี่ได้เป็นอย่างดี จะสามารถดึงดูดการลงทุนจากภาคเอกชนและสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมดิจิทัล โดยสามารถสรุปเชิงเศรษฐกิจได้ดังนี้

1. **กระตุ้นการลงทุนในอุตสาหกรรมเทคโนโลยี** ระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ที่มีประสิทธิภาพช่วยสร้างความมั่นใจให้กับนักลงทุนในธุรกิจโทรคมนาคม ดาวเทียม และดิจิทัล ซึ่งเป็นรากฐานของเศรษฐกิจยุคใหม่
2. **ป้องกันความสูญเสียจากการรบกวนสัญญาณ** ปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่อาจทำให้เกิดความเสียหายในระบบสื่อสาร โทรคมนาคม และการเงิน ระบบตรวจสอบช่วยลดความเสี่ยงเหล่านี้ และทำให้เศรษฐกิจมีเสถียรภาพ
3. **เพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันของประเทศ** ประเทศที่มีระบบจัดการคลื่นความถี่ที่ดีจะสามารถพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัล ดึงดูดบริษัทเทคโนโลยีระดับโลก และสร้างโอกาสในการเป็นศูนย์กลางด้านเศรษฐกิจดิจิทัลของภูมิภาค

โดยหลักการคือ ความสามารถในการลดความสูญเสียจากการรบกวนคลื่นความถี่ (Interference) ซึ่งจะเกี่ยวพันกับการจัดทำการป้องกันการรบกวนคลื่นความถี่ (Interference Preventive) และการป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์ (Cybersecurity)

ในขณะที่ในเชิงสังคมจะพบว่าระบบตรวจสอบคลื่นความถี่จะมีส่วนช่วยลดความเหลื่อมล้ำทางสังคมได้ โดย การจัดสรรคลื่นความถี่จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยให้ประชาชนในพื้นที่ห่างไกลสามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียมได้อย่างมีเสถียรภาพ โดยเฉพาะการสนับสนุนโครงการ **USO Net** ทำให้คนในชนบทสามารถใช้บริการอินเทอร์เน็ตเพื่อการศึกษา สุขภาพ และพัฒนาอาชีพ อีกทั้งยังเพิ่มความปลอดภัยในเชิงการตรวจสอบความถี่ช่วยป้องกันการใช้คลื่นในทางที่ผิด เช่น การสื่อสารที่ผิดกฎหมายหรือการก่อการร้ายไซเบอร์ ซึ่งถือเป็นส่วนที่สำคัญอย่างมากในสังคมปัจจุบัน รวมถึงป้องกันการแออัดของสัญญาณจากการใช้งานโดยเฉพาะอุปกรณ์ด้าน IoT

ในขณะที่เชิงความมั่นคงจะสัมพันธ์กับความมั่นคงด้านการป้องกันประเทศ (National Security & Defense) ได้แก่

- ป้องกันการโจมตีแบบ Jamming (ตัดสัญญาณดาวเทียม) ที่อาจกระทบต่อการสื่อสารของกองทัพ
- ลดความเสี่ยงจาก Spoofing (ส่งสัญญาณปลอม) ซึ่งสามารถใช้ในการรบกวนระบบนำทาง GPS และระบบขีปนาวุธ
- ตรวจจับแหล่งที่มาของการโจมตีคลื่นความถี่ได้อย่างแม่นยำ
- ระบบตรวจสอบสามารถตรวจจับสัญญาณผิดปกติที่อาจเป็นการแทรกแซงจากหน่วยข่าวกรองต่างชาติ

และเรื่องความมั่นคงด้านไซเบอร์และโครงสร้างพื้นฐานสำคัญ (Cybersecurity & Critical Infrastructure Protection)

- ตรวจจับพฤติกรรมผิดปกติของสัญญาณที่อาจเป็นสัญญาณของการโจมตีจากแฮกเกอร์
- ลดความเสี่ยงจากการโจมตีดาวเทียมเพื่อใช้เป็นช่องทางโจมตีระบบธนาคาร การเงิน และโครงข่ายพลังงาน
- ตรวจสอบและป้องกันการบุกรุกคลื่นความถี่จากอาชญากรและองค์กรก่อการร้าย
- ป้องกันการใช้คลื่นในการสื่อสารเพื่อปฏิบัติการผิดกฎหมาย เช่น การลักลอบค้ายาเสพติดหรืออาวุธ
- ลดผลกระทบจาก การล่มของเครือข่ายสื่อสารและอินเทอร์เน็ต เนื่องจากการโจมตีทางคลื่นความถี่
- ตรวจจับความผิดปกติของสัญญาณที่อาจเกิดจากการโจมตีแบบ Distributed Denial of Service (DDoS) ผ่านดาวเทียม

กล่าวโดยสรุประบบตรวจสอบคลื่นความถี่เป็นส่วนสำคัญในการรักษาความมั่นคงของประเทศ ในด้าน กลาโหม ความมั่นคงไซเบอร์ การป้องกันภัยพิบัติ และเศรษฐกิจสามารถป้องกันภัยคุกคามทั้งภายในและภายนอกประเทศ เช่น การโจมตีไซเบอร์ การจารกรรมข้อมูล และการก่อการร้ายช่วยให้โครงสร้างพื้นฐานสำคัญของประเทศมีความเสถียรและปลอดภัยมากขึ้น โดยควรลงทุนพัฒนา **AI สำหรับการตรวจจับคลื่นรบกวนร่วมกับข้อมูลที่ได้รับ** เพื่อให้การตรวจสอบคลื่นมีความแม่นยำและลดต้นทุนระยะยาวรวมถึงเชื่อมต่อกับ ศูนย์ความมั่นคงไซเบอร์แห่งชาติ เพื่อรับมือภัยคุกคามอย่างเป็นระบบ

บทที่ 8 การจัดอบรมเพื่อเผยแพร่ผลการศึกษา

8.1 รายงานการประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม

รูปที่ 91 การประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการ

<u>ผู้เข้าร่วมประชุม</u>

1. รศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์	อนุกรรมการด้านคลื่นความถี่และมาตรฐานทางเทคนิค
2. นายสินชัย อนันตปรีชา	ผู้เชี่ยวชาญด้านคลื่นความถี่ กรรมการตรวจรับพัสดุโครงการฯ
3. นายบรรพต สุขประพฤติ	ผู้อำนวยการกลุ่มนโยบายและแผน กองกิจการอวกาศแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
4. นายปฏิภาณ ชัยลังกา	ผู้อำนวยการกลุ่มส่งเสริมการใช้เทคโนโลยี กองกิจการอวกาศแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
5. น.ต.อมรวรรณ มิ่งศิลาเลิศ	รองหัวหน้าแผนกสื่อสารโทรคมนาคม กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ทอ.
6. ร.อ.พูนศักดิ์ ภาษิต	นายทหารวิศวกร กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและอวกาศกลาโหม
7. ร.ท.อนุตร คุณาธรรมกุล	นายทหารเทคนิคแผนกดาวเทียมถ่ายภาพ กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและอวกาศกลาโหม
8. นายณัฐวุฒิ อาจปรุ	ผู้อำนวยการสำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร สำนักงาน กสทช.
9. นางสาวอรศรี ศรีระษา	ผู้อำนวยการส่วนสำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร สำนักงาน กสทช.
10. นางสาวศิรญา ชาวนา	ผู้อำนวยการส่วนสำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร สำนักงาน กสทช.
11. นายศรุต ศีลแจ่มใส	นักวิชาการเทคโนโลยีสารสนเทศปฏิบัติการระดับสูง (นทส. ก1)
12. นายภารัณ ภูริภัสโภคิน	วิศวกรปฏิบัติการระดับสูง (วก. ก1) สำนักกิจการภูมิภาค สำนักงาน กสทช.
13. นายปิยบุตร พรหมรุ่งเรือง	วิศวกรปฏิบัติการระดับสูง (วก. ก1) สำนักกิจการภูมิภาค สำนักงาน กสทช.
14. นายกรกต ผาสุก	วิศวกรปฏิบัติการ ระดับกลาง (วก. ก2) สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร สำนักงาน กสทช.

15. นายปรีดิ์ จรูญวัฒนเลาหะ	วิศวกรปฏิบัติการ ระดับกลาง (วก. ก2) สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร สำนักงาน กสทช.
16. นางสาววรรษมน ชมสาคร	วิศวกรปฏิบัติการระดับกลาง (วก. ก2) สำนักกิจการภูมิภาค สำนักงาน กสทช.
17. นายกิตติภัฏ จันทเขต	วิศวกรปฏิบัติการระดับต้น (วก. ก3) สำนักกิจการภูมิภาค สำนักงาน กสทช.
18. นางสาวจุฑารัตน์ แจ้วสกุล	นักวิชาการนโยบายและแผนระดับสูง (นนผ. ก1) สำนักกิจการวิทยุระหว่างประเทศ สำนักงาน กสทช.
19. นางสาวกิจวัฒนี อุดมศิลป์	นักวิชาการนโยบายและแผนระดับกลาง (นนผ. ก2) สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร สำนักงาน กสทช.
20. นางสาวกิติวรรณ ธรรมนิยาย	นักวิชาการนโยบายและแผนระดับกลาง (นนผ. ก2) สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร สำนักงาน กสทช.
21. นางสาวจันทกานติ์ สุพิชญ์	เศรษฐกรปฏิบัติการระดับต้น สำนักกองทุนวิจัยและพัฒนา
22. นางสาวชวิศา ขุนทอง	ลูกจ้างชั่วคราว สำนักบริหารคลื่นความถี่ สำนักงาน กสทช.
23. นายบุญชุบ บุ้งทอง	ผู้อำนวยการสำนักปฏิบัติการดาวเทียม GISTDA
24. นายทศพล ชินนิวัฒน์	วิศวกรชำนาญการสำนักปฏิบัติการดาวเทียม GISTDA
25. นางสาวพิมพ์ชนก ฤกษ์อุโฆษ	นักเทคโนโลยีอวกาศศูนย์ผลิตดาวเทียมแห่งชาติ GISTDA
26. นายครรชิต เพ็ชรนิล	ฝ่ายธุรกิจดาวเทียม ส่วนปฏิบัติการดาวเทียมนนทบุรี บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)
27. นายณัฐกุล หนุ่ยศรี	วิศวกร บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)
28. นางสาวรัฏฐิกา ปั้นวิเศษ	Sale Engineer Specialist บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)
29. น.อ. ศรัณย์ ทัพภะสุต	นักวิจัยอิสระ
30. นางสาวนงนภัส บุญตุ้ย	นักวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
31. นางสาวชนาภา ชำนะหาร	ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
32. นางสาวสุภัคธิณา กรประดิษฐ์	ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
33. นางสาวกรวีร์ ชีวพันธ์	ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
34. นางสาวชัญญา ณรงค์ทิพยาการ	ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
35. นายพงศธร ทรัพย์มูล	ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
36. นายณัฐกฤต นามสูงเนิน	ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
37. รศ.ดร.อุศนา ตัณฑุลเวศม์	หัวหน้าโครงการวิจัย
38. รศ.ดร.มงคล รักษาพัชรวงศ์	คณะผู้วิจัยฯ
39. รศ.ดร.ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม	คณะผู้วิจัยฯ
40. นายสัณห์ อุทยารัตน์	คณะผู้วิจัยฯ
41. นางสาวพรรษา บุนนาค	คณะผู้วิจัยฯ

<u>เริ่มประชุมเวลา 09.00 น.</u>

การประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม จัดขึ้นโดยมีวัตถุประสงคหลักดังนี้ 1) เพื่อชี้แจงรายละเอียดแนวทางการดำเนินโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม และ 2) เพื่อรับฟังความคิดเห็นจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อแนวทางการศึกษาดังล่าว ทั้งนี้ การประชุมได้ถูกจัดขึ้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2568 เวลา 08.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมแมจิก 1 โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ โดยได้มีผู้เข้าร่วมประชุมทั้งสิ้นจำนวน 41 ราย มีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 การบรรยายสรุปแนวทางการดำเนินโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมในภาพรวม

รูปที่ 92 รศ.ดร.อุศนา ตัณฑุลเวศม์ กล่าวรายงานฯ

ลำดับแรก **รศ.ดร.อุศนา ตัณฑุลเวศม์ หัวหน้าโครงการวิจัยฯ** ได้กล่าวรายงานความเป็นมาและวัตถุประสงคของโครงการฯ ดังนี้

โครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม เป็นโครงการที่รับการสนับสนุนจาก กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ หรือ กทปส. ในการศึกษาอำนาจหน้าที่โครงสร้างการกำกับดูแล เครื่องมือ อุปกรณ์ และระบบการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมทั้งในส่วนของภาคอวกาศ และ ภาคพื้นดิน ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) และประเทศสมาชิก เพื่อกำหนดแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสม โดยส่วนที่สำคัญภายใต้โครงการเป็นการวิเคราะห์และศึกษาความเป็นไปได้ทั้งในเชิงเทคนิค และเชิงกฎระเบียบ

ซึ่งผลลัพธ์ในเบื้องต้น ได้มีการออกแบบระบบภายใต้สถานการณ์การใช้คลื่นความถี่ทั้งในปัจจุบันในย่านความถี่ C/Ku/Ka และ V ประกอบกับการประเมินเทคโนโลยีอวกาศสมัยใหม่ ที่จะเข้ามามีบทบาทในอนาคต อาทิ NTN และ VLSO รวมถึงรับฟังความคิดเห็นต่อการดำเนินการกลับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในอุตสาหกรรมดาวเทียม ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และความมั่นคง เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลภายใต้กรอบการดำเนินการของ ITU โดยจุดมุ่งหมายหลักของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่นั้น เพื่อที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ผิดกฎหมาย การแก้ไขปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่ในเชิงป้องกันและเป็นไปตามกรอบการดำเนินการระหว่างประเทศภายใต้ข้อหนดของ ITU ต่อไป

รูปที่ 93 รศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ประธานในพิธีกล่าวต้อนรับผู้เข้าร่วมการสัมมนา

ถัดมา **รศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ อนุกรรมการด้านคลื่นความถี่และมาตรฐานทางเทคนิค สำนักงาน กสทช.** ประธานในพิธีได้กล่าวต้อนรับผู้เข้าร่วมการสัมมนา โดยมีรายละเอียดดังนี้

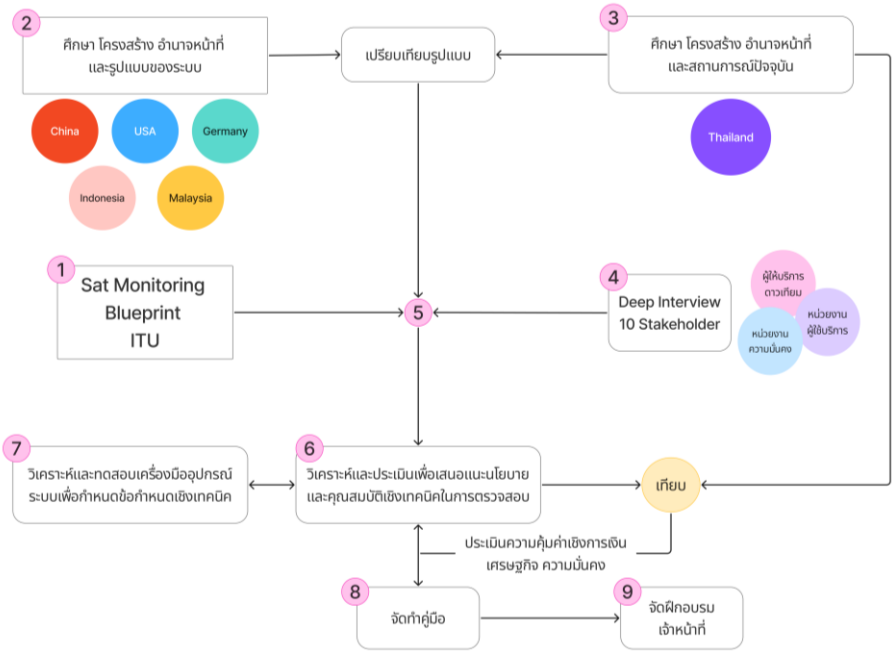
โดยในกระบวนการการเริ่มต้นดำเนินโครงการ มีที่มาจากทางสำนักงาน กสทช. ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญต่อกิจการดาวเทียม ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีของดาวเทียมมีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด และส่งผลทำให้การใช้งานที่มีนั้นได้รับผลกระทบจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของภาคอุตสาหกรรมดาวเทียม สำนักงาน กสทช. จึงได้เล็งเห็นความสำคัญต่อการจัดการสัญญาณรบกวน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องกฎระเบียบ ข้อบังคับ สถานี เพื่อใช้ในการควบคุมดาวเทียม ทางสำนักงานจึงได้มอบหมายให้มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งมีความรู้ความเข้าใจและมีประสบการณ์ในการควบคุมดาวเทียมมาเป็นผู้ศึกษาและหาแนวทางในการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของประเทศไทยอย่างเหมาะสม โดยในวันนี้ทางคณะผู้วิจัยและคณะกรรมการตรวจรับเล็งเห็นความสำคัญในการรับฟังความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย จึงได้จัดให้มีการประชุมและรับฟังความคิดเห็นเพื่อการพัฒนางานวิจัยให้มีปะสิทธิภาพต่อไป

รูปที่ 94 การบรรยาย “ภาพรวมโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม”

จากนั้นเป็นการบรรยายในหัวข้อ เรื่อง “ภาพรวมโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม” โดย รศ.ดร.อุศนา ตัณฑุลเวศม์ หัวหน้าโครงการวิจัยฯ

โดยในลำดับแรก ได้บรรยายเรื่องแนวทางในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยการดำเนินภายใต้โครงการได้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหลักการของการตรวจสอบคลื่นความถี่ดาวเทียมให้ครอบคลุมทุกมิติ เพื่อรักษาเสถียรภาพและประสิทธิภาพของการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยหากไม่มีการตรวจสอบที่เข้มแข็ง การใช้งานที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือไม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอาจนำไปสู่การขาดแคลนสเปกตรัมและการลดทอนคุณภาพของบริการดาวเทียมที่จำเป็น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อศักยภาพในการติดตั้งดาวเทียมในอนาคต ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารที่สำคัญ และความร่วมมือระหว่างประเทศในการจัดสรรสเปกตรัม เช่น ข้อกำหนดของ ITU ต่อไปได้ โดยภายในโครงการได้จำแนกกระบวนการออกเป็น 9 ขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1. การศึกษาแนวทางการดำเนินนโยบายของ ITU
2. ดำเนินการศึกษาโครงสร้าง อำนาจ หน้าที่และรูแบบการจัดการของต่างประเทศ อาทิ ประเทสสหรัฐอเมริกา ประเทศเยอรมัน ประเทศจีน ประเทศอินโดนีเซีย และประเทศมาเลเซีย
3. ศึกษาโครงสร้าง อำนาจ หน้าที่ และสถานการณ์ทางด้านดาวเทียมของประเทศไทย
4. ดำเนินการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย
5. ดำเนินการค้นคว้าและสรุปผลการเปรียบเทียบที่ได้จากการศึกษา วิจัย
6. วิเคราะห์และประเมินเพื่อเสนอแนะนโนบายและคุณสมบัติในการตรวจสอบคลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับประเมศไทย
7. วิเคราะห์และทดสอบเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมเพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงเทคนิค
8. ดำเนินการจัดทำคู่มือ
9. ดำเนินการจัดอบรมเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย



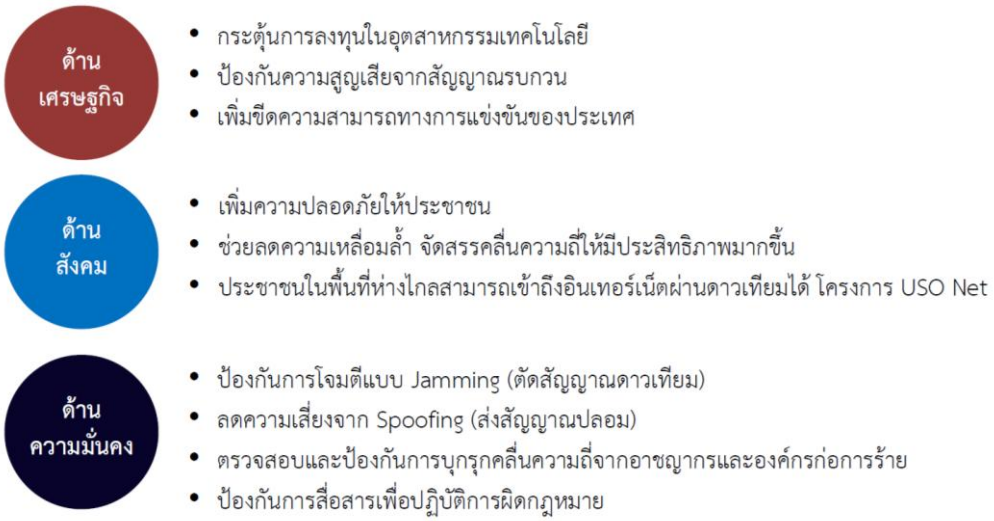
รูปที่ 95 แนวทางการพัฒนางานวิจัย

ทั้งนี้ ในงานวิจัยได้มีการศึกษาค้นคว้าแนวทางตรวจจับคลื่นความถี่ของ ITU จะพบว่า ITU ได้มีข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (RadioRegulation) มาตรา 16 ในการกำหนดการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศ คือ หน่วยงานต่าง ๆ ต้องตกลงที่จะพัฒนาเครื่องมือตรวจสอบคลื่นความถี่ในขอบเขต โดยให้ความร่วมมือในการพัฒนาระบบตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุระหว่างประเทศอย่างต่อเนื่อง แต่กลับไม่มีการระบุถึงแนวทางการดำเนินงานในขั้นถัดไป ดังนั้น คณะผู้วิจัยฯ จึงได้เสนอให้มีแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อการช่วยเหลือทางด้านการตรวจสอบคลื่นความถี่ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ และเห็นควรให้มีการพัฒนากฎหมายว่าด้วยเรื่องความผิดที่อาจจะส่งผลจากการใช้คลื่นความถี่ในทางที่มิชอบต่อไป

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการ จะสามารถสรุปออกเป็นข้อเสนอแนะแนวทางในการตรวจสอบคลื่นความถี่ได้ออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

- กรณีหาพื้นที่ตามข้อเสนอแนะในการติดตั้ง Main & DR Site ได้
    - จัดตั้งสถานี FixedStationในพื้นที่ที่กำหนด และพัฒนา WarRoomในพื้นที่สำนักงาน กสทช. ส่วนกลาง เพื่อใช้เป็นศูนย์เฝ้าระวัง
    - ควรจะครอบคลุมดาวเทียมที่ Operate และผ่านประเทศไทย ในช่วงต้น เพื่อสร้างระบบเฝ้าระวังและตรวจจับคลื่นความถี่ ตามข้อเสนอเบื้องต้นคือครอบคุลมพื้นที่ตาม Footprint ของดาวเทียม
    - พิจารณาเพิ่มเติมจานรับสัญญาณให้ครอบคลุมเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น VLEO และ NTN (คาดว่าภายใน 3-4ปีข้างหน้า)
    - เพิ่มเติมระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ในภูมิภาค จากเดิม 14 เขต ให้กระจายตัวมากขึ้น โดยเฉพาะภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
    - เพิ่มระบบตรวจสอบคลื่นความถี่แบบ Mobile Station
- กรณีหาพื้นที่ตามข้อเสนอแนะในการติดตั้ง Main & DR Site ไม่ได้
    - บูรณาการร่วมกับหน่วยงานภาครัฐ (กองทัพอากาศ NTGISTDA) หรือหน่วยงานภาคเอกชน เช่น ไทยคม ในการใช้พื้นที่รับข้อมูลคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียม และจัดตั้ง WarRoom ณ สำนักงาน กสทช. ส่วนกลาง
    - ปรับปรุงระบบ MobileStation ของ กสทช. ให้สามารถรับคลื่นความถี่ดาวเทียม โดยเฉพาะพื้นที่ติดชายแดนที่มีความเสี่ยงในเรื่องการกระทาผิดกฎระเบียบ
    - จัดหางบประมาณเพิ่มเติม ในการดาเนินงานตรวจสอบคลื่นความถี่ ให้ครอบคลุมช่วงคลื่นความถี่หรือการใช้งาน โดย Plug in เข้ากับระบบเดิมที่มีอยู่ได้

โดยจากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นต่อทางด้านสังคม เศรษฐกิจ และความมั่นคงจะพบว่า ระบบที่จะพัฒนาจะช่วยในเรื่องความสามารถในการลดความสูญเสียจากการรบกวนคลื่นความถี่ (Interference) ได้



รูปที่ 96 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย

ถัดมาเป็นการบรรยายในหัวข้อ เรื่อง “เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม” โดย รศ.ดร.ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม ซึ่งการตรวจสอบคลื่นความถี่ดาวเทียมถือเป็นรากฐานสำคัญในการบริหารจัดการสเปกตรัม (spectrum management) อันเป็นทรัพยากรที่มีจำกัดและมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสื่อสาร โดยในหัวข้อการบรรยายนี้จะเป็นการนำเสนอแนวทางต่าง ๆ ทางด้าน

เทคโนโลยี ตลอดจนข้อเสนอทางเทคนิคในการตรวจสอบการรบกวนของคลื่นความถี่ที่มีการนำใช้ในปัจจุบัน โดยประสานเข้ากับการจัดเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

รูปที่ 97 การบรรยาย เรื่อง “เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม”

วัตถุประสงค์หลักของการตรวจสอบคลื่นความถี่ดาวเทียมให้ครอบคลุมหลายมิติ มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อการรักษาเสถียรภาพและประสิทธิภาพของการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นหลักได้แก่

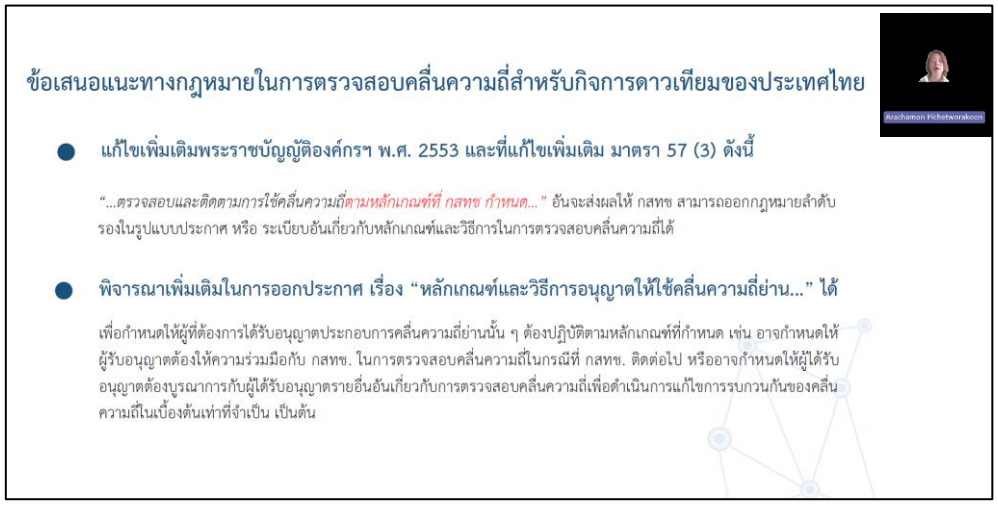
ประการแรก คือ การประเมินการใช้ทรัพยากรดาวเทียม ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบการใช้งานในระดับคลื่นพาหะ (carrier) และทรานสปอนเดอร์ (transponder) การประเมินการครอบครองความถี่และวงโคจร (frequency and orbit occupancy) และการตรวจสอบการปฏิบัติตามข้อกำหนดความหนาแน่นของฟลักซ์พลังงาน (Power Flux-Density compliance) การดำเนินการนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นทรัพยากรที่มีจำกัดและมีความแออัดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากไม่มีการตรวจสอบที่เข้มแข็ง การใช้งานที่ไม่ได้รับอนุญาตหรือไม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอาจนำไปสู่การขาดแคลนสเปกตรัมและการลดทอนคุณภาพของบริการดาวเทียมที่จำเป็น สิ่งนี้เน้นย้ำถึงความสำคัญทางเศรษฐกิจและยุทธศาสตร์ของการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อศักยภาพในการติดตั้งดาวเทียมในอนาคต ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารที่สำคัญ และความร่วมมือระหว่างประเทศในการจัดสรรสเปกตรัม เช่น ข้อกำหนดของ ITU ที่กล่าวถึงโดยนัยผ่าน "การปฏิบัติตามกฎระเบียบ"

ประการที่สองคือ การตรวจจับและแก้ไขการรบกวน ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการระบุตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของเครื่องส่งสัญญาณที่ก่อให้เกิดการรบกวน (Geolocation of interfering transmitters) และกำจัดการรบกวน (Elimination of interference)

ซึ่งเป้าหมายของการตรวจสอบยังรวมถึง การตรวจสอบพารามิเตอร์สัญญาณและวงโคจร เพื่อติดตามสัญญาณและพารามิเตอร์วงโคจรให้เป็นไปตามค่าที่กำหนด และการรับรองการปฏิบัติตามกฎระเบียบ เพื่อให้แน่ใจว่าการใช้งานดาวเทียมเป็นไปตามกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง จากการประเมินการใช้งาน (การประเมินเชิงรุก) และการตรวจจับและแก้ไขการรบกวน (การแก้ไขปัญหาเชิงรับ) โดยระบบการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพไม่ได้เป็นเพียงการแก้ไขปัญหาหลังจากที่เกิดขึ้นเท่านั้น แต่ยังเป็นการประเมินอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันปัญหา ปรับการจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสม และรับประกันความยั่งยืนของการดำเนินงานดาวเทียมในระยะยาว การประเมินเชิงรุกมีความสำคัญอย่างยิ่งในการระบุทรัพยากรที่ไม่ได้ใช้งานหรือถูกใช้น้อยเกินไป ซึ่งอาจนำไปสู่การวางแผนและการจัดสรรความถี่และตำแหน่งวงโคจรที่ดีขึ้น

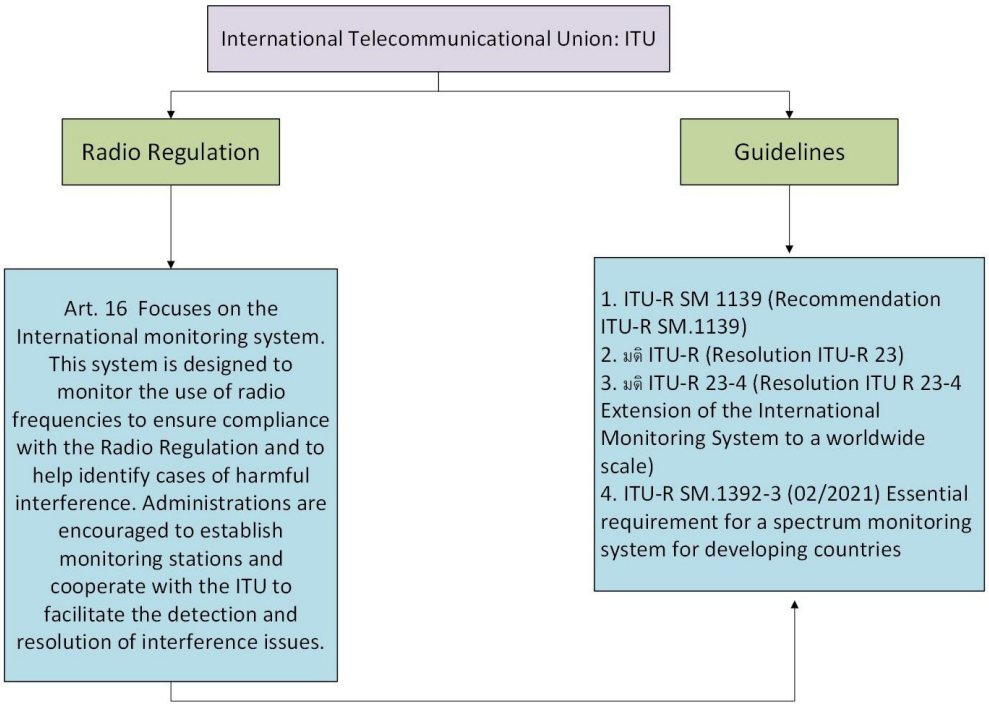
กล่าวโดยสรุป คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมนั้นได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นและภูมิทัศน์ที่เปลี่ยนแปลงไปของการสื่อสารผ่านดาวเทียม ดังนั้น การลงทุนในการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงความร่วมมือระหว่างประเทศ

จะสามารถช่วยเป็นกุญแจสำคัญในการช่วยให้เกิดการพัฒนาทางด้านต่าง ๆ จากการใช้งานสเปกตรัมดาวเทียมอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในอนาคตได้



รูปที่ 98 การบรรยายในรูปแบบวีดีโอ เรื่อง "กฎและระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่"

จากนั้นเป็นการบรรยายในรูปแบบวีดีโอภายใต้หัวข้อ เรื่อง "กฎและระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่" โดย ผศ.ดร.อรัชมน พิเชฐวรกุล



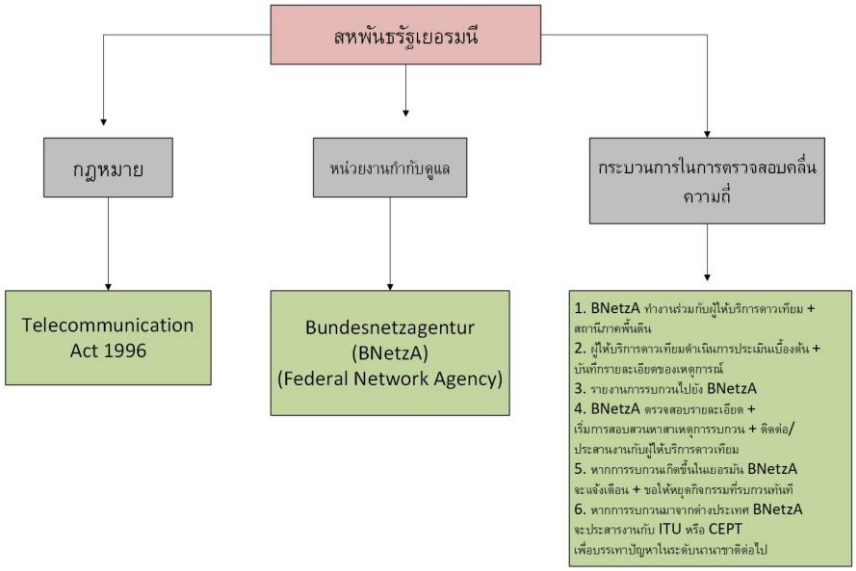
รูปที่ 99 แสดงถึงอำนาจน้าที่ บทบาทของ ITU

โดยได้กล่าวถึงบทบาทของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) เป็นองค์กรหลักระดับโลกที่รับผิดชอบในการกำกับดูแลและกำหนดมาตรฐานสำหรับการสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างประเทศ และบทบาทของ ITU มีความสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างความมั่นใจว่าการใช้คลื่นความถี่วิทยุทั่วโลกเป็นไปอย่างเป็นระเบียบและปราศจากการรบกวน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของกิจการดาวเทียมและบริการโทรคมนาคมอื่น ๆ ผ่านข้อบังคับวิทยุ (Radio Regulation) ที่เป็นสนธิสัญญาระหว่างประเทศที่ควบคุมการใช้คลื่นความถี่วิทยุร่วมกับประเทศสมาชิก ซึ่งบทบาทของ ITU ไม่ได้จำกัดอยู่แค่

การกำหนดกฎเกณฑ์เท่านั้น แต่ยังส่งเสริมการสร้างเครือข่ายความร่วมมือระดับโลกในการตรวจสอบคลื่นความถี่ การที่ ITU สนับสนุนให้ประเทศสมาชิกจัดตั้งสถานีตรวจสอบและร่วมมือกัน แสดงให้เห็นว่าการจัดการคลื่นความถี่เป็นความรับผิดชอบร่วมกันที่ต้องการความร่วมมือข้ามพรมแดนอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากลักษณะของคลื่นความถี่ที่ไม่มีพรมแดนและปัญหาการรบกวนสามารถส่งผลกระทบข้ามประเทศได้ง่าย ดังนั้น แนวปฏิบัติและมติต่างๆ ของ ITU จึงไม่ได้เป็นเพียงข้อเสนอแนะทางเทคนิค แต่เป็นข้อกำหนดเชิงกลยุทธ์ในการรักษาเสถียรภาพการสื่อสารโทรคมนาคมทั่วโลกและป้องกันข้อพิพาทระหว่างประเทศที่เกิดจากการรบกวนคลื่นความถี่

การศึกษาเปรียบเทียบแนวทางการตรวจสอบคลื่นความถี่ในต่างประเทศ

ภายใต้การดำเนินโครงการ คณะผู้วิจัยฯ ได้มีการศึกษาแนวปฏิบัติของประเทศต่าง ๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายในกรอบกฎหมาย โครงสร้างหน่วยงานกำกับดูแล และกระบวนการในการตรวจสอบคลื่นความถี่ แต่มีหลักการพื้นฐานร่วมกันในการป้องกันและแก้ไขปัญหาการรบกวน แม้จะมีแนวทางของ ITU เป็นกรอบ แต่การนำไปปฏิบัติในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแง่ของโครงสร้างหน่วยงาน และระดับความละเอียดของกระบวนการที่ระบุไว้ในกฎหมาย ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงบริบททางกฎหมายและวัฒนธรรมการกำกับดูแลของแต่ละประเทศ ทุกประเทศล้วนให้ความสำคัญกับการมีอำนาจในการตรวจสอบและสั่งการเพื่อแก้ไขปัญหาการรบกวน โดยได้ยกตัวอย่างประเทศกรณีศึกษา ได้แก่

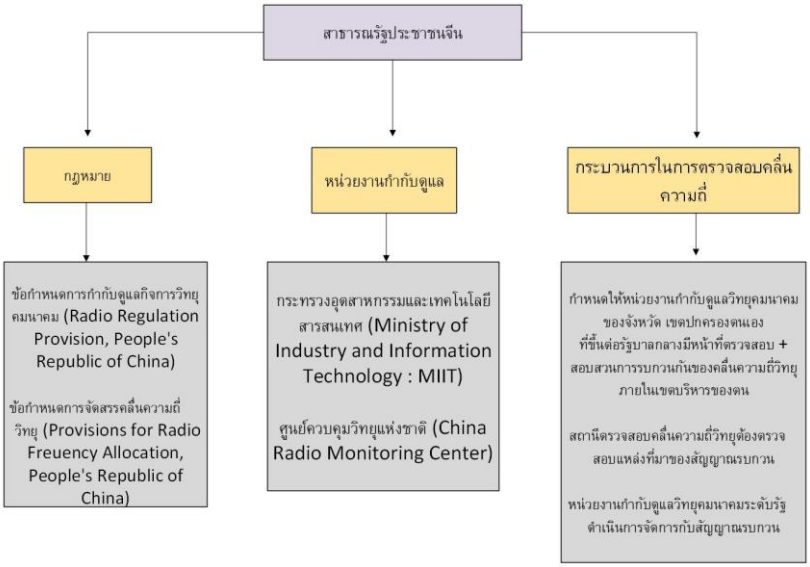


รูปที่ 100 โครงสร้างหน่วยงานกำกับดูแล และกระบวนการในการตรวจสอบคลื่นความถี่สหพันธรัฐเยอรมนี

สหพันธรัฐเยอรมนี

ในสหพันธรัฐเยอรมนี กฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่ คือ Telecommunication Act 1996.1 หน่วยงานกำกับดูแลคือ Bundesnetzagentur (BNetzA) หรือ Federal Network Agency โดยมีกระบวนการในการตรวจสอบคลื่นความถี่เริ่มต้นด้วยการที่ BNetzA ทำงานร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียมและสถานีภาคพื้นดิน ร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียมในการดำเนินการประเมินเบื้องต้นและบันทึกรายละเอียดของเหตุการณ์การรบกวน ก่อนที่จะรายงานไปยัง BNetzA โดย BNetzA จะเป็นผู้ตรวจสอบรายละเอียด สอบสวนหาสาเหตุของการรบกวน และติดต่อประสานงานกับผู้ให้บริการดาวเทียมที่ทำการรบกวน หากการรบกวนเกิดขึ้นภายในประเทศเยอรมนี BNetzA จะแจ้งเตือนและขอให้หยุดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการรบกวนทันที แต่หากการรบกวนมาจากต่างประเทศ BNetzA จะประสานงานกับ ITU หรือ CEPT

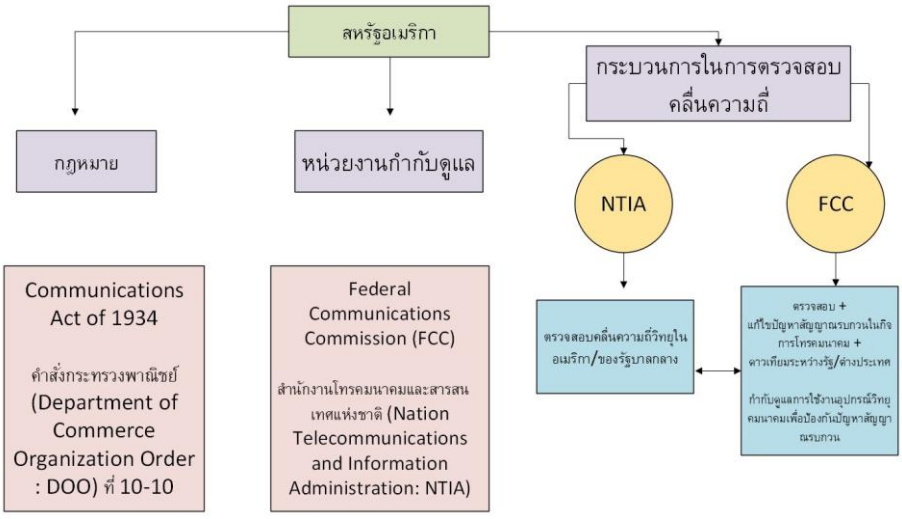
(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) เพื่อบรรเทาปัญหาในระดับนานาชาติต่อไป



รูปที่ 101 โครงสร้างหน่วยงานกำกับดูแล และกระบวนการในการตรวจสอบคลื่นความถี่สาธารณรัฐประชาชนจีน

สาธารณรัฐประชาชนจีน

สาธารณรัฐประชาชนจีนมีกฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลคลื่นความถี่ ได้แก่ ข้อกำหนดการกำกับดูแลกิจการวิทยุคมนาคม (Radio Regulation Provision, People's Republic of China) และข้อกำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุ (Provisions for Radio Frequency Allocation, People's Republic of China) โดยมีหน่วยงานกำกับดูแลหลักคือ กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Ministry of Industry and Information Technology: MIIT) และศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติ (China Radio Monitoring Center) ซึ่งมีกระบวนการตรวจสอบคลื่นความถี่กำหนดให้หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของจังหวัด เขตปกครองตนเอง ที่ขึ้นต่อรัฐบาลกลางมีหน้าที่ตรวจสอบและสอบสวนการรบกวนกันของคลื่นความถี่วิทยุภายในเขตบริหารของตน สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุต้องตรวจสอบแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน และหน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับรัฐจะดำเนินการจัดการกับสัญญาณรบกวนนั้น

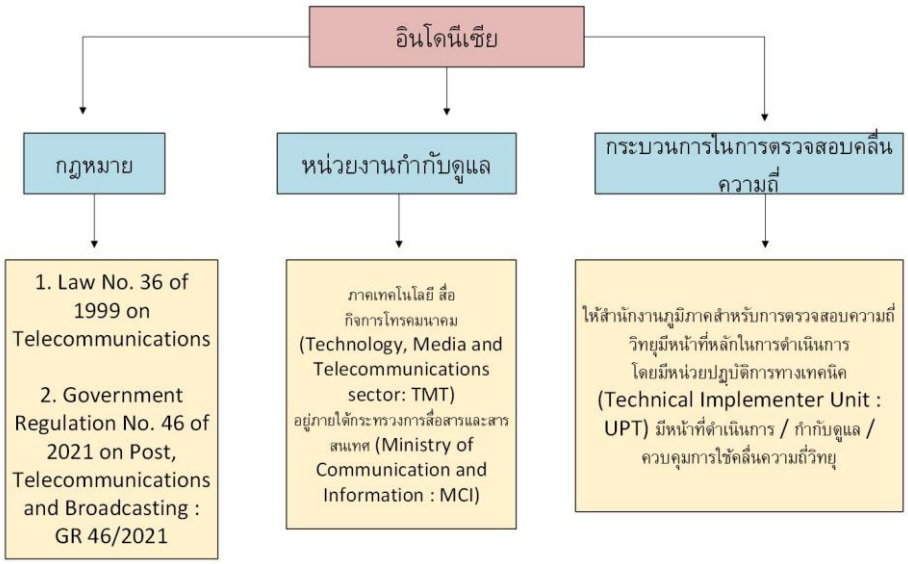


5

รูปที่ 102 โครงสร้างหน่วยงานกำกับดูแล และกระบวนการในการตรวจสอบคลื่นความถี่สหรัฐอเมริกา

สหรัฐอเมริกา

ในสหรัฐอเมริกา กฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่คือ Communications Act of 1934 และคำสั่งกระทรวงพาณิชย์ (Department of Commerce Organization Order: DOO) ที่ 10-10 โดยสหรัฐอเมริกามีหน่วยงานกำกับดูแลหลักสองแห่งที่แยกบทบาทกันชัดเจน ได้แก่ Federal Communications Commission (FCC) และสำนักงานโทรคมนาคมและสารสนเทศแห่งชาติ (Nation Telecommunications and Information Administration: NTIA) NTIA มีหน้าที่ตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในอเมริกาและคลื่นความถี่ของรัฐบาลกลาง ในขณะที่ FCC มีหน้าที่ตรวจสอบและแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนในกิจการโทรคมนาคมและดาวเทียมระหว่างรัฐหรือระหว่างประเทศ รวมถึงกำกับดูแลการใช้งานอุปกรณ์วิทยุคมนาคมเพื่อป้องกันปัญหาการรบกวน



รูปที่ 103 โครงสร้างหน่วยงานกำกับดูแล และกระบวนการในการตรวจสอบคลื่นความถี่อินโดนีเซีย

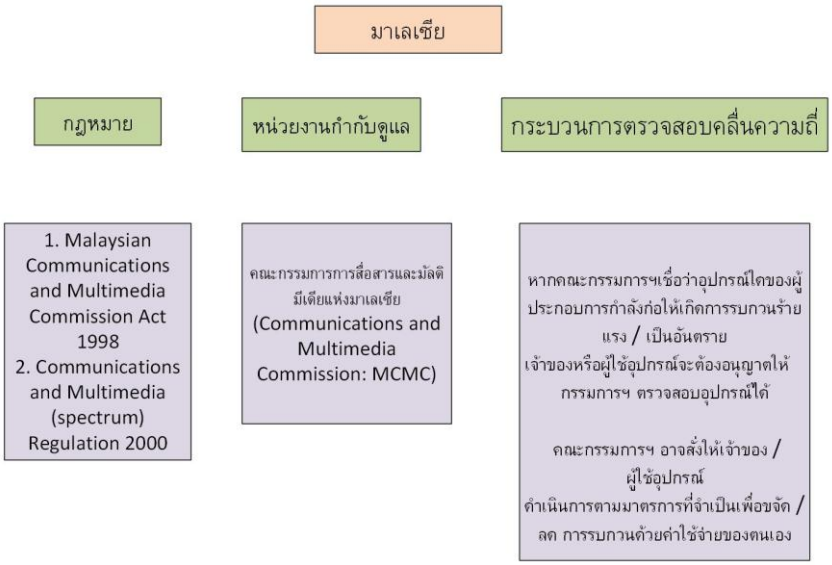
อินโดนีเซีย

อินโดนีเซียมีกฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องกับการโทรคมนาคม ได้แก่ Law No. 36 of 1999 on Telecommunications และ Government Regulation No. 46 of 2021 on Post, Telecommunications and Broadcasting (GR 46/2021) โดยมีหน่วยงานกำกับดูแลคือ ภาคเทคโนโลยี สื่อ กิจการโทรคมนาคม (Technology, Media and Telecommunications sector: TMT) ซึ่งอยู่ภายใต้กระทรวงการสื่อสารและสารสนเทศ (Ministry of Communication and Information: MCI) และมีกระบวนการในการตรวจสอบคลื่นความถี่กำหนดให้สำนักงานภูมิภาคสำหรับการตรวจสอบความถี่วิทยุมีหน้าที่หลักในการดำเนินการ โดยมีหน่วยปฏิบัติการทางเทคนิค (Technical Implementer Unit: UPT) ทำหน้าที่ดำเนินการ กำกับดูแล และควบคุมการใช้คลื่นความถี่วิทยุ

มาเลเซีย

มาเลเซียมีกฎหมายหลักสองฉบับที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลคลื่นความถี่ ได้แก่ Malaysian Communications and Multimedia Commission Act 1998 และ Communications and Multimedia (spectrum) Regulation 2000 โดยมีหน่วยงานกำกับดูแลหลักคือ คณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย (Communications and Multimedia Commission: MCMC) และมีกระบวนการตรวจสอบคลื่นความถี่ในมาเลเซียเป็นไปตามขั้นตอนที่ MCMC กำหนด หาก MCMC เชื่อว่าอุปกรณ์ใดของผู้ประกอบการกำลังก่อให้เกิดการรบกวนร้ายแรงหรือเป็นอันตราย เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์จะต้องอนุญาตให้กรรมการฯ

ตรวจสอบอุปกรณ์ได้ และ MCMC อาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์ดำเนินการตามมาตรการที่จำเป็นเพื่อจัดการหรือหาวิธีเพื่อลดการรบกวนด้วยค่าใช้จ่ายของตนเอง



รูปที่ 104 โครงสร้างหน่วยงานกำกับดูแล และกระบวนการในการตรวจสอบคลื่นความถี่มาเลเซีย

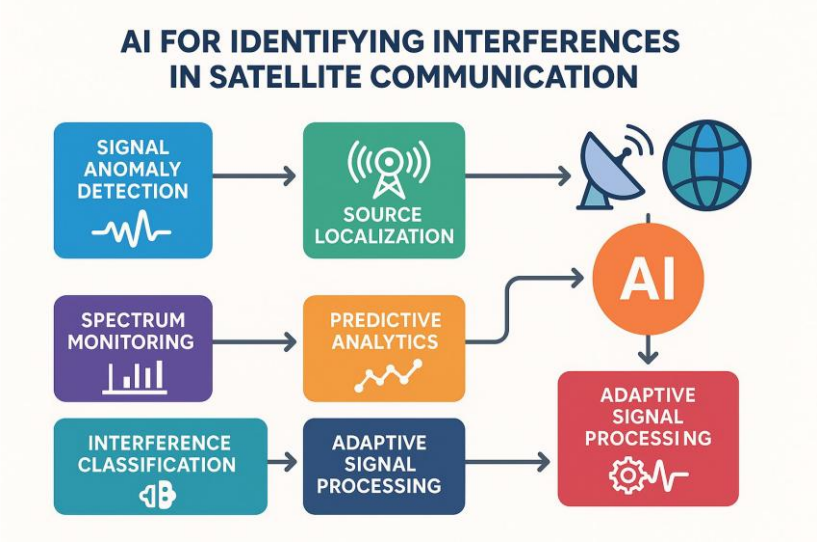
โดยการตรวจสอบคลื่นความถี่ที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับกิจการดาวเทียมในบริบทของโทรคมนาคมยุคใหม่ เนื่องจากคลื่นความถี่เป็นทรัพยากรที่มีจำกัดและมีความสำคัญต่อการเชื่อมโยงการสื่อสารทั่วโลก สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) มีบทบาทสำคัญในการวางกรอบและส่งเสริมความร่วมมือระหว่างประเทศผ่านข้อบังคับและแนวปฏิบัติ เพื่อให้มั่นใจว่าการใช้คลื่นความถี่เป็นไปอย่างเป็นระเบียบและปราศจากการรบกวน การศึกษาเปรียบเทียบแนวทางของประเทศต่างๆ เช่น เยอรมนี จีน สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย และมาเลเซีย แสดงให้เห็นว่าแม้จะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันในโครงสร้างหน่วยงานและกระบวนการ แต่ทุกประเทศมีเป้าหมายร่วมกันในการจัดการการรบกวนคลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นอำนาจของหน่วยงานกำกับดูแลในการตรวจสอบและสั่งการเพื่อแก้ไขปัญหา

สำหรับประเทศไทย กรอบกฎหมายปัจจุบันภายใต้พระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่ พ.ศ. 2553 ได้ให้อำนาจแก่ กสทช. ในการกำกับดูแลและตรวจสอบคลื่นความถี่ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การกำกับดูแลกิจการดาวเทียมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและทันสมัยกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว จึงมีข้อเสนอแนะเชิงรุกในการปรับปรุงกฎหมาย โดยมุ่งเน้นไปที่การเสริมสร้างอำนาจของ กสทช. ในการออกกฎหมายลำดับรองเพื่อกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการที่ชัดเจน รวมถึงการเพิ่มความร่วมมือจากผู้ประกอบการดาวเทียมทั้งในและต่างประเทศในการให้ข้อมูลและร่วมแก้ไขปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่

ซึ่งการปรับปรุงกรอบกฎหมายเป็นเพียงก้าวแรกในการสร้างระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ที่มีประสิทธิภาพอย่างแท้จริงสำหรับกิจการดาวเทียมในประเทศไทย จำเป็นต้องอาศัยการลงทุนอย่างต่อเนื่องในโครงสร้างพื้นฐานทางเทคนิคที่ทันสมัย การพัฒนาศักยภาพบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ และการส่งเสริมวัฒนธรรมความร่วมมืออย่างใกล้ชิดระหว่างภาครัฐ (กสทช.) ผู้ประกอบการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศอย่างสม่ำเสมอ การดำเนินการเหล่านี้จะช่วยให้ประเทศไทยสามารถบริหารจัดการคลื่นความถี่ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีค่าได้อย่างยั่งยืน รองรับการเติบโตของเศรษฐกิจดิจิทัลต่อไปได้

รูปที่ 105 การบรรยาย เรื่อง “แนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม”

จากนั้นเป็นการบรรยายในหัวข้อ เรื่อง “แนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม” โดย รศ.ดร.มงคล รักษาพัชรวงศ์



รูปที่ 106 รูปแบบการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยี AI เพื่อตรวจสอบคลื่นความถี่

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence AI) ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการตรวจจับและบริหารจัดการสัญญาณรบกวน (Interference) ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพ คุณภาพ และความต่อเนื่องของการให้บริการสื่อสารผ่านดาวเทียม การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ สามารถนำใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. การจำแนกประเภทสัญญาณ (Signal Classification)
2. การวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analysis)
3. การระบุตำแหน่งแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน (Interference Source Localization)
4. การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition)
5. การตรวจจับความผิดปกติ (Anomaly Detection)
6. การวิเคราะห์หาสาเหตุ (Root Cause Analysis)
7. การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

อย่างไรก็ตามการนำเอาเทคโนโลยีทางดเนปัญญาประดิษฐ์เข้ามาใช้งาน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีทรัพยากรที่เพียงพอต่อความต้องการ เพื่อให้การพัฒนาแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ (AI Models) สำหรับการ

ตรวจจับการรบกวนในการสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะสามารถจำแนกออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้ ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูล (Data)
    - รายละเอียด ชุดข้อมูลสัญญาณความถี่วิทยุ (RF signal datasets) ทั้งที่มีและไม่มีการรบกวน
    - ปริมาณโดยประมาณ/ความต้องการ ≥ 1–10 เทราไบต์ (TB) ของข้อมูล I/Q หรือข้อมูลสเปกตรัมที่ติดฉลาก (labeled I/Q or spectrum data)
    - วัตถุประสงค์/การใช้งาน สำหรับการฝึกฝน (training) การตรวจสอบความถูกต้อง (validation) และการทดสอบ (testing) แบบจำลอง
2. ข้อมูลคำอธิบายประกอบ (Annotations)
    - รายละเอียด ประเภทการรบกวน ตราประทับเวลา (timestamps) และตำแหน่งที่ระบุโดยมนุษย์หรือผู้เชี่ยวชาญ
    - ปริมาณโดยประมาณ/ความต้องการ 10,000–1,000,000 ตัวอย่างที่ติดฉลาก (labeled instances)
    - วัตถุประสงค์/การใช้งาน สำหรับการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) และการจำแนกประเภท (classification)
3. พลังการประมวลผล (Computational Power)
    - รายละเอียด หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPUs) (เช่น NVIDIA A100, V100) หรือหน่วยประมวลผลเทนเซอร์ (TPUs)
    - ปริมาณโดยประมาณ/ความต้องการ 4–16 GPUs สำหรับแบบจำลองขนาดใหญ่
    - วัตถุประสงค์/การใช้งาน เพื่อการฝึกฝนแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning models) อย่างมีประสิทธิภาพ
4. หน่วยจัดเก็บข้อมูล (Storage)
    - รายละเอียด หน่วยจัดเก็บข้อมูลแบบโซลิดสเตตไดรฟ์ (SSD) ความเร็วสูง หรือที่จัดเก็บข้อมูลบนเครือข่าย (NAS)
    - ปริมาณโดยประมาณ/ความต้องการ ≥ 20 TB (สำหรับข้อมูลดิบ ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลเบื้องต้น และจุดตรวจสอบ (checkpoints))
    - วัตถุประสงค์/การใช้งาน สำหรับจัดเก็บชุดข้อมูล (datasets) ข้อมูลที่ประมวลผลล่วงหน้า (preprocessed data) และผลลัพธ์จากแบบจำลอง (model outputs)
5. ระยะเวลาการฝึกฝนแบบจำลอง (Training Time)
    - รายละเอียด ขึ้นอยู่กับขนาดของแบบจำลองและความซับซ้อนของข้อมูล
    - ปริมาณโดยประมาณ/ความต้องการ ประมาณ 1–4 สัปดาห์ต่อแบบจำลอง (สำหรับแบบจำลอง CNNs, RNNs เชิงลึก)
    - วัตถุประสงค์/การใช้งาน เพื่อให้วงจรการฝึกฝนแบบจำลองเสร็จสมบูรณ์ พร้อมกับการปรับแต่งไฮเปอร์พารามิเตอร์ (hyperparameter tuning)
6. เครื่องมือซอฟต์แวร์ (Software Tools)
    - รายละเอียด เฟรมเวิร์กสำหรับการเรียนรู้ของเครื่อง/การเรียนรู้เชิงลึก (ML/DL frameworks) เช่น TensorFlow, PyTorch, scikit-learn, MATLAB

- ปริมาณโดยประมาณ/ความต้องการ โอเพนซอร์ส (Open source) / สัญญาอนุญาตเชิงพาณิชย์ (commercial licenses)
- วัตถุประสงค์/การใช้งาน สำหรับการพัฒนา การฝึกฝน และการนำแบบจำลองไปใช้งาน (model development, training, and deployment)

7. บุคลากร (Personnel)
    - รายละเอียด นักวิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data scientists) วิศวกรความถี่วิทยุ (RF engineers) ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน (domain experts)
    - ปริมาณโดยประมาณ/ความต้องการ ผู้เชี่ยวชาญ 3–10 คน
    - วัตถุประสงค์/การใช้งาน สำหรับการเตรียมข้อมูล การปรับแต่งแบบจำลอง การตรวจสอบความถูกต้อง และองค์ความรู้เฉพาะด้าน (Data prep, model tuning, validation, domain knowledge)
8. พลังงานและการระบายความร้อน (Power & Cooling)
    - รายละเอียด การใช้พลังงานสำหรับกลุ่ม GPU (GPU clusters)
    - ปริมาณโดยประมาณ/ความต้องการ ประมาณ 10–30 กิโลวัตต์ต่อวันต่อเซิร์ฟเวอร์ (kWh/day per server)
    - วัตถุประสงค์/การใช้งาน เพื่อรักษาโครงสร้างพื้นฐานการคำนวณระหว่างการฝึกฝน (Sustains compute infrastructure during training)
9. โครงสร้างพื้นฐานเพื่อการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation Infrastructure)
    - รายละเอียด ชุดทดสอบ RF แบบจำลองหรือแบบเรียลไทม์ (Simulated or real-time RF testbeds)
    - ปริมาณโดยประมาณ/ความต้องการ เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generators) เครื่องจำลองการเชื่อมโยงผ่านดาวเทียม (satellite link emulators)
    - วัตถุประสงค์/การใช้งาน เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองก่อนการนำไปใช้งานจริง (Validate model performance before deployment)

ในการจัดสรรทรัพยากรเหล่านี้ หากมีการจัดการอย่างเหมาะสมและเพียงพอ จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมความสำเร็จในการพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับการรบกวนในการสื่อสารผ่านดาวเทียม อันจะนำมาซึ่งประโยชน์ต่อการดำเนินงานและบริการที่เกี่ยวข้องต่อไป

รูปที่ 107 การบรรยายในหัวข้อพิเศษ “แนวทางการปฏิบัติในการตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศไทย”

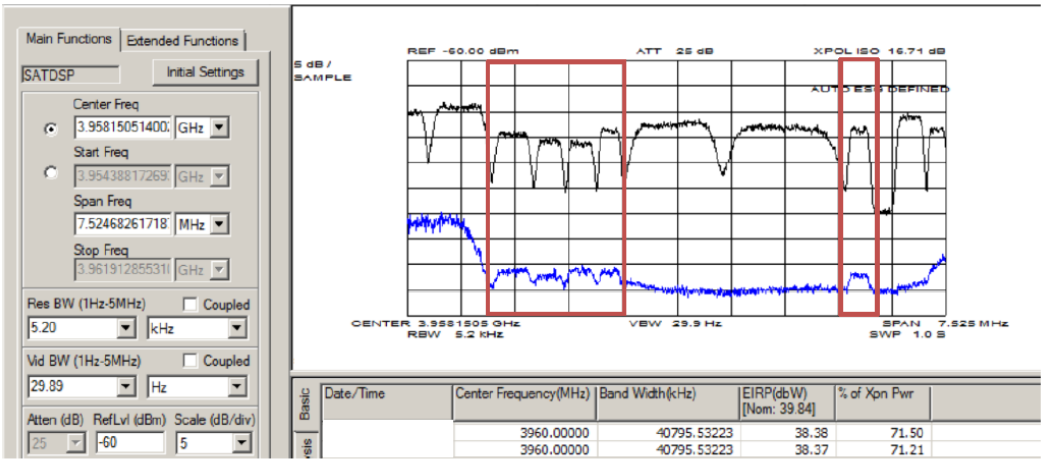
และสุดท้ายเป็นการบรรยายในหัวข้อพิเศษ เรื่อง “แนวทางการปฏิบัติในการตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศไทย” โดย นายณัฐกุล หนุ่ยศรี ผู้แทนบริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน) ในการเข้าร่วมแบ่งปันประสบการณ์ที่ทางบริษัทฯ ได้พบและนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวในรูปแบบการบรรยายพิเศษ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ประเภทของสัญญาณรบกวนและแนวทางการแก้ไข

1. สัญญาณรบกวนจากดาวเทียมข้างเคียง (Adjacent Satellite Interference)

ปัญหาที่ตรวจพบ ลูกค้าที่ใช้งานคลื่นความถี่บนดาวเทียมไทยคม 7 ได้แจ้งว่าพบสัญญาณแปลกปลอมเกิดขึ้นในช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพบริการและจำเป็นต้องมีการตรวจสอบโดยทันที

การตรวจสอบ ทีมงานด้านเทคนิคของไทยคมได้เริ่มการตรวจสอบช่องสัญญาณตามที่ลูกค้ารายงาน เจ้าหน้าที่พบสัญญาณแปลกปลอมและใช้ระบบ Satellite Monitor ขั้นสูง เพื่อตรวจสอบลักษณะของสัญญาณจากดาวเทียมข้างเคียงไทยคม 7 ซึ่งมีการใช้งานคลื่นความถี่ในย่านเดียวกัน การวิเคราะห์นี้ยืนยันว่าสัญญาณรบกวนมีลักษณะตรงกับการใช้งานของดาวเทียมข้างเคียง โดยกราฟสเปกตรัมที่แสดงสาเหตุของการเกิดปัญหา



กราฟสีดำ **แสดงการใช้งานความถี่ของดาวเทียมข้างเคียง**

กราฟสีน้ำเงิน **แสดงการใช้งานความถี่ของดาวเทียมไทยคม 7**

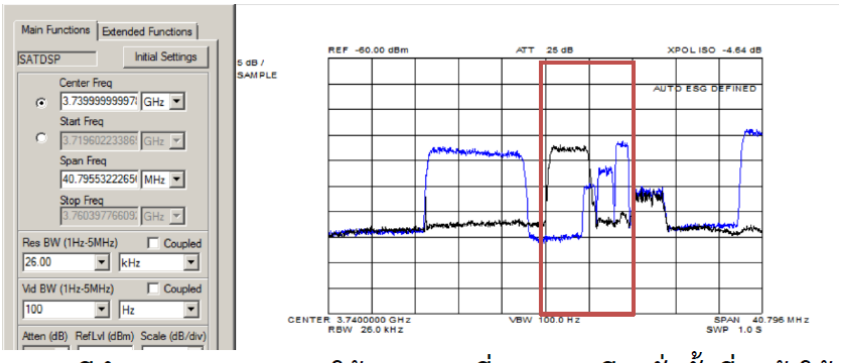
รูปที่ 108 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนจากดาวเทียมข้างเคียง (ที่มา บมจ.ไทยคม)

แนวทางการแก้ไข ไทยคมได้ติดต่อผู้ประกอบการดาวเทียมข้างเคียงทันที โดยให้ข้อมูลที่จำเป็นและร้องขอให้มีการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาการปรับจานสายอากาศที่ไม่ถูกต้องโดยเร็วที่สุด

2. สัญญาณรบกวนจากขั้วตรงข้าม (Cross Polarization Interference)

ปัญหาที่ตรวจพบ ลูกค้าดาวเทียมไทยคมรายหนึ่งได้แจ้งว่าคุณภาพสัญญาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด

การตรวจสอบ ในขั้นต้น เจ้าหน้าที่ไทยคมพบสัญญาณรบกวนขนาดเล็กทางด้านขวาของสัญญาณหลักของลูกค้า ซึ่งประเมินว่าไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานของลูกค้าอย่างรุนแรงตามที่ได้รับแจ้ง อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบเชิงลึกเพิ่มเติมพบว่ามีสัญญาณรบกวนทับซ้อนและทำให้สัญญาณการใช้งานหลักของลูกค้าเสื่อมคุณภาพลงจริง



กราฟสีดำ แสดงการใช้งานความถี่ของดาวเทียมฝั่งขั้วที่ลูกค้าใช้งาน

กราฟสีน้ำเงิน แสดงการใช้งานความถี่ของดาวเทียมฝั่งขั้วตรงข้ามที่ลูกค้าใช้งาน

รูปที่ 109 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนจากขั้วตรงข้าม (ที่มา บมจ.ไทยคม)

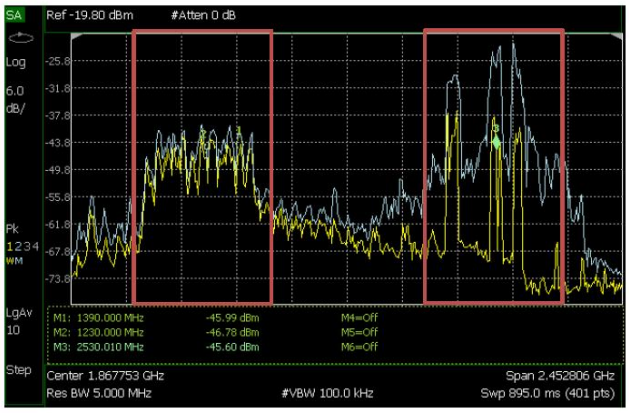
สาเหตุของการเกิดปัญหา สัญญาณรบกวนมีต้นกำเนิดจากสัญญาณในขั้วตรงข้าม สาเหตุที่เป็นไปได้คือผู้ใช้งานในขั้วนั้นไม่ได้ปรับ Polarization ของจานสายอากาศให้ตรงตำแหน่งก่อนเริ่มการส่งสัญญาณ ส่งผลให้สัญญาณรั่วไหลโดยไม่ตั้งใจเข้าสู่ขั้วที่ตั้งฉากกันซึ่งลูกค้าที่ได้รับผลกระทบใช้งานอยู่

แนวทางการแก้ไข ไทยคมได้ติดต่อลูกค้าที่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนโดยตรง และประสานงานกับพวกเขาเพื่อปรับการตั้งค่า Polarization ของจานสายอากาศ

3. สัญญาณรบกวนภาคพื้นดิน (Terrestrial Interference)

ปัญหาที่ตรวจพบ ลูกค้าของไทยคมได้รับการร้องเรียนจากผู้ใช้งานปลายทางและผู้ประกอบการเคเบิลทีวีเกี่ยวกับคุณภาพการรับสัญญาณโทรทัศน์ที่ไม่ดีผ่านดาวเทียมไทยคมในย่านความถี่ C-Band โดยเฉพาะที่ความถี่ 3760 MHz และ 3920 MHz การตรวจสอบเบื้องต้นที่ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียมส่วนกลางของไทยคมและสถานี TVRO ไม่พบความผิดปกติใดๆ ซึ่งบ่งชี้ว่าสัญญาณรบกวนอาจเกิดขึ้นเฉพาะบางพื้นที่

สัญญาณดาวเทียมไทยคม



สัญญาณที่เข้ามารบกวน

รูปที่ 110 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนภาคพื้นดิน (ที่มา บมจ.ไทยคม)

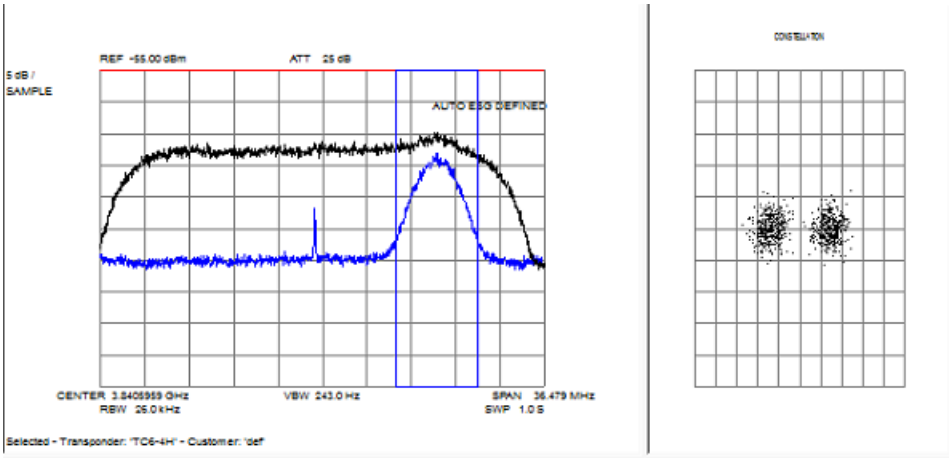
การตรวจสอบ ไทยคมได้ส่งทีมงานพร้อมเครื่องมือวัดสัญญาณเฉพาะทางเพื่อทำการตรวจสอบในพื้นที่ร่วมกับลูกค้า พวกเขาพบว่ามีการใช้งานความถี่ที่มีความแรงสูงในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งทำให้ระดับ Noise Floor สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลกระทบต่อความถี่ดาวเทียมข้างเคียง การตรวจสอบเพิ่มเติมพบว่าจานสายอากาศติดตั้งอยู่ใกล้กับเสาส่งสัญญาณโทรศัพท์ การเชื่อมต่อเครื่องมือตรวจสอบเข้ากับ LNB (Low Noise Block converter) โดยตรงยืนยันว่าลักษณะและความถี่ของสัญญาณรบกวนตรงกับสัญญาณ

สาเหตุของการเกิดปัญหา สัญญาณรบกวนเกิดจากการที่จานดาวเทียมติดตั้งอยู่ใกล้กับเสาส่งสัญญาณโทรศัพท์โดยตรง สัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ภาคพื้นดินที่มีกำลังส่งสูงได้ยกระดับ Noise Floor ของ LNB ที่จานสายอากาศของผู้ใช้งานปลายทาง ทำให้คุณภาพของสัญญาณดาวเทียมที่ได้รับลดลง โดยนี่เป็นตัวอย่างคลาสสิกของความท้าทายในการอยู่ร่วมกันของคลื่นความถี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการเปิดตัวบริการ 5G ในย่านความถี่ที่อยู่ติดกับดาวเทียม C-band

แนวทางการแก้ไข ทางบริษัทได้ดำเนินการเพื่อให้ลูกค้าได้เปลี่ยน LNB รับสัญญาณดาวเทียมเป็นแบบ 5G Filter หลังจากเปลี่ยนแล้ว สามารถรับชมโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมได้ตามปกติทุกช่อง

4. สัญญาณรบกวนจากดาวเทียมวงโคจรอื่น (Other Orbital Satellite Interference)

ปัญหาที่ตรวจพบ ลูกค้าดาวเทียมไทยคมรายหนึ่งแจ้งว่าคุณภาพสัญญาณลดลง ในระหว่างการตรวจสอบ พบสัญญาณรบกวนทับซ้อนกับสัญญาณการใช้งานของลูกค้า ซึ่งมีลักษณะเด่นคือระดับสัญญาณที่ผันผวนตามช่วงเวลา



Basic / Mod Analysis

Date/Time	Modulation Type	Symbol Rate(KBS)	Center Frequency(M	EIRP(dBW) [Nom: 40.50]	Band Width(kHz)
(Carrier-1)	BPSK	134.670	3840.000189	-92.85	175.07095
(Carrier-2)	QPSK	128.012	3821.890880	-83.59	166.41496
(Carrier-3)	QPSK	255.998	3821.259332	-79.77	332.79772
2021-09-18 03:0...	QPSK	29999.974	3840.000179	40.64	31949.20929
(Carrier-0)	BPSK	5115.005	3850.000539	25.71	6649.50600

รูปที่ 111 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนจากดาวเทียมวงโคจรอื่น (ที่มา บมจ.ไทยคม)

การตรวจสอบ เจ้าหน้าที่ไทยคมได้ประสานงานกับผู้ประกอบการดาวเทียมข้างเคียงและลูกค้าไทยคมรายอื่น เพื่อตรวจสอบว่ามีกิจกรรมหรือรูปแบบการใช้งานใด ๆ ที่ตรงกับช่วงเวลาที่พบสัญญาณรบกวนหรือไม่ ที่สำคัญคือ พวกเขาได้ใช้จาน Tracking เพื่อติดตามสัญญาณรบกวนและรวบรวมข้อมูลการติดตามวงโคจร ข้อมูลนี้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะวงโคจรของดาวเทียมที่น่าสงสัยอื่น ๆ เพื่อระบุแหล่งที่มา

สาเหตุของการเกิดปัญหา การตรวจสอบยืนยันว่าสัญญาณรบกวนที่พบนั้นสอดคล้องกับลักษณะวงโคจรของดาวเทียมวงโคจรปานกลาง (MEO) วิถีโคจรของดาวเทียม MEO นี้ทับซ้อนกับย่านความถี่การใช้งานและพื้นที่ให้บริการของดาวเทียมไทยคม (ดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า - GEO) เป็นระยะๆ ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเป็นช่วงๆ

5. สัญญาณรบกวนจากคลื่นวิทยุ FM (FM Interference)

ปัญหาที่ตรวจพบ เจ้าหน้าที่ไทยคมตรวจพบสัญญาณรบกวนที่ไม่ปกติบนดาวเทียม หลังจากตรวจสอบเบื้องต้นแล้วพบว่าไม่ได้มาจากดาวเทียมข้างเคียงหรือขั้วตรงข้าม การทดสอบเพิ่มเติมยืนยันว่าสัญญาณดังกล่าวเป็นการแพร่ภาพวิทยุ FM

การตรวจสอบ เมื่อระบุได้ว่าเป็นสัญญาณวิทยุ FM แล้ว ไทยคมได้ดำเนินการตรวจสอบว่าลูกค้าที่ทำการ Uplink สัญญาณขึ้นดาวเทียมรายใดบ้างที่ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับสถานีวิทยุ FM ที่ระบุ จากนั้นจึงจัดให้มีการตรวจสอบในสถานที่จริงที่สถานีของลูกค้าที่เกี่ยวข้องเพื่อตรวจสอบเส้นทาง Uplink

สาเหตุของการเกิดปัญหา

- จุดเชื่อมต่อระหว่าง Baseband และอุปกรณ์ RF บกพร่อง หรือหลวม ทาให้สัญญาณ FM สามารถผ่านเข้าสู่ระบบ และถูกส่งขึ้นไปบนดาวเทียมได้
- อุปกรณ์ใช้งานที่อยู่ระหว่าง Baseband และ RF มีคุณภาพต่ำ เช่น สายนำสัญญาณ หรือ connector
- ไม่ได้ใส่ตัวกันสัญญาณ (Terminator) ที่อุปกรณ์รวมสัญญาณ IF (Combiner)

6. สัญญาณรบกวนจากระดับ Noise Floor ที่สูงขึ้น (Raise Noise Floor Interference)

ปัญหาที่ตรวจพบ สถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมได้รับการร้องเรียนจากผู้ใช้งานปลายทางและผู้ประกอบการเคเบิลทีวีเกี่ยวกับคุณภาพของภาพที่ไม่ดี เมื่อตรวจสอบแล้ว เจ้าหน้าที่ไทยคมพบว่าระดับ Noise Floor รอบสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

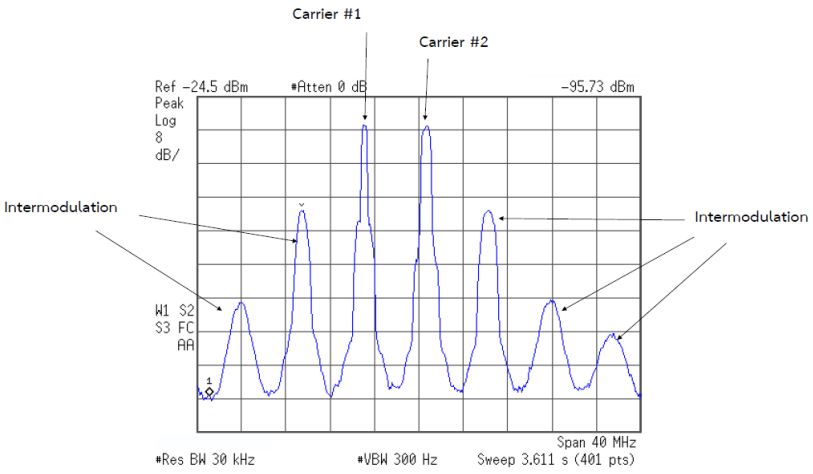
การตรวจสอบ เจ้าหน้าที่ไทยคมได้ทำการตรวจสอบสัญญาณอย่างละเอียดโดยใช้ทั้งระบบตรวจสอบส่วนกลางและตรวจสอบโดยตรงที่สถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์.1 นี่บ่งชี้ถึงแนวทางการวินิจฉัยแบบสองทางโดยรวมการตรวจสอบระยะไกลและการตรวจสอบในพื้นที่

สาเหตุของการเกิดปัญหา การตรวจสอบพบว่ากำลังส่งของอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียมถูกตั้งไว้สูงเกินไป ซึ่งเกินค่าที่เหมาะสมหรือแนะนำในการปฏิบัติงาน การขับเคลื่อนอุปกรณ์มากเกินไปนี้โดยตรงทำให้ระดับ Noise Floor สูงขึ้น ส่งผลให้ค่า Carrier-to-Noise (C/N) ของสัญญาณที่ส่งลดลง ซึ่งส่งผลเสียต่อคุณภาพสัญญาณ นอกจากนี้ ระดับ Noise Floor ที่สูงขึ้นยังก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณข้างเคียง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่กว้างขึ้นต่อประสิทธิภาพของคลื่นความถี่

แนวทางการแก้ไข ทำการลดและปรับกำลังส่งของอุปกรณ์ส่งสัญญาณดาวเทียมให้เหมาะสมกับระดับที่คำนวณไว้ ซึ่งจะช่วยฟื้นฟูอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมและป้องกันสัญญาณรบกวนต่อช่องสัญญาณข้างเคียง

7. สัญญาณรบกวนจาก Intermodulation (Intermodulation Interference)

ปัญหาที่ตรวจพบ ลูกค้ารายที่ 1 ได้ทำการปรับเปลี่ยนกำลังส่งของสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์ High Power Amplifier (HPA) เดียวกันกับลูกค้ารายที่ 2 หลังจากนั้นไม่นาน ไทยคมได้รับการรายงานจากลูกค้ารายที่ 2 ว่าคุณภาพสัญญาณลดลง



รูปที่ 112 ตัวอย่างสัญญาณรบกวนจาก Intermodulation (ที่มา บมจ.ไทยคม)

การตรวจสอบ เจ้าหน้าที่ไทยคมได้ตรวจสอบปัญหาทันทีและพบว่ามีสัญญาณ intermodulation อยู่ใต้สัญญาณการใช้งานของลูกค้ารายที่ 2 สัญญาณที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้ที่ชัดเจนของการบิดเบือนที่ไม่เป็นเชิงเส้นภายในเส้นทางการขยายสัญญาณที่ใช้ร่วมกัน.1 การระบุสัญญาณ intermodulation เป็นขั้นตอนการวินิจฉัยที่สำคัญสำหรับสัญญาณรบกวนประเภทนี้

สาเหตุของการเกิดปัญหา สาเหตุหลักคือ HPA ขยายสัญญาณหลายสัญญาณ (จากลูกค้ารายที่ 1 และลูกค้ารายที่ 2) โดยไม่มี Back off ที่เพียงพอ

แนวทางการแก้ไข เจ้าหน้าที่ไทยคมได้ทำการคำนวณเพื่อกำหนดการตั้งค่ากำลังส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ HPA เพื่อให้แน่ใจว่ามี back off ที่เพียงพอสำหรับพาหะทั้งหมดที่ใช้เครื่องขยายสัญญาณร่วมกัน จากนั้นจึงปรับการตั้งค่ากำลังส่งของ HPA ให้เป็นระดับที่เหมาะสม ซึ่งแก้ไขสัญญาณรบกวน intermodulation ได้

ส่วนที่ 2 ประเด็นถามตอบ

ประเด็นที่ 1 การจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย ท่านคิดว่าสถานี Main Site ควรตั้งที่ไหน สถานี DR Site ควรจัดตั้งที่พื้นที่ไหน และสถานีตรวจสอบส่วนภูมิภาคควรกระจายไปทุกภูมิภาคหรือไม่

ตอบ ผู้แทนบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) หน่วยงานมีความยินดีหากทางสำนักงาน กสทช. มีความประสงค์ขอความร่วมมือในการประยุกต์ใช้พื้นที่ปฏิบัติกาของสถานีเฝ้าระวังดาวเทียม ซึ่งปัจจุบันทางหน่วยงานได้มีพื้นที่หลักที่ยังคงดำเนินการ จำนวน 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่อำเภอสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี (ในรูปแบบ 1 Gateway) อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี (ในรูปแบบ DR-Site) และพื้นที่ศูนย์ปฏิบัติการกลาง จังหวัดนนทบุรี (ในรูปแบบ Main-site) ทั้งนี้ หากในอนาคตมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 5G บนคลื่นความถี่ C-band ทาง NT ได้เตรียมการรับมือในการขยายพื้นที่ในการรับสัญญาณเพิ่มขึ้น โดยยังคงให้พื้นที่ปฏิบัติการส่วนกลางเป็นหลัก แต่อาจขยายไปยังพื้นที่อื่นนอกเหนือจากสถานีที่มีโดยใช้เครื่องมือ Air-band over เมื่อพิจารณาความต้องการพื้นฐานที่ควรจัดเตรียมสำหรับการรับส่งข้อมูลพื้นฐานขั้นต่ำควรมี Internet อย่างน้อย 10 – 100 GB โดยคาดการณ์ค่าใช้จ่ายอย่างน้อย 5 ล้านบาท/จานรับสัญญาณ (ใบ)

ผู้แทนสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าหากทางหน่วยงานได้จัดทำหนังสือมาเพื่อขอความร่วมมือหรือหากมีการจัดทำเป็นนโยบายระดับชาติ หรือมีการสั่งการจากรัฐบาลกลางก็อาจจะทำให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างลุล่วงได้ ทั้งนี้ ทางสำรักงาน กสทช สามารถเข้ามาเพื่อหารือแนวทางในระยะแรกและทำการผลักดันก็เชื่อว่าจะสามารถดำเนินงานร่วมกันได้อย่างแน่นอน

ผู้แทนกรมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กองทัพอากาศ เสนอความเห็นต่อการเข้าร่วมดำเนินการบูรณาการร่วมกันระหว่างหน่วยงานความมั่นคงและทางสำนักงาน กสทช. โดยเชื่อว่าทางหน่วยงานความมั่นคงมีความยินดีในการทำงานร่วมกัน โดยต้องผลักดันให้เป็นวาระระดับชาติเพื่อบูรณาการร่วมกันหลายหน่วยงาน ทั้งนี้ เชื่อว่าหากมีการนำเสนอหลักการทางด้านความมั่นคงอย่างชัดเจนและมีแนวนโยบายที่เป็นประโยชน์ต่อทุกฝ่าย ย่อมก่อให้เกิดการบูรณาการร่วมกันอย่างแน่นอน

ผู้แทนสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ได้ให้ความเห็นเพิ่มเติมต่อการให้พื้นที่ของสำนักงาน กสทช. เป็นศูนย์กลางในการบริหารจัดการตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนกลางภายในประเทศ (National Control Center) ในลักษณะห้องวอร์รูม (War Room) โดยอาศัยความร่วมมือกับหน่วยงานที่มีความพร้อมทางด้านพื้นที่แทนการที่สำนักงานจะต้องเป็นผู้สรรหาพื้นที่ในการจัดตั้งเอง

นายสินชัย อนันตปรีชา ผู้เชี่ยวชาญด้านคลื่นความถี่ ได้เสนอให้มีการคัดสรรพื้นที่ที่ไม่มีการรบกวนของสัญญาณและของชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานความมั่นคงขอใช้พื้นที่เพื่อจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่

ประเด็นที่ 2 ท่านคิดว่า New Space Technology (เช่น เทคโนโลยี NTN, VLEO, Satcom-Assisted Aerial Networks, Aeronautical and Maritime Tracking and Communication เป็นต้น) จะเข้ามามีบทบาทในการตรวจสอบคลื่นความถี่ในรูปแบบใด

ตอบ นายสินชัย อนันตปรีชา ผู้เชี่ยวชาญด้านคลื่นความถี่ ได้ให้ความคิดเห็นต่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก็มีส่วนสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามการพัฒนาบุคลากรเพื่อให้รู้เท่าทันและสามารถปรับใช้เทคโนโลยีก็ยังคงมีความสำคัญเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำนักงานกสทช ที่จะเป็นหน่วยงานหลักในการตรวจสอบและจัดเก็บข้อมูลผู้ใช้งานทั้งหมด

ประเด็นที่ 3 ท่านคิดว่าการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AI ควรเข้ามาวิเคราะห์ตรวจจับคลื่นความถี่ในกิจการดาวเทียมเรื่องใดมากที่สุด (การตรวจหาสัญญาณรบกวน การวิเคราะห์แนวโน้มของคลื่นความถี่ และการแจ้งเตือนการใช้คลื่นรบกวนที่ผิดกฎหมาย)

ตอบ ผู้แทนกรมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กองทัพอากาศ เสนอว่าประเภทที่ควรลงทุนเป็นอันดับแรกสำหรับประเทศไทย คือ การตรวจหาสัญญาณรบกวนและการแจ้งเตือนการใช้คลื่นรบกวนที่ผิดกฎหมาย ซึ่งเป็นการลงทุนเพียงครั้งเดียวและสามารถต่อยอดให้เกิด 2 เทคโนโลยีได้ โดยมองว่ามีความสำคัญและจำเป็นสำหรับหน่วยงานความมั่นคงอย่างแน่นอน และสามารถตอบสนองต่อภารกิจทางด้านความมั่นคงได้

ผู้แทนบริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน) ได้แสดงความคิดเห็นต่อเทคโนโลยีที่ทางบริษัทใช้ในปัจจุบันเป็นไปในรูปแบบการตรวจหาสัญญาณรบกวน โดยแจ้งจากดาวเทียมโดยตรงมายังไทยคม ไม่ได้เป็นการแจ้งจากภาคพื้นดิน ซึ่งเห็นด้วยหากทางสำนักงาน กสทช จะมีการดำเนินการการตรวจหาสัญญาณรบกวนและแจ้งเตือนการใช้คลื่นรบกวนที่ผิดกฎหมายได้ ในกรณีที่เป็นคลื่นความถี่นอกเหนือจากที่บริษัทฯ ได้ใช้งาน

ผู้แทนสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เห็นด้วยหากจะมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AI เพื่อใช้ในการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับประเทศไทย อย่างไรก็ดีประเทศไทยอาจจะต้องพิจารณาร่วมกับการปรับแก้ไขกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อก่อให้เกิดความสอดคล้องกับ ITU-R และเมื่อมีการปรับระเบียบต่าง ๆ ได้ ถัดมาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับนานาชาติก็จะเป็นเรื่องไม่ไกลตัวอีกต่อไป และจะเป็นส่วนที่ช่วยเปิดทางให้มีการประยุกต์ใช้ AI ในการตรวจสอบคลื่นความถี่แน่นอน

ประเด็นที่ 4 ท่านคิดว่าปัจจัยใด ที่มีความสำคัญต่อการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของประเทศไทย

ตอบ นายสินชัย อนันตปรีชา ผู้เชี่ยวชาญด้านคลื่นความถี่ ได้ให้ความคิดเห็นว่าการพัฒนาบุคลากรยังคงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ เนื่องจากปัจจุบันหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไม่ได้มีการผลักดันหรือส่งเสริมทางด้านนี้ จึงทำให้ขาดบุคลากรที่จะเป็นหัวใจหลักในการทำงาน อีกทั้งยังมีในด้านของข้อจำกัดในการดึงตัวบุคคลไว้ขององค์กร จึงมองว่าสิ่งแรกที่ควรพัฒนาอย่างยิ่งคือองค์ความรู้ของคนในองค์กรและการส่งเสริมให้คนรุ่นใหม่เข้ามาทำงานมากยิ่งขึ้น โดยอาจเปิดเป็นคอสระยะสั้นในการอบรมเพื่อเพิ่มพูนองค์ความรู้ต่อไปให้กับหน่วยงาน

ผู้แทนสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ได้มองว่าปัจจัยที่จะส่งผลให้การดำเนินงานในครั้งนี้ประสบความสำเร็จได้คือ การสร้างแนวปฏิบัติย่างเป็นรูปธรรม ให้ทุกคนสามารถนำเอาไปใช้งานต่อได้ เป็นปัจจัยหลักเพื่อตอบสนองผลลัพธ์ระยะยาว (outcome)

8.2 แบบประเมินความพึงพอใจผู้เข้ารับการอบรม

การประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม ใช้การวัดความพึงพอใจ 5 ระดับ คือ ระดับคะแนน 1 หมายถึง น้อยที่สุด ระดับคะแนน 2 หมายถึง น้อย ระดับคะแนน 3 หมายถึง ปานกลาง ระดับคะแนน 4 หมายถึง มาก ระดับคะแนน 5 หมายถึง มากที่สุดและกำหนดระดับความพึงพอใจเฉลี่ยเพื่อการแปลผล ดังนี้

ระดับคะแนนเป็น 0.00 – 1.50 หมายถึง น้อยที่สุด
ระดับคะแนนเป็น 1.51 – 2.50 หมายถึง น้อย
ระดับคะแนนเป็น 2.51 – 3.50 หมายถึง ปานกลาง
ระดับคะแนนเป็น 3.51 – 4.50 หมายถึง มาก
ระดับคะแนนเป็น 4.51 – 5.00 หมายถึง มากที่สุด

จากแบบสอบถามความคิดเห็นจากผู้เข้ารับการอบรม จำนวน 19 คน โดยมีข้อมูลการตอบแบบสอบถาม ดังนี้

1. เพศ

ตัวแปร	จำนวน (คน)	คิดเป็นร้อยละ
ชาย	13	68.4
หญิง	6	31.6

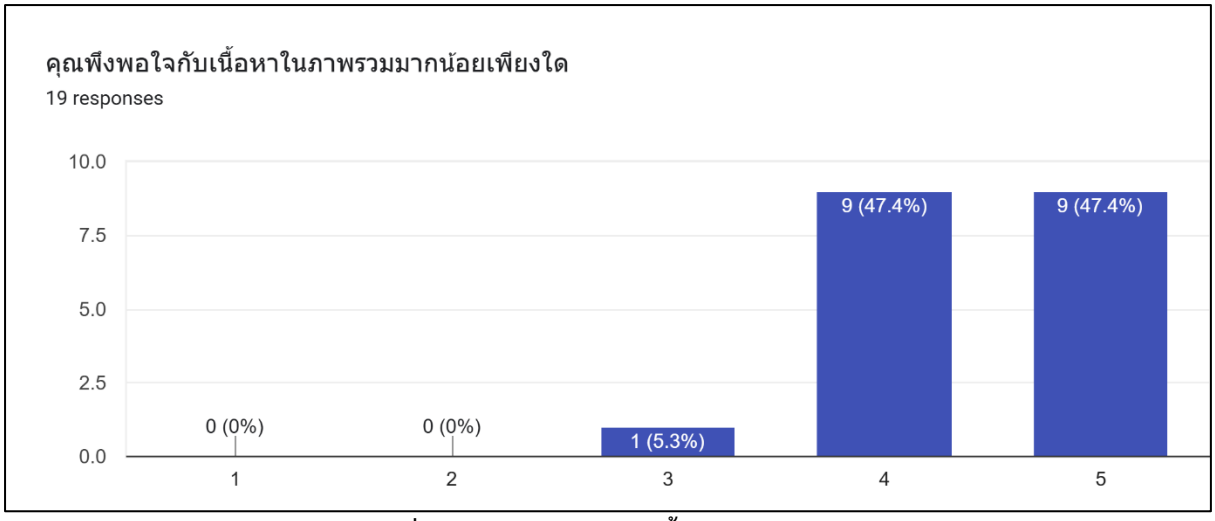
2. ท่านคิดว่าระยะเวลาในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด

ตัวแปร	จำนวน (คน)	คิดเป็นร้อยละ
1 น้อยมาก	0	0
2 น้อย	0	0
3 ปานกลาง	1	5.3
4 มาก	10	52.6
5 มากที่สุด	8	42.1
เฉลี่ย		**4.00 (มาก)**

3. ท่านพึงพอใจกับเนื้อหาในภาพรวมมากน้อยเพียงใด

ตัวแปร	จำนวน (คน)	คิดเป็นร้อยละ
1 น้อยมาก	0	0
2 น้อย	0	0
3 ปานกลาง	1	5.3

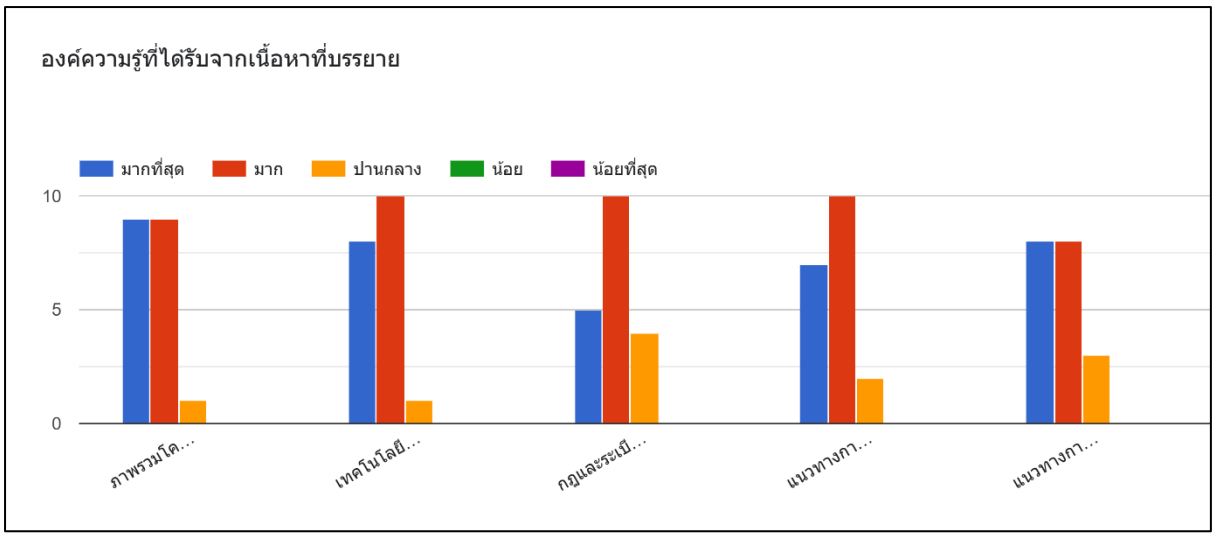
ตัวแปร	จำนวน (คน)	คิดเป็นร้อยละ
4 มาก	9	47.4
5 มากที่สุด	9	47.4
เฉลี่ย		**4.50 (มาก)**



รูปที่ 113 ความพึงพอใจกับเนื้อหาในภาพรวม

4. ท่านได้รับองค์ความรู้ที่ได้รับจากเนื้อหาที่บรรยายมากน้อยเพียงใด

ความคิดเห็นโดยสรุป	น้อยที่สุด 1	น้อย 2	ปานกลาง 3	มาก 4	มากที่สุด 5	ค่าเฉลี่ย
องค์ความรู้ที่ได้รับจากเนื้อหาที่บรรยาย						
ภาพรวมโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม	0	0	1	9	9	4.42
เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม	0	0	1	10	8	4.37
กฎและระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่	0	0	4	10	5	4.05
แนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม	0	0	2	10	7	4.26
แนวทางการปฏิบัติในการตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศไทย	0	0	3	8	8	4.26
					ค่าเฉลี่ยรวม	**4.27 (มาก)**



รูปที่ 114 องค์ความรู้ที่ได้รับจากเนื้อหาที่บรรยาย

โดยมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมดังนี้

- เป็นประโยชน์ควรมีระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ในภาพรวมของประเทศ
- ควรมีการจัดตั้ง โดยกำหนดเป็นนโยบายระดับชาติ เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่จะสามารถร่วมงานได้
- ข้อมูลเป็นประโยชน์อย่างมาก

5.สรุปผลในการสัมนาเชิงปฏิบัติ

จากการสัมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม ผู้รับทุนได้มีการติดตามประเมินผลและสอบถามการนำความรู้จากการสัมนาไปใช้ประโยชน์ พบว่าผู้เข้าอบรมซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ กสทช. ที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแล จำนวน 39 คน และบุคลากรในอุตสาหกรรม จำนวน 21 คน โดจากการทำแบบสอบถามจำนวน 19 คน พบกว่าผู้เข้ารับการอบรมสามารถนำองค์ความรู้เพื่อใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจสอบคลื่นความถี่และติดตามการใช้คลื่นความถี่และวงโคจรดาวเทียม เพื่อให้เกิดแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย ค่าเฉลี่ยรวม 4.27 (มาก)

นอกจากนี้ ผู้เข้ารับการอบรมยังมีความพึงพอใจกับเนื้อหาในภาพรวมอยู่ในระดับสูง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.50 ซึ่งจัดอยู่ในระดับ "มาก" เช่นกัน ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากผู้เข้ารับการอบรมยังระบุด้วยว่า "ข้อมูลเป็นประโยชน์อย่างมาก" ซึ่งสอดคล้องกับการรับรู้ว่าได้องค์ความรู้ในระดับสูง

บรรณานุกรม

Aamir, M., & Malik, H. (2022). *Anomaly detection in satellite communication signals using LSTM autoencoders*. International Journal of Satellite Communications and Networking, 40(1), 47–59. https://doi.org/10.1002/sat.1380

Challita, U., Ferdowsi, A., Chen, M., Saad, W., & Debbah, M. (2019). Machine learning for wireless connectivity and security of cellular-connected UAVs. *IEEE Wireless Communications*, 26(1), 28–35. https://doi.org/10.1109/MWC.2018.1800201

International Telecommunication Union, Handbook: Spectrum monitoring, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj,accessed from https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-23-2011-PDF-E.pdf, p. 4.

ITU, RESOLUTION ITU R 23-4 Extension of the International Monitoring System to a worldwide scale, accessed from https://www.itu.int/pub/R-RES-R.23

ITU, Recommendation SM.1392-3 (02/2021), Essential requirements for a spectrum monitoring system for developing countries, accessed from https://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1392-3-202102-I/en

ITU-R SM.1050. Chapters 1 and 2 of the ITU Handbook on Spectrum Monitoring approved in 2010.

Telecommunications Act 1996. Law on the Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Post and Railways Bureau of Radio Regulation of the Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China (2016). The state radio management plan (2016–2020) of China.

Expanding America's Leadership in Wireless Innovation (2013). Executive memorandum, Federal Register, 78, 119. Retrieved from, accessed from https:// www.ntia.doc.gov/federal-register-notice/2013/spectrum-monitoring-pilot-program

Yang, J. J., Huang, M., & Lu, Q. N. (2015). State-of-the-art and Investment Demand of Radio Spectrum Management Technical Facilities in Borderlands of China. Kunming, China: Yunnan University Press.

Radio Regulatory Provision, People's Republic of China, accessed from https://lawinfochina.com/display.aspx?id=23032&lib=law&EncodingName=big5

Provisions for Radio Frequency Allocation, People's Republic of China, accessed from https://www.global-regulation.com/translation/china/159334/people's republic-of-china-radio-frequency-allocation-provisions.html

Karl B. Nebbia, Spectrum Monitoring Pilot Program, Federal Register/Vol. 78, No. 160/Monday, August 19, 2013/Notices, p. 1.

Carlos M. Gutierrez and Meredith A. Baker, Spectrum management for the 21st century:

The president's spectrum policy initiative, accessed from https://www.ntia.doc.gov/sites/default/files/publications/federalstrategicspectrumplan2008_0_0.pdf

Enforcement Bureau, accessed from https://www.fcc.gov/enforcement

Spectrum Management / NASA, accessed from https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/txt_national_spectrum.html

Ministry of Industry and Information Technology: MIIT, accessed from https://www.dlapiperintelligence.com/telecoms/index.html?t=regulatory-bodies&c=CN#:~:text=The%20Ministry%20of%20Industry%20and,telecoms%20regulatory%20body%20in%20China.

Zhang, H., & Wang, Y. (2020). Satellite signal anomaly detection based on LSTM neural network. *IEEE Access*, 8, 134121–134132. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3011117

Henarejos, P., Seco-Granados, G., & López-Salcedo, J. A. (2021). *Machine learning-based jamming detection for GNSS using recurrent neural networks*. Proceedings of the International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), 1–6. https://doi.org/10.1109/ICL-GNSS51451.2021.9452267

Noh, S., Kim, S., & Lee, H. (2020). *Deep learning-based interference classification for satellite communication systems*. IEEE Access, 8, 138607–138617. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3012235

Liu, Q., & Li, Q. (2019). Deep learning-based interference localization in satellite communication systems. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 55(4), 1766–1777. https://doi.org/10.1109/TAES.2018.2879362

Eviden. (2023). *SkyMon ILS – Interference Localization System*. Retrieved from https://eviden.com/solutions/mission-critical-systems/satellite-payload-monitoring/

Wang, W., Chen, L., & Huang, W. (2021). LSTM-based spectrum forecasting method for interference management in satellite communication. *Sensors*, 21(6), 2045. https://doi.org/10.3390/s21062045

Singh, R., & Sinha, R. S. (2016). ARIMA based time series prediction for adaptive satellite communication links. *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 34(5), 553–567. https://doi.org/10.1002/sat.1136

Zhang, Y., Jin, X., & Wan, Y. (2019). A denoising autoencoder-based method for reconstructing satellite telemetry data. *Sensors*, 19(6), 1302. https://doi.org/10.3390/s19061302

คณะกรรมการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติงาน (กตป), รายงานการติดตาม ตรวจสอบ และประเมินผลการปฏิบัติงาน กสทช. สำนักงาน กสทช. และเลขาธิการ กสทช ประจำปี 2565, หน้า 75-78.

คณะกรรมการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติงาน (กตป), รายงานการติดตาม ตรวจสอบ และประเมินผลการปฏิบัติงาน กสทช. สำนักงาน กสทช. และเลขาธิการ กสทช ประจำปี 2565, หน้า 93-96.

กสทช., รายงานผลการปฏิบัติงานประจำปี 2566, เข้าถึงได้จาก https://www.nbtc.go.th/Information/AnnualReport/65888.aspx

การตรวจปริมาณการใช้งานคลื่นความถี่ ข้อมูล ณ วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2566 โดยสำนักกิจการภูมิภาค สำนักงาน กสทช.

กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศหรือเอ็มไอไอที เข้าถึงได้จาก https://www.dlapiperintelligence.com/telecoms/index.html?t=regulatorybodies&c=CN#:~:text=The%20Ministry%20of%20Industry%20and,telecoms%20regulatory%20body%20in%20China.

ภาคผนวก ก. การสัมภาษณ์เชิงลึก

สรุปผลการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

1) บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)

ในวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 **ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด**

ตอบ การให้บริการในปัจจุบันของไทยคมเป็นดังนี้

1. Broadband Services
2. Broadcasting Services
3. Transponder Services

โดยปัญหาที่พบส่วนใหญ่ได้แก่

1. สัญญาณรบกวนที่มาจากดาวเทียมข้างเคียง เช่นดาวเทียม Asia sat, Astra และ Telcom
2. สัญญาณรบกวนที่มาจากต่างประเทศ (ประเทศรัสเซีย)
3. การรบกวนสัญญาณระหว่างการใช้งานสถานีดาวเทียมที่ลาดหลุมแก้ว กับสถานีภาคพื้นดินของบริษัทผู้ให้บริการมือถือ ที่มี Ground Station ตั้งอยู่ใกล้เคียงสถานีลาดหลุมแก้ว มีการรบกวนสัญญาณประมาณช่วงความถี่ KU-Band

ประเด็นที่ 2 **ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดินเพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร**

ตอบ หากเป็นสัญญาณรบกวนที่มาจากดาวเทียมต่างประเทศ ประเทศรัสเซีย ที่ต้องให้ทางสำนักงาน กสทช. เป็นหน่วยงานกลางในการติดต่อประสานงานไปยังประเทศรัสเซีย ซึ่งเป็นดาวเทียมของรัฐบาล การติดต่อประสานงานจึงต้องมาจากสำนักงาน กสทช. บริษัท ไทยคม มีขั้นตอนมาตรฐานและระบบในการตรวจสอบสัญญาณรบกวน เทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เฉพาะกิจการดาวเทียม

1. Carrier Monitoring
2. Interference Verification
3. Uplink Access Test

ประเด็นที่ 3 **หากประเทศไทยมีการออกข้อกำหนดนโยบายการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่หรืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการตรวจคลื่นความถี่ของประเทศไทย ท่านคิดว่ามีความจำเป็นหรือไม่ และต้องการที่จะพัฒนาปรับปรุงในประเด็นใด**

ตอบ การจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่มีความจำเป็น และควรพัฒนา

1. การตรวจสอบดาวเทียม LEO ดาวเทียมที่ผิดกฎหมาย
2. อุปกรณ์ในการตรวจสอบ และติดตาม
3. ความเชี่ยวชาญของบุคลากร ในการออกแบบและใช้งานระบบ
4. มีฐานข้อมูล ของการใช้งานสัญญาณ เพื่อใช้ในการตรวจสอบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ประเด็นที่ 4 **หากสำนักงาน กสทช. เป็นผู้รับบทบาทหน้าที่ ในการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ท่านมีความคิดเห็นว่าอย่างไร และต้องการให้บทบาทหน้าที่นั้นความครอบคลุมถึงเรื่องใดบ้าง**

ตอบ กสทช. จำเป็นต้องมีระบบในการตรวจสอบคลื่นความถี่เป็นของตนเอง

ประเด็นที่ 5 **ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย**

ตอบ ความพร้อมด้านบุคลากร ที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคนิคเกี่ยวกับดาวเทียม และความรู้ด้านระเบียบข้อบังคับของ ITU และของประเทศไทย

2) บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

ในวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 **ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด**

ตอบ NT มีบทบาทเป็นผู้ให้บริการ Broadcast เป็นหลัก ทั้งในส่วนของการสื่อสารข้อมูล Fiber optic และ IP Star และ Broadcast โดยเน้นไปใน 2 ด้านได้แก่

1. Uplink หรือมีการส่งต่อไปยังต่างประเทศ ในกรณีที่มีการถ่ายทอดหรือเหตุการณ์ในประเทศไทย
2. Downlink รับสัญญาณการถ่ายทอด รายการโอลิมปิก ฯลฯ ในการส่งสัญญาณไปยังทีวี ทาง NT ใช้ Asia Sat 5 (ในการ Uplink, Downlink) และใช้ Thaicom 6 ให้บริการทีวีในประเทศ ปัญหาในเชิงการรบกวนสัญญาณ คือเป็นการรบกวนสัญญาณในรูปแบบ

ลักษณะที่ทำให้คุณภาพสัญญาณตกลดลง การที่สัญญาณตกหรือลดลง เพราะมีสัญญาณรบกวนจากข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์

ประเด็นที่ 2 **ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดินเพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร**

ตอบ เทคโนโลยีการตรวจสอบคลื่นความถี่คือ Spectrum Analyzer และการวิเคราะห์ปัจจัยด้านอื่น ๆ ประกอบ

ประเด็นที่ 3 **หากประเทศไทยมีการออกข้อกำหนดนโยบายการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่หรืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการตรวจคลื่นความถี่ของประเทศไทย ท่านคิดว่ามีความจำเป็นหรือไม่ และต้องการที่จะพัฒนาปรับปรุงในประเด็นใด**

ตอบ ในปัจจุบัน กสทช. มีอำนาจบทบาทหน้าที่ตรวจสอบคลื่นความถี่อยู่แล้ว และ กสทช. ควรเป็นหน่วยงานที่กำกับดูแล

ประเด็นที่ 4 **หากสำนักงาน กสทช. เป็นผู้รับบทบาทหน้าที่ ในการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ท่านมีความคิดเห็นว่าอย่างไร และต้องการให้บทบาทหน้าที่นั้นความครอบคลุมถึงเรื่องใดบ้าง**

ตอบ กสทช. ควรเป็นหน่วยงานที่กำกับดูแล

ประเด็นที่ 5 **ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย**

ตอบ ด้านบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในการตรวจสอบคลื่นความถี่ และมีจำนวนบุคลากรเพียงพอต่อการตรวจสอบ

3) บริษัท พีเอสไอ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

ในวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 **ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด**

ตอบ ปัญหาคลื่นรบกวน

1. C-Band และสัญญาณ 5G ที่เข้ามากวนในย่านความถี่ข้างเคียง
2. อุปกรณ์ Solar cell ปัญหาที่เกิดขึ้นจาก วงจรของ Solar cell ที่ทำการรบกวนสัญญาณ

ประเด็นที่ 2 **ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน เพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร**

ตอบ เทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ ด้วยวิธีตรวจสอบด้วยตัวจับคลื่นความถี่ ลูกค้า/ผู้ใช้บริการมีการร้องเรียนไปยัง กสทช. และทาง กสทช. แจ้งมายังทาง PSI เพื่อเข้าตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นจากเสาส่งสัญญาณ และจัดการแก้ไขในเรื่องการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์การรบกวนกันระหว่างดาวเทียมข้างเคียงทาง PSI จะแจ้งปัญหาไปทาง Thaicom ที่เป็นผู้ให้บริการของ PSI เพื่อให้ทาง Thaicom แก้ไขปัญหานั้น ๆ

ประเด็นที่ 3 **หากประเทศไทยจะมีการพัฒนาปรับปรุง เกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่โดยภาครัฐ ท่านคิดว่าสิ่งใดมีความจำเป็น และสำคัญเป็นอันดับแรกที่จะต้องดำเนินการ และบทบาทหน้าที่ของภาครัฐ ควรมีขอบเขตหน้าที่ในระดับใด**

ตอบ ดาวเทียมในปัจจุบัน มีทั้ง GEO และ LEO ซึ่งดาวเทียม LEO เราจะตรวจสอบด้วยวิธีใด ในเมื่อดาวเทียม LEO ไม่ใช่ดาวเทียมของไทย และมีจำนวนมาก ทางภาครัฐมีนโยบายที่ไม่ชัดเจน สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่จะเกิดขึ้นต้องมีนโยบายที่ชัดเจน ต้องมีการออกกฎหมายเพื่อใช้ในการตรวจสอบ และในส่วนของบทบาทหน้าที่ คือเป็นผู้ออกใบอนุญาต และสามารถตรวจสอบ ตักเตือน ปรับ และสามารถเพิก หรือยกเลิกใบอนุญาต

ประเด็นที่ 4 **ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย**

ตอบ การทำงาน ควรการแก้ไขปัญหาอย่างรวดเร็ว ทาง กสทช. ควรมีบทบาทหน้าที่ที่ครอบคลุมมากกว่าที่เป็นอยู่ ณ ปัจจุบัน

4) องค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (Thai PBS)

ในวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 **ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด**

ตอบ ใช้บริการผ่านทาง Thaicom ปัญหาในการใช้บริการ มี 2 ด้านคือ

1. ด้านเทคนิค เป็นการใช้บริการร่วมกับต่างชาติ เมื่อเกิดปัญหาการรบกวนไม่สามารถแก้ไขได้อย่างทันท่วงที ซึ่งป้องกันได้ค่อนข้างยาก สิ่งที่ทำได้คือการให้ความรู้กับลูกค้าที่มีการใช้บริการ Transponder เป็นประจำ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในวิธีการใช้งานดาวเทียมอย่างถูกต้อง และในส่วนของปัญหาจากสัญญาณ 5G ยังไม่ได้รับข้องร้องเรียนจากการรบกวน เนื่องจากมีการกำหนดข้อตกลงในการตรวจสอบก่อนการติดตั้ง

2. ด้านการบริหารจัดการ ขึ้นอยู่กับศักยภาพของผู้ให้บริการ ว่ามีวิธีการในการให้บริการอย่างไร ซึ่งระหว่าง Thaicom และ NT มีความแตกต่างกันในเรื่องของการให้บริการ

ประเด็นที่ 2 **ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน เพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร**

ตอบ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบคลื่นความถี่คือ Spectrum Analyzer และเมื่อมีปัญหาข้อร้องเรียนเรื่องการรับชม มีการตรวจสอบ โดย การส่งเจ้าหน้าที่ทางเทคนิค ทีมวิศวกรเข้าไปตรวจสอบ ซึ่งส่วนใหญ่ปัญหาที่พบ คือ

1. ตำแหน่งจานเคลื่อนที่ ส่งผลกระทบต่อการรับสัญญาณ
2. มีน้ำ (น้ำฝนกรณีฝนตก) เข้าไปในตัวรับสัญญาณ

ประเด็นที่ 3 **หากประเทศไทยมีการออกข้อกำหนดนโยบายการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่หรืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการตรวจคลื่นความถี่ของประเทศไทย ท่านคิดว่ามีความจำเป็นหรือไม่ และต้องการที่จะพัฒนาปรับปรุงในประเด็นใด**

ตอบ การจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่มีความจำเป็น เพราะคือบทบาทหน้าที่ของ กสทช. ในการตรวจสอบและสิ่งที่ต้องพัฒนาคือ ความพร้อมด้านบุคลากร และเครื่องมือที่รองรับการตรวจสอบคลื่นความถี่นั้น ๆ ได้

ประเด็นที่ 4 **หากสำนักงาน กสทช. เป็นผู้รับบทบาทหน้าที่ ในการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ท่านมีความคิดเห็นว่าอย่างไร และต้องการให้บทบาทหน้าที่นั้นความครอบคลุมถึงเรื่องใดบ้าง**

ตอบ กสทช. ต้องมีความรู้ องค์กรจะต้องมีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถและความเข้าใจเพื่อนำไปใช้ในการกำกับดูแลอย่างเหมาะสม

4. กำกับดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ
5. ส่งเสริมให้อุตสาหกรรมมีการเติบโต
6. ต้องมีความรู้เท่าทัน ก้าวทันต่อเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอยู่ตลอด

ประเด็นที่ 5 **ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย**

ตอบ เนื่องจาก กสทช. กำกับดูแลอุตสาหกรรมไทยที่มีผลกระทบต่อประเทศค่อนข้างสูง จะเห็นได้ว่าแต่ละอุตสาหกรรมมีผลเชิงเศรษฐกิจของประเทศ สิ่งที่สำคัญ คือ กสทช. จำเป็นที่จะต้องรู้เท่าทันเพื่อการกำกับดูแลให้เกิดประโยชน์ ส่งเสริมให้อุตสาหกรรมเติบโตเพื่อประโยชน์ของชาติ

5) บริษัท เอส ที ซี เน็ทเวิร์ค คอร์ปอเรชั่น จำกัด

ในวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการ

ตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 **ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด**

ตอบ บริษัทเป็น Service Provider หรือเป็น Users ทางบริษัท เอส ที ซี เน็ทเวิร์ค คอร์ปอเรชั่น จำกัด เช่า Transponder จากทาง Thaicom ลูกค้าส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการแท่นขุดเจาะน้ำมันในทะเล ปัญหาจากการรบกวนสัญญาณคือ ดาวเทียมจากผู้ให้บริการด้วยกัน สาเหตุหลักคือเรื่องอุปกรณ์เสื่อมสภาพ อุปกรณ์รุ่นเก่า ที่จะทำการรบกวนสัญญาณกัน

ประเด็นที่ 2 **ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน เพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร**

ตอบ เทคโนโลยีการตรวจสอบคลื่นความถี่คือ Spectrum Analyzer และการแจ้งทาง Thaicom เพื่อให้ทำการตรวจสอบและแก้ไขปัญหา

ประเด็นที่ 3 **หากประเทศไทยมีการออกข้อกำหนดนโยบายการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่หรืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการตรวจคลื่นความถี่ของประเทศไทย ท่านคิดว่ามีความจำเป็นหรือไม่ และต้องการที่จะพัฒนาปรับปรุงในประเด็นใด หากสำนักงาน กสทช. เป็นผู้รับบทบาทหน้าที่ในการตรวจคลื่นความถี่ ท่านมีความคิดเห็นว่าอย่างไร และต้องการให้บทบาทหน้าที่นั้นมีความครอบคลุมถึงเรื่องใดบ้าง**

ตอบ ควรใช้บริการหน่วยงานที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน และมีการออกกฎ ข้อบังคับ ในการตรวจสอบโดยใช้กฎหมาย มีความคิดเห็นว่าทาง กสทช. มีกฎระเบียบที่ไม่รัดกุม และทางด้านบุคลากรที่ไม่เพียงพอ ควรมอบหมายให้หน่วยงาน Thaicom/NT ที่เป็น satellite Operator เป็นหน่วยงานตรวจสอบคลื่นความถี่

ประเด็นที่ 4 **ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย**

ตอบ ควรมีการบริหารจัดการ มีการวางแผน โดยมีการเริ่มต้นตั้งแต่การออกใบอนุญาต และด้านบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน

6) บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน)

ในวันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 **ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด**

ตอบ ใช้บริการดาวเทียม Thaicom (C-Band, KU-Band) ปัญหาการรบกวน คือ

1. GPS มีปัญหา (รวน) มีการแจ้งรายงานต่อ สำนักงาน กสทช.
2. สัญญาณรบกวนจากเครื่องบิน (การซ้อมรบ) มีผลต่อสัญญาณ
3. เสา Base Station รบกวนสัญญาณ แก้ไขด้วยการย้ายจานและเปลี่ยน LNB
4. การถูกรบกวนจากภาคพื้นดิน

ประเด็นที่ 2 **ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน เพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร**

ตอบ การแจ้งรายงานปัญหาการรบกวนสัญญาณไปยัง สำนักงาน กสทช. เพื่อตรวจสอบ

ประเด็นที่ 3 **หากสำนักงาน กสทช. เป็นผู้รับบทบาทหน้าที่ ในการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ท่านมีความคิดเห็นว่าอย่างไร และต้องการให้บทบาทหน้าที่นั้นความครอบคลุมถึงเรื่องใดบ้าง**

ตอบ เป็นบทบาทหน้าที่ของทางสำนักงาน กสทช. ที่ต้องทำการตรวจสอบคลื่นความถี่ เพื่อกำกับดูแลการใช้หรือการให้บริการดาวเทียม

ประเด็นที่ 4 **ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย**

ตอบ

1. ปัญหาการ Monitor ของการ Uplink, Downlink การตรวจสอบสัญญาณของสำนักงาน กสทช.
2. การตรวจสอบ Uplink สามารถตรวจสอบได้ยาก
3. ควรมีการตรวจสอบทางธุรกิจควบคู่กับการตรวจสอบทางเทคนิค
4. เทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบ มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติด้านการตรวจสอบ
5. ศักยภาพของสำนักงาน กสทช. ในด้านการ Operation ทั้งบุคลากรและเครื่องมืออุปกรณ์

7) บริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)

ในวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 **ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด**

ตอบ บริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Operator) มีการใช้บริการดาวเทียม โดยเช่า Transponder จากทาง Thaicom ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ เกิดจากการรบกวนสัญญาณจาก Access Control (ระบบไม้กั้นอัตโนมัติ) รบกวน TrueVision Box

ประเด็นที่ 2 ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน เพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร

ตอบ การแจ้งรายงานปัญหาการรบกวนสัญญาณไปยัง สำนักงาน กสทช. เพื่อตรวจสอบร่วมกับฝ่ายเทคนิคของบริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) เพื่อทำการแก้ไขปัญหา

ประเด็นที่ 3 หากสำนักงาน กสทช. เป็นผู้รับบทบาทหน้าที่ ในการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ท่านมีความคิดเห็นว่าอย่างไร และต้องการให้บทบาทหน้าที่นั้นความครอบคลุมถึงเรื่องใดบ้าง

ตอบ เป็นบทบาทหน้าที่ของทางสำนักงาน กสทช. ที่ต้องทำการตรวจสอบคลื่นความถี่ เพื่อกำกับดูแลการใช้หรือการให้บริการดาวเทียม ซึ่งควรจะเน้นการบังคับใช้กฎหมายในการดำเนินการโดยเฉพาะการตรวจจับที่ไม่ได้รับอนุญาติ

ประเด็นที่ 4 ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย

ตอบ 1. บุคลากรในการตรวจสอบ
2. ความคุ้มค่าในการลงทุนจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่

8) บริษัท วัน สามสิบเอ็ด จำกัด

ในวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด

ตอบ เป็นผู้ให้บริการ Service Provider ออกอากาศผ่านระบบดิจิทัลทีวีภาคพื้นดิน (DTT) แต่เนื่องจากสัญญาณไม่ครอบคลุมสำหรับ DTT จึงมีการใช้สัญญาณดาวเทียมในการส่งสัญญาณออกอากาศ เพื่อให้ครอบคลุมทั่วประเทศ โดยใช้ดาวเทียม Thaicom สัญญาณ C-Band และ KU-Band ปัญหาที่พบบ่อยได้แก่
1. KU-Band การรับสัญญาณไม่ได้ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศ (ฝน) และการปรับองศาที่ไม่ดีไม่เหมาะสม

2. C-Band จากการตรวจสอบกับทางไทยคม ที่ได้มีการยกเลิกความถี่ 3.4-3.7 GHz ที่เคยใช้งานอยู่ และปรับเปลี่ยน LNB สำหรับผู้ชมทางบ้าน ในการรับสัญญาณความถี่ภาคพื้นดินเข้ามา ทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณในบางครั้ง

ประเด็นที่ 2 **ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน เพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร**

ตอบ เนื่องจากสถานีเป็น Service Provider จึงใช้บริการผู้ให้บริการที่เป็น Network Providerในการตรวจสอบและรับการรายงานเข้ามา หรือการรายงานจาก Provide ว่าผู้รับชมมีการร้องเรียนหรือไม่ แม้กระทั่งผู้ให้บริการที่เป็นกล่องรับสัญญาณต่าง ๆ กล่องรับดาวเทียม หรือกล่องรับดิจิทัลทีวีภาคพื้นดิน เพราะว่าทางช่องอาจจะมีช่องทางการสื่อสารกับผู้รับชม แต่ว่าส่วนใหญ่ผู้รับชมจะสื่อสารไปยังช่างที่มาติดตั้งมากกว่าการสื่อสารผ่านทางสถานี ทางสถานีจึงรับทราบปัญหาจากช่างผู้ติดตั้ง จำนวนผู้ใช้บริการ/การรับข้อร้องเรียนด้านการรับสัญญาณปัญหาจากสัญญาณรบกวน มีประมาณ 2-3 เคส/เดือน

ประเด็นที่ 3 **ในฐานะที่ทาง บริษัท วัน สามสิบเอ็ด จำกัด เป็น Service Provider และเป็น Content Provider ปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนมีความรุนแรงหรือส่งผลกระทบต่อบริษัทอย่างไร**

ตอบ ส่งผลกระทบต่อ Content และ Service ในด้านของการรับชม หากมีสัญญาณรบกวนอาจจะทำให้ยอดการเข้าชมลดลง เรตติ้งลดลงและรายได้อาจลดลงไปด้วย

ประเด็นที่ 4 **หากสำนักงาน กสทช. เป็นผู้รับบทบาทหน้าที่ ในการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ท่านมีความคิดเห็นว่าอย่างไร และต้องการให้บทบาทหน้าที่นั้นมีความครอบคลุมถึงเรื่องใดบ้าง**

ตอบ มีความเห็นด้วยว่าหากทางสำนักงาน กสทช. จะมีการจัดตั้งสถานีตรวจคลื่นความถี่และบทบาทหน้าที่ของ กสทช. ควรทำหน้าที่ตรวจสอบ ควบคุมและกำกับดูแลอย่างทันท่วงที

ประเด็นที่ 5 **ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย**

ตอบ ด้านบุคลากร ที่มีความสามารถ มีองค์ความรู้ และมีจำนวนที่เพียงพอต่อการตรวจสอบ

9) กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

ในวันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 **ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด**

ตอบ ใช้สัญญาณดาวเทียม ดาวเทียมสื่อสาร C-Brand ในการสื่อสารประชาสัมพันธ์แพร่ภาพและเสียง องค์ความรู้ในองค์กรและเป็นช่องทางสำรองสำหรับกรณีภัยพิบัติปัญหาและอุปสรรค คือ มีการรบกวนสัญญาณขณะออกอากาศ

ประเด็นที่ 2 **ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน เพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร**

ตอบ ทางหน่วยงานมีการทำข้อตกลงการให้บริการ (SLA) กับทาง Thaicom ในการตรวจสอบสัญญาณคลื่นความถี่

ประเด็นที่ 3 **หากประเทศไทยมีการออกข้อกำหนดนโยบายการจัดตั้งสถานีตรวจสอบความถี่หรืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการตรวจคลื่นความถี่ของประเทศไทย ท่านคิดว่ามีความจำเป็นหรือไม่ และต้องการที่จะพัฒนาปรับปรุงในประเด็นใด**

ตอบ มีความจำเป็นในการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นความถี่ ของ กสทช. เพื่อให้มีหน่วยงานที่ต้องทำหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบเป็นส่วนกลาง เพื่อกำกับดูแลควบคุมการใช้สัญญาณ

ประเด็นที่ 4 **หากสำนักงาน กสทช. เป็นผู้รับบทบาทหน้าที่ ในการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ท่านมีความคิดเห็นว่าอย่างไร และต้องการให้บทบาทหน้าที่นั้นมีความครอบคลุมถึงเรื่องใดบ้าง**

ตอบ บทบาทหน้าที่ของ กสทช. ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ ซึ่งเป็นบทบาทหน้าที่ของหน่วยงาน กสทช. อยู่แล้ว ควรดูแลทุกระบบอย่างรอบด้าน ในด้านความมั่นคง ทาง กสทช. ควรมีเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบ

ประเด็นที่ 5 **ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย**

ตอบ ควรพัฒนาด้านบุคลากร ให้มีความเชี่ยวชาญ มีองค์ความรู้ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจสอบ เครื่องมือและอุปกรณ์ ที่สามารถตรวจสอบคลื่นความถี่ได้

10) สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม

ในวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ.2567 คณะที่ปรึกษาฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการสัมภาษณ์เพื่อแสดงความคิดเห็นการใช้บริการดาวเทียมของประเทศไทย ซึ่งคณะที่ปรึกษาฯ ได้กล่าวแนะนำความเป็นมาของโครงการในเบื้องต้นให้แก่หน่วยงาน ในด้านวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและกำหนดทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบดาวเทียมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความครอบคลุมกับแนวทางการตรวจสอบดาวเทียมของประเทศไทยในปัจจุบัน และให้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหา การรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีแนวทางในการประสานเพื่อขอสัมภาษณ์หน่วยงานผู้มีส่วนได้เสียจากการใช้งานและคาดว่าจะมีการใช้งานในอนาคต โดยมีรายละเอียดในการสัมภาษณ์ผู้แทนหน่วยงาน ดังนี้

ประเด็นที่ 1 **ประสบการณ์การให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียมในปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการให้บริการ/ใช้บริการดาวเทียม ที่คิดว่าเป็นเรื่องเร่งด่วนและมีความสำคัญสูงสุด**

ตอบ ใช้สัญญาณดาวเทียมสื่อสาร C-Band และ KU-Band ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการใช้บริการดาวเทียม คือ การรบกวนสัญญาณจากภาคพื้นดิน มีสัญญาณรบกวนแทรกเข้ามา (ย่านความถี่เข้ามาแทรก)

ประเด็นที่ 2 **ปัจจุบันหน่วยงานของท่านมีเทคโนโลยีการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน เพื่อตรวจสอบคุณภาพในการให้บริการหรือไม่ เทคโนโลยีนั้นคืออะไร**

ตอบ เมื่อพบปัญหาสัญญาณรบกวน จะทำการแจ้งปัญหาไปยัง กสทช. เพื่อให้ทาง กสทช เป็นผู้ทำการตรวจสอบปัญหา และทำการวิเคราะห์แก้ไขปัญหาจากสัญญาณรบกวนนั้นอุปกรณ์ในการตรวจสอบสัญญาณที่พร้อมกับสถานี คือ Spectrum Analyzer

ประเด็นที่ 3 **หากสำนักงาน กสทช. เป็นผู้รับบทบาทหน้าที่ ในการตรวจคลื่นความถี่ทั้งในภาคอวกาศและภาคพื้นดิน ท่านคิดว่ามีความจำเป็นหรือไม่ และต้องการให้บทบาทหน้าที่นั้นมีความครอบคลุมถึงเรื่องใดบ้าง**

ตอบ สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่มีความจำเป็น และควรเป็นบทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของ กสทช. ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ และทาง กสทช. ควรมีการพัฒนาด้านบุคลากรและอุปกรณ์ในการตรวจสอบ

ประเด็นที่ 4 **ท่านคิดว่า สิ่งใดคือปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาการตรวจสอบคลื่นความถี่ของประเทศไทย**

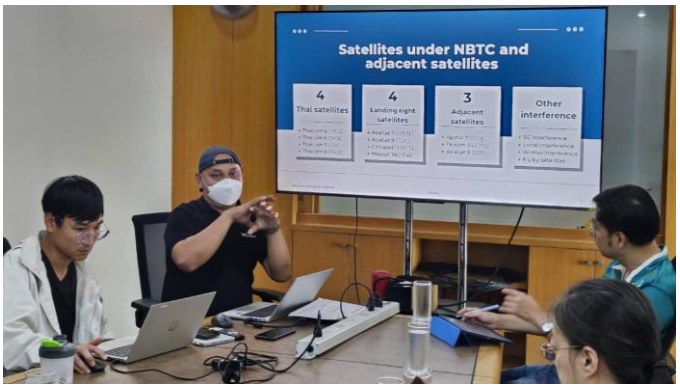
ตอบ 1. ความสามารถของบุคลากร องค์ความรู้และความเชี่ยวชาญ ในด้านการตรวจสอบสัญญาณรบกวน
2. กำหนดขอบเขตภารกิจ บทบาทหน้าที่ก่อนการกำหนดด้านอุปกรณ์
3. ศึกษาแนวโน้มปัญหาที่เกิดขึ้น และที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ภาคผนวก ข รายงานการเข้าเยี่ยมชมสถานีดาวเทียมไทยคม ลาดหลุมแก้ว

รายงานการเยี่ยมชมสถานีบริการภาคพื้นดิน บมจ.ไทยคม (ลาดหลุมแก้ว) วันพุธที่ 5 กุมภาพันธ์ 2568 เวลา 13.00 – 16.00 น.

รูปที่ 115 คณะที่ปรึกษาฯ เยี่ยมชมสถานีบริการภาคพื้นดิน บมจ.ไทยคม ลาดหลุมแก้ว

ในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2568 เวลา 13.00 – 16.00 น. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้เข้าเยี่ยมชมสถานีบริการภาคพื้นดินไทยคมของบริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน) ภายใต้การหารือหัวข้อ “เทคโนโลยีการตรวจจับและติดตามสัญญาณดาวเทียม (Satellite Monitoring Systems)”



รูปที่ 116 ผู้แทน บมจ.ไทยคม นำเสนอรายละเอียดเทคโนโลยีการตรวจจับและติดตามสัญญาณดาวเทียม

ในเบื้องต้น ผู้แทนจากบริษัทฯ ได้นำเสนอข้อมูลเทคโนโลยีการตรวจจับและติดตามสัญญาณดาวเทียม ซึ่งจะสามารถจำแนกกลุ่มสำหรับการติดตาม 4 กลุ่มหลัก ดังนี้

1. กลุ่มดาวเทียมสัญชาติไทย ได้แก่ Thaicom 4 (119.5E) และ Thaicom 6 (78.5E) โดยที่สถานะปัจจุบันได้มีการส่งคืนไปยัง บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) เพื่อให้บริการ Broadcast เป็นที่เรียบร้อย และในส่วนของ Thaicom 7 (120E) และ Thaicome 8 (78.5E) ยังคงอยู่ในการกำกับดูแลของบริษัทฯ ซึ่งยังคงมีการให้บริการมาถึงปัจจุบัน
2. กลุ่มดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศ (Landing Right) ได้แก่ AsiaSat 7 (105.5E) AsiaSat 9 (122E) Chainasat 12 (87.5E) และ Measat 3A (91.4E) ซึ่งได้มาเพื่อใช้งานทดแทน Thaicom 5 ในการให้บริการเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

3. กลุ่มดาวเทียมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Apster 7 (76.5E) โดยมีตำแหน่งข้างเคียงกับ 78.5 โดยได้มีตำแหน่งเขตสัญญาณบริการ (Footprint) ที่ใกล้เคียงกับดาวเทียม Thaicom 8 เช่นเดียวกับ Telkom 3S (118E) และ AsiaSat 9 (122E) ที่มีตำแหน่งเขตสัญญาณบริการ (Footprint) ที่ใกล้เคียงกับดาวเทียม Thaicom 7 (120E) จึงทำให้บริษัทฯ ต้องมีการตรวจสอบร่วมด้วยเพื่อป้องกันการรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นได้
4. การใช้ช่องสัญญาณร่วมที่ไม่ใช่ดาวเทียม ได้แก่ 5G Interference Local Interference Wi-Max Interference และ Fly by satellite เป็นต้น

รูปที่ 117 แสดงกลุ่มดาวเทียมและช่องสัญญาณดาวเทียมภายใต้การติดตามของบริษัทฯ

โดยการดำเนินงานที่ผ่านมามักพบกรณีที่เกิดจากการแทรกสอดของสัญญาณ (Interference) ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง (Terminal) ของลูกค้า ซึ่งบริษัทฯ ได้ทำการหยิบยกประเด็นเกิดขึ้น ณ บริเวณชายแดนจังหวัดหนองคายที่ค้นพบการแทรกสอด (Interference) ของสัญญาณจากอุปกรณ์ไวแม็กซ์ (Wi-Max) จากประเทศเพื่อนบ้านที่ส่งผลให้สัญญาณภาพล้ม ซึ่งเป็นการรบกวนเฉพาะที่ (Local interference) และกรณีที่พบมาก คือการแทรกสอดของสัญญาณของ 5G เนื่องจากมีการทับซ้อนช่วงปลายคลื่นของ C-band จึงทำให้เกิดสัญญาณการรบกวน ซึ่งมักพบการรบกวนกันในระดับภาคพื้นดิน (Territorial interference)

ปัจจุบันทางบริษัทฯ ได้ดำเนินการตรวจสอบการแทรกสอดของคลื่น ซึ่งได้รับข้อมูลการติดตามจากสถานีรับสัญญาณหลัก (อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี) และจากสถานีย่อยในภูมิภาค เพื่อใช้ในการติดตามร่วมกัน โดยใช้วิธีในการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีหลักและสถานีย่อยเพื่อตรวจสอบความถูกต้องว่าเกิดการรบกวนจากพื้นที่ใด หรือหากในกรณีพบในสถานีใดสถานีหนึ่ง อาจจะเกิดจากสัญญาณรบกวนเฉพาะที่ (local interference) หรือเกิดจากความขัดข้องของระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อดีของการมีสองสถานีในการตรวจสอบภาคพื้นดิน คือสามารถทำให้ตรวจสอบสาเหตุของการรบกวนได้แบบแบบเรียลไทม์ และเมื่อดำเนินการตรวจพบพื้นที่ผิดปกติของสัญญาณ ทางบริษัทก็จะทำการจัดส่งรถในการตรวจสอบสเปกตรัมแบบเคลื่อนที่ (Mobile Station) และชุดอุปกรณ์ตรวจสอบแบบพกพาไปยังพื้นที่เพื่อจำกัดวงการค้นหาและทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดส่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในลำดับถัดไป ทั้งนี้ โดยทางบริษัทฯ ได้มีข้อเสนอแนะในการติดตาม ควรติดตั้งให้มีเป็นไปในลักษณะ 1 จานรับสัญญาณต่อดาวเทียม 1 ดวง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ลำดับถัดมา คณะที่ปรึกษาฯ ได้มีประเด็นถาม-ตอบ ร่วมกับ บมจ.ไทยคม เกี่ยวกับเทคโนโลยีการตรวจจับ ติดตามสัญญาณดาวเทียมและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่พบของบริษัทฯ ซึ่งมีรายละเอียดประเด็นสอบถามดังนี้

ประเด็นที่ 1 ปัจจุบันสถานีภาคพื้นดินของบริษัทฯ มีกี่แห่ง (ไม่นับลาดหลุมแก้ว) และมีองค์ประกอบหลักอย่างไร

ตอบ ปัจจุบันบริษัท มีสถานีภาคพื้นดินที่ติดตั้งไว้เพื่อการรับ-ส่งสัญญาณ จำนวน 2 สถานีหลัก ได้แก่ สถานีบริการภาคเหนือตอนล่าง และสถานีบริการภาคใต้ตอนบน โดยสถานีหลักจะเป็นไปในลักษณะ Antenna Farm เป็นหลัก และมีสถานีย่อย 40 สถานี (LEO unit site) เพื่อรองรับสัญญาณจากดาวเทียม LEO

ประเด็นที่ 2 ในกรณีการรบกวนจากผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทางบริษัทฯ มีมาตรการในดำเนินการอย่างไร

ตอบ แยกเป็น 2 กรณีคือ (1) กรณีที่มีการติดตั้งสัญญาณที่ไม่เป็นมาตรฐาน บริษัทฯ จะดำเนินการแจ้งไปยังผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการปรับแก้ไข และ (2) กรณีผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการที่ตั้งสัญญาณที่เป็นมาตรฐานแล้วแต่ยังเกิดการรบกวน ทางบริษัทฯ จะขอดำเนินการตรวจวัดกำลังเพื่อตรวจสอบว่ามีกำลังมากเกินไปหรือไม่ และหากกรณีที่ลดกำลังลงแล้วยังคงเกิดการรบกวนของสัญญาณ ทางบริษัทฯ ก็จะดำเนินการเปลี่ยน Terminal และ Filter ของลูกค้าเพื่อป้องกันการรบกวนของสัญญาณที่เกิดขึ้น

ประเด็นที่ 3 ทำไมทางบริษัทจึงมีการติดตั้งจานรับสัญญาณ KU-band ถึง 3 ใบ

ตอบ เนื่องจากการซ้อนทับกันของเวลาลับฟ้าจำนวน 2 จาน และจานที่ 3 เป็นเรื่องในกรณีสำรอง

ประเด็นที่ 4 ปัจจุบันการอนุญาตติดตั้งสถานีเพื่อบริการอินเตอร์เน็ตของ Starlink ยังไม่ได้มีการขออนุญาตจากทาง กสทช ทางบริษัทฯ ได้มีการค้นพบกรณีลักลอบใช้หรือไม่ และมีความเห็นต่อเรื่องนี้อย่างไร

ตอบ ปัจจุบันทางการใช้งานอินเตอร์เน็ตดาวเทียมไม่ได้นับเป็นเทคโนโลยีใหม่มากนักในประเทศไทย จึงไม่เข้าข่ายการกวน แต่เนื่องด้วยเทคโนโลยียังไม่ได้รับการอนุญาตใช้งานภายในประเทศ จึงทำให้มักถูกพบเป็นไปในกรณีการลักลอบใช้งาน โดยพบได้มากบริเวณพื้นที่ชายแดนของประเทศไทยที่ตรวจวัดค่าได้

ประเด็นที่ 5 จากประเด็นที่ผ่านมา ในกรณีการลักลอบใช้ทางบริษัทฯ มีมาตรการในการตรวจสอบอย่างไร และมีกระบวนการในการจัดการอย่างไร

ตอบ โดยปกติแล้วทางบริษัทเมื่อมีการตรวจวัดค่าแล้วพบสิ่งปกติก็จะทำการตรวจสอบอีกครั้งเพื่อหาว่ามีการซ้อนทับในช่วงคลื่นใด โดยการนำเอาออบิดเทียบ โดยในกรณีของดาวเทียม GEO สามารถค้นหาได้จากข้อมูล “การตั้งใช้” ว่ามาจากแหล่งใด แต่หากเป็นกรณี LEO จะไม่สามารถระบุได้ เนื่องจากเป็นกรณีของการลักลอบใช้ตั้งแต่แรก จึงไม่สามารถค้นหาจากฐานข้อมูลที่มีในระบบได้ โดยเมื่อหากทางบริษัทฯ ได้มีการตรวจจับความผิดปกติและทำการรวบรวมหลักฐานได้ก็จะทำการจัดส่งไปยัง กสทช โดยหากไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ก็จะทำการส่งเรื่องไปยัง ITU ในฐานะผู้กำกับดูแลระดับประเทศต่อไป

ประเด็นที่ 6 ทางบริษัทมีข้อเสนอแนะไปยัง กสทช หรือไม่

ตอบ บริษัทมีข้อเสนอแนะต่อการเตรียมความพร้อมก่อนมีการใช้งาน 5G เพื่อพิจารณาว่ามีความถี่ซ้อนทับกับช่องสัญญาณเดิมหรือไม่ โดยทางบริษัทฯ มีข้อกังวลใจต่อกรณีที่อาจจะเกิดขึ้นเหมือนกับดาวเทียมไทยคม 7 ซึ่งให้บริการครอบคลุมพื้นที่แอฟริกา โดยมีการซ้อนทับการให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในพื้นที่ จึงทำให้ต้องทำการทอนสัญญาณลง จึงเกิดเป็นข้อกังวลใจทางด้านการการบริหารจัดการหากมีการนำร่องใช้งาน อีกทั้ง ในกรณีการตรวจจับการลักลอบใช้งานช่องสัญญาณ ทางบริษัทฯ เสนอให้มีการตรวจวัดจากการจับสัญญาณจากดาวเทียมร่วมด้วย เนื่องจากปัจจุบันเป็นเพียงการตรวจจับจากสถานีภาคพื้นเท่านั้น โดยเสนอแนะให้ทางสำนักงาน กสทช ดำเนินการเจรจากับผู้ให้บริการดาวเทียมเจ้าอื่นในการเปิดเผยที่ตั้งของ Terminal และมีการระบุ satellite id เพื่อระบุในการตรวจจับกรณีที่เกิดความผิดปกติขึ้นในช่องสัญญาณ ทั้งนี้ อาจเป็นการบูรณาการร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ ศูนย์ประสานงานการรักษาผลประโยชน์ของชาติทางอากาศและอวกาศ ที่จะทำการจัดตั้งขึ้นโดยกองทัพอากาศ เป็นต้น

รูปที่ 118 รถในการตรวจสอบสเปกตรัมแบบเคลื่อนที่ (Mobile Station) และชุดอุปกรณ์ตรวจสอบแบบพกพา

รูปที่ 119 รูปแบบการติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียมและทิศทางการรับสัญญาณ (ซ้าย) Antenna Phase Array (ขวา)

ภาคผนวก ค รายงานสรุปการประชุมในรูปแบบออนไลน์ ร่วมกับคณะกรรมการ และผู้แทนสำนักงาน กสทช.

สรุปการประชุมในรูปแบบออนไลน์

ในวันศุกร์ที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2568 เวลา 09.30 - 10.45 น. คณะผู้วิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดให้มีการประชุมร่วมกับร่วมกับคณะกรรมการ และผู้แทนสำนักงาน กสทช. เพื่อการพิจารณาและติดตามความก้าวหน้าการดำเนินโครงการร่วมระหว่างหน่วยงานและคณะผู้วิจัย ทั้งนี้สามารถสรุปประเด็นข้อเสนอแนะดังนี้

ประเด็นข้อเสนอแนะจากคณะกรรมการพิจารณาและ ผู้แทนสำนักงาน กสทช.

1) คณะกรรมการฯ มีความต้องการให้คณะผู้วิจัยฯ ทำการศึกษาแนวทางการประยุกต์เทคโนโลยี AI ในการตรวจจับคลื่นความถี่ โดยเสนอแนะในรูปแบบวิธีการ เครื่องมือ และผลลัพธ์ โดยอาจทำการเพิ่มเนื้อหาในบทการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเสนอแนะให้ทางสำนักงาน กสทช. สามารถนำใช้ต่อไปได้
2) ขอให้ศึกษา และพิจารณาเทคโนโลยีสมัยใหม่ โดยเฉพาะ NTN , Satellite IOT เข้ามาเพิ่มเติมในข้อเสนอเชิงเทคนิค
3) ขอให้มีการศึกษา ข้อกำหนดตาม ITU ในเรื่อง PSD และ EIRP ว่ามีค่ามาตรฐานอยู่ที่เท่าใด และมีความสอดคล้องในการตรวจสอบอุปกรณ์ที่มีได้ครอบคลุมหรือไม่
4) ต้องการให้คณะผู้วิจัยฯ ทำการศึกษาเพิ่มเติม เรื่อง Mobile Station นอกเหนือจากกรณีการที่จะต้องมีการติดตั้งสถานี Fixed Station
5) ให้พิจารณาประเด็นเรื่อง Inter Satellite Interference จะสามารถดำเนินแก้ไขอย่างไร
6) ให้ศึกษา SWARM Technology เพิ่มเติมเป็นทางเลือกของเทคโนโลยี
7) ต้องการให้คณะผู้วิจัยฯ ทำการศึกษา เรื่อง การรบกวนสัญญาณและแนวคิดในการตรวจจับสัญญาณในกรณีของ NGSO
8) ศึกษาเปรียบเทียบการดำเนินการ หรือรูปแบบ ระหว่างต่างประเทศกับไทยในรูปแบบตารางเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา
9) ในกรณี กสทช ไม่มีงบประมาณ ขอให้คณะผู้วิจัยฯ ทบทวนแนวคิดการแบ่งเฟสหรือการบูรณาการร่วมกันกับของหน่วยงานอื่นที่มีอยู่เดิม อาทิ NT หรือกองทัพอากาศ เพื่อเป็นทางเลือกในการพิจารณา

ภาคผนวก ง รายชื่อผู้เข้าร่วมการประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ
โครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม

การสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจั ดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม
วันอังคารที่ 20 พฤษภาคม 2568 เวลา 08.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมแม็จิก 1 โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ

No.	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ
1	พลอากาศตรี ศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ปราณีตพลกรัง	ประธานที่ปรึกษาคณะกรรมาธิการ AI ด้านวิชาการ	สภาผู้แทนราษฎร	
2	คุณสำราญ สงวนผลไพโรจน์	ประธานที่ปรึกษาคณะกรรมาธิการ AI ด้านยุทธศาสตร์	สภาผู้แทนราษฎร	
3	รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์	อนุกรรมการด้านคลื่นความถี่และมาตรฐานทางเทคนิค	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
4	นายสินชัย อนันตปรีชา			
5	นายศรุต ศีลแจ่มใส	นักวิชาการเทคโนโลยีสารสนเทศปฏิบัติการระดับสูง (นทส. ก1)	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
6				
7				
8				
9				

การสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจั ดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม
วันอังคารที่ 20 พฤษภาคม 2568 เวลา 08.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมแมจิก 1 โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ

No.	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ
1	นายบรรพต สุขประพฤติ	ผู้อำนวยการกลุ่มนโยบายและแผน กองกิจการอวกาศแห่งชาติ	สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สดช.)	
2	ร.ท.อนุตร คุณาธรรมกุล	นายทหารเทคนิคแผนกดาวเทียมถ่ายภาพ กองปฏิบัติการ ศูนย์กิจการอวกาศ	กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและอวกาศกลาโหม สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม	
3	นายบุญชุบ บุ้งทอง	ผู้อำนวยการสำนักปฏิบัติการดาวเทียม	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	
4	นายทศพล ชินนิวัฒน์	วิศวกรชำนาญการ สำนักปฏิบัติการดาวเทียม	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	
5	นางสาวพิมพ์ชนก ฤกษ์อุโฆษ	นักเทคโนโลยีอวกาศ ศูนย์ผลิตดาวเทียมแห่งชาติ	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	
6	นายครรชิต เพ็ชรนิล	ฝ่ายธุรกิจดาวเทียม ส่วนปฏิบัติการดาวเทียม นนทบุรี	บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)	
7	นายณัฐกุล หนุ่ยศรี	วิศวกร	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	
8	คุณรัฏฐิกา ปั้นวิเศษ	Sale Engineer Specialist	บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน)	
9	น.อ. ศรัณย์ ทัพภะสุต			

การสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจั ดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม
วันอังคารที่ 20 พฤษภาคม 2568 เวลา 08.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมแมจิก 1 โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ

No.	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ
1	นายณัฐวุฒิ อาจปรุ	ผู้อำนวยการสำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
2	นางสาวอรศรี ศรีระษา	ผู้อำนวยการส่วน สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
3	นางสาวศิรญา ชาวนา	ผู้อำนวยการส่วน สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
4	นางสาวศรีสุดา พรหมมานุวัติ	ผู้อำนวยการส่วน สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
5	นายอรรณพ ตรึกตรอง	ผู้อำนวยการส่วน สำนักกองทุนวิจัยและพัฒนา	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
6	นายภารัณ ภูริภัสโภคิน	วิศวกรปฏิบัติการระดับสูง (วก. ก1) สำนักกิจการภูมิภาค	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
7	นายปิยบุตร พรหมรุ่งเรือง	วิศวกรปฏิบัติการระดับสูง (วก. ก1) สำนักกิจการภูมิภาค	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
8	นายกรกต ~~มาสุก~~	วิศวกรปฏิบัติการ ระดับกลาง (วก. ก2) สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
9	นายปรีดิ์ จรูญวัฒนเลาหะ	วิศวกรปฏิบัติการ ระดับกลาง (วก. ก2) สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	

เอกสารนี้เป็นกรรมสิทธิ์ของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

การสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจั ดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม
วันอังคารที่ 20 พฤษภาคม 2568 เวลา 08.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมแมจิก 1 โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ

No.	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ
10	นางสาววรรษมน ชมสาคร	วิศวกรปฏิบัติการระดับกลาง (วก. ก2) สำนักกิจการภูมิภาค	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
11	นายกิตติภัฏ จันทเขต	วิศวกรปฏิบัติการระดับต้น (วก. ก3) สำนักกิจการภูมิภาค	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
12	นางสาวธนภร ทวิชศรี	นิติกรปฏิบัติการระดับสูง สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
13	นางสาวจุฑารัตน์ แจ้วสกุล	นักวิชาการนโยบายและแผนระดับสูง (นนผ. ก1) สำนักกิจการวิทยุระหว่างประเทศ	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
14	นางสาวกิจวัฒนี อุดมศิลป์	นักวิชาการนโยบายและแผนระดับกลาง (นนผ. ก2) สำนักกิจการดาวเทียมสื่อสาร	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
15	นางสาวนิพิชฌม์ชา วงษ์สวัสดิ์	นักวิชาการนโยบายและแผนระดับต้น สำนักกองทุนวิจัยและพัฒนา	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
16	นางสาวจันทกานต์ สุพิชญ์	เศรษฐกรปฏิบัติการระดับต้น สำนักกองทุนวิจัยและพัฒนา	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
17	นางสาวชวิศา ขุนทอง	ลูกจ้างชั่วคราว สำนักบริหารคลื่นความถี่	สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)	
18	น.ส. กิตติวรรณ ธรรมนิยม	นักวิชาการนโยบายและแผนปฏิบัติการ ระดับกลาง	กสทช.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การให้เช่า การจำหน่าย หรือการแสวงหาผลประโยชน์ในรูปแบบอื่น ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

การสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม
วันอังคารที่ 20 พฤษภาคม 2568 เวลา 08.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมแมจิก 1 โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ

No.	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ
	เรืออากาศตรี ณัฐสิทธิ์ ภาชีรัตน์	ประธานคณะอนุกรรมการกิจการดาวเทียม	กรมการบินพาณิชย์	ร.อ. ณัฐสิทธิ์
	นายปฏิภาณ ชัยสิทธิ์	นักวิชาการโทรคมนาคม ชำนาญการ	สำนักงานกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ	
	นางสาวกาญจน์ณี อมรวรรณ ปิ่นสกิลิป	รองหน. แผนกบริหารโครงสร้างพื้นฐาน, กรมเทคโนโลยีการบินพาณิชย์ และการบินไทย จก.		

การสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจั ดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม
วันอังคารที่ 20 พฤษภาคม 2568 เวลา 08.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมแมจิก 1 โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ

No.	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ
	น.ส. สุภัคณัฐธิฌา กปิลกิษฐี	ผู้ช่วยนักวิจัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	สุภัคณัฐธิฌา
	น.ส. กรวีร์ ชื่วพันธ์	ผู้ช่วยนักวิจัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
	น.ส.ชัญญา กลรอดศิลพาทาท	ผู้ช่วยนักวิจัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ชัญญา
	นาย. พงศธร หริพชัยกุล	ผู้ช่วยนักวิจัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	พงศธร
	นาย. ณัฐกฤต นามธูงเดิน	ผู้ช่วยนักวิจัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ณัฐกฤต

เอกสารนี้เป็นกรรมสิทธิ์ของสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ในทางมิชอบ

การสัมมนาเชิงปฏิบัติการโครงการศึกษาแนวทางการจัด ตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียม

วันอังคารที่ 20 พฤษภาคม 2568 เวลา 08.00 – 16.00 น. ณ ห้องประชุมแจ๊ก 1 โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ

No.	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง	หน่วยงาน	ลายมือชื่อ
1	รศ.ดร.อุศนา ตันตุลเวศม์	หัวหน้าคณะที่ปรึกษาโครงการฯ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
2	รศ.ดร.มงคล รักษาพัชรวงศ์	คณะที่ปรึกษาโครงการฯ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
3	รศ.ดร.ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม	คณะที่ปรึกษาโครงการฯ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
4	ผศ.ดร.อรัชนก พิเชฐรวกุล	คณะที่ปรึกษาโครงการฯ	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	
5	นายสัณห์ อุทยารัตน์	คณะที่ปรึกษาโครงการฯ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
6	นายฤกา เนตรเมรมิตร	คณะที่ปรึกษาโครงการฯ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
7	นายเอกพล ทิรัญยเอกภาพ	คณะที่ปรึกษาโครงการฯ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
8	นางสาวพรรษา บุนนาค	คณะที่ปรึกษาโครงการฯ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
9	นางสาวรพรรณ วิริยะภาพ	คณะที่ปรึกษาโครงการฯ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	

ภาคผนวก จ คู่มือแนวทางการตรวจสอบคลื่นความถี่ในกิจการอวกาศ

1. บทนำ

ด้วยพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติมกำหนดให้ กสทช. มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวกับการบริหารสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม และดำเนินการในฐานะหน่วยงานอำนวยการของรัฐบาลที่มีอำนาจในการบริหารกิจการสื่อสารระหว่างประเทศกับสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือองค์การระหว่างประเทศอื่น รัฐบาลและหน่วยงานต่างประเทศตามที่อยู่ในหน้าที่และอำนาจของ กสทช. หรือตามที่รัฐบาลมอบหมาย รวมทั้งสนับสนุนการดำเนินการของรัฐเพื่อให้มีดาวเทียมหรือให้ได้มาซึ่งสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม และประสานงานเกี่ยวกับการบริหารคลื่นความถี่ทั้งในประเทศและระหว่างประเทศเพื่อให้เป็นไปตามแผนการบริหารสิทธิในการเข้าใช้วงโคจรดาวเทียม รวมถึงนโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วยการพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนการพิจารณาอนุญาตและกำกับดูแลการประกอบกิจการโดยใช้ช่องสัญญาณดาวเทียมต่างชาติในการให้บริการในประเทศ (Landing Right) นอกจากนี้ ประกาศคณะกรรมการ กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง แผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ (พ.ศ. 2562) และที่แก้ไขเพิ่มเติม ได้กำหนดให้มีการจัดตั้งศูนย์ตรวจสอบคลื่นความถี่แห่งชาติ (National Spectrum Monitoring Center) ที่บูรณาการข้อมูลการตรวจสอบจากทุกหน่วยงานของสำนักงาน กสทช. เพื่อบูรณาการเชื่อมโยงข้อมูลการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ต่าง ๆ สำหรับใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา กำหนดแนวทางเชิงนโยบายด้านการบริหารคลื่นความถี่ของประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อสาธารณะและประชาชน

ปัจจุบันสำนักงาน กสทช. ยังไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจสอบคลื่นความถี่และติดตามการใช้คลื่นความถี่และวงโคจรดาวเทียม ดังนั้นเพื่อให้เกิดแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และเพื่อให้สำนักงาน กสทช. มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงป้องกันและการแก้ไขปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่ระหว่างประเทศ รวมถึงเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุมทุกกิจการ จึงมีการศึกษาแนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมเพื่อให้การดำเนินแนวทางด้านการบริหารคลื่นความถี่ของประเทศไทยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2. สรุปการศึกษาระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ของต่างประเทศ

คณะผู้วิจัยฯ สรุปเชิงเปรียบเทียบในการศึกษาบทบาทอำนาจหน้าที่ในกรณีศึกษาของต่างประเทศมาดังนี้

หลักการที่สำคัญ	สาธารณรัฐเยอรมนี	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สหรัฐอเมริกา	อินโดนีเซีย	มาเลเซีย
หน่วยงานกำกับดูแล	Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Post and Railways (Federal Network Agency) (Bundesnetzagentur : BNetzA)	1. กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Ministry of Industry and Information Technology: MIIT) 2. ศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติ (China Radio Monitoring Center) เป็นหน่วยงานสนับสนุนด้านเทคนิคของสถาบันกำกับดูแลวิทยุคมนาคมแห่งชาติ	1. Federal Communications Commission (FCC) 2. National Telecommunications and Information Administration: NTIA	ภาคเทคโนโลยี สื่อ และกิจการโทรคมนาคม Technology, Media and Telecommunications sector: TMT) อยู่ภายใต้กระทรวงการสื่อสารและสารสนเทศ (Ministry of Communications and Informatics: MCI)	คณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย (Malaysian Communications and Multimedia Commission: MCMC)
อำนาจหน้าที่ของหน่วยงานกำกับดูแล	1. มีหน้าที่หลักในการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคม กิจการไปรษณีย์ กิจการรถไฟ 2. ในบริบทการตรวจสอบการรบกวนสัญญาณการสื่อสารผ่านดาวเทียมในเยอรมนีนั้น BNetzA มีหน้าที่หลักในการจัดการคลื่นความถี่วิทยุและดูแลการสื่อสารผ่านดาวเทียมภายในประเทศ รวมทั้งมีหน้าที่สอบสวนข้อร้องเรียนเกี่ยวกับการรบกวนกันของคลื่นความถี่วิทยุ ทั้งยังต้องรักษาการปฏิบัติตามสนธิสัญญาระหว่างประเทศ และประสานงานกับประเทศอื่น ๆ ในสหภาพยุโรปและทั่วโลกด้วย	1. MIIT รับผิดชอบหลักเรื่องการบริหารบริษัทอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศของจีน และเป็นหน่วยงานกำกับดูแลโทรคมนาคมในประเทศจีนอีกด้วย โดยรับผิดชอบด้านการกำหนดแผน นโยบาย กฎหมาย ระเบียบ และเกณฑ์ทางเทคนิคสำหรับอุตสาหกรรมสารสนเทศและกิจการโทรคมนาคมเป็นหลัก 2. ศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติ มีหน้าที่หลักคือ - รับผิดชอบในการก่อสร้าง การดำเนินงาน การบำรุงรักษา และการจัดการโครงสร้างพื้นฐานในการติดตามตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ	1. FCC เป็นหน่วยงานอิสระที่มีหน้าที่กำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง 2. NTIA เป็นหน่วยงานเดียวที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุมัติการใช้คลื่นความถี่ของรัฐบาลกลาง และเป็นที่ปรึกษาหลักของประธานาธิบดีเกี่ยวกับนโยบายโทรคมนาคม ทั้งนี้ ทั้งสองหน่วยงานจะต้องประสานงานและสื่อสารมุมมองของฝ่ายบริหารของ FCC และ NTIA ร่วมกันเพื่อจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุของประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยคำนึงถึงเพื่อประโยชน์สาธารณะ	กำกับดูแลกิจการโทรคมนาคม	กำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมและไปรษณีย์

หลักการที่สำคัญ	สาธารณรัฐเยอรมนี	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สหรัฐอเมริกา	อินโดนีเซีย	มาเลเซีย
		- รับผิดชอบในการดำเนินงานตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุและค้นหาแหล่งรบกวนสัญญาณวิทยุและสถานีวิทยุที่ผิดกฎหมายโดยใช้เทคนิค และจัดการกับปัญหานี้โดยได้รับอนุญาต			
กฎหมายที่ใช้ในการกำกับดูแลที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียม	มาตรา 59 ของ Telecommunications Act 1996 กำหนดให้ BNetzA มีหน้าที่กำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่และวงโคจรดาวเทียมอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนระหว่างกิจการสื่อสารดาวเทียมและกิจการสื่อสารภาคพื้นดิน	1. ข้อกำหนดการกำกับดูแลกิจการวิทยุคมนาคม สาธารณรัฐประชาชนจีน (Radio Regulatory Provision, People's Republic of China) ใช้บังคับกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ การติดตั้งและการใช้งานสถานีวิทยุ การพัฒนา การผลิต การนำเข้า การขาย และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ส่งสัญญาณวิทยุ ตลอดจนการใช้อุปกรณ์ที่ไม่ใช่วิทยุซึ่งสามารถแผ่คลื่นความถี่วิทยุได้ภายในสาธารณรัฐประชาชนจีน (มาตรา 1) ตลอดจนมีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การสืบสวนและการจัดการสัญญาณรบกวน และกำกับดูแลคลื่นความถี่วิทยุที่เกี่ยวข้องกับต่างประเทศและประสานงานการจัดการเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลคลื่นความถี่วิทยุ (มาตรา 8) 2. ข้อกำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่วิทยุ สาธารณรัฐประชาชน	1. Communications Act of 1934 2. คำสั่งของกระทรวงพาณิชย์ (Department of Commerce Organization Order: DOO) ที่ 10-10	1. กฎหมายหมายเลข 36 ปี 2542 ว่าด้วยโทรคมนาคม (Law No. 36 of 1999 on Telecommunication) แก้ไขเพิ่มเติมล่าสุดโดยกฎหมาย Omnibus (กฎหมายหมายเลข 11 ปี 2563 ว่าด้วยการสร้างงาน) 2. ระเบียบรัฐบาลหมายเลข 46 ปี 2564 ว่าด้วยไปรษณีย์ โทรคมนาคม และการกระจายเสียง (Government Regulation No. 46 of 2021 on Post, Telecommunication and Broadcasting: GR 46/2564)	1. พระราชบัญญัติคณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซีย ค.ศ. 1998 (Malaysian Communications and Multimedia Commission Act 1998) 2. ข้อบังคับการสื่อสารและมัลติมีเดีย ค.ศ.2000 (Communications and Multimedia (Spectrum) Regulations 2000)

หลักการที่สำคัญ	สาธารณรัฐเยอรมนี	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สหรัฐอเมริกา	อินโดนีเซีย	มาเลเซีย
		จีน (Provisions for Radio Frequency Allocation, People's Republic of China) มีสาระสำคัญในการกำหนดให้ลักษณะดังต่อไปนี้ให้ถือว่าเป็นการใช้คลื่นความถี่วิทยุโดยผิดกฎหมายเพื่อรบกวนการสื่อสารวิทยุตามข้อกำหนดดังกล่าว (มาตรา 39)			
กระบวนการทำงานที่สำคัญในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียม	1. BNetzA จะทำงานร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียม และสถานีภาคพื้นดิน โดยผู้ให้บริการดาวเทียมจะดำเนินการประเมินเบื้องต้นเกี่ยวกับการรบกวน รวมถึงความรุนแรง ย่านความถี่ที่ได้รับผลกระทบ และแหล่งที่มาที่เป็นไปได้ โดยจะบันทึกรายละเอียดของเหตุการณ์ (เวลา ความถี่ที่ได้รับผลกระทบ ผลกระทบทางภูมิศาสตร์) และรายงานการรบกวนไปยัง BNetzA 2. เมื่อ BNetzA ได้รับรายงานการรบกวนและตรวจสอบรายละเอียดของเหตุการณ์เป็นที่ชัดเจนแล้ว BNetzA จะเริ่มการสอบสวนเพื่อหาต้นตอ ลักษณะและสาเหตุของการรบกวน รวมทั้งติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการ	1. กำหนดให้หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของจังหวัด เขตปกครองตนเอง หรือเทศบาลที่ขึ้นตรงต่อรัฐบาลกลาง ภายใต้การนำของหน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมของรัฐ โดยมีหน้าที่ออกใบอนุญาตการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ตรวจสอบผังการก่อสร้างและสถานที่ของสถานีวิทยุคมนาคม และมีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุการสอบสวน และประสานงานการจัดการเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลวิทยุคมนาคมภายในเขตบริหารของตน 2. เมื่อมีการตรวจพบความผิดปกติต่าง ๆ สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุจะตรวจสอบคลื่นวิทยุเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน โดยแบ่งระดับการแก้ปัญหา ดังนี้	1. NTIA เป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบหลักในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในสหรัฐอเมริกา และมี FCC ทำหน้าที่ตรวจสอบและแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนในกิจการโทรคมนาคม รวมถึงกิจการดาวเทียม 2. Communications Act of 1934 กำหนดให้ FCC กำกับดูแลการใช้งานอุปกรณ์วิทยุคมนาคมเพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณรบกวน 3. ในกรณีที่มีการรายงานการรบกวนไปยัง FCC หรือ NTIA (ขึ้นอยู่กับลักษณะของการรบกวน) จะมีการเริ่มการสอบสวน คือ สำหรับการรบกวนในเชิงพาณิชย์ จะมีการรับรายงานการรบกวนผ่าน International Bureau หรือ Office of Engineering and	กำหนดให้สำนักงานภูมิภาคสำหรับการตรวจสอบความถี่วิทยุ ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของกรมไปรษณีย์และโทรคมนาคม (Directorate General of Post and Telecommunication: POSTEL) ตามกฎหมาย Law No. 36 of 1999 on Telecommunication มีหน้าที่หลักในการรับผิดชอบในการดำเนินการ โดยมีหน่วยปฏิบัติการทางเทคนิค (Technical Implementer Unit: UPT) มีหน้าที่ในการดำเนินการกำกับดูแลและควบคุมในด้านการใช้คลื่นความถี่วิทยุซึ่งครอบคลุมกิจกรรมการสังเกตการณ์ การตรวจจับแหล่งกำเนิดการปล่อย การตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ การบังคับใช้กฎหมาย การประเมิน	1. คณะกรรมการการสื่อสารและมัลติมีเดียแห่งมาเลเซียจะไม่รับผิดชอบต่อการรบกวนเล็กน้อยการรบกวนร้ายแรง และการรบกวนที่เป็นอันตราย ซึ่งเกิดจากส่วนใดส่วนหนึ่งของคลื่นความถี่ที่คณะกรรมการกำหนด 2. หากคณะกรรมการฯ เชื่อว่าอุปกรณ์ใดก็ตามของผู้ประกอบการกำลังก่อให้เกิดการรบกวนร้ายแรงหรือการรบกวนที่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์วิทยุสื่อสารที่อื่นใด เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์หรืออุปกรณ์วิทยุสื่อสารนั้นจะต้องอนุญาตให้คณะกรรมการฯ ตรวจสอบอุปกรณ์หรืออุปกรณ์วิทยุสื่อสาร 3. คณะกรรมการฯ อาจสั่งให้เจ้าของหรือผู้ใช้อุปกรณ์ดำเนินการตามมาตรการที่จำเป็นเพื่อขจัดหรือลดการ

หลักการที่สำคัญ	สาธารณรัฐเยอรมนี	สาธารณรัฐประชาชนจีน	สหรัฐอเมริกา	อินโดนีเซีย	มาเลเซีย
	รบกวนและรายละเอียดทางเทคนิค 3. หากระบุได้ว่าเกิดการรบกวนเกิดขึ้นภายในเยอรมนี BNetzA จะออกการแจ้งเตือนหรือคำเตือนไปยังฝ่ายที่รับผิดชอบ และขอให้หยุดกิจกรรมที่รบกวนโดยทันที และหากการรบกวนมาจากต่างประเทศ BNetzA จะประสานงานกับ ITU หรือ CEPT เพื่อบรรเทาปัญหาในระดับนานาชาติต่อไป	- หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับจังหวัดเป็นผู้แก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนคลื่นสั้นพิเศษ - หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับรัฐดำเนินการจัดระเบียบเครือข่ายตรวจสอบเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนคลื่นสั้นและแก้ไขปัญหานี้ - หน่วยงานกำกับดูแลวิทยุคมนาคมระดับรัฐดำเนินการจัดการกับสัญญาณรบกวนจากดาวเทียม	Technology ของ FCCแต่หากเป็นการรบกวนมีผลกระทบต่อดาวเทียมของรัฐบาลหรือการป้องกันประเทศ หน่วยงานที่จะเข้ามาดูแลจะเป็น NTIA 4. NTIA ได้ออก Notice of Inquiry (NOI) ขึ้นเพื่อสำรวจศักยภาพในการส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง	และการทดสอบทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น	รบกวนให้เป็นไปตามความพึงพอใจของคณะกรรมการด้วยค่าใช้จ่ายของตนเอง 4. หากจำเป็นต้องดัดแปลงหรือแก้ไขอุปกรณ์นั้น การปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขจะต้องดำเนินการภายในระยะเวลาที่เหมาะสมและตามเงื่อนไขที่คณะกรรมการกำหนด

จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นได้ว่าในปัจจุบันรูปแบบของกฎหมายต่างประเทศในประเด็นเกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมนั้นมีหลักการที่สำคัญไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ

1. ในบริบทของหน่วยงานกำกับดูแลนั้นกฎหมายของทุกประเทศกำหนดให้หน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมมีอำนาจหน้าที่ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรับรองการอยู่ร่วมกันของเครือข่ายวิทยุสื่อสารต่างๆ โดยไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวน อันจะส่งผลให้การบริการต่างๆ สามารถอยู่ร่วมกันได้ และลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานบริการโทรคมนาคม ถึงแม้ว่าบางประเทศอาจมีหน่วยงานกำกับดูแลในเรื่องดังกล่าวมากกว่าหนึ่งหน่วยงาน เช่น สาธารณรัฐประชาชนจีนกำหนดให้กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (MIIT) ทำหน้าที่ในการการกำหนดแผน นโยบาย กฎหมาย ระเบียบและเกณฑ์ทางเทคนิคสำหรับอุตสาหกรรมสารสนเทศและกิจการโทรคมนาคมเป็นหลัก และศูนย์ควบคุมวิทยุแห่งชาติมีหน้าที่รับผิดชอบในการดำเนินงานตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุและค้นหาแหล่งรบกวนสัญญาณวิทยุและสถานีวิทยุที่ผิดกฎหมายโดยใช้เทคนิค และจัดการกับปัญหานี้โดยได้รับอนุญาต เช่นเดียวกับสหรัฐอเมริกาที่กำหนดให้ FCC มีหน้าที่ในการควบคุมการสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างรัฐและต่างประเทศที่ไม่ใช่ของรัฐบาล และ NTIA เป็นหน่วยงานเดียวที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการอนุมัติการใช้คลื่นความถี่ของรัฐบาลกลาง ในขณะที่อินโดนีเซียได้กำหนดให้สำนักงานภูมิภาคสำหรับการตรวจสอบความถี่วิทยุ ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของกรมไปรษณีย์และโทรคมนาคม (Directorate General of Post and Telecommunication: POSTEL) ตามกฎหมาย Law No. 36 of 1999 on Telecommunication มีหน้าที่หลักในการรับผิดชอบในการดำเนินการโดยมีหน่วยปฏิบัติการทางเทคนิค (Technical Implementer Unit: UPT) มีหน้าที่ในการดำเนินการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุ

2. กระบวนการทำงานที่สำคัญในการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุในกิจการดาวเทียมนั้น แต่ละประเทศมีหลักการที่สำคัญ ดังนี้ เมื่อหน่วยงานกำกับดูแลได้รับรายงานการรบกวน สถานีตรวจสอบจะตรวจสอบคลื่นวิทยุเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน และเมื่อตรวจสอบรายละเอียดของเหตุการณ์เป็นที่ชัดเจนแล้ว จะมีการติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิคต่อไป เห็นได้ว่าหลังจากติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมแล้วกฎหมายของทุกประเทศไม่ได้มีการกำหนดขั้นตอนต่อไปว่าหน่วยงานกำกับดูแลต้องปฏิบัติอย่างไรต่อ เพื่อให้เกิดกระบวนการจัดการที่มีประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกับผู้ให้บริการดาวเทียม และแก้ปัญหาการรบกวนกันของคลื่นความถี่วิทยุอย่างบูรณาการร่วมกัน

อย่างไรก็ตามสหรัฐอเมริกาได้มีการจัดทำ Notice of Inquiry (NOI) ขึ้นเพื่อสำรวจศักยภาพในการส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุที่ไม่ใช่ของรัฐบาลกลาง โดยใช้ประโยชน์จากแหล่งข้อมูลเทคโนโลยี และวิธีการใหม่ ๆ อันมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ การพิจารณาข้อมูลดังกล่าวอาจกลายเป็นกลไกที่มีคุณค่าเพิ่มขึ้นในการปรับปรุงการจัดการคลื่นความถี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจช่วยให้เข้าใจชุดข้อมูลคลื่นความถี่ได้ง่ายขึ้น เพื่อให้การใช้ประโยชน์จากปัญญาประดิษฐ์ ทำให้เกิดความเข้าใจการใช้คลื่นความถี่เชิงพาณิชย์ในอนาคต อีกทั้งยังสามารถช่วยระบุโอกาสใหม่ ๆ ในการใช้คลื่นความถี่อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงเทคนิคและแนวทางการแบ่งปันคลื่นความถี่ใหม่ ๆ ต่อจากนี้จะมีส่วนช่วยให้ผู้ใช้และบริการต่าง ๆ สามารถอยู่ร่วมกันได้

3. แนวทางและเทคโนโลยีการตรวจจับคลื่นความถี่

การตรวจสอบสเปกตรัมเป็นการตรวจสอบกระบวนการจัดการสเปกตรัม ซึ่งจำเป็นในทางปฏิบัติ เนื่องจากในความเป็นจริงการใช้สเปกตรัมที่ได้รับอนุญาต ไม่ได้รับประกันว่าจะถูกนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ เพราะเหตุผลจากหลายปัจจัย อาทิ ความซับซ้อนของอุปกรณ์ การโต้ตอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ ความผิดปกติของ

อุปกรณ์ หรือการใช้ในทางที่ผิดโดยเจตนา ปัญหานี้ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นจากการแพร่หลายของระบบไร้สายภาคพื้นดินและดาวเทียม รวมถึงอุปกรณ์ที่อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวน เช่น คอมพิวเตอร์และตัวปล่อยสัญญาณโดยไม่ได้ตั้งใจอื่น ๆ

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบสเปกตรัม เพื่อสนับสนุนกระบวนการจัดการสเปกตรัม รวมถึงบริหาร จัดสรรความถี่ และการวางแผนสเปกตรัม โดยเป้าหมายของการตรวจสอบ มีดังนี้

1. แก้ไขปัญหาการสัญญาณแทรกสอด (Interference) เชิงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นในระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค หรือระดับโลก เพื่อให้บริการและสถานีวิทยุสามารถอยู่ร่วมกัน และลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและใช้งานบริการโทรคมนาคม ในขณะที่ให้ผลประโยชน์เชิงเศรษฐกิจ โดยการเข้าถึงบริการโทรคมนาคมที่ปราศจากสัญญาณรบกวนและเข้าถึงได้
2. รับประกันคุณภาพการรับสัญญาณวิทยุและโทรทัศน์ที่ยอมรับได้สำหรับประชาชน
3. ตรวจสอบข้อมูลที่มีความจำเป็นกับกระบวนการจัดการสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าขององค์กรเกี่ยวกับการใช้ความถี่และแบนด์วิดท์ (bandwidth) (เช่น การครอบคลุมช่องและความแออัด) การตรวจสอบลักษณะทางเทคนิคและการดำเนินงานที่เหมาะสมของสัญญาณที่ส่งผ่าน (การปฏิบัติตามใบอนุญาต) การตรวจจับและระบุเครื่องส่งสัญญาณผิดกฎหมายและตัวรบกวนที่อาจเกิดขึ้น และการสร้างและตรวจสอบบันทึกความถี่
4. ตรวจสอบข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับโปรแกรมที่จัดโดยสำนักงานวิทยุคมนาคมระหว่างประเทศ เช่น ในการจัดทำรายงานต่อการประชุมวิทยุคมนาคม ในการขอความช่วยเหลือพิเศษจากหน่วยงานในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นอันตราย ในการล้างการทำงานนอกแบนด์วิดท์ หรือในการช่วยเหลือหน่วยงานในการค้นหาความถี่ที่เหมาะสม

ดังนั้นภายใต้นิยามและวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมตามความหมายของ ITU ได้กำหนดโครงสร้างดังต่อไปนี้

- สถานีตรวจสอบ สถานีเหล่านี้ติดตั้งเครื่องรับและสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) เพื่อตรวจจับและวัดการแผ่คลื่นวิทยุ สถานีตรวจสอบอาจเป็นแบบติดตั้งหรือเคลื่อนย้ายได้ และอาจตั้งอยู่บนพื้นดิน ในอากาศ หรือในอวกาศ
- ศูนย์ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล โดยรับข้อมูลจากสถานีตรวจสอบและประมวลผลเพื่อระบุลักษณะของสัญญาณ
- หน่วยงานจัดการสเปกตรัม หน่วยงานนี้รับผิดชอบในการดูแลระบบตรวจสอบสเปกตรัมและใช้ข้อมูลเพื่อจัดการสเปกตรัมในลักษณะที่มีประสิทธิภาพและยุติธรรม

3.1 แนวทางการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่

และภายใต้คำแนะนำ ITU-R SM.139203 (02/2021) ว่าด้วยเรื่องข้อกำหนดที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุสำหรับประเทศกำลังพัฒนา โดยเฉพาะในกรณีที่มีงบประมาณจำกัด สามารถสรุปดังนี้

ประเด็นพิจารณาภายใต้ ITU-R SM.139203 (02/2021)	ข้อเสนอแนะของคณะผู้วิจัย
สิ่งที่คาดหวังจากบริการ การตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุโดยละเอียด	การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับประเทศไทยควรจะมีวัตถุประสงค์ดังนี้ ● ตรวจสอบการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณวิทยุ (Radio emissions monitoring) ตามเงื่อนไขและข้อกำหนดตามกฎหมาย โดยมี

ประเด็นพิจารณาภายใต้ ITU-R SM.139203 (02/2021)	ข้อเสนอแนะของคณะผู้วิจัย
	จุดประสงค์ในการหยุดยั้งคลื่นสัญญาณรบกวนจากการใช้งานคลื่นความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต โดยการตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านเทคนิค ● ตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลความถี่และช่องสัญญาณ ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลความถี่ และช่องสัญญาณดังกล่าวถูกใช้โดยใคร ด้วยวิธีการอย่างไร ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะ (characteristic) ของการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณ ● ติดตามหาสาเหตุของการเกิดสัญญาณรบกวน (Interference) เพื่อสร้างบริการที่มีความเสถียร และปลอดภัย แก่ผู้ใช้บริการ ● ตรวจสอบและการยุติการให้บริการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณผิดกฎหมาย เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการช่องสัญญาณ
ช่วงความถี่ที่สนใจ	ช่วงความถี่ที่ครอบคลุมการให้บริการในประเทศไทย โดยครอบคลุมดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า และวงโคจรต่ำ C/Ku/Ka/V Band เป็นหลัก
บริการด้านใดที่มีความจำเป็นต้องตรวจสอบ	บริการหลักที่มีความจำเป็นในการตรวจสอบคือ การรบกวนสัญญาณ (Interference) ระหว่างอุปกรณ์ และระหว่างช่วงคลื่น และการใช้งานคลื่นสัญญาณผิดกฎหมาย เป็นหลัก
ภูมิภาคใดของประเทศ จำเป็นต้องให้บริการการตรวจสอบ และครอบคลุมการตรวจสอบในระดับใด	ครอบคลุมทั่วประเทศ โดยควรจะสามารถตรวจสอบการรบกวนสัญญาณได้
สามารถจัดหาเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ เพียงพอต่อความต้องการหรือไม่	ควรมีการจัดหาเจ้าหน้าที่ที่มีองค์ความรู้ หรือการจัดฝึกอบรมเสริมสร้างองค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ หรือเข้าร่วมการอบรมที่เปิดรับจาก ITU Academy
มีอุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐาน ที่สามารถตรวจสอบได้เพียงพอหรือไม่	ปัจจุบันยังเป็นการศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบหรืออุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบ โดยในอนาคต
จำเป็นต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันหรือไม่	ควรมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลร่วมภายในประเทศ อาทิ ศูนย์ความปลอดภัยทางไซเบอร์ ในกรณีพบการดำเนินการผิดกฎหมาย และการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับประเทศเพื่อนบ้าน เพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณระหว่างพรมแดน
มีสถานที่เหมาะสมกับการตรวจสอบหรือไม่	ปัจจุบันแนะนำสถานที่ก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานการตรวจสอบ โดยศูนย์การตรวจสอบสัญญาณหลักควรมี 2 ที่ (กรณีเกิดเหตุขัดข้อง) ที่กรุงเทพและปริมณฑล และจังหวัดภาคเหนือ และมีศูนย์ตรวจสอบย่อยตามภูมิภาคอีก 14 เขตพื้นที่ และศูนย์ประมวลผลควรเป็นลักษณะการรวมศูนย์เข้ามาผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต มาที่สำนักงานกลาง

ภายใต้ข้อเสนอแนะต่อแนวทางการพัฒนาระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับประเทศไทยนั้น เมื่อศึกษาและวิเคราะห์การรบกวน (Interference) พบว่ามีด้วยกัน 4 รูปแบบใหญ่ได้แก่ การรบกวนสัญญาณโดยเจตนา (Intentional Interference) อาทิ การโจมตีด้วยการแย่งคลื่น (Jamming) หรือการปลอมแปลงสัญญาณ (Spoofing) เป็นต้น การรบกวนสัญญาณจากสิ่งแวดล้อม (Environmental Interference) เกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ การรบกวนสัญญาณทางเทคนิค (Technical Interference) เกิดจากการออกแบบ

หรือการกำหนดความถี่ใกล้เคียงกันมากเกินไป และการรบกวนสัญญาณโดยไม่ตั้งใจ (Unintentional Interference) เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ที่ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด และการสะท้อนของสัญญาณ (Multipath Interference)

ซึ่งแนวทางในการตรวจสอบในภาคพื้นดิน เป็นการใช้เครือข่ายสถานีติดตั้งสายอากาศและเครื่องมือวิเคราะห์สเปกตรัม เพื่อหาสัญญาณที่น่าสงสัย ด้วยการใช้ Spectrum Analyzer และ Direction Finder ร่วมกับการใช้ซอฟต์แวร์หรือระบบปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ตัวข้อมูลอย่างรวดเร็ว ตาม ITU-R SM.1377 โดยมีเทคโนโลยีที่สำคัญด้วยกัน 3 เทคโนโลยีดังนี้

Geolocation Technology ด้วยเทคนิค TDOA

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยอาศัยความแตกต่างของเวลาในการเดินทางของสัญญาณวิทยุ (หรือคลื่นเสียง) ไปถึงเครื่องรับหลายตัวในตำแหน่งที่ต่างกัน วิธีนี้นิยมใช้ในระบบการสื่อสารและการนำทาง เช่น การติดตามสัญญาณจากดาวเทียม การกำหนดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณ และระบบการค้นหาและกู้ภัย (Search and Rescue Systems)

สำหรับการตรวจจับวัตถุภาคพื้นดินโดยดาวเทียมในวงโคจรต่ำ (Low Earth Orbit) เป็นวิธีการระบุตำแหน่งวัตถุโดยอาศัยการเปรียบเทียบเวลาที่สัญญาณถูกส่งจากวัตถุไปยังดาวเทียมหลายดวง

โดยการตรวจจับการรบกวนช่วยระบุแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดจากการใช้คลื่นความถี่โดยไม่ได้รับอนุญาตหรือการใช้ความถี่ซ้ำ การใช้เทคนิค TDOA (Time Difference of Arrival) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน ร่วมกับการใช้เสาอากาศทิศทาง (Directional Antennas) จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับแหล่งสัญญาณและลดการรบกวนจากแหล่งสัญญาณที่ไม่ต้องการ

Software-Defined Radio (SDR)

เป็นซอฟต์แวร์ตรวจสอบและบริหารจัดการคลื่นความถี่ รวมถึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในงานด้านการสื่อสารและการจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่ ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบประมวลผล และตีความข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับสัญญาณคลื่นความถี่ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิ ภาพแทนการพึ่งพาฮาร์ดแวร์เฉพาะทาง โดยมีองค์ประกอบหลักคือ RF Front End ตัวประมวลผลสัญญาณ และซอฟต์แวร์ โดยทั่วไปจะนิยมใช้ GNU Radio

Machine Learning

เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจจับ วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาการรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารดาวเทียม โดยมีความสามารถดังนี้

1) ตรวจจับการรบกวน (Interference Detection) ด้วยการตรวจจับความผิดปกติในย่านความถี่ (Spectrum Anomaly Detection) ในลักษณะของ Unsupervised Learning
2) การจำแนกประเภทการรบกวน (Interference Classification) โดยใช้โมเดลในลักษณะของ Supervised Learning เช่น Decision Tree, Random Forest และ Convolutional Neural Networks (CNN) เป็นต้น
3) การระบุแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน (Source Localization) ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลจาก TDOA และ FDOA เพื่อระบุพิกัดแหล่งกำเนิดการรบกวนสัญญาณ

4) การบรรเทาการรบกวน (Inference Mitigation) สำหรับเพื่อปรับแต่งการตั้งค่าอัตโนมัติลดผลกระทบอาทิ การปรับกำลังส่ง เป็นต้น ด้วยการใช้ Reinforcement Learning เรียนรู้การปรับแต่งระบบในเวลาจริง

5) คาดการณ์การรบกวน (Interference Prediction) ด้วยการใช้ข้อมูลในอดีตมาคาดการณ์ความเป็นไปได้ในการเกิดสัญญาณรบกวนในอนาคต

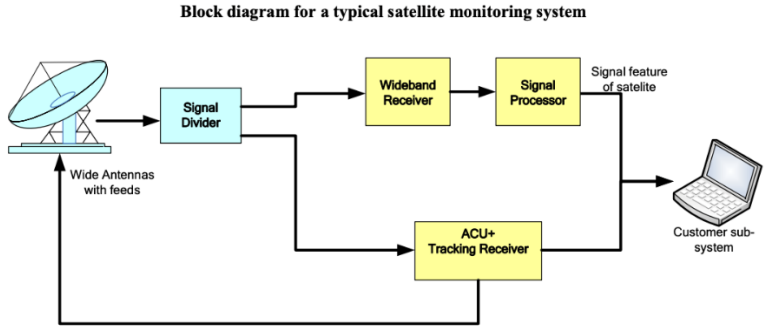
และภายใต้ข้อแนะนำตาม ITU-R SM.1537 จะตรวจสอบพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องวิเคราะห์ได้แก่ ความถี่ที่ใช้งานของดาวเทียม ขนาดของช่องสัญญาณที่ดาวเทียมใช้งาน กำลังส่งที่ใช้งาน การมอดูเลต (Modulation) วิเคราะห์รูปแบบว่าเป็นลักษณะใด และโครงสร้างของเฟรมข้อมูล ว่าตรงตามมาตรฐานหรือไม่ เพื่อนำไปสู่การตรวจสอบความผิดปกติ เช่น การแพร่แปลกปลอม (Spurious Emissions) โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์เหล่านี้กับฐานข้อมูลของดาวเทียม (รายงานการใช้งานที่ยื่นเสนอกับ ITU) โดยภายใต้กรอบการดำเนินการการบริหารจัดการเมื่อพบปัญหาการรบกวนสัญญาณ จะดำเนินการประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดการ

และภายใต้การศึกษาเทคโนโลยีดาวเทียมสมัยใหม่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต อาทิ 5G Non-Terrestrial Network (NTN) Very Low Earth Orbit (VLEO) และ Aeronautical and Maritime Tracking พบว่า

คุณสมบัติ	5G NTN	VLEO	Aeronautical and Maritime Tracking
หลักการ	เครือข่าย 5Gเชื่อมโยงผ่านดาวเทียม	เครือข่ายดาวเทียมวงโคจรต่ำ	ระบบติดตามและสื่อสารสำหรับอากาศยานและเรือ
รูปแบบการรบกวน	การรบกวนจากสถานีฐานและเครือข่าย 5G ที่ใช้ย่านความถี่ที่ใกล้เคียงกัน	ลักษณะการเกิด Doppler Effect เนื่องจากความเร็วของดาวเทียม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ และการรบกวนจากสถานีภาคพื้นดิน	ความแออัดของการใช้คลื่นความถี่ในบริเวณใกล้เคียงกัน
แนวทางการตรวจสอบ	การใช้ AI-based Spectrum Monitoring ในการตรวจสอบแบบ Real Time	การควบคุม Beamforming และการวิเคราะห์และกรองสัญญาณรบกวนจากสัญญาณหลัก	การใช้ Geolocation Based Allocation and Adaptive Modulation

3.2 ข้อเสนอแนะต่อการจัดตั้งการตรวจสอบคลื่นความถี่

จากการศึกษาข้อมูลการตรวจสอบคลื่นความถี่ของต่างประเทศ และข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับ ITU พบว่าควรปฏิบัติตามข้อเสนอแนะการทำงานของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ (ITU-R SM.2424-0) ดัง



รูปที่ 120 แผนภาพการทำงานของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ตามข้อเสนอแนะ ITU-R SM.2424-0

และใช้เทคนิค Geolocation ด้วย TDOA ตามข้อเสนอแนะ เพื่อให้สามารถระบุแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนร่วมกับการใช้ AI ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ใน 3 ประเด็น ได้แก่

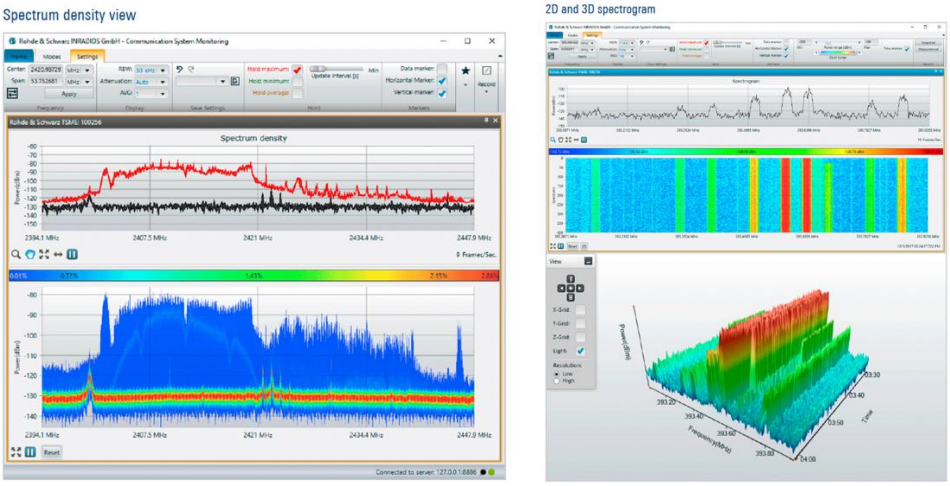
- การตรวจจับสัญญาณรบกวน (Interference Detection) สามารถระบุสัญญาณที่ผิดปกติและแจ้งเตือนในกรณีที่เกิดการรบกวน ด้วยการใช้ Deep Learning ในรูปแบบ Convolutional Neural Networks (CNNs)/Recurrent Neural Networks (RNNs) หรือเทคนิค Supervised Learning
- การระบุแหล่งกำเนิดของสัญญาณ (Source Localization) โดยการใช้ Geolocation Algorithms ระบุตำแหน่งและทิศทางของแหล่งกำเนิดของสัญญาณโดยใช้ข้อมูลจากสถานตรวจสอบหลายแห่ง
- การจัดการคลื่นความถี่ (Spectrum Management) ช่วยประเมินการใช้งานความถี่ในเวลาจริง ด้วยการใช้เทคนิค Reinforcement Learning โดยเรียนรู้จากการทดลองใช้งาน

และมีการจัดตั้งสถานีตรวจสอบคลื่นแบบประจำที่ (Fixed Monitoring Station) เพื่อดำเนินการตรวจวัดคลื่นความถี่ สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่แบบเคลื่อนย้ายได้ (Transportable Monitoring Station) รองรับการใช้งานในพื้นที่นอกพื้นที่ครอบคลุมของสถานีตรวจวัดแบบประจำที่ โดยใช้งานในพื้นที่ชายแดน หรือพื้นที่สำคัญในภารกิจพิเศษ สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่แบบเคลื่อนที่ได้ (Mobile Monitoring Station) ติดตั้งบนยานพาหนะ สำหรับใช้งานตรวจสอบคลื่นความถี่ของสัญญาณรบกวน พร้อมกับอุปกรณ์ตรวจสอบแบบพกพาได้

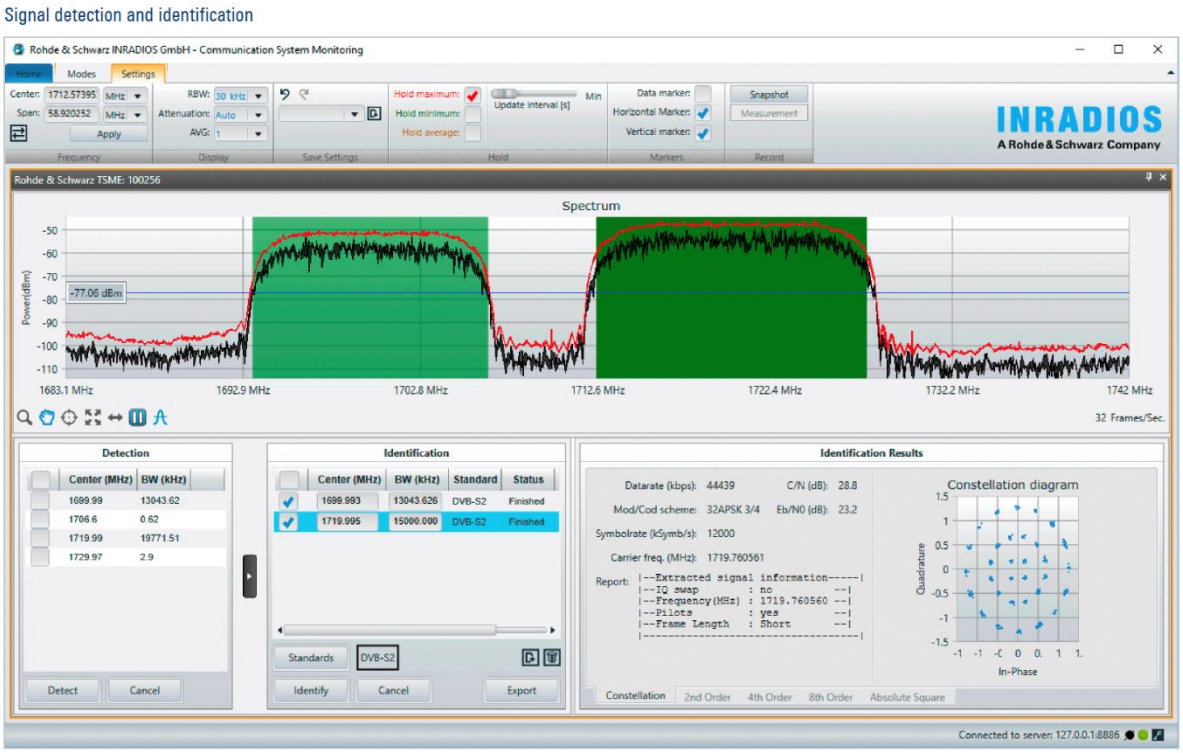
ในขณะที่องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับ NGSO ได้แก่ระบบ Antenna Tracking SW ซึ่งจะมีบทบาทสำคัญในการรักษาความแม่นยำในการเชื่อมต่อระหว่างสถานีภาคพื้นดินและดาวเทียมที่โคจรอย่างรวดเร็ว เพื่อใช้เซ็นเซอร์และอัลกอริธึมการคำนวณวงโคจรเพื่อปรับมุมของเสาอากาศให้ตรงกับดาวเทียมเป้าหมาย ด้วยการใช้ข้อมูล Two Line Element เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ตำแหน่งของดาวเทียม และปรับแต่งข้อมูลด้วย Doppler Effect ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของดาวเทียม และใช้จานรับสัญญาณแบบ Phase Array และการตรวจสอบคลื่นสัญญาณเมื่อพบเจอจะดำเนินการดังนี้

กิจกรรมที่พบ	วิธีการตรวจจับ	แนวทางการแก้ไข
การเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต (ผู้ใช้ที่ไม่มีใบอนุญาตเข้าถึงเครือข่ายดาวเทียม)	ตรวจสอบคลื่นความถี่ และยืนยันตัวตนของการส่งสัญญาณ (Uplink Authentication)	แจ้งผู้ใช้งานที่ไม่ได้รับใบอนุญาติให้ลงทะเบียนผู้ใช้งาน
การก่อกวนสัญญาณ (Signal Jamming)	ตรวจจับสัญญาณรบกวน (Interference Detection) และระบุตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน (Geolocation)	แจ้งให้สถานีภาคพื้นดินแก้ไขพารามิเตอร์ เพื่อลดการก่อกวนสัญญาณ
การให้บริการบรอดแบนด์โดยไม่ได้รับอนุญาต	การวิเคราะห์รูปแบบการรับส่งสัญญาณ (Traffic Pattern Analysis) และการตรวจสอบผู้ใช้งาน (Customer Validation)	แจ้งเตือนและดำเนินการตามกฎระเบียบ
การจารกรรมที่ผิดกฎหมาย (การสกัดกั้นสัญญาณดาวเทียมโดยไม่ได้รับอนุญาต)	การตรวจสอบการเข้ารหัส (Encryption Monitoring) และการตรวจจับความผิดปกติ (Anomaly Detection)	ดำเนินการตามระเบียบ หรือกฎหมาย
การใช้คลื่นความถี่โดยไม่มีใบอนุญาต	การบังคับใช้กฎระเบียบด้านคลื่นความถี่	ดำเนินการตามระเบียบ หรือกฎหมาย

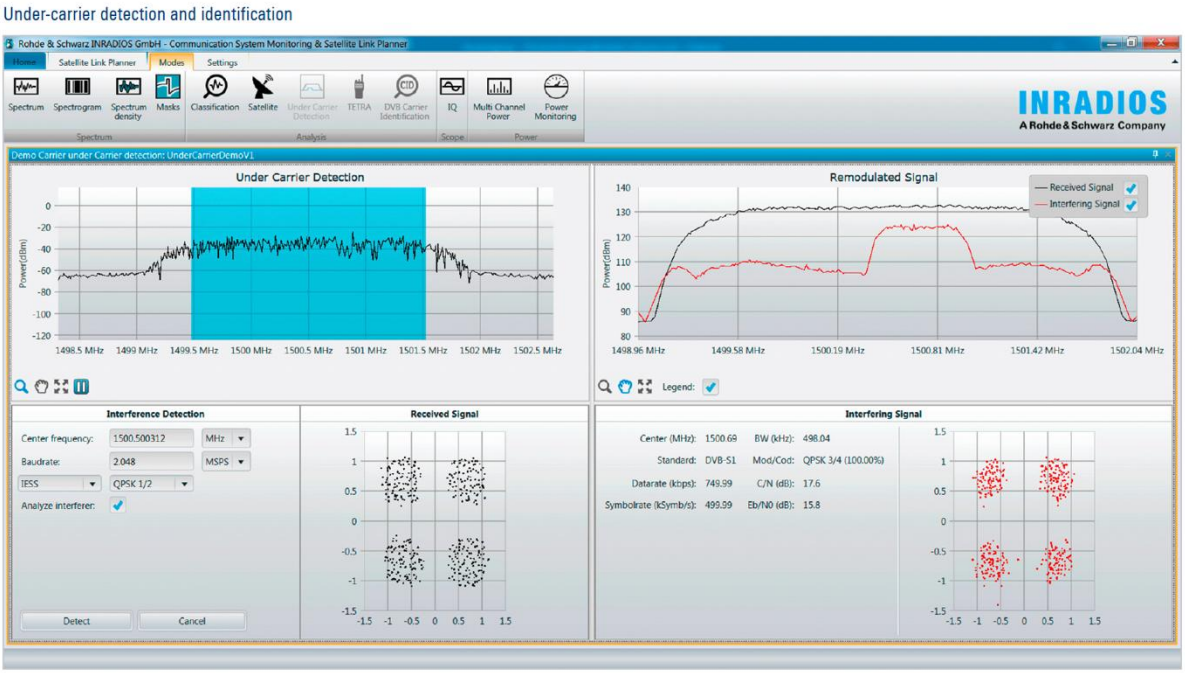
และภายใต้การศึกษาขอยกตัวอย่างการประมวลผลสัญญาณ (ของ Rohde & Schwarz) ดังนี้



รูปที่ 121 การวัดค่าและแปลความสเปคตรัมของสัญญาณดาวเทียมที่ซับซ้อน



รูปที่ 122 การสแกนความถี่เพื่อหาและระบุสเปคตรัมที่ต้องการโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 123 การตรวจจับและระบุสัญญาณรบกวนแบบ under-carrier

4. รูปแบบการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่

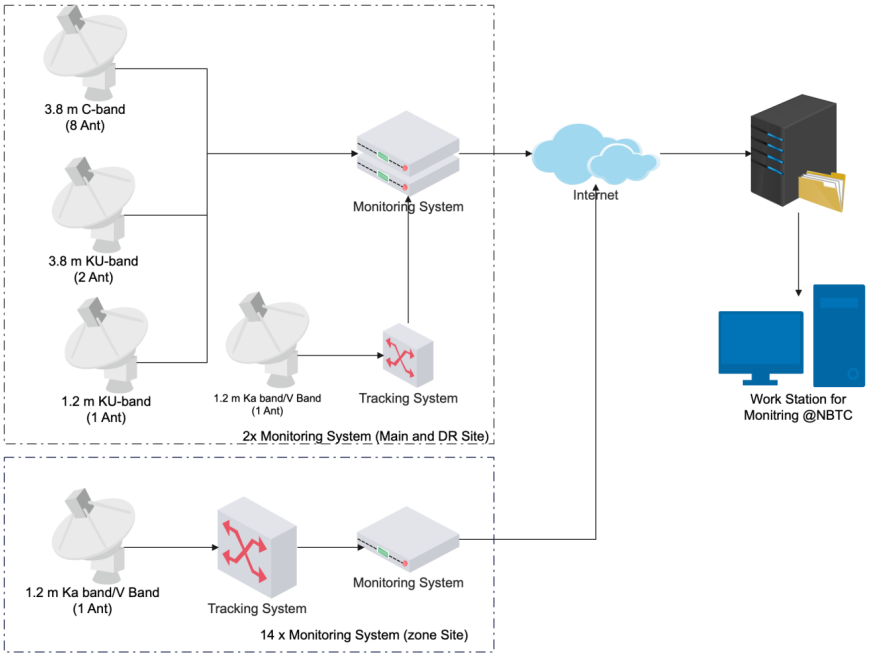
ภายใต้แนวคิดและข้อเสนอแนะต่อการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่ตามข้อเสนอแนะของทั้ง ITU และแนวคิดจากต่างประเทศ เมื่อประยุกต์ใช้งานในประเทศไทยโดยเน้นไปที่สถานีประจำที่ (Fixed Station) จะพบว่าหากมองถึงโครงสร้างบริหารการตรวจสอบคลื่นความถี่ในประเทศ การออกแบบจะเป็นดังนี้

สำนักงาน กสทช. ส่วนกลางเป็นศูนย์กลางในการบริหารจัดการตรวจสอบคลื่นความถี่ส่วนกลางภายในประเทศ (National Control Center) (จัดตั้งในกรุงเทพหรือปริมณฑล) โดยทำการจัดตั้งเป็นศูนย์ควบคุมที่มีหน้าที่ในการกำหนดวัตถุประสงค์การดำเนินงาน บริหารจัดการอุปกรณ์และเครื่องมือ และรวบรวมข้อมูลในการวิเคราะห์สัญญาณจากส่วนภูมิภาค โดยในกรณีที่ กสทช. ไม่มีพื้นที่ในการจัดตั้งตามข้อเสนอแนะ ITU-R SM.2352 ควรจะดำเนินการบูรณาการร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ NT, กองทัพอากาศ, สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม หรือหน่วยงานภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง เพื่อดำเนินการจัดตั้ง Antena Farm สำหรับการตรวจสอบคลื่นความถี่

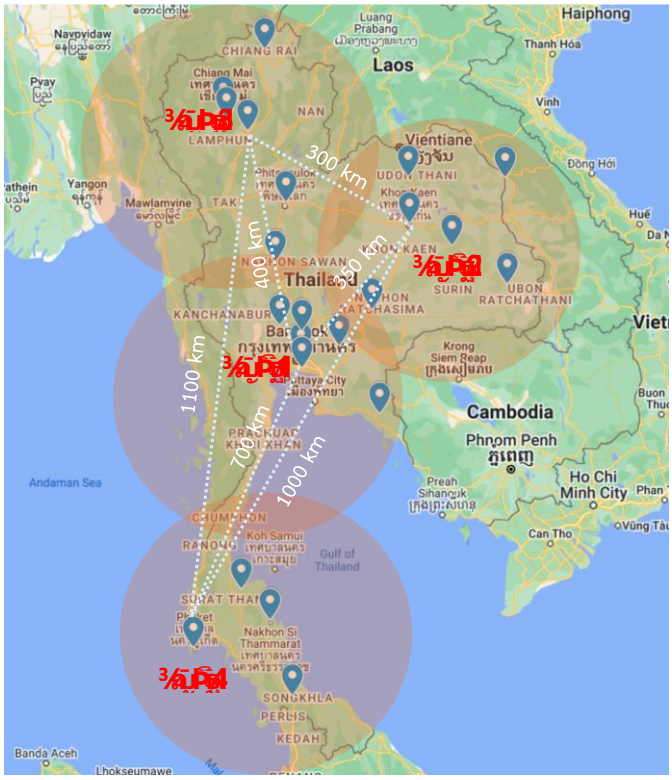
จัดตั้งสถานีศูนย์ควบคุมสำรอง (DR Site) โดยสามารถทำหน้าที่ได้เหมือน National Control Center ในพื้นที่ที่มีระยะห่างไม่น้อยกว่า 200 กิโลเมตร และสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับศูนย์ควบคุมหลักได้อย่างต่อเนื่อง (จัดตั้งที่เขตภาคเหนือ หรือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

จัดตั้งสถานีตรวจสอบส่วนภูมิภาค ในพื้นที่ที่ได้รับเลือกของสำนักงาน กสทช. ส่วนภูมิภาค (Regional Control Centers) เพื่อใช้สำหรับปฏิบัติภารกิจพิเศษ และเฝ้าระวังเครือข่ายดาวเทียม NGSO ที่มี Beamwidth ที่แคบ โดยใช้หลักการสร้างสถานีอ้างอิง (Reference Site) เพื่อทำการวิเคราะห์ความสอดคล้องของค่าสัญญาณรบกวนที่วัดได้ว่าเป็นค่าสัญญาณรบกวนที่มาจากดาวเทียม ที่มีพฤติกรรมการเกิดสัญญาณรบกวนกินพื้นที่บริเวณกว้าง หรือเป็นค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสัญญาณรบกวนเฉพาะที่ (local interference) (จัดตั้ง 14 สำนักงาน กสทช. เขต 14 เขต หรือพื้นที่ที่กสทช. กำหนด)

ในส่วนของสถานีตรวจสอบส่วนภูมิภาคอาจจะเลือกใช้เป็นสถานีภาคพื้นดินไร้คนควบคุมสำหรับตรวจจับสัญญาณดาวเทียม (Unmanned Ground Stations for Satellite RF Monitoring) หรือ โดรน (UAVs) สำหรับตรวจจับสัญญาณรบกวนที่ส่งผลต่อสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม (UAVs for Ground-based Interference to Satellite Ground Stations) สำหรับตรวจจับคลื่นความถี่ที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม



รูปที่ 124 แนวคิดการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่แบบประจำที่ (ที่มา คณะผู้วิจัย)



รูปที่ 125 แผนที่แสดงสำนักงาน กสทช. ในแต่ละภูมิภาค

และการคัดเลือกสถานที่ และการตรวจสภาพสัญญาณตามธรรมชาติที่มีอยู่ (Ambient Signal) ตามข้อเสนอแนะของ ITU-R SM.2352 ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพของสถานที่ (Site Characteristics)

ควรจะห่างจากแหล่งรบกวนทางคลื่นความถี่ (RF Interference-Free Zone) อาทิ สถานีวิทยุ FM, โทรทัศน์ดิจิทัล, เสาสัญญาณโทรศัพท์มือถือ และเรดาร์ เป็นต้น และควรอยู่บนพื้นที่ที่มีภูมิประเทศสูง หรืออยู่ในที่โล่ง ช่วยลดการบดบังสัญญาณจากดาวเทียม รวมถึงสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (Environmental Conditions) ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลภาวะทางไฟฟ้า (Electromagnetic Pollution) และไม่ควรอยู่ใกล้สายไฟแรงสูงหรือโครงสร้างโลหะขนาดใหญ่ที่อาจรบกวนสัญญาณ

2. การวิเคราะห์สภาพสัญญาณรบกวนพื้นฐาน (Ambient RF Environment)

จะต้องมีการวิเคราะห์ระดับสัญญาณรบกวนพื้นฐาน (Baseline Noise Level Assessment) อย่างต่อเนื่อง และศึกษาความเสถียรของสัญญาณรบกวน (Stability of the Ambient RF Environment) โดยตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนตามช่วงเวลา (เช่น กลางวัน vs กลางคืน)

3. การเข้าถึงและโครงสร้างพื้นฐานสนับสนุน (Accessibility & Infrastructure)

มีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลักได้แก่ ระบบแหล่งพลังงานไฟฟ้าต้องมีความเสถียร เครือข่ายสื่อสารจะต้องเชื่อมต่อกับศูนย์ควบคุมได้ตลอดระยะเวลา และสถานที่จะต้องปลอดภัยจากการบุกรุกหรือก่อกวนจากภายนอก

4. ความสอดคล้องกับกฎระเบียบและมาตรฐานสากล

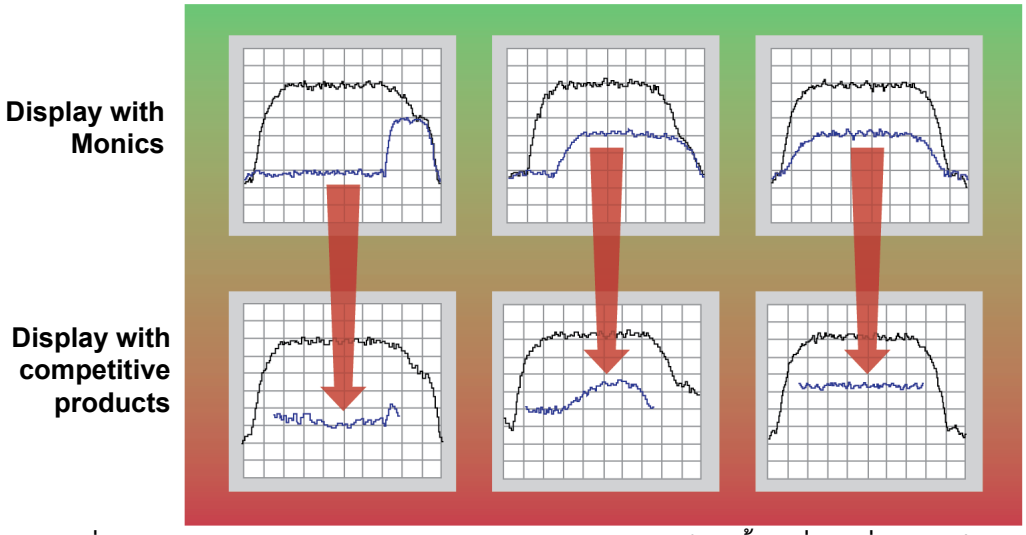
จะต้องปฏิบัติตามระเบียบ กฎเกณฑ์ หรือมาตรการของหน่วยงานกำกับดูแล และเป็นไปตามข้อเสนอแนะของ ITU รวมถึงจะต้องป้องกันการโจมตีด้าน Cyber Security

5. ความสามารถในการขยายระบบในอนาคต (Scalability & Future Expansion)

ควรเลือกสถานที่ที่สามารถรองรับการขยายตัวของระบบในอนาคต เช่น การเพิ่มอุปกรณ์รับสัญญาณหรือการรวมระบบตรวจสอบหลายความถี่

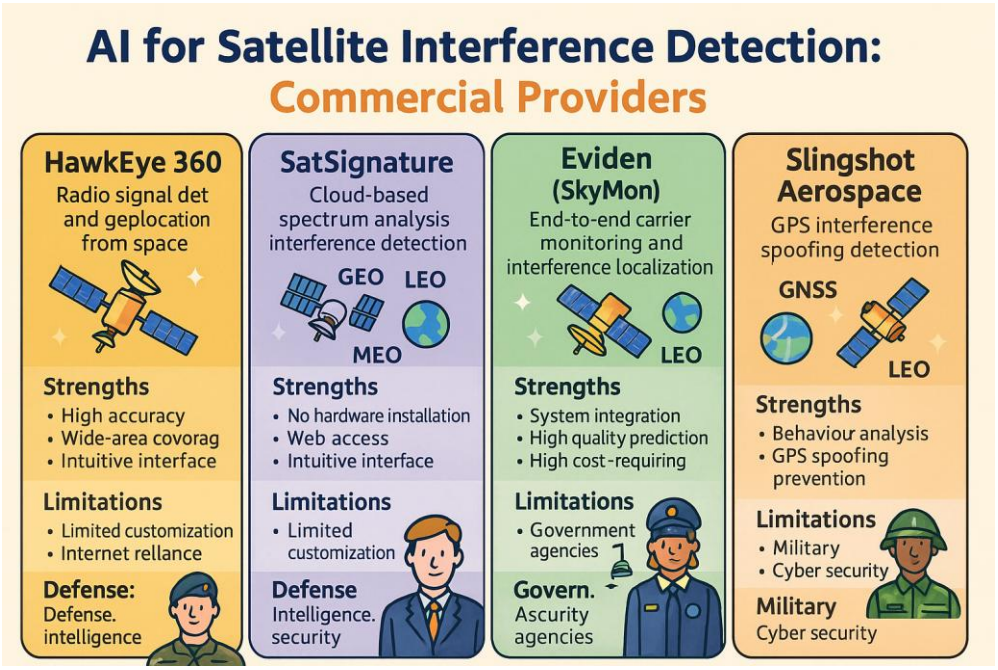
นอกจากนั้นยังเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์ด้านการตรวจสอบคลื่นความถี่ 3 ยี่ห้อ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

การเปรียบเทียบ	CALIAN	Interrasys	Monics
ข้อดี	สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ได้	ซอฟต์แวร์สามารถใช้งานได้หลากหลายวัตถุประสงค์	มีการวิเคราะห์ฟังก์ชัน Under Carriers ที่แม่นยำ
ข้อเสีย	ยังมีฟังก์ชันการใช้งานที่น้อย จำเป็นจะต้องเชื่อมโยงและพัฒนาซอฟต์แวร์อื่นๆ เข้ามาร่วม	ฟังก์ชัน Under Carries ยังไม่สามารถแสดงผลได้อย่างชัดเจน	ไม่สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ได้



รูปที่ 126 เปรียบเทียบการแสดงผลสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ของทั้ง 3 ยี่ห้อ (ที่มา บมจ ไทยคม)

อย่างไรก็ดีจากการศึกษาข้อมูลผู้ให้บริการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจจับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารดาวเทียม 4 ระบบ



รูปที่ 127 แสดงผู้ให้บริการ AI สำหรับการตรวจจับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม

และเปรียบเทียบแล้วพบว่า ระบบ SatSignature น่าจะระบุและแยกแยะระหว่าง intentional jamming และ unintentional interference โดยอาศัยการเรียนรู้จากข้อมูล และมีเครื่องมือแสดงผลแบบ Real Time โดยมีรูปแบบการจำแนกตามลักษณะสัญญาณดังนี้

ตารางที่ 19 รูปแบบการจำแนก (classifier) ตามลักษณะสัญญาณ

ลักษณะสัญญาณ	Intentional Jamming	Unintentional Interference
Bandwidth	กว้าง, ปรับเปลี่ยนเร็ว	แคบ, คงที่
Timing	ต่อเนื่อง, แบบ burst	เกิดเป็นช่วง ๆ
Location	มักพุ่งเป้าลิงก์สำคัญ	กระจาย, ไม่เฉพาะเจาะจง
Source identity	ไม่ทราบ, ปกปิดตัวตน	มักมาจากอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงแต่มีข้อผิดพลาด

ตัวอย่างสถานการณ์จำลอง (Simulation) ที่แสดงการใช้ระบบ SatSignature ในการแยกแยะและจัดการสัญญาณรบกวนแบบตั้งใจ (Intentional Jamming) พร้อมขั้นตอนการตอบสนองของระบบหากเกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน

Simulation: Identifying Interference with SatSignature
สถานการณ์: บริษัทสื่อสารผ่านดาวเทียมแห่งหนึ่งตรวจพบสัญญาณผิดปกติบนลิงก์ C-band (6 GHz) ที่ใช้งานเชื่อมต่อกับสถานีภาคพื้นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ผ่านระบบ SatSignature Cloud Monitoring
ช่วงเวลาเหตุการณ์: 09:15 – 09:30 น.
การดำเนินการของ SatSignature (ตามขั้นตอน)

ลำดับ	ขั้นตอน	รายละเอียด
1	สแกนความถี่อัตโนมัติ	ระบบ SatSignature ตรวจสอบความถี่ 6.2–6.4 GHz แบบ real-time ทุก 5 วินาที
2	ตรวจพบความผิดปกติ (09:17)	ระบบพบสัญญาณความแรงสูงแทรกเข้ามาใน 6.22 GHz
3	วิเคราะห์รูปคลื่น	สัญญาณที่พบเป็น broadband pulse กว้าง 20 MHz, ปรากฏทุก 1 วินาที
4	ML Classifier วิเคราะห์ผล	จำแนกว่าเป็น “Intentional Jamming” เนื่องจากรูปแบบ burst, ความถี่ไม่คงที่, ไม่มีลักษณะของ waveform จากอุปกรณ์ปกติ
5	แสดงบนแดชบอร์ด	ระบบแสดงผลบน web interface พร้อมไฮไลต์พิกัดบนแผนที่ว่า interference มาจากบริเวณห่างจากกรุงเทพฯ 70 กม. ทิศตะวันตกเฉียงใต้
6	แจ้งเตือนอัตโนมัติ	ส่ง email alert ไปยัง Network Operations Center (NOC)
7	จัดทำข้อเสนอแนะ	ระบบแนะนำให้เปลี่ยนลิงก์ไปยังความถี่ 6.42 GHz (ช่องสำรอง), ตรวจสอบสถานีรับในพิกัดที่ระบุ, แจ้งหน่วยงานกำกับดูแล

ตัวอย่างสถานการณ์จำลอง (Simulation) ที่แสดงกระบวนการที่ระบบ SatSignature ใช้ในการตรวจจับ การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมโดยไม่ได้รับอนุญาต (Unauthorized Satellite Transmission)

Simulation: Detecting Unauthorized Satellite Transmission with SatSignature
สถานการณ์: ระบบ SatSignature ทำการเฝ้าระวังการใช้งานความถี่ในย่าน Ku-band (14.0–14.5 GHz) สำหรับดาวเทียมเชิงพาณิชย์ที่ให้บริการในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
ช่วงเวลาเหตุการณ์: 14:32 น.

การดำเนินการของ SatSignature (ตามขั้นตอน)

ขั้นตอน	การกระทำของระบบ SatSignature	คำอธิบาย
1	เริ่มสแกนความถี่อัตโนมัติ	ระบบทำการตรวจสอบ Ku-band แบบ real-time ทุก 3 วินาที
2	ตรวจพบสัญญาณใหม่ใน 14.33 GHz	Carrier ใหม่มี symbol rate ~2 Mbps และ power สูงกว่าปกติ
3	เช็กฐานข้อมูล (Carrier Registry)	ไม่พบการลงทะเบียนลิงก์นี้ใน whitelist ของผู้ให้บริการดาวเทียม
4	เปรียบเทียบ RF Fingerprint	ไม่พบลายเซ็นที่ตรงกันในระบบ จัดประเภทเป็น Unknown Source
5	วิเคราะห์ลักษณะสัญญาณด้วย AI	โมเดล ML วิเคราะห์ว่า modulation pattern ไม่ตรงกับอุปกรณ์ของผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาต

ขั้นตอน	การกระทำของระบบ SatSignature	คำอธิบาย
6	ตั้งค่าสถานะ: Suspected Unauthorized Transmission	ระบบระบุเป็น “High-Risk” และย้ายไปยังแดชบอร์ดการแจ้งเตือน
7	ระบุตำแหน่งต้นทาง (Geolocation)	ใช้ TDOA จากสถานีภาคพื้น 3 แห่งในไทยและเวียดนาม ระบุตำแหน่งใกล้พรมแดนลาว
8	แจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ระบบ	ส่ง email + API alert ไปยัง NOC พร้อมข้อมูล carrier, waveform และตำแหน่งที่มา
9	จัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล	บันทึก carrier ID, timestamp, พิกัด, waveform, ความถี่ เพื่อใช้ในการสอบสวนหรือรายงาน กสทช.

5. ข้อเสนอแนะเชิงกฎระเบียบต่อการตรวจจับคลื่นความถี่ในกิจการอวกาศของประเทศไทย

การตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการดาวเทียมของประเทศไทยนั้นได้ถูกกำหนดไว้ในพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ตามมาตรา 27 โดยกำหนดให้ กสทช. มีอำนาจหน้าที่ในการบริหารคลื่นความถี่และกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปราศจากการรบกวน ตลอดจนการตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ก็เป็นหนึ่งในหน้าที่ที่สำคัญของ กสทช. โดยมีสำนักงาน กสทช. เป็นผู้ตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ตามมาตรา 57 (3) โดยให้สำนักงาน กสทช. ส่วนกลาง และสำนักงาน กสทช. ส่วนภูมิภาค มีการตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ที่ครอบคลุม ได้ติดตามตรวจสอบการใช้คลื่นความถี่ในกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมในประเด็นต่าง ๆ

ซึ่งในทางปฏิบัติสำนักงาน กสทช. ภาค และสำนักงาน กสทช. เขต ได้ดำเนินการตรวจสอบการครอบครองคลื่นความถี่เป็นประจำในหลายประเด็น ได้แก่

1. ตรวจสอบการครอบครองความถี่วิทยุเพื่อควบคุมความถี่วิทยุให้เป็นไปตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ข้อกำหนด และเงื่อนไขที่สำนักงาน กสทช. อนุญาต (การตรวจปริมาณการใช้งานคลื่นความถี่ และการตรวจสอบพิสูจน์ทราบการครอบครองคลื่นความถี่)

2. การตรวจสอบแก้ไขการรบกวนคลื่นความถี่ในกรณีได้รับแจ้งจากหน่วยงาน/กิจการที่ได้รับการรบกวน

3. การตรวจสอบมาตรฐานการแพร่คลื่นวิทยุเพื่อกำหนดขั้นตอน วิธีการ และผู้รับผิดชอบในการตรวจสอบมาตรฐานทางเทคนิคการแพร่คลื่นความถี่วิทยุเพื่อควบคุมการแพร่คลื่นความถี่วิทยุให้เป็นไปตามมาตรฐาน และเงื่อนไขที่กำหนดตามใบอนุญาต

4. การตรวจสอบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต เพื่อให้เป็นไปตามบทบัญญัติของกฎหมาย

5. การตรวจค้น และจับกุมตามกฎหมาย

6. การกำกับดูแลความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องวิทยุคมนาคม และการตรวจวัดระดับการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสถานีวิทยุคมนาคม (EMF)

7. การตรวจสอบผู้ประกอบกิจการค้าเครื่องและอุปกรณ์วิทยุคมนาคม

8. การตรวจเครื่อง สถานี และใบอนุญาตวิทยุคมนาคม

ซึ่งการตรวจสอบคลื่นความถี่ดังกล่าวสอดคล้องกับกฎหมายระหว่างประเทศและข้อบังคับต่าง ๆ ของ ITU (ข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (Radio Regulation) ITU-R SM.1537 เป็นต้น) อีกทั้งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกฎหมายของทั้ง 4 ประเทศดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นประกอบแล้ว

พบว่ากฎหมายไทยได้กำหนดกฎเกณฑ์ ทั้งในแง่อำนาจหน้าที่ของหน่วยงานกำกับดูแล และในแง่กฎระเบียบต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในกฎหมายไม่ต่างกันแต่อย่างใด กล่าวคือกำหนดให้หน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคม (กสทช) มีอำนาจหน้าที่ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ แต่สิ่งที่กฎหมายไทยไม่ได้กำหนดให้ชัดเจน คือ เมื่อ กสทช ได้มีการตรวจสอบแล้วพบแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวนแล้ว กสทช จะต้องดำเนินการอย่างไรต่อไป

ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก ITU-R SM.1537 และกฎหมายต่างประเทศแล้ว จะเห็นได้ว่าในประเด็นดังกล่าวก็ไม่ได้ระบุการดำเนินการให้เป็นรูปธรรม ซึ่งในหลักการพื้นฐานที่สำคัญจะกำหนดไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อหน่วยงานกำกับดูแลได้รับรายงานการรบกวน สถานีตรวจสอบคลื่นความถี่วิทยุจะตรวจสอบคลื่นวิทยุเพื่อค้นหาแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน และเมื่อตรวจสอบรายละเอียดของเหตุการณ์เป็นที่ชัดเจนแล้ว จะมีการติดต่อกับผู้ให้บริการดาวเทียมเพื่อยืนยันรูปแบบการรบกวนและรายละเอียดทางเทคนิคต่อไป

จากปัญหาดังกล่าวสามารถเสนอแนะในทางกฎหมายได้หลายแนวทาง ดังนี้

1. แก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และที่แก้ไขเพิ่มเติม มาตรา 57 (3) ดังนี้ *"...ตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่ตามหลักเกณฑ์ที่ กสทช กำหนด..."* อันจะส่งผลให้ กสทช สามารถออกกฎหมายลำดับรองในรูปแบบประกาศ หรือ ระเบียบอันเกี่ยวกับหลักเกณฑ์และวิธีการในการตรวจสอบคลื่นความถี่ได้ โดยในกฎหมายลำดับรองนั้นควรกำหนดรายละเอียดที่สำคัญ เช่น ข้อกำหนดและเงื่อนไขในการตรวจสอบคลื่นความถี่ ลักษณะการตรวจสอบคลื่นความถี่ ระยะเวลาการตรวจสอบคลื่นความถี่ การปฏิบัติตามข้อกำหนดและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบคลื่นความถี่ของผู้ได้รับอนุญาต การแก้ไขการรบกวน หรือการกำกับดูแลให้เป็นไปตามข้อกำหนดและเงื่อนไขในการตรวจสอบคลื่นความถี่ เป็นต้น ทั้งนี้ กสทช. **อาจพิจารณาหลักการจัดทำ NOI ของสหรัฐอเมริกาประกอบเพื่อสำรวจศักยภาพในการส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุได้**

และเมื่อมีการแก้ไขมาตรา 57 (3) แล้ว กสทช อาจพิจารณาเพิ่มเติมในการออกประกาศ เรื่อง "หลักเกณฑ์และวิธีการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน..." ได้ เพื่อกำหนดให้ผู้ที่ต้องการได้รับอนุญาตประกอบการคลื่นความถี่ย่านนั้น ๆ ต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด เช่น **อาจกำหนดให้ผู้รับอนุญาตต้องให้ความร่วมมือกับ กสทช ในการตรวจสอบคลื่นความถี่ในกรณีที่ กสทช ติดต่อไป** หรืออาจกำหนดให้ผู้ได้รับอนุญาตต้องบูรณาการกับผู้ได้รับอนุญาตรายอื่นอันเกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่เพื่อดำเนินการแก้ไขการรบกวนกันของคลื่นความถี่ในเบื้องต้นเท่าที่จำเป็น เป็นต้น

2. กสทช อาจพิจารณาในการ**จัดทำคู่มือปฏิบัติการเกี่ยวกับการตรวจสอบคลื่นความถี่**เพื่อเป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้แก่ผู้รับใบอนุญาตได้ทราบแนวปฏิบัติที่ชัดเจนเพิ่มเติมได้ โดยมีข้อดีในการจัดทำคู่มือ คือ ชัดเจน เข้าใจง่าย เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานในเชิงปฏิบัติงาน โดยผู้ปฏิบัติสามารถทราบว่าควรปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขอย่างไร ทราบว่าควรทำอะไรก่อนหลังได้อย่างชัดเจนให้สอดคล้องกับนโยบาย หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยอาจประกอบไปด้วยสาระสำคัญ ได้แก่

- หลักเกณฑ์วิธีการปฏิบัติงาน (มาจากกฎ ระเบียบ คำสั่ง ประกาศ ข้อบังคับ มติที่ประชุม เกณฑ์มาตรฐาน เป็นต้น)
- แผนการปฏิบัติงาน เพื่อที่จะบอกว่าในการตรวจสอบคลื่นความถี่นั้นมีทั้งหมดกี่กิจกรรม/ขั้นตอนการปฏิบัติ กิจกรรมใดเริ่มเมื่อใด และสิ้นสุดการปฏิบัติการเมื่อใด เป็นต้น โดยสามารถเขียนในลักษณะ Flow Chart ได้

- เทคนิคการปฏิบัติงาน (ในกรณีที่การปฏิบัติงานต้อง อาศัยกฎ ระเบียบประกาศ เกณฑ์มาตรฐาน แนวคิดทฤษฎี เป็นต้น)
- ช่องทางการร้องเรียน
- แบบฟอร์มตัวอย่างและวิธีการกรอก (ถ้ามี)
- เอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่ผู้ปฏิบัติงานต้องยื่นต่อ กสทช

6. ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ สำหรับสำนักงาน กสทช. ภายหลังติดตั้งระบบตรวจสอบสัญญาณคลื่นความถี่

เมื่อระบบตรวจสอบคลื่นความถี่สำหรับกิจการอวกาศตรวจพบ สัญญาณรบกวน (Interference) หรือการใช้งานความถี่ที่ผิดปกติ ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติจาก ITU (โดยเฉพาะใน ITU-R SM.1138, ITU-R SM.1537 และ ITU-R SM.2028) มีแนวทางดังนี้

1. การยืนยันและระบุแหล่งที่มาของสัญญาณ (Identification & Verification)

1.1 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ยืนยันว่าเป็นการรบกวนจริง ไม่ใช่สัญญาณที่เกิดจากข้อผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจสอบ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้งานความถี่ที่ได้รับอนุญาต

1.2 กำหนดพิกัดของแหล่งที่มาของสัญญาณรบกวน

ใช้เทคนิค Direction Finding (DF) หรือ Time Difference of Arrival (TDOA) เพื่อตรวจหาตำแหน่งของสัญญาณ เพื่อวิเคราะห์ว่าสัญญาณเกิดจากการแพร่กระจายผิดปกติของคลื่น (Propagation Anomalies) หรือเป็นการรบกวนโดยเจตนา

2. การแจ้งเตือนและประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (Notification & Coordination)

2.1 แจ้งเตือนหน่วยงานกำกับดูแล (Regulatory Authorities Notification) โดยส่งรายงานไปยัง หน่วยงานกำกับดูแลความถี่ของประเทศ (National Regulatory Authority – NRA) หรือรายงานไปยัง ITU Radiocommunication Bureau (ITU-R BR) หากเป็นปัญหาข้ามพรมแดน

2.2 ประสานงานกับผู้ใช้คลื่นความถี่ที่ได้รับผลกระทบ โดยแจ้งผู้ให้บริการดาวเทียมหรือหน่วยงานที่ใช้คลื่นความถี่ที่ได้รับผลกระทบ และแนะนำแนวทางป้องกันผลกระทบระยะสั้น เช่น การปรับจูนอุปกรณ์หรือการใช้ฟิลเตอร์ป้องกัน เป็นต้น

3. การดำเนินการแก้ไข (Mitigation & Resolution)

กรณีการรบกวนที่เกิดจากระบบที่ได้รับอนุญาต

- ประสานงานเพื่อให้ผู้ใช้คลื่นแก้ไขการตั้งค่าหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เป็นต้นเหตุ
- พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Reallocation) หรือกำหนดมาตรการควบคุมพลังงานส่ง

กรณีการรบกวนโดยไม่ได้รับอนุญาต (Unauthorized Transmission)

- ติดตามต้นตอของสัญญาณและดำเนินมาตรการทางกฎหมาย
- ประสานงานกับ ITU และองค์กรระหว่างประเทศเพื่อยุติการใช้งานที่ผิดกฎหมาย

กรณีการรบกวนโดยเจตนา (Harmful or Intentional Interference)

- จัดทำรายงานและส่งให้ ITU (ตาม Resolution 186 - ITU RR)
- ใช้มาตรการป้องกันเพิ่มเติม เช่น การเข้ารหัสสัญญาณ (Encryption) หรือการเปลี่ยนไปใช้ Frequency Hopping

4. การเก็บบันทึกและการรายงานผล (Logging & Reporting)

ทำการบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์แนวโน้มของการรบกวน จัดทำฐานข้อมูล (Interference Database) เพื่อวิเคราะห์และติดตามปัญหาในระยะยาว หรือรายงานสู่ระดับนานาชาติหากจำเป็นหากเป็นปัญหาข้ามพรมแดน หรือเกี่ยวข้องกับดาวเทียมต่างประเทศ

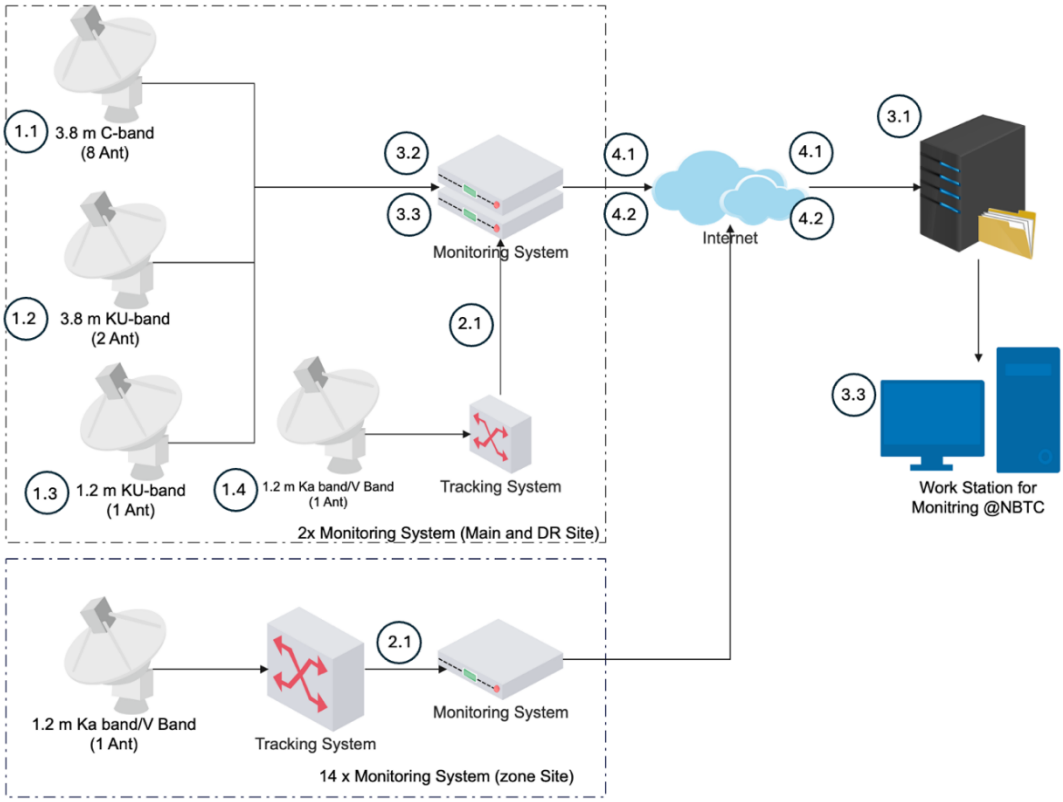
7.การประเมินงบประมาณ

จากแนวคิดการจัดตั้งระบบตรวจสอบคลื่นความถี่แบบประจำที่ จะสามารถประเมินและแสดงรายการอุปกรณ์ได้ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1 การประเมินกรอบงบประมาณ

1) Main System จำนวน 2 Site ตามรายละเอียดต่อไปนี้

ที่	รายการอุปกรณ์	จำนวน
1	**ระบบจานรับสัญญาณดาวเทียม (Antenna System)**	
1.1	จานรับสัญญาณ C-Band ขนาด 3.8 เมตร (C-band High Gain Antenna)	16
1.2	จานรับสัญญาณ Ku-Band ขนาด 3.8 เมตร (Ku-band High Gain Antenna)	4
1.3	จานรับสัญญาณ Ku-Band ขนาด 1.2 เมตร (Ku-band High Gain Antenna)	2
1.4	จานรับสัญญาณ Ka-Band/V Band ขนาด 1.2 เมตร (High Gain Antenna with Tracking System) ในลักษณะของ Phased Array	2
2	**ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียม แบบ NGSO**	
2.1	ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียม แบบ NGSO	2
3	**ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียมและซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง (Core Spectrum Monitoring analysis and related software)**	
3.1	Center Monitoring System set (Center Database Server: CDS) @NBTC	
	Center Monitoring Server and Database	1
3.2	Monitoring System set (Local Network Server:LNS)	
	3.2.1 Spectrum Analyzer (Satellite DSP (Digital Signal Processing))	2
3.2	3.2.2 24 ports L-Band Switch	4
	3.2.3 Monitoring Server and Database	2
3.3	Workstation	
	3.3.1 Monitoring workstation (Main site and NBTC site)	3
4	**ระบบเน็ตเวิร์คและความปลอดภัยทางไซเบอร์ (Networking & Security)**	
4.1	24 ports Ethernet switch	5
4.2	Network Gateway (Firewall)	3



รูปที่ 128 การประเมินกรอบงบประมาณตามอุปกรณ์ที่ออกแบบ

2) ส่วนที่สอง Monitoring System (Zone System) จำนวน 14 จุด

ที่	รายการอุปกรณ์	จำนวน
1. ระบบจานรับสัญญาณดาวเทียม (Antenna System)		
	จานรับสัญญาณ Ka-Band/V Band ขนาด 1.2 เมตร (High Gain Antenna with Tracking System) ในลักษณะของ Phased Array	14
2. ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียม แบบ NGSO		
	ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียม แบบ NGSO	14
3. ระบบตรวจสอบสัญญาณดาวเทียมและซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง (Core Spectrum Monitoring analysis and related software)		
3.1	Monitoring System set (Local Network Server:LNS)	
	3.1.1 Spectrum Analyzer (Satellite DSP (Digital Signal Processing))	14
	3.1.2 L-Band Switch	14
	3.1.3 Monitoring Server and Database	14
3.3	Workstation	
	3.3.1 Monitoring workstation (Zone site)	14
4. ระบบเน็ตเวิร์คและความปลอดภัยทางไซเบอร์ (Networking & Security)		
	24 ports Ethernet switch	28
	Network Gateway (Firewall)	14

7.2 ข้อมูลอ้างอิงการประเมินกรอบเงินประมาณ

จากการศึกษาคณะผู้วิจัยฯ ได้ดำเนินการประเมินราคาด้วยกระบวนการสืบค้น และศึกษาจากวิธีการสังเคราะห์กระบวนการโดย ChatGPT ซึ่งจะเป็นไปตามการประเมินราคาในอุปกรณ์จาก Main site ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการ และขนาดของระบบใน zone site ที่สามารถเลือกได้ตามความเหมาะสม โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้ มีรายละเอียดอ้างอิงการประเมินราคาดังนี้

1. Antenna System

Band	Type	Quantity	Notes
C-Band	3.8 m High-Gain	16	Fixed for GEO spectrum
Ku-Band	3.8 m High-Gain	4	GEO spectrum
Ku-Band	1.2 m High-Gain	2	Backup/mid-size station
Ka/V-Band	1.2 m Phased Array with Tracking	2	LEO Monitoring Ready (wideband)

Estimated Cost: 🟩 $2.5M

2. Leo Spectrum Monitoring System

Component	Qty	Notes
LEO Antenna System (motorized or phased array)	2	Auto-tracking with Ka/K-V capability
Integrated LEO Spectrum Analyzer	2	Real-time tracking spectrum sweep
LEO Monitoring Workstations	2	Local GUI and control
Telemetry Integration & Uplink Scan	Yes	For identifying satellite interference from LEO constellations

Estimated Cost (for both systems): 🟨 $500K

3. Core Spectrum Monitoring & Analysis

Component	Qty	Notes
DSP-Based Spectrum Analyzer	2	GEO-focused, remote access
L-Band Signal Switch (24 port)	4	Routing from multiple dishes
Monitoring Servers & Storage	2	Local signal processing
Center Database Server	1	NBTC HQ location
Operator Workstations	3	For spectrum review, analysis, alarms

Estimated Cost: 🟩 $850K

4. Monitoring & Analyzer Software

Component	Qty	Notes
Central Monitoring Platform	1	Master interface (Kratos / SatSignature)
Spectrum Analyzer SW Licenses	2	Includes LEO and GEO modules
Annual Support & Upgrades	1	Optional 24/7 hotline

Estimated Cost: 🟨 $220K

5. Networking & Cybersecurity

Component	Qty	Notes
Managed Ethernet Switch (24 port)	5	Internal signal/data routing
Network Firewall Gateway	3	Site-wide security (Fortinet, Cisco)
Storage Server (NAS)	1	Backup 3–6 months
Cybersecurity Suite	1	Endpoint + IDS/IPS protection

Estimated Cost: 🟩 $200K

6. Integration & Services

Description	Notes
Site survey + RF planning	All locations
Hardware deployment + cable routing	Multi-band setup
Full system integration	GEO + LEO + software + servers
Testing + Calibration + Acceptance	End-to-end
Operator training + Docs	Delivered in Thai + English
Support for 1 year	Onsite + remote

Estimated Cost: 🟨 $300K

7. Room Construction & Environmental Works

Item	Notes
RF-Shielded Monitoring Room (50 sqm)	Raised floor, cable trays
LEO Antenna Foundation (x2)	Concrete with grounding mesh
Redundant HVAC	For servers and ops room
Grounding & Electrical Infra	Lightning, surge protection

Estimated Cost: 🟨 $200K

8. Miscellaneous

Category	Description	Estimated Cost (USD
AI-Powered Interference Detection	Software module for automated RFI/EMI detection using ML	$300K
Real-Time Dashboard and Remote Access (NMS)	Custom GUI with analytics, alarms, remote web-based access	$250K
Signal Recording and Replay System	Continuous spectrum capture with historical playback (up to 180 days)	$400K
Cybersecurity Hardened Infrastructure	SOC integration, real-time monitoring, 2FA, audit logs	$250K
Contingency (10%)	Inflation buffer, price adjustment, logistics	$923K

7.3 แหล่งข้อมูลอ้างอิงการประเมินกรอบเงินงบประมาณ

1. AVL Technologies. (2024, June 17). *2418 MEO/GEO Tracking Antenna*. https://avltech.com/2024/06/17/2418-meo-geo-tracking-antenna/
2. FMUSER. (n.d.). *WSA5000-418 Real-Time Spectrum Analyzer 100K-18G WSA5000-418*. https://www.fmuser.org/news/Electron/WSA5000-418-Real-Time-Spectrum-Analyzer-100K-18G-WSA5000-418.html
3. GlobeNewswire. (2016, September 8). *Monics Net 10.5 from Kratos Enhances Situational Awareness and Workforce Productivity of the Industry Leading Satellite Carrier Monitoring System*. https://www.globenewswire.com/news-release/2016/09/08/870431/0/en/Monics-Net-10-5-from-Kratos-Enhances-Situational-Awareness-and-Workforce-Productivity-of-the-Industry-Leading-Satellite-Carrier-Monitoring-System.html
4. Intelligence Community News. (n.d.). *Kratos Defense Launches Monics Net 10.5 Satellite Carrier Monitoring System*. https://intelligencecommunitynews.com/kratos-defense-launches-monics-net-10-5-satellite-carrier-monitoring-system/
5. ITU. (2018). *SmallSat Workshop Presentations*. https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2018-SmallSat/Presentations/22.pdf
6. Kratos Defense. (n.d.). *Monics*. https://www.kratosdefense.com/products/space/signals/rf-management/monics
7. Kratos Defense. (n.d.). *Spectrum Monitoring*. https://www.kratosdefense.com/systems-and-platforms/space-systems/military-and-government/spectrum-monitoring
8. Melcom. (n.d.). *WSA5000*. https://www.melcom.co.uk/uploads/wsa5000.pdf
9. Microwave Journal. (n.d.). *Low-Cost Signal Analysis*. https://www.microwavejournal.com/articles/21162-low-cost-signal-analysis
10. Orbital Connect. (n.d.). *Kratos Monics 200 Complete Interference Detection for HTS Spot Beams Fly Away Packages and Smaller Sites*. https://store.orbitalconnect.com/

kratos-monics-200-complete-interference-detection-for-hts-spot-beams-fly-away-packages-and-smaller-sites/?srsltid=AfmBOoolHgUXgncJhAX-P0SGvBO3IfeEr_cBRksAQQyKtWwFuhtsFSbV

11. Orbital Connect. (n.d.). *Kratos Monics Net Advanced and Scalable Carrier Monitoring and Interference Identification Solution*. https://store.orbitalconnect.com/kratos-monics-net-advanced-and-scalable-carrier-monitoring-and-interference-identification-solution/?srsltid=AfmBOopNFslTNcIUzAAgKhUMKBLtEzpUkOavUTU3fgWajV33GVorvSz7
12. RITM Industry. (n.d.). *Spectrum Analyzer Tabletop Real-Time*. https://ritmindustry.com/catalog/spectrum-analyzers-signal-analyzers/spectrum-analyzer-tabletop-real-time/
13. SATMAGAZINE. (n.d.). *Story no. 1917065207*. https://www.satmagazine.com/story.php?number=1917065207
14. SatelliteToday. (2016, September 8). *Kratos Tackles RF Interference Monitoring Challenges Monics Enterprise*. https://www.satellitetoday.com/technology/2016/09/08/kratos-tackles-rf-interference-monitoring-challenges-monics-enterprise/
15. Techmarcom. (2018, September). *Brochure Monics Family Suite*. https://techmarcom.net/wp-content/uploads/2018/09/Brochure-Monics-Family-Suite.pdf
16. ThinkRF. (n.d.). *Real-Time Spectrum Analyzers*. https://thinkrf.com/products/real-time-spectrum-analyzers/
17. ThinkRF. (n.d.). *ThinkRF Partners Comint Consulting Complete SIGINT Solution*. https://thinkrf.com/thinkrf-partners-comint-consulting-complete-sigint-solution/
18. ThinkRF. (n.d.). *ThinkRF Releases Innovative S240 Real-Time Spectrum Analysis Software*. https://thinkrf.com/thinkrf-releases-innovative-s240-real-time-spectrum-analysis-software/
19. ThinkRF Support. (n.d.). *Solution 36000113035*. https://support.thinkrf.com/support/solutions/36000113035
20. YouTube. (n.d.). *YouTube video*. https://www.youtube.com/watch?v=8jQeMcMNu0A