รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์และระบบสำหรับติดตามช้างป่า

เสนอต่อ

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์

และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.)

โดย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 หลักการและเหตุผล 1
1.2 ความเชื่อมโยงและสอดคล้องกับแผนแม่บท หรือแผนยุทธศาสตร์ กสทช. 1
1.3 วัตถุประสงค์โครงการ 2
1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน 2
บทที่ 2 แผนงานดำเนินงานโครงการ 4
บทที่ 3 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลในท้องตลาด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10
3.1 การใช้งานอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลในประเทศไทย 10
3.2 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลในท้องตลาด 14
3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19
3.4 ตัวอย่างนวัตกรรมของปลอกคอติดตามสัตว์จากเทคโนโลยีต่าง ๆ 23
3.5 ข้อควรพิจารณาในการเลือกปลอกคอติดตามช้าง 24
บทที่ 4 การวิเคราะห์ และ การออกแบบอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล 26
4.1 การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณดาวเทียม 26
4.1.1 ระบบของการสื่อสารดาวเทียม 26
4.1.2 การทำงานของดาวเทียม 27
4.1.3 วงโคจรของดาวเทียม 27
4.1.4 ประเภทของดาวเทียม 28
4.1.5 พื้นที่การให้บริการดาวเทียม 30
4.1.6 ย่านความถี่ดาวเทียม 30
4.1.7 เครือข่ายสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงผ่านดาวเทียมของประเทศไทย 31
4.2 การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่าน GPRS/GSM 32
4.2.1 การทำงานของ GPRS 33
4.2.2 อุปกรณ์ GPRS 33
4.3 การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ RFID 35
4.3.1 การทำงานระบบอาร์เอฟไอดี RFID 36
4.3.2 การประยุกต์ใช้งาน 36
4.4 ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) 37
4.4.1 ส่วนประกอบของ GPS 37
4.4.2 วิธีการหาพิกัดตำแหน่งโดยใช้ระบบ GPS และตัวอย่างเครื่องรับสัญญาณ 38
4.4.3 โครงสร้างข้อมูล GPS 39
4.4.4 GPS TRACKING SYSTEM (ระบบติดตาม GPS) 40

4.5 การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ VHF 41
4.5.1 มาตรฐาน VDL MODE 4 41
4.5.2 บทบาทของ VDL Mode 4 ใน CNS และ ATM 42
4.5.3 ความสามารถในการใช้งาน 42
4.5.4 ภาพรวมของการให้บริการ VDL Mode 4 43
4.5.5 การให้บริการในการสื่อสาร 44
4.5.6 หลักการทำงานของ VDL Mode 4 46
4.5.7 การประยุกต์ใช้ VDL Mode 4 กับการติดตามสัตว์ป่า 49
4.6 การออกแบบอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล 49
4.6.1 ความเหมาะสมต่อการติดตามช้างป่า 50
4.6.2 การแจ้งการปรากฏตัวของช้างป่าโดยการเชื่อมต่อผ่านสัญญาณ GPS GPRS และ RFID 52
4.6.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้งานกับระบบ GPS 52
4.6.2.2 การใช้งาน GPS 52
4.6.2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการส่งข้อมูล 53
4.6.2.4 เครื่องรับสัญญาณ GPS 53
4.6.2.5 RFID 57
4.6.3 การบันทึกแนวเส้นทางการเดินในแต่ละวันของช้างป่า 62
4.6.4 การส่งข้อมูลบันทึกแนวเส้นทางการเดิน 62
4.6.5 การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ภาคสนามในการปรับแต่งค่าคอนฟิกใหม่ 63
4.6.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 63
4.6.5.2 บอร์ด DEVIO NB-DEVKIT 69
4.6.6 แบตเตอรี่ 75
4.6.7 นาฬิกาแบบเวลาจริง 82
4.6.8 ปลอกคอช้าง 85
บทที่ 5 การออกแบบศูนย์ประมวลผลกลางการรับรู้ข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกล 87
บทที่ 6 การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูล 93
6.1 โครงสร้างฐานข้อมูล (Database Schema) 93
6.1.1 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่า 93
6.1.2 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลโครงการ 94
6.1.3 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางจัดการผู้ใช้งานระบบ 94
บทที่ 7 การพัฒนาอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล 101
7.1 อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล 101
7.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 103
7.1.2 บอร์ด LILYGO TTGO T-PCIE 105
7.2 เครื่องรับสัญญาณ GPS และเครื่องรับส่งสัญญาณ GPRS / 4G 108
7.3 เสาอากาศของการสื่อสาร 4G 113

7.4 การบันทึกแนวเส้นทางการเดินในแต่ละวันของช้างป่า 115
7.5 การส่งข้อมูลบันทึกแนวเส้นทางการเดิน 115
7.6 การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ภาคสนามในการปรับแต่งค่าคอนฟิกใหม่ 116
7.7 แบตเตอรี่ 116
7.8 นาฬิกาแบบเวลาจริง 119
7.9 วงจรรวมของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 120
7.10 เครื่องอ่าน RFID 122
7.11 ปลอกคอช้าง 124
บทที่ 8 การพัฒนาศูนย์ประมวลผลกลางการรับรู้ข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกล 135
บทที่ 9 แนวทางการทดสอบระบบติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล 157
9.1 วิธีการทดสอบ 157
9.2 รูปแบบการทดสอบกับช้างเลี้ยงหรือช้างทดสอบ 157
9.3 ผลการทดสอบ 158
9.4 ผลดำเนินการทดลองการใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล 163
9.5 การแจ้งเตือน ผ่าน Line Notification 170
บทที่ 10 การสรุปผลการทดลองและสรุปปัญหาอุปสรรค 171
10.1 สรุปผลการทดลอง 171
10.1.1 ปัญหาด้านระบบเครือข่าย GPRS / 4G 171
10.2 สรุปปัญหา 173
10.2.1 ปัญหาด้านระบบ GPS 173
10.2.2 ปัญหาด้านระบบ RFID 173
บทที่ 11 แนวทางการพัฒนาเทคนิคในด้านอื่น ๆ 174
11.1 แนวทางการจัดการด้านความปลอดภัย 174
11.1.1 Data Encryption 174
11.1.2 API และ Token 175
11.2 แนวทางการพัฒนาการใช้ DRONE เพื่อตรวจสอบระยะไกล 177
11.3 แนวทางการการพัฒนาระบบสื่อสารด้วย VHF 178
11.4 แนวทางการการพัฒนาระบบสื่อสารด้วยดาวเทียม 179
11.5 แนวทางการการพัฒนาระบบสื่อสารด้วย LoRaWAN 179
เอกสารอ้างอิง 181

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1 โครงการติดวิทยุติดตามตัวสัตว์ระบบดาวเทียมกับนกอพยพเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันการระบาดของโรคไข้หวัดนก 11
รูปที่ 3.2 โครงการเฝ้าระวังช้างป่าด้วยระบบเตือนภัยล่วงหน้า 12
รูปที่ 3.3 การติดปลอกคอสัญญาณดาวเทียมให้กับช้างป่า เพื่อติดตามพฤติกรรม และการเคลื่อนที่ของฝูงช้างป่า ในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์ช้างป่าเขาอ่างฤาไน จังหวัดฉะเชิงเทรา 13
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ติดตามสัตว์เลี้ยงด้วยสัญญาณวิทยุ 14
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ติดตามสัตว์เลี้ยงด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS 15
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ติดตามที่ใช้หลายสัญญาณร่วมกัน 15
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ติดตามสัตว์แบบ LoRaWAN GPS Cattle Tracker 16
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าโดยใช้คลื่นวิทยุ Biotracker VHF Receiver 16
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS 17
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าที่ใช้เทคโนโลยีดาวเทียมร่วมกับโครงข่าย GSM 17
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการใช้งานปลอกคอช้างป่าในประเทศเคนย่า 18
รูปที่ 3.12 ระบบติดตามสัตว์ด้วยวิทยุสื่อสาร VHF Radio Tracking 19
รูปที่ 3.13 ระบบติดตามสัตว์ป่าด้วยวิทยุสื่อสารผ่านดาวเทียม Satellite tracking system 20
รูปที่ 3.14 ระบบติดตามสัตว์ป่าด้วยสัญญาณ GPS Satellite tracking system 20
รูปที่ 3.15 ระบบติดตามสัตว์ป่าโดยใช้หลายเทคนิคร่วมกัน 21
รูปที่ 3.16 ผลการเปรียบเทียบปลอกคอติดตามสัตว์ด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ 22
รูปที่ 4.1 การสื่อสารข้อมูลด้วยดาวเทียม 27
รูปที่ 4.2 Footprint ของดาวเทียม 30
รูปที่ 4.3 GPRS GA6 Module A6/SMS/GPRS Development Board 34
รูปที่ 4.4 Adafruit FONA 3G Cellular with GPS Breakout 34
รูปที่ 4.5 (a) ESP32 เชื่อมต่อกับโมดูล GPRS (SIM800C) TTGO (b)T-Call ESP32 with SIM800L GPRS Module 35
รูปที่ 4.6 ESP8266 ESP-12S A9G GSM GPRS with GPS IoT Node V1.0 35
รูปที่ 4.7 ส่วนประกอบระบบ RFID 36
รูปที่ 4.8 ส่วนประกอบของ GPS 37
รูปที่ 4.9 โครงสร้างข้อมูล GPS 39
รูปที่ 4.10 ข้อมูลเฟรมย่อยในระบบ GPS 40
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบความยาวคลื่นของความถี่ในย่าน VHF และ UHF [4] 42
รูปที่ 4.12 Time Slots ใน VDL Mode 4 43
รูปที่ 4.13 การทำงานของ ABS-C 44
รูปที่ 4.14 การสื่อสารแบบ End-to-End ใน VDL Mode 4 46

รูปที่ 4.15 VDL Mode 4 Unit 46
รูปที่ 4.16 ระบบติดตามช้างป่า 49
รูปที่ 4.17 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 51
รูปที่ 4.18 โมดูล GPS รุ่น NEO-6M พร้อมสายอากาศในตัว 52
รูปที่ 4.19 โมดูล GPS รุ่น Grove - GPS V1.2 พร้อมสายอากาศแบบแยกส่วน 52
รูปที่ 4.20 โมดูล GPS รุ่น NEO-6M 54
รูปที่ 4.21 โครงสร้างภายของ โมดูล GPS รุ่น NEO-6M 54
รูปที่ 4.22 ชุด EEPROM ของ โมดูล GPS รุ่น NEO-6M 55
รูปที่ 4.23 สายอากาศแบบ Patch ของ โมดูล GPS รุ่น NEO-6M 56
รูปที่ 4.24 ตำแหน่งขาของโมดูล GPS รุ่น NEO-6M 56
รูปที่ 4.25 คุณสมบัติของระบบ RFID เมื่อใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ 57
รูปที่ 4.26 UHF RFID Sticker 61
รูปที่ 4.27 Micro SD Card 62
รูปที่ 4.28 Micro SD Card Module 62
รูปที่ 4.29 ชิปไอซี ESP32 ในรูปตัวถัง QFN-42 63
รูปที่ 4.30 โครงสร้างภายในของ ESP32 65
รูปที่ 4.31 บอร์ด DEVIO NB-DEVKIT ของบริษัทเอไอเอส 69
รูปที่ 4.32 ตำแหน่งขาของบอร์ด DEVIO NB-DEVKIT 71
รูปที่ 4.33 โมดูล SIM7020E 71
รูปที่ 4.34 โครงสร้างภายในของ SIM-7020E 72
รูปที่ 4.35 การเชื่อมต่อระหว่าง DEVIO NB-DEVKIT กับ SIM-7020E 75
รูปที่ 4.36 กระบวนสำรองพลังงานไฟฟ้าเคมี 77
รูปที่ 4.37 การออกแบบแบตเตอรี่ในรูปทรงต่าง ๆ 79
รูปที่ 4.38 3.7V Li-Ion Battery 79
รูปที่ 4.39 การวางตำแหน่ง Battery ใน package 80
รูปที่ 4.40 Pack Battery จริงที่นำมาใช้งาน 80
รูปที่ 4.41 DS3231 Real-Time Clock Module 83
รูปที่ 4.42 การชดเชยอุณหภูมิและความถี่ของ TCXO 84
รูปที่ 4.43 ตำแหน่งขาของ DS3231 85
รูปที่ 4.44 ช้างที่ทำการติดตั้งปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้าง 86
รูปที่ 4.45 ตัวอย่างการออกแบบกล่องอุปกรณ์ติดตั้งบนปลอกคอช้าง 86
รูปที่ 5.1 ภาพความเชื่อมโยงของการรับข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกลมายังศูนย์ประมวลผลกลาง . 87
รูปที่ 5.2 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่า 88
รูปที่ 5.3 แผนผังความสัมพันธ์การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อการติดตาม 91
รูปที่ 7.1 ระบบติดตามช้างป่า 101
รูปที่ 7.2 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 102

รูปที่ 7.3 ชิปไอซี ESP32 ในรูปตัวถัง QFN-42 103
รูปที่ 7.4 บอร์ด TTGO T-PCIE ของบริษัท LILYGO 105
รูปที่ 7.5 ตำแหน่งขาของบอร์ด TTGO T-PCIE 107
รูปที่ 7.6 ชิปไอซี SIM-7600E 108
รูปที่ 7.7 โครงสร้างภายในของ SIM-7600E 108
รูปที่ 7.8 โมดูล SIM-7600E 112
รูปที่ 7.9 เสาอากาศ 4G 113
รูปที่ 7.10 รูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณของเสาอากาศ 4G 114
รูปที่ 7.11 Battery ที่นำมาใช้งาน 117
รูปที่ 7.12 DS3231 Real-Time Clock Module 119
รูปที่ 7.13 วงจรภายในปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้างป่า 120
รูปที่ 7.14 วงจรภายในปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้างป่าขณะทำงาน 121
รูปที่ 7.15 เครื่องอ่าน RFID 122
รูปที่ 7.16 การใช้งานเครื่องอ่าน RFID 123
รูปที่ 7.17 ผลการอ่านสัญญาณจากเครื่องอ่าน RFID 123
รูปที่ 7.18 ภาพแบบ 3 มิติ ปลอกคอช้าง 124
รูปที่ 7.19 ปลอกคอช้าง 125
รูปที่ 7.20 ภาพแบบ 3 มิติของกล่องเก็บอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 126
รูปที่ 7.21 กล่องเก็บอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 128
รูปที่ 7.22 ภาพแบบ 3 มิติของตุ้มถ่วงน้ำหนักและเพลตยึดกล่องของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 130
รูปที่ 7.23 ตุ้มถ่วงน้ำหนัก 131
รูปที่ 7.24 เพลตยึดกล่องของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 132
รูปที่ 7.25 สายคล้องของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 133
รูปที่ 7.26 สายคล้องที่ติดเพลตของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 133
รูปที่ 7.27 ภาพแบบ 3 มิติของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า 134
รูปที่ 7.28 ช้างที่ทำการติดตั้งปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้างป่า 134
รูปที่ 8.1 ความเชื่อมโยงของการรับข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกลมายังศูนย์ประมวลผลกลาง 135
รูปที่ 9.1 การประกอบปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้าง 159
รูปที่ 9.2 การติดตั้งปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้าง 160
รูปที่ 9.3 การทดสอบการกันน้ำปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้าง 162
รูปที่ 11.1 แนวทางการระดับ Data Encryption สำหรับข้อมูลติดตามสัตว์ป่า 174
รูปที่ 11.2 รูปแบบการใช้ API สำหรับข้อมูลติดตามสัตว์ป่า 175
รูปที่ 11.3 รูปแบบการใช้ Web API เพื่อพัฒนาสำหรับข้อมูลติดตามสัตว์ป่า 176

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แผนงานดำเนินงานตามโครงการ 5
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของ NEO-6M 54
ตารางที่ 4.2 ข้อกำหนดแรงดันไฟฟ้าของ NEO-6M 57
ตารางที่ 4.3 ย่านความถี่วิทยุที่ใช้งานในระบบ RFID 58
ตารางที่ 4.4 ย่านความถี่ UHF ที่ใช้งานในระบบ RFID 58
ตารางที่ 4.5 กำลังส่งสูงสุดที่ใช้งานในระบบ RFID 59
ตารางที่ 4.6 ข้อดีและข้อเสียของระบบ RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ 59
ตารางที่ 4.7 การใช้พลังงาน ของ ESP-32 68
ตารางที่ 4.8 การใช้พลังงานด้านการรับส่งคลื่น RF ของ ESP32 68
ตารางที่ 4.9 ลักษณะของ DEVIO NB-DEVKIT 70
ตารางที่ 4.10 ลักษณะของ SIM-7020E 72
ตารางที่ 4.11 ข้อกำหนดแรงดันไฟฟ้าของ SIM-7020E 73
ตารางที่ 4.12 การใช้พลังงานของ SIM-7020E 73
ตารางที่ 4.13 แบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียวทิ้งที่นิยมใช้ 76
ตารางที่ 4.14 ชนิดของแบตเตอรี่แบบชาร์จไฟได้ที่พบบ่อย 76
ตารางที่ 4.15 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่าง ๆ แบ่งตามวัสดุขั้วลบและขั้วบวก รวมถึงการใช้งาน 78
ตารางที่ 4.16 การคำนวณอัตราการใช้พลังงานและระยะเวลาทำงานของอุปกรณ์สำหรับติดตามช้างป่า 81
ตารางที่ 6.1 รายการความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่า 93
ตารางที่ 6.2 รายการความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลโครงการ 94
ตารางที่ 6.3 รายการความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลโครงการ 95
ตารางที่ 6.4 รายการตาราง (List of table) 95
ตารางที่ 6.5 Table Name: Tbl_Track (ตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่าจากเครื่องมือติดตาม) 96
ตารางที่ 6.6 Table Name: Tbl_Animal (ตารางข้อมูลสัตว์และอัตลักษณ์) 96
ตารางที่ 6.7 Table Name: Tbl_AnimalType (ตารางประเภทของสัตว์) 97
ตารางที่ 6.8 Table Name: Tbl_AnimalImage (ตารางรูปอัตลักษณ์สัตว์) 97
ตารางที่ 6.9 Table Name: Tbl_AnimalMark (ตารางตำหนิและจุดสังเกตสัตว์) 97
ตารางที่ 6.10 Table Name: Tbl_Tag (ตารางอุปกรณ์ติดตามและการกำหนดรอบส่งข้อมูล) 98
ตารางที่ 6.11 Table Name: Tbl_Project (ตารางข้อมูลโครงการ) 98
ตารางที่ 6.12 Table Name: Tbl_ProjectTrack (ตารางระบุเครื่องมือติดตามที่อยู่ภายใต้โครงการ) 99
ตารางที่ 6.13 Table Name: Tbl_GIS (ตารางข้อมูลในรูปแบบ GIS) 99

ตารางที่ 6.14 Table Name: Tbl_GIS_Type (ตารางประเภทข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบ GIS)..... 99
ตารางที่ 6.15 Table Name: Tbl_User (ตารางข้อมูลผู้ใช้งาน)..... 99
ตารางที่ 6.16 Table Name: Tbl_Role (ตารางระบุประเภทผู้ใช้งาน)..... 100
ตารางที่ 6.17 Table Name: Tbl_Menu (ตารางระบุเมนูการใช้งานระบบ)..... 100
ตารางที่ 6.18 Table Name: Tbl_Role_Menu (ตารางระบุการใช้งานระบบตามประเภทผู้ใช้งาน)..... 100
ตารางที่ 7.1 ลักษณะของ TTGO T-PCIE..... 106
ตารางที่ 7.2 ลักษณะของ SIM-7600E..... 109
ตารางที่ 7.3 ข้อกำหนดแรงดันไฟฟ้าของ SIM-7600E..... 110
ตารางที่ 7.4 การใช้พลังงานของ SIM-7600E..... 110
ตารางที่ 7.5 การคำนวณอัตราการใช้พลังงานและระยะเวลาทำงานของอุปกรณ์สำหรับติดตามช้างป่า..... 118
ตารางที่ 8.1 รายการหน้าจอ (List of User Interface)..... 136
ตารางที่ 10.1 คุณลักษณะด้านการสื่อสารของบอร์ดการสื่อสาร SIM-7600E..... 172

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันกระแสอนุรักษ์ช้างป่าในประเทศไทยเกิดความตื่นตัวอย่างกว้างขวางขึ้นในสังคม หลายหน่วยงานออกมาช่วยกันรณรงค์ให้เกิดความยั่งยืน การนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาเป็นส่วนขับเคลื่อนงานอนุรักษ์ช้างป่าถือได้ว่าเป็นกลไกที่สำคัญยิ่ง สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ ITU เองได้เคยนำเสนอแนวคิดการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารใน “วันช้างป่าและพืชป่าโลก” เมื่อเดือนมีนาคม 2560 ไว้อย่างน่าสนใจ เช่น การใช้ระบบติดตามตำแหน่งช้างป่าผ่านการสื่อสารดาวเทียม การใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ร่วมรายงานการค้าขายช้างป่าผิดกฎหมายผ่านแอพพลิเคชั่นเฉพาะ หรือ การใช้กล้องรังสีอินฟราเรดติดตั้งบนเครื่อง DRONE เพื่อบินสำรวจถ่ายภาพและสื่อสารข้อมูลระยะไกล เป็นต้น

สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ซึ่งเป็นภาคีสมาชิกของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ จึงได้มีแนวคิดประยุกต์ใช้คลื่นความถี่และเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อเป็นส่วนขับเคลื่อนงานอนุรักษ์ช้างป่าในประเทศไทย โดยจะดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อการอนุรักษ์ช้างป่าของประเทศไทย ซึ่งมีแหล่งอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากในกลุ่มป่าตะวันออกของประเทศ

ในงานศึกษาวิจัยนี้ จะเป็นการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่และเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อติดตามช้างป่าในพื้นที่ได้จากระยะไกลตลอด 24 ชั่วโมง และสามารถส่งข้อมูลแนวเส้นทางการเดินของช้างป่าผ่านคลื่นความถี่ชนิดต่าง ๆ อาทิ การใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณดาวเทียม การใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ GPRS และการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ RFID กลับมายังศูนย์ประมวลผลกลางก็จะได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์ได้ตรงประเด็นมากยิ่งขึ้น เช่น เส้นทางหากินกับแหล่งอาหารตามธรรมชาติ พฤติกรรมของช้างป่าในแต่ละฤดูกาล เป็นต้น

เมื่อสามารถดำเนินการติดตามช้างป่าในพื้นที่ได้อย่างเป็นรูปธรรม ก็จะสามารถส่งเสริมให้ประชาชนเข้าถึงข้อมูลสารสนเทศผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ ประชาชนสามารถรับทราบจุดพักแรมที่ปลอดภัยจากช้างป่า กรณีที่มีการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ในพื้นที่ นักวิจัยที่ได้รับอนุญาต หากต้องการเข้าศึกษาชีวิตช้างป่าสามารถเรียกใช้ข้อมูลตำแหน่งที่พบล่าสุดในการวางแผนการวิจัย และเมื่อเข้าพื้นที่ก็สามารถเชื่อมต่อข้อมูล ณ จุดที่มีสัญญาณโทรศัพท์ได้ ก็จะเกิดเป็นแนวทางการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่และเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการอนุรักษ์ช้างป่าอย่างสมบูรณ์ต่อไป

1.2 ความเชื่อมโยงและสอดคล้องกับแผนแม่บท หรือแผนยุทธศาสตร์ กสทช.

1) แผนแม่บทกิจการโทรคมนาคม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2562-2566) ด้านการใช้ทรัพยากรโทรคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพ
2) พระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 มาตรา 52 (2) ส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาทรัพยากรสื่อสาร การวิจัยและพัฒนาด้านกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม รวมทั้งความสามารถในการรู้เท่าทันสื่อ เทคโนโลยีด้านการใช้คลื่นความถี่ เทคโนโลยีสารสนเทศ เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ ผู้สูงอายุ หรือผู้ด้อยโอกาส ตลอดจนอุตสาหกรรมโทรคมนาคม และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

1.3 วัตถุประสงค์โครงการ

1) เพื่อศึกษาวิจัยการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่และเทคโนโลยีสารสนเทศในการติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล
2) เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล
3) เพื่อออกแบบและพัฒนาศูนย์ประมวลผลกลางการรับข้อมูลการติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล
4) เพื่อทดสอบการใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลกับกลุ่มช้างป่าเพื่อประเมินความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์และระบบ

1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน

ภาระหน้าที่รับผิดชอบตามขอบเขตการดำเนินงาน มีดังนี้

1) ก่อนเริ่มดำเนินงานโครงการ ผู้รับทุนจะต้องจัดทำหนังสือถึงกรมอุทยานแห่งชาติ ช้างป่า และพันธุ์พืช เพื่อขออนุญาตเข้าไปศึกษาวิจัยทางวิชาการในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ โดยดำเนินการตามแนวทางและขั้นตอนของกรมอุทยานแห่งชาติ ช้างป่า และพันธุ์พืชเป็นสำคัญ และนำหนังสือที่ได้รับการอนุญาตจากกรมอุทยานแห่งชาติ ช้างป่าและพันธุ์พืช มาประกอบการเซ็นสัญญารับทุน
2) ดำเนินการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลในท้องตลาด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนศึกษาวิจัย การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล ที่มีความเหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศของประเทศไทย โดยศึกษาการประสมประสานการใช้คลื่นความถี่จากอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้
    - การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณดาวเทียม
    - การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ GPRS
    - การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ RFID
3) ดำเนินการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล จำนวนอย่างน้อย 5 ชุด ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้
    - มีความเหมาะสมต่อการติดตามช้างป่า
    - สนับสนุนต่อการแจ้งการปรากฏตัวของช้างป่าโดยการเชื่อมต่อผ่านสัญญาณ GPS GPRS และ RFID
    - สามารถบันทึกแนวเส้นทางการเดินในแต่ละวันของช้างป่าได้โดยบันทึกอย่างน้อย 4 ตำแหน่ง/วัน โดยสามารถจัดเก็บไว้ภายในอุปกรณ์ได้
    - สามารถส่งข้อมูลบันทึกแนวเส้นทางการเดินผ่านสัญญาณดาวเทียมสื่อสาร และสนับสนุนการแสดงผลข้อมูลบนระบบแผนที่ อาทิ Google Map ได้
    - สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ภาคสนามในการปรับแต่งค่าคอนฟิกใหม่ผ่านสายสัญญาณชนิด USB Connector ได้
    - ชุดแบตเตอรี่สามารถติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่า สามารถจ่ายพลังงานได้อย่างพอเพียงในการบันทึกและส่งข้อมูล สามารถถอดเปลี่ยนเฉพาะชุดแบตเตอรี่ได้ตามอายุการใช้งานโดยไม่ต้องเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ติดตามช้างป่า
4) ดำเนินการออกแบบศูนย์ประมวลผลกลางการรับข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกล ประกอบไปด้วย
    4.1) การพัฒนาฐานข้อมูลกลางเพื่อการรับข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกล

- การกำหนดมาตรฐานการนำเข้าข้อมูลจากปลอกคอสัญญาณ GPS GPRS และ RFID
- การกำหนดมาตรฐานการสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บรวบรวมจัดสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่
- การกำหนดมาตรฐานข้อมูลประกอบด้านอื่น ๆ จากข้อมูลทุติยภูมิ เช่น ข้อมูลปริมาณฝน ข้อมูลประชากรตามแนวเขต ข้อมูลแหล่งเกษตรกรรมใกล้แนวป่า เป็นต้น

4.2) การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูล
- การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อการติดตามการปรากฏตัวและการเคลื่อนไหวของช้างป่า
- การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อแจ้งเตือนเหตุล่วงหน้าเพื่อการป้องกันและเฝ้าระวังช้างป่าที่ออกนอกพื้นที่ป่าอนุรักษ์
- การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์แหล่งหากินของช้างป่าในแต่ละช่วงเวลา
- การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลอื่น ๆ เพื่อการอนุรักษ์ช้างป่า

4.3) การพัฒนาส่วนการแสดงผลเพื่อการควบคุมและสั่งการ
- ระบบการแสดงผลผ่านหน้าจอเว็บไซต์
- ระบบการแสดงผลผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน
- ระบบการควบคุมสิทธิผู้ใช้งาน
- ระบบการเชื่อมต่อเพื่อการบริการข้อมูล (Web Service)

4.4) การพัฒนาทางเทคนิคในด้านอื่น ๆ
- การพัฒนาโมดูลในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ติดตามช้างป่า
- การพัฒนาโปรแกรมเชื่อมต่อ (API) ในการแสดงผลผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน
- การพัฒนาแนวทางการใช้ DRONE เพื่อตรวจสอบระยะไกล โดยให้ทำการทดสอบการจำลองสถานการณ์เมื่อมีช้างป่ารุกล้ำเข้าพื้นที่ตรวจตรา ให้เกิดการแจ้งเตือนมายังศูนย์ประมวลผลกลาง เพื่อทำการออกคำสั่งให้ DRONE ขึ้นบินไปยังจุดที่ตรวจพบและส่งข้อมูลกลับมายังศูนย์ประมวลผลกลางได้

4.5) ดำเนินการทดลองการใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล โดยทดลองกับกลุ่มช้างป่า อย่างน้อยเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อจัดทำเป็นแนวปฏิบัติในการติดตั้งอุปกรณ์กับช้างป่า

4.6) ดำเนินการจัดทำรายงานสรุปผลการศึกษาฉบับสมบูรณ์ อันประกอบด้วย
- อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล จำนวนอย่างน้อย 5 ชุด
- ผลการประเมินจากการทดลองการใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล ที่ได้ทดลองกับกลุ่มช้างป่า อย่างน้อยเป็นเวลา 1 เดือน พร้อมข้อเสนอแนะในการปรับปรุงต่อไป
- คู่มือวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล

บทที่ 2 แผนงานดำเนินงานโครงการ

โครงการศึกษาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์และระบบสำหรับติดตามช้างป่า มีระยะเวลาในการดำเนินงาน 365 วัน มีการกำหนดแผนงานดำเนินโครงการดังนี้

ตารางที่ 2.1 แผนงานดำเนินงานตามโครงการ

รายละเอียดกิจกรรม	จำนวนวัน	ระยะเวลา (วัน)											
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 จัดทำแผนงานดำเนินงานโครงการ และผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลในท้องตลาด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง													
1. ดำเนินการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลในท้องตลาด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ก่อนศึกษาวิจัยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล ที่มีความเหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศของประเทศไทย โดยศึกษาการประสมประสานการใช้คลื่นความถี่จากอุปกรณ์ต่าง ๆ - การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณดาวเทียม - การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ GPRS - การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ RFID - การศึกษาการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ VHF	30	↔											
2. จัดทำแผนการดำเนินงาน		↔											
รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 รายงานการวิเคราะห์ การออกแบบอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล และการออกแบบระบบติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล													
3. ดำเนินการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล จำนวน 5 ชุด ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้ - มีความเหมาะสมต่อการติดตามช้างป่า - สนับสนุนต่อการแจ้งการปรากฏตัวของช้างป่าโดยการเชื่อมต่อผ่านสัญญาณ GPS GPRS และ RFID	120		↔		↔								

รายละเอียดกิจกรรม	จำนวนวัน	ระยะเวลา (วัน)											
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
- สามารถบันทึกแนวเส้นทางการเดินในแต่ละวันของช้างป่าได้โดยบันทึกอย่างน้อย 4 ตำแหน่ง/วัน โดยสามารถจัดเก็บไว้ภายในอุปกรณ์ได้ - สามารถส่งข้อมูลบันทึกแนวเส้นทางการเดินผ่านสัญญาณดาวเทียมสื่อสาร และสนับสนุนการแสดงผลข้อมูลบนระบบแผนที่ อาทิ Google Map ได้ - สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ภาคสนามในการปรับแต่งค่าคอนฟิกใหม่ผ่านสายสัญญาณชนิด USB Connector ได้ - ชุดแบตเตอรี่สามารถติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่าสามารถจ่ายพลังงานได้อย่างพอเพียงในการบันทึกและส่งข้อมูล สามารถถอดเปลี่ยนเฉพาะชุดแบตเตอรี่ได้ตามอายุการใช้งานโดยไม่ต้องเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ติดตามช้างป่า													
4. ดำเนินการออกแบบศูนย์ประมวลผลกลางการรับข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกล ประกอบไปด้วย			←→	←→									
4.1) การพัฒนาฐานข้อมูลกลางเพื่อการรับข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกล ○ การกำหนดมาตรฐานการนำเข้าข้อมูลจากปลอกคอสัญญาณ GPS GPRS และ RFID ○ การกำหนดมาตรฐานการสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บรวบรวมจัดสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ ○ การกำหนดมาตรฐานข้อมูลประกอบด้านอื่น ๆ จากข้อมูลทุติยภูมิ เช่น ข้อมูลปริมาณฝน ข้อมูลประชากรตามแนวเขต ข้อมูลแหล่งเกษตรกรรมใกล้แนวป่า เป็นต้น			←→										
4.2) การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูล				←→									

รายละเอียดกิจกรรม	จำนวนวัน	ระยะเวลา (วัน)											
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
○ การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อการติดตามการปรากฏตัวและการเคลื่อนไหวของช้างป่า ○ การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อแจ้งเตือนเหตุล่วงหน้าเพื่อการป้องกันและเฝ้าระวังช้างป่าที่ออกนอกพื้นที่ป่าอนุรักษ์ ○ การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์แหล่งหากินของช้างป่าในแต่ละช่วงเวลา ○ การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลอื่น ๆ เพื่อการอนุรักษ์ช้างป่า													
4.3) การพัฒนาส่วนการแสดงผลเพื่อการควบคุมและสั่งการ ○ ระบบการแสดงผลผ่านหน้าจอเว็บไซต์ ○ ระบบการแสดงผลผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน ○ ระบบการควบคุมสิทธิผู้ใช้งาน ○ ระบบการเชื่อมต่อเพื่อการบริการข้อมูล (Web Service					↔								
4.4) การพัฒนาทางเทคนิคในด้านอื่น ๆ ○ การพัฒนาโมดูลในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ติดตามช้างป่า ○ การพัฒนาโปรแกรมเชื่อมต่อ (API) ในการแสดงผลผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน ○ การพัฒนาแนวทางการใช้ DRONE เพื่อตรวจสอบระยะไกล โดยให้ทำการทดสอบการจำลองสถานการณ์เมื่อมีช้างป่ารุกล้ำเข้าพื้นที่ตรวจตรา ให้เกิดการแจ้งเตือนมายังศูนย์ประมวลผลกลาง เพื่อทำ			↔		↔								

รายละเอียดกิจกรรม	จำนวนวัน	ระยะเวลา (วัน)											
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
การออกคำสั่งให้ DRONE ขึ้นบินไปยังจุดที่ตรวจพบและส่งข้อมูลกลับมายังศูนย์ประมวลผลกลางได้													
รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3 รายงานการพัฒนาและทดสอบอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล และระบบฯ เบื้องต้น รวมถึงอุปกรณ์และระบบต้นแบบ													
5. ดำเนินการทดลองการใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล โดยทดลองกับกลุ่มช้างป่า อย่างน้อยเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อจัดทำเป็นแนวปฏิบัติในการติดตั้งอุปกรณ์กับช้างป่า ○ ระยะการทดลองติดในช้างทดลอง โดยให้ผู้เลี้ยงควบคุมเส้นทางการเดินของช้างไม่เกิน 1 ตารางกิโลเมตร ○ ระยะการทดลองแบบปล่อยเดิน โดยใช้ปัจจัยด้านเวลาในการผลของการส่งข้อมูล อาจจะเป็นช่วงเวลา คือ ทุก 8 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์ผลความแม่นยำ ○ ระยะการทดลองเต็มรูปแบบ โดย ปล่อยอุปกรณ์ติดตามไว้กับสัตว์ทดลอง อย่างน้อย 1 เดือน และ เข้าพื้นที่เพื่อสอบถามกับทางผู้เลี้ยงว่า ปฏิกิริยาของช้างทดลองต่ออุปกรณ์ติดตามเป็นเช่นไร เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงก่อนส่งมอบ	240					←	—	—	→				
6. เก็บผลการทดลองและสรุปปัญหา อุปสรรค						←	—	—	→				
7. จัดเตรียม (ร่าง) การประเมินจากการทดลองการใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล								←	→				
รายงานฉบับสมบูรณ์													
8. จัดทำรายงานการนำเสนอระบบระบบติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล (ที่สมบูรณ์) รวมถึง อุปกรณ์และระบบต้นแบบที่ได้ทำการพัฒนา	365											←	→

รายละเอียดกิจกรรม	จำนวนวัน	ระยะเวลา (วัน)											
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
9. รายงานผลการประเมินจากการทดลองการใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล ที่ได้ทดลองกับกลุ่มสัตว์ทดลอง อย่างน้อยเป็นเวลา 1 เดือน พร้อมข้อเสนอแนะในการปรับปรุงต่อไป												←	→
10. อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล จำนวน 5 ชุด และ ระบบพร้อมต้นฉบับโปรแกรม (Source Code)													↔
11. เสาอากาศรับสัญญาณ (High range antenna) จำนวน 2 ชุด													↔
12. กล้องดักถ่ายภาพอัตโนมัติ (Camera trap) จำนวน 2 ชุด													↔
13. เครื่องแม่ข่ายและฐานข้อมูลเพื่อประมวลผลจำนวน 1 ชุด													↔
14. คู่มือวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล													↔
15. จัดส่งรายงานฉบับสมบูรณ์													↔
16. รายงานผลที่ได้รับจากการใช้จ่ายเงินทุนต่อสำนักงาน กสทช. ตามแบบและระยะเวลาที่สำนักงานกำหนด													↔

บทที่ 3 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลในท้องตลาด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การใช้งานอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลในประเทศไทย

ในการศึกษาพฤติกรรมของสัตว์ นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้เทคนิคต่าง ๆ อาทิเช่น การเฝ้าสังเกตสัตว์ในป่าและตามแหล่งที่อยู่อาศัย การจำลองสภาพที่อยู่ในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการติดตามระยะไกลด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารรูปแบบต่าง ๆ เทคนิคเหล่านี้ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์เข้าใจพฤติกรรมและการดำรงชีวิตของสัตว์ได้ดีขึ้น โดยพิจารณาจากพฤติกรรมการหาอาหาร การเคลื่อนที่ของสัตว์ในแต่ละวัน ตลอดจนการเคลื่อนที่ย้ายถิ่นในแต่ละฤดู เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อระบบนิเวศน์ เช่น แหล่งที่อยู่อาศัย และการอยู่ร่วมกันของสัตว์ประเภทต่าง ๆ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมเหล่านี้ ยังสามารถใช้เพื่อเรียนรู้วิธีควบคุมประชากรและหลากหลายของพันธุ์สัตว์ที่อาจส่งผลกระทบต่อกัน จำนวนประชากรที่เพียงพอต่อการดำรงอยู่ของสายพันธุ์เฉพาะถิ่น โดยเฉพาะภายใต้สภาพภูมิอากาศโลกที่เปลี่ยนไป

ในประเทศไทยมีการศึกษาวิจัยอุปกรณ์ติดตามช้างป่ามาเป็นเวลานาน แต่โดยมากมักเป็นงานวิจัยศึกษาที่ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้จริง เช่น ระบบติดตามสัตว์เลี้ยงโดยวิธีใช้จุดตรวจสอบบนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย[1] โดยการเลือกใช้เซ็นเซอร์โหนดที่ใช้พลังงานต่ำและมีขนาดเล็กจำนวน 11 โหนด จัดสร้างเป็นระบบติดตามและระบุตำแหน่งของสัตว์เลี้ยง โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และนำเอาสมการ Path loss model เข้ามาช่วยในการ หาระยะทางระหว่างโหนดเซ็นเซอร์ที่ติดกับสัตว์เลี้ยง ขณะเข้ามาทำการตรวจสอบที่จุดตรวจสอบ (โนด Base Station) หรือ ระบบติดตามช้างป่าแบบประหยัด[2] ที่พัฒนาออกแบบอุปกรณ์ที่ถูกนำไปติดที่ช้างป่าจะระบุพิกัดของช้างป่าโดยใช้จีพีเอสแล้วส่งพิกัดของช้างป่ากลับมาที่ผู้ติดตามจากระยะไกลโดยใช้จีพีอาร์เอส ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งมาที่เครื่องแม่ข่ายแล้วบันทึกลงฐานข้อมูล โดยผู้ติดตามจะสามารถเข้าไปดูพิกัดของช้างป่าได้ที่เว็บไซต์ซึ่งจะทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลในรูปแบบของแผนที่ และ ระบบติดตามช้าง (ELEPHANT TRACKING SYSTEM)[3] ซึ่งเป็นการพัฒนาระบบแสดงตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของช้าง เพื่อศึกษาพฤติกรรมระยะยาว และติดตามการเดินทางของช้าง โดยออกแบบเป็นอุปกรณ์ติดตามแบบปลอกคอด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารระยะไกล (Long Range Communication : LoRa) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) โดยใช้การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ Mesh Topology เพื่อให้อุปกรณ์ที่อยู่เกินระยะการสื่อสารกับปลายทางยังสามารถส่งข้อมูลมายังปลายทางได้โดยผ่านอุปกรณ์ที่ยังอยู่ในระยะการสื่อสารกับปลายทาง เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยอุปกรณ์ติดตามช้างป่าที่มีการนำมาใช้จริง ได้แก่ กลุ่มงานวิจัยช้างป่า สำนักอนุรักษ์ช้างป่า โดยกลุ่มงานวิจัยช้างป่าได้ดำเนินการติดวิทยุติดตามตัวสัตว์ระบบดาวเทียมกับนกอพยพเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันการระบาดของโรคไข้หวัดนกในนกธรรมชาติ[4] เพื่อศึกษาวิจัยเส้นทางการอพยพ

[1] ชาญวิช สุวรรณพงศ์ และ ชัชชัย คุณบัว, "ระบบติดตามสัตว์เลี้ยงโดยวิธีใช้จุดตรวจสอบบนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย", Graduate Research Conference, GRC2013, pp.188-194, 2013

[2] รัชชานนท์ รัตนธรรม, "ระบบติดตามช้างป่าแบบประหยัด", ปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558

[3] กานติภา สมหวังสกุล, กีรติ กสิสุวรรณ และ คณะ, "ระบบติดตามช้าง(ELEPHANT TRACKING SYSTEM)", ปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2563

[4] สิริมาส คำใสอินทร์, การติดวิทยุติดตามตัวสัตว์ระบบดาวเทียมกับนกอพยพ, จุลสารกรมอุทยานแหงชาติ ช้างป่า และพันธุพืช สำนักอนุรักษ์ช้างป่า, ปีที่ 2 ฉบับที่ 12 ประจำเดือน กุมภาพันธ์-มีนาคม 2552

ของนกอพยพชนิดที่สำคัญและเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกในระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ - มีนาคม 2552 โดยได้ดำเนินการติดวิทยุติดตามตัวสัตว์ระบบดาวเทียมกับนกอพยพเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันการระบาดของโรคไข้หวัดนกกับนกอพยพ ในนกอพยพ 4 ชนิด จำนวน 10 ตัว ได้แก่ นกปากห่าง 4 ตัว นกนางนวลธรรมดา 2 ตัว นกชายเลน 2 ตัว และนกเป็ดน้ำ 2 ตัว

รูปที่ 3.1 โครงการติดวิทยุติดตามตัวสัตว์ระบบดาวเทียมกับนกอพยพเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันการระบาดของโรคไข้หวัดนก

นอกจากนี้ ยังมีโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้อกับการเฝ้าระวังช้างป่า แต่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่า ได้แก่ โครงการเฝ้าระวังช้างป่าด้วยระบบเตือนภัยล่วงหน้า[5] (Elephant Smart Early Warning) ที่พัฒนาขึ้น โดยทีมนวัตกรกลุ่มทรู ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยมีจุดเด่นในการเฝ้าระวังช้างป่าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งช่วยลดปัญหาความขัดแย้งระหว่างคนกับช้างป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาติกุยบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ และยังไม่ทำให้ช้างได้รับอันตรายจากระบบการเฝ้าระวังดังกล่าวอีกด้วย การทำงานของระบบเป็นการใช้หลายเทคโนโลยีร่วมกัน ได้แก่ การตรวจจับภาพ เทคโนโลยีสื่อสาร ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things – IoT) ร่วมกับการทำงานของเจ้าหน้าที่ป่าไม้ หน่วยลาดตระเวน กรมอุทยานแห่งชาติกุยบุรี และเจ้าหน้าที่องค์การกองทุนช้างป่าโลกสากล (World Wildlife Fund for Nature - WWF) เมื่อช้างเดินทางเคลื่อนที่เข้าใกล้กับแหล่งชุมชนที่อยู่อาศัยที่ได้มีการติดตั้งกล้องตรวจจับภาพ ภาพที่ถูกตรวจจับได้จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์สื่อสาร IoT ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อทำการแจ้งเตือนไปยังเจ้าหน้าที่ลาดตระเวน และทำการผลักดันช้างป่าให้ออกห่างจากแหล่งชุมชนที่อยู่อาศัยหรือแหล่งเพาะปลูกของเกษตรกร เพื่อลดความขัดแย้งระหว่างช้างป่ากับชุมชมโดยรอบป่า

[5] http://www.cp-enews.com/news/details/cpcsr/2886

รูปที่ 3.2 โครงการเฝ้าระวังช้างป่าด้วยระบบเตือนภัยล่วงหน้า

กรมอุทยานแห่งชาติฯ ร่วมกับองค์การกองทุนช้างป่าโลกสากล ดำเนินโครงการวิจัยชุดปลอกคอสัญญาณดาวเทียมสำหรับช้างป่า เพื่อติดตามพฤติกรรม และการเคลื่อนที่ของฝูงช้างป่า ในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์ช้างป่าเขาอ่างฤไน จังหวัดฉะเชิงเทรา องค์ประกอบของอุปกรณ์ชุดปลอกคอแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับส่งสัญญาณ แบตเตอรี่ และเครื่องส่งสัญญาณ รวมทั้งสายรัด ที่ทำจากโพลีเมอร์ ผสมยางพารา มีความคงทน และยังสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

รูปที่ 3.3 (ก)[6]

[6] https://donate.wwf.or.th/th/campaign/35

รูปที่ 3.3 (ข)[7]

รูปที่ 3.3 การติดปลอกคอสัญญาณดาวเทียมให้กับช้างป่า เพื่อติดตามพฤติกรรม และการเคลื่อนที่ของฝูงช้างป่า ในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์ช้างป่าเขาอ่างฤไน จังหวัดฉะเชิงเทรา[8]

[7] https://www.wwf.or.th/?uNewsID=341071

[8] https://donate.wwf.or.th/th/campaign/35

3.2 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลในท้องตลาด

อุปกรณ์ติดตามสัตว์ ได้มีการพัฒนา จนออกวางจำหน่ายในหลายรูปแบบ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานประเภทต่าง ๆ ซึ่งสามารถแยกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.2.1 อุปกรณ์ติดตามสัตว์เลี้ยง

อุปกรณ์ติดตามสัตว์เลี้ยงมักมีขนาดเล็ก เหมาะกับสัตว์เลี้ยงประเภทสุนัขและแมว โดยมีแบตเตอรี่ภายในเป็นส่วนให้พลังงาน ซึ่งสามารถประจุไฟนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การติดตามสัตว์จะใช้เทคโนโลยีการติดตามหลายรูปแบบ เช่น

1) ระบบติดตามสัตว์เลี้ยงด้วยคลื่นวิทยุ โดยจะอุปกรณ์ติดตามสัตว์จะปล่อยคลื่นที่กำลังส่งต่ำ ๆ และใช้ร่วมกันเครื่องรับสัญญาณ มีระยะตรวจจับสัญญาณได้ประมาณ 100 เมตรในที่โล่ง และอุปกรณ์ติดตามสัตว์สามารถใช้งานได้ประมาณ 20-30 วัน ขึ้นกับขนาดของแบตเตอรี่ เครื่องรับจะแสดงความแรงของสัญญาณที่ตรวจจับได้ หากอุปกรณ์ติดตามอยู่ใกล้เครื่องรับจะแสดงค่าสัญญาณสูง ในทางตรงข้าม หากสัตว์เลี้ยงเคลื่อนที่ออกนอกระยะที่เครื่องรับจะตรวจจับได้ เครื่องรับจะส่งเสียงเตือนผู้เลี้ยงให้ทราบว่าสัตว์เลี้ยงที่ติดตั้งอุปกรณ์ติดตามได้ออกนอกระยะติดตามแล้ว ตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภทนี้ แสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ติดตามสัตว์เลี้ยงด้วยสัญญาณวิทยุ[9]

2) อุปกรณ์ติดตามด้วยสัญญาณ GPS อุปกรณ์ประเภทนี้จะกินกำลังงานไฟมาก ทั้งจากวงจรรับสัญญาณดาวเทียม GPS พร้อมทั้งส่วนรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้มีอายุการใช้งานต่อการประจุไฟสั้น ประมาณ 1-4 วัน ขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์และขนาดแบตเตอรี่ภายใน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ผู้ใช้งานสามารถทราบตำแหน่งพิกัดของสัตว์เลี้ยงบนโปรแกรมประยุกต์ที่ผู้ผลิตจัดหาให้ เพื่อแสดงบนแผนที่

[9] https://www.tracktrick.com/

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ติดตามสัตว์เลี้ยงด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS [10]

3) ระบบติดตามสัตว์เลี้ยงระบุตำแหน่งด้วยหลายสัญญาณ โดยการนำเอาข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากเครื่องรับหลายสัญญาณได้แก่พิกัดตำแหน่งจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS, Wi-Fi based positioning (WPS) และ Cell ID (เสาสัญญาณโทรศัพท์ที่สามารถใช้ระบุตำแหน่งได้) ร่วมกัน ทำให้อุปกรณ์ติดตามสามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำแม้จะอยู่ภายในอาคารที่อับสัญญาณดาวเทียม GPS แต่ยังสามารถรับสัญญาณ Wi-Fi หรือสัญญาณจากโครงข่ายสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ตัวอย่างอุปกรณ์ประเภทนี้ได้แก่ Samsung Connect Tag ซึ่งมีขนาดเล็กสามารถใช้ได้ทั้งกลางแจ้งและในอาคาร มีอายุการใช้งานต่อการชาร์จไฟหนึ่งครั้งสูงสุด 7 วัน โดยใช้ระบบ Narrowband network technology (NB-IoT, Cat.M1) ในการส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้โดยใช้ชิปติดต่อเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ eSIM

รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ติดตามที่ใช้หลายสัญญาณร่วมกัน[11]

[10] www.superspygadget.com/product/78/gps-dog613-ติดตามสุนัข-ติดตามสัตว์เลี้ยง

[11] https://droidsans.com/samsung-announced-connect-tag/

3.2.2 อุปกรณ์ติดตามสัตว์เลี้ยงปศุสัตว์

อุปกรณ์ติดตามสัตว์ประเภทนี้ ถูกออกแบบมาให้ใช้กับสัตว์จำนวนมากภายใต้พื้นที่ควบคุม โดยอาศัยเทคโนโลยี LoRa (หรืออุปกรณ์เสริมแบบอื่น เช่น NB-IoT) สำหรับการติดตามสัตว์แบบมีแบตเตอรี่ที่สามารถนำมาประจุไฟใหม่ได้ มักออกแบบให้เป็นสายคล้องคอเพื่อสะดวกต่อการถอดเข้าออก ข้อมูลตำแหน่ง GPS ของปลอกคอจะอัปโหลดไปยังเกตเวย์ LoRaWAN ตามเวลาที่กำหนด การใช้งานปลอกคอสามารถสั่งการผ่านระบบไร้สาย มีเครื่องเครือข่ายทำหน้าที่ควบคุมจัดการการเข้าถึงอุปกรณ์ติดตาม การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ผล ตัวอย่างอุปกรณ์ประเภทนี้ได้แก่ LoRaWAN GPS Cattle Tracker ของบริษัท LPWAN Space

รูปที่ 3.7 [12] อุปกรณ์ติดตามสัตว์แบบ LoRaWAN GPS Cattle Tracker

3.2.3 อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่า

อุปกรณ์ติดตามสัตว์ประเภทนี้ ถูกออกแบบมาให้ใช้กับสัตว์ในพื้นที่กว้าง มีการเข้าถึงตัวสัตว์ได้ยาก ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษ โดยเฉพาะแหล่งพลังงานสำหรับอุปกรณ์ รูปแบบของอุปกรณ์และขนาดจะขึ้นอยู่กับสัตว์แต่ละประเภท ด้วยเทคโนโลยีในการติดตามสัตว์ที่แตกต่างกันขึ้นกับการใช้งาน เช่น การติดตามสัตว์ด้วยคลื่นวิทยุ VHF สำหรับพื้นที่เฉพาะบริเวณ เหมาะสำหรับการติดตามสัตว์เป็นระยะเวลานาน ๆ หลายปี เนื่องจากอุปกรณ์ติดตามสัตว์ประเภทนี้ใช้กำลังไฟต่ำ โดยเครื่องรับจะทำการสแกนหาสัญญาณวิทยุที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ติดตามสัตว์ โดยแสดงผลในรูปความแรงของสัญญาณที่ตรวจจับได้ ตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภทนี้ เช่น Biotracker VHF Receiver

รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าโดยใช้คลื่นวิทยุ Biotracker VHF Receiver[13]

[12] https://www.lpwanspace.com/products/lorawan-gps-cattle-tracker

[13] https://www.lotek.com/wp-content/uploads/2017/10/Biotracker-VHF-Receiver-Spec-Sheet.pdf

สำหรับการติดตามสัตว์ป่าที่มีการเคลื่อนย้ายถิ่นเป็นพื้นที่กว้าง มักใช้อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GPS เนื่องจากครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่า ตัวอย่างของอุปกรณ์ประเภทนี้ เช่น SIRTRACK

รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS [14]

อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าที่อาศัยหลายเทคนิคร่วมกัน เช่น WildCell มีการนำเทคโนโลยีการรับสัญญาณดาวเทียม GPS ในการระบุตำแหน่งร่วมกับข้อมูลพิกัดของโครงข่ายสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เพื่อใช้ระบุตำแหน่งของสัตว์ป่า

รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าที่ใช้เทคโนโลยีดาวเทียมร่วมกับโครงข่าย GSM[15]

[14] https://www.lotek.com/products/

[15] https://www.lotek.com/wp-content/uploads/2018/05/WildCell-Series-Spec-Sheet.pdf

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการใช้งานปลอกคอช้างป่าในประเทศเคนย่า[16]

รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างปลอกคอติดตามช้างป่า ที่ผลิตโดยบริษัท Savannah Tracking Ltd ประเทศเคนย่า โดยใช้เทคโนโลยี GPS ทำงานร่วมกับระบบ GSM และสามารถส่งสัญญาณในช่วงความถี่ VHF (140- 173 MHz) และ UHF (433 – 450 MHz)

[16] http://www.savannahtracking.com/elephant-models/

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบติดตามสัตว์สามารถแบ่งได้เป็นสามประเภทคือ การติดตามด้วยวิทยุสื่อสาร (VHF Radio Tracking) ดาวเทียมติดตาม (Satellite tracking) และ การติดตามด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS tracking)[17]

รูปที่ 3.12 ระบบติดตามสัตว์ด้วยวิทยุสื่อสาร VHF Radio Tracking

1) **ระบบติดตามด้วยวิทยุสื่อสาร VHF Radio Tracking**[18]
ใช้โดยนักวิจัยมาตั้งแต่ปี 1963 สัตว์จะถูกดมยาสลบหรือทำให้ผ่อนคลายในสภาวะครึ่งหลับครึ่งตื่นก่อนที่จะถูกติดตั้งเครื่องส่งวิทยุ ระหว่างติดตั้งอุปกรณ์สื่อสาร นักวิจัยอาจทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพและสภาพของสัตว์เพื่อให้แน่ใจว่าทุกอย่างเรียบร้อยดี จนเมื่อการตั้งค่าเครื่องส่งสัญญาณวิทยุเสร็จสมบูรณ์ จึงปล่อยสัตว์นั้นกลับสู่สภาวะแวดล้อมเดิม จากนั้นเครื่องส่งจะเริ่มส่งสัญญาณไปยังเสาอากาศวิทยุและตัวรับสัญญาณซึ่งที่อยู่ไม่ไกลนักเพื่อค้นหาตำแหน่งสัตว์ผ่านสัญญาณวิทยุ VHF ข้อเสียของการติดตามด้วยคลื่นสัญญาณวิทยุนี้ คือระยะห่างของช่วงการสื่อสารที่จำกัด นักวิจัยจะต้องอยู่ใกล้กับสัตว์เพียงพอเพื่อให้เสาอากาศวิทยุสามารถรับสัญญาณจากเครื่องส่งสัญญาณวิทยุที่ติดตั้งบนสัตว์ได้ ดังนั้นนักวิจัยที่ใช้เสาอากาศและตัวรับสัญญาณจึงสามารถค้นหาสัตว์จากบนพื้นดิน บนยานพาหนะ เครื่องบินหรือยานอากาศ เป็นต้น เนื่องจากตัวส่งสัญญาณออกอากาศสัญญาณอย่างต่อเนื่อง ทำให้แบตเตอรี่หมดเร็ว เครื่องส่งสัญญาณวิทยุจึงมีขนาดค่อนข้างใหญ่และใช้กับสัตว์ขนาดใหญ่เท่านั้น แม้เทคโนโลยีปัจจุบันมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีขนาดเครื่องส่งสัญญาณลดลง ซึ่งสามารถติดกับสัตว์ขนาดเล็กได้ แต่ก็จะติดตามได้ในระยะทางจำกัด

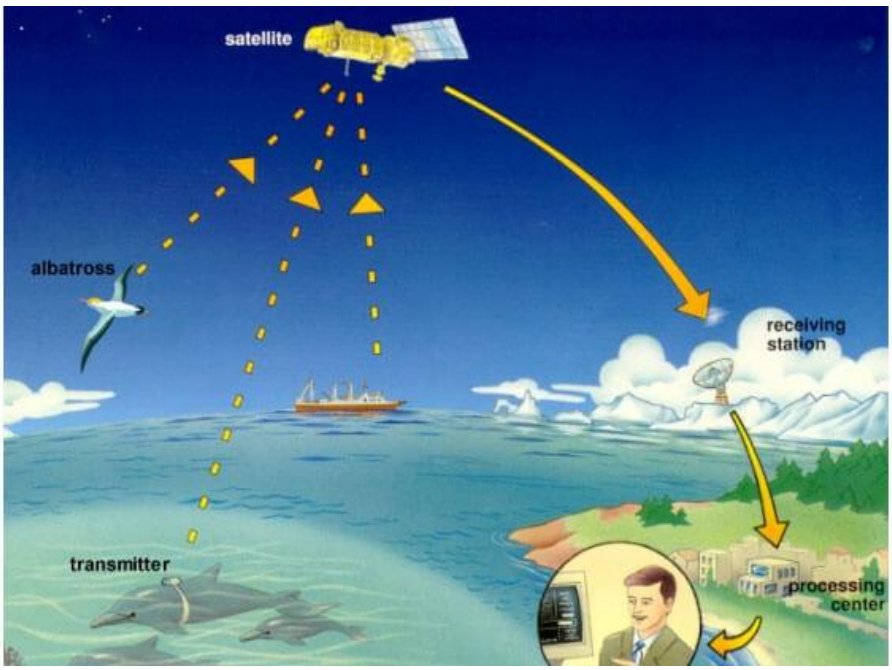
2) ระบบติดตามด้วยดาวเทียม เป็นการพัฒนาต่อจากเครื่องติดตามด้วยคลื่นวิทยุ[19] โดยการเพิ่มระยะการติดตามด้วยดาวเทียมแทนที่จะส่งสัญญาณวิทยุไปยังเครื่องรับสัญญาณวิทยุ สัญญาณ สัญญาณจะถูกส่งไปยังดาวเทียม โดยดาวเทียมจะทำหน้าที่เป็นสถานีรับสัญญาณและถ่ายทอดสัญญาณกลับมายังเครื่องรับบนโลก ทำให้นักวิจัยสามารถติดตามการเคลื่อนที่

[17] V. Galanti, G. Tosi and R. Rossi, “The use of GPS radio-collars to track elephants (Loxodonta africana) in the Tarangire National Park (Tanzania),” C.A., 2000.

[18] https://www.wikiwand.com/en/Animal_migration_tracking#/Radio_tracking

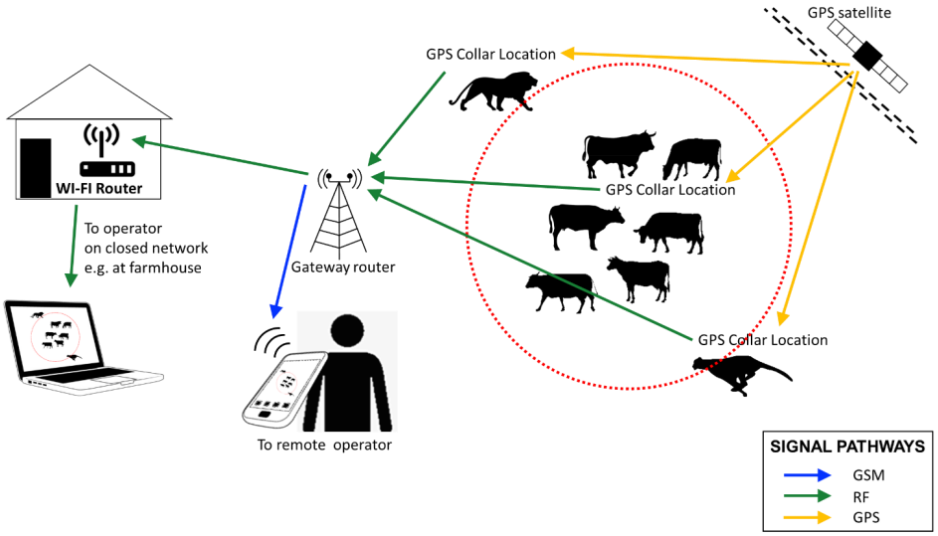
[19] https://singularityhub.com/2012/05/21/satellites-track-humans-now-its-the-animals-turn/

ของสัตว์โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ใกล้สัตว์เพื่อรับสัญญาณติดตามโดยตรง นอกจากนี้ยังช่วยหลีกเลี่ยงการรบกวนการดำรงชีวิตสัตว์จากกระบวนการติดตาม



รูปที่ 3.13 ระบบติดตามสัตว์ป่าด้วยวิทยุสื่อสารผ่านดาวเทียม Satellite tracking system

3) **ระบบติดตามสัตว์ป่าด้วยสัญญาณ GPS**[20] เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ปัจจุบันเป็นที่นิยม ด้วยการวางเครื่องรับ GPS ไว้ติดตัวกับสัตว์ป่า เครื่องรับจะรับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมหลายดวงเพื่อคำนวณตำแหน่ง ข้อมูลที่รวบรวมโดยเครื่องรับจะถูกส่งไปยังนักวิจัยผ่านช่องทางการสื่อสารอื่น เช่น ความถี่คลื่นวิทยุคลื่นสั้น ผ่านดาวเทียมการสื่อสารระยะไกล หรือหลายเทคนิคร่วมกันของเทคนิคข้างต้น [21]

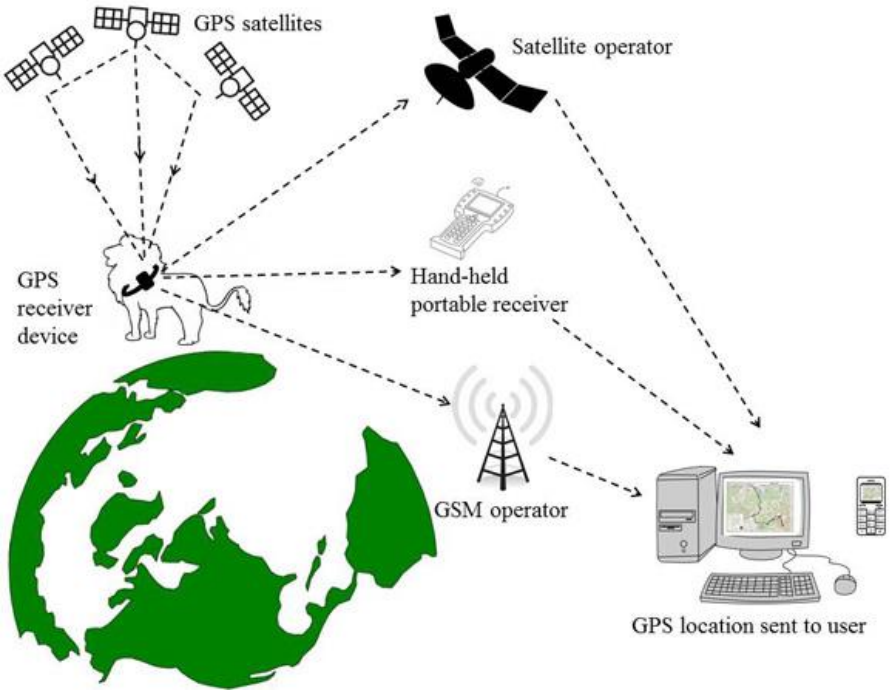


รูปที่ 3.14 ระบบติดตามสัตว์ป่าด้วยสัญญาณ GPS Satellite tracking system

[20] L. Quaglietta, H. MartinsB., A. DeJongh, A. Mira, L. Boitani, "A Low - Cost GPS GSM / GPRS Telemetry System : Performance in Stationary Field Tests and Preliminary Data on Wild Otters (Lutra lutra)," PLoS ONE , 2012.

[21] R.M. Priyadarshana and D. Balasuriya, “DESIGN OF AN IMPROVED ELEPHANT TRACKING SYSTEM.”,2017.

จะเห็นได้ว่าเพื่อให้การติดตามสัตว์ป่ามีประสิทธิภาพ นักวิจัยอาจใช้เทคนิคการติดตามสัตว์ป่าหลายเทคนิคร่วมกัน เนื่องจากแต่ละเทคนิคต่างมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าประเภทนี้ มักจะมีขนาดใหญ่และกินพลังงานสูงเนื่องจากต้องรองรับการใช้งานการสื่อสารหลากหลายรูปแบบ ดังนั้นอุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าจึงมักมีขนาดใหญ่และมีอายุการใช้งานไม่นานนัก เหมาะกับการติดตามพฤติกรรมสัตว์ในระยะเวลาสั้น ๆ และใช้ได้กับสัตว์ที่มีขนาดใหญ่โตพอจะรองรับขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่านี้ได้



รูปที่ 3.15 ระบบติดตามสัตว์ป่าโดยใช้หลายเทคนิคร่วมกัน[22]

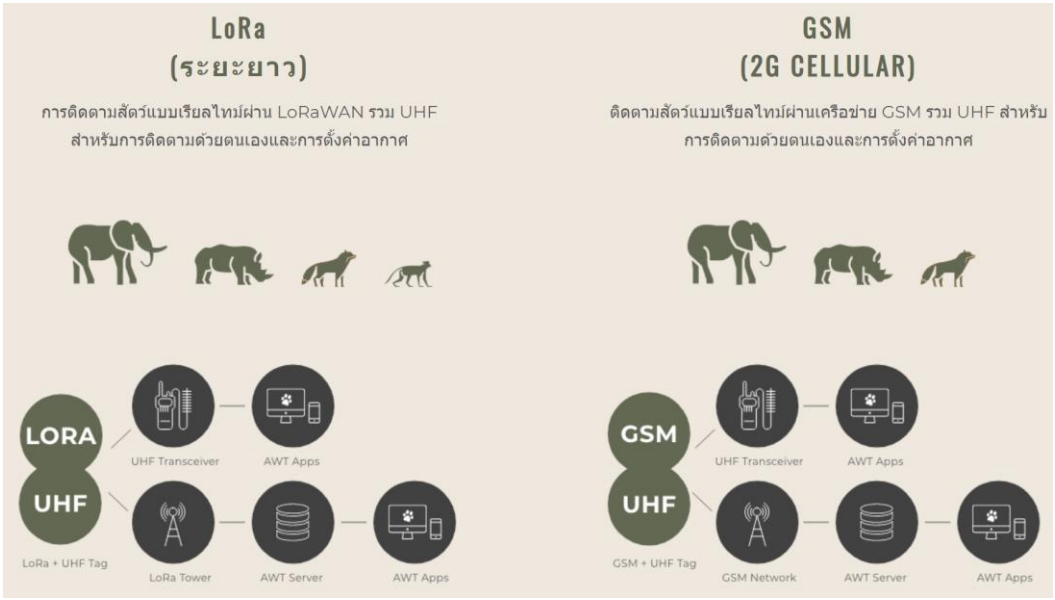
[22] Nadia de Souza, "Real-time monitoring: How timely location data can keep wildlife out of danger zones,WildTech: Technology for conservation ,MONGABAY ,18 June 2015.

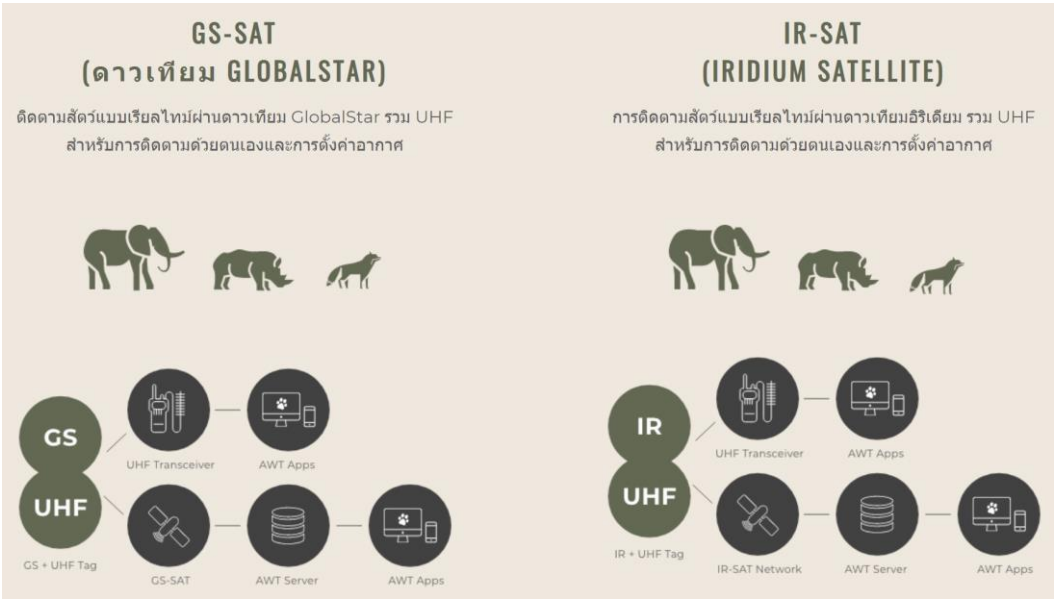
	VHF (Very-High Frequency)	UHF (Ultra-High Frequency)	LoRa (Long Range)	GSM (2G Cellular)	GS-SAT (GlobalStar Satellite)	IR-SAT (Iridium Satellite)	IM-SAT (Inmarsat Satellite)	OGI-SAT (Inmarsat Satellite)
Budget	Low	Low	Medium	High	High	High	High	High
Fitment	Collar, Tag & Implant	Collar, Tag & Implant	Collar, Tag & Implant	Collar, Tag	Collar, Tag	Collar, Tag	Collar	Collar
Coverage	Long Range	Short Range	Very Long Range	Cellular Network	Satellite	Satellite	Satellite	Satellite
GPS	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Over the air settings	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Size	S, M, L, XL	S, M, L, XL	S, M, L, XL	M, L, XL	M, L, XL	M, L, XL	XL	XL

รูปที่ 3.16 ผลการเปรียบเทียบปลอกคอติดตามสัตว์ด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ [23]

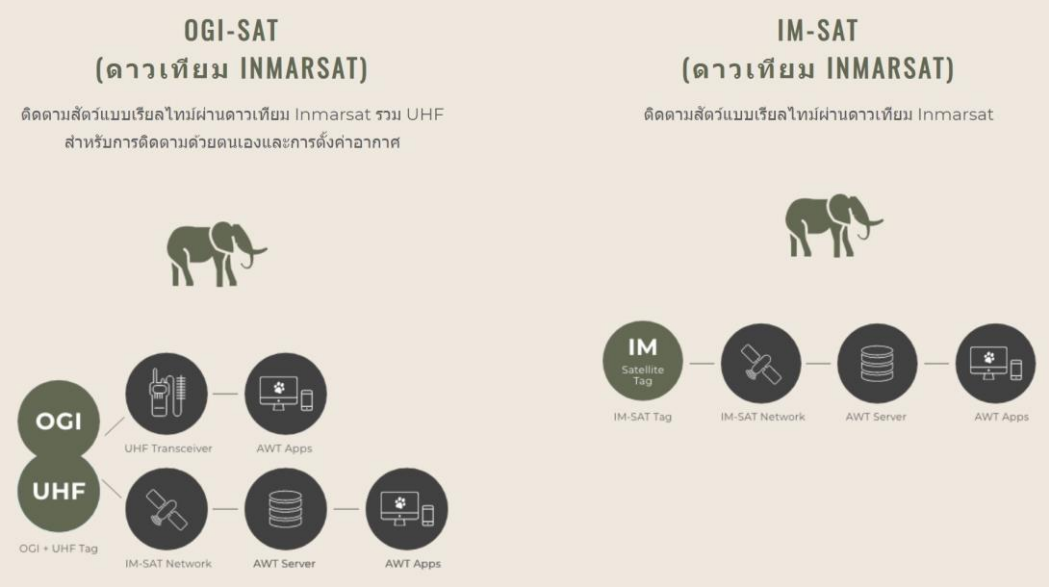
[23] https://awt.co.za/product/

3.4 ตัวอย่างนวัตกรรมของปลอกคอติดตามสัตว์จากเทคโนโลยีต่าง ๆ [24]





[24] https://awt.co.za/wp-content/uploads/2019/08/AWT-PDF_V7_opt.pdf#page=6



3.5 ข้อควรพิจารณาในการเลือกปลอกคอติดตามช้าง[25]

ปลอกคอติดตามช้าง โดยทั่วไปจะประกอบด้วย เครื่องรับสัญญาณ GPS, เครื่องส่งสัญญาณแบบ VHF, แบตเตอรี่ และเครื่องส่งสัญญาณดาวเทียม หรือ GSM

ส่วนปลอกคอ (กล่องบรรจุอุปกรณ์ติดตาม)

- ในการติดตั้งปลอกคอนั้น โดยทั่วไปจะทำการติดตั้งไว้ที่บริเวณด้านบนของหัวช้าง เพื่อให้สามารถรับส่งสัญญาณได้ดี แต่การติดตั้งในบริเวณดังกล่าว อุปกรณ์ติดตามอาจได้รับความเสียหายจากการเคลื่อนไหว หรือพฤติกรรมตามธรรมชาติของช้าง
- ในกรณีที่ทำการติดตั้งปลอกคอ ในบริเวณด้านล่างของหัวช้าง จะช่วยลดความเสียหายจากการเคลื่อนไหว หรือพฤติกรรมตามธรรมชาติของช้างได้ แต่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณของอุปกรณ์ติดตาม ซึ่งในกรณีนี้ การใช้เครื่องส่งแบบ VHF จะให้ค่าประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานที่ดีกว่าการใช้เครื่องส่งสัญญาณดาวเทียม หรือ GSM และยังง่ายต่อการปรับปรุงอุปกรณ์

ส่วนเข็มขัดรัดปลอกคอ

- ในการออกแบบเข็มขัดรัดปลอกคอนั้น จะต้องทำการออกแบบให้สามารถปรับขนาดของปลอกคอให้เหมาะสมกับช้างที่ขนาดที่แตกต่างกันได้
- ในการพิจารณาวัสดุสำหรับใช้ทำเข็มขัดรัดปลอกคอนั้น จะต้องคำนึงถึงความทนทาน เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีอายุการใช้งาน และความทนทานที่แตกต่างกัน
- การถอดเปลี่ยนปลอกคอนั้น เป็นการดำเนินการที่ต้องคำนึงถึงประเด็นสวัสดิภาพของสัตว์เป็นสำคัญ กล่าวคือ ขั้นตอนในการถอดเปลี่ยนปลอกคอ อาจจะต้องมีการวางยาสลบ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อชีวิตของช้างได้ ในบางประเทศ ตัวอย่างเช่น ประเทศศรีลังกา มีกฎห้ามมิให้มีการถอดปลอกคอติดตาม แต่ปลอกคอจะหลุดเอง เนื่องจากการเสื่อมสภาพของวัสดุ โดยปกติจะใช้เวลาไม่เกิน 5 ปี
- การสึกหรอ หรือเสื่อมสภาพของเข็มขัดปลอกคอ นอกจากจะขึ้นอยู่กับวัสดุแล้ว ยังขึ้นอยู่กับพฤติกรรม และถิ่นที่อยู่อาศัยของช้างอีกด้วย

[25] http://www.ccrsl.org/userobjects/2631_939_Pastorini-15-CompareCollars.pdf

- การออกแบบเข็มขัดรัดปลอกคอ ด้วยวัสดุที่มีความยืดหยุ่น และออกแบบให้เข้ากับรูปทรงคอ จะช่วยป้องกันส่วนหัว และใบหูของช้าง รวมถึงป้องกันการล่วงหล่นของปลอกคอได้

เครื่องส่งสัญญาณ

- ในการออกแบบปลอกคอ จะต้องพิจารณาถึงแนวทางในการค้นหา และกู้คืนปลอกคอ ในกรณีที่ปลอกคอหลุดออกจากตัวช้าง หรือไม่ได้รับสัญญาณจาก GPS หรือพลังงานของแบตเตอร์รี่หมดลง
- การเลือกใช้งานอุปกรณ์ GPS ที่เหมาะสม จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามที่ดีกว่า ปัจจุบันมีอุปกรณ์ GPS ในท้องตลาดเป็นจำนวนมาก การเลือกอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง และนำมาใช้งานร่วมกับการแสดงผลบนแผนที่จะช่วยให้การแสดงตำแหน่งของช้างมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น
- การใช้งานเครื่องส่งสัญญาณแบบ GSM จะต้องคำนึงถึงพื้นที่การให้บริการเป็นสำคัญ แต่การใช้งานระบบ GSM จะส่งผลให้ระบบมีความสามารถในการส่ง-รับข้อมูลได้ดีกว่า และยังสามารถเชื่อมโยงกับเครือข่ายของผู้ให้บริการรายอื่นได้ ส่งผลให้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง
- ในกรณีที่เลือกใช้งานเครื่องส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม จะมีพื้นที่ครอบคลุมที่มากกว่า จึงเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีระบบ GSM แต่ทั้งนี้ การใช้งานเครื่องส่งสัญญานผ่านดาวเทียมจะมีค่าใช้จ่ายในการใช้บริการที่สูงกว่า
- ในกรณีของช้างเอเชียนั้น ในช่วงเวลากลางวัน ช้างมักจะอยู่ในพื้นที่ที่เป็นกำบัง และออกหากินในพื้นที่เปิดโล่งในช่วงเวลากลางคืนจนถึงรุ่งสาง ดังนั้น การเลือกส่งข้อมูลในช่วงเวลาค่ำหรือรุ่งสาง จึงเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด
- ความผิดพลาดในการรับสัญญาณ GPS เป็นเหตุการณ์ปกติที่เกิดขึ้นได้เสมอ ดังนั้นในการออกแบบปลอกคอ จึงควรต้องพิจารณาถึงกลไกเพื่อชดเชยความผิดพลาดในกรณีที่ไม่สามารถรับสัญญาณ GPS ได้ อาทิเช่น มีการจัดเก็บข้อมูลไว้ภายในตัวเครื่อง เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้ชุดข้อมูลที่ทำการติดตามมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ดังนั้นในการพิจารณาเลือกปลอกคอติดตามช้าง จำเป็นต้องคำนึงถึงประเด็นดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่ใช้ทำปลอกคอ และการติดตั้งใช้งาน ต้องไม่ก่อให้เกิดความลำบากต่อตัวช้าง และรบกวนการใช้ชีวิตประจำวันของช้างให้น้อยที่สุด
2. ความเหมาะสมต่อพื้นที่ใช้งาน (ความเหมาะสมของเทคโนโลยีในพื้นที่ที่ต้องการใช้งาน)
3. ความทนทานของปลอกคอตลอดอายุการใช้งาน
4. ความสมบูรณ์ และความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้รับ
5. ระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอร์รี่ (อายุใช้งานของอุปกรณ์)
6. ราคาของอุปกรณ์

บทที่ 4 การวิเคราะห์ และ การออกแบบอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล

4.1 การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณดาวเทียม

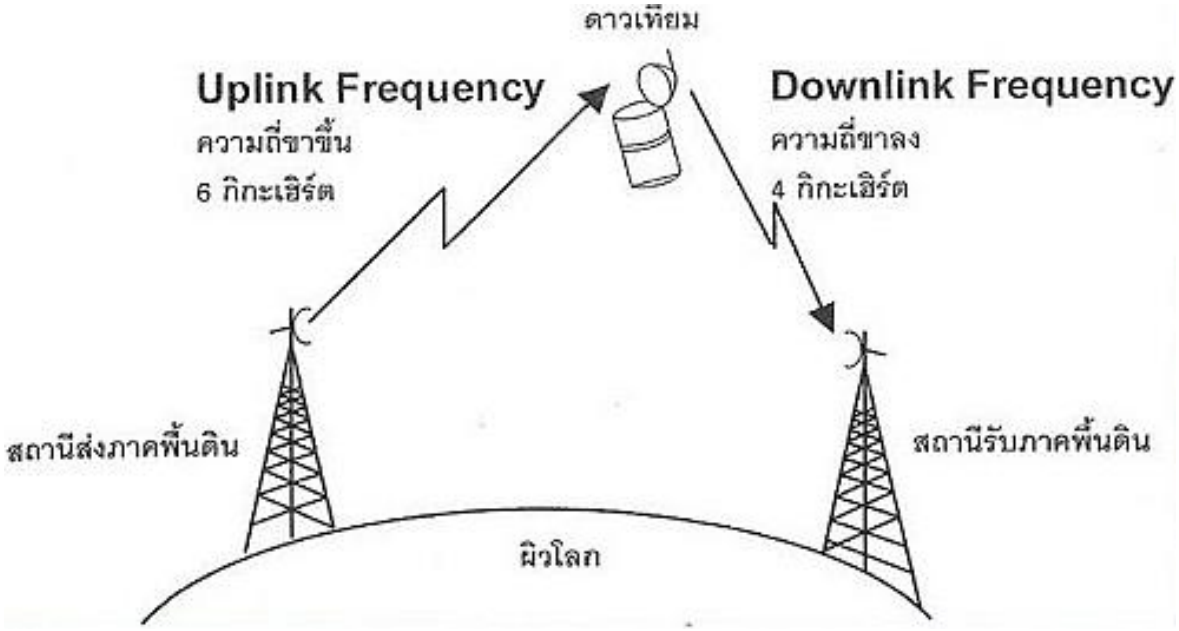
ระบบติดตามด้วยดาวเทียม เป็นการพัฒนาต่อจากเครื่องติดตามด้วยคลื่นวิทยุ โดยการเพื่อระยะการติดตามด้วยดาวเทียมซึ่งแทนที่จะส่งสัญญาณวิทยุไปยังเครื่องรับสัญญาณวิทยุสัญญาณ สัญญาณจะถูกส่งไปยังดาวเทียม โดยดาวเทียมจะทำหน้าที่เป็นสถานีรับสัญญาณและถ่ายทอดสัญญาณกลับมายังเครื่องรับบนโลก ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถติดตามการเคลื่อนที่ของสัตว์โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ใกล้สัตว์เพื่อรับสัญญาณติดตามโดยตรง นอกจากนี้ยังช่วยหลีกเลี่ยงการรบกวนการดำรงชีวิตสัตว์จากกระบวนการติดตาม

4.1.1 ระบบของการสื่อสารดาวเทียม

ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก คือ สถานีภาคพื้นดิน (Ground Segment) และสถานีอวกาศ (Space Segment) โดยที่สถานี ภาคพื้นดินประกอบด้วยสองสถานีคือ สถานีรับและสถานีส่ง ซึ่งการทำงานของทั้งสองสถานีนี้มีลักษณะคล้ายกัน การสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายประเภทหนึ่งที่ มีวัตถุประสงค์เพื่อการสื่อสารระยะทางไกลและครอบคลุมพื้นที่กว้าง เช่น ส่งสัญญาณจากฟากหนึ่งไปยังอีกฟากหนึ่งของโลก ก่อให้เกิดการสื่อสารได้อย่างกว้างไกลไร้ขอบเขต แม้ในเขตพื้นที่ห่างไกล เช่น บริเวณหุบเขา มหาสมุทร โดยอาจเป็นสัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์ สัญญาณภาพเสียง และการเชื่อมต่อทางอินเทอร์เน็ตระหว่างประเทศ เป็นต้น

ดาวเทียมสื่อสาร เป็นดาวเทียมที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารทั้งในประเทศและระหว่างประเทศ ตลอดจนการคมนาคมขนส่ง ช่วยในการควบคุมเส้นทางและบอกตำแหน่งที่อยู่ โดยดาวเทียมจะทำหน้าที่เป็นสถานีรับส่งคลื่นวิทยุสื่อสารติดต่อกับสถานีภาคพื้นดินช่วยให้กิจการสื่อสารทางโทรศัพท์ โทรพิมพ์ โทรสาร และการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ระหว่างประเทศเป็นไปอย่างทั่วถึงและรวดเร็ว ดาวเทียมสื่อสาร จะทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณซึ่งในดาวเทียมจะติดตั้งอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุเพื่อใช้รับและถ่ายทอดสัญญาณสู่พื้นโลกโดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในตัวดาวเทียมนั้นได้มาจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งระบบการสื่อสารด้วยดาวเทียมนั้นจะมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือส่วนภาคอวกาศ (Space Segment) ซึ่งได้แก่ ตัวดาวเทียม และส่วนภาคพื้นดิน (Ground Segment) ซึ่งได้แก่ สถานีรับส่งภาคพื้นดินศูนย์โทรคมนาคม

สถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งนั้นสามารถเป็นได้ทั้งสถานีรับและสถานีส่ง จึงทำให้สถานีภาคพื้นดินแต่ละแห่งต้องมีทั้งเครื่องรับและเครื่องส่ง ส่วนดาวเทียมนั้นจะเป็นเพียงสถานีทวนสัญญาณและส่งสัญญาณไปยังจุดหมายปลายทางที่สถานีภาคพื้นดินอื่น ๆ และสัญญาณจากสถานีรับส่งภาคพื้นดินจะส่งไปยังศูนย์โทรคมนาคมแล้วศูนย์โทรคมนาคมจะส่งสัญญาณไปยังสถานีโทรทัศน์ สถานีวิทยุปลายทางการสื่อสารผ่านดาวเทียมสามารถกระทำได้โดยสถานีภาคพื้นดินส่งคลื่นความถี่ไมโครเวฟผสมสัญญาณข่าวสารขึ้นไปยังดาวเทียม ซึ่งจะเรียกว่าความถี่เชื่อมโยงขาขึ้น (Up-Link Frequency) โดยปกติความถี่ไมโครเวฟขาขึ้นจะใช้ประมาณ 6 กิกะเฮิรตซ์ เครื่องรับภายในตัวดาวเทียมจะรับสัญญาณเข้ามาแล้วทวนสัญญาณให้แรงขึ้นพร้อมกำจัดสัญญาณรบกวนออกไป ก่อนส่งสัญญาณกลับมายังพื้นดิน ทั้งนี้ดาวเทียมจะทำการเปลี่ยนความถี่คลื่นไมโครเวฟให้แตกต่างไปจากความถี่ขาขึ้นแล้วจึงส่งความถี่ไมโครเวฟที่ผสมสัญญาณข่าวสารกลับลงมา เรียกว่าความถี่เชื่อมโยงขาลง (Down-Link Frequency) โดยปกติความถี่ไมโครเวฟขาลงจะใช้ประมาณ 4 กิกะเฮิรตซ์



รูปที่ 4.1 การสื่อสารข้อมูลด้วยดาวเทียม

4.1.2การทำงานของดาวเทียม

ดาวเทียมจะถูกส่งขึ้นไปลอยอยู่ในตำแหน่ง วงโคจรค้างฟ้า ซึ่งมีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 36000 - 38000 กิโลเมตร และโคจรตามการหมุนของโลก เมื่อเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นโลกจะเสมือนว่าดาวเทียมลอยนิ่งอยู่บนท้องฟ้า และดาวเทียมจะมีระบบเชื้อเพลิงเพื่อควบคุมตำแหน่งให้อยู่ในตำแหน่งองศาที่ได้สัมปทานเอาไว้กับหน่วยงานที่ดูแลเรื่องตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมคือ IFRB (International Frequency Registration Board)

ดาวเทียมที่ลอยอยู่บนท้องฟ้า จะทำหน้าที่เหมือนสถานีทวนสัญญาณ คือจะรับสัญญาณที่ยิงขึ้นมาจากสถานีภาคพื้นดิน เรียกสัญญาณนี้ว่า สัญญาณขาขึ้นหรือ (Uplink) รับและขยายสัญญาณพร้อมทั้งแปลงสัญญาณให้มีความถี่ต่ำลงเพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างสัญญาณขาขึ้นและส่งลงมา โดยมีจานสายอากาศทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณ ส่วนสัญญาณในขาลงเรียกว่า (Downlink)

4.1.3 วงโคจรของดาวเทียม

การโคจรของดาวเทียมนั้นมีพื้นฐานมาจากหลักการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีความเร็วสูง โดยวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก ๆ ประมาณ 8 กิโลเมตรต่อวินาที วัตถุจะไม่ตกลงสู่พื้นโลกและสามารถเคลื่อนที่รอบโลกได้ ดาวเทียมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงโดยหนีแรงดึงดูดของโลกก็จะทำให้ดาวเทียมสามารถโคจรรอบโลกได้ วงโคจรของดาวเทียมสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

1) **วงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-Synchronous Orbit) วงโคจรนี้แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้**

1.1. โพล่า ออบิท (Polar Orbit)

เป็นวงโคจรที่มีลักษณะเป็นวงกลมโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางในแนว ขั้วโลก ซึ่งวงโคจรนี้จะมีระยะความสูง 500-1,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก

1.2 อินไคล ออบิท (Inclined Orbit)

เป็นวงโคจรที่มีลักษณะเป็นทั้งวงกลมและวงรี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเฉียงหรือมุมที่ทำกับระนาบศูนย์สูตร ซึ่งวงโคจรนี้จะมีระยะความสูง 5,000-13,000 กิโลเมตรจากพื้นโลก

2) วงโคจรแบบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าโลกหมุน (Equatorial Orbit)

เป็นวงโคจรรูปวงกลมมนตามแนวระนาบกับเส้นศูนย์สูตร โดยเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วที่โลกหมุนรอบตัวเอง ซึ่งจะใช้เวลาในการโคจร 24 ชั่วโมง ต่อรอบ ทำให้เหมือนกับว่าดาวเทียมลอยนิ่งอยู่กับที่ จึงเรียกวงโคจรนี้ว่า วงโคจรค้างฟ้า ระยะความสูงของตัวดาวเทียมจากพื้นโลกมีค่าประมาณ 35,800 กิโลเมตร

ดาวเทียมจะโคจรรอบโลกตามแนวการหมุนของโลกหรือในแนวเส้นศูนย์สูตร ซึ่งวงโคจรของดาวเทียม เมื่อแบ่งตามระยะความสูงจากพื้นโลกสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะคือ

1. วงโคจรระยะต่ำ (Low Earth Orbit)

วงโคจรนี้อยู่สูงจากพื้นโลกไม่เกิน 1,000 กิโลเมตร ดาวเทียมที่มีวงโคจรลักษณะนี้ส่วนใหญ่จะใช้ในการสำรวจสภาวะแวดล้อมและสังเกตการณ์ ซึ่งไม่สามารถใช้งานครอบคลุมบริเวณใดบริเวณหนึ่งได้ตลอดเวลา

2. วงโคจรระยะปานกลาง (Medium Earth Orbit)

วงโคจรนี้อยู่สูงจากพื้นโลกตั้งแต่ 1,000 กิโลเมตรขึ้นไป ส่วนใหญ่จะใช้ในด้านอุตุนิยมวิทยาและใช้เพื่อติดต่อสื่อสารในบางพื้นที่

3.วงโคจรประจำที่ (Geostationary Earth Orbit)

วงโคจรนี้จะอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 35,800กิโลเมตร ซึ่งเป็นเส้นทางโคจรอยู่ในแนวเส้นศูนย์สูตร ดาวเทียมที่มีวงโคจรลักษณะนี้ส่วนใหญ่ใช้เพื่อการสื่อสาร

4.1.4 ประเภทของดาวเทียม

ประเภทของดาวเทียม ซึ่งสามารถแบ่งดาวเทียมตามลักษณะของการใช้งานได้ดังนี้

1. ดาวเทียมสื่อสาร ใช้เพื่อการสื่อสารโทรคมนาคม ซึ่งจะต้องทำงานอยู่ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเชื่อมโยงเครือข่ายการสื่อสารของโลกเข้าด้วยกัน เช่นการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ทั้งในประเทศและข้ามทวีป การติดต่อสื่อสารทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ และอินเทอร์เน็ต เป็นต้น อายุการใช้งานของดาวเทียมชนิดนี้จะมีอายุใช้งานประมาณ 10-15 ปี เมื่อส่งดาวเทียมสื่อสารขึ้นไปโคจรดาวเทียมจะพร้อมทำงานโดยทันที ซึ่งจะส่งสัญญาณไปยังสถานีภาคพื้นดิน และที่สถานีภาคพื้นดินจะมีอุปกรณ์รับสัญญาณที่เรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) เพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณแล้วกระจายไปยังสถานีต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก ดาวเทียมสื่อสารจะทำงานโดยอาศัยหลักการส่งสัญญาณ ถึงกันระหว่างสถานีภาคพื้นดินและสถานีอวกาศ ซึ่งวิถีการโคจรของ

ดาวเทียมชนิดนี้เป็นวงโคจรค้างฟ้า ดาวเทียมสื่อสารที่ใช้ในประเทศไทยก็คือ ดาวเทียมไทยคม 1-8 ดาวเทียมไทยคมจะมีรัศมีการให้บริการครอบคลุมทั่วทั้งประเทศไทยและประเทศใกล้เคียง

2. ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ใช้เพื่อศึกษาลักษณะทางภูมิศาสตร์ของโลก ไม่ว่าจะเป็นธรณีวิทยา อุทกวิทยา การสำรวจพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ทางการเกษตรการใช้ที่ดิน และน้ำ เป็นต้น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของโลกคือดาวเทียม Landsat ถูกส่งขึ้นไปสู่วงโคจรเมื่อ พ.ศ. 2515 ดาวเทียมชนิดนี้จะออกแบบให้มีความสามารถในการถ่ายภาพจากดาวเทียมและการติดต่อสื่อสารในระยะไกลซึ่งเรียกว่า การสำรวจจากระยะไกล (Remote Sensing) เพื่อที่จะสามารถแยกแยะจำแนก และวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ได้ถูกต้อง สำหรับประเทศไทยนั้น กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ลงนามร่วมมือกับบริษัท Astrium S.A.S.ประเทศฝรั่งเศส เพื่อสร้างดาวเทียมสำรวจทรัพยากร เมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2547 ในชื่อโครงการธีออส (THEOS)

3. ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ใช้เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ เช่น ข่าวสารพายุ อุณหภูมิและสภาพทางภูมิอากาศต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้วิเคราะห์สำหรับประกาศเตือนภัยพิบัติต่าง ๆ ให้ทราบ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานี้จะให้ข้อมูลด้วยภาพถ่ายเรดาร์ และภาพถ่ายอินฟราเรดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาดวงแรกของโลกคือ ดาวเทียม Essa 1 ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งถูกส่งขึ้นไปโคจรในอวกาศเมื่อปี พ.ศ. 2509 ดาวเทียมชนิดนี้ได้แก่ดาวเทียม GMS-5 และดาวเทียม GOES-10 เป็นของประเทศญี่ปุ่น ส่วนดาวเทียม NOAA เป็นของประเทศสหรัฐอเมริกา และดาวเทียม FY-2 ของประเทศจีน

4. ดาวเทียมบอกตำแหน่ง ใช้เพื่อเป็นระบบนำร่องให้กับเรือและเครื่องบิน ตลอดจนใช้บอกตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก ซึ่งระบบหาตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียมนี้จะเรียกว่าระบบ GPS (Global Positioning Satellite System) ซึ่งดาวเทียมบอกตำแหน่งนี้แรกเริ่มเดิมทีนั้นจะนำมาใช้ในการทหารปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อใช้สำหรับนำร่องให้กับเครื่องบินและเรือเดินสมุทร วิถีโคจรของดาวเทียมชนิดนี้จะโคจรแบบสัมพันธ์กับ ดวงอาทิตย์ (Sun Synchronous) ดาวเทียมชนิดนี้ได้แก่ กลุ่มดาวเทียมบอกตำแหน่ง Navstar

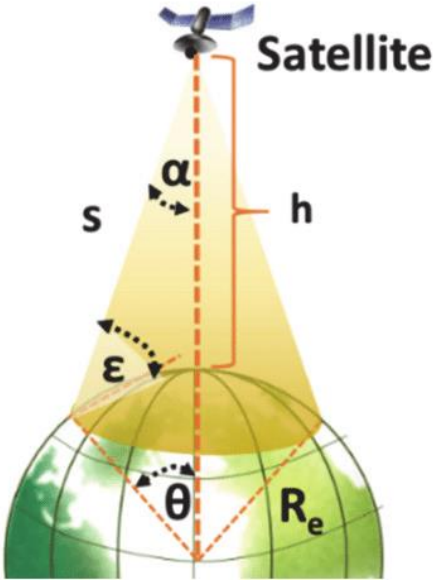
5. ดาวเทียมสมุทรศาสตร์ ใช้เพื่อสำรวจทางทะเลทำให้นักวิทยาศาสตร์ทางทะเลและนักชีววิทยาทางทะเลสามารถวิเคราะห์และตรวจจับความเคลื่อนไหวต่าง ๆ ในท้องทะเลได้ ไม่ว่าจะเป็นความแปรปรวนของคลื่นลม กระแสน้ำ แหล่งปะการัง สภาพแวดล้อม และลักษณะของสิ่งมีชีวิตทางทะเล เป็นต้น ดาวเทียมสมุทรศาสตร์ดวงแรกของโลกได้แก่ ดาวเทียม Seasat และได้มีการพัฒนาสร้างดาวเทียมทางสมุทรศาสตร์อีกหลายดวง เช่น ดาวเทียมRobinson 34, ดาวเทียม Mos 1 เป็นต้น

6. ดาวเทียมสำรวจอวกาศ ใช้เพื่อสำรวจอวกาศเพื่อตรวจจับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในอวกาศไม่ว่าจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สิ่งมีชีวิต และสภาวะต่าง ๆ เป็นต้น ดาวเทียมสำรวจอวกาศจะถูกนำขึ้นไปสู่วงโคจรที่สูงกว่าดาวเทียมประเภทอื่น ๆ ทำให้ไม่มีชั้นบรรยากาศโลกกั้นขวาง ดาวเทียมชนิดนี้ได้แก่ ดาวเทียม Mars Probe และดาวเทียม Moon Probe

7. ดาวเทียมจารกรรม ใช้เพื่อการสอดแนมและค้นหา เป็นดาวเทียมที่นิยมใช้ในกิจการทางทหาร ทั้งนี้เพราะสามารถสืบหาตำแหน่งและรายละเอียดเฉพาะที่ต้องการได้ทั้งในที่มืดและที่สว่าง ตรวจหาคลื่นวิทยุ สอดแนมทางการทหารของประเทศคู่แข่ง ตลอดจนสามารถสร้างดาวเทียมได้ตามความต้องการในด้านกิจการทหาร ดาวเทียมชนิดนี้ได้แก่ ดาวเทียม DS3 ดาวเทียม COSMOS ของสหภาพรัสเซีย ดาวเทียม Big Bird ดาวเทียม COSMOS 389 Elint ของสหรัฐอเมริกา

4.1.5 พื้นที่การให้บริการดาวเทียม

ขอบเขตพื้นที่การให้บริการดาวเทียม เรียกว่า Footprint ดาวเทียมสามารถกำหนดขอบเขตการส่งสัญญาณกลับมายังภาคพื้นดินได้



รูปที่ 4.2 Footprint ของดาวเทียม

4.1.6 ย่านความถี่ดาวเทียม

ดาวเทียมที่ส่งสัญญาณในย่านความถี่ C-BAND จะมีกำลังส่งค่อนข้างต่ำประมาณ 8-16 วัตต์ ดังนั้นเมื่อสัญญาณส่งมาถึงโลกจึงมีสัญญาณที่อ่อนมาก ในการรับสัญญาณจึงจำเป็นต้องใช้รับจานสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ แต่มีข้อดีคือครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง รวมทั้งสามารถตั้งมุมยิงสายอากาศให้มีขอบเขตจุดศูนย์กลางของสัญญาณโดยเน้นความเข้มของสัญญาณไว้ได้ถึง 2 จุด

ส่วนการส่งในย่านความถี่ KU-BAND จะส่งด้วยกำลังวัตต์ที่สูงกว่าระบบ C-BAND หรือบางประเทศก็ส่งที่กำลังวัตต์สูง ๆ ทำให้สัญญาณที่รับได้ที่ภาคพื้นดินมีความเข้มสัญญาณสูงมาก ในการรับสัญญาณในระบบนี้จึงสามารถใช้จานที่มีขนาดเล็ก ๆ ก็รับสัญญาณได้ จานที่ใช้กับระบบ KU-BAND จะมีขนาดตั้งแต่ 1.5 ฟุตขึ้นไป ขอบเขตในการส่งสัญญาณหรือ Footprint ในระบบ KU-BAND ส่วนมากจะส่งสัญญาณในขอบเขตที่จำกัด เช่น มีขอบเขตเฉพาะจังหวัด หรือ เฉพาะประเทศ ในระบบเคเบิ้ลทีวีผ่านดาวเทียมส่วนมากจะนิยมใช้ระบบนี้ในการส่งสัญญาณเพื่อบริการลูกค้า เพราะว่าสามารถจะบริการลูกค้าได้ง่าย ใช้จานรับที่มีขนาดเล็ก ทำให้ประหยัดต้นทุนโดยรวม ข้อเสียของระบบนี้คือ จะมีผลต่อสัญญาณเมื่อมีฝนตกหนัก หรือท้องฟ้าปิดด้วยเมฆฝนมาก ๆ จะทำให้รับสัญญาณได้อ่อนลงหรืออาจจะรับไม่ได้ในเวลานั้น แล้วก็จะกลับคืนมาปกติเมื่อสภาพอากาศปกติ

C Band กับ Ku Band

ดาวเทียมที่อยู่เหนือผิวโลกสูงประมาณ 36,000 กิโลเมตร ส่งสัญญาณแค่ไม่กี่วัตต์ออกมา เมื่อส่งมาถึงสภาพบรรยากาศของโลก สัญญาณก็จะถูกลดทอนไปประมาณ 200 dB จนมาถึงพื้นโลกนั้นสัญญาณที่เหลือจะอ่อนมาก จึงต้องใช้สายอากาศในลักษณะรูปร่างคล้ายจานที่เรียกว่าจานดาวเทียม เพื่อที่จะทำการรวมสัญญาณอ่อน ๆ เหล่านี้โดยการสะท้อนไปรวมกันยังจุดโฟกัส แม้จะรวมสัญญาณโดยรอบและจากทุกตำแหน่ง

ของจานแล้วก็ตาม ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้ก็ยังน้อยมากในระดับไมโครวัตต์เท่านั้น สัญญาณเหล่านี้ก็จะถูกนำไปประมวลผลด้วยวงจรอิเลกทรอนิกส์ต่อไป แต่เนื่องจากสัญญาณนั้นมีกำลังงานอ่อนมาก อาจจะมีโอกาสถูกรบกวนได้สูง จึงต้องมีการขยายสัญญาณทันทีหลังจากรับสัญญาณมาแล้วด้วยเครื่องขยายสัญญาณรบกวนต่ำหรือ Low Noise Amplifier (LNA)

คุณสมบัติเด่นอันหนึ่งของการรับสัญญาณดาวเทียมก็คือจำนวนสัญญาณที่จานจะรับได้นั้นเกี่ยวข้องโดยตรงกับความถี่ หากจานมีขนาดเท่ากัน สัญญาณจะได้รับแรงขึ้นหากความถี่ที่ส่งมานั้นสูงขึ้น หมายความว่าจานเดียวกันนั้น อัตราขยาย (Gain) จะสูงที่ความถี่สูง ทำให้สามารถใช้จานดาวเทียมเล็ก ๆ รับสัญญาณที่ความถี่สูงได้ ทำให้การออกอากาศในปัจจุบันใช้ Ku band หรือแม้แต่ Ka band ในการรับสัญญาณทีวีผ่านดาวเทียม

จานดาวเทียม C-Band

- ความถี่ในการทำงานอยู่ในย่านต่ำ 4 – 8 GHz
- ครอบคลุมพื้นที่บนผิวโลกกว้างกว่า
- ความเข้มสัญญาณต่ำ
- จานรับจะมีลักษณะเป็นตะแกรง มีขนาดใหญ่
- ไม่มีปัญหาเวลาฝนตก

จานดาวเทียม Ku-Band

- ความถี่ในการทำงานอยู่ในย่านสูง 10 – 12 GHz
- สามารถใช้จานที่มีขนาดเล็กลง เช่นขนาด 35 ซม.ได้
- มีปัญหาเวลาฝนตก (Rain Fade)

4.1.7 เครือข่ายสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงผ่านดาวเทียมของประเทศไทย

ในปัจจุบัน บริษัทไทยคม มีดาวเทียมไทยคม 4 ดวงที่ให้บริการอยู่ มีพื้นที่ให้บริการซึ่งสามารถรองรับการใช้งานของลูกค้าได้เทียบเท่าสองในสามของประชากรโลก ดาวเทียมของไทยคมให้บริการทางด้านการสื่อสารโทรคมนาคมในภูมิภาคเอเชีย แอฟริกา สามารถรับส่งข้อมูลและวิดีโอระดับพรีเมี่ยมได้อย่างน่าเชื่อถือและปลอดภัย พื้นที่ให้บริการที่ครอบคลุมกว้างขวางจะช่วยให้ผู้ประกอบการกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ มีโอกาสขยายธุรกิจด้านดิจิทัลไปสู่ตลาดใหม่ ๆ อีกทั้งช่วยให้ผู้ประกอบการธุรกิจโทรคมนาคมสามารถให้บริการเครือข่ายบรอดแบนด์ที่คุ้มค่าแก่ผู้ใช้งานในพื้นที่ห่างไกล และช่วยเพิ่มศักยภาพให้หน่วยงานภาครัฐ ขยายการบริการไปได้ทั่วทั้งประเทศ

บริการของดาวเทียม IPStar

เป็นบริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านทางช่องสัญญาณดาวเทียมแบบสองทาง (Two-ways Broadband Internet) ซึ่งมีการเชื่อมต่อแบบตลอดเวลา (Always on) ทั้งนี้ในส่วนของชุดอุปกรณ์ Terminal ได้ถูกออกแบบมาพิเศษ ให้สามารถใช้งานได้กับดาวเทียมหลายประเภท ไม่ได้ผูกติดว่าจะต้องนำมาใช้งานกับดาวเทียม IPSTAR เท่านั้น ในการเปิดให้บริการ IPSTAR ในประเทศไทย จะดำเนินการผ่านทางช่องทางการจัดจำหน่ายของผู้ให้บริการทางอินเตอร์เน็ต เพื่อรองรับความต้องการในการบริการอินเทอร์เน็ตที่หลากหลาย ด้วยคุณสมบัติของเทคโนโลยีดาวเทียม จะทำให้บริการ IPSTAR สามารถเปิดให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (Broadband Internet) ได้ทั่วประเทศ สามารถติดตั้งได้รวดเร็ว และสะดวกในการใช้งาน

ลักษณะการให้บริการของ IPSTAR จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับการเชื่อมต่อใช้งานอินเทอร์เน็ต ผ่านสื่อสัญญาณ ประเภทอื่น เพียงผู้ใช้บริการทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ IPSTAR Terminal และทำการเชื่อมเข้ากับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยจะเป็นการรับ-ส่งข้อมูลตรงระหว่างอุปกรณ์ปลายทาง และระบบเครือข่ายหลักของผู้ให้บริการทางอินเทอร์เน็ต ไม่ว่าชุดอุปกรณ์จะอยู่ ณ จังหวัดใด

การออกแบบระบบที่มีประสิทธิภาพ ประกอบกับระบบการบริหารช่องสัญญาณ จึงทำให้สามารถนำบริการ IPSTAR มาประยุกต์และใช้งานควบคู่กับ Application ต่าง ๆ หรือลักษณะการใช้งานที่ค่อนข้างหลากหลาย ทั้งในลักษณะการใช้งานในองค์กรขนาดใหญ่ที่มีจำนวนผู้ใช้งาน และความต้องการในช่องสัญญาณขนาดใหญ่ องค์กรขนาดกลางที่มีการใช้งานในระดับปกติ หรือองค์กรขนาดเล็ก (SME) ที่มีความต้องการในการใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงเฉพาะในบางช่วงเวลา

ไอพีสตาร์ได้รับการออกแบบให้มีระบบรับส่งสัญญาณความเร็วสูง ที่มีสมรรถภาพและเสถียรภาพ พร้อมระบบบริหารช่องสัญญาณอันทรงประสิทธิภาพ จึงทำให้สามารถนำบริการไอพีสตาร์มาประยุกต์ใช้งานควบคู่กับการใช้งานต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย อาทิ เช่น การรับ-ส่งข้อมูลขนาดใหญ่ การประชุมทางไกลด้วยภาพผ่านทางอินเทอร์เน็ต การประยุกต์ใช้งานด้านเสียง (Voice Service) การแพร่สัญญาณภาพ และเสียงสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายในองค์กร (Broadcasting) การสร้างเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายภายในอาคารสำนักงานหรืออาคารที่พักอาศัย ไม่ว่าจะเป็นองค์กรขนาดใหญ่ ที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก และต้องการใช้ช่องสัญญาณขนาดใหญ่ หรือองค์กรขนาดกลางที่มีการใช้งานในระดับปกติ หรือองค์กรขนาดเล็ก (SME) ที่ต้องการใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงเฉพาะในบางช่วงเวลา

4.2 **การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่าน GPRS/GSM**

GPRS (General Packet Radio Service) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมแบบไร้สาย มีการจัดให้ระบบนี้อยู่ในยุค 2.5G โดย 1G หมายถึง โทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วไประบบแอนะล็อก และ 2G หมายถึง โทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิทัลยุคแรกเริ่ม แม้ทุกวันนี้โลกจะพัฒนาไปไกลในระดับ 4G และ 5G แล้วก็ตาม แต่เทคโนโลยี GPRS ยังคงมีการใช้งานอยู่อย่างแพร่หลาย แม้ว่าจะมีเทคโนโลยีการสื่อสารที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการสื่อสารความเร็วสูงขึ้นก็ตาม เนื่องจากคุณสมบัติของ GPRS ยังคงสามารถตอบสนองการใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ความสามารถพิเศษหลัก ๆ คือการส่งผ่านข้อมูลผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในความเร็วระดับ 172 Kbps เมื่อเทียบกับโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบธรรมดายุคก่อนจะส่งผ่านข้อมูลด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้แค่ 9.6 Kbps เท่านั้น ความเร็วดังกล่าวจึงทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถรองรับเรื่องการใช้งานอินเทอร์เน็ตได้อย่างไร้ปัญหา และถือเป็นจุดเริ่มต้นสมาร์ทโฟนที่แพร่หลายกันมากในปัจจุบัน

เทคโนโลยี GPRS เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ และเปรียบเสมือนการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีสื่อสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการติดต่อสื่อสาร ทำให้การติดต่อสื่อสารเป็นเรื่องง่ายใกล้ตัวมากขึ้น และทำให้เกิดการพัฒนาการใช้งานแบบดิจิทัลเพื่อรองรับความต้องการที่หลากหลาย สามารถรองรับบริการการติดต่อสื่อสาร เช่น อีเมล โปรแกรมแชทต่าง ๆ หรือรวมถึงการรับส่งไฟล์มัลติมีเดียซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในบางประเภท

GPRS เป็นเทคโนโลยีส่งผ่านข้อมูลในระบบไร้สายแบบ packet switching เพิ่มขีดความสามารถด้านการสื่อสารข้อมูลแบบ CSD (Circuit Switched Data) จากเครือข่าย GSM แรกเริ่ม ทำให้สามารถรองรับการสื่อสารแบบ packet-based ซึ่งช่วยขยายขีดความสามารถของเครือข่าย CSD ให้มีการเพิ่มความสามารถในระบบ packet switching โดยข้อมูลต่าง ๆ ที่มีการรับส่งผ่าน GPRS จะถูกแบ่งออกเป็น packet ย่อย ๆ แต่ละ packet จะมีข้อมูลจากแหล่งที่มาอย่างสัมพันธ์กันเพื่อต้องการให้ประกอบกลับมาเป็นข้อมูลเดิมอีกครั้ง ซึ่ง

จะแตกต่างจากเทคโนโลยีก่อนหน้าในการสื่อสารผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอยู่ก่อนในรูปแบบของ Non Voice Application ตามมาอย่างต่อเนื่อง

4.2.1 การทำงานของ GPRS

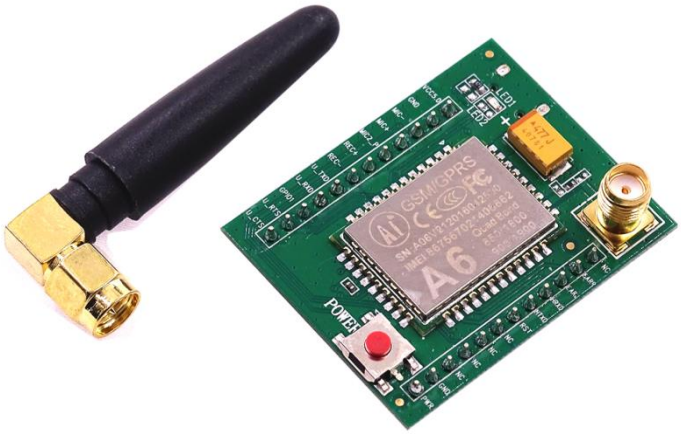
โดยเริ่มแรก เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนต่าง ๆ จะมีการแบ่งช่องสัญญาณไว้อยู่ที่ 8 ช่องสัญญาณ โดยแบ่งเป็นการใช้งาน Voice 6 ช่องสัญญาณ และ GPRS 2 ช่องสัญญาณ ซึ่งภายใน 2 ช่องสัญญาณนี้ จะสามารถรองรับผู้ใช้งาน GPRS พร้อม ๆ กันได้หลายคน โดยระบบจะมีกระบวนการจัดการเพื่อรองรับการใช้พร้อมกัน ระบบที่พัฒนาขึ้นเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ที่ตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทั้งรูปแบบเครือข่ายภายในเฉพาะที่ (LAN) หรือผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อนำข้อมูลที่ต้องการและส่งผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GPRS เข้าสู่ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเทคโนโลยี GPRS ไม่ใช่บริการเครือข่ายหรือตัวให้บริการที่จะให้บริการด้วยตนเองได้ แท้จริงแล้วเป็นเพียงแค่ Bearer ให้กับบรรดาโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ที่มีความต้องการใช้งานความเร็วให้มากขึ้นกว่าระบบ GSM ซึ่งเป็นระบบการรองรับในอดีต โดยระบบ GPRS จะมีการส่งข้อมูลต่อไปยัง Packet Data Network ที่เป็นตัว IP Network อีกทอดหนึ่ง

นอกจากนี้ การใช้งานระบบ GPRS ยังสามารถทำงานได้ แม้ในขณะที่มีการติดต่อสื่อสารด้วยเสียงพร้อม ๆ กับการติดต่อสื่อสารผ่านโลกอินเทอร์เน็ตในขณะเดียวกัน สามารถติดต่อสื่อสารทั้ง 2 ระบบภายในช่วงเวลาเดียวกัน แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับอุปกรณ์รับส่งหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแต่ละรุ่นที่ผลิตออกมา คุณสมบัติที่สำคัญของระบบ GPRS ได้แก่

1. การโอนถ่ายข้อมูลที่มีความสามารถในการรับ- ส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้สูงถึง 9 - 40 kbps ซึ่งจะทำให้สามารถรับ- ส่งข้อมูลที่เป็น Video, Mail หรือ ภาพเคลื่อนไหวต่าง ๆ ได้ พร้อมทั้งเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้เร็ว และมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิมรวมถึงการ Down load/Up load ได้ง่ายยิ่งขึ้น
2. Always On การเชื่อมต่อเครือข่ายและโอนถ่ายข้อมูลสามารถดำเนินต่อไป แม้ในขณะที่มีสายติดต่อเข้ามาก็ตาม จึงทำให้การโอนถ่ายข้อมูลไม่ขาดตอนลง
3. Wireless Internet ที่เชื่อมต่อเข้ากับ Terminal เช่น PDA หรือ Notebook สามารถที่จะโอนถ่ายข้อมูลได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบเดิม (GSM)

4.2.2 อุปกรณ์ GPRS

แม้ว่าปัจจุบันเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกพัฒนาไปมาก สามารถรับส่งข้อมูลที่ความเร็วสูงและรองรับผู้ใช้บริการจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ที่ใช้มักใช้กำลังงานมากจากการประมวลผลและการรับส่งข้อมูล แต่สำหรับงานบางประเภทที่ต้องการการส่งข้อมูลความเร็วต่ำ ขนาดเล็กและประหยัดพลังงานที่สามารถรองรับการทำงานเป็นอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น อุปกรณ์ติดตามตัว เทคโนโลยี GPRS ก็จะมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน รูปที่ 4.3 แสดงอุปกรณ์สื่อสาร GPRS GA6

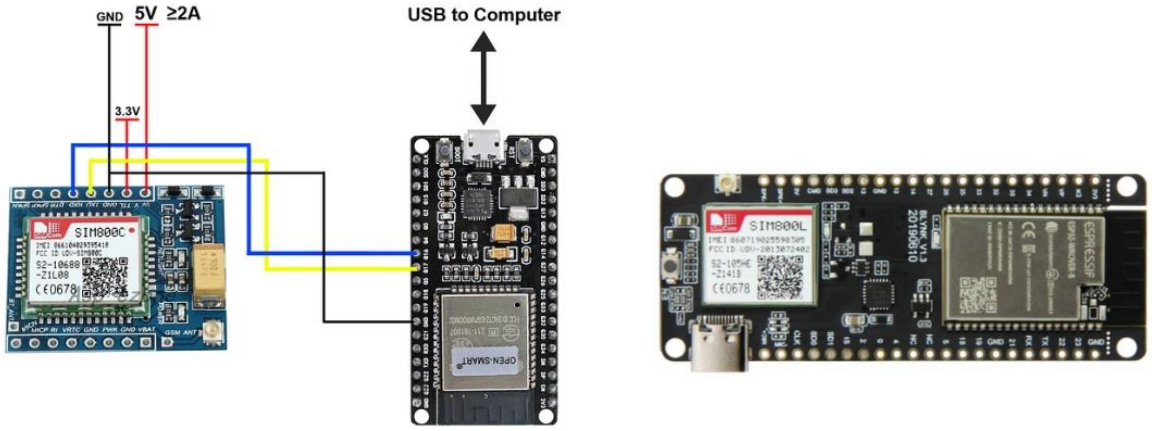


รูปที่ 4.3 GPRS GA6 Module A6/SMS/GPRS Development Board

สำหรับอุปกรณ์ติดตามตัว เช่น อุปกรณ์ติดตามยานพาหนะ อุปกรณ์ติดตามสัตว์ ผู้ผลิตมักจะทำการรวมส่วนรับสัญญาณดาวเทียม GPS สำหรับระบุตำแหน่ง พร้อมกับส่วนสื่อสาร GPRS เข้าด้วยกัน ทำให้สะดวกต่อการพัฒนา รูปที่ 1.4 แสดงตัวอย่างโมดูลรับส่งสัญญาณ GPRS ที่มีการติดตั้ง GPS เข้าด้วยกัน

รูปที่ 4.4 Adafruit FONA 3G Cellular with GPS Breakout

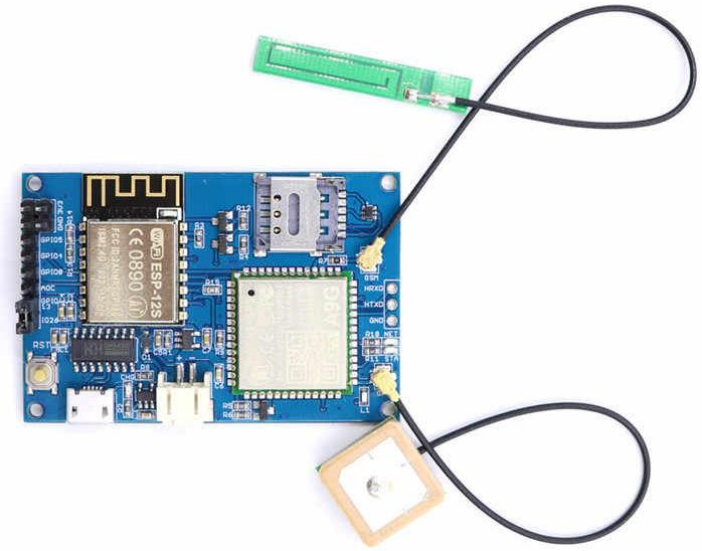
เนื่องจากอุปกรณ์ GPRS ข้างต้นเป็นเพียงโมดูลรับส่งสัญญาณ ไม่สามารถทำงานได้ด้วยตนเอง จึงต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลสั่งการ เพื่อรองรับการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.5 (a) และเพื่อความสะดวกในการออกแบบ ผู้ผลิตบางรายได้ทำการติดตั้งโมดูล GPRS เข้ากับหน่วยประมวลผลดังแสดงในรูปที่ 4.5 (b) โดยมีชิพ ESP32 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผล และมีชิพ SIM800C/L ทำหน้าที่เป็นส่วนรับส่งสัญญาณ GPRS



(a) (b)

รูปที่ 4.5 (a) ESP32 เชื่อมต่อกับโมดูล GPRS (SIM800C) TTGO
(b)T-Call ESP32 with SIM800L GPRS Module

สำหรับงานติดตาม (Tracking system) ที่ใช้อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GPS เป็นตัวระบุตำแหน่ง และใช้การสื่อสาร GPRS บนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น ผู้ผลิตบางรายได้ทำการออกแบบให้มีการรวมส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อสะดวกต่อการพัฒนา ดังแสดงในรูปที่ 4.6

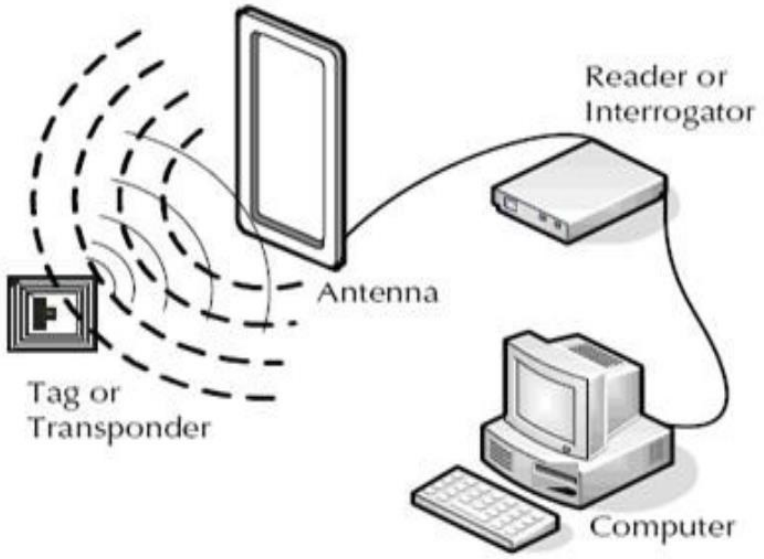


รูปที่ 4.6 ESP8266 ESP-12S A9G GSM GPRS with GPS IoT Node V1.0

4.3 การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ RFID

RFID (Radio Frequency Identification) เป็นระบบฉลากที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 โดยที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน RFID ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง เพื่อตรวจ ติดตามและ

บันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้าย ซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัตถุต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใด ๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุ 1 ชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไหร่ ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกี่ชิ้น และแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้น ๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส (Contact-Less) หรือต้องเห็นวัตถุนั้น ๆ ก่อน



รูปที่ 4.7 ส่วนประกอบระบบ RFID

4.3.1 การทำงานระบบอาร์เอฟไอดี RFID

การทำงานระบบอาร์เอฟไอดี (RFID)[26] จะเป็นการสื่อสารกันระหว่างเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) กับอาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของอาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag) และประเภทของเสาอากาศของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี พื้นที่ครอบคลุมหรืออาณาเขตระหว่างเสาอากาศของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) สามารถส่งสัญญาณคลื่นวิทยุได้ระยะสั้นเรียกว่า Near Field ส่วนบริเวณที่ไกลออกไปเรียกว่า Far Field โดยปกติ Passive RFID ที่ใช้คลื่นความถี่ LF และ HF จะติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) ในบริเวณที่เรียกว่า Near Field ในขณะที่คลื่นความถี่ UHF หรือสูงกว่า จะติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) ในบริเวณ Far Field จะเห็นได้ว่าอาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag) ที่สื่อสารในบริเวณ Far Field สามารถที่จะติดต่อสื่อสารได้ในระยะที่ไกลกว่า

4.3.2 การประยุกต์ใช้งาน

อาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag) มีค่อนข้างหลากหลายประเภท ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกอาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag) ที่เหมาะสมการลักษณะการทำงาน เพื่อให้ระบบอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) ที่ใช้งานสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานระบบ RFID ได้แก่

- ระบบทะเบียนประวัติ บัตรประชาชน (e-Citizen)
- ระบบข้อมูลประวัติการรักษาพยาบาล (Health Care)
- ระบบบัญชีรายการอัตโนมัติ (Automated Inventory)

[26] https://www.id.co.th/

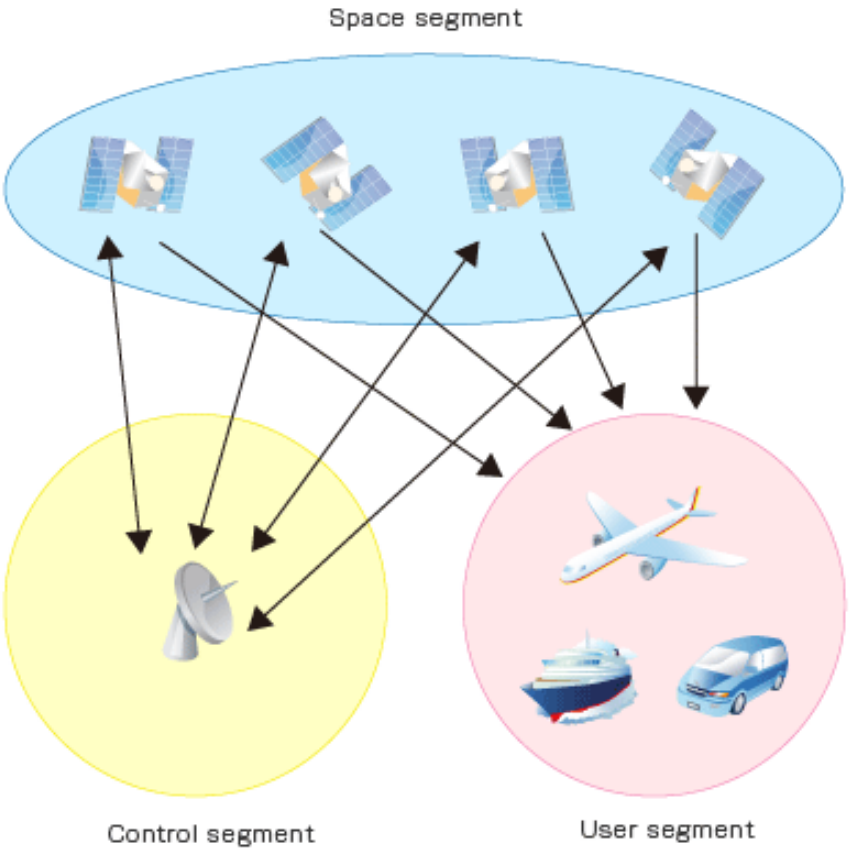
- ระบบบอกรหัสพนักงาน (Automatic Teller)
- ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Immobilizer)
- ระบบติดตามช้างป่า (Wildlife Tracking)
- ระบบฟาร์มและปศุสัตว์ (Farm and cattle systems)
- ทั้งนี้ การเลือกระบบอาร์เอฟไอดี (RFID System) ให้เหมาะกับงานแต่ละประเภทจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อตอบสนองการใช้งาน

4.4 ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS)[27]

GPS คือระบบดาวเทียมนำร่องโลก (Global Navigation Satellite System) สามารถหาข้อมูลพิกัด ตำแหน่งและเวลา โดยใช้การคำนวณจากความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากดาวเทียมตำแหน่งต่าง ๆ ที่โคจรอยู่รอบโลก ทำให้สามารถทราบตำแหน่งที่จุดรับสัญญาณได้ อีกทั้งยังสามารถคำนวณความเร็วและทิศทางได้ จึงสามารถนำเอา GPS ไปใช้ร่วมกับแผนที่เพื่อใช้นำทางได้

4.4.1 ส่วนประกอบของ GPS

ระบบ GPS ประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนอวกาศ, ส่วนควบคุม และส่วนผู้ใช้ ส่วนอวกาศนั้นเกี่ยวข้องกับระบบดาวเทียม GPS, ส่วนควบคุมทำหน้าที่ส่งข้อมูลเวลาและทำนายการควบคุมวงโคจร และในส่วนผู้ใช้ก็จะนำข้อมูลพิกัด, เวลา และความเร็วไปใช้งาน



รูปที่ 4.8 ส่วนประกอบของ GPS

[27] Jame Bao-Yen Sui (2000). Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A software Approach. John Wiley & Son. New York.

เครื่องรับ GPS จะคำนวณตำแหน่งปัจจุบันอยู่ตลอดเวลา เพื่อแสดงตำแหน่ง และทิศทางที่ถูกต้อง ระบบ GPS จะรับสัญญาณจากดาวเทียม และวัดระยะเวลาจากเครื่องส่งสัญญาณจากดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณและโดยวิธีการของสามเหลี่ยมระหว่างดาวเทียมหลายดวงที่ได้รับ ระบบเครื่องรับของดาวเทียมจะคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับ ส่วนเครื่องรับก็ต้องได้รับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง (รู้ระยะทางจากเครื่องรับถึงดาวเทียมสี่ดวง) ถึงจะคำนวณตำแหน่งลักษณะของ 3 มิติได้ (เครื่องรับสามารถคำนวณได้ ถึงแม้จะได้รับสัญญาณจากดาวเทียมเพียงสามดวง แต่เป็นการคำนวณเพียงสองมิติ โดยขาดข้อมูลความสูง) ไม่เพียงแต่รู้ตำแหน่งของเส้นรุ้งและเส้นแวงเท่านั้นยังรู้ระยะความสูงด้วย มีหลายรูปแบบที่แสดงบนหน้าจอ ซึ่งแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต โดยไม่ต้องปรับหาคลื่นเพราะว่าความถี่ของดาวเทียมนั้นเครื่องรับได้ทราบแล้ว

ข้อมูลตำแหน่งที่คำนวณได้มักใช้ร่วมกับโปรแกรมแผนที่ เพื่อแสดงจุดบนแผนที่และแสดงตำแหน่งปัจจุบันของเครื่องรับสัญญาณ GPS ว่าอยู่บริเวณใดของแผนที่ ทั้งนี้การแสดงผลจะขึ้นกับข้อมูลแผนที่ว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด แผนที่พื้นฐานมีทั้งแบบ online ซึ่งผู้พัฒนาแผนที่จะมีการปรับปรุงอยู่เสมอแต่โปรแกรมแผนที่จำเป็นต้องเชื่อมต่อฐานข้อมูลแผนที่ตลอดเวลา ซึ่งในบางครั้งอาจมีความจำเป็นหรือไม่สามารถที่จะเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลแผนที่ได้ แผนที่พื้นฐานแบบ offline จะถูกติดตั้งไว้กับโปรแกรมแผนที่ซึ่งต้องทำการอัพเดทเป็นระยะ เนื่องจากสภาพพื้นที่จริงมีการเปลี่ยนแปลงไป

4.4.2 วิธีการหาพิกัดตำแหน่งโดยใช้ระบบ GPS และตัวอย่างเครื่องรับสัญญาณ

เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส (GPS Receiver) ทำหน้าที่รับสัญญาณจากดาวเทียมแล้วนำสัญญาณดังกล่าวมาประมวลผลเพื่อหาพิกัดปัจจุบัน ซึ่งภายในเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ ดังนี้

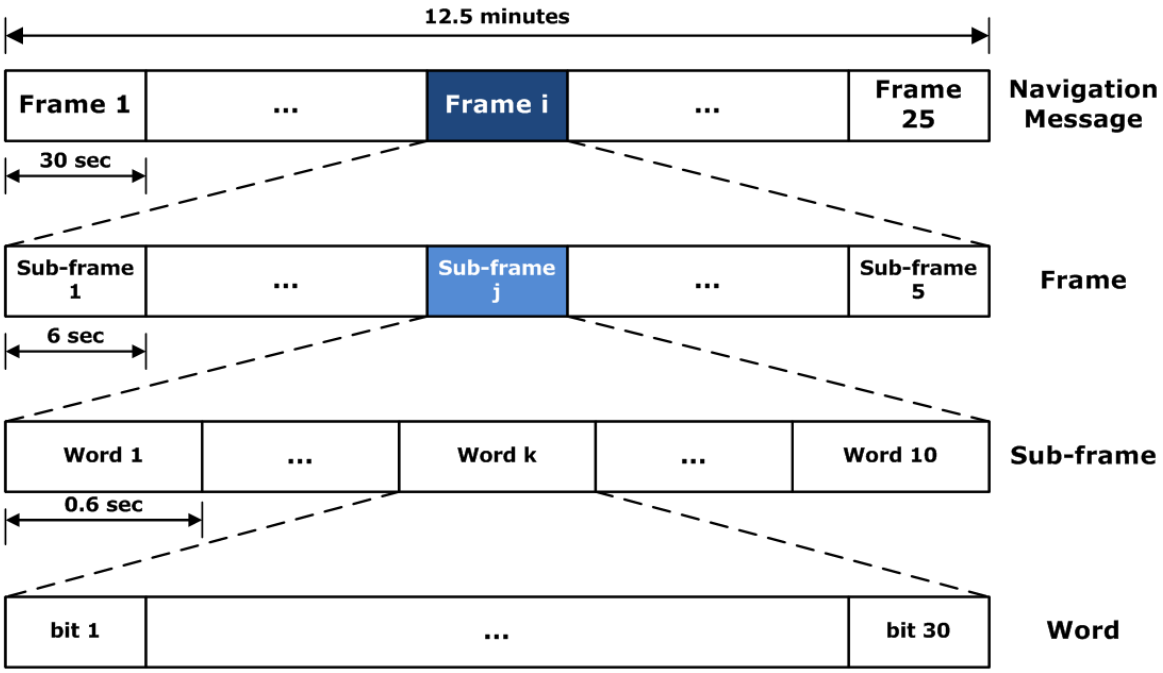
ภาค RF ทำหน้าที่รับสัญญาณอนาล็อกจากดาวเทียมจีพีเอส ผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณไปเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อส่งไปประมวลผลในภาคต่อไป

ภาค Baseband ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณที่รับมาจากภาค RF เพื่อที่จะนำข้อมูลต่าง ๆ ไปคำนวณหาค่าพิกัดตำแหน่งต่อไป

ส่วน Microprocessor ทำหน้าที่ติดต่อกับภาค Baseband เพื่อประมวลผลหาพิกัดตำแหน่งและติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

เครื่องรับสัญญาณแบบนำทาง (Navigation Receiver) รับสัญญาณที่เป็นคลื่นวิทยุจากดาวเทียม ในขณะเดียวกันก็สร้างรหัส C/A (Coarse/Acquisition) ขึ้นมาเปรียบเทียบกับรหัสที่ถอดได้จากสัญญาณ เมื่อเปรียบเทียบได้รหัสที่ตรงกัน จะทำให้รู้เวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ ในการหาตำแหน่ง (แบบสามมิติ) ต้องวัดระยะทางไปยังดาวเทียมพร้อมกัน 4 ดวง หากจำนวนดาวเทียมน้อยกว่า 3 ดวง ค่าตำแหน่งที่ได้จะไม่มีความน่าเชื่อถือ และในกรณีที่มีดาวเทียมอยู่ในท้องฟ้ามากกว่า 4 ดวง เครื่องรับจะเลือกดาวเทียม 4 ดวง ที่มีรูปลักษณ์เชิงเรขาคณิตที่ดีที่สุด หรือมีค่า PDOP (Position Dilution of Precision) คือ ความไม่แน่นอนในองค์ประกอบด้านตำแหน่งในสามมิติต่ำที่สุดมาใช้ในการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับ

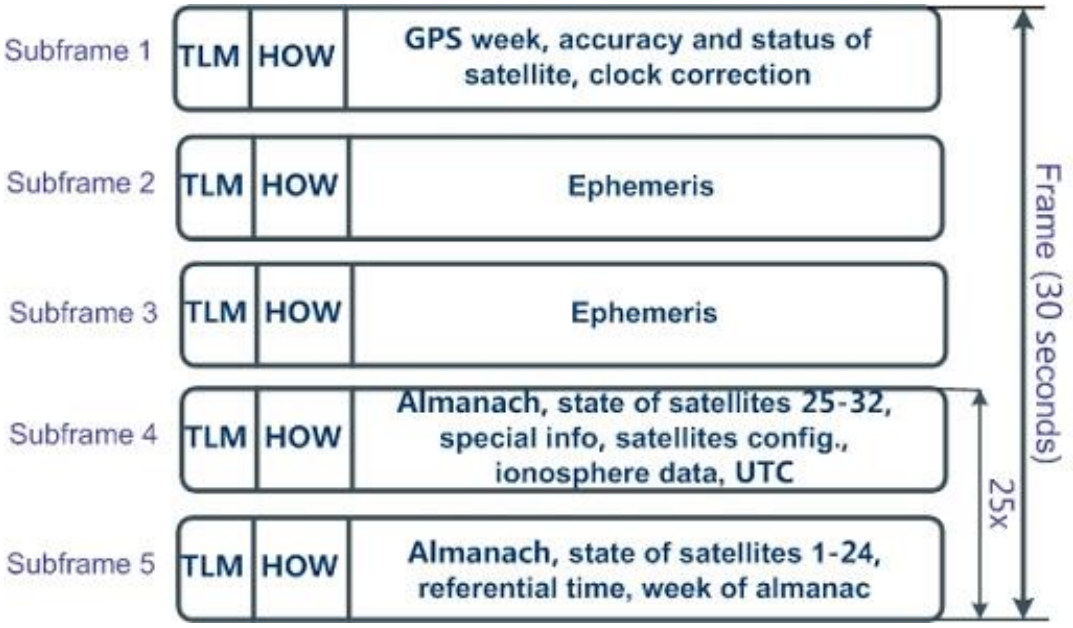
4.4.3 โครงสร้างข้อมูล GPS



รูปที่ 4.9 โครงสร้างข้อมูล GPS

ผู้ใช้จะต้องทำการถอดรหัสสัญญาณข้อมูลเพื่อเข้าถึงข้อมูลการนำทาง โดยหน่วยประมวลผลภายในเครื่องรับจะรับหน้าที่ในการถอดรหัสสัญญาณที่ได้รับมา ข้อมูลจะมีอัตราบิตเท่ากับ 50 bps รวม 25 เฟรมในทุก ๆ 12.5 นาที แต่ละเฟรมมีคาบเวลาเท่ากับ 30 วินาที เนื้อหาข้อมูลของข้อมูลการนำทางทั้งหมดมี 1500 bit โดยแต่ละเฟรมนั้นยังถูกแบ่งย่อยออกเป็น 5 เฟรมย่อย แต่ละเฟรมย่อยมีความยาวเป็นเวลาเท่ากับ 6 วินาทีประกอบไปด้วยข้อมูล 300 บิต แบ่งเป็น 10 word ในแต่ละ word จะประกอบด้วยบิตข้อมูล 30 บิต 6 บิตในนี้จะเป็นบิตควบคุม

ในแต่ละเฟรมย่อย 2 เวิร์ดแรกของทุกเฟรมย่อยคือ Telemetry Work (TLM) และ C/A-P-Code Hand over Work (HOW) โดยที่ TLM work จะมีรูปแบบการซิงโครไนซ์ ซึ่งทำให้การเข้าถึงข้อมูลสะดวกมากขึ้น ในแต่ละเฟรม มีการแบ่งเป็นเฟรมย่อย 5 เฟรมออกเป็นสามหมวด ดังนี้ Data Block I ประกอบด้วยเฟรมย่อยที่ 1 บรรจุค่าสัมประสิทธ์ของสัญญาณนาฬิกา, Data Block II ประกอบด้วยเฟรมย่อยที่ 2 และ 3 บรรจุข้อมูลที่สำคัญต่าง ๆ ทั้งหมดในการคำนวณของพิกัดดาวดาวเทียม และ Data Block III ประกอบด้วยเฟรมที่ 4 และ 5 บรรจุข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจร, พารามิเตอร์ที่ใช้แก้ไขความผิดพลาดจากชั้นไอโอโนสเฟียร์ และข้อมูลพิเศษสำหรับผู้ใช้ที่ได้รับการอนุญาตเท่านั้น โดยใน Data Block III จะไม่ถูกซ้ำทุก 30 วินาที



รูปที่ 4.10 ข้อมูลเฟรมย่อยในระบบ GPS

4.4.4 GPS TRACKING SYSTEM (ระบบติดตาม GPS)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อติดตาม โดยจะเก็บตำแหน่งการเดินทางตลอดเวลา เพื่อนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการ การแจ้งเตือนบุกรุก รวมถึงการศึกษาพฤติกรรมของสัตว์ การย้ายถิ่น โดยมากจะใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ การรายงานประมวลและวิเคราะห์พฤติกรรมช้างป่าซึ่งพัฒนาโดยนักวิจัยช้างป่า เพื่อการป้องกันการบุกรุก การจัดทำระบบเตือนภัย สำหรับการอยู่ร่วมกันระหว่างช้างป่าและชุมชนโดยรอบ

ตัวอุปกรณ์ติดตาม GPS Tracking มีอยู่หลากหลายแบบ ซึ่งสามารถแบ่งตามประเภทการใช้งานได้เป็น 3 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบ Offline, แบบกึ่ง Offline และแบบ Online

4.4.4.1 อุปกรณ์ติดตามแบบ Offline

อุปกรณ์แบบนี้จะเก็บข้อมูลตำแหน่งพิกัดเอาไว้ในตัวเครื่อง GPS Tracking เมื่อต้องการทราบข้อมูล จะต้องนำตัวเครื่อง GPS Tracking มาต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการโอนถ่ายข้อมูล ประมวลผลและแสดงตำแหน่งที่เครื่องติดตามได้บันทึกไว้ภายใน

ข้อดี: อุปกรณ์แบบนี้จะราคาไม่แพง

ข้อเสีย: ไม่สามารถตรวจสอบตำแหน่งปัจจุบันได้ ทำได้เพียงการตรวจสอบประวัติการเดินทางที่ผ่านมาเท่านั้น

4.4.4.2 อุปกรณ์ติดตามแบบกึ่ง Offline

GPS Tracking ประเภทนี้จะทำงานร่วมกับผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยตัวเครื่องจะมีช่องไว้ใส่ SIM card และจะส่งข้อมูลพิกัดกลับไปให้ผู้ใช้ผ่านระบบ SMS เมื่อผู้ใช้ร้องขอไปที่ตัวเครื่อง GPS Tracking

ข้อดี: จะไม่มีค่าบริการรายเดือนสำหรับข้อมูลบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมีแต่ค่าใช้บริการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น ค่าส่ง SMS ระหว่างผู้ใช้และเครื่องติดตาม

ข้อเสีย: ข้อมูลตำแหน่งจะถูกรายงานเฉพาะเมื่อผู้ใช้ร้องขอ มักเป็นข้อมูลตำแหน่งปัจจุบัน และตรวจสอบข้อมูลการเดินทางย้อนหลังไม่ได้

4.4.4.3 อุปกรณ์ติดตามแบบ Online: GPS Tracking แบบ online

ตัวอุปกรณ์จะรับข้อมูลพิกัดตำแหน่งปัจจุบันจากดาวเทียม และส่งไปเก็บที่เครื่อง Server ผ่านระบบ EDGE, GPRS, LTE ผู้ใช้สามารถเรียกดูตำแหน่งปัจจุบัน หรือประวัติการเดินทาง รายงานการเดินทางแบบ online ได้ทั้งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ และโทรศัพท์เคลื่อนที่ และยังสามารถส่งคำสั่งต่าง ๆ กลับไปยังเครื่อง GPS Tracker ได้ เช่น สั่งให้ดับเครื่องยนต์ของรถยนต์ที่ถูกขโมย

ข้อดี: ข้อมูลพิกัดจะถูกเก็บไว้ที่ Server ดังนั้นผู้ใช้จะสามารถเรียกดูข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันได้แบบ Real-time ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ สามารถดูประวัติการเดินทางย้อนหลังและทำรายงานต่าง ๆ ได้ ทำให้สามารถนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ได้ในหลายมิติ เช่นการแจ้งเตือน การศึกษาพฤติกรรม การเคลื่อนย้ายถิ่นของสัตว์ป่า เป็นต้น

ข้อเสีย: จะมีค่าบริการรายเดือนสำหรับการใช้บริการข้อมูลบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมถึงต้องมีระบบการส่งข้อมูลและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ไว้บนเครื่องแม่ข่ายตลอดเวลา ระบบจัดการและประมวลผลข้อมูล เป็นต้น

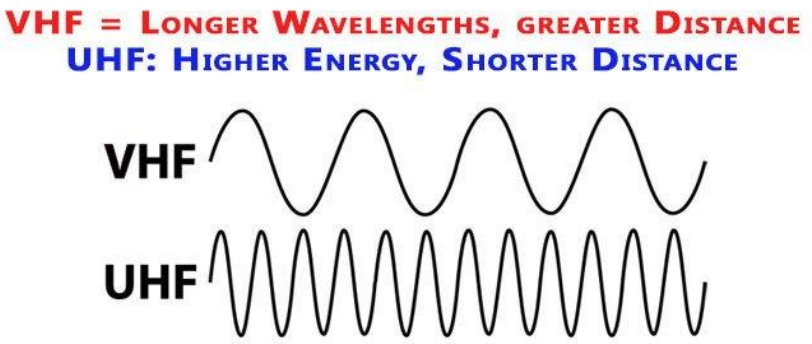
4.5 การรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นความถี่สื่อสารผ่านสัญญาณ VHF

4.5.1 มาตรฐาน VDL MODE 4

ปัจจุบัน มีการติดตามสัตว์ป่าเพื่อวิจัยพฤติกรรมของสัตว์โดยใช้ป้ายอ่าน (Tag) สวมติดกับปลอกคอติดตามตัวสัตว์ (อาจเป็นปลอกคอ ปลอกขา หรือปลอกปีก) ซึ่งปลอกเหล่านี้จะมีเครื่องส่งสัญญาณวิทยุติดต่อกับระบบ GPS (Global Positioning System) ที่ประกอบด้วยดาวเทียม โทรศัพท์เคลื่อนที่ และเครือข่ายวิทยุ [1]

โดยทั่วไปแล้วเครื่องส่งสัญญาณจะใช้ความถี่ในย่าน Very High Frequency (VHF) เนื่องจากเสาอากาศในย่านความถี่นี้มีขนาดเล็ก เพื่อประหยัดพลังงานแบตเตอรี่ เครื่องส่งจึงมักจะส่งสัญญาณเป็นพัลส์สั้น ๆ

ความถี่ในย่าน VHF เป็นย่านของคลื่นวิทยุความถี่สูง อยู่ในช่วง 30 ถึง 300 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ซึ่งในปัจจุบันถือว่าความถี่ VHF อยู่ในระดับต่ำสุดของการใช้งานความถี่ในทางปฏิบัติ และเนื่องจาก VHF มีความถี่ต่ำจึงมีสัญญาณรบกวนมาก แต่ย่าน VHF นั้นสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าความถี่ในย่าน Ultra High Frequency (UHF) ที่มีความถี่อยู่ในช่วง 300 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 3 กิกะเฮิรตซ์ รวมถึงเรื่องของการส่งสัญญาณ ย่านความถี่ VHF ได้ยาวกว่า ไกลกว่า และประหยัดแบตเตอรี่กว่าย่าน UHF [3]



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบความยาวคลื่นของความถี่ในย่าน VHF และ UHF [4]

4.5.2 บทบาทของ VDL Mode 4 ใน CNS และ ATM

VDL Mode 4 นิยมใช้กับการสื่อสารระหว่างอากาศยาน พัฒนาตามหลักการทางเทคนิค Self-Organizing Time Division Multiple Access (STDMA) และเป็นไปตามข้อกำหนด High capacity data link สามารถรองรับความต้องการในการใช้งานทางด้าน Air Traffic Management (ATM) คุณสมบัติของ VDL Mode 4 มีเป้าหมายเพื่อเป็นไปตามข้อกำหนดในการออกแบบดังนี้

1. เพื่อดำเนินการส่งข้อมูลจาก Gate-to-Gate บนภาคพื้นดิน และบนน่านฟ้า
2. เพื่อดำเนินการโดยไม่ต้องพึ่งโครงสร้างพื้นฐานทางภาคพื้นดินที่มีความซับซ้อน
3. เพื่อเสนอการแก้ปัญหาสำหรับผู้ใช้งานด้วยต้นทุนและประสิทธิภาพที่เหมาะสมตามความต้องการของผู้ใช้งานที่แตกต่างกัน
4. เพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลายของ ATM

Self-Organizing Time Division Multiple Access (STDMA) เป็นวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณ เป็นการแบ่งช่องสัญญาณรวมออกเป็นช่วงเวลาเล็ก ๆ ด้วยตนเอง ช่องสื่อสารแต่ละช่องจะได้รับกำหนดช่วงเวลาอย่างน้อยหนึ่งช่วง และสามารถส่งสัญญาณเต็มขีดความสามารถ เพราะไม่ต้องเสียให้กับช่องสัญญาณชนกัน [5]

Air Traffic Management (ATM) เป็นการจัดการจราจรทางอากาศ ซึ่งกิจกรรมทั้งหมดจะเป็นการสื่อสารระหว่างเจ้าหน้าที่ควบคุม กับกลุ่มนักบิน/ลูกเรือ (Air Crew) สายการบิน (Airline) และสนามบิน (Airport) สามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ [6]

1. Air Traffic Service (ATS) – การบริการจราจรทางอากาศ
2. Air traffic flow management (ATFM) – การบริหารความคล่องตัวการจราจรทางอากาศ
3. Air Space Management (ASM) – การบริหารห้วงอากาศ

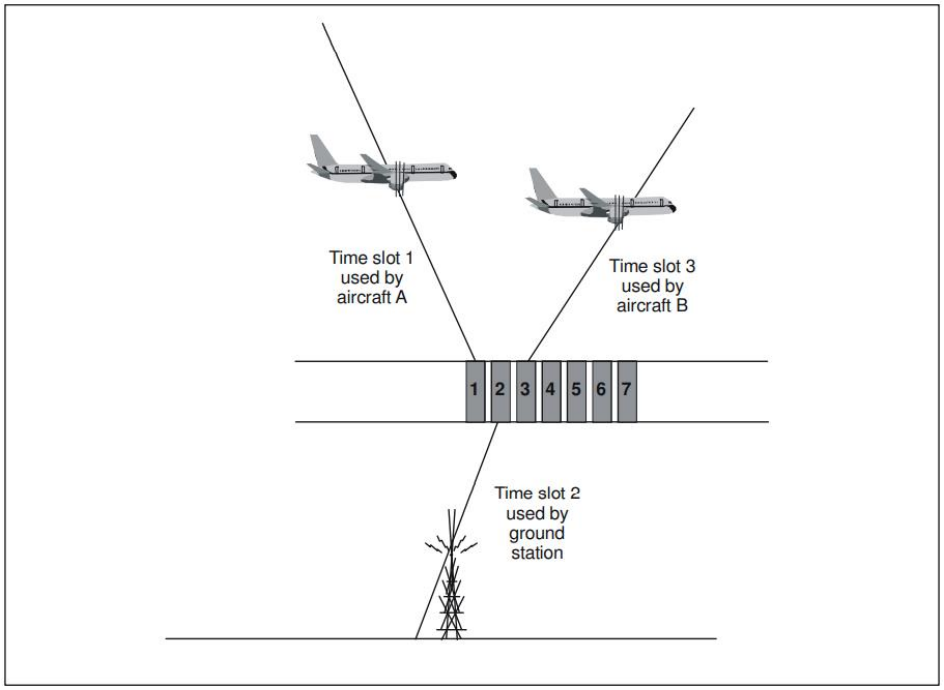
4.5.3 ความสามารถในการใช้งาน

1. VDL Mode 4 เป็น data link แบบ VHF สำหรับการสื่อสารแบบดิจิทัลระหว่างหน่วยเคลื่อนที่ (เครื่องบินและยานพาหนะภายในสนามบิน) และระหว่างหน่วยเคลื่อนที่กับหน่วยที่อยู่กับที่บนภาคพื้นดิน VDL Mode 4 ถูกพัฒนาสำหรับการใช้งานทางการบิน Communications, Navigation and Surveillance (CNS), Air Traffic Management (ATM) และการใช้งานในการสื่อสารแบบ Broadcast (เช่น Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)) และการสื่อสารแบบ Point-to-Point (เช่น

Automatic Dependent Surveillance Contract (ADS-C)) คุณสมบัติที่โดดเด่นที่สุดของ VDL Mode 4 คือ มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนข้อความซ้ำ ๆ สั้น ๆ และความสามารถในการรองรับการใช้งานโดยใช้เวลาเป็นตัวกำหนด (Time-Critical)

2. VDL Mode 4 ส่งข้อมูลดิจิทัลด้วยช่องการสื่อสาร VHF มาตรฐาน 25 kHz และใช้หลักการ Time Division Multiple Access (TDMA) ระบบ TDMA แบ่งช่องการสื่อสารเป็นช่วง ๆ เวลาของ one-minute Superframe (4500 Slots/นาที) ซึ่งในแต่ละช่วงถูกแบ่งเป็น Time Slot ช่วงเริ่มต้นของแต่ละ Time Slot เป็นโอกาสของสถานีเพื่อส่งข้อมูล ระบบ การติดตามอากาศยาน (Surveillance) อย่าง ADS-B ไม่มีข้อจำกัดจำนวนสูงสุดของสถานีที่เกี่ยวข้อง VDL Mode 4 มีความสามารถในการจัดการกับสถานะ Overload (มีความต้องการใช้ Slot มากกว่า Slot ที่มีอยู่) และการปรับให้เข้ากับการสื่อสารในลักษณะที่มีการควบคุมและมีความปลอดภัย

3. สร้างด้วยแนวคิด Self-Organizing Time Division Multiple Access (STDMA) เอกลักษณ์ที่โดดเด่นของ VDL Mode 4 คือ เวลาในการส่งข้อมูลถูกแบ่งเป็น Time Slot สั้น ๆ จำนวนมาก ซิงโครไนซ์กับ Universal Time Coordinated (UTC) แต่ละ Time Slot ถูกใช้โดยตัวรับส่งสัญญาณวิทยุ (Radio Unit) ซึ่งจะติดอยู่ติดกับเครื่องบิน ยานพาหนะภาคพื้นดิน หรือสถานีภาคพื้นดิน ในการส่งข้อมูล ซึ่งผลของ Self-Organizing Protocol VDL Mode 4 ไม่ต้องการในการใช้งานสถานีภาคพื้นดิน ดังนั้น VDL Mode 4 รองรับการใช้งานแบบ Air-Air เช่นเดียวกับการใช้งานแบบ Ground-Air



รูปที่ 4.12 Time Slots ใน VDL Mode 4

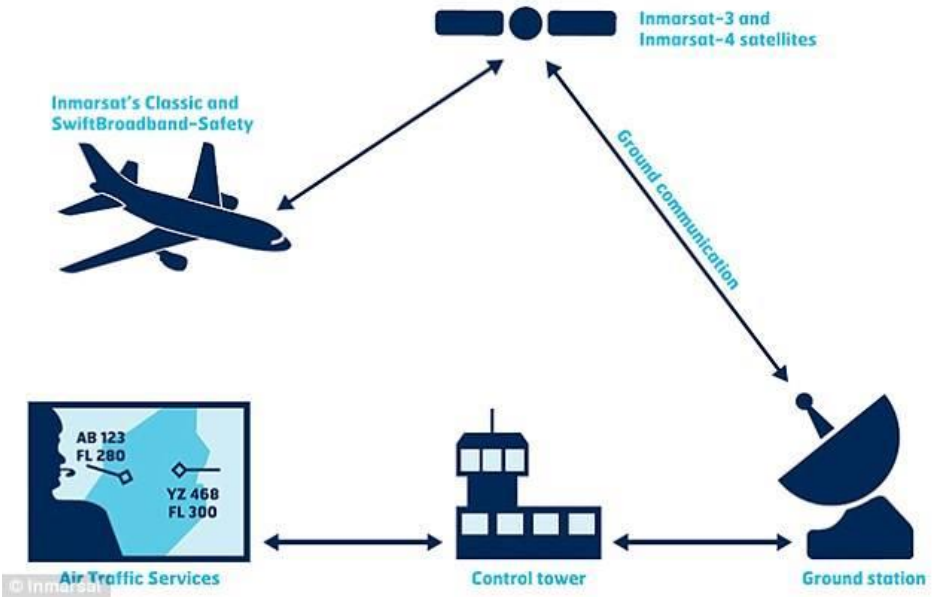
4.5.4 ภาพรวมของการให้บริการ VDL Mode 4

VDL Mode 4 ให้บริการในการสื่อสารแบบดิจิทัล รองรับการใช้งานต่าง ๆ ของ Communications, Navigation and Surveillance (CNS) และ Air Traffic Management (ATM) VDL Mode 4 ยังรวมองค์ประกอบของการติดตามอากาศยาน (Surveillance) ซึ่งผู้ใช้งานทั้งหมดสามารถส่งตำแหน่งของตัวเองทำให้ผู้ใช้งานทั้งหมด (เครื่องบินและสถานีภาคพื้นดิน) รู้ตำแหน่งที่แน่นอนของผู้ใช้งานอื่น ๆ ทั้งหมดในบริเวณใกล้เคียง ข้อมูลนี้สามารถใช้ในการจัดการ Data Link และยังทำให้การสื่อสารแบบ Broadcast และ Point-to-Point สามารถนำมาใช้กับการใช้งาน ADS-B และ ADS-C

ระบบ Automatic Dependent Surveillance — Broadcast (ADS-B) เป็นเทคโนโลยีนำร่องอากาศยานที่สามารถแสดงตำแหน่งของอากาศยานที่สามารถแสดงตำแหน่งของอากาศยาน ความสูง ความเร็ว ตลอดจนพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์โดยไม่ต้องอาศัยผู้ควบคุม ADS-B เป็นเทคโนโลยีใหม่ล่าสุดที่ใช้กำหนดกระบวนทัศน์ด้านการสื่อสาร (Communication) การนำทาง (Navigation) และการติดตามอากาศยาน (Surveillance) ของการจัดการจราจรทางอากาศในปัจจุบัน ทั้งนี้ ระบบ ADS-B ได้รับการตรวจสอบและรับรองแล้วว่าสามารถนำมาใช้แทนเรดาร์แบบเดิม ๆ ได้โดยมีต้นทุนที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ ระบบ ADS-B ยังช่วยให้นักบินและผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ “มองเห็น” และควบคุมอากาศยานได้แม่นยำขึ้นรวมทั้งได้มุมมองจากผิวโลกเป็นเปอร์เซ็นต์ที่กว้างไกลกว่าในอดีต สำหรับการใช้งานหลัก ๆ นั้น อากาศยานที่ติดตั้งระบบ ADS-B จะใช้ตัวรับสัญญาณ GNSS ทั่ว ๆ ไป เพื่อรับตำแหน่งอากาศยานที่แน่นอนมาจากดาวเทียม GNSS จากนั้นก็นำตำแหน่งที่ได้บวกกับข้อมูลต่าง ๆ ของอากาศยาน ซึ่งมีขอบเขตแน่ชัด เช่น ความเร็ว ทิศทางเครื่องบิน (Heading) ความสูง และหมายเลขเที่ยวบิน แล้วข้อมูลนี้จะถูกส่งทันทีไปยังอากาศยานที่ติดตั้งระบบ ADS-B รวมทั้งภาคพื้นที่ติดตั้งระบบนี้ หรือเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียม โดยจะถ่ายทอดตำแหน่งของอากาศยานและข้อมูลอื่น ๆ มายังศูนย์ควบคุมการจราจรทางอากาศทันที [7]

ระบบ Automatic Dependent Surveillance — Contract (ADS-C) การทำงานของ ADS ในแบบนี้ จะมีการรับส่งข้อมูลได้เหมือนกับ ADS-B แต่จะแตกต่างกันตรงที่ ADS-C นั้น ใช้รับส่งข้อมูลได้ผ่านดาวเทียม

ADS-C ไม่ได้ส่งข้อมูลตลอดเวลา แต่ส่งข้อมูลเป็นช่วงเวลาที่กำหนดไว้ หรือเมื่อ Air Traffic Control (ATC) ต้องการจะดูข้อมูลปัจจุบัน ก็จะส่งสัญญาณไปที่เครื่องบินให้ทำการส่งข้อมูลอัพเดตล่าสุดมาให้ สาเหตุที่ทำให้ต้องมี ADS-C เพราะว่าระบบ ADS-B ไม่สามารถทำงานครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดได้ เช่น น่านฟ้าเหนือทะเล และมหาสมุทร จึงต้องใช้ ADS-C เข้ามาทดแทน แต่ต้องแลกมาด้วยต้นทุนที่สูงกว่า ADS-B [8]



รูปที่ 4.13 การทำงานของ ABS-C

4.5.5 การให้บริการในการสื่อสาร

VDL Mode 4 รองรับการให้บริการในการสื่อสาร 2 ประเภท

1. VDL Mode 4 specific services (VSS)

2. VDL Mode 4 Aeronautical Telecommunications Network (ATN) data link services (DLS)

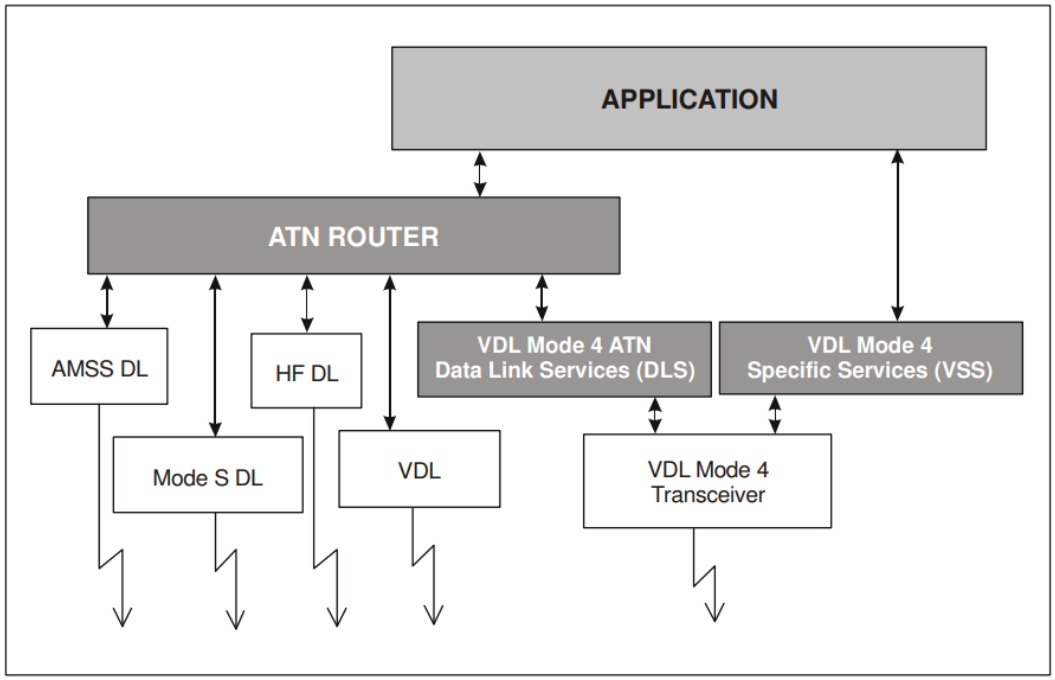
VSS รวมการสื่อสารแบบ Broadcast และ non-ATN Point-to-Point กับข้อมูล Overhead ต่ำที่สุดใช้สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูล Time-Critical นอกจากนั้น VDL Mode 4 ถือเป็น Aeronautical Telecommunications Network (ATN) subnetwork และให้บริการการสื่อสารแบบ Fully ATN-Compliant บริการเหล่านี้รองรับการใช้งานการสื่อสารแบบ Broadcast และ End-to-End ในทางกลับกันยังรองรับการใช้งาน ATM แบบ Air-Ground และแบบ Air-Air บริการของ VDL Mode 4 รองรับหลายช่องสัญญาณความถี่วิทยุ (RF) ช่องสัญญาณแบบ Point-to-Point ควรถูกแยกออกจากช่องสัญญาณ R/F ที่รองรับการให้บริการ VSS การสื่อสารแบบ Broadcast ที่แตกต่างกันสามารถใช้ช่องสัญญาณร่วมกันได้ ความเป็นไปได้สำหรับการใช้ช่องสัญญาณ RF ร่วมกันขึ้นอยู่กับข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น Channel Availability, Channel Loading, Certification Requirements และ Air Traffic Services (ATS) regulations และข้อจำกัดเหล่านี้มีความแตกต่างกันในแต่ละรัฐและภูมิภาค

การให้บริการในการสื่อสารแบบ Broadcast

1. Aeronautical Telecommunications Network (ATN) ไม่รองรับการส่งข้อมูลแบบ Broadcast อย่างไรก็ตามการส่งข้อมูลแบบ Broadcast ถูกใช้ในการใช้งาน Communications, Navigation and Surveillance (CNS) และ ATM ในหลาย ๆ ด้านที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการใช้งานการส่งข้อมูลแบบ Broadcast สามารถใช้ได้กับทั้งสถานีภาคพื้นดินและหน่วยเคลื่อนที่ (เครื่องบินและยานพาหนะภายในสนามบิน)
2. การ Broadcast ข้อมูลเป็นเทคนิคพื้นฐานของ VDL Mode 4 ขณะที่การสื่อสารแบบ Point-to-Point เป็นฟังก์ชันเสริมเพื่อรองรับความต้องการในแนวคิด Air Traffic Management (ATM) ในอนาคต การใช้งานและบริการที่สำคัญ เช่น ATS surveillance, Cockpit Display of Traffic Information (CDTI), Surface Movement Guidance Control (SMGC) และ Airborne Separation Assistance System (ASAS), ADS-B คือ ฟังก์ชันหลักของ VDL Mode 4

การให้บริการในการสื่อสารแบบ End-to-End

1. ใน VDL Mode 4 การสื่อสารแบบ End-to-End ถูกใช้โดย VDL Mode 4 specific services (VSS) หรือ Full ATN protocol (Router และ Data Link Services (DLS)) การเลือกบริการ VDL Mode 4 specific services (VSS) หรือบริการ VDL Mode 4 ATN data link ขึ้นอยู่กับจำนวนของพารามิเตอร์ เช่น Aircraft Equipage, Ground Infrastructure, Time Criticality, Economic Aspects และ Channel Loads
2. VDL Mode 4 เป็นหนึ่งใน Subnetwork ที่ถูกใช้ในการสื่อสารของ ATN การเลือก subnetwork (VDL Mode 2, 3 หรือ 4, Aeronautical Mobile Satellite Service (AMSS), High Frequency (HF) data link หรือ Mode S data link) ถูกเลือกโดย Airborne Router ตามรูปที่ 4.14



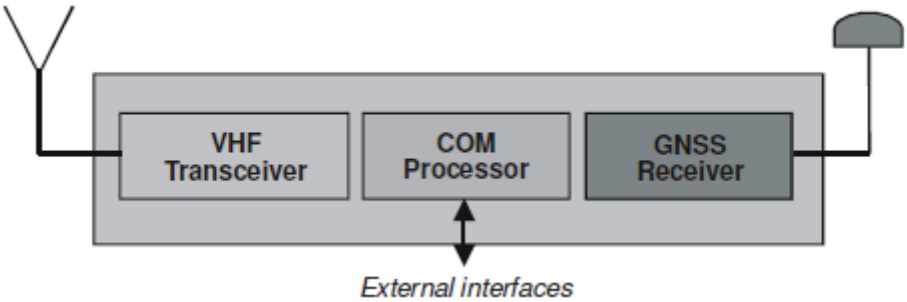
รูปที่ 4.14 การสื่อสารแบบ End-to-End ใน VDL Mode 4

3. ข้อได้เปรียบของการใช้ VDL Mode 4 สำหรับการสื่อสารแบบ ATN คือการจองโปรโตคอลสามารถใช้เพื่อจองเวลาในการส่งข้อมูลของแต่ละข้อความ ลดโอกาสในการเกิดการแย่งชิงช่องสัญญาณ (เมื่อการส่งข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไปส่งใน Slot เดียวกันในเวลาเดียวกัน) เมื่อเทียบกับ VDL Mode 2 ผลคือ Capacity เพิ่มขึ้น การสื่อสารแบบ ATN จะใช้ความถี่ที่แตกต่างกันตลอด

4.5.6 หลักการทำงานของ VDL Mode 4

เครื่องบิน ยานพาหนะในสนามบิน และสถานีภาคพื้นดินมีการติดตั้งระบบ VDL Mode 4 พร้อมระบบระบุตำแหน่ง และ Universal Time Coordinate สำหรับการซิงโครไนซ์การรับ และส่งข้อมูลตำแหน่ง

ในรูปที่ 4.15 แสดงสถาปัตยกรรมทั่วไปของ VDL Mode 4 unit พื้นฐานของสถาปัตยกรรมนี้โดยทั่วไปจะเหมือนกันทั้งผู้ใช้งานบนอากาศ และภาคพื้นดิน VDL Mode 4 unit จะเชื่อมต่อกับ Unit ภายนอกต่าง ๆ เช่น หน่วยแสดงผล คอมพิวเตอร์ และฐานข้อมูล



รูปที่ 4.15 VDL Mode 4 Unit

สถาปัตยกรรมในการใช้งานจริงอาจแตกต่างจากรูปที่ 4.15 ในขณะที่การติดตั้งบนเครื่องบิน General Aviation (GA) อาจรวมถึงการติดตั้งกล่องรับสัญญาณดาวเทียม (Single Integrated Transponder Box) ร่วมกับสถาปัตยกรรมนี้ การติดตั้งในเครื่องบินขนส่งทางอากาศอาจติดตั้ง ตัวรับ GNSS จากภายนอก

หรือใช้ระบบนำทาง และเวลาจากระบบนำทาง ในเครื่องบินขนส่งทางอากาศมีการใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนและใช้ความถี่ VHF หลายชุด และตั้งค่าเสาอากาศเพื่อรองรับความสามารถในการสื่อสารที่เพิ่มขึ้น ส่วนสถานีภาคพื้นดินจะมีตัวรับ GNSS สำหรับอ้างอิงการสร้าง uplinks เสริม

4.5.6.1 ตัวรับ GNSS

ตัวรับ GNSS ให้ข้อมูลตำแหน่ง และเวลาทั่วโลก โดยทั้งสององค์ประกอบจำเป็นสำหรับการทำงานของ VDL Mode 4 โดยทั่วไปเวลาจะได้รับจาก GNSS แต่บางทีก็มาจากแหล่งอื่นได้

4.5.6.2 ตัวรับส่งสัญญาณ Very High Frequency (VHF)

ตัวรับส่งสัญญาณ VHF ที่ติดตั้งบนอากาศยานใช้เพื่อสื่อสารตำแหน่ง และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้รายอื่น (รวมถึงสถานีภาคพื้นดิน) ตลอดจนการรับข้อมูลจากผู้ใช้รายอื่น ๆ ตัวรับส่งสัญญาณสามารถทำงานได้บนช่องสัญญาณที่มีระยะห่างกัน 25 kHz แม้ว่าจะหยุดนิ่ง สถานีภาคพื้นดินก็จะออกอากาศพิกัดตำแหน่งเป็นระยะ

ในการกำหนดค่าขั้นต่ำที่สอดคล้องกับ SARPs ตัวรับส่งสัญญาณ VHF ต้องประกอบด้วยตัวส่งสัญญาณหนึ่งตัว และตัวรับสัญญาณสองตัวที่สามารถตรวจสอบช่องสัญญาณต่าง ๆ (โดยทั่วไป คือ Global Signaling Channels (GSC)) ความสามารถในการส่ง และรับพร้อมกันบนช่องสัญญาณต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับการแยกความถี่ระหว่างช่องสัญญาณ จำนวน และตำแหน่งของเสาอากาศบนเครื่องบิน และการใช้งานวิทยุในอากาศ ข้อกำหนดที่แน่นอนสำหรับการส่ง/รับ พร้อมกันในช่องทางต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับความต้องการรองรับแอพพลิเคชั่นสื่อสารต่าง ๆ

4.5.6.3 คลื่นความถี่ (Spectrum)

VDL Mode 4 ทำงานในย่านความถี่ VHF สำหรับการบิน เช่น 108 ถึง 136.975 MHz คุณสมบัติของ VHF ทำให้สถานีสามารถเลือกสัญญาณที่ทับซ้อนกันได้ โดยจะเลือกสัญญาณที่แรงกว่าช่วยให้สามารถนำช่วงเวลา และคลื่นความถี่มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

GSC 1 คู่จะได้รับการจัดสรรสำหรับการใช้งานทั่วโลก ช่องทางเหล่านี้เพียงพอสำหรับการรองรับ ATM ในพื้นที่ส่วนใหญ่ แต่อาจต้องเสริมด้วย Local Signaling Channels (LSC) ในบริเวณเทอร์มินอลที่มีความพลุกพล่าน และสนามบินที่มีความหนาแน่นของการจราจรสูง เพื่อเสริม GSC เพื่อใช้สำหรับการเฝ้าระวังอัตโนมัติ Broadcast (ADS-B) และช่อง VHF เพิ่มเติมที่เป็นไปได้สำหรับ Uplink และ Downlink ของข้อมูลแอปพลิเคชัน

หลักการในการกำหนดช่องสัญญาณ VDL Mode 4 ยังไม่ได้รับการพัฒนาความถี่ที่เหมาะสม ต้องใช้เทคนิคการจัดการในการกำหนดชุดของความถี่ VHF ทางกายภาพในบางพื้นที่โดยพิจารณาถึงคุณลักษณะช่องสัญญาณร่วม และสัญญาณรบกวนช่องสัญญาณที่อยู่ติดกัน (Co-Channel Interference (CCI)/ Adjacent Channel Interference (ACI)) ของเครื่องรับสัญญาณ VDL Mode 4

4.5.6.4 Communication processor

1. Communication Processor เป็นคอมพิวเตอร์ที่ผสมผสานการใช้ช่องสัญญาณการสื่อสารที่เชื่อมต่อกับเครื่องส่ง VHF และเครื่องรับ GNSS โดย Communication Processor จะเก็บภาพเสมือนของ Time Slot Frame ในหน่วยความจำ และจะส่งข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากเครื่องรับ GNSS โดยใช้ข้อมูล Timing จาก UTC second pulse

2. Communication Processor ควบคุมการจัดสรร Slot สำหรับการส่งข้อมูลของสถานี มีการอัพเดต Slot Map ของ Communication Processor อย่างต่อเนื่อง และจัดสรร Slot จาก Slot ที่ว่างใน Slot Map หรือ Slot ที่นำกลับมาใช้ใหม่จากสถานีที่ห่างไกล

4.5.6.5 Functional Design Principles

1. การทำงานของ VDL Mode 4 เกิดจากองค์ประกอบฟังก์ชันพื้นฐานดังนี้
   - Physical layer ซึ่งใช้ Robust Modulation Scheme ในการ Encoding data ในแต่ละ Slot
   - โครงสร้าง Time Division Multiple Access (TDMA) frame
   - Timing Reference เพื่อบ่งบอกจุดเริ่มต้นของแต่ละ Slot
   - Position Information ใช้เพื่อจัดสรรเข้าสู่ Slot
   - โครงสร้างพื้นฐานที่ยืดหยุ่นสามารถรองรับโปรโตคอลการถ่ายโอนข้อมูล และ Broadcast ที่หลากหลาย
   - ฟังก์ชันการเลือก Slot กำหนดเมื่อสถานีสามารถเข้าสู่ช่องสัญญาณ และรักษาข้อมูลในปัจจุบันและว่าแผนการจัดสรร Slot
   - โหมดการปฏิบัติการที่แตกต่างทำให้การเข้าสู่ Slot เป็นแบบอัตโนมัติหรือควบคุมได้
   - ฟังก์ชันการจัดการการเข้าสู่ Slot ควบคุมการใช้ของแต่ละ Slot สิ่งที่ VDL Mode 4 รองรับ
   - Autonomous Access Control, ทำให้สถานีต่าง ๆ เข้าสู่ Slot โดยไม่ต้องการการควบคุมจากสถานีหลัก
   - Directed Access Schemes จำนวนหนึ่งทำให้สถานีต่าง ๆ จัดสรร Slot สำหรับสถานีอื่น ๆ และสำหรับสถานีภาคพื้นดินเพื่อควบคุมการเข้าสู่ Slot ทั้งหมด ประเภทของ Access Scheme ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ในการดำเนินการ
   - กลไกการสื่อสารของ ATN ซึ่งมีโปรโตคอล Data Link Services (DLS) แบบ Point-to-Point
   - ฟังก์ชันการจัดการลิงค์จำนวนหนึ่งรองรับกากรสื่อสารเชื่อมต่อกับสถานีอื่น ๆ และมีการเข้าถึงบริการ Data Link ในหลายช่องสัญญาณ
   - การซิงโครไนซ์ Broadcast เป็นช่วง ๆ โดยทุก ๆ หน่วยเคลื่อนที่ และสถานีภาคพื้นดินเพื่อรักษาลิงค์การสื่อสาร
   - การควบคุม Data Link Protocol Data Units (DLPDUs) ทำให้สถานีภาคพื้นดินจัดการในการเชื่อมต่อ Data Link กับหน่วยเคลื่อนที่
   - Link Establishment รวมถึง Specific Network Entry Protocols จำนวนหนึ่ง
   - Blocking Reservation Protocols และ Ground Quarantining เพื่อมอบการป้องกันสำหรับการส่งข้อมูลของสถานีภาคพื้นดินที่สำคัญ
   - GSCs ดูแลช่องสัญญาณการสื่อสารมาตรฐานทั่วโลก และวิธีการเข้าถึงบริการ Data Link อื่นๆ
   - การจัดการความถี่เพื่อเข้าถึงการดำเนินการในการบริการที่รองรับในย่านความถี่อื่น ๆ
   - Directory of Services (DoS) เพื่อให้ข้อมูลกับสถานีผ่าน GSCs ของการบริการที่รองรับ
2. เอกสาร VDL Mode 4 SARPs อ้างอิงมาจากโมเดลอ้างอิง Open Systems Interconnection (OSI) ของ International Organization for Standardization (ISO)

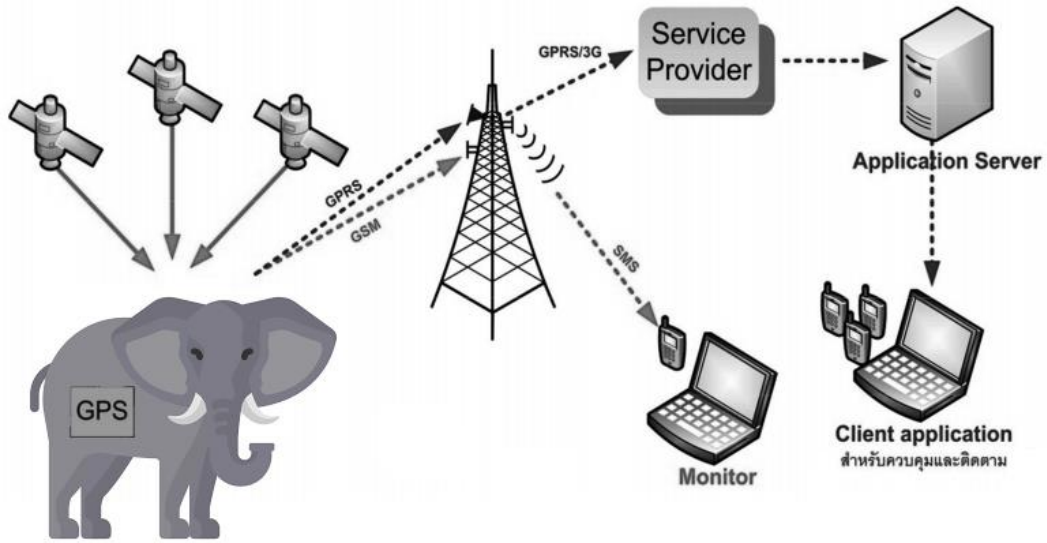
4.5.7 การประยุกต์ใช้ VDL Mode 4 กับการติดตามสัตว์ป่า

VDL Mode 4 สามารถนำมาใช้กับการติดตามสัตว์ป่าได้ เนื่องจากสามารถสื่อสารแบบ Point-to-Point ได้ เหมาะในการรับส่งข้อความสั้น ๆ ใช้หลักการ Time Division Multiple Access (TDMA) ทำให้สามารถส่งสัญญาณได้หลาย ๆ เครื่องพร้อมกัน VDL Mode 4 ทำงานในย่านความถี่ VHF สำหรับการบิน (108 - 136.975 MHz) ซึ่งการส่งสัญญาณในย่านความถี่ VHF มีคุณสมบัติในการทะลุทะลวง ส่งสัญญาณได้ระยะทางไกล และใช้พลังงานต่ำ จึงอาจจะนำเทคโนโลยีนี้มาใช้กับอุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่า ที่ต้องส่งสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ และภูเขา รวมถึงข้อดีที่การส่งสัญญาณในย่าน VHF ใช้พลังงานต่ำทำให้อุปกรณ์สามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานาน

อย่างไรก็ตาม การใช้ VDL Mode-4 จะต้องคำนึงด้วยว่าจะทำการติดตั้งสถานีรับส่งสัญญาณของ VHF ให้ครอบคลุมพื้นที่ในการติดตามสัตว์ป่าได้อย่างไร เนื่องจากลักษณะการรับส่งข้อมูลด้วย VHF นั้นเป็นแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) โดยจะรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าไปยังเครื่องรับ VHF โดยตรง จึงขึ้นกับระยะทางการเชื่อมต่อในขณะนั้น หากอยู่นอกระยะทำการก็จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกันได้เลย และการรับส่งข้อมูลที่ได้จาก GPS จะมีสัญญาณรบกวนสูง ซึ่งฝั่งรับจะสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับอย่างไร

4.6 การออกแบบอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล

การออกแบบโครงสร้างของระบบติดตามช้างป่าด้วย GPS ผ่านเครือข่าย GPRS ในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย ส่วนประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.16 ระบบติดตามช้างป่า[28]

จากรูปที่ 4.16 ตัวเครื่องรับสัญญาณ GPS จะต้องติดตั้งไว้ที่ช้างป่าที่ต้องการควบคุมและติดตาม จากที่กล่าวมาแล้วตอนต้นในการทำงานของ GPS เพื่อให้เกิดความแม่นยำสูงควรจะต้องรับสัญญาณดาวเทียม GPS อย่างน้อย 3-4 ดวง จากนั้นอุปกรณ์ เครื่องรับ GPS จะรับข้อมูลพิกัดละติจูดและลองติจูดจากดาวเทียม GPS

[28] Doğan, Habib & Caglar, Mehmet & Yavuz, Musa & Gözel, Mahmut. (2016). Use of Radio Frequency Identification Systems on Animal Monitoring. SDU International Journal of Technological Science. 8. 38-53.

และส่งข้อมูลกลับมา โดยนำข้อมูลมาใช้ร่วมกับแผนที่ (Mapping) จึงทำให้ทราบตำแหน่งช้างป่าว่าอยู่ตำแหน่งใด

ในการควบคุมและติดตามช้างป่า ข้อมูลจากเครื่องรับ GPS จะส่งผ่านมายังเครือข่ายผู้ให้บริการ GSM (Global System for Mobile) สำหรับในประเทศไทยมีผู้ให้บริการ เช่น เอไอเอส ดีแทค ทรู หรือผู้ให้บริการรายอื่น ๆ โดยตัวกลางในการส่งผ่านจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย เช่น GPRS (General Packet Radio Service) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีของการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายชนิด Packet Switching ข้อดีของระบบนี้คือ ระบบจะมีการเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตตลอดเวลาจึงมักนิยมนำมาใช้งานร่วมกับการส่งข้อมูล GPS ผ่าน GPRS ไปยังผู้ให้บริการและส่งผ่านไปถึงลูกค้าผู้ใช้งาน

อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ก็ยังมีข้อเสียที่พบบ่อย คือความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการส่งข้อมูลผ่านระบบ GPRS ซึ่งมีอยู่หลายประเด็น เช่น เครือข่ายให้บริการล่ม ทำให้ข้อมูลขาดหายและไม่ต่อเนื่อง หรือผู้ใช้บริการมีจำนวนมากทำให้ช่องสัญญาณเต็ม และผู้ใช้บริการบางรายอาจจะหลุดออกจากเครือข่าย ทำให้ข้อมูลมีปัญหา และไม่เพียงพอต่อการให้บริการ หรือเกิดสภาวะผู้ใช้งานเกิน(Overload) เป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องออกแบบให้อุปกรณ์สามารถจดจำข้อมูลตำแหน่งไว้ภายในจนกว่าจะสามารถเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และการรับส่งข้อมูลกลับมาใช้งานเป็นปกติ

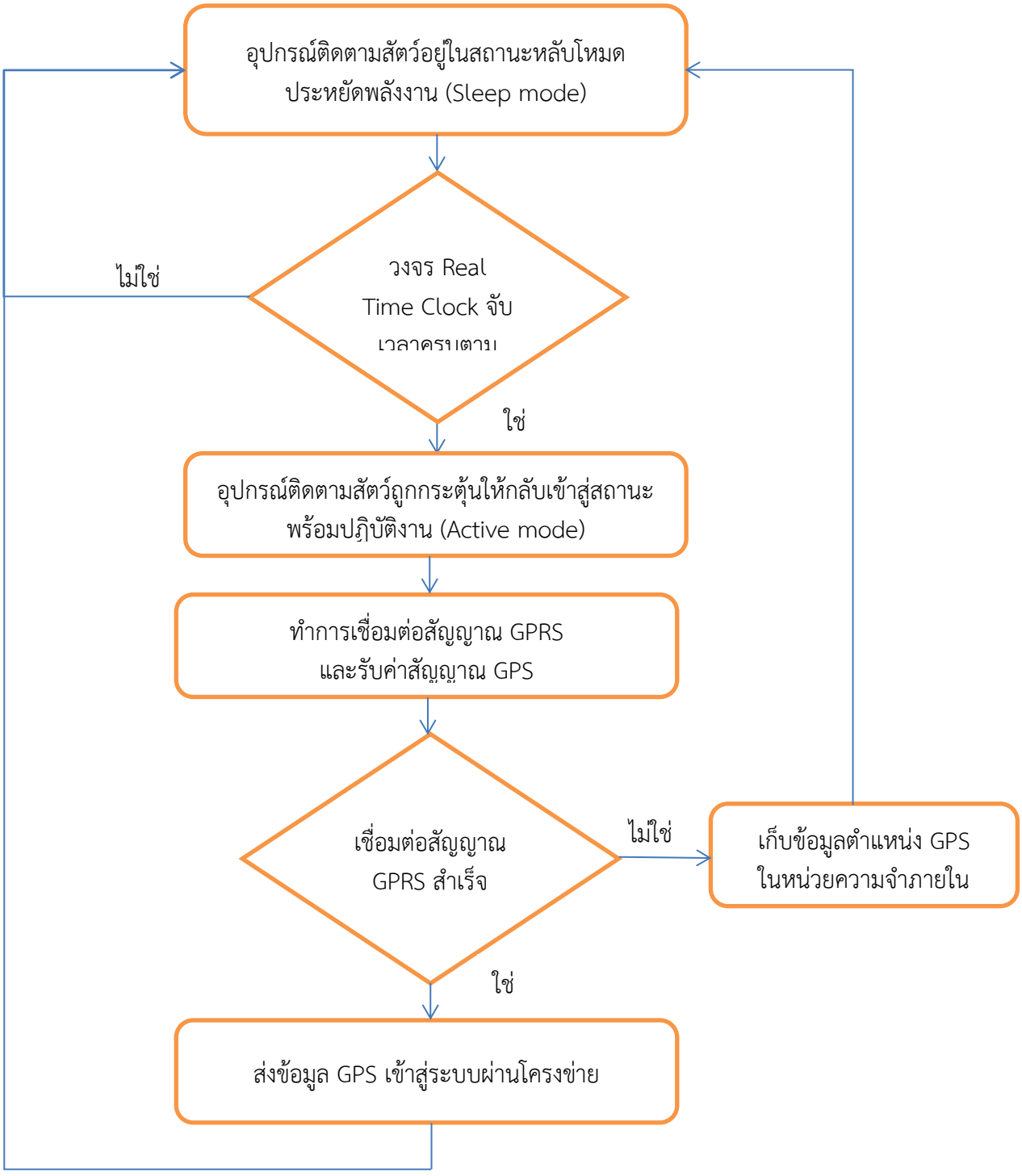
การส่งข้อมูลผ่าน GPRS จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า SIM Card ซึ่งอุปกรณ์ตัวนี้จะทำหน้าที่เป็นโมดูลระบุผู้เช่าหรือผู้ใช้บริการ (Subscriber identity/identification module) มีลักษณะเป็นแผงวงจรรวมสำหรับบันทึกเลขประจำตัวสากลสำหรับผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ (international mobile subscriber identity; imsi) รหัสใช้เฉพาะตัว รหัสปลดล็อกรหัสใช้เฉพาะตัว ข้อมูลเข้ารหัสตามความจำเป็นสำหรับอนุญาตให้ผู้ขอรับบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ (รวมถึงคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติทำงานอย่างเดียวกัน) รับบริการตามสิทธิ์ของตน โดยทั่วไป ในอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้กันนั้นจะเป็น SIM Card แบบเสียง (Voice SIM Card) ส่วน SIM Card ที่ใช้ในอุปกรณ์เครื่องรับ GPS จะใช้เป็นแบบข้อมูล (Data SIM Card) ซึ่งจะใช้สำหรับรับและส่งข้อมูลอย่างเดียวจะไม่ใช้ฟังก์ชันใน ส่วนของ voice เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยจะทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องระหว่างผู้ใช้บริการกับเครือข่ายผู้ให้บริการ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการระบุผู้ใช้ว่าคือใคร และใช้เก็บข้อมูลส่วนตัวต่าง ๆ ของผู้ใช้บริการ เช่น หมายเลขโทรศัพท์ และ SMS

อุปกรณ์ Data SIM Card จะถูกติดตั้งไว้ในอุปกรณ์อุปกรณ์ติดตามช้างป่าแต่ละเครื่อง เพื่อใช้ในการส่งผ่านข้อมูลผ่านข้อมูล GPS โดยทำหน้าที่ระบุตัวตนผู้ใช้งานกับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อ GPS รับข้อมูลจากดาวเทียมมาแล้วข้อมูลจะเก็บอยู่ที่ระบบ เมื่อผู้ใช้งานต้องการเรียกใช้งานตัวกลางที่สื่อสารคือ GPRS ดังที่กล่าวไปแล้ว ในการรับส่งข้อมูลก็จะส่งผ่านเสาสัญญาณของผู้ให้บริการ ในส่วนของผู้ให้บริการจะมีระบบควบคุมที่เป็น Server เพื่อแสดงผลข้อมูลเชิงแผนที่ตามตำแหน่งช้างป่าที่ติดตาม

4.6.1 ความเหมาะสมต่อการติดตามช้างป่า

เนื่องจากอุปกรณ์ติดตามช้างป่า จะถูกติดตั้งไว้กับตัวช้างป่า ทำให้ต้องมีการติดตั้งแบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน โดยจะถูกประจุไฟเพียงครั้งเดียวก่อนติดตั้งไว้บนตัวช้างป่า ดังนั้น อุปกรณ์ติดดามช้างป่าจึงจำเป็นต้องถูกออกแบบให้มีการใช้พลังงานที่จำกัด โดยจะอยู่ในสถานะหลับ (Sleep mode) และจะถูกกระตุ้นให้กลับมาอยู่ในสถานะพร้อมทำงาน (Active mode) เมื่อได้รับสัญญาณกระตุ้นจากวงจรนาฬิกาที่เป็นเวลาจริง (Real Time Clock, RTC) เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด เมื่อเข้าสู่สถานะพร้อมทำงาน อุปกรณ์ภายในต่าง ๆ จะถูกกระตุ้น โมดูล GPRS จะเริ่มทำการเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อขอใช้บริการรับส่งข้อมูล GPRS โมดูลส่วนรับสัญญาณดาวเทียม GPS จะทำการรับสัญญาณดาวเทียม ถอดรหัสเพื่อแปลงเป็นตำแหน่งพิกัด นอกจากนี้ ระบบจะทำการอ่านรหัสประจำตัวช้างป่าที่ได้บันทึกไว้ในอุปกรณ์ RFID เมื่อระบบได้รับข้อมูลตำแหน่ง เวลา และรหัสประจำตัวช้างป่า ครบถ้วนแล้ว ก็จะทำการส่งข้อมูลเข้าสู่ส่วนกลางผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่บนบริการ GPRS ก็จะเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานในสถานะหลับ (Sleep mode)

อย่างไรก็ตาม หากการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ GPRS กับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เกิดปัญหา ข้อมูลตำแหน่ง เวลา และรหัสประจำตัวช้างป่า ที่ได้จากอุปกรณ์ GPS และ RFID จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำสำรองภายในอุปกรณ์ติดตามช้างป่า ก่อนจะเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานในสถานะหลับ (Sleep mode) ข้อมูลนี้จะถูกส่งเมื่อใดก็ตามที่ระบบสามารถเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่บนบริการ GPRS ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการใช้งานข้อมูลเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ การย้ายถิ่นของช้างป่า ขั้นตอนการทำงานของระบบสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.17

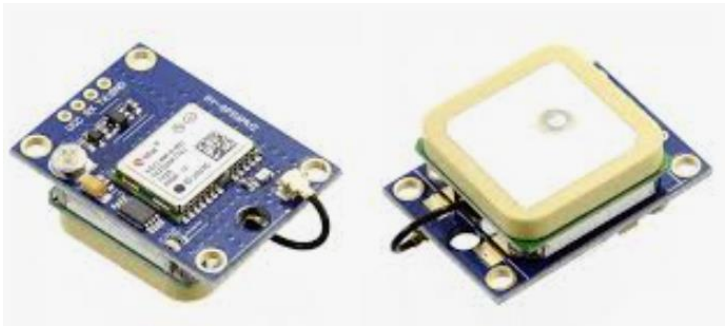


รูปที่ 4.17 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

4.6.2 การแจ้งการปรากฏตัวของช้างป่าโดยการเชื่อมต่อผ่านสัญญาณ GPS GPRS และ RFID

4.6.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้งานกับระบบ GPS

ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้งานกับระบบ GPS เช่น โมดูล GPS รุ่น U-blox NEO-6MV2 ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณที่ได้รับจากดาวเทียม GPS ผ่านทางสายอากาศมาถอดรหัส เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้งานต่อไป มีคุณสมบัติคือ สามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 3-5 โวลต์ มี EEPROM ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการตั้งค่าเมื่อไม่มีพลังงาน มีแบตเตอรี่สำรอง ใช้การเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอนุกรม และมี LED แสดงผลการทำงาน ดังรูปที่ 4.18 และในรูปที่ 4.19 เป็นโมดูล GPS ที่ใช้งานร่วมกับสายอากาศ



รูปที่ 4.18 โมดูล GPS รุ่น NEO-6M พร้อมสายอากาศในตัว

รูปที่ 4.19 โมดูล GPS รุ่น Grove - GPS V1.2 พร้อมสายอากาศแบบแยกส่วน

4.6.2.2 การใช้งาน GPS

โมดูล GPS ที่ใช้กันทั่วไปจะรองรับโปรโตคอลมาตรฐานคือ NMEA (NMEA 0183) ที่พัฒนาโดย National Marine Electronics Association (NMEA) ซึ่งมีรายละเอียดและชนิด sentences ย่อย แยกไปตามประเภทการใช้งาน แต่โดยรวมจะเก็บข้อมูลหลัก ๆ ของ GPS ไว้ เช่น position, velocity, time, DOP (Dilution of Precision) และอื่น ๆ ปัจจุบันที่ใช้งานกันอยู่คือ NEMA 2.0-2.3 โดยมีการเพิ่ม message บางส่วนเกี่ยวกับ DGPS (Differential GPS) เข้ามา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ โมดูล GPS แต่ละรุ่นที่จะรองรับโปรโตคอลของ NMEA ที่แตกต่างกันมากน้อยตามการใช้งาน เช่น SiRF chipset รองรับ GPGGA, GPGLL, GPGSA, GPGSV, GPRMC, และ GPVTG

ข้อมูลที่ได้จากโมดูล GPS เป็นสตรีมของข้อมูล GPS/NMEA โดยผู้พัฒนาจะใช้ไลบรารี่ในการจัดการและแปลงข้อมูลที่มาจากโมดูล GPS สามารถแสดงค่าพิกัดตำแหน่ง, เวลา, วันที่, ความสูง, ความเร็ว และเส้นทางได้ จากข้อความ NMEA 2 ข้อความ คือ $GPGGA (Global Positioning System Fix Data) และ $GPRMC (Recommended minimum specific GPS/Transit data)

4.6.2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการส่งข้อมูล

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมามีการนำระบบ GPS ไปประยุกต์ใช้กับงานในหลากหลายแบบ เช่น 1. การประเมินสภาพการจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร[29] 2. งานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินสภาพการจราจรโดยเน้นในเรื่องความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลจาก GPS[30] และ 3. การวิจัยเกี่ยวกับความผิดพลาดในการส่งข้อมูลผ่านระบบ GPRS[31] จะเห็นได้ว่าตัวอย่างงานวิจัยที่ผ่านมาข้อมูลที่รับส่งผ่านระบบ GPS ต้องมีความถูกต้องมากที่สุดหรือเกิดผิดพลาดน้อยที่สุด[32] ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการส่งข้อมูล GPS จากการศึกษาได้ทำการสรุปออกเป็น 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 ความผิดพลาดในส่วนของดาวเทียม ระบบรับสัญญาณและการประมวลผลสัญญาณ GPS
กลุ่มที่ 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการส่งข้อมูล GPS แบบเวลาจริงผ่านเครือข่าย GPRS
กลุ่มที่ 3 ความผิดพลาดที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอก เป็นต้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสภาพแวดล้อม ความผิดพลาดจากดาวเทียม และการส่งข้อมูล GPS ผ่านระบบ GPRS เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความผิดพลาดในการส่งข้อมูล สำหรับความเร็วในการวิ่งของวัตถุที่ติดตั้งระบบรับสัญญาณ GPS พบว่า วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เกิน 120 กิโลเมตรชั่วโมง จะไม่มีผลต่อความผิดพลาดในการส่งข้อมูล[33] ดังนั้น เมื่อเกิดปัญหาความผิดพลาดในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย GPRS จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการจัดการข้อมูล โดยข้อมูลที่ไม่สามารถจัดส่งได้ จะถูกเก็บบันทึกไว้ในหน่วยความจำภายในอุปกรณ์ติดตามช้างป่า โดยจะถูกจัดส่งอีกครั้งเมื่ออุปกรณ์สามารถติดต่อกับเครือข่าย GPRS ได้

นอกจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวไปแล้วข้างต้นยังมีปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ด้วย เช่น พื้นที่จุดอับสัญญาณหรือสถานที่ปิดทึบ เช่น ในถ้ำ โพรงใต้ดิน ระบบสัญญาณ GPS จะไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ ทำให้ไม่สามารถติดตามช้างป่าได้ ประเด็นต่อมาคือปัจจัยที่เกิดจากอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ GPRS หากแบตเตอรี่หมดก็ไม่สามารถใช้ในการติดตามช้างป่าได้เช่นเดียวกัน

4.6.2.4 เครื่องรับสัญญาณ GPS

ตัวอย่างเครื่องรับสัญญาณ GPS เช่น GPS Module ของ U-blox รุ่น NEO6m

U-blox NEO-6M GPS Module เป็นโมดูล GPS ที่ใช้ระบุตำแหน่งต่าง ๆ บนโลก สามารถติดตามดาวเทียมได้มากถึง 22 ดวงใน 50 ช่องสัญญาณ มีความไวการจับสัญญาณระดับสูงสุดของวงการอุตสาหกรรม เช่น การติดตามสัญญาณ -161 dB ในขณะที่ใช้กระแสไฟเพียง 45mA สามารถอัพเดตตำแหน่งสูงสุด 5 ตำแหน่งต่อวินาทีด้วยความแม่นยำของตำแหน่งแนวนอน 2.5 เมตร วงจรติดตามตำแหน่งของ U-blox 6 ยังมี Time-To-First-Fix (TTFF) ที่น้อยกว่า 1 วินาที มีโหมดประหยัดพลังงาน (Power Saving Mode) ช่วยลดการใช้พลังงานของระบบโดยการเลือกสวิตช์เปิดและปิดส่วนต่าง ๆ ของเครื่องรับ ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานของ

[29] นาเซส พัชณีย์ และคณะ. “การศึกษาการประเมินสภาพจราจรจากกลุ่มยานยนต์ติดตั้ง GPS.” the 30th Electrical Engineering Conference (EECON-30), Vol 1, Kanchanaburi, Thailand, October 2007, pp. 661-664

[30] สรรพยา มงคลชัย. 2551. “วิธีการประมาณสภาพการจราจรที่ติดตั้งเครื่องรับ GPS.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมควบคุมและเครื่องมือวัด มจธ.

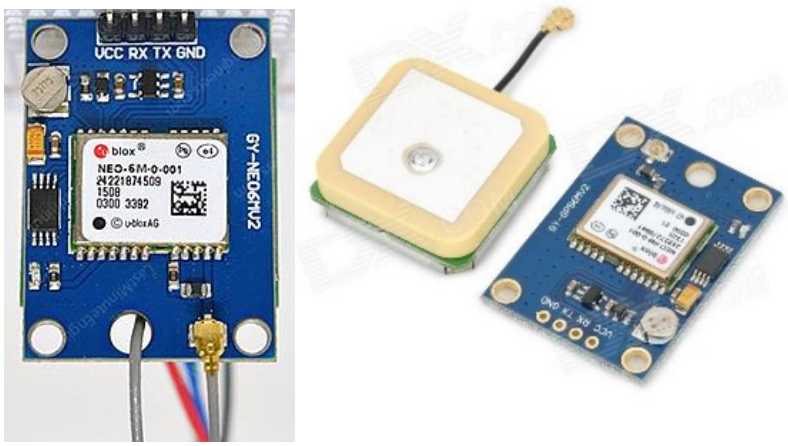
[31] Ken Nakajima, ToshiyuluTanaka. 2004. “Study on Accuracy Improvement under Bad Condition in GPS.” SICE AnnμAl Conference in Sapporo, August 4-6, 2004 Hokkaido Institute of Technology, Japan

[32] ธงชัย และ นวพร. 2551. “การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการส่งข้อมูล GPS ผ่านระบบ GPRS.” NCIT2012 National Conference on Information Technology, 27-28 เมษายน 2555, ชะอำ เพชรบุรี ประเทศไทย.

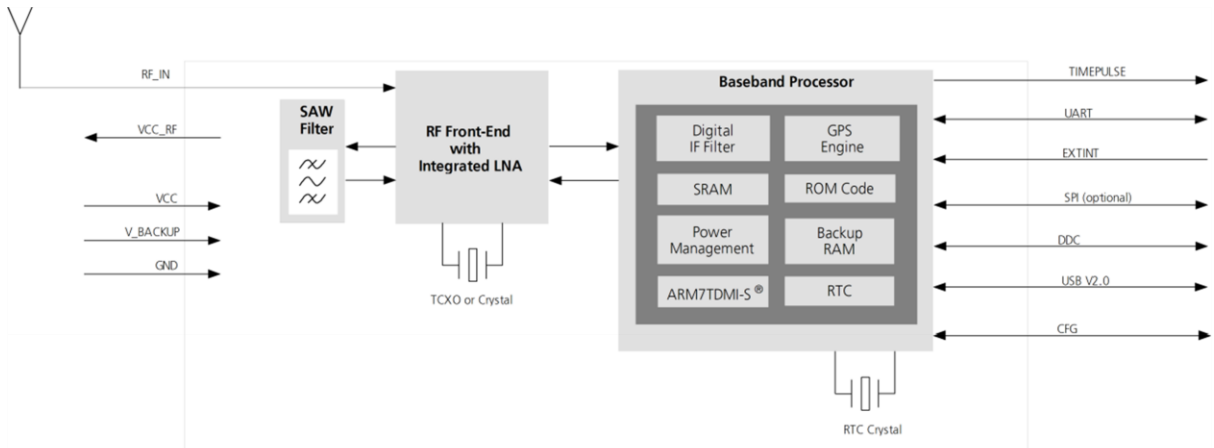
[33] ธงชัย แก้วกิริยา, "การควบคุมและติดตามยานพาหนะด้วยระบบ GPS โดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านเครือข่าย GPRS/3G" วารสารร่มพฤกษ์ มหาวิทยาลัยเกริก ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 กุมภาพันธ์ - พฤษภาคม 2557

โมดูลลงอย่างมากให้เหลือเพียง 11 มิลลิแอมป์ ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องใช้พลังงานน้อยมาก เช่น การติดตามสัตว์ป่า นาฬิกาข้อมือที่มี GPS

ตำแหน่งขาที่จำเป็นของชิป GPS NEO-6M ถูกแยกออกเป็นส่วนหัวพิทช์ 0.1 นิ้ว ซึ่งรวมถึงขาที่จำเป็นสำหรับการสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่าน UART โมดูลรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลตั้งแต่ 4800bps ถึง 230400bps โดยมีค่าเริ่มต้นที่ 9600 bps มี EEPROM ใช้เก็บข้อมูลการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ พร้อมแบตเตอรี่สำหรับสำรองข้อมูล



รูปที่ 4.20 โมดูล GPS รุ่น NEO-6M



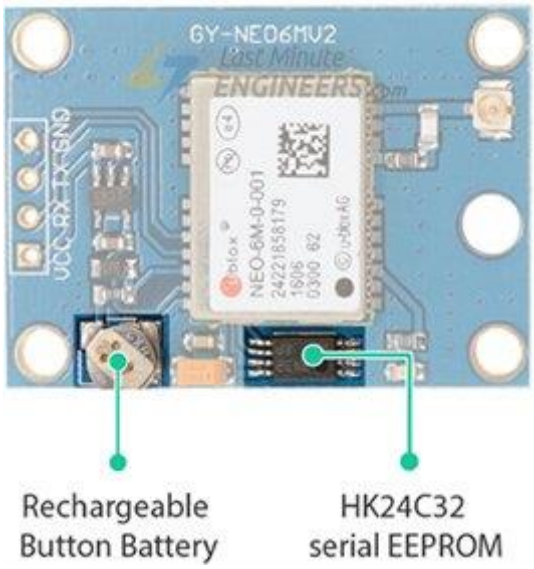
รูปที่ 4.21 โครงสร้างภายของ โมดูล GPS รุ่น NEO-6M

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของ NEO-6M

Receiver Type	50 channels, GPS L1(1575.42Mhz)
Horizontal Position Accuracy	2.5m
Navigation Update Rate	1HZ (5Hz maximum)

Capture Time	Cool start: 27sHot start: 1s
Navigation Sensitivity	-161dBm
Communication Protocol	NMEA, UBX Binary, RTCM
Serial Baud Rate	4800-230400 (default 9600)
Operating Temperature	-40℃ ~ 85℃
Operating Voltage	2.7V ~ 3.6V
Operating Current	45mA
TXD/RXD Impedance	510Ω
Mounting Hole	3mm
Module size	23mm * 30mm
Antenna size	12 * 12mm

แรงดันไฟฟ้าในการทำงานของชิป NEO-6M อยู่ที่ 2.7 ถึง 3.6V โมดูลนี้มาพร้อมกับตัวควบคุม 3V3 แบบเลื่อนออก (dropout) MIC5205 จาก MICREL พินลอจิกยังทนต่อแรงดัน 5 โวลต์ จึงสามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ระดับลอจิก 5V โดยไม่ต้องใช้ตัวแปลงระดับลอจิก



รูปที่ 4.22 ชุด EEPROM ของ โมดูล GPS รุ่น NEO-6M

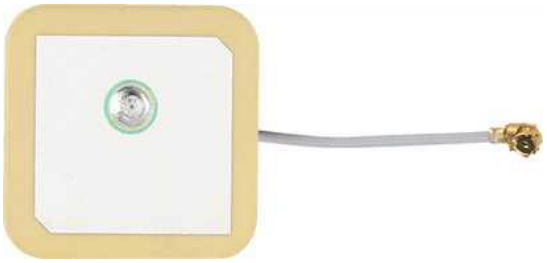
โมดูลนี้ติดตั้ง EEPROM แบบอนุกรมสองสาย HK24C32 มีขนาด 4KB และเชื่อมต่อกับชิป NEO-6M ผ่านอินเทอร์เฟสแบบ I^2C มีแบตเตอรี่ปุ่มแบบชาร์จไฟได้ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุแบบซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ การใช้ EEPROM ร่วมกับแบตเตอรี่จะช่วยรักษา RAM สำรองของแบตเตอรี่ (battery backed RAM

หรือ BBR) BBR ประกอบด้วยข้อมูลนาฬิกา ข้อมูลตำแหน่งล่าสุด (ข้อมูลวงโคจรของ GNSS) และการกำหนดค่าโมดูล แต่ไม่ได้มีไว้สำหรับการจัดเก็บข้อมูลถาวร

เนื่องจากแบตเตอรี่ยังคงค่านาฬิกาและตำแหน่งสุดท้าย เวลาในการแก้ไขครั้งแรก (TTFF) จะลดลงเหลือเพียงอย่างมาก 1 วินาที ซึ่งจะช่วยให้ล็อกตำแหน่งได้เร็วขึ้นมาก หากไม่มีแบตเตอรี่ตัวนี้ GPS จะเริ่มทำงานแบบ Cold Boot เสมอ ซึ่งทำให้การล็อก GPS เริ่มต้นจะใช้เวลามากขึ้น

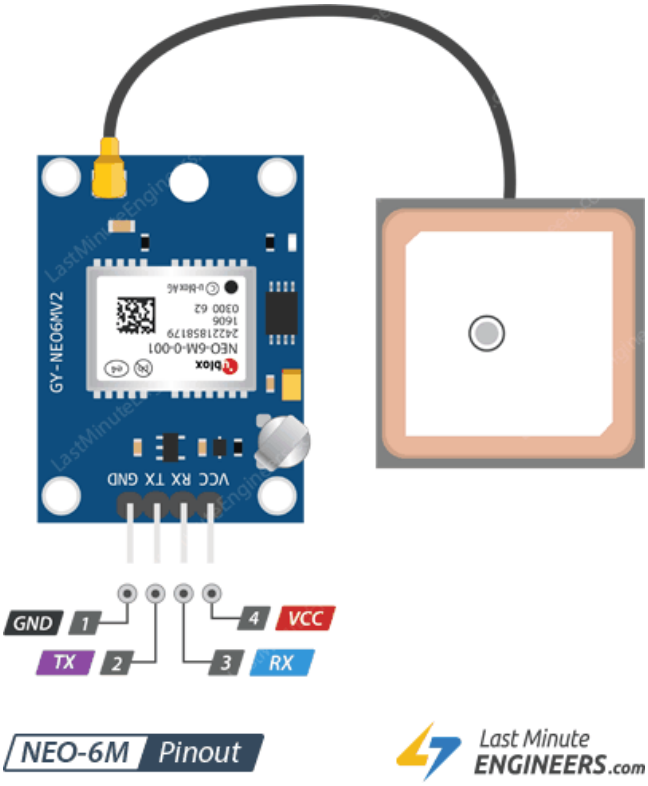
แบตเตอรี่จะชาร์จโดยอัตโนมัติเมื่อใช้พลังงานและจะคงข้อมูลไว้ได้นานถึงสองสัปดาห์โดยไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยง

โมดูลจำเป็นต้องใช้เสาอากาศเพื่อใช้สำหรับการสื่อสาร โดยมีเสาอากาศแบบแพทช์ที่มีความไว -161 dBm หากต้องการให้มีความไวเพิ่มขึ้นหรือใส่โมดูลไว้ในกล่องโลหะ สามารถติดเสาอากาศ GPS แบบแอคทีฟ 3V ใด ๆ ผ่านขั้วต่อ U.FL ได้



รูปที่ 4.23 สายอากาศแบบ Patch ของ โมดูล GPS รุ่น NEO-6M

ตำแหน่งขาของโมดูล NEO-6M GPS



รูปที่ 4.24 ตำแหน่งขาของโมดูล GPS รุ่น NEO-6M

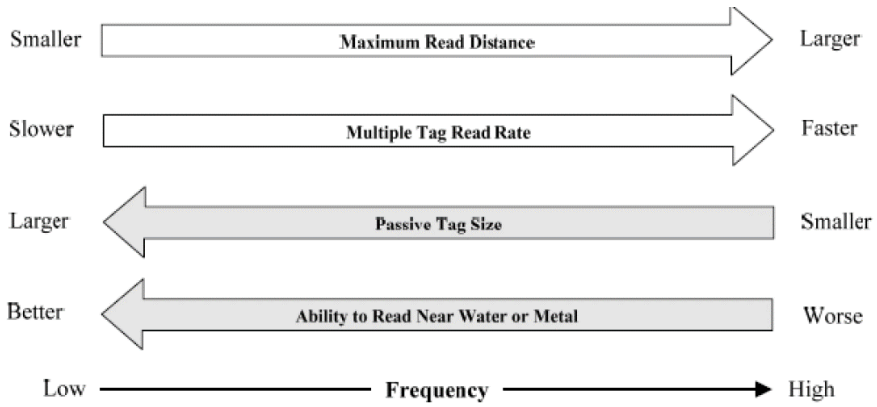
GND ขากราวด์และต้องเชื่อมต่อขานี้กับอุปกรณ์อื่น เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์
TxD (Transmitter) ขาส่งข้อมูลสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม
RxD (Receiver) ขารับข้อมูลสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม
VCC ขาต่อไฟเลี้ยงของโมดูล

ตารางที่ 4.2 ข้อกำหนดแรงดันไฟฟ้าของ NEO-6M

Parameter	Symbol	Module	Min	Max	Units
Power supply voltage	VCC	NEO-6M, 6P	-0.5	3.6	V
Backup battery voltage	V_BCKP	All	-0.5	3.6	V
USB supply voltage	VDDUSB	All	-0.5	3.6	V
Input pin voltage	Vin	All	-0.5	3.6	V
	Vin_usb	All	-0.5	VDDUSB	V
DC current trough any digital I/O pin (except supplies)	Ipin			10	mA
VCC_RF output current	ICC_RF	All		100	mA

4.6.2.5 RFID

ระบบ RFID เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างป้าย RFID (tag) และเครื่องอ่าน (reader) ที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกัน อย่างไรก็ตาม ระบบ RFID มีความถี่หลายความถี่ให้เลือกใช้งาน และมีประสิทธิภาพต่างกัน เช่น ระยะการอ่าน ระยะเวลาที่ป้าย RFID จะทำการตอบสนอง และความเหมาะสมของพื้นที่ใช้งานที่มีผลต่อการรับส่งข้อมูล ดังนั้นการเลือกใช้งาน ระบบ RFID จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ การเลือกใช้งานความถี่ การเลือกใช้งานป้าย RFID และการเลือกเครื่องอ่าน RFID



รูปที่ 4.25 คุณสมบัติของระบบ RFID เมื่อใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ

การเลือกใช้งานความถี่

ป้าย RFID และเครื่องอ่านใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งมีความถี่ใช้งาน (operating frequency) แตกต่างกัน โดยระบบ RFID จะทำงานอยู่ในย่านความถี่ 4 แบบ คือ LF, HF, UHF, และไมโครเวฟ โดยที่ ย่านความถี่ใช้งานนี้จะมีผลกระทบต่อ ความเร็ว ระยะการอ่าน และความแมนยำในการใช้งานระบบ

ตารางที่ 4.3 ย่านความถี่วิทยุที่ใช้งานในระบบ RFID

ความถี่	ช่วงความถี่	ช่วงความยาวคลื่น	ความถี่ ISM	ระยะการอ่าน (ป้ายแพสซิฟ)
ความถี่ต่ำ (LF)	30 – 300 kHz	10 km – 1 km	125 – 135 kHz	< 50 cm
ความถี่สูง (HF)	30– 300 MHz	100 m – 10 m	6.78, 8.11, 13.56, และ 27.12 MHz	< 3 m
ความถี่สูงยิ่ง (UHF)	300– 3000 MHz	1 m – 10 cm	433, 869, 915 MHz	< 9 m
ความถี่ไมโครเวฟ	1 – 300 GHz	30 cm – 1 mm	2.44, 5.89 GHz	> 10 m

จากตารางแสดงให้เห็นความถี่ที่ใช้งานในระบบ RFID ซึ่งมีหลายคลื่นความถี่ภายในช่วง สเปกตรัมความถี่วิทยุแต่ส่วนมากที่ใช้งานกันจะอยู่ใน 4 ช่วงความถี่หลัก ๆ คือ ความถี่ต่ำ (LF: 30 – 300 KHz), ความถี่สูง (HF: 3 – 30 MHz), ความถี่สูงยิ่ง (UHF: 300 MHz – 3 GHz), และความถี่ไมโครเวฟ (1 – 300 GHz) รวมถึงแสดงระยะการอ่านของป้าย RFID แบบแพสซิฟในแต่ละความถี่ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปการใช้งานความถี่ย่าน UHF นั้น จะแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ซึ่งมีการกำหนดความถี่ที่ใช้งาน 3 แถบความถี่ต่อไปนี้

- ย่านความถี่ที่ 1: 865-868 MHz เช่น ประเทศในแถบอินเดีย และยุโรป
- ย่านความถี่ที่ 2: 902-928 MHz เช่น ประเทศอเมริกา และออสเตรเลีย
- ย่านความถี่ที่ 3: 950-954 MHz เช่น ประเทศญี่ปุ่น

สำหรับประเทศไทย กำหนดให้ใช้ย่านความถี่ 920-925 MHz

ตารางที่ 4.4 ย่านความถี่ UHF ที่ใช้งานในระบบ RFID

ประเทศใช้งาน	ย่านความถี่ UHF ที่จัดสรรให้ระบบ RFID	กำลังงา**นสูงสุด**ที่แพร่กระจายได้
สหรัฐอเมริกา	902 – 928 MHz	4 วัตต์ (EIRP)
ออสเตรเลีย	918 – 926 MHz	1 วัตต์ (ERP)
ยุโรป	865 – 868 MHz	2 วัตต์ (ERP)
ฮ่องกง	865 – 868 MHz	2 วัตต์ (ERP)
	920 – 925 MHz	4 วัตต์ (EIRP)
อินเดีย	865 – 867 MHz	4 วัตต์ (EIRP)
ญี่ปุ่น	950 – 956 MHz	4 วัตต์ (EIRP)
สิงคโปร์	923 – 925 MHz	2 วัตต์ (EIRP)

นอกจากนี้ยังได้มีการกำหนดกำลังงาน (มีหน่วยเป็นวัตต์) ที่ใช้ในการส่งสัญญาณในยานความถี่ UHF โดยแต่ละประเทศจะกำหนดไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาจะกำหนดการแพร่ของสัญญาณตามพารามิเตอร์ EIRP ส่วนยุโรปจะใช้พารามิเตอร์ ERP (1 ERP = 1.64 EIRP) สำหรับประเทศไทยกำหนดให้มีกำลังส่งสูงสุด (maximum transmit power) สำหรับย่านความถี่ 920-925 MHz จะต้องไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 กำลังส่งสูงสุดที่ใช้งานในระบบ RFID

กำลังส่งสูงสุด	**เงื่อนไข**
0.5 วัตต์ (EIRP)	ได้รับยกเว้นใบอนุญาตให้มีใช้ หรือนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม และตั้งสถานีวิทยุคมนาคม
4 วัตต์ (EIRP)	ต้องได้รับใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ RFID ในย่านความถี่ใช้งานต่าง ๆ พบว่า ระบบ RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) สำหรับอุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าจะมีประสิทธิภาพสูงสุด คือมีระยะการอ่านที่ไกลกว่าและมีความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง แม้จะมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความยาวคลื่นที่สั้นทำให้ถูกดูดกลืนได้ง่ายด้วยของเหลวและโลหะทำให้ระยะการอ่านนั้นลดลง รวมถึงความเร็วในการอ่านและเขียนข้อมูลที่รวดเร็ว ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดมากขึ้น รวมถึงมีอุปกรณ์หลายอย่างที่ทำงานในความถี่นี้ ทำให้อาจเกิดการแทรกแซงด้วยความถี่จากอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ง่าย ตลอดจนช่วงความถี่ UHF ในแต่ละประเทศที่แตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถนำระบบ RFID ไปใช้งานได้ในทุกประเทศ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระบบ RFID ที่ทำงานย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) มีความเร็วในการอ่านที่สูงและมีระยะการอ่านไกล ทำให้เหมาะสำหรับนำไปใช้งานทางด้านการเก็บเงินอัตโนมัติ (automated toll collection), การจัดการคลังสินค้า (warehouse management), และ การติดตามรายการสินค้า เป็นต้น

ตารางที่ 4.6 ข้อดีและข้อเสียของระบบ RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ [34]

ความถี่	ข้อดี	ข้อเสีย	การใช้งาน
LF	ใช้งานได้ทั่วไป และดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำและโลหะ	ระยะการอ่านต่ำ และความเร็วในการอ่านข้อมูลช้า	ระบบบ่งชี้สัตว์/สิ่งของ การอ่านวัสดุที่มีน้ำอยู่ภายใน
HF	ความแน่นอน และความเร็วในการอ่านและสามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น	ต้องการพลังงานที่มากขึ้น	ระบบการเข้าออกอาคาร การจัดเก็บกระเป๋าในสายการบิน การยืมหนังสือในห้องสมุด
UHF	ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง	ทำงานได้ไม่ดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำ และโลหะ	การเข้าออกที่จอดรถ
Microwave	ระยะการอ่านที่ไกล และสามารถเก็บข้อมูลได้มาก	ทำงานได้ไม่ดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำ และโลหะ	ห่วงโซ่อุปทาน

[34] ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์, และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ระบบบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ = Radio frequency identification (RFID) system. flse. ปทุมธานี:สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ; 2552."

การเลือกใช้งานป้าย RFID

การเลือกใช้งานป้าย RFID ให้เหมาะสมกับงานที่จะประยุกต์ใช้จะทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ เช่น ประเภทของป้าย ความถี่ที่ทำงาน ระยะการอ่าน จำนวนหน่วยความจำ ความสามารถในการอ่านเขียนและเข้าถึงหน่วยความจำ รูปร่างของป้าย สภาพแวดล้อมที่จะนำป้ายไปใช้งาน และมาตรฐานของป้าย

สำหรับระยะการอ่านของป้าย RFID นอกจากจะขึ้นอยู่กับช่วงความถี่แล้ว ยังขึ้นอยู่กับประเภทของป้าย ป้าย RFID แบบแพสซิฟ มีหลักการทำงานที่ต้องใช้พลังงานจากเครื่องอ่านในการทำงาน ดังนั้นถ้าพลังงานจากเครื่องอ่านสงออกมาน้อยก็จะทำให้ระยะการอ่านลดลง สำหรับระยะการอ่านของป้าย RFID แบบแพสซิฟในแต่ละความถี่ โดยช่วงความถี่ UHF จะให้ระยะการอ่านที่สูงประมาณน้อยกว่า 9 เมตร ซึ่งเหมาะสมกับงานระบบบริการการเข้าออกที่จอดรถ ระบบติดตามห่วงโซ่อุปทาน และอุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่า

สำหรับป้าย RFID แบบแอคทีฟนั้นสามารถมีระยะการอ่านได้สูงถึง 100 เมตร ซึ่งเหมาะกับงานบางประเภท เช่นการนำป้าย RFID แบบแอคทีฟไปใช้งานกับวัตถุขนาดใหญ่เช่น ตู้สินค้า, รถราง, และตู้คอนเทนเนอร์ สามารถใช้ได้ที่ความถี่455 MHz, 2.45 GHz, หรือ 5.8 GHz ซึ่งมีระยะการอ่านตั้งแต่ 20 ถึง 100 เมตร อย่างไรก็ตาม ป้าย RFID แบบแอคทีฟ จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ในการให้พลังงานกับป้าย ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับงานที่มีระยะเวลาทำงานยาวนานและเข้าถึงได้ยาก เช่น อุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่า

นอกจากประเภทของป้าย RFID แล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อระยะการอ่านสูงสุด เช่น พลังงานของป้าย RFID ได้รับ โดยจะขึ้นกับสภาพวะแวดล้อมและความถี่ใช้งาน เมื่อความถี่ที่ทำงานเปลี่ยนไป การส่งผ่านพลังงานก็จะเปลี่ยนไปตามคุณสมบัติการสูญเสียพลังงานที่ความถี่ในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ นอกจากนี้ ขนาดของสายอากาศภายในป้าย RFID เทคนิคการติดต่อสื่อสารแบบคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ (inductive coupling) หรือแบบการกระจายย้อนกลับ (backscattering) และกำลังงานเครื่องอ่านก็เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มระยะการอ่าน RFID

การเลือกใช้งานเครื่องอ่านป้าย RFID

RFID Desktop Reader

เป็นเครื่องอ่าน ขนาดเล็กกะทัดรัด ระยะการอ่านสำหรับคลื่นความถี่ 125 KHz. และ 13.56 MHz ส่วนใหญ่จะมีระยะ 0 - 1 ซม. สำหรับคลื่นความถี่ UHF จะมีระยะการอ่านอยู่ที่ 5 - 10 ซม.

RFID OTG (On The Go)

เป็นเครื่องอ่านที่ถูกพัฒนาขึ้นมาพิเศษเพื่อสะดวกนำไปใช้งาน เช่น เครื่องอ่าน RFID สำหรับติดตั้งกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อให้ลูกค้านำไปประยุกต์ใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น เนื่องจากจะใช้พลังงานจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งให้พลังงานไม่มากนัก จึงมีระยะการอ่านจำกัด คือ สำหรับคลื่นความถี่ 125 KHz. และ 13.56 MHz ส่วนใหญ่จะมีระยะ 0 - 1 ซม. สำหรับคลื่นความถี่ UHF จะมีระยะการอ่านอยู่ที่ 0 - 3 ซม.

RFID Handheld Reader

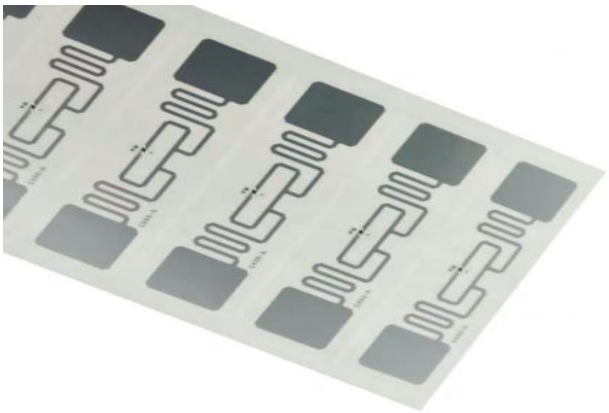
เครื่องอ่าน RFID แบบพกพา (RFID Handheld Reader) เป็นเครื่องอ่านที่เหมาะสำหรับพกพาไปอ่านตามจุดต่าง ๆ เครื่องอ่านมีให้เลือกทั้งการเชื่อมต่อแบบระบบ Bluetooth หรือแบบ Portable PC โดยการเลือกใช้งานจะขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน หรือ งบประมาณ เครื่องอ่านบางรุ่นสามารถอ่าน QR Code และใส่ SIM ได้อีกด้วย ระยะการอ่านสำหรับคลื่นความถี่ UHF จะมีระยะการอ่านอยู่ที่ 0-15 เมตร ขึ้นกับกำลังงานส่งของเครื่องอ่าน

RFID Integrated Reader

เป็นเครื่องอ่านที่มีเสาอากาศสำหรับส่งสัญญาณภายในตัว มักจะเลือกใช้เครื่องอ่านประเภทนี้ สำหรับพื้นที่ที่ไม่กว้างนัก เพียงติด Integrated Reader 1 ตัว ก็สามารถอ่าน RFID แท็กได้ทั้งหมด ตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่น นำไปติดกับประตูเข้า - ออกอาคาร หรือติดกับระบบไม้กั้น ระยะการอ่านสำหรับคลื่นความถี่ UHF จะมีระยะการอ่านอยู่ที่ 0-9 เมตร สำหรับป้าย RFID แบบแพสซีฟ และ 10-50 เมตร สำหรับ ป้าย RFID แบบแอคทีฟ ขึ้นกับกำลังงานส่งของเครื่องอ่านและป้าย RFID

UHF RFID Sticker

เป็น RFID Tag ที่จะใช้ติดกับอุปกรณ์ติดตามช้างป่าเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ระบุอัตลักษณ์ ทำการบันทึกอัตลักษณ์ของช้างป่าร่วมกับหมายเลขระบุประจำตัวของ Tag มีลักษณะเป็น passive tag ไม่มีการใช้พลังงาน การอ่านค่าจะต้องใช้เครื่องอ่าน RFID แบบ UHF



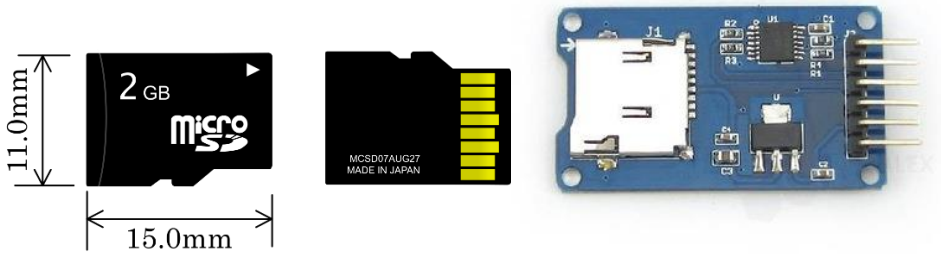
รูปที่ 4.26 UHF RFID Sticker

คุณสมบัติของ Tag

1) Operating frequency: 860 to 960 MHz
2) Chip Type: Alien H3
3) Standard: Global EPC Class1 Gen2 ISO/IEC 180006C
4) Memory: 32bits TID, 96bits EPC, 512 bits user
5) Working mode: Read Write
6) Read Distance: 7 m / 23.0 ft Depends on reader and environment
7) Data retention: 10 years
8) Programming Cycles: 100,000 time
9) Material: PET
10) Size: 73 x 21 mm
11) Antenna Type: 9662
12) Feature: Adhesive

4.6.3 การบันทึกแนวเส้นทางการเดินในแต่ละวันของช้างป่า

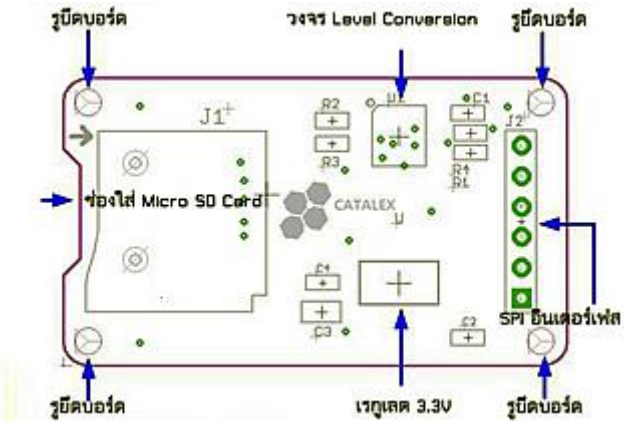
ใช้ Micro SD Card ในการเก็บบันทึกข้อมูลในขณะที่อุปกรณ์ติดตามช้างป่าไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายที่เวลานั้นได้ โดยใช้วงจรเชื่อมต่อกับ MicroSD Module ดังนี้



รูปที่ 4.27 Micro SD Card

Micro SD Card Module สำหรับบันทึกข้อมูลต่าง ๆ จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ลงบน Micro SD Card มีอินเตอร์เฟสแบบ SPI มีวงจรปรับแรงดันเรกูเลต 3.3V มาให้ในตัวบอร์ด และสามารถใช้แรงดันไฟในช่วง 4.5V - 5.5V

Micro SD-Card จะใช้บันทึกแนวเส้นทางการเดินในแต่ละวันของช้างป่าได้ โดยบันทึกอย่างน้อย 4 ตำแหน่ง/วัน และสามารถปรับเปลี่ยนรอบการบันทึกได้ ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลในขณะที่อุปกรณ์ติดตามช้างป่าไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายที่เวลานั้นได้ โดยใช้วงจรเชื่อมต่อกับ MicroSD Module ดังนี้



รูปที่ 4.28 Micro SD Card Module

4.6.4 การส่งข้อมูลบันทึกแนวเส้นทางการเดิน

การใช้ Micro SD Card จึงสามารถบันทึกแนวเส้นทางการเดินผ่านสัญญาณดาวเทียมสื่อสาร (GPS) เก็บไว้ภายในตัวได้โดยเมื่ออุปกรณ์ไม่สามารถเชื่อมต่อระบบสื่อสารเพื่อรับส่งข้อมูลที่เวลานั้น และหากอุปกรณ์ติดตามช้างป่าสามารถเชื่อมต่อระบบสื่อสารได้ก็สามารถส่งข้อมูลที่เก็บไว้นั้นให้กับระบบปลายทางและนำข้อมูลที่เก็บได้นำไปแสดงผลข้อมูลบนระบบแผนที่ เช่น Google Map ได้

4.6.5 การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ภาคสนามในการปรับแต่งค่าคอนฟิกใหม่

งานวิจัยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นตัวประมวลผลหลัก จะทำการอัพโหลดโปรแกรม หรือแก้ไขและอ่านค่าต่าง ๆ ด้วยการเชื่อมต่อผ่านพอร์ตรับส่งข้อมูลแบบ USB (Universal Serial Bus) กับคอมพิวเตอร์แบบส่วนบุคคลที่ใช้งานกันทั่วไป

4.6.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP-32 ที่มีความเหมาะสมกับงานวิจัยในหลายด้าน ได้แก่

1. ใช้พลังงานน้อยมาก
2. มีโหมดประหยัดพลังงาน ช่วงเวลาที่ยังไม่ได้ส่งข้อมูล
3. มีพอร์ตเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่น ๆ ค่อนข้างครบถ้วน

ESP32

ESP32 เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว พัฒนาต่อจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ออกแบบโดยบริษัท Espressif (เซี่ยงไฮ้, ประเทศจีน) สามารถโปรแกรมลงไปได้ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย มีพื้นที่โปรแกรมมากถึง 8MB ทำให้มีเหมาะสมกับการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ในระบบ Internet of Things ESP32 ใช้พลังงานต่ำบนไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปที่มี Wi-Fi ในตัวและบลูทูธสองโหมด ESP32 ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Tensilica Xtensa LX6 ทั้งแบบแกนประมวลผลคู่ (dual-core) และแกนประมวลผลเดี่ยว (single-core) หรือไมโครโปรเซสเซอร์ RISC-V แบบ single-core และรวมถึงสวิตช์เสาอากาศในตัว RF balun เพาเวอร์แอมป์ แอมพลิฟายเออร์รับสัญญาณรบกวนต่ำ ฟิลเตอร์ และโมดูลการจัดการพลังงาน ESP32 ผลิตโดย TSMC โดยใช้กระบวนการผลิตขนาด 40 นาโนเมตร

รูปที่ 4.29 ชิปไอซี ESP32 ในรูปตัวถัง QFN-42

มีรายละเอียด ดังนี้

- วงจรรวมของชิปบรรจุอยู่ในแพ็คเกจ QFN ขนาด 6 มม. × 6 มม. และ 5 มม. × 5 มม.
- ซีพียู Xtensa® แกนประมวลผลคู่ (หรือแบบแกนเดี่ยว) -ขนาด 32-bit ใช้สถาปัตยกรรม LX6 แบบสัญญาณนาฬิกา 160MHz หรือ 240MHz แกนประมวลผลทั้งสองมีชื่อว่า Protocol CPU (PRO_CPU) และ Application CPU (APP_CPU) โดยโปรเซสเซอร์ PRO_CPU จัดการ Wi-Fi, Bluetooth และอุปกรณ์ต่อพ่วงภายในอื่น ๆ เช่น SPI, I^2C, ADC เป็นต้น ส่วน APP_CPU จะใช้ทำงานแอปพลิเคชัน

- มีซีพียูช่วยเป็นแบบ Ultra low power (ULP) co-processor
- มีแรมในตัว SRAM 512KB และ ROM ขนาด 448 KB
- เชื่อมต่อรอมภายนอกสูงสุด 16MB
- Wi-Fi มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station softAP และ Wi-Fi direct
- มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.2 v4.2 BR/EDR and BLE
- ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6 ถึง 3.3 โวลต์
- ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C
- การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก
    - 34 × programmable GPIOs
    - 12-bit SAR ADC ได้ถึง 18 channels
    - 2 × 8-bit DACs
    - 10 × touch sensors (capacitive sensing GPIOs)
    - 4 × SPI
    - 2 × I²S interfaces
    - 2 × I²C interfaces
    - 3 × µART
    - SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC host controller
    - SDIO/SPI slave controller
    - Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 Precision Time Protocol support
    - CAN bus 2.0
    - Infrared remote controller (TX/RX, ได้ถึง 8 channels)
    - Motor PWM
    - LED PWM (ได้ถึง 16 channels)
    - Pulse Width Modulation (PWM)
    - Pulse Counter
    - Hall effect sensor
    - Ultra low power analog pre-amplifier
    - Timers และ Watchdog
    - Real Time Clock
    - ADC และ built-in Sensors
    - Hardware Accelerator

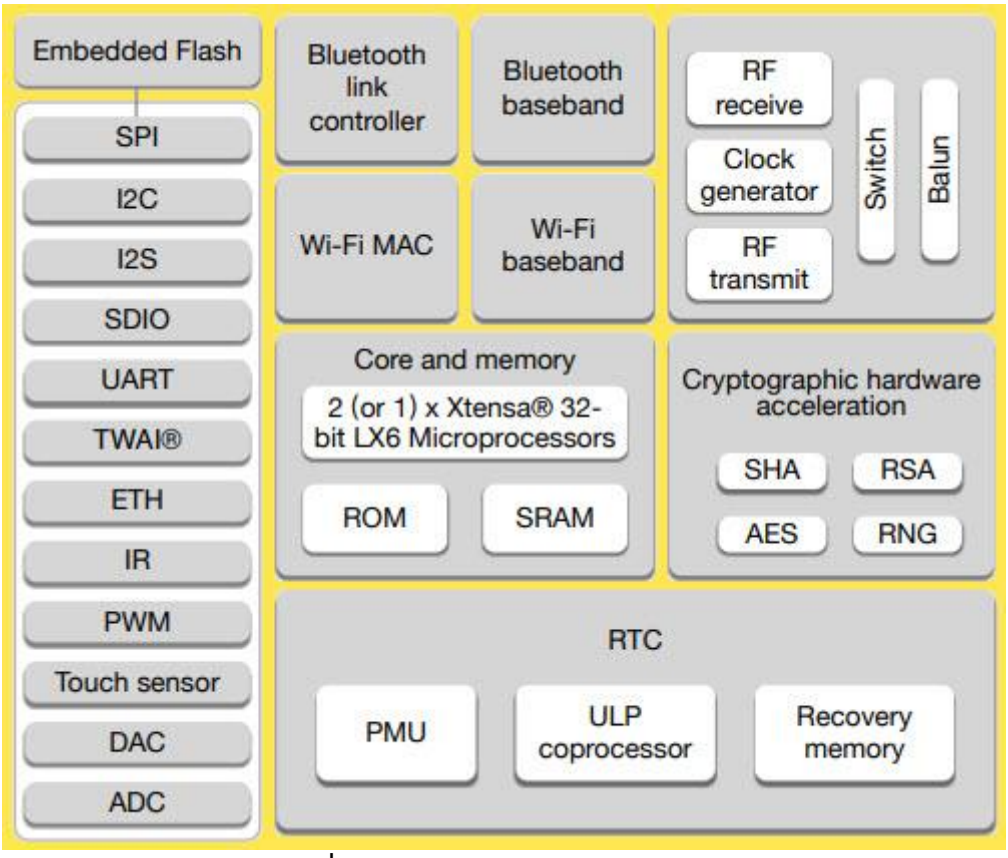
11 การจัดการความปลอดภัย:

- มาตรฐาน IEEE 802.11 ที่เกี่ยวข้องด้านความปลอดภัย เช่น WFA, WPA/WPA2 และ WAPI
- Secure boot
- Flash encryption

- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers
- Cryptographic hardware acceleration: AES, SHA-2, RSA, elliptic curve cryptography (ECC), random number generator (RNG)

12 การจัดการพลังงาน:

- Internal low-dropout regulator
- Individual power domain for RTC
- ใช้กระแส 5 μA ในโหมด deep sleep
- สามารถปลุก (Wake up) ได้จาก GPIO interrupt, timer, ADC measurements, capacitive touch sensor interrupt



รูปที่ 4.30 โครงสร้างภายในของ ESP32

ขาของโมดูล ESP32 แบ่งออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้

- VCC เป็นขาสำหรับจ่ายไฟเข้าเพื่อให้โมดูลทำงานได้
- GND
- Reset และ CH_PD (หรือ EN) เป็นขาที่ต้องต่อเข้าไฟ + เพื่อให้โมดูลสามารถทำงานได้ ทั้ง 2 ขานี้สามารถนำมาใช้รีเซ็ตโมดูลได้เหมือนกัน แตกต่างตรงที่ขา Reset สามารถลอยไว้ได้ แต่ขา CH_PD (หรือ EN) จำเป็นต้องต่อเข้าไฟ + เท่านั้น หากขานี้ไม่ต่อเข้าไฟ + โมดูลจะไม่ทำงาน
- GPIO เป็นขาดิจิทัลอินพุต/เอาต์พุตแบบทำงานทั่วไป ทำงานที่แรงดัน 3.3V
- GPIO15 เป็นขาที่ต้องต่อลง GND เท่านั้น เพื่อให้โมดูลทำงานได้

- GPIO0 เป็นขาสำหรับการเลือกโหมดทำงาน หากนำขานี้ลง GND จะเข้าโหมดโปรแกรม หากลอยไว้ หรือนำเข้าไฟ + จะเข้าโหมดการทำงานปกติ
- ADC เป็นขาอนาล็อกอินพุต รับแรงดันได้สูงสุดที่ 1V ขนาด 10 บิต การนำไปใช้งานกับแรงดันที่สูงกว่าต้องใช้วงจรแบ่งแรงดันเข้าช่วย

หน่วยความจำภายใน

โปรเซสเซอร์มีหน่วยความจำภายในสำหรับการใช้งานต่อไปนี้:

• 448 KBytes ROM สำหรับการบูตและฟังก์ชันหลัก

• 520 KBytes on-chip SRAM สำหรับข้อมูล

• 8 KBytes SRAM ใน RTC ซึ่งเรียกว่า RTC SLOW Memory และสามารถเข้าถึงได้โดยตัวประมวลผลร่วม ระหว่างอยู่ในโหมด Deep-sleep

• 8 KBytes SRAM ใน RTC ซึ่งเรียกว่า RTC FAST Memory และสามารถใช้สำหรับการจัดเก็บข้อมูลเข้าถึงได้โดย CPU หลักระหว่าง RTC Boot จากโหมด Deep-sleep

• 1 Kbit ของ EFUSE ซึ่งใช้ 256 บิตสำหรับระบบ (ที่อยู่ MAC และการกำหนดค่าชิป) และส่วนที่เหลือ 768 บิตจะสงวนไว้สำหรับแอปพลิเคชัน รวมถึง Flash-Encryption และ Chip-ID

External Flash และ SRAM

โมดูลส่วนใหญ่ เช่น ESP32 Wroom ใช้ Flash-W25Q32 ภายนอก (4M Bytes!) สำหรับจัดเก็บรหัสแอปพลิเคชัน ชิปรองรับ 4 x 16 MBytes ของแฟลช QSPI ภายนอกและ SRAM พร้อมการเข้ารหัสฮาร์ดแวร์ตามมาตรฐาน AES

ESP32 สามารถเข้าถึงแฟลช QSPI ภายนอกและ SRAM ผ่านแคชความเร็วสูง

• หน่วยความจำแฟลชภายนอกสูงสุด 16 MBytes ถูกแมปหน่วยความจำเข้ากับพื้นที่โค้ดของ CPU ซึ่งสนับสนุนการเข้าถึงแบบ 8, 16 และ 32 บิต รองรับการรันโค้ด

• SRAM ภายนอกสูงสุด 8 MBytes ถูกแมปหน่วยความจำเข้ากับพื้นที่ข้อมูล CPU ซึ่งรองรับการเข้าถึง 8, 16 และ 32 บิต รองรับการอ่านข้อมูลบนแฟลชและ SRAM รองรับการเขียนข้อมูลบน SRAM

WIFI

ESP32 ใช้ TCP/IP, 802.11 b/g/n/e/i โปรโตคอล WLAN MAC เต็มรูปแบบ และข้อกำหนด Wi-Fi Direct ESP 32 สามารถติดต่อกับเราเตอร์ WiFi ส่วนใหญ่ได้เมื่อใช้ในโหมดสถานี (ไคลเอนต์) นอกจากนี้ยังสามารถสร้าง hot-spot ที่มีฟังก์ชันการทำงานแบบ 802.11 b/g/n/e/i เต็มรูปแบบ

ESP32 ยังรองรับ Wi-Fi Direct Wi-Fi-Direct เป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการเชื่อมต่อแบบเพียร์ทูเพียร์โดยไม่ต้องใช้จุดเชื่อมต่อ Wifi-Direct สามารถติดตั้งใช้งานง่ายและมีความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลได้เร็วกว่าบลูทูธมาก

• โหมดโครงสร้างพื้นฐาน BSS Station / โหมด P2P / รองรับโหมด softAP

• การสแกนค้น P2P, เจ้าของกลุ่ม P2P, ไคลเอนต์กลุ่ม P2P และการจัดการพลังงาน P2P

• ไดรเวอร์ WPA/WPA2-Enterprise และ WPS

• คุณสมบัติความปลอดภัยเพิ่มเติม 802.11i เช่น การตรวจสอบสิทธิ์ล่วงหน้าและ TSN

• อินเทอร์เฟซแบบเปิดสำหรับแผนการตรวจสอบสิทธิ์ชั้นบนต่าง ๆ ผ่าน EAP เช่น TLS, PEAP, LEAP, SIM, AKA หรือเฉพาะ client

• ช่องสัญญาณนาฬิกา/พลังงานรวมกับการจัดการพลังงานที่เป็นไปตามมาตรฐาน 802.11 ซึ่งปรับให้เข้ากับสภาพการเชื่อมต่อปัจจุบันแบบไดนามิกโดยให้การใช้พลังงานน้อยที่สุด

• อัลกอริธึมทางเลือก อัตราทางเลือกจะกำหนดอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดและกำลังส่งตามอัตราส่วนสัญญาณรบกวนจริง (SNR) และข้อมูลการสูญเสียแพ็กเก็ต

• การส่งซ้ำอัตโนมัติและการตอบสนองบน MAC เพื่อหลีกเลี่ยงการยกเลิกแพ็กเก็ตในสภาพแวดล้อมที่ช้า

Bluetooth Classic และ Bluetooth Low Energy (BLE)

- รองรับ BLE Bluetooth 4.2 และ Bluetooth แบบคลาสสิก
- Class-1, class-2 และ class-3 ส่งกำลังเอาต์พุตและช่วงการควบคุมไดนามิกมากกว่า 30 dB
- π/4 DQPSK และ 8 DPSK มอดูเลต
- ความไวของตัวรับ NZIF มีช่วงไดนามิกมากกว่า 98 dB
- การดำเนินการ Class-1 โดยไม่มี PA ภายนอก
- SRAM ภายใน ช่วยให้ถ่ายโอนข้อมูลความเร็วสูง เสียงและข้อมูล และการทำงานของ piconet เต็มรูปแบบ
- ลอจิกสำหรับการแก้ไขข้อผิดพลาดในการส่งต่อ การควบคุมข้อผิดพลาดของส่วนหัว ความสัมพันธ์ของรหัสการเข้าถึง CRC การมอดูเลต การสร้างสตรีมบิตการเข้ารหัส การสร้างพัลส์การส่ง
- ACL, SCO, eSCO และ AFH
- A-law, μ-law และ CVSD digital audio CODEC ในอินเทอร์เฟซ PCM
- SBC ออดิโอ CODEC
- การจัดการพลังงานสำหรับการใช้งานที่ใช้พลังงานต่ำ
- SMP พร้อม AE 128 บิต
- คุณสมบัติของคอนโทรลเลอร์ Bluetooth Link แบบคลาสสิก Device Discovery (inquiry และ inquiry scan)
    - Connection establishment (page and page scan)
    - Multi connections
    - Asynchronous data reception and transmission
    - Synchronous links (SCO/eSCO)
    - Master/Slave Switch
    - Adaptive Frequency Hopping and Channel assessment
    - Broadcast encryption
    - Authentication and encryption
    - Secure Simple Pairing
    - Multi-point and scatternet management
    - Sniff mode
    - Connectionless Slave Broadcast (transmitter and receiver)
    - Enhanced power control
    - Ping

ตารางที่ 4.7 การใช้พลังงาน ของ ESP-32

Power mode	Description			Power consumption
Active (RF working)	Wi-Fi Tx packet			อ้างอิงตารางที่ 4.8
	Wi-Fi/BT Tx packet			
	Wi-Fi/BT Rx and listening			
Modem-sleep	The CPU is powered on.	*240 MHz	Dual-core chip(s)	30 mA ~68 mA
		*160 MHz	Dual-core chip(s)	27 mA ~44 mA
		Normal speed: 80Hz	Dual-core chip(s)	20 mA ~31 mA
Light-sleep	-			0.8 mA
Deep-sleep	The ULP co-processor is powered on.			150 μA
	ULP sensor-monitored pattern			100 μA @1% duty 10 μA
	RTC timer + RTC memory			
Hibernation	RTC timer only			5 μA
Power off	CHIP_PU is set to low level, the chip is powered off.			1 μA

• เมื่อเปิดใช้งาน Wi-Fi ชิปจะสลับไปมาระหว่างโหมด Active และโหมด Sleep ของโมเด็ม ดังนั้น การใช้พลังงานจึงเปลี่ยนไปตามไปด้วย

• ในโหมด Modem-sleep ความถี่ของ CPU จะเปลี่ยนโดยอัตโนมัติ ความถี่ขึ้นอยู่กับโหลดของ CPU และอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้

• ในช่วง Deep-sleep เมื่อเปิดโปรเซสเซอร์ร่วม ULP อุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น GPIO และ I²C จะสามารถทำงานได้

• เมื่อระบบทำงานในรูปแบบการตรวจสอบเซ็นเซอร์ ULP ตัวประมวลผลร่วม ULP จะทำงานกับเซ็นเซอร์ ULP เป็นระยะ และ ADC จะทำงานโดยมีรอบการทำงาน 1% ดังนั้นการสิ้นเปลืองพลังงานคือ 100 μA

ข้อมูลจำเพาะการใช้พลังงาน RF

การวัดการสิ้นเปลืองพลังงานใช้แหล่งจ่ายไฟ 3.3 V ที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 °C ที่พอร์ต R การวัดของเครื่องส่งสัญญาณทั้งหมดเป็นไปตามรอบการทำงาน 50%

ตารางที่ 4.8 การใช้พลังงานด้านการรับส่งคลื่น RF ของ ESP32

โหมดการทำงาน	Min	Typ	Max	หน่วย
Transmit 802.11b, DSSS 1 Mbps, POUT = +19.5 dBm	-	2	-	mA
Transmit 802.11g, OFDM 54 Mbps, POUT = +16 dBm	-	1	-	mA
Transmit 802.11n, OFDM MCS7, POUT = +14 dBm	-	1	-	mA
Receive 802.11b/g/n	-	95 ~	-	mA
Transmit BT/BLE, POUT = 0 dBm	-	1	-	mA
Receive BT/BLE	-	95 ~	-	mA

4.6.5.2 บอร์ด DEVIO NB-DEVKIT

การรับส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งและข้อมูลอื่น ๆ ในการติดตามช้างป่า ต้องอาศัยเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น ระบบ GSM ในปัจจุบันสามารถรับส่งข้อมูลเหล่านี้ผ่านเครือข่าย Internet of Things หรือ IoT ซึ่งจะใช้พลังงานต่ำ และส่งข้อมูลจำนวนน้อย ๆ ได้มีประสิทธิภาพ

บริษัทเอไอเอสจำกัดได้ออกแบบและผลิตบอร์ดพัฒนาที่เรียกว่า “DEVIO NB-DEVKIT” ซึ่งเหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นอุปกรณ์หลักในการรับส่งข้อมูลการติดตามช้างป่า โดย DEVIO NB-DEVKIT มีคุณสมบัติดังนี้

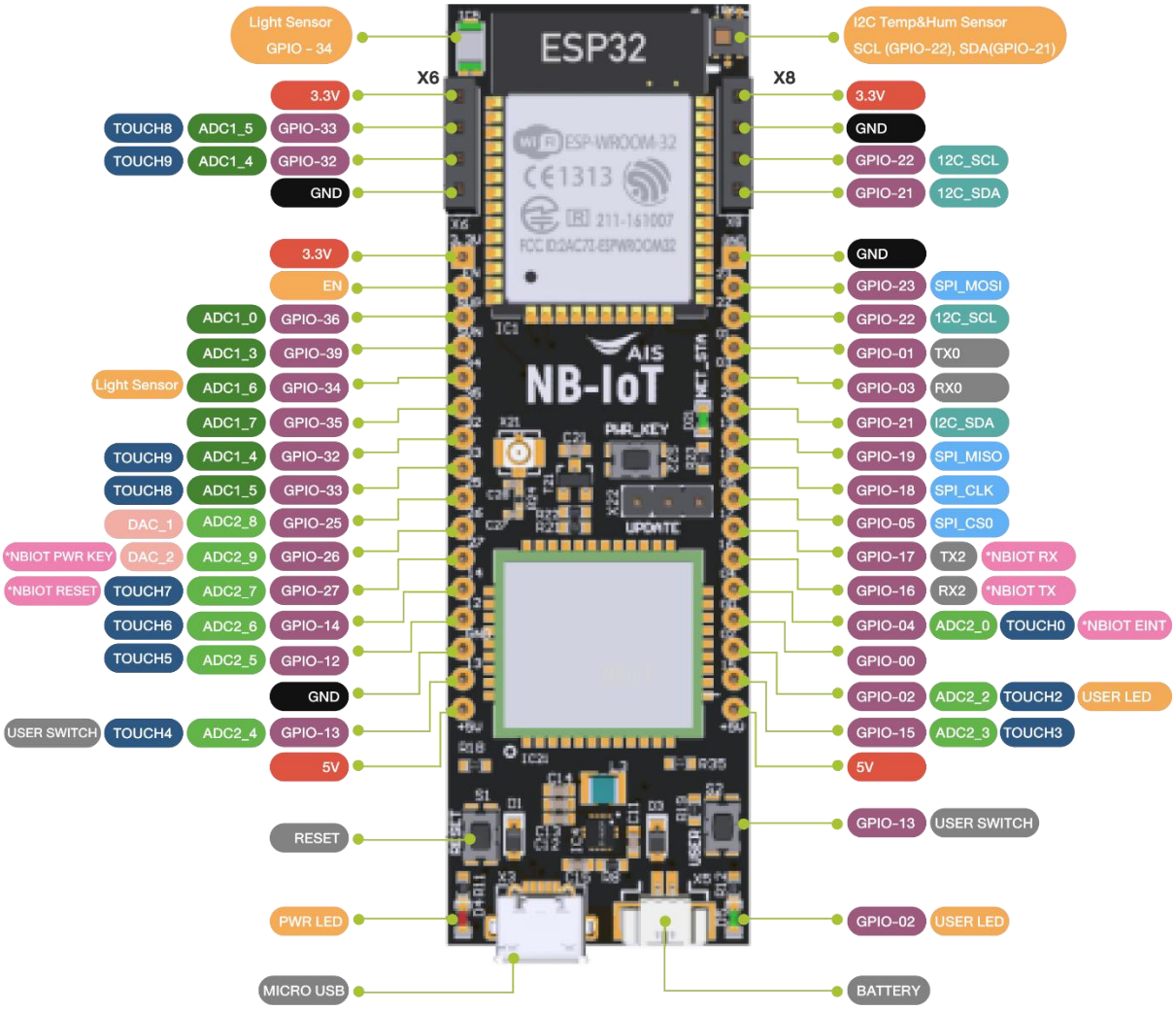
1. MCU เป็น ESP32
2. สามารถโปรแกรมโดยใช้เครื่องมือพัฒนาในกลุ่ม Arduino Programable
3. NB-IoT Connectivity
4. Bluetooth & WIFI Enabled
5. On-board sensors:
    - Temperature & Humidity
    - Ambient Light

6.On-board Switches & LED Indicators: User Programmable

รูปที่ 4.31 บอร์ด DEVIO NB-DEVKIT ของบริษัทเอไอเอส

ตารางที่ 4.9 ลักษณะของ DEVIO NB-DEVKIT

ยี่ห้อ	AIS DEVIO NB DEVKIT
หน่วยประมวลผล	ESP32 ของบริษัท Expressif รุ่น ESP32-WROOM-32 ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Xtensa® dμal-core 32-bit LX6, up to 600 MIPS (200 MIPS for ESP32-S0WD, 400 MIPS for ESP32-D2WD)
ความถี่สัญญาณนาฬิกา	สูงสุด 240MHz
หน่วยความจำ ROM ในตัวเครื่อง	448 KB
หน่วยความจำ SRAM ในตัวเครื่อง	520 KB
หน่วยความจำ SRAM ใน RTC	16KB
Wi-Fi	802.11 b/g/n 2.4GHz, up to 150 Mbps
Bluetooth	V4.2 BR/EDR
Locate Satellite	ไม่มี
โมดูลเชื่อมต่อเครือข่าย	SIMCom SIM7020E
การเชื่อมต่อเครือข่าย	LTE Cat NB1 (NB-IoT)
ความเร็วในการรับส่งข้อมูล	Uplink : 62.5 kbps; Downlink: 26.15 kbps
กำลังส่ง	สูงสุด 23dBm (200mW)
Ambient Light Sensor	Victory Semiconductors รุ่น TEMT6000X01 Interface ADC
Humidity and Temperature Sensor	Texas Instruments รุ่น HDC1080 Interface I^2C
เสาอากาศ	FLEXA013 Working Frequency: 820-960/1710-2170 MHz Bandwidth 140/460 MHz Connector Type: IPEX1 Gain (Maximum Direction): 2dB Polarization: Linear Polarization
แหล่งจ่ายไฟ	MicroUSB Battery Connector Pitch 1.25mm SMT Type



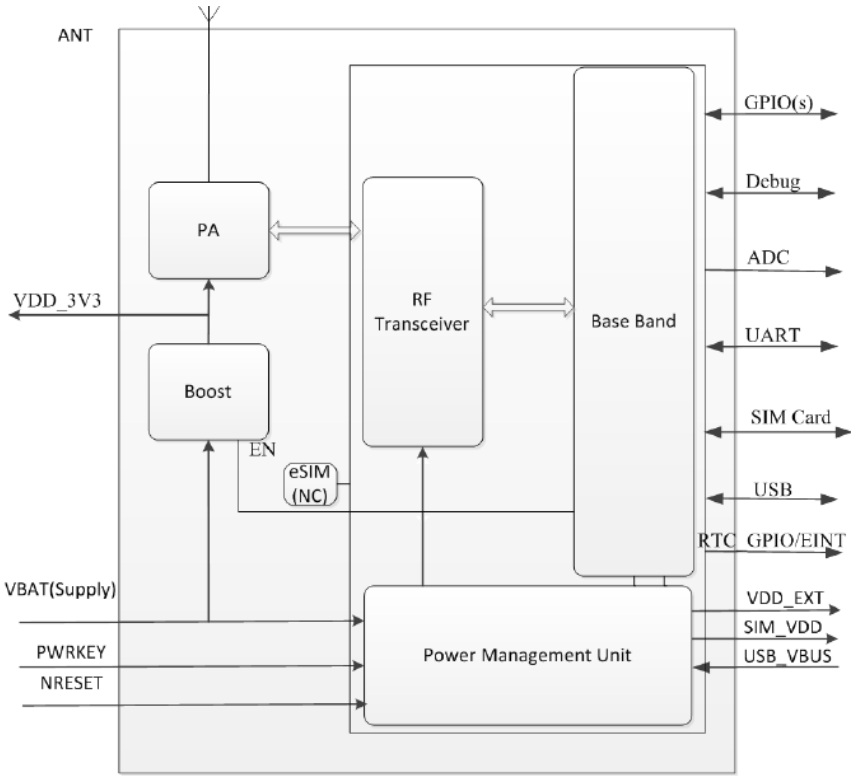
รูปที่ 4.32 ตำแหน่งขาของบอร์ด DEVIO NB-DEVKIT

SIMCom SIM 7020E

โมดูล NB-IoT ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยมีจำนวนไม่มาก นอกจากโมดูล Quectel BC-95-B8 ที่มีการใช้งานกันมาก่อนก็ยังมีโมดูลจากบริษัท U-blox และ SIMCom อีกด้วย ส่วนบอร์ด DEVIO NB-DEVKIT I นี้ ใช้โมดูล SIMCom SIM7020E

รูปที่ 4.33 โมดูล SIM7020E

SIMCom SIM7020E มีขนาด 17.6*15.7*2.3 มิลลิเมตร ทำให้มีพื้นที่ว่างเหลือสำหรับวางอุปกรณ์อย่างอื่นได้มาก รองรับ LTE CAT-NB1 ความถี่ที่รองรับมีทั้งย่าน B1/B3/B5/**B8**/B20 และ B28 โดยประเทศไทยใช้ **B8** การควบคุมโมดูลโดยใช้ AT Commands ใช้แรงดันไฟ 2.1V-3.6V ทำงานที่อุณหภูมิ -40℃ ถึง +85℃ รองรับโปรโตคอลสื่อสารหลากหลาย เช่น TCP UDP MQTT CoAP และอื่น ๆ สามารถอัพเดทเฟิร์มแวร์ผ่านพอร์ต UART2 ความเร็วในการรับส่งข้อมูล Uplink: 62.5 Kbps และ Downlink: 26.15 Kbps ด้านการใช้พลังงาน ถ้าเข้าโหมด PSM จะใช้กระแส 3.4 μA ถ้าเข้าโหมด sleep จะใช้กระแส 0.4mA และโหมด Idle จะใช้กระแส 5.6mA



รูปที่ 4.34 โครงสร้างภายในของ SIM-7020E

ตารางที่ 4.10 ลักษณะของ SIM-7020E

คุณลักษณะ	การใช้งาน
Power supply	Power supply voltage 2.1～3.6V, Typ=3.3V
Power saving	Current in sleep mode: 236μA (at+cfun=0) Current in PSM mode: 3.4μA
Radio frequency bands	
Transmitting power	LTE 23dBm
Data Transmission Throughput	LTE CAT NB1: 26.15Kbps (DL) LTE CAT NB1: 62.5Kbps (UL)
Antenna	LTE antenna.
SMS	MT, MO, Text and PDU mode
SIM interface	Support identity card: 1.8V/ 3V

คุณลักษณะ	การใช้งาน
µART1 interface	A full modem serial port by default Baud rate: default:115200bps Can be used as the AT commands or data stream channel
	Support RTS/CTS hardware handshake
µART2 interface	Baud rate: default:115200bps Can be used for debugging and upgrading firmware
USB	USB 1.1 interface for debugging (Log port can be selected by AT command.)
Firmware upgrade	Firmware upgrade over µART2 interface
Physical characteristics	Size: 17.6*15.7*2.3mm Weight: 1.3g±0.2g
Temperature range	Normal operation temperature: -30°C to + 80°C Extended operation temperature: -40°C to + 85°C* Storage temperature -45°C to + 90°C

ตารางที่ 4.11 ข้อกำหนดแรงดันไฟฟ้าของ SIM-7020E

Symbol	Description	Min.	Typ.	Max.	Unit
VBAT	Module power voltage	2.1	3.3	3.6	V
$I_{VBAT (peak)}$	Module power peak current in NB emission	500	-	-	mA
$I_{VBAT (average)}$	Module power average current in normal mode	อ้างอิงตารางที่ 4.12			
$I_{VBAT (sleep)}$	Power supply current in sleep mode				
$I_{VBAT (PSM)}$	Power supply current in PSM mode	-	3.4	-	µA
$I_{VBAT (power-off)}$	Module power current in power off mode.	-	-	12	µA

ตารางที่ 4.12 การใช้พลังงานของ SIM-7020E
อัตราการใช้กระแสเมื่อใช้ VBAT Pins (VBAT=3.3V)

Sleep/Idle Mode			
LTE supply current (without USB connection)	Sleep mode Typical: 236µA (at+cfun=0) Idle mode Typical: 5.6mA		
Power Saving Mode			
PSM supply current	PSM mode Typical: 3.4µA		
eDRX			
eDRX mode supply current	@PTW=10.24s,	eDRX=20.48s,	DRX=1.28s

(Tested in sleep mode)	Typical：230μA		
	@PTW=10.24s, Typical：130μA	eDRX=20.48s,	DRX=2.56s
	@PTW=20.48s, Typical：95μA	eDRX=81.92s,	DRX=2.56s
	@PTW=20.48s, Typical：77.5μA	eDRX=162.84s,	DRX=2.56s
	@PTW=40.96s, Typical：69μA	eDRX=655.36s,	DRX=2.56s
LTE data			
LTE-FDD B1	@23dbm Typical: 134mA @10dbm Typical: 42mA @0dbm Typical: 32mA		
LTE-FDD B3	@23dbm Typical: 116mA @10dbm Typical: 44mA @0dbm Typical: 31 mA		
LTE-FDD B5	@23dbm Typical: 116mA @10dbm Typical: 35mA @0dbm Typical: 25mA		
LTE-FDD B8 (ใช้ในประเทศไทย)	@23dbm Typical: 128mA @10dbm Typical: 35mA @0dbm Typical: 25mA		
LTE-FDD B20	@23dbm Typical: 113mA @10dbm Typical: 34mA @0dbm Typical: 26mA		
LTE-FDD B28	@23dbm Typical: 126mA @10dbm Typical: 38mA @0dbm Typical: 27mA		

การเชื่อมต่อระหว่าง DEVIO NB-DEVKIT กับ SIM-7020E

บอร์ด DEVIO NB-DEVKIT I ได้ออกแบบมาให้สื่อสารระหว่างโมดูล ESP32 กับโมดูล SIMCom SIM7020E ผ่านทาง UART โดยใช้ขา Hardware Serial (GPIO16 Rx2, GPIO17 Tx2) ที่ Baud Rate 9600 bps มีขา PWRKEY เชื่อมต่อกับขา GPIO26 และ ขา RESET เชื่อมต่อกับขา GPIO27

รูปที่ 4.35 การเชื่อมต่อระหว่าง DEVIO NB-DEVKIT กับ SIM-7020E

4.6.6 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เคมีไฟฟ้าที่ให้กระแสไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารเคมีที่อยู่ในเซลล์ ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ สามส่วนคือ[35]

1) แคโทด (cathode) หรือ ขั้วบวก
2) แอโนด (anode) หรือ ขั้วลบ
3) อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte)

ขณะใช้งาน ขั้วแอโนด (ขั้วลบ) เป็นขั้วที่เกิดปฏิกริยาเคมีที่ให้อิเล็กตรอน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) และขั้วแคโทด (ขั้วบวก) เป็นขั้วที่เกิดปฏิกริยาเคมีที่รับอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยารีดักชัน) อิเล็กตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาที่ขั้วลบ (เมื่อขั้วลบต่อกับขั้วบวกด้วยลวดโลหะ) จะวิ่งผ่านลวดเกิดกระแสไฟฟ้าที่นำไปใช้ได้ ส่วนอิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลายที่ไม่นำอิเล็กตรอน แต่มีหน้าที่ส่งผ่านไอออนที่จำเป็นต่อเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าแบตเตอรี่จะหมด

แบตเตอรี่สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1) แบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง หรือ แบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ (primary batteries)
2) แบตเตอรี่แบบชาร์จไฟใหม่ได้ หรือ แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (rechargeable batteries)

แบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง เมื่อปฏิกิริยาเคมีเกิดไปบ้างแล้ว (ปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วบวกและปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วลบ) จะไม่สามารถเกิดย้อนกลับได้จึงใช้ได้เพียงครั้งเดียว แบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียว ได้แก่

[35] รู้จักแบตเตอรี่ ตอนที่ 1, ดร.พิมพา ลิ้มทองกุล, สารพันความรู้ด้านพลังงาน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ตารางที่ 4.13 แบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียวทิ้งที่นิยมใช้[36]

ชื่อทั่วไป	การใช้งาน
ถ่านไฟฉายธรรมดา (Standard duty/ Carbon-Zinc)	ไฟฉาย วิทยุ ของเล่น และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นทั่วไป
ถ่านเฮฟวี่ดิวตี้/ ซูเปอร์เฮฟวี่ดิวตี้ (Heavy duty/ Super heavy duty/ Zinc Chloride)	เครื่องเล่นเทป เครื่องอัดเสียง นาฬิกาแขวน เครื่องคิดเลข รีโมทคอนโทรล
ถ่านแอลคาไลน์ (Alkaline/ Alkaline Zinc-Manganese dioxide)	ไฟฉาย แฟลช เครื่องโกนหนวด กล้องถ่ายรูปดิจิทัล (สมัยเก่า) เครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุ เครื่องเล่นซีดีแบบพกพา
แบตเตอรี่ลิเทียม (Lithium/Lithium-Manganese dioxide)	นาฬิกาข้อมือ กล้องถ่ายรูป เครื่องมือทดสอบ
เซลล์ปรอท (Mercury cell/ Zinc-Mercuric oxide)	เครื่องคิดเลข เครื่องช่วยฟัง นาฬิกาข้อมือ เครื่องมือทดสอบ
เซลล์กระดุม (Silver oxide cell/ Zinc-silver oxide)	เครื่องคิดเลข เครื่องช่วยฟัง นาฬิกาข้อมือ เครื่องมือทดสอบ
แบตเตอรี่ซิงค์แอร์ (Zinc-air/ Zinc-oxygen)	เครื่องช่วยฟัง

สำหรับแบตเตอรี่ที่ชาร์จไฟใหม่ได้ ปฏิกิริยาเคมีสามารถเกิดไปข้างหน้า และย้อนกลับได้เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แบตเตอรี่ (ชาร์จแบตเตอรี่) จึงใช้ได้หลายครั้ง แบตเตอรี่ที่ชาร์จไฟใหม่ได้ ได้แก่

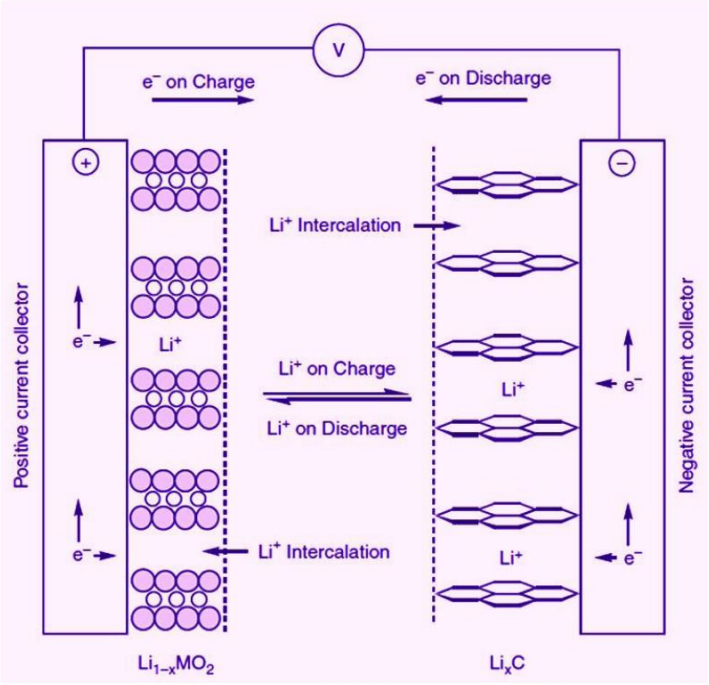
ตารางที่ 4.14 ชนิดของแบตเตอรี่แบบชาร์จไฟได้ที่พบบ่อย[37]

ชื่อทั่วไป	การใช้งาน
แบตเตอรี่กรดตะกั่ว (lead acid)	สตาร์ตเครื่องยนต์ในรถยนต์ รถไฟ และยานยนต์อื่น ๆ เครื่องสำรองไฟฟ้า
ถ่านชาร์จแอลคาไลน์ (alkaline rechargeable/Rechargeable Alkaline Manganese (RAM))	เครื่องใช้ไฟฟ้ากำลังต่ำ รีโมทคอนโทรล ไฟฉาย วิทยุสื่อสาร
แบตเตอรี่เหล็กนิกเกิล (Nickel - Iron)	เครื่องสำรองไฟฟ้าขนาดปานกลางและขนาดใหญ่ เครื่องขุดเจาะ
แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม/แบตเตอรี่ไนแคด (Nickel - Cadmium/ NiCd/NiCad)	อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดพกพา หรือขนาดเล็ก ไฟฉุกเฉิน เครื่องบิน (สำหรับสตาร์ต) แฟลช รถไฟฟ้า รถไฮบริด
แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel - Metal Hydrid/NiMH)	อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดพกพาสมัยเก่า รถไฟฟ้า รถไฮบริด แหล่งสำรองไฟฟ้าสำหรับพลังงานหมุนเวียน
แบตเตอรี่ลิเทียม/แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion/ Li-ion/ LIB)	อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดพกพาสมัยเก่า รถไฟฟ้า รถไฮบริด แหล่งสำรองไฟฟ้าสำหรับพลังงานหมุนเวียน
แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ (Lithium-ion polymer/ Li-Po, Li-Poly)	อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดพกพา ของเล่น เครื่องบินบังคับ

[36] www.energybc.ca

[37] www.energybc.ca/www.energybc.ca

อุปกรณ์พกพารวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ จำเป็นต้องมีระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าสำหรับเป็นแหล่งพลังงานให้อุปกรณ์ โดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโพลิเมอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญ เนื่องจากแบตเตอรี่ประเภทนี้มีการเก็บและปล่อยพลังงานได้อย่างรวดเร็ว และจุพลังงานได้มากเมื่อเทียบกับน้ำหนักของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ตระกูลนิกเกิล ซึ่งมีจุดด้อยคือ ให้โวลต์ต่อเซลต่อประมาณเพียง 1.2-1.7 โวลต์ และยังเกิดปรากฏการณ์ความจำ (memory effect) ทำให้ไม่สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ เทคโนโลยีต่าง ๆ มีความก้าวหน้ามากขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการแบตเตอรี่ที่มีความจุพลังงานที่สูงขึ้นด้วย จึงมีการวิจัยพัฒนาแบตเตอรี่รุ่นใหม่ โดยนักวิจัยได้ศึกษาการใช้ลิเทียมเป็นวัสดุขั้วของแบตเตอรี่ เนื่องจากลิเทียมเป็นธาตุที่มีน้ำหนักน้อยและค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (standard reduction potential) ที่ต่ำ เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุขั้วลบจะได้แบตเตอรี่ที่มีความจุพลังงานสูง ทั้งนี้ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับ การกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Energy Storage) ถูกจัดเป็นระบบสำรองพลังงานไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Energy Storage) เมื่อมีการอัดประจุ (charge) ไอออนของลิเทียมจะเคลื่อนออกจากโครงสร้างของขั้วบวก ผ่านเยื่อเลือกผ่าน เข้าสู่ขั้วลบ เกิดเป็นสารประกอบของลิเทียมและคาร์บอน และขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจะเคลื่อน จากขั้วบวกสู่ขั้วลบผ่านวงจรภายนอก และขณะเกิดการคายประจุ (discharge) ปฏิกิริยาจะเกิดในทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 4.36 กระบวนการที่ไอออนของลิเทียมสอดแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของวัสดุขั้วบวกหรือขั้วลบ เรียกว่า lithium intercalation หรือ lithium insertion



รูปที่ 4.36 กระบวนสำรองพลังงานไฟฟ้าเคมี

สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นมีหลากหลายประเภท โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติได้แบ่งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตามวัสดุขั้วลบและขั้วบวก รวมถึงการใช้งานออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้

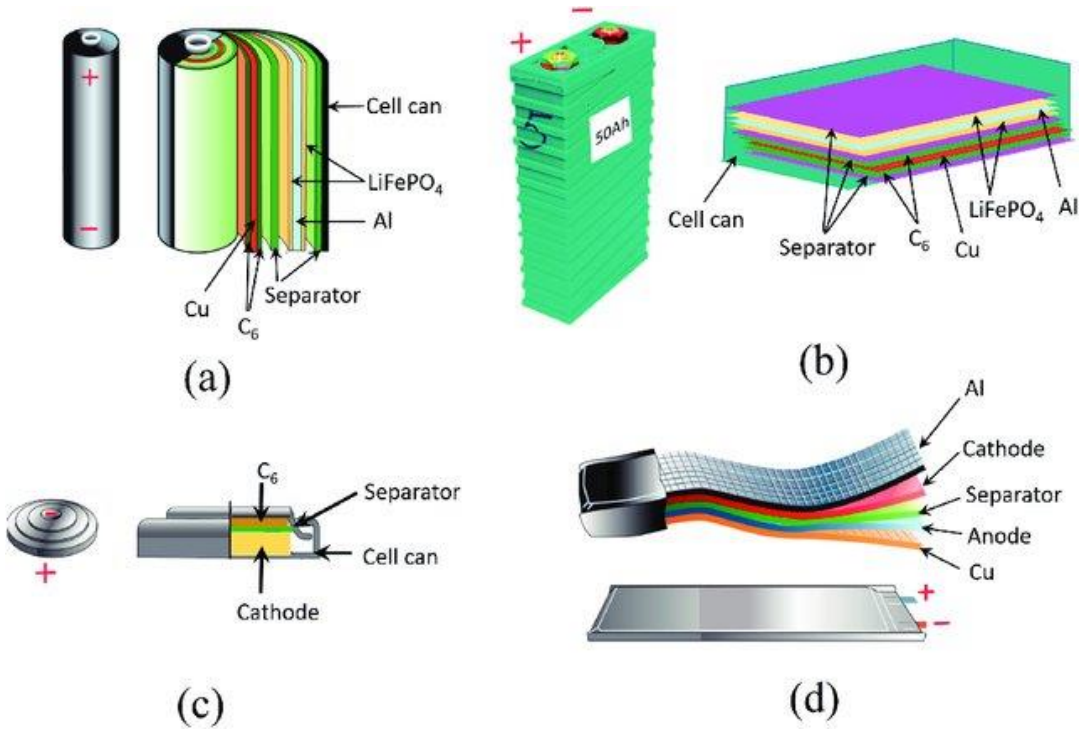
ตารางที่ 4.15 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่าง ๆ แบ่งตามวัสดุขั้วลบและขั้วบวก รวมถึงการใช้งาน[38]

ประเภทที่	วัสดุขั้วบวก	วัสดุขั้วลบ	การใช้งาน
1	Lithium Cobalt Oxide ($LiCoO_2$, LCO)	แกรไฟต์	โทรศัพท์เคลื่อนที่ แท็บเล็ต แล็ปท็อป กล้องดิจิทัล
2	Lithium Manganese Oxide ($LiMn_2O_4$, LMO)	แกรไฟต์	เครื่องมือไฟฟ้า (Power tools) อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า
3	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide ($Li(Ni,Mn,Co)O_2$, NMC, NCM)	แกรไฟต์	จักรยานไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (มักใช้ในรถไฮบริด) ระบบสำรองไฟฟ้า
4	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide ($Li(Ni,Co,Al)O_2$, NCA)	แกรไฟต์	อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (เช่น ที่พบใน Tesla Model S) ระบบสำรองไฟฟ้า
5	Lithium Iron Phosphate ($LiFePO_4$, LFP)	แกรไฟต์	ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า หรือแทนแบตเตอรี่กรดตะกั่วในรถยนต์ (Start-Lighting-Ignition battery) ระบบที่ต้องการกระแสและความทนทานสูง
6	แกรไฟต์ หรือ LMO	Lithium Titanate ($Li_4Ti_5O_{12}$, LTO)	ระบบสำรองไฟฟ้า ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV)

สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดพอลิเมอร์ (Lithium-ion polymer battery หรือบางครั้งเรียก lithium polymer หรือ LiPo/Li-Po หรือ Li-Poly battery) จัดเป็นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทหนึ่ง โดยส่วนใหญ่มีวัสดุขั้วเป็น LCO (ขั้วบวก) และแกรไฟต์ (ขั้วลบ) อย่างไรก็ตาม วัสดุขั้วบวกอาจเป็นสารชนิดอื่นก็ได้แล้วแต่การออกแบบของผู้ผลิต ข้อแตกต่างที่เด่นชัดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดพอลิเมอร์จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอื่น ๆ คือ การที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นเกลือของลิเทียมผสมในพอลิเมอร์ เช่น poly (acrylonitrile) (PAN) หรือ poly (ethylene oxide) (PEO) ทำให้อิเล็กโทรไลต์มีลักษณะเป็นเจล แผ่นขั้วบวก เยื่อเลือกผ่าน และแผ่นขั้วลบจึงแนบติดกันเป็นชั้นเดียว ส่งผลให้ผู้ผลิตสามารถผลิตแบตเตอรี่ที่บาง น้ำหนักเบาและจัดการง่ายเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอื่น ๆ ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว ทำให้สะดวกให้การผลิตเป็นรูปทรงต่าง ๆ ให้เหมาะกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา เช่น รูปทรงกระบอก cylindrical (a), รูปทรงเหลี่ยม prismatic (b), รูปทรงเหรียญ coin (c) และ รูปทรง pouch cell (d)[39]

[38] รู้จักแบตเตอรี่ ตอนที่ 4, ดร.พิมพา ลิ้มทองกุล, สารพันความรู้ด้านพลังงาน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ฉบับที่ 80 มกราคม - มีนาคม 2559

[39] Li, Dongjiang & Danilov, Dmitri & Bergveld, H. & Eichel, Rüdiger-A & Notten, Peter. (2019). CHAPTER 9: Understanding battery aging mechanisms. 10.1039/9781788016124-00220.



รูปที่ 4.37 การออกแบบแบตเตอรี่ในรูปทรงต่าง ๆ

จากคุณสมประการสำคัญของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน คือ เป็นแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักเบาเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่น ๆ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่สูงและอัตราการคายประจุต่ำ ทำให้สามารถกักเก็บพลังงานได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดนี้ก็คือ ต้องใช้เทคโนโลยี การผลิตขั้นสูง รวมถึงอาจเกิดการลุกไหม้และระเบิดได้ระหว่างการใช้งานจากการที่แบตเตอรี่ลัดวงจร จึงจำเป็นต้องมีวงจรสำหรับการป้องกันการลัดวงจร และใช้งานด้วยความระมัดระวัง

ชุดเก็บพลังงานให้กับอุปกรณ์ติดตามช้าง วงจรที่ใช้จะต้องการแรงดัน 3.7V และชาร์จเพิ่มเติมได้ลำบากมากหากติดตั้งกับอุปกรณ์ติดตามช้างแล้ว จึงเลือกใช้แบตเตอรี่แบบ Lithium 18650 ที่ประกอบกันเป็น package ที่จ่ายพลังงานให้ตัวอุปกรณ์ได้อย่างเพียงพอและสามารถถอดเปลี่ยนได้

รูปที่ 4.38 3.7V Li-Ion Battery

ข้อกำหนดทางเทคนิค

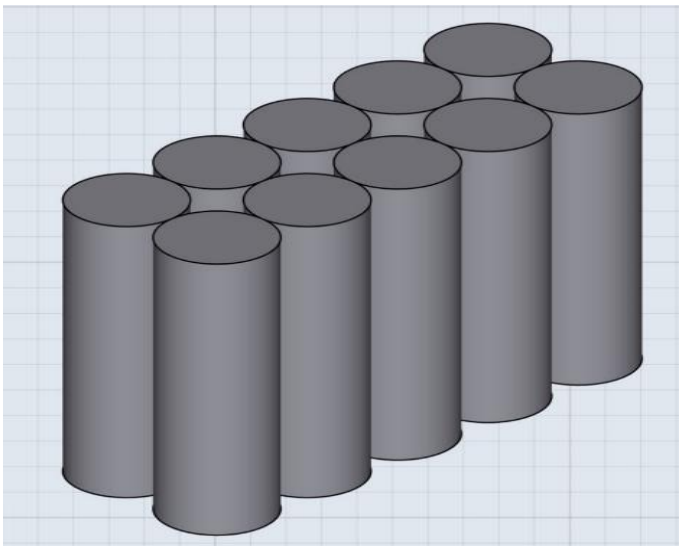
18650 rechargeable battery 3500 mAh 3.7V Li-ion

ผ่านมาตรฐาน มอก.
อายุการใช้งาน 500 ถึง 1000 รอบ

Capacity (Ah):	3.5 Ah (3500 mAh)
Charging Voltage (V):	4.2 V
Energy (Wh):	12.2 Wh

Energy Density (Wh/L):	730 Wh/L
Nominal Voltage (V):	3.6V-3.7V
Weight (g):	46 g
Diameter (mm):	18.06 mm (+/- 0.03 mm)
Height (mm):	65 mm (+/- 0.03 mm)
Max. Discharge rate:	C Raing 2C (Max. recommended current 6.8A)
Pulse current (5-6 sec.):	12A

รายละเอียดของ Battery Pack



รูปที่ 4.39 การวางตำแหน่ง Battery ใน package

รูปที่ 4.40 Pack Battery จริงที่นำมาใช้งาน

จากชุดแบตเตอรี่ที่นำมาใช้งานจำนวน 10 ก้อน สามารถประมาณระยะเวลาทำงานของอุปกรณ์สำหรับติดตามช้างป่าได้ประมาณ 4.7 ปี ดังนี้

ตารางที่ 4.16 การคำนวณอัตราการใช้พลังงานและระยะเวลาทำงานของอุปกรณ์สำหรับติดตามช้างป่า

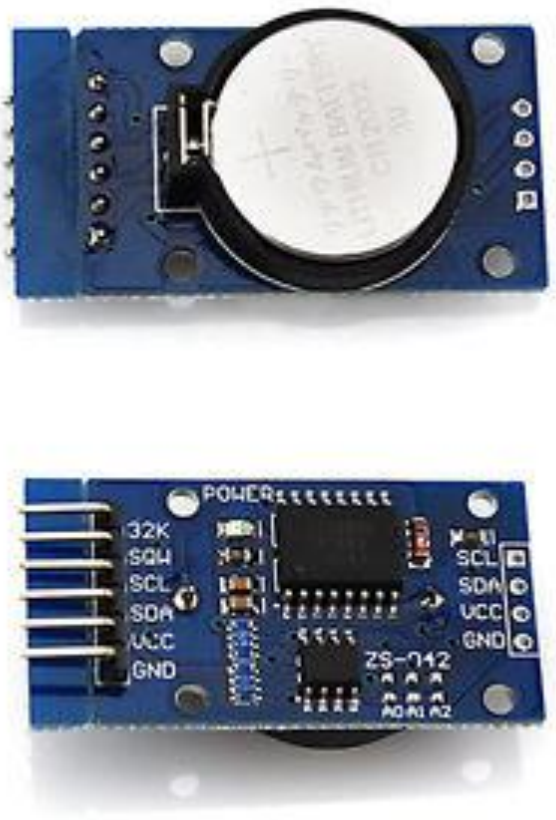
จำนวนการส่งข้อมูลต่อวัน			4	ครั้ง		
ระยะห่างช่วงเวลาการรับ-ส่งข้อมูล (ชั่วโมง)	= 24 ชั่วโมง / จำนวนการส่งข้อมูลต่อวัน	6	ชั่วโมง			
ระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (นาที)	= (จำนวนการส่งข้อมูลต่อวัน* ระยะเวลาช่วงส่งข้อมูลนาที)	12	นาที	ช่วงเวลารับส่งแต่ละครั้ง	3	นาที
ระยะเวลา sleep ต่อวัน (นาที)	= เวลานาทีใน 1 วัน - ระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (นาที) = เวลานาทีใน 1 วัน - (จำนวนการส่งข้อมูลต่อวัน*ระยะเวลาช่วงส่งข้อมูลนาที)	1428	นาที			
กระแสที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (mA*24hr)	=(ระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (นาที)/60 (นาที))*กระแสที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล (mA)	20	mA*24hr	กระแสช่วงรับส่ง	100	mA
กระแสที่ใช้ในช่วงเวลา sleepต่อวัน (mA*24hr)	=(ระยะเวลา sleep ต่อวัน (นาที))/60 (นาที))*กระแสที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล (mA)	0.2	mA*24hr	กระแสช่วง Sleep	0.01	mA
กระแสไฟเฉลี่ย (mA)	=[(กระแสที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (mA*24hr)+กระแสที่ใช้ในช่วงเวลา sleepต่อวัน (mA*24hr))]/24	0.84	mA			
ประมาณการอัตราการใช้กำลังไฟเฉลี่ย (Watt)	=[กระแสไฟเฉลี่ย (mA)/1000]* ศักดาไฟฟ้าแบตเตอรี่@3.7V	**0.003**	Watt	Battery Voltage	3.7	V
ความจุแบตเตอรี่ (mA*hr)	=Battery ขนาดความจุ 3500 mA*Hr จำนวน 10 ก้อน	35000	mA*hr			

ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (Hr)	=(ความจุแบตเตอรี่ (mA*hr)/(ประมาณการอัตราการใช้กระแสไฟเฉลี่ย (mA*1min)*60min)	41506.08	hr
ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (วัน)	=ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (hr)/24(hr)	1729.42	วัน
ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (ปี)	=ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (วัน)/365(วัน)	**4.738**	ปี

4.6.7 นาฬิกาแบบเวลาจริง

การติดต่อกับ GPS และ GPRS/GSM ในการรับส่งข้อมูลแต่ละครั้ง จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่สูงมาก หลังจากส่งข้อมูลแล้ว ไม่ว่าจะส่งได้สำเร็จหรือไม่ก็ตาม ตัวอุปกรณ์จะไม่ทำงานใด ๆ อีกจนกว่าจะถึงรอบการส่งข้อมูลครั้งถัดไป ในระหว่างนี้ จึงควรกำหนดให้อุปกรณ์รับส่งข้อมูลอยู่ในภาวะหลับ (Sleep Mode) เพื่อประหยัดพลังงานที่ใช้โดยไม่จำเป็น และสั่งให้อุปกรณ์ตื่น (Wake up) เมื่อถึงรอบการส่งข้อมูลเป็นระยะ จึงต้องใช้นาฬิกาภายนอกเป็นตัวสั่งการให้อุปกรณ์ทำงานดังที่กล่าวได้

DS3231 module เป็นโมดูลนาฬิกาแบบเวลาจริง RTC (Real Time Clock) ที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง ภายในมีวงจรวัดอุณหภูมิ เพื่อนำอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อมมาคำนวนชดเชยความถี่ของผลึกคริสตัลที่ถูกรบกวนจากอุณหภูมิภายนอก มาพร้อมแบตเตอรี่ ใช้งานได้แม้ไม่มีแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก สามารถตั้งค่า วัน เวลา ได้



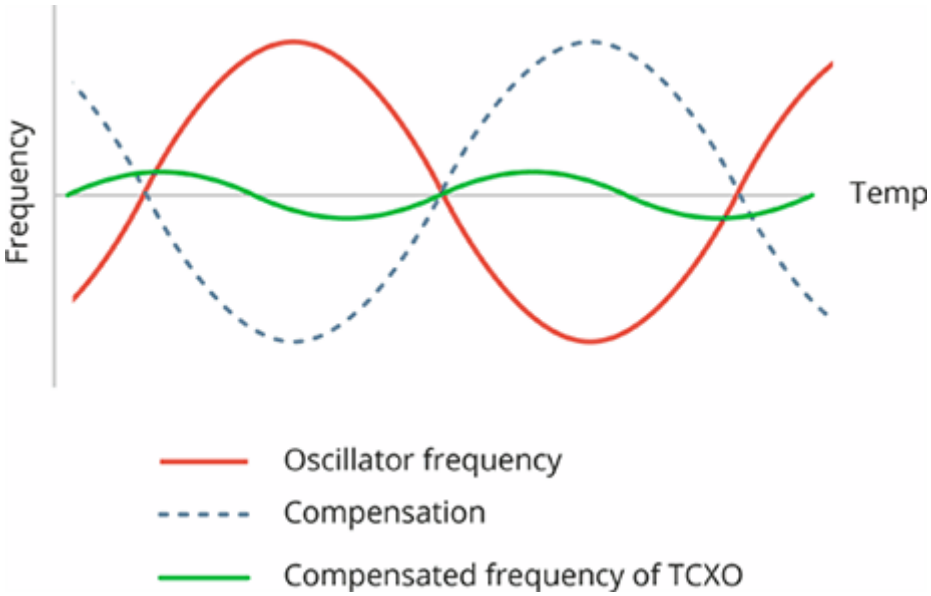
รูปที่ 4.41 DS3231 Real-Time Clock Module

ข้อกำหนดทางเทคนิค

ไอซีนับเวลาเบอร์ DS3231
ไอซีหน่วยความจำ AT24C32
แรงดันไฟฟ้าที่ทำงานได้ 3.3V - 5V
สื่อสารผ่านบัส I^2C ความเร็วสูงสุด 400 kHz
Default I^2C Address : 0x57

- ชิปจะเก็บข้อมูลวินาที นาที ชั่วโมง วัน วันที่ เดือน และปี วันที่ ณ สิ้นเดือนจะถูกปรับโดยอัตโนมัติสำหรับเดือนที่มีน้อยกว่า 31 วัน รวมถึงการแก้ไขสำหรับปีอธิกสุรทิน (ใช้ได้ไม่เกินปี 2100)
- นาฬิกาทำงานในรูปแบบ 24 ชั่วโมงหรือ 12 ชั่วโมงพร้อมตัวบ่งชี้ AM/PM นอกจากนี้ยังมีการตั้งปลุกตามเวลาของวันที่ตั้งโปรแกรมได้สองแบบ
- ขา SQW สามารถส่งสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 1Hz, 4kHz, 8kHz หรือ 32kHz สามารถจัดการด้วยโปรแกรม นอกจากนี้ยังใช้เป็นการขัดจังหวะเพิ่มเติมเนื่องจากสภาวะการเตือนในแอปพลิเคชันตามเวลาจำนวนมาก
- Temperature Compensated Crystal Oscillator (TCXO)
  โมดูล RTC ส่วนใหญ่มาพร้อมกับผลึกคริสตัลความถี่ 32kHz ภายนอกสำหรับการกำหนดเวลา ปัญหาของผลึกเหล่านี้ก็คืออุณหภูมิภายนอกอาจส่งผลต่อความถี่การสั่นได้ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ฐานเวลาจาก

คริสตัลเคลื่อนตัว DS3231 จึงมีคริสตัลออสซิลเลเตอร์ชดเชยอุณหภูมิ 32kHz (TCXO) มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอก



รูปที่ 4.42 การชดเชยอุณหภูมิและความถี่ของ TCXO

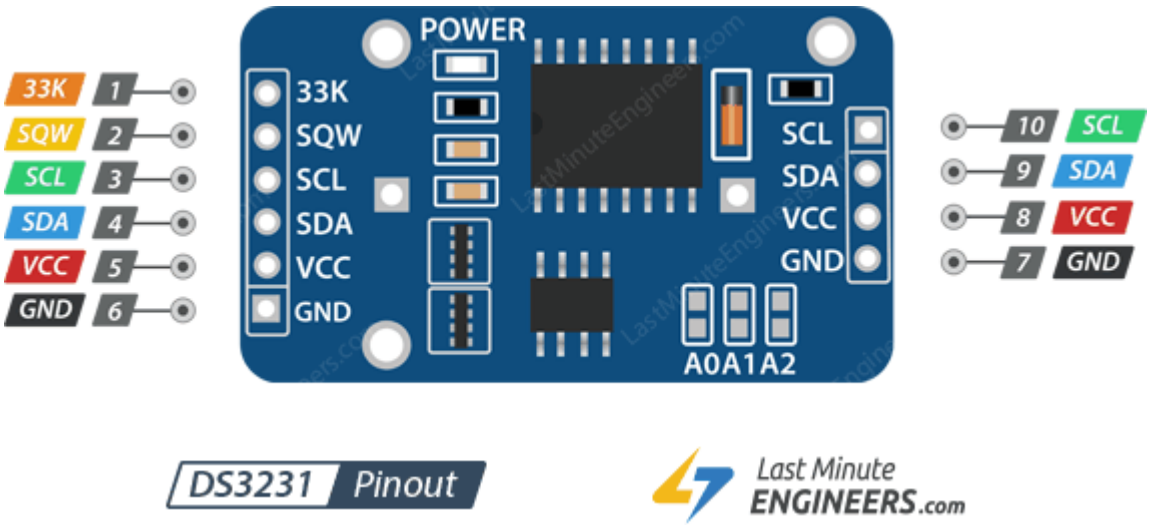
TCXO บรรจุอยู่ภายในชิป RTC ถัดจากผลึกคริสตัลในตัวคือเซ็นเซอร์อุณหภูมิ เซ็นเซอร์นี้จะชดเชยการเปลี่ยนแปลงความถี่โดยการเพิ่มหรือลบช่วงเวลานาฬิกาเพื่อให้การบอกเวลายังคงดำเนินต่อไป TCXO ให้นาฬิกาอ้างอิงที่เสถียรและแม่นยำ และรักษา RTC ให้อยู่ในความแม่นยำ ±2 นาทีต่อปี

แบตเตอรี่สำรอง

DS3231 มีแบตเตอรี่และคงการบอกเวลาที่แม่นยำเมื่อไฟฟ้าหลักที่ส่งไปยังอุปกรณ์ถูกขัดจังหวะ วงจรตรวจจับพลังงานในตัวจะตรวจสอบสถานะของ VCC อย่างต่อเนื่องเพื่อตรวจจับแรงดันไฟฟ้าขัดข้องและสลับไปใช้แหล่งจ่ายไฟสำรองโดยอัตโนมัติ โดยด้านล่างของบอร์ดมีที่ใส่แบตเตอรี่ลิเธียมแบบเหรียญ coincells 3V ขนาด 20 มม. รุ่น CR2032

สมมติว่าใช้แบตเตอรี่ CR2032 ที่ชาร์จเต็มแล้วซึ่งมีความจุ 220mAh และชิปใช้พลังงานขั้นต่ำ 3μA แบตเตอรี่สามารถให้ RTC ทำงานเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ปีโดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟ 5V ภายนอก

220mAh/3μA = 73,333.34 ชั่วโมง = 3,055.56 วัน = 8.37 ปี



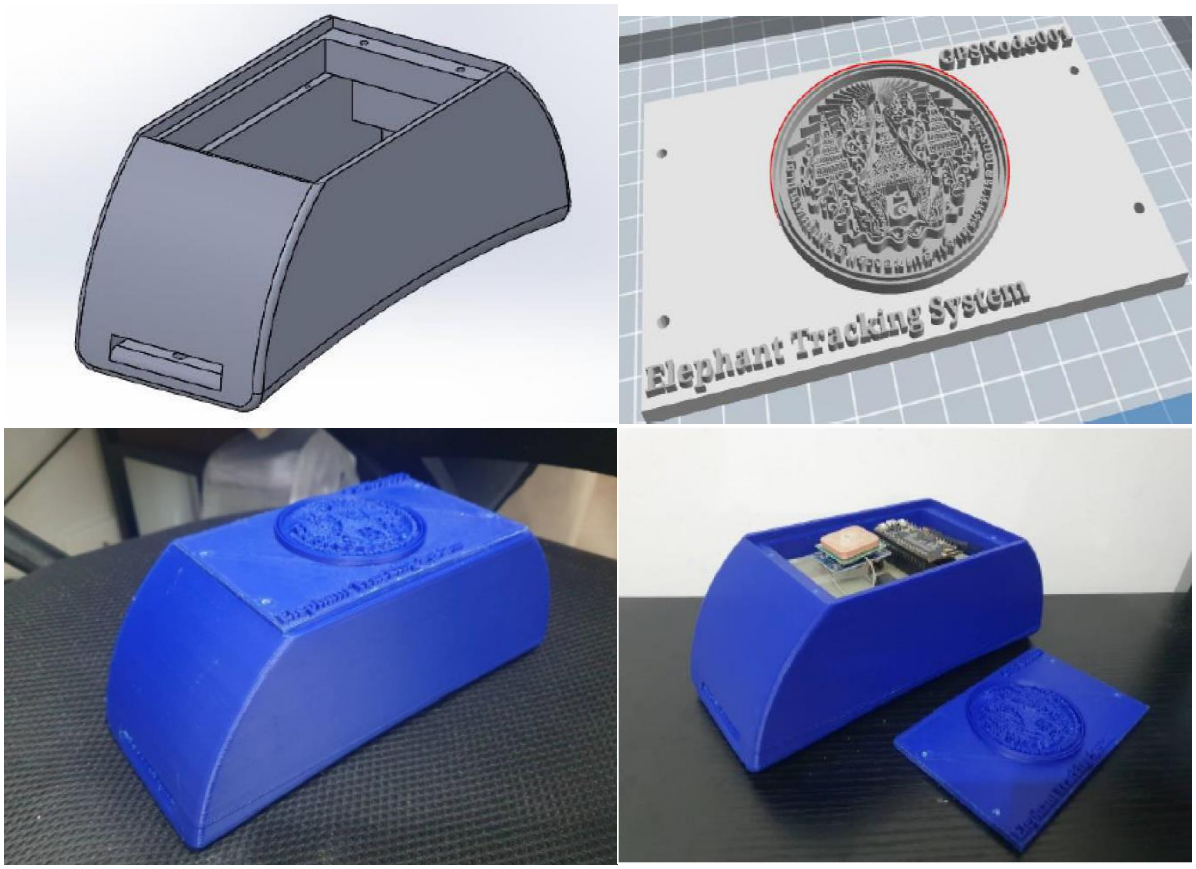
รูปที่ 4.43 ตำแหน่งขาของ DS3231

32K ขาส่งออกความเสถียร (ชดเชยอุณหภูมิ) และนาฬิกาอ้างอิงที่แม่นยำ
SQW ขาส่งสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 1Hz, 4kHz, 8kHz หรือ 32kHz และจัดการโดยทางโปรแกรม นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นอินเทอร์รัปต์ได้อีกด้วย เพื่อใช้งานร่วมกับสภาวะการเตือนในแอพพลิเคชั่นตามเวลาต่าง ๆ
SCL ขาสัญญาณนาฬิกาแบบอนุกรมสำหรับอินเทอร์เฟซ I^2C
SDA ขาข้อมูลอนุกรมสำหรับอินเทอร์เฟซ I^2C
VCC ขาจ่ายไฟให้กับโมดูล ระหว่าง 3.3V ถึง 5.5V.
GND เป็นขากราวด์

4.6.8 ปลอกคอช้าง

ปลอกคอช้างเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดอุปกรณ์ติดตามช้างเข้ากับตัวช้างป่า ปลอกคอแต่ละตัวประกอบด้วยตัวรับสัญญาณ GPS อุปกรณ์ RFID อุปกรณ์รับส่งข้อมูล GPRS หน่วยควบคุม (Control unit) และแบตเตอรี่เพื่อจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ การออกแบบปลอกคอจะประกอบไปด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่หน้าที่เป็นกล่องปิดภายในบรรจุอุปกรณ์ต่าง ๆ ข้างต้น ซึ่งจะต้องมีความทนทานและสามารถกันน้ำได้ และส่วนที่เป็นสายคาดหรือส่วนที่เป็นปลอกคอ ดังแสดงในรูปที่ 4.44

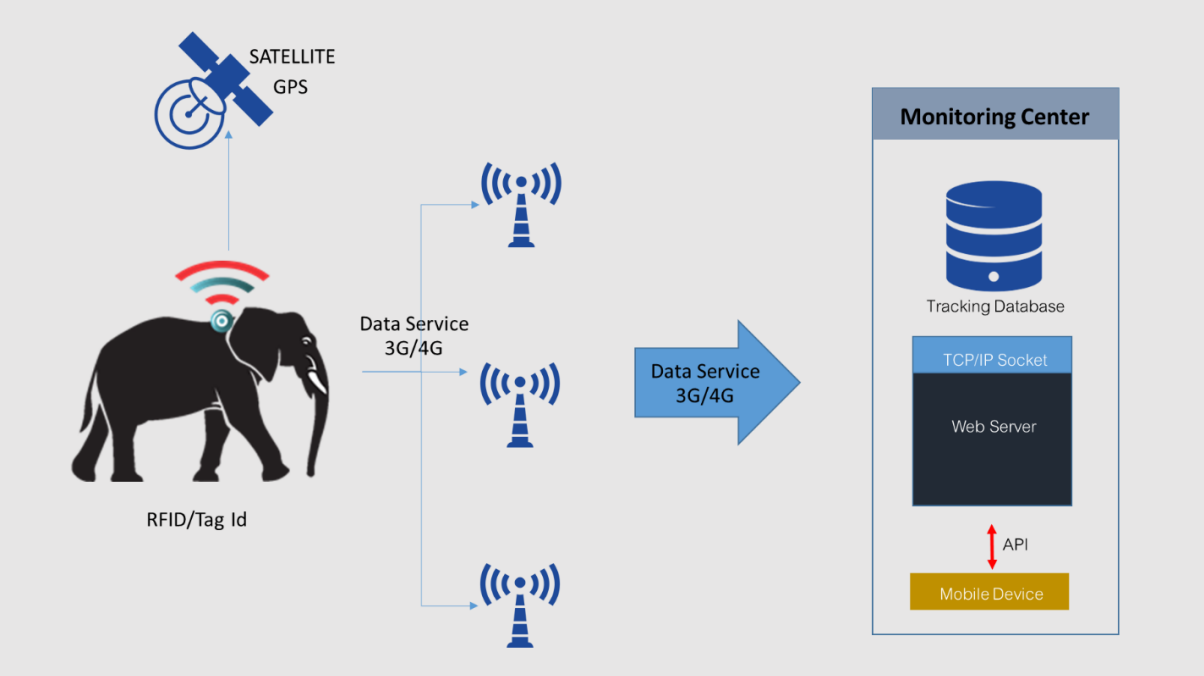
รูปที่ 4.44 ช้างที่ทำการติดตั้งปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้าง



รูปที่ 4.45 ตัวอย่างการออกแบบกล่องอุปกรณ์ติดตั้งบนปลอกคอช้าง

บทที่ 5 การออกแบบศูนย์ประมวลผลกลางการรับรู้ข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกล

ในการพัฒนาระบบสารสนเทศมีปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง คือ การได้มาซึ่งข้อมูลที่ถูกต้อง ทันสมัยมีความซ้ำซ้อนของข้อมูลน้อยที่สุด และมีการแบ่งกันใช้งานข้อมูล โดยใช้ระบบสารสนเทศ (Information System) เป็นเครื่องมือในการแปลงข้อมูล (Data) ให้อยู่ในรูปของสารสนเทศ (Information) ซึ่งในการพัฒนาระบบสารสนเทศให้ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ระบบ สามารถสอดรับกับภารกิจให้มีความสมบูรณ์ ทันสมัย และใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกลโดยระบุพิกัดของสัตว์ป่า เป็นวิธีหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการอนุรักษ์สัตว์ป่าในปัจจุบัน ระบบติดตามสัตว์ป่าที่ใช้งานอยู่ จะใช้อุปกรณ์ติดตามไปติดที่ตัวของสัตว์ป่าโดยอุปกรณ์จะมีลักษณะเป็นปลอกคอ รูปแบบการติดตามใช้การระบุตำแหน่งของตัวสัตว์ป่าจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS โดยการเก็บค่าตำแหน่งที่สัตว์ป่าเดินอยู่โดยการระบุตำแหน่งตลอดช่วงวันนั้นจะถูกจัดเก็บอยู่ในชุดจัดเก็บข้อมูลที่ปลอกคอและทำการส่งข้อมูลดังกล่าวออกมาหากสามารถเชื่อมต่อสัญญาณกับโครงข่ายโทรศัพท์ 3G/4G และข้อมูลการระบุตำแหน่งจะส่งโดยตรงมายังฐานข้อมูลติดตามสัตว์ป่าจากเครื่องมือติดตาม และถูกแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสารสนเทศ



รูปที่ 5.1 ภาพความเชื่อมโยงของการรับข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกลมายังศูนย์ประมวลผลกลาง

โดยการทำงานตั้งแต่การรับข้อมูลจนแสดงข้อมูลนั้นจะถูกดำเนินการภายใต้ศูนย์ประมวลผลกลางการรับรู้ข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกล การดำเนินการออกแบบศูนย์ประมวลผลกลางการรับข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกล ประกอบไปด้วย

1. การพัฒนาฐานข้อมูลกลางเพื่อการรับข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกล
2. การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูล
3. การพัฒนาส่วนการแสดงผลเพื่อการควบคุมและสั่งการ

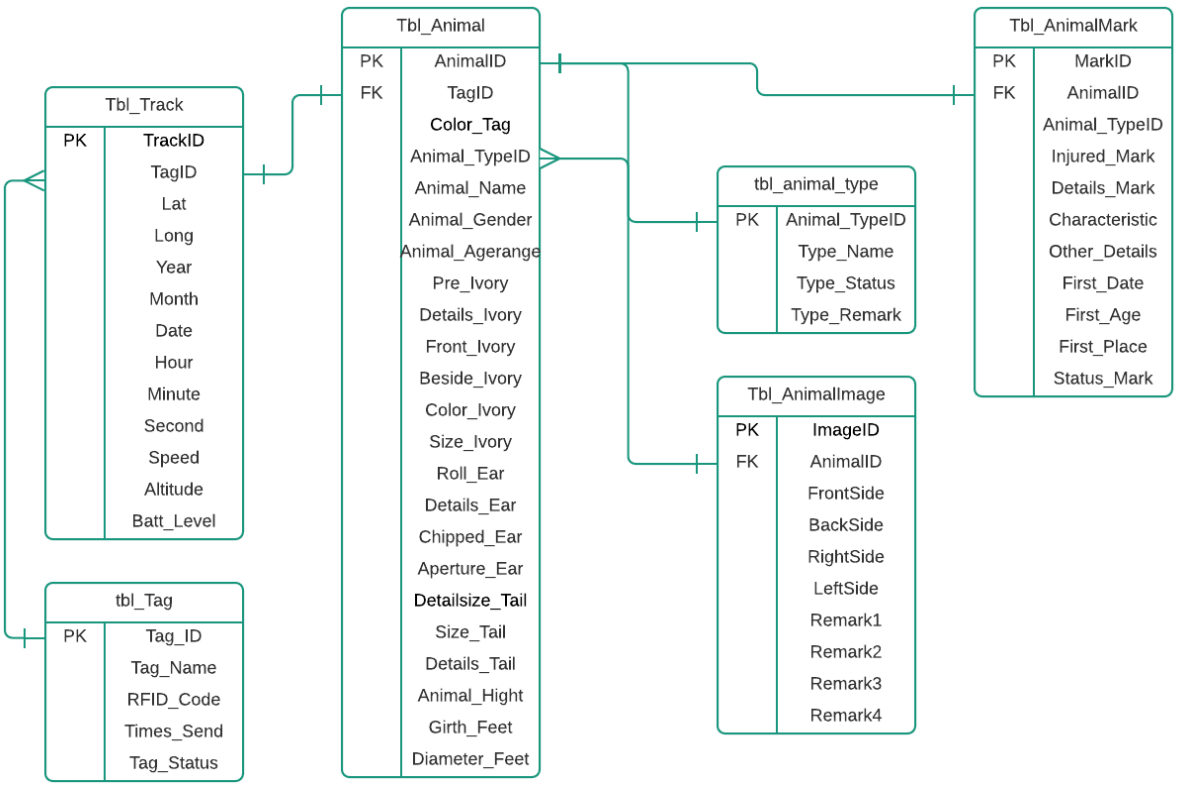
1. การพัฒนาฐานข้อมูลกลางเพื่อการรับข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกล
สภาวะแวดล้อมของการทำงาน

Application Server Software	Requirements
Server Operating System	- Linux distribution (CentOS 7)
Development tools	- VueJS 3
Service Software	**Requirements**
Web Server	- pm2
Database Server	- MySQL 10.3.27-MariaDB
API Server	- ExpressJS + Sequelize _MySQL (Node v14.16.0)
Design Tool	**Requirements**
Design Tool	- Adobe XD

การออกแบบฐานข้อมูลติดตามสัตว์ป่า

เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ของข้อมูลจากส่วนต่าง ๆ ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกล โดยทีมวิจัยได้จัดแบ่งส่วนชุดข้อมูลสำคัญไว้เป็นกลุ่มข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

- ข้อมูลติดตามสัตว์ป่าจากเครื่องมือติดตาม (Tbl_Track)
- ข้อมูลสัตว์และอัตลักษณ์ (Tbl_Animal)
- ข้อมูลประเภทของสัตว์ (Tbl_AnimalType)
- ข้อมูลอัตลักษณ์สัตว์ (Tbl_AnimalType)
- ข้อมูลตำหนิและจุดสังเกตสัตว์ (Tbl_AnimalMark)
- ข้อมูลอุปกรณ์ติดตามและการกำหนดรอบส่งข้อมูล (Tbl_Tag)



รูปที่ 5.2 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่า

และในแต่ละชุดข้อมูลมีการแบ่งเขตการเก็บข้อมูล (Field) ออกไว้เพื่อนำมาประกอบการประมวลผลการติดตามสัตว์ป่าได้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ข้อมูลติดตามสัตว์ป่าจากเครื่องมือติดตาม (Tbl_Track)	
Field Name	**Description**
TagID	รหัสเครื่องมือติดตาม
Lat	ละติจูด
Long	ลองติจูด
Year	ปี บันทึกข้อมูล
Month	เดือน บันทึกข้อมูล
Date	วันที่ บันทึกข้อมูล
Hour	ชั่วโมง บันทึกข้อมูล
Minute	นาที บันทึกข้อมูล
Second	วินาที บันทึกข้อมูล
Speed	ความเร็ว
Altitude	ระดับความสูง
Batt_Level	ระดับพลังงานคงเหลือแบตเตอรี่

ข้อมูลสัตว์และอัตลักษณ์ (Tbl_Animal)	
Field Name	**Description**
AnimalID	รหัสสัตว์
TagID	รหัสเครื่องมือติดตาม
Animal_TypeID	รหัสประเภทสัตว์
Animal_Name	ชื่อสัตว์
Animal_Gender	เพศ
Animal_Agerange	ช่วงขั้นอายุ
Pre_Ivory	การปรากฏของงานหรือขนาย
Details_Ivory	ลักษณะงา
Front_Ivory	การเรียงตัวของงาเมื่อมองจากด้านหน้า
Beside_Ivory	การเรียงตัวของงาเมื่อมองจากด้านข้าง
Color_Ivory	สีงา
Size_Ivory	ความยาวงา
Roll_Ear	การม้วนของใบหู
Details_Ear	กระสีแดงที่ใบหู
Chipped_Ear	การแหว่งที่ใบหู
Aperture_Ear	รูที่ใบหู
Size_Tail	ความยาวของหาง
Details_Tail	รายละเอียดขนหาง
Animal_Hight	ความสูงของสัตว์
Girth_Feet	เส้นรอบวงรอยตีนหน้า

Diameter_Feet	เส้นผ่าศูนย์กลางรอยตีนหน้า

ข้อมูลประเภทของสัตว์ (Tbl_AnimalType)	
Field Name	**Description**
Animal_TypeID	รหัสประเภทสัตว์
Type_Name	ชื่อประเภทสัตว์
Type_Status	สถานการณ์ใช้งานข้อมูล
Type_Remark	หมายเหตุ

ข้อมูลอัตลักษณ์สัตว์ (Tbl_AnimalType)	
Field Name	**Description**
ImageID	รหัสข้อมูลรูปภาพ
AnimalID	รหัสสัตว์
FrontSide	รูปด้านหน้า
BackSide	รูปด้านหลัง
RightSide	รูปด้านขวา
LeftSide	รูปด้านซ้าย
Remark1	รูปตำหนิอื่น ๆ 1
Remark2	รูปตำหนิอื่น ๆ 2
Remark3	รูปตำหนิอื่น ๆ 3
Remark4	รูปตำหนิอื่น ๆ 4

ข้อมูลตำหนิและจุดสังเกตสัตว์ (Tbl_AnimalMark)	
Field Name	**Description**
MarkID	รหัสลำดับจุดสังเกต
AnimalID	รหัสสัตว์
Animal_TypeID	รหัสชนิดสัตว์
Injured_Mark	การบาดเจ็บและพิการ
Details_Mark	รายละเอียกรูปพรรณอย่างอื่น
Characteristic	อุปนิสัย
Other_Details	ข้อมูลอื่น ๆ
First_Date	วันที่พบครั้งแรก
First_Age	อายุขณะพบครั้งแรก
First_Place	สถานที่พบครั้งแรก
Status_Mark	สถานภาพการอยู่ของ ช้าง ดังกล่าว เช่น อยู่ตัวเดียว อยู่เป็นโขลง

ข้อมูลอุปกรณ์ติดตามและการกำหนดรอบส่งข้อมูล (Tbl_Tag)	
Field Name	Description
Tag_ID	รหัสรายการอุปกรณ์ติดตาม
Tag_Name	ชื่อ/รหัส อุปกรณ์ติดตาม
RFID_Code	รหัส RFID
Times_Send	รอบส่งข้อมูล
Tag_Status	สถานะการใช้งานข้อมูล

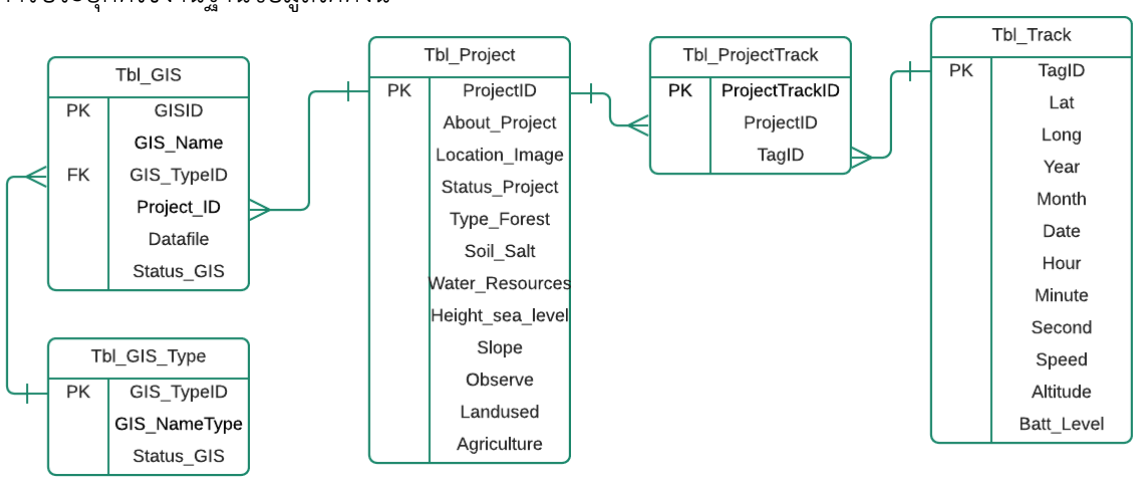
จากความสัมพันธ์ของข้อมูลจากส่วนต่าง ๆ จะทำให้สามารถนำไปประยุกต์การใช้งานข้อมูลจากการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกลได้อย่างสมบูรณ์ แต่ทั้งนี้การออกแบบระบบสารสนเทศในงานวิจัยนี้ ยังต้องการออกแบบฐานข้อมูลในด้านอื่น ๆ ประกอบเพื่อความสมบูรณ์ของระบบ อาทิ ข้อมูลผู้ใช้งานระบบ, ข้อมูลทุติยภูมิที่กำหนดไว้ในรูปแบบ GIS ที่ได้รับจากทางกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช โดยจะอธิบายไว้ในบทที่ 6 การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูล ของรายงานฉบับนี้

2. การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูล

แนวคิดการประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อการติดตามการปรากฏตัวและการเคลื่อนไหวของสัตว์ป่า นั้นเพื่อเป็นการแจ้งเตือนเหตุล่วงหน้าและเฝ้าระวังสัตว์ป่าที่ออกนอกพื้นที่ป่าอนุรักษ์สามารถประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์แหล่งหากินของสัตว์ป่าในแต่ละช่วงเวลา

โดยอาศัยหลักการปรากฏตัวของสัตว์ป่าจากฐานข้อมูลติดตามสัตว์ป่า มาประยุกต์เข้ากับฐานข้อข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ อันประกอบด้วย ข้อมูลที่จัดเก็บโดยกรมอุทยาน อาทิ ชนิดของป่า แหล่งโป่ง แหล่งน้ำ แหล่งพักอาศัย การใช้ประโยชน์ที่ดิน พื้นที่เกษตรที่ได้รับความเสียหาย ข้อมูลทุติยภูมิที่มีการใช้ประกอบในการอนุรักษ์พันธุ์สัตว์ป่าในรูปแบบ GIS อาทิ แนวพื้นที่อนุรักษ์ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลแหล่งน้ำ เกษตรกรรมใกล้แนวป่า เครือข่ายป้องกันและเฝ้าระวังช้างป่าเป็นต้น

ดังนั้นการพัฒนาฐานข้อมูลกลางเพื่อการรับข้อมูลการติดตามสัตว์ป่าจากระยะไกล จะต้องออกแบบให้สามารถนำการประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลที่กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ใช้งานอยู่ ให้สามารถทำงานร่วมกันได้โดยการแสดงผลผ่านหน้าจอเพื่อการควบคุมและสั่งการ ซึ่งจะทำการกำหนดเป็นความสัมพันธ์ในการประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลได้ดังนี้



รูปที่ 5.3 แผนผังความสัมพันธ์การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูลเพื่อการติดตาม

3. การพัฒนาส่วนการแสดงผลเพื่อการควบคุมและสั่งการ

การออกแบบการแสดงผลเพื่อการควบคุมและสั่งการระบบติดตามสัตว์ป่าได้จากระยะไกล จะพัฒนาในรูปแบบ Responsive Web Design รองรับการใช้งานผ่าน Web browser ของอุปกรณ์พกพาและคอมพิวเตอร์ รูปแบบดังกล่าวเพื่อให้การแสดงผลของข้อมูลเป็นไปอย่างยืดหยุ่นและสามารถแสดงผลในแต่ละอุปกรณ์พกพาและคอมพิวเตอร์อย่างสวยงามถูกต้อง

- หลักการของ Responsive Web Design
- การทำ Fluid Grid คือการออกแบบ Grid ให้เป็นแบบ Relative นั่นคือการไม่กำหนด Grid ให้มีขนาดตายตัว แต่จะกำหนดความออกเป็นแบบ % เพื่อให้สัมพันธ์กับสิ่งต่าง ๆ ที่ใช้งาน
- การทำ Flexible Images คือการกำหนดขนาดของรูปภาพต่าง ๆ ให้สามารถรองรับกับขนาดของหน้าจอแสดงผลของอุปกรณ์ที่เข้าใช้งาน
- การใช้ CSS3 Media Queries คือการเขียนโค้ดเพื่อกำหนด Style Sheet สำหรับทั้งพื้นฐานและหน้าจอขนาดต่าง ๆ
- การทำ Responsive Website มี 2 ส่วน
  - กำหนด HTML เพื่อให้ Responsive
  - กำหนด CSS ที่เรียกว่า "media queries" เพื่อให้การแสดงผลเป็นแบบ Responsive โดยให้แยกตามอุปกรณ์ โดยกำหนดขนาดหน้าจอ
- เทคนิคการทำ Responsive Website มี 4 รูปแบบ
  - Responsive Retrofitting
  - Responsive Mobile Site
  - Mobile-First Responsive Site
  - Piecemeal

ในการพัฒนาระบบติดตามสัตว์ป่าได้จากระยะไกลนั้น ทางทีมวิจัยใช้เทคนิค Mobile-First Responsive Site โดยเป็นการทำเว็บใหม่แบบ Mobile-First (หรือบางครั้งเรียกว่า Progressive Enhancement) โดยการออกแบบเน้นรองรับบน Mobile ก่อน ในส่วนของเว็บไซต์เน้นทำให้มีเฉพาะ Element เพื่อการโหลดข้อมูลได้ไวขึ้น ทำการเขียน CSS สำหรับ Mobile โดยไม่ต้องใช้ Media Query เลย จากนั้นค่อยพัฒนาให้เหมาะกับ Desktop Site โดยเติม CSS สำหรับ Desktop เข้าไปจะมีการใช้ Media Query ข้อดีที่ได้รับการเลือกใช้เทคนิค ดังกล่าว

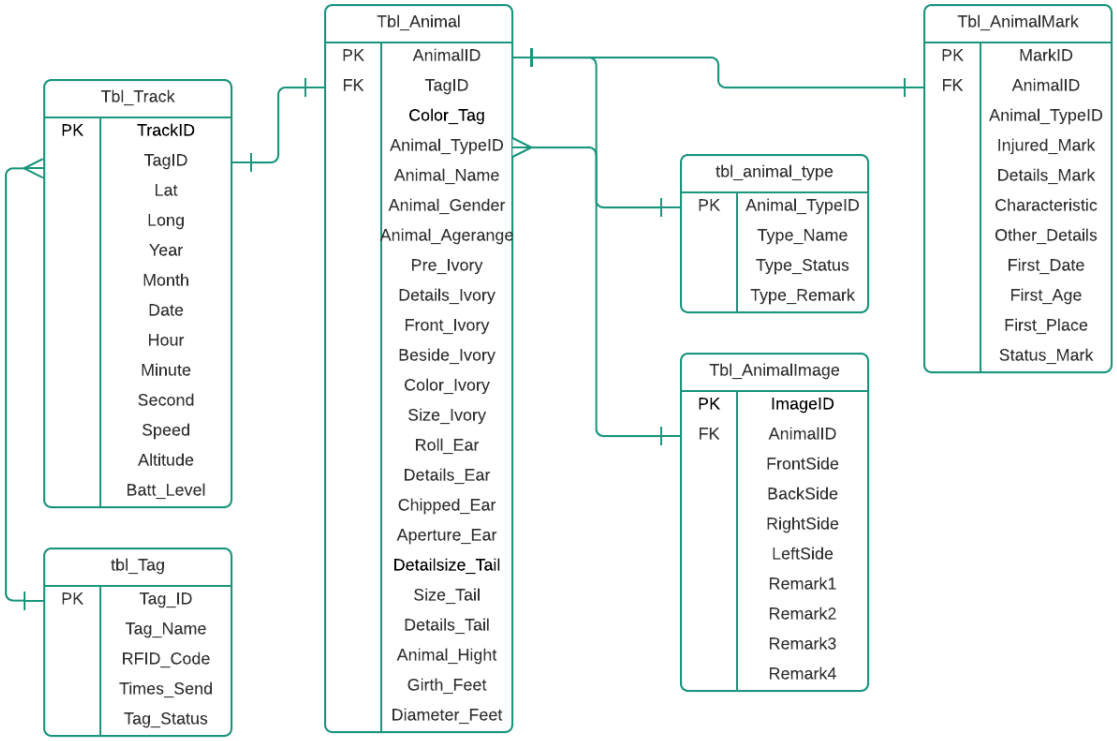
- การทำเว็บไซต์แบบเริ่มใหม่ทั้งหมด ทำให้ Designer / Developer ทำงานได้ง่ายขึ้น
- รองรับ Mobile ได้ทันที โดยที่ Device นั้นไม่ต้องรองรับ Media Query
- ปรับแต่งให้เว็บไซต์โหลดข้อมูลได้ไวบน Mobile ได้ไม่ยาก
- ปรับแต่งให้รองรับหน้าจอหลายขนาดได้ง่าย
- เหมาะกับการพัฒนาเป็น Desktop Site ต่อในอนาคต

การพัฒนาในส่วนนี้จะอธิบายละเอียดไว้ใน บทที่ 7 การพัฒนาส่วนการแสดงผลเพื่อการควบคุมและสั่งการของรายงานฉบับนี้

บทที่ 6 การประยุกต์ใช้งานฐานข้อมูล

6.1 โครงสร้างฐานข้อมูล (Database Schema)

6.1.1 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่า

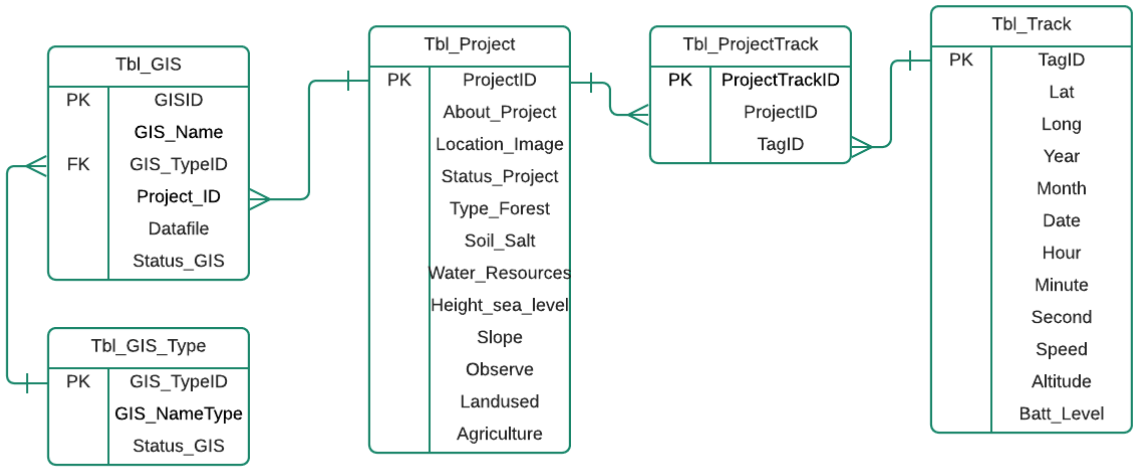


รูปที่ 6.1 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่า

ตารางที่ 6.1 รายการความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่า

Table Name	Description
Tbl_Track	ตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่าจากเครื่องมือติดตาม
Tbl_Animal	ตารางข้อมูลสัตว์และอัตลักษณ์
Tbl_AnimalType	ตารางประเภทของสัตว์
Tbl_AnimalImage	ตารางรูปอัตลักษณ์สัตว์
Tbl_AnimalMark	ตารางตำหนิและจุดสังเกตสัตว์
Tbl_Tag	ตารางอุปกรณ์ติดตามและการกำหนดรอบส่งข้อมูล

6.1.2 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลโครงการ

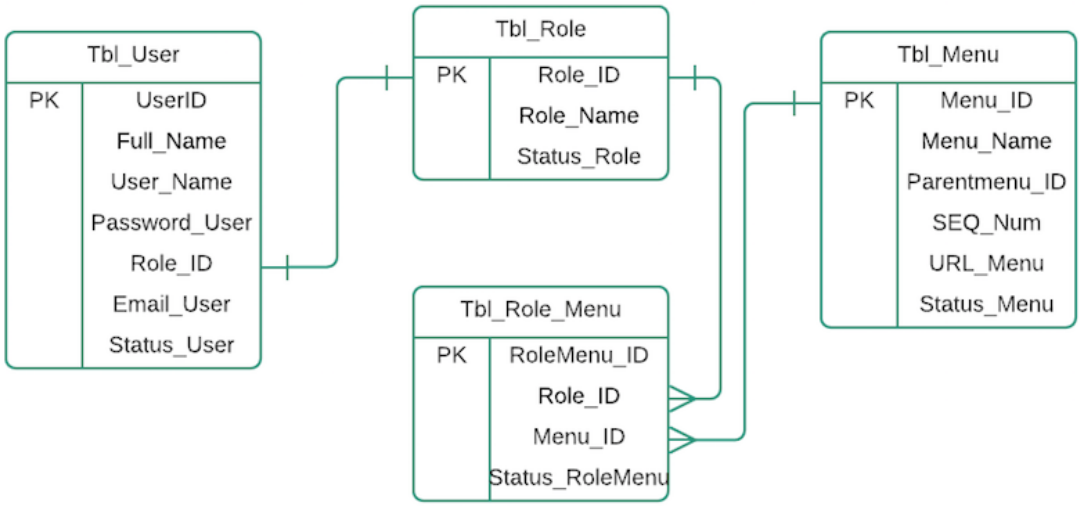


รูปที่ 6.2 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลโครงการ

ตารางที่ 6.2 รายการความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลโครงการ

Table Name	Description
Tbl_Project	ตารางข้อมูลโครงการ
Tbl_ProjectTrack	ตารางระบุเครื่องมือติดตามที่อยู่ภายใต้โครงการ
Tbl_GIS	ตารางข้อมูลในรูปแบบ GIS
Tbl_GIS_Type	ตารางประเภทข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบ GIS

6.1.3 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางจัดการผู้ใช้งานระบบ



รูปที่ 6.3 แผนผังความสัมพันธ์ของตารางจัดการผู้ใช้งาน

ตารางที่ 6.3 รายการความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลโครงการ

Table Name	Description
Tbl_User	ตารางข้อมูลผู้ใช้งาน
Tbl_Role	ตารางระบุประเภทผู้ใช้งาน
Tbl_Menu	ตารางระบุเมนูการใช้งานระบบ
Tbl_Role_Menu	ตารางระบุการใช้งานระบบตามประเภทผู้ใช้งาน

6.2 พจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary)

ตารางที่ 6.4 รายการตาราง (List of table)

No.	Table Name	Description
1	Tbl_Track	ตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่าจากเครื่องมือติดตาม
2	Tbl_Animal	ตารางข้อมูลสัตว์และอัตลักษณ์
3	Tbl_AnimalType	ตารางประเภทของสัตว์
4	Tbl_AnimalImage	ตารางรูปอัตลักษณ์สัตว์
5	Tbl_AnimalMark	ตารางตำหนิและจุดสังเกตสัตว์
6	Tbl_Tag	ตารางอุปกรณ์ติดตามและการกำหนดรอบส่งข้อมูล
7	Tbl_Project	ตารางข้อมูลโครงการ
8	Tbl_ProjectTrack	ตารางระบุเครื่องมือติดตามที่อยู่ภายใต้โครงการ
9	Tbl_GIS	ตารางข้อมูลในรูปแบบ GIS
10	Tbl_GIS_Type	ตารางประเภทข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบ GIS
11	Tbl_User	ตารางข้อมูลผู้ใช้งาน
12	Tbl_Role	ตารางระบุประเภทผู้ใช้งาน
13	Tbl_Menu	ตารางระบุเมนูการใช้งานระบบ
14	Tbl_Role_Menu	ตารางระบุการใช้งานระบบตามประเภทผู้ใช้งาน

6.3 โครงสร้างตาราง (Table Structure)

ตารางที่ 6.5 Table Name: Tbl_Track (ตารางข้อมูลติดตามสัตว์ป่าจากเครื่องมือติดตาม)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
TagID	รหัสเครื่องมือติดตาม	String	16		X	
Lat	ละติจูด	double				
Long	ลองติจูด	double				
Year	ปี บันทึกข้อมูล	int	2	✓		
Month	เดือน บันทึกข้อมูล	int	2	✓		
Date	วันที่ บันทึกข้อมูล	int	2	✓		
Hour	ชั่วโมง บันทึกข้อมูล	int	2	✓		
Minute	นาที บันทึกข้อมูล	int	2	✓		
Second	วินาที บันทึกข้อมูล	int	2	✓		
Speed	ความเร็ว	double		✓		
Altitude	ระดับความสูง	double		✓		
Batt_Level	ระดับพลังงานคงเหลือแบตเตอรี่	double		✓		

ตารางที่ 6.6 Table Name: Tbl_Animal (ตารางข้อมูลสัตว์และอัตลักษณ์)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
AnimalID	รหัสสัตว์	int	4		X	
TagID	รหัสเครื่องมือติดตาม	int	12		X	
Animal_TypeID	รหัสประเภทสัตว์	int	4	✓		
Animal_Name	ชื่อสัตว์	varchar	2000	✓		
Animal_Gender	เพศ	int	4	✓		
Animal_Agerange	ช่วงขั้นอายุ	varchar	200	✓		
Pre_Ivory	การปรากฏของงานหรือขนาย	varchar	2000	✓		
Details_Ivory	ลักษณะงา	varchar	2000	✓		
Front_Ivory	การเรียงตัวของงาเมื่อมองจากด้านหน้า	varchar	2000	✓		
Beside_Ivory	การเรียงตัวของงาเมื่อมองจากด้านข้าง	varchar	2000	✓		
Color_Ivory	สีงา	varchar	200	✓		
Size_Ivory	ความยาวงา	double		✓		
Roll_Ear	การม้วนของใบหู	varchar	200	✓		
Details_Ear	กระสีแดงที่ใบหู	varchar	200	✓		
Chipped_Ear	การแหว่งที่ใบหู	varchar	200	✓		

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
Aperture_Ear	รูที่ใบหู	varchar	200	✓		
Size_Tail	ความยาวของหาง	double		✓		
Details_Tail	รายละเอียดขนหาง	varchar	2000	✓		
Animal_Hight	ความสูงของสัตว์	double		✓		
Girth_Feet	เส้นรอบวงรอยตีนหน้า	double		✓		
Diameter_Feet	เส้นผ่าศูนย์กลางรอยตีนหน้า	double		✓		

ตารางที่ 6.7 Table Name: Tbl_AnimalType (ตารางประเภทของสัตว์)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
Animal_TypeID	รหัสประเภทสัตว์	int	4		X	
Type_Name	ชื่อประเภทสัตว์	varchar	200			
Type_Status	สถานการณ์ใช้งานข้อมูล	int	2			
Type_Remark	หมายเหตุ	varchar	200	✓		

ตารางที่ 6.8 Table Name: Tbl_AnimalImage (ตารางรูปอัตลักษณ์สัตว์)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
ImageID	รหัสข้อมูลรูปภาพ	int	4		X	
AnimalID	รหัสสัตว์	int	4			X
FrontSide	รูปด้านหน้า	varchar	200	✓		
BackSide	รูปด้านหลัง	varchar	200	✓		
RightSide	รูปด้านขวา	varchar	200	✓		
LeftSide	รูปด้านซ้าย	varchar	200	✓		
Remark1	รูปตำหนิอื่น ๆ 1	varchar	200	✓		
Remark2	รูปตำหนิอื่น ๆ 2	varchar	200	✓		
Remark3	รูปตำหนิอื่น ๆ 3	varchar	200	✓		
Remark4	รูปตำหนิอื่น ๆ 4	varchar	200	✓		

ตารางที่ 6.9 Table Name: Tbl_AnimalMark (ตารางตำหนิและจุดสังเกตสัตว์)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
MarkID	รหัสลำดับจุดสังเกต	int	4		X	
AnimalID	รหัสสัตว์	int	4			
Animal_TypeID	รหัสชนิดสัตว์	int	4			

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
Injured_Mark	การบาดเจ็บและพิการ	varchar	200	✓		
Details_Mark	รายละเอียกรูปพรรณอย่างอื่น	varchar	200	✓		
Characteristic	อุปนิสัย	varchar	200	✓		
Other_Details	ข้อมูลอื่น ๆ	varchar	200	✓		
First_Date	วันที่พบครั้งแรก	datetime		✓		
First_Age	อายุขณะพบครั้งแรก	double		✓		
First_Place	สถานที่พบครั้งแรก	varchar	200	✓		
Status_Mark	สถานภาพการอยู่ของ ช้าง ดังกล่าว เช่น อยู่ตัวเดียว อยู่เป็นโขลง	varchar	200	✓		

ตารางที่ 6.10 Table Name: Tbl_Tag (ตารางอุปกรณ์ติดตามและการกำหนดรอบส่งข้อมูล)

Field Name	**Description**	**Data Type**	**Max Length**	**Null**	**PK**	**FK**
Tag_ID	รหัสรายการอุปกรณ์ติดตาม	int	4		X	
Tag_Name	ชื่อ/รหัส อุปกรณ์ติดตาม	varchar	200			
RFID_Code	รหัส RFID	varchar	200			
Times_Send	รอบส่งข้อมูล	double				
Tag_Status	สถานะการใช้งานข้อมูล	int	2			

ตารางที่ 6.11 Table Name: Tbl_Project (ตารางข้อมูลโครงการ)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
ProjectID	รหัสโครงการ	int	4		X	
Name_Project	ชื่อโครงการ	varchar	200			
About_Project	ข้อมูลโครงการ	varchar	200			
Location_Image	รูปพื้นที่โครงการ	varchar	255			
Status_Project	สถานะโครงการ	int	4			
Type_Forest	ไฟล์ชนิดของป่า	varchar	255	✓		
Soil_Salt	ไฟล์แหล่งโป่ง	varchar	255	✓		
Water_Resources	ไฟล์แหล่งน้ำ	varchar	255	✓		
Height_sea_level	ไฟล์ความสูงจากระดับน้ำทะเล	varchar	255	✓		
Slope	ไฟล์ความลาดชัน	varchar	255	✓		

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
Observe	ไฟล์ข้อมูลสังเกตการณ์ถิ่นที่อยู่อาศัยรวบรวมข้อมูลเช่น แหล่งพันธุ์พืช แหล่งพักอาศัย	varchar	255	✓		
Landused	ไฟล์การใช้ประโยชน์ที่ดิน	varchar	255	✓		
Agriculture	ไฟล์พื้นที่เกษตรที่ได้รับความเสียหาย	varchar	255	✓		

ตารางที่ 6.12 Table Name: Tbl_ProjectTrack (ตารางระบุเครื่องมือติดตามที่อยู่ภายใต้โครงการ)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
ProjectTrackID	รหัสลำดับข้อมูลของตาราง	int	4		X	
ProjectID	รหัสโครงการ	int	4			
TagID	รหัสเครื่องมือติดตาม	int	4			

ตารางที่ 6.13 Table Name: Tbl_GIS (ตารางข้อมูลในรูปแบบ GIS)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
GISID	รหัสข้อมูล GIS	int	4		X	
GIS_Name	ชื่อข้อมูล GIS	varchar	200			
GIS_TypeID	รหัสประเภท GIS	int	4			
Project_ID	รหัสโครงการ	int	4			
Datafile	ข้อมูล GIS	int	4			
Status_GIS	สถานะการใช้งานข้อมูล	int	2			

ตารางที่ 6.14 Table Name: Tbl_GIS_Type (ตารางประเภทข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบ GIS)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
GIS_TypeID	รหัสประเภทข้อมูล GIS	int	4		X	
GIS_NameType	ชื่อประเภทข้อมูล GIS	varchar	200			
Status_GIS	สถานะการใช้งานข้อมูล	int	2			

ตารางที่ 6.15 Table Name: Tbl_User (ตารางข้อมูลผู้ใช้งาน)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
UserID	รหัสผู้ใช้งานระบบ	int	4		X	
Full_Name	ชื่อ - นาสกุล ผู้ใช้งานระบบ	varchar	200			
User_Name	ชื่อการเข้าใช้ระบบ	varchar	200			

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
Password_User	รหัสการเข้าใช้งานระบบ	varchar	200			
Role_ID	รหัสประเภทผู้ใช้งานระบบ	int	4			
Email_User	อีเมล์ผู้ใช้งานระบบ	varchar	200			
Status_User	สถานะการใช้งานข้อมูล	int	2			

ตารางที่ 6.16 Table Name: Tbl_Role (ตารางระบุประเภทผู้ใช้งาน)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
Role_ID	รหัสประเภทผู้ใช้งาน	int	4		X	
Role_Name	ชื่อประเภทผู้ใช้งาน	varchar	200			
Status_Role	สถานะการใช้งานข้อมูล	int	2			

ตารางที่ 6.17 Table Name: Tbl_Menu (ตารางระบุเมนูการใช้งานระบบ)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
Menu_ID	รหัสเมนู	int	4		X	
Menu_Name	ชื่อเมนู	varchar	200			
Parentmenu_ID	รหัสเมนูหลัก	int	4			
SEQ_Num	ลำดับในการแสดงผลเมนู	int	4			
URL_Menu	URL ของเมนู	varchar	200			
Status_Menu	สถานะการใช้งานข้อมูล	int	2			

ตารางที่ 6.18 Table Name: Tbl_Role_Menu (ตารางระบุการใช้งานระบบตามประเภทผู้ใช้งาน)

Field Name	Description	Data Type	Max Length	Null	PK	FK
RoleMenu_ID	รหัสระบบงานตามผู้ใช้งาน	int	4		X	
Role_ID	รหัสประเภทผู้ใช้งาน	int	4			
Menu_ID	รหัสเมนู	int	4			
Status_GIS	รูปแบบการนำไปใช้งานของ GIS	int	2			

บทที่ 7 การพัฒนาอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล

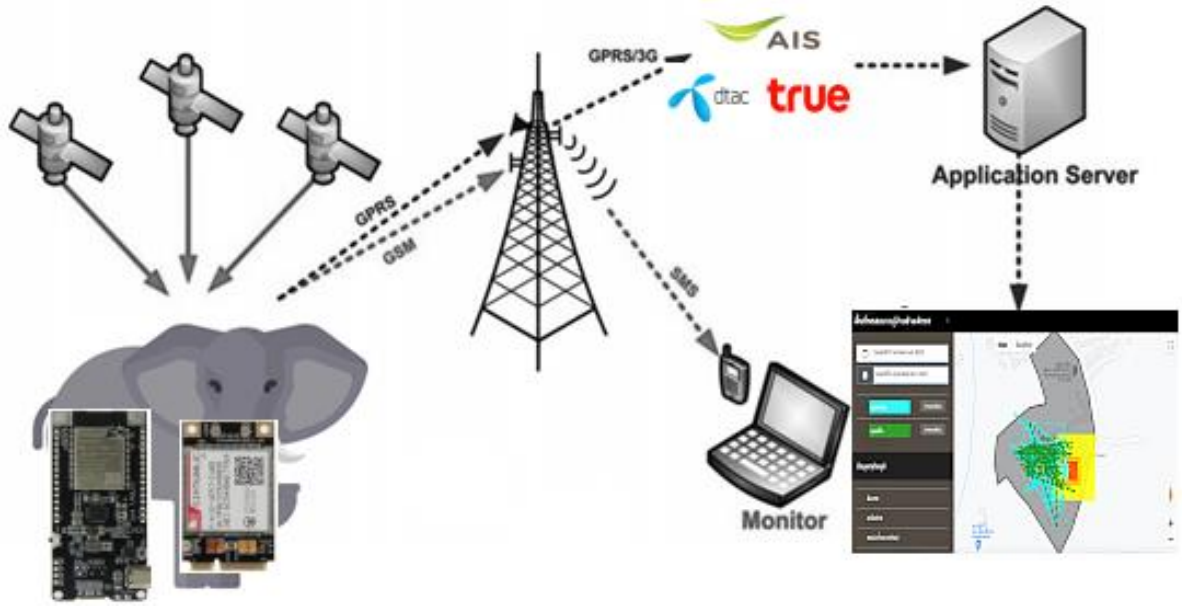
จากการออกแบบระบบติดตามข้างป่าได้จากระยะไกล เมื่อนำไปพัฒนาและนำไปใช้งานจริง จะพบปัญหาที่สำคัญคือ

1. ระบบที่ออกแบบเดิม ส่วนวจรหลักไม่สามารถเข้าสู่โหมดประหยัดไฟได้ด้วยตัวเอง หรือเมื่อเข้าสู่โหมดประหยัดไฟแล้วจะไม่สามารถปลุก (Wake up) ด้วยซอฟต์แวร์ได้
2. ระบบที่ออกแบบเดิม ใช้วิธีการขื่อมต่อผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ Narrowband-IoT ซึ่งพบปัญหาจากการใช้งานจริงว่า เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สนับสนุนมีไม่มากในปัจจุบัน ทำให้ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากปัญหาดังกล่าว โครงการวิจัยจึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกลใหม่ ดังนี้

7.1 อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล

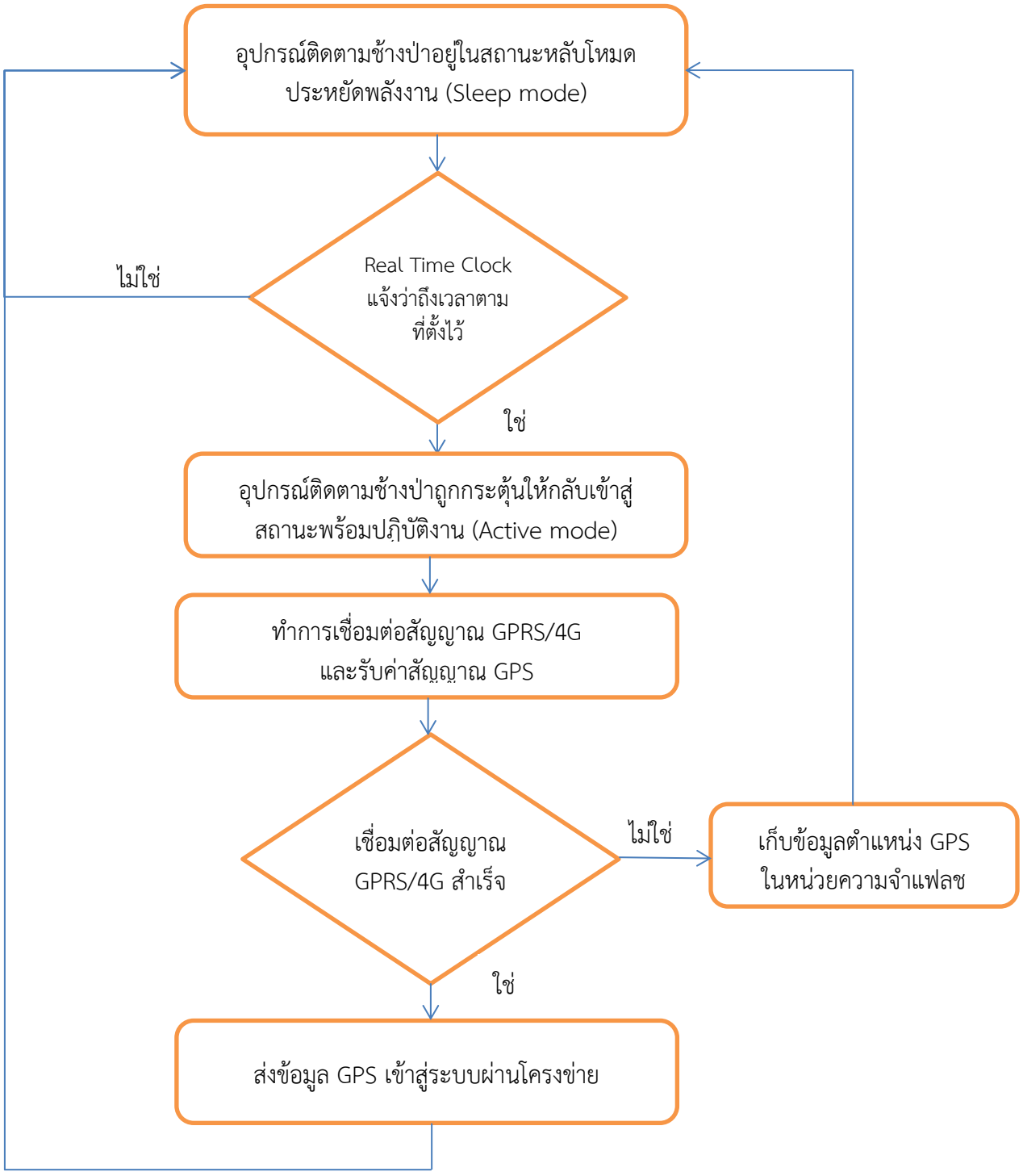
การพัฒนาระบบติดตามช้างป่าด้วย GPS ผ่านเครือข่าย GPRS ในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 7.1 ระบบติดตามช้างป่า[40]

จากรูปที่ 7.1 ปลอกคอข้างและเครื่องรับสัญญาณ GPS จะติดตั้งไว้ที่ช้างป่าที่ต้องการติดตาม เครื่องรับ GPS จะรับข้อมูลพิกัดละติจูดและลองติจูดจากดาวเทียม GPS และส่งข้อมูลกลับมา โดยนำข้อมูลมาใช้ร่วมกับแผนที่ (Mapping) จึงทำให้ทราบตำแหน่งช้างป่าว่าอยู่ตำแหน่งใด จากนั้นจะใช้ GPRS ส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายหลัก โดยมีโฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานดังนี้

[40] Doğan, Habib & Caglar, Mehmet & Yavuz, Musa & Gözel, Mahmut. (2016). Use of Radio Frequency Identification Systems on Animal Monitoring. SDU International Journal of Technological Science. 8. 38-53.



รูปที่ 7.2 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

7.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงการวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์หลักเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP-32 ที่มีความเหมาะสมกับงานวิจัยในหลายด้าน ได้แก่

1. ใช้พลังงานน้อยมาก
2. มีโหมดประหยัดพลังงาน ช่วงเวลาที่ยังไม่ได้ส่งข้อมูล
3. มีพอร์ตเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่น ๆ ค่อนข้างครบถ้วน

ESP32

ESP32 เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ WiFi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว พัฒนาต่อจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ออกแบบโดยบริษัท Espressif ประเทศจีน สามารถโปรแกรมลงไปได้ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย มีพื้นที่โปรแกรมมากถึง 8MB ทำให้มีเหมาะสมกับการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ในระบบ Internet of Things ESP32 ใช้พลังงานต่ำบนไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปที่มี Wi-Fi ในตัวและบลูทูธสองโหมด ESP32 ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Tensilica Xtensa LX6 ทั้งแบบแกนประมวลผลคู่ (dμAl-core) และแกนประมวลผลเดี่ยว (single-core) หรือไมโครโปรเซสเซอร์ RISC-V แบบ single-core และรวมถึงสวิตช์เสาอากาศในตัว RF balun เพาเวอร์แอมป์ แอมพลิฟายเออร์รับสัญญาณรบกวนต่ำ ฟิลเตอร์ และโมดูลการจัดการพลังงาน ESP32 ผลิตโดย TSMC โดยใช้กระบวนการผลิตขนาด 40 นาโนเมตร

รูปที่ 7.3 ชิปไอซี ESP32 ในรูปตัวถัง QFN-42

มีรายละเอียด ดังนี้

- วงจรรวมของชิปบรรจุอยู่ในแพ็คเกจ QFN ขนาด 6 มม. × 6 มม. และ 5 มม. × 5 มม.
- ซีพียู Xtensa® แกนประมวลผลคู่ (หรือแบบแกนดี่ยว) -ขนาด 32-bit ใช้สถาปัตยกรรม LX6 แบบ สัญญาณนาฬิกา 160 หรือ 240Mz แกนประมวลผลทั้งสองมีชื่อว่า Protocol CPU (PRO_CPU) และ Application CPU (APP_CPU) โดยโปรเซสเซอร์ PRO_CPU จัดการ WiFi, Bluetooth และอุปกรณ์ต่อพ่วงภายในอื่น ๆ เช่น SPI, I^2C, ADC เป็นต้น ส่วน APP_CPU จะใช้ทำงานแอปพลิเคชัน
- มีซีพียูช่วย Ultra low power (ULP) co-processor
- มีแรมในตัว SRAM 512KB 448 KiB ROM
- เชื่อมต่อรอมภายนอกสูงสุด 16MB
- WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station softAP และ Wi-Fi direct

- มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.2 v4.2 BR/EDR and BLE (shares the radio with Wi-Fi)
- ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6 ถึง 3.3 โวลต์
- ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C
- การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก
    - 34 × programmable GPIOs
    - 12-bit SAR ADC ได้ถึง 18 channels
    - 2 × 8-bit DACs
    - 10 × touch sensors (capacitive sensing GPIOs)
    - 4 × SPI
    - 2 × I²S interfaces
    - 2 × I²C interfaces
    - 3 × µART
    - SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC host controller
    - SDIO/SPI slave controller
    - Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 Precision Time Protocol support
    - CAN bus 2.0
    - Infrared remote controller (TX/RX, ได้ถึง 8 channels)
    - Motor PWM
    - LED PWM (ได้ถึง 16 channels)
    - Pulse Width Modulation (PWM)
    - Pulse Counter
    - Hall effect sensor
    - Ultra low power analog pre-amplifier
    - Timers และ Watchdog
    - Real Time Clock
    - ADC และ built-in Sensors
    - Hardware Accelerator

13 การจัดการความปลอดภัย:

- มาตรฐาน IEEE 802.11 ที่เกี่ยวข้องด้านความปลอดภัย เช่น WFA, WPA/WPA2 และ WAPI
- Secure boot
- Flash encryption
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers
- Cryptographic hardware acceleration: AES, SHA-2, RSA, elliptic curve cryptography (ECC), random number generator (RNG)

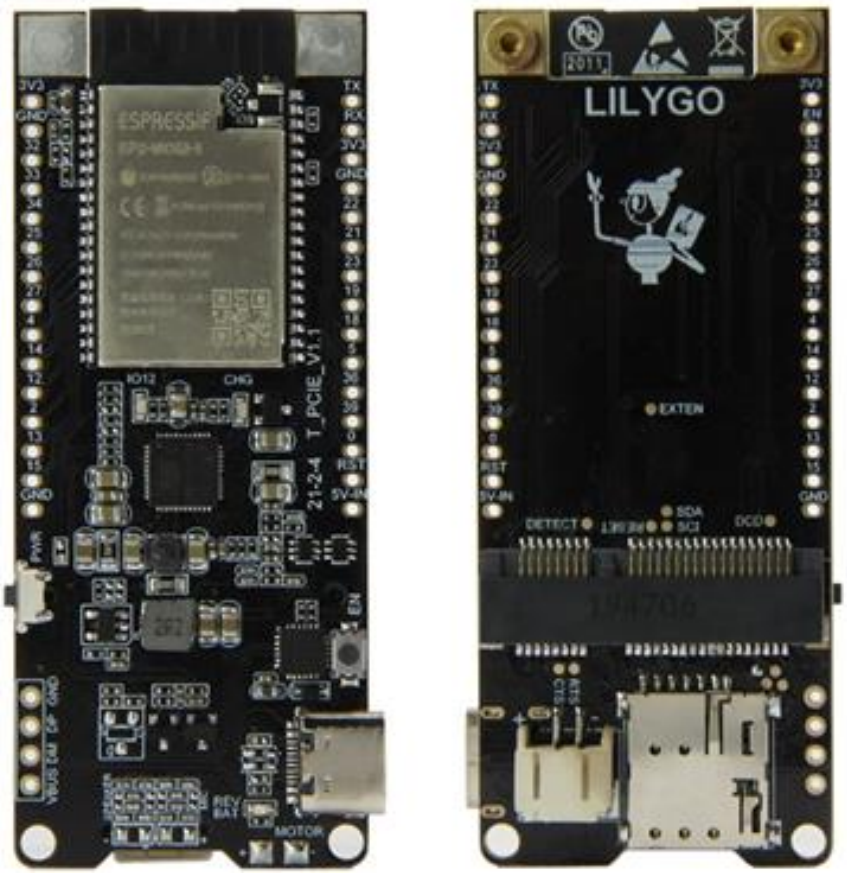
14 การจัดการพลังงาน:

- Internal low-dropout regulator
- Individual power domain for RTC
- ใช้กระแส 5 μA ในโหมด deep sleep
- สามารถปลุก (Wake up) ได้จาก GPIO interrupt, timer, ADC measurements, capacitive touch sensor interrupt

7.1.2 บอร์ด LILYGO TTGO T-PCIE

บริษัท LILYGO ประเทศจีน ได้ออกแบบและผลิตบอร์ดพัฒนาที่เรียกว่า “TTGO T-PCIE” ซึ่งโครงการวิจัยนี้ได้นำมาใช้เป็นอุปกรณ์หลักในการรับส่งข้อมูลการติดตามช้างป่า โดย TTGO T-PCIE มีคุณสมบัติดังนี้

1. MCU เป็น ESP32
2. สามารถโปรแกรมโดยใช้เครื่องมือพัฒนาในกลุ่ม Arduino Programable
3. สนับสนุน Bluetooth & WIFI
4. มีช่องเสียบ NanoSIM ในตัว
5. สนับสนุนการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายด้วยโมดูลแบบ PCI-E

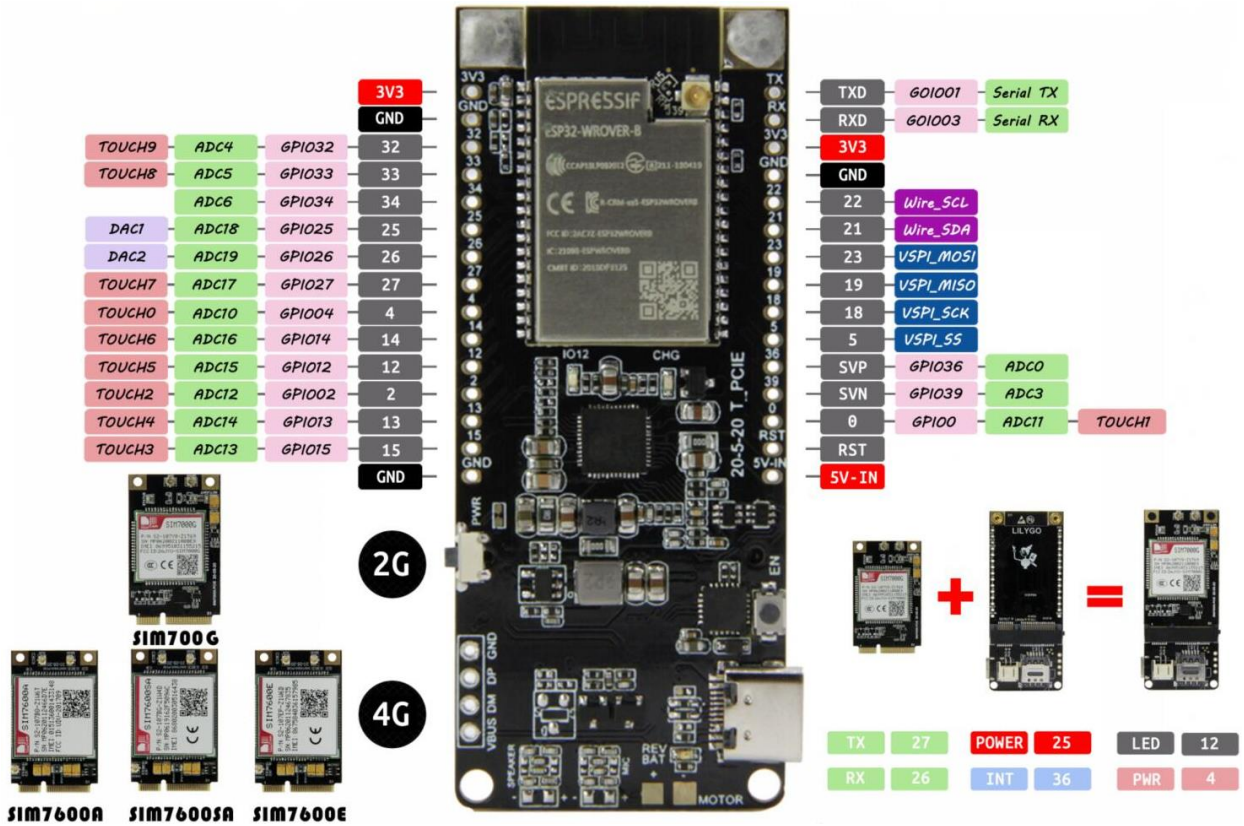


รูปที่ 7.4 บอร์ด TTGO T-PCIE ของบริษัท LILYGO

ตารางที่ 7.1 ลักษณะของ TTGO T-PCIE

Hardware Specifications	
Chipset	ESP32-WROVER-B, AXP192 Power Management Chip
FLASH	4MB
PSRAM	8MB
SRAM	520 kB SRAM
Button	PWR Power Switch, Reset
USB to TTL	CP2104 or CH9102F
On-board clock	40MHz crystal oscillator
Peripherals	SIM Nano Card Slot, Mini PCIE Card Slot
Antenna	Onboard antenna (Default)
Working voltage	2.7V-3.6V
Working current	
Sleep current	About 700uA
Working temperature range	-40C ~ +85C
Size	75*33*10.5mm
Weight	14.5g
Power Supply Specifications	
Power Supply Input	USB 5V/1A
Charging current	500mA
Battery Input	3.7-4.2V
Charge IC	AXP192
JST Connector	2Pin 2.0mm
USB	Type-C
Wi-Fi	
Standard	FCC/CE-RED/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC (ESP32 Chip)
Protocol	802.11 b/g/n (802.11n, peed up to150Mbps) A-MPDU and A-MSDU polymerization, support 0.4μS Protection interval
Frequency range	2.4GHz~2.5GHz (2400M~2483.5M)
Transmit Power	22dBm
Communication distance	300m
Bluetooth	
Protocol	Meet bluetooth v4.2BR/EDR and BLE standard
Radio frequency	With -97dBm sensitivity NZIF receiver Class-1, Class-2&Class-3 emitter AFH
Audio frequency	CVSD&SBC audio frequency

Hardware Specifications	
Software specification	
Wi-Fi Mode	Station/SoftAP/SoftAP+Station/P2P
Security mechanism	WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
Encryption Type	AES/RSA/ECC/SHA
Firmware upgrade	UART download/OTA （Through network/host to download and write firmware）
Software Development	Support cloud server development /SDK for user firmware development
Networking protocol	IPv4, IPv6, SSL/TLS, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
User Configuration	AT+ Instruction set, cloud server, android/iOSapp
OS	FreeRTOS



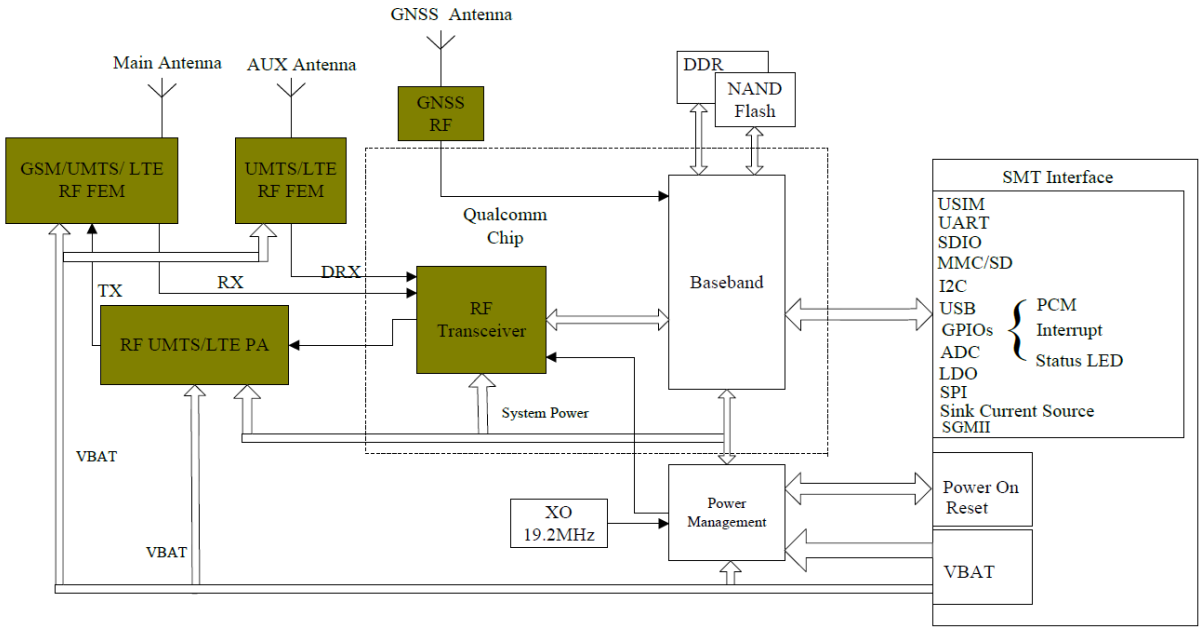
รูปที่ 7.5 ตำแหน่งขาของบอร์ด TTGO T-PCIE

7.2 เครื่องรับสัญญาณ GPS และเครื่องรับส่งสัญญาณ GPRS / 4G

โครงการวิจัยนี้นี้ ใช้โมดูล SIMCom SIM7600E ของบริษัท SIMCom Wireless Solutions จำกัด โมดูลตัวนี้จะมีเครื่องรับสัญญาณ GPS และวงจรรับส่งสัญญาณเชื่อมต่อกับเครื่อข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในตัว และโมดูลรุ่นนี้ผ่านการรับรองมาตรฐานด้านโทรคมนาคมจากทางสำนักงาน กสทช. แล้ว

รูปที่ 7.6 ชิปไอซี SIM-7600E

SIMCom SIM7600E มีขนาด 30*30*2.9 มม. น้ำหนัก 5.5 กรัม รองรับ LTE CAT-1 ความถี่ที่รองรับมีทั้งย่าน LTE-FDD B1/B3/B5/B7/B8/B20 และ LTE-TDD B38/B40/B41 โดยประเทศไทยใช้ LTE-FDD B8 การควบคุมโมดูลโดยใช้ AT Commands ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.4-4.2 โวลต์ ทำงานในย่านอุณหภูมิ -30°C ถึง 80°C รองรับโปรโตคอลสื่อสารได้หลากหลาย เช่น TCP/UDP/FTP/FTPS/HTTP/HTTPS/DNS สามารถอัพเดทเฟิร์มแวร์ผ่านพอร์ต UART



รูปที่ 7.7 โครงสร้างภายในของ SIM-7600E

ตารางที่ 7.2 ลักษณะของ SIM-7600E

คุณลักษณะ	การใช้งาน
Power supply	Single supply voltage 3.4～4.2V， recommend 3.8V.
Power saving	Current in sleep mode : <5mA
Transmitting power	GSM/GPRS power class: --GSM850: 4 (2W) --EGSM900: 4 (2W) --DCS1800: 1 (1W) --PCS1900: 1 (1W) EDGE power class: --GSM850: E2 (0.5W) --EGSM900: E2 (0.5W) --DCS1800: E1 (0.4W) --PCS1900: E1 (0.4W) UMTS power class: --WCDMA :3 (0.25W) LTE power class: 3 (0.25W)
Data Transmission Throughput	GPRS multi-slot class 12 EDGE multi-slot class 12 UMTS R99 speed: 384 kbps DL/UL HSPA+: 5.76 Mbps(UL), 42 Mbps(DL) HSDPA/HSUPA: 2.2 Mbps(UL), 2.8 Mbps(DL) LTE CAT 1: 10 Mbps(DL) 5 Mbps(UL) LTE-FDD CAT4 ： 150 Mbps (DL)， 50 Mbps (UL) LTE-TDD CAT4 ： 130 Mbps (DL)， 35 Mbps (UL)
Antenna	GSM/UMTS/LTE main antenna. UMTS/LTE auxiliary antenna GNSS antenna
GNSS	GNSS engine (GPS,GLONASS and BD) Protocol: NMEA
SMS	MT, MO, CB, Text and PDU mode SMS storage: USIM card or ME(default) Transmission of SMS alternatively over CS or PS.
USIM interface	Support identity card: 1.8V/ 3V
USIM application toolkit	Support SAT class 3, GSM 11.14 Release 98 Support USAT
Phonebook management	Support phonebook types: DC,MC,RC,SM,ME,FD,ON,LD,EN
Audio feature	Support PCM interface

คุณลักษณะ	การใช้งาน
	Only support PCM master mode and short frame sync, 16-bit linear data formats
UART interface	A full modem serial port by default Baud rate: 300bps to 4Mbps (default:115200bps) Autobauding baud rate: 9600,19200,38400,57600,115200bps Can be used as the AT commands or data stream channel Support RTS/CTS hardware handshake Multiplex ability according to GSM 07.10 Multiplexer Protocol
MMC/SD	Support MMC and SD cards with 2.85 V on SD port
SDIO	Support SDIO with 1.8 V only on SDIO port
USB	USB 2.0 high speed interface
Firmware upgrade	Firmware upgrade over μART2 interface
Physical characteristics	Size:30*30*2.9m Weight:5.7 g
Temperature range	Normal operation temperature: -30°C to +80°C Extended operation temperature: -40°C to +85°C* Storage temperature -45°C to +90°C

ตารางที่ 7.3 ข้อกำหนดแรงดันไฟฟ้าของ SIM-7600E

Symbol	Description	Min.	Typ.	Max.	Unit
VBAT	Module power voltage	3.4	3.8	4.2	V
IVBAT (peak)	Module power peak current in normal mode.		2	-	A
IVBAT (average)	Module power average current in normal mode	อ้างอิงตามโหมดการใช้งาน			
IVBAT (sleep)	Power supply current in sleep mode				
IVBAT (power-off)	Module power current in power off mode.	-	-	20	μA

ตารางที่ 7.4 การใช้พลังงานของ SIM-7600E

อัตราการใช้กระแสเมื่อใช้ VBAT Pins (VBAT=3.3V)

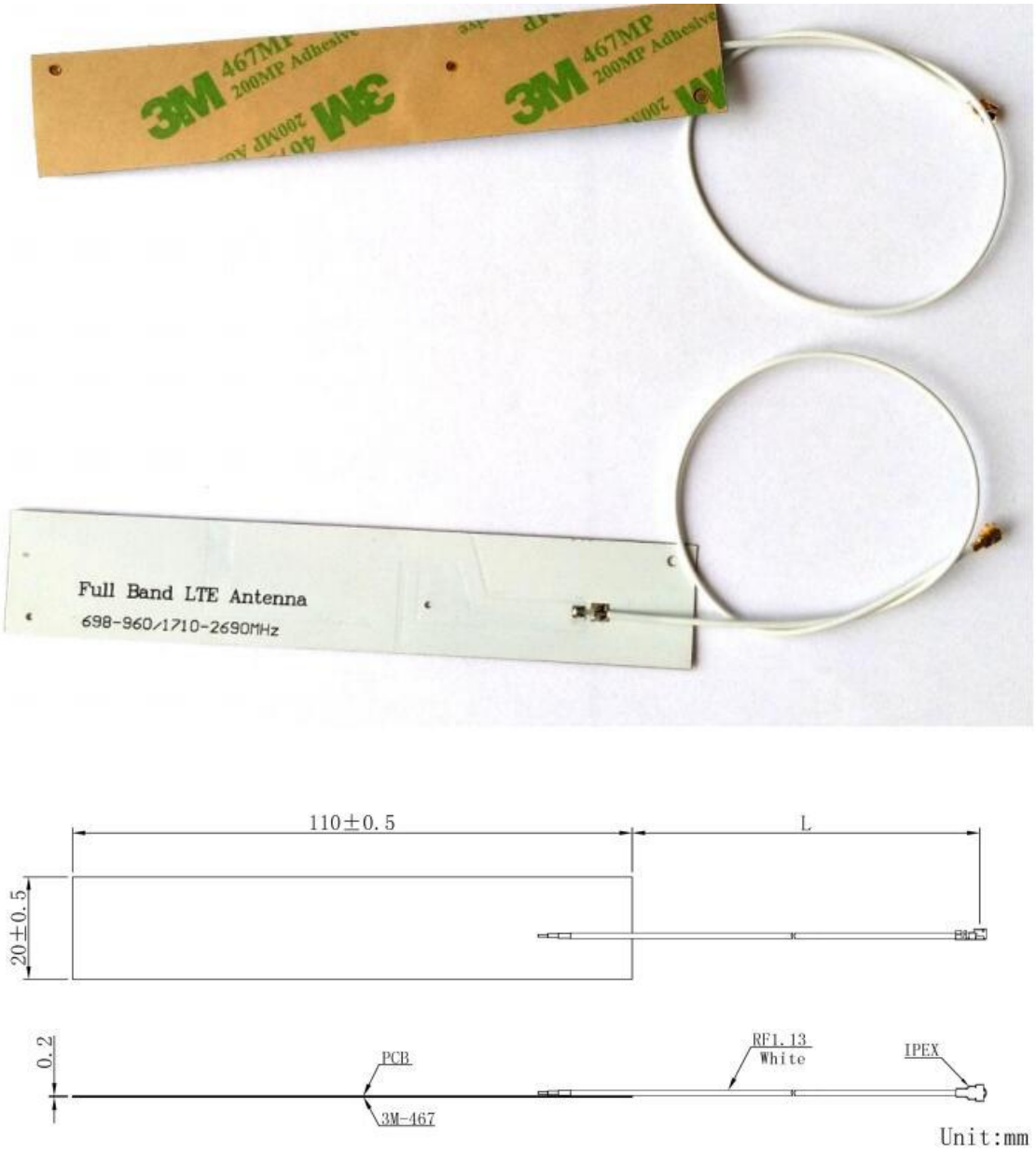
Sleep/Idle Mode	
LTE supply current (without USB connection)	Sleep mode Typical: 236μA (at+cfun=0) Idle mode Typical: 5.6mA
Power Saving Mode	
PSM supply current	PSM mode Typical: 3.4μA
eDRX	

eDRX mode supply current (Tested in sleep mode)	@PTW=10.24s, Typical：230μA	eDRX=20.48s,	DRX=1.28s
	@PTW=10.24s, Typical：130μA	eDRX=20.48s,	DRX=2.56s
	@PTW=20.48s, Typical：95μA	eDRX=81.92s,	DRX=2.56s
	@PTW=20.48s, Typical：77.5μA	eDRX=162.84s,	DRX=2.56s
	@PTW=40.96s, Typical：69μA	eDRX=655.36s,	DRX=2.56s
LTE data			
LTE-FDD B1	@23dbm Typical: 134mA @10dbm Typical: 42mA @0dbm Typical: 32mA		
LTE-FDD B3	@23dbm Typical: 116mA @10dbm Typical: 44mA @0dbm Typical: 31 mA		
LTE-FDD B5	@23dbm Typical: 116mA @10dbm Typical: 35mA @0dbm Typical: 25mA		
LTE-FDD B8 (ใช้ในประเทศไทย)	@23dbm Typical: 128mA @10dbm Typical: 35mA @0dbm Typical: 25mA		
LTE-FDD B20	@23dbm Typical: 113mA @10dbm Typical: 34mA @0dbm Typical: 26mA		

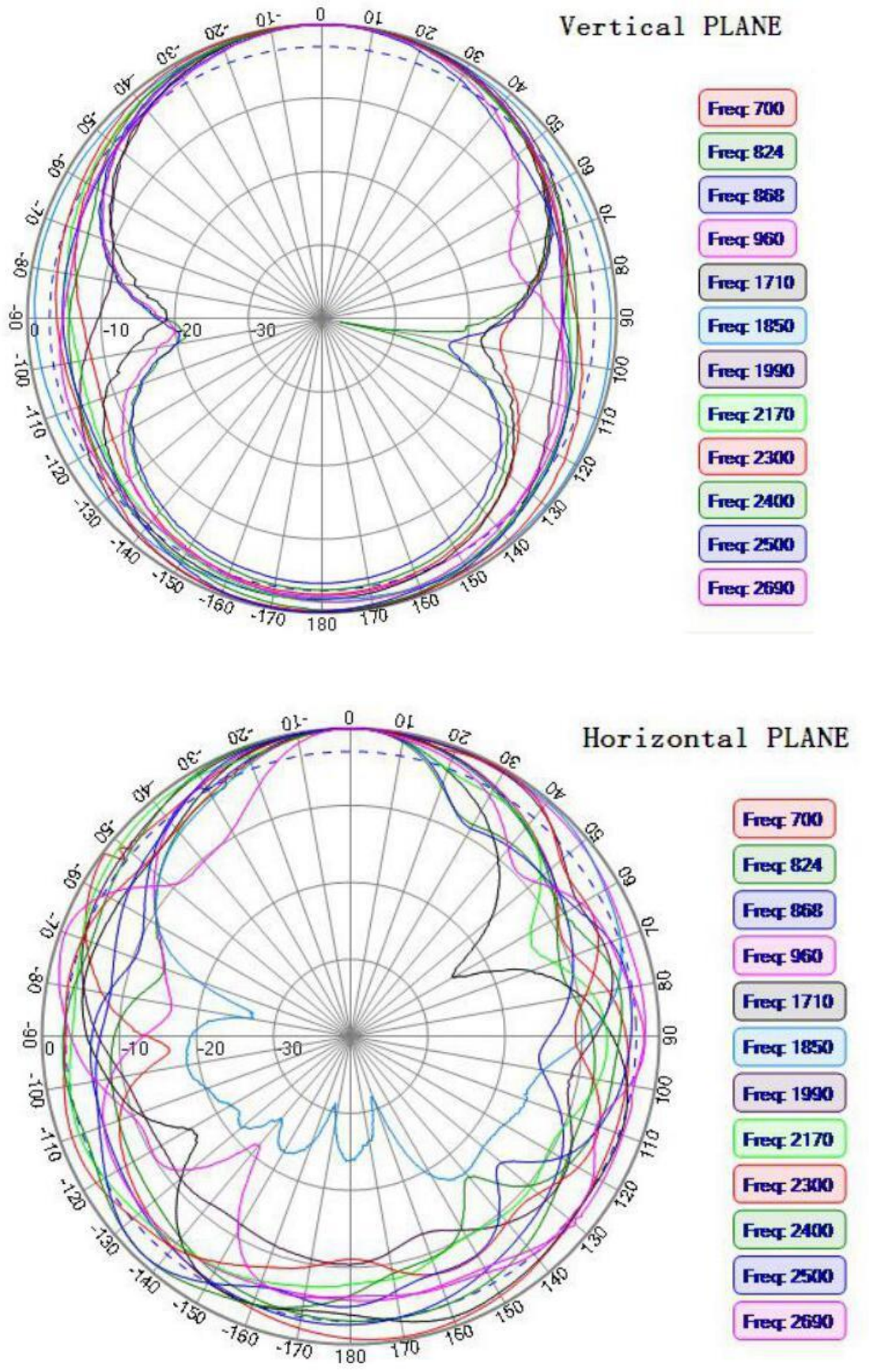
โครงการวิจัยนี้ใช้โมดูล LILYGO SIM-7600E ในรูปแบบการเชื่อมต่อด้วย PCI-E เพื่อใช้งานร่วมกับ LILYGO T-PCIE ตัวโมดูลมีขนาด 51*31*3.6 มม. น้ำหนัก 10 กรัม

รูปที่ 7.8 โมดูล SIM-7600E

7.3 เสาอากาศของการสื่อสาร 4G



รูปที่ 7.9 เสาอากาศ 4G



รูปที่ 7.10 รูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณของเสาอากาศ 4G

ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของเสาอากาศ 4G

หัวข้อ		**ข้อกำหนด**
เสาอากาศ	ช่วงความถี่	698-960/1710-2690MHz
	โพลาไรเซชั่น	Linear
	อัตราขยาย	3dBi
	VSWR	<3.0
	อิมพิแดนซ์	50 โอห์ม
	ขนาด	110x20x0.2 มม.
ข้อกำหนดทางกายภาพ	เคเบิ้ล	RF 1.13 หรืออื่น ๆ
	หัวต่อ	IPEX
	การเมาท์ติ้ง	ฝัง
สภาพแวดล้อม	อุณหภูมิทำงาน	-40c-+85c
	แรงสั่นสะเทือน	10-55Hz ขนาด 1.5mm 2 ชั่วมโง
	ความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	มาตรฐาน ROHS

7.4 การบันทึกแนวเส้นทางการเดินในแต่ละวันของช้างป่า

ใช้หน่วยความจำแฟลชภายในตัว ESP32 ในการเก็บบันทึกข้อมูลในขณะที่อุปกรณ์ติดตามช้างป่าไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายที่เวลานั้นได้ จะใช้บันทึกแนวเส้นทางการเดินในแต่ละวันของช้างป่าได้ โดยบันทึกอย่างน้อย 4 ตำแหน่ง/วัน และสามารถปรับเปลี่ยนรอบการบันทึกได้ ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลในขณะที่อุปกรณ์ติดตามช้างป่าไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายที่เวลานั้นได้

หน่วยความจำแฟลชภายในตัว ESP32 มีขนาด 1,378,241 ไบต์ ระบบติดตามช้างป่าจะส่งข้อมูลแต่ละครั้งเป็นจำนวน 95-100 ไบต์ จึงสามารถใช้หน่วยความจำนี้เก็บข้อมูลได้จำนวนประมาณ 1,378 รอบ นั่นคือ หากกำหนดให้ส่งข้อมูลจำนวน 4 รอบในแต่ละวัน ถ้าไม่สามารถติดต่อเครื่องแม่ข่ายได้ หน่วยความจำนี้จะสามารถเก็บข้อมูลได้ประมาณ 1378/4 = 344 วันก่อนที่จะเริ่มทำการลบข้อมูลเดิมที่เคยเก็บไว้ เพื่อเก็บข้อมูลรอบใหม่

7.5 การส่งข้อมูลบันทึกแนวเส้นทางการเดิน

การใช้หน่วยความจำแฟลชในตัว ESP32 จึงสามารถบันทึกแนวเส้นทางการเดินผ่านสัญญาณดาวเทียมสื่อสาร (GPS) เก็บไว้ภายในตัวได้โดยเมื่ออุปกรณ์ไม่สามารถเชื่อมต่อระบบสื่อสารเพื่อรับส่งข้อมูลที่เวลานั้น และหากอุปกรณ์ติดตามช้างป่าสามารถเชื่อมต่อระบบสื่อสารได้ก็สามารถส่งข้อมูลที่เก็บไว้นั้นให้กับเครื่องแม่ข่ายของระบบ และนำข้อมูลที่เก็บได้นำไปแสดงผลข้อมูลบนระบบแผนที่ เช่น Google Map ได้

7.6 การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ภาคสนามในการปรับแต่งค่าคอนฟิกใหม่

โครงการวิจัยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ESP32 เป็นตัวประมวลผลหลัก จะทำการอัพโหลดโปรแกรม หรือแก้ไขและอ่านค่าต่าง ๆ ด้วยการเชื่อมต่อผ่านพอร์ตรับส่งข้อมูลแบบ USB (Universal Serial Bus) กับคอมพิวเตอร์แบบส่วนบุคคลที่ใช้งานกันทั่วไป

7.7 แบตเตอรี่

โครงการวิจัยนี้จะใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดพอลิเมอร์ (Lithium-ion polymer battery หรือบางครั้งเรียก lithiumpolymer หรือ LiPo/Li-Po หรือ Li-Poly battery) จัดเป็นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทหนึ่ง โดยส่วนใหญ่มีวัสดุขั้วเป็น LCO (ขั้วบวก) และแกรไฟต์ (ขั้วลบ) อย่างไรก็ตาม วัสดุขั้วบวกอาจเป็นสารชนิดอื่นก็ได้ แล้วแต่การออกแบบของผู้ผลิต ข้อแตกต่างที่เด่นชัดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดพอลิเมอร์จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอื่น ๆ คือ การที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นเกลือของลิเทียมผสมในพอลิเมอร์ เช่น poly (acrylonitrile) (PAN) หรือ poly (ethylene oxide) (PEO) ทำให้อิเล็กโทรไลต์มีลักษณะเป็นเจล แผ่นขั้วบวก เยื่อเลือกผ่านและแผ่นขั้วลบจึงแนบติดกันเป็นชั้นเดียว ส่งผลให้ผู้ผลิตสามารถผลิตแบตเตอรี่ที่บาง น้ำหนักเบาและจัดการง่ายเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอื่น ๆ ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว ทำให้สะดวกให้การผลิตเป็นรูปทรงต่าง ๆ ให้เหมาะกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เป็นแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักเบาเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่น ๆ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่สูงและอัตราการคายประจุต่ำ ทำให้สามารถกักเก็บพลังงานได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดนี้ก็คือ ต้องใช้เทคโนโลยี การผลิตขั้นสูง รวมถึงอาจเกิดการลุกไหม้และระเบิดได้ระหว่างการใช้งานจากการที่แบตเตอรี่ลัดวงจร จึงจำเป็นต้องมีวงจรสำหรับการป้องกันการลัดวงจร และใช้งานด้วยความระมัดระวัง

จากการออกแบบและพัฒนาระบบ พบว่า อุปกรณ์ GPS ภายในตัว SIM7600-E ต้องใช้แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ผ่านช่องเชื่อมต่อแบบ USB จึงจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าในข้อกำหนดอุปกรณ์จะระบุว่าสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟฟ้า 3.4-4.2 โวลต์ก็ตาม แต่เมื่อทดสอบการใช้งานจริง หากป้อนแรงดันไฟฟ้าช่วง 3.4-4.2 โวลต์จะพบว่าเครื่องรับ GPS ในตัวโมดูลจะไม่สามารถตรวจจับสัญญาณ GPS จากดาวเทียมได้เลย

ชุดเก็บพลังงานให้กับอุปกรณ์ติดตามช้าง วงจรที่ใช้จะต้องการแรงดัน 5 โวลต์ และชาร์จเพิ่มเติมได้ลำบากมากหากติดตั้งกับอุปกรณ์ติดตามช้างแล้ว จึงเลือกใช้แบตเตอรี่แบบ Lithium 18650 ที่ประกอบกันเป็น package ที่จ่ายพลังงานให้ตัวอุปกรณ์ได้อย่างเพียงพอและสามารถถอดเปลี่ยนได้

รูปที่ 7.11 Battery ที่นำมาใช้งาน

ข้อมูลจำเพาะทางด้านเทคนิค

SKU	2716665298_TH-9828753268
เลขผลิตภัณฑ์	อย,/มอก. 2879-2560
จำนวนพอร์ต	2
ประเภทอินพุต	TYPE-C, Micro USB
ความจุแบตเตอรี่	30,000 mAh
ประเภทแบตเตอรี่	ลิเธียม โพลีเมอร์ (Lithium Polymer)

จากชุดแบตเตอรี่ สามารถประมาณระยะเวลาทำงานของอุปกรณ์สำหรับติดตามช้างป่าได้ประมาณ 4.061 ปี (หรือประมาณ 4 ปี 22 วัน) โดยคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 7.5 การคำนวณอัตราการใช้พลังงานและระยะเวลาทำงานของอุปกรณ์สำหรับติดตามช้างป่า

จำนวนการส่งข้อมูลต่อวัน			4	ครั้ง		
ระยะห่างช่วงเวลาการรับ-ส่งข้อมูล (ชั่วโมง)	= 24 ชั่วโมง / จำนวนการส่งข้อมูลต่อวัน	6	ชั่วโมง			
ระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (นาที)	= (จำนวนการส่งข้อมูลต่อวัน* ระยะเวลาช่วงส่งข้อมูลนาที)	12	นาที	ช่วงเวลารับส่งแต่ละครั้ง	3	นาที
ระยะเวลา sleep ต่อวัน (นาที)	= เวลานาทีใน 1 วัน - ระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (นาที) = เวลานาทีใน 1 วัน - (จำนวนการส่งข้อมูลต่อวัน*ระยะเวลาช่วงส่งข้อมูลนาที)	1428	นาที			
กระแสที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (mA*24hr)	=(ระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (นาที)/60 (นาที))*กระแสที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล (mA)	20	mA*24hr	กระแสช่วงรับส่ง	100	mA
กระแสที่ใช้ในช่วงเวลา sleepต่อวัน (mA*24hr)	=(ระยะเวลา sleep ต่อวัน (นาที))/60 (นาที))*กระแสที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล (mA)	0.238	mA*24hr	กระแสช่วง Sleep	0.01	mA
กระแสไฟเฉลี่ย (mA)	=[(กระแสที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลต่อวัน (mA*24hr)+กระแสที่ใช้ในช่วงเวลา sleepต่อวัน (mA*24hr))]/24	0.843	mA			
ประมาณการอัตราการใช้กำลังไฟเฉลี่ย (Watt)	=[กระแสไฟเฉลี่ย (mA)/1000]* ศักดาไฟฟ้าแบตเตอรี่@3.7V	**0.003**	Watt	Battery Voltage	3.7	V
ความจุแบตเตอรี่ (mA*hr)	=Battery ขนาดความจุ 3000 mA*Hr จำนวน 10 ก้อน	30000	mA*hr			
ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (Hr)	=ความจุแบตเตอรี่ (mA*hr)/ ประมาณการอัตราการใช้กระแสไฟเฉลี่ย (mA*1min)*60min)	35576.63	hr			

ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (วัน)	=ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (hr)/24(hr)	1482.36	วัน
ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (ปี)	=ประมาณการระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์ (วัน)/365(วัน)	**4.061**	ปี

7.8 นาฬิกาแบบเวลาจริง

DS3231 module เป็นโมดูลนาฬิกาแบบเวลาจริง RTC (Real Time Clock) ที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง ภายในมีวงจรวัดอุณหภูมิ เพื่อนำอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อมมาคำนวณชดเชยความถี่ของผลึกคริสตัลที่ถูกรบกวนจากอุณหภูมิภายนอก มาพร้อมแบตเตอรี่ ใช้งานได้แม้ไม่มีแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก สามารถตั้งค่า วัน เวลา และสามารถกำหนดเวลาปลุก (Alarm) เพื่อใช้ในการสั่งการไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ให้ทำงานต่อได้

รูปที่ 7.12 DS3231 Real-Time Clock Module

ระบบติดตามช้างป่า จะใช้ DS3231 นี้เพื่อสร้างฐานเวลาในการกำหนดการทำงาน 2 ชุด ได้แก่
1 รอบเวลาที่ใช้เก็บข้อมูลจากดาวเทียม GPS ลงในหน่วยความจำแบบแฟลช กรณีที่ยังไม่สามารถติดต่อกับสถานีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อทำการส่งข้อมูลได้
2 รอบเวลาที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่าย

แบตเตอรี่สำรอง

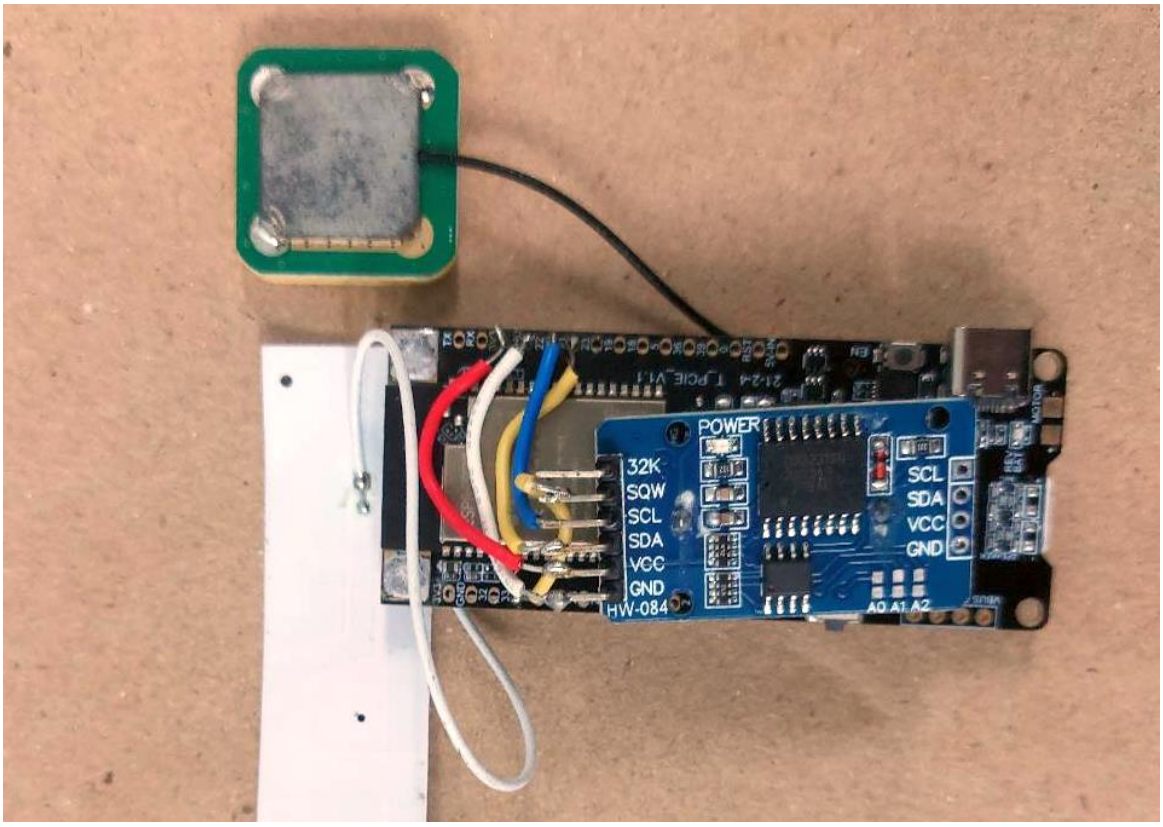
DS3231 มีแบตเตอรี่และคงการบอกเวลาที่แม่นยำเมื่อแรงดันไฟฟ้าหลักที่ส่งไปยังอุปกรณ์ถูกขัดจังหวะ วงจรตรวจจับพลังงานในตัวจะตรวจสอบสถานะของ VCC อย่างต่อเนื่องเพื่อตรวจจับแรงดันไฟฟ้าขัดข้องและสลับไปใช้แหล่งจ่ายไฟสำรองโดยอัตโนมัติ โดยด้านล่างของบอร์ดมีที่ใส่แบตเตอรี่ลิเธียมแบบเหรียญ coincells 3 โวลต์ ขนาด 20 มม. รุ่น CR2032

สมมติว่าใช้แบตเตอรี่ CR2032 ที่ชาร์จเต็มแล้วซึ่งมีความจุ 220mAh และชิปใช้พลังงานขั้นต่ำ 3μA แบตเตอรี่ก้อนนี้สามารถให้ RTC ทำงานเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ปีโดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟภายนอก สามารถคำนวณได้ดังนี้

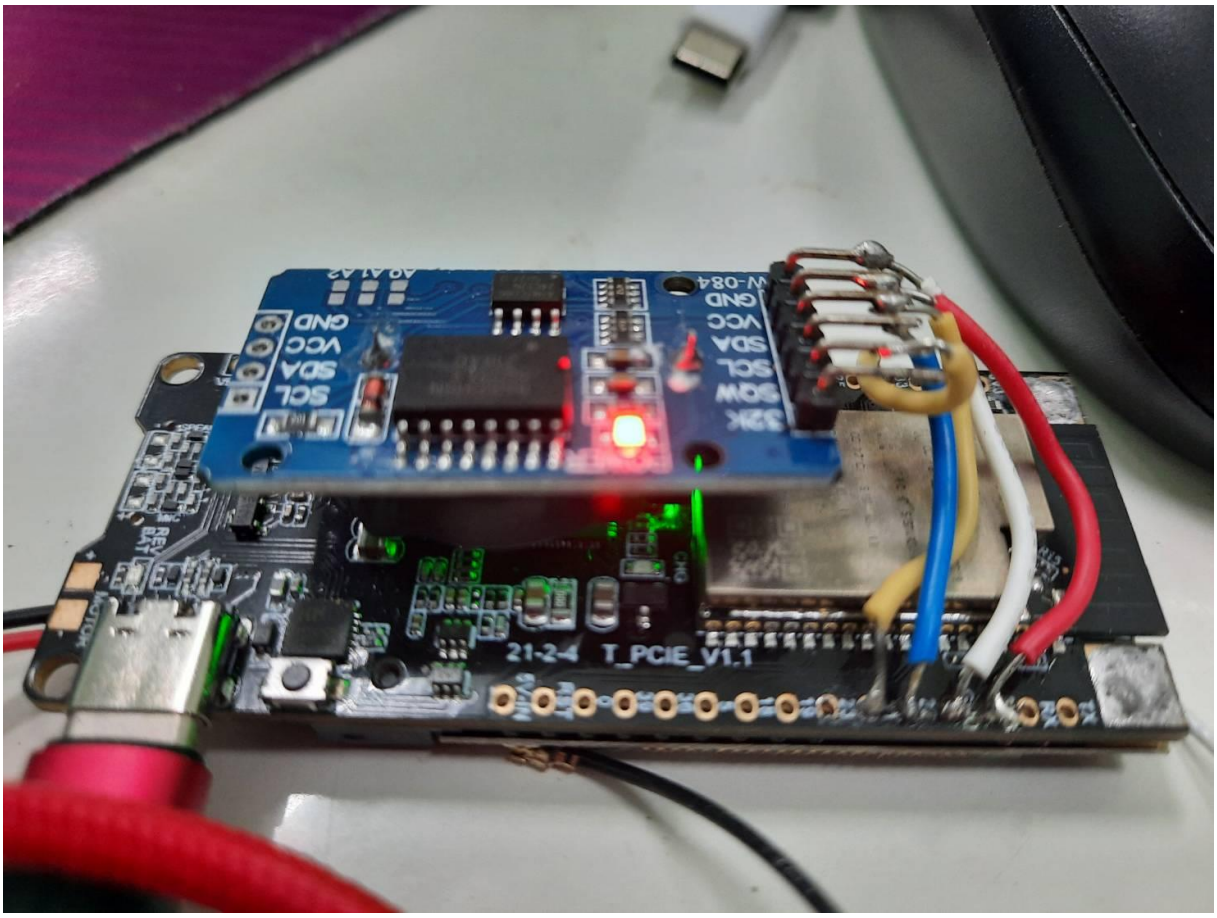
220mAh/3μA = 73,333.34 ชั่วโมง = 3,055.56 วัน = 8.37 ปี

7.9 วงจรรวมของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

รูปที่ 7.13 แสดงวงจรรวมของอุปกรณ์ติดตามข้างป่า ประกอบด้วยชุดควบคุมหลัก สายอากาศสำหรับรับสัญญาณ GPS และสายอากาศสำหรับการสื่อสารด้วย 4G



รูปที่ 7.13 วงจรภายในปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้างป่า



รูปที่ 7.14 วงจรภายในปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้างป่าขณะทำงาน

7.10 เครื่องอ่าน RFID

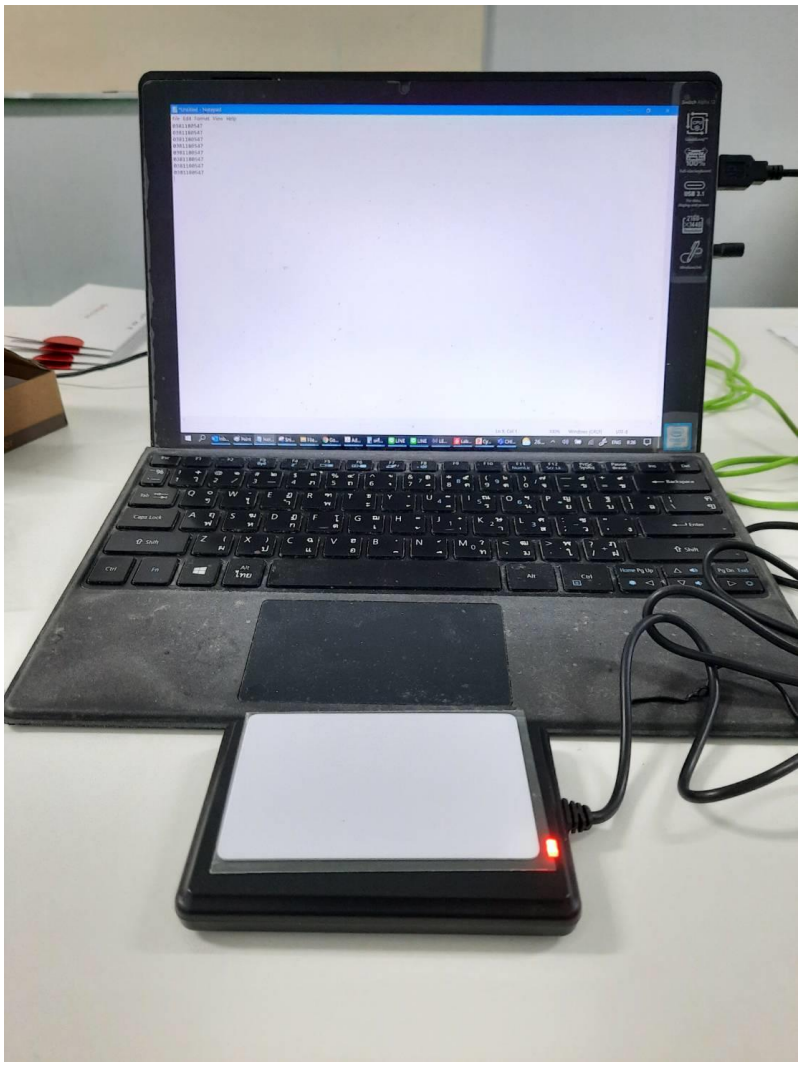
โครงการวิจัยจะใช้ RFID แบบ Passive Tag เพื่อระบุตัวตนช้าง โดยจะทำการแม็ปค่า RFID Tag เข้ากับหมายเลขของเครื่องส่ง และเก็บบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูลของระบบติดตามช้างป่า สำหรับตัวเครื่องอ่าน RFID เป็นแบบติดตั้งเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ มีสาย USB 2.0 สามารถต่อใช้งานได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมหรือหรือไดรเวอร์ โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- รองรับ RFID Tag: ISO14443A /13.56mhz RFID card หรือเทียบเท่า
- ความถี่ RFID: 13.56MHz (JS307)
- รองรับระบบปฏิบัติการ: Windows XP/7/8/10
- มาตรฐานการเชื่อมต่อสัญญาณ: USB 2.0 (Type A)
- ความเร็วในการสื่อสารข้อมูล: 106 Kbit/s
- แหล่งจ่ายไฟ: DC 5V (+/-5%)
- ระยะการอ่าน RFID Tag: 5-8 เซนติเมตร
- ขนาด (ยาว x กว้าง x สูง): 10.8x7.8x2.8 เซนติเมตร

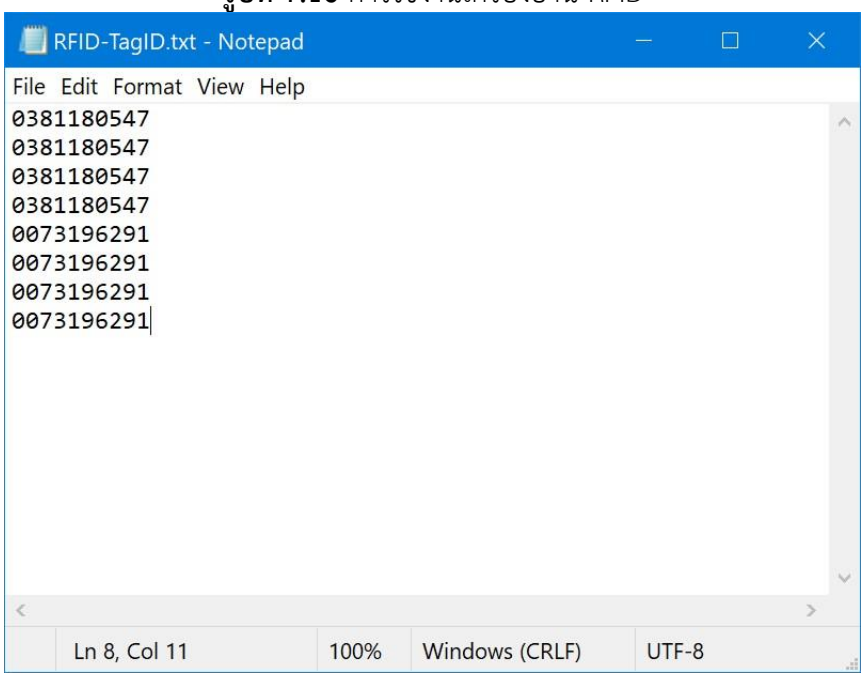
สำหรับ RFID Tag เป็นแบบ Passive Tag มีลักษณะเป็นบัตรภายในบรรจุข้อมูลหลายเลขเฉพาะ 10 หลัก ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ (อ่านได้เท่านั้น) สำหรับระบุตัวตนช้าง โดยหลายเลขเฉพาะ 10 หลักนี้ จะทำการแม็ปค่า RFID Tag เข้ากับหมายเลขของเครื่องส่ง และเก็บบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูลของระบบติดตามช้างป่า โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- ความถี่ RFID: 13.56 MHz
- ขนาด (ยาว x กว้าง x สูง) : 85.5 X 54 X 0.83 มิลลิเมตร
- วัสดุภายนอก: PVC
- สี: White.

รูปที่ 7.15 เครื่องอ่าน RFID



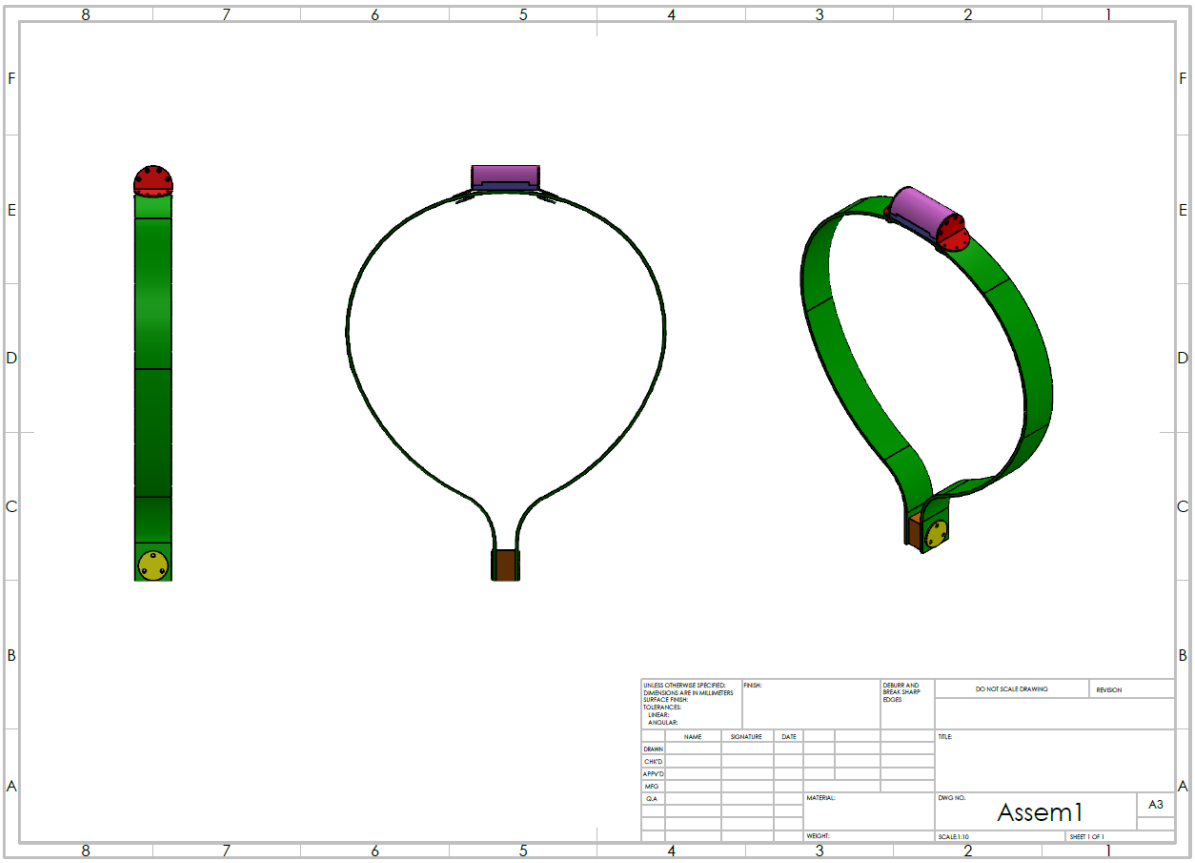
รูปที่ 7.16 การใช้งานเครื่องอ่าน RFID



รูปที่ 7.17 ผลการอ่านสัญญาณจากเครื่องอ่าน RFID

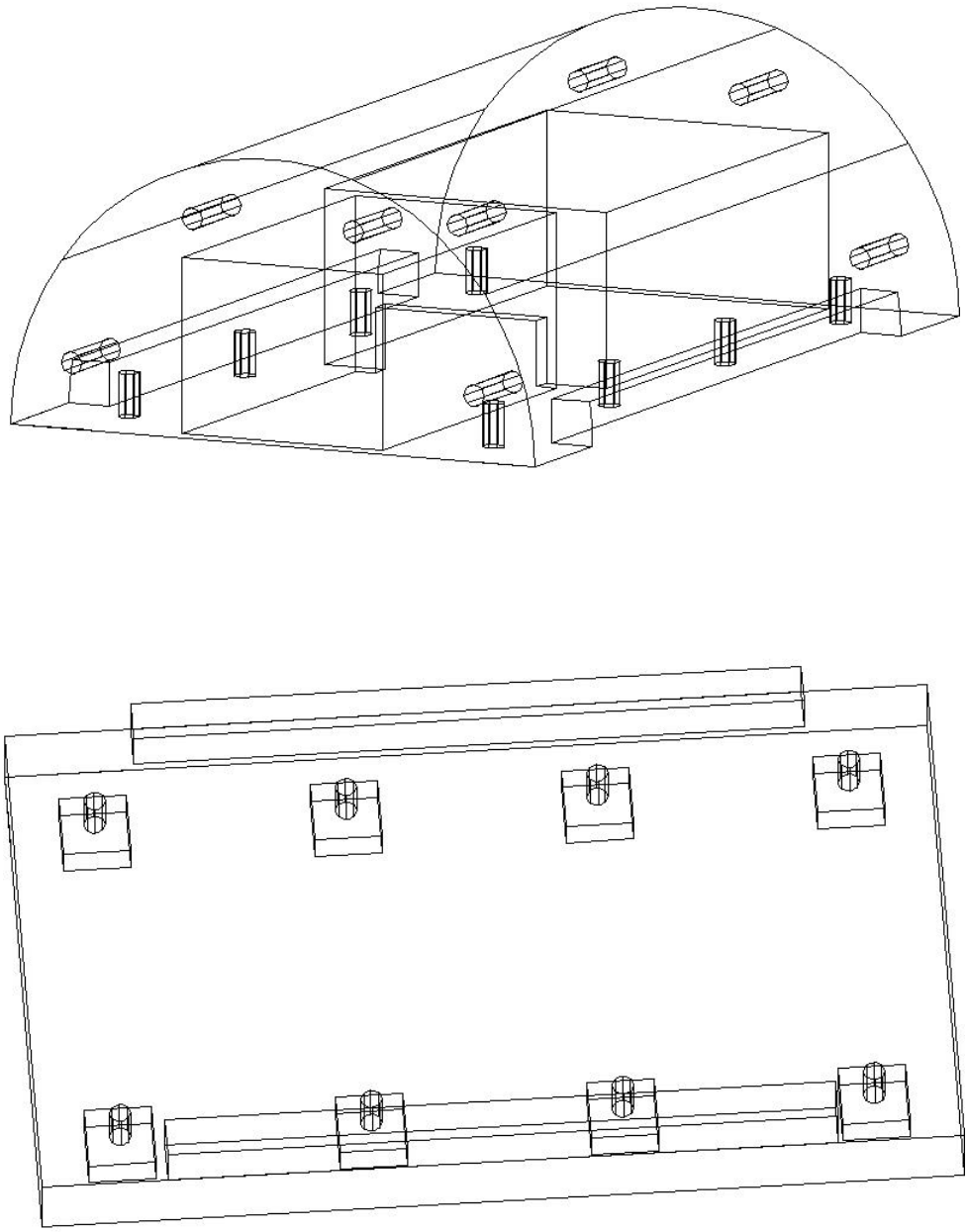
7.11 ปลอกคอช้าง

ปลอกคอช้างเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดอุปกรณ์ติดตามช้างป่าเข้ากับตัวช้าง ปลอกคอแต่ละเส้นจะติดตั้งอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยตัวรับสัญญาณ GPS อุปกรณ์รับส่งข้อมูล GPRS, หน่วยควบคุม (Control unit) และแบตเตอรี่เพื่อจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ การออกแบบปลอกคอจะประกอบไปด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่หน้าที่เป็นกล่องปิดภายในบรรจุอุปกรณ์ต่าง ๆ ข้างต้น ซึ่งจะต้องมีความทนทานและสามารถกันน้ำได้ และส่วนที่เป็นสายคาดหรือส่วนที่เป็นปลอกคอ ดังแสดงในรูปที่ 7.18



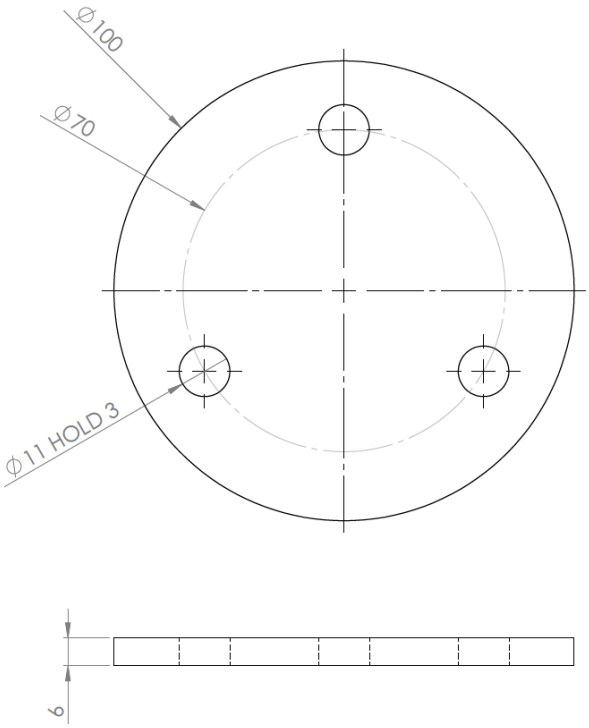
รูปที่ 7.18 ภาพแบบ 3 มิติ ปลอกคอช้าง

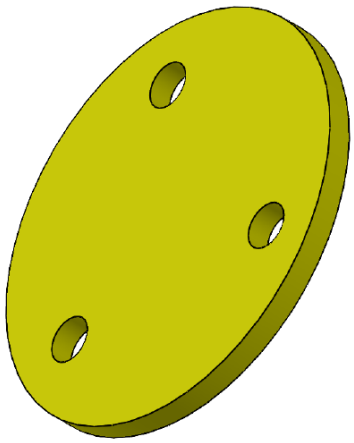
รูปที่ 7.19 ปลอกคอช้าง



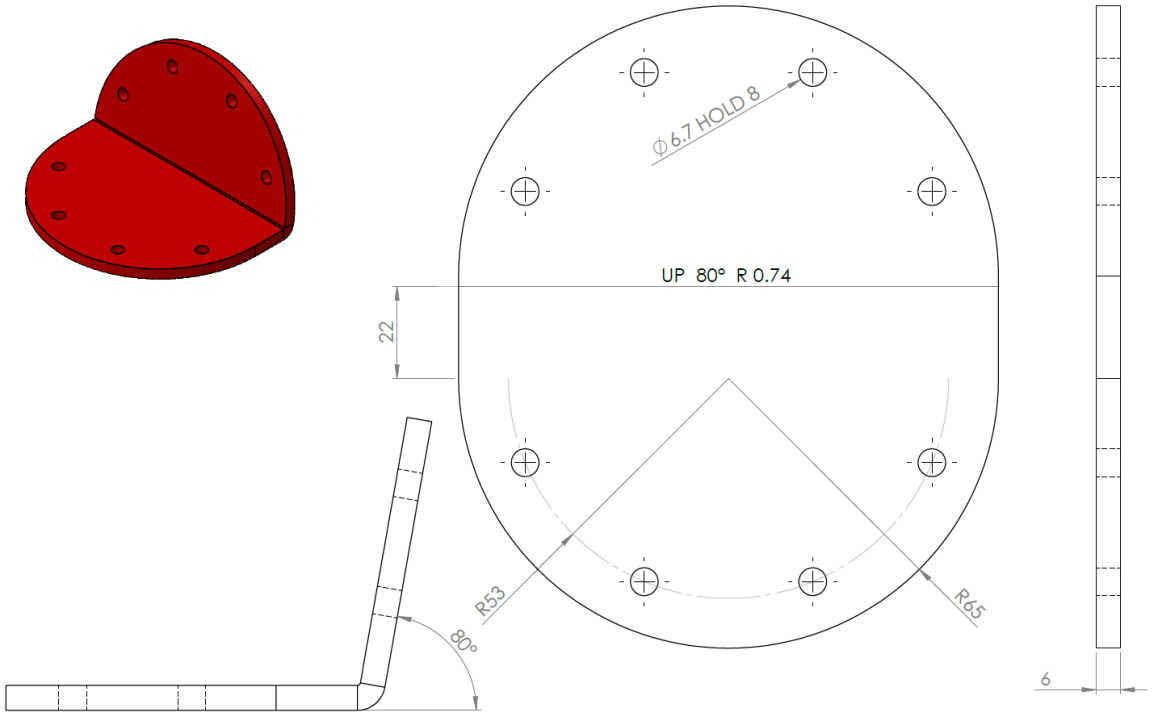
รูปที่ 7.20 ภาพแบบ 3 มิติของกล่องเก็บอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

รูปที่ 7.21 กล่องเก็บอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

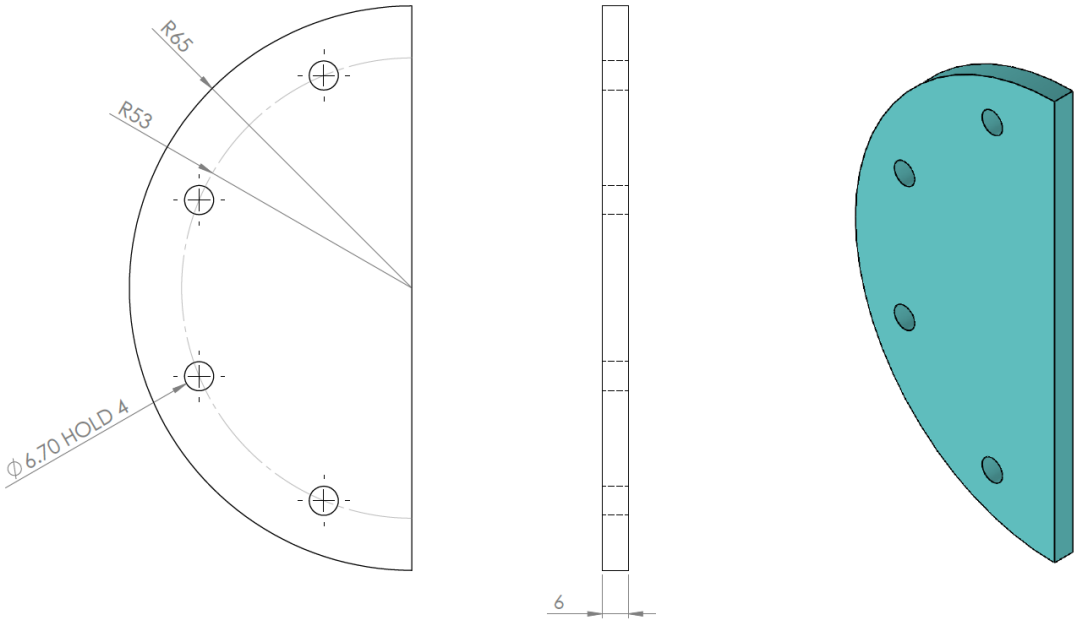




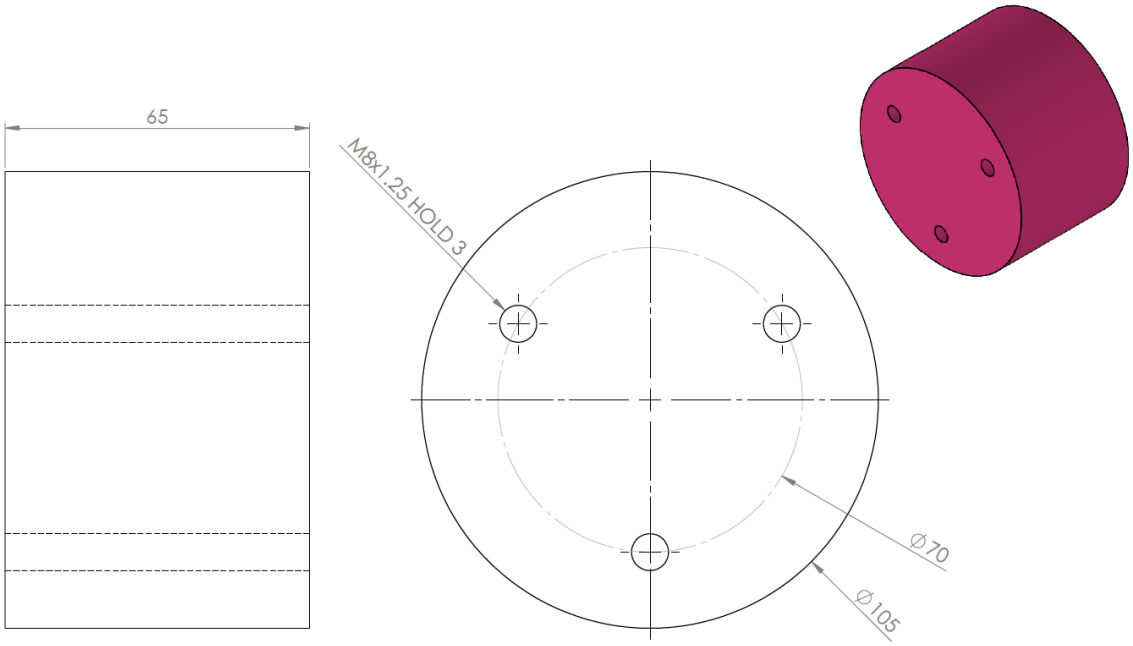
Belt plate 1	Unit: mm
Material: Stainless	QTY: 2



Belt plate 2	Unit: mm
Material: Stainless	QTY: 2

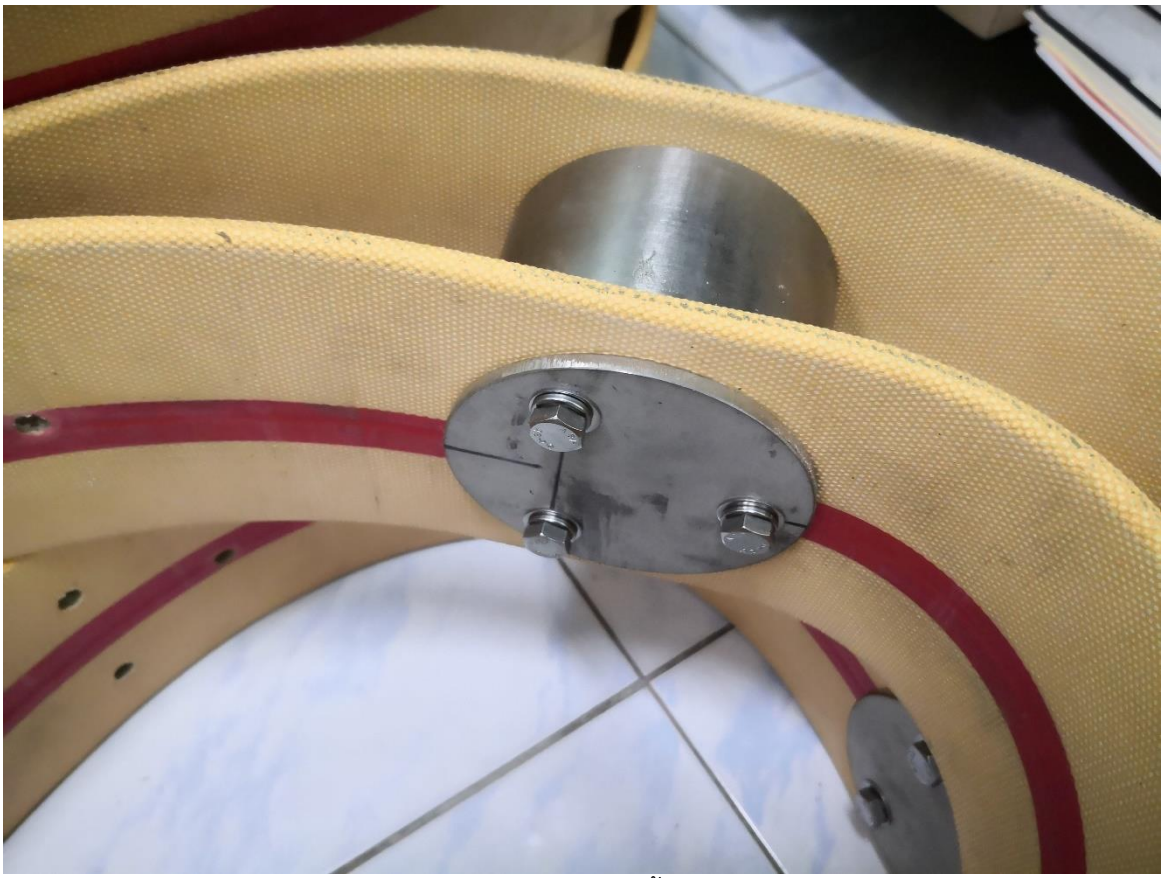


Belt plate 3	Unit: mm
Material: Stainless	QTY: 2



Belt shaft	Unit: mm
Material: Stainless	QTY: 1

รูปที่ 7.22 ภาพแบบ 3 มิติของตุ้มถ่วงน้ำหนักและเพลตยึดกล่องของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

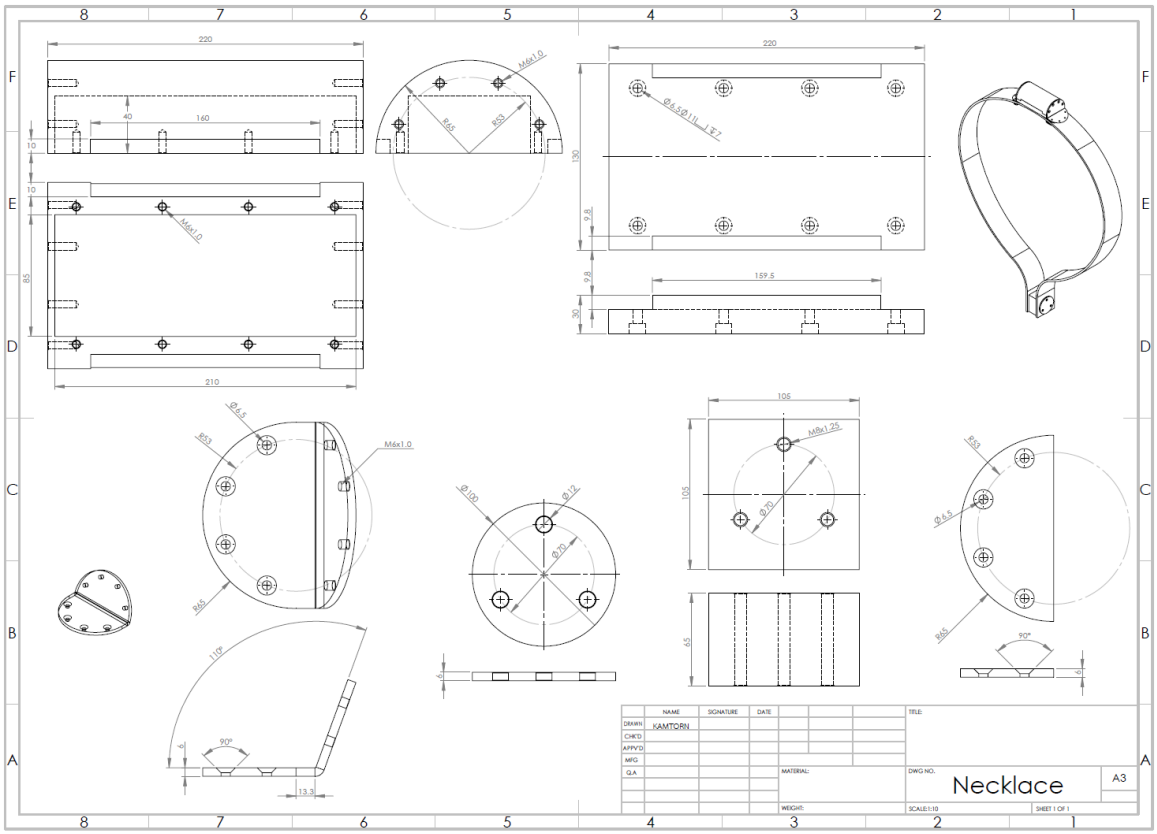


รูปที่ 7.23 ตุ้มถ่วงน้ำหนัก

รูปที่ 7.24 เพลตยึดกล่องของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

รูปที่ 7.25 สายคล้องของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

รูปที่ 7.26 สายคล้องที่ติดเพลตของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

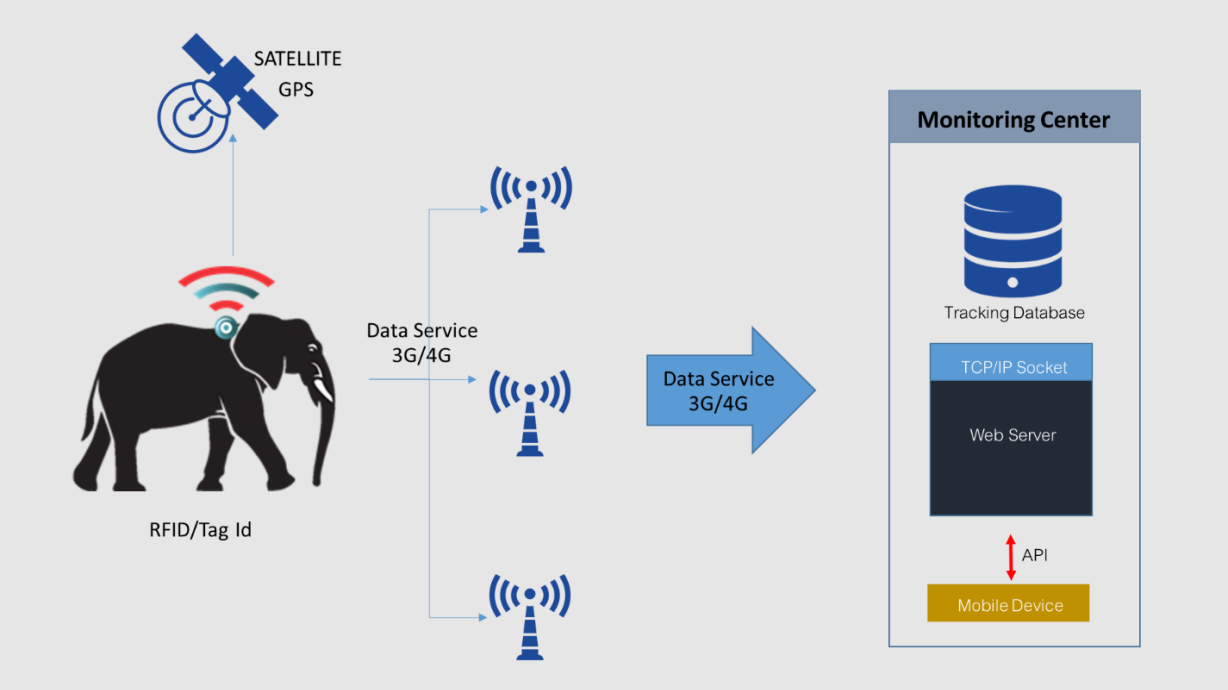


รูปที่ 7.27 ภาพแบบ 3 มิติของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

รูปที่ 7.28 ช้างที่ทำการติดตั้งปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้างป่า

บทที่ 8 การพัฒนาศูนย์ประมวลผลกลางการรับรู้ข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกล

ศูนย์ประมวลผลกลางการรับรู้ข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกลการติดตามช้างป่าจากระยะไกลโดยระบุพิกัดของช้างป่า เป็นวิธีหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการอนุรักษ์ช้างป่าในปัจจุบัน ระบบติดตามช้างป่าที่ใช้งานอยู่ จะใช้อุปกรณ์ติดตามไปติดที่ตัวของช้างป่าโดยอุปกรณ์จะมีลักษณะเป็นปลอกคอ รูปแบบการติดตามใช้การระบุตำแหน่งของตัวช้างป่าจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS โดยการเก็บค่าตำแหน่งที่ช้างป่าเดินอยู่โดยการระบุตำแหน่งตลอดช่วงวันนั้นจะถูกจัดเก็บอยู่ในชุดจัดเก็บข้อมูลที่ปลอกคอและทำการส่งข้อมูลดังกล่าวออกมาหากสามารถเชื่อมต่อสัญญาณกับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G/4G และข้อมูลการระบุตำแหน่งจะส่งโดยตรงมายังฐานข้อมูลติดตามช้างป่าจากเครื่องมือติดตาม และถูกแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสารสนเทศ



รูปที่ 8.1 ความเชื่อมโยงของการรับข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกลมายังศูนย์ประมวลผลกลาง

โดยการทำงานตั้งแต่การรับข้อมูลจนแสดงข้อมูลนั้นจะถูกดำเนินการภายใต้ศูนย์ประมวลผลกลางการรับรู้ข้อมูลการติดตามช้างป่าจากระยะไกล

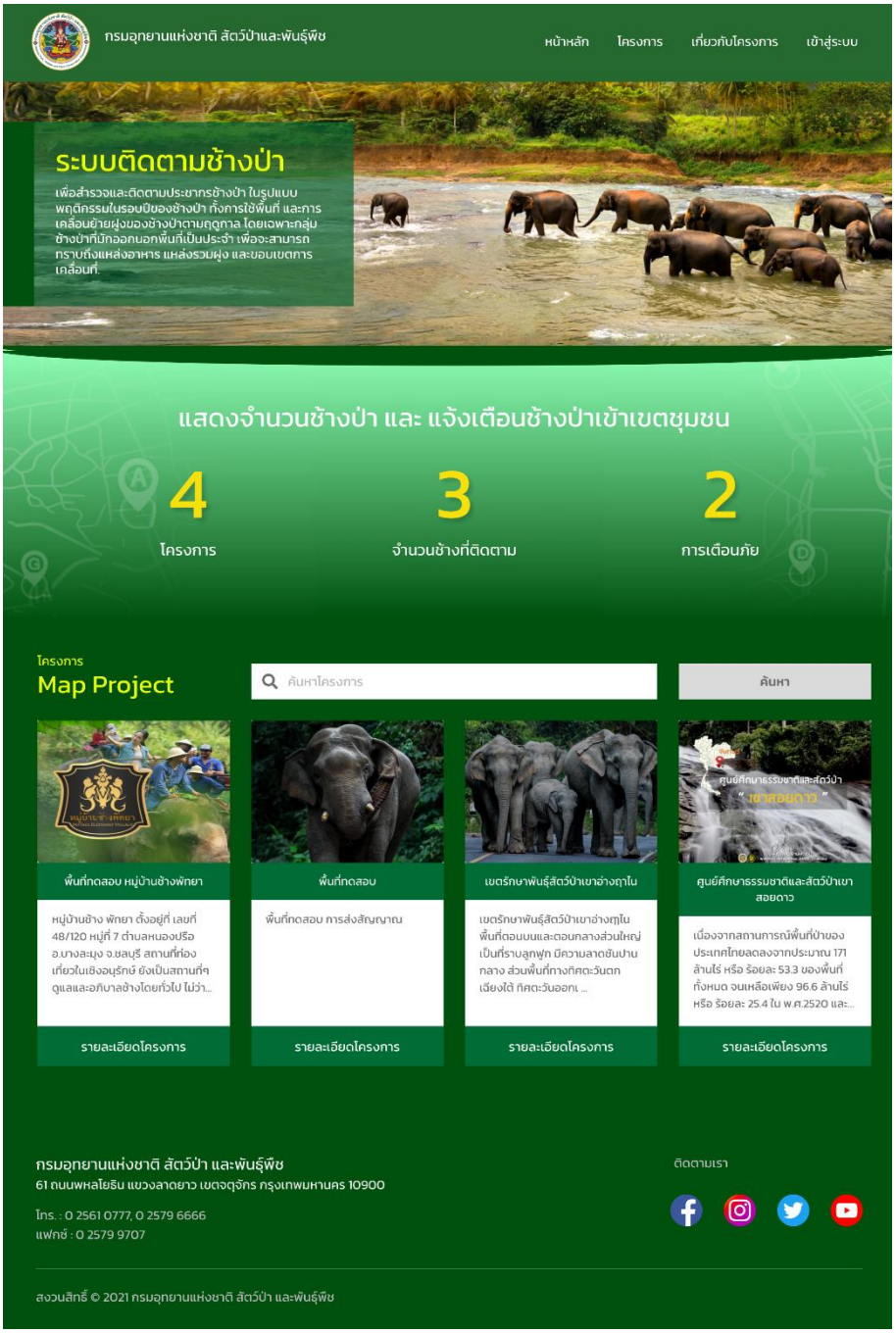
ตารางที่ 8.1 รายการหน้าจอ (List of User Interface)

No.	ID	User Interface Name
Screen		
	SC-0101	หน้าจอหลักของระบบฯ
	SC-0102	หน้าจอโครงการ
	SC-0103	หน้าจอเกี่ยวกับโครงการ
	SC-0201	หน้ารายละเอียดโครงการ
	SC-0202	หน้าแผนที่การใช้งาน Tracking อุปกรณ์และระบบสำหรับติดตามสัตว์ป่า
	SC-0203	หน้าจอข้อมูลอัตลักษณ์ช้าง
	SC-0301	หน้าจอนำเข้าข้อมูล Tracking อุปกรณ์และระบบสำหรับติดตามสัตว์ป่า
	SC-0302	หน้าจอจัดการข้อมูลพื้นฐานมาตรฐานการสำรวจภาคสนาม
	SC-0303	หน้าจอการนำเข้าข้อมูลทุติยภูมิ
	SC-0304	หน้าจอการจัดการ Tag และการกำหนด รอบการส่งข้อมูล
	SC-0401	หน้าจอการจัดการผู้ใช้งานระบบฯ

8.1 หน้าจอระบบ

หน้าจอหลักของระบบฯ

ID :	SC-0101	Name :	หน้าจอหลักของระบบฯ



Operation/Business Rule:

1. แสดงหน้าจอในการเข้าใช้งานข้อมูลต่างในระบบฯ
2. แสดงปุ่ม “โครงการที่หน้าสนใจ” เพื่อเชื่อมไปยังหน้าจอแสดงโครงการทั้งหมดของระบบฯ
3. แสดงปุ่ม “เกี่ยวกับโครงการ” เพื่อเชื่อมไปยังหน้าจอแสดงเกี่ยวกับโครงการ
4. แสดงปุ่ม “เข้าสู่ระบบ” เพื่อเชื่อมไปยังหน้าจอ Login สำหรับเจ้าหน้าที่ในการบริหารข้อมูล
5. แสดงปุ่ม “การค้นหา” เพื่อนำคำที่กรอกในช่องค้นหาไปแสดง ที่หน้าจอรายการค้นหา
6. แสดงปุ่ม แบนเนอร์ต่าง เพื่อเชื่อมไปยังหน้าจอต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้
7. แสดงปุ่ม Socials เพื่อเชื่อมไปยังระบบ Social ต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_Project	PRJ

Data Control:

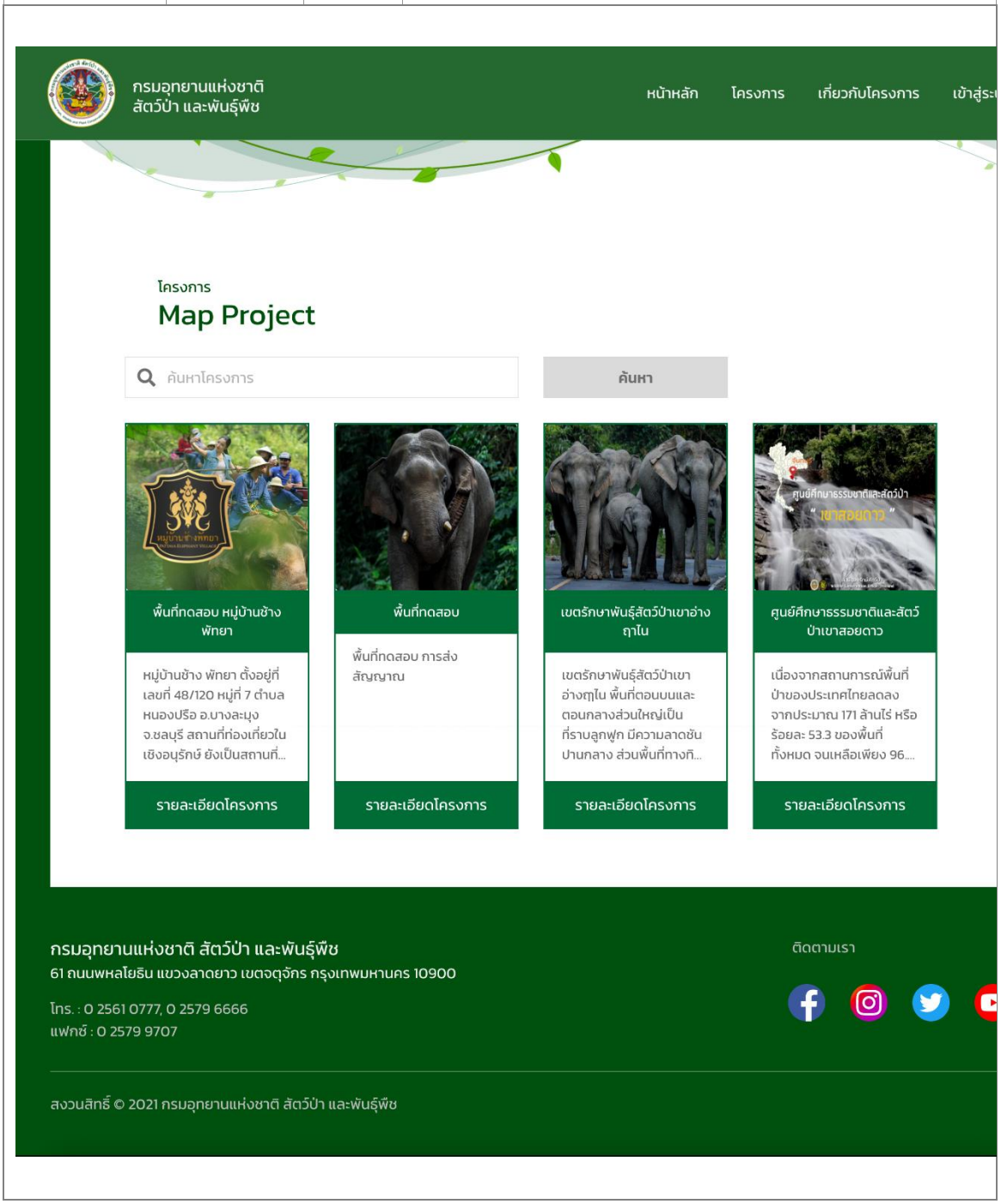
No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
1	ชื่อโครงการ	txt	PRJ.Name_Project		

State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	●เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงเมนูในการเชื่อมโยงไปสู่หน้าจอต่าง ๆ		
2	แสดงช่องในการกรอกข้อมูลชื่อโครงการเพื่อทำการค้นหา		
3	แสดงรายการโครงการ โดยจะแสดงโครงการที่ข้อมูลเคลื่อนไหวใหม่สุด 4 โครงการ		
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	เข้าสู่ระบบ	คลิกปุ่มเข้าสู่ระบบ	แสดงหน้าจอ login สำหรับเจ้าหน้าที่
2	ค้นหา	กรอกคำค้นแล้วคลิกปุ่ม Enter	ค้นหาข้อมูลโครงการตามชื่อโครงการ

หน้าจอโครงการฯ

ID :	SC-0102	Name :	หน้าจอโครงการ



Operation/Business Rule:

1. แสดงปุ่ม “การค้นหา” เพื่อนำคำที่กรอกในช่องค้นหาไปแสดง ที่หน้าจอรายการค้นหา ของโครงการ
2. แสดงไอคอนโครงการ เชื่อมไปยังหน้าจอรายละเอียดโครงการ
3. แสดงปุ่ม “รายละเอียด” เชื่อมไปยังหน้าจอข้อมูลอัตลักษณ์ช้างที่ติดตาม

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_Project	PRJ

2	Tbl_Animal	ANI

Data Control:

No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
1	ชื่อโครงการ	txt	PRJ.Name_Project		
2	รหัสโครงการ	int	PRJ.ProjectID		
3	ชื่อสัตว์	txt	ANI. Animal_Name		
4	รหัสสัตว์	int	ANI. AnimalID		

State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	●เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงช่องในการกรอกข้อมูลชื่อโครงการเพื่อทำการค้นหา		
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	เข้าสู่ข้อมูลโครงการ	คลิกโลโก้ โครงการ	ไปยังหน้าจอข้อมูลโครงการ SC-0201
2	เข้าสู่ข้อมูลอัตลักษณ์ช้าง	คลิกปุ่ม “รายละเอียด” ที่แสดงอยู่ด้านท้ายของข้อมูลสัตว์	ไปยังหน้าจอข้อมูลอัตลักษณ์ช้าง SC-0203

หน้าจอเกี่ยวกับโครงการ

ID :	SC-0103	Name :	หน้าจอเกี่ยวกับโครงการ

Operation/Business Rule:

1. แสดงข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_ProjectAboutUs	PAU

Data Control:

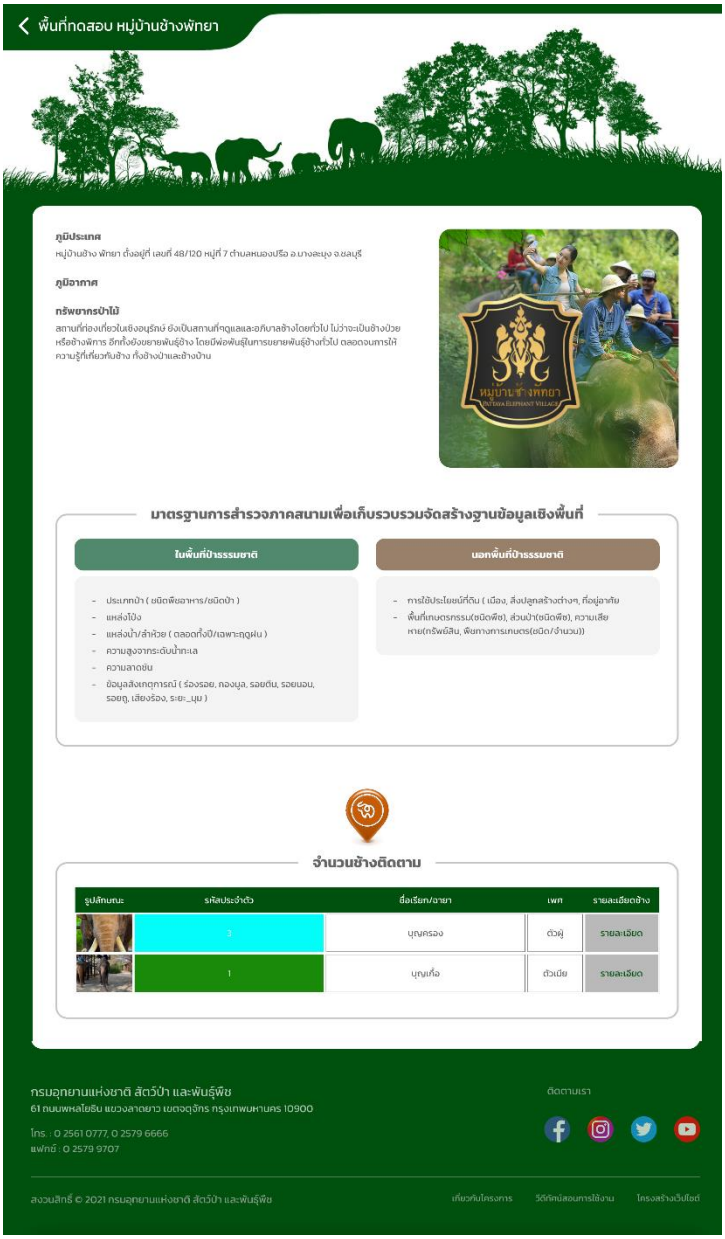
No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
1	รหัสข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ	int	PAU.AboutUs_ID		

State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	●เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ		
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
-	-	-	-

หน้ารายละเอียดโครงการ

ID :	SC-0201	Name :	หน้ารายละเอียดโครงการ



Operation/Business Rule:

1. แสดงรายละเอียดข้อมูลโครงการ
2. แสดงรายละเอียดมาตราฐานการสำรวจภาคสนามฯ ของโครงการ
3. แสดงรายการจำนวนช้างที่ Tracking
4. แสดงปุ่ม “รายละเอียด” เชื่อมไปยังหน้าจอข้อมูลอัตลักษณ์ช้างที่ติดตาม
5. แสดงแผนที่เส้นทางเดินของช้างที่ได้มาจาก Tracking

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_Project	PRJ
2	Tbl_Animal	ANI

Data Control:

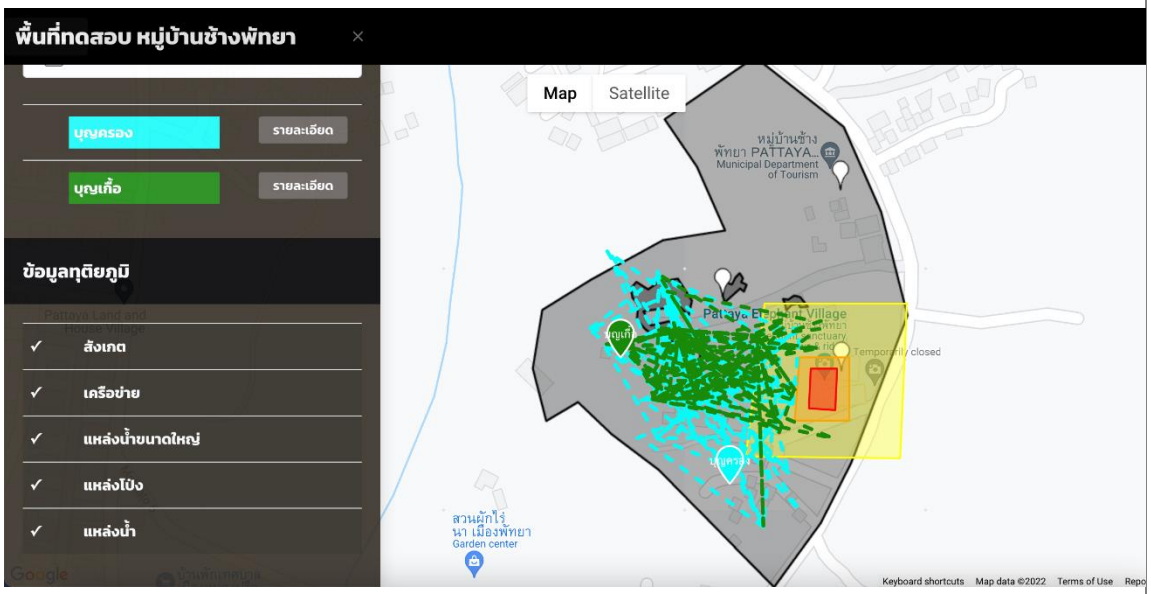
No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
1	รหัสโครงการ	int	PRJ.ProjectID		
2	รหัสสัตว์	int	ANI.AnimalID		

State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	●เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงข้อมูลโครงการ		
2	แสดงข้อมูลช้างที่อยู่ในโครงการ		
3	กรณีมีการแจ้งเตือน ในโครงการจะแสดงข้อมูลการแจ้งเตือนนั้น ๆ		
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	ข้อมูลมารตราฐานการสำรวจภาคสนามฯ	คลิกในแต่ละหัวข้อ	ระบบจะแสดงข้อมูล PDF ตามที่ผู้ใช้งานทำการโหลด
2	เข้าสู่ข้อมูลอัตลักษณ์ช้าง	คลิกปุ่ม “รายละเอียด” ที่แสดงอยู่ด้านท้ายของข้อมูลสัตว์	ไปยังหน้าจอข้อมูลอัตลักษณ์ช้าง SC-0203

หน้าแผนที่การใช้งาน Tracking อุปกรณ์และระบบสำหรับติดตามสัตว์ป่า

ID :	SC- 0202	Name :	หน้าแผนที่การใช้งาน Tracking อุปกรณ์และระบบสำหรับติดตามสัตว์ป่า



Operation/Business Rule:

1. แสดงข้อมูลจำนวนช้างที่ Tracking
2. แสดงปุ่ม “รายละเอียด” เชื่อมไปยังหน้าจอข้อมูลอัตลักษณ์ช้างที่ติดตาม
3. แสดงการค้นหาย้อนหลัง โดยเลือกช่วงของวันที่
4. แจ้งเตือน 3 ระยะ คือ ระยะตรวจสอบ. , ระยะติดตาม และ ระยะแนวชุมชน โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดแนวระยะนี้ได้ด้วยตนเอง
5. แสดงปุ่ม “ข้อมูลทุติยภูมิ” เพื่อแสดงขอบเขตตามที่จัดทำบนแผนที่

*** การวิจัยเพิ่มในส่วนของ การแจ้งเตือนไปยัง Line. ของศูนย์ ในรูปแบบ Line Notification เพื่อแจ้งเตือนในทุกระยะ

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_Track	TRA
2	Tbl_Animal	ANI
3	Tbl_GIS	GIS

Data Control:

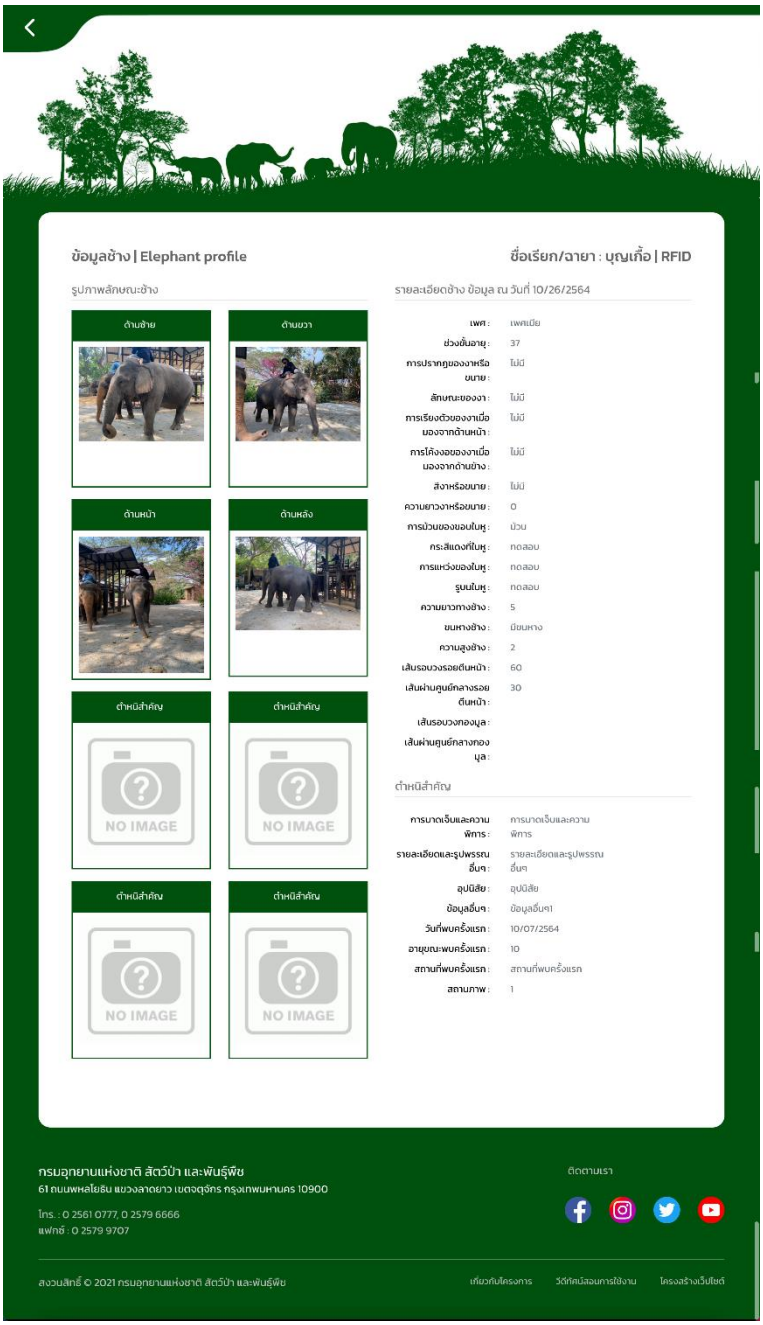
No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
1	รหัสอุปกรณ์ติดตาม	txt	TRA.TagID		
2	รหัสสัตว์	int	ANI.AnimalID		
3	รหัสข้อมูล GIS	int	GIS.GISID		

State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	●เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงรายการอุปกรณ์ติดตามสัตว์		
2	แสดงแผนที่โครงการในรูปแบบ GIS		
3	แสดงรายการข้อมูลทุติยภูมิ		
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	เส้นทางเดินสัตว์	คลิกปุ่มเครื่องติดตาม	แสดงเส้นทางเดินสัตว์บนแผนที่
2	ข้อมูลทุติยภูมิ	คลิกปุ่มชื่อข้อมูลทุติยภูมิ	แสดงขอบเขตข้อมูลบนแผนที่

หน้าจอข้อมูลอัตลักษณ์ช้าง

ID :	SC-0203	Name :	หน้าจอข้อมูลอัตลักษณ์ช้าง



Operation/Business Rule:

1. แสดงอัตลักษณ์ของช้าง

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_Animal	ANI
2	Tbl_AnimalImage	AIM
3	Tbl_AnimalMark	ANM

Data Control:

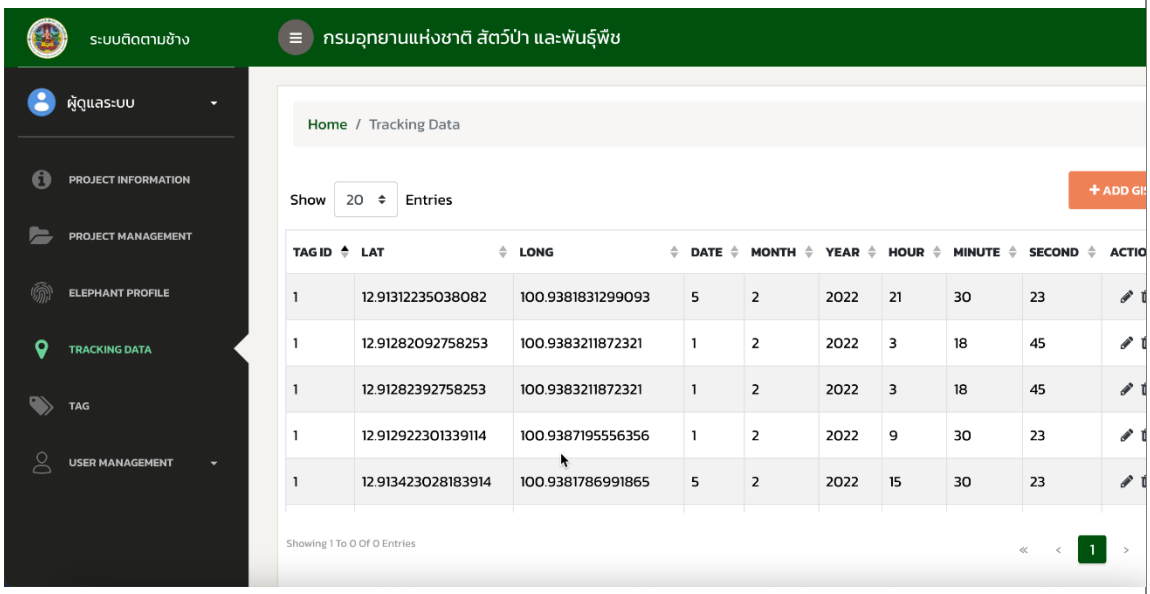
No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
1	รหัสสัตว์	int	ANI.AnimalID		

State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	●เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงข้อมูลของสัตว์		
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
-	-	-	-

หน้าจอนำเข้าข้อมูล Tracking อุปกรณ์และระบบสำหรับติดตามสัตว์ป่า

ID :	SC-0301	Name :	หน้าจอนำเข้าข้อมูล Tracking อุปกรณ์และระบบสำหรับติดตามสัตว์ป่า



Operation/Business Rule:

1. แสดงปุ่ม “เพิ่มข้อมูล” เพื่อทำการ นำเข้าข้อมูล Tracking จากอุปกรณ์
2. แสดงรายการข้อมูลที่นำเข้า
3. แสดงปุ่ม “แก้ไข” เพื่อทำการแก้ไขรายการข้อมูล
4. แสดงปุ่ม “ลบ” เพื่อทำการลบรายการข้อมูล

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_Track	TRA

Data Control:

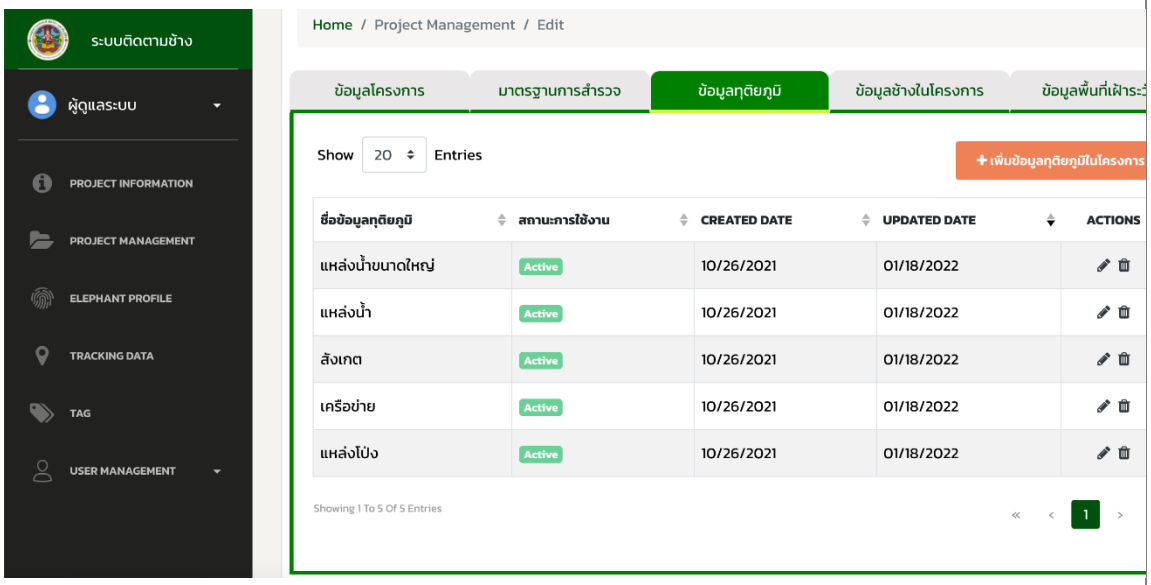
No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
1	รหัสอุปกรณ์ติดตาม	txt	TRA.TagID		

State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	●เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงรายการข้อมูลจากอุปกรณ์ติดตาม		
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	เพิ่มข้อมูล	คลิกปุ่ม “เพิ่มข้อมูล”	นำเข้าข้อมูลจากอุปกรณ์ติดตาม
2	แก้ไข	คลิกปุ่ม “แก้ไข”	ไปยังหน้าจอการแก้ไขข้อมูล
3	ลบ	คลิกปุ่ม “ลบ”	ทำการลบข้อมูล

หน้าจอการนำเข้าข้อมูลทุติยภูมิ

ID :	SC- 0302	Name :	หน้าจอการนำเข้าข้อมูลทุติยภูมิ



Operation/Business Rule:

1. สามารถจัดการภายใต้โครงการที่ต้องการ
2. แสดงปุ่ม “เพิ่มข้อมูล” เพื่อทำการ นำเข้าข้อมูลทุติยภูมิ
3. แสดงรายการข้อมูลที่นำเข้า
4. แสดงปุ่ม “แก้ไข” เพื่อทำการแก้ไขรายการข้อมูล
5. แสดงปุ่ม “ลบ” เพื่อทำการลบรายการข้อมูล

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_GIS	GIS

Data Control:

No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
Section: ข้อมูลTracking					
1	รหัสข้อมูล GIS	int	GIS.GISID		

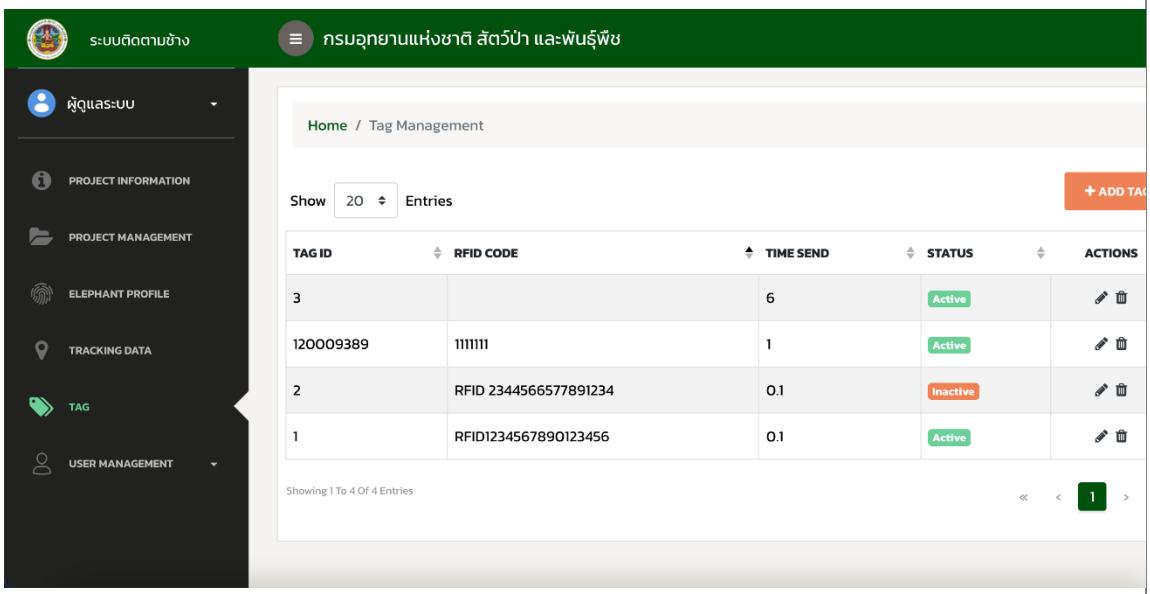
State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	● เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงรายการข้อมูลทุติยภูมิ		
State Transition Actions			

No.	Event	Trigger	Action
1	เพิ่มข้อมูล	คลิกปุ่ม “เพิ่มข้อมูล”	นำเข้าข้อมูลทุติยภูมิ
2	แก้ไข	คลิกปุ่ม “แก้ไข”	ไปยังหน้าจอการแก้ไขข้อมูล
3	ลบ	คลิกปุ่ม “ลบ”	ทำการลบข้อมูล

หน้าจอการจัดการ Tag และการกำหนด รอบการส่งข้อมูล

ID :	SC-0304	Name :	หน้าจอการจัดการ Tag และการกำหนด รอบการส่งข้อมูล



Operation/Business Rule:

1. แสดงปุ่ม “เพิ่มข้อมูล” เพื่อทำการ นำเข้าข้อมูลเครื่องติดตาม
2. แสดงรายการข้อมูลที่นำเข้า
3. แสดงปุ่ม “แก้ไข” เพื่อทำการแก้ไขรายการข้อมูล
4. แสดงปุ่ม “ลบ” เพื่อทำการลบรายการข้อมูล

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_Tag	TAG

Data Control:

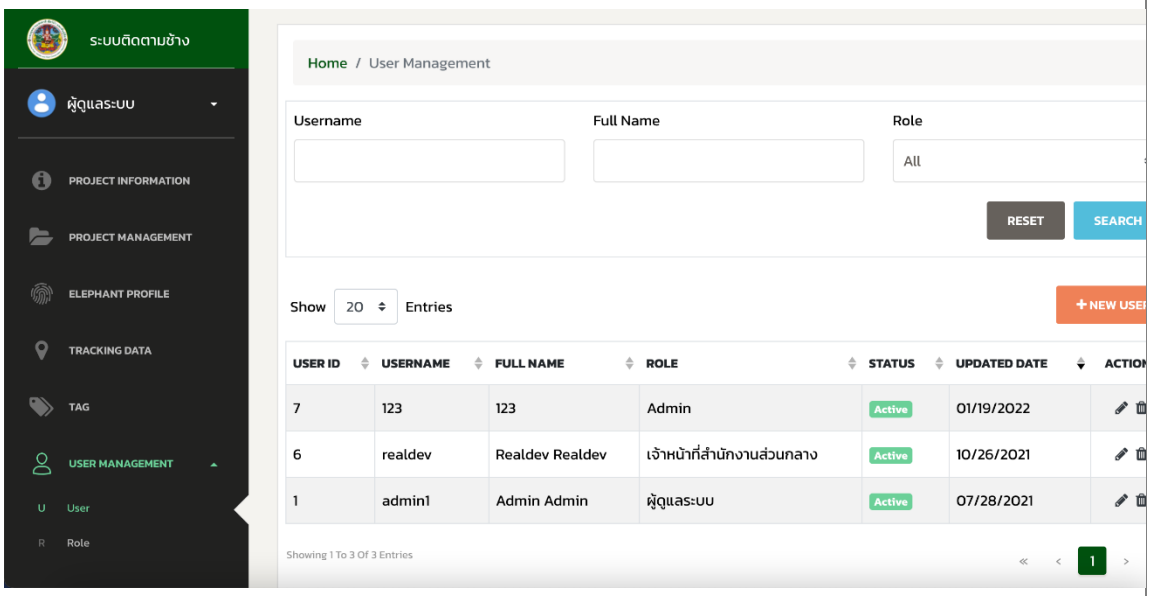
No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
1	Tag_ID	int	TAG.Tag_ID		

State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	●เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงรายการเครื่องติดตาม		
2	แสดงข้อมูล ความถี่ในการบันทึกข้อมูล		
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	เพิ่มข้อมูล	คลิกปุ่ม “เพิ่มข้อมูล”	นำเข้าข้อมูลเครื่องติดตาม
2	แก้ไข	คลิกปุ่ม “แก้ไข”	ไปยังหน้าจอการแก้ไขข้อมูล
3	ลบ	คลิกปุ่ม “ลบ”	ทำการลบข้อมูล
4	ตั้งค่าความถี่ในการบันทึกข้อมูล	คลิก Time Send	มี ตัวเลือก ดังต่อไปนี้ - 6 ชม (Default) - 1 ชม - 30 นาที - 15 นาที

หน้าจอการจัดการผู้ใช้งานระบบฯ

ID :	SC-0401	Name :	หน้าจอการจัดการผู้ใช้งานระบบฯ



Operation/Business Rule:

1. แสดงปุ่ม “เพิ่มข้อมูล” เพื่อทำการ นำเข้าข้อมูลเครื่องติดตาม
2. แสดงรายการข้อมูลที่นำเข้า
3. แสดงปุ่ม “แก้ไข” เพื่อทำการแก้ไขรายการข้อมูล
4. แสดงปุ่ม “ลบ” เพื่อทำการลบรายการข้อมูล

Referent Table:

No.	Table	Alias
1	Tbl_USER	USR

Data Control:

No.	Data Item	Data Type	Source	Destination	Note
1	ชื่อผู้ใช้งานระบบ	txt	USR.user_ID		

State Create Read Update and Delete Document:

State: Start			
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	โหลด	โหลดหน้าจอ	●เปลี่ยนหน้าจอเป็น Viewing state
State: Viewing			
Entry Action			
1	แสดงรายการผู้ใช้งาน		
State Transition Actions			
No.	Event	Trigger	Action
1	เพิ่มข้อมูล	คลิกปุ่ม “เพิ่มข้อมูล”	นำเข้าข้อมูลเครื่องติดตาม
2	แก้ไข	คลิกปุ่ม “แก้ไข”	ไปยังหน้าจอการแก้ไขข้อมูล
3	ลบ	คลิกปุ่ม “ลบ”	ทำการลบข้อมูล

บทที่ 9 แนวทางการทดสอบระบบติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล

ดำเนินการทดลองการใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล โดยทดลองกับช้างเลี้ยงหรือช้างทดสอบ อย่างน้อยเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อจัดทำเป็นแนวปฏิบัติในการติดตั้งอุปกรณ์กับช้างเลี้ยงหรือช้างทดสอบกำหนดวิธีการทดสอบ มีรายละเอียด ดังนี้

9.1 วิธีการทดสอบ

9.1.1 ทดสอบประสิทธิภาพในการส่งพิกัดตำแหน่งกลับมาที่เครื่องแม่ข่ายในแง่ของความถูกต้องของพิกัดตำแหน่ง

9.1.2 ทดสอบประสิทธิภาพในการส่งพิกัดตำแหน่งกลับมาที่เครื่องแม่ข่ายในแง่ของระยะเวลาระหว่างการส่งพิกัดตำแหน่งแต่ละพิกัด

9.2 รูปแบบการทดสอบกับช้างเลี้ยงหรือช้างทดสอบ

9.2.1 ระยะการทดสอบติดในช้างทดลอง โดยให้ผู้เลี้ยงควบคุมเส้นทางการเดินของช้างไม่เกิน 1 ตารางกิโลเมตร

- ทดสอบประสิทธิภาพในการส่งพิกัดตำแหน่งกลับมาที่เครื่องแม่ข่ายในแง่ของความถูกต้องของพิกัดตำแหน่ง
- ทดสอบประสิทธิภาพในการส่งพิกัดตำแหน่งกลับมาที่เครื่องแม่ข่ายในแง่ของระยะเวลาระหว่างการส่งพิกัดตำแหน่งแต่ละพิกัด โดยตั้งรอบการส่งค่าทุก ๆ 5 นาที
- ทดสอบการปิดสัญญาณ Data เพื่อทดสอบการจัดเก็บข้อมูลเป็นชุดและส่งกลับมายังเครื่องแม่ข่ายในภายหลัง
- ทดสอบการดึงข้อมูลจาก RFID Chip
- ดูความรำคาญของช้างกับปลอกคอและการรับน้ำหนักอุปกรณ์
- ดูตำแหน่งการขยับของปลอกคอเมื่อช้างเดินในระยะการทดลอง

9.2.2 ระยะการทดสอบแบบปล่อยเดินอิสระ ทดสอบการรับข้อมูลทุก 6 ชั่วโมง ระยะเวลา 2 วัน

- ทดสอบประสิทธิภาพในการส่งพิกัดตำแหน่งกลับมาที่เครื่องแม่ข่ายในแง่ของความถูกต้องของพิกัดตำแหน่ง
- ทดสอบประสิทธิภาพในการส่งพิกัดตำแหน่งกลับมาที่เครื่องแม่ข่ายในแง่ของระยะเวลาระหว่างการส่งพิกัดตำแหน่งแต่ละพิกัด โดยตั้งรอบการส่งค่าทุก ๆ 5 นาที
- ตรวจสอบการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล
- ดูตำแหน่งการขยับของปลอกคอเมื่อช้างเดินในระยะการทดลอง
- ตรวจสอบการปรากฏตัวบนแผนที่ เพื่อลากเส้นทางการเดิน (ผ่านระบบฯ)

9.2.3 ระยะการทดสอบแบบปล่อยเดินอิสระ ทดสอบการรับข้อมูลทุก 6 ชั่วโมง ในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 30 วัน

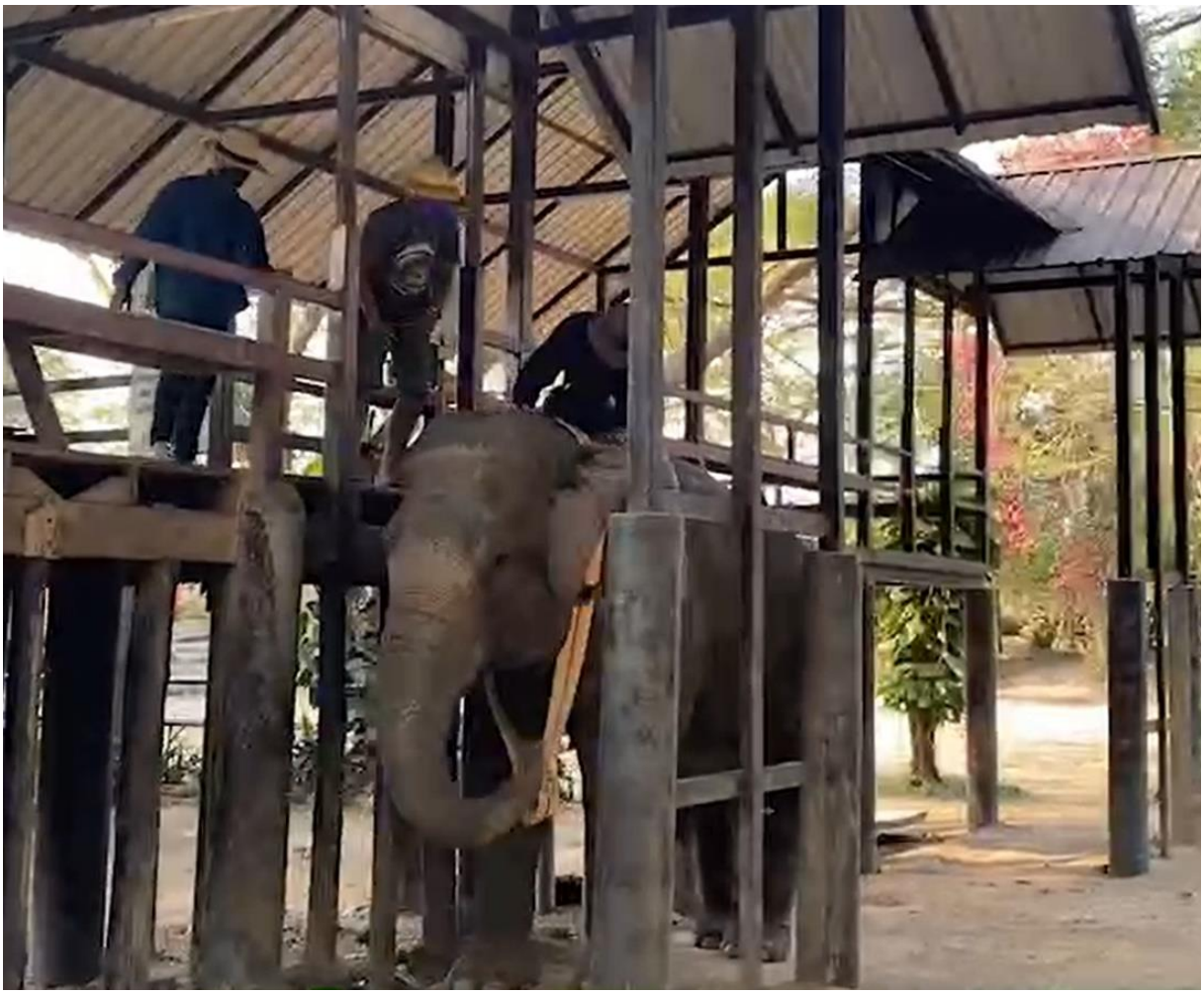
- ทดสอบประสิทธิภาพในการส่งพิกัดตำแหน่งกลับมาที่เครื่องแม่ข่ายในแง่ของความถูกต้องของพิกัดตำแหน่ง

- ทดสอบประสิทธิภาพในการส่งพิกัดตำแหน่งกลับมาที่เครื่องแม่ข่ายในแง่ของระยะเวลาระหว่างการส่งพิกัดตำแหน่งแต่ละพิกัด โดยตั้งรอบการส่งค่าทุก ๆ 5 นาที
- ตรวจสอบการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล
- ดูตำแหน่งการขยับของปลอกคอเมื่อช้างเดินในระยะการทดลอง
- ตรวจสอบการปรากฏตัวบนแผนที่ เพื่อลากเส้นทางการเดิน (ผ่านระบบฯ)

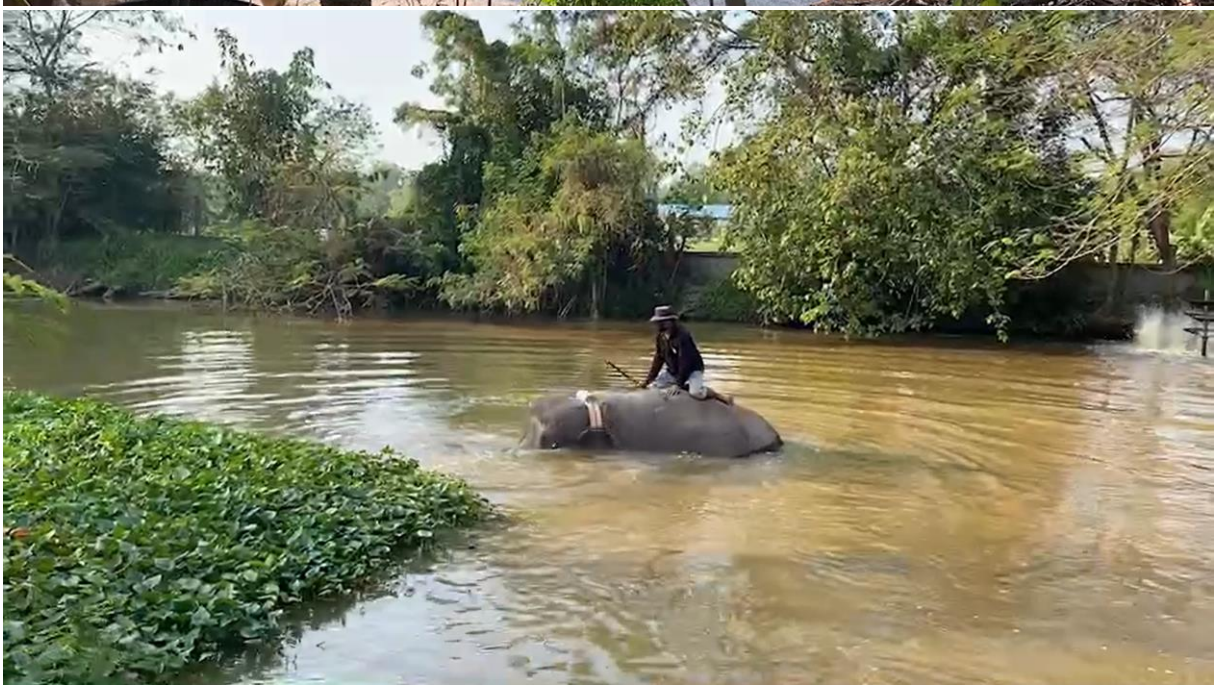
9.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบติดตั้งกับช้างในหมู่บ้านช้างพัทยา ดังแสดงในรูปที่ 9.1

รูปที่ 9.1 การประกอบปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้าง



รูปที่ 9.2 การติดตั้งปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้าง



รูปที่ 9.3 การทดสอบการกันน้ำปลอกคออุปกรณ์ติดตามช้าง

9.4 ผลดำเนินการทดลองการใช้อุปกรณ์ติดตามช้างป่าได้จากระยะไกล

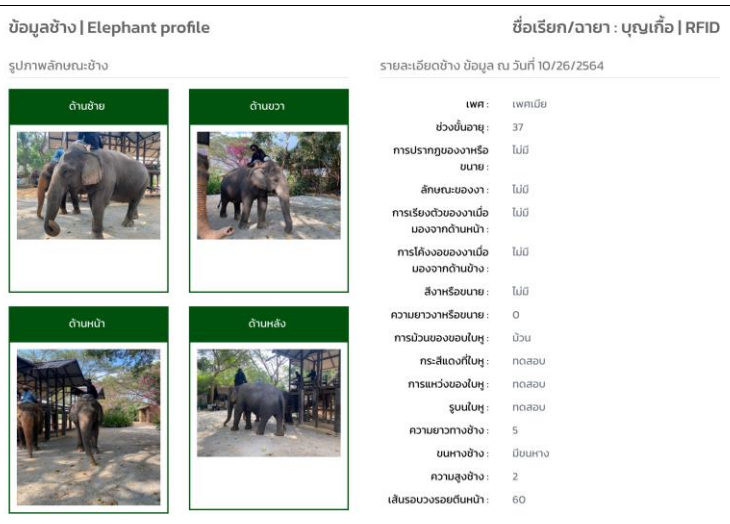
การทดลองกับกลุ่มช้างป่า อย่างน้อยเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อจัดทำเป็นแนวปฏิบัติในการติดตั้งอุปกรณ์กับช้างป่า

- ระยะการทดลองติดในช้างทดลอง โดยให้ผู้เลี้ยงควบคุมเส้นทางการเดินของช้างไม่เกิน 1 ตารางกิโลเมตร

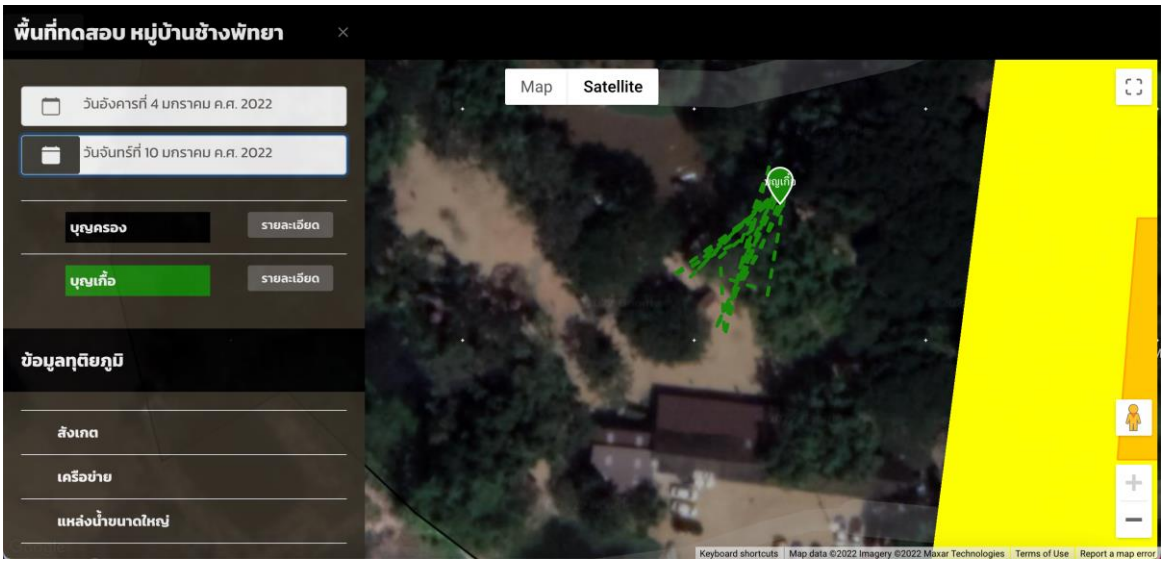
พื้นที่ทดสอบ ในระบบ

หมู่บ้านช้างพัทยา ตั้งอยู่ที่ เลขที่ 48/120 หมู่ที่ 7 ตำบลหนองปรือ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี สถานที่ท่องเที่ยวในเชิงอนุรักษ์ ยังเป็นสถานที่ ๆ ดูแลและอภิบาลช้างโดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นช้างป่วยหรือช้างพิการ อีกทั้งยังขยายพันธุ์ช้าง โดยมีพ่อพันธุ์ในการขยายพันธุ์ช้างทั่วไป ตลอดจนการให้ความรู้ที่เกี่ยวกับช้างทั้งช้างป่าและช้างบ้าน	

ช้างที่ทดสอบในระบบ

บุญเกื้อ เพศเมีย รหัส 1	

- ระยะการทดลองแบบปล่อยเดิน โดยใช้ปัจจัยด้านเวลาในการผลของการส่งข้อมูล อาจจะเป็นช่วงเวลา คือ ทุก 8 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์ผลความแม่นยำ
  การตรวจสอบการปล่อยเดินของช้าง โดยตรวจสอบผ่านระบบ

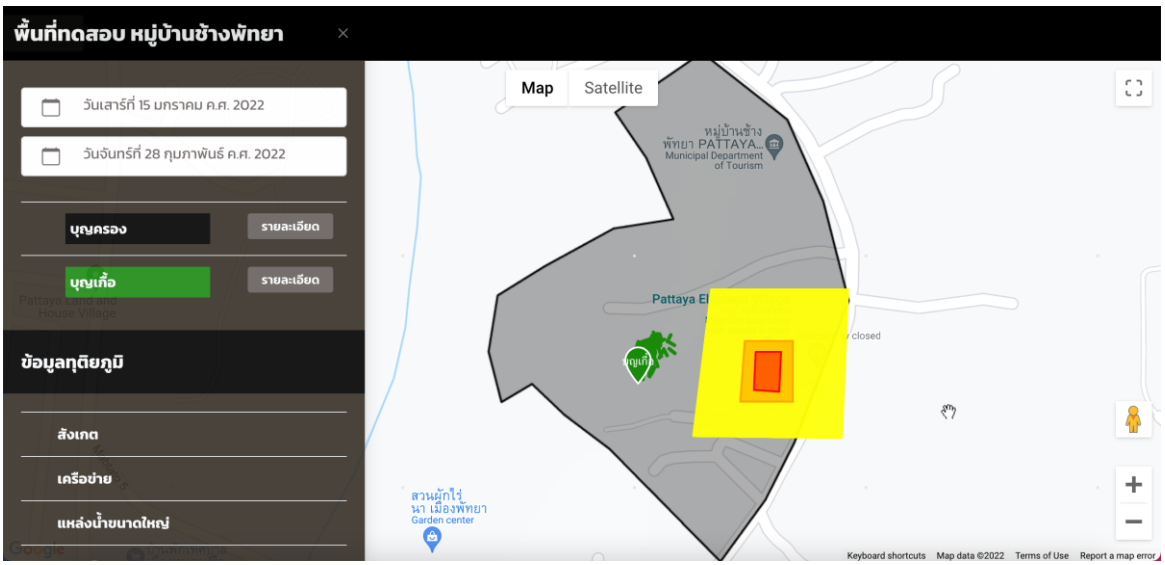


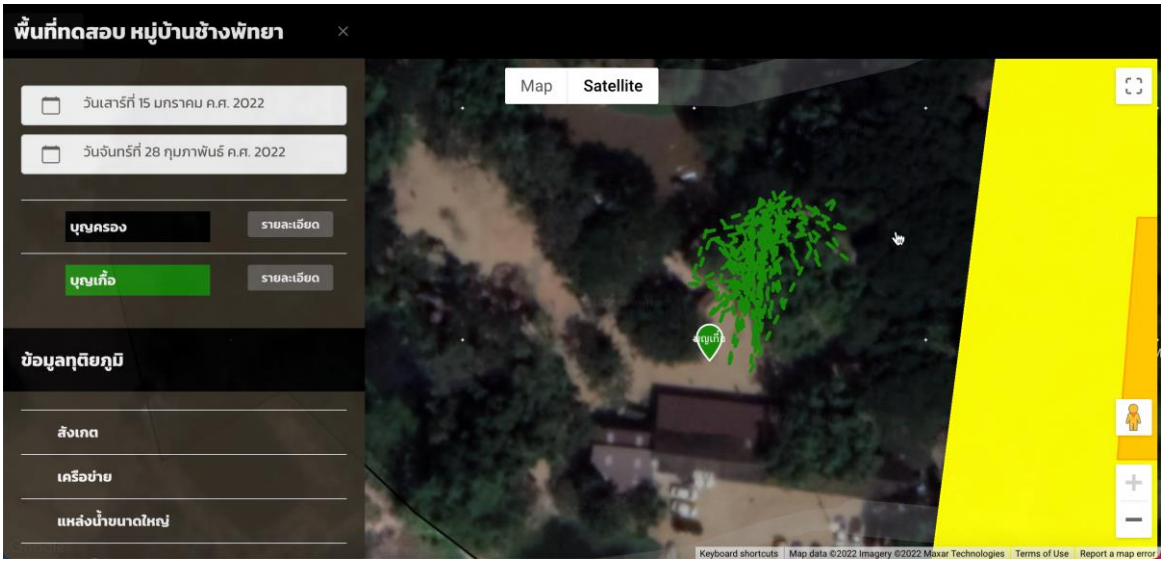
ตารางข้อมูล ที่ส่งมาจากเครื่องส่งสัญญาณ มาบันทึกลงฐานข้อมูลในระบบ

id	tag	lat	long	year	M	D	h	m	s	speed	batt
533	1	12.9130902	100.938379	2022	1	4	15	10	23	0.1	4.5
534	1	12.9130954	100.938381	2022	1	4	15	30	16	0.15	4.5
535	1	12.9130882	100.938383	2022	1	4	17	30	21	0.13	4.5
536	1	12.9130941	100.938391	2022	1	4	23	30	22	0.12	4.5
537	1	12.9131111	100.938396	2022	1	5	5	29	23	0.1	4.5
538	1	12.9131288	100.938373	2022	1	5	11	30	23	0.12	4.5
539	1	12.9131144	100.938401	2022	1	5	17	31	23	0.1	4.5
540	1	12.9130817	100.938396	2022	1	5	23	30	23	0.3	4.5
541	1	12.9130706	100.938371	2022	1	6	5	29	23	0.1	4.5
542	1	12.9130706	100.938354	2022	1	6	11	30	23	0.2	4.5
543	1	12.9130739	100.938356	2022	1	6	17	31	23	0.19	4.5
544	1	12.9130614	100.938346	2022	1	6	23	30	23	0.1	4.5
545	1	12.9130281	100.938334	2022	1	7	5	29	23	0.01	4.5
546	1	12.9130144	100.938361	2022	1	7	11	30	23	0.01	4.5
547	1	12.9130039	100.938301	2022	1	7	17	31	23	0.1	4.5
548	1	12.9129693	100.938322	2022	1	7	23	30	23	0.2	4.5
549	1	12.9129248	100.938314	2022	1	8	5	29	23	0.1	4.5
550	1	12.9129752	100.938258	2022	1	8	11	30	23	0.18	4.5
551	1	12.9129922	100.938263	2022	1	8	17	31	23	0.1	4.5
552	1	12.9129758	100.93823	2022	1	8	23	30	23	0.1	4.5
553	1	12.9128994	100.938294	2022	1	9	5	29	23	0.1	4.5
554	1	12.9128895	100.938308	2022	1	9	11	30	23	0.16	4.5
555	1	12.9129536	100.938373	2022	1	9	17	31	23	0.1	4.5
556	1	12.912968	100.938334	2022	1	9	23	30	23	0.1	4.5
557	1	12.913015	100.938309	2022	1	10	5	29	23	0.1	4.5
558	1	12.9130105	100.938366	2022	1	10	11	30	23	0.12	4.5
559	1	12.9130431	100.938364	2022	1	10	17	29	23	0.1	4.5
560	1	12.9130425	100.938341	2022	1	10	23	30	23	0.3	4.5

- ระยะการทดลองเต็มรูปแบบ โดย ปล่อยอุปกรณ์ติดตามไว้กับช้างทดลอง อย่างน้อย 1 เดือน และเข้าพื้นที่เพื่อสอบถามกับทางผู้เลี้ยงช้างว่า ปฏิกิริยาของช้างทดลองต่ออุปกรณ์ติดตามเป็นเช่นไร เพื่อนำไปสู่การปรับปรุง

  การตรวจสอบการปล่อยเดินของช้าง โดยตรวจสอบผ่านระบบ





ตารางข้อมูล ที่ส่งมาจากเครื่องส่งสัญญาณ มาบันทึกลงฐานข้อมูลในระบบ

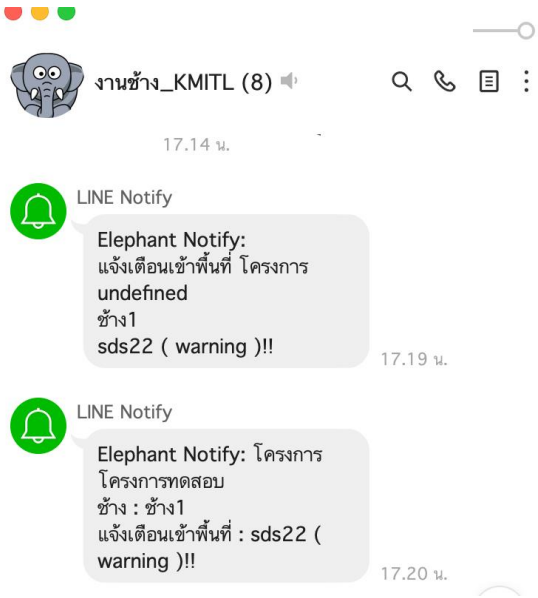
id	tag	lat	long	year	M	D	h	m	s	speed	batt
561	1	12.9130288	100.938366	2022	1	11	5	31	23	0.1	4.1
562	1	12.9130582	100.938375	2022	1	11	11	30	23	0.2	4.1
563	1	12.9130895	100.938371	2022	1	11	17	31	23	0.19	4.1
564	1	12.9130902	100.938372	2022	1	11	23	30	23	0.1	4.1
565	1	12.9130863	100.938399	2022	1	12	5	29	23	0.01	4.1
566	1	12.9131039	100.938402	2022	1	12	11	29	23	0.01	4.1
567	1	12.913098	100.938344	2022	1	12	17	31	23	0.1	4.1
568	1	12.913081	100.938354	2022	1	12	23	30	23	0.2	4.1
569	1	12.913081	100.938365	2022	1	13	5	31	23	0.1	4.1
570	1	12.9130784	100.938385	2022	1	13	11	30	23	0.18	4.1
571	1	12.9130739	100.938364	2022	1	13	17	30	23	0.1	4.1
572	1	12.9130248	100.938338	2022	1	13	23	30	23	0.2	4.1
573	1	12.9130131	100.938348	2022	1	14	5	31	23	0.19	4.1
574	1	12.913	100.938335	2022	1	14	11	30	23	0.1	4.1
575	1	12.9129967	100.938355	2022	1	14	17	31	23	0.01	4.1
576	1	12.9129726	100.938342	2022	1	14	23	30	23	0.01	4.1
577	1	12.9129758	100.93834	2022	1	15	5	29	23	0.1	4.1
578	1	12.9130092	100.938338	2022	1	15	11	30	23	0.2	4.1
579	1	12.9129621	100.938336	2022	1	15	17	31	23	0.1	4.1
580	1	12.9129379	100.938336	2022	1	15	23	30	23	0.18	4.1
581	1	12.9128893	100.938329	2022	1	16	5	31	23	0.1	4.1
582	1	12.912903	100.938336	2022	1	16	11	30	23	0.12	4.1
583	1	12.9129228	100.938292	2022	1	16	17	29	23	0.1	4.1
584	1	12.9129562	100.93831	2022	1	16	23	30	23	0.3	4.1
585	1	12.912964	100.938258	2022	1	17	5	31	23	0.1	4.1
586	1	12.9129726	100.938266	2022	1	17	11	29	23	0.2	4.1
587	1	12.9129245	100.938341	2022	1	17	17	29	23	0.19	4.1
588	1	12.9128695	100.938354	2022	1	17	23	30	23	0.1	4.1
589	1	12.9129142	100.938376	2022	1	18	5	31	23	0.01	4.1
590	1	12.9129228	100.938398	2022	1	18	11	30	23	0.01	4.1
591	1	12.9129743	100.938392	2022	1	18	17	31	23	0.1	4.1
592	1	12.9129846	100.938418	2022	1	18	23	30	23	0.2	4.1
593	1	12.9129889	100.93845	2022	1	19	5	31	23	0.1	4.1
594	1	12.9130026	100.938486	2022	1	19	11	30	23	0.18	4.1
595	1	12.9130412	100.938491	2022	1	19	17	31	23	0.15	4.1
596	1	12.9130344	100.938433	2022	1	19	23	30	23	0.13	4.1
597	1	12.9130447	100.938385	2022	1	20	5	31	23	0.12	4.1

id	tag	lat	long	year	M	D	h	m	s	speed	batt
598	1	12.9130498	100.938355	2022	1	20	11	30	23	0.1	4.1
599	1	12.913006	100.938358	2022	1	20	17	30	23	0.12	4.1
600	1	12.9130532	100.938363	2022	1	20	23	30	23	0.1	4.1
601	1	12.9130541	100.938342	2022	1	21	5	29	23	0.3	4.1
602	1	12.9130687	100.938368	2022	1	21	11	30	23	0.1	4.1
603	1	12.913073	100.938351	2022	1	21	17	31	23	0.2	4.1
604	1	12.9130824	100.938375	2022	1	21	23	30	23	0.19	4.1
605	1	12.913085	100.938393	2022	1	22	5	31	23	0.1	4.1
606	1	12.9130859	100.938361	2022	1	22	11	30	23	0.01	4.1
607	1	12.913085	100.938365	2022	1	22	17	29	23	0.01	4.1
608	1	12.9130936	100.938381	2022	1	22	23	30	23	0.1	4.1
609	1	12.9130919	100.938415	2022	1	23	5	31	23	0.2	4.1
610	1	12.9130704	100.938444	2022	1	23	11	29	23	0.1	4.1
611	1	12.9130584	100.938424	2022	1	23	17	29	23	0.18	4.1
612	1	12.913079	100.938388	2022	1	23	23	30	23	0.1	4.1
613	1	12.9130464	100.938381	2022	1	24	5	31	23	0.1	4.1
614	1	12.9130989	100.938399	2022	1	24	11	30	23	0.1	4.1
615	1	12.9130884	100.938474	2022	1	24	17	31	23	0.12	4.1
616	1	12.9130767	100.938393	2022	1	24	23	30	23	0.1	4.1
617	1	12.9130401	100.938321	2022	1	25	5	31	23	0.3	4.1
618	1	12.913042	100.938372	2022	1	25	11	30	23	0.1	4.1
619	1	12.913061	100.938381	2022	1	25	17	31	23	0.2	4.1
620	1	12.9130139	100.938408	2022	1	25	23	30	23	0.19	4.1
621	1	12.9129904	100.938378	2022	1	26	5	31	23	0.1	4.1
622	1	12.9130309	100.938353	2022	1	26	11	30	23	0.01	4.1
623	1	12.9130447	100.938332	2022	1	26	17	30	23	0.01	4.1
624	1	12.9130466	100.938326	2022	1	26	23	30	23	0.1	4.1
625	1	12.9130551	100.938304	2022	1	27	5	29	23	0.2	4.1
626	1	12.9130401	100.938286	2022	1	27	5	29	23	0.1	4.1
627	1	12.9130283	100.93829	2022	1	27	11	29	23	0.18	4.1
628	1	12.9130139	100.938308	2022	1	27	17	31	23	0.1	4.1
629	1	12.9130028	100.938311	2022	1	27	23	30	23	0.2	4.1
630	1	12.9130224	100.938305	2022	1	28	5	30	23	0.19	4.1
631	1	12.9130159	100.938332	2022	1	28	11	29	23	0.1	4.1
632	1	12.913012	100.938352	2022	1	28	17	31	23	0.01	4.1
633	1	12.9129969	100.938349	2022	1	28	23	30	23	0.01	4.1
634	1	12.9129917	100.93835	2022	1	29	5	31	23	0.1	4.1
635	1	12.9129832	100.938343	2022	1	29	11	30	23	0.2	4.1
636	1	12.9129571	100.938352	2022	1	29	17	31	23	0.1	4.1

id	tag	lat	long	year	M	D	h	m	s	speed	batt
637	1	12.9129179	100.938364	2022	1	29	23	30	23	0.18	4.1
638	1	12.9129165	100.938352	2022	1	30	5	31	23	0.1	4.1
639	1	12.9128682	100.938356	2022	1	30	11	30	23	0.1	4.1
640	1	12.9128362	100.938346	2022	1	30	17	31	23	0.12	4.1
641	1	12.912844	100.938313	2022	1	30	23	30	23	0.1	4.1
642	1	12.9128656	100.938286	2022	1	31	5	30	23	0.3	4.1
643	1	12.9129198	100.938287	2022	1	31	11	31	23	0.1	4.1
644	1	12.9129211	100.938302	2022	1	31	17	31	23	0.2	4.1
645	1	12.9129407	100.938318	2022	1	31	23	29	23	0.19	4.1
829	1	12.9129793	100.938321	2022	2	1	3	18	45	0.1	4.1
830	1	12.9129845	100.938305	2022	2	1	3	18	45	0.01	4.1
831	1	12.9129636	100.938263	2022	2	1	9	30	23	0.01	4.1
832	1	12.9130381	100.93828	2022	2	1	15	30	23	0.1	4.1
833	1	12.9130316	100.938288	2022	2	1	21	30	23	0.2	4.1
834	1	12.9130015	100.93831	2022	2	2	3	18	45	0.1	4.1
835	1	12.9130329	100.938339	2022	2	2	11	29	23	0.18	4.1
836	1	12.9130381	100.93836	2022	2	2	15	30	23	0.2	4.1
837	1	12.9130662	100.938348	2022	2	2	21	30	23	0.19	4.1
838	1	12.9130518	100.93837	2022	2	3	5	30	23	0.1	4.1
839	1	12.9130806	100.938372	2022	2	3	11	29	23	0.01	4.1
840	1	12.9130682	100.938407	2022	2	3	15	30	23	0.01	4.1
841	1	12.9130394	100.93844	2022	2	3	21	30	23	0.1	4.1
842	1	12.9130839	100.938415	2022	2	4	5	31	23	0.2	4.1
843	1	12.9130407	100.938378	2022	2	4	9	30	23	0.1	4.1
844	1	12.9130558	100.938354	2022	2	4	15	30	23	0.18	4.1
845	1	12.913046	100.938352	2022	2	4	21	30	23	0.1	4.1
846	1	12.9129858	100.938358	2022	2	5	3	18	45	0.15	4.1
847	1	12.9129911	100.938365	2022	2	5	9	30	23	0.13	4.1
848	1	12.9129708	100.938354	2022	2	5	15	30	23	0.12	4.1
849	1	12.9129205	100.938355	2022	2	5	21	30	23	0.1	4.1

9.5 การแจ้งเตือน ผ่าน Line Notification

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการติดตามเมื่อช้างป่าเข้ามาใกล้ย่านชุมชน เครื่องแม่ข่ายสามารถทำการแจ้งเตือนเมื่อช้างป่าเดินเข้ามาใกล้ย่านชุมชนด้วยแอพพลิเคชันไลน์ ดังนี้



รูปที่ 9.3 ข้อความการแจ้งเตือนจากระบบติดตามช้างป่า

บทที่ 10 การสรุปผลการทดลองและสรุปปัญหาอุปสรรค

10.1 สรุปผลการทดลอง

การทดสอบฮาร์ดแวร์กับการทดลองจริง มีข้อสังเกตและปัญหาในการใช้งาน ดังนี้

10.1.1 ปัญหาด้านระบบเครือข่าย GPRS / 4G

จากการทดสอบระบบต้นแบบที่ออกแบบ โดยใช้เทคโนโลยี Narrow Band IoT (NB-IoT) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารระยะไกลแบบใช้พลังงานต่ำ ที่มีการพัฒนาต่อยอดมาจากระบบ LTE (4G) ตามที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.6-5.2 ซึ่งเหมาะกับการประยุกต์ใช้ที่ไม่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลมาก เช่น Smart Parking, Smart Metering และโดยเฉพาะการพัฒนาอุปกรณ์ระบบติดตามช้างป่า โดยโครงการศึกษาฯ ต้องการนำคุณสมบัติที่ดีของ NB-IoT อันได้แก่

- รองรับการสื่อสารโดยใช้พลังงานต่ำ รองรับการใช้งานแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ IoT ได้นาน
- สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรับสัญญาณให้ดีขึ้น (รองรับสัญญาณได้ดีขึ้น 20 dB หรือเพิ่มพื้นที่ให้บริการได้ 10 เท่า) เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้มากขึ้น รวมถึงบริเวณที่สัญญานโทรศัพท์เคลื่อนที่ปกติเข้าไปไม่ถึงเช่น ใต้ดิน ผนัง กำแพง สามารถติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ IoT ได้
- สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ IoT ได้เป็นจำนวนมาก (มากกว่าแสนอุปกรณ์ต่อสถานีฐาน)
- เหมาะสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ IoT ที่ต้องการความเร็วในการส่งสัญญาณไม่เกิน 200 kbps
- ในระยะยาวอุปกรณ์จะมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ 2G/3G/4G และ Cat-M1

อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบการใช้งานด้วยระบบต้นแบบที่ใช้บอร์ด Narrow Band IoT DEVIO NB-DEVKIT ที่ใช้ชิป SIMCOM 7020E พบว่า พื้นที่ทดสอบมีความแรงของสัญญาณ Narrowband IoT ต่ำ จนถึงไม่สามารถรับสัญญาณได้เลยแม้จะมีการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ให้สามารถรับส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น ซึ่งทำให้การใช้งานพลังงานสูงขึ้นมากจนส่งผลกระทบต่อแผนการจัดการพลังงานสำรองที่ได้ออกแบบไว้ จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนชุดวงจรรับส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยี NB-IoT ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นแบบ 4G ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ใช้งานในประเทศไทยได้กว้างกว่า และหากบริเวณนั้นมีสัญญาณต่ำ ชุดวงจรรับส่งข้อมูลก็สามารถปรับไปใช้การสื่อสารข้อมูลบนเทคโนโลยี GSM/GPRS (2G) และ UMTS (3G) แต่ก็ใช้พลังงานมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 10.1 ซึ่งผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศได้กำหนดให้เป็นช่วงความถี่ต่ำทำให้มีระยะการให้บริการที่กว้างและไกลกว่า

ตารางที่ 10.1 คุณลักษณะด้านการสื่อสารของบอร์ดการสื่อสาร SIM-7600E

	LTE	WCDMA / TD-SCDMA / CDMA 2000	EDGE	GSM / GPRS
Band	LTE-FDD B1/B3/B5/B7/B8 /B20 LTE-TDD B38/B40/B41	UMITS / HSPA+ B1/B5/B8	GSM / GPRS / EDGE 900/1800 MHz	
Generation	4G	3G	2.5G	2G
Ending Power	0.25W		0.5W@GSM900 0.4W@DCS1800	2W@GSM900 1W@DCS1800
Data Speed	LTE CAT 4 Uplink <50 Mbps Downlink <150 Mbps	UMTS Uplink <384kbps Downlink <384kbps HSPA+ Uplink <5.76 Mbps Downlink <42 Mbps	EDGE Uplink <236.8kbps Downlink <236.8kbps	GPRS Uplink <85.6kbps Downlink <85.6kbps
Application Range	Southeast Asia, West Asia, Europe, Africa			

10.2 สรุปปัญหา

การทดสอบฮาร์ดแวร์กับการทดลองจริง มีข้อสังเกตและปัญหาในการใช้งาน ดังนี้

10.2.1 ปัญหาด้านระบบ GPS

ด้วยเงื่อนไขการออกแบบระบบสำหรับติดตามช้างป่าด้านพลังงาน ซึ่งมีลักษณะการทำงานเป็นช่วงเวลาสลับกับการเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงาน ทำให้การตรวจจับสัญญาณ GPS เป็นแบบ Cold boot และไม่สามารถใช้ตำแหน่งเดิมช่วยในการประมาณตำแหน่งเริ่มต้นได้ ประกอบกับข้อจำกัดด้านพลังงานสำรอง การออกแบบจึงเลือกใช้เสาอากาศสำหรับการรับสัญญาณ GPS แบบแพสซีฟ จากการทดสอบการตรวจจับสัญญาณ GPS จะใช้เวลาเริ่มต้นเมื่อเข้าสู่การทำงาน (Cold Boot) ใช้เวลานาน บางครั้งอาจใช้เวลาประมาณ 20 นาที ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และสภาพอากาศ ซึ่งจะมีผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานของอุปกรณ์ที่ใช้ และไม่สามารถลดเวลาช่วงนี้ลงได้ เนื่องจากเป็นลักษณะเฉพาะของการติดตามสัญญาณดาวเทียมของ GPS เอง

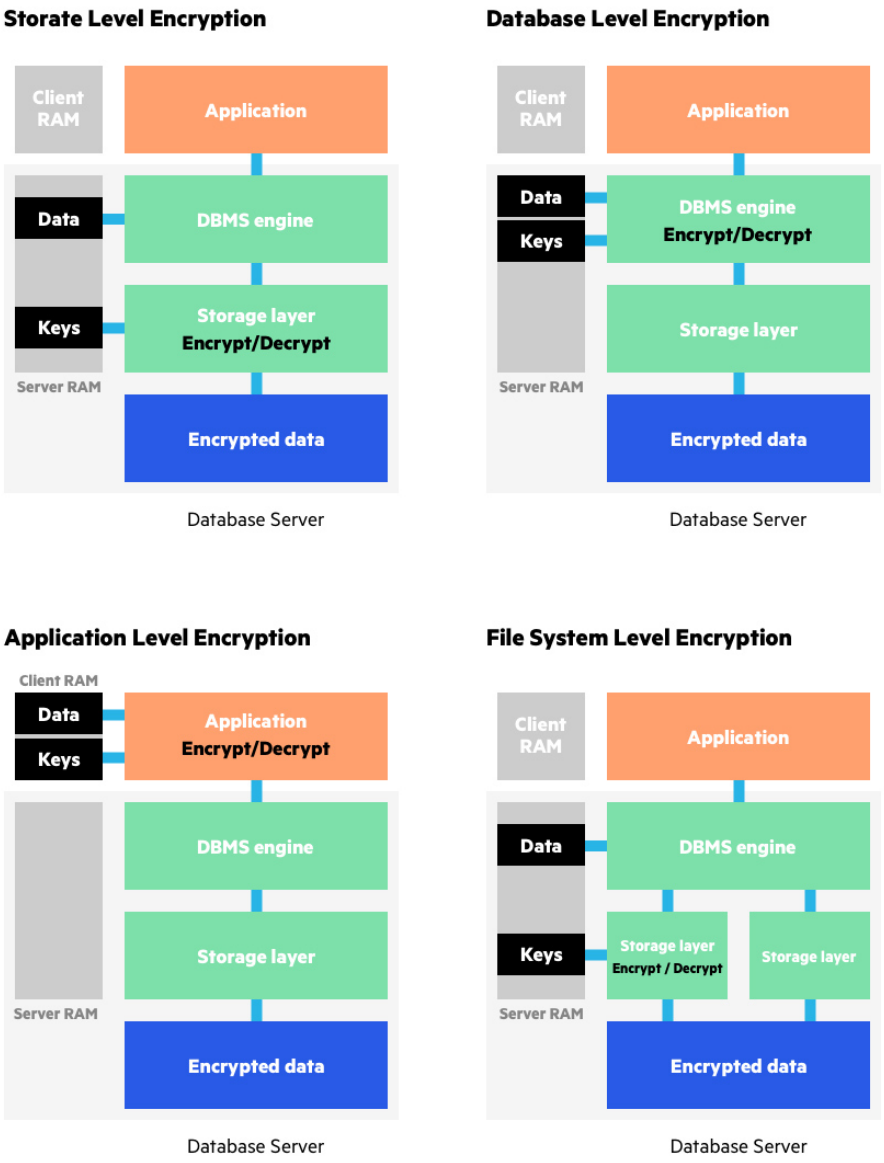
10.2.2 ปัญหาด้านระบบ RFID

ระบบ RFID ถูกนำมาใช้เพื่อระบุเครื่องติดตามช้างป่าโดยการบรรจุบัตรแสดงตนไว้ภายใน ด้วยข้อจำกัดด้านพลังงาน บัตรแสดงตนที่เลือกใช้จึงเป็นแบบแพสซีฟที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟในการทำงาน แต่ใช้หลักการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องอ่านบัตร RFID ด้วยขดลวดเหนี่ยวนำภายในบัตรแสดงตน ทำให้ระยะการอ่านไม่ได้ไกล โดยเฉพาะเมื่อต้องถูกบรรจุในกล่องอุปกรณ์เครื่องติดตามช้างป่าที่มีความหนาสำหรับความทนทานเมื่อนำไปติดตั้งบนช้างป่า นอกจากนี้ แบตเตอรี่ซึ่งมีโครงสร้างภายในประกอบด้วยสารประกอบนำไฟฟ้า ยังทำให้เกิดการดูดซับคลื่นจากเครื่องอ่านบัตร RFID ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการอ่านบัตรต่ำลงมาก ดังนั้น จึงต้องคำนึงถึงตำแหน่งในการจัดวางบัตร RFID ภายในอุปกรณ์เครื่องติดตามช้างป่าด้วยเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว

บทที่ 11 แนวทางการพัฒนาเทคนิคในด้านอื่น ๆ

11.1 แนวทางการจัดการด้านความปลอดภัย

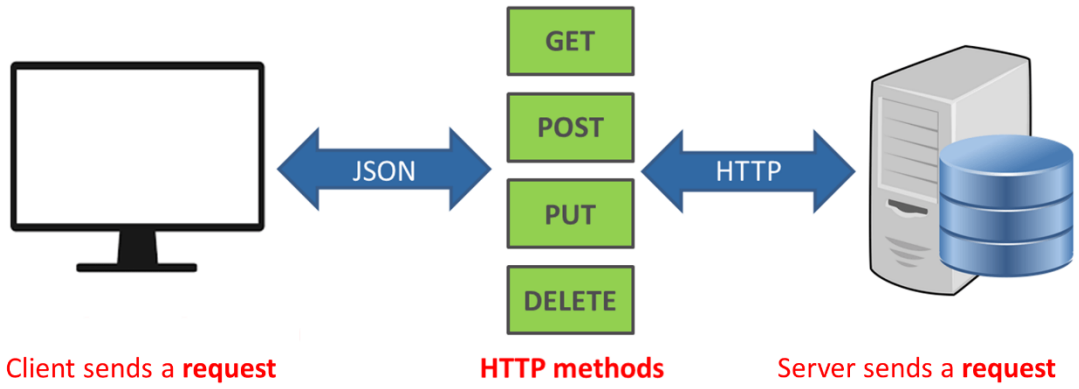
11.1.1 Data Encryption



รูปที่ 11.1 แนวทางการระดับ Data Encryption สำหรับข้อมูลติดตามสัตว์ป่า

การเข้ารหัสข้อมูล เป็นหนึ่งในระบบการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล (Data Security) ที่มีการเข้ารหัสข้อมูล ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงหรือถอดรหัสได้โดยใช้รหัสการเข้าถึงที่ถูกต้องเท่านั้น ส่วนผู้ใช้คนอื่นจะไม่สามารถเข้าถึงหรืออ่านข้อมูลได้ ข้อมูลที่เข้ารหัสเรียกว่า ciphertext ในขณะที่ข้อมูลที่ไม่เข้ารหัสเรียกว่าข้อความธรรมดา ปัจจุบันการเข้ารหัสเป็นวิธีการรักษาความปลอดภัยข้อมูลที่ได้รับความนิยมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดวิธีหนึ่ง

11.1.2 API และ Token



รูปที่ 11.2 รูปแบบการใช้ API สำหรับข้อมูลติดตามสัตว์ป่า

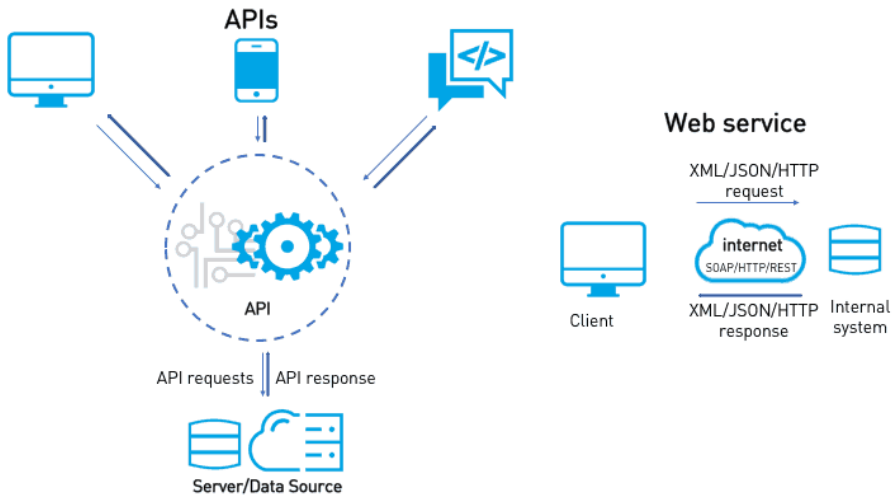
API ย่อมาจาก Application Programming Interface คือ คำสั่ง (Code) ที่อนุญาตให้ Software Program สามารถสื่อสารระหว่างกันได้ ถ้าจะพูดในภาษานักพัฒนา Application แล้ว API คือเป็นช่องทางสำหรับขอใช้บริการคำสั่ง จาก Operation System (OS) หรือ Application อื่น ๆ ซึ่งมันใช้งานโดยติดตั้ง Function และเรียกใช้งานตาม Document ที่เขียนไว้ และ API เป็นอีกหนึ่งช่องทางที่จะเชื่อมต่อกับเว็บไซต์ผู้ให้บริการ API และจากที่อื่นและเป็นตัวกลางที่ทำให้โปรแกรมประยุกต์เชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์อื่น หรือเชื่อมการทำงานเข้ากับระบบปฏิบัติการได้

API ทำหน้าที่ช่วยในการเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ หรือจะเป็นการนำข้อมูลต่าง ๆ ออกจากฐานข้อมูล หรือจะเป็นการส่งข้อมูลไปยังระบบอื่น ๆ โดยมีการใช้ Security Token Service ในการระบุสิทธิ์ที่ผู้ใช้สามารถกระทำได้ และบริบทของความมั่นคงปลอดภัย ซึ่งเมื่อผู้ใช้มีการเรียกฟังก์ชันใด ๆ ระบบจะส่ง Token ดังกล่าวไปตรวจสอบที่ Token Exchange Service ว่ามีสิทธิ์ในการเข้าถึงหรือไม่ และจะคอยคัดกรอง Request และตรวจสอบว่า Request นั้นเป็นไปตามนโยบายความมั่นคงปลอดภัยที่ API แต่ละตัวต้องการ

รูปแบบการนำเอา API ไปใช้งานมีดังนี้

(1) Web APIs

นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะอยู่ในกลุ่มของ HTTP และขยายออกไปสู่รูปแบบ XML และ JSON ซึ่งโดนรวมแล้วก็คืออยู่บน web service เช่น SOAP (Simple Object Access Protocol) ใช้ XML format ส่งข้อมูล REST (Representational State Transfer) สามารถใช้ XML หรือ JSON format ส่งข้อมูล ซึ่งในการดำเนินโครงการวิจัยนี้จะพัฒนารูปแบบการติดต่อระหว่างโปรแกรมด้วยการใช้ Web APIs



รูปที่ 11.3 รูปแบบการใช้ Web API เพื่อพัฒนาสำหรับข้อมูลติดตามสัตว์ป่า

(2) Operating Systems

API สามารถใช้งานในการสื่อสารระหว่าง application และ operating system เช่น POSIX หรือ มาตรฐานการสื่อสารของ OS เองก็มี API เป็น command line เพื่อควบคุมการทำงานของ OS

(3) Remote APIs

Remote APIs ทำไว้ให้ developer สามารถเข้าควบคุมทรัพยากรผ่านทาง protocol เพื่อให้มีมาตรฐานการสื่อสารเดียวกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นคนละ technology เช่น Database API สามารถอนุญาตให้ developer เข้ามาดึงข้อมูลใน database หลากหลายชนิดได้ ผ่าน function เดียวกัน เพราะฉะนั้น remote API จึงถูกใช้บ่อยในงาน maintenance ด้วยการทำงานที่ฝั่ง client ให้ไปดึงข้อมูลจาก server กลับลงมาทำงาน

(4) Libraries and frameworks

API มักจะเอาไปใช้เป็น software library ซึ่งเขียนขึ้นตาม document ในรูปแบบภาษา program ที่ต่างกันออกไป ตามความเหมาะสมกับงาน เพื่อเอาไปทำเป็น framework ให้กับระบบใช้ในการสื่อสารหากัน

ตัวอย่าง API ที่นิยมในปัจจุบัน

(1) BOT API ที่มี REST API ให้ค้นหา แล้วตรวจสอบข้อมูล Exchange Currency และ Services อื่น ๆ ได้
(2) Google Maps API: เปิดให้ใช้งานเพื่อนำเอาแผนที่ของ Google มาลงใน webpage โดยอาศัย JavaScript หรือ Flash และ Google Maps API คือบริการของ Google อีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำข้อมูลของ Google Maps ที่ทาง Google ให้บริการโดยส่วนมากจะนำมาใช้กับเว็บไซต์ ของบริษัทฯหรือเว็บไซต์ห้างร้านต่าง ๆ เพื่อเป็นอีกช่องทางที่ให้ลูกค้ารู้ว่าบริษัทฯ หรือห้างร้านนั้น
(3) Twitter APIs: มี REST API ให้ค้นหา แล้วตรวจสอบข้อมูล trends ได้ โดยTwitter มีหลายเว็บ ที่มีการเชื่อมโยงข้อมูลกับ twitter ทั้งเป็นการอ่านข้อมูลจาก twitter หรือ ส่งข้อมูลเข้า twitter เองก็ตาม ซึ่งล้วนอาศัยการเชื่อมต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน ด้วย API นั้นเอง

(4) YouTube APIs: Google ยอมให้ developer สามารถนำเอา Clip video บน YouTube ไปลงใน website หรือ application ได้

(5) Amazon Product Advertising API: เปิด API ให้ใช้ค้นหาสินค้า และ การโฆษณาผ่านทาง website

(6) Flickr API: เพื่อให้ developer สามารถเข้าถึง คลังรูปภาพใน community

11.2 แนวทางการพัฒนาการใช้ DRONE เพื่อตรวจสอบระยะไกล

อากาศยานไร้คนขับ (Drone) หรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: μAV) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับให้มีความล้ำสมัยมากขึ้น โดยการออกแบบให้สามารถทำงานได้อย่างอิสระ ซึ่งได้มีการเขียนโปรแกรมหรือแอปพลิเคชัน ให้อากาศยานไร้คนขับบินตรวจตราเฝ้าระวังพื้นที่ที่มนุษย์เข้าถึงได้ยากมีความห่างไกลและมีความเสี่ยง โดยอากาศยานไร้คนขับจะสามารถเข้าถึงพื้นที่ได้ในเวลาอันรวดเร็ว สามารถทำการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับในภารกิจตรวจสอบระยะไกล ได้แก่ ภารกิจกู้ชีพ ภารกิจสร้างแผนที่ 3 มิติ ภารกิจติดตามเฝ้าระวังพื้นที่อุทยานแห่งชาติ ภารกิจติดตามเฝ้าระวังสัตว์ป่าทั้งการติดตามสัตว์ที่บาดเจ็บ การติดตามดูพฤติกรรมสัตว์ป่า ภารกิจบันทึกภาพสัตว์ป่าเพื่อเป็นข้อมูลใช้ในการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญ และรวมถึงภารกิจการเฝ้าระวังเพื่อป้องกันนักล่าสัตว์ป่า อีกด้วย

รูปที่ 11.4 รูปแบบการใช้ Drone ดูพฤติกรรมสัตว์ป่าของต่างประเทศ

จากความสามารถดังกล่าวการใช้ DRONE เพื่อตรวจสอบระยะไกลให้ทำงานร่วมกันได้กับฐานข้อมูลเพื่อการติดตามการปรากฏตัวและการเคลื่อนไหวของสัตว์ป่านั้น จะเป็นการแจ้งเตือนเหตุ

ล่วงหน้าและเฝ้าระวังสัตว์ป่าที่ออกนอกพื้นที่ป่าอนุรักษ์ โดยประเด็นสำคัญที่จะต้องพิจารณาประกอบด้วย

1. การเลือกใช้โดรน
2. การบังคับการบิน
3. การเลือกกล้องถ่ายภาพ และการตั้งค่ากล้องฯให้เหมาะสมกับงานบินถ่ายภาพทางอากาศ
4. การวางแผนการบินฯ
5. การสำรวจฯ จุดควบคุมแนวเดินช้างป่า
6. โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

การพัฒนาแนวทางการใช้ DRONE เพื่อตรวจสอบระยะไกล โดยให้ทำการทดสอบการจำลองสถานการณ์เมื่อมีสัตว์ป่ารุกล้ำเข้าพื้นที่ตรวจตรา ให้เกิดการแจ้งเตือนมายังศูนย์ประมวลผลกลาง เพื่อทำการออกคำสั่งให้ DRONE ขึ้นบินไปยังจุดที่ตรวจพบและส่งข้อมูลกลับมายังเพื่อตรวจสอบระยะไกล ศูนย์ประมวลผลกลางได้

รูปที่ 11.5 รูปแบบการใช้ Drone เพื่อตรวจสอบระยะไกลเมื่อได้รับแจ้งจากศูนย์ประมวลผลกลาง

11.3 แนวทางการการพัฒนาระบบสื่อสารด้วย VHF

ระบบสื่อสารด้วย VHF สามารถนำมาใช้กับการติดตามสัตว์ป่าได้ เนื่องจากสามารถสื่อสารแบบ Point-to-Point ได้ เหมาะในการรับส่งข้อความสั้น ๆ การส่งสัญญาณในย่านความถี่ VHF มีคุณสมบัติในการทะลุทะลวง ส่งสัญญาณได้ระยะทางไกล และใช้พลังงานต่ำ จึงอาจจะนำเทคโนโลยีนี้มาใช้กับอุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่า ที่ต้องส่งสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ และภูเขา รวมถึงข้อดีที่การส่งสัญญาณในย่าน VHF ใช้พลังงานต่ำทำให้อุปกรณ์สามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานาน

อย่างไรก็ตาม การใช้ VHF จะต้องคำนึงด้วยว่าจะทำการติดตั้งสถานีรับส่งสัญญาณของ VHF ให้ครอบคลุมพื้นที่ในการติดตามสัตว์ป่าได้อย่างไร เนื่องจากลักษณะการรับส่งข้อมูลด้วย VHF นั้นเป็นแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) โดยจะรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ติดตามสัตว์ป่าไปยังเครื่องรับ VHF โดยตรง จึงขึ้นกับระยะทางการเชื่อมต่อในขณะนั้น หากอยู่นอกระยะทำการก็จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกันได้เลย

ข้อเสียของการติดตามด้วยคลื่นสัญญาณวิทยุนี้ คือระยะห่างของช่วงการสื่อสารที่จำกัด เครื่องรับจะต้องอยู่ใกล้กับช้างป่าเพียงพอเพื่อให้เสาอากาศวิทยุสามารถรับสัญญาณจากเครื่องส่งสัญญาณวิทยุที่ติดตั้งบนสัตว์ได้ เนื่องจากตัวส่งสัญญาณออกอากาศสัญญาณอย่างต่อเนื่องทำให้แบตเตอรี่หมดเร็ว เครื่องส่งสัญญาณวิทยุจึงมีขนาดค่อนข้างใหญ่และใช้กับสัตว์ขนาดใหญ่เท่านั้น แม้เทคโนโลยีปัจจุบันมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีขนาดเครื่องส่งสัญญาณลดลงซึ่งสามารถติดกับสัตว์ขนาดเล็กได้ แต่ก็จะติดตามได้ในระยะทางจำกัด และการรับส่งข้อมูลที่ได้จาก GPS จะมีสัญญาณรบกวนสูง ซึ่งฝั่งเครื่องรับจะยุ่งยากในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับมา

11.4 แนวทางการการพัฒนาระบบสื่อสารด้วยดาวเทียม

ระบบติดตามด้วยดาวเทียม เป็นการพัฒนาต่อจากเครื่องติดตามด้วยคลื่นวิทยุ โดยการเพิ่มระยะการติดตามด้วยดาวเทียมแทนที่จะส่งสัญญาณวิทยุไปยังเครื่องรับสัญญาณวิทยุสัญญาณ สัญญาณจะถูกส่งไปยังดาวเทียม โดยดาวเทียมจะทำหน้าที่เป็นสถานีรับสัญญาณและถ่ายทอดสัญญาณกลับมายังเครื่องรับบนโลก ทำให้นักวิจัยสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของสัตว์โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ใกล้สัตว์เพื่อรับสัญญาณติดตามโดยตรง เมื่อเทียบกับการสื่อสารด้วย VHF

อย่างไรก็ตาม ระบบสื่อสารด้วยดาวเทียมจะมีค่าใช้จ่ายด้านการสื่อสารข้อมูลสูงมาก จำเป็นจะต้องจ่ายค่าบริการนี้ให้กับผู้ให้บริการตลอดเวลาใช้งาน ในประเทศไทยเองแม้ว่าจะมีดาวเทียมสื่อสารหลายดวง แต่การนำมาใช้บริการเชิงพาณิชย์สำหรับประชาชนทั่วไปจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก การรับส่งข้อมูลจากดาวเทียมที่อยู่ระยะทางไกลมาก จะใช้อุปกรณ์ที่ต้องมีขนาดใหญ่กว่าการสื่อสารแบบอื่น การออกแบบวงจรยุ่งยาก สิ้นเปลืองพลังงานสูง และมีผลต่อการออกแบบระบบและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ติดตามช้างป่า

11.5 แนวทางการการพัฒนาระบบสื่อสารด้วย LoRaWAN

LoRa เป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่เพื่อรองรับการสื่อสารในช่วงคลื่นความถี่ไม่เกิน 1 GHz ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี 1940 เพื่อใช้ในการทหาร เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่รับส่งข้อมูลได้ในระยะไกล และป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี (Interference Robustness) จึงได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะกับงานด้าน Internet of Things (IoT) LoRa ย่อมาจากคำว่า Long Range เป็นเทคโนโลยี low-power wide area network (LPWAN) ซึ่งใช้พลังงานต่ำ ส่งได้ระยะทางไกล ใช้รูปแบบการมอดูเลตที่เรียกว่า Chirp Speard Spectrum อัตราข้อมูลของ LoRa สามารถปรับเปลี่ยนได้ มีการใช้งาน Speading Factor ซึ่งทำให้ผู้ออกแบบระบบสามารถแลกเปลี่ยนได้ระหว่างอัตราเร็วข้อมูลกับระยะหรือกำลังส่ง และสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายให้มีแบนด์วิดท์ที่คงที่ได้

LoRa มีจุดเด่นในเรื่องของระยะทางในการสื่อสาร สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ในระยะไกลถึง 15-20 กิโลเมตร และเนื่องจากพลังงานที่ใช้ในช่วงรับส่งข้อมูลค่อนข้างต่ำ อีกทั้งยังสามารถกำหนดให้อุปกรณ์เข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานในกรณีที่ไม่ได้ส่งข้อมูล จึงทำให้ LoRa เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการใช้งาน

LoRa เป็นการใช้งานในชั้นกายภาพ (PHY) ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้งานบนชั้นที่สูงกว่า ทำให้ LoRa สามารถทำงานร่วมกับสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่มีอยู่ก่อนหน้าได้ LoRa จะใช้ความถี่ในช่วงที่เรียกว่าย่าน sub-gigahertz เช่น 433 MHz, 868 MHz และ 915 MHz ซึ่งแต่ละช่วงจะสามารถใช้ในประเทศได้ไม่

เหมือนกันตามกฎหมายของแต่ละประเทศ และจะใช้รหัสแก้ไขความผิดพลาดที่เรียกว่า Forward Error Correction coding เพื่อทำให้ทนต่อสัญญาณรบกวน มีคุณลักษณะเฉพาะในการส่งสัญญาณได้ระยะไกล อันเนื่องมาจากค่า Link budget ที่สูงมาก มีค่าประมาณ 155 dB ถึง 170 dB สำหรับประเทศไทยถูกระบุไว้ที่ความถี่ช่วง 920 – 925 MHz ซึ่งถือเป็นความถี่ที่ไม่ต้องมีใบอนุญาต (unlicensed) โดยมีกำลังส่ง (EIRP) ไม่เกิน 20 dBm (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์) เพื่อให้รองรับกับมาตรฐานที่ กสทช ได้กำหนดไว้

เนื่องจาก LoRa เป็นเพียงแค่การใช้งานในชั้นกายภาพ ทำให้มีโปรโตคอลในชั้นที่สูงขึ้นอย่างชั้น MAC เช่น LoRaWAN โดยนิยามเป็นโปรโตคอลการเชื่อมต่อและสถาปัตยกรรมของเครือข่าย

ความสามารถเด่นของ LoRaWAN คือ สามารถสร้างกลุ่มอุปกรณ์ที่เป็น LoRa เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลในเครือข่ายในรูปแบบของ Mesh Network ได้ แต่ละอุปกรณ์ (หรือเรียกว่า End-device) จะมองว่าสามารถเชื่อมต่อถึงกันหมด การรับส่งข้อมูลสามารถใช้อุปกรณ์อื่นๆ ในการรับส่งข้อมูลเป็นทอด ๆ ผ่าน Gateway จนกว่าจะข้อมูลจะเดินทางไปถึงสถานีรับปลายทาง (Network Server) ได้ และใช้พลังงานต่ำ ทำให้มีข้อเด่นกว่าการสื่อสารที่ใช้ VHF (เครื่องรับและเครื่องส่งมีระยะรับส่งที่จำกัด สิ้นเปลืองพลังงานสูง และไม่เหมาะกับการสื่อสารข้อมูลดิจิทัล) หรือการสื่อสารด้วยดาวเทียม (ค่าใช้จ่ายแพง และสิ้นเปลืองพลังงานสูงมาก) หรือ การสื่อสารด้วยระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ตัวรับส่งข้อมูลที่อุปกรณ์ติดตามตัวช้างจะต้องติดต่อสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงจะรับส่งข้อมูลได้)

แนวทางการพัฒนาระบบสำหรับติดตามช้างป่าในอนาคต ควรเน้นการรับส่งข้อมูลแบบ Mesh Network แบบที่ LoRaWAN สามารถทำงานได้ ซึ่งจะได้ระบบติดตามช้างป่าที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก สิ้นเปลืองพลังงานน้อย สามารถรับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ ไปเป็นทอด ๆ จนกว่าจะถึงสถานีปลายทางได้ ไม่ถูกจำกัดด้วยระยะทาง และมีค่าใช้จ่ายโดยรวมไม่สูงมาก

เอกสารอ้างอิง

[1] สุทัศน์ ยกส้าน. “อินเทอร์เน็ตของสรรพสัตว์.” https://mgronline.com/science/detail/9620000052236

[2] Andrews. “GPS Tracking: Wildlife.” https://www.rewiresecurity.co.uk/blog/wildlife-animals-nature-gps-tracking-tracker-device

[3] HighlandWireless. “The Differences Between UHF And VHF Radio Frequencies” https://www.highlandwireless.com/the-differences-between-uhf-and-vhf-radio-frequencies/

[4] Ben Burns. “WHAT’S THE DIFFERENCE BETWEEN VHF AND UHF TWO-WAY RADIOS?” https://www.discounttwo-wayradio.com/blog/whats-the-difference-between-vhf-and-uhf-two-way-radios

[5] สพทอ. “Time Division Multiple Access (TDMA).” https://www.etda.or.th/th/Useful-Resource/terminology/หมวดหมู่IT/472.aspx#:~:text=Time%20Division%20Multiple%20Access%20(TDMA)%20คือการแบ่งช่องสัญญาณ,323%20ครั้ง

[6] สนามบิน. “การจราจรทางอากาศ.” https://www.blockdit.com/posts/5e2fa5189e1d500ca59acbac

[7] Super User. “ระบบติดตามอากาศยานอัตโนมัติ ADS-B.” http://www.nakhonthai.net/index.php/tutorial/tutorial-aprs/12-aprs-adsb

[8] แก้ลม. “ADS-C Automatic Dependent Surveillance – Contract.” https://web.facebook.com/1093533280703039/photos/ads-c-automatic-dependent-surveillancecontractการทำงานของadsในแบบนี้จะมีการรับ/2610824545640564/

[9] International Civil Aviation Organization. 2004. Manual on VHF Digital Link (VDL) Mode 4.