



กทปส

รายงานฉบับสมบูรณ์

(ฉบับปรับปรุงแก้ไข)

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการ
กระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
ประเภทที่ ๑/๒๕๖๑ ประจำปี ๒๕๖๑

โครงการ An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC)

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
(ผู้รับผิดชอบโครงการ)

สัญญาเลขที่ BT๒-๑๙/๑-๖๑

ได้รับทุนอุดหนุนจาก

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

(สำนักงาน กสทช.)



(ปกใน)
รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์
และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

ชื่อโครงการ An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC)

ประจำปี ๒๕๖๑ สัญญารับทุนเลขที่ BT๒-๑๙/๑-๖๑

หัวหน้าโครงการ

ดร. มานะชัย โต้ะชูดี

ผู้ร่วมโครงการ

1. ดร. อธิพงษ์ เขมะเพชร

2. ดร. วัศวี แสนศรีมหาชัย

หน่วยงาน มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

สัญญาเลขที่ BT๒-๑๙/๑-๖๑

ได้รับทุนอุดหนุนจาก

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

(สำนักงาน กสทช.)

คำนำ

ทรัพยากรมนุษย์มีคุณค่าต่อสังคมและประเทศ สมควรได้รับการดูแลและพัฒนาในทุกมิติ ทั้งด้าน การศึกษา อาชีพ ความเป็นอยู่ จิตใจ และสุขภาพ ตลอดช่วงชีวิต ลักษณะของครอบครัวไทยเกิดการเปลี่ยนแปลง ไปตามยุคสมัย จากการอยู่ร่วมกันแบบครอบครัวใหญ่ที่ประกอบไปด้วยคนหลายรุ่น กลายเป็นครอบครัวเดี่ยวหรือ อยู่ตามลำพัง อีกทั้งโครงสร้างประชากรที่เปลี่ยนแปลงจากสังคมของวัยทำงานสู่สังคมผู้สูงอายุ เนื่องด้วยอัตราการ เกิดที่ลดลงและอายุขัยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนผ่านทางระบาดวิทยาจากโรคระบาดและโรคติดต่อ มาสู่โรคเรื้อรังและโรคที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของร่างกาย ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนจากสังคมเยาว์วัยสู่สังคมสูงวัย การอภิบาลผู้สูงอายุอย่างเหมาะสมเพื่อดำรงไว้หรือเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้สูงวัย โดยไม่รบกวนการดำเนินชีวิต ตามปกติและลดภาระของผู้ดูแลเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพและชีวิตนั้น นับเป็นประเด็นท้าทาย ซึ่งต้องการการบูรณาการศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูงต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

จากการวิเคราะห์ความต้องการของระบบในเบื้องต้นจากการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ความเสี่ยงด้านสุขภาพ และการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุ และแนวโน้มการอยู่ลำพังที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการที่ภาครัฐเล็งเห็นความสำคัญต่อการ เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ จึงเกิดโครงการวิจัยนี้ขึ้น โดยมุ่งเน้นการพัฒนา ระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความ ปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร (An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC) สำหรับที่อยู่ อาศัย โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่เหมาะสม และมุ่งเน้น แก้ปัญหาเชิงเวชศาสตร์ป้องกัน (Preventive medicine) สำหรับกลุ่มอาการหลักซึ่งเป็นผลมาจากภาวะถดถอย ของร่างกายและสมองเสื่อม ซึ่งผู้สูงอายุหรือประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงและใช้งานได้ โดยการเพิ่มคุณค่าให้กับ ชุดอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดหรือแปลงค่าที่ต้องการ พร้อมทั้งสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless communication) ก่อให้เกิดการประยุกต์ใช้การคอมพิวเตอร์ทุกแห่งหน (Pervasive / Ubiquitous computing) โดยการสื่อสารข้อมูลระหว่างผู้สูงอายุ ผู้ดูแลและบุคลากรทางการแพทย์ รวมถึงการประมวลผลกระแสข้อมูล (Data stream processing) และการคาดการณ์ถึงภาวะเสี่ยงด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) เพื่อให้ได้ระบบที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้จริง และสามารถพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์

รายงานฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาและพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของ ผู้สูงอายุในอาคาร เพื่อใช้ในการประเมินผลสัมฤทธิ์ของการดำเนินโครงการ และใช้เป็นระบบต้นแบบเพื่อพัฒนา โครงการในระยะต่อไป

มานะชัย โต๊ะชูดี

(มานะชัย โต๊ะชูดี)

หัวหน้าโครงการ

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
บทที่ 1	บทนำ
1.1	สาระสำคัญของโครงการ (Project Highlights)
1.2	วัตถุประสงค์
1.3	เป้าหมาย
1.4	ผลผลิตสำคัญ
1.5	แผนปฏิบัติการโครงการ
บทที่ 2	แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง
2.2	การวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาด้านสุขภาวะของผู้สูงอายุ เปรียบเทียบกับระบบการดูแลผู้สูงอายุที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน
บทที่ 3	การติดตั้งและทดสอบชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคาร
3.1	รายละเอียดชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคาร
3.2	ผลของสิ่งกีดขวาง (Barrier) ต่อคุณภาพของสัญญาณ Ultra Wideband
3.3	ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคารภายในห้องปฏิบัติการ
3.4	โพรโทคอลสื่อสาร กลไกการประหยัดพลังงาน และการปรับค่าคุณลักษณะของชุดอุปกรณ์
บทที่ 4	ระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร (An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC))
4.1	ซอฟต์แวร์ต้นแบบระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร (An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC))
4.2	โครงสร้างสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ของระบบ
4.3	การจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว
4.4	การตรวจจับการหกล้ม
4.5	การจำแนกกลุ่มอายุจากการวิเคราะห์รูปแบบการเดิน
4.6	การตรวจจับการเดินหลงภายในอาคาร

	4.7 การเปรียบเทียบผลการทำงานของระบบฯ กับงานวิจัยอื่น	70
	4.8 รายละเอียดการใช้งานระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร	73
	4.9 การทดสอบความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูลของระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร	86
	4.10 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ดูแลผู้สูงอายุและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง	92
บทที่ 5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	93
	5.1 สรุป	93
	5.2 อภิปรายผล	94
	5.3 แนวทางการพัฒนาต่อยอดในอนาคต	96
	5.4 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายนำเสนอต่อ กสทช. และหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง	97
	บรรณานุกรม	102
	ภาคผนวก ก Data Dictionary	109
	ภาคผนวก ข การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล (Pattern Analyzer)	116
	ภาคผนวก ค ความต้องการเบื้องต้นของระบบ	121
	ภาคผนวก ง บรรยายภาคการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และการเก็บข้อมูล ณ ศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางแค	124
	ภาคผนวก จ บรรยายภาคการติดตั้ง เก็บข้อมูลและทดสอบระบบ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ	126
	ภาคผนวก ฉ แบบปรับปรุงผลงานตามความเห็นในการประชุมร่วมกันของคณะกรรมการพิจารณาผลงานการดำเนินโครงการระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร	132

บทที่ 1

บทนำ

1.1 สารสำคัญของโครงการ (Project Highlight)

ทุนมนุษย์มีความสำคัญ และเป็นกลไกสำคัญต่อการพัฒนาและดำรงอยู่ของประเทศในทุกมิติ ซึ่งต้องการการดูแล และการพัฒนาในทุกด้านตลอดช่วงชีวิต เช่น การศึกษา วิชาชีพ ความเป็นอยู่ จิตใจ และสุขภาวะที่ดี หลังผ่านพ้นช่วงชีวิตในการทำงานแล้ว สมรรถนะของร่างกายย่อมถดถอยอันเนื่องมาจากการเข้าสู่การเป็นผู้สูงอายุ และต้องการการดูแลรักษาอย่างเหมาะสมทั้งในยามปกติ และเจ็บป่วย เพื่อสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชน อย่างไรก็ตาม ลักษณะของครอบครัวไทยเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย จากการอยู่ร่วมกันแบบครอบครัวใหญ่ที่ประกอบไปด้วยคนหลายรุ่น กลายเป็นครอบครัวเดี่ยวหรืออยู่ตามลำพัง ส่งผลให้ผู้สูงอายุต้องอยู่แบบอิสระ ซึ่งหมายถึงการช่วยเหลือและพึ่งพาตนเองในสภาพร่างกายที่กำลังเสื่อมถอยมากขึ้นในทุกขณะ การอภิบาลผู้สูงอายุอย่างเหมาะสมเพื่อดำรงไว้หรือเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ โดยไม่รบกวนการดำเนินชีวิตตามปกติและลดภาระของผู้ดูแลเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพและชีวิตนั้น นับเป็นประเด็นท้าทายซึ่งต้องการการบูรณาการศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูงต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

ประเทศไทยกำลังได้รับผลกระทบจากโครงสร้างของประชากรที่เปลี่ยนแปลงไป พร้อมกับการก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ โดยจำนวนประชากรในวัยทำงานจะน้อยกว่าจำนวนของผู้สูงอายุ อันเนื่องด้วยเหตุผลหลักสองประการ กล่าวคือ การลดลงของอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากร และอายุขัยโดยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น จากรายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2558 พบว่ามีประเด็นหลัก ดังต่อไปนี้ (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย, 2559)

- ประเด็นด้านการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ
 - ประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป มีจำนวนคิดเป็นร้อยละ 16 ของประชากรทั้งหมด
 - ประชากรสูงอายุกำลังเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่เร็วมาก กล่าวคือ สูงกว่าร้อยละ 4 ต่อปี ในขณะที่ประชากรรวมเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเพียงร้อยละ 0.5 เท่านั้น
- ประเด็นด้านรูปแบบการอยู่ร่วมกันเป็นครอบครัวที่เปลี่ยนแปลงไป
 - ในอดีตครัวเรือนไทยมีขนาดใหญ่ ผู้สูงอายุอยู่ในครอบครัวใหญ่ที่ประกอบไปด้วยคนหลายรุ่น ขนาดครัวเรือนไทยได้เล็กลงจากเฉลี่ยประมาณ 5 คนต่อครัวเรือนเมื่อ 50 ปีก่อน เหลือเพียง 3 คนในปัจจุบัน
 - จำนวนผู้สูงอายุที่อยู่ลำพังคนเดียว และอยู่ลำพังกับคู่สมรสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 6 เป็นร้อยละ 9 จากการสำรวจปี 2557 และเพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 16 ในปี 2545 เป็นร้อยละ 19 ในปี 2557 ตามลำดับ
- ประเด็นด้านสุขภาพ ภาวะเสื่อมถอย และขาดคนดูแล
 - โรคที่มักพบในผู้สูงอายุ ได้แก่ ข้ออักเสบ/ข้อเสื่อม โรคความดันโลหิตสูง เบาหวาน และโรคอ้วน นอกจากนี้ ผู้สูงอายุกว่าร้อยละ 10 มีปัญหาการขึ้นลงบันได และปัญหาการกลืนอาหาร หรือ

ปัสสาวะไม่ได้

○ ผู้สูงอายุวัยปลายกว่าร้อยละ 4 ขาดคนดูแล

ประเทศไทยมีประชากรกว่า 66.1 ล้านคน ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ที่มีอายุ 60 และ 65 ปี ขึ้นไปประมาณ 11.4 และ 7.6 ล้านคน ตามลำดับ (เว็บไซต์มิเตอร์ประเทศไทย, 2560) โดยมีค่าดัชนีการสูงวัย (จำนวนประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป / จำนวนประชากรที่มีอายุต่ำกว่า 15 ปี \times 100) เท่ากับ 83.1 ซึ่งสูงกว่าประเทศอื่นในภูมิภาคอาเซียน ซึ่งมีค่าดังกล่าวต่ำกว่า 50 ยกเว้นเพียงประเทศไทย ได้แก่ สิงคโปร์ซึ่งมีค่าดัชนีการสูงวัยเท่ากับ 113.8 (สถาบันวิจัยประชากรและสังคม, 2557) โดยมีการคาดการณ์ว่าประเทศไทยจะเป็นสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2570 (ประเสริฐ อัสสันตชัย, 2556) การลดลงของอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรมีผลกระทบต่อที่เกี่ยวเนื่องกัน ได้แก่ การลดลงของ

ประชากรตามอัตราการเกิดที่ลดลงซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นก่อนปี พ.ศ. 2563 การลดลงของประชากรวัยทำงาน และการเปลี่ยนแปลงด้านกระจายตัวของประชากรทางภูมิศาสตร์ภาครัฐควรกำหนดนโยบายในการเพิ่มอัตราการเกิด รวมถึงการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนในทุกกลุ่มอายุ (กองทุนประชากรแห่งสหประชาชาติ, 2557)

อาการป่วยของผู้สูงอายุมีความแตกต่างจากกลุ่มผู้ป่วยที่มีอายุน้อยกว่าโดยมีสาระสำคัญ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายวิภาคและทางสรีรวิทยาเนื่องมาจากความชรา การมีลักษณะทางเวชกรรมที่ไม่จำเพาะเนื่องจากผลจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ซึ่งอาจแสดงออกทางภาวะการหกล้ม การสูญเสียความสามารถในการเดิน และความสามารถทางสติปัญญาบกพร่อง เป็นต้น การมีพยาธิสภาพหลายประเภทในหลายระบบอวัยวะในเวลาเดียวกัน การได้รับผลกระทบจากใช้ยาหลายขนานร่วมกัน และผลจากการเปลี่ยนแปลงด้านสังคม ซึ่งต้องได้รับการติดตาม ปกป้อง และดูแลเป็นพิเศษทั้งในระยะสั้น และระยะยาวเพื่อป้องกันมิให้เกิดพยาธิสภาพอันไม่พึงประสงค์ทั้งต่อการ

ประกอบกิจวัตรประจำวัน และความเสี่ยงต่อการเกิดโรค (ประเสริฐ อัสสันตชัย, 2556) นอกจากภาวะทางร่างกายที่เสื่อมถอยแล้ว ผู้สูงอายุยังมีความเสี่ยงต่อภาวะสมองเสื่อมโดยความเสี่ยงดังกล่าวเพิ่มขึ้นตามอายุ จากการสำรวจพบว่า ในปี 2558 มีผู้ป่วยโรคอัลไซเมอร์ประมาณ 600,000 คน และคาดว่าในปี 2573 จำนวนจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 1,117,000 คน (Hfocus เจาะลึกระบบสุขภาพ, 2559) ซึ่งส่งผลทั้งด้านสติปัญญาและการรู้จักคิด และพฤติกรรม (รัชนิ นามจันทร์, 2553)

การเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มรูปแบบยังส่งผลต่อความเสี่ยงทางการคลังทั้งทางด้านรายได้ที่ลดลงตามจำนวนประชากรของวัยทำงาน และรายจ่ายด้านสวัสดิการที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้สูงอายุ จากการศึกษาและคาดการณ์ของสำนักงานเศรษฐกิจการคลัง (สศค.) พบว่า รัฐบาลต้องจัดสรรงบประมาณสำหรับสวัสดิการด้านการรักษาพยาบาลและการดูแลผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นเป็นกว่า 5 แสนล้านบาทในปีงบประมาณ 2557 และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ยในอัตราร้อยละ 7.7 ต่อปี โดยจะมีรายจ่ายด้านสวัสดิการดูแลผู้สูงอายุคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 55.56 และ

เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 88.07 ในปีงบประมาณ 2557 และ 2606 ตามลำดับ (Hfocus เจาะลึกระบบสุขภาพ, 2557) ทั้งนี้ รัฐบาลได้ออกมาตรการช่วยเหลือสำหรับผู้สูงอายุ เช่น แผนส่งเสริมการจ้างงานผู้สูงอายุ แผนงานสร้างที่พักอาศัยสำหรับผู้สูงอายุ และแผนด้านสินเชื่อที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุ (Hfocus เจาะลึกระบบสุขภาพ, 2560)

จากการวิเคราะห์ความต้องการของระบบในเบื้องต้นจากการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ความเสี่ยงด้านสุขภาพและการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุ และแนวโน้มการอยู่ลำพังที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการที่ภาครัฐเล็งเห็นความสำคัญต่อการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ จึงเกิดโครงการวิจัยนี้ขึ้น โดยมุ่งเน้นการพัฒนาาระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร (An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC) สำหรับที่อยู่อาศัย โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่เหมาะสม และมุ่งเน้นแก้ปัญหาเชิงเวชศาสตร์ป้องกัน (Preventive medicine) สำหรับกลุ่มอาการหลักซึ่งเป็นผลมาจากภาวะถดถอยของร่างกายและสมองเสื่อม ซึ่งผู้สูงอายุหรือประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงและใช้งานได้ โดยการเพิ่มคุณค่าให้กับชุดอุปกรณ์ซึ่งสามารถตรวจวัดหรือแปลงค่าที่ต้องการ พร้อมทั้งสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless communication) ก่อให้เกิดการประยุกต์ใช้การคอมพิวเตอร์ทุกแห่งหน (Pervasive / Ubiquitous computing) โดยการสื่อสารข้อมูลระหว่างผู้สูงอายุ ผู้ดูแลและบุคลากรทางการแพทย์ รวมถึงการประมวลผลกระแสข้อมูล (Data stream processing) และการคาดการณ์ถึงภาวะเสี่ยงด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) เพื่อให้ได้ระบบที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้จริง และสามารถพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินการ 1 ปี โดยกำหนดเป้าหมายผลผลิตของโครงการโดยคร่าว ดังต่อไปนี้

- ระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร (An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC) ซึ่งประกอบไปด้วย วิธีตรวจวัดตำแหน่ง และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงผ่านทางตำแหน่ง การเคลื่อนไหว และกิจกรรมที่ผิดปกติ การแจ้งเตือนไปยังบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงความสามารถในการติดตาม และร้องขอความช่วยเหลือแบบทันที
- ผลการทดสอบการทำงานของระบบโดยการจำลองในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมาโดยติดตั้ง ทดสอบ และประเมินผลการทำงานของระบบในสภาวะการใช้งานจริง รวมถึงการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีกับผู้ใช้ หน่วยงานสนับสนุน หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย อัลตรา ไวด์ แบนด์ การคอมพิวเตอร์ทุกแห่งหน การประมวลผลสายข้อมูล และโครงข่ายประสาทเทียม ในการพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ซึ่งประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ที่ทำงานประสานกัน โดยใช้โครงสร้างพื้นฐานด้านการสื่อสารข้อมูลและโทรคมนาคม เพื่ออำนวยความสะดวกด้านการตรวจสอบและเฝ้าระวังสุขภาพของผู้สูงอายุ และสามารถประยุกต์ต่อยอดใช้กับผู้ป่วย ผู้พิการ และประชาชนโดยทั่วไปได้ โดยสามารถตรวจวัด สื่อสาร และประมวลผลข้อมูลได้อย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และปลอดภัย การทดสอบและประเมินผลการทำงานของระบบนั้นจะดำเนินการทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและการทดลองนำไปใช้งานจริง ดัง

โครงการ An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC)

รายละเอียดต่อไปนี้

- 1) เพื่อพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดตำแหน่งของผู้ใช้งาน การรายงาน และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงในการดำเนินชีวิตประจำวัน
- 2) เพื่อสร้างระบบติดตาม ดูแล และเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุ ที่สามารถสื่อสาร จัดการ และประมวลผลกระแสข้อมูลภายใต้สภาวะปกติและเมื่อเกิดความเสี่ยงขึ้นได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ
- 3) เพื่อพัฒนาปรับปรุงสมรรถนะของกระบวนการประมวลผลข้อมูลของระบบที่มีการใช้งานในปัจจุบัน โดยการเพิ่มศักยภาพด้านการประมวลผลกระแสข้อมูลขนาดใหญ่จากหลายแหล่งร่วมกัน ให้สอดคล้องกับกรอบเวลาที่กำหนด เพื่อขยายขีดความสามารถด้านการบ่งชี้และคาดการณ์ถึงปัญหาและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต
- 4) เพื่อพัฒนาระบบการเข้าถึงและถ่ายโอนข้อมูลสัญญาณชีพและค่าบ่งชี้สุขภาพ ระหว่างผู้สูงอายุ (หรือผู้ป่วย) และผู้ดูแล (เช่น แพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญทางสาธารณสุข) ได้อย่างมีความเป็นส่วนตัว (Privacy) และมั่นคง (Security)
- 5) เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีในการเพิ่มความสามารถของระบบในการแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติหรือความเสี่ยงด้านสุขภาพของผู้ใช้ ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดได้อย่างแม่นยำและทันกาล โดยใช้พลังงานและทรัพยากรในด้านการสื่อสารและประมวลผลข้อมูลของชุดอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อยืดอายุการใช้งานของเครือข่าย
- 6) เพื่อทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น โดยการจำลองสถานการณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ รวมถึงวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา และโดยการติดตั้ง ใช้งาน รวมถึงทดสอบกับผู้ใช้งานจริง และนำผลที่ได้ไปปรับปรุงตลอดจนพัฒนาต่อยอดในอนาคต
- 7) เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อผู้ใช้ หน่วยงานสนับสนุน ผู้ประกอบการ หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ ส่งผลให้เกิดความรู้ความเข้าใจในปัญหา ความต้องการของระบบ และได้ผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรมตลอดการดำเนินโครงการ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ได้จริง

1.3 เป้าหมาย

พัฒนาระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร โดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่ตรวจวัดตำแหน่งด้วยเทคโนโลยีอัลตรา ไวด์ แบนด์ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย การคอมพิวเตอร์ทุกแห่ง เทคโนโลยีการประมวลผลกระแสข้อมูล และโครงข่ายประสาทเทียม ที่สามารถตรวจวัด คาดการณ์ความเสี่ยงทางสุขภาพโดยเน้นเฉพาะผู้สูงอายุที่มีปัญหาด้านกล้ามเนื้ออ่อนแรง ซึ่งมีผลกระทบต่อความปลอดภัยต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน และสามารถแจ้งเตือนได้แบบทันที ส่งผลกระทบต่อคนสามกลุ่มได้แก่ การดูแลติดตามกิจกรรม การเฝ้าระวังภาวะความเสี่ยงด้านกล้ามเนื้ออ่อนแรงของกลุ่มผู้สูงอายุ การอำนวยความสะดวกหรือลดภาระของคนในครอบครัว หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับผู้สูงวัยในการดูแลผู้สูงอายุ รวมถึงการส่งต่อข้อมูลให้กับแพทย์ ผู้เชี่ยวชาญ หรือบุคลากรด้านการสาธารณสุขในการวินิจฉัยอาการ และให้คำแนะนำในการบรรเทาอาการหรือช่วยชีวิต ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) ต้นแบบของระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ที่รองรับการสื่อสาร

จัดการ และประมวลผลกระแสข้อมูลภายใต้สภาวะปกติและสภาวะวิกฤตได้อย่างถูกต้อง มีความเชื่อถือได้ (Reliability) มีประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพ และความปลอดภัย โดยติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์รับและประมวลผล ซึ่งรับข้อมูลจากชุดอุปกรณ์ที่คอยตรวจวัดตำแหน่งของผู้สูงอายุหรือผู้ป่วย

- 2) ขั้นตอนวิธีในการเข้าถึงและถ่ายโอนข้อมูลที่ตรวจวัดได้ ระหว่างผู้สูงอายุ (หรือผู้ป่วย) และผู้ดูแล (เช่น ญาติ แพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญทางสาธารณสุข) ได้อย่างมีความเป็นส่วนตัว (Privacy) และมั่นคง (Security) เพื่อป้องกันการลักลอบขโมยหรือดักฟังข้อมูลที่เป็นความลับ
- 3) ขั้นตอนวิธีที่เพิ่มความสามารถของต้นแบบในการแจ้งเตือนทั้งต่อผู้ใช้ และ/หรือ ผู้ที่เกี่ยวข้องเมื่อเกิดความผิดปกติหรือความเสี่ยงด้านการใช้ชีวิตประจำวันที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคต โดยขยายขีดความสามารถในการประมวลผลกระแสข้อมูลภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดได้อย่างแม่นยำและทันกาล รวมถึงการปรับปรุงหรือลดระดับการเตือนตามการประมวลผลของข้อมูลที่ตรวจวัดได้ตามเวลาผ่านการใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้พลังงานและทรัพยากรในด้านการสื่อสารและประมวลผลข้อมูลของชุดอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อยืดอายุการใช้งานของระบบ
- 4) ผลการทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น โดยการจำลองสถานการณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงผลจากการทดสอบที่ได้จากการติดตั้ง ใช้งาน และทดสอบกับผู้ใช้งานจริง เพื่อประโยชน์ในการนำผลที่ได้ไปปรับปรุงและพัฒนาต่อ ยอดระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยในอาคารสำหรับประชาชนโดยทั่วไปในอนาคต
- 5) ความมีส่วนร่วมของผู้ใช้ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ประกอบการ หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบของระบบสนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกันสำหรับผู้สูงอายุตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ ส่งผลให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในปัญหา ความต้องการของระบบ และได้ผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรมตลอดการดำเนินโครงการ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

1.4 ผลผลิตสำคัญ

ตารางที่ 1 แสดงผลผลิต ตัวชี้วัด และค่าเป้าหมาย

ผลผลิต	ตัวชี้วัด	เป้าหมาย
1. ต้นแบบของระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร	1.1 ระบบติดตามตำแหน่งผู้สูงอายุภายในอาคารผ่านทางอุปกรณ์ที่สามารถสวมใส่ได้	1.1 จัดหาชุดอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งผู้สูงอายุภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีอัลตรา ไวด์ แบนด์ เสร็จภายใน 2 เดือนหลังจากเริ่มโครงการ 1.2 พัฒนาต้นแบบของระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัย

ผลผลิต	ตัวชี้วัด	เป้าหมาย
2. ระบบการสื่อสารข้อมูลสำหรับ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	2.1 ชุดโพรโทคอลสื่อสารข้อมูลไร้สาย แบบเชื่อถือได้และประหยัดพลังงาน (Energy Aware Reliable Protocol)	ของผู้สูงอายุภายในอาคารเสร็จ ภายใน 8 เดือนหลังจากเริ่มโครงการ 2.1 ปรับปรุงโพรโทคอลสื่อสารข้อมูล เพื่อสนับสนุนการทำงานของระบบ แล้วเสร็จภายใน 4 เดือนหลังจากเริ่ม โครงการ
3. ระบบจัดการและประมวลผล กระแสข้อมูลขนาดใหญ่จาก หลายแหล่งร่วมกัน	3.1 กระบวนการวิธีในการจัดการและ ประมวลผลกระแสข้อมูลขนาดใหญ่ จากหลายแหล่งรวมกันที่สามารถปรับ ให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล	3.1 ปรับปรุงกระบวนการจัดการ และประมวลผลกระแสข้อมูลขนาด ใหญ่จากหลายแหล่งรวมกันแล้วเสร็จ ภายใน 4 เดือนหลังจากเริ่มโครงการ
4. ขั้นตอนวิธีการเข้าถึงและถ่าย โอนตัวอย่างข้อมูลตำแหน่ง รูปแบบพฤติกรรมและรูปแบบ การเคลื่อนไหว ระหว่างผู้สูงอายุ (หรือผู้ป่วย) และผู้ดูแล	4.1 ขั้นตอนวิธีการเข้าถึงและถ่ายโอน ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่ง รูปแบบ พฤติกรรมและรูปแบบการเคลื่อนไหว ระหว่างผู้สูงอายุ (หรือผู้ป่วย) และ ผู้ดูแล (เช่น แพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญ ทางสาธารณสุข) ได้อย่างมีความเป็น ส่วนตัว (Privacy) และมั่นคง (Security)	4.1 พัฒนาขั้นตอนวิธีการเข้าถึงและ ถ่ายโอนตัวอย่างข้อมูลตำแหน่ง รูปแบบพฤติกรรมและรูปแบบการ เคลื่อนไหวแล้วเสร็จภายใน 6 เดือน หลังจากเริ่มโครงการ
5. กระบวนการแจ้งเตือนเมื่อเกิด ความผิดปกติหรือความเสี่ยงของ	5.1 ขั้นตอนวิธีในการแจ้งเตือนเมื่อเกิด ความผิดปกติหรือความเสี่ยงทางสุข ภาวะด้านกล้ามเนื้ออ่อนแรงของผู้ใช้	5.1 พัฒนาขั้นตอนวิธีในการแจ้ง เตือนเมื่อเกิดความผิดปกติหรือความ เสี่ยงทางสุขภาพด้านกล้ามเนื้ออ่อน

ผลผลิต	ตัวชี้วัด	เป้าหมาย
การเกิดอาการที่เป็นผลมาจากปัญหากล้ามเนื้ออ่อนแรงของผู้ใช้	ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดได้อย่างแม่นยำและทันกาล	แรงของผู้ใช้แล้วเสร็จภายใน 8 เดือนหลังจากเริ่มโครงการ
6. การรายงานผลการทดสอบการทำงานของระบบทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและทดสอบในสภาวะแวดล้อมจริง	6.1 รายงานผลการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ 6.2 รายงานผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยอื่น โดยทดสอบกับสภาวะแวดล้อมจริง 6.3 รายงานผลการทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของระบบ	6.1 มีรายงานผลการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการภายใน 12 เดือนหลังจากเริ่มโครงการ 6.2 มีรายงานผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยอื่น โดยทดสอบกับสภาวะแวดล้อมจริงภายใน 12 เดือนหลังจากเริ่มโครงการ 6.3 มีรายงานผลการทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของระบบภายใน 12 เดือนหลังจากเริ่มโครงการ

1.5 แผนปฏิบัติการโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ และสถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาด้านสุขภาพของผู้สูงอายุ ตลอดจนระบบการดูแลผู้สูงอายุภายในอาคารที่ใช้งานอยู่ภายในประเทศ ณ ปัจจุบัน โดยได้รับความร่วมมือจากคณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล ซึ่งมีความร่วมมือกับทีมวิจัยของโครงการนี้ ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้จริงกับผู้สูงอายุ ขนาดที่เหมาะสม รวมทั้งอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เพื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาออกแบบระบบสนับสนุนเวชศาสตร์การป้องกันผู้สูงอายุที่มีคุณสมบัติ ดังนี้
 - ก. ตอบสนองต่อการช่วยเหลือดูแลสุขภาพหลักที่พบในผู้สูงอายุ เช่น ภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรง ภาวะการเคลื่อนไหวไม่ได้
 - ข. ตัวระบบ ตลอดจนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในระบบสามารถนำไปใช้งานได้จริงโดยไม่รบกวนการดำเนินชีวิตตามปกติของผู้สูงอายุ
 - ค. สามารถตรวจสอบอาการของสภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรงได้อย่างรวดเร็วตั้งแต่ในระยะเริ่มแรกของอาการโดยวิเคราะห์จากรูปแบบพฤติกรรม ตลอดจนรูปแบบการเคลื่อนไหวเฉพาะบุคคลที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าโดยแพทย์ผู้ประจำตัวผู้สูงอายุ
 - ง. สามารถตรวจสอบอาการที่เป็นผลมาจากสภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรงได้
 - จ. สามารถรองรับการขยายตัวของผู้ใช้งานระบบได้
 - ฉ. สนับสนุนการดูแลผู้สูงอายุในระยะยาว (Long-Term Care)
 - ช. สามารถเก็บข้อมูลตำแหน่ง และรูปแบบการเคลื่อนไหวไว้ในอุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูลของผู้สูงอายุ เช่น แท็บเล็ตพีซี สมาร์ทโฟน
 - ซ. สามารถโอนถ่ายข้อมูลตำแหน่ง และรูปแบบการเคลื่อนไหวจากอุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูลของผู้สูงอายุไปยังอุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูลของแพทย์ผู้ดูแลเพื่อช่วยในการวิเคราะห์สภาวะของผู้ป่วยได้ โดยมีกลไกป้องกันรักษาข้อมูลส่วนตัวและข้อมูลสุขภาพของผู้สูงอายุ
- 2) สั่งซื้ออุปกรณ์สำหรับตรวจจับตำแหน่ง และค่าความเร่งแบบ 3 แกนสำหรับใช้ภายในอาคาร อุปกรณ์จะถูกสวมใส่บนร่างกายมนุษย์ เพื่อทำงานร่วมกับชุด Anchor Tag ที่ถูกติดตั้งไว้ตามจุดต่าง ๆ ในอาคารที่พักอาศัยของผู้สูงอายุ เพื่อใช้ตรวจจับตำแหน่งภายในอาคาร ตลอดจนความเร่ง จากนั้นจะทำการส่งสัญญาณแบบไร้สายไปยังอุปกรณ์เคลื่อนที่ของผู้สูงอายุเพื่อเก็บข้อมูลและแสดงผล ดำเนินการขออนุมัติจาก กสทช. ให้ใช้/ทดลองคลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยี Ultra Wide band ในช่วง ๓ GHz – ๗ GHz เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

คุณสมบัติโดยสรุปของอุปกรณ์ต้นแบบ มีดังนี้

- ก. สามารถตรวจจับตำแหน่งของผู้สูงอายุภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีอัลตรา ไวด์ แบนด์ (Ultra wide band) มีความละเอียดสูง สามารถระบุตำแหน่งได้ละเอียดในระดับเซนติเมตรซึ่งไม่สามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยี GPS

- ข. สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยใช้ตัววัดความเร่ง (Accelerometer) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ตรวจสอบ ภาวะหกล้ม ภาวะการเคลื่อนไหวไม่ได้ ภาวะสมองเสื่อม
 - ค. อุปกรณ์แต่ละตัวสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ในการส่งข้อมูลได้ โดยรับคำสั่งการปรับเปลี่ยนความถี่จากระบบควบคุมซึ่งติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูลของผู้สูงอายุ
- 3) ปรับปรุงโพรโทคอลสื่อสารเพื่อสนับสนุนการรับส่งข้อมูลตามความต้องการของระบบ มีความน่าเชื่อถือในการสื่อสาร เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูลที่ถูกส่งผ่านโพรโทคอล ตัวโพรโทคอลต้องรองรับกลไกในการส่งข้อมูลซ้ำ (Retransmission)
- เนื่องจากระบบที่พัฒนามีจุดประสงค์หลักคือการดูแลผู้สูงอายุเป็นระยะเวลายาวนาน อันส่งผลให้เซ็นเซอร์มีคาบเวลาการทำงานยาวนานตามไปด้วย ดังนั้นการประหยัดพลังงานเพื่อให้เซ็นเซอร์และระบบสามารถทำงานร่วมกันยาวนานโดยราบรื่นจึงมีความสำคัญ โพรโทคอลซึ่งพัฒนาขึ้นจึงมีกลไกในการพิจารณาเปรียบเทียบจากค่าขีดแบ่ง (Threshold) และค่าที่วัดได้ในการบ่งชี้ถึงอาการหรือเหตุการณ์ โดยการปรับความถี่ในการตรวจวัดสัญญาณชีพของเซ็นเซอร์อย่างเหมาะสม เพื่อการประหยัดพลังงาน
- 4) ปรับปรุงกระบวนการจัดการและประมวลผลกระแสข้อมูลขนาดใหญ่จากหลายแหล่งร่วมกัน เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องเกณฑ์ผิดปกติของตำแหน่ง รูปแบบพฤติกรรมและรูปแบบการเคลื่อนไหวของแต่ละบุคคลนั้นแตกต่างกัน การนำเกณฑ์ผิดปกติมาตรฐานมาใช้วัดสภาวะวิกฤติทางด้านสุขภาพของแต่ละบุคคลจึงอาจมีความคลาดเคลื่อน โครงการนี้จึงมุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาวิเคราะห์ค่าสัญญาณชีพและค่าบ่งชี้สภาวะที่บันทึกไว้เพื่อนำผลที่ได้มาปรับเกณฑ์การวัดรูปแบบพฤติกรรมและรูปแบบการเคลื่อนไหวให้เหมาะสมกับตัวบุคคล รวมถึงการคาดการณ์ถึงปัญหาสภาวะและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ตลอดจนการตรวจจับภาวะหกล้ม และกล้ามเนื้ออ่อนแรง โดยใช้เทคนิคการประมวลผลกระแสข้อมูล ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตรา ไวด์ แบนด์ (Ultra wide band) ทั้งนี้จะได้คาดการณ์การเกิดอาการของกลุ่มโรคที่สามารถบ่งชี้ได้จากข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์เท่านั้น
- 5) พัฒนาขั้นตอนวิธีการเข้าถึงและถ่ายโอนตัวอย่างข้อมูลตำแหน่ง รูปแบบพฤติกรรมและรูปแบบการเคลื่อนไหว ระหว่างผู้สูงอายุ (หรือผู้ป่วย) และผู้ดูแล (เช่น แพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญทางสาธารณสุข) ได้อย่างมีความเป็นส่วนตัว(Privacy) และมั่นคง (Security)
- 6) พัฒนาขั้นตอนวิธีในการแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติหรือความเสี่ยงด้านสุขภาพของผู้ใช้ ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดได้อย่างแม่นยำและทันกาล ผ่านเทคโนโลยีบริการสารสั้น (SMS) หรือการส่งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Mail)
- 7) ทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบร่วมกับอุปกรณ์สำหรับตรวจจับตำแหน่ง รูปแบบพฤติกรรม และรูปแบบการเคลื่อนไหว ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการสร้างเครือข่ายจำลองเพื่อทดสอบความถูกต้องของการตรวจวัด และการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์
- 8) ติดตั้ง ใช้งาน และทดสอบกับผู้ใช้งานจริง โดยมีกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ กลุ่มผู้สูงอายุ และผู้ป่วยที่มีอาการหรือมีความเสี่ยงที่จะเป็น ภาวะสมองเสื่อม และภาวะการเคลื่อนไหวไม่ได้ โดยมีความร่วมมือกับคณะเวชศาสตร์

ป้องกัน ศิริราชพยาบาล โดยมีการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ ทั้งผู้สูงอายุและผู้ดูแล

- 9) แลกเปลี่ยนเรียนรู้กับคณะที่ปรึกษา หน่วยงานสนับสนุน และกลุ่มผู้ใช้งาน อย่างสม่ำเสมอตลอดการดำเนินโครงการ รวมถึงการถ่ายทอดเทคโนโลยีและให้ข้อเสนอแนะต่อผู้ใช้ ผู้ประกอบการ หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ในช่วงท้ายของโครงการ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการเข้าถึงและใช้เทคโนโลยีมากขึ้น และเกิดการขยายผลในเชิงพาณิชย์หรืออุตสาหกรรม

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย แสดงดังตารางที่ 2

กิจกรรม / กระบวนการดำเนินงาน	เดือน																					
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	
	62	62	62	62	62	62	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	64	
1. เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาด้านสุขภาพของผู้สูงอายุ ตลอดจนระบบการดูแลผู้สูงอายุ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	▨																					
2. สั่งซื้ออุปกรณ์สำหรับตรวจจับตำแหน่ง และความเร่งแบบ 3 แกน ดำเนินการขออนุมัติจาก กสทช. ให้ใช้/ทดลองคลื่นความถี่สำหรับเทคโนโลยี Ultra Wide band ในช่วง ๓ GHz – ๗ GHz เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	▨																					
3. ปรับปรุงโพรโทคอลสื่อสารเพื่อสนับสนุนการรับส่งข้อมูลตามความต้องการของระบบ			▨																			
4. ปรับปรุงกระบวนการจัดการและประมวลผลกระแสข้อมูลขนาดใหญ่จากหลายแหล่งร่วมกัน					▨																	
5. พัฒนาระบบขั้นตอนวิธีการเข้าถึงและถ่ายโอนตัวอย่างข้อมูลตำแหน่ง รูปแบบพฤติกรรม และรูปแบบการเคลื่อนไหว							▨															
6. พัฒนาระบบขั้นตอนวิธีการแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติหรือความเสี่ยงด้านสุขภาพของผู้ใช้									▨													
7. ทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบร่วมกับอุปกรณ์สำหรับตรวจจับตำแหน่ง รูปแบบพฤติกรรม และรูปแบบการเคลื่อนไหว (ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ)																		▨				
8. ติดตั้งใช้งาน และทดสอบกับผู้ใช้งานจริง																					▨	

ตารางที่ 2 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

(โครงการเกิดความล่าช้าในการดำเนินงานขั้นตอนที่ 7 เนื่องจากการแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 ทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบได้ตามกำหนดการเดิม)

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา วิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Sensor networks) และการคอมพิวเตอร์ทุกแห่งหน (Ubiquitous/Pervasive Computing) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการขยายขีดความสามารถของการให้บริการระบบสุขภาพ ทั้งในส่วน บทบาทการขยายขอบเขตการบริการลงสู่ชุมชน ปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจวินิจฉัยโรค เพิ่มความใกล้ชิดในการ ติดตามผู้ป่วยทั้งก่อนและหลังการรักษา รวมไปถึงการเฝ้าระวังโรคติดต่อและโรคเรื้อรัง อีกทั้งจากข้อมูลสถิติและ แนวโน้มการเพิ่มสูงขึ้นของจำนวนประชากรผู้สูงอายุในทศวรรษหน้า ส่งผลให้มีโครงการวิจัยจำนวนมากทำการศึกษา และวิจัยในหลากหลายมิติ เพื่อสนับสนุนการบริการสุขภาพอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับผู้สูงอายุ (การดูแลผู้สูงอายุใน ระยะเวลา) อันจะนำไปสู่การเตรียมความพร้อมเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุต่อไป (Sukkum and Kespichayawattana, 2008)

คณะกรรมการเวชศาสตร์ป้องกันของประเทศสหรัฐอเมริกา (American board of Preventive Medicine - ABPM) (ABPM, 2014) ให้คำนิยามของ “เวชศาสตร์ป้องกัน” (Preventive Medicine) ว่าเป็นศาสตร์ที่ให้ความสนใจเกี่ยวกับสุขภาพของบุคคลหรือประชาชน โดยมีจุดประสงค์ในการป้องกัน ส่งเสริม และดูแลรักษาสุขภาพ รวมทั้งความสมบูรณ์ของร่างกาย เพื่อป้องกันการเกิดโรค การพิการ และการตายก่อนกำหนด (Premature death) โดยในบริบทของงานวิจัยนี้ อ้างอิงกับนิยามของเวชศาสตร์ป้องกันข้างต้น ระบบสนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกัน (Preventive Medicine Support Systems) คือ ระบบคอมพิวเตอร์ที่ประยุกต์ใช้วิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยมีจุดประสงค์หลักในการสนับสนุนการป้องกันและการส่งเสริมสุขภาพ ดูแลรักษาความสมบูรณ์ของร่างกาย รวมทั้งเฝ้าระวังความปลอดภัย เพื่อป้องกันการเกิดโรค ความพิการ และการตายก่อนกำหนด ของผู้ป่วย ผู้สูงอายุ หรือประชาชนทั่วไป ทั้งนี้จากข้อมูลที่สามารถสรุปได้ตามรายงานการ วิจัยของชยามาลและคณะ (Shyamal et. al, 2012) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบต้นแบบสำหรับ สนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกัน สามารถจำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบที่มี จุดประสงค์เพื่อตรวจสอบสุขภาพและความสมบูรณ์ของร่างกาย (Health and wellness monitoring) และระบบ สนับสนุนการเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้ป่วยและผู้สูงอายุ (Safety monitoring) ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการ ทบทวนวรรณกรรมและการวิเคราะห์วิจารณ์งานวิจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวมุ่งเน้นการนำความรู้ด้าน วิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มาประยุกต์ใช้สำหรับการพัฒนาระบบสนับสนุนเวช ศาสตร์ป้องกัน

2.1.1 ระบบเฝ้าระวังภาวะการเดินหลงในผู้สูงอายุ

อ้างอิงจากรายงานการศึกษาของ วองและคณะ (Vuong et. al, 2014) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุโรคสมองเสื่อมที่อยู่ในภาวะการเดินหลง สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ บนพื้นฐานของพฤติกรรมกรรมการเดินหลงของผู้ป่วย ได้แก่ 1) การเฝ้าระวังพฤติกรรมกรรมการเดินอย่างไร้จุดหมาย หรือเคลื่อนที่อย่างสับสนซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดอันตราย (Spatial disorientation) 2) การเฝ้าระวังพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่เข้าไปเข้ามาในบริเวณเดียวกันและการกระทำนอกเหนือจากกิจวัตรประจำวัน โดยพิจารณาจากเงื่อนไขเวลาที่ใช้ในแต่ละสถานที่ของผู้สูงอายุ (Repetitiveness and temporal distribution) 3) การเฝ้าระวังพฤติกรรมกรรมการเดินหรือการเคลื่อนที่ออกนอกขอบเขตหรือพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต (Eloping behavior) จากการทบทวนวรรณกรรม มีหลายโครงการวิจัยได้นำเสนอระบบซึ่งสนับสนุนการเฝ้าระวังและตรวจจับภาวะการเดินหลงในผู้สูงอายุ รายละเอียดของแต่ละโครงการมีดังต่อไปนี้

เพื่อเฝ้าระวังสุขภาพและความปลอดภัยของผู้สูงอายุโรคสมองเสื่อม รวมทั้งลดความกังวลให้กับผู้ทำหน้าที่ดูแลผู้สูงอายุ วองและคณะ (Vuong et. al, 2013) นำเสนอระบบเฝ้าระวังสุขภาพเน้นการตรวจจับภาวะการเดินหลงแบบทันที (Real-time wandering detection) ในงานวิจัยนี้ อัลกอริทึมสำหรับตรวจจับและจำแนกประเภทของรูปแบบการเดินหลงถูกพัฒนาขึ้น (Vuong et. al, 2011) โดยอัลกอริทึมถูกออกแบบอยู่บนพื้นฐานของการรู้จำรูปแบบและความสัมพันธ์ทางพื้นที่ (Spatial topology) ของการเดินหลงซึ่งคิดค้นโดยมาร์ติโน ซาลส์แมน (Martino-Saltzman et. al, 1991) รูปแบบการเดินหลงจะแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบหลักๆ ได้แก่ รูปแบบการเดินแบบตรง (Direct) การเดินแบบสุ่ม (Random) การเดินเข้าไปและกลับ (Pacing) และการเดินเป็นวงรอบ (Lapping) ข้อมูลตำแหน่งและข้อมูลเวลาขณะที่ผู้สูงอายุเคลื่อนที่ถือเป็นข้อมูลหลักที่อัลกอริทึมนำมาใช้ในการประมวลผล อัลกอริทึมดังกล่าวถูกรวมเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมประยุกต์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อตรวจจับภาวะการเดินหลงแบบทันที โดยเน้นการตรวจจับภายในอาคารเป็นหลัก จากผลการทดสอบซึ่งประยุกต์ใช้เทคนิคการนำทางภายในอาคารด้วยสัญญาณไวไฟ (Wi-Fi) ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับภาวะการเดินหลงได้ ด้วยอัตราความถูกต้องประมาณร้อยละ 61 สำหรับรูปแบบการเดินแบบสุ่มและร้อยละ 100 สำหรับรูปแบบการเดินประเภทอื่นๆ งานวิจัยพัฒนาโดยลินและคณะ (Lin et. al, 2012a) ถือเป็นอีกงานวิจัยที่ศึกษาการตรวจจับภาวะการเดินหลงในผู้สูงอายุโรคสมองเสื่อม งานวิจัยนี้พัฒนากระบวนการตรวจจับภาวะการเดินหลง (Wandering detection method) บนพื้นฐานของรูปแบบและความสัมพันธ์ทางพื้นที่ของมาร์ติโน ซาลส์แมน (Martino-Saltzman et. al, 1991) เช่นเดียวกัน สิ่งที่แตกต่างกันจากงานวิจัยก่อนหน้านี้คือ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการตรวจจับภายนอกอาคารเป็นหลัก กระบวนการที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนการคัดกรองสัญญาณที่รับจากระบบจีพีเอส 2) ขั้นตอนการตรวจจับพฤติกรรมกรรมการเดินหลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งตรวจจับรูปแบบการเดินที่มีลักษณะเป็นวงกลม (Lapping หรือ Loop-like trace) และ 3) ขั้นตอนสุดท้ายคือ ขั้นตอนเมื่อตรวจพบภาวะการเดินหลง ระบบจะทำการแจ้งเตือนผู้สูงอายุพร้อมทั้งส่งข้อความไปยังผู้ดูแล ญาติหรือบุคคลใกล้ชิด ผลการทดสอบโดยใช้ข้อมูลรูปแบบการเดินที่เก็บจากสถานที่จริง โครงการ An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC)

สามารถการันตีความน่าเชื่อถือของกระบวนการตรวจจับภาวะการเดินหลงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยอัตราการเกิดสัญญาณเตือนที่ผิดพลาด (False alarm) อยู่ในระดับต่ำกว่าร้อยละ 5 (Lin et. al, 2012b)

โครงการวิจัยข้างต้น ซึ่งศึกษาโดย วองและคณะ (Vuong et. al, 2013) และ ลินและคณะ (Lin et. al, 2012a) สามารถจัดอยู่ในประเภทระบบที่เน้นการเฝ้าระวังพฤติกรรมกรรมการเดินอย่างไร้จุดหมาย หรือการเคลื่อนที่อย่างสับสน (Spatial disorientation) อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ คิมและคณะ (Kim et. al, 2009) นำเสนอแนวคิดการเฝ้าระวังพฤติกรรมกรรมการเดินหลงที่แตกต่างออกไป โดยในงานวิจัยนี้ มาตรการความเร่ง (Accelerometer) สามแกน ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อจำแนกกิจกรรมของผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุโรคสมองเสื่อมจากกิจกรรมที่กระทำเป็นประจำทุกวัน จากนั้นข้อมูลกิจกรรมของผู้ป่วยจะถูกวิเคราะห์ร่วมกับเงื่อนไขการกระจายของเวลาที่ผู้ป่วยใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ ในแต่ละสถานที่ภายในอาคาร ทั้งนี้เพื่อสร้างแบบจำลองรูปแบบการใช้ชีวิตประจำวันเฉพาะของแต่ละบุคคล ท้ายที่สุดแบบจำลองซึ่งอยู่ในรูปแบบพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยม (Obtuse polygon) จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์พื้นที่มาตรฐานซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างคนปกติ เพื่อระบุว่าผู้ป่วยมีพฤติกรรมกรรมการเดินหลงหรือไม่ งานวิจัยของคิมและคณะสามารถจัดอยู่ในประเภทของการเฝ้าระวังพฤติกรรมกรรมการกระทำนอกเหนือจากกิจวัตรประจำวัน ซึ่งพิจารณาพร้อมกับเงื่อนไขการกระจายของเวลา (Repetitiveness and temporal distribution) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยแนวคิดดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เวลาอย่างน้อยหนึ่งวันในการจัดเก็บข้อมูลและจำแนกกิจกรรมของผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุ ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดสำคัญที่ทำให้ไม่สามารถประยุกต์ใช้แนวคิดดังกล่าวในการตรวจจับภาวะการเดินหลงของผู้สูงอายุ แบบทันที (Real-time wandering detection) ได้

มัตสึโอกะและคณะ (Matsuoka et. al, 2011) นำเสนอระบบสนับสนุนการเฝ้าระวังความปลอดภัยสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะการเดินหลง โดยเน้นการป้องกันพฤติกรรมที่ผู้สูงอายุออกนอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต (Eloping behavior) เป็นหลัก ในงานวิจัยนี้ อุปกรณ์เซ็นเซอร์แบบไร้สาย ชื่อ วิซิม (W-SIM) ซึ่งประกอบด้วยชิปตัวควบคุมขนาดเล็ก (Microcontroller) ส่วนการส่งสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบใช้พลังงานต่ำ (Low transmitting power mobile phone unit) และไมโครโฟนขนาดเล็ก ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับตำแหน่งของผู้สูงอายุแบบทันที (Ogawa et. al, 2004) ในกรณีที่ผู้สูงอายุเคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่ที่กำหนด ซึ่งระบบถือว่าเป็นบริเวณที่มีความปลอดภัยต่ำ เซ็นเซอร์ W-SIM จะสามารถตรวจจับเหตุการณ์ได้ จากนั้น W-SIM จะส่งข้อมูลซึ่งประกอบด้วย ตำแหน่งของผู้สูงอายุและเสียงของสภาพแวดล้อมในขณะที่ผู้สูงอายุเคลื่อนที่มาจัดเก็บที่เครื่องแม่ข่าย ท้ายที่สุดระบบที่เครื่องแม่ข่ายจะส่งอีเมลล์อย่างอัตโนมัติไปยังผู้ดูแล เพื่อให้ผู้ดูแลสามารถเฝ้าระวังผู้สูงอายุจากระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จุดเด่นที่สำคัญของงานวิจัยนี้ คือ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการระบุตำแหน่งผ่านเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ แทนที่การใช้งานเทคโนโลยีจีพีเอส (GPS) ถึงแม้ว่าเทคนิคการระบุตำแหน่งผ่านเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมีความแม่นยำน้อยกว่าเทคโนโลยีจีพีเอส (GPS) แต่กระนั้นด้วยเทคนิคการระบุตำแหน่งดังกล่าว ระบบสามารถตรวจจับตำแหน่งของผู้สูงอายุ ทั้งภายในและภายนอกอาคารโดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งแบบอื่น งานวิจัยซึ่งพัฒนาโดย นิชิซากิและคณะ (Nishigaki et. al, 2013) เป็นอีกงานวิจัยที่เน้นการป้องกันพฤติกรรมที่ผู้สูงอายุออกนอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต (Eloping behavior) ในงานวิจัยนี้ แนวคิดการตรวจจับการเคลื่อนที่ของผู้สูงอายุโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image processing technique)

บนพื้นฐานของสีเรืองแสง (Fluorescent dye) ได้ถูกนำเสนอ หลักการที่สำคัญคือ การประยุกต์ใช้แสงจากหลอดไฟ Fluorescent ปกติร่วมกับแสงจากหลอดไฟแบล็คไลท์ (Black light) ซึ่งเป็นแสงอัลตราไวโอเล็ตแบบช่วงคลื่นยาว (Long wavelength) โดยแสงทั้งสองจะถูกฉายลงบนเสื้อหรือเครื่องแต่งกายของผู้สูงอายุเพื่อให้เกิดลำดับชั้นของสี (แถบแม่สีของแสงสี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และ สีน้ำเงิน) ซึ่งตาเปล่ามองไม่เห็น เมื่อผู้สูงอายุเดินผ่านบริเวณที่กำหนด ระบบจะสามารถตรวจสอบความเข้มของสี จากภาพที่รับจากกล้องวิดีโอซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนเพดานของทางเดิน เพื่อตรวจจับพฤติกรรมการออกนอกเขตพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตของผู้สูงอายุ ผลการทดสอบสามารถยืนยันความสำเร็จของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของผู้สูงอายุในงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อประยุกต์การตรวจจับซึ่งเน้นการรู้จำแถบแสงสีเขียวเป็นหลัก

2.1.2 ระบบเฝ้าระวังภาวะการหกล้มในผู้สูงอายุ

ผู้สูงอายุโดยปกติมักมีปัญหาความเสื่อมโทรมของสุขภาพที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นตามอายุที่สูงขึ้น ปัญหาเรื่องการเคลื่อนไหว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ภาวะการหกล้ม” ซึ่งเป็นสาเหตุของการบาดเจ็บที่สำคัญ อีกทั้งยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตด้วยภาวะแทรกซ้อนตามมา ถือเป็นปัญหาที่มีความสำคัญและเกิดขึ้นบ่อยครั้งในผู้สูงอายุ ดังนั้นความสามารถในการเฝ้าระวังความปลอดภัย ในกรณีการตรวจจับการเกิดภาวะหกล้มในผู้สูงอายุ จึงมีความจำเป็นต้องประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความปลอดภัย และสนับสนุนให้ผู้ดูแลสามารถช่วยเหลือผู้สูงอายุได้อย่างทันทั่วทั้งที่ จากการทบทวนวรรณกรรม มีหลายโครงการวิจัยได้นำเสนอระบบซึ่งสนับสนุนการเฝ้าระวังและตรวจจับภาวะการหกล้มในผู้สูงอายุ รายละเอียดของแต่ละโครงการมีดังต่อไปนี้

ปฎิมากร และคณะ (Jantaraprim et. al, 2012) นำเสนอระบบเฝ้าระวังภาวะการหกล้มในผู้สูงอายุไทยโดยใช้เทคนิคการหาค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดในระยะเวลาจำกัด (Short time min-max feature) ในงานวิจัยนี้ มาตรฐานความเร่งแบบ 3 แกน (Tri-axial accelerometer) ถูกประยุกต์ใช้โดยติดตั้งอยู่ที่บริเวณลำตัวของผู้สูงอายุ จากนั้นสัญญาณที่ตรวจวัดได้จะถูกแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลและส่งไปประมวลผลที่โปรแกรมแล็บวิว (LabView) บนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Jantaraprim et. al, 2009) ในกระบวนการตรวจจับภาวะการล้ม หน้าต่างเวลาขนาด 1.5 วินาที (1.5-second sliding time window) ถูกใช้ในการแบ่งข้อมูลความเร่งออกเป็น ส่วน ๆ ข้อมูลแต่ละส่วนจะถูกนำเข้ากระบวนการค้นหาค่าต่ำสุด (Smin) และค่าสูงสุด (Smax) จากนั้นค่าดังกล่าวจะถูกตรวจสอบโดย Support Vector Machines (SVM) เพื่อตรวจจับภาวะการหกล้ม จากผลการทดสอบโดยใช้ข้อมูลตัวอย่าง 420 ชุดสัญญาณระบบมีอัตราความถูกต้องในการตรวจจับภาวะการหกล้มที่เกิดขึ้นจริงร้อยละ 98.2 ซึ่งดีกว่าเทคนิคที่ตรวจสอบเฉพาะค่าสูงสุดของสัญญาณเพียงอย่างเดียว (Maximum peak feature) (Chao et. al, 2009) ไอพอล (iFall) (Sposaro and Tyson, 2009) ถือเป็นอีกหนึ่งงานวิจัยที่พัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนภาวะการหกล้มในผู้สูงอายุ ไอพอลนำเสนอแนวคิดการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่อัจฉริยะ ซึ่งผนวกมาตรวัดความเร่งแบบ 3 แกน เป็นโครงสร้างพื้นฐานในการทำงานของระบบแทนที่การใช้งานอุปกรณ์เซ็นเซอร์เฉพาะด้าน ในงานวิจัยนี้ เทคนิคการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) สูงสุดและต่ำสุดสำหรับการตรวจจับรูปแบบสัญญาณที่บ่งชี้ภาวะหกล้มได้ถูก

พัฒนาขึ้น ซึ่งเทียบเคียงได้กับเทคนิคที่นำเสนอในงานของปฏิมากร และคณะ (Jantaraprim et. al, 2012) นอกจากนั้น ไอพอลได้เพิ่มเติมเทคนิคการแก้ปัญหาการเกิดสัญญาณเตือนที่ผิดพลาด (False alarm) อันเนื่องมาจาก รูปแบบของสัญญาณที่ใกล้เคียงกันของเหตุการณ์การล้มกับกิจกรรมปกติในชีวิตประจำวัน (Activities of Daily Living – ADL) โดยเทคนิคดังกล่าวใช้ข้อมูลความแตกต่างของตำแหน่งร่างกายก่อนและหลังการล้มมาประยุกต์ ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าขีดแบ่งเพื่อช่วยในการตัดสินใจแจ้งเตือนการเกิดภาวะหกล้ม จากผลการทดสอบสามารถใช้เป็นข้อพิสูจน์ว่า เทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถลดจำนวนการเกิดสัญญาณเตือนที่ผิดพลาดได้เป็นอย่างดี และระบบมีความถูกต้องในการแจ้งเตือนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบตรวจจับการล้มที่ประยุกต์ใช้เทคนิคการรู้จำภาพ (Lee et. al, 2005; Miaou et. al, 2006) แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคการตรวจจับภาวะการล้มของไอพอลยังมีข้อจำกัดในการ แยกรูปแบบสัญญาณโดยเฉพาะอย่างยิ่งสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเดินเร็วหรือการวิ่ง ด้วยเหตุนี้ เบยและคณะ (Bai et. al, 2012) เสนอแนวความคิดการเพิ่มความสามารถในการเฝ้าระวังการล้ม โดยการจำแนกสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการเดินเร็วหรือการวิ่งออกจากสัญญาณปกติ ในงานวิจัยนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่อัจฉริยะและมาตรวัด ความเร่งแบบ 3 แกนถูกประยุกต์ใช้เช่นเดียวกับระบบไอพอล (Sposaro and Tyson, 2009) ในส่วนการจำแนก สัญญาณ ระบบจะตรวจสอบการเต้นเป็นจังหวะ (Pulsations) ของสัญญาณความเร่งที่เกิดขึ้นภายในหน้าต่างเวลา ขนาด 2 วินาที การเต้นเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องดังกล่าวถูกใช้เป็นปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้และจำแนกกิจกรรมการ เดินเร็วหรือการวิ่งออกจากกิจกรรมปกติ อีกทั้งในเวลาต่อมา เทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้ถูกพัฒนาต่อยอด โดย เพิ่มการประยุกต์ใช้ข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากระบบจีพีเอสเพื่อระบุจุดการล้มและระยะห่างระหว่างจุดการล้มกับ ตำแหน่งของผู้ดูแล (Bai et. al, 2013) ทั้งนี้เพื่อสนับสนุนการแจ้งเตือนภาวะการหกล้มได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบ ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีระดับความถูกต้องในการตรวจจับภาวะการหกล้มที่เกิดขึ้นจริงถึงร้อยละ 96

นอกเหนือจากระบบที่ศึกษาและพัฒนาในเชิงวิชาการแล้ว ระบบเฝ้าระวังสุขภาพหลายระบบได้ถูก พัฒนาขึ้นในลักษณะของนวัตกรรมเชิงพาณิชย์เพื่อตอบสนองต่อการเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุ โมบาย เฮลท์ (MobileHelp, 2014) ถือเป็นหนึ่งในระบบสำหรับเฝ้าระวังความปลอดภัยเชิงพาณิชย์ที่ได้รับความนิยมอย่าง แพร่หลาย โมบายเฮลท์นำเสนออุปกรณ์ที่อยู่ในลักษณะของนาฬิกาข้อมือในการตรวจวัดค่าบ่งชี้ทางสุขภาพของ ผู้สูงอายุ เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิของผิวหนัง รูปแบบการนอนและการเดิน ผนวกกับการใช้งานระบบจี พีเอสในการระบุตำแหน่ง อีกทั้ง โมบายเฮลท์ยังสนับสนุนการตรวจจับภาวะหกล้มอย่างอัตโนมัติ โดยข้อมูลทั้งหมด จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ตัวกลางซึ่งเป็นอุปกรณ์เฉพาะสำหรับรวบรวมข้อมูลและประมวลผล ในกรณีที่ประมวลผล ข้อมูลแล้วตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติได้ ระบบสามารถส่งข้อมูลไปยังศูนย์รับข้อมูลส่วนกลางเพื่อให้ความช่วยเหลือ ผู้สูงอายุต่อไป ระบบบรีคเฮาส์ (BrickHouse Alert, 2014) เป็นระบบเชิงพาณิชย์อีกระบบที่นำเสนอการตรวจจับ ภาวะหกล้มแบบอัตโนมัติ ระบบประยุกต์ใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ซึ่งสามารถหนีบติดกับเสื้อผ้าของผู้สูงอายุ ร่วมกับตัวรับ สัญญาณวิทยุในการตรวจจับการเปลี่ยนท่าอย่างรวดเร็วของร่างกายซึ่งนำไปสู่ภาวะหกล้มอย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้ ตัวระบบยังสนับสนุนการใช้งานปุ่มฉุกเฉิน (Panic button) โดยผู้สูงอายุสามารถกดเพื่อแจ้งไปยังทีมให้บริการความ ช่วยเหลือ ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินหรือไม่ปลอดภัย ซึ่งปุ่มฉุกเฉินนี้สามารถใช้บริการได้ตลอด 24 ชั่วโมง ระบบ ไลฟ์วอร์นนิ่ง (LifeWarning, 2014) เป็นระบบเชิงพาณิชย์ที่มีฟังก์ชันการทำงานใกล้เคียงกับระบบบรีคเฮาส์

(BrickHouse Alert, 2014) ไลฟ์วอร์นนิ่งสนับสนุนการตรวจจับภาวะหกล้มอย่างอัตโนมัติและการติดตามผู้สูงอายุ โดยใช้ระบบจีพีเอส ข้อแตกต่างจากระบบอื่นที่สำคัญคือ ไลฟ์วอร์นนิ่งมีฟังก์ชันในการเตือนความจำสำหรับการรับประทานยาของผู้สูงอายุ รวมทั้งให้บริการการสื่อสารสองทางระหว่างผู้สูงอายุที่เป็นผู้ใช้งานระบบกับพนักงานให้ความช่วยเหลือ ระบบเชิงพาณิชย์อีกระบบที่จำเป็นต้องกล่าวถึงคือ สมาร์ทฟอลลดีเทคชัน (Smart Fall Detection) (Kerdegari, 2014) ระบบถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบของโปรแกรมประยุกต์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile application) เพื่อใช้ในการตรวจจับภาวะหกล้มของผู้สูงอายุ จุดเด่นของระบบคือ การประยุกต์ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณที่ได้รับจากเซ็นเซอร์มาตรความเร่ง (Accelerometer) โดยขั้นตอนวิธีที่ประยุกต์ใช้เทคนิค ANN จะถูกฝึกให้สามารถรู้จำรูปแบบภาวะหกล้ม 1000 รูปแบบที่สามารถเกิดขึ้นได้จากการอ่านค่าสัญญาณความเร่ง จากนั้นขณะที่ทำงานจริง เมื่อระบบสามารถตรวจจับภาวะหกล้มได้ ระบบจะทำการส่งข้อความสั้น (SMS) พร้อมกับตำแหน่งที่อ่านได้จากระบบจีพีเอส ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ดูแลเพื่อให้ผู้ดูแลสามารถทำการช่วยเหลือได้อย่างทันท่วงที

2.1.3 การระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคโนโลยีอัลตรา ไวด์ แบนด์

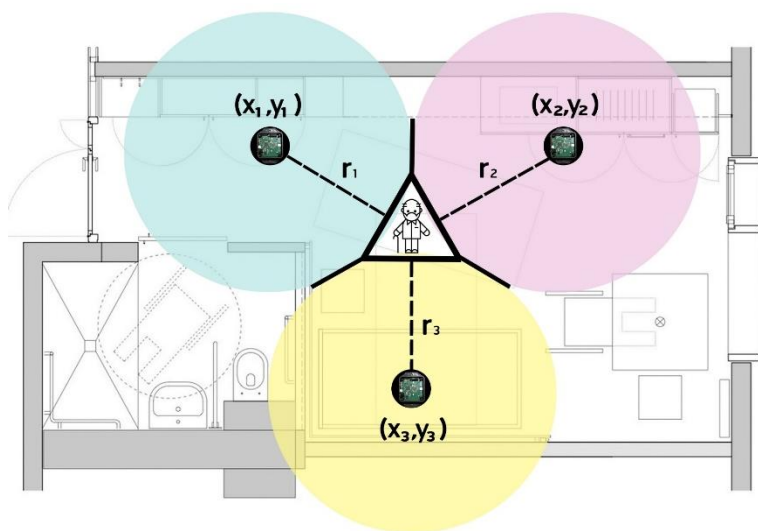
ข้อจำกัดของการระบุตำแหน่งโดยเทคโนโลยีจีพีเอสคือ สัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการระบุตำแหน่งนั้นไม่สามารถทะลุเข้ามาในอาคารได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาใช้ในงานระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยเทคโนโลยีที่นิยมใช้เป็นทางเลือกเพื่อระบุตำแหน่งในอาคารในปัจจุบัน ประกอบด้วย Bluetooth, Zigbee, RFID และ อัลตรา ไวด์ แบนด์ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเทคโนโลยีทั้งหมดแล้วพบว่าอัลตรา ไวด์ แบนด์ เป็นเทคโนโลยีที่ให้ความแม่นยำสูงกว่า (ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 – 30 เซนติเมตร) และมีระยะทำการที่ไกลกว่าเทคโนโลยีประเภทอื่น (100 เมตร) มีอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำ กล่าวคือใช้พลังงานต่ำกว่า WiFi 10 เท่า และต่ำกว่า Bluetooth 20 เท่า เมื่อใช้งานในลักษณะเดียวกัน (Shor, 2008) จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้กับโครงการระบุตำแหน่งของผู้สูงอายุในอาคาร

อัลตราไวด์แบนด์ (Ultra-Wideband - UWB) คือ เทคโนโลยีที่ว่าด้วยการสื่อสารไร้สายผ่านคลื่นวิทยุความถี่กว้าง สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ภายในระยะทางสั้นๆ บนส่วนใหญ่ของสเปกตรัมความถี่ และใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูลในระดับต่ำ ในการพัฒนาต้นแบบของระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารสำหรับการดูแลผู้สูงอายุนี้ เทคโนโลยีดังกล่าวถูกประยุกต์ใช้เป็นเทคโนโลยีพื้นฐานสำหรับการระบุตำแหน่งของผู้สูงอายุภายในอาคารแบบทันที ด้วยความแม่นยำสูง โดยมีความคลาดเคลื่อนในระดับเซนติเมตร

ในการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ (UWB) เทคนิคที่ใช้จะแตกต่างจากเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งภายในอาคารประเภทอื่น อาทิเช่น บลูทูธพลังงานต่ำ (BLE) และไวไฟ (Wi-Fi) ซึ่งใช้วิธีการคำนวณตำแหน่งและระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ตัวระบุตำแหน่งกับเซ็นเซอร์ตัวที่กำหนดตำแหน่งแน่นอน (Sensor nodes with known location) ผ่านการประเมินค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ตรวจวัดได้ โดยกรณีของ UWB ตำแหน่งและระยะห่างระหว่างโหนดของเซ็นเซอร์ จะประเมินโดยอ้างอิงกับแนวคิดการวัดเวลาในการ

เดินทาง (Time of Flight - ToF) ทั้งนี้วิธีการดังกล่าวจะวัดเวลาการเดินทางของสัญญาณวิทยุระหว่างเซ็นเซอร์ตัวระบุตำแหน่งกับเซ็นเซอร์ตัวที่กำหนดตำแหน่งแน่นอน (UWB anchors) มากกว่าหนึ่งตัวขึ้นไป และเพื่อให้สามารถคำนวณตำแหน่งภายในอาคารได้อย่างแม่นยำ จำเป็นต้องใช้ UWB Anchors ตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไปเป็นจุดอ้างอิง (Reference points)

กระบวนการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ แสดงดังภาพที่ 1 หลักการทำงานจะอยู่บนพื้นฐานของวิธีการสามเหลี่ยม (Triangulation) กล่าวคือ อุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ติดกับตัวผู้สูงอายุสำหรับระบุตำแหน่ง (UWB tag) จำเป็นต้องเชื่อมโยงสัญญาณกับเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในจุดที่ทราบตำแหน่งแน่นอนภายในอาคาร (UWB anchors) อย่างน้อย 3 ตัวขึ้นไป จากนั้นใช้การคำนวณ ToF เพื่อหาระยะห่าง (Distance) ระหว่าง UWB tag และ UWB anchor แต่ละตัว ผลลัพธ์จากการคำนวณ (หรือ Distance) จะถูกนำไปใช้ในการสร้างวงกลมของการกระจายสัญญาณวิทยุจากจุดที่ตั้ง UWB anchor โดยใช้ Distance เป็นรัศมี (r_x) ของวงกลมดังกล่าว ทั้งนี้ ตำแหน่งปัจจุบันของผู้สูงอายุ จะเกิดจากการนำเอาพื้นที่ของวงกลมสัญญาณของแต่ละ UWB anchor มาหาพื้นที่ส่วนร่วม (Intersection area) ซึ่งท้ายที่สุดพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมซึ่งเป็นส่วนร่วมของวงกลมสัญญาณที่ตัดกัน จะถูกนำมาหาจุดกึ่งกลางเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิง (Reference point) สำหรับระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้สูงอายุ



ภาพที่ 1 แผนภาพกระบวนการระบุตำแหน่งโดยใช้ UWB

2.1.4 อุปกรณ์ระบุตำแหน่งที่ใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

จากการสำรวจอุปกรณ์ระบุตำแหน่งที่ใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ พบว่ามีผู้ผลิต 2 รายที่พัฒนาอุปกรณ์ UWB สำหรับสวมใส่ติดตัวได้ คือ Nanjing Woxu Wireless Co.,Ltd. (<https://www.uwbleader.com>) และ Sewio Networks, s.r.o. (<https://www.sewio.net>) โดยอุปกรณ์ของผู้ผลิตทั้งสองรายรองรับมาตรฐาน UWB PHY IEEE 802.15.4a ทำงานได้ในช่วงความถี่ 3 – 7 GHz สอดคล้องกับประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง

กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคม ประเภทแถบความถี่กว้างยิ่งยวด (Ultra-wideband) ย่านความถี่ ๑.๖ - ๑๐.๖ กิกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ อุปกรณ์ยังมีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานดังภาพที่ 2 และ 3



ภาพที่ 2 Sewio Piccolino Tag

ภาพที่ 3 Nanjing Woxu Smart Watch



ตัวอุปกรณ์สามารถปรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้เพื่อประหยัดพลังงาน โดยที่อัตราการส่งข้อมูลทุก 1 วินาที อุปกรณ์สามารถทำงานได้ 1 ปีโดยไม่ต้องทำการชาร์จแบตเตอรี่

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาด้านสุขภาพของผู้สูงอายุ เปรียบเทียบกับระบบการดูแลผู้สูงอายุที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

ความก้าวหน้าของวิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ นักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และบุคลากรทางการแพทย์สามารถพัฒนาระบบตรวจสอบและบริการสุขภาพ ที่สามารถตรวจวัด สื่อสาร และประมวลผลข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งระบบดังกล่าวอำนวยความสะดวกด้านการ ตรวจสอบสุขภาพและความสมบูรณ์ของร่างกาย เผื่อระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุ และสามารถประยุกต์ใช้กับ ประชาชนโดยทั่วไปในการดูแลสุขภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับอาการของโรคเรื้อรังได้ อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมและสืบค้นเอกสารที่เกี่ยวข้อง ระบบสนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกันที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดในการออกแบบและการทำงานอยู่หลายประการ ได้แก่

1. ระบบที่พัฒนาและมีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ถูกออกแบบให้รองรับกับการทำงานเฉพาะด้าน เช่น ระบบที่พัฒนาขึ้นในโครงการมายฮาร์ท (Harris and Habetha, 2007) โครงการเวลล์ดี (Paradiso et. al, 2008) และงานวิจัยของปอและคณะ (Poh et. al, 2010; 2012) เน้นในการตรวจวินิจฉัยอาการกำเริบของโรคหัวใจ และหลอดเลือดเป็นหลัก ส่วนระบบที่ศึกษาในงานวิจัยของ วองและคณะ (Vuong et. al, 2013) และลินและคณะ (Lin et. al, 2012a; 2012b) มุ่งเป้าไปที่การเผื่อระวังและตรวจจับภาวะการเดินหลง ด้วยเหตุนี้ทำให้ระบบที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันขาดคุณลักษณะการบูรณาการ (Integration) ซึ่งครอบคลุมและสนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกันอย่างเต็มรูปแบบ นั่นคือ ผนวกการตรวจสอบสุขภาพ ความสมบูรณ์ของร่างกาย และการส่งเสริมสุขภาพ โดยการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงข้อมูลสัญญาณชีพจากเซ็นเซอร์หลากหลายประเภท ร่วมกับการเผื่อระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุ (เช่น ภาวะหกล้ม การเปลี่ยนท่าแบบฉับพลัน และภาวะการเดินหลง) ในลักษณะของการให้บริการแบบจุดเดียวเบ็ดเสร็จ One-Stop Service และถึงแม้ระบบ ไอแคร์ (iCare) (Ziyu et. al, 2010) ได้นำเสนอส่วนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบฐานข้อมูลความรู้ (Knowledge-based systems) ในการให้บริการข้อมูลสุขภาพรายบุคคลและข้อมูลคำแนะนำทางการแพทย์ แต่กระนั้นระบบ iCare ยังขาดการบูรณาการในส่วนงานของการเผื่อระวังความปลอดภัย
2. อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่ อยู่ในลักษณะของระบบต้นแบบซึ่งมีความยุ่งยากในการใช้งาน พกพาและสวมใส่ ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งานจริงและเป็นอุปสรรคต่อการกระทำกิจกรรมในชีวิตประจำวันของผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุ ตัวอย่างเช่น ในโครงการเวลล์ดี (Wealthy Project) (Paradiso et. al, 2008) เซ็นเซอร์ตรวจวัดสัญญาณชีพถูกพัฒนาโดยสามารถติดกับเสื้อผ้าของผู้ป่วยได้ แต่ขณะเดียวกัน ส่วนงานอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล (PPU) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกล่องเครื่องมือ ถูกออกแบบให้ผูกติดกับเสื้อผ้า จึงทำให้ไม่สะดวกในการพกพาและการใช้งานขณะที่ผู้ป่วยเคลื่อนไหว เช่นเดียวกับในงานวิจัยของเฟลชเชอร์และคณะ (Fletcher et. al, 2010b) ที่ประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์แบบสวมใส่ (Wearable sensors) ในลักษณะของสายรัดข้อมือ ถึงแม้ว่าอุปกรณ์จะสามารถผูกติดขณะที่ผู้ป่วยเคลื่อนที่หรือทำกิจกรรมต่างๆ แต่ด้วยขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ทำให้เกิดความยุ่งยากให้การประยุกต์ใช้งานจริง ด้วยข้อจำกัดนี้จึงเป็นแรงบันดาลใจให้งานวิจัยยุคใหม่ เริ่มคิดค้นอุปกรณ์หรือพัฒนาเซ็นเซอร์ที่สามารถใช้งานได้จริงและเป็นอุปสรรคต่อการดำเนินชีวิตของผู้ป่วยน้อยที่สุด (Unobtrusive devices) เช่น งานวิจัยของปอและคณะ (Poh et. al, 2010; 2012) ที่ใช้อุปกรณ์ Heartphones ซึ่งประยุกต์หูฟังโทรศัพท์เคลื่อนที่ร่วมกับเซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการตรวจวัด เป็นต้น

3. ระบบที่พัฒนาและมีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุเชิงพาณิชย์ จำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์เฉพาะด้านและอุปกรณ์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ระบบมีต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายโดยรวมค่อนข้างสูง ตัวอย่างที่สามารถเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจนคือ ราคาที่ผู้ใช้ต้องจ่ายในการใช้งานระบบ เช่น ระบบบริคเฮาส์ (BrickHouse Alert, 2014) ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์และเซ็นเซอร์เป็นเงินประมาณ 5,000 บาท (เป็นค่ามัดจำที่สามารถเรียกคืนภายหลัง) ในขณะที่เดียวกันต้องเสียค่าใช้จ่ายรายเดือนขั้นต่ำ ประมาณ 12,000 บาทต่อปี หรือ ระบบโมบายเฮลท์ (MobileHelp, 2014) ซึ่งผู้ใช้งานจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นเงินถึงประมาณ 17,000 บาทต่อปี เพื่อใช้บริการของระบบ จากต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายดังกล่าวจึงทำให้เป็นการยากที่จะนำระบบมาประยุกต์ใช้งานจริงในประเทศไทยที่มีต้นทุนบริการสุขภาพรายปีโดยเฉลี่ยต่อคนที่ค่อนข้างต่ำ (จากข้อมูลระบบประกันสุขภาพของไทย อัตราเหมาจ่ายรายปีของแต่ละกองทุนสุขภาพ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ กองทุนหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ 2,091 บาทต่อคน กองทุนประกันสังคม 2,562 บาทต่อคน และกองทุนสวัสดิการราชการ 14,056 บาทต่อคน (ฐานเศรษฐกิจ, 2556))
4. ระบบที่มีในปัจจุบันละเลยการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการกระแสข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data) และข้อมูลที่ต้องการการประมวลผลและแสดงผลลัพธ์แบบทันทีภายในช่วงเวลาจำกัด (Real-time responses) ดังเช่นข้อมูลสัญญาณชีพที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์ อีกทั้งเนื่องด้วยความต้องการของระบบที่จำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ตรวจวัดขนาดเล็ก รูปแบบต่างๆ ในการตรวจสอบค่าบ่งชี้สุขภาพ ประเด็นเกี่ยวกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อช่วยยืดเวลาการใช้งานของระบบและทำให้ระบบสามารถตรวจสอบและเฝ้าระวังสุขภาพของผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุในระยะยาว จึงเป็นปัญหาสำคัญซึ่งระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันยังไม่ได้นำเสนอแนวคิดในการแก้ปัญหาเหล่านี้
5. ระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันยังขาดการประยุกต์ใช้กลไกการสื่อสารข้อมูลและการเข้าถึงข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องด้วยระบบสนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกันเป็นระบบที่ซับซ้อน ให้บริการต่อผู้ใช้งานหลากหลายกลุ่ม รวมทั้งอาจให้บริการรายการข้อมูลเชิงลึกตามความเชี่ยวชาญของแพทย์เฉพาะทาง ดังนั้นความมั่นคงของระบบ (Security) จึงเป็นสิ่งสำคัญ นอกจากนี้ ความเป็นส่วนตัว (Privacy) ของข้อมูลและการใช้งานระบบของผู้ป่วยหรือผู้รับบริการก็เป็นอีกประเด็นที่ควรให้ความสำคัญอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยระบบไอแคร์ (iCare) (Ziyu et. al, 2010) ได้มีการให้บริการข้อมูลสุขภาพรายบุคคลและข้อมูลคำแนะนำทางการแพทย์ แต่กระนั้น iCare ไม่ได้กล่าวถึงความมั่นคงของระบบ รวมทั้งการปกป้องความเป็นส่วนตัวของผู้ป่วยในระบบฐานข้อมูลความรู้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่เป็นความลับ จำเป็นต้องได้รับการปกป้องและรักษาความปลอดภัยในการสื่อสารและการเข้าถึงข้อมูลเป็นพิเศษ

ด้วยข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้นสนับสนุนให้เกิดแนวคิดในการออกแบบและพัฒนา ระบบสนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกันที่มีคุณลักษณะการบูรณาการ (Integration) นั่นคือการทำงานของระบบจำเป็นต้องครอบคลุม การตรวจสอบสุขภาพ ความสมบูรณ์ของร่างกาย และการส่งเสริมสุขภาพ ร่วมกับส่วนของการเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุ เพื่อให้บริการสนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกันอย่างเต็มรูปแบบ

บทที่ 3

การติดตั้งและทดสอบชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคาร

3.1 รายละเอียดชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคาร

การเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้ในโครงการทำโดยพิจารณาถึงความสะดวกในการใช้งานและความถูกต้องของค่าที่วัดได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคาร *SEWIO Indoor Tracking RTLS UWB Wi-Fi Kit*

ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคาร *SEWIO Indoor Tracking RTLS UWB Wi-Fi Kit* (ภาพที่ 4) ประกอบด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่จะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่น Ultra Wide Band ที่ถูกส่งออกมาจาก Tag ซึ่งถูกติดอยู่กับบุคคลที่ต้องการระบุตำแหน่ง จากนั้นจะส่งต่อสัญญาณไปยังเครื่องแม่ข่ายซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลตำแหน่งของบุคคลผ่านซอฟต์แวร์ระบุตำแหน่ง



ภาพที่ 4 SEWIO Indoor Tracking RTLS UWB Wi-Fi Kit

ชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย (ภาพที่ 5)

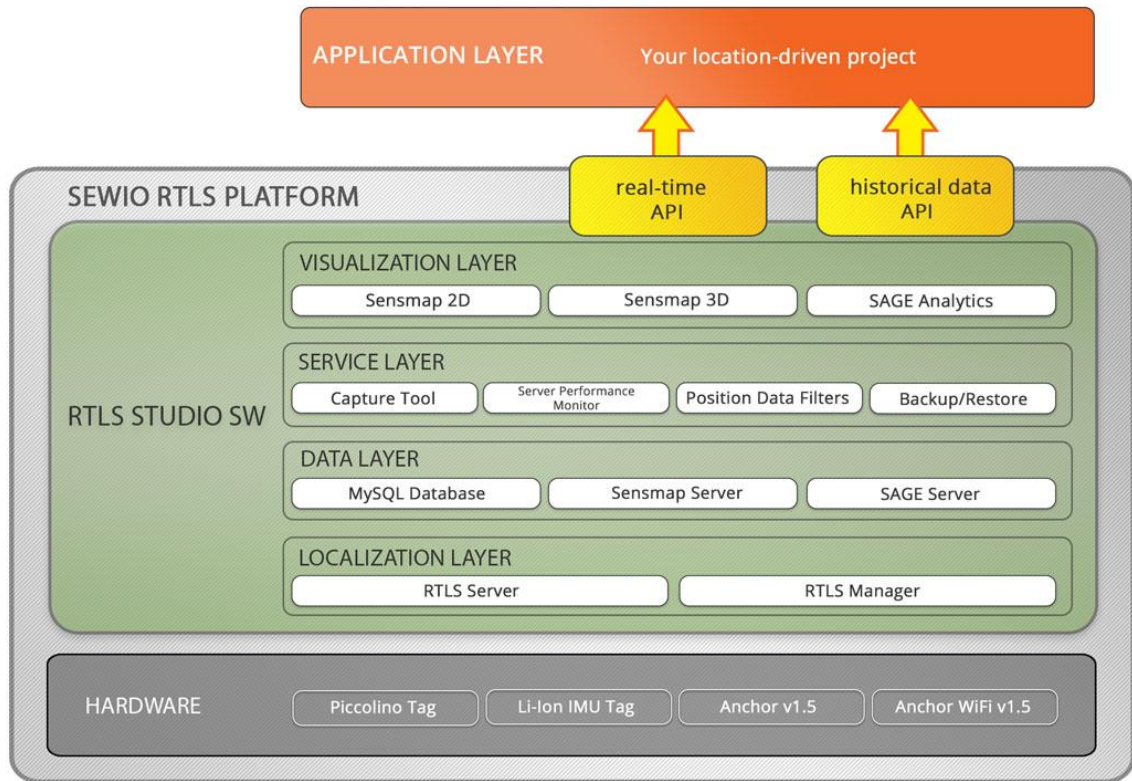
- RTLS Anchor 5 ตัว ใช้สำหรับรับสัญญาณ Ultra Wide Band ที่ถูกส่งมาจาก Piccolino Tag เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายเพื่อทำการประมวลผลหาตำแหน่งต่อไป
- Piccolino Tag IMU 2 ตัว ใช้สำหรับส่งสัญญาณ Ultra Wide Band ไปยัง RTLS Anchor (เป็น Tag หลักที่ใช้ในโครงการนี้)
- Piccolino Tag OEM 2 ตัว ใช้สำหรับส่งสัญญาณ Ultra Wide Band ไปยัง RTLS Anchor



ภาพที่ 5 อุปกรณ์ในชุด SEWIO Indoor Tracking RTLS UWB Wi-Fi Kit

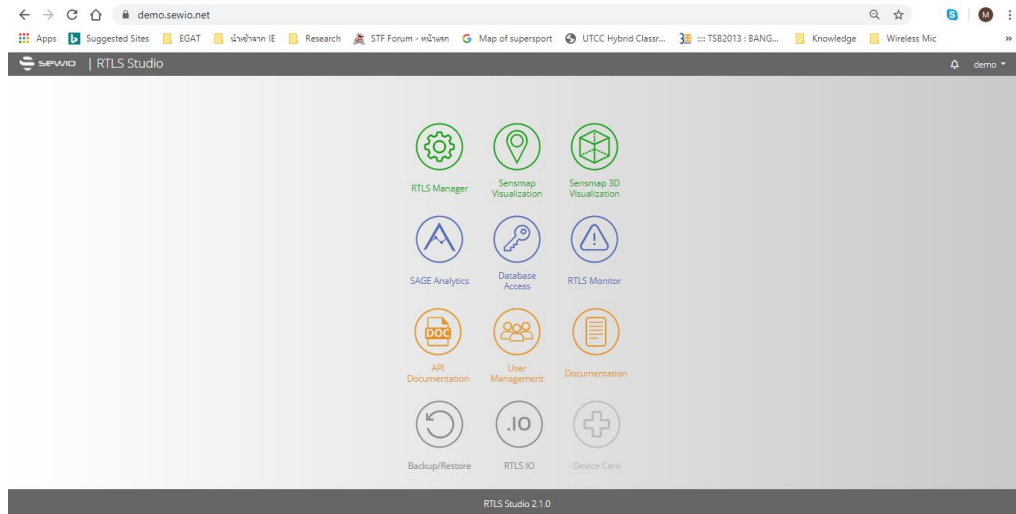
3.1.2 ซอฟต์แวร์ต้นแบบสำหรับติดตามตำแหน่งภายในอาคาร SEWIO RTLS Studio

ซอฟต์แวร์ SEWIO RTLS Studio คือ Web Application ที่ทำหน้าที่เป็นแพลตฟอร์มกลางเพื่อเชื่อมต่อการทำงานระหว่างชุดอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งภายในอาคารกับส่วนแสดงผลหลัก ตัวซอฟต์แวร์ถูกติดตั้งบนเครื่องแม่ข่ายเพื่อคอยรับข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก RTLS Anchor ผ่านเครือข่าย Wi-Fi จากนั้นนำมาประมวลผลเพื่อให้ได้ตำแหน่งภายในอาคารของ Piccolino Tag และเก็บประวัติการเคลื่อนที่ของ Piccolino Tag แต่ละตัวไว้ในฐานข้อมูล การเรียกดูตำแหน่งสามารถทำได้ผ่าน Web Application Programming Interface (Web API) นอกจากนี้ในชุดซอฟต์แวร์ยังมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อใช้ช่วยในการตั้งค่าอุปกรณ์ ตรวจจับการเคลื่อนไหว ตลอดจนส่วนแสดงผลกราฟิกสำหรับแสดงตำแหน่งปัจจุบันของ Piccolino Tag สถาปัตยกรรมของซอฟต์แวร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 สถาปัตยกรรมของ SEWIO RTLS Platform

หน้าจอส่วนติดต่อกับผู้ใช้สำหรับซอฟต์แวร์ SEWIO RTLS Platform ที่ใช้งานหลัก ๆ ในโครงการ แสดงดังภาพที่ 7 - ภาพที่ 9



ภาพที่ 7 หน้าหลักของ SEWIO RTLS Platform

demo.sewio.net/rtlsmanager

RTLS Manager Server online

IP RANGE From 192 | 168 | 223 | 10 To 192 | 168 | 223 | 254

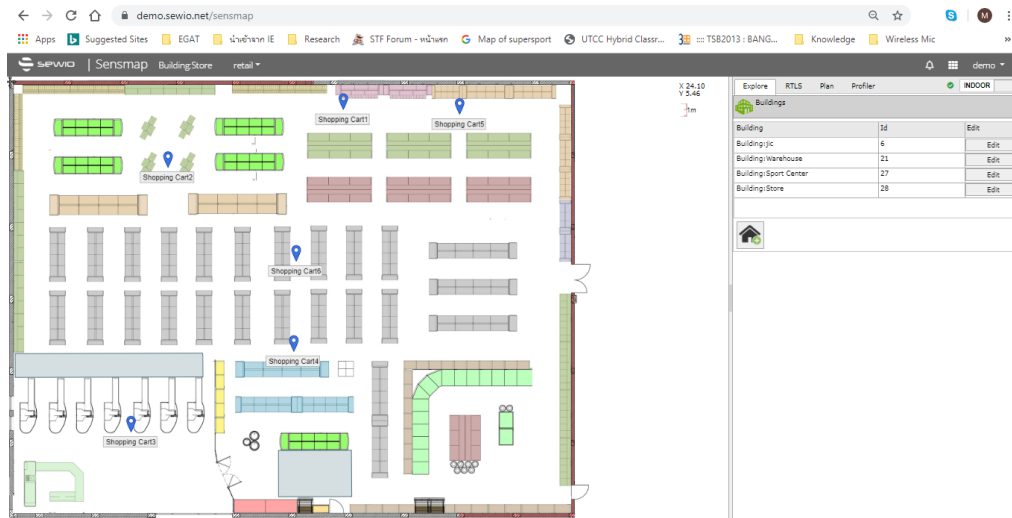
Profiles Sync Status Sync Protocol UDP Network

Last updated: 17:13:03

Anchors Summary

#	Anchor Mac	Update	Alias	Status	IP	PW	Product Name	HW	Uptime	LED	Localization	Master	Sync	Sync	Blink	Blink	Sync	Blink	Pos.
									[Ed.][rmz]		Mode		Profile	Channel	Channel	Antenna	Antenna		
*	All Anchors	UPDATE ALL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	slip	slip	slip	slip	slip	N/A	N/A	slip
1	08803961476c	UPDATE	SE12	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:31	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
2	088039621805	UPDATE	SE07	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:15	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
3	08803961f65c	UPDATE	SE14	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:32:57	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
4	088039623499	UPDATE	SE12	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:10	TURN ON	True Location	Yes	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
5	088039623ec5	UPDATE	SE04	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:31	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
6	08803961e886	UPDATE	SE08	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:22	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
7	08803962053a	UPDATE	SE05	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:04	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
8	08803962794e	UPDATE	SE06	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:14	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
9	0880396230ca	UPDATE	SE32	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:17	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
10	088039623772	UPDATE	SE38	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:18	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
11	08803962394c	UPDATE	SE42	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:15	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
12	088039623905	UPDATE	SE40	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:05	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
13	088039628a85	UPDATE	SE50	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:16	TURN ON	True Location	Yes	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
14	088039623962	UPDATE	SE27	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:13	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
15	088039620053	UPDATE	SE39	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:17	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
16	08803961e855	UPDATE	SE29	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:13	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
17	08803962313a	UPDATE	SE41	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:26	TURN ON	True Location	Yes	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
18	08803961e805	UPDATE	SE30	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:24	TURN ON	True Location	Yes	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
19	08803961f6d5	UPDATE	SE54	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:31	TURN ON	True Location	Yes	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
20	088039617924	UPDATE	SE49	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:11	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default
21	0880396255a3	UPDATE	SE55	✓	N/A	1.024	N/A	1.4	24.00:33:12	TURN ON	True Location	No	RF 4	3	RF 4	5	N/A	N/A	default

ภาพที่ 8 หน้าจอสำหรับค้นหาและตั้งค่าของอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง



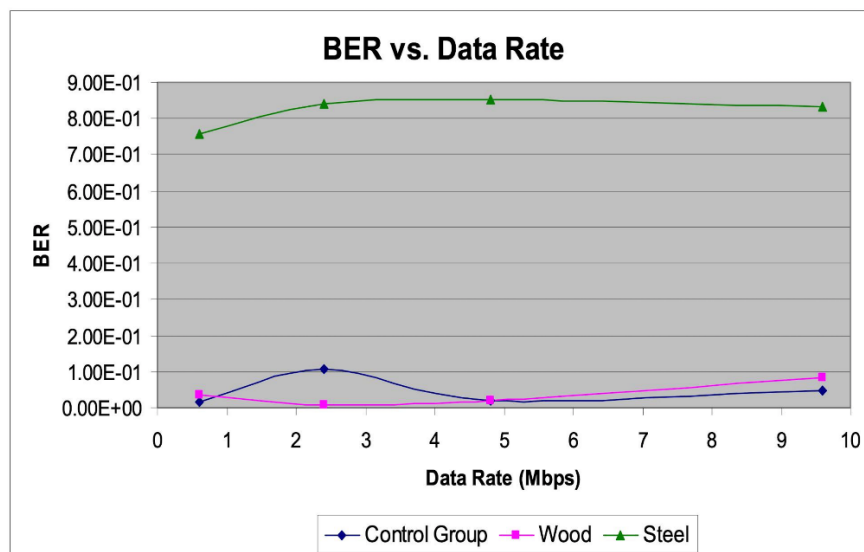
ภาพที่ 9 หน้าจอสำหรับแสดงแผนที่และติดตามตำแหน่ง

3.2 ผลของสิ่งกีดขวาง (Barrier) ต่อคุณภาพของสัญญาณ Ultra Wideband

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Ultra Wideband (UWB) สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ด้านการสื่อสารข้อมูลที่ใช้พลังงานต่ำและรองรับอัตราการสื่อสารข้อมูล (Data rate) สูง ส่งผลต่อการยืดอายุการใช้งานของแหล่งพลังงาน (Battery) และก่อให้เกิดการสื่อสารข้อมูลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้เกิดการนำ Ultra Wideband ไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เช่น การพัฒนาเครือข่ายของร่างกาย (Body area network) (Khan, 2014) และระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor positioning system) (Gigl et. al, 2007) (Zanfari and Gkelias, 2019)

อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยี UWB ใช้สัญญาณวิทยุในการสื่อสารข้อมูลและมักนำไปประยุกต์ใช้ภายในอาคาร ซึ่งคุณภาพของสัญญาณได้รับผลกระทบจากสิ่งกีดขวาง (Barrier) ที่ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุ เช่น ไม้ กระจก และ คอนกรีต ในหัวข้อนี้ จะได้กล่าวถึงผลที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของสิ่งกีดขวางต่อคุณภาพของสัญญาณ UWB จากงานวิจัยที่ผ่านมา

Heggen, Zhang and Ball, 2006 ได้ศึกษาผลกระทบของวัสดุกีดขวางซึ่งทำมาจากวัสดุ 2 ประเภท ได้แก่ ไม้ (Wood) และ เหล็ก (Steel) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control group) โดยได้นำวัสดุกีดขวางมาคลุมตัวส่งสัญญาณไว้ ซึ่งใช้อุปกรณ์ที่มีความถี่กึ่งกลางประมาณ 4.7 GHz และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 3.2 GHz แล้ววัดอัตราความผิดพลาดของบิต (Bit Error Rate – BER) พร้อมทั้งปรับค่าอัตราการส่งข้อมูล (Data rate) เพื่อศึกษาผลกระทบเพิ่มเติม ผลที่ได้แสดงไว้ใน ภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ผลของวัสดุกีดขวาง (ไม้ และเหล็ก) และอัตราการส่งข้อมูลที่มีต่ออัตราความผิดพลาดของบิต

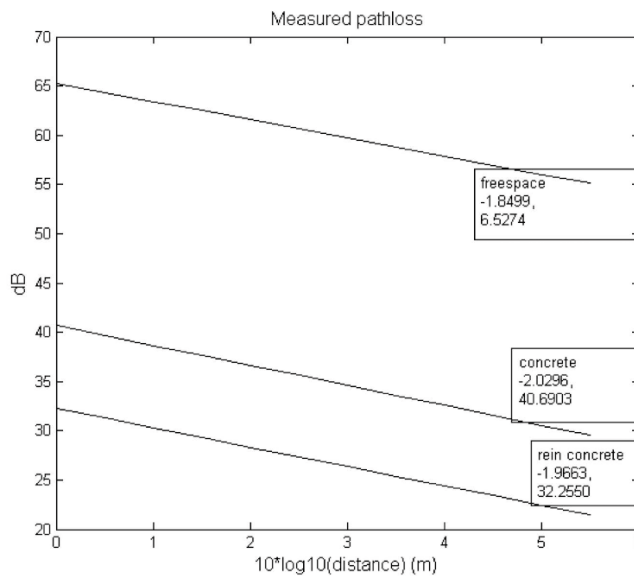
(ที่มา: Heggen, Zhang and Ball, 2006)

จากภาพที่ 10 พบว่า อัตราการส่งข้อมูลไม่มีผลต่ออัตราความผิดพลาดของบิตอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาผลของสิ่งกีดขวาง พบว่า เหล็กมีผลให้อัตราความผิดพลาดของบิตมีค่ามากกว่าค่าของชุดควบคุมโดยอยู่ในช่วง 0.75 ถึง 0.85 และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการส่งข้อมูลมีค่าระหว่าง 0.5 และ 2.5 Mbps จากนั้นอัตราความผิดพลาดของบิตจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ตรงกันข้ามกับไม้ซึ่งให้ค่าอัตราความผิดพลาดของบิตที่ใกล้เคียงกับชุดควบคุม

Lee, 2018 ได้ศึกษาปัญหาของการประมาณโครงสร้างภายในของอาคารที่พังทลาย (Collapse) โดยใช้ UWB Radio เป็นเซ็นเซอร์ เพื่อพิจารณาคุณลักษณะทางด้านวิศวกรรมและกายภาพของโครงสร้างภายใน (กำแพง) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- คุณลักษณะทางด้านวิศวกรรม - โดยการพิจารณาถึงประเภทของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการสร้างกำแพง รวมถึงความหนา และสถานที่ตั้งของกำแพง (Location)
- คุณลักษณะทางกายภาพ - โดยการพิจารณาถึงตำแหน่ง (Position) ของกำแพง

ในการทดสอบได้ใช้ชุดอุปกรณ์ที่มีความถี่กึ่งกลางประมาณ 4.7 GHz และมีความกว้างแถบความถี่เท่ากับ 3.2 GHz โดยศึกษาผลของวัสดุ ความหนา รวมถึงการนำวัสดุประเภทต่าง ๆ มาประกอบกันเพื่อสร้างกำแพง และพิจารณาค่ากำลังของสัญญาณที่สูญเสียไป (Path loss) ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งแสดงผลของ วัสดุกีดขวาง 2 ประเภท ได้แก่ คอนกรีต (Concrete) หนา 6.5 นิ้ว และ คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) หนา 7.5 นิ้ว ในสภาพแห้ง เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีวัสดุกีดขวาง (Free-space)

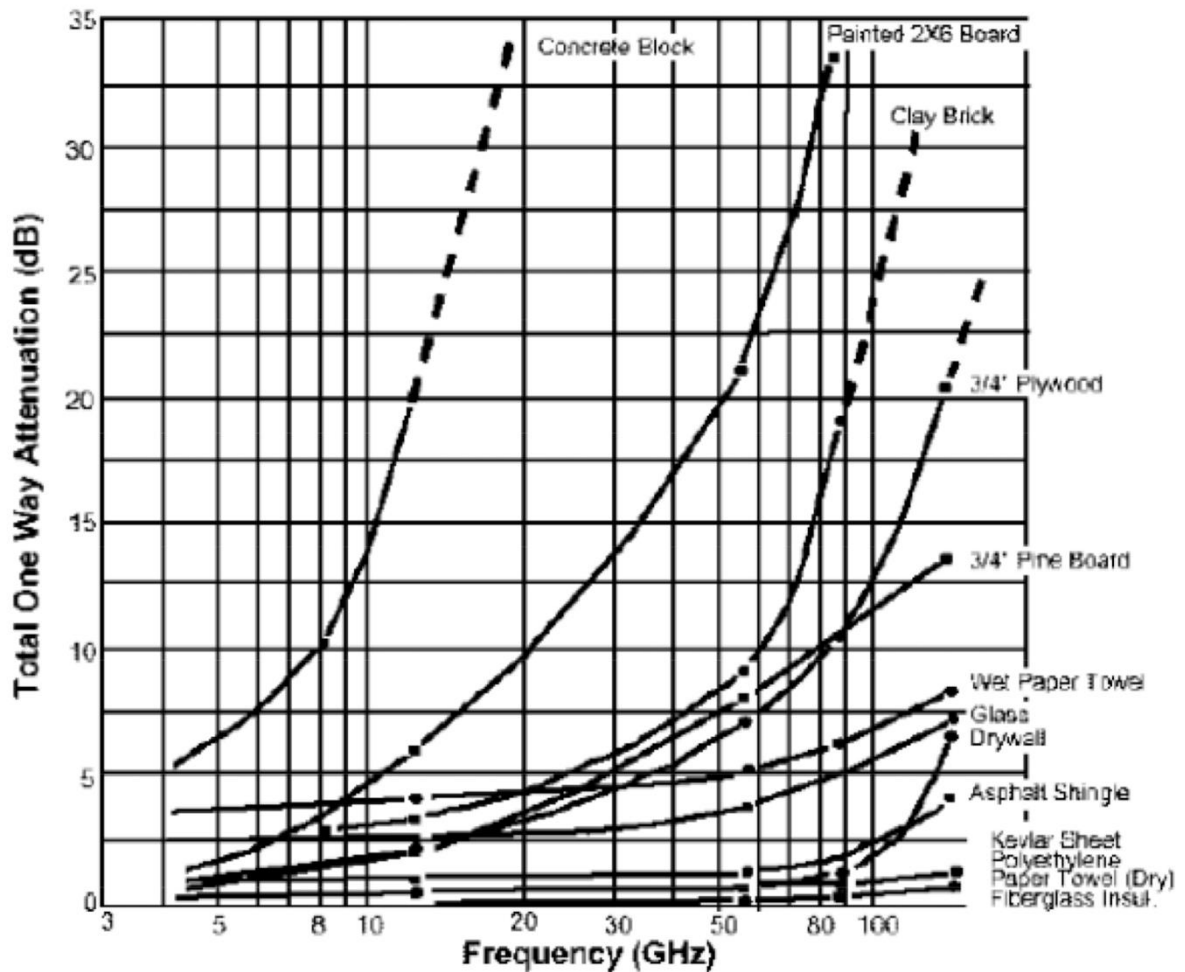


ภาพที่ 11 ผลของวัสดุกีดขวาง (คอนกรีต และคอนกรีตเสริมเหล็ก) ที่มีต่อค่ากำลังของสัญญาณที่สูญเสียไป

(ที่มา: Heggen, Zhang and Ball, 2006)

จากภาพที่ 11 พบว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก มีผลให้กำลังรับ (Received Signal Strength) ลดลงในสัดส่วนที่มากที่สุด ที่ทุกระยะทางระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ เช่น กำลังรับมีค่าลดลงกว่า 30 dB ณ จุดส่งสัญญาณ (ระยะทาง 0 เมตร) เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ส่งผลให้กำลังรับลดลงประมาณ 25 dB เมื่อพิจารณาถึงผลของระยะทางระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ พบว่า กำลังลดลงตามระยะทางในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน โดยไม่ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ทำวัสดุกีดขวาง

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) ได้ศึกษาผลของสิ่งกีดขวางซึ่งสร้างด้วยวัสดุที่แตกต่างกันกว่า 12 ประเภท เช่น คอนกรีต ไม้ อิฐที่ทำมาจากดินเหนียว กระจกเปียก และกระจก ที่มีต่อการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation) ตามความถี่ของสัญญาณวิทยุ โดยผลการศึกษาดังกล่าวถูกอ้างอิงโดย Santhanam, 2011 ดังแสดงในภาพที่ 12



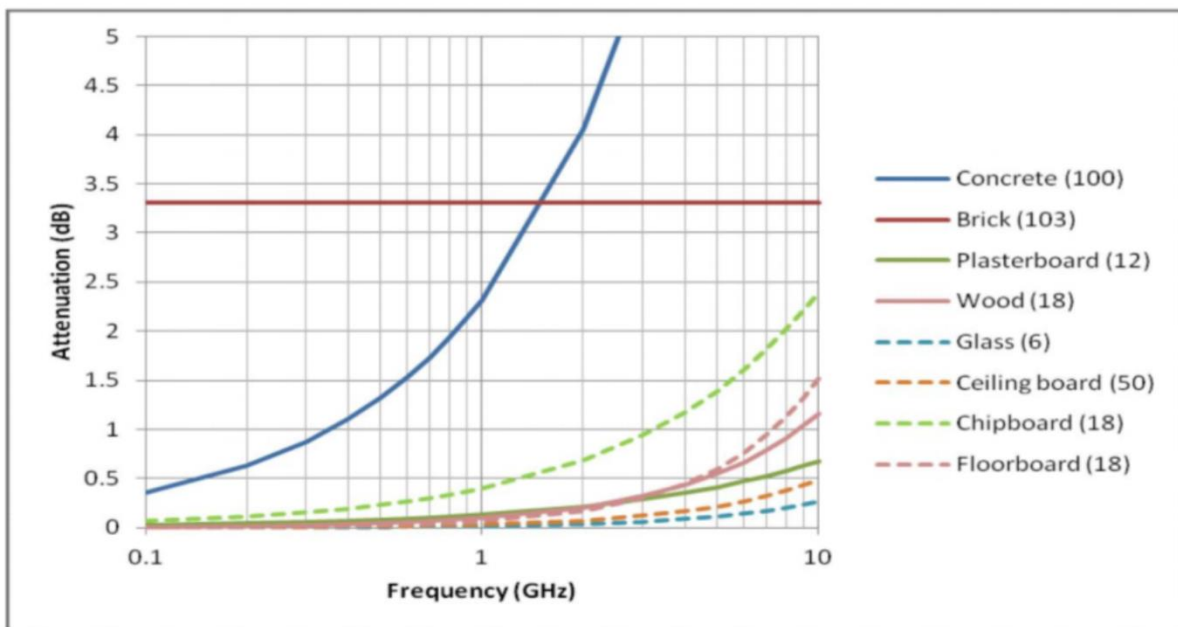
ภาพที่ 12 ผลของวัสดุกีดขวางที่มีต่อการลดทอนของสัญญาณ

(ที่มา: Santhanam, 2011)

ทั้งนี้ อุปกรณ์ UWB Anchor ที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของแพลตฟอร์ม Sewio ซึ่งถูกใช้ในโครงการวิจัยนี้ ใช้ ช่วงความถี่ระหว่าง 3 ถึง 7 GHz (https://www.kodys.sk/sites/default/files/anchor_datasheet_v0.3.pdf?fbclid=IwAR3Eu3Iq0mNRq4LwMgDCvanYCMc1Ohux3qPgyXTkkjfcUdDz-iTBJT_da4) จากรูปที่ 3 พบว่า ในช่วงความถี่ดังกล่าว การลดทอนของสัญญาณจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ยกเว้นในกรณีของคอนกรีต กระดาน ทาสีขนาด 2x6 (Painted 2x6 Board) อิฐที่ทำมาจากดินเหนียว และไม้ ซึ่งค่าการลดทอนจะเพิ่มขึ้นตามความถี่

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาถึงผลของวัสดุ พบว่า คอนกรีตมีผลลดทอนกำลังของสัญญาณสูงสุด ในขณะที่ใยแก้ว (Fiberglass) โพลีเอธิลีน (Polyethylene) เคพลาร์ (Kavlar) และกระดาษแข็ง ส่งผลให้เกิดการลดทอนต่ำที่สุด นอกจากนี้ สี และน้ำ มีผลให้การลดทอนของกำลังสูงขึ้น และกระจกส่งผลให้เกิดการลดทอนประมาณ 2.5 ถึง 7.5 dB

ผลการทดสอบข้างต้น สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ถึงการลดทอนของสัญญาณที่ได้จาก เทคโนโลยี UWB ผ่านสิ่งกีดขวางซึ่งถูกทำขึ้นจากวัสดุก่อสร้าง (Building material) ประเภทต่าง ๆ โดย Juliet, 2019 ซึ่งอ้างอิงจาก Rudd et. al, 2014 ดังแสดงในภาพที่ 13 โดยตัวเลขในวงเล็บแสดงค่าความหนาของวัสดุ ก่อสร้างที่พิจารณาในหน่วยมิลลิเมตร



ภาพที่ 13 ผลของวัสดุกีดขวางที่มีต่อการลดทอนของสัญญาณ

(ที่มา: Juliet, 2019)

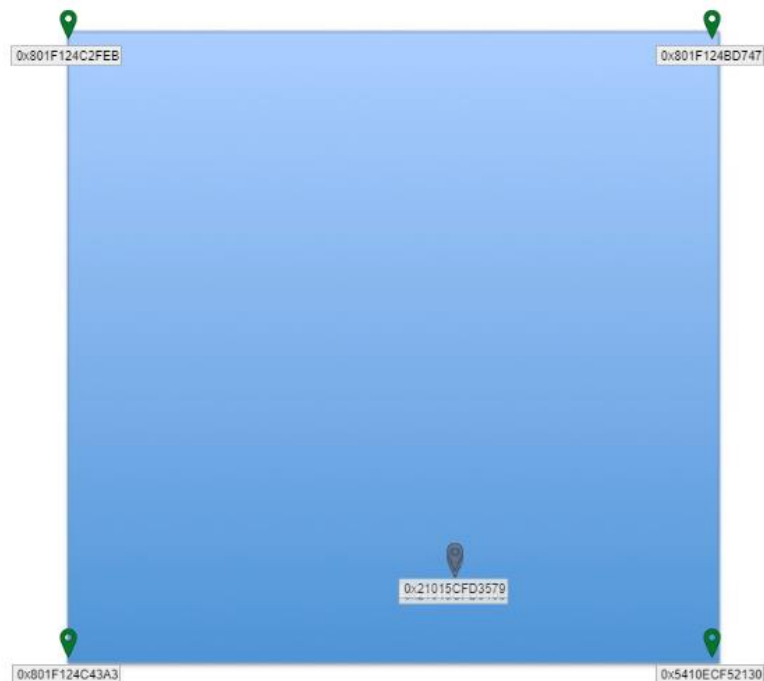
จากภาพที่ 13 พบว่า การลดทอนของสัญญาณเพิ่มขึ้นตามความถี่ของสัญญาณ โดยคอนกรีตมีผลลดทอนกำลังของสัญญาณสูงสุดสอดคล้องกับผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3 นอกจากนี้ วัสดุก่อสร้างที่มีผลต่อการลดทอนของสัญญาณเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ แผ่นไม้อัดเรซิน (Chipboard) แผ่นไม้ปูพื้น (Floorboard) ไม้ (Wood) ยิปซั่ม (Plasterboard) ฝ้าเพดาน (Ceiling board) และกระจก (Glass) นอกจากนี้ อิฐ (Brick) มีผลต่อการลดทอนของสัญญาณซึ่งมีค่าคงที่ประมาณ 3.3 dB ในช่วงค่าความถี่ของสัญญาณตั้งแต่ 0.1 GHz ถึง 10 GHz

โดยในการติดตั้งอุปกรณ์ Anchor สำหรับรับสัญญาณ ทางคณะผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยดังกล่าว เพื่อเลือกตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ ณ สถานที่ทดสอบ โดยเลือกตำแหน่งการติดตั้งที่ไม่ถูกกั้นขวางด้วยวัสดุก่อสร้างที่มีผลต่อการลดทอนสัญญาณ

3.3 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคารภายในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง เพื่อหารูปแบบการติดตั้งที่ให้ค่าสัญญาณแรงที่สุด อันจะส่งผลให้การวัดข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ถูกทำในห้องที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม โดยชุดอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งถูกติดตั้ง ณ ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ 6 มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย มีขนาด 4.3 x 4.6 เมตร พื้นห้องอยู่ในระดับเดียวกัน

RTLS Anchor ถูกติดตั้งดังภาพที่ 14 โดยอยู่บนเพดานในระดับสูงกว่าพื้น 3 เมตร ซึ่งยังอยู่ในช่วงระดับการติดตั้งที่เหมาะสมตามที่ทางบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์แนะนำว่าระดับความสูงของการติดตั้ง RTLS Anchor ห้ามเกิน 5 เมตร



ภาพที่ 14 ตำแหน่งการติดตั้ง RTLS Anchor ณ เพดานห้องทั้ง 4 มุม

ขั้นตอนการทดสอบทำโดยการเปิดอุปกรณ์ RTLS Anchor ทีละตัว จากนั้นทำการวัดค่าความแรงสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการติดตั้ง RTLS Anchor แต่ละแบบ โดยรูปแบบการติดตั้งจะมีการปรับแต่งองศาการติดตั้งของ RTLS Anchor ตามแกนแนวตั้งและแนวนอนที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบ ดังนี้

1. Anchor ทำมุม 0 องศา กับแกนแนวตั้ง (ตั้งฉากกับเพดาน) และ 0 องศา กับแกนแนวนอน (ขนานกับผนัง)
2. Anchor ทำมุม 45 องศา กับแกนแนวตั้ง (ทำมุม 45 องศา กับเพดาน) และ 0 องศา กับแกนแนวนอน (ขนานกับผนัง)
3. Anchor ทำมุม 90 องศา กับแกนแนวตั้ง (ขนานกับเพดาน) และ 0 องศา กับแกนแนวนอน (ขนานกับผนัง)
4. Anchor ทำมุม 0 องศา กับแกนแนวตั้ง (ตั้งฉากกับเพดาน) และ 45 องศา กับแกนแนวนอน (ทำมุม 45 องศา กับผนัง หันเข้าจุดกึ่งกลางห้อง)
5. Anchor ทำมุม 45 องศา กับแกนแนวตั้ง (ทำมุม 45 องศา กับเพดาน) และ 45 องศา กับแกนแนวนอน (ทำมุม 45 องศา กับผนัง หันเข้าจุดกึ่งกลางห้อง)
6. Anchor ทำมุม 90 องศา กับแกนแนวตั้ง (ขนานกับเพดาน) และ 45 องศา กับแกนแนวนอน (ทำมุม 45 องศา กับผนัง หันเข้าจุดกึ่งกลางห้อง)

สัญญาณที่ส่งออกจาก RTLS Anchor จะถูกวัดโดยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) โดยเครื่องที่ใช้วัดในการทดสอบนี้เป็นของ Rohde & Schwarz Model FSH8 - 115978/008 ซึ่งมีการตั้งค่า Parameter ในการวัดดังนี้

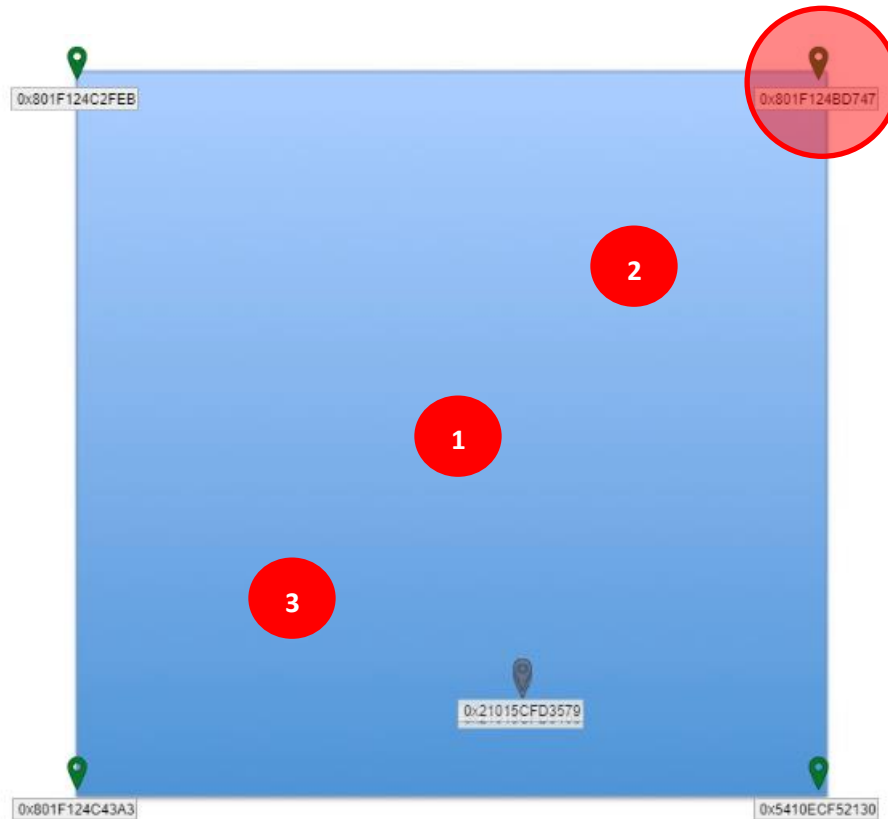
<u>Center Frequency</u>	6496800000	Hz
<u>Frequency Offset</u>	0	Hz
<u>Span</u>	800000000	Hz
<u>Ref Level</u>	-55	dBm
<u>Ref Offset</u>	0	dB
<u>Ref Position</u>	1	
<u>Range</u>	50	dB
<u>RF Attenuation</u>	Auto Low Distortion	
<u>RF Attenuator</u>	0	dB
<u>Pre-Amplifier</u>	Off	
<u>RF Input</u>	50	Ω

<u>RBW</u>	300000	Hz
<u>VBW</u>	100000	Hz
<u>SWT</u>	0.067	s
<u>Trace Mode</u>	Max Hold	

การวัดค่าสัญญาณถูกทำกับ Anchor ทั้ง 4 ตัว โดยจุดอ้างอิงบนพื้นห้องที่ใช้สำหรับการวัดสัญญาณถูกกำหนดเป็น 3 ระยะ ดังนี้

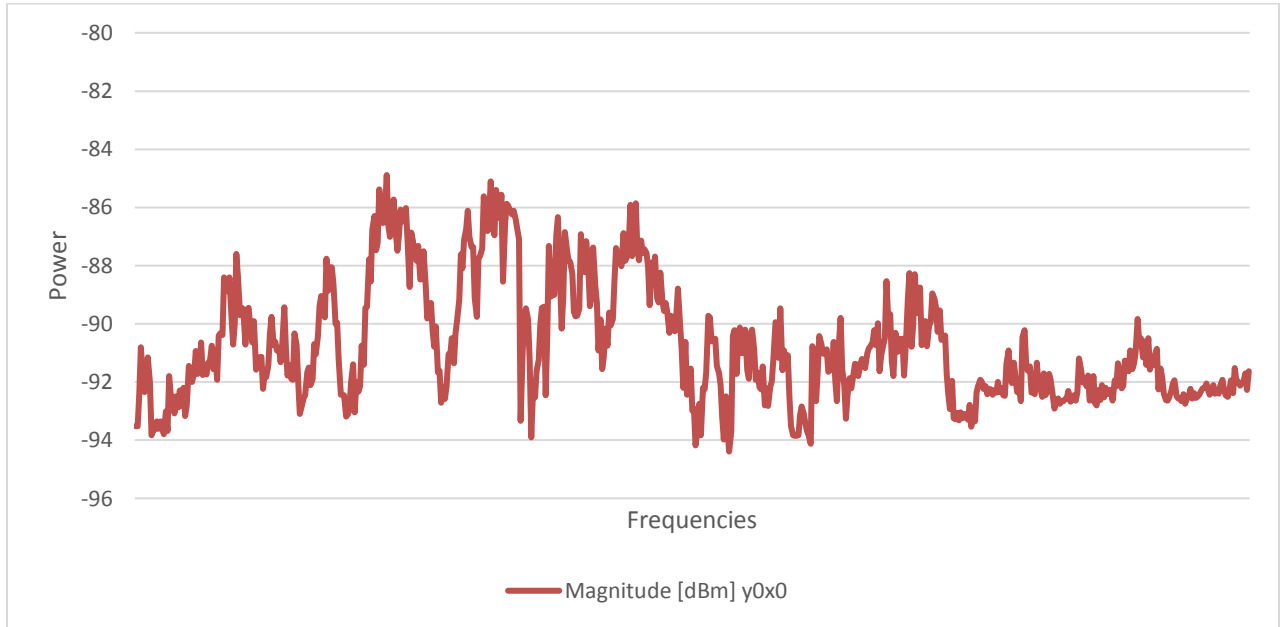
1. จุดกึ่งกลางห้อง
2. จุดที่ห่างจากจุดกึ่งกลางห้อง 1.57 เมตร โดยเข้าใกล้ Anchor ที่กำลังตรวจวัดสัญญาณอยู่ ตามแนวเส้นทแยงมุมของห้อง
3. จุดที่ห่างจากจุดกึ่งกลางห้อง 1.57 เมตร โดยเดินออกจาก Anchor ที่กำลังตรวจวัด ตามแนวเส้นทแยงมุมของห้อง

ตัวอย่างจุดอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบวัดสัญญาณสำหรับ RTLS Anchor ที่ติดตั้งอยู่ ณ มุมขวาบนของเพดาน (หมายเลขประจำเครื่อง 801F124BD747) แสดงดังภาพที่ 15

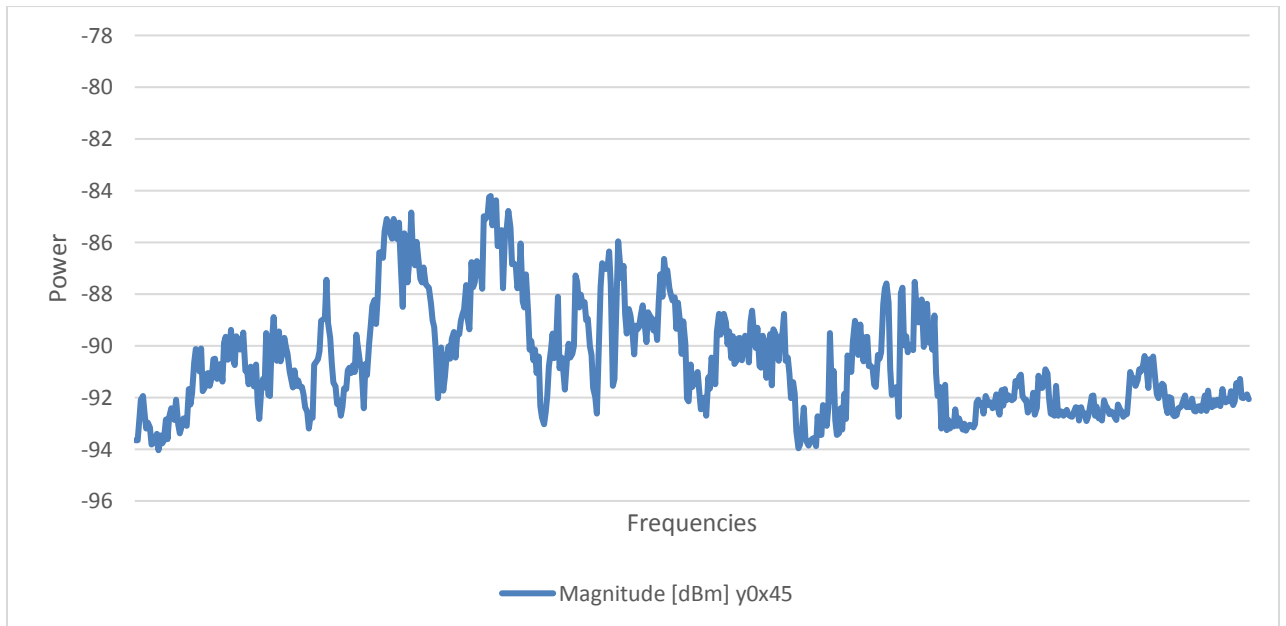


ภาพที่ 15 ตำแหน่งจุดอ้างอิงที่ใช้ในการวัดสัญญาณ Anchor หมายเลข 801F124BD747

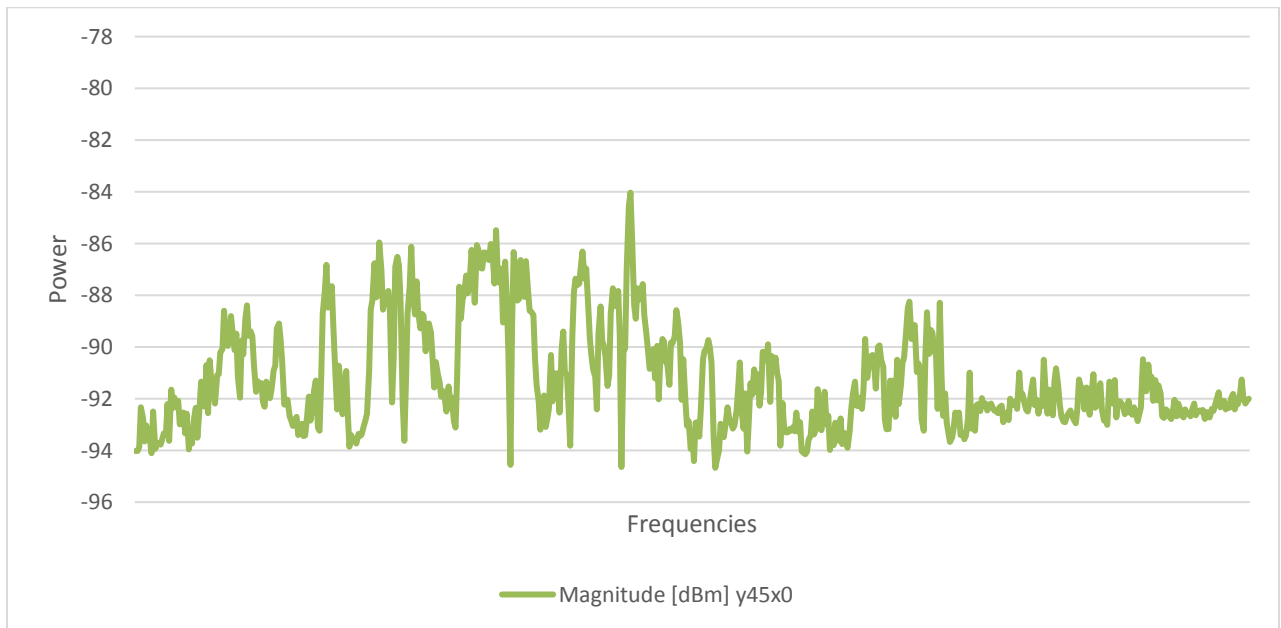
ตัวอย่างกราฟแสดงค่าผลการวัดค่าสัญญาณของ Anchor หมายเลข 801F124BD747 ที่เกิดจากการติดตั้ง ทั้ง 6 แบบ ณ จุดกึ่งกลางห้อง (จุดอ้างอิงที่ 1) แสดงดังภาพที่ 16 - 20



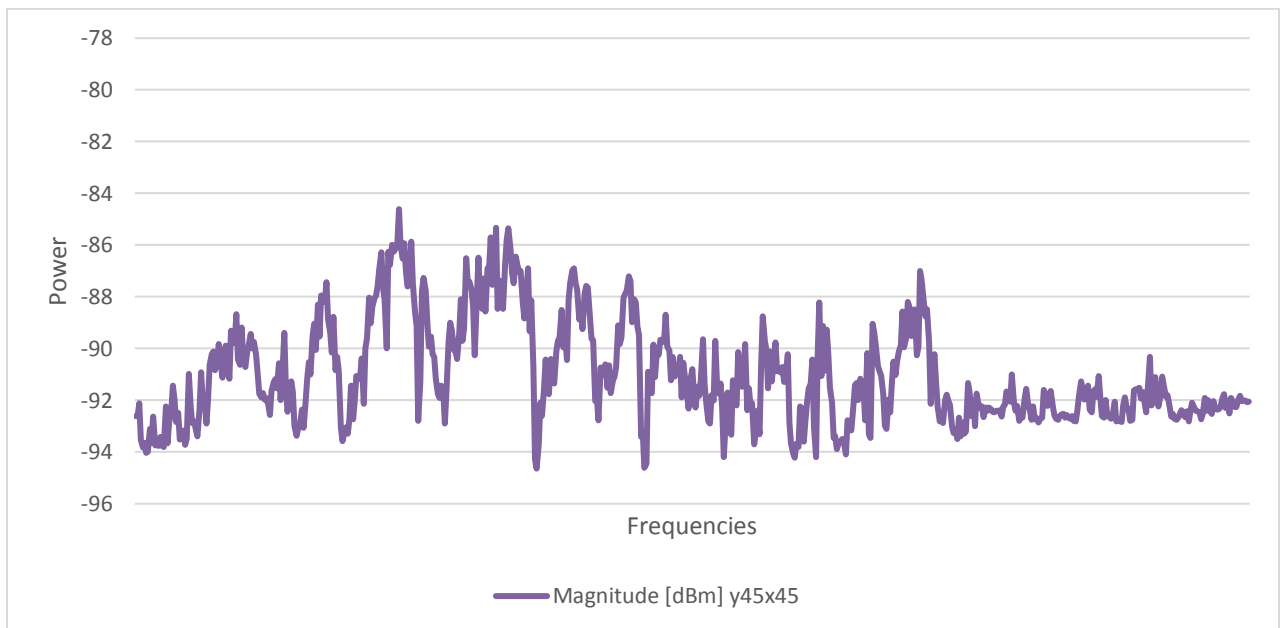
ภาพที่ 16 กราฟค่าสัญญาณจำแนกตามย่านความถี่ที่อ่านได้จากการติดตั้ง Anchor โดยทำมุม 0 องศา กับ แกนแนวตั้ง (ตั้งฉากกับเพดาน) และ 0 องศา กับ แกนแนวนอน (ขนานกับผนัง)



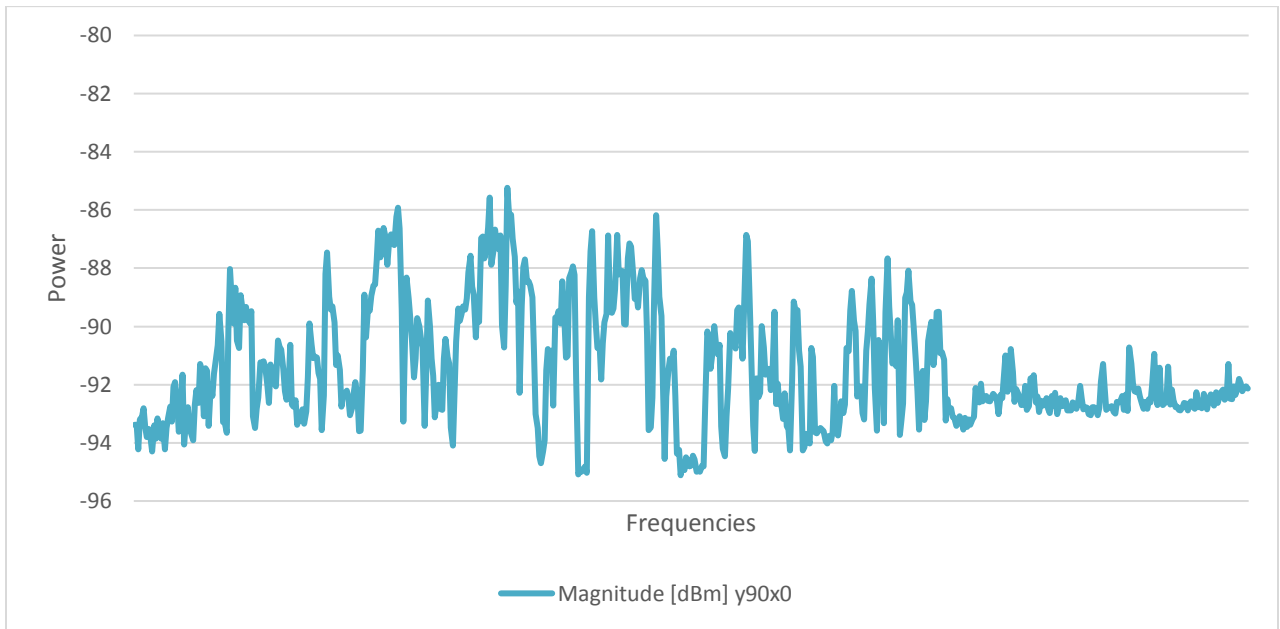
ภาพที่ 17 กราฟค่าสัญญาณจำแนกตามย่านความถี่ที่อ่านได้จากการติดตั้ง Anchor โดยทำมุม 0 องศา กับ แกนแนวตั้ง (ตั้งฉากกับเพดาน) และ 45 องศา กับ แกนแนวนอน (ทำมุม 45 องศา กับผนัง หันเข้าจุดกึ่งกลางห้อง)



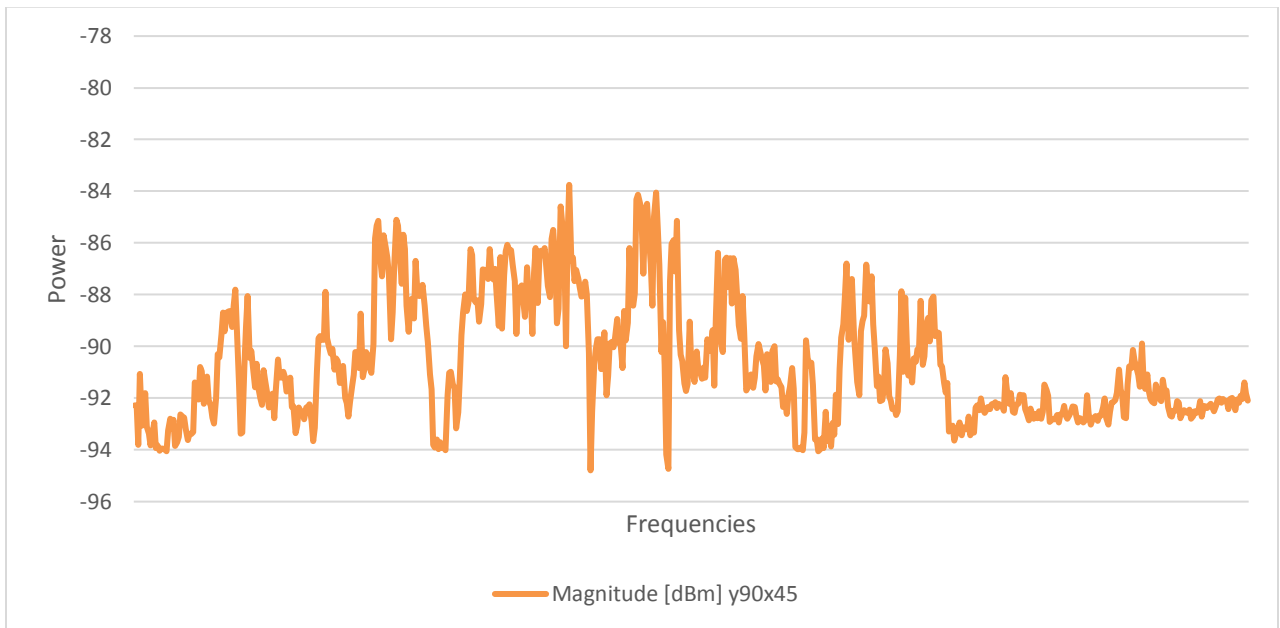
ภาพที่ 18 กราฟค่าสัญญาณจำแนกตามย่านความถี่ที่อ่านได้จากการติดตั้ง Anchor โดยทำมุม 45 องศา กับแกนแนวตั้ง (ทำมุม 45 องศากับเพดาน) และ 0 องศา กับแกนแนวนอน (ขนานกับผนัง)



ภาพที่ 19 กราฟค่าสัญญาณจำแนกตามย่านความถี่ที่อ่านได้จากการติดตั้ง Anchor โดยทำมุม 45 องศา กับแกนแนวตั้ง (ทำมุม 45 องศากับเพดาน) และ 45 องศา กับแกนแนวนอน (ทำมุม 45 องศากับผนัง หันเข้าจุดกึ่งกลางห้อง)



ภาพที่ 20 กราฟค่าสัญญาณจำแนกตามย่านความถี่ที่อ่านได้จากการติดตั้ง Anchor โดยทำมุม 90 องศา กับ แกนแนวตั้ง (ขนานกับเพดาน) และ 0 องศา กับแกนแนวนอน (ขนานกับผนัง)



ภาพที่ 21 กราฟค่าสัญญาณจำแนกตามย่านความถี่ที่อ่านได้จากการติดตั้ง Anchor โดยทำมุม 90 องศา กับ แกนแนวตั้ง (ขนานกับเพดาน) และ 45 องศา กับแกนแนวนอน (ทำมุม 45 องศา กับผนัง หันเข้าจุดกึ่งกลางห้อง)

จากผลการวัดที่ได้ เราได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาตำแหน่งการติดตั้ง Anchor ที่ให้ค่ากำลังส่งที่ดีที่สุด โดยในการวัดค่าเรากำหนดให้คลื่นความถี่ที่ RTLS Anchor ใช้สื่อสารกับ Tag ซึ่งเท่ากับ 6.4896 GHz. เป็นจุดกึ่งกลางของแบนนอนของกราฟแสดงค่าสัญญาณ โดยพบว่าการติดตั้งที่ทำให้เกิดค่าสัญญาณ ณ จุดกึ่งกลางของแบนนอนของกราฟสูงสุด คือ การติดตั้งในรูปแบบดังภาพที่ 21 คือ ติดตั้ง Anchor โดยทำมุม 90 องศา กับแกนแนวตั้ง (ขนานกับเพดาน) และ 45 องศา กับแกนแนวนอน (ทำมุม 45 องศา กับผนัง หันเข้าจุดกึ่งกลางห้อง) โดยค่าความแรงของสัญญาณที่อ่านได้อยู่ที่ -84 dBm

ภาพการติดตั้ง Anchor และอุปกรณ์สำหรับการวัดสัญญาณ แสดงดังภาพที่ 22-24



ภาพที่ 22 Antenna วัดสัญญาณ ครอบคลุมความถี่ถึง 8 GHz.



ภาพที่ 23 ชุดอุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมที่ใช้ในการวัดทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์



ภาพที่ 24 การปรับองศาการติดตั้งของ RTLS Anchor ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

3.4 โพรโทคอลสื่อสาร กลไกการประหยัดพลังงาน และการปรับค่าคุณลักษณะของชุดอุปกรณ์

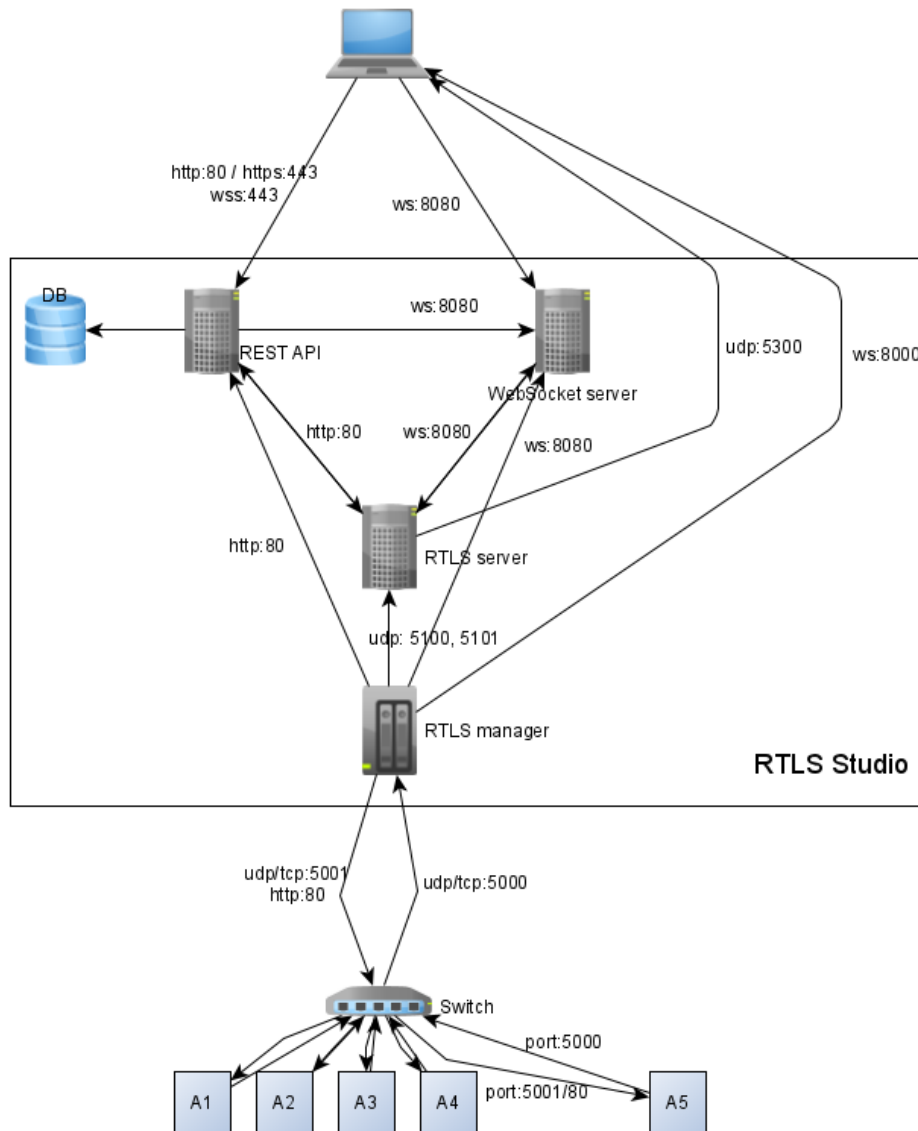
โครงการวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ชุดอุปกรณ์ซึ่งประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตรา ไวด์ แบนด์ (Ultra-Wide Band : UWB) โดยมีชุดซอฟต์แวร์ RTLS Studio (Real-time Location System Studio) ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ ประกอบไปด้วย Anchor ซึ่งถูกติดตั้งที่เพดานจำนวน 4 จุด โดยมีสาย Cable เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องแม่ข่าย ส่งผลให้มีแหล่งพลังงานรองรับการทำงานของ Anchor ตลอดเวลาการทำงานของเครื่องแม่ข่าย ในขณะที่อุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (Tag) ซึ่งติดตั้งกับผู้สูงอายุเพื่อตรวจวัดและส่งข้อมูลความเร่ง 3 แกน และตำแหน่งปัจจุบันนั้น ไม่มีแหล่งพลังงานรองรับ แต่สามารถชาร์จพลังงานได้หลังการใช้งาน อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ Tag มีอายุการใช้งานเพียงพอต่อการตรวจวัดและการสื่อสารข้อมูล จำเป็นต้องมีกลไกของการประหยัดพลังงาน ซึ่งกลไกดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของโพรโทคอลสื่อสาร (Protocol) รวมถึงการปรับค่าคุณลักษณะของชุดอุปกรณ์ เพื่อรองรับความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้สถานการณ์ เช่น การปรับค่าความถี่ของการตรวจวัดและการส่งข้อมูล ในหัวข้อนี้ จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของโพรโทคอลสื่อสาร กลไกการประหยัดพลังงาน และการปรับค่าคุณลักษณะของชุดอุปกรณ์ เพื่อให้สอดคล้องต่อความต้องการของระบบในด้านการสื่อสารข้อมูล

3.4.1 โพรโทคอลสื่อสาร

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย Tag ซึ่งติดตั้งกับผู้สูงอายุ มีหน้าที่ในการส่งข้อมูลตำแหน่งปัจจุบัน และค่าความเร่ง 3 แกน ไปยัง Anchor ซึ่งถูกติดตั้งที่เพดานจำนวน 4 จุด ด้วยเทคโนโลยี UWB จากนั้น Anchor จะได้ส่งข้อมูลที่ไปยัง RTLS Manager และ RTLS Server (หรือ Web Server) ตามลำดับ โดย RTLS Manager มีหน้าที่หลัก 4 ประการ ได้แก่ 1) การตรวจสอบสถานะของ Anchor ว่าออนไลน์และพร้อมใช้งานหรือไม่ 2) การคัดเลือก Master Anchor ซึ่งเป็น Anchor หลักโดยพิจารณาจากกำลังและคุณภาพของสัญญาณของ Anchor 3) การตรวจสอบการประสานเวลา (Synchronization) ระหว่าง Anchor โดย Master Anchor จะส่ง Emission Packet ให้กับ Anchor ที่เหลือด้วยเทคโนโลยี UWB หลังจากได้รับ Emission Packet แล้ว Anchor จะส่ง Arrival Packet ให้กับ RTLS Server เพื่อยืนยัน ระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่การส่ง Emission Packet จนถึงได้รับ Arrival Packet จำนวน 3 รอบจะถูกคำนวณและเปรียบเทียบความแตกต่างเพื่อพิจารณาถึงความเสถียรของการประสานเวลา และ 4) การตรวจสอบสถานะและโครงแบบ (Configuration) ของ Tag

จากนั้น ข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยัง WebSocket Server เพื่อให้สามารถสื่อสารข้อมูลระหว่าง RTLS Server (Web Server) และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้ติดตั้งชุดซอฟต์แวร์ RTLS Studio (Client) รวมถึง REST (Representational State Transfer) API ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น JSON และเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล ทั้งนี้ โพรโทคอลสื่อสารที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่าง Anchor ซึ่งเชื่อมต่อกับ Switch หรือ Router กับส่วนของโปรแกรม หรือองค์ประกอบต่าง ๆ ของ RTLS Studio ดังที่กล่าวไปแล้ว เช่น RTLS Server และ REST API ได้แก่ TCP (Transmission Control Protocol) หรือ UDP (User Datagram Protocol)

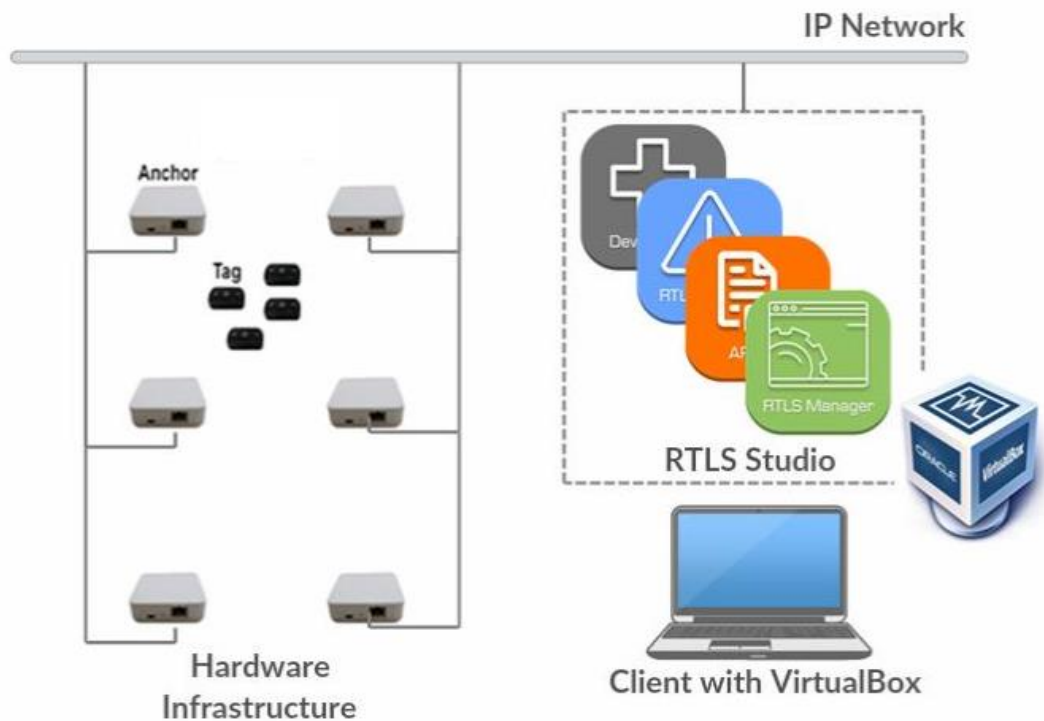
ในขณะที่การสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานระบบ Server และ Third Party Software จะทำผ่านโปรโตคอล HTTPS ซึ่งมีการเข้ารหัสแบบ End-to-End Encryption (ข้อมูลจาก <https://docs.sewio.net/docs/rtls-studio-2-0-1015881.html?fbclid=IwAR29YkgpNrQUFhu3HLvsrhLLPEBq5UrX670MkLpQppQ9XtWdmVRBM6esyFA>) ภาพที่ 25 แสดงถึงสถาปัตยกรรมเครือข่ายของระบบ RTLS ที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบของ RTLS Studio และโปรโตคอลสื่อสารที่ใช้ระหว่าง Anchor และ RTLS Studio ตลอดจนซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องในระบบ



ภาพที่ 25 สถาปัตยกรรมเครือข่ายของระบบ RTLS Studio

(https://docs.sewio.net/docs/network-architecture-and-required-ports-25593406.html?fbclid=IwAR1aWkoyUoKdKwAQ_-Cw37bwfJw2WkgV6fQT7u9J0t-9TAWELysDNJDA5w)

ภาพที่ 26 แสดงถึงแผนภาพเครือข่ายการเชื่อมต่อระหว่าง Anchor และระบบ RTLS Studio ด้วย โพรโทคอล IP (Internet Protocol) โดยโครงสร้างพื้นฐานของระบบ RTLS ได้ถูกออกแบบและพัฒนาให้เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย TCP/IP เพื่อให้สามารถใช้กลไกการสื่อสารข้อมูลมาตรฐานได้ (Contigiani et. al, 2016; Michal, 2020)



ภาพที่ 26 แผนภาพเครือข่ายการเชื่อมต่อระหว่าง Anchor และระบบ RTLS Studio

(https://docs.sewio.net/docs/rtls-studio-and-network-diagram-1015965.html?fbclid=IwAR3P1EXJptmq_K9BkNexvdAk9-YbxwQNkbNFJOcflh3hoSPjE-0BtmX7RYE)

ทั้งนี้ ผู้ใช้งานสามารถกำหนดโพรโทคอลสื่อสารที่ต้องการระหว่าง TCP และ UDP ได้ เพื่อให้การสื่อสารข้อมูลสอดคล้องกับความต้องการ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดโพรโทคอลสื่อสารเป็น TCP เพื่อให้การสื่อสารข้อมูลมีความเชื่อถือได้ (Reliability) อันเนื่องมาจากกลไกของการส่งข้อมูลซ้ำ (Retransmission) ในกรณีที่เกิดการสูญหายของข้อมูล (Packet Loss) รวมถึง กลไกของการควบคุมความคับคั่งของข้อมูล (Congestion Control) ภาพที่ 27 แสดงการกำหนดโพรโทคอลสื่อสารเป็น TCP

#	Anchor Mac	Alias	Update status	Mask	Gateway IP Address	WiFi MAC	Reports Protocol	Reports Send Interval	RTLS Server IP Address	RTLS Server Port	Sync Server Port	TDMA Protocol	Reset After Auto Sync Periods	Sync Period Error	Dynamic Reconfiguration
	All Anchors	N/A	UPDATE ALL	to skip	leave blank to skip	N/A	skip	leave blank to skip	leave blank to skip	leave blank to skip	leave blank to skip	skip	N/A	N/A	N/A
1	049162c96470	N/A	UPDATE	0	0.0.0.0	F8:F0:05:9e:a1:a3	TCP	20	192.168.225.3	5000	5001	TCP	0	30	1
2	049162c98908	N/A	UPDATE	0	0.0.0.0	F8:F0:05:9e:9f:d5	TCP	20	192.168.225.3	5000	5001	TCP	0	30	1
3	049162c90be1	N/A	UPDATE	0	0.0.0.0	F8:F0:05:9e:a1:cb	TCP	20	192.168.225.3	5000	5001	TCP	0	30	1
4	049162c90bc5	N/A	UPDATE	0	0.0.0.0	F8:F0:05:9e:a0:d6	TCP	20	192.168.225.3	5000	5001	TCP	0	30	1
5	049162c9482a	N/A	UPDATE	0	0.0.0.0	F8:F0:05:9e:9b:31	TCP	20	192.168.225.3	5000	5001	TCP	0	30	1

ภาพที่ 27 การกำหนดโปรโตคอลสื่อสารเป็น TCP

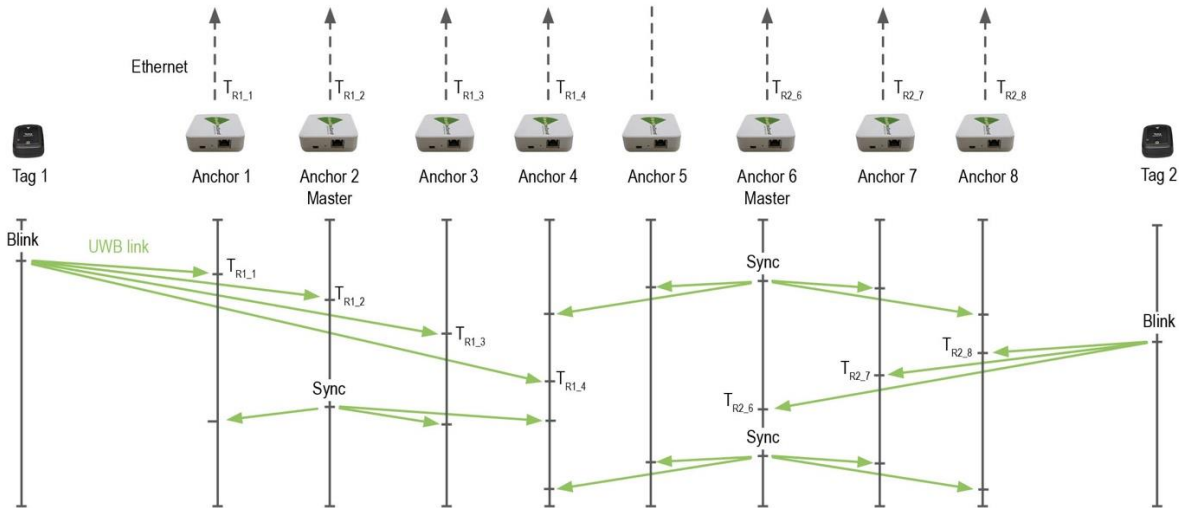
(https://docs.sewio.net/docs/using-tcp-synchronization-25593420.html?fbclid=IwAR3V5mVZx_kFXwC_ZlIQGqHuTY1ITCUKI8hDgwfJP4svpA8AtAaal60rFp0)

จากภาพที่ 27 พบว่าระบบ RTLS ได้ประยุกต์ใช้กลไกการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ TDMA (Time Division Multiple Access) สำหรับการส่งข้อมูล โดยการจัดสรรช่วงเวลา (Time Slot) ให้กับแต่ละโหนด (Node) ในระดับไมโครวินาที เพื่อหลีกเลี่ยงการเข้าถึงหรือใช้ช่องสัญญาณในการสื่อสารข้อมูลพร้อมกัน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล (Data Collision) ได้ ทั้งนี้ ช่วงเวลาอาจถูกจัดสรรใหม่ รวมถึงมีขนาดเล็กลง หรือขยายได้ เพื่อให้เกิดการจัดสรรที่เหมาะสม หรือรองรับการติดตั้งระบบที่มี Anchor จำนวนมากได้

3.4.2 กลไกการประหยัดพลังงาน

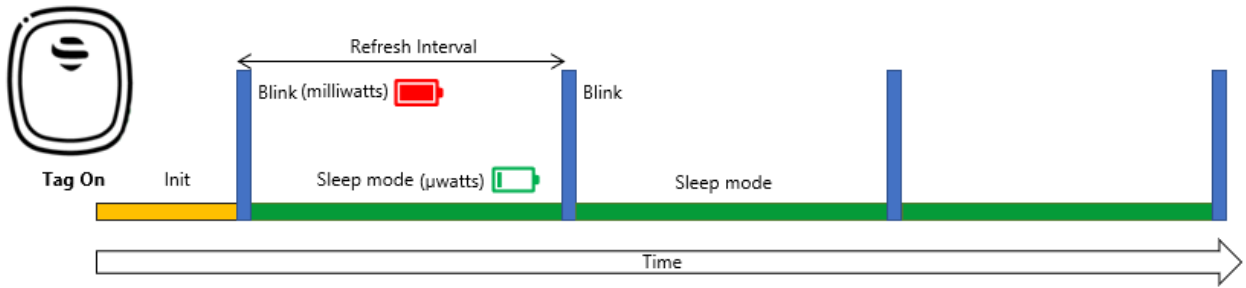
เทคโนโลยี UWB ที่มากับชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ ใช้เทคนิคการประมาณ Time of Flight (ToF) เพื่อการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (Tag) โดย Tag จะส่งเพียง Blink Message ไปยัง Anchor อย่างสม่ำเสมอ (ทุก ๆ 1-2 วินาที ขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้งาน ในกรณีการติดตามคน จะส่งทุก ๆ 1 วินาที ในขณะที่เคลื่อนไหว) ทดแทนกลไกการแลกเปลี่ยน Message (Handshake) ส่งผลให้ประหยัดพลังงานและยืดอายุการใช้งานของ Tag ซึ่งจะติดตัวผู้สูงอายุตลอดการตรวจจับตำแหน่งและกิจกรรม อีกทั้งยังสนับสนุน Scalability ของระบบ เนื่องจากไม่ต้องมีกลไกการผูก Address ของอุปกรณ์ไว้ล่วงหน้า นอกจากนี้ เนื่องจากในระบบอาจมีการใช้งาน

Anchor หลายตัว โดยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของ Blink Message จาก Tag ไปยัง Anchor แต่ละตัวจึงไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับตำแหน่งและระยะทาง เพื่อให้ Anchor สามารถประสานเวลา (Time synchronization) กัน หลักการของ Time Difference of Arrival (TDoA) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อประมาณตำแหน่งของ Tag ได้ ดังแสดงในภาพที่ 28

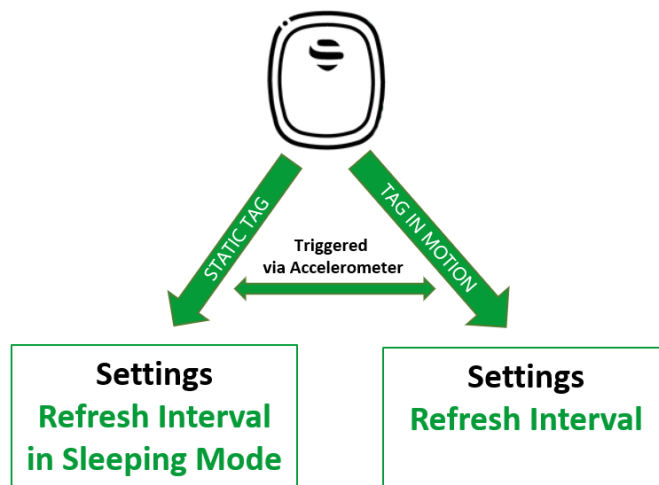


ภาพที่ 28 การส่ง Blink Message ของ Tag ไปยัง Anchor และการประสานเวลา (Time Synchronization) ระหว่าง Anchor (<https://www.sewio.net/uwb-technology/time-difference-of-arrival/>)

นอกจากการลดจำนวน Message ในระหว่างการประสานเวลาของ Anchor แล้ว Tag จะอยู่ใน Sleep Mode หลังจากส่ง Blink Message เพื่อประหยัดพลังงาน ทั้งนี้ Tag จะส่ง Keep-alive Message ให้กับ Anchor เพื่อยืนยันสถานะการทำงานและร้อยละพลังงานคงเหลือใน Battery สำหรับ Anchor ในงานวิจัยนี้ จะถูกติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ตลอดการใช้งาน โดยจะได้รับพลังงานอย่างต่อเนื่องจากการเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายด้วยสาย Cable ส่งผลให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยระยะเวลาระหว่างการส่ง Blink Message เรียกว่า Refresh Interval ดังแสดงในภาพที่ 29 และ ภาพที่ 30



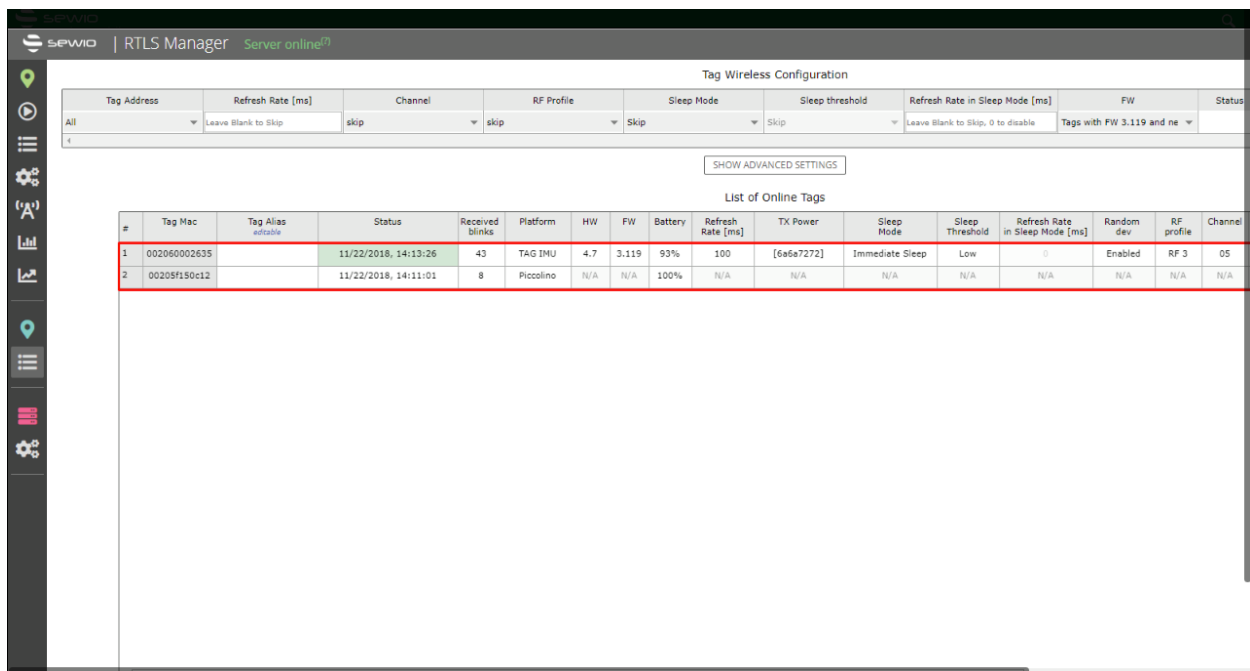
ภาพที่ 29 การเข้าสู่ Sleep Mode ของ Tag หลังจากส่ง Blink Message ไปยัง Anchor เพื่อประหยัดพลังงาน
 (<https://docs.sewio.net/docs/tag-setting-25593307.html>)



ภาพที่ 30 การปรับจาก Sleep Mode เข้าสู่ Active Mode ของ Tag
 (<https://docs.sewio.net/docs/tag-setting-25593307.html>)

3.4.3 การปรับค่าคุณลักษณะของชุดอุปกรณ์

เนื่องจากในระหว่างการทำงาน อาจเกิดสถานการณ์ที่ต้องตรวจวัดและส่งข้อมูลด้วยความถี่ที่แตกต่างกัน เช่น การเฝ้าระวังผู้สูงอายุบางรายเป็นกรณีพิเศษ หรือการปรับลดความถี่ของการจัดส่งค่าที่ตรวจวัดได้ จึงจำเป็นต้องปรับค่าคุณลักษณะของชุดอุปกรณ์ โดยชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้รองรับความต้องการดังกล่าวผ่านทางชุดโปรแกรมสำเร็จรูป Sewio RTLS Studio ดังภาพที่ 31 เพื่อรองรับการเฝ้าระวังเป็นกรณีพิเศษ หรือการลดจำนวนการสื่อสารข้อมูลซึ่งส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน และยืดอายุการทำงานของอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (Tag) ในระบบ



The screenshot displays the 'Sewio RTLS Manager' interface. At the top, it shows 'Server online' and 'Tag Wireless Configuration' settings. Below this is a table for configuring tags, and a 'List of Online Tags' table showing two active tags with their respective parameters.

Tag Address	Refresh Rate [ms]	Channel	RF Profile	Sleep Mode	Sleep threshold	Refresh Rate in Sleep Mode [ms]	FW	Status
All	Leave Blank to Skip	skip	skip	Skip	Skip	Leave Blank to Skip, 0 to disable	Tags with FW 3.119 and ne	

#	Tag Mac	Tag Alias	Status	Received blinks	Platform	HW	FW	Battery	Refresh Rate [ms]	TX Power	Sleep Mode	Sleep Threshold	Refresh Rate in Sleep Mode [ms]	Random dev	RF profile	Channel
1	002060002635		11/22/2018, 14:13:26	43	TAG IMU	4.7	3.119	93%	100	[6a6a7272]	Immediate Sleep	Low	0	Enabled	RF 3	05
2	00205f150c12		11/22/2018, 14:11:01	8	Piccolino	N/A	N/A	100%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

ภาพที่ 31 หน้าจอการปรับค่าคุณลักษณะของชุดอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความถี่ในการตรวจวัดและส่งข้อมูลของชุดโปรแกรม Sewio RTLS Studio

ค่าคุณลักษณะของอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งแต่ละตัวที่สามารถปรับได้ ประกอบไปด้วย

- Refresh Rate – อัตราความถี่ในการส่งข้อมูล หากปรับให้มีค่าต่ำลง จะส่งผลให้อุปกรณ์ติดตามใช้พลังงานน้อย และ
- Sleep Mode – การสั่งให้อุปกรณ์ติดตามหยุดส่งข้อมูลเมื่อผู้สูงอายุไม่มีการเคลื่อนไหว หากปรับให้เป็น On จะส่งผลให้อุปกรณ์มีการส่งข้อมูลน้อยครั้งลง

ทั้งนี้ การตัดสินใจปรับค่าคุณลักษณะของอุปกรณ์ดังกล่าว ผู้ดูแลสามารถเลือกดำเนินการได้เป็นรายบุคคล โดยจะพิจารณาถึงผลที่ได้จากระบบ และการแจ้งเตือน ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความสนใจในการเฝ้าระวัง ด้วยการให้อุปกรณ์ติดตามตำแหน่งส่งข้อมูลด้วยความถี่สูงขึ้น สามารถทำได้โดยการตั้งค่า Refresh Rate ของอุปกรณ์เฉพาะตัวที่ต้องการ ซึ่งจะไม่รบกวนการทำงานของอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งของผู้สูงอายุรายอื่น

บทที่ 4

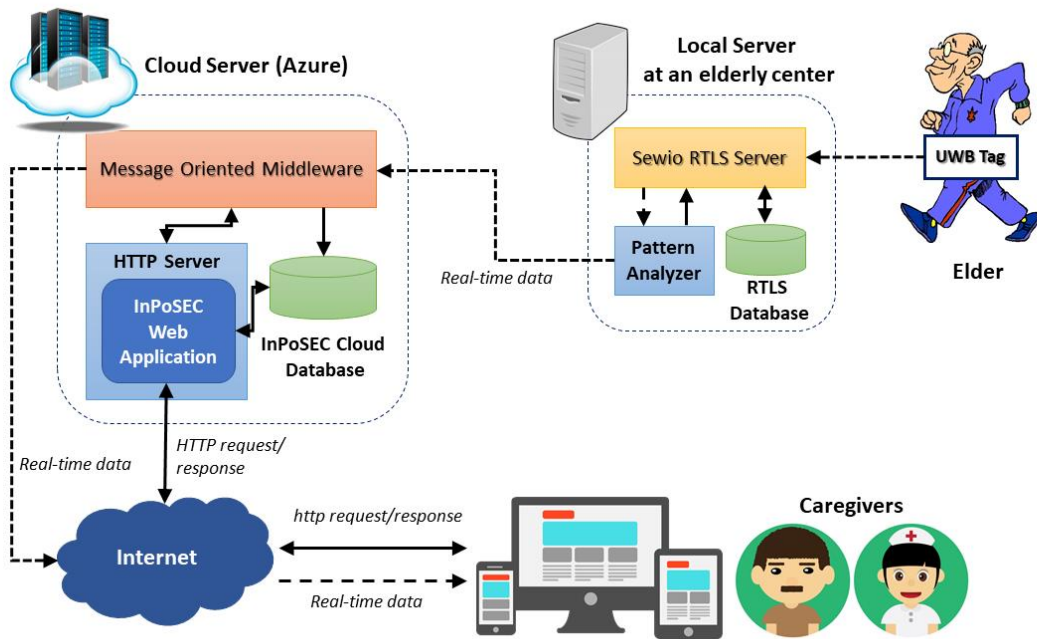
ระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร (An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC))

4.1 ซอฟต์แวร์ต้นแบบระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร (An Indoor Positioning System for Elderly Care (InPoSEC))

ระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับข้อมูลที่ถูกรับมาจากอุปกรณ์ UWB Anchor และ UWB Tag จากนั้นนำข้อมูลตำแหน่งและความเร็วที่อ่านได้มาวิเคราะห์ โดยข้อมูลตำแหน่งจะถูกนำไปตรวจสอบว่าผู้สูงอายุมีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ปลอดภัย หรือเดินเข้าไปสู่พื้นที่อันตรายหรือไม่ ในขณะที่ข้อมูลความเร็วจะถูกนำไปประเมินผ่านตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อพิจารณาว่าผู้สูงอายุอยู่ในกลุ่มอายุใด และมีปัญหากล้ามเนื้ออ่อนแรงหรือไม่ คุณลักษณะเชิงเทคนิคของระบบมีดังนี้

- ก. ตอบสนองต่อการตรวจจับลักษณะการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุที่มีภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรง โดยวิเคราะห์จากรูปแบบพฤติกรรม ตลอดจนรูปแบบการเคลื่อนไหวเฉพาะบุคคลที่ถูกเก็บไว้
- ข. สามารถตรวจสอบอาการที่เป็นผลมาจากสภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรงได้
- ค. สามารถรองรับการขยายตัวของผู้ใช้งานระบบได้
- ง. สามารถเก็บข้อมูลตำแหน่ง และรูปแบบการเคลื่อนไหวไว้ในอุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูลของผู้สูงอายุ เช่น แท็บเล็ตพีซี สมาร์ทโฟน
- จ. สามารถกำหนดพื้นที่ปลอดภัย และพื้นที่อันตรายได้
- ฉ. สามารถโอนถ่ายข้อมูลตำแหน่ง และรูปแบบการเคลื่อนไหวจากอุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูลของผู้สูงอายุไปยังอุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูลของแพทย์ผู้ดูแลเพื่อช่วยในการวิเคราะห์สภาวะของผู้ป่วยได้ โดยมีกลไกป้องกันรักษาข้อมูลส่วนตัวและข้อมูลสุขภาพของผู้สูงอายุนระหว่างอุปกรณ์ของทั้งสองฝ่าย

4.2 โครงสร้างสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ของระบบ

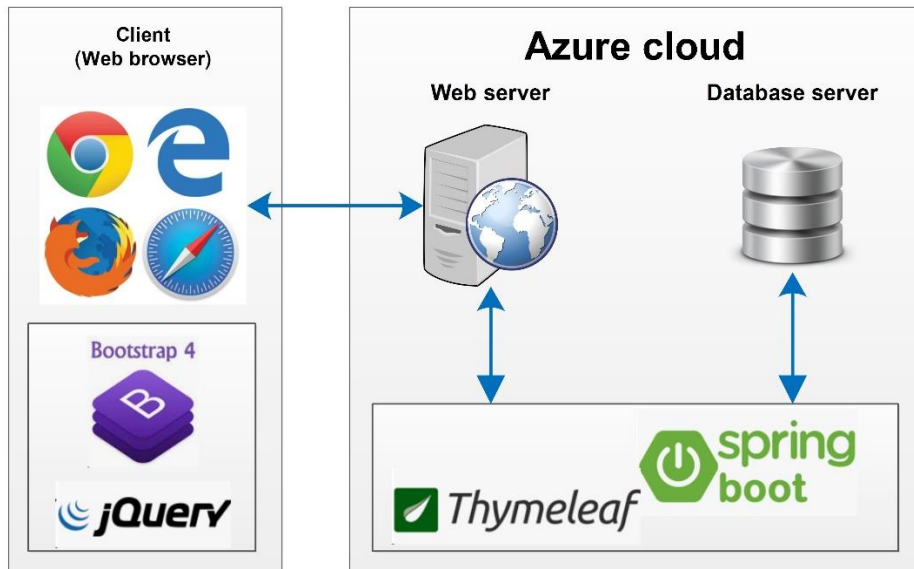


ภาพที่ 32 โครงสร้างสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ของระบบ

ภาพรวมโครงสร้างสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ของระบบแสดงดังภาพที่ 32 จากภาพ ซอฟต์แวร์ตัวกลางสำหรับการรับส่งข้อความ (Message Oriented Middleware - MOM) ทำงานในลักษณะเป็นศูนย์กลางของระบบ โดยทำหน้าที่รับและส่งกระแสข้อมูล (Real-time data stream) ระหว่างเครื่องแม่ข่ายเฉพาะที่ (Local server) ที่ติดตั้งอยู่ ณ ศูนย์ดูแลผู้สูงอายุ โปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (InPoSEC Web Application) และเครื่องลูกข่ายที่ผู้ดูแล (Caregivers) ใช้ในการเรียกดูข้อมูล

ในการทำงานผู้สูงอายุจำเป็นต้องพกพาอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (UWB tag) ไว้กับตัวตลอดเวลา อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำการส่งกระแสข้อมูล (Data streams) ซึ่งแต่ละรายการข้อมูล ประกอบด้วยข้อมูลหลักได้แก่ ค่าพิกัดตำแหน่ง (Position coordinates) และค่าความเร่ง (Acceleration) มายังเครื่องแม่ข่ายเฉพาะที่ซึ่งติดตั้งระบบซอฟต์แวร์สำหรับตรวจจับตำแหน่งภายในอาคาร (Sewio RTLS Server) จากนั้น โปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล (Pattern Analyzer) จะอ่านข้อมูลที่ส่งมาจาก UWB tag และจะประมวลผลข้อมูลแบบทันที โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning techniques) เพื่อจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว วิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ และทำนายกลุ่มอายุจากรูปแบบการเดินของผู้สูงอายุ (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข) สารสนเทศที่ได้จากการประมวลผลจะถูกส่งต่อไปแสดงผลยังโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (InPoSEC Web Application) ผ่านซอฟต์แวร์ตัวกลาง (MOM) บนเครื่องแม่ข่ายบนคลาวด์ ในกรณีที่ผู้สูงอายุมีการเคลื่อนไหวน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด หรือผู้สูงอายุประสบกับภาวะการหกล้ม ข้อความแจ้งเตือนจะถูกสร้างขึ้น และจะถูกส่งไปยังโปรแกรมลูกข่ายอย่างอัตโนมัติ นอกจากนั้นผู้ใช้งานของระบบ ซึ่งได้แก่ ผู้ดูแลผู้สูงอายุ สามารถส่งคำสั่งเพื่อสืบค้น

ข้อมูล เช่น ประวัติการทำกิจกรรม ประวัติตำแหน่งภายในอาคาร และข้อมูลส่วนตัวของผู้สูงอายุ ผ่านการใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ



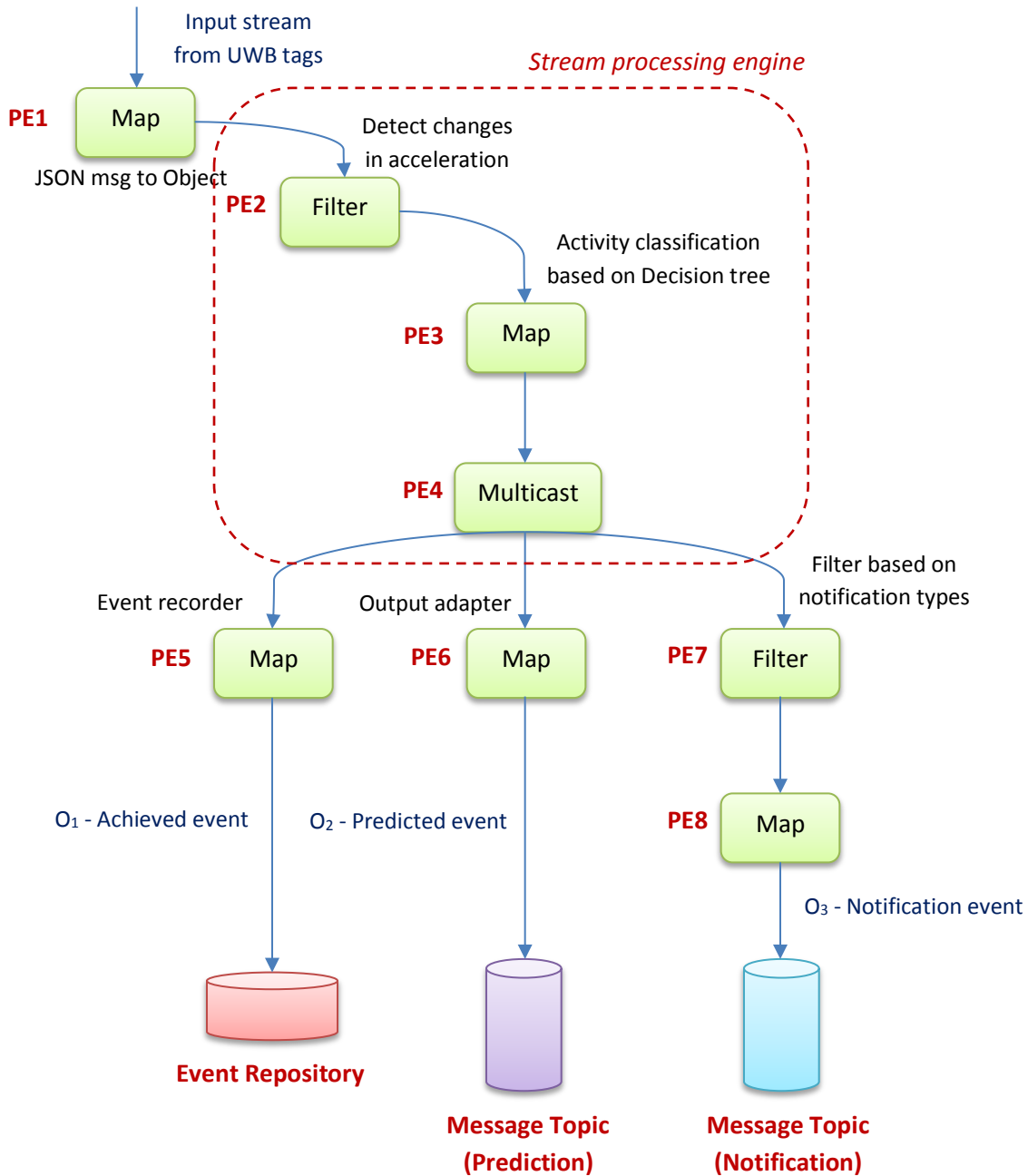
ภาพที่ 33 ภาพรวมโครงสร้างซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

ภาพรวมโครงสร้างซอฟต์แวร์ (Software framework) ที่ใช้ในการพัฒนาระบบโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (InPoSEC Web Application) แสดงดังภาพที่ 33 จากภาพสามารถแบ่งส่วนการพัฒนากออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ส่วนการทำงานสำหรับติดต่อผู้ใช้ (Client-side) และ 2) ส่วนการทำงานสำหรับการประมวลผลหลัก (Server-side) ทั้งนี้สำหรับส่วน Client-side โครงสร้างซอฟต์แวร์ Bootstrap4 และ jQuery ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการจัดรูปแบบโครงสร้างของหน้าจอให้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามขนาดของอุปกรณ์ (Responsive Web Design) และสนับสนุนการประมวลผลข้อมูลแบบพลวัตด้วยเทคโนโลยีเอแจ็กซ์ (AJAX) บนเว็บเบราว์เซอร์

ในส่วน Server-side ซึ่งใช้เครื่องแม่ข่ายคลาวด์ Microsoft Azure เป็นแพลตฟอร์มหลักในการพัฒนา โครงสร้างซอฟต์แวร์ Thymeleaf ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับ Spring Boot เพื่อกำหนดโครงสร้างคำสั่งในการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาจาวา (JAVA) สำหรับฝั่ง Server-side ให้เป็นไปอย่างมีระเบียบแบบแผน นอกจากนี้จุดเด่นที่สำคัญของ Spring Boot คือ การเพิ่มความยืดหยุ่นให้โปรแกรมประยุกต์บนเว็บสามารถรองรับต่อการขยายตัวของระบบ (System scalability) ทั้งนี้ Spring Boot มีการทำงานในรูปแบบของ Microservices ซึ่งสามารถกระจายโหนดการทำงานและแบ่งภาระการประมวลผลคำร้องขอ (Request) ดังนั้นจึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการประมวลผลดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่จำเป็นต้องตอบสนองต่อคำร้องขอจำนวนมากที่เข้ามาในระบบพร้อมๆ กัน โดยการสื่อสารข้อมูลระหว่างองค์ประกอบทั้งหมดของระบบจะมีการเข้ารหัสผ่านโพรโทคอล HTTPS

4.3 การจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว

4.3.1 ขั้นตอนวิธีการจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว (Physical Activity Classification Algorithm)



ภาพที่ 34 แผนภาพการประมวลผลกระแสข้อมูลขั้นตอนวิธีการจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว

ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีการจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว อ้างอิงกับภาพที่ 34 แผนภาพการประมวลผลกระแสข้อมูล (Stream processing flow) สามารถอธิบายได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ระบบรับ stream event ที่ส่งจากอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (Input stream)
*** Stream event ที่ส่งจากอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง บรรจุข้อมูล ค่าความเร่ง 3 แกน ที่ซึ่งค่าความเร่งดังกล่าวจะใช้สำหรับเป็นข้อมูลในการจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ
2. โดย stream event จะถูกส่งเข้าสู่ Processing element – PE1 เพื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลจาก JSON message เป็น Event Object เพื่อส่งเข้าสู่ Stream processing engine ต่อไป
3. จากนั้น แต่ละ stream event จะถูกส่งไปยัง Processing element – PE2 เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าความเร่งอย่างฉับพลัน สำหรับการตรวจจับการเกิดภาวะหกล้มในผู้สูงอายุ
4. จากนั้น ระบบจะส่งต่อ event ดังกล่าวไปยัง Processing element – PE3 เพื่อประมวลผล Activity classification สำหรับจำแนกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว
*** Activity classification model ที่ใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ ถูกพัฒนาอยู่บนพื้นฐานของโครงสร้างต้นไม้เพื่อการตัดสินใจ (Decision Tree) โดยอัลกอริทึมดังกล่าว ถูกนำมาประยุกต์ใช้และสามารถทำงานร่วมกับการประมวลผลกระแสข้อมูล (Data Stream Processing) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. ภายหลังจากผ่านการประมวลผลจาก PE3 – Activity classification ในขั้นตอนที่ 4 Predicted event (Stream event ที่ถูกสร้างขึ้นเมื่อระบบวิเคราะห์และจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุกระทำได้) จะถูกส่งไปยัง Processing element – PE4 เพื่อกระจายข้อมูล (Multicast) ส่งไปยัง 3 Processing element เพื่อประมวลผลในขั้นตอนสุดท้าย
6. จากขั้นตอนที่ 5 - data stream เส้นทางแรก Predicted event จะถูกประมวลผลโดย Processing element – PE5 (Event recorder) เพื่อจัดเก็บ Predicted event (Output stream – O1) ลงไปยังฐานข้อมูล
7. จากขั้นตอนที่ 5 - data stream เส้นทางที่สอง Predicted event จะถูกประมวลผลโดย Processing element – PE6 (Output Adapter) เพื่อแปลง event ให้ในรูปแบบ JSON message และ Event ดังกล่าว ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของกระบวนการวิเคราะห์และจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ (Output stream – O2) จะถูกส่งต่อไปแสดงผลยัง InPoSEC Web Application ผ่านซอฟต์แวร์ตัวกลาง Message Oriented Middleware ต่อไป
8. จากขั้นตอนที่ 5 - data stream เส้นทางที่สาม Predicted event จะถูกประมวลผลโดย Processing element – PE7 (Filter) เพื่อคัดกรอง ผลลัพธ์ของกระบวนการวิเคราะห์และจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ ในกรณีที่ค่าผลลัพธ์ที่ได้ สูง หรือ ต่ำ กว่าค่าขีดแบ่ง (Threshold) เช่น กรณีที่ผู้สูงอายุอยู่นิ่ง โดยไม่กระทำกิจกรรมใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว นานเกินกว่าค่า Threshold ที่

กำหนดภายในระบบ ระบบจะสร้าง Notification event ที่ Processing element – PE8 และส่ง event ดังกล่าวผ่านซอฟต์แวร์ตัวกลาง Message Oriented Middleware เพื่อแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลต่อไป

4.3.2 การเก็บข้อมูลและการสกัดคุณลักษณะจากข้อมูล (Data collection and feature extraction)

การเก็บข้อมูลที่ใช้ในการสร้าง Machine Learning Model สำหรับจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ ที่คิดค้นในงานวิจัยนี้ สามารถอธิบายได้ดังนี้

ทีมวิจัยได้ประสานกับศูนย์บริการสาธารณสุข 56 ทับเจริญ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวตัวอย่างของผู้สูงอายุ โดยมีผู้สูงอายุร่วมการทดสอบเก็บข้อมูลจำนวน 36 คน ทั้งนี้ในการทดลองเพื่อจัดเก็บข้อมูลตัวอย่าง กำหนดให้ผู้สูงอายุติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (UWB tag) ไว้ที่บริเวณสะโพก โดยใช้สายคาดเอว จากนั้นให้ผู้สูงอายุกระทำการกิจกรรมการเคลื่อนไหวซึ่งประกอบด้วย การนอนราบ (Lying) การนั่ง (Sitting) การยืน (Standing) การเดิน (Walking) และการเดินเร็ว (Fast Walking) ในระยะเวลากิจกรรมละ 1 นาที ภายในบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ UWB Anchors ในระหว่างที่ผู้สูงอายุทำการกิจกรรมการเคลื่อนไหว ทีมวิจัยได้ใช้โปรแกรมประยุกต์ขนาดเล็กซึ่งพัฒนาขึ้นเฉพาะ ในการจัดเก็บข้อมูลดิบ (ค่าความเร่ง 3 แกน) ที่อ่านได้จาก UWB tag อย่างอัตโนมัติ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกคำนวณและแปลงเป็นค่าข้อมูลทางสถิติหรือคุณลักษณะข้อมูล (Features) ที่เหมาะสมสำหรับสร้าง Machine Learning Model เพื่อจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหว (Activity classification) ต่อไป

สำหรับค่าข้อมูลทางสถิติหรือคุณลักษณะข้อมูล (Features) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถอธิบายในรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายการข้อมูลทางสถิติหรือคุณลักษณะข้อมูล (Features) สำหรับจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว

Feature	Description
1) xmin	ค่าต่ำสุดของความเร่งตามแนวแกน x
2) xmax	ค่าสูงสุดของความเร่งตามแนวแกน x
3) xavg	ค่าเฉลี่ยความเร่งตามแนวแกน x
4) xStdev	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่งตามแนวแกน x
5) ymin	ค่าต่ำสุดของความเร่งตามแนวแกน y
6) ymax	ค่าสูงสุดของความเร่งตามแนวแกน y
7) yavg	ค่าเฉลี่ยความเร่งตามแนวแกน y
8) yStdev	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่งตามแนวแกน y
9) zmin	ค่าต่ำสุดของความเร่งตามแนวแกน z
10) zmax	ค่าสูงสุดของความเร่งตามแนวแกน z
11) zavg	ค่าเฉลี่ยความเร่งตามแนวแกน z
12) zStdev	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่งตามแนวแกน z
13) rForce	แรงลัพธ์ (Resultant force) จากค่าความเร่งทั้ง 3 แกน

*** หมายถึง Features ทั้งหมด คำนวณจากค่าความเร่งภายในหน้าต่างเวลา (Time window) 3 วินาที ***

4.3.3 การสร้างและการประเมินแบบจำลอง (Model Evaluation)

ในงานวิจัยนี้ ขั้นตอนวิธีที่ถูกเลือกใช้สำหรับการจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหว ได้แก่ โครงสร้างต้นไม้เพื่อการตัดสินใจ (Decision Tree) จุดเด่นที่สำคัญของ Decision Tree คือ ความเร็วในการประมวลผลและทำนายประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหว ซึ่งจุดเด่นดังกล่าวสนับสนุนการทำงานแบบทันที (Real-time) ของระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคารได้เป็นอย่างดี

การทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหว (ML model evaluation) จะประเมินจากร้อยละความถูกต้องในการจำแนกกิจกรรม โดยชุดข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย 526 ระเบียบ (feature vectors) ซึ่งจะทดสอบในรูปแบบของ 10 Fold Cross Validation นั่นคือ มีการแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 10 ส่วน ข้อมูลแต่ละส่วนมาจากการสุ่มเพื่อให้ข้อมูลกระจายในแบบเท่าๆ กัน จากนั้นจะเลือกข้อมูล 9 ส่วนมาทำการสอน (Train) แบบจำลองให้เรียนรู้ และที่เหลืออีก 1 ส่วนจะนำมาใช้ในการทดสอบ (Test) ความถูกต้องของแบบจำลองทั้งนี้ในการทดสอบ จะทำการเลือกข้อมูลมา Train และ Test สลับกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบทั้ง 10 ส่วนข้อมูล สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหวของแบบจำลอง สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

Lying	Sitting	Standing	Walking	Fast Walking	total
103	101	105	109	108	526

ความถูกต้องในการจำแนก (%) แยกตามประเภทกิจกรรม

Lying	Sitting	Standing	Walking	Fast Walking	overall
99.0	98.0	98.1	84.4	87.0	93.72

เมตริกซ์วัดประสิทธิภาพในการจำแนกกิจกรรม (Confusion Matrix)

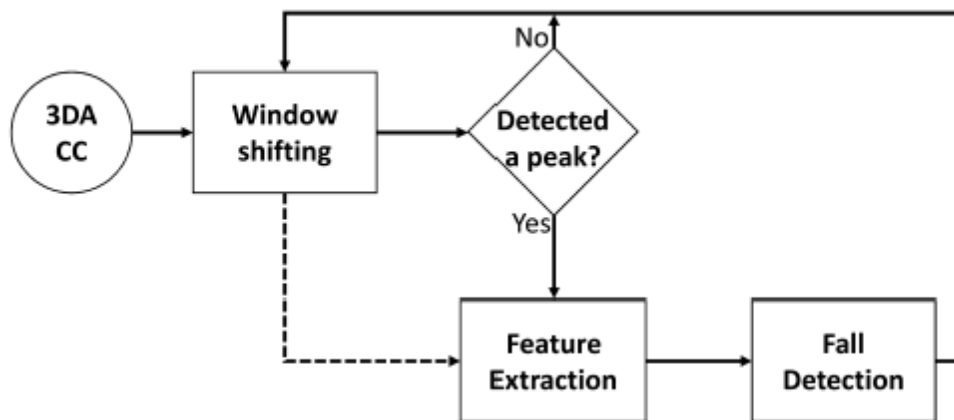
		Predicted Class				
		Lying	Sitting	Standing	Walking	Fast Walking
Actu	Lying	102	1	0	0	0
	Sitting	0	99	2	0	0

	Standing	0	2	103	0	0
	Walking	0	0	0	92	17
	Fast Walking	0	0	0	13	94

ผลการทดสอบประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น มีความแม่นยำในการจำแนกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวเป็นที่น่าพอใจ โดยจากผลการทดสอบ (ที่จำนวนตัวอย่างข้อมูล 526 ตัวอย่าง) ความถูกต้องในการจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหว ในภาพรวมอยู่ที่ ร้อยละ 93.72 โดยเมื่อลงรายละเอียดไปตามประเภทกิจกรรม พบว่า การนอนราบ (Lying) ถือเป็นกิจกรรมที่เมื่อถูกจำแนกแล้วมีความถูกต้องมากที่สุด ที่ร้อยละ 99 กิจกรรมการยืน (Standing) และการนั่ง (Sitting) เป็นกิจกรรมที่มีความถูกต้องสูงเป็นลำดับถัดมา สำหรับกิจกรรมการเดิน (Walking) และการเดินเร็ว (Fast Walking) ถือเป็นกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่มีความคล้ายคลึงกันค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนในการทำนายอยู่บ้าง แต่กระนั้นค่าความถูกต้องในการจำแนกกิจกรรมก็ยังอยู่ในระดับดีมาก (สูงกว่าร้อยละ 80) ทั้งนี้ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองฯ สามารถจำแนกกิจกรรมที่เข้าข่ายกิจกรรมที่มีการหยุดนิ่งอยู่กับที่ (Stationary) ด้วยความแม่นยำสูง ซึ่งมีผลโดยตรงให้ฟังก์ชันตรวจจับการอยู่นิ่งนานเกินไปของผู้สูงอายุ สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

4.4 การตรวจจับการหกล้ม

ขั้นตอนวิธีการตรวจจับการหกล้มซึ่งใช้ในโครงการนี้เป็นการประยุกต์จากงานวิจัยของ Barri และคณะ (Barri et al., 2018) แสดงดังภาพที่ 35 ข้อมูลความเร่งที่อ่านได้จากมาตรความเร่งแบบ 3 แกน (3DACC) จะถูกประมวลผลโดยใช้หน้าต่างเวลาขนาด 3 วินาที ระบบจะดำเนินการคำนวณหาค่าจุดสูงสุดของชุดข้อมูล (Peak) ที่มีค่าเกินกว่า Threshold ที่กำหนด และหากจุดสูงสุดถูกพบในหน้าต่างเวลานั้น ข้อมูลทั้งหมดในหน้าต่างเวลานั้นจะถูกนำไปสกัดคุณลักษณะ (Features) เพื่อนำไปตรวจสอบภาวะการหกล้มผ่านทางโปรแกรมปัญญาประดิษฐ์สำหรับจำแนกการหกล้มต่อไป



ภาพที่ 35 ขั้นตอนวิธีการตรวจจับการหกล้ม (Barri et al., 2018)

4.4.1 การสกัดคุณลักษณะบนพื้นฐานของพลวัตของการล้ม (Feature Extraction Based on the Dynamics of a Fall) (Barri et al., 2018)

ในงานวิจัยนี้ เรากำหนดให้ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (g) = 9.8 m/s² เมื่อกำหนดให้ t เป็นค่า Timestamp ปัจจุบัน เราจะหาขนาดความเร่งลัพธ์สูงสุด (peak a) ณ เวลา $pt = t - 3000$ ms โดยขนาดความเร่ง a จะหาได้จากสมการ

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

เมื่อ a_x , a_y และ a_z คือ ค่าความเร่งที่อ่านได้จากมาตรความเร่งที่วัดตามแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ

จากผลการคำนวณที่ได้หากพบว่ามีค่า a ณ เวลา pt ไต ๆ ในหน้าต่างเวลาที่มีค่ามากกว่า Threshold $th = 3 \times g$ โดยไม่มีค่า a ณ เวลา t อื่น ๆ ในหน้าต่างเวลาที่พิจารณา ที่มีค่ามากกว่า เราจะถือว่าเกิดขนาดความเร่งสูงสุด (Peak a) ขึ้น ณ เวลา pt

เมื่อเกิดขนาดความเร่งสูงสุดขึ้น ระบบจะเข้าสู่ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับการล้ม (Fall Detection) โดยรายละเอียดของคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับการล้มแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งเป็นคุณลักษณะ (Features) ชุดเดียวกับที่ใช้ในการจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว ทั้งนี้ชุดข้อมูลที่นำมาใช้สร้างแบบจำลองตรวจจับและจำแนกประเภทการหกล้มในโครงการวิจัยนี้คือ ชุดข้อมูลจากโครงการ MobiFall (Vavoulas et al., 2013)

4.4.2 ชุดข้อมูล MobiFall

ชุดข้อมูล MobiFall (Vavoulas et al., 2013) เป็นชุดข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ถูกเก็บ ณ TEIC, BMI Lab ประเทศกรีซ โดยข้อมูลที่เก็บจะถูกอ่านจากมาตรความเร่ง และมาตรความเร็วเชิงมุม โดยข้อมูลความเร่งถูกเก็บที่อัตราการเก็บตัวอย่าง 7.6 ms ที่ 87 Hz และข้อมูลความเร็วเชิงมุมถูกเก็บที่อัตราการเก็บตัวอย่าง 0.3 ms ที่ 200Hz

ข้อมูลถูกเก็บจากอาสาสมัครจำนวน 11 ท่าน โดยแบ่งเป็นชาย 6 ท่าน (ช่วงอายุ: 22 – 32 ปี, ช่วงความสูง: 1.69 – 1.89 เมตร, ช่วงน้ำหนัก: 64 – 102 กก.) และหญิง 5 ท่าน (ช่วงอายุ: 22 – 36 ปี, ช่วงความสูง: 1.60 – 1.72 เมตร, ช่วงน้ำหนัก: 50 – 90 กก.) โดยอาสาสมัคร 9 ท่านจะทดลองทำการล้ม 4 รูปแบบคือ ล้มไปด้านหน้า (Forward-Lying, FOL) ล้มไปด้านหน้าโดยเอาหัวเข่าลง (Front-Knees-Lying, FKL) ล้มไปด้านข้าง (Sideward-Lying, SDL) และล้มไปด้านหลัง (Back-Sitting-Chair, BSC) โดยทำการทดลองคนละ 3 ครั้ง ใช้เวลาทดลองครั้งละ 10 วินาที ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลในโครงการ MobiFall (Vavolus et al., 2016)

4.4.3 การสร้างและการประเมินแบบจำลอง (Model Evaluation)

ขั้นตอนวิธีที่ถูกเลือกใช้สำหรับการตรวจจับและจำแนกประเภทการหกล้มในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ขั้นตอนวิธีการหาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbour – KNN) ทั้งนี้ ขั้นตอนวิธีดังกล่าว (KNN) ถือเป็นขั้นตอนวิธีที่ทีมนักวิจัยผู้พัฒนาชุดข้อมูล MobiFall แนะนำให้ใช้ในการจำแนกประเภทการล้ม (Vavoulas et al., 2016) เนื่องจากให้ผลการทำนายดีที่สุดในกลุ่มของขั้นตอนวิธีที่ทีมนักวิจัยทดสอบ (ขั้นตอนวิธีอื่นๆ ที่ทดสอบ อาทิเช่น SVM Decision tree และ Naive Bayes)

การทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง (ML model evaluation) จะประเมินจากร้อยละความถูกต้องในการจำแนกประเภทการล้ม โดยชุดข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย 252 ระเบียบ (feature vectors) โดยจะแบ่งเป็นข้อมูลการหกล้มทั้ง 4 รูปแบบ (FOL FKL SDL และ BSC) จำนวน 132 ระเบียบ และข้อมูลกิจกรรมอื่นซึ่งไม่ใช่การหกล้ม (NF) อีก 120 ระเบียบ ทั้งนี้ จะทำการทดสอบในรูปแบบของ 10 Fold Cross Validation เช่นเดียวกันกับที่ทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองการจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ได้กล่าวถึงไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองการตรวจจับและจำแนกประเภทการล้ม สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

FOL	FKL	SDL	BSC	NF	total
33	33	33	33	120	252

ความถูกต้องในการจำแนก (%) แยกตามประเภทกิจกรรม

FOL	FKL	SDL	BSC	NF	overall
72.7	63.6	72.7	69.7	96.7	82.54

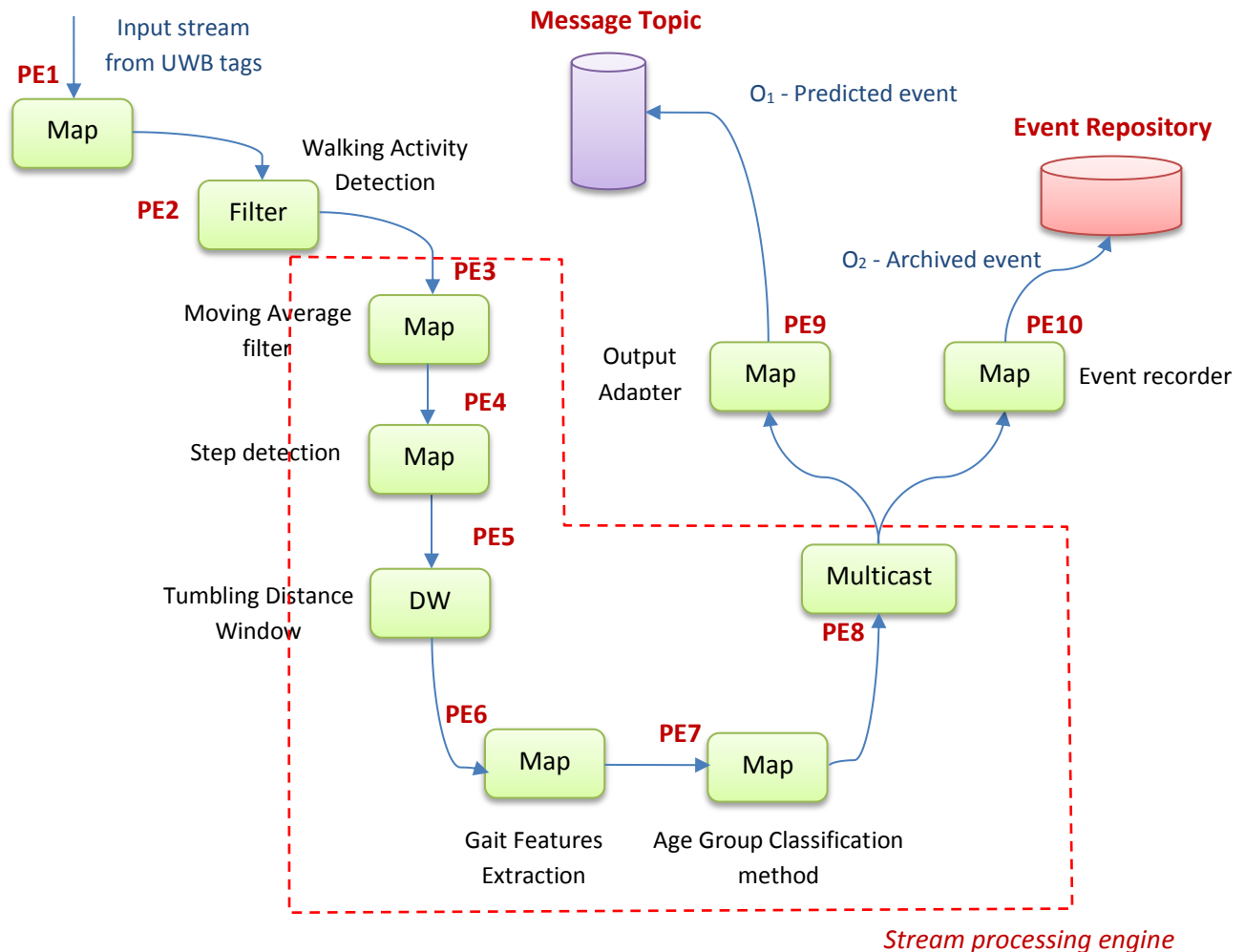
เมตริกซ์วัดประสิทธิภาพในการจำแนกกิจกรรม (Confusion Matrix)

		Predicted Class				
		FOL	FKL	SDL	BSC	NF
Actual Class	FOL	24	1	3	5	0
	FKL	4	21	6	2	0
	SDL	3	2	24	4	0
	BSC	2	2	6	23	0
	NF	2	0	1	1	116

ผลการทดสอบประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น มีความแม่นยำในตรวจจับและจำแนกประเภทการหกล้มเป็นที่น่าสนใจ โดยจากผลการทดสอบ (ที่จำนวนตัวอย่างข้อมูล 252 ตัวอย่าง) ความถูกต้องในการจำแนกของแบบจำลองในภาพรวมอยู่ที่ ร้อยละ 82.54 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการจำแนกระหว่างการหกล้มทุกประเภทกับกิจกรรมอื่นซึ่งไม่ใช่การหกล้ม (NF) ความถูกต้องในการจำแนกการหกล้มของแบบจำลองฯ อยู่ที่ร้อยละ 96.7 ทั้งนี้เมื่อลงรายละเอียดไปตามประเภทการหกล้ม พบว่า การล้มไปด้านหน้า (FOL) และการล้มไปด้านข้าง (SDL) ถือเป็นประเภทการหกล้มที่มีความถูกต้องมากที่สุด ที่ร้อยละ 72.7 โดยการล้มไปด้านหลัง (BSC) และการล้มไปด้านหน้าโดยเอาหัวเข่าลง (FKL) เป็นประเภทการหกล้มที่มีความถูกต้องสูงเป็นลำดับถัดมา ที่ร้อยละ 69.7 และ 63.6 ตามลำดับ โดยสรุป ภาพรวมของความแม่นยำในการจำแนกประเภทการหกล้มของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น จะอยู่ที่ร้อยละ 70

4.5 การจำแนกกลุ่มอายุจากการวิเคราะห์รูปแบบการเดิน

4.5.1 ขั้นตอนวิธีการจำแนกกลุ่มอายุ (Age Group Prediction Algorithm)



ภาพที่ 37 แผนภาพการประมวลผลกระแสข้อมูลขั้นตอนวิธีการจำแนกกลุ่มอายุ

ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีการจำแนกกลุ่มอายุ (กลุ่มอายุตามสุขภาพร่างกายที่วิเคราะห์ได้จากการเดิน/การเคลื่อนไหว) อ้างอิงกับภาพที่ 37 แผนภาพการประมวลผลกระแสข้อมูล (Stream processing flow) สามารถอธิบายได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ระบบรับ stream event ที่ส่งจากอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (Input stream)
 - *** Stream event จะบรรจุชุดข้อมูลค่าความเร่ง 3 แกน ซึ่งค่าความเร่งดังกล่าวจะใช้สำหรับเป็นข้อมูลดิบในการจำแนกกลุ่มอายุต่อไป
2. โดย stream event จะถูกส่งเข้าสู่ Processing element – PE1 เพื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลจาก JSON message เป็น Event Object เพื่อส่งเข้าสู่ Stream processing engine ต่อไป

3. จากนั้น แต่ละ stream event จะถูกส่งไปยัง Processing element – PE2 เพื่อตรวจสอบว่าขณะนั้น ผู้สูงอายุกำลังกระทำการกิจกรรมการเดิน (Walking) หรือไม่
4. กรณีที่ผู้สูงอายุกำลังกระทำการกิจกรรมการเดิน Moving average filter (Processing element – PE3) จะถูกนำเข้ามาใช้เพื่อช่วยในการกำจัดสัญญาณรบกวนในชุดข้อมูลความเร็ว (ข้อมูลดิบ) ซึ่งเป็นกระบวนการในการจัดเตรียมข้อมูลให้พร้อมสำหรับการประมวลผลการตรวจจับก้าวเดินในขั้นตอนต่อไป
5. จากนั้น ระบบจะส่งต่อ event ที่ข้อมูลผ่านการคัดกรองจาก PE3 ไปยัง Processing element – PE4 เพื่อประมวลผลการตรวจจับก้าวเดิน (Step detection) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบการเดิน (Gait Analysis) ซึ่งใช้ในการทำนายกลุ่มอายุ (Age Group Prediction)
6. ภายหลังจากการตรวจจับก้าวเดิน ระบบจะใช้ Tumbling Distance Window (Processing element – PE5) เพื่อตรวจสอบว่า ขณะนี้ผู้สูงอายุที่พกพาอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง ได้ทำการเดินครบระยะที่กำหนดไว้ เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเดิน (Gait Analysis) หรือไม่ (ระยะมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบการเดิน ได้แก่ ระยะ 10 เมตร (Saho et al, 2017))
7. กรณีที่ตรวจสอบจากขั้นตอนที่ 6 แล้ว ระยะทางการเดินครบตามระยะที่กำหนด ระบบจะคำนวณข้อมูลทางสถิติที่เป็นตัวแทนของรูปแบบการเดิน (Gait Features) ที่ Processing element – PE6 ซึ่ง Gait Features ดังกล่าวจะประกอบด้วย ค่าความยาวก้าวเฉลี่ย (Step length) ค่าความถี่ของการก้าว (Step frequency) ค่าความเร็วในการเดิน (Gait Speed) ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร่งในขณะเดิน (Root Mean Square – RMS) และค่าความสม่ำเสมอของการก้าวเดิน (Step Regularity)
9. จากนั้น ค่า Gait Features ที่คำนวณในขั้นตอนที่ 7 (PE6) จะถูกส่งต่อไปยัง Processing Element – PE7 เพื่อประมวลผล Age Group classification สำหรับจำแนกกลุ่มอายุอันเนื่องมาจากรูปแบบการเดิน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล คือ Predicted event ซึ่งบรรจุผลการทำนายกลุ่มอายุ (กลุ่มอายุที่จำแนกในระบบได้แก่ 1) กลุ่มวัยทำงาน - อายุ < 60 ปี 2) กลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี - อายุ >= 60 ปี และ 3) กลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหากล้ามเนื้ออ่อนแรง - อายุ >= 60 ปี)
 *** Age Group Classification model ที่ใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกกลุ่มอายุ ถูกพัฒนาอยู่บนพื้นฐานของขั้นตอนวิธี C4.5 decision trees
10. ภายหลังจากผ่านการประมวลผลจาก PE7 – Age Group classification แล้ว Predicted event (Stream event ที่ถูกสร้างขึ้นเมื่อระบบวิเคราะห์และจำแนกกลุ่มอายุจากการวิเคราะห์รูปแบบการเดินได้) จะถูกส่งไปยัง Processing element – PE8 เพื่อกระจายข้อมูล (Multicast) ส่งไปยัง 2 Processing element เพื่อประมวลผลในขั้นตอนสุดท้าย
11. จากขั้นตอนที่ 10 - data stream เส้นทางการ Predicted event จะถูกประมวลผลโดย Processing element – PE9 (Output Adapter) เพื่อแปลง event ให้อยู่ในรูปแบบ JSON message และ Event ดังกล่าว ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของกระบวนการวิเคราะห์และจำแนกกลุ่มอายุ (Output stream – O1) จะถูกส่งต่อไปแสดงผลยัง Application โดยซอฟต์แวร์ตัวกลาง Message Oriented Middleware ต่อไป

12. จากขั้นตอนที่ 10 - data stream เส้นทางการที่สอง Predicted event จะถูกประมวลผลโดย Processing element – PE10 (Event recorder) เพื่อจัดเก็บ Predicted event (Output stream – O2) ลงไปยังฐานข้อมูล

4.5.2 การเก็บข้อมูลและการสกัดคุณลักษณะจากข้อมูล (Data collection and feature extraction)

การเก็บข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง Machine Learning Model สำหรับจำแนกกลุ่มอายุจากรูปแบบการเดินที่คิดค้นในโครงการวิจัยนี้ สามารถอธิบายได้ดังนี้

ทีมวิจัยได้ประสานกับศูนย์บริการสาธารณสุข 56 ทับเจริญ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวตัวอย่างของผู้สูงอายุ โดยมีผู้สูงอายุร่วมการทดสอบเก็บข้อมูลจำนวน 74 คน แบ่งเป็น กลุ่มที่ 1 – ผู้สูงอายุสุขภาพดี 42 คน และ กลุ่มที่ 2 - ผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (กล้ามเนื้ออ่อนแรง) 32 คน ทั้งนี้ในการทดลองเพื่อจัดเก็บข้อมูลตัวอย่าง กำหนดให้ผู้สูงอายุติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (UWB tag) ไว้ที่บริเวณสะโพก โดยใช้สายคาดเอว จากนั้นให้ผู้สูงอายุทำกิจกรรมการเดินเป็นเวลา 3 นาที ภายในบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ UWB Anchors ในระหว่างที่ผู้สูงอายุเดิน ทีมวิจัยได้ใช้โปรแกรมประยุกต์ขนาดเล็กซึ่งพัฒนาขึ้นเฉพาะ ในการจัดเก็บข้อมูลดิบที่อ่าน (ค่าความเร่ง 3 แกน) ได้จาก UWB tag อย่างอัตโนมัติ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกคำนวณและสกัดเพื่อให้ได้เป็นข้อมูลทางสถิติที่เป็นตัวแทนของรูปแบบการเดิน (Gait Features) สำหรับสร้าง Machine Learning Model ต่อไป

สำหรับข้อมูลคุณลักษณะหรือข้อมูลทางสถิติที่เป็นตัวแทนของรูปแบบการเดิน (Gait Features) ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้ สามารถอธิบายในรายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายการข้อมูลคุณลักษณะที่เป็นตัวแทนของรูปแบบการเดิน (Gait Features)

Feature	Description
1) ความยาวก้าวเฉลี่ย (Step length)	ระยะห่างระหว่างจุดที่เท้าข้างหนึ่งสัมผัสพื้นกับจุดที่เท้าข้างตรงกันข้ามสัมผัสพื้น (Zhou et al., 2020)
2) ความถี่ของการก้าว (Step frequency)	จำนวนก้าวที่ใช้ต่อระยะเวลาในการเดิน (Tian et al., 2015)
3) ความเร็วในการเดิน (Gait Speed)	เวลาที่ใช้ในการเดิน บนระยะทางที่กำหนด (ในงานวิจัยนี้ ใช้ระยะทาง 10 เมตร เป็นระยะมาตรฐานในการคำนวณค่า Gait Speed (Peters, Fritz and Krotish, 2013))
4) ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเร่ง (Root Mean Square – RMS)	ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลง Amplitude ของความเร่งขณะเดิน
5) ความสม่ำเสมอของการก้าวเดิน (Step Regularity)	ค่าความสม่ำเสมอในการก้าวเท้า ประเมินจากการเปรียบเทียบระยะเวลาการลงเท้าของขาข้างซ้ายและขาขวาสำหรับแต่ละคู่ของก้าวที่ติดกัน (Tura et al., 2010)

4.5.3 การสร้างและการประเมินแบบจำลอง (Model Evaluation)

ในการสร้างแบบจำลอง Machine Learning Model สำหรับจำแนกกลุ่มอายุจากรูปแบบการเดิน โลบรารีเวกาสำหรับจาวา (WEKA library for Java) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองและพัฒนาโปรแกรมสำหรับเรียกประมวลผลและประเมินแบบจำลอง จุดเด่นของ WEKA คือ ในตัวโลบรารีได้จัดเตรียมขั้นตอนวิธี Machine Learning ไว้หลากหลายประเภท ทำให้นักพัฒนามีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้งาน อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับรูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกกลุ่มอายุจากรูปแบบการเดิน อันจะนำไปสู่การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีสำหรับการจำแนกกลุ่มอายุฯ ได้อย่างเหมาะสมและมีความถูกต้องในการจำแนกสูง ผู้วิจัยได้เลือกขั้นตอนวิธีมาทดสอบจำนวน 3 ขั้นตอนวิธี ได้แก่

- 1) Feedforward neural network with back-propagation (Multi-layer perceptron)
- 2) Support-vector machines (SVM)
- 3) C4.5 decision trees

กลุ่มอายุที่จำแนกจากรูปแบบการเดิน ผ่านการประมวลผลแบบจำลอง Machine Learning Model ได้แก่

- 1) กลุ่มวัยทำงาน อายุต่ำกว่า 60 ปี (Young Adult – YA)
- 2) กลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (Healthy Older Adult – HOA)
- 3) กลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (กล้ามเนื้ออ่อนแรง) อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (Older Adult with Mobility Problems – OAM)

การทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกกลุ่มอายุจากรูปแบบการเดินของแบบจำลอง (ML model evaluation) จะประเมินจากร้อยละความถูกต้องในการจำแนกแยกตามกลุ่มอายุ โดยชุดข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย 1420 ระเบียบ (feature vectors) ซึ่งจะทดสอบในรูปแบบของ 10 Fold Cross Validation นั่นคือ มีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ส่วน ข้อมูลแต่ละส่วนมาจากการสุ่มเพื่อให้ข้อมูลมีการกระจายแบบเท่าๆ กัน จากนั้นจะเลือกข้อมูล 9 ส่วนมาทำการสอน (Train) แบบจำลองให้เรียนรู้ และที่เหลืออีก 1 ส่วนจะนำมาใช้ในการทดสอบ (Test) ความถูกต้องของแบบจำลอง ทั้งนี้จะทำการเลือกข้อมูลมา Train และ Test สลับกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบทั้ง 10 ส่วน สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกฯ ของแบบจำลอง สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ

ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มอายุที่จำแนกจากรูปแบบการเดิน ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มวัยทำงาน อายุต่ำกว่า 60 ปี (YA) 2) กลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (HOA) 3) กลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (กล้ามเนื้ออ่อนแรง) อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (OAM) จากนั้นใช้ชุดข้อมูลดังกล่าวในการสร้างแบบจำลองและทดสอบประสิทธิภาพการจำแนก ผลการทดสอบประสิทธิภาพจำแนกตามขั้นตอนวิธีที่นำมาทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางด้านล่าง

จำนวนระเบียบตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

YA	456
HOA	476
OAM	488

1) Feedforward neural network with back-propagation (Multi-layer perceptron)

ความถูกต้องในการจำแนก (%) แยกตามกลุ่มข้อมูลผู้สูงอายุสุขภาพดี

YA	81.7
HOA	67.6
OAM	75.0

เมตริกซ์วัดประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มอายุ (Confusion Matrix)

		Predicted Class		
		YA	HOA	OAM
Actual Class	YA	370	19	67
	HOA	38	330	120
	OAM	22	97	357

ตารางข้างต้นแสดงประสิทธิภาพการจำแนกกลุ่มอายุ (จากรูปแบบการเดิน) สำหรับแบบจำลองขั้นตอนวิธี Feedforward neural network (Multi-layer perceptron - MLP) ทั้งนี้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง จะประกอบไปด้วย 1 ชั้นโครงข่ายซ่อนตัว (Hidden layers) โดยภายในประกอบด้วยโหนดย่อยทั้งสิ้น 5 โหนด (ซึ่งเท่ากับจำนวนคุณลักษณะที่เป็นตัวแทนของรูปแบบการเดิน - Gait Features) และชั้นโครงข่ายสุดท้ายหรือ output layer จะประกอบด้วยโหนดเพียงโหนดเดียว สำหรับการส่งค่าผลลัพธ์ของการประมวลผลแบบจำลอง ซึ่งได้แก่ กลุ่มอายุที่ทำนายได้จากรูปแบบการเดิน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าในภาพรวม แบบจำลองฯ มีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกกลุ่มอายุอยู่ที่ร้อยละ 74.44 ทั้งนี้เมื่อพิจารณารายกลุ่ม แบบจำลองฯ มีความแม่นยำในการจำแนก กลุ่มวัยทำงานอายุน้อยกว่า 60 ปี (YA) สูงที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 81.7 รองลงมาเป็นกลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการ

เคลื่อนไหว (OAM) และกลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี (HOA) ซึ่งมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 75 และ 67.6 ตามลำดับ ทั้งนี้แบบจำลองฯ มีค่าผลบวกหลง (False positive) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 12.9

2) Support-vector machines (SVM)

ความถูกต้องในการจำแนก (%) แยกตามกลุ่มข้อมูลผู้สูงอายุสุขภาพดี

YA	78.1
HOA	61.3
OAM	73.3

เมตริกซ์วัดประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มอายุ (Confusion Matrix)

		Predicted Class		
		YA	HOA	OAM
Actual Class	YA	356	42	58
	HOA	28	299	161
	OAM	24	103	349

ตารางข้างต้นแสดงประสิทธิภาพการจำแนกกลุ่มอายุ (จากรูปแบบการเดิน) สำหรับแบบจำลองขั้นต้นวิธี Support-vector machines (SVM) โดยประเภทของ SVM ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองได้แก่ C-Support Vector Classification (C-SVC) และ Kernel Function ที่ใช้ได้แก่ Radial Basis Function Kernel (RBF) ทั้งนี้การเลือกใช้ Kernel function ดังกล่าว ทำให้แบบจำลองสามารถแปลงข้อมูลนำเข้าหรือข้อมูลสำหรับสอนแบบจำลอง (Training dataset) ให้สอดคล้องกับรูปแบบการจำแนกข้อมูลที่มีจำนวนมิติมาก (High-dimensional space)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าในภาพรวม แบบจำลองฯ มีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกกลุ่มอายุอยู่ที่ร้อยละ 70.7 ทั้งนี้เมื่อพิจารณารายกลุ่ม แบบจำลองฯ มีความแม่นยำในการจำแนก กลุ่มวัยทำงานอายุน้อยกว่า 60 ปี (YA) สูงที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 78.1 รองลงมาเป็นกลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (OAM) และกลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี (HOA) ซึ่งมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 73.3 และ 61.3 ตามลำดับ ทั้งนี้แบบจำลองฯ มีค่าผลบวกหลง (False positive) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 14.9

3) C4.5 decision trees

ความถูกต้องในการจำแนก (%) แยกตามกลุ่มข้อมูลผู้สูงอายุสุขภาพดี

YA	91.4
----	------

HOA	78.9
OAM	75.4

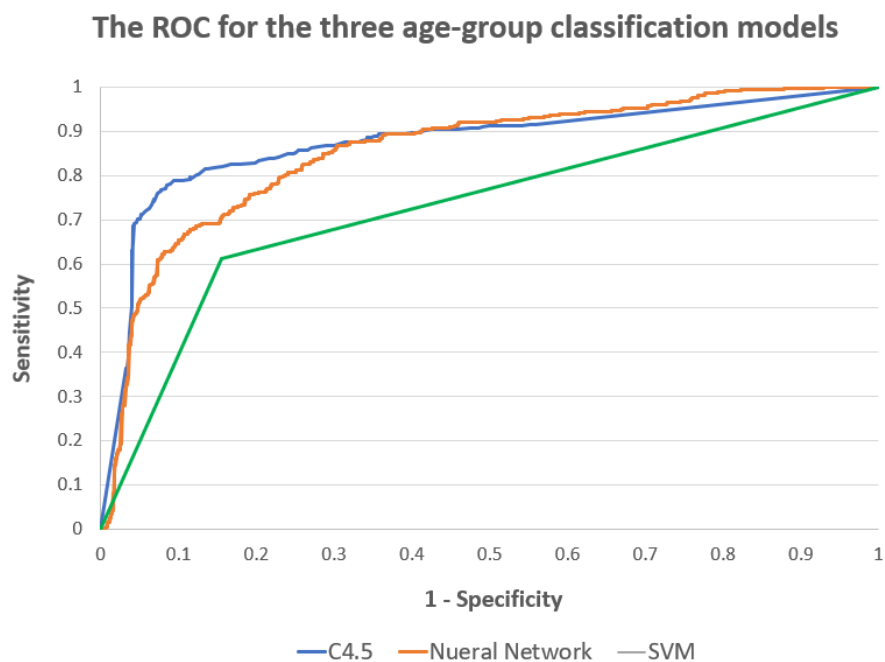
เมตริกชี้วัดประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มอายุ (Confusion Matrix)

		Predicted Class		
		YA	HOA	OAM
Actual Class	YA	417	16	23
	HOA	30	385	73
	OAM	41	76	359

ตารางข้างต้นแสดงประสิทธิภาพการจำแนกกลุ่มอายุ (จากรูปแบบการเดิน) สำหรับแบบจำลองขั้นตอนวิธี C4.5 Decision trees จุดเด่นของการสร้างแบบจำลองแบบ Decision trees คือ การที่แบบจำลองจะมีคุณลักษณะแบบ white-box ซึ่งกลไกการจำแนกข้อมูลสามารถตีความและทำความเข้าใจได้อย่างตรงไปตรงมา แตกต่างกับขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการจำแนกกลุ่มอายุก่อนหน้านี้ (Neural Network และ Support Vector Machine) ที่มีคุณลักษณะแบบ Black-box อีกทั้ง Decision trees ยังสามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูลทั้งในรูปแบบของข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) และแบบต่อเนื่อง (Continues Data) นอกจากนี้ Decision trees ยังมีจุดเด่นในด้านความเร็วการประมวลผล/การทำนาย ในช่วงเวลา run-time อีกด้วย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าในภาพรวม แบบจำลองฯ มีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกกลุ่มอายุอยู่ที่ร้อยละ 81.8 ทั้งนี้เมื่อพิจารณารายกลุ่ม แบบจำลองฯ มีความแม่นยำในการจำแนก กลุ่มวัยทำงานอายุน้อยกว่า 60 ปี (YA) สูงที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 91.4 รองลงมาเป็นกลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี (HOA) มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 78.9 และกลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (OAM) ซึ่งมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 75.4 ทั้งนี้แบบจำลองฯ มีค่าผลบวกหลง (False positive) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 9.2

สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง



ภาพที่ 38 กราฟ Receiver Operating Characteristic Curves (ROC) ของแบบจำลองการจำแนกกลุ่มอายุ

การทดสอบประสิทธิภาพการจำแนกกลุ่มอายุจากรูปแบบการเดินของแบบจำลอง (ML model evaluation) สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

- เมื่อเปรียบเทียบความถูกต้องเฉลี่ยของแบบจำลองในทั้ง 3 ขั้นตอนวิธีที่นำมาทดสอบแล้ว แบบจำลอง C4.5 Decision Tree ให้ผลความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกกลุ่มอายุสูงที่สุด โดยความถูกต้องในการจำแนกอยู่ที่ร้อยละ 81.8 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแบบจำลองจากขั้นตอนวิธี C4.5 Decision Tree ให้เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการจำแนกกลุ่มอายุในระบบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย
- อีกทั้งเมื่อพิจารณากราฟ Receiver Operating Characteristic Curves (ROC) ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกกลุ่มอายุของแต่ละแบบจำลอง ดังภาพที่ 38 จะสามารถสนับสนุนแนวคิดในการตัดสินใจเลือกแบบจำลอง C4.5 Decision Tree เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ได้เป็นอย่างดี โดยเมื่อประเมินจากกราฟ ROC แบบจำลองจากขั้นตอนวิธี C4.5 มีประสิทธิภาพในการจำแนกสูงที่สุด โดยทั้งนี้พื้นที่ใต้กราฟ (Area Under ROC Curve - AUC) ของแบบจำลองจากขั้นตอนวิธี C4.5 มีค่าอยู่ที่ 0.87 ซึ่งมากกว่าแบบจำลองอื่นเมื่อเปรียบเทียบกัน (Neural Network = 0.85 และ SVM = 0.72) นอกจากนี้ เมื่อตีความจากค่า AUC ที่มีค่ามากกว่า 0.8 ยังแสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง C4.5 Decision Tree มีประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มอายุจากรูปแบบการเดินได้เป็นอย่างดี
- อ้างอิงกับผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองจากขั้นตอนวิธี C4.5 Decision Tree มีความแม่นยำในการจำแนกกลุ่มอายุ (ทำนายกลุ่มอายุ) เป็นที่น่าพอใจ โดยมีความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 81.8 ซึ่งถือว่าเป็นความถูกต้องที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งเมื่อพิจารณารายกลุ่ม กลุ่มวัยทำงาน (YA) มีความถูกต้องใน

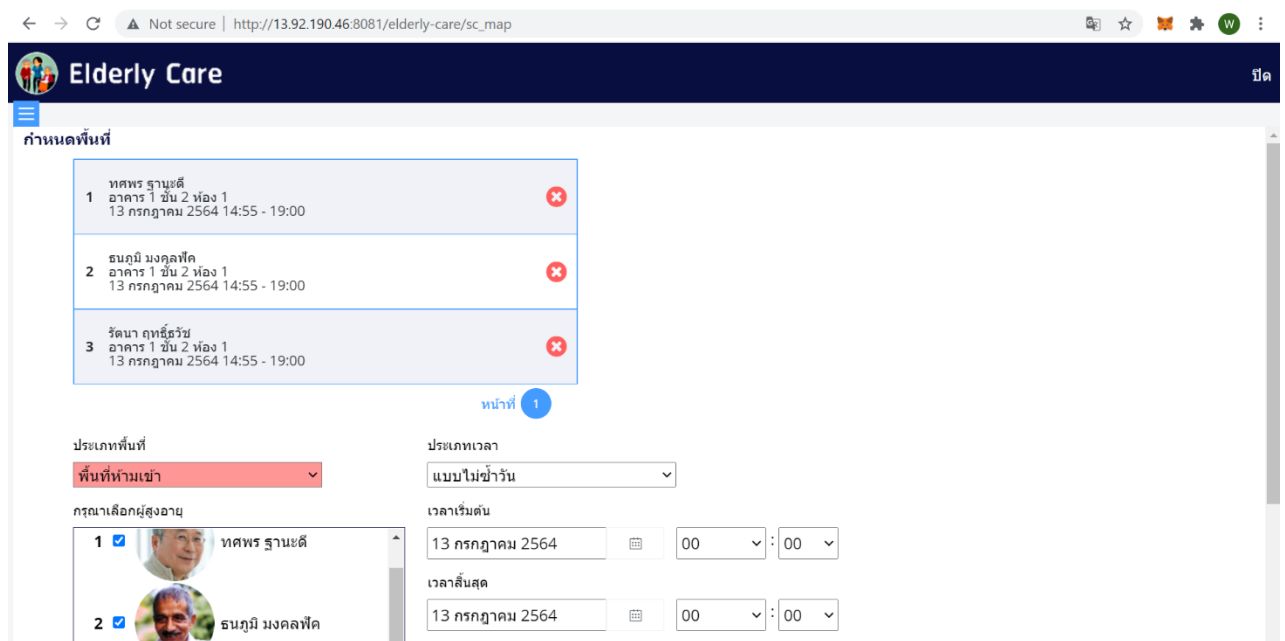
- การจำแนกมากที่สุดที่ร้อยละ 91.4 รองลงมาเป็นกลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี (HOA) มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 78.9 และกลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (OAM) ซึ่งมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 75.4
- อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าแบบจำลองจากขั้นตอนวิธี C4.5 Decision Tree จะมีจุดเด่นในเรื่องความเร็วในการประมวลผลและทำนายกลุ่มอายุ (ในช่วงเวลา run-time) แต่กระนั้นแบบจำลองดังกล่าวก็มีจุดด้อยในกรณีที่ข้อมูลที่ใช้สำหรับสอนแบบจำลอง มีปริมาณมากและมีความซับซ้อนสูง ซึ่งจะทำให้ Decision trees มีขนาดใหญ่และใช้เวลาการสร้างแบบจำลองนาน โดยในการทดสอบแบบจำลอง C4.5 decision trees จะใช้เวลาในการสร้างแบบจำลองประมาณ 0.1 วินาที ซึ่งมากกว่าแบบจำลองอื่นประมาณ 2 เท่า อย่างไรก็ตามจุดด้อยดังที่กล่าวมานี้ ไม่มีผลทำให้การทำงานของระบบซอฟต์แวร์ด้อยประสิทธิภาพ เนื่องจากกระบวนการสร้างแบบจำลอง จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาเริ่มต้นของระบบ (Initialization time) เท่านั้น

4.6 การตรวจจัดการเดินหลงภายในอาคาร

อาการหนึ่งของผู้สูงอายุที่มีภาวะการเสื่อมถอยของระบบสมองคือการเดินหลง ในกรณีของผู้สูงอายุที่ใช้ชีวิตอยู่ในอาคาร สถานการณ์ที่บ่งชี้ถึงการการเดินหลงจะสามารถจำแนกได้เป็น 2 กรณีคือ 1) การไม่อยู่ในพื้นที่ควบคุมหรือพื้นที่ปลอดภัยในเวลาที่กำหนด และ 2) การเดินเข้าสู่พื้นที่อันตรายหรือพื้นที่ห้ามเข้าในเวลาที่กำหนด กระบวนการตรวจจัดการเดินหลง ที่พัฒนาขึ้นในโครงการ แผนกรรมกรรมการตรวจสอบทั้ง 2 รูปแบบเข้าด้วยกัน กล่าวคือผู้ดูแลจะทำการกำหนดพื้นที่ควบคุมหรือพื้นที่ปลอดภัยและพื้นที่อันตรายหรือพื้นที่ห้ามเข้า พร้อมระบุช่วงเวลาที่มีการควบคุมดังกล่าวมีผลให้กับผู้สูงอายุที่เฝ้าระวัง ซึ่งในกรณีที่ผู้สูงอายุเดินเข้าสู่พื้นที่อันตรายหรือเดินออกนอกพื้นที่ควบคุม ระบบจะมีการส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแล เพื่อให้ผู้ดูแลสามารถเข้ามาช่วยเหลือหรือดูแลได้อย่างทันท่วงที

การประเมินประสิทธิภาพของการตรวจจัดการเดินหลงภายในอาคาร

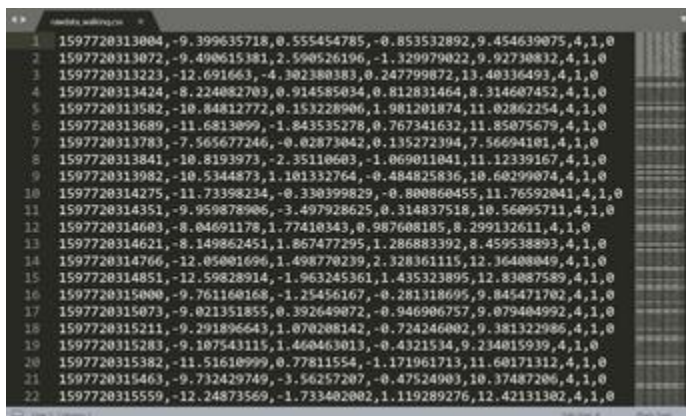
ในการประเมินประสิทธิภาพการตรวจจัดการเดินหลงภายในอาคาร ผู้วิจัยได้ทดสอบโดยการกำหนดพื้นที่ปลอดภัยและพื้นที่อันตราย ณ ตำแหน่งและเวลาที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 หน้าจอแสดงพื้นที่ควบคุม และพื้นที่อันตราย

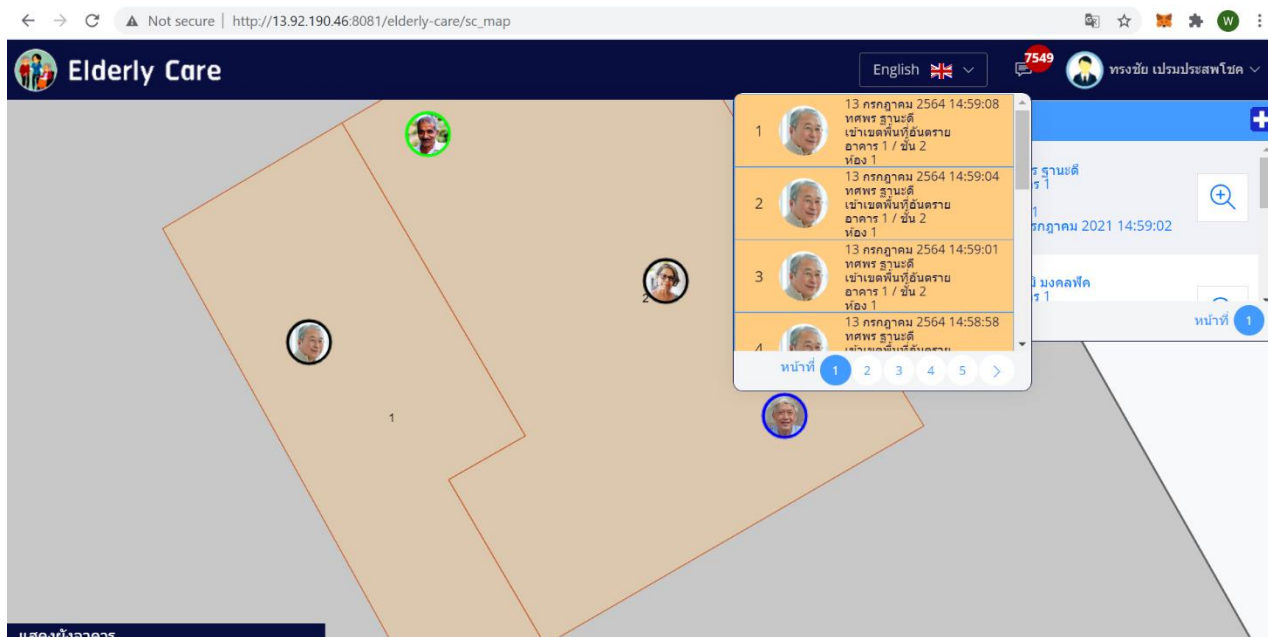
ต่อมาผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของการทำงานของระบบตรวจสอบการตรวจจับการเดินหลง โดยการสร้างข้อมูลจำลองของตำแหน่งผู้สูงอายุจำนวน 10000 รายการดังภาพที่ 40 โดยแบ่งเป็น

- ตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่ควบคุม (ไม่มีการเดินหลง)
- ตำแหน่งที่อยู่นอกพื้นที่ควบคุม และอยู่นอกพื้นที่อันตราย (มีการเดินหลง)
- ตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่อันตราย (มีการเดินหลง)

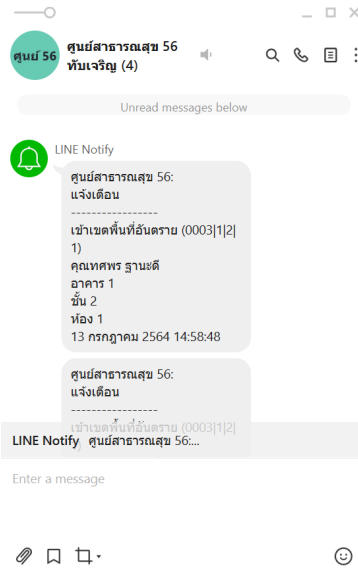


ภาพที่ 40 ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งของผู้สูงอายุที่นำมาใช้ทำการทดสอบความถูกต้องของส่วนตรวจจับการเดินหลง

จากนั้นทำการส่งชุดข้อมูลทดสอบผ่านไปยังโปรแกรม ซึ่งผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถแจ้งเตือนได้ดังภาพที่ 41 และ 42 โดยการแจ้งเตือนเกิดขึ้นอย่างถูกต้อง 100%



ภาพที่ 41 ภาพผลการทดสอบการทำงานของส่วนตรวจจับการเดินหลง



ภาพที่ 42 แสดงการแจ้งเตือนทาง LINE Messenger

4.7 การเปรียบเทียบผลการทำงานของระบบฯ กับงานวิจัยอื่น

4.7.1. การจำแนกกิจกรรม (Activity Classification)

ปัญหาหลักอีกประการหนึ่งของผู้สูงอายุ ได้แก่ ความสามารถในการเคลื่อนไหวลดลงอันเนื่องมาจากการเสื่อมถอยของสภาพร่างกาย ส่งผลให้เคลื่อนไหวได้ช้าลง จนอาจนำไปสู่ภาวะไม่เคลื่อนไหว (Immobility) ได้ ในงานวิจัยนี้ได้สร้างตัวแบบสำหรับการจำแนกกิจกรรม จำนวน 5 กิจกรรมด้วยกัน ได้แก่ การนอนราบ (Lying) การนั่ง (Sitting) การยืน (Standing) การเดิน (Walking) และการเดินเร็ว (Fast Walking) โดยประยุกต์ใช้โครงสร้างต้นไม้เพื่อการตัดสินใจ (Decision Tree) และการวิเคราะห์ค่าความเร่ง 3 แกนที่ตรวจวัดได้ ผลการทดสอบที่ได้จะเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ (Kwapisz, Weiss, and Moore, 2010) โดยสรุปผลการเปรียบเทียบ แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบผลการจำแนกกิจกรรมกับงานวิจัยของ (Kwapisz, Weiss, and Moore, 2010)

ค่าที่พิจารณา	งานวิจัยนี้	งานวิจัยเปรียบเทียบ (Kwapisz, Weiss, and Moore, 2010)
ข้อมูลที่ใช้ในการจำแนก	ค่าความเร่ง 3 แกน	ค่าความเร่ง 3 แกน
จำนวนผู้สูงอายุ / ตัวอย่าง (คน)	36	29
จำนวนกิจกรรม	5 (การนอนราบ (Lying) การนั่ง (Sitting) การยืน (Standing) การเดิน (Walking) และการเดินเร็ว (Fast Walking))	6 (การเดิน (Walking) การวิ่งเหยาะ ๆ (Jogging) การเดินขึ้นบันได (Ascending Stairs) การเดินลงบันได (Descending Stairs) การนั่ง (Sitting) และการยืน (Standing))
รายละเอียดการเก็บข้อมูล	ผู้สูงอายุติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (UWB tag) ไว้ที่บริเวณสะโพก โดยใช้สายคาดเอว จากนั้นให้ผู้สูงอายุเคลื่อนไหวกิจกรรมละ 1 นาที (ทั้งหมด 5 กิจกรรม)	ตัวอย่างทดสอบพกโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ Android ไว้ในกระเป๋าด้านหลังของกางเกง
จำนวน Feature vectors	526	200
จำนวน Features สำหรับการจำแนก	13 (ค่าต่ำสุดของความเร่งตามแนวแกน (X, Y และ Z) ค่าสูงสุดของความเร่งตามแนวแกน (X, Y และ Z) ค่าเฉลี่ยความเร่งตามแนวแกน (X, Y และ Z) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่ง	43 (ค่าเฉลี่ยความเร่งตามแนวแกน (X, Y และ Z) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่งตามแนวแกน (X, Y และ Z) ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ยตามแนวแกน (X, Y และ Z) ความเร่งลัพธ์เฉลี่ย ระยะเวลาระหว่างยอด

คำที่พิจารณา	งานวิจัยนี้	งานวิจัยเปรียบเทียบ (Kwapisz, Weiss, and Moore, 2010)
	ตามแนวแกน (X, Y และ Z) และแรงลัพธ์ (Resultant force) จากค่าความเร่งทั้ง 3 แกน)	ของกราฟความเร่งที่ติดกันตามแกน (X, Y และ Z) และ Binned Distribution ซึ่งเท่ากับค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดตามแกน (X, Y และ Z) แล้วแบ่งค่าความแตกต่างที่ได้เป็น 10 ชุด (bin) ที่มีขนาดเท่ากัน)
Algorithm สำหรับการจำแนก	Decision tree	J48, Logistic Regression (LR) และ Multilayer Perceptron (MP)
วิธีการทดสอบตัวแบบ	10 Fold Cross Validation	-
ประสิทธิภาพของตัวแบบ - ร้อยละความถูกต้องของการจำแนกตามกิจกรรม	Decision tree - การนอนราบ (99.0) - การนั่ง (98.0) - การยืน (98.1) - การเดิน (84.4) - การเดินเร็ว (87.0)	J48 / LR / MP - การเดิน (89.9 / 93.6 / 91.7) - การวิ่งเหยาะ ๆ (96.5 / 98.0 / 98.3) - การเดินขึ้นบันได (59.3 / 27.5 / 61.5%) - การเดินลงบันได (55.5 / 12.3 / 44.3) - การนั่ง (95.7 / 92.2 / 95.0) - การยืน (93.3 / 87.0 / 91.9)
- ร้อยละความถูกต้องของการจำแนกในภาพรวม	93.72	J48 (85.1) / LR (78.1) / MP (91.7)
หมายเหตุ		

4.7.2. การจำแนกกลุ่มอายุ (Age Group Prediction)

ผู้สูงอายุแต่ละรายประสบกับความถดถอยทางร่างกายที่แตกต่างกัน ส่งผลให้อายุของร่างกายและอายุจริงอาจแตกต่างกัน อายุของร่างกายมีประโยชน์ในการปรับพฤติกรรมการใช้ชีวิตประจำวัน และการวางแผนการดูแลผู้สูงอายุแต่ละรายอย่างเหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้สร้างตัวแบบสำหรับการจำแนกกลุ่มอายุ จำนวน 3 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่ กลุ่มวัยทำงาน อายุต่ำกว่า 60 ปี (Young Adult – YA) กลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (Healthy Older Adult – HOA) และกลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (กล้ามเนื้ออ่อนแรง) อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (Older Adult with Mobility Problems – OAM) โดยประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธี C4.5 Decision Tree และการวิเคราะห์ค่าความเร่ง 3 แกนที่ตรวจวัดได้ ผลการทดสอบที่ได้จะเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ (Zhou et al, 2020) โดยสรุปผลการเปรียบเทียบ แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบผลการจำแนกกลุ่มอายุกับงานวิจัยของ (Zhou et al, 2020)

ค่าที่พิจารณา	งานวิจัยนี้	งานวิจัยเปรียบเทียบ (Zhou et al, 2020)
ข้อมูลที่ใช้ในการจำแนก	ค่าความเร่ง 3 แกน	ค่าความเร่ง 3 แกน
จำนวนผู้สูงอายุ (คน)	ผู้สูงอายุสุขภาพดี 42 คน + ผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (กล้ามเนื้ออ่อนแรง) 32 คน รวม 74 คน	กลุ่มอายุน้อยกว่า 18-65 ปี สุขภาพแข็งแรง 57 คน + กลุ่มอายุ 65 ปี ขึ้นไปสุขภาพแข็งแรง 55 คน + กลุ่มอายุ 65 ปี ขึ้นไปที่มีปัญหาสุขภาพ 127 คน รวม 239 คน
รายละเอียดการเก็บข้อมูล	ผู้สูงอายุติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (UWB tag) ไว้ที่บริเวณสะโพก โดยใช้สายคาดเอว จากนั้นให้เดินเป็นเวลา 3 นาที	ตัวอย่างทดสอบติดตั้งอุปกรณ์ iPod Touch G4 หรือ DynaPort hybrid (Stand-alone accelerometer) จากนั้นให้เดินเป็นเวลา 3 นาที
จำนวนระเบียบตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	กลุ่มวัยทำงาน อายุต่ำกว่า 60 ปี (YA) จำนวน 456 ระเบียบ + กลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (HOA) จำนวน 476 ระเบียบ + กลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (กล้ามเนื้ออ่อนแรง) อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (OAM) จำนวน 488 ระเบียบ	-

ค่าที่พิจารณา	งานวิจัยนี้	งานวิจัยเปรียบเทียบ (Zhou et al, 2020)
	รวม 1,420 ระเบียบ	
จำนวน Gait features	5 (ความยาวก้าวเฉลี่ย (Step length) ความถี่ของการก้าว (Step frequency) ความเร็วในการเดิน (Gait Speed) ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความเร่ง (Root Mean Square – RMS) ความสม่ำเสมอของการก้าวเดิน (Step Regularity))	23 (จากค่าความเร่ง 3 แกน คำนวณค่า Anterior-posterior (AP), Medio-lateral (ML) และ Vertical (V) direction gait outcomes ด้วย MATLAB จากนั้นจึงคำนวณค่า Gait variables จำนวน 23 ค่า)
Algorithm สำหรับการทำนาย	3 ประเภท (Feedforward neural network with back-propagation (Multi-layer perceptron) (MLP), Support-vector machines (SVM) และ C4.5 decision trees (C4.5))	3 ประเภท (Support Vector Machine + Kernel Principal Component Analysis (SVM + KPCA), Random Forest (RF) และ Artificial Neural Network (ANN))
วิธีการทดสอบตัวแบบ	10 Fold Cross Validation	-
ประสิทธิภาพของตัวแบบ - ร้อยละความถูกต้องของการจำแนกตามกลุ่มอายุ	แบ่งตามกลุ่มอายุ (MLP / SVM / C4.5) - กลุ่มวัยทำงาน อายุต่ำกว่า 60 ปี (81.7 / 78.1 / 91.4) - กลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (67.6 / 61.3 / 78.9) - กลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (กล้ามเนื้ออ่อนแรง) อายุตั้งแต่ 60 ปี ขึ้นไป (75.0 / 73.3 / 75.4)	-
- ร้อยละความถูกต้องเฉลี่ย	แบ่งตาม Algorithm ที่ใช้ - MLP (74.4) - SVM (70.7) - C4.5 (81.8)	แบ่งตาม Algorithm ที่ใช้ - SVM + KPCA (89) - RF (73) - ANN (90)
หมายเหตุ		

4.7.3. การตรวจจับการหกล้ม (Fall Detection)

เนื่องจากความถดถอยทางร่างกายซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันของผู้สูงอายุ ทำให้โอกาสเกิดการหกล้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสวนทางกับโอกาสที่จะฟื้นฟุร่างกายกลับมาจากการหกล้มได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากไม่สามารถตรวจจับการหกล้มได้อย่างทันท่วงที ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีผู้ดูแลที่อยู่ใกล้ชิดผู้สูงอายุที่สุด จะต้องได้รับการแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์หกล้มขึ้นโดยทันที เนื่องจากข้อจำกัดในด้านการเก็บข้อมูลการหกล้มในผู้สูงอายุซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายกับผู้สูงอายุ จึงไม่สามารถทำได้ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและสถานที่จริง ในงานวิจัยนี้จึงนำชุดข้อมูลการหกล้ม MobiFall ที่ใช้ในงานวิจัยของ (Pediaditis et al, 2013) ซึ่งประกอบด้วยค่าความเร่ง 3 แกนและรูปแบบการทดลองหกล้มในห้องปฏิบัติการ มาสร้างตัวแบบสำหรับตรวจจับการหกล้มจำนวน 4 รูปแบบคือ ล้มไปด้านหน้า (Forward-Lying, FOL) ล้มไปด้านหน้าโดยเอาหัวเข่าลง (Front-Knees-Lying, FKL) ล้มไปด้านข้าง (Sideward-Lying, SDL) และล้มไปด้านหลัง (Back-Sitting-Chair, BSC) โดยนำค่าความเร่ง 3 แกนที่อยู่ในชุดข้อมูล มาทำการวิเคราะห์โดยใช้ขั้นตอนวิธี K-Nearest Neighbors และทดสอบผลที่ได้โดยเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้ในงานวิจัยของ (Pediaditis et al, 2013) โดยสรุปผลการเปรียบเทียบ แสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบผลการตรวจจับการหกล้มกับงานวิจัยของ (Pediaditis et al, 2013)

ค่าที่พิจารณา	งานวิจัยนี้	งานวิจัยเปรียบเทียบ (Pediaditis et al, 2013)
ข้อมูลที่ใช้ในการจำแนก	ค่าความเร่ง 3 แกน	ค่าความเร่ง 3 แกน
จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดลอง (คน)	11 คน โดยแบ่งเป็น ชาย 6 คน (ช่วงอายุ: 22 – 32 ปี, ช่วงความสูง: 1.69 – 1.89 เมตร, ช่วงน้ำหนัก: 64 – 102 กก.) และ หญิง 5 คน (ช่วงอายุ: 22 – 36 ปี, ช่วงความสูง: 1.60 – 1.72 เมตร, ช่วงน้ำหนัก: 50 – 90 กก.)	11 คน โดยแบ่งเป็น ชาย 6 คน (ช่วงอายุ: 22 – 32 ปี, ช่วงความสูง: 1.69 – 1.89 เมตร, ช่วงน้ำหนัก: 64 – 102 กก.) และ หญิง 5 คน (ช่วงอายุ: 22 – 36 ปี, ช่วงความสูง: 1.60 – 1.72 เมตร, ช่วงน้ำหนัก: 50 – 90 กก.)
รายละเอียดการเก็บข้อมูล	กลุ่มตัวอย่างติดตั้งอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ Samsung Galaxy S3 device ที่มี LSM330DLC inertial module (มาตรวัดความเร่ง 3 แกน และมาตรวัดความเร็วเชิงมุม) ไว้ที่สะโพก	กลุ่มตัวอย่างติดตั้งอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ Samsung Galaxy S3 device ที่มี LSM330DLC inertial module (มาตรวัดความเร่ง 3 แกน และมาตรวัดความเร็วเชิงมุม) ไว้ที่สะโพก
จำนวนระเบียนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	กลุ่มชาย อายุ 22 – 32 ปี จำนวน 72 ระเบียน กลุ่มหญิง อายุ 22 – 36 ปี จำนวน 60 ระเบียน	กลุ่มชาย อายุ 22 – 32 ปี จำนวน 72 ระเบียน กลุ่มหญิง อายุ 22 – 36 ปี จำนวน 60 ระเบียน

ค่าที่พิจารณา	งานวิจัยนี้	งานวิจัยเปรียบเทียบ (Pediaditis et al, 2013)
	รวม 132 ระเบียบ	รวม 132 ระเบียบ
จำนวน Gait features	13 (ค่าต่ำสุดของความเร่งตาม แนวแกน (X, Y และ Z) ค่าสูงสุด ของความเร่งตามแนวแกน (X, Y และ Z) ค่าเฉลี่ยความเร่งตาม แนวแกน (X, Y และ Z) ค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร่ง ตามแนวแกน (X, Y และ Z) และ แรงลัพธ์ (Resultant force) จาก ค่าความเร่งทั้ง 3 แกน)	-
Algorithm สำหรับการทำนาย	2 ประเภท (Threshold Based Fall Detection และ K-Nearest Neighbors (KNN))	1 ประเภท (Threshold Based Fall Detection)
วิธีการทดสอบตัวแบบ	10 Fold Cross Validation	-
ประสิทธิภาพของตัวแบบ - ร้อยละความถูกต้องของการ ตรวจจับการหกล้ม	แบ่งตามประเภทของการหกล้ม - FOL 72.7 - FKL 63.6 - SDL 72.7 - BSC 69.7	แบ่งตามประเภทของการหกล้ม แยกตาม Algorithm ที่อ้างถึงใน งานวิจัย (Sposaro/Dai/He) - FOL 48.0/55.0/73.0 - FKL 73.0/36.0/33.0 - SDL 33.0/42.0/85.0 - BSC 66.0/21.0/94.0
หมายเหตุ		

4.8 รายละเอียดการใช้งานระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร

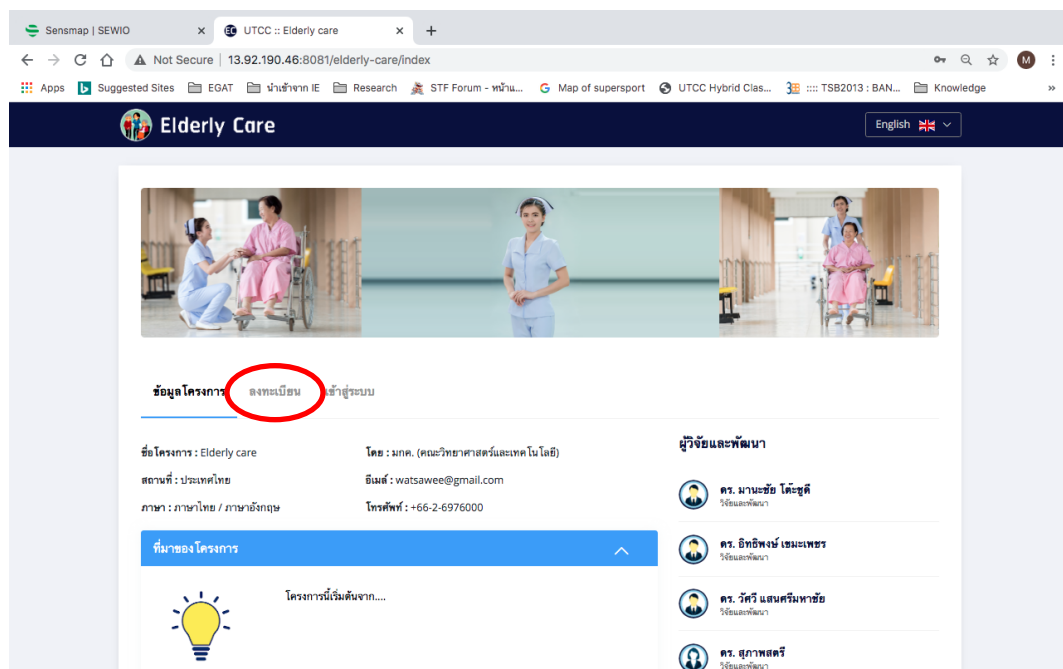
การใช้งานระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการลงทะเบียนผู้ใช้ซึ่งต้องทำการกรอกข้อมูล และยืนยันตัวตนก่อนเข้าใช้งานระบบ และ
2. ขั้นตอนการเข้าใช้งานระบบ

4.8.1 การลงทะเบียนผู้ใช้งาน

การลงทะเบียนเข้าใช้งานระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร จะถูกดำเนินการโดยผู้ใช้งานระดับผู้ดูแลระบบ โดยประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

1. จากหน้าจอเริ่มต้นใช้งานระบบ เลือกหัวข้อลงทะเบียน



2. กรอกข้อมูลรายละเอียดผู้ใช้งานอันประกอบด้วย

- a. ประเภทของผู้ใช้ โดยประเภทของผู้ใช้งานจะถูกแบ่งเป็น แพทย์ ผู้ดูแลระบบ และสมาชิกในครอบครัว โดยแพทย์และผู้ดูแลระบบจะสามารถเข้าไปเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลสุขภาพของผู้สูงอายุได้ ในขณะที่สมาชิกในครอบครัวจะสามารถใช้งานระบบได้เฉพาะในส่วนการติดตามตำแหน่งและดูข้อมูลสุขภาพของผู้สูงอายุเท่านั้น
- b. ข้อมูลส่วนตัว
- c. User ID
- d. อีเมล

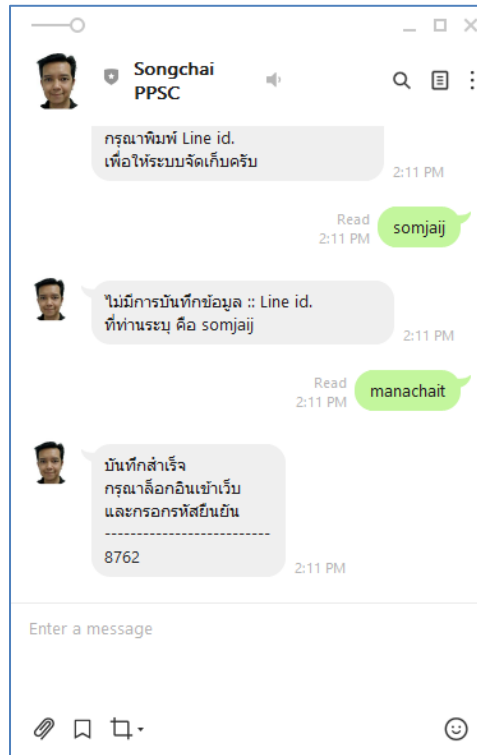
e. รหัสผ่าน และ

f. LINE ID โดยผู้ใช้งานแต่ละท่านจะต้องเข้ายืนยันตัวตนผ่านทาง LINE Messenger เพื่อรับรหัส OTP สำหรับยืนยันตัวตนในการเข้าใช้งานครั้งแรก

The screenshot shows a web browser window with the URL 13.92.190.46:8081/elderly-care/sc_map. The page title is "Elderly Care" and the browser tab is "UTCC :: Elderly care". The form is titled "ข้อมูลส่วนตัว" (Personal Information) and includes the following fields:

- ประเภท (Category): Admin
- เพศ (Gender): ชาย (Male)
- ชื่อ (Name):
- นามสกุล (Surname):
- เลขบัตรประชาชน (ID Number): 8430188000463
- Line ID: songchai.p
- โทรศัพท์ (Phone Number): 094-5396651
- อีเมล (Email): songchai@mail.com
- รหัสผ่าน (Password):
- ยืนยันรหัสผ่าน (Confirm Password):

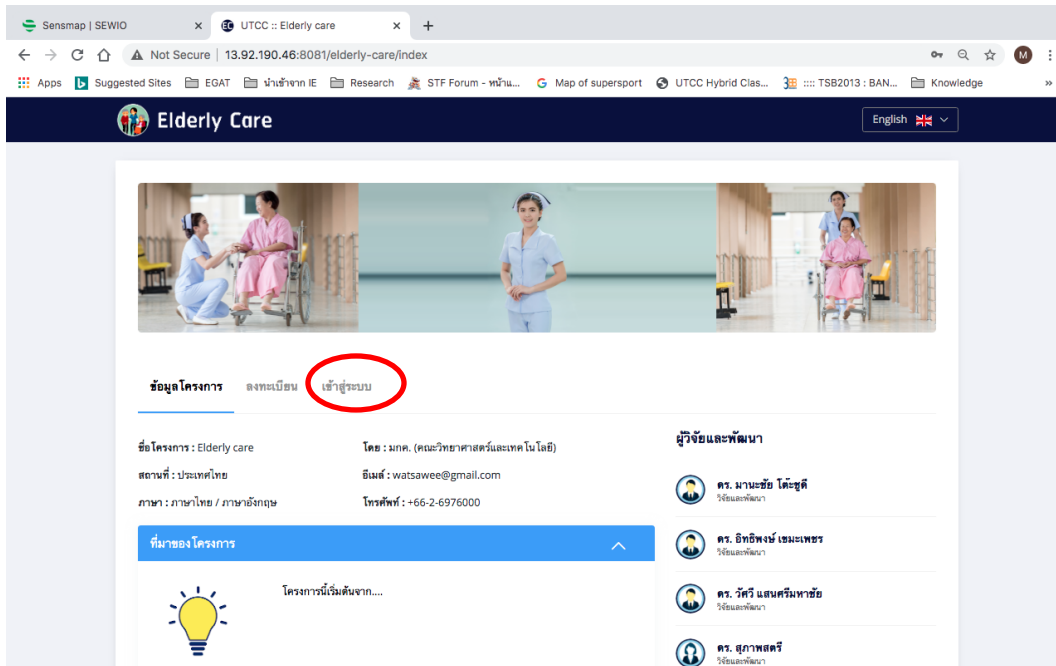
3. เมื่อผู้ใช้เข้าระบบครั้งแรกจะได้รับ QR Code เพื่อเข้าไปยืนยันตัวตนผ่านทาง LINE Instant Message เมื่อยืนยันตัวตนเรียบร้อยแล้วจะได้รับรหัส OTP สำหรับเข้าใช้งานระบบครั้งแรก สามารถนำไปใช้ยืนยันตัวตนเข้าใช้งานระบบได้ที่



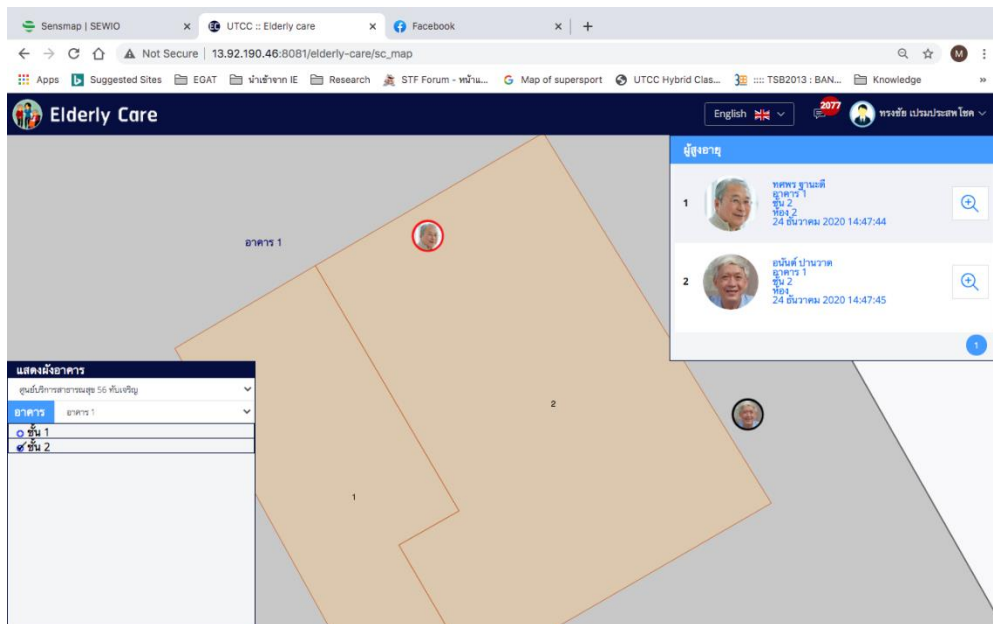
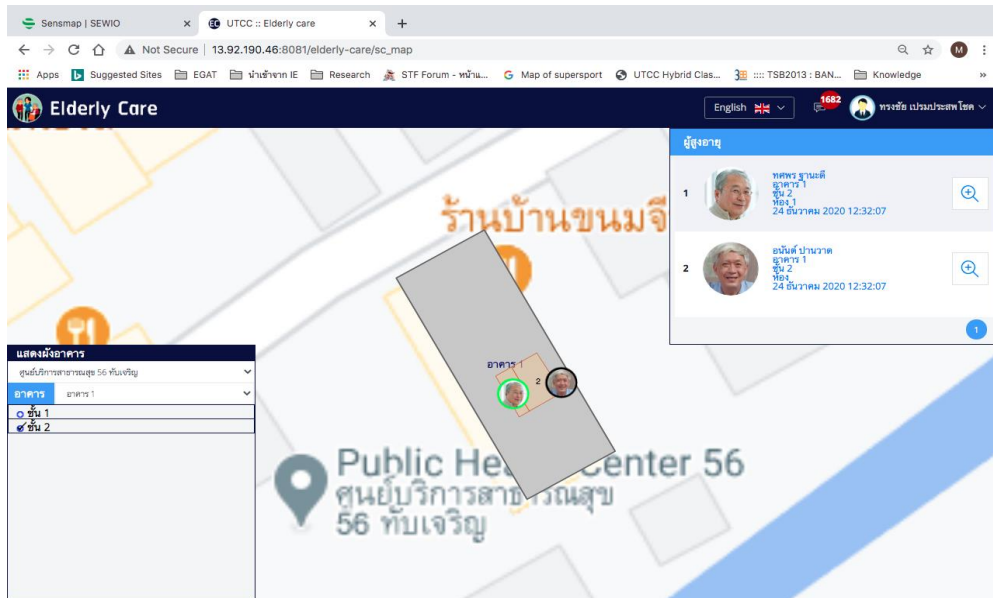
4.8.2 การใช้งานระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร

เมื่อผู้ใช้นั้นการลงทะเบียนเรียบร้อยแล้ว จะสามารถใช้งานระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคารได้ทันที ดังนี้

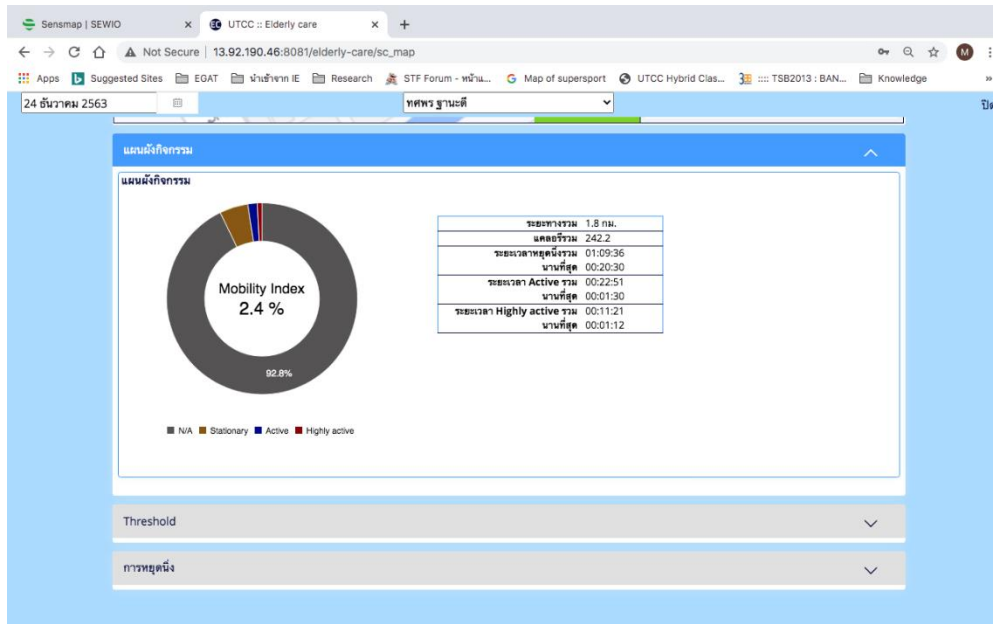
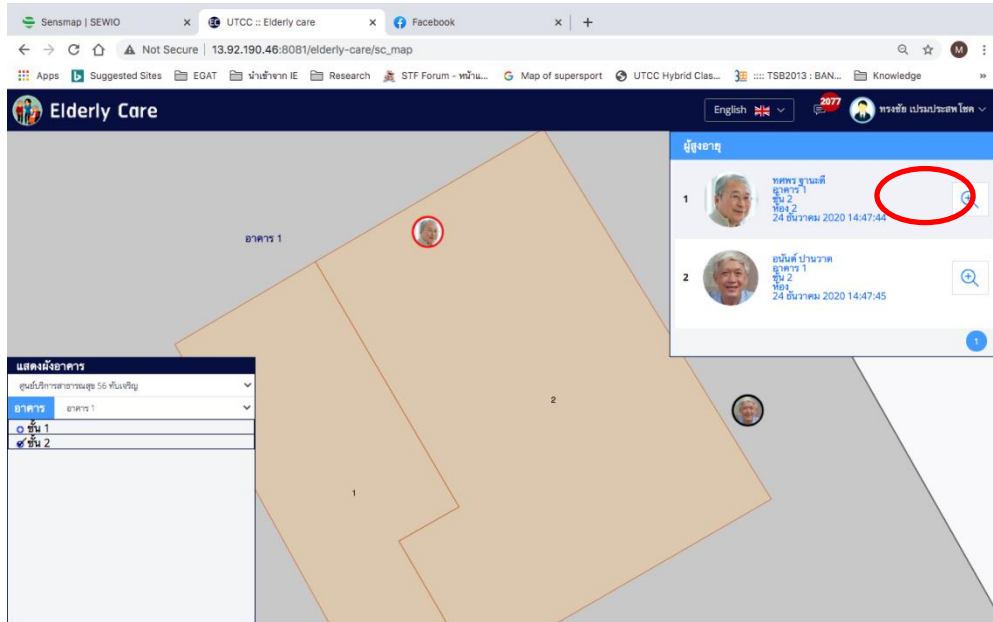
1. จากหน้าจอเริ่มต้นใช้งานระบบ เลือกหัวข้อเข้าสู่ระบบ จากนั้นกรอก User ID (หมายเลขบัตรประชาชน 13 หลัก) และ Password ที่ได้ตั้งไว้



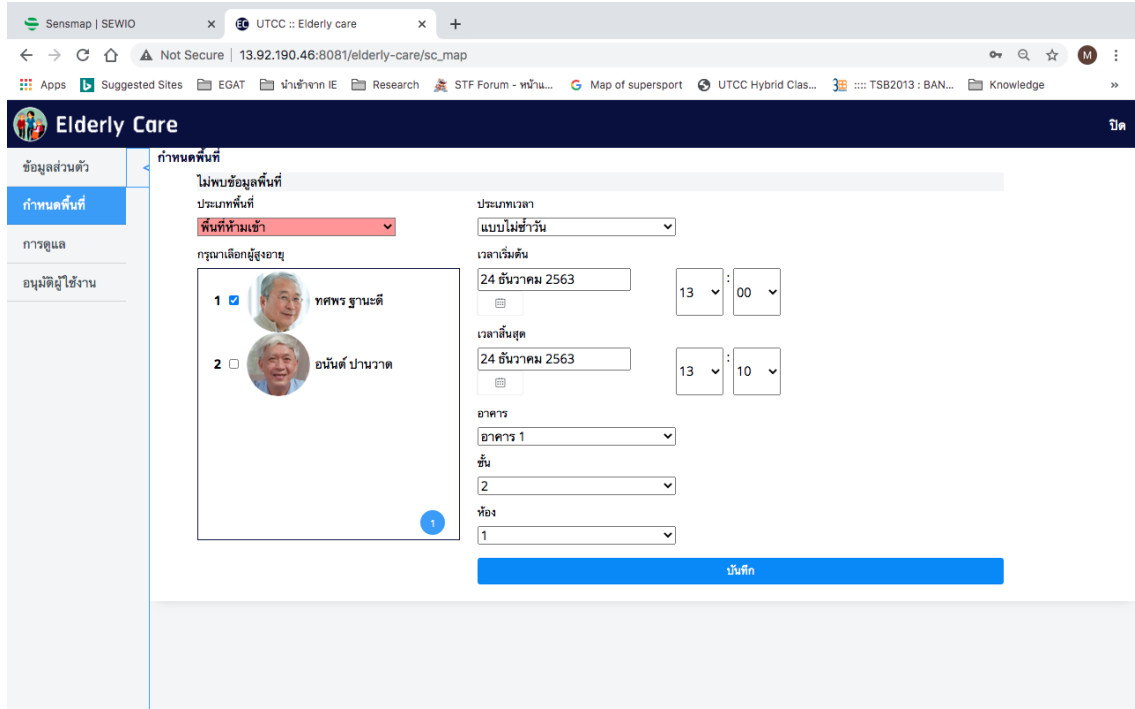
2. จากนั้นจะเข้าสู่หน้าจอหลักโดยผู้ใช้งานจะสามารถเลือกอาคาร และชั้นที่ต้องการติดตามผู้สูงอายุ เมื่อเลือกแล้วระบบจะแสดงตำแหน่งปัจจุบันของผู้สูงอายุ ดังรูป โดยผู้สูงอายุที่มีสุขภาพดีจะถูกแสดงด้วยรูปภาพในวงกลมสีเขียว และผู้สูงอายุที่มีปัญหากล้ามเนื้ออ่อนแรงจะถูกแสดงด้วยรูปภาพล้อมรอบด้วยวงกลมสีแดง และผู้สูงอายุที่อยู่ระหว่างการวิเคราะห์สุขภาพจะแสดงด้วยวงกลมสีดำ



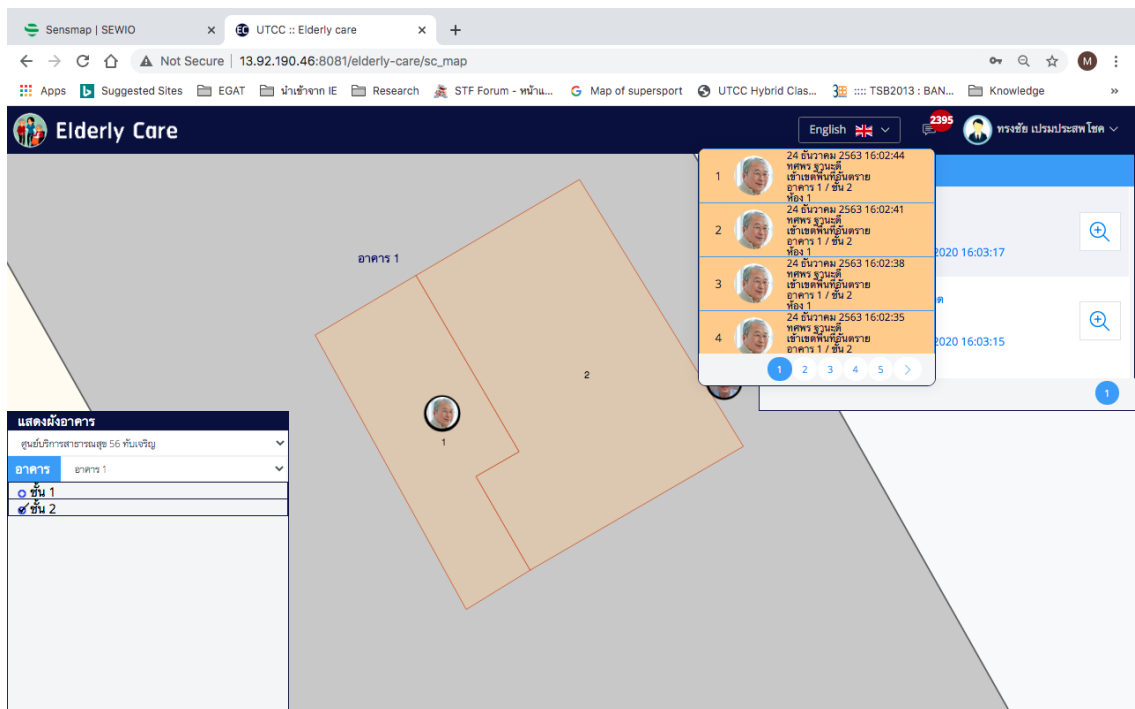
3. ผู้ใช้สามารถเข้าไปดูข้อมูลสุขภาพของผู้สูงอายุในความดูแลและแต่ละท่านได้ โดยคลิกที่รายชื่อผู้สูงอายุทางด้านขวาของหน้าจอ โดยข้อมูลที่สามารถเรียกดูได้ประกอบด้วย ข้อมูล 2 กลุ่ม คือ
- ข้อมูลส่วนตัวและข้อมูลด้านสุขภาพ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยผู้ดูแล และ
 - ข้อมูลการแจ้งเตือน ประวัติการเคลื่อนที่ รายการกิจกรรมที่ทำ ค่าวัดสุขภาพ และระยะเวลาการหยุดนิ่งที่ถูกบันทึกไว้โดยระบบ

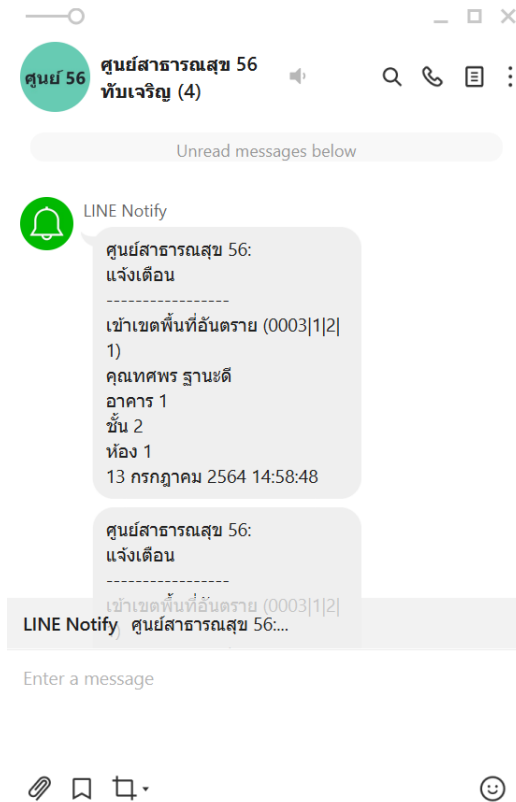


4. ผู้ใช้งานระบบสามารถกำหนดพื้นที่ปลอดภัย/อันตรายสำหรับผู้สูงอายุในความดูแลได้ โดยเข้าไปที่เมนู ตั้งค่า -> กำหนดพื้นที่ โดยในหน้าจอนี้ จะสามารถกำหนดพื้นที่ปลอดภัย และพื้นที่ห้ามเข้าตามช่วงวัน และเวลาที่ต้องการ

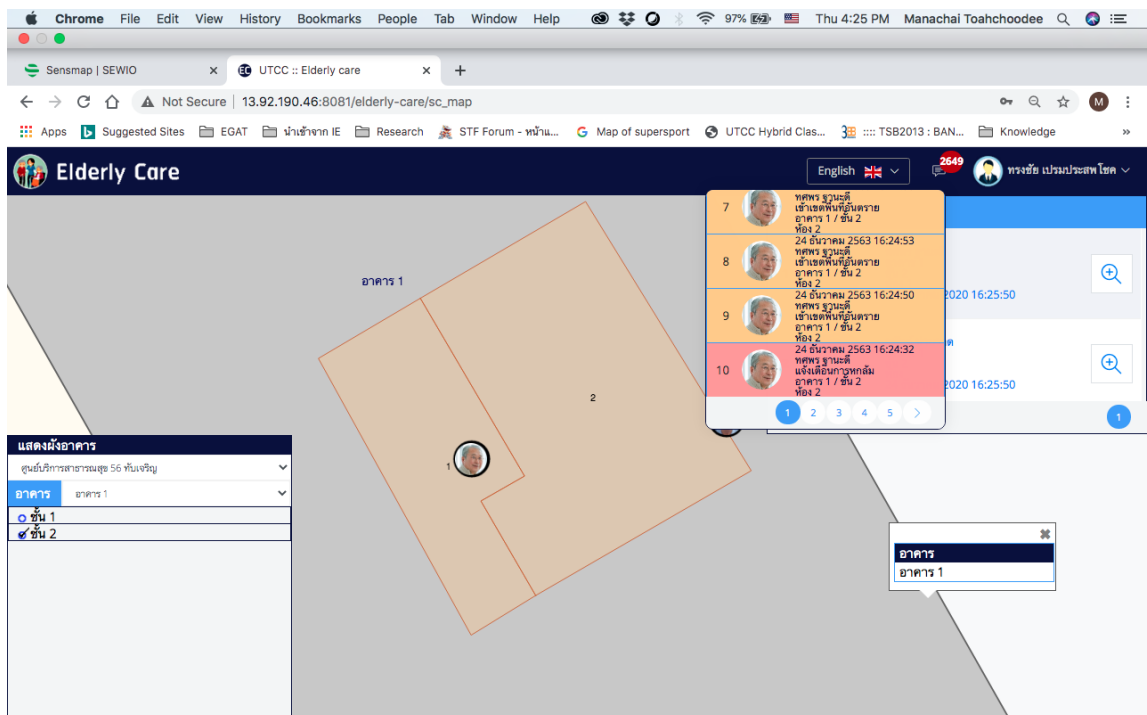


5. เมื่อผู้สูงอายุเดินออกจากพื้นที่ปลอดภัย หรือเข้าสู่พื้นที่อันตราย ระบบจะแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่าน 2 ช่องทาง คือ ทาง Web Application และทาง LINE Instant Message





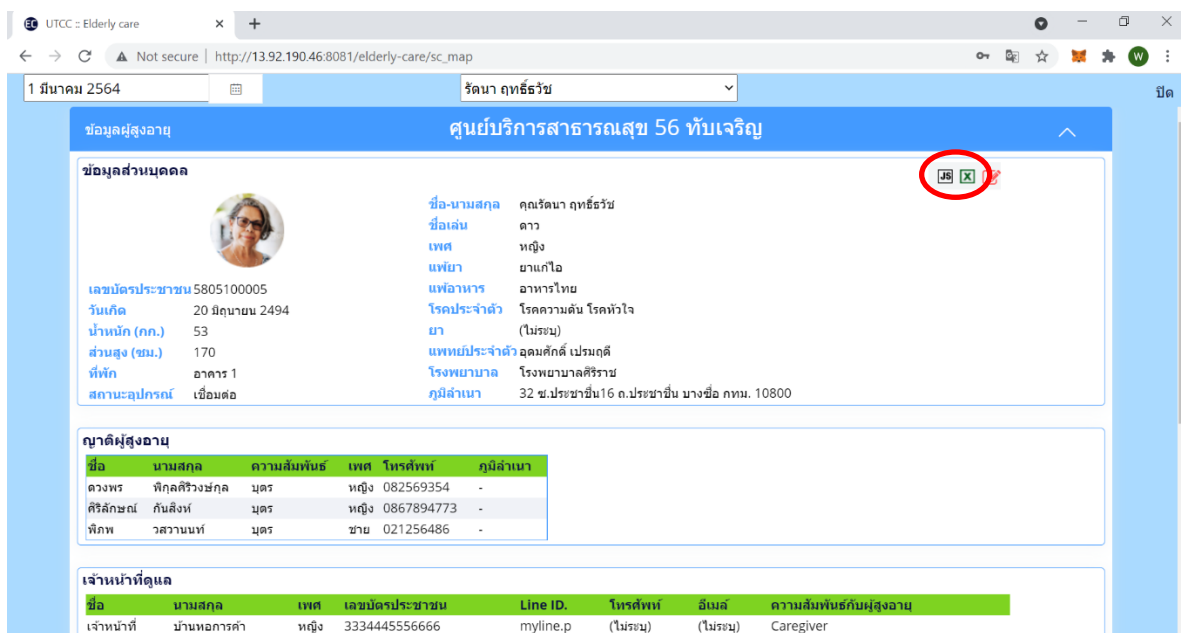
6. เมื่อผู้สูงอายุหกล้ม หรืออยู่นิ่งนานเกินไป ระบบจะแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่าน 2 ช่องทาง คือ ทาง Web Application และทาง LINE Instant Message เช่นกัน



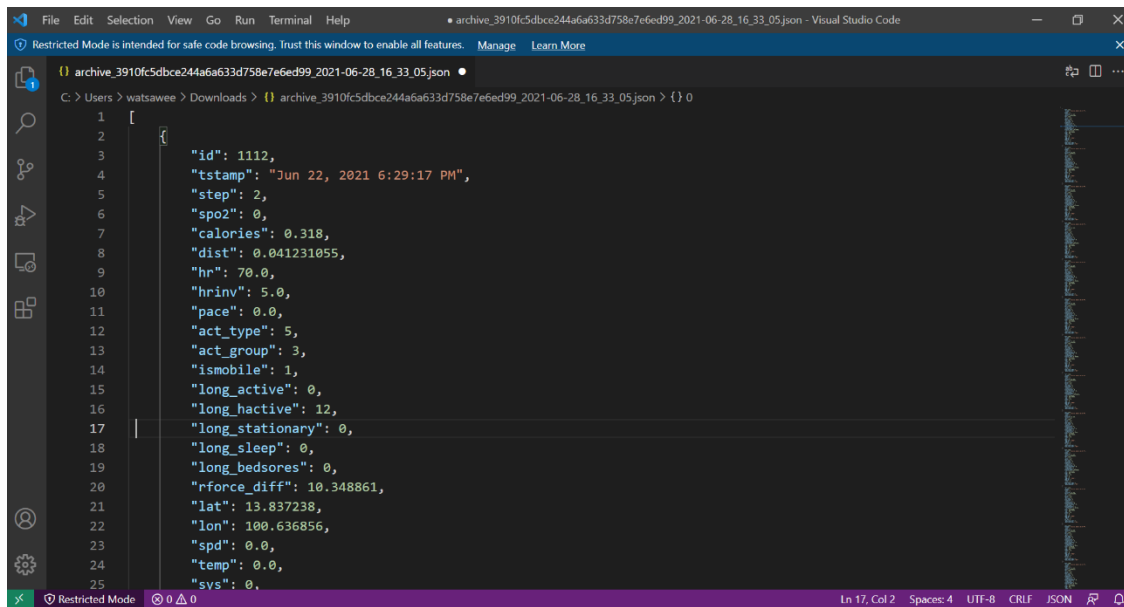
4.8.3 การถ่ายโอนข้อมูลออกจากระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร การถ่ายโอนข้อมูลออกจากระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุภายในอาคาร

ระบบสามารถถ่ายโอนข้อมูลตำแหน่ง ข้อมูลสถานที่อ้างอิงกับตำแหน่ง อาทิตั้งและอาคารที่ผู้สูงอายุกำลังทำกิจกรรม รวมไปถึงตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ ซึ่งได้ผ่านการจำแนกและวิเคราะห์จากระบบ ไปยังอุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูลของบุคลากรทางการแพทย์ เพื่อช่วยสนับสนุนการวิเคราะห์สุขภาพะปัจจุบันของผู้สูงอายุ รวมไปถึงสนับสนุนการประยุกต์ใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวางแผนการดูแลรักษาผู้สูงอายุในระยะยาว

ในการทำงานของระบบ เนื่องด้วยเหตุผลทางด้านความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว เฉพาะผู้ที่มีหน้าที่ดูแลผู้สูงอายุบุคคลนั้นๆ หรือผู้ดูแลระบบเท่านั้น จึงจะสามารถดำเนินการถ่ายโอนหรือส่งออกข้อมูลของผู้สูงอายุแต่ละบุคคลได้ โดยการถ่ายโอน/ส่งออกข้อมูล จะกระทำผ่านหน้าจอการเรียกดูข้อมูลรายละเอียดสุขภาพของผู้สูงอายุส่วนบุคคล ผู้ดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ดูแลระบบสามารถเลือกรูปแบบของข้อมูลที่ต้องการส่งออกได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบไฟล์ JSON (.json) และรูปแบบไฟล์ไมโครซอฟต์เอกซ์เซล (Microsoft Excel - .xlsx) ทั้งนี้เมื่อผู้ดูแลผู้สูงอายุหรือผู้ดูแลระบบเลือกรูปแบบการส่งออกข้อมูลโดยกดที่ปุ่ม หรือ แล้ว ข้อมูลจะถูกดาวน์โหลดมาเก็บไว้ที่อุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูล จากนั้นบุคลากรทางการแพทย์ผู้ดูแลสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานยังโปรแกรมประยุกต์อื่นๆ ได้ต่อไป

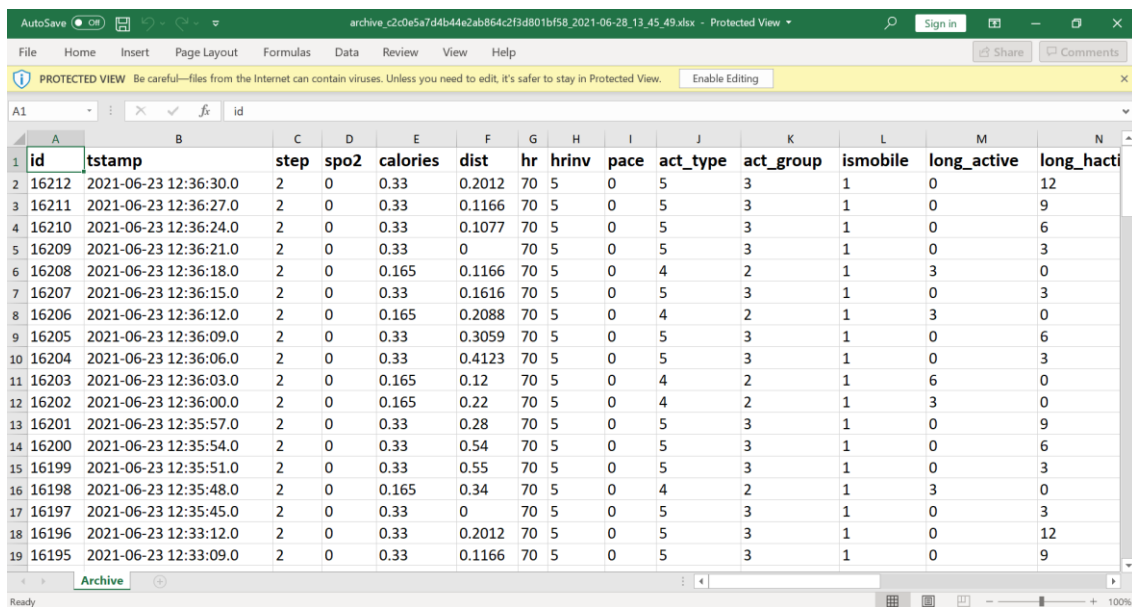


ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลส่งออก JSON (.json)



```
1 [
2   {
3     "id": 1112,
4     "tstamp": "Jun 22, 2021 6:29:17 PM",
5     "step": 2,
6     "spo2": 0,
7     "calories": 0.318,
8     "dist": 0.041231055,
9     "hr": 70.0,
10    "hrinv": 5.0,
11    "pace": 0.0,
12    "act_type": 5,
13    "act_group": 3,
14    "ismobile": 1,
15    "long_active": 0,
16    "long_hactive": 12,
17    "long_stationary": 0,
18    "long_sleep": 0,
19    "long_bedsore": 0,
20    "rforce_diff": 10.348861,
21    "lat": 13.837238,
22    "lon": 100.636856,
23    "spd": 0.0,
24    "temp": 0.0,
25    "sys": 0,
```

ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลส่งออก ไมโครซอฟต์เอกซ์เซล (.xlsx)



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	id	tstamp	step	spo2	calories	dist	hr	hrinv	pace	act_type	act_group	ismobile	long_active	long_hacti
2	16212	2021-06-23 12:36:30.0	2	0	0.33	0.2012	70	5	0	5	3	1	0	12
3	16211	2021-06-23 12:36:27.0	2	0	0.33	0.1166	70	5	0	5	3	1	0	9
4	16210	2021-06-23 12:36:24.0	2	0	0.33	0.1077	70	5	0	5	3	1	0	6
5	16209	2021-06-23 12:36:21.0	2	0	0.33	0	70	5	0	5	3	1	0	3
6	16208	2021-06-23 12:36:18.0	2	0	0.165	0.1166	70	5	0	4	2	1	3	0
7	16207	2021-06-23 12:36:15.0	2	0	0.33	0.1616	70	5	0	5	3	1	0	3
8	16206	2021-06-23 12:36:12.0	2	0	0.165	0.2088	70	5	0	4	2	1	3	0
9	16205	2021-06-23 12:36:09.0	2	0	0.33	0.3059	70	5	0	5	3	1	0	6
10	16204	2021-06-23 12:36:06.0	2	0	0.33	0.4123	70	5	0	5	3	1	0	3
11	16203	2021-06-23 12:36:03.0	2	0	0.165	0.12	70	5	0	4	2	1	6	0
12	16202	2021-06-23 12:36:00.0	2	0	0.165	0.22	70	5	0	4	2	1	3	0
13	16201	2021-06-23 12:35:57.0	2	0	0.33	0.28	70	5	0	5	3	1	0	9
14	16200	2021-06-23 12:35:54.0	2	0	0.33	0.54	70	5	0	5	3	1	0	6
15	16199	2021-06-23 12:35:51.0	2	0	0.33	0.55	70	5	0	5	3	1	0	3
16	16198	2021-06-23 12:35:48.0	2	0	0.165	0.34	70	5	0	4	2	1	3	0
17	16197	2021-06-23 12:35:45.0	2	0	0.33	0	70	5	0	5	3	1	0	3
18	16196	2021-06-23 12:33:12.0	2	0	0.33	0.2012	70	5	0	5	3	1	0	12
19	16195	2021-06-23 12:33:09.0	2	0	0.33	0.1166	70	5	0	5	3	1	0	9

4.9 การทดสอบความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูลของระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร

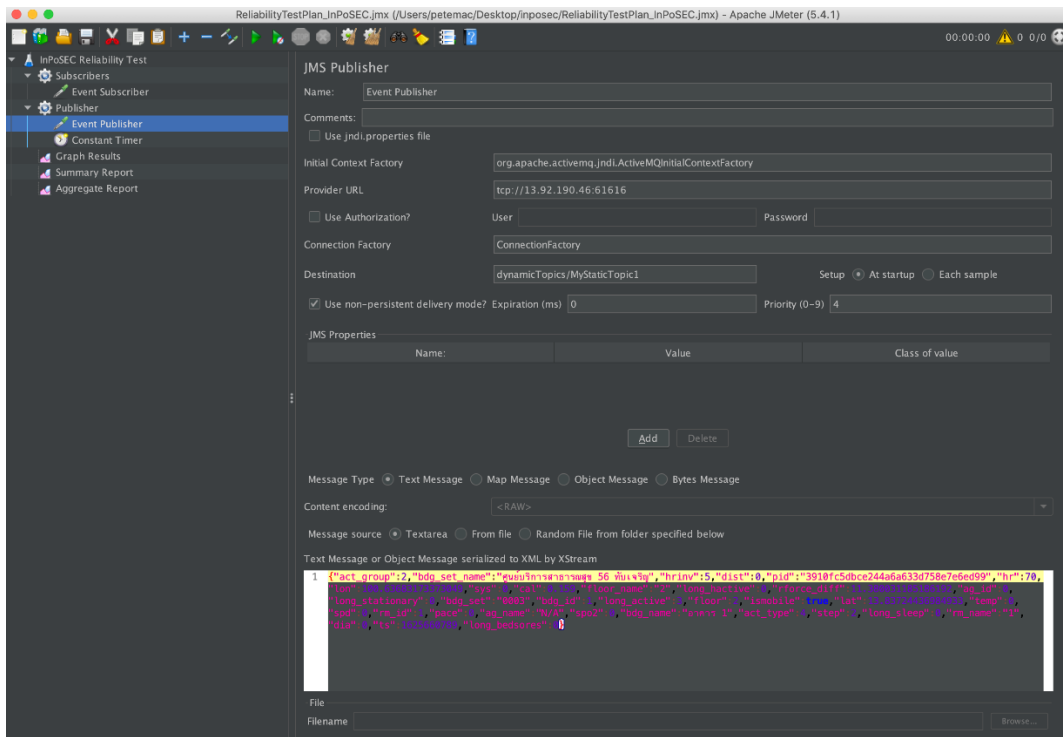
เนื่องจากระบบที่พัฒนามีจุดประสงค์หลักคือ การเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในระยะยาว ดังนั้นตัวระบบเองจำเป็นต้องมีกลไกในการรับ/ส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ป้องกันการสูญหายของข้อมูล รวมไปถึงรองรับการส่งข้อมูลซ้ำในกรณีที่เกิดข้อผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูล ทั้งนี้เพื่อการันตีความน่าเชื่อถือ (Reliability) ในการสื่อสารข้อมูลของระบบ รวมไปถึงสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ใช้งานของระบบ (ทั้งกลุ่มผู้ดูแลและผู้สูงอายุที่ได้รับการเฝ้าระวังผ่านระบบ) ว่าทั้งข้อมูลที่ได้รับ/ส่งต่างๆ ภายในระบบและการแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติกับผู้สูงอายุจะถูกส่งถึงมือผู้ใช้ (ผู้ดูแลผู้สูงอายุ) ผ่านการเรียกดูบนหน้าจอโปรแกรมประยุกต์อย่างแน่นอน

ในการทดสอบความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูลของระบบ ทีมวิจัยมุ่งเน้นที่การวัดปริมาณการรับ/ส่งข้อความระหว่างซอฟต์แวร์ตัวกลางสำหรับการรับส่งข้อความ (Message Oriented Middleware - MOM) ซึ่งซอฟต์แวร์ดังกล่าวทำงานในลักษณะเป็นศูนย์กลางของระบบ โดยการทดสอบจะกระทำผ่านเครื่องมือ JMeter ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบเปิดเผยแพร่ที่พัฒนาภายในโครงการ Apache ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายสำหรับทดสอบประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ รวมถึงการตอบสนองของระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้ระบบเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้รายละเอียดของสภาพแวดล้อมและการตั้งค่าต่างๆ ในการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

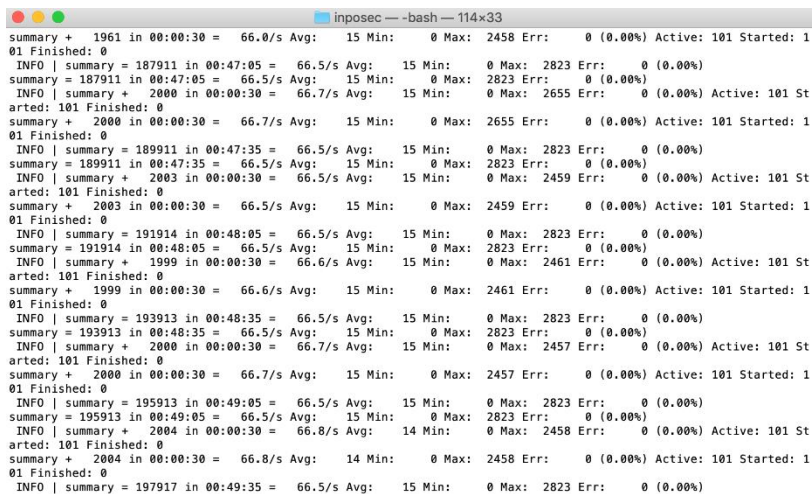
- โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ JMeter เวอร์ชัน 5.4.1 โดย JMeter จะทำการรับ/ส่งข้อความกับซอฟต์แวร์ตัวกลางฯ สร้างหน่วยการทำงานย่อย (Thread) เพื่อจำลองการเพิ่มจำนวนผู้ใช้ และวิเคราะห์ค่าทางสถิติต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการสื่อสารข้อมูล
- โปรแกรม JMeter รันบนเครื่องคอมพิวเตอร์ (Client) หน่วยประมวลผล Intel Core i5 32 GHz (4 cores, 4 threads, 6 MB Cache) หน่วยความจำ 16 GB 1867 MHz DDR3 พื้นที่จัดเก็บข้อมูล (HDD) 1 TB และระบบปฏิบัติการ MacOS Mojave 10.14.6
- ซอฟต์แวร์ตัวกลางสำหรับการรับส่งข้อความ (MOM) ที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ Apache ActiveMQ 5.15.10 ทำงานร่วมกับ Java Virtual Machine เวอร์ชัน 8 (1.8.0_101)
- เครื่องแม่ข่ายบนคลาวด์ที่ติดตั้งซอฟต์แวร์ตัวกลางสำหรับการรับส่งข้อความ (MOM) ทำงานอยู่บนแพลตฟอร์ม Microsoft Azure โดยเครื่องแม่ข่ายมีขนาด 4 vCPUs หน่วยความจำ 14 GiB พื้นที่จัดเก็บข้อมูล (SSD) 30 GiB และระบบปฏิบัติการ Ubuntu 18.04.5 LTS (Bionic Beaver)
- รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลระหว่าง Client กับซอฟต์แวร์ตัวกลางฯ ที่ใช้ในการทดสอบ จะใช้รูปแบบ Publish/Subscribe Model โดยมี Topic เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูล
- ข้อความ (Message) ที่ใช้สำหรับการรับ/ส่งข้อมูลในการทดสอบ จะใช้ตัวอย่างข้อความจริงที่ทีมวิจัยได้ทดสอบเก็บข้อมูล ณ ศูนย์บริการสาธารณสุข 56 ทับเจริญ โดยข้อความมีขนาด 610 bytes และเป็นข้อความประเภท TextMessage ทั้งนี้ข้อความดังกล่าวจะถูกส่งทุกๆ 3 วินาที (ตรงกับขนาด Time Window Size ที่ใช้ในการทำงานจริง)
- ในการทดสอบ หน่วยการทำงานย่อยที่ใช้สำหรับส่งข้อมูล (Producer Thread) 1 ตัว (จำลอง 1 user) จะจัดส่งข้อความ (Message) จำนวน 1,000 ข้อความไปยังซอฟต์แวร์ตัวกลางฯ โดยแต่ละ

รอบของการทดสอบ จำนวน user จะถูกเพิ่มขึ้นรอบละ 200 users ตั้งแต่ 200 400 800 ไปจนกระทั่งถึง 2,000 users ทั้งนี้ Producer Thread จะถูกกำหนดให้เริ่มการประมวลผลพร้อมกันทุกตัว โดยไม่มีการเหลื่อมเวลา (No startup delay) อีกทั้งโหมดการส่งข้อความจะอยู่ในรูปแบบของ Non-persistent delivery mode

ภาพตัวอย่างของโปรแกรม JMeter ที่ใช้ในการทดสอบความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูล ทั้งขณะที่ตั้งค่าการสร้างแผนการทดสอบ (Test plan) และขณะที่ทำการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 43 และ 44

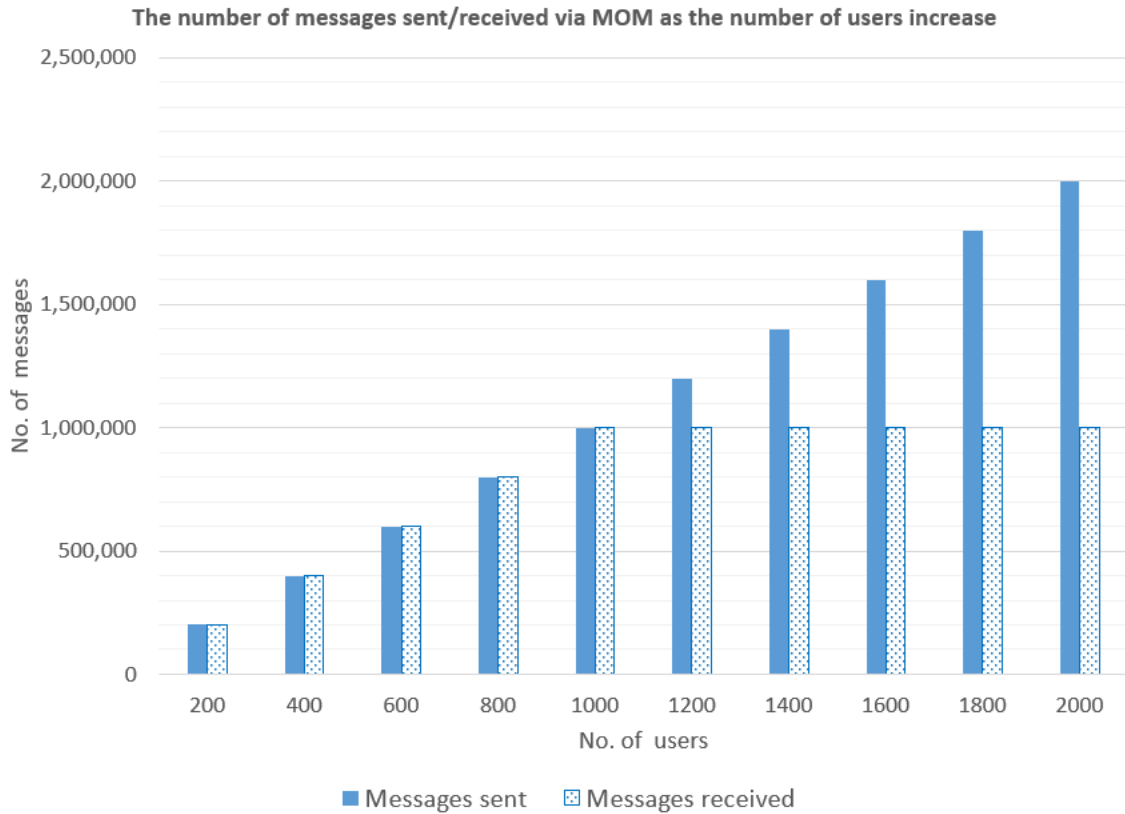


ภาพที่ 43 โปรแกรม JMeter ขณะตั้งค่าการสร้างแผนการทดสอบ (Test Plan)

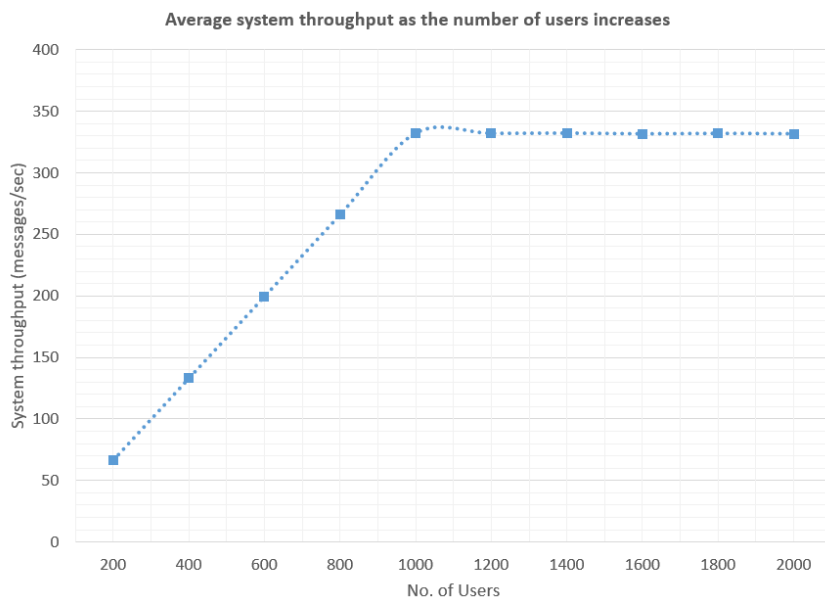


ภาพที่ 44 โปรแกรม JMeter ขณะทำการทดสอบบนเทอร์มินอล

ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูลของระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร แสดงดังภาพที่ 45 ถึง 50



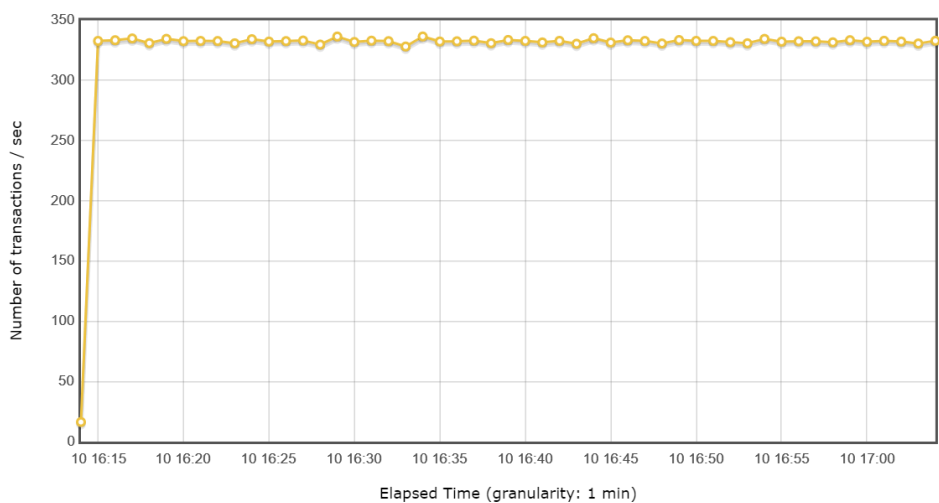
ภาพที่ 45 แผนภูมิแสดงจำนวนข้อความที่ถูกส่งและรับผ่านซอฟต์แวร์ตัวกลางสำหรับการรับส่งข้อความ (MOM)



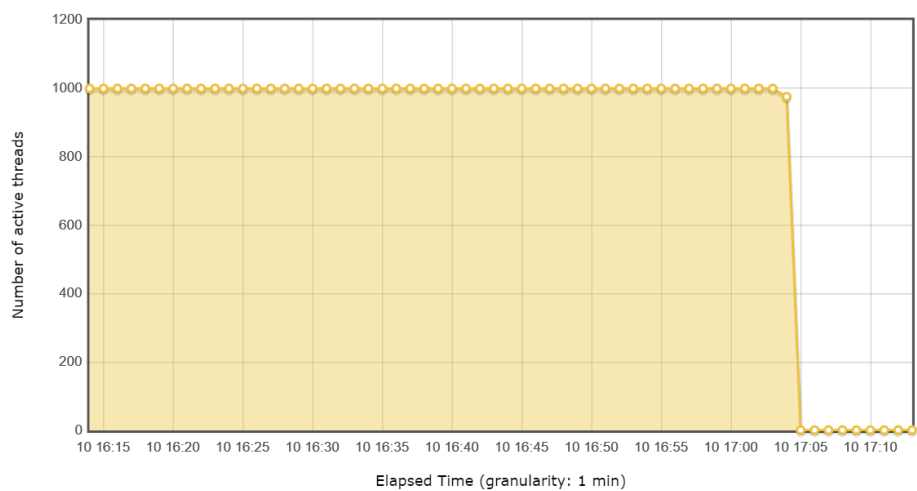
ภาพที่ 46 กราฟจำนวนข้อความที่ระบบสามารถประมวลผลได้ต่อวินาที (System throughput)

Requests	Executions			Response Times (ms)							Throughput	Network (KB/sec)	
Label ^	#Samples ↕	FAIL ↕	Error % ↕	Average ↕	Min ↕	Max ↕	Median ↕	90th pct ↕	95th pct ↕	99th pct ↕	Transactions/s ↕	Received ↕	Sent ↕
Total	1999000	1000	0.05%	1.52	0	3074	0.00	0.00	1.00	34.00	566.77	151.04	0.00
Event Publisher	1000000	1000	0.10%	0.04	0	26	0.00	0.00	0.00	1.00	283.75	0.57	0.00
Event Subscriber	999000	0	0.00%	2.99	0	3074	0.00	0.00	3.00	152.00	332.30	176.53	0.00

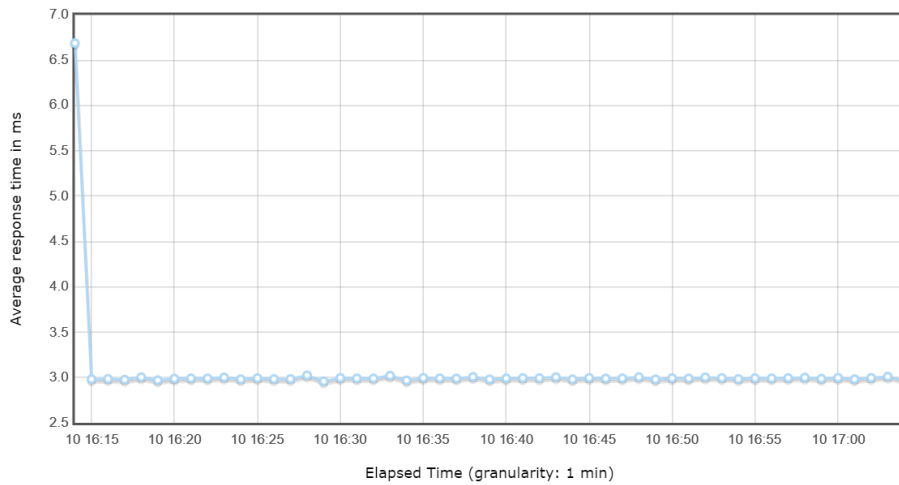
ภาพที่ 47 ข้อมูลเชิงสถิติที่ได้จากการทดสอบความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูลของระบบ (1,000 users)



ภาพที่ 48 กราฟแสดงจำนวน transactions (messages) ที่สามารถประมวลผลต่อวินาที (1,000 users)



ภาพที่ 49 กราฟแสดงจำนวนหน่วยการทำงานย่อยที่ใช้สำหรับส่งข้อมูล (Producer threads) ขณะทดสอบ



ภาพที่ 50 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยการตอบสนองของระบบ (Average response time) ขณะทดสอบ (1,000 users)

จากภาพที่ 45 แผนภูมิแสดงจำนวนข้อความที่รับ/ส่งผ่านซอฟต์แวร์ตัวกลางฯ (MOM) การทดสอบเริ่มต้นที่ 200 ผู้ใช้ (users) ระบบทำการจัดส่ง 200,000 ข้อความ (200 users x 1,000 ข้อความ) และสามารถรับข้อมูลได้ทั้งหมด 200,000 ข้อความ โดยไม่มีข้อผิดพลาด จากนั้นเมื่อทดลองเพิ่มจำนวน users ครั้งละ 200 users ในการทดสอบรอบถัดไป จาก 200 เป็น 400 600 และ 800 users ผลการทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกันนั่นคือ ระบบสามารถรองรับการส่งและรับข้อความได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม การทดสอบที่จำนวนผู้ใช้ 1,000 users ข้อความจำนวนรวม 1,000,000 ข้อความ (1,000 users x 1,000 ข้อความ) ได้ถูกส่งเข้าประมวลผลที่ระบบ และระบบสามารถส่งออก/รับข้อความที่ตัวรับข้อความ (Consumer) ได้ 999,000 ข้อความ โดยมีข้อผิดพลาดในการสื่อสารเกิดขึ้น 0.1% สาเหตุของข้อผิดพลาดเมื่อพิจารณาอ้างอิงจากภาพที่ 46 กราฟจำนวนข้อความที่ระบบสามารถประมวลผลได้ต่อวินาที (Throughput) จะสังเกตเห็นว่า ณ จำนวนผู้ใช้ 1,000 users ระบบได้จัดการข้อความที่ส่งเข้ามาถึงจุดที่เต็มความสามารถในการประมวลผลพอดี (Maximum system throughput) ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้ระบบไม่สามารถประมวลผลข้อมูลที่เกินกำลังการประมวลผลได้และเกิดข้อผิดพลาดในการสื่อสารเกิดขึ้น ทั้งนี้เมื่อทดสอบโดยเพิ่มจำนวนผู้ใช้ต่อไปเป็น 1,200 1,400 จนกระทั่งถึง 2,000 users พบว่าเกิดข้อผิดพลาดในการสื่อสารเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั่นคือ 16% 28% และ 50% (ของจำนวนข้อความทั้งหมดที่ส่งเข้าประมวลผล) ตามลำดับ ข้อผิดพลาดดังกล่าวที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับสาเหตุของการที่ระบบเข้าสู่ Maximum system throughput ดังในกรณีผู้ใช้ 1,000 users เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ ข้อมูลเชิงสถิติที่เกิดขึ้นในการทดสอบสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการรับ/ส่งข้อมูลของระบบ โดยอ้างอิงจากภาพที่ 47 ถึง 50 ณ จำนวนผู้ใช้ 1,000 users ระบบสามารถประมวลผลข้อความ (messages) ที่ส่งเข้ามาพร้อมๆ กันได้ที่ราว 332 ข้อความ/วินาที เวลาตอบสนองโดยเฉลี่ยของระบบ (Average response time) อยู่ที่ประมาณ 3 มิลลิวินาที และจากการทดสอบมีข้อผิดพลาดในการรับส่งข้อความน้อยมาก

(0.1% error) ทั้งนี้ในระหว่างการทดสอบ หน่วยการทำงานย่อยที่ใช้สำหรับส่งข้อมูล (Producer threads) ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทั้งหมด โดยไม่มี threads ตัวใดเกิดล้มเหลวหรือยกเลิกการทำงานเลย

โดยสรุป ทีมวิจัยได้ทำการทดสอบความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูลของระบบ (Reliability Test) โดยเน้นการวัดปริมาณการรับ/ส่งข้อความระหว่างซอฟต์แวร์ตัวกลางๆ ผ่านการใช้งานเครื่องมือ JMeter (เครื่องมือมาตรฐานในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ) และควบคุมสภาพแวดล้อมในการทดสอบต่างๆ โดยเฉพาะการใช้เครื่องแม่ข่ายบนคลาวด์ซึ่งมีขนาดและคุณสมบัติเหมาะสำหรับการใช้งานโดยทั่วไป (Microsoft Azure – 4 vCPUs, 14 GiB Memory และ 30 GiB (SSD)) ซึ่งแต่ละองค์กรสามารถจัดหาได้ ผลการทดสอบแสดงถึงความสามารถในการรองรับจำนวนผู้ใช้งานของระบบ โดยระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้สูงสุด 1,000 users และยังสามารถรักษาความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูลอย่างน้อยร้อยละ 99 ไว้ได้

4.10 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ดูแลผู้สูงอายุและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

เพื่อสอบถามความพึงพอใจต่อระบบ คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร โดยการประเมินครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ดูแลและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในงานดูแลผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ใช้งานหลักของระบบ โดยผู้ประเมินมีทั้งสิ้น 6 ท่าน ประกอบด้วย

- ผู้อำนวยการศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ 1 ท่าน
- พยาบาลผู้เชี่ยวชาญการดูแลผู้สูงอายุ ประจำศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ 3 ท่าน
- นักสังคมสงเคราะห์จากสำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร 2 ท่าน

โดยผลการประเมินสามารถสรุปได้ดังตารางที่

ตารางที่ สรุปผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบของผู้ดูแลและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลำดับที่	รายการ	ระดับความพึงพอใจ (ร้อยละ)				
		น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด
1	ความพึงพอใจในส่วนหน้าจอ/ส่วนติดต่อผู้ใช้			16.67	83.33	
2	ความพึงพอใจในส่วนข้อมูลผู้สูงอายุ			16.67	83.33	
3	ความพึงพอใจในส่วนของการแสดงแผนที่ตำแหน่งของผู้สูงอายุในความดูแล				100.00	
4	ความพึงพอใจในส่วนของฟังก์ชันเรียกดูการเดินทางย้อนหลัง				100.00	
5	ความพึงพอใจในส่วนของฟังก์ชันการกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมให้กับผู้สูงอายุ				100.00	
6	ความพึงพอใจในส่วนของฟังก์ชันการตรวจจับการหกล้ม			16.67	83.33	
7	ความพึงพอใจในส่วนการจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว			33.33	66.67	
8	ความพึงพอใจในส่วนการจำแนกกลุ่มอายุและสุขภาพ			33.33	50.00	16.67
9	ความพึงพอใจในระบบโดยรวม			33.33	66.67	

จากตารางแสดงให้เห็นว่า ผู้ดูแลและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 66.67 รองลงมาคือ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 33.33

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ทุนมนุษย์มีความสำคัญ และเป็นกลไกสำคัญต่อการพัฒนาและดำรงอยู่ของประเทศในทุกมิติ ซึ่งต้องการการดูแล และการพัฒนาในทุกด้านตลอดช่วงชีวิต เช่น การศึกษา วิชาชีพ ความเป็นอยู่ จิตใจ และสุขภาวะที่ดี หลังผ่านพ้นช่วงชีวิตในการทำงานแล้ว สมรรถนะของร่างกายย่อมถดถอยอันเนื่องมาจากการย่างเข้าสู่การเป็นผู้สูงอายุ และต้องการการดูแลรักษาอย่างเหมาะสมทั้งในยามปกติ และเจ็บป่วย เพื่อสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชน อย่างไรก็ตาม ลักษณะของครอบครัวไทยเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย จากการอยู่ร่วมกันแบบครอบครัวใหญ่ที่ประกอบไปด้วยคนหลายรุ่น กลายเป็นครอบครัวเดี่ยวหรืออยู่ตามลำพัง ส่งผลให้ผู้สูงอายุต้องอยู่แบบอิสระ ซึ่งหมายถึงการช่วยเหลือและพึ่งพาตนเองในสภาพร่างกายที่กำลังเสื่อมถอยมากขึ้นในทุกขณะ การอภิบาลผู้สูงอายุอย่างเหมาะสมเพื่อดำรงไว้หรือเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ โดยไม่รบกวนการดำเนินชีวิตตามปกติและลดภาระของผู้ดูแลเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันภาวะเสี่ยงต่อสุขภาพและชีวิตนั้น นับเป็นประเด็นท้าทายซึ่งต้องการการบูรณาการศาสตร์และเทคโนโลยีชั้นสูงต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย อัลตรา ไวด์ แบนด์ การคอมพิวเตอร์ทุกแห่งหน การประมวลผลสายข้อมูล และโครงข่ายประสาทเทียม ในการพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ซึ่งประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ที่ทำงานประสานกันโดยใช้โครงสร้างพื้นฐานด้านการสื่อสารข้อมูลและโทรคมนาคม เพื่ออำนวยความสะดวกด้านการตรวจสอบและเฝ้าระวังสุขภาวะของผู้สูงอายุ และสามารถประยุกต์ต่อยอดใช้กับผู้ป่วย ผู้พิการ และประชาชนโดยทั่วไปได้ โดยสามารถตรวจวัด สื่อสาร และประมวลผลข้อมูลได้อย่างถูกต้อง มีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และปลอดภัย โดยทำการทดสอบและประเมินผลการทำงานของระบบทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและการทดลองนำไปใช้งานจริง

งานวิจัยแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วนคือด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้งานกับระบบ และซอฟต์แวร์ระบบติดตามตำแหน่งผู้สูงอายุภายในอาคาร โดยการทดสอบประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง เพื่อหารูปแบบการติดตั้งที่ให้ค่าสัญญาณแรงที่สุด อันจะส่งผลให้การวัดข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ถูกทำในห้องที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม โดยชุดอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งถูกติดตั้ง ณ ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ 6 มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย มีขนาด 4.3×4.6 เมตร พื้นห้องอยู่ในระดับเดียวกัน การทดลองทำโดยการติดตั้ง UWB Anchor ที่มุมทั้ง 4 ของเพดานห้อง โดยมีการปรับองศาของ Anchor เป็น 6 รูปแบบ จากนั้นทำการวัดค่าความแรงสัญญาณที่ถูกส่งออกมาโดยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม เพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณดีที่สุด

ในส่วนการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์และตัวแบบปัญญาประดิษฐ์ ทำโดยเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุที่มาจากชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญจำนวน 74 ท่าน โดยแบ่งเป็นผู้สูงอายุที่มีสุขภาพดีจำนวน 42 ท่าน และผู้สูงอายุที่มีภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแอ และการเคลื่อนไหวผิดปกติอีก 32 ท่าน ทั้งนี้ใน

การทดลองเพื่อจัดเก็บข้อมูลตัวอย่าง กำหนดให้ผู้สูงอายุติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (UWB tag) ไว้ที่บริเวณ สะโพก โดยใช้สายคาดเอว จากนั้นให้ผู้สูงอายุทำกิจกรรมการเดินเป็นเวลา 3 นาที ภายในบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ UWB Anchors ในระหว่างที่ผู้สูงอายุเดิน ทีมวิจัยได้ใช้โปรแกรมประยุกต์ขนาดเล็กซึ่งพัฒนาขึ้นเฉพาะ ในการจัดเก็บ ข้อมูลดิบที่อ่าน (ค่าความแรง 3 แคน) ได้จาก UWB tag อย่างอัตโนมัติ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกคำนวณและสกัดเพื่อให้ ได้เป็นข้อมูลทางสถิติที่เป็นตัวแทนของรูปแบบการเดิน (Gait Features) สำหรับสร้าง Machine Learning Model ต่อไป

5.2 อภิปรายผล

ในด้านของการติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ จากผลการวัดค่าความแรงสัญญาณที่ได้ เราได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ หาตำแหน่งการติดตั้ง Anchor ที่ให้ค่ากำลังส่งที่ดีที่สุด โดยในการวัดค่าเรากำหนดให้คลื่นความถี่ที่ RTLS Anchor ใช้สื่อสารกับ Tag ซึ่งเท่ากับ 6.4896 GHz. เป็นจุดกึ่งกลางของแกนนอนของกราฟแสดงค่าสัญญาณ โดยพบว่า การติดตั้งที่ทำให้เกิดค่าสัญญาณ ณ จุดกึ่งกลางของแกนนอนของกราฟสูงสุด คือ ติดตั้ง Anchor โดยทำมุม 90 องศา กับ แกนแนวตั้ง (ขนานกับเพดาน) และ 45 องศากับแกนแนวนอน (ทำมุม 45 องศากับผนัง หันเข้าจุดกึ่งกลางห้อง) โดย ค่าความแรงของสัญญาณที่อ่านได้อยู่ที่ -84 dBm

ในส่วนของคุณภาพของระบบในการจำแนกกิจกรรม ผลการทดสอบประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น มีความแม่นยำในการจำแนกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวเป็นที่น่าพอใจ โดยจากผลการทดสอบ (ที่จำนวนตัวอย่างข้อมูล 526 ตัวอย่าง) ความถูกต้องในการจำแนกประเภทกิจกรรมการเคลื่อนไหว ในภาพรวมอยู่ที่ ร้อยละ 93.72 โดยเมื่อลงรายละเอียดไปตามประเภทกิจกรรม พบว่า การนอนราบ (Lying) ถือเป็นกิจกรรมที่เมื่อถูกจำแนกแล้วมีความถูกต้องมากที่สุด ที่ร้อยละ 99 กิจกรรมการยืน (Standing) และการนั่ง (Sitting) เป็นกิจกรรมที่มีความถูกต้องสูงเป็นลำดับถัดมา สำหรับกิจกรรมการเดิน (Walking) และการเดินเร็ว (Fast Walking) ถือเป็นกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่มีความคล้ายคลึงกันค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนในการ ทำนายอยู่บ้าง แต่กระนั้นค่าความถูกต้องในการจำแนกกิจกรรมก็ยังอยู่ในระดับดีมาก (สูงกว่าร้อยละ 80) ทั้งนี้ ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองฯ สามารถจำแนกกิจกรรมที่เข้าข่ายกิจกรรมที่มีการหยุดนิ่งอยู่กับที่ (Stationary) ด้วยความแม่นยำสูง ซึ่งมีผลโดยตรงให้ฟังก์ชันตรวจจับการอยู่นิ่งนานเกินไปของผู้สูงอายุ สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

ในส่วนประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับการหกล้ม ในโครงการนี้เป็นการประยุกต์จากงานวิจัยของ Barri และคณะ (Barri et al., 2018) ร่วมกับชุดข้อมูลการทดลองหกล้ม MobiFall ซึ่งเป็นการผสมผสานการตรวจจับ การหกล้มแบบ Threshold-Based ร่วมกับขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยข้อมูล ความแรงที่อ่านได้จากมาตรความแรงแบบ 3 แคน (3DACC) จะถูกประมวลผลโดยใช้หน้าต่างเวลาขนาด 3 วินาที ระบบจะดำเนินการคำนวณหาค่าจุดสูงสุดของชุดข้อมูล (Peak) ที่มีค่าเกินกว่า Threshold ที่กำหนด และหาก

จุดสูงสุดถูกพบในหน้าต่างเวลานั้น ข้อมูลทั้งหมดในหน้าต่างเวลานั้นจะถูกนำไปสกัดคุณลักษณะ (Features) เพื่อนำไปตรวจสอบภาวะการหกล้มผ่านทางโปรแกรมปัญญาประดิษฐ์สำหรับจำแนกการหกล้มต่อไป ผลการทดสอบประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น มีความแม่นยำในตรวจจับและจำแนกประเภทการหกล้มเป็นที่น่าพอใจ โดยจากผลการทดสอบที่จำนวนตัวอย่างข้อมูล 252 ตัวอย่าง ความถูกต้องในการจำแนกของแบบจำลองในภาพรวมอยู่ที่ ร้อยละ 82.54 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการจำแนกระหว่างการหกล้มทุกประเภทกับกิจกรรมอื่นซึ่งไม่ใช่การหกล้ม (NF) ความถูกต้องในการจำแนกการหกล้มของแบบจำลองฯ อยู่ที่ร้อยละ 96.7 ทั้งนี้เมื่อลงรายละเอียดไปตามประเภทการหกล้ม พบว่า การล้มไปด้านหน้า (FOL) และการล้มไปด้านข้าง (SDL) ถือเป็นประเภทการหกล้มที่มีความถูกต้องมากที่สุด ที่ร้อยละ 72.7 โดยการล้มไปด้านหลัง (BSC) และการล้มไปด้านหน้าโดยเอาหัวเข่าลง (FKL) เป็นประเภทการหกล้มที่มีความถูกต้องสูงเป็นลำดับถัดมา ที่ร้อยละ 69.7 และ 63.6 ตามลำดับ โดยสรุป ภาพรวมของความแม่นยำในการจำแนกประเภทการหกล้มของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น จะอยู่ที่ร้อยละ 70

ในขณะที่ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในการจำแนกผู้สูงอายุแยกตามกลุ่มโดยพัฒนาตัวแบบการจำแนกจากข้อมูลที่เก็บมาพบว่า การจำแนกอายุของผู้สูงอายุจากลักษณะการเคลื่อนไหวให้ความถูกต้องค่อนข้างต่ำอย่างไรก็ดี เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองสำหรับจำแนกผู้สูงอายุที่มีสุขภาพดี และผู้สูงอายุที่มีปัญหาหกล้มเนื้ออ่อนแรง จากผลการทดสอบประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการทำนายกลุ่มอายุของผู้สูงอายุจากการวิเคราะห์รูปแบบการเดินที่พัฒนาขึ้น มีความแม่นยำในการจำแนกกลุ่มอายุ (ทำนายกลุ่มอายุ) เป็นที่น่าพอใจ โดยสามารถอธิบายผลของแต่ละขั้นตอนวิธีที่เลือกใช้ในงานวิจัยได้ ดังนี้

ขั้นตอนวิธี Feedforward neural network with back-propagation (Multi-layer perceptron) มีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกกลุ่มอายุของแบบจำลองฯ Machine Learning Model อยู่ที่ร้อยละ 74.44 ซึ่งถือว่าเป็นความถูกต้องที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งเมื่อพิจารณารายกลุ่ม แบบจำลองฯ มีความแม่นยำในการจำแนก กลุ่มวัยทำงานอายุน้อยกว่า 60 ปี (YA) สูงที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 81.7 รองลงมาเป็นกลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (OAM) และกลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี (HOA) ซึ่งมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 75 และ 67.6 ตามลำดับ ทั้งนี้แบบจำลองฯ มีค่าผลบวกหลง (False positive) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 12.9

ขั้นตอนวิธี Support-vector machines (SVM) มีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกกลุ่มอายุของแบบจำลองฯ Machine Learning Model อยู่ที่ร้อยละ 70.7 ทั้งนี้เมื่อพิจารณารายกลุ่ม แบบจำลองฯ มีความแม่นยำในการจำแนก กลุ่มวัยทำงานอายุน้อยกว่า 60 ปี (YA) สูงที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 78.1 รองลงมาเป็นกลุ่มผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (OAM) และกลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี (HOA) ซึ่งมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 73.3 และ 61.3 ตามลำดับ ทั้งนี้แบบจำลองฯ มีค่าผลบวกหลง (False positive) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 14.9

ขั้นตอนวิธี C4.5 decision trees มีความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกกลุ่มอายุอยู่ที่ร้อยละ 81.8 ทั้งนี้เมื่อพิจารณารายกลุ่ม แบบจำลองฯ มีความแม่นยำในการจำแนก กลุ่มวัยทำงานอายุน้อยกว่า 60 ปี (YA) สูงที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 91.4 รองลงมาเป็นกลุ่มผู้สูงอายุสุขภาพดี (HOA) มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 78.9 และกลุ่ม

ผู้สูงอายุที่มีปัญหาการเคลื่อนไหว (OAM) ซึ่งมีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 75.4 ทั้งนี้แบบจำลองฯ มีค่าผลบวกวง (False positive) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 9.2

เมื่อพิจารณาผลจากทั้ง 3 ขั้นตอนวิธีแล้วแบบจำลอง C4.5 Decision Tree ให้ผลความถูกต้องเฉลี่ยในการจำแนกกลุ่มอายุสูงสุด โดยความถูกต้องในการจำแนกอยู่ที่ร้อยละ 81.8 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแบบจำลองจากขั้นตอนวิธี C4.5 Decision Tree ให้เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการจำแนกกลุ่มอายุในระบบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อยอดในอนาคต

ต้นแบบระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคารซึ่งเป็นผลการดำเนินโครงการสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ในหลายแนวทาง โดยในด้านการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ระบบต้นแบบสามารถนำไปติดตั้งใช้งานในศูนย์บริการสาธารณสุข สถานพยาบาล ตลอดจนสถานดูแลผู้สูงอายุ เพื่อเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหว และข้อมูลสุขภาพของผู้สูงอายุเพิ่มเติม ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับผู้สูงอายุได้ดียิ่งขึ้น

จากสถานการณ์การระบาดของไวรัสโคโรนาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2562 จนถึงปัจจุบัน ส่งผลให้การดำเนินกิจกรรมเพื่อส่งเสริมสุขภาพของผู้สูงอายุที่โดยปกติจัดขึ้นที่โรงพยาบาล และศูนย์บริการด้านสาธารณสุขที่ได้รับการดูแลจากแพทย์ และเจ้าหน้าที่ด้านสาธารณสุขต้องหยุดชะงักเป็นเวลานาน การออกกำลังกายที่บ้านของผู้สูงอายุทำได้ยากเนื่องจากขาดผู้ดูแลให้ผู้สูงอายุสามารถปฏิบัติตามกิจกรรมได้อย่างเหมาะสม ตลอดจนขาดการประเมินผลเพื่อกระตุ้นให้ผู้สูงอายุดำเนินการออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้สุขภาพของผู้สูงอายุมีการถดถอย ด้วยเหตุนี้ระบบการประเมินกิจกรรมและประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อติดตาม ปกป้อง และดูแลผู้สูงอายุเป็นพิเศษทั้งในระยะสั้น และระยะยาวเพื่อป้องกันให้เกิดพยาธิสภาพอันไม่พึงประสงค์ทั้งต่อการประกอบกิจวัตรประจำวัน และความเสี่ยงต่อการเกิดโรค

จากผลการดำเนินการของโครงการในส่วนการจำแนกกิจกรรม ซึ่งผลการทดสอบประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น มีความแม่นยำในการจำแนกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวเป็นที่น่าพอใจ ส่งผลให้คณะผู้วิจัยและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการดูแลสุขภาพผู้สูงอายุในโครงการ มีความสนใจที่จะพัฒนาระบบประเมินประสิทธิภาพของร่างกาย โดยการตรวจสอบรายละเอียดการทำกิจกรรม และการออกกำลังกายของผู้สูงอายุจากข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ถูกเก็บอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำไปใช้ให้คำแนะนำในการดูแลสุขภาพจากระยะไกลต่อไป

5.4 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายนำเสนอต่อ กสทช. และหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง

สถานการณ์ผู้สูงอายุ

ประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงวัยโดยสมบูรณ์เช่นเดียวกับหลายประเทศทั่วโลก จากรายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2562 โดยคณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ ซึ่งประกอบไปด้วยสาระสำคัญ 6 ด้าน ได้แก่ การสูงวัยของประชากรโลก การสูงวัยของประชากรในทวีปเอเชีย การสูงวัยของประชากรอาเซียน การสูงวัยของประชากรไทย สวัสดิการสังคมสำหรับผู้สูงอายุในสังคมไทย และข้อเสนอแนะเชิงนโยบายเพื่อการจัดสวัสดิการผู้สูงอายุ [คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ 2562] มีข้อสรุปที่สำคัญด้านสถานการณ์การสูงวัย ดังนี้

- ในปี 2562 โลกมีประชากรทั้งหมดประมาณ 7,713 ล้านคน โดยมีประชากรที่มีอายุ 60 ปี ขึ้นไปประมาณ 1,016 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 13 ซึ่งญี่ปุ่นเป็นประเทศที่มีอัตราผู้สูงอายุสูงที่สุดในโลก โดย 1 ใน 3 ของชาวญี่ปุ่นเป็นผู้สูงอายุ ในขณะที่จีนเป็นประเทศที่มีจำนวนผู้สูงอายุมากที่สุดในโลกประมาณ 241 ล้านคน ทั้งนี้ องค์การสหประชาชาติได้คาดการณ์ว่าอีก 20 ปีข้างหน้า 1 ใน 5 ของประชากรโลกจะเป็นผู้สูงอายุ
- สำหรับสถานการณ์ผู้สูงอายุในอาเซียน พบว่า ในปี 2562 มีประชากรทั้งหมดประมาณ 661 ล้านคน โดยมีประชากรที่มีอายุ 60 ปี ขึ้นไป ประมาณ 71 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 11 ประเทศที่มีอัตราผู้สูงอายุเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ สิงคโปร์ ไทย เวียดนาม และมาเลเซีย โดยมีอัตราผู้สูงอายุ เท่ากับ ร้อยละ 20 18 12 และ 11 ตามลำดับ ทั้งนี้ ได้มีการคาดการณ์ว่าในปี 2583 หรืออีกประมาณ 20 ปีข้างหน้า อาเซียนจะมีสัดส่วนของผู้สูงอายุคิดเป็นร้อยละ 19
- ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาอัตราการเกิดลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.2 โดยในปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนผู้สูงอายุเท่ากับ 11.6 ล้านคน ซึ่งมากกว่าจำนวนประชากรที่อายุน้อยกว่า 15 ปี ซึ่งมีจำนวน 11.4 ล้านคน ได้มีการคาดการณ์ว่าในปี 2566 หรืออีกประมาณ 2 ปีข้างหน้า จะมีคนไทยอายุถึง 60 ปี ละหนึ่งล้านคน และในอีก 20 ปีข้างหน้า ประเทศไทยจะมีจำนวนผู้สูงอายุ 20 ล้านคน หรือประมาณ 1 ใน 5 ของประชากรทั้งหมด

สวัสดิการผู้สูงอายุไทย

ผู้สูงอายุประสบกับปัญหาในหลากหลายด้าน เช่น การถดถอยของร่างกาย การว่างงาน และการอยู่อย่างโดดเดี่ยว การจัดสวัสดิการที่เหมาะสมและรอบด้านจึงมีความสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ ซึ่งในอดีตต่างเป็นกำลังสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ จากรายงานโดย [คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ 2562] พบว่า ได้ตระหนักถึงสวัสดิการสังคมของผู้สูงอายุใน 4 ด้าน ซึ่งครอบคลุม 7 องค์ประกอบหลัก ว่าด้วยสิทธิผู้สูงอายุตามมาตรา 11 แห่งพระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. 2546 ดังนี้

- ด้านความมั่นคงทางสังคม ประกอบไปด้วย
 - การศึกษา
 - (2) การศึกษา การศาสนา และข้อมูลข่าวสารที่เป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิต
 - สุขภาพอนามัย
 - (1) การบริการทางการแพทย์และสาธารณสุขที่จัดไว้โดยให้ความสะดวกและรวดเร็วแก่ผู้สูงอายุเป็นกรณีพิเศษ
- การส่งเสริมหุ้นส่วนทางสังคม ประกอบไปด้วย
 - ที่อยู่อาศัย
 - (10) การจัดที่พักอาศัย อาหาร และเครื่องนุ่งห่มให้ตามความจำเป็นอย่างทั่วถึง
 - (5) การอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยโดยตรงแก่ผู้สูงอายุในอาคาร สถานที่ ยานพาหนะ หรือการบริการสาธารณะอื่น
 - การทำงานและการมีรายได้
 - (3) การประกอบอาชีพหรือฝึกอาชีพที่เหมาะสม
 - (11) การสงเคราะห์เบี้ยยังชีพตามความจำเป็นอย่างทั่วถึงและเป็นธรรม
- การช่วยเหลือทางสังคม ประกอบไปด้วย
 - กระบวนการยุติธรรม
 - (8) การช่วยเหลือผู้สูงอายุ ซึ่งได้รับการทารุณกรรมหรือถูกแสวงหาประโยชน์โดยมิชอบด้วยกฎหมาย หรือถูกทอดทิ้ง
 - (9) การให้คำแนะนำ ปรีกษา ดำเนินการอื่นที่เกี่ยวข้องทางคดีหรือในทางแก้ปัญหาครอบครัว
 - นันทนาการ
 - (4) การพัฒนาตนเองและการมีส่วนร่วมในกิจกรรมทางสังคม การรวมกลุ่มในลักษณะเครือข่ายชุมชน
 - (7) การยกเว้นค่าเข้าชมสถานที่ของรัฐ
- การให้บริการทางสังคม ประกอบไปด้วย
 - บริการทางสังคมทั่วไป
 - (4) การช่วยเหลือด้านค่าโดยสารยานพาหนะตามความเหมาะสม
 - (12) การสงเคราะห์ในการจัดงานศพตามประเพณี

ความสัมพันธ์ระหว่างสวัสดิการและโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ มุ่งเน้นการพัฒนาระบบติดตามผู้สูงอายุในอาคาร โดยการติดตามตำแหน่งและการเฝ้าระวังการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุบนพื้นฐานของเวชศาสตร์ป้องกัน (Preventive medicine) เพื่อป้องกันการเกิดภาวะอาการ หรือโรค หากเทียบเคียงวัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยกับสวัสดิการสังคมข้างต้น พบว่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสองด้านหลัก ได้แก่ สุขภาพอนามัย และที่อยู่อาศัย

ตามมาตรา 5 แห่งพระราชบัญญัติหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ พ.ศ. 2545 ได้บัญญัติให้บุคคลทุกคน ซึ่งรวมถึงผู้สูงอายุมีสิทธิได้รับบริการสาธารณสุขที่มีมาตรฐานและมีประสิทธิภาพตามนโยบายหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้า และในมาตรา 11 (1) แห่งพระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. 2546 กำหนดให้หน่วยงานของรัฐที่รับผิดชอบมีหน้าที่ต้องจัดบริการทางการแพทย์และการสาธารณสุขที่จัดไว้โดยให้ความสะดวกและความรวดเร็วแก่ผู้สูงอายุเป็นกรณีพิเศษ นอกจากนี้ รัฐยังมีนโยบายที่จะป้องกันไม่ให้ผู้สูงอายุที่ยังแข็งแรงต้องมีการเจ็บป่วยจนต้องอยู่ในภาวะพึ่งพิง และทำให้ผู้สูงอายุที่อยู่ในภาวะพึ่งพิงแล้วได้รับการดูแลอย่างเหมาะสมไม่เป็นภาระแก่ครอบครัวมากเกินไป อีกทั้งยังมีนโยบายในการผลิตผู้ดูแลผู้สูงอายุ (Caregiver) และผู้จัดการการดูแลผู้สูงอายุ (Care manager) รวมถึงจัดทำแผนการดูแลผู้สูงอายुरายบุคคล (Care plan) อย่างต่อเนื่อง

ระบบที่ได้จากโครงการวิจัยนี้ สามารถช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานของผู้ดูแลผู้สูงอายุ และผู้จัดการการดูแลผู้สูงอายุได้ เนื่องจากผู้ดูแลสามารถติดตามผู้สูงอายุได้หลายรายพร้อม ๆ กัน โดยการตรวจจับตำแหน่งและการเคลื่อนไหวเพื่อการเฝ้าระวังและป้องกันไม่ให้ผู้สูงอายุเข้าสู่ภาวะพึ่งพิง

สำหรับสวัสดิการด้านที่อยู่อาศัยซึ่งต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก ส่งผลให้บทบาทของรัฐถูกจำกัดและให้ภาคเอกชนเป็นผู้ดำเนินการหลัก โดยสวัสดิการด้านที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุในประเทศไทย แบ่งการดำเนินการออกเป็น 3 ประเภท [คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ 2562] ได้แก่

1. แนวทางที่มุ่งเน้นการอาศัยในที่เดิม (Ageing in place) ซึ่งกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ โดยกรมกิจการผู้สูงอายุ ได้ดำเนินการปรับปรุง/ซ่อมแซมที่อยู่อาศัย รวมถึงปรับสภาพแวดล้อมและสิ่งอำนวยความสะดวกที่เอื้อต่อการอยู่อาศัยของผู้สูงอายุ โดยได้บรรจุเป้าหมายจำนวน 3,200 แห่ง ด้วยงบประมาณกว่า 78 ล้านบาท ในปี 2562 ทั้งนี้ จากแผนแม่บทพัฒนาที่อยู่อาศัยระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ได้กำหนดเป้าหมายระยะยาวในการปรับปรุงที่อยู่อาศัยสำหรับผู้สูงอายุ จำนวน 447,618 หลัง และการปรับปรุงที่อยู่อาศัยผู้สูงอายุรูปแบบประชารัฐ จำนวน 14,500 หลัง โดยการประสานความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน
2. การสร้างที่อยู่อาศัยเชิงสถาบัน (Institutional living) โดยภาครัฐให้ความช่วยเหลือผ่านการดำเนินงานของศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุ ภายใต้กรมกิจการผู้สูงอายุ ซึ่งปัจจุบันมีจำนวนทั้งสิ้น 12 แห่ง โดยแต่ละแห่งสามารถรองรับผู้สูงอายุได้เพียง 150-200 รายเท่านั้น ส่งผลให้ในปี 2546

กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ ได้ถ่ายโอนภารกิจด้านการดูแลผู้สูงอายุผ่านการจัดการสถานสงเคราะห์คนชรา จำนวน 13 แห่ง และศูนย์บริการทางสังคมผู้สูงอายุ จำนวน 2 แห่ง รวมทั้งสิ้น 15 แห่ง ไปยังองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในระดับต่าง ๆ

3. โครงการศูนย์ที่พักอาศัยสำหรับผู้สูงอายุครบวงจร ซึ่งอยู่ในระหว่างดำเนินการ และมุ่งเน้นรองรับผู้สูงอายุที่มีรายได้ปานกลางขึ้นไป

ระบบที่ได้จากโครงการวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้งานโดยการสนับสนุนการเฝ้าระวังผู้สูงอายุทั้งในสถานที่ที่ภาครัฐจัดเตรียมไว้ สถานที่ดูแลซึ่งดำเนินการโดยภาคเอกชน โดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์ในบริเวณที่ต้องการติดตามผู้สูงอายุ โดยผู้สูงอายุแต่ละคนจะมีอุปกรณ์ติดตามตัวเพื่อส่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งและการเคลื่อนไหว พร้อมทั้งชุดโปรแกรมที่ช่วยในการรายงาน และวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการแจ้งเตือนแบบทันที ส่งผลให้ลดภาระของผู้ดูแล

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสวัสดิการของผู้สูงอายุและโครงการวิจัยนี้ พบว่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ หรือสนับสนุนสวัสดิการด้านสุขภาพอนามัย และที่อยู่อาศัยได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยจำนวนผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และข้อจำกัดด้านงบประมาณของภาครัฐ ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดด้านการเข้าถึงสวัสดิการดังกล่าว ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วน

เนื้อหาในส่วนนี้จะได้กล่าวถึงข้อเสนอแนะเชิงนโยบายนำเสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) และหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องบนพื้นฐานของสวัสดิการที่มีอยู่ และการพัฒนาต่อยอดผลการดำเนินการวิจัยของโครงการนี้

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายนำเสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.)

เพื่อให้การพัฒนา/ต่อยอดผลดำเนินงานด้านการวิจัยเพื่อประโยชน์สาธารณะ โครงการวิจัยนี้ขอเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ดังต่อไปนี้

1. สนับสนุนโครงการวิจัยที่มุ่งเน้นการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุอย่างต่อเนื่อง
2. การบูรณาการผลจากการดำเนินโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ระบบที่ทำงานร่วมกันได้ และสามารถรองรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงอย่างครบวงจร
3. การเป็นตัวกลางประสานความร่วมมือกับภาคเอกชน โดยเฉพาะผู้ให้บริการด้านเครือข่าย เพื่อสนับสนุนการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์/อินเทอร์เน็ต ของสถานดูแลหรือพักพิงผู้สูงอายุ รวมถึงการสนับสนุนด้านชุดอุปกรณ์สำหรับการติดตามผู้สูงอายุ
4. การนำเสนอผลงานที่ได้จากการสนับสนุนการวิจัยต่อหน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบด้านการดูแลผู้สูงอายุ เพื่อเพิ่มโอกาสการนำไปใช้งาน และ/หรือ การวิเคราะห์ความต้องการจากผู้ใช้งานโดยตรง

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายนำเสนอต่อภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยนี้ ขอนำเสนอข้อเสนอแนะเชิงนโยบายด้านการดูแลและพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ ดังต่อไปนี้

1. ร่วมกันกำหนดและผลักดันสถานการณ์ผู้สูงอายุให้เป็นวาระแห่งชาติ รวมถึงการดำเนินการอย่างเป็นรูปธรรมอย่างเร่งด่วน
2. การพัฒนาทักษะด้านเทคโนโลยีดิจิทัลให้กับบุคลากรภาครัฐ โดยเฉพาะในหน่วยงานที่ดูแลผู้สูงอายุ เพื่อให้ใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์/บริการต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้งานได้
3. การสนับสนุนด้านชุดอุปกรณ์ สถานที่ กำลังคน หรืองบประมาณที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้สูงอายุจากภาคเอกชนผ่านทางโครงการด้านความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมขององค์กร (CSR) โดยไม่ทับซ้อนกัน
4. การสนับสนุนงบประมาณการวิจัยด้านการดูแลผู้สูงอายุจากภาคเอกชน เพื่อเร่งให้เกิดผลผลิตอย่างเป็นรูปธรรม

บรรณานุกรม

- กองทุนประชากรแห่งสหประชาชาติ (2557). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางประชากรในประเทศไทย – สถานการณ์และข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย. http://social.nesdb.go.th/social/Portals/0/Documents/1000_UNFPA_rev_Policy%20Brief%20Thai_200411_69.pdf [26 สิงหาคม 2560]
- Hfocus เจาะลึกระบบสุขภาพ (2560). ผู้สูงอายุมีกับมาตรการการช่วยเหลือของรัฐ. <https://www.hfocus.org/content/2017/05/13879> [26 สิงหาคม 2560]
- Hfocus เจาะลึกระบบสุขภาพ (2559). ไทยมีผู้ป่วยอัลไซเมอร์ 6 แสนคน คาดจะเพิ่มสูงขึ้นกว่า 1.1 ล้านในปี 73. <https://www.hfocus.org/content/2016/09/12770> [26 สิงหาคม 2560]
- Hfocus เจาะลึกระบบสุขภาพ (2557). หวันรายจ่ายสวัสดิการรัฐไม่พอ คาดพุ่ง 18 ล้านล้านในอีก 50 ปี. <http://www.hfocus.org/content/2013/09/4815> [26 สิงหาคม 2560]
- เว็บไซต์มิเตอร์ประเทศไทย (2560). มิเตอร์ประเทศไทย - Thailandometers. <http://www.thailandometers.mahidol.ac.th> [26 สิงหาคม 2560]
- มูลนิธิสถาบันวิจัยและผู้สูงอายุไทย (2559). รายงานประจำปีสถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2558. <http://thaitgri.org/?p=37841> [26 สิงหาคม 2560]
- สถาบันวิจัยประชากรและสังคม (2557). การสูงวัยของประชากรไทย พ.ศ. 2557. <http://www.ipsr.mahidol.ac.th/ipsr-th/download/news/Aged%20IPSR%2010-1-57.pdf> [26 สิงหาคม 2560]
- ประเสริฐ อัสสันตชัย (2556). หลักพื้นฐานทางเวชศาสตร์ผู้สูงอายุ. ปัญหาสุขภาพที่พบบ่อยในผู้สูงอายุและการป้องกัน. ประเสริฐ อัสสันตชัย บรรณาธิการ. พิมพ์ครั้งที่ 4 กันยายน 2556
- รัชณี นามจันทรา (2553). การฟื้นฟูสภาพผู้สูงอายุที่มีภาวะสมองเสื่อม. วารสารมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ วิชาการ. ปีที่ 14 ฉบับที่ 27. กรกฎาคม – ธันวาคม 2553
- กองทุนประชากรแห่งสหประชาชาติ (2557). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางประชากรในประเทศไทย – สถานการณ์และข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.nesdb.go.th/temp_social/data/data_02.pdf [7 มิถุนายน 2557]
- Hfocus เจาะลึกระบบสุขภาพ (2557). หวันรายจ่ายสวัสดิการรัฐไม่พอ คาดพุ่ง 18 ล้านล้านในอีก 50 ปี [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.hfocus.org/content/2013/09/4815> [18 มิถุนายน 2557]

ชูศักดิ์ ธนวัฒน์ และ สุรพล ตันอร่าม (2552). ระบบคัดกรองสาเหตุของความผิดปกติของระบบการทำงานของหัวใจ ระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต. *สาร NECTEC*, 16(83), pp. 68-73.

ฐานเศรษฐกิจ (2556).ทีดีอาร์ไอเรียกร้องพัฒนาคุณภาพระบบหลักประกันสุขภาพคนไทย [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.thanonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=190721&catid=176&Itemid=524#.U6UAoECdSb8 [21 มิถุนายน 2557]

ประชาชาติธุรกิจ (2557). อัปเดตกลยุทธ์เจาะตลาด “อาเซียน” โฟกัส 5 กลุ่มสินค้าผู้สูงอายุเน้นกำลังซื้อสูง [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1397387952 [7 มิถุนายน 2557]

ประเสริฐ อัสสันตชัย (2556). หลักพื้นฐานทางเวชศาสตร์ผู้สูงอายุ. ปัญหาสุขภาพที่พบบ่อยในผู้สูงอายุและการป้องกัน. ประเสริฐ อัสสันตชัย บรรณาธิการ. พิมพ์ครั้งที่ 4 กันยายน 2556

ปราโมทย์ ประสาทกุล และ ปัทมา ว่าพัฒนวงศ์ (2557). โครงสร้างประชากรและการเปลี่ยนแปลง[ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.hiso.or.th/hiso/picture/reportHealth/ThaiHealth2012/thai2012_2.pdf [7 มิถุนายน 2557]

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2557). 10 เทคโนโลยี ฉายภาพอนาคต [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.nstda.or.th/news/14053-nstda> [7 มิถุนายน 2557]

สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2557a). จำนวนผู้ป่วย / สาเหตุการตาย [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries09.html> [7 มิถุนายน 2557]

สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2557b). จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์มือถือ แยกตามเพศและกลุ่มอายุ ทัวราชอาณาจักร พ.ศ. 2546 – 2555 [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries22.html> [15 มิถุนายน 2557]

Barri Khojasteh, Samad & Villar, Jose & Chira, Camelia & González, Víctor & Marín, Enrique. (2018). Improving Fall Detection Using an On-Wrist Wearable Accelerometer. *Sensors*. 18. 1350. 10.3390/s18051350.

BrickHouse Alert (2014). BrickHouse System. <http://www.brickhousealert.com/info.html>

Celka, P., Verjus, C., Vetter, R., Renevey, P. and Neuman, V. (2004). Motion resistant earphone located infrared based heart rate measurement device. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Biomedical Engineering*, Innsbruck, Austria.

Contigiani, M., Pietrini, R., Mancini, A. and Zingaretti, P. (2016) "Implementation of a tracking system based on UWB technology in a retail environment," In Proceedings of the 12 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Application (MESA), pp.1-6.

Couceiro, R., Carvalho, P., Henriques, J. and Antunes, M. (2008). "On the detection of premature ventricular contractions," In *Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society - EMBS*, pp.1087-1091.

Fletcher, R.R., Dobson, K., Goodwin, M.S., Eydgahi, H., Wilder-Smith, O., Fernholz, D., Kuboyama, Y., Hedman, E.B., Poh, M., Picard, R.W. (2010a). iCalm: Wearable sensor and network architecture for wirelessly communicating and logging autonomic activity. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(2), pp.215-223.

Fletcher, R.R., Poh, M. and Eydgahi, H. (2010b) "Wearable sensors: Opportunities and challenges for low-cost health care," In Proceedings of the 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), pp.1763-1766.

Khemapech, I., Miller, A. and Duncan, I. (2013). An energy aware protocol for cyclic monitoring wireless sensor networks. In *Proceedings of the 8th International Conference on Networking, Architecture, and Storage - IEEE NAS 2013*, pp. 13-22.

K. Saho, M. Fujimoto, M. Masugi and L. Chou, "Gait Classification of Young Adults, Elderly Non-Fallers, and Elderly Fallers Using Micro-Doppler Radar Signals: Simulation Study," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 8, pp. 2320-2321 (2017).

Kerdegari, H. (2014). Smart Fall Detection. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fall>

Kumar, D., Carvalho, P., Antunes, M., Henriques, J., Sa e Melo, A., Habetha, J. (2008) "Heart murmur recognition and segmentation by complexity signatures," In *Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society - EMBS*, pp. 2128-2132.

LifeWarning (2014). Life Warning Mobile Alert. <http://www.lifewarning.com/>

Lin, Q., Zhang, D., Huang, X., Ni, H. and Zhou, X. (2012a). "An integrated service platform for pervasive elderly care," In *Proceedings of the 2012 IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference (APSCC)*, pp.165-172.

Lin, Q., Zhang, D., Huang, X., Ni, H. and Zhou, X. (2012b). "Detecting wandering behavior based on GPS traces for elders with dementia," In *Proceedings of the 12th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV)*, pp.672-677.

Martino-Saltzman, D., Blasch, B.B., Morris, R.D. and McNeal, L.W. (1991). Travel behavior of nursing home residents perceived as wanderers and nonwanderers. *Gerontologist*, 31(5), pp.666-672.

Michal, O., (2020) "Infrastructure for testing and deployment of the real-time localization platform," Master's Thesis, Department of Information Systems, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology.

MobileHelp (2014). MobileHelp Medical Alert System. <http://www.mobilehelpnow.com/>

Pacelli, M., Loriga, G., Taccini, N. and Paradiso, R. (2006) "Sensing fabrics for monitoring physiological and biomechanical variables: E-textile solutions," In *Proceedings of the 3rd IEEE/EMBS International Summer School on in Medical Devices and Biosensors*, pp. 1-4.

Paradiso, R. (2003). "Wearable health care system for vital signs monitoring," In *Proceedings of the 4th International IEEE/EMBS Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine*, pp.283-286.

Paradiso, R., Alonso, A., Cianflone, D., Milsis, A., Vavouras, T., Malliopoulos, C. (2008). "Remote health monitoring with wearable non-invasive mobile system: The Healthwear project," In *Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society - EMBS*, pp. 1699-1702.

Paradiso, R. and De Rossi, D. (2006). "Advances in textile technologies for unobtrusive monitoring of vital parameters and movements," In *Proceedings of the 28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society - EMBS*, pp.392-395.

Poh, M., Kim, K.; Goessling, A.D., Swenson, N.C., Picard, R.W. (2009). "Heartphones: sensor earphones and mobile application for non-obtrusive health monitoring," In *Proceedings of the International Symposium on Wearable Computers - ISWC '09*, pp.153-154.

Poh, M., Swenson, N.C., Picard, R.W. (2010). Motion-tolerant magnetic earring sensor and wireless earpiece for wearable photoplethysmography. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(3), pp.786-794.

Poh, M., Kim, K.; Goessling, A.D., Swenson, N.C., Picard, R.W. (2012). Cardiovascular monitoring using earphones and a mobile device. *IEEE Pervasive Computing*, 11(4), pp.18-26.

Ribeiro, B.R., Henriques, J.H., Marques, A.M. and Antunes, M.A. (2008). "Manifold learning for premature ventricular contraction detection," In *Proceedings of Computers in Cardiology*, pp. 917-920.

Rocha, T., Paredes, S., De Carvalho, P., Henriques, J. and Antunes, M. (2008). "Phase space reconstruction approach for ventricular arrhythmias characterization," In *Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society - EMBS*, pp. 5470,5473.

Shyamal, P., Hyung, P., Paolo, B., Leighton, C. and Mary, R. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1), pp. 1-17.

Sansrimahachai, W., Moreau, L. and Weal, M. (2013). "An on-the fly provenance tracking mechanism for stream processing systems", In *Proceedings of the 12th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science - ICIS 2013*, pp. 475-481.

Sukkum, W. and Kespichayawattana, J. (2008). Management of wandering behavior in the elderly with dementia. *Journal of Nursing Science Naresuan University*, 2(2), pp. 30-44.

Toahchoodee, M., Ray, I. (2011). On the formalization and analysis of a spatio-temporal role-based access control model. *Journal of Computer Security*, 19(3), pp. 399-452.

Vavoulas, G., Pediaditis, M., Chatzaki, C., Spanakis, E., Tsiknakis, M. (2016). The MobiFall Dataset:: Fall Detection and Classification with a Smartphone. *International Journal of Monitoring and Surveillance Technologies Research*, 2(1), pp 44-56.

Vuong, N. K., Chan, S., Lau, C. T. and Lau, K. M. (2011). "Feasibility study of a real-time wandering detection algorithm for dementia patients," In *Proceedings of the First ACM MobiHoc Workshop on Pervasive Wireless Healthcare - MobileHealth '11*, pp.11:1-11:4

Vuong, N. K., Goh, S.G.A., Chan, S. and Lau, C.T. (2013) "A mobile-health application to detect wandering patterns of elderly people in home environment," In *Proceedings of the 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society - EMBS*, pp. 6748-6751.

Ziyu, L., Feng, X., Guowei, W., Lin, Y. and Zhikui, C. (2010) "iCare: A mobile health monitoring system for the elderly," In *Proceeding of the IEEE/ACM International Conference on Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) - Green Computing and Communications (GreenCom)*, pp.699-705.

Gadi Shor (2008) "How Bluetooth, UWB, and 802.11 stack up on power consumption" https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1273546&page_number=3 [22 พฤษภาคม 2562]

Gigl, T., Jassen, G. J. M., Dizdarevic, V., Witrisal, K., and Irahauten, Z. (2007), "Analysis of a UWB indoor positioning system based on received signal strength", In *Proceedings of the 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2007 (WPNC'07)*, Germany, pp. 97-101.

Heggen, S., Zhang, J. Z., and Ball, A. K. (2006), "Effects of barrier materials and data rates on object detection using ultra-wideband technology", In *Proceedings of the 2006 IJME – INTERTECH Conference*.

Khan, M. M. (2014), "Study of ultra wideband wireless sensors for body area networks", In *Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT)*.

Kwapisz, J.R., Weiss, G.M., and Moore, S.A. (2010). Activity recognition using cell phone accelerometers. In *Proceedings of the SensorKDD'10*.

Lee, J. E. (2018), Sensing building structure using UWB radios for disaster recovery, Ph.D. Thesis, Portland State University.

Santhanam, M. (2011), UWB technology and its applications – a survey, Thesis Work, Master of Electrical Engineering, Tekniska Hogskolan.

Zafari, F., and Gkelias, A. (2019), A survey of indoor localization systems and technologies, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(3), pp. 2568-2599.

Zhou, Y., Romijnders, R., Hansen, C. et al. The detection of age groups by dynamic gait outcomes using machine learning approaches. Scientific Report 10, Article Number 4426 (2020).

Q. Tian, Z. Salcic, K. I. Wang and Y. Pan, "A Multi-Mode Dead Reckoning System for Pedestrian Tracking Using Smartphones," in IEEE Sensors Journal, vol. 16, no. 7, pp. 2079-2093.

Peters DM, Fritz SL, Krotish DE, "Assessing the reliability and validity of a shorter walk test compared with the 10-Meter Walk Test for measurements of gait speed in healthy, older adults, " in Journal of Geriatric Physical Therapy. Vol. 36, no. 1, pp. 24-30 (2013).

Tura A, Raggi M, Rocchi L, Cutti AG, Chiari L., "Gait symmetry and regularity in transfemoral amputees assessed by trunk accelerations," in Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, vol. 7, no. 4, 2010.

Machine Learning Group at the University of Waikato, "WEKA - The workbench for machine learning", <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>, accessed 25/12/2020.

ภาคผนวก ก
Data Dictionary

A. InPoSEC Data Dictionary

No	Name	Type	Not null	Description
1	actgroup			กลุ่มกิจกรรม
PK	group_id	int	Y	
	group_name	nvarchar(50)	Y	ชื่อกลุ่มกิจกรรม
2	acttype			ประเภทกิจกรรม
PK	act_type	int	Y	
	act_name	nvarchar(50)	Y	ชื่อกิจกรรม
	group_id	int	Y	รหัสกลุ่มกิจกรรม
	energy	float	Y	พลังงานที่ใช้
	ismobile	bit	Y	บ่งชี้ว่ามีการเคลื่อนที่หรือไม่
3	alerts			การแจ้งเตือน
PK	id	int	Y	
	patient_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ patients
	start_time	datetime	Y	เวลาเริ่มต้นของการแจ้งเตือน
	end_time	datetime	Y	เวลาสิ้นสุดของการแจ้งเตือน
	distance	float	Y	ระยะทาง
	alert_type	int	Y	PK ของ alerttypename
	alert_value	float		รายละเอียดเพิ่มเติมของการแจ้งเตือน
	lat	float	Y	ละติจูด
	lon	float	Y	ลองจิจูด
	bdg_set	nvarchar(4)		PK ของ Nursery
	bdg_id	int	Y	หมายเลขอาคาร (Unique ในระดับ Nursery)
	floor	int	Y	หมายเลขชั้น
	rm_id	int	Y	หมายเลขห้อง (Unique ในชั้นเดียวกันทุกอาคารใน Nursery)
	read_by	nvarchar(32)		รหัสของพนักงานที่อ่านการแจ้งเตือน
	read_time	datetime		เวลาที่อ่านการแจ้งเตือน
4	alerttypename			ชนิดของการแจ้งเตือน
PK	alert_type	int	Y	
	alert_name	nvarchar(100)	Y	ชื่อการแจ้งเตือน
	severity	int	Y	ความรุนแรงที่เกิดขึ้นในการแจ้งเตือน
	svt_color	nvarchar(20)		สีของกิจกรรมของผู้สูงอายุที่จะนำไปแสดงในโปรแกรมประยุกต์
5	archive_[PATIENT_ID]			กิจกรรมผู้สูงอายุแยก 1 รายต่อ 1 ตาราง
PK	id	int	Y	
	tstamp	datetime	Y	เวลาของกิจกรรม
	step	int	Y	จำนวนก้าว
	spo2	int	Y	เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในเลือด
	calories	float	Y	แคลอรีที่ใช้

	dist	float	Y	ระยะทาง
	hr	float	Y	อัตราการเต้นหัวใจ
	hrinv	float	Y	ความสม่ำเสมอของอัตราการเต้นหัวใจ
	pace	float	Y	ระยะเวลา / หน่วยระยะทาง
	act_type	int	Y	PK ของ acttype
	act_group	int	Y	กลุ่มของกิจกรรม
	ismobile	bit	Y	บ่งชี้ว่ามีการเคลื่อนที่หรือไม่
	long_active	int	Y	เวลาสะสมของกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวร่างกาย
	long_hactive	int	Y	เวลาสะสมของกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวร่างกายมาก
	long_stationary	int	Y	เวลาสะสมของการนั่ง
	long_sleep	int	Y	เวลาสะสมของการนอน
	long_bedsore	int	Y	เวลาสะสมของกิจกรรมเสี่ยงที่อาจทำให้เกิดการกดทับ
	rforce_diff	float	Y	ความต่างของแรงที่เกิดขึ้นในกิจกรรม
	lat	float	Y	ละติจูด
	lon	float	Y	ลองจิจูด
	spd	float	Y	ความเร็ว
	temp	float		อุณหภูมิ
	sys	int		ความดันโลหิตค่าบน
	dia	int		ความดันโลหิตค่าล่าง
	bdg_set	nvarchar(4)		PK ของ Nursery
	bdg_id	int	Y	หมายเลขอาคาร (Unique ในระดับ Nursery)
	floor	int	Y	หมายเลขชั้น
	rm_id	int	Y	หมายเลขห้อง (Unique ในชั้นเดียวกันทุกอาคารใน Nursery)
	age_group_code	tinyint		รหัสกลุ่มอายุที่ได้จากการประเมินของโปรแกรมประยุกต์
	age_group_name	nvarchar(50)		ชื่อกลุ่มอายุที่ได้จากการประเมินของโปรแกรมประยุกต์
6	bfr_name [BDG_SET]			ชื่อของอาคาร ชั้น และ ห้องภายในบ้านพักคนชรา
PK	bfr_id	nvarchar(15)	Y	
	bdg_name	nvarchar(100)		ชื่ออาคาร
	floor_name	nvarchar(50)		ชื่อชั้น
	rm_name	nvarchar(50)		ชื่อห้อง
7	brm [BDG_SET]			ห้องของอาคาร
PK	floor	int	Y	หมายเลขชั้น
	geojson	nvarchar(MAX)	Y	Geojson ของทุกห้องในชั้น (ทุกอาคารใน Nursery)
8	delegation			การฝากดูแลผู้สูงอายุของ caregiver
PK	patient_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ patients
PK	user_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ user
	start_time	datetime	Y	เวลาเริ่มต้นการฝาก
	end_time	datetime	Y	เวลาสิ้นสุดการฝาก
9	doctors			แพทย์ประจำตัวผู้สูงอายุ
PK	id	nvarchar(32)	Y	

	firstname	nvarchar(50)	Y	ชื่อแพทย์
	lastname	nvarchar(50)	Y	นามสกุลแพทย์
	gender	nvarchar(1)	Y	เพศของแพทย์
	phone	nvarchar(50)		หมายเลขโทรศัพท์ของแพทย์ (รองรับสูงสุด 3 เบอร์ + เบอร์ต่อ)
	hospital	nvarchar(100)	Y	โรงพยาบาลที่แพทย์สังกัด
10	editing_log			ประวัติการแก้ไขข้อมูลต่างๆ
PK	tstamp	datetime	Y	เวลาที่แก้ไขข้อมูล
PK	user_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ user
	sql	nvarchar(MAX)	Y	SQL ที่ใช้นำเข้าและแก้ไขข้อมูล ในรูปแบบ Prepared statement
	params	nvarchar(MAX)		parameters ที่ใช้กับ SQL (เก็บในรูปแบบ JSON)
11	est_age			กลุ่มอายุของผู้สูงอายุที่ได้จากการประเมิน
PK	patient_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ patients
PK	tstamp	datetime	Y	เวลาที่บันทึกข้อมูล
	age_group_code	tinyint		PK ของ lut_age_group
12	floor_name			ชื่อของชั้นอาคาร
PK	bdg_set	nvarchar(4)	Y	PK ของ Nursery
PK	bdg_id	int	Y	หมายเลขอาคาร (Unique ใน Nursery แต่ละแห่ง)
PK	floor	int	Y	PK ของ brm_[BDG_SET]
	name	nvarchar(50)	Y	ชื่อชั้น เช่น G, L, B, M, ไตดิน 1, ไตดิน 2, 1, 2, ดาดฟ้า, ...
	lat	float		ละติจูด origin ของ Anchor เพื่อใช้คำนวณพิกัดจริง
	lon	float		ลองจิจูด origin ของ Anchor เพื่อใช้คำนวณพิกัดจริง
13	geocontrol			ผู้สูงอายุในพื้นที่ควบคุม
PK	geoset_id	int	Y	PK ของ geoset
PK	patient_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ patients
14	geoset			พื้นที่ควบคุม
PK	id	int	Y	
	bdg_set	nvarchar(4)	Y	PK ของ Nursery
	bdg_id	int	Y	หมายเลขอาคาร (Unique ในระดับ Nursery)
	floor	int	Y	PK ของ brm_[BDG_SET]
	rm_id	int	Y	หมายเลขห้อง (Unique ในชั้นเดียวกันทุกอาคารใน Nursery)
	fencing_type	int	Y	ประเภทของพื้นที่
	start_time	datetime		เวลาเริ่มต้น
	end_time	datetime		เวลาสิ้นสุด
	repeat	bit		ตัวบ่งชี้ว่า นำเข้าแบบซ้ำวัน (จันทร์, อังคาร, พุธ ...) หรือไม่
15	lut_age_group			กลุ่มอายุจากการประเมินขอโปรแกรมประยุกต์
PK	code	tinyint	Y	

	descript	nvarchar(50)	Y	คำอธิบายกลุ่มอายุที่ได้จากการประเมิน
	color	nvarchar(20)	Y	สีของกลุ่มอายุที่จะนำไปแสดงในโปรแกรมประยุกต์
16	lut_fencing_type			ประเภทพื้นที่
PK	type	int	Y	
	descript_en	nvarchar(20)	Y	ชื่อประเภทพื้นที่ภาษาอังกฤษ
	descript_th	nvarchar(20)	Y	ชื่อประเภทพื้นที่ภาษาไทย
	color	nvarchar(20)	Y	สีของพื้นที่
17	lut_gender			เพศของบุคคล
PK	code	nvarchar(1)	Y	
	descript_en	nvarchar(20)	Y	คำอธิบายเพศของบุคคลภาษาอังกฤษ
	descript_th	nvarchar(20)	Y	คำอธิบายเพศของบุคคลภาษาไทย
18	lut_threshold			คำอธิบาย Threshold ทั้งหมด
PK	code	nvarchar(2)	Y	
	descript_en	nvarchar(50)	Y	คำอธิบาย Threshold ภาษาอังกฤษ
	descript_th	nvarchar(50)	Y	คำอธิบาย Threshold ภาษาไทย
	dec_point	tinyint	Y	จำนวนหลักทศนิยมในการแสดงผล
17	nursery			บ้านพักคนชรา
PK	bdg_set	nvarchar(4)	Y	
	name	nvarchar(200)	Y	ชื่อบ้านพักคนชรา
	geojson	nvarchar(MAX)	Y	Geojson ของทุกอาคารในบ้านพักคนชรา
	start_bdg_id	int	Y	หมายเลขอาคารที่จะแสดง เมื่อเลือกบ้านพักคนชราครั้งแรก
	line_group_token	nvarchar(100)		
18	patient_relative			ผู้สูงอายุ-ญาติ
PK	patient_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ patients
PK	relative_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ relatives
	relation	nvarchar(20)	Y	ความสัมพันธ์กับผู้สูงอายุ
19	patient_status			สถานะผู้สูงอายุ
PK	code	nvarchar(2)	Y	รหัสสถานะผู้สูงอายุ
	descript	nvarchar(20)	Y	คำอธิบายสถานะผู้สูงอายุ
20	patients			ผู้สูงอายุ
PK	id	nvarchar(32)	Y	
	bdg_set	nvarchar(4)	Y	PK ของ Nursery
	bdg_id	nvarchar(32)	Y	รหัสอาคารที่ผู้สูงอายุอยู่
	citizen_id	nvarchar(15)	Y	หมายเลขบัตรประชาชนผู้สูงอายุ
	firstname	nvarchar(50)	Y	ชื่อผู้สูงอายุ
	lastname	nvarchar(50)	Y	นามสกุลผู้สูงอายุ
	nickname	nvarchar(20)	Y	ชื่อเล่นของผู้สูงอายุ
	gender	nvarchar(1)	Y	รหัสเพศของผู้สูงอายุ (PK ของตาราง lut_gender)
	birthdate	datetime	Y	วันเกิดของผู้สูงอายุ
	address	nvarchar(1000)	Y	ภูมิลำเนาเดิมของผู้สูงอายุ

	weight	float	Y	น้ำหนักของผู้สูงอายุ
	height	float	Y	ส่วนสูงของผู้สูงอายุ
	diseases	nvarchar(1000)		โรคประจำตัวของผู้สูงอายุ
	medicine	nvarchar(1000)		ยาที่ผู้สูงอายุต้องใช้
	allergic_med	nvarchar(1000)		ประวัติการแพ้ยาของผู้สูงอายุ
	allergic_food	nvarchar(1000)		ประวัติการแพ้อาหารของผู้สูงอายุ
	doctor_id	nvarchar(32)		PK ของ doctors
	status	nvarchar(2)	Y	PK ของ patient_status
	mac_addr	nvarchar(20)		Mac address ของอุปกรณ์ติดตามตัวผู้สูงอายุ
	enable	bit		บ่งชี้ว่าข้อมูลผู้สูงอายุยังมีการใช้งานอยู่
21	relatives			ญาติผู้สูงอายุ
PK	id	nvarchar(32)	Y	
	firstname	nvarchar(50)	Y	ชื่อญาติผู้สูงอายุ
	lastname	nvarchar(50)	Y	นามสกุลญาติผู้สูงอายุ
	gender	nvarchar(1)	Y	เพศของญาติผู้สูงอายุ
	phone	nvarchar(50)		หมายเลขโทรศัพท์ญาติผู้สูงอายุ (รองรับสูงสุด 3 เบอร์ + เบอร์ต่อ)
	address	nvarchar(1000)		ที่อยู่ของญาติผู้สูงอายุ
22	supervise			ผู้สูงอายุ - ผู้ดูแล
PK	user_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ user
PK	patient_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ patients
23	threshold			ค่า Threshold ของผู้สูงอายุ
PK	patient_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ patients
PK	ts_code	nvarchar(2)	Y	PK ของ lut_threshold
	ts_value	float		ค่า Threshold
24	user			ผู้ใช้ระบบ (ผู้ดูแลระบบ / caregiver / หมอ / ญาติผู้สูงอายุ)
PK	id	nvarchar(32)	Y	
	type_id	int	Y	PK ของ user_type
	firstname	nvarchar(50)	Y	ชื่อผู้ใช้งาน
	lastname	nvarchar(50)	Y	นามสกุลผู้ใช้งาน
	gender	nvarchar(1)	Y	รหัสเพศของผู้ใช้งาน (PK ของตาราง lut_gender)
	citizen_id	nvarchar(15)	Y	หมายเลขบัตรประชาชนผู้ใช้งาน
	phone	nvarchar(50)		หมายเลขโทรศัพท์ของผู้ใช้งาน (รองรับสูงสุด 3 เบอร์ + เบอร์ต่อ)
	email	nvarchar(100)		อีเมลของผู้ใช้งาน
	password	nvarchar(100)	Y	รหัสผ่านของผู้ใช้งาน
	line_id	nvarchar(100)	Y	Line ID ของผู้ใช้งาน
	line_user_id	nvarchar(50)		Line user ID ของผู้ใช้งาน (เป็น ID ที่ระบบหลังบ้านใช้สื่อสารกัน)
	approve_code	nvarchar(10)		รหัสยืนยันการเข้าใช้งานระบบ

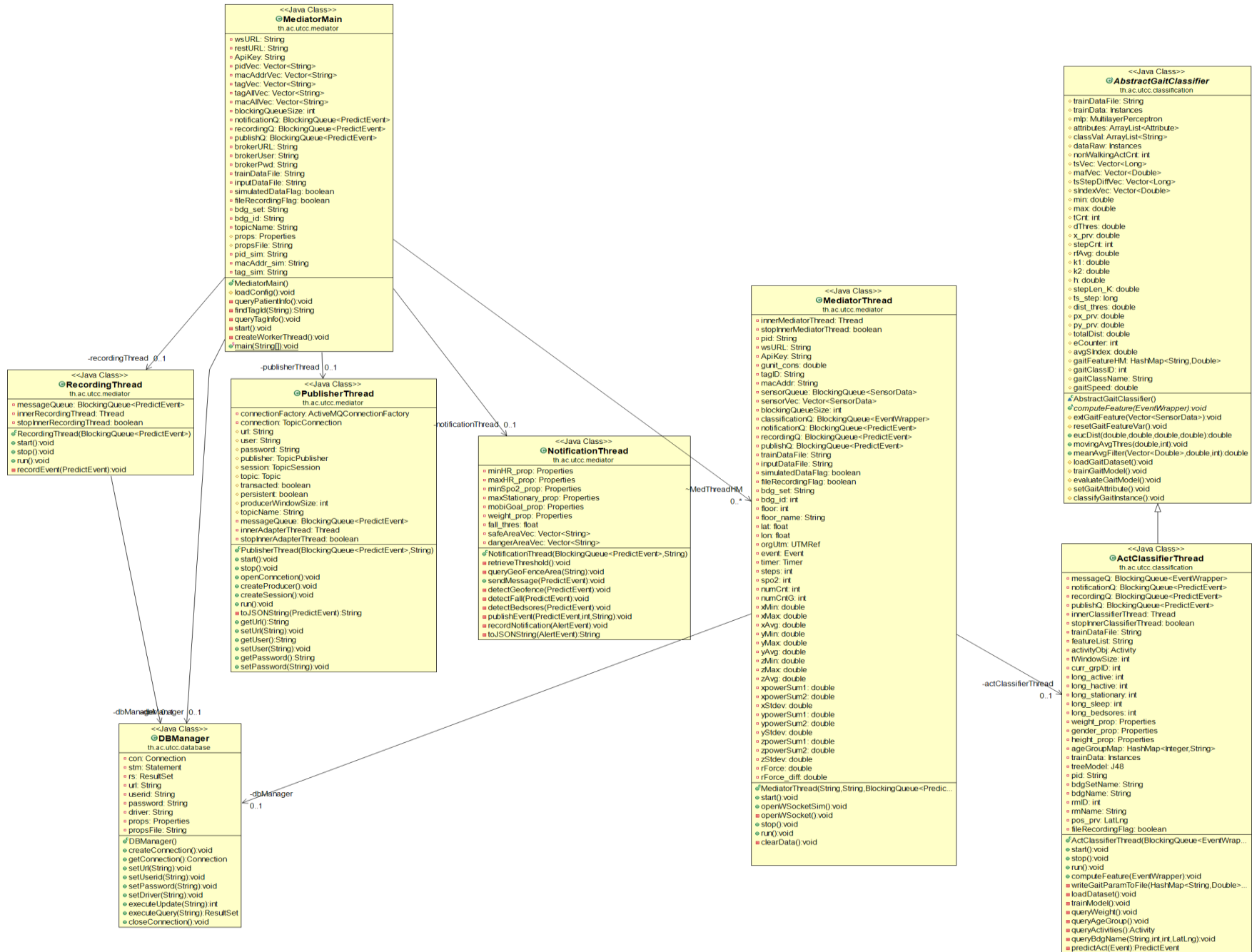
25	user_nursery			ผู้ใช้งานที่สังกัดบ้านพักคนชรา
PK	user_id	nvarchar(32)	Y	PK ของ user
PK	bdg_set	nvarchar(4)	Y	PK ของ Nursery
	role_code	nvarchar(20)	Y	บทบาทผู้ใช้งาน (NSY_ADMIN / SYS_ADMIN / CARE_GIVER)
26	user_type			ประเภทของผู้ใช้งานระบบ
PK	type_id	Int	Y	
	type_name	nvarchar(20)	Y	ชื่อประเภทของผู้ใช้งาน (caregiver / หมอ / ญาติ ผู้สูงอายุ)

ภาคผนวก ข
การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล (Pattern Analyzer)

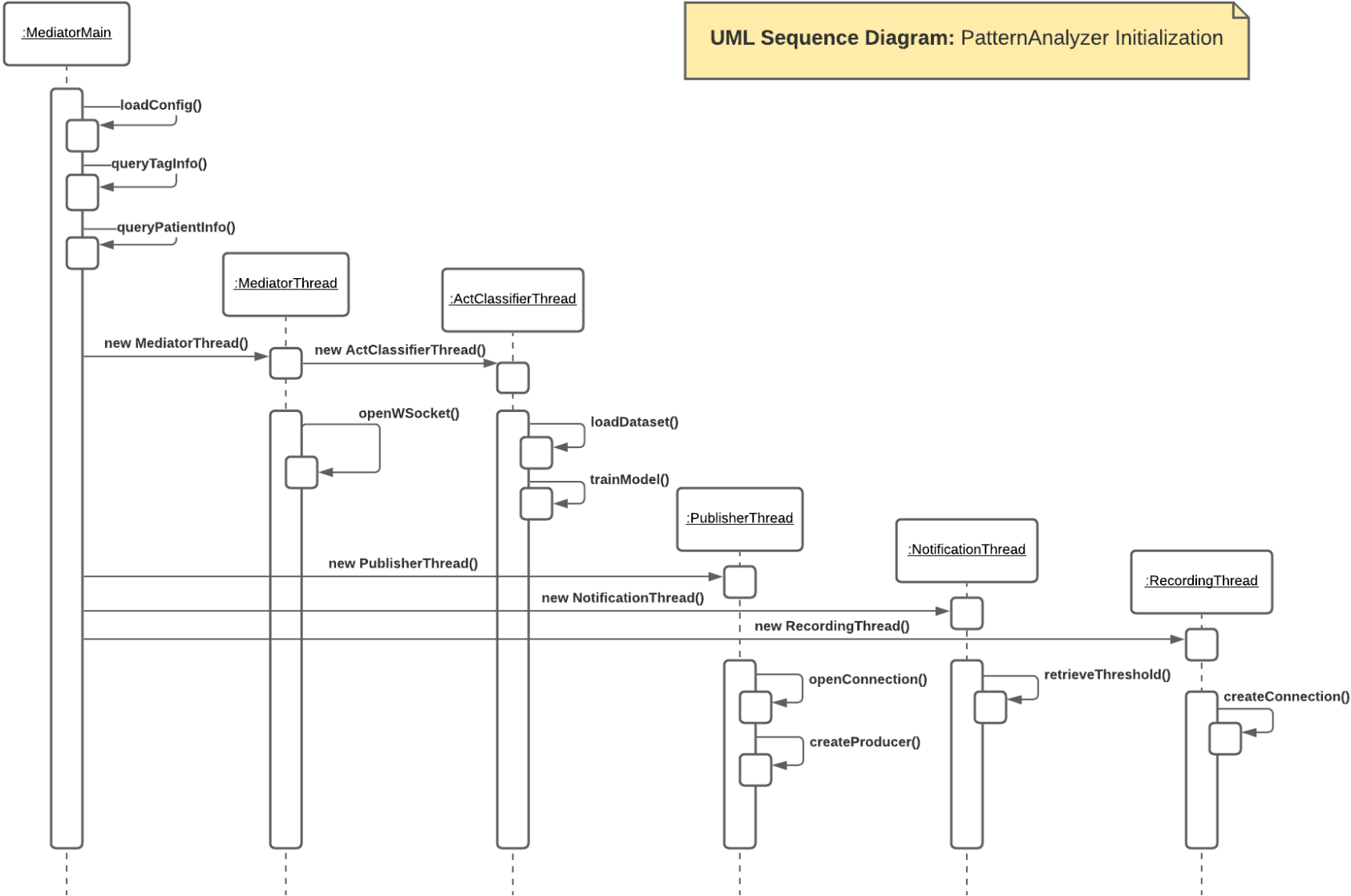
การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล (Pattern Analyzer)

โปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล (Pattern Analyzer) ถือเป็นโปรแกรมสำคัญในระบบติดตามตำแหน่ง เพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ติดตั้งอยู่ ณ เครื่องแม่ข่ายเฉพาะที่ (Local server) เพื่อทำหน้าที่ในการรับข้อมูลที่ส่งมาจาก UWB tag และประมวลผลข้อมูลแบบทันที (Real-time stream processing) โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อจำแนกกิจกรรมการเคลื่อนไหว วิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ และทำนายกลุ่มอายุจากรูปแบบการเดินของผู้สูงอายุ โดยข้อมูลหรือสารสนเทศที่ได้จากการประมวลผลจะถูกส่งต่อไปแสดงผลยังโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (InPoSEC Web Application) หรือแจ้งเตือนผู้ดูแล (Caregiver) ผ่านซอฟต์แวร์ตัวกลาง (Message Oriented Middleware - MOM) บนเครื่องแม่ข่ายบนคลาวด์

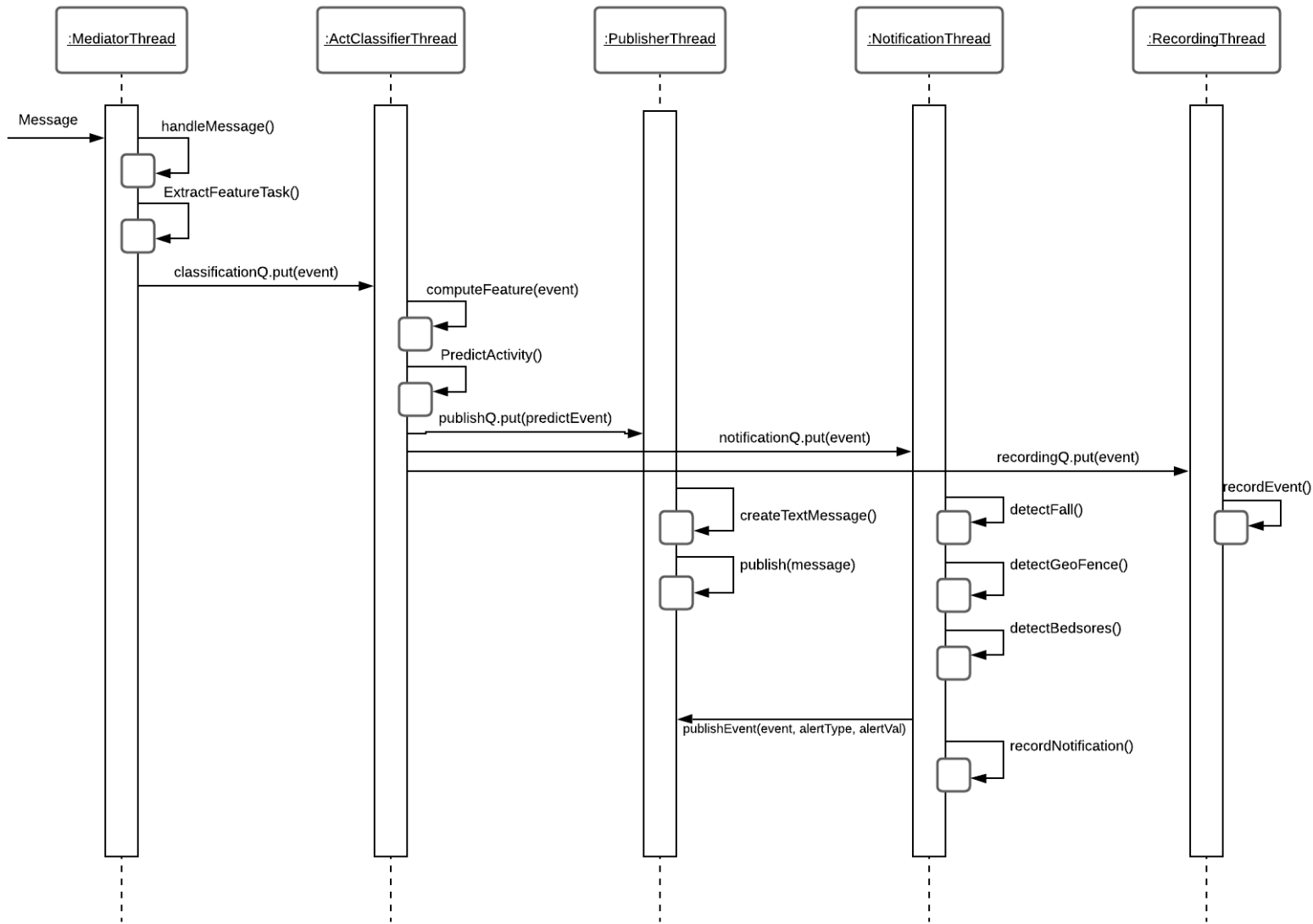
ภายในโปรแกรม Pattern Analyzer คลาสที่เป็นจุดเริ่มต้นการทำงาน ได้แก่ MediatorMain ซึ่งเป็นคลาสหลักที่อ่าน Configuration Parameters เข้าสู่ระบบ สร้างการเชื่อมต่อกับ Sewio RTLS Server เพื่ออ่านข้อมูลจาก UWB tag และสร้าง Instance ของคลาสอื่นๆ ที่ช่วยในการประมวลผลข้อมูล โดยเมื่อ MediatorMain กระทำการอ่านข้อมูล Configuration Parameters และกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว MediatorMain จะทำการเรียกฟังก์ชันเพื่อสร้าง Instance ของคลาส ที่ช่วยประมวลผลและสกัดคุณลักษณะจากข้อมูล (Feature Extraction) แบบ Real-time ได้แก่ MediatorThread หลังจากนั้น MediatorMain จึงจะทำการสร้างคลาสที่ทำหน้าที่หลักเสมือนลูกมือช่วยประมวลผลข้อมูล (WorkerThread) ได้แก่ PublisherThread NotificationThread และ RecordingThread ทั้งนี้หน้าที่หลักของคลาสเหล่านี้คือ ประมวลผลข้อมูลแบบ Real-time ในลักษณะของโปรแกรมย่อย (Thread) ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน และทันทีที่การประมวลผลข้อมูลเสร็จสิ้น จะส่งต่อข้อมูลไปยัง InPoSEC Web Application ผ่าน MOM ที่อยู่บนเครื่องแม่ข่ายบนคลาวด์ทันที



UML Sequence Diagram: PatternAnalyzer Initialization



UML Sequence Diagram: PatternAnalyzer message processing



ภาคผนวก ค
ความต้องการเบื้องต้นของระบบ

ก. รายละเอียดความต้องการเบื้องต้นของฮาร์ดแวร์ที่ใช้กับระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร

ระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร มีความต้องการฮาร์ดแวร์ขั้นต่ำดังนี้

1. ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคาร SEWIO Indoor Tracking RTLS UWB Wi-Fi Kit
2. Wi-Fi เราเตอร์
3. เครื่องแม่ข่ายสำหรับติดตั้งชุดโปรแกรม SEWIO RTLS Studio โดยคุณลักษณะเบื้องต้นของเครื่องแม่ข่ายจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ข้อคือ
 - จำนวน Anchor ที่ติดตั้ง
 - จำนวน Tag ที่ใช้งาน
 - ค่าอัตรา Refresh Rate (RR) ที่ใช้ในระบบ

โดยสามารถสรุปคุณลักษณะพื้นฐานของเครื่องแม่ข่ายได้ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คุณลักษณะพื้นฐานของเครื่องแม่ข่ายสำหรับติดตั้งชุดโปรแกรม Sewio RTLS Studio

(ข้อมูลจาก <https://docs.sewio.net/docs/server-specification-25593409.html>)

ขนาดการติดตั้ง	CPU Model	CPU (Cores/Threads)	CPU Single Thread Rating	CPU Rating	RAM
< 10 Anchors, < 10 Tags with 100 ms RR	Intel Celeron G1610T	(2/2)	1241	1341	4 GB
> 10 Anchors, > 50 Tags with 100 ms RR	Intel Xeon E5- 2609 v3	(6/6)	1115	4778	8 GB
> 100 Anchors, > 50 Tags with 100 ms RR	Intel Xeon E- 2136	(6/12)	2756	13564	16 GB
> 500 Anchors, > 200 Tags with 100 ms RR	AMD EPYC 7452	(32/64)	2290	53478	16 GB

4. อุปกรณ์มือถือที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้

ข. รายละเอียดความต้องการเบื้องต้นของซอฟต์แวร์ที่ใช้กับระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร

ระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร มีความต้องการซอฟต์แวร์ขั้นต่ำ ดังนี้

1. โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ SEWIO RTLS Studio
2. Virtual Box สำหรับติดตั้ง SEWIO RTLS Studio
3. Google Chrome Browser
4. Cloud Server สำหรับติดตั้งระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร โดยมีคุณลักษณะเบื้องต้น ดังนี้ (อ้างอิงตามคุณลักษณะของ MS Azure ที่ใช้ในโครงการ)
 - CPU (4 Cores/ 4 Threads)
 - 14 GB RAM
 - OS Ubuntu 18.04
 - 10 Database Transaction Units (DTUs) 250GB
5. Java Version 8.0
6. โปรแกรมสำหรับ โอนย้ายข้อมูลจาก Cloud Database เช่น Azure Data Manager

ภาคผนวก ง

บรรยากาศการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และการเก็บข้อมูล
ณ ศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางแค



ภาพที่ 51 กิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ณ ศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางแค



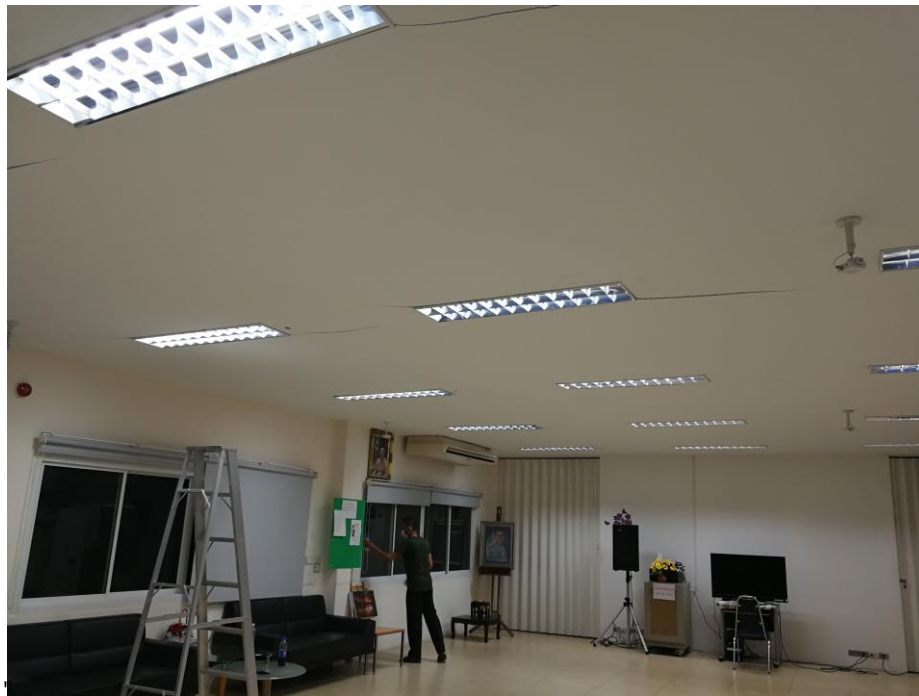
ภาพที่ 52 กิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ณ ศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางแค

ภาคผนวก จ

บรรยากาศการติดตั้งระบบ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ การเก็บข้อมูลและทดสอบระบบ
ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ



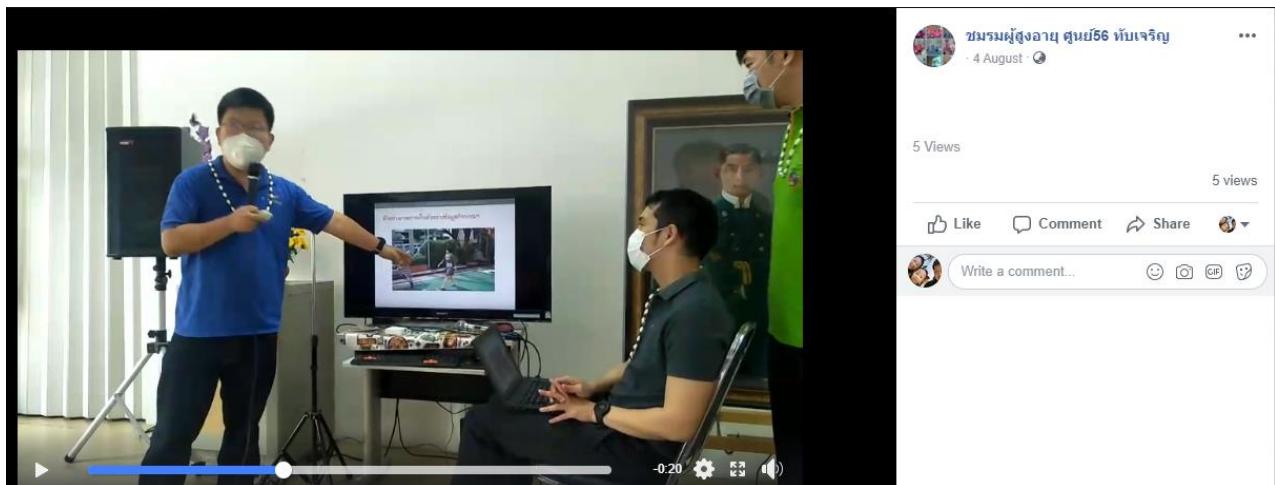
ภาพที่ 53 ติดตั้งอุปกรณ์ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ



ภาพที่ 54 ติดตั้งอุปกรณ์ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ



ภาพที่ 55 ติดตั้งอุปกรณ์ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ



ภาพที่ 56 จัดกิจกรรมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับการทำงานของระบบ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ



ภาพที่ 57 เก็บข้อมูลและทดสอบระบบ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ



ภาพที่ 58 เก็บข้อมูลและทดสอบระบบ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ



ภาพที่ 59 เก็บข้อมูลและทดสอบระบบ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ



ภาพที่ 60 เก็บข้อมูลและทดสอบระบบ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ



ภาพที่ 61 เก็บข้อมูลและทดสอบระบบ ณ ชมรมผู้สูงอายุ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ

ภาคผนวก ฉ

แบบปรับปรุงผลงานตามความเห็นในการประชุมร่วมกันของคณะกรรมการพิจารณา
ผลงานการดำเนินโครงการระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุ
ในอาคาร

แบบปรับปรุงผลงานตามความเห็นในการประชุมร่วมกันของคณะกรรมการพิจารณาผลงานการดำเนินโครงการ
ระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร

(เมื่อวันที่ 16 มิถุนายน 2564)

วัตถุประสงค์ของโครงการ

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
1.	เพื่อพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดตำแหน่งของผู้ใช้งาน การรายงาน และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงในการดำเนินชีวิตประจำวัน		พัฒนาระบบติดตาม ติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดตำแหน่งของผู้ใช้งาน การรายงาน และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงในการดำเนินชีวิตประจำวัน	46 – 92
2.	เพื่อสร้างระบบติดตาม ดูแล และเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุ ที่สามารถสื่อสาร จัดการ และประมวลผลกระแสข้อมูลภายใต้สภาวะปกติและเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ		พัฒนาระบบติดตามดูแลและเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุ ภายในอาคารที่สื่อสารกับอุปกรณ์ Ultra-Wide Band เพื่อประเมินสภาวะผิดปกติ	22 – 25, 46 – 92
3.	เพื่อพัฒนาปรับปรุงสมรรถนะของกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบที่มีการใช้งานในปัจจุบัน โดยการเพิ่มศักยภาพด้านการประมวลผลกระแสข้อมูลขนาดใหญ่จากหลายแหล่งร่วมกัน ให้สอดคล้องกับกรอบเวลาที่กำหนด เพื่อขยายขีดความสามารถด้านการบ่งชี้และคาดการณ์ถึงปัญหาและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต		พัฒนาขั้นตอนวิธีการประมวลผล เพื่อ จำแนกกิจกรรม ตรวจจับการหกล้ม ตรวจจับการเดินหลง และจำแนกช่วงอายุของผู้สูงอายุ โดยนำข้อมูลแบบทันทีที่อ่านได้จากอุปกรณ์ Ultra-Wide Band มาประมวลผลร่วมกับข้อมูลจากแหล่งอื่น อาทิ ชุดข้อมูล MobiFall เพื่อประเมินสภาวะผิดปกติของผู้สูงอายุ	49 – 75

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
4.	เพื่อพัฒนากระบวนการเข้าถึงและถ่ายโอนข้อมูลสัญญาณชีพและค่าบ่งชี้สุขภาพ ระหว่างผู้สูงอายุ (หรือผู้ป่วย) และผู้ดูแล (เช่น แพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญทางสาธารณสุข) ได้อย่างมีความเป็นส่วนตัว (Privacy) และมั่นคง (Security)		พัฒนาส่วนถ่ายโอนข้อมูลจากระบบสำหรับเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องเพื่อส่งออกข้อมูลในรูปแบบมาตรฐานที่ใช้กันแพร่หลาย (JSON และ xlsx) เพื่อส่งต่อให้แพทย์ผู้ดูแลนำไปใช้งานต่อไป	84 – 85
5.	เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีในการเพิ่มความสามารถของระบบในการแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติหรือความเสี่ยงด้านสุขภาพของผู้ใช้ ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดได้อย่างแม่นยำและทันกาล โดยใช้พลังงานและทรัพยากรในด้านการสื่อสารและประมวลผลข้อมูลของชุดอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อยืดอายุการใช้งานของเครือข่าย		ออกแบบขั้นตอนวิธีการแจ้งเตือนเมื่อเกิดภาวะผิดปกติ เพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถปรับความถี่ในการแจ้งเตือนตามความเหมาะสม เพื่อประหยัดพลังงาน	38 – 45, 82 – 83
6.	เพื่อทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น โดยการจำลองสถานการณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ รวมถึงวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา และโดยการติดตั้ง ใช้งาน รวมถึงทดสอบกับผู้ใช้งานจริง และนำผลที่ได้ไปปรับปรุงตลอดจนพัฒนาต่อยอดในอนาคต		มีการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ และนำอุปกรณ์ไปติดตั้ง ณ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อทดสอบกับกลุ่มผู้สูงอายุ ตลอดจนเปรียบเทียบผลที่ได้กับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	26 – 37, 70 – 75, 126 – 131
7.	เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อผู้ใช้หน่วยงานสนับสนุน ผู้ประกอบการ หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ ส่งผลให้เกิดความรู้ความเข้าใจในปัญหาความต้องการของระบบ และได้ผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรมตลอดการดำเนินโครงการ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ได้จริง		จัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับสถานดูแลผู้สูงอายุบ้านบางแค และศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อรับทราบปัญหา และนำผลที่ได้มาปรับปรุงพัฒนาระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง	126 – 131

ขอบเขตและกิจกรรมการดำเนินงาน

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
1.	การวิเคราะห์ความต้องการของระบบ โดยการสอบถาม และขอคำปรึกษา จากคณะที่ปรึกษา หน่วยงานสนับสนุน และกลุ่มตัวอย่างของผู้ใช้ โดยมุ่งเน้นการพัฒนาสำหรับผู้สูงอายุเพื่อให้ได้ระบบที่ตอบสนองต่อความต้องการและใช้งานได้จริง และสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้งานกับผู้ป่วยหรือประชาชนในกลุ่มอื่นได้ในอนาคต		มีการขอคำปรึกษาจากที่ปรึกษา โครงการ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการใช้งานระบบตลอดการดำเนินโครงการ	1 – 11, 20 – 21, 126 – 131
2.	การทดสอบชุดอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคาร การทดสอบการสื่อสารข้อมูลระหว่างชุดอุปกรณ์ รวมถึงการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำชุดอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดมาใช้งานหรือปรับปรุงตามความเหมาะสมเพื่อเป็นการลดความซ้ำซ้อน ระยะเวลา และต้นทุนในการผลิต		ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคารที่มีอยู่ในท้องตลาดเพื่อนำมาใช้ในโครงการ	22 – 45
3.	การพัฒนาแบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร โดยการสื่อสารข้อมูลระหว่างชุดอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูล และอุปกรณ์รับและประมวลผลข้อมูล โดยมีโพรโทคอลสื่อสารเป็นกลไกหลักในการสนับสนุนการรับส่งข้อมูลตามความต้องการของระบบ โครงการวิจัยนี้ไม่มุ่งเน้นการพัฒนาโพรโทคอลสื่อสารใหม่ แต่หากมุ่งเน้นการปรับปรุงโพรโทคอลในระดับต่าง ๆ ที่มีอยู่ให้มีศักยภาพสูงขึ้นเพื่อให้ได้ระบบการตรวจสอบสุขภาพของประชาชนที่สามารถใช้งานได้จริง		สำรวจหาอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งภายในอาคารที่สนับสนุนตั้งค่าคุณลักษณะการทำงาน และการสื่อสารเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด และประหยัดพลังงาน	38 – 45
4.	การปรับปรุงกระบวนการจัดการและประมวลผลกระแสข้อมูลขนาดใหญ่จากหลายแหล่งร่วมกัน โดยประยุกต์ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อปรับเกณฑ์การตรวจวัดตำแหน่งและค่าบ่งชี้สุขภาพให้เหมาะสมกับตัวบุคคล รวมถึงการคาดการณ์ถึงปัญหาสุขภาพและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งมักเกิดขึ้นกับผู้ที่มีภาวะสมองเสื่อม โดยใช้เทคนิคการประมวลผลกระแสข้อมูล ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคนิคอัลตรา ไวด์ แบนด์ ภายใต้ข้อจำกัดด้านพลังงานและการประมวลผลของชุดอุปกรณ์ ทั้งนี้ จะได้คาดการณ์การเกิดความเสี่ยงที่สามารถบ่งชี้ได้จากข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากชุดอุปกรณ์เท่านั้น		พัฒนาขั้นตอนวิธีการประมวลผลเพื่อ จำแนกกิจกรรม ตรวจจับการหกล้ม และจำแนกช่วงอายุของผู้สูงอายุ โดยนำข้อมูลแบบทันทีที่อ่านได้จากอุปกรณ์ Ultra-Wide Band มาประมวลผลร่วมกับข้อมูลจากแหล่งอื่น อาทิ ชุดข้อมูล MobiFall เพื่อประเมินสถานะผิดปกติของผู้สูงอายุ	49 – 75

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
5.	การพัฒนาขั้นตอนวิธีการเข้าถึงและถ่ายโอนข้อมูลที่ตรวจวัดได้ ระหว่างผู้สูงอายุ (หรือผู้ป่วย) และผู้ดูแล (เช่น ญาติ แพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญทางสาธารณสุข) ได้อย่างมีความเป็นส่วนตัว (Privacy) และมั่นคง		พัฒนาส่วนถ่ายโอนข้อมูลจากระบบสำหรับเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องเพื่อส่งออกข้อมูลในรูปแบบมาตรฐานที่ใช้งานกันแพร่หลาย (JSON และ xlsx) เพื่อส่งต่อให้แพทย์ผู้ดูแลนำไปใช้งานต่อไป	84 – 85
6.	การพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติหรือความเสี่ยงด้านสุขภาพของผู้ใช้ ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดได้อย่างแม่นยำและทันกาล		ออกแบบขั้นตอนวิธีการแจ้งเตือนเมื่อเกิดภาวะผิดปกติ	82 – 83
7.	การทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการสร้างเครือข่ายจำลองเพื่อทดสอบความถูกต้องของการตรวจวัด และการสื่อสารข้อมูลระหว่างชุดอุปกรณ์		มีการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสม ผ่านการวัดความแรงสัญญาณโดยเครื่องมือ Spectrum Analyzer	26 – 37
8.	การติดตั้ง ใช้งาน และทดสอบกับผู้ใช้งานจริง		นำอุปกรณ์ไปติดตั้ง ณ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อทดสอบกับกลุ่มผู้สูงอายุ	126 – 131
9.	การแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับคณะที่ปรึกษา หน่วยงานสนับสนุน และกลุ่มผู้ใช้งาน อย่างสม่ำเสมอตลอดการดำเนินโครงการ รวมถึงการถ่ายทอดเทคโนโลยีและให้ข้อเสนอแนะต่อผู้ใช้ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการเข้าถึงและใช้เทคโนโลยีมากขึ้น และเกิดการขยายผลในเชิงพาณิชย์หรืออุตสาหกรรม		จัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับสถานดูแลผู้สูงอายุบ้านบางแค และศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อรับทราบปัญหา และนำผลที่ได้มาปรับปรุงพัฒนาระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง	124 – 131

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
1.	ต้นแบบของระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ที่รองรับการสื่อสาร จัดการ และประมวลผลกระแสข้อมูลภายใต้สภาวะปกติและสภาวะวิกฤตได้อย่างถูกต้อง มีความเชื่อถือได้ (Reliability) มีประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพ และความปลอดภัย โดยติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์รับและประมวลผล ซึ่งรับข้อมูลจากชุดอุปกรณ์ที่คอยตรวจวัดตำแหน่งของผู้สูงอายุหรือผู้ป่วย		พัฒนาระบบติดตาม ติดตาม ตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดตำแหน่งของผู้ใช้งาน การรายงาน และการวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้ เพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงในการดำเนินชีวิตประจำวัน	46 – 92
2.	ขั้นตอนวิธีในการเข้าถึงและถ่ายโอนข้อมูลที่ตรวจวัดได้ระหว่างผู้สูงอายุ (หรือผู้ป่วย) และผู้ดูแล (เช่น ญาติ แพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญทางสาธารณสุข) ได้อย่างมีความเป็นส่วนตัว (Privacy) และมั่นคง (Security) เพื่อป้องกันการลักลอบขโมยหรือดักฟังข้อมูลที่เป็นความลับ		พัฒนาส่วนถ่ายโอนข้อมูลจากระบบสำหรับเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องเพื่อส่งออกข้อมูลในรูปแบบมาตรฐานที่ใช้งานกันแพร่หลาย (JSON และ xlsx) เพื่อส่งต่อให้แพทย์ผู้ดูแลนำไปใช้งานต่อไป	84 – 85
3.	ขั้นตอนวิธีที่เพิ่มความสามารถของต้นแบบในการแจ้งเตือนทั้งต่อผู้ใช้ และ/หรือ ผู้ที่เกี่ยวข้องเมื่อเกิดความผิดปกติหรือความเสี่ยงด้านการใช้ชีวิตประจำวันที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต โดยขยายขีดความสามารถในการประมวลผลกระแสข้อมูลภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดได้อย่างแม่นยำและทันกาล รวมถึงการปรับเพิ่ม หรือลดระดับการเตือนตามการประมวลผลของข้อมูลที่ตรวจวัดได้ตามเวลาผ่านการใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้พลังงานและทรัพยากรในด้านการสื่อสารและประมวลผลข้อมูลของชุดอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อยืดอายุการใช้งานของระบบ		พัฒนาขั้นตอนวิธีการแจ้งเตือนเมื่อเกิดภาวะผิดปกติ เพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถปรับความถี่ในการแจ้งเตือนตามความเหมาะสม เพื่อประหยัดพลังงาน	38 – 45, 82 – 83
4.	ผลการทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น โดยการจำลองสถานการณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงผลจากการทดสอบที่ได้จากการติดตั้ง ใช้งาน และทดสอบกับผู้ใช้งานจริง เพื่อประโยชน์ในการนำผลที่ได้ไปปรับปรุงและพัฒนาต่อ		- มีการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสม ผ่านการวัดความ	26 – 37, 70 – 75, 126 – 131

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
	ยอระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยในอาคารสำหรับประชาชนโดยทั่วไปในอนาคต		แรงสัญญาณโดยเครื่องมือ Spectrum Analyzer - นำอุปกรณ์ไปติดตั้ง ณ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อทดสอบกับกลุ่มผู้สูงอายุ ตลอดจนเปรียบเทียบผลที่ได้กับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	
5.	ความมีส่วนร่วมของผู้ใช้ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ประกอบการ หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบของระบบสนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกันสำหรับผู้สูงอายุตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ ส่งผลให้เกิดความรู้ความเข้าใจในปัญหา ความต้องการของระบบ และได้ผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรมตลอดการดำเนินโครงการ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ได้จริง		จัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับ สถานดูแลผู้สูงอายุบ้านบางแค และศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อรับทราบปัญหา และนำผลที่ได้มาปรับปรุงพัฒนาระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง	124 - 131

ตัวชี้วัดผลผลิต

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
1.	ได้ต้นแบบระบบติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร		พัฒนาระบบติดตาม ติดตามตำแหน่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้สูงอายุในอาคาร ซึ่งมีความสามารถในการตรวจวัดตำแหน่งของผู้ใช้งาน การรายงาน และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงในการดำเนินชีวิตประจำวัน	46 – 92
2.	ได้ชุดโพรโทคอลสื่อสารข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือในการสื่อสารข้อมูล (Reliability)		สำรวจและเลือกใช้งานอุปกรณ์ และพัฒนาระบบโดยใช้ Protocol ที่มีคุณสมบัติรองรับการสื่อสารข้อมูลที่มีความ	38 – 45

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
			นำเชื่อถือ มีกลไกการส่งข้อมูลซ้ำ และมีกลไกควบคุมความคับคั่งของข้อมูล (TCP/IP)	
3.	มีกลไกในการส่งข้อมูลซ้ำ (Retransmission)		สำรวจและเลือกใช้งานอุปกรณ์และพัฒนาระบบโดยใช้ Protocol ที่มีคุณสมบัติรองรับการสื่อสารข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ มีกลไกการส่งข้อมูลซ้ำ และมีกลไกควบคุมความคับคั่งของข้อมูล (TCP/IP)	38 – 45
4.	มีกลไกในการควบคุมความคับคั่งของข้อมูล (Congestion control)		สำรวจและเลือกใช้งานอุปกรณ์และพัฒนาระบบโดยใช้ Protocol ที่มีคุณสมบัติรองรับการสื่อสารข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ มีกลไกการส่งข้อมูลซ้ำ และมีกลไกควบคุมความคับคั่งของข้อมูล (TCP/IP)	38 – 45
5.	ได้ขั้นตอนวิธีสำหรับกระบวนการตรวจจ็บบรูปแบบพฤติกรรมอันนำไปสู่ภาวะผิดปกติ		พัฒนาขั้นตอนวิธีจำแนกกิจกรรม จำแนกช่วงอายุ ตรวจจ็บบการเดินหลง และตรวจจ็บบการหกล้ม	49 – 69
6.	ได้โปรแกรมต้นแบบสำหรับกระบวนการตรวจจ็บบรูปแบบพฤติกรรมอันนำไปสู่ภาวะผิดปกติเพื่อสนับสนุนเวชศาสตร์ป้องกัน		พัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อแสดงผลการจำแนกกิจกรรมการจำแนกช่วงอายุ ตรวจจ็บบการเดินหลง และตรวจจ็บบการหกล้ม	76 – 85
7.	มีกลไกในการจัดเก็บและค้นคืนข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อป้องกันปัญหาเนื่องที่ในการจัดเก็บข้อมูลไม่เพียงพอ (Insufficient data storage)		พัฒนาระบบบนระบบ Cloud เพื่อรองรับกลไกการจัดเก็บและทำงานกับข้อมูลขนาดใหญ่ และรองรับการขยายขนาดพื้นที่	46 – 92

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
			จัดเก็บเพื่อป้องกันปัญหาเนื้อหาที่ ในการจัดเก็บข้อมูลไม่เพียงพอ	
8.	มีกลไกในการตรวจจับภาวะการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติ		พัฒนาขั้นตอนวิธีจำแนก กิจกรรม จำแนกช่วงอายุ ตรวจจับการเดินหลง และ ตรวจจับการหกล้ม	49 – 75
9.	มีกลไกในการเฝ้าระวังและการตรวจจับภาวะหกล้ม		พัฒนาขั้นตอนวิธีตรวจจับการ หกล้ม	54 – 57
10.	มีกลไกในการตรวจจับการเดินหลง		ระบบมีกลไกตรวจจับการเดิน หลงโดยพิจารณาจากการที่ ผู้สูงอายุเดินออกจากพื้นที่ ปลอดภัย หรือเดินเข้าไปใน พื้นที่อันตราย	67 – 69
11.	มีกลไกในการสื่อสารข้อมูลอย่างปลอดภัย		การสื่อสารข้อมูลระหว่าง อุปกรณ์ UWB กับระบบ และ ระหว่างองค์ประกอบของ ซอฟต์แวร์มีการเข้ารหัสข้อมูล แบบ End-to-End Encryption ผ่านโพรโทคอลมาตรฐานคือ HTTPS	38 – 45, 47 – 48
12.	มีกลไกการยืนยันบุคคลก่อนเข้าใช้งานระบบ		- มีกลไกพิสูจน์ตัวตนก่อนสมัคร ใช้งานระบบ โดยใช้ กระบวนการ 2 Factor Authentication - มีกลไกยืนยันตัวตนด้วย Username และ Password ก่อนเข้าใช้งานระบบ	76 – 79
13.	มีกลไกการเตือนเมื่อเกิดภาวะผิดปกติ		มีกลไกแจ้งเตือนเมื่อผู้สูงอายุ เดินออกจากพื้นที่ปลอดภัย เดิน เข้าสู่พื้นที่อันตราย อยู่หนึ่งเป็น	82 – 83

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
			เวลานาน หรือหกล้ม โดยจะเพิ่มความถี่ในการเตือนมากขึ้น หาก ภาวะผิดปกติยังคงอยู่ และจะหยุดการแจ้งเตือนเมื่อผู้สูงอายุพ้นจากภาวะผิดปกติ	
14.	มีการปรับระดับการเตือนเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อรูปแบบพฤติกรรมที่ตรวจวัดได้		มีกลไกแจ้งเตือนเมื่อผู้สูงอายุเดินออกจากพื้นที่ปลอดภัย เดินเข้าสู่พื้นที่อันตราย อยู่หนึ่งเป็นเวลานาน หรือหกล้ม โดยจะเพิ่มความถี่ในการเตือนมากขึ้น หาก ภาวะผิดปกติยังคงอยู่	82 – 83
15.	มีรายงานผลการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ		มีการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสม ผ่านการวัดความแรงสัญญาณโดยเครื่องมือ Spectrum Analyzer	26 – 37
16.	มีรายงานผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยอื่น โดยทดสอบกับสภาวะแวดล้อมจริง		นำอุปกรณ์ไปติดตั้ง ณ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อทดสอบกับกลุ่มผู้สูงอายุ ตลอดจนเปรียบเทียบผลที่ได้กับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	70 – 75, 126 – 131
17.	มีรายงานผลการทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของระบบ		มีการทดสอบความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของระบบ	49 – 75, 86 – 92
18.	มีเวทีในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับผู้ใช้งาน ผู้ประกอบการหรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย		จัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับ สถานดูแลผู้สูงอายุบ้านบางแค และศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อรับทราบปัญหา และนำผลที่ได้มาปรับปรุงพัฒนา ระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง	124 – 131

ตัวชี้วัดผลลัพธ์

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
1.	มีแผนหรือนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้สูงอายุ (เกิดขึ้นแล้ว โดยคณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ กระทรวงพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์)		จัดทำข้อเสนอแนะทั้งในเชิงนโยบาย และการจัดสรรงบประมาณ เพื่อนำเสนอต่อ กสทช. และหน่วยงานภาครัฐ และภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง	97 – 101
2.	มีการจัดสรรงบประมาณในดูแลผู้สูงอายุซึ่งสอดคล้องกับภาวะของการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ		จัดทำข้อเสนอแนะทั้งในเชิงนโยบาย และการจัดสรรงบประมาณ เพื่อนำเสนอต่อ กสทช. และหน่วยงานภาครัฐ และภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง	97 – 101
3.	มีเวทีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ความรู้และประสบการณ์ เกี่ยวกับความต้องการด้านการใช้งานของระบบ (Functional requirements) ซึ่งได้จากประสบการณ์ปัจจุบันและความคาดหวังในอนาคต ตลอดจนความต้องการด้านอื่นๆ ของระบบ (Non-functional requirements)		จัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับ สถานดูแลผู้สูงอายุบ้านบางแค และศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อรับทราบปัญหา และนำผลที่ได้มาปรับปรุงพัฒนาระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง	124 - 131
4.	ผู้ใช้สามารถระบุความต้องการด้านการใช้งานได้เอง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบงานได้หลากหลาย		ระบบรองรับการตั้งค่าเกณฑ์ตรวจสอบสุขภาพของผู้สูงอายุแต่ละท่านได้	81
5.	เครือข่ายสามารถทำงานได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องเปลี่ยนหรือประจุแบตเตอรี่ และมีความเชื่อถือได้ตามที่ผู้ใช้กำหนด		อุปกรณ์ส่งสัญญาณ Ultra Wide Band ต่อกับตัวจ่ายไฟตลอดเวลาทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องแบตเตอรี่ ในขณะที่อุปกรณ์รับสัญญาณในโหมดประหยัดพลังงานสามารถทำงานได้ 1 ปี โดยไม่ต้องชาร์จแบตเตอรี่	19

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
6.	มีผลการทดสอบระบบการสื่อสารข้อมูล		มีการทดสอบความน่าเชื่อถือในด้านการสื่อสารข้อมูลของระบบ	86 – 91
7.	มีความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมาก		พัฒนาระบบบนระบบ Cloud เพื่อรองรับกลไกการจัดเก็บและทำงานกับข้อมูลขนาดใหญ่ และรองรับการขยายขนาดพื้นที่จัดเก็บเพื่อป้องกันปัญหาเนื่องที่ในการจัดเก็บข้อมูลไม่เพียงพอ	46 – 92
8.	มีความสามารถในการปรับโหมดของการทำงานขึ้นอยู่กับกระแสข้อมูลที่วัดได้		<ul style="list-style-type: none"> - มีกลไกแจ้งเตือนเมื่อผู้สูงอายุเดินออกจากพื้นที่ปลอดภัย เดินเข้าสู่พื้นที่อันตราย อยู่นิ่งเป็นเวลานาน หรือหกล้ม โดยจะเพิ่มความถี่ในการเตือนมากขึ้นหาก ภาวะผิดปกติยังคงอยู่ - อุปกรณ์สามารถปรับความถี่ในการส่งข้อมูลได้ โดยการปรับตั้งค่าโดยผู้ดูแลระบบ เพื่อไม่ให้กระทบกับความถี่ในการส่งข้อมูลโดยรวมของระบบ 	82 – 83, 38 – 45
9.	มีผลการทดสอบระบบการตรวจวัดข้อมูล		มีการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสม ผ่านการวัดความแรงสัญญาณโดยเครื่องมือ Spectrum Analyzer	26 – 37
10.	มีกระบวนการตรวจจับภาวะการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติ		พัฒนาขั้นตอนวิธีจำแนกกิจกรรม จำแนกช่วงอายุ ตรวจจับการเดินหลง และตรวจจับการหกล้ม	49 – 75

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
11.	มีกระบวนการการเฝ้าระวังและการตรวจจับภาวะหกล้ม		พัฒนาขั้นตอนวิธีจำแนกกิจกรรม จำแนกช่วงอายุ และตรวจจับการหกล้ม	49 – 75
12.	มีผลการทดสอบระบบการตรวจจับภาวะการล้มเคลื่อนไหวที่ผิดปกติและภาวะหกล้ม		มีการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบจำแนกกิจกรรม จำแนกช่วงอายุ และตรวจจับการหกล้มที่ใช้ในระบบ	49 – 75
13.	มีกระบวนการตรวจจับภาวะการเดินหลงโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมที่มีการใช้งานอยู่แล้ว		มีกลไกแจ้งเตือนเมื่อผู้สูงอายุเดินออกจากพื้นที่ปลอดภัย เดินเข้าสู่พื้นที่อันตราย โดยจะเพิ่มความถี่ในการเตือนมากขึ้นหากภาวะผิดปกติยังคงอยู่	82 – 83
14.	มีผลการทดสอบระบบการตรวจจับและป้องกันการเดินหลง		มีผลการทดสอบระบบการตรวจจับและป้องกันการเดินหลง	67 – 69
15.	ระบบสามารถทำงานอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาการทดลองหรือตามความต้องการของผู้ใช้		มีการติดตั้งและทดสอบระบบ ณ ศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 ทับเจริญ	124 – 131
16.	ระบบมีความน่าเชื่อถือในด้านร้อยละของการสื่อสารข้อมูลที่ถูกต้องตามความต้องการของผู้ใช้แต่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99		มีการทดสอบความน่าเชื่อถือของการสื่อสารของระบบ โดยผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือของการสื่อสารอยู่ที่ 99.9% โดยทดสอบที่ผู้ใช้งาน 1,000 Concurrent User บน Cloud Server ขนาด 4 vCPUs, 14 GiB Memory และ 30 GiB (SSD)	86 – 92
17.	ระบบสามารถปรับระดับการแจ้งเตือนตามสภาวะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้		มีกลไกแจ้งเตือนเมื่อผู้สูงอายุเดินออกจากพื้นที่ปลอดภัย เดินเข้าสู่พื้นที่อันตราย อยู่นิ่งเป็น	82 – 83

ข้อที่	รายการ	ยังไม่ได้ดำเนินการ	ดำเนินการอะไรบ้าง	หน้าที่
			เวลานาน หรือหกล้ม โดยจะเพิ่มความถี่ในการเตือนมากขึ้น หาก ภาวะผิดปกติยังคงอยู่ และจะหยุดการแจ้งเตือนเมื่อผู้สูงอายุพ้นจากภาวะผิดปกติ	
18.	มีกลไกในการตรวจสอบหรือยืนยันบุคคลเพื่อความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูลและใช้งาน		<ul style="list-style-type: none"> - มีกลไกพิสูจน์ตัวตนก่อนสมัครใช้งานระบบ โดยใช้กระบวนการ 2 Factor Authentication - มีกลไกยืนยันตัวตนด้วย Username และ Password ก่อนเข้าใช้งานระบบ 	76 – 79
19.	ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบโดยรวม ในระดับมากขึ้นไป		ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบโดยรวมในระดับมาก	92
20.	จำนวนหน่วยงานที่เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยี อย่างน้อย 2 หน่วยงาน		จัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับ สถานดูแลผู้สูงอายุบ้านบางแค และศูนย์บริการสาธารณสุขที่ 56 เพื่อรับทราบปัญหา และนำผลที่ได้มาปรับปรุงพัฒนา ระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง	124 – 131