

การประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวผู้ป่วยติดเตียงแบบเรียลไทม์ด้วย IoT เพื่อการดูแลสุขภาพ

ชนิษฐา ลิทธิเทียมจันทร์^{1*}, ณัฐรดา แสคำ², สานิต สุวรรณเวช¹, ทิพย์วรรณ พู่เฟื่อง¹,
และ นิทัศน์ นิลฉวี¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

²สาขาวิชาพยาบาลศาสตร์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

*khanittha.s@rbru.ac.th

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวผู้ป่วยติดเตียงแบบเรียลไทม์ด้วย IoT เพื่อการดูแลสุขภาพเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ไม่เพียงเป็นการนำเทคโนโลยีการประมวลผล IoT มาประยุกต์ใช้ทางวิทยาศาสตร์การแพทย์ยังเป็นการยกระดับคุณภาพการดูแลสุขภาพอย่างยั่งยืนด้วยการตรวจสอบและเฝ้าระวังการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยอย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ ระบบนี้มีศักยภาพในการลดภาระงานของผู้ดูแลผู้ป่วยติดเตียง ทั้งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมและการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยติดเตียงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยติดเตียงแบบเรียลไทม์ โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) และเซนเซอร์วัดแรงกด (Force Sensitive Resistor) จากการทดลองตรวจจับการเคลื่อนไหวพบว่าค่าความเร่งในแนวแกน Z (Z-Acc) มีการพุ่งสูงขึ้นในช่วงเหตุการณ์ล้มพลันเวลาระหว่าง 20-22 วินาที อย่างมีนัยสำคัญ (12.8 m/s^2) ในขณะที่มุมของ Roll และ Pitch ในช่วงการเคลื่อนไหวปกติแสดงผลการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบ การประเมินผล ได้แก่ สภาวะนิ่ง การพลิกตัว และเหตุการณ์ลุกออกจากเตียงนอน โดยการวิเคราะห์ด้วยกราฟสรุปผลการทำงานของระบบในการจำแนกสถานะการเคลื่อนไหวตามลักษณะท่าทาง ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัยและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยติดเตียงได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การเฝ้าระวัง อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง ผู้ป่วยติดเตียง

Application of a real-time motion detection system for bedridden patients using IoT technology for healthcare

Khanittha Sittitiamjan^{1*}, Natrada Haekham², Sathit Suwannawach¹, Thipwan Fufaung¹,
and Nitat Ninchawee¹

¹Department of Information Technology, Faculty of Computer Science and Information Technology,
Rambhai Barni Rajabhat University

²Department of Nursing, Faculty of Nursing, Rambhai Barni Rajabhat University

*khanittha.s@rbru.ac.th

Abstract

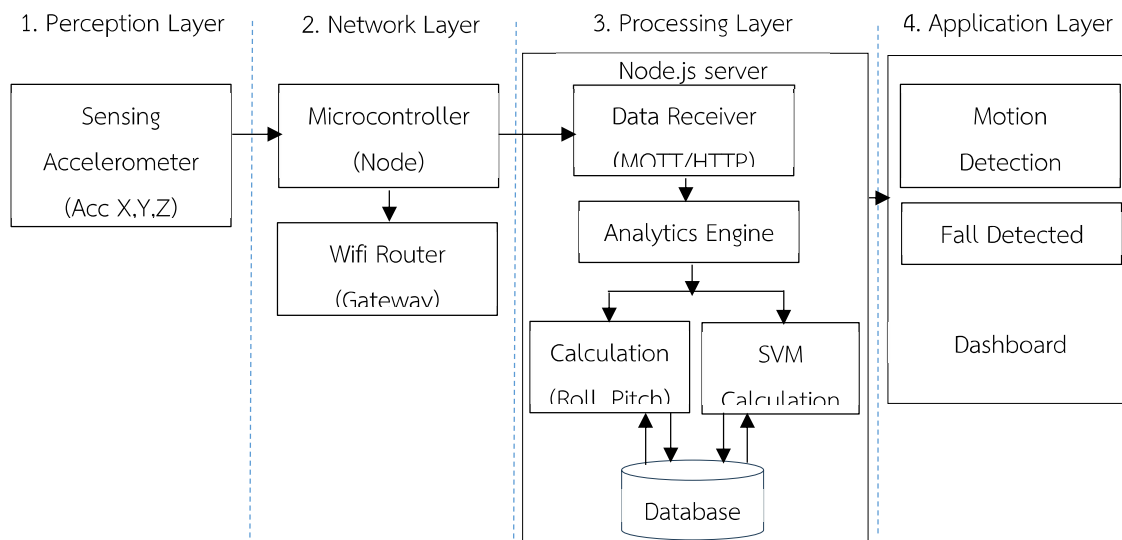
The application of real-time IoT-based movement detection for bedridden patients is essential for modern healthcare. In addition to its application in medical science, this enhances healthcare quality through precise patient monitoring. Technology enhances sustainable healthcare quality through precise and effective patient monitoring. The system has the potential to reduce caregiver workload while enabling a more efficient analysis of patient behavioral patterns. This study aims to detect real-time movements using accelerometers and Force Sensitive Resistors (FSR). Experimental results demonstrated that Z-axis acceleration (Z-Acc) significantly peaked at 12.8 m/s² during sudden movements (20-22 seconds), while Roll and Pitch angles exhibited periodic variations during normal activity. To evaluate the system's efficacy, visual data analysis was employed to classify key movement states, including stationary positions, body turning, and bed-exit events incidents. These findings suggest that the system significantly enhances the safety and quality of life for bedridden patients.

Keywords: Monitoring, IoT, Bedridden patient

1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาและปรับปรุงระบบการดูแลสุขภาพ ระบบการติดตามและการบริหารจัดการสุขภาพของผู้ป่วยกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาและดูแลผู้ป่วยต่าง ๆ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยที่ต้องได้รับการดูแลอย่างต่อเนื่อง เช่น ผู้ป่วยติดเตียง การล้มของผู้สูงอายุ [1] ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนทางการแพทย์ต่าง ๆ เช่น แผลกดทับและการติดเชื้อ การดูแลผู้ป่วยกลุ่มนี้จำเป็นต้องอาศัยการเฝ้าระวังและการติดตามที่มีความแม่นยำและรวดเร็ว ซึ่งในปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยี IoT (Internet of Things) เข้ามาช่วยในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลและการรักษาผู้ป่วยเหล่านี้ ความสำคัญของผู้ป่วยติดเตียงและความท้าทายในการดูแลผู้ป่วยติดเตียงมักมีภาวะสุขภาพที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวหรือดูแลตนเองได้ตามปกติ ซึ่งอาจเกิดจากอาการของโรคหลายประเภท เช่น โรคอัมพฤกษ์ โรคหลอดเลือดสมองตีบ โรคเบาหวาน

เป็นต้น ภาวะความพิการที่ทำให้การเคลื่อนไหวไม่สะดวกผู้ป่วยในกลุ่มนี้มักต้องการการดูแลอย่างใกล้ชิดจากบุคลากรทางการแพทย์หรือผู้ดูแลที่มีประสบการณ์ เพื่อป้องกันความเสี่ยงจากภาวะแทรกซ้อนจากการเกิดแผลกดทับ (Pressure Ulcers) [2] ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากการที่ผู้ป่วยอยู่ในท่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลานาน รวมถึงการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ หรือในระบบทางเดินปัสสาวะ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากการไม่สามารถเปลี่ยนท่าทางหรือการเคลื่อนไหวได้ การพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถตรวจจับและบริหารจัดการการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยติดเตียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นสิ่งที่สำคัญในยุคที่เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการแพทย์กำลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ระบบ IoT ในการดูแลสุขภาพเป็นเทคโนโลยี IoT คือการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและทำงานร่วมกันได้ โดย IoT มีการใช้งานในหลากหลายภาคส่วนรวมถึงในวงการสุขภาพ IoT สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการเฝ้าระวังสุขภาพ ได้แก่ การตรวจจับสัญญาณชีพจร การตรวจจับการเคลื่อนไหว และการติดตามข้อมูลจากอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับผู้ป่วย เป็นต้น โดยระบบ IoT ในการดูแลผู้ป่วยติดเตียงสามารถช่วยในการเฝ้าระวังและตรวจสอบสภาพการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยอย่างต่อเนื่อง และทำให้ผู้ดูแลสามารถได้รับข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับสภาพของผู้ป่วยในทันที ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดแผลกดทับและภาวะแทรกซ้อน หลักการทำงานของระบบ IoT ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของระบบ IoT ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยติดเตียงประกอบด้วยเซนเซอร์ที่ติดตั้งในที่ต่าง ๆ เช่น ที่นอนหรือที่นั่งของผู้ป่วย เซนเซอร์เหล่านี้จะตรวจจับการเคลื่อนไหวและส่งข้อมูลไปยังระบบคอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันที่สามารถแสดงผลได้แบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่ได้จะถูกประมวลผลและใช้ในการตรวจสอบว่าผู้ป่วยอยู่ในท่าที่เหมาะสม [3, 4] ระบบนี้จะสามารถส่งสัญญาณเตือนเมื่อผู้ป่วยอยู่ในท่าที่อาจทำให้เกิดความเสี่ยงเช่นการไม่เปลี่ยนท่าทางเป็นระยะเวลานานหรือการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติ การนำระบบ IoT มาใช้ในลักษณะนี้ไม่เพียงแต่ช่วยในการตรวจจับการเคลื่อนไหว แต่ยังช่วยให้ผู้ดูแลสามารถรับรู้สภาพของผู้ป่วยในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ได้ทันทั่วทั้งที่วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบ IoT สำหรับการตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยติดเตียงแบบเรียลไทม์และเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาในการใช้จริงในการดูแลผู้ป่วยติดเตียงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบการทำงานของระบบ

อย่างไรก็ดี งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและทดสอบระบบในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อพิสูจน์แนวคิดเชิงเทคนิค จึงยังไม่ได้ทำการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมจริงร่วมกับผู้ป่วย ทั้งนี้ การนำระบบไปประยุกต์ใช้กับผู้ป่วยในอนาคต จำเป็นต้องผ่านการขออนุมัติและรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน (IRB) ตามมาตรฐานสากลก่อนการดำเนินการดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาการทำงานของระบบเซนเซอร์ โดยมีวัตถุประสงค์งานวิจัย ดังนี้

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวและระบบโครงข่ายสัญญาณแจ้งเตือน IoT แบบเวลาจริง
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงพฤติกรรมผ่านดัชนีเวกเตอร์ความแรงลัพธ์ (Signal Vector Magnitude: SVM) ร่วมกับเซนเซอร์วัดแรงกด
3. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมในการจำแนกสถานะการนอนของผู้ป่วยติดเตียงเพื่อลดภาระงานของผู้ดูแล

2. วิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดระเบียบวิธีดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งระบบ IoT ที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยติดเตียง โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการออกเป็นดังนี้

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การประเมินประสิทธิภาพของระบบในขั้นต้นนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการคัดเลือกผู้เข้าร่วมทดสอบระบบแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Selection) โดยกำหนดเกณฑ์คุณสมบัติ (Inclusion Criteria) เป็นผู้มีช่วงอายุ 20–60 ปี มีสุขภาพแข็งแรง และไม่มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนไหวร่างกาย จำนวน 20 คน เพื่อทำหน้าที่ปฏิบัติการจำลองลักษณะพฤติกรรมเคลื่อนไหวบนเตียงในรูปแบบต่าง ๆ สำหรับนำชุดข้อมูลมาใช้ในการทดสอบความแม่นยำทางเทคนิคของอัลกอริทึมในระดับห้องปฏิบัติการ

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ซึ่งเป็นการพัฒนาชุดอุปกรณ์ IoT ประกอบด้วยเครื่องมือในส่วนฮาร์ดแวร์ทำหน้าที่เป็นหน่วยรับสัญญาณ (Sensing Unit) [4] และหน่วยประมวลผลปลายทาง (Edge Processing Unit) ประกอบด้วย

2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 (Node MCU)

ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลางหลัก (Central Processing Unit) ระดับปฏิบัติการ ทำหน้าที่รับสัญญาณแอนะล็อกและดิจิทัลจากเซนเซอร์ควบคุมสถาปัตยกรรมการทำงาน และขับเคลื่อนข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi 802.11 b/g/n)

2.2.2 เซนเซอร์วัดความเร่ง

ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน (Tri-axial Accelerometer) ทำหน้าที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางการเคลื่อนไหวของร่างกายผู้ป่วย โดยนำค่าความเร่ง AccelX, AccelY, และ AccelZ ไปใช้คำนวณสถานะการพลิกตัวและแรงกระแทก



2.2.3 เซนเซอร์วัดแรงกดสัมผัส (Force Sensitive Resistor : FSR)

ตารางที่ 1 การทดลองสถานการณ์ของพฤติกรรม

รายการกิจกรรม	ระยะเวลาต่อ กิจกรรม	จำนวนครั้งที่ ทำซ้ำ	อัตราการสั่น	ระยะเวลานับที่ข้อมูลต่อ กิจกรรม
การนอนนิ่ง	1 นาที	20 ครั้ง	50 Hz	1 นาที
การพลิกตัวปรับท่า	1 นาที	20 ครั้ง	50 Hz	1 นาที
การลุกออกจากเตียง	1 นาที	20 ครั้ง	50 Hz	1 นาที
การทดลองการตก	1 นาที	20 ครั้ง	50 Hz	1 นาที

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดอัลกอริทึมในการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลจากเซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) เพื่อแปลงค่าสัญญาณข้อมูลดิบ (Raw Data) ให้เป็นค่าดัชนีชี้วัดสถานะการเคลื่อนไหวที่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้สมการหลักในการคำนวณ 2 ส่วน คือการประมวลผลจากข้อมูลค่าเซนเซอร์และการประเมินประสิทธิภาพระบบ (System Performance Evaluation) [5] ดังนี้

3.1 ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์นำมาประมวลผลค่าขนาดเวกเตอร์ความเร่งลัพธ์ (Signal Vector Magnitude : SVM)

ค่า SVM เป็นตัวแปรหลักในการระบุการเคลื่อนไหวโดยมีการคำนวณค่า SVM หน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง สำหรับทุกจุดข้อมูลโดยใช้สมการที่ (1) คือ

$$SVM = \sqrt{(AccelX^2 + AccelY^2 + AccelZ^2)} \quad (1)$$

โดยที่ตัวแปรในสมการที่ 1 มีความหมายดังนี้

SVM หมายถึง ขนาดของเวกเตอร์ความเร่งลัพธ์

AccelX หมายถึง ค่าความเร่งที่วัดได้ในแนวแกน X

AccelY หมายถึง ค่าความเร่งที่วัดได้ในแนวแกน Y

AccelZ หมายถึง ค่าความเร่งที่วัดได้ในแนวแกน Z ซึ่งในสภาวะหยุดนิ่งจะมีค่าใกล้เคียงแรงโน้มถ่วงของโลก (9.8 m/s²)

3.2 การคำนวณมุมเอียงของร่างกาย (Roll Angle)

เพื่อให้สามารถระบุท่าทางการนอนและองศาการพลิกตัวของผู้นอนได้อย่างแม่นยำ [6] ทั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติในการคำนวณมุม Roll เพื่อแสดงค่าการเอียงของร่างกายในแนวระนาบ โดยมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (2)

$$Roll = \arctan\left(\frac{AccelY}{\sqrt{AccelX^2 + AccelZ^2}}\right) \times \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (2)$$

โดยที่ตัวแปรในสมการที่ 2 มีความหมายดังนี้

Roll หมายถึง มุมเอียงของร่างกายรอบแกนแนวยาวมีหน่วยวัดเป็นองศา

arctan หมายถึง ฟังก์ชันอินเวอร์สแทนเจนต์ (Inverse Tangent) เพื่อหาค่ามุมจากอัตราส่วนความเร่ง

π หมายถึง ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ค่าประมาณ 3.14 ซึ่งใช้สำหรับการแปลงหน่วยจากรadian ให้เป็นองศา (Degree)

การวิเคราะห์แนวโน้มร่วมกันวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแนวโน้มของมุมการวางตัว Roll และ Pitch การคำนวณมุม Roll และ Pitch จากค่าความเร่งในแกน X, Y, Z เพื่อจำแนกประเภทของการเคลื่อนไหวแบบเป็นคาบหรือการเคลื่อนไหวฉับพลัน จากนั้นใช้การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) สังเกตแนวโน้มและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า FSR, Accel X, Accel Y, Accel Z, Roll, Pitch และ SVM ตลอดช่วงเวลาการเก็บข้อมูลระดับค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ระบุเหตุการณ์ผิดปกติและพฤติกรรม [10-11] กำหนดค่าขีดแบ่งข้อมูลสำหรับ FSR เพื่อระบุสถานะผู้ป่วยอยู่หรือการลุกออกจากเตียงและสำหรับ Accel Z หรือ SVM เพื่อระบุเหตุการณ์การเคลื่อนไหวที่รุนแรงหรือฉับพลัน ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวผู้ป่วยติดเตียงแบบเรียลไทม์ [13]

3.3 การประเมินประสิทธิภาพระบบ (System Performance Evaluation)

การคำนวณค่าความแม่นยำ (Accuracy) และการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน (Error Rate) ดังนี้

3.3.1 การคำนวณค่าความแม่นยำ

การคำนวณค่าความแม่นยำพบว่ามีการทดลองผิดพลาดเกิดขึ้นจำนวน 2 ครั้ง จากการทดสอบทั้งหมด 20 ครั้ง ผลลัพธ์ทางสถิติเท่ากับ 0.90 จากสมการที่ (3)

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}} \quad (3)$$

โดยมีค่าของตัวแปรดังนี้

TP (True Positive) คือการนอนนิ่ง และระบบแสดงผลว่าไม่มีการเคลื่อนไหวหรือท่าทางนอนนิ่งเท่ากับ 18 ครั้ง

FN (False Negative) คือการนอนนิ่ง แต่ระบบแสดงผลคลาดเคลื่อนผิดเป็นเคลื่อนไหว เท่ากับ 2 ครั้ง

TN (True Negative) และ FP (False Positive) ในกรณีนี้ทดสอบเฉพาะท่าทางเดียว จึงให้เป็นศูนย์เพื่อคำนวณหาความแม่นยำของท่าทางนั้น ๆ

3.3.2 ค่าความคลาดเคลื่อน (Error Rate)

คำนวณจากสมการที่ (4) ระบบเกิดความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.10

$$\text{Error Rate} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทายผิดพลาด}}{\text{จำนวนครั้งที่ทดลองทั้งหมด}} \quad (4)$$

3.3.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพอัลกอริทึม

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อให้เห็นผลการประเมินประสิทธิภาพระบบสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลพฤติกรรมทั้ง 4 รูปแบบท่าทางหลัก และกิจกรรมละ 20 ครั้ง รวมทั้งหมด 80 ครั้ง ผู้วิจัยได้นำมาสรุปผ่านตารางเมทริกซ์สับสน (Confusion Matrix) ในตารางที่ 3 และค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพในตารางที่ 4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ค่าเมทริกซ์สับสน

สถานะจริงและผลการทำนาย	นอนนิ่ง	พลิกตัว	ลุกจากเตียง	ตกเตียง
นอนนิ่ง	18	2	0	0
พลิกตัว	3	16	1	0
ลุกจากเตียง	0	2	18	0
ตกเตียง	0	0	2	18

จากตารางที่ 3 พบว่า รูปแบบที่ 1 นอนนิ่งระบบสามารถทายได้อย่างถูกต้อง 18 ครั้ง และทายผิดเป็นสภาวะพลิกตัว 2 ครั้ง ส่งผลให้มีค่า Recall อยู่ที่ 0.90 ในขณะที่มีสภาวะอื่นทายผิดมาเป็นสภาวะนอนนิ่ง 3 ครั้ง และจากท่าพลิกตัว ทำให้ค่าความแม่นยำ (Precision) อยู่ที่ 0.86 และมีค่าคะแนนเฉลี่ยสุทธิ (F1-score) อยู่ที่ 0.88 รูปแบบที่ 2 พลิกตัวพบว่าเป็นสภาวะที่เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์มากที่สุด โดยทายถูก 16 ครั้ง ทายผิดเป็นนอนนิ่ง 3 ครั้ง และลุกจากเตียง 1 ครั้ง อีกทั้งยังมีสภาวะอื่นถูกทายผิดมาเป็นท่าพลิกตัวอีก 4 ครั้ง จากสภาวะนอนนิ่ง 2 ครั้ง และลุกจากเตียง 2 ครั้ง ที่ทดสอบนี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับท่าอื่น โดยมีค่า Precision, Recall และ F1-score เท่ากันอยู่ที่ 0.80 รูปแบบที่ 3 ลุกจากเตียงจากเหตุการณ์จริงระบบทายถูก 18 ครั้ง ทายผิดเป็นสภาวะพลิกตัว 2 ครั้ง และมีสภาวะอื่นทายผิดเข้ามาเป็นท่านี้ 3 ครั้ง จากพลิกตัว 1 ครั้ง และตกเตียง 2 ครั้ง ทำให้มีประสิทธิภาพเท่ากับสภาวะนอนนิ่ง โดยได้ค่า Precision 0.86 ค่า Recall 0.90 และค่า F1-score 0.88 และรูปแบบที่ 4 สภาวะตกเตียง เป็นพฤติกรรมที่ระบบสามารถแยกแยะได้อย่างเด็ดขาดและปลอดภัยที่สุด เนื่องจากไม่มีสภาวะอื่นใดที่ระบบทายผิดพลาดว่าเป็นท่าตกเตียงเลย (False Positive = 0) ส่งผลให้ได้ค่าความแม่นยำสูงสุดเต็ม 1.00 แม้ว่าจากเหตุการณ์จริง 20 ครั้ง จะมีท่าตกเตียงที่ทายผิดเป็นลุกจากเตียงอยู่ 2 แต่ประสิทธิภาพโดยรวมในสภาวะวิกฤตนี้ยังคงสูงที่สุด โดยมีค่า F1-score อยู่ที่ 0.95

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ

สถานะพฤติกรรม	Precision	Recall	F1-score
นอนนิ่ง	0.86	0.90	0.88
พลิกตัว	0.80	0.80	0.80
ลุกจากเตียง	0.86	0.90	0.88
ตกเตียง	1.00	0.90	0.95
ค่าเฉลี่ยรวม	0.88	0.88	0.88

จากตารางที่ 4 ภาพรวมของระบบอัลกอริทึมนี้ให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยรวมทุกด้าน ทั้งค่าความแม่นยำเฉลี่ย ค่าความระลึกเฉลี่ย และค่าเฉลี่ย F1-score อยู่ที่ 0.88 หรือคิดเป็น 88.00% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อติดตามและแจ้งเตือนพฤติกรรมผู้ป่วยติดเตียงได้จริง

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิจัย

การทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลเซนเซอร์ตามหลักการที่ได้กล่าวถึงโดยจะเน้นการนำเสนอภาพรวมของข้อมูลเซนเซอร์ที่เก็บได้ การวิเคราะห์เชิงสถิติเบื้องต้น และการแสดงผลผ่านกราฟเพื่ออธิบายพฤติกรรมและการเคลื่อนไหวที่ต่างกันไป

4.1.1 ข้อมูลเซนเซอร์

จากการทดลองการเคลื่อนไหวบนเตียงเป็นระยะเวลา 60 วินาที ได้รวบรวมข้อมูลเซนเซอร์ความเร่งและเซนเซอร์แรงกด (FSR) ที่มีลักษณะสอดคล้องกับพฤติกรรมเคลื่อนไหวของบุคคลบนเตียง [13] โดยมีการบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ ตามเวลาซึ่งค่าที่ได้ดังตารางที่ 5

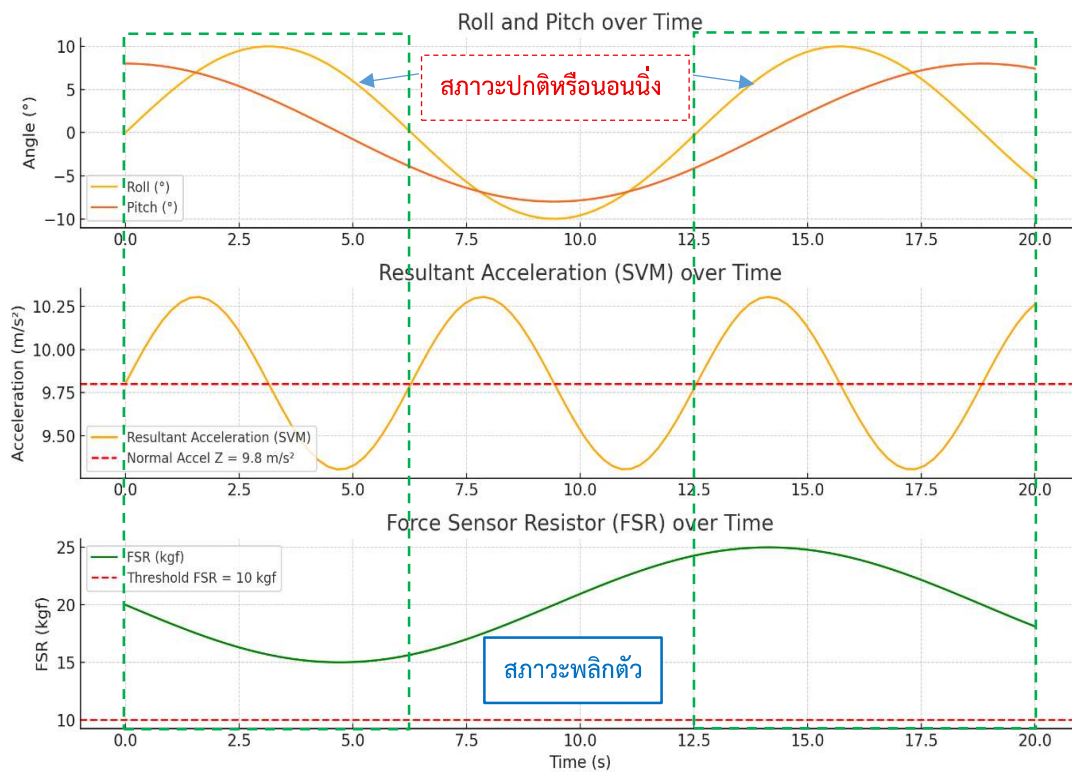


ตารางที่ 5 ค่าตรวจสอบแรงกดและความเร่ง

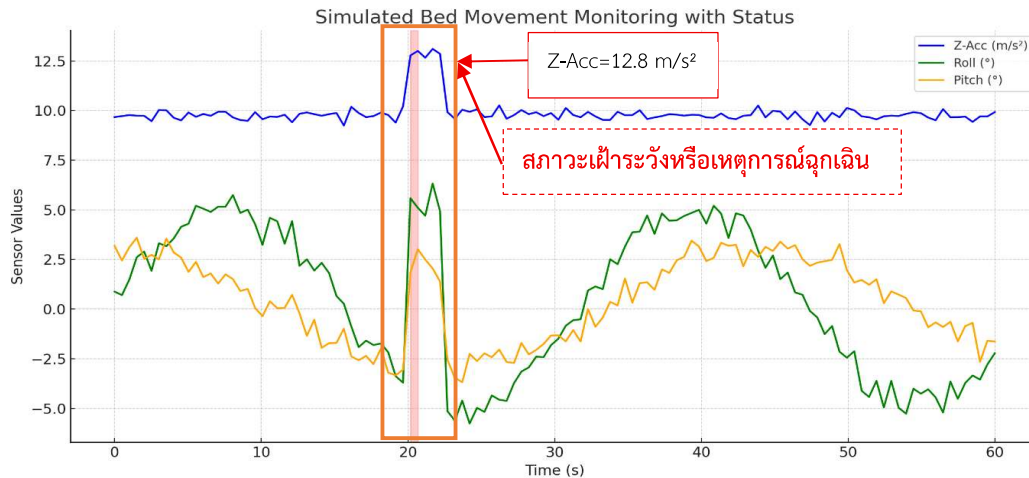
Timestamp	FSR	Accel X	Accel Y	Accel Z
2025-07-25 21:02:05	432	0.01	-0.02	9.81
2025-07-25 21:02:06	428	0.03	-0.01	9.78
2025-07-25 21:02:07	434	0.02	-0.01	9.80
2025-07-25 21:02:08	440	0.00	-0.03	9.79
2025-07-25 21:02:09	447	0.01	-0.02	9.81
2025-07-25 21:02:10	438	0.04	-0.01	9.76
2025-07-25 21:02:11	450	0.02	-0.02	9.82
2025-07-25 21:02:12	436	0.01	-0.03	9.78
2025-07-25 21:02:13	442	0.03	-0.02	9.77
2025-07-25 21:02:14	435	0.02	-0.02	9.80
2025-07-25 21:02:15	439	0.01	-0.01	9.81
2025-07-25 21:02:16	443	0.00	-0.02	9.79
2025-07-25 21:02:17	431	0.03	-0.01	9.80
2025-07-25 21:02:18	445	0.02	-0.02	9.83
2025-07-25 21:02:19	437	0.01	-0.03	9.78
2025-07-25 21:02:20	448	0.04	-0.02	9.76
2025-07-25 21:02:21	440	0.02	-0.01	9.79
2025-07-25 21:02:22	430	0.01	-0.02	9.80
2025-07-25 21:02:23	444	0.00	-0.01	9.82
2025-07-25 21:02:24	449	0.03	-0.02	9.77

ค่าที่ได้จากการวัดด้วยเซนเซอร์แรงกด (Force Sensitive Resistor : FSR) และเซนเซอร์วัดความเร่งแบบ 3 แกน (Accelerometer) จากตารางข้อมูลที่ 5 แสดงตัวอย่างการบันทึกค่าในแต่ละช่วงเวลา (Timestamp) ประกอบด้วย Timestamp ระยะเวลาที่บันทึกข้อมูลในรูปแบบปี-เดือน-วัน ชั่วโมง:นาท:วินาที ข้อมูลที่แสดงเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ตั้งแต่ 21:02:05 ถึง 21:02:24 โดยมีการบันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที โดยมีค่า FSR เป็นค่าที่ได้จากเซนเซอร์แรงกด ซึ่งบ่งชี้ถึงแรงกดที่กระทำต่อเซนเซอร์โดยยิ่งค่าสูงขึ้นจะส่งผลต่อค่าแรงกดมากขึ้นเท่านั้น จากข้อมูลที่ให้มา ค่า FSR มีการแกว่งตัวอยู่ในช่วงประมาณ 428 ถึง 450 ซึ่งบ่งชี้ว่ามีแรงกดคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เช่น การขยับตัวเบา ๆ หรือการปรับท่าทางที่ไม่รุนแรง ค่าของ Accel X, Accel Y, และ Accel Z เป็นค่าความเร่งที่วัดได้ในแต่ละแกน (X, Y, Z) โดยหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2) ค่าเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว ซึ่งค่าของ Accel X และ Accel Y ค่าความเร่งในแนวแกน X และแกน Y มีค่าใกล้เคียงศูนย์มาก คืออยู่ในช่วง -0.03 ถึง 0.04 m/s^2 ซึ่งบ่งชี้ว่าในระหว่างช่วงเวลาที่

บันทึกนี้ ไม่มีหรือมีการเคลื่อนที่ในระนาบแกน X และแกน Y หรือน้อยมาก หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างมีนัยสำคัญในทิศทางเหล่านั้น และค่า Accel Z ค่าความเร่งในแนวแกน Z มีค่าประมาณ 9.76 ถึง 9.83 m/s^2 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกค่าประมาณ 9.81 m/s^2 อย่างมาก นี่เป็นสัญญาณที่ชัดเจนว่าอุปกรณ์อยู่ในสภาวะที่ค่อนข้างนิ่ง หรือมีการเคลื่อนไหวน้อยมาก และดูจากในลักษณะที่แกน Z ของ Accelerometer ซึ่งไปในทิศทางของแรงโน้มถ่วงในแนวพื้นราบหรือติดกับร่างกายในแนวดิ่งจากข้อมูลที่ปรากฏดังกล่าวมาจึงสามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่าอยู่ในสภาวะค่อนข้างนิ่ง โดยที่ค่า Accel X, และค่า Y ที่ใกล้เคียง และ Accel Z ที่ใกล้เคียง 9.8 m/s^2 ซึ่งให้เห็นว่าวัตถุหรือบุคคลที่ติดเซนเซอร์อยู่ในสภาวะที่ค่อนข้างนิ่ง หรือมีการเคลื่อนไหวน้อยเล็กน้อยในช่วงเวลาดังกล่าว หากเป็นกรณีที่เซนเซอร์ติดอยู่กับบุคคล อาจบ่งชี้ถึงการนอนหลับสภาวะปกติหรือการนอนนิ่ง ๆ ดังภาพที่ 2 ซึ่งมีช่วงของการนอนนิ่ง ๆ ช่วงกราฟในรอยเส้นประ 2 ช่วงคือวินาทีที่ 0 - 6 และต่อเนื่องในวินาทีที่ 12.5 ไปยังช่วงท้ายของกราฟ แต่ถ้าหากมีการนอนนิ่ง ๆ เป็นเวลานานมากจะทำให้เกิดการกดทับของร่างกายเกิดขึ้นได้ [10-13] เป็นจุดที่ผู้ดูแลต้องคอยเฝ้าระวัง และจากกราฟในภาพที่ 2 ยังสามารถเปรียบเทียบพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงการนอนนิ่งเป็นการพลิกตัวได้ด้วยในช่วงวินาทีที่ 6 ถึงวินาทีที่ 12.5 ในเหตุการณ์ฉุกเฉินที่สามารถเกิดขึ้นได้คือลักษณะการเปลี่ยนท่าทางการนอนนิ่งเป็นการพลิกตัวหรือขยับเปลี่ยนแปลงท่านอนเพียงเล็กน้อย



ภาพที่ 2 การทดลองตรวจจับการเคลื่อนไหว



ภาพที่ 3 การเคลื่อนไหวของความเร็วในแนวแกน Z-Acc

จากภาพที่ 3 พบว่าค่า Z-Acc หรือความเร็วในแนวแกน Z โดยส่วนใหญ่จะคงที่อยู่ที่ประมาณ 9.8 m/s^2 ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาวะที่ค่อนข้างนิ่งหรือมีการเคลื่อนไหวในแนวตั้งน้อยมาก อย่างไรก็ตาม มีช่วงเวลาหนึ่งที่สำคัญคือ ประมาณ 20-22 วินาที ซึ่งเป็นช่วงที่ค่า Z-Acc พุ่งสูงขึ้นไปถึงประมาณ 12.8 m/s^2 การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและมีนัยสำคัญนี้บ่งชี้ถึงเหตุการณ์ที่มีการเคลื่อนไหวในแนวตั้งอย่างฉับพลันและรุนแรง ซึ่งในการประยุกต์ใช้จริงอาจตีความได้ว่าเป็นเหตุการณ์พลิกตัวอย่างรวดเร็ว การกระแทกหรือการลุกขึ้นนั่งล้มตัวลงอย่างฉับพลันเช่นเซอร์จะส่งการแจ้งเตือนผ่านระบบไปยังโทรศัพท์มือถือ ดังภาพที่ 4 เมื่อพิจารณาว่า Roll และ Pitch หรือมุมกลับและมุมเอน ในช่วงเวลาอื่น ๆ นอกเหนือจากเหตุการณ์ผิดปกติ ค่า Roll และ Pitch แสดงรูปแบบการแกว่งตัวแบบเป็นคาบ (Sinusoidal Pattern) โดยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องแต่ไม่รุนแรง การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนถึงการเคลื่อนไหวตามธรรมชาติของบุคคลขณะอยู่บนเตียง เช่น การขยับตัวเล็กน้อย การเปลี่ยนท่าทางนอน หรือการเคลื่อนไหวแบบเป็นจังหวะในระหว่างการพักผ่อนมุม Roll และ Pitch ที่เปลี่ยนแปลงอย่างสอดคล้องกันแสดงให้เห็นถึงการหมุนตัวของบุคคลในระนาบต่าง ๆ และค่าเซนเซอร์แรงกด FSR ที่ทดลองได้มีการเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบคลื่นไซน์โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 25 kgf . และค่าต่ำสุดประมาณ 15 kgf . การเปลี่ยนแปลงนี้แสดงถึงการกระจายน้ำหนักของผู้ป่วยบนเตียงที่เปลี่ยนแปลงไปตามท่าทางและตำแหน่งของร่างกาย การที่ค่า FSR ไม่ลดลงต่ำกว่าค่าขีดแบ่งข้อมูล 10 kgf. ตลอดช่วงเวลาที่ทดลองบ่งชี้ว่าบุคคลยังคงอยู่บนเตียง และไม่มีเหตุการณ์การลุกออกจากเตียงอย่างสมบูรณ์เกิดขึ้น [7]



ภาพที่ 4 ข้อความการแจ้งเตือน

4.2 อภิปรายผล

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสัมพัทธ์ (SVM) และพฤติกรรม

จากการคำนวณค่า SVM ซึ่งรวมผลของความเร็วในทุกแกน พบว่าค่า SVM มีการแกว่งตัวเป็นรูปแบบคลื่นไซน์ คล้ายคลึงกับ Roll และ Pitch โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 10.25 m/s^2 และต่ำสุดประมาณ 9.25 m/s^2 ในการเคลื่อนไหวปกติ พบว่าการแกว่งตัวของ SVM ที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของมุม Roll และ Pitch ยืนยันว่าเมื่อมีการเคลื่อนไหวหรือการ

ปรับท่าทางซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุม ค่าความเร่งลัพธ์จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยค่า SVM ที่สูงขึ้นบ่งชี้ถึงช่วงที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป หรือมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางมากขึ้น ในขณะที่ค่า SVM ที่ลดลงบ่งชี้ถึงช่วงที่มีการเคลื่อนที่ช้าลงหรือเข้าสู่สภาวะหยุดนิ่ง จากการระบุเหตุการณ์ผิดปกติจาก SVM แม้ว่าข้อมูลที่ให้มาจะได้แสดงกราฟ SVM ในช่วงเหตุการณ์ Accel Z พุ่งสูงในกราฟแรก แต่โดยหลักการแล้วเหตุการณ์ที่ Accel Z พุ่งสูงขึ้นอย่างฉับพลันนี้จะส่งผลให้ค่า SVM พุ่งสูงขึ้นอย่างชัดเจนเช่นกัน ซึ่งเป็นสัญญาณสำคัญในการระบุเหตุการณ์ผิดปกติหรือการเคลื่อนไหวที่รุนแรง

4.2.2 แนวโน้มของ FSR และความสัมพันธ์กับ SVM

การวิเคราะห์สัญญาณ FSR ร่วมกับ SVM, Roll และ Pitch ที่เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกันเป็นคาบ ช่วยสะท้อนพฤติกรรมของการเคลื่อนไหวและการถ่ายเทกระจายน้ำหนักบนเตียง เช่น ขณะผู้ป่วยพลิกตัว ได้อย่างชัดเจน ข้อมูลนี้จึงถูกนำมาใช้เป็นคุณลักษณะสำคัญในการจำแนกประเภทท่าทาง โดยใช้ค่าขีดแบ่งของ FSR ที่ 10 kgf เป็นเกณฑ์ตรวจจับสถานะว่าผู้ป่วยยังคงอยู่บนเตียงหรือไม่ หากค่า FSR ต่ำกว่าเกณฑ์เป็นเวลานาน จะบ่งชี้ถึงสภาวะลุกออกจากเตียงทันที ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการแจ้งเตือนผู้ดูแลได้อย่างแม่นยำ

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินงานออกแบบและทดสอบระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) สำหรับเฝ้าระวังพฤติกรรมเคลื่อนไหวบนเตียงของผู้ป่วยติดเตียงแบบเรียลไทม์ในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) โดยหลอมรวมข้อมูล (Sensor Fusion) จากเซนเซอร์วัดความเร่งและเซนเซอร์วัดแรงกด (FSR) ซึ่งพัฒนาต่อยอดจากงานของ Wongwivat et al. [1] ที่ใช้พารามิเตอร์เดียว ระบบ IoT นี้ประยุกต์ใช้การสตรีมข้อมูลเวลาจริง (Real-time) ผ่านสถาปัตยกรรมคลาวด์เพื่อประมวลผลและส่งแพ็คเกจแจ้งเตือนเหตุการณ์วิกฤตไปยังผู้ดูแลทันที ดังหลักฐานเชิงประจักษ์ในภาพที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับโมเดลระบบผสมผสานของ Baek [3] ในการติดตามท่าทางเพื่อการดูแลสุขภาพเชิงป้องกันและลดภาระงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดชี้ให้เห็นว่า สภาวะนอนนิ่งมีค่าความเร่งแกนตั้ง (Z-Acc) เฉลี่ยใกล้เคียง 9.8 m/s^2 ขณะที่พฤติกรรมพลิกตัวปรับท่าทางส่งผลให้พารามิเตอร์ Roll, Pitch, SVM และ FSR แกว่งตัวเป็นรูปแบบคลื่นไซน์ ส่วนเหตุการณ์ฉับพลันจะดันให้ค่า Z-Acc และความเร่งลัพธ์ (SVM) พุ่งสูงถึง 12.8 m/s^2 ยืนยันศักยภาพการจำแนกพฤติกรรมที่ชัดเจน จากการประเมินผลผ่านตารางเมทริกซ์สับสน (Confusion Matrix) รวมการทดสอบทั้งหมด 80 ครั้ง อัลกอริทึมให้ประสิทธิภาพความแม่นยำเฉลี่ยรวมร้อยละ 88.00 โดยสภาวะนอนนิ่งมีความแม่นยำร้อยละ 90.00 คลาดเคลื่อนร้อยละ 10 จากสัญญาณรบกวนความถี่สูงและแรงสั่นสะเทือนของเตียงที่ทำให้ค่าสวิงข้ามเกณฑ์จุดเกณฑ์ขีดแบ่งข้อมูล (Threshold) ซึ่งสอดคล้องกับข้อสังเกตของ Lee & Chung [11] อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับงานของ Fernández-Bermejo Ruiz et al. [5] ที่ได้ศึกษาการเปลี่ยนท่าจากนอนบนเตียงเป็นนั่งข้างเตียงระบบสามารถตรวจจับได้ด้วยความแม่นยำร้อยละ 96.60 และสถานการณ์ที่ผู้ใช้ลุกจากเตียงสามารถตรวจจับได้ด้วยความแม่นยำร้อยละ 100 ซึ่งระบบมีประสิทธิภาพน่าพอใจ โดยเฉพาะสถานการณ์ตกเตียงที่จำแนกได้อย่างเด็ดขาดให้ค่า Precision เท่ากับ 1.00 และ F1-score สูงถึง 0.95 งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดจากการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ และข้อจำกัดของแบบจำลอง Machine Learning ประเภทแบ่งกลุ่มข้อมูล (Classification) ที่มักสับสนในพฤติกรรมที่มีลักษณะสัญญาณใกล้เคียงกัน เช่น ท่าพลิกตัว คณะผู้วิจัยจึงกำหนดแนวทางในอนาคต (Future Work) ที่จะปรับเปลี่ยนสถาปัตยกรรมไปสู่แบบจำลองการทำนายแบบคาดการณ์แนวโน้มอนุกรมเวลา (Time-series Forecasting) อาทิเช่นอัลกอริทึม Long Short-Term Memory (LSTM) เพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงการลุกหรือตกเตียงล่วงหน้าก่อนเกิดเหตุการณ์จริง ซึ่งจะช่วยยกระดับความปลอดภัยเชิงรุกและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบนิเวศ IoT ให้มี



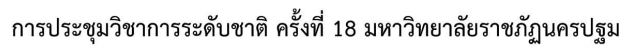
ความน่าเชื่อถือสูงสุด ทั้งนี้ ค่าความแม่นยำและการตรวจจับขั้นต้นในการวิจัยเบื้องต้นนี้ สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดโดยการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อความแม่นยำที่สูงขึ้นในอนาคตต่อไป [14] เพื่อแม่นยำมากยิ่งขึ้นในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีเป็นอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณทุนอุดหนุนการวิจัยและขอขอบคุณผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่านที่สละเวลาและความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Wongwiwat, W., Sukkasame, P., & Wongwiwat, T. (2007). Fall detection system for the elderly using wireless technology. *Journal of Thai Medical Informatics Association*, 7(4), 1-10. (In Thai)
- [2] Wang, L., Zhang, Y., & Liu, X. (2018). Pressure ulcer prevention using a smart mattress with distributed force sensors. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 65(3), 621–629.
- [3] Baek, J. (2023). Smart predictive analytics care monitoring model based on multi sensor IoT system: Management of diaper and attitude for the bedridden elderly. *Sensors International*, 4, 100213. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100213>.
- [4] Li, C., Wang, J., Wang, S., & Zhang, Y. (2024). A review of IoT applications in healthcare. *Neurocomputing*, 565, 127017. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.127017>.
- [5] Fernández-Bermejo Ruiz, J., Dorado Chaparro, J., Santofimia Romero, M. J., Villanueva Molina, F. J., del Toro García, X., Bolaños Peño, C., Llumiguano Solano, H., Colantonio, S., Flórez-Revuelta, F., & López, J. C. (2022). Bedtime monitoring for fall detection and prevention in older adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), Article 7139. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127139>.
- [6] Nassra, I., & Capella, J. V. (2023). Data compression techniques in IoT-enabled wireless body sensor networks: A systematic literature review and research trends for QoS improvement. *Internet of Things*, 23, 100806. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100806>.
- [7] Chang, Y. H., Lin, C. H., & Chen, Y. L. (2015). Development of a smart bed system for elderly fall detection and vital sign monitoring. *Sensors*, 15(11), 29606–29623.
- [8] Chen, L., Wang, Y., & Zhang, H. (2012). Activity recognition using smartphone accelerometer data for elderly care. *Journal of Medical Systems*, 36(5), 3327–3335.
- [9] Kim, S. H., & Park, H. S. (2020). A fusion sensor system for activity recognition and fall detection in smart home environments. *Sensors*, 20(4), Article 1167.



- นวัตกรรมการวิจัยสู่สังคมอัจฉริยะและการพัฒนาอย่างยั่งยืน