

ระบบไอโอทีสำหรับติดตามสัญญาณชีพและยืนยันตัวตนผู้ป่วยสำหรับโรงพยาบาลอัจฉริยะ

พัทยะ ธรรมบุตร¹ และ เอกชัย แนนอุดร^{2,*}

¹สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

²สาขาวิชาธุรกิจดิจิทัลและระบบสารสนเทศ คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: ekkachai.n@mbs.msu.ac.th โทรศัพท์: 064-8538555

(รับบทความ: 2 ตุลาคม 2568; แก้ไขบทความ: 8 กุมภาพันธ์ 2569; ตอรับบทความ: 18 กุมภาพันธ์ 2569)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบติดตามสัญญาณชีพและระบุตัวตนผู้ป่วยอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ระบบที่สร้างขึ้นประกอบด้วยเซ็นเซอร์หลายตัวสำหรับวัดสัญญาณชีพและใช้รหัสคิวอาร์ (QR Code) บนสายรัดข้อมือเพื่อยืนยันตัวตนผู้ป่วยซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากการระบุตัวตนผิดพลาดและเพิ่มความปลอดภัยในการรักษา ระบบนี้ยังมีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบสารสนเทศโรงพยาบาล (HIS) เพื่อเก็บข้อมูลสัญญาณชีพแบบเรียลไทม์ ทำให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถติดตามอาการและประเมินความรุนแรงของโรคได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการยกระดับคุณภาพการดูแลรักษาพยาบาลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ประสิทธิภาพการใช้งานของระบบได้รับการประเมินด้วย System Usability Scale (SUS) โดยได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานทั่วไป นอกจากนี้ยังมีการประเมินประสิทธิภาพในด้านคุณภาพการให้บริการ (Quality of Services: QoS) ซึ่งครอบคลุมความพร้อมใช้งานร้อยละ 88.33 ความแม่นยำร้อยละ 73-89 และความเสถียรของระบบร้อยละ 65.75 ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอสามารถช่วยลดภาระงานของบุคลากรทางการแพทย์และบันทึกข้อมูลซ้ำซ้อน ซึ่งอาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดและความล่าช้า โดยเครื่องมือนี้สามารถวัดสัญญาณชีพสำคัญ 3 ค่า ได้แก่ ความดันโลหิต ระดับออกซิเจนในเลือด และอุณหภูมิร่างกาย ข้อมูลจะถูกส่งไปยังฐานข้อมูลของโรงพยาบาลโดยอัตโนมัติ ทำให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถเข้าถึงข้อมูลที่ถูกต้องและเป็นปัจจุบัน เพื่อการตัดสินใจในการรักษาพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบนี้จึงเป็นส่วนสำคัญในการสนับสนุนโครงการโรงพยาบาลอัจฉริยะ (Smart Hospital) ตามนโยบายของกระทรวงสาธารณสุข

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สัญญาณชีพ โรงพยาบาลอัจฉริยะ คุณภาพการบริการ ระบบติดตามแบบเรียลไทม์

การอ้างอิงบทความ: พัทยะ ธรรมบุตร และ เอกชัย แนนอุดร, "ระบบไอโอทีสำหรับติดตามสัญญาณชีพและยืนยันตัวตนผู้ป่วยสำหรับโรงพยาบาลอัจฉริยะ," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, หน้า 40-52, 2569.

An Integrated IoT-Based System for Vital Sign Monitoring and Patient Identification for Smart Hospitals

Pattaya Tammaboot¹ and Ekkachai Naenudorn^{2,*}

¹ Department of Smart City Management and Digital Innovation, Mahasarakham Business School, Mahasarakham University

² Department of Digital Business and Information Systems, Mahasarakham Business School, Mahasarakham University

*Corresponding Author: ekkachai.n@mbs.msu.ac.th, Tel: 064-8538555

(Received: October 2, 2025; Revised: February 8, 2026; Accepted: February 18, 2026)

Abstract

This study aimed to develop an intelligent system for vital-sign monitoring and patient identification using Internet of Things (IoT) technology. The proposed system integrates multiple sensors to measure vital signs and employs a QR code embedded on a wristband to verify patient identity, thereby reducing the risk of misidentification and enhancing patient safety. The system is also connected to the Hospital Information System (HIS) to enable real-time recording of vital-sign data, allowing healthcare personnel to monitor patient conditions and assess disease severity promptly, thus improving the efficiency and quality of clinical care. System usability was evaluated using the System Usability Scale (SUS), and the obtained score was close to the general benchmark. In addition, system performance in terms of Quality of Service (QoS) was assessed, covering key indicators including availability (88.33%), accuracy (73–89%), and system stability (65.75%). The findings indicate that the proposed system can reduce healthcare workers' workload and minimize redundant documentation, which may otherwise lead to errors and delays. The device automatically measures three essentials vital signs blood pressure, blood oxygen saturation, and body temperature—and transmits the data directly to the hospital database, enabling medical staff to access accurate and up-to-date information for effective clinical decision-making. Therefore, the system serves as an important component in supporting the Smart Hospital initiative in accordance with the policy of the Ministry of Public Health.

Keywords: Internet of Things, Vital Signs, Smart Hospital, Quality of Services, Realtime Monitoring

Please cite this article as: P. Tammaboot and E. Naenudorn, "An Integrated IoT-Based System for Vital Sign Monitoring and Patient Identification for Smart Hospitals," *The Journal of Engineering and Industrial Technology*, Kalasin University, vol. 4, no. 2, pp. 40-52, 2026.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการให้บริการด้านสุขภาพยังคงเผชิญกับความท้าทายสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อตรงต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยในระดับโลก ข้อมูลจากการศึกษาของ Johns Hopkins Medicine ในปี 2016 ประเมินการว่าความผิดพลาดทางการแพทย์เป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับที่สามในสหรัฐอเมริกาโดยมีจำนวนผู้เสียชีวิตสูงถึง 251,000 รายต่อปี [1] และการศึกษาที่ดีพิมพ์ในวารสาร BMJ ปี 2024 ยังระบุว่าเฉพาะความผิดพลาดในการวินิจฉัยโรคอาจส่งผลให้มีผู้พิการหรือเสียชีวิตในสหรัฐอเมริกาได้สูงถึง 795,000 รายต่อปี [2] องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ตระหนักถึงประเด็นนี้และเปิดตัวโครงการ “Medication Without Harm” โดยประมาณการว่าความผิดพลาดในการใช้ยาสร้างความเสียหายคิดเป็นมูลค่ามหาศาลถึง 42 พันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปีทั่วโลก [3]

ขณะเดียวกันประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่านสู่ยุคดิจิทัลตามยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561 – 2580) ซึ่งกำหนดให้เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนทุกภาคส่วนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคบริการสาธารณสุขที่ต้องมีการปรับตัวเพื่อยกระดับประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการดูแลรักษาผู้ป่วย [4] การพัฒนาสู่โรงพยาบาลอัจฉริยะ (Smart Hospital) จึงเป็นส่วนหนึ่งของวิสัยทัศน์นี้ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการสร้างเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ที่ใช้เทคโนโลยีเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตในหลากหลายมิติรวมถึงการดำรงชีวิตอัจฉริยะ

อย่างไรก็ตามในบริบทของประเทศไทยปัญหาดังกล่าวยังมีความซับซ้อนจากปัจจัยเชิงระบบที่สำคัญ เช่นภาระงานที่หนักของบุคลากรทางการแพทย์อันเนื่องมาจากสัดส่วนแพทย์ต่อประชากรที่ต่ำ (อัตราส่วน 1 ต่อ 922 ปีพ.ศ. 2567) ทำให้มีเวลาจำกัดในการตรวจรักษาผู้ป่วย [5] การบันทึกเวช

ระเบียนด้วยลายมือภายใต้ข้อจำกัดนี้จึงเพิ่มความเสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อนอย่างมีนัยสำคัญทั้งจากการอ่านค่าที่ผิดพลาดหรือการสับสนในตัวเลขซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการรักษาผิดคนหรือจ่ายยาผิดขนาด [6] นอกจากนี้ระบบเวชระเบียนแบบกระดาษยังทำให้การเข้าถึงข้อมูลย้อนหลังเป็นไปอย่างล่าช้าและขาดความสามารถในการติดตามสถานะของผู้ป่วยแบบเรียลไทม์

เพื่อแก้ไขปัญหาเชิงระบบที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) สำหรับการติดตามสัญญาณชีพและระบุตัวตนผู้ป่วยแบบบูรณาการระบบนี้มุ่งหวังที่จะลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดของมนุษย์โดยการทำให้กระบวนการบันทึกข้อมูลสุขภาพของผู้ป่วยเป็นไปอย่างอัตโนมัติและต่อเนื่องโดยเฉพาะการวัดค่าชีพจรอุณหภูมิร่างกายและระดับออกซิเจนในเลือดพร้อมทั้งยืนยันตัวตนของผู้ป่วยแบบอัตโนมัติเพื่อป้องกันการสับสนในการตรวจรักษาการส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังฐานข้อมูลส่วนกลางแบบเรียลไทม์ยังช่วยให้แพทย์สามารถตัดสินใจทางการแพทย์ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญของโรงพยาบาลอัจฉริยะ

โรงพยาบาลมหาสารคามใช้เครื่องวัดสัญญาณชีพผู้ป่วยแบบดั้งเดิมที่มีการวัดด้วยเครื่องมือที่เป็นระบบ Analog (อนาล็อก) แล้วจดบันทึกลงแบบฟอร์มในสมุดบันทึกโดยเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องเพื่อจัดทำรายงานให้กับแพทย์เจ้าของไข้เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการรักษาผู้ป่วยแต่ละราย ซึ่งวิธีการเก็บข้อมูลดังกล่าวทำให้เกิดข้อผิดพลาดหลายอย่าง เช่น ลงบันทึกข้อมูลผิดคน การวัดค่าสัญญาณชีพมีความผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อน การจัดทำรายงานมีความล่าช้า ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการดูแลรักษาผู้ป่วยทั้งนี้ก็จะส่งผลทำให้ข้อมูลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไม่สมบูรณ์ และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อการรักษาผู้ป่วยและอาจเกิดอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้

บทความวิจัย (Research Article)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะและการยืนยันตัวตนผู้ป่วยด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) รวมถึงประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือดังกล่าวด้วยการวัดคุณภาพการให้บริการ (Quality of Services: QoS) และประเมินความพึงพอใจในการใช้งานด้วยวิธี System Usability Scale (SUS) เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการยกระดับมาตรฐานการดูแลสุขภาพและลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดทางการแพทย์ในโรงพยาบาลอัจฉริยะในยุคดิจิทัล

2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาระบบอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) สำหรับการติดตามสัญญาณชีพและระบุตัวตนผู้ป่วยแบบบูรณาการในโรงพยาบาลอัจฉริยะผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในประเด็นสำคัญดังต่อไปนี้

2.1 แนวคิดโรงพยาบาลอัจฉริยะ

แนวคิด Smart Hospital มุ่งใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเพิ่มคุณภาพการรักษา ลดความผิดพลาดเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงคลินิกจากข้อมูลที่ถูกต้องและทันเวลาซึ่งสอดคล้องกับทิศทางสุขภาพดิจิทัลของกระทรวงสาธารณสุขที่ผลักดันการพัฒนาระบบสารสนเทศสุขภาพ โครงสร้างพื้นฐานข้อมูล และการเชื่อมโยงบริการด้วยมาตรฐาน/แพลตฟอร์มดิจิทัลระดับประเทศในมิติการดูแลผู้ป่วยใน โรงพยาบาลอัจฉริยะมักเน้น 2 แก่นสำคัญคือการติดตามอาการแบบใกล้ชิด/เรียลไทม์และความปลอดภัยจากการระบุตัวตนผู้ป่วยผิดพลาดซึ่งเป็นจุดตั้งต้นของงานวิจัยเชิงระบบที่ผสาน IoT + Patient Identification เข้ากับ HIS [7]

2.2 IoT และการติดตามสัญญาณชีพ แนวโน้มสถาปัตยกรรมและประโยชน์ทางคลินิก

งานทบทวนในช่วงหลังชี้ว่า IoT ถูกนำมาใช้มากในระบบติดตามสุขภาพ/สัญญาณชีพ เพราะช่วยเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด ส่งต่อผ่านเครือข่าย และประมวลผลเพื่อสนับสนุนการติดตามอาการอย่างต่อเนื่อง ทั้งในโรงพยาบาลและการดูแลระยะไกล

แนวโน้มสถาปัตยกรรมที่พบบ่อยคืออุปกรณ์สวมใส่/อุปกรณ์ข้างเคียง (Edge Devices) เกตเวย์/เครือข่าย ระบบกลาง/คลาวด์ แสดงผลแดชบอร์ด/บันทึกเข้าเวชระเบียนเพื่อทำให้ข้อมูล “พร้อมใช้” สำหรับทีมรักษา โดยงานวิจัยเชิงประยุกต์จำนวนมากมุ่งไปที่การวัดสัญญาณชีพหลายรายการและส่งข้อมูลแบบต่อเนื่องเพื่อการเฝ้าระวังความรุนแรงของโรค [8]

2.3 ความปลอดภัยด้านการยืนยันตัวตนผู้ป่วย: หลักการสากลและเทคโนโลยีที่ใช้จริง

การระบุตัวตนผู้ป่วยผิดพลาดเป็นประเด็นความปลอดภัยที่เกิดขึ้นตอนของการดูแล (ให้ยา เก็บตัวอย่าง ส่งตรวจ ทำหัตถการ ฯลฯ) องค์การอนามัยโลกแนะนำให้ใช้อย่างน้อย 2 ตัวระบุ (Two Identifiers) เช่น ชื่อ-สกุลร่วมกับวันเดือนปีเกิด/เลขประจำตัวผู้ป่วย และไม่ควรรู้ “หมายเลขเตียง” เป็นตัวระบุ World Health Organization ขณะที่ The Joint Commission ก็เน้นหลัก Two Identifiers ในมาตรฐานความปลอดภัยผู้ป่วยเช่นกัน

2.4 Barcode/2D/QR Wristband

เทคโนโลยีสายรัดข้อมือแบบบาร์โค้ด (รวมถึง 2D/QR) เป็นแนวทางที่ใช้จริงอย่างแพร่หลาย เพราะต้นทุนต่ำ ใช้กับ Workflow ได้ง่าย และผูกกับตัวระบุผู้ป่วยได้ชัดเจน วรรณกรรมเชิงประจักษ์จำนวนมากรายงานว่าการสแกนสายรัดข้อมือร่วมกับระบบให้ยา/

บทความวิจัย (Research Article)

ยืนยันตัวตนช่วยลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความปลอดภัย เช่น เมตาอะนาไลซิสด้าน Barcode Wristband Scanning พบแนวโน้มลดความผิดพลาดด้านยาอย่างมีนัยสำคัญ PMC และงานคลาสสิกใน NEJM รายงานผลลด Error ในกระบวนการให้ยาเมื่อใช้เทคโนโลยีบาร์โค้ดร่วมกับระบบบันทึกอิเล็กทรอนิกส์ New England Journal of Medicine ในบริบทไทย มีงานในฐาน TCI ที่ชี้ว่าการใช้ Barcode Scanning ช่วยลด Medication Errors และสนับสนุนความปลอดภัยผู้ป่วย โดยเฉพาะยา LASA Thai Journal Online สำหรับ QR Code โดยเฉพาะ มีงานที่รายงานการประยุกต์ “QR Code Identity Tag/Bracelet” เพื่อใช้ในงานระบุตัวตน/เข้าถึงข้อมูลผู้ป่วยในโรงพยาบาล ResearchGate ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางระบบของคุณที่ใช้ QR บนสายรัดข้อมือ [9]

2.5 การเชื่อมต่อกับ HIS และมาตรฐาน Interoperability

การทำให้ข้อมูล IoT ถูกใช้ประโยชน์จริงในโรงพยาบาล จำเป็นต้องเชื่อมกับ HIS/EMR ด้วยมาตรฐานแลกเปลี่ยนข้อมูล งานวิจัยด้านมาตรฐานรายงานการประยุกต์ HL7 FHIR ร่วมกับอุปกรณ์สุขภาพส่วนบุคคล/อุปกรณ์ตรวจวัด เพื่อส่ง Observation, Device, Patient ไปยังระบบโรงพยาบาล (แนวคิด Devices on FHIR) PMC นอกจากนี้ยังมีงานที่ชี้ว่า FHIR เหมาะกับการทำ Interoperability ผ่าน RESTful Services และเป็นแนวทางที่นำไปสร้างกรอบงานแบบเรียลไทม์สำหรับข้อมูลจากอุปกรณ์ติดตามสรีรวิทยา การยึดมาตรฐานเหล่านี้ช่วยลดปัญหา Vendor Lock-In เพิ่มการขยายระบบในอนาคต และเอื้อต่อการทำ Dashboard/Decision Support ที่ใช้ข้อมูลจากหลายแหล่ง [10]

2.6 เกณฑ์ประเมินระบบ: QoS และ Usability

ระบบ IoT ทางคลินิกมักประเมินทั้งด้านประสิทธิภาพเครือข่าย/ระบบ และด้านผู้ใช้

1) QoS/คุณภาพการให้บริการ ตัวชี้วัดที่พบได้บ่อย ได้แก่ Availability, Reliability/Stability, Latency, Throughput และความถูกต้องของข้อมูล/การวัด

2) System Usability Scale เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้แพร่หลาย โดยงานสรุปจำนวนมากชี้ว่า “ค่าเฉลี่ย” ของ SUS มักอยู่ราว 68 คะแนน (ดีความเชิง Percentile/เกรดได้)

กรอบประเมินแบบผสม (QoS + SUS) จึงสอดคล้องกับวรรณกรรม และเหมาะกับงานที่ต้องการพิสูจน์ว่า “ระบบใช้ได้จริงในงานบริการ” ไม่ใช่แค่ทำงานได้ในเชิงเทคนิค [11]

2.7 สังเคราะห์ช่องว่างความรู้ (Research Gap)

จากวรรณกรรมข้างต้น พบว่า (1) IoT Vital Sign Monitoring มีแนวทางและตัวอย่างมาก แต่การทำให้ข้อมูลไหลเข้า HIS อย่างเป็นมาตรฐานและเสถียรยังเป็นความท้าทาย (2) เทคโนโลยีสายรัดข้อมือ/บาร์โค้ด/QR มีหลักฐานสนับสนุนด้านความปลอดภัย แต่ผลสำเร็จขึ้นกับ Workflow และการยอมรับของผู้ใช้ (3) งานจำนวนมากประเมินเพียงมิติเดียว (เช่น ความแม่นยำของเซนเซอร์ หรือ Usability) [12]

บทความวิจัย (Research Article)

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็นส่วนตัวอย่าง
ดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วยบุคลากร
ทางการแพทย์ได้แก่แพทย์จำนวน 144 คนพยาบาล
จำนวน 570 คนและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการดูแล
ผู้ป่วยในโรงพยาบาลรวมทั้งสิ้น 784 คนกลุ่มตัวอย่าง
สำหรับการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานและความ
พึงพอใจ คัดเลือกด้วยวิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง
(Purposive Sampling) จากบุคลากรแผนกผู้ป่วยใน
ที่มีประสบการณ์เกี่ยวข้องกับการวัดและบันทึก
สัญญาณชีพ และเป็นผู้ใช้งานระบบโดยตรง
โดยกำหนดสัดส่วนผู้เข้าร่วมตามบทบาทหน้าที่
(Quota) ให้ครอบคลุมแพทย์ พยาบาล และเจ้าหน้าที่
ที่เกี่ยวข้องรวมจำนวน 30 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1) เครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะและการ
ยืนยันตัวตนผู้ป่วยเป็นระบบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อเป็น
เครื่องมือหลักในการเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณชีพ
และระบุตัวตนผู้ป่วย

2) แบบประเมินประสิทธิภาพด้านคุณภาพการ
ให้บริการ (QoS) เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ
ของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น

3) แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานด้วย
System Usability Scale (SUS) เพื่อใช้ในการ
ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ

3.3 การวัดประสิทธิภาพด้วยคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service: QoS)

การวัดประสิทธิภาพใช้เกณฑ์พื้นฐาน 4 ปัจจัยซึ่ง
ได้ประยุกต์และปรับให้เหมาะสมกับบริบทของระบบ
ที่พัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงแนวคิดจากงานวิจัยของ
Al-Fuqaha และคณะ [13] ทั้งนี้ การประเมิน
ประสิทธิภาพจะครอบคลุมปัจจัยสำคัญ 4 ประการดัง
รายละเอียดต่อไปนี้

1) ความพร้อมใช้งาน (Availability) วัดจาก
อัตราส่วนของเวลาที่เครื่องมือใช้งานได้จริงต่อเวลา
ทั้งหมด

$$A = \frac{N_{suc}}{N_{all}} \quad (1)$$

เมื่อ

A คือ ค่าความพร้อมในการให้บริการ

N_{suc} คือ ผลรวมของเวลาทั้งหมดที่
ผู้ใช้เครื่องมือวัดสามารถใช้เครื่องมือ
วัดใช้งานได้จริง

N_{all} คือ ผลรวมของเวลาทั้งหมดที่
ผู้ใช้เครื่องมือวัด ในช่วงเวลาที่
กำหนด

2) ความแม่นยำ (Accuracy) วัดความสามารถ
ของเครื่องมือในการแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าความจริง

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP} \quad (2)$$

บทความวิจัย (Research Article)

เมื่อ

TP (True Positive) คือ โมเดลทำนายว่าเป็น
บวกและถูกต้อง

TN (True Negative) คือ โมเดลทำนายว่าเป็น
ลบและถูกต้อง

FP (False Positive) คือ โมเดลทำนายว่าเป็น
บวกแต่ผิด

FN (False Negative) คือ โมเดลทำนายว่าเป็น
ลบแต่ผิด

3) ความเสถียรของระบบ (Reliability) วัดจาก
อัตราส่วนของจำนวนครั้งที่ใช้งานสำเร็จต่อจำนวนครั้งที่
ใช้งานทั้งหมด

$$R = \frac{T_{suc}}{T_{all}} \quad (3)$$

เมื่อ

R คือ ค่าความเสถียรของระบบ

T_{suc} คือ จำนวนครั้งที่ทั้งหมดที่ผู้ใช้เครื่องมือ
ใช้เครื่องมือวัดได้สำเร็จในช่วงเวลาที่
กำหนด

T_{all} คือ จำนวนครั้งที่ทั้งหมดที่ผู้ใช้เครื่องมือ
ใช้เครื่องมือวัดในช่วงเวลาที่กำหนด

4) ความสำเร็จในการนำส่งข้อมูล (Throughput)
วัดจากจำนวนทรานแซกชันที่สามารถทำงานได้ใน
หนึ่งวินาที

$$Tp = \frac{TN_s}{T_{Total}} \quad (4)$$

$$Tpn = \frac{Tp}{\max(Tp)} \quad (5)$$

เมื่อ

Tp คือ ค่า Throughput หน่วยเป็น
InVoke/Second

N_{suc} คือ จำนวนทรานแซกชัน
(Transaction) หรือการร้องขอ
(Request) ที่ถูก สร้างขึ้นหรือ
ทำงานได้ในช่วงเวลาการทดสอบ

T_{total} คือ ค่าช่วงเวลาการทดสอบ หน่วย
เป็น Second

Tpn คือ ค่า Throughput Normalize
 $\max(Tp)$ คือ ค่า Throughput ที่มีค่าสูงสุด

3.4 ประเมินความพึงพอใจในการใช้งานด้วยวิธี System Usability Scale (SUS)

โดยมีโครงสร้างและการคำนวณคะแนนคือ
แบบสอบถาม SUS ประกอบด้วยคำถาม 10 ข้อที่ผู้ใช้
จะให้คะแนนบนระดับ Likert Scale 5 ระดับตั้งแต่ 1
(ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง) ถึง 5 (เห็นด้วยอย่างยิ่ง) คำถาม
จะสลับระหว่างข้อความเชิงบวกและเชิงลบเพื่อลด
อคติในการตอบของผู้ใช้ [14]

การคำนวณคะแนน SUS มีขั้นตอนเฉพาะเพื่อ
เปลี่ยนคะแนนดิบให้เป็นคะแนนมาตรฐานจาก 0-100
โดยมีวิธีการดังนี้

1) สำหรับคำถามเลขคี่ (1, 3, 5, 7, 9) นำคะแนน
ที่ผู้ใช้ตอบมาลบด้วย 1

2) สำหรับคำถามเลขคู่ (2, 4, 6, 8, 10) นำ 5 มา
ลบด้วยคะแนนที่ผู้ใช้ตอบ

บทความวิจัย (Research Article)

3) นำผลลัพธ์ที่ได้มารวมกันทั้งหมดแล้วนำไปคูณด้วย 2.5 เพื่อให้ได้คะแนนสุดท้ายโดยคะแนนนี้เป็นค่าสะท้อนระดับการใช้งานที่ผู้ใช้รับรู้ (Perceived Usability)

จากนั้นทำการแปรผลคะแนนและจุดเด่นคะแนน SUS ที่ได้สามารถนำมาแปรผลเพื่อประเมินระดับการใช้งานของระบบได้โดยทั่วไปคะแนนเฉลี่ยของ SUS อยู่ที่ 68 ซึ่งถือเป็นค่ามาตรฐาน (Benchmark) [10] คะแนนต่ำกว่า 50 คือบ่งชี้ว่าระบบมีปัญหาการใช้งานอย่างรุนแรงคะแนน 50-70 คือระบบพอใช้งานได้แต่ยังต้องการการปรับปรุงคะแนน 70-85 คือระบบใช้งานได้ดี และคะแนนมากกว่า 85 คือระบบมีประสิทธิภาพด้านการใช้งานดีเยี่ยม

3.5 ออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) และการเขียนโปรแกรม (Coding)

ในขั้นตอนการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) และการเขียนโปรแกรม (Coding) สำหรับระบบอัจฉริยะเพื่อการติดตามสัญญาณชีพและระบุตัวตนผู้ป่วยในโรงพยาบาลอัจฉริยะโดยมุ่งเน้นการสร้างประสบการณ์ใช้งานที่ง่ายและมีประสิทธิภาพหน้าจอแสดงผลสัญญาณชีพผู้ป่วยได้รับการออกแบบให้แสดงข้อมูลสำคัญประกอบด้วยชีพจร (อัตราการเต้นของหัวใจ) ระดับออกซิเจนในเลือดและอุณหภูมิร่างกาย ข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกและแสดงผลแบบเรียลไทม์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับข้อมูลย้อนหลังทำให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณชีพได้อย่างต่อเนื่องนอกจากนี้ระบบยังนำเสนอข้อมูลในรูปแบบกราฟเชิงเส้นเพื่อช่วยให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มได้อย่างรวดเร็วซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการตรวจจับความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นเพื่อให้สามารถเข้าช่วยเหลือผู้ป่วยได้อย่างทันท่วงทีและในส่วนของการเขียนโปรแกรมผู้วิจัยได้

เลือกใช้ภาษา Python ในการพัฒนาเครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะเนื่องจากเป็นภาษาที่มีความยืดหยุ่นสูงและมีไลบรารีรองรับการทำงานกับไมโครคอนโทรลเลอร์อย่าง Raspberry Pi รุ่น 4 B+ อย่างกว้างขวางโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ต่าง ๆ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณชีพการประมวลผลข้อมูลการแสดงผลบนหน้าจอและการส่งข้อมูลไปยังระบบหลักของโรงพยาบาลซึ่งการใช้ภาษา Python Version 3.15 ช่วยให้การพัฒนาเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

รูปที่ 1 แสดงส่วนติดต่อผู้ใช้สำหรับการบันทึกข้อมูลผู้ป่วย



รูปที่ 2 แสดงส่วนติดต่อผู้ใช้สำหรับการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟเชิงเส้น

บทความวิจัย (Research Article)

4. ผลการดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะโดยมีผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

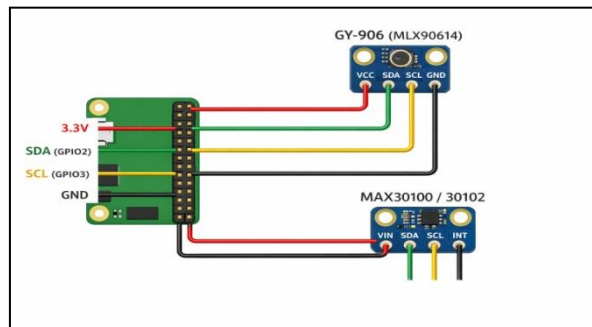
4.1 เครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะ

เครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะที่ใช้สำหรับการวัดสัญญาณชีพและยืนยันตัวตนผู้ป่วยซึ่งเป็นผลงานวิจัยที่พัฒนาขึ้นสำหรับโรงพยาบาลโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะและยืนยันตัวตนผู้ป่วย

การต่อวงจรเครื่องมือที่สร้างขึ้น สามารถต่อแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ร่วมกับ Raspberry

4.2 ผลการวัดประสิทธิภาพด้วย QoS

ด้านความพร้อมใช้งาน (Availability) การทดสอบในโรงพยาบาลมหาสารคาม 120 ครั้งพบว่าพร้อมใช้งาน 106 ครั้งคิดเป็นร้อยละ 88.33 ด้านความถูกต้อง (Accuracy) ค่าชีพจร (Heart Rate) มีความถูกต้อง 107 ครั้งจาก 120 ครั้งคิดเป็นร้อยละ 89.17 ค่าระดับออกซิเจนในเลือด (SpO2) มีความถูกต้อง 107 ครั้งจาก 120 ครั้งคิดเป็นร้อยละ 89.17 ค่าอุณหภูมิร่างกาย (TEMP) มีความถูกต้อง 88 ครั้งจาก 120 ครั้งคิดเป็นร้อยละ 73.33 ด้านความเสถียร (Reliability) การทดสอบ 120 ครั้งวัดสำเร็จ 109 ครั้งและไม่สำเร็จ 11 ครั้งคิดเป็นร้อยละ 90.83 และด้านความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Throughput) ค่าเฉลี่ยของ Throughput จากการใช้เครื่องมือวัดคือ 38.30 bps (Byte Per Second) การวัดที่มีความคาดเคลื่อนนั้น เนื่องจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ ไม่ใช่เกรดทางการแพทย์ และเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกตามท้องตลาดทั่วไป

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจ

การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะและการยืนยันตัวตนผู้ป่วยในโรงพยาบาลมหาสารคามดำเนินการโดยใช้

บทความวิจัย (Research Article)

แบบประเมิน System Usability Scale (SUS) ผลการวิเคราะห์จากกลุ่มตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของ SUS Score อยู่ที่ 65.75 ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานที่ยอมรับโดยทั่วไปซึ่งอยู่ที่ 68.0 เล็กน้อย โดยผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่ให้คะแนนในระดับ "พอใช้ได้" (OK) และมีความน่าพึงพอใจอยู่ในระดับ "Marginal" ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบยังคงมีโอกาสนในการปรับปรุงให้ดีขึ้นเพื่อเพิ่มความง่ายในการใช้งานและความพึงพอใจของผู้ใช้

ผลการประเมินรายบุคคลพบว่าคะแนนสูงสุด (MAX. SUS Score) คือ 80 และ 77.5 ซึ่งจัดอยู่ในระดับ "ดี" (Good) และ "ยอมรับได้" (Acceptable) โดยมีผู้ใช้งาน 3 คนที่ให้คะแนนสูงถึง 80 และถูกจัดอยู่ในกลุ่ม "Promoter" ในทางกลับกันคะแนนต่ำสุด (MIN. SUS Score) คือ 27.5 ซึ่งจัดอยู่ในระดับ "แย่" (Poor) และ "ยอมรับไม่ได้" (Not Acceptable) นอกจากนี้ยังมีผู้ใช้งานอีก 8 คนที่ให้คะแนนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทำให้ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม "Detractor" ที่ไม่พึงพอใจในการใช้งานผลลัพธ์นี้บ่งชี้ว่าแม้ผู้ใช้บางส่วนจะมองว่าระบบใช้งานได้ดีแต่ยังมีปัญหาด้านความสะดวกในการใช้งานที่ต้องได้รับการแก้ไขเพื่อให้ระบบเป็นที่ยอมรับและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับบุคลากรทุกคน

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยที่สำคัญและให้ข้อเสนอแนะสำหรับการต่อยอดและพัฒนาในอนาคตโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

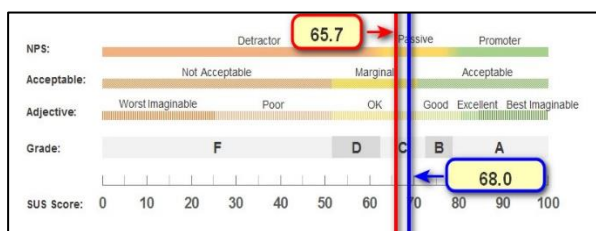
ผลการประเมินคุณภาพการให้บริการ (Quality of Services: QoS) พบว่ามีผลการดำเนินงานที่น่าพอใจในหลายด้านแต่ยังต้องปรับปรุงเพื่อบรรลุตาม

เกณฑ์ของโรงพยาบาลอัจฉริยะในด้านความพร้อมใช้งาน (Availability) ระบบมีความพร้อมใช้งานอยู่ที่ร้อยละ 88.33 แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการลดช่วงเวลาที่ระบบไม่ทำงาน (Downtime) โดยอาจพิจารณาใช้เซนเซอร์เฝ้าตรวจการแพทย์ที่มีความเสถียรสูงขึ้นและจัดเตรียมเครื่องวัดสัญญาณชีพสำรองในด้านความถูกต้อง (Accuracy) ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าระบบมีความถูกต้องสูงโดยเฉพาะค่าชีพจรและระดับออกซิเจนในเลือดที่มีความถูกต้องเท่ากันที่ร้อยละ 89.17 ส่วนอุณหภูมิร่างกายมีความถูกต้องที่ร้อยละ 73.33 สำหรับด้านความเสถียรภาพ (Reliability) จากการวัด 120 ครั้งระบบมีความสำเร็จในการวัดถึง 109 ครั้งคิดเป็นร้อยละ 90.83 อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความไม่เสถียรได้แก่การเลือกใช้เซนเซอร์ที่ไม่ได้มาตรฐานทางการแพทย์และการออกแบบตำแหน่งการวางเซนเซอร์ที่ไม่เหมาะสม สุดท้ายในด้านความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Throughput) ค่าเฉลี่ยของระบบอยู่ที่ 38.30 bps ซึ่งได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เช่นแบนด์วิธของเครือข่ายระยะทางและความหน่วงการสูญเสียแพ็กเก็ตและภาระของเครือข่ายการวัดผล QoS ซึ่งให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการทำงานที่ดีในเรื่องความถูกต้องและความเสถียรในการวัดค่าแต่ยังคงต้องมีการปรับปรุงด้านความพร้อมใช้งานเพื่อตอบสนองต่อมาตรฐานของโรงพยาบาลอัจฉริยะได้อย่างครบถ้วน

จากการวิเคราะห์ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะและยืนยันตัวตนผู้ป่วยในโรงพยาบาลด้วยวิธี System Usability Scale (SUS) พบว่ามีค่าเฉลี่ย SUS Score อยู่ที่ 65.7 ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานที่ยอมรับโดยทั่วไปเล็กน้อยที่ 68 ดังแสดงในรูปที่ 4 ผลลัพธ์นี้บ่งชี้ว่าระบบมีระดับการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ที่ "พอใช้" (OK) แต่ยังคงมีโอกาสนในการปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นโดยการแปลผลในรูปแบบต่าง ๆ ยืนยันถึงข้อสรุปนี้อา

บทความวิจัย (Research Article)

การอยู่ในระดับเปอร์เซ็นต์ที่ 41–59 และอยู่ในเกรด C ทั้งยังถูกประเมินว่าอยู่ในระดับ "Marginal" ในแง่ของการยอมรับและผู้ใช้ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม "Passive" ซึ่งบ่งชี้ว่าผู้ใช้งานไม่ได้รู้สึกประทับใจมากพอที่จะแนะนำระบบนี้ให้กับผู้อื่น (Promoter and Detractors) สาเหตุที่ผลการประเมินอยู่ในระดับดังกล่าวอาจเนื่องมาจากโรงพยาบาลมีการทดลองใช้เครื่องมือจากบริษัทผู้ผลิตรายอื่นในช่วงเวลาเดียวกันทำให้เกิดการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเองกับเครื่องมือเชิงพาณิชย์ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนิตยาสุภาภรณ์และคณะ (2020) ที่พบว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นใช้งานได้ยากทำให้ได้คะแนน SUS ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานโดยสรุปแล้วเครื่องมือวัดสัญญาณชีพอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการใช้งานและผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้แต่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อยกระดับความสะดวกและประสิทธิภาพในการใช้งานให้เป็นที่ยอมรับในวงกว้างมากขึ้นซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในบริบทของโรงพยาบาลอัจฉริยะต่อไป



รูปที่ 4 แสดงแผนภาพการประเมินความพึงพอใจด้วย System Usability Scale

5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1) ความแม่นยำ/ความเที่ยงตรงไม่รับประกัน เพราะไม่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐาน และผลแปรตามสภาพแวดล้อม/การใช้งาน

2) ความน่าเชื่อถือระยะยาวต่ำ (ค่า Drift, อุปกรณ์/สายหลวม เสียหายง่าย) และความสม่ำเสมอระหว่างเครื่องแต่ละชุดไม่เท่ากัน

3) ความปลอดภัยผู้ป่วยมีความเสี่ยง เช่น ไฟฟ้าลัดวงจร/ความร้อน/การสัมผัสผิวหนัง และไม่มีระบบ Fail-Safe ที่ผ่านการทดสอบ

4) ไม่ผ่านมาตรฐาน/การรับรองเครื่องมือแพทย์ จึงควรใช้ได้แค่เฝ้าระวัง/วิจัย ไม่ควรใช้เป็นหลักในการวินิจฉัยหรือสั่งการรักษา

5) ความเสี่ยงด้านข้อมูลและไซเบอร์ (การเข้ารหัส/สิทธิ์/บันทึกการใช้งาน/การอัปเดตแพตช์ไม่ครบ) เสี่ยงผิด PDPA

6) ภาระซ่อมบำรุงและการรับผิดชอบสูง พึ่งพาคนทำ/เอกสารไม่ครบ อะไหล่คนละล็อตทำให้ต้องตั้งค่าใหม่ และมีความเสี่ยงด้านนิติความรับผิดชอบหากเกิดเหตุไม่พึงประสงค์

5.3 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

การพัฒนาและใช้งานระบบ IoT เพื่อการดูแลผู้ป่วยอย่างยั่งยืนจำเป็นต้องคำนึงถึงประเด็นสำคัญหลายด้านเป็นอันดับแรกด้านความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของข้อมูลซึ่งเป็นข้อมูลสุขภาพที่มีความละเอียดอ่อนจึงควรมีการพัฒนากระบวนการความปลอดภัยที่แข็งแกร่งโดยใช้เทคโนโลยีเข้ารหัสข้อมูลและระบบยืนยันตัวตนเพื่อป้องกันการรั่วไหลของข้อมูลและปกป้องความเป็นส่วนตัวของผู้ป่วย นอกจากนี้การพัฒนาความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของอุปกรณ์เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลและทำให้การติดตามอาการมีความแม่นยำสูงขึ้นซึ่งจะช่วยให้การวินิจฉัยและการรักษาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาด้านการเข้าถึงเทคโนโลยี และต้นทุน รัฐบาลและหน่วยงานสาธารณสุขควรมีบทบาทในการส่งเสริมการเข้าถึง

บทความวิจัย (Research Article)

เทคโนโลยีในทุกกลุ่มประชากรรวมถึงลดต้นทุนของอุปกรณ์เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในวงกว้างได้มากขึ้น สุดท้ายการให้ความรู้แก่ผู้ป่วยและบุคลากรทางการแพทย์เป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้การใช้งานระบบ IoT เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยควรมีการจัดอบรมอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องเข้าใจวิธีการใช้งานที่ถูกต้องและสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่ได้รับได้อย่างเต็มที่การดำเนินการตามข้อเสนอแนะเหล่านี้จะช่วยให้การนำ IoT มาใช้ในการดูแลสุขภาพสามารถยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยได้อย่างแท้จริงและเป็นรากฐานที่มั่นคงสำหรับระบบสาธารณสุขในอนาคต

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยในอนาคตควรมุ่ง 4 แกนหลัก (1) ความถูกต้องเทียบมาตรฐาน (2) อัลกอริทึมเพิ่มความน่าเชื่อถือ/ลดความคาดเคลื่อน (3) ความเสถียร-ความปลอดภัย-PDPA (4) ผลลัพธ์การใช้งานจริงและความคุ้มค่า เพื่อยกระดับ IoT ในรูปแบบการพัฒนาเอง ให้ “น่าเชื่อถือพอสำหรับการเฝ้าระวังในระบบบริการ” และขยายผลได้อย่างปลอดภัย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล คณะการบัญชีและการจัดการมหาวิทยาลัยมหาสารคามสำหรับคำแนะนำและการสนับสนุนทางวิชาการที่สำคัญยิ่งนอกจากนี้ขอขอบคุณบุคลากรของโรงพยาบาลมหาสารคามที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลืออย่างดียิ่งตลอดการศึกษาค้นคว้าวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Makary and M. Daniel, "Medical error- the third leading cause of death in the US," *BMJ*, vol. 353, p. i2139, May 2016. DOI: 10.1136/bmj.i2139.
- [2] D. E. Newman-Toker, N. Nassery, A. C. Schaffer, C. W. Yu-Moe, G. D. Clemens, Z. Wang, Y. Zhu, A. S. Saber Tehrani, M. Fanai, A. Hassoon, and D. Siegal, "Burden of serious harms from diagnostic error in the USA," *BMJ Qual. Saf.*, vol. 33, no. 2, pp. 109-120, Jul. 2024. DOI: 10.1136/bmjqs-2021-014130.
- [3] World Health Organization, "Medication Without Harm," 2025. [online]. Available: <https://www.who.int/initiatives/medication-without-harm>. [Accessed: 1 Aug. 2025].
- [4] พงศธร พอกเพิ่มดี, "แผนยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (ด้านสาธารณสุข) พ.ศ. 2561-2580," *วารสารวิชาการสาธารณสุข*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, 2563.
- [5] ไทยพับลิก้า (ThaiPublica), "วิกฤตสาธารณสุขไทย! คาดปี'69 ผู้ป่วยหามอ 40.5 ล้านครั้ง/ปี," [ออนไลน์]. Available: <https://thaipublica.org/2025/08/thai-medical-brain-drain-public-health-impact/>. [เข้าถึงเมื่อ: 1 ส.ค. 2568].
- [6] เมดเคอรี (Medcury), "ทำไมลายมือหมออ่านยากป้องกันปัญหาที่อาจตามมาด้วยระบบHIS," [ออนไลน์]. Available: <https://www.medcury.health/post/9-bad-effects-of-illegible-handwriting-from-doctors-and-solutions>. [เข้าถึงเมื่อ: 1 ส.ค. 2568].

บทความวิจัย (Research Article)

- [7] S. Lee and H. Do, "Comparison and analysis of ISO/IEEE 11073, IHE PCD-01, and HL7 FHIR messages for personal health devices," *Healthcare Informatics Research*, vol. 24, no. 1, pp. 46-52, 2018.
- [8] M. Hyzy, R. Bond, M. Mulvenna, L. Bai, and S. Leigh, "System Usability Scale Benchmarking for Digital Health Apps: Meta-analysis," *JMIR mHealth and uHealth*, vol. 10, no. 8, p. e37290, 2022.
- [9] K. Ashton, "That internet of things thing," *RFID JOURNAL*, pp. 97-114, 2009.
- [10] ชินวัจน์ งามวรรณกร, สุทัศน์ รุ่งระวีวรรณ, และ อมรเทพ มณีเนียม, "การพัฒนาระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงงานขนาดย่อม ด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ภายใต้แนวคิดอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง," รายงานผลการวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, ยะลา, 2561.
- [11] J. Brooke, "SUS - A quick and dirty usability scale," in *Usability evaluation in industry 1996*, 1996, pp. 189-194.
- [12] The Story, "System Usability Scale (SUS) - What is it? Why is it worth using it?," 2025. [online]. Available: <https://thestory.is/en/journal/system-usability-scale-what-is-it/>. [Accessed: 8 Aug. 2025].
- [13] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, Fourth Quarter 2015. DOI: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [14] A. Bangor, P. T. Kortum, and J. T. Miller, "An empirical evaluation of the System Usability Scale," *Int. J. Hum.-Comput. Interact.*, vol. 24, no. 5, pp. 574-594, 2008.