

Design and Implementation of a Low-Code Geofencing Architecture for Location-Based Attendance Management in Local Government Organizations

Suraphon Chumklin¹, Krit Chaiwannakoop², and Manit Puangbangpo^{3,*}

^{1,2}Computer Science Program, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand; Email: ¹suraphon@uru.ac.th, ²krit@uru.ac.th

³Information Technology Program, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000, Thailand; Email: ³manit.phu@uru.ac.th

**Corresponding author: Manit Puangbangpo (manit.phu@uru.ac.th)*

Received: 27 February 2026; **Revised:** 27 May 2026; **Accepted:** 30 May 2026; **Published:** 21 July 2026

Abstract

As public organizations undergo digital transformation, efficient workforce mobility management is imperative. This study addresses a critical gap in the integration of spatial tracking capabilities within low-code platforms by designing and implementing a low-code geofencing architecture at Thasao Subdistrict Municipality, Thailand. The proposed three-tier architecture facilitates real-time data processing using Google AppSheet and Google Sheets. The system's business logic implements the Haversine formula for geodesic distance calculation and incorporates error-handling mechanisms to mitigate intermittent GPS signal instability. Performance evaluation via black-box testing demonstrated a 100% success rate across predefined functional test cases under controlled conditions, rather than absolute system accuracy. Field observations further revealed that real-world performance may vary depending on network latency and GPS signal quality. Empirical data collected through purposive sampling from 20 off-site personnel indicated a high level of satisfaction (Mean = 4.39, S.D. = 0.57), with the evaluation instrument reaching high reliability (Cronbach's Alpha = 0.85). This research contributes a scalable and resource-efficient architectural framework that reduces administrative workload and supports practical digital transformation in local government contexts, while also highlighting implementation constraints relevant to real-world deployment.

Keywords: Geofencing, Low-Code Architecture, Workforce Mobility, Location-Based Services, Digital Transformation



Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:

Chumklin, S., Chaiwannakoop, K., & Puangbangpo, M. (2026). Design and Implementation of a Low-Code Geofencing Architecture for Location-Based Attendance Management in Local Government Organizations. *Journal of Computer and Creative Technology*, 4(2), e3674. <https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3674>

การออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด สำหรับการบริหารจัดการการ ลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

สุรพล ชุ่มกลิ่น¹ ฤกษ์ชัย วัฒนคุปต์² และ มานิตย์ พ่วงบางโพ^{3,*}

^{1,2}หลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000
ประเทศไทย; Email: ¹suraphon@uru.ac.th, ²krit@uru.ac.th

³หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000
ประเทศไทย; Email: ³manit.phu@uru.ac.th

*ผู้ประพันธ์บทความ: มานิตย์ พ่วงบางโพ (manit.phu@uru.ac.th)

รับบทความ: 27 กุมภาพันธ์ 2569; แก้ไขบทความ: 27 พฤษภาคม 2569; ตอรับบทความ: 30 พฤษภาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 21 กรกฎาคม 2569

บทคัดย่อ

ในขณะที่องค์กรภาครัฐเข้าสู่การเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล การบริหารจัดการความคล่องตัวของบุคลากรอย่างมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็น งานวิจัยนี้ มุ่งแก้ไขช่องว่างเชิงวิชาการด้านการบูรณาการความสามารถในการติดตามเชิงพื้นที่บนแพลตฟอร์มโลว์โค้ด โดยการออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด กรณีศึกษาเทศบาลตำบลท่าเสา จังหวัดอุดรดิตถ์ ระบบใช้สถาปัตยกรรมสามระดับ เพื่อการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่าน Google AppSheet และ Google Sheets ตรรกะทางธุรกิจประยุกต์ใช้อัลกอริทึมสูตร Haversine เพื่อคำนวณระยะทางเชิงภูมิศาสตร์พร้อม กลไกจัดการข้อผิดพลาดเพื่อรองรับความไม่เสถียรของสัญญาณ GPS ผลการประเมินประสิทธิภาพผ่านการทดสอบแบบกล่องดำพบว่า ระบบมี อัตราความสำเร็จของกรณีทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนดร้อยละ 100 ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ ทั้งนี้ ประสิทธิภาพในการใช้งานจริงอาจแปรผันตามความหนาแน่นของเครือข่ายและคุณภาพสัญญาณ GPS ในแต่ละพื้นที่ ข้อมูลเชิงประจักษ์จากการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจงในกลุ่มบุคลากรนอกสถานที่ 20 ราย พบว่ามีความพึงพอใจในระดับมาก (Mean = 4.39, S.D. = 0.57) โดยเครื่องมือประเมินมีความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha = 0.85) คุณูปการสำคัญของงานวิจัยนี้คือการนำเสนอ กรอบสถาปัตยกรรมที่สามารถขยายผลได้และใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่ง ช่วยลดภาระงานธุรการ และสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัลในบริบทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พร้อมทั้ง สะท้อนข้อจำกัดเชิงปฏิบัติที่เกิดขึ้นในการใช้งานจริง

คำสำคัญ: จีโอเฟนซิง, สถาปัตยกรรมโลว์โค้ด, ความคล่องตัวของบุคลากร, บริการอิงตำแหน่งที่ตั้ง, การเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล



Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:

สุรพล ชุ่มกลิ่น, ฤกษ์ชัย วัฒนคุปต์, และ มานิตย์ พ่วงบางโพ. (2569). การออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด สำหรับการบริหารจัดการการลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น. วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4(2), e3674. <https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3674>

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบัน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในประเทศไทยกำลังเผชิญความท้าทายในการบริหารจัดการทรัพยากรบุคคล ท่ามกลางยุคเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล (Digital Transformation) โดยเฉพาะกลุ่มบุคลากรที่ต้องปฏิบัติงานภาคสนาม เช่น เจ้าหน้าที่สาธารณสุขและพนักงานป้องกันบรรเทาสาธารณภัย รูปแบบการลงเวลาแบบดั้งเดิมที่พึ่งพาการเซ็นชื่อหรือสแกนลายนิ้วมือ ณ สำนักงานส่วนกลาง ยังขาดความคล่องตัวและก่อให้เกิดความสูญเปล่าด้านเวลาและงบประมาณในการเดินทาง รวมทั้งไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งปฏิบัติงานได้แบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ ระบบดั้งเดิมยังขาดกลไกตรวจสอบพิถีพิถันแบบเรียลไทม์ ส่งผลกระทบต่อความโปร่งใสและประสิทธิภาพในการติดตามงาน ในเชิงระบบ (System-Level Accountability) การบูรณาการเทคโนโลยีบริการอิงตำแหน่งที่ตั้ง (Location Based Services: LBS) เข้าสู่ระบบบริหารราชการอิเล็กทรอนิกส์ (e-Government) จึงเป็นความจำเป็นเร่งด่วนในการตอบสนองนโยบายดิจิทัลไทยแลนด์อย่างเป็นรูปธรรม

สำหรับกรณีศึกษา เทศบาลตำบลท่าเสา จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่ายังคงใช้ระบบเอกสารกระดาษในการบันทึกเวลาปฏิบัติงานนอกสถานที่ ซึ่งก่อให้เกิดความซ้ำซ้อนและข้อผิดพลาดในการประมวลผลข้อมูลของฝ่ายทรัพยากรบุคคล การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถยกระดับความแม่นยำในการระบุพิกัดพื้นที่ปฏิบัติงานได้อย่างมีนัยสำคัญ (Sarawan et al., 2023) นอกจากนี้ การสร้างรั้วเสมือนด้วยเทคโนโลยี Geofencing ร่วมกับ GPS ถือเป็นกลไกเชิงสถาปัตยกรรมที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันการทุจริตลงเวลาแทนกันได้มากถึงร้อยละ 95 (Chauhan et al., 2024; Patil et al., 2025) แม้ว่ายังคงมีข้อจำกัดทางกายภาพในพื้นที่อับสัญญาณบางแห่งที่ต้องได้รับการจัดการเชิงเทคนิค (Shevchenko & Reips, 2024) แต่เมื่อบูรณาการเทคโนโลยีดังกล่าวเข้ากับแพลตฟอร์ม Low-code เช่น Google AppSheet จะช่วยเร่งวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ให้รวดเร็วและเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการข้อมูลภาคสนามได้เหนือกว่าการเขียนโปรแกรมรูปแบบเดิม (Rokis & Kirikova, 2023) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับการออกแบบสถาปัตยกรรมที่สามารถรองรับความไม่แน่นอนของข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม

แม้แพลตฟอร์มโลว์โค้ดจะมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบภาครัฐ ทว่าขีดความสามารถในการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่และตรวจสอบพิถีพิถันยังคงมีข้อจำกัด งานวิจัยส่วนใหญ่มักพึ่งพาเพียงการบันทึกพิกัด GPS แบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) โดยขาดการบูรณาการสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงที่ทนทานต่อข้อผิดพลาด เช่น ความหน่วงของเครือข่าย (Network Latency) หรือการแทรกแซงตำแหน่ง (Location Spoofing) นอกจากนี้ งานวิจัยที่มุ่งเน้นความยืดหยุ่นของแพลตฟอร์มโลว์โค้ดมักละเลยมิติของความแม่นยำเชิงพื้นที่ ในขณะที่งานที่เน้นจีโอเฟนซิงเชิงลึกกลับต้องอาศัยการพัฒนาแบบดั้งเดิมที่มีความซับซ้อนสูง ดังนั้น จึงเกิดช่องว่างการวิจัยที่สำคัญในการออกแบบสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ที่สามารถบูรณาการความยืดหยุ่นของโลว์โค้ดเข้ากับความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่งเชิงพื้นที่ (Spatial Precision) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นเพื่อตอบโจทย์ช่องว่างดังกล่าว งานวิจัยนี้นำเสนอกรอบสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ดที่ออกแบบให้รองรับการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่แบบเรียลไทม์ภายใต้ข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมจริง โดยเน้นการผสมผสานตรรกะการคำนวณระยะทาง กลไกจัดการข้อผิดพลาดของสัญญาณ GPS และโครงสร้างข้อมูลที่รองรับการขยายตัวในอนาคต งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการแก้ปัญหาผ่านคำถามการวิจัยดังนี้ 1) สถาปัตยกรรมโลว์โค้ดที่บูรณาการตรรกะจีโอเฟนซิงสำหรับการลงเวลาปฏิบัติงาน ควรมีการออกแบบโครงสร้างและอัลกอริทึมการประมวลผลอย่างไรเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และ 2) ระบบสถาปัตยกรรมที่พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะเชิงเทคนิคจากการทดสอบแบบกล่องดำ (Black-Box Testing) และระดับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจริงอยู่ในระดับใด โดยมุ่งหวังให้ได้ต้นแบบเชิงสถาปัตยกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้และขยายผลในบริบทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้อย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด (Low-Code Geofencing Architecture) ที่บูรณาการตรรกะเชิงพื้นที่และรองรับการทำงานแบบเรียลไทม์อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 เพื่อทดสอบและประเมินประสิทธิภาพเชิงหน้าที่ของระบบด้วยเทคนิคกล่องดำ (Black-Box Testing) โดยใช้ตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จของกรณีทดสอบและเวลาตอบสนองของระบบ

2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริง ในลักษณะการศึกษาเชิงนำร่อง (Pilot Study) ด้วยสถิติเชิงพรรณนา

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

ปัจจุบันองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) มุ่งเน้นการเปลี่ยนผ่านสู่รัฐบาลดิจิทัล เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการบริหารราชการแผ่นดิน โดยมีระบบบริหารทรัพยากรบุคคลเป็นกลไกสำคัญในการกำกับดูแลการปฏิบัติงานภาคสนาม การเปลี่ยนรูปแบบจากสมุดลงเวลาแบบดั้งเดิมไปสู่ระบบดิจิทัลช่วยขจัดปัญหาความล่าช้าและเพิ่มความโปร่งใสในกระบวนการตรวจสอบข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม แม้แนวโน้มการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การบูรณาการความสามารถด้านการตรวจสอบเชิงพื้นที่เข้ากับระบบบริหารทรัพยากรบุคคลยังคงมีข้อจำกัดทั้งในเชิงสถาปัตยกรรมและเชิงการออกแบบระบบ ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดและแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบที่สามารถรองรับการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

3.1 ระบบลงเวลาและเทคโนโลยีจีโอเฟนซิง (Geofencing)

เทคโนโลยีจีโอเฟนซิงทำหน้าที่สร้างขอบเขตเสมือน (Virtual Boundary) อิงพิกัดทางภูมิศาสตร์เพื่อกระตุ้นตรรกะการทำงานอัตโนมัติ (Patil et al., 2025) โดยการบูรณาการระบบดังกล่าวร่วมกับเซนเซอร์ระบุตำแหน่งบนสมาร์ตโฟนช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบตัวตนและป้องกันการทุจริตลงเวลาแทนกันได้สูงถึงร้อยละ 95 (Chauhan et al., 2024) สถาปัตยกรรมอิงตำแหน่งที่ตั้งจึงเป็นโครงสร้างสำคัญที่ส่งเสริมความคล่องตัวให้บุคลากรเข้าถึงระบบได้จากทุกพื้นที่ปฏิบัติงาน (Sarawan et al., 2023) รวมทั้งการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นที่โดยอาศัยอัลกอริทึมฮัฟเฟอริ่ง Haversine เพื่อวิเคราะห์ระยะทางระหว่างพิกัดปัจจุบันกับจุดศูนย์กลาง ซึ่งเป็นรูปแบบการประมวลผลที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับระบบลงเวลาปฏิบัติงานออนไลน์ (Al Farisi et al., 2023)

ในเชิงสถาปัตยกรรม อัลกอริทึมดังกล่าวมีข้อได้เปรียบด้านความเรียบง่ายในการคำนวณและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบที่ต้องการการตอบสนองแบบเรียลไทม์ภายใต้ข้อจำกัดของทรัพยากรประมวลผล แม้ข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมทางกายภาพอาจส่งผลกระทบต่อความแรงของสัญญาณในพื้นที่อับสัญญาณ (Shevchenko & Reips, 2024) แต่การพัฒนาแบบที่มีกลไกจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพจะช่วยรักษาเสถียรภาพการทำงานได้

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นเพียงการเพิ่มความแม่นยำของการระบุตำแหน่งในระดับอัลกอริทึม โดยยังขาดการออกแบบกลไกจัดการข้อผิดพลาด (Error-Tolerant Mechanisms) ที่สามารถรองรับความไม่แน่นอนของสัญญาณ GPS ในสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างเป็นระบบ โดยกระบวนการพื้นฐานประกอบด้วยการกำหนดขอบเขตพื้นที่ การติดตามตำแหน่ง และการตอบสนองต่อเงื่อนไข ดังแสดงใน Figure 1.

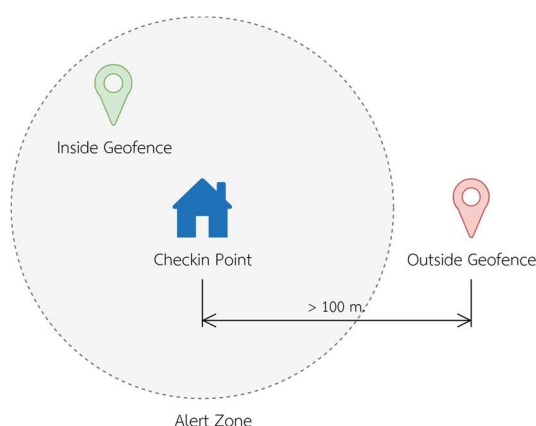


Figure 1. Operational Workflow of Geofencing Technology

3.2 การพัฒนาด้วยสถาปัตยกรรมโลว์โค้ด (Low-Code Architecture)

แพลตฟอร์มโลว์โค้ดเป็นเครื่องมือเชิงกลยุทธ์ที่ช่วยลดระยะเวลาการพัฒนาซอฟต์แวร์และเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับตัวของระบบให้สอดคล้องกับความต้องการเฉพาะทางขององค์กร (Rokis & Kirikova, 2023) แนวทางนี้ช่วยข้ามขีดจำกัดด้านทักษะการเขียนโปรแกรมขั้นสูง โดยเปิดโอกาสให้บุคลากรในระดับปฏิบัติการสามารถออกแบบและสร้างระบบช่วยเหลือการทำงานที่มีความซับซ้อนได้ด้วยตนเอง (Brünningshaus & Röcker, 2022)

ในมุมมองเชิงวิศวกรรมซอฟต์แวร์ สถาปัตยกรรมโลว์โค้ดมีจุดเด่นด้าน Agility และ Rapid Prototyping แต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดในด้านการควบคุมตรรกะเชิงลึก (Low-Level Control) และการจัดการข้อมูลเชิงซ้อนขนาดใหญ่

ในบริบทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในประเทศไทย แพลตฟอร์ม Google AppSheet ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพสูงในการจัดการข้อมูลภาคสนามและบูรณาการฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ผ่านระบบคลาวด์ ซึ่งช่วยให้การประมวลผลและแสดงผลพิกัดบนแผนที่ทำได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ (Ngamsong et al., 2021; O-In, 2024)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่มีอยู่ยังมุ่งเน้นการใช้งานในลักษณะ standalone application โดยขาดการออกแบบสถาปัตยกรรมที่รองรับการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่แบบเรียลไทม์และการขยายตัวของระบบในระดับองค์กร (Enterprise Scalability)

3.3 ช่องว่างการวิจัยและคุณูปการ (Research Gap & Contributions)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงใน Table 1. ชี้ให้เห็นถึงช่องว่างทางสถาปัตยกรรมที่สำคัญ กล่าวคือ ระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันยังมีลักษณะแยกส่วนการทำงานระหว่างความคล่องตัวของแพลตฟอร์มโลว์โค้ดกับความแม่นยำของเทคโนโลยีจีโอเฟนซิง แม้จะมีการพัฒนาระบบคลาวด์ออนไลน์เพื่อใช้งานในองค์กรอย่างแพร่หลาย แต่ระบบดังกล่าวยังคงขาดคุณลักษณะการติดตามพิกัดเชิงพื้นที่แบบบูรณาการ (Sarawan et al., 2023) ในทางกลับกัน นวัตกรรมที่มุ่งเน้นความแม่นยำด้านจีโอเฟนซิงมักพึ่งพากระบวนการเขียนโปรแกรมแบบดั้งเดิม ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนการพัฒนาที่สูง มีความซับซ้อนเชิงเทคนิค และขาดความยืดหยุ่นในการปรับแต่งให้สอดคล้องกับบริบทของงานบริหารทรัพยากรบุคคล (Patil et al., 2025; Shevchenko & Reips, 2024)

Table 1. Comparison of Related Works and the Proposed Architecture

References	Low-Code Platform	Geofencing Technology	Data Scalability	Public Sector Context	Key Limitations of Previous Works
Sarawan et al. (2023)	Yes	No	No	Yes	Lacks dynamic spatial tracking features.
Rokis & Kirikova (2023)	Yes	No	Partial	No	Conceptual framework without LBS focus.
Patil et al. (2025)	No	Yes	No	No	High implementation cost with traditional App.
Shevchenko & Reips (2024)	No	Yes	Yes	No	Complex integration, not designed for HR.
This Study (2026)	Yes	Yes	Yes	Yes	Addresses integration and scalability gaps.

เมื่อพิจารณาในเชิงการสังเคราะห์องค์ความรู้ สามารถจำแนกแนวทางการพัฒนาระบบออกเป็นสองกระบวนการหลัก ได้แก่ (1) แนวทางที่เน้นความยืดหยุ่นของแพลตฟอร์มโลว์โค้ด และ (2) แนวทางที่เน้นความแม่นยำของระบบจีโอเฟนซิง อย่างไรก็ตาม ทั้งสองแนวทางยังคงดำเนินไปอย่างแยกส่วน ส่งผลให้ระบบที่พัฒนาขึ้นไม่สามารถตอบสนองทั้งด้านความคล่องตัว ความแม่นยำ และความสามารถในการขยายตัวได้พร้อมกัน

นอกจากนี้ กรอบแนวคิดการพัฒนาแบบโลว์โค้ดที่มีอยู่เดิมยังขาดการออกแบบโครงสร้างข้อมูลรองรับความสามารถในการขยายระบบ (Scalability) อย่างเป็นระบบ ทำให้สูญเสียศักยภาพในการนำชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ไปต่อยอดด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล (Data mining) เพื่อการวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการปฏิบัติงานในอนาคต (Rokis & Kirikova, 2023)

ดังนั้น ช่องว่างการวิจัยที่สำคัญจึงอยู่ที่การออกแบบสถาปัตยกรรมแบบบูรณาการ (Integrated Architecture) ที่สามารถเชื่อมโยงความสามารถของโลว์โค้ดเข้ากับตรรกะจีโอเฟนซิง พร้อมทั้งรองรับข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมจริง เช่น ความหน่วงของเครือข่ายและความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ GPS

งานวิจัยนี้จึงมุ่งปิดช่องว่างดังกล่าวด้วยการนำเสนอสถาปัตยกรรมบูรณาการที่ผสานความยืดหยุ่นของโลว์โค้ดเข้ากับ ความแม่นยำของจีโอเฟนซิง พร้อมทั้งวางรากฐานโครงสร้างข้อมูลให้รองรับการขยายตัว ตอบโจทย์การใช้งานในบริบทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้อย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน

โดยคุณูปการของงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้เป็น 3 ประการ ได้แก่ (1) การออกแบบสถาปัตยกรรมสามชั้นที่รองรับการประมวลผลเชิงพื้นที่แบบเรียลไทม์ (2) การพัฒนาไกด์ตรวจสอบพิกัดที่ทนทานต่อข้อผิดพลาดของสัญญาณ (Error-Tolerant Geolocation Validation) และ (3) การวางโครงสร้างข้อมูลที่รองรับการขยายระบบและการวิเคราะห์ข้อมูลในอนาคต

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

สถาปัตยกรรมของระบบถูกออกแบบภายใต้โครงสร้างสถาปัตยกรรมสามระดับ (Three-Tier Architecture) ซึ่งเป็นแนวทางเชิงสถาปัตยกรรมที่ช่วยแยกความรับผิดชอบของระบบ (Separation of Concerns) อย่างชัดเจนระหว่างส่วนติดต่อผู้ใช้ ตรรกะการประมวลผล และการจัดเก็บข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่บนแพลตฟอร์มโลว์โค้ดให้มีเสถียรภาพและรองรับการขยายตัวในอนาคต รวมทั้งลดภาระการประมวลผลบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ และเพิ่มความสามารถในการบำรุงรักษาระบบ (Maintainability) ดังแสดงใน Figure 2. โดยมีรายละเอียดการออกแบบเชิงหน้าที่ดังนี้

4.1 ชั้นการนำเสนอ (Presentation Layer)

ส่วนติดต่อผู้ใช้ถูกพัฒนาผ่านแพลตฟอร์ม Google AppSheet เพื่อทำหน้าที่เป็นจุดปฏิสัมพันธ์หลักบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยระบบจะรับพิกัดภูมิศาสตร์ทั้งละติจูดและลองจิจูดจากเซนเซอร์ระบุตำแหน่งของสมาร์ทโฟนแบบเรียลไทม์ พร้อมประมวลผลการแสดงผลสถานะการลงเวลาปฏิบัติงานผ่านส่วนแสดงผลที่ออกแบบมาเพื่อความคล่องตัวของผู้ใช้งานภาคสนาม

นอกจากนี้ ชั้นการนำเสนอยังถูกออกแบบให้รองรับการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นของข้อมูล (Input Validation) เช่น การตรวจสอบค่าพิกัดที่เป็นค่าว่าง (Null) หรือค่าที่อยู่นอกช่วงที่เป็นไปได้ เพื่อป้องกันการส่งข้อมูลที่ผิดพลาดเข้าสู่ชั้นตรรกะทางธุรกิจ ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบโดยรวม (Data Reliability)

4.2 ชั้นตรรกะทางธุรกิจ (Business Logic Layer)

ตรรกะการประมวลผลหลักอาศัยอัลกอริทึมสูตร Haversine ในการคำนวณระยะทางบนผิวโลกที่มีความโค้งระหว่างตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้กับจุดศูนย์กลางของขอบเขตเสมือน (Al Farisi et al., 2023) โดยระบบจะทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางที่คำนวณได้ (d) กับรัศมีพื้นที่ปฏิบัติงานที่กำหนด (r) ผ่านกลไก AppSheet Expression

ในเชิงตรรกะการตัดสินใจ (Decision Logic) ระบบสามารถนิยามเงื่อนไขได้ในรูปแบบฟังก์ชันเชิงตรรกะดังนี้ หาก $d \leq r$ ระบบจะถือว่าผู้ใช้งานอยู่ภายในขอบเขต (Inside Geofence) และอนุญาตให้ดำเนินการบันทึกเวลา แต่หาก $d > r$ ระบบจะปฏิเสธการทำการและแจ้งเตือนผู้ใช้งานให้ปรับปรุงพิกัดใหม่ หากผลลัพธ์ของระยะทาง (d) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับรัศมีที่กำหนด (r) ระบบจะกระตุ้นกระบวนการทำงานอัตโนมัติ (Automation Workflow) เพื่อบันทึกธุรกรรมและส่งการแจ้งเตือนทันที ซึ่งอัลกอริทึมดังกล่าวมีรายละเอียดดัง สมการ (1)

$$d = 2R \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

โดยที่ d คือ ระยะทางระหว่างสองจุด

R คือ รัศมีของโลก (โดยประมาณ 6,371 กิโลเมตร)

ϕ_1, ϕ_2 คือ ละติจูดของจุดที่ 1 และ 2 (หน่วยเป็นเรเดียน)

$\Delta\phi$ คือ ความแตกต่างของละติจูด ($\phi_2 - \phi_1$)

$\Delta\lambda$ คือ ความแตกต่างของลองจิจูด ($\lambda_2 - \lambda_1$)

เพื่อเพิ่มความทนทานของระบบ (Robustness) ต่อสถานะจริงที่มีความไม่แน่นอนของสัญญาณ GPS ระบบยังรวมกลไกจัดการข้อผิดพลาด (Error-Handling Mechanism) เช่น การตรวจสอบค่าความแม่นยำของพิกัด (Location Accuracy) และการปฏิเสธค่าที่มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินเกณฑ์ที่กำหนด ก่อนเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจเชิงตรรกะ ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงของการบันทึกข้อมูลที่ไม่ถูกต้องในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวน (Shevchenko & Reips, 2024)

4.3 ชั้นข้อมูล (Data Layer)

การจัดการฐานข้อมูลใช้โครงสร้างของ Google Sheets เพื่อจัดเก็บข้อมูลตามหลักการแบบจำลองความสัมพันธ์ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มตารางข้อมูลหลัก ได้แก่ ขอบเขตพื้นที่อ้างอิง ประวัติการบันทึกเวลา และข้อมูลบุคลากร โครงสร้างข้อมูลถูกออกแบบให้รองรับการขยายตัว (Scalability) โดยแยกตารางข้อมูลเชิงธุรกรรม (Transactional Data) ออกจากข้อมูลอ้างอิง (Reference Data) อย่างชัดเจน เพื่อลดความซ้ำซ้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงข้อมูล (Query Performance)

การออกแบบสถาปัตยกรรมที่แยกส่วนชั้นข้อมูลออกจากชั้นประมวลผลช่วยลดภาระการทำงานของระบบ และรักษาความสมบูรณ์ของข้อมูลตำแหน่งที่มีความถี่สูงได้แม้ในสถานะที่เครือข่ายมีข้อจำกัด

นอกจากนี้ การจัดเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์ยังเอื้อต่อการบูรณาการกับระบบอื่นในอนาคต (เช่น HR Systems, Analytics Platforms) ผ่านมาตรฐาน API ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาระบบในระดับองค์กร (Enterprise Integration)

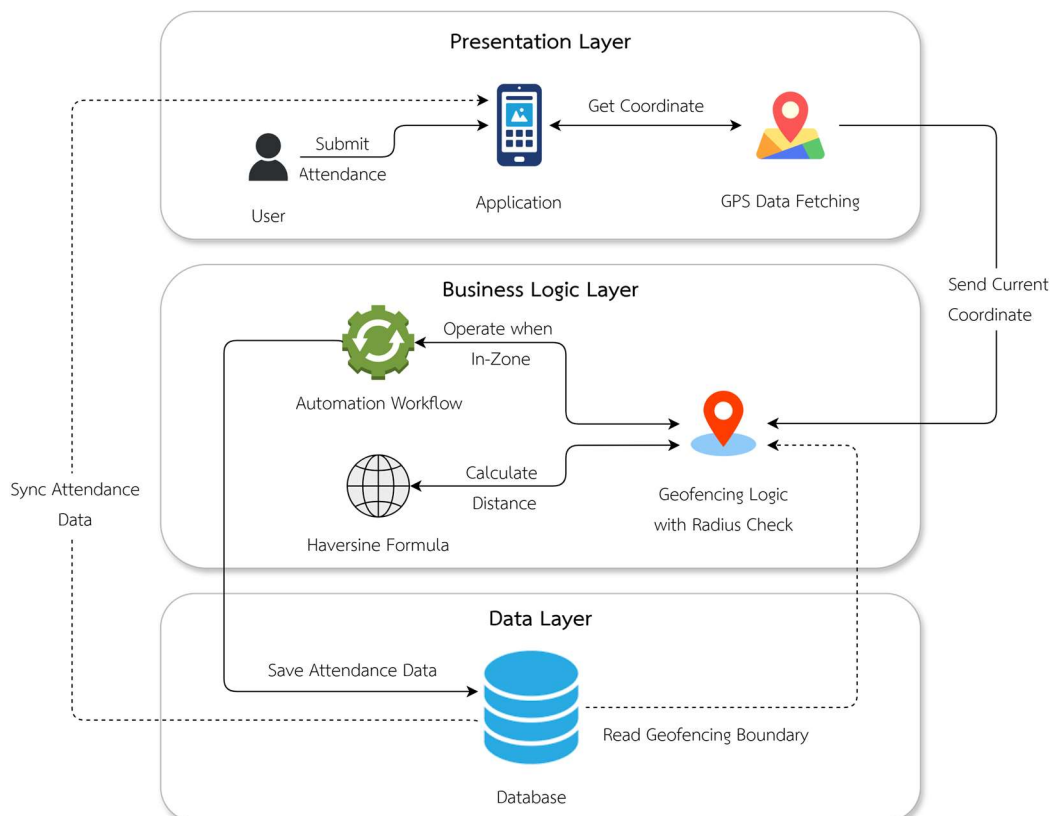


Figure 2. Three-Tier Low-Code Geofencing Architecture

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้วงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) แบบอไจล์ (Agile) ควบคู่กับการประเมินผลเชิงประจักษ์ เพื่อให้สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์มีความยืดหยุ่นและสามารถตอบสนองต่อข้อกำหนดทางกายภาพได้อย่างรวดเร็ว โดยกระบวนการวิจัยถูกออกแบบให้มีลักษณะเชิงวิศวกรรมทดลอง (Engineering-Oriented Experimental Design) เพื่อให้สามารถทำซ้ำได้ (Reproducibility) และตรวจสอบได้เชิงประจักษ์ โดยมีขั้นตอนทางวิศวกรรมดังนี้

5.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System Analysis and Design)

การออกแบบสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ดเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ข้อกำหนดระบบ (System Requirements) ซึ่งประกอบด้วยข้อกำหนดด้านหน้าที่ (Functional Requirements) ได้แก่ การยืนยันตัวตนผ่าน Google Authentication การตรวจสอบพิกัดเชิงพื้นที่แบบเรียลไทม์ และการแจ้งเตือนอัตโนมัติ ควบคู่กับข้อกำหนดด้านสมรรถนะ (Non-Functional Requirements) ที่เน้นความสามารถในการขยายผล (Scalability) ระบบบนคลาวด์ การรักษาความปลอดภัยผ่านโปรโตคอล HTTPS (OAuth 2.0) และเวลาตอบสนองของระบบ (System Response Time) ในกระบวนการตั้งพิกัดและประมวลผลที่ต้องทำงานให้แล้วเสร็จภายใน 3 วินาที นอกจากนี้ ได้มีการกำหนดเกณฑ์เชิงปริมาณ (Quantitative Criteria) สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบล่วงหน้าอย่างเป็นระบบ เช่น ระยะเวลาตอบสนอง (≤ 3 วินาที) และความถูกต้องของเงื่อนไขเชิงตรรกะของกลไกจีโอเฟนซิง ซึ่งทำหน้าที่เป็น Baseline สำหรับการทดสอบเชิงหน้าที่ (Functional Testing) ในขั้นตอนถัดไปและได้นำข้อกำหนดดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองพฤติกรรมการทำงานของซอฟต์แวร์วัตถุผ่านภาษา UML เพื่อลดความซ้ำซ้อนและเพิ่มความแม่นยำในการบูรณาการระบบอัตโนมัติ (Tang et al., 2021) ดังนี้

5.1.1 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram)

การออกแบบภายใต้หลักการสืบทอดคุณสมบัติ (Actor Generalization) เพื่อลดความซ้ำซ้อนของกระบวนการเข้าสู่ระบบ โดยจำแนกสิทธิ์การใช้งานออกเป็น 4 บทบาทหลัก ได้แก่

- พนักงาน มีหน้าที่ลงเวลาปฏิบัติงาน โดยมีการตรวจสอบความปลอดภัยของเซสชัน ตรวจสอบพิกัดตำแหน่ง และส่งอีเมลแจ้งเตือนอัตโนมัติ (<<include>>) และระบบอาจแจ้งเตือนหากพิกัดผิดเงื่อนไข (<<extend>>)
- เจ้าหน้าที่ฝ่ายบุคคล ทำหน้าที่จัดการข้อมูลพิกัดจีโอเฟนซิงโดยผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดก่อนเสมอ (<<include>>)
- หัวหน้าแผนก ทำหน้าที่ประเมินรายงานสรุปและส่งออกข้อมูลได้ตามต้องการ (<<extend>>)
- ผู้ดูแลระบบ ทำหน้าที่จัดการข้อมูลหลัก

โครงสร้างดังกล่าวช่วยให้สามารถแยกบทบาทเชิงหน้าที่ (Functional Separation) และลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัยของข้อมูล (Security Risk Mitigation) ได้อย่างเป็นระบบ ดังแสดงใน Figure 3.

5.1.2 แผนภาพคลาส (Class Diagram)

ดำเนินการใช้ความสัมพันธ์แบบรวมกลุ่ม (Aggregation) ระหว่างองค์กรและผู้ใช้งานเพื่อรักษาความยืดหยุ่นเชิงโครงสร้าง โดยคลาสข้อมูลการลงเวลา (AttendanceRecord) ถูกออกแบบให้แยกจัดเก็บค่าละติจูดและลองจิจูดอย่างชัดเจน พร้อมกำกับความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อกลุ่ม (One-to-Many) เพื่อรักษาความสมบูรณ์ของข้อมูล (Data Integrity)

นอกจากนี้ โครงสร้างข้อมูลดังกล่าวยังถูกออกแบบให้รองรับการขยายตัว (Data Scalability) และสามารถต่อยอดสู่การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Analytics) ในอนาคตได้ ดังแสดงใน Figure 4.

5.1.3 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงาน (Sequence Diagram)

การปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ โดยจำแนกตรรกะการตัดสินใจออกเป็น 2 เส้นทางหลัก ได้แก่ เส้นทางปกติ และ เส้นทางจัดการข้อผิดพลาด ในกรณีจัดการข้อผิดพลาด ระบบจะใช้ค่าความแม่นยำ (Accuracy) จาก Geolocation API เป็นตัวแปรเชิงเงื่อนไขเพิ่มเติม เพื่อกำหนดข้อมูลพิกัดที่มีความคลาดเคลื่อนสูง (High Positional Uncertainty) ก่อนการบันทึกธุรกรรมแนวทางดังกล่าวช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Data Reliability) ภายใต้ข้อกำหนดของสภาพแวดล้อมจริง เช่น สัญญาณ GPS ที่ไม่เสถียร ดังแสดงใน Figure 5.

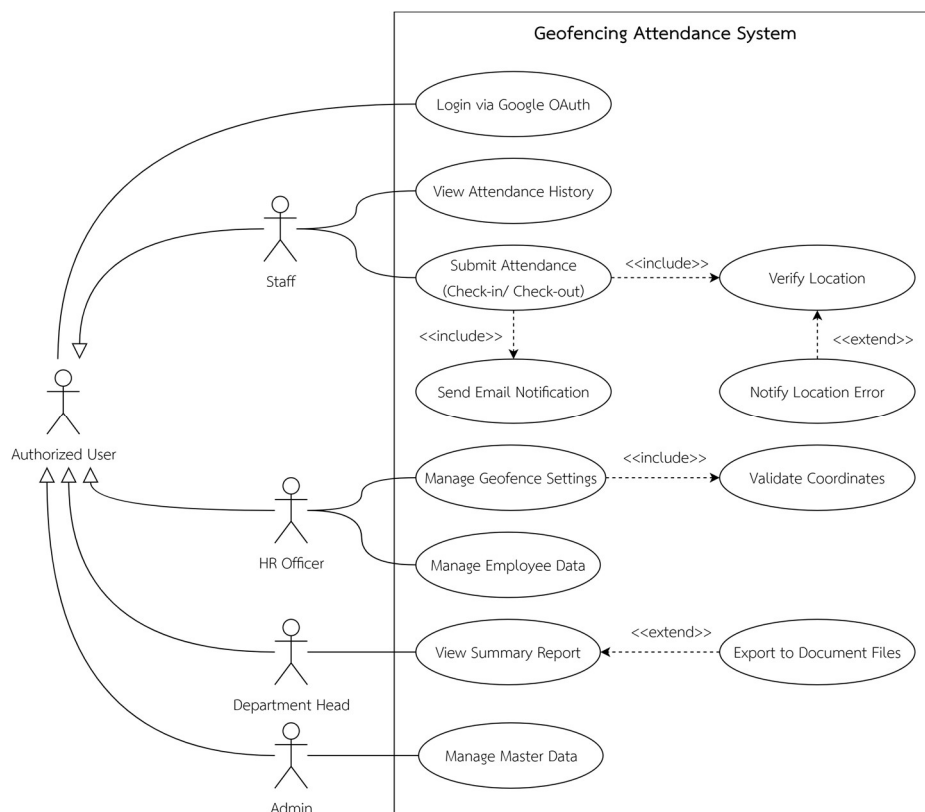


Figure 3. Use Case Diagram of the Geofencing Attendance System

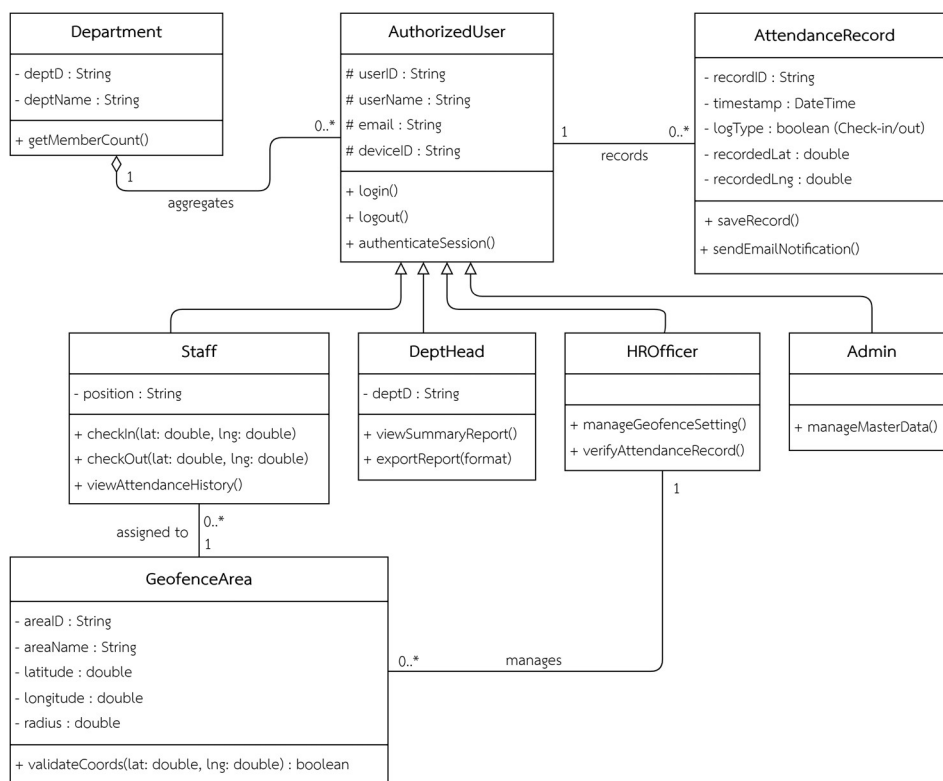


Figure 4. Class Diagram of the Geofencing Attendance System

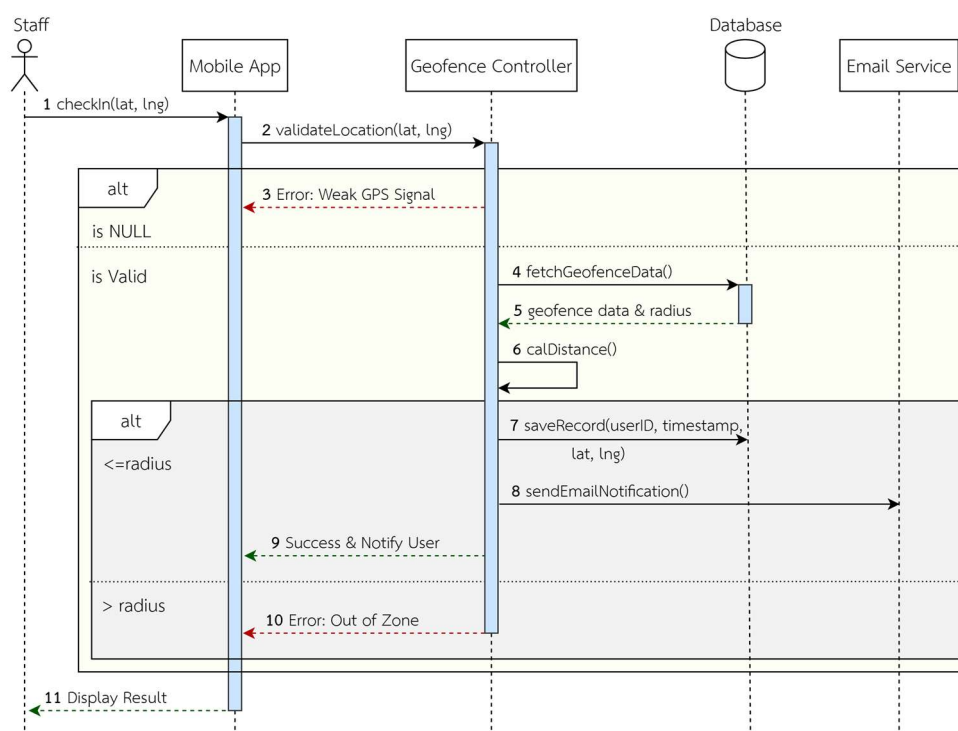


Figure 5. Sequence Diagram of the Geofencing Attendance System

5.2 การพัฒนาระบบ (System Development)

การพัฒนาระบบดำเนินการภายใต้สถาปัตยกรรมโลว์โค้ด โดยใช้แพลตฟอร์ม Google AppSheet ทำหน้าที่เป็นส่วนแสดงผลและตัวควบคุมตรรกะ (Front-end & Logic Controller) ทำงานร่วมกับฐานข้อมูล Google Sheets (Back-End) และ Geolocation API การเลือกใช้สถาปัตยกรรมดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความคล่องตัวในการพัฒนา (Development Agility) และลดต้นทุนการพัฒนาเมื่อเทียบกับ Traditional Coding Approaches (Rokis & Kirikova, 2023) โดยมีกระบวนการทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์ 3 ขั้นตอน ได้แก่

5.2.1 การสร้างชั้นข้อมูล (Data Layer Implementation)

โครงสร้างจาก Class Diagram ถูกแปลงเป็นตารางฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) บน Google Sheets โดยประกอบด้วยข้อมูลหลัก ได้แก่ ข้อมูลบุคลากร (AuthorizedUser) และพิกัดขอบเขต (Geofence) รวมถึงข้อมูลธุรกรรม (Transaction Data) เช่น ตารางบันทึกเวลา (AttendanceRecord) เพื่อเป็นโครงสร้างพื้นฐานในการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ โครงสร้างฐานข้อมูลถูกออกแบบให้รองรับการ Query แบบเรียลไทม์ และลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Data Redundancy Minimization)

5.2.2 การพัฒนาลอจิกไจโอเฟนซิง (Geofencing Logic Control)

ระบบดำเนินการสร้างคอลัมน์เสมือน (Virtual Column) เพื่อรับค่าพิกัดแบบเรียลไทม์ โดยใช้ฟังก์ชัน DISTANCE() โดยตรรกะการตัดสินใจถูกกำหนดในรูปแบบเงื่อนไขเชิงคณิตศาสตร์ ($d \leq r$) ซึ่ง d คือระยะทางที่คำนวณจาก Haversine Formula และ r คือรัศมีของพื้นที่ที่กำหนด นอกจากนี้ ระบบยังมีการจัดการข้อผิดพลาด (Error Handling Mechanism) เช่น การตรวจจ็ค่า NULL และการกรองค่าพิกัดที่มีความคลาดเคลื่อนสูง เพื่อป้องกันการบันทึกข้อมูลที่ไม่ถูกต้องในสถานะสัญญาณไม่เสถียร ดังตัวอย่างนิพจน์ใน Figure 6(a).

5.2.3 การบูรณาการระบบอัตโนมัติ (Workflow Automation)

การพัฒนาระบบการตอบสนองอัตโนมัติ (Automation Bot) ตามลำดับใน Sequence Diagram โดยกำหนดตัวกระตุ้น (Trigger) ให้ทำงานทันทีเมื่อบันทึกเวลาสำเร็จ ระบบจะเรียกใช้ฟังก์ชันผ่าน Gmail API เพื่อส่งหลักฐานและพิกัดไปยังพนักงานและหัวหน้าแผนกโดยอัตโนมัติ เพื่อยืนยันความถูกต้อง ดังแสดงการตั้งค่าใน Figure 6(b). การประยุกต์ใช้

สถาปัตยกรรมดังกล่าว ไม่เพียงช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนา แต่ยังทำให้ระบบมีเสถียรภาพและสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ (Traceability) ตามมาตรฐานสากลของการพัฒนาระบบสารสนเทศระดับองค์กร กระบวนการ Automation ถูกออกแบบให้ทำงานแบบ Event-Driven Architecture ซึ่งช่วยลด Latency และเพิ่มความสามารถในการตอบสนองแบบ Near Real-Time

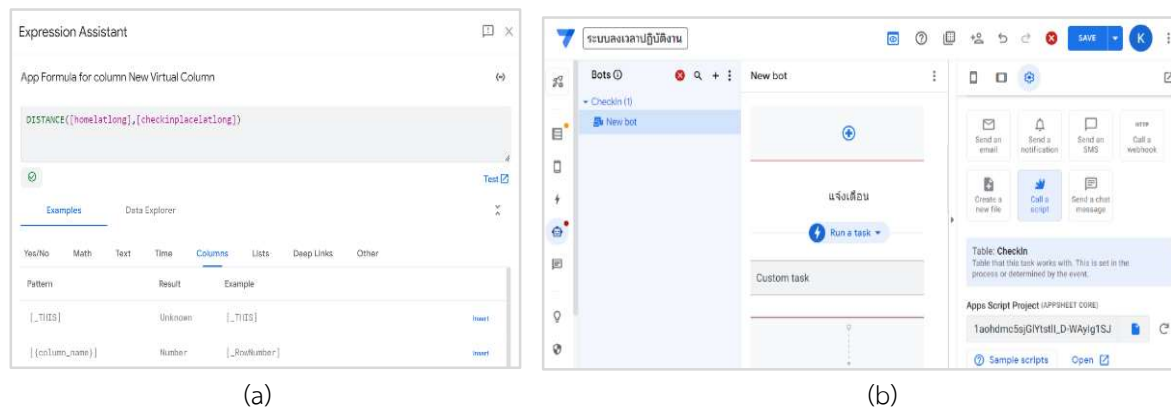


Figure 6. System Implementation on the Google AppSheet Platform: (a) Geofencing Logic Configuration via Virtual Column Expressions, and (b) Automated Workflow Setup for Real-Time Email Notifications

5.3 การทดสอบและการประเมินประสิทธิภาพ (System Testing and Evaluation)

งานวิจัยนี้เพื่อรับรองมาตรฐานของสถาปัตยกรรมระบบ ได้มีการดำเนินการทดสอบเชิงเทคนิคควบคู่กับการประเมินเชิงประจักษ์อย่างเป็นระบบ โดยกรอบการประเมิน ถูกออกแบบให้ครอบคลุมทั้งการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุม (Controlled Testing) และการทดสอบภาคสนาม (Field Testing) เพื่อสะท้อนสมรรถนะของระบบในบริบทการใช้งานที่แตกต่างกันอย่างเหมาะสม

5.3.1 การทดสอบเชิงหน้าที่ (System Functional Testing)

ดำเนินการด้วยเทคนิค Black-Box Testing (Pressman & Maxim, 2020) การทดสอบถูกดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม (Controlled Environment) โดยกำหนด Test Cases จำนวน 25 รายการ และดำเนินการทดสอบซ้ำในหลายรอบ (Multiple Iterations) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ผลการทดสอบถูกรายงานในรูปแบบ “อัตราความสำเร็จของ Test Cases (Test Case Success Rate)” แทนการใช้คำว่า Accuracy เพื่อสะท้อนลักษณะของการประเมินเชิงฟังก์ชันอย่างเหมาะสม

5.3.2 การประเมินผลเชิงประจักษ์จากผู้ใช้จริง (Empirical User Evaluation)

การประเมินผลดำเนินการในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง โดยกำหนดกลุ่มประชากรจำนวน 80 คน และคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน ซึ่งขนาดตัวอย่างดังกล่าวจัดอยู่ในระดับการศึกษานำร่อง (Pilot Study) ที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบระบบต้นแบบในบริบทของวิศวกรรมซอฟต์แวร์เชิงประยุกต์ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า (Likert Scale) นอกเหนือจากการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ยังมีการพิจารณาความสอดคล้องของคำตอบ (Response Consistency) เพื่อสะท้อนความน่าเชื่อถือของพฤติกรรมการตอบแบบสอบถามในระดับผู้ใช้งานจริง ทั้งนี้ การตีความผลการประเมินเชิงประจักษ์ได้ดำเนินการภายใต้บริบทของข้อจำกัดในสภาพแวดล้อมจริง เช่น ความเสถียรของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและคุณภาพของสัญญาณ GPS ซึ่งอาจส่งผลต่อประสบการณ์การใช้งานและความแม่นยำของระบบ เพื่อหลีกเลี่ยงการสรุปผลเกินขอบเขต (Overgeneralization) และเพิ่มความรอบคอบในการตีความผลลัพธ์เชิงวิจัย

6. ผลการวิจัย (Results)

6.1 ผลการออกแบบและพัฒนาสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ดที่บูรณาการตรรกะเชิงพื้นที่และรองรับการทำงานแบบเรียลไทม์

ผลการพัฒนาระบบลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ด้วยสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด พบว่าระบบสามารถทำงานได้สอดคล้องตามข้อกำหนดเชิงหน้าที่ (Functional Requirements) โดยมีรายละเอียดการทำงานเชิงเทคนิคดังนี้ โดยผลลัพธ์ที่รายงานในส่วนนี้สะท้อนการทำงานของระบบทั้งในสภาวะการควบคุม (Controlled Conditions) และการใช้งานจริง (Field Conditions) เพื่อให้เห็นภาพสมรรถนะของระบบอย่างรอบด้าน

6.1.1 ผลการออกแบบส่วนการควบคุมการเข้าถึงและจัดการข้อมูลหลัก ในชั้นข้อมูลและชั้นการนำเสนอ (Data and Presentation Tiers for Access Control and Data Management)

ระบบมีการจำแนกสิทธิ์ผู้ใช้งาน (Authorization) ผ่านการยืนยันตัวตนด้วย Google Account โดยแสดงเมนูการใช้งานตามบทบาท (Role-Based Access Control) ผู้ดูแลระบบและเจ้าหน้าที่ฝ่ายบุคคลสามารถจัดการฐานข้อมูลพนักงาน และกำหนดขอบเขตพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยการระบุพิกัดละติจูดและลองจิจูดร่วมกับการกำหนดรัศมี เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการตรวจสอบพิกัดพนักงาน ดังแสดงใน Figure 7. โครงสร้างดังกล่าวช่วยให้การควบคุมสิทธิ์และการจัดการข้อมูลมีความยืดหยุ่น พร้อมทั้งรองรับการขยายตัวของจำนวนผู้ใช้งานในระดับองค์กร

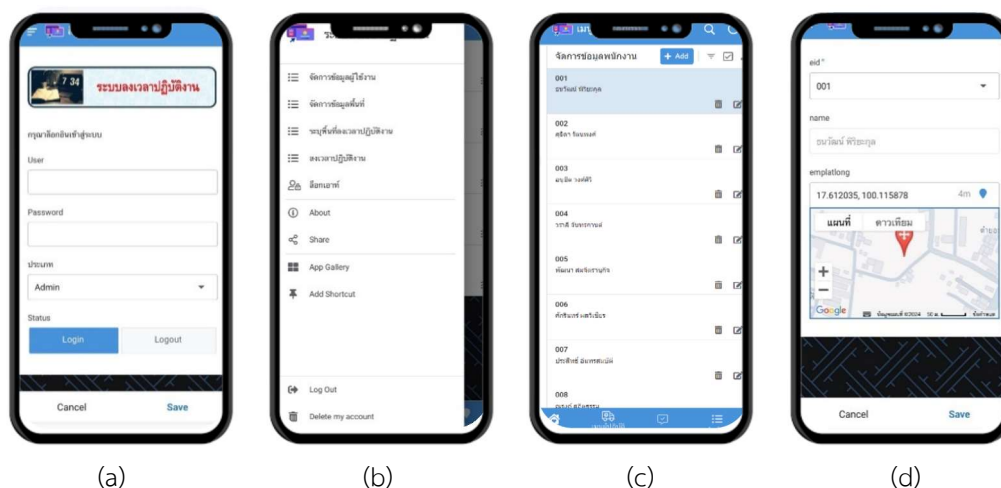


Figure 7. User Authentication and Administrative Management Interfaces: (a) Login Screen with Role Selection, (b) Main Menu Based on Authorization, (c) Employee Data Management, and (d) Geofence Coordinate Configuration

6.1.2 ผลการพัฒนตรรกะเชิงพื้นที่และการลงเวลาปฏิบัติงานแบบเรียลไทม์ ในชั้นตรรกะทางธุรกิจ (Spatial Logic and Real-Time Attendance in Business Logic Tier)

เมื่อพนักงานเข้าสู่พื้นที่ปฏิบัติงานที่กำหนด ระบบจะเรียกใช้ฟังก์ชันตรวจสอบพิกัดปัจจุบันเปรียบเทียบกับขอบเขตเสมือนแบบเรียลไทม์ หากตรงตามเงื่อนไขตรรกะจีโอเฟนซิง ระบบจะดำเนินการบันทึกข้อมูลเวลา (Timestamp) พร้อมส่งการแจ้งเตือน (Push Notification) และหลักฐานการลงเวลาผ่าน Gmail API ไปยังผู้เกี่ยวข้องทันที ดังแสดงใน Figure 8. นอกจากนี้ ระบบยังมีการตรวจสอบค่าความสมบูรณ์ของข้อมูลพิกัด (Data Validation) ก่อนการบันทึก เพื่อป้องกันกรณีค่าพิกัดไม่สมบูรณ์หรือสัญญาณ GPS ขาดหายชั่วคราว นอกจากนี้ ระบบยังสามารถประมวลผลข้อมูลเป็นรายงานสรุปและแสดงพิกัดย้อนหลังบนแผนที่ เพื่อความโปร่งใสในกระบวนการตรวจสอบขององค์กร ซึ่งช่วยสนับสนุนการตรวจสอบย้อนหลัง (Traceability) และเพิ่มความโปร่งใสในการบริหารจัดการบุคลากร

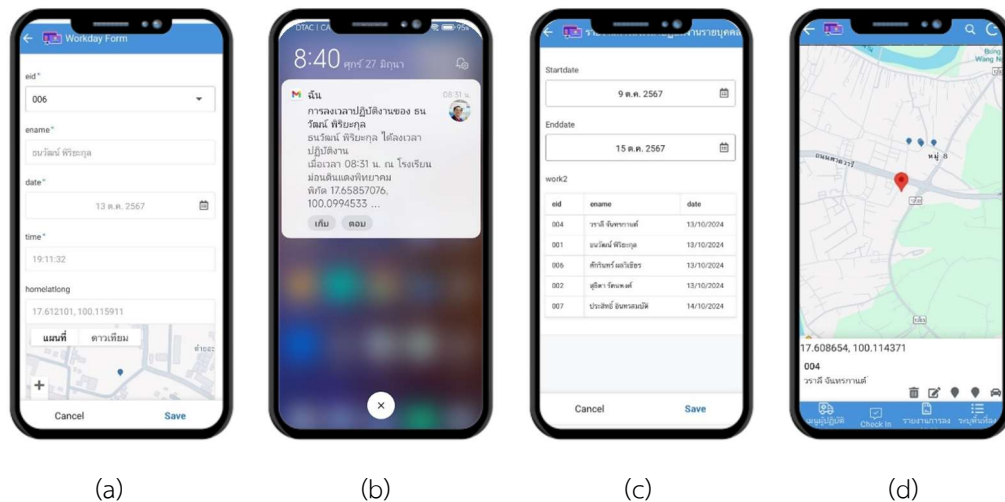


Figure 8. Operational Workflow for Location-Based Attendance: (a) Real-Time Geofencing Check-In, (b) Automated Email Notification with Location Link, (c) Historical Attendance Summary, and (d) Spatial Verification of Recorded Timestamps

6.2 ผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพเชิงหน้าที่ของระบบด้วยเทคนิคกล่องดำ (Black-Box Testing)

การประเมินความถูกต้องของตรรกะการทำงานใช้เทคนิคการทดสอบแบบกล่องดำ (Black-Box Testing) ตามมาตรฐานวิศวกรรมซอฟต์แวร์ (Pressman & Maxim, 2020) เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ที่ตอบสนองต่อการป้อนข้อมูล การทดสอบครอบคลุม 5 โมดูลหลัก ได้แก่ 1) การยืนยันตัวตนเข้าสู่ระบบ 2) การลงเวลาเข้างานอิงพิกัด 3) การลงเวลาออกงาน 4) ระบบส่งอีเมลแจ้งเตือนอัตโนมัติ และ 5) การประมวลผลรายงานสรุป โดยมีตัวแทนผู้ใช้งานจำนวน 5 ราย ร่วมทดสอบตามสถานการณ์จำลอง (Test Cases) รวมทั้งสิ้น 25 รายการทดสอบ ผลการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม (Controlled Environment) พบว่า ระบบสามารถดำเนินการได้ตรงตามผลลัพธ์ที่คาดหวังครบทั้ง 25 รายการ คิดเป็นอัตราความสำเร็จของกรณีทดสอบ (Test Case Success Rate) ร้อยละ 100 ดังแสดงใน Table 2.

อย่างไรก็ตาม คำดังกล่าวสะท้อนสมรรถนะของระบบภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่กำหนดเท่านั้น และไม่ควรถือความว่าเป็นความแม่นยำสมบูรณ์ในทุกสภาวะการใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม จากการเก็บข้อมูลเชิงประจักษ์ในการนำระบบไปทดลองใช้งานจริงในพื้นที่ภาคสนาม (Field Testing) พบว่า แม้ตรรกะซอฟต์แวร์จะมีความสมบูรณ์ แต่ความสำเร็จของการลงเวลา ยังคงแปรผันตามปัจจัยภายนอกอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะความเสถียรของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายในบางพื้นที่ของเทศบาลตำบลท่าเสา ซึ่งก่อให้เกิดความหน่วง (Network Latency) ในการเรียกใช้ Geolocation API ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการดิงพิกัด GPS ชั่วขณะ ในบางกรณีพบว่าผู้ใช้งานต้องทำรายการซ้ำเพื่อให้ระบบอัปเดตพิกัดที่มีความแม่นยำเพียงพอก่อนการบันทึก ซึ่งสะท้อนถึงข้อจำกัดของระบบที่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณภายนอก ทั้งนี้ ได้มีการออกแบบกลไกจัดการข้อผิดพลาด (Error Handling) เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น เช่น การตรวจสอบค่าพิกัดว่าง (NULL Checking) และการบังคับให้ผู้ใช้รีเฟรชตำแหน่งก่อนทำธุรกรรม

Table 2. System Functional Evaluation Results Based on Black-Box Testing

Test Module	Test Cases	Evaluators	Expected Output	Success Rate
1. User Authentication	5	All roles (N=5)	System grants access based on user roles	100%
2. Location-Based Check-in	5	Staff (N=2)	System accepts input only within Geofence	100%
3. System Check-out	5	Staff (N=2)	System records out-time and updates DB	100%
4. Automated Notification	5	Staff (N=2)	Email is triggered and sent successfully	100%
5. Dashboard & Reporting	5	Admin,HR,Head (N=3)	System displays accurate historical data	100%
Overall Performance	25	Total (N=5)	All core modules function correctly	100%

6.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริง ในลักษณะการศึกษาเชิงนำร่อง (Pilot Study) ด้วยสถิติเชิงพรรณนา

การประเมินผลเชิงประจักษ์จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 ราย โดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha) ที่ระดับ 0.85 (Hair et al., 2019) ซึ่งบ่งชี้ถึงความสอดคล้องภายในของเครื่องมือในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการศึกษานำร่อง (Pilot-Scale Study) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกตามรายด้าน ดังที่แสดงใน Table 3. พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อสถาปัตยกรรมระบบในระดับมากถึงมากที่สุด โดยด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security) ได้รับคะแนนประเมินเฉลี่ยสูงสุด นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์ในระดับรายข้อคำถาม พบว่าความรวดเร็วของระบบ (Mean = 4.70, S.D. = 0.46) ความถูกต้องและสิทธิการเข้าถึงข้อมูล (Mean = 4.60, S.D. = 0.49) ในทางกลับกัน ประเด็นด้านความสวยงามและความเข้าใ้จง่ายของส่วนติดต่อผู้ใช้ ได้รับคะแนนต่ำที่สุด (Mean = 3.85, S.D. = 0.59) ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับข้อสังเกตจากการทดสอบภาคสนามที่ชี้ให้เห็นว่าผู้ใช้งานบางส่วนยังต้องใช้ระยะเวลาในการปรับตัวต่อรูปแบบการใช้งานของระบบดิจิทัลและสะท้อนให้เห็นถึงโอกาสในการพัฒนาด้าน Usability ในอนาคต

Table 3. Summary of user satisfaction levels across four architectural dimensions.

Evaluation Dimensions	Mean	S.D.	Satisfaction Level
1. Performance	4.47	0.48	High
2. Functionality	4.47	0.49	High
3. Usability	4.18	0.64	High
4. Security	4.57	0.68	Very High
Overall Average	4.39	0.57	High

6.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพเปรียบเทียบเชิงความคุ้มค่าของทรัพยากร

การประเมินความคุ้มค่าเชิงทรัพยากรดำเนินการโดยเปรียบเทียบระหว่างสถาปัตยกรรมใหม่กับรูปแบบการทำงานเดิม จากการสุ่มข้อมูลพนักงานภาคสนามจำนวน 5 ราย ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ลดเวลา Check-In จาก 10 นาที เหลือ 1 นาที (~90%) ลดเวลาสรุปรายงานจาก 1-2 วัน เหลือ 5 นาที อย่างไรก็ตาม ค่าการลดลงดังกล่าวเป็นการประเมินจากกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก และควรตีความในบริบทของการศึกษาเชิงนำร่อง (Pilot-Scale Evaluation) ในด้านต้นทุน ลดระยะทาง ~100 km/คน/เดือน ประหยัด ~400 บาท/เดือน

เมื่อทำการประมาณการเชิงขยายผล (Extrapolation) ไปยังพนักงานภาคสนาม 12 ราย พบว่า สามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้ประมาณ 4,800 บาทต่อเดือน อย่างไรก็ตาม การประมาณการดังกล่าวตั้งอยู่บนสมมติฐานของพฤติกรรมการทำงานที่สม่ำเสมอซึ่งอาจแตกต่างกันในบริบทขององค์กรอื่น ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ระบบมีศักยภาพในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ผลลัพธ์เชิงปริมาณยังควรได้รับการยืนยันเพิ่มเติมผ่านการศึกษาระยะยาวในระดับองค์กรขนาดใหญ่

Table 4. Comparative Efficiency Between the Traditional Method and the Proposed System

Comparison Metrics	Traditional Method	Proposed System	Outcome/Efficiency
LBS Support	No	Yes (Mobile-based)	Enhanced Mobility
Data Accuracy	Low (Manual write)	High (GPS Verified)	Higher Transparency
Check-in Time	10 Minutes	1 Minute	90% Time Reduction
Monthly Distance	~100 km	0 km	100 km saved
Monthly Fuel Cost	~400 THB	0 THB	100% Cost Saving
Reporting Time	1-2 Days	5 Minutes	Significant Speed-up

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

งานวิจัยนี้นำเสนอสถาปัตยกรรมระบบลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ด้วยเทคโนโลยีจีโอเฟนซิงบนแพลตฟอร์มโลว์โค้ด โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านความโปร่งใสและความคล่องตัวของบุคลากรในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงหน้าที่แบบกล่องดำ (Black-Box Testing) พบว่า ระบบสามารถบรรลุอัตราความสำเร็จของ

กรณีทดสอบ (Test Case Success Rate) ได้ร้อยละ 100 ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีการควบคุม ควบคู่กับผลการประเมินเชิงประจักษ์จากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานจริงที่ให้ระดับความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.39, S.D. = 0.57) โดยมีจุดเด่นสูงสุดด้านความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบภาคสนามสะท้อนให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบอาจแปรผันตามปัจจัยภายนอก เช่น ความเสถียรของเครือข่ายและคุณภาพสัญญาณ GPS นอกจากนี้ การประเมินความคุ้มค่าเชิงทรัพยากรยังยืนยันว่าสถาปัตยกรรมนี้สามารถลดภาระงานธุรการลงได้มากกว่าร้อยละ 90 และลดต้นทุนแฝงจากการเดินทางกลับมาลงเวลาที่สำนักงานได้อย่างเป็นรูปธรรม แม้ผลลัพธ์ดังกล่าวจะอยู่ในบริบทของการทดลองระดับนำร่อง (Pilot-Scale Implementation) ซึ่งถือเป็นการบรรลุวัตถุประสงค์การวิจัยในระดับหนึ่ง โดยงานวิจัยนี้ได้ส่งมอบองค์ความรู้และคุณูปการ (Contributions) ที่สำคัญใน 3 มิติ ดังนี้

7.1 มิติเชิงสถาปัตยกรรมวิศวกรรม (Architectural Framework)

งานวิจัยได้นำเสนอกรอบสถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบโลว์โค้ด (Low-Code Geofencing Architecture Framework) ซึ่งเป็นรูปแบบสถาปัตยกรรมที่บูรณาการการประมวลผลฟังก์ชันที่เข้ากับแพลตฟอร์มคลาวด์ โดยเน้นการฝังตรรกะจีโอเฟนซิงภายในชั้นประมวลผลของระบบโลว์โค้ดโดยตรง (Embedded Geofencing Logic) โครงสร้างนี้มีจุดเด่นในด้านการจัดการข้อผิดพลาดของสัญญาณ GPS และการออกแบบให้รองรับความไม่แน่นอนของข้อมูลตำแหน่ง (Error-Tolerant Geolocation Processing) สามารถใช้เป็นโครงสร้างต้นแบบ (Prototype) สำหรับนักพัฒนาซอฟต์แวร์ในการสร้างระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากร รวมทั้งเป็นพื้นฐานสำหรับการต่อยอดสู่สถาปัตยกรรมที่รองรับการขยายตัวในระดับองค์กร (Scalable Architecture)

7.2 มิติเชิงการบริหารจัดการภาครัฐ (Practical Governance)

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้เป็นนวัตกรรมต้นแบบสำหรับการขับเคลื่อนรัฐบาลดิจิทัลขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในประเทศไทย ช่วยขจัดปัญหาการลงเวลาแทนกัน ยกระดับความโปร่งใส และเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในกระบวนการตรวจสอบของฝ่ายทรัพยากรบุคคล โดยเฉพาะในบริบทของการปฏิบัติงานภาคสนามที่ต้องอาศัยความคล่องตัวสูง อย่างไรก็ตาม การนำไปใช้ในวงกว้างจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลและความพร้อมของบุคลากรในแต่ละหน่วยงานร่วมด้วย

7.3 มิติเชิงความคุ้มค่าด้านทรัพยากร (Empirical Cost Optimization)

ข้อมูลจากการทดสอบภาคสนามพิสูจน์ยืนยันว่า การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโลว์โค้ดร่วมกับบริการอิงตำแหน่งที่ตั้งสามารถลดต้นทุนแฝง (Hidden Costs) ด้านเชื้อเพลิง และลดต้นทุนการพัฒนาและบำรุงรักษาระบบ (TCO - Total Cost of Ownership) ได้อย่างมีนัยสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานในระดับหน่วยงานขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ถือเป็นโซลูชันที่สร้างความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ให้กับหน่วยงานภาครัฐได้อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม การประเมินผลในระยะยาวและในระดับองค์กรขนาดใหญ่ยังคงเป็นประเด็นที่ควรศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

8.1 การอภิปรายผลเชิงสถาปัตยกรรมและประสิทธิภาพ

จากการประเมินผลระบบลงเวลาปฏิบัติงานเชิงพื้นที่ด้วยเทคโนโลยีจีโอเฟนซิงบนสถาปัตยกรรมโลว์โค้ด พบประเด็นสำคัญที่สอดคล้องและต่อยอดจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

8.1.1 ประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่ง (LBS Precision)

ผลการทดสอบตรรกะจีโอเฟนซิง ภายใต้สภาวะการทดสอบที่มีการควบคุม (Controlled Conditions) แสดงอัตราความสำเร็จของกรณีทดสอบ (Test Case Success Rate) ร้อยละ 100 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าอัลกอริทึม Haversine ที่ประมวลผลร่วมกับเซนเซอร์ระบุตำแหน่งบนสมาร์ตโฟนมีสมรรถนะสูงในการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในบริบทการใช้งานจริง (Field Conditions) พบว่าประสิทธิภาพของระบบยังคงแปรผันตามปัจจัยภายนอก เช่น ความหน่วงของเครือข่าย (Network Latency) และความไม่เสถียรของสัญญาณ GPS ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการระบุตำแหน่งในบางช่วงเวลา

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Geofencing ยังคงเป็นกลไกสำคัญที่สามารถลดโอกาสของการลงเวลาเท็จ (Location Spoofing) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chauhan et al., 2024; Patil et al., 2025) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพดังกล่าวมิได้

ขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมเพียงอย่างเดียว แต่ยังสัมพันธ์กับคุณภาพของฮาร์ดแวร์และสภาพแวดล้อมการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Shevchenko & Reips (2024) ที่ชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดเชิงกายภาพของระบบระบุตำแหน่ง

ดังนั้น สถาปัตยกรรมระบบติดตามการลงเวลาแบบอิงพิกัด (Geolocation-Based Attendance) จึงสามารถยกระดับความโปร่งใสและประสิทธิภาพในการบริหารทรัพยากรบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญ (Gupta et al., 2025) แต่จำเป็นต้องออกแบบกลไกจัดการข้อผิดพลาดและรองรับความไม่แน่นอนของข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อให้ระบบมีความทนทาน (Robustness) ในระดับการใช้งานจริง

8.1.2 ความคล่องตัวของโลว์โค้ด (Low-Code Agility)

การพัฒนาสถาปัตยกรรมผ่านแพลตฟอร์ม Google AppSheet ช่วยลดระยะเวลาการพัฒนาระบบลงเมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมแบบดั้งเดิม (Traditional Coding) อีกทั้งยังช่วยลดภาระงานเอกสารของฝ่ายบุคคลได้อย่างเป็นรูปธรรม และแนวทางโลว์โค้ดยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการข้อมูลภาคสนามและเอื้อต่อการปรับปรุงกระบวนการทำงานแบบรวดเร็ว (Agile Process) (Ngamsong et al., 2021; Rokis & Kirikova, 2023)

อย่างไรก็ตาม แม้โลว์โค้ดจะมีข้อได้เปรียบด้านความเร็วและความยืดหยุ่นในการพัฒนา แต่ก็มีข้อจำกัดเชิงโครงสร้างในด้านการควบคุมตรรกะระดับต่ำ (Low-Level Control) และการปรับแต่งอัลกอริทึมขั้นสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบในบริบทที่มีความซับซ้อนสูง นอกจากนี้ การพึ่งพาแพลตฟอร์มสำเร็จรูป เช่น Google AppSheet และ Google Sheets อาจก่อให้เกิดข้อจำกัดด้าน Scalability และ Performance เมื่อมีการขยายระบบไปยังองค์กรขนาดใหญ่หรือมีปริมาณข้อมูลจำนวนมาก

ดังนั้น แม้สถาปัตยกรรมโลว์โค้ดจะเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร แต่ในระยะยาวอาจจำเป็นต้องพิจารณาการย้ายไปสู่สถาปัตยกรรมที่รองรับการประมวลผลแบบกระจาย (Distributed Systems) เพื่อรองรับการขยายตัวของข้อมูลและผู้ใช้

8.1.3 ความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล (Data Privacy)

ภายใต้ข้อกำหนดของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (PDPA) สถาปัตยกรรมนี้ได้รับการออกแบบให้ตั้งข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์เฉพาะขณะเกิดธุรกรรมการลงเวลาเท่านั้น โดยไม่มีการติดตามพิกัดแบบเรียลไทม์ ประกอบกับการยืนยันตัวตนและการเข้ารหัสข้อมูลมาตรฐานของ Google Authentication ถือเป็นจุดเด่นสำคัญที่สร้างความเชื่อมั่นในการใช้งาน ส่งผลให้การประเมินผลด้านความมั่นคงปลอดภัยได้รับคะแนนความพึงพอใจจากผู้ใช้ในระดับสูงสุด

อย่างไรก็ตาม แม้การออกแบบดังกล่าวจะช่วยลดความเสี่ยงด้านการละเมิดความเป็นส่วนตัว (Privacy Intrusion) แต่การพึ่งพาบริการคลาวด์ของบุคคลที่สาม (Third-Party Cloud Services) ยังคงมีประเด็นด้านการกำกับดูแลข้อมูล (Data Governance) และการควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงในระดับโครงสร้างพื้นฐานที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติม นอกจากนี้ การออกแบบระบบที่ไม่ติดตามตำแหน่งแบบต่อเนื่อง แม้จะสอดคล้องกับหลักการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล แต่ก็อาจลดความสามารถในการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงพื้นที่ในระยะยาว (Spatiotemporal Analytics)

ดังนั้น การออกแบบสถาปัตยกรรมในอนาคตควรพิจารณา การสร้างสมดุลระหว่าง Data Privacy และ Data Utility เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยยังคงสอดคล้องกับข้อกำหนดทางกฎหมายและหลักจริยธรรมด้านข้อมูล

8.2 ข้อจำกัดของการวิจัย

ในการนำผลการวิจัยนี้ไปอ้างอิงหรือประยุกต์ใช้ ควรคำนึงถึงข้อจำกัดทางวิชาการและข้อจำกัดเชิงเทคนิคดังต่อไปนี้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสรุปอ้างอิงเชิงทั่วไป (Generalizability) และความเสถียรของระบบในบริบทการใช้งานที่แตกต่าง

8.2.1 ข้อจำกัดด้านกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้เป็นโครงการนำร่อง (Pilot Study) ที่เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเฉพาะเจาะจงขนาดเล็ก (N = 20) ภายในหน่วยงานเดียว ซึ่งแม้จะสอดคล้องกับแนวปฏิบัติของการทดสอบระบบเชิงวิศวกรรมในระยะเริ่มต้น แต่ยังไม่เพียงพอสำหรับการอ้างอิงเชิงสถิติในระดับประชากร ดังนั้น การประเมินมูลค่าการประหยัดต้นทุนจึงเป็นเพียงการขยายผลทางสถิติ (Extrapolation) ภายใต้สมมติฐานว่าพฤติกรรมการใช้งานและสภาพแวดล้อมการปฏิบัติงานมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบประเมินผลกับองค์กรในระดับที่หลากหลายมากขึ้น ทั้งในเชิงขนาดองค์กร (Small vs Large-Scale

Organizations) และบริบทเชิงพื้นที่ (Urban vs Rural Environments) เพื่อยืนยันผลเชิงประจักษ์และเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อสรุปในอนาคต

8.2.2 ข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยี

ความแม่นยำในการประมวลผลพิกัดแปรผันตามสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเซนเซอร์ระบบตำแหน่งบนสมาร์ตโฟนของผู้ใช้งานแต่ละบุคคล ตลอดจนความเสถียรของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอก (External Factors) ที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของซอฟต์แวร์ โดยเฉพาะในพื้นที่อับสัญญาณหรือสภาพแวดล้อมกึ่งปิด (Semi-Indoor Environments) ที่อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด (GPS Drift) และความหน่วงในการประมวลผล (Latency) ข้อจำกัดทางฮาร์ดแวร์และการลดทอนของสัญญาณในพื้นที่ดังกล่าวถือเป็นความท้าทายสากลของระบบระบุตำแหน่งบนสมาร์ตโฟนที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (Merry & Bettinger, 2019) นอกจากนี้ การพึ่งพาแพลตฟอร์มคลาวด์และโครงสร้างพื้นฐานบนคลาวด์ เช่น Google AppSheet และ Google Sheets อาจก่อให้เกิดข้อจำกัดด้านการควบคุมระดับล่าง (Low-Level Control) และประสิทธิภาพในการประมวลผลเมื่อระบบถูกขยายไปสู่การใช้งานในระดับองค์กรขนาดใหญ่ (Large-Scale Deployment)

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

จากการวิเคราะห์สถาปัตยกรรมจีโอเฟนซิงแบบไฮบริดและผลการประเมินเชิงประจักษ์ พบว่า ประสิทธิภาพของระบบไม่ได้ขึ้นอยู่กับตรรกะซอฟต์แวร์เพียงอย่างเดียว แต่ยังแปรผันตามบริบทการใช้งานจริง เช่น เสถียรภาพของเครือข่ายและคุณภาพสัญญาณ GPS ดังนั้น จึงนำเสนอข้อเสนอแนะทั้งในเชิงนโยบายและเชิงวิศวกรรม เพื่อสนับสนุนการนำไปใช้และการพัฒนาต่ออย่างยั่งยืน ดังนี้

9.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้

9.1.1 การกำหนดนโยบายและแนวปฏิบัติ

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรกำหนดระเบียบหรือแนวปฏิบัติที่ชัดเจนเกี่ยวกับการทำงานนอกสถานที่ (Remote Work Policy) ควบคู่กับการนำระบบลงเวลาอิงพิกัดไปใช้ โดยควรกำหนดเงื่อนไขเชิงปฏิบัติ เช่น รัศมีการยอมรับพิกัด (Acceptable Geofence Radius) และแนวทางการจัดการกรณีสัญญาณคลาดเคลื่อน เพื่อสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานที่โปร่งใส ตรวจสอบได้ และสอดคล้องกับข้อจำกัดเชิงเทคนิคในสภาพแวดล้อมจริง

9.1.2 การยกระดับทักษะบุคลากร

หน่วยงานควรจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการใช้งานจริง โดยเน้นทั้งด้านการใช้งานระบบและการสร้างความเข้าใจในข้อจำกัดของเทคโนโลยีระบุตำแหน่ง รวมถึงการให้ความรู้เกี่ยวกับความไม่แน่นอนของข้อมูลพิกัด (Location Uncertainty) และแนวทางการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นโดยผู้ใช้งาน ควบคู่กับการส่งเสริมความรู้ด้านการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลส่วนบุคคลตามกฎหมาย PDPA เพื่อลดความกังวลและเพิ่มความเชื่อมั่นในการใช้งานระบบในระยะเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล

9.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

9.2.1 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่งแบบผสมผสาน (Hybrid Positioning System)

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดด้านความคลาดเคลื่อนของสัญญาณพิกัดในพื้นที่อับสัญญาณหรือพื้นที่ภายในอาคาร งานวิจัยในอนาคตควรบูรณาการเทคโนโลยี Assisted GPS (A-GPS) ร่วมกับ Bluetooth Low Energy (BLE) หรือ Wi-Fi Positioning System โดยควรมีการประเมินเชิงเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคแต่ละประเภทในบริบทพื้นที่ใช้งานที่แตกต่างกัน (Indoor vs Outdoor) เพื่อกำหนดกลยุทธ์การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบในระดับปฏิบัติการ

9.2.2 การบูรณาการระบบระดับองค์กร (Enterprise System Integration)

ควรพัฒนาส่วนเชื่อมต่อนาตรฐานแบบ RESTful (JSON/XML) เพื่อเชื่อมโยงแพลตฟอร์มคลาวด์เข้ากับระบบบริหารทรัพยากรบุคคลหรือระบบบัญชีเงินเดือนของหน่วยงานโดยตรง พร้อมทั้งออกแบบโครงสร้างข้อมูลให้รองรับการขยายตัวในระดับองค์กร (Enterprise-Scale Data Architecture) ซึ่งจะช่วยลดความซ้ำซ้อนของการนำเข้าข้อมูล และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลแบบรวมศูนย์ในระยะยาว

9.2.3 การออกแบบสถาปัตยกรรมรองรับการทำงานออฟไลน์ (Offline-Capable Architecture)

เพื่อรองรับข้อจำกัดด้านความเสถียรของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Doodala, 2023) จึงเสนอให้ประยุกต์ใช้กรอบการทำงานตามแบบจำลองใน Figure 9. โดยระบบจะบันทึกข้อมูลพิกัดและเวลาลงในหน่วยความจำชั่วคราวของอุปกรณ์ด้วยสถานะรอการดำเนินการ (Pending) เมื่อสัญญาณขาดหาย และจะทำการซิงโครไนซ์ข้อมูลโดยอัตโนมัติทันทีที่ตรวจพบการเชื่อมต่อเครือข่าย นอกจากนี้ งานวิจัยในอนาคตควรพิจารณากลไกการจัดลำดับธุรกรรม (Transaction Ordering) และการป้องกันข้อมูลซ้ำซ้อน (Duplicate Handling) เพื่อรักษาความถูกต้องของข้อมูลในกรณีที่มีการซิงโครไนซ์หลายครั้ง ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความสมบูรณ์ของข้อมูล (Data Integrity) และลดความเสี่ยงของการสูญหายของธุรกรรมในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดด้านเครือข่าย

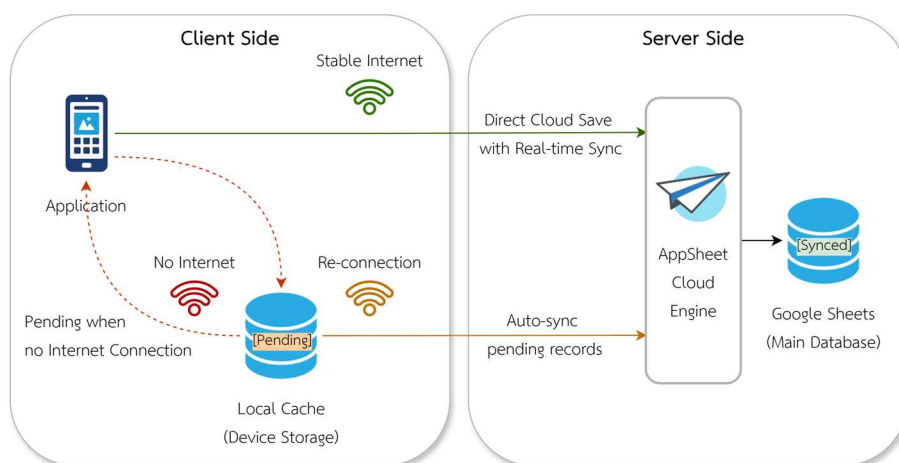


Figure 9. Proposed Offline-Capable Architecture Framework

10. การประกาศความขัดแย้งทางผลประโยชน์ (Conflict of Interest Statement)

ไม่มีความขัดแย้งทางผลประโยชน์เชิงพาณิชย์หรือทางการเงินที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ทั้งนี้ ไม่มีความเกี่ยวข้องหรือมีส่วนได้ส่วนเสียกับหน่วยงานการศึกษา (เทศบาลตำบลท่าเสา) เพื่อลดความลำเอียงในการวิจัย (Insider Bias) ได้ใช้การทดสอบแบบกล่องดำ (Black-Box Testing) ควบคู่กับแบบสอบถามไม่ระบุตัวตน (Anonymous Questionnaire) เพื่อให้ผลการประเมินสะท้อนข้อเท็จจริงเชิงวิทยาศาสตร์อย่างเป็นกลาง

11. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบพระคุณ คณะผู้บริหารและบุคลากรเทศบาลตำบลท่าเสา จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นอย่างยิ่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล อนุญาตให้ใช้พื้นที่ในการทดสอบระบบปฏิบัติการจริง ตลอดจนสละเวลาเพื่อให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการพัฒนาระบบให้สอดคล้องกับบริบทการทำงานขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ และสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ได้สนับสนุนทรัพยากรทางวิชาการ เครื่องมือ และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

12. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้มีการใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Google Gemini) เพื่อสนับสนุนด้านภาษาเท่านั้น ได้แก่ การตรวจสอบไวยากรณ์ การปรับสำนวน และการจัดโครงสร้างประโยคให้เหมาะสมกับการเขียนเชิงวิชาการ

ทั้งนี้ ข้อมูลดิบ การวิเคราะห์ผล การออกแบบสถาปัตยกรรม และข้อค้นพบทางวิชาการทั้งหมดเกิดจากการดำเนินการวิจัยจริง โดยเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ไม่มีส่วนในการวิเคราะห์ข้อมูลหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ และเนื้อหาทั้งหมดได้รับการตรวจสอบและรับผิดชอบโดยผู้เขียน

13. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Suraphon Chumklin: Conceptualization, Methodology, Software, Investigation, Data Curation, Writing - Original Draft, Visualization

Krit Chaiwannakoop: Conceptualization, Methodology, Investigation, Resources, Validation, Writing - Review & Editing

Manit Puangbangpo: Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Validation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing, Project Administration

14. เอกสารอ้างอิง (References)

- Al Farisi, S., Fauziah, & Tamara Aldisa, R. (2023, February 16). A Combination of the Haversine Formula Algorithm and the Sequential Searching Algorithm in Web Based Online Attendance. 2023 *International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering*, 450–455. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/iccosite57641.2023.10127681>
- Brünninghaus, M., & Röcker, C. (2022, July 25-28). Low-Code Development in Worker Assistance Systems: Improving Flexibility and Adaptability. 2022 *IEEE 20th International Conference on Industrial Informatics*, 366–373. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/indin51773.2022.9976178>
- Chauhan, V., Singh, H., Dewari, K., & Kumar, I. (2024, July 10-12). Efficient Employee Tracking with Smart Attendance System Using Advanced Face Recognition and Geofencing. 2024 *2nd International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems*, 750–755. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/icscss60660.2024.10625038>
- Doodala, A. N. K. (2023). Offline-First Android Architecture for Waste Management in Low Connectivity Zones. *International Journal of Emerging Trends in Computer Science and Information Technology*, 4(1), 201–209. <https://doi.org/10.63282/3050-9246.ijetcsit-v4i1p121>
- Gupta, S. K., Yadav, N., Pandey, A., Sharma, R., & Chauhan, A. (2025, April 4-6). Geolocation-Based Attendance Tracking System: A Comprehensive Review. 2025 *3rd International Conference on Communication, Security, and Artificial Intelligence*, 932–935. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/iccsai64074.2025.11064660>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Merry, K., & Bettinger, P. (2019). Smartphone GPS Accuracy Study in an Urban Environment. *PLOS ONE*, 14(7), e0219890. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219890>
- Ngamsong, S., Lerk-U-Suke, S., & Wongyai, S. (2021). Building of Mobile Application with No-Code Development for Field Data Collection in Tax Administration of Local Administrative Organization. *The Journal of Spatial Innovation Development*, 2(3), 55–69. (In Thai)
- O-In, S. (2024). Development of a Geo-Informatics Database System to Support Urban Conservation and Rehabilitation: A Case Study of Mueang Ratchaburi District, Thailand. *Humanities, Arts and Social Sciences Studies*, 24(1), 33–42. <https://doi.org/10.69598/hasss.24.1.260631>
- Patil, H., Darekar, O., Thorbole, B., Kindre, P., & Dekate, V. (2025). Tick Mark: Geofencing Attendance System. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 13(4), 1269–1274. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.68524>

- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- Rokis, K., & Kirikova, M. (2023). Exploring Low-Code Development: A Comprehensive Literature Review. *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*, 36, 68–86. <https://doi.org/10.7250/csimq.2023-36.04>
- Sarawan, K., Saronthong, A., Khumla, P., & Nasinprom, N. (2023). Improvement of Time Attendance Online System: Case Study in the University. *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, 11(30), 16–31. (In Thai)
- Shevchenko, Y., & Reips, U. D. (2024). Geofencing in Location-Based Behavioral Research: Methodology, Challenges, and Implementation. *Behavior Research Methods*, 56, 6411–6439. <https://doi.org/10.3758/s13428-023-02213-2>
- Tang, Y., Li, T., Zhu, R., Du, F., Wang, J., & Ma, Z. (2021). A Discovery Method for Hierarchical Software Execution Behavior Models Based on Components. *Scientific Programming*, 2021, 1–22. <https://doi.org/10.1155/2021/4788357>