

การพัฒนาระบบตรวจจับวัตถุอัจฉริยะแบบเรียลไทม์และย้อนหลัง
จากกล้องวงจรปิดรองรับความปลอดภัยระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
Development of a Real-Time and Retrospective Intelligent Object
Detection System from CCTV for Security Enhancement in
Local Government Organizations” (AI-RTRO)

นายชาญวิทย์ พรหมพันธุ์ใจ รหัส 166491432007 นักศึกษาระดับปริญญาเอก
สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลมีเดีย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบ AI-RTRO (Artificial Intelligence – Real-Time and Retrospective Object Detection) เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของระบบ CCTV แบบดั้งเดิมในบริบท Smart Safety Infrastructure ของเทศบาลเมืองบางใหญ่ ระบบถูกออกแบบโดยบูรณาการกรอบ AI Agent Core กับแบบจำลอง IPOF เพื่อรองรับการตรวจจับ-ติดตาม-สืบค้นวัตถุจากวิดีโอทั้งแบบเรียลไทม์และย้อนหลัง โดยใช้อัลกอริทึมเชิงลึก เช่น YOLO, DeepSORT/ByteTrack, ResNet และ Faiss พร้อมกลไก Grad-CAM เพื่อเพิ่มความโปร่งใสในการตัดสินใจ และใช้ตัวชี้วัด mAP, IDF1 และ Latency ในการประเมินสมรรถนะของระบบภายใต้สภาพแวดล้อมจริง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำ ติดตามได้เสถียร และทำงานแบบเรียลไทม์ด้วยค่าหน่วงเวลาดำ ขณะที่การค้นคืนย้อนหลังมีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากการจัดการเมตาเดตาและเวกเตอร์คุณลักษณะ นอกจากนี้ กรอบแนวคิดของระบบยังได้รับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 15 คน พบว่ามีความเหมาะสมในระดับ “มากที่สุด” ทุกมิติ โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 4.71 (S.D. = 0.53) สะท้อนถึงความครบถ้วนและความพร้อมต่อการนำไปใช้งานจริงในระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

คำสำคัญ การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City), การตรวจจับวัตถุ (Object Detection), ดัชนีเวลา การค้นคืนข้อมูล (Time-Indexed Retrieval), การวิเคราะห์กล้องวงจรปิด (CCTV Analytics), ระบบปัญญาประดิษฐ์เชิงตัวแทน (AI Agent Core);

1. บทนำ

การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City) เป็นนโยบายสำคัญที่มุ่งยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน เพิ่มความปลอดภัย และเสริมประสิทธิภาพการบริหารจัดการเมืองอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะมิติ “โครงสร้างพื้นฐานด้านความปลอดภัยอัจฉริยะ” (Smart Safety Infrastructure) ซึ่งเป็นกลไกหลักของ Smart City Thailand [1], [2] ที่นำเทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์มาใช้กับงานเฝ้าระวัง ป้องกัน และตอบสนองเหตุการณ์ในพื้นที่เมืองได้อย่างทันท่วงที ทั้งนี้ หน่วยงานท้องถิ่นอย่างเทศบาลเมืองบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี ได้ติดตั้งระบบกล้องวงจรปิด (CCTV) เพื่อเฝ้าระวังและรักษาความปลอดภัยในชุมชน อย่างไรก็ตาม ระบบ CCTV แบบดั้งเดิมยังเผชิญข้อจำกัดด้านปริมาณข้อมูลวิดีโอที่สูง ต้องพึ่งพาการตรวจสอบด้วยกำลังคน ทำให้เกิดความล่าช้า ไม่รองรับการตรวจจับเหตุแบบเรียลไทม์ และค้นหาหลักฐานย้อนหลังได้ไม่คล่องตัว

เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้เสนอระบบ AI-RTRO (Artificial Intelligence – Real-Time & Retrospective Object Detection) ซึ่งเป็นระบบอัจฉริยะสำหรับ “ตรวจจับ” และ “ติดตามวัตถุ” ทั้ง ขณะเกิดเหตุ (Real-Time) และ ย้อนหลัง (Retrospective) จากวิดีโอ CCTV โดยออกแบบให้สอดคล้องกับโครงสร้าง AI-Agent Core และกรอบคิด IPOF (Input-Process-Output-Feedback) เพื่อสร้างวงจรการทำงานที่รับรู้-ตัดสินใจ-กระทำ-เรียนรู้อย่างต่อเนื่องบนข้อมูลจริงของพื้นที่เทศบาล

สถาปัตยกรรมของ AI-RTRO แบ่งเป็นการทำงานประสานกัน เริ่มจาก Data Management & Integration (Input) ทำหน้าที่รับข้อมูลทั้งสตรีมเรียลไทม์และคลิปบันทึกช่วงละ 10 นาที พร้อมเมตาดาตาที่จำเป็น (วันเวลา หมายเลขกล้อง และตำแหน่ง) เพื่อเตรียมสู่การประมวลผล ต่อจากนั้นคือ AI Agent Core Techniques (Process) ซึ่งเป็นหัวใจของระบบ ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกหลากหลาย ได้แก่ YOLO สำหรับตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ [3], [4] ประกอบกับ DeepSORT/ByteTrack เพื่อการติดตามหลายวัตถุข้ามเฟรมอย่างต่อเนื่อง Tracking[5], [6] เสริมด้วย ResNet สำหรับสกัดคุณลักษณะเชิงลึกของวัตถุ[7] และ Faiss เพื่อสร้างดัชนีเวกเตอร์สำหรับค้นคืนภาพย้อนหลังได้อย่างรวดเร็ว ทั้งยังผนวก Grad-CAM เพื่ออธิบายเหตุผลของการตัดสินใจของโมเดลในลักษณะ Explaining multiple sources of anomalies in video Explainable AI [9] ตลอดจนมี ตัวชี้วัดสมรรถนะ (KPI) mAP สำหรับความแม่นยำการตรวจจับ IDF1 สำหรับคุณภาพการติดตามเพื่อประเมินและกำกับคุณภาพอย่างเป็นระบบ

ผลลัพธ์จากการประมวลผลถูกนำเสนอผ่าน Output & User Interface ในรูปแบบแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ การแจ้งเตือนอัตโนมัติ และระบบค้นหาวิดีโอย้อนหลัง พร้อม Smart Recommendation เพื่อช่วยการตัดสินใจเชิงปฏิบัติการของเจ้าหน้าที่เทศบาล ทั้งนี้ ระบบยังออกแบบ Feedback System เป็นวงจรการเรียนรู้ย้อนกลับ (Active Learning Loop) เพื่อนำกรณีที่ยากหรือความไม่แน่นอนของโมเดลกลับไปปรับปรุงชุดข้อมูลและฝึกโมเดลใหม่ โดยอ้างอิงตัวชี้วัด

อย่าง mAP และ IDF1 เป็นเกณฑ์การอนุมัติการปรับใช้ นอกจากนี้ Environment Test ทำหน้าที่ทดสอบการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงของเทศบาล ทั้งด้านความแม่นยำการตรวจจับและความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์กล้อง (เช่น การหลุดสัญญาณหรือการบำรุงรักษา) เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพก่อนนำไปใช้งานภาคสนามอย่างเต็มรูปแบบ

AI-RTRO คือกรอบระบบอัจฉริยะที่บูรณาการข้อมูลจาก CCTV เข้ากับเทคนิค AI สมัยใหม่ภายใต้กระบวนการ IPOF เพื่อให้สามารถตรวจจับ-ติดตาม-สืบค้นย้อนหลัง-อธิบายผล-และเรียนรู้ปรับปรุงได้อย่างต่อเนื่อง ตอบโจทย์ “โครงสร้างพื้นฐานด้านความปลอดภัยอัจฉริยะ” ของเมืองยุคใหม่ และสนับสนุนการบริหารจัดการพื้นที่ของเทศบาลเมืองบางใหญ่ให้มีความรวดเร็ว แม่นยำ และยั่งยืนยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์

- 2.1. เพื่อพัฒนารอบแนวคิดระบบตรวจจับวัตถุอัจฉริยะแบบเรียลไทม์และย้อนหลังจากวิดีโอกล้องวงจรปิดรองรับความปลอดภัย
- 2.2. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ (Prototype System) ตรวจจับวัตถุอัจฉริยะแบบเรียลไทม์และย้อนหลังจากวิดีโอกล้องวงจรปิดรองรับความปลอดภัย
- 2.3. เพื่อประเมินความถูกต้องประสิทธิภาพความพึงพอใจของระบบต้นแบบ
- 2.4. เพื่อศึกษาผลการใช้งานระบบตรวจจับวัตถุอัจฉริยะแบบเรียลไทม์และย้อนหลังจากวิดีโอกล้องวงจรปิดรองรับความปลอดภัย

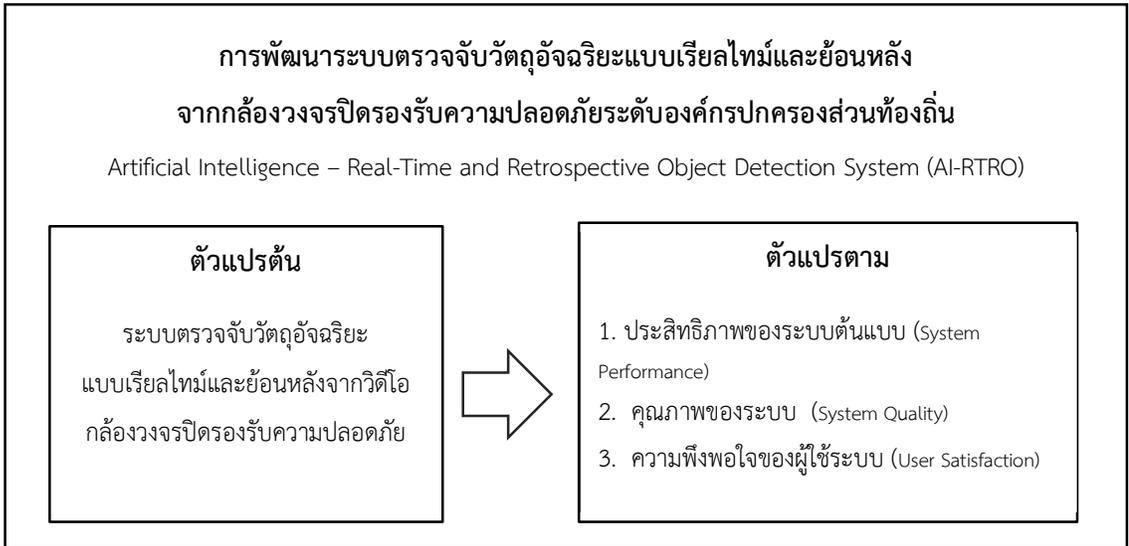
3. ขอบเขตของการวิจัย

- 3.1 ข้อมูลการวิจัย ระบบตรวจจับวัตถุจากวิดีโอเฝ้าระวัง ความสามารถ ตรวจจับ-สร้างดัชนีเวลา-ค้นหา-แสดงผล จากวิดีโอ ที่บันทึกภาพ จากหน่วยงานเทศบาลเมืองบางใหญ่
- 3.2 ประชากร บุคลากรและผู้ปฏิบัติงานความปลอดภัยที่ใช้ระบบกล้องวงจรปิด ของหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจำนวน 100 คน
- 3.3 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มบุคลากรที่คัดเลือกจากประชากรดังกล่าว โดยใช้ การเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 20 คน

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 ได้กรอบแนวคิดและองค์ความรู้ใหม่ ในการพัฒนาระบบตรวจจับวัตถุอัจฉริยะที่เชื่อมโยงการตรวจจับแบบเรียลไทม์ การค้นหาย้อนหลัง และการสร้างดัชนีเวลา
- 4.2 ได้ระบบต้นแบบที่ช่วยลดเวลาและเพิ่มความแม่นยำในการค้นหาวิดีโอย้อนหลัง พร้อมรองรับการประยุกต์ใช้ในเมืองอัจฉริยะ ด้านความปลอดภัยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
- 4.3 เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากรด้านความปลอดภัย ด้วยการประมวลผลอัตโนมัติ และการค้นหาที่มีประสิทธิภาพสูงได้

5. กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยการพัฒนาระบบตรวจจับวัตถุอัจฉริยะแบบเรียลไทม์และย้อนหลัง จากกล้องวงจรปิดรองรับความปลอดภัยระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

จากภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยในการพัฒนาระบบตรวจจับวัตถุอัจฉริยะแบบเรียลไทม์และย้อนหลัง จากกล้องวงจรปิดรองรับความปลอดภัยระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดยมี การศึกษาผลลัพธ์ของการใช้งาน 3 องค์ประกอบ ได้แก่ คือ 1) ประสิทธิภาพของระบบ 2) คุณภาพของระบบ และ 3) ความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ

6. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการตามกระบวนการวิจัยและพัฒนา โดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

6.1 ระยะที่ 1 การพัฒนากรอบแนวคิด (Conceptual Framework Development) ระบบตรวจจับวัตถุอัจฉริยะแบบเรียลไทม์และย้อนหลังจากวิดีโอกล้องวงจรปิดรองรับความปลอดภัย มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

- 6.1.1 การศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง
- 6.1.2 การออกแบบกรอบแนวคิดเบื้องต้น
- 6.1.3 ตรวจสอบและอภิปรายร่างกรอบแนวคิดด้วยการประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group)
- 6.1.4 การสรุปผลและปรับปรุงกรอบแนวคิด
- 6.1.5 การประเมินกรอบแนวคิดโดยผู้เชี่ยวชาญ (Expert Validation)
- 6.1.6 การวิเคราะห์ผลการประเมิน

6.2 ระยะที่ 2 การออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ (Prototype Development) โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

- 6.2.1 การศึกษาเอกสารและเทคโนโลยี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 6.2.2 การออกแบบระบบต้นแบบ (System Design)
- 6.2.3 การประเมินความเหมาะสมของการออกแบบระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญ
- 6.2.4 การพัฒนาระบบต้นแบบ (Prototype Development)
- 6.2.5 การตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นโดยผู้วิจัย (Researcher Internal Test)
- 6.2.6 การประเมินประสิทธิภาพระบบต้นแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ
- 6.2.7 การวิเคราะห์ผลการประเมิน

6.3 ระยะที่ 3 การประเมินระบบต้นแบบโดยผู้ใช้งานจริง (User Evaluation)

- 6.3.1 กำหนดกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้งานจริง
- 6.3.2 เตรียมเครื่องมือและระบบต้นแบบ
- 6.3.3 การทดลองใช้งานระบบต้นแบบ (User Testing)
- 6.3.4 การเก็บข้อมูลความพึงพอใจ
- 6.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

7. ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ และย้อนหลัง (Artificial Intelligence – Real-Time and Retrospective Object Detection System: AI-RTRO) สำหรับเทศบาลเมืองบางใหญ่ โดยผู้วิจัยได้พัฒนารอบแนวคิดการวิจัยในรูปแบบวงจรปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วนที่เชื่อมโยงและส่งเสริมซึ่งกันและกัน ได้แก่ ทฤษฎีพื้นฐาน (Theory) การพัฒนาระบบ (System Development) ผลลัพธ์การวิจัย (Research Outcomes) และการประเมินผล (Evaluation) กรอบแนวคิดดังกล่าวมีลักษณะเป็นวงจรที่เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง นำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบทดสอบและประเมินผลการทำงาน จากนั้นนำข้อมูลป้อนกลับมาปรับปรุงและพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2 Conceptual Framework Artificial Intelligence – Real-Time and Retrospective Object Detection System (AI-RTRO)

จากภาพที่ 2 กระบวนการวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบ ปัญญาประดิษฐ์และระบบตรวจจับวัตถุ โดยนำทฤษฎีเหล่านี้มาเป็นรากฐานในการออกแบบและพัฒนาระบบ จากนั้นจึงดำเนินการพัฒนาระบบตามขั้นตอนที่กำหนด เมื่อระบบพัฒนาเสร็จสมบูรณ์แล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและประเมินผลเพื่อวัดประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินจะถูกนำมาวิเคราะห์และใช้เป็นข้อมูลป้อนกลับในการปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น วงจรการพัฒนานี้จะดำเนินต่อเนื่องเพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างแท้จริง

1. ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย (Theoretical Foundation)

การพัฒนาระบบ AI-RTRO สำหรับการตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์และย้อนหลังในบริบทเทศบาลเมืองบางใหญ่ตั้งอยู่บนรากฐานทฤษฎีสำคัญ 4 ประการ ได้แก่ ทฤษฎีระบบ ทฤษฎีตัวแทนอัจฉริยะ ทฤษฎีการเรียนรู้ของเครื่อง และทฤษฎีปัญญาประดิษฐ์ที่อธิบายได้ ซึ่งกำหนดแนวทางโครงสร้าง การประมวลผล และกลไกการเรียนรู้ของระบบอย่างเป็นองค์รวม ช่วยให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โปร่งใส และรองรับการใช้งานในหน่วยงานภาครัฐที่ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของประชาชน

1.1 ทฤษฎีระบบ (System Theory)

ทฤษฎีระบบถูกนำมาใช้เป็นกรอบหลักในการออกแบบสถาปัตยกรรมของ AI-RTRO โดยประยุกต์แบบจำลอง IPOF (Input–Process–Output–Feedback) เพื่อกำหนดการไหลของข้อมูลและการทำงานของระบบอย่างเป็นลำดับ ในขั้น Input ระบบรับข้อมูลภาพและวิดีโอจากกล้อง

วงจรปิดในพื้นที่เทศบาลเมืองบางใหญ่ ข้อมูลค่ากำหนดของระบบ และประวัติการตรวจจับย้อนหลัง ก่อนเข้าสู่ขั้น Process ซึ่งใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อวิเคราะห์ ตรวจจับ และ จำแนกวัตถุ รวมถึงค้นหารูปแบบในข้อมูลย้อนหลัง เพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ (Output) ที่ใช้งานได้จริง เช่น การแสดงผลแบบเรียลไทม์ รายงานเหตุการณ์ย้อนหลัง และแดชบอร์ดวิเคราะห์ข้อมูล สุดท้าย Feedback ถูกใช้เป็นกลไกปรับปรุงระบบอย่างต่อเนื่อง ผ่านการอัปเดตพารามิเตอร์และข้อมูล ฝึกสอนใหม่ สอดคล้องกับแนวคิด General System Theory ที่เน้นความสัมพันธ์ระหว่าง องค์ประกอบของระบบและการพัฒนาอย่างยั่งยืน

1.2 ทฤษฎีตัวแทนอัจฉริยะ (Agent Theory)

ทฤษฎีตัวแทนอัจฉริยะถูกนำมาใช้ในการออกแบบพฤติกรรมของระบบ AI-RTRO โดยใช้ กรอบ PDAL (Perceive–Decide–Act–Learn) เพื่อให้ระบบสามารถทำงานอัตโนมัติและเรียนรู้ได้ อย่างต่อเนื่อง ขั้น Perceive ระบบวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากกล้องวงจรปิดและฐานข้อมูลของเทศบาล เมืองบางใหญ่เพื่อตรวจจับความเปลี่ยนแปลงในพื้นที่เฝ้าระวัง ขั้น Decide ใช้อัลกอริทึม Machine Learning เพื่อจำแนกประเภทวัตถุ ประเมินระดับความสำคัญของเหตุการณ์ และเลือกการตอบสนอง ที่เหมาะสม เช่น การแจ้งเตือนหรือจัดเก็บข้อมูล ขั้น Act นำผลลัพธ์ไปใช้งานจริง เช่น การแสดงผล บนแดชบอร์ดหรือส่งการแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ ขณะที่ขั้น Learn ทำหน้าที่ปรับปรุงโมเดลด้วยข้อมูล ใหม่และผลสะท้อนจากผู้ใช้ ทำให้ระบบมีความสามารถในการเรียนรู้และพัฒนาตนเองโดยไม่ต้อง พึ่งพาการควบคุมโดยมนุษย์ตลอดเวลา

1.3 ทฤษฎีการเรียนรู้ (Learning Theory)

ทฤษฎีการเรียนรู้ของเครื่องเป็นพื้นฐานสำคัญของการตรวจจับและจำแนกวัตถุในระบบ AI-RTRO โดยใช้เทคนิคหลัก ได้แก่ Deep Learning, Supervised Learning และ Continual Learning ระบบใช้โครงข่ายคอนโวลูชัน (CNN) และโมเดลตรวจจับวัตถุ เช่น YOLO และ Faster R-CNN เพื่อวิเคราะห์ภาพที่มีความซับซ้อน พร้อมใช้ Transfer Learning เพื่อปรับโมเดลให้เหมาะสม กับข้อมูลจริงในพื้นที่เทศบาลเมืองบางใหญ่ การเรียนรู้แบบมีผู้สอนช่วยให้ระบบจำแนกวัตถุได้อย่าง แม่นยำจากข้อมูลที่มีป้ายกำกับโดยผู้เชี่ยวชาญ ขณะที่ Continual Learning ช่วยเพิ่มความสามารถ ของระบบในการอัปเดตความรู้ใหม่โดยไม่สูญเสียความรู้เดิม ทำให้ AI-RTRO สามารถรับมือกับข้อมูล จริงที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เช่น ความแตกต่างของแสง เวลา และรูปแบบพฤติกรรมของประชาชน

1.4 ทฤษฎีปัญญาประดิษฐ์ที่อธิบายได้ (Explainable AI Theory)

ทฤษฎีปัญญาประดิษฐ์ที่อธิบายได้มีบทบาทสำคัญเนื่องจากระบบ AI-RTRO ถูกใช้งาน ในบริบทของหน่วยงานภาครัฐซึ่งต้องให้ความสำคัญกับความโปร่งใส ความน่าเชื่อถือ และ ความสามารถในการตรวจสอบ ระบบจึงถูกออกแบบให้สามารถอธิบายเหตุผลการตรวจจับและ ตัดสินใจได้ชัดเจน ผ่านเทคนิค เช่น Saliency Map, Grad-CAM, LIME และการวิเคราะห์ Feature Importance เพื่อแสดงส่วนของภาพที่โมเดลให้ความสำคัญและช่วยให้ผู้ใช้เข้าใจผลลัพธ์ได้ง่ายขึ้น ทั้ง

ยังเสริมด้วยการบันทึกการทำงานเพื่อให้ตรวจสอบย้อนหลังได้อย่างเป็นระบบ เครื่องมือเหล่านี้ช่วยยกระดับความเชื่อมั่นของเจ้าหน้าที่และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในเทศบาลเมืองบางใหญ่ และสนับสนุนการนำระบบไปใช้งานจริงในบริบท Smart Safety ของเมืองอัจฉริยะ 2. การพัฒนาระบบ (System Development)

2. ทฤษฎีการพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบ AI-RTRO เป็นกระบวนการที่มีความเป็นระบบและครอบคลุม โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการตามระเบียบวิธีพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เป็นมาตรฐาน ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 7 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีความเชื่อมโยงและส่งผลต่อกันอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการจนถึงการพัฒนาเดสบอร์ดสำหรับการติดตามและจัดการระบบ

2.1 การวิเคราะห์ความต้องการ (Requirement Analysis)

การพัฒนาระบบเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ความต้องการอย่างละเอียดและครอบคลุม ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความต้องการจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายกลุ่ม ได้แก่ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ของเทศบาลเมืองบางใหญ่ เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย และผู้ที่จะใช้งานระบบโดยตรง โดยใช้วิธีการหลายรูปแบบ ได้แก่ การสัมภาษณ์เชิงลึก การสำรวจด้วยแบบสอบถาม การสังเกตการณ์การทำงาน และการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง จากการวิเคราะห์ความต้องการ สามารถแบ่งความต้องการออกเป็น 3 ประเภทหลัก ดังนี้

ประการแรกคือความต้องการด้านการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย การตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์จากกล้องวงจรปิดที่ติดตั้งในพื้นที่ต่างๆ ของเทศบาล การวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังเพื่อค้นหารูปแบบและแนวโน้มของเหตุการณ์ต่างๆ การแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อระบบตรวจพบเหตุการณ์ที่ผู้ใช้กำหนดว่ามีความสำคัญ ความสามารถในการสร้างรายงานและสถิติในรูปแบบต่างๆ และการจัดการข้อมูลผู้ใช้พร้อมทั้งกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงอย่างเหมาะสม

ประการที่สองคือความต้องการที่ไม่เกี่ยวกับการทำงานโดยตรง แต่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ ได้แก่ ความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 เพื่อให้สามารถไว้วางใจในผลลัพธ์ได้ เวลาตอบสนองของระบบต้องไม่เกิน 2 วินาทีเพื่อให้สามารถทำงานแบบเรียลไทม์ได้อย่างแท้จริง ระบบต้องมีความเสถียรและสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่ขัดข้อง สามารถรองรับผู้ใช้งานพร้อมกันได้อย่างน้อย 50 คน และมีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูลตามมาตรฐานสากล

ประการที่สามคือความต้องการของผู้ใช้ในการใช้งาน ซึ่งเน้นความสะดวกและความเข้าใจง่าย ประกอบด้วย ส่วนติดต่อผู้ใช้ที่มีกรอกแบบที่เข้าใจง่ายและใช้งานสะดวก การแสดงผลที่ชัดเจนและรวดเร็ว และความสามารถในการใช้งานบนอุปกรณ์หลายประเภท ได้แก่ คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้สามารถเข้าถึงระบบได้ทุกที่ทุกเวลา

2.2 การออกแบบระบบและโครงสร้าง (System and Framework Design)

จากความต้องการที่วิเคราะห์ได้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ AI-RTRO โดยใช้แบบจำลองสามชั้น (3-Tier Architecture) ซึ่งเป็นรูปแบบที่เป็นมาตรฐานและมีประสิทธิภาพสำหรับระบบที่มีความซับซ้อน สถาปัตยกรรมนี้แบ่งระบบออกเป็น 3 ชั้นหลัก โดยชั้นการนำเสนอ (Presentation Layer) เป็นส่วนที่ผู้ใช้มีปฏิสัมพันธ์โดยตรง ประกอบด้วยแดชบอร์ด เว็บแอปพลิเคชัน และแอปพลิเคชันบนมือถือ ซึ่งออกแบบมาให้ใช้งานง่ายและแสดงผลอย่างเหมาะสม ชั้นแอปพลิเคชัน (Application Layer) เป็นหัวใจของระบบที่ทำหน้าที่ประมวลผลด้วยปัญญาประดิษฐ์และจัดการตรรกะทางธุรกิจต่างๆ และชั้นข้อมูล (Data Layer) เป็นส่วนที่จัดเก็บข้อมูลทั้งในรูปแบบฐานข้อมูลและไฟล์ต่างๆ

ในการพัฒนาระบบ ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเหมาะสมกับการทำงานแต่ละส่วน สำหรับส่วนหน้าบ้านได้ใช้ React.js เป็นกรอบงานหลักร่วมกับ HTML5 CSS3 และ JavaScript เพื่อสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้ที่ทันสมัยและตอบสนองได้ดี สำหรับส่วนหลังบ้านได้ใช้ Python ร่วมกับ Fast API และ Node.js เพื่อจัดการการประมวลผลและการสื่อสารระหว่างส่วนต่างๆ ในส่วนของปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่อง ได้ใช้ไลบรารีที่มีประสิทธิภาพสูง ได้แก่ PyTorch TensorFlow OpenCV และ YOLO สำหรับฐานข้อมูลได้เลือกใช้ทั้ง PostgreSQL สำหรับข้อมูลที่มีโครงสร้าง และ MongoDB สำหรับข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างแน่นอน นอกจากนี้ยังใช้ Docker และ Kubernetes ในการจัดการโครงสร้างพื้นฐานและการกระจายภาระงาน พร้อมทั้งใช้บริการคลาวด์เพื่อความยืดหยุ่นและความสามารถในการขยายระบบ

2.3 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

ข้อมูลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ ผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญกับกระบวนการเตรียมข้อมูลอย่างมาก โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่ง ได้แก่ ข้อมูลภาพและวิดีโอจากกล้องวงจรปิดที่ติดตั้งอยู่ทั่วพื้นที่เทศบาลเมืองบางใหญ่ ข้อมูลสาธารณะสำหรับการฝึกสอนโมเดลจากชุดข้อมูลมาตรฐานที่มีอยู่ และข้อมูลจากระบบงานต่างๆ ของเทศบาลที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่รวบรวมได้มีความหลากหลายทั้งในเรื่องของเวลา สถานที่ สภาพแสง และประเภทของวัตถุ เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้และทำงานได้ในสถานการณ์ที่หลากหลาย หลังจากรวบรวมข้อมูลแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการติดป้ายกำกับข้อมูล ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาและความพยายามมาก ผู้วิจัยได้จ้างผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และประสบการณ์มาทำหน้าที่ติดป้ายกำกับวัตถุในภาพและวิดีโอ โดยระบุประเภทของวัตถุและตำแหน่งของวัตถุในแต่ละเฟรม การติดป้ายกำกับใช้เครื่องมือที่เป็นมาตรฐาน เช่น Label และ CVAT ซึ่งช่วยให้การทำงานมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่ติดป้ายกำกับอย่างละเอียดเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่จะนำไปฝึกสอนโมเดลมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมข้อมูลคือการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับขนาดและคุณภาพของภาพให้เหมาะสมกับการฝึกสอนโมเดล แบ่งข้อมูลออกเป็นชุดฝึกสอน (Training Set) ชุดตรวจสอบ (Validation Set) และชุดทดสอบ (Test Set) ในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของโมเดลได้อย่างเป็นกลาง นอกจากนี้ยังใช้เทคนิคการเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation) โดยการปรับแต่งภาพในรูปแบบต่างๆ เช่น การหมุนภาพ การย้ายตำแหน่ง การปรับความสว่าง และการเพิ่มสัญญาณรบกวน เพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล และช่วยให้โมเดลมีความสามารถในการทำงานได้ดีในสถานการณ์ที่หลากหลาย

2.4 การพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ (AI Model Development)

การพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์เป็นหัวใจสำคัญของระบบ AI-RTRO ผู้วิจัยได้ดำเนินการอย่างเป็นระบบและรอบคอบ โดยเริ่มจากการเลือกโมเดลที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้ทดลองใช้โมเดลตรวจจับวัตถุหลายประเภทที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับในชุมชนวิชาการ ได้แก่ YOLO เวอร์ชัน 8 ซึ่งเป็นโมเดลที่มีความเร็วสูงและเหมาะกับการทำงานแบบเรียลไทม์ Faster R-CNN ที่มีความแม่นยำสูง และ SSD (Single Shot Multiblock Detector) ที่มีความสมดุลระหว่างความเร็วและความแม่นยำ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละโมเดลทั้งในด้านความแม่นยำและความเร็วในการประมวลผล จากนั้นจึงเลือกโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละงานเฉพาะ

ในการฝึกสอนโมเดล ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการเรียนรู้ถ่ายโอนจากโมเดลที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้วด้วยชุดข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น ImageNet และ COCO Dataset เทคนิคนี้ช่วยลดเวลาในการฝึกสอนและทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพดีขึ้นได้เร็วกว่าการฝึกสอนตั้งแต่ต้น หลังจากนั้นจึงทำการปรับแต่งโมเดล (Fine-tuning) ด้วยข้อมูลที่รวบรวมได้จากเทศบาลเมืองบางใหญ่ เพื่อให้โมเดลสามารถทำงานได้ดีกับบริบทและสภาพแวดล้อมเฉพาะของพื้นที่ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ต่างๆ (Hyperparameters) อย่างละเอียด เช่น อัตราการเรียนรู้ ขนาดชุดข้อมูล และจำนวนรอบการฝึกสอน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เมื่อโมเดลได้รับการฝึกสอนจนมีประสิทธิภาพที่ดีแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงโมเดลเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริง โดยใช้เทคนิคการตัดแต่งโมเดล (Model Pruning) เพื่อลดขนาดของโมเดลโดยการกำจัดส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป การควอนไทเซชัน (Quantization) เพื่อลดความแม่นยำของตัวเลขในโมเดลเพื่อเพิ่มความเร็วในการประมวลผล โดยยังคงรักษาความแม่นยำในการตรวจจับไว้ในระดับที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังมีการทดสอบและปรับแต่งโมเดลอย่างต่อเนื่องเมื่อมีข้อมูลใหม่เพิ่มเติม

2.5 การทดสอบระบบ (System Testing)

การทดสอบระบบเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และมีคุณภาพที่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานจริง ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบอย่างครอบคลุมใน

หลายระดับ โดยเริ่มจากการทดสอบหน่วยย่อย (Unit Testing) ซึ่งเป็นการทดสอบแต่ละส่วนของระบบแยกกัน เช่น การทดสอบฟังก์ชันการประมวลผลภาพ การทดสอบโมเดลปัญญาประดิษฐ์ และการทดสอบส่วนติดต่อผู้ใช้ การทดสอบในระดับนี้ช่วยให้สามารถตรวจพบและแก้ไขข้อผิดพลาดได้ตั้งแต่เนิ่นๆ

จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบการบูรณาการ (Integration Testing) ซึ่งเป็นการทดสอบการทำงานร่วมกันของส่วนต่างๆ ในระบบ เพื่อให้แน่ใจว่าส่วนต่างๆ สามารถสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้อง การทดสอบนี้ครอบคลุมการเชื่อมต่อระหว่างส่วนหน้าบ้านและส่วนหลังบ้าน การเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล และการเชื่อมต่อกับกล้องวงจรปิด การทดสอบประสิทธิภาพ (Performance Testing) เป็นการทดสอบความสามารถของระบบในการรับมือกับภาระงานต่างๆ เช่น การทดสอบเวลาตอบสนอง ความสามารถในการรองรับผู้ใช้พร้อมกัน และความเสถียรของระบบเมื่อทำงานเป็นเวลานาน

สุดท้ายคือการทดสอบการยอมรับจากผู้ใช้ (User Acceptance Testing) ซึ่งเป็นการทดสอบระบบกับผู้ใช้จริงจากเทศบาลเมืองบางใหญ่ การทดสอบนี้มีความสำคัญมากเพราะช่วยให้ทราบว่าระบบตอบสนองความต้องการของผู้ใช้หรือไม่ มีส่วนไหนที่ต้องปรับปรุง และผู้ใช้มีความพึงพอใจในการใช้งานมากน้อยเพียงใด ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อเสนอแนะจากผู้ใช้และนำมาปรับปรุงระบบก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

2.6 การรับข้อมูลป้อนกลับและการปรับปรุง (Feedback and Optimization)

เพื่อให้ระบบ AI-RTRO มีประสิทธิภาพที่ดีอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยได้สร้างกลไกในการรับข้อมูลป้อนกลับและปรับปรุงระบบอย่างเป็นระบบ โดยมีการรวบรวมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานผ่านทางต่างๆ เช่น แบบสอบถามความพึงพอใจที่จัดทำอย่างสม่ำเสมอ ระบบรายงานปัญหาที่ผู้ใช้สามารถส่งได้ทันทีเมื่อพบปัญหา และการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ใช้งานเพื่อรับฟังประสบการณ์และข้อเสนอแนะอย่างละเอียด นอกจากนี้ยังมีการบันทึกพฤติกรรมการใช้งานระบบเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการใช้งานและปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

ข้อมูลที่รวบรวมได้จะถูกนำมาวิเคราะห์อย่างละเอียดเพื่อหาจุดอ่อนและโอกาสในการปรับปรุง ผู้วิจัยได้จัดทำกระบวนการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องที่ประกอบด้วย การวิเคราะห์ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นและหาสาเหตุ การปรับปรุงโมเดลปัญญาประดิษฐ์ด้วยข้อมูลใหม่ที่รวบรวมได้จากการใช้งานจริง และการพัฒนาฟีเจอร์ใหม่ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ การปรับปรุงเหล่านี้จะถูกทดสอบอย่างละเอียดก่อนนำไปใช้งานจริงเพื่อให้แน่ใจว่าไม่ส่งผลกระทบต่อระบบที่ทำงานอยู่

นอกจากนี้ยังมีกระบวนการประกันคุณภาพที่ดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพของการตรวจจับวัตถุโดยเปรียบเทียบกับความเป็นจริง การทดสอบระบบหลังจากการอัปเดตทุกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าการเปลี่ยนแปลงไม่ทำให้เกิดปัญหาใหม่ และการจัดทำและปรับปรุง

เอกสารและคู่มือการใช้งานให้ทันสมัยอยู่เสมอ ทั้งหมดนี้ช่วยให้ระบบมีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีอย่างต่อเนื่อง

2.7 แดชบอร์ดติดตามอัจฉริยะ (Smart Monitoring Dashboard)

ส่วนสำคัญของระบบ AI-RTRO คือแดชบอร์ดสำหรับการติดตามและจัดการระบบ ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ แดชบอร์ดถูกออกแบบให้มีความสวยงาม ใช้งานง่าย และแสดงข้อมูลที่สำคัญอย่างชัดเจน โดยประกอบด้วยส่วนสำคัญหลายส่วน ได้แก่ การแสดงผลแบบเรียลไทม์จากกล้องวงจรปิดทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับระบบ ซึ่งผู้ใช้สามารถดูภาพจากกล้องหลายตัวพร้อมกันและดูรายละเอียดของการตรวจจับวัตถุที่กำลังเกิดขึ้น กราฟและสถิติการตรวจจับวัตถุที่แสดงแนวโน้มและรูปแบบของเหตุการณ์ต่างๆ ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย ระบบแจ้งเตือนและการจัดการเหตุการณ์ที่แสดงการแจ้งเตือนล่าสุดและให้ผู้ใช้สามารถจัดการกับเหตุการณ์เหล่านั้นได้ และรายงานสรุปประจำวันและประจำเดือนที่สามารถดาวน์โหลดและพิมพ์ได้ แดชบอร์ดนี้สามารถใช้งานได้บนหลายอุปกรณ์ ทั้งคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์มือถือ เพื่อความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลทุกที่ทุกเวลา

3. ผลลัพธ์การวิจัย (Research Outcomes)

ผลลัพธ์จากการพัฒนาระบบ AI-RTRO สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ซึ่งแต่ละประเภทมีความสำคัญและมีผลกระทบในมิติที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์เหล่านี้ไม่เพียงแต่แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จของการวิจัย แต่ยังสร้างคุณค่าและประโยชน์ที่เป็นรูปธรรมต่อทั้งแวดวงวิชาการและการปฏิบัติจริง

3.1 ผลลัพธ์ทางวิชาการ (Academic Outcomes)

ผลลัพธ์ทางวิชาการจากการวิจัยครั้งนี้มีความสำคัญต่อการสะสมองค์ความรู้และการพัฒนาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้จัดทำบทความวิจัยที่น่าเสนอรอบแนวคิด วิธีการพัฒนา และผลการทดสอบของระบบ AI-RTRO เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการที่มีชื่อเสียงทั้งในระดับชาติและนานาชาติ นอกจากนี้ยังได้นำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการต่างๆ เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญในสาขา การเผยแพร่ผลงานวิจัยเหล่านี้ช่วยให้นักวิจัยและผู้สนใจสามารถนำไปศึกษาและพัฒนาต่อยอดได้

การวิจัยครั้งนี้ได้สร้างองค์ความรู้ใหม่ที่สำคัญหลายประการ ได้แก่ แนวทางการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งเป็นความรู้ที่ยังมีไม่มากนักในบริบทของประเทศไทย กรอบแนวคิดการพัฒนาระบบตรวจจับวัตถุแบบองค์รวมที่สามารถทำงานได้ทั้งแบบเรียลไทม์และย้อนหลัง และแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ที่คำนึงถึงความโปร่งใสและความรับผิดชอบ องค์ความรู้เหล่านี้ไม่เพียงแต่มีประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการ แต่ยังเป็นแนวทางสำหรับผู้ปฏิบัติที่ต้องการพัฒนาระบบที่คล้ายกัน

3.2 ผลลัพธ์ทางเทคโนโลยี (Technological Outcomes)

ผลลัพธ์ทางเทคโนโลยีที่เป็นรูปธรรมจากการวิจัยครั้งนี้คือระบบ AI-RTRO ที่สมบูรณ์และพร้อมใช้งาน ระบบนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักหลายส่วน ได้แก่ ระบบตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถประมวลผลภาพจากกล้องหลายตัวพร้อมกันและตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ระบบวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังที่สามารถค้นหารูปแบบและแนวโน้มของเหตุการณ์ต่างๆ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ และแดชบอร์ดที่ใช้งานง่ายและครอบคลุม แสดงข้อมูลในรูปแบบที่เหมาะสมและเข้าใจง่าย

โมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นเฉพาะสำหรับการวิจัยครั้งนี้เป็นผลงานที่มีคุณค่าสูง โมเดลเหล่านี้ได้รับการฝึกสอนด้วยข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากเทศบาลเมืองบางใหญ่ จึงมีความเหมาะสมกับบริบทและสภาพแวดล้อมของพื้นที่ โมเดลมีความแม่นยำสูงในการตรวจจับและจำแนกวัตถุต่างๆ และมีเวลาประมวลผลที่รวดเร็วเพียงพอสำหรับการทำงานแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้โมเดลยังถูกออกแบบให้สามารถปรับปรุงและพัฒนาต่อเนื่องได้ด้วยข้อมูลใหม่

นอกเหนือจากระบบหลักแล้ว ยังมีเครื่องมือและเทคโนโลยีสนับสนุนที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ API สำหรับเชื่อมต่อกับระบบอื่นๆ ของเทศบาลเพื่อให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและบูรณาการการทำงานได้ แอปพลิเคชันบนมือถือสำหรับการใช้งานภาคสนามที่ให้ผู้เจ้าหน้าที่สามารถเข้าถึงระบบได้แม้ขณะเดินทางหรืออยู่นอกสำนักงาน และระบบจัดการข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว

3.3 ผลลัพธ์ทางปฏิบัติและนโยบาย (Practical and Policy Outcomes)

ผลลัพธ์ที่สำคัญที่สุดของการวิจัยคือการนำระบบไปใช้ประโยชน์จริงในเทศบาลเมืองบางใหญ่ ระบบ AI-RTRO ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลความปลอดภัยในพื้นที่เทศบาลอย่างมีนัยสำคัญ การตรวจจับวัตถุและเหตุการณ์อัตโนมัติช่วยให้สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ระบบยังช่วยลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ในการตรวจสอบภาพจากกล้องวงจรปิดด้วยตนเอง ซึ่งเป็นงานที่ใช้เวลามากและอาจพลาดรายละเอียดสำคัญได้ง่าย นอกจากนี้ข้อมูลและสถิติที่ระบบสร้างขึ้นยังช่วยในการวางแผนและตัดสินใจเชิงนโยบายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ผลกระทบต่อชุมชนเป็นอีกมิติหนึ่งของผลลัพธ์ที่สำคัญ การมีระบบตรวจจับวัตถุที่มีประสิทธิภาพช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับประชาชนในพื้นที่ ทำให้ประชาชนรู้สึกมั่นใจและปลอดภัยมากขึ้น ระบบยังช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับเทศบาลในการบริหารงานด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย นอกจากนี้ความสำเร็จของการพัฒนาระบบยังทำให้เทศบาลเมืองบางใหญ่สามารถเป็นต้นแบบสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นๆ ที่สนใจจะพัฒนาระบบที่คล้ายกัน

จากประสบการณ์ในการพัฒนาและใช้งานระบบ ผู้วิจัยได้สรุปข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่สำคัญหลายประการ ได้แก่ แนวทางการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในองค์กรภาครัฐอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงทั้งโอกาสและความท้าทาย มาตรการด้านความปลอดภัยและความ

เป็นส่วนตัวของข้อมูลที่ต้องคำนึงถึงเมื่อใช้งานระบบปัญญาประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลของประชาชน และนโยบายการพัฒนาบุคลากรด้านปัญญาประดิษฐ์ในองค์ภาครัฐเพื่อให้สามารถพัฒนาและดูแลรักษาระบบได้อย่างยั่งยืน ข้อเสนอแนะเหล่านี้มีประโยชน์ไม่เพียงแต่สำหรับเทศบาลเมืองบางใหญ่ แต่ยังสามารถนำไปปรับใช้กับหน่วยงานอื่นๆ ได้

4. การประเมินผลระบบ (Evaluation)

การประเมินผลเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยยืนยันคุณภาพและประสิทธิภาพของระบบ AI-RTRO ผู้วิจัยได้ดำเนินการประเมินผลอย่างครอบคลุมและเป็นระบบ โดยใช้ทั้งวิธีการเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อให้ได้ภาพรวมที่สมบูรณ์ของประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบ

4.1 การประเมินประสิทธิภาพ (Performance Evaluation)

การประเมินประสิทธิภาพของระบบได้ดำเนินการในหลายมิติเพื่อให้ได้ภาพรวมที่ครอบคลุม มิติแรกคือความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดหลักของความสามารถของระบบ ผู้วิจัยได้วัดความแม่นยำด้วยตัววัดมาตรฐานหลายตัว ได้แก่ ค่าความแม่นยำแบบแม่นยำตรง (Precision) ซึ่งวัดว่าเมื่อระบบตรวจจับวัตถุ ผลการตรวจจับนั้นถูกต้องมากน้อยเพียงใด ค่าความครอบคลุม (Recall) ซึ่งวัดว่าระบบสามารถตรวจจับวัตถุที่มีอยู่จริงได้ครบถ้วนเพียงใด ค่า F1-Score ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกของความแม่นยำและความครอบคลุม และค่าความแม่นยำเฉลี่ยในการตรวจจับหลายคลาส (mAP) ซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพโดยรวมของระบบในการจำแนกวัตถุประเภทต่างๆ

มิติที่สองคือประสิทธิภาพด้านเวลา ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับระบบที่ต้องทำงานแบบเรียลไทม์ ผู้วิจัยได้วัดเวลาที่ใช้ในการประมวลผลแต่ละเฟรมของวิดีโอ (Inference Time) จำนวนเฟรมที่ระบบสามารถประมวลผลได้ต่อวินาที (FPS) ซึ่งจะต้องมากพอที่จะให้ภาพเคลื่อนไหวดูลื่นไหล และเวลาตอบสนองของระบบโดยรวมตั้งแต่รับข้อมูลจากกล้องจนถึงแสดงผลบนแดชบอร์ด ค่าเหล่านี้ช่วยยืนยันว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริง

มิติที่สามคือประสิทธิภาพของระบบโดยรวม ผู้วิจัยได้วัดเวลาที่ระบบทำงานได้ปกติโดยไม่มีปัญหา (System Uptime) ความสามารถในการขยายระบบเพื่อรองรับภาระงานที่เพิ่มขึ้น (Scalability) และ การใช้ทรัพยากรของระบบ เช่น หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยประมวลผลกราฟิก และหน่วยความจำ การวัดค่าเหล่านี้ช่วยให้ทราบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร

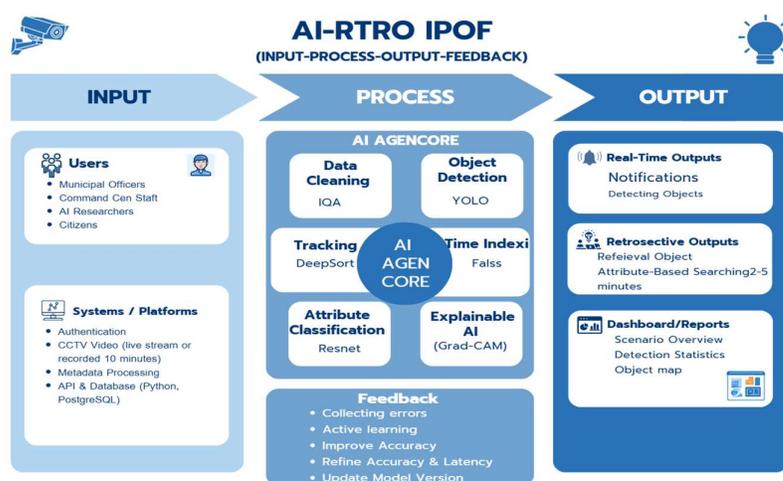
ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การประเมินที่ชัดเจนเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการตัดสินคุณภาพของระบบ ได้แก่ ความแม่นยำในการตรวจจับต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 ค่า F1-Score ต้องไม่ต่ำกว่า 0.85 เวลาตอบสนองต้องไม่เกิน 2 วินาที และ System Uptime ต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99 เกณฑ์เหล่านี้ถูกกำหนดขึ้นจากการศึกษามาตรฐานสากลและความต้องการของเทศบาลเมืองบางใหญ่ จากผลการทดสอบพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถผ่านเกณฑ์ทั้งหมดได้อย่างมีนัยสำคัญ

4.2 การรับข้อมูลป้อนกลับและการปรับปรุง (Feedback and Continuous Improvement)

การประเมินผลไม่ได้จบเพียงแค่การวัดประสิทธิภาพทางเทคนิค แต่ยังรวมถึงการรับข้อมูลป้อนกลับจากผู้ใช้และการนำไปสู่การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยได้สร้างกลไกในการรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้หลายช่องทาง ได้แก่ แบบสอบถามความพึงพอใจที่ครอบคลุมทั้งด้านการใช้งาน ความแม่นยำของการตรวจจับ และประโยชน์ที่ได้รับจากระบบ การสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ใช้งานเพื่อรับฟังประสบการณ์และข้อเสนอแนะอย่างละเอียด และการบันทึกพฤติกรรมการใช้งานระบบโดยอัตโนมัติเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการใช้งานและปัญหาที่อาจพบ

ข้อมูลที่รวบรวมได้จะถูกนำมาวิเคราะห์อย่างเป็นระบบในกระบวนการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง กระบวนการนี้ประกอบด้วย การวิเคราะห์ข้อผิดพลาดและจุดอ่อนของระบบเพื่อหาแนวทางแก้ไข การปรับปรุงโมเดลปัญญาประดิษฐ์ด้วยข้อมูลใหม่ที่รวบรวมได้จากการใช้งานจริงเพื่อเพิ่มความแม่นยำ การพัฒนาฟีเจอร์ใหม่ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน และการปรับปรุงส่วนติดต่อผู้ใช้ให้ใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น การปรับปรุงทุกครั้งจะผ่านกระบวนการทดสอบอย่างละเอียดก่อนนำไปใช้งานจริงเพื่อรักษาคุณภาพและเสถียรภาพของระบบ

ผู้วิจัยยังได้จัดให้มีกระบวนการประกันคุณภาพที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพของการตรวจจับวัตถุโดยเปรียบเทียบผลการตรวจจับกับความเป็นจริงอย่างสม่ำเสมอ การทดสอบระบบหลังจากการอัปเดตทุกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าการเปลี่ยนแปลงไม่ทำให้เกิดปัญหาใหม่หรือส่งผลกระทบต่อฟังก์ชันที่มีอยู่ และการจัดทำและปรับปรุงเอกสารและคู่มือการใช้งานให้ทันสมัยและสอดคล้องกับระบบอยู่เสมอ กระบวนการเหล่านี้ช่วยให้ระบบ AI-RTRO มีคุณภาพที่ดีและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดการพัฒนาแบบต้นแบบที่ขับเคลื่อนด้วย AI Agent (Conceptual Framework for AI Agent Based Prototype Development)

บทความเรื่อง การพัฒนาระบบตรวจจับวัตถุอัจฉริยะแบบเรียลไทม์และย้อนหลัง จากกล้องวงจรปิดรองรับความปลอดภัยระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ได้รับการเผยแพร่วารสารและตีพิมพ์ใน Journal of Theoretical and Applied Information Technology วันที่ 31 มกราคม 2026. Vol.104. No.2 www.jatit.org

ภาพที่ 3 แสดงกรอบแนวคิดเชิงเทคนิคของระบบต้นแบบ AI-RTRO (Artificial Intelligence – Real-Time & Retrospective Object Detection) ซึ่งได้รับการออกแบบเพื่อยกระดับประสิทธิภาพของระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะ (Intelligent Surveillance System) ภายใต้บริบทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น โดยเฉพาะพื้นที่เทศบาลเมืองบางใหญ่ ระบบดังกล่าวประยุกต์แนวคิด AI Agent Core ผสานเข้ากับกรอบ IPOF (Input–Process–Output–Feedback) เพื่อสร้างสถาปัตยกรรมที่ครอบคลุมตั้งแต่การรับข้อมูล การประมวลผล การนำเสนอผลลัพธ์ ไปจนถึงการเรียนรู้และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญของระบบอัจฉริยะในยุค Smart City

ในส่วนของ Input ระบบให้ความสำคัญกับแหล่งข้อมูลจากกล้องวงจรปิดทั้งแบบสตรีมสดและคลิปบันทึกช่วงเวลา 10 นาที รวมถึงข้อมูล Metadata เช่น เวลา สถานที่ และหมายเลขกล้อง ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการระบุวัตถุอย่างถูกต้อง ข้อมูลทั้งหมดถูกนำเข้าสู่วิธีการประเมินคุณภาพภาพ (Image Quality Assessment: IQA) เพื่อคัดกรองเฟรมที่มีคุณภาพไม่เหมาะสม เช่น ภาพเบลอ มีด หรือสัญญาณรบกวนสูง การจัดการคุณภาพข้อมูลตั้งแต่ต้นทางเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อผลลัพธ์ของโมเดลตรวจจับวัตถุ ตามข้อค้นพบจากงานวิจัยด้าน Data Quality หลายฉบับที่ระบุว่าสัญญาณภาพที่ไม่เสถียรสามารถลดค่า mAP ได้อย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อผ่านกระบวนการจัดการข้อมูลแล้ว ระบบจะเข้าสู่ส่วน Process ซึ่งเป็นหัวใจหลักของสถาปัตยกรรม AI Agent Core โดยแยกการทำงานออกเป็นสองโหมด ได้แก่ 1) Real-Time Detection สำหรับตรวจจับวัตถุทันที [8] และ 2) Retrospective Record Processing สำหรับการประมวลผลย้อนหลังจากคลิปบันทึกทั้งสองโหมดใช้ชุดเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ขั้นสูง เช่น YOLO สำหรับการตรวจจับวัตถุแบบความเร็วสูงซึ่งเวอร์ชันหลังปี 2023 เช่น YOLOv8 และ YOLOv10 ถูกพัฒนามาเพื่อเพิ่มความแม่นยำโดยไม่ลดทอนประสิทธิภาพการประมวลผล [9], [10], [11], [12] ส่วนการติดตามวัตถุข้ามเฟรมใช้ DeepSORT เพื่อแก้ปัญหา ID Switching ขณะวัตถุเคลื่อนที่นอกจากนี้ โมเดล ResNet ถูกนำมาใช้ในการสกัดคุณลักษณะเชิงลึก เช่น สี รูปร่าง หรือประเภทของยานพาหนะ และระบบจัดทำดัชนีค้นหาย้อนหลังใช้ Faiss เพื่อรองรับการค้นคืนวัตถุ (Time-Indexed Retrieval) ในระดับวินาที สุดท้าย Grad-CAM ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความโปร่งใสด้านการอธิบายผลลัพธ์ของโมเดล (Explainable AI) ซึ่งช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบความแม่นยำของระบบได้ง่ายขึ้น [5], [13], [14]

ผลลัพธ์จาก AI Agent Core จะถูกประเมินด้วยตัวชี้วัดมาตรฐานสากลเช่น mAP สำหรับความแม่นยำในการตรวจจับ IDF1 สำหรับประสิทธิภาพการติดตามวัตถุ และ Latency เพื่อประเมินความเร็วตอบสนองของระบบ หลังจากประมวลผลแล้ว ระบบจะเข้าสู่ส่วน Output ซึ่งแสดงในรูปแบบแดชบอร์ดแบบโต้ตอบ แสดงข้อมูลสรุปเหตุการณ์ แผนที่ตำแหน่งวัตถุ (Object Map) สถิติการตรวจจับ และระบบแจ้งเตือนแบบ Real-Time การค้นหาวัตถุย้อนหลัง (Retrospective Retrieval) สำหรับคลิป 10 นาที ยังได้รับการออกแบบให้รองรับการค้นหาแบบใช้คุณลักษณะ (Attribute-based Searching) เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถค้นหาวัตถุเฉพาะ เช่น “รถจักรยานยนต์สีแดง” หรือ “บุคคลสวมเสื้อดำ” ได้อย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้ ระบบยังประกอบด้วยโมดูล Time-Indexed Retrieval เพื่อประเมินความแม่นยำของโมเดลในสภาพแวดล้อมจริง เช่น แสง กลางวัน-กลางคืน และสภาพอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อคุณภาพการตรวจจับจากผลการทดสอบ ระบบจะเข้าสู่ส่วน Feedback ซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้และปรับปรุงแบบต่อเนื่อง โดยใช้ Active Learning เพื่อคัดเลือกกรณีที่ระบบเกิดความไม่แน่ใจ (Uncertain Predictions) ส่งกลับไปสู่กระบวนการฝึกซ้ำ ทำให้โมเดลสามารถเพิ่มความแม่นยำและลดข้อผิดพลาดในรอบถัดไป ระบบยังมีการติดตามผลผ่าน KPI Monitoring เช่น mAP, IDF1 และผ่าน MLOps Monitoring เพื่อตรวจสอบ Latency, Load รวมถึงสุขภาพของระบบในระดับโครงสร้างพื้นฐานทั้งหมด[15]

สุดท้าย ข้อมูลจากกระบวนการ Feedback จะไหลกลับไปยังส่วน Data Management & Integration เพื่อปรับปรุงคุณภาพข้อมูลต้นทางและอัปเดตโมเดล ทำให้ AI-RTRO สามารถเรียนรู้ต่อเนื่อง (Continuous Learning Cycle) และพัฒนาประสิทธิภาพได้ในทุกวงจรของการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาระบบอัจฉริยะเพื่อรองรับงานเฝ้าระวังในบริบทเมืองอัจฉริยะที่ต้องการความแม่นยำ ความรวดเร็ว และความน่าเชื่อถือสูง

8. ผลลัพธ์ (Result)

ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดโดยผู้เชี่ยวชาญ ปรากฏข้อมูลตามตารางที่ 1 ตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	\bar{X}	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. System Quality	4.73	0.62	มากที่สุด
1.1) องค์ประกอบของกรอบแนวคิดมีความครบถ้วน	4.72	0.65	มากที่สุด
1.2) โครงสร้างระบบมีความเชื่อมโยงสอดคล้องกัน	4.65	0.51	มากที่สุด
1.3) กรอบแนวคิดสามารถนำไปพัฒนาต้นแบบได้จริง	4.81	0.60	มากที่สุด

รายการ	\bar{X}	S.D.	ระดับความเหมาะสม
2. Intelligence Quality	4.71	0.58	มากที่สุด
2.1) AI Agent แสดงความสามารถในการรับรู้และวิเคราะห์ที่ได้เหมาะสม	4.80	0.57	มากที่สุด
2.2) การตัดสินใจของ AI Agent มีความสมเหตุสมผล	4.72	0.49	มากที่สุด
2.3) กระบวนการทำงานของ AI Agent มีความฉลาดและเป็นระบบ	4.81	0.68	มากที่สุด
3. Decision Quality	4.76	0.58	มากที่สุด
3.1) ระบบสามารถสนับสนุนการตัดสินใจที่ถูกต้อง	4.77	0.52	มากที่สุด
3.2) ผลลัพธ์ของการตัดสินใจมีความโปร่งใสและอธิบายได้	4.86	0.49	มากที่สุด
3.3) การตัดสินใจของระบบตรงกับความต้องการของผู้ใช้	4.75	0.50	มากที่สุด
4. Learning Quality	4.74	0.45	มากที่สุด
4.1) ระบบสามารถเรียนรู้และปรับปรุงจาก Feedback ได้	4.68	0.46	มากที่สุด
4.2) AI Agent แสดงความสามารถในการปรับตัวตามสถานการณ์	4.78	0.48	มากที่สุด
4.3) การเรียนรู้ช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพของระบบ	4.82	0.44	มากที่สุด
5. Environment Quality	4.75	0.56	มากที่สุด
5.1) ระบบสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้	4.70	0.55	มากที่สุด
5.2) ผู้ใช้สามารถเข้าใจและใช้งานได้สะดวก	4.72	0.65	มากที่สุด
5.3) กรอบแนวคิดเหมาะสมกับการนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมจริง	4.70	0.46	มากที่สุด
สรุปภาพรวม	4.71	0.53	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดระบบ AI-RTRO โดยผู้เชี่ยวชาญ 15 คน พบว่าภาพรวมอยู่ในระดับ Excellent ($\bar{x} = 4.74$, S.D. = 0.55) สะท้อนว่ากรอบแนวคิดมีความครบถ้วน ชัดเจน และสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในบริบทของระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะและการบริหารจัดการเมืองแบบ Smart City System Quality ($\bar{x} = 4.72$) ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่ากรอบแนวคิดมีองค์ประกอบที่เป็นระบบและสามารถนำไปพัฒนาเป็นต้นแบบได้จริง โดยการจัดวางโครงสร้างแบบ IPOF และโมดูล AI Agent Core มีความเชื่อมโยงระหว่างส่วนต่าง ๆ อย่างเหมาะสมรองรับกระบวนการตรวจจับ-ติดตาม-สืบค้นวัตถุทั้งแบบเรียลไทม์และย้อนหลัง Intelligence Quality ($\bar{x} = 4.77$) ระบบได้รับการประเมินว่ามีความสามารถเชิงปัญญาประดิษฐ์ที่เพียงพอสำหรับงาน CCTV Analytics ทั้งด้านการรับรู้ การวิเคราะห์เหตุการณ์ และกระบวนการทำงานอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการประมวลผลภาพร่วมกับข้อมูลเชิงเวลา ทำให้สามารถรองรับงานตรวจจับวัตถุและค้นคืนเหตุการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ Decision Quality ($\bar{x} = 4.79$) ซึ่งเป็นมิติที่ได้คะแนนสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าสามารถสนับสนุนการตัดสินใจเชิงปฏิบัติการได้อย่างเหมาะสม มีความโปร่งใสอธิบายที่มาของผลลัพธ์ได้ (Explainable AI) และสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานองค์กร

ปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งให้ความสำคัญกับความน่าเชื่อถือและความตรวจสอบได้ของระบบ ในมิติ Learning Quality ($\bar{x} = 4.76$) ผู้เชี่ยวชาญประเมินว่าระบบมีความสามารถในการเรียนรู้จาก Feedback และปรับตัวตามสถานการณ์จริง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Active Learning ที่ช่วยให้ระบบสามารถพัฒนาและเพิ่มความแม่นยำของการตรวจจับและสืบค้นได้ต่อเนื่องเมื่อใช้งานจริงในพื้นที่เมือง สุดท้าย Environment Quality ($\bar{x} = 4.70$) สะท้อนว่ากรอบแนวคิดมีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริง ทั้งในแง่ความเข้าใจง่าย ความสอดคล้องกับงานของเจ้าหน้าที่ และความสามารถในการประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมจริงที่มีเงื่อนไขซับซ้อน เช่น สภาพแสง กล้องจำนวนมาก และข้อจำกัดของโครงสร้างพื้นฐานเมือง

8. การอภิปรายและการสรุปแนวคิดการวิจัย

ผลการพัฒนาระบบ AI-RTRO แสดงให้เห็นว่าสถาปัตยกรรมที่สร้างขึ้นสามารถรองรับการตรวจจับ ติดตาม และสืบค้นวัตถุในสภาพแวดล้อมจริงของเทศบาลเมืองบางใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบตรวจจับวัตถุสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำด้วยค่า mAP ที่อยู่ในระดับสูง ขณะที่การติดตามด้วย DeepSORT ให้ค่า IDF1 ที่ดีและลดการสลับตัวตนได้อย่างมีนัยสำคัญ แม้ในพื้นที่ที่มีความแออัดหรือการบดบังเป็นช่วง ๆ นอกจากนี้ ระบบยังแสดงผลแบบเรียลไทม์ด้วยความหน่วงต่ำกว่า 2 วินาที ทำให้รองรับภารกิจด้านการเฝ้าระวังและการแจ้งเตือนเหตุผิดปกติได้จริงในพื้นที่เมืองที่มีสภาพแวดล้อมซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

ด้านการสืบค้นย้อนหลัง ระบบ Time-Indexed Retrieval ทำงานได้อย่างโดดเด่น โดยสามารถค้นหาวัตถุจากคลิป 10 นาทีได้ภายในเวลาเพียงไม่กี่วินาทีด้วยการใช้เวกเตอร์คุณลักษณะจาก ResNet และดัชนีของ Faiss ทำให้ค้นหาได้ละเอียดระดับวินาทีและรองรับการค้นหาตามคุณลักษณะต่าง ๆ ซึ่งช่วยลดภาระการตรวจสอบด้วยแรงงานคนลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการไล่อูภาพย้อนหลังแบบเดิม และยังเพิ่มโอกาสในการตรวจสอบเหตุการณ์ย้อนหลังได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

ระบบ AI Agent Core ทำงานสอดคล้องกับหลักการ Perceive-Decide-Act-Learn โดยสามารถรับรู้ภาพจากหลายกล้องพร้อมกัน วิเคราะห์เหตุการณ์ แจ้งเตือน และเรียนรู้จากข้อมูลใหม่ผ่าน Active Learning ความสามารถในการอธิบายผลด้วย Grad-CAM ยังช่วยให้ผู้ใช้ตรวจสอบเหตุผลที่โมเดลตัดสินใจได้อย่างโปร่งใส ซึ่งเหมาะสมกับบริบทของหน่วยงานท้องถิ่นที่ต้องคงความน่าเชื่อถือและตรวจสอบได้ทุกขั้นตอน[16]

ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดโดยผู้เชี่ยวชาญ 15 คนให้คะแนนเฉลี่ย 4.74 อยู่ในระดับ Excellent สะท้อนว่าระบบมีความครบถ้วนทั้งด้านโครงสร้าง ความสามารถทางปัญญาประดิษฐ์ การสนับสนุนการตัดสินใจ และความเหมาะสมต่อการใช้งานจริง โดยเฉพาะด้าน Decision Quality ที่ได้คะแนนสูงสุด แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถสนับสนุนการตัดสินใจเชิงปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพและโปร่งใส ขณะเดียวกัน Learning Quality และ Environment

Quality ที่ได้คะแนนสูงบ่งชี้ว่าระบบสามารถนำไปใช้งานได้จริงในบริบทเมืองและปรับตัวได้ตามสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

ผลการทดลองและการประเมินทั้งหมดชี้ว่าระบบ AI-RTRO เป็นต้นแบบระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะที่สามารถใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ รองรับการตรวจจับเหตุแบบเรียลไทม์ การตรวจสอบย้อนหลังที่รวดเร็ว และการตัดสินใจที่โปร่งใส ซึ่งช่วยลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ เพิ่มความแม่นยำในการติดตามเหตุการณ์ และสนับสนุนการยกระดับโครงสร้างพื้นฐานความปลอดภัยของเมืองให้สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนา Smart City ของประเทศไทย

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] “Smart-City-Thailand-Hitachi-Review-20210624”.
- [2] K. N. Irvine *et al.*, “Smart City Thailand: Visioning and Design to Enhance Sustainability, Resiliency, and Community Wellbeing,” *Urban Science*, vol. 6, no. 1, Mar. 2022, doi: 10.3390/urbansci6010007.
- [3] J. Terven and D. Cordova-Esparza, “A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS,” Feb. 2024, doi: 10.3390/make5040083.
- [4] M. Hussain, “YOLOv5, YOLOv8 and YOLOv10: The Go-To Detectors for Real-time Vision,” Jul. 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2407.02988>
- [5] N. Swaroop, “REAL TIME GENERIC OBJECT DETECTION AND TRACKING,” 2020. [Online]. Available: <http://www.ijeast.com>
- [6] J. Cao, J. Pang, X. Weng, R. Khirodkar, and K. Kitani, “Observation-Centric SORT: Rethinking SORT for Robust Multi-Object Tracking.” [Online]. Available: https://github.com/noahcao/OC_SORT.
- [7] S. Rahman Alve and C. Author, “Deep Learning and Hybrid Approaches for Dynamic Scene Analysis, Object Detection and Motion Tracking.”

- [8] R. Sapkota, K. I. Roumeliotis, and M. Karkee, “AI Agents vs. Agentic AI: A Conceptual taxonomy, applications and challenges,” *Information Fusion*, vol. 126, Feb. 2026, doi: 10.1016/j.inffus.2025.103599.
- [9] M. Desai, H. Mewada, I. M. Pires, and S. Roy, “Evaluating the Performance of the YOLO Object Detection Framework on COCO Dataset and Real-World Scenarios,” in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2024, pp. 157–163. doi: 10.1016/j.procs.2024.11.096.
- [10] Y. Ma and Z. Zhi, “Weakly Supervised Real-Time Object Detection Based on Salient Map Extraction and the Improved YOLOv5 Model,” *Advances in Multimedia*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/1239337.
- [11] M. Łysakowski, K. Żywanowski, A. Banaszczyk, M. R. Nowicki, P. Skrzypczyński, and S. K. Tadeja, “Real-Time Onboard Object Detection for Augmented Reality: Enhancing Head-Mounted Display with YOLOv8,” Jun. 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2306.03537>
- [12] X. Xu, Y. Jiang, W. Chen, Y. Huang, Y. Zhang, and X. Sun, “DAMO-YOLO : A Report on Real-Time Object Detection Design,” Apr. 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2211.15444>
- [13] R. Lakhotiya, M. Chavan, S. Divate, and S. Pande, “Image Detection and Real Time Object Detection,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 5, pp. 2785–2790, May 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.51839.
- [14] K. Tire, E. O. Taga, M. E. Ildiz, and S. Oymak, “Retrieval Augmented Time Series Forecasting,” Nov. 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2411.08249>
- [15] M. Wu, C. Li, and Z. Yao, “Deep Active Learning for Computer Vision Tasks: Methodologies, Applications, and Challenges,” Aug. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/app12168103.
- [16] T. Chakraborty, U. Trehan, K. Mallat, and J.-L. Dugelay, “Generalizing Adversarial Explanations with Grad-CAM.”

Plagiarism Checking Report

Created on 2026-02-15 20:40:07 at 20:40 PM

Submission Information

ID	SUBMISSION DATE	SUBMITTED BY	ORGANIZATION	FILENAME	STATUS	SIMILARITY INDEX
4629344	Feb 15, 2026 at 20:34 PM	166491432007-st@rmutsb.ac.th	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	01-DDMT2026 - ชาญวิทย์ สัมมนา ครั้งที่ 3 R7.pdf	Completed	0.00 %

Match Overview

NO.	TITLE	AUTHOR(S)	SOURCE	SIMILARITY INDEX
No data available in table				