ระบบอ่านมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ ด้วยเทคโนโลยี IoT กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรม

AUTOMATIC WATER METER READING SYSTEM USING IOT TECHNOLOGY: A CASE STUDY IN AN INDUSTRIAL FACTORY

กฤษกร วุฒิ[1], กุลวลัญช์ วรุณสิน[2], นันทวรรณ อ่ำเอี่ยม[3]
Kritsakorn Wootthi, Kulwarun Warunsin, Nanthawan Am-Eam

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาและนำเทคโนโลยี IoT มาใช้ในการดำเนินงานการอ่านข้อมูลมิเตอร์น้ำประปา โดยงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ โดยการศึกษานี้จะการพัฒนาตัวอ่านมิเตอร์น้ำที่ใช้อุปกรณ์ ESP32 CAM ร่วมกับโปรแกรม AI on the edge เพื่อช่วยให้สามารถอ่านข้อมูลภาพมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติและแปลงภาพมิเตอร์เป็นข้อมูลตัวเลขเพื่อให้สามารถแสดงผลผ่าน Dashboard Real Time ได้ ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงกระบวนการจดมิเตอร์ในปัจจุบันที่ใช้พนักงานดูแลระบบจำนวน 2 คน เดินทางไปจดข้อมูลมิเตอร์ตามพื้นที่ของโรงงานต่างๆภายในสวนอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในพื้นที่จังหวัดชลบุรี เพื่อนำข้อมูลเลขมิเตอร์น้ำไปคิดค่าบริการน้ำประปา

ผลการศึกษาพบว่าระบบอ่านมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ มีประสิทธิภาพในการแปลงรูปภาพเป็นตัวอักษรด้วยเทคโนโลยี OCR โดยที่ทดลองจำนวน 2,860 ครั้ง ระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์ผิดพลาด 109 ครั้ง ทำให้ระบบความมีความแม่นยำได้ถึงร้อยละ 96.188% และได้วิเคราะห์ข้อมูลเลขมิเตอร์น้ำประปาที่ได้มากจากระบบอ่านมิเตอร์น้ำอัตโนมัติผ่านโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 22 โดยใช้ One-Way Anova ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.79 ทั้งนี้เมื่อระบบใช้งานฟังก์ชันการกรองข้อมูลภายในระบบอ่านมิเตอร์น้ำอัตโนมัติ และนำข้อมูลที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ผ่านทางสถิติอีกครั้ง โดยที่ทดลองจำนวนที่อ่าน 2,751 ครั้ง ระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์ผิดพลาดและหลุดการกรองข้อมูล 1 ครั้ง ฟังก์ชันการกรองข้อมูลจะทำให้ระบบความมีความแม่นยา ร้อยละ 99.963% ซึ่งมีความแม่นยำมากขึ้น

คำสำคัญ: มิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ, OCR, IoT, ESP32CAM, ปัญญาประดิษฐ์, Vision, AI on the Edge Device, การบริหารจัดการน้ำ,โรงงานอุตสาหกรรม

ABSTRACT

This research focuses on developing and implementing IoT technology in automated water meter data reading. The study aims to create an automated water meter reading system using an ESP32 CAM device integrated with the AI on the Edge program. This setup enables automatic capture and interpretation of water meter images, converting them into numerical data displayed in real-time on a dashboard. This system represents an improvement over the current manual process, which requires two staff members to

[1] นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี สถาบัน มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[2] ดร., สถาบัน มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., สถาบัน มหาวิทยาลัยรามคำแหง

travel and manually record water meter readings across industrial sites in Chonburi Province for billing purposes.

The study's findings demonstrate that the automated water meter reading system effectively converts images into text using OCR technology. In 2,860 trials, the system recorded 109 errors, resulting in an accuracy rate of 96.188%. Further analysis was conducted on the water meter data using Minitab Version 22, applying One-Way ANOVA, which produced a P-Value of 0.79. Upon implementing the system's data filtering function, reanalysis showed that with 2,751 trials, only one reading error was detected after filtering, achieving an improved accuracy rate of 99.963%.

KEYWORDS: automated water meter, OCR, IoT, ESP32 CAM, artificial intelligence, vision, AI on the Edge device, water management, industrial

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปฏิวัติการบริหารจัดการน้ำด้วยปัญญาประดิษฐ์ในยุคดิจิทัลที่เทคโนโลยีพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ปัญหาการขาดแคลนน้ำและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพกลายเป็นประเด็นสำคัญที่ทั่วโลกให้ความสนใจ ในปัจจุบันมีการพัฒนาและใช้งานอุปกรณ์ Internet of Things (IoT) มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีผลต่อการเข้าถึงทรัพยากรที่สะดวกสบายและราคาที่เหมาะสมของเทคโนโลยีนี้ ความสำคัญของการลดราคาของอุปกรณ์ IoT เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยเปิดโอกาสให้เทคโนโลยีต่าง ๆ นำมาใช้ในรูปแบบที่หลากหลาย และง่ายต่อการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การเกษตร หรืออุตสาหกรรมต่าง ๆ

การประยุกต์ใช้ IoT ในการจัดการระบบน้ำประปาอุตสาหกรรม บริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ทำหน้าที่ดูแลระบบจัดการน้ำประปาและงานด้านสิ่งอำนวยความสะดวก (Facility) ของสวนอุตสาหกรรมมาเป็นระยะเวลา 32 ปี โดยให้บริการน้ำประปาแก่โรงงานจำนวน 66 โรงงาน และมีมิเตอร์น้ำจำนวน 117 มิเตอร์ คิดอัตราค่าบริการน้ำประปาหน่วยละ 24 บาท โดยที่บริษัทดังกล่าวมีกระบวนการจดเลขมิเตอร์น้ำประปาที่ให้พนักงานเดินทางไปจดข้อมูลเลขมิเตอร์ตามโรงงานต่างๆ ซึ่งจากกระบวนการทำงานนี้พบปัญหาต่อไปนี้

1.ความผิดพลาดในการจดบันทึก พบการจดเลขมิเตอร์ผิดพลาด 2 มิเตอร์ จาก 117 มิเตอร์ โดยมีความถี่พบเจอประมาณ 1 ครั้งในรอบ 2 เดือน

2.ความล่าช้าในการดำเนินงาน จากสภาพภูมิอากาศรวมทั้งระยะทางระหว่างโรงงานส่งผลให้การจดมิเตอร์ล่าช้าเพิ่มขึ้นจาก 1 วันเป็น 2 วัน

3.ความซับซ้อนของขั้นตอน การบันทึกข้อมูลที่มีหลายขั้นตอนเพิ่มโอกาสในการเกิดข้อผิดพลาด

4.การตรวจพบความชำรุดล่าช้า เนื่องจากตรวจสอบมิเตอร์เดือนละ 2 ครั้ง ทำให้การค้นพบปัญหาล่าช้า

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีงานวิจัยจาก Chong et al. (2022) ประเทศมาเลเซีย ได้ศึกษาการพัฒนาการอ่านมิเตอร์ด้วย OCR เพราะการเปลี่ยนมิเตอร์แบบเข็มอนาล็อกที่มีอยู่เดิมเป็นมิเตอร์ดิจิทัลที่เชื่อมต่อกับคลาวด์แบบใหม่นั้นมีราคาแพงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับมิเตอร์สำหรับภาคอุตสาหกรรม ในโครงการนี้ ได้มีการพัฒนาโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) โดยอาศัย Single Shot Detector (SSD) Mobile Net V2 และโปรแกรมสำหรับการแปลภาพเป็นตัวอักษร (Optical Character Recognition: Tesseract OCR) โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกได้รับการฝึกฝนด้วยฐานข้อมูลภาพมิเตอร์ 750 ภาพ และถูกนำไปใช้ในการระบุพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest: ROI) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าความแม่นยำของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกและ OCR อยู่ที่ 95% และ 93% ตามลำดับ

จากการศึกษาพบการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AI on the Edge Device เพื่อพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ โดยมีโครงการ AI on the Edge Device ที่นำโดย "Jomjol" นักพัฒนาจากประเทศเยอรมนี โดยโครงการนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบ AI ที่สามารถทำงานได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องพึ่งพาคลาวด์ ทำให้การประมวลผลข้อมูลเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น การนำเทคโนโลยี AI on the Edge มาประยุกต์ใช้กับการอ่านค่ามิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ จึงนับเป็นก้าวสำคัญในการยกระดับการบริหารจัดการน้ำในภาคอุตสาหกรรม ด้วยความสามารถในการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real Time บนอุปกรณ์ขนาดเล็กอย่าง ESP32-CAM สามารถอ่านค่ามิเตอร์น้ำได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว นอกจากนี้เทคโนโลยี AI on the Edge ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ ที่ต้องการการวิเคราะห์ข้อมูลแบบReal Time ได้อีกมากมาย เช่น ระบบ Smart Home และระบบเกษตรอัจฉริยะ

และจากงานวิจัย(Pandey, 2024) แสดงให้เห็นถึงข้อดีของ Edge AI ซึ่งกำลังเปลี่ยนแปลงวิธีการประมวลผลข้อมูลโดยการนำการคำนวณ AI ไปไว้ที่อุปกรณ์ปลายทาง แทนที่จะพึ่งพาการประมวลผลจากคลาวด์เพียงอย่างเดียว ข้อดีของ Edge AI คือช่วยลดเวลาในการตอบสนอง ช่วยรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ลดการใช้พลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระบบ IoT และอุตสาหกรรมที่ต้องการความรวดเร็วและความเป็นส่วนตัว การพัฒนาเทคโนโลยีนี้เป็นก้าวสำคัญสำหรับการเติบโตของอุตสาหกรรมที่มุ่งสู่การทำงานแบบอัตโนมัติและการตอบสนองแบบเรียลไทม์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าเทคโนโลยี OCR เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการเปลี่ยนมิเตอร์น้ำแบบอนาล็อกให้เป็นระบบดิจิทัล ด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่าและเพิ่มความสะดวกในการตรวจสอบข้อมูลมิเตอร์จากระยะไกล นอกจากนี้การใช้ Edge AI ในการประมวลผลข้อมูลบนอุปกรณ์ปลายทางยังช่วยลดเวลาในการประมวลผล มีความปลอดภัย และความเป็นส่วนตัวของข้อมูล ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์น้ำอัตโนมัติ โดยผสานเทคโนโลยี IoT ร่วมกับ Computer Vision เพื่อสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลการใช้น้ำประปาแบบครบวงจร ระบบที่พัฒนานี้ใช้บอร์ด ESP32-CAM ถ่ายภาพมิเตอร์ และประมวลผลภาพ OCR ด้วยโปรแกรม AI-on-the-edge ก่อนส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลและแสดงผลบน Dashboard Real Time ทำให้กระบวนการตรวจสอบการใช้น้ำมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์น้ำอัตโนมัติ โดยสามารถอ่านข้อมูลมิเตอร์ของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีลักษณะเป็นมิเตอร์ แบบแสดงตัวเลข บนหน้าปัดมิเตอร์
2. เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบการทำงานของมิเตอร์น้ำ
3. เพื่อจัดทำ Dashboard แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปา Real Time

สมมุติฐานของการวิจัย

การพัฒนาระบบการบันทึกข้อมูลเลขมิเตอร์จะช่วยให้กระบวนการอ่านมิเตอร์น้ำเป็นการอ่านแบบอัตโนมัติและส่งข้อมูลขึ้นแสดงข้อมูลมิเตอร์น้ำแบบ Real Time ช่วยแก้ไขปัญหาการจดเลขมิเตอร์ที่ผิดพลาด และความล่าช้าในการจดเลขมิเตอร์

ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาและพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ และแสดงผลบน Dashboard Real time โดยใช้ข้อมูลมิเตอร์น้ำประปาจากมิเตอร์น้ำ (ขนาด 2.5 m^3/hr ยี่ห้อ ASAHI) จากบริษัทกรณีศึกษา เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

1.วิศวกรดูแลระบบน้ำประปา ทำหน้าที่ดูแลระบบผลิตและจ่ายน้ำประปาให้กับโรงงานต่างๆในพื้นที่สวนอุตสาหกรรม และรวบรวมข้อมูลการใช้น้ำส่งให้ทางส่วนกลาง

2.พนักงานเดินระบบน้ำประปา ทำหน้าที่ ดูแลระบบน้ำ การจ่ายน้ำและผลิตน้ำและตรวจสอบข้อมูลมิเตอร์น้ำ รวมทั้งบันทึกข้อมูลมิเตอร์ส่งให้วิศวกร

3.เจ้าหน้าที่ส่วนกลาง ตรวจสอบการข้อมูลการใช้น้ำของแต่ละโรงงาน ภายในสวนอุตสาหกรรมและนำข้อมูลไปออกบิลเรียกเก็บเงินค่าบริการการใช้น้ำประปา

4.ลูกค้าบริษัท A ที่ใช้น้ำประปา จากทางส่วนกลางของสวนอุตสาหกรรม

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ เจ้าหน้าที่ ที่เกี่ยวข้องกับงานบันทึกน้ำประปาและตรวจสอบบันทึกข้อมูลการใช้น้ำประปา โดยมี วิศวกรดูแลระบบน้ำประปา,พนักงานเดินระบบน้ำประปา,เจ้าหน้าที่ส่วนกลางและลูกค้าที่ใช้น้ำประปาดังนี้

1.วิศวกรดูแลระบบน้ำประปา	จำนวน 1 คน
2.พนักงานเดินระบบน้ำประปา	จำนวน 2 คน
3.เจ้าหน้าที่ส่วนกลาง	จำนวน 1 คน
4.ลูกค้าบริษัท A ที่ใช้น้ำประปา	จำนวน 1 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือด้านซอฟต์แวร์ (Software)

1. AI-on-the-edge firmware เป็นโปรแกรม Vision OCR ใช้ในการถ่ายภาพมิเตอร์และประมวลภาพมิเตอร์เป็นตัวเลข พร้อมทั้งส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล

2. โปรแกรม Node RED ใช้รับข้อมูลจาก MQTT Broker และส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล

3. แพลตฟอร์ม Grafana คือ แพลตฟอร์มที่ใช้จัดทำ Dashboard Real Time

4. InfluxDB คือ ฐานข้อมูล (Data Server)

5. Minitab Version 22 คือ โปรแกรมคำนวณทางสถิติ

เครื่องมือด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1. คอมพิวเตอร์

2. ESP32 CAM

3. แหล่งจ่ายไฟ 5V

4. SD card

เครื่องมือวิเคราะห์ปัญหา

แผนภูมิพาเรโต้ (Pareto Chart) ใช้ในการบอกปริมาณข้อมูลปัญหาและเรียงลำดับปัญหา ขั้นตอนการปฏิบัติ ผู้วิจัยนำมาใช้ในศึกษาลำดับของปัญหาที่เกิดผังก้างปลา (fishbone diagram) เป็นผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุของปัญหา ทั้งหมด ผู้วิจัยนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ 5Why Analysis หรือ การวิเคราะห์หาสาเหตุต้นตอ เป็นเทคนิคการแก้ไขปัญหาที่ใช้การถามคำถาม "ทำไม" ซ้ำๆ เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหา โดยเริ่มจากปัญหาที่สังเกตเห็น

การเก็บรวบรวมข้อมูล

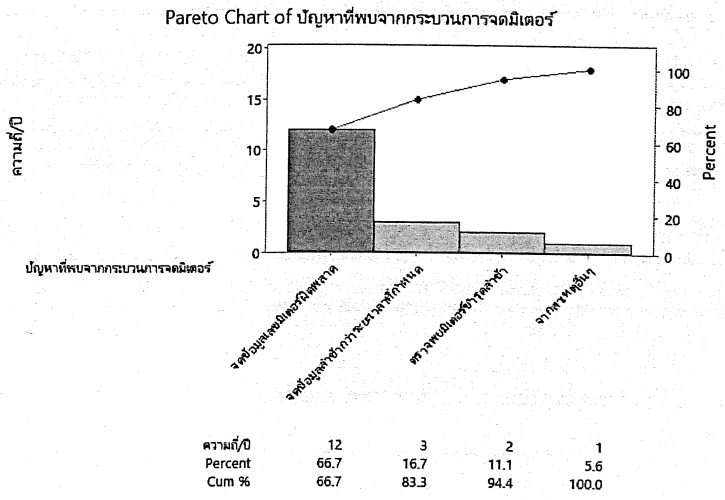
การรวบข้อมูลการขั้นตอนการทำงานโดยการสอบถามวิธีปฏิบัติงานจากทางผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องและระยะเวลาการดำเนินงานจดเลขมิเตอร์ จนลูกค้าได้รับข้อมูลการใช้น้ำจากบิลค่าบริการการใช้น้ำ ซึ่งได้พบปัญหาการจดบันทึกและกระบวนการมีระยะเวลานาน รวมทั้งมีการจดบันทึกข้อมูลที่ผิดพลาด ผู้วิจัยจึงต้องการปรับปรุงกระบวนกาทำงานเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการนำเทคโนโลยี IoT ด้านVision เข้ามาจัดการในส่วนของการเก็บข้อมูลการใช้ปริมาณน้ำประปา รวมทั้งแสดงข้อมูล และนำข้อมูลไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัญหาที่พบจากกระบวนการจดเลขมิเตอร์น้ำประปา

ข้อมูลปัญหาที่พบจากกระบวนการจดเลขมิเตอร์น้ำประปา			
ลำดับ	รายละเอียดปัญหา	จำนวน/ปี	หน่วย
1	จดข้อมูลเลขมิเตอร์ผิดพลาด	12	ครั้ง
2	จดข้อมูลเลขมิเตอร์ล่าช้ากว่าระยะเวลาที่กำหนด	3	ครั้ง
3	ตรวจพบมิเตอร์ชำรุดล่าช้า	2	ครั้ง
4	จากสาเหตุอื่นๆเช่น พบ ส่งข้อมูลล่าช้า ทำให้ตรวจสอบล่าช้า เป็นต้น	1	ครั้ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

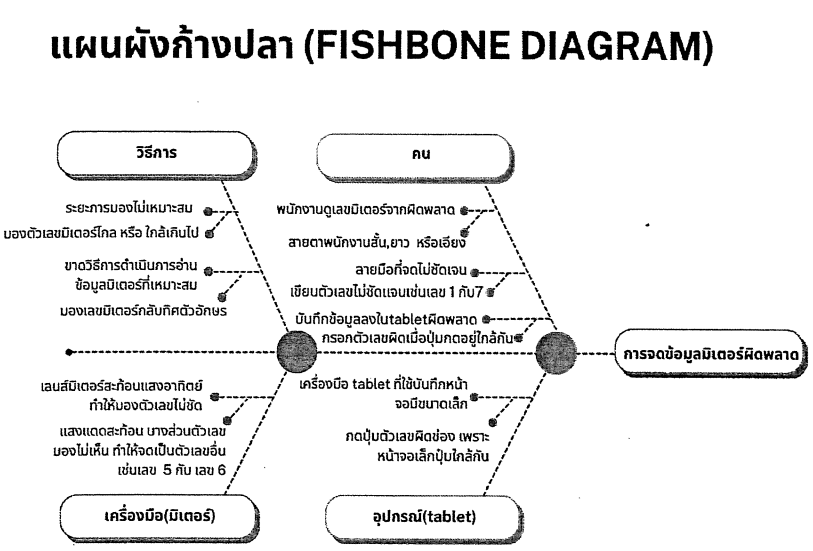
ขั้นตอนการทำงานมีการเดินทางเพื่อไปจดข้อมูลมิเตอร์ ซึ่งพบปัญหาการส่งข้อมูลล่าช้ากว่าระยะเวลาที่กำหนด และพบว่ามีปัญหาการจดข้อมูลตัวเลขมิเตอร์น้ำผิดพลาดซึ่งมาจากการจดและบันทึกข้อมูลของพนักงานเดินระบบน้ำประปา จึงได้นำข้อมูลปัญหาจาก ตารางที่1 มาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต้ นำข้อมูลที่วิเคราะห์จาก**แผนภูมิพาเรโต้** (Pareto Chart) ใช้แผนภาพจัดลำดับปัญหาที่พบ เพื่อที่นำปัญหาที่ส่งผลกระทบมากที่สุดมาวิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหาต่อ



ภาพที่1 การวิเคราะห์ โดยใช้ Pareto Chart

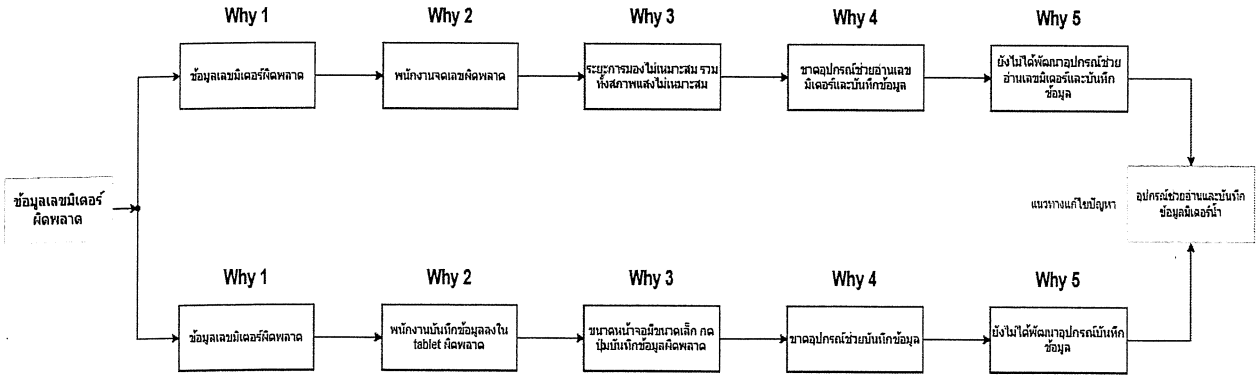
Subscription ID: f8fa6c5e26df47f1bd0276642641946

ผลการวิเคราะห์ด้วย Pareto จะเห็นได้ว่าปัญหาที่พบมากที่สุดคือ การจดข้อมูลผิดพลาด และรองลงมาคือ จดข้อมูลล่าช้ากว่าระยะเวลาที่กำหนด จึงได้นำปัญหาที่พบได้มากที่สุดมาวิเคราะห์โดยใช้ ผังก้างปลา (fishbone diagram)



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ โดยใช้ ผังก้างปลา

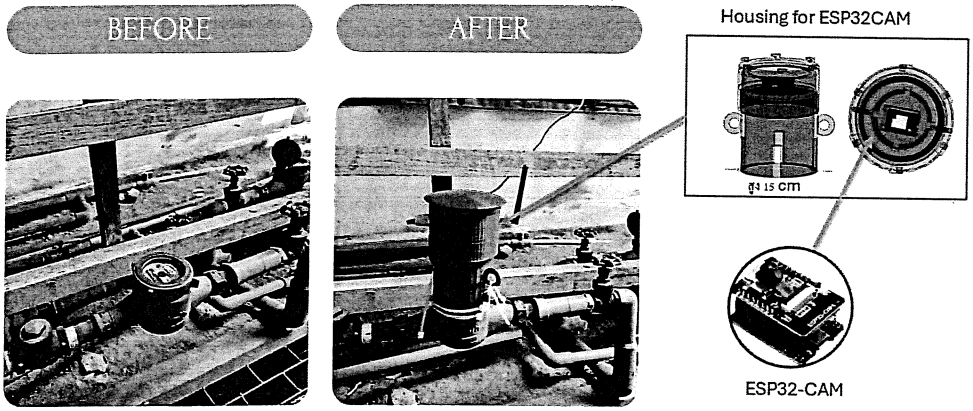
ผลวิเคราะห์ปัญหาจากผังก้างปลา ทางผู้วิจัยได้ พบปัญหาจากการดูเลขมิเตอร์ผิดพลาดของพนักงาน ,ลายมือที่เขียนไม่ชัดเจน ,ลงบันทึกข้อมูลใน tablet ผิดพลาดและสภาพแวดล้อมระยะการมองเห็นอาจจะมีช่วงนี้แสงสะท้อน ทำให้พนักงานจดตัวเลขมิเตอร์ผิดพลาด ซึ่งจากการเก็บข้อมูลจากทางวิศวกรดูแลระบบน้ำประปา การจดเลขมิเตอร์ผิดพลาด จดเลขไม่ถูกต้อง พบเจอที่ผิดพลาดจำนวน 2 มิเตอร์ ความถี่ที่พบเจอความผิดพลาดในการจดมิเตอร์ จะพบ 1 ครั้งในรอบ 2 เดือน นำปัญหามาวิเคราะห์ 5 Why พบว่าปัญหาขาดการพัฒนาอุปกรณ์นำมาช่วยอ่านข้อมูลมิเตอร์และบันทึกข้อมูลมิเตอร์ ควรแก้ไขโดยนำเทคโนโลยี IoT ด้าน Vision มาใช้ในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานจดข้อมูลมิเตอร์



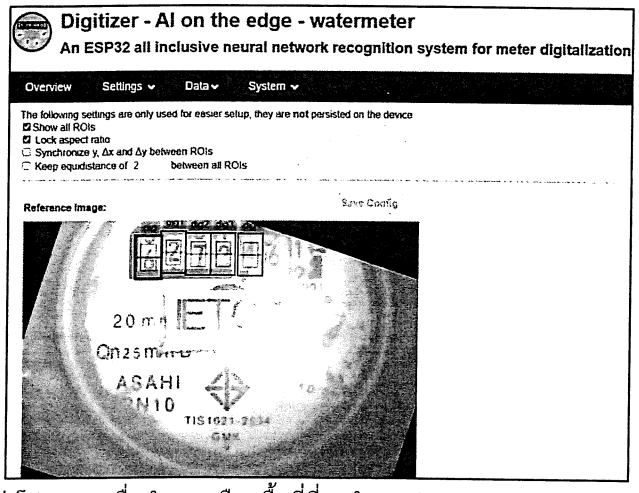
ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ 5 Why

จากการวิเคราะห์ปัญหาพบขาดอุปกรณ์ที่ช่วยอ่านข้อมูลมิเตอร์น้ำและบันทึกข้อมูล จึงมีแนวคิดในการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพและสามารถประมวลผลรูปภาพที่ถ่ายมาเป็นข้อมูลที่ตัวเลข ซึ่งจะลดปัญหาการอ่านเลขผิดพลาดจากตัวพนักงาน รวมทั้งยังสามารถส่งข้อมูลที่ประมวลผลเสร็จสิ้น ไปยังฐานข้อมูลเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆได้ ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้อุปกรณ์ IoT ด้าน Vision ที่มีสามารถถ่ายภาพอัตโนมัติ และตัวอุปกรณ์เมื่อทำงานร่วมกับโปรแกรม OCR ที่ใช้การแปรภาพเป็นอักษร ทำให้สามารถมีข้อมูลเก็บไว้ในฐานข้อมูลและสามารถนำข้อมูลในฐานข้อมูลมาแสดงผลผ่าน Dashboard Real Time

การพัฒนาระบบผู้วิจัยได้ นำอุปกรณ์ ESP32 CAM มาใช้งานสำหรับอ่านภาพมิเตอร์โดยใช้ร่วมกับโปรแกรม AI-on-the-edge เป็นโปรแกรมด้าน Vision OCR ที่จะถ่ายภาพมิเตอร์และประมวลผลภาพมาเป็นตัวเลขมิเตอร์เพื่อส่งข้อมูลไปที่server โดยที่จะติดตั้งโปรแกรม AI-on-the-edge ลงบน ESP32 CAM จากนั้นตั้งค่าโปรแกรมเพื่อให้สามารถถ่ายภาพและเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตได้ และนำอุปกรณ์ ESP32CAM ที่ติดตั้งโปรแกรมเสร็จแล้วไปติดตั้งบนมิเตอร์ เพื่อตั้งค่าทำการตั้งค่าโปรแกรมเพื่อให้สามารถทำ OCR ได้

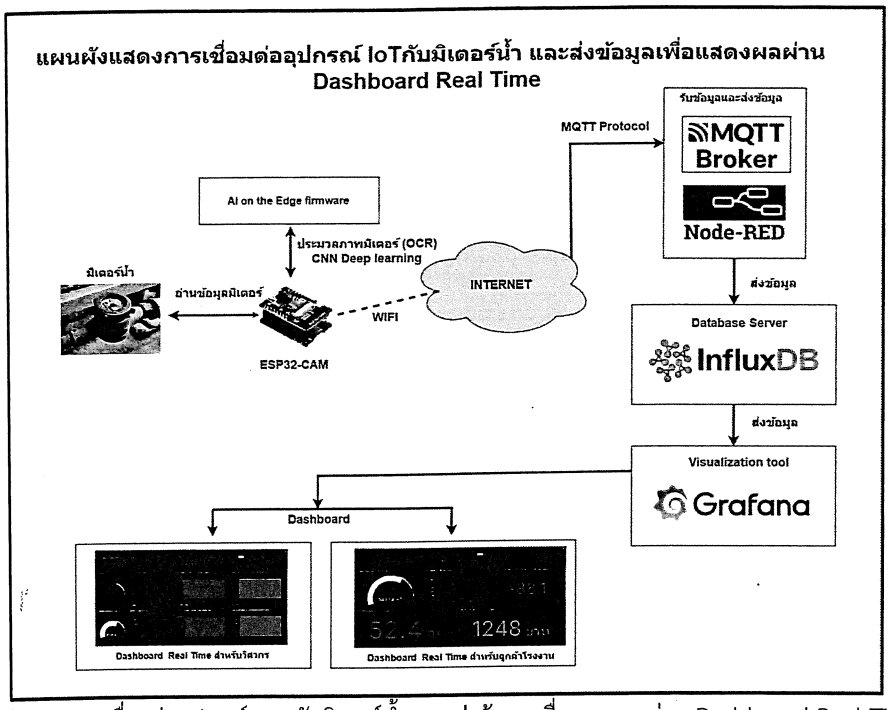


ภาพที่ 4 ภาพมิเตอร์น้ำก่อนติดตั้งอุปกรณ์และภาพมิเตอร์น้ำหลังติดตั้งอุปกรณ์

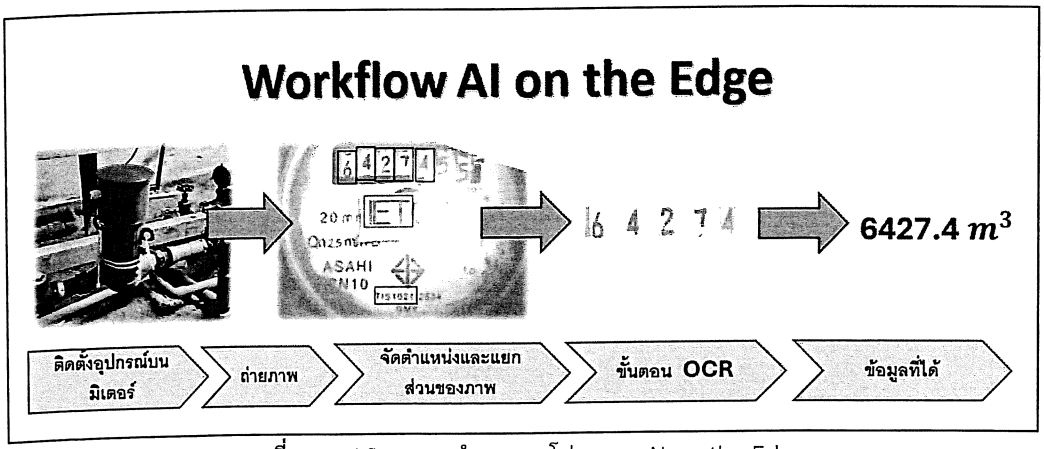


ภาพที่ 5 ตั้งค่าโปรแกรมเพื่อทำ การเลือกพื้นที่ที่จะทำการประมวลผล (Region of Interest : ROI)

เมื่อตั้งค่าให้โปรแกรมสามารถที่จะทำการ OCR เสร็จแล้ว จะเป็นการตั้งค่าการส่งข้อมูล ในงานวิจัยนี้จะทำการส่งข้อมูลโดยส่งข้อมูลผ่าน MQTT Broker จากนั้นใช้โปรแกรม Node-Red ในการรับข้อมูลจาก MQTT Broker ส่งไปยัง InfluxDB ที่จะใช้เป็น Data server และจะนำข้อมูลจาก server ไปแสดงผลบน Dashboard Real time โดยที่จะใช้แพลตฟอร์ม Grafana Dashboard



ภาพที่ 6 แผนผังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT กับมิเตอร์น้ำ และส่งข้อมูลเพื่อแสดงผลผ่าน Dashboard Real Time



ภาพที่ 7 Workflow การทำงานของโปรแกรม AI on the Edge

ระบบอ่านมิเตอร์น้ำอัตโนมัติ จะใช้ AI-on-the-edge firmware ซึ่งทำงานโดยนำเอา AI มาการประมวลผลภาพ และนำ IoT มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน โดยมีหลักการทำงานของระบบมีดังนี้

1. การถ่ายภาพ: ESP32-CAM ถ่ายภาพมิเตอร์น้ำเป็นระยะ ทุกๆ 5 นาที

2. การประมวลผลภาพ: ภาพที่ได้จากกล้องจะสามารถตั้งค่าเบื้องต้น เช่น ปรับความสว่าง, ตัดส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออก, ปรับตำแหน่งภาพอัตโนมัติ และการระบุพื้นที่ที่สนใจ (ROI)

3. OCR: ในการแปลงรูปตัวเลขบนหน้าปัดมิเตอร์น้ำประปาให้อยู่ในรูปแบบตัวเลข

3.1 ระบบ AI วิเคราะห์ภาพเพื่อตรวจจับตำแหน่งตัวเลขบนหน้าปัด ที่เราได้ทำการ ROI ไว้

3.2 ระบบใช้ Convolutional Neural Networks (CNN) ในการอ่านค่าตัวเลขในภาพ และทำงานร่วมกับ Classification Networkเพื่อแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอล

4. ฟังก์ชันกรองข้อมูล (Filtered data function): การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ OCR ที่ได้จาก AI-on-the-edge โดยระบบจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้ ตามเงื่อนไขที่ได้ตั้งเอาไว้ 2 ข้อดังนี้

4.1 ข้อมูลที่อ่านได้จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าข้อมูลที่อ่านได้รอบที่ผ่านมา

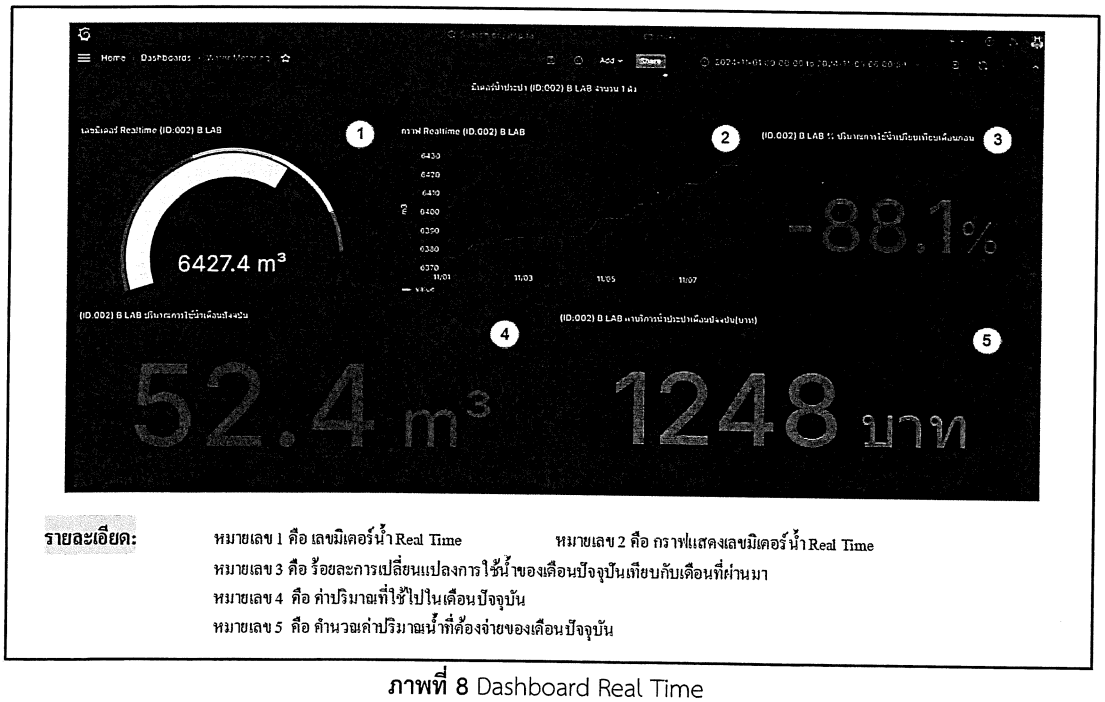
4.2 ข้อมูลปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลงจากรอบที่ผ่านมาต้องไม่เกิน 0.5 m^3

ข้อมูลที่จะถูกส่งต่อไป Server ต้องผ่านเงื่อนไขการกรองข้อมูลทั้ง 2 ข้อดังกล่าว

5. การส่งข้อมูล: ข้อมูลจากถูกส่งโดยใช้ MQTT Protocol ไปยัง Server

6. การแสดงผล: แสดงผลบนแพลตฟอร์ม Grafana Dashboard Real Time

เมื่อระบบอ่านมิเตอร์ทำงาน จะส่งข้อมูลเลขมิเตอร์น้ำไปแสดงบน Dashboard Real Time โดยที่ภายใน Dashboard จะแสดงข้อมูล เลขมิเตอร์น้ำปัจจุบัน และนำข้อมูลเลขมิเตอร์มาคำนวณ ปริมาณการใช้น้ำประปาและค่าใช้บริการน้ำประปาของเดือนล่าสุด เทียบกับเดือนที่ผ่านมา (ดังภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 Dashboard Real Time

เมื่อข้อมูลแสดงผลบน Dashboard Real Time ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเพื่อที่จะทดสอบความแม่นยำของระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมา พร้อมทั้งทดสอบข้อมูลทางสถิติโดยใช้ One-Way Anova โดยข้อมูลที่นำมาใช้งานมี 3 อย่าง ดังนี้

1.ข้อมูลจริงของมิเตอร์ (Meter Data)

2.ข้อมูลจากระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติก่อนผ่านการกรองข้อมูล (OCR Raw Data)

3.ข้อมูลจากระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติหลังจากผ่านฟังก์ชันกรองข้อมูลภายในโปรแกรม AI-on-the-edge (Filtered Data)

งานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลจำนวน 2 ครั้ง โดยที่มีสมมติฐานงานวิจัยดังนี้

สมมติฐานงานวิจัย: ข้อมูลเลขมิเตอร์น้ำประปาที่อ่านได้จากระบบอ่านมิเตอร์น้ำอัตโนมัติ มีข้อมูลที่ไม่แตกต่างกันกับข้อมูลจริงของมิเตอร์น้ำประปา

กำหนดให้ μ_1 = ข้อมูลเลขมิเตอร์น้ำที่อ่านได้จากระบบอ่านมิเตอร์น้ำอัตโนมัติ

μ_2 = ข้อมูลเลขมิเตอร์จริงของมิเตอร์น้ำ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

การทดสอบจะดำเนินการที่ ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

ครั้งที่ 1 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง Meter Data และ OCR Raw Data โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีจำนวนครั้งรอบการอ่านมิเตอร์เท่ากับ 2860 ครั้ง ซึ่งพบว่า มีจำนวน 109 ครั้ง ที่ระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติอ่านเลขมิเตอร์ผิดพลาด เมื่อคิดเป็นร้อยละความแม่นยำจะเท่ากับ 96.188 % จากนั้นนำเข้ามูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วย One-Way Anova ได้ค่า P-Value = 0.79

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	1	17	17.15	0.07	0.790
Error	5718	1377646	240.93		
Total	5719	1377664			

ภาพที่ 9 ผล One-Way Anova เปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง Meter Data และ OCR Raw Data

Subscription ID: f8fa6c5e26df47f1bd0276642641946

ครั้งที่ 2 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง Meter Data และ Filtered Data โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีจำนวนครั้งรอบการอ่านมิเตอร์เท่ากับ 2751 ครั้ง ซึ่งพบว่า มีจำนวน 1 ครั้ง ที่ระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติอ่านเลขมิเตอร์ผิดพลาด เมื่อคิดเป็นร้อยละความแม่นยำจะเท่ากับ 99.963 % จากนั้นนำเข้ามูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วย One-Way Anova ได้ค่า P-Value = 1.0

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	1	0	0.000	0.00	1.000
Error	5500	1312308	238.602		
Total	5501	1312308			

ภาพที่ 10 ผล One-Way Anova เปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง Meter Data และ Filtered Data

Subscription ID: f8fa6c5e26df47f1bd0276642641946

จะเห็นได้ว่าทั้งข้อมูลก่อนการกรองข้อมมูลและหลังการกรองข้อมูลมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ: $\alpha = 0.05$ แสดงว่าให้เห็นว่าสมมติฐานเป็นจริง ค่าที่อ่านได้จากระบบอ่านมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติมีค่าเทียบเท่ากับค่าจริงของมิเตอร์น้ำในทางสถิติ

จากการพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติ จะทำให้ช่วยพัฒนาการทำงานและเกิดประโยชน์ ดังนี้

1. ลดการกรอกเอกสาร และเขียนข้อมูลมิเตอร์ และไม่มีระยะเวลาที่รอข้อมูลจากการจดมิเตอร์ ลดความผิดพลาดของข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง
2. ลดค่าใช้จ่ายการเดินทางและค่าแรงพนักงานจดเลขมิเตอร์ โดยที่จะลด ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบวนการเดิมจากกระบวนการเดิม พนักงาน 2 คน ค่าแรงวันละ 400 บาท และมีค่าน้ำมันในการเดินทางจดเลขมิเตอร์วันละ 100 บาท โดยที่กระบวนการจดเลขมิเตอร์และตรวจสอบมิเตอร์ทั้งหมด 2 วันรวมค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้.ในกรณีไม่มีการจดเลขที่ผิดพลาด คือ 1800 บาท/เดือน และมีค่าใช้จ่ายอุปกรณ์อื่นๆเช่น Tablet สำหรับบันทึกข้อมูล และอินเตอร์เน็ตสำหรับส่งข้อมูล
3. ลดกระบวนการจดเลขมิเตอร์ เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการทำงานดังกล่าวแล้ว
4. ลดความเสี่ยงจากการเดินทางไปจดเลขมิเตอร์ในพื้นที่ต่างๆ
5. สามารถตรวจพบมิเตอร์น้ำชำรุด และมีน้ำรั่วในระบบ ได้อย่างรวดเร็ว
6. การตรวจสอบผ่านระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติ โดยวิศวกรและลูกค้าโรงงาน จะสามารถตรวจสอบข้อมูลมิเตอร์ผ่านระบบออนไลน์ได้ตลอดเวลา
7. มีข้อมูลในระบบฐานข้อมูล สามารถนำข้อมูลต่างๆมาประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์พัฒนาระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการจดเลขมิเตอร์เดิม ซึ่งจากการวิเคราะห์ปัญหา พบว่า การดูเลขมิเตอร์ผิดพลาดของพนักงาน,ลายมือที่เขียนไม่ชัดเจน ,ลงบันทึกข้อมูลใน tablet ผิดพลาดและสภาพแวดล้อมระยะการมองเห็นอาจจะมีช่วงนี้แสงสะท้อน ทำให้พนักงานจดตัวเลขมิเตอร์ผิดพลาด จากปัญหานี้ ทำให้ต้องตรวจสอบข้อมูลอีกครั้ง ทำให้เกิดความล่าช้าในขั้นตอนบันทึกข้อมูลมิเตอร์ลงในระบบ จึงได้นำปัญหาที่พบมาวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขโดยใช้การวิเคราะห์ 5 Why พบว่าปัญหามาจากขาดการพัฒนาอุปกรณ์นำมาช่วยอ่านข้อมูลมิเตอร์และบันทึกข้อมูลมิเตอร์ และควรแก้ไขโดยนำเทคโนโลยี IoT ด้านVision มาใช้ในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานจดข้อมูลมิเตอร์

จากการพัฒนาระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ ได้ทดสอบโดยนำอุปกรณ์ ESP 32 CAM และ โปรแกรม AI-on-the-edge ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำงานด้าน Vision OCR ไปติดตั้งบนมิเตอร์น้ำประปาจริง และทำการตั้งโปรแกรมเพื่อให้

ระบบถ่ายภาพมิเตอร์และประมวลผลภาพอัตโนมัติมาเป็นตัวเลข และส่งข้อมูลไปเพื่อแสดงผล จากการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ได้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และตั้งสมมติฐานการทดลอง โดยได้ผลดังนี้ระบบอ่านมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติ มีทดสอบประสิทธิภาพในการแปลงรูปภาพเป็นตัวอักษรด้วยเทคโนโลยี OCR โดยที่ทดลองจำนวน 2860 ครั้ง ระบบอ่านมิเตอร์ผิดพลาด 109 ครั้ง ทำให้ระบบความมีความแม่นยาได้ถึงร้อยละ 96.188% และได้วิเคราะห์ข้อมูลผ่านโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 22 โดยใช้ One-Way Anovaได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.79 ทั้งนี้โปรแกรม AI-on-the-edge มีระบบใช้งานฟังก์ชันการกรองข้อมูลภายในระบบอ่านมิเตอร์น้ำอัตโนมัติ และนำข้อมูลที่ผ่านฟังก์ชันการกรองมาวิเคราะห์คำนวณทางสถิติอีกครั้ง โดยจำนวนข้อมูลที่ผ่านการกรองมีจำนวนที่อ่าน 2751 ครั้ง ระบบอ่านมิเตอร์ผิดพลาดและหลุดการกรองข้อมูล จำนวน 1 ครั้ง เมื่อคำนวณเป็นร้อยละ ฟังก์ชันการกรองข้อมูลจะทำให้ระบบมีความแม่นยำ ร้อยละ 99.963% ซึ่งมีความแม่นยำมากขึ้น และวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยใช้ One-Way Anova ได้ค่า P-Value เท่ากับ 1.0 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งข้อมูลก่อนการกรองข้อมูลและหลังการกรองข้อมูลมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ: $\alpha = 0.05$ แสดงว่าให้เห็นว่าค่าที่อ่านได้จากระบบอ่านมิเตอร์น้ำประปาอัตโนมัติมีค่าเทียบเท่ากับค่าจริงของมิเตอร์น้ำในทางสถิติ และจากผลการทดลองดังกล่าว ทำให้สรุปได้ว่า ระบบอ่านมิเตอร์น้ำอัตโนมัติมีความแม่นยำสูงในการอ่านและประมวลผลภาพข้อมูลมิเตอร์น้ำประปา จึงได้นำข้อมูลไปแสดงผลบน Dashboard Real Time

จากการนำระบบที่พัฒนาขึ้นจะทำให้ช่วยพัฒนาการทำงานให้ดีขึ้นและเกิดประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ดังนี้

1. การลดต้นทุน

1.1 ระบบอ่านมิเตอร์น้ำอัตโนมัติช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานและค่าน้ำมันจากการเดินทางจดเลขมิเตอร์ ลดค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการเดิม

1.2 การลดขั้นตอนการจดและตรวจสอบเลขมิเตอร์ช่วยลดค่าแรงพนักงานและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

2. การเพิ่มประสิทธิภาพ

2.1 ระบบช่วยลดข้อผิดพลาดในการจดเลขมิเตอร์แบบเดิม

2.2 นำระบบที่พัฒนาไปใช้งานจะช่วยลดขั้นตอนในการทำงานจดเลขมิเตอร์ โดยที่ลดระยะเวลาการทำงานลงจากเดิมที่ใช้ระยะเวลา 1 วัน เมื่อนำระบบที่พัฒนาขึ้นมาใช้งาน ระบบจะส่งข้อมูล Real Time ทำให้ทราบผลข้อมูลทันที จะทำให้ขั้นตอนนี้ลดเวลาการทำงานเหลือ 0 วัน

2.3 ระบบช่วยให้ผู้เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรดูแลระบบและลูกค้าโรงงาน สามารถตรวจสอบข้อมูลการใช้น้ำได้ทันทีผ่าน Dashboard Real Time

2.4 การตรวจพบปัญหาที่รวดเร็วช่วยลดผลกระทบต่อกระบวนการใช้งานและการแก้ไข

3. ผลกระทบเชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อม

3.1 ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดการใช้กระดาษ: การบันทึกข้อมูลผ่านระบบอัตโนมัติแทนการจดด้วยเอกสารช่วยลดปริมาณการใช้กระดาษ ซึ่งส่งผลให้ลดการตัดต้นไม้เพื่อผลิตกระดาษ

3.2 ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก: การลดการเดินทางเพื่อตรวจสอบมิเตอร์ช่วยลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.3 ลดการสูญเสียน้ำ: ตรวจพบการใช้น้ำที่ผิดปกติ เช่น น้ำรั่วผ่านระบบ Real Time ช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำ

3.4 ลดปริมาณขยะจากเอกสาร: การใช้ระบบดิจิทัลแทนการบันทึกด้วยเอกสารช่วยลดปริมาณขยะจากเอกสาร

3.5 ลดการใช้น้ำเกินความจำเป็น: ผู้ใช้น้ำสามารถตรวจสอบการใช้งานน้ำแบบ Real Time ลดพฤติกรรมการใช้น้ำฟุ่มเฟือย

การอภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัย ผลการวิจัยในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ตั้งไว้ โดยที่งานวิจัยนี้บรรลุผลการพัฒนาระบบอ่านข้อมูลมิเตอร์น้ำอัตโนมัติ โดยสามารถอ่านข้อมูลเลขมิเตอร์น้ำประปราของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีลักษณะเป็นมิเตอร์ แบบแสดงตัวเลข บนหน้าปัดมิเตอร์ได้ และระบบที่พัฒนามี Dashboard แสดงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปา Real Time ซึ่งจะทำให้วิศวกรดูแลระบบสามารถตรวจสอบการทำงานของมิเตอร์และข้อมูลการใช้น้ำของลูกค้าได้ และลูกค้าที่ใช้บริการน้ำประปา สามารถดูข้อมูลผ่าน Dashboard เพื่อใช้สำหรับการจัดการน้ำ และจากผลของงานวิจัยเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยและสมมติฐานทางสถิติ คือ การพัฒนาระบบการบันทึกข้อมูลเลขมิเตอร์จะช่วยให้กระบวนการอ่านมิเตอร์น้ำเป็นการอ่านแบบอัตโนมัติและส่งข้อมูลขึ้นแสดงข้อมูลมิเตอร์น้ำแบบ Real Time ช่วยแก้ไขปัญหาการจดเลขมิเตอร์ที่ผิดพลาด และความล่าช้าในการจดเลขมิเตอร์ โดยมีผลการวิเคราะห์ทางสถิติยืนยันว่า ข้อมูลที่ได้รับจาก ระบบมีความแม่นยำสูงสามารถใช้งานได้

การพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์ยังสามารถพัฒนาและต่อยอดงานวิจัย ไปใช้ในรูปแบบอื่นเช่น การจัดการปริมาณการใช้น้ำในโรงงาน เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 การทำพื้นที่เลือกจุดที่จะอ่านภาพ(Region-of-interest :ROI) ควรเลือกขนาดให้พอดีกับตัวอักษรที่ต้องการอ่านแปลผลภาพ สำหรับใช้งานในโปรแกรม AI on the edge เพื่อความแม่นยำในการทำ OCR

1.2 ทำความสะอาดหน้าปัดมิเตอร์ให้สะอาดและปรับแสงให้สว่าง สำหรับการทำ OCR จะได้ข้อมูลที่แม่นยำถูกต้อง

1.3 ต้องเวลารอบถ่ายภาพมิเตอร์เพื่อวิเคราะห์ OCR ควรตั้งค่าไม่เกิน 6 ชั่วโมงต่อ1ครั้ง เพื่อให้หากพบข้อผิดพลาดจากการถ่าย ระบบจะได้ถ่ายภาพซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

1.4 ข้อมูลที่ได้รับมาจากโปรแกรม AI on the edge สามารถสั่งเข้าฐานข้อมูลได้หลายโปรแกรมและหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความถนัดของผู้ใช้งาน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 สามารถนำข้อมูลไปพัฒนาต่อ เพื่อแจ้งเตือนสถานะข้อมูลผ่าน แอพพลิเคชั่นต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการดูแลระบบ

2.2 ข้อมูลที่ได้รับ สามารถพัฒนาต่อยอดวิจัยต่อ เพื่อให้ได้ระบบออกใบแจ้งหนี้ออนไลน์ จะทำให้กลายเป็นระบบมีความหลากหลายมากขึ้น

2.3 การพัฒนาระบบสามารถต่อยอดไปใช้พลังงานแสดงอาทิตย์ได้ สำหรับพื้นที่ ที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าใช้

2.4 ระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติ สามารถต่อยอดประยุกต์ใช้กับมิเตอร์อื่นๆนอกเหนือจากมิเตอร์น้ำได้ เช่น มิเตอร์ไฟฟ้า มิเตอร์ก๊าซ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

Jomjol. (n.d.). *AI on the edge device documentation*. Retrieved November 8, 2024, from https://jomjol.github.io/AI-on-the-edge-device-docs/

Minitab, Inc. (n.d.). *Minitab 22 software* [Computer software]. Retrieved November 8, 2024, from https://www.minitab.com Subscription ID : f8fa6c5e26df47f1bd0276642641946

Chong, Y. J., Chua, K. H., Babrdel, M., Hau, L. C., & Wang, L. (2022). *Deep Learning and Optical Character*

Recognition for Digitization of Meter Reading. In *2022 IEEE 12th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*, Penang, Malaysia, May 21-22, 2022. IEEE. https://doi.org/10.1109/ISCAIE54458.2022.9794463

Pandey, D. *(2024). Edge AI: Revolutionizing Real-Time Intelligence at the Network Periphery. International Journal For Science Technology And Engineering.* Available: https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.63875

The 1st International and The 17th National Graduate Research Conference

101 ปี
ราชภัฏอุดรธานี
UDRU : HAPPY UNIVERSITY

ครุสภา

UNIVERSITAS PGRI ADI BUANA