

การบูรณาการเซนเซอร์อัจฉริยะและ IoT บน LoRaWAN สำหรับการวัดปริมาณน้ำในเมืองอัจฉริยะ Smart Sensors and IoT-based LoRaWAN Integration for Water Metering in Smart Cities

ณัฐณิชา ศรีพิยาศ¹, นคร ตริสิงห์วงศ์² และ สราวุธ ชัยมูล^{1*}

Natthanicha Sriphyat¹, Nakorn Threesinghawong² and Sarawuth Chaimool^{1*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ²บริษัท ไพรมัส จำกัด

¹Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand and ²PRIMUS Company Limited, Thailand

*Corresponding Author E-mail: jaounarak@gmail.com

Received: 29/08/24, Revised: 27/09/24, Accepted: 28/09/24

บทคัดย่อ

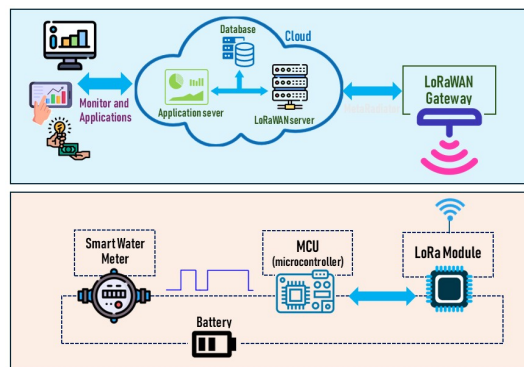
งานวิจัยนี้เสนอการบูรณาการเซนเซอร์อัจฉริยะและ IoT สำหรับการเก็บข้อมูลการใช้ น้ำ การตรวจสอบความผิดปกติของปริมาณน้ำ และป้องกันการขโมยมาตรวัดน้ำ โดยเปรียบเทียบเซนเซอร์สองชนิด ได้แก่ อินдукทีฟพร็อกซิมิตีเซนเซอร์และเซนเซอร์อัจฉริยะ การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความแม่นยำของเซนเซอร์แต่ละชนิด พร้อมทั้งประเมินความเหมาะสมในการใช้งานในระบบเมืองอัจฉริยะ ผลการทดสอบแสดงว่าเซนเซอร์ทั้งสองชนิดมีความถูกต้องเมื่อเทียบกับมาตรวัดแบบกลไกดั้งเดิม และข้อมูลสามารถเก็บและแสดงบนคลาวด์ โดยเซนเซอร์อัจฉริยะสามารถตรวจจับทิศทางการไหลของน้ำและป้องกันการขโมยมาตรวัดทำให้ผู้บริโภคและผู้ผลิตติดตามการใช้น้ำได้อย่างใกล้ชิด และรับประกันการเรียกเก็บเงินที่แม่นยำซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาและการใช้เทคโนโลยีเพื่อปรับปรุงการจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพระบบเมืองอัจฉริยะให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เซนเซอร์อัจฉริยะ ทرفพยากรณ์ เมืองอัจฉริยะ

Abstract

This research presents the integration of smart sensors and IoT (Internet of Things) for water usage data collection, anomaly detection in water volume, and meter theft prevention. It compares two types of sensors: inductive proximity sensors and smart sensors. The study analyzes the performance and accuracy of each sensor and assesses their suitability for use in smart city systems. The experimental results indicate that both sensors are accurate compared to traditional mechanical meters, and the data can be stored and displayed on the cloud. The smart sensor can detect water flow direction and prevent meter theft, enabling consumers and producers to closely monitor water usage and ensure accurate billing. This can be applied to the development and utilization of technology to improve water management efficiency in smart city systems.

Keywords: Smart sensor, Water resources, Smart City

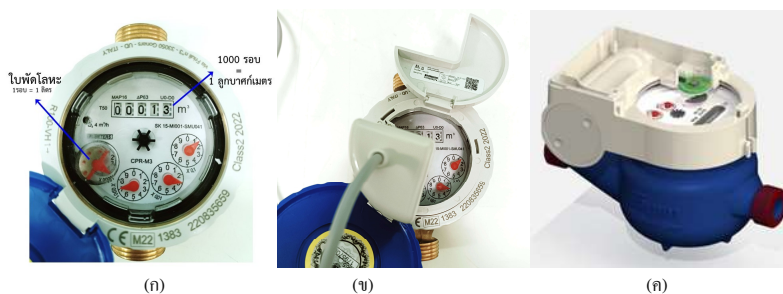


รูปที่ 1 ระบบการจัดการน้ำจากการบูรณาการเซนเซอร์อัจฉริยะและ IoT บน LoRaWAN

1. บทนำ

ในยุคที่เมืองต่าง ๆ ทั่วโลกกำลังเปลี่ยนแปลงสู่การเป็นเมืองอัจฉริยะ ดังนั้น การพัฒนาเมืองมีความจำเป็นต้องการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อสร้างเมืองที่อัจฉริยะและยั่งยืน ซึ่งการจัดการทรัพยากรน้ำเป็นหนึ่งในพื้นที่สำคัญที่ต้องให้ความสำคัญ [1] เนื่องจากน้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญและจำเป็นสำหรับชีวิตและการดำรงชีวิตของประชาชนและสถานประกอบการในเมือง การใช้เทคโนโลยีเพื่อปรับปรุงการจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพมีความสำคัญเพิ่มขึ้นในช่วงที่มีความรุนแรงของปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและความท้าทายในการจัดการทรัพยากรน้ำในเมืองที่เติบโตอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม การจัดการน้ำในเมืองมีแนวโน้มที่ซับซ้อนและเร่งรีบมากขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเพิ่มประชากร [2] การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [3] และความต้องการในการพัฒนาและขยายตัวของเมืองอันรวดเร็ว [4 - 5] ปัญหาที่พบบ่อยได้แก่ การสูญเสียที่รั่วไหล ความขัดแย้งในการจัดการน้ำระหว่างหน่วยงานภาครัฐกับเอกชน และการตรวจสอบวัดปริมาณน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น

การใช้เซนเซอร์อัจฉริยะร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตแห่งการสรรพสิ่ง (IoT) [6 - 7] เป็นสิ่งที่สร้างความมั่นใจในการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการผสานเอาเทคโนโลยี LoRaWAN [8 - 9] มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 (ก) มาตรวัดน้ำแบบกลไกดั้งเดิมและตำแหน่งใบพัด ฝาครอบในการติดตั้งเซ็นเซอร์ (ข) แบบ IPS และ (ค) แบบอัจฉริยะ

ในการส่งข้อมูล และการเชื่อมต่อระบบให้เป็นระบบ IoT ร่วมกับการนำเอาข้อมูลจากเซนเซอร์อัจฉริยะมาวิเคราะห์ ทำให้เกิดความรวดเร็วในการตรวจสอบและปรับปรุงระบบการจัดการน้ำในเมือง

แม้ว่ามาตรวัดน้ำแบบกลไกดั้งเดิมจะทำงานได้อย่างดีตลอดหลายปีที่ผ่านมา แต่ผู้บริโภครู้สึกหงุดหงิดมากจากอุปสรรคสำหรับการจัดการน้ำ เนื่องจากข้อกังวลความถูกต้อง ความสะดวกสบายและสามารถตรวจสอบได้ด้วยตนเอง โดยปัจจุบันมาตรวัดน้ำอัจฉริยะ [10 - 11] ช่วยให้ผู้ใช้มีข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้น การเรียกเก็บเงินที่แม่นยำ การดำเนินการอัตโนมัติ และการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้ง สามารถระบุการรั่วไหลและวัดปริมาณน้ำได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ นอกจากนี้ ยังเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคในการติดตามการใช้น้ำได้อย่างใกล้ชิดและรับประกันการเรียกเก็บเงินที่ถูกต้อง

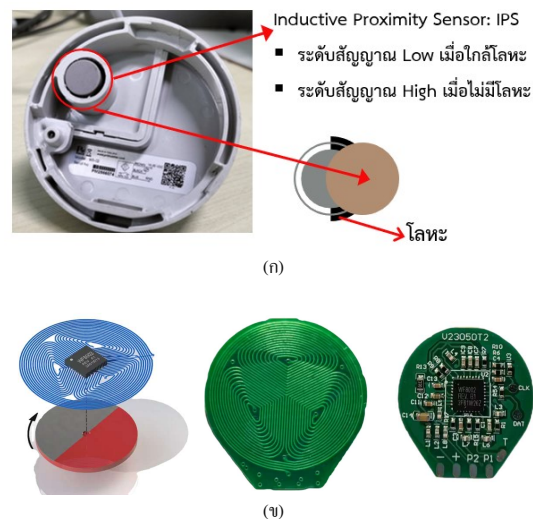
บทความนี้นำเสนอการผสานเซนเซอร์อัจฉริยะและ IoT โดยใช้เทคโนโลยี LoRaWAN เพื่อสร้างระบบการจัดการน้ำที่ทันสมัย โดยเซนเซอร์อัจฉริยะทำหน้าที่เก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์เกี่ยวกับการวัดปริมาณน้ำ และพารามิเตอร์อื่น ๆ ของน้ำ รวมทั้ง แจ้งเตือนกรณีเกิดผิดปกติหรือมีการขโมยมาตรวัดหรือถอดเซนเซอร์ออก ทำให้สามารถตรวจสอบและจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างแม่นยำ ขณะที่ IoT ช่วยให้การเชื่อมต่อและการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปอย่างรวดเร็ว การตัดสินใจและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำจึงสามารถทำได้ทันทีและมีประสิทธิภาพสูง ส่วนการนำเทคโนโลยี LoRaWAN ด้วยคุณสมบัติที่สามารถส่งสัญญาณได้ไกลและใช้พลังงานต่ำ ทำให้ระบบนี้มีความสามารถในการขยายพื้นที่ครอบคลุมการใช้งานและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การผสมผสานรวมกันของเทคโนโลยีเหล่านี้ช่วยให้การบริหารจัดการน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ระบบการจัดการน้ำอัจฉริยะ

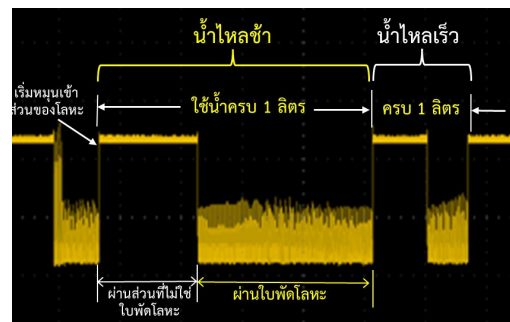
ระบบที่นำเสนอแสดงโคแอดแกรมดังรูปที่ 1 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของมาตรวัดน้ำอัจฉริยะและส่วนของ IoT ซึ่งในการสื่อสารการเก็บข้อมูลและแสดงผลบนคลาวด์ผ่านเทคโนโลยี LoRaWAN

2.1 การออกแบบมาตรวัดน้ำอัจฉริยะ

มาตรวัดน้ำอัจฉริยะประกอบด้วย เซนเซอร์วัดปริมาณน้ำซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการเพิ่มเซนเซอร์เข้าไปยังมาตรวัดน้ำแบบกลไกดั้งเดิม



รูปที่ 3 เซ็นเซอร์สำหรับมาตรวัดน้ำ (ก) แบบอินดักทีฟหรือเคมีดีเซ็นเซอร์ และ (ข) แบบเซ็นเซอร์อัจฉริยะ



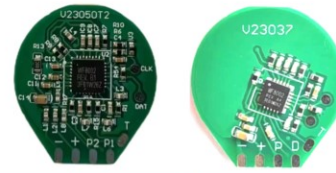
รูปที่ 4 ความกว้างของพัลส์เมื่อมีน้ำไหลผ่านแบบเร็วและช้าโดยการตรวจจับขอบขาขึ้นและขอบขาของพัลส์จากเซ็นเซอร์ IPS

(รูปที่ 2 (ก)) โดยจะทำการเข้าไปแสดงดังรูปที่ 2 (ข) และ (ค) เซนเซอร์ทั้งสองใช้หลักการตัดผ่านของใบพัดโลหะที่อยู่หน้าปัดของมาตรวัด ในการวัดปริมาณน้ำซึ่งงานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบเซนเซอร์ 2 ชนิด คือ แบบอินดักทีฟหรือเคมีดีเซ็นเซอร์ (Inductive Proximity Sensor: IPS) แสดงดังรูปที่ 3 (ก)) และแบบเซ็นเซอร์อัจฉริยะ [11] แสดงดังรูปที่ 3 (ข) เมื่อมีการไหลของน้ำผ่านมาตรวัดจะทำให้ใบพัด

โลหะเล็ก ๆ บนหน้าปิดหมุนตามปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน (1 รอบเท่ากับ 1 ลิตร) ซึ่งเมื่อใบพัดโลหะหมุนจะทำให้เซนเซอร์ทำงานโดยกรณีเซนเซอร์แบบ IPS จะกำเนิดพัลส์ตามเวลาที่ใบพัดหมุนผ่าน ถ้าน้ำไหลผ่านช้าหรือปริมาณน้ำน้อยความกว้างของพัลส์ที่เกิดขึ้นก็จะกว้าง ในทางกลับกันถ้าปริมาณน้ำไหลผ่านเร็วความกว้างของพัลส์ก็จะแคบ แต่ทั้งสองกรณีเมื่อครบ 1 รอบก็จะได้ปริมาณน้ำที่ผ่านมิเตอร์เท่ากับ 1 ลิตร ตัวอย่างของพัลส์แสดงดังรูปที่ 4

ในขณะที่กรณีเซนเซอร์อัจฉริยะจะแตกต่างออกไป เนื่องจากมีฟังก์ชันมากกว่าโดยเฉพาะในส่วนที่แตกต่างที่สำคัญคือ ความสามารถที่จะตรวจสอบทิศทางการไหลของน้ำไปข้างหน้าหรือไหลย้อนกลับ รวมทั้ง สามารถตรวจสอบได้ว่าการเคลื่อนย้ายหรือถอดเซนเซอร์ออกจากมาตรวัดนี้ซึ่งจะวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก รูปแบบการอินเตอร์เฟสและค่าอธิบายของเซนเซอร์อัจฉริยะแสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งจะมีขาที่เชื่อมต่อกับ MCU อยู่ 3 ขาไม่ว่ารวมขาของแรงดัน Vcc และกราวด์ โดยขา P2 หรือ P จะใช้ในการวัดและตรวจสอบการไหลของน้ำในทิศทางไปข้างหน้า ขณะที่ขา P1 หรือ D จะใช้ในการวัดและตรวจสอบการไหลของน้ำในทิศทางย้อนกลับ และขา T จะเป็นขาที่ใช้ในการควบคุมและตรวจสอบสถานะต่าง ๆ ของเซนเซอร์ รวมทั้งความเข้มของสนามแม่เหล็กซึ่งแปรผันตรงกับระยะห่างในการวางของเซนเซอร์กับใบพัดโลหะซึ่งใช้ในการตรวจจับการขโมยหรือคัดแปลงมาตรวัดซึ่งทำงานร่วมกับการส่งสัญญาณผ่าน IoT

การวัดการไหลของน้ำในทิศทางไปข้างหน้า หรือย้อนกลับเมื่อมีน้ำไหลผ่านเซนเซอร์จะกำเนิดพัลส์ที่มีความกว้างคงที่ 64 ms เมื่อน้ำไหลผ่าน 1 ลิตร แต่ถ้ายังไม่ครบ 1 ลิตรก็ยังไม่วางพัลส์ส่งออกมา ซึ่งแตกต่างจากเซนเซอร์ IPS ที่ใช้ความกว้างของพัลส์ในการวัดปริมาณของน้ำที่ไหลผ่าน ตัวอย่างพัลส์ที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 6 (ก) และ (ข) ที่ในกรณีนี้ น้ำไหลไปในทิศทางด้านหน้าและย้อนกลับ ตามลำดับ ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าทั้งสองรูปมีสองพัลส์เกิดขึ้นแสดงว่ามีน้ำไหลผ่าน 2 ลิตร ในกรณีที่เซนเซอร์สามารถที่จะตรวจจับได้ทั้งการไหลของน้ำในทิศทางปกติ (ทิศทางน้ำไปข้างหน้า) และทิศทางการไหลย้อนกลับ (ทิศทางน้ำย้อนกลับ) จะใช้เทคนิคการวางขดลวด 3 ขดวางเป็นแบบเพลลาหมุน (Rotary shaft) แสดงดังรูปที่ 3(ข) เมื่อใบพัดผ่านขดลวดตัวไหนก็จะเกิดสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางของใบพัดโลหะ ดังนั้นจึงสามารถรู้ทิศทางการไหลของน้ำได้ นอกจากนี้ เซนเซอร์ยังมีฟังก์ชันพิเศษ คือ การตรวจจับว่าเซนเซอร์ถูกถอดออก (หรือถูกขโมย) หรือมีการวางเซนเซอร์ผิดตำแหน่ง โดยวัดความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งสามารถทราบค่าได้โดยการส่งคำสั่งไปยังขา T ในรูปแบบของความกว้างของพัลส์ และรอรับพัลส์ของข้อความส่งกลับมาจากขา T เหมือนเดิม (ใช้ขาเดียวในการรับ-ส่งโดยแบ่งช่วงเวลา) เช่น คำสั่งที่ 4 ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กถูกกำหนดว่าต้องส่งพัลส์จาก MCU ความกว้าง 500 ms ไปยังเซนเซอร์ เมื่อเซนเซอร์ได้รับก็จะตอบกลับมาเป็น



หมายเลข	เครื่องหมาย	ความหมาย
1	-	กราวด์ของ Vcc
2	+	ขั้วบวกของ Vcc
3	P2(P)	พัลส์ทิศทางน้ำไปข้างหน้า
4	P1(D)	พัลส์ทิศทางน้ำย้อนกลับ
5	T	ขาที่ใช้ควบคุม

รูปที่ 5 อินเตอร์เฟสและคำอธิบายของเซนเซอร์อัจฉริยะ

สัญญาณข้อความ (รูปที่ 6 (ก)) ซึ่งข้อความที่ได้จะต้องไปถอดรหัสว่ามีข้อมูลอะไรบ้างซึ่งสามารถดูได้จากเอกสารข้อมูลของผู้ผลิตตัวอย่างการถอดรหัสแสดงดังรูปที่ 6(ง) จากข้อความนอกจากจะมีค่าของความเข้มสัญญาณ (Signal intensity) ซึ่งหมายถึงขนาดความเข้มของสนามแม่เหล็ก ยังมีข้อมูลอื่น ๆ ที่ถูกถอดรหัสและส่งมาด้วย เช่น เวอร์ชันของเซนเซอร์ ขนาดความยาวของข้อความ เป็นต้น

เมื่อเซนเซอร์ IPS และเซนเซอร์อัจฉริยะทั้งสองทำงานคือ มีน้ำไหลผ่าน มาตรวัดและใบพัดโลหะหมุนพัลส์ก็จะถูกส่งไปยังตัวคอนโทรลเลอร์ซึ่งในการเขียนโปรแกรมในการนับจำนวนพัลส์หรือวัดปริมาณน้ำของเซนเซอร์ทั้งสองจะต่างกันออกไป เพราะกรณีที่เซนเซอร์ IPS จะต้องรอจนกว่าจะครบหนึ่งพัลส์ซึ่งจะใช้การเขียนโปรแกรมนับขอบขาขึ้นและขอบขาลง ในขณะที่เซนเซอร์อัจฉริยะจะทำการจับพัลส์ที่มีความกว้าง 64 ms เมื่อคอนโทรลเลอร์นับจำนวนพัลส์หรือปริมาณน้ำที่ใช้ก็จะเก็บข้อมูลไว้และกำหนดเวลาหรือจำนวนน้ำว่าจะให้ส่งไปยังคลาวด์ผ่านโครงข่าย LoRaWAN เมื่อไร ซึ่งสามารถกำหนดได้จากโปรแกรม เช่น ให้ส่งทุก ๆ การใช้น้ำ 1 ลบ. เมตรหรือจะกำหนดเวลาให้ส่งทุก ๆ 10 นาที แต่อย่างไรก็ตามส่วนของมาตรวัดน้ำมีการใช้พลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ ดังนั้น จำนวนครั้งในการส่งก็เป็นตัวแปรในการพิจารณาและในตัวคอนโทรลเลอร์ก็ได้มีการเขียนโปรแกรมอินเตอร์รัพท์ (Interrupt)

2.2 การจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลบนคลาวด์

เนื่องจากการกระจายตัวของมาตรวัดน้ำในกรณีทั้งที่อยู่ตามบ้านเรือนหรือกรณีที่อยู่ตามอาคารหรือที่พักที่มีจำนวนชั้นมาก การส่งข้อมูลให้ทะลุผ่านหรือให้ได้ครอบคลุมและได้ระยะทางไกลโดยใช้การสื่อสารผ่าน WiFi ก็จะทำให้ยากมากหรือเป็นไปได้เลขกรณีที่มีบริเวณนั้นไม่มีสัญญาณ WiFi นอกจากนั้นการที่จะใช้โมดูลสื่อสารผ่านระบบ 3G/4G หรือ NB-IoT ก็ต้องใช้งบประมาณที่สูงที่จะติดตั้งในทุก ๆ ตัวของมาตรวัดน้ำซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการใช้งาน รวมทั้ง การใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น โครงข่าย LoRaWAN จึงเป็นการสื่อสารที่คุ้มค่าและเหมาะสม

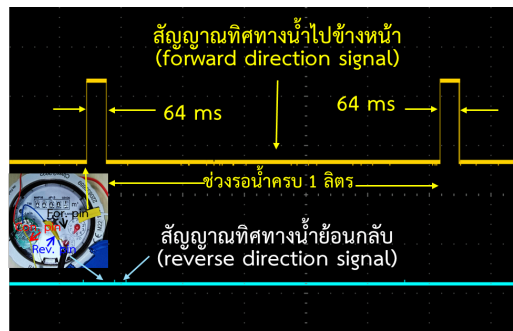
ที่สุดโดยโครงข่าย LoRaWAN แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งการส่งผ่านข้อมูลจากมาตรวัดน้ำจะส่งผ่าน โมดูลของ LoRa ไปยังตัวเกตเวย์ (มีลักษณะคล้ายกับ Access point หรือเราเตอร์ของ WiFi) ตัวเกตเวย์ก็จะส่งข้อมูลไปยัง LoRaWAN เซิร์ฟเวอร์และจะไปเก็บข้อมูลและแสดงผลในคลาวด์ ในการทดสอบจะใช้ Chirpstack [12] เป็น LoRaWAN เซิร์ฟเวอร์ และการแสดงผลผ่าน Grafana แดชบอร์ด (Dashboard) [13]

3. ผลการทดลองและการอภิปราย

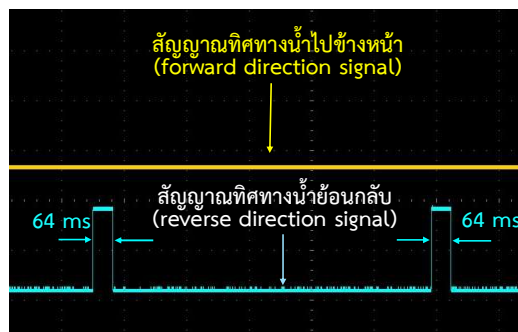
การติดตั้งและทดสอบเซนเซอร์ทั้ง 2 แบบมีการทดสอบอยู่ 2 ส่วนหลัก ๆ คือ (1) การทดสอบความถูกต้องของการอ่านเซนเซอร์เทียบกับค่าที่อ่านได้บนหน้าปัดมาตรวัด และ (2) การส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปยังคลาวด์ผ่านโครงข่าย LoRaWAN การทดสอบความถูกต้องของการอ่านเซนเซอร์เทียบกับตัวเลขที่อ่านได้บน MCU และจอแอลซีดี (LCD) เทียบกับค่าที่อ่านได้บนหน้าปัดมาตรวัดโดยเบื้องต้นใช้การจำลองการไหลของน้ำในที่นี้จะใช้ตัวเป่าลมแทนน้ำที่ไหลผ่านมาตรวัดน้ำซึ่งความแรงของลมที่ไหลผ่านเสมือนกับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านและสะดวกต่อการทดลองรูปการทดลองแสดงดังรูปที่ 7 โดยเซนเซอร์ทั้งสองจะติดอยู่บริเวณของหน้าปัดที่มีแผ่นใบพัดโลหะติดอยู่โดยใบพัดจะเป็นรูปครึ่งวงกลม นั่นคือการหมุน 1 รอบเซนเซอร์จะตรวจจับโลหะได้ครึ่งหนึ่ง ดังนั้น กรณิเซนเซอร์ IPS ก็จะมีสัญญาณลอจิก '1' ตามระยะเวลาที่แผ่นโลหะผ่านส่วนเวลาที่เหลือก็จะเป็นส่วนของเวลาที่ไม่มีแผ่นโลหะวิ่งผ่านซึ่งครบ 1 รอบก็จะเท่ากับ 1 ลิตร และเมื่อหมุนครบ 1,000 รอบตัวเลขบนหน้าปัดก็จะเพิ่มขึ้น 1 ค่าอย่างตัวอย่างคือหมายเลข 17 (รูปที่ 8 (ก)) ซึ่งจะใช้ค่านี้เป็นค่าเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ซึ่งแสดงผลทั้งบนจอแอลซีดีและหน้าจอมคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 8 (ข) และ (ค) ตามลำดับ

จากผลการทดลองซ้ำมากกว่า 100 ครั้ง โดยทดสอบให้มาตรวัดหมุนอย่างน้อยที่สุดคือ 1 รอบ (1 ลิตร) และแบบหลาย ๆ รอบอย่างต่อเนื่อง ผลการทดลองพบว่าค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดมาตรวัดและจากเซนเซอร์มีค่าเท่ากันทุกครั้งหรือ 100% เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดจึงไม่สามารถผิดพลาดได้เพราะจะส่งผลต่อการคิดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำอย่างไรก็ตาม จริง ๆ แล้วในส่วนของหน้าปัดยังมีส่วนของการใช้น้ำที่น้อยกว่า 1 ลิตรอยู่อีก 3 หน้าปัดย่อย ซึ่งในส่วนนี้ทางเซนเซอร์ก็สามารถดึงค่าอ่านได้ แต่จะอ่านได้ความละเอียดแค่ 0.5 ลิตร คือ แค่อ่านค่าได้ว่าผ่านใบพัดของโลหะซึ่งจะไม่ละเอียดเท่ากับตัวของมาตรวัดเองเมื่อทดสอบความถูกต้องว่าค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดกับเซนเซอร์ได้ค่าเท่ากัน ตัวอย่างผลการวัดทดสอบแสดงดังรูปที่ 8 (ง) และ (จ) และเอกสารเพิ่มเติม

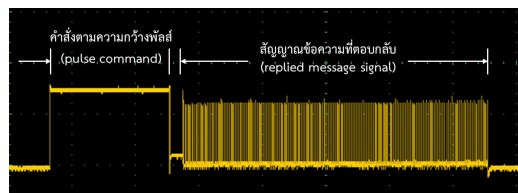
ขั้นตอนถัดไปคือ การทดสอบการติดตั้งจริงผ่านท่อน้ำทดสอบและส่งผ่านผ่านระบบ LoRaWAN มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ใช้ Chirpstack ส่งค่าที่ได้ไปยัง Grafana ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 9



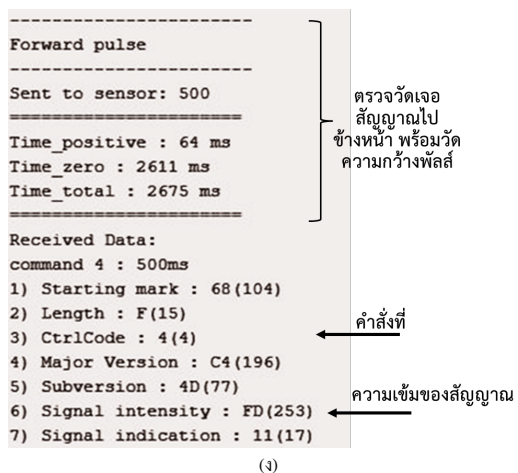
(ก)



(ข)

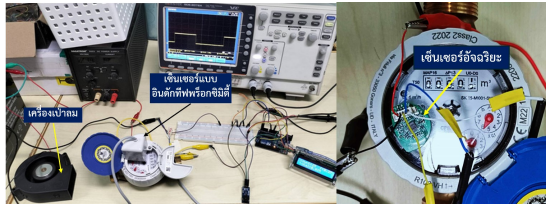


(ค)

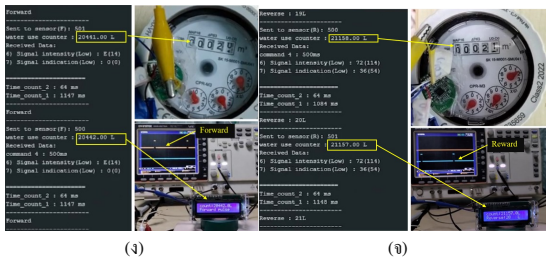
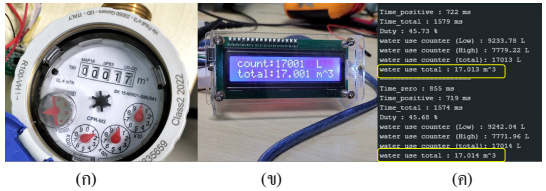


(ง)

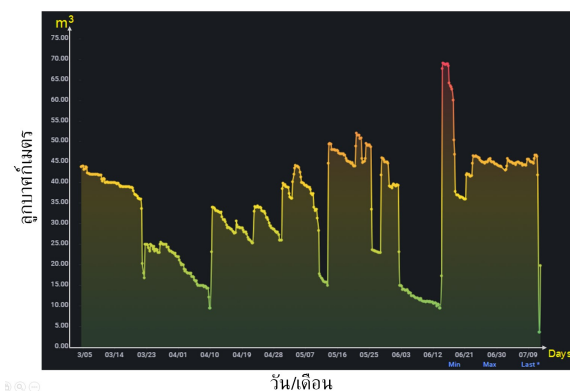
รูปที่ 6 (ก) สัญญาณเมื่อน้ำไหลผ่านแบบ forward (ข) สัญญาณเมื่อน้ำไหลผ่านแบบ reverse (ค) คำสั่งและการตอบกลับของเซนเซอร์อัจฉริยะ และ (ง) ตัวอย่างการถอดรหัสข้อความ



รูปที่ 7 การติดตั้งเซนเซอร์ทั้ง 2 แบบในการทดลอง (ก) แบบ อินคัททิฟหรือเคมีดีเซนเซอร์ และ (ข) แบบเซนเซอร์อัจฉริยะ



รูปที่ 8 การทดสอบความถูกต้องของเซนเซอร์เทียบกับตัวเลขบนหน้าปัดมาตรวัด (ก) มาตรวัดอ่านได้ 17 ลบ.ม. (ข) ค่าที่อ่านได้จาก LCD (ค) ค่าที่อ่านได้จาก Serial monitor (ง) ตัวอย่างการทดสอบส่งน้ำไหลไปด้านหน้าและ (จ) ตัวอย่างการทดสอบส่งน้ำไหลย้อนกลับ



รูปที่ 9 ผลการใช้หน่วยวัดผ่านเซนเซอร์ส่งผ่านโครงข่าย LoRaWAN และแสดงผลบน Grafana แดชบอร์ด

4. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาและทดลองวิธีการนำเซนเซอร์อัจฉริยะและ IoT มาใช้เพื่อพัฒนาการจัดการน้ำในเมืองอัจฉริยะ โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้เทคโนโลยีเหล่านี้เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ น้ำ ตรวจสอบความผิดปกติของปริมาณน้ำ และป้องกันการลักขโมยมาตรวัด งานวิจัยแสดงให้เห็น

ว่าการรวมเซนเซอร์อัจฉริยะและ IoT เข้าด้วยกันเป็นแนวทางที่มีแนวโน้มดีสำหรับช่วยให้ผู้บริโภคและผู้ให้บริการน้ำสามารถติดตามรูปแบบการใช้น้ำแบบเรียลไทม์และมั่นใจได้ว่าการเรียกเก็บเงินนั้นถูกต้อง ซึ่งจะส่งผลดีต่อการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพภายในโครงสร้างพื้นฐานของเมืองอัจฉริยะ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Almar Water Solutions, “Water management in smart cities,” *almarwater.com*, Oct. 31, 2022. [Online]. Available: <https://almarwater.com/water-management-in-smart-cities>. [Accessed: Jul. 3, 2024].
- [2] S. Homchuen, P. Somjai, K. Kitikard, W. Khuan-arch, A. Phosri, and K. Khamsingnok, *Urban Climate Resilience*, Thailand Environment Institute Foundation (TEI), Nonthaburi: The Rockefeller Foundation, 2016. [E-book]. Available: <https://www.tei.or.th/thaicityclimate/public/work-3.pdf>.
- [3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), “Water management and climate change,” *Climate Smart Agriculture Sourcebook, Production and Resources*, 2017. [Online]. Available: <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/production-resources/module-b6-water/chapter-b6-3/en/>. [Accessed: Jul. 15, 2024].
- [4] Office of the National Economic and Social Development Council, “โครงการพัฒนาระบบสถิติข้อมูลและตัวชี้วัดเพื่อใช้ในการบริหารราชการแผ่นดินตามยุทธศาสตร์ชาติ ประเด็นที่ 19 การบริหารจัดการน้ำทั้งระบบ,” *ศูนย์บริการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2021. [Online]. Available: <http://nscr.nesdc.go.th/wp-content/uploads/2021/12/%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%89%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%9A%E0%B8%B9%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C-Final-report.pdf>. [Accessed: Jul. 15, 2024].
- [5] สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, “แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (พ.ศ. 2561 - 2580),” *ราชกิจจานุเบกษา*, เล่ม 136, ตอนพิเศษ 234 ง, 2019. [Online]. Available: https://wr.pwa.co.th/data/_uploaded/file/Law/MasterPlan20years_2561to2580.pdf. [Accessed: Jul. 15, 2024].
- [6] A. Alshami, E. Ali, M. Elsayed, A. E. E. Eltoukhy and T. Zayed, “IoT innovations in sustainable water and wastewater

- management and water quality monitoring: a comprehensive review of advancements, implications, and future directions,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 58427-58453, 2024. [Online serial] doi: 10.1109/ACCESS.2024.3392573.
- [7] S. Ismail, D. W. Dawoud, N. Ismail, R. Marsh and A. S. Alshami, “IoT-based water management systems: survey and future research direction,” *IEEE Access*, vol. 10, Mar, 2024. [Online serial]. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3163742.
- [8] D. W. Anggraeni, M. A. Murti and N. M. Adriansyah, “Network planning for smart water metering using LoRaWAN: study case for PDAM in Banyumas regency,” In *Proc. Int. Conf. Wireless and Telematics '09*, 2023, pp. 1 – 7. [Online serial]. doi: 10.1109/ICWT58823.2023.10335431.
- [9] E. J. Sacoto-Cabrera, I. Castillo, W. Pauta, P. Trelles, P. Tamariz and L. Guambaña, “Smart-water: digital transformation of urban water measurement,” In *Proc. IEEE Andrescon Technology and Innovation for Andean Industry'11*, 2022, pp. 1-6. [Online serial]. doi: 10.1109/ANDESCON56260.2022.9989581.
- [10] S. C. Hsia, M. -H. Sheu and Y. -J. Chang, “Arrow-pointer sensor design for low-cost water meter,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, no. 4, 2013. [Online serial]. doi: 10.1109/JSEN.2012.2232038.
- [11] X. Liu, “Research on intelligent water meter based on non-magnetic sensor and NB-IoT communication technology,” In *Proc. 16th International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, 2023, pp. 84 – 87. [Online serial]. doi: 10.1109/ICEMI59194.2023.10270278.
- [12] Chirp Stack, “ChirpStack open-source LoRaWAN® Network Server,” chirpstack.io, [Online]. Available: <https://www.chirpstack.io/application-server/>. [Accessed June 28, 2024].
- [13] Grafana Labs, “Grafana dashboards,” grafana.com [Online]. Available: <https://grafana.com/grafana/dashboards/>. [Accessed June 28, 2024].