แพลตฟอร์มไอโอที สำหรับการติดตามตำแหน่ง
IoT Platform for Location Tracking

ณัฐ วีรกุล, พีรณัฐ ศรีสุทธางกูร, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง,
วิธวัช ตั้งตรงไพโรจน์ และ อนันต์ ผลเพิ่ม*
Nat Weerakul, Peeranat Srisuthangkul, Chaiporn Jaikaeo, Aphirak Jansang,
Withawat Tangtrongpairoj and Anan Phonphoem*

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
*Email: anan.p@ku.ac.th
Received: June 20, 2024; Revised: August 03, 2024; Accepted: August 09, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งที่สามารถเก็บข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ไอโอทีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการรวบรวมและบันทึกข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ไอโอที เช่น ตำแหน่งของอุปกรณ์ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและติดตามการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาวิเคราะห์โดยสามารถบันทึกเป็นไฟล์ CSV เพื่อปรับปรุงและพัฒนาการใช้งานในอนาคต งานวิจัยนี้เน้นในเรื่องของประสบการณ์ใช้งาน (User Experience) ให้ใช้งานได้ง่าย และมีการนำข้อมูลสรุปมาแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ในการตัดสินใจได้ ซึ่งมีการทดสอบระบบโดยใช้ Soak testing ทดสอบการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ไอโอที พบว่าเวลาตอบสนองสูงขึ้นตามจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น โดยระบบสามารถรองรับจำนวนอุปกรณ์ได้จำนวนมาก

คำสำคัญ : แพลตฟอร์มไอโอที, การติดตามตำแหน่ง, การวิเคราะห์ข้อมูล

Abstract

This research involves the development of an Internet of Thing (IoT) Platform that can efficiently store the location data of IoT devices. By collecting and recording information received from IoT devices, such as the location of the devices, it enables users to easily and quickly check and track the movement of the devices. Additionally, the collected data can be analyzed and saved as CSV files to improve and develop future usage. This research emphasizes user experience, making it easy to use, and includes the presentation of summarized data to assist users in making decisions. Load testing was conducted using soak testing to evaluate data reception from IoT devices. It was found that response times increased with the number of devices but remained suitable for minute-level data collection.

Keywords : IoT platform, Location tracking, Data analysis

1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตมีการพัฒนาไปอย่างก้าวกระโดด และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม รวมถึงการใช้งานส่วนบุคคล โดยเฉพาะการเติบโตของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) [1] ที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของเรา เทคโนโลยีนี้ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตและส่งข้อมูลแบบเวลาจริง (Real time) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขา หนึ่งในนั้นคือการติดตามตำแหน่ง

อุปสรรคที่เกิดขึ้นในกระบวนการติดตั้งและติดตามอุปกรณ์ ไอโอทีคือ การจัดการและดูแลอุปกรณ์จำนวนมาก ซึ่งมีการสร้างข้อมูลใหม่อยู่ตลอดเวลา ทำให้ผู้ใช้งานต้องคอยติดตามและตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์และและความถูกต้องของข้อมูลที่เก็บเข้ามา [2] แพลตฟอร์มไอโอทีสำหรับการติดตามตำแหน่งที่พัฒนาขึ้น สามารถประยุกต์ใช้งานในหลากหลายสาขา เช่น การตรวจสอบตำแหน่งของสัตว์เลี้ยง ฝูงปศุสัตว์ และเรือประมงขนาดเล็ก ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถนำข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์มาทำให้เห็นภาพได้ชัดเจนมากขึ้น โดยการใช้กราฟและแผนที่แสดงตำแหน่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์สถานะปัจจุบันของอุปกรณ์ได้ง่ายขึ้น [3]

2. ทบทวนวรรณกรรม

ในปัจจุบันมีผู้พัฒนาแพลตฟอร์มไอโอที มาให้ใช้งานเป็นจำนวนมาก มีทั้งการพัฒนาเพื่อใช้ภายในองค์กรหรือให้บุคคลภายนอกเข้ามาใช้งานได้ การพัฒนาแพลตฟอร์มไอโอที ส่วนใหญ่จะพัฒนาโดยเจาะจงไปยังวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น MarineTraffic [4] ถูกพัฒนามาเพื่อใช้ในการติดตามเรือโดยเฉพาะ ใช้เทคโนโลยี Automatic Identification System (AIS) เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่ง ความเร็ว และเส้นทางการเดินเรือ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์และติดตามการเคลื่อนที่ของเรือในทะเลสากล แต่ระบบนี้เหมาะกับการติดตามเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม แต่ยังมีหลายแพลตฟอร์ม เช่น ThingsBoard [5] ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มไอโอที แบบโอเพ่นซอร์ส ซึ่งให้บริการที่ครอบคลุมสำหรับการเก็บข้อมูล การประมวลผล การแสดงภาพข้อมูล และการจัดการอุปกรณ์ แพลตฟอร์มนี้รองรับอุปกรณ์หลายประเภทและมีเครื่องมือสำหรับสร้างแอปพลิเคชันไอโอที ทั้งสำหรับผู้ใช้งานรายบุคคลและระดับองค์กร แต่แพลตฟอร์มนี้มีการความซับซ้อนในการตั้งค่าสูง และต้องใช้เวลาในการเรียนรู้วิธีการใช้งานค่อนข้างมาก และ Thinger.io [6] ที่สามารถให้บุคคลภายนอกเข้ามาใช้งานส่วนตัว โดยตารางที่ 1 จะแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแต่ละแพลตฟอร์ม นอกจากนั้น IWING Track [7] เป็นแพลตฟอร์มไอโอทีของห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สาย (IWING) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีความสามารถในการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านการสร้างโครงการติดตามใหม่ การจัดการอุปกรณ์ และใช้งานค่อนข้างยาก Blynk [8] เป็นแพลตฟอร์มไอโอที แบบ low-code ที่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถสร้างและใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่สามารถควบคุมและตรวจสอบอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ได้จากระยะไกล รองรับฮาร์ดแวร์และโปรโตคอลการสื่อสารที่หลากหลาย แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนอุปกรณ์ที่สามารถรองรับได้ และมีค่าบริการในการใช้งาน

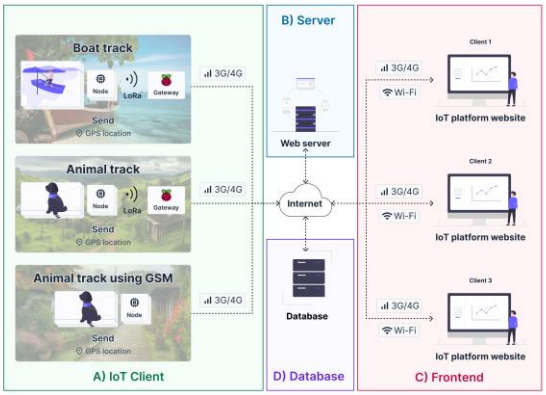
ตารางที่ 1: ตารางเปรียบเทียบโครงการกับงานที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติ	**MarineTraffic [4]**	**ThingsBoard [5]**	**Thinger.io [6]**	**IWING Track V1 [7]**	**Blynk [8]**	**งานวิจัยที่นำเสนอ**
ค่าใช้จ่ายในการสมัครใช้งาน	มีค่าใช้จ่าย	มีค่าใช้จ่าย	มีค่าใช้จ่าย	ไม่มีค่าใช้จ่าย	มีค่าใช้จ่าย	ไม่มีค่าใช้จ่าย
ประเภทอุปกรณ์ที่รองรับ	อุปกรณ์สำหรับติดตามเรือเท่านั้น	ได้ทุกประเภท	ได้ทุกประเภท	ได้ทุกประเภท	Arduino Family, Raspberry Pi	ได้ทุกประเภท
การวิเคราะห์ข้อมูล	ไม่มี	มี แบบขั้นสูง	มี แบบขั้นสูง	ไม่มี	มี แบบพื้นฐาน	มี แบบพื้นฐาน
โปรโตคอลที่รองรับ	AIS (Maritime tracking)	MQTT, CoAP, HTTPS	HTTPS, MQTT	HTTPS	Blynk Protocol, MQTT	HTTPS
การติดตามเวอร์ชันของเฟิร์มแวร์	ไม่มี	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	มี

3. รายละเอียดการพัฒนาระบบ

3.1 ภาพรวมของระบบ

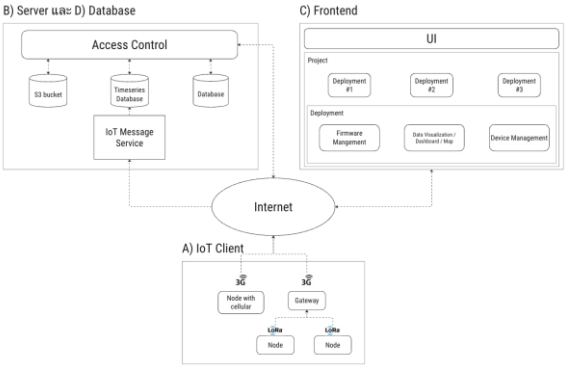
ในหัวข้อนี้อธิบายถึงภาพรวมของการใช้งานแพลตฟอร์มไอโอที ดังรูปที่ 1 อุปกรณ์ไอโอที (A) จะส่งข้อมูลที่เก็บได้มาจากอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) เช่น ละติจูด ลองจิจูด ผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต จากนั้นส่งข้อมูลให้กับเครื่องแม่ข่าย (Server) ของแพลตฟอร์มไอโอที (B) ซึ่งทำหน้าที่เป็นระบบหลังบ้านให้กับแพลตฟอร์มไอโอที และคอยเป็นตัวกลางรับข้อมูลจาก (A) และนำไปเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล (D) และนำข้อมูลไปประมวลผลและส่งข้อมูลผ่านส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface : API) ไปยังส่วนติดต่อผู้ใช้ (C) เพื่อแสดงผล โดยผู้ใช้งานสามารถใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์เพื่อเข้าไปดูข้อมูลที่รับมาจากอุปกรณ์ไอโอที ได้ วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนาส่วน (B) และ (C) ที่รองรับการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ไอโอที (A) หลากหลายประเภทที่สามารถเชื่อมต่อมายังแพลตฟอร์มผ่านอินเทอร์เน็ตได้



รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบ

3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

โครงการพัฒนาแพลตฟอร์มไอโอที ดังรูปที่ 2 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยมี (B) และ (C) ซึ่งเป็นส่วนที่งานวิจัยพัฒนาขึ้น และมีผู้ใช้งานเป็นบุคคลภายนอกซึ่งนำอุปกรณ์ลูกข่ายไอโอที (A) มาใช้งานร่วมกับระบบ โดย ส่วนติดต่อผู้ใช้ เป็นเว็บแอปพลิเคชัน (C) ซึ่งพัฒนาโดยใช้เฟรมเวิร์ก NextJS และภาษา Typescript ซึ่งจะติดต่อกับส่วนหลังบ้านผ่านทาง API โดยใช้ HTTP ส่วนเครื่องแม่ข่าย (B) ทำหน้าที่เป็นเว็บเซอร์วิสที่จะติดต่อกับ (A) และ (C) ผ่าน Restful API ซึ่งถูกพัฒนาโดยใช้ NodeJS ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน แบบ Server-side โดยใช้ร่วมกับเฟรมเวิร์ก ExpressJS ซึ่งช่วยในการจัดการ HTTP Method และใช้ฐานข้อมูล MongoDB Atlas (D) ซึ่งเป็น NoSQL โดยจัดเก็บเป็น serverless database ไว้บนคลาวด์และใช้ AWS S3 bucket ในการเก็บไฟล์และรูปภาพ อุปกรณ์ไอโอที (A) เชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มไอโอที ผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยเข้าถึงด้วย HTTP Request ไปยัง Endpoint ที่แพลตฟอร์มไอโอทีได้กำหนดไว้ให้ พร้อมกับใช้ Authentication Header JWT ที่ได้ระบุไว้ในฝั่งเว็บเซอร์วิส



รูปที่ 2 โครงสร้างของระบบ

4. ผลการพัฒนาและการทดสอบระบบ

4.1 การตั้งค่าระบบ

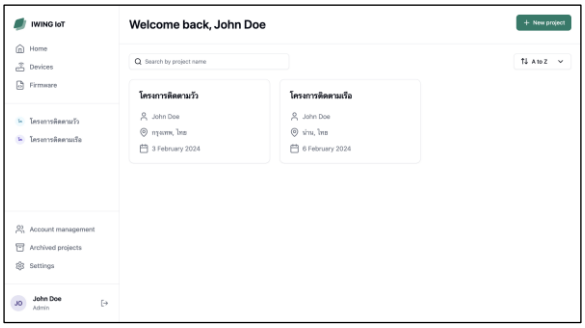
ขั้นตอนการตั้งค่าระบบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การตั้งค่าบนแพลตฟอร์มไอโอที
2. การตั้งค่าบนอุปกรณ์ไอโอที

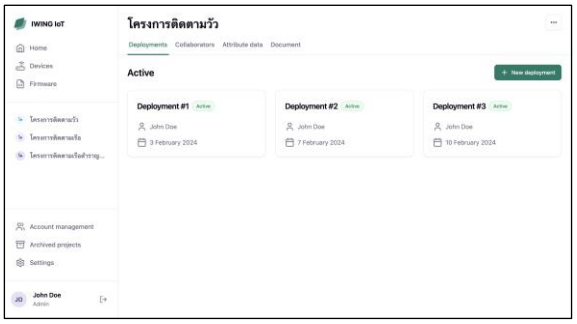
ผู้ใช้งานต้องสร้างโครงการใหม่เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล จากนั้นเพิ่มอุปกรณ์ที่มีอยู่เข้าไปในระบบก่อน โดยงานวิจัยนี้สามารถรองรับอุปกรณ์ได้ 3 ประเภท ดังตารางที่ 2 ในส่วนติดต่อผู้ใช้ดังรูปที่ 3 (a) แสดงหน้ารวมโครงการทั้งหมด ซึ่งในแต่ละโครงการจะแบ่งการติดตามออกเป็นหลายรอบ ดังนั้น จึงต้องเข้าไปสร้างโครงการย่อยเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลในแต่ละรอบของการติดตาม ดังรูปที่ 3 (b) จากนั้นเพิ่มอุปกรณ์ที่ต้องการใช้ในการติดตามในรอบนั้น เข้าโครงการย่อยที่จะใช้งาน โดยผู้ใช้งานสามารถตั้งนามแฝงให้กับอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในโครงการย่อยได้ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4 จากนั้น ต้องกำหนดรูปแบบของ API ที่อุปกรณ์จะส่งมา โดยบังคับให้มีการส่งค่าละติจูด ลองจิจูด และเวลาที่สร้างข้อมูลเสมอ ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 2 รายชื่ออุปกรณ์ที่ไอโอทีแพลตฟอร์มรองรับ

ชื่ออุปกรณ์	คำอธิบาย
Standalone	เป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งข้อมูลมายังแพลตฟอร์มไอโอทีผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือโดยตรง
Node	เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถเชื่อมกับเครือข่ายโทรศัพท์มือถือได้โดยตรง ดังนั้น ต้องมีการส่งข้อมูลไปยัง Gateway ก่อนด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น LoRa
Gateway	เป็นอุปกรณ์ตัวกลางที่คอยรับข้อมูลจาก Node และส่งข้อมูลต่อไปยังแพลตฟอร์มไอโอทีผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ

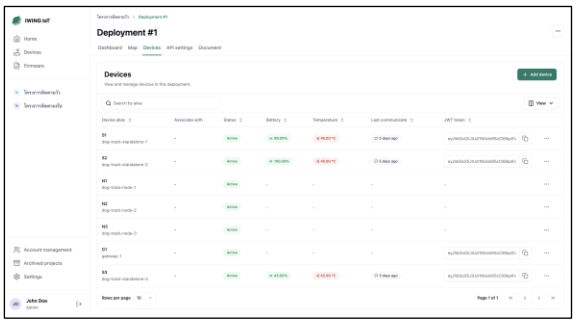


(a) หน้ารวมโครงการ

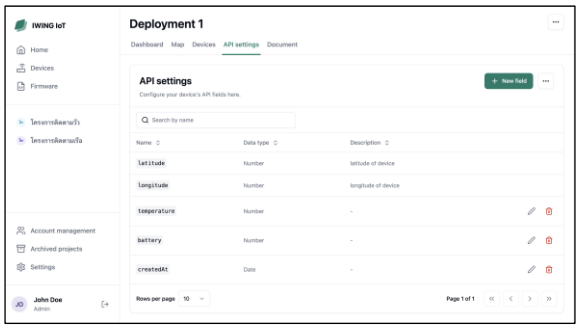


(b) หน้ารวมโครงการย่อย

รูปที่ 3 หน้ารวมโครงการย่อย



รูปที่ 4 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการย่อย

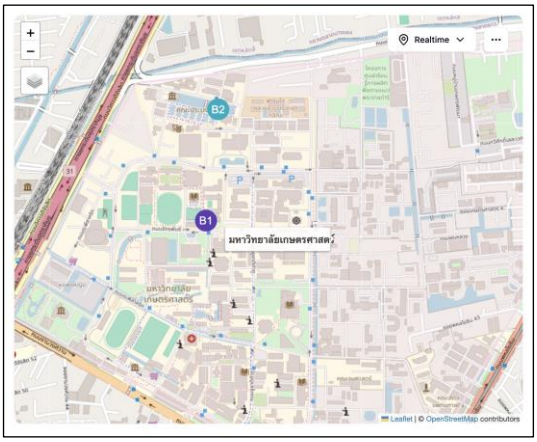


รูปที่ 5 หน้าตั้งค่า API

ส่วนการตั้งค่าบนอุปกรณ์ ผู้ใช้งานต้องนำ JWT token ที่ได้รับจากแพลตฟอร์มไปวางไว้ใน Authorization Header ประเภท Bearer และกำหนดข้อมูลที่จะส่งตามที่ตั้งไว้บนแพลตฟอร์ม ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเปิดรับข้อมูลบนแพลตฟอร์ม โดยเปลี่ยนสถานะการรับข้อมูลเป็น Active ในแต่ละอุปกรณ์

4.2 ผลการตั้งค่าระบบ

หลังจากติดตั้งระบบและอุปกรณ์เริ่มส่งข้อมูล สามารถดูข้อมูลที่ส่งมาในหน้าแผนที่ ดังรูปที่ 6 ซึ่งแสดงตำแหน่งและข้อมูลที่ส่งมาล่าสุดของแต่ละอุปกรณ์

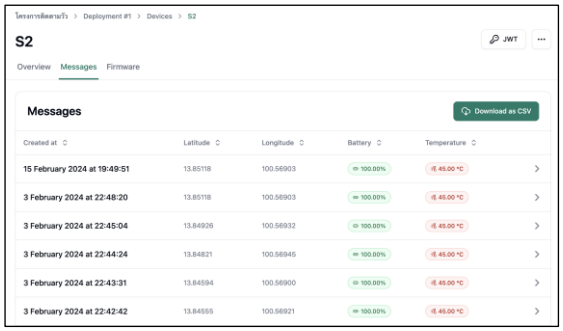


(a) ตำแหน่งล่าสุดของอุปกรณ์

(b) เส้นทางของอุปกรณ์

รูปที่ 6 แผนที่แสดงตำแหน่งและเส้นทางของอุปกรณ์

และสามารถตรวจสอบข้อมูลสถานะที่ได้รับรายอุปกรณ์ได้ในหน้ารวมอุปกรณ์ ดังรูปที่ 7 และเมื่อกระบวนการเก็บข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดข้อมูลของแต่ละอุปกรณ์ได้ โดยจะได้รับเป็นไฟล์ CSV ดังรูปที่ 8



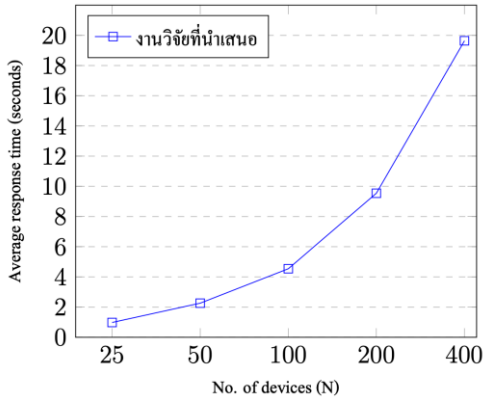
รูปที่ 7 ข้อมูลที่เก็บได้จากอุปกรณ์

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	latitude	longitude	temperature	battery	createdAt	isActive	createdAt	recivedAt	deviceName	aliasName
2	13.8479603	100.574336	35	100	Sat Feb 03 2024 21:53:29		Sat Feb 03 2024 21:53:29		dog-track-stu	S1
3	13.8480424	100.57425	35	100	Sat Feb 03 2024 22:00:02		Sat Feb 03 2024 22:00:02		dog-track-stu	S1
4	13.847654	100.569975	35	100	Sat Feb 03 2024 22:03:34		Sat Feb 03 2024 22:03:34		dog-track-stu	S1
5	13.8478841	100.571428	35	100	Sat Feb 03 2024 22:04:39		Sat Feb 03 2024 22:04:39		dog-track-stu	S1
6	13.8485353	100.571155	35	100	Sat Feb 03 2024 22:06:10		Sat Feb 03 2024 22:06:10		dog-track-stu	S1
7	13.848907	100.571107	35	100	Sat Feb 03 2024 22:06:51		Sat Feb 03 2024 22:06:51		dog-track-stu	S1
8	13.8493653	100.570892	35	100	Sat Feb 03 2024 22:07:21		Sat Feb 03 2024 22:07:21		dog-track-stu	S1
9	13.8498445	100.569632	35	100	Sat Feb 03 2024 22:07:42		Sat Feb 03 2024 22:07:42		dog-track-stu	S1
10	13.8501362	100.569031	35	100	Sat Feb 03 2024 22:08:03		Sat Feb 03 2024 22:08:03		dog-track-stu	S1
11	13.8500616	100.56791	35	100	Sat Feb 03 2024 22:08:42		Sat Feb 03 2024 22:08:42		dog-track-stu	S1
12	13.8497284	100.566282	45	99	Sat Feb 03 2024 22:09:08		Sat Feb 03 2024 22:09:08		dog-track-stu	S1
13	13.8486707	100.565948	45	99	Sat Feb 03 2024 22:10:00		Sat Feb 03 2024 22:10:00		dog-track-stu	S1
14	13.8486707	100.565948	45	99	Sat Feb 03 2024 22:33:38		Sat Feb 03 2024 22:33:38		dog-track-stu	S1
15	13.8464127	100.567306	45	99	Sat Feb 03 2024 22:36:22		Sat Feb 03 2024 22:36:22		dog-track-stu	S1
16										
17										

รูปที่ 8 ไฟล์ CSV ข้อมูลของอุปกรณ์

4.3 การทดสอบการทำงานระบบจริง

การทำสอบระบบทำในรูปแบบของ Load Testing โดยใช้เครื่องมือ k6 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้งานการทดสอบ Load Testing ซึ่งใช้กับ Web application โดยในโครงงานนี้มีการพัฒนา API มากกว่า 80 ตัว ทั้งนี้ จะเลือกทดสอบเฉพาะ API ที่มีผลต่อการเก็บข้อมูล คือ API ที่ใช้ในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ไอโอที เนื่องจากในโครงการนี้มี Endpoint ที่อุปกรณ์ไอโอทีใช้ในการส่งข้อมูลมายังแพลตฟอร์มเพียง 1 จุด จึงอาจทำให้เกิดการส่งข้อมูลเกิดการหน่วงเมื่อมีการส่งข้อมูลมาพร้อมกันหลายอุปกรณ์ จึงเลือกใช้รูปแบบการทดสอบ Soak testing [9] ซึ่งคือการทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบ เมื่อมีการทำงานในระยะเวลานาน การทดสอบจะมีการรับข้อมูลจากอุปกรณ์จำลอง 25, 50, 100, 200, 400 อุปกรณ์อย่างต่อเนื่อง โดยใช้เวลาทดสอบ 30 นาทีต่อ 1 การทดสอบและมีการทดสอบทั้งหมดสองครั้ง และคิดเป็นค่าเฉลี่ยออกมา ลักษณะการทำงานคือจะมีการรักษาจำนวนการส่ง Request คงที่ตามการจำลองจำนวนของอุปกรณ์ เมื่อมี Response ส่งกลับมาก็จะส่ง Request ใหม่เพื่อรักษาระดับจำนวนผู้ใช้งานตามที่ต้องการทดสอบ



รูปที่ 9 เวลาตอบสนองโดยเฉลี่ยของแพลตฟอร์มไอโอทีเทียบกับจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้งาน

รูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบเวลาของการตอบสนองจากงานวิจัยที่นำเสนอ เมื่อมีการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ไอโอทีจะเห็นได้ว่าหากมีการรับข้อมูลจากหลายอุปกรณ์พร้อมกัน จะมีเวลาตอบสนองที่สูงขึ้นตามจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น

เนื่องจากไอโอทีแพลตฟอร์มเป็นแพลตฟอร์มประเภทไม่อ่อนไหวต่อเวลาจริง งานวิจัยที่นำเสนอนี้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลและนำข้อมูลไปใช้งานที่รองรับการเข้ามาของข้อมูลในระดับนาทีหรือในระดับหลายนาที ซึ่งไม่ต้องการการอัปเดตข้อมูลอย่างละเอียดมากนัก แต่ควรมีความเร็วอยู่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานต่อหลังจากส่งข้อมูลเสร็จ และนอกจากนั้นการทดสอบนี้เป็นการส่งข้อมูลพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะเกิดเหตุการณ์ในรูปแบบนี้ได้ยากมาก ทำให้การใช้งานจริงจะมีเวลาการตอบสนองที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับรูปที่ 9

5. สรุป

จากการทดสอบและประเมินผลพบว่า สามารถแสดงผลข้อมูลบนส่วนติดต่อผู้ใช้ได้อย่างแม่นยำและถูกต้องตามที่ได้ออกแบบ อย่างไรก็ตาม ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบพบว่า เมื่อมีการใช้งานจากหลายอุปกรณ์พร้อมกัน จะทำให้เวลาในการตอบสนองของระบบเพิ่มขึ้น โดยอยู่ในช่วงหลักวินาที แม้ว่าในการใช้งานจริงจะมีโอกาสน้อยที่ข้อมูลจะถูกส่งพร้อมกันจากหลายอุปกรณ์ แต่ยังมีโอกาสในการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของระบบให้ดียิ่งขึ้นโดยการปรับปรุงและแก้ไขฐานข้อมูลเพื่อเพิ่มความเร็วในการอ่านและเขียนข้อมูล ซึ่งจะช่วยลดเวลาตอบสนองของระบบให้เร็วขึ้นและวางระบบให้สามารถรองรับการขยายตัวตามปริมาณการใช้งานได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Mahmoud M. Badawy, Zainab H. Ali and Hesham A. Ali, "Internet of Things (IoT): Definitions, Challenges and Recent Research Directions," *International Journal of Computer Applications,* vol. 128, pp.975-887, Oct. 2015.

[2] L. Babun, K. Denney, Z. Berkay Celik, P. McDaniel and A. Selcuk Uluagac, "A survey on IoT platforms: Communication, security, and privacy perspectives," *Computer Networks*, vol. 192, 2021.

[3] T. Domínguez-Bolaño, O. Campos, V. Barral, C. J. Escudero and J. A. Garcia-Naya, "An overview of IoT architectures, technologies, and existing open-source projects," *Internet of Things,* vol. 20, 2022.

[4] MarineTraffice's editor. What is MarineTraffic? [Online]. (2007). [Cited January 15, 2023]. Available: https://help.marinetraffic.com/hc/en-us/articles/205413457-What-is-MarineTraffic

[5] Dusun's editor. What is Things Board? An Overview of Things-Board in 2024. [Online]. (2024). [Cited January 17, 2024]. Available: https://www.dusuniot.com/blog/a-brief-guide-and-description-of-thingsboard

[6] A. Luis Bustamante, Miguel A. Patricio, and José M. Molina, "Thinger.io: An Open Source Platform for Deploying Data Fusion Applications in IoT Environments," *Sensors*, vol. 19, 2019.

[7] A. Witayarat, A. Jansang and A. Phonphoem, "The Effects of Duty Cycle Limit to Small Single Gateway LoRaWAN Protocol Network," *2019 16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Pattaya, Thailand, 2019, pp. 701-704.

[8] Ermi Media's, Syufrijal and Muhammad Rif'an, "Internet of Things (IoT): BLYNK Framework for Smart Home," *KnE Social Sciences*, 2018.

[9] R. Khan, A. Qahmash and M. Rashid Hussain, "Soak Testing of Web Applications Based on Automatic Test Cases," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, no. 12, pp. 4746-4759, 2020.