

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพโบรกเกอร์สำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

A Comparative Efficiency of Broker for the Internet of Things

เอกรินทร์ วัฒนฤณกุล

สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Egkarin.w@ubru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาหาประสิทธิภาพของโบรกเกอร์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานด้านการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานการวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการให้บริการของโบรกเกอร์ ได้แก่ Mosquitto, HiveMQ, Apollo, ActiveMQ และ RabbitMQ โดยมีการตั้งค่าสภาพแวดล้อมในการทดลองใช้งานภายใต้การทำงานของเครื่องแม่ข่ายบนคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวราสเบอร์รี่พาย บนระบบปฏิบัติการรหัสเปิดราสเบียน ที่ทำงานภายใต้สภาวะการเรียกใช้บริการของผู้ใช้งานผ่านโปรโตคอลเอ็มคิวทีที โดยแบ่งการทดลองสำหรับงานวิจัยออกเป็น 2 รูปแบบหลัก ๆ คือ การทดลองวัดประสิทธิภาพโบรกเกอร์แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล และการทดลองวัดประสิทธิภาพโบรกเกอร์แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล โดยใช้หลักการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธี DEA ซึ่งกำหนดให้มีปัจจัยนำเข้า สำหรับการประเมินประสิทธิภาพประกอบด้วย ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผลกลาง ปริมาณการใช้งานแบนด์วิดท์ และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล โดยมีผลผลิตของการทดลองคือจำนวนข้อมูลที่โบรกเกอร์ได้รับจากผู้เผยแพร่ทั้งหมด มีขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้ 1) ศึกษาทฤษฎีและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลของโปรโตคอลเอ็มคิวทีที เช่น เซอร์ และ โบรกเกอร์ 2) ออกแบบการทดลองและโครงสร้างกระบวนการทำงานของระบบเครือข่าย การติดตั้งโปรแกรมในเครื่องลูกข่าย และเครื่องแม่ข่าย 3) ทดสอบการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นผู้เผยแพร่และเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็นโบรกเกอร์ 4) เปรียบเทียบผลการทดลองหาประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลของโบรกเกอร์ตามประเภทการทดลองที่ออกแบบไว้ 5) สรุปผล และเปรียบเทียบประสิทธิภาพโบรกเกอร์สำหรับการให้บริการ

ผลจากการวิจัย พบว่า โบรกเกอร์ Mosquitto มีประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.000 รองลงมา ActiveMQ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.716 และ HiveMQ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.596 ตามลำดับ

คำสำคัญ : โบรกเกอร์, เอ็มคิวทีที, อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

Abstract

The purpose of this research is to investigate the efficiency of the broker for the Internet of Things. Network performance metrics will be used to benchmark the service capabilities of brokers, including Mosquitto, HiveMQ, Apollo, ActiveMQ, and RabbitMQ. The experiment set the environment to be the same by using the Raspberry Pi single-board computing running the Raspbian open source operating system, provided with the MQTT protocol. The experiment of this study was divided into two types: the efficiency measurement of brokers by single publisher and the efficiency measurement of brokers by multi publishers. The performance measurement in this study was DEA method, which determines input factors of the experiment evaluation, including the CPU usage, bandwidth usage, and transmission time. An output factor of the experiment is the number of messages that the broker receives from all the publishers. The research methodology consisted of the following steps: 1) study the theories and processes related to data communications of MQTT protocol, sensors and brokers; 2) design experiments and structures of network systems for install the client and the server program; 3) test the communication between the publisher computer and the broker computer; 4) compare the results of the experiment to find the efficiency of the brokers as designed; and 5) conclusion results and performance comparison of service brokers.

The results of the research show that the Mosquitto broker had the most overall performance with the mean value of 1,000, followed by ActiveMQ with 0.716 and HiveMQ with 0.596, respectively.

Keywords: Broker, MQTT, Internet of Things.

1. ความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทย 4.0 เป็นความมุ่งมั่นของนโยบายรัฐบาลที่ต้องการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจของประเทศไปสู่ยุคเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม โดยการเติมเต็มด้วยวิทยาการความคิดสร้างสรรค์ นวัตกรรม วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและพัฒนารววิจัย เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมด้านดิจิทัลจึงกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับเปลี่ยนรูปแบบและกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมไปสู่ยุคใหม่จำเป็นต้องอาศัยการเชื่อมต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องจักรมนุษย์ และข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มอำนาจในการตัดสินใจที่รวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำสูงให้ได้ผลลัพธ์เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างทันทั่วทั้ง [1] และสามารถควบคุมสั่งการได้โดยไร้ขีดจำกัดเรื่อง

ระยะทางและสถานที่ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เรียกว่า อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IOT) ทำให้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ และควบคุมสั่งการด้วยโทรศัพท์สมาร์ทโฟน หรือทำงานได้โดยอัตโนมัติ [2]

อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งจะใช้หลักการสื่อสารแบบการเผยแพร่และการติดตาม (Publish and Subscribe) โดยมีโบรกเกอร์ (Broker) ทำหน้าที่เป็นส่วนกลางเพื่อบริหารจัดการด้านการรับและส่งข้อมูล ซึ่งนโยบายของรัฐบาลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงการอัจฉริยะ (Smart Project) เช่น ห้องเรียนอัจฉริยะ เมืองอัจฉริยะ เกษตรอัจฉริยะ ล้วนจำเป็นต้องใช้ศักยภาพการควบคุมสั่งการโดยมีโบรกเกอร์เป็นหลักสำคัญ [3]

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาหาประสิทธิภาพของ โบรกเกอร์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานด้าน อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ที่มีความสามารถในการ รองรับเทคโนโลยีการพัฒนานวัตกรรมโครงการอัจฉริยะ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาตัดสินใจเลือกใช้งาน สำหรับผู้บริหารเครือข่าย หรือผู้ดูแลระบบคอมพิวเตอร์ แม่ข่าย อันจะเป็นการส่งเสริมและพัฒนาโครงสร้าง พื้นฐานในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดิจิทัลอย่าง เต็มศักยภาพที่จะทำให้ทุกคนสามารถเข้าถึงและ ใช้ประโยชน์ได้แท้จริง เป็นการสนับสนุนและส่งเสริม การขับเคลื่อนด้านการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของ ประเทศ ตามเจตนารมณ์ของแผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อ เศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย [4]

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาสถาปัตยกรรมการทำงานภายใน การติดตั้ง การตั้งค่าเบื้องต้น และขอบเขตความสามารถ ของโบรกเกอร์ของผู้ผลิตแต่ละค่าย

2.2 เพื่อศึกษาการวัดประสิทธิภาพและเปรียบเทียบ ความสามารถในการตอบสนองของโบรกเกอร์ของผู้ผลิต แต่ละค่ายจากการเรียกใช้งานพร้อมกันจำนวนมาก

2.3 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ โบรกเกอร์ที่นำมาใช้งานด้านอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

2.4 เพื่อสังเคราะห์ผลการศึกษาวิจัยตาม วัตถุประสงค์ทั้งสามข้อข้างต้น นำเสนอเป็นแนวทางการ พัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางด้านอินเทอร์เน็ต ในทุกสรรพสิ่งตามกรอบนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการ พัฒนาโครงการอัจฉริยะที่เหมาะสมกับบริบทของไทย

3. ประโยชน์

3.1 พัฒนาการกิจกรรมการเรียนการสอนในรายวิชาที่ เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเครือข่าย

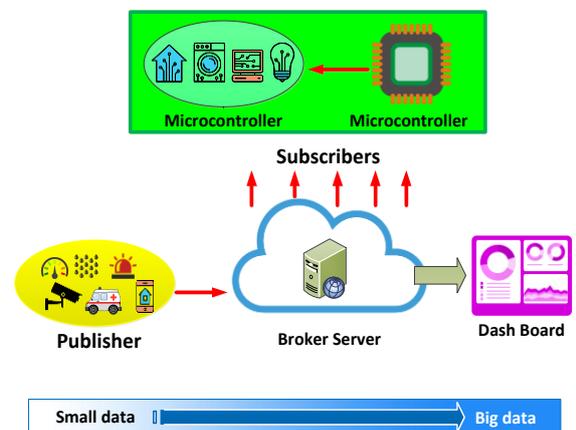
3.2 เป็นการประยุกต์ใช้งานสำหรับการให้บริการด้าน พัฒนานวัตกรรมอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง และสร้าง องค์ความรู้สำหรับผู้สนใจด้านอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพ สิ่ง และนักพัฒนาสตาร์ทอัพของประเทศไทย

3.3 เพิ่มช่องทางและเป็นเครื่องมือในการต่อยอด นวัตกรรมเพื่อพัฒนาไปสู่ นวัตกรรมอุตสาหกรรมตาม แนวคิดแบบประเทศไทย 4.0

4. กรอบแนวคิด

โครงการวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โบรกเกอร์สำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุก สรรพสิ่ง ประกอบด้วยระบบการทำงาน 4 ส่วนคือ

1. ผู้เผยแพร่ (Publisher)
2. โบรกเกอร์ (Broker)
3. ผู้ติดตาม (Subscriber)
4. บอร์ดแสดงสถานะ (Dash Board)



รูปที่ 1 โครงสร้างบริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

จากรูปที่ 1 ข้อมูลจากเซนเซอร์หรืออุปกรณ์ส่งงาน ต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่เป็นผู้เผยแพร่ จะส่งข้อมูลไปยังเครื่อง แม่ข่ายที่ถูกติดตั้งเป็นโบรกเกอร์ โดยทำหน้าที่เป็น ส่วนกลางในการบริหารจัดการข้อมูลที่ได้รับมาได้เพื่อ ส่งต่อไปยังผู้ติดตาม ตามหมวดหมู่ความต้องการในหัวข้อ (Topics) ของข่าวสารที่ผู้ติดตามได้กำหนดไว้ โดยภายใน มีอุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กเพื่อแปลผล คณิตวิเคราะห์ และควบคุมส่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้า- อิเล็กทรอนิกส์ให้สามารถทำงานตามโปรแกรมที่ถูก ออกแบบมา ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นผู้เผยแพร่และ ผู้ติดตามสำหรับระบบงานอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง อาจมีจำนวนมากมายากกว่า 1,000,000 อุปกรณ์และถูก

ติดตั้งใช้งานอยู่ทั่วโลกภายใต้โครงข่ายการติดต่อสื่อสารของระบบอินเทอร์เน็ตที่มีอยู่ในปัจจุบัน

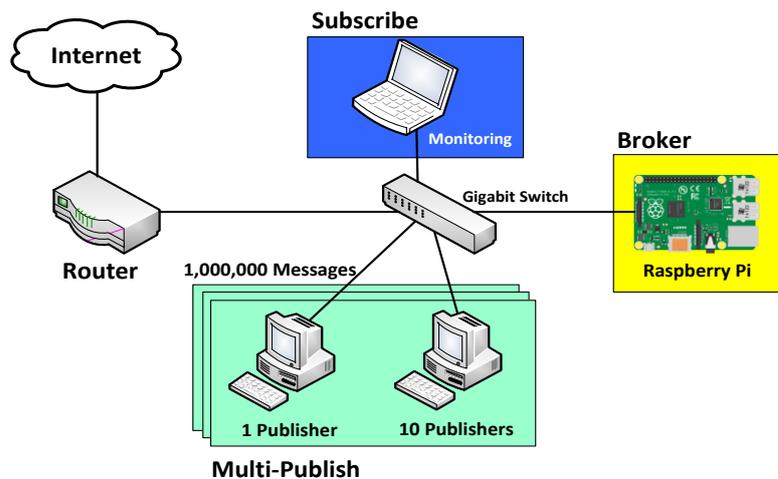
ด้วยเหตุผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า โบรมกเกอร์ทำหน้าที่เป็นทั้งผู้รับข้อมูลและกระจายข้อมูล จึงเป็นหัวใจหลักสำคัญในการสื่อสารและการผลิตนวัตกรรมต่าง ๆ ของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ซึ่งปัจจุบันมีรูปแบบวิธีการในการบริหารจัดการและเพิ่มมูลค่าให้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งมากมาย เพื่อสนับสนุนภารกิจทั้งด้าน การดำรงชีวิต อาชีพ การสื่อสาร การรักษาพยาบาล การเกษตร และงานอุตสาหกรรม [5]

5. ระเบียบวิธีวิจัย

ดำเนินการวิจัยสำหรับการวิจัยนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

5.1 ศึกษาทฤษฎีและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลของโปรโตคอล MQTT เซนเซอร์ และโบรมกเกอร์ รวมถึงเทคนิควิธีการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

5.2 ออกแบบการทดลอง ออกแบบโครงสร้างกระบวนการทำงานของระบบเครือข่าย ติดตั้งเครื่องลูกข่ายสำหรับการใช้งานในส่วนของผู้ติดตามและผู้เผยแพร่และติดตั้งเครื่องแม่ข่ายสำหรับการทำงานเป็นโบรมกเกอร์และใช้ในการตรวจวัดปริมาณการรับส่งข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยการดำเนินการวิจัยในส่วนของการออกแบบระบบแม่ข่ายและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงานเป็นแบบหลายผู้เผยแพร่ (Multi Publisher) โดยมีเราสเบอร์รี่พายทำหน้าที่เป็นโบรมกเกอร์ซึ่งมีโครงสร้างระบบเครือข่ายตามรูปที่ 2

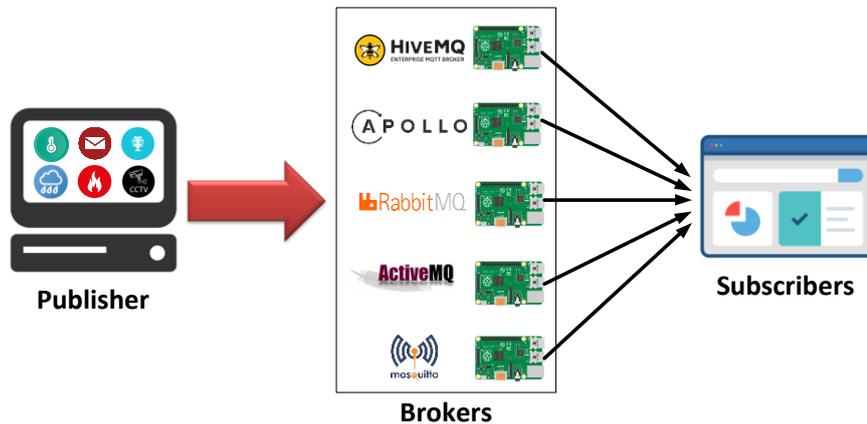


รูปที่ 2 โครงสร้างระบบเครือข่ายสำหรับงานวิจัย

สำหรับการออกแบบระบบแม่ข่ายโบรมกเกอร์ในงานวิจัยนี้พิจารณาแยกตามลักษณะของการใช้งานได้ทั้งหมด 2 กลุ่มการทดลองใหญ่ ๆ คือ การทดลองโบรมกเกอร์แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล และแบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนแนวคิด ดังนี้

5.2.1 การทดลองโบรมกเกอร์แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล คือการทดลองโดยการติดตั้งโบรมกเกอร์ไปยัง

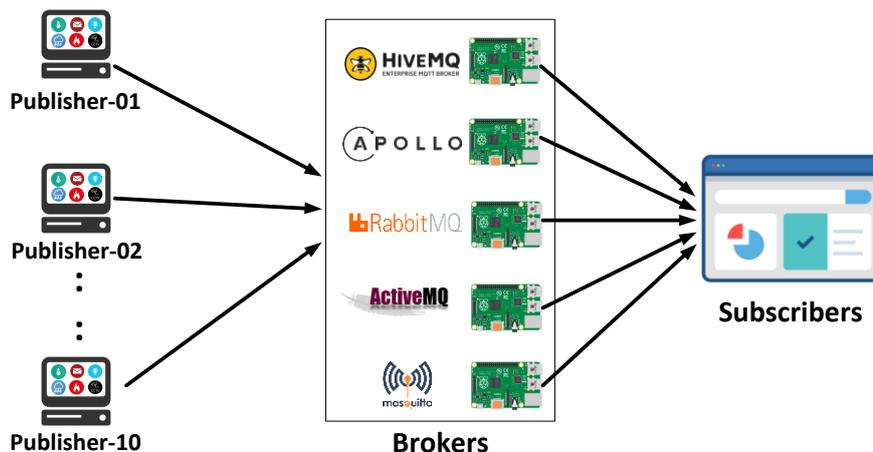
อุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบ Gigabit (IEEE802.3z) โดยมีคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องแม่ข่ายสำหรับการให้บริการโบรมกเกอร์ คือ คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวเราสเบอร์รี่พาย ซึ่งการทดสอบและวัดประสิทธิภาพในการให้บริการจะแยกทำการทดสอบทีละ โบรมกเกอร์ ประกอบด้วย Mosquitto, HiveMQ, Apollo, ActiveMQ และ RabbitMQ ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองโบรกเกอร์แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

5.2.2 การทดลองโบรกเกอร์แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล คือการทดลองโดยการวัดประสิทธิภาพจากโบรกเกอร์ที่อยู่ในรูปแบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบ Gigabit ที่มีเครื่องลูกข่ายที่ทำหน้าที่เป็นผู้เผยแพร่ข้อมูลจำนวนหลายเครื่อง เพื่อใช้สำหรับการส่งข้อมูลจำนวนมาก

พร้อม ๆ กันไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ทำหน้าที่ให้บริการโบรกเกอร์ ซึ่งการทดสอบและวัดประสิทธิภาพในการให้บริการจะแยกทำการทดสอบที่ละโบรกเกอร์ประกอบด้วยโบรกเกอร์ Mosquitto, HiveMQ, Apollo, ActiveMQ และ RabbitMQ ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองโบรกเกอร์แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล

ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้งโปรแกรมในเครื่องลูกข่ายเพื่อให้บริการโบรกเกอร์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เครื่องลูกข่ายที่ทำหน้าที่เป็นผู้เผยแพร่และผู้ติดตาม โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจำนวน 10 เครื่องที่ติดตั้งโปรแกรมสำหรับการจำลองการส่งข้อมูลเพื่อกำหนดปริมาณการส่งข้อมูลตั้งแต่ 1,000-1,000,000 ชุดข้อมูลต่อเครื่องสำหรับการทดลองแบบหนึ่งผู้เผยแพร่ และกำหนดการส่งข้อมูลปริมาณ 5,000-100,000 ชุดข้อมูล

ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจำนวน 10 เครื่องพร้อม ๆ กันเพื่อใช้สำหรับการทดลองแบบหลายผู้เผยแพร่ ซึ่งมีเครื่องลูกข่ายที่ทำหน้าที่เป็นผู้ติดตามทำการแสดงผลและเฝ้ามองผลการรับส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายของโบรกเกอร์ รวมถึงรายงานสถานการณ์ใช้ทรัพยากรของเครื่องแม่ข่ายโบรกเกอร์ผ่านช่องทางเว็บเบราว์เซอร์และโปรแกรมวัดประสิทธิภาพระบบเครือข่าย

5.3 ทดสอบการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องลูกข่ายที่ทำหน้าที่เป็นผู้เผยแพร่และเครื่องแม่ข่ายโบรกเกอร์

ตามเงื่อนไขและสถานการณ์ตามที่ออกแบบการทดลอง จากนั้นรวบรวมและบันทึกผลรายงานการรับข้อมูลที่ได้จากการสื่อสารระหว่างเครื่องแม่ข่าย โบรมเกอร์ และเครื่องลูกข่ายที่ทำหน้าที่เป็นผู้ติดตาม

5.4 เปรียบเทียบผลการทดลองหาประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลของ โบรมเกอร์แต่ละผู้ผลิตและรูปแบบการรับส่งข้อมูลตามประเภทการทดลองที่ออกแบบไว้ และรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม DEAP

5.5 สรุปและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โบรมเกอร์ สำหรับการให้บริการแต่ละ โบรมเกอร์แยกตามรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

6. วิธีการทดลอง

การทดลองวัดประสิทธิภาพ โบรมเกอร์ สำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ประกอบด้วย การดำเนินการในการจัดเตรียมเครื่องคอมพิวเตอร์ ระบบเครือข่าย และ โปรแกรมซอฟต์แวร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) ความถี่โหลดและติดตั้งระบบปฏิบัติการรายเดือน
2) ติดตั้ง โบรมเกอร์สำหรับทดลองวัดประสิทธิภาพ
3) ติดตั้งระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยในการวิจัยนี้เลือกใช้ระบบเครือข่ายบนอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตสวิตช์ แบบ Gigabit

4) ติดตั้งเครื่องมือวัดประสิทธิภาพการใช้งานระบบเครือข่าย

5) ทดลองวัดประสิทธิภาพการให้บริการ โบรมเกอร์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

5.1) การวัดประสิทธิภาพ โบรมเกอร์แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

5.2) การวัดประสิทธิภาพ โบรมเกอร์แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล

6) การวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการให้บริการของ โบรมเกอร์สำหรับบริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งใช้หลักการวิเคราะห์ในรูปแบบที่มีปัจจัยการผลิตและผลผลิตหลายชนิด (Multi Input and Output) ซึ่งสามารถสร้างเป็นแบบจำลองสำหรับงานวิจัยได้ดังนี้

6.1) ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง บังคับนำเข้า สำหรับการประเมินประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผลกลาง ปริมาณการใช้งานแบนด์วิธ ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล และผลผลิตในแบบจำลอง คือ จำนวนข้อมูลที่ได้รับ

6.2) เงื่อนไขและข้อสมมุติที่ใช้ในการศึกษา เลือกใช้แบบ Constant Return to Scale (CRS) และ Variable Return to Scale (VRS) เพื่อทดสอบกลุ่ม โบรมเกอร์ที่ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพว่ามีลักษณะของการแข่งขันที่สมบูรณ์หรือไม่ และมีการดำเนินการทดสอบในจุดที่เหมาะสมหรือไม่

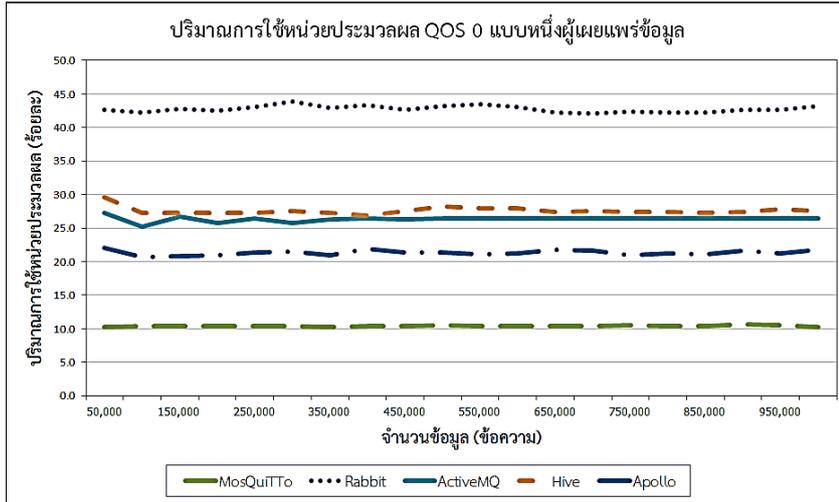
6.3) รวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม DEAP

7. ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดประสิทธิภาพการให้บริการของ โบรมเกอร์ได้จัดแบ่งการทดลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การวัดประสิทธิภาพ โบรมเกอร์แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล และการวัดประสิทธิภาพแบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล โดยกำหนดให้มีการจัดการแบนด์วิธหรือช่องทางของระบบเครือข่ายด้วย QOS (Quality of Service) ซึ่งประกอบด้วย ระดับ 0, 1 และ 2 โดยจัดเก็บปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผล (CPU Usages) ปริมาณความหนาแน่นของแบนด์วิธ และอัตราการส่งข้อมูล (Throughput) เป็นดังนี้

7.1 ผลการวัดประสิทธิภาพ QOS 0 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

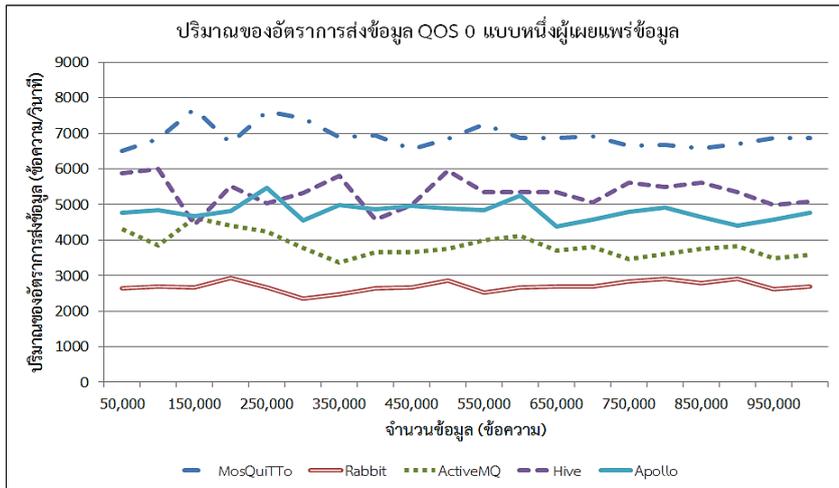
ผลการวัดประสิทธิภาพ QOS 0 สำหรับหนึ่งผู้เผยแพร่ประกอบด้วยการจัดเก็บผลการทดลองวัดปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล การใช้งานแบนด์วิธ และอัตราการส่งข้อมูล โดยปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลพบว่า Rabbit มีการใช้ทรัพยากรมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 42.8 รองลงมาคือ Hive, ActiveMQ, Apollo และ Mosquitto คิดเป็นร้อยละ 27.6, 26.3, 21.3 และ 10.4 ตามลำดับ ซึ่งผลการวัดประสิทธิภาพ QOS 0 สำหรับหนึ่งผู้เผยแพร่มีปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล QOS 0 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ปริมาณของค่าเฉลี่ยอัตราการส่งข้อมูลพบว่า Mosquitto มีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดคือ 6,917.0 ข้อความต่อวินาที รองลงมาคือ Hive, Apollo, ActiveMQ,

และ Rabbit มีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 5,338.9, 4,795.2, 3,848.0 และ 2,694.0 ข้อความต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณของอัตราการส่งข้อมูล ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ปริมาณของอัตราการส่งข้อมูล QOS 0 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการ โบรกเกอร์สำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ด้วยวิธีการวัดประสิทธิภาพแบบ DEA (Data Envelopment Analysis) พบว่า โบรกเกอร์จากผู้ผลิตที่นำมาศึกษามีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพโดยรวม (Global Technical Efficiency) เท่ากับ 0.699 โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพโดยรวม (ค่า CRS = 1) ได้แก่ Mosquitto โดยการให้บริการของโบรกเกอร์ทั้งหมดมีการดำเนินการ ณ จุดที่เหมาะสมเนื่องจากมีลักษณะของ

ผลตอบแทนคงที่ (Constant Returns to Scale: CRS) มีค่าเท่ากับผลตอบแทนผันแปร (Variable Returns to Scale: VRS) ซึ่งสามารถจำแนกแหล่งที่มาของความมีประสิทธิภาพได้เป็น 2 กรณี คือ [6]

1) ความมีประสิทธิภาพที่เกิดจากการมีเทคนิคการให้บริการของโบรกเกอร์ที่ดี (Technical Efficiency: VRS model) พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.699 โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพ จากการมีเทคนิคการให้บริการที่ดี (ค่า VRS เท่ากับ 1) ได้แก่ Mosquitto

2) ความมีประสิทธิภาพที่เกิดจากความพอดีของขนาดให้บริการที่เหมาะสม (Scale Efficiency: SE) พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.000 โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพที่เกิดจากความพอดีของขนาดการให้บริการที่เหมาะสม (ค่า SE เท่ากับ 1) ได้แก่

Mosquitto, RabbitMQ, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo สำหรับ โบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพจากเทคนิคในการให้บริการที่ต่ำกว่า 1 (VRS model) ประกอบด้วย RabbitMQ, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo ตามตารางที่ 1

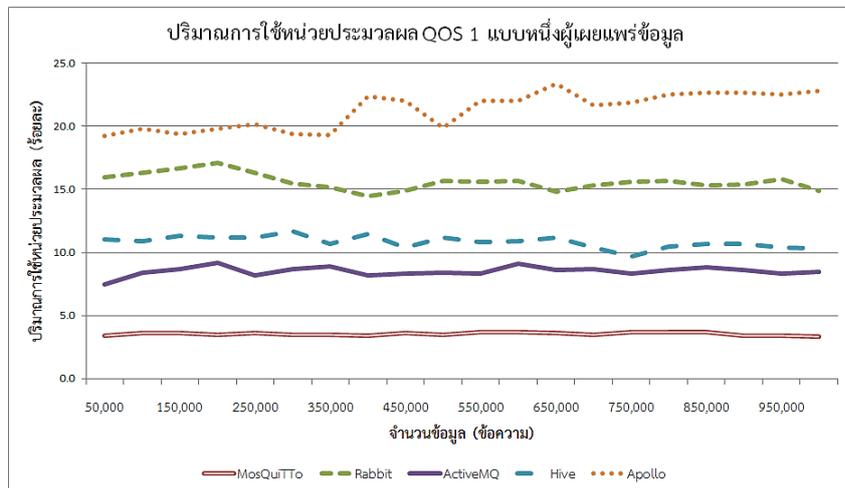
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโบรกเกอร์ QOS 0 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่

ประสิทธิภาพของโบรกเกอร์	CRS	VRS	Sech
จำนวนโบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพ	1	1	5
ค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย	0.699	0.699	1.000
ค่าประสิทธิภาพสูงสุด	1.000	1.000	1.000
ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด	0.302	0.302	1.000
จำนวนโบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าค่าเฉลี่ย	3	3	5
จำนวนโบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	2	2	0

7.2 ผลการวัดประสิทธิภาพ QOS 1 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวัดปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลพบว่า Apollo มีการใช้ทรัพยากรมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ

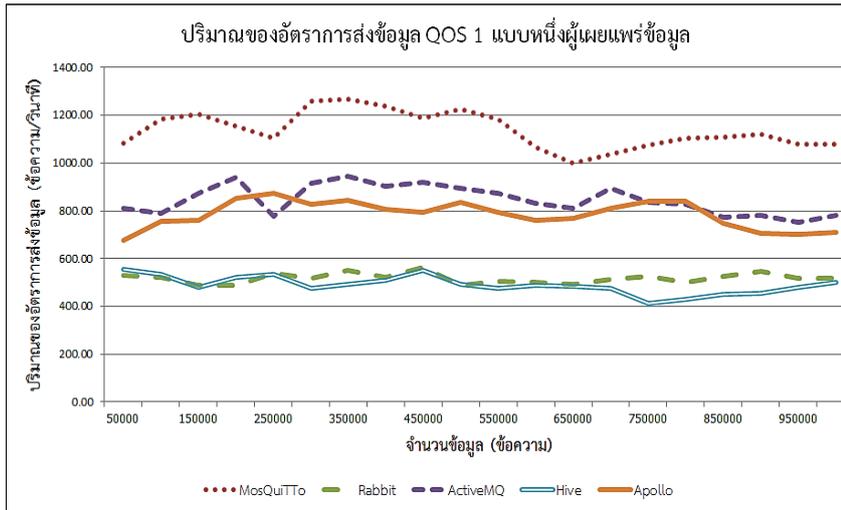
21.3 รองลงมาคือ Rabbit, Hive, ActiveMQ และ Mosquitto คิดเป็นร้อยละ 15.6, 10.8, 8.5 และ 3.5 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณการใช้หน่วยประมวลผลตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล QOS 1 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ค่าเฉลี่ยของอัตราการส่งข้อมูลการวัดประสิทธิภาพ QOS 1 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่พบว่า Mosquitto มีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดคือ 1,138.3

ข้อความต่อวินาที รองลงมาคือ ActiveMQ, Apollo, Rabbit และ Hive มีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 846.8, 785.1 517.2 และ 489.4 ข้อความต่อวินาที ตามลำดับ ตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 ปริมาณของอัตราการส่งข้อมูล QOS 1 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการโบรกเกอร์สำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ด้วยวิธี DEA พบว่า ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของโบรกเกอร์ทั้งหมดที่นำมาศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.993 โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพโดยรวม (ค่า CRS = 1) ได้แก่ Mosquitto ในการให้บริการของโบรกเกอร์ทั้งหมดมีการดำเนินการจุดที่เหมาะสมเนื่องจากมีลักษณะของผลตอบแทนลงที่นั้นมีค่าเท่ากับผลตอบแทนผันแปร

โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพจากการมีเทคนิคการให้บริการที่ดี (ค่า VRS เท่ากับ 1) ได้แก่ Mosquitto สำหรับโบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพจากเทคนิค ในการให้บริการที่ต่ำกว่า 1 (VRS model) ประกอบด้วย RabbitMQ, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานแสดงตามตารางที่ 2

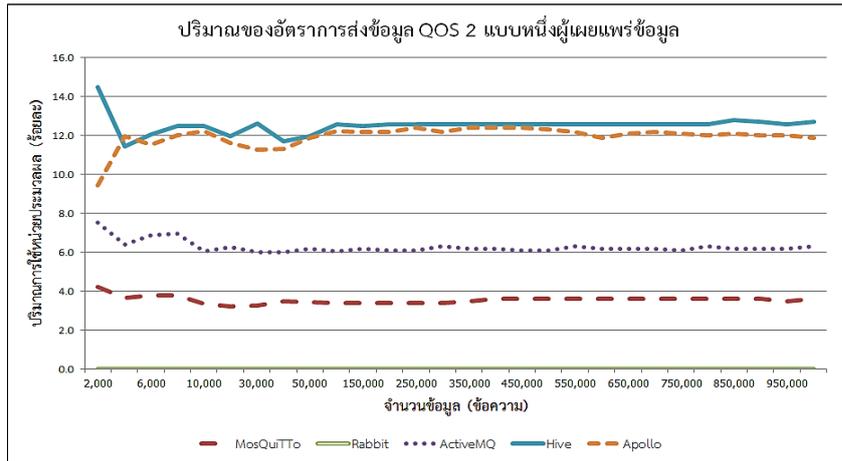
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโบรกเกอร์ QOS 1 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่

ประสิทธิภาพของโบรกเกอร์	CRS	VRS	Sech
จำนวน โบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพ	1	1	1
ค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย	0.993	0.993	1.000
ค่าประสิทธิภาพสูงสุด	1.000	1.000	1.000
ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด	0.626	0.626	1.000
จำนวน โบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าค่าเฉลี่ย	3	3	5
จำนวน โบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	2	2	0

7.3 ผลการวัดประสิทธิภาพ QOS 2 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวัดปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลพบว่า Hive มีการใช้ทรัพยากรมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ

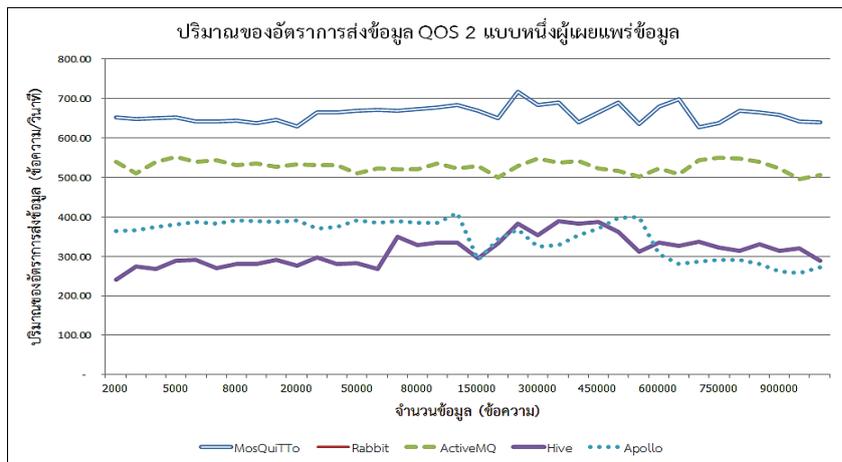
12.6 รองลงมาคือ Apollo, ActiveMQ และ Mosquitto คิดเป็นร้อยละ 12.2, 6.2 และ 3.5 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณการใช้หน่วยประมวลผลตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล QOS 2 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวัดปริมาณของค่าเฉลี่ยอัตราการส่งข้อมูลพบว่า Mosquitto มีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดคือ 665.6 ข้อความต่อวินาที รองลงมาคือ ActiveMQ, Hive และ Apollo มีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 524.9, 335.1 และ

325.1 ข้อความต่อวินาที ตามลำดับ ส่วน Rabbit ไม่รองรับ QOS 2 จึงไม่สามารถทดสอบปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลและอัตราการส่งข้อมูลได้ ปริมาณของอัตราการส่งข้อมูลแสดงตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 ปริมาณของอัตราการส่งข้อมูล QOS 2 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการโบรกเกอร์สำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ด้วยวิธี DEA พบว่า ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของโบรกเกอร์ทั้งหมดที่นำมาศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.699 โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพโดยรวม (ค่า CRS = 1) ได้แก่ Mosquitto

โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพจากการมีเทคนิคการให้บริการที่ดี (ค่า VRS เท่ากับ 1) ได้แก่ Mosquitto

โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพที่เกิดจากความพอดีของขนาดการให้บริการที่เหมาะสม (ค่า SE เท่ากับ 1) ได้แก่ Mosquitto, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo สำหรับโบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพจากเทคนิคในการให้บริการที่ต่ำกว่า 1 (VRS model) ประกอบด้วย RabbitMQ, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo ตามตารางที่ 3

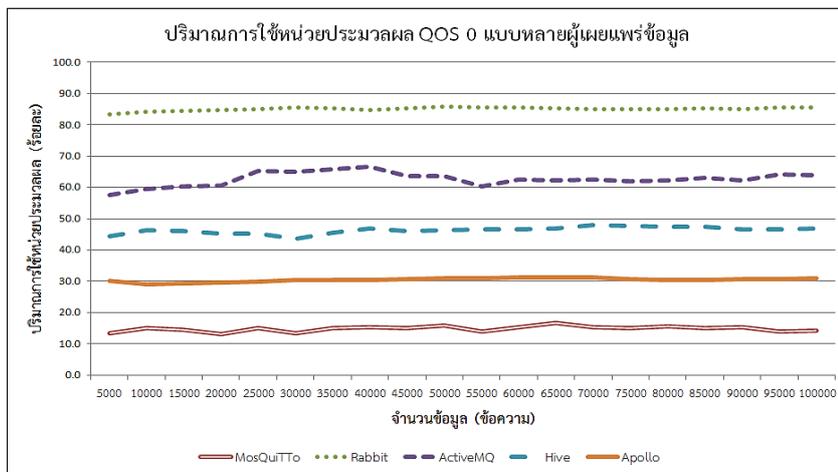
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโบรกเกอร์ QOS 2 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่

ประสิทธิภาพของโบรกเกอร์	CRS	VRS	Sech
จำนวน โบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพ	1	1	1
ค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย	0.699	0.699	1.000
ค่าประสิทธิภาพสูงสุด	1.000	1.000	1.000
ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด	0.000	0.000	1.000
จำนวน โบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าค่าเฉลี่ย	2	2	4
จำนวน โบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	3	3	1

7.4 ผลการวัดประสิทธิภาพ QOS 0 แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล

การวัดประสิทธิภาพแบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูลในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายเพื่อใช้สำหรับการทดสอบเผยแพร่ข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 10 เครื่อง โดยควบคุมให้มีการส่งข้อมูลพร้อม ๆ กัน ซึ่งผล

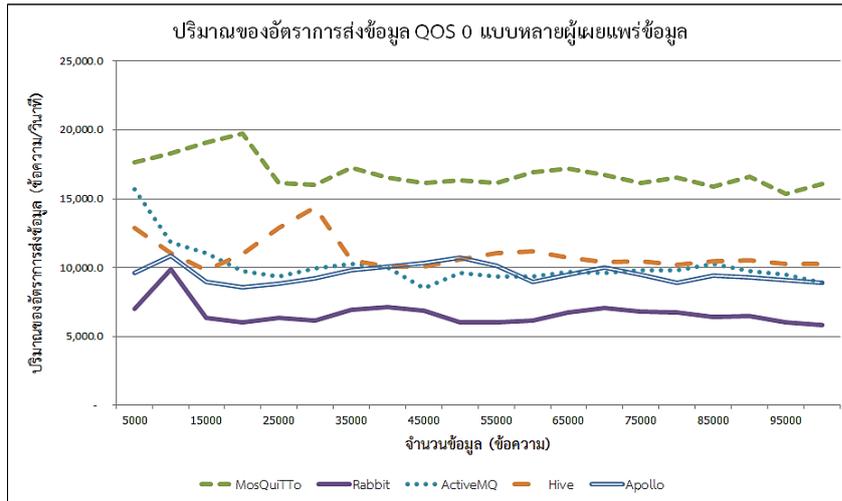
การวัดปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลพบว่า Rabbit มีการใช้ทรัพยากรมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 85.1 รองลงมาคือ ActiveMQ, Hive, Apollo และ Mosquitto คิดเป็นร้อยละ 62.7, 46.3, 30.5 และ 14.8 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณการใช้หน่วยประมวลผลตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล QOS 0 แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวัดประสิทธิภาพการให้บริการ โบรกเกอร์แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล พบว่า ปริมาณของค่าเฉลี่ยอัตราการส่งข้อมูลของโบรกเกอร์ Mosquitto มีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดคือ 16,843 ข้อความต่อวินาที รองลงมาคือ Hive, ActiveMQ, Apollo และ Rabbit

มีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 10,941.4, 10,113.7, 9,535.2 และ 6,654.6 ข้อความต่อวินาที ตามลำดับ โดยปริมาณของอัตราการส่งข้อมูล QOS 0 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูลแสดงตามรูปที่ 12



รูปที่ 12 ปริมาณของอัตราการส่งข้อมูล QOS 0 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการโบรกเกอร์สำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ด้วยวิธี DEA พบว่า ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของโบรกเกอร์ทั้งหมดที่นำมาศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.689 โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพโดยรวม (ค่า CRS = 1) ได้แก่ Mosquitto ในการให้บริการของโบรกเกอร์ทั้งหมดมีการดำเนินการจุดที่เหมาะสมเนื่องจากมีลักษณะของผลตอบแทนคงที่นั่นมีค่าเท่ากับผลตอบแทนผันแปร โดยโบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพ จากการมีเทคนิคการให้บริการที่ดี (ค่า VRS เท่ากับ 1) ได้แก่ Mosquitto

ความมีประสิทธิภาพ ที่เกิดจากความพอดีของขนาดการให้บริการที่เหมาะสม พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.000

โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพที่เกิดจากความพอดีของขนาดการให้บริการที่เหมาะสม ได้แก่ Mosquitto, RabbitMQ, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo สำหรับโบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพจากเทคนิคในการให้บริการที่ต่ำกว่า 1 (VRS model) ซึ่งประกอบด้วย RabbitMQ, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานแสดงตามตารางที่ 4

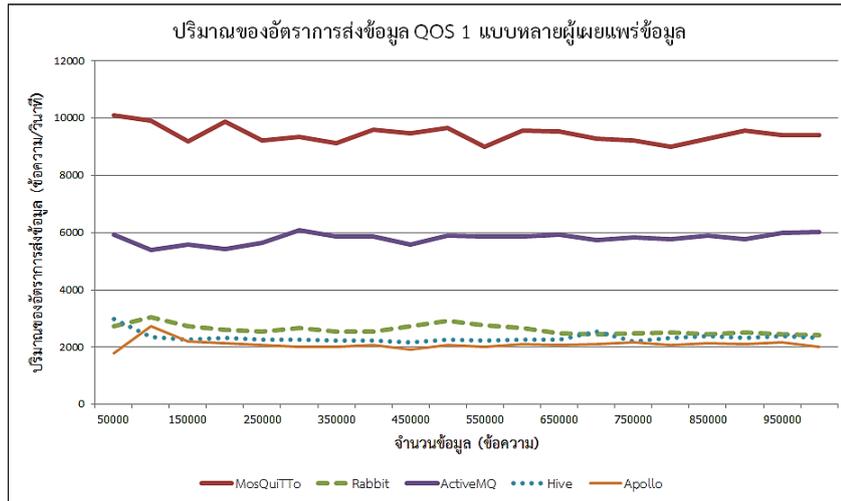
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโบรกเกอร์ QOS 0 แบบหลายผู้เผยแพร่

ประสิทธิภาพของโบรกเกอร์	CRS	VRS	Sech
จำนวนโบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพ	1	1	1
ค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย	0.689	0.689	1.000
ค่าประสิทธิภาพสูงสุด	1.000	1.000	1.000
ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด	0.318	0.318	1.000
จำนวนโบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าค่าเฉลี่ย	3	3	5
จำนวนโบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	2	2	0

7.5 ผลการวัดประสิทธิภาพ QOS 1 แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวัดปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลพบว่า Rabbit มีการใช้ทรัพยากรมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ

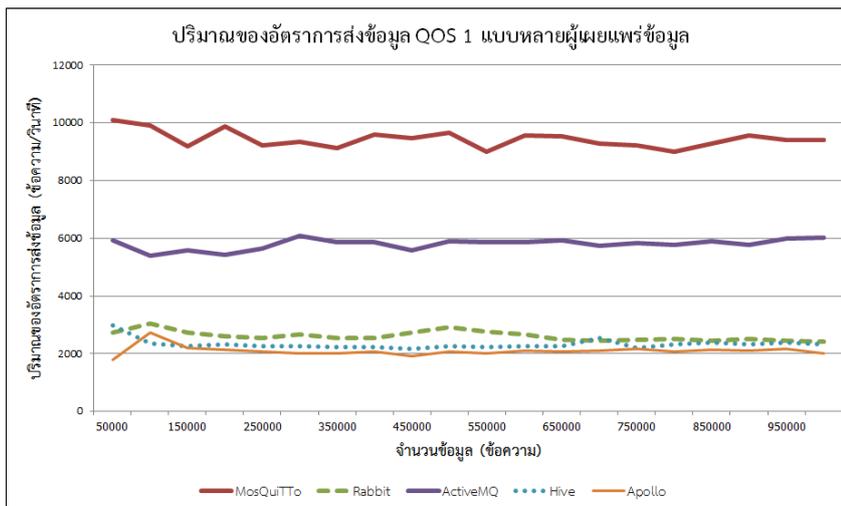
77.3 รองลงมาคือ Hive, ActiveMQ, Apollo และ Mosquitto คิดเป็นร้อยละ 53.4, 48.9, 37.7 และ 13.3 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล ตามรูปที่ 13



รูปที่ 13 ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล QOS 1 แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล

ปริมาณของค่าเฉลี่ยอัตราการส่งข้อมูลพบว่า Mosquitto มีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดคือ 9,438.8 ข้อความต่อวินาที รองลงมาคือ ActiveMQ, Rabbit, Hive

และ Apollo มีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 5,804.9, 2,615.9, 2,335.8 และ 2,103.0 ข้อความต่อวินาที ตามลำดับ โดยมีปริมาณอัตราการส่งข้อมูลตามรูปที่ 14



รูปที่ 14 ปริมาณของอัตราการส่งข้อมูล QOS 1 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการ โบรกเกอร์ สำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ด้วยวิธี DEA พบว่า ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของโบรกเกอร์ทั้งหมดที่นำมาศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.508 โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพโดยรวม (ค่า CRS = 1) ได้แก่ Mosquitto ในการให้บริการของโบรกเกอร์ทั้งหมดมีการดำเนินการ ณ จุดที่เหมาะสม เนื่องจากมีลักษณะของผลตอบแทนคงที่นั้นมีค่าเท่ากับ

ผลตอบแทนผันแปร โดยโบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพจากการมีเทคนิคการให้บริการที่ดี (ค่า VRS เท่ากับ 1) ได้แก่ Mosquitto สำหรับ โบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพจากเทคนิค ในการให้บริการที่ต่ำกว่า 1 (VRS model) ซึ่งประกอบด้วย RabbitMQ, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานแสดงตามตารางที่ 5

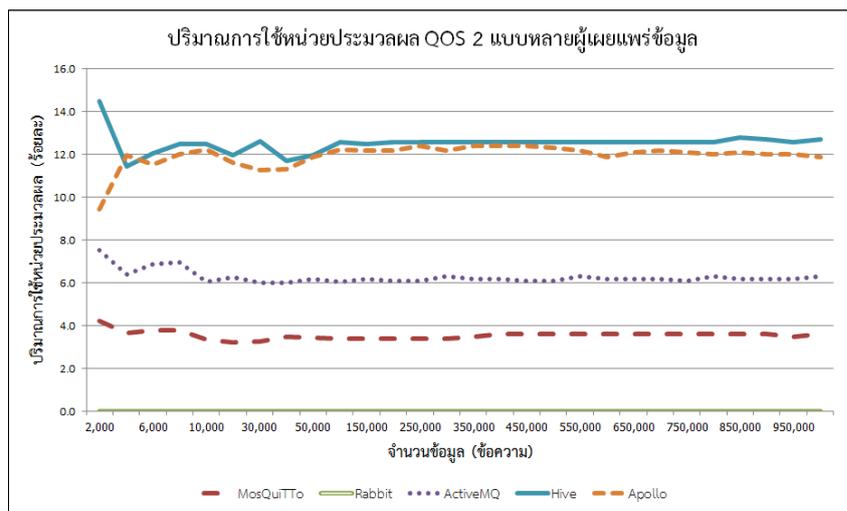
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโบริกเกอร์ QOS 1 แบบหลายผู้เผยแพร่

ประสิทธิภาพของโบริกเกอร์	CRS	VRS	Sech
จำนวนโบริกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพ	1	1	1
ค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย	0.508	0.508	1.000
ค่าประสิทธิภาพสูงสุด	1.000	1.000	1.000
ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด	0.239	0.239	1.000
จำนวนโบริกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าค่าเฉลี่ย	2	2	5
จำนวนโบริกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	3	3	0

7.6 ผลการวัดประสิทธิภาพ QOS 2 แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวัดปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลพบว่า Hive มีการใช้ทรัพยากรมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 54.7 รองลงมาคือ Apollo, ActiveMQ และ Mosquitto

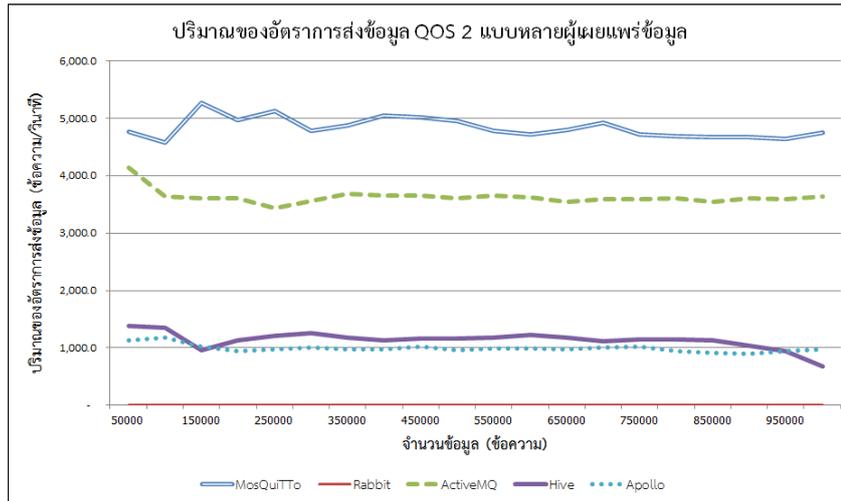
คิดเป็นร้อยละ 39.2, 38.2 และ 10.4 ตามลำดับ ส่วน Rabbit ไม่รองรับ QOS 2 จึงไม่สามารถทดสอบปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลและอัตราการส่งข้อมูลได้ ซึ่งปริมาณการใช้หน่วยประมวลผลแสดงตามรูปที่ 15



รูปที่ 15 ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล QOS 2 แบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล

ปริมาณของค่าเฉลี่ยอัตราการส่งข้อมูลพบว่า Mosquitto มีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดคือ 4,839.3 ข้อความต่อวินาที รองลงมาคือ ActiveMQ, Hive และ

Apollo มีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 3,630.7, 1,134.4 และ 991.6 ข้อความต่อวินาที ตามลำดับ ตามรูปที่ 16



รูปที่ 16 ปริมาณของอัตราการส่งข้อมูล QOS 2 แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการ โบรกเกอร์สำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ด้วยวิธี DEA พบว่า ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของโบรกเกอร์ทั้งหมดที่นำมาศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.565 โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพโดยรวม (ค่า CRS เท่ากับ 1) ได้แก่ Mosquitto ในการให้บริการของโบรกเกอร์ทั้งหมดมีการดำเนินการ ณ จุดที่เหมาะสมเนื่องจากมีลักษณะของผลตอบแทนคงที่นั่นมีค่าเท่ากับผลตอบแทนผันแปร

โบรกเกอร์ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีประสิทธิภาพจากการมีเทคนิค การให้บริการที่ดี (ค่า VRS เท่ากับ 1) ได้แก่ Mosquitto สำหรับโบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพจากเทคนิคในการให้บริการที่ต่ำกว่า 1 (VRS model) ซึ่งประกอบด้วย RabbitMQ, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน แสดงตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโบรกเกอร์ QOS 2 แบบหลายผู้เผยแพร่

ประสิทธิภาพของโบรกเกอร์	CRS	VRS	Sech
จำนวน โบรกเกอร์ที่มีประสิทธิภาพ	1	1	1
ค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ย	0.565	0.565	1.000
ค่าประสิทธิภาพสูงสุด	1.000	1.000	1.000
ค่าประสิทธิภาพต่ำสุด	0.184	0.184	1.000
จำนวน โบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าค่าเฉลี่ย	2	2	4
จำนวน โบรกเกอร์ที่มีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	3	3	1

8. สรุปอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการออกแบบและการทดลอง ทั้งในส่วนของการระบบเครือข่าย ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบและพิจารณา ประสิทธิภาพของโบรกเกอร์ของแต่ละผู้ผลิตและเทคนิค

วิธีการที่เหมาะสมต่อการนำมาประยุกต์ใช้งานใน การให้บริการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ซึ่งได้เลือกใช้ คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวราสเบอร์รี่พาย 3 ทำหน้าที่เป็น เครื่องแม่ข่าย โดยติดตั้งบน ระบบปฏิบัติการ ราสเบียนคอร์เนล เวอร์ชัน 4.9 ในรูปแบบการเชื่อมต่อ

เครือข่ายอีเทอร์เน็ตแบบ Gigabit ได้จัดแบ่งการทดลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การวัดประสิทธิภาพโพรกเกอร์แบบหนึ่งผู้เผยแพร่ข้อมูล และการวัดประสิทธิภาพแบบหลายผู้เผยแพร่ข้อมูล ซึ่งใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจำนวน 10 เครื่อง ที่ติดตั้งโปรแกรมที่กำหนดการปริมาณการส่งข้อมูลตั้งแต่ 1,000-1,000,000 ชุดข้อมูลต่อเครื่อง สำหรับการทดลองแบบหนึ่งผู้เผยแพร่และกำหนดการส่งข้อมูลปริมาณ 5,000-100,000 ชุดข้อมูลต่อเครื่อง สำหรับการทดลองแบบหลายผู้เผยแพร่

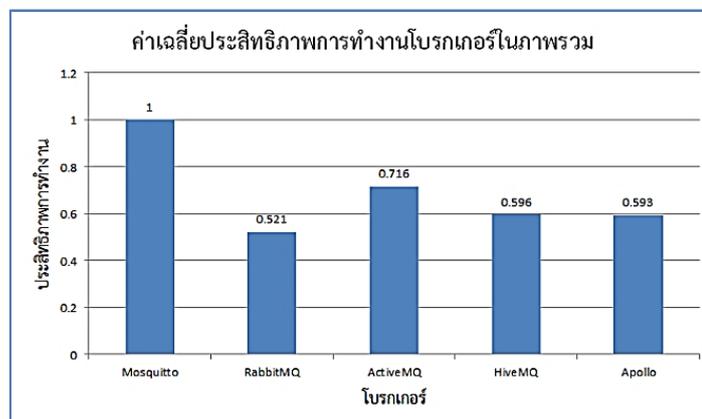
ข้อมูลการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในเครื่องแม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็นโพรกเกอร์ของแต่ละผู้ผลิตที่นำมาใช้งานวิจัยนี้ด้วยการประมวลผลหาประสิทธิภาพโดยใช้วิธี DEA พบว่า Mosquitto มีประสิทธิภาพในการทำงานในภาพรวมและประสิทธิภาพจากเทคนิคในการให้บริการที่ดีกว่า RabbitMQ, ActiveMQ, HiveMQ และ Apollo ซึ่งในการทดสอบวัดประสิทธิภาพนี้ถูกจำกัดภายใต้ทรัพยากรที่ติดตั้งเหมือนกัน โดยสามารถแสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการทำงานในภาพรวมของโพรกเกอร์ได้ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการให้บริการ โพรกเกอร์ด้วยวิธี DEA

จำนวนผู้เผยแพร่	QOS	ประสิทธิภาพการให้บริการ โพรกเกอร์									
		Mosquitto		RabbitMQ		ActiveMQ		HiveMQ		Apollo	
		CRS	VRS	CRS	VRS	CRS	VRS	CRS	VRS	CRS	VRS
1	0	1.000	1.000	0.404	0.404	0.572	0.572	0.793	0.793	0.730	0.730
1	1	1.000	1.000	0.981	0.981	0.997	0.997	0.992	0.992	0.994	0.994
1	2	1.000	1.000	-	-	0.800	0.800	0.482	0.482	0.517	0.517
10	0	1.000	1.000	0.423	0.423	0.557	0.557	0.775	0.775	0.694	0.694
10	1	1.000	1.000	0.277	0.277	0.616	0.616	0.296	0.296	0.351	0.351
10	2	1.000	1.000	-	-	0.751	0.751	0.238	0.238	0.269	0.269
เฉลี่ย		1.000	1.000	0.521	0.521	0.716	0.716	0.596	0.596	0.593	0.593

จากตารางที่ 7 เมื่อนำค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการวัดประสิทธิภาพโดยวิธี DEA พบว่าโพรกเกอร์ Mosquitto มีประสิทธิภาพการทำงานในภาพรวม

มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.000 รองลงมา ActiveMQ, HiveMQ, Apollo และ Rabbit ตามลำดับ ตามรูปที่ 17



รูปที่ 17 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการทำงานในภาพรวม

9. ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ไม่ได้ครอบคลุมปัจจัยบางส่วนในการวัดประสิทธิภาพจากการรับและส่งข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถสรุปเป็นประเด็นข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาต่อยอดการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมได้ดังนี้

1. การทดลองในประเด็นปัญหาของขนาดของข้อมูลที่ใช้ทำการส่งที่แตกต่างกัน
2. การทดลองในประเด็นปัญหาของจำนวนผู้รับหรือผู้ติดตามที่มีปริมาณที่แตกต่างกัน
3. การทดลองในประเด็นปัญหาที่มีการเชื่อมต่อผ่านระบบอินเทอร์เน็ต
4. การทดลองในประเด็นปัญหาที่มีการกำหนดการตั้งค่าเครื่องแม่ข่ายโพรโทคอลแบบ Bridge

10. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดสอบจากสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์ ที่ให้คำแนะนำในการจัดทำวิจัยนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีที่สนับสนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. แผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. กรุงเทพมหานคร, 2559.
- [2] O.Vermesan and P.Friess. **Internet of Things-From Research and Innovation to Market Deployment.** Italy: River Publishess, 2014.
- [3] Vasileios Karagiannis1. A Survey on Application Layer Protocols for the Internet of Things. Transaction on IoT and Cloud Computing, 2015.
- [4] สำนักงานรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน). แผนพัฒนารัฐบาลดิจิทัลของประเทศไทย ระยะ 3 ปี (พ.ศ.2559-2561). กรุงเทพมหานคร, 2559.
- [5] EY. **Internet of Things.** United State: Global Media & Entertainment, 2016.
- [6] อัครพงศ์ อ้นทอง. **คู่มือการใช้โปรแกรม DEAP 2.1 สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยวิธีการ Data Envelopment Analysis.** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547.