

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครือข่าย
ผู้ให้บริการ NB-IoT ผ่านแพลตฟอร์ม IoT ในประเทศไทย

ศุภโชค เกียรติกิติกุล

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2562

PERFORMANCE ANALYSIS IN NB-IoT NETWORKS
THROUGH THE IoT PLATFORMS IN THAILAND

Suppachok Kiatikitikul

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Information Technology

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2019

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครือข่ายผู้ให้บริการ NB-IoT
ผ่านแพลตฟอร์ม IoT ในประเทศไทย

โดย

ศุภโชค เกียรติกิตติกุล

สาขาวิชา

เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถนพ หมั่นสกุล

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วัศกา วิสุทธิวิเศษ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรากร ศรีเชวงทรัพย์)

.....กรรมการ

(ดร. โสภณ มงคลลักษณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถนพ หมั่นสกุล)

ศุภโชค เกียรติกิติกุล : การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครือข่ายผู้ให้บริการ NB-IoT ผ่านแพลตฟอร์ม IoT ในประเทศไทย. อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. อรรณพ หมั่นสกุล, 112 หน้า.

ผู้ให้บริการรายใหญ่ในประเทศไทย ได้แก่ TRUE และ AIS ได้เปิดให้บริการเครือข่าย NB-IoT ในประเทศไทยโดยเพิ่งจะได้เปิดให้บริการช่วงต้นปี 2018 โดยปกติอุปกรณ์ IoT จะทำการส่งข้อมูลเพื่อไปเก็บบน IoT Cloud Platform โดยการเลือกใช้บริการเครือข่ายจากผู้ให้บริการนั้นย่อมมีความแตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบการให้บริการเครือข่าย NB-IoT จากการทดลองสองพื้นที่ ได้แก่ บริเวณจังหวัดกรุงเทพมหานครและจังหวัดปทุมธานี ตั้งแต่อุปกรณ์ NB-IoT ไปยัง IoT Cloud Platform ที่มีชื่อเสียงและง่ายต่อการติดตั้งทั้งหมด 9 แห่ง ได้แก่ Google Cloud, AWSAmazon, Cloud Oracle, TheThingIO, IBMwatson, Ubidots, IoTTweet, AISmagellan และ ThingsBoard โดยใช้เวลาในการทดลองในแต่ละพื้นที่เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยพิจารณาจากค่า RTT ด้วยการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์และ 1,024 ไบต์เป็นระยะเวลาอย่างละ 2 สัปดาห์ และค่า RSSI, RSRQ, RSRP และ SNR ตลอด 4 สัปดาห์ โดยผลลัพธ์การทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ ตั้งแต่อุปกรณ์ไปยังเสาสัญญาณของผู้ให้บริการ โดยพบว่าจากพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น การให้บริการของเครือข่ายของ AIS มีผลลัพธ์ที่ดีกว่าผู้ให้บริการ TRUE โดย AIS มีค่าเฉลี่ย RSRP มากกว่าประมาณ 15 dBm, RSSI มากกว่าประมาณ 14.2 dBm, RSRQ มากกว่าประมาณ 0.04 dB และ SNR มากกว่าประมาณ 0.9 dB ส่วนพื้นที่จังหวัดปทุมธานีนั้นผู้ให้บริการเครือข่าย TRUE มีคุณภาพการให้บริการใกล้เคียงกับ AIS หรือดีกว่าเล็กน้อย โดยผลลัพธ์ค่า RSRP และ RSSI ของ AIS โดยเฉลี่ยมากกว่าเครือข่าย TRUE ประมาณ 4.7 dB แต่มีค่า RSRQ น้อยกว่าประมาณ 0.6 dB และ SNR น้อยกว่าประมาณ 2.9 dB ส่วนที่สองคือตั้งแต่อุปกรณ์ไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทาง จากพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นพบว่า IBM Watson มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดจากการใช้บริการเครือข่ายทั้งสองผู้ให้บริการ จากพื้นที่จังหวัดปทุมธานีพบว่า IoTTweet มี RTT เฉลี่ยเร็วที่สุดสำหรับ AIS 8 ไบต์และ AISmagellan มี RTT เฉลี่ยเร็วที่สุดสำหรับ AIS 1,024 ไบต์ IBMwatson มีค่าเฉลี่ยเร็วที่สุดสำหรับ TRUE ทั้ง 8 ไบต์และ 1,024 ไบต์

บัณฑิตวิทยาลัย

ลายมือชื่อนักศึกษา

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2562

SUPPACHOK KIATIKITIKUL : PERFORMANCE ANALYSIS IN NB-IoT NETWORKS THROUGH THE IoT PLATFORMS IN THAILAND. ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. ANNOP MONSAKUL, 112 PP.

NB-IoT services have been provided in Thailand since 2018 by big operators such as TRUE and AIS. Usually, IoT devices collect data and store them in IoT platforms through the operator's network. This research presents the performance comparison of two NB-IoT operators from Pathumthani and Bangkok sites by testing them with nine accessible IoT Cloud Platforms including Google Cloud, AWS, Oracle Cloud, TheThingIO, IBM Watson, Ubidot, IoTtTweet, Magellan and ThingsBoard. The performance was evaluated using RTT ping with packets size of 8 bytes and 1024 bytes as well as SNR, RSRP, RSRQ, and RSSI from two locations for four weeks. The result of the experiments is divided into two parts. The first part demonstrates performance between devices and cell sites. At Bangkok site, the AIS operator yields better performance with 15 dBm more RSRP, 14.2 dBm more RSSI, 0.04 dB more RSRQ, and 0.9 dB more SNR compared to TRUE. At Pathumthani site, TRUE is slightly better than AIS. The AIS operator yields 4.7 dB more RSSI and RSRP than TRUE, while RSRQ and SNR are 0.6 dB and 2.9 dB less than TRUE. The second part demonstrates the performance between devices and IoT Cloud Platforms. At Bangkok, IBM Watson has the best RTT speed from two operators. At Pathumthani, IoTtTweet has the best RTT speed on AIS with 8-byte packets. AISmagellan has the best RTT speed on AIS 1,024-byte packets, and IBM Watson has the best RTT speed on TRUE with 8-byte packets and 1024-byte packets.

Graduate School

Student's Signature.....

Field of Study Information Technology

Advisor's Signature.....

Academic Year 2019

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์นี้จะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร. อรรณพ หมั่นสกุล ซึ่งได้สละเวลาในการให้คำแนะนำ คำปรึกษา การสนับสนุน รวมถึงตรวจสอบข้อบกพร่องทุกขั้นตอนและกำลังใจเต็มเปี่ยมตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ทั้งนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. วัศกา วิสุทธีวิเศษ รองศาสตราจารย์ ดร. วรากร ศรีเชวงทรัพย์ และ ดร. โสภณ มงคลลักษณ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์และช่วยตรวจสอบข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จและมีความสมบูรณ์

เหนือสิ่งอื่นใดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาของผู้วิจัยที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างที่สุดเสมอมา

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเกิดประโยชน์ต่อผู้ที่มีความสนใจ สามารถนำไปต่อยอด องค์ความรู้เพื่อประยุกต์ใช้งานกับระบบการแนะนำการศึกษาเพื่อให้เกิดคุณค่าและสามารถใช้งานได้จริง

ศุภโชค เกียรติกิติกุล

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 สภาวะความเป็นมา แนวทางเหตุผล และปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 อุปกรณ์ Internet of Things.....	5
2.2 เทคโนโลยี Low Power Wide Area.....	6
2.3 เทคโนโลยี NB-IoT.....	7
2.4 อุปกรณ์ NB-IoT จากผู้ให้บริการ.....	9
2.5 IoT Cloud Platform.....	11
2.6 ตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน.....	17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
3 วิธีการดำเนินงาน.....	25
3.1 ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาของงานวิจัย.....	26
3.2 ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาข้อมูลและเทคโนโลยีที่นำมาใช้.....	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	3.3 ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลอง 28
	3.4 ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง..... 35
	3.5 ขั้นตอนที่ 5 การสรุปผลการวิจัย..... 36
4	ผลการวิจัย 37
	4.1 กราฟแสดงผลลัพธ์การวิจัย..... 37
	4.2 สรุปผลผลลัพธ์จากกราฟ 53
	4.3 วิเคราะห์ผลลัพธ์การกราฟ..... 54
5	บทสรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ 61
	5.1 สรุปผลการวิจัย..... 61
	5.2 อภิปรายผลวิจัย 61
	5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย 64
	5.4 ข้อเสนอแนะงานวิจัย 64
บรรณานุกรม	 65
ภาคผนวก	 68
	ภาคผนวก ก. โค้ดโปรแกรม 69
	ภาคผนวก ข. การตีพิมพ์ผลงานวิจัย..... 101
ประวัติย่อผู้วิจัย	 112

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	26
4.1 แสดงแพลตฟอร์มมี RTT แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์ที่เร็วที่สุดที่ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นในแต่ละวัน.....	57
4.2 แสดงแพลตฟอร์มมี RTT แพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์ที่เร็วที่สุดที่ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นในแต่ละวัน.....	58
4.3 แสดงแพลตฟอร์มมี RTT แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์ที่เร็วที่สุดที่ พื้นที่จังหวัดปทุมธานีในแต่ละวัน.....	59
4.4 แสดงแพลตฟอร์มมี RTT แพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์ที่เร็วที่สุดที่ จังหวัดปทุมธานีในแต่ละวัน.....	59



TNI

THAI - JAPANESE INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบความต้องการของแบนด์วิธและระยะของแต่ละเทคโนโลยี	2
2.1 บอร์ด Raspberry Pi.....	5
2.2 บอร์ด Arduino Uno และบอร์ด ESP8266.....	6
2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเทคโนโลยี LPWA	7
2.4 แสดงรูปแบบการทำงานของ NB-IoT	8
2.5 แสดงเครือข่ายการทำงานของ NB-IoT	9
2.6 แสดงราคาสินค้าอุปกรณ์ NB-IoT จากผู้ให้บริการทั้งสอง	10
2.7 ภาพถ่ายอุปกรณ์ NB-IoT ของ TRUE.....	10
2.8 ภาพถ่ายอุปกรณ์ NB-IoT ของ AIS.....	11
2.9 ภาพการทำงานของ Google IoT	12
2.10 ภาพการทำงานของ Amazon Web Service	13
2.11 ภาพทำงานของ Cloud Oracle.....	13
2.12 ภาพการทำงานของ The Thing IO	14
2.13 ภาพการทำงานของ IBM Watson	14
2.14 ภาพการทำงานของ Ubidots	15
2.15 ภาพการทำงานของ IoTTweet.....	15
2.16 ภาพการทำงานของ AISmagellan	16
2.17 ภาพการทำงานของ ThingsBoard.....	17
2.18 แสดงวิธีการหาค่า RTT	17
2.19 ตัวแปร RSSI	18
2.20 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง NB-IoT กับ LoRa	20
2.21 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่าง NB-IoT กับ LoRa	20
2.22 แสดงวิธีและช่วงเวลาในการทดลอง.....	21
2.23 แสดงผลลัพธ์การทดลอง	22
2.24 แสดงวิธีการทดลอง	22
2.25 แสดงวิธีการคำนวณเพื่อหาค่าของ Traffic	23
2.26 แสดงผลลัพธ์การทดลอง	23

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
2.27 แสดงฟังก์ชันของ IoT Cloud Platform.....	24
3.1 จุดที่เก็บข้อมูล	27
3.2 กระบวนการทดลองจากต้นทางไปยังปลายทาง	28
3.3 ตัวอย่างสคริปต์ที่ติดตั้งบน Arduino Uno	29
3.4 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรม	30
3.5 ติดตั้งสคริปต์ลงบนอุปกรณ์	31
3.6 สคริปต์เก็บข้อมูลบน Pycharm	32
3.7 ภาพรวมการเก็บข้อมูลการทดลอง	33
3.8 การลบแถวที่ว่าง	34
3.9 การจัดข้อมูลเพื่อสร้างเป็นกราฟ.....	35
3.10 การรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง	36
4.1 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแฟกต์ขนาด 8 ไบต์เครือข่าย AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง.....	38
4.2 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแฟกต์ขนาด 8 ไบต์เครือข่าย TRUE ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง.....	39
4.3 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแฟกต์ขนาด 1024 ไบต์เครือข่าย AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง.....	40
4.4 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแฟกต์ขนาด 1024 ไบต์เครือข่าย TRUE ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง.....	41
4.5 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSRP เครือข่าย TRUE และ AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง.....	42
4.6 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSSI เครือข่าย TRUE และ AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง.....	43
4.7 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSRQ เครือข่าย TRUE และ AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง.....	44
4.8 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า SNR เครือข่าย TRUE และ AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง.....	45

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
4.9 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เครือข่าย AIS ที่จังหวัดปทุมธานีเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง	46
4.10 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เครือข่าย TRUE ที่จังหวัดปทุมธานีเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง	47
4.11 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เครือข่าย AIS ที่จังหวัดปทุมธานีเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง	48
4.12 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เครือข่าย TRUE ที่จังหวัดปทุมธานีเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง	49
4.13 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSRP เครือข่าย TRUE และ AIS ที่จังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง	50
4.14 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSSI เครือข่าย TRUE และ AIS ที่จังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง	51
4.15 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSRQ เครือข่าย TRUE และ AIS ที่จังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง	52
4.16 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า SNR เครือข่าย TRUE และ AIS ที่จังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง	53
4.17 แสดงกราฟผลการทดลองเครือข่าย AIS ขนาด 8 ไบต์ ที่สถาบัน เทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น โดยเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง	55
4.18 แสดงกราฟผลการทดลองเครือข่าย TRUE ขนาด 8 ไบต์ ที่สถาบัน เทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น โดยเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง	55
4.19 แสดงกราฟผลการทดลองเครือข่าย AIS ขนาด 8 ไบต์ ที่พื้นที่จังหวัด ปทุมธานี โดยเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง	56
4.20 แสดงกราฟผลการทดลองเครือข่าย AIS ขนาด 8 ไบต์ ที่พื้นที่จังหวัด ปทุมธานี โดยเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง	56
4.21 แสดงผลลัพธ์จากพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในทั้งสองช่วงเวลา	60
4.22 แสดงผลลัพธ์จากพื้นที่คลองหลวงจังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในทั้งสองช่วงเวลา	60
5.1 แสดงผลการทดลองโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองที่สถาบันเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น	63

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
5.2	แสดงผลการทดลองโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองที่พื้นที่ปทุมธานี..... 64



บทที่ 1

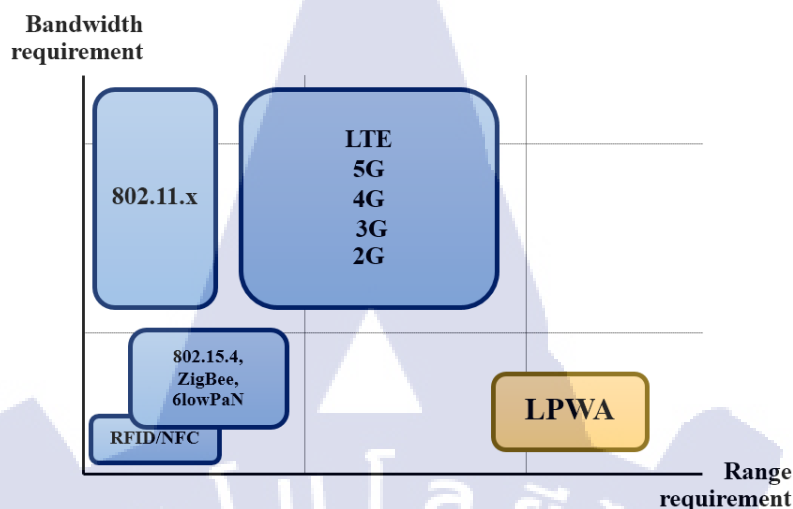
บทนำ

1.1 สภาวะความเป็นมา แนวทางเหตุผล และปัญหา

อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) หมายถึง อุปกรณ์หรือสิ่งของต่างๆ ที่สามารถเชื่อมต่อไปยังอินเทอร์เน็ต สามารถเชื่อมต่อได้ทั้งแบบมีสายและไร้สาย จากนั้นส่งข้อมูลที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์ซึ่งมีหลายประเภท เช่น เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้น เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว หรือเซ็นเซอร์ตรวจวัดแสง เป็นต้น จากนั้นทำการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้จากพื้นที่ใดหรือเวลาใดก็ได้ ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่งจะทำการดำรงชีวิตมีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น เช่น เมืองอัจฉริยะ ฟาร์มอัจฉริยะ บ้านอัจฉริยะ อุปกรณ์อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่งมีต้นทุนต่ำ [1] ใช้หน่วยประมวลผลที่ประหยัดพลังงาน สามารถใช้งานมากกว่าหนึ่งปีด้วยถ่านเพียงหนึ่งหรือสองก้อน ถูกออกแบบให้ติดตั้งใช้งานจริงได้ง่าย แม้ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญ

เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย ได้มีการใช้งานมาแล้วหลายรูปแบบ เช่น ระยะใกล้อย่างเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล เช่น มาตรฐาน 802.15.4, Zigbee และ IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPan) ซึ่งค่อนข้างได้รับความนิยมแต่มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางที่มีระยะเพียง 100 เมตร ซึ่งค่อนข้างใกล้และใช้พลังงานมากขึ้นเมื่อส่งในระยะที่ไกลขึ้น อีกเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่ได้รับความนิยมคือ Long Term Evolution (LTE) ซึ่งมีระยะครอบคลุมทั่วประเทศ มีแบนด์วิดท์ที่สูงมากแต่ก็ใช้พลังงานค่อนข้างมาก

เมื่อไม่นานมานี้เทคโนโลยี Low Power Wide Area (LPWA) หรือเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย [2] โดยอุปกรณ์จะสามารถส่งข้อมูลผ่านสัญญาณวิทยุและใช้พลังงานที่ต่ำดังรูปที่ 1.1 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นๆ จะพบว่าจุดเด่นคือระยะครอบคลุมที่ไกลมากจึงทำให้เทคโนโลยี LPWA ซึ่งมีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง เช่น Low-Power Wide-Area Network (LoRaWAN), Enhanced Machine-Type Communication (eMTC), SigFox และ Narrow Band Internet of Things (NB-IoT) เทคโนโลยี LPWA มีระยะครอบคลุมที่กว้างและใช้พลังงานที่ต่ำ เพื่อใช้สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ในทุกพื้นที่ที่เข้าถึงยากหรือแม้แต่ในเมืองก็สามารถติดตั้งได้ [3] จึงทำให้เทคโนโลยี LPWA น่าสนใจสำหรับการนำไปพัฒนา การวิจัยหรือใช้งานในด้านอุตสาหกรรม ซึ่ง ณ ปัจจุบัน ผู้ให้บริการเครือข่ายไร้สายเช่น TRUE, AIS หรือ CAT Telecom ได้ลงทุนเพื่อนำเทคโนโลยี LPWA มาใช้งาน โดย CAT ได้ลงทุนและให้บริการเทคโนโลยี LoRaWAN ส่วน TRUE กับ AIS ได้ลงทุนและให้บริการเทคโนโลยี NB-IoT



รูปที่ 1.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบความต้องการของแบนด์วิดท์และระยะของแต่ละเทคโนโลยี

NB-IoT หรือ LTE Cat NB1 ถูกพัฒนาและทำงานบน Narrowband Cellular Internet of Things (NB-CIoT) [4] และเป็นส่วนสำคัญของอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง ซึ่งเทคโนโลยี NB-IoT จะทำงานบนคลื่น 180 กิโลเฮิร์ตซ์ และทำงานบนเทคโนโลยี GSM, UMTS หรือโครงข่ายของ LTE ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการนำมาใช้งานจริงและสามารถพัฒนาได้ง่าย

IoT Cloud Platform เป็นจุดศูนย์กลางสำหรับรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่งที่ได้นำไปติดตั้ง ซึ่ง IoT Cloud Platform จะถูกพัฒนาในเรื่องของแอปพลิเคชันและการให้บริการเพื่อรองรับการทำงาน ซึ่งในปัจจุบันมีมากกว่า 300 แพลตฟอร์มและมีผู้ให้บริการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างไรก็ตามทุกแพลตฟอร์มจะมีความแตกต่างกัน เช่น มีลักษณะพิเศษ จุดเด่นหรือกลไกที่ต่างกันตามรูปแบบหรือนโยบายขององค์กร ซึ่งในปัจจุบันบริษัทด้านเทคโนโลยีสารสนเทศผู้ผลิตอุปกรณ์เครือข่ายหรือแม้แต่องค์กรด้านซอฟต์แวร์ต่างก็แข่งขันกันเพื่อเป็นที่หนึ่งในตลาดของ IoT Cloud Platform

โครงข่าย NB-IoT จะถูกออกแบบให้สื่อสารกันในรูปแบบ Machine to machine (M2M) ซึ่งใช้ความเร็วในการสื่อสารที่ไม่สูงมาก [5] ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องทดลองประสิทธิภาพเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพการทำงานของเครือข่าย [6] เพื่อชี้วัด Quality of Service (QoS) ของเครือข่าย NB-IoT จะทำการทดลองบนอุปกรณ์ NB-IoT ซึ่งติดตั้งโปรแกรมประยุกต์สำหรับทดลองไว้

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอภาพรวมของเทคโนโลยี NB-IoT และประเมินคุณภาพด้วยการทดลองบนอุปกรณ์จริงของ AIS และ TRUE จากอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่งเชื่อมต่อไปยัง IoT Cloud Platform เพื่อแสดงความแตกต่างเพื่อแนะนำให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานได้ง่ายขึ้น

จากหลายตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานโดยทดลอง 2 พื้นที่ ได้แก่ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานครและพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาภาพรวม/ทฤษฎี/การทำงาน ของเทคโนโลยี NB-IoT
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพการให้บริการเทคโนโลยี NB-IoT ของผู้ให้บริการทั้งสองบริษัท
- 1.2.3 เพื่อแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการส่งข้อมูลเซ็นเซอร์ผ่านเครือข่าย NB-IoT ของผู้ให้บริการทั้งสองบริษัทไปยัง IoT Cloud Platform
- 1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้งานเครือข่าย NB-IoT สำหรับผู้ให้บริการ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาภาพรวม/ทฤษฎี/การทำงาน ของเทคโนโลยี NB-IoT
- 1.3.2 เพื่อศึกษาคุณภาพการให้บริการเทคโนโลยี NB-IoT ของผู้ให้บริการทั้งสองบริษัท
- 1.3.3 เพื่อแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการส่งข้อมูลเซ็นเซอร์ผ่านเครือข่าย NB-IoT ของผู้ให้บริการทั้งสองบริษัทไปยัง IoT Cloud Platform

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนิยามภาพรวม/ทฤษฎี/การทำงานของ NB-IoT เพื่อนำมาประยุกต์ใช้
- 1.4.2 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงาน ตั้งแต่อุปกรณ์ของผู้ให้บริการทั้งสองไปจนถึง IoT Cloud Platform ต่างๆ
- 1.4.3 ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้บริการเครือข่าย NB-IoT ได้ง่ายขึ้น

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 IoT (Internet of Things) คือ อุปกรณ์ขนาดเล็กที่มีความชาญฉลาดสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายสามารถส่งข้อมูลที่มีประโยชน์ ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานในจำนวนมากสามารถนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์หลากหลาย เช่น บ้านอัจฉริยะ อุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ เมืองอัจฉริยะ ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ และอื่นๆอีกมากมาย

1.5.2 NB-IoT (Narrowband Internet of things) คือ เทคโนโลยีที่ถูกออกแบบและพัฒนาโดย 3GPP ผู้พัฒนา LTE เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายแบบไร้สาย โดยจะทำการส่งข้อมูลโดยคลื่นจะมีลักษณะแบบแคบทำให้มีระยะการส่งข้อมูลสูงสุดถึง 15 กิโลเมตร ใช้สำหรับส่งข้อมูลขนาดเล็ก

ใช้พลังงานต่ำโดยมีอายุการใช้งานถึง 10 ปีและใช้เสาสัญญาณเดียวกับเทคโนโลยี LTE จึงทำให้ประหยัดต้นทุนในการนำมาใช้งาน

1.5.3 IoT Cloud Platform คือ คลาวด์แพลตฟอร์มที่ใช้สำหรับการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์มาเพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้งาน โดยสามารถเข้ามาตรวจสอบค่าต่างๆที่ถูกส่งมาและนำมาแสดงเป็นกราฟเพื่อใช้วิเคราะห์ได้



บทที่ 2

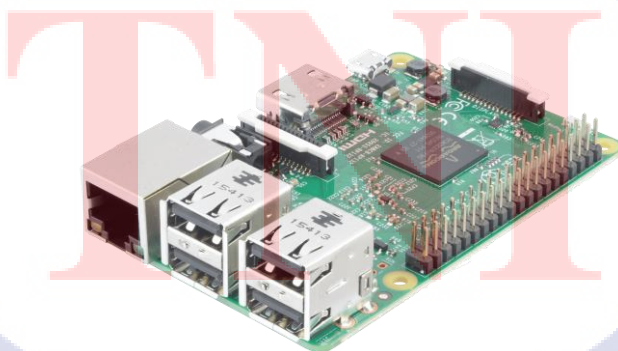
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาเทคโนโลยี NB-IoT เพื่อประเมินประสิทธิภาพผู้ให้บริการทั้ง AIS และ TRUE ผู้วิจัยจึงได้สืบค้นข้อมูล ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา โดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 อุปกรณ์ Internet of Things
- 2.2 เทคโนโลยี Low Power Wide Area
- 2.3 เทคโนโลยี NB-IoT
- 2.4 อุปกรณ์ NB-IoT จากผู้ให้บริการ
- 2.5 IoT Cloud Platform
- 2.6 ตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

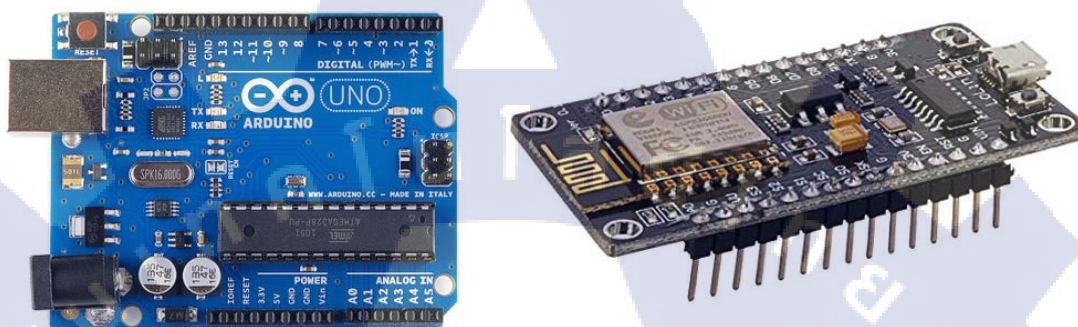
2.1 อุปกรณ์ Internet of Things

ในปัจจุบันอุปกรณ์ IoT มี 2 ประเภท ประเภทที่แรกคือ Single Board Computer หมายถึงบอร์ดที่สามารถทำงานได้เสมือนเป็นคอมพิวเตอร์แต่มีขนาดเล็กประมาณขนาดของบัตรเครดิต มี CPU, RAM สามารถเชื่อมต่อพอร์ต HDMI, Ethernet, WiFi และกล้องภายนอก ได้ สามารถเชื่อมต่อ GP/IO เพื่อรับค่าจากเซ็นเซอร์ได้ตัว เช่น บอร์ด Raspberry Pi ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบันและได้มีการพัฒนาออกมาหลายรุ่นโดยเพิ่มคุณสมบัติและประสิทธิภาพให้ดีขึ้น



รูปที่ 2.1 บอร์ด Raspberry Pi

อุปกรณ์ IoT ประเภทที่สองคือ Micro Controller หรือบอร์ดที่ทำงานแบบเฉพาะเจาะจงไปที่การรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์หรือตามโปรแกรมที่เขียนไว้โดยจะเหมาะกับงานที่มีการทำซ้ำไปมา โดยมักจะรองรับภาษา C/C++ โดยจะมี CPU, RAM ขนาดเล็กมากซึ่งจะทำให้ใช้พลังงานต่ำ สามารถเชื่อมต่อ GP/IO เพื่อรับค่าจากเซ็นเซอร์ได้ อาจเชื่อมต่อด้วย Ethernet หรือ Wifi หรือสามารถเชื่อมต่อโมดูลต่างๆเพิ่มเติมได้ ตัวอย่างเช่น Arduino หรือ ESP8266 ดังรูปที่ 2.2 เป็นต้น



รูปที่ 2.2 บอร์ด Arduino Uno และบอร์ด ESP8266

2.2 เทคโนโลยี Low Power Wide Area

เทคโนโลยี Low Power Wide Area (LPWA) คือ เทคโนโลยีเครือข่ายแบบไร้สายที่ถูกออกแบบให้ครอบคลุมพื้นที่กว้างและรองรับอุปกรณ์ได้จำนวนมากเพื่อให้อุปกรณ์ IoT ให้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้โดยมีจุดเด่นคือ สามารถเชื่อมต่อได้ในระยะไกลหลายกิโลเมตร ใช้ส่งข้อมูลขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำโดยถูกออกแบบให้ใช้งานได้มากกว่า 10 ปีต่อแบตเตอรี่เพียงหนึ่งหรือสองก้อน ซึ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยี LPWA หลายเทคโนโลยีดังรูปที่ 2.3

	 LoRa	 sigfox	 NB-IoT	 LTE-M	 ingenu	 WEIGHTLESS	 Link Labs
	LoRa / LoRaWAN	Sigfox	NB-IoT	LTE-M	RPMA	Weightless-P	Symphony Link
Origin	France	France	USA (Global)	USA (Global)	USA	UK	USA
Proprietary or open	LoRa – proprietary LoRaWAN – open	Net – proprietary Devices – open	Open	Open	Proprietary	Open	Proprietary
Cellular	No	No	Yes	Yes	No	No	No
Spectrum	Unlicensed	Unlicensed	Licensed	Licensed	Unlicensed	Unlicensed	Unlicensed
Range, km	urban: 2-5 rural: 15	urban: 3-10 rural: 30-50	urban: 1-5 rural: 10-15	urban: 2-5	urban: 1-3 rural: 25-50	urban: 2	urban: 2-5 rural: 15
Speed, uplink / downlink	50 kbps / 50 kbps	300 bps / –	250 kbps / 250 kbps	1 Mbps / 1 Mbps	634 kbps / 156 kbps	100 kbps / 100 kbps	100 kbps / 100 kbps
Power consumption	●●●	●	●	●●●	●●	●	●●
Security	●●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Availability of devices	●●	●●●	●●	●	●●	●	●●
Price*	●●	●	●●	●●●	●●●	●	●●
Areas of application	Precision farming, manufacturing automation, pipeline monitoring	Predictive maintenance, capacity planning, demand forecasting	Electric metering, manufacturing automation, retail PoS	tracking objects, wearables, energy management, utility metering, city infrastructure	Digital oilfield, connected cities, usage-based insurance, agriculture	Smart grid, healthcare, automotive, smart cities, asset tracking	Industrial control systems, lighting control, alarm systems
Supporting companies	IBM, Semtech, Cisco, HP, Orange, Kerlink, Actility	STMicroelectronics, Texas Instruments, Atmel, Silicon Labs	Huawei, Ericsson, Qualcomm, Vodafone	Verizon, AT&T, Nokia	Ingenu	Accenture, Sony Europe, uniik, ARM, Telensa	Link Labs



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเทคโนโลยี LPWA

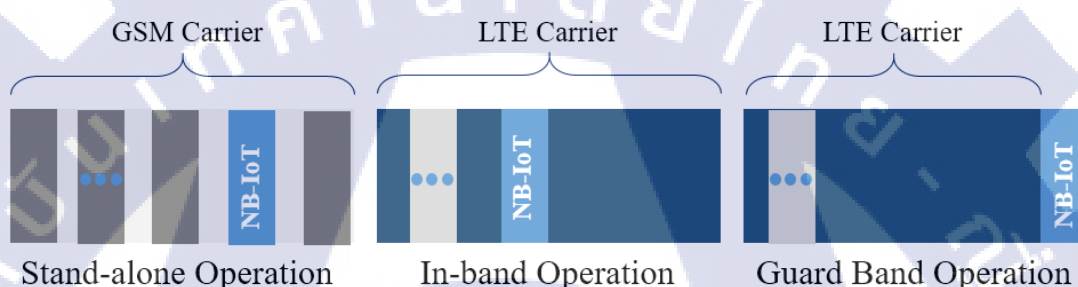
ซึ่ง ณ ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้งานจริงในประเทศไทยได้แก่ LoRa และ NB-IoT โดยผู้ให้บริการใหญ่ 3 รายได้แก่ CAT, TRUE และ AIS ได้ลงทุนและพัฒนานำระบบมาใช้งาน โดยขายอุปกรณ์และมีค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้บริการเครือข่าย โดยทาง CAT ได้พัฒนาและให้บริการเทคโนโลยี LoRa ช่วงเปิดตัวใช้ได้ 18 จังหวัด ส่วน TRUE และ AIS ได้พัฒนาและให้บริการเทคโนโลยี NB-IoT และได้เปิดให้บริการทั่วประเทศไทยตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2018

2.3 เทคโนโลยี NB – IoT

NB-IoT หรือ LTE Cat NB1 ถูกพัฒนาโดย 3rd Generation Partnership Project (3GPP) [7] ซึ่งทำงานบนคลื่นแบบมีลิขสิทธิ์ซึ่ง ออกแบบให้ส่งข้อมูลได้ไกลกว่า 15 กิโลเมตรในที่โล่ง และ 3 กิโลเมตรในตัวเมือง ใช้วิธีการ Modulation แบบ Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) ทำงานบน Evolved packet system (EPS) ใช้ bandwidth ขนาด 180 kHz มี Latency ต่ำกว่า 10 วินาที เสาสัญญาณรองรับการทำงานได้มากกว่า 55,000 โหนด [8] ใช้เสาสัญญาณ

เดียวกับ LTE แต่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม ซึ่งทำให้ง่ายสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายที่ให้บริการเครือข่าย LTE อยู่แล้ว โดย NB-IoT จะมีลักษณะคล้าย LTE เพราะ NB-IoT เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่ถูกพัฒนาโดย 3GPP เหมือนกันและใช้ซิมการ์ดสำหรับเชื่อมต่อไปยังเสาสัญญาณของผู้ให้บริการโดย NB-IoT จะตัดฟังก์ชันจากบางอย่าง LTE เช่น Hand Over, Monitor the channel quality, Carrier aggregation และ Dual Connectivity [9]

NB-IoT จะสามารถใช้งานได้ 3 โหมด แบบแรกคือโหมด Stand-alone จะทำงานบนคลื่น GSM สองคือโหมด Guard band จะทำงานบนคลื่นที่กั้นระหว่าง Carrier ของ LTE และสุดท้ายคือโหมด In-band ทำงานในคลื่นช่วงเดียวกับ LTE ดังรูปที่ 2.4



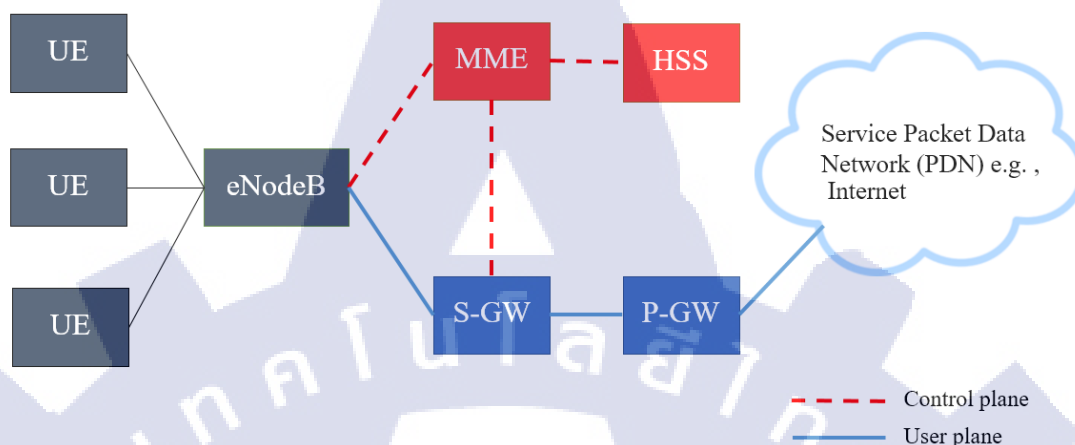
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการทำงานของ NB-IoT

การทำงานของ NB-IoT นั้นจะทำงานบนระบบ Evolved Packet System ดังรูปที่ 2.5 จะแสดงสถาปัตยกรรมเครือข่ายของ 3GPP ซึ่งนำมาใช้ใน NB-IoT โดย Mobility Management Entity (MME) จะทำงานในส่วนของการจัดการ User Equipment (UE) ติดตามอุปกรณ์ การจัดการอุปกรณ์ รวมถึงติดตาม UE และเมื่อ UE เริ่มทำการเชื่อมต่อเครือข่ายจะทำการเลือก Serving Gateway ที่เหมาะสมให้และทำการยืนยันตัวตนของผู้ใช้งาน

ในส่วนของการ Serving Gateway (S-GW) ทำหน้าที่หาเส้นทางที่เหมาะสมและส่งต่อแพ็กเก็ตไปยัง Packet Data Network Gateway (P-GW) โดย P-GW เปรียบเสมือนประตูทางออก ทำการสื่อสารระหว่างเครือข่าย 3GPP ภายในและเครือข่ายภายนอก

ในส่วนของการ Home Subscriber Server (HSS) จะเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้งาน เป็นฐานข้อมูลที่จัดการความเคลื่อนไหวของข้อมูล ข้อมูลการยืนยันตัวตนของผู้ใช้งาน NB-IoT หรือ LTE Cat NB1 ถูกพัฒนาโดย 3rd Generation Partnership Project (3GPP) ซึ่งทำงานบนคลื่นแบบมีลิขสิทธิ์ซึ่ง ออกแบบให้ส่งข้อมูลได้ไกลกว่า 15 กิโลเมตรในที่โล่งและ 3 กิโลเมตรในตัวเมือง ใช้วิธีการ

Modulation แบบ Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) ทำงานบน Evolved packet system



รูปที่ 2.5 แสดงเครือข่ายการทำงานของ NB-IoT

โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาบอร์ด Arduino Uno ร่วมกับชิปสำหรับการสื่อสาร Quectel BC-95 Band 8 900 MHz จากผู้ให้บริการทั้งสองโดยบริษัทคือ TRUE และ AIS ซึ่งทาง TRUE และ AIS ก็ได้มีการพัฒนา Library สำหรับชิปสำหรับการสื่อสาร BC-95 เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทดลองใช้ได้

2.4 อุปกรณ์ NB-IoT จากผู้ให้บริการ

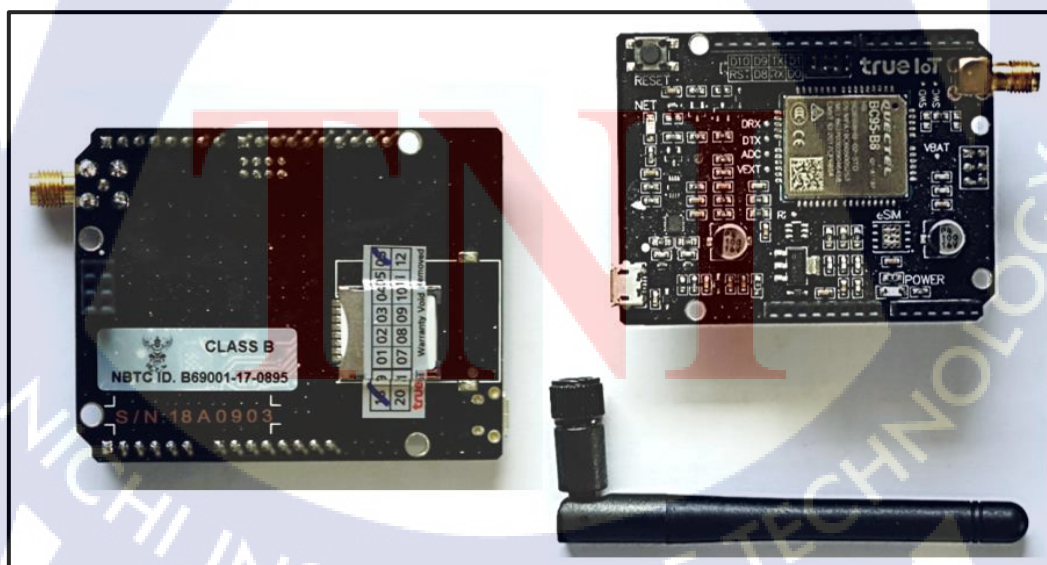
TRUE และ AIS ได้ให้บริการบอร์ด NB-IoT และขายซึ่งออกแบบเพื่อให้ใช้งานร่วมกับ Arduino โดยใช้ชิปสำหรับการสื่อสาร NB-IoT รุ่น Quectel BC95-B8 ซึ่งเหมือนกันทั้ง TRUE และ AIS โดย Quectel BC95-B8 นั้นจะทำงานบนความถี่ 900 MHz บน Band 8 ความเร็วในการอัปโหลด 42.625 kbps ทำงานบนโพรโทคอล User data gram protocol (UDP) และ Constrained application protocol (COAP) ซึ่งคาดว่าจะรองรับโพรโทคอลอื่นๆในอนาคต ซึ่งในตอนนี้ทั้งผู้ให้บริการทั้งสองบริษัทได้ให้บริการเครือข่าย NB-IoT ครอบคลุมทั่วประเทศไทยแล้ว โดยทั้ง TRUE และ AIS ได้วางขายชิปสื่อสารรุ่น Quectel BC-95 เหมือนกันพร้อม SIM Card สำหรับใช้บริการเครือข่าย NB-IoT โดย AIS ได้ขายในราคา 1,190 บาท และมีค่าบริการ 350 บาทต่อปี ซึ่งของ TRUE จะมีราคา 1,150 บาท สำหรับอุปกรณ์ 1 ชิ้น และฟรีค่าอินเทอร์เน็ตในปีแรกและในปีต่อไปจะมี

ค่าบริการ 300 บาท เช่นเดียวกับ AIS โดยบอร์ดของ TRUE สามารถซื้อได้ที่เว็บ Wemall ซึ่งเป็นเว็บไซต์ขายของออนไลน์ของ TRUE ส่วน AIS สามารถซื้อได้ที่ศูนย์ AIS ที่เซ็นทรัลเวิลด์



รูปที่ 2.6 แสดงราคาสินค้าอุปกรณ์ NB-IoT จากผู้ให้บริการทั้งสอง

จากรูปที่ 2.7 และ 2.8 แสดงบอร์ด NB-IoT ของทั้ง AIS และ TRUE จะใช้ E-Sim การ์ด ซึ่งฝังอยู่บนบอร์ดด้านบน ส่วน TRUE จะใช้เป็นช่องใช้ซิมการ์ดไว้ด้านหลังของบอร์ดซึ่งหากแกะออกจะทำให้การรับประกันหมดสภาพ ในส่วนต่อไปที่ต่างกันคือเสาสัญญาณ ซึ่งของ AIS จะใหญ่กว่าของ TRUE เล็กน้อย



รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายอุปกรณ์ NB-IoT ของ TRUE



รูปที่ 2.8 ภาพถ่ายอุปกรณ์ NB-IoT ของ AIS

TRUE และ AIS ได้พัฒนา Library สำหรับอุปกรณ์ NB-IoT รุ่น Quectel BC-95 บน Github โดย Library ของทั้ง TRUE และ AIS จะมีฟังก์ชันพื้นฐานทั่วไป เช่น เชื่อมต่อเครือข่ายการ Ping การเช็คคุณภาพสัญญาณ การเช็ค International Mobile Equipment Identity (IMEI) การเช็ค International Mobile Subscriber Identity (IMSI) และการส่งข้อมูลไปที่ IP เป้าหมาย เป็นต้น ซึ่งตอนนี้ Library ของ TRUE จะมีคู่มือแนะนำการส่งข้อมูลไป IoT คลาวด์แพลตฟอร์ม เช่น ThingsBoard, IoTTweet, Ubidots และ Netpie มีโปรแกรมเบื้องต้นสำหรับควบคุมการเปิดปิดไฟได้ ส่วนทาง AIS ได้ให้บริการ AISmagellan ซึ่งเป็น IoT Cloud Platform ของ AIS เอง ซึ่ง Library ของ AIS ก็สามารถติดตั้งบนบอร์ด TRUE ได้เช่นเดียวกับ Library ของ TRUE ก็สามารถติดตั้งบนบอร์ด AIS ได้ หรือผู้ใช้งานได้ลองพัฒนาเพื่อให้อุปกรณ์ประยุกต์และเขียนโปรแกรมสำหรับใช้งานเองได้

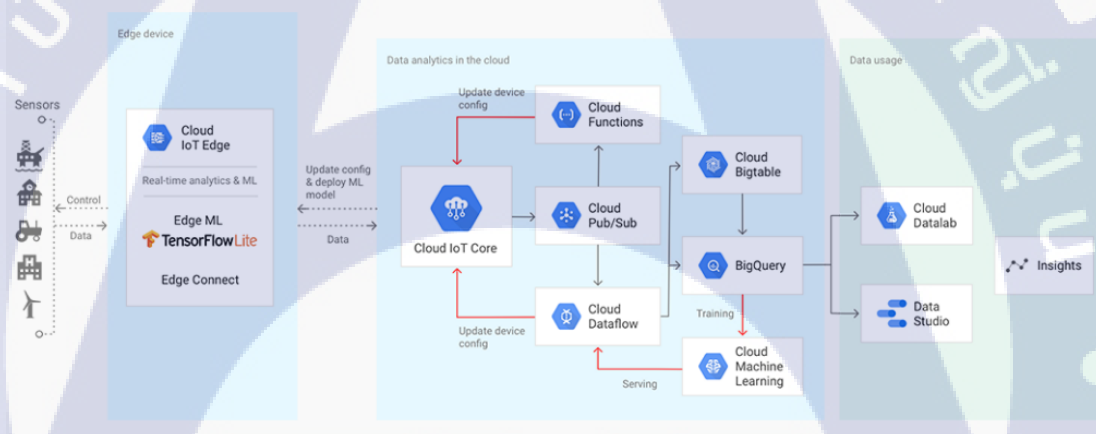
2.5 IoT Cloud Platform

ตามปกติอุปกรณ์ IoT จะรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และจะทำการส่งข้อมูลไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทาง [10] เพื่อเก็บข้อมูลหรือแสดงข้อมูล โดย IoT Cloud Platform นั้นมีผู้ให้บริการใหญ่หลายบริษัท [11] เช่น IBM, Amazon Web Service, Google, Oracle และผู้ให้บริการอื่นๆ โดยมีทั้งแบบไม่เสียค่าบริการและเสียค่าบริการหรือเสียค่าบริการเมื่อต้องการฟังก์ชันเพิ่มเติม โดยปกติ IoT Cloud Platform จะสามารถเก็บข้อมูลและแสดงข้อมูลบนหน้าจอ dashboard ได้ ซึ่งแต่ละ IoT Cloud Platform จะมีหน้าจอ Dashboard ที่แตกต่างกัน บาง IoT

Cloud Platform จะมีกราฟหลายแบบให้เลือกแสดงได้ บางคลาวด์จะมีฟังก์ชันวิเคราะห์ หรือสามารถดาวน์โหลดข้อมูลรูปแบบ CSV เพื่อแสดงผลบนโปรแกรม Excel หรือรับข้อมูลเป็นรูปแบบ Jason สำหรับสร้างโปรแกรมไปรับข้อมูลเพื่อนแจ้งเตือนหรือแสดงเป็นกราฟได้ ซึ่ง IoT Cloud Platform นั้นก็มีแบบ Open source เช่น Grafana หรือ ThingsBoard โดยผู้ใช้งานสามารถสร้าง IoT Cloud Platform ของตัวเองได้ สำหรับการส่งข้อมูลไปที่ IoT Cloud Platform นั้น จะต้องรองรับการทำงานร่วมกับโพรโทคอลแบบ UDP หรือ CoAP เพื่อให้สื่อสารกับอุปกรณ์ NB-IoT ได้

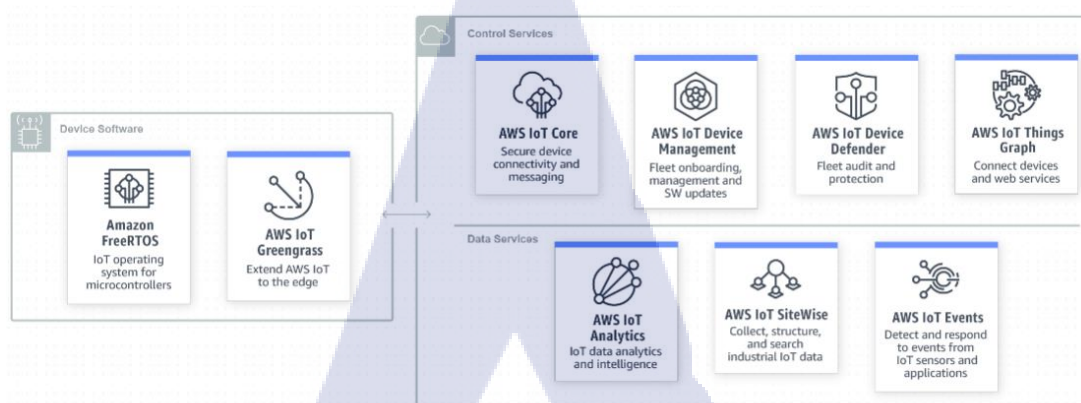
ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพบน IoT Cloud Platform 9 แห่ง ได้แก่ Google IoT, Amazon Web Service, Cloud Oracle, TheThingIO, IBM Watson, Ubidots, IoTTweet, AISmagellan และ ThingsBoard

Google IoT เป็นคลาวด์ที่มีชื่อเสียงรองรับฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลายครอบคลุมในทุกด้านตั้งแต่รับข้อมูลและการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ โดย IP ที่ใช้ในการทดลองคือ 35.185.177.33 อยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 2.9 ภาพการทำงานของ Google IoT

Amazon Web Service เป็นคลาวด์อีกแห่งที่มีฟังก์ชันการทำงานครอบคลุม มีความปลอดภัยสามารถใช้บริการอื่นๆในเครือของ Amazon Web Service ได้มีความซับซ้อนในการใช้งาน และมีความปลอดภัยโดย IP ที่ใช้ในการทดลองคือ 52.46.157.11 อยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 2.10 ภาพการทำงานของ Amazon Web Service

Cloud Oracle มีฟังก์ชันการทำงานหลากหลายเน้นไปด้านประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรม และนำข้อมูลวิเคราะห์เพื่อนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ โดย IP ที่ใช้ในการทดลองคือ 184.27.249.3 อยู่ในประเทศไทย



รูปที่ 2.11 ภาพการทำงานของ Cloud Oracle

The Thing IO เน้นไปที่ผู้พัฒนาและใช้งานในระดับองค์กรมี API รองรับสามารถใช้งาน และพัฒนาได้โดย IP ที่ใช้ในการทดลองคือ 104.199.94.203 อยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา

NB-IoT Cloud Platform

thethings.iO fully supports any NB-IoT powered device integration with UDP and CoAP. Easily set up your assets and start monitoring them, get real-time data and create custom brand dashboards.

Take advantage of all thethings.iO features with your NB-IoT connected devices.

Try for free

-  CONNECTIVITY AND NORMALIZATION
-  DEVICES & LICENSES MANAGEMENT
-  CLOUD CODE PROCESSING & ACTION MANAGEMENT
-  DATA MONITORING & VISUALIZATION
-  ANALYTICS, AI, PREDICTIVE & OTHER TOOLS
-  INTEROPERABILITY AND INTEGRATIONS

รูปที่ 2.12 ภาพการทำงานของ The Thing IO

IBM Watson เป็นคลาวด์ใหญ่ให้บริการครอบคลุมเน้นไปทางด้านบริการระดับองค์กรและเหมาะสมหากใช้ในงานด้านการวิจัยโดย IP ที่ใช้ในการทดลองคือ 104.90.229.165 อยู่ที่ประเทศไทย

Solutions



Enterprise asset management

Bring the power of analytics, the IoT, and AI to your enterprise operations to reduce risk, lower costs and improve efficiency



Facilities management

Make more informed business decisions by better understanding your facilities through the use of data, analytics and AI



Systems engineering

Manage requirements, quality, compliance, traceability, change and configuration to lower product development costs and get to market faster

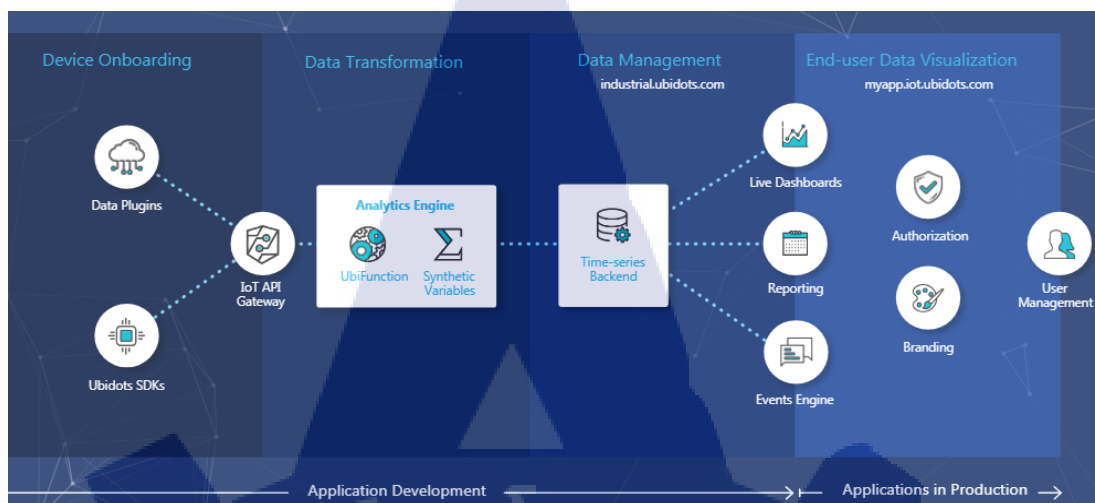


IoT platform

Manage your IoT landscape and make better business decisions using secure, globally distributed data, analytics, cloud and edge capabilities

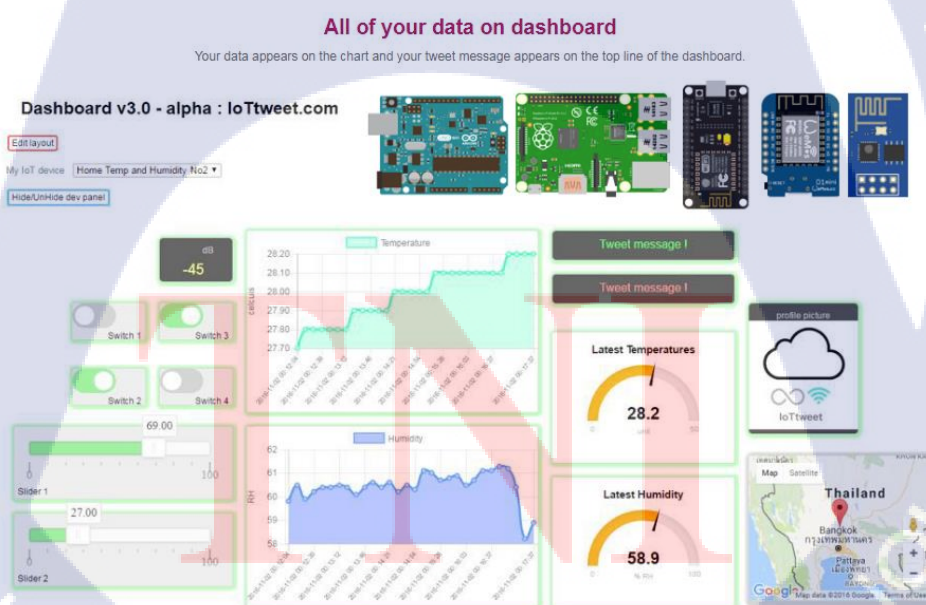
รูปที่ 2.13 ภาพการทำงานของ IBM Watson

Ubidots ใช้งานได้ง่ายรองรับการทำงานทั้ง IPv4 และ IPv6 เหมาะสำหรับทั้งผู้พัฒนาและใช้งานด้านธุรกิจ มีแอปพลิเคชันในการแจ้งเตือนไปทั้งข้อความทางโทรศัพท์หรือ E-mail ไปยังผู้ใช้งานโดย IP ที่ใช้ในการทดลองคือ 50.23.124.68 อยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา



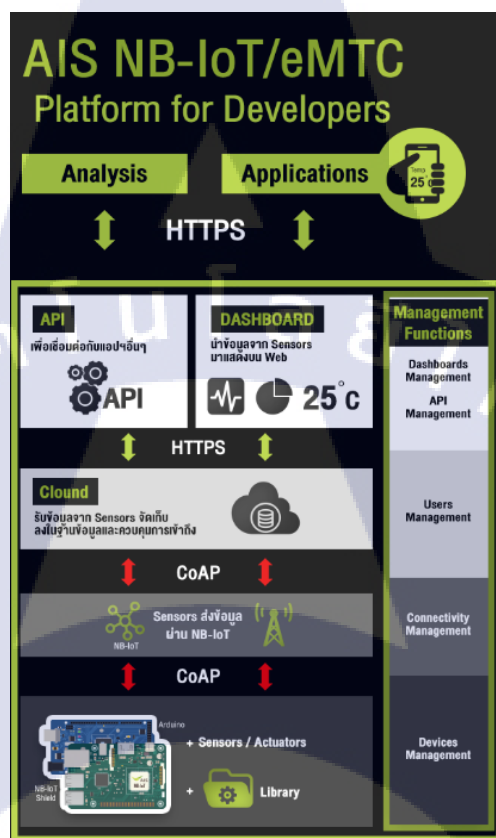
รูปที่ 2.14 ภาพการทำงานของ Ubidots

IoTtweet เหมาะกับนักพัฒนามีโค้ดการใช้งานเบื้องต้นบนหลายบอร์ดสามารถดาวน์โหลดข้อมูลรูปแบบเป็น Json หรือรูปแบบ CSV ได้โดยมีโปรแกรมใช้งานเบื้องต้นบน Github โดย IP ที่ใช้ในการทดลองคือ 35.185.177.33 ประเทศสหรัฐอเมริกา



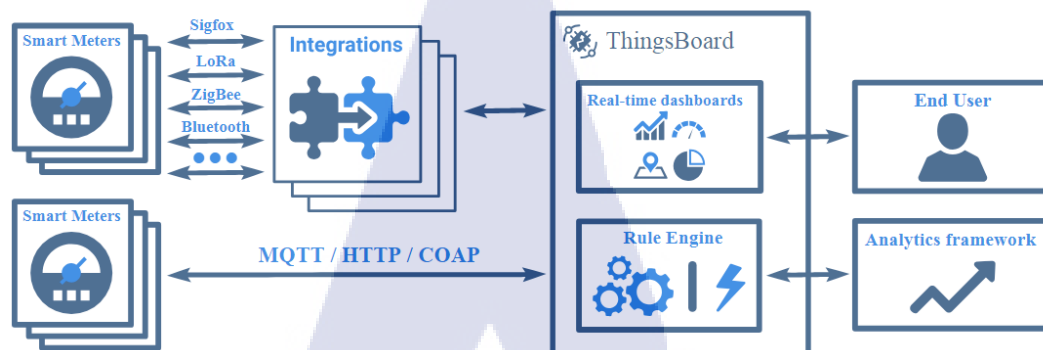
รูปที่ 2.15 ภาพการทำงานของ IoTtweet

AlSmagellan พัฒนาจาก AIS ซึ่งเปิดให้การใช้งานทั้งด้านผู้พัฒนาและด้านธุรกิจโดยมี Library ให้ใช้งานเบื้องต้น สามารถใช้งานได้ง่ายรองรับการทำงานร่วมกับ API ของทาง AIS โดย IP ที่ใช้ในการทดลองคือ 103.20.205.86 อยู่ในประเทศไทย



รูปที่ 2.16 ภาพการทำงานของ AISmagellan

ThingsBoard เป็นคลาวด์ให้บริการด้าน IoT ที่สามารถใช้บริการแบบปกติได้และเป็นโอเพ่นซอร์สซึ่งสามารถติดตั้งบนเซิร์ฟเวอร์ของตัวเองได้โดย IP ที่ใช้ในการทดลองคือ 91.195.240.82 อยู่ในประเทศเยอรมนี



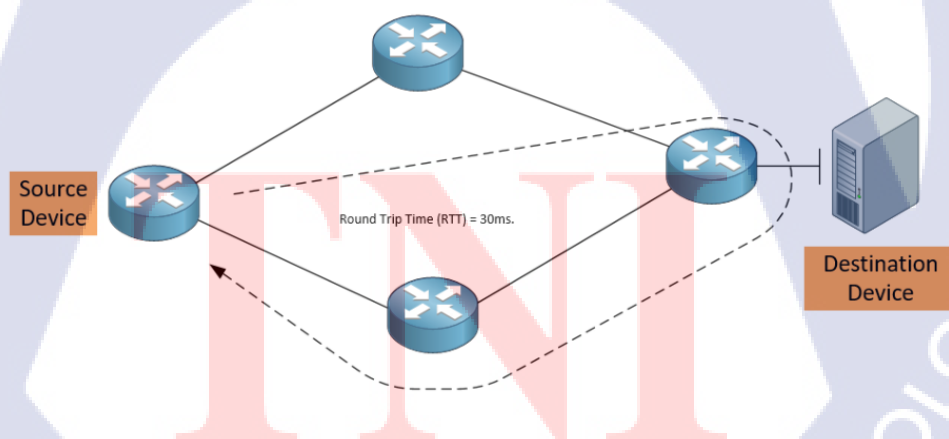
รูปที่ 2.17 ภาพการทำงานของ ThingsBoard

2.6 ตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายไร้สายซึ่งสามารถดึงข้อมูลออกซิฟสื่อสาร Quectel BC-95 ได้

2.6.1 Round Trip Time

โดยตัวแปรแรกคือค่า RTT ซึ่งได้มาจากการ Ping จะทำให้รู้ถึงเวลาในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับเซิร์ฟเวอร์ปลายทางดังรูป การ Ping จะไม่สำเร็จหาก RTT ใช้เวลานานกว่าที่ตั้งค่าไว้หรือค่า TTL สูงเกินไป



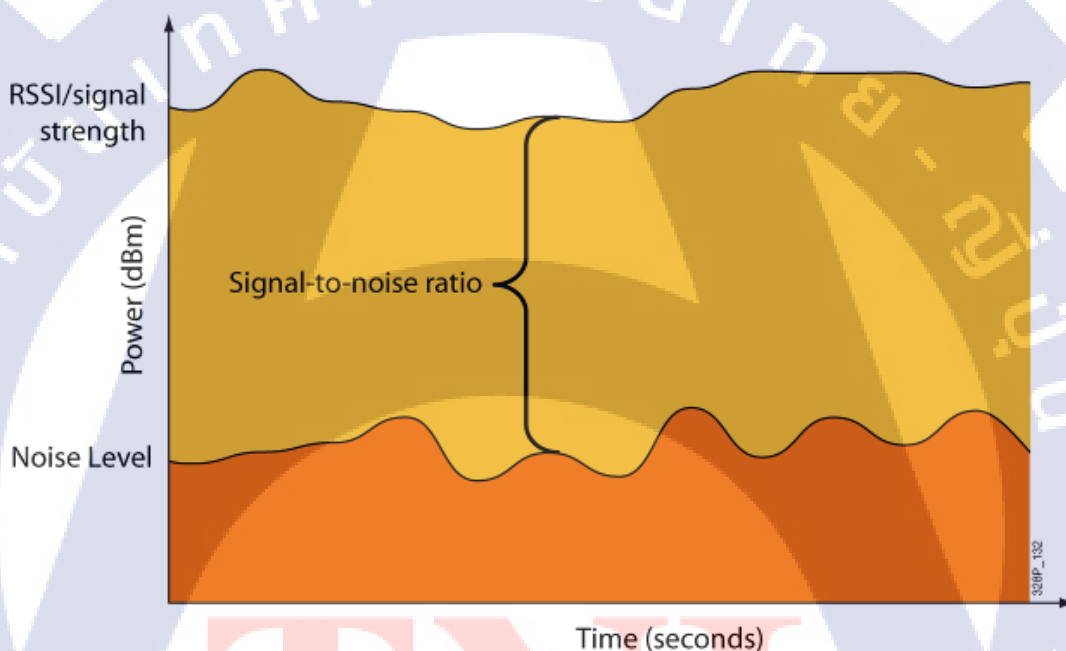
รูปที่ 2.18 แสดงวิธีการหาค่า RTT

สำหรับการ Ping บนซิฟสื่อสาร Quectel BC-95 นั้นจะสามารถตั้งค่าขนาดแพ็กเก็ตที่ Ping และเวลาสูงสุดที่รอการตอบกลับได้ โดยมีค่าเริ่มต้นคือ จะทำการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์และเวลารอการตอบกลับข้อมูล 10 วินาทีหรือ 10,000 มิลลิวินาที ซึ่งจะสามารถตั้งค่าขนาดแพ็กเก็ต

กรณีที่ Ping ได้ในช่วงตั้งแต่ 8 ไบต์ สูงสุดที่ 1460 ไบต์และเวลารอการตอบกลับข้อมูลในช่วง 10 มิลลิวินาทีถึง 60,000 มิลลิวินาทีหรือ 60 วินาที

2.6.2 Received Signal Strength Indicator

ตัวแปรที่สองคือ Received Signal Strength Indicator (RSSI) ระดับบ่งชี้ความแรงของเสาสัญญาณ โดยค่า RSSI จะเปลี่ยนไปตามที่วัดตัวรับโดยพิจารณาจากสัญญาณรบกวนและพลังงานให้บริการของเสาสัญญาณดังรูป 2.20 โดยปกติจะแสดงผลเป็นค่าลบและมีค่ามากจะยิ่งมีคุณภาพสัญญาณที่ดี โดยความแรงของสัญญาณก็จะลดลง จนถึงประมาณ -110 dBm มีหน่วยเป็น dBm หรือ Decibel-milliwat



รูปที่ 2.19 ตัวแปร RSSI

2.6.3 Reference Signal Received Power

ตัวแปรที่สามคือ Reference Signal Received Power (RSRP) เป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพสัญญาณที่บอกได้ถึงส่วนของความแรงของสัญญาณโดยพิจารณาค่าเฉลี่ยแบนด์วิดธ์ด้วย โดยไม่พิจารณาส่วนของค่านรบกวนโดยปกติจะแสดงผลเป็นค่าลบและมีค่ามากจะยิ่งมีคุณภาพสัญญาณที่ดี มีหน่วยเป็น dBm หรือ Decibel-milliwat

2.1.1 Reference Signal Received Quality

ตัวแปรที่สี่คือ Reference Signal Received Quality (RSRQ) ซึ่งจะบอกถึงคุณภาพของสัญญาณโดยภาพรวมสูงสุด มีหน่วยคือ dB หรือ Decibel ซึ่งใน LTE ใช้จะในการพิจารณาการ Handover เพื่อพิจารณาและเปลี่ยนเสาสัญญาณ โดย RSRP และ RSSI เพียงอย่างเดียวหนึ่งนั้นยังไม่เพียงพอ โดยใช้ค่า RSRP กับ RSSI และค่า Resource Blocks มาคำนวณดังสมการ (1) เมื่อ N คือค่า Physical Resource Blocks

$$RSRQ = N \times RSRP / RSSI \quad (1)$$

2.6.4 Signal to noise ratio

ตัวแปรที่ห้าคือ Signal to noise ratio (SNR) ซึ่งจะบอกถึงอัตราส่วนระหว่างคลื่นสัญญาณต่ออัตราของสัญญาณรบกวนเมื่อเทียบกับระดับเสียง มีหน่วยคือ dB หรือ Decibel โดย SNR สามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกและลบหากใช้หน่วยเป็น dB SNR เชิงลบหมายถึงพลังงานสัญญาณต่ำกว่าพลังเสียงรบกวนโดยใช้ในบางเทคโนโลยีเช่น CDMA หรือ WCDMA

โดย SNR เป็นหนึ่งในตัวบ่งชี้ที่สำคัญมากในการแสดงคุณภาพสัญญาณ ยิ่งมีค่ามากแสดงว่าคุณภาพสัญญาณยิ่งดี โดยพลังสัญญาณเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถบอกถึงคุณภาพของสัญญาณได้ซึ่ง SNR สามารถบอกได้ถึงข้อผิดพลาดของข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในการสื่อสาร แม้ว่าพลังสัญญาณจะสูงแต่อาจจะมีการสื่อสารที่ไม่ดีถ้ามีการรบกวนที่สูง หรือแม้มีพลังสัญญาณต่ำ อาจจะมีการสื่อสารที่ดีได้ถ้ามีการรบกวนต่ำ แสดงว่า SNR นั้นเป็นส่วนสำคัญที่บอกถึงคุณภาพสัญญาณ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพและวิเคราะห์การทำงานผ่านเครือข่ายของผู้ให้บริการมีดังนี้

2.7.1 A survey on LPWA Technology : LoRa and NB-IoT

จากงานวิจัยของ R.Sinha et al. [9] ได้ทำการศึกษาในหัวข้อ A survey on LPWA Technology : LoRa and NB-IoT ได้ทำการอธิบายการทำงานของเทคโนโลยี NB-IoT และ LoRa และเปรียบเทียบในแต่ละส่วนของทั้งสองเทคโนโลยีและทำการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของทั้งสองเทคโนโลยี และอธิบายวิธีการทำงานและกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยซึ่งจากรูปที่ 2.20 ได้อธิบายว่า LoRa นั้นจะเหมาะกับงานในด้านอุตสาหกรรมมากกว่า และ NB-IoT เหมาะกับงานที่ใช้กับบุคคลหรือใช้งานตามพื้นที่สาธารณะมากกว่า

Physical features of LoRa and NB-IoT.

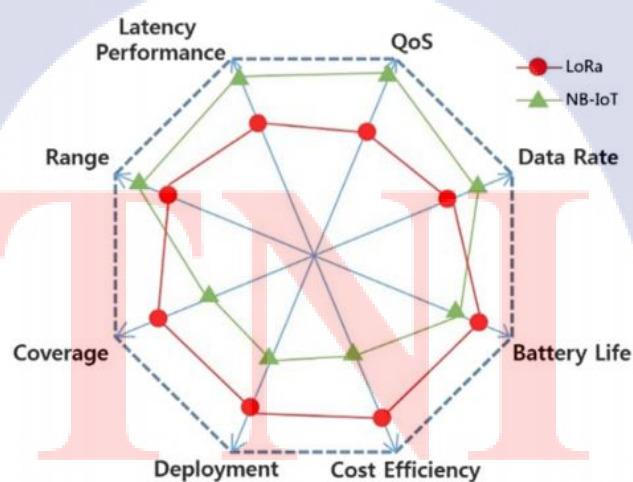
Parameters	LoRa	NB-IoT
Spectrum	Unlicensed	Licensed LTE bandwidth
Modulation	CSS	QPSK
Bandwidth	500–125 kHz	180 kHz
Peak data rate	290 bps–50 kbps (DL/UL)	DL:234.7 kbps; UL:204.8 kbps
Link budget	154 dB	150 dB
Max. # message/day	Unlimited	Unlimited
Duplex operation	–	Half duplex
Power efficiency	Very high	Medium high
Mobility	Better than NB-IoT	No connected mobility (only idle mode reselection)
Connection density	Utilized with NB-IoT	1500 km ²
Energy efficiency	> 10 years battery life of devices	> 10 years battery life of devices
Spectrum efficiency	Chirp SS CDMA better than FSK	Improved by standalone, in-band, guard band operation
Area traffic capacity	Depends on gateway type	40 devices per household, ~55k devices per cell
Interference immunity	Very high	Low
Peak current	32 mA	120–300 mA
Sleep current	1 μ A	5 μ A
Standardization	De-facto Standard	3GPP Rel.13 (planned)

The IoT use cases along with parameters [2].

Better choice	Study cases	Major IoT categories	Parameters
LoRa	Logistics tracking Asset tracking Smart agriculture Intelligent building Factories and Industries Facility Management Healthcare Airport management.	IoT industries	Device cost, battery life, coverage
	Wearables Smart bicycle Kids monitoring Pet Tracking Point of sale terminals (PoS)		
NB-IoT	Smart Metering, Smart Parking Alarms & Event Detectors Smart garbage bins	IoT public	Range, diversity, latency, QoS
	Refrigerators Air Conditioners Microwave Printers Water coolers		
Depends on specific requirements		IoT appliance	Range, coverage, diversity, latency, QoS

รูปที่ 2.20 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง NB-IoT กับ LoRa

ได้ทำการสรุปว่าแต่ละเทคโนโลยีซึ่งมีลักษณะที่ต่างและจุดเด่นของแต่ละเทคโนโลยี ดังรูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นว่าใน LoRa และ NB-IoT นั้นมีจุดเด่นที่ต่างกันไปตามลักษณะด้าน

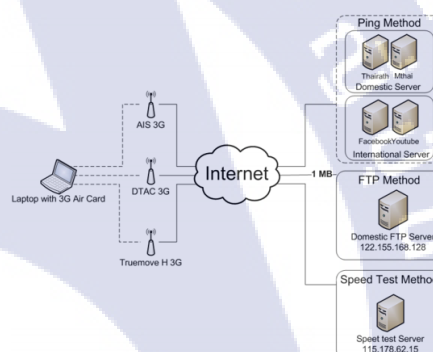


รูปที่ 2.21 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่าง NB-IoT กับ LoRa

2.7.2 The Mobile Technologies Performance Comparison for Internet Services in Bangkok

จากงานวิจัยในหัวข้อ The Mobile Technologies Performance Comparison for Internet Services in Bangkok [12] ผู้เขียนได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายเซลลูลาร์ผ่านผู้ให้บริการสามบริษัทด้วยสามปัจจัยสำคัญได้แก่ Latency, Data rates และ Speed Test ซึ่งผู้เขียนได้ทำการทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์กับแอร์การ์ด 3G เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต จากห้าสถานที่นิยมในกรุงเทพที่มีการใช้งานอินเทอร์เน็ตที่สูง สำหรับการทดลอง Latency ผู้เขียนได้ใช้วิธีการ Ping เพื่อตรวจสอบเวลาที่ใช้จากอุปกรณ์ไปยังเซิร์ฟเวอร์ในประเทศและเซิร์ฟเวอร์นอกประเทศ สำหรับการทดลอง Data rates ผู้เขียนใช้โปรแกรม Filezilla ส่งข้อมูลขนาด 1 MB จากคอมพิวเตอร์ไปยังเซิร์ฟเวอร์ภายในประเทศเพื่อหาความเร็วในการอัปโหลดและดาวน์โหลด และสำหรับการทดสอบ Speed Test ผู้เขียนได้ใช้ <http://speedtest.adslthailand.com/> เพื่อหา Data rates และเวลาที่ใช้จากอุปกรณ์ไปยังเซิร์ฟเวอร์ในช่วงเวลาหนึ่งดังรูปที่ 2.22

Periods	Times	Operators
Morning (8AM to 12PM)	8AM - 9.10AM	AIS
	9.20AM - 10.30AM	DTAC
	10.40AM - 11.50AM	TrueMoveH
Afternoon (12PM to 4PM)	12.0 PM - 1.11PM	TrueMoveH
	1.21PM - 2.31PM	AIS
	2.41PM - 3.51PM	DTAC
	4.01PM - 5.11PM	DTAC
Evening (4PM to 8PM)	5.21PM - 6.31PM	TrueMoveH
	6.41PM - 7.51PM	AIS



รูปที่ 2.22 แสดงวิธีและช่วงเวลาในการทดลอง

ในช่วงเวลาที่ผู้วิจัยทดลองผลลัพธ์ของการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเครือข่าย AIS นั้นมี Latency ดีที่สุด ทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศโดยเครือข่าย TRUE Move H ให้ประสิทธิภาพด้าน Speed Test ด้าน Upload และด้าน Data rates ดีที่สุด ส่วนเครือข่าย DTAC ให้ประสิทธิภาพของการดาวน์โหลดที่เร็วที่สุดดังรูปที่ 2.23

TABLE V. AVERAGE VALUES OF 3G ON 850/900MHz MEASUREMENTS BY PROVIDERS

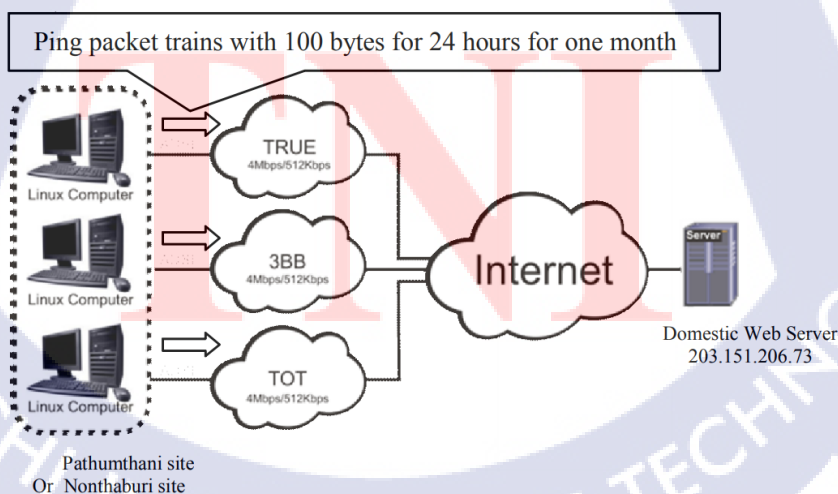
3G 850/900MHz & 3G 2100MHz	Ping Domestic (ms)	Ping Inter national (ms)	Speed Test (kbps)		FTP (Seconds)	
			Down load	Upload	Down load	Up load
AIS	295.29	341.39	7372.28	884.69	8.07	39.44
DTAC	450.26	493.93	9614.41	1211.64	7.80	40.64
True MoveH	320.15	418.08	8147.91	1589.66	5.43	16.83

TABLE IV. AVERAGE VALUES OF 3G 2100MHz MEASUREMENTS BY PROVIDERS

3G 2100MHz	Ping Domestic (ms)	Ping Inter national (ms)	Speed Test (kbps)		FTP (Seconds)	
			Down load	Upload	Down load	Up load
AIS	179.25	283.41	11473.34	1339.86	2.69	9.21
DTAC	357.90	310.09	16713.37	1892.72	2.23	8.16
True MoveH	174.56	179.12	11996.04	2295.56	2.13	5.77

รูปที่ 2.23 แสดงผลลัพธ์การทดลอง

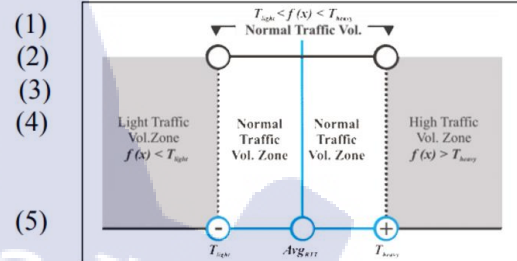
จากงานวิจัยหัวข้อ Analysis in the Internet Traffic Pattern based on RTT over ADSL in Thailand [13] งานวิจัยนี้ผู้เขียนได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครือข่าย Asymmetric digital subscriber line (ADSL) ผ่านสามบริษัทผู้ให้บริการจากสองพื้นที่ ได้แก่ จังหวัดกรุงเทพมหานครและจังหวัดปทุมธานี โดยพิจารณาจากค่า RTT โดยวิธีการ Ping ซึ่งแพ็กเก็ตที่ Ping นั้น จะใช้ขนาด 100 ไบต์ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 1 เดือนไปยังเซิร์ฟเวอร์ภายในประเทศดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงวิธีการทดลอง

จากนั้นผู้เขียนได้นำเสนอสูตรเพื่อใช้แยกประเภทของ Traffic เป็นสามช่วงคือ ช่วงที่มีการใช้ข้อมูลสูง ช่วงที่มีการใช้ข้อมูลปานกลางและช่วงที่มีการใช้ข้อมูลสูงน้อยเพื่อประเมินการใช้งาน

$$\begin{aligned}
 TT &= 10 \\
 TT\% &= TT/100 \\
 T_{\text{heavv}} &= \text{Avg}_{\text{RTT}} + (\text{Avg}_{\text{RTT}} \times TT\%) \\
 T_{\text{low}} &= \text{Avg}_{\text{RTT}} + (\text{Avg}_{\text{RTT}} \times TT\%) \\
 f(x) &> T_{\text{heavv}} \rightarrow \text{High Traffic volume} \\
 T_{\text{low}} \leq f(x) < T_{\text{heavv}} &\rightarrow \text{Normal Traffic volume} \\
 T_{\text{low}} < f(x) &\rightarrow \text{Low Traffic volume}
 \end{aligned}$$



รูปที่ 2.25 แสดงวิธีการคำนวณเพื่อหาค่าของ Traffic

หลังจากการคำนวณ Traffic ของทุกช่วงเวลาผู้เขียนก็นำค่าที่ได้มาสรุปถึงช่วงเวลาที่มีการใช้งาน Traffic ที่สูงของแต่ละผู้ใหญ่ผู้บริการจากทั้งสองสถานที่และจากผลลัพธ์พบว่าภาพรวมจากทั้ง 2 สถานที่นั้น TRUE มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับผู้ให้บริการทั้งสามรายที่ทำการทดลอง

TABLE I. LISTS ADSL INTERNET CHARACTERISTICS OF TOT

Time	Mean of Min. (msec)	Mean of Avg. (msec)	Mean of Max. (msec)	Mean of Dev. (msec)	Loss (%)
00:00-12:00	73.45	89.68	132.66	13.98	0.00013
12:00-24:00	75.65	92.55	135.52	14.33	0.00110
00:00-24:00	74.55	91.12	134.09	14.16	0.00061

TABLE II. LISTS ADSL INTERNET CHARACTERISTICS OF 3BB

Time	Mean of Min. (msec)	Mean of Avg. (msec)	Mean of Max. (msec)	Mean of Dev. (msec)	Loss (%)
00:00-12:00	93.32	115.33	172.78	18.16	0.00448
12:00-24:00	84.82	108.73	210.38	24.38	0.00494
00:00-24:00	89.07	112.03	191.58	21.27	0.00471

TABLE III. LISTS ADSL INTERNET CHARACTERISTICS OF TRUE

Time	Mean of Min. (msec)	Mean of Avg. (msec)	Mean of Max. (msec)	Mean of Dev. (msec)	Loss (%)
00:00-12:00	69.11	75.82	103.77	7.76	0.00052
12:00-24:00	73.76	81.51	117.71	8.57	0.00839
00:00-24:00	71.44	78.67	110.76	8.17	0.00447

TABLE VII. LISTS OF SEASONALITY PERIOD AMONG TOT, TRUE, AND 3BB AT PATHUMTHANI SITE

ISP/Duration time	06:00-08:00 AM.	05:00-07:00 PM.
TOT	Mo, Tu, We, Fr, Sa, Su	Mo, We, Th, Fr, Su
3BB	All days	We, Th
TRUE	All days	Mo, Tu, Su

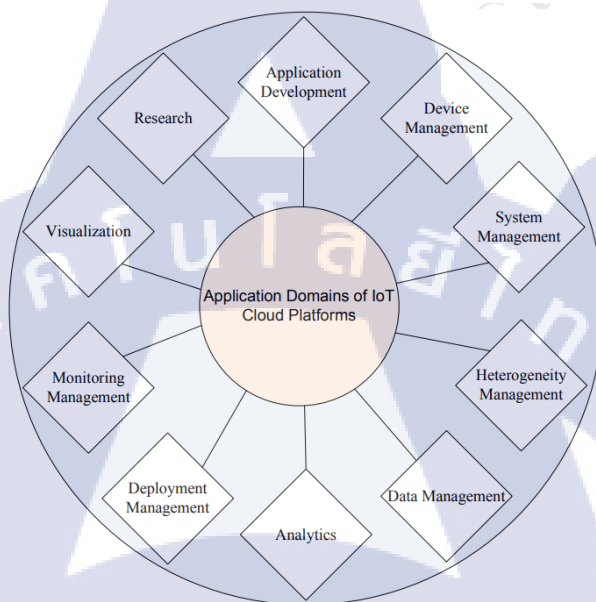
TABLE VIII. LISTS OF SEASONALITY PERIOD AMONG TOT, TRUE, AND 3BB AT NONTABURI SITE

ISP/Duration time	06:00-08:00 AM.	05:00-07:00 PM.
TOT	Mo, Fr, Sa, Su	We
3BB	Mo, Fr, We, Sa, Su	Mo, Tu, Th
TRUE	Th, Fr, Sa, Su	Tu, We, Su

รูปที่ 2.26 แสดงผลลัพธ์การทดลอง

2.7.3 A survey of IoT cloud platforms

จากงานวิจัยของ P. P. Ray [14] ได้ศึกษาการทำงานของคลาวด์ในหัวข้อ A survey of IoT cloud platforms ได้ทำการศึกษาการทำงานของ IoT Cloud Platforms 26 แห่ง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานและสรุปถึง 10 ฟังก์ชันของ IoT Cloud Platform



รูปที่ 2.27 แสดงฟังก์ชันของ IoT Cloud Platform

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นความรู้สำหรับการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี NB-IoT ในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้นำความรู้ที่ได้รับมาดำเนินงานตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาของงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาข้อมูลและเทคโนโลยีที่นำมาใช้

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 5 การสรุปผลการวิจัย

โดยแผนการดำเนินงานวิจัยมีทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังตารางที่ 3.1

1. ขั้นตอนเบื้องต้น เป็นขั้นตอนในการหาหัวข้องานวิจัย ผู้วิจัยจึงได้สืบค้นข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยเลือกที่จะทำการเปรียบเทียบผู้ให้บริการเครือข่าย NB-IoT ทั้งสอง

2. ขั้นตอนการดำเนินการ เป็นขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยได้เตรียมอุปกรณ์จากผู้ให้บริการ NB-IoT ทั้งสองและพัฒนาสคริปต์สำหรับวัดประสิทธิภาพ จากนั้นเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมและดำเนินการทดลอง

3. ขั้นตอนการสรุป เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการทำงานวิจัยการสรุปผลงานวิจัยทั้งหมดที่ได้ทำมาในทั้งขั้นตอนเบื้องต้นและขั้นตอนการดำเนินการ ทั้งสองขั้นตอนข้างต้นเพื่อนำไปเขียนสรุปเล่มวิทยานิพนธ์และบทความวิชาการ

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา										
	ปี 2561					ปี 2562					
	พ.ค.	ค.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
ขั้นตอนเบื้องต้น											
- การหาหัวข้อ											
- การทบทวนวรรณกรรม											
- ทำการทดลองเบื้องต้น											
- ร่างเค้าโครงวิทยานิพนธ์											
- นำเสนอเค้าโครงวิทยานิพนธ์											
ขั้นตอนการดำเนินการ											
- การเก็บข้อมูลและเตรียมข้อมูล											
- การประมวลผล											
ขั้นตอนการสรุป											
- สรุปและตีพิมพ์งานวิจัย											
- เขียนวิทยานิพนธ์เล่มสมบูรณ์											
- สบป้องกันวิทยานิพนธ์											

3.1 ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาของงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาของงานวิจัยเพื่อศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยี NB-IoT โดยผู้วิจัยได้กับอาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งมีความสนใจในเทคโนโลยี IoT อยู่ก่อนหน้าแล้ว ซึ่งในช่วงต้นปี 2561 นั้นได้มีผู้ให้บริการ ได้แก่ TRUE และ AIS ได้เปิดให้บริการเครือข่าย NB-IoT ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ที่สามารถใช้งานได้จริงและมีความน่าสนใจที่นำมาศึกษาเพื่อการวิจัย การที่เพิ่งเปิดให้บริการได้ไม่นานทำให้ยากต่อการเลือกใช้บริการว่าจะใช้เครือข่ายของผู้ให้บริการรายไหน อีกทั้งการเลือกใช้บริการเครือข่ายที่ต่างกันส่งผลให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่างกันซึ่ง ซึ่งโดยปกตินั้นอุปกรณ์ IoT จะทำการส่งข้อมูลไปยัง IoT Cloud Platform เพื่อเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์หรือใช้งานฟังก์ชันต่างๆบนแพลตฟอร์มนั้นๆ จึงได้ต้องการที่จะศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครือข่าย NB-IoT ระหว่างผู้ให้บริการทั้งสอง และทำการเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้บริการเครือข่ายของผู้ให้บริการ NB-IoT ทั้งสองไปจนถึง IoT Cloud Platform

จากการศึกษาทำให้ผู้วิจัยได้ปรึกษาและเสนอหัวข้อกับอาจารย์ที่ปรึกษาที่จะเลือกทำงานวิจัยใน “หัวข้อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครือข่ายผู้ให้บริการ NB-IoT ผ่านแพลตฟอร์ม IoT ในประเทศไทย”

3.2 ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาข้อมูลและเทคโนโลยีที่นำมาใช้

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของเทคโนโลยี NB-IoT และศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยตัวแปรเหล่านี้จะช่วยบอกข้อแตกต่างของการใช้บริการของเครือข่ายแต่ละเครือข่ายในแต่ละจุดซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงคุณภาพการให้บริการในพื้นที่นั้นในการเก็บข้อมูลจะมีทั้งหมดสองส่วน ส่วนแรกคือระหว่างอุปกรณ์และเสาสัญญาณของผู้ให้บริการจะได้แก่ค่า RSSI, RSRP, RSRQ และค่า SNR และในส่วนที่สองคือค่า RTT บอกความเร็วระหว่างอุปกรณ์และ IoT Cloud Platform

ผู้วิจัยต้องการจะเข้าไปดึงข้อมูลตัวแปรที่สำคัญต่อประสิทธิภาพจากชิปสำหรับการสื่อสาร Quectel BC-95B8 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการได้พัฒนาสคริปต์บนโปรแกรม Arduino IDE โดยติดตั้งบนอุปกรณ์ Arduino Uno และใช้งานร่วมกับบอร์ด BC-95B8 ด้วย AT Command ซึ่งจะทำให้การสื่อสารระหว่าง Arduino Uno กับชิปสำหรับการสื่อสาร Quectel BC-95B8 เพื่อดึงข้อมูลตัวแปรต่างๆและเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ไปยัง IoT Cloud Platform ผ่านเครือข่ายของผู้ให้บริการในแต่ละราย

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเตรียมอุปกรณ์ NB-IoT ของ TRUE และ AIS ใช้งานร่วมกับบอร์ด Arduino Uno จากนั้นทำการเขียนสคริปต์เพื่อเก็บปัจจัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพ โดยตัวแปรที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 ได้แก่ค่า RSSI, RSRQ, RSRP และ SNR ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพระหว่างบอร์ด NB-IoT กับเสาสัญญาณของผู้ให้บริการแต่ละบริษัท ส่วนค่า RTT จะแสดงถึงประสิทธิภาพระหว่างบอร์ด NB-IoT กับ IoT Cloud Platform ปลายทาง



รูปที่ 3.1 จุดที่เก็บข้อมูล

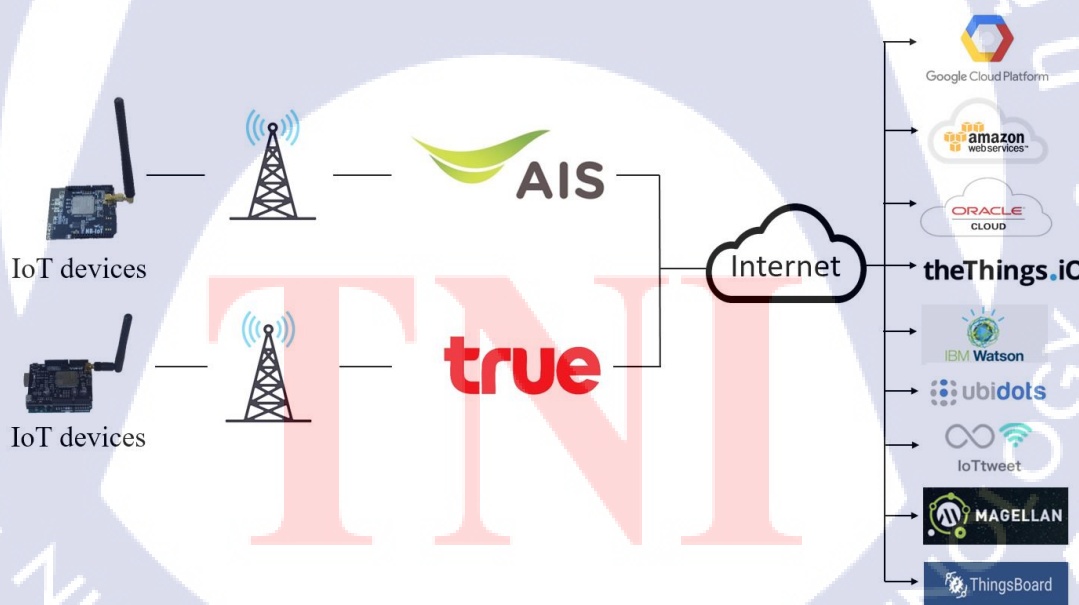
โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองเบื้องต้นที่พื้นที่จังหวัดปทุมธานี ตำบล คลองหลวง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ด้วยแพ็กเก็ตขนาดเริ่มต้นคือ 8 ไบต์และเวลารอกกลับตอบกลับ 10 วินาที โดยผลลัพธ์การทดลองพบว่าการทดลองการใช้งานเบื้องต้นพบว่า ผลลัพธ์ในการทดลองเบื้องต้นนั้นใช้เวลาเพียง 1 สัปดาห์จาก 1 พื้นที่ถือว่าน้อยและสั้นไปยากต่อการนำมาเปรียบเทียบ ส่วนจำนวนการ Ping ที่ล้มเหลว

นั้นสูงมากโดยเฉลี่ยมากกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์จากแพ็กเก็ตทั้งหมด อีกทั้งใช้วิธีการเก็บข้อมูลแบบแมนนวล ซึ่งใช้เวลาในการจัดเรียงไฟล์นานมากสำหรับการสร้างกราฟทั้งหมด

3.3 ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงสคริปต์เดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเพิ่มจำนวนขนาดแพ็กเก็ตที่ใช้ในการ Ping จากเดิมเพียงขนาดเดียวคือ ขนาด 8 ไบต์ เป็น 2 ขนาดคือ ขนาด 8 ไบต์ และขนาด 1024 ไบต์ และเพิ่มเวลาการรอการตอบกลับจากเซิร์ฟเวอร์เป็น 20 วินาที โดยทำการ Ping และรับค่าทั้งหมดทุกๆ 1 นาทีและเก็บข้อมูลทั้งหมดตลอด 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ในแต่ละพื้นที่โดยใช้แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เป็นเวลา 2 สัปดาห์และแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์อีก 2 สัปดาห์ และทำการ Ping ไปยัง IoT Cloud Platform 9 แห่งซึ่งพิจารณาจากชื่อเสียงและความง่ายต่อการใช้ซึ่งบางคลาวด์นั้นทางผู้บริการนั้นได้เตรียม Library ไว้บน Github แล้ว ได้แก่ GoogleIP, Amazon Web Service, CloudOracle, TheThingio, IBMwatson, Ubidot, IoTtweet, AISmagellan และ ThingsBoard ส่วนค่า RSSI, RSRP, RSRQ, SNR นั้นจะทำการเก็บตลอด 4 สัปดาห์ทั้งสองพื้นที่ โดยกระบวนการทดลองจะเป็นไปตามรูปที่ 3.2

โดยจะทำการทดลองสองพื้นที่คือที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานครและพื้นที่ ตำบล คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 3.2 กระบวนการทดลองจากต้นทางไปยังปลายทาง

ในการเตรียมการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งสคริปต์ที่ได้ทำการพัฒนาลงบนอุปกรณ์บนโปรแกรม Arduino IDE ดังรูป 3.3 แสดงตัวอย่างสคริปต์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา โดยสคริปต์แบบเต็มมีในภาคผนวก



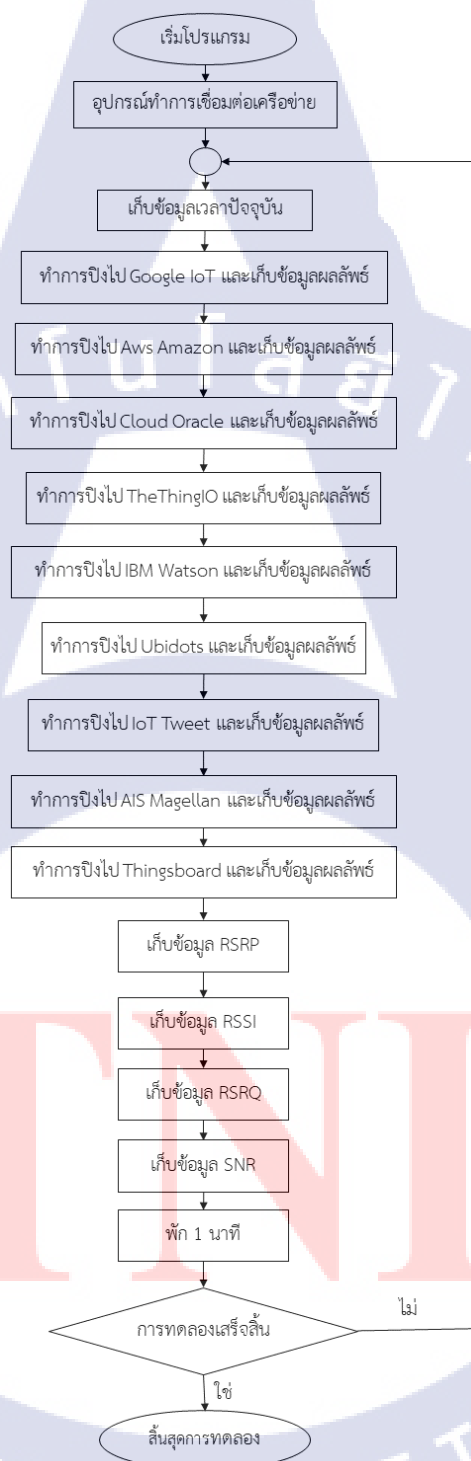
```

}
void loop()
{
  pingRESP pingR;
  Serial.println("For show Time");
  pingR = AISnb.pingIP(google);
  delay(500);
  pingR = AISnb.pingIP(awsamazon);
  delay(500);
  pingR = AISnb.pingIP(cloudoracle);
  delay(500);
  pingR = AISnb.pingIP(TheThingio);
  delay(500);
  pingR = AISnb.pingIP(IBMWATSON);
  delay(500);
  pingR = AISnb.pingIP(ubidotIP);
  delay(500);
  pingR = AISnb.pingIP(iotTtweetIP);
  delay(500);
  pingR = AISnb.pingIP(aismagellanIP);
  delay(500);
  pingR = AISnb.pingIP(thingboardIP);
  delay(500);
  AISnb.CellStat(); //rsrp
  AISnb.getSignal(); //rssi
  Serial.print(AISnb.UeStat8()+"\n"); //rsrq
  AISnb.UeStat11(); //snr

  delay(60000);
}
  
```

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างสคริปต์ที่ติดตั้งบน Arduino Uno

โดยในรูปที่ 3.4 แสดง Flowchart การทำงานของสคริปต์ที่ได้ติดตั้งบนอุปกรณ์ ผ่านโปรแกรม Arduino IDE โดยจะทำการเก็บข้อมูลค่าต่าง ๆ จนครบจากนั้นจะทำการรอ 1 นาทีเพื่อเก็บข้อมูลต่อไป



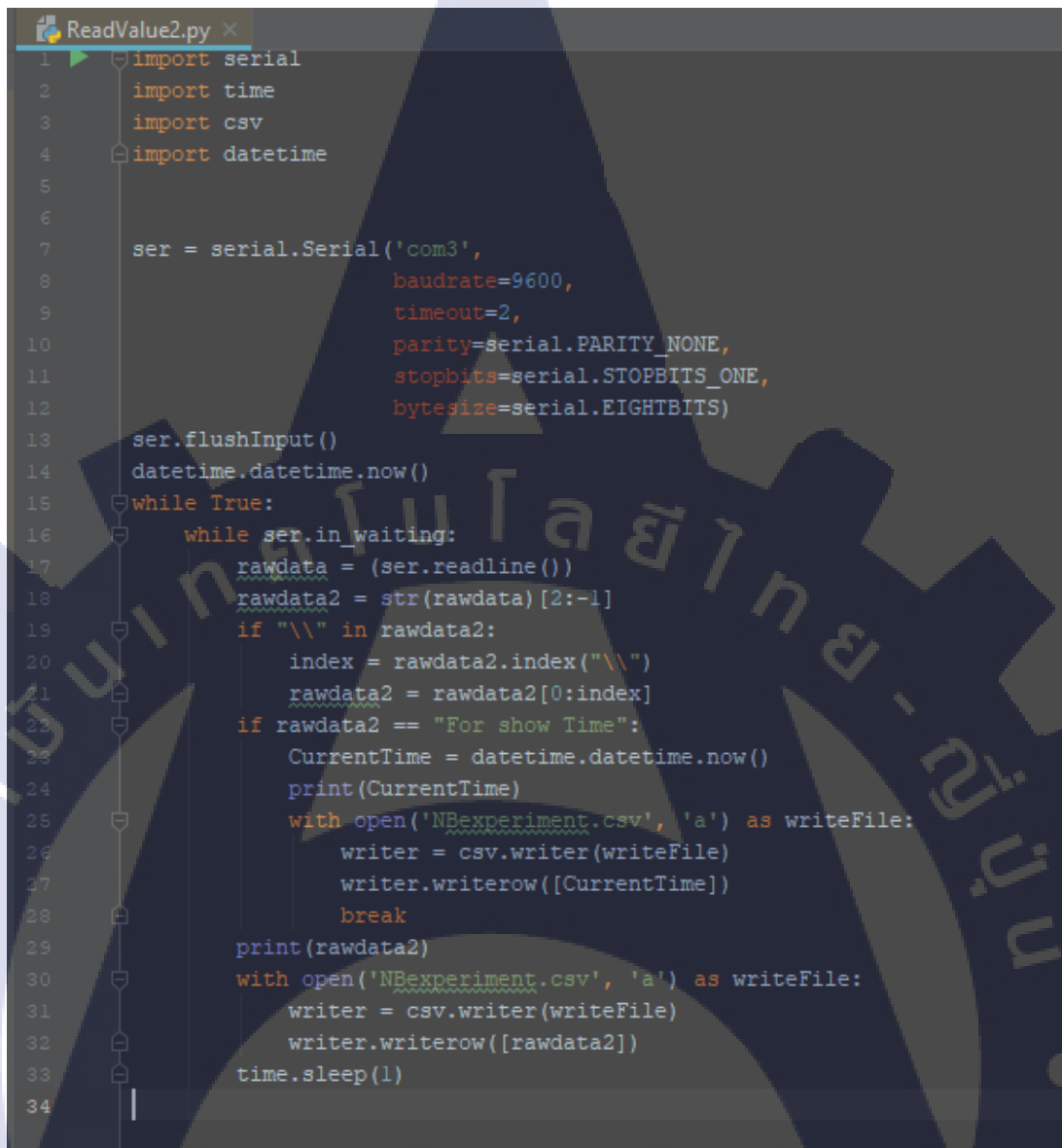
รูปที่ 3.4 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรม

โดยผู้วิจัยใช้สคริปต์เดียวกันลงบนอุปกรณ์ Arduino Uno ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ NB-IoT ของทั้ง TRUE และ AIS ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 ติดตั้งสคริปต์ลงบนอุปกรณ์

ส่วนในการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์นั้น จากเดิมที่ทำแบบแมนนวลซึ่งใช้เวลาในการจัดข้อมูลนานและซ้ำ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้เวลาในการทดลองนานกว่าเดิมมากและข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นจะมีปริมาณข้อมูลจำนวนมากมหาศาล ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้ด้วยวิธีปกติได้ ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องเขียนสคริปต์หรือหาวิธีการแปลงให้อยู่ในรูปที่สามารถนำมาใช้งานได้ โดยผู้วิจัยจึงได้พัฒนาสคริปต์ภาษา Python บนโปรแกรม PyCharm ดังรูป 3.6 แสดงตัวอย่างสคริปต์



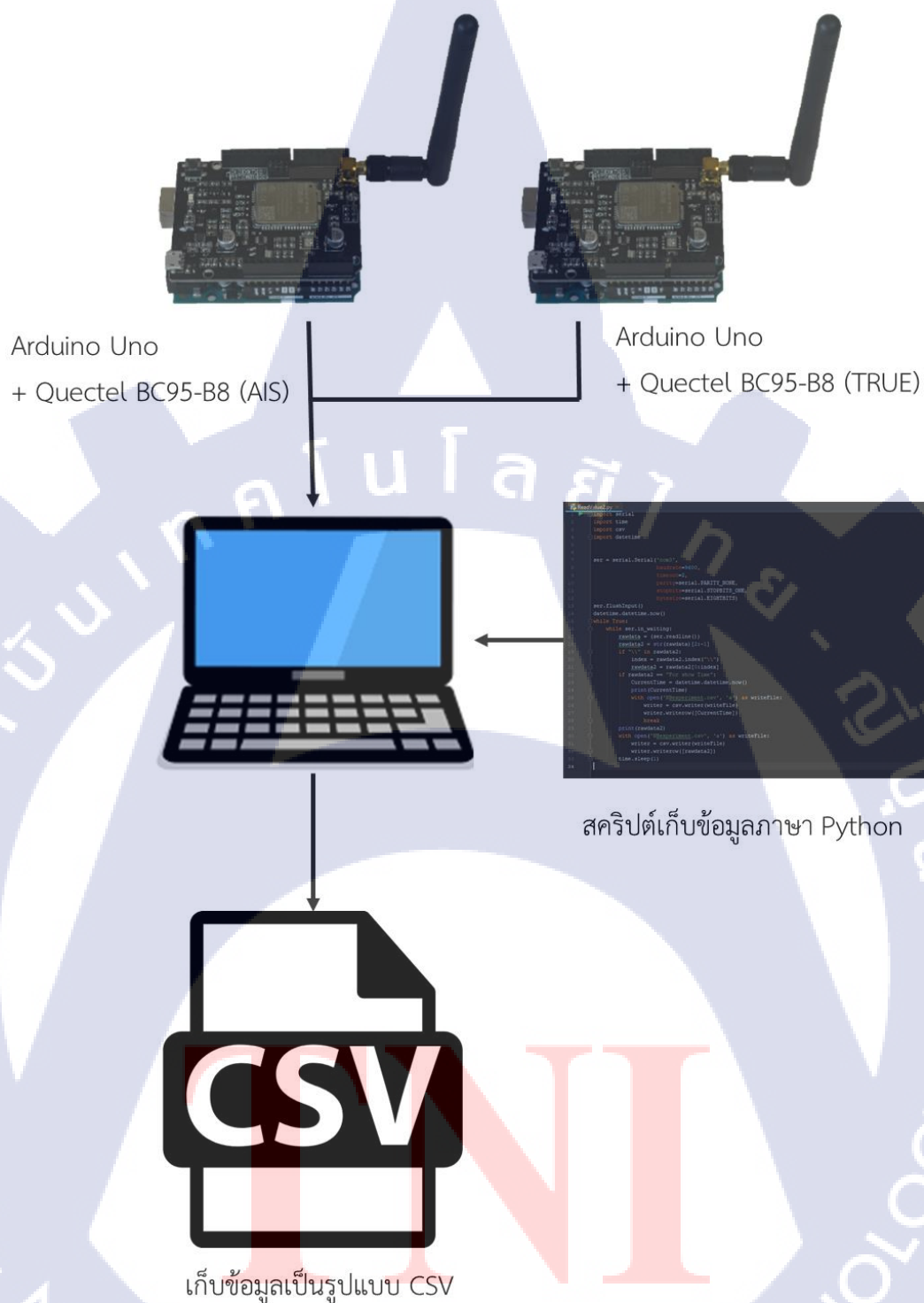
```

1  import serial
2  import time
3  import csv
4  import datetime
5
6
7  ser = serial.Serial('com3',
8                      baudrate=9600,
9                      timeout=2,
10                     parity=serial.PARITY_NONE,
11                     stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
12                     bytesize=serial.EIGHTBITS)
13
14  ser.flushInput()
15  datetime.datetime.now()
16  while True:
17      while ser.in_waiting:
18          rawdata = (ser.readline())
19          rawdata2 = str(rawdata) [2:-1]
20          if "\\n" in rawdata2:
21              index = rawdata2.index("\\n")
22              rawdata2 = rawdata2[0:index]
23          if rawdata2 == "For show Time":
24              CurrentTime = datetime.datetime.now()
25              print(CurrentTime)
26              with open('NBexperiment.csv', 'a') as writeFile:
27                  writer = csv.writer(writeFile)
28                  writer.writerow([CurrentTime])
29                  break
30              print(rawdata2)
31              with open('NBexperiment.csv', 'a') as writeFile:
32                  writer = csv.writer(writeFile)
33                  writer.writerow([rawdata2])
34                  time.sleep(1)

```

รูปที่ 3.6 สคริปต์เก็บข้อมูลบน Pycharm

โดยสคริปต์นั้นจะทำการดึงข้อมูลผ่านทางพอร์ท Serial ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ โดยกระบวนการทดลองนั้นจะเป็นไปดังรูป 3.7 ซึ่ง สำหรับอ่านข้อมูลจากพอร์ท Serial จากอุปกรณ์ Arduino และเขียนลงบนไฟล์ .CSV ทันทีเพื่อเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.7 ภาพรวมการเก็บข้อมูลการทดลอง

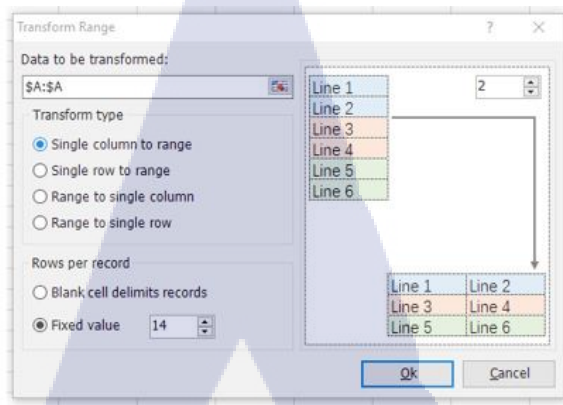
เมื่อการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว ข้อมูลจะถูกเก็บเป็นรูปแบบ CSV โดยข้อมูลนั้นจะมีลักษณะบรรทัดเว้นบรรทัดโดยจำเป็นจะต้องจัดข้อมูลก่อน ซึ่งในการจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปกราฟนั้น ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ร่วมกับเครื่องมือ Kutools โดยใช้ ฟังก์ชัน Delete blank row เพื่อลบแถว ที่ว่างออกก่อนดังรูป 3.8

	A	B	C	D	E	F
1	# Device IP: 10.14.12.192					
2	43:11.9					
3						
4	684					
5						
6	954					
7						
8	456					
9						
10	1099					
11						
12	351					
13						
14	907					
15						
16	596					
17						
18	745					
19						
20	844					
21						
22	-712					
23						
24	-65					
25						
26	125					
27						
28	-108					
29						
30	44:29.7					
31						
32	3514					
33						
34	1149					
35						
36	485					
37						
38	974					
39						

	A	B	C	D	E	F
1	# Device IP: 10.14.12.192					
2	43:11.9					
3	684					
4	954					
5	456					
6	1099					
7	351					
8	907					
9	596					
10	745					
11	844					
12	-712					
13	-65					
14	125					
15	-108					
16	44:29.7					
17	3514					
18	1149					
19	485					
20	974					
21	432					
22	882					
23	663					
24	1208					
25	941					
26	-711					
27	-63					

รูปที่ 3.8 การลบแถวที่ว่าง

จากนั้นใช้ฟังก์ชัน Transform Range ดังรูป 3.9 เพื่อจัดการข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่จะนำมาจัดการหรือวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชันในโปรแกรม Microsoft Excel ในจัดการข้อมูลและสร้างกราฟขึ้นมาเพื่อนำมาสรุปผลที่ได้จากการทดลอง

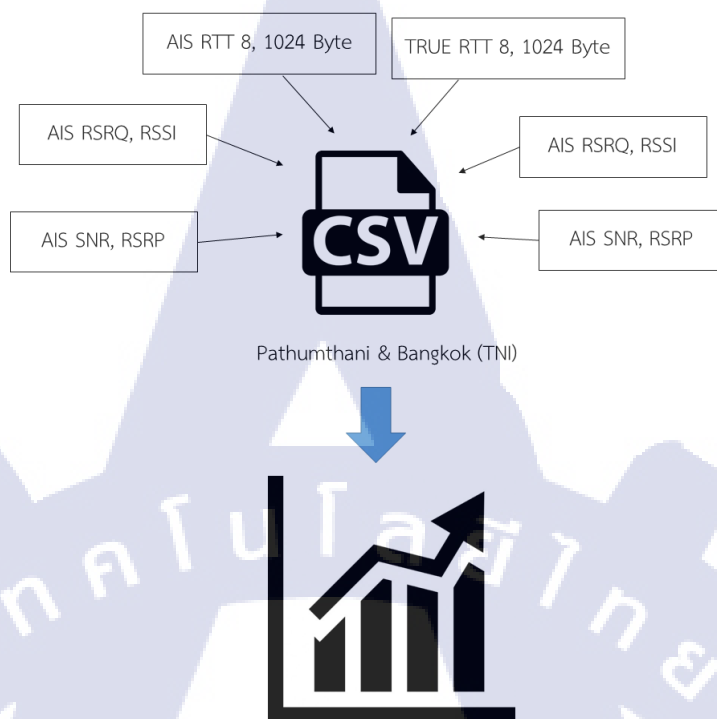


TIME	GoogleIoT	AWS	Cloudorace	TheThing	IBMWATSOT	UbidotIP	iotTweetIP	AsmapelanIP	Thingsboard	RSRP	RSSI	SNR	RSRQ
12:43:12 AM	684	954	456	1099	351	907	596	745	844	-712	-65	125	-108
12:44:30 AM	3514	1149	485	974	432	882	663	1208	941	-711	-63	115	-109
12:45:51 AM	2764	881	467	1037	434	920	524	817	819	-700	-63	158	-108
12:47:11 AM	2990	817	457	1038	410	916	566	720	918	-675	-61	173	-108
12:48:31 AM	2950	846	450	1032	414	901	571	706	911	-651	-59	151	-108
12:49:51 AM	2916	893	482	1067	358	906	560	732	888	-683	-63	160	-108
12:51:11 AM	416	832	483	1007	441	898	566	716	886	-683	-61	172	-108
12:52:28 AM	2926	1102	341	964	400	934	537	710	920	-682	-61	162	-108
12:53:48 AM	2921	880	450	1037	419	912	558	700	909	-683	-61	127	-108
12:55:08 AM	2953	888	487	981	408	912	576	832	789	-705	-65	166	-108
12:56:28 AM	326	916	449	1032	444	1525	559	720	937	-728	-67	117	-108
12:57:46 AM	2890	1552	733	759	405	920	544	733	907	-749	-67	101	-109
12:59:07 AM	370	2180	3275	735	599	746	757	678	725	-746	-67	82	-112
12:00:28 AM	2944	865	462	1068	374	915	572	692	952	-698	-63	118	-109
12:01:48 AM	2308	1494	617	3617	211	907	561	713	926	-704	-63	138	-108
12:03:11 AM	2933	872	434	1048	424	887	579	735	880	-696	-63	147	-108
12:04:31 AM	2897	910	476	1018	417	934	525	717	907	-685	-63	154	-108
12:05:51 AM	2976	853	445	1067	384	925	627	638	898	-663	-59	124	-109
12:07:11 AM	395	858	506	1010	397	908	574	707	934	-646	-59	166	-108
12:08:28 AM	2888	909	442	1036	433	886	559	711	930	-632	-57	201	-108
12:09:48 AM	2941	847	483	1017	412	941	526	712	903	-630	-57	189	-108
12:11:08 AM	2928	890	465	1059	379	906	567	704	905	-645	-59	136	-109
12:12:28 AM	445	844	419	1083	368	910	559	706	938	-610	-55	176	-108
12:13:46 AM	2873	1571	1076	1079	377	902	574	701	941	-616	-55	117	-110
12:15:07 AM	329	899	455	1046	404	911	556	711	941	-618	-55	189	-108
12:16:25 AM	2937	861	443	1041	432	880	565	711	902	-627	-57	179	-108
12:17:45 AM	2950	876	476	1020	411	913	557	712	908	-633	-57	175	-108
12:19:05 AM	2935	876	457	1068	379	928	547	725	890	-626	-57	146	-109
12:20:25 AM	351	895	461	1053	398	910	561	709	939	-626	-57	175	-108
12:21:42 AM	2939	878	425	1029	438	887	587	691	902	-623	-57	188	-108
12:23:02 AM	2922	894	481	1017	409	938	569	679	899	-616	-55	195	-108
12:24:22 AM	2985	831	462	1066	402	886	604	669	903	-626	-55	141	-109
12:25:42 AM	368	898	458	1041	407	925	550	1344	1004	-628	-57	176	-108
12:27:00 AM	2849	882	445	1037	411	907	572	722	887	-628	-57	142	-109

รูปที่ 3.9 การจัดข้อมูลเพื่อสร้างเป็นกราฟ

3.4 ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลลัพธ์การทดลองในขั้นตอนที่ 3 ทำให้ผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองจากทั้งสองพื้นที่ตลอด 8 สัปดาห์ที่ผ่านมา มาสรุปเป็นส่วนๆ ในรูปของกราฟเปรียบเทียบกับในแต่ละส่วน แต่ละพื้นที่ทั้งสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานครและพื้นที่ ตำบล คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ทั้งในส่วนของค่า RTT แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์และขนาด 1024 ไบต์และส่วนของ RSSI, RSRP, RSRQ และ SNR ตลอด 4 สัปดาห์ว่ามีผลลัพธ์เป็นอย่างไรและ IoT Cloud Platform ไหนมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุดในแต่ละการใช้บริการเครือข่าย



รูปที่ 3.10 การรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.5 ขั้นตอนที่ 5 การสรุปผลการวิจัย

ในส่วนของการสรุปผลการวิจัย จะกล่าวถึง สรุปผลที่ได้จากการทดลองว่าเครือข่าย 4G-LTE มีคุณภาพการให้บริการสัญญาณที่ดีกว่าในแต่ละพื้นที่และเปรียบเทียบบริการเครือข่าย NB-IoT ทั้งการ Ping แพ็กเก็ตทั้งขนาด 8 ไบต์และขนาด 1024 ไบต์ พร้อมแสดงผลลัพธ์ IoT Cloud Platform ว่าคลาวด์ไหนมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในแต่ละพื้นที่

TNI

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นความรู้สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพผู้ให้บริการเครือข่าย NB-IoT ของ AIS และ TRUE โดยได้เก็บผลการทดลอง นำข้อมูลที่ได้รับมาสรุป และนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพิ่มเติม โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนได้ดังนี้

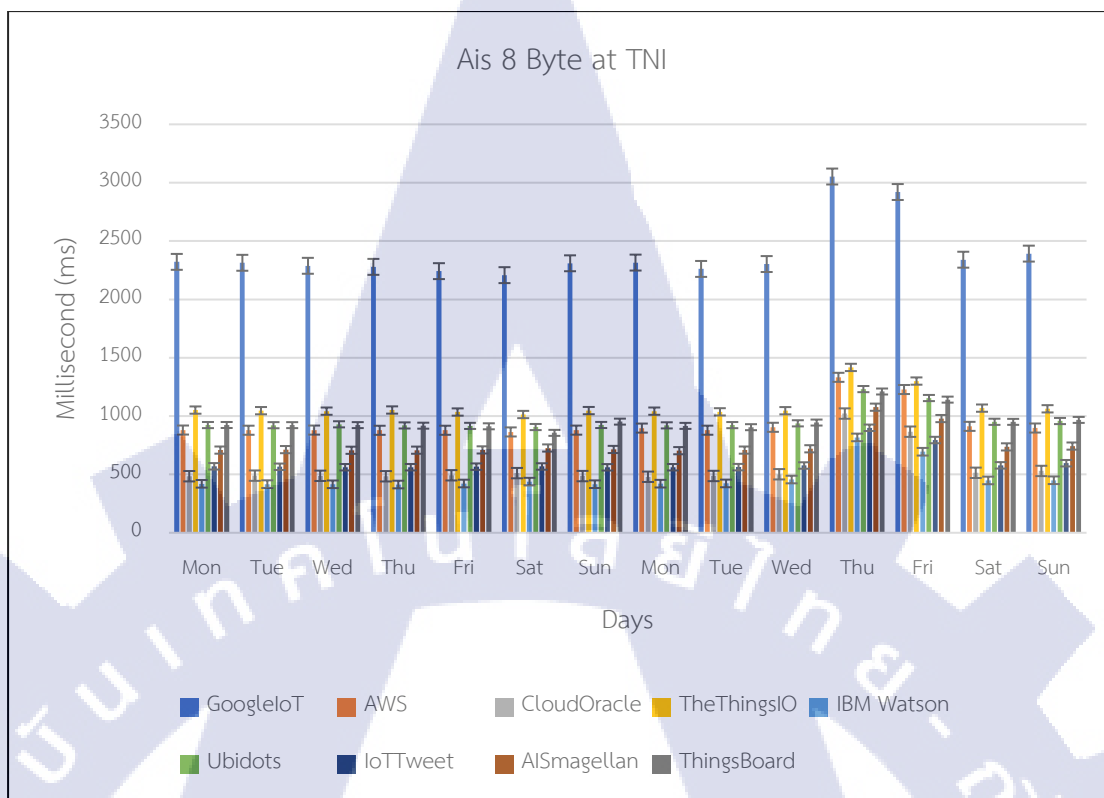
- 4.1 กราฟแสดงผลลัพธ์การวิจัย
- 4.2 สรุปผลผลลัพธ์จากกราฟ
- 4.3 วิเคราะห์ผลลัพธ์จากกราฟ

4.1 กราฟแสดงผลลัพธ์การวิจัย

จากสองพื้นที่ให้บริการคือบริเวณจังหวัดกรุงเทพมหานครและบริเวณพื้นที่คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยใช้เวลาทดลองพื้นที่ละ 4 สัปดาห์ โดยเก็บข้อมูลวัดความเร็วที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และ IoT Cloud Platform ปลายทางทั้ง 9 แห่ง ได้แก่ค่า RTT โดยทดลองจะแบ่งการเก็บข้อมูลด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์และแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เป็นเวลา 2 สัปดาห์ในแต่ละพื้นที่และคุณภาพการให้บริการเครือข่ายได้แก่ค่า RSSI, RSRP, RSRQ และ SNR ตลอด 4 สัปดาห์ในแต่ละพื้นที่

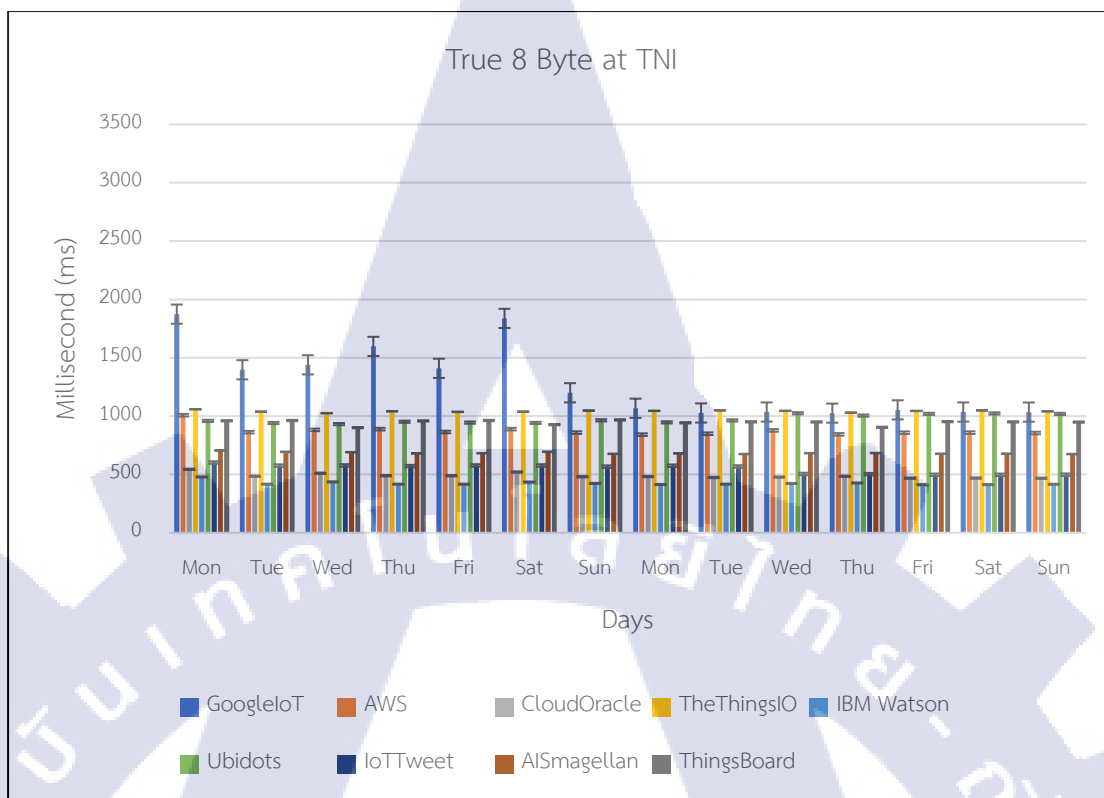
4.1.1 ผลการวิจัยพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร

จากรูปที่ 4.1 ผลลัพธ์การทดลองด้วยการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เพื่อหาค่า RTT ของเครือข่าย AIS จากอุปกรณ์ NB-IoT ไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทางทั้ง 9 แห่ง ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของทุก IoT Cloud Platform อยู่ที่ประมาณ 970 มิลลิวินาที มี Data Rates เฉลี่ยอยู่ที่ 8.22 Bytes/sec โดยที่ IBM Watson มีค่า RTT เฉลี่ยเร็วที่สุดอยู่ที่ประมาณ 470 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 16.835 Bytes/sec มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 117 มิลลิวินาที ส่วน GoogleIoT มี RTT ที่ค่อนข้างช้ากว่าคลาวด์อื่นๆสำหรับเครือข่าย AIS อยู่ที่ประมาณ 2,390 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดอยู่ที่ประมาณ 246 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 3.338 Bytes/sec



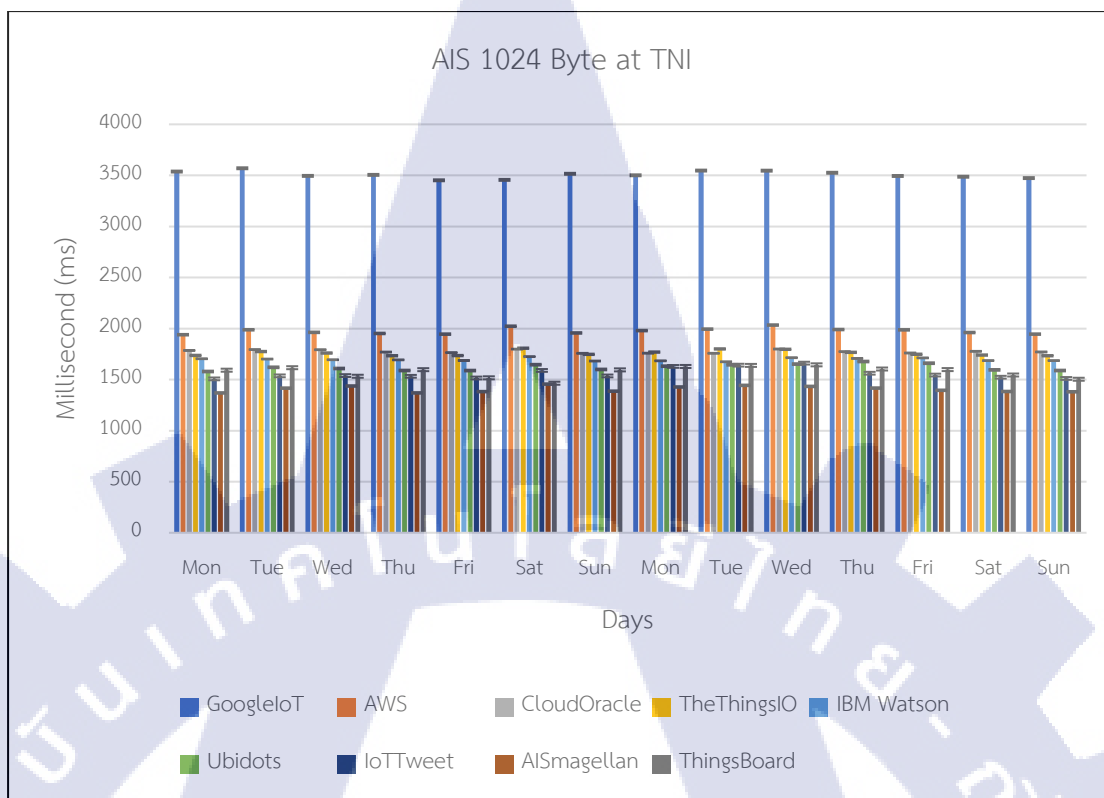
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เครือข่าย AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.2 ผลลัพธ์การทดลองด้วยการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เพื่อหาค่า RTT ของเครือข่าย TRUE จากอุปกรณ์ NB-IoT ไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทางทั้ง 9 แห่งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยผลการทดลองพบว่าทั้งค่าเฉลี่ยของทุก IoT Cloud Platform อยู่ที่ประมาณ 800 มิลลิวินาที มี Data Rates เฉลี่ยอยู่ที่ 9.906 Bytes/sec โดย IBM Watson มี RTT ค่าเฉลี่ยเร็วที่สุดอยู่ที่ประมาณ 420 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 16 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 18.849 Bytes/sec ส่วน GoogleIoT มีค่าเฉลี่ยช้าสุดอยู่ที่ประมาณ 1,280 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 296 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 6.212 Bytes/sec



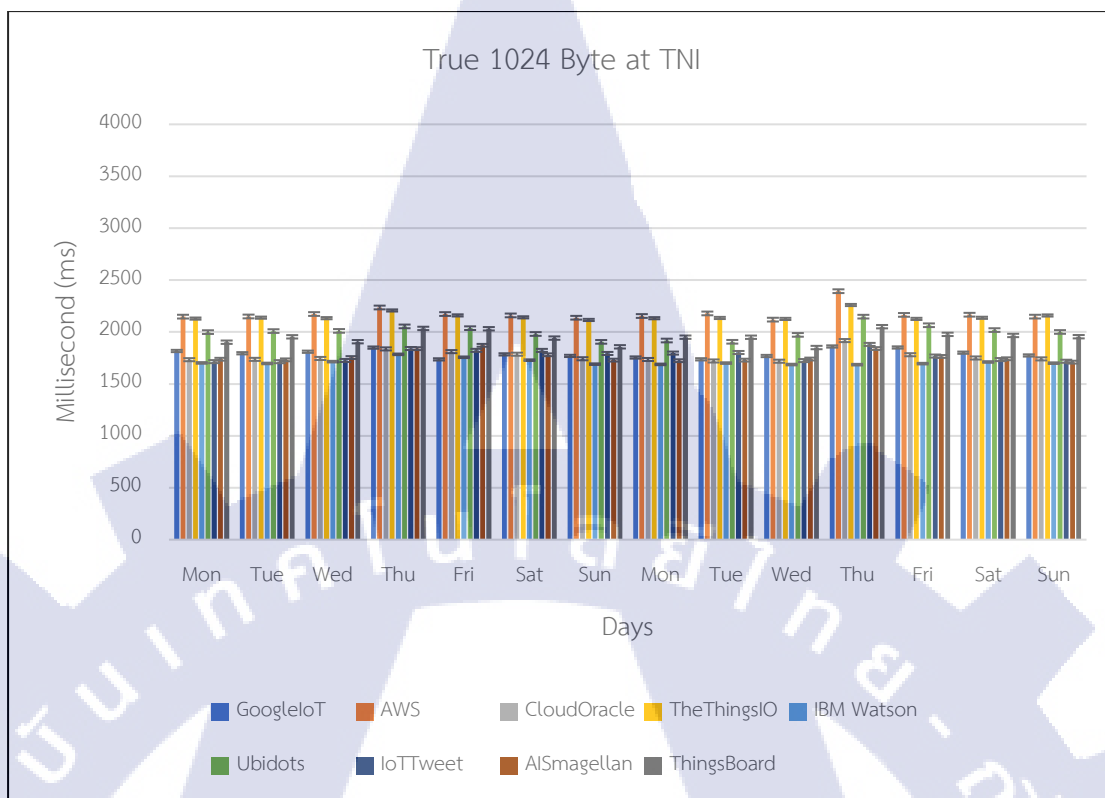
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เครือข่าย TRUE ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 ผลลัพธ์การทดลองด้วยการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เพื่อหาค่า RTT ของเครือข่าย AIS จากอุปกรณ์ NB-IoT ไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทางทั้ง 9 แห่งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของทุก IoT Cloud Platform อยู่ที่ประมาณ 1,870 มิลลิวินาที มี Data Rates เฉลี่ยอยู่ที่ 545.934 Bytes/sec AISmagellan มี RTT ค่าเฉลี่ยเร็วที่สุดอยู่ที่ประมาณ 1,400 มิลลิวินาทีที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 28 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 727.72 Bytes/sec ส่วน GoogleIoT มี RTT เฉลี่ยช้าสุดอยู่ที่ประมาณ 3,500 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 33 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 291.925 Bytes/sec



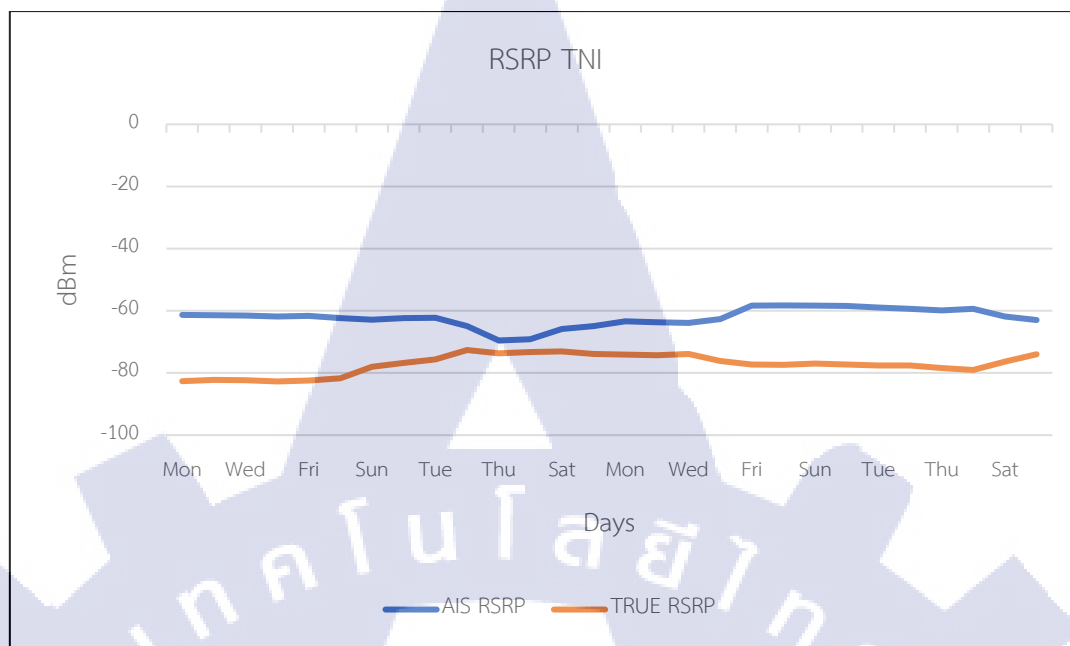
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เครือข่าย AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.4 ผลลัพธ์การทดลองด้วยการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เพื่อหาค่า RTT ของเครือข่าย TRUE จากอุปกรณ์ NB-IoT ไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทางทั้ง 9 แห่งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของทุก IoT Cloud Platform อยู่ที่ประมาณ 1,890 มิลลิวินาที มี Data Rates เฉลี่ยอยู่ที่ 539.119 Bytes/sec IBM Watson มี RTT ค่าเฉลี่ยเร็วที่สุดอยู่ที่ประมาณ 1,710 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 27 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 598.769 Bytes/sec ส่วน Amazon Web Service มี RTT เฉลี่ยช้าสุดอยู่ที่ประมาณ 2,170 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 64 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 469.998 Bytes/sec



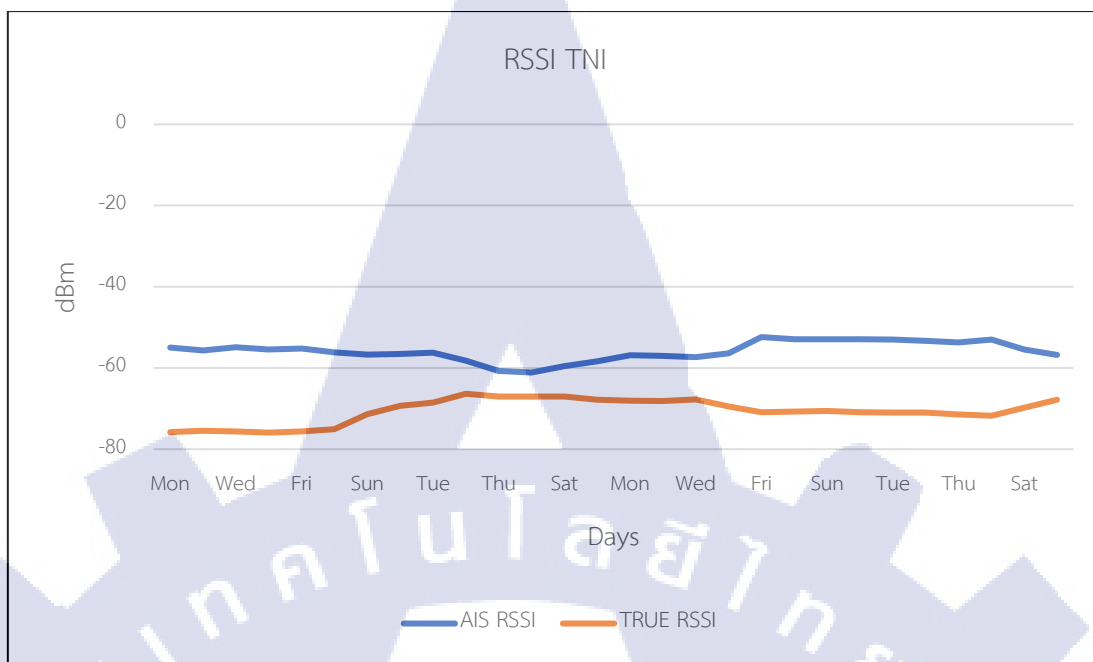
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เครือข่าย TRUE ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่าคุณภาพการให้บริการสัญญาณค่า RSRP เฉลี่ยในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบค่าเครือข่าย TRUE และ AIS ตลอดการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานคร จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย RSRP ตลอดการทดลองของเครือข่าย AIS อยู่ที่ประมาณ -62.1 dBm ซึ่งมีผลดีกว่าเครือข่าย TRUE ซึ่งอยู่ที่ประมาณ -77.1 dBm แสดงให้เห็นว่าการคุณภาพสัญญาณที่บอกถึงส่วนของความแรงของสัญญาณของเครือข่ายของผู้ให้บริการ AIS ในพื้นที่ที่ทดลองนั้นดีกว่าเครือข่ายของผู้ให้บริการ TRUE



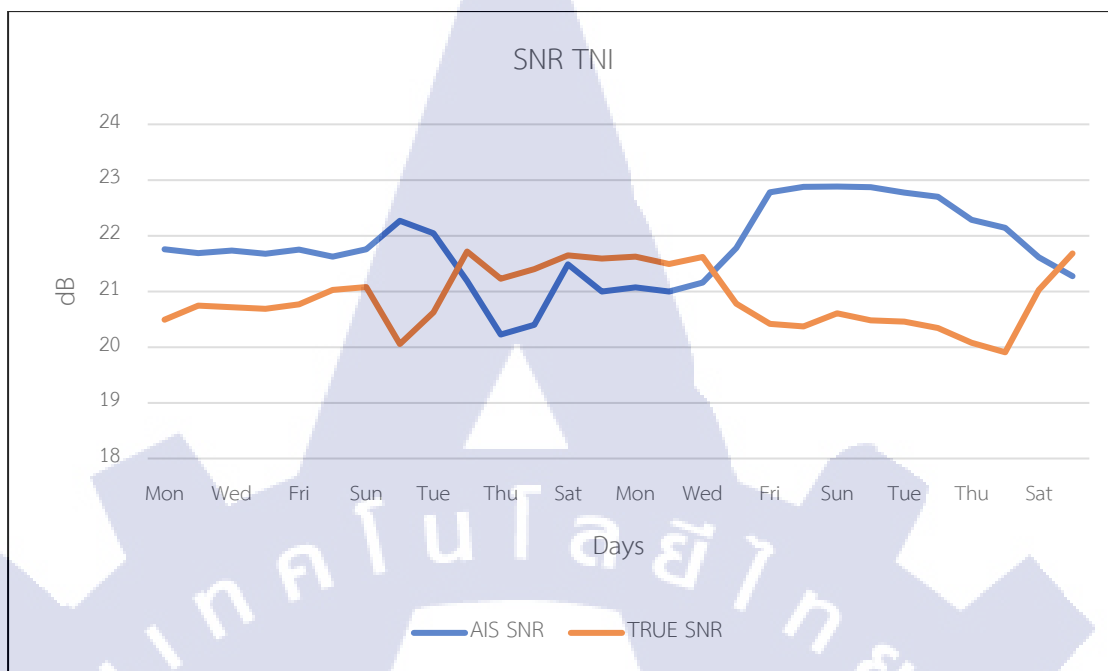
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSRP เครื่องข่าย TRUE และ AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่าคุณภาพการให้บริการสัญญาณค่า RSSI เฉลี่ยในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบค่าเครือข่าย TRUE และ AIS ตลอดการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานคร จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย RSSI ตลอดการทดลองของเครือข่าย AIS อยู่ที่ประมาณ -55.8 dBm ซึ่งมีผลลัพธ์เฉลี่ยดีกว่าเครือข่าย TRUE ซึ่งอยู่ที่ประมาณ -70 dBm แสดงให้เห็นว่าระดับบ่งชี้ความแรงของเสาสัญญาณโดยพิจารณาจากสัญญาณรบกวนและพลังการให้บริการของเสาสัญญาณ AIS ในพื้นที่ที่ทดลองนั้นดีกว่าเครือข่ายของผู้ให้บริการ TRUE



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSSI เครื่องข่าย TRUE และ AIS ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

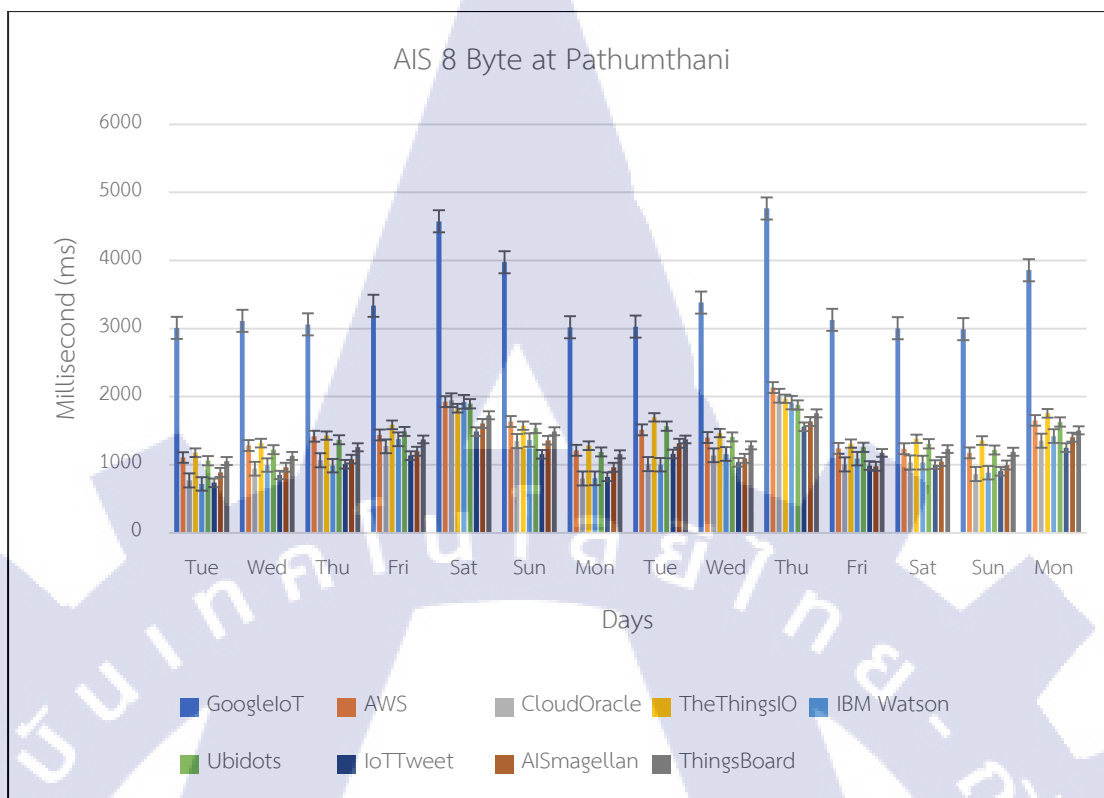
จากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่าคุณภาพการให้บริการสัญญาณค่า RSRQ เฉลี่ยในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบค่าเครือข่าย TRUE และ AIS ตลอดการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่พื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย RSSI ตลอดการทดลองของเครือข่าย AIS อยู่ที่ประมาณ -10.81 dB ซึ่งมีผลลัพธ์เฉลี่ยดีกว่าเครือข่าย TRUE ซึ่งอยู่ที่ประมาณ -10.85 dB แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของสัญญาณโดยภาพรวมของ AIS ในพื้นที่ที่ทดลองนั้นดีกว่าเครือข่ายของผู้ให้บริการ TRUE



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า SNR เครื่อง AIS และ TRUE ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

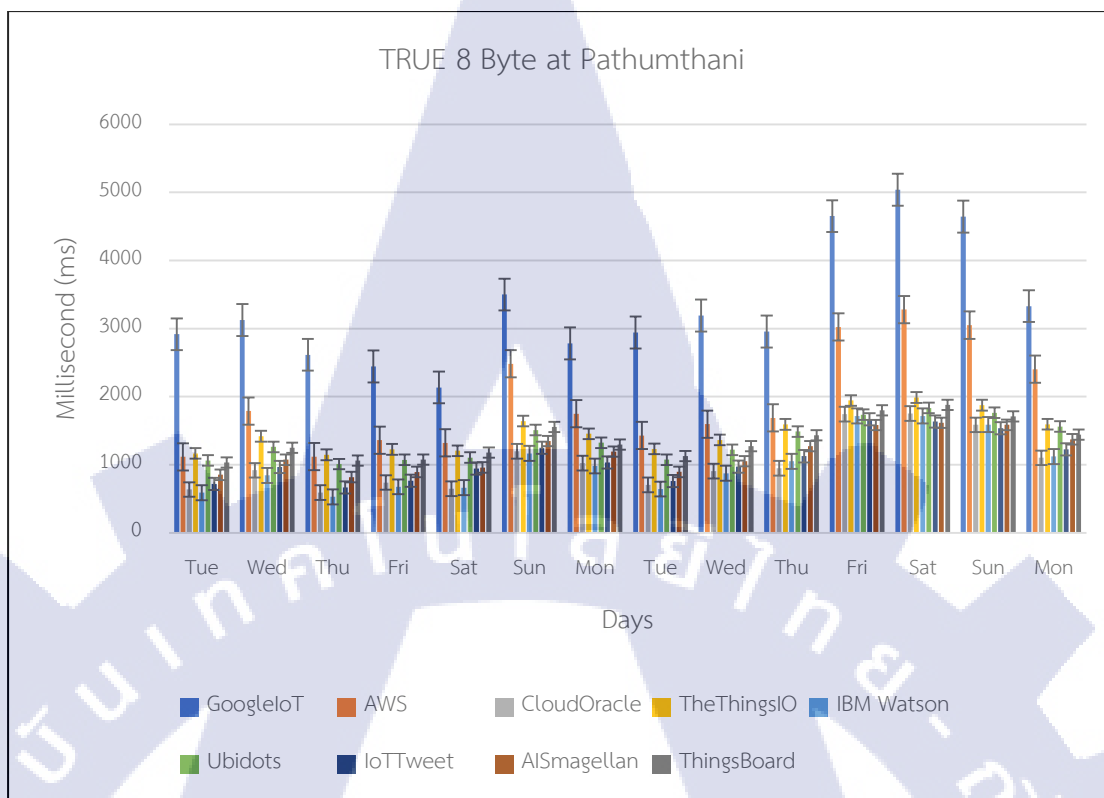
4.1.2 ผลการวิจัยพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานี

จากรูปที่ 4.9 ผลลัพธ์การทดลองด้วยการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เพื่อหาค่า RTT ของเครื่อง AIS จากอุปกรณ์ NB-IoT ไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทางทั้ง 9 แห่งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่พื้นที่บริเวณ อำเภอ คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของทุก IoT Cloud Platform อยู่ที่ประมาณ 1,530 มิลลิวินาที มี Data Rates เฉลี่ยอยู่ที่ 5.216 Bytes/sec โดยผลการทดลองพบว่าทั้ง IoT Tweet มี RTT ค่าเฉลี่ยเร็วที่สุดอยู่ที่ประมาณ 1,070 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 228 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 7.423 Bytes/sec ส่วน GoogleIoT มี RTT ช้าสุดอยู่ที่ประมาณ 3,440 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 584 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 2.321 Bytes/sec



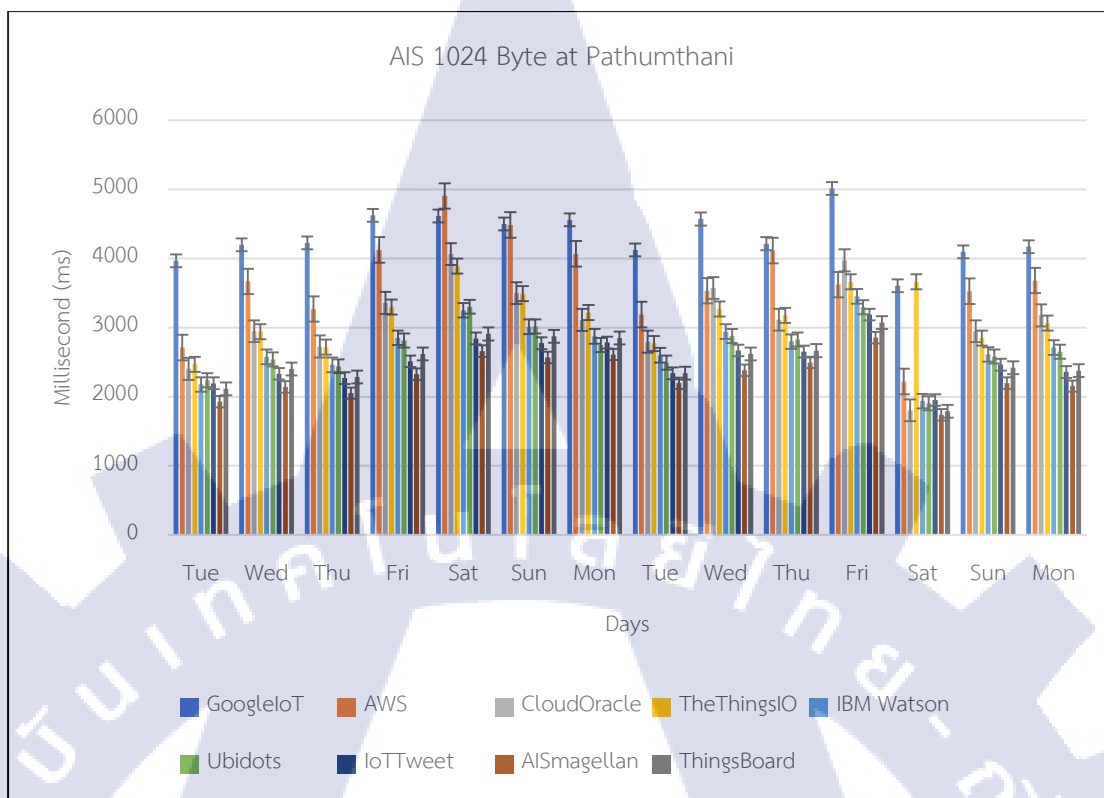
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เครือข่าย AIS ที่จังหวัดปทุมธานี เฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.10 ผลลัพธ์การทดลองด้วยการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เพื่อหาค่า RTT ของเครือข่าย TRUE จากอุปกรณ์ NB-IoT ไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทางทั้ง 9 แห่งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่พื้นที่บริเวณ อำเภอ คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของทุก IoT Cloud Platform อยู่ที่ประมาณ 1,530 มิลลิวินาที มี Data Rates เฉลี่ยอยู่ที่ 5.221 Bytes/sec โดย IBM Watson มี RTT ค่าเฉลี่ยเร็วที่สุดอยู่ที่ประมาณ 1,010 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 395 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 7.915 Bytes/sec ส่วน GoogleIoT มี RTT ช้าสุดอยู่ที่ประมาณ 3,300 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 843 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 2.420 Bytes/sec



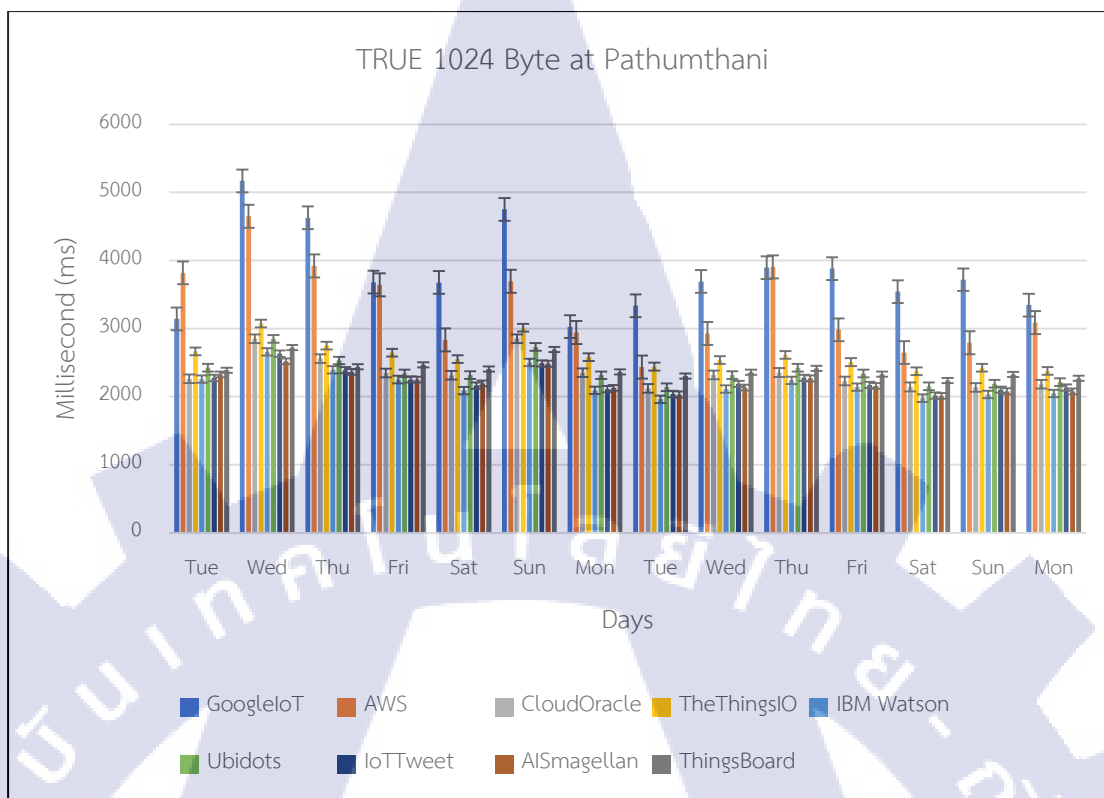
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์เครือข่าย TRUE ที่จังหวัดปทุมธานีเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.11 ผลลัพธ์การทดลองด้วยการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เพื่อหาค่า RTT ของเครือข่าย AIS จากอุปกรณ์ NB-IoT ไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทางทั้ง 9 แห่งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่พื้นที่บริเวณ อำเภอ คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของทุก IoT Cloud Platform อยู่ที่ประมาณ 3,000 มิลลิวินาที มี Data Rates เฉลี่ยอยู่ที่ 340.777 Bytes/sec โดย AISmagellan มี RTT ค่าเฉลี่ยเร็วที่สุดอยู่ที่ประมาณ 2,300 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 296 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 443.723 Bytes/sec ส่วน GoogleIoT มี RTT ช้าสุดอยู่ที่ประมาณ 4,320 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 338 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 236.956 Bytes/sec



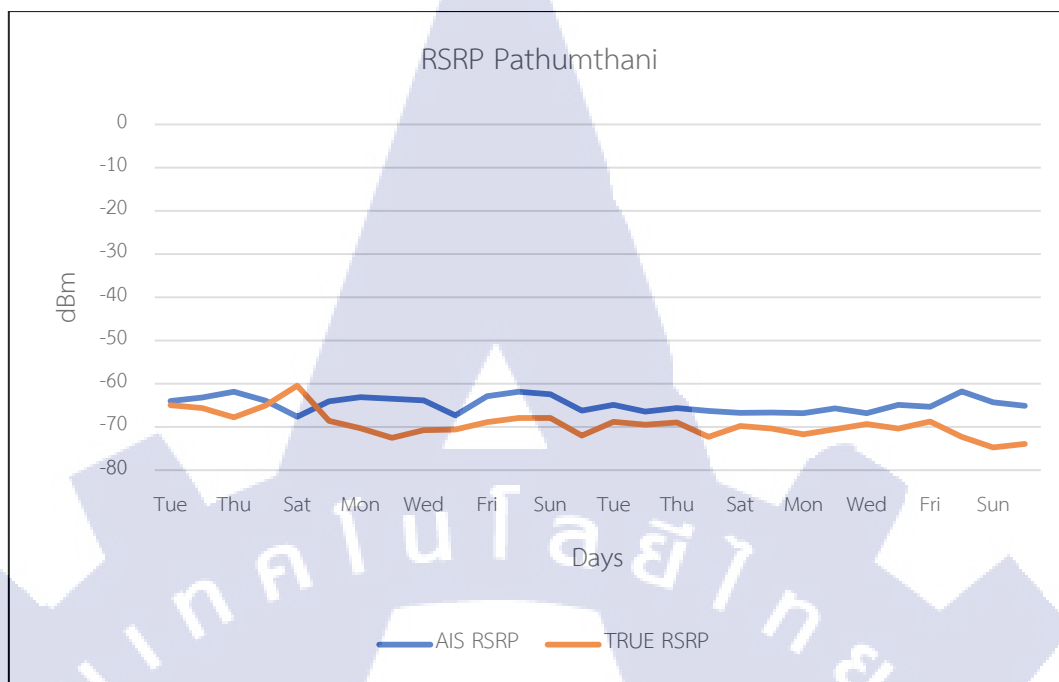
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เครือข่าย AIS ที่จังหวัดปทุมธานีเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.12 ผลลัพธ์การทดลองด้วยการ Ping แพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เพื่อหาค่า RTT ของเครือข่าย TRUE จากอุปกรณ์ NB-IoT ไปยัง IoT Cloud Platform ปลายทางทั้ง 9 แห่งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ที่พื้นที่บริเวณ อำเภอ คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของทุก IoT Cloud Platform อยู่ที่ประมาณ 2,610 มิลลิวินาที มี Data Rates เฉลี่ยอยู่ที่ 391.782 Bytes/sec โดย IBM Watson มี RTT ค่าเฉลี่ยเร็วที่สุดอยู่ที่ประมาณ 2,190 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 196 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 466.130 Bytes/sec ส่วน GoogleIoT มี RTT ช้าสุดอยู่ที่ประมาณ 3,820 มิลลิวินาที มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 600 มิลลิวินาที มี Data Rates ที่ 268.030 Bytes/sec



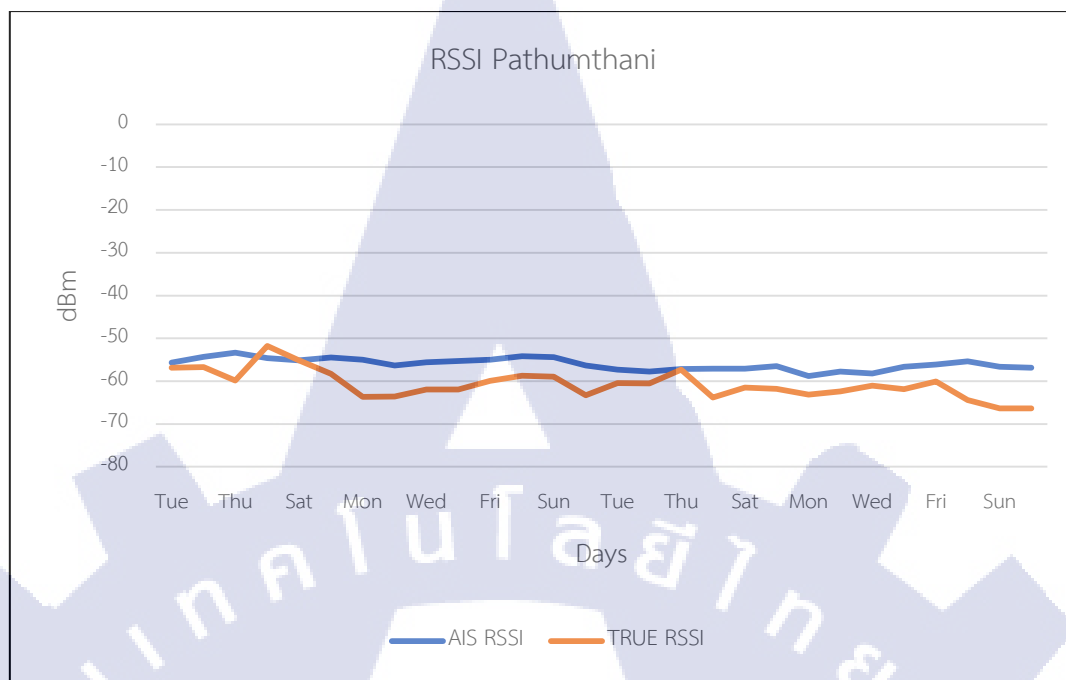
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลลัพธ์การทดลองด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์เครือข่าย TRUE ที่จังหวัดปทุมธานีเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.13 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่าคุณภาพการให้บริการสัญญาณค่า RSRP เฉลี่ยในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบค่าเครือข่าย TRUE และ AIS ตลอดการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ในพื้นที่บริเวณ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี จากการทดลองพบว่า RSRP ของเครือข่าย AIS อยู่ที่ประมาณ -64.7 dBm ซึ่งมีผลลัพธ์เฉลี่ยตลอดการทดลองดีกว่าเครือข่าย TRUE ซึ่งอยู่ที่ประมาณ -69.4 dBm แสดงให้เห็นว่าการคุณภาพสัญญาณที่บอกถึงส่วนของความแรงของสัญญาณของเครือข่ายของผู้ให้บริการ AIS ในพื้นที่ที่ทดลองนั้นดีกว่าเครือข่ายของผู้ให้บริการ TRUE



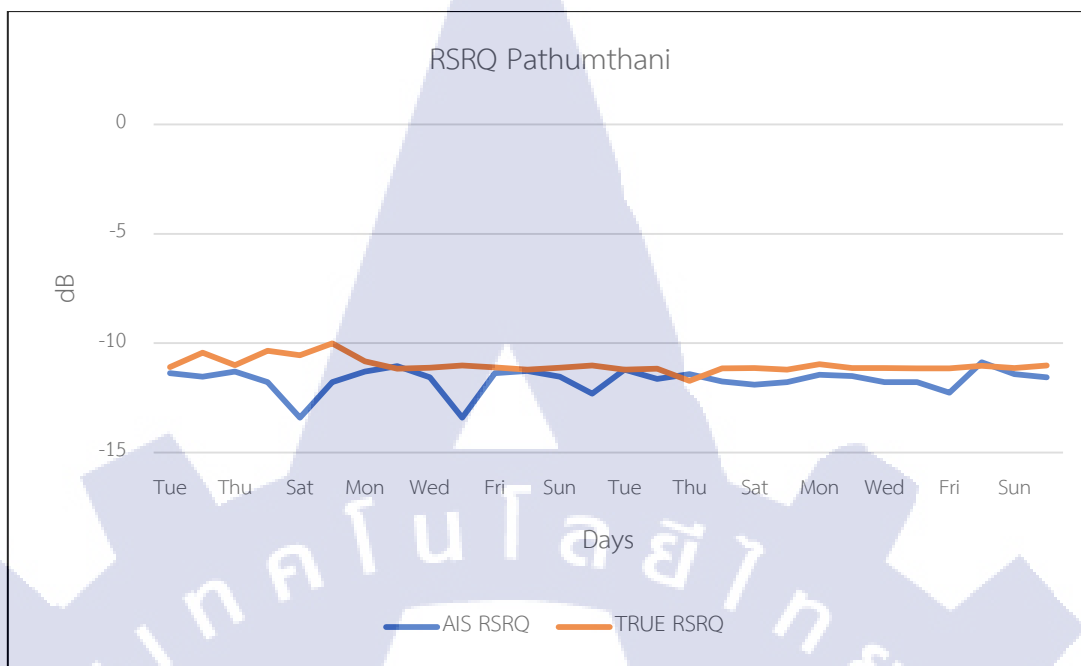
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSRP เครือข่าย TRUE และ AIS ที่จังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.14 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่าคุณภาพการให้บริการสัญญาณค่า RSSI เฉลี่ยในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบค่าเครือข่าย TRUE และ AIS ตลอดการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ที่พื้นที่บริเวณ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย RSSI ตลอดการทดลองของเครือข่าย AIS อยู่ที่ประมาณ -56 dBm ซึ่งมีผลลัพธ์เฉลี่ยดีกว่าเครือข่าย TRUE ซึ่งอยู่ที่ประมาณ -60.7 dBm แสดงให้เห็นว่าระดับบ่งชี้ความแรงของเสาสัญญาณโดยพิจารณาจากสัญญาณรบกวนและพลังการให้บริการของเสาสัญญาณ AIS ในพื้นที่ที่ทดลองนั้นดีกว่าเครือข่ายของผู้ให้บริการ TRUE



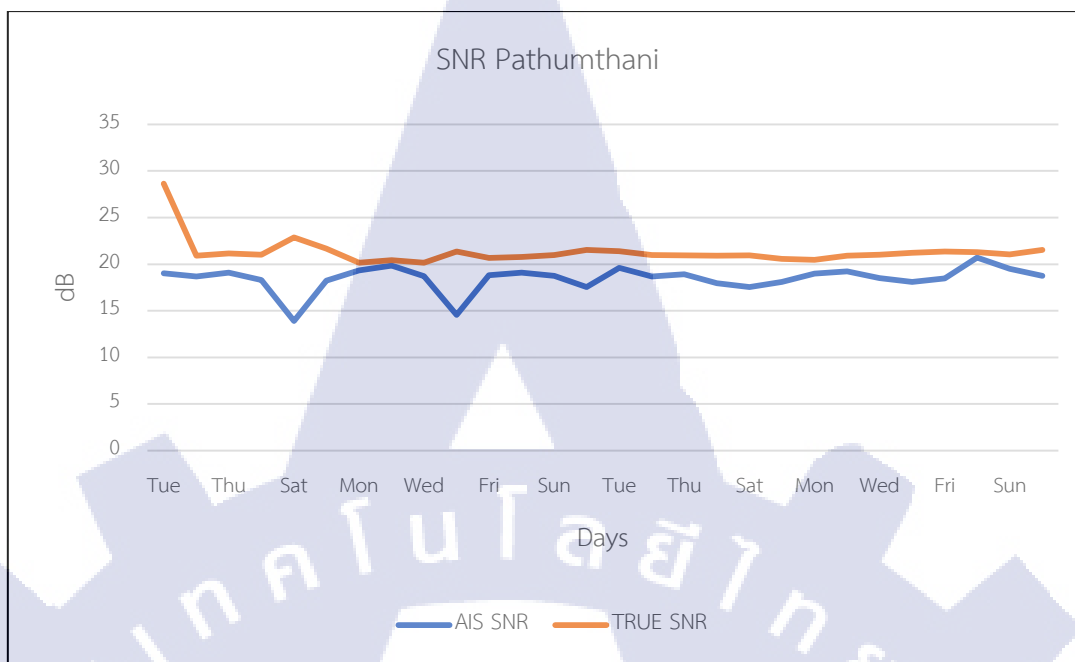
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSSI เครื่องข่าย TRUE และ AIS ที่จังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.15 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่าคุณภาพการให้บริการสัญญาณค่า RSRQ เฉลี่ยในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบค่าเครือข่าย TRUE และ AIS ตลอดการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ในพื้นที่บริเวณ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย RSRQ ตลอดการทดลองของเครือข่าย AIS อยู่ที่ประมาณ -11.6 dBm ส่วนเครือข่าย TRUE อยู่ที่ประมาณ -11.0 dBm แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของสัญญาณโดยภาพรวมของ TRUE ในพื้นที่ที่ทดลองนั้นดีกว่าเครือข่ายของผู้ให้บริการ AIS



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า RSRQ เครื่องข่าย TRUE และ AIS ที่จังหวัดปทุมธานี โดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.16 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่าคุณภาพการให้บริการสัญญาณค่า SNR เฉลี่ยในแต่ละวัน โดยเปรียบเทียบค่าเครือข่าย TRUE และ AIS ตลอดการทดลองเป็นเวลา 4 สัปดาห์ในพื้นที่บริเวณ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย SNR ตลอดการทดลองของเครือข่าย AIS อยู่ที่ประมาณ 18.4 dB ส่วนเครือข่าย TRUE อยู่ที่ประมาณ 21.3 dB แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของพลังสัญญาณต่อรบกวนของ TRUE ในพื้นที่ที่ทดลองนั้นดีกว่าเครือข่ายของผู้ให้บริการ AIS



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟผลลัพธ์เปรียบเทียบค่า SNR เครือข่าย TRUE และ AIS ที่จังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในแต่ละวันตลอดการทดลอง

4.2 สรุปผลผลลัพธ์การกราฟ

จากกราฟสรุปผลการวิจัยได้แบ่งผลลัพธ์ของการทดลองออกมาเป็นสองส่วนตามพื้นที่ที่ทดลองได้ดังนี้

4.2.1 ผลการวิจัยพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สำหรับพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นพบว่า ผลลัพธ์จากทดลองสำหรับเครือข่าย AIS และ TRUE มีผลลัพธ์ดังนี้

การ Ping จากเครือข่าย AIS ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์ IoT Cloud Platform ที่มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดเป็นอันดับแรกได้แก่ IBM Watson, IoTTweet และ Cloud Oracle ตามลำดับ

การ Ping จากเครือข่าย True ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์ IoT Cloud Platform ที่มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดเป็นสามอันดับแรกคือ ได้แก่ IBM Watson, IoTTweet และ Cloud Oracle ตามลำดับซึ่งเหมือนกับเครือข่าย AIS แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์

การ Ping จากเครือข่าย AIS ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์ IoT Cloud Platform ที่มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดเป็นสามอันดับแรก ได้แก่ IoTTweet, CloudOracle และ AISmagellan ตามลำดับ

การ Ping จากเครือข่าย True ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์ IoT Cloud Platform ที่มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดเป็นสามอันดับแรก ได้แก่ IBM Watson, IoTTweet และ CloudOracle ตามลำดับ

4.2.2 ผลการวิจัยพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานี

สำหรับพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานีพบว่า ผลลัพธ์จากทดลองสำหรับเครือข่าย AIS และ TRUE มีผลลัพธ์ดังนี้

การ Ping จากเครือข่าย AIS ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์ IoT Cloud Platform ที่มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดเป็นสามอันดับแรกคือ IoTTweet, CloudOracle และ AISmagellan ตามลำดับ

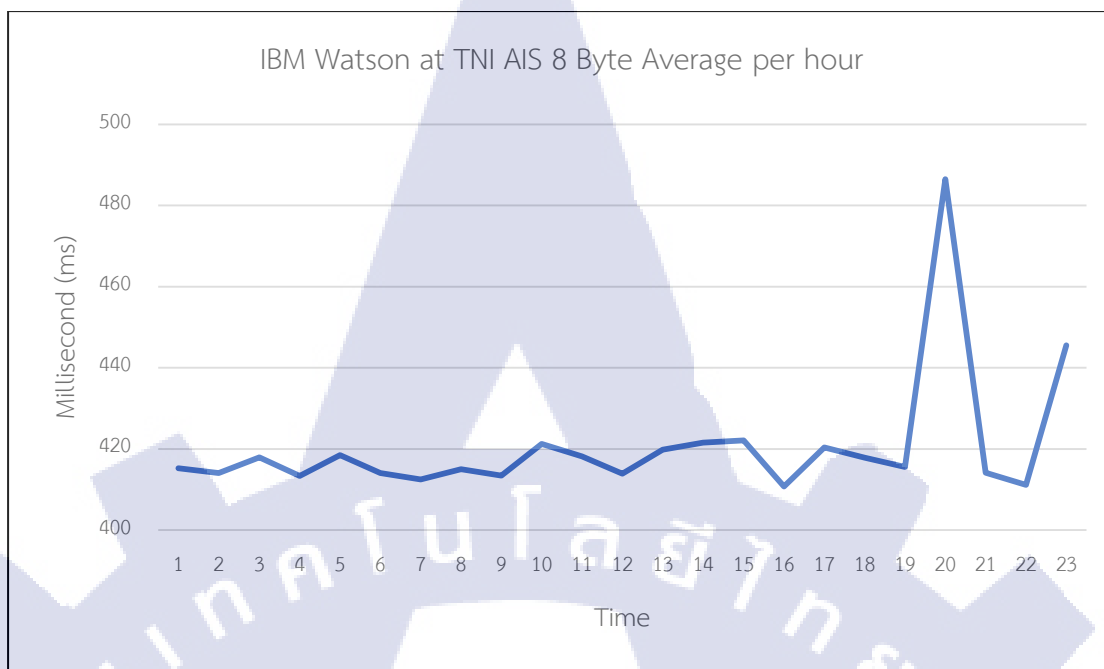
การ Ping จากเครือข่าย True ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์ IoT Cloud Platform ที่มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดเป็นสามอันดับแรกคือ คือ IBM Watson, IoTTweet และ CloudOracle

การ Ping จากเครือข่าย AIS ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์ IoT Cloud Platform ที่มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดเป็นสามอันดับแรกคือ คือ AISmagellan, ThingsBoard และ IoTTweet ตามลำดับ

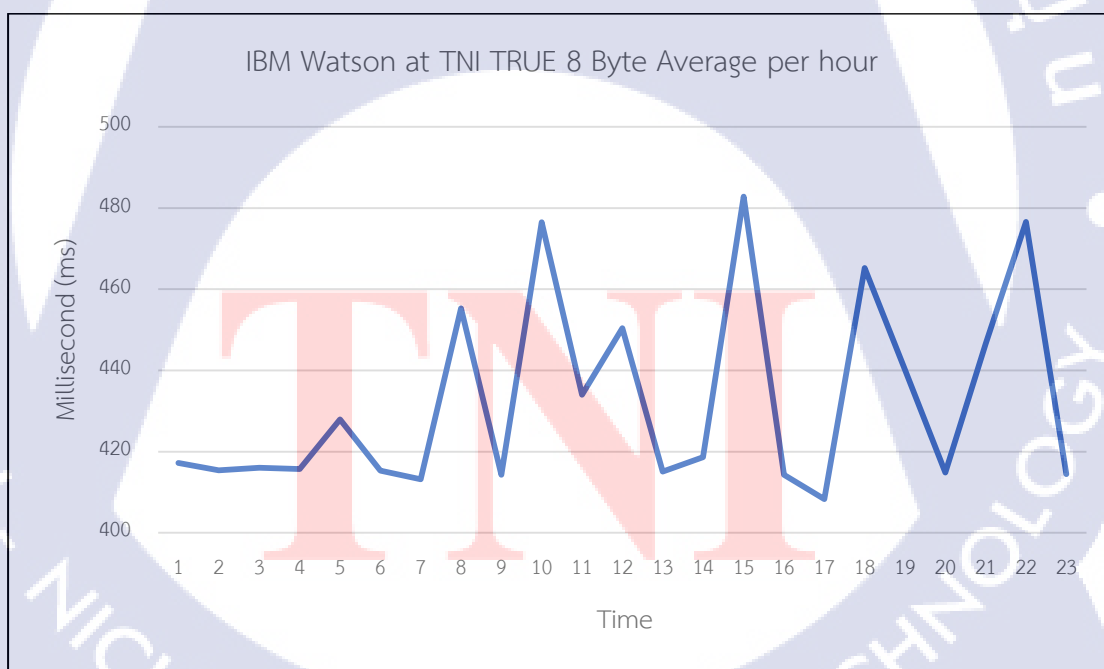
การ Ping จากเครือข่าย True ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์ IoT Cloud Platform ที่มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดเป็นสามอันดับแรกคือ คือ IBM Watson, IoTTweet และ AISmagellan ตามลำดับ

4.3 วิเคราะห์ผลลัพธ์การกราฟ

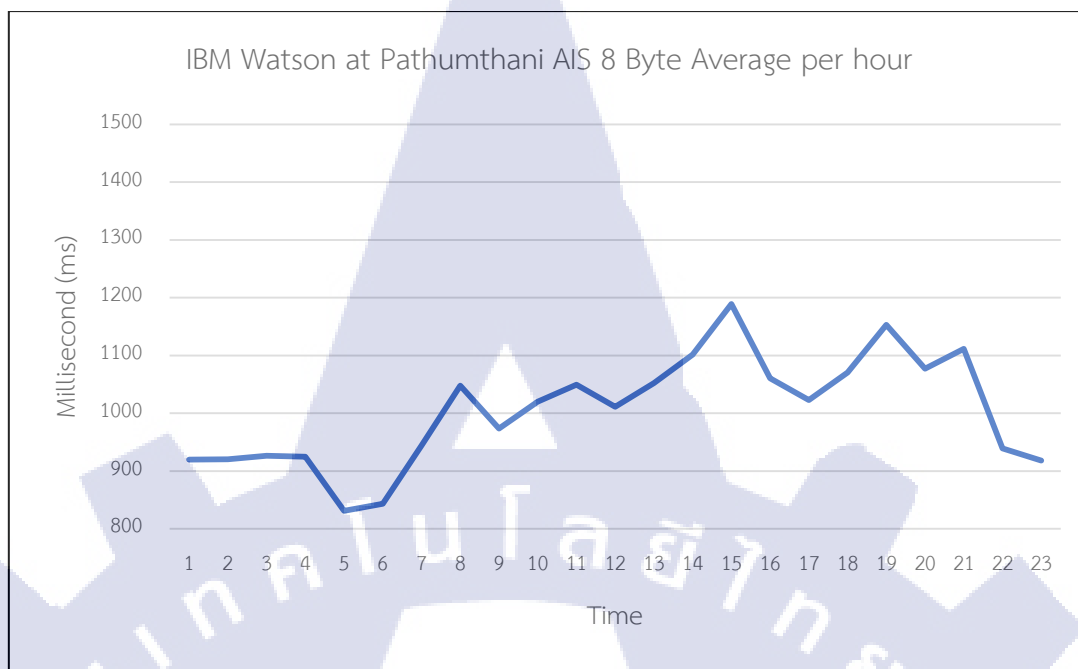
จากผลลัพธ์การทดลองได้ทำเสนอผลลัพธ์โดยเฉลี่ยแบบรายวันไปแล้ว ผู้วิจัยจึงลงหาค่าเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงของแต่ละวัน ซึ่งได้เลือกผลการทดลองจาก IBM Watson เพราะเป็น IoT Cloud Platform ที่มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดดังรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าในแต่ละช่วงเวลามีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากันโดยในช่วงเวลาบ่ายๆและช่วงเย็นๆมีค่า RTT โดยเฉลี่ยค่อนข้างช้ากว่าเวลาอื่น



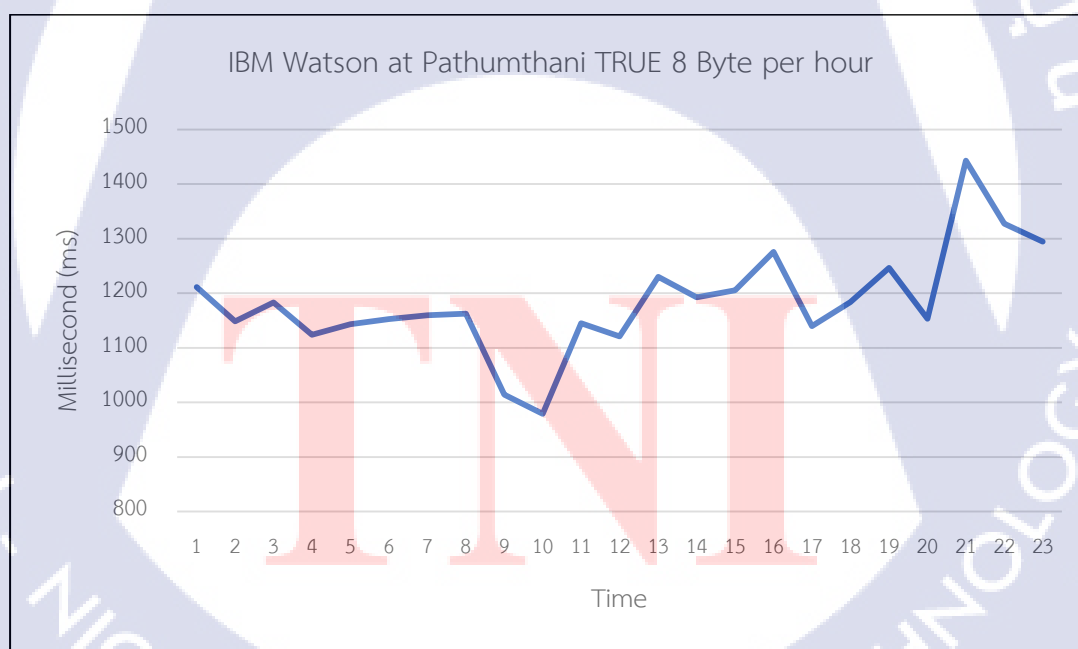
รูปที่ 4.17 แสดงกราฟผลการทดลองเครือข่าย AIS ขนาด 8 ไบต์ ที่สถาบันเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น โดยเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง



รูปที่ 4.18 แสดงกราฟผลการทดลองเครือข่าย TRUE ขนาด 8 ไบต์ ที่สถาบันเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น โดยเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง



รูปที่ 4.19 แสดงกราฟผลการทดลองเครือข่าย AIS ขนาด 8 ไบต์ ที่พื้นที่จังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง



รูปที่ 4.20 แสดงกราฟผลการทดลองเครือข่าย AIS ขนาด 8 ไบต์ ที่พื้นที่จังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง

ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์สองช่วงเวลา คือช่วงเวลาที่บ่ายตั้งแต่เวลา 11.00 – 15.00 นาฬิกา และช่วงเย็นตั้งแต่เวลา 17.00-21.00 นาฬิกา โดยเฉลี่ยในแต่ละวันแยกทั้ง TRUE และ AIS โดยพิจารณาจาก IoT Cloud Platform ที่มีค่า RTT เร็วที่สุด

จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์การทดลองพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น พบว่าในการทดลอง Ping ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์พบว่า IBM Watson มี RTT เฉลี่ยในช่วงเวลา 11.00 – 15.00 นาฬิกา และช่วงเวลา 17.00-21.00 นาฬิกาเร็วมากที่สุด และจากการทดลอง Ping ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์พบว่า เครือข่าย AIS นั้นทำงานร่วมกับ AISmagellan มี RTT เฉลี่ยในช่วงเวลา 11.00 – 15.00 นาฬิกา และช่วงเวลา 17.00-21.00 นาฬิกาเร็วที่สุดในขณะที่เครือข่าย TRUE นั้น RTT ที่เร็วที่สุดจะเป็น IBM Watson

ตารางที่ 4.1 แสดงแพลตฟอร์มที่มีค่า RTT เร็วที่สุดสำหรับแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์ที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นในแต่ละวัน

TNI 8 Byte	AIS afternoon	TRUE afternoon	AIS evening	TRUE evening
Mon	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson
Tue	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson
Wed	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson
Thu	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson
Fri	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson
Sat	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson
Sun	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson	IBM Watson

ตารางที่ 4.2 แสดงแพลตฟอร์มที่มีค่า RTT เร็วที่สุดสำหรับแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์ที่สถาบัน
เทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นในแต่ละวัน

TNI 1024 Byte	AIS afternoon	TRUE afternoon	AIS evening	TRUE evening
Mon	IoTtweet	TheThingio	AIsmagellan	TheThingio
Tue	AIsmagellan	IBM Watson	AIsmagellan	IBM Watson
Wed	AIsmagellan	GoogleIoT	AIsmagellan	IBM Watson
Thu	Thingsboard	IBM Watson	AIsmagellan	IBM Watson
Fri	AIsmagellan	IBM Watson	AIsmagellan	Thingsboard
Sat	AIsmagellan	IBM Watson	AIsmagellan	Cloudoracle
Sun	AIsmagellan	IBM Watson	AIsmagellan	IBM Watson

จากตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์การทดลองพื้นที่คลองหลวง คลองสอง
จังหวัดปทุมธานี พบว่าในการทดลอง Ping ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์พบว่า สำหรับเครือข่าย AIS นั้น
IoTtweet นั้น มี RTT เฉลี่ยในช่วงเวลา 11.00 – 15.00 นาฬิกา และช่วงเวลา 17.00-21.00 นาฬิกา
ค่อนข้างเร็ว ส่วน TRUE นั้นจะทำงานได้ค่อนข้างเร็วร่วมกับ IBM Watson และการทดลอง Ping
ด้วยแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์พบว่า เครือข่าย AIS นั้นทำงานร่วมกับ AIsmagellan มี RTT เฉลี่ย
ในช่วงเวลา 11.00 – 15.00 นาฬิกา และช่วงเวลา 17.00-21.00 นาฬิกาเร็วมากที่สุดในขณะที่
เครือข่าย TRUE นั้น RTT ที่เร็วที่สุดจะเป็น IBM Watson

TNI

ตารางที่ 4.3 แสดงแพลตฟอร์มที่มีค่า RTT เร็วที่สุดสำหรับแพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์ที่จังหวัดปทุมธานีในแต่ละวัน

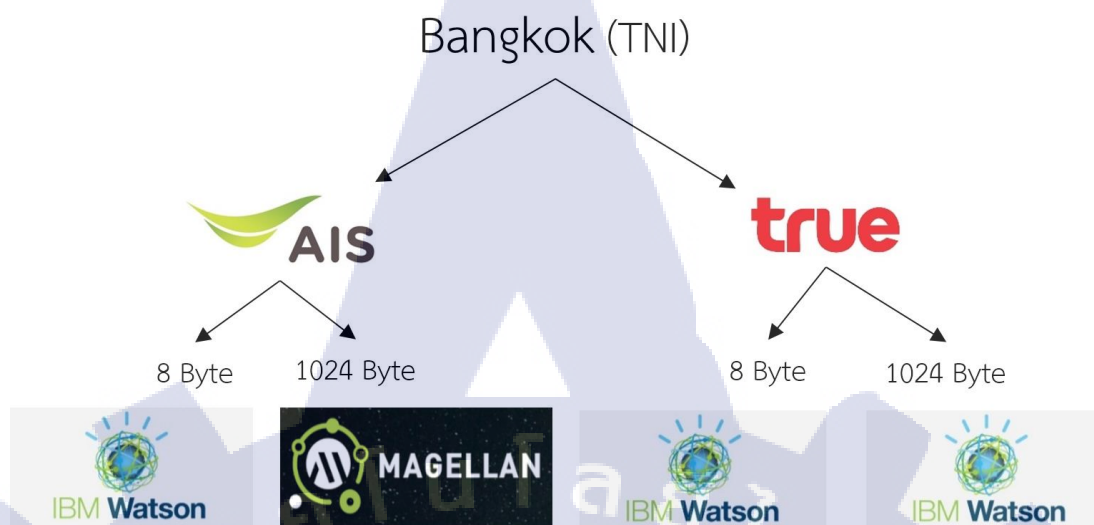
Pathumthani				
8 Byte	AIS afternoon	TRUE afternoon	AIS evening	TRUE evening
Tue	IBM Watson	IBM Watson	IoTtweet	IBM Watson
Wed	IoTtweet	IBM Watson	IoTtweet	IBM Watson
Thu	IoTtweet	Cloudoracle	Thingsboard	IBM Watson
Fri	IoTtweet	IBM Watson	AIsmagellan	IoTtweet
Sat	IoTtweet	IoTtweet	IoTtweet	Cloudoracle
Sun	IoTtweet	IBM Watson	IoTtweet	IoTtweet
Mon	IoTtweet	Cloudoracle	IoTtweet	Cloudoracle

ตารางที่ 4.4 แสดงแพลตฟอร์มที่มีค่า RTT เร็วที่สุดสำหรับแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์ที่จังหวัดปทุมธานีในแต่ละวัน

Pathumthani				
1024 Byte	AIS afternoon	TRUE afternoon	AIS evening	TRUE evening
Tue	AIsmagellan	Cloudoracle	AIsmagellan	IBM Watson
Wed	AIsmagellan	AIsmagellan	AIsmagellan	IBM Watson
Thu	AIsmagellan	IBM Watson	AIsmagellan	IBM Watson
Fri	AIsmagellan	IBM Watson	AIsmagellan	AIsmagellan
Sat	AIsmagellan	IoTtweet	AIsmagellan	IBM Watson
Sun	AIsmagellan	IoTtweet	AIsmagellan	IBM Watson
Mon	AIsmagellan	IBM Watson	AIsmagellan	IoTtweet

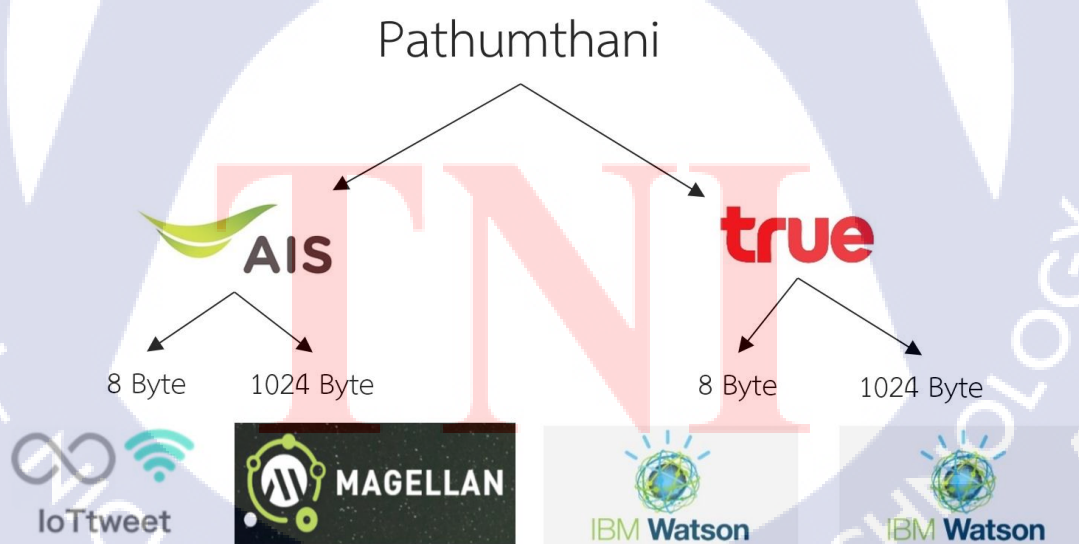
โดยผลลัพธ์จากการทดลอง AIS นั้นเมื่อทำงานร่วมกับ AISmagellan จะมี RTT ที่ค่อนข้างเร็วในหลายช่วงเวลาและ TRUE จะทำงานได้ดีเมื่อทำงานร่วมกับ IBM Watson แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ IoT Cloud Platform ที่เหมาะสมจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น

ซึ่งจากผลลัพธ์ข้างต้นจากพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในทั้งสองช่วงเวลาแสดงถึงลักษณะดังรูปที่ 4.21 คลาวด์ที่ทำงานได้ดีที่มี RTT ที่เร็วเป็นส่วนมากคือ IBM Watson และสำหรับ AIS แพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์นั้น AIS Magellan ทำงานได้รวดเร็วเร็วที่สุด



รูปที่ 4.21 แสดงผลลัพธ์จากพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นโดยเฉลี่ยในทั้งสองช่วงเวลา

ในส่วนของผู้พื้นที่คลองหลวงจังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในทั้งสองช่วงเวลา แสดงถึงลักษณะดังรูปที่ 4.22 สำหรับเครือข่าย TRUE นั้นคลาวด์ที่ทำงานได้ที่มี RTT ที่เร็วเป็นส่วนมากคือ IBM Watson และสำหรับ AIS แพ็กเก็ตขนาด 8 ไบต์นั้น IoTweet ทำงานได้เร็วที่สุดและแพ็กเก็ตขนาด 1024 ไบต์นั้น AIS Magellan ทำงานได้รวดเร็วเร็วที่สุด



รูปที่ 4.22 แสดงผลลัพธ์จากพื้นที่คลองหลวงจังหวัดปทุมธานีโดยเฉลี่ยในทั้งสองช่วงเวลา

บทที่ 5

บทสรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครือข่ายผู้ให้บริการ NB-IoT ผ่านแพลตฟอร์ม IoT ในประเทศไทย ซึ่งการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ตามบทที่ 1 ได้นำเสนอข้อสรุปตามลำดับดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 อภิปรายผลวิจัย

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย

5.4 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การใช้บริการเครือข่าย NB-IoT ของผู้ให้บริการทั้งสองได้แก่ TRUE และ AIS นั้นสามารถใช้งานได้ดีในพื้นที่สถานบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จังหวัดกรุงเทพมหานครและพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานี โดยคุณภาพการให้บริการเครือข่ายหรือการใช้งานเครือข่ายแต่ละผู้ให้บริการจะให้คุณภาพของการให้บริการที่แตกต่างกันโดยการทดลอง โดยจากพื้นที่สถานบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น แสดงให้เห็นว่าการใช้บริการเครือข่ายของ AIS ดีกว่ามีค่าเฉลี่ย RSSI, RSRP, RSRQ และ SNR ดีกว่าผู้ให้บริการ TRUE โดย IBM Watson มีค่าเฉลี่ย RTT เร็วที่สุดทั้ง 8 ไบต์และ 1024 ไบต์ จากการใช้บริการเครือข่ายทั้งสองผู้ให้บริการ ส่วนพื้นที่จังหวัดปทุมธานี การใช้บริการเครือข่าย TRUE และ AIS มีความใกล้เคียงหรือเครือข่าย TRUE ดีกว่าเล็กน้อย โดยผู้ให้บริการ AIS มี RSRP และ RSSI เฉลี่ยสูงกว่าและ TRUE มี RSRQ และ SNR สูงกว่า โดย IoTTweet มี RTT เฉลี่ยเร็วที่สุดสำหรับ AIS 8 ไบต์และ AISmagellan มี RTT เฉลี่ยเร็วที่สุดสำหรับ AIS 1,024 ไบต์ IBMwatson มีค่าเฉลี่ยเร็วที่สุดสำหรับ TRUE ทั้ง 8 ไบต์และ 1,024 ไบต์ และเมื่อพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะพบว่าการใช้งานเครือข่าย NB-IoT ในพื้นที่พื้นที่สถานบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นมีความเสถียรมากกว่าพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานี

5.2 อภิปรายผลวิจัย

5.2.1 เมื่อเปรียบเทียบด้านคุณภาพการให้บริการสัญญาณโดยพิจารณาจาก RSRP, RSSI, RSRQ และ SNR สำหรับพื้นที่สถานบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น และพื้นที่อำเภอคลองหลวงจังหวัดปทุมธานี ได้ดังนี้

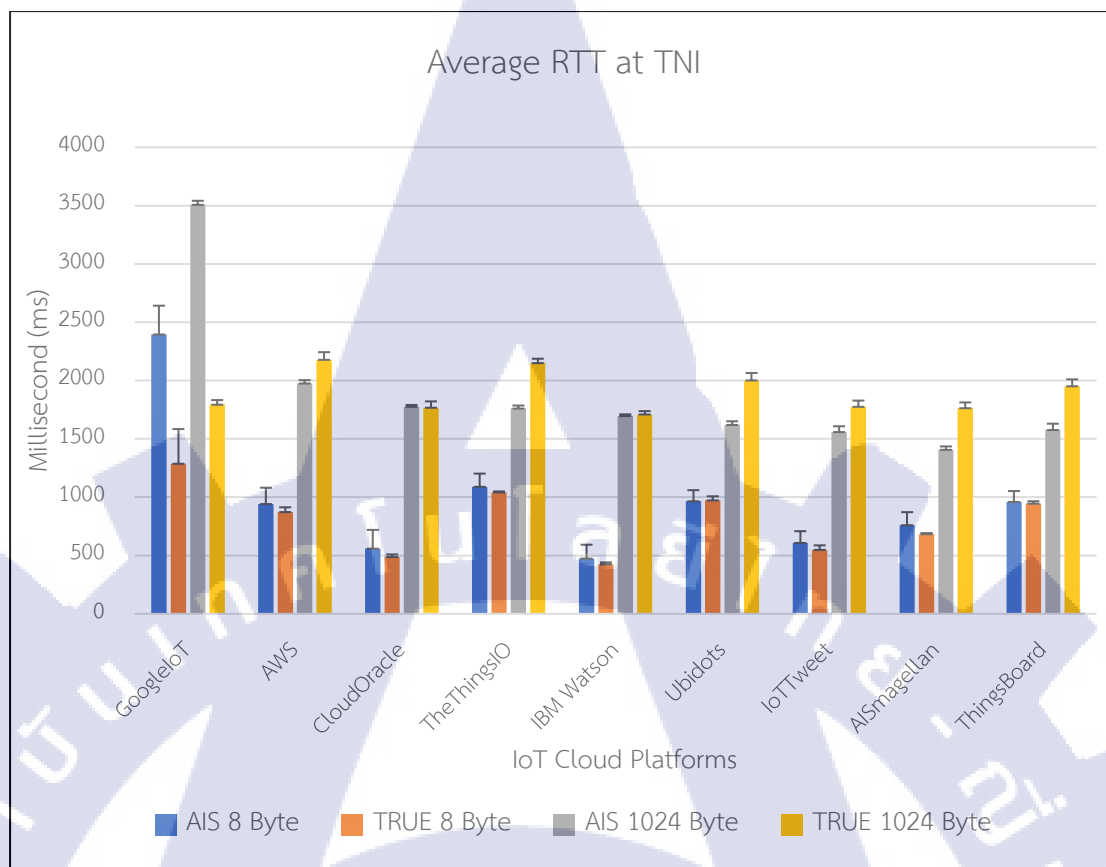
5.2.3.1 สำหรับพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ผลลัพธ์ค่า RSRP, RSSI, RSRQ และ SNR โดยเฉลี่ยแต่ละค่าของผู้ให้บริการเครือข่าย AIS ตลอดการทดลองนั้นมีค่าที่เฉลี่ยที่สูงกว่าเครือข่าย TRUE แสดงให้เห็นว่าการใช้บริการเครือข่าย AIS ในพื้นที่นี้นั้นดีกว่าการใช้บริการเครือข่าย TRUE

5.2.3.2 สำหรับพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานี ผลลัพธ์ค่า RSRP และ RSSI โดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการเครือข่าย AIS ตลอดการทดลองนั้นมีค่าที่เฉลี่ยที่สูงกว่าเครือข่าย TRUE ในส่วนของ ผลลัพธ์ค่า RSRQ และ SNR โดยเฉลี่ยของผู้ให้บริการเครือข่าย TRUE ตลอดการทดลองนั้นมีค่าที่เฉลี่ยที่สูงกว่าเครือข่าย AIS แสดงให้เห็นว่าในการใช้บริการในพื้นที่นี้นั้นผลลัพธ์จากการทดลองมีความใกล้เคียงกันหรือการให้บริการของผู้ให้บริการเครือข่าย TRUE ดีกว่าเล็กน้อย

5.2.2 เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่า RTT จากใช้งานเครือข่าย NB-IoT ของผู้ให้บริการเครือข่าย ในสองพื้นที่จากอุปกรณ์ไปยัง IoT Cloud Platform โดยเฉลี่ยทั้ง AIS และ TRUE ผลลัพธ์ RTT โดยเฉลี่ยจากการวิจัยของทั้งเครือข่ายที่พื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นค่า RTT อยู่ที่ประมาณ 890 มิลลิวินาที สำหรับ 8 ไบต์ และ 1,880 มิลลิวินาที สำหรับ 1,024 ไบต์ ในขณะที่การวิจัยที่พื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานีค่า RTT เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1,530 มิลลิวินาทีสำหรับ 8 ไบต์ และ 2,800 มิลลิวินาที สำหรับ 1,024 ไบต์ ซึ่งจากผลลัพธ์จะพบว่าความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการสื่อสารระหว่าง อุปกรณ์และ IoT Cloud Platforms ต่างๆนั้น ในพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น นั้นมีค่า RTT ความเร็วเฉลี่ยสูงกว่าพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานี อยู่พอสมควร และเมื่อพิจารณาจากส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานจะพบว่าพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานีมีค่าสูงกว่าพื้นที่สถาบัน เทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น แสดงให้เห็นว่าการใช้บริการเครือข่าย NB-IoT ในพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จะมี RTT เฉลี่ยเร็วกว่าและมีความเสถียรมากกว่าพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานี

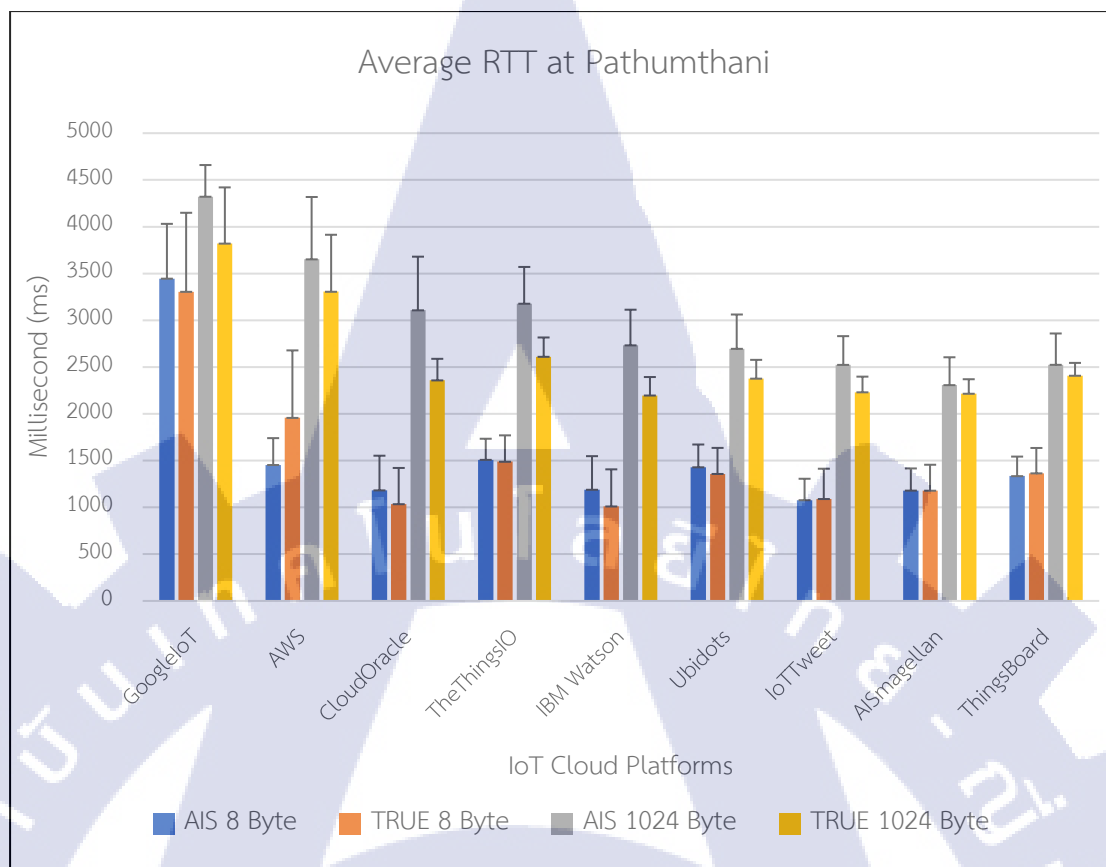
5.2.3 แนะนำผู้ใช้งานเนื่องจากผลลัพธ์การวิจัยโดยพิจารณาจากค่า RTT จะแสดงให้เห็น ถึงแนวโน้มของความน่าใช้งานของ IoT Cloud Platforms ที่มากกว่า ซึ่งจะเหมาะกับระบบที่ ต้องการความรวดเร็วในการตอบกลับที่สูงโดยขนาดแพ็กเก็ตจะช่วยบอกถึงขนาดของข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน แบ่งออกเป็นสองพื้นที่

5.2.3.1 สำหรับพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นมีผลลัพธ์การทดลองเฉลี่ยดังรูปที่ 5.1 ผลลัพธ์จากทดลอง IBM Watson มีค่า RTT เร็วที่สุดสำหรับเครือข่าย TRUE 8 ไบต์และ 1024 ไบต์ และเครือข่าย AIS 8 ไบต์ ส่วน AIS Magellan มีค่า RTT เร็วที่สุดสำหรับ 1024 ไบต์และเมื่อ พิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะพบว่าไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับทดลองที่พื้นที่ ปทุมธานี



รูปที่ 5.1 แสดงค่าเฉลี่ย RTT แต่ละ IoT Cloud Platform ที่สถาบันเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น

5.2.3.2 สำหรับพื้นที่คลองหลวง คลองสอง จังหวัดปทุมธานีมีผลลัพธ์การทดลองเฉลี่ย ดังรูปที่ 5.2 IBM Watson มีค่า RTT เร็วที่สุดสำหรับเครือข่าย TRUE 8 ไบต์และ 1024 ไบต์และ IoT Tweet มีค่า RTT เร็วที่สุดสำหรับเครือข่าย AIS 8 ไบต์ และ AIS Magellan มีค่า RTT เร็วที่สุดสำหรับเครือข่าย AIS 1024 ไบต์และเมื่อพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะพบว่ามีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น



รูปที่ 5.2 แสดงค่าเฉลี่ย RTT แต่ละ IoT Cloud Platform ที่พื้นที่ปทุมธานี

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงานวิจัย

5.3.1 การทดลองจะต้องเปิดคอมพิวเตอร์ตลอดเวลาของการทดลองซึ่งหากเกิดไฟดับจะทำให้การทดลองไม่ต่อเนื่องหรืออาจจะมีข้อมูลสูญหาย ควรมีเครื่องสำรองไฟฟ้าเพื่อไว้ในกรณีฉุกเฉิน

5.4 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

5.4.1 สำหรับการวิจัย สามารถเพิ่มพื้นที่ในการวิจัยขึ้น เช่น ในจังหวัดที่ไกลออกไปจากตัวเมืองหรือพื้นที่ชนบท หรือจะเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทดลอง เพิ่มช่วงขนาดแพ็กเก็ตหรือจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองให้มากขึ้นหรือเปลี่ยน IoT Cloud Platform ที่นำมาใช้ในการวิจัย ซึ่งจะทำให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการวิจัยได้ดีขึ้นและมีความแม่นยำที่มากขึ้น

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] Huawei, “NB-IoT-Enabling New Business Opportunities,” [Online]. Available : <http://www.huawei.com/minisite/4-5g/img/NB-IOTpdf>. [Accessed : April 24, 2019].
- [2] J. Chen et al., “Narrow-band internet of things: implementations and applications,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 6, pp. 1–1, October 2017.
- [3] L. Alliance, “LPWA Technologies Unlock New IoT Market Potential,” [Online]. Available : <https://docplayer.net/23382599-Lpwa-technologies-unlock-new-iot-market-potential-a-white-paper-prepared-for-the-lora-alliance.html>. [Accessed: May 8, 2019].
- [4] 3GPP, “TR 45.820 (Rel-13, 495 p.) – on Cellular Internet of Things.” [Online]. Available: <https://www.tech-invite.com/3m45/tinv-3gpp-45-820.html>. [Accessed: July 19, 2019].
- [5] A. R. Biswas and R. Giaffreda, “IoT and cloud convergence: opportunities and challenges,” in *2014 IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2014*, Seoul, South Korea, March 6-8, 2014, pp. 375–376.
- [6] A. Adhikary et al., “Performance evaluation of NB-IoT coverage,” in *2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference, VTC-Fall 2016*, Montreal, QC, Canada, September 18-21, 2016, pp. 1–5.
- [7] J. Gozalvez, “New 3 GPP standard for IoT [Mobile Radio],” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 11, no. 1, pp. 14–20, March 2016.
- [8] A. D. Zayas and P. Merino, “The 3GPP NB-IoT system architecture for the internet of things,” in *2017 IEEE International Conference on Communications Workshops ICC Workshops 2017*, Paris, France, May 21-25, 2017, pp. 277–282.
- [9] R. Sinha et al., “A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,” *ICT Express*, vol. 3, no. 1, pp. 14-21, March 2017.
- [10] S. M. Babu et al., “A study on cloud based internet of things: cloudIoT,” *Proceedings of 2015 Global Conference on Communication Technologies, GCCT 2015*, Thuckalay, India, April 23-24, 2015, pp. 60-65.

- [11] T. Pflanzner and A. Kertesz, "A survey of IoT cloud providers," in *2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2016*, Opatija, Croatia, May 30 – June 3, 2016, pp. 730–735.
- [12] S. Chimmanee et al., "The mobile technologies performance comparison for Internet services in bangkok," in *2015 7th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering, ICITEE 2015*, Chiang Mai, Thailand, October 29-30, 2015, pp. 337–342.
- [13] S. Chimmanee and P. Patpituck, "Analysis in the internet traffic pattern based on RTT over ADSL in Thailand," in *The International Conference on Information Networking 2013, ICOIN 2013*, Bangkok, Thailand, January 28-30 2013, pp. 583–588.
- [14] P. P. Ray, "A survey of IoT cloud platforms," *Future Computing and Informatics Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 35–46, December 2016.

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.
โค้ดโปรแกรม

TNI

โค้ดโปรแกรมเก็บข้อมูลภาษา Python

```
import serial
import time
import csv
import datetime

ser = serial.Serial('com3',
                    baudrate=9600,
                    timeout=2,
                    parity=serial.PARITY_NONE,
                    stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
                    bytesize=serial.EIGHTBITS)

ser.flushInput()
datetime.datetime.now()

while True:
    while ser.in_waiting:
        rawdata = (ser.readline())
        rawdata2 = str(rawdata)[2:-1]
        if "\\\" in rawdata2:
            index = rawdata2.index("\\\")
            rawdata2 = rawdata2[0:index]
        if rawdata2 == "For show Time":
            CurrentTime = datetime.datetime.now()
            print(CurrentTime)
            with open('people.csv', 'a') as writeFile:
                writer = csv.writer(writeFile)
                writer.writerow([CurrentTime])
            break
        print(rawdata2)
        with open('people.csv', 'a') as writeFile:
            writer = csv.writer(writeFile)
```

```
writer.writerow([rawdata2])  
time.sleep(1)
```



โค้ดภาษา C++ โปรแกรมบนบอร์ด Arudino

```
#include "AIS_NB_BC95.h"
#include <AltSoftSerial.h>

AltSoftSerial Serial2;
//AltSoftSerial mega;

String iotTweetIP = "35.185.177.33"; //us
String thingboardIP = "91.195.240.82"; //us //Thingboard
String aismagellanIP = "103.20.205.86"; //th //MAGELLAN
String ubidotIP = "50.23.124.68"; //https://app.ubidots.com
String awsamazon = "52.46.157.11";
String cloudoracle = "184.27.249.3";
String TheThingio = "104.199.94.203"; //https://thethings.io/
String IBMWATSOT = "104.90.229.165"; //cloud.ibm.com
String google = "172.217.31.78";
String serverPort = "5683"; // Your Server Port
AIS_NB_BC95 AISnb;

void setup()
{
  AISnb.debug = true;
  Serial.begin(9600);
  Serial2.begin(9600);
  AISnb.setupDevice(serverPort);
  String ip1 = AISnb.getDeviceIP();
  delay(1000);
```

```
}  
void loop()  
{  pingRESP pingR;  
  Serial.println("For show Time");  
  pingR = AISnb.pingIP(google);  
  delay(500);  
  pingR = AISnb.pingIP(awsamazon);  
  delay(500);  
  pingR = AISnb.pingIP(cloudoracle);  
  delay(500);  
  pingR = AISnb.pingIP(TheThingio);  
  delay(500);  
  pingR = AISnb.pingIP(IBMWATSOT);  
  delay(500);  
  pingR = AISnb.pingIP(ubidotIP);  
  delay(500);  
  pingR = AISnb.pingIP(iotTtweetIP);  
  delay(500);  
  pingR = AISnb.pingIP(aismagellanIP);  
  delay(500);  
  pingR = AISnb.pingIP(thingboardIP);  
  delay(500);  
  AISnb.CellStat(); //rsrp  
  AISnb.getSignal(); //rssi  
  Serial.print(AISnb.UeStat8()+"\n"); //rsrq  
  AISnb.UeStat11(); //snr  
  
  delay(60000);  
}
```


โค้ดสำหรับรับข้อมูลจากอุปกรณ์

AIS_NB_BC95.h

```
#ifndef AIS_NB_BC95_h
#define AIS_NB_BC95_h
#define ATLSOFTSERIAL 1
#include <Arduino.h>
#include <Stream.h>
#define MODE_STRING 0
#define MODE_STRING_HEX 1
#if ATLSOFTSERIAL
    #include "AltSoftSerial.h"
#endif
struct AIS_NB_BC95_RES
{
    unsigned char status;
    String data;
    String temp;
};
struct signal
{
    String csq;
    String rssi;
    String ber;
};
struct UDPSend
{
    bool status;
    String strsend;
    unsigned char socket;
```

```

        unsigned int length;
    };
    struct UDPReceive
    {
        unsigned char socket;
        String ip_address;
        unsigned int port;
        unsigned int length;
        String data;
        unsigned int remaining_length;
    };
    struct pingRESP
    {
        bool status;
        String addr;
        String ttl;
        String rtt;
    };
    class AIS_NB_BC95
    {
    public:
        AIS_NB_BC95();
        bool debug;
        void (*Event_debug)(char *data);
        void reset();
        void rebootModule();
        bool waitReady();
        bool setPhoneFunction(unsigned char mode);
        String getFirmwareVersion();
        String getIMEI();
        String getIMSI();
    };

```

```

pingRESP pingIP(String IP);
bool setAutoConnectOn();
bool setAutoConnectOff();
String getAutoConnect();
String getNetworkStatus();
//bool setAPN(String apn);
String getAPN();
bool cgatt(unsigned char mode);
bool getNBConnect();
void setupDevice(String serverPort);
bool attachNB(String serverPort);
bool detachNB();
String getDeviceIP();
signal getSignal();
void createUDPSocket(String port);
UDPSend sendUDPmsg(String addressl,String port,String data);
UDPSend sendUDPmsg(String addressl,String port,unsigned int len,char
*data,unsigned char send_mode);
UDPSend sendUDPmsgStr(String addressl,String port,String data);
bool closeUDPSocket();
UDPReceive waitResponse();
void printHEX(char *str);
String toString(String dat);
String str2HexStr(String strin);
char char_to_byte(char c);
void receive_UDP(UDPReceive rx);
void CellStat();
String UeStat8();
void UeStat11();
private:
AIS_NB_BC95_RES wait_rx_bc(long tout,String str_wait);

```

```
protected:
    Stream *_Serial;
};
#endif
```

AIS_NB_BC95.cpp

```
#include "AIS_NB_BC95.h"
String input;
String buffer;
byte k=0;
bool end=false;
bool send_NSOMI=false;
bool flag_rcv=true;
bool en_rcv=false;
unsigned long previous=0;
unsigned char sendMode = 0;
String sendStr;
void event_null(char *data){}
AltSoftSerial myserial;
AIS_NB_BC95::AIS_NB_BC95()
{
    Event_debug = event_null;
}
void AIS_NB_BC95:: setupDevice(String serverPort)
{
    myserial.begin(9600);
    _Serial = &myserial;
    Serial.println(F("##### AIS_NB_BC95 Library by AIS/DEVI V1.0.5
```

```

#####");
    reset();
    String imei = getIMEI();
    if (debug) Serial.print(F("# Module IMEI--> "));
    if (debug) Serial.println(imei);
    String fmver = getFirmwareVersion();
    if (debug) Serial.print(F("# Firmware ver--> "));
    if (debug) Serial.println(fmver);
    String imsi = getIMSI();
    if (debug) Serial.print(F("# IMSI SIM--> "));
    if (debug) Serial.println(imsi);
    attachNB(serverPort);
    createUDPSocket(serverPort);
}

void AIS_NB_BC95:: reset()
{
    rebootModule();
    while (!setPhoneFunction(1))
    {
        Serial.print(F("."));
    }
    Serial.println();
}

void AIS_NB_BC95:: rebootModule()
{
    //delay(1000);
    _Serial->println(F("AT"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
    _Serial->println(F("AT+NRB"));
    if (debug) Serial.print(F("# Reboot Module"));
    while (!waitReady());
}

```

```
{
    if (debug) Serial.print(F("."));
}
_Serial->flush();
delay(5000);
}
bool AIS_NB_BC95:: waitReady()
{
    static bool reset_state=false;
    if(_Serial->available())
    {
        String input = _Serial->readStringUntil('\n');
        if(input.indexOf(F("OK"))!=-1)
        {
            return(true);
        }
    }
    return(false);
}
bool AIS_NB_BC95:: setPhoneFunction(unsigned char mode)
{
    _Serial->print(F("AT+CFUN="));
    _Serial->println(mode);
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
    delay(2000);
    return(res.status);
}
String AIS_NB_BC95:: getIMEI()
{
    String out;
    _Serial->println(F("AT+CGSN=1"));
```

```

AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
out = res.temp;
out.replace(F("OK"), "");
if (out.length() < 7)
{
    return "";
}
out = out.substring(7,out.length());
res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
return (out);
}

String AIS_NB_BC95:: getFirmwareVersion()
{
    _Serial->println(F("AT+CGMR"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
    String out = res.temp;
    //if (debug){Serial.println(out);}
    out.replace(F("OK"), "");
    out = out.substring(0,out.length());
    //out = out.substring(10,28);
    res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
    return (out);
}

String AIS_NB_BC95:: getIMSI()
{
    _Serial->println(F("AT+CIMI"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
    String out = res.temp;
    out.replace(F("OK"), "");
    out = out.substring(0,out.length());
    res = wait_rx_bc(500,F("OK"));

```



```

        return (out);
    }
    pingRESP AIS_NB_BC95:: pingIP(String IP)
    {
        pingRESP pingr;
        String data = "";
        _Serial->println("AT+NPING=" + IP+",8"+",20000");
        AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(20000,F("+NPING"));
        if(res.status)
        {
            data = res.data;
            _Serial->println(data);
            int index = data.indexOf(F(":"));
            int index2 = data.indexOf(F(","));
            int index3 = data.indexOf(F(","),index2+1);
            pingr.status = true;
            pingr.addr = data.substring(index+1,index2);
            pingr.ttl = data.substring(index2+1,index3);
            pingr.rtt = data.substring(index3+1,data.length());
            //Serial.println("# Ping Success");
            if (debug) Serial.println(pingr.rtt);
        }else { if (debug) Serial.println(",Ping Failed");}
        res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
        return pingr;
    }
    String AIS_NB_BC95:: getDeviceIP()
    {
        String data = "";
        _Serial->println(F("AT+CGPADDR"));
        AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(3000,F("+CGPADDR"));
        if(res.status)

```

```

{
    data = res.data;
    int index = data.indexOf(F(":"));
    int index2 = data.indexOf(F(","));
    data = res.data.substring(index2+1,data.length());
    if (debug) Serial.println("# Device IP: "+data);
}else {data = "";}
res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
return data;
}

bool AIS_NB_BC95:: setAutoConnectOn()
{
    _Serial->println(F("AT+NCONFIG=AUTOCONNECT,TRUE"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
    return(res.status);
}

bool AIS_NB_BC95:: setAutoConnectOff()
{
    _Serial->println(F("AT+NCONFIG=AUTOCONNECT,FALSE"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
    return(res.status);
}

String AIS_NB_BC95:: getNetworkStatus()
{
    String out = "";
    String data = "";
    _Serial->println(F("AT+CEREG=2"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
    _Serial->println(F("AT+CEREG?"));
    res = wait_rx_bc(2000,F("+CEREG"));
    if(res.status)

```

```

{
    data = res.data;
    int index = data.indexOf(F(":"));
    int index2 = data.indexOf(F(","));
    int index3 = data.indexOf(F(","),index2+1);
    out = data.substring(index2+1,index2+2);
    if (out == F("1"))
    {
        out = F("Registered");
    }else if (out == "0")
    {
        out = F("Not Registered");
    }else if (out == "2")
    {
        out = F("Trying");
    }
    if (debug) Serial.println("# Get Network Status : " + out);

}
res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
_Serial->flush();
return(out);
}
/*
bool AIS_NB_BC95:: setAPN(String apn)
{
    String cmd = "AT+CGDCONT=1,\"IP\",";
    cmd += "\"" + apn + "\"";
    _Serial->println(cmd);
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
    return(res.status);
}

```

```

}*/

String AIS_NB_BC95:: getAPN()
{
    String data="";
    String out="";
    _Serial->println(F("AT+CGDCONT?"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(2000,F("+CGDCONT"));
    if(res.status)
    {
        int index=0;
        int index2=0;
        data = res.data;
        index = data.indexOf(F(":"));
        index2 = data.indexOf(F(","));

        index = res.data.indexOf(F(","),index2+1);
        index2 = res.data.indexOf(F(","),index+1);
        out = data.substring(index+2,index2-1);
        Serial.println("# Get APN: " + out);
    }
    res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
    return(out);
}

bool AIS_NB_BC95:: attachNB(String serverPort)
{
    bool ret=false;
    if(!getNBConnect())
    {
        if (debug) Serial.print(F("# Connecting NB-IoT Network"));
        for(int i=1;i<60;i+=1)

```

```

{
    setPhoneFunction(1);
    setAutoConnectOn();
    cgatt(1);
    delay(3000);
    if(getNBConnect())
    {
        ret=true;
        break;
    }
    Serial.print(F("."));
}
} else
{
    return true;
}
if (ret)
{
    if (debug) Serial.print(F("> Connected"));
    createUDPSocket(serverPort);
}
else {
    if (debug) Serial.print(F("> Disconnected"));
}
if (debug)
Serial.println(F("\n#####
###"));
return ret;
}
bool AIS_NB_BC95:: detachNB()
{

```

```

bool ret=false;
_Serial->flush();
if (debug) Serial.print(F("# Disconnecting NB-IoT Network"));
cgatt(0);
delay(1000);
for(int i=1;i<60;i+=1)
{
    Serial.print(F("."));
    if(!getNBConnect())
    { ret=true; break;}
}
if (debug) Serial.println(F("> Disconnected"));
return ret;
}

bool AIS_NB_BC95:: cgatt(unsigned char mode)
{
    _Serial->print("AT+CGATT=");
    _Serial->println(mode);
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(5000,F("OK"));
    return(res.status);
}

bool AIS_NB_BC95:: getNBConnect()
{
    _Serial->println(F("AT+CGATT?"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("+CGATT"));
    bool ret;
    if(res.status)
    {
        if(res.data.indexOf(F("+CGATT:0"))!=-1)
            ret = false;

        if(res.data.indexOf(F("+CGATT:1"))!=-1)

```

```

        ret = true;
    }
    res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
    return(ret);
}
void AIS_NB_BC95:: CellStat()
{
    _Serial->println(F("AT+NUESTATS=CELL"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("NUESTATS"));
    String data= res.data;
    int index1 = data.indexOf(F(","));
    int index2 = data.indexOf(F(","),index1+1);
    int index3 = data.indexOf(F(","),index2+1);
    int index4 = data.indexOf(F(","),index3+1);
    int index5 = data.indexOf(F(","),index4+1);
    int index6 = data.indexOf(F(","),index5+1);
    String x=data.substring(index4+1,index5);
    Serial.println(x);
    res = wait_rx_bc(500,F(""));
}
String AIS_NB_BC95:: UeStat8()
{
    String x="";
    _Serial->println(F("AT+NUESTATS=RADIO"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("SNR"));
    x =res.data.substring(19);
    res = wait_rx_bc(500,F(""));
    return (x);
}
void AIS_NB_BC95:: UeStat11()
{

```



```

        _Serial->println(F("AT+NUESTATS=RADIO"));
        AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("RSRQ"));
        String x=res.data;
        x=x.substring(20);
        Serial.println(x);
        res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
    }
    signal AIS_NB_BC95:: getSignal()
    {
        _Serial->println(F("AT+CSQ"));
        AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("+CSQ"));
        signal sig;
        int x = 0;
        String tmp;
        if(res.status)
        {
            if(res.data.indexOf(F("+CSQ"))!=-1)
            {
                int index = res.data.indexOf(F(":"));
                int index2 = res.data.indexOf(F(","));
                tmp = res.data.substring(index+1,index2);
                if (tmp == F("99"))
                {
                    sig.csq = F("N/A");
                    sig.rssi = F("N/A");
                }
                else
                {
                    sig.csq = tmp;
                    x = tmp.toInt();
                    x = (2*x)-113;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        sig.rssi = String(x);
    }
    sig.ber = res.data.substring(index2+1);
    if (debug) Serial.println(sig.rssi);
}
}
res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
return(sig);
}

void AIS_NB_BC95:: createUDPSocket(String port)
{
    _Serial->print(F("AT+NSOCR=DGRAM,17,"));
    _Serial->println(port+",1");
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(3000,F("OK"));

    delay(3000);
    res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
}

UDPSend AIS_NB_BC95:: sendUDPmsg( String addressl,String port,unsigned int
len,char *data,unsigned char send_mode)
{
    sendMode = send_mode;

    UDPSend ret;
    if(!attachNB(port))
    {
        if (debug) Serial.println("# >Disconnected");
        return ret;
    }

    if (debug)
Serial.println(F("\n#####

```

```

#####");
    if (debug) Serial.print(F("# Sending Data IP="));
    if (debug) Serial.print(address);
    if (debug) Serial.print(F(" PORT="));
    if (debug) Serial.print(port);
    if (debug) Serial.println();
    _Serial->print(F("AT+NSOST=0"));
    //if (debug) Serial.print(F("AT+NSOST=0"));
    _Serial->print(F(",");
    //if (debug) Serial.print(",");
    _Serial->print(address);
    //if (debug)Serial.print(address);
    _Serial->print(F(",");
    //if (debug)Serial.print(",");
    _Serial->print(port);
    //if (debug) Serial.print(port);
    _Serial->print(F(",");
    //if (debug)Serial.print(",");
    if(send_mode == MODE_STRING_HEX)
    {
        _Serial->print(String(len/2));
        //if (debug) Serial.print(String(len/2));
    }
    else
    {
        _Serial->print(String(len));
        //if (debug) Serial.print(String(len));
    }

    _Serial->print(F(",");
    if (debug) Serial.print(F("# Data="));

```

```

        if(send_mode == MODE_STRING_HEX)
        {
            for(int i=0;i<len;i++)
            {
                _Serial->print(data[i]);
                if (debug) Serial.print(data[i]);
            }
        }
        if(send_mode == MODE_STRING)
        {
            printHEX(data);
        }
        _Serial->println();
        if (debug) Serial.println();
        AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(5000,F("OK"));
        ret.status = false;
        ret.socket = 0;
        ret.length = 0;
        if(res.status)
        {
            ret.status = true;
            int index = res.temp.indexOf(F(";"));
            int index2 = res.temp.indexOf(F("O"));
            ret.socket = res.temp.substring(index-1,index).toInt();
            ret.length = res.temp.substring(index+1,index2).toInt();
            if (debug) Serial.println("# Send OK");
        }
        else {if (debug) Serial.println("# Send ERROR");}
        return(ret);
    }
    UDPReceive AIS_NB_BC95:: waitResponse()
    {

```

```

unsigned long current=millis();
UDPReceive rx_ret;
if(en_rcv && (current-previous>=250) && !(_Serial->available()))
{
    _Serial->println(F("AT+NSORF=0,100"));
    //Serial.println(F("AT+NSORF=0,100"));
    previous=current;
}
if(_Serial->available())
{
    char data=(char)_Serial->read();
    if(data=='\n' || data=='\r')
    {
        if(k>2)
        {
            end=true;
            k=0;
        }
        k++;
    }
    else
    {
        input+=data;
    }
    //if(debug) Serial.println(input);
}
if(end){
    if(input.indexOf(F("+NSONMI:"))!=-1)
    {
        //if(debug) Serial.print(F("send_NSOMI: "));
        //if(debug) Serial.println(input);
    }
}

```

```

if(input.indexOf(F("+NSONMI:"))!=-1)
{
    //if(debug) Serial.print(F("found NSONMI "));
    _Serial->println(F("AT+NSORF=0,100"));
    input=F("");
    send_NSOMI=true;
}
end=false;
}
else
{
    //if(debug) Serial.print(F("get buffer: "));
    //if(debug) Serial.println(input);
    end=false;

    int index1 = input.indexOf(F(","));
    if(index1!=-1)
    {
        int index2 = input.indexOf(F(","),index1+1);
        int index3 = input.indexOf(F(","),index2+1);
        int index4 = input.indexOf(F(","),index3+1);
        int index5 = input.indexOf(F(","),index4+1);
        int index6 = input.indexOf(F("\r"));
        rx_ret.socket = input.substring(0,index1).toInt();
        rx_ret.ip_address = input.substring(index1+1,index2);
        rx_ret.port = input.substring(index2+1,index3).toInt();
        rx_ret.length = input.substring(index3+1,index4).toInt();
        rx_ret.data = input.substring(index4+1,index5);
        rx_ret.remaining_length =
input.substring(index5+1,index6).toInt();
        if (debug) receive_UDP(rx_ret);
    }
}

```

```

        send_NSOMI=false;
        input=F("");
    }
}

    return rx_ret;
}

//end waitResponse

UDPSend AIS_NB_BC95:: sendUDPmsg(String addressl,String port,String data)
{
    int x_len = data.length();
    char buf[x_len+2];
    data.toCharArray(buf,x_len+1);
    return(sendUDPmsg(addressl,port,x_len,buf,MODE_STRING_HEX));
}

UDPSend AIS_NB_BC95:: sendUDPmsgStr(String addressl,String port,String data)
{
    sendStr = data;
    int x_len = data.length();
    char buf[x_len+2];
    data.toCharArray(buf,x_len+1);
    return(sendUDPmsg(addressl,port,x_len,buf,MODE_STRING));
}

bool AIS_NB_BC95:: closeUDPSocket()
{
    _Serial->println(F("AT+NSOCL=0"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(1000,F("OK"));
    return(res.status);
}

AIS_NB_BC95_RES AIS_NB_BC95:: wait_rx_bc(long tout,String str_wait)
{
    unsigned long pv_ok = millis();
    unsigned long current_ok = millis();

```



```

String input;
unsigned char flag_out=1;
unsigned char res=-1;
AIS_NB_BC95_RES res_;
res_.temp="";
res_.data = "";
while(flag_out)
{
    if(_Serial->available())
    {
        input = _Serial->readStringUntil('\n');
        res_.temp+=input;
        if(input.indexOf(str_wait)!=-1)
        {
            res=1;
            flag_out=0;
        }
        else if(input.indexOf(F("ERROR"))!=-1)
        {
            res=0;
            flag_out=0;
        }
    }
    current_ok = millis();
    if (current_ok - pv_ok>= tout)
    {
        flag_out=0;
        res=0;
        pv_ok = current_ok;
    }
}

```

```
        res_.status = res;
        res_.data = input;
        return(res_);
    }

    //Util Function
    void AIS_NB_BC95::printHEX(char *str)
    {
        char *hstr;
        hstr=str;
        char out[3]="";
        int i=0;
        bool flag=false;
        while(*hstr)
        {
            flag=itoa((int)*hstr,out,16);
            if(flag)
            {
                _Serial->print(out);
                if(debug)
                {
                    Serial.print(out);
                }
            }
            hstr++;
        }
    }

    String AIS_NB_BC95:: toString(String dat)
    {
        String str="";
        for(int x=0;x<dat.length();x+=2)
        {
```

```

        char c = char_to_byte(dat[x])<<4 | char_to_byte(dat[x+1]);
        str += c;
    }
    return(str);
}

String AIS_NB_BC95:: str2HexStr(String strin)
{
    int lenuse = strin.length();
    char charBuf[lenuse*2-1];
    char strBuf[lenuse*2-1];
    String strout = "";
    strin.toCharArray(charBuf,lenuse*2) ;
    for (int i = 0; i < lenuse; i++)
    {
        sprintf(strBuf, "%02X", charBuf[i]);
        if (String(strBuf) != F("00") )
        {
            strout += strBuf;
        }
    }
    return strout;
}

char AIS_NB_BC95:: char_to_byte(char c)
{
    if((c>='0')&&(c<='9'))
    {
        return(c-0x30);
    }
    if((c>='A')&&(c<='F'))
    {
        return(c-55);
    }
}

```

```

    }
}

void AIS_NB_BC95:: receive_UDP(UDPReceive rx)
{
    String dataStr;
    Serial.println(F("#####"));
    Serial.println(F("# Incoming Data"));
    Serial.println("# IP--> " + rx.ip_address);
    Serial.println("# Port--> " + String(rx.port));
    Serial.println("# Length--> " + String(rx.length));
    if(sendMode == MODE_STRING_HEX)
    {
        Serial.println("# Data--> " + rx.data);
    }
    else
    {
        dataStr = toString(rx.data);
        Serial.println("# Data--> " + dataStr);
    }
    Serial.println("# Remaining length--> " + String(rx.remaining_length));
    Serial.println(F("#####"));
}

AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("NUESTATS"));
String x=res.data;
x=x.substring(24,28);
Serial.println(x);
res = wait_rx_bc(500,F(""));*/
Serial->println(F("AT+NUESTATS=CELL"));
AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("NUESTATS"));

```

```

String data= res.data;
int index1 = data.indexOf(F(",");
int index2 = data.indexOf(F(","),index1+1);
int index3 = data.indexOf(F(","),index2+1);
int index4 = data.indexOf(F(","),index3+1);
int index5 = data.indexOf(F(","),index4+1);
int index6 = data.indexOf(F(","),index5+1);
String x=data.substring(index4+1,index5);
Serial.println(x);
res = wait_rx_bc(500,F(""));
}
signal AIS_NB_BC95:: getSignal()
{
    _Serial->println(F("AT+CSQ"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("+CSQ"));
    signal sig;
    int x = 0;
    String tmp;
    if(res.status)
    {
        if(res.data.indexOf(F("+CSQ"))!=-1)
        {
            int index = res.data.indexOf(F(":"));
            int index2 = res.data.indexOf(F(",");
            tmp = res.data.substring(index+1,index2);
            if (tmp == F("99"))
            {
                sig.csq = F("N/A");
                sig.rssi = F("N/A");
            }
            else

```

```

        {
            sig.csq = tmp;
            x = tmp.toInt();
            x = (2*x)-113;
            sig.rssi = String(x);
        }
        sig.ber = res.data.substring(index2+1);
        if (debug) Serial.println(sig.rssi);
    }
}
res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
return(sig);
}

String AIS_NB_BC95:: UeStat8()
{
    String x="";
    _Serial->println(F("AT+NUESTATS=RADIO"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("SNR"));
    x =res.data.substring(19);
    res = wait_rx_bc(500,F(""));
    return (x);
}

void AIS_NB_BC95:: UeStat11()
{
    _Serial->println(F("AT+NUESTATS=RADIO"));
    AIS_NB_BC95_RES res = wait_rx_bc(500,F("RSRQ"));
    String x=res.data;
    x=x.substring(20);
    Serial.println(x);
    res = wait_rx_bc(500,F("OK"));
}

```

ภาคผนวก ข.
การตีพิมพ์ผลงานวิจัย

TNI



A Performance Study in NB-IoT Networks through the IoT Platforms in Thailand

Suppachok Kiatikitikul* and Annop Monsakul

Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand

*Corresponding author, E-mail: ki.suppachok_st@tni.ac.th

Abstract

Nowadays, the Low-Power Wide-Area (LPWA) could account for 70% of Cellular IoT Connections in 2020. There are three big LPWA operators in Thailand (TRUE, AIS and CAT). LPWA by CAT focusing on LoRaWAN but TRUE and AIS focusing on NB-IoT. The purpose of this study is to advance understanding of choosing to select LPWA operators; there are other factors than the price that needs to come into play. Performance, reliability, scalability, and service are key factors in choosing operators that will work best for users. This paper presents the performance study comparison of two NB-IoT operators based with Round-Trip Time (RTT) ping packets, SINR/SNR, RSRQ and RSSI for one week. There is a Pathum Thani site for testing nine popular IoT Cloud Platform (GoogleCloud, AWSAmazon, OracleCloud, theThing.io, IBMWatson, Ubidot, IoTtweet, Magellan and Things Board). The obtained results demonstrate that the TRUE operator gives the highest performance of round trip time and SINR/SNR, AIS operator offers a better quality of a number of pings failed and RSRQ.

Keywords: *IoT, NB-IoT, RTT*

1. Introduction

The Internet of Things (IoT) means physical objects which make every object connect to the internet. It possible to be connected by wired or wireless and send useful data from sensing devices with various types of data from real environments every time and everywhere. With IoT technology, it can improve people's quality of life such as a smart city, smart agriculture, or a smart home. IoT devices are low-cost devices with a low power processor that can use more than ten years with one or two of batteries and a design for easy deployment even with people without specialized knowledge.

Wireless Technologies have developed various types of communication such as a short-range personal area like 802.15.4 standard, ZigBee and IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6lowPan) are popular, but the limitation is the coverage area length around 100 meters and consumes more battery as it tries to send from a more extended range. Next popular wireless technology is LTE (Long term evolution) as it has wide-area coverage around the country, and a high bandwidth usage but it consumes a large amount of the battery.

Recently, a low power wide area (LPWA) means wireless technology devices can send data through a radio frequency and consume a low amount of battery for mass distributed devices and lower costs for wide geographical footprints or deep within an urban infrastructure as Figure 1 compares with the other wireless technology strong point is coverage range is very far that make LPWA suitable for IoT such as Low-Power Wide-Area Network (LoRaWAN), Enhanced Machine-Type Communication (eMTC), SigFox and NB-IoT. LPWA are becoming popular because of the huge area coverage and low consuming battery make LPWA look interesting in academic and industrial sectors. At this moment, three of the operators in Thailand namely TRUE, AIS and CAT telecom had invested a considerable amount of money in implementing LPWA by CAT focusing on LoRaWAN but TRUE and AIS focusing on NB-IoT. The mission of RTT measurement is to collect and preprocess the information from all radio modem & router nodes in the network operation. RTT is the time required for a packet to travel from the source to the destination and back again.

The NB-IoT is developed based on Narrowband Cellular Internet of Things (NB-CIoT) and has become an essential branch of the Internet of everything (IoE). The NB-IoT uses only about 180 kHz bandwidth, supports two modes for uplink. Single tone with 15 kHz and/or 3.75 kHz tone spacing Multiple tone transmissions with 15 kHz tone spacing, HD-FDD duplex mode, Pi/4 QPSK, Class 3 and 5 (14 dBm)

power class and can be directly deployed on a GSM, UMTS, or LTE network, reducing deployment costs and achieving a smooth upgrade. NB-IoT is an 11 compatible version of LTE targeted for cellular-based IoT applications. The Radio measurements in Long Term Evolution (LTE) system are Channel Quality Indicator (CQI), Reference Signal Received Power (RSRP), Reference Signal Received Quality (RSRQ), and Carrier Received Signal Strength Indicator (RSSI).

The IoT platforms are emerging as the central backbone of these IoT deployments. These IoT Platforms are the key to the development of scalable IoT applications and services that connect the real and virtual worlds between objects, systems, and people. There are more than 300 IoT platforms in the market today, and the number is continuing to grow. However, as discussed not every platform is the same – IoT platforms are being shaped by varying entry strategies of different companies trying to capitalize on the IoT potential. Innovative startups, hardware, and networking equipment manufacturers, enterprise software and mobility management companies are all competing to become the best IoT platform on the market. Various strategies are visible with companies.

NB-IoT networks are designed for machine-to-machine communication, which generally requires low data rates. When building NB-IoT networks (Malik et al., 2018; Biswas & Giaffreda, 2014), it is essential to test the performance of new implementations to ensure that the required network quality is available. Tests to measure the quality of service (QoS) in NB-IoT networks are typically performed with NB-IoT modules that are controlled by software.

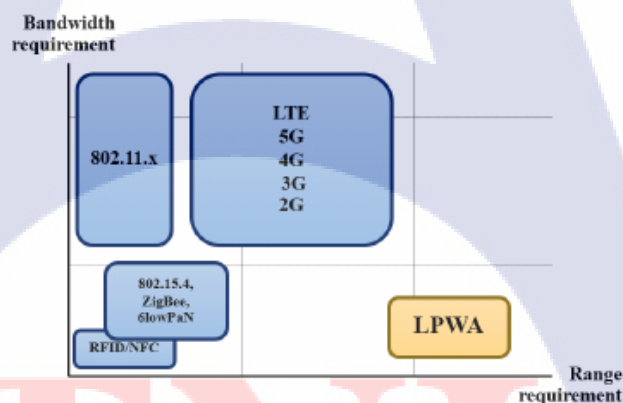


Figure 1 Show graph of bandwidth required and range capability of wireless technology

In this paper, we are going to present an overview of NB-IoT Technology and evaluate the performance by testing on real NB Devices from AIS and TRUE to show the difference for users to choose devices easier by various factors from locations in Pathum Thani.

2. Literature Review

The Mobile Technologies Performance Comparison for Internet Services in Bangkok (Chimmanee & Patpituck, 2013), is where the author tested the performance of cellular networks through three operators by three essential factors such latency, data rate, and speed test. The author set up the experiment by using a laptop with a 3G air card connected to the internet from favorite five places in Bangkok which have high congestion. By the latency test the author used ping function to check the round trip time from devices to a private server and an international server. By the data rate test the author used FileZilla to send 1 MB of data from a laptop to an FTP private server to check downlink speeds and uplink speeds. By the speed test testing, the author uses <http://speedtest.adslthailand.com/> to check the data rates and round trip times in one period. From the experiment, shows AIS offered a better performance in the latency tests in both domestic and



international websites. TrueMoveH offered better performance in the speed test for uploading and the user data rate tests, DTAC provided a better performance in the speed test for downloading.

Analysis in the Internet Traffic Pattern based on RTT over ADSL in Thailand (Chimmanee, Jantavongso & Kantala, 2015), Author testing performance of Asymmetric digital subscriber line (ADSL) network via three operators from two locations such as Bangkok and Pathumthani by using ping packet trains with 100 bytes for 24 hours for one month to a domestic web server. Then the author presented the formula to classify the type of traffic into three types of high traffic volume, average traffic volume and low traffic volume for evaluating traffic. From the experiment, the result shows that TRUE ADSL operators in Thailand should provide the best performance compared to others.

IoT and Cloud Convergence Opportunities and Challenges, the author discusses what IoT cloud should offer. Good IoT cloud services must be attributed with ubiquity, reliability, high-performance, efficiency, and scalability

A Survey of IoT Cloud providers, according to the author, discusses the primary function of the platform as service for IoT or cloud with IoT support and what IoT needs such as hiding data generation, processing, and virtualization. The survey studies popular cloud IoT as google IoT, Amazon Web Services Azure and provide intense details about each characteristic for each site.

3. Overview of NB-IoT

NB-IoT or LTE CAT NB1 was developed by the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) use license radio for the frequency band. Design for long-range connection more than 15 km in the countryside and 3 km in urban areas, and used Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) modulation. Work on Evolved packet system (EPS) that sp. requires a minimum bandwidth of 180 kHz (Chen et al., 2017; Adhikary et al., 2016). Every cell site can support around fifty-five thousand nodes (Zayas et al., 2017). Cell site can use the same LTE cell site but implement an additional function to support NB-IoT that make easier for the operator who already is provided LTE the cell site before. NB-IoT familiar to LTE because LTE and NB-IoT are wireless technology that was developed by the same organization that required a sim card for access through an operator cell site but NB-IoT cut some functions from LTE such as Hand Over, Monitor the channel quality, Carrier aggregation and Dual Connectivity (Sinha, Yiqiao & Hwang, 2017). NB-IoT can deploy with three types of modes first is a stand-alone operation, second is guard band operation, and third is In-band operation.

In this research, we are focusing on a BC-95 Band 8 900 MHz NB-IoT module working with Arduino Uno or Arduino Mega because TRUE and AIS also use Quectel BC-95 NB-IoT modules and develop NB-IoT library for BC-95 by themselves.

TRUE and AIS was provided NB-IoT module designed for Arduino. Using Quectel BC95-B8 work on 900 MHz frequency uplink speed is 24 kbps downlink speed is 45.625 kbps supported user datagram protocol (UDP) and constrained application protocol (COAP) probably support other protocols later. At this moment, both operators mention that the coverage area already provides all provinces in Thailand. From Figure 2 it shows a picture of the TRUE NB-IoT module and the AIS NB-IoT module. The significant difference on NB devices from TRUE and AIS is NB devices from AIS using E-sim that are embedded on board but TRUE NB devices using sim card slot. Next is the antenna from AIS NB devices are slightly bigger than TRUE NB devices. The price of AIS NB module is 1,190 baht for one device and internet service connection 300 baht for one year and the price of TRUE NB module is 1,150 baht for one device and get 1-year free internet service connection. For the next year the expense is 300 baht per one device same as AIS.

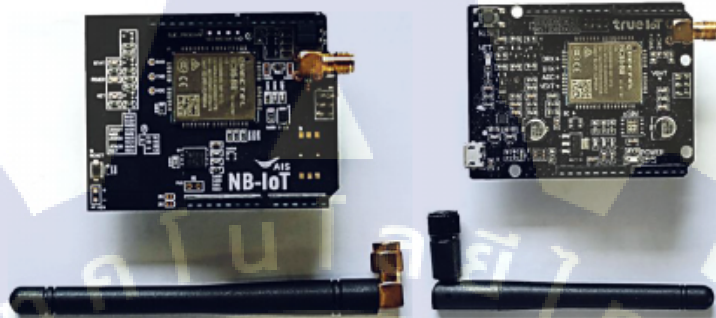


Figure 2 AIS NB-IoT module and TRUE NB-IoT module

Typically, NB-Devices will send data to IoT Cloud Platform for storing and monitoring data. IoT Cloud Platform have various types of server providers such as IBM, Amazon, Google, Oracle, etc. also has free or paid for additional functions. Cloud IoT can store data and dashboard for showing data. The dashboard from each IoT Cloud Platform may look different. Some IoT Cloud Platforms have various types of graphs for creating dashboard as some sites have analytic functions or export (.csv file) to open in Excel or Jason to create some programs for getting value and trigger something or show values in a graph. IoT Cloud Platforms have an open source like Grafana or Thing board which makes the user able to provide their own IoT Cloud Platform. The key is a cloud for NB-IoT that should open functions which support UDP or CoAP.

4. Experiment Configuration

We prepared two NB devices from TRUE and AIS with Arduino Uno. Then we created specific modify programs to collect important factors that are readable from NB devices. Firstly, we use the ping method to get round trip time data that implies a time delay between NB devices and a destination server. Ping can fail if the round trip time value is higher than ten seconds or time to leave (TTL) value is high. Secondly, we get a Received Signal Strength Indicator (RSSI) which measures the average total received power between Board and cell site. Moreover, Reference Signal Received Quality (RSRQ) which indicates the quality of the received reference signal and some resource block for calculations. Thirdly signal to noise ratio (SNR) is defined as the ratio of signal power to the noise power. We modify the program to ping and get all data every one-minute program will reread all value for twenty-four hours. We install the same program into an AIS NB-device and TRUE NB-Device and start the experiment at the same time. The experiment started at the twenty-third of October at noon to the thirtieth of October at noon or one week. The location is at Pathum Thani. Destination nine IoT cloud platform we choose a popular server (Ray, 2016; Pflanzner & Kertesz, 2016) and quickly implemented a server which operators already supported in the library in git hub namely Google IP, AWSamazon, CloudOracle, TheThingio, IBM Watson, ubidot, IoTtweet, AISmagellan and thing board as shown in Figure 3.

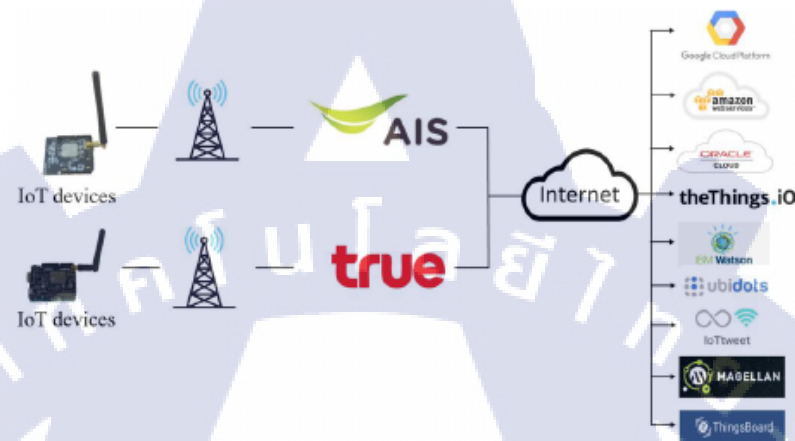


Figure 3 Show network configuration

5. Performance Evaluation

The experiment started on 23rd October 2018 at noon to thirtieth October at noon or one week at the Pathum Thani site using NB-IoT from two operators. Some 125,000 packets. Each device connects to IoT Cloud Platform by using their own operator's network.

From Figure 4 the average round trip time (RTT) from two devices work slowest on Google-IoT and fastest on IoT-tweet. The round trip time is quite high such as AIS on day six it goes almost four thousand milliseconds, but the result on the TRUE device is faster than the AIS devices. Moreover, another site's result is not too much different - just around a few hundred-millisecond stands between one and few hundred milliseconds but on day eight two devices cannot reach IBM-Watson.

AT commands the connected modules as described by Quectel NB-IoT BC95 module. During the measurement, the test flow can be quickly follow the message view showing the sent AT commands and received responses. Especially for ping tests via AT commands, BC95 module now provides signals that show the result values of the AT ping. These values can visualize in standard BC95 module views.

SINR/SNR – The signal-to-noise ratio of the given signal.

RSSI – Represents the entire received power including the wanted power from the serving cell as well as all cochannel power and other sources of noise, and it is related to the above parameters.

RSRQ – Measurement is a cell-specific signal quality metric. Similar to the RSRP measurement, this metric is used mainly to provide ranking among different candidate cells in accordance with their signal quality.

RSRP – Reference Signal Received Power is an RSSI type of measurement. It is the power of the LTE Reference Signals spread over the full bandwidth and narrowband. A minimum of -20 dB SINR (of the S-Synch channel) is needed to detect RSRP/RSRQ.

5.1 Result of Round-Trip Time (RTT)

A typical Ping execution will send 8 bytes of data to a given destination and record the time that a response arrived back. The latency is expressed as the round trip time that includes both the transfer time for the test packet and the response packet. That time is shown in milliseconds. From Figure 4 it shows the number of pings failed between TRUE, and AIS from all the packets is around one hundred twenty-five thousand divided into AIS NB-device has 62,403 pings and ping failed is 124 times or around 0.19 percent. TRUE NB-device has 62,082 pings and ping failed is 972 times or 1.56 percent. With percentages (%) packet loss, Ping failed is between 124 and 972 times of AIS lower than with TRUE packet loss.

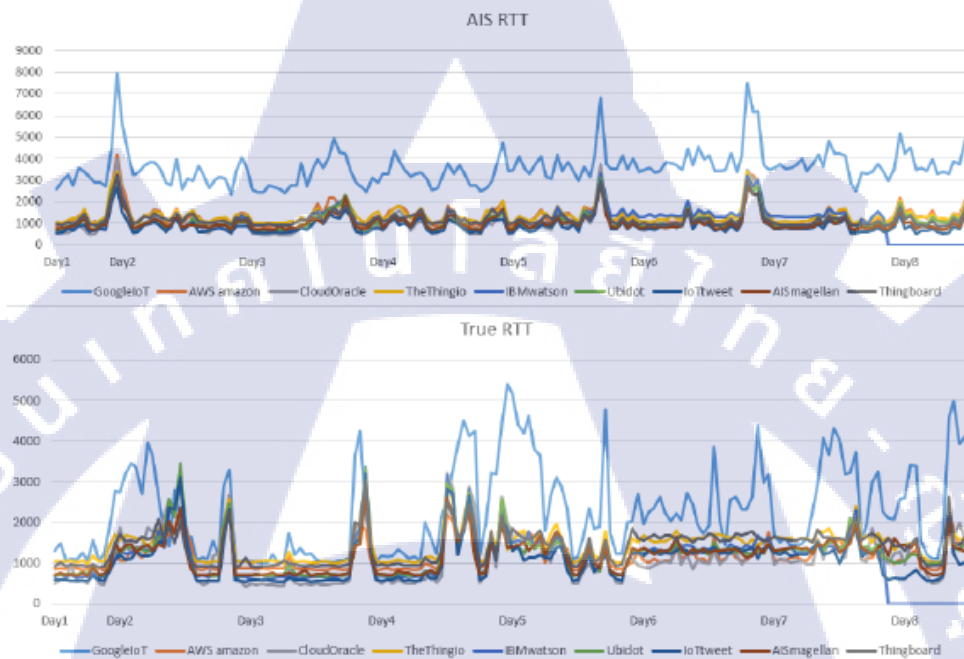


Figure 4 Show results of Round-Trip Time (RTT) for every hour



Figure 5 Show results of Round-Trip Time (RTT)

5.2 Result of RSSI, RSRQ, and SNR

RSSI measurements represent the relative quality of a received signal on a device. RSSI indicates the power level being received after any possible loss at the antenna and cable level. The higher the RSSI value, the stronger the signal. When measured in negative numbers, the number that is closer to zero usually means a better signal. As an example -50 dB is a pretty good signal, -75 dB, - is fairly reasonable, and -100 dB is no signal at all. Therefore, RSSI from TRUE and AIS NB-devices value is around -60 dB in every day of the experiment is a good signal as shown in Figure 6.

RSRQ is quality also considering RSSI and the number of used Resource Blocks (N) $RSRQ = (N \times RSRP) / RSSI$ measured over the same bandwidth. The RSRQ measurement provides additional information when RSRP is not sufficient to make a reliable cell re-selection decision. As an example -10 dB is a pretty good signal, -15 dB, - is fairly reasonable, and -20 dB is no signal at all. Therefore, RSRQ from TRUE NB-devices per day does not change much, but RSRQ from AIS NB-devices starting dropping from day four until the last day of the experiment and is a good signal as shown in figure 6.

SNR is a measure used in science and engineering that compares the level of the desired signal to the level of background noise. It is defined as the ratio of signal power to the noise power, often expressed in decibels. A ratio higher than 1:1 (greater than 0 dB) indicates more signal than noise. While SNR is commonly quoted for electrical signals, it can be applied to any form of signal. As an example ≥ 20 dB is a pretty good signal, 13 dB to 20 dB is fairly reasonable, 0 dB to 13 dB is poor and ≤ 0 dB is no signal at all. Therefore, we observed that TRUE NB-devices has greater SNR than AIS NB-devices from every day of the experiment and it is a good signal as shown in Figure 6.

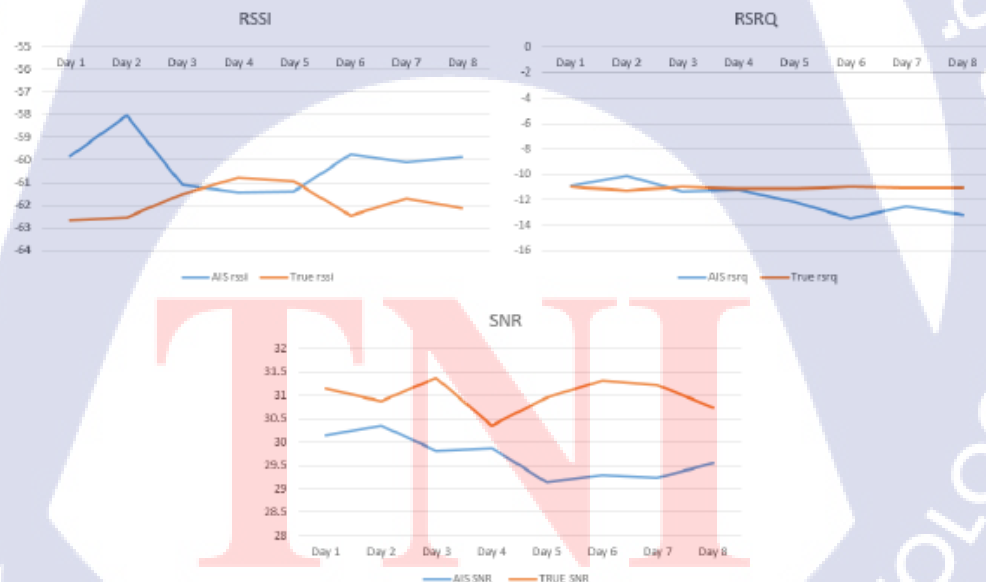


Figure 6 Show results of RSRQ, RSSI, and SNR

6. Conclusion

In this work, an analysis of some practical measurement results recorded from a live LPWA operator of Thailand (TRUE and AIS) are presented to verify the possible relationships among 4G-LTE measurements such as SINR, RSRP, RSSI and RSRQ as well as to evaluate the effects of SNR on



throughput. From the experiment, performances comparison of NB-IoT devices from the two operators at Pathumthani outcome are shown. True has better performance on round trip time and SNR. AIS offers a better quality of the number of ping failed and RSRQ. In part of the IoT cloud platform, round trip time from most of the sites are not too different. It must depend on the operator networks. Some site Round Trip Time are quite high as it is may not be suitable for some technology that needs fast latency. Even AIS and TRUE NB-devices are using the same chip (Quectel BC95-B8) but have some differences like sim slot, and e-sim, antenna size, and the price is also a difference.

Form the recordings; we observed that RSRP and SNR are proportional to each other on average, and lesser the difference between RSSI and RSRP, better is the RSRQ, and if the SINR is better for a measurement slot, higher throughput is achieved. It is also noticed that when the RSRP and RSRQ of a serving cell drop below the RSRP/RSRQ of the neighbor cell, the handover event occurs to maintain the ongoing call or data session. All of these observations are found to be consistent with the theory. Our future work includes the performance analysis of a live LPWA network based on practical measurement results.

7. References

- Adhikary, A., Lin, X., & Wang, Y.-E. (2016). Performance Evaluation of NB-IoT Coverage. In 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall) (pp. 1–5).
- Biswas, A. R., & Giaffreda, R. (2014). IoT and cloud convergence: Opportunities and challenges. In 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT) (pp. 375–376).
- Chen, J., Hu, K., Wang, Q., Sun, Y., Shi, Z., & He, S. (2017). Narrow-Band Internet of Things: Implementations and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 1–1.
- Chimmanee, S., & Patpituck, P. (2013). Analysis in the internet traffic pattern based on RTT over ADSL in Thailand. In *The International Conference on Information Networking 2013 (ICOIN)* (pp. 583–588).
- Chimmanee, S., Jantavongso, S., & Kantala, S. (2015). The mobile technologies performance comparison for Internet services in Bangkok. In 2015 7th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) (pp. 337–342).
- Malik, H., Alam, M. M., Moullec, Y. L., & Kuusik, A. (2018). NarrowBand-IoT Performance Analysis for Healthcare Applications. *Procedia Computer Science*, 130, 1077–1083.
- Pflanzner, T., & Kertesz, A. (2016). A survey of IoT cloud providers. In 2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO) (pp. 730–735).
- Ray, P. P. (2016). A survey of IoT cloud platforms. *Future Computing and Informatics Journal*, 1(1), 35–46.
- Sinha, R., Yiqiao, W., & Hwang, S.-H. (2017). A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *ICT Express*, 3.
- Zayas, A. D., & Merino, P. (2017). The 3GPP NB-IoT system architecture for the Internet of Things. In 2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops) (pp. 277–282).

