ปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ

กิตติพัฒน์ เครือสาร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ

กิตติพัฒน์ เครือสาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ

กิตติพัฒน์ เครือสาร

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(อาจารย์ ดร.กิตติกร หาญตระกูล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสน์ ปราโมกข์ชน)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.ปวีณ เขื่อนแก้ว)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(อาจารย์ ดร.กิตติกร หาญตระกูล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง ปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ
ชื่อผู้เขียน นายกิตติพัฒน์ เครือสาร
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร.กิตติกร หาญตระกูล

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีปัจจุบันมีการพัฒนาที่เร็วขึ้นทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยระบบประตูอัตโนมัติในปัจจุบันยังคงเป็นการยืนยันตัวตนโดยการใช้คีย์การ์ดและลายนิ้วมืออยู่ ซึ่งด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่มุ่งพัฒนาโดยเอา IoT (Internet of Things) เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาระบบต่าง ๆ เพื่อความสะดวก ส่วนในงานวิจัยที่นำเสนอนี้เลือกใช้บลูทูธจากมือถือสมาร์ทโฟนมาเพื่อยืนยันตัวตนแทนคีย์การ์ดหรือลายนิ้วมือ เพราะจากการสำรวจพบว่าคนส่วนใหญ่มีมือถือสมาร์ทโฟนติดตัวอยู่ตลอดเวลา รวมถึงการนำบลูทูธเข้ามาพัฒนาเพื่อลดการสัมผัสโดยตรงกับอุปกรณ์เพื่อป้องกันเชื้อโรคหรือการแพร่ระบาดของไวรัสได้อีกด้วย บลูทูธสามารถยืนยันตัวได้ด้วยบลูทูธแอดเดรสหรือที่เรียกว่า Bluetooth Address (BD_ADDR) ซึ่งเป็นรหัสประจำตัวที่ไม่ซ้ำกับอุปกรณ์ตัวอื่นและบลูทูธเป็นเทคโนโลยียืนยันตำแหน่งในที่ร่มแม่นยำกว่าจีพีเอส โดยหลักการทำงานของบลูทูธจะปล่อยคลื่นสัญญาณที่เรียกว่า RSSI (การวัดความแรงหรือความเข้มของสัญญาณ) ออกมาเพื่อยืนยันตำแหน่งของอุปกรณ์นั้น ๆ

จากผลการศึกษาพบว่าการใช้บลูทูธสามารถยืนยันตัวตนได้ด้วย Bluetooth Address (BD_ADDR) และการทดลองทำให้ทราบความแรงของสัญญาณ RSSI ที่ส่งไปยังราสเบอร์รี่พายนั้นมีความไม่แน่นอน ผู้วิจัยจึงมีการนำทฤษฎีค่าเฉลี่ยข้อมูลต่าง ๆ มาใช้ เพื่อคัดกรองข้อมูลและหาค่ากลางของ RSSI เมื่อนำมาทดสอบพบว่าในระยะ 1 เมตร อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและเหมาะสมกับสถานที่ที่ทำการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ผ่านการหาค่าเฉลี่ยมาแล้ว ยังพบว่ามีความผิดพลาดอยู่บ้างเมื่อนำมาใช้งาน ซึ่งในระบบประตูอัตโนมัตินั้นควรกำหนดค่าความแรงสัญญาณและตั้งค่าระบบโดยอ้างอิงจากสถานที่ที่ใช้งานจริงเป็นหลัก

คำสำคัญ : บลูทูธ, ราสเบอร์รี่พาย, ระดับบ่งชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุ

Title AUTOMATIC DOOR UNLOCK USING BLUETOOTH
Author Mr. Kittipat Khuasarn
Degree Master of Science in Digital Technology Innovation
Advisory Committee Chairperson Dr. Kittikorn Hantrakul

ABSTRACT

Today's technology is developing faster in both hardware and software. The automatic door system at present is still verified by the key card and fingerprint. The new technology developed by the IoT (Internet of Things) have a role in the development of various systems for convenience. The research presented using Bluetooth from mobile smart phone to confirm the identity key card or fingerprint. Because the survey found that most people have a mobile smart phone with you at all times Including the introduction of Bluetooth to reduce direct contact with the device to prevent germs or the spread of viruses. Bluetooth authentication with the Bluetooth address (BD_ADDR), an identity that is unique to other devices and Bluetooth technology is an indoor positioning confirmation is more accurate than GPS. The principle of a Bluetooth signal to release the so-called RSSI (Receive Signal Strength Indicator) to confirm the position of the device.

The results of the experiment, Bluetooth was able to verify the identity with the Bluetooth Address (BD_ADDR) and experiments revealed that the strength of the RSSI signal sent to the Raspberry Pi the unstable RSSI signal strength. Researchers have various theories average used for screening data and find the mean of RSSI. When tested in the 1 meter is in the good and suitable for the experimental site. However, the data that has been averaged Still found that there are some mistakes. The automatic door system configuration, signal strength based on the actual usage location.

Keywords : Bluetooth, Raspberry Pi, RSSI (Received signal strength indication)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.กิตติกร หาญตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสน์ ปราโมกข์ชน และ อาจารย์ ดร.ปวีณ เขื่อนแก้ว รวมถึงผู้ทรงคุณวุฒิ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ บุญเชียง สังกัดมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นอย่างสูง ที่ได้คอยให้ความรู้ ความเข้าใจ และ คำแนะนำในการค้นคว้าทดลองจนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ ประจำสาขาวิชาทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือประสานงานต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป (INTNIN Lab) เป็นอย่างสูงที่ให้ทุนการศึกษาในระดับการศึกษาปริญญามหาบัณฑิตนี้และโครงการ DSIMJU (ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) ที่เอื้ออำนวนอุปกรณ์และสถานที่เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการทดลองในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง ๆ ที่คอยให้คำปรึกษาและให้กำลังใจซึ่งกันและกันตลอดมา

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดาและคนในครอบครัวที่เป็นแรงผลักดันจนมีวันนี้ และคอยสนับสนุนและช่วยออกทุนการศึกษาในระดับปริญญาโทนี้เป็นอย่างสูง จนทำให้การเรียนและการทำวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กิตติพัฒน์ เครือสาร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญตาราง ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ปัญหาและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4.1 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4.2 ขอบเขตด้านเนื้อหฟา 2

1.4.3 ขอบเขตด้านเวลา 2

1.4.4 ขอบเขตด้านสถานที่ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร 3

2.1 แนวคิด ทฤษฎีในการทำงานวิจัย 3

2.1.1 บลูทูธ (Bluetooth) 3

2.1.1.1 โปรโตคอลบลูทูธ 6

2.1.1.2 ประโยชน์ของบลูทูธ 7

2.1.2 ระดับบ่งชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุ (RSSI) 7

2.1.3 ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) 8
2.1.4 Raspbian (ราสเบียน) 11
2.1.5 ไพธอน (Python) 11
2.1.6 ชุดควบคุมแม่เหล็กและ HIP Battery & Power Supply รุ่น 902-3C 12
2.1.7 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) 13
2.1.7.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต 13
2.1.7.2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลไม่แจกแจงความถี่ 13
2.1.7.3 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลที่แจกแจงความถี่ 14
2.1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation หรือ SD) 14
2.1.5 Trimmean 15
2.1.6 Confusion Matrix 15
2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 17
2.2.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 17
2.2.2 อัลกอริทึมการวางตำแหน่ง 18
2.2.3 การใช้ทฤษฎีมาคำนวณ 18
บทที่ 3 วิธีการวิจัยหรืออุปกรณ์และวิธีการ 23
3.1 วิธีการวิจัย 23
3.1.1 การทำความเข้าใจปัญหา (Problem Understanding) 24
3.1.2 การเตรียมข้อมูล 24
3.1.2.1 ข้อมูลทดสอบห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ด้านในห้อง) 28
3.1.2.2 ข้อมูลทดสอบห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ด้านนอกห้อง) 32
3.1.2.3 ข้อมูลทดสอบห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ด้านในห้อง) 36

3.1.2.4 ข้อมูลทดสอบห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ด้านนอกห้อง)..... 40
3.1.3 การพัฒนาตัวต้นแบบการควบคุมระบบอัตโนมัติและระบบซอฟต์แวร์..... 44
3.1.3.1 การพัฒนาระบบฮาร์ดแวร์ตัวต้นแบบ..... 44
3.1.3.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์..... 48
3.1.3.2.1 อัลกอริทึมระบบแสดงในรูปแบบ Flowchart..... 49
3.1.3.2.1 Source code Python ที่พัฒนาเพื่องานวิจัยปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ..... 50
3.1.4 วิธีการดำเนินการ..... 53
3.1.4.1 ขั้นตอนการลง ราสเบียน (Raspbian)..... 53
3.1.4.2 ขั้นตอนการเตรียมเฟิร์มแวร์สำหรับ Raspberry pi 3 Model B+..... 55
3.1.4.3 การจับคู่บลูทูธโดยใช้ GUI ผ่าน Raspberry pi 3 Model B+..... 56
3.1.4.4 วิธีการค้นหาสัญญาณอุปกรณ์บลูทูธในกรณี Raspberry pi 3 Model B+ ไม่พบสัญญาณอุปกรณ์บลูทูธ..... 59
3.1.4.5 ทดสอบปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ..... 60
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์..... 62
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 76
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 76
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 77
บรรณานุกรม..... 78
ประวัติผู้วิจัย..... 81

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 การทำงานของระบบบลูทูธ 6

ภาพที่ 2 รูปแบบของบลูทูธแพ็คเกจ 7

ภาพที่ 3 Raspberry Pi 3 Model B+ 8

ภาพที่ 4 ชุดควบคุมแม่เหล็กและกล่อง Control HIP รุ่น 902-3C 12

ภาพที่ 5 ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป (มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 25

ภาพที่ 6 ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม
(มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 26

ภาพที่ 7 แสดงการทดสอบการรับ-ส่ง ของสัญญาณบลูทูธ 26

ภาพที่ 8 ค่า RSSI ที่ได้จากมือถือสมาร์ทโฟน 27

ภาพที่ 9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านในห้อง)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 29

ภาพที่ 10 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านในห้อง)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 31

ภาพที่ 11 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านนอกห้อง)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 33

ภาพที่ 12 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านนอกห้อง)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 35

ภาพที่ 13 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านในห้อง)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) . 37

ภาพที่ 14 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านในห้อง)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) . 39

ภาพที่ 15 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านนอกห้อง)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) . 41

ภาพที่ 16 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านนอกห้อง)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่). 43
ภาพที่ 17 Schematic การเชื่อมต่อแผงวงจร PCB ของระบบประตูอัตโนมัติ 44
ภาพที่ 18 การพัฒนาระบบประตูอัตโนมัติตัวต้นแบบ (Prototype)..... 45
ภาพที่ 19 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดของระบบประตูอัตโนมัติ 46
ภาพที่ 20 แสดงการทำงานของระบบปัจจุบันโดยใช้ RFID 47
ภาพที่ 21 การทำงานของระบบโดยเพิ่มเทคโนโลยีบลูทูธในการเปิดประตูอัตโนมัติ 47
ภาพที่ 22 ระบบประตูอัตโนมัติตัวต้นแบบ (รูปแบบจำลอง)..... 48
ภาพที่ 23 อัลกอริทึมการทำของระบบ 49
ภาพที่ 24 หน้าต่างโปรแกรม Win32 Disk Imager 53
ภาพที่ 25 หน้าต่างแสดงการเลือกไฟล์ Image ของราสเบียน 54
ภาพที่ 26 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Win32 Disk Imager เมื่อทำการเลือก Image 54
ภาพที่ 27 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Win32 Disk Imager เมื่อทำการ Install Image ราสเบียน 55
ภาพที่ 28 การอัพเดตแพ็คเกจระบบ OS ของ Raspberry pi 3 Model B+..... 55
ภาพที่ 29 การติดตั้งแพ็คเกจบลูทูธลง Raspberry pi 3 Model B+..... 56
ภาพที่ 30 การติดตั้งแพ็คเกจเสริมสำหรับภาษา Python ลง Raspberry pi 3 Model B+ 56
ภาพที่ 31 การเพิ่มอุปกรณ์บลูทูธ 57
ภาพที่ 32 การรอยืนยันการจับคู่จากมือถือสมาร์ทโฟน 57
ภาพที่ 33 แสดงการจับคู่จากมือถือสมาร์ทโฟนสำเร็จ 58
ภาพที่ 34 แสดงการเชื่อมต่อบลูทูธระหว่าง Raspberry pi 3 Model B+ กับสมาร์ทโฟนสำเร็จ..... 58
ภาพที่ 35 การสแกนหาสัญญาณอุปกรณ์บลูทูธด้วยคำสั่งผ่าน Terminal..... 59
ภาพที่ 36 การแสดงสัญญาณอุปกรณ์บลูทูธที่ค้นหาเจอ 59
ภาพที่ 37 ขั้นตอนการทำงานของระบบปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ 60
ภาพที่ 38 แสดงการทดสอบระบบจากระยะห่างทั้งหมด 61

ภาพที่ 39 การทดลองการเปิดประตูโดยใช้บลูทูธของสมาร์ทโฟน 61

ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android)
(ด้านนอก) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)..... 62

ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android)
(ด้านใน) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)..... 63

ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ iOS (ด้านนอก)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 63

ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ iOS (ด้านใน)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 64

ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android (ด้านนอก)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่). 65

ภาพที่ 45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android (ด้านใน)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่). 66

ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ iOS (ด้านนอก)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่). 66

ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ iOS (ด้านใน)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่). 67

ภาพที่ 48 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android & iOS
โดย TRIMMEAN 10% (ด้านนอก) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 68

ภาพที่ 49 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android & iOS
โดย TRIMMEAN 10% (ด้านใน) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)..... 68

ภาพที่ 50 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android & iOS
โดย TRIMMEAN 10% (ด้านนอก) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและ
นวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 69

ภาพที่ 51 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android & iOS
โดย TRIMMEAN 10% (ด้านใน) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 69

ภาพที่ 52 การเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยข้อมูล RSSI ของสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบ
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 70

ภาพที่ 53 การเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยข้อมูล RSSI ของสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบ
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่). 71

ภาพที่ 54 ผลสรุปค่า F1 Score ในระยะที่ทดสอบ 75

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงช่วงของอุปกรณ์ Bluetooth แยกตาม Class..... 4

ตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางของ Confusion Matrix 16

ตารางที่ 3 กำลังส่งเริ่มต้นสำหรับ iOS หรือ Android ในบลูทูธเวอร์ชัน 5 22

ตารางที่ 4 ตารางแสดงกำหนดขึ้นตอนในการทำงานวิจัย 24

ตารางที่ 5 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านในห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 28

ตารางที่ 6 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านในห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 30

ตารางที่ 7 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านนอกห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 32

ตารางที่ 8 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านนอกห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 34

ตารางที่ 9 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านในห้อง) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 36

ตารางที่ 10 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านในห้อง) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 38

ตารางที่ 11 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านนอกห้อง) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 40

ตารางที่ 12 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านนอกห้อง) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่). 42

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยข้อมูล RSSI ของสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบ (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลปมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)..... 70

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยข้อมูล RSSI ของสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบ
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่). 71

ตารางที่ 15 สรุปค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากทั้งสองห้องทดสอบในระยะทาง 1-5 เมตร..... 72

ตารางที่ 16 คำนวณระยะทางด้วยค่าความแรงสัญญาณ RSSI
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 72

ตารางที่ 17 คำนวณระยะทางด้วยค่าความแรงสัญญาณ RSSI (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU
ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่) 73

ตารางที่ 18 แสดงสรุปผลการทดลอง 76

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มา

จากระบบประตูอัตโนมัติเดิมที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันยังเป็นเทคโนโลยีที่ใช้คีย์การ์ดหรือลายนิ้วมือในการระบุตัวตนของผู้ใช้งานเพื่อสั่งการระบบให้เปิดประตู ซึ่งผู้ใช้เองยังต้องพกคีย์การ์ด ติดตัวไว้ จึงทำให้เกิดความไม่สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากคีย์การ์ดอาจสูญหายหรือลืมพกคีย์การ์ดติดตัวไปด้วย นอกจากนี้ถึงจะเป็นระบบที่ใช้ลายนิ้วมือก็ยังก่อให้เกิดความไม่สะดวกแก่ผู้ใช้เนื่องจากผู้ใช้บางคนจะมีปัญหากับลายนิ้วมือที่จาง หรือลายนิ้วมือที่ไม่ชัดจะทำให้มีระยะเวลาการสแกนลายนิ้วมือที่นานและเกิดข้อผิดพลาดได้บ่อยครั้งซึ่งทำให้ผู้ใช้ต้องสแกนหลายครั้งกว่าระบบจะอนุญาตผ่านเข้าประตูได้ ทั้งนี้ข้อผิดพลาดดังกล่าวเกิดจากหลายปัจจัย เช่นประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการสแกน นิ้วมือสกปรกหรือแม้แต่ผู้ใช้บางคนที่มีลายนิ้วมือที่ไม่ชัดเจนเป็นต้น

ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบประตูอัตโนมัติที่จากเดิมระบุตัวตนผู้ใช้ด้วยคีย์การ์ดหรือลายนิ้วมือไปเป็นระบบประตูอัตโนมัติที่ระบุตัวตนผู้ใช้ด้วยเทคโนโลยีบลูทูธ และสั่งเปิดประตูอัตโนมัติโดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องสัมผัสกับฮาร์ดแวร์ของระบบโดยตรงในการยืนยันตัวเอง ที่จะเป็นการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานได้อย่างสูงสุด ซึ่งเป็นการต่อยอดของเทคโนโลยีทางด้าน IoT (Internet of Thing) ที่ใช้สัญญานบลูทูธจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งเทคโนโลยีบลูทูธเป็นรูปแบบการสื่อสารข้อมูลที่เป็นมาตรฐานและใช้พลังงานต่ำ ซึ่งมีอยู่ในโทรศัพท์มือถือแทบทุกเครื่องที่มีวางจำหน่ายในปัจจุบัน โดยการวิจัยและพัฒนาระบบนี้จะเป็นการพัฒนาชุดควบคุมที่สามารถติดตั้งลงบนชุดควบคุมประตูอัตโนมัติแบบเดิมที่มีอยู่ จึงสามารถลดต้นทุนของผู้ใช้ที่มีระบบประตูอัตโนมัติเดิมที่เป็นแบบคีย์การ์ดหรือการสแกนลายนิ้วมืออยู่ก่อนได้ จากปัญหาที่พบในการใช้งานระบบแบบเดิมแล้วนั้น การวิจัยและพัฒนานี้สามารถต่อยอดระบบให้สามารถมีความอัจฉริยะเพิ่มขึ้นได้อีก รวมถึงการเก็บข้อมูลการใช้งานของระบบประตูที่สามารถรู้ข้อมูลการใช้งานได้แบบเรียลไทม์และการจัดเก็บข้อมูลแบบออนไลน์ จากระบบการจัดเก็บข้อมูลแล้วสามารถวิจัยและพัฒนาระบบหรือการนำข้อมูลการใช้งานมาวิจัยเรื่องของพฤติกรรมของผู้ใช้งานได้อีกด้วย

จากทั้งหมดที่กล่าวมางานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมสำหรับการนำเทคโนโลยีบลูทูธมาใช้ในการยืนยันตัวตนในการเปิดประตูอัตโนมัติ โดยการใช้สัญญาณความแรงของบลูทูธเป็นตัวแปรในการเปิดประตู ซึ่งเมื่อค่าความแรงของสัญญาณถึงจุดที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมประตูอัตโนมัติก็จะเปิดประตู เพื่อเป็นการหาให้ได้ซึ่งระยะห่างที่เหมาะสมในการเปิดประตูอัตโนมัติ และสามารถอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้งานมากขึ้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิจัยและพัฒนาระบบประตูอัตโนมัติที่สามารถยืนยันตัวตนผู้ใช้งานผ่านสัญญาณบลูทูธที่อยู่ในโทรศัพท์ของผู้ใช้งานได้โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องสัมผัสกับฮาร์ดแวร์โดยตรง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดภาระการใช้งานของผู้ใช้ได้ โดยยังคงไว้ซึ่งฮาร์ดแวร์รูปแบบเดิม
2. สามารถนำเทคโนโลยีบลูทูธมาใช้เพื่อเอื้อต่อความสะดวกสบายต่อผู้ใช้ได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจริงจากการใช้งานประตูอัจฉริยะ โดยการเก็บข้อมูลตัวอย่างภายในประตูห้องปฏิบัติการอินทนิลแลปและห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU (ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้) และทำการเก็บข้อมูลสัญญาณจากมือถือสมาร์ทโฟนสองระบบปฏิบัติการ ทั้ง แอนดรอยด์ (Android) และ ไอโอเอส (iOS)

1.4.2 ขอบเขตด้านเนื้อหฟา

ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องการรบกวนของสัญญาณบลูทูธและนำข้อมูลมาเข้าสู่ขั้นตอนกระบวนการเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการใช้สมการค่าเฉลี่ยเลขคณิต ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นค่าความแรงของสัญญาณและนำมาเทียบเพื่อแปลงเป็นระยะทาง แล้วนำไปประยุกต์ใช้กับระบบประตูอัจฉริยะ

1.4.3 ขอบเขตด้านเวลา

ระยะเวลาในการศึกษาวิจัยและรวบรวมข้อมูลในการเรียนรู้และทดสอบกับชุดข้อมูล เพื่อหาค่าความแรงของสัญญาณที่เหมาะสมและแปลงเป็นระยะทางครั้งนี้ระหว่าง เดือน กันยายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

1.4.4 ขอบเขตด้านสถานที่

ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลปและห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU (ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้)

บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและการตรวจเอกสาร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 แนวคิด ทฤษฎีในการทำงานวิจัย

งานวิจัยดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมสำหรับการนำเทคโนโลยีบลูทูธมาใช้ในการยืนยันตัวตนในการเปิดประตูอัตโนมัติ โดยการใช้สัญญาณความแรงของบลูทูธเป็นตัวแปรในการเปิดประตู โดยจะมีการใช้สมการค่าเฉลี่ยเลขคณิตนำมาหาค่าความแรงของสัญญาณที่มีความแน่นอนมากยิ่งขึ้น ซึ่งเมื่อค่าความแรงของสัญญาณถึงจุดที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมประตูอัตโนมัติก็จะเปิดประตู ซึ่งจะสามารถอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้งานมากขึ้นด้วย และรายละเอียดของอุปกรณ์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

2.1.1 บลูทูธ (Bluetooth)

อุปกรณ์หลักของการสื่อสารไร้สาย เป็นเทคโนโลยีสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์คงที่และอุปกรณ์พกพาในระยะทางสั้น ๆ โดยใช้คลื่นวิทยุ UHF ความยาวคลื่นสั้นในย่านความถี่จาก 2.400 ถึง 2.485 GHz ได้รับการจัดการโดย Bluetooth Special Interest Group (SIG) ที่ได้มาตรฐาน IEEE เป็น IEEE 802.15.1 แนวคิดหลักของบลูทูธคือ การพัฒนาวิธีเชื่อมต่อแบบกว้าง ๆ ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็วและง่ายดายโดยไม่ต้องใช้สายเคเบิล บลูทูธเป็นหนึ่งในคำหลักที่เกี่ยวข้องกับยุค Internet of Things (IoT) เนื่องจากสามารถหาข้อมูลตำแหน่งข้อมูลวัตถุภายในอาคารที่แม่นยำมากกว่าเทคโนโลยี GPS ซึ่งการให้บริการระบุตำแหน่งบนอุปกรณ์มือถือในปัจจุบันเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีบลูทูธจึงได้รับการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์มือถือ ซึ่งลักษณะสัญญาณของบลูทูธ จะเป็นตัวบ่งชี้ความแรงของสัญญาณ เป็นค่าการวัดพลังงานที่มีอยู่ในสัญญาณวิทยุที่ได้รับ

ในงานวิจัยนี้จะหาช่วงระยะทางตามตำแหน่งโดยใช้การการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง (RSSI) และระยะห่างระหว่างสองอุปกรณ์บลูทูธ ให้อยู่ในช่วงระยะทางและเวลาที่เหมาะสมกับการใช้บลูทูธเพื่อควบคุมการทำงานของระบบประตูอัตโนมัติ ซึ่งระยะการทำการของเทคโนโลยีบลูทูธจะแบ่งกันออกไปรวมถึงความสามารถในการส่งสัญญาณในแต่ละกลุ่มด้วย

ระยะทำการและความสามารถในการส่งข้อมูลของบลูทูธนั้นขึ้นกับแต่ละ Class ที่ใช้ ซึ่งมี 4 Class ดังนี้

- Class 1 กำลังส่ง 100 มิลลิวัตต์ ระยะประมาณ 100 เมตร
- Class 2 กำลังส่ง 2.5 มิลลิวัตต์ ระยะประมาณ 10 เมตร
- Class 3 กำลังส่ง 1 มิลลิวัตต์ ระยะประมาณ 1 เมตร

- Class 4 กำลังส่ง 0.5 มิลลิวัตต์ ระยะประมาณ 0.5 เมตร

ช่วงของอุปกรณ์ Bluetooth แยกตาม Class

Class	MAX. พลังงานที่ได้รับ		Typ. range
	(mW)	(dBm)	(m)
1	**100**	**20**	**100**
1.5	10	10	20
2	2.5	4	10
3	1	0	1
4	0.5	-3	0.5

ตารางที่ 1 แสดงช่วงของอุปกรณ์ Bluetooth แยกตาม Class

รวมไปถึงรุ่นของ Bluetooth ข้อกำหนด และคุณสมบัติของ Bluetooth แบ่งเป็นรุ่นต่าง ๆ ดังนี้

- Bluetooth 1.0
- Bluetooth 1.1
- Bluetooth 1.2 z
- Bluetooth 2.0
- Bluetooth 2.0 EDR
- Bluetooth 2.1 EDR
- Bluetooth 3.0
- Bluetooth 4.0
- Bluetooth 4.1
- Bluetooth 4.2
- Bluetooth 5
- Bluetooth 5.1
- Bluetooth 7

ระบบ EDR : Enhanced Data Rate เพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดเป็น 3 Mbps.

EDR (Enhanced Data Rate) คือ ระบบอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการปรับปรุงให้สามารถสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายได้เร็วขึ้น ทั้งนี้พัฒนาจากรุ่น 1.1 ที่ส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที จนถึงรุ่น 1.2 ที่ปรับปรุงสัญญาณและคลื่นความถี่บลูทูธ 2.0+ EDR ส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็ว 3 เมกะบิตต่อวินาที อุปกรณ์บลูทูธแต่ละตัวจะมีแอดเดรส (Address) หรือการระบุตำแหน่ง ซึ่งเป็นรหัสประจำตัวที่ไม่ซ้ำกับอุปกรณ์ตัวอื่น มีความยาวขนาด 48 บิต เรียกว่า บีดีแอดเดอ (BD_ADDR) ใช้ในการจำแนกอุปกรณ์แต่ละตัวและใช้ในการระบุความถี่ที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ตัวนั้น ๆ ด้วยจากประโยชน์ต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีบลูทูธสามารถนำมาใช้ให้เข้ากับชีวิตประจำวันได้เป็นอย่างดี และยังเพิ่มความสะดวกในการใช้งานกับอุปกรณ์ต่าง ๆ และนอกเหนือจากที่กล่าวไป บลูทูธยังถูกพัฒนามาใช้งานกับอุปกรณ์อื่น ๆ อีกด้วย ทั้งหูฟังแบบไร้สาย เครื่องเล่นมีเดียดิจิตอลในรถยนต์ รวมถึงระบบ Keyless ที่ผู้ใช้ไม่ต้องกดปุ่มที่กุญแจอีกต่อไป เพียงแค่อยู่ในระยะการทำงาน ประตูก็จะเปิดล็อกให้ทันที ส่วนเวลาลงรถก็สามารถเดินออกจากรถได้เลย เมื่อการเชื่อมต่อระหว่างตัวรถกับกุญแจขาดจากกัน ก็จะล็อกให้เองอัตโนมัติ

การทำงานของ Bluetooth เป็นการส่งข้อมูลแบบ 2 ทางระหว่างอุปกรณ์ กับอุปกรณ์ ที่มีเทคโนโลยีบลูทูธเหมือนกัน สื่อสารด้วยเทคโนโลยีความถี่วิทยุคลื่นสั้นช่วงความถี่ 2.400 และ 2.4835 GHz. และเพื่อป้องกันการชนกันของสัญญาณ (มีช่วงความถี่ใกล้เคียงกับสัญญาณ Microwave) วิธีการส่งจะอาศัยเทคโนโลยีที่ชื่อว่า frequency hopping ซึ่งมีหลักการทำงานคือ จะแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 79 ช่องความถี่ (ช่องละ 1 MHz) และจะทำการเปลี่ยนแปลงระดับของความถี่ในกำลังส่งสัญญาณ 1,600 ครั้งต่อ 1 วินาที นั่นเป็นการเชื่อมต่อที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูงขึ้นเฉพาะหนึ่งทิศทาง และถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างภายใน class ของอุปกรณ์ กับปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้สูงขึ้นจาก class 1 ถึง class 3 พร้อมทั้งมีระยะในการทำงานที่ไกลขึ้น โดย Bluetooth ตัวหนึ่งนั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นจากการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าปกติ

ความปลอดภัยในการเชื่อมต่อ และ ส่งข้อมูลผ่านทาง Bluetooth ความปลอดภัยในการเชื่อมต่อ และ ส่งข้อมูลผ่านทาง Bluetooth มีเป้าหมายใน 4 ประการ

- Confidentiality (การรักษาความลับ)
- (device) Authentication (การพิสูจน์ตัวตน)
- (device) Authorization (การกำหนดสิทธิ์)
- Integrity (ความถูกต้อง สมบูรณ์ของข้อมูล)

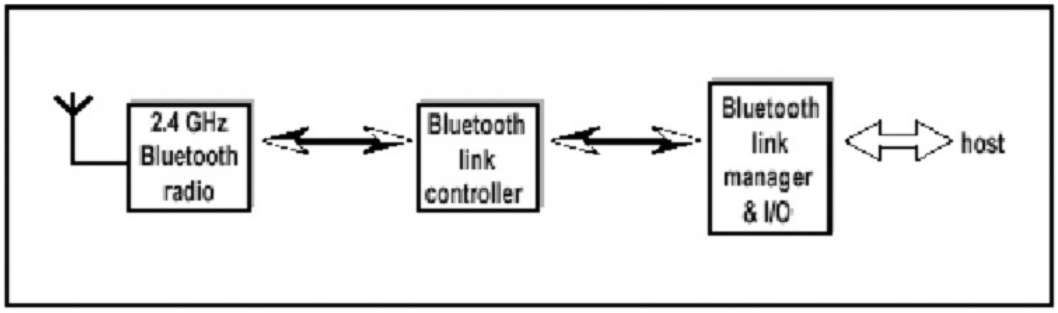
นอกเหนือจากนี้ Bluetooth ยังได้กำหนดระดับค่าความปลอดภัย ไว้ 3 ระดับดังต่อไปนี้

- ระดับ Security Mode 1 : เป็นระดับที่ไม่มีระบบความปลอดภัย
- ระดับ Security Mode 2 : Service level security (ความปลอดภัยในระดับการให้บริการ) เช่นพวก Application ต่าง ๆ ที่สามารถปรับปรุงให้มีการ Cryptographic (การเข้ารหัสรูปแบบต่าง ๆ)
- ระดับ Security Mode 3 : Device level security (ความปลอดภัยในระดับอุปกรณ์) หมายถึง การเข้าใจการเข้ารหัสซึ่งเป็นการพัฒนาใน LMP รวมถึง Application ต่าง ๆ ที่นอกเหนือจากนี้

2.1.1.1 โปรโตคอลบลูทูธ

Base band และ Link Control ทั้งคู่เป็นส่วนที่ใช้เชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์ Bluetooth ในชั้นนี้มีหน้าที่สำคัญในการจับคู่สัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ Audio เป็นส่วนที่เชื่อมต่อโดยตรงกันกับ Base band ใช้สำหรับการส่งและรับ ข้อมูลประเภทเสียง Link Manager Protocol (LMP) ทำหน้าที่เชื่อมต่อและควบคุมการทำงานต่าง ๆ เช่น เข้ารหัส และ การตรวจสอบแพ็คเกจที่มาจาก Base bandLogical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP) มีหน้าที่ในการรวม และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่มาจากแต่ละแพ็คเกจ Service Discovery Protocol (SDP) มีหน้าที่ในการสำรวจตรวจสอบข้อมูลและลักษณะพิเศษของอุปกรณ์บลูทูธอื่น ๆ

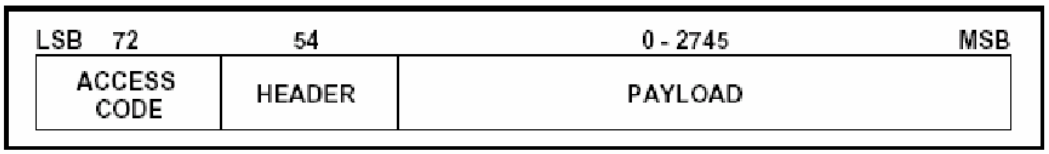
การทำงานของระบบบลูทูธตาม**Error! Reference source not found.** นั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ส่วนคลื่นสัญญาณ ส่วนเชื่อมต่อและควบคุม ส่วนบริหารการเชื่อมต่อกับ Input/Output และส่วน HCI (Host Controller Interface) คือ ส่วนของการติดต่อกับอุปกรณ์ที่มีการใช้งานสัญญาณบลูทูธซึ่งได้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือเป็นต้น



ภาพที่ 1 การทำงานของระบบบลูทูธ

รูปแบบของบลูทูธแพ็คเกจ (Bluetooth Packet) ในการส่งข้อมูลนั้นจะเป็นการส่งทีละแพ็คเกจ โดยแต่ละแพ็คเกจจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนย่อย ๆ ได้แก่ ส่วน Access Code ส่วน Header และ ส่วน Payload สำหรับรูปแบบของแพ็คเกจ และจำนวนบิตที่ใช้ในแต่ละส่วนนั้นแสดงตามภาพที่ 2 รูปแบบของบลูทูธแพ็คเกจ โดยขนาดของ Access Code และ Header จะมีขนาดคงที่ (Fixed) คือ 72 และ 54 บิตตามลำดับ ส่วน Payload นั้นมีขนาดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 0 - 2745 บิต Packet ควบคุม มี 2 แบบ

- Access Code หรือ มีทั้ง Access Code + Header แต่ไม่มี Payload
- Packet ข้อมูล จำเป็นต้องมีครบทั้ง 3 ส่วนคือ Access Code + Header + Payload



ภาพที่ 2 รูปแบบของบลูทูธแพ็คเกจ

2.1.1.2 ประโยชน์ของบลูทูธ

บลูทูธถือเป็นเทคโนโลยีของการสื่อสารระยะใกล้ โดยใช้คลื่นวิทยุแทนการใช้เชื่อมต่อด้วยสาย ทำให้สามารถส่งผ่านข้อมูล หรือการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกัน ช่วยลดความยุ่งยาก อีกทั้งยังเพิ่มความสะดวกสบายในการทำงานมากขึ้นด้วย ซึ่งโดยสรุปบลูทูธจะทำงานใน 2 ลักษณะ คือ รับส่งไฟล์ข้อมูล (ภาพ เสียง หรือวีดีโอ) ระหว่างอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีบลูทูธ อาทิ เครื่องคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต การเชื่อมต่อหรือการควบคุมอุปกรณ์ร่วม อาทิ เมาส์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ หูฟังกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่กับคอมพิวเตอร์พีซีและโน๊ตบุ๊ค

อาจกล่าวได้ว่าบลูทูธเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่เหมาะสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์หรืออุปกรณ์ขนาดเล็ก ๆ เพื่อสร้างเครือข่ายวงแคบ ๆ ส่วนตัวที่เรียกว่า PAN (Personal area network)

2.1.2 ระดับบ่งชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุ (RSSI)

RSSI เป็นคำย่อของคำว่า Received Signal Strength Indicator ซึ่งคือระดับบ่งชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุที่วัดที่ตัวรับ โดยที่ ระดับความแรงของสัญญาณวิทยุจะมีหน่วยที่ใช้กันส่วน

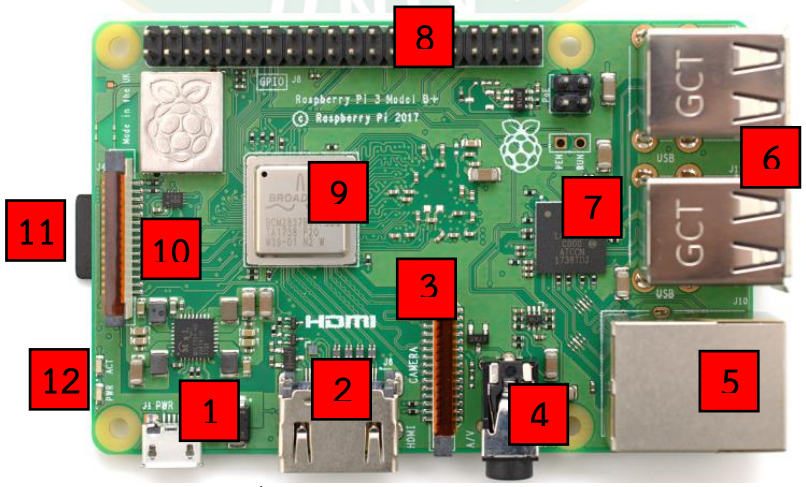
ใหญ่คือ dBm หรือ decibel-milliwatts ที่อ้างอิงกับที่ระดับ milliwatt 0 dBm จะมี ค่าเท่ากับ 1 milliwatt ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$x = 10 \log_{10} \frac{P}{1\ \mathrm{mW}},$$
$$P = 1\ \mathrm{mW} \cdot 10^{\frac{x}{10}},$$

(โดยที่ x คือ ระดับ RSS) มีหน่วยเป็น dBm และ P คือกำลังมีหน่วยเป็น watt ส่วนใหญ่ระดับความแรงของสัญญาณวิทยุจะมีค่าต่ำกว่าศูนย์ซึ่งจะมีค่าเป็นลบ เช่น - 80 dBm ดังนั้น - 70 dBm จะมีค่าหรือความแรง มากกว่า - 80 dBm

2.1.3 ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi)

Raspberry Pi เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีขนาดใกล้เคียงกับบัตรเครดิต ที่มีความสามารถเหมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ทุกประการ สามารถต่อหน้าจอ Monitor Lan หรือ WIFI หรือจะเอามาทำ Server ก็ได้ มีเพียงแค่ประสิทธิภาพการประมวลผลเท่านั้นที่เทียบกับคอมพิวเตอร์ไม่ได้ ส่วนใหญ่มักเลือกมาใช้ในงาน IoT เพราะว่าราสเบอร์รี่พายมีสิ่งที่เรียกว่า GPIO (general purpose input/output) ที่ทำให้เราสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมและรับค่าจากอุปกรณ์ภายนอกโดยไม่ต้องซื้ออุปกรณ์อะไรมาต่อพ่วง เช่น ควบคุม Relay Switch อ่านค่าจากอุปกรณ์ Sensor ต่าง ๆ อีกทั้งมีราคาที่ถูกมากประมาณ 1,300–1,600 บาท ด้วยเหตุนี้ราสเบอร์รี่พายจึงนิยมนำมาใช้งานในด้าน IoT ซึ่งรุ่นล่าสุดที่ออกวางจำหน่ายคือ Raspberry Pi 4 Model B (17/11/20) โดยงานวิจัยนี้จะใช้ Raspberry Pi 3 Model B+ ซึ่งมีรูปร่างและส่วนประกอบดังนี้



ภาพที่ 3 Raspberry Pi 3 Model B+

Processor: Broadcom BCM2837 Processor Quad core A53 (ARM v8) 64-bit SoC

Memory: 1GB LPDDR2 SDRAM

Bluetooth: Cypress BLE chip 2.4Ghz/5.0GHz IEEE 802.11ac

Ethernet: Gigabit Ethernet over USB 2.0 (300Mbps max)

USB: Four USB 2.0 ports

Connection: GPIO Header 40-pin

HDMI: 1 x full size

Video: MIPI DSI display port, MIPI CSI camera port & 4 Pole stereo output and composite video port

Multimedia: H.264, MPEG-4 decode (1080p30). H.264 encode (1080p30). OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics.

Storage: microSD card slot for loading operating system and data storage

Power: USB connector for 5.1V / 2.5A dc

- **หมายเลข 1** คือช่องเสียบไฟหรือช่องเสียบอะแดปเตอร์ เพื่อจ่ายไฟให้กับบอร์ดราสเบอร์รี่ โดยต้องมีแรงดันไฟ ไม่เกิน 3.3 v.
- **หมายเลข 2** คือช่องเสียบสาย HDMI (High Definition Multimedia Interface) จากตัวบอร์ดเพื่อเข้าสู่จอแสดงผลที่รองรับการเชื่อมต่อภาพด้วย HDMI เช่น จอคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ หรือ Smart TV ในปัจจุบันก็รองรับการเชื่อมต่อ ซึ่งสามารถหาอุปกรณ์เหล่านี้และสาย HDMI ได้ตามร้านขายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป
- **หมายเลข 3** คือ CSI Connector มีไว้สำหรับเชื่อมต่อกับโมดูลกล้องที่ออกแบบมาเพื่อบอร์ดราสเบอร์รี่โดยเฉพาะ โดยลักษณะการต่อจะเป็นสายแพรที่มากับตัวกล้องต่อเข้าไปกับพอร์ทนี้และสามารถตั้งค่าการใช้งานกล้องได้อย่างสมบูรณ์
- **หมายเลข 4** คือช่องเสียบแจ็คเสียง Output หรือช่องเสียบลำโพง ราสเบอร์รี่พายสามารถมีเสียงและเปิดเพลงหรือมีเดียที่มีเสียงได้ในซอฟต์แวร์ของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย
- **หมายเลข 5** คือ Port Ethernet มีไว้สำหรับเชื่อมต่อบอร์ดราสเบอร์รี่ของเราเข้ากับระบบเครือข่าย คอมพิวเตอร์โดยผ่านสายแลน (RJ45) โดยการเชื่อมต่อนี้จะนำบอร์ดราสเบอร์รี่สามารถออก Internet ได้ด้วยทำให้เราสามารถอัพเดทซอฟท์แวร์ได้อิสระตามต้องการมากขึ้น และซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการติดตั้งซอฟต์แวร์ต่าง ๆ อีกด้วยเพราะเกือบจะ 100 % จะ

ติดตั้งซอฟต์แวร์ผ่านระบบ Internet (ยกเว้น OS) เพิ่มเติมในส่วนของ ระบบเครือข่าย บอร์ดราสเบอร์รี่พายสามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายไร้สายหรือ WIFI ได้สามารถทำงานได้เหมือนกันกับการเสียบสายอินเตอร์เน็ตทุกประการแต่มีข้อเสียคือความเร็วต่ำกว่าการเสียบสายอยู่พอสมควร

- **หมายเลข 6** คือ USB Port สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็น USB ได้หลากหลายมาก เช่น กล้องเว็บแคม, เม้า, คีย์บอร์ด, หรือแม้แต่ WIFI dongle ก็สามารถเชื่อมต่อและใช้งานได้เช่นกัน และยังมีอุปกรณ์มากมายที่สามารถใช้งานได้
- **หมายเลข 7** คือ ชิป Gigabit Ethernet หรือเรียกกันเป็น 100 Base-T (สายUTP) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่จะทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ระดับความเร็ว 1000 Mbps หรือ 1 Gigabit per second (1 Gbps) : ซึ่งกำลังจะเป็นมาตรฐานใหม่ของเน็ตเวิร์กระดับ High-end สำหรับงานที่ต้องใช้เครื่องต่อตรงช่วงที่เข้าเครื่องเซิร์ฟเวอร์เพื่อให้สามารถรับรองงานจากเครื่องอื่นได้มากพร้อม ๆ กัน
- **หมายเลข 8** คือ GPIO สามารถต่อสายเพิ่มเข้าไปได้ เพราะ GPIO (General Purpose Input Output) ซึ่งคือพอร์ตเชื่อมต่อที่เราสามารถกำหนดให้มันเป็น Input/Output ได้โดยการเขียนโปรแกรมขึ้นเองหรือใช้ซอฟต์แวร์ Terminal ที่มีอยู่ภายใน OS ของตัวราสเบอร์รี่พาย เป็นต้น ทั้งนี้เจ้า GPIO สามารถทำงานได้หลายอย่างสามารถที่จะเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่เราต้องการแล้วป้อนค่าให้กับโปรแกรมตามที่เราต้องการได้
- **หมายเลข 9** คือ ชิปประมวลผลหลักของตัวราสเบอร์รี่ ซึ่งเป็นเสมือนหัวสมองของตัวอุปกรณ์ทั้งหมด
- **หมายเลข 10** คือ DSI Display ทำหน้าที่ไว้ต่อกับจอชนิดที่เป็นสายแพร
- **หมายเลข 11** (อยู่ข้างล่างบอร์ด) คือ ช่องเสียบ SD Card ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่เก็บระบบปฏิบัติการและซอฟต์แวร์ทั้งหมดที่ติดตั้งลงไปหรือถ้าเปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์เหมือนหน่วยความจำสำรองหรือฮาร์ดดิสก์
- **หมายเลข 12** คือสถานะไฟ LED เพื่อแสดงว่าบอร์ดมีสถานะเป็นอย่างไร เช่นแสดงว่าเสียบไฟเข้า,สายแลนอินเตอร์เน็ตเชื่อมต่อ หรือ มีไฟกระพริบที่บอกว่าบอร์ดเรามีการส่งข้อมูลกันกับเครือข่าย

2.1.4 Raspbian (ราสเบียน)

เป็นระบบปฏิบัติการที่มีรากฐานมาจากระบบปฏิบัติการ Debian (เดเบียน) ซึ่งแตกตัวออกมาจากระบบปฏิบัติการ Linux โดยได้รับการออกแบบให้รันบนฮาร์ดแวร์ Raspberry PI ดังนั้น คำสั่งต่าง ๆ ของ Raspbian จึงเหมือนกับคำสั่งที่มีใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Linux รวมทั้ง Ubuntu เกือบทั้งหมด จะมีแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยเท่านั้น Raspbian (ราสเบียน) มีให้เลือกติดตั้งอยู่ 2 แบบ คือ Raspbian Jessie with PIXEL และ Raspbian Jessie Lite เนื่องจาก Raspbian Jessie with PIXEL (ใช้เนื้อที่ติดตั้งประมาณ 4 GB) มีซอฟท์แวร์ต่าง ๆ ติดตั้งมาพร้อมใช้งานจำนวนหนึ่ง อาทิ เช่น LibreOffice Writer (Word), LibreOffice Calc (Excel), LibreOffice Impress (Power Point), LibreOffice Base (Access), Chromium Web Browser, Games, Programming Language: Python, Node-RED, Scratch, Sonic PI และซอฟท์แวร์อื่น ๆ ส่วน Raspbian Jessie Lite (ใช้เนื้อที่ติดตั้งประมาณ 1.3 GB) เป็นระบบปฏิบัติการล้วน ๆ ไม่มีซอฟท์แวร์เสริมต่าง ๆ ติดตั้งมาด้วย ยังไม่มี Desktop สั่งงานผ่าน Terminal เท่านั้น (เราสามารถติดตั้งซอฟต์แวร์เสริมต่าง ๆ ให้กับ Raspbian Jessie Lite ได้ภายหลัง)

2.1.5 ไพธอน (Python)

เป็นภาษาการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุระดับสูง ที่มีความหมายเชิง Dynamic มีโครงสร้างข้อมูลระดับสูง ประกอบกับเป็น Dynamic Typing สามารถเปลี่ยนชนิดข้อมูลได้ง่าย และการเชื่อมโยงแบบ Dynamic สามารถใช้ “ช่องไฟ” หรือ whitespace แบ่งว่า Code แต่ละบรรทัดอยู่ภายใต้บล็อกใดแทน ปกติจะใช้ปีกกา ในการแบ่งทำให้มันน่าสนใจมากสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมที่ต้องการความกระชับ และรวดเร็วในการทำงาน เช่นเดียวกับ การใช้เป็นภาษาสคริปต์หรือกาว เพื่อเชื่อมต่อส่วนประกอบที่มีอยู่ด้วยกัน ไวยากรณ์ของ Python ที่เรียบง่าย เรียนรู้ง่าย เน้นการอ่านได้ง่าย โปรแกรม Python ยังสนับสนุนโมดูลและแพ็คเกจซึ่งสนับสนุนโมดูลแบบแยกส่วนและการใช้รหัสซ้ำ (Python interpreter) รองรับได้หลากหลาย OS และไลบรารี่มาตรฐานมีอยู่ในรูปแบบซอร์สหรือไบนารีโดยที่ไม่มีค่าใช้จ่ายสำหรับแพลตฟอร์มหลักทั้งหมดและสามารถแจกจ่ายได้อย่างอิสระด้วย ภาษาไพธอนสร้างโดย คีโด ฟัน โรสซึม ในปีพ.ศ. 2553 เป็นโปรแกรมเมอร์ชาวดัตช์ที่เป็นที่รู้จักว่าเป็นผู้สร้างภาษาไพทอน หรือ “Benevolent Dictator For Life” (BDFL)

นามสกุลไฟล์ ของ Python เวอร์ชั่น 3.5 ขึ้นไป

.py, .pyi, .pyc, .pyd, .pyo, .pyw, .pyz

ลักษณะเด่นของภาษา Python การที่ภาษา Python ได้รับความนิยม เนื่องด้วยความโดดเด่นในตัวภาษาที่ไม่อาจจะหาได้จากภาษาโปรแกรมอื่น ๆ อย่างเช่น การรองรับ ฟังก์ชันพื้นฐานของข้อมูล เช่น MySQL, Sybase , Informix, ODBC การที่สามารถนำ ไฟล์ DLL(Dynamic Link Libray) มาใช้ร่วมกันได้ การประมวลผลทางด้านกราฟฟิก ด้วย Library ทำภาพเบลอ ภาพชัด หรือเขียน Text แทรกเข้าไปบนภาพ หรืองานด้าน image processing ก็ทำได้ยอดเยี่ยม และที่กำลังนิยมกันอย่างสูง คือ สนับสนุนงานด้าน ปัญญาประดิษฐ์ (Machine learning) อีกด้วย

2.1.6 ชุดควบคุมแม่เหล็กและ HIP Battery & Power Supply รุ่น 902-3C

ภาพที่ 4 ชุดควบคุมแม่เหล็กและกล่อง Control HIP รุ่น 902-3C

HIP Magnetic Lock 600P

เป็นกลอนแม่เหล็กไฟฟ้า ขนาด 600 ปอนด์ เป็นชุดล็อกประตูไฟฟ้าใช้ในการควบคุมการเปิดปิดประตู โดยทำงานร่วมกับระบบคีย์การ์ด/ระบบสแกนลายนิ้วมือ/ระบบสแกนใบหน้า เหมาะกับการติดตั้งกับประตูกระจก อลูมิเนียม ประตูไม้

- Type: Fail-Save ไม่มีกระแสไฟ-เปิด
- LED
- 12 V/500 mA
- 3.5 kgs

HIP-CM902 (HIP POWER SUPPLY 12 VDC AND CONTROLLER 3 AMP)

คุณสมบัติทางเทคนิค

- Power Supply คุณภาพสูงจาก HIP รุ่น CM902 ความจุ 3Amp อุปกรณ์สำหรับจ่ายไฟสำหรับระบบ Access Control
- ชุดล็อกอิเล็กทรอนิกส์แบตเตอรี่สำรองและอื่น ๆ ภายในสามารถบรรจุ Battery HIP ได้ 1 ลูก
- อุปกรณ์สำหรับจ่ายไฟสำหรับระบบ Access Control ทั้งระบบ (กลอนแม่เหล็กไฟฟ้า , Battery, Exit Switch)
- ใช้สำหรับระบบควบคุมประตูด้วยเครื่องทาบบัตร, เครื่องอ่านการ์ด และเครื่องสแกนลายนิ้วมือ
- Power Supply 12 VDC and Controller 3Amp
- Size 214*168*73mm
- Can build in Battery

2.1.7 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

2.1.7.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

หรือที่เราเรียกกันย่อ ๆ ว่าค่าเฉลี่ย เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ($\overline{X}$) เป็นค่ากลางทางสถิติค่าหนึ่ง หลักการการหาค่าเฉลี่ยคือ เอาค่าทั้งหมดที่มีรวมกัน แล้วนำมาหารด้วยจำนวนของข้อมูล

2.1.7.2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลไม่แจกแจงความถี่

ข้อมูลไม่แจกแจงความถี่จะมีลักษณะเป็นตัวๆ คือ X1,X2,...,Xn ดังนั้น ค่าเฉลี่ยเลขคณิต คือ

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{N}$$

เมื่อ $\overline{X}$ (เอ็กซ์บาร์) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum x$ คือ ผลบวกของข้อมูลทุกค่า

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.1.7.3 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลที่แจกแจงความถี่

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\overline{X} = \frac{\sum fx}{n}$$

เมื่อ $\overline{X}$ (เอ็กซ์บาร์) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

f คือ ความถี่ของข้อมูล

x คือ ค่าของข้อมูล(ในกรณีการแจกแจงความถี่ไม่เป็นอันตรภาคชั้น

2.1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation หรือ SD)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ SD คิดค้นโดย ฟรานซิส กาลตัน (Francis Galton) ในช่วงปลายคริสต์ทศวรรษ 1860 จุดประสงค์ของการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็คือหาค่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ออกหากจากค่าเฉลี่ยกลางของข้อมูล ค่ายิ่งมากแสดงว่ามีการแปรปรวนหรือการกระจายของข้อมูลสูง

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าวัดการกระจายที่สำคัญทางสถิติ เพราะเป็นค่าที่ใช้บอกถึงการกระจายของข้อมูลได้ดีกว่าค่าพิสัย และค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย

สูตรที่ 1 $$S.D. = \sqrt{\frac{(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

สูตรที่ 2 $$S.D. = \sqrt{\frac{n\sum x^2-(\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x คือ ข้อมูล (ตัวที่ 1,2,3...,n)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

หมายเหตุ ในกรณีที่ $\bar{x}$ เป็นทศนิยมทำให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณ จึงควรเลือกใช้สูตรที่ 2

2.1.5 Trimmean

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางโดยใช้มัชฌิมเลขคณิตอาจจะมีความคลาดเคลื่อนไปถ้าหากข้อมูลมีค่าที่ผิดปกติไปจากกลุ่มหรือที่เรียกว่า Extreme Value ดังนั้นหากข้อมูลมีค่าผิดปกติแล้ว การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางที่เหมาะสมจะกลายเป็นค่ามัธยฐาน (Median) นักสถิติจึงได้แก้ไขปัญหานี้โดยคิดวิธีใหม่ขึ้นมาเรียกว่า Trimmed Means

Trimmed Means สามารถคำนวณได้โดยการเรียงลำดับข้อมูลจากน้อยไปมาก แล้วลบข้อมูลที่น้อยที่สุดและมากที่สุดออกและนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยอีกประเภทที่นำข้อมูลที่มากที่สุดและน้อยที่สุดออกไปจากการหาค่าเฉลี่ย ตัวอย่างเช่น

- 6, 12, 14, 10, 10, 7, 21, 12, 14, 9
- นำมาเรียงลำดับจากน้อยไปหามากจะได้ 6, 7, 9, 10, 10, 12, 12, 14, 14, 21
- ตัดค่าที่มากที่สุดกับน้อยที่สุดออกไปจะเหลือ 7, 9, 10, 10, 12, 12, 14, 14,
- นำมาหาค่าเฉลี่ย (7+9+10+10+12+12+14+14)/6 = 14.67
- เราสามารถลบข้อมูลมากที่สุดและน้อยที่สุดออกไปได้มากกว่า 2 ค่า

โดยการคำนวณด้วยสูตรดังนี้

$$\text{Trimmed mean} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=p+1}^{n-p} x_{(i)}}{n - 2p}$$

2.1.6 Confusion Matrix

Confusion Matrix ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินผลลัพธ์ของการทำนาย หรือ Prediction ที่ทำนายจาก Model ที่เราสร้างขึ้น ใน Machine learning โดยมีไอเดียจากการวัดว่าสิ่งที่เราคิด (Model ทำนาย) กับ สิ่งที่เกิดขึ้นจริง มีสัดส่วนเป็นอย่างไร แสดงตัวอย่างของเครื่องมือนี้ได้จากตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางของ Confusion Matrix

Confusion Matrix

	Actually Positive (1)	Actually Negative (0)
Predicted Positive (1)	True Positives (TPs)	False Positives (FPs)
Predicted Negative (0)	False Negatives (FNs)	True Negatives (TNs)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางของ Confusion Matrix

- **True Positive (TP)** = สิ่งที่ทำนาย ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ในกรณี ทำนายว่าจริง และสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือ จริง
- **True Negative (TN)** = สิ่งที่ทำนายตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น ในกรณี ทำนายว่า ไม่จริง และสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือ ไม่จริง
- **False Positive (FP)** = สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น คือทำนายว่า จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง
- **False Negative (FN)** = สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับที่เกิดขึ้นจริง คือทำนายว่าไม่จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง

โดย TP,TN,FP,FN ในตารางจะแทนด้วยค่าความถี่

เราสามารถใช้ Confusion Matrix มาคำนวณการประเมินประสิทธิภาพของการทำนายด้วย Model ของเรา ในรูปแบบค่าต่าง ๆ ได้หลายค่า ได้แก่

- Accuracy (ความถูกต้องที่เราทายได้ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง)
- Accuracy (ความถูกต้อง) = (TPs + TNs) / (TPs + TNs + FPs + FNs)

หรือกล่าวได้ว่า Accuracy = ผลรวมของตัวเลขบนเส้นทแยงมุมในตาราง Confusion Matrix / จำนวน observations ทั้งหมด โดยความเป็นจริงแล้ว Confusion matrix ไม่จำเป็นต้องเป็นแบบ 2x2 หรือมีผลลัพธ์แค่ 2 แบบ เสมอไป โดยอาจเป็น 3x3,4x4, nxn ก็ได้ โดยวิธีการหา

Accuracy ก็ใช้แบบเดิม คือ ผลรวมของตัวเลขบนเส้นทแยงมุมในตาราง Confusion Matrix / จำนวน observations ทั้งหมด

Precision (ค่าความแม่นยำ)

เป็นการเปรียบเทียบ การทำนายที่ถูกต้องว่า จริง และก็เกิดขึ้นจริง (TP) กับ การทำนายว่า จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง (FP)

Precision = TPs / (TPs + FPs)

Recall

(ความถูกต้องของการทำนายว่าจะเป็น “จริง” เทียบกับ จำนวนครั้งของเหตุการณ์ทั้งทำนาย และ เกิดขึ้น ว่า “เป็นจริง”)

Recall = TPs / (TPs + FNs)

F1 score

F1-Score เป็นค่าเฉลี่ยแบบ harmonic mean ระหว่าง precision และ recall จุดประสงค์ของการสร้าง F1 ขึ้นมา คือ เพื่อเป็น single metric ที่วัดความสามารถของโมเดล

F1 = 2 x (Precision x Recall) / (Precision + Recall)

2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

(Jorge E. Luzuriaga et al., 2017) ปัจจุบันมีการพัฒนาระบบที่เกี่ยวกับความฉลาดของเทคโนโลยีมากขึ้นเรื่อย ๆ และก้าวเข้าสู่ยุค Internet of Things (IoT) และเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายอย่างรวดเร็ว จึงมีการคิดค้นช่องทางการส่งข้อมูลหลายช่องทาง (Chen, 2014) โดย MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) คือโปรโตคอลที่ผู้พัฒนาออกแบบมาเพื่อสำหรับ IoT โดยเฉพาะ เป็นลักษณะการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์สองอุปกรณ์ขึ้นไป เป็นโปรโตคอลที่เหมาะสำหรับการสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สาย ที่มีข้อมูลแบนด์วิดท์ที่น้อยและข้อมูลที่จำกัดอย่างไรก็ตาม MQTT ยังไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพบนมือถือเมื่อระยะเวลาของการเชื่อมต่อถูกตัดขาดหรือโดยการเชื่อมต่อใหม่ (มือถืออาจจะเปลี่ยนเครือข่ายการเชื่อมต่ออื่น) นี้อาจเป็น

ข้อบกพร่องหรือเป็นข้อจำกัดต่อการยอมรับมาตรฐานของโปรโตคอล MQTT นี้ ซึ่งอาจจะประสบปัญหาบ่อยและในระยะยาวของการหยุดของข้อมูลถึงขั้นร้ายแรงต่อระบบได้

2.2.2 อัลกอริทึมการวางตำแหน่ง

(Yishi Han et al., 2016) บทความนี้กล่าวว่าอัลกอริทึมเหล่านี้แปลงสัญญาณที่บันทึกไว้เป็นระยะทาง แล้วคำนวณตำแหน่งที่แท้จริงของวัตถุเป้าหมาย ตัวอย่างเช่น เมื่อประมาณระยะห่างระหว่างวัตถุเป้าหมายและจุดอ้างอิงประมาณอัลกอริทึมจะคำนวณและกำหนดตำแหน่งของวัตถุ นอกจากนี้อัลกอริทึมการวางตำแหน่งต่าง ๆ ยังช่วยเพิ่มความแม่นยำของตำแหน่งที่กำหนด ความถูกต้องของข้อมูลที่รวบรวมไว้ที่ตำแหน่งขึ้นอยู่กับการแก้ไขความถูกต้องของค่าคุณสมบัติสัญญาณ นอกจากนี้อัลกอริทึมการวางตำแหน่งมีข้อดีและข้อเสียที่ไม่เหมือนใครดังนั้นการใช้อัลกอริทึมการวางตำแหน่งมากกว่าหนึ่งประเภทในเวลาเดียวกันจะปรับปรุงความแม่นยำและประสิทธิภาพของตำแหน่ง (Retscher, 2016) ดังนั้นเทคนิคหลายอย่างที่มีอยู่สำหรับการกำหนดตำแหน่งคือการวิเคราะห์แบบสามเหลี่ยม ไตรภาคี การวิเคราะห์ความใกล้เคียงและฉากและคุณสมบัติสัญญาณต่าง ๆ จะถูกนำไปใช้ภายในอัลกอริทึมการวางตำแหน่งที่สอดคล้องกัน

(Ahmed Azeez et al., 2016) บทความนี้กล่าวถึง Proximity ไม่เหมือนกับการวิเคราะห์สมการ การประมาณตำแหน่งที่แน่นอนหรือสัมพัทธ์เพราะให้ข้อมูลตำแหน่งเท่านั้น เมื่อมีการรวบรวมอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนไหวแล้ว จะใช้ในการคำนวณตำแหน่งของสัญญาณที่พบ (Klaithem Al Nuaimi and Kamel, 2011) แต่หากตรวจพบอุปกรณ์มือถือด้วยมากกว่าหนึ่งจะใช้เครื่องที่มีสัญญาณแรงที่สุดในการคำนวณตำแหน่ง ตำแหน่งของอุปกรณ์มือถือถูกกำหนดโดยใช้ RSSI (Jeffrey Hightower et al., 2000) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เพื่อประเมินระยะห่างระหว่างอุปกรณ์พกพาเพื่อรับข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ การรับตำแหน่งของอุปกรณ์นั้นมีประโยชน์มากในบริการและแอปพลิเคชัน เช่น การติดตามและการนำทาง นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ในระบบที่ใช้ IR, RFID และบลูทูธ

2.2.3 การใช้ทฤษฎีมาคำนวณ

(Cox, 2013) บทความนี้กล่าวถึงวิธีการตัดแต่งข้อมูลการคำนวณหลังจากการตั้งค่าบางส่วนไว้ในข้อมูลข้างเดียวหรือทั้งสองข้างของการกระจายข้อมูลตัวอย่าง ในกรณีที่ง่ายและธรรมดาที่สุดคือเปอร์เซ็นต์เดียวกันหรือจำนวนจะถูกกำหนดไว้ในแต่ละข้างโดยละเว้นจำนวนที่เท่ากันของค่าต่ำสุดและสูงสุด วิธีการตัดแต่งวิธีที่ง่ายที่สุดคือการกันเศษส่วนของ สถิติลำดับต่ำสุดและสถิติลำดับสูงสุด จากนั้นจึงคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยของสิ่งที่เหลืออยู่ โดยสมการ

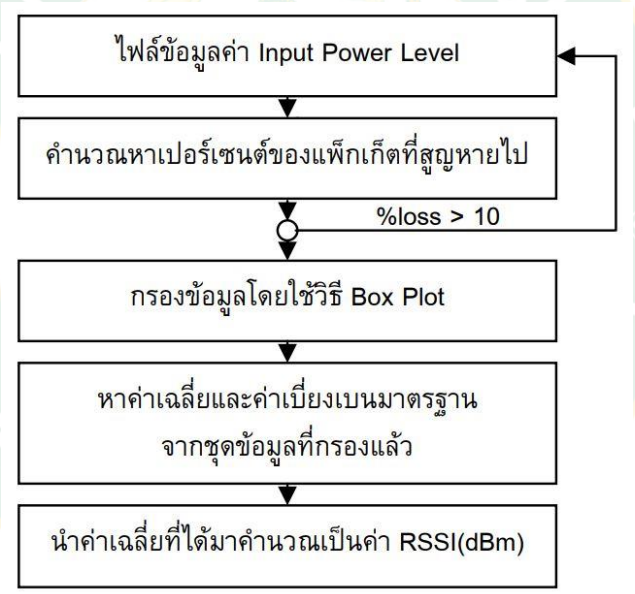
$$y_{(1)} \leq y_{(2)} \leq \cdots \leq y_{(n-1)} \leq y_{(n)}$$

โดยให้ y (1) เป็นค่าที่น้อยที่สุดและ y (n) มีค่ามากที่สุด วิธีการตัดแต่งวิธีที่ง่ายที่สุดคือการกันเศษส่วนของสถิติลำดับต่ำสุดและเศษส่วนเดียวกันของสถิติลำดับสูงสุดจากนั้นจึงเป็นคำนวณค่าเฉลี่ยของสิ่งที่เหลืออยู่ ตัวอย่างเช่นสมมติว่า n = 100 และกันไว้ 5% ในแต่ละข้างคือ

y (1), . . ., y (5) และ y (96), . . ., y (100)

จากนั้นเราสามารถหาค่าเฉลี่ยของ y (6), . . ., y (95)

(Wiriyaporn Pattarapakorn and Santiamorntut, 2008) บทความนี้กล่าวถึงการคำนวณค่า RSSI ในการเก็บค่า RSSI ซึ่งหากค่าแกว่งมาก จำเป็นที่จะตองเก็บข้อมูลหลายครั้งแล้วนำชุดข้อมูลมาเข้าสู่กระบวนการทางสถิติเพื่อให้ได้คา RSSI (dBm)



แสดงขั้นตอนของกระบวนการทางสถิติเพื่อคำนวณหาค่า RSSI โดยเริ่มจากการนำไฟลข้อมูลมาเข้าสู่กระบวนการทางสถิติจนกระทั่งได้ค่า RSSI เพื่อที่จะคำนวณเป็นระยะทางโดยมีขั้นตอนการกรองข้อมูลดังนี้

1. นำไฟล์ข้อมูลมาเข้าสู่กระบวนการทางสถิติ ไฟล์ข้อมูลที่จะนำมาคำนวณต้องมีรูปแบบตามหน่วยเก็บข้อมูลข้างต้นและจะต้องไม่มีการเพิ่มเติมตัวอักษรหรือตัวเลขใด ๆ

2. คำนวณหาร้อยละของการสูญหายของแพ็กเกจข้อมูล หากมีค่ามากกว่าร้อยละ 10 จะถือว่าชุดข้อมูลที่เก็บข้อมูลมีความน่าเชื่อถือต่ำและจะต้องเก็บข้อมูลใหม่ด้วยสูตรดังนี้

$$\%loss = \frac{(packet_sequence_{counter_n} - packet_sequence_{counter_n} + 1)}{N} \times 100$$

เมื่อ ***%loss*** หมายถึง เปอร์เซ็นต์การสูญหายของแพ็กเกจข้อมูล

$Packet_sequence_{counter_n}$ หมายถึง หมายเลขแพ็กเกจที่ลำดับ n

$Packet_sequence_{counter_1}$ หมายถึง หมายเลขแพ็กเกจที่ลำดับ 1

N หมายถึง จำนวนแพ็กเกจทั้งหมดในไฟล์ข้อมูล

3. กรองข้อมูลโดยใช้วิธี Box Plot

- หาตำแหน่งควอร์ไทล์ที่1(Q1) และ ควอร์ไทล์ที่3(Q3) จากสูตรด้านล่างนี้ เมื่อมีข้อมูลจำนวน N ข้อมูล

$$P_{Q1} = 0.25 \times N$$
$$P_{Q3} = 0.75 \times N$$

- หาค่าขอบบน ขอบล่าง และ Inter-Quartile Range (IQR) เพื่อใช้ในการกรองข้อมูล ซึ่งมีสูตรการ ดังนี้

$$\text{ขอบล่าง} = Q1 - 1.5 \times IQR$$
$$\text{ขอบบน} = Q3 + 1.5 \times IQR$$
$$IQR = Q3 - Q1$$

4. หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชุดข้อมูลที่กรองแล้ว

5. นำค่าเฉลี่ยมาคำนวณเป็นค่า RSSI

(Shah, 2020) บทความนี้กล่าวถึงการนำค่า RSSI ที่กรองแล้ว นำมาคำนวณเป็นระยะทาง โดยการวัดจากกำลังส่งพื้นฐานของบลูทูธ RSSI ที่คาดหวังในระยะทาง 1 เมตรถึงตัวรับสัญญาณ โดยการหาระยะทางคำนวณได้จากสูตร

- Distance คือ ระยะทาง
- Measured Power คือ กำลังที่วัดได้ (ในที่ 1 เมตร)
- RSSI คือ ข้อมูล RSSI ที่วัดได้
- N คือ (ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ช่วง 2-4, มีความแข็งแรงต่ำไปสูงลำดับ)

$$\text{Distance} = 10 \wedge ((\text{Measured Power} - \text{RSSI})/(10 * N))$$

***ใช้พลังงานวัดเป็นที่รู้จักกันเป็น 1 เมตร RSSI ดังนั้นพิจารณาค่าของกำลังที่วัด = -69

RSSI = ได้รับค่า RSSI จากอุปกรณ์ (ตัวอย่างเช่น คุณได้รับ -80)

N = 2 (พิจารณาความแข็งแรงต่ำ)

ตัวอย่างการคำนวณค่าระยะทาง

RSSI = -60, -69, -80

N = 2

1. Distance for RSSI -60 = 10 ^ ((-69 – (-60))/(10 * 2)) = 0.35 meter
2. Distance for RSSI -69 = 10 ^ ((-69 – (-69))/(10 * 2)) = 1 meter
3. Distance for RSSI -80 = 10 ^ ((-69 – (-80))/(10 * 2)) = 3.54 meter

(Toulson, 2020) บทความนี้กล่าวถึง Measured Power ช่วงสัญญาณที่ส่งสูงสุดขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ความแรงสัญญาณอาจได้รับการรบกวนหรือดูดซับผ่านสิ่งกีดขวาง โดยกำลังส่งเริ่มต้นสำหรับ iOS หรือ Android แสดงตามตาราง (ENGEL, 2017) และบลูทูธเวอร์ชัน 5 มีระยะการทำงานภายนอกอาคารที่ 200 เมตร หรือเมื่อไม่มีวัตถุใด ๆ กีดขวาง (Line of Sight) และ 40 เมตรในอาคาร

TX Power level	Transmission Power	RSSI @ 1 meter	Approximate range (meters)
0	-30 dBm	-115	2
1	-20 dBm	-84	4
2	-16 dBm	-81	10
3	-12 dBm	-77	20
4	-8 dBm	-72	30
5	**-4 dBm**	**-69**	**40**
6	0 dBm	-65	60
7	4 dBm	-59	70

ตารางที่ 3 กำลังส่งเริ่มต้นสำหรับ iOS หรือ Android ในบลูทูธเวอร์ชัน 5

บทที่ 3 วิธีการวิจัยหรืออุปกรณ์และวิธีการ

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวิจัยหรืออุปกรณ์และวิธีการ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำความรู้จักของการใช้งานบลูทูธและนำชุดข้อมูลของค่า RSSI ของสัญญาณบลูทูธในแต่ละระยะทาง มาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการพัฒนาเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายต่อผู้ใช้ระบบ โดยจะค้นคว้าในงานวิจัยต่าง ๆ รวมถึงทฤษฎีความเป็นไปได้ของการนำเทคโนโลยีบลูทูธมาใช้ในการสั่งเปิดประตูอัตโนมัติได้ โดยเทคโนโลยีบลูทูธนั้น คืออุปกรณ์หลักของการสื่อสารไร้สาย เป็นเทคโนโลยีสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์คงที่และอุปกรณ์พก พาในระยะทางสั้น ๆ โดยใช้คลื่นวิทยุ UHF ความยาวคลื่นสั้นในย่านความถี่จาก 2.400 ถึง 2.485 GHz ได้รับการจัดการโดย Bluetooth Special Interest Group (SIG) ที่ได้มาตรฐาน IEEE เป็น IEEE 802.15.1 แนวคิดหลักของ บลูทูธคือการพัฒนาวิธีเชื่อมต่อแบบกว้าง ๆ ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย โดยไม่ต้องใช้สายเคเบิล บลูทูธเป็นหนึ่งในคำหลักที่เกี่ยวข้องกับยุค Internet of Thing (IoT) เนื่องจากสามารถหาข้อมูลตำแหน่งข้อมูลวัตถุภายในอาคารที่แม่นยำมากกว่าเทคโนโลยี GPS ซึ่งการให้บริการระบุตำแหน่งบนอุปกรณ์มือถือในปัจจุบันเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยี บลูทูธจึงได้รับการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์มือถือ ซึ่งลักษณะสัญญาณของบลูทูธ จะเป็นตัวบ่งชี้ความแรงของสัญญาณ เป็นค่าการวัดพลังงานที่มีอยู่ในสัญญาณวิทยุที่ได้รับ ในงานวิจัยนี้จะหาช่วงระยะทางตามตำแหน่งโดยใช้การการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง (RSSI) และระยะห่างระหว่างสองอุปกรณ์บลูทูธ ให้อยู่ในช่วงระยะทางและเวลาที่เหมาะสมกับการใช้บลูทูธเพื่อควบคุมการทำงานของระบบประตูอัตโนมัติ

บลูทูธเป็นเทคโนโลยีไร้สายระยะสั้นที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับสัญญาณแบนด์วิธที่ต่ำ ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์สองชิ้นขึ้นไป มีหน้าที่เสมือนเป็นสายเคเบิลเปลี่ยนอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น โทรศัพท์มือถือ,ชุดหูฟังและคอมพิวเตอร์พกพา บลูทูธเป็นเทคโนโลยีทางเลือกสำหรับอุปกรณ์การหาตำแหน่งภายในอาคารเมื่อเปรียบเทียบกับการปล่อยสัญญาณแบบวายฟาย (WIFI) ต้นทุนของบลูทูธต่ำกว่าและทางด้านการใช้พลังงาน บลูทูธใช้พลังงานการส่งที่ต่ำกว่าและเป็นการควบคุมพลังงานการส่งข้อมูลโดยอัตโนมัติ เนื่องจากพลังงานเป็นสิ่งสำคัญในโทรศัพท์มือถือ จากการเปรียบเทียบจึงทำให้บลูทูธเป็นอุปกรณ์แสดงตำแหน่งที่น่าสนใจยิ่งขึ้นสำหรับพื้นที่ในอาคาร และส่วนมากการพัฒนาระบบในอาคารปัจจุบัน เช่น การระบุตำแหน่งในอาคาร นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย รวมไปถึงบลูทูธพลังงานต่ำอย่าง BLE Beacon ก็ด้วย โดยงานวิจัยนี้จะใช้บลูทูธของมือถือสมาร์ทโฟนในการทดสอบเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริง

จากที่กล่าวมาข้างต้นงานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่ต้องการทำให้ระบบประตูอัตโนมัติสามารถเปิดประตูได้ด้วย บลูทูธของสมาร์ทโฟนแทนบัตร RFID โดยผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนในการทำการวิจัยไว้ดังนี้

ที่	ขั้นตอนการดำเนินการ	เดือนที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	การทำความเข้าใจกับปัญหา	↔							
2	การเตรียมข้อมูล		↔	↔					
3	ศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง			↔	↔	↔			
4	การพัฒนาตัวต้นแบบ					↔	↔		
5	การทดสอบตัวต้นแบบ						↔	↔	
6	สรุปผลการวิจัยและจัดทำเอกสารวิทยานิพนธ์							↔	↔

ตารางที่ 4 ตารางแสดงกำหนดขั้นตอนในการทำงานวิจัย

3.1.1 การทำความเข้าใจปัญหา (Problem Understanding)

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำบลูทูธมาใช้เป็นตัวเปิดระบบประตูอัตโนมัติ จากระบบเดิมที่มีอยู่ปัจจุบันยังใช้สมาร์ทการ์ดหรือลายนิ้วมือในการสั่งเปิดประตูอัตโนมัติอยู่ ในระบบที่เรานำเสนอนี้เราใช้บลูทูธเป็นตัวยืนยันแทนสมาร์การ์ดและลายนิ้วมือ เพราะระบบเดิมเป็นแบบ RFID ผู้ใช้เองยังต้องพกสมาร์ทการ์ด ในบางครั้งอาจจะลืมการ์ด แต่บลูทูธมีอยู่ในมือถือสมาร์ทโฟนอยู่แล้วและผู้ใช้ปัจจุบันพกมือถือกันตลอดเวลา จึงสะดวกต่อการทำพัฒนาระบบนี้ขึ้นมาเพื่อเสริมประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งระบบใหม่นี้ช่วยย่นระยะเวลาการเปิดประตูอัตโนมัติได้ดีกว่าการใช้ RFID และสามารถช่วยลดการสัมผัสโดยตรงกับอุปกรณ์ได้ด้วย

3.1.2 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลในการใช้วิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลค่า RSSI บลูทูธจากมือถือสมาร์ทโฟน 2 ระบบปฏิบัติการ คือ ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) และระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS) มาเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณในระยะทางที่กำหนดในสถานที่ทดลองจริง คือ ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลปและห้องสำนักงานโครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ โดยการวัดจะใช้มือถือสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบเชื่อมต่อกับระบบประตู

ทั้งสองห้องและวัดค่าความแรงของสัญญาณออกมา ซึ่งในวิจัยนี้จะใช้ มือถือสมาร์ทโฟนรุ่น Xiaomi Pocophone F1 และ Iphone 6 Plus โดยวิธีการเตรียมข้อมูลมีขั้นตอนดังนี้

ทดลองเพื่อหาความแรงของสัญญาณบลูทูธและเก็บรวบรวมชุดข้อมูล

จากการทดลองนี้ได้ทำการนำอุปกรณ์ทั้งสองที่ได้จากการศึกษามา คือ Raspberry pi 3 Model B+ กับ บลูทูธจากสมาร์ทโฟน นำมาทดลองรับ-ส่ง สัญญาณ และเก็บข้อมูลค่าที่ได้นำมาวิเคราะห์หาค่าค่าหนึ่งแล้วนำมาทดสอบ จากข้อมูลที่ได้มาเราได้นำมาพัฒนาทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อรองรับการใช้เทคโนโลยีบลูทูธ โดยการเขียนซอฟต์แวร์ขึ้นมาทดลองเปิดประตูอัตโนมัติและเก็บข้อมูลของการใช้งานเพื่อนำมาพัฒนาระบบให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำที่สุด

การเก็บข้อมูลความแรงสัญญาณบลูทูธ RSSI โดยการทดลองนี้ มีการวัดความแรงของค่า RSSI ตามระยะทางที่กำหนดระหว่าง 1-5 เมตร ห่างจากตัวรับสัญญาณบลูทูธตามระยะที่กำหนดไว้ โดยมีสิ่งกีดขวางในการทดลอง และทำการเก็บข้อมูลของค่า RSSI ในแต่ละระยะห่างด้วย (ทดสอบในตัวอาคารที่มีสัญญาณรบกวนอยู่หลายประเภท)

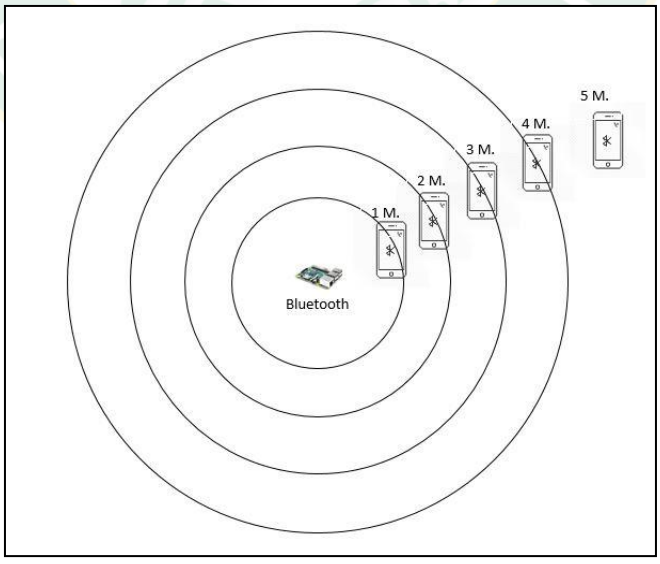
ระบบประตูห้องที่ใช้การทดลอง เพื่อให้เห็นสภาพแวดล้อมในการทดลองและใช้งานจริง

ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป (มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

ภาพที่ 5 ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป (มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

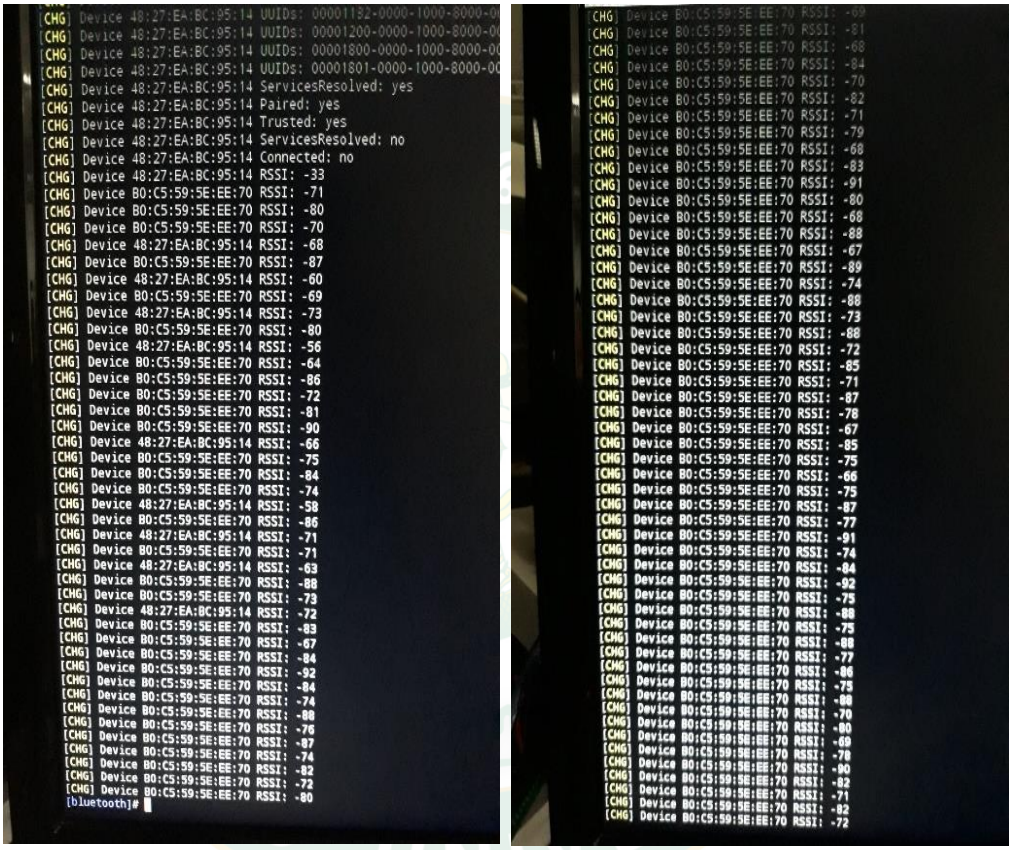
ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม

ภาพที่ 6 ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม (มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)



ภาพที่ 7 แสดงการทดสอบการรับ-ส่ง ของสัญญาณบลูทูธ

จากรูปเป็นการวัดความแรงของค่า RSSI ที่สามารถรับ – ส่งข้อมูลกันได้ แล้วนำค่า RSSI ที่ได้ตามระยะมาวิเคราะห์ความแรงของช่วงระยะทาง โดยค่าระยะทางของแต่ละระยะทางนั้นมีความไม่แน่นอน จึงมีการเก็บค่าในช่วงนั้น ๆ มาจำนวนหนึ่งของแต่ละระยะทางและหาค่าเฉลี่ยของค่า RSSI ในช่วงระยะนั้นเพื่อหาความแน่นอนของค่า RSSI เพื่อนำมาเป็นตัวเลขในการคำนวณหาระยะทางของระหว่างตัวรับและตัวส่งของบลูทูธ



ภาพที่ 8 ค่า RSSI ที่ได้จากมือถือสมาร์ทโฟน

จากนั้นนำข้อมูลมาเก็บไว้ในตารางเก็บข้อมูล โดยจะแบ่งตามระยะของการทดสอบสัญญาณ ซึ่งจะมีข้อมูลที่นำมาใช้ จำนวนระยะละ 100 ข้อมูล ดังนี้ (ตารางแบบย่อ)

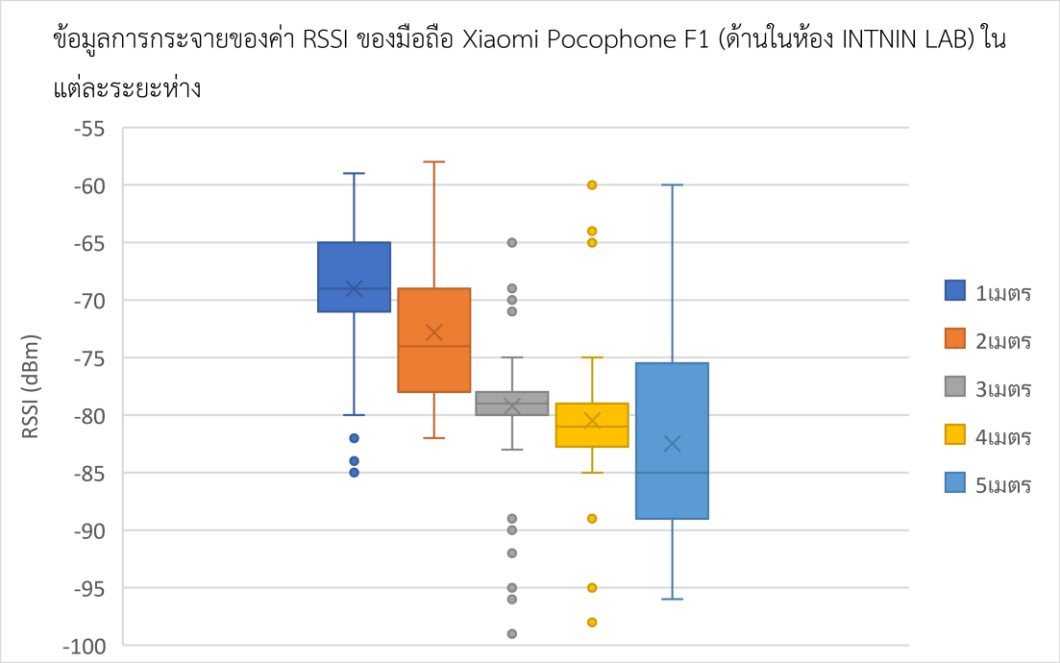
3.1.2.1 ข้อมูลทดสอบห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ด้านในห้อง)

ตารางข้อมูลจาก Raspberry pi 3 Model B+ กับ มือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) โดยการเก็บชุดข้อมูลทั้งหมด 100 ข้อมูลในการนำมาใช้ประมวลผล

ที่	**ระยะทาง (เมตร)**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	-69	-75	-81	-82	-89
2	-72	-68	-89	-81	-81
3	-70	-72	-80	-79	-64
4	-68	-74	-90	-65	-89
5	-65	-62	-80	-81	-85
6	-69	-69	-71	-82	-87
7	-74	-64	-80	-75	-86
8	-71	-82	-95	-83	-84
9	-69	-69	-79	-80	-96
10	-70	-78	-75	-89	-82
...	...	...	...	...	...
100	-71	-80	-79	-82	-96
$\overline{x}$	-69	-73	-79	-80	-82
S.D.	5	6	6	9	11

ตารางที่ 5 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านในห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

กราฟข้อมูลค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ข้อมูลนี้วัดค่าสัญญาณจากด้านในห้อง



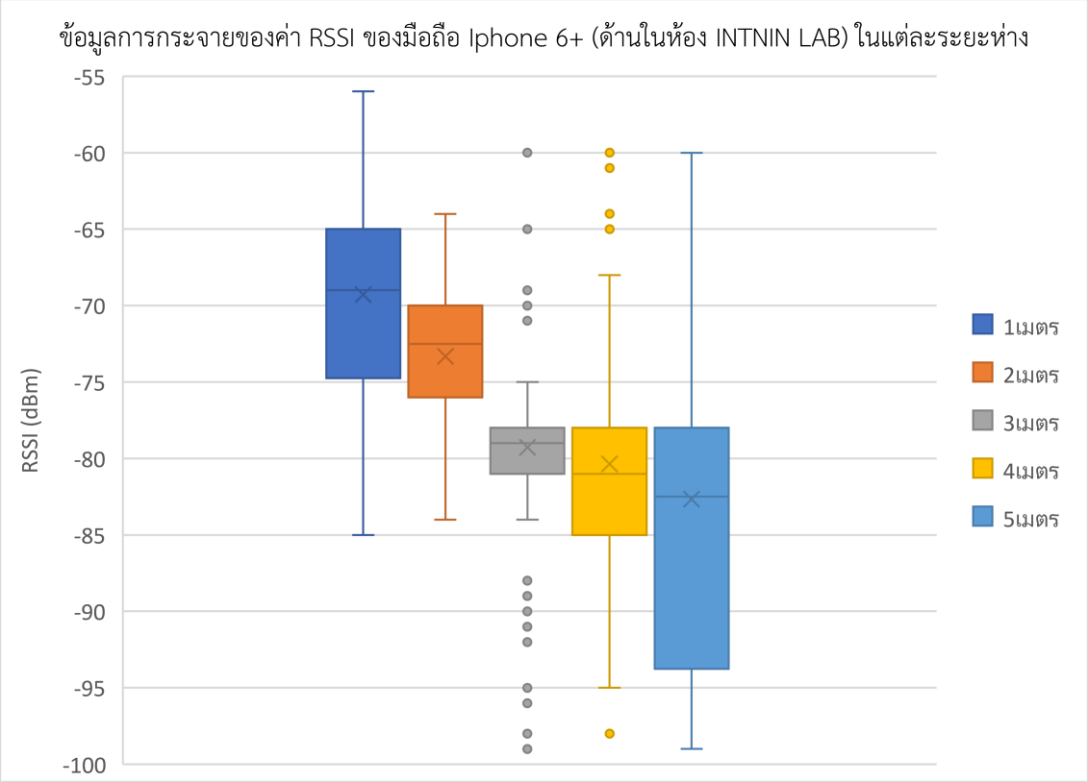
ภาพที่ 9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านในห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

ตารางข้อมูลจาก Raspberry pi 3 Model B+ กับ มือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ระบบปฏิบัติการ iOS) โดยการเก็บชุดข้อมูลทั้งหมด 100 ข้อมูลในการนำมาใช้ประมวลผล

ที่	ระยะทาง (เมตร)				
	1	2	3	4	5
1	-69	-71	-81	-80	-81
2	-71	-70	-82	-81	-76
3	-74	-65	-81	-83	-83
4	-60	-71	-84	-69	-89
5	-69	-70	-77	-78	-81
6	-68	-73	-75	-80	-75
7	-62	-69	-79	-79	-76
8	-73	-70	-89	-83	-81
9	-68	-72	-79	-75	-74
10	-70	-80	-77	-88	-88
...	...	...	...	...	...
100	-64	-75	-80	-85	-93
$\bar{x}$	-69	-73	-79	-80	-83
SD	7	5	7	10	12

ตารางที่ 6 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านในห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

กราฟข้อมูลค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus ระบบปฏิบัติการ iOS ข้อมูลนี้วัดค่าสัญญาณจากด้านในห้อง



ภาพที่ 10 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านในห้อง)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

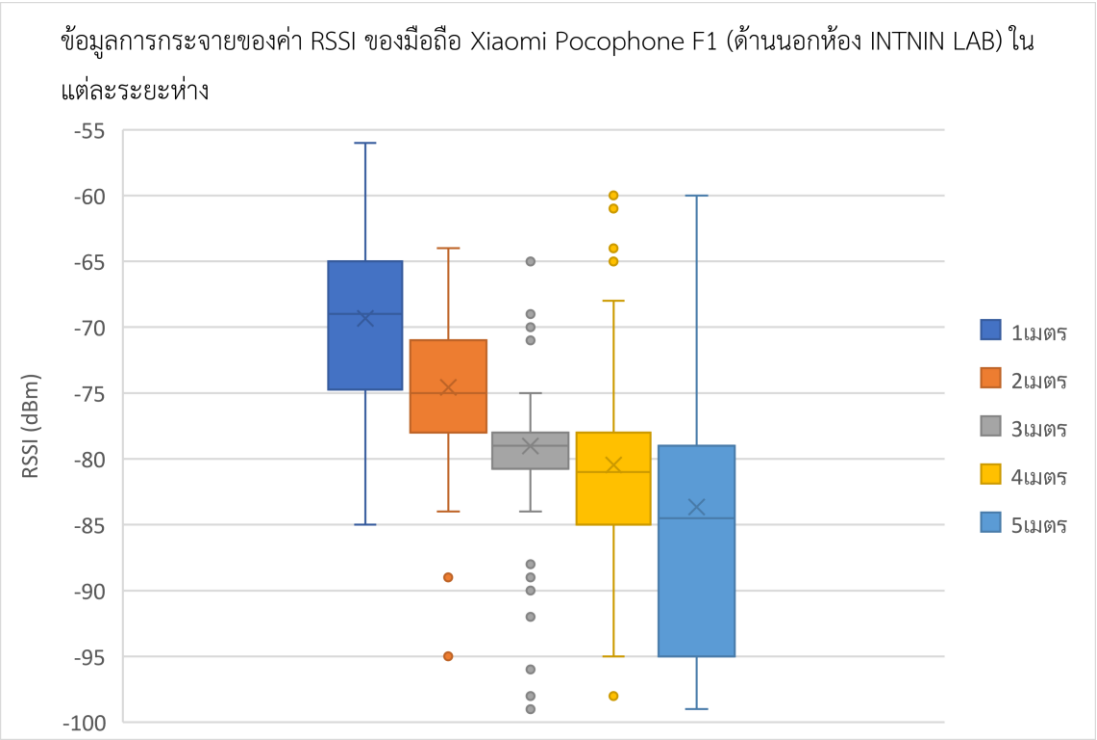
3.1.2.2 ข้อมูลทดสอบห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ด้านนอกห้อง)

ตารางข้อมูลจาก Raspberry pi 3 Model B+ กับ มือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) โดยการเก็บชุดข้อมูลทั้งหมด 100 ข้อมูลในการนำมาใช้ประมวลผล

ที่	**ระยะทาง (เมตร)**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	-68	-72	-80	-82	-79
2	-61	-82	-71	-83	-95
3	-69	-68	-83	-65	-78
4	-65	-78	-96	-81	-65
5	-63	-74	-80	-82	-94
6	-72	-75	-71	-75	-61
7	-69	-77	-80	-83	-96
8	-68	-78	-92	-80	-91
9	-74	-72	-79	-89	-98
10	-78	-71	-75	-81	-92
...	...	...	...	...	...
100	-66	-70	-88	-88	-96
$\bar{x}$	-69	-75	-79	-80	-84
SD	7	5	6	10	12

ตารางที่ 7 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านนอกห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

กราฟข้อมูลค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ข้อมูลนี้วัดค่าสัญญาณจากด้านนอกห้อง



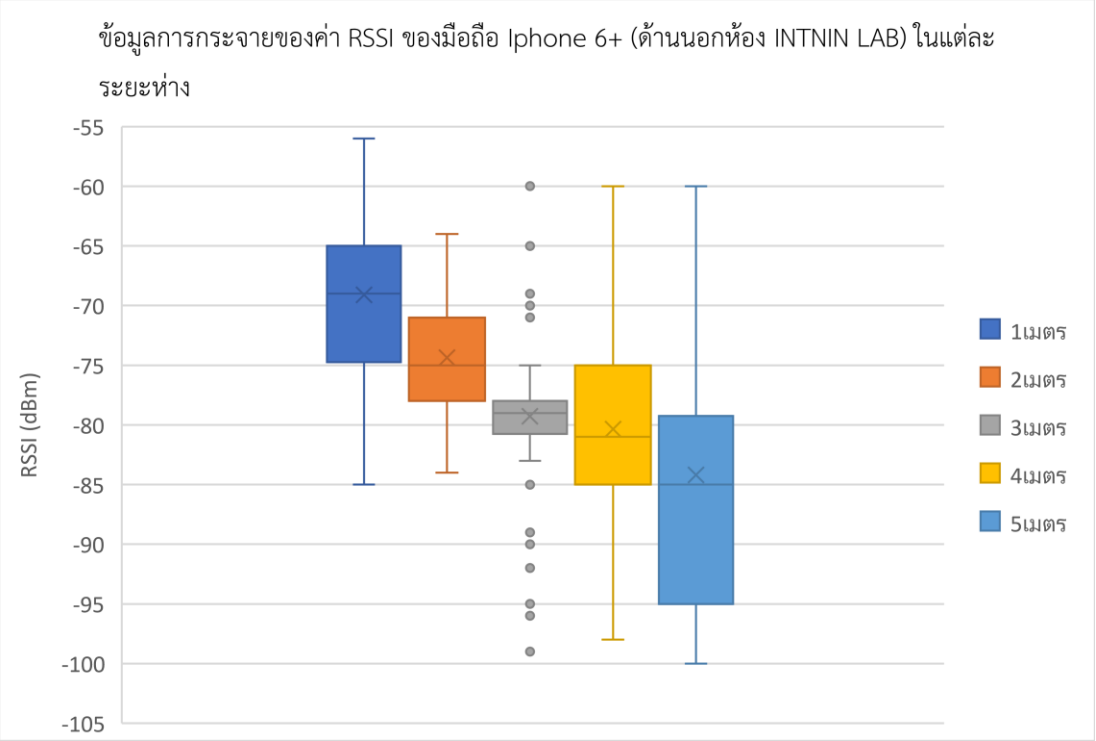
ภาพที่ 11 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านนอกห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

ตารางข้อมูลจาก Raspberry pi 3 Model B+ กับ มือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ระบบปฏิบัติการ iOS) โดยการเก็บชุดข้อมูลทั้งหมด 100 ข้อมูลในการนำมาใช้ประมวลผล

ที่	ระยะทาง (เมตร)				
	1	2	3	4	5
1	-69	-78	-96	-82	-96
2	-68	-72	-80	-95	-91
3	-71	-71	-71	-65	-98
4	-75	-77	-80	-81	-92
5	-76	-75	-92	-60	-85
6	-64	-76	-79	-98	-97
7	-56	-75	-75	-82	-79
8	-61	-73	-78	-83	-82
9	-69	-75	-79	-65	-98
10	-65	-71	-78	-81	-83
...	...	...	...	...	...
100	-78	-75	-80	-92	-99
$\bar{x}$	-69	-74	-79	-80	-84
SD	7	5	7	11	12

ตารางที่ 8 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านนอกห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

กราฟข้อมูลค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus ระบบปฏิบัติการ iOS ข้อมูลนี้วัดค่าสัญญาณจากด้านนอกห้อง



ภาพที่ 12 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านนอกห้อง) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

3.1.2.3 ข้อมูลทดสอบห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ด้านในห้อง)

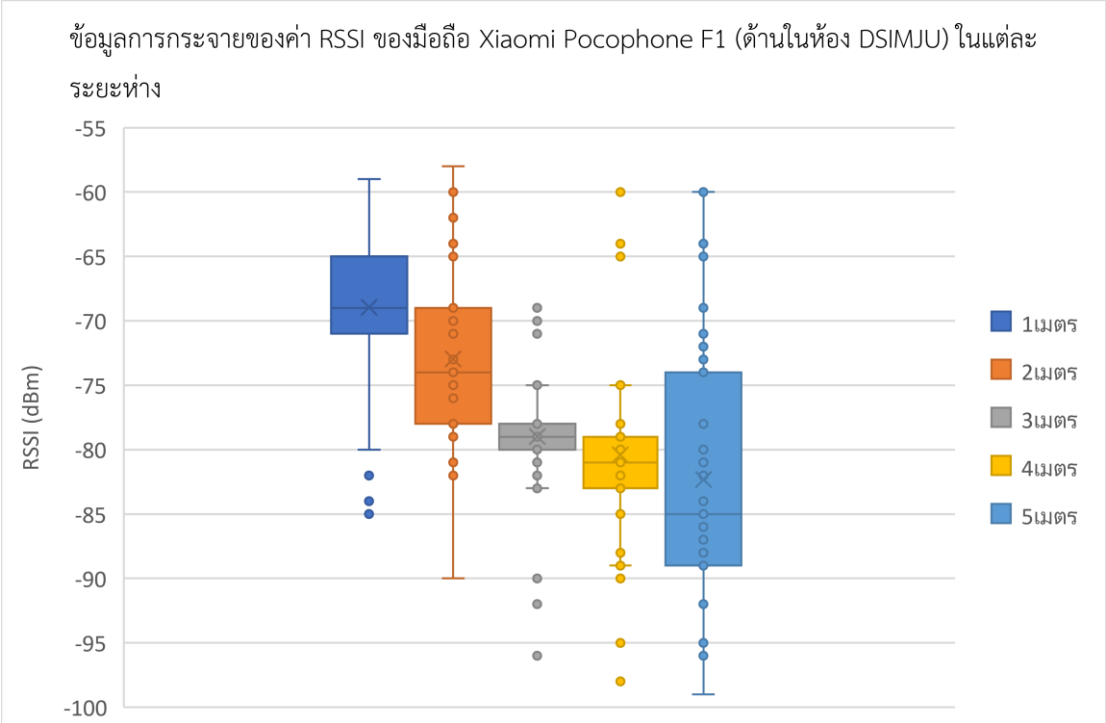
ตารางข้อมูลค่าความแรง RSSI ที่วัดจาก Raspberry pi 3 Model B+ กับ มือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) โดยการเก็บชุดข้อมูลทั้งหมด 100 ข้อมูลในการนำมาใช้ประมวลผล

ที่	ระยะทาง (เมตร)				
	1	2	3	4	5
1	-70	-78	-80	-82	-88
2	-65	-75	-71	-78	-80
3	-64	-65	-83	-85	-60
4	-71	-69	-96	-81	-95
5	-73	-65	-80	-79	-96
6	-80	-79	-71	-64	-69
7	-72	-74	-80	-81	-71
8	-71	-62	-92	-82	-72
9	-65	-69	-79	-95	-80
10	-70	-78	-75	-65	-89
...	...	...	...	...	...
100	-75	-81	-80	-78	-92
$\overline{x}$	-69	-73	-79	-80	-82
SD	5	6	5	9	11

ตารางที่ 9 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านในห้อง)

(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

กราฟข้อมูลค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ข้อมูลนี้วัดค่าสัญญาณจากด้านในห้อง



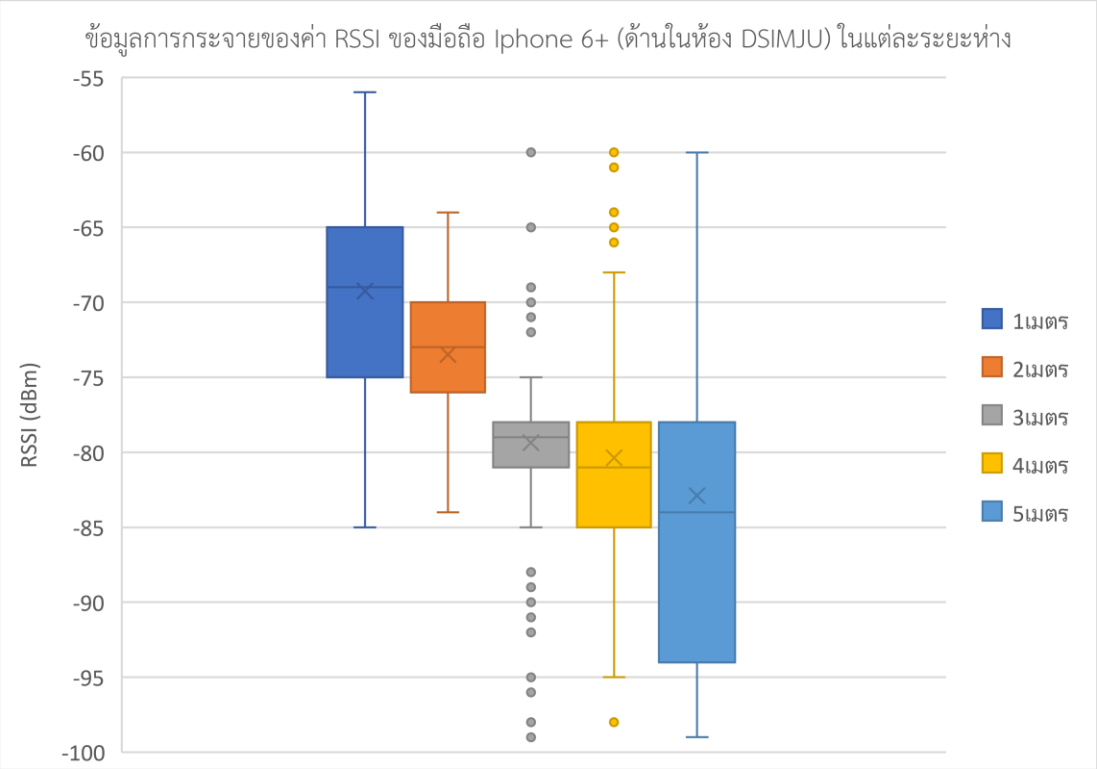
ภาพที่ 13 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านในห้อง) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

ตารางข้อมูลจาก Raspberry pi 3 Model B+ กับ มือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ระบบปฏิบัติการ iOS) โดยการเก็บชุดข้อมูลทั้งหมด 100 ข้อมูลในการนำมาใช้ประมวลผล

ที่	ระยะทาง (เมตร)				
	1	2	3	4	5
1	-68	-74	-80	-81	-75
2	-70	-71	-85	-82	-74
3	-75	-69	-81	-80	-84
4	-62	-74	-88	-66	-91
5	-67	-69	-79	-80	-86
6	-65	-72	-72	-79	-71
7	-63	-74	-80	-77	-64
8	-72	-72	-92	-80	-86
9	-69	-71	-78	-79	-79
10	-68	-81	-77	-90	-95
....	...	...	...	...	...
100	-64	-75	-80	-88	-94
$\bar{x}$	-69	-73	-79	-80	-83
SD	7	5	7	10	12

ตารางที่ 10 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านในห้อง) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

กราฟข้อมูลค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus ระบบปฏิบัติการ iOS ข้อมูลนี้วัดค่าสัญญาณจากด้านในห้อง



ภาพที่ 14 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านในห้อง)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

3.1.2.4 ข้อมูลทดสอบห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ด้านนอกห้อง)

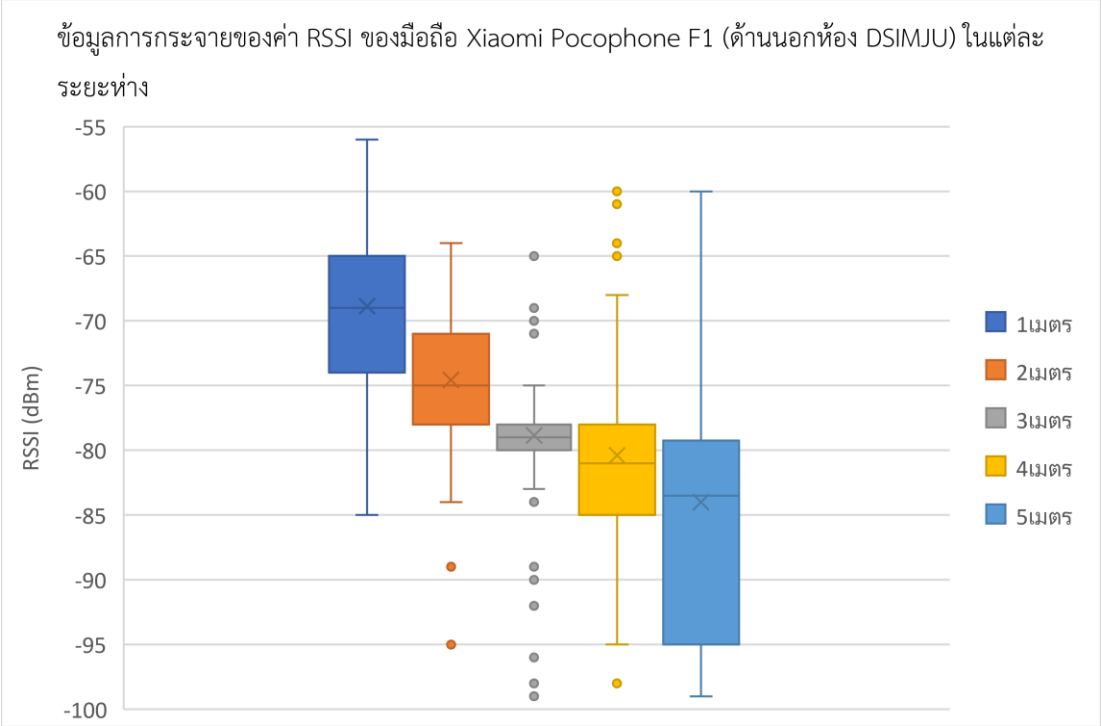
ตารางข้อมูลค่าความแรง RSSI ที่วัดจาก Raspberry pi 3 Model B+ กับ มือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) โดยการเก็บชุดข้อมูลทั้งหมด 100 ข้อมูลในการนำมาใช้ประมวลผล

ที่	ระยะทาง (เมตร)				
	1	2	3	4	5
1	-69	-74	-80	-81	-79
2	-65	-75	-71	-79	-82
3	-63	-77	-80	-64	-98
4	-72	-78	-92	-81	-83
5	-69	-72	-79	-82	-80
6	-68	-71	-75	-95	-89
7	-74	-77	-78	-65	-95
8	-78	-75	-79	-81	-97
9	-69	-76	-78	-60	-79
10	-78	-75	-90	-98	-82
...	...	...	...	...	...
100	-69	-71	-82	-87	-96
$\overline{x}$	-69	-75	-79	-80	-84
SD	7	5	6	10	12

ตารางที่ 11 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านนอกห้อง)

(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

กราฟข้อมูลค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ข้อมูลนี้วัดค่าสัญญาณจากด้านนอกห้อง



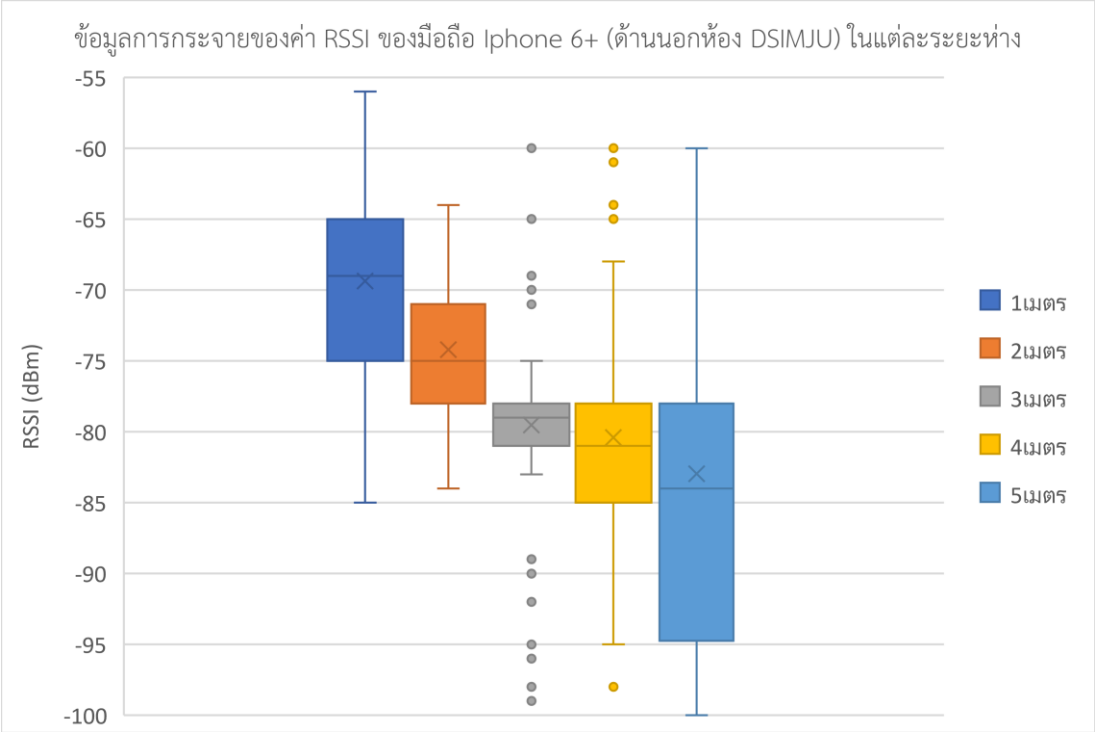
ภาพที่ 15 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Xiaomi Pocophone F1 (ด้านนอกห้อง) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

ตารางข้อมูลจาก Raspberry pi3 Model B+ กับ มือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ระบบปฏิบัติการ iOS) โดยการเก็บชุดข้อมูลทั้งหมด 100 ข้อมูลในการนำมาใช้ประมวลผล

ที่	ระยะทาง (เมตร)				
	1	2	3	4	5
1	-68	-75	-81	-82	-75
2	-70	-71	-89	-81	-74
3	-75	-70	-80	-79	-84
4	-62	-75	-90	-65	-91
5	-67	-69	-80	-81	-86
6	-65	-73	-71	-82	-71
7	-63	-75	-80	-75	-64
8	-72	-71	-95	-83	-86
9	-69	-72	-79	-80	-79
10	-68	-82	-75	-89	-95
....	...	...	...	...	...
100	-78	-75	-82	-89	-96
$\bar{x}$	-69	-74	-80	-80	-83
SD	7	5	7	10	12

ตารางที่ 12 ข้อมูลแบบย่อของ RSSI ที่วัดจากมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านนอกห้อง) (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

กราฟข้อมูลค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus ระบบปฏิบัติการ iOS ข้อมูลนี้วัดค่าสัญญาณจากด้านในห้อง



ภาพที่ 16 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของมือถือสมาร์ทโฟน Iphone 6 Plus (ด้านนอกห้อง)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

จากข้อมูลทั้งหมด 8 ตารางข้อมูลที่นำมาแสดงในรูปแบบกราฟทั้งหมดนั้น แสดงให้เห็นว่า

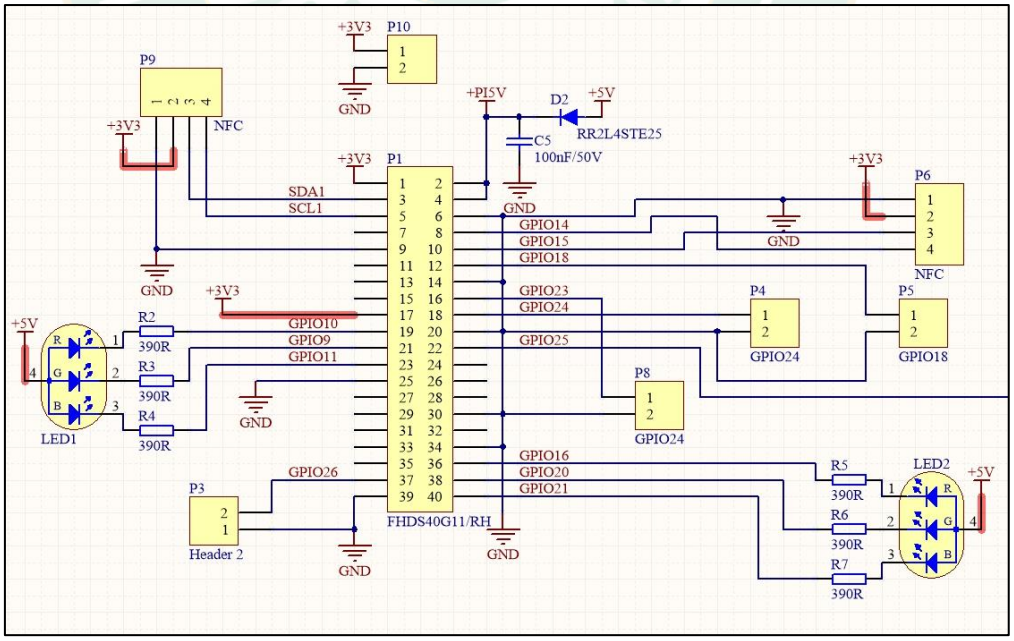
- ระยะ 1 เมตร จำนวนข้อมูลมีการเกาะกลุ่มกันค่อนข้างดี เหมาะสำหรับการนำไปใช้กับระบบ
- ระยะ 2 เมตร จำนวนข้อมูลมีการเกาะกลุ่มกันของข้อมูลค่อนข้างดี ระยะแปรผันของข้อมูลมีน้อยกว่าระยะ 1 เมตร เหมาะสำหรับการนำไปใช้กับระบบ
- ระยะ 3 เมตร จำนวนข้อมูลมีระยะแปรผันต่ำ เป็นเกณฑ์ที่ดี แต่มีข้อมูลที่หลุดออกจากลุ่มค่อนข้างเยอะ ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำไปใช้กับระบบเนื่องจากขนาดของห้องมีระยะเพียง 4 เมตร ซึ่งเมื่อนำค่าในระยะ 3 เมตรไปใช้ จะเกิดการผิดพลาดในการปลดล็อกประตู
- ระยะ 4 เมตร ในระยะนี้จำนวนข้อมูลเริ่มมีการแปรผันที่เยอะ ความกว้างของการแปรผันเริ่มกว้างมากยิ่งขึ้น ซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปใช้

- ระยะ 5 เมตร จำนวนข้อมูลมีความแปรผันเยอะตามระยะ ความกว้างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดแปรผันเยอะกว่าระยะ 4 เมตร แสดงให้เห็นว่ายิ่งระยะห่างมากเท่าไหร่จำนวนแปรผันของข้อมูลเริ่มมีผลตามระยะไปด้วย

3.1.3 การพัฒนาตัวต้นแบบการควบคุมระบบอัตโนมัติและระบบซอฟต์แวร์

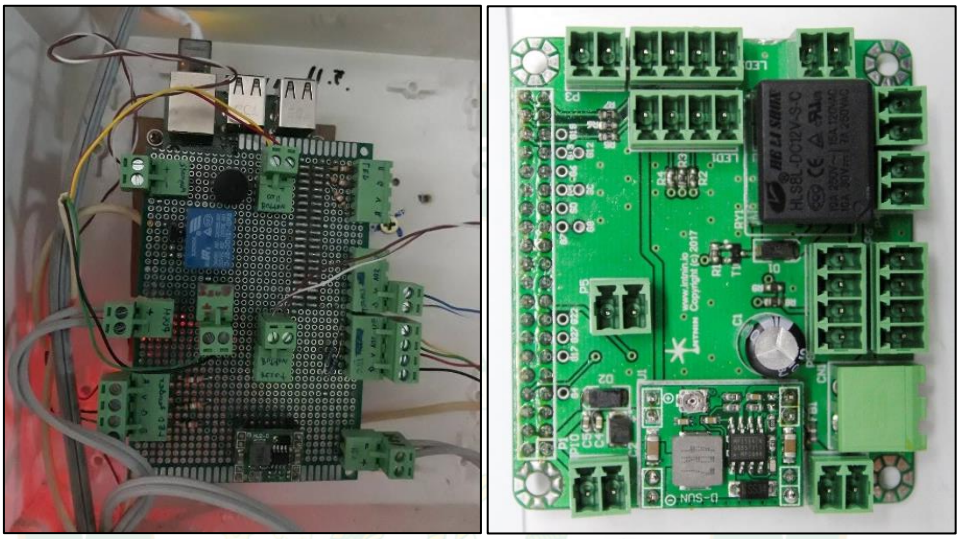
3.1.3.1 การพัฒนาระบบฮาร์ดแวร์ตัวต้นแบบ

ขั้นตอนนี้จะเป็นการพัฒนาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงการทำวงจรระบบฮาร์ดแวร์ขึ้นมาเพื่อเป็นวงจรควบคุมระบบของประตูอัตโนมัติ โดยขั้นตอนนี้ต้องศึกษาความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และการพัฒนาวงจรไฟฟ้าด้วย และการพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ควบคู่กับการพัฒนาระบบประตูอัตโนมัติ ขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาในการศึกษาและอุปกรณ์การทดลองพอสมควร โดยวงจรทางไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 17 Schematic การเชื่อมต่อแผงวงจร PCB ของระบบประตูอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการแสดงจุดเชื่อมต่อของแต่ละ GPIO ของราสเบอร์รี่พายไปยังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น PN532, หลอดไฟ LED 5v, Buzzer, จุดเชื่อม Power 12v และจุดเชื่อม Relay เพื่อไปยังกล่องควบคุมของ HIP Controller เป็นต้น



ภาพที่ 17 Schematic การเชื่อมต่อแผงวงจร PCB ของระบบประตูอัตโนมัติ

เมื่อวงจรทางไฟฟ้าได้มีการพัฒนาขึ้นแล้วทางผู้วิจัยได้พัฒนาแผงวงจรขึ้นในรูปแบบ Prototype เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่ได้พัฒนาขึ้นว่ามีความผิดพลาดทางวงจรไฟฟ้าหรือไม่อย่างไร เพื่อจะได้ข้อสรุปในการนำวงจรทางไฟฟ้าไปทดสอบกับระบบจริง รูปแบบ Prototype ที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นแสดงได้จากภาพที่ 18 การพัฒนาระบบประตูอัตโนมัติตัวต้นแบบ (Prototype)

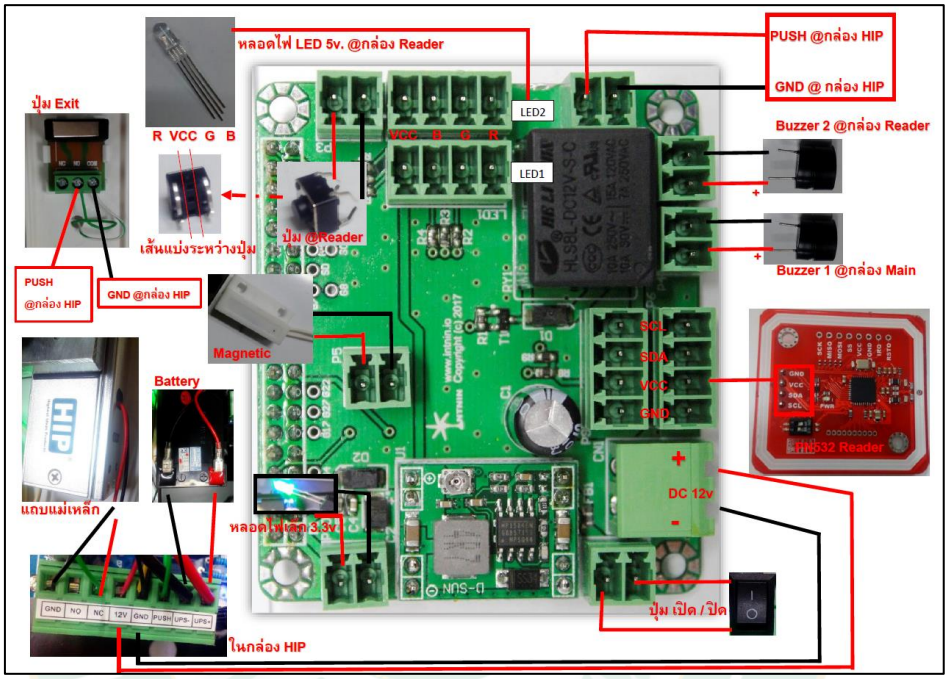


ภาพที่ 18 การพัฒนาระบบประตูอัตโนมัติตัวต้นแบบ (Prototype)

เมื่อผู้วิจัยได้พัฒนาแผงวงจร Prototype ขึ้นมาแล้ว จะเป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วย

- PN532 NFC RFID Module
- หลอดไฟ LED 5v สถานะประตู
- หลอดไฟ LED 3.3v สถานะของระบบ
- Buzzer (อุปกรณ์ลำโพง)
- Magnetic Sensor ตรวจสอบสถานะเปิด/ปิดของประตู
- ปุ่มเปิด/ปิดของระบบ
- ปุ่มกดเพื่อเรียกผู้ใช้ที่อยู่ภายในห้อง
- ปุ่มเปิดประตูจากด้านในห้อง
- จุดเชื่อม Power 12v เพื่อเป็นพลังงานในการทำงานของระบบ
- จุดเชื่อม Relay เพื่อไปยังกล่องควบคุมของ HIP Controller

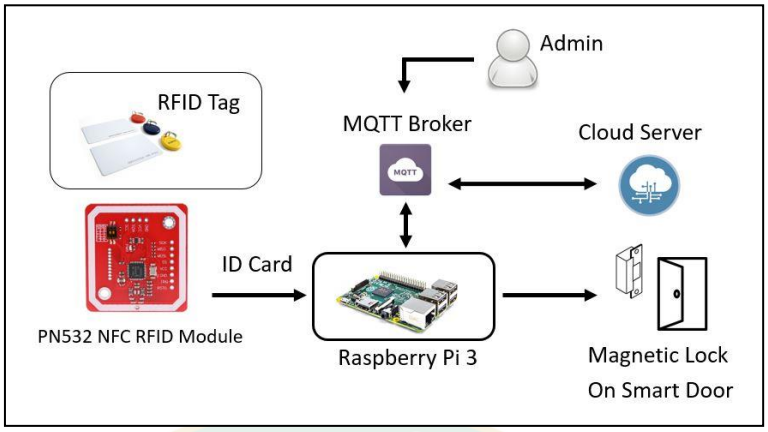
เมื่อทำการติดตั้งระบบ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ จะใช้สายโทรศัพท์ 4 core หรือสาย Cable Telephone (100m/Box) LINK (UL-1024) 4 CORE, 24 AWG โดยจะเชื่อมกันด้วยตะกั่ว และ Connector ตามขนาดรูของ Connector ที่วางอยู่บนแผงวงจร แสดงได้ตามภาพที่ 19 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดของระบบประตูอัตโนมัติ



ภาพที่ 19 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดของระบบประตูอัตโนมัติ

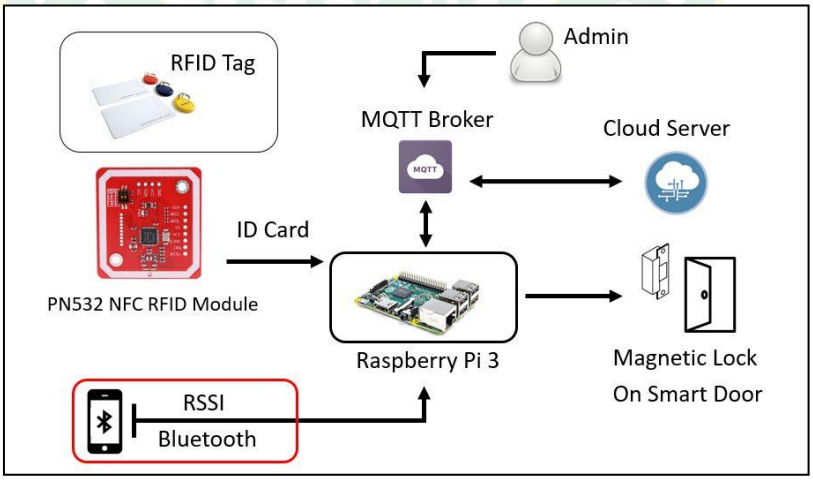
จากการศึกษาเป็นระยะหนึ่งแล้ว เราก็ได้จำลองโมเดลประตูอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อทดสอบระบบนี้ด้วย เพื่อสะดวกต่อการทำวิจัยชิ้นนี้ ทำการทดลองโดยจากระบบเดิม ยังใช้เป็นคีย์การ์ดในการยืนยันตัวตนในการตัดสินใจ Unlock ประตูอัจฉริยะ และการทดสอบเปิดระบบที่ใช้บลูทูธในการยืนยันตัวตนเพื่อ Unlock ประตูอัจฉริยะด้วย

โดยรูปแบบการทำงานของระบบประตูอัตโนมัติในปัจจุบันจะใช้ RFID เป็นการยืนยันตัวตนเพื่อสั่งเปิดประตู โดยนำบัตรทาบกับส่วนของ PN532 NFC RFID Module หลังจากนั้น PN532 จะส่งข้อมูล ID บัตรไปยังราสเบอร์รี่พาย จากนั้นซอฟต์แวร์จะประมวลผลเพื่อนำ ID บัตรไปตรวจสอบที่ฐานข้อมูลเพื่อยืนยันตัวตนของผู้ใช้ว่ามีสิทธิ์การเปิดประตูหรือไม่ ซึ่งถ้าผู้ใช้มีสิทธิ์ ประตูจะปลดล็อกอัตโนมัติหรือถ้าผู้ใช้ไม่มีสิทธิ์ ประตูจะยังไม่ปลดล็อก ระบบประตูอัตโนมัติปัจจุบันแสดงได้ตามภาพที่ 20 แสดงการทำงานของระบบปัจจุบันโดยใช้ RFID

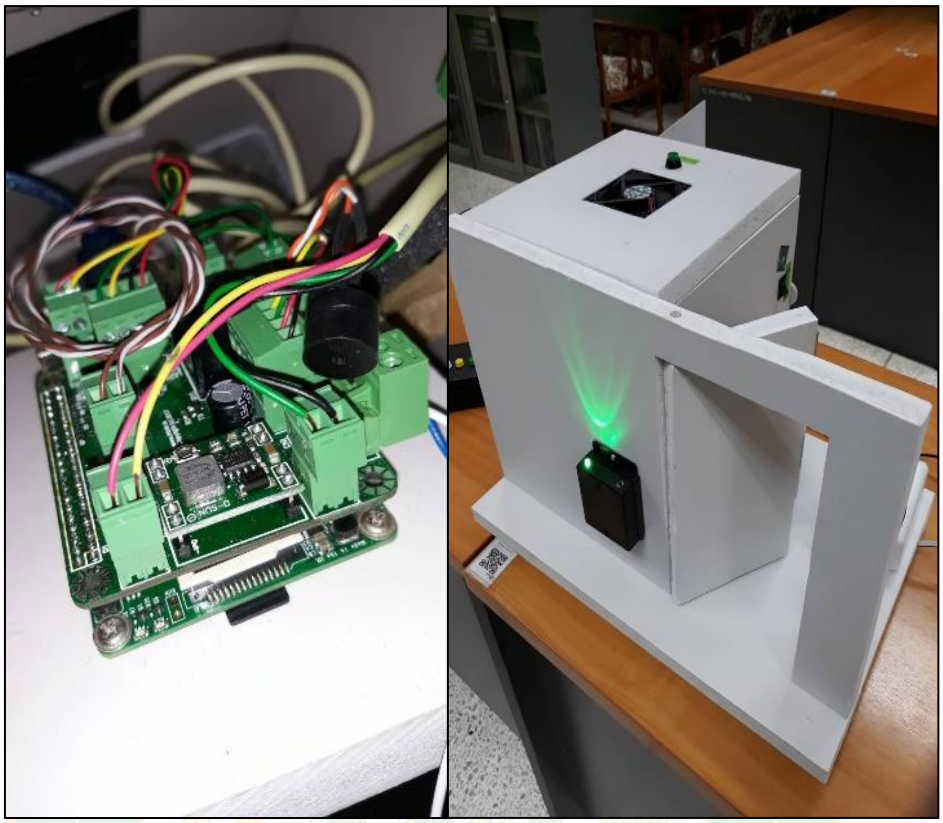


ภาพที่ 20 แสดงการทำงานของระบบปัจจุบันโดยใช้ RFID

ผู้ใช้ปัจจุบันมีมือถือสมาร์ทโฟนติดตัวอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นที่มาว่าทำไมถึงเลือกการแก้ปัญหาโดยการใช้สิ่งที่มีอยู่ในมือถือสมาร์ทโฟนอยู่แล้วนั้นให้เกิดประโยชน์ โดยไม่เป็นภาระของผู้ใช้ การพัฒนาโดยใช้บลูทูธเข้ามาใช้เพื่อควบคุมการเปิดประตูอัจฉริยะ โดยการเพิ่มบลูทูธเข้ามาเป็นตัวยืนยันตัวตนด้วย ซึ่งการทำงานของระบบจะมีซอฟต์แวร์ที่อยู่กับราสเบอร์รี่คอยตรวจหาบลูทูธที่มีการผูกกันแล้วอยู่ตลอดเวลา เมื่อมีสมาร์ทโฟนที่เปิดสัญญาณบลูทูธเข้ามาในรัศมีของราสเบอร์รี่พาย จะมีการตรวจสอบสิทธิ์ของ Mac Address ของบลูทูธสมาร์ทโฟนนั้นว่ามีสิทธิ์เปิดประตูหรือไม่ ถ้ามี ประตูจะปลดล็อกอัตโนมัติ แต่ถ้าไม่มีสิทธิ์ ประตูก็จะไม่ปลดล็อก โดยมีการจำลองการทำงานตามภาพที่ 21 การทำงานของระบบโดยเพิ่มเทคโนโลยีบลูทูธในการเปิดประตูอัตโนมัติ



ภาพที่ 21 การทำงานของระบบโดยเพิ่มเทคโนโลยีบลูทูธในการเปิดประตูอัตโนมัติ

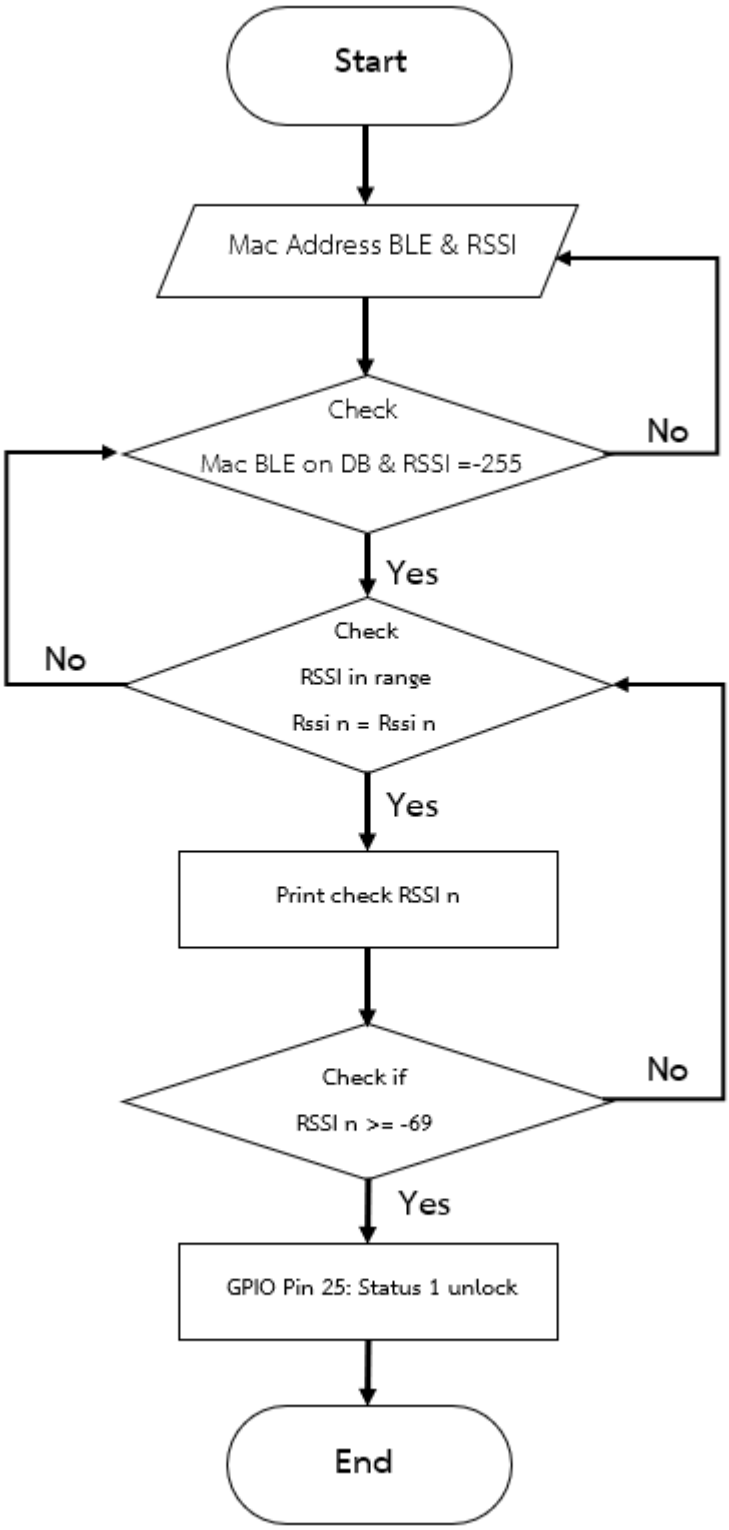


ภาพที่ 22 ระบบประตูอัตโนมัติตัวต้นแบบ (รูปแบบจำลอง)

3.1.3.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์

ในขั้นตอนนี้จะศึกษาว่า เทคโนโลยีบลูทูธนั้นส่วนใหญ่แล้วมีการพัฒนาในแนวทางไหนบ้างและผู้วิจัยเองต้องจะนำมาปรับแก้ให้สามารถใช้งานได้และสามารถใช้งานควบคู่กับระบบเดิมที่มีอยู่ได้ ซึ่งจะเพิ่มส่วนการทำงานของการใช้บลูทูธในการเปิดประตูเข้าไปในระบบเดิม โดยรูปแบบขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมจะแสดงให้เห็นตาม Flowchart ดังนี้ ตามภาพที่ 23 อัลกอริทึมการทำของระบบ

3.1.3.2.1 อัลกอริทึมระบบแสดงในรูปแบบ Flowchart



ภาพที่ 23 อัลกอริทึมการทำของระบบ

3.1.3.2.1 Source code Python ที่พัฒนาเพื่องานวิจัยปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ

ส่วนของ Source Code ในระบบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อการทำวิจัยในส่วนของการทดสอบปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ

```
**********************************************************************

import fcntl
import struct
import array
import bluetooth
import bluetooth._bluetooth as bt
import string
import time
import os
import datetime
import thread
import RPi.GPIO as GPIO
from threading import Thread
import paho.mqtt.client as mqtt

gpio_gate = 25
gpio_buzzer1 = 24
gpio_buzzer2 = 23
light_red = 10
light_green = 9
light_blue = 11

GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)

GPIO.setup(gpio_gate,GPIO.OUT)
GPIO.setup(gpio_buzzer1,GPIO.OUT)  #buzzer1
GPIO.setup(gpio_buzzer2,GPIO.OUT)  #buzzer2
GPIO.setup(light_red,GPIO.OUT)     #red
GPIO.setup(light_green,GPIO.OUT)   #green
GPIO.setup(light_blue,GPIO.OUT)    #blue

sum_val=0
a=0
count = 0

def bluetooth_rssi(addr):
    # Open hci socket
    hci_sock = bt.hci_open_dev()
    hci_fd = hci_sock.fileno()

    # Connect to device (to whatever you like)
    bt_sock = bluetooth.BluetoothSocket(bluetooth.L2CAP)
    bt_sock.settimeout(10)
    result = bt_sock.connect_ex((addr, 1))    # PSM 1 - Service
Discovery
```

```
    try:
        # Get ConnInfo
        reqstr = struct.pack("6sB17s", bt.str2ba(addr),
bt.ACL_LINK, "\0" * 17)
        request = array.array("c", reqstr )
        handle = fcntl.ioctl(hci_fd, bt.HCIGETCONNINFO, request,
1)
        handle = struct.unpack("8xH14x", request.tostring())[0]

        # Get RSSI
        cmd_pkt=struct.pack('H', handle)
        rssi = bt.hci_send_req(hci_sock, bt.OGF_STATUS_PARAM,
                    bt.OCF_READ_RSSI, bt.EVT_CMD_COMPLETE, 4,
cmd_pkt)
        rssi = struct.unpack('b', rssi[3])[0]

        # Close sockets
        bt_sock.close()
        hci_sock.close()

        return rssi

    except:
        return -255


def Ble(addr):
    global gpio_buzzer1,gpio_buzzer2
    far = True

    far_count = 0

    onn = 0
    tempon = 0

    # assume phone is initially far away
    rssi = -255
    rssi_prev1 = -255
    rssi_prev2 = -255
    rssi_prev3 = -255
    rssi_prev4 = -255
    rssi_prev5 = -255


    near_cmd = 'br -n 1'
    far_cmd = 'br -f 1'

    debug = 1

    while True:

        time.sleep(1)
        rssi = bluetooth_rssi(addr)
```

```
        if debug:
            print datetime.datetime.now(), rssi, rssi_prev1,
rssi_prev2, rssi_prev3, rssi_prev4, rssi_prev5, far, far_count
,"RSSI :" ,rssi

      if rssi >= -69 & rssi_prev1 >= -69 & rssi_prev2 >= -69 &
rssi_prev3 >= -69 & rssi_prev4 >= -69 & rssi_prev5 >= -69:

            onn = 1

            if onn != tempon :
                 print datetime.datetime.now(), "changing to
near"

                 print "Open The Gate"
                GPIO.output(gpio_buzzer1,1)   #buzzer beep on
                 GPIO.output(gpio_buzzer2,1)
                 GPIO.output(gpio_gate,1)   #relay on (open door)
                 GPIO.output(light_red,1)
                 GPIO.output(light_green,0)
                 GPIO.output(light_blue,1)
                 time.sleep(2)
                 GPIO.output(gpio_buzzer1,0)    #buzzer beep off
                 GPIO.output(gpio_buzzer2,0)

#                 print "Data Sent to MQTT Pass....."

                tempon = onn
                 onn = 0

        elif rssi < -4 and rssi_prev1 < -4 :      #rssi out of
rang

            onn = 0

            if onn != tempon :
                 print datetime.datetime.now(), "changing to far"

                 print "Lock The Gate"
                GPIO.output(gpio_gate,0)
                 GPIO.output(light_red,0)
                 GPIO.output(light_green,1)
                 GPIO.output(light_blue,1)

#                 print "Data Sent to MQTT Pass....."

                 tempon = onn
                 onn  = 1


        else:
            far_count = 0

        rssi_prev1 = rssi
        rssi_prev2 = rssi_prev1
```

```
            rssi_prev3 = rssi_prev2
            rssi_prev4 = rssi_prev3
            rssi_prev5 = rssi_prev4
            time.sleep(0.25)

try:
   i = 0

   thread.start_new_thread( Ble, ("F4:60:XX:XX:XX:XX", ) ) #Mac
address BLE1
   thread.start_new_thread( Ble, ("BC:A5:XX:XX:XX:XX", ) ) #Mac
address BLE2

except:
   print "Scan On"


while 1:
   pass
```

****

3.1.4 วิธีการดำเนินการ

3.1.4.1 ขั้นตอนการลง ราสเบียน (Raspbian)

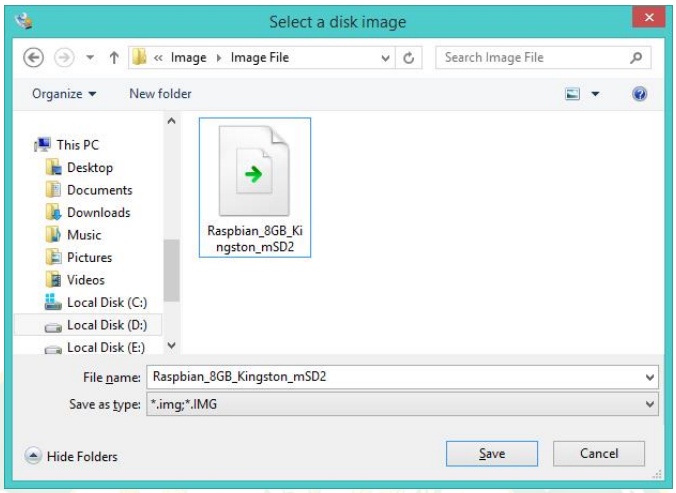
ขั้นตอนแรกทำการลงโปรแกรม Win32 Disk Imager เพื่อเป็นการนำราสเบียนลงไว้ใน SD Card สามารถ Download ได้ตามลิงก์ด้านล้างดังนี้

https://sourceforge.net/projects/win32diskimager/

เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรม Win32 Disk Imager เรียบร้อยแล้ว ให้เสียบ SD Card เข้าที่คอมพิวเตอร์แล้วเปิดโปรแกรมขึ้นมา

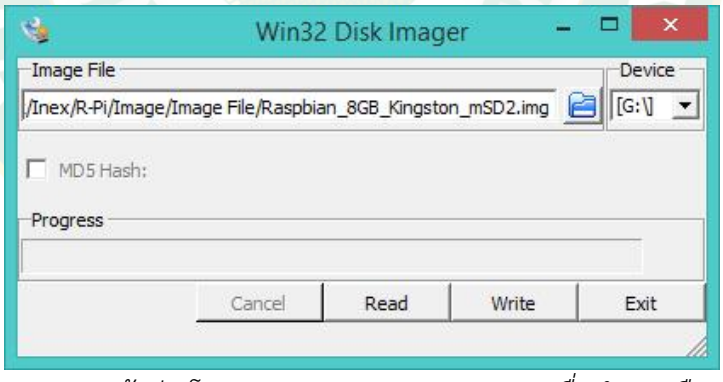
ภาพที่ 24 หน้าต่างโปรแกรม Win32 Disk Imager

ให้สังเกตที่ช่อง Device ว่าเป็น Drive ของ SD Card ใช่หรือไม่ จากตัวอย่างจะเป็น Drive G (***ถ้าเลือกผิดอาจจะทำให้ข้อมูลใน Drive นั้น ๆ หายได้)



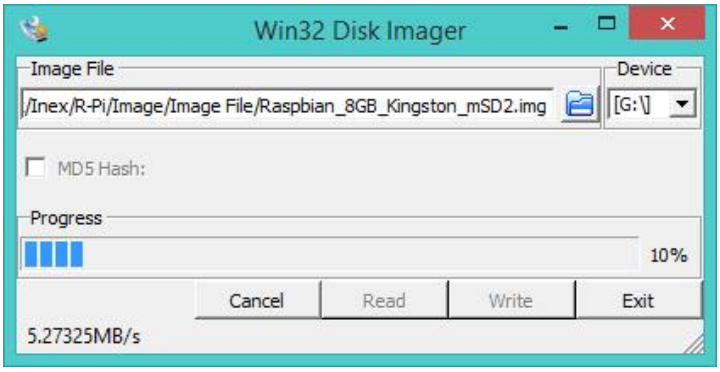
ภาพที่ 25 หน้าต่างแสดงการเลือกไฟล์ Image ของราสเบียน

เมื่อเลือกเสร็จแล้วให้เช็ค Drive ที่จะติดตั้ง Image อีกครั้ง เพื่อป้องกันการผิดพลาด เมื่อตรวจสอบจนแน่ใจแล้วให้กดปุ่ม Write เพื่อเริ่มทำการเขียนข้อมูล Image ลงใน SD Card



ภาพที่ 26 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Win32 Disk Imager เมื่อทำการเลือก Image

ในขั้นตอนการเขียนข้อมูลจะใช้เวลาค่อนข้างนานเพราะข้อมูลมีขนาดใหญ่ และขึ้นอยู่กับความเร็วในการเขียนข้อมูลของ SD Card ด้วย เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วสามารถนำ SD Card ไปใช้งานกับ Raspberry Pi ได้



ภาพที่ 27 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Win32 Disk Imager เมื่อทำการ Install Image ราสเปียน

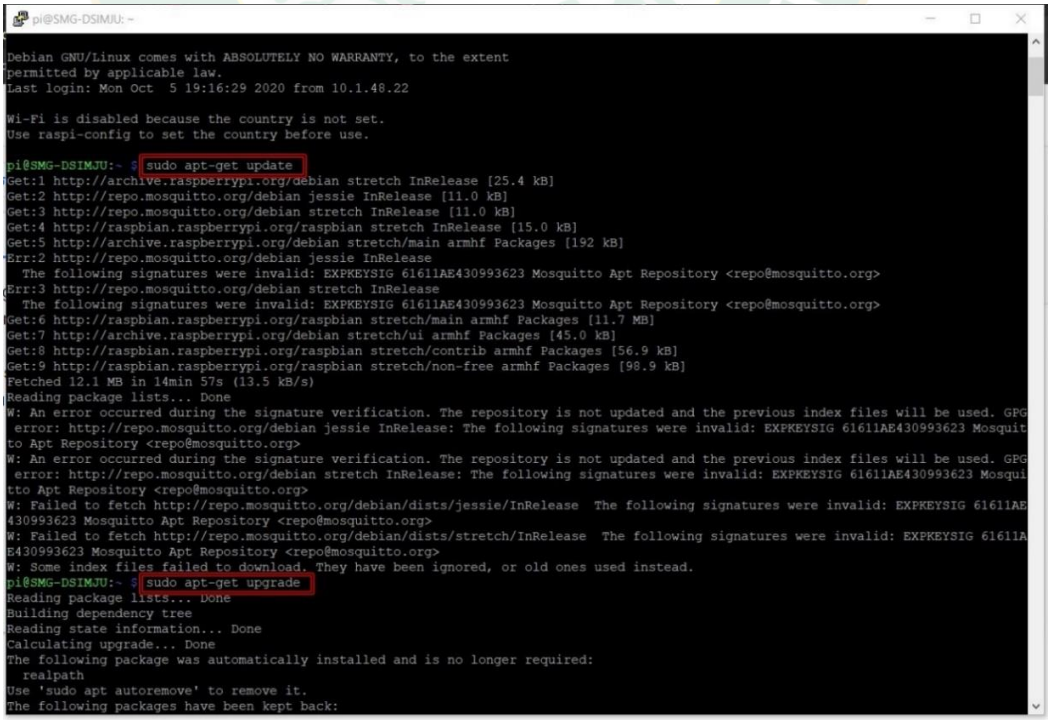
3.1.4.2 ขั้นตอนการเตรียมเฟิร์มแวร์สำหรับ Raspberry pi 3 Model B+

ก่อนที่เราจะเริ่มการตั้งค่า Raspberry pi 3 Model B+ เพื่อให้สามารถใช้บลูทูธได้ ให้ดำเนินการอัพเดตแพ็คเกจที่มีอยู่ทั้งหมด การอัพเดตแพ็คเกจช่วยให้มั่นใจได้ว่าเรามีเฟิร์มแวร์ล่าสุดสำหรับ Raspberry pi 3 Model B+ และจะช่วยลดโอกาสเกิดปัญหาในการติดตั้งได้

ในการอัพเดตแพ็คเกจที่ติดตั้งทั้งหมด ต้องรันคำสั่งสองคำสั่งต่อไปนี้

sudo apt update ----------> คำสั่งที่ 1

sudo apt upgrade ----------> คำสั่งที่ 2



ภาพที่ 28 การอัพเดตแพ็คเกจระบบ OS ของ Raspberry pi 3 Model B+

ติดตั้งแพ็คเกจสำหรับการใช้งานบลูทูธ ในการติดตั้งแพ็คเกจทั้งหมดให้รันคำสั่งต่อไปนี้

sudo apt-get install bluetooth bluez libbluetooth-dev

```
pi@INTNINLAB-SMG-location:~/SmartGate $ sudo apt-get install bluetooth bluez libbluetooth-dev
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
bluez is already the newest version (5.43-2+rpt2+deb9u2).
bluez set to manually installed.
Suggested packages:
  bluez-cups bluez-obexd
The following NEW packages will be installed:
  bluetooth libbluetooth-dev
0 upgraded, 2 newly installed, 0 to remove and 5 not upgraded.
Need to get 223 kB of archives.
After this operation, 588 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue? [Y/n] Y
Get:1 http://archive.raspberrypi.org/debian stretch/main armhf bluetooth all 5.43-2+rpt2+deb9u2 [41.5 kB]
Get:2 http://archive.raspberrypi.org/debian stretch/main armhf libbluetooth-dev armhf 5.43-2+rpt2+deb9u2 [181 kB]
Fetched 223 kB in 1s (173 kB/s)
Selecting previously unselected package bluetooth.
(Reading database ... 129872 files and directories currently installed.)
Preparing to unpack .../bluetooth_5.43-2+rpt2+deb9u2_all.deb ...
Unpacking bluetooth (5.43-2+rpt2+deb9u2) ...
Selecting previously unselected package libbluetooth-dev.
Preparing to unpack .../libbluetooth-dev_5.43-2+rpt2+deb9u2_armhf.deb ...
Unpacking libbluetooth-dev (5.43-2+rpt2+deb9u2) ...
Setting up libbluetooth-dev (5.43-2+rpt2+deb9u2) ...
Setting up bluetooth (5.43-2+rpt2+deb9u2) ...
```

ภาพที่ 29 การติดตั้งแพ็คเกจบลูทูธลง Raspberry pi 3 Model B+

sudo apt-get install python-bluez

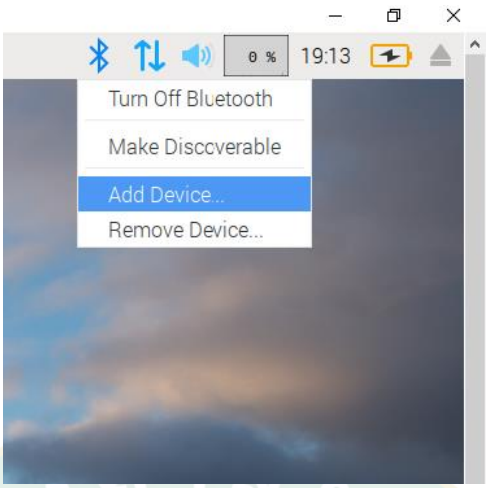
```
pi@INTNINLAB-SMG-location:~/SmartGate $ sudo apt-get install python-bluez
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following NEW packages will be installed:
  python-bluez
0 upgraded, 1 newly installed, 0 to remove and 5 not upgraded.
Need to get 47.7 kB of archives.
After this operation, 194 kB of additional disk space will be used.
Get:1 http://mirror1.ku.ac.th/raspbian/raspbian stretch/main armhf python-bluez armhf 0.22-1 [47.7 kB]
Fetched 47.7 kB in 0s (60.2 kB/s)
Selecting previously unselected package python-bluez.
(Reading database ... 129928 files and directories currently installed.)
Preparing to unpack .../python-bluez_0.22-1_armhf.deb ...
Unpacking python-bluez (0.22-1) ...
Setting up python-bluez (0.22-1) ...
```

ภาพที่ 30 การติดตั้งแพ็คเกจเสริมสำหรับภาษา Python ลง Raspberry pi 3 Model B+

3.1.4.3 การจับคู่บลูทูธโดยใช้ GUI ผ่าน Raspberry pi 3 Model B+

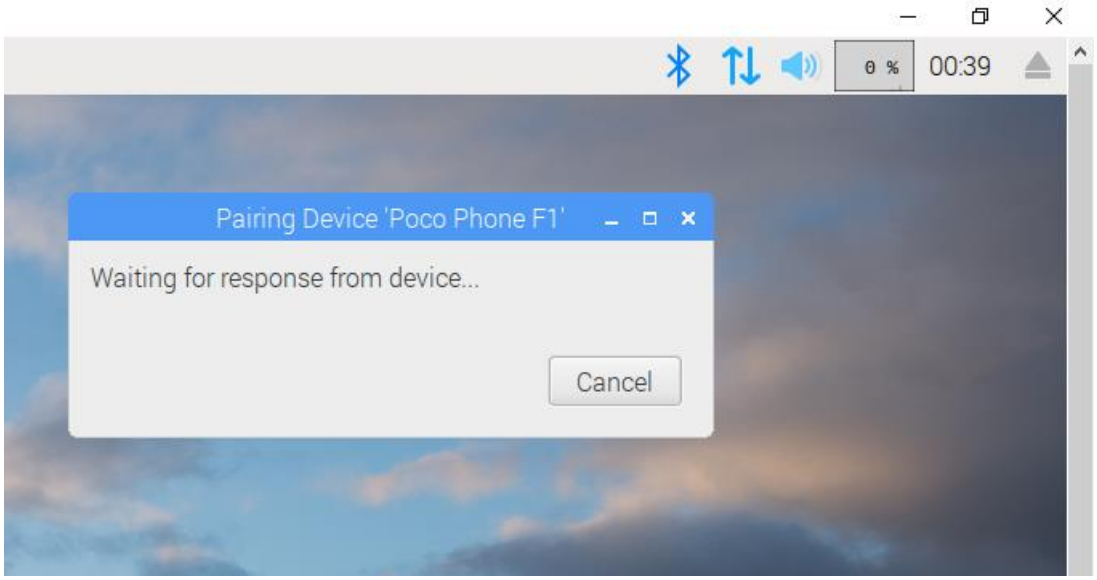
บลูทูธ GUI ช่วยให้การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์จาก Raspberry pi 3 Model B+ ได้ง่ายยิ่งขึ้น วิธีการจับคู่ระหว่าง Raspberry pi 3 Model B+ กับบลูทูธ (สมาร์ทโฟน)

ขั้นตอนที่ 1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์บลูทูธ โดยการใช้งาน UI ผ่าน OS ของราสเบอร์รี่พาย



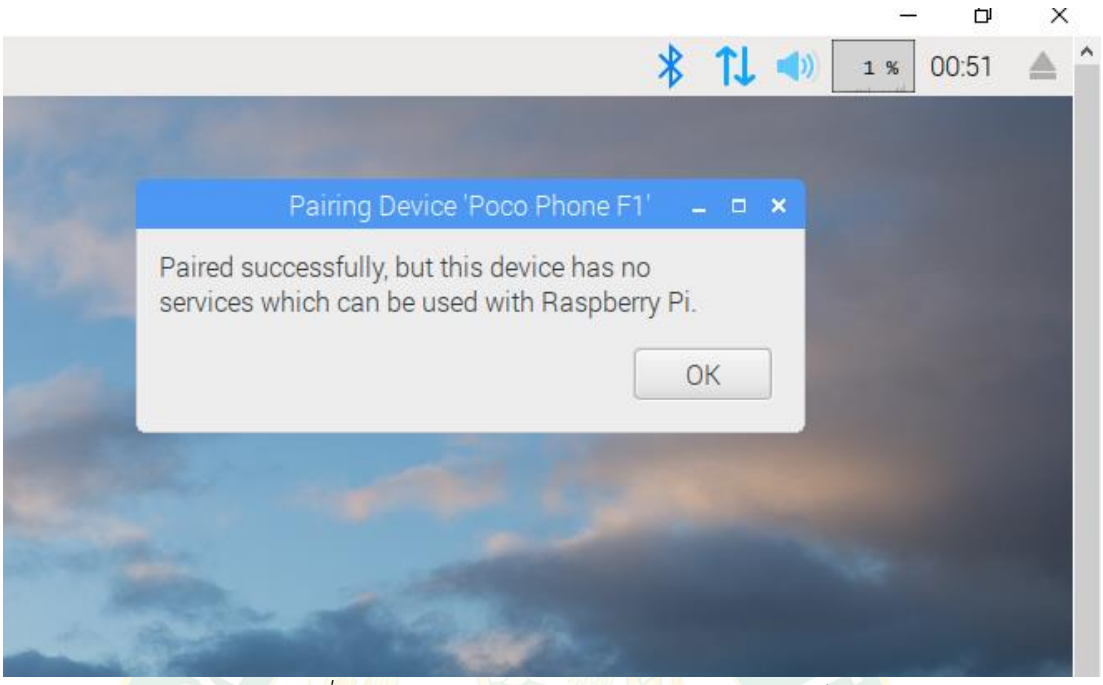
ภาพที่ 31 การเพิ่มอุปกรณ์บลูทูธ

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อเชื่อมต่อแล้ว ระบบจับคู่จะรอการตกลงจากอุปกรณ์ที่ขอจับคู่ โดยจะต้องอนุญาตการจับคู่ทั้งสอง คือ ฝั่งรับข้อมูล และ ฝั่งส่งข้อมูล (ในที่นี้หมายถึง ราสเบอร์รี่พายกับมือถือสมาร์ทโฟน)



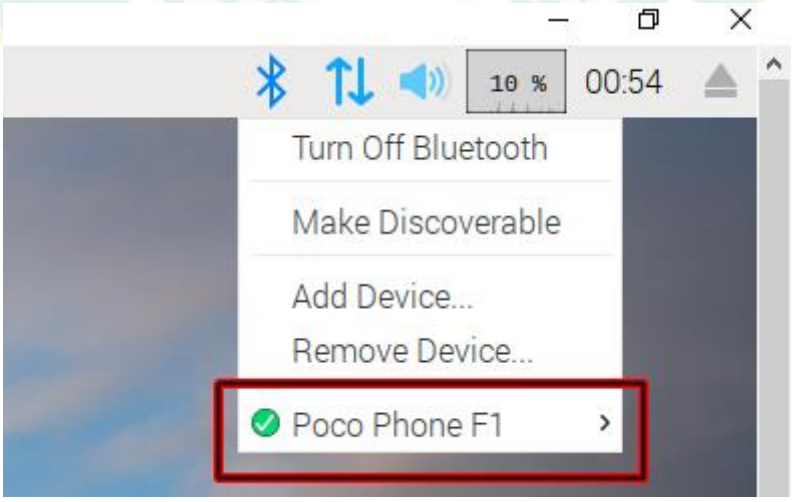
ภาพที่ 32 การรอยืนยันการจับคู่จากมือถือสมาร์ทโฟน

ขั้นตอนที่ 3 แสดงถึงการจับคู่ของทั้งสองอุปกรณ์นั้นสำเร็จแล้ว จะมีหน้าต่างแจ้งเตือนแสดงข้อความว่า การจับคู่สำเร็จ



ภาพที่ 33 แสดงการจับคู่จากมือถือสมาร์ทโฟนสำเร็จ

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อจับคู่สำเร็จ สามารถตรวจสอบได้ว่า อุปกรณ์ที่จับคู่อยู่นั้นมีสถานะเป็นอย่างไรในเวลานั้น ในรูปภาพที่ 34 แสดงการเชื่อมต่อบลูทูธระหว่าง Raspberry pi 3 Model B+ กับสมาร์ทโฟนสำเร็จ จะแสดงให้เห็นถึงสถานะของ สมาร์ทโฟนชื่อ Pocophone F1 เชื่อมต่ออยู่



ภาพที่ 34 แสดงการเชื่อมต่อบลูทูธระหว่าง Raspberry pi 3 Model B+ กับสมาร์ทโฟนสำเร็จ

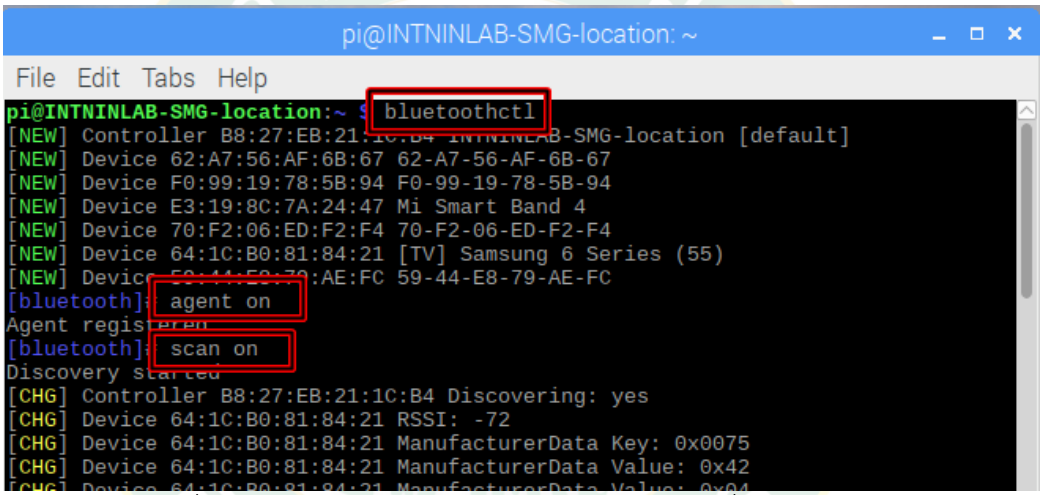
3.1.4.4 วิธีการค้นหาสัญญาณอุปกรณ์บลูทูธในกรณี Raspberry pi 3 Model B+ ไม่พบสัญญาณอุปกรณ์บลูทูธ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสแกนหาสัญญาณอุปกรณ์บลูทูธด้วยคำสั่งผ่าน Terminal ของ Raspberry pi 3 Model B+ โดยจะมี 3 คำสั่งและวิธีทำตามลำดับ ดังนี้

bluetoothctl ----------> คำสั่งที่ 1

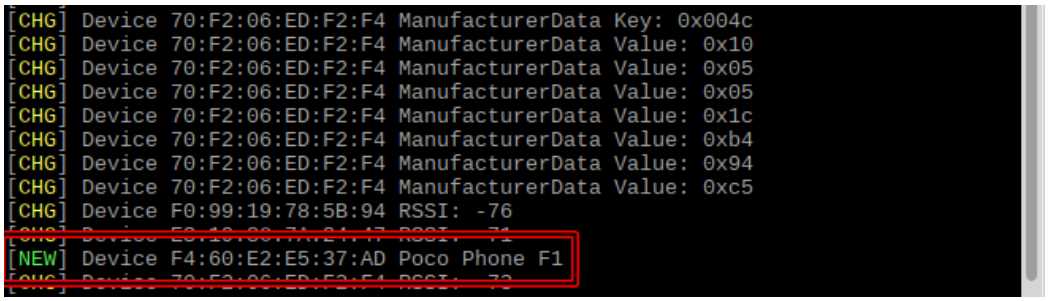
agent on ----------> คำสั่งที่ 2

scan on ----------> คำสั่งที่ 3



ภาพที่ 35 การสแกนหาสัญญาณอุปกรณ์บลูทูธด้วยคำสั่งผ่าน Terminal

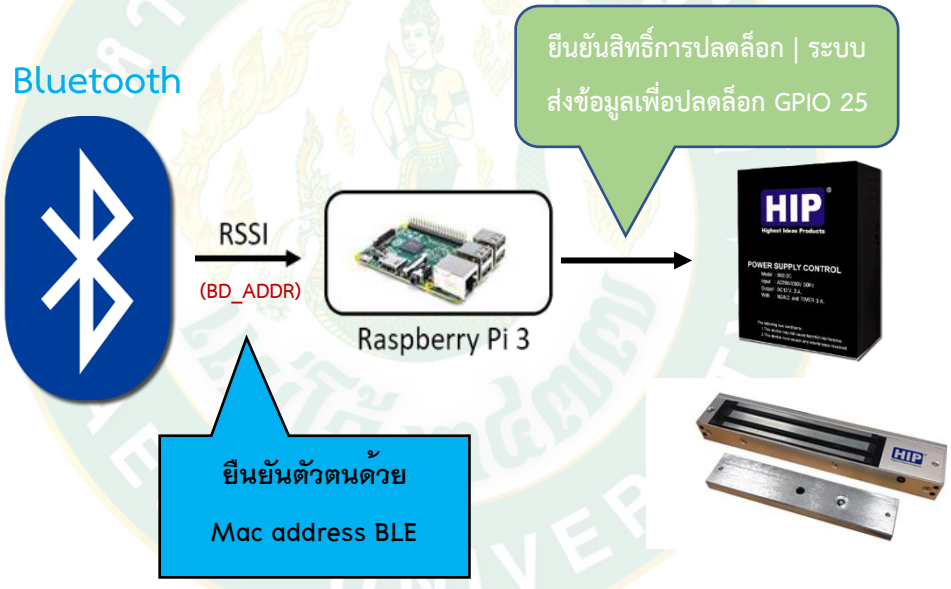
เมื่อทำตาม 3 ขั้นตอนด้านบนแล้ว ในหน้าจอแสดงถึงอุปกรณ์มือถือยี่ห้อ Pocophone F1 ปรากฏขึ้นมา เพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์ฝั่งรับข้อมูลสามารถมองเห็นอุปกรณ์ที่ปล่อยสัญญาณบลูทูธอยู่ และสามารถรู้ถึง Mac Address ของบลูทูธได้



ภาพที่ 36 การแสดงสัญญาณอุปกรณ์บลูทูธที่ค้นหาเจอ

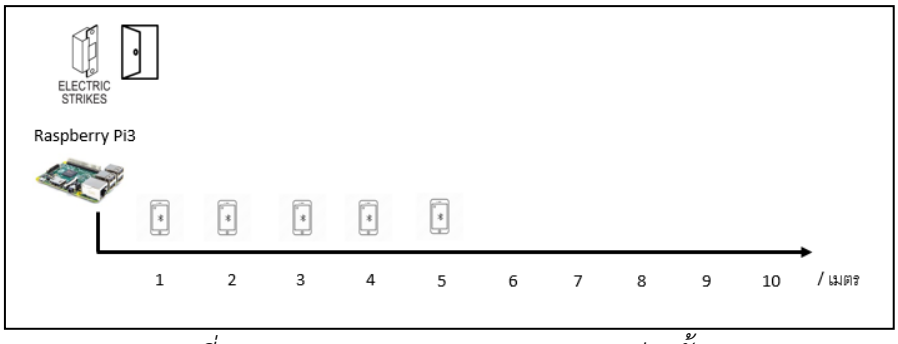
3.1.4.5 ทดสอบปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ

เมื่อผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าความแรงสัญญาณ และผ่านกระบวนการหาค่าเฉลี่ยข้อมูลมาเรียบร้อยแล้ว นำไปกำหนดค่าในซอฟต์แวร์ ต่อจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการใช้งานจริงโดยกำหนดค่าในพารามิเตอร์ซอฟต์แวร์ และกำหนดระยะทางในการทดลองจริง โดยระบบการทำงาน ระบบจะตรวจรับค่า RSSI ที่บลูทูธได้จับคู่ไว้อยู่ตลอดเวลา ถ้าในระยะที่ตรวจรับค่า RSSI ซอฟต์แวร์จะตรวจสอบ Mac Address ของบลูทูธ และตรวจสอบสิทธิ์การเปิดประตูถ้ามีสิทธิ์ปลดล็อกประตู ราสเบอร์รี่พายจะส่งคำสั่งไปที่ GPIO Pin ที่ 25 หรือ GPIO Pin X ใด ๆ ที่ผู้วิจัยได้กำหนดในซอฟต์แวร์ เพื่อสั่งให้ Relay ทำงานส่งกระแสไฟเพื่อปลดล็อกแม่เหล็กในกล่อง HIP Controller ตามภาพที่ 37 ขั้นตอนการทำงานของระบบปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ



ภาพที่ 37 ขั้นตอนการทำงานของระบบปลดล็อกประตูอัตโนมัติด้วยบลูทูธ

ทดสอบโดยการทดลองใช้ระยะทางทั้งหมด 4 ระยะ คือ 0.5 เมตร 1 เมตร 1.5 เมตร 2 เมตร ตามลำดับ ซึ่งจะทดสอบทั้งหมด 20 ครั้งในทุกระยะ และนำข้อมูลมา Confusion Matrix เพื่อหาผลลัพธ์การทำงานของระบบ



ภาพที่ 38 แสดงการทดสอบระบบจากระยะห่างทั้งหมด

ภาพที่ 39 การทดลองการเปิดประตูโดยใช้บลูทูธของสมาร์ทโฟน

จากรูปเป็นการทำงานของระบบซึ่งจะเป็นการแสดงการทำงานตั้งแต่การปล่อยสัญญาณบลูทูธเข้าไปหาตัวรับคือ Raspberry pi 3 Model B+ และการทำงานจะมีซอฟต์แวร์เป็นตัวประมวลผลค่าที่ได้รับด้วยอัลกอริทึมการคำนวณแปลงความแรงของสัญญาณ RSSI ให้เป็นระยะทางที่กำหนดเพื่อระบบจะได้ตัดสินใจในการปลดล็อกตัวแม่เหล็กที่ติดกับประตูอัตโนมัติได้ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพและมีความอัจฉริยะมากขึ้น โดยการยืนยันตัวตนของบลูทูธคือ Bluetooth Address (BD_ADDR) ซึ่งจะปรากฏต่อเมื่อมีการเปิดบลูทูธ สามารถนำมาระบุตัวตนของผู้ใช้ที่ทำการเปิดประตูได้

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์

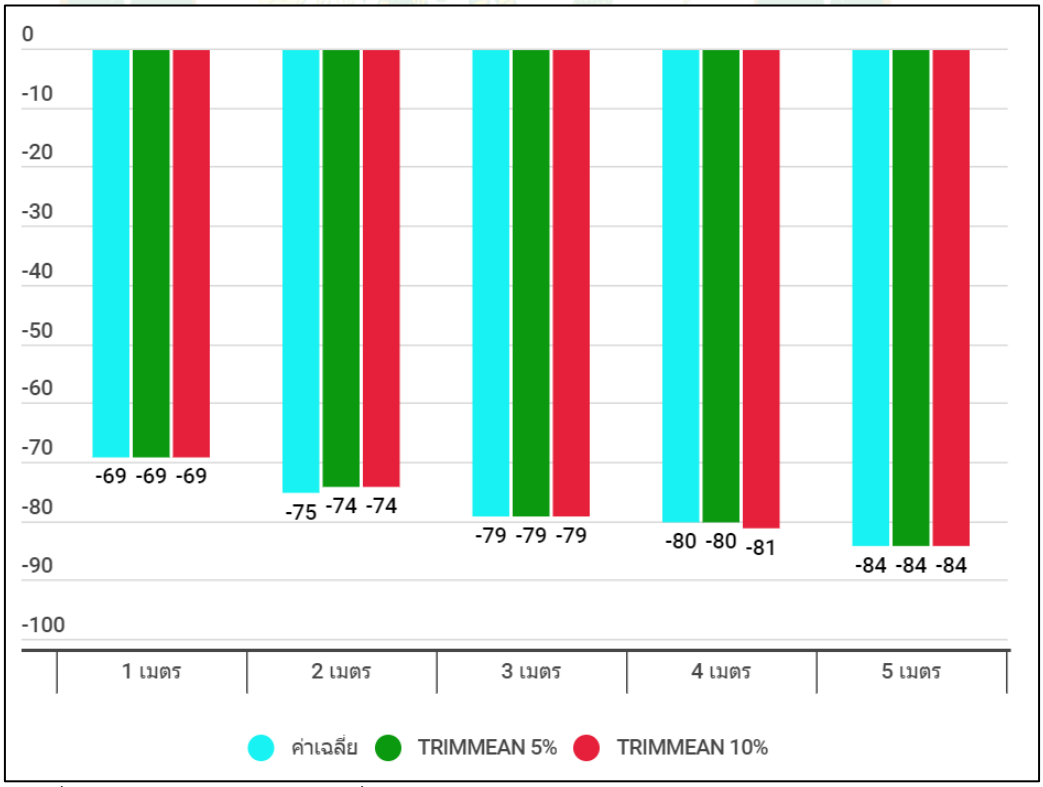
บทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยและวิจารณ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากที่ได้ศึกษาวิธีการต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ซึ่งสามารถอธิบายผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

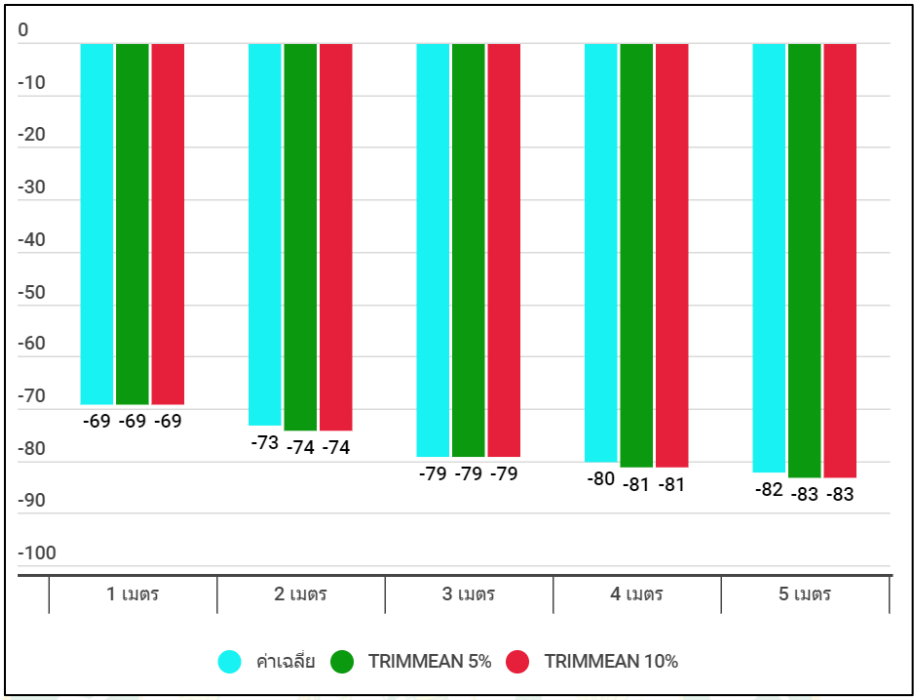
1. พัฒนาระบบประตูอัตโนมัติที่สามารถยืนยันตัวตนผู้ใช้งานผ่านสัญญาณบลูทูธที่อยู่ในโทรศัพท์ของผู้ใช้งานได้โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องสัมผัสกับฮาร์ดแวร์โดยตรง

เมื่อผู้วิจัยได้ข้อมูลค่าความแรงสัญญาณที่ผ่านการคำนวณมา โดยใช้การกรองข้อมูลด้วย TRIMMEAN แล้ว จึงทำการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อหาค่าความแรงในระยะทางที่สามารถนำมาใช้จริงกับระบบได้ ซึ่งเปรียบเทียบข้อมูล ค่าเฉลี่ยที่เป็นข้อมูลที่ไม่ผ่านการกรองข้อมูล กับ TRIMMEAN 5% และ TRIMMEAN 10% โดยการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

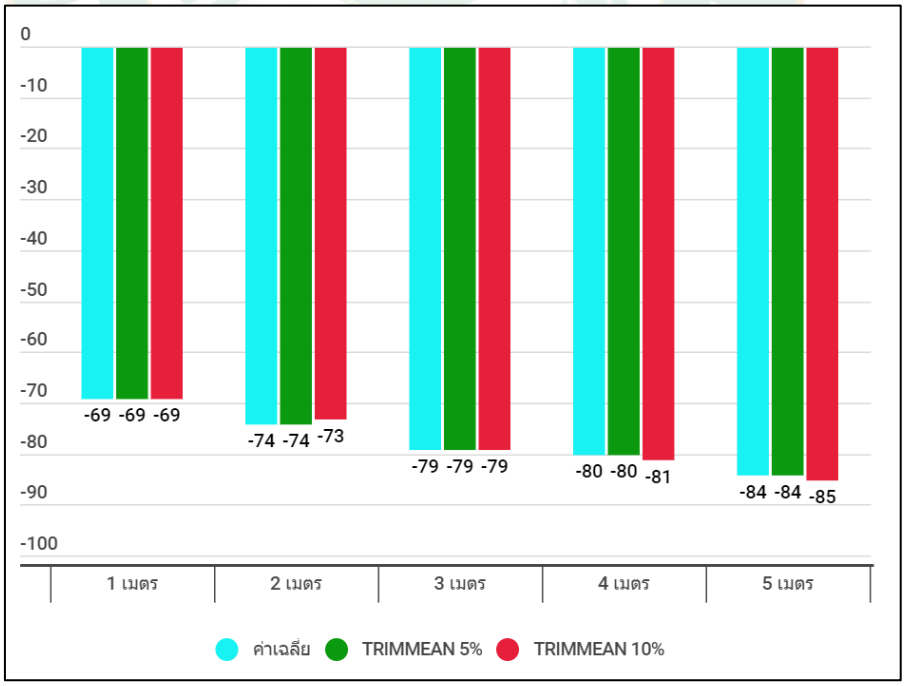
ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่



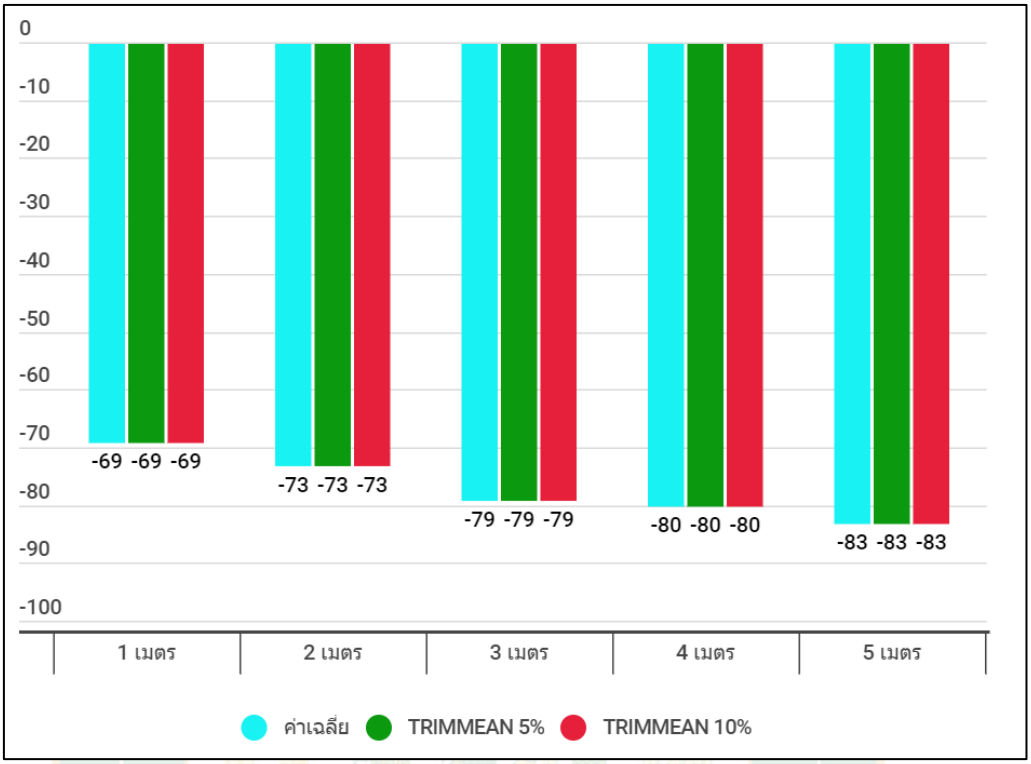
ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) (ด้านนอก) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)



ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) (ด้านใน)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

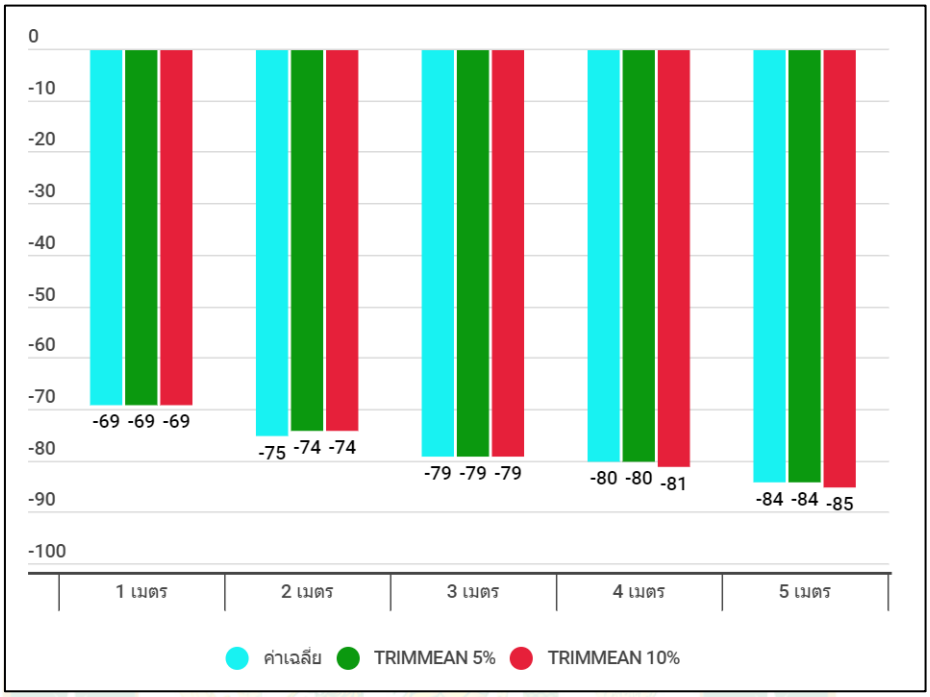


ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ iOS (ด้านนอก)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

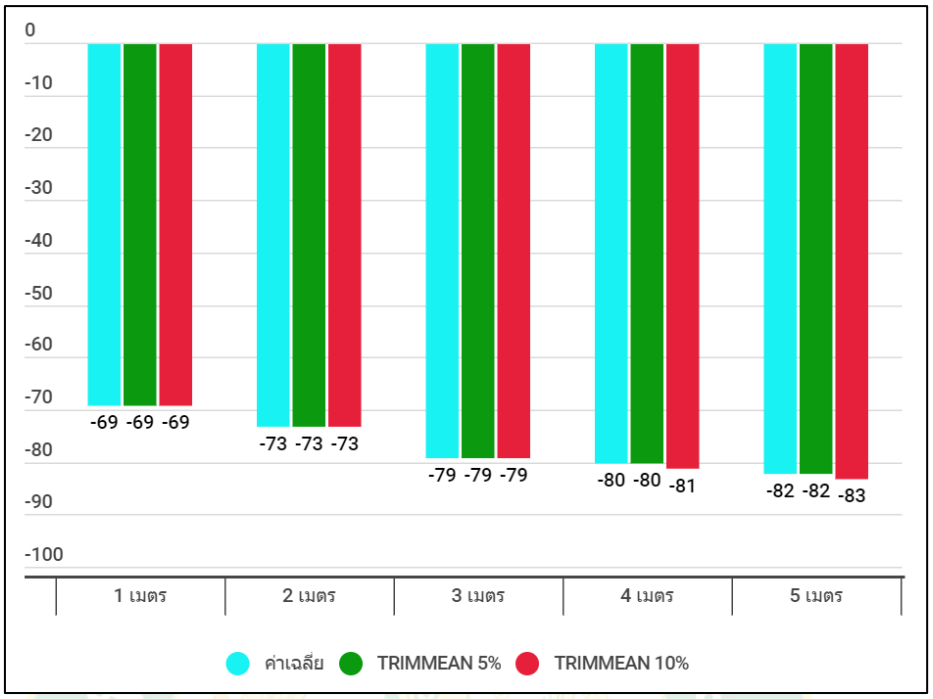


ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ iOS (ด้านใน)
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

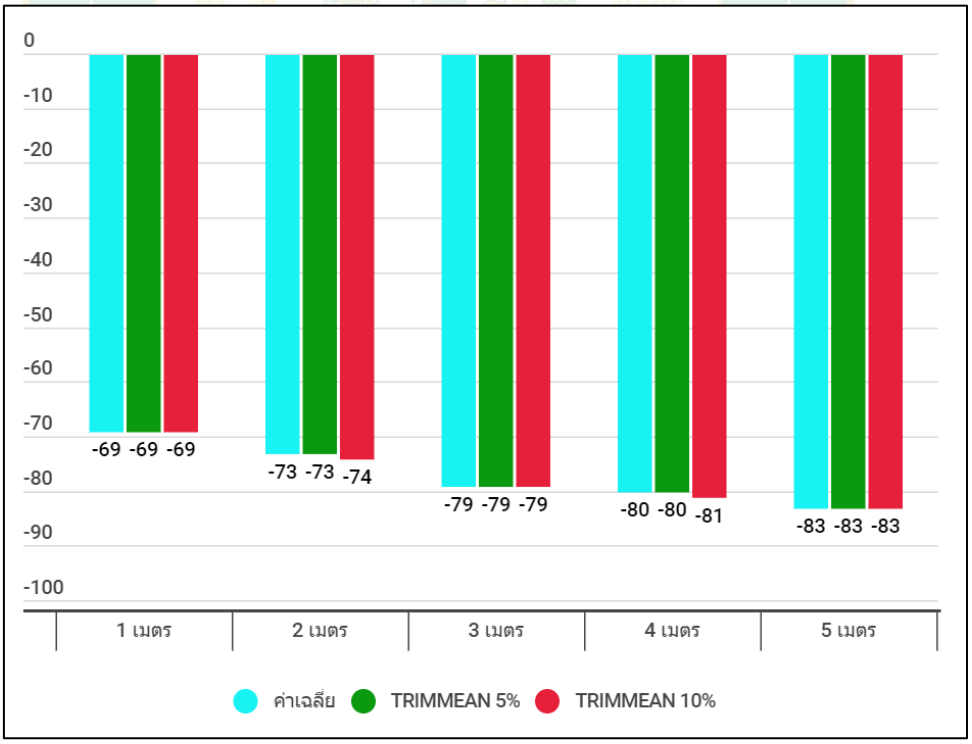


ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android (ด้านนอก)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)



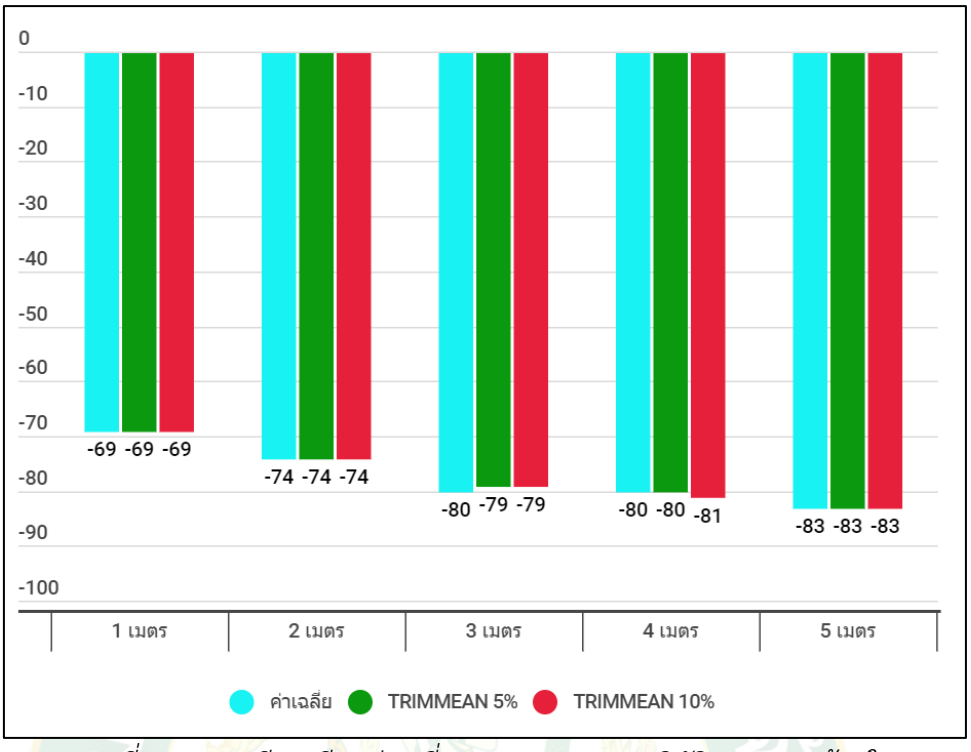
ภาพที่ 45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android (ด้านใน)

(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)



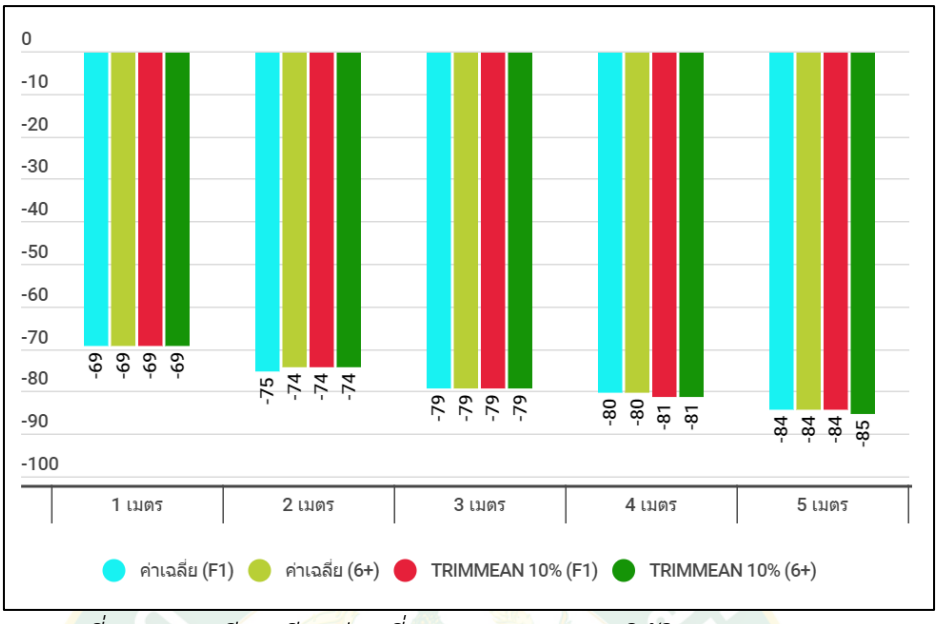
ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ iOS (ด้านนอก)

(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

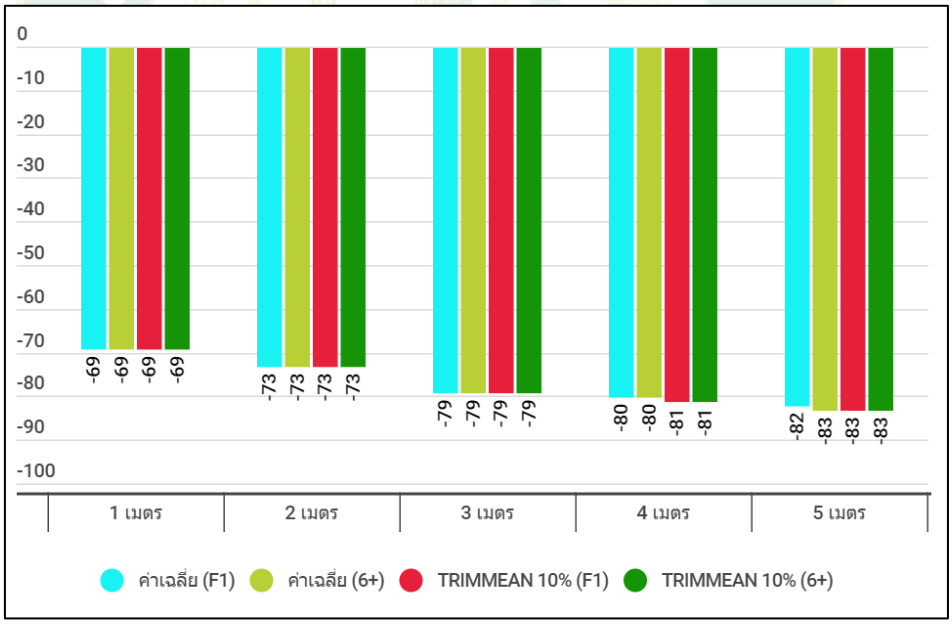


ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ iOS (ด้านใน)
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

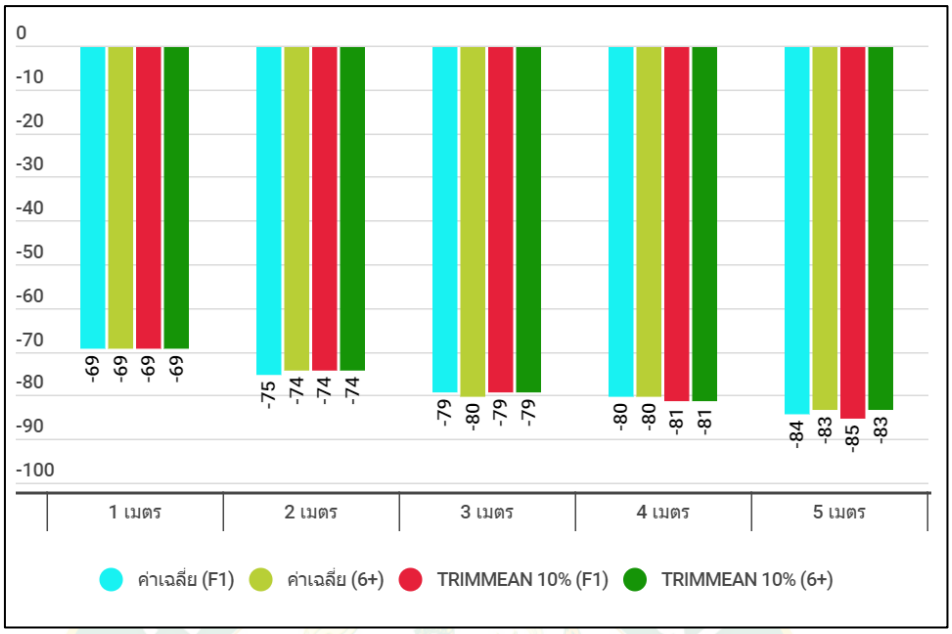
จากผลการทดลองเพื่อพัฒนานำเทคโนโลยีบลูทูธมายืนยันการเปิดระบบประตูอัตโนมัติ โดยอ้างอิงความความแรงของสัญญาณ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันโดยใช้ทั้งสองระบบปฏิบัติการมาเปรียบเทียบกัน รวมทั้งห้องที่ใช้ทดลองระบบด้วย ได้ข้อสรุปดังนี้



ภาพที่ 48 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android & iOS โดย TRIMMEAN 10% (ด้านนอก) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

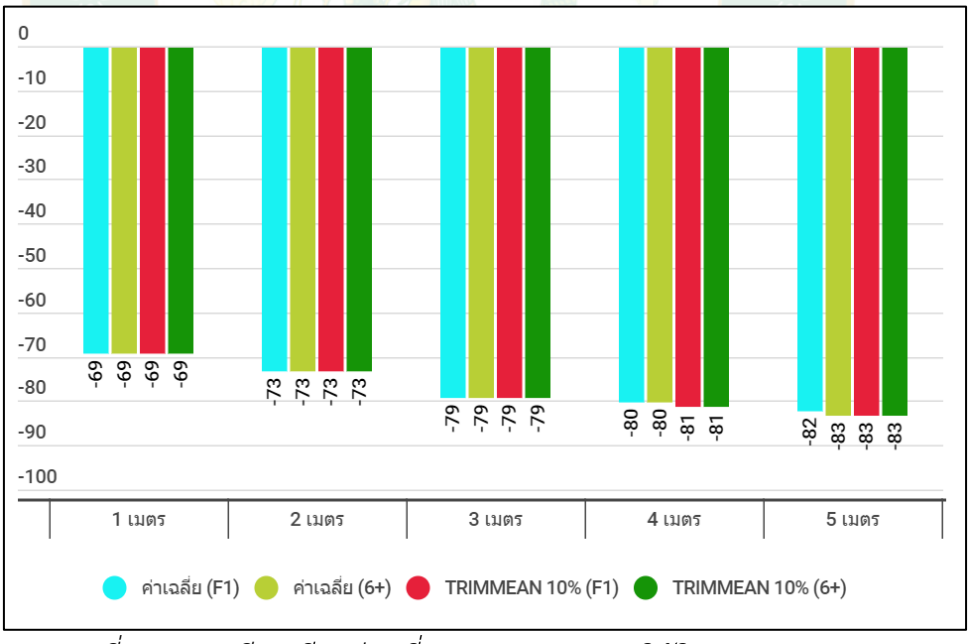


ภาพที่ 49 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android & iOS โดย TRIMMEAN 10% (ด้านใน) (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)



ภาพที่ 50 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android & iOS โดย TRIMMEAN 10% (ด้านนอก)

(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)



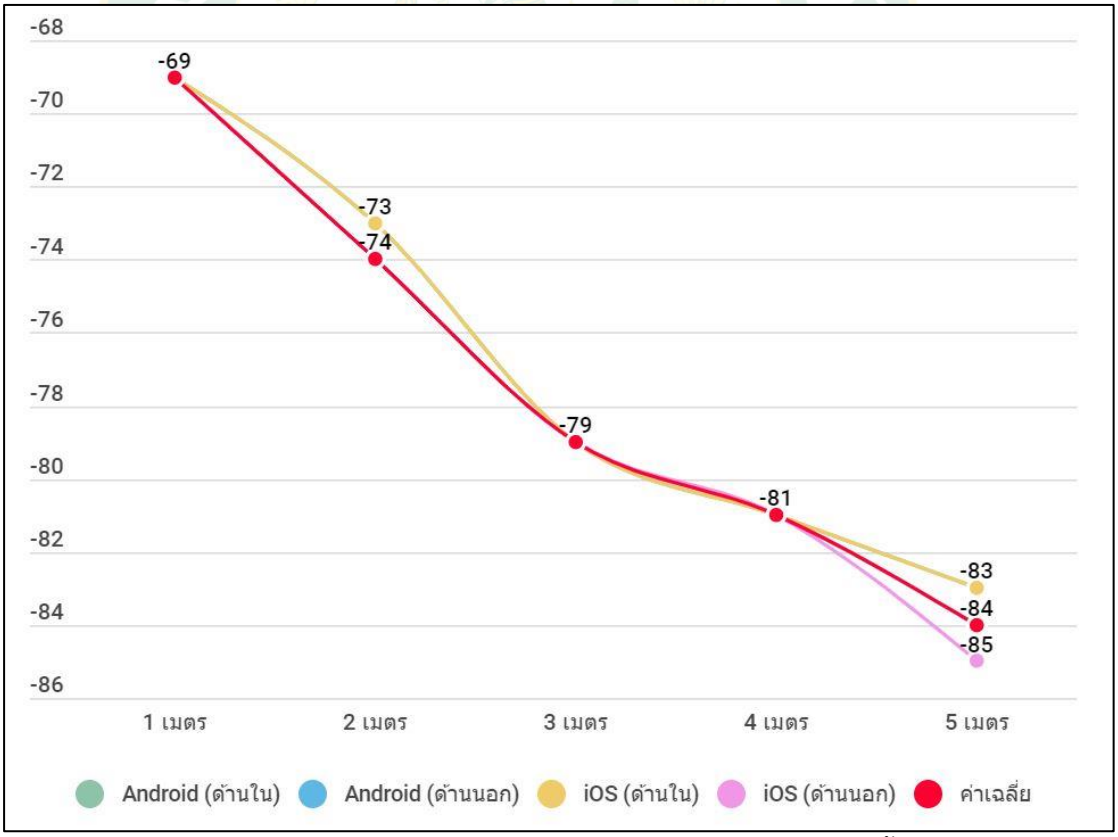
ภาพที่ 51 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RSSI ของระบบปฏิบัติการ Android & iOS โดย TRIMMEAN 10% (ด้านใน)

(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

สรุปผลค่าเฉลี่ยความแรงสัญญาณ RSSI ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลปมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

ระบบปฏิบัติการ	ระยะทาง (เมตร)				
	1	2	3	4	5
Android (ด้านใน)	-69	-73	-79	-81	-83
Android (ด้านนอก)	-69	-74	-79	-81	-84
iOS (ด้านใน)	-69	-73	-79	-81	-83
iOS (ด้านนอก)	-69	-74	-79	-81	-85
ค่าเฉลี่ย	**-69**	**-74**	**-79**	**-81**	**-84**

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยข้อมูล RSSI ของสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบ (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลปมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

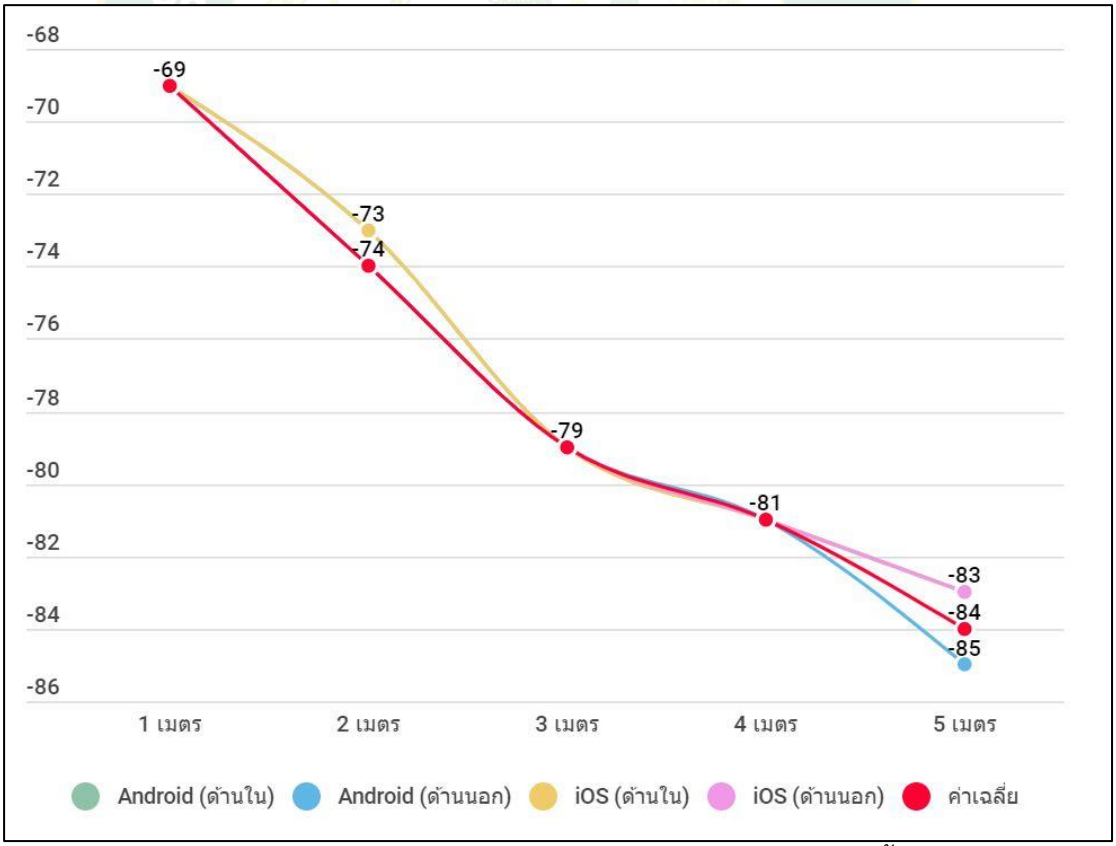


ภาพที่ 52 การเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยข้อมูล RSSI ของสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบ (ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

สรุปผลค่าเฉลี่ยความแรงสัญญาณ RSSI ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

ระบบปฏิบัติการ	ระยะทาง (เมตร)				
	1	2	3	4	5
Android (ด้านใน)	-69	-73	-79	-81	-83
Android (ด้านนอก)	-69	-74	-79	-81	-85
IOS (ด้านใน)	-69	-73	-79	-81	-83
IOS (ด้านนอก)	-69	-74	-79	-81	-83
ค่าเฉลี่ย	**-69**	**-74**	**-79**	**-81**	**-84**

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยข้อมูล RSSI ของสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบ (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)



ภาพที่ 53 การเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยข้อมูล RSSI ของสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบ (ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

จากการเปรียบเทียบข้อมูลในตารางแล้วจะเห็นได้ว่า ค่าความแรงของสัญญาณ RSSI ในแต่ละระยะนั้น มีความแปรปรวนของสัญญาณ เนื่องมาจากสัญญาณบลูทูธในแต่ละสถานที่ที่ทดสอบนั้นมีอุปกรณ์ที่ใช้บลูทูธเป็นจำนวนมาก ทำให้สัญญาณที่ส่งไปยังตัวรับ บางจังหวะอาจมีการชนกันของสัญญาณ จึงทำให้ข้อมูลที่ออกมาในการใช้งานนั้นควรพิจารณาและอ้างอิงกับสถานที่จริงควบคู่ไปด้วย เนื่องด้วยปัจจัยหลายอย่าง รวมทั้งอัลกอริทึมในการทำงานของระบบด้วย

ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบพัฒนาชุดคำสั่งขั้นตอนวิธีการ และได้ดำเนินการทดลองตามแผนงานที่ได้ตั้งไว้ โดยได้ทำการศึกษาและทดลอง ดังต่อไปนี้

ระบบปฏิบัติการ Android & iOS	**ระยะทาง (เมตร)**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
ค่าเฉลี่ย (อินทนิลแลป)	-69	-74	-79	-81	-84
ค่าเฉลี่ย (DSIMJU)	-69	-74	-79	-81	-84

ตารางที่ 15 สรุปค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากทั้งสองห้องทดสอบในระยะทาง 1-5 เมตร

จากข้อมูลเปรียบเทียบของข้อมูลความแรงสัญญาณ RSSI ของสองระบบปฏิบัติการและสองสถานที่นั้น ความแตกต่างของค่าสัญญาณมีความคาดเคลื่อนเล็กน้อยหรือบางสถานที่ก็มีค่าเฉลี่ยที่เท่ากัน เป็นไปตามสภาพสถานที่ที่ทดสอบ เพราะสัญญาณของบลูทูธที่ทำงานอยู่ในเวลานั้นมีจำนวนมาก จึงทำให้สัญญาณที่ตัวระบบได้รับมีการชนกันและทำให้เกิดการแปรปรวนของสัญญาณได้ โดยข้อมูลค่าเฉลี่ยที่ผ่านการกรองข้อมูลแล้วนั้น นำมาคำนวณเป็นระยะทางด้วย สมการ

$$\text{Distance} = 10 \wedge ((\text{Measured Power} - \text{RSSI})/(10 * N))$$

ระบบปฏิบัติการ Android & iOS	**ค่าความแรงสัญญาณ (RSSI)**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
ค่าเฉลี่ย (อินทนิลแลป)	-69	-74	-79	-81	-84
คำนวณระยะทางด้วยสมการ (เมตร)	1	1.78	3.16	3.98	5.6

ตารางที่ 16 คำนวณระยะทางด้วยค่าความแรงสัญญาณ RSSI
(ห้องปฏิบัติการอินทนิลแลป มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

ระบบปฏิบัติการ Android & iOS	ค่าความแรงสัญญาณ (RSSI)				
	1	2	3	4	5
ค่าเฉลี่ย (สำนักงาน DSIMJU)	-69	-74	-79	-81	-84
คำนวณระยะทางด้วยสมการ (เมตร)	1	1.78	3.16	3.98	5.6

ตารางที่ 17 คำนวณระยะทางด้วยค่าความแรงสัญญาณ RSSI
(ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่)

จากที่ได้ค่าความแรง RSSI ที่ผ่านกระบวนการขั้นตอนการกรองข้อมูลมา ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดค่าในระบบประตูอัตโนมัติและได้ทำการทดลองใช้งานโดยเก็บข้อมูลการใช้งานไปด้วย จากข้อมูลที่สรุปมานั้น จะเห็นได้ว่าค่า RSSI ของทั้งสองห้องทดสอบและทั้งสองระบบปฏิบัติการนั้นมีค่า RSSI ที่เท่ากัน ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลมาทดสอบในการใช้งานจริง โดยจะใช้ห้องสำนักงาน โครงการ DSIMJU และระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็นหลัก ซึ่งกำหนดระยะทางใหม่คือ 0.5 เมตร 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร ตามลำดับและทดสอบการปลดล็อกจากด้านนอกห้องเนื่องจากผู้ใช้งานจากด้านนอกห้องนั้นต้องการปลดล็อกประตูด้วยบลูทูธเท่านั้น แต่ผู้ใช้ด้านในห้องสามารถกดปุ่มเปิดประตูได้เมื่อระบบเกิดผิดพลาด ในการทดสอบนั้น ผู้วิจัยนำ Confusion Matrix มาคำนวณหาผลลัพธ์การวิจัย ทางผู้วิจัยได้ทดสอบทั้งหมดดังนี้

1. ระยะ 0.5 เมตร

การทดลอง/ระบบประตู	ระบบปลดล็อก	ระบบไม่ปลดล็อก
เดินตรงไปที่ประตูต้องการปลดล็อก 20 ครั้ง	TP=10	FN=10
เดินไปใกล้ ๆ และเดินออกห่างไม่ต้องการปลดล็อก 20 ครั้ง	FP=2	TN=18

Precision = TPs / (TPs + FPs) = 10 / (10+2)
= 0.83

Recall = TPs / (TPs + FNs) = 10 / (10+10)
= 0.5

F1 score = 2 x (Precision x Recall) / (Precision + Recall)
= 2 x (0.83 x 0.5) / (0.83 + 0.5)
= 0.62

2. ระยะ 1 เมตร

การทดลอง/ระบบประตู	ระบบปลดล็อก	ระบบไม่ปลดล็อก
เดินตรงไปที่ประตูต้องการปลดล็อก 20 ครั้ง	TP=17	FN=3
เดินไปใกล้ ๆ และเดินออกห่างไม่ต้องการปลดล็อก 20 ครั้ง	FP=4	TN=16

Precision = TPs / (TPs + FPs) = 17 / (17+4)

= 0.81

Recall = TPs / (TPs + FNs) = 17 / (17+3)

= 0.85

F1 score = 2 x (Precision x Recall) / (Precision + Recall)

= 2 x (0.81 x 0.85) / (0.81 + 0.85)

= 0.83

3. ระยะ 1.5 เมตร

การทดลอง/ระบบประตู	ระบบปลดล็อก	ระบบไม่ปลดล็อก
เดินตรงไปที่ประตูต้องการปลดล็อก 20 ครั้ง	TP=18	FN=2
เดินไปใกล้ ๆ และเดินออกห่างไม่ต้องการปลดล็อก 20 ครั้ง	FP=6	TN=14

Precision = TPs / (TPs + FPs) = 18 / (18+6)

= 0.75

Recall = TPs / (TPs + FNs) = 18 / (18+2)

= 0.9

F1 score = 2 x (Precision x Recall) / (Precision + Recall)

= 2 x (0.75 x 0.9) / (0.75 + 0.9)

= 0.81

4. ระยะ 2 เมตร

การทดลอง/ระบบประตู	ระบบปลดล็อก	ระบบไม่ปลดล็อก
เดินตรงไปที่ประตูต้องการปลดล็อก 20 ครั้ง	TP=19	FN=1
เดินไปใกล้ ๆ และเดินออกห่างไม่ต้องการปลดล็อก 20 ครั้ง	FP=18	TN=2

Precision = TPs / (TPs + FPs) = 19 / (19+18)

= 0.51

Recall = TPs / (TPs + FNs) = 19 / (19+1)

= 0.95

F1 score = 2 x (Precision x Recall) / (Precision + Recall)

= 2 x (0.51 x 0.95) / (0.51 + 0.95)

= 0.66

จากตารางสรุปทั้งหมดแล้ว ค่า F1 Score ในระยะทั้ง 4 ระยะที่ทดสอบพบว่า ระยะที่ 1 เมตรนั้น มีค่า F1 ที่ใกล้ 1 ที่สุด ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่การทดลองดีที่สุด ในการยืนยันการทดลองด้วยการใช้ Confusion Matrix มาคำนวณหาผลลัพธ์การวิจัย จากการทดลองทั้งหมด 20 ครั้ง

ภาพที่ 54 ผลสรุปค่า F1 Score ในระยะที่ทดสอบ

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้จะกล่าวถึงสรุปและข้อเสนอแนะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ดำเนินการทดลองงานบรรลุตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งจุดประสงค์ของงานวิจัยไว้ ดังต่อไปนี้

เพื่อพัฒนาระบบประตูอัตโนมัติที่สามารถยืนยันตัวตนผู้ใช้งานผ่านสัญญาณบลูทูธที่อยู่ในโทรศัพท์ของผู้ใช้งานได้โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องสัมผัสกับฮาร์ดแวร์โดยตรง

โดยการทดลองทั้งหมดในแต่ละแบบ แบบละ 20 ครั้ง ในระยะทางที่แตกต่างกันและกำหนดค่า RSSI ในซอฟต์แวร์ และทำการทดลองใช้งานจริง โดยพิจารณาจากการทดลองเดินเข้าประตูโดยให้บลูทูธในสมาร์ทโฟนยืนยันตัวตนและปลดล็อกประตูอัตโนมัติ แต่ก็มีความผิดพลาดในการใช้งานอยู่ รวมถึงระยะเวลารอในระหว่างระบบกำลังรับข้อมูลจากมือถือสมาร์ทโฟนด้วย เนื่องจากสัญญาณรบกวนในช่วงนั้น ๆ ส่งสัญญาณรบกวนกันและการคำนวณระยะทางด้วยค่าความแรง RSSI ด้วย ซึ่งค่าระยะทางที่ได้ยังไม่แม่นยำเท่าที่ควรจึงทำให้ค่าในระยะต่าง ๆ ในแต่ละสถานที่นั้นต้องปรับตามไปด้วย ในงานวิจัยนี้จะทดลองและให้ความสนใจกับการเข้าประตูจากด้านนอกมากกว่าด้านใน เพราะประเมินจากความสำคัญแล้ว ผู้ใช้ที่จะเปิดจากด้านนอกต้องการปลดล็อกเพื่อเข้าประตูต้องเปิดได้จริง ๆ โดยที่ระบบผิดพลาดน้อยที่สุด แต่ผู้ใช้ที่อยู่ด้านในนั้น เมื่อระบบมีความผิดพลาดยังสามารถใช้ปุ่มกดเพื่อเปิดประตูได้ สรุปได้ตามตาราง

RSSI (dBm)	ระยะทาง (เมตร)	F1-score	ความล่าช้า (วินาที)
–63	0.5	0.62	5-7
–69	**1**	**0.83**	**2-4**
–73	1.5	0.81	2-4
–75	2	0.66	3-5

ตารางที่ 18 แสดงสรุปผลการทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทดลองและใช้ค่าความแรง RSSI ที่ -69 ซึ่งเป็นระยะ 1 เมตรจากการคำนวณ พบว่าการใช้งานนั้นมีความถูกต้องในการยืนยันตัวตนและสามารถเปิดประตูอัตโนมัติได้ ซึ่งยืนยันการทดลองด้วยการใช้ Confusion Matrix มาคำนวณหาผลลัพธ์การวิจัย จากการทดลองทั้งหมด 20 ครั้ง

การใช้งานจริงเทคโนโลยีบลูทูธสามารถยืนยันการเปิดระบบประตูอัตโนมัติได้ โดยกำหนดค่าสัญญาณในอัลกอริทึม โดยข้อมูลที่ผู้วิจัยได้เก็บมาและนำมาเฉลี่ยข้อมูลตามระยะทางนั้นมีความคาดเคลื่อนจากระยะที่เป็นจริงเล็กน้อย แต่การนำทฤษฎี TRIMMEAN มาใช้นั้นทำให้เห็นว่าข้อมูลที่ผ่านการกรองมามีความแม่นยำมากกว่าการเฉลี่ยโดยไม่ผ่านการกรองข้อมูลเป็นเท่าตัวจากการทดลองใช้งานจริง แต่อย่างไรก็ตามการนำเทคโนโลยีบลูทูธในสมาร์ทโฟนมาใช้นั้นเป็นเพียงการนำสิ่งที่ผู้ใช้ทั่วไปพกติดตัวอยู่ตลอดเวลา นำมาพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์โดยไม่เพิ่มภาระในการใช้งานของผู้ใช้ ดังนั้นการใช้งานในสถานที่จริงจึงจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนค่าระยะทางและค่าความแรงของสัญญาณให้เป็นไปตามสถานที่ในการใช้งานจริงนั้น ๆ ด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยพบว่าค่าความแรงของสัญญาณมีความคาดเคลื่อนเล็กน้อยและระยะทางที่คำนวณได้ยังไม่ชัดเจนมาก เนื่องจากว่าในสถานที่ที่ใช้ระบบประตูอัตโนมัตินั้นเป็นพื้นที่ในร่ม และมีอุปกรณ์บลูทูธที่เปิดใช้งานอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งสัญญาณของบลูทูธมีการส่งสัญญาณรบกวนกันไม่มีความแน่นอนในการส่งสัญญาณ โดยรวมทั้งหมดแล้วในการทดลองจะต้องกำหนดค่าทีละค่าเพื่อทดสอบใช้งานในความเป็นจริง และในสถานที่แต่ละที่ก็มีสัญญาณที่รบกวนแตกต่างกันไป จึงไม่สามารถกำหนดได้อย่างแน่นอนว่าการเปิดประตูอัตโนมัติด้วยค่าความแรงสัญญาณในระยะนั้น ๆ จะใช้ค่าใดเป็นมาตรฐาน ตามที่ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลมา แต่ต้องปรับเปลี่ยนไปตามสถานที่ที่ใช้งาน

หากผู้ใดที่สนใจสามารถนำเอาขั้นตอนวิธีการนี้ไปปรับใช้หรือประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเพื่อให้อัลกอริทึมระบบการเปิดประตูอัตโนมัติสามารถเปิดประตูได้อย่างมีความแม่นยำ และสามารถพัฒนาต่อยอดให้ระบบมีความอัจฉริยะเพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

Ahmed Azeez, Saba Qasim Jabbar, Dr.Mohammed Sulttan, &, D. W. & Toty, M. 2016. Wireless Indoor Localization Systems and Techniques: Survey and Comparative Study. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, 392-409.

Chen, W.-J. 2014. **Responsive mobile user experience using Message Queue Telemetry Transportand IBM MessageSight**. Available

Cox, N. J. 2013. Trimming to taste. **The Stata Journal**, 640–666.

ENGEL, J. 2017. Bluetooth 5 vs. Bluetooth 4: The 7 differences between the two versions. Available https://www.dignited.com/23114/bluetooth-5-vs-bluetooth-4/

Jeffrey Hightower, &, G. B. & Want, R. 2000. SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength. Available

Jorge E. Luzuriaga, Marco Zennaro, Juan Carlos Cano, &, C. C. & Manzoni, P. 2017. A Disruption Tolerant Architecture based on MQTT for loT Applications. p. In 2017 14**th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)**. IEEE.

Klaithem Al Nuaimi & Kamel, H. 2011. A Survey of Indoor Positioning Systems and Algorithms p. In 2011 **International Conference on Innovations in Information Technology**.

Retscher, G. 2016. **Indoor Navigation**.

Shah, r. 2020. Formula to Convert the RSSI Value of the BLE (Bluetooth Low Energy) Beacons to Meters/Feet. Available https://dzone.com/articles/formula-to-convert-the-rssi-value-of-the-ble-bluet?fbclid=IwAR0GsIxt49xWDPNdcn_J05B2pUsdxDnp2Or7lmNHVQuiwiD8zAmlorEF9Pw

Toulson, S. 2020. Transmission power, Range and RSSI. Available https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201621521-Transmission-power-Range-and-RSSI

Wiriyaporn Pattarapakorn & Santiamorntut, D. W. 2008. Ranging in Wireless Sensor Network System p. In การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร ครั้งที่ 6.

Yishi Han, &, Q. C. & Liu, P. 2016. Indoor positioning based on LED-camera communication. p. In 2016 **IEEE International Conference on Consumer Electronics-China (ICCE-China)**.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	กิตติพัฒน์ เครือสาร
เกิดเมื่อ	10 กรกฎาคม 2535
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พ.ศ. 2563 สำเร็จการศึกษาปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2560 – ปัจจุบัน ตำแหน่งนักพัฒนานวัตกรรม โครงการ ศูนย์บริการดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้