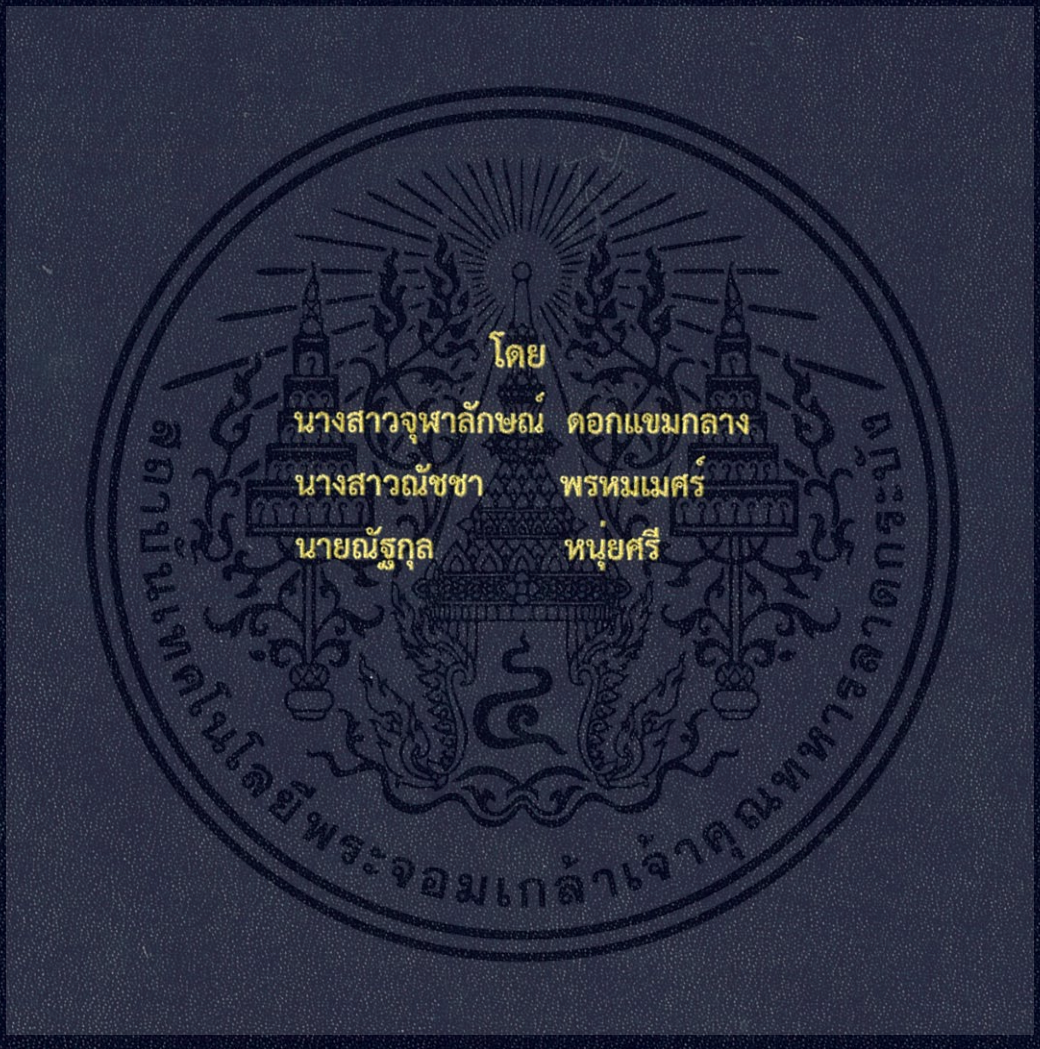
การติดตามวัตถุด้วย BLUETOOTH
BLUETOOTH TRACKING



โดย

นางสาวจุฬาลักษณ์ ดอกแขมกลาง

นางสาวณัชชา พรหมเมศร์

นายณัฐกุล หนุ่ยศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา2557

การติดตามวัตถุด้วย BLUETOOTH
BLUETOOTH TRACKING

โดย

นางสาวจุฬาลักษณ์ ดอกแขมกลาง 54010232
นางสาวณัชชา พรหมเมศร์ 54010379
นายณัฐกุล หนุ่ยศรี 54010395

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. สิรภพ ตู้ประกาย
รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว
(.....)
อาจารย์ที่ปรึกษา
12 / มค / 58

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว
(.....)
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน
2 / ผค / 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง การติดตามวัตถุด้วย BLUETOOTH
BLUETOOTH TRACKING

ผู้จัดทำ

1.	นางสาวจุฬาลักษณ์	ดอกแขมกลาง	54010232
2.	นางสาวณัชชา	พรหมเมศร์	54010379
3.	นายณัฐกุล	หนุ่ยศรี	54010395

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร. สิรภพ ตู้ประกาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีได้นั้น ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ให้การศึกษาเล่าเรียนให้การสนับสนุนในทุกๆด้านและให้กำลังใจในยามท้อถอย ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สิรภพ ตู้ประกาย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานและ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่เป็นผู้แนะนำให้ทางคณะผู้จัดทำได้ศึกษาเรียนรู้เพื่อทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดทั้งคำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดต่างๆ แก่ผู้จัดทำมาโดยตลอดอีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย หากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวจุฬาลักษณ์ ดอกแขมกลาง
นางสาวณัชชา พรหมเมศร์
นายณัฐกุล หนุ่ยศรี

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตามวัตถุด้วย BLUETOOTH
BLUETOOTH TRACKING

โดย นางสาวจุฬาลักษณ์ ดอกแขมกลาง 54010232
นางสาวณัชชา พรหมเมศร์ 54010379
นายณัฐกุล หนุ่ยศรี 54010395

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สิรภพ ตู้ประกาย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์บลูทูธ เพื่อติดตามวัตถุภายในอาคารที่มีพื้นที่จำกัด โดยออกแบบให้ใช้แอพพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็นตัวแสดงผลในการค้นหา ซึ่งจะทำการแสดงผลออกมาในรูปแบบระยะทาง โดยเป็นการแสดงผลแบบทันทีทันใด จากนั้นทำการประเมินและตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของระบบ

ABSTRACT

This project presents the application of Bluetooth tracking. It tracks the objects inside the building on the Android operation system. The output shows on display and comes out the distance of an object immediately. Then, the performance of measurement and test the system have been done.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		I
บทคัดย่อ		II
สารบัญ		III
สารบัญรูป		V
สารบัญตาราง		VII
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
	1.4 บล็อคไดอะแกรมของโครงงาน	2
บทที่ 2	**ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง**	**4**
	2.1 Bluetooth	4
	2.2 บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy)	8
	2.3 ระบบปฏิบัติแอนดรอยด์	16
	2.4 iBeacon	22
	2.5 ค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับในเชิงพลังงาน (RSSI)	25
	2.6 ฐานข้อมูล	27
บทที่ 3	**การออกแบบและการจัดทำโครงงาน**	**30**
	3.1 การออกแบบ	30
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	38
	3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**	**42**
	4.1 ทดสอบการทำงานของแอพพลิเคชั่น	42
	4.2 ทดสอบรัศมีการใช้งานจริงของอุปกรณ์	48
	4.3 ทดสอบความแม่นยำในการแสดงระยะทางของแอพพลิเคชั่น	49
	4.4 คำนวณระยะทางจากทฤษฎีเปรียบเทียบกับระยะทางจริง	57
	4.5 ทดสอบช่วงความถี่ในการทำงานของอุปกรณ์ iBeacon	59
	4.6 ทดสอบความถูกต้องในการแสดงผลของแอพพลิเคชั่น	60
	4.7 ทดสอบผลข้างเคียงของปริมาณแบตเตอรี่	61
	4.8 ทดสอบความผิดพลาดบนสมาร์ทโฟนต่างรุ่น	63
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	**65**
	5.1 สรุปผล	65
	5.2 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม		**66**
ภาคผนวก		**67**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	BLOCK DIAGRAM ของโครงงาน	2
2.1	BLUETOOTH PROTOCOL STACK	8
2.2	ANDROID ARCHITECTURE	19
2.3	การแบ่งช่วงการทำงานของอุปกรณ์ iBeacon	23
3.1	ขั้นตอนการทำงานของแอพพลิเคชั่น	25
3.2	Flow chart แสดงการทำงานทั้งหมดของแอพพลิเคชั่น	27
3.3	Flow chart แสดงการเปิดใช้งานอุปกรณ์บลูทูธ	28
3.4	Flow chart แสดงการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon	29
3.5	Flow chart แสดงการแก้ไขข้อมูลอุปกรณ์ iBeacon	30
3.6	Flow chart แสดงการตั้งค่าข้อมูลอุปกรณ์	31
3.7	Flow chart แสดงการตั้งค่าการค้นหาและการแสดงผลการค้นหา	32
3.8	iBeacon	33
3.9	ภายในของ iBeacon	33
4.1	หน้าแอพพลิเคชั่น ส่วน Icon ของแอพพลิเคชั่นส่วนถามความต้องการเปิดใช้งานบลูทูธ	42
4.2	หน้าแอพพลิเคชั่น (ต่อ) ส่วนการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon, การแสดงผลการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon, การแก้ไขข้อมูลอุปกรณ์, การตั้งค่าอุปกรณ์	43
4.3	หน้าแอพพลิเคชั่น (ต่อ) การแสดงผลการตั้งค่าใน DATABASE, ตั้งค่าการค้นหาอุปกรณ์, ค้นหาอุปกรณ์ในการแสดงผล, เลือกสีที่ใช้ในการแสดงผล	44
4.4	แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่กลางห้อง และ ตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง	45
4.5	แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่ในลักษณะดังรูป B. และตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง	46
4.6	แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่ในลักษณะดังรูป B. และ ตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง	46
4.7	แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่ในลักษณะดังรูป B. และตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่ในลักษณะดังรูป B. และตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง	47
4.9	กราฟแสดงรัศมีการใช้งานของ iBeacon แต่ละตัว	48
4.10	แปลนห้อง ECC-510 ซึ่งมีขนาดห้อง 12X12 เมตร	49
4.11	ระยะทางที่แสดงบนแอพพลิเคชั่น ตั้งแต่ 0.5 เมตร ถึง 5 เมตร	56
4.12	SPECTRUM ภายในช่วงความถี่ 2.401 – 2.480 GHZ	59
4.13	เปรียบเทียบระยะทางที่แสดงบนแอพพลิเคชั่นโดยใช้วิธีการแตกต่างกัน	61
4.14	กราฟเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณ RSSI ที่ปริมาณแบตเตอรี่ 100% กับ 70%	62
4.15	เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะทางระหว่างสมาร์ทโฟนสองรุ่น	64
4.16	เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแรงสัญญาณ RSSI ระหว่างสมาร์ทโฟนสองรุ่น	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ขอบเขตประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์บลูทูธในแต่ละ CLASS	5
2.2	อัตราการส่งข้อมูลของอุปกรณ์บลูทูธในแต่ละเวอร์ชั่น	6
2.3	เปรียบเทียบข้อมูลทางเทคนิคระหว่าง CLASSIC BLUETOOTH และ SMART BLUETOOTH	12
2.4	เปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงานระหว่าง BLUETOOTH LOW ENERGY กับ NFC	15
3.1	สเปคของตัวอุปกรณ์ iBeacon	34
4.1	รัศมีการใช้งานที่วัดได้จริงของอุปกรณ์ iBeacon ในแต่ละทิศทางเทียบกับที่สเปคกำหนดไว้คือ 25 เมตร	48
4.2	ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (มุม 0 และ 30 องศา)	50
4.2	ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 60 และ 90 องศา)	51
4.2	ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 120 และ 150 องศา)	52
4.2	ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 180 และ 210 องศา)	53
4.2	ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 240 และ 270 องศา)	54
4.2	ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 300 และ 330 องศา)	55
4.3	ค่าเฉลี่ยของค่า RSSI ที่ทิศทางต่างๆในแต่ละระยะตั้งแต่ 1-5 เมตร	57
4.4	ค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณในสถานที่นั้นๆ	58
4.5	ค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดของระยะที่คำนวณได้ตามทฤษฎีเทียบกับระยะทางที่วัดได้จริง	58
4.6	เปรียบเทียบระยะทางที่แสดงบนแอพพลิเคชั่นโดยใช้วิธีการแตกต่างกัน	60
4.7	เปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณ RSSI ที่ปริมาณแบตเตอรี่ 100% กับ 70%	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.8	เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะทางและค่าความแรงสัญญาณ RSSI ระหว่างสมาร์ทโฟนสองรุ่น	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้การใช้งานเทคโนโลยีมีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวัน ซึ่งในแต่ละวันเราจำเป็นต้องเรียนรู้ให้เท่าทันเทคโนโลยีใหม่ๆตลอดเวลา อีกทั้งในปัจจุบันโลกเป็นโลกแห่งข้อมูลข่าวสารที่กว้างใหญ่ไม่มีสิ้นสุด การที่เราจะสามารถใช้ชีวิตอยู่ได้จึงจำเป็นต้องเรียนรู้เพื่อที่จะก้าวตามเทคโนโลยีในยุคปัจจุบันให้ทัน ไม่เพียงเท่านั้นเราสามารถพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านั้นให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถเป็นประโยชน์ได้ต่อไป ซึ่งในช่วงระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมานี้สมาร์ทโฟน ถือเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญอันดับต้นๆ ซึ่งมีการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆในแต่ละปี ซึ่งตัวสมาร์ทโฟนนี้ มีแอพพลิเคชั่นหลากหลายที่สามารถตอบโจทย์การใช้งานของเรา ซึ่งเราสามารถที่จะสร้างแอพพลิเคชั่นต่างๆเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับตัวผู้ใช้เอง ซึ่งโครงงานนี้เกิดขึ้นเพื่อนำเสนอแอพพลิเคชั่นรูปแบบหนึ่งที่สามารถใช้ในการช่วยติดตามวัตถุภายในขอบเขตของพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เราจึงเลือกศึกษาอุปกรณ์บลูทูธ (Bluetooth) เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ง่ายราคาไม่สูงมากและสามารถใช้ได้ในอุปกรณ์สมาร์ทโฟนเกือบทั้งหมด เราจึงเลือกที่จะทำการสร้างแอพพลิเคชั่นที่ใช้ในการติดตามวัตถุในพื้นที่หนึ่งขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ที่ใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

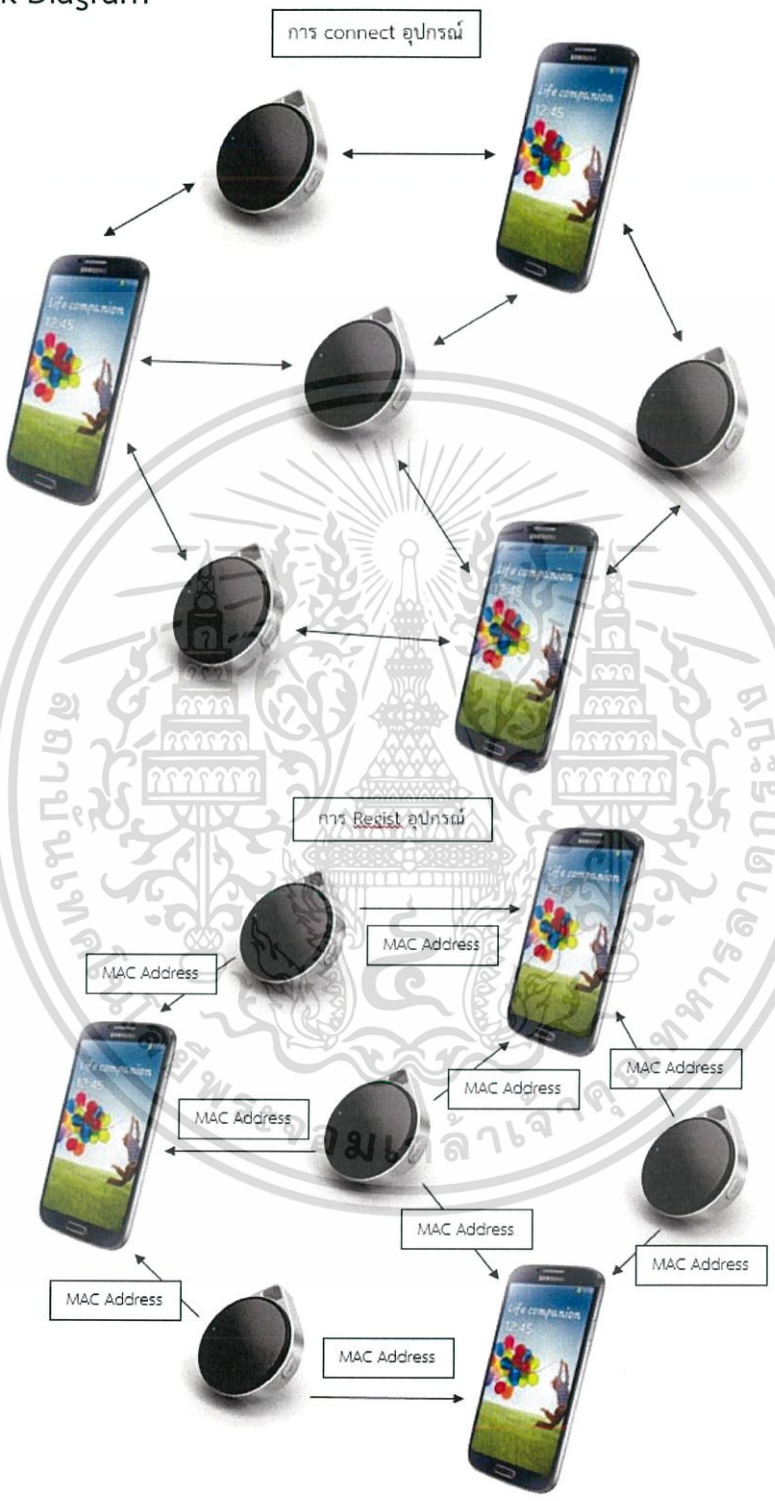
1) เพื่อศึกษาการเขียนแอปพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการ Android
2) เพื่อทำการสร้างแอปพลิเคชั่นการติดตามวัตถุโดยใช้อุปกรณ์ Bluetooth ผ่านโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการ Android
3) เพื่อทำการสร้างระบบที่สามารถค้นหาวัตถุได้ภายในพื้นที่รัศมีหนึ่งๆที่กำหนด

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์บลูทูธ (iBeacon) และอุปกรณ์บลูทูธในโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ android ด้วยการสร้างแอพพลิเคชั่นขึ้นมาเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ iBeacon และอุปกรณ์บลูทูธภายในโทรศัพท์ ในการค้นหาวัตถุภายในรัศมีที่กำหนดโดยแสดงผลออกมาที่หน้าแอปพลิเคชั่นในรูปของการระบุระยะทางของวัตถุนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 Block Diagram



รูปที่ 1.1 Block Diagram ของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงงานซึ่งแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของการ connect อุปกรณ์ระหว่างบลูทูธกับสมาร์ทโฟน และอีกส่วนคือการ register ข้อมูลจากตัวอุปกรณ์บลูทูธและบันทึกข้อมูลนั้นลงในแอพพลิเคชั่นเพื่อการใช้งานที่สะดวกขึ้นในครั้งถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 Bluetooth

บลูทูธ (Bluetooth) เป็นเทคโนโลยีพื้นฐานสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลในระยะใกล้ (ใช้ช่วงคลื่นความถี่วิทยุ) ทั้งอุปกรณ์เคลื่อนที่และคงที่ และการสร้างเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล (Personal Area Networks: PANs) มันถือเป็นต้นกำเนิดของอุปกรณ์ไร้สาย มันสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้หลายอุปกรณ์ในคราวเดียวกันและสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องการซิงค์โครนัส ในปัจจุบันบลูทูธได้รับการจัดการโดย Bluetooth Special Interest Group (SIG)

2.1.1 การดำเนินงาน

บลูทูธทำงานได้ในช่วงความถี่ 2400-2483.5 MHz (รวม guard band แล้ว) สามารถทำงานได้ในช่วงความถี่วิทยุระยะสั้น 2.4 GHz ใช้ได้ในอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์และการแพทย์โดยไม่ต้องมีใบอนุญาต บลูทู ธใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่าวิทยุความถี่คลื่นกระจาย (Frequency-hopping spread spectrum) ข้อมูลที่ส่งจะถูกแบ่งออกเป็นแพ็คเก็ตและแต่ละแพ็คเก็ตจะถูกส่งไปหนึ่งช่อง จากบลูทูธแชลแนลทั้งหมด 79 แชนแนล โดยแต่ละแชนแนลมีแบนด์วิดธ์ 1 MHz โดยปัจจุบันบลูทูธเวอร์ชั่น 4.0 ใช้ช่องว่าง 2 MHz ทำให้มีแชนแนลใช้งานได้ 40 ช่อง โดยที่แชนแนลแรกเริ่มต้นที่ 2402 MHz ถึง 2480 MHz โดยเพิ่มขึ้นสเตปละ 1 MHz โดยจะดำเนินการ 1,600 ฮอปส์ต่อวินาที เมื่อ Adaptive Frequency-Hopping (AFH) เปิดใช้งาน

แต่เดิมการมอดูเลตแบบ Gaussian frequency-shift keying (GFSK) เป็นการปรับใช้งานเฉพาะ ต่อมานับแต่มีการเปิดตัวบลูทูธ การมอดูเลตแบบ π / 4-DPSK และ 8DPSK สามารถใช้ได้ระหว่างอุปกรณ์ อุปกรณ์ที่ทำงานด้วย GFSK สามารถดำเนินงานได้ในโหมดอัตราพื้นฐาน (BR) ที่ความเร็วของอัตราการส่งข้อมูลที่เป็นไปได้ 1 Mbit/s ระยะอัตราข้อมูลแบบขยาย (EDR) ถูกนำมาใช้เพื่ออธิบาย π / 4-DPSK และแผนการ 8DPSK แต่ละให้ 2 และ 3 Mbit / s ตามลำดับ การรวมกันของทั้งสองโหมดนี้ (BR และ EDR) ในเทคโนโลยีบลูทูธเรียกว่าเป็น “BR/EDR radio”

บลูทูธเป็นแพ็คแกตโปรโตคอลที่ใช้กับโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเครื่องหลักเครื่องรอง เครื่องหลักหนึ่งเครื่องอาจติดต่อได้ถึง 7 เครื่องย่อยในโครงข่ายย่อยๆ การแลกเปลี่ยนแพ็คเกตจะขึ้นอยู่กับนาฬิกาพื้นฐานที่ถูกกำหนดโดยเครื่องหลักซึ่งกำหนดช่วงเวลาไว้ที่ 312.5 ไมโครวินาที ในกรณีของแพ็คแกตสล็อตเดียวในเครื่องหลักจะทำการส่งในช่องคู่และทำการรับในช่องคี่ ส่วนเครื่องรองนั้นตรงกันข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือจะทำการส่งในช่องคี่และรับในช่องคู่ แพ็คแกตอาจเป็น 1, 3 หรือ 5 สล็อต แต่ในทุกกรณีการส่งของเครื่องหลักจะเริ่มในช่องคู่และเครื่ององจะทำการส่งในช่องคี่

2.1.2 การสื่อสารและการเชื่อมต่อ

อุปกรณ์บลูทูธสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์บลูทูธอื่นๆได้ถึง 7 อุปกรณ์ในคราวเดียวกัน โดยที่สามารถเปลี่ยนบทบาทจากเครื่องหลักกลายเป็นรอง หรือเครื่องรองกลายเป็นเครื่องหลักได้ รายละเอียดหลักของ บลูทูธสำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายย่อยสองโครงข่ายหรือมากกว่านั้นจากการกระจายซึ่งอุปกรณ์บางอย่างอาจเป็นเครื่องหลักในโครงข่ายหนึ่งแต่กลับเป็นเครื่องรองในอีกโครงข่ายหนึ่ง ในเวลาใดก็ตามข้อมูลสามารถเคลื่อนย้ายระหว่างเครื่องหลักกับอุปกรณ์อื่นๆได้ โดยที่เครื่องหลักสามารถเลือกอุปกรณ์ลูกตัวอื่นได้จากแอดเดรส โดยทั่วไปแล้วจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากเครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่ง ตั้งแต่เครื่องหลักทำการเลือกเครื่องรองที่แอดเดรส เครื่องรองนั้นควรจะรับฟังในแต่ละสล็อตที่ได้รับโดยที่เครื่องหลักนั้นจะรับภาระไม่หนักเท่าเครื่องรอง

2.1.3 การใช้ประโยชน์

บลูทูธเป็นโปรโตคอลมาตรฐานแทนที่การสื่อสารแบบมีสายถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานในพลังงานที่ต่ำที่มีช่วงสั้นขึ้นอยู่กับไมโครชิพตัวรับส่งสัญญาณในแต่ละอุปกรณ์ เพราะว่าอุปกรณ์ใช้ระบบการสื่อสารวิทยุ อุปกรณ์แต่ละตัวจึงไม่จำเป็นต้องอยู่ในระดับเดียวกัน ขอบเขตของอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับ Class โดยแต่ละช่วงจะมีประสิทธิภาพในทางปฏิบัติที่แตกต่างกัน แสดงตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขอบเขตประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์บลูทูธในแต่ละ class

Class	Maximum permitted power		Type Range
	mW	dBm	(m)
1	100	20	~100
2	2.5	4	~10
3	1	0	~1

ในแต่ละช่วงของการทำงานมีประสิทธิภาพแตกต่างกันไปเนื่องจากสภาพการแพร่กระจาย การครอบคลุมของวัสดุ รูปแบบตัวอย่างการผลิต การกำหนดค่าของเสาอากาศและเงื่อนไขการใช้งานของแบตเตอรี่ ส่วนใหญ่การใช้งานบลูทูธในงานอาคารสัญญาณจะเกิดการลดทอนลงเนื่องจากการสะท้อนกับวัตถุหรือกำแพงด้วยเหตุนี้ จะทำระยะการทำงานของบลูทูธต่ำกว่าระยะการทำงานที่กำหนดไว้ของผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์บลูทูธที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็น Class 2 ซึ่งมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างเล็กน้อยในช่วงปลายของอุปกรณ์ class 1 และ class 2 โดยอุปกรณ์ที่เป็นอุปกรณ์พลังงานต่ำจะสามารถกำหนดระยะการทำงานได้ ในกรณีเดียวกัน ช่วงที่มีประสิทธิภาพการเชื่อมโยงข้อมูลสามารถขยายได้เมื่ออุปกรณ์ class 2 เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ class 1 ที่มีการไวและพลังงานการส่งผ่านมากกว่าอุปกรณ์ class 2 แต่ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ class 1 มีความไวใกล้เคียงกับอุปกรณ์ class 2 ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ class 1 สองอุปกรณ์ที่มีทั้งความไวและพลังงานสูงอาจจะสามารถได้ระยะที่ไกลเกินกว่า 100 เมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณที่จำเป็นในการประยุกต์ใช้โดยในบางอุปกรณ์อาจจะทำให้ระยะการทำงานระหว่างสองอุปกรณ์ได้ไกลถึง 1 กิโลเมตรโดยไม่เกินขีดจำกัดตามกฎหมาย

2.1.4 ข้อมูลจำเพาะและคุณสมบัติ

สเปคของบลูทูธนั้นได้รับการพัฒนาให้มาแทนที่สายเคเบิลเริ่มขึ้นในปี 1994 โดย สเปคจะอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยีการแพร่กระจายคลื่นความถี่ (frequency-hopping spread spectrum technology) ข้อกำหนดที่เป็นทางการของเทคโนโลยีบลูทูธถูกกำหนดโดย Bluetooth Special Group (SIG) เวอร์ชั่นต่างๆของบลูทูธได้รับการออกแบบมาเพื่อลดความเข้ากันได้ลงช่วยให้รุ่นใหม่ล่าสุดนั้นครอบคลุมมาตรฐานของรุ่นที่เก่ากว่า ซึ่งเวอร์ชั้นต่างๆของบลูทูธ มีตั้งแต่ Bluetooth v1.0, v1.1, v1.2, v2.0+EDR, v2.1+EDR, v3.0+HS, v4.0 และv4.1 โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึง v4.0 ซึ่งเป็นเวอร์ชั่นที่นำมาใช้งานเท่านั้น ซึ่งอัตราการส่งข้อมูลของอุปกรณ์บลูทูธในแต่ละเวอร์ชั่นแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราการส่งข้อมูลของอุปกรณ์บลูทูธในแต่ละเวอร์ชั่น

Version	Data rate
1.2	1 Mbit/s
2.0+EDR	3 Mbit/s
3.0+HS	24 Mbit/s
4.0	24 Mbit/s

1) Bluetooth v4.0

บลูทูธเวอร์ชั่น 4.0 หรือเรียกได้อีกอย่างว่า Bluetooth Smart ซึ่งได้รวมโปรโตคอล Classic Bluetooth, Bluetooth high speed และ Bluetooth low energy ไว้ด้วยกัน ซึ่ง Bluetooth high speed นั้นจะขึ้นอยู่กับ Wi-Fi และ Classic Bluetooth จะประกอบด้วยโปรโตคอลบลูทูธแบบเดิม Bluetooth low energy หรือเป็นที่รู้จักก่อนหน้านี้ในชื่อของ Wibree เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนหนึ่งของบลูทูธ 4.0 ซึ่งเป็นกลุ่มโปรโตคอลใหม่ทั้งหมดเพื่อช่วยให้การเชื่อมโยงเป็นไปอย่างเรียบง่ายและรวดเร็ว ในฐานะที่เป็นทางเลือกให้กับโปรโตคอลมาตรฐานบลูทูธที่ถูกนำมาใช้ใน v1.0 ถึงบลูทูธ v3.0 ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่นำพลังงานที่ต่ำมากจากเซลล์แบบเหรียญมาประยุกต์ใช้ เดิมทีเวอร์ชั่น 4.0 สามารถเรียกได้ชื่อ Wibree และ Bluetooth ULP (Ultra Low Power) ปัจจุบันรู้จักในชื่อ Bluetooth low energy (BLE) โดยการออกแบบชิพนั้นสามารถดำเนินงานได้สองโหมด คือ dual-mode, single-mode

- Single-mode การดำเนินงานใน Single-mode นั้น สามารถดำเนินงานได้ในกลุ่มโปรโตคอลพลังงานต่ำเท่านั้น
- Dual-mode การดำเนินงานใน Dual-mode นั้น มีฟังก์ชั่นการทำงานของ Bluetooth Smart ถูกรวมเข้าไปในการควบคุม Classic Bluetooth โดยบริษัทเซมิคอนดักเตอร์ชั้นนำ ได้ประกาศเปิดตัวชิพที่ใช้งานในปี 2011 โดยมีสถาปัตยกรรมที่สอดคล้องกับ Classic Bluetooth ที่มีอยู่และมีฟังก์ชั่นการทำงานบางอย่างที่ส่งผลให้ราคาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ Classic Bluetooth

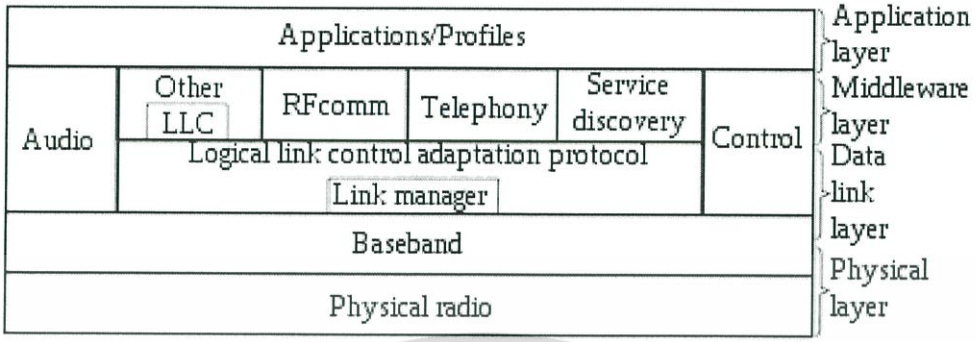
ค่าใช้จ่ายที่ลดลงของชิพใน Single-mode ช่วยให้สามารถใช้งานอุปกรณ์ได้หลากหลายและมีขนาดกะทัดรัดประกอบกับชั้นการเชื่อมโยงมีน้ำหนักเบาขึ้นทำให้การทำงานที่มีพลังงานต่ำพิเศษไม่ได้ใช้งาน สามารถค้นพบอุปกรณ์ได้ง่าย และการถ่ายโอนข้อมูลแบบ point-to-multipoint น่าเชื่อถือ มีการประหยัดพลังงานสูงและสามารถรักษาความปลอดภัยในการเชื่อมต่อที่มีการเข้ารหัสด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด การปรับปรุงทั่วไปในรุ่น 4.0 นั้น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่จำเป็นในการอำนวยความสะดวกให้กับโหมด BLE รวมทั้งรายละเอียดคุณสมบัติทั่วไป (Generic Attribute Profile: GATT) และบริการการจัดการรักษาความปลอดภัย (Security Manager: SM) โดยใช้การเข้ารหัส AES ซึ่งในส่วนรายละเอียดของ Bluetooth low energy นั้นจะอธิบายในข้อข้อถัดไป

2.1.5 ข้อมูลทางเทคนิค

1) Bluetooth protocol stack

บลูทูธถูกกำหนดให้เป็นชั้นสถาปัตยกรรมโปรโตคอลที่ประกอบด้วยโปรโตคอลหลัก, โปรโตคอลแทนที่สายเคเบิล, โปรโตคอลควบคุมโทรศัพท์และโปรโตคอลที่นำมาใช้โดยมีโปรโตคอลบังคับสำหรับบลูทูธทั้งหมดคือ LMP, L2CAP และ SDP นอกจากนี้อุปกรณ์ที่สื่อสารกับบลูทูธเกือบทั้งหมดสามารถใช้โปรโตคอลเหล่านี้ได้ ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 Bluetooth protocol Stack

2.2 บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy)

Bluetooth low energy หรือ BLE วางตลาดในชื่อของ Bluetooth Smart เป็นการออกแบบเครือข่ายเทคโนโลยีไร้สายส่วนบุคคล เมื่อเทียบกับ Classic Bluetooth ตัว Bluetooth Smart ตั้งใจที่จะให้ลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่าย ในขณะที่ยังคงรักษาระยะการสื่อสารให้ใกล้เคียงกัน ระบบปฏิบัติการมือถือได้แก่ iOS, Android, Windows Phone และ Blackberry ตลอดจน OS X, Linux และ Windows 8 ล้วนสามารถรองรับ Bluetooth Smart ได้ ซึ่ง SIG คาดว่า ร้อยละ 90 ของสมาร์ทโฟนที่เปิดใช้งานบลูทูธจะสามารถให้การสนับสนุน Bluetooth smart ได้จนถึงปี 2018

บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth low energy: BLE) เป็นคุณลักษณะของเทคโนโลยีบลูทูธ 4.0 ที่มีเป้าหมายในการใช้งานสำหรับอุปกรณ์ไร้สายรุ่นใหม่ที่ใช้พลังงานต่ำและ latency ต่ำภายในระยะทางใกล้ๆ (ไม่เกิน 50 - 160 เมตร) ข้อกำหนดนี้จะอำนวยความสะดวกให้กับการใช้งานที่หลากหลายและอุปกรณ์ขนาดเล็กที่ใช้ในงานดูแลสุขภาพ, การออกกำลังกาย, การรักษาความปลอดภัย และอุตสาหกรรมบันเทิงภายในบ้าน

2.2.1 การใช้พลังงาน

อุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีไร้สายแบบบลูทูธพลังงานต่ำ ได้รับการคาดหมายว่าจะใช้พลังงานเพียงน้อยนิดเทียบกับอุปกรณ์บลูทูธแบบดั้งเดิม จะทำให้ผลิตภัณฑ์จำนวนหนึ่งสามารถสื่อสารผ่านทางบลูทูธได้ ในหลายกรณีผลิตภัณฑ์จะสามารถทำงานได้นานกว่าหนึ่งปีโดยอาศัยเพียงถ่านกระดุม (Button cell) โดยไม่ต้องชาร์จพลังงาน จึงเป็นไปได้ที่เราจะสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดเช่นเทอร์โมมิเตอร์ที่ทำงานอย่างต่อเนื่องและในขณะเดียวกันก็สื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่นโทรศัพท์มือถือไปด้วย ซึ่งอาจเพิ่มความกังวลต่อปัญหาความเป็นส่วนตัวเพราะการที่มีอุปกรณ์ตรวจวัดระยะไกลที่ใช้พลังงานต่ำและทำงานต่อเนื่องย่อมใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ชนิดนี้หรืออุปกรณ์ที่คล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการใช้พลังงานต่ำของอุปกรณ์นั้นไม่ได้เป็นผลจากลักษณะการทำงานขณะที่ส่งข้อมูลทางคลื่นวิทยุ หากแต่เป็นผลจากการออกแบบโพรโทคอลเพื่อให้สามารถมีรอบทำงาน (Duty cycle) ต่ำ พร้อมกับพิจารณากรณีการใช้งาน (use case) กรณีต่างๆ อุปกรณ์บลูทูธพลังงานต่ำ (BLA) เมื่อนำไปใช้เพื่อถ่ายโอนข้อมูลอย่างต่อเนื่องจะมีอัตราการใช้พลังงานไม่ต่ำไปกว่าอุปกรณ์บลูทูธปกติที่ส่งข้อมูลปริมาณเท่ากัน และอันที่จริงอุปกรณ์มีแนวโน้มจะใช้พลังงานสูงกว่าด้วย เนื่องจากโพรโทคอลนี้เหมาะสมสำหรับการส่งกลุ่มก้อนข้อมูลระยะเวลาสั้นๆ

ผู้ผลิตชิพคอมพิวเตอร์หลายรายได้ออกผลิตภัณฑ์ชิพบลูทูธพลังงานต่ำแล้ว และคาดว่าบริษัทเซมิคอนดักเตอร์รายอื่นก็จะออกผลิตภัณฑ์ชิปบลูทูธพลังงานต่ำในปี 2011 ผู้ผลิตดังกล่าวบางรายเสนอการออกแบบชิปพร้อมการสร้างโพรโทคอลทั้งชุด ในขณะที่รายอื่นๆ ยอมให้มีการกำหนดโพรโทคอลได้เฉพาะบางกรณี การออกแบบชิปเหล่านี้บางแบบอนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลงชุดโพรโทคอลได้อย่างยืดหยุ่นแม้กระทั่งนอกกรอบมาตรฐานบลูทูธหรือมาตรฐานบลูทูธพลังงานต่ำ ในขณะที่การออกแบบแบบอื่นถูกกำหนดให้ตรงตามชุดโพรโทคอลเพียงชุดเดียว ผู้ผลิตที่นำเสนอผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังกล่าวได้แก่ Broadcom, CSR, EM Microelectronic, Nordic Semiconductor และ Texas Instrument

วงจรวิทยุพื้นฐานของระบบนี้มีอัตราการใช้พลังงานคล้ายกันมากกับวงจรวิทยุบลูทูธมาตรฐาน (แน่นอนว่าในอุปกรณ์แบบทำงานสองระบบ มีแนวโน้มจะใช้วงจรเดียวกับบลูทูธมาตรฐาน) หากแต่มีจุดมุ่งหมายให้อัตราการใช้พลังงานโดยรวมต่ำกว่า โดยวิธีหลักคือการทำให้รอบทำงานต่ำลง ระหว่างที่มีการรับส่งข้อมูล อุปกรณ์เหล่านี้จะมีกระแสสูงสุดประมาณช่วงหลักสิบมิลลิแอมป์ (mA) ทั้งแบบบลูทูธพลังงานต่ำและบลูทูธมาตรฐาน และระหว่างการทำงานช่วงพัก (sleep mode) มีเป้าหมายลดการใช้กระแสไฟฟ้าให้เหลือเพียงหลักสิบนาโนแอมป์ (nA) และเนื่องจากรอบทำงานที่ต่ำมาก (ช่วงประมาณ 0.25%) กระแสเฉลี่ยที่ใช้จึงอยู่ในหลักไมโครแอมป์ (mA) ทำให้สามารถอาศัยพลังงานจากถ่านกระดุม (button cell) เพื่อทำงานได้นานเป็นปี

2.2.2 ความเข้ากันได้

โพรโทคอลของบลูทูธพลังงานต่ำนั้นเข้ากันไม่ได้กับโพรโทคอลของบลูทูธแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตามทั้งเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำและเทคโนโลยีบลูทูธแบบดั้งเดิมนั้นทำงานบนคลื่นความถี่เดียวกันทั้งคู่ฮาร์ดแวร์พื้นฐานจึงมีแนวโน้มที่จะใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามทั้งเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำและเทคโนโลยีบลูทูธแบบดั้งเดิมนั้นทำงานบนคลื่นความถี่เดียวกันทั้งคู่ฮาร์ดแวร์พื้นฐานจึงมีแนวโน้มที่จะใกล้เคียงกัน อุปกรณ์ชิ้นใดชิ้นหนึ่งอาจจะทำงานได้ทั้งระบบบลูทูธพลังงานต่ำและระบบบลูทูธได้โดยใช้ชิปและชุดอุปกรณ์วิทยุชุดเดียวกันแม้จะทำงานทั้งสองโหมดพร้อมกันไม่ได้ การทำงานดังกล่าวนี้คือลักษณะการทำงานของอุปกรณ์บลูทูธ 4.0 แบบโหมดคู่ (dual-mode) คาดว่าสมาร์ทโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์แล็ปท็อป และแท็ปเล็ตที่รองรับบลูทูธ 4.0 (นับรวมทั้งอุปกรณ์บลูทูธธรรมดา และแบบพลังงานต่ำ) จะมีออกมาจำนวนมากขึ้นในปลายปี 2011 และ 2012

2.2.3 การประยุกต์ใช้งาน

รูปแบบของการใช้พลังงานต่ำทั้งหมดในปัจจุบันจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดคุณลักษณะทั่วไป (GATT) ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการส่งและรับข้อมูลขนาดเล็กหรือเรียกได้ว่าเป็นลักษณะบนการเชื่อมโยงพลังงานต่ำ โดยในบลูทูธ 4.0 มีการใช้พลังงานที่ต่ำแต่มีอัตราบิตที่สูงขึ้น ซึ่งในรูปแบบของบลูทูธพลังงานต่ำนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบยกตัวอย่าง เช่น รูปแบบในการดูแลสุขภาพ รูปแบบการออกกำลังกายและกีฬา การตรวจจับความใกล้ รูปแบบการแจ้งเตือนละเวลา เป็นต้น

2.2.4 การดำเนินงาน

1) ชิพ

การใช้งานสมาร์ทบลูทูธแบบบูรณาการนั้นถูกประกาศโดยผู้ผลิตตั้งแต่ปี 2009 การดำเนินการโดยซอฟแวร์วิทยุสำหรับการปรับปรุงข้อมูลสามารถรองรับได้ด้วยการอัพเกรด

2) Hardware

อุปกรณ์มือถือในปัจจุบันมีการเปิดตัวทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ สำหรับทั้งคลาสสิกบลูทูธและมาตรฐานสมาร์ทบลูทูธ ซึ่ง Bluetooth SIG สามารถบอกได้ว่าอุปกรณ์รุ่นใดยี่ห้อใดใช้บลูทูธบ้าง

3) ระบบปฏิบัติการ

ระบบปฏิบัติการที่สามารถใช้งานบลูทธ 4.0 ได้มีดังนี้

- iOS 5 ขึ้นไป
- Windows Phone 8.1
- Windows 8
- Android 4.3 ขึ้นไป
- BlackBerry 10
- Linux 3.4 จนถึง BlueZ 5.0
- Unison OS 5.2

2.2.5 รายละเอียดทางเทคนิค

เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำทำงานในช่วงคลื่นความถี่ช่วงเดียวกันกับเทคโนโลยีบลูทูธแบบดั้งเดิม (2402-2480 MHz) แต่ใช้ชุดของช่องสัญญาณคนละชุดกัน โดยแทนที่จะใช้ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้าง 79.1 MHz เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำจะใช้ช่องสัญญาณกว้าง 40.2 MHz แทน เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำจะใช้แบบแผนการกระโดดข้ามช่องสัญญาณแตกต่างจากเทคโนโลยีบลูทูธดั้งเดิม ผลลัพธ์คือแม้ว่าเทคโนโลยีบลูทูธจะถูกจำแนกโดยองค์กร FCC และ ETSI ให้เป็นประเภทใช้วิธีกระจายช่วงคลื่นแบบกระโดดข้ามความถี่ (Frequency-hopping Spread Spectrum: FHSS) แต่เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำจะถูกจำแนกเป็นระบบที่ใช้วิธีมอดูเลชันแบบดิจิตัล (Digital Modulation) หรือการกระจายช่วงคลื่นแบบลำดับโดยตรง (Direct-sequence Spread Spectrum) แทน

เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำถูกออกแบบให้มีทางเลือกสำหรับวิธีการสร้างระบบได้สองวิธีซึ่งสำคัญเท่าเทียมกัน ได้แก่ โหมดเดี่ยว และโหมดคู่ (Single-mode และ Dual-mode) อุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น นาฬิกา และเครื่องตรวจวัดเพื่อการกีฬาที่ทำงานบนพื้นฐานของโหมดเดี่ยวจะมีข้อได้เปรียบในการใช้พลังงานต่ำกว่า และสำหรับการใช้งานในโหมดคู่ ความสามารถการทำงานแบบบลูทูธพลังงานต่ำจะรวมอยู่ในวงจรบลูทูธแบบดั้งเดิม สถาปัตยกรรมนี้จะใช้เสาอากาศและคลื่นความถี่ร่วมกับเทคโนโลยีบลูทูธแบบดั้งเดิม ทำให้ชิปรุ่นปัจจุบันมีความสามารถเพิ่มเติมในชั้นการทำงานพลังงานต่ำ จึงเพิ่มความสามารถในการพัฒนาอุปกรณ์บลูทูธแบบดั้งเดิมให้มีความสามารถใหม่ได้

2.2.6 Software Model

ในอุปกรณ์ทุกตัวของบลูทูธสมาร์ทนั้นใช้ข้อมูลส่วนตัวคุณสมบัติทั่วไปหรือแกตต์ (GATT) ทั้งหมด ในส่วนของอินเตอร์เฟซการเขียนโปรแกรมประยุกต์ที่นำเสนอโดยระบบปฏิบัติการสมาร์ทบลูทูธมักจะขึ้นอยู่กับกรอบแนวคิดของแกตต์ ซึ่งแกตต์นั้นมีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

- Cilent เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเริ่มต้นคำสั่งแกตต์ ในการร้องขอและรับการตอบสนองจากคอมพิวเตอร์ หรือ สมาร์ทโฟน
- Server เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับคำสั่งแกตต์ การร้องขอและผลตอบแทนการตอบสนอง เช่นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ
- Characteristic คือค่าข้อมูลที่ถ่ายโอนระหว่างไคลเอ็นต์และเซิร์ฟเวอร์ ตัวอย่างเช่นแรงดันแบตเตอรี่ในปัจจุบัน
- Service เป็นคอลเลกชันของลักษณะที่เกี่ยวข้องที่ทำงานร่วมกันในการดำเนินการการทำงานโดยเฉพาะ ยกตัวอย่างเช่น บริการเครื่องวัดอุณหภูมิสุขภาพ รวมถึงลักษณะสำหรับค่าการวัดอุณหภูมิและช่วงเวลาระหว่างการวัด
- Descriptor เป็นอธิบายให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะ ยกตัวอย่างเช่น มูลค่าลักษณะอุณหภูมิ อาจจะมีข้อบ่งชี้ของหน่วยงานของตน ค่าสูงสุดและต่ำสุดที่เซ็นเซอร์สามารถวัดได้คำอธิบายนั้นเป็นตัวเลือกหรือลักษณะที่สามารถมีหมายเลขต่างๆกำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อมูลทางเทคนิคระหว่าง Classic Bluetooth และ Smart Bluetooth

ข้อมูลทางเทคนิค	Classic Bluetooth Technology	Bluetooth Smart Technology
ระยะทาง/ช่วง	100 เมตร (330 ฟุต)	50 เมตร (160 ฟุต)
อัตราการส่งข้อมูลทางอากาศ	1-3 Mbps	1 Mbps
อัตราการส่งผ่านข้อมูล	0.7 - 2.1 Mbps	0.27 Mbps
อุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อได้พร้อมกัน	7	ไม่ได้กำหนดไว้ ขึ้นกับการออกแบบ
ความปลอดภัย	64/128-bit และกำหนดโดยผู้ใช้ในชั้น application layer	128-bit AES with Counter Mode CBC-MAC และกำหนดโดยผู้ใช้ในชั้น application layer
ความทนทาน	Adaptive frequency hopping, FEC, fast ACK	Adaptive frequency hopping, Lazy Acknowledgement, 24-bit CRC, 32-bit Message Intergrity Check
เวลาในการเริ่มทำงาน (จากสถานะยังไม่เชื่อมต่อ)	100 ms	6 ms
ระยะเวลาในการส่งข้อมูล	100 ms	3 ms
การส่งข้อมูลเสียง	Yes	No
โครงสร้างเครือข่าย	Scatternet	Scatternet
การใช้พลังงาน	1 W (สำหรับอ้างอิงเปรียบเทียบ)	0.01 to 0.5 W (ขึ้นกับการใช้งาน)
การใช้กระแสสูงสุด	< 30 mA	< 20 mA (< 15 mA ในกรณีใช้ถ่านกระดุม)
การค้นหาบริการ	Yes	Yes
กรณีการใช้งานหลัก	โทรศัพท์มือถือ, เล่นเกม, หูฟัง, สตรีมมิ่ง, เสียงสเตอริโอ, รถยนต์, พีซี, การรักษา, ความปลอดภัย, การติดตามตัว	โทรศัพท์มือถือ, เล่นเกมส์, พีซี, นาฬิกา, กีฬาและการออกกำลังกาย, สุขภาพ, การรักษาความปลอดภัย,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	สุขภาพ, การกีฬาและการออกกำลังกาย ฯลฯ	การติดตามตัว, ยานยนต์, ไฟฟ้าภายในบ้าน, งานอัตโนมัติ และอุตสาหกรรม ฯลฯ

1) Identifiers

ทั้ง Services, characteristics และ descriptors นั้น สามารถเรียกได้ว่าเป็นคุณลักษณะที่สามารถระบุได้โดย UUIDs โดยที่ผู้ดำเนินการอาจรับการสุ่มหรือการสุ่มหลอก UUID สำหรับกรรมสิทธ์ในการใช้งานแต่สำหรับ Bluetooth SIG ได้ลิขสิทธิ์ช่วงของ UUIDs สำหรับคุณลักษณะมาตรฐาน (ตามแบบฟอร์ม *xxxxxxxx-0000-1000-8000-00805F9B34FB*) เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวบ่งชี้เหล่านี้จะแสดงเป็น ค่า 16-bits หรือ 32-bits ในโปรโตคอลและมีมากกว่า 128-bits ที่จำเป็นสำหรับ UUID แบบเต็ม ยกตัวอย่าง การให้บริการข้อมูลอุปกรณ์ มี short code คือ 0x180A แทนที่ตัวเต็มคือ 0000180A-1000-... ซึ่งรายการทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในเอกสารหมายเลขออนไลน์

2) GATT Operations

ภายในโปรโตคอลแกตต์นั้นมีคำสั่งสำหรับลูกค้าที่จะสามารถค้นพบข้อมูลเกี่ยวกับเซิร์ฟเวอร์ได้ ซึ่งรวมไปถึงสิ่งเหล่านี้ด้วย

- ค้นพบ UUIDs สำหรับการให้บริการหลักทั้งหมด
- ค้นหาบริการกับ UUID ที่กำหนด
- ค้นหาบริการสำรองสำหรับบริการหลักที่กำหนด
- ค้นพบทุกลักษณะสำหรับการให้บริการที่ได้รับ
- ค้นหาลักษณะการจับคู่ UUID ที่กำหนด
- อ่านการอธิบายทุกอย่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณลักษณะ

นอกจากนี้ยังมีคำสั่งการอ่าน (การถ่ายโอนข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ไปยังลูกค้า) และเขียน (จากลูกค้าไปยังเซิร์ฟเวอร์) ค่าของลักษณะอีกด้วย

- ค่าอาจจะอ่านเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยการระบุลักษณะ UUID หรือตามมูลค่านั้นๆ (ซึ่งจะถูกส่งกลับจากการค้นพบข้อมูลคำสั่งด้านบน)
- การดำเนินการเขียนมักจะระบุลักษณะโดยการจัดการ แต่มีทางเลือกอื่นหรือการไม่ตอบสนองจากเซิร์ฟเวอร์ที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การดำเนินงานของ “Long read” และ “Long write” สามารถนำมาใช้เมื่อความยาวของข้อมูลลักษณะของเกิน MTU ของการเชื่อมโยงวิทยุ

แกตต์ (GATT) นั้นสามารถมีการแจ้งเตือนและตัวชี้วัดได้ ลูกค้าอาจขอแจ้งเตือนสำหรับลักษณะโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากเซิร์ฟเวอร์ เมื่อเซิร์ฟเวอร์นั้นสามารถส่งค่าให้ลูกค้าได้เมื่อใดก็ตาม จะหมายความว่ามันงานใช้ได้ เช่น เซิร์ฟเวอร์เซ็นเซอร์อุณหภูมิอาจแจ้งให้ลูกค้าทุกครั้งที่จะใช้เวลาในการวัด จึงควรหลีกเลี่ยงความจำเป็นสำหรับลูกค้าที่จะขอสำรวจเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจะต้องมีวงจรวิทยุของเซิร์ฟเวอร์ที่จะดำเนินการอย่างต่อเนื่อง

3) Battery Impact

บลูทูธพลังงานต่ำ (BLE) ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถใช้อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ ทั้ง several chipmakers, Texas Instruments, Bluegiga และ Nordic Semiconductor ได้แนะนำชิพเซ็ตที่ดีที่สุดในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา อุปกรณ์ที่มีอุปกรณ์ต่อพ่วงและบทบาทของใจกลางมีความต้องการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน จากการศึกษารายงานว่าอุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น บีคอนใกล้เคียงสามารทำงานได้พร้อมกับแบตเตอรี่แบบเหรียญ 1,000 mAh ใน 1-2 ปีที่ผ่านมา ที่สามารถเป็นไปได้เพราะประสิทธิภาพพลังงานของโปรโตคอลบลูทูธพลังงานต่ำเท่านั้นที่ส่งแพ็คเก็ตที่มีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับบลูทูธคลาสสิกซึ่งเหมาะสมสำหรับเสียงและข้อมูลแบนด์วิธสูง ในทางตรงกันข้าม ในทางตรงกันข้ามในการสแกนอย่างต่อเนื่องสำหรับบีคอนตัวเดียวกัน สามารถใช้พลังงาน 1,000 มิลลิแอมป์ภายในไม่กี่ชั่วโมง นอกจากนี้ Android และอุปกรณ์ iOS ยังมีผลกระทบต่อแบตเตอรี่แตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับประเภทของการสแกนและจำนวนของอุปกรณ์บลูทูธ LE ในบริเวณใกล้เคียง

2.2.7 ความแตกต่างระหว่างบลูทูธพลังงานต่ำกับเทคโนโลยี NFC

เทคโนโลยีบลูทูธ (2.45 GHz) และเอ็นเอฟซี (13.56 MHz) อาจใช้เพื่อการสื่อสารระยะใกล้ได้ทั้งคู่ อย่างไรก็ตาม กำลังส่งของระบบเอ็นเอฟซีที่ความถี่ 13.56 MHz ถูกจำกัดอย่างมากเพื่อให้ใช้สื่อสารระยะทางสั้นโดยปริยาย ในขณะที่เทคโนโลยีบลูทูธมีระยะการสื่อสารสูงสุดถึง 100 เมตรโดยขึ้นกลับคลาสของอุปกรณ์ การทำงานร่วมกับโทรศัพท์มือถือกำลังเพิ่มขึ้น ขณะที่ปัจจุบันเทคโนโลยีบลูทูธเป็นส่วนหนึ่งของโทรศัพท์แทบทุกประเภทแล้ว เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำได้รับการออกแบบให้เริ่มต้นทำงานได้รวดเร็วกว่าเทคโนโลยีบลูทูธแบบดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อมูลการดำเนินงานระหว่าง Bluetooth low energy กับ NFC

ข้อมูลในการดำเนินงาน	Bluetooth Low Energy	NFC
องค์กรผู้กำหนดมาตรฐาน	Bluetooth SIG	ISO/IEC
มาตรฐานเครือข่าย	มาตรฐาน IEEE 802.15.1	มาตรฐาน ISO 13157
ประเภทของเครือข่าย	WPAN	Point-to-Point
การเข้ารหัส	ใช้ได้	ใช้ไม่ได้กับ RFID
ระยะทาง	ประมาณ 50 เมตร	< 0.2 เมตร
ความถี่	2.4-2.5 GHz	13.56 MHz
อัตราการส่งข้อมูล	200 kbit/s	424 kbit/s
เวลาเริ่มต้นทำงาน	< 0.003 วินาที	< 0.1 วินาที

ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN) ที่สร้างด้วยเทคโนโลยีบลูทูธนั้นไม่มีเป้าหมายในการออกแบบให้เข้ากันได้กับอาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีบลูทูธมีการกำหนดมาตรฐานอาร์เอฟไอดีแบบแอคทีฟแบบใหม่ไว้ ซึ่งกำหนดให้อัตราการใช้พลังงานต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเอ็นเอฟซีในโหมดอ่านแบบพาสซีฟ และเนื่องจากลักษณะการเชื่อมต่อทางกายภาพ (ความถี่คลื่นวิทยุและวิธีเชื่อมต่อ) ที่แตกต่างกัน คลื่นระยะไกลจึงใช้สำหรับเทคโนโลยีบลูทูธในขณะที่คลื่นระยะใกล้/การเหนี่ยวนำจะใช้สำหรับเอ็นเอฟซี

2.2.8 การกำหนดมาตรฐาน

ในตลาดของโซลูชั่นการเชื่อมต่อที่เป็นกรรมสิทธิ์ เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำได้สร้างข้อแตกต่างของตัวเองจาก

- โพรโทคอลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง (บลูทูธรุ่น 4.0 และรุ่นต่อไปในอนาคต โดย Bluetooth SIG)
- โปรไฟล์การใช้งานที่ถูกกำหนดร่วมกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งบรรลุข้อตกลงกันภายใต้การดูแลของ Bluetooth SIG
- มีผู้ผลิตหลายรายที่จะผลิตชิพที่เกี่ยวข้อง
- มาตรฐานการส่งข้อมูล (IEEE 802.15.1) ซึ่งได้รับการนำไปใช้ในระดับสากล
- ความเป็นไปได้ที่จะจำลองชั้นโพรโทคอลด้วยชิพ 2.45 GHz (IEEE 802.15) ที่เป็นไปตามข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ราคาถูกจากการรวมวงจรในชิพตัวเดียว
- การมีแอปพลิเคชันรองรับผ่านทางการดาวน์โหลดแอปเพล็ท
- ความเข้ากันได้อย่างต่อเนื่องกับอุปกรณ์ Bluetooth (รุ่น 4.0 หรือสูงกว่า) ที่ยังไม่ได้ออกมาใช้งาน ผ่านทางการปรับปรุงซอฟต์แวร์

2.3 ระบบปฏิบัติแอนดรอยด์

แอนดรอยด์ (Android) เป็นระบบปฏิบัติการที่มีพื้นฐานอยู่บนลินุกซ์ ในอดีตถูกออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้จอสัมผัส เช่นสมาร์ตโฟน และแท็บเล็ตคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันได้แพร่ไปยังอุปกรณ์หลายชนิดเพราะเป็นมาตรฐานเปิด เช่น Nikon S800C กล้องดิจิตอลระบบแอนดรอยด์ หม้อหุงข้าว Panasonic ระบบแอนดรอยด์ และ Smart TVระบบแอนดรอยด์ รวมถึงกล่องเสียบต่อ TV ทำให้สามารถใช้ระบบแอนดรอยด์ได้ด้วย Android Wear นาฬิกาข้อมือระบบแอนดรอด์ เป็นต้น ถูกคิดค้นและพัฒนาโดยบริษัท แอนดรอยด์ (Android, Inc.) ซึ่งต่อมา กูเกิล ได้ทำการซื้อต่อบริษัทในปี พ.ศ. 2548 แอนดรอยด์ถูกเปิดตัวเมื่อ ปี พ.ศ. 2550 พร้อมกับการก่อตั้งโอเพนแฮนด์เซตอัลไลแอนซ์ ซึ่งเป็นกลุ่มของบริษัทผลิตฮาร์ดแวร์, ซอฟต์แวร์ และการสื่อสารคมนาคม ที่ร่วมมือกันสร้างมาตรฐานเปิดสำหรับอุปกรณ์พกพา โดยสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เครื่องแรกของโลกคือ เอชทีซี ดรีม วางจำหน่ายเมื่อปี พ.ศ. 2551

แอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติการโอเพนซอร์ซ และกูเกิลได้เผยแพร่ภายใต้ลิขสิทธิ์อาปาเช ซึ่งโอเพนซอร์ซจะอนุญาตให้ผู้ผลิตปรับแต่งและวางจำหน่ายได้ รวมไปถึงนักพัฒนาและผู้ให้บริการเครือข่ายด้วย อีกทั้งแอนดรอยด์ยังเป็นระบบปฏิบัติการที่รวมนักพัฒนาที่เขียนโปรแกรมประยุกต์ มากมาย ภายใต้ภาษาจาวา ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 มีโปรแกรมมากกว่า 700,000 โปรแกรมสำหรับแอนดรอยด์ และยอดดาวน์โหลดจากกูเกิล เพลย์ มากถึง 2.5 หมื่นล้านครั้ง จากการสำรวจในช่วงเดือน เมษายน ถึง พฤษภาคม ในปี พ.ศ. 2556 พบว่าแอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติการที่นักพัฒนาเลือกที่จะพัฒนาโปรแกรมมากที่สุด ถึง 71%

ปัจจัยเหล่านี้ทำให้แอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน นำหน้าซิมเบียนในไตรมาสที่ 4 ของปี พ.ศ. 2553 และยังเป็นทางเลือกของผู้ผลิตที่จะใช้ซอฟต์แวร์ ที่มีราคาต่ำ, ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ดี สำหรับอุปกรณ์ในสมัยใหม่ แม้ว่าแอนดรอยด์จะดูเหมือนได้รับการพัฒนาเพื่อใช้กับสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต แต่มันยังสามารถใช้ได้กับโทรทัศน์, เครื่องเล่นวิดีโอเกม, กล้องดิจิทัล และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ แอนดรอยด์เป็นระบบเปิด ทำให้นักพัฒนาสามารถพัฒนาคุณสมบัติใหม่ๆ ได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแบ่งทางการตลาดของสมาร์ตโฟนแอนดรอยด์ นำโดยซัมซุง มากถึง 64% ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2556 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2556 มีอุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์มากถึง 11,868 รุ่น จาก 8 เวอร์ชันของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ความสำเร็จของระบบปฏิบัติการทำให้เกิดคดีด้านการละเมิดสิทธิบัตรที่เรียกกันว่า "สงครามสมาร์ตโฟน" (smart phone wars) ระหว่างบริษัทผู้ผลิต ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556 โปรแกรม 4.8 หมื่นล้านโปรแกรมได้รับการติดตั้งบนอุปกรณ์จากกูเกิล เพลย์ และในวันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2556 มีอุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 1 พันล้านเครื่องได้ถูกเปิดใช้งาน

2.3.1 รายละเอียดของระบบปฏิบัติการณ์

2.3.1.1 หน้าตาของระบบ

ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (user interface) ของแอนดรอยด์ มีพื้นฐานอยู่บนอินเตอร์เฟสแบบไดเรกต์มานิพูเลชัน (Direct manipulation)[1] ซึ่งจะใช้การสัมผัสที่สอดคล้องกับการกระทำในโลกความจริง เช่นการปัด, การแตะ, การกวาดนิ้ว รวมไปถึงการใช้นิ้วหมุนบนหน้าจอ การตอบสนองการสัมผัสนี้ ได้รับการออกแบบมาอย่างดี และมักจะใช้การสั่นของอุปกรณ์ตอบโต้ว่าผู้ใช้ได้สัมผัสแล้ว ฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมภายในเช่น เข็มทิศดิจิทัล, ไจโรสโคป และ เซ็นเซอร์วัดแสง จะได้รับการนำมาใช้เพิ่มเติมในการตอบสนองต่างๆ กับผู้ใช้ เช่นการหมุนหน้าจอจากแนวตั้งเป็นแนวนอน หรือการเล่นเกมแข่งรถที่ต้องใช้การหมุนอุปกรณ์ เป็นต้น

อุปกรณ์แอนดรอยด์จะบูตเข้าหน้าหลัก ซึ่งเป็นหน้าจอหลักในการนำทางไปทุกๆ ที่ในอุปกรณ์ เหมือนกับเดสก์ท็อป บนเครื่องคอมพิวเตอร์ หน้าจอหลักของแอนดรอยด์จะสามารถวางไอคอนของแอพพลิเคชันและวิดเจ็ต โดยไอคอนของแอพพลิเคชันนั้นสามารถแตะเพื่อกดเข้าแอพพลิเคชันได้โดยตรง, สภาพอากาศและพยากรณ์อากาศที่อัปเดตอยู่ตลอดเวลา, กล่องขาเข้าของอีเมล รวมไปถึงหน้าจอข่าวด้วย หน้าจอหลักสามารถสร้างได้หลายหน้า โดยผู้ใช้สามารถปัดเพื่อเลื่อนไป-มา ระหว่างหน้าได้ แม้ว่าหน้าจอหลักของแอนดรอยด์ที่จะสามารถให้ผู้ใช้สามารถปรับแต่งได้ตามต้องการ เพื่อที่จะให้ผู้ใช้รู้สึกดีตามรสนิยมของตนเอง แอพพลิเคชันอื่นๆ มีให้ดาวน์โหลดบนกูเกิล เพลย์ และแอพหลายตัวสามารถที่จะเปลี่ยนรูปแบบหรือธีม ของหน้าจอหลักได้ แม้กระทั่งการเปลี่ยนหน้าจอเลียนแบบระบบปฏิบัติการอื่นๆ เช่นวินโดวส์โฟน ผู้ผลิตต่างๆ และ ผู้ให้บริการเครือข่ายบางราย จะปรับแต่งให้หน้าตาของหน้าจอหลักเปลี่ยนไปจากเดิม เพื่อให้แตกต่างจากคู่แข่งของพวกเขา

ด้านบนของหน้าจอจะเป็นแถบสถานะ ซึ่งจะแสดงถึงข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์ และ การเชื่อมต่อต่างๆ แถบสถานะสามารถดึงลงมาเพื่อที่จะแสดงการแจ้งเตือนบนหน้าจอเมื่อแอพพลิเคชันแจ้งเตือนข้อมูลหรือมีอัปเดต เช่นการได้รับข้อความใหม่ ในรุ่นก่อนๆ ของแอนดรอยด์ สามารถแตะที่การแจ้งเตือนเพื่อเปิดแอพพลิเคชันได้โดยตรง แต่รุ่นล่าสุดได้เพิ่มคุณสมบัติการทำงานที่มากขึ้น เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการโทรกลับจากการแจ้งเตือนสายที่ไม่ได้รับโดยไม่ต้องเปิดแอพโทรศัพท์ การแจ้งเตือนจะหายไปเมื่อผู้ใช้อ่าน หรือ ทำการลบการแจ้งเตือน

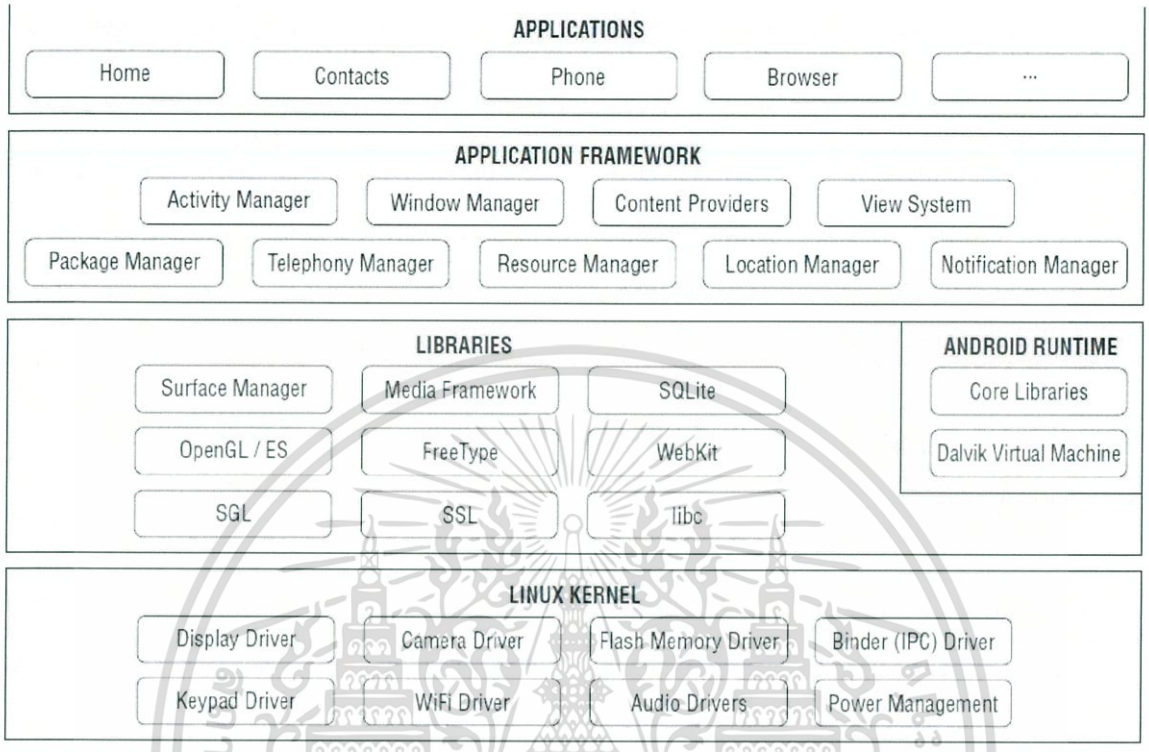
2.3.1.2 แอพพลิเคชั่น

แอนดรอยด์มีแอพพลิเคชันที่เติบโตขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งผู้ใช้สามารถซื้อและดาวน์โหลดได้จากกูเกิลเพลย์หรือแอมะซอนแอปสโตร์ สามารถที่จะดาวน์โหลดไฟล์ APK ได้จากเว็บไซต์ต่างๆ แอพพลิเคชันจากเพลย์สโตร์อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดและอัปเดตได้จากกูเกิล นักพัฒนาที่พัฒนาแอพนั้นๆ รวมไปถึงความสามารถในการติดตั้งกับอุปกรณ์ที่สามารถเข้ากันได้กับแอพพลิเคชัน ซึ่งนักพัฒนาอาจจำกัดด้วยเหตุผลทางด้านอุปกรณ์, ประเทศ หรือเหตุผลทางธุรกิจ เมื่อซื้อแอพแล้วสามารถขอคืนเงินได้ภายใน 15 นาที หลังจากการดาวน์โหลด ซึ่งบางผู้ให้บริการจะเก็บเงินด้วยใบเสร็จจากการซื้อแอพบนกูเกิลเพลย์ ซึ่งจะคิดเงินเพิ่มเติมจากค่าใช้บริการรายเดือนปกติ ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 แอพพลิเคชันสำหรับแอนดรอยด์มีมากถึง 675,000 แอพ และมียอดดาวน์โหลดแอพพลิเคชันจากเพลย์สโตร์ทั้งหมด 2.5 พันล้านครั้ง แอพพลิเคชันจะเขียนโดยใช้ภาษาจาวา และใช้แอนดรอยด์ซอฟต์แวร์เดเวล็อปเมนต์คิต (Android oftware development kit) หรือ SDK โดยเอสดีเคจะประกอบด้วยชุดเครื่องมือต่างๆ ในการพัฒนาแอพพลิเคชัน รวมไปด้วยตัวรีบัก, แหล่งรวมซอฟต์แวร์ต่างๆ, ตัวจำลองแฮนด์เซต, โค้ดจำลอง และวิธีใช้ต่างๆ ส่วนในประเทศจีนนั้น จะมีการจำกัดการใช้อินเทอร์เน็ตต่างๆ ของทางรัฐ โดยอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่วางขายในประเทศจีนนั้นจะถูกจำกัดบริการบางอย่าง จะมีเพียงแค่บริการที่ได้รับอนุมัติจากรัฐบาลแล้วเท่านั้น

2.3.2 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการณ์แอนดรอยด์

การทำความเข้าใจโครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญเพราะถ้านักพัฒนาโปรแกรม สามารถมองภาพโดยรวมของระบบได้ทั้งหมด จะให้สามารถเข้าใจถึงกระบวนการทำงานได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปช่วยในการออกแบบโปรแกรมที่ต้องการพัฒนา เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 Android Architecture

จากรูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จะสังเกตได้ว่า มีการแบ่งออกมาเป็นส่วนๆ ที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน โดยส่วนบนสุดจะเป็นส่วนที่ผู้ใช้งานทำการติดต่อโดยตรงซึ่งก็คือส่วนของ (Applications) จากนั้นก็จะลำดับลงมาเป็นองค์ประกอบอื่นๆตามลำดับ และสุดท้ายจะเป็นส่วนที่ติดต่อกับอุปกรณ์โดยผ่านทาง Linux Kernel โครงสร้างของแอนดรอยด์ พอที่จะอธิบายเป็นส่วนๆได้ดังนี้

1) **Applications** ส่วน Application หรือส่วนของโปรแกรมที่มีมากับระบบปฏิบัติการ หรือเป็นกลุ่มของโปรแกรมที่ผู้ใช้งานได้ทำการติดตั้งไว้ โดยผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้โปรแกรมต่างๆได้โดยตรง ซึ่งการทำงานของแต่ละโปรแกรมจะเป็นไปตามที่ผู้พัฒนาโปรแกรมได้ออกแบบและเขียนโค้ดโปรแกรมเอาไว้
2) **Application Framework**เป็นส่วนที่มีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้นักพัฒนาสามารถพัฒนาโปรแกรมได้สะดวก และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยนักพัฒนาไม่จำเป็นต้องพัฒนาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่มีความยุ่งยากมากๆ เพียงแค่ทำการศึกษาถึงวิธีการเรียกใช้งาน Application Framework ในส่วนที่ต้องการใช้งาน แล้วนำมาใช้งาน ซึ่งมีหลายกลุ่มด้วยกัน ตัวอย่างเช่น

- Activities Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่จัดการเกี่ยวกับวงจรการทำงานของหน้าต่างโปรแกรม (Activity)
- Content Providers เป็นกลุ่มของชุดคำสั่ง ที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลของโปรแกรมอื่น และสามารถแบ่งปันข้อมูลให้โปรแกรมอื่นเข้าถึงได้
- View System เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่เกี่ยวกับการจัดการโครงสร้างของหน้าจอที่แสดงผลในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface)
- Telephony Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลด้านโทรศัพท์ เช่นหมายเลขโทรศัพท์ เป็นต้น
- Resource Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งในการเข้าถึงข้อมูลที่เป็นข้อความ, รูปภาพ
- Location Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่เกี่ยวกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่ระบบปฏิบัติการได้รับค่าจากอุปกรณ์
- Notification Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่จะถูกเรียกใช้เมื่อโปรแกรมต้องการแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน ผ่านทางแถบสถานะ(Status Bar) ของหน้าจอ

3) **Libraries** เป็นส่วนของชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วย C/C++ โดยแบ่งชุดคำสั่งออกเป็นกลุ่มตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่น Surface Manage จัดการเกี่ยวกับการแสดงผล, Media Framework จัดการเกี่ยวกับการการแสดงภาพและเสียง, Open GL | ES และ SGL จัดการเกี่ยวกับภาพ 3มิติ และ 2มิติ, SQLlite จัดการเกี่ยวกับระบบฐานข้อมูล เป็นต้น
4) **Android Runtime** จะมี Darvik Virtual Machine ที่ถูกออกแบบมา เพื่อให้ทำงานบนอุปกรณ์ที่มี หน่วยความจำ(Memmory), หน่วยประมวลผลกลาง(CPU) และพลังงาน(Battery)ที่จำกัด ซึ่งการทำงานของ Darvik Virtual Machine จะทำการแปลงไฟล์ที่ต้องการทำงาน ไปเป็นไฟล์ .DEX ก่อนการทำงาน เหตุผลก็เพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อใช้งานกับ หน่วยประมวลผลกลางที่มีความเร็วไม่มาก ส่วนต่อมาคือ Core Libraries ที่เป็นส่วนรวบรวมคำสั่งและชุดคำสั่งสำคัญ โดยถูกเขียนด้วยภาษาจาวา (Java Language)
5) **Linux Kernel** เป็นส่วนที่ทำหน้าที่หัวใจสำคัญ ในจัดการกับบริการหลักของระบบปฏิบัติการ เช่น เรื่องหน่วยความจำ พลังงาน ติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ความปลอดภัย เครือข่าย โดยแอนดรอยด์ได้นำเอาส่วนนี้มาจากระบบปฏิบัติการลินุกซ์ รุ่น 2.6 (Linux 26. Kernel) ซึ่งได้มีการออกแบบมาเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 รุ่นต่างๆของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ประวัติรุ่นของแอนดรอยด์ เริ่มตั้งแต่การเผยแพร่รุ่นทดลองในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 และได้มีการเปิดตัวแอนดรอยด์ 1.0 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2551 ภายใต้การพัฒนาอย่างต่อเนื่องของกูเกิล และ โอเพนแฮนด์เซตอัลไลแอนซ์ ซึ่งจะเห็นได้จากการอัพเดต ของระบบปฏิบัติการในช่วงแรก

นับตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2552 รุ่นของแอนดรอยด์พัฒนาภายใต้โคดเนม (ชื่อเฉพาะในการพัฒนา) และเผยแพร่โดยเรียงตามตัวอักษร : คัพเค้ก (1.5), โดนัท (1.6), เอแคลร์ (2.0–2.1), โฟรโย (2.2–2.2.3), จิงเจอร์เบรด (2.3–2.3.7), ฮันนีโคมบ์ (3.0–3.2.6), ไอศกรีมแซนด์วิช (4.0–4.0.4), เจลลีบีน (4.1–4.3) และคิทแคท (4.4) ในวันที่ 3 กันยายน พ.ศ. 2556 กูเกิลได้ยืนยันว่ามีอุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้รับการเปิดใช้งาน 1 พันล้านเครื่องทั่วโลก รุ่นล่าสุดที่ได้รับการอัพเดตคือ 4.3 เจลลีบีน ซึ่งได้ปล่อยการอัพเดตในวันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ผ่านระบบโอเวอร์ดิแอร์ (OTA)

ซึ่งในรายงานนี้เราจะกล่าวถึงข้อมูลของ รุ่น Android 4.3 ซึ่งเป็นรุ่นที่เราเลือกใช้งานเพียงเท่านั้น

2.3.3.1 Android 4.3

- รองรับบลูทูธแบบประหยัดพลังงาน
- รองรับ AVRCP 1.3
- รองรับโอเพนจีแอลอีเอส 3.0 สำหรับการปรับปรุงกราฟิกของเกม
- คุณสมบัติการจำกัดการเข้าถึงสำหรับผู้ใช้ใหม่
- ระบบการเขียนไฟล์โดยการทำงานของ TRIM เมื่ออุปกรณ์ไม่ได้ใช้งาน
- ปุ่มกดหมายเลขแบบใหม่ในแอพโทรศัพท์
- ปรับปรุงโฟโตสเฟียร์
- เปลี่ยนหน้าตาของแอปกล้องใหม่
- เพิ่มเนื้อหาการควบคุมสิทธิการใช้งานของแอพพลิเคชัน
- รองรับอัตราส่วน 4K
- การปรับปรุงการรักษาความปลอดภัยจำนวนมาก, การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน และการแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ
- รองรับจีโอเฟนซ์ (geo-fence) และ การค้นหาด้วยวายฟายโดยที่ สถานที่ของวายฟายเบื้องหลังจะยังทำงานเมื่อวายฟายถูกปิดไปแล้ว
- การเข้าสู่ระบบของนักพัฒนา และ การวิเคราะห์การปรับปรุง
- รองรับอีก 5 ภาษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปรับปรุง การจัดการสิทธิดิจิทัล
- รองรับภาษาที่เขียนจากขวาไปซ้าย
- นาฬิกาที่แถบสถานะจะไมแสดงเมื่อมีนาฬิกาแล้วในหน้าจอล็อค

2.3.4 ข้อดีของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

เนื่องจากระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีส่วนแบ่งตลาดของอุปกรณ์ด้านนี้ ขึ้นทุกขณะ ทำให้กลุ่มผู้ใช้งาน และกลุ่มนักพัฒนาโปรแกรม ให้ความสำคัญกับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพิ่มมากขึ้น

เมื่อมองในด้านของกลุ่มผลิตภัณฑ์ บริษัทที่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ ได้มีการนำเอาระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ไปใช้ในสินค้าของตนเอง พร้อมทั้งยังมีการปรับแต่งให้ระบบปฏิบัติการมีความสามารถ การจัดวาง โปรแกรม และลูกเล่นใหม่ๆ ที่แตกต่างจากคู่แข่งในท้องตลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กลุ่มสินค้าที่เป็น มือถือรุ่นใหม่ (Smartphone) และอุปกรณ์จอสัมผัส (Touch Screen) โดยมีคุณลักษณะแตกต่างกันไป เช่นขนาดหน้าจอ ระบบโทรศัพท์ ความเร็วของหน่วยประมวลผล ปริมาณหน่วยความจำ แม้กระทั่งอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆ (Sensor)

หากมองในด้านของการพัฒนาโปรแกรม ทางบริษัท กูเกิ้ล ได้มีการพัฒนา Application Framework ไว้สำหรับนักพัฒนาใช้งาน ได้อย่างสะดวก และไม่เกิดปัญหาเมื่อนำชุดโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา ไปใช้กับอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะต่างกัน เช่นขนาดจออุปกรณ์ ไม่เท่ากัน ก็ยังสามารถใช้งานโปรแกรมได้เหมือนกัน เป็นต้น

2.4 iBeacon

หนึ่งในแอปพลิเคชั่นสมาร์ทโฟนที่จะช่วยระบุตำแหน่งโดยประมาณ ด้วยความช่วยเหลือของ iBeacon ซอฟแวร์สมาร์ทโฟน สามารถหาตำแหน่งสัมพัทธ์ที่จะ iBeacon ในการจัดเก็บ เทคโนโลยี iBeacon ทำงานโดยใช้บลูทูธพลังงานต่ำ (BLE) เทคโนโลยีที่เรียกว่าเป็นสมาร์ทบลูทูธ iBeacon ใช้บลูทูธพลังงานต่ำในการตรวจจับวัตถุระยะใกล้เพื่อส่งรหัสที่ไม่ซ้ำกันในระดับสากลถูกเลือกขึ้นมาโดยระบบปฏิบัติการ โดยที่รหัสสามารถมองข้ามอินเตอร์เน็ตในการกำหนดสถานที่ทางกายภาพของอุปกรณ์หรือสิ่งกระตุ้นอุปกรณ์ เช่น การเชคอินใน social network

2.4.1 Functions

ในการใช้งาน iBeacon นั้นประกอบด้วยหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอุปกรณ์ iBeacon ที่ส่งหมายเลขประจำตัวซึ่งไม่ซ้ำกันไปยัง local area ซอฟแวร์บนอุปกรณ์ที่ได้รับก็อาจจะมองหา iBeacon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปฏิบัติหน้าที่ต่างๆ เช่น แจ้งให้ผู้ใช้ได้ทราบ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ได้รับยังสามารถเชื่อมต่อกับ iBeacon เพื่อดึงค่าจากบริการ iBeacon GATT ซึ่งตัว iBeacon นั้นจะไม่ทำการแจ้งเตือนเมื่อได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์

2.4.1.1 ช่วงการทำงาน (Ranging)

การกำหนดขอบเขตการทำงานเฉพาะในเบื้องหน้าแต่จะส่งกลับ (ไปยังอุปกรณ์ที่รับฟัง) ไปยังอาร์เรย์ของ iBeacon ทั้งหมดที่พบพร้อมกับคุณสมบัติของอุปกรณ์ โดยที่ระยะทาง (ระหว่างการส่งและรับอุปกรณ์ iBeacon) จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงที่แตกต่างกัน คือ

- Immediate: ภายในระยะทางต่ำกว่า 1 เมตร
- Near: ภายใน 1-3 เมตร
- Far: มากกว่า 10 เมตร

iBeacon มีความสามารถในการออกอากาศที่ใกล้เคียงกันเมื่อผู้ใช้มีการเข้าหรือออกภายในพื้นที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความใกล้ชิดของลูกค้าที่จะสามารถเตือนพวกเขา ที่จะได้รับในระดับที่แตกต่างกันของการมีปฏิสัมพันธ์กันของทั้งสามช่วง โดยที่ช่วงสูงสุดของการส่ง iBeacon นั้น จะขึ้นอยู่กับสถานที่และการจัดวาง สิ่งกีดขวางในสภาพแวดล้อมและสถานที่ที่อุปกรณ์จะถูกเก็บไว้ โดยบีคอนมาตรฐานมีช่วงประมาณ 70 เมตร บีคอนช่วงยาวสามารถเข้าถึงได้ถึง 450 เมตร ซึ่งช่วงการทำงานของอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 การแบ่งช่วงการทำงานของอุปกรณ์ iBeacon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 การตั้งค่า (Setting)

ความถี่ของการส่ง iBeacon ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าของ iBeacon และสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยใช้วิธีการเฉพาะอุปกรณ์ ทั้งอัตราการส่งและกำลังมีผลต่อการใช้งานแบตเตอรี่ของ iBeacon ตัวอุปกรณ์iBeacon นั้นมาพร้อมกับการตั้งค่าที่กำหนดไว้ล่วงหน้าและตัวอุปกรณ์เหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยนักพัฒนา โดยที่ทั้งอัตราและกำลังการส่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เช่นเดียวกับค่าเมเจอร์และไมเนอร์ การตั้งค่าเมเจอร์และไมเนอร์นั้นสามารถนำมาใช้ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการที่จะเชื่อมต่อกับ iBeacon โดยเฉพาะหรือต้องการที่จะทำงานกับอุปกรณ์ iBeacon ที่มีมากกว่าหนึ่งในเวลาเดียวกัน โดยปกติแล้ว ในการใช้งาน iBeacon ในหลายๆสถานที่นั้นจะใช้ UUID ร่วมกัน ใช้ทั้งส่วนของค่าเมเจอร์และไมเนอร์และความแตกต่างของพื้นที่ภายในสถานที่ เช่น สามารถที่จะตั้งค่าที่สำคัญของ iBeacon ทั้งหมดที่อยู่ในการจัดเก็บเฉพาะค่าเดียวกันและใช้ค่าไมเนอร์ระบุ iBeacon เฉพาะภายในร้าน

2.4.2 การใช้พลังงาน (Power consumption)

โปรโตคอลบลูทูธ LE นั้นมีความสำคัญในการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพกว่าคลาสสิกบลูทูธ โดยที่ผู้ผลิตชิพกล่าวว่าในตอนนี้ต้องทำการจัดหาชิพเซ็ตสำหรับ iBeacon การใช้พลังงานขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ iBeacon ความถี่ของการโฆษณาและการส่งกำลัง จากการศึกษาพบว่าแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ในช่วง 1-24 เดือน โดยที่การใช้แบตเตอรี่ของโทรศัพท์เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาเมื่อมีการปรับการเตือนการใช้งานของแอปพลิเคชั่น รายงานที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าโทรศัพท์รุ่นเก่ามีแนวโน้มที่จะใช้แบตเตอรี่มากขึ้นในบริเวณใกล้เคียง iBeacon ในขณะที่โทรศัพท์รุ่นใหม่จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นในสภาพแวดล้อมเดียวกัน นอกเหนือจากเวลาที่ใช้โดยการแสกนโทรศัพท์ นอกจากนี้จำนวนการสแกนและจำนวนของบีคอนในบริเวณใกล้เคียงยังเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการใช้แบตเตอรี่ เพราะฉะนั้นในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ iBeacon ต้องพิจารณาประเด็นเหล่านี้เพื่อสร้างสมดุลที่ดีระหว่างการตอบสนองของการตรวจสอบและการใช้แบตเตอรี่

2.4.3 ข้อมูลทางเทคนิค (Technical Details)

อุปกรณ์บลูทูธพลังงานต่ำสามารถทำงานในโหมดการประกาศเพื่อแจ้งให้อุปกรณ์ที่ใกล้เคียงแสดงตนออกมา iBeacon เป็นอุปกรณ์บลูทูธพลังงานต่ำประกาศออกมาในรูปแบบที่เข้มงวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามด้วย UUID และค่าเมเจอร์และไมเนอร์ ตั้งแต่มีการเปิดตัวใช้ iBeacon ออกมาก็ถือว่าเป็นการประกาศการประยุกต์การใช้งานบลูทูธพลังงานต่ำให้เป็นที่นิยมทั่วไป โดยข้างต้นนั้น iBeacon สามารถแพร่กระจายออกมาโดยการออกคำสั่งบนลินุกซ์ที่สนับสนุนอุปกรณ์บลูทูธ 4.0

2.4.4 อุปกรณ์ที่รองรับ (Compatible devices)

- อุปกรณ์ iOS ที่มีบลูทูธ 4.0 ตั้งแต่ iPhone 4S ขึ้นไป, iPad mini, iPod Touch (5^{th} generation)
- อุปกรณ์ Android 4.3 ขึ้นไป

2.5 ค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับในเชิงพลังงาน (RSSI)

ค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่รับได้ในเชิงพลังงาน (RSSI: received Signal Strength Indication) เป็นวิธีวัดความแรงของสัญญาณในการส่งสัญญาณวิทยุ ตามความเป็นจริงของสัญญาณโดยทั่วไป เมื่อระยะทางไกลออกไปสัญญาณจะอ่อนลง ดังนั้นค่า RSSI จึงจำเป็นต่อการส่งสัญญาณเช่นกัน เพราะทำให้เราสามารถรับรู้ได้ว่าเครื่องรับสัญญาณที่ใช้งานอยู่นั้นมีประสิทธิภาพที่ระยะทางเท่าใด หรือกำลังในการส่งเท่าใดจึงจะเหมาะสม โดยที่ค่า RSSI นั้นมีหน่วยเป็น dBm

สำหรับการวัดความแรงของสัญญาณที่แปลงค่าความแรงมาเป็นรงดันไฟฟ้านั้นมักไม่ใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูงเนื่องจากมีความแปรปรวนตามของสัญญาณตามสภาพแวดล้อมสูง เนื่องจากในความเป็นจริงแต่ละสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกัน การที่จะให้ความแรงของสัญญาณมีความน่าเชื่อถือก็คือต้องเก็บข้อมูลไว้หลายๆครั้งเพื่อนำมาวิเคราะห์ภายหลัง การทำเช่นนี้จะทำให้ความผิดพลาดลดลง

ข้อดีสำหรับการวัดแบบนี้คือ ไม่ต้องการฮาร์ดแวร์ที่มีราคาสูงและง่ายต่อการติดตั้ง เหมาะสำหรับการวัดในเมืองหรือที่ร่ม ใน cellular และ WLAN network มีอุปกรณ์สำหรับการวัดค่า RSS อยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์ใดใดอีก

สำหรับการวัดแบบ Direct measurement ไม่มีความน่าเชื่อถือเพราะว่ามี Standard deviation ของ error มาก ซึ่งได้รับผลกระทบจาก shadow fading ค่อนข้างมาก การทำให้ RSS น่าเชื่อถือมากขึ้นจะต้องสร้างระบบในการจดจำพื้นที่นั้นๆ โดยการวัดค่าและเก็บข้อมูลไว้หลายๆครั้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์ภายหลังจะทำให้มีความผิดพลาดน้อยลง แต่โดยส่วนใหญ่ วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมในงานที่ต้องการใช้ความแม่นยำสูง เนื่องจากจะมีค่าความแปรปรวนของสัญญาณสูงตามสภาพแวดล้อมต่างๆกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสัญญาณมาจากหลายทิศทาง (Multipath) และการเกิดเงาสะท้อนของสัญญาณ (Shadowing effect) อย่างไรก็ตามวิธีการวัดความแรงของสัญญาณ มักนำไปใช้ในการประมาณค่าตำแหน่งวัตถุหรือนำไปใช้ร่วมกับวิธีอื่นๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การวัดหาค่าความแรงของสัญญาณ RSSI

การวัดหาค่าความแรงของสัญญาณ RSSI เป็นวิธีการวัดค่าความแรงของสัญญาณวิทยุระหว่างเซนเซอร์ไร้สายตัวหนึ่งกับเซนเซอร์ไร้สายอีกตัวหนึ่ง โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.1

$$RSSI = -(10n \log_{10} d + A) \quad (2.1)$$

เมื่อ RSSI คือ ค่าความแรงของสัญญาณวิทยุ มีหน่วยเป็น dBm
N คือ ค่าคงที่การกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆ
D คือ ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ไร้สาย
A คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับในระยะ 1 เมตร

จากสมการ (2.1) เราจะเห็นได้ว่า ถ้าค่าระยะทาง d เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า RSSI ลดลง เราจึงนำค่าการวัดความแรงของสัญญาณ RSSI นี้ไปใช้เพื่อหาระยะทาง และประมาณตำแหน่งของวัตถุ โดยค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆต้องมีการคำนวณหาค่าทุกครั้ง เมื่อเปลี่ยนสถานที่ใช้งานโดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$n_i = \left(\frac{RSSI_i + A}{-10log_{10}d_i}\right) \quad (2.2)$$

เมื่อ n_i คือ ค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆ
$RSSI_i$ คือ ค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่ระยะต่างๆ
d_i คือ ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ไร้สาย
A คือ ค่าความแรงสัญญาณของสัญญาณที่ได้รับใน 1 เมตร

2.5.2 ปัญหาที่ค้นพบในการส่งสัญญาณ

ในการประมาณค่าตำแหน่งจากการวัดที่มีสัญญาณรบกวนนั้นสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ หากเราเข้าใจพฤติกรรมของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งชนิดของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นสามารถจำแนกได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Multipath Fading and shadowing

การวัดความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุ ปัญหา Multipath fading and shadowing เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรปรวนได้ถึง 30 -40 dB ในช่วงครึ่งความยาวคลื่น การกระจายใกล้เครื่องรับจะทำให้เกิดการแปรปรวนทางมุม ทำให้ค่าในการวัดคลาดเคลื่อนไป ถ้าใช้วิธี Time-of-Arrival เมื่อเกิด Multipath fading จะทำให้เกิดค่าหน่วงเวลา (Delay) ขึ้น การเปรียบเทียบค่าเวลาคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

2) Nonlinear-of-Sight (NLOS)

สำหรับวิธีวัดมุม (AOA) เมื่อใช้กับระยะทางไกลๆ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง สำหรับวิธีวัดความแตกต่างของเวลา (TOF) ถ้าเส้นทางไปยังเครื่องรับที่ใกล้ที่สดถูกกีดขวางจะทำให้ผลของการวัดระยะทางไกลกว่าที่เป็นจริง

3) Multiple-Access Interference

ปัญหามักเกิดกับระบบ CDMA โดยเครื่องที่มีกำลังสูงไปรบกวนเครื่องที่มีกำลังต่ำกว่า สามารถเกิดกับระบบคลื่นเสียงและระบบคลื่นอัลตาโซนิค (Ultrasonic) ในระบบที่ใช้การวัดความแรงของสัญญาณได้ (Receiver signal strength indicator: RSSI) จากคลื่นวิทยุ เมื่อระบบไม่ใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง ค่าความแปรปรวนจะเกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อน เมื่อใช้เครื่องปลงกำลัง

4) Fluctuations in Signal Propagation Speeds

เกิดกับคลื่นที่การแพร่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น อุณหภูมิ หรือสิ่งกีดขวาง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น

2.6 ฐานข้อมูล

ฐานข้อมูลประกอบด้วยกลุ่มการจัดการข้อมูลสำหรับผู้ใช้หนึ่งคนหรือหลายๆ คน โดยทั่วไปมักอยู่ในรูปแบบดิจิทัล วิธีการแบ่งชนิดของฐานข้อมูลได้รูปแบบหนึ่งคือแบ่งตามชนิดของเนื้อหา เช่น บรรณานุกรม, เอกสารตัวอักษร, สถิติ โดยฐานข้อมูลดิจิทัลจะถูกจัดการโดยใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลซึ่งเก็บเนื้อหาฐานข้อมูล โดยอนุญาตให้สร้าง, ดูแลรักษา, ค้นหา และการเข้าถึงในรูปแบบอื่นๆ

2.6.1 สถาปัตยกรรม

สถาปัตยกรรมฐานข้อมูล ประกอบด้วย 3 ระดับ คือ *ระดับภายนอก*, *ระดับแนวคิด* และ *ระดับภายใน* โดยทั้ง 3 ระดับ จะถูกแบ่งแยกออกจากกันโดยชัดเจน ซึ่งทั้ง 3 ระดับเป็นลักษณะสำคัญหลักๆ ของแบบจำลองฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ที่นิยมนำมาใช้กับฐานข้อมูลในยุคศตวรรษที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับภายนอก คือ การบอกผู้ใช้ให้เข้าใจว่าจะจัดการข้อมูลได้อย่างไร โดยในฐานข้อมูลหนึ่งๆ สามารถมีจำนวนวิวที่ระดับภายในกี่วิวก็ได้ ระดับภายใน คือ การที่ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในที่จัดเก็บข้อมูลเชิงกายภาพและประมวลผลโดยระบบคอมพิวเตอร์ได้อย่างไร สถาปัตยกรรมภายในจะมีเกี่ยวข้องกับ ต้นทุน, ประสิทธิภาพ, การขยายขนาดของงาน และ ปัจจัยในการดำเนินการอื่นๆ ระดับแนวคิด คือ ระดับที่อยู่ระหว่างระดับภายในและระดับภายนอก โดยจะต้องจัดเตรียมวิวของฐานของมูลให้ไม่ซับซ้อน โดยจะมีรายละเอียดว่าจะจัดเก็บหรือจัดการข้อมูลอย่างไรและสามารถรวมระดับภายนอกที่หลากหลายต่างๆ ให้สอดคล้องเข้าไว้ด้วยกัน

2.6.2 ระบบจัดการฐานข้อมูล

ระบบจัดการฐานข้อมูล (DBMS) ประกอบด้วยซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจัดการฐานข้อมูล, จัดเตรียมพื้นที่ในการเก็บ, การเข้าถึง, ระบบรักษาความปลอดภัย, สำรองข้อมูล และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ระบบจัดการฐานข้อมูลสามารถแบ่งหมวดหมู่ได้ตามแบบจำลองฐานข้อมูลที่สนับสนุน อาทิเช่น เชิงสัมพันธ์ หรือ XML เป็นต้น แบ่งตามประเภทของคอมพิวเตอร์ที่สนับสนุน อาทิเช่น server cluster หรือ โทรศัพท์พกพา เป็นต้น แบ่งตามประเภทของภาษาสอบถามที่ใช้ในการเข้าถึงฐานข้อมูล อาทิเช่น ภาษาสอบถามเชิงโครงสร้างหรือ XQuery แบ่งตามประสิทธิภาพในการ trade-offs อาทิเช่น ขนาดที่ใหญ่ที่สุด หรือ ความเร็วสูงสุด หรือ อื่นๆ เป็นต้น ในบาง DBMS จะครอบคลุมมากกว่าหนึ่งหมวดหมู่ เช่น สนับสนุนภาษาสอบถามได้หลายๆ ภาษา ยกตัวอย่างเช่น ใน DBMS ที่นิยมใช้การอย่างแพร่หลาย MySQL, PostgreSQL, Microsoft Access, SQL Server, FileMaker, Oracle, Sybase, dBASE, Clipper, FoxPro อื่นๆ ในทุกๆ ซอฟต์แวร์ฐานข้อมูลจะมี Open Database Connectivity (ODBC) driver มาให้ด้วย เพื่ออนุญาตให้ฐานข้อมูลสามารถทำงานร่วมกับฐานข้อมูลแบบอื่นๆ ได้

2.6.3 การออกแบบฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูล (Designing Databases) มีความสำคัญต่อการจัดการระบบฐานข้อมูล (DBMS) ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลที่อยู่ภายในฐานข้อมูลจะต้องศึกษาถึงความสัมพันธ์ของข้อมูล โครงสร้างของข้อมูลการเข้าถึงข้อมูลและกระบวนการที่โปรแกรมประยุกต์จะเรียกใช้ฐานข้อมูล ดังนั้นเราจึงสามารถแบ่งวิธีการสร้างฐานข้อมูลได้ 3 ประเภท

1) รูปแบบข้อมูลแบบลำดับขั้น หรือโครงสร้างแบบลำดับขั้น (Hierarchical data model) วิธีการสร้างฐาน ข้อมูลแบบลำดับขั้นถูกพัฒนาโดยบริษัท ไอบีเอ็ม จำกัด ในปี 1980 ได้รับความนิยมมาก ในการพัฒนาฐานข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่และขนาดกลาง โดยที่โครงสร้างข้อมูลจะสร้างรูปแบบเหมือนต้นไม้ โดยความสัมพันธ์เป็นแบบหนึ่งต่อหลาย (One- to - Many)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) รูปแบบข้อมูลแบบเครือข่าย (Network data Model) ฐานข้อมูลแบบเครือข่ายมีความคล้ายคลึงกับฐาน ข้อมูลแบบลำดับชั้น ต่างกันที่โครงสร้างแบบเครือข่าย อาจจะมีการติดต่อหลายต่อหนึ่ง (Many-to-one) หรือ หลายต่อหลาย (Many-to-many) กล่าวคือลูก (Child) อาจมีพ่อแม่ (Parent) มากกว่าหนึ่ง สำหรับตัวอย่างฐานข้อมูลแบบเครือข่ายให้ลองพิจารณาการจัดการข้อมูลของห้องสมุด ซึ่งรายการจะประกอบด้วย ชื่อเรื่อง ผู้แต่ง สำนักพิมพ์ ที่อยู่ ประเภท

3) รูปแบบความสัมพันธ์ข้อมูล (Relation data model) เป็นลักษณะการออกแบบฐานข้อมูลโดยจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปของตารางที่มีระบบคล้ายแฟ้ม โดยที่ข้อมูลแต่ละแถว (Row) ของตารางจะแทนเรคคอร์ด (Record) ส่วน ข้อมูลในแนวดิ่งจะแทนคอลัมน์ (Column) ซึ่งเป็นขอบเขตของข้อมูล (Field) โดยที่ตารางแต่ละตารางที่สร้างขึ้นจะเป็นอิสระ ดังนั้นผู้ออกแบบฐานข้อมูลจะต้องมีการวางแผนถึงตารางข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ เช่นระบบฐานข้อมูลบริษัทแห่งหนึ่ง ประกอบด้วยตารางประวัติพนักงาน ตารางแผนกและตารางข้อมูลโครงการ แสดงประวัติพนักงาน ตารางแผนก และตารางข้อมูลโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการจัดทำโครงงาน

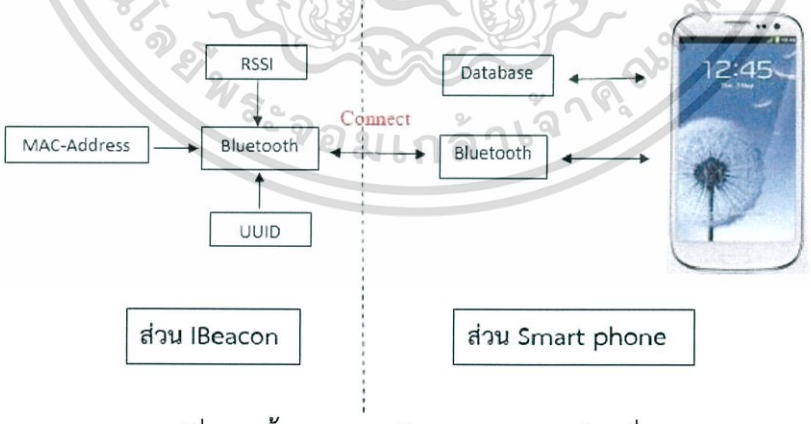
3.1 การออกแบบ

การออกแบบและการจัดทำโครงงานนั้นจะเริ่มต้นด้วยการวางแผนการจัดทำโครงงาน ซึ่งโครงงานนี้เป็นโครงงานที่ใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์บลูทูธ (Bluetooth) ที่มีอยู่ในโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บลูทูธไอบีคอน (iBeacon) เพื่อใช้ในการค้นหาวัตถุภายในขอบเขตของพื้นที่หนึ่งๆ โดยสามารถรบอกระยะทาง ซึ่งเมื่อเราทำการกำหนดแผนการจัดทำโครงงานเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนการดำเนินงานโครงงาน

3.1.1 ขั้นตอนการจัดทำโครงงาน

ในการจัดทำโครงงานนั้นสามารถแบ่งขั้นตอนการจัดทำโครงงานออกเป็นขั้นตอนหลักๆได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) ศึกษาค้นคว้าระบบการทำงานต่างๆของอุปกรณ์บลูทูธ และฟังก์ชั่นการทำงานต่างบนอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับแอพพลิเคชั่นที่เราต้องการสร้างขึ้นได้
2) ทำการสร้างแอพพลิเคชั่นตามแผนที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป
3) นำแอพพลิเคชั่นที่ได้ออกแบบไปทดสอบประสิทธิภาพการทำงานและบันทึกผล
4) สรุปผลการทดสอบแอพพลิเคชั่น หาข้อผิดพลาดเพื่อนี่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขแอปพลิเคชั่นให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของแอพพลิเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ขั้นตอนการออกแบบแอพพลิเคชั่น

ในการเริ่มต้นเขียนแอพพลิเคชั่นนั้น ในขั้นตอนแรกเราต้องทำการออกแบบระบบการทำงานทั้งหมดของแอพพลิเคชั่นก่อน โดยที่ออกแบบตามความต้องการใช้งานที่เราต้องการ ซึ่งระบบการทำงานโดยรวมของแอพพลิเคชั่นแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานส่วนต่างๆ ของแอพพลิเคชั่นได้ดังนี้

1) ส่วนของการเปิดใช้งานอุปกรณ์บลูทูธ

ในส่วนนี้เป็นส่วนของการเปิดการใช้งานอุปกรณ์บลูทูธในสมาร์ทโฟน โดยที่เมื่อทำการเปิดแอพพลิเคชั่นจะมีข้อความถามความต้องการว่าต้องการเปิดอุปกรณ์บลูทูธบนสมาร์ทโฟนหรือไม่ โดยที่ถ้าเราต้องการเปิดแอพพลิเคชั่นก็จะทำงานในส่วนขั้นตอนต่อไปแต่ถ้าเราตอบว่าไม่ต้องการเปิดแอพพลิเคชั่นจะถามอีกครั้งว่าต้องการใช้งานอีกหรือไม่ ถ้าเราบอกว่าต้องการใช้งาน แอพพลิเคชั่นจะเปิดอุปกรณ์บลูทูธให้โดยอัตโนมัติ แต่ถ้าตอบว่าไม่ต้องการใช้งานแอพพลิเคชั่นจะจบการทำงานทันที

2) ส่วนของการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon

เมื่อทำการเปิดอุปกรณ์บลูทูธบนสมาร์ทโฟนเรียบร้อยแล้ว บลูทูธบนสมาร์ทโฟนจะทำการค้นหาอุปกรณ์บลูทูธในบริเวณนั้นๆ โดยที่จะค้นหาเจอเฉพาะอุปกรณ์ iBeacon เท่านั้น และเมื่อค้นหาพบแล้วจะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวโดยอัตโนมัติ และแสดงบนหน้าแอพพลิเคชั่น

3) ส่วนของการแก้ไขข้อมูลอุปกรณ์ iBeacon

เมื่อทำการค้นหาอุปกรณ์ในบริเวณดังกล่าวและแสดงผลออกมาเรียบร้อยแล้ว เราสามารถที่จะทำการข้อมูลแก้ไขอุปกรณ์ของอุปกรณ์นั้น โดยสามารถทำการแก้ไขในส่วนของข้อมูล UUID , Major และ minor และเมื่อทำการแก้ไขข้อมูลอุปกรณ์ส่วนนี้เรียบร้อยแล้ว ข้อมูลในส่วนนี้จะเก็บไว้ในตัว iBeacon ซึ่งข้อมูลตรงส่วนนี้จะทำการรับส่งระหว่าง iBeacon กับ สมาร์ทโฟนโดยตรง

4) ส่วนของการตั้งค่าข้อมูลอุปกรณ์

ในส่วนนี้เป็นส่วนของการตั้งค่าอุปกรณ์ iBeacon เป็นชื่อสิ่งของต่างๆ ที่เรานำตัว iBeacon ไปติดไว้ ซึ่งในส่วนนี้เราสามารถทำการบันทึก แก้ไข และลบ ข้อมูลได้ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะทำการถูกบันทึกไว้ในฐานข้อมูล

5) ส่วนของการตั้งค่าการค้นหา

ในส่วนนี้เป็นส่วนที่เราจะทำการตั้งค่าตัวอุปกรณ์ iBeacon ในการเริ่มต้นการใช้งานครั้งแรก โดย ทำการติดตั้งตัว iBeacon ที่ใช้ไว้ตามสีที่ระบุในแอพพลิเคชั่น จากนั้นตั้งค่าขนาดของห้องตามการใช้งาน เมื่อตั้งค่าการใช้งานเรียบร้อยแล้วจึงสามารถไปส่วนของการแสดงผลต่อไปได้

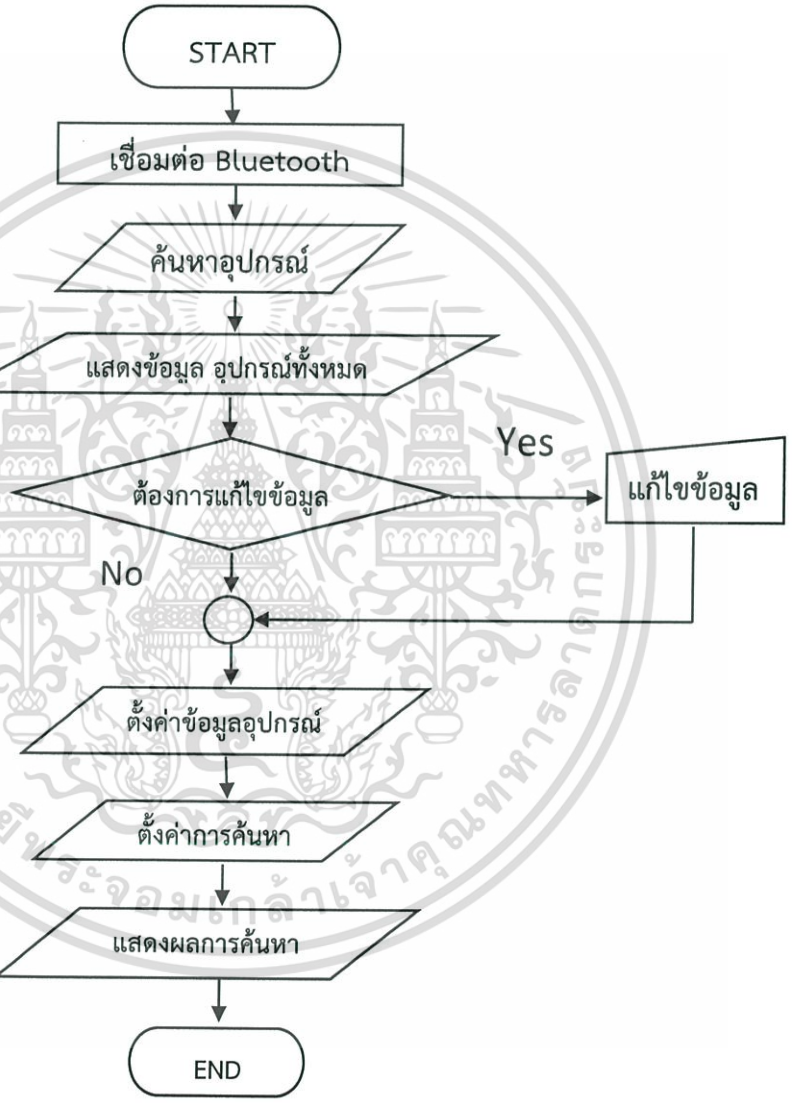
6) ส่วนของการแสดงผลการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการแสดงผลการค้นหา เมื่อเราตั้งค่าเรียบร้อยแล้วแอพพลิเคชั่นจะแสดงผลออกมา โดยจะเห็นลักษณะของห้อง และตัว iBeacon ที่ตั้งค่าสีไว้ ซึ่งอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

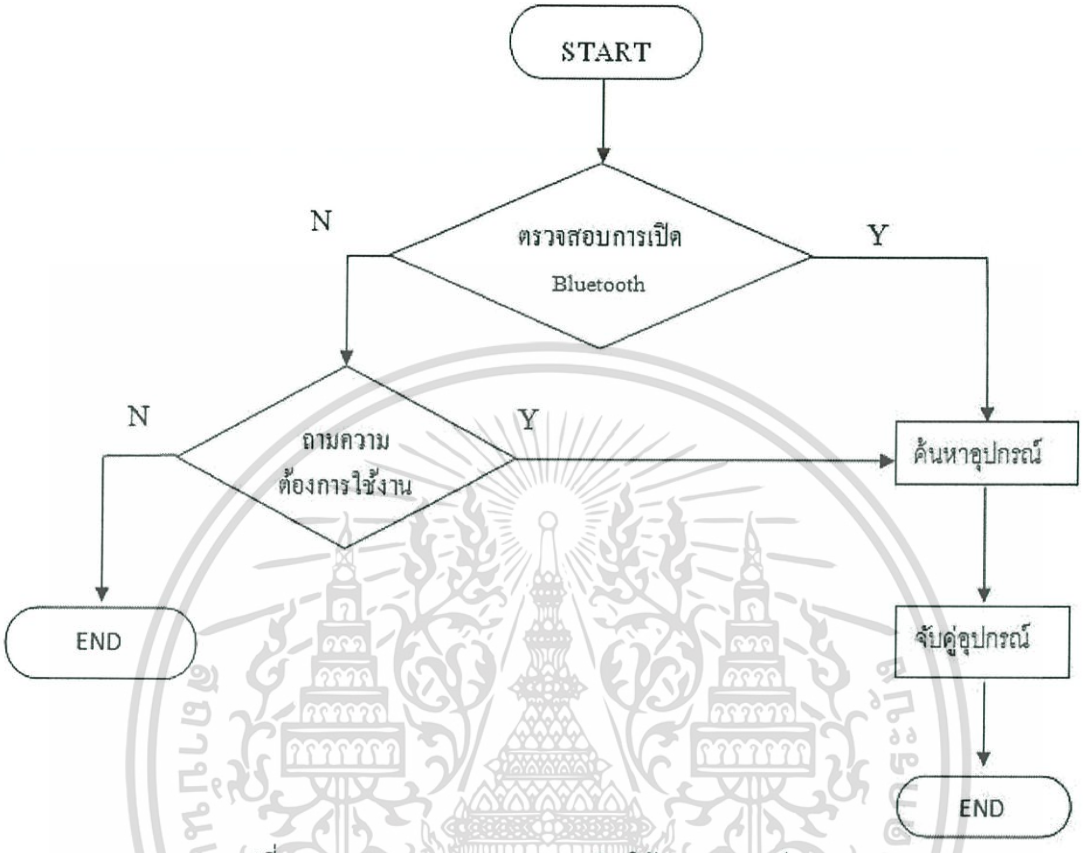
iBeacon นั้นจะแสดงผลออกมาในรูปรัศมีค่า RSSI ในตัวรัศมีค่า RSSI นี้จะแสดงผลแปรผกผันกับค่า RSSI ที่ได้รับ และแสดงผลระยะระหว่างอุปกรณ์กับสมาร์ทโฟนออกมาบนหน้าจอแอพพลิเคชั่น

จากรูปที่ 3.2 แสดงการทำงานของแอพพลิเคชั่นทั้งหมด และการทำงานของส่วนต่างๆในแอพพลิเคชั่น จะแสดงต่อจากนี้



รูปที่ 3.2 Flow chart แสดงการทำงานทั้งหมดของแอพพลิเคชั่น

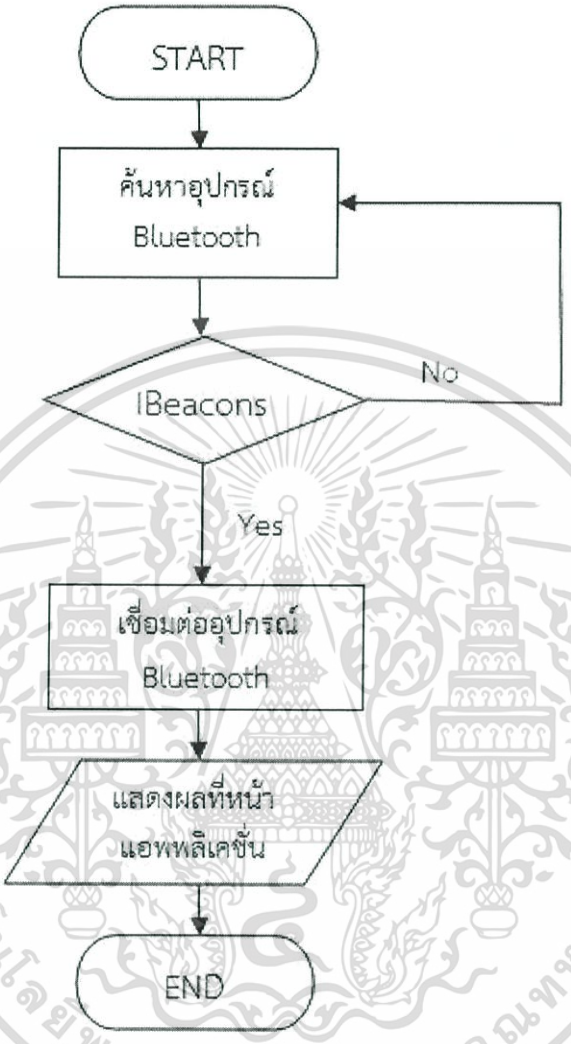
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 Flow chart แสดงการเปิดใช้งานอุปกรณ์บลูทูธ

จากรูปที่ 3.3 แสดงการทำงานในส่วนของการเปิดใช้งานอุปกรณ์บลูทูธ โดยที่เมื่อทำการเปิดแอพพลิเคชั่นขึ้นมา จะมีการตรวจสอบก่อนว่าบลูทูธของสมาร์ทโฟน ได้เปิดอยู่หรือไม่ ถ้าอุปกรณ์บลูทูธเปิดอยู่แอพพลิเคชั่นจะทำการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon ต่อไป แต่ถ้ายังไม่ได้ทำการเปิดอุปกรณ์บลูทูธแอพพลิเคชั่นจะถามขึ้นมาว่า ต้องการเปิดใช้งานอุปกรณ์รีเปล่า ถ้าต้องการเปิดใช้งานแอพพลิเคชั่นจะทำการค้นหาอุปกรณ์และดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

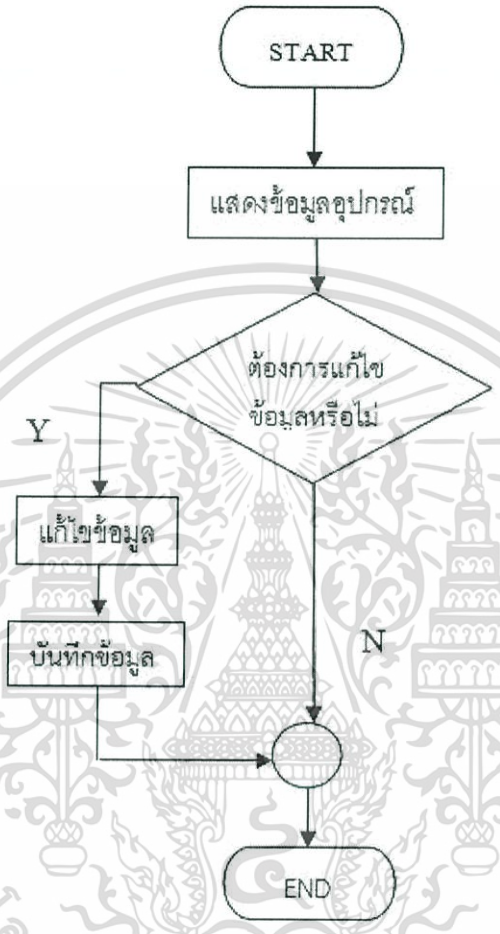
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Flow chart แสดงการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon

จากรูปที่ 3.4 แสดงการค้นหาอุปกรณ์นี้ เราจะทำการให้แอพพลิเคชั่นแสดงเฉพาะอุปกรณ์ iBeacon เท่านั้น และเมื่อทำการค้นหาอุปกรณ์ พบแล้ว แอพพลิเคชั่นจะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์บลูทูธโดยอัตโนมัติ หลังจากเชื่อมต่ออุปกรณ์บลูทูธเรียบร้อยแล้ว แอพพลิเคชั่นจะทำงานในส่วนต่อไป

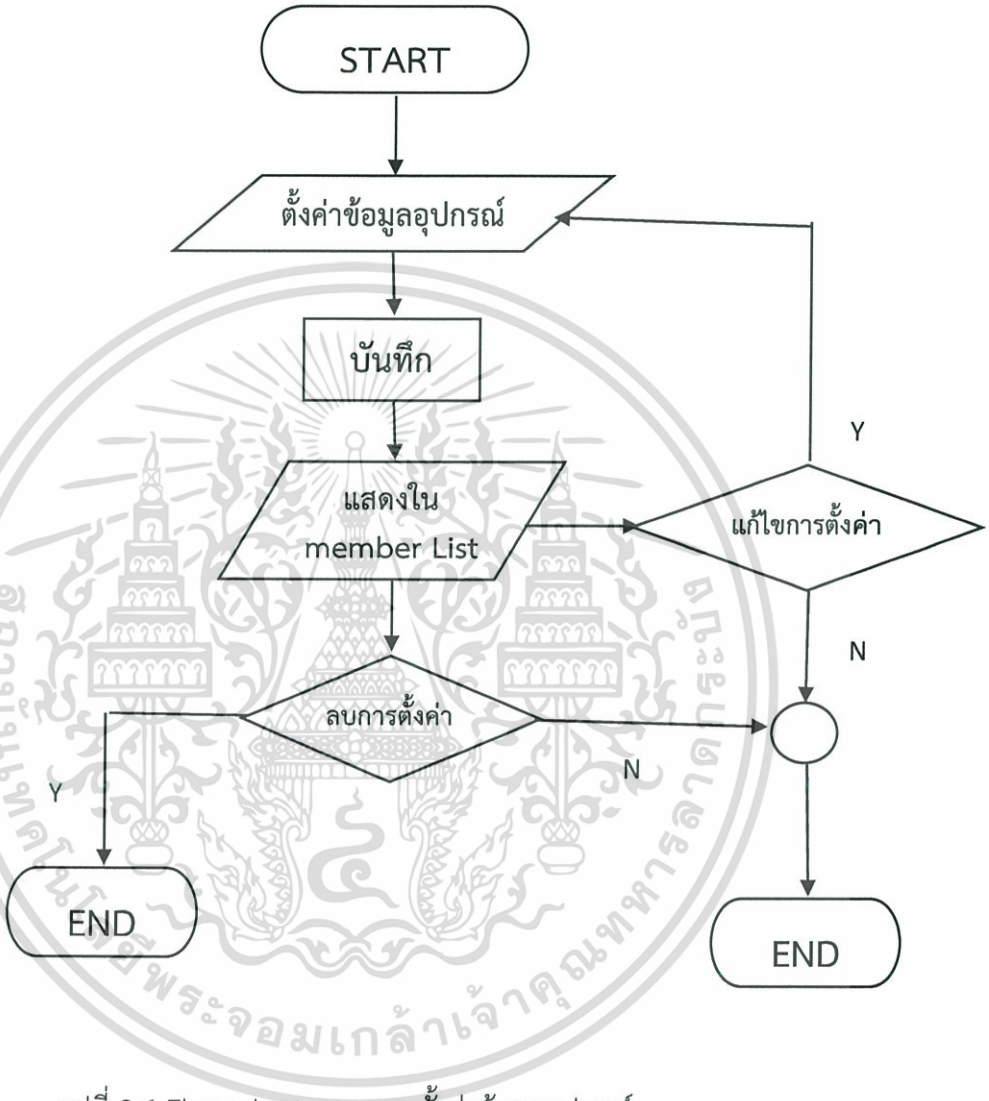
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 Flow chart แสดงการแก้ไขข้อมูลอุปกรณ์ iBeacon

จากรูปที่ 3.5 แสดงส่วนของการแก้ไขข้อมูลซึ่งเป็นการแก้ไขข้อมูลในส่วนของค่า UUID Major และ Minor ซึ่งเป็นการแก้ไขอุปกรณ์ในส่วนของ iBeacon ซึ่งค่าต่างๆนี้นั้น เป็นการแบ่งแยกอุปกรณ์ iBeacon ของเราออกจากอุปกรณ์ iBeacon ตัวอื่นๆ ซึ่งหลังจากการที่เราทำการบันทึกการแก้ไขอุปกรณ์ในส่วนนี้แล้ว แอพพลิเคชั่นจะทำการ แก้ไขในส่วนถัดไป

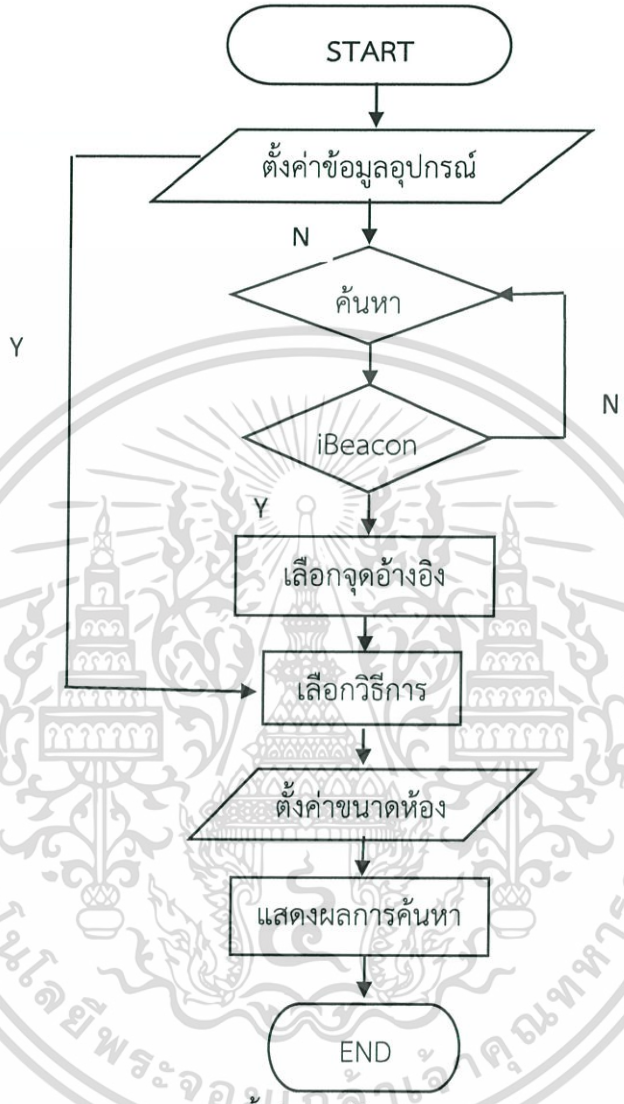
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Flow chart แสดงการตั้งค่าข้อมูลอุปกรณ์

จากรูปที่ 3.6 แสดงการทำการตั้งค่าอุปกรณ์ โดยสามารถทำการ ตั้งชื่ออุปกรณ์ iBeacon ให้เป็นชื่อของสิ่งของที่เราต้องการจะใช้ในการค้นหา โดยที่ข้อมูลในส่วนนี้นั้นจะถูกนำไปบันทึกไว้ที่ฐานข้อมูล ซึ่งในส่วนนี้ สามารถทำการแก้ไขข้อมูลนั้นและลบข้อมูลนั้นทิ้งไปเลยเมื่อไม่ต้องการใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 Flow chart แสดงการตั้งค่าการค้นหาและการแสดงผลการค้นหา

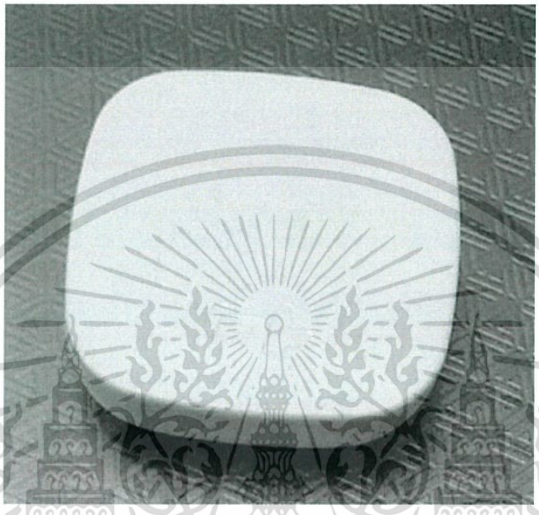
จากรูปที่ 3.7 แสดงส่วนของการแสดงผลการค้นหานี้ เราจะทำการแสดงผลออกมาในลักษณะของการประมาณตำแหน่ง โดยที่ก่อนที่จะทำการใช้งานนั้น เราต้องทำการตั้งค่าตัวอุปกรณ์ก่อน จากนั้นเราจึงทำการตั้งค่าจุดอ้างอิงในห้อง ซึ่งมีทั้งหมด 3 จุด เมื่อทำการตั้งค่าในส่วนนี้เสร็จแล้ว จึงทำการตั้งค่าในส่วนของวิธีการแสดงผล และตั้งค่าขนาดของห้อง จากนั้นจึงสามารถแสดงผลในรูปแบบของการประมาณตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

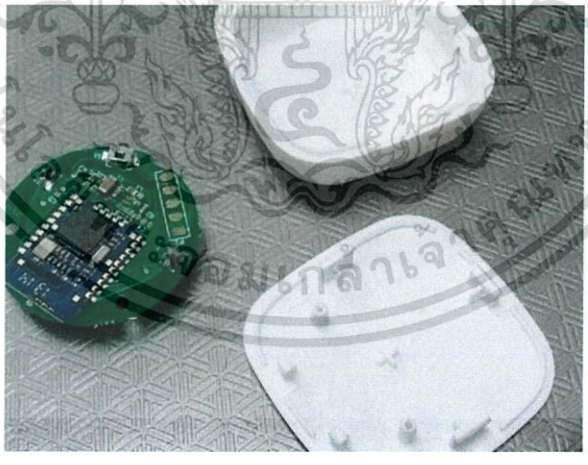
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแอพพลิเคชั่น มีดังนี้

1) อุปกรณ์บลูทูธ iBeacon ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.8 iBeacon



รูปที่ 3.7 ภายในของ iBeacon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอุปกรณ์ iBeacon มีรายละเอียดของโมดูลแสดงดังตารางที่ 3.1

- ทำงานแบบ standalone โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้โฮสต์ภายนอก
- สามารถประยุกต์ใช้สำหรับการโฆษณา
- สร้างขึ้นให้มีการเข้ารหัสในการจับคู่ เพื่อป้องกันไม่ให้คนอื่นๆเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าต่างๆได้
- สามารถกำหนดค่าต่างของ iBeacon เองได้ รวมทั้งการกำหนดค่า UUID และอื่นๆ

ตารางที่ 3.1 สเปคของตัวอุปกรณ์ iBeacon

รายการ	ค่า
แบตเตอรี่	3.0Vdc Coin battery
ความถี่ที่ใช้งาน	2402-2480 MHz
ความถี่ผิดพลาด	+/- 20 kHz
การมอดูเลต	Q-QPSK
ความถี่การบรอดคาส	900 ms
กระแสขาออก	0 dBm
ความไวในการรับ	-93 dBm
ระยะในการส่ง	25 m
แรงดันไฟฟ้า	2.0 -3.6 V

2) Eclipse

เป็นโปรแกรมเพื่อใช้ในการเขียนและทดสอบโค้ดจาวา ทำการติดตั้ง ADT (Android Development Tools) ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแอพพลิเคชั่น ซึ่งสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้จากเว็บไซต์ http//:development.android.com/sdk/

หลังจากการติดตั้ง รันโปรแกรม Eclipse.exe เพื่อกำหนดเวิร์กสเปซ (Workspace) เพื่อใช้จัดเก็บ project ที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม Eclipse

3) Android SDK

เป็นชุดพัฒนาแอนดรอยด์ ประกอบด้วยไลบรารี (API Libraries) และเครื่องมือ (Development Tools) ต่างๆและโทรศัพท์จำลองหรืออีมูเลเตอร์ (Emulator) และระบบแอนดรอยด์ (System Image) ที่รันในอีมูเลเตอร์ เปิดโปรแกรม Eclipse และเปิด Android SDK Manager เพื่อดาวน์โหลดไลบารีและแพคเกจของแอนดรอยด์เวอร์ชั่นเก่าๆจนถึงเวอร์ชั่นล่าสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

ในการจัดเก็บผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานนั้นแบ่งเป็นส่วนๆ ดังนี้

3.3.1 ทดสอบการทำงานของแอพพลิเคชั่น

การทดสอบการทำงานของแอพพลิเคชั่น จะทำการทดสอบโดยนำแอพพลิเคชั่นไปติดตั้งบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จากนั้นทำการเปิดแอพพลิเคชั่น ทดสอบและใช้งานแอพพลิเคชั่น ตั้งแต่ส่วนการค้นหาและเชื่อมต่ออุปกรณ์ iBeacon การแก้ไขข้อข้อมูลอุปกรณ์ iBeacon การตั้งค่าข้อมูลอุปกรณ์ การตั้งค่าการค้นหาและการแสดงผลการค้นหาจากนั้นทำการบันทึกหน้าจอขณะที่แอพพลิเคชั่นกำลังทำงานในแต่ละส่วนเพื่อเก็บผลการทดสอบ

3.3.2 ทดสอบรัศมีการใช้งานจริงของอุปกรณ์ iBeacon

ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบโดยใช้แอพพลิเคชั่นเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บลูทูธ จากนั้นทำการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon ในระยะไกลที่สุด ที่แอพพลิเคชั่นสามารถวัดได้โดยทำการวัดในทิศทั้ง 4 ทิศ และทดสอบวัดอุปกรณ์ iBeacon ทุกตัว จากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากทุกตัวมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละทิศทาง หาค่าความผิดพลาดจากระยะรัศมีการใช้งานจริงเทียบกับเสปคอุปกรณ์ แสดงผลรัศมีการทำงานในแต่ละอุปกรณ์ในรูปของกราฟ

3.3.3 ทดสอบความแม่นยำในการแสดงระยะทางของแอพพลิเคชั่น

ในการทดสอบนี้จะทำการวัดระยะทางจริงในทุกๆ 0.5 เมตร ตั้งแต่ 0.5 เมตร จนถึง 5 เมตร เทียบกับระยะทางที่แสดงบนหน้าแอพพลิเคชั่น โดยทำการวัดทีละ 30 องศาจนครบและทำการวัดทั้งหมด 4 ครั้ง จากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากทุกตัวมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะทาง หาค่าความผิดพลาดจากระยะจริงเทียบกับระยะที่แสดงผ่านหน้าแอพพลิเคชั่น แสดงผลออกมาในรูปของกราฟ

3.3.4 คำนวณระยะทางจากทฤษฎีเปรียบเทียบกับระยะทางจริง

ในการคำนวณนี้จะเป็นการนำค่า RSSI ที่วัดได้จากแอพพลิเคชั่นมาคำนวณหาค่าระยะทางตามทฤษฎี โดยทำการคำนวณค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆ จากนั้นจึงนำค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณนั้นมาคำนวณหาระยะทางตามทฤษฎี จากนั้นจึงหาค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณกับระยะทางจริง

3.3.5 ทดสอบช่วงความถี่ในการทำงานของอุปกรณ์ iBeacon

ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบช่วงความถี่ในการใช้งานจริงของอุปกรณ์ iBeacon โดยใช้ spectrum analyzer ในการวัด และทำการวัดในห้อง microwave anechoic chamber เพื่อป้องกันการรบกวนจาก wifi ในพื้นที่ใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 ทดสอบความถูกต้องในการแสดงผลของแอพพลิเคชั่น

ในส่วนนี้จะทำการทดสอบในส่วนของหน้าแสดงผล โดยที่ทำการเก็บค่าระยะทางพร้อมกันทั้งหมดทุกตัว โดยเลือกวิธีการที่แตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างผลที่แสดงบนแอพพลิเคชั่นและระยะจริง และหาค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีที่เกิดขึ้น

3.3.7 ทดสอบผลข้างเคียงของปริมาณแบตเตอรี่

ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบว่าปริมาณของแบตเตอรี่มีผลในการแสดงผลในส่วนของค่า RSSI และระยะทางหรือไม่ โดยที่ทำการวัดค่า RSSI และระยะทาง เมื่อแบตเตอรี่ 100% กับเมื่อแบตเตอรี่เหลือ 70% ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

3.3.8 ทดสอบผลความผิดพลาดบนสมาร์ทโฟนต่างรุ่น

ในการทดสอบนี้ เราจะทำการทดสอบว่ารุ่นหรือยี่ห้อของโทรศัพท์ที่ต่างกันนั้นมีผลในการรับสัญญาณจาก iBeacon หรือไม่ โดยจะทำการทดสอบทั้งหมด 2 ยี่ห้อ จากนั้นทำการติดตั้งแอพพลิเคชั่นบนโทรศัพท์ และทดลองใช้แอพพลิเคชั่น โดยกำหนดให้มีสภาพแวดล้อมและตำแหน่งของ iBeacon เหมือนกันทุกประการ เก็บค่าจากระยะที่แสดงผลและตรวจสอบว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด

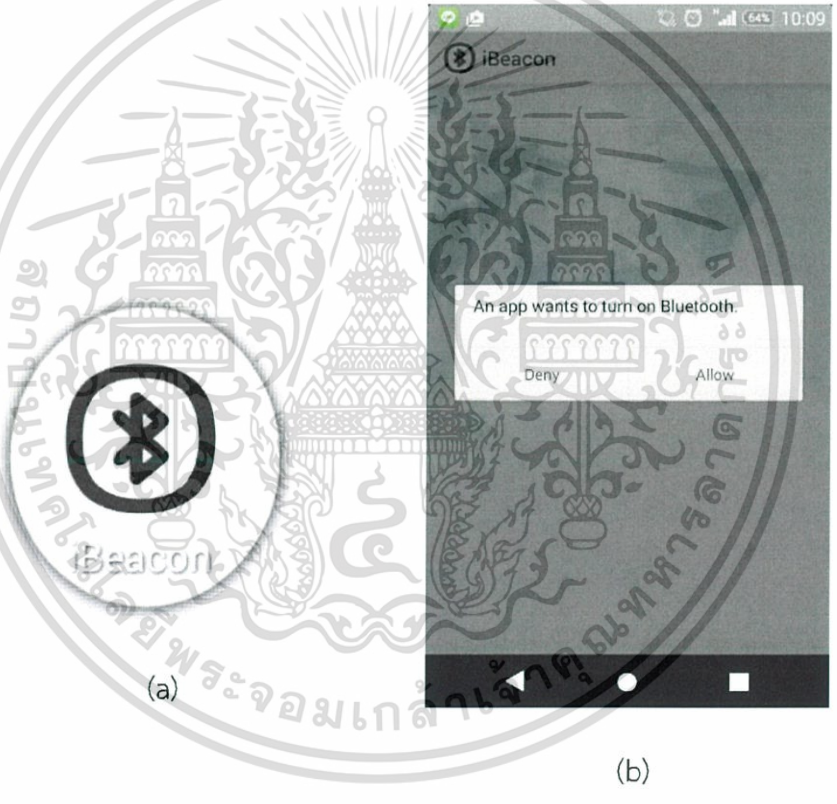
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ทดสอบการทำงานของแอพพลิเคชั่น

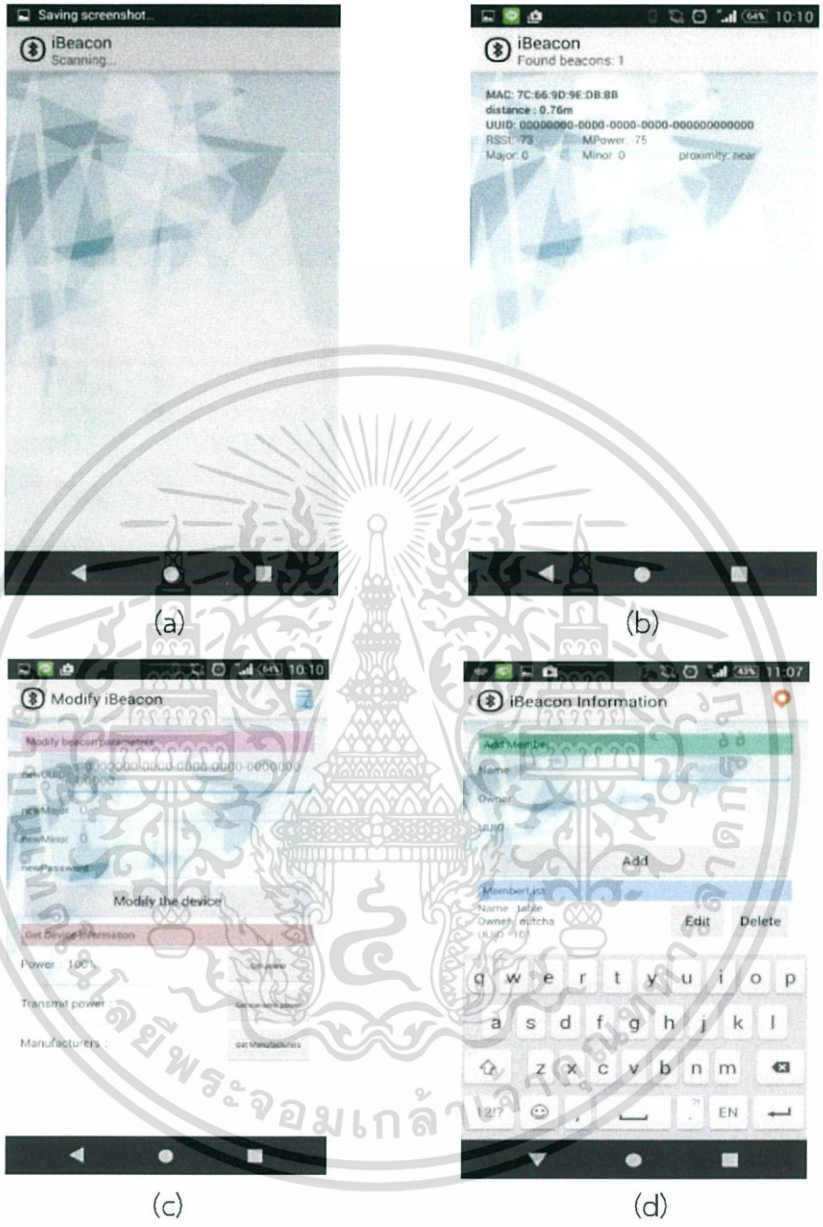
ในการทดสอบการทำงานของแอพพลิเคชั่นนั้นเป็นการนำแอพพลิเคชั่นไปติดตั้งบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์จากนั้นทดสอบการใช้งานจริงซึ่งหน้าแอพพลิเคชั่นแสดงดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 หน้าแอพพลิเคชั่น (a) Icon ของแอพพลิเคชั่น (b) ถามความต้องการเปิดใช้งานบลูทูธ

จากรูปที่ 4.1 แสดงไอคอนของแอพพลิเคชั่น เมื่อเข้าไปในแอพลิเคชั่นจะทำการสอบถามถึงความต้องการเปิดใช้งานบลูทูธ โดยถ้าต้องการใช้งานแอพพลิเคชั่นต่อไปให้เลือก “Allow”

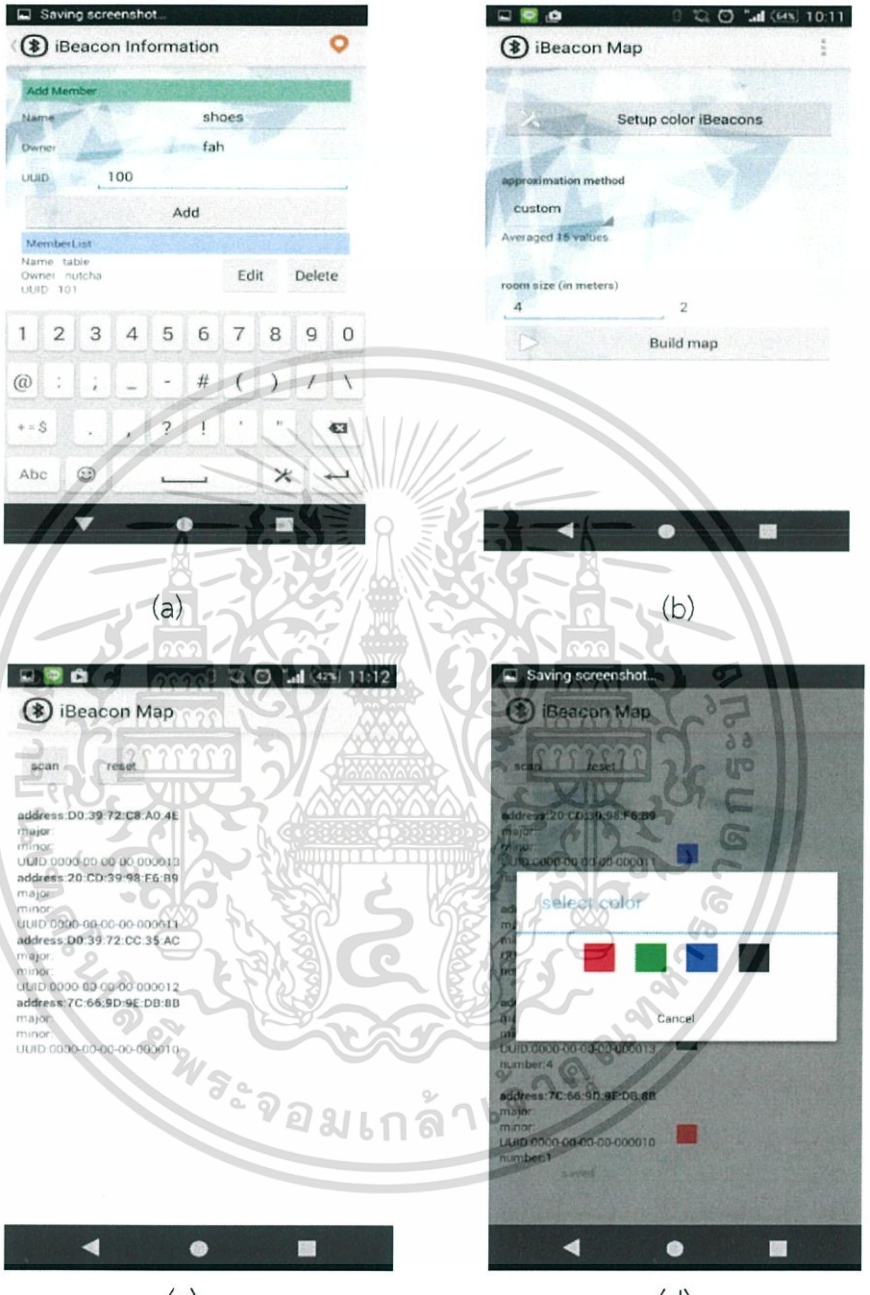
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 หน้าแอพพลิเคชั่น (ต่อ) (a) ทำการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon (b) แสดงผลการค้นหาอุปกรณ์ iBeacon (c) การแก้ไขข้อมูลอุปกรณ์ (d) การตั้งค่าอุปกรณ์

จากรูปที่ 4.2 แสดงหน้าแอพพลิเคชั่นในส่วนของการค้นหาอุปกรณ์โดยจะสามารถค้นเจอเฉพาะอุปกรณ์ iBeacon เท่านั้น จากนั้นเป็นส่วนของการแก้ไขข้อมูลอุปกรณ์และการตั้งค่าอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

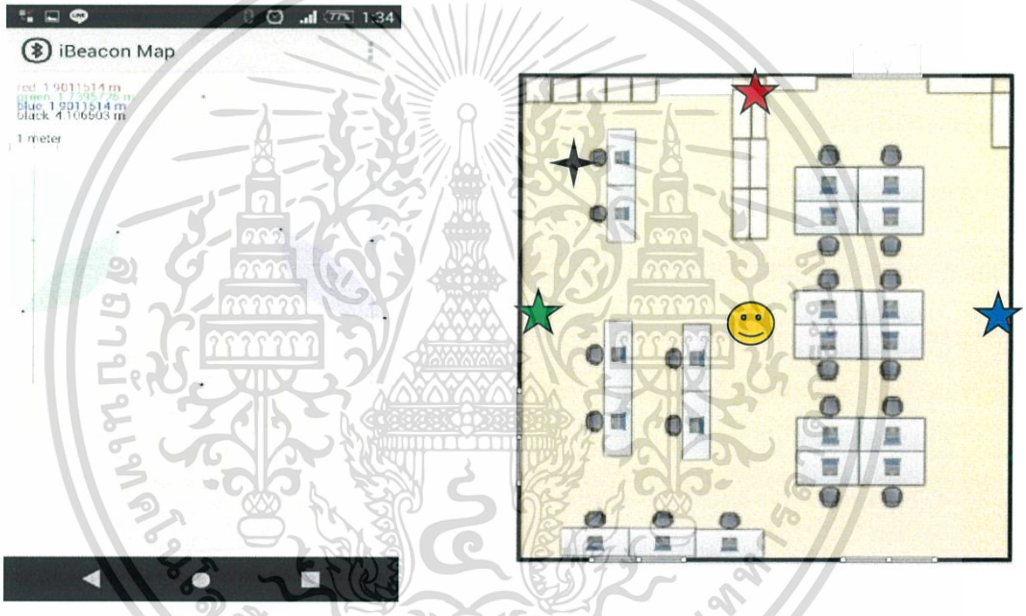


รูปที่ 4.3 หน้าแอพพลิเคชั่น (ต่อ) (a) การแสดงผลการตั้งค่าใน Database (b) ตั้งค่าการค้นหาอุปกรณ์ (c) ค้นหาอุปกรณ์ในการแสดงผล (d) เลือกสีที่ใช้ในการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการตั้งค่าอุปกรณ์ โดยข้อมูลส่วนนี้จะถูกเก็บไว้ที่ Database จากนั้นทำการตั้งค่าในส่วนของการค้นหา โดยต้องทำการค้นหาอุปกรณ์อีกครั้งและทำการเลือกสีของ iBeacon แต่ละตัว เพื่อเป็นการบ่งบอกตำแหน่งของ iBeacon แต่ละตัว

หลังจากที่เราทำการเลือกสีเรียบร้อยแล้วเราจะทำการกำหนดจุดของ iBeacon ไว้สามจุด คือ สีเขียว สีน้ำเงินและสีแดง โดยที่ สีดำคือสิ่งของที่เราต้องการค้นหา ซึ่งภาพที่จะแสดงต่อไปนี้ จะเป็นลักษณะการแสดงผลของแอพพลิเคชั่น ดังรูปที่ 4.4

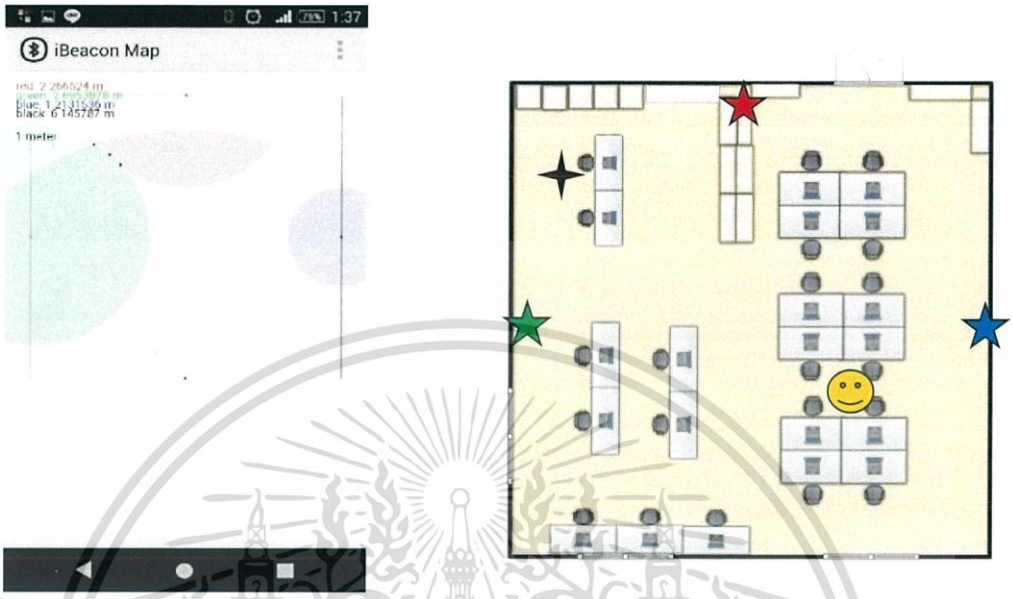


(a) (b)

รูปที่ 4.4 (a) แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่กลางห้อง (b) ตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง

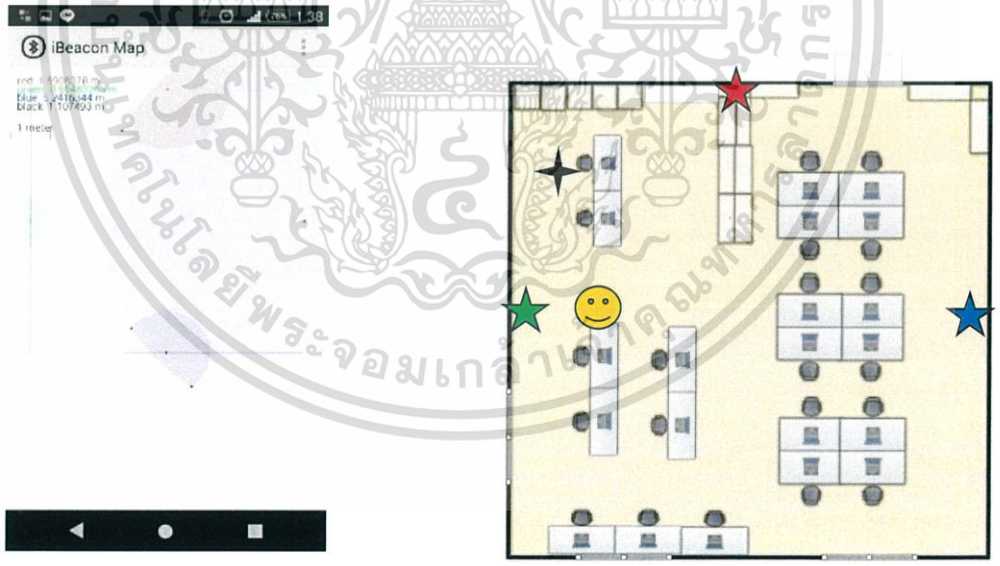
เมื่อเราอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆของห้อง แอพพลิเคชั่นจะแสดงผลพื้นที่ออกมาเป็นลักษณะของรัศมีวงกลม โดยที่เมื่อวงกลมมีขนาดใหญ่หมายความว่า ตัวเราอยู่ไกลจากจุดๆนั้นและเมื่อวงกลมมีขนาดเล็กหมายความว่า ตัวเราอยู่ใกล้จากจุดๆนั้น ซึ่งลักษณะการแสดงผลบนแอพพลิเคชั่นเมื่อเราอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆนั้น จะแสดงดังรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7และ4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 4.5 (a) แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่ในลักษณะดังรูป b. (b) ตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง

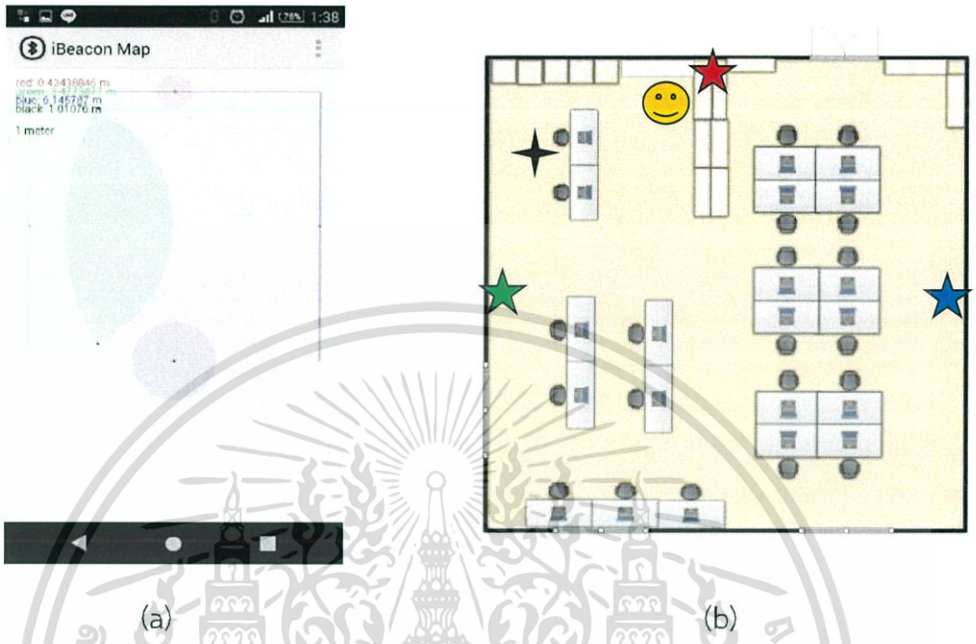


(a)

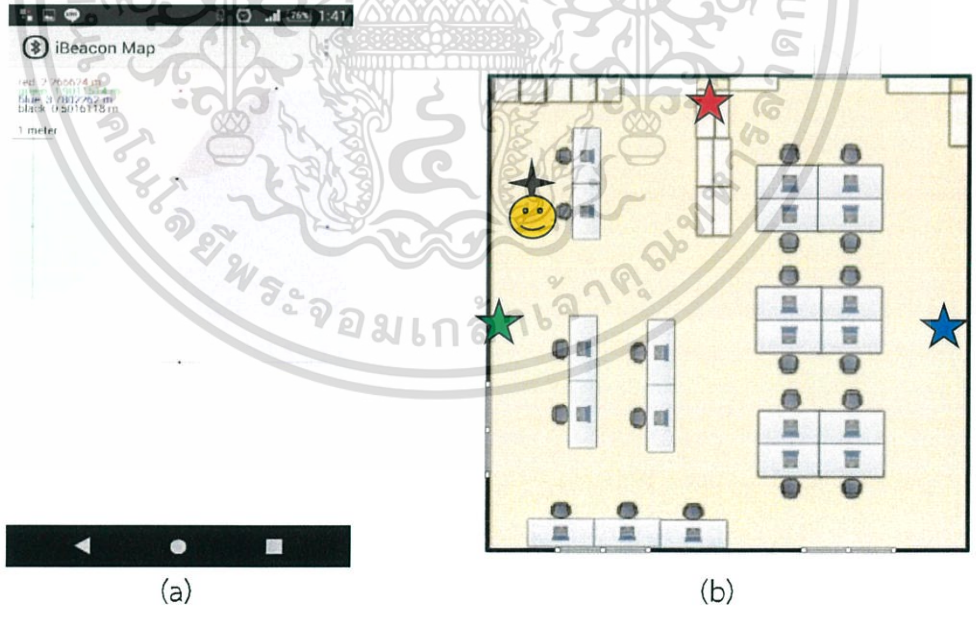
(b)

รูปที่ 4.6 (a) แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่ในลักษณะดังรูป b. (b) ตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (a) แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่ในลักษณะดังรูป b. (b) ตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง



รูปที่ 4.8 (a) แสดงผลการค้นหาเมื่อผู้ทำการค้นหาอยู่ในลักษณะดังรูป b. (b) ตำแหน่งที่แสดงบนผังห้องจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทดสอบรัศมีการใช้งานจริงของอุปกรณ์

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบรัศมีการใช้งานจริงของอุปกรณ์ iBeacon โดยที่ใช้แอพพลิเคชั่นรับสัญญาณจากตัวอุปกรณ์ จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยและหาค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดระหว่างรัศมีการใช้งานจริงกับรัศมีการใช้งานที่สเปคตั้งไว้ โดยสถานที่ที่ใช้ทำการวัดคือบริเวณชั้นหนึ่งอาคารเรียนรวมสมเด็จพระเทพฯ ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รัศมีการใช้งานที่วัดได้จริงของอุปกรณ์ในแต่ละทิศทางเทียบกับที่สเปคกำหนดไว้คือ 25 เมตร

ตัวอุปกรณ์	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ค่าเฉลี่ยแต่ละอุปกรณ์	เปอร์เซ็นความผิดพลาดแต่ละอุปกรณ์
1	22.5	23.4	21.7	23.1	22.675	9.3
2	21.8	23.2	22.3	23.5	22.7	9.2
3	22.3	22.9	21.9	23.1	22.55	9.8
4	22.7	23.2	22	22.9	22.7	9.2

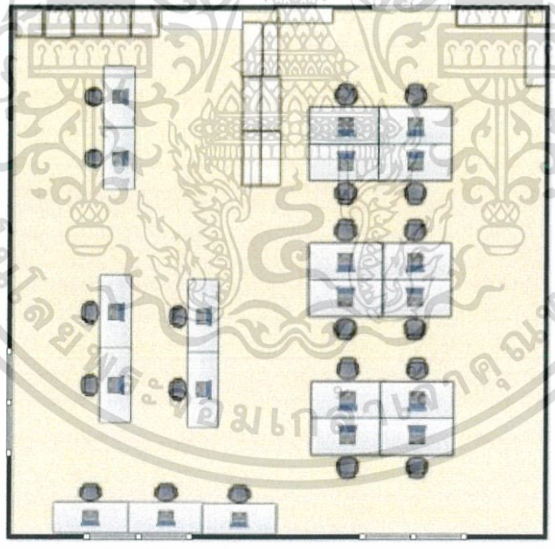
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงรัศมีการใช้งานของ iBeacon แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางผลการทดลองที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในแต่ละอุปกรณ์นั้นมีรัศมีการใช้งานจริงน้อยกว่าสเปคที่กำหนดไว้ คือ 25 เมตร ซึ่งค่าเฉลี่ยระยะทางจริงของตัวอุปกรณ์ทั้งหมด อยู่ที่ 22.75 เมตร และมีเปอร์เซ็นความผิดพลาดอยู่ที่ 9.2% - 9.8% เมื่อนำผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 มาสร้างเป็นกราฟโดยแสดงในแต่ละทิศของอุปกรณ์แต่ละตัว จะแสดงดังรูปที่ 4.9

4.3 ทดสอบความแม่นยำในการแสดงระยะทางของแอพพลิเคชั่น

ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบว่าในแต่ละระยะที่แอพพลิเคชั่นได้นำมาจากค่า RSSI นั้น มีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด โดยจะทำการวัดทีละ 30 องศา จนครบ 360 องศา และทำการเก็บค่าทั้งหมด 4 ครั้งจากนั้นจึงทำการหาค่าเฉลี่ยและหาค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดในแต่ละระยะ โดยที่สถานที่ในการทำการทดลองคือห้อง ECC-510 มีขนาดประมาณ 12x12 เมตร ซึ่งลักษณะของห้องแสดงดังรูปที่ 4.10 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.10 แปลนห้อง ECC-510 ซึ่งมีขนาดห้อง 12x12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (มุม 0 และ 30 องศา)

0 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.87	-74	0.87	-74	1.59	-80	2.08	-83	3.2	-88	3.48	-89	3.2	-88	4.49	-92	4.11	-91	5.68	-95
	0.58	-71	1.01	-75	1.74	-81	2.94	-87	2.47	-85	2.94	-87	2.47	-85	3.48	-89	3.78	-90	5.24	-94
	0.5	-70	1.11	-76	2.7	-86	2.27	-84	2.7	-86	3.78	-90	2.7	-88	3.2	-88	3.48	-89	4.87	-93
	0.43	-69	1.74	-83	1.33	-78	2.47	-85	3.48	-89	4.11	-91	3.78	-91	2.47	-85	4.11	-91	6.15	-96
Average	0.595	-71	1.183	-77	1.84	-81	2.44	-85	2.96	-87	3.578	-89	3.038	-88	3.41	-89	3.87	-90	5.49	-95
% error	19.00		18.25		22.67		22.00		18.50		19.25		13.21		14.75		14.00		9.70	
30 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.76	-73	1.45	-79	1.45	-79	2.94	-87	1.45	-79	3.78	-90	4.49	-92	3.78	-90	5.68	-95	6.15	-96
	0.5	-70	1.59	-80	1.33	-78	1.59	-80	1.33	-78	2.94	-87	3.48	-89	4.46	-92	6.15	-96	6.67	-97
	0.58	-71	1.21	-77	1.9	-82	1.59	-80	4.11	-95	3.9	-90	4.84	-93	5.24	-94	4.49	-92	5.24	-94
	0.87	-74	0.87	-74	2.27	-84	3.48	-89	4.84	-93	3.48	-89	3.2	-88	5.68	-95	4.11	-91	5.68	-95
Average	0.678	-72	1.28	-78	1.74	-81	2.4	-84	2.93	-86	3.525	-89	4.003	-91	4.79	-93	5.108	-94	5.94	-96
% error	35.50		28.00		15.83		20.00		17.30		17.50		14.36		19.75		13.50		18.70	

ตารางที่ 4.2 ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 60 และ 90 องศา)

60 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.5	-70	0.87	-74	1.59	-80	2.08	-83	2.94	-87	2.7	-86	4.84	-93	4.49	-92	4.84	-91	5.68	-95
	0.66	-72	1.01	-75	1.45	-79	3.2	-88	2.47	-85	2.94	-87	3.78	-90	3.78	-90	6.15	-96	5.24	-94
	0.76	-73	1.45	-79	2.08	-83	2.47	-87	3.2	-88	3.48	-89	3.48	-89	4.11	-91	4.11	-91	6.15	-96
	0.43	-69	1.59	-80	1.9	-82	1.9	-82	2.7	-86	4.11	-91	4.11	-91	5.24	-94	4.49	-92	4.49	-96
Average	0.588	-71	1.23	-77	1.76	-81	2.41	-85	2.83	-87	3.308	-88	4.053	-91	4.41	-92	4.898	-93	5.39	-95
% error	17.50		23.00		17.00		20.63		13.10		10.25		15.79		10.13		8.83		7.80	
90 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.76	-73	1.11	-76	1.9	-82	2.27	-84	1.01	-75	2.94	-87	3.2	-88	3.48	-89	5.24	-94	6.15	-96
	0.5	-70	0.66	-72	1.59	-80	1.9	-82	1.9	-82	4.11	-91	3.48	-89	4.49	-92	6.15	-96	6.67	-97
	0.43	-69	1.74	-81	0.76	-73	1.33	-80	2.47	-85	3.78	-90	4.11	-91	5.24	-94	4.49	-92	4.11	-91
	0.58	-71	1.33	-78	1.11	-76	3.2	-88	3.48	-89	3.48	-89	5.24	-94	5.68	-95	4.11	-91	5.24	-94
Average	0.568	-71	1.21	-77	1.34	-78	2.18	-84	2.22	-83	3.578	-89	4.008	-91	4.72	-93	4.998	-93	5.54	-95
% error	13.50		21.00		10.67		8.75		11.40		19.25		14.50		18.06		11.06		10.85	

ตารางที่ 4.2 ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 120 และ 150 องศา)

120 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.87	-74	1.33	-78	1.59	-80	2.08	-83	3.2	-88	4.11	-91	2.7	-86	2.27	-84	4.11	-91	5.24	-94
	0.58	-71	1.01	-75	1.74	-81	3.2	-88	2.47	-85	3.78	-90	3.2	-88	3.48	-89	3.78	-90	5.68	-95
	0.5	-70	1.11	-76	1.45	-79	2.27	-84	2.7	-86	2.7	-86	2.94	-87	4.11	-91	3.48	-89	6.15	-96
	1.01	-69	1.74	-83	2.94	-87	2.47	-85	3.48	-89	3.2	-88	3.48	-89	4.49	-92	4.49	-92	5.24	-94
Average	0.74	-71	1.298	-78	1.93	-82	2.51	-85	2.96	-87	3.448	-89	3.08	-88	3.59	-89	3.965	-91	5.58	-95
% error	48.00		29.75		28.67		25.25		18.50		14.92		12.00		10.31		11.89		11.55	
150 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.76	-73	0.87	-74	1.45	-79	2.94	-87	1.74	-81	3.78	-90	4.49	-92	3.48	-89	5.68	-95	6.15	-96
	0.43	-69	1.59	-80	1.74	-81	1.59	-80	2.7	-86	3.2	-88	3.78	-90	4.46	-92	5.24	-94	6.67	-97
	0.87	-74	1.21	-77	1.9	-82	2.15	-84	2.27	-84	4.11	-91	2.94	-87	5.24	-94	4.49	-92	5.24	-94
	0.5	-70	1.01	-74	2.08	-83	3.45	-89	1.9	-82	3.48	-89	4.11	-91	5.68	-95	4.11	-91	4.84	-93
Average	0.64	-72	1.17	-76	1.79	-81	2.53	-85	2.15	-83	3.643	-90	3.83	-90	4.72	-93	4.88	-93	5.73	-95
% error	28.00		17.00		19.50		26.63		13.90		21.42		9.43		17.88		8.44		14.50	

ตารางที่ 4.2 ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 180 และ 210 องศา)

180 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.43	-69	1.33	-78	0.87	-74	1.9	-83	2.7	-86	4.11	-91	3.2	-88	3.48	-89	4.84	-93	5.24	-94
	0.58	-71	1.01	-75	1.74	-81	2.47	-85	3.2	-88	3.78	-90	2.47	-85	4.11	-91	4.49	-92	4.84	-93
	1.01	-75	1.59	-80	1.01	-75	2.08	-83	2.47	-85	3.2	-88	2.7	-86	2.94	-87	6.15	-96	5.68	-95
	0.66	-72	0.87	-74	1.33	-78	2.7	-86	4.11	-91	2.94	-87	3.48	-89	3.48	-89	5.24	-94	6.15	-96
Average	0.67	-72	1.2	-77	1.24	-77	2.29	-84	3.12	-88	3.508	-89	2.963	-87	3.5	-89	5.18	-94	5.48	-95
% error	34.00		20.00		17.50		14.38		24.80		16.92		15.36		12.44		15.11		9.55	
210 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.76	-73	1.9	-82	1.21	-77	2.47	-85	1.45	-79	3.78	-90	3.78	-90	4.84	-93	5.68	-95	6.15	-96
	0.5	-70	0.87	-74	1.33	-78	1.59	-80	1.33	-78	2.94	-87	3.48	-89	4.49	-92	4.84	-93	5.02	-93
	0.58	-71	1.21	-77	1.9	-82	1.45	-79	4.11	-95	2.7	-86	4.84	-93	5.24	-94	4.49	-92	5.24	-94
	0.66	-72	0.87	-74	0.87	-74	1.33	-78	4.84	-93	3.48	-89	4.11	-91	4.11	-91	5.24	-94	5.68	-95
Average	0.625	-72	1.213	-77	1.33	-78	1.71	-81	2.93	-86	3.225	-88	4.053	-91	4.67	-93	5.063	-94	5.52	-95
% error	25.00		21.25		11.50		14.50		17.30		7.50		15.79		16.75		12.50		10.45	

ตารางที่ 4.2 ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 240 และ 270 องศา)

240 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.87	-74	0.87	-74	1.59	-80	2.08	-83	3.2	-88	3.48	-89	3.2	-88	4.49	-92	4.49	-92	5.68	-95
	0.66	-72	1.21	-77	1.8	-81	2.7	-86	2.47	-85	3.2	-88	2.47	-85	3.48	-89	4.65	-93	5.24	-94
	0.5	-70	1.11	-76	2.7	-86	2.27	-84	2.7	-86	3.78	-90	2.7	-88	3.2	-88	5.68	-95	4.87	-93
	0.43	-69	1.74	-83	1.33	-78	1.9	-82	2.94	-87	4.11	-91	3.78	-91	2.47	-85	5.06	-93	6.67	-97
Average	0.615	-71	1.233	-78	1.86	-81	2.24	-84	2.83	-87	3.643	-90	3.038	-88	3.41	-89	4.97	-93	5.62	-95
% error	23.00		23.25		23.67		11.88		13.10		21.42		13.21		14.75		10.44		12.30	
270 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.87	-74	0.87	-74	1.45	-79	2.08	-83	1.74	-81	3.78	-90	3.78	-90	3.48	-89	5.24	-95	6.15	-96
	0.58	-71	1.59	-80	1.33	-78	3.2	-88	2.7	-86	2.94	-87	3.48	-89	4.11	-91	5.68	-96	6.67	-97
	0.5	-70	1.21	-77	1.9	-82	2.27	-84	2.27	-84	4.11	-91	4.84	-93	2.94	-87	4.49	-92	5.24	-94
	0.43	-69	1.01	-74	2.7	-86	2.47	-85	1.9	-82	3.48	-89	4.11	-91	3.48	-89	4.11	-91	4.84	-93
Average	0.595	-71	1.17	-76	1.85	-81	2.51	-85	2.15	-83	3.578	-89	4.053	-91	3.5	-89	4.88	-94	5.73	-95
% error	19.00		17.00		23.00		25.25		13.90		19.25		15.79		12.44		8.44		14.50	

ตารางที่ 4.2 ระยะทางและค่า RSSI ที่ได้จากแอพพลิเคชั่นเทียบกับระยะทางจริง (ต่อ) (มุม 300 และ 330 องศา)

300 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.5	-70	1.33	-78	1.59	-80	2.08	-83	2.7	-86	2.7	-86	5.24	-94	4.49	-92	4.84	-91	5.68	-95
	0.66	-72	1.01	-75	1.45	-79	3.2	-88	3.2	-88	2.94	-87	3.2	-88	3.48	-89	6.15	-96	5.24	-94
	0.76	-73	1.11	-76	2.08	-83	2.27	-86	2.47	-85	3.2	-88	3.48	-89	4.11	-91	4.11	-91	6.15	-96
	0.43	-69	1.74	-83	1.33	-78	2.47	-85	4.11	-91	4.11	-91	3.48	-89	5.24	-94	4.49	-92	6.15	-96
Average	0.588	-71	1.298	-78	1.61	-80	2.51	-86	3.12	-88	3.238	-88	3.85	-90	4.33	-92	4.898	-93	5.81	-95
% error	17.50		29.75		7.50		25.25		24.80		7.92		10.00		8.25		8.83		16.10	
330 องศา																				
distance	0.5 m		1 m		1.5 m		2 m		2.5 m		3 m		3.5 m		4 m		4.5 m		5 m	
Distance on App	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi	d	rssi
	0.76	-73	1.9	-82	1.9	-82	2.47	-85	1.01	-75	2.94	-87	3.2	-88	2.94	-87	5.24	-94	5.68	-95
	0.5	-70	0.87	-74	1.59	-80	1.59	-80	1.9	-82	4.11	-91	3.48	-89	3.48	-89	6.15	-96	5.24	-94
	0.58	-71	1.21	-77	0.76	-73	1.45	-79	2.47	-85	3.78	-90	4.11	-91	4.49	-92	4.49	-92	6.15	-96
	0.66	-72	0.87	-74	1.11	-76	1.33	-78	3.48	-89	3.2	-88	4.84	-89	3.78	-90	4.11	-91	4.49	-96
Average	0.625	-72	1.213	-77	1.34	-78	1.71	-81	2.22	-83	3.508	-89	3.908	-89	3.67	-90	4.998	-93	5.39	-95
% error	25.00		21.25		10.67		14.50		11.40		16.92		11.64		8.19		11.06		7.80	

จากตารางที่ 4.2 มีค่าความผิดพลาดระหว่างระยะทางจริงกับระยะที่แสดงในแอพพลิเคชั่น อยู่ประมาณ 10%-50% สามารถนำมาสร้างกราฟเพื่อให้เห็นถึงระยะที่แสดงผลในแต่ละระยะได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.11

รูปที่ 4.11 ระยะทางที่แสดงบนแอพพลิเคชั่น ตั้งแต่ 0.5 เมตร ถึง 5 เมตร

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าในช่วงระยะ 0.5 เมตร ถึง 1.5 เมตร และช่วง 4.5 เมตร ถึง 5 เมตร มีความถูกต้องค่อนข้างสูง ในช่วง 2 เมตร ถึง 4 เมตร เป็นช่วงที่มีค่าความผิดพลาดค่อนข้างมาก ซึ่งความผิดพลาดนี้อาจเกิดจากการมีสิ่งกีดขวางวางอยู่ ทำให้ค่าที่แอพพลิเคชั่นรับได้นั้น มีความผิดพลาดจากความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 คำนวณระยะทางจากทฤษฎีเปรียบเทียบกับระยะทางจริง

ในส่วนนี้เป็นการนำค่า RSSI ในแต่ละระยะนั้นมาคำนวณหาระยะทางตามทฤษฎีที่ได้กล่าวเอาไว้ในบทที่ 2 เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดของแต่ละระยะทางจริง ซึ่งในการคำนวณนั้น ต้องคำนวณหาค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆ ก่อน ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$n_i = \left(\frac{RSSI_i + A}{-10log_{10}d_i}\right) \quad (4.1)$$

เมื่อ n_i คือ ค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆ
$RSSI_i$ คือ ค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่ระยะต่างๆ
d_i คือ ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์
A คือ ค่าความแรงสัญญาณของสัญญาณที่ได้รับใน 1 เมตร

ซึ่งค่า RSSI ที่วัดได้ในแต่ระยะทางนั้น นำมาจากค่าเฉลี่ยของค่า RSSI ที่ทิศทางต่างๆในแต่ละระยะแสดงดังตารางที่ 4.3 และค่า A นั้น สามารถหาได้จาก ตารางที่ 4.3 ที่ระยะทาง 1 เมตร

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของค่า RSSI ที่ทิศทางต่างๆในแต่ละระยะตั้งแต่ 1-5 เมตร

ระยะทาง(m)	North	West	East	South	ค่าเฉลี่ย
1	-77	-77	-77	-77	-77
1.5	-81	-81	-80	-78	-80
2	-84	-84	-85	-84	-84.25
2.5	-87	-88	-86	-86	-86.75
3	-89	-89	-88	-89	-88.75
3.5	-88	-90	-91	-90	-89.75
4	-89	-92	-92	-92	-91.25
4.5	-90	-93	-93	-94	-92.5
5	-92	-95	-96	-95	-94.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งผลค่าคงที่ของการกระจายของสัญญาณในสถานที่นั้นๆ ในแต่ละระยะตั้งแต่ 1.5-5 เมตร สามารถแสดงการคำนวณได้ดังตารางที่ 4.4 ได้จากนั้นจึงนำค่า n ที่ได้ทั้งหมด มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อที่จะสามารถ นำไปคำนวณระยะทางตามทฤษฎีได้

ตารางที่ 4.4 ค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณในสถานที่นั้นๆ

ระยะทาง	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	เฉลี่ย
n_i	89.1583	53.5660	41.1494	34.7396	30.6487	27.9457	25.9486	24.5361	40.961

จากนั้นจึงคำนวณหาระยะทางตามทฤษฎีโดยใช้ค่า RSSI ในแต่ละระยะทางตั้งแต่ 1.5 – 5 เมตร โดยใช้สมการ 4.2 จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎีมาหาเปอร์เซ็นความผิดพลาดเทียบกับระยะทางที่เราวัดได้จริง แสดงดังตารางที่ 4.5

$$d = 10^{(RSSI+A)/(-10n)} \tag{4.2}$$

เมื่อ RSSI คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละระยะซึ่งมาจากตารางที่ 4.3
A คือ ค่าอ้างอิงของข้อมูลมีค่าเท่ากับ -77 dBm
N คือ ค่าคงที่การกระจายสัญญาณของสถานที่มีค่าเท่ากับ 40.961

ตารางที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดของระยะที่คำนวณได้ตามทฤษฎีเทียบกับระยะทางที่วัดได้จริง

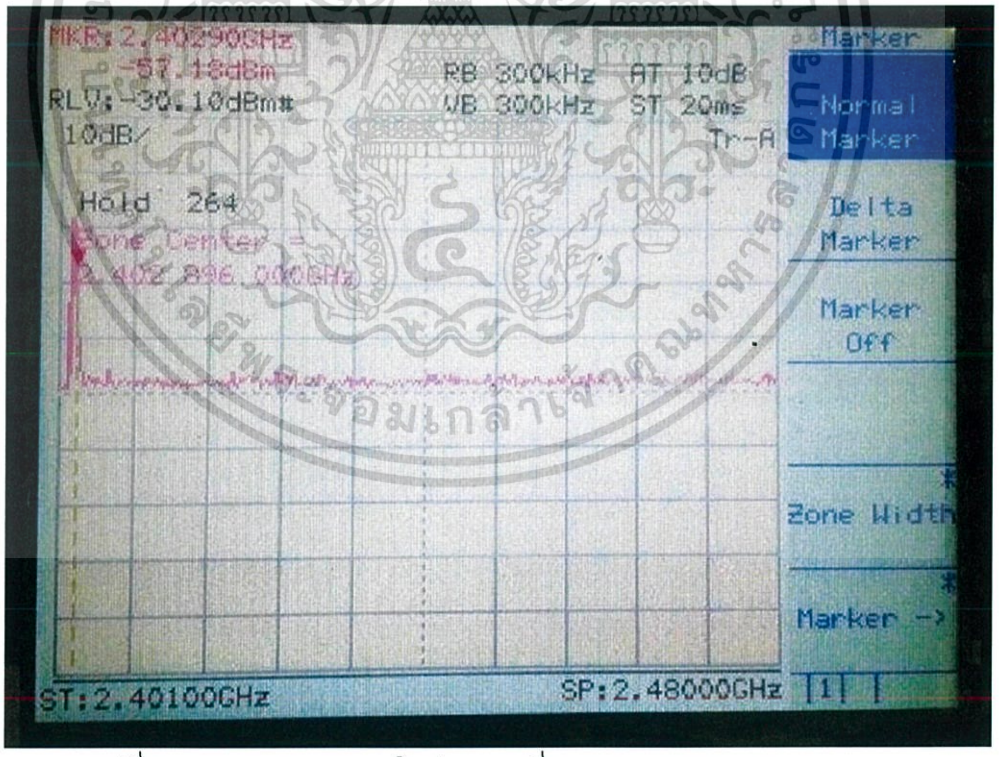
ระยะจริง(m)	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
RSSI	-80	-84.25	-86.75	-88.75	-89.75	-91.25	-92.5	-94.5
d (m)	2.417	2.4752	2.5105	2.5389	2.5532	2.5748	2.593	2.6223
%error	61.1333	23.76	0.42	15.37	27.0514	35.63	42.3778	47.554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 จะพบว่าค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดระหว่างระยะทางจริงกับระยะทางตามทฤษฎีมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.42% ถึง 61.1333% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากแอพพลิเคชั่นมีความแม่นยำมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี

4.5 ทดสอบช่วงความถี่ในการทำงานของอุปกรณ์ iBeacon

การทดสอบนี้คือการทดสอบว่าช่วงความถี่ในการทำงานจริงของอุปกรณ์ iBeacon นั้นตรงตามที่สเปคของอุปกรณ์ได้ระบุไว้หรือไม่ ตามที่สเปคของอุปกรณ์ได้ระบุไว้ว่าช่วงการทำงานของ iBeacon นั้นทำงานที่ความถี่ 2.402 – 2.480 GHz จึงทำการวัดโดยใช้ Spectrum Analyzer และที่ห้อง Microwave Anechoic Chamber เพื่อป้องการการรบกวนของสัญญาณอื่นๆ ซึ่งในการวัดนั้นได้ทำการวัดในช่วงความถี่ 2.401 – 2.480 GHz และ โดยที่ผลจากการวัดนั้นแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 Spectrum ภายในช่วงความถี่ 2.401 – 2.480 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงความถี่ที่ 2.401 – 2.480 GHz นี้เราทำการวัดโดยตั้งค่า Start frequency ที่ 2.401 GHz และ Stop frequency ที่ 2.480 GHz โดยจากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า จุดที่ peak สูงสุด อยู่ที่ความถี่ 2.4029 GHZ ซึ่งในจุดนี้ถือว่าอยู่ในช่วงความถี่ตามสเปค โดยที่คาดว่าไม่มีการรบกวนจากสัญญาณอื่นๆ จึงสามารถกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ iBeacon นั้น มีช่วงความถี่การทำงานอยู่ที่ประมาณ 2.402 GHz ซึ่งเป็นไปตามที่สเปคได้กำหนดไว้

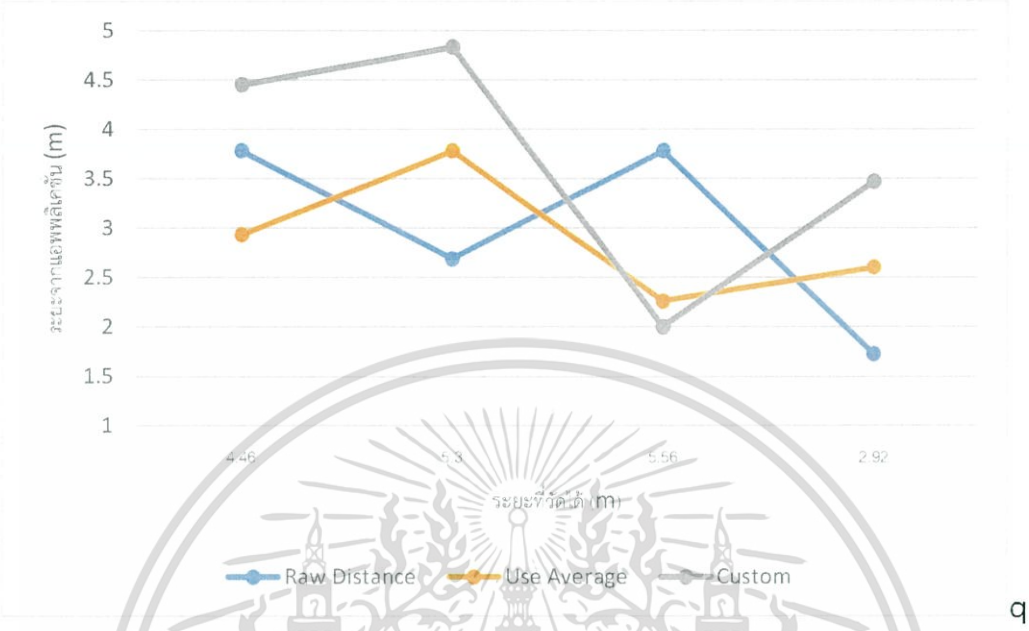
4.6 ทดสอบความถูกต้องในการแสดงผลของแอพพลิเคชั่น

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบในส่วนของการแสดงผลของแอพพลิเคชั่น โดยที่ในการตั้งค่าการแสดงผลนั้น จะมีส่วนที่ให้เราได้เลือกวิธีในการคำนวณสำหรับการแสดงผล 3 วิธีคือ raw distance, ues average และ custom ซึ่งในแต่ละวิธีการนั้นก็มีวิธีการแตกต่างกันออกไป เราจึงทำการทดลองว่าวิธีการคำนวณแต่ละวิธีการนั้นให้ผลแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งเราจะทำการทดลองโดย เปรียบเทียบผลที่ได้ในการแสดงผลของแต่ละวิธี ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.6 และนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบระยะทางที่แสดงบนแอพพลิเคชั่นโดยใช้วิธีการแตกต่างกันจากผู้วัดไปยัง iBeacon

สีของ iBeacon	ระยะที่วัดได้ (m)	วิธีการ					
		Raw Distance		Use Average		Custom	
		App (m)	Error	App (m)	Error	App (m)	Error
Green	4.46	3.78	15.25	2.93	34.30	4.45	0.22
Blue	5.3	2.69	49.25	3.78	28.68	4.83	8.87
Red	5.56	3.78	32.01	2.26	59.35	2	64.03
Yellow	2.92	1.73	40.75	2.6	10.96	3.47	18.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



q

รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบระยะทางที่แสดงบนแอพพลิเคชั่นโดยใช้วิธีการแตกต่างกัน

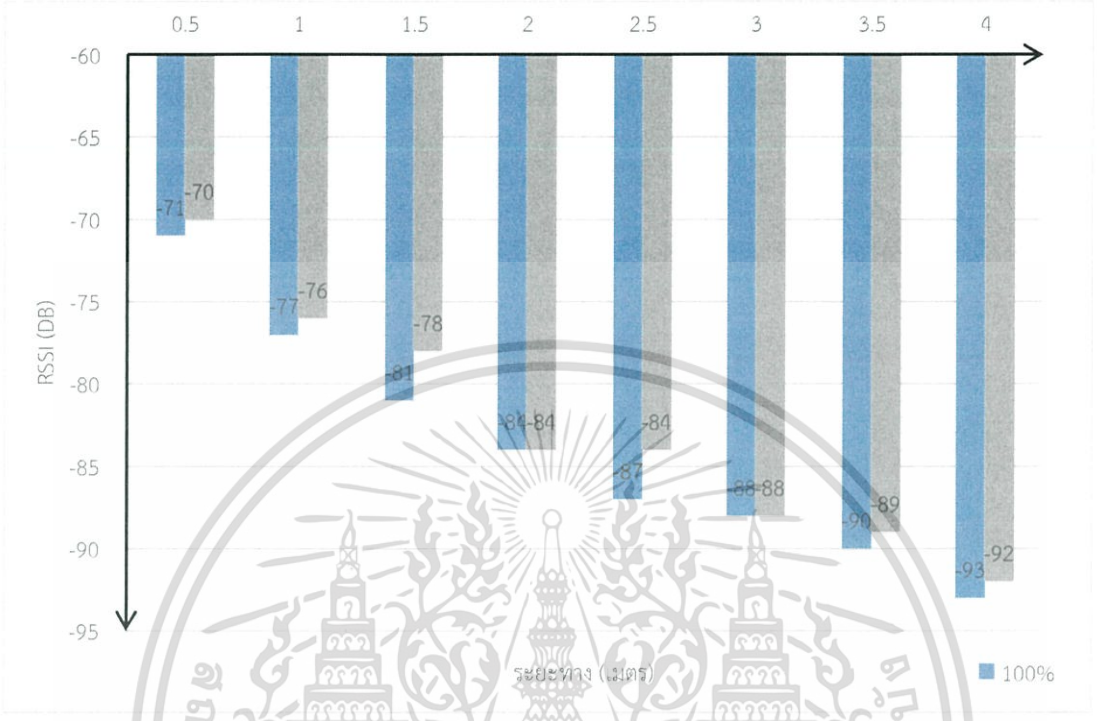
4.7 ทดสอบผลข้างเคียงของปริมาณแบตเตอรี่

ในส่วนของการทดสอบนี้ เป็นการทดสอบว่าเมื่อปริมาณของแบตเตอรี่ลดลงจะมีผลต่อ ค่าความแรงสัญญาณ RSSI ที่ iBeacon ส่งมายังแอพพลิเคชั่นหรือไม่ โดยทำการวัดค่า ความแรงสัญญาณ RSSI ตั้งแต่ ระยะ 0.5 เมตร ถึง 5 เมตร โดยทำการวัดทีละ 0.5 เมตร ซึ่งค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7 และสามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณ RSSI ที่ปริมาณแบตเตอรี่ 100% กับ 70%

ปริมาณแบตเตอรี่	RSSI (dB)							
	0.5 m	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	3 m	3.5 m	4 m
100%	-71	-77	-81	-84	-87	-88	-90	-93
70%	-70	-76	-78	-84	-84	-88	-89	-92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณ RSSI ที่ปริมาณแบตเตอรี่ 100% กับ 70%

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.14 ค่าความแรงสัญญาณ RSSI ที่ได้รับขณะที่แบตเตอรี่มีปริมาณ 100% กับ 70% นั้น จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเราสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณแบตเตอรี่ที่ลดลง ไม่มีผลต่อ ค่าความแรงสัญญาณ RSSI ที่ได้รับจาก iBeacon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ทดสอบความผิดพลาดบนสมาร์ทโฟนต่างรุ่น

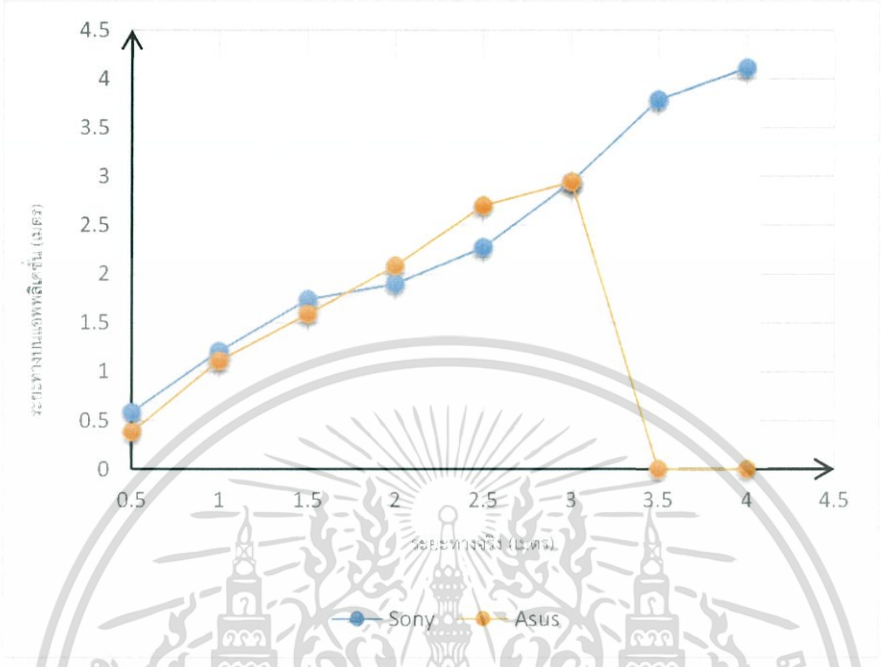
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบว่าสเปคของรุ่นหรือยี่ห้อของโทรศัพท์ที่ต่างกันนั้น มีผลต่อการรับสัญญาณ จาก iBeacon หรือไม่ โดยในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบบนสมาร์ทโฟนสองยี่ห้อ คือ Sony Xperia Z กับ Asus Zenfon 5 ซึ่งเราจะทำการวัดโดยใช้วิธีวัดค่าระยะทางและค่าความแรงสัญญาณ RSSI จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกันแสดงดังตารางที่ 4.8 รูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะทางและค่าความแรงสัญญาณ RSSI ระหว่างสมาร์ทโฟนสองรุ่น

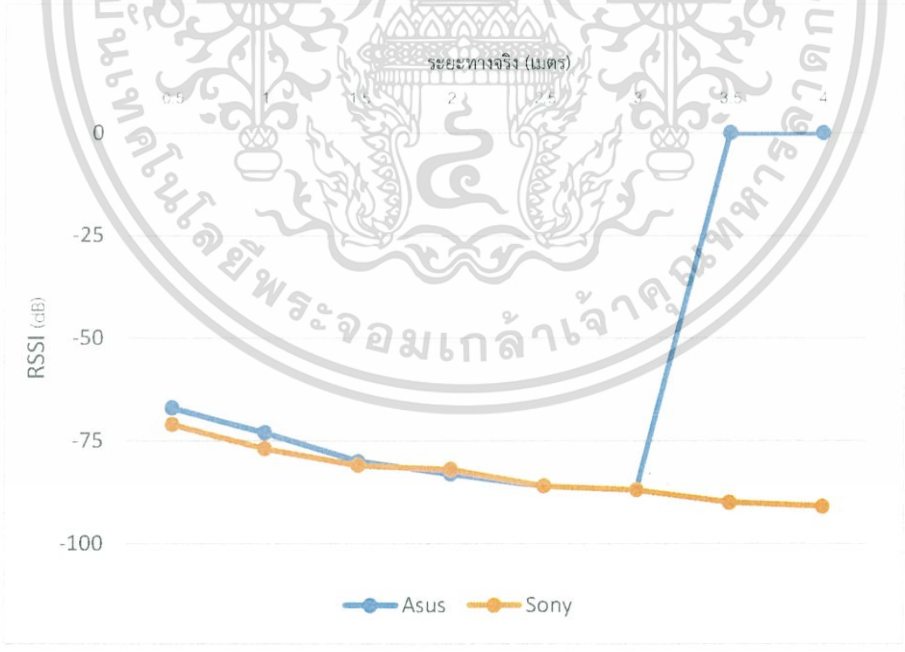
Distance (m)	Sony		Asus	
	Distance(m)	RSSI (dB)	Distance(m)	RSSI (dB)
0.5	0.58	-71	0.38	-67
1	1.21	-77	1.11	-73
1.5	1.74	-81	1.59	-80
2	1.9	-82	2.08	-83
2.5	2.27	-86	2.7	-86
3	2.94	-87	2.94	-87
3.5	3.78	-90	0	0
4	4.11	-91	0	0

จากตารางที่ 4.8 รูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าที่ระยะที่เท่ากัน ค่าระยะทางที่ได้จากแอพพลิเคชั่น และค่า RSSI นั้น ในช่วงระยะ 0 – 3 เมตร มีความแตกต่างกันไม่มากนัก แต่ในช่วงระยะมากกว่า 3 เมตรขึ้นไป Asus ไม่สามารถรับค่าได้แล้ว ซึ่งอาจจะหมายความว่า สายอากาศที่รับสัญญาณของ Asus นั้น มีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบความแตกต่างของระยะทางระหว่างสมาร์ทโฟนสองรุ่น



รูปที่ 4.16. เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแรงสัญญาณ RSSI ระหว่างสมาร์ทโฟนสองรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในส่วนของการทดลองใช้งานแอพพลิเคชั่นโดยการติดตั้งบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิแอนดรอยด์ แอพพลิเคชั่นสามารถใช้งานได้ ส่วนของการทดสอบรัศมีการใช้งานจริงของอุปกรณ์ iBeacon มีรัศมีการใช้งานจริงอยู่ที่ประมาณ 22.75 เมตร มีเปอร์เซ็นความผิดพลาดอยู่ที่ 9.2%-9.8% ซึ่งช่วงระยะการใช้งานที่แม่นยำของ iBeacon จะอยู่ที่ประมาณ 5-6 เมตรเท่านั้น ส่วนของการทดสอบความแม่นยำในการแสดงระยะทางของแอพพลิเคชั่น จะเห็นได้ว่าในแต่ละระยะนั้น มีค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาด 10%-30% และในส่วนของการคำนวณระยะทางจากทฤษฎีเปรียบเทียบกับระยะทางจริงนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน จะพบว่ามีเปอร์เซ็นความผิดพลาดสูงถึง 60% โดยที่ระยะที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดคือระยะ 2.5 เมตร ในส่วนของการวัดความถี่ของ iBeacon พบว่าเป็นไปตามสเปคที่กำหนดมา ส่วนของการทดสอบความถูกต้องนั้น พบว่าค่าระยะทางที่ได้ออกมาค่อนข้างแตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ที่ใช้วัดด้วย ส่วนของผลกระทบจากปริมาณแบตเตอรี่ พบว่าปริมาณของแบตเตอรี่นั้นส่งผลกับค่า RSSI น้อยมาก และการทดสอบบนสมาร์ทโฟนต่างรุ่นแสดงให้เห็นว่าตัวสมาร์ทโฟนเองก็ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแอพพลิเคชั่นเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองทั้งหมดจะเห็นว่าตัวแอพพลิเคชั่นยังไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควรในการแสดงผลเป็นระยะทางและการประมาณพื้นที่ที่มีโอกาสจะเจอสิ่งของเท่านั้น ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ iBeacon และความ sensitive ของอุปกรณ์หรือคลื่นสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สัญญาณ WiFi ซึ่งเป็นส่วนที่ทางผู้จัดทำต้องนำไปปรับปรุงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ศุภชัย สมพานิช. Basic Android Programming. นนทบุรี : ไอดีซี พรีเมียร์, 2555.

[2] ศุภชัย สมพานิช. Professional Android Programming. นนทบุรี : ไอดีซี พรีเมียร์, 2557.

[3] กอบเกียรติ สระอุบล. พัฒนา App Android. กรุงเทพฯ : มีเดีย เนทเวิร์ค, 2556.

[4] Developer Android. "Bluetooth Low Energy."
http://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth-le.html

[5] John Herrman. "What is Bluetooth Low Energy (BLE)?"
http://gizmodo.com/5725982/what-is-bluetooth-low-energy-ble

[6] Rishu Seth. "RSSI Report"
http://www.slideshare.net/rishu_seth/rssi-report?next_slideshow=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications iBeacon

- Built-in firmware named AprilBeacon
- Built-in a CR2450 battery holder
- Bluetooth Low Energy technology compatible
- Excellent link budget (up to 97dB)
- Suitable for long distance applications
- Accurate digital RSSI
- High performance and low power 8051 core MCU
- AES security coprocessor

iBeacon Descriptions

- Application for advertisement and location
- Built-in pairing password to prevent others to modify the settings
- Support customize your own iBeacon configuration including UUID etc.
- Tx Power configurable
- Advertising frequecy configurable
- Support upgrade firmware through OAD (air upgrade)
- Built-in JTAG port for customized other application firmware as a standalone system

Default Settings

- Name of iBeacon: AprilBeacon
- ProximityUUID: `E2C56DB5-DFFB-48D2-B060-D0F5A71096E0`
- Major and Minor: 0, 0 (Only allowed numeric)
- Measured power: -59 (Numeric only)

Electronic Parameters

Item	Value	Remarks
Firmware	AprilBeacon	Version 2.0.1
Battery model	CR2450	Coin battery, 3.0Vdc, 1pc
Operation Voltage	2.0-3.6V	DC
Operation Frequency	2400-2483.5MHz	Programmable
Frequency Error	+/- 20KHz	
Modulation	Q-QPSK	
Standby current	100uA	Depends on duty cycle / broadcasting frequency
Broadcasting	900mS	Duty cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency		
Output Power	0 dBm	Default setting, programmable
Receiving Sensitivity	-93dBm	High gain mode
Transmission distance	30 meters	BER<0.1%, Open space
Antenna	50ohm	On board / PCB Antenna
Size	31mm x 31mm x 9mm	

Important change!

- *Remove the original pair passcode for Bluetooth. Replace the passcode with AT command `AT+AUTH`.*
- *Fix a bug for read battery level.*
- *Fix a bug for change TX power.*
- *Add characteristic `0xFFF8` for input AT command.*
- *New AT commands:*
  - *AT+RESET - Reset the AprilBeacon.*
  - *AT+DPLOY - The AprilBeacon will be un-connectable util next restart.*
  - *AT+AUTH - Input the passcode for change the module to editable. The default passcode is `AprilBeacon`. It can be modified by 0xFFF6.*
- ***Add mac address in the Bluetooth service** `Device Information -> System ID` **(0x180A -> 0x2A23).***

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้