

การสำรวจและสร้างแผนที่ความพร้อมใช้งานของเครือข่ายด้วยคราวด์เซอร์สซิง



นางสาวธภัทร หมุ่มภัทรโรจน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

SURVEYING AND MAPPING OF NETWORK AVAILABILITY USING CROWDSOURCING

Miss Thaphat Mupattarot



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสำรวจและสร้างแผนที่ความพร้อมใช้งานของเครือข่าย
ด้วยคราวด์เซอร์สซิง

โดย

นางสาวธภัทร หมู่ภัทรโรจน์

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระ เหมืองสิน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกริก ภิรมย์โสภา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระ เหมืองสิน)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรเศรษฐ์ สุวรรณิก)

ธภัทร หมู่ภัทรโรจน์ : การสำรวจและสร้างแผนที่ความพร้อมใช้งานของเครือข่ายด้วย
คราวด์ซอร์ซซิง. (SURVEYING AND MAPPING OF NETWORK AVAILABILITY USING
CROWDSOURCING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วีระ เหมืองสิน, 110 หน้า.

ในปัจจุบันอุปกรณ์สื่อสารและคอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ทำให้
เกิดความต้องการใช้เครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟได้จากทุกสถานที่ในตลอดเวลา และสิ่งที่
ผู้ใช้งานมักต้องการทราบก็คือความพร้อมใช้งานของเครือข่ายในพื้นที่ที่เดินทางเข้าไป ผู้ให้บริการ
เครือข่ายก็ต้องการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการได้อย่างทั่วถึง โดยทั่วไปข้อมูลเชิงพื้นที่
ของความพร้อมใช้งานของเครือข่ายไร้สายมักถูกแสดงด้วยแผนที่แสดงพื้นที่ให้บริการซึ่งได้มาจาก
การคำนวณโดยใช้ตำแหน่งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณและรัศมีที่สามารถรับส่งสัญญาณได้ แผนที่ที่ได้
จึงมีความแม่นยำน้อย แผนที่ที่ได้จากการสำรวจประสิทธิภาพของเครือข่ายจากพื้นที่จริงมีความ
แม่นยำสูงกว่า แต่ก็ต้องใช้กำลังคน อุปกรณ์ และค่าใช้จ่ายจำนวนมาก

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบสำหรับสร้างแผนที่แสดงคุณภาพการให้บริการทั้งของ
เครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟ โดยเก็บข้อมูลสัญญาณด้วยสมาร์ตโฟนจำนวนมากใน
ลักษณะของการใช้พลังงานหรือคราวด์ซอร์ซซิง ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งภายในและภายนอก
อาคาร และแม้แต่ในบริเวณที่ไม่สามารถทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ระบบที่พัฒนาขึ้น
ประกอบด้วยโปรแกรมที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และโปรแกรมฝั่ง
เซิร์ฟเวอร์ที่รับข้อมูลมาเก็บลงในฐานข้อมูลและวิเคราะห์ด้วยตัวชี้วัดเชิงคุณภาพ 3 ตัว ได้แก่
ความแรงของสัญญาณ ความพร้อมใช้งานของเครือข่าย และความนิยมในการเชื่อมต่อกับ
เครือข่าย ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาแสดงในลักษณะแผนที่แบบกริดฮีตแมป



ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5570494721 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEYWORDS: NETWORK AVAILABILITY / WIRELESS NETWORK / SIGNAL MAP /
CROWDSOURCING

THAPHAT MUPATTARAROT: SURVEYING AND MAPPING OF NETWORK AVAILABILITY USING CROWDSOURCING. ADVISOR: ASST. PROF. VEERA MUANGSIN, Ph.D, 110 pp.

Nowadays mobile communication and computing devices are very popular. There are demands for mobile internet and WiFi connection anywhere and anytime. The users often want to know whether mobile network connection is available at the place where they will go to. Network providers also want to meet the demands for network coverage. Normally, spatial information of wireless network availability is represented by a map showing service coverage area calculated based on the positions of signal transmission devices and their transmission range. Such a map has low accuracy. A map created from field survey of effective network connection has higher accuracy but requires man power, devices and expenses.

In this research, we propose a system to build maps showing service quality for mobile and Wi-Fi networks by using smartphones to collect signal data in a crowdsourcing fashion. The data can be collected indoor and outdoor and even when the device cannot connect to the internet. The developed system is composed of a mobile application running on Android smartphones and a server-side program for collecting data into the database and analyzing three quality matrices namely signal strength, network availability, and connection preference. The results are visualized in grid heat maps.

Department: Computer Engineering Student's Signature

Field of Study: Computer Science Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาสละเวลาช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งให้แนวคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย และช่วยชี้แนะการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย ขอขอบพระคุณอาจารย์มา ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่แนะนำสั่งสอนและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิมโยโสภา ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วรเศรษฐ์ สุวรรณิก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไข ทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชายทั้งสอง และพี่สาว ที่ให้การสนับสนุน ความรัก ความห่วงใย คอยให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดเวลา

ขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการ Scientific parallel computer engineering (Space Lab) นายเลิศศักดิ์ บุญเพ็ง ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย, นางสาวสุธีรา ภู่กลาง ที่ร่วมกันแบ่งปันประสบการณ์ความรู้และให้กำลังใจมาโดยตลอด, และนางสาวณัฐพร วัฒนสุทธิ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือมาอย่างเต็มที่

ขอขอบคุณสมาชิก Mind Lab นายต้า เกียรติไกรวัลศิริ ที่ร่วมกันแบ่งปันความรู้และให้คำปรึกษาเรื่องการเขียนโปรแกรมได้ตลอดเวลา

ขอขอบคุณนายไสรจจ ปั่นเจริญ ที่ให้การสนับสนุน ความห่วงใย และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

งานวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ศึกษา ค้นคว้าและสนใจ หากผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้เพื่อนำไปปรับปรุงให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สำหรับความดีที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนการดำเนินการวิจัย.....	4
1.6 ผลงานตีพิมพ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 ความแรงของสัญญาณ	5
2.1.2 เทคโนโลยีไร้สาย	5
2.1.2.1 จีพีเอส	6
2.1.2.2 เอจีพีเอส.....	7
2.1.2.3 เทคโนโลยีการรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่	8
2.1.2.4 ไวไฟ.....	9
2.1.3 คราวด์เซอร์สซิ่ง.....	9
2.1.4 แผนที่ข้อมูล	10
2.1.5 ฮีตแมป.....	12
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.2.1 ศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้งาน	13
2.2.2 ระบุตำแหน่งผู้ใช้งาน.....	15

2.2.3	สำรวจความแรงของสัญญาณ.....	18
2.2.3.1	แผนที่ความแรงสัญญาณ eduroam	19
2.2.3.2	SkyHook.....	20
2.2.3.3	OpenSignal.....	23
2.2.3.4	Sensorly.....	24
บทที่ 3	แนวคิดและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	29
3.1	แนวคิดงานวิจัย	29
3.1.1	การระบุพิกัดตำแหน่ง (Data Positioning)	29
3.1.2	การเก็บข้อมูล (Data Collection)	30
3.1.3	การคำนวณตัวชี้วัด (Data Processing)	31
3.1.4	การแสดงผลข้อมูล (Data Visualization).....	31
3.1.5	การประเมินผล (Data Evaluation).....	32
3.2	วิธีดำเนินงานวิจัย	32
3.2.1	การแสดงพิกัดตำแหน่ง (Data Positioning).....	34
3.2.2	การเก็บข้อมูล (Data Collection)	35
3.2.3	การคำนวณตัวชี้วัด (Data Processing)	39
3.2.4	การแสดงผลข้อมูล (Data Visualization).....	42
บทที่ 4	การพัฒนาเครื่องมือและการทดลอง.....	44
4.1	การระบุพิกัดตำแหน่ง (Data Positioning).....	44
4.1.1	รับค่าพิกัดจาก location service (Using Location Service).....	45
4.1.2	ส่วนที่รับค่าจากผู้ใช้งาน (Enter Location by Yourself)	46
4.2	การเก็บข้อมูล (Data Collection).....	47
4.3	การคำนวณตัวชี้วัด (Data Processing).....	49
4.3.1	Network Signal Strength.....	49
4.3.2	Network Availability	49
4.3.3	Connection Preference	49
4.4	การแสดงผลข้อมูล (Data Visualization)	49

4.4.1	แผนที่แสดงบริเวณที่ทำการสำรวจ.....	51
4.4.2	แผนที่แสดงความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณ (Network Signal Strength)	55
4.4.2.1	แผนที่ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต.....	55
4.4.2.2	แผนที่ของสัญญาณไวไฟ.....	62
4.4.3	แผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของเครือข่าย (Network Availability)	68
4.4.3.1	แผนที่ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต.....	68
4.4.3.2	แผนที่ของสัญญาณไวไฟ.....	70
4.4.4	แผนที่แสดงการเชื่อมต่อของเครือข่าย (Connection Preference)	73
4.4.4.1	แผนที่ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต.....	73
4.4.4.2	แผนที่ของสัญญาณไวไฟ.....	79
4.5	การนำแผนที่ไปใช้ประโยชน์.....	84
4.5.1	Network Signal Strength.....	84
4.5.2	Network Availability	86
4.5.3	Connection Preference	87
4.6	การประเมินผลข้อมูล (Data Evaluation).....	88
4.6.1	Network Signal Strength ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต.....	89
4.6.2	Network Signal Strength ของสัญญาณไวไฟ.....	100
บทที่ 5	บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ	104
5.1	บทสรุป.....	104
5.2	แนวทางในการพัฒนาต่อ.....	105
	รายการอ้างอิง.....	106
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	110

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	สรุปคุณสมบัติของแต่ละงานวิจัยที่ใช้ในการสำรวจความแรงของสัญญาณ	27
ตารางที่ 2	ข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ถูกบันทึก	37
ตารางที่ 3	ข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครือข่ายสัญญาณที่ถูกบันทึก	38
ตารางที่ 4	ข้อมูลสัญญาณไวไฟที่ถูกบันทึก	38
ตารางที่ 5	ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณหาค่าฮีตแมป	43
ตารางที่ 6	ข้อมูลเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	48
ตารางที่ 7	ตำแหน่งในการเก็บข้อมูล	48
ตารางที่ 8	จำนวนตำแหน่งในการเก็บข้อมูล	49
ตารางที่ 9	รายการ network operator และ SSID ที่ใช้แสดงเป็นผลการทดลอง	50
ตารางที่ 10	ค่าสีบนแผนที่แสดงพื้นที่สำรวจ	53
ตารางที่ 11	ค่าสีบนแผนที่ความแรงสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต	56
ตารางที่ 12	ค่าสีบนแผนที่ความแรงสัญญาณไวไฟ	63
ตารางที่ 13	ค่าสีบนแผนที่ความพร้อมใช้งานเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต	68
ตารางที่ 14	ค่าสีบนแผนที่ความพร้อมใช้งานสัญญาณไวไฟ	71
ตารางที่ 15	ค่าสีบนแผนที่การเชื่อมต่อเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต	73
ตารางที่ 16	ค่าสีบนแผนที่การเชื่อมต่อสัญญาณไวไฟ	80
ตารางที่ 17	ค่า S.D. ของ AIS ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	89
ตารางที่ 18	ค่า S.D. ของ AIS ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	90
ตารางที่ 19	ค่า S.D. ของ AIS ระดับห้อง	91
ตารางที่ 20	ค่า S.D. ของ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	92
ตารางที่ 21	ค่า S.D. ของ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	93
ตารางที่ 22	ค่า S.D. ของ TH GSM ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	94
ตารางที่ 23	ค่า S.D. ของ TH GSM ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	95
ตารางที่ 24	ค่า S.D. ของ DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	96
ตารางที่ 25	ค่า S.D. ของ DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	97
ตารางที่ 26	ค่า S.D. ของ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	98
ตารางที่ 27	ค่า S.D. ของ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	98
ตารางที่ 28	ค่า S.D. ของ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	100
ตารางที่ 29	ค่า S.D. ของ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	100
ตารางที่ 30	ค่า S.D. ของ ChulaWiFi ระดับห้อง	101

ตารางที่ 31 ค่า S.D. ของ NirasNet ที่ความแม่นยำ 25 เมตร..... 101

ตารางที่ 32 ค่า S.D. ของ NirasNet ที่ความแม่นยำ 60 เมตร..... 101

ตารางที่ 33 ค่า S.D. ของ NirasNet ระดับห้อง..... 102

ตารางที่ 34 ค่า S.D. ของ eng ที่ความแม่นยำ 25 เมตร 102

ตารางที่ 35 ค่า S.D. ของ eng ที่ความแม่นยำ 60 เมตร 102



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

รูปที่ 1 การเห็นดาวเทียม 1 ดวง..... 6

รูปที่ 2 การเห็นดาวเทียม 2 ดวง..... 7

รูปที่ 3 การเห็นดาวเทียม 3 ดวง..... 7

รูปที่ 4 เว็บไซต์ Tomnod..... 10

รูปที่ 5 Signal Coverage Map จาก OpenSignal 11

รูปที่ 6 Cell Tower Map จาก OpenSignal 11

รูปที่ 7 ฮีตแมประดับท้องถิ่น..... 12

รูปที่ 8 ฮีตแมประดับโกลบอล 13

รูปที่ 9 POI (Point Of Interest) จาก LifeMap..... 14

รูปที่ 10 ระบบ iSPOTS ในการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์..... 14

รูปที่ 11 พื้นที่การใช้งานสัญญาณไวไฟจาก iSPOTS..... 15

รูปที่ 12 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของ My Tracks..... 15

รูปที่ 13 ระบบรวม ไวไฟ-จีพีเอส ที่ทำการส่งข้อมูลไปยัง data centre..... 16

รูปที่ 14 โหนด B รับสัญญาณตำแหน่งจากโหนด A..... 17

รูปที่ 15 สถาปัตยกรรมของ Airplace Positioning System 18

รูปที่ 16 Indoor/Outdoor Location System 18

รูปที่ 17 LocPris Framework..... 19

รูปที่ 18 Undirected weighted graph ของเครือข่าย eduroam..... 20

รูปที่ 19 WiFi Coverage Map จาก SkyHook 21

รูปที่ 20 การระบุตำแหน่งจุดเชื่อมต่อไวไฟผ่านเว็บไซต์ SkyHook..... 22

รูปที่ 21 หน้าฟังก์ชันต่างๆ ของ OpenSignal..... 23

รูปที่ 22 การค้นหาไวไฟแสดงบนแผนที่ของ OpenSignal 23

รูปที่ 23 Signal coverage map จาก Sensorly 25

รูปที่ 24 WiFi coverage map จาก Sensorly..... 25

รูปที่ 25 หน้าฟังก์ชันต่างๆ ของ Sensorly 25

รูปที่ 26 Sequence Diagram 33

รูปที่ 27 ซอร์สโค้ดรองรับการเปลี่ยนของข้อมูลตาม event ที่เปลี่ยนไป 36

รูปที่ 28 ซอร์สโค้ดรับข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลเครือข่าย..... 36

รูปที่ 29 ซอร์สโค้ดเรียก class WifiManager..... 36

รูปที่ 30 ซอร์สโค้ดเรียก IP address 37

รูปที่ 31 user interface เลือกการแสดงผลพิกัดตำแหน่ง	44
รูปที่ 32 การระบุพิกัดตำแหน่งด้วยจีพีเอสของผู้ทดลองบน Google Maps.....	45
รูปที่ 33 การระบุพิกัดตำแหน่งด้วย location service ที่มีความคลาดเคลื่อนมาก	45
รูปที่ 34 หน้ยืนยันการลบค่าพิกัดตำแหน่งโดยผู้ใช้งาน	46
รูปที่ 35 ระบุพิกัดตำแหน่งด้วยการระบุเองของผู้ใช้งาน	47
รูปที่ 36 ส่วนที่ระบุตำแหน่งระดับห้องจากฐานข้อมูล.....	47
รูปที่ 37 ฮีตแมปแสดงตำแหน่งที่มีการสำรวจด้วยความแม่นยำ 25 เมตร	52
รูปที่ 38 ฮีตแมปแสดงตำแหน่งที่มีการสำรวจด้วยความแม่นยำ 60 เมตร	52
รูปที่ 39 ฮีตแมปแสดงตำแหน่งที่ถูกระบุด้วยตนเอง.....	53
รูปที่ 40 กริดฮีตแมปแสดงตำแหน่งสำรวจที่ความแม่นยำ 25 เมตร	54
รูปที่ 41 กริดฮีตแมปแสดงตำแหน่งสำรวจที่ความแม่นยำ 60 เมตร	54
รูปที่ 42 ตำแหน่งห้องที่สำรวจ	55
รูปที่ 43 แผนที่ความแรงสัญญาณ AIS ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	56
รูปที่ 44 แผนที่ความแรงสัญญาณ AIS ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	57
รูปที่ 45 แผนที่ความแรงสัญญาณ AIS ระดับห้อง	57
รูปที่ 46 แผนที่ความแรงสัญญาณ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	58
รูปที่ 47 แผนที่ความแรงสัญญาณ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	58
รูปที่ 48 แผนที่ความแรงสัญญาณ TH GSM ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	59
รูปที่ 49 แผนที่ความแรงสัญญาณ TH GSM ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	59
รูปที่ 50 แผนที่ความแรงสัญญาณ DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร.....	60
รูปที่ 51 แผนที่ความแรงสัญญาณ DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร.....	60
รูปที่ 52 แผนที่ความแรงสัญญาณ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	61
รูปที่ 53 แผนที่ความแรงสัญญาณ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	61
รูปที่ 54 แผนที่ความแรงสัญญาณ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 25 เมตร.....	63
รูปที่ 55 แผนที่ความแรงสัญญาณ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 60 เมตร.....	64
รูปที่ 56 แผนที่ความแรงสัญญาณ ChulaWiFi ระดับห้อง.....	64
รูปที่ 57 แผนที่ความแรงสัญญาณ NirasNet ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	65
รูปที่ 58 แผนที่ความแรงสัญญาณ NirasNet ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	65
รูปที่ 59 แผนที่ความแรงสัญญาณ NirasNet ระดับห้อง.....	66
รูปที่ 60 แผนที่ความแรงสัญญาณ eng ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	67
รูปที่ 61 แผนที่ความแรงสัญญาณ eng ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	67

รูปที่ 62 แผนที่ความพร้อมใช้งานโมบายล์อินเทอร์เน็ตที่ความแม่นยำ25เมตร.....	69
รูปที่ 63 แผนที่ความพร้อมใช้งานโมบายล์อินเทอร์เน็ตที่ความแม่นยำ60เมตร.....	69
รูปที่ 64 แผนที่ความพร้อมใช้งานโมบายล์อินเทอร์เน็ตระดับห้อง	70
รูปที่ 65 แผนที่ความพร้อมใช้งานไวไฟที่ความแม่นยำ 25 เมตร.....	71
รูปที่ 66 แผนที่ความพร้อมใช้งานไวไฟที่ความแม่นยำ 60 เมตร.....	72
รูปที่ 67 แผนที่ความพร้อมใช้งานไวไฟระดับห้อง	72
รูปที่ 68 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS ที่ความแม่นยำ 25 เมตร.....	74
รูปที่ 69 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS ที่ความแม่นยำ 60 เมตร.....	74
รูปที่ 70 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS ณ ห้องแล็บชั้น20.....	75
รูปที่ 71 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	75
รูปที่ 72 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	76
รูปที่ 73 แผนที่การเชื่อมต่อ TH GSM ที่ความแม่นยำ 25 เมตร.....	76
รูปที่ 74 แผนที่การเชื่อมต่อ TH GSM ที่ความแม่นยำ 60 เมตร.....	77
รูปที่ 75 แผนที่การเชื่อมต่อ DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	77
รูปที่ 76 แผนที่การเชื่อมต่อ DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	78
รูปที่ 77 แผนที่การเชื่อมต่อ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร.....	78
รูปที่ 78 แผนที่การเชื่อมต่อ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร.....	79
รูปที่ 79 แผนที่การเชื่อมต่อของ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	80
รูปที่ 80 แผนที่การเชื่อมต่อของ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	81
รูปที่ 81 แผนที่การเชื่อมต่อ ChulaWiFi ระดับห้อง	81
รูปที่ 82 แผนที่การเชื่อมต่อของ NirasNet ที่ความแม่นยำ 25 เมตร	82
รูปที่ 83 แผนที่การเชื่อมต่อของ NirasNet ที่ความแม่นยำ 60 เมตร	82
รูปที่ 84 แผนที่การเชื่อมต่อ NirasNet ณ ห้องแล็บชั้น20	83
รูปที่ 85 แผนที่การเชื่อมต่อของ eng ที่ความแม่นยำ 25 เมตร.....	83
รูปที่ 86 แผนที่การเชื่อมต่อของ eng ที่ความแม่นยำ 60 เมตร.....	84
รูปที่ 87 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Network Signal Strength ของโมบายล์อินเทอร์เน็ต	85
รูปที่ 88 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Network Signal Strength ของไวไฟ.....	85
รูปที่ 89 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Network Availability	86
รูปที่ 90 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Connection Preference ของโมบายล์อินเทอร์เน็ต.....	87
รูปที่ 91 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Connection Preference ของไวไฟ.....	87
รูปที่ 92 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ AIS ของ grid id 560.....	91

รูปที่ 93 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ AIS ระดับห้อง.....	92
รูปที่ 94 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ AIS 3G ของ grid id 525 และ 526	93
รูปที่ 95 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ AIS 3G ของ grid id 98 และ 99.....	94
รูปที่ 96 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ TH GSM ของ grid id 79 และ 116.....	95
รูปที่ 97 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ TH GSM ของ grid id 100.....	96
รูปที่ 98 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ DTAC ของ grid id 100 และ 156	98
รูปที่ 99 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ TH-DTAC ของ grid id 98 และ 100.....	99



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบัน อุปกรณ์ประเภทคอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ (mobile computer) ซึ่งเป็นทั้งอุปกรณ์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา เช่น สมาร์ทโฟน (smartphone) แท็บเล็ตคอมพิวเตอร์ (tablet computer) คอมพิวเตอร์สวมใส่ (wearable computer) รวมไปถึงโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ (notebook computer) มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น และมีแอปพลิเคชันจำนวนมากที่ทำงานแบบออนไลน์ ทำให้ผู้บริโภคเกิดความต้องการที่จะใช้เน็ตเวิร์คได้จากทุกสถานที่ในตลอดเวลา การสื่อสารแบบไร้สาย (wireless communication) ซึ่งรวมถึงการสื่อสารผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ (cellular network) และเครือข่ายไวไฟ (WiFi network) จึงเป็นที่ต้องการมากขึ้นตามไปด้วย และสิ่งที่ผู้ใช้ อุปกรณ์เหล่านี้มักจะต้องการทราบก็คือ ในแต่ละพื้นที่ที่ต้องเดินทางเข้าไปนั้นมีเครือข่ายไร้สายให้ใช้หรือไม่เพียงใด ซึ่งอาจเรียกว่า ความพร้อมใช้งานของเครือข่าย (network availability)

ในประเทศไทยมีผู้ให้บริการโมบายล์อินเทอร์เน็ตบนระบบเซลลูลาร์อยู่หลายราย ซึ่งมีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมเกือบทั่วประเทศ และส่วนใหญ่ยังให้บริการเครือข่ายไวไฟในที่ชุมชนต่างๆ ด้วย นอกจากนี้ ผู้ประกอบธุรกิจและองค์กรต่างๆ จำนวนมาก เช่น โรงแรม มหาวิทยาลัย ฯลฯ ยังติดตั้งเครือข่ายไวไฟของตนเองเพื่อให้บริการแก่บุคลากรและผู้มาติดต่ออีกด้วย ดังนั้น ผู้ที่ต้องการใช้บริการเครือข่ายในพื้นที่ที่เป็นเขตชุมชนจึงมีทางเลือกที่หลากหลายและได้รับบริการที่มีคุณภาพดี ซึ่งต่างจากพื้นที่ที่อยู่นอกเขตชุมชน ซึ่งอาจไม่มีบริการโมบายล์อินเทอร์เน็ตระดับ 3G และมีบริการไวไฟน้อยกว่ามาก

อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ซึ่งถึงแม้ว่าจะอยู่ในบริเวณที่อยู่ใกล้กับเสาสัญญาณเซลลูลาร์ (cell tower) หรือจุดเชื่อมต่อไวไฟ (WiFi access point) และน่าจะมีสัญญาณครอบคลุมไปถึง แต่บางครั้งผู้ใช้บริการก็อาจไม่สามารถเชื่อมต่อเครือข่ายได้ ซึ่งมีสาเหตุที่เป็นไปได้หลายประการ เช่น ผู้ใช้บริการอยู่ในจุดที่สัญญาณอ่อน (weak signal) เครือข่ายคับคั่ง (network busy) พิสูจน์ตัวตนไม่สำเร็จ (authentication fail) เป็นต้น

ดังนั้นความพร้อมใช้งานของเครือข่ายจึงหมายถึงความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะสามารถเชื่อมต่อและรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายใดเครือข่ายหนึ่งได้ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น จำนวนเครือข่ายที่ให้บริการครอบคลุมพื้นที่บริเวณนั้น ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้บริการรับได้ ความคับคั่งของเครือข่ายในพื้นที่และเวลานั้น เป็นต้น ความพร้อมใช้งานของเครือข่ายเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากหากการติดต่อสื่อสารติดขัดหรือไม่ต่อเนื่องก็อาจจะก่อให้เกิดปัญหาและผลกระทบตามมาได้ เช่น เกิดความเสียหายทางธุรกิจ ไม่สามารถติดต่อขอความช่วยเหลือเมื่อมีเหตุฉุกเฉิน การทำงานขาดประสิทธิภาพ ขาดการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร ฯลฯ ผู้ให้บริการเองก็จะขาดความน่าเชื่อถือ เสียลูกค้า และอาจต้องชดใช้ความเสียหาย ดังกรณีที่เคยเกิดขึ้นกับบริษัทผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่รายหนึ่งที่ไม่สามารถใช้งานในบางพื้นที่อยู่หลายครั้ง [1]

โดยทั่วไป ความพร้อมใช้งานเครือข่ายมักแสดงในลักษณะของแผนที่พื้นที่ให้บริการซึ่งได้มาจากการคำนวณโดยใช้ตำแหน่งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ (cell tower หรือ WiFi access point) และรัศมีที่สามารถรับส่งสัญญาณได้ แผนที่ที่ได้จึงมีความแม่นยำน้อย แผนที่ที่ได้จากการสำรวจความแรงสัญญาณที่รับได้ในพื้นที่จริงมีความแม่นยำสูงกว่า อย่างไรก็ตาม การสำรวจคุณภาพสัญญาณโดยทั่วไปต้องใช้อุปกรณ์สำหรับวัดสัญญาณโดยเฉพาะ และใช้บุคลากรเดินหรือขับรถสำรวจ ซึ่งใช้เวลานาน โดยเฉพาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ และเสียค่าใช้จ่ายสูงในการดำเนินการ

ในปัจจุบันสมาร์ตโฟนก็มีความสามารถที่จะทำงานเป็นอุปกรณ์วัดสัญญาณเครือข่าย และยังสามารถระบุพิกัดตำแหน่งได้ด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า หากเราสามารถเก็บข้อมูลสัญญาณโดยใช้สมาร์ตโฟนที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ในลักษณะของการใช้พลังมวลชน หรือ คราวด์ซอร์ซิง (Crowdsourcing) ก็จะสามารถสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่ายโดยผู้ที่ใช้งานจริง และเป็นการลดค่าใช้จ่ายและเวลา แม้ว่าแนวคิดเรื่องการใช้ Crowdsourcing เพื่อเก็บข้อมูลเครือข่ายนี้จะไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่วิธีการและระบบที่มีการใช้งานกันอยู่ยังมีปัญหาอยู่หลายประเด็น ตัวอย่างเช่น

- ผลลัพธ์ที่ได้มักอยู่ในรูปของแผนที่สัญญาณ (Signal Map) ซึ่งแสดงบริเวณที่รับส่งสัญญาณได้หรืออาจแสดงระดับความแรงของสัญญาณด้วย แต่ความพร้อมใช้งานควรมีความหมายมากไปกว่าระดับความแรงของสัญญาณ
- การเก็บข้อมูลโดยวิธี Crowdsourcing มักส่งข้อมูลจากสมาร์ตโฟนไปยังเซิร์ฟเวอร์ทันที แสดงว่ามีการเชื่อมต่อเครือข่ายได้ Signal Map ที่ได้จึงแสดงข้อมูลสำหรับพื้นที่ที่สามารถเชื่อมต่อเครือข่ายได้เท่านั้น แต่ไม่ได้ให้ข้อมูลสำหรับพื้นที่ซึ่งผู้ใช้เข้าไปอยู่ในบริเวณนั้นและต้องการเชื่อมต่อเครือข่ายแต่ไม่สามารถเชื่อมต่อได้
- การเก็บข้อมูลต้องมีการระบุตำแหน่ง ซึ่งมักใช้เทคนิค triangulation โดยอ้างอิงตำแหน่งของดาวเทียมหรือเสาสัญญาณเซลล์ลูลาร์ที่รับส่งสัญญาณได้ จึงมักมีปัญหาเมื่ออยู่ในอาคาร
- Signal map ที่มีอยู่มีความละเอียดต่ำ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบสร้างแผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟจากการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานเครือข่ายโดยใช้สมาร์ตโฟนจำนวนมากในลักษณะของการใช้พลังมวลชน (Crowdsourcing) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร หรือแม้ในบริเวณที่ไม่สามารถทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยมีการคำนวณตัวชี้วัดความพร้อมใช้งานของเครือข่ายในแต่ละพื้นที่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในฐานะผู้ใช้บริการเครือข่าย มีดังนี้

- เครื่องมือสามารถส่งข้อมูลปัญหาให้กับผู้ให้บริการสัญญาณเพื่อที่จะได้ทำการแก้ไขต่อไป
- แผนที่เป็นตัวช่วยที่จะให้ผู้ใช้สามารถทราบว่ามีบริเวณใดที่มีความพร้อมใช้งานของเครือข่ายที่ดี เพื่อประกอบการตัดสินใจ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในฐานะผู้ให้บริการเครือข่าย มีดังนี้

- ทำให้ทราบข้อมูลบริเวณที่มีความพร้อมใช้งานที่ไม่ดี เพื่อที่จะนำไปปรับปรุง แก้ไข สัญญาณให้ดีขึ้น และทำให้ทราบได้ว่าพื้นที่ใดที่มีความต้องการในการใช้สัญญาณจาก ผู้ใช้งาน เพื่อที่ผู้ให้บริการจะได้ทำการเพิ่มเครือข่ายให้ครอบคลุมบริเวณการใช้งานตาม ความต้องการของผู้ใช้
- ช่วยลดต้นทุน และประหยัดเวลาในการสำรวจ เนื่องจากใช้เทคนิคการวัดซอร์สซิงในการ ได้มาซึ่งข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบสำหรับสร้างแผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของเครือข่ายไร้สายแบบโมบายล์ อินเทอร์เน็ตและไวไฟโดยอาศัยการสำรวจข้อมูลสัญญาณด้วยเทคนิคการวัดซอร์สซิงและสมาร์ตโฟน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- รองรับการสำรวจความพร้อมใช้งานของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟด้วยสมาร์ต โฟนระบบแอนดรอยด์ (Android) โดยไม่พิจารณา systematic errors
- ใช้เทคนิคการวัดซอร์สซิงในการสำรวจ
- สามารถเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณเครือข่ายต่างๆ ที่รับได้ และระบุตำแหน่งที่เก็บข้อมูล
- สามารถทำการสำรวจได้ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร
- สามารถเก็บข้อมูลทั้งในขณะออนไลน์และออฟไลน์
- ทำการทดลองภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการทดลองกับพื้นที่ภายนอกอาคาร
- ทำการทดลองภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการทดลองกับ พื้นที่ภายในอาคาร

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ข้อมูลที่แม่นยำที่สามารถแสดงถึงสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟ ณ ตำแหน่งต่างๆ จากการทำการวัดซอร์สซิง
- ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการแสดงคุณภาพของเครือข่ายตามบริเวณต่างๆ เพื่อพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สายขององค์กรให้ดีขึ้นต่อไป

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย

- ศึกษาข้อมูลระบบสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ต, ไวไฟ, และจีพีเอส
- ศึกษาขั้นตอนวิธีในการรับค่าสัญญาณต่างๆ ในระบบแอนดรอยด์
- ออกแบบระบบคร่าวๆ ซึ่งและกระบวนการทำงาน
- ออกแบบและพัฒนาโมบายล์แอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล
- ออกแบบและพัฒนาระบบแสดงผลข้อมูลและแผนที่
- ทดสอบการใช้งาน
- สํารวจเก็บข้อมูลในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล
- สรุปผลการวิจัย และตีพิมพ์ผลการวิจัย
- เรียบเรียงและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.6 ผลงานตีพิมพ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการ ดังนี้

- Thaphat Mupattarot and Veera Muangsin , Surveying and Mapping Network Availability using Crowdsourcing , The 10th National Conference on Computing and Information Technology, Angsana Laguna Phuket, Phuket, Thailand, May 8-9, 2014

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความแรงของสัญญาณ

ความแรงของสัญญาณ (signal strength) ที่อุปกรณ์สื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือ ได้รับจากเสาสัญญาณเซลลูลาร์หรือจุดเชื่อมต่อไวไฟเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญถึงความสามารถที่จะเชื่อมต่อกับเครือข่าย การวัดค่าความแรงของสัญญาณมีหลายแบบ ที่นิยมใช้กันได้แก่ RSSI, RSCP และ ASU

Received Signal Strength Indicator (RSSI) หรือ ตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ ที่ได้รับความนิยมใช้ในเครือข่ายไวไฟเป็นค่าที่แสดงกำลังของสัญญาณวิทยุที่อุปกรณ์สื่อสารวัดได้ หน่วยพื้นฐานของกำลังสัญญาณคือ milliwatt แต่ RSSI มักถูกแสดงด้วยหน่วย dBm (decibel-milliwatt) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังในหน่วย dBm (P_{dBm}) และกำลังในหน่วย milliwatt (P_{mW}) ดังนี้

$$P_{dBm} = 10 \log_{10} P_{mW}$$

$$P_{mW} = 10^{P_{dBm}/10}$$

ตัวอย่างเช่น -60dBm เท่ากับ 10^{-6} mW หรือ 1 nanowatt ดังนั้น ถ้าค่า RSSI ในหน่วย dBm เป็นค่าติดลบมาก แสดงว่าความแรงสัญญาณน้อย และเนื่องจาก dBm มีสเกลแบบล็อกการิทึมฐานสิบ (base-10 logarithmic scale) ความแรงสัญญาณที่แตกต่างกัน 10 dBm จึงเท่ากับแตกต่างกัน 10 เท่า ถ้าแตกต่างกัน 20 dBm จะเท่ากับต่างกัน 100 เท่า เป็นต้น โดยทั่วไป ความแรงสัญญาณจะอยู่ในช่วง -60 ถึง -120 dBm ทั้งนี้ กำลังของสัญญาณวิทยุที่ได้รับแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง และยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ภูมิประเทศ และสิ่งกีดขวาง เป็นต้น [2]

นอกจาก RSSI แล้ว ยังมีการวัดความแรงสัญญาณแบบอื่นอีก เช่น Received Signal Code Power (RSCP) เป็นการนำเอา RSSI ซึ่งวัดกำลังสัญญาณวิทยุที่ได้รับเพียงอย่างเดียวมาผนวกกับความแรงของสัญญาณรบกวน และ Arbitrary Strength Unit (ASU) เป็นค่าที่แปลงมาจาก RSSI หรือ RSCP

2.1.2 เทคโนโลยีไร้สาย

เทคโนโลยีไร้สาย (Wireless Technology) [3] เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคม โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวกลางในการสื่อสาร ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจ wireless technology ต่างๆ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของข้อมูล และใช้เป็นข้อมูลแสดงสัญญาณเครือข่าย ดังนี้

2.1.2.1 จีพีเอส

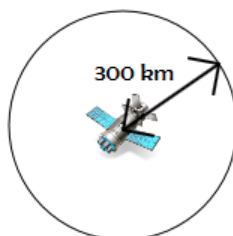
จีพีเอส หรือ GPS (Global Positioning System) เป็นระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก ที่ได้รับการพัฒนาและควบคุมโดย กระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา (DOD: U.S. Department Of Defense) ซึ่งประกอบด้วย ดาวเทียม 24 ดวง แบ่งเป็น 6 รอบวงโคจร ทำมุมเอียง 55 องศากับเส้นศูนย์สูตร ทำให้แต่ละวงโคจรมีดาวเทียม 4 ดวง [4]

ดาวเทียมจีพีเอสแต่ละดวงจะกระจายสัญญาณ 2 ประเภท อย่างต่อเนื่อง ได้แก่ สัญญาณ Standard Positioning Service (SPS) ซึ่งใช้สำหรับบุคคลทั่วไป และสัญญาณ Precise Positioning Service (PPS) ซึ่งใช้สำหรับทางทหาร

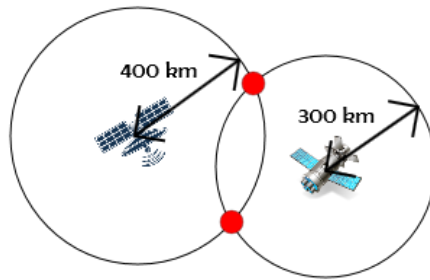
โดยสัญญาณ SPS ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรของดาวเทียม 2 ชนิด คือ ข้อมูล Almanac และข้อมูล Ephemeris ซึ่งข้อมูล Almanac เป็นข้อมูลที่บอกถึงสภาพของดาวเทียม และตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมทุกดวงในระบบอย่างคร่าวๆ โดยเครื่องรับสัญญาณจะรับข้อมูล Almanac จากดาวเทียมดวงใดๆที่สามารถรับสัญญาณได้ แล้วใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อการเลือกรับดาวเทียมที่จะสามารถใช้ในการคำนวณพิกัดได้ ส่วนข้อมูล Ephemeris ประกอบด้วยข้อมูลที่แม่นยำโดยละเอียดของวงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงที่ทำการรับสัญญาณได้

นอกจากนี้ สัญญาณ SPS จะส่งรหัส (Code) ลงมา เพื่อให้เครื่องรับสัญญาณสามารถคำนวณเวลาที่สัญญาณเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับสัญญาณได้ เมื่อเครื่องทราบเวลาที่เดินทางและตำแหน่งดาวเทียม (Ephemeris) ก็จะสามารถคำนวณหาระยะห่าง (Pseudorange) ระหว่างดาวเทียมแต่ละดวงกับเครื่องรับสัญญาณเพื่อแจ้งพิกัดปัจจุบัน

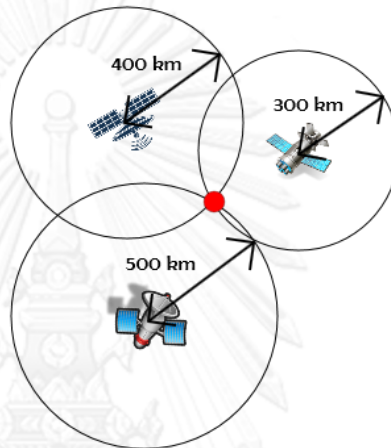
เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวงที่สามารถเห็นตำแหน่งบนพื้นโลกที่ต้องการทราบพิกัดนั้นอย่างน้อย 4 ดวง แต่ทั้งนี้เครื่องรับก็ยังสามารถคำนวณจากการรับสัญญาณจากดาวเทียมเพียง 3 ดวงได้ แต่คำนวณได้เพียง 2 มิติ คือจะไม่รู้ข้อมูลความสูง แต่ผู้ใช้ต้องป้อนค่าความสูงที่ทราบให้กับเครื่อง [5]



รูปที่ 1 การเห็นดาวเทียม 1 ดวง



รูปที่ 2 การเห็นดาวเทียม 2 ดวง



รูปที่ 3 การเห็นดาวเทียม 3 ดวง

ตัวอย่างเช่น ถ้าเครื่องรับสัญญาณสามารถเห็นดาวเทียมเพียง 1 ดวง ก็จะไม่สามารถสร้างพิกัดได้ ดังรูปที่ 1 แต่ถ้าเครื่องรับสัญญาณสามารถเห็นดาวเทียมได้ 2 ดวง ก็จะทำให้ได้พิกัด 2 จุดที่เกิดจากการตัดกันของสัญญาณจากดาวเทียม 2 ดวง ดังรูปที่ 2 ซึ่งก็ยังไม่สามารถระบุตำแหน่งที่ชัดเจนได้ แต่ถ้าเครื่องรับสัญญาณสามารถเห็นดาวเทียมได้ 3 ดวง ก็จะสามารถหาพิกัดที่เกิดจากจุดตัดของดาวเทียมทั้ง 3 ดวงนี้ได้ ดังรูปที่ 3 โดยตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวงมีผลต่อความแม่นยำในการแสดงพิกัด กล่าวคือ ยิ่งมีจำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้มาก ก็ยิ่งให้ความแม่นยำมากขึ้น

ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความแม่นยำในการแสดงพิกัด ได้แก่ ความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศ, การบดบังจากกระจก, ละอองฝน, ต้นไม้ใหญ่ เป็นต้น เนื่องจากคลื่นเมื่อตกกระทบกับวัตถุต่างๆ จะเกิดการหักเห ทำให้ได้สัญญาณที่อ่อนลง เหนือสิ่งอื่นใด ประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณ ว่ามีความไวในการรับสัญญาณมากน้อยเพียงใด ก็มีผลต่อความแม่นยำด้วย

2.1.2.2 เอจีพีเอส

เอจีพีเอส (Assisted GPS) เป็นระบบระบุตำแหน่งที่ช่วยให้การทำงานของจีพีเอสเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยระบบนี้จะใช้กับ

โทรศัพท์เคลื่อนที่เท่านั้น เพราะการทำงานของระบบเป็นการรับค่าจีพีเอสที่ถูกเก็บบันทึกไว้ในเซิร์ฟเวอร์ (server) ของเสาสัญญาณเซลลูลาร์เนื่องจากมี GPS base station ในการคอยรับข้อมูลสัญญาณจีพีเอสจากดาวเทียมโดยตรง และมี assistance server ช่วยในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับมา ทำให้สามารถทำการส่งพิกัดตำแหน่งไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ในรัศมีการทำงานของเสาสัญญาณเซลลูลาร์ผ่าน network service ได้ ดังนั้นจึงมีข้อจำกัด คือ สามารถให้บริการได้ในเขตที่มีสัญญาณโทรศัพท์ หรือมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเท่านั้น [6]

2.1.2.3 เทคโนโลยีการรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ยุค (Generation) หลักๆได้แก่ 1G, 2G, 3G, และ 4G ซึ่งในแต่ละยุคนี้มีความต่างกันที่การพัฒนาความเร็วในการโอนถ่ายข้อมูลให้มากขึ้น โดยสามารถแยกเทคโนโลยีตามยุคได้ดังนี้

1G – ใช้ระบบ Analog ซึ่งสามารถโทรออกรับสายได้อย่างเดียว ไม่สามารถส่งข้อมูลในรูปแบบอื่นได้

2G – ตั้งแต่ 2G เป็นต้นไปเป็นยุคที่มีการสื่อสารแบบดิจิทัล โดยสามารถส่งข้อมูล (data) ในรูปแบบอื่นๆ ได้ เทคโนโลยีในยุคนี้ เช่น TDMA (Time Division Multiple Access), GSM (Global System for Mobile Communication), GPRS (General Packet Radio Services), EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) เป็นต้น

3G – เป็นยุคที่พัฒนาความเร็วในการเชื่อมต่อและรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง และรองรับระบบ multimedia อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เทคโนโลยีในยุคนี้ เช่น UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) , HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access), HSPA (High-Speed Packet Access), HSPA+ เป็นต้น

4G – เป็นยุคที่เน้นการสื่อสารไร้สายที่ระดับความเร็วสูงถึง 100 Mbps ต่อวินาที และมีความยืดหยุ่นกว่าระบบ 3G เทคโนโลยีในยุคนี้ คือ LTE (Long Term Evolution)

การรับสัญญาณให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ช่วงเวลาในการใช้งาน, ความหนาแน่นของผู้ใช้งาน ณ เวลานั้น, จำนวนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย, ปริมาณ Bandwidth ที่มีการรองรับการใช้งานของแต่ละเสา

สัญญาณ, ความสามารถในการรับความแรงของสัญญาณในโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละรุ่นแตกต่างกัน เป็นต้น

นอกจากนี้ ในปัจจุบันเทคโนโลยีดังกล่าวนอกจากจะถูกใช้เพื่อสื่อสารกันแล้ว ยังสามารถใช้ข้อมูลของตำแหน่งเสาสัญญาณเซลลูลาร์เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งพิกัดของผู้ใช้งานสัญญาณได้อีกด้วย

2.1.2.4 ไวไฟ

ไวไฟ (WiFi) เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์โดยไร้สายสัญญาณการเชื่อมต่อ แต่ใช้คลื่นวิทยุเป็นช่องทางการสื่อสารแทนบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยไวไฟถูกกำหนดอยู่ภายใต้มาตรฐานการสื่อสาร IEEE802.11 ประสิทธิภาพของสัญญาณไวไฟจะขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมด้วย โดยปกติจะสามารถส่งสัญญาณออกไปได้ไกลจากเสาสัญญาณ 35 เมตร สำหรับภายในอาคาร และ 100 เมตร สำหรับภายนอกอาคาร [7]

ทั้งนี้ เทคโนโลยีดังกล่าวนอกจากจะถูกใช้เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันแล้ว ยังสามารถใช้ข้อมูลของตำแหน่งจุดเชื่อมต่อไวไฟเพื่อใช้ในการหาตำแหน่งพิกัดของผู้ใช้งานสัญญาณได้อีกด้วย หรือที่เรียกกันว่า location service เช่นเดียวกับการใช้ค่าตำแหน่งของเสาสัญญาณเซลลูลาร์โดยในปัจจุบันมีหลาย framework ที่สร้าง location service ของตนขึ้นมาให้บุคคลทั่วไปได้ใช้บริการ เช่น Google, Microsoft [8], Mozilla [9] เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้ให้ผู้ทดลองเลือกทำการระบุตำแหน่งของตน โดยแบ่งเป็นการระบุจาก location service ซึ่งได้แก่ จีพีเอส, เอจีพีเอส, ตำแหน่งเสาสัญญาณเซลลูลาร์, และตำแหน่งจุดเชื่อมต่อไวไฟที่ได้จากการที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในการทดลองทำการรับค่าสัญญาณเหล่านี้ และการระบุตำแหน่งด้วยตนเองจากแผนที่ โดยมีข้อมูลแสดงตำแหน่งท้องถิ่นเบื้องต้นให้เลือกกำหนดได้ และได้ใช้ข้อมูลของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่และไวไฟในส่วนของกรเก็บข้อมูลเพื่อประมวลผลแสดงเป็นแผนที่

2.1.3 คราวด์ซอร์สซิง

การสำรวจสัญญาณของเครือข่ายต่างๆในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคคราวด์ซอร์สซิง (Crowdsourcing) หรือการใช้พลังมวลชน ซึ่งเป็นการกระจายงานหรือปัญหาให้คนจำนวนมากช่วยกันทำงานหรือแก้ปัญหา ซึ่งอาจจะเป็นกลุ่มที่อยู่ภายนอกองค์กรของงานที่ทำก็ได้ นั้นหมายความว่าไม่เน้นที่ตัวบุคคล แต่เน้นปริมาณจำนวนผู้ที่ทำงานมากกว่า เช่น การช่วยกันรายงานสภาพจราจรไปยังสถานีวิทยุ เป็นต้น

ประโยชน์จากการใช้เทคนิคcrowdซอร์สซึ่งทำให้ได้คำตอบที่หลากหลาย ช่วยลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการสำรวจ ซึ่งในบางงานการใช้crowdซอร์สซึ่งกับผู้ที่เป็นลูกค้า, ผู้ใช้งาน (end user), หรือผู้บริภค ก็สามารถสะท้อนถึงความต้องการในผลิตภัณฑ์หรือผลงาน ที่ผู้ผลิตหรือนักวิจัยสามารถนำข้อมูลความต้องการนี้ไปปรับปรุงชิ้นงานของตนได้

ปัจจุบันการใช้อินเทอร์เน็ตทำให้สามารถใช้เทคนิคcrowdซอร์สซึ่งได้สะดวกและเข้าถึงผู้คนจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น โครงการ Read for the Blind [10] ที่เปิดโอกาสให้ทุกคนร่วมกันสร้างหนังสือเสียงผ่านแอปพลิเคชันเพื่อคนตาบอด, การแข่งขัน Test Bug Battle ที่ให้ผู้ทดสอบจาก 60 กว่าประเทศค้นหาจุดบกพร่องจาก Web Browsers [11], แคมเปญที่ให้ทุกคนช่วยกันค้นหาตำแหน่งเครื่องบิน MH370 ผ่านภาพถ่ายดาวเทียมบนเว็บไซต์ Tomnod [12] ดังแสดงในรูปที่ 4 เป็นต้น



รูปที่ 4 เว็บไซต์ Tomnod

นอกจากนี้ยังมีหลายองค์กรที่สร้างcrowdซอร์สซึ่งแพลตฟอร์มขึ้นมาให้เลือกใช้ตามประเภทงานที่สนใจ เช่น Ushahidi [13] เป็นโอเพนซอร์สที่เน้นข้อมูลเกี่ยวกับภาวะวิกฤต, kaggle [14] เน้นการได้ข้อมูลจากนักวิทยาศาสตร์, Clickworker [15] เป็น freelancer ที่เราสามารถรับบริการcrowdซอร์สซึ่งได้, Amazon Mechanical Turk [16] เป็นแพลตฟอร์มที่ให้เงินเป็นค่าตอบแทนแก่ผู้เข้าร่วม เป็นต้น

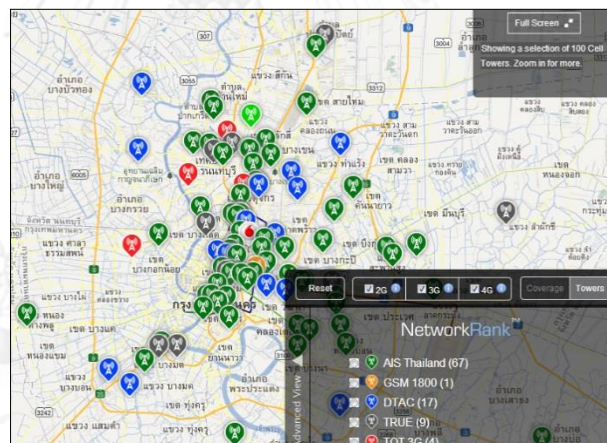
2.1.4 แผนที่ข้อมูล

แผนที่ข้อมูล (Coverage Map) เป็นการแสดงพื้นที่ของสัญญาณเครือข่ายต่างๆ โดยงานวิจัยนี้ได้มีการนำแผนที่เข้ามาใช้ ตั้งแต่การแสดงตำแหน่งของผู้ใช้งาน ไปจนถึงการแสดงผลที่ได้จากการทดลอง เพื่อแสดงผลสัญญาณของเครือข่ายที่สามารถรับได้ ณ บริเวณนั้นๆ ในปัจจุบันมีหลายแอปพลิเคชันที่ทำการแสดงแผนที่ข้อมูลของสัญญาณเครือข่าย เช่น OpenSignal [17], Sensorly [18], Skyhook [19] เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเก็บข้อมูลด้วยcrowdซอร์สซึ่งแล้วนำมาเก็บเข้าฐานข้อมูลของตน ซึ่งนอกจากจะแสดงข้อมูลของ

สัญญาณต่างๆ ดังตัวอย่างรูปที่ 5 แล้ว ยังได้แสดงตำแหน่งเสาสัญญาณเซลลูลาร์และจุดเชื่อมต่อไวไฟดังตัวอย่างรูปที่ 6 ด้วย



รูปที่ 5 Signal Coverage Map จาก OpenSignal



รูปที่ 6 Cell Tower Map จาก OpenSignal

ตัวอย่างในกรณีแอปพลิเคชันที่แสดงตำแหน่งของเสาสัญญาณบนแผนที่ Google โดยใช้คร่าวด์ซอร์สซึ่งในการเก็บข้อมูลมานั้น สามารถทำได้โดยการรับค่าต่าง ๆ ของระบบเครือข่ายมือถือที่ใช้อยู่ นำมาระบุตำแหน่ง ได้แก่ Cell id, LAC (Location Area Code), MCC (Mobile Country Code), และ MNC (Mobile Network Code) จากผู้ใช้งาน นำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ Google มีอยู่ แต่ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนก็จะมีมากกว่าการรับค่าพิกัดจากจีพีเอสโดยตรง

ในส่วนของการเก็บตำแหน่งจุดเชื่อมต่อไวไฟจะมีการเรียกเก็บด้วยเทคนิคคร่าวด์ซอร์สซึ่งเช่นเดียวกัน โดยจะขอข้อมูลจากผู้ใช้งาน อันได้แก่ พิกัดละติจูด/ลองจิจูด, SSID (Service Set Identifier), BSSID (Basic Service Set Identifier), WEP (Wired Equivalent

Privacy), Signal Strength เป็นต้น เข้าฐานข้อมูลของตนเอง แล้วทำการสร้างแผนที่ตำแหน่งจากฐานข้อมูลของตน

ซึ่งการที่จะเจาะจงตำแหน่งของเสาสัญญาณ หรือ access point นั้น ได้ใช้เทคนิค Triangulation กับข้อมูลที่ได้รับมาที่อยู่โดยรอบและสามารถเห็นเสาสัญญาณ หรือ access point นั้นได้ นั้นหมายความว่า ถ้ามีข้อมูลที่ได้รับจากผู้ใช้งานมากเพียงพอ ระบบก็จะสามารถคำนวณระบุตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ แต่ถ้าได้ข้อมูลที่จะใช้ในการอ้างอิงน้อย ระบบก็อาจจะคำนวณตำแหน่งคลาดเคลื่อนได้

2.1.5 ฮีตแมป

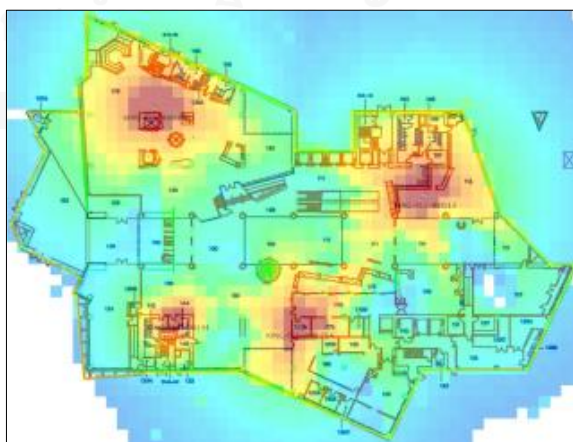
ฮีตแมป (Heat Map) เป็นการแสดงข้อมูลโดยใช้การลำดับสีในการนำเสนอค่าของข้อมูลในรูปแบบภาพ 2 มิติ ดังตัวอย่างรูปที่ 7-8 ซึ่งเป็นเทคนิคการแสดงผลอีกรูปแบบหนึ่ง แทนการแสดงผลแบบชาร์ตและแบบกราฟ [20] เนื่องจากในงานวิจัยนี้แสดงผลตามการระบุตำแหน่งในแผนที่ ดังนั้นจึงแสดงผลในรูปแบบฮีตแมปซึ่งนิยมใช้ใน 2 กรณี คือ

- **แสดงความหนาแน่นของข้อมูล**

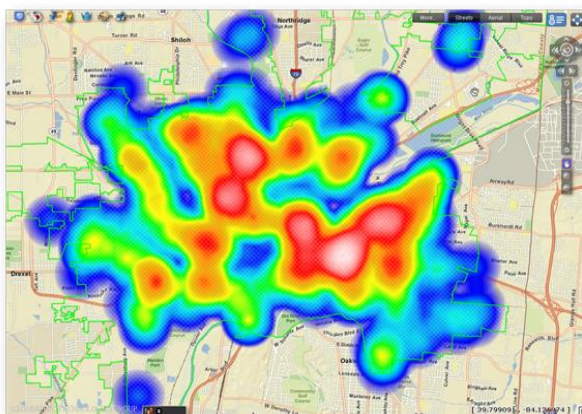
ฮีตแมปในรูปแบบที่แสดงถึงความหนาแน่นของข้อมูลในภาพรวม ไม่สามารถที่จะระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขได้ โดยในงานวิจัยนี้ใช้การแสดงผลที่กรณีนี้เพื่อแสดงถึงความหนาแน่นของบริเวณที่มีการสำรวจข้อมูล

- **แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูล**

ฮีตแมปในรูปแบบที่มีการกำหนดขอบเขตของพื้นที่ที่ชัดเจนเพื่อสามารถหาค่าเฉลี่ยในบริเวณนั้นได้



รูปที่ 7 ฮีตแมประดับท้องถิ่น



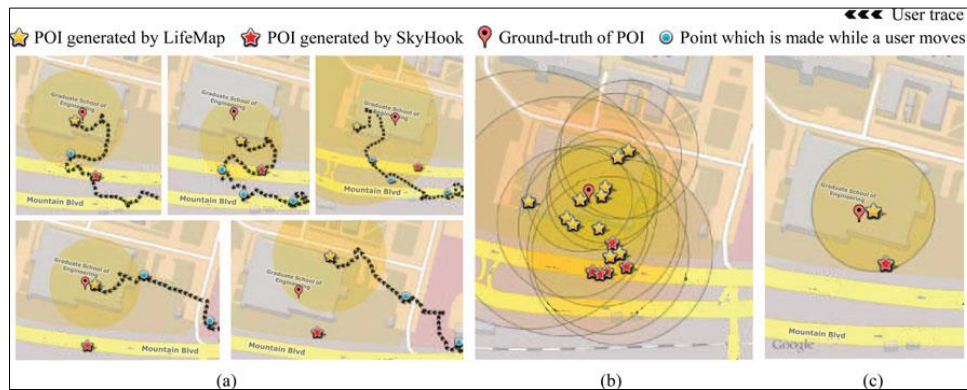
รูปที่ 8 ฮีตแมประดับโกลบอล

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบสัญญาณ อันได้แก่ สัญญาณจีพีเอส, ไวไฟ, และสัญญาณโทรศัพท์มือถือต่างๆ ก็ได้พบว่าได้มีหลายงานที่นำระบบสัญญาณเหล่านี้มาสร้างและประยุกต์เพื่อประโยชน์ต่างๆ โดยสามารถแบ่งตามจุดประสงค์ในการสร้างงานวิจัยได้ดังนี้

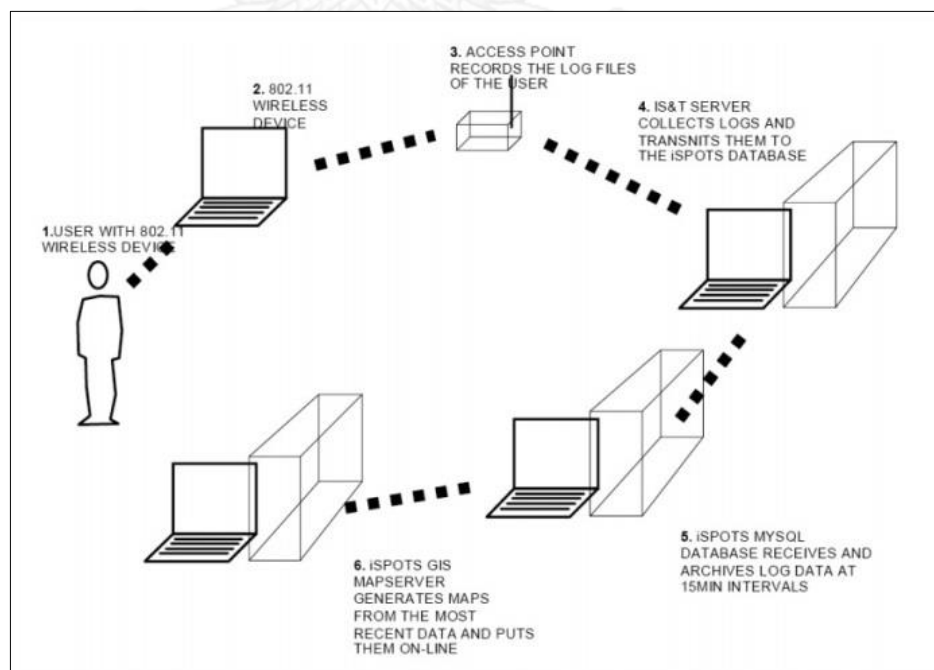
2.2.1 ศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้งาน

มีงานวิจัยที่ทำการสร้างแผนที่เพื่อแสดงพฤติกรรมของผู้ใช้งาน ดังเช่น งานวิจัย [21] ได้สร้าง “LifeMap” ขึ้นเพื่อทำการดูเส้นทางที่ผู้ใช้งานเดินอยู่เป็นประจำในชีวิตประจำวัน ดังรูปที่ 9 โดยนำข้อมูลที่เก็บมาจากจุดเชื่อมต่อไวไฟ, เสาสัญญาณโทรศัพท์, และจีพีเอสโดยสร้างโมบายล์แอปพลิเคชันบนระบบแอนดรอยด์ (Android) เพื่อทำการเก็บข้อมูลแล้วมาสร้างเป็นแผนที่ ซึ่งทำการทดลองโดยให้นักศึกษา 55 คน เดินถือโทรศัพท์ไปตามที่ต่างๆภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งผลที่ได้ออกมาถือว่าแม่นยำระดับหนึ่ง เพราะยังมีข้อที่จะต้องปรับปรุง ได้แก่ ในส่วนของ error bound estimation, direction error เนื่องจากมีสิ่งแวดล้อมกีดกัน เป็นต้น แต่ข้อดีของระบบนี้ที่นักวิจัยได้ให้ความสำคัญเป็นอย่างมากคือ การที่ไม่ใช้ centralized server เพื่อป้องกันการละเมิดความเป็นส่วนตัว โดยในงานนี้มีจุดประสงค์เพื่อประโยชน์อันได้แก่ สามารถนำไปใช้ในด้านการศึกษาผู้สูงอายุได้, ใช้ในการประเมินสถานที่ที่กลุ่มคนนิยมไปเพื่อที่จะได้พัฒนาสถานที่หรือเส้นทางทางการเดินทาง, ใช้ค้นหาตำแหน่งของโทรศัพท์ที่หายได้โดยสังเกตจากเส้นทางที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เป็นต้น



รูปที่ 9 POI (Point Of Interest) จาก LifeMap

ในลักษณะเดียวกันงานวิจัย [22] ก็ได้นำเสนอ “iSPOTS” ที่ได้ใช้ประโยชน์ของการสร้างแผนที่สัญญาณ เพื่อทำการสำรวจพฤติกรรม โดยทำการรวบรวมข้อมูลการใช้งานไวไฟจากผู้ใช้งานดังรูปที่ 10 มาทำเป็นข้อมูลเชิงแผนที่ภายในวิทยาเขตของ MIT เพื่อทำการวิเคราะห์การใช้งาน wireless internet network โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจาก log files ที่ได้จากผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตของสถาบัน โดยจุดประสงค์ของงานคือเพื่อทำความเข้าใจให้มากขึ้นกับรูปแบบการใช้ชีวิตในสังคม MIT ที่เปลี่ยนไปเมื่อมีไวไฟเกิดขึ้น เช่น มีการใช้แล็ปท็อปในการเล่นอินเทอร์เน็ตมากขึ้น, ใช้เวลาในแต่ละวันในวิทยาเขตมากขึ้น เป็นต้น โดยใช้ ArcGIS ในการสร้างแผนที่วิทยาเขตที่แสดงจำนวนผู้ใช้งาน access point แต่ละจุดในทุกๆ 15 นาที ดังรูปที่ 11 แสดงปริมาณผู้ใช้งานสัญญาณไวไฟโดยพื้นที่ที่สว่างแสดงถึงจำนวนมากของผู้ใช้ ในขณะที่พื้นที่สีด่างบอกถึงผู้ใช้ที่ไม่มีการเชื่อมต่อกับ MITnet Network



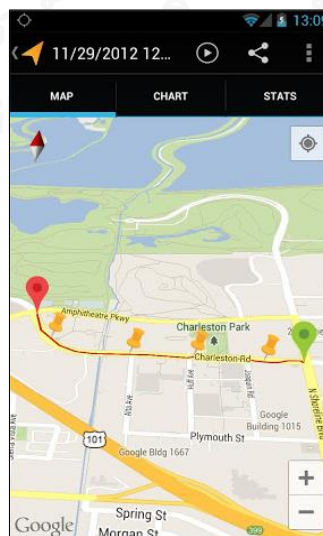
รูปที่ 10 ระบบ iSPOTS ในการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์



รูปที่ 11 พื้นที่การใช้งานสัญญาณไวไฟจาก iSPOTS

2.2.2 ระบุตำแหน่งผู้ใช้งาน

ปัจจุบันโมบายล์แอปพลิเคชันจำนวนมากสร้างมาเพื่อแสดงและบันทึกพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้งาน ดังเช่น RunKeeper – GPS Track Run Walk [23], MyTracks [24] ดังตัวอย่างรูปที่ 12 เป็นต้น ซึ่งสามารถทำการบันทึกการเดินทางของผู้ใช้งานตลอดเส้นทางได้จากการรับพิกัดจีพีเอสมาแสดงแบบเรียลไทม์บนแผนที่ Google

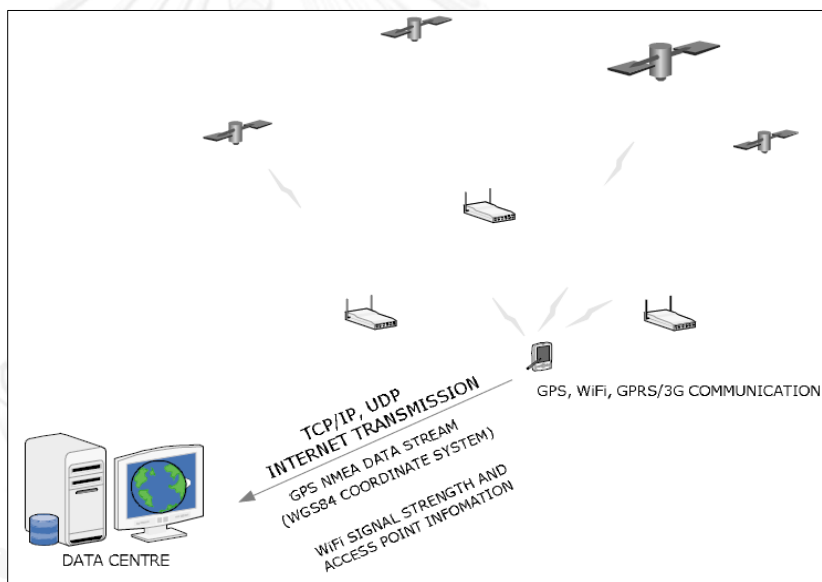


รูปที่ 12 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งของ My Tracks

นอกจากนี้ยังมีหลายงานวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีไร้สายเพื่อสร้างระบบระบุตำแหน่งของผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งงานวิจัยตามเทคโนโลยีไร้สายได้ดังนี้

■ ใช้จีพีเอสร่วมกับไวไฟในการระบุตำแหน่ง

งานวิจัย [25] ได้นำเสนอวิธีในการพัฒนาระบบติดตามรถที่ใช้ในงานโลจิสติกส์ เพื่อให้มีความแม่นยำในการติดตามมากขึ้น โดยเฉพาะในเมืองที่มีตึกสูงหรือต้นไม้ใหญ่บดบังสัญญาณจีพีเอสซึ่งได้ใช้สัญญาณไวไฟที่ติดตั้งอยู่ตามถนนสายหลักต่างๆ เข้ามาช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณดังรูปที่ 13 โดยทำการทดลองในเมืองฮ่องกงที่เต็มไปด้วยจุดเชื่อมต่อไวไฟสาธารณะที่ติดตั้งตามตู้โทรศัพท์และร้านค้าสะดวกซื้อ และจากการที่ได้ข้อมูลตำแหน่งและเวลาของมือถือที่ทำการทดลองนี้ สามารถนำข้อมูลไปหาการไหลของเส้นทางจราจรแบบเรียลไทม์ต่อไปได้ แต่ทั้งนี้วิธีการนี้อาจจะใช้ได้ในสถานที่ที่เต็มไปด้วย access point กระจายอยู่รอบๆ เส้นทางรถเดินทางเท่านั้น



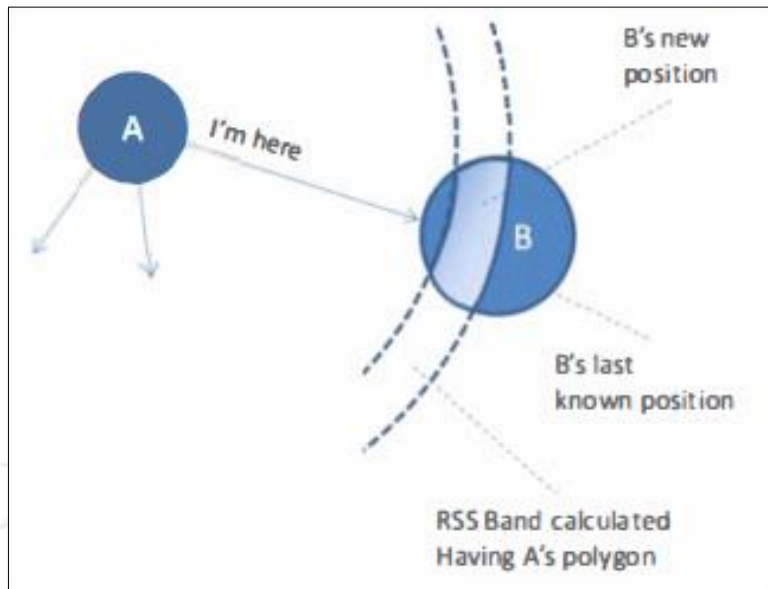
รูปที่ 13 ระบบรวม ไวไฟ-จีพีเอส ที่ทำการส่งข้อมูลไปยัง data centre

■ ใช้ไวไฟระบุตำแหน่ง

มีงานวิจัย [26] และ [27] ที่ได้ใช้ประโยชน์จากสัญญาณไวไฟมาใช้ในการระบุตำแหน่งตัวบุคคล เนื่องจากต้องการที่จะสร้างเครื่องมือแสดงตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพจากอุปกรณ์ใกล้ตัว ดังเช่น สมาร์ทโฟน ซึ่งช่วยในการลดค่าใช้จ่าย แต่ทั้ง 2 งานนี้มีวิธีการของงานที่ต่างกัน ดังนี้

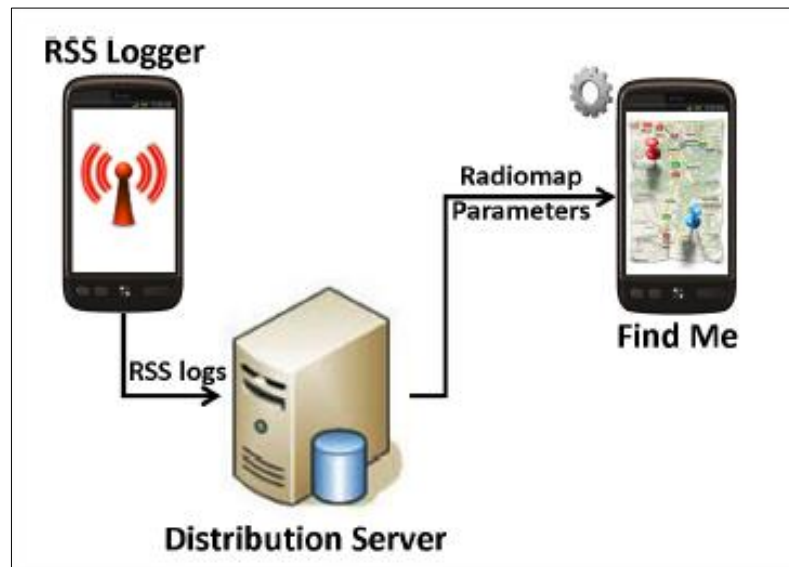
งานวิจัย [26] ได้ใช้วิธีในการให้อุปกรณ์มือถือที่ต้องการทราบตำแหน่ง (โหนด A) ทำการรับการแพร่สัญญาณตำแหน่ง (RSS) ของอุปกรณ์มือถืออีกเครื่อง (โหนด B) ที่มีตำแหน่งที่แน่นอนซึ่งอยู่บริเวณนั้น เพื่อทำการคำนวณตำแหน่งของตน ในขณะที่เดียวกันเมื่อโหนด A รู้ตำแหน่งที่แน่นอนแล้ว ก็

สามารถแพร่สัญญาณค่าตำแหน่งของตนกลับไปยังโหนด B ได้เช่นกัน ดังแสดง
ในรูปที่ 14



รูปที่ 14 โหนด B รับสัญญาณตำแหน่งจากโหนด A

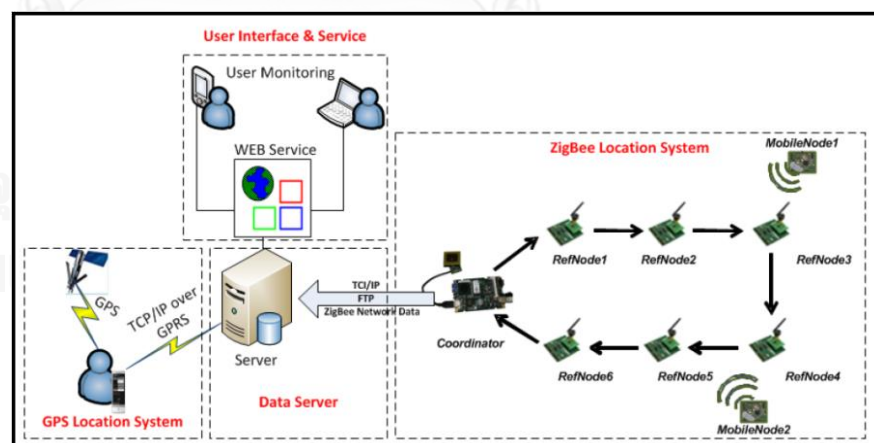
แต่งงานวิจัย [27] ได้สร้างระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยให้มีการสื่อสารกันระหว่าง สมาร์ทโฟนกับ distributed server ดังรูปที่ 15 ซึ่งการทำงานแบ่งเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรกให้ผู้ทดลองทำการระบุตำแหน่งที่ตนอยู่จาก radiomap ที่ได้รับจากเซิร์ฟเวอร์แล้วเลือกจำนวนของสัญญาณที่จะทำการเก็บค่าในตำแหน่งพิกัดนั้นๆ ซึ่งในส่วนนี้ถือว่าการนำเทคนิคคราดซ์อร์สซึ่งมาใช้ เมื่อทำการบันทึกค่าสัญญาณเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บในเซิร์ฟเวอร์ และผู้ใช้งานในส่วนที่สองก็จะสามารถใช้ระบบในการหาตำแหน่งของตนได้จากการใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในเซิร์ฟเวอร์ร่วมกับสามารถเลือกอัลกอริทึมเพื่อคำนวณหาตำแหน่งได้ด้วยตนเอง เพราะผู้วิจัยต้องการพิสูจน์ประสิทธิภาพของระบบและอัลกอริทึม นอกจากนี้ค่า RSS ที่ถูกเก็บไว้ในอุปกรณ์มือถือถือเป็น log files จะถูกส่งกลับไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์ เพื่อทำการอัปเดต radiomap ต่อไป



รูปที่ 15 สถาปัตยกรรมของ Airplane Positioning System

- ใช้จีพีเอสร่วมกับ Zigbee ในการระบุตำแหน่ง

งานวิจัย [28] ต่างจากงานวิจัย [26] และ [27] เนื่องจากสามารถหาพิกัดตำแหน่งได้ทั้งภายนอกอาคารและภายในอาคาร โดยใช้สัญญาณจีพีเอสสำหรับภายนอกอาคาร และใช้ระบบ Zigbee สำหรับภายในอาคารดังรูปที่ 16 ซึ่ง Zigbee เป็นอีกเทคโนโลยีไร้สายภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยได้ทำการทดลองบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบแอนดรอยด์ และใช้แผนที่ Google ในการแสดงผลเชิงแผนที่



รูปที่ 16 Indoor/Outdoor Location System

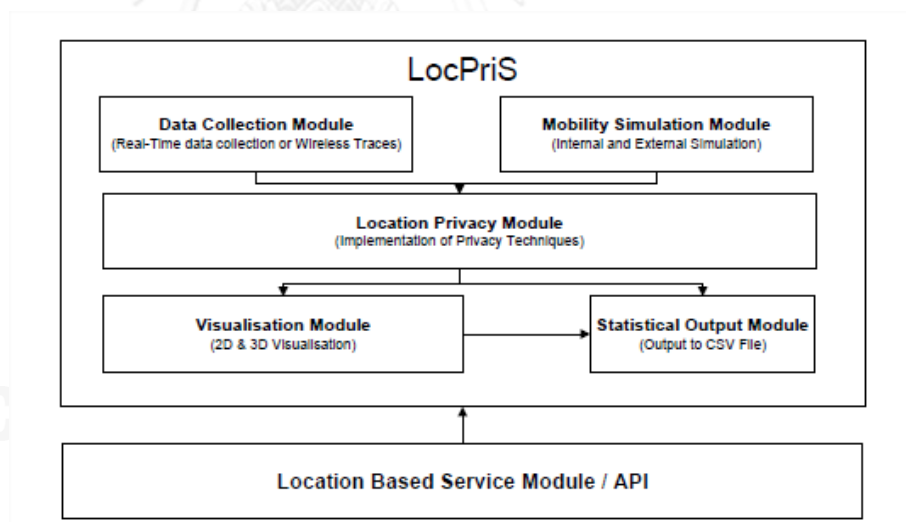
2.2.3 สํารวจความแรงของสัญญาณ

การสำรวจความแรงของสัญญาณเป็นหนึ่งในจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ และเป็นการต่อยอดจากจุดประสงค์ 2.2.2 เพราะการที่จะสร้างแผนที่แสดงความแรงของสัญญาณได้จะต้องรู้ตำแหน่งของความแรงสัญญาณตามจุดตำแหน่งต่างๆ ด้วย

2.2.3.1 แผนที่ความแรงสัญญาณ eduroam

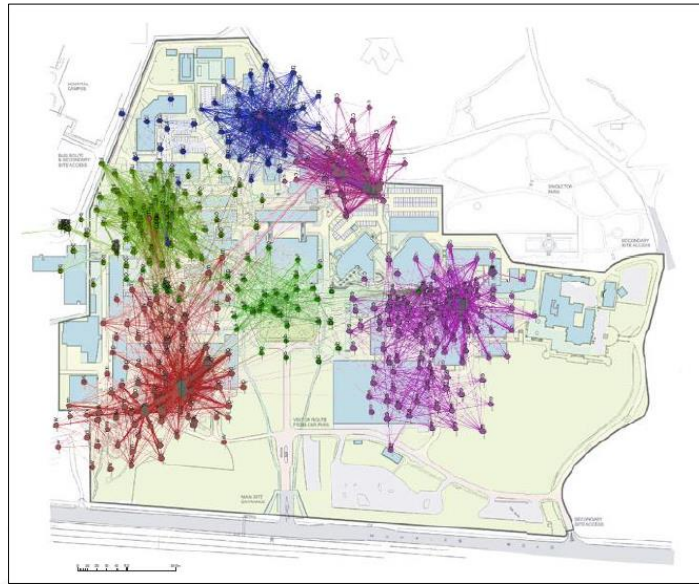
eduroam (education roaming) คือ เครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใต้ในสถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัยในรูปแบบโรมมิ่ง กล่าวคือผู้ใช้งานที่เป็นสมาชิกและมีรหัสการเข้าถึงสามารถใช้งาน eduroam จากสถาบันที่ให้บริการ eduroam ที่ใดก็ได้ [29] งานวิจัย [30] ทำการสำรวจความแรงของสัญญาณ eduroam ตามพื้นที่ต่างๆภายในขอบเขตการทดลองคือ Swansea University เพื่อตรวจสอบว่าสัญญาณ eduroam มีการกระจายสัญญาณไว้อย่างครอบคลุมเพื่อรองรับการใช้งานหรือไม่ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการให้บริการเครือข่ายต่อไป ซึ่งความท้าทายของงานวิจัยนี้ คือ การเก็บข้อมูลของความแรงสัญญาณจากเครื่องของผู้ใช้งานแล้วนำมาสร้างข้อมูลแผนที่ให้แม่นยำและเป็นข้อมูลปัจจุบัน

งานวิจัยนี้ได้ใช้ SU1X ซึ่งเป็น supplicant configuration tool ทำการกำหนดค่าให้อุปกรณ์ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) เพื่อใช้เก็บข้อมูล location fingerprint จากไวไฟ eduroam และยังมี LocPris Framework ดังรูปที่ 17 ที่เป็นเครื่องมือในการพัฒนา, วิเคราะห์, เปรียบเทียบ, และการแสดง visualization สำหรับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Location based Service) โดยเน้น privacy และ security ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ผ่านทาง API



รูปที่ 17 LocPris Framework

ผลของงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแผนที่สัญญาณในรูปแบบ undirected weighted graph ดังรูปที่ 18 และใช้ force-directed graph layout algorithms ในการช่วยวาดกราฟออกมา



รูปที่ 18 Undirected weighted graph ของเครือข่าย eduroam

จุดเด่นของระบบการสร้างแผนที่สัญญาณ eduroam มีดังนี้

- ทำให้ผู้ให้บริการทราบถึงความครอบคลุมของสัญญาณ ณ บริเวณต่างๆได้
- มีการแสดงตำแหน่งจุดเชื่อมต่อไวไฟ eduroam

จุดด้อยของระบบการสร้างแผนที่สัญญาณ eduroam มีดังนี้

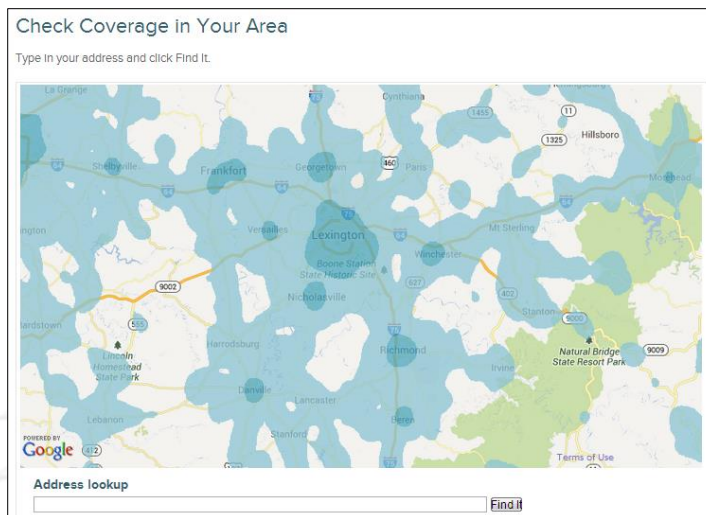
- ข้อมูลจะถูกส่งไปยัง server ในกรณีที่อุปกรณ์ทดลองมีการเชื่อมต่อกับ eduroam เท่านั้น
- ไม่มีการเก็บข้อมูล access point ตัวอื่นนอกจาก eduroam

2.2.3.2 SkyHook

SkyHook ได้สร้าง SkyHook Location ซึ่งเป็นระบบระบุตำแหน่งแบบผสม (hybrid positioning system) โดยใช้ประโยชน์จากจุดแข็งของเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งมากกว่าหนึ่ง เพื่อให้ได้พิกัดตำแหน่งที่แม่นยำ ในสภาพแวดล้อมต่างๆ [19]

SkyHook Location ได้ใช้ข้อมูลจากจีพีเอส, cell tower triangulation, และจุดเชื่อมต่อไวไฟที่อยู่โดยรอบนำมาคำนวณผ่าน Hybrid Positioning Algorithms เพื่อหาพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์เคลื่อนที่ ได้แก่ แล็ปท็อป, สมาร์ทโฟน, แท็บเล็ต เป็นต้น เพื่อที่จะใช้ในแอปพลิเคชันต่างๆที่อยู่ในอุปกรณ์เหล่านี้ ได้แก่ ระบบนำทาง, check-ins เป็นต้น โดยผู้พัฒนาแอปพลิเคชันสามารถผนวก SkyHook Location เข้ากับแอปพลิเคชันของพวกเขาได้ โดยมี SDK เพื่อให้สามารถทำการเชื่อมต่อกับ

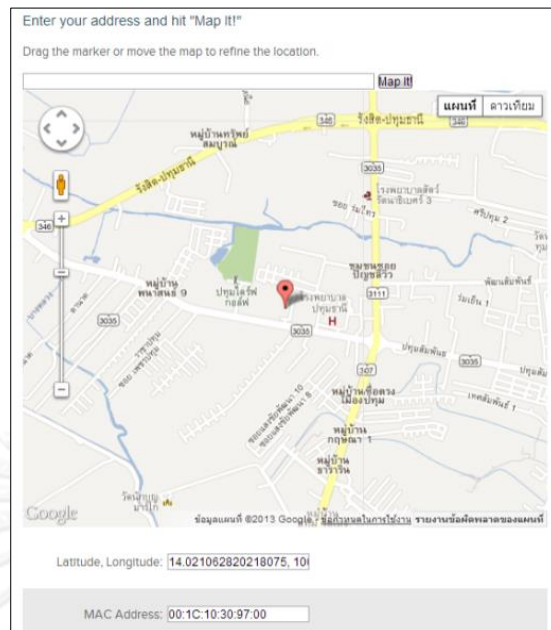
API ของ SkyHook ได้ ซึ่งนอกจากจะมีระบบระบุตำแหน่งเพื่อรองรับแอปพลิเคชัน มาใช้งานแล้วยังได้ทำแผนที่แสดงสัญญาณไวไฟ (WiFi coverage map) อีกด้วย ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 WiFi Coverage Map จาก SkyHook

การเก็บข้อมูลของ Skyhook จะเริ่มจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งระบบ Skyhook อยู่ใน พื้นที่ที่สามารถรับสัญญาณ WiFi router หรือเสาสัญญาณเซลลูลาร์ได้ แล้วทำการ รับสัญญาณเหล่านี้ เมื่อรับข้อมูลเหล่านี้แล้ว ระบบจะทำการจับคู่กับข้อมูลสัญญาณ ในฐานข้อมูลที่มีอยู่ และใช้ข้อมูลพิกัดจีพีเอสพิจารณาาร่วมกันเพื่อระบุตำแหน่งของ อุปกรณ์

นอกจากนี้ ยังได้เก็บตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อไวไฟด้วย 2 วิธี คือ โดยทาง SkyHook เปิดรับสมัครคนขับรถทั่วโลก เพื่อทำการขับรถสำรวจตำแหน่งของจุด เชื่อมต่อไวไฟและเสาสัญญาณเซลลูลาร์ตามพื้นที่ที่กำหนด และอีกวิธีคืออนุญาตให้ บุคคลทั่วไปได้สามารถช่วยกันระบุตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อไวไฟผ่านเว็บไซต์ของ SkyHook ดังแสดงในรูปที่ 20 โดยการระบุตำแหน่งในแผนที่ที่ได้จัดไว้ให้ แล้วกรอก mac address ของ access point นั้น ซึ่งข้อมูลที่ส่งไปนี้จะถูกประมวลผลแสดง ทันที โดยทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมานี้ ล้วนใช้เทคนิคคราวด์ซอร์สซึ่งในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 20 การระบุตำแหน่งจุดเชื่อมต่อไวไฟผ่านเว็บไซต์ SkyHook

จุดเด่นของระบบ SkyHook Location มีดังนี้

- นักพัฒนาสามารถนำระบบ SkyHook Location ไปใช้งานบนแอปพลิเคชันของตนได้โดยมี SDK รองรับ ซึ่งทำให้ SkyHook ไม่ต้องสร้าง WiFi Coverage Map ด้วยการสำรวจสัญญาณด้วยตนเอง แต่ดึงข้อมูลจากผู้ใช้ที่ใช้งาน SkyHook ผ่านแอปพลิเคชันเหล่านั้นนำมาสร้างแผนที่สัญญาณได้
- ใช้เทคโนโลยีของการระบุตำแหน่งต่างๆ ร่วมกันในการคำนวณ ช่วยให้ได้ค่าพิกัดของอุปกรณ์เคลื่อนที่แม่นยำมากขึ้น
- ในกรณีที่บริเวณที่ต้องการให้ข้อมูลตำแหน่งของเสาสัญญาณ เป็นบริเวณที่ไม่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ ผู้ใช้ก็สามารถระบุพิกัดและให้ข้อมูลภายหลังได้
- มีการใช้รถในการสำรวจ ซึ่งจะช่วยให้ได้แค่ตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อไวไฟ และเสาสัญญาณเซลล์ลู่าร์ที่แม่นยำมากขึ้น

จุดด้อยของระบบ SkyHook Location มีดังนี้

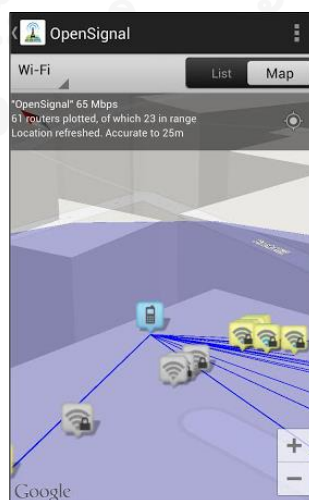
- แผนที่แสดงสัญญาณไวไฟเป็นเพียงการแสดงขอบเขตของสัญญาณระดับหนึ่ง ซึ่งไม่ได้ให้ความละเอียดถึงระดับห้อง
- ไม่มีการแสดงตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อไวไฟและเสาสัญญาณเซลล์ลู่าร์

2.2.3.3 OpenSignal

OpenSignal [17] เป็นแอปพลิเคชันในการแสดงแผนที่สัญญาณเครือข่ายโทรศัพท์ โดยใช้คราวด์เซอร์สซึ่งในการช่วยเก็บข้อมูลด้วยโมบายล์แอปพลิเคชัน ซึ่งนอกจากจะสามารถทำการเก็บข้อมูลแล้วส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำการบันทึกและประมวลผลเพื่อแสดงเป็นแผนที่แล้ว โมบายล์แอปพลิเคชันยังมีฟังก์ชันการใช้งานอื่นๆ อีกด้วย ดังเช่น ทดสอบความเร็วอินเทอร์เน็ต และ ความแรงสัญญาณ ดังรูปที่ 21 และ ค้นหาสัญญาณไวไฟใกล้เคียงดังรูปที่ 22 เป็นต้น นอกจากนี้ OpenSignal ได้มี API ไว้ให้นักพัฒนาสามารถนำข้อมูลและแผนที่ไปใช้งานได้ แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่บ้าง เช่น ไม่สามารถนำข้อมูลไปบันทึกไว้ในฐานข้อมูลของเราเองได้, บริการนี้สามารถถูกยกเลิกได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องแจ้งล่วงหน้า เป็นต้น



รูปที่ 21 หน้าฟังก์ชันต่างๆ ของ OpenSignal



รูปที่ 22 การค้นหาไวไฟแสดงบนแผนที่ของ OpenSignal

จุดเด่นของแอปพลิเคชัน OpenSignal มีดังนี้

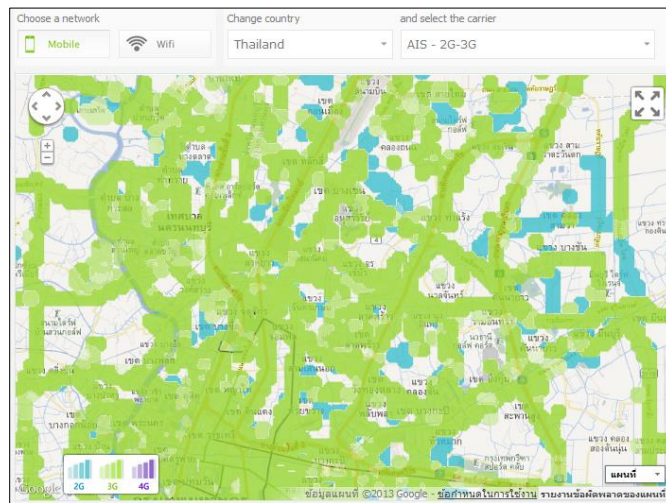
- แสดงแผนที่ของทั้งสัญญาณเครือข่ายโทรศัพท์และเสาสัญญาณเครือข่าย
- แสดงผลได้ทั้งบนเว็บไซต์และโมบายล์แอปพลิเคชัน จึงช่วยให้การเข้าถึงข้อมูลสะดวกขึ้น
- ในส่วนของโมบายล์แอปพลิเคชัน รองรับทั้งระบบ Android และ iOS
- มี API ให้นักพัฒนาสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ OpenSignal มีได้

จุดด้อยของแอปพลิเคชัน OpenSignal มีดังนี้

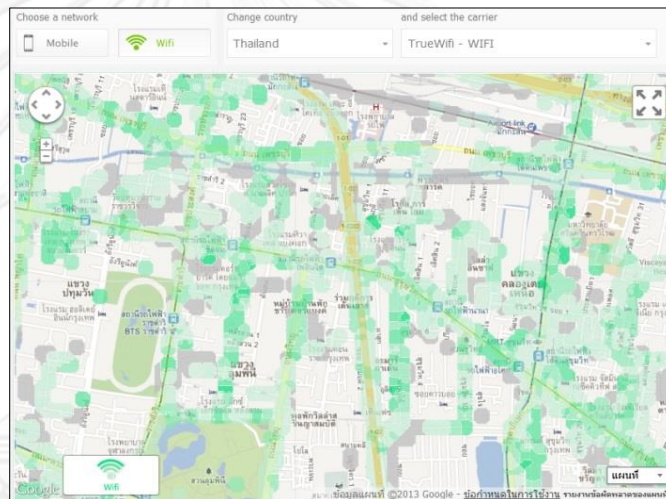
- เป็นการเก็บข้อมูลแบบออนไลน์เพียงอย่างเดียว นั่นหมายความว่าไม่สามารถเก็บข้อมูลบริเวณที่ไม่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้
- แผนที่แสดงสัญญาณ เป็นเพียงการแสดงขอบเขตของสัญญาณระดับหนึ่ง ซึ่งไม่ได้ให้ความละเอียดถึงระดับห้อง
- ไม่มีข้อมูลแผนที่สัญญาณไวไฟและ access point

2.2.3.4 Sensorly

Sensorly [18] เป็นแอปพลิเคชันแสดงแผนที่สัญญาณเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ดังรูปที่ 23 เช่นเดียวกับ OpenSignal ซึ่งมีทั้งเว็บแอปพลิเคชันและโมบายล์แอปพลิเคชัน โดยที่โมบายล์แอปพลิเคชันจะถูกใช้ในการรวบรวมข้อมูลจากคราวด์ซอร์สซึ่ง แล้วนำไปสร้างแผนที่สัญญาณเครือข่ายต่างๆ แต่ 2 งานนี้ก็มี ความต่างกันตรงที่ Opensignal มี cell tower map ในขณะที่ Sensorly มี WiFi coverage map ดังรูปที่ 24 ซึ่งแผนที่แสดงสัญญาณไวไฟนี้ ไม่ได้แสดงถึงสัญญาณจาก access point ย่อยๆที่ผู้คนทั่วไปติดตั้ง แต่เป็นสัญญาณจากผู้ให้บริการเครือข่ายรายใหญ่ ซึ่งสัญญาณไวไฟที่แสดงจากประเทศไทย ได้แก่ 3BB และ TrueWiFi นอกจากนี้ Sensorly ยังมีฟังก์ชันอื่นให้ผู้ใช้ได้เลือกใช้งานได้อีกด้วย เช่น SpeedTest, เลือกดูข้อมูลสัญญาณโดยค้นหาตามชื่อเมือง ดังรูปที่ 25 เป็นต้น



รูปที่ 23 Signal coverage map จาก Sensorly



รูปที่ 24 WiFi coverage map จาก Sensorly



รูปที่ 25 หน้าฟังก์ชันต่างๆ ของ Sensorly

จุดเด่นของแอปพลิเคชัน Sensorly มีดังนี้

- แสดงแผนที่ของทั้งสัญญาณเครือข่ายโทรศัพท์ และสัญญาณไวไฟ
- แสดงผลได้ทั้งบนเว็บและโมบายล์แอปพลิเคชัน จึงช่วยให้การเข้าถึงข้อมูลสะดวกขึ้น

จุดด้อยของแอปพลิเคชัน Sensorly มีดังนี้

- เป็นการเก็บข้อมูลแบบออนไลน์เพียงอย่างเดียว นั้นหมายความว่าไม่สามารถเก็บข้อมูลบริเวณที่ไม่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้
- ไม่ได้แสดงสัญญาณจากจุดเชื่อมต่อไวไฟทั่วไป แต่เป็นการเก็บจากผู้ให้บริการรายใหญ่เท่านั้น
- แผนที่แสดงสัญญาณ เป็นเพียงการแสดงขอบเขตของสัญญาณระดับหนึ่ง ซึ่งไม่ได้ให้ความละเอียดถึงระดับห้อง

จากข้อมูลทั้งหมดดังกล่าว สามารถนำมาแสดงเป็นตารางสรุปคุณสมบัติของแต่ละงานที่ใช้ในการสำรวจความแรงของสัญญาณได้ดังนี้

ตารางที่ 1 สรุปคุณสมบัติของแต่ละงานวิจัยที่ใช้ในการสำรวจความแรงของสัญญาณ

คุณสมบัติ \ งานที่เกี่ยวข้อง	eduroam	SkyHook	OpenSignal	Sensorly
1. เก็บข้อมูลด้วยโมบายล์แอปพลิเคชัน	✓	✗	✓	✓
2. ใช้ location service ระบุตำแหน่ง	✗	✓	✓	✓
3. ใช้คราด์ซอร์สซึ่งในการเก็บข้อมูล	✓	✓	✓	✓
4. รองรับการใช้งานแบบออนไลน์	✓	✓	✓	✓
5. รองรับการใช้งานแบบออฟไลน์	✗	✗	✗	✗
6. แสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน	✓	✓	✓	✓
7. แสดงผลบนโมบายล์แอปพลิเคชัน	✗	✗	✓	✓
8. แสดงผลข้อมูลด้วยแผนที่ Google	N/A	✓	✓	✓
9. แสดงแผนที่สัญญาณไวไฟ	✓	✓	✗	✓
10. แสดงแผนที่สัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ต	✗	✗	✓	✓
11. แสดงแผนที่จุดเชื่อมต่อไวไฟ	✓	✗	✗	✗
12. แสดงแผนที่ตำแหน่งเสาสัญญาณเซลลูลาร์	✗	✗	✓	✗
13. แสดงแผนที่ Network Availability	✗	✗	✗	✗
14. แสดงแผนที่ Connection Preference	✗	✗	✗	✗
15. แสดงสัญญาณความละเอียดระดับห้อง	✗	✗	✗	✗
16. มีฟังก์ชันอื่น ให้เลือกใช้งาน	✗	✗	✓	✓
17. มี API	✗	✓	✓	✗

จากข้อมูลด้านบน สามารถสรุปได้ว่า งานทางด้านเทคโนโลยีไร้สายที่นำมาแสดงเป็นแผนที่แสดงความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณนั้นล้วนแล้วแต่เป็นงานที่ใช้พลังมวลชนเข้ามามีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูลและเป็นการเก็บข้อมูลแบบออนไลน์ทั้งสิ้น ซึ่งในส่วนของ การแสดงผลได้ทำการแสดงผลบนแผนที่ Google ผ่านเว็บแอปพลิเคชันเป็นหลัก โดยมีการแสดงแผนที่ของสัญญาณและตำแหน่งเสาสัญญาณเซลลูลาร์ในรูปแบบต่างๆกันไป

นอกจากนี้งานที่เกี่ยวข้องทั้ง 4 งานยังขาดการทำงานบางอย่างที่สำคัญเหมือนกัน ซึ่งผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญกับสิ่งเหล่านั้น ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการแสดงข้อมูลของสัญญาณในระดับห้องเพื่อเป็นการระบุให้ชัดเจนถึงตำแหน่งของสัญญาณภายในอาคาร ความสามารถในการระบุตำแหน่งที่ผู้ใช้งานต้องการใช้สัญญาณ ซึ่งหมายความว่าระบบจะต้องสามารถทำการเก็บข้อมูลได้ในขณะออฟไลน์ ความสามารถในการแสดงสัญญาณไวไฟที่เป็นสัญญาณระดับโลคอล หรือจากจุดเชื่อมต่อไวไฟที่ติดตั้งตามอาคารทั่วไป และการแสดง

แผนที่ที่สามารถแสดงถึงบริเวณความพร้อมใช้งานของเครือข่าย (Network Availability) และความสามารถในการเชื่อมต่อเครือข่าย (Connection Preference) อีกด้วย



บทที่ 3

แนวคิดและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 แนวคิดงานวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวคิดในการแก้ปัญหา ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ประเด็น คือ การระบุพิกัดตำแหน่ง, การเก็บข้อมูล, การคำนวณตัวชี้วัด, การแสดงผล, และการประเมินผล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 การระบุพิกัดตำแหน่ง (Data Positioning)

เนื่องจากเป็นงานสำรวจข้อมูลสัญญาณเครือข่าย จึงจำเป็นที่จะต้องมีการระบุตำแหน่ง (positioning) ของข้อมูลด้วย โดยปกติสามารถทำการระบุตำแหน่งได้ดังนี้

- **ระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส**

การระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสเป็นการระบุตำแหน่งจากดาวเทียม ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.1.2.1

- **ระบุตำแหน่งด้วยเอจีพีเอส**

การระบุตำแหน่งด้วยเอจีพีเอสเป็นการระบุตำแหน่งอีกประเภทหนึ่งซึ่งช่วยให้การทำงานของจีพีเอสเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.1.2.2

- **ระบุตำแหน่งด้วย location service**

การระบุตำแหน่งด้วย location service เป็นการระบุตำแหน่งที่ใช้ google framework ให้ได้มาซึ่งข้อมูล โดยเป็นการเก็บข้อมูล ของ network ต่างๆ ซึ่งได้แก่ ตำแหน่งเสาสัญญาณเซลลูลาร์และข้อมูลไวไฟ

- **ระบุตำแหน่งด้วยตนเองบนแผนที่**

การระบุตำแหน่งด้วยตนเองบนแผนที่เป็นการระบุตำแหน่งของตน ณ ขณะนั้นบนแผนที่ที่มีไว้ให้ในแอปพลิเคชันด้วยตนเอง ซึ่งข้อดี คือ ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นตามความจริงมากที่สุด มีความแม่นยำกว่าการรับพิกัดจากดาวเทียม โดยเฉพาะในกรณีที่อยู่ภายในอาคาร แต่มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถทำแบบอัตโนมัติไปเรื่อยๆ ระหว่างที่เคลื่อนที่ (tracking) ซึ่งทำให้ไม่สะดวกต่อผู้ใช้งาน

- **ระบุตำแหน่งด้วยชื่อสถานที่จากฐานข้อมูล**

การระบุตำแหน่งด้วยชื่อสถานที่จากฐานข้อมูลเป็นการเลือกชื่อสถานที่ที่ตนอยู่ตามที่ระบบได้มีตัวเลือกไว้ให้ ซึ่งอาจมาจากฐานข้อมูลจากภายนอก เช่น Google service หรือ จากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นเอง (local database) เช่น ชื่อห้องเรียน, ชื่ออาคารเรียน เป็นต้น ทั้งนี้ วิธีนี้ต้องมีการสร้างฐานข้อมูลซึ่งระบุชื่อสถานที่และพิกัด ซึ่งจะมีปัญหาเรื่องความแม่นยำ เนื่องจากสถานที่อาจมีขนาดใหญ่แต่ระบุไม่ได้ว่าอยู่ส่วนไหนของสถานที่

จากข้อมูลข้างต้นจึงได้เลือกการระบุตำแหน่งที่ใช้ในงานวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

- การระบุจากจีพีเอสซึ่งเหมาะสำหรับการระบุตำแหน่งภายนอกอาคาร
- การระบุจาก Google location service ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพิกัดตำแหน่งทั้งจากภายนอกอาคารและภายในอาคารและมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เนื่องจากได้ทำการทดลองบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่สามารถทำการรับค่าพิกัดได้จาก Google framework
- การระบุตำแหน่งด้วยตนเองบนแผนที่ ในกรณีที่อยู่ภายในอาคารซึ่งไม่สามารถได้ค่าจากจีพีเอสหรือ location service ที่ให้ความแม่นยำได้ และเป็นพื้นที่ที่ไม่มีให้เลือกจากฐานข้อมูล
- การระบุตำแหน่งด้วยชื่อสถานที่จากฐานข้อมูล โดยมีข้อมูลแสดงตำแหน่งท้องถิ่นเบื้องต้นให้เลือกกำหนดได้

3.1.2 การเก็บข้อมูล (Data Collection)

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้เทคนิคคราวด์ซอร์สซิง ซึ่งอาศัยบุคคลทั่วไปที่ใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตมาทำการสำรวจข้อมูล ถึงแม้จะมีข้อเสียในเรื่องของความแม่นยำ แต่ก็คิดว่า การเก็บข้อมูลจำนวนมากจากผู้ใช้และอุปกรณ์ที่หลากหลายในบริเวณเดียวกันและใช้การคำนวณทางสถิติมาช่วยจะสามารถลดปัญหาเรื่องนี้ลงไปได้ นอกจากนี้การวัดจากอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงน่าจะได้ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ใกล้เคียงกับประสบการณ์ของการใช้งานจริงมากกว่า

การเก็บข้อมูลแบบคราวด์ซอร์สซิงจำเป็นต้องส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ไปยังเซิร์ฟเวอร์ ดังนั้นหากอุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ได้ก็สามารถส่งข้อมูลให้ได้ทันที แต่ถ้าหากไม่สามารถเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ได้ ซึ่งแสดงถึงความไม่พร้อมของเครือข่าย ก็ควรบันทึกข้อมูลเก็บไว้แล้วส่งให้เซิร์ฟเวอร์ภายหลังเมื่อสามารถเชื่อมต่อได้

3.1.3 การคำนวณตัวชี้วัด (Data Processing)

ก่อนที่จะนำข้อมูลที่เก็บมาได้จากคร่าว์ซอร์สซึ่งมาแสดงผลเป็นแผนที่ในรูปแบบต่างๆ ควรที่จะมีการคำนวณตัวชี้วัดเพื่อสร้างความแม่นยำและความมีประสิทธิภาพของแผนที่ โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการคำนวณตัวชี้วัดออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

■ Network Signal Strength

เนื่องจากการให้บริการข้อมูลสัญญาณโดยทั่วไปมักแสดงในรูปแบบของแผนที่แสดงสัญญาณในแต่ละพื้นที่ ในงานวิจัยนี้จึงมี Network Signal Strength เป็นการคำนวณโดยพิจารณาจากค่าความแรงสัญญาณ เพื่อต้องการแสดงถึงความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณที่มีอยู่ในแต่ละพื้นที่ได้ เพื่อต้องการให้เป็นตัวช่วยตัดสินใจให้ผู้ใช้งานได้เลือกใช้งานสัญญาณและบริเวณที่ให้สัญญาณได้อย่างเหมาะสม

■ Network Availability

เนื่องจากต้องการแผนที่ที่แสดงถึงจำนวนความพร้อมใช้งานของเครือข่ายในแต่ละพื้นที่ ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการคำนวณ Network Availability ของสัญญาณเพื่อต้องการแสดงถึงจำนวนที่พร้อมใช้งานของสัญญาณที่มีอย่างหลากหลาย ณ บริเวณนั้นๆ ได้

■ Connection Preference

ถึงแม้ว่าในบริเวณหนึ่งจะมีความแรงสัญญาณของเครือข่ายหนึ่งที่สูง แต่ในบางกรณีผู้ใช้บริการก็ไม่สามารถเชื่อมต่อได้ด้วยสาเหตุหลายประการ เช่น เครือข่ายมีการใช้งานหนาแน่นเกินไป หรือผู้ใช้อาจเลือกที่จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นที่มีให้ใช้ในบริเวณนั้นเช่นกัน ซึ่งสองตัวชี้วัดก่อนหน้าไม่ได้แสดงถึงการเชื่อมต่อของผู้ใช้งานที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการคำนวณค่า Connection Preference ของสัญญาณเพื่อต้องการแสดงถึงสัดส่วนในการใช้งานสัญญาณ ณ บริเวณนั้นๆ ได้ เพื่อสามารถนำไปวิเคราะห์การใช้งานสัญญาณต่อไปได้

3.1.4 การแสดงผลข้อมูล (Data Visualization)

เป็นส่วนที่จะนำข้อมูลที่ถูกรวบรวมมาแสดงเป็นแผนที่ข้อมูลในรูปแบบฮีตแมปโดยแสดงผลตามประเภทของตัวชี้วัด 3 รูปแบบ ดังนี้

- **แสดงความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณ (Network Signal Strength)**

เป็นแผนที่แสดงความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตหรือไวไฟตามบริเวณต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งตามประเภทสัญญาณได้ดังนี้

- ความแรงสัญญาณของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตซึ่งจะมีค่าของสัญญาณที่แสดงบนแผนที่เป็น ASU
- ความแรงสัญญาณไวไฟโดยจะมีค่าเป็น dBm

- **แสดงความน่าจะเป็นความพร้อมใช้งานของเครือข่าย (Network Availability)**

เป็นแผนที่แสดงปริมาณหรือความหนาแน่นของสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตหรือไวไฟตามบริเวณต่างๆ

- **แสดงความน่าจะเป็นในการเชื่อมต่อสัญญาณของเครือข่ายได้ (Connection Preference)**

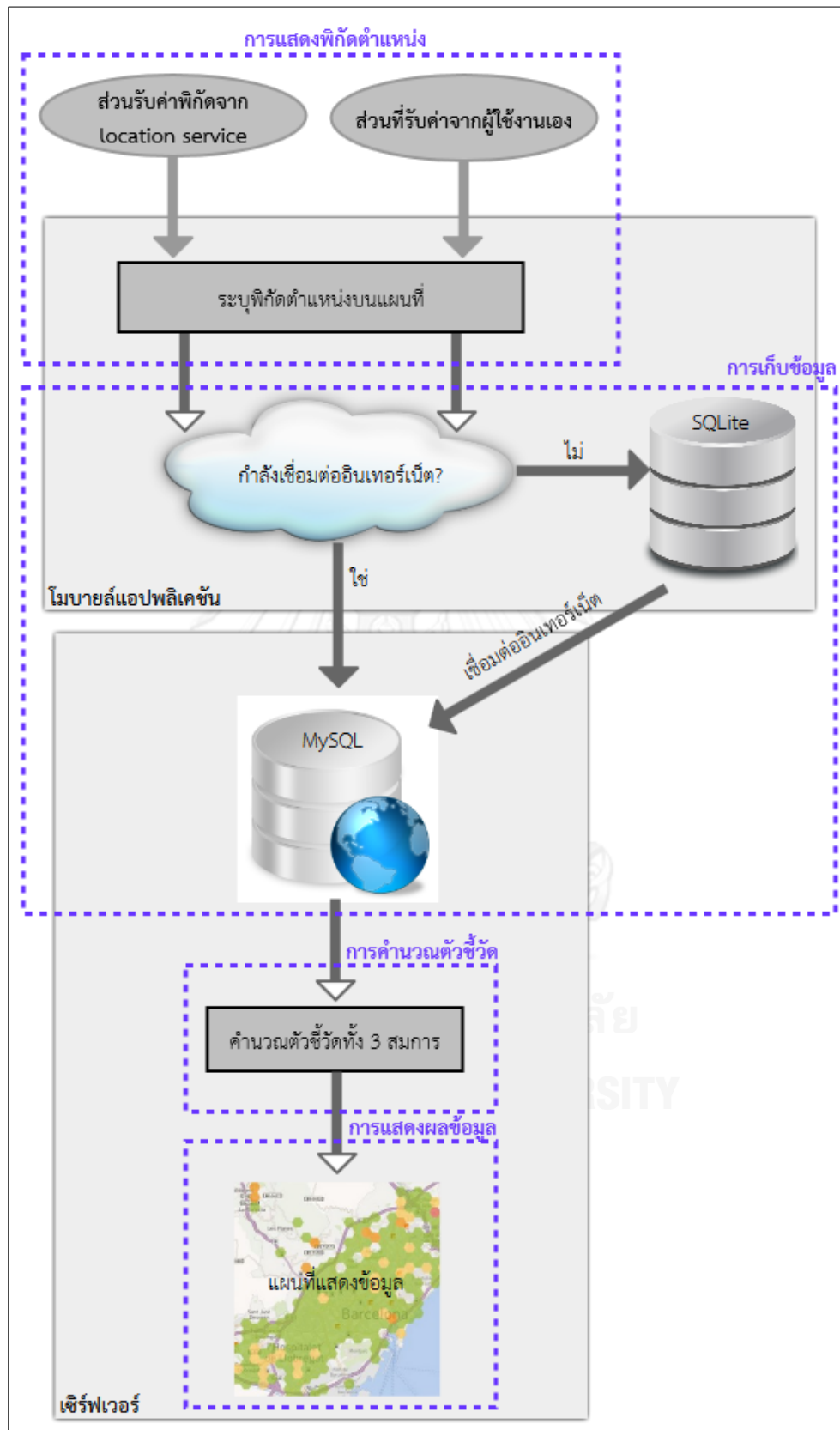
เป็นแผนที่แสดงสัดส่วนในการที่ผู้ใช้งานทำการเชื่อมต่อสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตหรือไวไฟ ณ บริเวณต่างๆ

3.1.5 การประเมินผล (Data Evaluation)

เพื่อพิสูจน์ผลลัพธ์ของแผนที่ตามจุดประสงค์ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินผลที่ได้จากการทดลอง และเนื่องจากการแสดงผลบนแผนที่มาจากการคำนวณค่าตัวชี้วัดที่เป็นการคำนวณในเชิงสถิติ จึงได้ประเมินผลในเชิงสถิติเช่นเดียวกัน โดยทำการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของตัวชี้วัด Network Signal Strength เพื่อประเมินถึงความแม่นยำของแผนที่แสดงความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณ

3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงจำเป็นที่จะต้องสร้างเครื่องมือเพื่อทำการสำรวจข้อมูลของสัญญาณ โดยแบ่งการดำเนินงานตามการทำงานของเครื่องมือออกเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 26 ซึ่งได้อธิบายขั้นตอนไว้ดังนี้



รูปที่ 26 Sequence Diagram

3.2.1 การแสดงพิกัดตำแหน่ง (Data Positioning)

เป็นส่วนเริ่มต้นของระบบเพื่อให้ผู้ใช้ได้เลือกการระบุตำแหน่งบริเวณที่ทำการสำรวจ สัญญาณต่างๆ โดยแสดงบนแผนที่ Google Maps และเนื่องจากการที่เครื่องมือจะต้องสามารถทำการสำรวจได้ทั้งภายในอาคารและนอกอาคาร จึงได้ทำการออกแบบโดยแบ่งส่วนแสดงพิกัดตำแหน่งเป็น 2 ส่วน คือ

■ ส่วนที่รับค่าพิกัดจาก location service

เป็นส่วนที่จะถูกเปิดใช้เมื่อแอปพลิเคชันสามารถรับค่าพิกัดจากดาวเทียมจีพีเอสหรือจาก location service ได้ ซึ่งในกรณีของการรับค่าพิกัดจาก location service ได้เลือกรับค่าพิกัดจาก Google location service เนื่องจากการทดลองด้วยอุปกรณ์ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่สามารถรับค่าจาก framework นี้ได้

ทั้งนี้การสร้างเครื่องมือในการสำรวจโดยสามารถรับค่าพิกัดได้จากทั้ง 2 แหล่งเพื่อรองรับตามสภาวะแวดล้อม ดังนี้

กรณีที่ 1 ระบบรับค่าพิกัดจากจีพีเอสเมื่ออุปกรณ์อยู่ในที่โล่งแจ้ง หรือไม่ได้ อยู่ภายในอาคาร

กรณีที่ 2 ระบบรับค่าพิกัดจาก Google location service เมื่ออุปกรณ์อยู่ ภายในอาคารหรือไม่สามารถรับค่าสัญญาณจากดาวเทียมได้ ระบบก็จะทำการ เปลี่ยนการระบุพิกัดด้วย location service นี้โดยอัตโนมัติ

ระบบจะทำการรับค่าพิกัดไปเรื่อยๆ ตลอดเวลาที่เปิดใช้งาน (tracking) โดยได้กำหนดการรับพิกัดไว้ทุกๆ อย่างน้อย 10 วินาที เพื่อไม่ให้รับค่าพิกัดได้ถี่เกินไป

■ ส่วนที่รับค่าจากผู้ใช้งานเอง

เป็นส่วนที่จะถูกเปิดใช้เมื่อแอปพลิเคชันไม่สามารถรับค่าพิกัดจากดาวเทียมจีพีเอสหรือจาก location service ได้ โดยทุกการเคลื่อนที่ในการสำรวจผู้ทดลองจะต้องทำการระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ด้วยตัวเอง ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ระบุตำแหน่งตนเองบนแผนที่ และผู้ใช้สามารถกรอกข้อมูล ตำแหน่งตนเองได้ในกรณีที่ไม่มีฐานข้อมูลของตำแหน่งที่ตนเองอยู่

กรณีที่ 2 ระบุตำแหน่งตนเองโดยเลือกจากฐานข้อมูลที่ระบบมีไว้ให้ ซึ่งในการพัฒนาระบบในส่วนนี้สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

- ผู้พัฒนาระบบเป็นผู้เพิ่มหรือแก้ไขข้อมูลตำแหน่งเอง โดยอาจใส่ข้อมูลตำแหน่งภายในโค้ดที่เขียนหน้าแสดงตำแหน่งนั้น หรืออาจใช้ฐานข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์ในการเก็บข้อมูลแล้วให้ระบบเรียกออกมาแสดง

- ผู้พัฒนาระบบทำ user interface ในส่วนของการเพิ่มและแก้ไขข้อมูล เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถจัดการข้อมูลเบื้องต้นได้เอง

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำระบบส่วนนี้ด้วยวิธีที่ผู้พัฒนาระบบจะเป็นผู้เพิ่มหรือแก้ไขข้อมูลเองเนื่องจากเป็นการทดลองเบื้องต้นภายในขอบเขตที่แน่นอนซึ่งไม่มีการแก้ไขตำแหน่งข้อมูลมากนัก

3.2.2 การเก็บข้อมูล (Data Collection)

การเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ทำให้ผู้ทดลองทำการติดตั้งแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์ที่สามารถรองรับการทำงานได้ของตน โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลนี้จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่รองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) สามารถรับสัญญาณจีพีเอสได้ และสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านทาง mobile data network หรือ WiFi network ได้

การสำรวจข้อมูลนี้ ได้แบ่งให้ผู้ทดลองเลือกใช้งานในส่วนของการเดินสำรวจออกเป็น 2 กรณีดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในข้อที่ 3.2.1 เพื่อที่จะให้ระบบทำการเก็บข้อมูลเส้นทางการเดินของผู้ทดลอง

ในขณะที่มีการเดินสำรวจนี้ ข้อมูลของสัญญาณโดยรอบก็จะถูกบันทึกไว้ด้วย จนกว่าจะกดปุ่มหยุดการทำงาน ซึ่งในกรณีที่เครื่องมือสามารถรับสัญญาณได้ทั้งไวไฟและสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่พร้อมกัน ก็จะสามารถบันทึกข้อมูลของสัญญาณได้ทั้ง 2 ประเภท

ส่วนของการพัฒนาโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่และสัญญาณเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีดังนี้

- เขียน listener class เพื่อรองรับการเปลี่ยนของข้อมูลตาม event ที่เปลี่ยนไป ดังรูปที่ 27

```

1 TelephonyManager tm = (TelephonyManager) getSystemService(TELEPHONY_SERVICE);
2 int events = PhoneStateListener.LISTEN_DATA_ACTIVITY
3   | PhoneStateListener.LISTEN_CELL_LOCATION
4   | PhoneStateListener.LISTEN_CALL_STATE
5   | PhoneStateListener.LISTEN_CALL_FORWARDING_INDICATOR
6   | PhoneStateListener.LISTEN_DATA_CONNECTION_STATE
7   | PhoneStateListener.LISTEN_MESSAGE_WAITING_INDICATOR
8   | PhoneStateListener.LISTEN_SERVICE_STATE
9   | PhoneStateListener.LISTEN_SIGNAL_STRENGTHS;
10 tm.listen(phoneStateListener, events);

```

รูปที่ 27 ซอร์สโค้ดรองรับการเปลี่ยนของข้อมูลตาม event ที่เปลี่ยนไป

- รับข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลของเครือข่ายสัญญาณที่ใช้งาน ณ ปัจจุบัน ดังรูปที่ 28

```

1 Public void onSignalStrengthsChanged(android.telephony.SignalStrength signalStrength) {
2   TelephonyManager tm = (TelephonyManager) getSystemService(TELEPHONY_SERVICE);
3   GsmCellLocation loc = (GsmCellLocation) tm.getCellLocation();
4   mbdeviceid = tm.getDeviceId();
5   mbsimserial = tm.getSimSerialNumber();
6   mbnettype = getNetworkTypeString(tm.getNetworkType());
7   mbnetoperator = tm.getNetworkOperatorName();
8   mbcellid = loc.getCid();
9   mblac = loc.getLac();
10  mbrssi = signalStrength.getGsmSignalStrength();
11 }

```

รูปที่ 28 ซอร์สโค้ดรับข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลเครือข่าย

ในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลสัญญาณไวไฟสามารถทำได้ดังนี้

- เริ่มต้นเรียก class WifiManager เพื่อที่จะสามารถรับข้อมูลสัญญาณไวไฟต่างๆ ได้ดังรูปที่ 29

```

1 myWifiManager = (WifiManager) getSystemService(Context.WIFI_SERVICE);
2 wifiReceiver = new BroadcastReceiver() {
3   @Override
4   public void onReceive(Context c, Intent intent) {
5     wifiList = myWifiManager.getScanResults();
6   }
7 };
8
9 registerReceiver(wifiReceiver, new IntentFilter(WifiManager.SCAN_RESULTS_AVAILABLE_ACTION));
10 myWifiManager.startScan();
11 WifiInfo myWifiInfo = myWifiManager.getConnectionInfo();
12 wfssid = myWifiInfo.getSSID();
13 wfbssid = myWifiInfo.getBSSID();
14 wfspeed = myWifiInfo.getLinkSpeed();
15 wfrssi = myWifiInfo.getRssi();
16 if (wifiList != null) {
17   for (ScanResult network : wifiList) {
18     wfcap = network.capabilities;
19     wffreq = network.frequency;
20   }
21 }

```

รูปที่ 29 ซอร์สโค้ดเรียก class WifiManager

- Class เพื่อเรียก IP address ดังรูปที่ 30

```

1 for (Enumeration<NetworkInterface> en = NetworkInterface.getNetworkInterfaces();
en.hasMoreElements();) {
2     NetworkInterface intf = en.nextElement();
3     for (Enumeration<InetAddress> enumIpAddr = intf.getInetAddresses();
enumIpAddr.hasMoreElements();) {
4         InetAddress inetAddress = enumIpAddr.nextElement();
5         if (!inetAddress.isLoopbackAddress()) {
6             String sIpAddress = inetAddress.getHostAddress().toString();
7             if (sIpAddress.startsWith("fe80:")) {
8                 // Ignore IPv6 Link local address
9             } else if (sIpAddress.startsWith("::127.") || sIpAddress.startsWith("::172.")) {
10                // Ignore local loopback address
11            } else {
12                sLocalIpAddress = sLocalIpAddress + sIpAddress;
13                wfip = sLocalIpAddress;
14            }
15        }
16    }
17 }

```

รูปที่ 30 ซอร์สโค้ดเรียก IP address

ทั้งนี้ สามารถสรุปข้อมูลที่ได้รับมาได้ทั้งที่เป็นข้อมูลพิกัดตำแหน่ง ข้อมูลอุปกรณ์ โทรศัพท์เคลื่อนที่และเครือข่ายที่ใช้งาน และข้อมูลสัญญาณไวไฟได้ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2 ข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ถูกบันทึก

ข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ความหมาย
latitude	double	ละติจูด
longitude	double	ลองจิจูด
date	date	วันที่บันทึกตำแหน่ง
time	time	เวลาที่บันทึกตำแหน่ง
network provider	String	วิธีที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง(จีพีเอส, Google location service, ระบุเอง)
accuracy	float	ความแม่นยำจากการระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสหรือ Google location service
place name	String	ชื่อตำแหน่งที่ผู้ใช้เลือกจากฐานข้อมูล
description	String	ข้อมูลสถานที่เพิ่มเติมจากผู้ใช้งาน

ตารางที่ 3 ข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครือข่ายสัญญาณที่ถูกบันทึก

ข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ความหมาย
device id	String	รหัสอุปกรณ์ เช่น IMEI ของเครื่องระบบ GSM และ MEID หรือ ESN ของเครื่องระบบ CDMA
sim serial	String	serial number ของซิมการ์ด
network type	String	ประเภทเครือข่าย เช่น EDGE, GPRS, HSPA เป็นต้น
network operator	String	ระบบเครือข่าย เช่น AIS, AIS 3G, DTAC, TH-DTAC เป็นต้น
cell id	int	หมายเลขระบุเสาสัญญาณภายในพื้นที่ของ location area code
location area code	int	รหัสพื้นที่ที่ให้สัญญาณเครือข่าย
rsssi	int	ค่าความแรงสัญญาณตั้งแต่ 0 ถึง 31 และ 99 มีหน่วยเป็น ASU

ตารางที่ 4 ข้อมูลสัญญาณไวไฟที่ถูกบันทึก

ข้อมูล	ประเภทข้อมูล	ความหมาย
ssid	String	ชื่อสัญญาณไวไฟ เช่น ChulaWiFi, NirasNet, eng เป็นต้น
bssid	String	Mac address ของ access point
ip address	String	หมายเลขระบุตัวตนในเครือข่ายใน lan วงเดียวกัน
rsssi	int	ความแรงสัญญาณไวไฟมีหน่วยเป็น dBm
speed	int	ความเร็วในการเชื่อมต่อมีหน่วยเป็น Mbps
capabilities	String	แสดง authentication encryption ของ access point
frequency	String	ความถี่ channel ที่เครื่องผู้ใช้เชื่อมต่อกับ access point มีหน่วยเป็น MHz

เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วการบันทึกจะทำงานเพื่อรองรับการบันทึกข้อมูลของสัญญาณได้ในทุกบริเวณ ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่ออุปกรณ์ที่ใช้สามารถเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ได้ (ออนไลน์) ระบบจะทำการส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลบนเซิร์ฟเวอร์ โดยได้เลือกใช้ MySQL เป็นฐานข้อมูลบนเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งการส่งข้อมูลไปเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์นั้น ได้ทำการส่งด้วย http โดยการ request url พร้อมกับการส่งค่า parameters ไปด้วย ดังนี้

```
CustomHttpClient.executeHttpPost("http://neptune.cp.eng.chula.ac.th/~thaphat/androidDBsql/insertCollectNw.php", postParameters);
```

กรณีที่ 2 เมื่ออุปกรณ์ไม่สามารถเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ (ออฟไลน์) ระบบจะทำการส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลในเครื่องก่อน เมื่ออุปกรณ์มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (ออนไลน์) ระบบก็จะส่งข้อมูลไปเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์ และทำการลบข้อมูลที่มีอยู่ในอุปกรณ์

ในส่วนของระบบฐานข้อมูลที่ใช้กับอุปกรณ์ ได้เลือกใช้ SQLite เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจนั้นเป็นสมาร์ทโฟน ซึ่งคุณลักษณะทางด้าน ฮาร์ดแวร์, หน่วยความจำ, และความสามารถในการโปรเซสที่มีน้อย จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ระบบฐานข้อมูลขนาดเล็ก ซึ่ง SQLite ที่สามารถทำงานบนสมาร์ทโฟนสามารถตอบโจทย์ข้อจำกัดนี้ได้ ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้บันทึกลง SQLite นั้นจะถูกบันทึกลงฐานข้อมูลในหน่วยความจำเครื่อง โดยสามารถบันทึกข้อมูลได้มากที่สุดตามขนาดของหน่วยความจำ

3.2.3 การคำนวณตัวชี้วัด (Data Processing)

เมื่อได้ข้อมูลดิบจากการสำรวจด้วยวิธีคราดซอร์สซึ่งมาแล้ว จำเป็นต้องนำมาผ่านการประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการบ่งชี้ถึงความพร้อมใช้งานและคุณภาพของเครือข่ายต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ ตัวชี้วัดเหล่านี้ได้แก่

- Network Signal Strength

ตัวชี้วัดเบื้องต้นที่สามารถบ่งบอกได้ถึงความเป็นไปได้ที่จะสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายหนึ่งในบริเวณหนึ่ง ก็คือ Network Signal Strength หรือ ความแรงของสัญญาณในบริเวณนั้น เนื่องจากถ้าความแรงสัญญาณน้อยก็ไม่สามารถติดต่อกับเสาสัญญาณเซลลูลาร์หรือจุดเชื่อมต่อไวไฟได้

การคำนวณ Network Signal Strength เป็นการหาค่าเฉลี่ยความแรงสัญญาณในแต่ละบริเวณ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\text{Network Signal Strength} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} \quad (1)$$

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูล ในบริเวณหนึ่ง

s_i คือ ค่าความแรงสัญญาณที่อุปกรณ์สามารถรับได้ในแต่ละครั้งที่เก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งนั้น สำหรับเครือข่ายใดเครือข่ายหนึ่ง

■ Network Availability

Network Availability หรือ ความพร้อมใช้งานเครือข่าย เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงจำนวนเครือข่ายที่มีให้ใช้ได้ภายในบริเวณหนึ่ง เพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างบริเวณที่มีเครือข่ายให้ใช้มากกับบริเวณที่มีเครือข่ายให้ใช้น้อย ซึ่งในบริเวณที่มี Network Availability สูง ก็แสดงว่าผู้ใช้บริการมีทางเลือกได้หลายทาง และบริเวณนั้นมีความมั่นคงด้านเครือข่ายสูง เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นกับเครือข่ายหนึ่งก็ยังมีเครือข่ายอื่นๆ ให้ใช้งานได้

ในงานวิจัยนี้ได้ให้นิยาม Network Availability ไว้ว่าเป็น “ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์สื่อสารสามารถรับสัญญาณของเครือข่ายต่างๆได้ ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง โดยสัญญาณไวไฟและสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อุปกรณ์สามารถรับได้นั้นต้องไม่น้อยกว่าค่าคงที่ค่าหนึ่ง” ซึ่งจากนิยามสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Network Availability} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \quad (2)$$

โดยที่ n คือ จำนวนครั้งที่เก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งๆ หนึ่ง

a_i คือ จำนวนเครือข่ายที่อุปกรณ์สามารถรับได้ในแต่ละครั้งที่เก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งนั้น สัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ตและสัญญาณไวไฟที่อุปกรณ์สามารถรับได้นั้นต้องไม่น้อยกว่า 13 ASU และ -98 dBm ตามลำดับ

ทั้งนี้ค่าเกณฑ์ของสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ตและสัญญาณไวไฟได้มาจากการทดลองสำรวจเพื่อเก็บค่าข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งได้ค่าความแรงของสัญญาณทั้ง 2 ประเภทที่แตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณ แต่ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับนิยามของ Network Availability ที่ต้องการแสดงถึงความพร้อมใช้งานของเครือข่าย จึงต้องใช้ค่าที่สามารถทำการเชื่อมต่อได้จริงมาเป็นเกณฑ์ของความพร้อมใช้งาน โดยจากฐานข้อมูลพบว่าสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ตที่ถูกเชื่อมต่อได้จริงนั้นมีค่าตั้งแต่ 13 ASU เป็นต้นไป และสัญญาณไวไฟที่ถูกเชื่อมต่อได้จริงนั้นมีค่าตั้งแต่ -98 dBm เป็นต้นไป

■ Connection Preference

ถึงแม้ว่าในบริเวณหนึ่งจะมีความแรงสัญญาณของเครือข่ายหนึ่งที่สูง แต่ในบางกรณีผู้ใช้บริการก็ไม่สามารถเชื่อมต่อได้ด้วยสาเหตุหลายประการ เช่น เครือข่ายมีการใช้งานหนาแน่นเกินไป เป็นต้น หรือผู้ใช้อาจเลือกที่จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นที่มีให้ใช้ในบริเวณนั้นเช่นกัน ขณะที่ Network Signal Strength บอกได้เพียงว่าบริเวณใดบริเวณหนึ่งมีสัญญาณแรงเพียงใด แต่ไม่ได้

บอกถึงการเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นจริง Connection Preference หรือ การเชื่อมต่อ
ได้กับเครือข่าย จึงเป็นตัวชี้วัดทางสถิติอีกตัวหนึ่งที่สร้างขึ้นเพื่อจะบ่งบอกถึง
ความถี่หรือความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการในบริเวณหนึ่งจะเชื่อมต่อเข้าใช้งาน
เครือข่ายหนึ่งได้

ในงานวิจัยนี้ ได้ให้ความหมายของ Connection Preference ไว้ว่า คือ
“ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์สื่อสารสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายสัญญาณใดๆ ได้
ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง” โดยจะคำนวณเครือข่ายเป็นรายๆ ไป ซึ่งจากนิยาม
สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\text{Connection Preference} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \quad (3)$$

โดยที่ n คือ จำนวนครั้งที่อุปกรณ์สามารถรับค่าสัญญาณได้ ณ ตำแหน่งนั้น
โดยค่าของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ และสัญญาณไวไฟที่พิจารณานี้ต้องมีค่า
ไม่น้อยกว่า 13 ASU และ -98 dBm ตามลำดับ

c_i คือ สถานะการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของอุปกรณ์ ซึ่งมีค่า 0 กับ 1 โดยที่
0 คือสถานะที่ไม่สามารถเชื่อมต่อได้ 1 คือสถานะที่สามารถเชื่อมต่อได้ ทั้งนี้
สถานะที่เชื่อมต่อได้ต้องมีค่าความแรงสัญญาณของโมบายล์อินเทอร์เน็ตไม่น้อย
กว่า 13 ASU และค่าที่เชื่อมต่อได้ของไวไฟต้องมีค่าไม่น้อยกว่า -98 dBm และ
speed ต้องไม่น้อยกว่า 11 Mbps

ทั้งนี้การที่ c_i มีค่าเป็น 0 หรือ 1 หรือแสดงถึงสถานะในการเชื่อมต่อ
เครือข่ายนั้น อาจเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น อุปกรณ์มีการเชื่อมต่อหรือขาด
การเชื่อมต่อกับเครือข่ายโดยอัตโนมัติ สิทธิในการใช้งานเครือข่าย เป็นต้น

ทั้งนี้ค่าเกณฑ์ของสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ตและสัญญาณไวไฟสำหรับ
Connection Preference ได้มาจากการทดลองสำรวจเพื่อเก็บค่าข้อมูล
เบื้องต้นเช่นเดียวกัน โดยเพื่อให้สอดคล้องกับนิยามของ Connection
Preference ที่ต้องการแสดงถึงการเชื่อมต่อเครือข่ายจากผู้ใช้งาน จึงได้พัฒนา
เครื่องมือให้สามารถตรวจสอบสถานะในการเชื่อมต่อได้ แต่ทั้งนี้สถานะการ
เชื่อมต่อเพียงอย่างเดียวไม่สามารถบอกถึงการเชื่อมต่อและความสามารถในการ
ใช้งานได้จริงของสัญญาณ จึงต้องมีเกณฑ์ในการกำหนดเพิ่มเติม ซึ่งจากข้อมูลที่
เก็บมาได้พบว่าสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ตที่มีสถานะถูกเชื่อมต่อได้นั้นมีค่า
ตั้งแต่ 13 ASU เป็นต้นไป และสัญญาณไวไฟที่มีสถานะถูกเชื่อมต่อได้นั้นต้องมี
ค่าตั้งแต่ -98 dBm เป็นต้นไป ซึ่งสอดคล้องกับค่าเกณฑ์ของ Network
Availability หรือค่าความพร้อมใช้งาน แต่ทั้งนี้ก็ยังไม่เป็นข้อมูลที่แสดงถึงการ
เชื่อมต่อเครือข่ายจากผู้ใช้งานได้อย่างเพียงพอ เนื่องจากในการทดลองบางพื้นที่

ที่เป็นจุดอับสัญญาณยังคงมีการเชื่อมต่อของเครือข่ายและความแรงสัญญาณอยู่ในเกณฑ์แต่กลับไม่สามารถทำการรับส่งข้อมูลได้ ซึ่งเมื่อตรวจสอบจากฐานข้อมูลพบว่า speed ในการรับส่งข้อมูลแสดงถึงความสามารถในการเชื่อมต่อเครือข่ายด้วย ซึ่งได้พบว่านอกจากสถานะที่เชื่อมต่อได้ด้วยค่าความแรงสัญญาณตามเกณฑ์ที่ได้กล่าวมาแล้ว speed ในการรับส่งข้อมูลจะต้องมีค่าตั้งแต่ 11 Mbps เป็นต้นไปถึงจะใช้งานโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟได้จริง

ดังนั้นการคำนวณตัวชี้วัด Connection Preference จึงต้องพิจารณาถึงสถานการณ์เชื่อมต่อ ค่าความแรงสัญญาณ และค่าความเร็วในการรับส่งข้อมูล (speed)

3.2.4 การแสดงผลข้อมูล (Data Visualization)

เป็นส่วนที่จะนำข้อมูลที่บันทึกในฐานข้อมูลและผ่านการคำนวณตัวชี้วัดแล้วมาแสดงผลบน Google Maps ในรูปแบบต่างๆ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 3.1.4 ทั้งนี้ได้แบ่งการแสดงผลเป็นแผนที่ข้อมูล (Coverage Map) ออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

■ ฮีตแมป

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบฮีตแมปเพื่อแสดงบริเวณตำแหน่งที่ผู้ทดลองได้ทำการสำรวจและเก็บข้อมูล โดยแสดงเป็นลักษณะวงสีในทุกพิกัดตำแหน่งที่มีการสำรวจ

■ กริดฮีตแมป

กริดฮีตแมปเป็นการแสดงบริเวณที่มีผลการเก็บข้อมูล ซึ่งได้แสดงเป็นลักษณะช่องตารางสีเหลี่ยมติดกัน (grid) โดยมีลำดับสีเพื่อกำหนดค่าของแต่ละช่องให้แตกต่างกันไป

ทั้งนี้การแสดงผลแผนที่ทั้งในรูปแบบของฮีตแมปและกริดฮีตแมปจำเป็นที่จะต้องมีการระบุความละเอียดของแผนที่ จึงได้ตรวจสอบข้อมูลการระบุพิกัดตำแหน่งที่บันทึกมาได้ในฐานข้อมูล ซึ่งได้พบว่าการระบุตำแหน่งขึ้นอยู่กับความแม่นยำ ซึ่งถ้านำทุกพิกัดมาแสดง จะมีข้อมูลที่ตำแหน่งคลาดเคลื่อนไปมารวมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงต้องทำการหาค่าที่เหมาะสม โดยจากฐานข้อมูลแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลส่วนใหญ่มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และส่วนน้อยที่ค่าต่างกันไป ดังนั้นจึงใช้ข้อมูล 90% แรกที่มีความแม่นยำสูงมาพิจารณา ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณหาค่าฮีดแมป

	จำนวน ข้อมูล (records)	Avg. accuracy (เมตร)	จำนวนข้อมูล ของ 90% (records)	Avg. accuracy ของ 90% (เมตร)	Max.accuracy ของ 90% (เมตร)
All	19,095	51	17,186	19	48
gps	10,913	16	9,822	<u>12</u>	25
network	8,182	99	7,364	<u>31</u>	92

จะเห็นได้ว่าในส่วนของการระบุพิกัดด้วยจีพีเอสได้ค่าเฉลี่ยของ 90% แรก เป็นรัศมี 12 เมตร ดังนั้นจึงกำหนดช่องความแม่นยำของแผนที่ในงานนี้ที่ 25 เมตร ในขณะเดียวกัน ส่วนของการระบุพิกัดด้วย network ได้ค่าเฉลี่ยของ 90% แรก เป็นรัศมี 31 เมตร ดังนั้นจึงได้กำหนดช่องความแม่นยำของแผนที่ในงานนี้ที่ 60 เมตรให้เป็นแผนที่อีกประเภทหนึ่ง

บทที่ 4

การพัฒนาเครื่องมือและการทดลอง

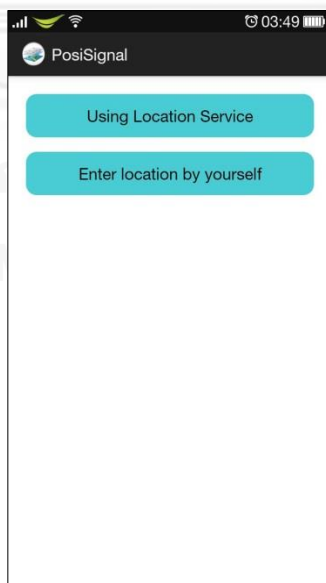
ในการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้ จำเป็นที่จะต้องมามีเครื่องมือเพื่อใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้สร้างเครื่องมือที่เป็นโมบายล์แอปพลิเคชันใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อให้ผู้ทดลองที่เป็นคราฟต์เซอร์สซึ่งได้ใช้สมาร์ทโฟนระบบแอนดรอยด์ของตนทำการสำรวจได้ ทั้งนี้ได้แบ่งการพัฒนาเครื่องมือและการทดลองออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

- การระบุพิกัดตำแหน่ง (Data Positioning)
- การเก็บข้อมูล (Data Collection)
- การคำนวณตัวชี้วัด (Data Processing)
- การแสดงผลข้อมูล (Data Visualization)
- การประเมินผลข้อมูล (Data Evaluation)

ซึ่งในแต่ละส่วนมีรายละเอียดการพัฒนา ดังนี้

4.1 การระบุพิกัดตำแหน่ง (Data Positioning)

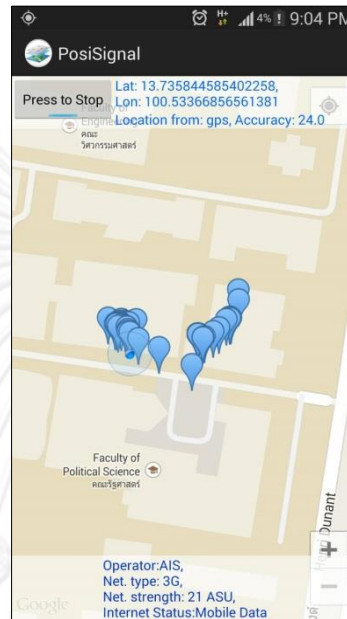
ในหน้าหลักของแอปพลิเคชันจะให้ผู้ใช้เลือกวิธีการระบุพิกัดตำแหน่งซึ่งแบ่งเป็น 2 วิธีดังรูปที่ 27



รูปที่ 31 user interface เลือกการแสดงผลพิกัดตำแหน่ง

4.1.1 รับค่าพิกัดจาก location service (Using Location Service)

เป็นวิธีที่เลือกใช้เมื่อแอปพลิเคชันสามารถรับค่าพิกัดจากระบบจีพีเอสหรือจาก location service ได้ดังรูปที่ 32-33 ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อที่ 3.2.1 โดยมีปุ่มเริ่มต้นที่ทำการเคลื่อนที่สำรวจและปุ่มหยุดการบันทึกดังแสดงในรูปทั้งสอง

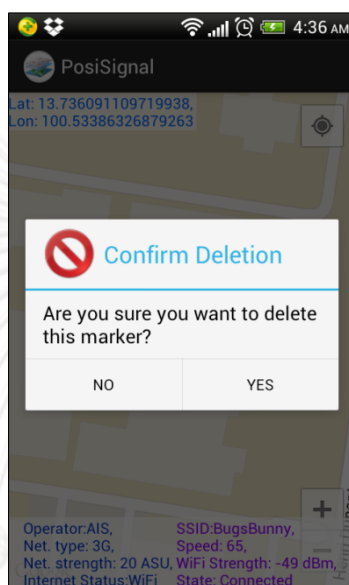


รูปที่ 32 การระบุพิกัดตำแหน่งด้วยจีพีเอสของผู้ทดลองบน Google Maps



รูปที่ 33 การระบุพิกัดตำแหน่งด้วย location service ที่มีความคลาดเคลื่อนมาก

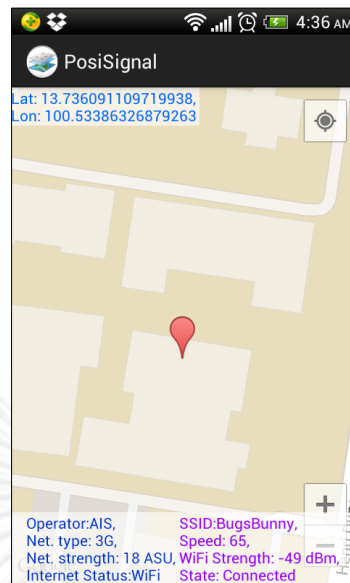
ทั้งนี้ การระบุพิกัดด้วย location service ย่อมมีความคลาดเคลื่อนและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาแม้ว่าผู้ทดลองจะอยู่ที่ตำแหน่งเดิม บางครั้งอาจได้พิกัดที่คลาดเคลื่อนไปมาก ดังที่ผู้ทดลองสามารถสังเกตได้จากตำแหน่งของหมุดพิกัดที่ปรากฏบนแผนที่รูปที่ 33 ทั้งนี้ผู้ทดลองสามารถทำการกดปุ่มหยุดบันทึกการสำรวจแล้วลบหมุดพิกัดเหล่านั้นได้ตามต้องการ โดยระบบจะมีการเตือนยืนยันการลบดังรูปที่ 34



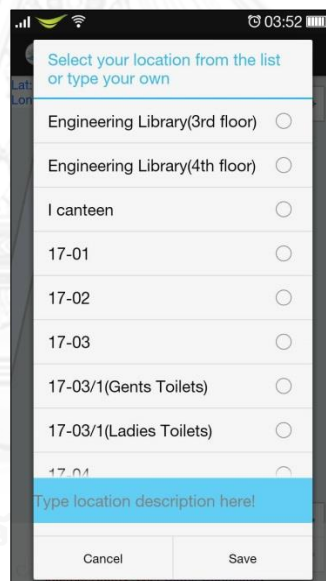
รูปที่ 34 หน้ายืนยันการลบค่าพิกัดตำแหน่งโดยผู้ใช้งาน

4.1.2 ส่วนที่รับค่าจากผู้ใช้งาน (Enter Location by Yourself)

เป็นวิธีที่เลือกใช้เมื่อแอปพลิเคชันไม่สามารถรับค่าพิกัดจากดาวเทียมหรือจาก location service ได้ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อที่ 3.2.1 ซึ่งอาจจะเป็นบริเวณภายในอาคารที่เป็นจุดอับสัญญาณ หรือไม่ได้มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ณ ขณะเก็บข้อมูล โดยทุกการเคลื่อนที่ในการสำรวจ ผู้ทดลองจะต้องทำการระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ด้วยตัวเองดังรูปที่ 35 โดยผู้วิจัยได้เพิ่มฐานข้อมูลท้องถิ่น และช่องกรอกอธิบายเพิ่มเติมขึ้นมา เพื่อให้ผู้ทดลองสามารถเลือกระบุตำแหน่งให้ชัดเจนได้ยิ่งขึ้นดังรูปที่ 36 และเช่นเดียวกับการระบุพิกัดด้วย location service ในกรณีที่ผู้ทดลองต้องการลบหมุดพิกัดก็สามารถทำได้เช่นกัน



รูปที่ 35 ระบุพิกัดตำแหน่งด้วยการระบุเองของผู้ใช้งาน



รูปที่ 36 ส่วนที่ระบุตำแหน่งระดับห้องจากฐานข้อมูล

4.2 การเก็บข้อมูล (Data Collection)

จากข้อมูลการสำรวจที่บันทึกมาได้นั้น มีการสำรวจ ณ บริเวณต่างๆ ภายในพื้นที่การทดลอง คือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งการแสดงผลทั้งหมดต่อไปนี้จะเป็นข้อมูลที่เริ่มบันทึกตั้งแต่วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2557 ถึง 30 พฤษภาคม 2557 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ข้อมูลเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล โดยแบ่งตามวิธีการพิกัดตำแหน่งดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

	จีพีเอส	Google Location Service	ระบุตำแหน่งด้วยตนเอง
จำนวนเครื่อง	6	7	5
ยี่ห้อ/รุ่น	-Samsung Galaxy S4 /GT-I9500 -Samsung Galaxy Note2 /GT-N7100 -Samsung Galaxy Tab 10.1 /GT-P7500 -HTC One V -Samsung /Nexus S - OPPO R1 /R829	-Samsung Galaxy S4 /GT-I9500 -Samsung Galaxy Note2 /GT-N7100 -Samsung Galaxy Tab 10.1 /GT-P7500 -HTC One V -Samsung /Nexus S - OPPO R1 /R829 - Scopad /SP0718	-Samsung Galaxy S4 /GT-I9500 -Samsung Galaxy Note2 /GT-N7100 -Samsung Galaxy Tab 10.1 /GT-P7500 -HTC One V -OPPO R1/R829

- ตำแหน่งในการเก็บข้อมูล จากการระบุตำแหน่งด้วยตัวเองดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตำแหน่งในการเก็บข้อมูล

ตำแหน่งที่ถูกบันทึก จากฐานข้อมูล ท้องถิ่น	จำนวนตำแหน่งที่ บันทึกจาก ฐานข้อมูลท้องถิ่น	ตำแหน่งที่ผู้ทดลองกรอกเอง	จำนวนตำแหน่งที่ บันทึกจากการ กรอกข้อมูลเอง
- 17-02	9	- Inthanin café	1
- 17-10	2	- Inthanin café front	1
- 18-12	3	- juljakpong canteen	1
- 19-18	1	- u center bus stop	1
- 20-03/2(Ladies Toilets)	1	- จามจุรีสแควร์	2
- 20-Lab(Dsel, Mind, Space)	162	- ลานเกียร์	4
- Engineering Library(3rd floor)	220	- หน้าอาคารอนุศาสน์ยंत्रกรรม	2
- Engineering Library(4th floor)	167	- หน้าพระบรมฯ	3
- I canteen	243	- ห้อง 206 ชั้น 2 ตึก 3 คณะวิศวกรรม	1
		- อาคาร 50 ปี รร.สาธิตจุฬา ประถม	1
		- ข้างอาคาร 4	1

- จำนวนตำแหน่งในการเก็บข้อมูล โดยแบ่งตามวิธีการพิกัดตำแหน่งดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 จำนวนตำแหน่งในการเก็บข้อมูล

พิกัดทั้งหมด	จีพีเอส	Google location service	ระบุตำแหน่งด้วยตนเอง
19,959 ตำแหน่ง	10,913 ตำแหน่ง	8,182 ตำแหน่ง	864 ตำแหน่ง

4.3 การคำนวณตัวชี้วัด (Data Processing)

ข้อมูลสัญญาณที่ได้จากแอปพลิเคชันถือว่าเป็นข้อมูลดิบ (raw data) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการประมวลผลเพื่อให้ได้เป็นสารสนเทศ (information) และนำไปแสดงผลอย่างถูกต้องและแม่นยำตามประเภทของการแสดงผลแผนที่ที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อที่ 3.2.4 โดยผู้วิจัยได้แบ่งการคำนวณข้อมูลออกเป็น 3 ตัวชี้วัด และมีค่าที่ใช้ในการคำนวณในตัวชี้วัดแต่ละประเภทดังนี้

4.3.1 Network Signal Strength

จากนิยามและสมการที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อที่ 3.2.3 มีค่าที่ใช้ในการคำนวณคือ

- จำนวนและค่าความแรงสัญญาณ ASU ของโทรศัพท์เคลื่อนที่
- จำนวนและค่าความแรงสัญญาณไวไฟซึ่งมีหน่วยเป็น dBm

4.3.2 Network Availability

จากนิยามและสมการที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อที่ 3.2.3 มีค่าที่ใช้ในการคำนวณคือ

- จำนวนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีค่าความแรงสัญญาณไม่ต่ำกว่า 13 ASU
- จำนวนของสัญญาณไวไฟที่มีค่าความแรงสัญญาณไม่ต่ำกว่า -98 dBm

4.3.3 Connection Preference

จากนิยามและสมการที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อที่ 3.2.3 มีค่าที่ใช้ในการคำนวณคือ

- จำนวนสถานะที่สามารถเชื่อมต่อได้ของแต่ละสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตโดยมีค่าความแรงสัญญาณไม่ต่ำกว่า 13 ASU
- จำนวนสถานะที่สามารถเชื่อมต่อได้ของสัญญาณไวไฟโดยมีค่าความแรงสัญญาณไม่ต่ำกว่า -98 dBm และมีค่า speed ไม่น้อยกว่า 11 Mbps

4.4 การแสดงผลข้อมูล (Data Visualization)

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งแผนที่แสดงตำแหน่งการสำรวจออกเป็น 2 รูปแบบ คือ แบบฮีตแมปและกริดฮีตแมปดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 3.2.4 โดยจะเน้นไปที่การแสดงผลข้อมูลบนกริดฮีตแมปเนื่องจากต้องการแสดงค่าเฉลี่ยหรือค่าความน่าจะเป็นในบริเวณพื้นที่ที่มีการสำรวจ

ในส่วนของการพัฒนา user interface เพื่อแสดงแผนที่นั้น ได้พัฒนาโดยการใช้ Google Maps Javascript API v3 เป็นแผนที่หลักในการแสดงผล โดยใช้ php ในการเรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์มาแสดงเพื่อสร้างเป็นฮอตแมปพร้อมกับ javascript โดยแสดงซ้อนบน Google Maps นี้

การแสดงผลตามตำแหน่งข้อมูลจากฐานข้อมูลท้องถิ่น ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 7 มีการบันทึกข้อมูลตามตำแหน่งท้องถิ่นที่หลากหลาย จะเห็นได้ว่ามี 4 สถานที่ที่ถูกสำรวจหลายครั้ง จึงขอแสดงผลการทดลองเฉพาะ 4 สถานที่สำหรับกรณีของการแสดงผลตามฐานข้อมูลท้องถิ่น ซึ่งได้แก่ ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ชั้น 3, ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ชั้น 4, I canteen, และ ห้องแล็บชั้น 20

นอกจากนี้ การแสดงผลข้อมูลได้แสดงตามตัวชี้วัด อันได้แก่ Network Signal Strength, Network Availability, และ Connection Preference โดยในแต่ละประเภทของการแสดงผลข้อมูลนี้ ได้แสดงเป็นแผนที่ตาม network operator ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตและ SSID ของสัญญาณไวไฟหลักในพื้นที่การทดลอง ดังข้อมูลตารางที่ 9

ตารางที่ 9 รายการ network operator และ SSID ที่ใช้แสดงเป็นผลการทดลอง

network operator	SSID
- AIS	- ChulaWiFi
- AIS 3G	- NirasNet
- TH GSM	- eng
- DTAC	
- TH-DTAC	

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองโดยพิจารณาเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จาก 2 บริษัท คือ บริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) หรือ เอไอเอส ซึ่งมีเครือข่ายที่ใช้ในการทดลอง คือ AIS, AIS 3G, และ TH GSM และอีกบริษัท คือ บริษัท โทเทิล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น จำกัด (มหาชน) หรือ ดีแทค ซึ่งมีเครือข่ายที่ใช้ในการทดลอง คือ DTAC และ TH-DTAC

เครือข่ายของเอไอเอสที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 เครือข่ายนี้ความแตกต่างกัน ดังนี้ [31]

- **AIS** เป็นเทคโนโลยีเชื่อมต่อไร้สายในยุค 3G ดังที่กล่าวไว้แล้วในข้อ 2.1.2.3 โดยเครือข่ายนี้มีคลื่นความถี่ 2100 MHz ทั้งนี้ AIS เป็นการแสดงชื่อเครือข่ายสำหรับระบบการจ่ายเงินแบบรายเดือนของเอไอเอส
- **AIS 3G** เป็นเทคโนโลยีเชื่อมต่อและมีคลื่นความถี่เช่นเดียวกับ AIS แต่เป็นการแสดงชื่อเครือข่ายสำหรับระบบการจ่ายเงินแบบเติมเงินของเอไอเอส
- **TH GSM** เป็นเทคโนโลยีเชื่อมต่อไร้สายในยุค 3G เช่นเดียวกันแต่มีคลื่นความถี่ที่ 900 MHz ดังนั้นในกรณีที่เครื่องเปิดใช้บริการเครือข่ายที่คลื่นความถี่ 2100 MHz แต่อยู่ในพื้นที่ที่ไม่สามารถรับบริการได้ อุปกรณ์ก็จะทำการเปลี่ยนมารับสัญญาณเครือข่าย TH GSM แทนตามที่มีผู้ใช้งานได้ตั้งค่าเครื่องไว้

ในส่วนของเครือข่ายดีแทคปัจจุบันได้ให้บริการเป็นระบบ TriNet กล่าวคือให้บริการบน 3 คลื่นความถี่ ได้แก่ 1800, 850, และ 2100 MHz ซึ่งคลื่นความถี่ 850 และ 2100 MHz เป็นเทคโนโลยี 3G โดยระบบจะสลับคลื่นสัญญาณโดยอัตโนมัติเพื่อรองรับการใช้งานทุกรูปแบบ [32] ดังนั้นในกรณีที่งานวิจัยได้ใช้เครือข่ายของดีแทค 2 เครือข่ายในการทดลองนี้มีความแตกต่างกัน คือ TH-DTAC เป็นสัญญาณที่คลื่นความถี่ 850 MHz และ DTAC เป็นสัญญาณที่คลื่นความถี่ 2100 MHz

นอกจากระบบเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับสัญญาณไวไฟหลักภายในพื้นที่การทดลอง โดยมีรายละเอียดข้อมูลสัญญาณดังนี้

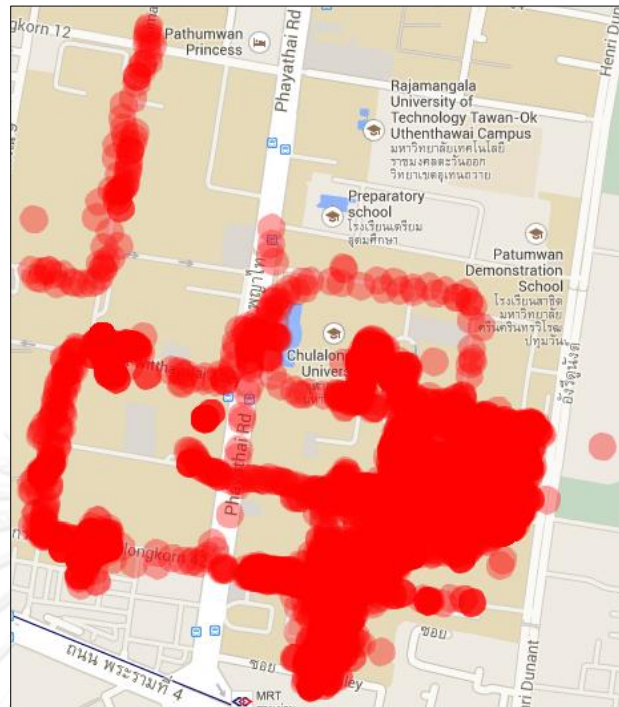
- **ChulaWiFi** เป็นเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีความปลอดภัยตามมาตรฐาน WPA2 และรองรับการใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่โดยไม่ต้องลงทะเบียน mac address [33]
- **NirasNet** (Nomand Infrastructure & Remote Access Service) เป็นอีกหนึ่งการให้บริการเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีความแตกต่างจากการใช้ ChulaWiFi คือ NirasNet จะต้องมีการลงทะเบียน mac address ก่อนการใช้งาน และมีการตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของผู้ใช้งานอยู่เป็นระยะ จึงทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ไม่รองรับการทำงานแบบ multitasking เนื่องจากระบบจะเข้าใจว่าอุปกรณ์ไม่อยู่ในระบบแล้วจึงตัดการทำงาน [34]
- **eng** เป็นเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายที่ให้บริการเฉพาะภายในพื้นที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.1 แผนที่แสดงบริเวณที่ทำการสำรวจ

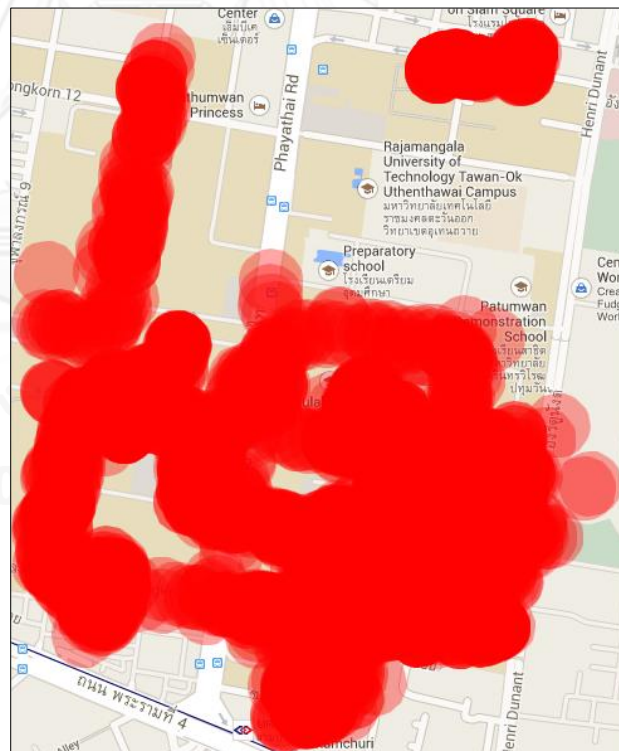
แผนที่แสดงบริเวณที่ทำการสำรวจ เป็นการแสดงบริเวณที่ผู้ทดลองได้ทำการเก็บข้อมูล ซึ่งได้แบ่งเป็นฮอตแมปและกริดฮอตแมปและได้แบ่งรัศมีของตำแหน่งเป็น 25 และ 60 เมตร ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในข้อที่ 3.2.4 โดยมีการแสดงผลดังนี้

▪ ฮอตแมป

รูปที่ 33 และ 34 แสดงพื้นที่ที่ทำการสำรวจในรูปแบบฮอตแมปจะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่มีสีเข้มมากจะเป็นบริเวณที่มีการสำรวจมาก ซึ่งจากแผนที่ฮอตแมปที่รัศมีตำแหน่ง 60 เมตร แสดงจำนวนตำแหน่งการสำรวจที่มากกว่าฮอตแมปที่รัศมีตำแหน่ง 25 เมตร เนื่องจากมีจำนวนในการสำรวจที่มากกว่า

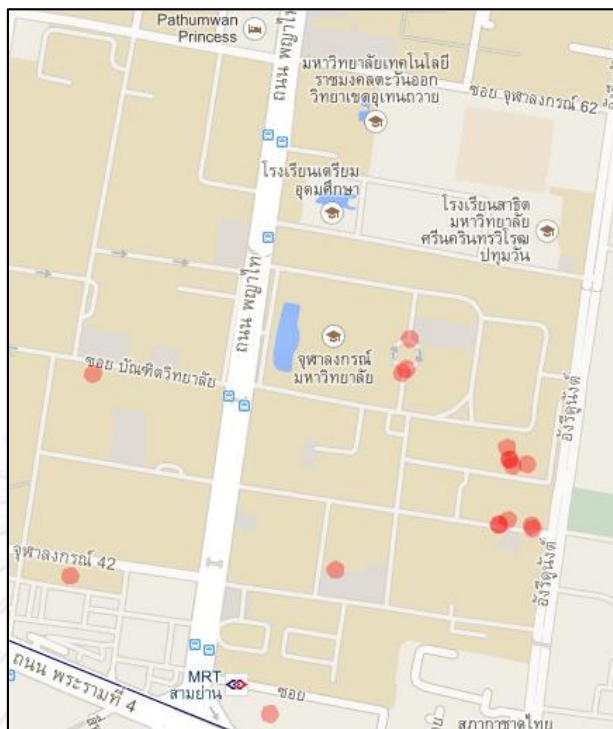


รูปที่ 37 ฮีตแมปแสดงตำแหน่งที่มีการสำรวจด้วยความแม่นยำ 25 เมตร



รูปที่ 38 ฮีตแมปแสดงตำแหน่งที่มีการสำรวจด้วยความแม่นยำ 60 เมตร

นอกจากนี้ตำแหน่งที่ถูกระบุด้วยผู้ทดลองเองและไม่ได้เป็นตำแหน่งที่มา
จากฐานข้อมูลท้องถิ่น แต่เป็นตำแหน่งที่เพิ่มเติมมา ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้
ว่ามีข้อมูลประปราย ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 35



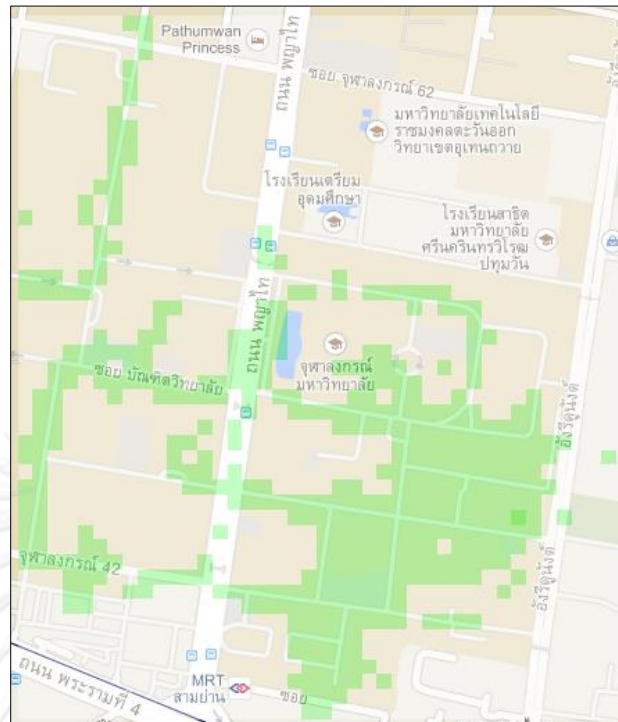
รูปที่ 39 ฮีตแมปแสดงตำแหน่งที่ถูกระบุด้วยตนเอง

■ กริดฮีตแมป

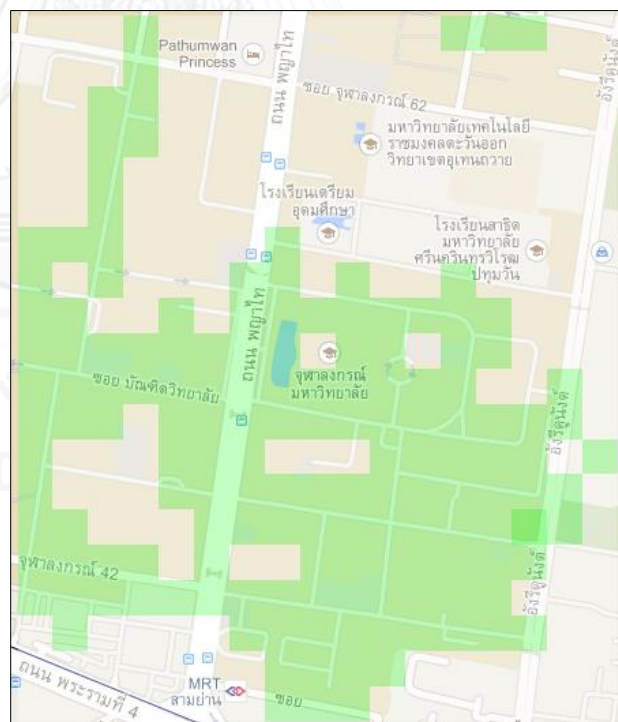
จากข้อมูลตำแหน่งการสำรวจ สามารถนำมาสร้างแผนที่แสดงตำแหน่งการสำรวจในรูปแบบกริดฮีตแมปได้ดังรูปที่ 36-38 เพื่อที่จะสามารถนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลแผนที่แต่ละประเภทไม่ว่าจะเป็น แผนที่แสดงความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณ (Network Signal Strength), แผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของเครือข่าย (Network Availability), และแผนที่แสดงการเชื่อมต่อของเครือข่าย (Connection Preference) ได้ โดยได้กำหนดลำดับสีของพื้นที่ที่ถูกสำรวจ โดยแต่ละสีได้แทนสัดส่วนในการสำรวจเมื่อเทียบกับตำแหน่งที่ถูกสำรวจทั้งหมด ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าสีบนแผนที่แสดงพื้นที่สำรวจ

รหัสสี	สี	ความหมาย
#66FF66		0 – 20 %
#00FF00		21 – 40 %
#00CC00		41 – 60 %
#009900		61 – 80 %
#004C00		81 – 100 %



รูปที่ 40 กริดฮีดแมปแสดงตำแหน่งสำรวจที่ความแม่นยำ 25 เมตร



รูปที่ 41 กริดฮีดแมปแสดงตำแหน่งสำรวจที่ความแม่นยำ 60 เมตร

ในส่วนของการแสดงผลข้อมูลในระดับห้อง ได้เลือกห้องจำนวน 4 ห้อง โดยแสดงตำแหน่งห้องบนแผนที่ดังรูปที่ 38 ได้แก่ ห้องสมุดวิเศษชั้น 3, ห้องสมุดวิเศษชั้น 4, I canteen, และ ห้องแล็บชั้น 20 ตามลำดับหมายเลข



รูปที่ 42 ตำแหน่งห้องที่สำรวจ

ในส่วนของการแสดงผลหลังจากที่ได้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจากตัวชี้วัดมาแล้ว ระบบก็จะนำข้อมูลส่วนนี้มาแสดงผลบนแผนที่ Google Maps ดังนี้


4.4.2 แผนที่แสดงแนวโน้มจะเป็นของความแรงสัญญาณ (Network Signal Strength)

แผนที่แสดงแนวโน้มจะเป็นของความแรงสัญญาณนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ แบ่งตามสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟดังนี้

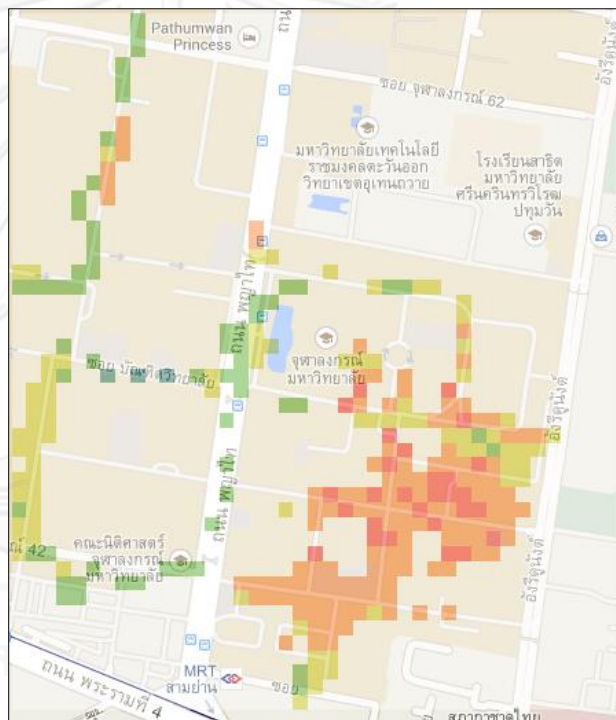
4.4.2.1 แผนที่ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต

จากข้อมูลที่สำรวจสามารถนำมาแสดงเป็นแผนที่ความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณโดยแบ่งตาม network operator และแผนที่รูปแบบต่างๆ โดยได้กำหนดลำดับสีเพื่อแสดงความหมายต่างๆไว้ดังตารางที่ 11 ทั้งนี้ได้กำหนดสีดำไว้เพื่อแสดงถึงพื้นที่ที่ผ่านการสำรวจแต่ไม่พบค่าความแรงสัญญาณ

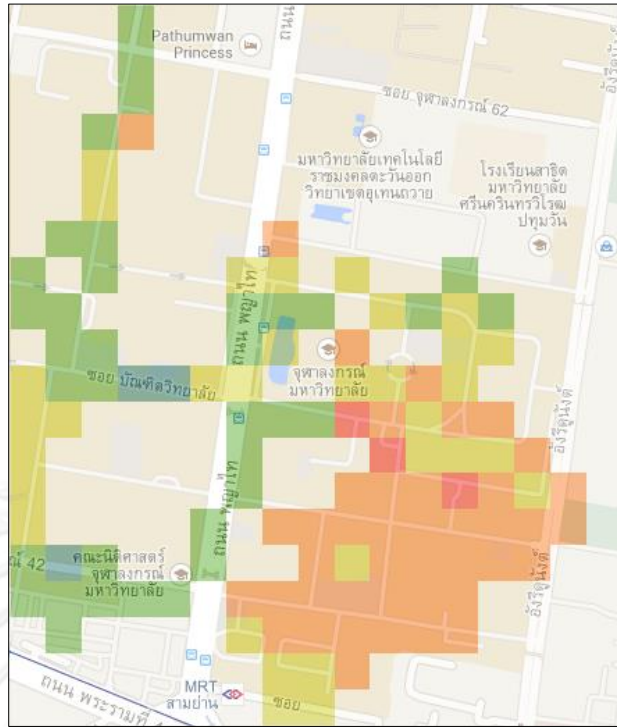
ตารางที่ 11 ค่าสีบนแผนที่ความแรงสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต

รหัสสี	สี	ค่าเฉลี่ยความแรงสัญญาณ (ASU)
#000000		พื้นที่ถูกสำรวจแล้ว แต่ไม่มีข้อมูล
#006666		> 0 - 10
#339900		> 10 - 15
#CCCC00		> 15 - 20
#FF6600		> 20 - 25
#FF0000		> 25

■ AIS



รูปที่ 43 แผนที่ความแรงสัญญาณ AIS ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

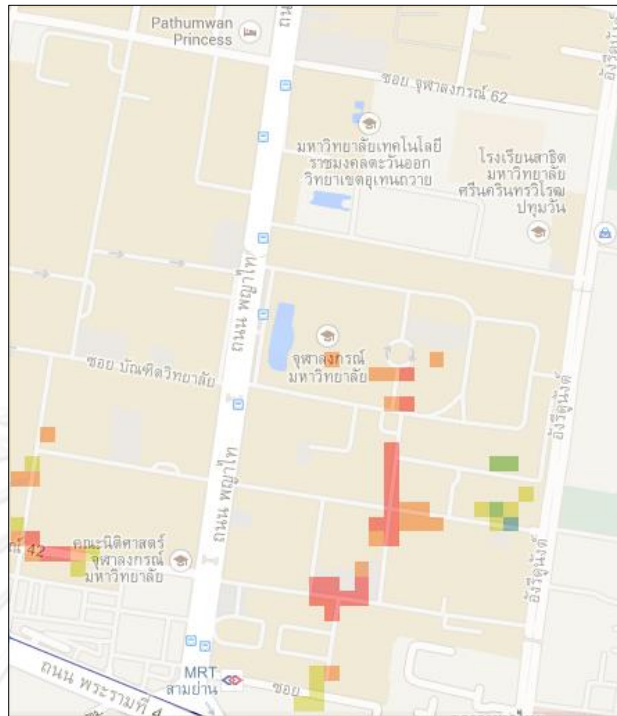


รูปที่ 44 แผนที่ความแรงสัญญาณ AIS ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

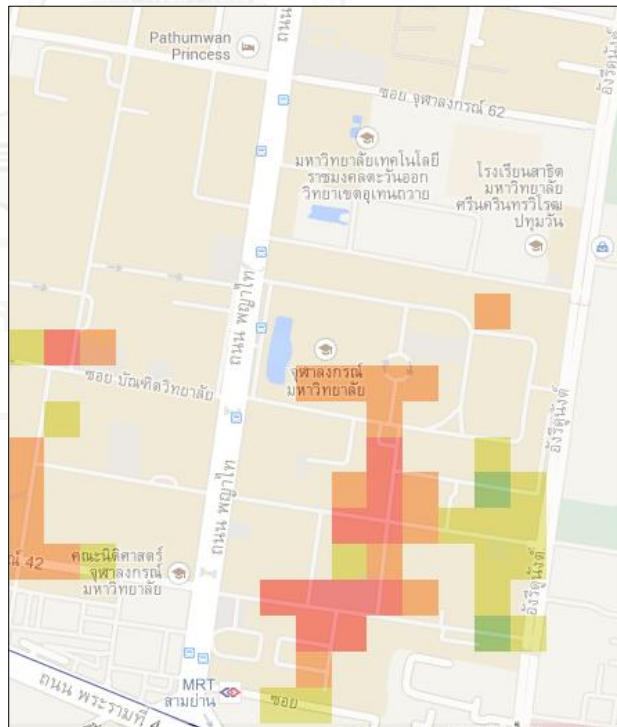


รูปที่ 45 แผนที่ความแรงสัญญาณ AIS ระดับห้อง

■ TH GSM

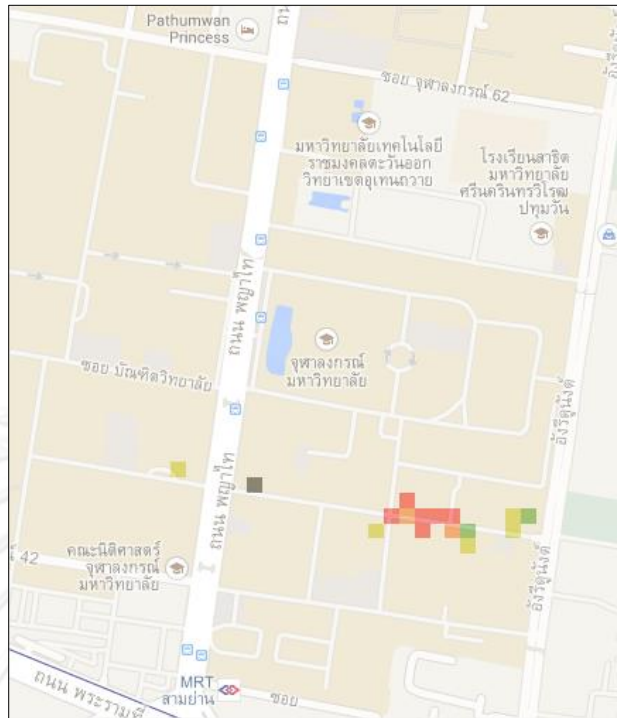


รูปที่ 48 แผนที่ความแรงสัญญาณ TH GSM ที่ความแม่นยำ 25 เมตร



รูปที่ 49 แผนที่ความแรงสัญญาณ TH GSM ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

■ TH-DTAC



รูปที่ 52 แผนที่ความแรงสัญญาณ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร



รูปที่ 53 แผนที่ความแรงสัญญาณ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

จากการแสดงผลแผนที่ความแรงสัญญาณของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตซึ่งมาจากการหาค่าเฉลี่ยของความแรงสัญญาณแต่ละประเภทในแต่ละพื้นที่ จะเห็นได้ว่ามีค่าความแรงสัญญาณที่มากน้อยแตกต่างกันไปตามบริเวณต่างที่มีการสำรวจ โดยจะเห็นได้ว่าแผนที่ทั้ง 2 ประเภท (ความแม่นยำ 25 เมตร และ ความแม่นยำ 60 เมตร) ให้ค่าลำดับสีใกล้เคียงกันในบริเวณเดียวกัน

ทั้งนี้สัญญาณจาก DTAC ทั้ง 2 operator (DTAC และ TH-DTAC) ได้พบว่า มีบางพื้นที่ที่ไม่สามารถให้สัญญาณได้ ดังนี้

- จากรูปที่ 47 มีการแสดงตำแหน่งที่มีการสำรวจแต่ไม่พบข้อมูล (พื้นที่สีดำ) แต่รูปที่ 46 กลับมีข้อมูลของ DTAC ในทุกพื้นที่ที่สำรวจ อันเนื่องมาจากข้อมูลที่ไม่มีสัญญาณนั้น มีการระบุความแม่นยำของตำแหน่งที่น้อยกว่า 25 เมตร ซึ่งจะไม่ถูกมาคำนวณในรูปที่ 46
- จากรูปที่ 48 และ 49 จะเห็นได้ว่ามีตำแหน่งที่ไม่มีสัญญาณอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน แต่ทั้งนี้รูปที่ 48 จะให้พิกัดตำแหน่งที่เข้าใจถึงความจริงมากกว่า เนื่องจากมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่สูงกว่า

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่ามีเฉพาะระบบ AIS เท่านั้นที่มีการแสดงข้อมูลระดับห้อง ซึ่งหมายความว่า ในการเลือกที่จะระบุตำแหน่งเอง มีเฉพาะผู้ทดลองที่ใช้อุปกรณ์ที่รองรับ AIS เท่านั้นที่ทำการสำรวจ ทั้งนี้ผู้ทดลองที่ใช้งานอุปกรณ์ในระบบอื่นอาจจะทำการระบุด้วยตนเองแต่เป็นห้องอื่นที่ไม่ได้ถูกพิจารณามาแสดง

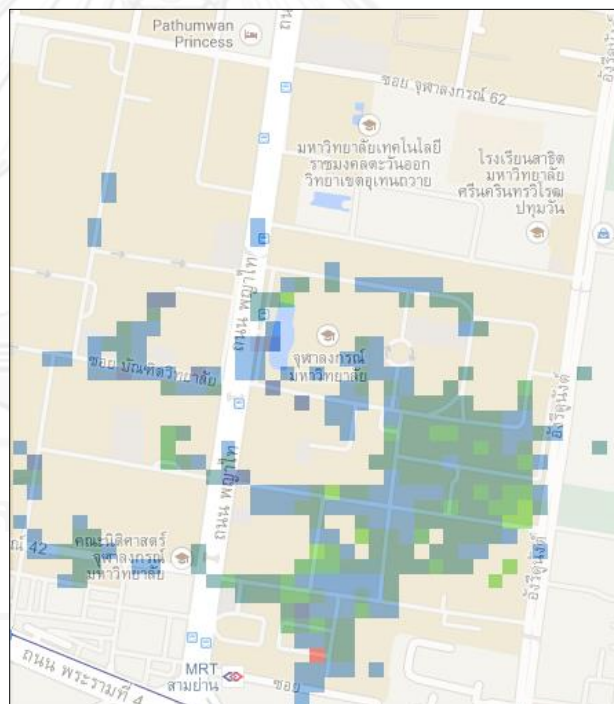
4.4.2.2 แผนที่ของสัญญาณไวไฟ

จากข้อมูลที่สำรวจสามารถนำมาแสดงเป็นแผนที่ความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณโดยแบ่งตามสัญญาณไวไฟหลักที่อยู่ภายในพื้นที่การทดลอง และได้กำหนดลำดับสีเพื่อแสดงความหมายต่างๆไว้ดังตารางที่ 12

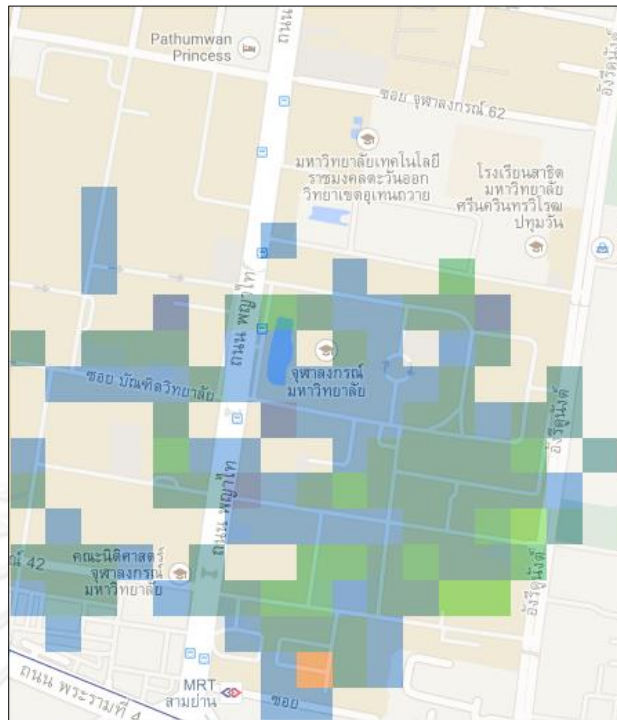
ตารางที่ 12 ค่าสีบนแผนที่ความแรงสัญญาณไวไฟ

รหัสสี	สี	ค่าเฉลี่ยความแรงสัญญาณ (dBm)
#000000		พื้นที่ถูกสำรวจแล้ว แต่ไม่มีข้อมูล
#003399		≤ -90
#0066CC		> -90
#006666		> -80
#009933		> -70
#33CC00		> -60
#FFCC00		> -50
#FF6600		> -40
#FF0000		> -30

■ ChulaWiFi



รูปที่ 54 แผนที่ความแรงสัญญาณ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

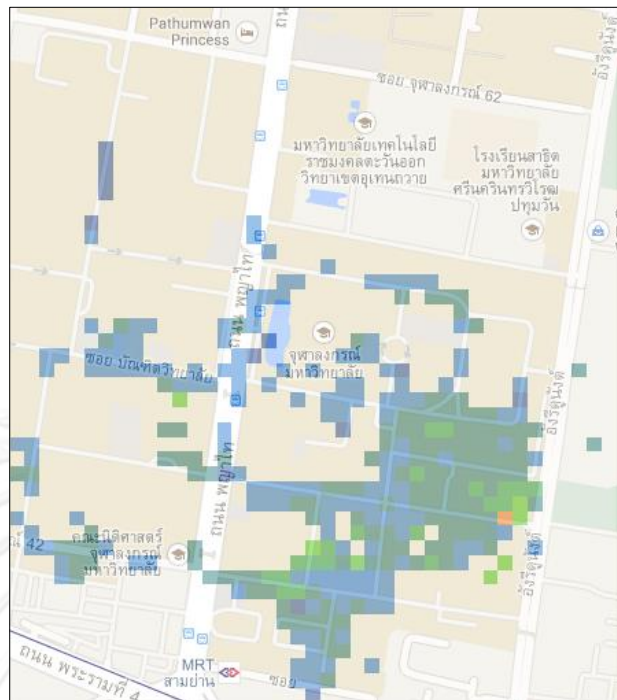


รูปที่ 55 แผนที่ความแรงสัญญาณ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

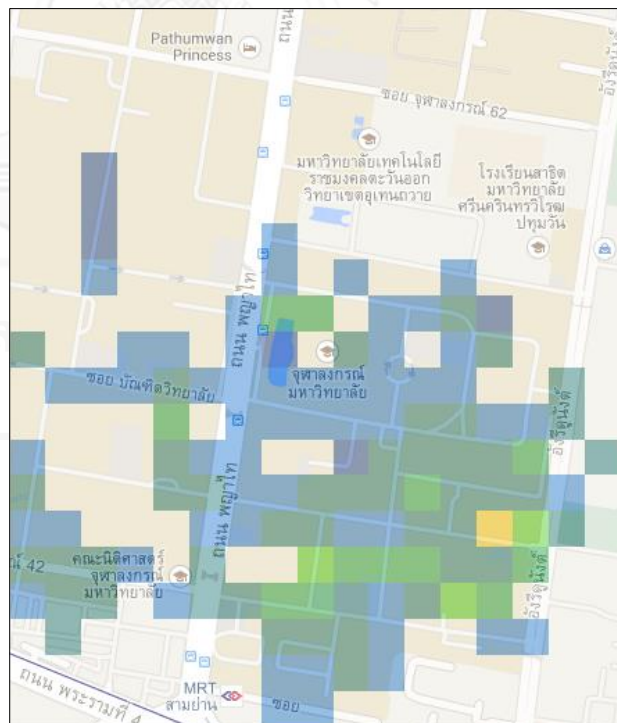


รูปที่ 56 แผนที่ความแรงสัญญาณ ChulaWiFi ระดับห้อง

- NirasNet



รูปที่ 57 แผนที่ความแรงสัญญาณ NirasNet ที่ความแม่นยำ 25 เมตร



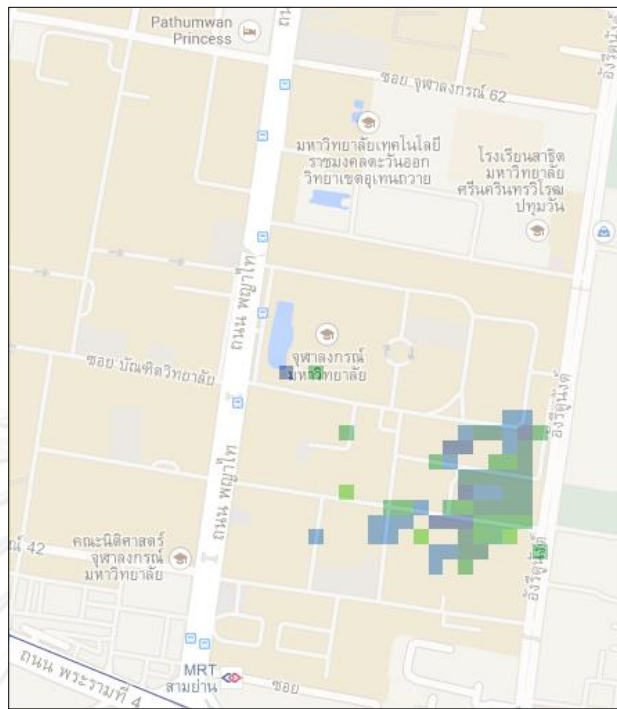
รูปที่ 58 แผนที่ความแรงสัญญาณ NirasNet ที่ความแม่นยำ 60 เมตร



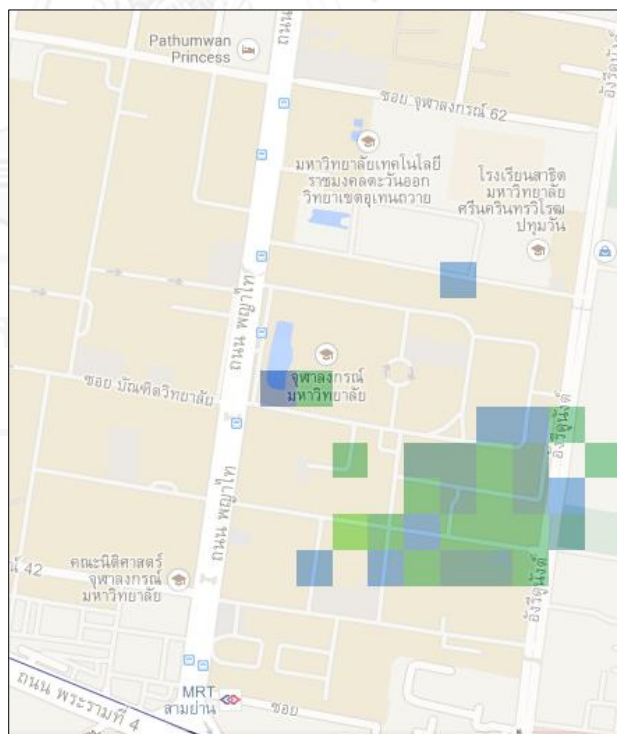
รูปที่ 59 แผนที่ความแรงสัญญาณ NirasNet ระดับห้อง



■ eng



รูปที่ 60 แผนที่ความแรงสัญญาณ eng ที่ความแม่นยำ 25 เมตร



รูปที่ 61 แผนที่ความแรงสัญญาณ eng ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

จากการแสดงผลการทดลองบนแผนที่ความแรงสัญญาณของไวไฟประเภทต่างๆ จะเห็นได้ว่า ChulaWiFi และ NirasNet มีการแสดงค่าที่หลากหลายในทุกพื้นที่ที่มี

การสำรวจ ซึ่งเป็นเพราะทั้ง 2 สัญญาณนี้เป็น Infrastructure หลักของพื้นที่การทดลอง

ทั้งนี้สามารถเก็บค่าสัญญาณ eng ได้เฉพาะบริเวณภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ และบริเวณใกล้เคียงเท่านั้น

4.4.3 แผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของเครือข่าย (Network Availability)

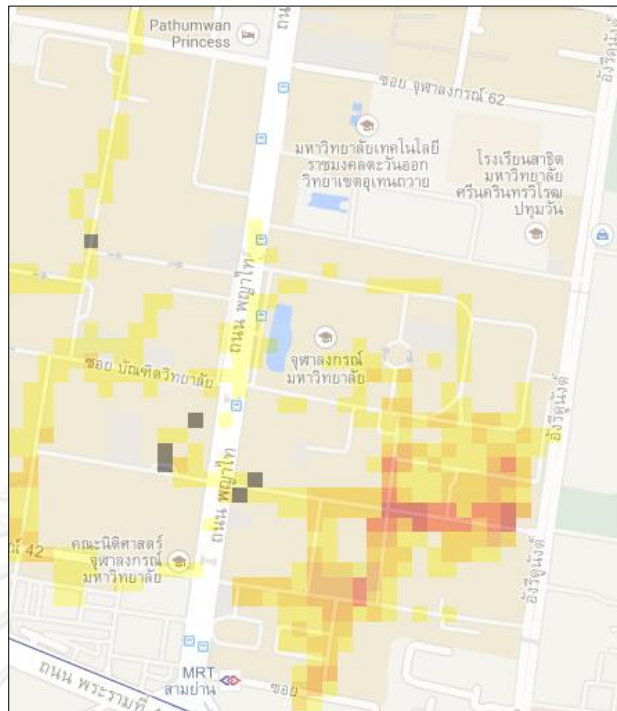
แผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของเครือข่ายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ แบ่งตามสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟดังตารางที่ 9 ได้ดังนี้

4.4.3.1 แผนที่ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต

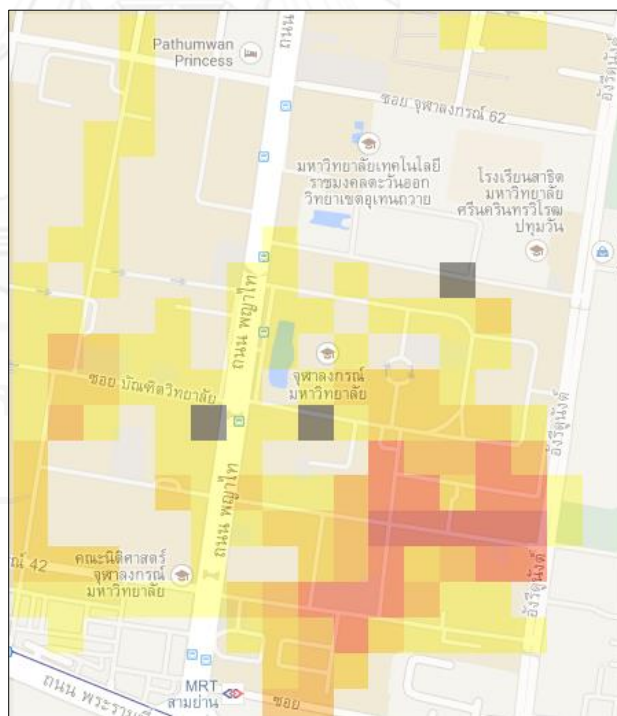
จากข้อมูลที่สำรวจสามารถนำมาแสดงเป็นแผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตโดยจากเครื่องมือที่หลากหลายที่ใช้ในการทดลองนี้ สามารถรับสัญญาณจาก network operator 5 เครือข่าย จึงได้กำหนดลำดับสีเพื่อแสดงความหมายและความพร้อมใช้งานจำนวนของเครือข่ายไว้ ดังนี้

ตารางที่ 13 ค่าสีบนแผนที่ความพร้อมใช้งานเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต

รหัสสี	สี	ค่าความพร้อมใช้งาน
#000000		พื้นที่ถูกสำรวจ แต่มีข้อมูลที่ต่ำกว่าเกณฑ์
#FFFF33		> 0 - 1
#FFCC00		> 1 - 2
#FF9900		> 2 - 3
#FF3300		> 3 - 4
#CC0000		> 4 - 5



รูปที่ 62 แผนที่ความพร้อมใช้งานโมบายล์อินเทอร์เน็ตที่ความแม่นยำ 25 เมตร



รูปที่ 63 แผนที่ความพร้อมใช้งานโมบายล์อินเทอร์เน็ตที่ความแม่นยำ 60 เมตร



รูปที่ 64 แผนที่ความพร้อมใช้งานโมบายล์อินเทอร์เน็ตระดับห้อง

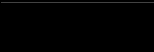



จากแผนที่ความพร้อมใช้งานของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตจะเห็นได้ว่ามีความพร้อมใช้งานของเครือข่ายตามพื้นที่สำรวจในสัดส่วนที่ต่างกันไป ทั้งนี้บริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์เป็นบริเวณที่มีความพร้อมใช้งานของเครือข่ายมากกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากเป็นบริเวณที่ถูกสำรวจด้วยอุปกรณ์ที่หลากหลายมากกว่า จึงทำให้มีการบันทึกจำนวน network operator ที่มากกว่าบริเวณอื่น

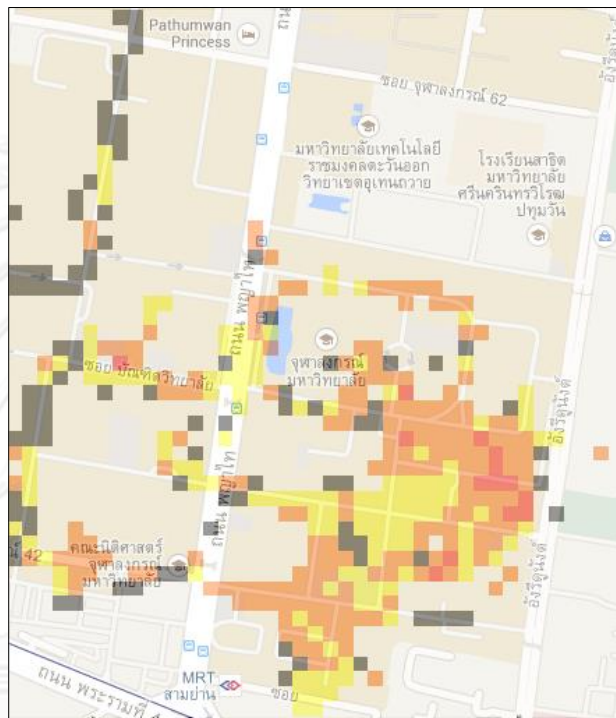
นอกจากนี้ได้มีบางบริเวณที่ถูกแสดงเป็นสีดำ อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่สำรวจบริเวณนั้นได้รับสัญญาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ availability ที่กำหนด ซึ่งก็คือมีค่าน้อยกว่า 13 ASU

4.4.3.2 แผนที่ของสัญญาณWiFi

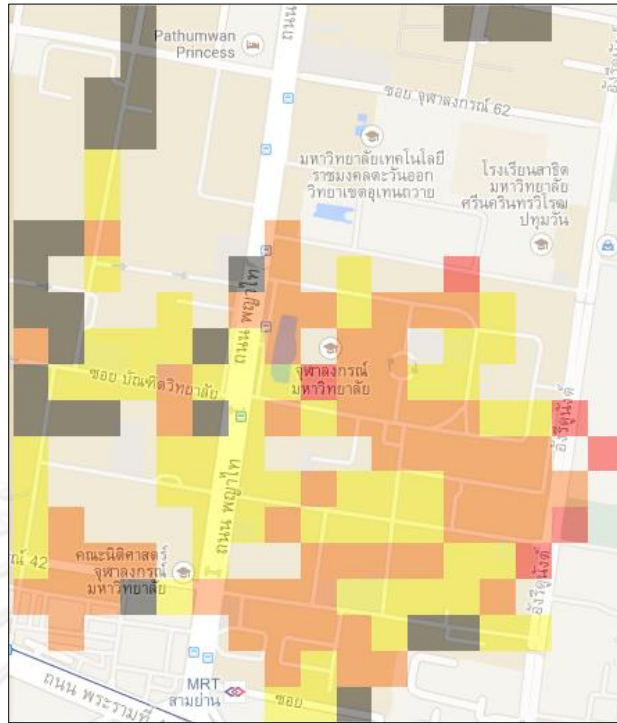
จากข้อมูลที่สามารถนำมาแสดงเป็นแผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของสัญญาณWiFiต่างๆ โดยพิจารณา 3 สัญญาณหลักในพื้นที่การทดลอง นั่นคือ ChulaWiFi, NirasNet, และ eng ดังนั้นจึงได้กำหนดลำดับสีเพื่อแสดงถึงจำนวนของสัญญาณที่มีความน่าจะเป็นที่จะสามารถใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ไว้ดังนี้

ตารางที่ 14 ค่าสีบนแผนที่ความพร้อมใช้งานสัญญาณไวไฟ

รหัสสี	สี	ค่าเฉลี่ยความพร้อมใช้งาน
#000000		พื้นที่ถูกสำรวจแล้ว แต่ไม่มีข้อมูล
#FFFF00		> 0 - 1
#FF6600		> 1 - 2
#FF0000		> 2 - 3



รูปที่ 65 แผนที่ความพร้อมใช้งานไวไฟที่ความแม่นยำ 25 เมตร



รูปที่ 66 แผนที่ความพร้อมใช้งานไฟฟ้าที่ความแม่นยำ 60 เมตร



รูปที่ 67 แผนที่ความพร้อมใช้งานไฟฟ้าระดับห้อง

จากแผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของสัญญาณไวไฟทั้ง 3 จะเห็นได้ว่าการแสดงจำนวนความพร้อมใช้งานสัญญาณที่หลากหลายตามบริเวณที่สำรวจ ทั้งนี้บริเวณที่แสดงถึงตำแหน่งที่มีการสำรวจแล้วแต่ไม่มีข้อมูลนั้น เนื่องมาจากเป็นพื้นที่ที่พบสัญญาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ availability นั่นคือมีค่าน้อยกว่า -98 dBm

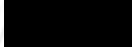





4.4.4 แผนที่แสดงการเชื่อมต่อของเครือข่าย (Connection Preference)

แผนที่แสดงการเชื่อมต่อของเครือข่ายนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ แบ่งตามสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟดังนี้

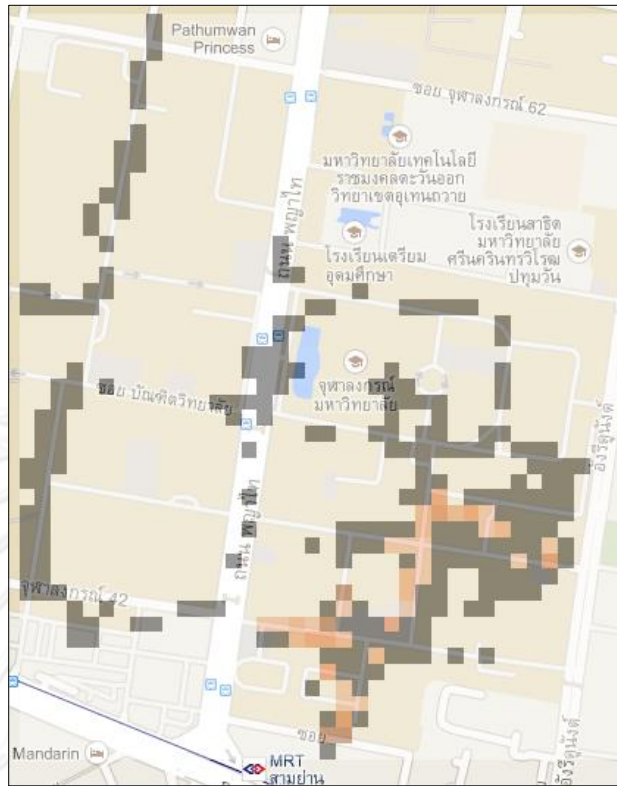
4.4.4.1 แผนที่ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต

จากข้อมูลที่สามารถนำมาแสดงเป็นแผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการเชื่อมต่อของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตโดยแบ่งตาม network operator ต่างๆ และได้กำหนดลำดับสีเพื่อแสดงความหมายต่างๆไว้ดังตารางที่ 15

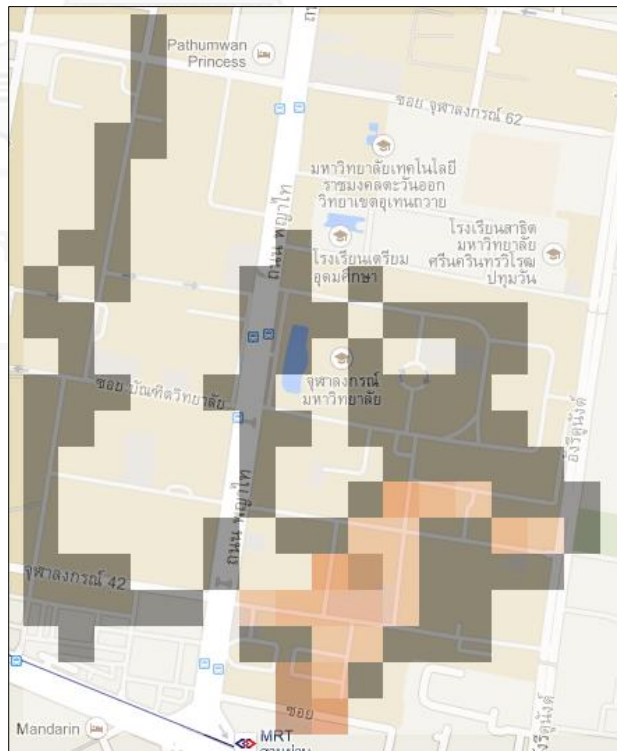
ตารางที่ 15 ลำดับสีบนแผนที่การเชื่อมต่อเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต

รหัสสี	สี	ค่าการเชื่อมต่อเครือข่าย (%)
#000000		พื้นที่ถูกสำรวจโดยไม่มีการเชื่อมต่อเครือข่าย
#F5AA81		> 0 – 20
#F1884F		> 20 – 40
#ED661D		> 40 – 60
#D44D03		> 60 – 80
#8D3302		> 80 – 100

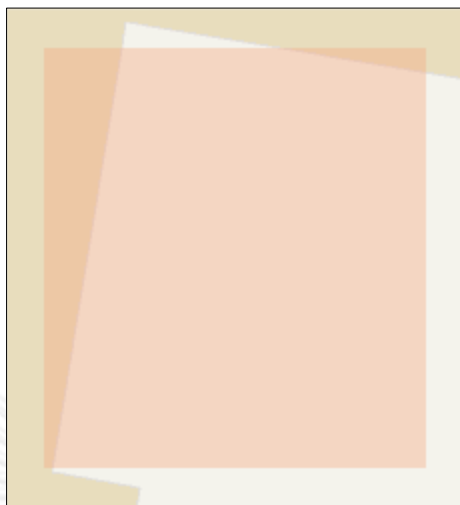
- AIS



รูปที่ 68 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

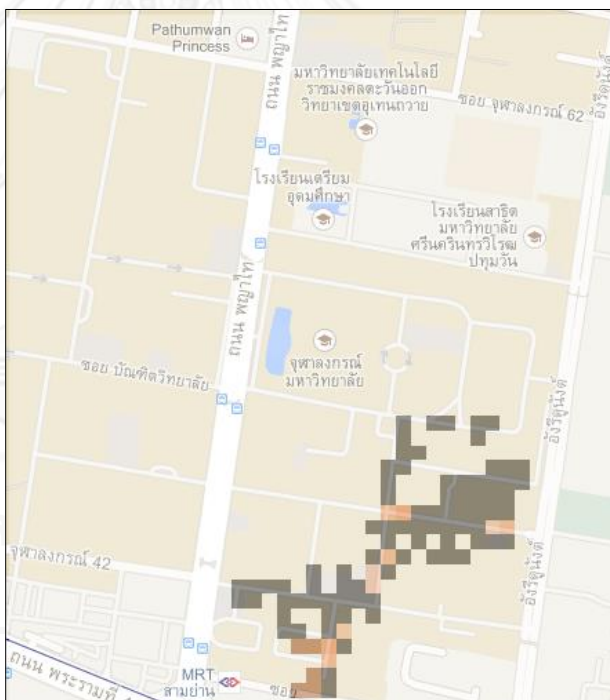


รูปที่ 69 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

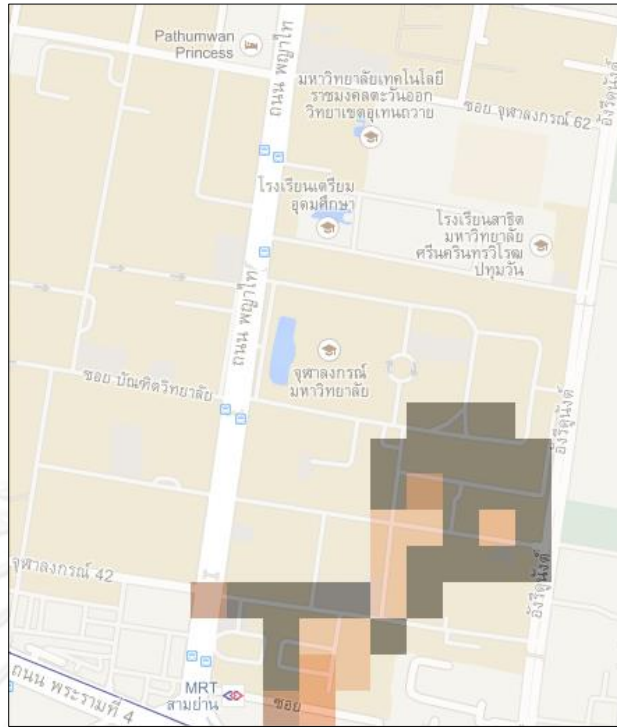


รูปที่ 70 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS 3G ห้องแล็บชั้น 20

■ AIS 3G

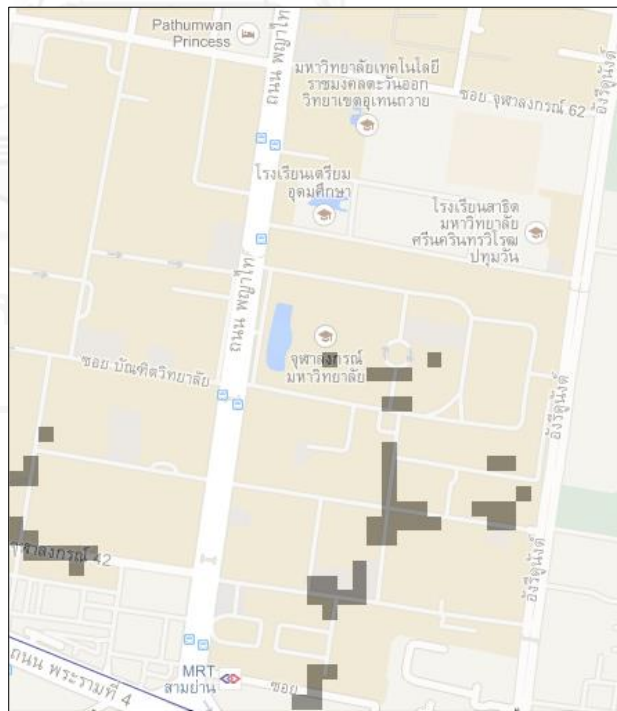


รูปที่ 71 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

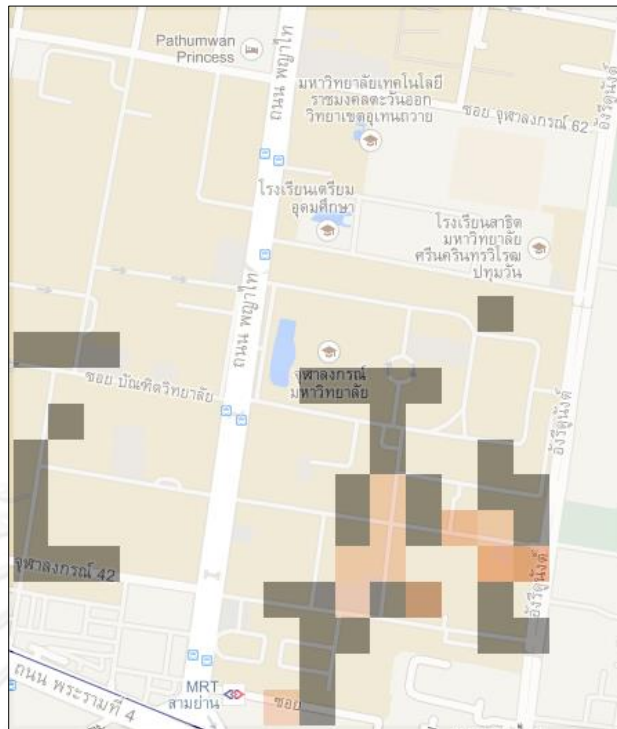


รูปที่ 72 แผนที่การเชื่อมต่อ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

- TH GSM

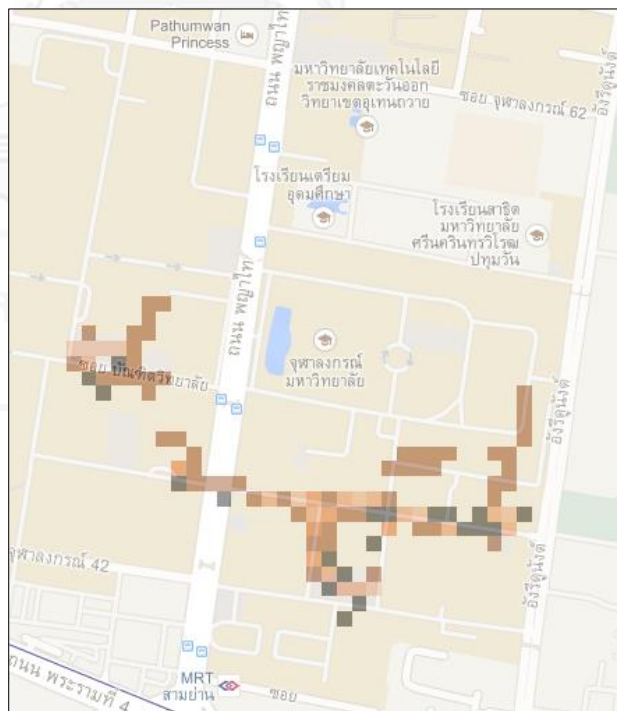


รูปที่ 73 แผนที่การเชื่อมต่อ TH GSM ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

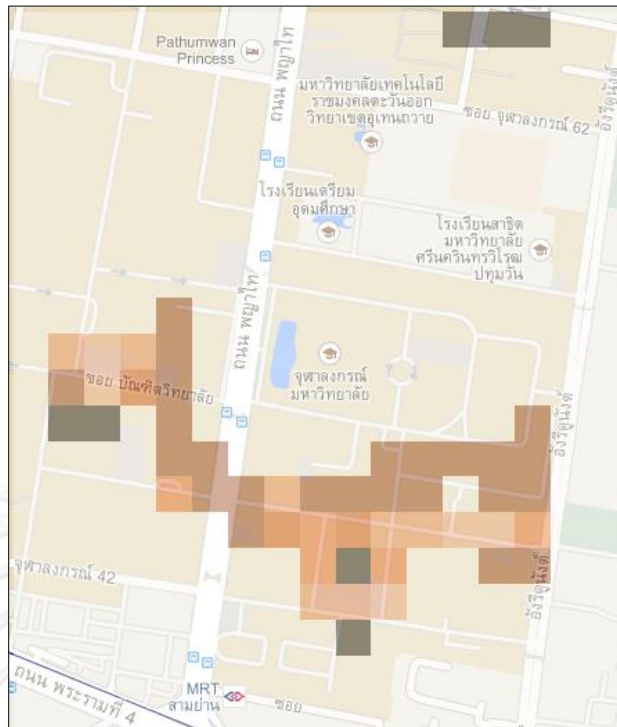


รูปที่ 74 แผนที่การเชื่อมต่อ TH GSM ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

■ DTAC

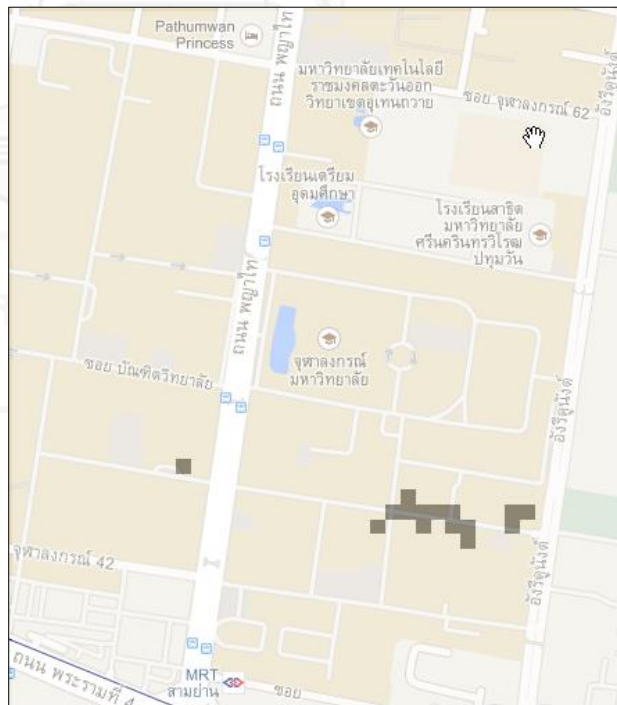


รูปที่ 75 แผนที่การเชื่อมต่อ DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร



รูปที่ 76 แผนที่การเชื่อมต่อ DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

■ TH-DTAC



รูปที่ 77 แผนที่การเชื่อมต่อ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร



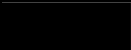
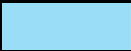
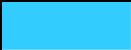



รูปที่ 78 แผนที่การเชื่อมต่อ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

จากแผนที่การเชื่อมต่อของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตแสดงให้เห็นว่า ผู้ทดลองมีการสำรวจข้อมูลโดยทำการบันทึกข้อมูลทั้งในขณะออนไลน์และออฟไลน์ตามพื้นที่ต่างๆ คละกันไป แต่มี TH-DTAC และ TH GSM (แผนที่ความแม่นยำ 25 เมตร) ที่แสดงถึงทุกพื้นที่ที่ถูกสำรวจนั้นไม่มีการเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตกับอุปกรณ์ในขณะที่มีการสำรวจเก็บข้อมูล ซึ่งอธิบายได้ว่า ไม่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตนี้ในขณะที่มีการเก็บข้อมูล (ออฟไลน์)

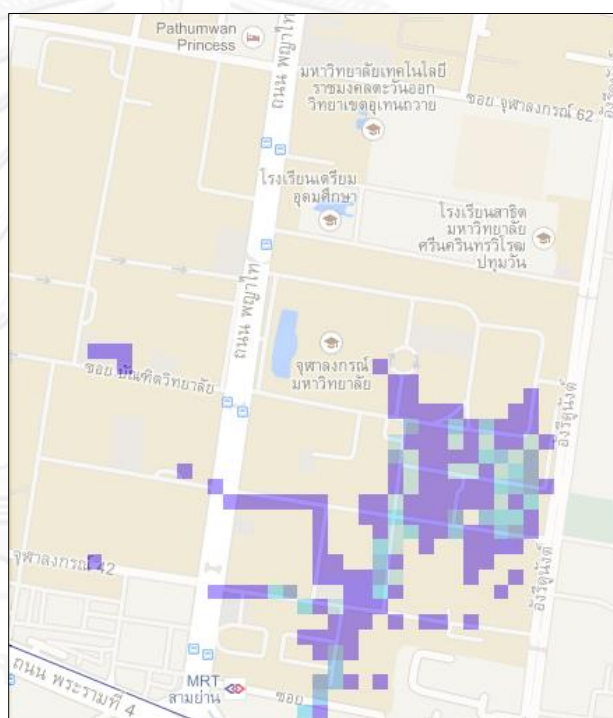
4.4.4.2 แผนที่ของสัญญาณไวไฟ

จากข้อมูลที่สำรวจสามารถนำมาแสดงเป็นแผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการเชื่อมต่อของสัญญาณโดยแบ่งตามสัญญาณไวไฟหลักที่อยู่ภายในพื้นที่การทดลองและได้กำหนดลำดับสีเพื่อแสดงความหมายต่างๆไว้ดังตารางที่ 16

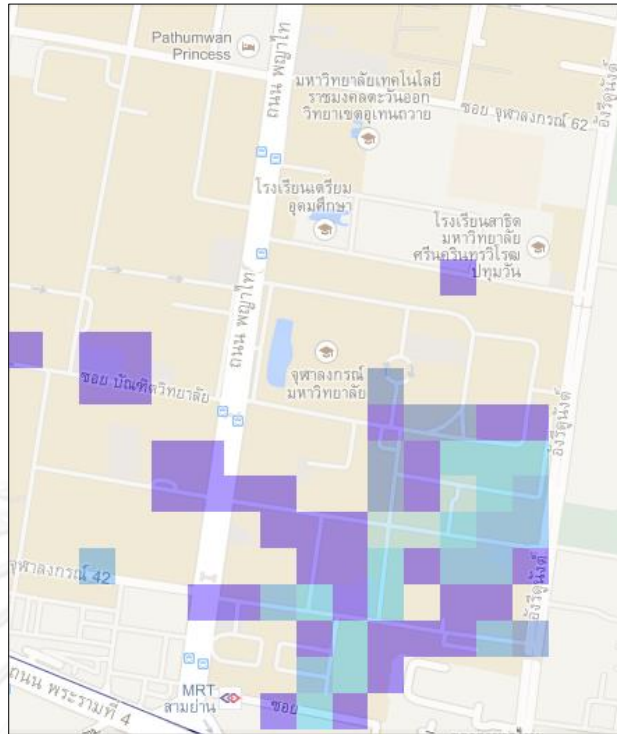
ตารางที่ 16 ค่าสีบนแผนที่การเชื่อมต่อสัญญาณไวไฟ

รหัสสี	สี	ค่าการเชื่อมต่อสัญญาณ (%)
#000000		พื้นที่ถูกสำรวจโดยไม่มีการเชื่อมต่อสัญญาณ
#9A6666		> 0 – 20
#33CCFF		> 20 – 40
#3399FF		> 40 – 60
#3366CC		> 60 – 80
#3300FF		> 80 – 100

■ ChulaWiFi



รูปที่ 79 แผนที่การเชื่อมต่อของ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

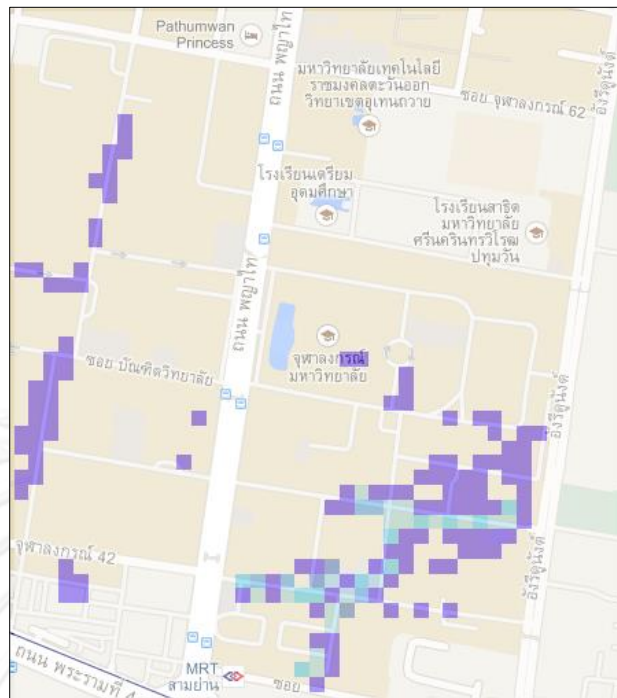


รูปที่ 80 แผนที่การเชื่อมต่อของ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

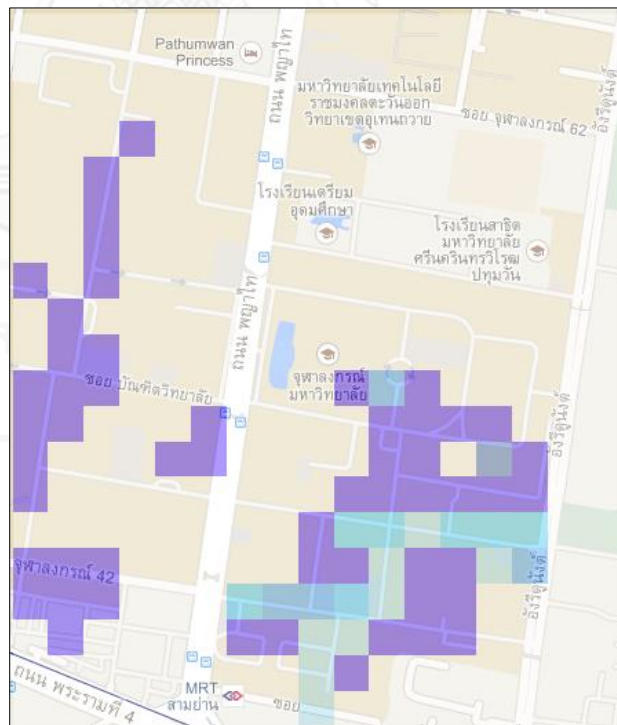


รูปที่ 81 แผนที่การเชื่อมต่อ ChulaWiFi ระดับห้อง

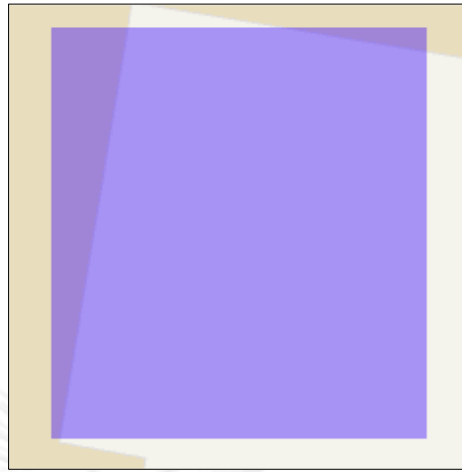
- NirasNet



รูปที่ 82 แผนที่การเชื่อมต่อของ NirasNet ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

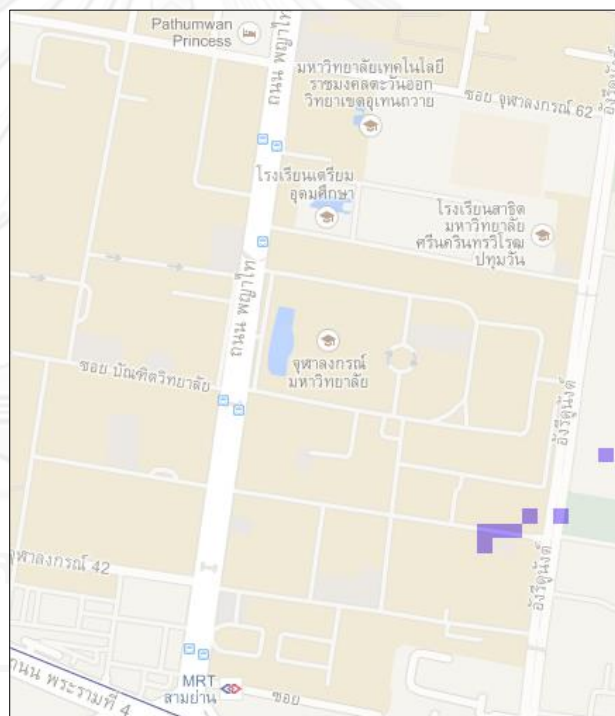


รูปที่ 83 แผนที่การเชื่อมต่อของ NirasNet ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

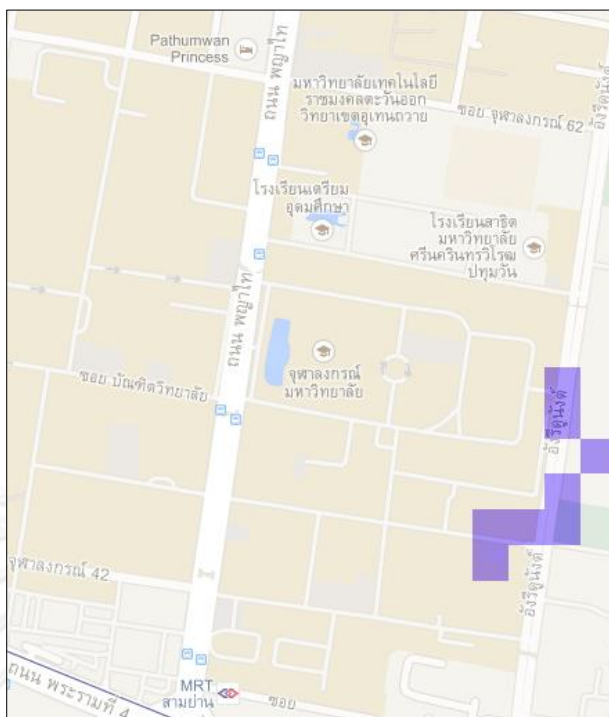


รูปที่ 84 แผนที่การเชื่อมต่อ NirasNet ณ ห้องแล็บชั้น20

- eng



รูปที่ 85 แผนที่การเชื่อมต่อของ eng ที่ความแม่นยำ 25 เมตร



รูปที่ 86 แผนที่การเชื่อมต่อของ eng ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

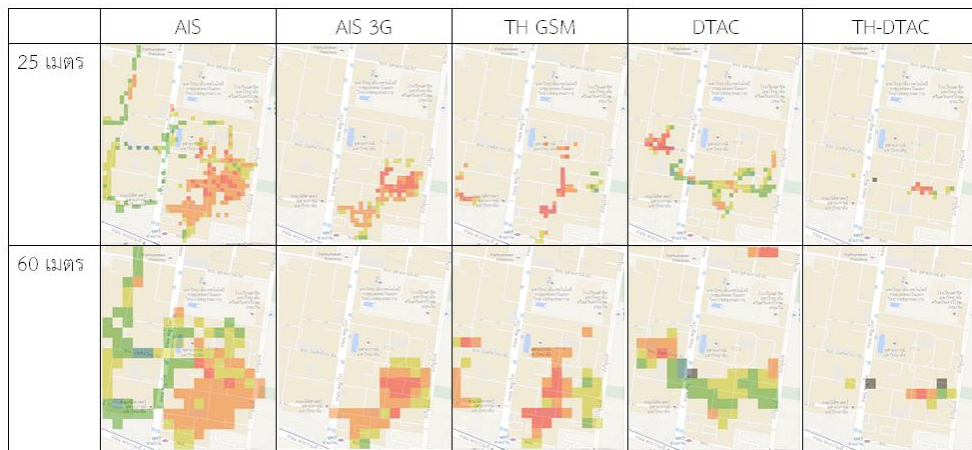
แผนที่การเชื่อมต่อสัญญาณไวไฟแสดงให้เห็นถึงบริเวณที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงสัญญาณในแต่ละพื้นที่ได้ ทั้งนี้ถ้าบริเวณมีพื้นที่สีดำ ก็จะหมายถึงเป็นพื้นที่ที่ถูกสำรวจโดยที่ผู้ทดลองสามารถเชื่อมต่อสัญญาณได้ (Availability) แต่ในขณะนั้นผู้ทดลองกลับเก็บข้อมูลแบบออฟไลน์ คือไม่ได้เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตใดๆขณะบันทึกข้อมูล

4.5 การนำแผนที่ไปใช้ประโยชน์

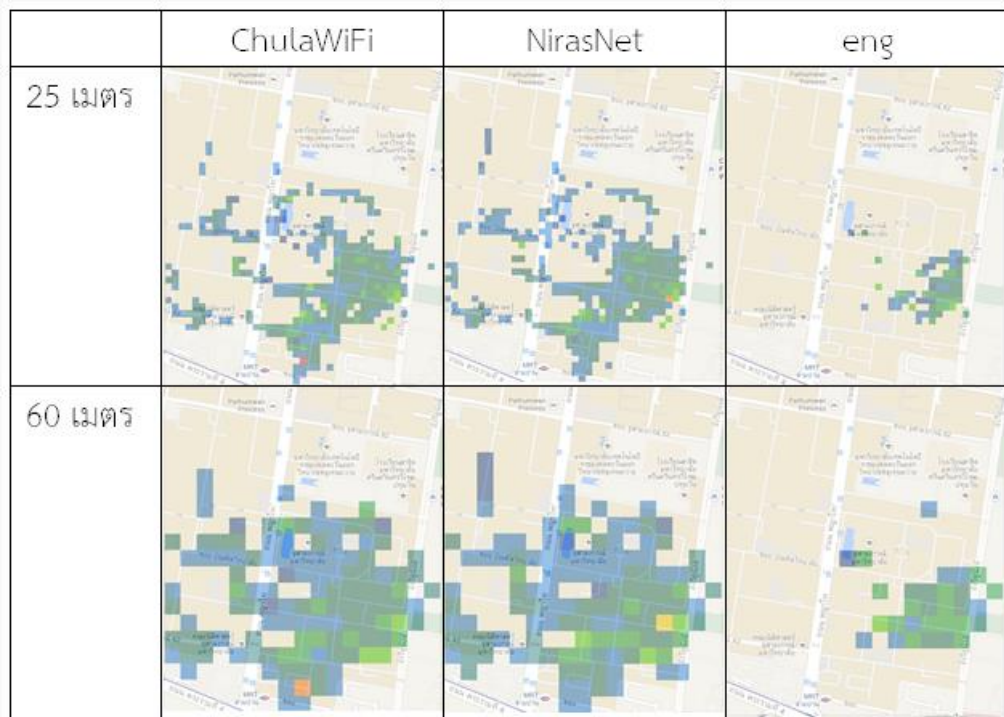
แผนที่ที่ได้จากข้อ 4.4 สามารถแสดงถึงข้อมูลและการนำไปใช้ประโยชน์โดยผู้ใช้แต่ละประเภทได้ดังนี้

4.5.1 Network Signal Strength

Network Signal Strength เป็นแผนที่ที่แสดงความแรงสัญญาณที่แตกต่างกันไปของแต่ละเครือข่ายในแต่ละพื้นที่ ดังรูปที่ 87-88



รูปที่ 87 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Network Signal Strength ของโมบายล์อินเทอร์เน็ต



รูปที่ 88 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Network Signal Strength ของไวไฟ

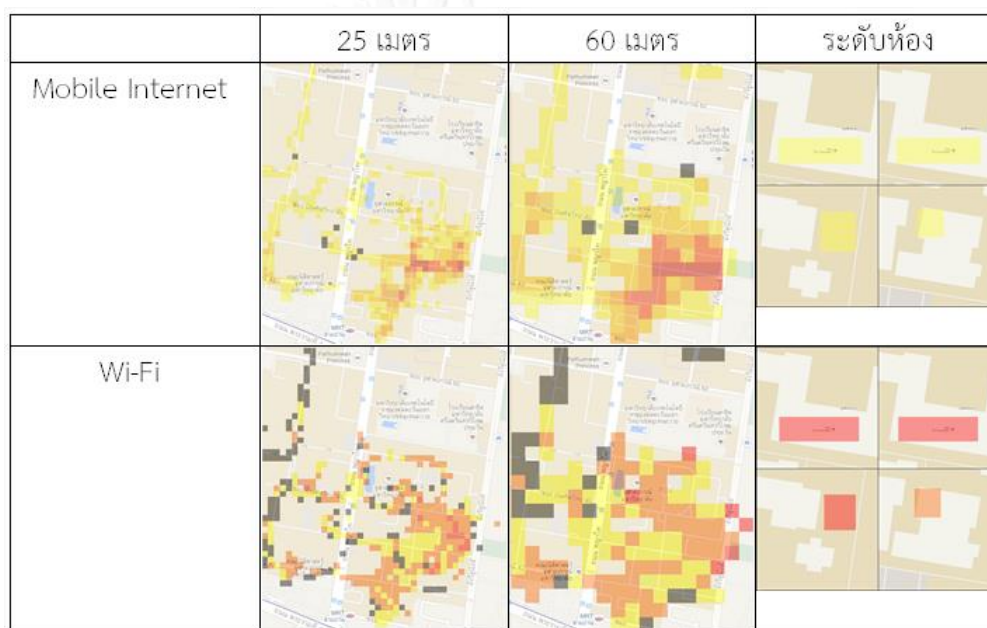
การใช้งานโดยผู้ใช้บริการ – ผู้ใช้บริการสามารถเปรียบเทียบความแรงสัญญาณเพื่อช่วยตัดสินใจในการเลือกใช้สัญญาณในพื้นที่ต่างๆ ได้ ยกตัวอย่างเช่นในรูปที่ 87 ที่แสดงถึงการเปรียบเทียบความแรงสัญญาณของเครือข่ายต่างๆ ซึ่งในฐานะผู้ใช้เมื่อได้ข้อมูลแผนที่นี้สามารถตัดสินใจได้ว่าควรใช้สัญญาณ AIS ในบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์มากกว่าการใช้ DTAC ในบริเวณพื้นที่เดียวกัน

การใช้งานโดยผู้ให้บริการ – ผู้ให้บริการสามารถทราบได้ถึงบริเวณที่มีความแรงสัญญาณต่ำ หรือไม่มีเครือข่าย และบริเวณที่อาจมีความต้องการจากผู้ใช้งานเนื่องจากเป็น

พื้นที่สีดำนบนแผนที่ที่แสดงถึงการสำรวจข้อมูลของผู้ใช้งานในบริเวณนั้นแต่ไม่พบข้อมูลใด ซึ่งผู้ให้บริการสามารถดูข้อมูลเหล่านี้เพื่อปรับปรุงหรือติดตั้งเครือข่ายเพิ่มเติมโดยอ้างอิงข้อมูลจากแผนที่ได้

4.5.2 Network Availability

Network Availability เป็นแผนที่แสดงจำนวนความพร้อมใช้งานของเครือข่ายที่สนใจในแต่ละพื้นที่ ดังรูปที่ 89



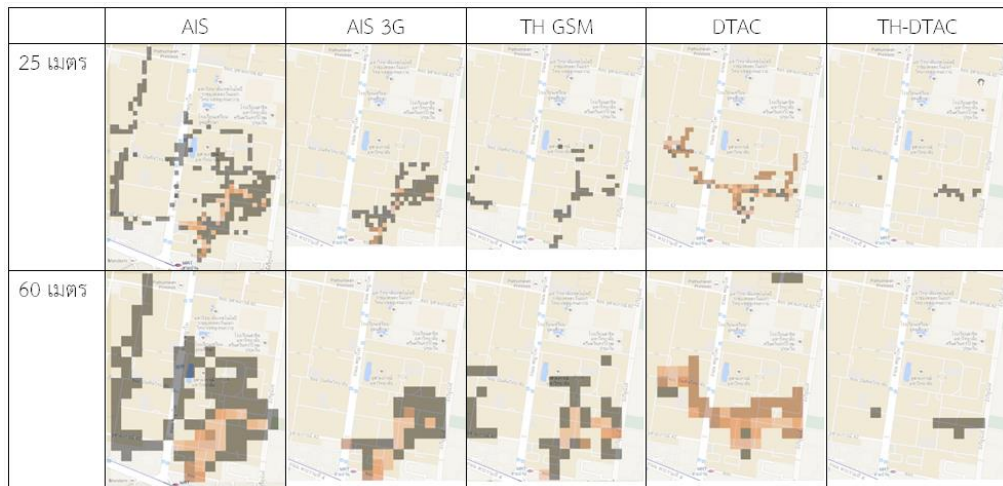
รูปที่ 89 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Network Availability

การใช้งานโดยผู้ให้บริการ – ผู้ให้บริการสามารถเปรียบเทียบจำนวนความพร้อมใช้งานได้ในแต่ละพื้นที่ ยกตัวอย่างดังรูปที่ 89 กรณีของโมบายล์อินเทอร์เน็ตที่แสดงให้ผู้ใช้งานได้ทราบว่าบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์และคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชีมีจำนวนความพร้อมใช้งานของเครือข่ายมากกว่าบริเวณอื่นๆ แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าผู้ให้บริการแต่ละคนจะสามารถเชื่อมต่อได้ทุกเครือข่ายที่พร้อมใช้งาน ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น สิทธิ์ในการใช้งานของแต่ละคน เป็นต้น

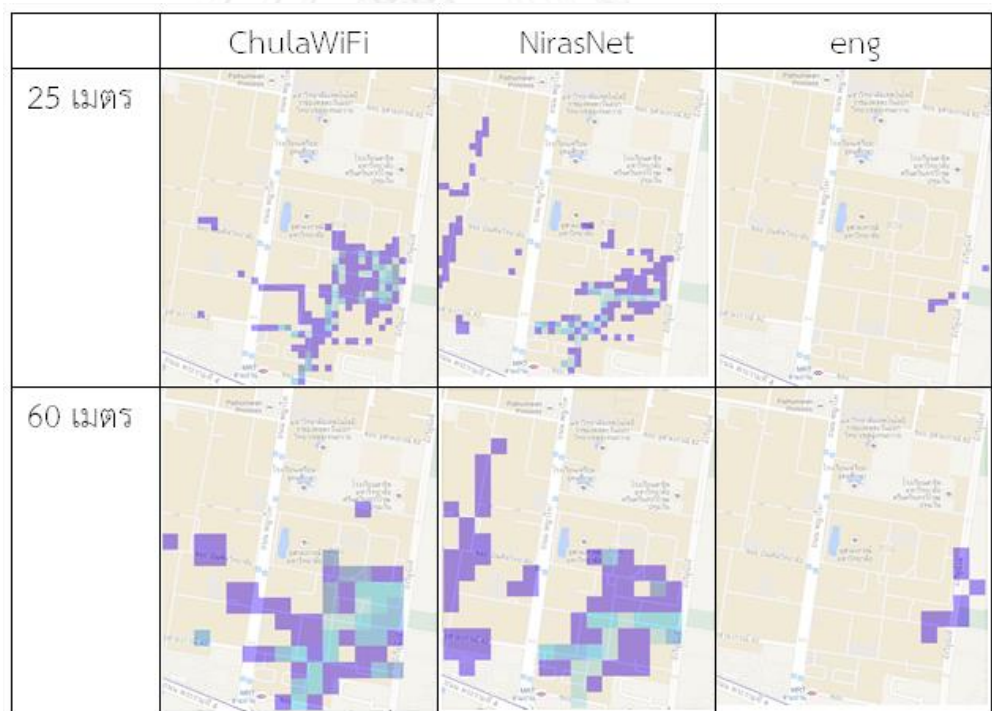
การใช้งานโดยผู้ให้บริการ – ผู้ให้บริการสามารถทราบได้ถึงบริเวณที่ไม่มีความพร้อมใช้งานของเครือข่ายใดๆ หรือน้อย เพื่อเป็นการช่วยตัดสินใจที่จะติดตั้งเครือข่ายของตนในบริเวณเหล่านั้นได้ หรือในทางกลับกันผู้ให้บริการสามารถทราบได้ถึงบริเวณที่มีความพร้อมใช้งานเครือข่ายอย่างหนาแน่นอยู่แล้วซึ่งอาจไม่จำเป็นที่จะต้องเข้าไปติดตั้งเครือข่ายเพิ่มเติม

4.5.3 Connection Preference

Connection Preference เป็นแผนที่แสดงสัดส่วนความนิยมในการเชื่อมต่อเครือข่ายในแต่ละพื้นที่ของผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 90-91



รูปที่ 90 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Connection Preference ของโมบายล์อินเทอร์เน็ต



รูปที่ 91 ตัวอย่างเปรียบเทียบแผนที่ Connection Preference ของไวไฟ

การใช้งานโดยผู้ให้บริการ - ผู้ให้บริการสามารถเปรียบเทียบความนิยมในการเชื่อมต่อเครือข่ายในแต่ละพื้นที่ได้ซึ่งอาจแสดงถึงบริเวณที่มีการให้ใช้งานเครือข่ายได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายหรือไม่จำเป็นต้องใช้สิทธิ์ในการเข้าใช้งาน ยกตัวอย่างดังรูปที่ 87 กรณีของ

ไวไฟที่สามารถอธิบายได้ว่าบริเวณสนามกีฬาหรือบริเวณ U center ผู้ใช้งานสามารถเชื่อมต่อ NirasNet ได้มากกว่าบริเวณทางเดินของคณะวิศวกรรมศาสตร์และคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี ในขณะที่เดียวกัน ChulaWiFi ไม่ค่อยมีข้อมูลในการเชื่อมต่อในพื้นที่ U center ซึ่งอาจหมายถึงเป็นบริเวณที่ไม่ค่อยมี ChulaWiFi ให้ใช้งานจึงไม่ได้รับความนิยมในการเชื่อมต่อ ดังนั้นผู้ใช้งานอาจเลือกที่จะเชื่อมต่อ NirasNet แทน

การใช้งานโดยผู้ให้บริการ – ผู้ให้บริการสามารถทราบได้ว่าบริเวณใดที่ผู้ใช้บริการไม่นิยมหรือไม่เชื่อมต่อกับเครือข่ายของตน ดังรูปที่ 90 ที่มีพื้นที่สีดำที่แสดงถึงการเก็บข้อมูลแบบออฟไลน์ เมื่อนำแผนที่ของตนกับของผู้ให้บริการเครือข่ายรายอื่นมาเปรียบเทียบกันแล้ว ก็อาจจะพบว่าในบริเวณนั้นมีเครือข่ายอื่นที่ผู้ใช้บริการนิยมเชื่อมต่อมากกว่าเครือข่ายของตน ดังเช่นจากรูปที่ 91 มีการเชื่อมต่อ NirasNet มากกว่า ChulaWiFi ในบริเวณสนามกีฬา ซึ่งทำให้ผู้ให้บริการ NirasNet อาจจะต้องมีการปรับปรุงหรือติดตั้งสัญญาณให้ดีขึ้น

4.6 การประเมินผลข้อมูล (Data Evaluation)

แผนที่แสดงความน่าจะเป็นของสัญญาณในรูปแบบต่างๆ ที่ได้จากการสำรวจในช่วงระยะเวลาหนึ่งดังที่ได้แสดงในข้อที่ 4.4 นั้น เพื่อพิสูจน์ความแม่นยำของผลที่ได้จึงจำเป็นต้องมีการประเมินผลโดยทำการเปรียบเทียบข้อมูล ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะทำการประเมินผลข้อมูลโดยนำผลการทดลองของตนมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆที่มีบางเงื่อนไขที่เหมือนกัน เช่น มีตัวชี้วัดเดียวกัน หรือ ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมือนกัน แต่ในงานวิจัยนี้ไม่พบงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการทดลองด้วยตัวชี้วัดและสถานที่การทดลองนี้ จึงไม่สามารถหาข้อมูลมาเปรียบเทียบและประเมินผลได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลโดยการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน คือ กลุ่มข้อมูลแผนที่ ซึ่งเป็นข้อมูลที่แสดงบนแผนที่สำหรับผู้ใช้งาน และกลุ่มข้อมูลทดลอง ซึ่งเป็นข้อมูลจากการสำรวจเพิ่มเติมตามพื้นที่ที่ถูกสำรวจแล้วในกลุ่มข้อมูลแผนที่ โดยได้ทำการประเมินผลของตัวชี้วัดตัวแรกซึ่งก็คือ Network Signal Strength เนื่องจากตัวชี้วัด Network Availability และ Connection Preference มีพื้นฐานมาจากตัวชี้วัดแรก จึงได้ทำการประเมินผล Network Signal Strength เป็นสำคัญ และนอกจากนี้ไม่ได้ทำการประเมิน Connection Preference เนื่องมาจากนิยามที่ให้ไว้ที่ขึ้นอยู่กับสภาพข้อมูลการใช้งานจริงว่ามีความนิยมจากผู้ใช้งานในการเชื่อมต่อไปยังสัญญาณนั้นมากน้อยเพียงใด

การประเมินผลได้ทำการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ Standard Deviation (S.D.) ซึ่งมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

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

โดยที่ x คือ ค่าข้อมูล, \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล, และ N คือ จำนวนข้อมูล

ทั้งนี้ได้ทำการสุ่มช่อง grid จำนวนหนึ่งเพื่อใช้ข้อมูลที่อยู่ภายในช่องเหล่านั้นมาเป็นข้อมูลกลุ่มตัวอย่างในการประเมินผลด้วยวิธีหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การประเมินผลนี้สามารถแบ่งตามประเภทข้อมูลในพื้นที่ต่างๆ ได้ดังนี้

4.6.1 Network Signal Strength ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ต

▪ AIS

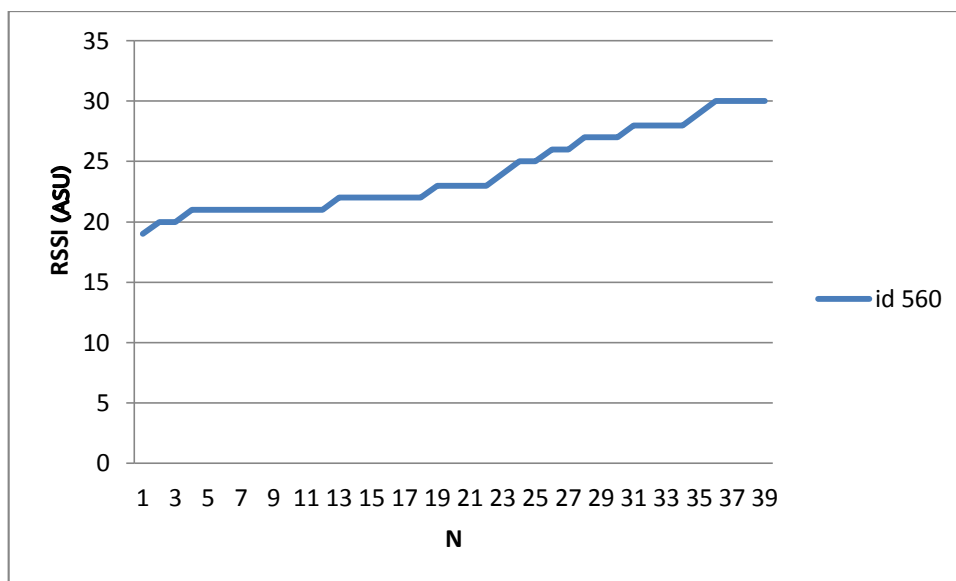
ตารางที่ 17 ค่า S.D. ของ AIS ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
309	1.85	24.55	53	21	28	24.31	13	22	27	0.24
521	1.96	25.81	27	22	29	26.50	8	26	28	0.69
525	2.24	24.92	26	21	29	24.50	10	21	30	0.42
526	2.04	22.28	167	17	31	24.00	9	19	30	1.72
557	1.89	27.72	29	25	30	24.65	82	22	29	3.07
558	2.67	24.27	114	19	29	24.80	25	22	28	0.53
560	3.39	24.10	39	19	30	23.70	20	22	28	0.40
567	1.75	21.31	610	9	29	22.69	124	5	26	1.38
599	2.05	27.78	9	25	30	25.56	9	25	27	2.22
643	2.17	24.10	30	21	28	23.65	20	20	25	0.45

ตารางที่ 18 ค่า S.D. ของ AIS ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
58	2.81	22.11	47	19	27	22.08	13	21	23	0.03
60	1.73	23.77	66	20	28	23.37	19	21	27	0.40
61	2.18	23.58	408	17	29	23.23	13	21	25	0.35
62	1.59	22.46	136	19	27	20.87	15	19	23	1.59
95	2.09	26.69	110	23	31	23.92	125	22	29	2.77
96	2.35	24.80	298	19	30	24.82	56	22	28	0.02
97	2.50	24.59	121	19	30	25.16	31	20	28	0.57
99	2.76	21.75	546	13	31	22.76	45	5	30	1.01
100	2.24	21.33	598	9	31	22.88	118	12	26	1.55
114	2.39	25.12	83	21	30	23.42	24	20	25	1.70

จากตาราง 17-18 แสดงค่า S.D. ของสัญญาณ AIS จะเห็นได้ว่าเกือบทุกช่อง grid ที่แสดงในตารางนั้นมีช่วงของค่า S.D. ที่ไม่ห่างมากนักคืออยู่ในช่วงประมาณ 2 S.D. แต่ทั้งนี้จากช่อง grid ที่เลือกสุ่มมาในตาราง จะเห็นว่ามีช่อง grid id 560 ที่มีค่า S.D. สูงกว่าช่องอื่น ซึ่งเมื่อดูไปถึงข้อมูลที่บันทึกมาได้ นั้น สามารถอธิบายได้ว่าเป็นเพราะช่วงข้อมูลใน grid มีช่วงข้อมูลที่ห่าง คือ มีค่าตั้งแต่ 19 ถึง 30 จึงทำให้เกิดการกระจายของข้อมูล และยังมีการเกาะกลุ่มข้อมูลกันเป็นช่วงๆ ดังรูปที่ 92 ซึ่งนอกจากเป็นเพราะการได้รับค่าความแรงสัญญาณเท่าเดิมเป็นจำนวนหนึ่งแล้ว ยังได้พบว่าเกิดจากการที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลในบริเวณนั้นเป็นช่วงเวลาหนึ่งด้วยจึงทำให้มีข้อมูลจำนวนมากกว่าบริเวณอื่น ทั้งนี้ในส่วนของกลุ่มทดลองทั้งหมดจากตาราง ข้อมูลที่ทำการบันทึกภายในช่อง grid แต่ละช่องส่วนใหญ่ข้อมูลจะอยู่ภายในขอบเขต S.D. ของกลุ่มข้อมูลแผนที่

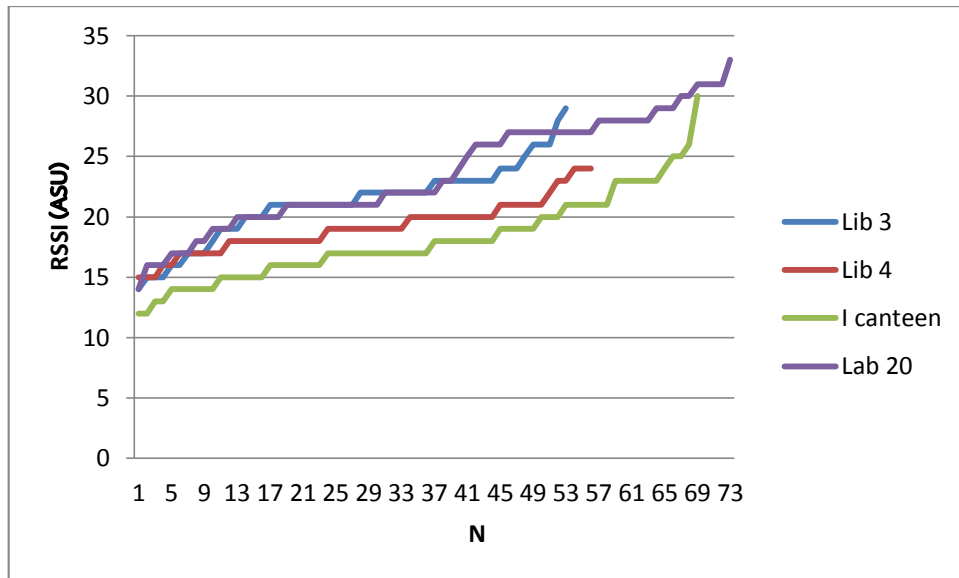


รูปที่ 92 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ AIS ของ grid id 560

ตารางที่ 19 ค่า S.D. ของ AIS ระดับห้อง

Room	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
Lib 3	3.25	21.17	53	14	29	21.36	53	14	29	0.19
Lib 4	2.14	19.13	56	15	24	19.04	55	15	24	0.09
lcanteen	3.59	18.12	69	12	30	18.16	68	12	26	0.04
Lab 20	4.51	23.76	73	14	33	24.13	72	14	33	0.37

จากตาราง 19 แสดงค่า S.D. ของสัญญาณ AIS ในระดับห้องจะเห็นได้ว่าทั้ง 4 ห้อง มีค่า S.D. ค่อนข้างกว้างเนื่องมาจากการเกาะกลุ่มข้อมูลแบบกระจายดังแสดงในกราฟรูปที่ 93 ทั้งนี้ในส่วนข้อมูลกลุ่มทดลองของทั้ง 4 ห้องอยู่ในช่วง S.D.



รูปที่ 93 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ AIS ระดับห้อง

■ AIS 3G

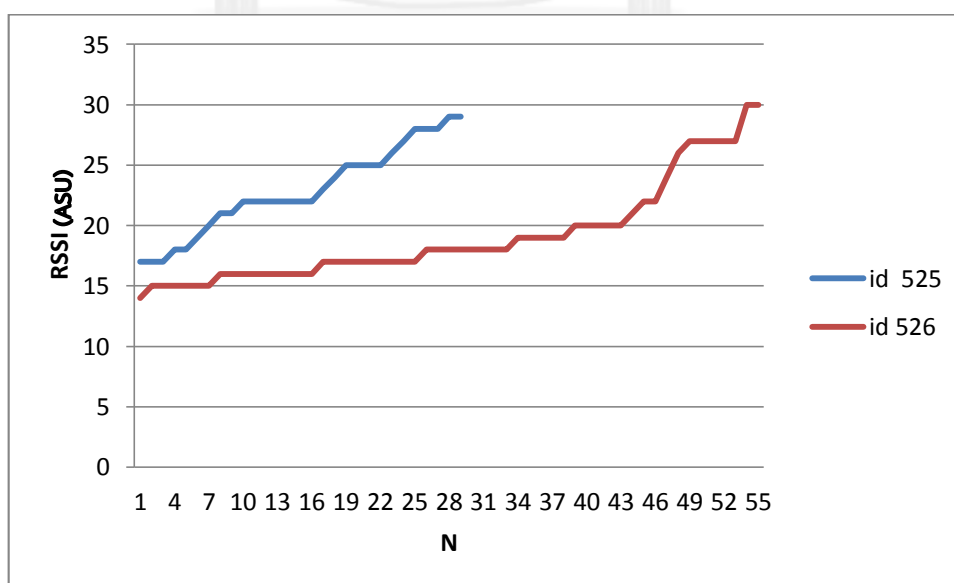
ตารางที่ 20 ค่า S.D. ของ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
310	0.70	25.10	7	24	26	22.50	2	22	23	2.64
311	1.70	22.70	12	20	25	22.00	2	22	22	0.67
353	1.60	19.40	20	17	24	18.57	7	17	20	0.83
394	1.50	19.70	15	18	22	21.00	2	21	21	1.33
436	2.60	22.00	5	19	25	22.20	5	21	23	0.20
484	2.40	22.00	15	17	25	20.00	2	17	23	2.00
521	1.60	26.10	15	23	28	27.67	3	27	28	1.60
525	3.70	22.90	29	17	29	22.70	10	15	31	0.20
526	4.10	19.10	55	14	30	23.00	7	21	24	3.91
559	2.20	24.70	13	22	28	24.80	5	24	26	0.11

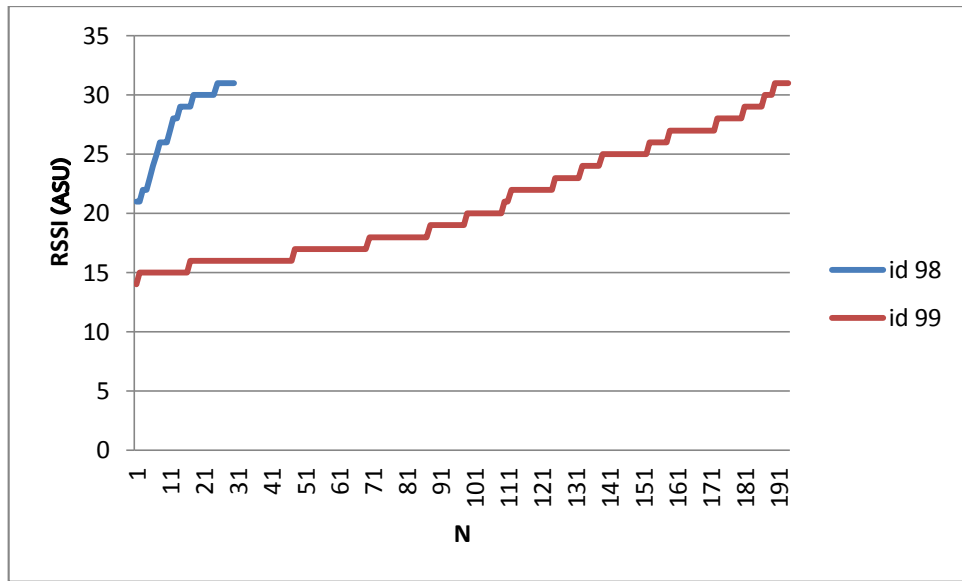
ตารางที่ 21 ค่า S.D. ของ AIS 3G ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
61	2.30	21.90	36	16	26	22.20	5	22	23	0.34
62	2.00	19.70	37	17	28	18.88	8	17	21	0.80
79	1.80	21.10	39	19	25	22.30	20	21	25	1.25
80	1.60	24.00	8	22	26	21.50	4	20	23	2.50
81	2.10	22.20	59	21	31	23.33	6	22	25	1.09
82	1.50	18.00	111	16	23	22.37	19	17	25	4.39
96	2.10	25.10	60	21	29	25.53	17	23	28	0.40
97	1.50	26.00	31	23	28	27.53	15	25	29	1.56
98	3.30	27.70	30	21	31	25.83	6	23	30	1.87
99	4.80	20.90	194	14	31	22.55	11	21	24	1.70

จากตาราง 20-21 แสดงค่า S.D. ของสัญญาณ AIS 3G จะเห็นได้ว่ามีค่า S.D. ในแต่ละช่อง อยู่ที่ประมาณค่า 2 แต่ทั้งนี้ก็มีช่อง grid id 98,99, 525 และ 526 ที่มีค่า S.D. เกิน 3 ซึ่งเมื่อดูไปถึง ข้อมูลที่บันทึกมาได้นั้น สามารถอธิบายได้ว่าเป็นเพราะข้อมูลมีการเกาะกลุ่มกันเป็นช่วงๆ จึงทำให้เกิด การกระจายของข้อมูลดังแสดงเป็นกราฟรูปที่ 94 และ 95 ซึ่งเกิดจากการได้รับค่าความแรงสัญญาณ เท่าเดิมเป็นจำนวนหนึ่ง และเกิดจากการที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลในบริเวณนั้นเป็นช่วงเวลาหนึ่งด้วยจึงทำให้มีข้อมูลจำนวนมากกว่าบริเวณอื่น แต่ทั้งนี้เมื่อดูในภาพรวมของข้อมูลการทดลองในแต่ละช่อง grid ก็ยังถือว่ามีค่ากลุ่มทดลองอยู่ภายในค่า S.D. ของกลุ่มข้อมูลแผนที่



รูปที่ 94 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ AIS 3G ของ grid id 525 และ 526



รูปที่ 95 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ AIS 3G ของ grid id 98 และ 99

▪ TH GSM

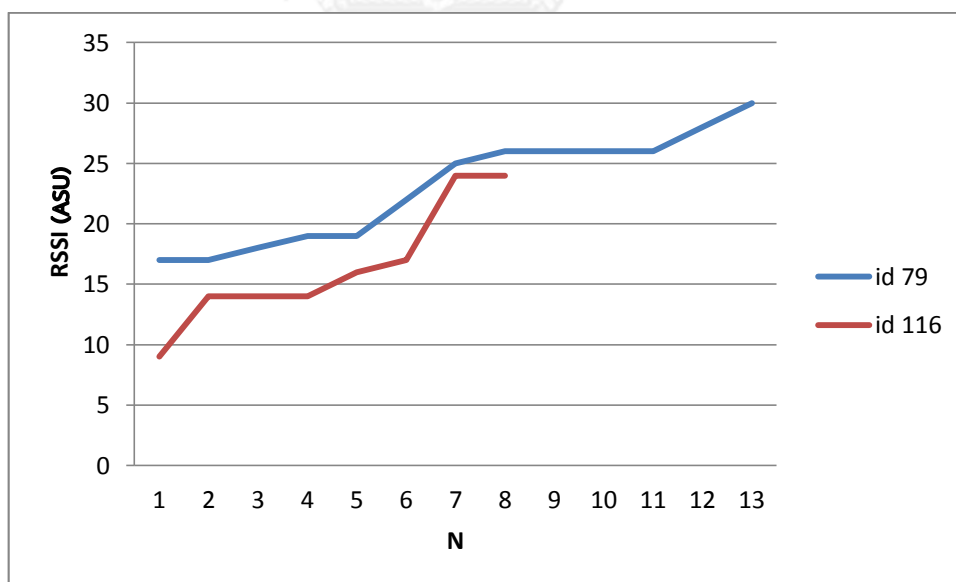
ตารางที่ 22 ค่า S.D. ของ TH GSM ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
352	1.70	26.00	5	23	27	26.33	3	25	27	0.33
526	2.90	9.67	6	5	13	9.86	7	8	12	0.19
560	2.60	24.57	7	21	27	26.40	5	25	28	1.83
567	2.90	20.41	1700	1	24	20.84	520	12	23	0.43

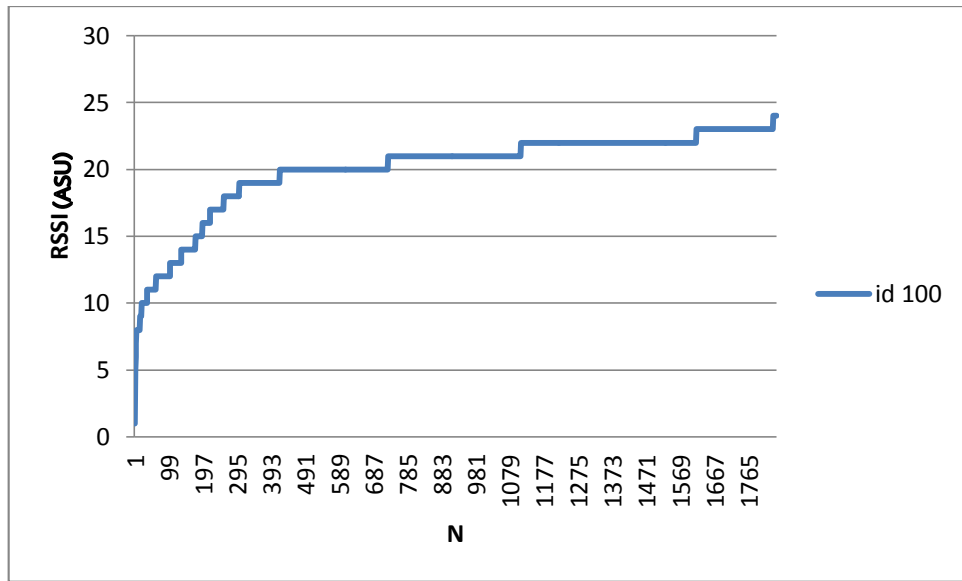
ตารางที่ 23 ค่า S.D. ของ TH GSM ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
61	1.70	26.16	31	23	29	25.00	8	21	27	1.16
79	4.50	23.00	13	17	30	19.00	4	16	22	4.00
96	3.00	26.35	43	19	31	28.50	12	26	30	2.15
97	2.50	22.69	16	19	27	23.63	8	21	25	0.94
99	1.60	20.63	627	12	24	19.02	162	1	23	1.61
100	3.20	20.08	1846	1	24	20.93	444	12	23	0.85
116	5.20	16.50	8	9	24	13.57	7	5	21	2.93

จากตาราง 22-23 แสดงค่า S.D. ของสัญญาณ TH GSM จะเห็นได้ว่ามีบางช่องที่มีค่า S.D. สูงเกินกว่าช่องอื่นๆ ได้แก่ grid id 79, 100, และ 116 เมื่อดูไปถึงข้อมูลที่ทำให้การบันทึกภายในช่อง grid สามารถอธิบายได้ว่าเป็นเพราะช่วงข้อมูลใน grid มีช่วงข้อมูลที่ห่างกันและยังมีการเกาะกลุ่มข้อมูลกันเป็นช่วงๆ จึงทำให้เกิดการกระจายของข้อมูลดังรูปที่ 96-97 ซึ่งนอกจากเป็นเพราะการได้ค่าความแรงสัญญาณเท่าเดิมเป็นจำนวนหนึ่งแล้ว ยังเกิดจากการที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลในบริเวณนั้นเป็นช่วงเวลาหนึ่งด้วย จึงทำให้มีข้อมูลจำนวนมากกว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 96 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ TH GSM ของ grid id 79 และ 116



รูปที่ 97 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ TH GSM ของ grid id 100

■ DTAC

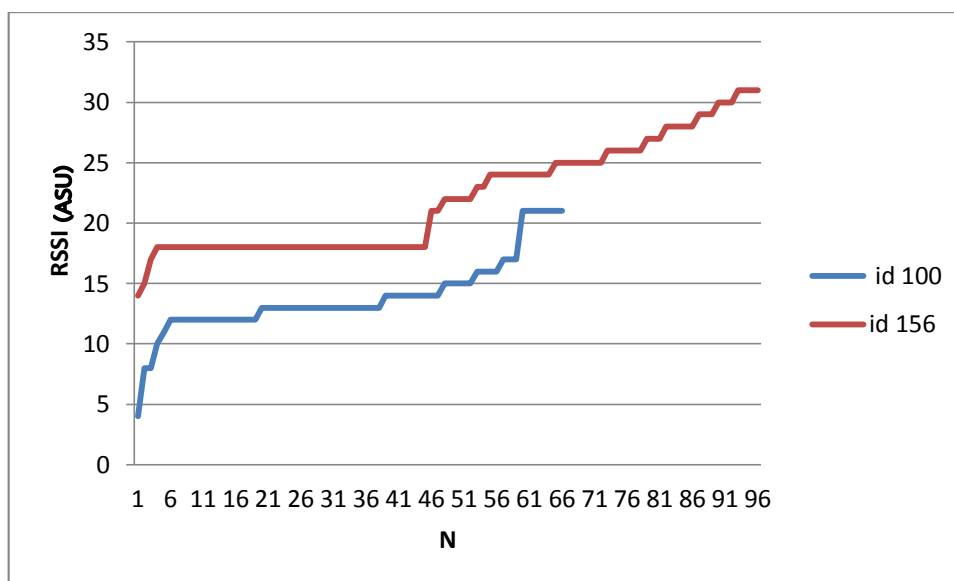
ตารางที่ 24 ค่า S.D. ของ DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
554	2.41	15.86	7	13	20	15.25	4	13	17	0.61
990	1.92	23.72	148	16	27	23.77	13	21	28	0.05
555	1.29	16.55	11	15	19	14.92	12	14	17	1.63
949	2.23	25.90	29	22	31	25.60	10	23	28	0.30
560	1.89	18.88	8	16	22	17.75	4	17	18	1.13
567	2.02	13.07	30	8	16	14.25	4	11	16	1.18
518	1.80	20.29	7	18	23	21.00	5	21	21	0.71
526	2.77	12.62	21	8	17	11.40	5	4	17	1.22
628	0.53	9.43	7	9	10	21.00	4	12	24	11.57
525	1.24	11.60	15	9	14	11.00	4	11	11	0.60

ตารางที่ 25 ค่า S.D. ของ DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
94	2.07	14.68	28	11	20	14.91	23	12	17	0.23
95	2.14	20.06	16	16	23	17.97	35	14	22	2.09
96	1.18	20.83	30	18	23	18.68	19	15	22	2.15
99	2.61	13.34	65	8	17	12.44	18	9	16	0.90
100	3.19	13.92	66	4	21	15.60	45	4	19	1.68
108	2.31	10.20	15	7	16	18.80	20	2	25	8.60
174	1.34	28.96	25	28	31	27.08	12	22	31	1.88
156	4.52	22.06	96	14	31	27.09	21	23	31	5.03
77	1.73	13.50	12	12	18	17.22	9	13	21	3.72
173	2.79	24.72	238	16	31	25.36	28	21	31	0.64

จากตาราง 24-25 แสดงค่า S.D. ของสัญญาณ DTAC จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่ช่อง grid ที่แสดงในตารางนั้นมีช่วงของค่า S.D. ที่สั้นคืออยู่ในช่วงประมาณ 2 S.D. แต่ทั้งนี้จากช่อง grid ที่เลือกสุ่มมาในตาราง จะเห็นว่าช่อง grid id 100 และ 156 ที่มีค่า S.D. สูงกว่าช่องอื่น ซึ่งเมื่อดูไปถึงข้อมูลที่บันทึกมาได้นั้น สามารถอธิบายได้ว่าเป็นเพราะช่วงข้อมูลใน grid มีช่วงข้อมูลที่ห่าง เช่น grid id 100 มีค่าข้อมูลตั้งแต่ 4 ถึง 21 และยังมีภาวะกลุ่มข้อมูลกันเป็นช่วงๆ จึงทำให้เกิดการกระจายของข้อมูลดังรูปที่ 98 ซึ่งนอกจากเป็นเพราะการได้ค่าความแรงสัญญาณเท่าเดิมเป็นจำนวนหนึ่งแล้ว ยังเกิดจากการที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลในบริเวณนั้นเป็นช่วงเวลาหนึ่งด้วย จึงทำให้มีข้อมูลจำนวนมากกว่าบริเวณอื่น แต่ทั้งนี้ในส่วนของกลุ่มทดลองทั้งหมดจากตาราง ข้อมูลที่ทำการบันทึกภายในช่อง grid แต่ละช่องส่วนใหญ่ข้อมูลจะอยู่ภายในขอบเขต S.D. ของกลุ่มข้อมูลแผนที่



รูปที่ 98 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ DTAC ของ grid id 100 และ 156

▪ TH-DTAC

ตารางที่ 26 ค่า S.D. ของ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

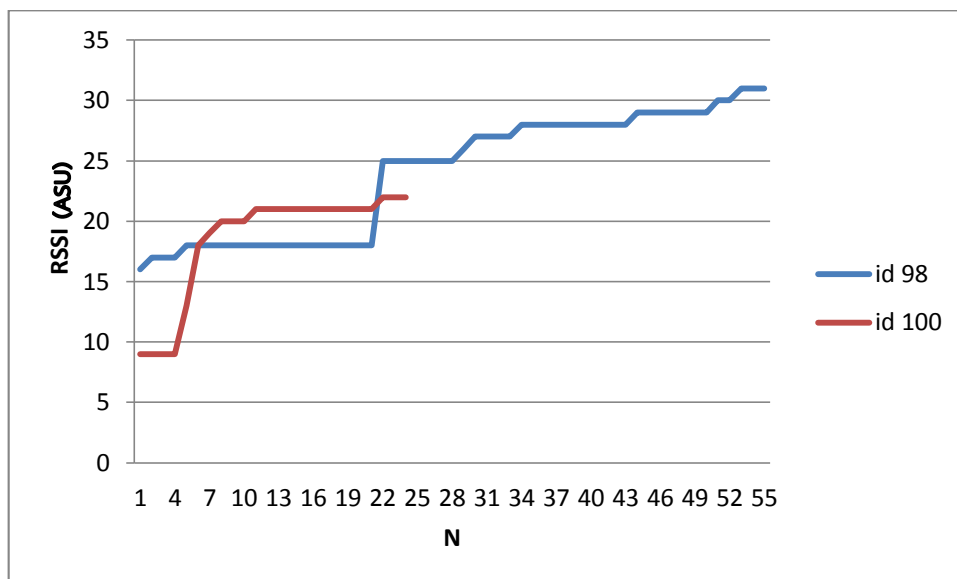
Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
567	2.12	16.00	5	13	16	17.75	4	16	19	1.75
563	1.16	28.70	10	27	31	28.56	9	27	30	0.14
561	0.92	27.23	22	26	29	19.33	3	19	20	7.90
562	0.76	30.5	8	29	31	30.25	8	29	31	0.25

ตารางที่ 27 ค่า S.D. ของ TH-DTAC ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
96	0.46	28.25	8	28	29	28.14	7	28	29	0.11
97	1.58	28.39	49	26	31	18.25	4	15	20	10.14
98	5.14	23.96	55	16	31	21.82	11	14	28	2.14
100	4.68	18.46	24	9	22	16.20	20	7	19	2.26

จากตาราง 26-27 แสดงค่า S.D. ของสัญญาณ TH-DTAC จะเห็นได้ว่ามีบางช่องที่มีค่า S.D. สูงเกินกว่าช่องอื่นๆ ได้แก่ grid id 98 และ 100 เมื่อดูไปถึงข้อมูลที่ทำการบินที่ภายในช่อง grid สามารถอธิบายได้ว่าเป็นเพราะช่วงข้อมูลใน grid มีช่วงข้อมูลที่ห่างกันและยังมีการเกาะกลุ่มข้อมูลกัน

เป็นช่วงๆ จึงทำให้เกิดการกระจายของข้อมูลดังรูปที่ 99 ซึ่งนอกจากเป็นเพราะการได้รับค่าความแรงสัญญาณเท่าเดิมเป็นจำนวนหนึ่งแล้ว ยังได้พบว่าเกิดจากการที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลในบริเวณนั้นเป็นช่วงเวลาหนึ่งด้วยจึงทำให้มีข้อมูลจำนวนมากกว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 99 กราฟข้อมูลความแรงสัญญาณ TH-DTAC ของ grid id 98 และ 100

ทั้งนี้ในส่วนของกลุ่มทดลองเมื่อนำมาเทียบกับข้อมูลแผนที่ จะพบว่าส่วนใหญ่ข้อมูลจะอยู่ในขอบเขต S.D. แต่ก็มีบางช่องที่ทำการทดลองแล้วพบว่าได้ค่าความแรงสัญญาณเกินค่า S.D. ออกไปทุกข้อมูล นั่นก็คือ grid id 97 และ 561

จากข้อมูลการทดลองสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตสรุปได้ว่า ส่วนใหญ่ข้อมูลมีค่า S.D. ที่ไม่สูงมากนัก คืออยู่ในช่วงประมาณ 2 S.D. ซึ่งมีบางช่อง grid ที่มีค่า S.D. ที่สูงอันเนื่องมาจากการที่มีช่วงข้อมูลที่ห่างและมีการเกาะกลุ่มกันของข้อมูล แต่ทั้งนี้ส่วนใหญ่กลุ่มข้อมูลทดลองและกลุ่มข้อมูลแผนที่ที่มีค่าที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ข้อมูลการทดลองอยู่ในขอบเขต S.D. ของชุดข้อมูลแผนที่เสียส่วนใหญ่

4.6.2 Network Signal Strength ของสัญญาณไวไฟ

■ ChulaWiFi

ตารางที่ 28 ค่า S.D. ของ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
309	5.96	-82.85	123	-101	-70	-89.02	46	-100	-83	6.17
310	5.57	-80.89	224	-99	-68	-83.39	115	-91	-72	2.5
518	3.11	-88.26	113	-99	-77	-93.62	14	-94	-93	5.36
520	5.26	-81.86	29	-97	-74	-78.98	177	-101	-67	2.88
521	7.52	-73.12	131	-96	-59	-80.29	76	-100	-70	7.17
525	4.5	-84.29	257	-96	-70	-77.36	154	-97	-70	6.93
526	7.73	-64.22	474	-100	-38	-56.04	349	-99	-36	8.18
567	12.72	-62.72	6874	-101	-35	-58.26	5012	-102	-36	4.46
568	14.74	-54.42	1039	-97	-36	-48.57	396	-100	-36	5.85
806	7.94	-74.52	33	-93	-66	-74.34	14	-89	-67	0.18

ตารางที่ 29 ค่า S.D. ของ ChulaWiFi ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
60	9.76	-69.76	301	-101	-50	-66.98	142	-100	-51	2.78
61	4.83	-83.72	960	-100	-70	-79.52	610	-100	-57	4.2
79	8.38	-73.48	279	-98	-59	-76.28	155	-98	-64	2.8
82	6.52	-77.66	198	-97	-64	-74.08	110	-99	-59	3.58
96	4.92	-85.04	347	-99	-73	-83.51	236	-98	-63	1.53
97	7.69	-74.42	500	-101	-55	-78.57	217	-100	-64	4.15
98	9.7	-71.19	701	-99	-55	-72.49	181	-100	-59	1.3
99	10.8	-60.62	4485	-100	-36	-66.41	2247	-100	-41	5.79
100	13.66	-59.28	9856	-101	-35	-55.1	4218	-102	-36	4.18

ตารางที่ 30 ค่า S.D. ของ ChulaWiFi ระดับห้อง

Room	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
Lib 3	11.41	-53.74	57	-88	-38	-55.18	57	-92	-44	1.44
Lib 4	7.07	-62.92	28	-84	-50	-64.18	28	-87	-52	1.26
lcanteen	5.26	-77.03	104	-90	-69	-75.79	53	-89	-67	1.24
Lab 20	5.61	-52.5	42	-68	-42	-52.86	42	-65	-41	0.36

■ NirasNet

ตารางที่ 31 ค่า S.D. ของ NirasNet ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
309	6.02	-84.31	209	-100	-71	-87.57	47	-96	-79	3.26
310	5.8	-81.24	347	-99	-61	-82.24	91	-91	-68	1
518	4.55	-88.57	53	-98	-83	-88.63	22	-94	-85	0.06
520	7.64	-80	172	-99	-68	-83.23	27	-91	-77	3.23
524	8.62	-71.06	108	-97	-59	-78.16	52	-99	-72	7.1
525	4.66	-85.43	298	-97	-76	-76.88	129	-100	-71	8.55
526	8.82	-32.87	387	-99	-7	-54.63	342	-97	-36	21.76
567	12.58	-62.88	6825	-100	-36	-58.12	5028	-103	-36	4.76
568	15.04	-53.88	1035	-97	-36	-48.38	390	-100	-36	5.5
690	7.68	-75.79	180	-96	-63	-68.15	72	-94	-54	7.64

ตารางที่ 32 ค่า S.D. ของ NirasNet ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
60	9.1	-70.21	368	-99	-49	-66.6	170	-97	-51	3.61
61	5.29	-84.05	1764	-104	-68	-76.71	952	-101	-49	7.34
82	7.52	-74.76	197	-99	-58	-72.63	77	-100	-59	2.13
96	5.37	-85.15	319	-100	-70	-83.57	197	-99	-64	1.58
97	7.49	-75.83	528	-99	-55	-78.05	211	-99	-66	2.22
98	9.64	-71.04	708	-99	-53	-77.3	225	-98	-65	6.26
99	10.55	-61.01	4512	-103	-36	-40.43	2208	-99	-7	20.58
100	13.65	-59.08	9785	-101	-36	-54.86	4199	-101	-36	4.22
130	8.52	-75.24	95	-94	-64	-82.23	38	-97	-71	6.99

ตารางที่ 33 ค่า S.D. ของ NirasNet ระดับห้อง

Room	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
Lib 3	6.31	-67.04	19	-82	-60	-66.97	19	-82	-58	0.07
Lib 4	5.45	-69.26	44	-81	-60	-70.04	43	-81	-60	0.78
Lab 20	5.46	-53.2	10	-65	-49	-53.5	10	-69	-49	0.3

■ eng

ตารางที่ 34 ค่า S.D. ของ eng ที่ความแม่นยำ 25 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
524	5.74	-70.81	20	-86	-65	-58.35	9	-97	-50	12.46
525	11.67	-60.39	87	-94	-49	-61.7	52	-89	-53	1.31
526	5.02	-68.68	143	-87	-56	-58.24	136	-95	-43	10.44
689	8.36	-68.29	320	-98	-52	-64.08	47	-83	-54	4.21
690	8.49	-68.28	159	-91	-57	-66.04	86	-91	-57	2.24

ตารางที่ 35 ค่า S.D. ของ eng ที่ความแม่นยำ 60 เมตร

Grid id	S.D.	\bar{X}	N	Min	Max	\bar{X} sample	N sample	Min sample	Max sample	Diff Xbar
81	6.44	-73.93	58	-97	-66	-76.71	8	-94	-74	2.78
82	12.38	-59.61	155	-99	-53	-70.52	19	-83	-66	10.91
83	4.16	-65.34	13	-80	-65	-61.37	9	-74	-59	3.97
98	5.37	-87.91	34	-97	-80	-61.89	10	-93	-55	26.02
99	12.99	-60.34	277	-97	-43	-66.3	241	-94	-53	5.96
116	8.18	-69.88	786	-98	-52	-65.09	143	-99	-54	4.79
117	8.83	-72.31	320	-100	-57	-75.09	22	-90	-66	2.78
134	10.21	-72.6	82	-100	-59	-86.89	8	-91	-84	14.29

จากตาราง 28-35 แสดงค่า S.D. ของสัญญาณ ChulaWiFi, NirasNet, และ eng จะเห็นได้ว่าค่า S.D. ที่ได้ค่อนข้างห่างเมื่อเทียบกับ S.D. ของสัญญาณเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตโดยมีค่าเฉลี่ย S.D. ประมาณ 8 S.D. โดยเมื่อดูไปถึงข้อมูลที่บันทึกมาได้นั้นสามารถอธิบายได้ว่าเป็นเพราะมีช่วงข้อมูลที่ห่างกันมากกว่าเมื่อเทียบกับช่วงข้อมูลที่บันทึกได้ของสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ต กล่าวคือ จากการทดลองสามารถบันทึกค่าสัญญาณไวไฟได้ตั้งแต่ -104 ถึง -7 dBm ในขณะที่บันทึกสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ตได้ตั้งแต่ 1 ถึง 33 ASU นอกจากนี้ยังเป็นเพราะการได้ค่าความแรงสัญญาณเท่าเดิมเป็นจำนวนหนึ่งแล้ว ยังเกิดจากการที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลในบริเวณนั้นเป็นช่วงเวลาหนึ่งด้วย จึงทำให้มีข้อมูลจำนวนมากกว่าบริเวณอื่น

นอกจากนี้ในส่วนของกลุ่มทดลองเมื่อเทียบกับกลุ่มข้อมูลแผนที่ ก็พบว่าส่วนใหญ่ข้อมูลกลุ่มทดลองจะอยู่ภายในขอบเขต S.D. ของกลุ่มข้อมูลแผนที่เช่นเดียวกับข้อมูลสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ตทั้งนี้อาจเป็นเพราะอยู่ในพื้นที่ให้บริการของสัญญาณจึงสามารถรับสัญญาณได้ ซึ่งถ้าอุปกรณ์ออกนอกพื้นที่สัญญาณก็ไม่สามารถเก็บข้อมูลสัญญาณได้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

บทสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอและพัฒนาระบบสร้างแผนที่แสดงความพร้อมใช้งานของเครือข่ายไร้สายแบบโมบายล်อินเทอร์เน็ตและไวไฟโดยใช้สมาร์ทโฟนซึ่งเป็นอุปกรณ์สื่อสารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งยังสามารถนำมาเป็นเครื่องมือในการระบุพิกัดตำแหน่งและแสดงข้อมูลของเครือข่ายสัญญาณต่างๆ ได้นำมาใช้ในการเก็บข้อมูล ร่วมกับการใช้เทคนิคคราดเซอร์สซิ่ง หรือพลังมวลชนในการได้มาซึ่งข้อมูล เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเก็บข้อมูลของสัญญาณเครือข่ายต่างๆ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดเวลาการสำรวจ และลดต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์เก็บข้อมูลโดยเฉพาะ โดยในส่วนของ การเก็บข้อมูลนั้นได้สร้างระบบเพื่อรองรับการเก็บข้อมูลได้ในทุกที่ แม้ในที่ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อ กับสัญญาณใดๆ ได้ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ก็มีตัวชี้วัดเพื่อทำการวัดสัญญาณออกมาในรูปแบบที่ต่างกัน เพื่อประโยชน์ต่อผู้ดูแลข้อมูลหรือใช้งานแผนที่ โดยผู้วิจัยได้นำเสนอ 3 ตัววัด ดังนี้

- **Network Signal Strength** เป็นการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณแต่ละประเภทตามพื้นที่ต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้บริการที่มีสัญญาณที่เหมาะสมแก่การใช้งานได้ดี
- **Network Availability** เป็นตัวชี้วัดจำนวนของสัญญาณที่สามารถใช้งานได้ ณ ตามพื้นที่ต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกการใช้งานเครือข่ายที่หลากหลายได้ตามพื้นที่เหล่านั้น โดยผลลัพธ์แสดงออกมาเป็นลำดับสีของเปอร์เซ็นต์ของความพร้อมใช้งานเครือข่ายต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ที่มีการสำรวจ
- **Connection Preference** เป็นตัวชี้วัดความน่าจะเป็นในการเชื่อมต่อสัญญาณของผู้ใช้งานในแต่ละพื้นที่ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความถี่ในการที่ผู้ใช้งานได้เชื่อมต่อสัญญาณนั้นๆ ตามบริเวณต่างๆ เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ถึงสาเหตุในความนิยมการใช้สัญญาณเหล่านั้นต่อไปได้ โดยผลลัพธ์แสดงออกมาเป็นลำดับสีของเปอร์เซ็นต์การเชื่อมต่อเครือข่ายต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ที่มีการสำรวจ

จากแผนที่ (Data Visualization) แสดงให้เห็นว่าได้มีการเก็บข้อมูลสำรวจภายในรอบๆ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเน้นไปที่การเก็บข้อมูลบริเวณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชีเป็นจำนวนมาก การแสดงผลข้อมูลได้แบ่งตามความแม่นยำของการระบุพิกัดตำแหน่งนั้นคือ ความแม่นยำที่ 25 เมตร และ 60 เมตร อันเนื่องมาจาก 25 เมตรเป็นค่าความแม่นยำที่มากที่สุดในช่วงข้อมูล 90% ที่มีค่าความแม่นยำมากของการพิกัดตำแหน่งด้วยจีพีเอสแต่เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลที่น้อย จึงได้พิจารณาค่าความแม่นยำที่ 60 เมตรเพิ่ม โดยได้รวมค่าความแม่นยำที่มากที่สุดตั้งแต่ 60 เมตรมาใช้ในการคำนวณ และนอกจากนี้ก็ได้แสดงผลตามการระบุตำแหน่งห้องที่ได้จากฐานข้อมูลเบื้องต้นอีกด้วย

การแสดงผลบนแผนที่ที่ความแม่นยำที่ 25 เมตร และ 60 เมตร แสดงให้เห็นว่า ค่าลำดับสีบนแผนที่ทั้งสองมีความใกล้เคียงกันในพื้นที่บริเวณเดียวกัน โดยจะมีค่าสีที่แตกต่างกันออกไปในบาง

พื้นที่ไม่มากนัก แต่ทั้งนี้บริเวณที่มีการสำรวจเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นการสำรวจซ้ำหลายๆ ครั้ง หรือมีหลายอุปกรณ์ที่ถูกใช้สำรวจ ณ บริเวณนั้น เมื่อจำแนกตามเครือข่ายแล้ว สามารถให้ข้อมูลได้หลากหลายภายในบริเวณเดียวกัน ในทางตรงกันข้าม ณ บริเวณที่ถูกสำรวจ แต่มีการสำรวจที่ไม่มาก หรือใช้อุปกรณ์ในการสำรวจที่ไม่หลากหลาย การแสดงผลข้อมูลก็จะให้ค่าที่ไม่แม่นยำ เนื่องจากการเฉลี่ยค่าเพื่อนำมาแสดงบนแผนที่นั้นมีน้อย ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากเทคนิคการวัดซอร์สซึ่งที่ใช้จำนวนคนในการสำรวจมากๆ จะให้ค่าข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับความจริงในการใช้งานทั่วไปมากยิ่งขึ้น

ในส่วนของการประเมินผล (Data Evaluation) ได้ประเมินตามตัวชี้วัด โดยการประเมินผล Network Signal Strength ของเครือข่ายโมบายล์อินเทอร์เน็ตได้พบว่าส่วนใหญ่ได้ค่า S.D. ที่ไม่สูงมากนัก แต่ก็มีบางช่อง grid ที่มีค่า S.D. ที่สูงอันเนื่องมาจากการที่มีช่วงข้อมูลที่ห่างและมีการเกาะกลุ่มกันของข้อมูล ซึ่งมีสาเหตุมาจากการได้รับค่าความแรงสัญญาณเท่าเดิมเป็นจำนวนหนึ่งทั้งในช่วงเวลาเดียวกันและช่วงเวลาต่างกัน และยังเกิดจากการที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลในบริเวณนั้นเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่งด้วย จึงทำให้มีข้อมูลจำนวนมากกว่าบริเวณอื่น แต่ส่วนใหญ่กลุ่มข้อมูลทดลองและกลุ่มข้อมูลแผนที่ที่มีค่าที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ข้อมูลทดลองอยู่ภายในขอบเขต S.D. ของข้อมูลแผนที่ ทั้งนี้การประเมินผล Network Signal Strength ของสัญญาณไวไฟพบว่าส่วนใหญ่มีค่า S.D. ที่ห่างกันมาก ซึ่งโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8 S.D. เนื่องมาจากช่วงข้อมูลที่ห่างกันมากกว่าและมีการเกาะกลุ่มกันของข้อมูลเช่นเดียวกัน แต่ทั้งนี้ข้อมูลจากการทดลองเมื่อเทียบกับกลุ่มข้อมูลแผนที่ก็พบว่าส่วนใหญ่ข้อมูลกลุ่มทดลองจะอยู่ภายในขอบเขต S.D. ของกลุ่มข้อมูลแผนที่เช่นเดียวกับข้อมูลสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ต

ระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถนำไปใช้เพื่อสำรวจข้อมูลสัญญาณโมบายล์อินเทอร์เน็ตและไวไฟด้วยเทคนิคการวัดซอร์สซึ่งได้จริง และสามารถแสดงถึงความพร้อมใช้งานของเครือข่ายไร้สายตามข้อมูลที่สำรวจมาในรูปแบบแผนที่ Network Signal Strength, Network Availability, และ Connection Preference

5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ

ระบบที่จัดทำขึ้นนี้ ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อได้อีก เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ในการแสดงผลข้อมูล เช่น การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing) หรือการกรองข้อมูลที่ไม่ครบถ้วนออก เพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ไม่จำเป็นออกจากฐานข้อมูล การแก้ไขในเรื่องของการมีข้อมูลซ้ำมากเกินไปในพื้นที่ ณ เวลาเดิม ซึ่งอาจปรับปรุงโดยมีการตรวจจับการเคลื่อนที่และปรับความถี่ในการเก็บข้อมูลตามความเร็วในการเคลื่อนที่ การเพิ่มตัวชี้วัดเพื่อประสิทธิภาพของการแสดงผลที่มากขึ้น การแสดงผลข้อมูลให้มีความรวดเร็วและแสดงในรูปแบบที่ให้ความเข้าใจมากยิ่งขึ้น (Visualization)

รายการอ้างอิง

1. IT24HRS. สรุปเหตุการณ์ เครือข่าย dtac ล่ม (ครั้งที่ 5 ในรอบปี) กสทช.สั่งปรับ dtac 10 ล้านบาท. 2012 [cited 2013 Sep 20]; Available from: <http://www.it24hrs.com/2012/dtac-network-fail-again-28-aug-2012>.
2. Wikipedia. Received signal strength indication. 2013 [cited 2013 Sep 10]; Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Received_signal_strength_indication.
3. TechTarget. Wireless. 2006 [cited 2013 Sep 21]; Available from: <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/wireless>.
4. GPS.GOV. GPS Overview. 2013 [cited 2013 Sep 10]; Available from: <http://www.gps.gov/systems/gps/>.
5. A-Tracking. GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM). 2010 [cited 2013 Sep 10]; Available from: <http://www.a-tracking.com/aboutgps.php>.
6. S, K. What is A-GPS? How Does it Work? 2010 [cited 2013 Sep 11]; Available from: <http://tech2.in.com/features/all/what-is-agps-how-does-it-work/115142>.
7. Wikipedia. Wi-Fi. 2013 [cited 2013 Jun 12]; Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>.
8. Yam, M. Google and Microsoft Tracking Your Location Too. 2011 [cited 2014 Apr 10]; Available from: <http://www.tomsguide.com/us/google-microsoft-location-tracking-phone,news-10941.html>.
9. Mozilla. Mozilla Location Service. [cited 2014 Apr 10]; Available from: <https://location.services.mozilla.com/>.
10. readfortheblind. Read for the Blind อ่านหนังสือให้คนตาบอด. 2013 [cited 2014 Mar 15]; Available from: <https://www.facebook.com/readfortheblind>.
11. Inc, u. Software Testing Blog. 2008 [cited 2014 Mar 15]; Available from: <http://blog.utest.com/bug-battle-results/2008/12/>.
12. Tomnod. Tomnod. 2014 [cited 2014 Mar 15]; Available from: <http://www.tomnod.com/nod/>.
13. Ushahidi. Ushahidi. [cited 2013 Jul 2]; Available from: <http://www.ushahidi.com/>.
14. Kaggle. Kaggle. [cited 2013 Jul 2]; Available from: <http://www.kaggle.com/>.
15. Clickworker. Clickworker. [cited 2013 Jul 2]; Available from: <http://www.clickworker.com/en/>.
16. Turk. A.M. Amazon Mechanical Turk. [cited 2013 Nov 7]; Available from: <https://www.mturk.com/mturk/>.

17. OpenSignal. OpenSignal. [cited 2013 Jul 2]; Available from: <http://opensignal.com/>.
18. Sensorly. Sensorly. [cited 2013 Jul 2]; Available from: <http://www.sensorly.com/>.
19. Wireless, S. Skyhook. [cited 2013 Jul 2]; Available from: <http://www.skyhookwireless.com/>.
20. Escape, L. What Is A Heat Map? [cited 2013 Nov 11]; Available from: <http://www.labescape.com/info/articles/what-is-a-heat-map.html>.
21. Chon, Y., E. Talipov, and H. Cha, Autonomous Management of Everyday Places for a Personalized Location Provider. Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on, 2012. 42(4): p. 518 - 531.
22. Sevtsuk, A., et al., Mapping the MIT Campus in Real Time Using WiFi, 2009. p. 325-337.
23. FitnessKeeper. RunKeeper - GPS Track Run Walk. 2013 [cited 2013 Sep 10]; Available from: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.fitnesskeeper.runkeeper.pro>.
24. Google. My Tracks. 2013 [cited 2013 Sep 10]; Available from: <http://www.google.com/mobile/mytracks/>.
25. Mok, E.C.-M., Using outdoor public WiFi and GPS integrated method for position updating of knowledge-based logistics system in dense high rise urban environments, in Supply Chain Management and Information Systems (SCMIS), 2010 8th International Conference on 2010, IEEE: Hong Kong. p. 1 - 4.
26. Pourabdollah, A., X. Meng, and M. Jackson, Towards low-cost collaborative mobile positioning, in Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Service (UPINLBS), 2010 2010, IEEE: Kirkkonummi. p. 1 - 5.
27. Laoudias, C., et al. The Airplace Indoor Positioning Platform for Android Smartphones. in MDM '12 Proceedings of the 2012 IEEE 13th International Conference on Mobile Data Management (mdm 2012). 2012
28. Guenda, L., et al., Indoor/outdoor management system compliant with Google Maps and Android® OS, in International Conference on Computer as a Tool (EUROCON) 2011, IEEE: Lisbon. p. 1 - 4.
29. eduroam. What is eduroam? 2012 [cited 2014 Jun 25]; Available from: <https://www.eduroam.org>.

30. Ayers, G. and J. Jones, Crowd-Sourcing Wi-Fi Coverage Data to build Self-Mapping Radio Maps, 2012, Swansea University.
31. AIS. จะทราบได้อย่างไรว่ากำลังใช้งานอินเทอร์เน็ตในเครือข่าย AIS 3G 2100 (คลื่น 2100 MHz) หรือในเครือข่าย AIS ปัจจุบัน (คลื่น 900 MHz). 2014 [cited 2014 Jun 28]; Available from: <http://www.ais.co.th/3g/th/faq.aspx#tips>.
32. dtac. TriNet 3 โครงข่ายอัจฉริยะ. 2014 [cited 2014 Jun 28]; Available from: <http://www.dtac.co.th/trinet/TriNet.html>.
33. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ส. เครือข่ายไร้สาย ChulaWiFi คืออะไร. [cited 2014 Jun 28]; Available from: <https://www.it.chula.ac.th/th/faq-questions-inline>.
34. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ส. เครือข่ายนิราศรัย NirasNet คือ? [cited 2014 Jun 28]; Available from: <https://www.it.chula.ac.th/en/nirasnet#qt-nirasnet-ui-tabs7>.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธภัทร หมุ่มภัทรโรจน์ เกิดเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตร Computer Applications จาก Bangalore University เมื่อปี พ.ศ. 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ คอมพิวเตอร์ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2555



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY