

ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารบนโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไม่ใช่เซิร์ฟเวอร์

นางสาวกรรณก ขาวอำไพ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

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.

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SERVERLESS INDOOR LOCALIZATION SYSTEM ON MOBILE PHONE PLATFORM

Miss Kornkanok Khaoumpai



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

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

กรกนก ขาวอำไพ : ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารบนโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไม่ใช่เซิร์ฟเวอร์ (SERVERLESS INDOOR LOCALIZATION SYSTEM ON MOBILE PHONE PLATFORM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. กุลธิดา โรจนวิบูลย์ชัย, 58 หน้า.

ปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่กลายมาเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งในการดำเนินชีวิตประจำวัน เนื่องจากช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในการสื่อสาร แอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นจำนวนมากเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพในการทำงานของโทรศัพท์ แอปพลิเคชันให้บริการข้อมูลด้านตำแหน่งเป็นแอปพลิเคชันประเภทหนึ่ง ทำหน้าที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งหรือสถานที่แก่ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนใหญ่มักจะติดตั้งจีพีเอสเซ็นเซอร์เพื่อคำนวณหาตำแหน่งปัจจุบันของตนเอง แม้ว่าจีพีเอสจะสามารถระบุตำแหน่งภายนอกอาคารได้อย่างแม่นยำ แต่จีพีเอสไม่สามารถระบุตำแหน่งภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสิ่งกีดขวางและโครงสร้างของอาคารบดบังสัญญาณที่ดาวเทียมส่งมายังจีพีเอส วิธีการสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารจึงถูกนำเสนอเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ระบบที่ถูกนำเสนอเหล่านั้นถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อระบุพิกัดในชั้นใดชั้นหนึ่งของอาคารเท่านั้น ไม่สามารถระบุชั้นปัจจุบันของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารบนโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไม่ใช่เครื่องเซิร์ฟเวอร์และไม่ต้องสำรวจอาคาร ระบบจะใช้ผลการค้นหาสัญญาณวิทยุสำหรับระบุชั้นของอาคารที่โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ อัลกอริทึมที่ใช้ระบุตำแหน่งมีความซับซ้อนต่ำ สามารถคำนวณได้ด้วยทรัพยากรของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอยู่อย่างจำกัด มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งถึง 85% นอกจากนี้ระบบยังมีกระบวนการเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเองโดยอาศัยการบันทึกข้อมูลจากเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ นอกจากนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถแลกเปลี่ยนกับเครื่องอื่นๆ ผ่านเครือข่ายแอดยอกแบบเสมือนด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง 87% เมื่อระบบมีกระบวนการเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเองและมีการเปลี่ยนชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์กับโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่น

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5670109221 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS: LOCALIZATION / WI-FI / AD HOC NETWORK / HUMAN ACTIVITY
CLASSIFICATION

KORNKANOK KHAOUMPAI: SERVERLESS INDOOR LOCALIZATION SYSTEM ON
MOBILE PHONE PLATFORM. ADVISOR: ASSOC. PROF. KULTIDA ROJVIBOONCHAI,
Ph.D., 58 pp.

A mobile phone plays as an important role in everyday life due to the convenience of communication. Many applications have been developed to reinforce the functionality of the mobile phone. Location service application is a kind of the mobile application that provides location information to a mobile phone user. GPS is generally for localizing the mobile phone. The GPS sensor is embedded with many models of the mobile phones. Although the GPS can provide localization performances as well over outdoor environment, it cannot provide location information over indoor environment because structures of building block GPS signal from satellites. Many indoor localization approaches have been proposed to address that problem. However, they have been implemented for single-floor environment only. They cannot identify the current floor that the mobile phone is located on. This research proposes a floor localization system without any supporting from the back-end server and any site survey. In the system, the localization process utilizes access points from Wi-Fi scanning list to determine the current floor of the mobile phone. The localization algorithm is low complexity so it can be processed by the limited hardware of mobile phone. The algorithm achieves up to 85% of localization accuracy. Moreover, the system has a fingerprint self-learning mechanism for fingerprint map construction. This mechanism requires sensors on the mobile phone. In addition, the mobile phone can exchange fingerprints with others via a virtual ad hoc network by fingerprint dissemination mechanism. The proposed system with the fingerprint self-learning and the fingerprint dissemination mechanism achieves 87% of localization accuracy.

Department: Computer Engineering Student's Signature

Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ได้ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆ สำหรับพัฒนางานวิจัย อีกทั้งยังให้คำแนะนำเพื่อช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัยอีกด้วย

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.เกริก ภิรมย์โสภากและรองศาสตราจารย์.ดร. อนันต์ ผลเพิ่มที่ได้ให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการขับเคลื่อนการวิจัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช (Special Task Force for Activating Research (STAR)) ภายใต้กลุ่มวิจัยโครงข่ายไร้สายและอินเทอร์เน็ตอนาคต (Wireless Network and Future Internet Research Group) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ คุณกุลิสรณ์ ณ นคร คุณเกียรติคุณ กาวีละและคุณธนาภูมิ แดนมณีที่ให้ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยตลอดระยะเวลา 2 ปีที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่และครอบครัวที่เปิดโอกาสให้ได้ศึกษาต่อและคอยเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ทำการทำวิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
1.6 ผลงานตีพิมพ์	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 การระบุตำแหน่งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	8
2.1.1 ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายนอกอาคาร	8
2.1.2 ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร.....	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.2.1 SkyLoc	10
2.2.2 FTrack.....	10
บทที่ 3 ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร	11
3.1 ภาพรวมของระบบ	11

3.1.1	ขั้นตอนการทำงานของระบบ	11
3.1.2	สถาปัตยกรรมของระบบ.....	14
3.2	การระบุตำแหน่งภายในอาคาร.....	15
3.2.1	ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของชั้นภายในอาคาร	15
3.2.2	อัลกอริทึมสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร.....	15
3.2.2.1	อัลกอริทึม FloorLoc.....	15
3.2.2.2	อัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique	17
3.3	การเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเอง	18
3.4	การจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่.....	20
3.4.1	ประเภทพฤติกรรมเคลื่อนที่.....	20
3.4.2	วิธีการสำหรับจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่	20
3.4.2.1	การจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง.....	21
3.4.2.2	การจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความดันบรรยากาศ	24
3.5	การนับจำนวนชั้นที่ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงไปยังชั้นอื่น	26
3.5.1	การนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่ง.....	26
3.5.2	การนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ	27
3.6	การแลกเปลี่ยนชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	28
3.6.1	โปรโตคอลสำหรับกระจายชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์.....	28
3.6.2	เครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือนสำหรับการกระจายชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์.....	31
บทที่ 4	การวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบและผลการทดลอง.....	33
4.1	การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	33
4.1.1	สมมติฐานการทดลอง	33
4.1.2	การเก็บข้อมูล	34

4.1.3	มาตรวัดประสิทธิภาพ.....	34
4.1.4	ผลการทดลอง.....	35
4.2	การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์.....	36
4.2.1	สมมติฐานการทดลอง.....	36
4.2.2	การเก็บข้อมูลและวิธีการทดลอง.....	36
4.2.3	มาตรวัดประสิทธิภาพ.....	38
4.2.4	ผลการทดลอง.....	38
4.2.4.1	ประสิทธิภาพการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง.....	38
4.2.4.2	ประสิทธิภาพการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความดัน บรรยากาศ.....	40
4.2.4.3	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่า ความเร่งและด้วยค่าความดันบรรยากาศ.....	40
4.3	การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลนับจำนวนชิ้น.....	43
4.3.1	สมมติฐานการทดลอง.....	43
4.3.2	การเก็บข้อมูลและวิธีการทดลอง.....	43
4.3.3	ผลการทดลอง.....	43
4.3.3.1	ประสิทธิภาพของการนับจำนวนชิ้นด้วยค่าความเร่ง.....	43
4.3.3.2	ประสิทธิภาพของการนับจำนวนชิ้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ.....	44
4.4	การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ.....	45
4.4.1	สมมติฐานการทดลอง.....	45
4.4.2	การเก็บข้อมูลและวิธีการทดลอง.....	46
4.4.3	ผลการทดลอง.....	48
บทที่ 5	บทสรุปของงานวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย.....	50
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	50

5.2 ข้อเสนอแนะ	52
5.2.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งของอัลกอริทึม FloorLoc.....	52
5.2.2 การจัดการความขัดแย้งของซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์.....	52
5.2.3 การนำระบบ FloorLoc-SL ไปใช้กับอาคารอื่นๆ	52
5.2.4 การใช้งานระบบ FloorLoc-SL ร่วมกับแอปพลิเคชันอื่นๆ บนโทรศัพท์เคลื่อนที่	54
5.2.5 ขนาดของแพ็คเกจที่ถูกส่งผ่านเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือน	55
รายการอ้างอิง	56
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	58



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบส่งข้อมูลภายในเครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือน	31
ตารางที่ 4.1 ค่าขีดแบ่งสำหรับอัลกอริทึมจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง	38
ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบวิธีการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่และการนับจำนวนชั้น	45
ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบระหว่าง SkyLoc, FTrack และ FloorLoc-SL	51



สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างแอปพลิเคชันสำหรับให้บริการข้อมูลด้านตำแหน่ง..... 2

ภาพที่ 1.2 การใช้จีพีเอสในการระบุตำแหน่งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2

ภาพที่ 1.3 การระบุตำแหน่งด้วยเทคโนโลยีจีพีเอสบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3

ภาพที่ 1.4 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์..... 3

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการร้องขอข้อมูลเมื่อเริ่มเปิดใช้งานระบบ 11

ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเพิ่ม FloorLoc-SL ลงในฐานะข้อมูลชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ 11

ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการบันทึกการเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 12

ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 12

ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ด้วยตนเอง..... 12

ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์..... 13

ภาพที่ 3.7 ฝั่งงานแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ 13

ภาพที่ 3.8 สถาปัตยกรรมของระบบ FloorLoc-SL..... 14

ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึม FloorLoc 16

ภาพที่ 3.10 ตัวอย่างการเกิดปัญหา Unknown location occurrence 16

ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique 17

ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างการเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ด้วยตนเอง 19

ภาพที่ 3.13 ค่าจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ที่มีพฤติกรรมการเคลื่อนที่แบบต่างๆ 22

ภาพที่ 3.14 วิธีการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง..... 23

ภาพที่ 3.15 ค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 25

ภาพที่ 3.16 สเตทแมชชีนสำหรับวิธีการนับจำนวนขั้นด้วยค่าความเร่ง..... 27

ภาพที่ 3.17 การทำงานของโปรโตคอลแลกเปลี่ยนชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์..... 30

ภาพที่ 3.18	เครือข่ายแอตสอกแบบเสมือน.....	31
ภาพที่ 3.19	ผังงานแสดงขั้นตอนการแพร่กระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์.....	32
ภาพที่ 4.1	แผนผังของสถานที่ทดลอง.....	33
ภาพที่ 4.2	กราฟเปรียบเทียบความแม่นยำของอัลกอริทึมระบุตำแหน่งภายในอาคาร.....	35
ภาพที่ 4.3	กราฟเปรียบเทียบอัตราการเกิดกรณีที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่....	36
ภาพที่ 4.4	ลำดับการเดินสำรวจอาคารเพื่อเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์.....	37
ภาพที่ 4.5	เส้นทางการเดินสำรวจแต่ละชั้นของสถานที่ทดลองเพื่อเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์.....	37
ภาพที่ 4.6	ความแม่นยำของการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง.....	39
ภาพที่ 4.7	ความแม่นยำของการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความดันบรรยากาศ.....	41
ภาพที่ 4.8	กราฟเปรียบเทียบความแม่นยำเฉลี่ยของการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่.....	42
ภาพที่ 4.9	ความแม่นยำของสเตตแมชชีนนับจำนวนชั้น.....	44
ภาพที่ 4.10	ผลการทดสอบเพื่อหาค่าขีดแบ่ง β_{floor_up} และ β_{floor_down} ที่ดีที่สุด.....	44
ภาพที่ 4.11	สถานการณ์จำลองกรณีที่ไม่มีโหนดแลกเปลี่ยน.....	47
ภาพที่ 4.12	สถานการณ์จำลองกรณีที่มีโหนดแลกเปลี่ยนจำนวนหนึ่งโหนด.....	47
ภาพที่ 4.13	สถานการณ์จำลองกรณีที่มีโหนดแลกเปลี่ยนจำนวน 2 โหนด.....	47
ภาพที่ 4.14	สถานการณ์จำลองกรณีที่มีโหนดแลกเปลี่ยนจำนวน 3 โหนด.....	48
ภาพที่ 4.15	สถานการณ์จำลองกรณีที่มีโหนดแลกเปลี่ยนจำนวน 4 โหนด.....	48
ภาพที่ 4.16	ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของระบบ FloorLoc-SL.....	49
ภาพที่ 5.1	กราฟแสดงค่าความดันบรรยากาศของสถานที่ทดลองเปรียบเทียบกับอาคารอื่น.....	54

บทที่ 1

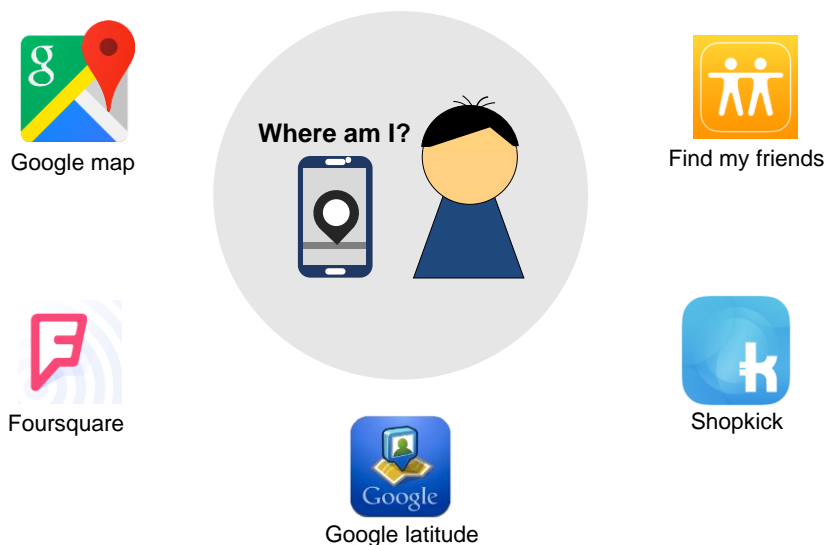
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นอุปกรณ์สื่อสารที่นิยมใช้งานในชีวิตประจำวัน ในปี พ.ศ. 2556 มีผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 6,600 ล้านรายทั่วโลกโดยอ้างอิงจาก “Ericson Mobility Report” [1] ส่วนการใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทยนั้น “รายงานสภาพตลาดโทรคมนาคม ไตรมาสที่ 3 ปี 2556” [2] ของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ระบุว่าเมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหมด 91 ล้านราย เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2555 ร้อยละ 10.7

การใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างแพร่หลายรวมทั้งการเพิ่มประสิทธิภาพของโทรศัพท์เคลื่อนที่จนเกิดเป็นสมาร์ทโฟน (Smartphone) เป็นสาเหตุให้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นจำนวนมาก เพื่อรองรับการใช้งานและเพิ่มความสามารถในการทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ แอปพลิเคชันสำหรับให้บริการข้อมูลด้านตำแหน่ง (Location service application) เป็นแอปพลิเคชันประเภทหนึ่งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำหน้าที่ในการระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่รวมทั้งให้บริการข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวกับตำแหน่ง เช่น แลกเปลี่ยนข้อมูลด้านตำแหน่งกับโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นๆ หรือระบุตำแหน่งของสถานที่สำคัญที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

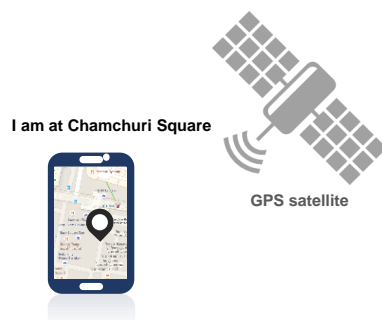
แอปพลิเคชันสำหรับให้บริการข้อมูลด้านตำแหน่งถูกพัฒนาขึ้นเป็นจำนวนมากดังที่แสดงตัวอย่างในภาพที่ 1.1 หลายแอปพลิเคชันเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ยกตัวอย่างเช่น โฟร์สแควร์ (Foursquare) เป็นแอปพลิเคชันเครือข่ายสังคมประเภทหนึ่ง ผู้ใช้งานสามารถแบ่งปันสถานที่ที่ตนเองไปเยือนให้ผู้อื่นคนอื่นๆ ได้ทราบ, ไฟด์มายเฟรนด์ (Find My Friends) เป็นแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS) ผู้ใช้งานแต่ละคนสามารถแบ่งปันข้อมูลแสดงตำแหน่งปัจจุบันของให้ผู้อื่นคนอื่นๆ ทราบและสามารถติดตามตำแหน่งของผู้อื่นคนอื่นๆ ได้ นอกจากนี้แอปพลิเคชันเครือข่ายสังคมอย่างเช่นเฟซบุ๊ก (Facebook), อินสตาแกรม (Instagram) และทวิตเตอร์ (Twitter) ยังมีส่วนที่ทำหน้าที่ให้บริการข้อมูลด้านตำแหน่ง เมื่อผู้ใช้งานแบ่งปันข้อมูลผ่านเครือข่ายสังคมดังกล่าว สามารถระบุตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเหล่านั้นได้ รวมไปถึงการระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้งานแล้วเผยแพร่ให้กับผู้อื่นคนอื่นๆ ได้ทราบ การระบุตำแหน่งของผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อให้ผู้อื่นสามารถติดตามได้นั้น มีประโยชน์อย่างมากในหลายสถานการณ์ เช่น การติดตามผู้สูงอายุหรือผู้ที่ต้องการการดูแลเป็นพิเศษ, การค้นหาบุคคลที่ต้องการความช่วยเหลือฉุกเฉิน



ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างแอปพลิเคชันสำหรับให้บริการข้อมูลด้านตำแหน่ง

วิธีการสำหรับระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ถูกพัฒนาและนำเสนอเป็นจำนวนมากตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา เทคโนโลยีที่ถูกใช้งานมากที่สุดในการระบุตำแหน่งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่คือเทคโนโลยีจีพีเอส (GPS: Global Positioning System) [3] ปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่วางขายในท้องตลาดมักจะมีการติดตั้งตัวรับสัญญาณจีพีเอสไว้สำหรับระบุตำแหน่งของเครื่อง แม้ว่าจีพีเอสจะสามารถระบุพิกัดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ดังเช่นในตัวอย่างจากภาพที่ 1.2 จีพีเอสเซ็นเซอร์สามารถโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถระบุได้ว่าขณะนั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่กำลังอยู่ที่อาคารใด แต่เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในอาคาร ประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งภายในอาคารจะลดลง เนื่องจากโครงสร้างและสิ่งกีดขวางในอาคารอาจจะบดบังสัญญาณจีพีเอสที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมผู้ให้บริการจีพีเอส นอกจากนี้เทคโนโลยีจีพีเอสในโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังไม่สามารถบอกได้ว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ชั้นใดของอาคารดังที่แสดงในภาพที่ 1.3

Global Positioning System (GPS)



ภาพที่ 1.2 การใช้จีพีเอสในการระบุตำแหน่งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

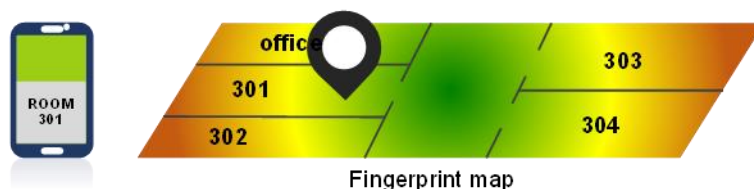
Global Positioning System (GPS)



ภาพที่ 1.3 การระบุตำแหน่งด้วยเทคโนโลยีจีพีเอสบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นเป็นสาเหตุให้นักวิจัยจำนวนมากพัฒนาระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารขึ้นมา การระบุตำแหน่งภายในอาคารมักจะนำลายนิ้วมือสัญญาณหรือซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ (Signal fingerprint) มาประยุกต์ใช้โดยอาศัยหลักการที่ว่าแต่ละบริเวณภายในอาคารจะมีลักษณะของสัญญาณต่างกัน ตัวอย่างการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการนี้แสดงได้ดังภาพที่ 1.4 สัญญาณอาจจะเป็นลักษณะการบิดเบือนของสนามแม่เหล็กโลก (Geo-magnetism distortion) [4] , สเปกตรัมของเสียงจากสิ่งแวดล้อม [5], สัญญาณจีเอสเอ็ม (GSM Signal) [6] หรือสัญญาณไวไฟ (Wi-Fi signal) จากอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบไร้สายหรือแอ็กเซสพอยต์ (access point) ที่ถูกติดตั้งภายในอาคาร [7-11] สัญญาณที่นิยมถูกนำมาใช้เป็นซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์มากที่สุดคือสัญญาณไวไฟ เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานอินเทอร์เน็ตอย่างแพร่หลาย มักมีติดตั้งแอ็กเซสพอยต์ภายในอาคารเพื่อให้บริการอินเทอร์เน็ต จึงสามารถใช้ประโยชน์จากสัญญาณไวไฟได้ทันทีโดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ เพิ่มเติม

Fingerprint-based approach



ภาพที่ 1.4 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์

ระบบที่ใช้ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ในการระบุตำแหน่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในอาคาร ก่อนที่ระบบจะสามารถใช้งานได้นั้น ต้องมีการสำรวจอาคารเพื่อเก็บลักษณะสัญญาณแล้วนำมาสร้างซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์สำหรับแต่ละบริเวณภายในอาคาร หลังจากนั้นจะได้แผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์

(Fingerprint map) ซึ่งเป็นแผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์กับพื้นที่ภายในอาคาร ระบบสำหรับตำแหน่งภายในอาคารส่วนใหญ่มักจะเก็บแผนที่ไว้ที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการระบุตำแหน่งภายในอาคารก็จะวัดสัญญาณแล้วส่งมายังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ เครื่องเซิร์ฟเวอร์จะนำสัญญาณดังกล่าวมาเทียบกับแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์แล้วเลือกตำแหน่งที่มีลักษณะสัญญาณใกล้เคียงกันที่สุด หลังจากนั้นจะส่งตำแหน่งดังกล่าวกลับไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่

แม้ว่าระบบที่ใช้ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์จะมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งสูง แต่ระบบดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในการทำงานอยู่ เช่น ระบบจะไม่สามารถใช้งานได้ หากโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์, ระบบจะสามารถใช้งานได้เฉพาะในอาคารที่ถูกสำรวจเพื่อสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์แล้วเท่านั้น นอกจากนี้ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ถูกพัฒนาขึ้นมา มักมีประสิทธิภาพที่ดีเมื่อมีแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์แค่ชั้นเดียว หากมีหลายชั้นประสิทธิภาพจะลดลงเนื่องจากการแทรกสอดของสัญญาณระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน ทำให้ระบบไม่สามารถแยกได้ว่าสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับตรงกับซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ที่อยู่ในชั้นใด ผลการระบุตำแหน่งจึงบอกได้เพียงพิภักในแนวราบ ขาดพิภักความสูง

เพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารบนโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบไม่ใช้เครื่องเซิร์ฟเวอร์ มีชื่อเรียกว่า “FloorLoc-SL” โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำหน้าที่ระบุชั้นของอาคารที่โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่โดยใช้ผลการค้นหาสัญญาณวิทยุ ออัลกอริทึมที่ใช้ระบุตำแหน่งนั้นมีความซับซ้อนต่ำ สามารถถูกประมวลผลได้ด้วยทรัพยากรของโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ระบบ FloorLoc-SL สามารถสร้างและปรับปรุงแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ได้ด้วยกระบวนการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ด้วยตนเอง ช่วยลดขั้นตอนการสำรวจอาคารเพื่อสร้างแผนที่ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ ทำให้ระบบสามารถนำไปใช้กับอาคารอื่นๆ ได้ นอกจากนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องสามารถแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ที่ตนเองเรียนรู้มาผ่านเครือข่ายแอตต็อกแบบเสมือน เครือข่ายดังกล่าวจะประยุกต์วิทยุฮอตสปอตบนโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อสร้างเครือข่ายที่มีลักษณะเช่นเดียวเครือข่ายแอตต็อก ซึ่งไม่ต้องการโครงสร้างพื้นฐานเพื่อสนับสนุนการทำงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาระบบสำหรับระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในอาคารโดยใช้การรับสัญญาณวิทยุ
- 2) เพื่อพัฒนาระบบสำหรับระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในอาคารที่ไม่ใช้เครื่องเซิร์ฟเวอร์ในการประมวลผล
- 3) เพื่อพัฒนาวิธีการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ด้วยตนเอง วิธีการดังกล่าวทำให้ระบบสามารถสร้างและปรับปรุงแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ของอาคารได้เอง ช่วยลดขั้นตอนการสำรวจอาคาร
- 4) เพื่อพัฒนาและศึกษาวิธีการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์กับโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นๆ ผ่านเครือข่ายแอตสอกแบบเสมือน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) พัฒนาระบบสำหรับระบุตำแหน่งในอาคารบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
- 2) พัฒนาวิธีการระบุตำแหน่งในอาคารที่มีความละเอียดในการระบุตำแหน่งเป็นขั้นกล่าวคือระบบสามารถบอกได้ว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู๋ภายในชั้นใดของอาคาร
- 3) พัฒนาและศึกษาวิธีการตรวจจับพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์และวิธีการนับจำนวนชั้นที่ผู้ใช้ขึ้นหรือลงบันไดภายในอาคารโดยใช้เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer sensor) และเซ็นเซอร์วัดความดันบรรยากาศ (Barometer sensor) สำหรับเซ็นเซอร์วัดความเร่งจะศึกษาพัฒนาวิธีการนับสำหรับการขึ้นลงบันไดที่มีชันพกระหว่างชั้นเพียงหนึ่งชันพเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้อัลกอริทึมสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งสามารถบอกได้ว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู๋ชั้นใดของอาคาร ช่วยเพิ่มมิติของการระบุตำแหน่งในอาคาร นอกจากนี้ยังสามารถนำอัลกอริทึมไปพัฒนาต่อยอดเป็นแอปพลิเคชันเพื่อใช้งานในสถานการณ์ต่างๆ ได้ เช่น การติดตามผู้สูงอายุ ผู้พิการหรือผู้ที่ต้องการดูแลทางการแพทย์เป็นพิเศษ การค้นหาผู้ที่ต้องการความช่วยเหลือในสถานการณ์ฉุกเฉิน
- 2) ได้วิธีการการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ภายในอาคารโดยอาศัยการอ่านและวิเคราะห์ค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่งและเซ็นเซอร์วัดความดันบรรยากาศโทรศัพท์เคลื่อนที่
- 3) ได้วิธีการที่ทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถสร้างและปรับปรุงแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ได้ด้วยตนเอง โดยไม่ต้องสำรวจอาคารเพื่อเก็บข้อมูล

- 4) ได้ศึกษาและพัฒนาการส่งข้อมูลโดยใช้เครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือนบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร
- 2) พัฒนาวิธีการระบุตำแหน่งภายในอาคาร
 - 2.1) สํารวจอาคารเพื่อเก็บข้อมูลลักษณะของสัญญาณวิทยุ
 - 2.2) พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร
 - 2.3) ทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร
 - 2.4) สรุปและอภิปรายผลการทดลอง
 - 2.5) ปรับปรุงอัลกอริทึมสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร
 - 2.6) ทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมที่ถูกปรับปรุง
 - 2.7) สรุปและอภิปรายผลการทดลอง
- 3) พัฒนาวิธีการตรวจจับพฤติกรรมเคลื่อนที่โดยใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่
 - 3.1) เก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งและเซ็นเซอร์วัดความดันบรรยากาศ เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ขึ้นหรือลงบันได, เดินและอยู่นิ่ง
 - 3.2) พัฒนาอัลกอริทึมจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์
 - 3.3) ทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่
 - 3.4) สรุปและอภิปรายผลการทดลอง
- 4) พัฒนาวิธีการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์ด้วยตนเอง
 - 4.1) พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์
- 5) พัฒนาการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่
 - 5.1) ทดสอบความสามารถในการรับส่งข้อมูลผ่านวิทยุฮอตสปอตบนโทรศัพท์เคลื่อนที่
 - 5.2) พัฒนาโปรโตคอลสำหรับแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์
 - 5.3) พัฒนาเครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือนเพื่อแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์
- 6) ทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งภายในอาคารของระบบเมื่อมีการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์และแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่
- 7) สรุปและอภิปรายประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

1.6 ผลงานตีพิมพ์

ส่วนหนึ่งของงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมวิชาการดังนี้

- 1) บทความชื่อ “*Low Complexity Floor Localization Algorithm for Mobile Phone*” [12] โดย Kornkanok Khaoampai, Kulit Na Nakorn และ Kultida Rojviboonchai ตีพิมพ์และนำเสนอในงานประชุมวิชาการชื่อ “2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2014)”
- 2) บทความชื่อ “*DecaFriend: Serverless Indoor Localization System on Mobile Phone Platform*” [13] โดย Kornkanok Khaoampai, Kamonluk Suksen, Kulit Na Nakorn และ Kultida Rojviboonchai ตีพิมพ์และนำเสนอในงานประชุมวิชาการชื่อ “2014 11th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE 2014)”



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การระบุตำแหน่งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ระบบที่ใช้ระบุตำแหน่ง (Localization system) บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นจำนวนมาก เราสามารถจำแนกระบบดังกล่าวออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของสถานที่ที่ระบบให้บริการ คือ ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายนอกอาคาร (Outdoor localization system) และระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor localization system)

2.1.1 ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายนอกอาคาร

ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายนอกอาคารมักจะใช้เทคโนโลยีจีพีเอส [3] ในการระบุตำแหน่ง หลักการทำงานของจีพีเอสคือ จีพีเอสจะประกอบด้วยดาวเทียมที่ให้บริการจีพีเอสและตัวรับสัญญาณจีพีเอส ดาวเทียมจะส่งสัญญาณจีพีเอสมายังตัวรับสัญญาณ สัญญาณที่ถูกส่งมาจะประกอบไปด้วย ตำแหน่งของดาวเทียมขณะที่ส่งสัญญาณและเวลาที่ส่งสัญญาณ ตัวรับสัญญาณจะนำข้อมูลดังกล่าวมา คำนวณหาตำแหน่งด้วยวิธีการทางเรขาคณิต โดยตัวรับสัญญาณจะต้องได้รับสัญญาณจีพีเอสจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อคำนวณตำแหน่งปัจจุบันในระบบพิกัดสามมิติ นอกเหนือจากเทคโนโลยีจีพีเอสแล้ว ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายนอกอาคารบางระบบอาจจะใช้ตำแหน่งของเสาสัญญาณที่ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GSM cell site) มาช่วยในการระบุตำแหน่งในกรณีที่ตัวรับสัญญาณจีพีเอสไม่สามารถคำนวณตำแหน่งได้เนื่องจากตัวรับสัญญาณรับสัญญาณจีพีเอสจากดาวเทียมน้อยกว่า 4 ดวง

2.1.2 ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร

ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนการระบุตำแหน่งของจีพีเอสเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำงานภายในอาคาร แต่ระบบจะมีวิธีการระบุตำแหน่งและเทคโนโลยีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งที่แตกต่างกันไป เทคโนโลยีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุดคือเทคโนโลยีไวไฟ (Wi-Fi) เนื่องจากแต่ละอาคารมีการติดตั้งไวไฟแอ็กเซสพอยต์เพื่อให้บริการอินเทอร์เน็ต โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่วางขายตามท้องตลาดในปัจจุบัน สามารถรับสัญญาณไวไฟจากผู้พัฒนาส่วนใหญ่จึงใช้สัญญาณไวไฟเพื่อระบุตำแหน่งภายในอาคาร

วิธีการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณวิทยุสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1) วิธีการระบุตำแหน่งโดยใช้แบบจำลอง (Model-based approach)

วิธีการนี้มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณระยะทางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับวายไฟแอ็คเซสพอยต์ แบบจำลองอาจจะใช้ข้อมูลต่างๆ เช่น ค่าความแรงของสัญญาณ (RSS: Received Signal Strength) มาคำนวณระยะทาง การระบุตำแหน่งด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องรู้พิกัดของวายไฟแอ็คเซสพอยต์ที่ติดตั้งอยู่ภายในอาคาร เพื่อนำมาเป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณตำแหน่ง ตัวอย่างเช่น วิธีโครงข่ายสามเหลี่ยม (Triangulation) โทรศัพท์เคลื่อนที่จำเป็นต้องได้รับสัญญาณอย่างน้อย 3 สถานีและต้องรู้ตำแหน่งของทั้งสามสถานีจึงจะคำนวณพิกัดของโทรศัพท์ออกมาเป็นระบบพิกัดสองมิติได้

2) วิธีการระบุตำแหน่งโดยใช้ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ (Fingerprint-based approach)

วิธีการนี้อาศัยหลักการที่ว่าแต่ละบริเวณภายในอาคารจะมีลักษณะของสัญญาณวิทยุที่แตกต่างกัน สามารถใช้ลักษณะสัญญาณดังกล่าวในการระบุตำแหน่งภายในอาคารเช่นเดียวกับการใช้ลายนิ้วมือในการตรวจพิสูจน์บุคคลในมนุษย์ ระบบที่ใช้วิธีการนี้มักจะมีการดำเนินการ 2 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรกคือขั้นตอนการเรียนรู้เพื่อสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ (Training phase) ในขั้นตอนนี้ผู้พัฒนาจะต้องสำรวจอาคารเพื่อเก็บลักษณะสัญญาณวิทยุที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับในแต่ละบริเวณ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสร้างเป็นแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ เมื่อสร้างแผนที่เสร็จแล้วระบบจะเข้าสู่ขั้นตอนการระบุตำแหน่ง (Localization phase) โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะส่งลักษณะของสัญญาณวิทยุที่ได้รับมายังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่เก็บแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ไว้ เซิร์ฟเวอร์จะตัดสินใจเลือกบริเวณที่มีฟิงเกอร์ปริ้นท์ใกล้เคียงที่สุดเป็นตำแหน่งปัจจุบันของโทรศัพท์เคลื่อนที่

ผู้พัฒนาจำนวนมากได้เสนอวิธีการสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์และวิธีการตัดสินใจเลือกบริเวณที่มีฟิงเกอร์ปริ้นท์ที่ใกล้เคียงกับสัญญาณวิทยุที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับมากที่สุด เช่น RADAR [7], LiFS [8], WILL [14], FreeLoc [11]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อที่ 2.1 นั้นถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับระบุตำแหน่งภายในชั้นใดชั้นหนึ่งของอาคารเท่านั้น ไม่สามารถบอกชั้นที่โทรศัพท์เคลื่อนที่กำลังอยู่ในปัจจุบันได้ เนื่องมาจากการแทรกสอดของระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันดังที่เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 1.1 วิธีการสำหรับระบุชั้นของอาคาร (Floor localization) ได้ถูกนำเสนอขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

2.2.1 SkyLoc

SkyLoc [6] คือระบบระบุชั้นของอาคารโดยใช้การรับสัญญาณสัญญาณจีเอสเอ็ม (GSM: Global System for Mobile Communication) หลักการทำงานของ SkyLoc คือระบบจะสร้างแผนที่ฟังก์เจอร์ปรินท์จากสัญญาณจีเอสเอ็มภายในอาคาร การระบุชั้นของอาคารทำได้โดยใช้การจับคู่สัญญาณจีเอสเอ็มที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับกับซิกแนลฟังก์เจอร์ปรินท์ในแผนที่ อย่างไรก็ตาม SkyLoc มีความแม่นยำ 73% ในการระบุชั้นของอาคารที่โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่และต้องมีการเก็บข้อมูลสัญญาณ ซึ่งอาจมีค่าใช้จ่ายสำหรับทรัพยากรบุคคลในการสำรวจอาคาร

2.2.2 FTrack

FTrack [15] เป็นระบบระบุชั้นของอาคารที่โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่เช่นเดียวกับ SkyLoc แต่แตกต่างกันที่วิธีการระบุชั้น FTrack จะใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งเพื่อบันทึกการเดินทางไปยังชั้นต่างๆของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ จากนั้นจะนำการเดินทางที่ได้มาวิเคราะห์เวลาเดินทางเมื่อเดินทางจากชั้นหนึ่งไปอีกชั้นหนึ่งโดยใช้ลิฟต์และจำนวนก้าวเมื่อเดินทางจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่งโดยใช้บันได หลังจากระบบทำงานไปได้ประมาณ 2 ชั่วโมง การระบุชั้นของ FTrack จะมีความแม่นยำ 90% แต่ อย่างไรก็ตาม FTrack ต้องการเซ็นเซอร์สำหรับวิเคราะห์เวลาการเดินทางและจำนวนก้าวเมื่อผู้ใช้เดินทางจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งเซ็นเซอร์นั้นมีค่าใช้จ่ายสำหรับฮาร์ดแวร์และค่าใช้จ่ายสำหรับการบำรุงรักษา

บทที่ 3

ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร

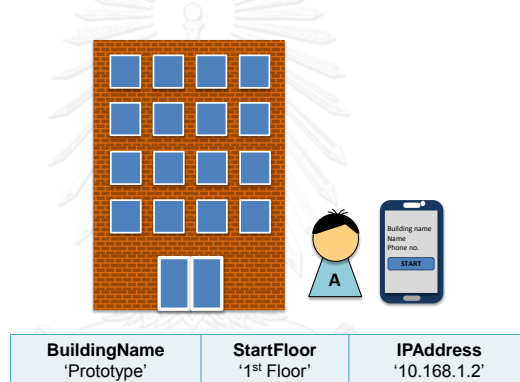
3.1 ภาพรวมของระบบ

ในหัวข้อที่ 3.1 จะอธิบายขั้นตอนการทำงานและสถาปัตยกรรมของระบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อสนับสนุนขั้นตอนการทำงานทั้งหมด

3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

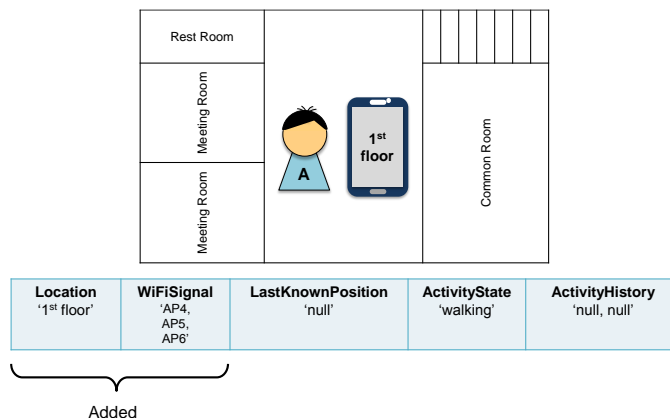
การทำงานของระบบ FloorLoc-SL มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เมื่อเริ่มใช้งานระบบผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบร้องขอชื่ออาคารและหมายเลขชั้นของอาคารที่ผู้ใช้งานเริ่มเปิดใช้งานระบบดังที่แสดงในภาพที่ 3.1



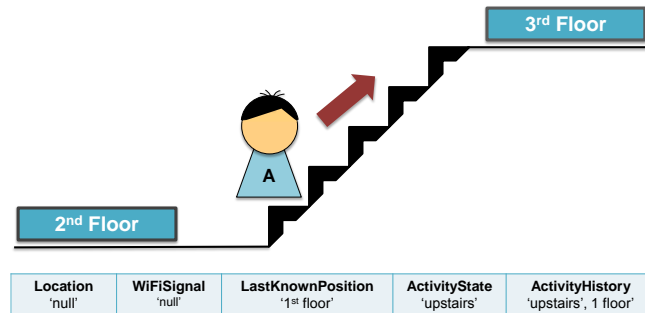
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการร้องขอข้อมูลเมื่อเริ่มเปิดใช้งานระบบ

2. ระบบเพิ่มซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ของชั้นดังกล่าว (จากขั้นตอนที่ 1) ลงในฐานข้อมูลซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ ดังที่แสดงในภาพที่ 3.2



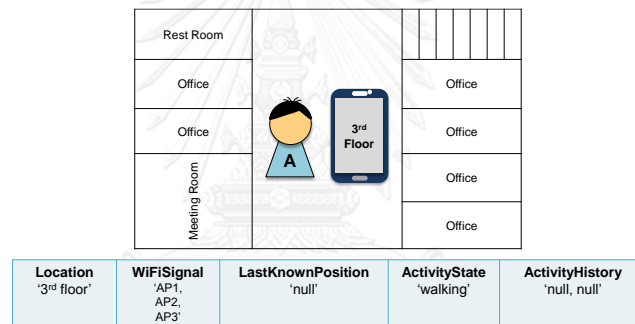
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเพิ่ม FloorLoc-SL ลงในฐานข้อมูลซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์

3. เมื่อผู้ใช้งานมีการขึ้นหรือลงไปยังชั้นอื่นๆ ของอาคาร ระบบจะเริ่มบันทึกการเคลื่อนที่ (activity history) จากตำแหน่งล่าสุดที่ระบบสามารถระบุตำแหน่งได้ ดังที่แสดงในภาพที่ 3.3



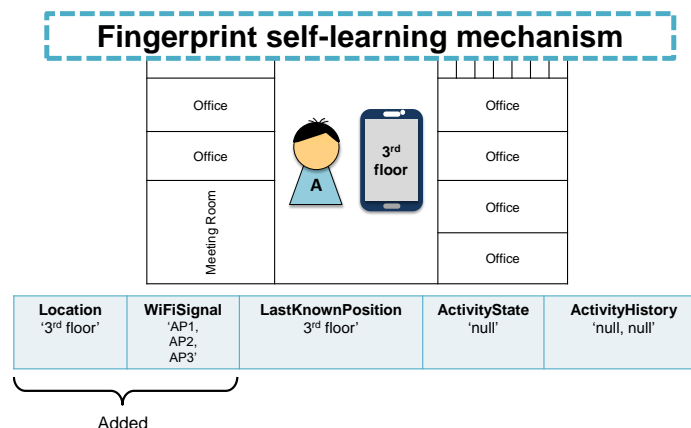
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการบันทึกการเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่

4. เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์หยุดเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงไปยังชั้นอื่นๆ ระบบจะเริ่มทำการระบุตำแหน่งอีกครั้ง ดังที่แสดงในภาพที่ 3.4 บันทึกการเคลื่อนที่จะถูกคืนค่าเมื่อระบบสามารถระบุตำแหน่งได้



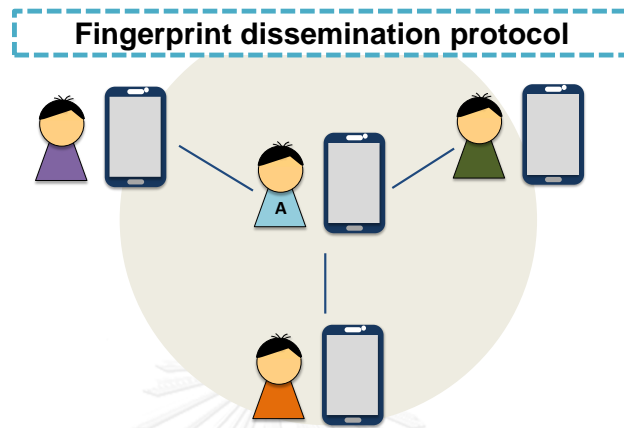
ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

ถ้าหากระบบไม่สามารถระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ระบบจะเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์ด้วยตนเองดังภาพที่ 3.5



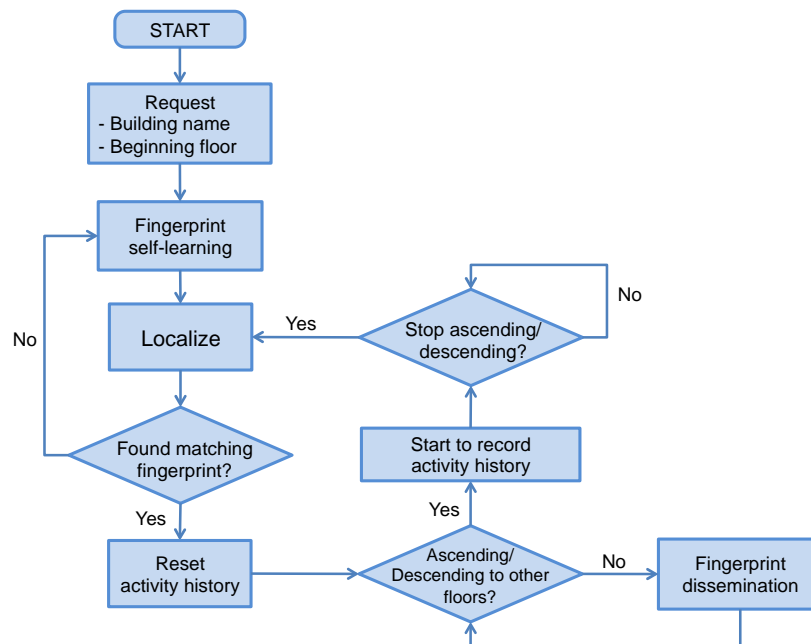
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์ด้วยตนเอง

5. หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการระบุตำแหน่ง โทรศัพท์เคลื่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนชิกแนลฟingerprintกับโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นๆ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นจนกระทั่งระบบตรวจพบว่าผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการขึ้นหรือลงไปยังชั้นอื่นๆ การทำงานของระบบจะกลับไปยังขั้นตอนที่ 3 อีกครั้ง



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนชิกแนลฟingerprint

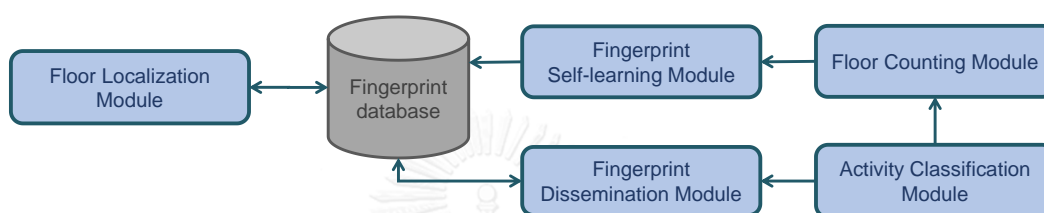
ขั้นตอนทำงานทั้งหมดของระบบ FloorLoc-SL ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 6 สามารถสรุปได้ดังผังงานในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ

3.1.2 สถาปัตยกรรมของระบบ

สถาปัตยกรรมของระบบ FloorLoc-SL ถูกออกแบบมาเพื่อสนับสนุนการทำงานทั้งหมดของระบบ ระบบจะประกอบด้วย 5 โมดูล ได้แก่ โมดูลระบุตำแหน่ง (Floor localization module), โมดูลเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเอง (Fingerprint self-learning module), โมดูลจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์ (Activity classification module), โมดูลนับจำนวนชั้น (Floor counting module) และ โมดูลแพร่กระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ (Fingerprint dissemination module) สถาปัตยกรรมของระบบแสดงได้ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 สถาปัตยกรรมของระบบ FloorLoc-SL

โมดูลระบุตำแหน่งมีหน้าที่คำนวณหาชั้นของอาคารที่โทรศัพท์เคลื่อนที่กำลังอยู่ในขณะนั้น โมดูลเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเองจะทำหน้าที่สร้างและปรับปรุงซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์เพื่อสนับสนุนการทำงานของโมดูลระบุตำแหน่ง โดยซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของแต่ละชั้นภายในอาคารจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนธ์ (Fingerprint database) กรณีที่โมดูลระบุตำแหน่งไม่สามารถบอกตำแหน่งปัจจุบันของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ เนื่องจากสัญญาณวิทยุที่ได้รับไม่ตรงกับซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ใดๆ ในฐานข้อมูล โมดูลเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเองจะร้องขอบันทึกการเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์จากโมดูลนับจำนวนชั้น ในการบันทึกการเคลื่อนที่ของโมดูลนับจำนวนชั้นนั้น โมดูลจำเป็นต้องรู้สถานะการเคลื่อนไหวทั้งหมดของผู้ใช้โทรศัพท์จากโมดูลจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ โมดูลดังกล่าวจะทำหน้าที่คำนวณว่าขณะนั้นสถานะการเคลื่อนไหว (activity state) ของผู้ใช้โทรศัพท์เป็นอย่างไร เช่น กำลังเดิน อยู่นิ่งกับที่หรือขึ้นลงบันได อย่างไรก็ตามระบบไม่จำเป็นต้องเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของแต่ละชั้นด้วยตนเองเพียงอย่างเดียว โทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องสามารถแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของตนเองกับเครื่องอื่นๆ ได้ด้วยโมดูลกระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์

3.2 การระบุตำแหน่งภายในอาคาร

3.2.1 ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของชั้นภายในอาคาร

ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ในระบบ FloorLoc-SL คือแอ็คเซสพอยต์ N ลำดับแรก (Top-N access points) ของผลการค้นหาสัญญาณวิทยุ (Wi-Fi scanning list) จากโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ในแต่ละชั้นของอาคาร โดยใช้แมคแอดเดรส (MAC address) สำหรับระบุแอ็คเซสพอยต์แต่ละตัว ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์สำหรับแต่ละชั้นของอาคารจะถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูลโครงสร้างข้อมูลของชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ที่ได้ถูกนิยามไว้ดังนี้

$$\text{floor_fingerprint} = \{\text{floor_level}, \text{ap_list}\}$$

เมื่อ floor_level = หมายเลขชั้นของอาคาร

$\text{ap_list} = \{ap_1, ap_2, \dots, ap_N\}$, ap_i = แมคแอดเดรสของแอ็คเซสพอยต์ N ลำดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวิทยุ

3.2.2 อัลกอริทึมสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร

3.2.2.1 อัลกอริทึม FloorLoc

เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ค้นหาสัญญาณวิทยุ ระบบจะใช้อัลกอริทึมที่ 3.1 ในการระบุตำแหน่งปัจจุบันของอาคาร โดยอัลกอริทึมพิจารณาว่าแอ็คเซสพอยต์ N ลำดับแรกของผลการค้นหาสัญญาณวิทยุ นั้นคล้ายคลึงกับชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของชั้นใดมากที่สุด ความซับซ้อนของอัลกอริทึมที่ 3.1 มีค่าเท่ากับ $O(F)$ เมื่อ F คือจำนวนชั้นของอาคารที่มีชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์อยู่ในฐานข้อมูลของระบบ

อัลกอริทึมที่ 3.1 อัลกอริทึม FloorLoc

Algorithm FloorLoc

Input: top-N access points in Wi-Fi scanning list top_ap_list

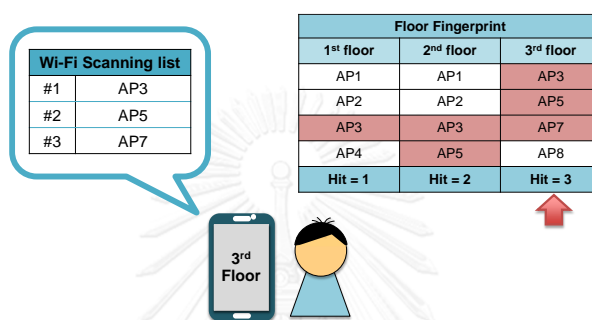
Output: current floor of mobile phone $\text{current_floor_level}$

```

1:  $\text{hit}_{MAX} \leftarrow 0$ 
2: for each  $\text{floor\_fingerprint}$  do
3:    $\text{hit} \leftarrow 0$ 
4:   for each  $\text{access point}$  from  $\text{top\_ap\_list}$  do
5:     if  $\text{access point}$  is in  $\text{ap\_list}$  of  $\text{floor\_fingerprint}$  then
6:        $\text{hit} \leftarrow \text{hit} + 1$ 
7:     end if
8:   end for
9:   if  $\text{hit}_{MAX} = \text{hit}$  do
10:     $\text{floor\_level} \leftarrow \text{UNKNOWN}$ 
11:   end if
12:   if  $\text{hit}_{MAX} < \text{hit}$  do
13:     $\text{hit}_{MAX} \leftarrow \text{hit}$ 
14:     $\text{current\_floor\_level} \leftarrow \text{floor\_level}$  of  $\text{floor\_fingerprint}$ 
15:   end if
16: end for
17: return  $\text{current\_floor\_level}$ 

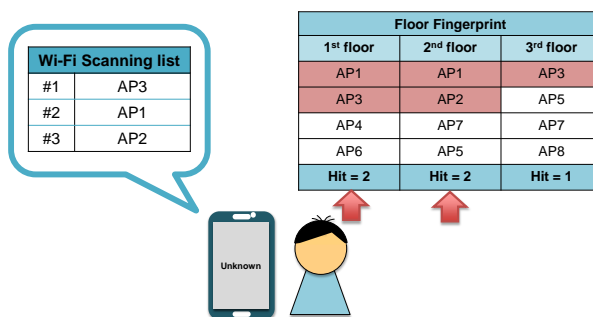
```

อัลกอริทึม FloorLoc จะคำนวณคะแนนความเหมือน (Hit score) ระหว่างแอ็คเซสพอยต์ N ลำดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวิทยุและซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์แต่ละชั้นของอาคาร ชั้นที่ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์มีคะแนนความเหมือนมากที่สุดจะเป็นตำแหน่งปัจจุบันที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ ตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึม FloorLoc แสดงได้ดังภาพที่ 3.9 ในตัวอย่างนี้ใช้แอ็คเซสพอยต์ 3 อันดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวิทยุเป็นซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ จากภาพจะพบว่าซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของชั้น 3 มีคะแนนความเหมือนมากที่สุด ดังนั้นอัลกอริทึม FloorLoc จะสรุปว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่บริเวณชั้น 3 ของอาคาร



ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึม FloorLoc

อย่างไรก็ตาม ยังมีกรณีที่อัลกอริทึม FloorLoc ไม่สามารถระบุตำแหน่งปัจจุบันของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ เนื่องจากมีบางครั้งที่คะแนนความเหมือนสูงสุดมาจากหลายซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ ทำให้อัลกอริทึมไม่สามารถตัดสินใจได้ ผลการระบุตำแหน่งจึงออกมาเป็น UNKNOWN เราเรียกปัญหาที่พบนี้ว่า “Unknown location occurrence” ภาพที่ 3.10 แสดงตัวอย่างของการเกิดกรณีดังกล่าว จากภาพจะเห็นว่าซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ต่างก็มีคะแนนความเหมือน 2 คะแนนเท่ากัน อัลกอริทึมจึงไม่สามารถระบุตำแหน่งปัจจุบันของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้

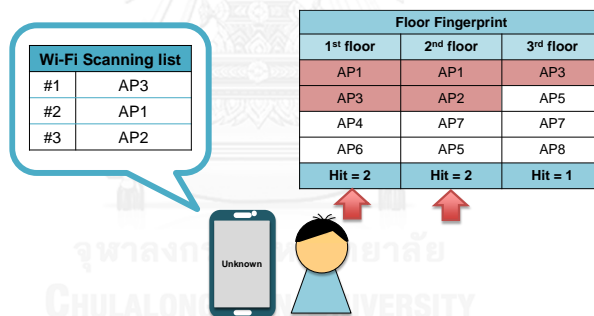


ภาพที่ 3.10 ตัวอย่างการเกิดปัญหา Unknown location occurrence

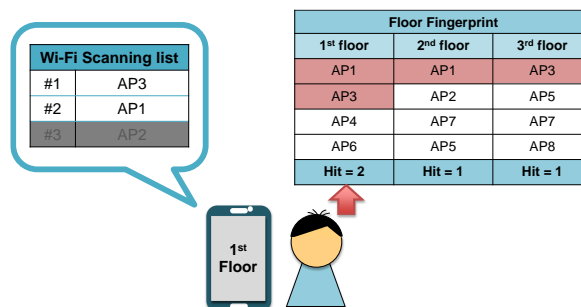
3.2.2.2 อัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique

เนื่องจากอัลกอริทึม FloorLoc เดิมนั้นมีปัญหา Unknown location occurrence อยู่ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งของระบบ FloorLoc-SL จึงต้องมีการปรับปรุงอัลกอริทึมดังกล่าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

เมื่อพิจารณาตัวอย่างการเกิดปัญหา Unknown location occurrence พบว่าหากอัลกอริทึมลดจำนวนแอ็คเซสพอยต์ในผลการค้นหาสัญญาณวิทยุ จากเดิมที่ใช้ 3 ลำดับแรกเป็น 2 ลำดับแรก คะแนนความเหมือนของซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ชั้น 1 และชั้น 2 จะมีค่าเป็น 2 คะแนนและ 1 คะแนนตามลำดับ คะแนนความเหมือนสูงสุดจะมาจากซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ของชั้น 1 เพียงชั้นเดียวเท่านั้น สุดท้ายอัลกอริทึมจะสามารถระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่จากผลการค้นหาสัญญาณวิทยุได้ เรียกวิธีการนี้ว่า “Top-N decrement technique” เรานำการลดจำนวนลำดับแอ็คเซสพอยต์มาใช้ปรับปรุงอัลกอริทึม FloorLoc แบบเดิมได้เป็นอัลกอริทึมที่ 3.2 ตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึมที่ถูกปรับปรุงนี้ถูกแสดงไว้ดังภาพที่ 3.11 ความซับซ้อนของอัลกอริทึมมีค่าเท่ากับ $O(F)$ เมื่อ F คือจำนวนชั้นของอาคารที่มีซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์อยู่ในฐานข้อมูลของระบบแล้ว



(a) คะแนนความเหมือนของซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ชั้น 1 และชั้น 2 มีค่าเท่ากัน



(b) อัลกอริทึมลดจำนวนแอ็คเซสพอยต์จนคะแนนความเหมือนที่มากที่สุดมาจากซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์เดียว

ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique

อัลกอริทึมที่ 3.2 อัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique

Algorithm FloorLoc with top-N decrement

Input: top-N access points in Wi-Fi scanning list top_ap_list

Output: current floor of mobile phone $current_floor_level$

```

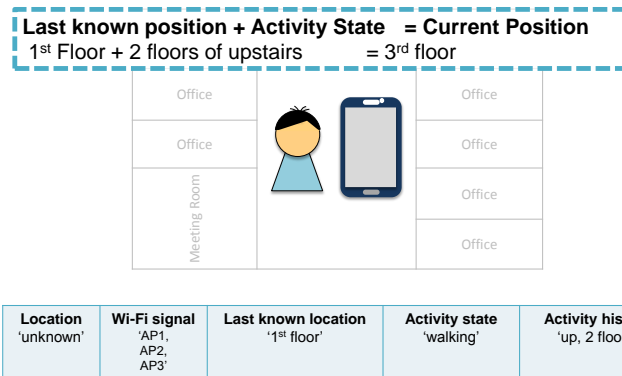
1:  $hit_{MAX} \leftarrow 0$ 
2: while  $top\_ap\_list$  is not empty do
3:   for each  $floor\_fingerprint$  do
4:      $hit \leftarrow 0$ 
5:     for each  $access\ point$  from  $top\_ap\_list$  do
6:       if  $access\ point$  is in  $ap\_list$  of  $floor\_fingerprint$  then
7:          $hit \leftarrow hit + 1$ 
8:       end if
9:     end for
10:    if  $hit_{MAX} = hit$  do
11:       $floor\_level \leftarrow UNKNOWN$ 
12:    else if  $hit_{MAX} < hit$  do
13:       $hit_{MAX} \leftarrow hit$ 
14:       $current\_floor\_level \leftarrow floor\_level$  of  $floor\_fingerprint$ 
15:    end if
16:  end for
17:  if  $floor\_level = UNKNOWN$  do
18:     $top\_ap\_list.remove(last\ access\ point\ of\ top\_ap\_list)$ 
19:  else do
20:    break
21:  end if
22: end while
23: return  $current\_floor\_level$ 

```

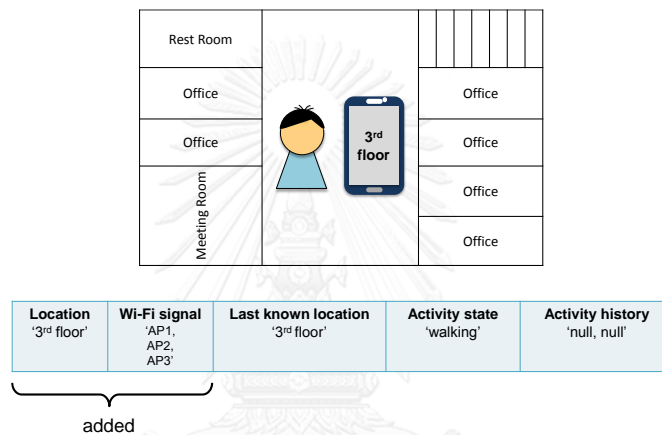
3.3 การเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ด้วยตนเอง

เมื่อระบบไม่สามารถระบุตำแหน่งปัจจุบันของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ เนื่องจากแอ็คเซสพอยต์ N ลำดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวิทยุไม่ตรงกับชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ใดๆ ในฐานข้อมูลเลย ระบบจะเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ด้วยตนเองเพื่อเพิ่มชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ชุดใหม่ลงในฐานข้อมูล กระบวนการนี้จะคำนวณตำแหน่งปัจจุบันโดยอาศัยข้อมูลจากบันทึกการเคลื่อนที่จากพารามิเตอร์ *activity history* และตำแหน่งล่าสุดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระบบสามารถระบุตำแหน่งได้จากพารามิเตอร์ *last known location*

ภาพที่ 3.12 แสดงตัวอย่างของการเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ด้วยตนเอง จากภาพที่ 3.12 (a) ตำแหน่งล่าสุดของโทรศัพท์เคลื่อนที่คือ ชั้น 1 และจากชั้น 1 นั้น ระบบได้บันทึกการเคลื่อนที่ไว้ว่าจากตำแหน่งล่าสุดจากถึงตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เดินขึ้นบันไดมา 2 ชั้น แสดงว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ชั้น 3 ของอาคาร แอ็คเซสพอยต์ N ลำดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวิทยุจะเป็นชิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ของชั้น 3 และถูกลงในฐานข้อมูลของระบบด้วยอัลกอริทึมที่ 3.3



(a) การคำนวณตำแหน่งปัจจุบันจากบันทึกการเคลื่อนที่และตำแหน่งล่าสุด



(b) การเพิ่มซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ของชั้น 3 ลงในฐานข้อมูลของระบบ

ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ด้วยตนเอง

อัลกอริทึมที่ 3.3 มีชื่อว่า “Fingerprint” หลักการทำงานของอัลกอริทึม Fingerprint คือ อัลกอริทึมจะรวบรวมแอสเซสพอยต์ N ลำดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวิทยุในแต่ละชั้นของอาคาร ซึ่งผลการค้นหาสัญญาณจากบริเวณต่างๆ ในชั้นเดียวกันนั้นอาจมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างจุดที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ค้นหาสัญญาณวิทยุกับจุดที่ตั้งแอสเซสพอยต์ ความซับซ้อนของอัลกอริทึมที่ 3.3 มีค่าเท่ากับ $O(N)$ เมื่อระบบใช้แอสเซสพอยต์ N ลำดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวิทยุเป็นซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์

อัลกอริทึมที่ 3.3 อัลกอริทึม Fingerprint

Algorithm Fingerprint

Input: top-N access points in Wi-Fi scanning results *top_ap_list*,
 floor level *floor*

- 1: **if** fingerprint of *floor* is valid in fingerprint database **then**
- 2: *floor_fingerprint* \leftarrow fingerprint of *floor* in fingerprint database
- 3: **else do**
- 4: *floor_level* \leftarrow *floor*
- 5: *ap_list* \leftarrow null
- 6: *floor_fingerprint* \leftarrow {*floor_level*, *ap_list*}
- 7: **end if**
- 8: **for** each *access point* from *top_ap_list* **do**
- 9: **if** *access point* is not in *ap_list* of *floor* **then**
- 10: *ap_list.add(access point)*
- 11: **end if**
- 12: **end for**

3.4 การจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่

3.4.1 ประเภทพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่

ในการพัฒนาระบบ FloorLoc-SL ได้มีการจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์ ออกเป็น 2 ประเภทตามทิศทางการเคลื่อนที่ ได้แก่ การเคลื่อนที่แนวราบ (Horizontal activity) และการเคลื่อนที่แนวตั้ง (Vertical activity)

การเคลื่อนที่แนวราบนั้นเป็นการเคลื่อนที่ภายในชั้นเดิมของอาคาร ไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนชั้น เช่น ผู้ใช้เดินภายในอยู่ชั้นใดชั้นหนึ่งของอาคารโดยไม่ได้มีการขึ้นหรือลงบันได หรือการที่ผู้ใช้นั่งอยู่กับที่ ไม่ได้มีการเคลื่อนไหวใดๆ เมื่อผู้ใช้มีการเคลื่อนที่แนวราบ สถานะการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ หรือ *activity state* จะถูกกำหนดเป็น UNCHANGED

การเคลื่อนที่แนวตั้งคือการเคลื่อนที่ที่อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นปัจจุบันที่ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ เช่น การเดินขึ้นหรือลงบันได การโดยสารลิฟต์ สถานะการเคลื่อนที่สำหรับการเคลื่อนที่แนวตั้งมี 2 ชนิดตามทิศทางการเคลื่อนที่ ได้แก่ UP และ DOWN โดยสถานะการเคลื่อนที่จะเป็น UP เมื่อผู้ใช้กำลังเคลื่อนที่ไปสู่ชั้นที่สูงกว่าชั้นปัจจุบัน (ชั้นบน) และจะเป็น DOWN เมื่อผู้ใช้กำลังเคลื่อนที่ไปสู่ชั้นที่อยู่ต่ำกว่าชั้นปัจจุบัน (ชั้นล่าง)

3.4.2 วิธีการสำหรับจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่

การจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่มีจุดประสงค์เพื่อระบุพฤติกรรมของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ถูกติดตั้งบนโทรศัพท์ ในการพัฒนาระบบ FloorLoc-SL ได้เสนอวิธีการจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ 2 วิธีการ วิธีการแรกจะจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง (Acceleration) ที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่ง ส่วนวิธีการที่สองจะจำแนกโดยใช้ค่าความดัน

บรรยากาศ (Atmospheric pressure) ที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์วัดความดันบรรยากาศหรือบารอมิเตอร์ เซ็นเซอร์

3.4.2.1 การจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง

ในปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนใหญ่มีเซ็นเซอร์วัดความเร่งโดยเฉพาะโทรศัพท์เคลื่อนที่ประเภทสมาร์ตโฟน ค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่งจะอยู่ในเทอมของ a_x , a_y และ a_z เมื่อ a_x , a_y และ a_z คือความเร่งในแนวแกน X, แกน Y และแกน Z ตามลำดับ สามารถนำมาคำนวณเป็นขนาดของความเร่ง (a) ด้วยสมการที่ 3.1

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

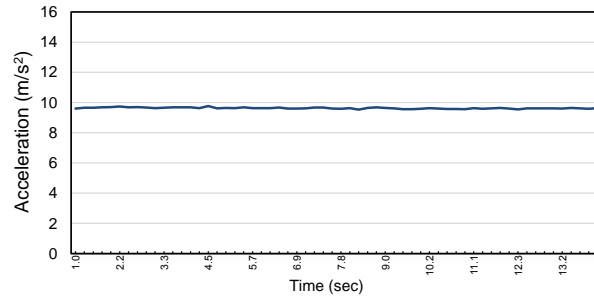
สำหรับการเคลื่อนที่แนวราบ เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เดิน (WALK) หรืออยู่นิ่งกับที่ (STEADY) จะมีสถานะการเคลื่อนที่เป็น UNCHANGED และสำหรับการเคลื่อนที่แนวตั้ง จะพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนขึ้นด้วยการขึ้นหรือลงบันไดเท่านั้น โดยเมื่อผู้ใช้เดินขึ้นบันไดจะมีสถานะการเคลื่อนที่เป็น UP และเมื่อผู้ใช้เดินลงบันไดจะมีสถานะการเคลื่อนที่เป็น DOWN

กราฟที่แสดงในภาพที่ 3.13 (a) – (d) แสดงขนาดของความเร่งที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่งเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์กำลังเคลื่อนที่ในแบบต่างๆ เมื่อพิจารณากราฟจะพบว่าระยะระหว่างจุดสูงสุด (Peak) และจุดต่ำสุด (Valley) ของแต่ละพฤติกรรมแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ไม่มีการเคลื่อนที่ระยะดังกล่าวจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อผู้ใช้เดิน ระยะระหว่างจุดสูงสุดกับจุดต่ำสุดของกราฟการเดินขึ้นบันไดจะมีค่าน้อยกว่าการเดินลงบันได

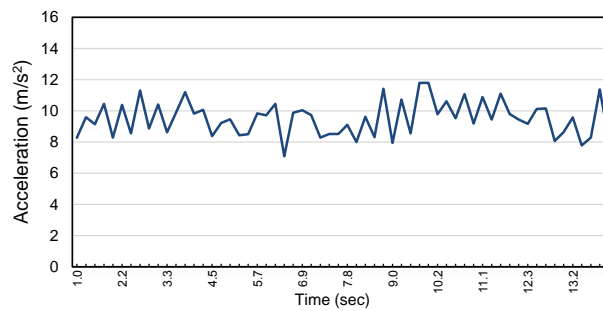
การจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่งจะใช้ค่าความแตกต่าง (Δa_i) ระหว่างขนาดของความเร่งปัจจุบัน (a_i) กับขนาดของความเร่งที่วัดได้ก่อนหน้า (a_{i-1}) โดยจะมีค่าขีดแบ่ง (threshold) สำหรับจำแนกพฤติกรรมต่างๆ ดังต่อไปนี้

- α_{walk} คือค่าขีดแบ่งสำหรับแยกพฤติกรรมการเดิน
- α_{up} คือค่าขีดแบ่งสำหรับแยกพฤติกรรมการเดินขึ้นบันได
- α_{down} คือค่าขีดแบ่งสำหรับแยกพฤติกรรมการเดินลงบันได

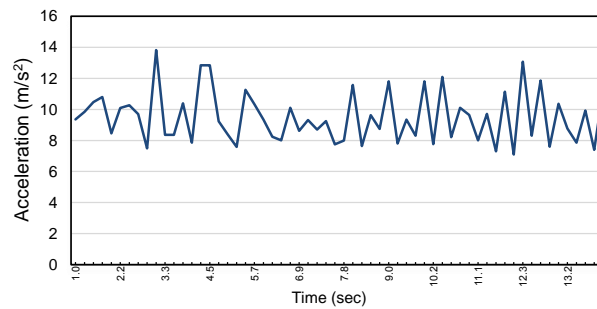
จากกราฟในภาพที่ 3.10 จะได้ว่า $\alpha_{walk} < \alpha_{up} < \alpha_{down}$ สำหรับค่าที่เหมาะสมสำหรับ α_{walk} , α_{up} และ α_{down} นั้นจะถูกพิจารณาและอภิปรายในบทที่ 4



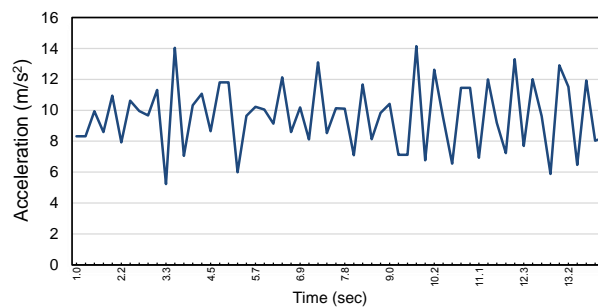
(a) ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่นิ่งกับที่ (STEADY)



(b) ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เดินภายในชั้นของอาคาร (WALK)



(c) ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เดินขึ้นบันได (UP)



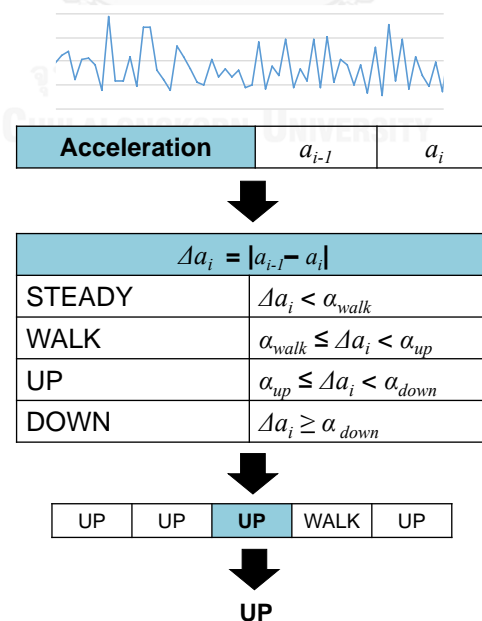
(d) ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เดินลงบันได (DOWN)

ภาพที่ 3.13 ค่าจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์มีพฤติกรรมเคลื่อนที่แบบต่างๆ

อย่างไรก็ตาม ความเร่งที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์นั้นอาจมีค่ารบกวน (Noise) ตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณากราฟในภาพที่ 3.13 (d) พบระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดกับจุดต่ำสุดที่มีขนาดเล็ก ซึ่งทำให้ระบบเข้าใจว่าขณะนั้นผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ กำลังเดินอยู่ ทั้งที่จริงๆ แล้วผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ กำลังเดินลงบันได เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการปรับปรุงวิธีการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ด้วยเทคนิคที่เรียกว่า “Majority voting” ภาพที่ 3.14 แสดงวิธีการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ที่สามารถอธิบายขั้นตอนการจำแนกได้ดังนี้

1. อัลกอริทึมจะอ่านความเร่งจากเซ็นเซอร์แล้วคำนวณขนาดของความเร่ง a_i แล้วคำนวณค่าความแตกต่าง Δa_i โดย $\Delta a_i = |a_{i-1} - a_i|$
2. นำ Δa_i ที่คำนวณได้จากข้อ 1) มาเทียบกับค่าขีดแบ่ง α_{walk} , α_{up} และ α_{down} เพื่อตัดสินใจว่าผู้ใช้มีพฤติกรรมเคลื่อนที่
3. เติมผลการจำแนกที่ได้ลงในวินโดวส์ขนาดจำกัด (fixed-size window)
4. เมื่อวินโดวส์ถูกเติมจนเต็ม ผลการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ที่มีจำนวนมากที่สุดในวินโดวส์จะถือว่าเป็นพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์ในช่วงเวลานั้นๆ

อัลกอริทึมที่ 3.4 เป็นอัลกอริทึมสำหรับจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง ความซับซ้อนของอัลกอริทึมมีค่าเป็น $O(W)$ เมื่ออัลกอริทึมใช้วินโดวส์ที่มีขนาด W ในการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่



ภาพที่ 3.14 วิธีการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง

อัลกอริทึมที่ 3.4 อัลกอริทึมจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง

Algorithm Activity Classification using Acceleration Approach

Input: acceleration $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{\text{window size}+1}\}$

Output: current activity *activity_state*

```

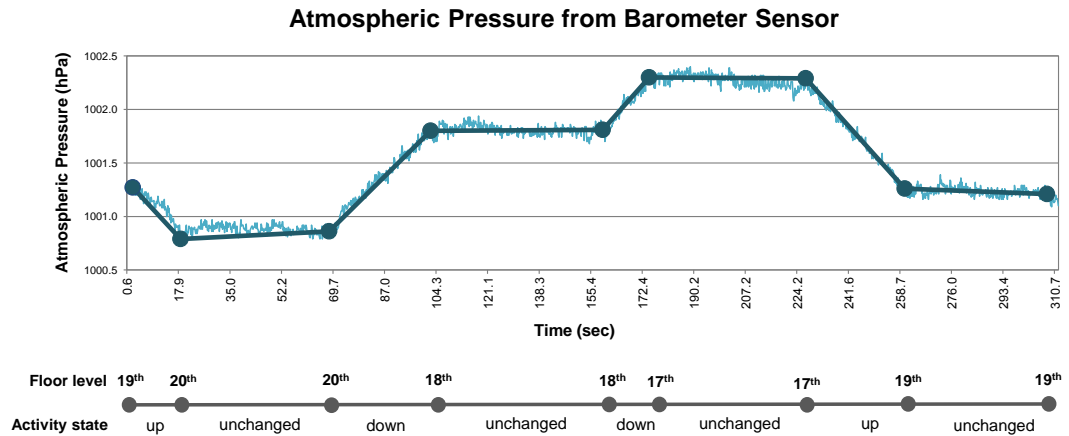
1: window  $\leftarrow \{\}$ 
2: for  $i = 1$  to  $i = \text{window size}$  do
3:    $\Delta a \leftarrow |a_i - a_{i+1}|$ 
4:   if  $\Delta a \geq \alpha_{\text{down}}$  then
5:     activity  $\leftarrow$  DOWN
6:   else if  $\Delta a \geq \alpha_{\text{up}}$  then
7:     activity  $\leftarrow$  UP
8:   else if  $\Delta a \geq \alpha_{\text{walk}}$  then
9:     activity  $\leftarrow$  WALK
10:  else then
11:    activity  $\leftarrow$  STEADY
12:  end if
13:  window.add(activity)
14:   $i \leftarrow i + 1$ 
15: end for
16: activity_state  $\leftarrow$  majority activity in window
17: return activity_state

```

3.4.2.2 การจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความดันบรรยากาศ

ความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) คือแรงจากน้ำหนักของอากาศที่กระทำบนพื้นผิวขนาด 1 หน่วยในบรรยากาศโลก เมื่อมีการเพิ่มระดับความสูง ความดันบรรยากาศจะมีค่าลดลง และจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความสูงลดลง ความดันบรรยากาศสามารถวัดได้โดยใช้บารอมิเตอร์ ปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ประเภทสมาร์ตโฟน มักจะถูกติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความดันบรรยากาศหรือบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์โดยเฉพาะสมาร์ตโฟนรุ่นที่เป็นเรือธง (Flagship model) ค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์มีหน่วยเป็นเฮกโตพาสกาล (hPa) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10^2 พาสกาล

กราฟในภาพที่ 3.15 เป็นค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์ขณะที่ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่กำลังเคลื่อนที่แนวราบและแนวตั้ง ข้อมูลในกราฟถูกบันทึกจากชั้น 17 – 20 ของอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นสถานที่สำหรับการทดลองและพัฒนาต้นแบบของระบบ FloorLoc-SL ไทม์ไลน์ได้กราฟแสดงลำดับเหตุการณ์การเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์ จากกราฟจะพบว่าเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์อยู่นิ่งกับที่หรือเดินอยู่ภายในชั้นเดิม (สถานะการเคลื่อนที่ที่เป็น UNCHANGED) ค่าความดันบรรยากาศจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความดันบรรยากาศจะลดลงเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ขึ้นไปยังชั้นบน (สถานะการเคลื่อนที่ที่เป็น UP) และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์เดินลงไปยังชั้นล่าง (สถานะการเคลื่อนที่ที่เป็น DOWN)



ภาพที่ 3.15 ค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

การจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยความดันบรรยากาศจะอาศัยการสังเกตความแตกต่างระหว่างค่าความดันที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์กับค่าความดันที่อ่านได้ก่อนหน้า (Δp) โดยจะมีค่าขีดแบ่ง β_{down} สำหรับแยกพฤติกรรมเคลื่อนที่ลงไปยังชั้นล่าง (สถานะการเคลื่อนที่เป็น DOWN) โดย β_{down} มีค่ามากกว่า 0 เสมอ และ β_{up} สำหรับแยกพฤติกรรมเคลื่อนที่ขึ้นไปยังชั้นบน (สถานะการเคลื่อนที่เป็น UP) โดย β_{down} มีค่าน้อยกว่า 0 เสมอ ค่าที่เหมาะสมสำหรับ β_{down} และ β_{up} จะถูกพิจารณาและอภิปรายในบทที่ 4

การจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่โดยใช้ค่าความดันบรรยากาศ มีขั้นตอนดังนี้

1. ค่าความดันจะถูกส่งออกมาเป็นสตรีม (stream) สตรีมจะถูกแบ่งออกเป็นวินโดวส์ขนาด W ช่อง
2. คำนวณค่าเฉลี่ยของความดันบรรยากาศในวินโดวส์
3. คำนวณ Δp โดยนำค่าเฉลี่ยของวินโดวส์ปัจจุบันมาลบกับค่าเฉลี่ยของวินโดวส์ก่อนหน้า
4. นำค่า Δp มาเทียบกับค่าขีดแบ่ง
 - 4.1 ถ้า $\Delta p \geq \beta_{down}$ จะได้สถานะการเคลื่อนที่เป็น DOWN
 - 4.2 ถ้า $\Delta p \leq \beta_{up}$ จะได้สถานะการเคลื่อนที่เป็น UP
 - 4.3 ถ้าไม่ตรงกับเงื่อนไขข้อ 4.1 และ 4.2 สถานะการเคลื่อนที่จะเป็น UNCHANGED

อัลกอริทึมที่ 3.5 คืออัลกอริทึมจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยความดันบรรยากาศ ความซับซ้อนของอัลกอริทึมมีค่าเป็น $O(W)$ เมื่ออัลกอริทึมใช้วินโดวส์ที่มีขนาด W ในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่

อัลกอริทึมที่ 3.5 อัลกอริทึมจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความดันบรรยากาศ

Algorithm Activity Classification using Atmospheric Pressure Approach

Input: streamed atmospheric pressure $\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$

Output: current activity $activity_state$

```

1:  $previous\_pressure \leftarrow average(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{window\ size})$ 
2: for  $i \leftarrow window\_size + 1$  to  $i = n$  do
3:    $current\_pressure \leftarrow average(p_i, p_{i+1}, p_{i+2}, \dots, p_{i+window\ size-1})$ 
4:    $\Delta p \leftarrow current\_pressure - previous\_pressure$ 
5:   if  $\Delta p \geq \beta_{down}$  then
6:      $previous\_pressure \leftarrow current\_pressure$ 
7:      $activity\_state \leftarrow DOWN$ 
8:   else if  $\Delta p \leq \beta_{up}$  then
9:      $previous\_pressure \leftarrow current\_pressure$ 
10:     $activity\_state \leftarrow UP$ 
11:   else then
12:      $activity\_state \leftarrow UNCHANGED$ 
13:   end if
14:    $i \leftarrow i + window\ size$ 
15: end for

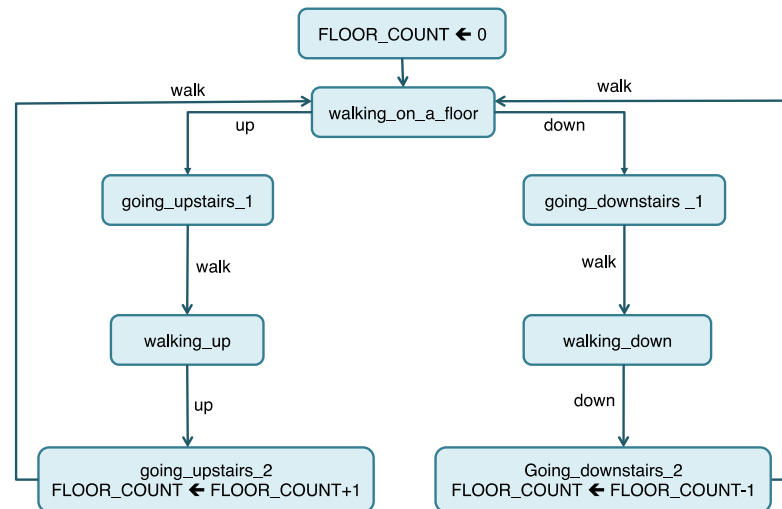
```

3.5 การนับจำนวนชั้นที่ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงไปยังชั้นอื่น

การนับจำนวนชั้นเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงไปยังชั้นอื่นๆ มีความสำคัญเนื่องจากกระบวนการเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนซ์ด้วยตนเองต้องการข้อมูลดังกล่าว ในการพัฒนาระบบ FloorLoc-SL นำเสนอวิธีการนับจำนวนชั้นไว้ 2 วิธี ได้แก่ การนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่งและการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ

3.5.1 การนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่ง

การนับจำนวนชั้นด้วยค่าจะใช้เครื่องจักรสถานะหรือสเตตแมชชีน (State machine) ในภาพที่ 3.16 สำหรับนับจำนวนชั้น การเปลี่ยนสถานะของสเตตแมชชีนจะขึ้นกับผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง (STEADY, WALK, UP และ DOWN) จำนวนชั้นที่ผู้ใช้ขึ้นหรือลงบันไดจะอยู่ในตัวแปรที่ชื่อว่า $FLOOR_COUNT$ เครื่องหมายหน้าตัวแปรจะหมายถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์ โดยเครื่องหมายเป็นลบหมายถึงผู้ใช้เดินลงบันไดและเครื่องหมายเป็นบวกหมายถึงผู้ใช้เดินขึ้นบันได สเตตแมชชีนนี้ถูกออกแบบมาสำหรับนับจำนวนชั้นที่ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงบันไดในอาคารที่มีชานพักระหว่างชั้นหนึ่งชานพัก ซึ่งเป็นลักษณะโดยทั่วไปของบันไดภายในอาคาร



ภาพที่ 3.16 สเตตแมชชีนสำหรับวิธีการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่ง

3.5.2 การนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ

แต่ละชั้นของอาคารนั้นจะมีค่าความดันบรรยากาศแตกต่างกันดังที่เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.2.2 เรื่องการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง แต่ละชั้นที่อยู่ติดกันจะมีค่าความดันบรรยากาศแตกต่างกันคงที่เสมอและชั้นที่อยู่ด้านบนจะมีความดันบรรยากาศน้อยกว่าชั้นล่าง หลักการนี้ถูกนำมาใช้พัฒนาอัลกอริทึมนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ

อัลกอริทึมที่ 3.6 คืออัลกอริทึมนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ ความซับซ้อนของอัลกอริทึมคือ $O(1)$ หลักการทำงานของอัลกอริทึมสามารถอธิบายได้ดังนี้ อัลกอริทึมจะเริ่มจากการคำนวณค่าความแตกต่างของความดันบรรยากาศหรือ Δ จากนั้นนำค่าความแตกต่างดังกล่าวมาเทียบกับค่าขีดแบ่ง β_{floor_down} และ β_{floor_up} ถ้าความแตกต่าง Δ มีค่ามากกว่า β_{floor_down} แสดงว่าลงไปยังชั้นล่างหนึ่งชั้น แต่ถ้าความแตกต่าง Δ มีค่ามากกว่า β_{floor_up} แสดงว่าขึ้นไปยังชั้นบนหนึ่งชั้น จำนวนชั้นที่ผู้ใช้โทรศัพท์ขึ้นหรือลงบันไดจะอยู่ในตัวแปร $floor_count$ เครื่องหมายหน้าตัวแปรจะแสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ โดยเครื่องหมายเป็นบวกจะหมายถึงการขึ้นไปยังชั้นบนและเครื่องหมายเป็นลบจะหมายถึงการลงมายังชั้นล่าง

อัลกอริทึมที่ 3.6 อัลกอริทึมนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ

Algorithm Floor Counting Algorithm using Atmospheric Pressure Approach

Input: streamed atmospheric pressure $\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$

Output: amount of floors $floor_count$

```

1:  $initial \leftarrow 0$ 
2:  $floor\_count \leftarrow 0$ 
3: for each  $p_i$  from streamed atmospheric pressure do
4:   if  $p_i \neq 0$  then
5:      $\Delta \leftarrow initial - p_i$ 
6:     if  $\Delta \geq \beta_{floor\_down}$  then
7:        $initial \leftarrow p_i$ 
8:        $floor\_count \leftarrow floor\_count - 1$ 
9:     else if  $\Delta \leq \beta_{floor\_up}$  then
10:       $initial \leftarrow p_i$ 
11:       $floor\_count \leftarrow floor\_count + 1$ 
12:    end if
13:  end if
14: end for

```

3.6 การแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่

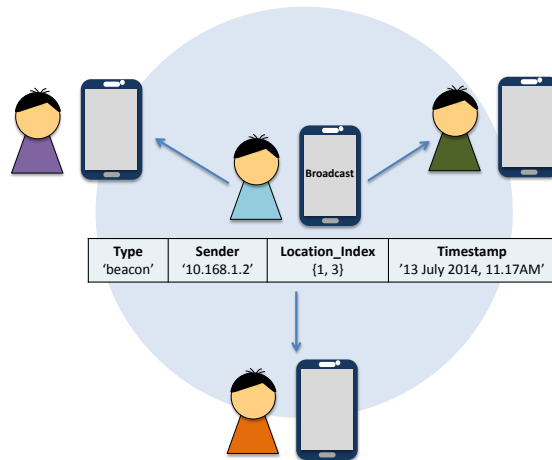
การแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์เป็นอีกทางหนึ่งที่จะทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ชุดใหม่ โทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องจะต้องให้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ในฐานข้อมูลของตนเองแก่เครื่องอื่นๆ

3.6.1 โพรโตคอลสำหรับกระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์

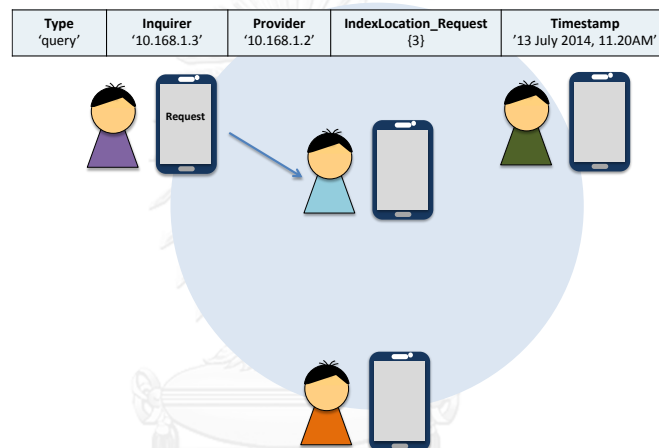
ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์มีดังนี้

- เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะส่งข้อความแบบแพร่กระจายหรือbroadcast (Broadcast) ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกๆ เครื่องในเครือข่าย โดยข้อความที่ถูกส่งจะเป็นข้อความที่ประกาศว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่มีซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของชั้นใดบ้าง เรียกข้อความดังกล่าวว่า “Beacon message” การทำงานและรูปแบบของข้อความ แสดงได้ดังภาพที่ 3.17 (a) รูปแบบข้อความที่ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3.17 (a) จะประกอบไปด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้
 - *Type* คือชนิดของข้อความ สำหรับข้อความประกาศชั้นของอาคารที่โทรศัพท์เคลื่อนที่มีซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ จะมีชนิดของข้อความเป็น “beacon”
 - *Sender* คือไอพีแอดเดรสของผู้ประกาศ
 - *Location_Index* คือหมายเลขชั้นของอาคารที่โทรศัพท์เคลื่อนที่มีซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์
 - *Timestamp* คือวันและเวลาที่ข้อความถูกส่ง

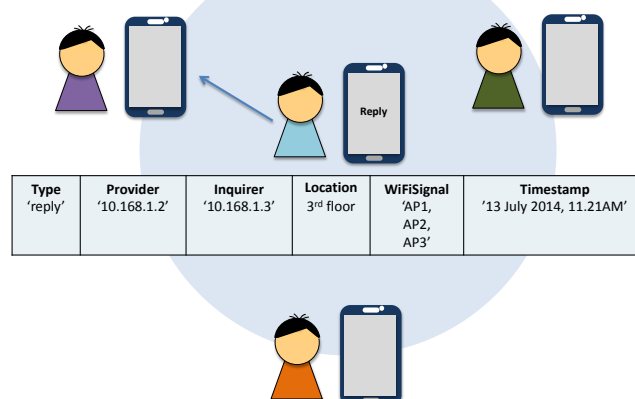
2. โทรศัพท์เคลื่อนที่จะได้รับข้อความ หากเครื่องใดที่ต้องการซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ ก็จะส่งข้อความกลับไปยังเครื่องที่ broadcast ข้อความมาเพื่อขอซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ ข้อความดังกล่าวถูกเรียกว่า “Query message” การทำงานของขั้นตอนนี้และรูปแบบของข้อความที่ถูกส่งเพื่อขอซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์แสดงได้ดังภาพที่ 3.17 (b) รูปแบบข้อความที่ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3.17 (b) จะประกอบไปด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้
- *Type* คือชนิดของข้อความ สำหรับข้อความขอซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์นั้น จะมีชนิดของข้อความ เป็น “query”
 - *Inquirer* คือไอพีแอดเดรสของผู้ขอซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์
 - *Provider* คือไอพีแอดเดรสของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นเจ้าของซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์
 - *IndexLocation_Request* คือชั้นของอาคารที่ผู้ขอต้องการซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์
 - *Timestamp* คือวันและเวลาที่ข้อความถูกส่ง
3. เมื่อข้อความซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ถูกส่งมาถึงโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นเจ้าของข้อมูล โทรศัพท์เคลื่อนที่เจ้าของข้อมูลจะส่งซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ที่ถูกขอลงไปยังผู้ขอข้อมูล เราเรียกข้อความดังกล่าวว่า “Reply message” รูปแบบของข้อความและการส่งข้อความแสดงได้ดังภาพที่ 3.17 (c) รูปแบบข้อความที่ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3.17 (c) จะประกอบไปด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้
- *Type* คือชนิดของข้อความ สำหรับข้อความตอบซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์กลับนั้น จะมีชนิดของข้อความ เป็น “reply”
 - *Provider* คือไอพีแอดเดรสของผู้ส่งซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์
 - *Inquirer* คือไอพีแอดเดรสของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นผู้ขอซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์
 - *Location* คือชั้นของอาคารที่ต้องการขอซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์
 - *WiFiSignal* คือซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์
 - *Timestamp* คือวันและเวลาที่ข้อความถูกส่ง



(a) การแพร่กระจายข้อความเพื่อประกาศซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของตนเอง



(b) การส่งข้อความขอซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์

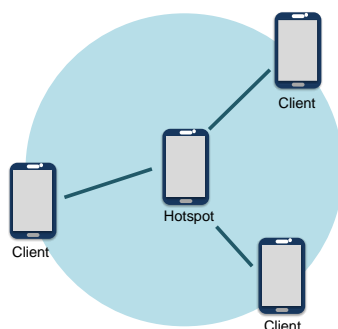


(c) การส่งซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์กลับไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ขอข้อมูล

ภาพที่ 3.17 การทำงานของโปรโตคอลแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์

3.6.2 เครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือนสำหรับการกระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปริงท์

เครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือนเกิดจากการประยุกต์ใช้สายพายฮอตสปอต (Wi-Fi hotspot) บนโทรศัพท์เคลื่อนที่สร้างเครือข่ายแบบไม่มีโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructureless) ลักษณะเดียวกันกับเครือข่ายแอตฮอกบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile ad hoc network) โทรศัพท์เคลื่อนที่ในเครือข่ายสามารถเชื่อมกันได้โดยจะมีเครื่องหนึ่งทำหน้าที่เป็นโหนดหลัก โหนดหลักเปิดโหมดฮอตสปอตไว้แล้วรอให้เครื่องอื่นๆ มาเชื่อมต่อ ดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 เครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือน

ในการพัฒนาเครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือนนั้น ได้มีการทดสอบความสามารถในการส่งข้อมูลระหว่างโหนดภายในเครือข่าย ผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 จากตารางจะพบว่าในการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ (Unicast) นั้น โหนดลูกข่ายหรือไคลเอนต์ (Client) สามารถส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์หากันได้โดยตรง ฮอตสปอตก็สามารถส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ไปยังไคลเอนต์ในเครือข่ายได้ แต่ไคลเอนต์ไม่สามารถส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ไปยังโหนดที่เป็นฮอตสปอตได้ สำหรับการส่งข้อมูลแบบบรอดคาสต์ เมื่อไคลเอนต์ส่งข้อมูลแบบบรอดคาสต์ไปยังทุกโหนดรวมทั้งฮอตสปอตและฮอตสปอตก็สามารถบรอดคาสต์ข้อมูลไปยังทุกโหนดในเครือข่ายได้เช่นกัน

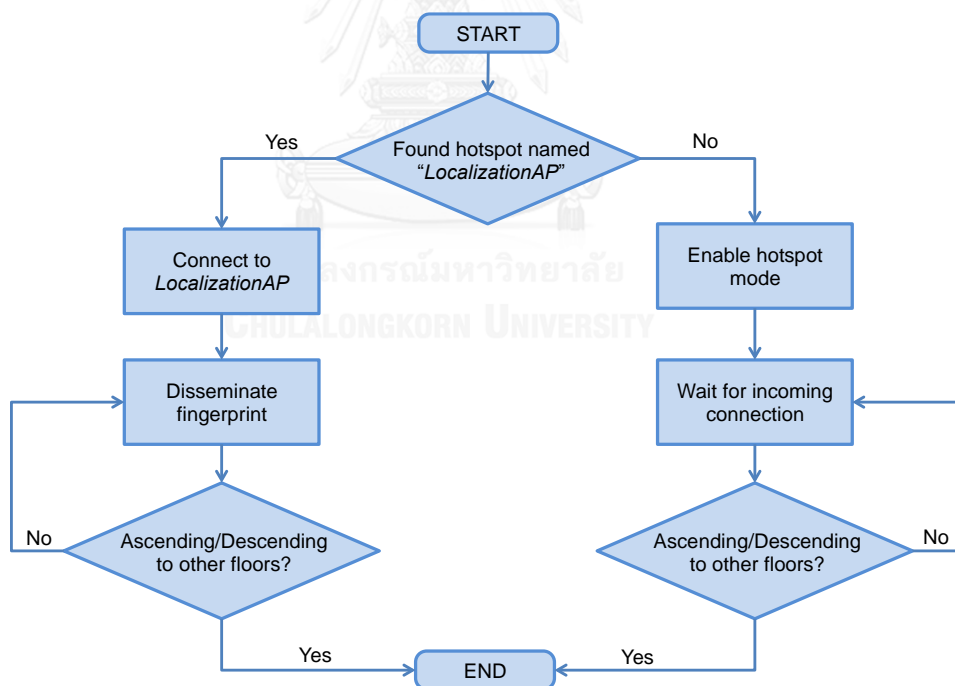
ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบส่งข้อมูลภายในเครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือน

วิธีการส่งข้อมูล	ผู้ส่ง	ผู้รับ	
		Hotspot	Client
Broadcast	Hotspot		✓
	Client	✓	✓
Unicast	Hotspot		✓
	Client	✗	✓

เครื่องหมาย ✓ หมายถึงสามารถส่งข้อมูลได้และเครื่องหมาย ✗ หมายถึงไม่สามารถส่งข้อมูลได้

เพื่อแก้ปัญหาการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ซึ่งต้องใช้สำหรับการส่ง Query message และ Reply message เครือข่ายแอตต็อกแบบเสมือนจะประยุกต์ใช้การส่งข้อมูลแบบบรอดคาสต์เพื่อส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ เมื่อต้องการส่งข้อมูล โทศัพท์เคลื่อนที่จะส่งข้อมูลไปยังทุกเครื่องในเครือข่าย แต่ละเครื่องจะตรวจสอบไอพีแอดเดรสของผู้รับที่ระบุไว้ในข้อความ หากไม่ใช่ผู้รับก็จะทิ้งข้อความ แต่หากเป็นผู้รับข้อความก็จะเก็บข้อความไว้เพื่อดำเนินการต่อไป

ในการพัฒนาระบบ FloorLoc-SL ได้มีการออกแบบการทำงานของเครือข่ายแอตต็อกแบบเสมือนสำหรับโมดูลแพร่กระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ ขั้นตอนการทำงานแสดงได้ดังผังงานในภาพที่ 3.19 เมื่อเข้าสู่กระบวนการแพร่กระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ โทศัพท์เคลื่อนที่จะค้นหาฮอตสปอตที่มีชื่อว่า “LocalizationAP” หากพบก็จะเชื่อมต่อ จากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์โดยการส่ง Beacon message ไปยังทุกเครื่องในเครือข่าย หากเครื่องอื่นๆ ต้องการซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ก็จะส่ง Query message กลับมาตามโปรโตคอลสำหรับกระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ ในกรณีที่ไม่มีพบฮอตสปอตชื่อว่า “LocalizationAP” โทศัพท์เคลื่อนที่จะสร้างตนเองเป็นฮอตสปอตสำหรับเครือข่ายแอตต็อกแบบเสมือนแล้วรอการเชื่อมต่อจากเครื่องอื่นๆ

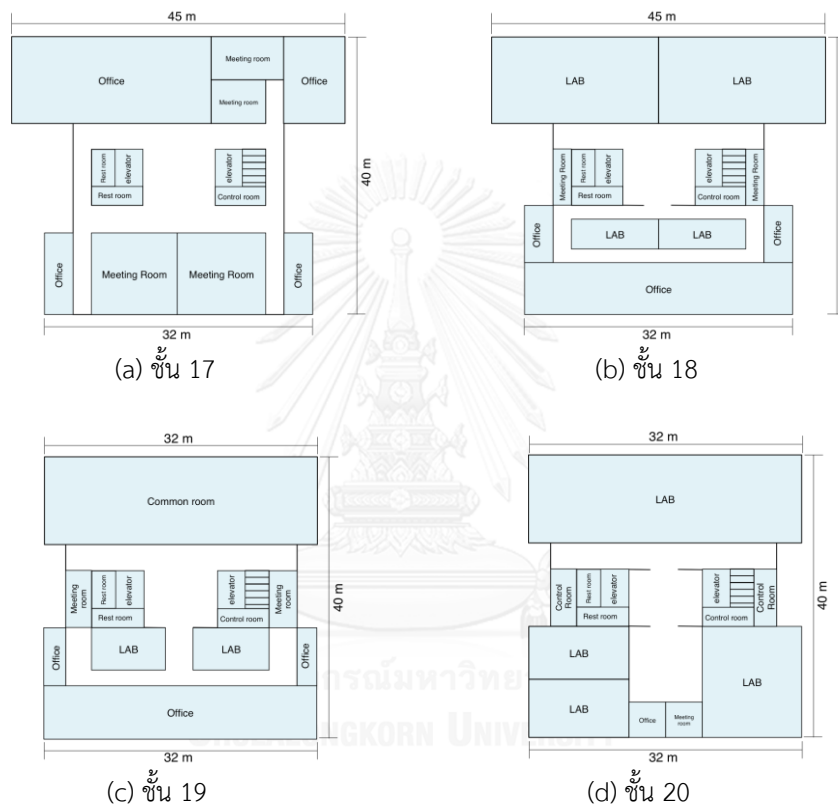


ภาพที่ 3.19 ผังงานแสดงขั้นตอนการแพร่กระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์

บทที่ 4

การวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบและผลการทดลอง

การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ FloorLoc-SL จะใช้ชั้น 17 – 20 ของ อาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นสถานที่สำหรับเก็บข้อมูล และทำการทดลอง แผนผังของสถานที่ทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนผังของสถานที่ทดลอง

4.1 การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

4.1.1 สมมติฐานการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลองนี้คือเพื่อวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมระบุตำแหน่งภายในอาคาร และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งด้วยอัลกอริทึม FloorLoc และ FloorLoc with top-N decrement technique ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีสมมติฐานว่ารระบบ FloorLoc-SL มี ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ของชั้น 17-20 ซึ่งเป็นสถานที่ทดลองอยู่ในฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ ผลการ ค้นหาสัญญาณวิทยุที่นำมาสร้างเป็นชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์นั้นได้มาจากการสำรวจอาคาร

เนื่องจากสัญญาณวายพายจากแอ็คเซสพอยต์นั้นมีความไม่เสถียร สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา (Time variance) อาจส่งผลกระทบต่อลำดับของแอ็คเซสพอยต์ในผลการค้นหาสัญญาณวายพายได้ จึงต้องมีการเก็บบันทึกผลการค้นหาสัญญาณวายพายจากหลายช่วงเวลา เพื่อทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

4.1.2 การเก็บข้อมูล

การทดลองนี้จะบันทึกผลการค้นหาสัญญาณวายพายโดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 2.2 รุ่น Google Nexus One ที่ถูกติดตั้งเฟิร์มแวร์ Cyanogenmod 7

การทดลองนี้จึงได้มีการบันทึกผลการค้นหาสัญญาณวายพาย 12 วัน มีผลการค้นหาสัญญาณวายพายทั้งหมด 496 ชุด เพื่อทดสอบความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของอัลกอริทึมระบุตำแหน่งภายในอาคารที่จะใช้ในระบบ FloorLoc-SL

4.1.3 มาตรฐานประสิทธิภาพ

ในการทดลองนี้มีมาตรฐาน 2 มาตรฐานสำหรับแสดงประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร ได้แก่ ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งและอัตราการเกิดกรณีที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้

- ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง

ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งคือร้อยละของผลการระบุตำแหน่งที่ต้องเทียบกับผลการระบุตำแหน่งทั้งหมด ความแม่นยำดังกล่าวสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 4.1

$$\text{Localization accuracy} = \frac{n_{\text{correct}}}{N} \times 100 \quad \text{สมการที่ 4.1}$$

เมื่อ n_{correct} = จำนวนของผลการระบุตำแหน่งที่ต้อง

N = จำนวนการระบุตำแหน่งทั้งหมด

- อัตราการเกิดกรณีที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้

เนื่องจากมีกรณีผลการระบุตำแหน่งภายในอาคารจากอัลกอริทึมเป็น UNKNOWN นั่นคืออัลกอริทึมไม่สามารถระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ มาตรฐานนี้จะแสดงถึงร้อยละของผลการระบุตำแหน่งภายในอาคารที่เป็น UNKNOWN เทียบกับผลการระบุตำแหน่งทั้งหมด สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 4.2

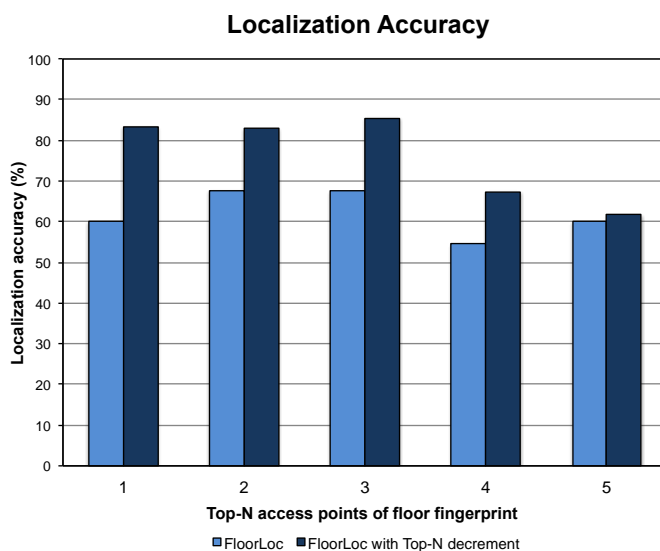
$$\text{Unknown localization occurrence} = \frac{n_{\text{unknown}}}{N} \times 100 \quad \text{สมการที่ 4.2}$$

เมื่อ n_{unknown} = จำนวนผลการระบุตำแหน่งที่เป็น UNKNOWN

N = จำนวนการระบุตำแหน่งทั้งหมด

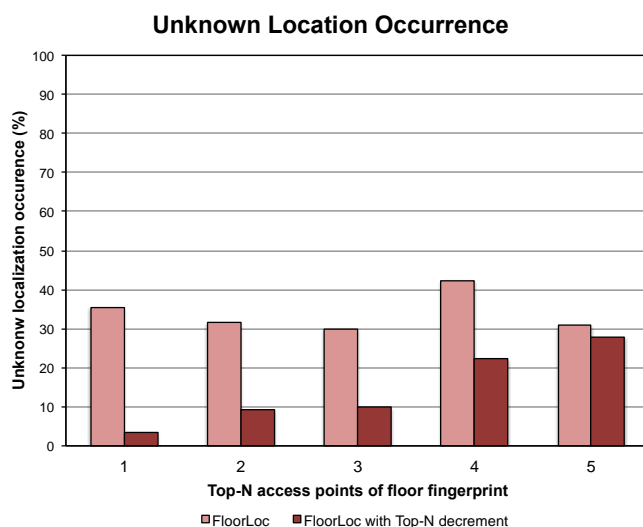
4.1.4 ผลการทดลอง

กราฟในภาพที่ 4.2 เป็นกราฟที่เปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างอัลกอริทึม FloorLoc และอัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique แกนนอนของกราฟคือจำนวนแอ็คเซสพอยต์ N ลำดับแรกที่ถูกใช้เป็นซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์สำหรับแต่ละชั้นของอาคาร แกนตั้งคือความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง จากกราฟจะพบว่าการปรับปรุงอัลกอริทึม FloorLoc ด้วย Top-N decrement technique ทำให้ประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งดีขึ้น เมื่อใช้แอ็คเซสพอยต์ 3 อันดับแรกเป็นซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ อัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique จะมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง 85%



ภาพที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความแม่นยำของอัลกอริทึมระบุตำแหน่งภายในอาคาร

กราฟในภาพที่ 4.3 แสดงอัตราการเกิดกรณีที่อัลกอริทึมไม่สามารถระบุตำแหน่งได้โดยเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึม FloorLoc และอัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique จากกราฟจะพบว่านอกจากอัลกอริทึม FloorLoc ที่ถูกปรับปรุงแล้วจะทำให้ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเพิ่มขึ้นแล้ว ยังช่วยลดการเกิดกรณีที่อัลกอริทึมไม่สามารถระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อีกด้วย อัตราการเกิดกรณีที่อัลกอริทึมไม่สามารถระบุตำแหน่งได้จะอยู่ที่ 3% เมื่อใช้แอ็คเซสพอยต์อันดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวิทยุเป็นซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ ซึ่งการใช้แอ็คเซสพอยต์อันดับแรกเป็นซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์จะมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งอยู่ที่ 83%



ภาพที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบอัตราการเกิดกรณีที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่

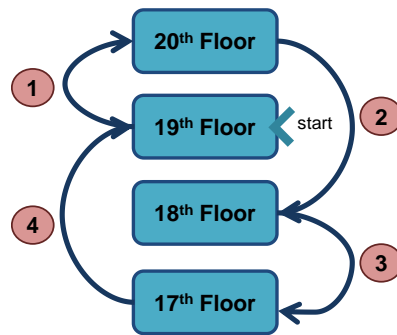
4.2 การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์

4.2.1 สมมติฐานการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลองนี้คือเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่งและค่าความดันบรรยากาศ โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลจึงต้องเป็นรุ่นที่ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่งและบาร์โอมิเตอร์เซ็นเซอร์ โดยในการทดลองนี้มีสมมติฐานว่าผู้ใช้โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ภายในอาคารตามด้วยพฤติกรรมปกติ พฤติกรรมเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นน้อยในอาคาร เช่น การวิ่ง การกระโดด จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในการทดลอง

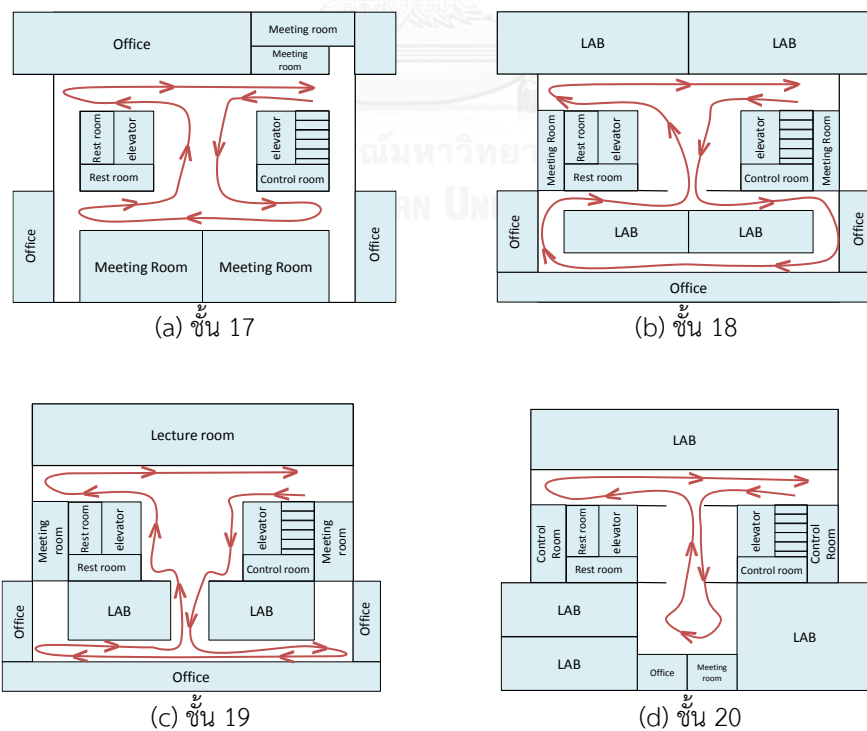
4.2.2 การเก็บข้อมูลและวิธีการทดลอง

การทดลองนี้จะเก็บค่าความเร่งจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งและค่าความดันบรรยากาศจากบาร์โอมิเตอร์เซ็นเซอร์โดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 4.4 รุ่น Samsung Galaxy S4 ในการทดลองจะมีผู้เก็บข้อมูลทั้งหมด 5 คน ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้งสองจะถูกบันทึกขณะที่ผู้เก็บข้อมูลแต่ละคนเคลื่อนที่แบบต่างๆ ได้แก่ อยู่นิ่งกับที่, เดิน, ขึ้นหรือลงบันได ในการเก็บข้อมูลมีเส้นทางการเดินในสถานที่ทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.4 ลำดับการเดินสำรวจอาคารเพื่อเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์

จากภาพที่ 4.4 การเก็บข้อมูลจะเริ่มที่ชั้น 19 จากนั้นผู้เก็บข้อมูลจะเดินขึ้นบันไดไปยังชั้น 20 และเดินภายในชั้นตามเส้นทางในภาพที่ 4.5 (d) เมื่อเก็บข้อมูลจากชั้น 20 เสร็จแล้ว ผู้เก็บข้อมูลจะเดินลงบันไดมายังชั้น 18 และเดินวนภายในชั้นตามเส้นทางในภาพที่ 4.5 (b) หลังจากนั้นจะเดินลงบันไดหนึ่งชั้นมายังชั้น 17 แล้วเดินตามเส้นทางในภาพที่ 4.5 (a) เพื่อเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ เมื่อเก็บข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วจะเดินกลับมายังชั้น 19 แล้วเดินภายในชั้น 19 เส้นทางการเดินในภาพที่ 4.5 (c) ทั้งนี้ผู้เก็บข้อมูลจะถือโทรศัพท์เคลื่อนที่ไว้ในมือขณะที่กำลังเก็บข้อมูล ข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะถูกเก็บด้วยความถี่ 0.3 เฮิรตซ์



ภาพที่ 4.5 เส้นทางเดินสำรวจแต่ละชั้นของสถานที่ทดลองเพื่อเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์

4.2.3 มาตรฐานประสิทธิภาพ

- ความแม่นยำของการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่

ความแม่นยำของการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่คือร้อยละของผลการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ที่ถูกต้องเทียบกับผลการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ทั้งหมด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.3

$$\text{Accuracy of activity classification} = \frac{n_{correct}}{N} \times 100 \quad \text{สมการที่ 4.3}$$

เมื่อ $n_{correct}$ = จำนวนผลการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ที่ถูกต้อง

N = จำนวนผลการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ทั้งหมด

4.2.4 ผลการทดลอง

4.2.4.1 ประสิทธิภาพการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง

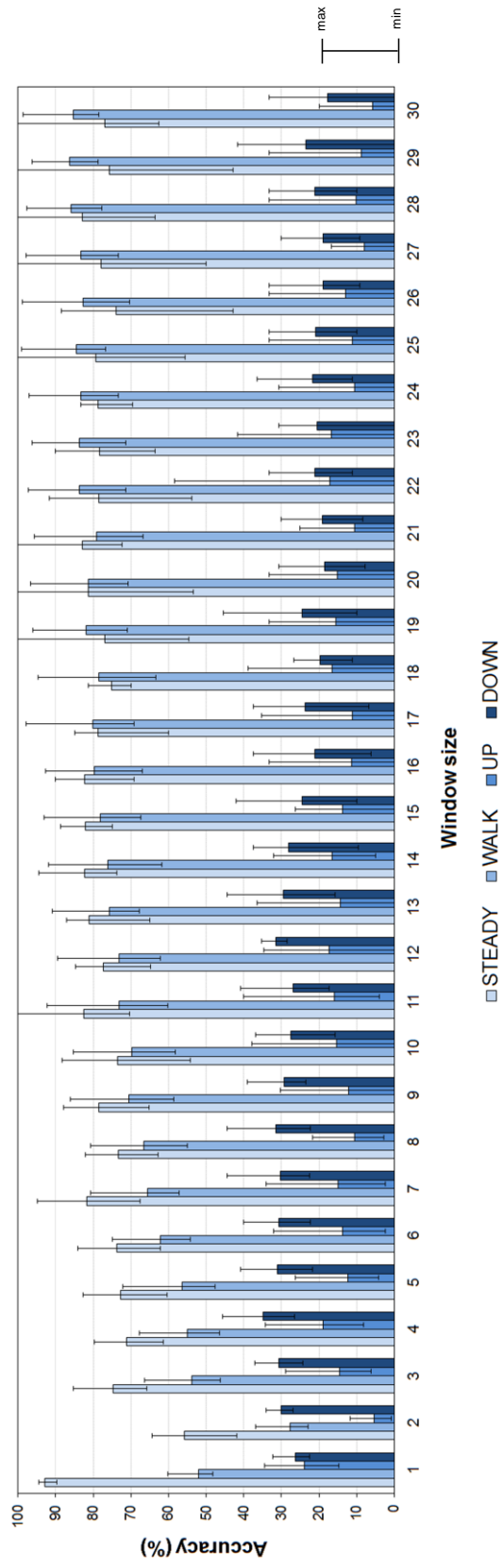
ในการทดลองนี้จะมีการทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับค่าขีดแบ่ง α_{walk} , α_{up} และ α_{down} ที่ทำให้อัลกอริทึมมีความแม่นยำในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่มากที่สุด จากผลการทดลองพบว่าผู้ทดสอบแต่ละคนจะมีค่าขีดแบ่งที่ใช้ในอัลกอริทึมจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่แตกต่างกัน เนื่องจากผู้ทดสอบแต่ละคนมีลักษณะการเคลื่อนไหวที่ต่างกัน ตารางที่ 4.1 แสดงค่าขีดแบ่งของผู้ทดสอบแต่ละคน

ตารางที่ 4.1 ค่าขีดแบ่งสำหรับอัลกอริทึมจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง

	ค่าขีดแบ่ง			ความแม่นยำ (%)			
	α_{walk}	α_{up}	α_{down}	<i>steady</i>	<i>walk</i>	<i>up</i>	<i>down</i>
ผู้ทดสอบ 1	0.4	2.0	3.0	89.73	50.25	24.91	25.78
ผู้ทดสอบ 2	0.6	2.2	4.1	92.27	48.29	26.99	27.10
ผู้ทดสอบ 3	0.9	3.8	5.1	94.47	50.05	14.63	23.50
ผู้ทดสอบ 4	0.6	3.8	5.0	94.00	60.24	18.34	32.33
ผู้ทดสอบ 5	0.8	3.3	6.0	93.35	51.06	34.38	22.41

ความแม่นยำของการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่งแสดงได้ดังกราฟในภาพที่ 4.6 ความแม่นยำในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ทดสอบทั้ง 5 คน แกนนอนคือขนาดของวินโดวส์ที่ใช้ในอัลกอริทึม แกนตั้งคือความแม่นยำของอัลกอริทึม

Accuracy of Activity Classification using Acceleration Approach



ภาพที่ 4.6 ความแม่นยำของการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนไหวด้วยความเร่ง

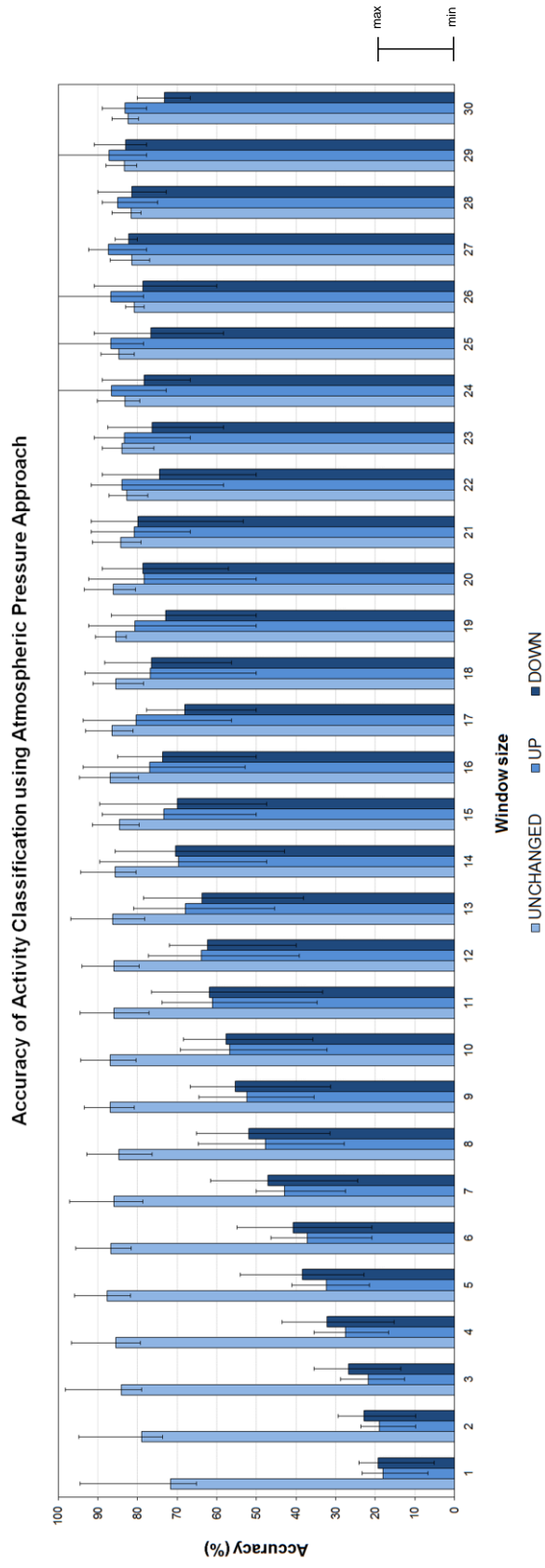
4.2.4.2 ประสิทธิภาพการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความดันบรรยากาศ

ในการทดลองนี้ได้มีการทดสอบค่าขีดแบ่ง β_{up} และ β_{down} ด้วยทุกค่าที่เป็นไปได้ เพื่อหาค่าขีดแบ่งที่ทำให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ที่ดีที่สุด จากการทดลองพบว่า การกำหนดให้ $\beta_{up} = -0.04$ และ $\beta_{down} = 0.04$ ทำให้อัลกอริทึมมีความแม่นยำในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้ค่าอื่นๆ

ภาพที่ 4.7 คือกราฟที่แสดงความแม่นยำในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่โดยใช้ค่าความดันบรรยากาศ แกนนอนในภาพคือขนาดของวินโดวส์ที่ใช้ในอัลกอริทึม แกนตั้งคือค่าความแม่นยำในการจำแนกพฤติกรรมซึ่งเป็นค่าความแม่นยำเฉลี่ยจากการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ทดสอบทั้ง 5 คน

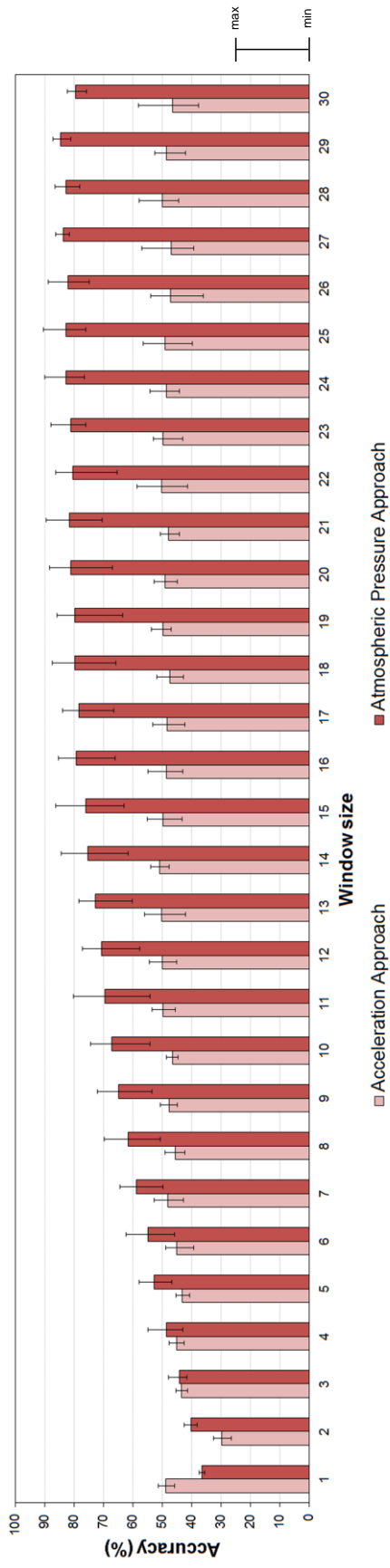
4.2.4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่งและด้วยค่าความดันบรรยากาศ

กราฟในภาพที่ 4.8 เป็นกราฟที่เปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่งและด้วยค่าความดันบรรยากาศ แกนนอนคือขนาดของวินโดวส์ที่ใช้ในอัลกอริทึม แกนตั้งคือค่าความแม่นยำในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากความแม่นยำในการจำแนกทุกพฤติกรรมเคลื่อนที่ จากกราฟจะพบว่าการใช้ค่าความเร่งในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่จะมีค่าความแม่นยำมากที่สุดคือ 51% เมื่ออัลกอริทึมใช้วินโดวส์ขนาด 14 ช่อง ส่วนการใช้ค่าความดันบรรยากาศในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่จะมีค่าความแม่นยำมากที่สุดคือ 85% เมื่ออัลกอริทึมใช้วินโดวส์ขนาด 29 ช่อง



ภาพที่ 4.7 ความแม่นยำของการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความดันบรรยากาศ

Average Accuracy of Activity Classification



ภาพที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบความแม่นยำเฉลี่ยของการจำแนกพฤติกรรมการเคลื่อนไหวที่

4.3 การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลนับจำนวนชั้น

4.3.1 สมมติฐานการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลองนี้คือเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของโมดูลนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่งและค่าความดันบรรยากาศ โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลจึงต้องเป็นรุ่นที่ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่งและบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์ โดยในการทดลองนี้มีสมมติฐานว่าผู้ใช้โทรศัพท์ที่มีการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงไปยังชั้นต่างๆ ภายในอาคารด้วยพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่แบบปกติ พฤติกรรมการเคลื่อนที่อย่างเช่น การวิ่ง การกระโดด จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในการทดลอง

การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่งนั้น จะทดสอบเฉพาะความสามารถในการตรวจพบเมื่อผู้ใช้โทรศัพท์ขึ้นหรือลงบันไดไปแล้วหนึ่งชั้น เพื่อให้แน่ใจว่าตัวแปร *FLOOR_COUNT* ของสเตทแมชชีนนับจำนวนชั้นในภาพที่ 3.16 จะเพิ่มและลดค่าอย่างถูกต้องเมื่อผู้ใช้ขึ้นหรือลงบันไดไปแล้วหนึ่งชั้น ส่วนการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพอัลกอริทึมนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศจะต้องประกอบข้อมูลจากการขึ้นบันไดหลายๆ ชั้น

4.3.2 การเก็บข้อมูลและวิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้จะให้ผู้เก็บข้อมูลทั้ง 5 คนเดินขึ้นลงบันไดภายในชั้น 17-19 ของอาคารเจริญวิศวกรรม ซึ่งเป็นบันไดที่มีชันพักระหว่างชั้น 1 ชานพัก เพื่อเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งและบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์โดยมีความถี่ของการเก็บข้อมูลเป็น 0.3 เฮิร์ตซ์โดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 4.4 รุ่น Samsung Galaxy S4 เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล

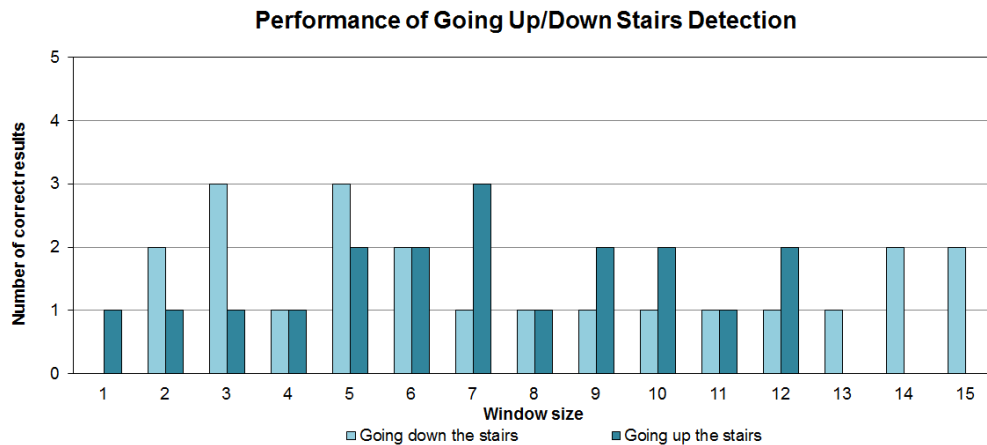
จากการเก็บข้อมูลจะได้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งเมื่อผู้เก็บข้อมูลเดินขึ้นบันไดหนึ่งชั้นจำนวน 5 ชุดและเมื่อลงบันไดหนึ่งชั้น 5 ชุดเพื่อทดสอบการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่ง ข้อมูลจากบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์จากผู้ทดสอบทั้ง 5 คนจะมีทั้งหมด 20 ชุด ข้อมูลดังกล่าวจะประกอบด้วยการเดินขึ้นหรือลงบันได 1 ชั้นและ 2 ชั้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ

4.3.3 ผลการทดลอง

4.3.3.1 ประสิทธิภาพของการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่ง

กราฟในภาพที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพในการตรวจจับการเดินขึ้นหรือลงบันไดหนึ่งชั้นของสเตทแมชชีนนับจำนวนชั้น แกนนอนของกราฟคือขนาดของวินโดวส์ที่ใช้ในการจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร่ง แกนตั้งคือจำนวนครั้งที่สเตทแมชชีนตรวจจับการขึ้นลงบันไดและเพิ่มลดตัวแปร *FLOOR_COUNT* ได้อย่างถูกต้อง จากกราฟจะเห็นว่าสเตทแมชชีนจะมีตรวจจับการขึ้นลงบันได

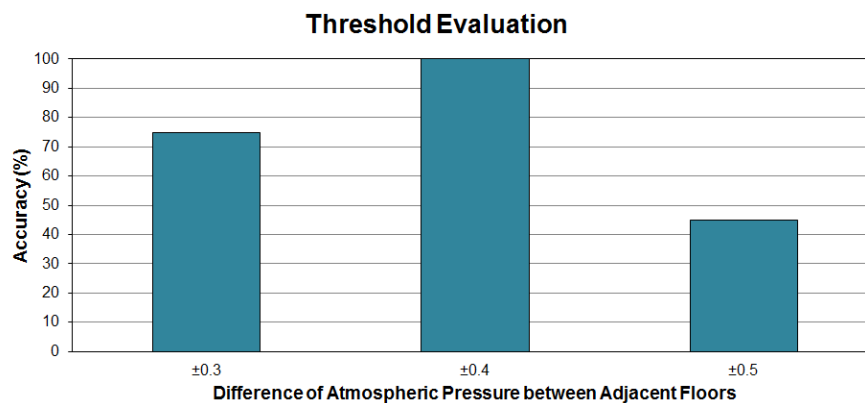
ได้แม่นยำที่สุดเมื่อใช้วินโดวส์ขนาด 5 ช่อง หากพิจารณาการใช้วินโดวส์ขนาด 14 ช่องที่ทำให้ อัลกอริทึมมีความแม่นยำในการจำแนกพฤติกรรมกรรมการเคลื่อนที่มากที่สุด จะพบว่าสเตทแมชชีนไม่สามารถตรวจจับการขึ้นบันไดได้เลย



ภาพที่ 4.9 ความแม่นยำของสเตทแมชชีนนับจำนวนชั้น

4.3.3.2 ประสิทธิภาพของการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ

ในการทดลองนี้ได้มีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดแบ่ง β_{floor_up} และ β_{floor_down} ที่ทำให้ อัลกอริทึมนับจำนวนชั้นโดยใช้ค่าความดันบรรยากาศมีประสิทธิภาพดีที่สุด กราฟในภาพที่ 4.10 แสดงผลการทดลอง แกนนอนคือค่า β_{floor_up} และ β_{floor_down} ส่วนแกนตั้งคือจำนวนการนับจำนวนชั้นที่มีค่าตอบถูกต้อง จากการทดลองพบว่าอัลกอริทึมจะสามารถนับจำนวนชั้นได้ถูกต้องทุกกรณี หรืออาจจะกล่าวได้ว่าอัลกอริทึมมีความแม่นยำ 100% เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่ง $\beta_{floor_up} = -0.4$ และ $\beta_{floor_down} = 0.4$



ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าขีดแบ่ง β_{floor_up} และ β_{floor_down} ที่ดีที่สุด

วิธีการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่และวิธีการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่งและด้วยค่าความดันบรรยากาศสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 จากตารางจะพบว่าการใช้ค่าความดันบรรยากาศจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ค่าความเร่ง แต่การใช้ค่าความดันบรรยากาศยังมีข้อจำกัดอยู่คือ บารอมิเตอร์เซ็นเซอร์มักจะถูกติดตั้งมากับโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นสมาร์ทโฟนรุ่นเรือธงเท่านั้น ในขณะที่เซ็นเซอร์วัดความเร่งมักจะถูกติดตั้งบนสมาร์ทโฟนทุกรุ่น อย่างไรก็ตามระบบ FloorLoc-SL มีกระบวนการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ ถ้าในเครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือนมีโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างน้อยหนึ่งเครื่องที่ติดตั้งบารอมิเตอร์เซ็นเซอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องนั้นจะแพร่กระจายซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ที่มีความน่าเชื่อถือไปยังเครื่องอื่นๆ

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบวิธีการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่และการนับจำนวนชั้น

ประเด็นที่พิจารณา	การใช้ค่าความเร่ง	การใช้ค่าความดันบรรยากาศ
เซ็นเซอร์	เซ็นเซอร์วัดความเร่ง	บารอมิเตอร์เซ็นเซอร์
การติดตั้งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่	สมาร์ทโฟนทุกรุ่น	สมาร์ทโฟนรุ่นเรือธง
ค่าขีดแบ่งสำหรับจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่	- α_{walk} , α_{up} และ α_{down} - ต้องปรับค่าสำหรับผู้ใช้แต่ละคน	- β_{up} และ β_{down} - ต้องปรับสำหรับแต่ละอาคาร
การเคลื่อนที่ในแนวราบ	STEADY, WALK	UNCHANGED
การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง	UP, DOWN	UP, DOWN
ความแม่นยำในการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่	- 51% - ขนาดของวินโดวส์ = 14	- 85% - ขนาดของวินโดวส์ = 29
วิธีการนับจำนวนชั้น	สเตทแมชชีน	ค่าขีดแบ่ง β_{floor_up} และ β_{floor_down}
สถานที่ที่สามารถนับจำนวนชั้นได้	บันไดที่มีหนึ่งชันพักระหว่างชั้น	บันไดเลื่อน, ลิฟต์
ความแม่นยำในการนับจำนวนชั้น	- 50% - ขนาดของวินโดวส์ = 5	- 100% - $\beta_{floor_up} = -0.4$ - $\beta_{floor_down} = 0.4$

4.4 การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

4.4.1 สมมติฐานการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลองนี้คือเพื่อวัดประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งภายในอาคารเมื่อมีการใช้กระบวนการเรียนรู้ฟิงเกอร์ปรินท์ด้วยตนเองและกระบวนการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรินท์ ซึ่งจะทดสอบโดยจำลองการทำงานของระบบ (simulation) ด้วยภาษาจาวา (Java) เนื่องจากการจำลอง

นี้ต้องการศึกษาผลประสิทธิภาพการทำงานของระบบเมื่อมีกระบวนการเรียนรู้ฟังก์ชันการปริพันธ์ด้วยตนเองและการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟังก์ชันการปริพันธ์ ในการทดลองนี้จึงตั้งสมมติฐานว่าผลการจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่และการนับจำนวนชั้นเมื่อมีการขึ้นหรือลงไปยังชั้นอื่นๆ นั้นถูกต้องเสมอ ซึ่งในความเป็นจริงก็สามารถเป็นไปได้ เนื่องจากการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศนั้นมีความแม่นยำสูง

4.4.2 การเก็บข้อมูลและวิธีการทดลอง

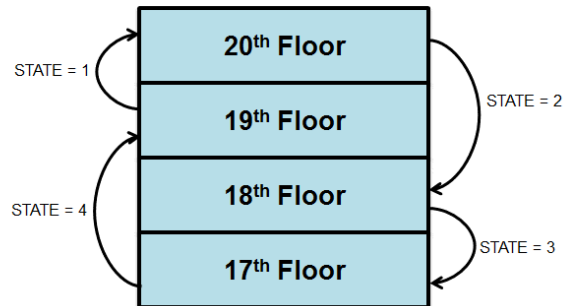
การทดลองนี้ได้มีการเก็บเส้นทางการเดิน (Traces) ทั้งหมด 7 เส้นทาง ข้อมูลในเส้นทางจะประกอบด้วย

- เวลาที่เก็บข้อมูล
- ผลการค้นหาสัญญาณวายฟาย
- ตำแหน่งปัจจุบัน
- พฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน ณ เวลานั้น ซึ่งผู้เก็บข้อมูลจะเป็นผู้บันทึกด้วยตนเอง

ข้อมูลของเส้นทางถูกบันทึกมาจากการเดินภายในสถานที่ทดลองจริง (ชั้น 17-20 ของอาคารเจริญวิศวกรรม) ด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 2.2 รุ่น Google Nexus One ที่ถูกติดตั้งเฟิร์มแวร์ Cyanogenmod 7 หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่เก็บได้มาสร้างเป็นเส้นทางสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่อง ในที่นี่จะใช้คำว่า “โหนด (Node)” แทนโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องที่อยู่ในการจำลองระบบ FloorLoc-SL

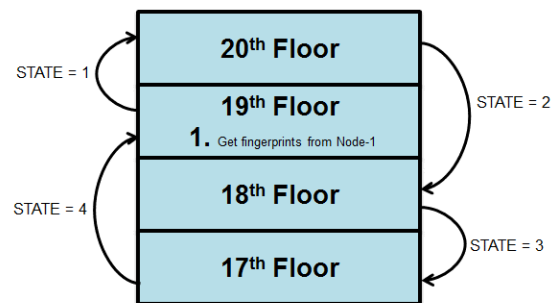
ในการทดลองนี้จะมีการจำลองระบบทั้งหมด 3 ครั้งต่อกรณี การจำลองระบบแต่ละครั้งจะมีโหนดหนึ่งทำหน้าที่เป็นโหนดหลัก (Main node) โหนดที่เหลือจะทำหน้าที่เป็นโหนดแลกเปลี่ยน (Exchanging node) โหนดแลกเปลี่ยนจะแบ่งปันซิกแนลฟังก์ชันการปริพันธ์ให้กับโหนดหลัก โหนดหลักจะเริ่มเดินทางตั้งแต่ชั้น 19 จากนั้นจะขึ้นมาถึงชั้น 20 แล้วเดินลงมาถึงชั้นที่ 18 และ 17 ตามลำดับก่อนที่จะเดินทางกลับมายังชั้น 19 ตลอดเส้นทางของโหนดหลักจะมีกระบวนการระบุตำแหน่งเกิดขึ้นทั้งหมด 5 ครั้ง ภาพที่ 4.11 – 4.15 แสดงสถานการณ์จำลองในแต่ละกรณีโดยจะอธิบายทั้งลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในโหนดหลักและโหนดแลกเปลี่ยน

Main node:



ภาพที่ 4.11 สถานการณ์จำลองกรณีที่ไม่มีโหนดแลกเปลี่ยน

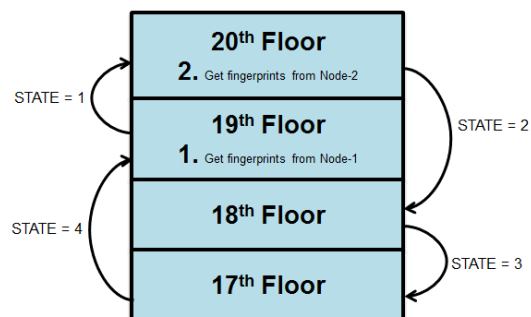
Main node:



Node-1: 20th floor → 18th floor → 17th floor → 19th floor

ภาพที่ 4.12 สถานการณ์จำลองกรณีที่มีโหนดแลกเปลี่ยนจำนวนหนึ่งโหนด

Main node:

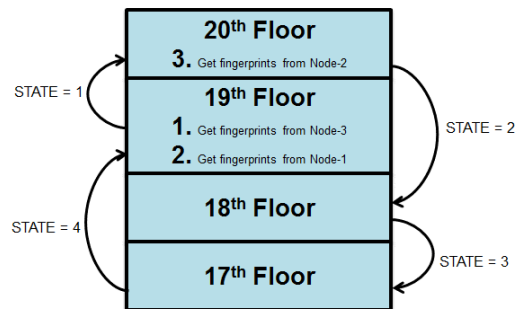


Node-1: 20th floor → 19th floor

Node-2: 20th floor → 18th floor → 20th floor

ภาพที่ 4.13 สถานการณ์จำลองกรณีที่มีโหนดแลกเปลี่ยนจำนวน 2 โหนด

Main node:



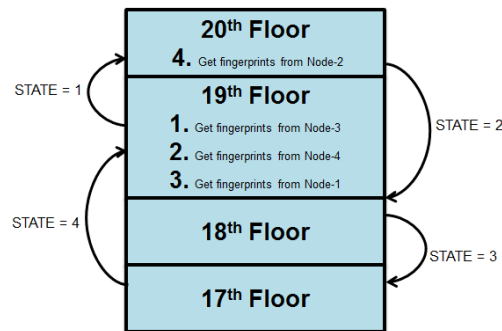
Node-1: 20th floor → 19th floor

Node-2: 20th floor → 18th floor → 20th floor

Node-3: 17th floor → 19th floor

ภาพที่ 4.14 สถานการณ์จำลองกรณีที่มีโหนดแลกเปลี่ยนจำนวน 3 โหนด

Main node:



Node-1: 20th floor → 19th floor

Node-2: 20th floor → 18th floor → 20th floor

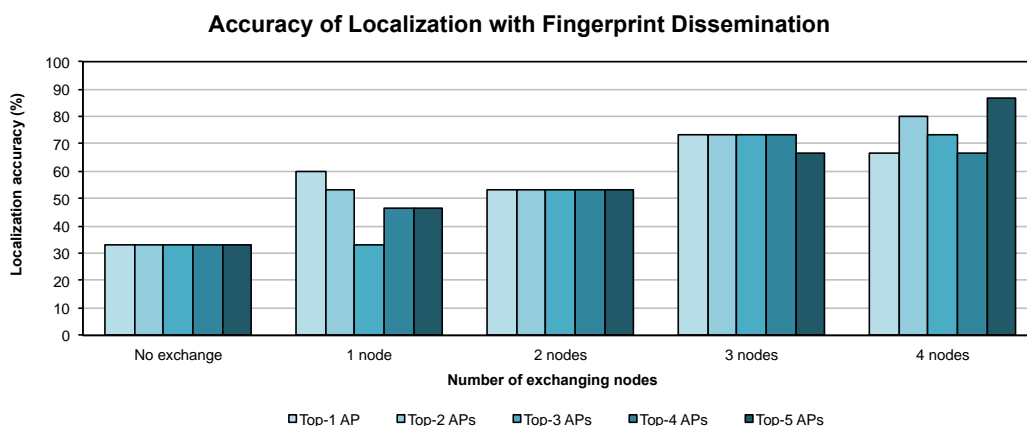
Node-3: 17th floor → 19th floor

Node-4: 18th floor → 17th floor → 19th floor

ภาพที่ 4.15 สถานการณ์จำลองกรณีที่มีโหนดแลกเปลี่ยนจำนวน 4 โหนด

4.4.3 ผลการทดลอง

กราฟในภาพที่ 4.16 แสดงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งภายในอาคารของระบบ FloorLoc-SL แกนนอนของกราฟคือจำนวนโหนดแลกเปลี่ยนที่แบ่งปันซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์แก่โหนดหลัก แกนตั้งคือความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของโหนดหลัก ซึ่งเป็นค่าความแม่นยำเฉลี่ยจากการจำลองระบบทั้ง 3 ครั้ง เมื่อพิจารณากราฟจะพบว่าหากไม่มีการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ กล่าวคือโหนดเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ของแต่ละชั้นด้วยตนเองเท่านั้น (no exchange) ระบบจะมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเพียง 33% แต่เมื่อมีจำนวนโหนดในการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์มากขึ้น ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของระบบก็จะเพิ่มขึ้นและเมื่อมีโหนดมาแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ด้วย 4 โหนดและใช้แอสซอสเพียด 5 อันดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวายฟายเป็นซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของระบบจะเป็น 87%



ภาพที่ 4.16 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของระบบ FloorLoc-SL

จากกราฟในภาพที่ 4.16 เราจะพบว่าเมื่อมีโหนดมาแลกเปลี่ยนซิกแนลฟingerprint มากขึ้น ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งก็จะยิ่งมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณากราฟจะพบกรณีที่ไม่เป็นเช่นนั้น เช่น การใช้แอ็คเซสพอยต์อันดับแรกเป็นซิกแนลฟingerprint จะเห็นว่า เมื่อโหนดได้รับซิกแนลฟingerprint จากโหนดอื่นๆ 1 โหนดจะมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง 60% แต่เมื่อได้รับซิกแนลฟingerprint จากโหนดอื่นๆ 2 โหนด ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งจะลดลงเหลือ 53% สาเหตุของเหตุการณ์เช่นนี้คือ อาจจะมีบางโหนดที่คำนวณตำแหน่งปัจจุบันในกระบวนการเรียนรู้ซิกแนลฟingerprint ด้วยตนเองผิดแล้วเพิ่มซิกแนลฟingerprint ที่ผิดลงในฐานข้อมูลของตนเอง เมื่อโหนดแพร่กระจายซิกแนลฟingerprint ไปยังโหนดอื่นๆ ทำให้โหนดอื่นๆ ก็ได้รับซิกแนลฟingerprint ที่ไม่ถูกต้องด้วย ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความแม่นยำของการระบุตำแหน่ง

บทที่ 5

บทสรุปของงานวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบ FloorLoc-SL ซึ่งเป็นระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นระบบที่ไม่ต้องมีการสำรวจอาคารเพื่อสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปรีนธ์และไม่ต้องการเครื่องเซิร์ฟเวอร์สำหรับสนับสนุนการประมวลผล การทำงานของระบบ FloorLoc-SL จะประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ ได้แก่ การระบุตำแหน่งภายในอาคาร การเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเองและการแลกเปลี่ยนชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์

การระบุตำแหน่งภายในอาคารของระบบ FloorLoc-SL จะใช้อัลกอริทึม FloorLoc หลักการทำงานของอัลกอริทึมดังกล่าว คือ อัลกอริทึมจะพิจารณาความเหมือนระหว่างแอสเซสพอยต์ N ลำดับแรกจากผลการค้นหาสัญญาณวายฟายที่ได้รับกับชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์แต่ละชั้นของอาคารจากการทดลองพบว่าเมื่อใช้อัลกอริทึม FloorLoc จะเกิดกรณีที่อัลกอริทึมไม่สามารถระบุตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ส่งผลให้อัลกอริทึมมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งอยู่ที่ 68% เมื่อใช้แอสเซสพอยต์ 3 อันดับแรกเป็นชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบุตำแหน่ง ผู้วิจัยได้ปรับปรุงอัลกอริทึมโดยใช้ Top-N decrement technique พบว่าสามารถลดอัตราการเกิดกรณีที่อัลกอริทึมไม่สามารถระบุตำแหน่งได้ เมื่อใช้แอสเซสพอยต์ 3 อันดับแรกเป็นชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ อัลกอริทึมมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเพิ่มขึ้นเป็น 85% และเนื่องจากอัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique เป็นอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อนน้อย โทรศัพท์เคลื่อนที่จึงสามารถคำนวณหาตำแหน่งปัจจุบันได้ด้วยฮาร์ดแวร์ของตนเอง ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาเครื่องเซิร์ฟเวอร์สำหรับประมวลผล

กระบวนการเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเองของระบบ FloorLoc-SL ช่วยลดขั้นตอนการสำรวจอาคาร เนื่องจากระบบสามารถสร้างและปรับปรุงแผนที่ฟิงเกอร์ปรีนธ์ได้เอง จึงสามารถนำระบบไปใช้กับอาคารใดๆ ก็ได้ การเรียนรู้ชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์จะเกิดขึ้นเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่พบลักษณะสัญญาณวายฟายที่ไม่เคยพบมาก่อน ระบบจะคำนวณตำแหน่งปัจจุบันโดยใช้ข้อมูลการขึ้นลงบันไดของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการสำหรับจำแนกพฤติกรรมเคลื่อนที่และนับจำนวนชั้น 2 วิธีการ ได้แก่ การใช้ค่าความเร่งและการใช้ค่าความดันบรรยากาศ จากการทดลองพบว่าวิธีการใช้ค่าความดันบรรยากาศนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ค่าความเร่ง หลังจากคำนวณตำแหน่งปัจจุบันเสร็จแล้ว ระบบจะใช้อัลกอริทึม Fingerprint สร้างชิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์เพื่อเพิ่มลงในฐานข้อมูล

นอกจากเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ด้วยตนเอง ระบบสามารถแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์กับโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นๆ ได้ผ่านเครือข่ายแอตทอกรแบบเสมือน ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้โหมตฮอตสปอตของโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้เป็นเครือข่ายที่ไม่พึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน จากการทดลองพบว่า การแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์กับโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นๆ จะช่วยให้การระบุตำแหน่งของระบบมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นจากเดิม 33% เป็น 87%

ตารางที่ 5.1 เป็นตารางเปรียบเทียบการทำงานของระหว่างระบบ FloorLoc-SL กับ SkyLoc [6] และ FTrack [15] จากตารางสามารถอธิบายได้ดังนี้ ระบบสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารทั้งสามถูกนำเสนอขึ้นมาเพื่อบอกว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่กำลังอยู่ในชั้นใดของอาคารที่ ระบบ SkyLoc และ FloorLoc-SL จะระบุตำแหน่งด้วยวิธีการที่ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ในระบบ SkyLoc คือสัญญาณจีเอสเอ็ม ส่วนในระบบ FloorLoc-SL จะใช้ผลการค้นหาสัญญาณวิทยุสำหรับ FTrack จะใช้เวลาเดินทางและจำนวนก้าวระหว่างชั้นใดๆ ของอาคารในการระบุตำแหน่ง ระบบ SkyLoc มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง 73% ต้องสำรวจอาคารและต้องการเครื่องเซิร์ฟเวอร์เพื่อสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ ระบบ FTrack แม้ว่าจะมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง 90% และไม่มีการสำรวจอาคาร แต่ยังคงต้องการเครื่องเซิร์ฟเวอร์สำหรับวิเคราะห์การเดินทางของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อคำนวณเวลาเดินทางและจำนวนก้าวระหว่างชั้นใด ๆ ขณะที่ระบบ FloorLoc-SL ซึ่งสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการสำรวจอาคารและเครื่องเซิร์ฟเวอร์ มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง 87%

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบระหว่าง SkyLoc, FTrack และ FloorLoc-SL

ประเด็นที่พิจารณา	SkyLoc	FTrack	FloorLoc-SL
Floor localization	✓	✓	✓
Mobile phone platform	✓	✓	✓
Fingerprint-based approach	✓	✗	✓
Floor localization approach	GSM signal fingerprint	Travelling times and step counting between any two floors	Wi-Fi signal fingerprint
Require site survey	✓	✗	✗
Require back-end server	✓	✓	✗
Localization accuracy	73%	90%	87%

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งของอัลกอริทึม FloorLoc

แม้ว่าอัลกอริทึม FloorLoc with top-N decrement technique จะมีประสิทธิภาพที่ดีในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร แต่ผลการระบุตำแหน่งที่ได้ยังมีความละเอียดน้อย สามารถระบุได้ว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ชั้นใดของอาคารเท่านั้น ไม่สามารถระบุพิกัดได้

จากการพิจารณาอัลกอริทึมพบว่าอัลกอริทึมดังกล่าว มีแนวโน้มที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งได้โดยใช้เพิ่มการพิจารณารูปแบบของลำดับแอ็คเซสพอยต์ในผลการค้นหาสัญญาณวิทยุ (Pattern of top-N access point in Wi-Fi scanning list)

การพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพอย่างชัดเจนในด้านความละเอียดในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร กล่าวคือ อยู่ตำแหน่งใดหรือบริเวณใดภายในชั้นของอาคาร แต่อาจเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุชั้นของอาคารได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

5.2.2 การจัดการความขัดแย้งของซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์

ในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเองนั้น พบว่ามีบางครั้งที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ผิด ยกตัวอย่างเช่น เรียนรู้ว่าซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ชุดหนึ่งเป็นของชั้น 17 ทั้งที่ในความเป็นจริงนั้น ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ชุดดังกล่าวเป็นของชั้น 18 เหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลต่อประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งของระบบ FloorLoc-SL และเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องใดเครื่องหนึ่งได้รับซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ที่มีความขัดแย้งกัน อาจส่งผลต่อการทำงานของระบบได้

ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้วิธีการที่เรียกว่า “Majority voting” หรือการเลือกเสียงข้างมาก ในกรณีที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ของตำแหน่งเดียวกันมาหลายชุด โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะเชื่อซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ที่เป็นเสียงข้างมาก เพิกเฉยต่อซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ที่เป็นเสียงข้างน้อย วิธีการดังกล่าวจะช่วยให้การแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

อีกวิธีการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาความขัดแย้งของซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์คือการใช้ “User feedback” วิธีการนี้จะร้องขอให้ผู้ใช้ช่วยยืนยันความถูกต้องของซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ กรณีที่โทรศัพท์เคลื่อนที่พบว่ามีความขัดแย้งของซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์เกิดขึ้น

5.2.3 การนำระบบ FloorLoc-SL ไปใช้กับอาคารอื่นๆ

ระบบ FloorLoc-SL มีกระบวนการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนธ์ด้วยตนเอง กระบวนการดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องทราบจำนวนชั้นที่ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงไปยังชั้นอื่นๆ ซึ่งต้องอาศัย

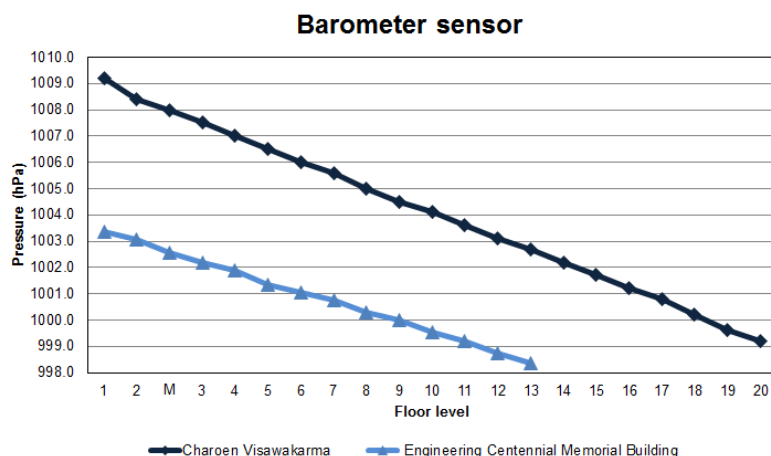
วิธีการนับจำนวนชั้น วิธีนับจำนวนชั้นที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มี 2 วิธีการ ได้แก่ การนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่งและการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ

การนับจำนวนชั้นด้วยค่าความเร่งนั้นมีข้อจำกัดคือ สามารถนำไปใช้ได้กับอาคารที่บันไดมีชันพักกระหว่างชั้นเพียงหนึ่งชันพักเท่านั้น ไม่สามารถใช้นับจำนวนชั้นเมื่อผู้ใช้งานมีการขึ้นลงไปยังชั้นอื่นโดยใช้บันไดลักษณะอื่นๆ รวมไปถึงการโดยสารลิฟต์และบันไดเลื่อนด้วย

การนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศ สามารถนับจำนวนชั้นได้หลายสถานการณ์ ทั้งการเดินขึ้นลงบันได การโดยสารลิฟต์และบันไดเลื่อน เนื่องจากวิธีการนี้ใช้ความแตกต่างของค่าความดันบรรยากาศระหว่างชั้นที่ติดกันของอาคาร ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการนับจำนวนชั้นด้วยวิธีการนี้ เมื่อมีการขึ้นหรือลงไปใช้อื่นๆ ในสถานที่ทดลอง ซึ่งก็คือชั้น 17-20 ของอาคารเจริญวิศวกรรม จากการทดลองพบว่า วิธีการนี้สามารถนับจำนวนชั้นได้ถูกต้องแม่นยำ 100% เมื่อความแตกต่างระหว่างค่าความดันบรรยากาศแต่ละชั้นมีค่าเป็น 0.4 hPa

ข้อจำกัดของการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศคือ แต่ละอาคารอาจมีความสูงระหว่างชั้นไม่เท่ากัน เนื่องมาจากการออกแบบอาคารให้เหมาะสมกับประโยชน์ใช้สอย ยกตัวอย่างเช่น แต่ละชั้นของห้างสรรพสินค้าจะมีความสูงมากกว่าแต่ละชั้นของอาคารสำนักงานหรืออาคารเรียน จากการสังเกตจะพบว่าอาคารสูงส่วนใหญ่่นั้นมักจะเป็นลักษณะของอาคารสำนักงาน โดยปกติอาคารลักษณะนี้จะมีความสูงจากพื้นถึงเพดานประมาณ 3 เมตร ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกันกับสถานที่ทดลองที่เป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบ FloorLoc-SL วิธีนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศจึงสามารถนำไปใช้กับอาคารอื่นๆ ได้หลายอาคาร

ภาพที่ 5.1 แสดงกราฟของค่าความดันบรรยากาศในแต่ละชั้นของอาคารเจริญวิศวกรรมซึ่งเป็นสถานที่ทดลองเปรียบเทียบกับค่าความดันบรรยากาศของอาคารวิศวะฯ 100 ปี ซึ่งเป็นอาคารสูงลักษณะเดียวกับสถานที่ทดลอง จากกราฟจะพบว่าความแตกต่างของค่าความดันบรรยากาศของสถานที่ทดลองและอาคารวิศวะฯ 100 ปีนั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สามารถนำระบบ FloorLoc-SL ไปใช้กับอาคารนี้ได้



ภาพที่ 5.1 กราฟแสดงค่าความดันบรรยากาศของสถานที่ทดลองเปรียบเทียบกับอาคารอื่น

ประเด็นต่อไปที่ต้องพิจารณาเมื่อนำระบบ FloorLoc-SL ไปใช้กับอาคารอื่นคือ แต่ละอาคารอาจมีวิธีการเรียกและการนับชั้นแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น บางอาคารไม่มีชั้น 13, บางอาคารมีชั้น M มีผลกระทบต่อกระบวนการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ด้วยตนเอง แม้ว่าวิธีการนับจำนวนชั้นด้วยค่าความดันบรรยากาศจะมีความแม่นยำสูงก็ตาม ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการที่เรียกว่า “User feedback” กล่าวคือ เมื่อมีการเรียนรู้ซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ใหม่ ระบบมีการถามผู้ใช้งานว่าระบบสามารถระบุตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้งานได้ถูกต้องหรือไม่ วิธีการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระบบได้

5.2.4 การใช้งานระบบ FloorLoc-SL ร่วมกับแอปพลิเคชันอื่นๆ บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

โทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องในระบบ FloorLoc-SL สามารถแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ที่ตนเองเรียนรู้มากับเครื่องอื่นๆ ได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะแลกเปลี่ยนข้อมูลกันผ่านเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือน โดยระบบ FloorLoc-SL ถูกออกแบบมาให้การแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการระบุตำแหน่งภายในอาคารและดำเนินต่อไปจนกระทั่งระบบตรวจสอบว่าผู้ใช้งานกำลังเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงไปยังอื่นๆ การทำงานเช่นนี้อาจส่งผลต่อการใช้การอินเทอร์เน็ตบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผู้ใช้โทรศัพท์จะไม่สามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่ายวายพายได้

ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบขั้นตอนแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปริ้นท์ผ่านเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนใหม่ โดยกำหนดระยะเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล เมื่อหมดเวลาแลกเปลี่ยนข้อมูล โทรศัพท์เคลื่อนที่จะออกจากเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือน ผู้ใช้โทรศัพท์จะสามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่าน

เครือข่ายวายพ่ายได้ตามปกติ ระยะเวลาดังกล่าวควรเป็นระยะเวลาสั้นๆ เพื่อให้ส่งผลกระทบต่อประสบการณ์ผู้ใช้ (User experience) น้อยที่สุด

5.2.5 ขนาดของแพ็คเกจที่ถูกส่งผ่านเครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือน

ในกระบวนการแลกเปลี่ยนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์จะมีการส่งข้อความระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่องเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านเครือข่ายแอตฮอกแบบเสมือน ทั้งนี้ขนาดแพ็คเกจที่ถูกส่งนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของข้อมูลที่ถูกส่ง แพ็คเกจจะมีขนาดสูงสุดไม่เกิน 1,500 ไบต์ ข้อความแต่ละประเภทจะมีขนาดของแพ็คเกจดังนี้

- ข้อความประเภท beacon จะถูกส่งเป็นแพ็คเกจขนาด 372 ไบต์เป็นอย่างน้อยเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องนั้นประกาศว่าตนเองมีซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ในฐานข้อมูลเพียงชั้นเดียว ข้อความประเภท beacon นั้นจะขึ้นกับจำนวนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ตนเองประกาศว่ามีอยู่ในฐานข้อมูล
- ข้อความประเภท query จะถูกส่งเป็นแพ็คเกจขนาด 397 ไบต์เป็นอย่างน้อยเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งข้อความเพื่อขอซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์เพียงชั้นเดียว ข้อความประเภท query จะขึ้นกับจำนวนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ตนเองขอ
- ข้อความประเภท reply จะถูกส่งเป็นแพ็คเกจขนาด 467 ไบต์เป็นอย่างน้อยเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งข้อความตอบกลับไปยังผู้ขอข้อมูล โดยข้อความดังกล่าวจะประกอบด้วยซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์เพียงชั้นเดียว ข้อความประเภท reply จะขึ้นกับจำนวนซิกแนลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ตนเองแบ่งปันให้กับผู้อื่น

รายการอ้างอิง

- [1] ERICSSON, "Ericson Mobility Report," <http://www.ericsson.com/mobility-report> November, 2013.
- [2] ส. กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, "รายงานสภาพตลาดโทรคมนาคม ไตรมาสที่ 3 ปี 2556," ed. <http://www.nbt.go.th/>, 2556.
- [3] The National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. (2015, 5 June). *Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics*. Available: <http://www.gps.gov/>
- [4] J. Chung, M. Donahoe, C. Schmandt, I.-J. Kim, P. Razavai, and M. Wiseman, "Indoor Location Sensing Using Geo-Magnetism," presented at the MobiSys'11, Bethesda, Maryland, USA, 2011.
- [5] S. P. Tarzia, P. A. Dinda, R. P. Dick, and G. Memik, "Indoor Localization without Infrastructure using The Acoustic Background Spectrum," presented at the Proceedings of the 9 th international conference on mobile systems, applications, and services, Bethesda, Maryland, USA, 2011.
- [6] A. Varshavsky, A. LaMarca, J. Hightower, and E. de Lara, "The SkyLoc Floor Localization System," in *Pervasive Computing and Communications, 2007. PerCom '07. Fifth Annual IEEE International Conference on*, 2007, pp. 125-134.
- [7] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system," in *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, 2000, pp. 775-784 vol.2.
- [8] Z. Yang, C. Wu, and Y. Liu, "Locating in Fingerprint Space: Wireless Indoor Localization with Little Human Intervention," presented at the MobiCom'12, Istanbul, Turkey, 2012.
- [9] L. Hui, H. Darabi, P. Banerjee, and L. Jing, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, vol. 37, pp. 1067-1080, 2007.

- [10] K. K. Almuzaini and T. A. Gulliver, "Localization in Wireless Networks Using Decision Trees and K-Means Clustering," in *Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, 2012 *IEEE*, 2012, pp. 1-5.
- [11] Y. Sungwon, P. Dessai, M. Verma, and M. Gerla, "FreeLoc: Calibration-free crowdsourced indoor localization," in *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE*, 2013, pp. 2481-2489.
- [12] K. Khaoampai, K. N. Nakorn, and K. Rojviboonchai, "Low complexity floor localization algorithm for mobile phone," in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2014 *11th International Conference on*, 2014, pp. 1-6.
- [13] K. Khaoampai, K. Suksen, K. N. Nakorn, and K. Rojviboonchai, "DecaFriend: Serverless indoor localization system on mobile phone platform," in *Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, 2014 *11th International Joint Conference on*, 2014, pp. 176-181.
- [14] W. Chenshu, Y. Zheng, L. Yunhao, and X. Wei, "WILL: Wireless Indoor Localization without Site Survey," *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, vol. 24, pp. 839-848, 2013.
- [15] Y. Haibo, G. Tao, Z. Xiaorui, X. Jinwei, T. Xianping, L. Jian, *et al.*, "FTrack: Infrastructure-free floor localization via mobile phone sensing," in *Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 2012 *IEEE International Conference on*, 2012, pp. 2-10.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกรรณก ขาวอำไพ ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ เกิดเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2533 ณ จังหวัดนราธิวาส สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2556 ด้วยเกียรตินิยมอันดับสอง ปัจจุบันกำลังศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา งานวิจัยที่สนใจได้แก่ การระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น เซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเครือข่ายแอตฮอก