การสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้วายฟายฮอตสปอตบนสมาร์ทโฟน

นายฉันทวัฒน์ รัตนพงศ์พันธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

VIRTUAL AD-HOC NETWORK ESTABLISHMENT USING WI-FI HOTSPOT ON SMARTPHONES

Mr. Chanthawat Rattanapongphan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2017

Copyright of Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้วายฟายฮอตสปอตบนสมาร์ทโฟน
โดย	นายฉันทวัฒน์ รัตนพงศ์พันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกริก ภิรมย์โสภา)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฉันทวัฒน์ รัตนพงศ์พันธ์ : การสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้วายฟายฮอตสปอตบนสมาร์ทโฟน (VIRTUAL AD-HOC NETWORK ESTABLISHMENT USING WI-FI HOTSPOT ON SMARTPHONES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย, หน้า.

ทุกวันนี้สมาร์ทโฟนได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน ด้วยจำนวนและเซนเซอร์ที่มากขึ้นของสมาร์ทโฟนส่งผลให้มีแอพลิเคชั่นที่ถูกพัฒนามาเพื่อต้องสนองความต้องการของผู้ใช้งานมากขึ้น โดยปกติสมาร์ทโฟนจะพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานในการติดต่อสื่อสาร อย่างไรก็ตามเมื่อโครงสร้างพื้นฐานไม่สามารถใช้งานได้ในสถานการณ์ภัยพิบัติ การติดต่อสื่อสารก็ไม่สามารถทำได้เช่นกัน สถานการณ์นี้สามารถบรรเทาได้ด้วยการใช้เครือข่ายแบบฉวยโอกาส โดยสมาร์ทโฟนจะทำการติดต่อสื่อสารกันโดยตรงเมื่อใช้เครือข่ายแบบฉวยโอกาส อย่างไรก็ตามการติดต่อสื่อสารกันโดยตรงแบบอัตโนมัติเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับแอพลิเคชั่นจำนวนมากในเครือข่ายแบบฉวยโอกาส ซึ่งในสมาร์ทโฟนมีเทคโนโลยีมากมายที่สามารถทำการสร้างเครือขายแบบฉวยโอกาสได้ นักวิจัยบางส่วนได้ใช้เทคโนโลยีวายฟายแอดฮอกในการสร้างเครือข่ายแบบฉวยโอกาสเนื่องจากเทคโนโลยีวายฟายแอดฮอกมีลักษณะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดต่อกันแบบอัตโนมัติของสมาร์ทโฟนและการทำให้แนวคิดของเครือข่ายฉาบฉวยเป็นจริง อย่างไรก็ตามสมาร์ทโฟนเกือบทั้งหมดในตลาดไม่สามารถใช้งานวายฟายแอดฮอกนอกจากจะทำการรูทเครื่อง ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตในการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือน ผู้วิจัยทำการเสนอกลไกในการลดจำนวนฮอตสปอตที่มากเกินจำเป็นและยืดระยะการทำงานของระบบ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่างานวิจัยของผู้วิจัยสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 62% เมื่อเทียบกับอัลกอริทึมการเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตแบบคงที่ที่ถูกเสนอในงานวิจัยที่ผ่านมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

5970133521 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS: PHONE-TO-PHONE / ENERGY CONSTRAINT / WI-FI HOTSPOT / OPPORTUNISTIC NETWORK

CHANTHAWAT RATTANAPONGPHAN: VIRTUAL AD-HOC NETWORK ESTABLISHMENT USING WI-FI HOTSPOT ON SMARTPHONES. ADVISOR: ASSOC. PROF. KULTIDA ROJVIBOONCHAI, Ph.D., pp.

Nowadays, smartphones have become a part of our daily life. The increasing in the quantity of the smartphones and their embedded sensors result in the increasing of application developed to serve the user demands. Normally smartphones rely on the infrastructure to communicate with the others. However, when the infrastructure become unavailable in disaster scenario, the communication become unavailable too. This situation can be alleviated by using opportunistic network. By using opportunistic network smartphones can communicate with the other smartphone directly. However, the automatic direct phone to phone communication is crucial part in a lot of applications for the opportunistic network. There are many technologies which can realize opportunistic network in smartphones. Some researchers use Wi-Fi ad-hoc which have the most suitable characteristic to create the automatic phone to phone communication and realize the opportunistic network concept. However, Wi-Fi ad-hoc is unavailable in almost all of the smartphone in the market unless being rooted. In this research, we use Wi-Fi hotspot technology to create virtual ad hoc network. We propose the mechanism which reduces an excess of the hotspot and extending system life. The result by conducting experiment show that our research can reduce energy consumption up to 62% when compares with the fix hotspots switching algorithm proposed in previous work.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Computer Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ได้ให้คำปรึกษาและข้อคิดต่าง ๆสำหรับพัฒนางานวิจัย อีกทั้งยังให้คำแนะนำเพื่อช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำงานวิจัยอีกด้วย

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการคุมสอบอันได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกริก ภิรมย์โสภา และ รองศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม ซึ่งได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยทำให้งานวิจัยชิ้นนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาอัจฉริยะคืนรัง จากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในห้องปฏิบัติการโดยเฉพาะ ดร. กุลิสร์ ณ นคร และ นายอัษฎาวุฒิ ชนะกิจการโชค ที่ให้ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานวิจัยตลอดระยะเวลา 2 ปี ที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจให้เสมอตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยที่ผ่านมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 4
1.6 ผลงานตีพิมพ์ 5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6
2.1.1 เครือข่ายฉวยโอกาส 6
2.1.2 เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอต 6
2.1.3 เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก 6
2.1.4 การจำลองการสื่อสารในโปรแกรมจำลองเครือข่าย NS-3 7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
บทที่ 3 การสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้วายฟายฮอตสปอตบนสมาร์ทโฟน 10
3.1 การเลือกใช้เทคโนโลยีในการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือน 10
3.2 เงื่อนไขที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนาเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอต 12
3.3 ลักษณะการทำงานเบื้องต้นของระบบ 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.4 การวิเคราะห์ปัญหาในการเลือกสถานะของสมาร์ทโฟน 14
3.5 การเลือกสถานะของสมาร์ทโฟน 17
3.5.1 โมดูลในการประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนในบริเวณใกล้เคียง 17
3.5.2 โมดูลในการเลือกสถานะ 20
3.6 การวิเคราะห์คาบเวลาที่เหมาะสมในการทำงาน 21
3.7 การปรับคาบเวลาให้เหมาะสมกับการทำงานของระบบ 21
3.8 การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสมาร์ทโฟน 22
3.9 สรุปขั้นตอนการทำงานของระบบ 22
บทที่ 4 การวัดประสิทธิภาพการทำงานและผลการทดลองของระบบ 23
4.1 การวัดประสิทธิภาพในการทำงานของโมดูลในการเลือกสถานะ 23
4.1.1 มาตรวัดผลของการทดลอง 23
4.1.2 การทดสอบสมมติฐานตั้งต้นในการทดลอง 24
4.1.3 สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน 32
4.1.4 การทดสอบโมดูลในการเลือกสถานะ และ สรุปผลการทดสอบ 32
4.2 การวัดประสิทธิภาพในการปรับคาบของระบบ 35
4.2.1 มาตรวัดผลการทดลอง 35
4.2.2 การทดสอบสมมติฐานตั้งต้นในการทดลอง 36
4.2.3 การทดสอบการทำงานของระบบที่ปรับคาบเวลาแล้ว 43
4.2.4 สรุปผลการทดสอบ 47
บทที่ 5 บทสรุปของงานวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย 48
5.1 สรุปผลการวิจัย 48
5.2 ข้อจำกัดของระบบ 49
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ 49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

.....50

รายการอ้างอิง 50

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 53

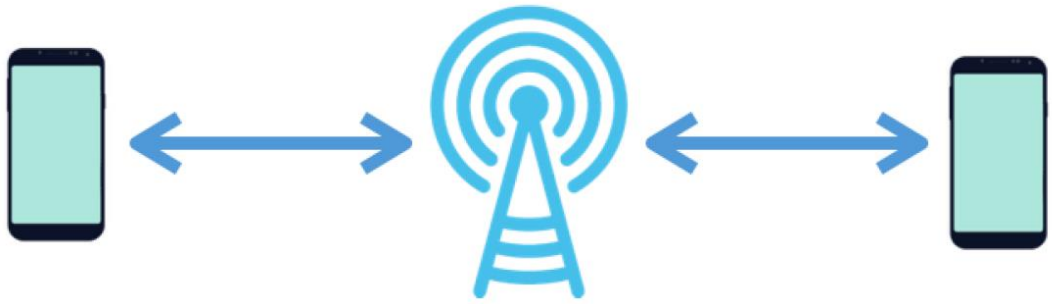
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันสมาร์ทโฟน(Smart phones)ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยจากรายงานของ Ericsson Mobility Report (ERICSSON 2016)[1] เดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2559 พบว่าในทั่วโลกมียอดการใช้งานสมาร์ทโฟนถึง 7,500 ล้านเครื่อง ด้วยจำนวนและประสิทธิภาพที่มากขึ้นของสมาร์ทโฟนทำให้มีระบบและแอพลิเคชั่นจำนวนมากถูกพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน

โดยปกติเมื่อระบบหรือแอพลิเคชั่นต้องการทำการส่งข้อมูลหาสมาร์ทโฟนเครื่องอื่น ๆ สมาร์ทโฟนจะทำการส่งข้อมูลผ่านสถานีฐาน (Base station) ซึ่งสถานีฐานก็จะทำการส่งข้อมูลต่อไปยังสมาร์ทโฟนเป้าหมายอีกทีหนึ่ง แต่ด้วยจำนวนสมาร์ทโฟนที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ข้อมูลที่ส่งผ่านสถานีฐานเพิ่มขึ้นตามและทำให้เกิดความคับคั่งในเครือข่าย ซึ่งจะส่งผลให้การทำงานเกิดความล่าช้า และในกรณีที่มีข้อมูลส่งผ่านจำนวนมากเกินปริมาณที่รับไหว ก็อาจทำให้สมาร์ทโฟนไม่อาจทำการส่งข้อมูลผ่านสถานีฐานได้ เช่น ในงานรับปริญญาของมหาวิทยาลัยที่มักจะพบเหตุการณ์ที่สมาร์ทโฟนไม่สามารถใช้งานอินเตอร์เน็ตได้โดยทั่วไป หรือ เมื่อเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติสถานีฐานก็อาจพังทลายลงทำให้สมาร์ทโฟนก็จะไม่สามารถติดต่อกับสมาร์ทโฟนอื่น ๆได้



ภาพที่ 1แสดงการติดต่อสื่อสารของสมาร์ทโฟนในปัจจุบัน

วิธีหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาที่กล่าวข้างต้นได้ก็คือการสร้างเครือข่ายแอดฮอกให้สมาร์ทโฟนทำการส่งข้อมูลติดต่อกันโดยตรง ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการสร้างเครือข่ายที่ส่งข้อมูลแบบที่ยอมรับความล่าช้าของข้อมูลได้ ซึ่งวิธีการนี้จะไม่มีการติดต่อผ่านโครงสร้างพื้นฐานทำให้การติดต่อสื่อสารสามารถทำงานได้แม้โครงสร้างพื้นฐานจะขัดข้องอยู่ก็ตาม นอกจากนั้นยังเป็นการช่วยลดความหนาแน่นของเครือข่ายบนโครงสร้างพื้นฐานเนื่องจากข้อมูลบางส่วนเปลี่ยนมาส่งหากันโดยตรง อย่างไรก็ตาม

เทคโนโลยีสำหรับการติดต่อสื่อสารในปัจจุบันของสมาร์ทโฟนนั้นต่างมีข้อจำกัดที่จะนำมาใช้งานในการติดต่อกันโดยตรงของสมาร์ทโฟน

เทคโนโลยีวายฟายแอดฮอก (Wi-Fi ad hoc), วายฟายไดเรกต์ (Wi-Fi Direct), วายฟายฮอตสปอต (Wi-Fi hotspot) และ บลูทูธ (Bluetooth) เป็นเทคโนโลยีที่มีอยู่ในสมาร์ทโฟนปัจจุบัน โดยวายฟายแอดฮอกนั้นเป็นเทคโนโลยีสำหรับการติดต่อสื่อสารบนเครือข่ายแอดฮอก ซึ่งมีงานวิจัยบางส่วนได้นำเทคโนโลยีวายฟายแอดฮอกมาใช้สำหรับการติดต่อสื่อสานกันโดยตรงระหว่างสมาร์ทโฟน[2, 3]อย่างไรก็ตามวายฟายแอดฮอกนั้นเป็นเทคโนโลยีที่ไม่สามารถใช้งานได้โดยปกติ โดยสมาร์ทโฟนจะต้องทำการรูทหรือเจลเบรกเครื่องก่อน ซึ่งจะส่งผลให้สมาร์ทโฟนเครื่องนั้น ๆหมดประกันไป ดังนั้นหากสมาร์ทโฟนไม่ทำการรูทหรือเจลเบรกก็ไม่สามารถใช้เครือข่ายแอดฮอกโดยตรงได้ เพราะฉะนั้นการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนด้วยเทคโนโลยีอื่น ๆจึงจัดเป็นทางเลือกที่จะทำให้สมาร์ทโฟนมีความสามารถในการติดต่อกันโดยตรง

วายฟายไดเรกต์จัดเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งสำหรับการติดต่อสื่อสารโดยตรง แต่เนื่องด้วยโครงสร้างของวายฟายไดเรกต์ที่จำเป็นจะต้องสร้างการติดต่อแบบปลอดภัย ทำให้ยากจะทำการติดต่อกับสมาร์ทโฟนที่ไม่รู้จักมาก่อนแบบอัตโนมัติได้ นอกจากนั้นยังมีเพียงสมาร์ทโฟนบางรุ่นและยี่ห้อในตลาดเท่านั้นที่สามารถใช้งานวายฟายไดเรกต์ได้ วายฟายฮอตสปอตเป็นเทคโนโลยีที่จะเปลี่ยนสถานะสมาร์ทโฟนให้กลายเป็นจุดเชื่อมต่อ (Access Point) ที่สามารถให้สมาร์ทโฟนอื่น ๆทำการเชื่อมต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ บลูทูธเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งสำหรับการติดต่อสื่อสาร แต่บลูทูธก็มีข้อจำกัดคือระยะในการส่งข้อมูลที่สั้น และ ความเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่ำ

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีต่าง ๆล้วนแต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน แต่วายฟายฮอตสปอตนั้นจัดเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนเนื่องจากวายฟายฮอตสปอตนั้นเป็นเทคโนโลยีที่สมาร์ทโฟนโดยทั่วไปสามารถใช้งานได้ ยิ่งไปกว่านั้นวายฟายฮอตสปอตก็ยังมีระยะ และ ความเร็วในการส่งข้อมูลที่เหนือกว่าบลูทูธ ซึ่งจัดเป็นเรื่องสำคัญเนื่องจากสมาร์ทโฟนในเครือข่ายอาจเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อย ๆ ระยะการส่งข้อมูลที่ต่ำอาจทำให้สูญเสียโอกาสในการติดต่อสื่อสารได้ อย่างไรก็ตามมีประเด็นหลายประเด็นที่จะต้องคำนึงถึงเพื่อที่จะทำให้วายฟายฮอตสปอตสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพบนเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือน

การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอพจัดเป็นประเด็นหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากสมาร์ทโฟนในระบบนี้จะเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อย ๆตามการเคลื่อนที่ของมนุษย์ สมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่ง ๆจะสามารถทำการส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายของสมาร์ทโฟนกลุ่มต่าง ๆที่พบระหว่างทาง ดังนั้นข้อมูลจะสามารถส่งแบบมัลติฮอพได้ในลักษณะนี้ แต่เนื่องจากสมาร์ทโฟนจำเป็นจะต้องอยู่ในสถานะที่ต่างกัน (ไคลเอนต์ และ ฮอตสปอต) ในการติดต่อสื่อสาร ดังนั้นวิธีการในการสลับเปลี่ยนสถานะของสมาร์ทโฟนจึงเป็นส่วนที่สำคัญในการส่งข้อมูลแบบมัลติฮอพด้วยวายฟายฮอตสปอต โดยจากลักษณะของเทคโนโลยีวายฟาย

ฮอตสปอตนั้น สมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่งในสถานะไคลเอนต์สามารถทำการเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนในสถานะฮอตสปอตได้เพียงหนึ่งเครื่องในเวลาหนึ่ง ๆ เท่านั้น แต่สมาร์ทโฟนในสถานะฮอตสปอตจะสามารถรับการเชื่อมต่อจากสมาร์ทโฟนในสถานะไคลเอนต์ได้หลายเครื่องในเวลาเดียวกัน โดยสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตนั้นจะทำหน้าที่สร้างเครือข่ายย่อยๆ เปรียบเสมือนศูนย์กลางในการรับส่งข้อมูล ในขณะที่สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ก็จะทำหน้าที่นำข้อมูลจากเครือข่ายย่อยกลุ่มหนึ่งไปสู่อีกกลุ่มหนึ่ง

อย่างไรก็ตามเนื่องจากสมาร์ทโฟนมีพลังงานที่จำกัด พลังงานที่ใช้จึงเป็นอีกประเด็นที่ต้องคำนึงถึง ซึ่งโดยปกติแล้วสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตจะใช้พลังงานมากกว่าสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์เป็นอย่างมาก ดังนั้นหากมีสมาร์ทโฟนในสถานะฮอตสปอตเป็นจำนวนมาก พลังงานที่ใช้รวมก็จะมีจำนวนมากเช่นกัน และยิ่งไปกว่านั้นยังอาจทำให้การส่งข้อมูลแย่ลง เนื่องจากสมาร์ทโฟนในสถานะฮอตสปอตแต่ละเครื่องนั้นจะทำหน้าที่สร้างเครือข่ายขนาดเล็กขึ้น การที่มีสมารท์โฟนในสถานะฮอตสปอตจำนวนมากย่อมหมายถึงการแบ่งเครือข่ายเป็นเครือข่ายย่อย ๆ จำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลเนื่องจากสมาร์ทโฟนในสถานะไคลเอนต์จำเป็นจะต้องนำข้อมูลกระจายไปยังเครือข่ายย่อยต่างๆ ที่มีจำนวนมาก

จากที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้วายฟายฮอตสปอตบนสมาร์ทโฟน โดยมีการออกแบบขั้นตอนการทำงานรวมถึงวิธีการเลือกสถานะให้ใช้พลังงานได้คุ้มค่าที่สุดซึ่งนับเป็นจุดสำคัญยิ่งในสถานการณ์ภัยพิบัติที่สมาร์ทโฟนอาจมีพลังงานอยู่จำกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1)เพื่อพัฒนาเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนสำหรับสมาร์ทโฟน

2)เพื่อทำให้สมาร์ทโฟนสามารถส่งข้อมูลหากันโดนไม่พึ่งโครงสร้างพื้นฐาน

3)เพื่อพัฒนาวิธิการในการจัดการการเปลี่ยนสถานะของสมาร์ทโฟน โดยวิธีการดังกล่าวจะช่วยประหยัดพลังงานให้กับระบบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) งานวิจัยนี้จะพัฒนาบนเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตเท่านั้น

2) งานวิจัยนี้จะพัฒนาเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยวิเคราะห์จากสถานการณ์ภัยพิบัติเท่านั้น

3) งานวิจัยนี้จะพัฒนาการลดการใช้พลังงานจากเวลาในการใช้สถานะฮอตสปอตเท่านั้นโดยไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงหลักการทำงานพื้นฐานของเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพิ่มทางเลือกในการสื่อสารโดยไม่ต้องพึ่งโครงสร้างพื้นฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สถานการณ์ภัยพิบัติที่พื้นที่บางส่วนถูกตัดขาดสัญญาณไป

2) สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับโปรโตคอล เพื่อสามารถนำไปพัฒนาเป็นโปรโตคอลใหม่ที่มีประสิทธิภาพ เร็ว เชื่อถือได้ และมีความเหมาะสมในการใช้บนสมาร์ทโฟน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1)ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนบนสมาร์ทโฟน

2)ทดสอบสมมติฐานเบื้องต้น

3)พัฒนาขั้นตอนการส่งข้อมูลของสมาร์ทโฟน

4)พัฒนาอัลกอริทึมในการเลือกสถานะของสมาร์ทโฟน

- 4.1) ศึกษาและออกแบบการทำงานของระบบ
- 4.2) ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน
- 4.3) ออกแบบอัลกอริทึมในการเปลี่ยนสถานะของสมาร์ทโฟน
- 4.4) ทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม
- 4.5) สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5)ศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

6)พัฒนาการปรับเวลาในการเลือกสถานะ

- 6.1) ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน
- 6.2) ทำการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการเลือกสถานะ
- 6.3) ทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม
- 6.4) สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

7)สรุปและอภิปรายประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 ผลงานตีพิมพ์

1. บทความชื่อ “Adaptive Wi-Fi Hotspot Mode Switching for Phone-to-Phone Communication in Opportunistic Network” โดย Chanthawat Rattanapongphan, Kulit Na Nakorn, Kultida Rojviboonchai ในงานประชุมวิชาการชื่อ “2017 14th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2017)”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เครือข่ายฉวยโอกาส

เครือข่ายฉวยโอกาส (Opportunistic Network) คือเครือข่ายที่ไม่รู้เส้นทางทอดต่อไประหว่างผู้ส่งกับผู้รับ โดยโหนดในเครือข่ายชนิดนี้จะมีการเคลื่อนที่ที่ไม่สามารถคาดเดาได้ และอาจมีเวลาในการติดต่อสื่อสารกันสั้น ต่างจากเครือข่ายที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันที่จะรู้เส้นทางระหว่างผู้ส่งกับผู้รับชัดเจน ซึ่งเครือข่ายแบบฉวยโอกาสส่งต่อข้อมูลเมื่อมีโอกาส โดยโหนดแต่ละโหนดจะทำการเก็บและส่งต่อข้อมูลไปเรื่อย ๆ ซึ่งจากลักษณะข้างต้น ทำให้ข้อมูลที่ส่งจะต้องมีความคงทนต่อความล่าช้า

2.1.2 เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอต

เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตเป็นเทคโนโลยีที่จะเปลี่ยนสมาร์ทโฟนให้เป็นเสมือนจุดเชื่อมต่อที่สามารถให้สมาร์ทโฟนเครื่องอื่น ๆทำการติดต่อเข้ามาเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ โดยสมาร์ทโฟนที่ใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตจะแบ่งเป็น 2 สถานะ คือ สถานะฮอตสปอต และ สถานะไคลเอนต์ ซึ่งสมาร์ทโฟน 2 เครื่องจะติดต่อกันได้ก็ต่อเมื่อ สมาร์ทโฟนทั้งสองอยู่ในระยะการติดต่อสื่อสาร และอยู่ในสถานะที่ต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.3 เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกเป็นระบบเทคโนโลยีไร้สายตามมาตรฐานของ IEEE802.11 (Wireless Local Area Protocol) ในการติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ โดยมีลักษณะทั่วไปดังนี้

1) ไม่จำเป็นต้องใช้โครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure-less)
   การสื่อสารในปัจจุบันยังจำเป็นต้องใช้จุดเชื่อมต่อ (Access point)ในการสื่อสาร แต่สำหรับการสื่อสารของเครือข่ายไร้สายแอดฮอกไม่จำเป็นต้องมีจุดเชื่อมต่อ หรือโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการติดต่อสื่อสาร
2) เครือข่ายเป็นแบบเพียร์ทูเพียร์ (Peer to peer)
   รูปแบบเพียร์ทูเพียร์เป็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆให้อยู่ในเครือข่ายเดียวกันโดยไม่มีศูนย์กลางควบคุมและจัดการ

3) การสื่อสารเป็นรูปแบบมัลติฮอพ
   การสื่อสารแบบมัลติฮอพเป็นการสื่อสารแบบทางอ้อม ซึ่งข้อมูลอาจถูกส่งไปยังอุปกรณ์หลายชิ้น ก่อนจะถึงจุดหมาย (destination)
4) ความทนทานต่อความบกพร่อง
   การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกมีความทนทานต่อความบกพร่องมากกว่าการสื่อสารที่อาศัยโครงสร้างพื้นฐานในการทำงาน เนื่องจากมีรูปแบบการทำงานแบบกระจาย
5) การเชื่อมต่อมีการขาดเป็นประจำ
   สมาร์ทโฟนส่วนใหญ่ที่ถูกใช้บนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกจะมีการเคลื่อนไหว (Mobility) ไปมาบ่อยครั้งทำให้สมาร์ทโฟนอาจขาดการเชื่อมต่อ
6) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อย

2.1.4 การจำลองการสื่อสารในโปรแกรมจำลองเครือข่าย NS-3

โปรแกรมจำลองเครือข่าย NS-3 (NS-3)[4]เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองการสื่อสารในเครือข่าย โดยโปรแกรม NS-3 นั้นเป็นที่นิยมในการใช้ศึกษาวิจัย และมีการเปิดให้ใช้งานฟรี

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการติดต่อสื่อสารกันโดยตรงที่ไม่ใช้โครงสร้างพื้นฐาน[5, 6] โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆทั้ง วายฟายแอดฮอก วายฟายฮอตสปอต และ บลูทูธ โดยวิธีที่ตรงไปตรงมาและมีประสิทธิภาพมากที่สุดก็จะเป็นการใช้เทคโนโลยีวายฟายแอดฮอกโดยตรง เช่นในงานวิจัย[2, 3] อย่างไรก็ตามวายฟายแอดฮอกไม่สามารถใช้ได้โดยทั่วไปในสมาร์ทโฟนในท้องตลาดปัจจุบัน ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาแล้วนั้นเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตจัดเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้ โดยมีงานวิจัยที่ทดลองใช้วายฟายฮอตสปอตสำหรับช่วยในการติดต่อสื่อสารในยามเกิดภัยพิบัติ ยกตัวอย่างเช่น ในงานวิจัย[7] เมื่อเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติอุปกรณ์ที่ยังสามารถเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐานได้จะทำการพิจารณาพลังงานที่เหลืออยู่เพื่อพิจารณาเปลี่ยนสถานะตัวเองเป็นฮอตสปอตเพื่อทำการกระจายการเข้าถึงอินเตอร์เน็ตให้อุปกรณ์อื่น ๆ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนเพื่อติดต่อกันเองในพื้นที่กรณีที่โครงสร้างพื้นฐานทั้งมดพังทลายลงและไม่สามารถใช้งานอินเตอร์เน็ตได้

จากการศึกษางานวิจัยที่มีการใช้วายฟายฮอตสปอตเพื่อสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือน พบว่าสามารถแบ่งงานวิจัยได้ 2 ประเภท คือ งานวิจัยแบบที่รับข้อมูลมาจากส่วนกลางเพื่อทำการวิเคราะห์เลือกสถานะของอุปกรณ์ และ งานวิจัยที่ทำการวิเคราะห์สถานะที่ควรจะเป็นด้วยตนเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยการเลือกว่าจะใช้การวิเคราะห์แบบไหนนั้นก็ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่จะนำเครือข่ายไปใช้ เช่นในงานวิจัยของ Hu, Liu et al.[8] นั้นจะใช้การรับข้อมูลจากศูนย์กลางเพื่อนำมาวิเคราะห์ เนื่องจากสมาร์ทโฟนในระบบนี้จะมีการติดต่อกับโครงสร้างพื้นฐานอยู่เป็นระยะ ๆ เพื่อทำการส่งค่าจากเซนเซอร์ให้เครื่องแม่ข่าย ซึ่งสมาร์ทโฟนในระบบก็จะทำการรับข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายวิเคราะห์และส่งมาให้ นำมาพิจารณาสถานะของสมาร์ทโฟนอีกทีหนึ่ง ซึ่งข้อดีของการที่ใช้ข้อมูลจากส่วนกลางก็คืออาจได้รับสภาพของเครือข่ายโดยรวมได้ดีกว่าแบบวิเคราะห์ด้วยตนเอง ทำให้อาจได้ค่าที่แม่นยำกว่า อย่างไรก็ตามการใช้งานบางอย่างไม่สามารถทำการติดต่อกับโครงสร้างพื้นฐานได้ และหากไม่สามารถติดต่อกับโครงสร้างพื้นฐานได้ความแม่นยำก็จะต่ำลง ดังนั้นในการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนในสถานการณ์ภัยพิบัติที่สมาร์ทโฟนอาจไม่สามารถรับข้อมูลจากส่วนกลางได้ การเลือกสถานะโดยการวิเคราะห์ด้วยตนเองอาจเหมาะสมกว่า เช่น ในงานวิจัยของ Franke, T., et al.[9] นั้นสมาร์ทโฟนจะทำการเลือกสถานะจากสถานการณ์ในพื้นที่ใกล้เคียง โดยในงานวิจัยนี้สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตหากไม่มีสมาร์ทโฟนในบริเวณใกล้เคียงที่เหมาะสม ซึ่งการพิจารณ์ความเหมาะสมในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากระยะทางที่สมาร์ทโฟนที่เป็นฮอตสปอตทำการเคลื่อนที่ และ เวลาที่ไม่ได้ติดต่อกันโดยหาก 2 ค่านี้สูงก็จะจัดว่ามีความเหมาะสมมากเนื่องจากมีโอกาสที่จะมีข้อมูลที่ไม่มีสูง

อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นระบบแบบที่รับข้อมูลมาจากส่วนการเพื่อทำการวิเคราะห์ หรือแบบที่ทำการวิเคราะห์ด้วยตนเอง ตัวแปรอย่างหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงในสถานการณ์ภัยพิบัติก็คือเรื่องพลังงาน ซึ่งในการใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตนั้นการทำงานในสถานะฮอตสปอตจะใช้พลังงานมากกว่าการใช้พลังงานในสถานะไคลเอนต์เป็นอย่างมาก เนื่องจากสมาร์ทโฟนนั้นอาจมีพลังงานจำกัด ทำให้การเลือกสถานะที่เหมาะสมกับพลังงานที่เหลืออยู่จัดเป็นเรื่องสำคัญ จึงมีงานวิจัยส่วนหนึ่งที่วิจัยวิธีลดพลังงานในการใช้สถานะฮอตสปอต[10-12] อย่างไรก็ตามงานวิจัยในกลุ่มนี้มุ่งเป้าไปที่การเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการเป็นฮอตสปอตสำหรับการกระจายข้อมูลที่มีการติดต่อกับโครงสร้างพื้นฐานโดยยังไม่คำนึงถึงเรื่องการใช้การเคลื่อนที่ของมนุษย์ในการกระจายข้อมูลในสถานะการที่ไม่มีวายฟายแอคเซสพอยต์ จึงได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดพลังงานในระบบที่ใช้ประโยชน์จากการเคลื่อนที่ของมนุษย์ในการส่งข้อมูล โดยในงานวิจัยของ Wang, Yang et al. [13, 14] ได้ทำการวิเคราะห์เลือกสถานะซึ่งใช้ข้อมูลพลังงานที่เหลือ และเวลาที่เหลือที่ระบบจะต้องทำงาน มาวิเคราะห์และกำหนดสถานะของสมาร์ทโฟน อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ก็ยังมีข้อจำกัด โดยงานวิจัยนี้จะทำงานได้ดีในเครือข่ายที่มีโหนดอยู่เบาบาง แต่จะมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองมากขึ้นในเครือข่ายที่มีโหนดอยู่อย่างหนาแน่น

ในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยจะทำการพัฒนาเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้วายฟายฮอตสปอตในสถานการณ์ภัยพิบัติซึ่งพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในระบบ ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี่จะมีการ

เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Wang, Yang et al. [13, 14] เป็นหลักซึ่งเป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานเหมือนกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้วายฟายฮอตสปอตบนสมาร์ทโฟน

3.1 การเลือกใช้เทคโนโลยีในการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือน

ในการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนบนสมาร์ทโฟนสิ่งแรกที่จำเป็นต้องคำนึงถึงคือการเลือกเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการสร้างเครือข่ายโดยจากการสำรวจพบว่าเทคโนโลยี วายฟายแอดฮอก, วายฟายไดเรกต์, วายฟายฮอตสปอต และ บลูทูธ เป็นเทคโนโลยีทีสามารถพบได้ในสมาร์ทโฟน ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีต่างก็มีลักษณะข้อจำกัดที่ต่างกันดังนี้

1) วายฟายแอดฮอก

วายฟายแอดฮอกเป็นเทคโนโลยีสำหรับการติดต่อสื่อสารโดยที่สมาร์ทโฟนแต่ละเครื่องสามารถทำการติดต่อกันได้โดยตรง (peer to peer) โดยจะมีลักษณะการส่งข้อมูลแบบต่อกันเป็นทอด ๆ ซึ่งจะใช้อุปกรณ์เครื่องอื่น ๆที่ใช้วายฟายแอดฮอกเป็นจุดในการส่งต่อ (Relay Node) อย่างไรก็ตามสมาร์ทโฟนในท้องตลาดปัจจุบันไม่สามารถใช้งานวายฟายแอดฮอกได้นอกจากจะทำการรูท (Root) หรือเจลเบรก (Jail Break) เครื่องเสียก่อนซึ่งการทำเช่นนี้ก็จะทำให้สมาร์ทโฟนหมดระยะประกันไปด้วย

2) วายฟายไดเรกต์

วายฟายไดเรกต์เป็นเทคโนโลยีสำหรับการติดต่อสื่อสารที่สมาร์ทโฟนแต่ละชิ้นสามารถทำการติดต่อกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องพึ่งแอคเซสพ้อย(Access Point) โดยสมาร์ทโฟนที่ใช้วายฟายไดเรกต์จะสร้างเครือข่ายติดต่อกันโดยตรงแบบทอดเดียว (Single hop) โดยในขั้นตอนการใช้งานเมื่อเริ่มเครือข่ายจะต้องให้ผู้ใช้งานทำการยืนยันเพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายด้วยวิธีการต่าง ๆก่อนเช่น การไปกดปุ่มที่เครื่อง หรือ การกรอกรหัส ซึ่งโดยหลักการแล้วการทำงานของวายฟายไดเรกต์จะเป็นการเลือกสมาร์ทโฟนชิ้นหนึ่งขึ้นมาเป็นแอคเซสพ้อยก่อนทำการติดต่อกัน ซึ่งในปัจจุบันมีสมาร์ทโฟนเพียงบางชนิดเท่านั้นที่รองรับเทคโนโลยีไวไฟไดเรกต์ และสมาร์ทโฟนบางรุ่นที่รองรับเทคโนโลยีวายฟายไดเรกต์ก็อาจมีข้อจำกัดเพิ่มเติมเช่น สามารถทำการเชื่อมต่อได้เพียงหนึ่งต่อหนึ่งเป็นต้น

3) วายฟายฮอตสปอต

วายฟายฮอตสปอตเป็นเทคโนโลยีสำหรับการติดต่อสื่อสารที่สมาร์ทโฟนแต่ละชนิดทำการติดต่อกัน โดยให้สมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่งทำหน้าที่จำลองตัวเองเหมือนเป็น แอค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เซสพ้อยปกติ ในขณะที่สมาร์ทโฟนเครื่องอื่นสามารถทำการติดต่อกันโดยเชื่อมต่อกับเครือข่ายของแอคเซสพ้อยตัวนี้ ซึ่งการใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตเป็นการสร้างเครือข่ายติดต่อกันโดยตรงแบบทอดเดียว สมาร์ทโฟนในท้องตลาดปัจจุบันสามารถใช้งานเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตได้โดยไม่จำเป็นต้องทำการเปลี่ยนแปลงใด ๆกับตัวเครื่อง

4) บลูทูธ

บลูทูธเป็นเทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสารที่สมาร์ทโฟนจะทำการเชื่อมต่อกันแบบหนึ่งต่อหนึ่ง และมีลักษณะการส่งข้อมูลแบบทอดเดียว บลูทูธในสมาร์ทโฟนตามท้องตลาดปัจจุบันจะมีความเร็วในการส่งข้อมูล และ ระยะของสัญญาณ น้อยกว่าเทคโนโลยีที่ใช้วายฟาย แต่ก็แลกมาด้วยการใช้พลังงานที่ต่ำกว่า ซึ่งสมาร์ทโฟนในท้องตลาดปัจจุบันสามารถใช้เทคโนโลยีบลูทูธได้โดยไม่จำเป็นต้องทำการเปลี่ยนแปลงใด ๆกับตัวเครื่อง

ซึ่งจากลักษณะข้างต้นสามารถจัดทำเป็นตารางเปรียบเทียบเพื่อประกอบการตัดสินใจดังตารางที่ 1

ตาราง 1 ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสาร

	วายฟายแอดฮอก	วายฟายไดเรกต์	วายฟายฮอตสปอต	บลูทูธ
ระยะการติดต่อสื่อสาร	<90 m	<90 m	<90 m	<20 m
สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องทำการรูทหรือเจลเบรก	ไม่ใช่	บางรุ่นสามารถใช้งานได้	ใช่	ใช่
ปริมาณข้อมูลสูงสุดที่สามารถส่งได้	11 MBps	250 MBps	54 MBps	260KBps
ลักษณะในการส่งข้อมูล	หลายทอด	ทอดเดียว	ทอดเดียว	ทอดเดียว
ลักษณะการเชื่อมต่อ	การเชื่อมต่อแบบตาข่าย	การเชื่อมต่อแบบดาว/การเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่ง	การเชื่อมต่อแบบดาว	การเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่ง
วิธีการยืนยันตัวตน	เชื่อมต่อโดยอัตโนมัติ	ยืนยันตัวตนด้วยมือ (Manual authentication)	เชื่อมต่อโดยอัตโนมัติ	เชื่อมต่อโดยอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

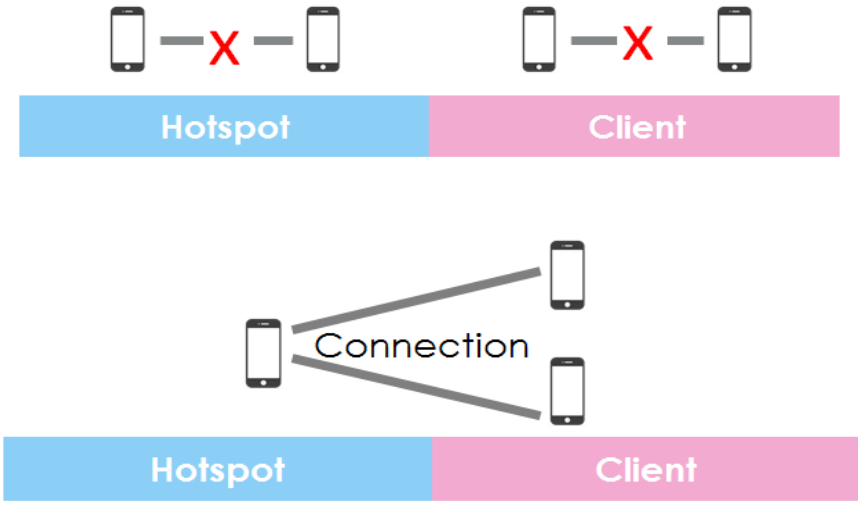
เมื่อพิจารณาจากตารางเปรียบเทียบ และลักษณะที่ต้องการของเครือข่ายทางผู้วิจัยจึงได้เลือกเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตมาใช้สำหรับการสร้างเครือข่ายโดยมีเหตุผลดังนี้

1) เนื่องจากเครือข่ายในงานวิจัยถูกออกแบบให้ใช้ในเหตุการณ์ภัยพิบัติดังนั้นเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการใช้งานคือเทคโนโลยีที่สมาร์ทโฟนทุกเครื่องสามารถใช้ได้ ดังนั้นเทคโนโลยีวายฟายแอดฮอกที่จำเป็นต้องทำการรูทหรือเจลเบรกสมาร์ทโฟนก่อน และเทคโนโลยีวายฟายไดเรกต์ที่รองรับเพียงในสมาร์ทโฟนบางชนิดเท่านั้น จึงไม่เหมาะสมในการใช้งาน นอกจากนั้นเนื่องจากเทคโนโลยีวายฟายไดเรกต์ไม่สามารถทำการยืนยันตัวตนได้อัตโนมัติซึ่งจะทำให้เครือข่ายที่สร้างขึ้นไม่มีประสิทธิภาพในการทำงาน ดังนั้นเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตและเทคโนโลยีบลูทูธจึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุด
2) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีบลูทูธและเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอต พบว่าลักษณะการทำงานของเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตเหมาะกับการทำงานของเครือข่ายมากกว่าเนื่องจากในสถานการณ์ที่เกิดภัยพิบัตินั้น สมาร์ทโฟนที่เคลื่อนที่ผ่านกันอาจได้พบกันเพียงแค่ครั้งเดียว ดังนั้นการที่ระยะการติดต่อสื่อสารของบลูทูธนั้นสั้นกว่าเทคโนโลยีวายฟายก็อาจทำให้พลาดโอกาสในการติดต่อสื่อสารได้ นอกจากนั้นลักษณะการติดต่อของบลูทูธยังเป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่งซึ่งอาจทำให้การเผยแพร่ข้อมูลเป็นไปได้ล่าช้ากว่าเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตที่มีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นโทโพโลยีแบบดาว

3.2 เงื่อนไขที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนาเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอต

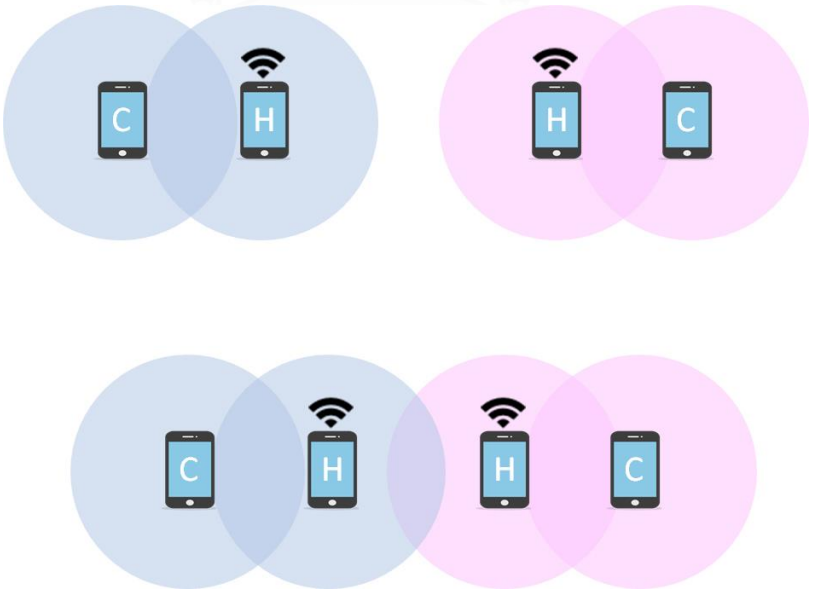
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการที่ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตในการพัฒนาเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนนั้น การพิจารณาลักษณะ วิธีการทำงาน และข้อจำกัด ของเทคโนโลยีเป็นส่วนที่สำคัญที่จะทำให้การพัฒนาเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสมาร์ทโฟนที่ใช้เทคโนโลยีไวไฟฮอตสปอตจะถูกแบ่งสถานะออกเป็น 2 สถานะ คือสถานะฮอตสปอตและสถานะไคลเอนต์ โดยในสถานะฮอตสปอตสมาร์ทโฟนจะทำหน้าที่เหมือนเป็นศูนย์กลางในการส่งข้อมูลของเครือข่ายขนาดเล็กให้สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์มาทำการเชื่อมต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันในเครือข่าย ซึ่งสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์จะสามารถทำการเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตได้เพียงหนึ่งตัวในเวลาเดียวกันเท่านั้น ในขณะที่สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตจะถูกเชื่อมต่อโดยสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ได้มากกว่าหนึ่งตัวในเวลาเดียวกันดังภาพที่ 2

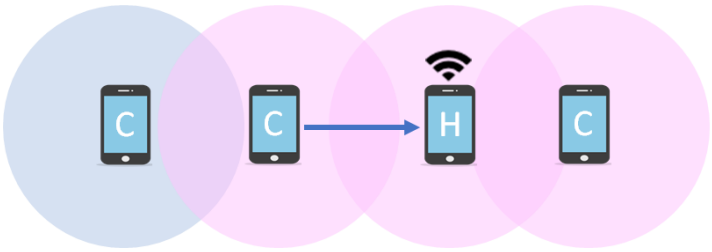


ภาพที่ 2 ลักษณะการติดต่อสื่อสารของเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอต

ซึ่งจากรูปสมาร์ทโฟน 2 เครื่องจะสามารถทำการติดต่อกันได้ก็ต่อเมื่อสมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่งอยู่ในสถานะฮอตสปอต และสมาร์ทโฟนอีกเครื่องอยู่ในสถานะไคลเอนต์ โดยสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์นั้นจะสามารถตรวจสอบได้เพียงว่าในระยะสัญญาณมีสมาร์ทโฟนเครื่องใดทำหน้าที่เป็นฮอตสปอตอยู่บ้าง ในขณะที่สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตก็จะรู้เพียงว่ามีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์เครื่องใดบ้างที่กำลังทำการเชื่อมต่อกับตัวสมาร์ทโฟนอยู่ ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้สมาร์ทโฟนจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงสถานะตลอดเวลาเพื่อทำการตรวจหาสมาร์ทโฟนใกล้เคียงซึ่งอาจมีเพียงสมาร์ทโฟนนั้นสมาร์ทโฟนเดียวที่สามารถติดต่อได้ดังภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 เครือข่ายทั้ง2ไม่สามารถติดต่อกันได้เนื่องจากสมาร์ทโฟนที่อยู่ในระยะอยู่ในสถานะเดียวกัน



ภาพที่ 4 สมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่งทำการเปลี่ยนสถานะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครือข่าย

เงื่อนไขอีกอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงของระบบ คือ เรื่องการเคลื่อนที่ของสมาร์ทโฟนแต่ละเครื่อง เนื่องจากสมาร์ทโฟนในระบบอาจมีการเคลื่อนที่ได้ตลอดเวลาซึ่งอาจทำให้ตำแหน่งของสมาร์ทโฟนเปลี่ยนไป อันส่งผลให้โครงสร้างเครือข่ายอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา

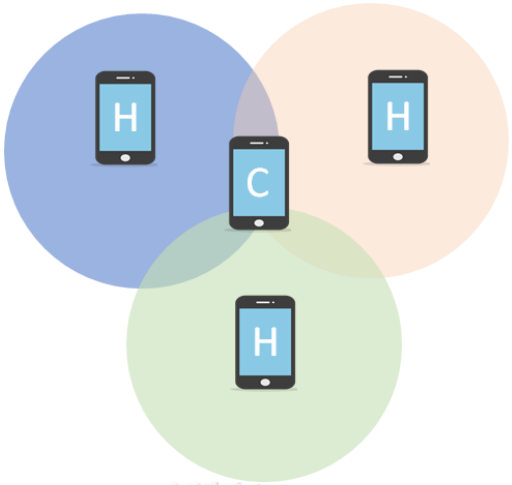
3.3 ลักษณะการทำงานเบื้องต้นของระบบ

เมื่อนำเงื่อนไขข้างต้นมาพิจารณา ทางผู้วิจัยจึงทำการออกแบบการทำงานของระบบโดยให้สมาร์ทโฟนแต่ละชิ้นจะอยู่ในสถานะฮอตสปอตหรือไคลเอนต์ในคาบเวลาคาบหนึ่ง ซึ่งเมื่อหมดคาบเวลานั้นสมาร์ทโฟนจะทำการเลือกว่าในคาบเวลาต่อไปสมาร์ทโฟนจะอยู่ในสถานะฮอตสปอตหรือไคลเอนต์

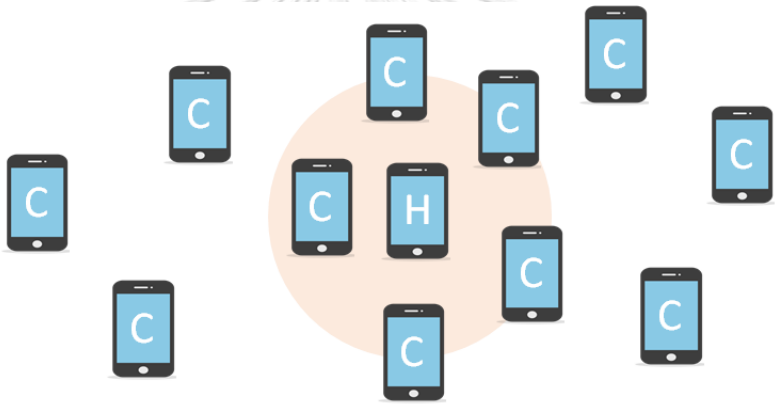
3.4 การวิเคราะห์ปัญหาในการเลือกสถานะของสมาร์ทโฟน

การเลือกสถานะของสมาร์ทโฟนเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุดเรื่องหนึ่งในการที่ระบบจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการที่สมาร์ทโฟนที่ใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตจะติดต่อกันได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสถานะที่ต่างกันเท่านั้น ซึ่งถ้าในบริเวณหนึ่ง ๆมีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งมากเกินไปก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบแย่ลงดังภาพที่ 5 และ 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 5 สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตมีจำนวนมากเกินไป



ภาพที่ 6 สมาร์ทโฟนในสถานะไคลเอนต์มีจำนวนมากเกินไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากภาพที่ 5 ถ้าในบริเวณมีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตมากเกินไปก็เปรียบกับการที่มีเครือข่ายขนาดเล็กเป็นจำนวนมากในพื้นที่ ซึ่งก็จะส่งผลให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครือข่ายเป็นไปด้วยความล่าช้า เนื่องจากจำนวนสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ซึ่งทำหน้าที่นำข้อมูลจากเครือข่ายหนึ่งไปเผยแพร่ให้อีกเครือข่ายหนึ่งมีจำนวนน้อยเกินไป และจำนวนเครือข่ายมีมากเกินไป น้อยจากนี้การที่มีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตจำนวนมากย่อมส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานโดยรวมของระบบมากขึ้นตามเช่นกัน ในอีกมุมหนึ่งถ้าสมาร์ทโฟนอยู่ในสถานะฮอตสปอตมีจำนวนน้อยเกินไปก็จะทำให้ระยะในการเผยแพร่ข้อมูลแคบลง เนื่องจากมีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตจำนวนไม่เพียงพอในการสร้างเครือข่ายที่จะครอบคลุมบริเวณทั้งหมดได้ดังภาพที่ 6 ดังนั้น

การเลือกสถานะของสมาร์ทโฟนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่ างมีประสิทธิภาพ

โดยปกติแล้วสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตจะใช้พลังงานมากกว่าสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ โดยที่สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตจะสามารถรับการเชื่อมต่อจาก สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ได้หลายตัวในเวลาเดียวกัน ผู้วิจัยจึงต้องการจะลดจำนวน สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตให้มีจำนวนน้อยที่สุดเพื่อลดพลังงานรวมที่ต้องใช้ในระบบ โดยในอุดมคติในบริเวณหนึ่งที่สมาร์ทโฟนในบริเวณมีระยะสัญญาณสามารถเชื่อมต่อถึงกันได้หมดผู้วิจัยต้องการให้มีอุกรณ์เพียงหนึ่งตัวเท่านั้นที่อยู่ในสถานะฮอตสปอต และให้สมาร์ทโฟนอื่นอยู่ในสถานะไคลเอนต์ทำการเชื่อมต่อผ่านสมาร์ทโฟนตัวนี้ โดยหากสมมติให้ในบริเวณหนึ่ง ๆ มีสมาร์ทโฟนอยู่ N เครื่อง สมาร์ทโฟนแต่ละเครื่องมีโอกาสที่จะอยู่ในสถานะฮอตสปอตเท่ากับ x(t) ที่เวลา t ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีสมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่งจะอยู่ในสถานะฮอตสปอตในขณะที่สมาร์ทโฟนเครื่องอื่น ๆอยู่ในสถานะไคลเอนต์เป็นไปดังสมการที่ 3.1

$$P(t) = x(t)\big(1 - x(t)\big)^{N-1} \tag{3.1}$$

เมื่อ $P(t)$ คือความน่าจะเป็นที่ทำให้บริเวณหนึ่งมีสมาร์ทโฟนในสถานะฮอตสปอตหนึ่งเครื่อง

$x(t)$ คือโอกาสที่สมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่ง ๆจะอยู่ในสถานะฮอตสปอต

N คือจำนวนสมาร์ทโฟนทั้งหมดในบริเวณหนึ่ง

จากสมการที่ 3.1 ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ออกมาได้ว่า x(t) ควรมีค่าเท่ากับ 1/N เพื่อที่จะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะทำให้ในบริเวณหนึ่ง ๆมีสมาร์ทโฟนในสถานะฮอตสปอตเพียงหนึ่งเครื่องมีค่ามากที่สุด อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วจะไม่สามารถรู้จำนวนที่แน่ชัดของสมาร์ทโฟนที่อยู่ในบริเวณหนึ่งได้ เนื่องจากข้อจำกัดที่สมาร์ทโฟนในสถานะฮอตสปอตจะรู้เพียงจำนวนสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ที่กำลังเชื่อมต่ออยู่ และสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ก็รู้เพียงแค่จำนวนสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตในบริเวณใกล้เคียงเท่านั้น ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้ทางผู้วิจัยจึงได้จัดทำโมดูลในการประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนในบริเวณใกล้เคียงขึ้นซึ่งจะอธิบายในส่วนถัดไป นอก

ไปจากนั้น เนื่องจากสมาร์ทโฟนมีพลังงานที่สามารถใช้ได้อยู่จำกัด พลังงานจึงต้องเป็นปัจจัยนึงที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกสถานะ โดยหากสมมติฐานว่าระบบจะต้องทำงานได้อย่างน้อยเป็นเวลา T และสมาร์ทโฟนมีพลังงาน E และ สมาร์ทโฟนมีอัตราการใช้พลังงานเมื่ออยู่ในสถานะฮอตสปอต k หน่วยต่อวินาที จะได้ว่าหากต้องการให้สมาร์ทโฟนสามารถทำงานได้จนถึงเวลาที่ต้องการเงื่อนไขดังสมการที่ 3.2 จะต้องเป็นจริง

$$\int_0^T x(t)kdt \leq E \qquad 3.2$$

เมื่อ $x(t)$ คือโอกาสที่สมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่ง ๆจะอยู่ในสถานะฮอตสปอต

k คืออัตราการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนเมื่ออยู่ในสถานะฮอตสปอต

E คือพลังงานที่สมาร์ทโฟนมี

T คือเวลาขั้นต่ำที่ระบบจะต้องทำงานได้

ดังนั้นโดยสรุปแล้วถ้าหากสมาร์ทโฟนมีพลังงานเหลือเพียงพอกับเงื่อนไขข้างต้น x(t) หรือค่าความน่าจะเป็นที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตควรจะมีค่าเท่ากับ 1/N ในขณะที่ถ้าเกิดว่าสมาร์ทโฟนมีพลังงานไม่เพียงพอที่จะตอบสนองเงื่อนไขข้างต้นค่าพลังงานจะมีค่าเท่ากับ E/kT

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5 การเลือกสถานะของสมาร์ทโฟน

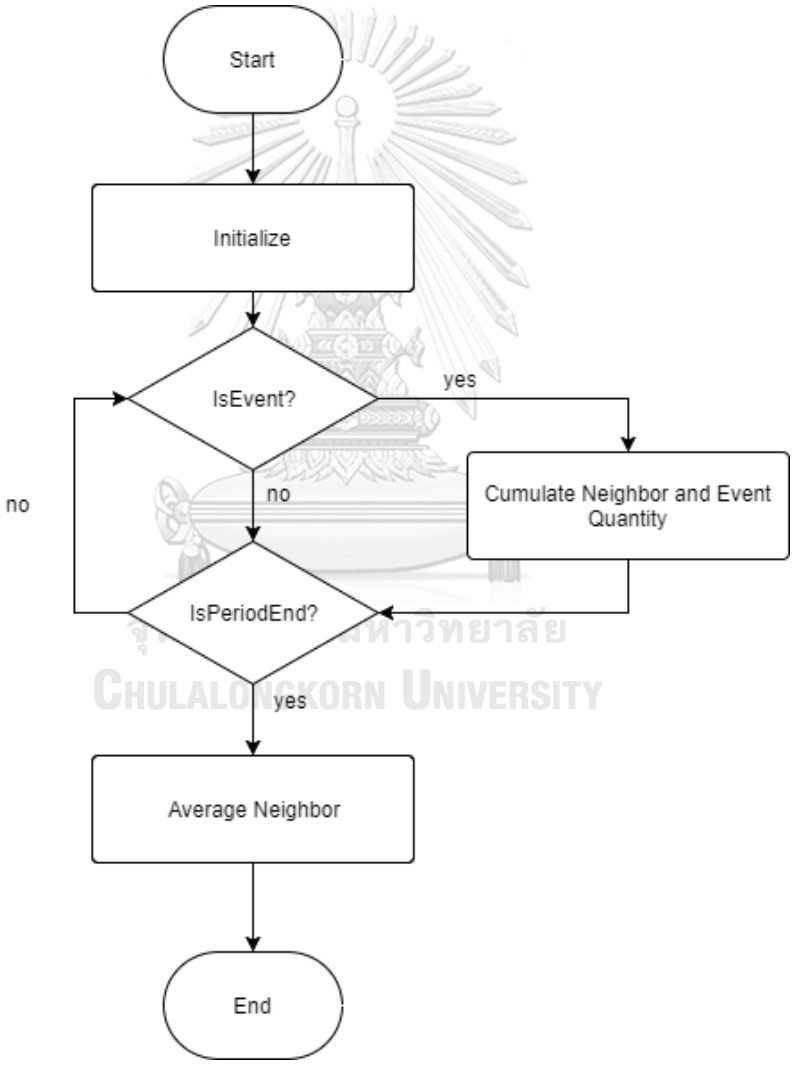
การเลือกสถานะของสมาร์ทโฟนจะถูกทำโดยผ่านการทำงานของโมดูล 2 โมดูลคือ โมดูลในการประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนบริเวณใกล้เคียง และ โมดูลในการเลือกสถานะ โดยจะมีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

3.5.1 โมดูลในการประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนในบริเวณใกล้เคียง

ข้อมูลจำนวนสมาร์ทโฟนในบริเวณใกล้เคียงนั้นเป็นข้อมูลที่สำคัญในการที่จะเลือกสถานะของสมาร์ทโฟนให้มีประสิทธิภาพ แต่ว่าโดยปกติแล้วสมาร์ทโฟนไม่สามารถจะรู้ถึงข้อมูลนี้ได้เนื่องจาก

ลักษณะการทำงานของเทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอต เพราะสมาร์ทโฟนในสถานะไคลเอนต์จะรู้เพียงจำนวนสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอต ในขณะที่สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตก็จะรู้เพียงจำนวนสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ที่กำลังเชื่อมต่ออยู่เท่านั้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างโมดูลที่จะประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนในบริเวณใกล้เคียงขึ้น

การประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนในบริเวณใกล้เคียงนั้นจะทำโดยการใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนสมาร์ทโฟนที่มีการเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนนี้ในแต่ละครั้ง โดยจะทำงานได้ตามแผนภาพ และรหัสเทียมดังภาพที่ 7



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 7 ผังงานในการทำงานของโมดูลประมาณจำนวนอุปกรณ์ในบริเวณใกล้เคียง

อัลกอริทึมที่ 1 อัลกอริทึมในการประมาณความหนาแน่นอุปกรณ์ในบริเวณใกล้เคียง

Algorithm 1 Finding Approximate Neighbor Density

```
Output:  Estimated no. neighbors neighbor_quantity
1:       if isNewTimeSlot do
2:           cumulative_neighbor ← 0
3:           event_quantity ← 0
4:       end if
5:       while isNotTimeout do
6:           if isConnectionEventTrigger do
7:               cumulative_neighbor ←
8:       cumulative_neighbor + current_neighbor
9:               event_quantity++
10:          end if
11:      end while
12:      if event_quantity not equal to 0 do
13:          neighbor_quantity ←
14:      cumulative_neighbor/event_quantity
15:      end if
16:      return neighbor_quantity
```

โดยจากอัลกอริทึมที่ 1 ขั้นตอนการทำงานจะสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ เมื่อเริ่มต้นการทำงานในคาบโมดูลจะทำการตั้งค่าจำนวนสมาร์ทโฟนใกล้เคียงสะสม และจำนวนเหตุการณ์การเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นให้เป็น 0 ซึ่งถ้าเกิดมีเหตุการณ์การเชื่อมต่อเกิดขึ้นเช่นสมาร์ทโฟนไปเชื่อมต่อกับเครือข่ายใหม่ หรือมีสมาร์ทโฟนใหม่มาเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่สมาร์ทโฟนกำลังเชื่อมต่ออยู่ สมาร์ทโฟนก็จะทำการเพิ่มค่าจำนวนสมาร์ทโฟนที่กำลังเชื่อมต่อในเครือข่าย ณ ปัจจุบันเข้ากับจำนวนสมาร์ทโฟนใกล้เคียงสะสม และเพิ่มจำนวนเหตุการณ์เชื่อมต่ออีกหนึ่ง ซึ่งการทำงานนี้จะทำวนไปเรื่อย ๆ จนกว่าคาบปัจจุบันจะจบ และเมื่อคาบปัจจุบันจบระบบจะทำการหาค่าเฉลี่ยโดยการนำค่าสมาร์ทโฟนใกล้เคียงสะสมหารด้วยจำนวนเหตุการณ์การเชื่อมต่อที่เกิดขึ้น ซึ่งค่านี้จะถือว่าเป็นค่าประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนใกล้เคียง โดยค่านี้จะถูกส่งต่อไปให้ โมดูลในการเลือกสถานะใช้เพื่อทำการเลือกสถานะต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5.2 โมดูลในการเลือกสถานะ

โมดูลในการเลือกสถานะทำหน้าที่ในการเลือกสถานะที่สมาร์ทโฟนจะเป็นในคาบเวลาต่อไป โดยโมดูลนี้จะใช้ค่าประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนใกล้เคียงเป็นข้อมูลนำเข้าของโมดูล โมดูลนี้จะทำงานเมื่อคาบเวลาการทำงานปัจจุบันจบลงและสมาร์ทโฟนจำเป็นจะต้องเลือกสถานะใหม่ในคาบเวลาต่อไป โดยการเลือกสถานะจะเป็นไปดังอัลกอริทึมที่ 2

อัลกอริทึมที่ 2 อัลกอรึมในการเลือกสถานะ

Algorithm 2 Mode Decision

```
Input:    predicted quantity of smartphones in the area n
Output:   smartphone mode in next period mode
1:        Initialize hotspot_chance to 50
2:        Initialize rand to random(1,100)
3:        if n > 0 do
4:                hotspot_chance ← 100/n
5:                if hotspot_chance is higher than E/kT do
6:                        hotspot_chance ← E/kT
7:                end if
8:                if rand < hotspot_chance do
9:                        mode ← client
10:               else do
11:                       mode ← hotspot
12:       end if
13:       return mode
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากอัลกอริทึมที่ 2 เมื่อคาบปัจจุบันจบลงโมดูลในการเลือกสถานะจะทำงาน โดยเริ่มแรกโมดูลจะกำหนดโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเป็นสถานะฮอตสปอตให้เท่ากับ 50% จากนั้นจะทำการสุ่มค่ามาค่าหนึ่งในระยะตั้งแต่ 1 ถึง 100 โดยถ้าค่าประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนในบริเวณข้างเคียงมากกว่า 0 ซึ่งหมายความว่าในคาบปัจจุบันมีเหตุการณ์การเชื่อมต่อเกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง โมดูลจะนำค่าประมาณจำนวนสมาร์ทโฟนใกล้เคียงไปหาร 100 แล้วตั้งเป็นโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเป็นสถานะฮอตสปอต จากนั้นโมดูลจะทำการเปรียบเทียบว่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเป็นสถานะฮอตสปอตมีค่ามากกว่าค่า E/kT หรือไม่ ซึ่งหากโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเป็นสถานะฮอตสปอตมีค่ามากกว่า E/kT หมายความว่าสมาร์ทโฟนจะมีพลังงานไม่พอในการดำเนินระบบให้ได้ตามเวลาที่ต้องการโมดูลก็จะทำการปรับโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเป็นสถานะฮอตสปอตให้เท่ากับ E/kT เพื่อที่จะทำการประหยัดพลังงาน จากนั้นโมดูลจะทำการเปรียบเทียบ โดยถ้าค่าที่สุ่มมามีค่าน้อยกว่าโอกาสที่จะเป็นฮอตสปอต

สถานะจะถูกกำหนดเป็นไคลเอนต์ แต่ถ้าค่าที่สุ่มมามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับโอกาสที่จะเป็นฮอตสปอต สถานะจะถูกกำหนดเป็นฮอตสปอต

3.6 การวิเคราะห์คาบเวลาที่เหมาะสมในการทำงาน

เนื่องจากลักษณะการทำงานของระบบที่สมาร์ทโฟนจะอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งในหนึ่งคาบเวลาก่อนที่จะมีการพิจารณาเลือกสถานะใหม่ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีสมมติฐานว่าคาบเวลาน่าจะส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ซึ่งจากผลการทดลอง ทางผู้วิจัยพบว่ายิ่งคาบเวลาสั้นความเร็วในการส่งและแพร่ข้อมูลจะมีมากกว่าคาบเวลาที่ยาวกว่า แต่ก็ใช้พลังงานมากกว่าเช่นกัน ซึ่งผู้วิจัยพบว่าที่คาบเวลาเท่ากับ 10 วินาทีระบบจะมีความเร็วในการส่งข้อมูลมากที่สุด ซึ่งหากคาบเวลาต่ำกว่า 10วินาทีข้อมูลจะมีความเร็วในการส่งช้าลงเนื่องจากเวลาสมาร์ทโฟนเปลี่ยนสถานะจะมีช่วงเวลาหนึ่งที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะซึ่งสมาร์ทโฟนจะไม่สามารถทำงานได้ในช่วงเวลานั้นกล่าวคือไม่อยู่ในทั้งสถานะฮอตสปอตและไคลเอนต์ ซึ่งเหตุผลที่ทำให้ที่คาบเวลาต่ำกว่า 10 วินาทีมีความเร็วในการส่งข้อมูลลดลงนั้นเป็นเพราะช่วงเวลาที่สมาร์ทโฟนอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งมีน้อยเกินไปไม่คุ้มค่ากับเวลาที่เสียไปในการเปลี่ยนสถานะ นอกจากนี้เมื่อผู้วิจัยพิจารณาจากผลการทดลองยังพบอีกว่าที่คาบเวลาเท่ากับ 100 วินาที จะเป็นคาบเวลาที่สมาร์ทโฟนใช้พลังงานได้คุ้มค่ากับความเร็วในการส่งข้อมูลมากที่สุด ซึ่งในส่วนนี้จะมีการอธิบายเพิ่มเติมแบบละเอียดในบทที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7 การปรับคาบเวลาให้เหมาะสมกับการทำงานของระบบ

เนื่องจากเครือข่ายในงานวิจัยชิ้นนี้สร้างขึ้นสำหรับเหตุการณ์ภัยพิบัติ ดังนั้นอัตราการใช้พลังงานจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งในการทำงานของระบบ ดังนั้นจากผลการทดลองทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้คาบเวลาในการทำงานแต่ละรอบเท่ากับ 100 วินาที เพื่อให้ใช้พลังงานได้คุ้มค่าที่สุด แต่ถ้ามีสมาร์ทโฟนชิ้นไหนต้องการส่งข้อมูลเป็นพิเศษ สมาร์ทโฟนชิ้นนั้นก็จะปรับคาบการทำงานของตนให้เท่ากับ 10 วินาที เพื่อเพิ่มความเร็วในการเผยแพร่ข้อมูลของระบบ

3.8 การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสมาร์ทโฟน

เนื่องจากลักษณะของเครือข่ายที่อยู่ในภัยพิบัติลักษณะการส่งข้อมูลของสมาร์ทโฟนจะเป็นลักษณะที่ต้องการเผยแพร่ข้อมูลไปให้ทุกคนได้รับมากที่สุด ซึ่งขั้นตอนการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบเป็นไปดังนี้

1) เมื่อมีสมาร์ทโฟนเริ่มทำการเชื่อมต่อกัน สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์จะส่งข้อความที่บอกรายการข้อมูลที่ตนมีไปให้สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอต
2) เมื่อสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตได้รับข้อความจากสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตจะนำรายการข้อมูลมาเปรียบเทียบข้อมูลที่ตนมี จากนั้นจะส่งข้อมูลที่สมาร์ทโฟนในสถานะไคลเอนต์ยังไม่มี ,จำนวนสมาร์ทโฟนที่เชื่อมต่อกันอยู่ในขณะนี้ และ รายการข้อมูลที่ตนไม่มี ส่งกลับไปให้สมาร์ทโฟนในสถานะไคลเอนต์
3) เมื่อสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ได้รับข้อความก็จะส่งข้อมูลที่สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตยังไม่มีกลับไปให้
4) ถ้าสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ใด ๆมีการสร้างข้อมูลใหม่ขณะเชื่อมต่อกับเครือข่ายอยู่ก็จะส่งข้อมูลนี้ไปให้สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตก่อน จากนั้นสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตจึงจะทำการกระจายข้อมูลนี้ให้กับสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์ตัวอื่น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.9 สรุปขั้นตอนการทำงานของระบบ

โดยสรุปแล้วการทำงานของระบบจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือส่วนที่จัดการในการเลือกสถานะและคาบเวลา กับ ส่วนในการแลกเปลี่ยนข้อมูล โดย 2 ส่วนนี้จะทำงานขนานกันไป ซึ่งในคาบเวลาหนึ่ง ๆ สมาร์ทโฟนจะเคลื่อนที่และเชื่อมต่อกับเครือข่ายต่าง ๆ

บทที่ 4
การวัดประสิทธิภาพการทำงานและผลการทดลองของระบบ

การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของโมดูลในการเลือกสถานะ และ การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของการทำงานของระบบที่ปรับคาบเวลาแล้ว โดยในแต่ละส่วนจะมีการอธิบายถึงการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานที่เป็นแนวคิดในการพัฒนาของแต่ละหัวข้อ รวมไปถึงการอธิบายมาตรวัดผล, วิธีการทดสอบ และอภิปรายผลการทดสอบ โดยการวัดพลังงานในการทดลองนั้นจะวัดเฉพาะตอนที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะฮอตสปอต โดยจะยังไม่คำนึงถึงพลังงานที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะไคลเอนต์ และพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ เนื่องจากพลังงานที่ใช้นั้นมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานที่อุปกรณ์ใช้ในสถานะฮอตสปอต

4.1 การวัดประสิทธิภาพในการทำงานของโมดูลในการเลือกสถานะ

4.1.1 มาตรวัดผลของการทดลอง

ในการวัดประสิทธิภาพในการทำงานของโมดูลในการเลือกสถานะจะมีมาตรวัดผลทั้งสิ้น 3 มาตรวัด ดังต่อไปนี้

1) อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล

อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Delivery ratio) คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนข้อความที่ส่งถึงเป้าหมายกับจำนวนข้อความทั้งหมด โดยสมการคำนวนอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลแสดงได้ดังสมการที่ 4.1

$$Delivery\ ratio\ = \frac{n}{N} \tag{4.1}$$

เมื่อ n = จำนวนข้อความที่ส่งถึงเป้าหมาย

N = จำนวนข้อความทั้งหมด

2) ค่าความล่าช้าเฉลี่ย

ค่าความล่าช้าเฉลี่ย (Average Delay) คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความใด ๆไปถึงเป้าหมาย โดยสมการคำนวนความล่าช้าเฉลี่ยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.2

$$Average\ delay\ = \frac{T_{sum}}{n} \quad 4.2$$

เมื่อ T_{sum} = ผลรวมของระยะเวลาที่แต่ละข้อความใช้เพื่อถึงเป้าหมาย

n = จำนวนข้อความที่ส่งถึงเป้าหมาย

3) การใช้พลังงานเฉลี่ย

การใช้พลังงานเฉลี่ย (Average Energy consumption) ในงานวิจัยนี้จะวัดจากพลังงานที่เสียไปในการทำงานในสถานะฮอตสปอตเฉลี่ยของสมาร์ทโฟนในเครือข่าย เนื่องจากสมาร์ทโฟนแต่ละชนิดมีอัตราการใช้พลังงานไม่เท่ากัน ดังนั้นในเบื้องต้นงานวิจัยนี้จึงขอกำหนดอัตราการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนในสถานะฮอตสปอตเท่ากับ 1จูลต่อวินาที เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ

4.1.2 การทดสอบสมมติฐานตั้งต้นในการทดลอง

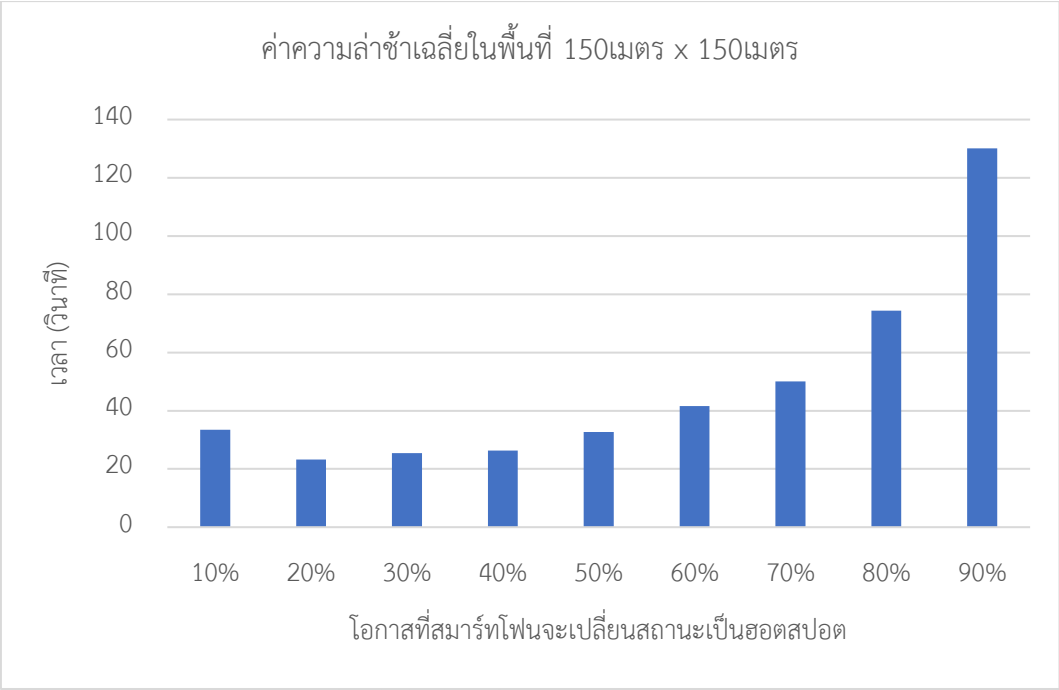
ดังที่กล่าวไปในบทที่ 3 ทางผู้วิจัยมีสมมติฐานตั้งต้นว่าการเลือกสถานะเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะการที่ในบริเวณใด ๆมีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์หรือฮอตสปอตมากเกินไปย่อมทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานนี้ในโปรแกรมจำลองเครือข่าย NS-3 โดยทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยทดสอบโดยใช้โมเดลการเคลื่อนที่แบบสุ่มเส้นทาง (Random Waypoint Mobility Model) โดยในการทดลองสมาร์ทโฟนจะถูกสุ่มเพื่อสร้างข้อมูลที่มีความต้องการส่งออกมาเป็นช่วงเพื่อที่จะแสดงถึงข้อเสียของการที่ในแต่ละบริเวณมีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งมากเกินไป ทางผู้วิจัยจึงทำการทดลองโดยปรับโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะมีสถานะฮอตสปอตเป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 10% ถึง 90% โดยผู้วิจัยทำการทดลองทั้งสิ้น 50 ครั้ง และนำค่าทั้งหมดมาเฉลี่ย โดยมีค่าต่าง ๆในการทดลองดังตารางที่ 2

ตาราง 2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดสอบสมมติฐานตั้งต้นเพื่อพัฒนาโมดูลในการเลือกสถานะ

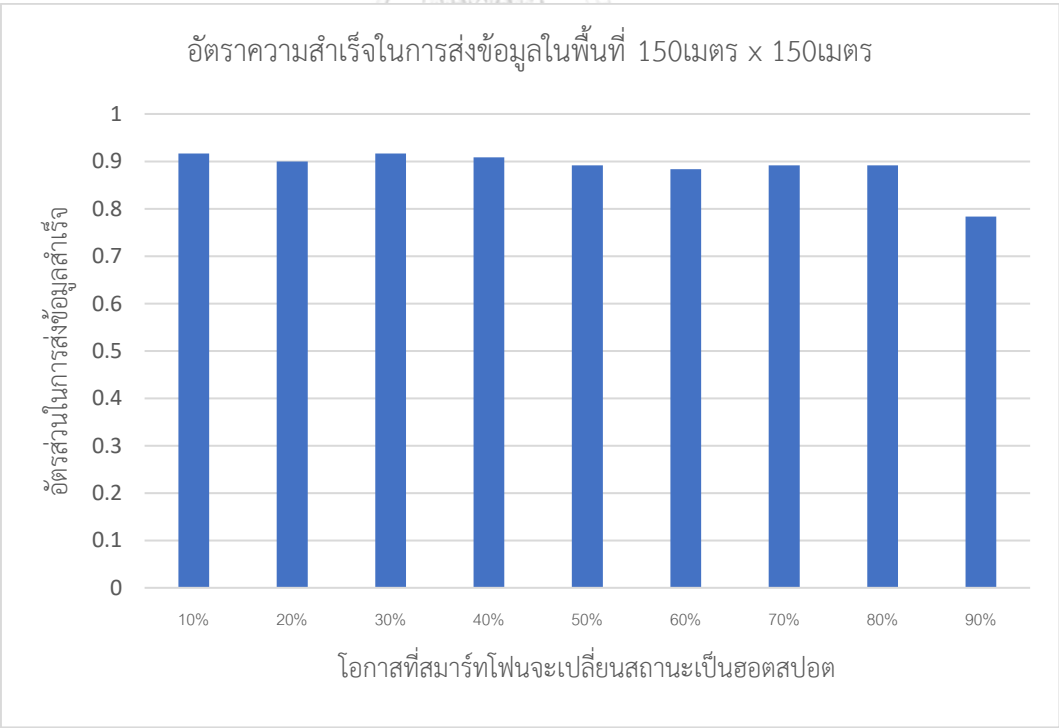
ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	ค่า
จำนวนครั้งในการทดลอง	50 ครั้ง
ขนาดพื้นที่ในการทดลอง	150เมตร x 150เมตร, 300เมตร x 300เมตร, 1กิโลเมตร x 1กิโลเมตร
จำนวนสมาร์ทโฟนในการทดลอง	50 เครื่อง
เวลาในการทดลอง	1000 วินาที
ระยะในการส่งข้อมูล	30 เมตร
ขนาดของข้อมูล	1 กิโลไบต์
ระยะห่างเวลาในการสร้างข้อมูล	30 วินาที
คาบเวลาในการทำงาน	30 วินาที
อัตราการใช้พลังงานในสถานะฮอตสปอต	1 จูล ต่อ วินาที
ความเร็วในการเคลื่อนที่โมเดลการเคลื่อนที่แบบสุ่มเส้นทาง (Random Waypoint Mobility Model)	1 ถึง 4 เมตร ต่อ วินาที

โดยจากตารางที่ 2 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองในพื้นที่ 3 ขนาด คือขนาด 150เมตร x 150เมตร, 300เมตร x 300เมตร และ 1กิโลเมตร x 1กิโลเมตร เพื่อทดสอบการทำงานในสถานการณ์ที่ความหนาแน่นของสมาร์ทโฟนต่างกัน โดยในการทดลองแต่ละครั้งจะมีสมาร์ทโฟนจำนวน 50 เครื่อง ที่มีระยะในการส่งข้อมูล 30 เมตร โดยจะมีคาบเวลาในการทำงาน 30 วินาที และ ทุก ๆ 30 วินาทีจะมีสมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่งที่ถูกสุ่มให้สร้างข้อความโดยสุ่มจุดหมาย โดยทางผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าในพื้นที่ที่มีจำนวนสมาร์ทโฟนที่มีความหนาแน่นการที่มีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตมากเกินไปจะทำให้การกระจายข้อมูลเป็นไปด้วยความล่าช้า นอกจากนั้นยังจะเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์อีกด้วย ในขณะที่ในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของสมาร์ทโฟนต่ำการที่มีสมาร์ทโฟนซึ่งอยู่ในสถานะฮอตสปอตหรือไคลเอนต์มากเกินไปย่อมส่งผลให้โอกาสในการส่งข้อมูลน้อยลงเนื่องจากการส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสมาร์ทโฟนอยู่ในสถานะที่ต่างกันเท่านั้น ซึ่งมีผลการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

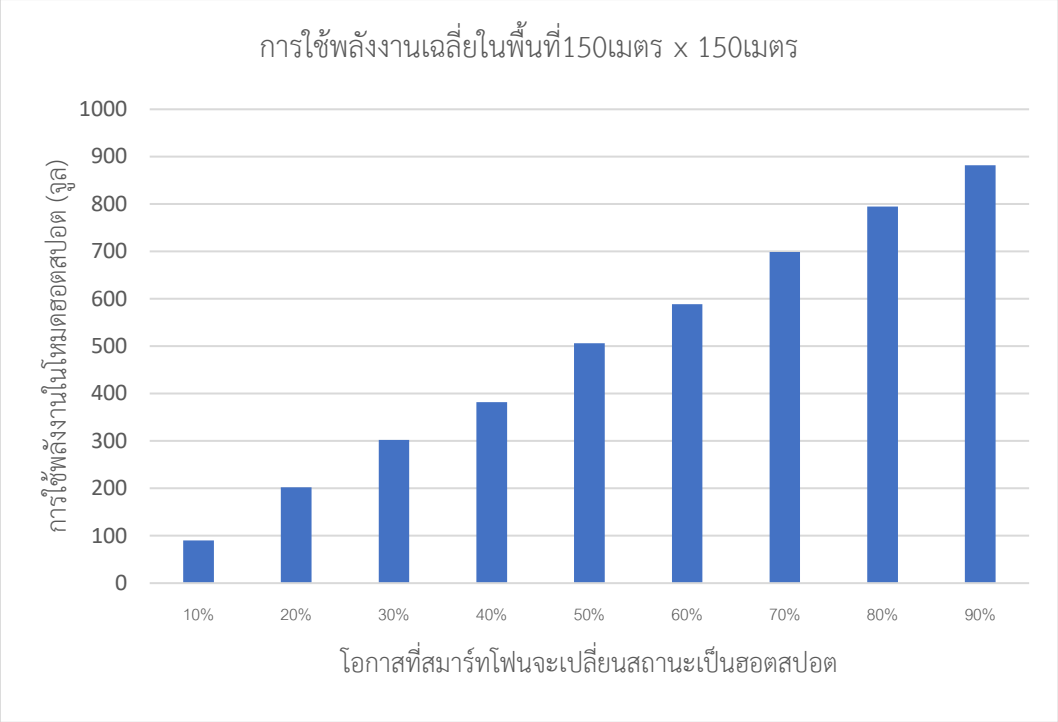
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 8 กราฟแสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยในพื้นที่ 150เมตร x 150เมตร



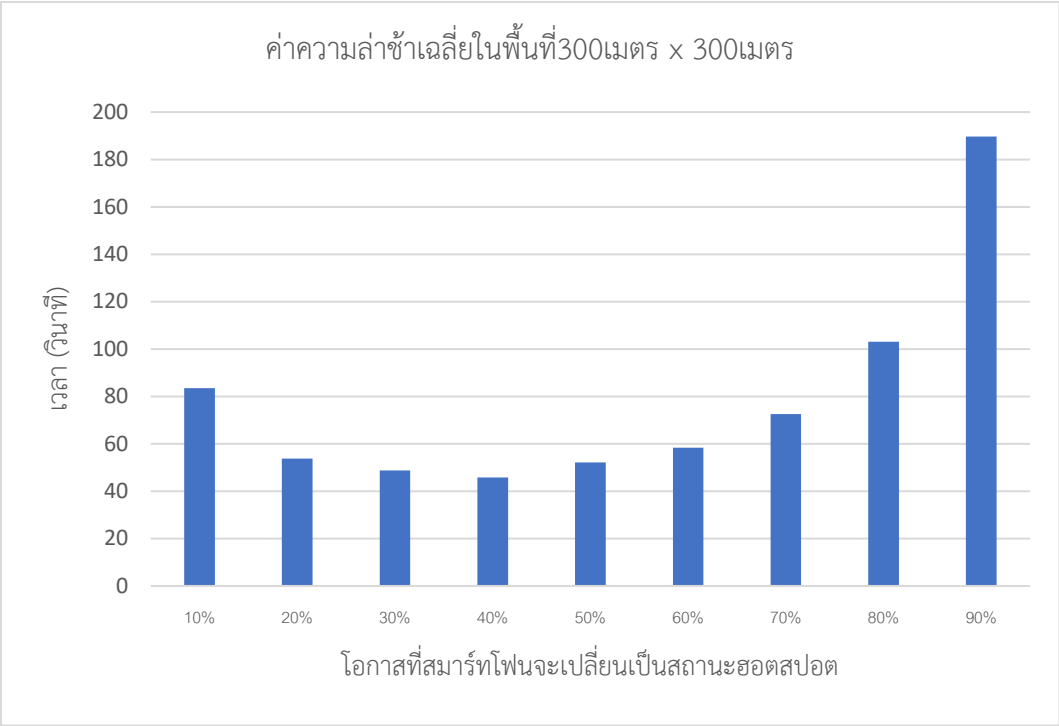
ภาพที่ 9 กราฟแสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลในพื้นที่ 150เมตร x 150เมตร



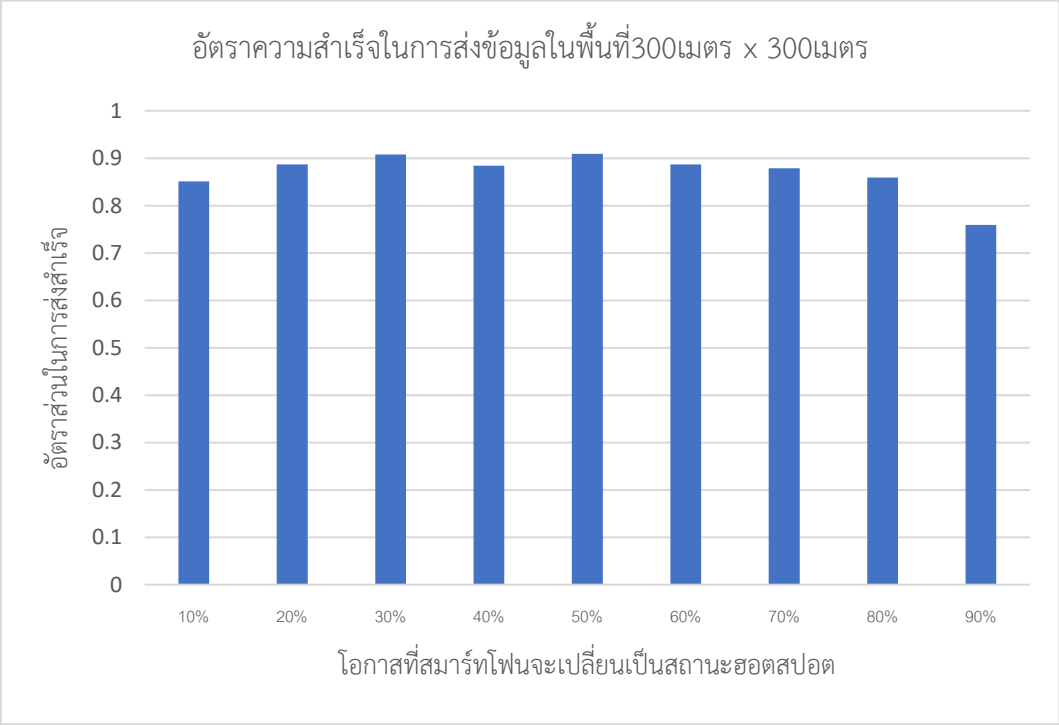
ภาพที่ 10 กราฟแสดงการใช้พลังงานเฉลี่ยในพื้นที่ 150เมตร x 150เมตร

จากภาพที่ 8-10 ซึ่งแสดงกราฟแสดงผลการทดลองในพื้นที่ขนาด 150เมตร x 150เมตร พบว่า จากภาพที่ 8 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยในการส่งข้อมูลนั้นจะล่าช้าที่สุดเมื่อโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นฮอตสปอตมีค่าเท่ากับ 90% และค่านี้จะลดลงมาเรื่อย ๆโดยจะลดลงมาต่ำสุดเมื่อโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นฮอตสปอตมีค่าเท่ากับ 20% โดยเหตุผลที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะเมื่อโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นฮอตสปอตมีค่าเท่ากับ 90% ในระบบมีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะฮอตสปอตมากเกินไป และ มีสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์น้อยเกินไปทำให้การแพร่ข้อมูลเป็นไปได้อย่างล่าช้าเนื่องจากสมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะไคลเอนต์จำเป็นต้องนำข้อมูลไปกระจายให้กลุ่มจำนวนมาก และเหตุผลที่เมื่อโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นฮอตสปอตมีค่าเท่ากับ 10% มีค่าความเฉลี่ยความล่าช้ามากกว่าเมื่อโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นฮอตสปอตมีค่าเท่ากับ 20% นั้นก็เพราะว่าที่โอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นฮอตสปอตมีค่าเท่ากับ 10% นั้นจะมีจำนวนฮอตสปอตน้อยเกินไปทำให้พลาดโอกาสในการส่งข้อมูล และจากภาพที่ 9 กราฟอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลพบว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลมีค่าไล่เลี่ยกัน ยกเว้นที่เมื่อโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นฮอตสปอตมีค่าเท่ากับ 90 % จะมีค่าต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด และจากภาพที่ 10 อัตราการใช้พลังงานก็มีค่าสอดคล้องกับโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเป็นฮอตสปอตจากน้อยไปหามาก

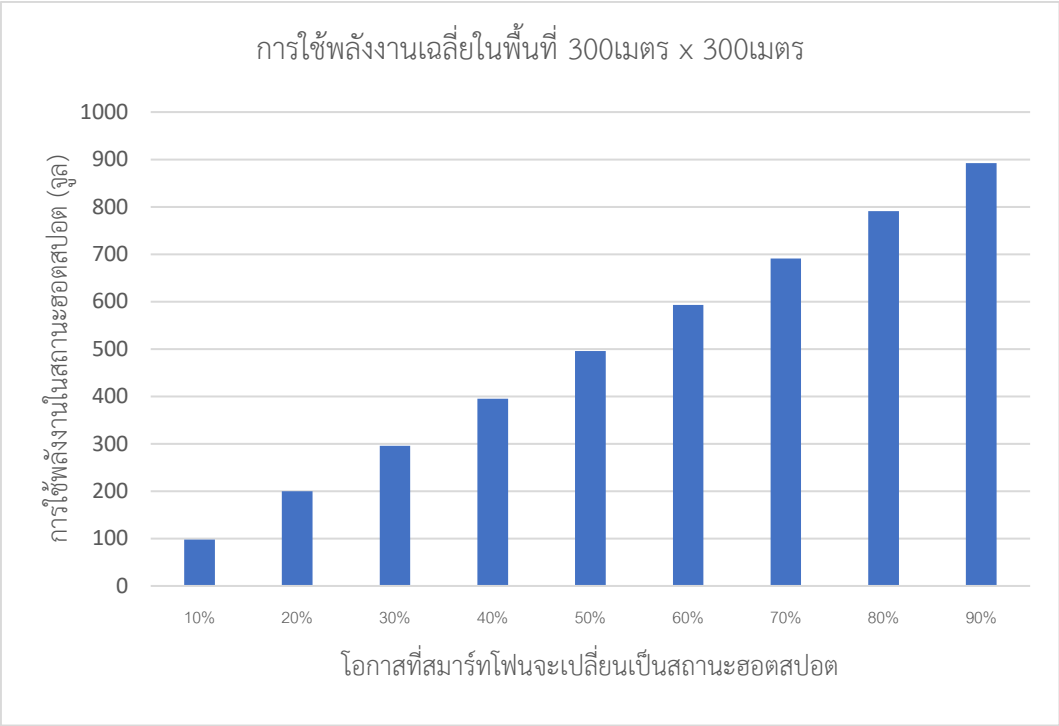
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 11 กราฟแสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยในพื้นที่ 300เมตร x 300เมตร

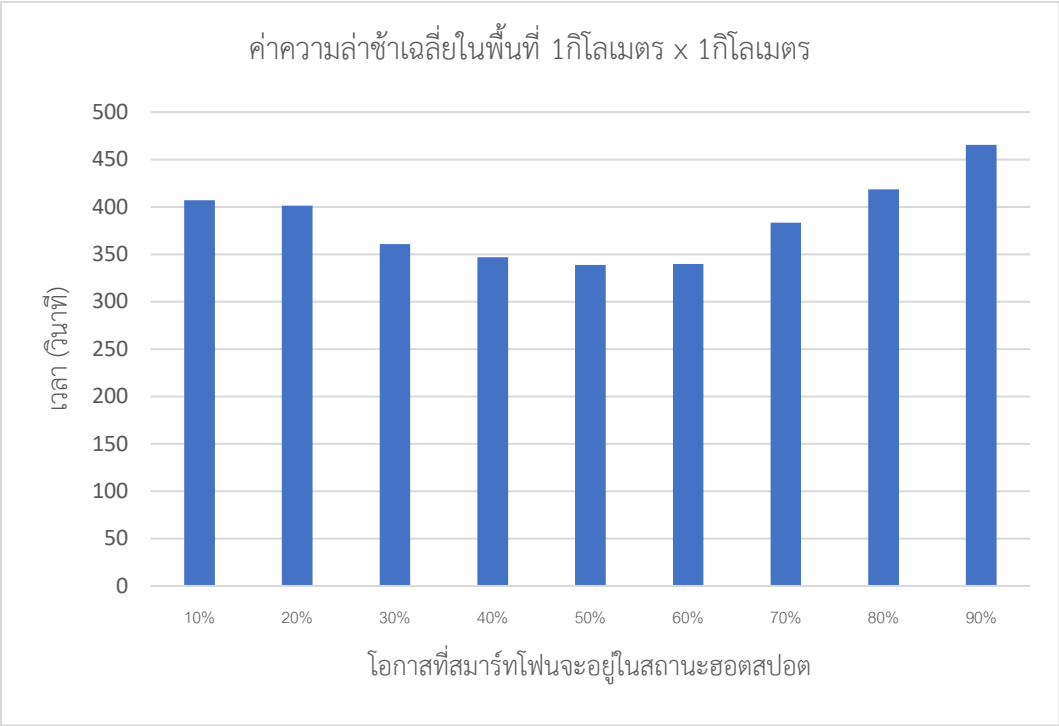


ภาพที่ 12 กราฟแสดงอัตราส่วนความสำเร็จในการส่งข้อมูลในพื้นที่ 300เมตร x 300เมตร

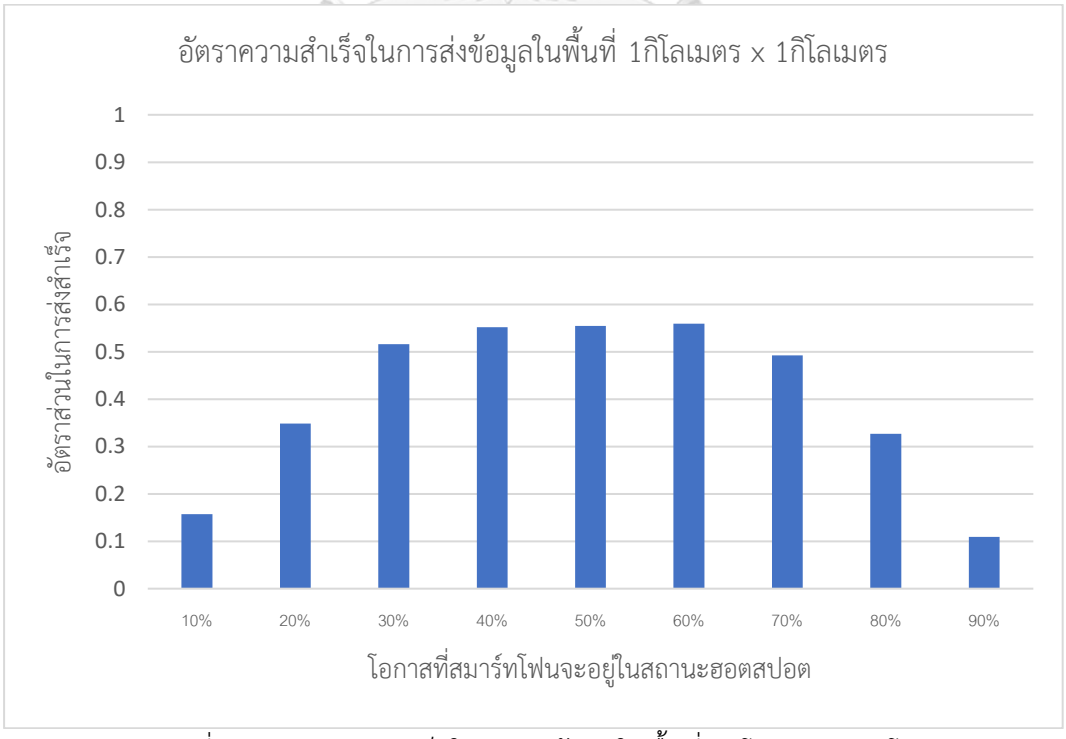


ภาพที่ 13 กราฟแสดงการใช้พลังงานเฉลี่ยในพื้นที่ 300เมตร x 300เมตร

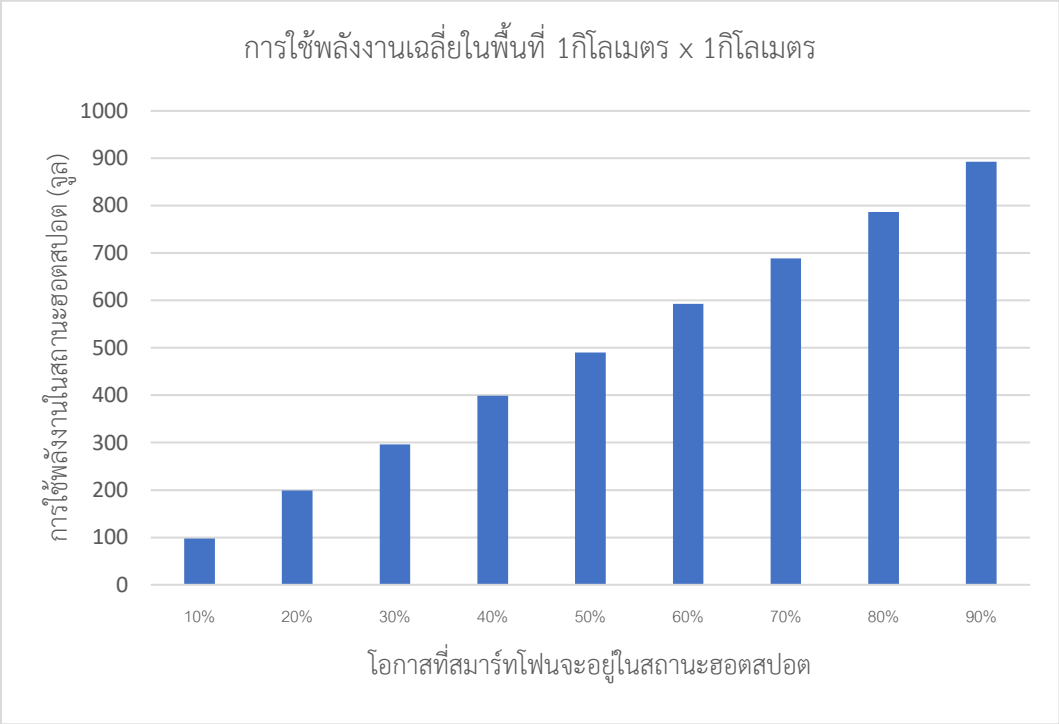
จากภาพที่ 11-13 ซึ่งแสดงกราฟแสดงผลการทดลองในพื้นที่ขนาด 300เมตร x 300เมตร ซึ่งมีความหนาแน่นของจำนวนสมาร์ทโฟนต่ำกว่ากราฟผลการทดลองในพื้นที่ขนาด 150เมตร x 150 เมตร พบว่าจากภาพที่ 11 ค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่มากที่สุดยังคงเกิดขึ้นเมื่อโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นสถานะฮอตสปอตเท่ากับ 90% ในขณะที่ค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตเท่ากับ 40% ซึ่งเมื่อดูแนวโน้มกราฟจะพบว่าค่าความล่าช้าเฉลี่ยจะยิ่งน้อยลงเมื่อเข้าใกล้ 40% โดยยิ่งโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเป็นฮอตสปอตยิ่งห่างจาก 40% ก็จะยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจากในพื้นที่ขนาด150เมตร x 150เมตร ที่ค่าความล่าช้าเฉลี่ยจะยิ่งน้อยลงเมื่อเข้าใกล้ 20% เนื่องมาจากที่ความหนาแน่นน้อยลงโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะกระจุกตัวกันก็น้อยลงตามทำให้โอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตเท่ากับ 20% นั้นไม่ใช่ค่าที่จะทำให้ระบบสมดุลอีกต่อไป เมื่อพิจารณาภาพที่ 12 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล และ ภาพที่ 13 อัตราการใช้พลังงานก็พบว่าข้อมูลยังคงมีแนวโน้มเหมือนกราฟที่ทำการทดลองที่พื้นที่ 150 เมตร x 150เมตร



ภาพที่ 14 กราฟค่าความล่าช้าเฉลี่ยในพื้นที่ 1กิโลเมตร x 1กิโลเมตร



ภาพที่ 15 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลในพื้นที่ 1กิโลเมตร x 1กิโลเมตร



ภาพที่ 16 กราฟการใช้พลังงานเฉลี่ยในพื้นที่ 1กิโลเมตร x 1กิโลเมตร

จากภาพที่ 14-16 กราฟผลการทดลองในพื้นที่ 1กิโลเมตร x 1กิโลเมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ ที่สมาร์ทโฟนมีความหนาแน่นเบาบางที่สุดในการทดลองนี้ พบว่าที่พื้นที่ขนาด 1กิโลเมตร x 1กิโลเมตร ค่าความล่าช้าเฉลี่ยนั้นมีแนวโน้มที่ค่าจะยิ่งน้อยลง เมื่อโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตยิ่งเข้าใกล้ 50% ซึ่งเป็นโอกาสที่จะทำให้เงื่อนไขขั้นต่ำที่สมาร์ทโฟนจะสามารถทำการติดต่อกันได้ กล่าวคือเป็นเงื่อนไขที่ทำให้ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ถ้ามีสมาร์ทโฟน 2 เครื่องมาพบกันจะมีเครื่องหนึ่งอยู่ในสถานะไคลเอนต์และอีกเครื่องอยู่ในสถานะฮอตสปอต ซึ่งเป็นเงื่อนไขขั้นต่ำในการติดต่อสื่อสาร มีค่ามากที่สุด โดยเมื่อพิจารณาอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลจะพบว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลจะมีแนวโน้มที่ต่างไปจากกราฟการทดลองในพื้นที่ขนาดต่าง ๆ ที่ผ่านมาโดยสิ้นเชิง โดยจากการทดลองที่ผ่านมามักจะพบว่าอัตราความสำเร็จของการส่งข้อมูลมักจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ยกเว้นเมื่อโอกาสในการเป็นฮอตสปอตของสมาร์ทโฟนเท่ากับ 90% แต่ในการทดลองครั้งนี้พบว่าในการส่งข้อมูลของสมาร์ทโฟนที่โอกาสในการเปลี่ยนเป็นสถานะฮอตสปอตมากหรือน้อยไปจะทำให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลน้อยลงไปอย่างชัดเจนเช่นที่ 10%, 20%, 30%, 70%, 80% และ 90% เนื่องจากในการทดลองนี้สมาร์ทโฟนมีความหนาแน่นต่ำมากซึ่งหากพลาดโอกาสใน

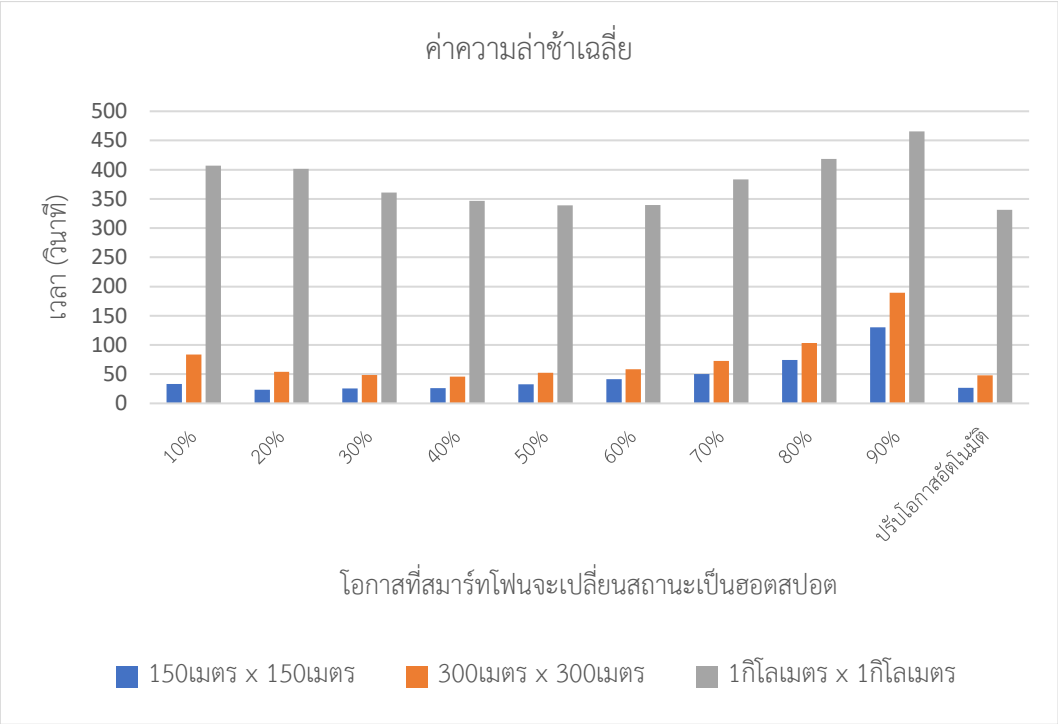
การติดต่อสื่อสารแต่ละครั้งย่อมมีผลกระทบอย่างสูงเนื่องจากโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะพบกันมีต่ำ และเมื่อพิจารณากราฟการใช้พลังงานเฉลี่ยยังคงมีแนวโน้มเหมือนการทดลองก่อนหน้านี้

4.1.3 สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

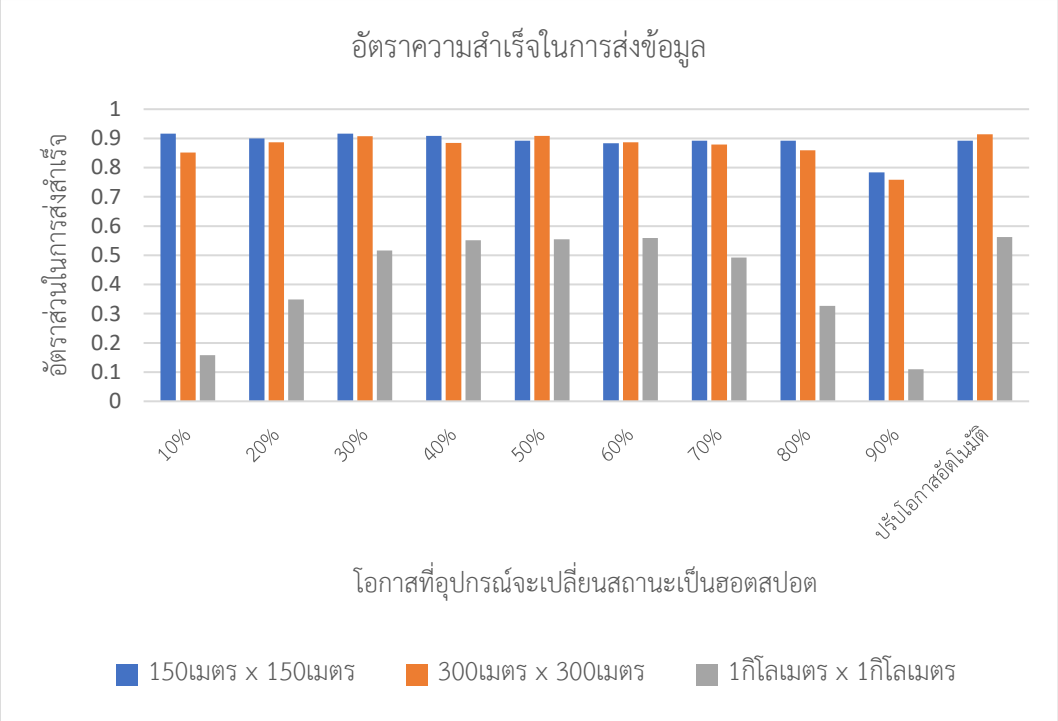
จากการทดลองสมมติฐานในพื้นที่ที่มีขนาดต่างกันซึ่งทำให้ความหนาแน่นของสมาร์ทโฟนในพื้นที่ต่างกันพบว่าที่ความหนาแน่นที่ต่างกัน ค่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตที่จะทำให้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุดก็จะมีค่าต่างกันออกไป โดยยกตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาค่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตเท่ากับ 50% จะพบว่าค่าความล่าช้าเฉลี่ยในการส่งข้อมูล และ โอกาสในการส่งข้อมูล จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์ดีที่ทุก ๆขนาดพื้นที่ที่ทำการทดลอง แต่เมื่อพิจารณากราฟการใช้พลังงานเฉลี่ยนั้นจะพบว่าการที่ตั้งค่าให้สมาร์ทโฟนมีโอกาสที่จะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตเท่ากับ 50% นั้น ในการทดลองที่ขนาดพื้นที่ 150เมตร x 150เมตร และ 300เมตร x 300 เมตร สมาร์ทโฟนจะใช้พลังงานเปลืองโดยใช่เหตุเมื่อเทียบกับการตั้งค่าให้สมาร์ทโฟนมีโอกาสในการเปลี่ยนเป็นฮอตสปอตเท่ากับ 20% ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานไปได้มาก

4.1.4 การทดสอบโมดูลในการเลือกสถานะ และ สรุปผลการทดสอบ

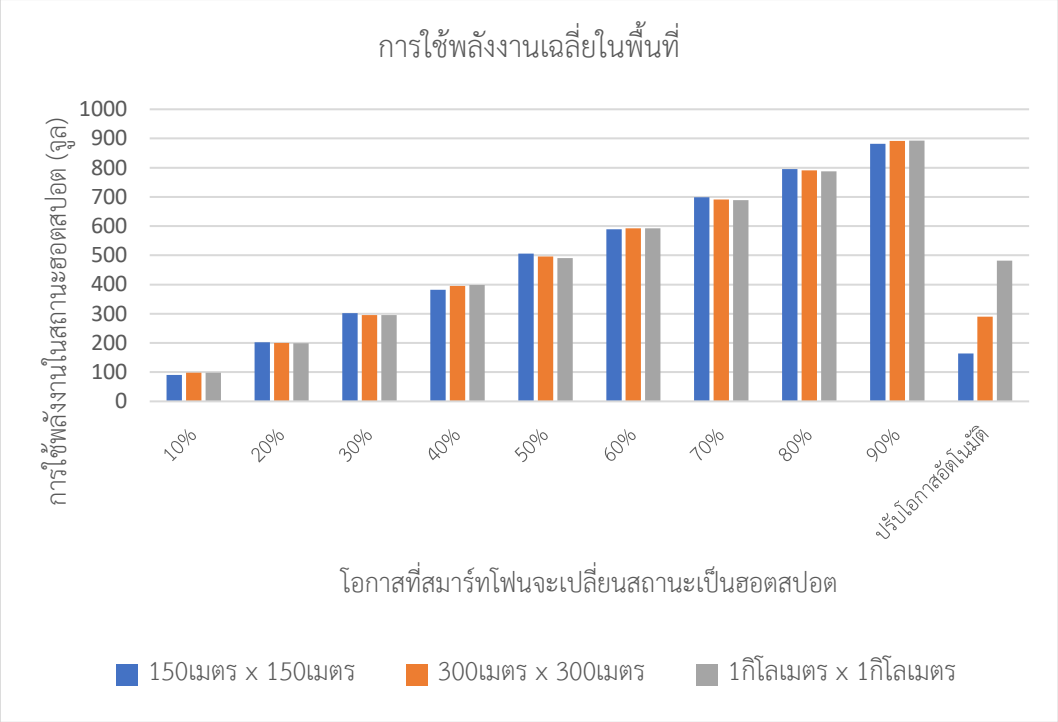
จากการทดสอบสมมติฐานซึ่งพบว่าพื้นที่ที่ความหนาแน่นของสมาร์ทโฟนต่างกันจะส่งผลให้ค่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตที่จะทำให้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุดมีค่าต่างกันออกไปนั้นทำให้เกิดแนวคิดที่จะหาวิธีการในการกำหนดโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตแบบอัติโนมัติตามลักษณะพื้นที่ที่สมาร์ทโฟนนั้นอยู่ โดยใช้โมดูลในการประมาณสมาร์ทโฟนใกล้เคียงในการประมาณความน่าจะเป็นของจำนวนสมาร์ทโฟนที่จะเชื่อมต่อแต่ละครั้ง และนำข้อมูลมาเข้าโมดูลในการเลือกสถานะในการเพื่อเลือกสถานะในคาบเวลาต่อไปให้เหมาะสมกับสภาพความหนาแน่นในพื้นที่ที่สมาร์ทโฟนนั้น ๆอยู่ ซึ่งสมาร์ทโฟนแต่ละเครื่องอาจจะมีโอกาสที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะฮอตสปอตต่างกันก็ได้แล้วแต่การตัดสินใจของโมดูลในการเลือกสถานะ โดยใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองเช่นเดียวกับการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองดังภาพที่ 17-19



ภาพที่ 17 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้าเฉลี่ยในพื้นที่ขนาดต่าง ๆระหว่างการใช้โมดูลในการเลือกสถานะ และ การกำหนดโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นสถานะฮอตสปอตแบบคงที่



ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลในพื้นที่ขนาดต่าง ๆระหว่างการใช้โมดูลในการเลือกสถานะ และ การกำหนดโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นสถานะฮอตสปอตแบบคงที่



ภาพที่ 19 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานเฉลี่ยในพื้นที่ขนาดต่าง ๆระหว่างการใช้โมดูลในการเลือกสถานะ และ การกำหนดโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นสถานะฮอตสปอตแบบคงที่

จากภาพที่ 17-19 กราฟผลการทดลองที่เปรียบเทียบระหว่างการใช้โมดูลในการกำหนดสถานะ และ การกำหนดสถานะของสมาร์ทโฟนโดยกำหนดโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะคงที่ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบในพื้นที่ที่มีขนาด 150เมตร x 150เมตร ซึ่งจากการทดสอบในการทดสอบสมมติฐานนั้นพบว่าการทำงานเมื่อกำหนดค่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตเท่ากับ 20%นั้นทำงานได้ดีที่สุด เมื่อนำมาเทียบกับผลการทำงานของโมดูลในการกำหนดสถานะนั้นพบว่าการปรับโอกาสในการเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตอัตโนมัติสามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับค่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนเป็นฮอตสปอตที่ทำงานได้ดีที่สุด และ เมื่อเปรียบเทียบในพื้นที่ขนาด 1กิโลเมตร x 1กิโลเมตร พบว่าการทำงานของโมดูลในการกำหนดสถานะก็ทำการปรับการทำงานให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่โดยสามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับค่าโอกาสที่ฮอตสปอตจะทำงานได้ดีที่สุดเช่นกัน โดยเมื่อเทียบกับการปรับค่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตของงาน Wang, Yang et al.[13, 14] ซึ่งมีเป้าหมายในการประหยัดพลังงานและเสนอว่าการตั้งค่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตเท่ากับ 50% จะเหมาะสมที่สุดสำหรับการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนพบว่าโมดูลในการกำหนดสถานะจะสามารถประหยัดพลังงานไปได้ถึง 62% ในขณะที่ให้ผลด้านค่าความล่าช้าเฉลี่ยและอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลใกล้เคียงกัน

4.2 การวัดประสิทธิภาพในการปรับคาบของระบบ

4.2.1 มาตรวัดผลการทดลอง

1) อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล

อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Delivery ratio) คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนข้อความที่ส่งถึงเป้าหมายกับจำนวนข้อความทั้งหมด โดยสมการคำนวนอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลแสดงได้ดังสมการที่ 4.1

2) ค่าความล่าช้าเฉลี่ย

ค่าความล่าช้าเฉลี่ย (Average Delay) คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความใด ๆไปถึงเป้าหมาย โดยสมการคำนวนความล่าช้าเฉลี่ยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.2

3) การใช้พลังงาน

การใช้พลังงาน (Energy consumption) ในงานวิจัยนี้จะวัดจากพลังงานที่เสียไปในการทำงานในสถานะฮอตสปอต เนื่องจากสมาร์ทโฟนแต่ละชนิดมีอัตราการใช้พลังงานไม่เท่ากัน ดังนั้นในเบื้องต้นงานวิจัยนี้จึงขอกำหนดอัตราการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนในสถานะฮอตสปอตเท่ากับ 1จูลต่อวินาที เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ

4) ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสมาร์ทโฟน

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสมาร์ทโฟน (CDF) ในงานวิจัยนี้จะเป็นการวัดความเร็วในการแพร่กระจายของข้อมูลจากการดูจำนวนสมาร์ทโฟนที่ได้รับข้อมูลเมื่อเทียบกับเวลาโดยค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสมาร์ทโฟนที่เวลาใด ๆ คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนสมาร์ทโฟนที่ได้รับข้อมูลกับจำนวนสมาร์ทโฟนทั้งหมดโดยเป็นไปดังสมการที่ 4.3

$$CDF_t = \frac{n_t}{N} \tag{4.3}$$

เมื่อ n_t คือจำนวนสมาร์ทโฟนที่ได้รับข้อมูลแล้ว

N คือจำนวนสมาร์ทโฟนทั้งหมด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.2 การทดสอบสมมติฐานตั้งต้นในการทดลอง

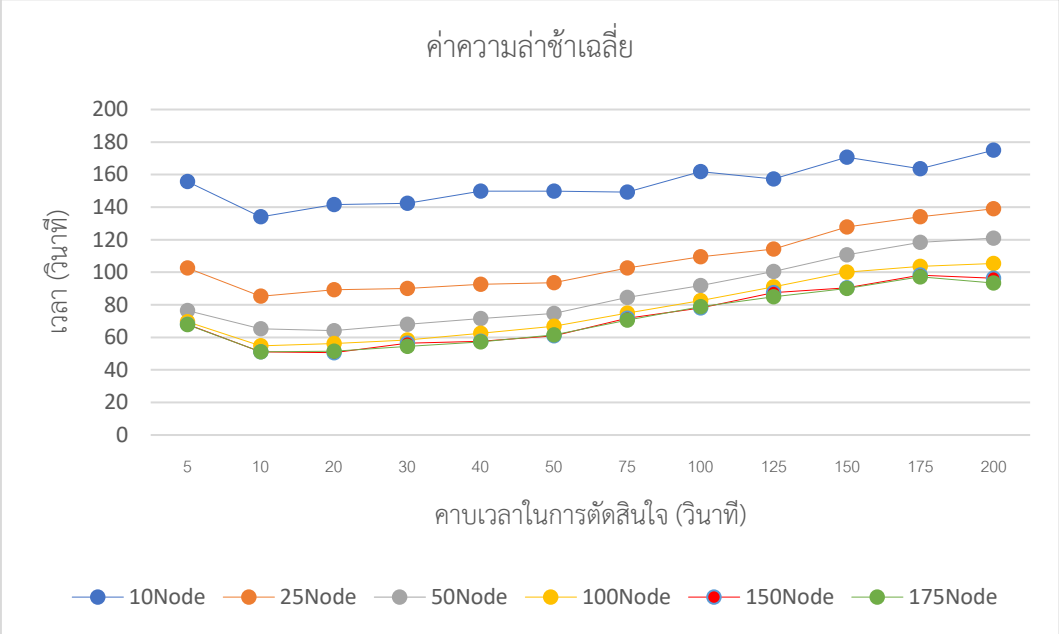
จากที่กล่าวไปในบทที่ 3 เรื่องการปรับคาบโดยอัตโนมัติ จากลักษณะการทำงานของระบบที่มีการทำงานเป็นคาบเวลา โดยในคาบเวลาหนึ่งสมาร์ทโฟนจะอยู่ในสถานะไคลเอนต์หรือฮอตสปอตเท่านั้น ซึ่งจากลักษณะการทำงานดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าคาบเวลาในการทำงานน่าจะเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลกับประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ทางผู้วิจัยจึงต้องการหาคาบเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ โดยผู้วิจัยมีสมมติฐานตั้งต้นว่าถ้าคาบเวลามีค่าน้อยไปสมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเร็วเกินไปจนเวลาที่อยู่ในแต่ละสถานะไม่คุ้มกับเวลาที่ต้องเสียไปในการเปลี่ยนสถานะ ในขณะที่ถ้าคาบเวลายาวเกินไปก็อาจทำให้สถานะของสมาร์ทโฟนไม่สอดคล้องกับความหนาแน่นของสมาร์ทโฟนในบริเวณปัจจุบันเนื่องจากสมาร์ทโฟนในระบบของมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองโดยมีค่าตัวแปรในการทดลองดังตารางที่ 3

ตาราง 3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดสอบสมมติฐานตั้งต้นในการทดลองการปรับคาบในการทำงานอัตโนมัติ

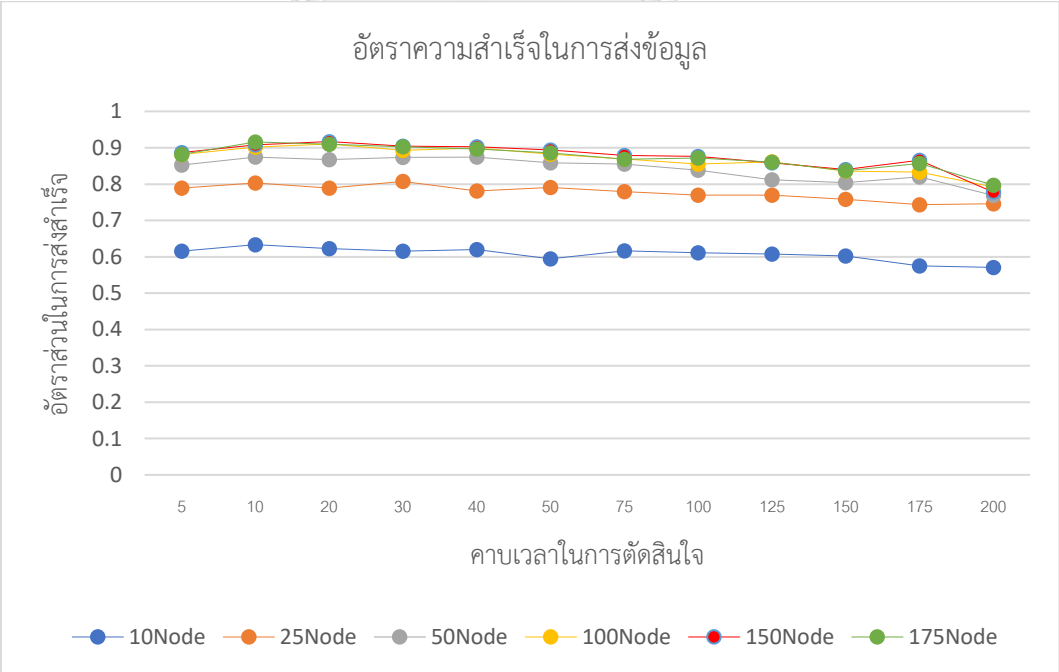
ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	ค่า
จำนวนครั้งในการทดลอง	50 ครั้ง
ขนาดพื้นที่ในการทดลอง	300เมตร x 300เมตร
จำนวนสมาร์ทโฟนในการทดลอง	10เครื่อง, 25เครื่อง, 50เครื่อง, 100เครื่อง, 150เครื่อง, 175เครื่อง,
เวลาในการทดลอง	1000 วินาที
ระยะในการส่งข้อมูล	30 เมตร
ขนาดของข้อมูล	1 กิโลไบต์
ระยะห่างเวลาในการสร้างข้อมูล	30 วินาที
คาบเวลาในการทำงาน	5วินาที, 10วินาที, 20วินาที, 30วินาที, 40วินาที, 50วินาที, 75วินาที, 100วินาที 125วินาที, 150วินาที, 175วินาที, 200วินาที
อัตราการใช้พลังงานในสถานะฮอตสปอต	1 จูล ต่อ วินาที
ความเร็วในการเคลื่อนที่โมเดลการเคลื่อนที่แบบสุ่มเส้นทาง (Random Waypoint Mobility Model)	1 ถึง 4 เมตร ต่อ วินาที
เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะ	2 วินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

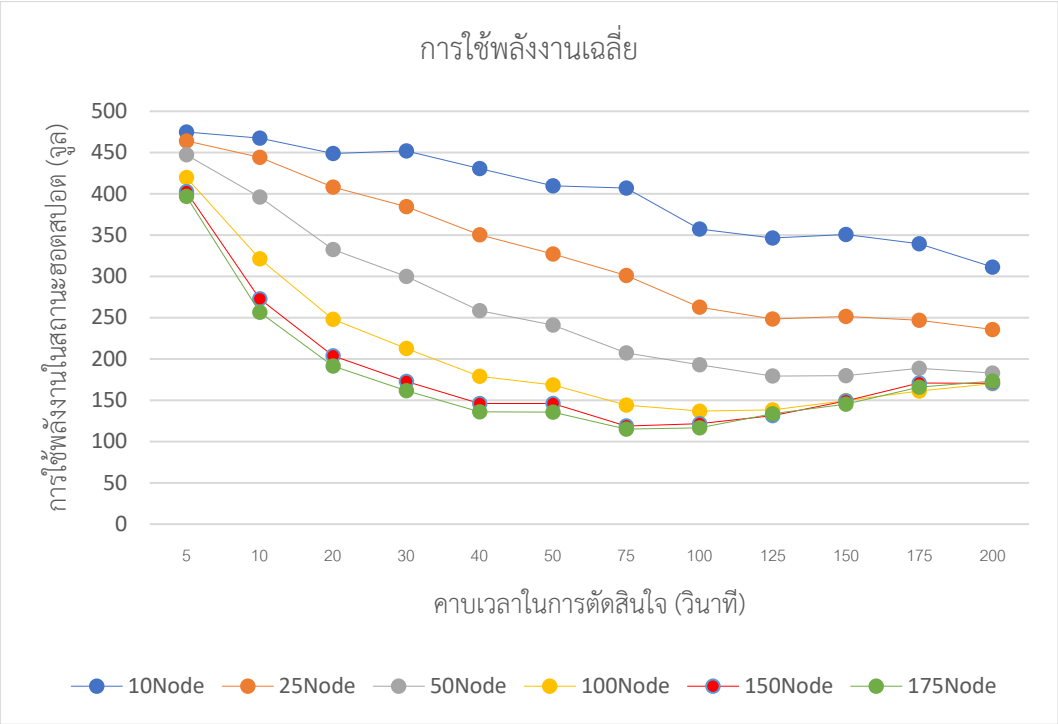
จากตารางผู้วิจัยทำการทดลองเพื่อหาคาบเวลาที่เหมาะสมโดยทำการทดลองกับคาบเวลาที่ต่างกันซึ่งอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5วินาที ถึง 200วินาที และทำการทดลองกับสถานการณ์ที่มีจำนวนสมาร์ทโฟนแตกต่างกันตั้งแต่ 10เครื่อง ถึง 175เครื่อง โดยทำการทดลองทั้งสิ้นเป็นจำนวน 50 ครั้ง แล้วนำค่าต่าง ๆในแต่ละรอบมาทำการเฉลี่ย โดยได้ผลลัพธ์เป็นดังแผนภาพที่ 20-22



ภาพที่ 20 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้าเฉลี่ยระหว่างคาบเวลาในการทำงานต่าง ๆ



ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลระหว่างคาบเวลาในการทำงานต่าง ๆ

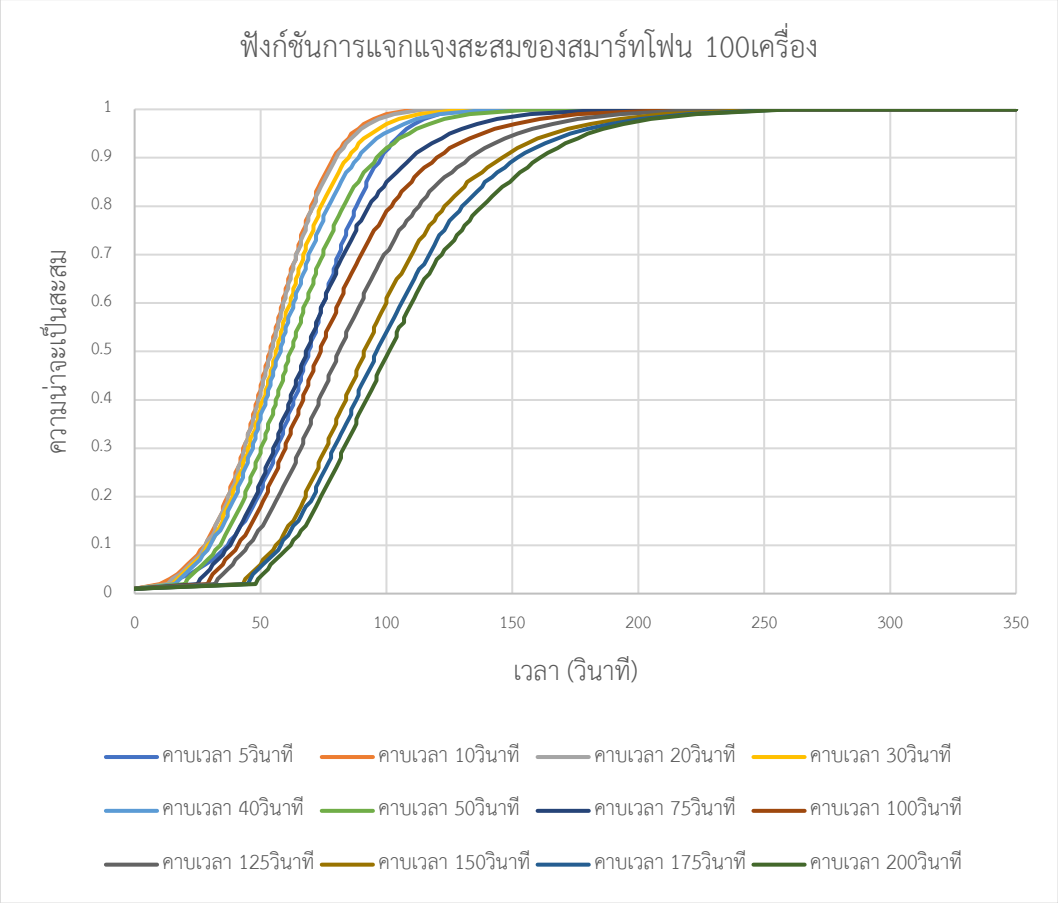


ภาพที่ 22 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานเฉลี่ยระหว่างคาบเวลาในการทำงานต่าง ๆ

จากภาพที่ 20 ผลการทดลองในกราฟค่าความล่าช้าเฉลี่ยในการส่งข้อมูลจะพบว่ายิ่งคาบเวลาในการตัดสินใจมีค่ามาก ค่าความล่าช้าเฉลี่ยในการส่งข้อมูลก็จะยิ่งมีค่ามากขึ้นตามไปด้วยโดยอาจเป็นเพราะที่คาบเวลาที่ยาวนานมากเกินไปจะทำให้การปรับสถานะไม่เหมาะสมกับบริเวณที่สมาร์ทโฟนอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากสมาร์ทโฟนในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่ ซึ่งคาบเวลาในการตัดสินใจที่มีค่ามากส่งผลให้ลักษณะเครือข่ายในบริเวณที่สมาร์ทโฟนอยู่มีความเปลี่ยนแปลงไปมากแล้ว ในขณะที่ค่าความล่าช้าเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดเมื่อคาบเวลาในการตัดสินใจคือ 10วินาที ซึ่งเป็นเพราะว่าที่คาบเวลาต่ำมาก ๆสมาร์ทโฟนจะมีการเปลี่ยนสถานะที่ถี่กว่าซึ่งอาจทำให้เหมาะสมกับพื้นที่ปัจจุบันที่สมาร์ทโฟนอยู่มากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 22 กราฟการใช้พลังงานเฉลี่ยนั้นพบว่ายิ่งคาบเวลาในการตัดสินใจมีค่าต่ำก็ยังมีการใช้พลังงานสูงขึ้น ซึ่งจากการพิจารณาผลทำให้ผู้วิจัยได้ข้อสรุปว่า ที่คาบเวลาต่ำนั้นสมาร์ทโฟนจะทำการตัดสินใจเปลี่ยนสถานะบ่อยครั้งซึ่งเนื่องจากคาบเวลาที่สั้นทำให้มีโอกาสสูงที่คาบการทำงานที่ผ่านมาจะไม่ได้ทำการติดต่อกับสมาร์ทโฟนใดเลยทำให้ ค่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตในโมดูลกำหนดสถานะถูกกำหนดเป็น 50% ไปโดยปริยาย ซึ่งเนื่องจากการที่ค่าโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตเป็น 50% นั้นจะทำให้เงื่อนไขขั้นต่ำที่จะทำให้โอกาสในการติดต่อสื่อสารเกิดขึ้นมากที่สุดจึงทำให้ข้อมูลส่งเร็วขึ้นไปโดยปริยาย และเหตุผลที่เมื่อคาบเวลาในการตัดสินใจคือ 5วินาทีระบบไม่สามารถทำงานได้ดีนั้นก็

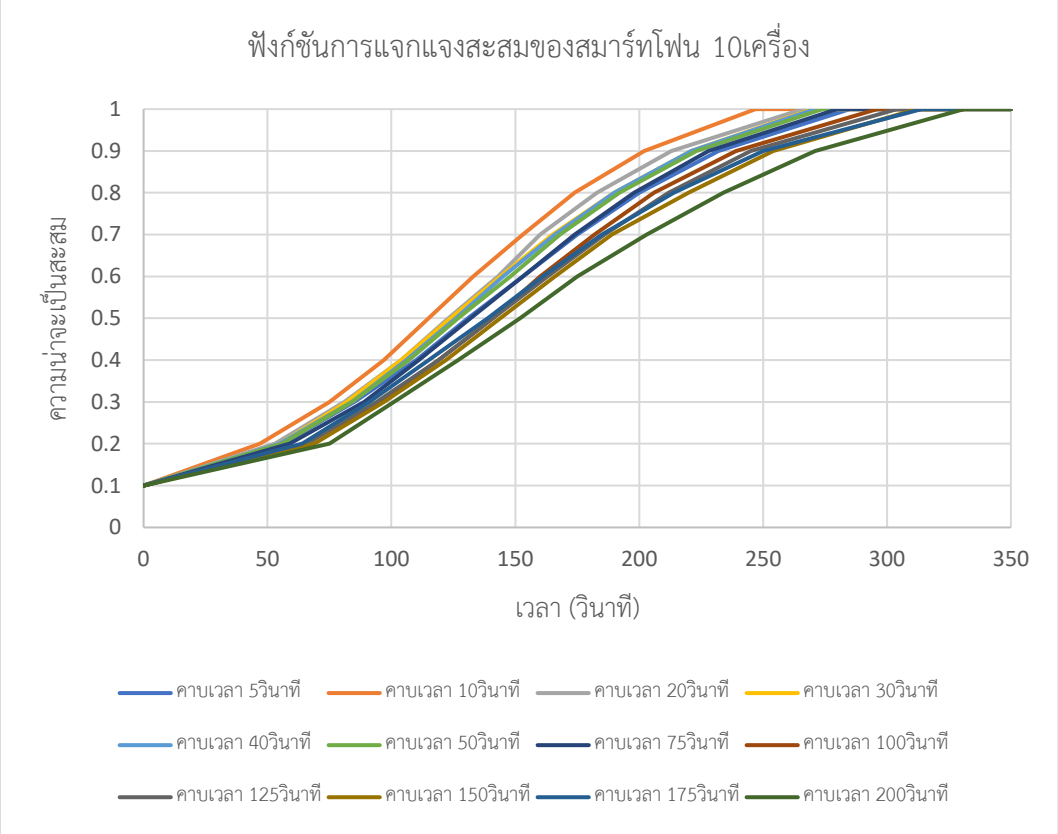
เนื่องจากว่า คาบเวลาในการตัดสินใจที่ 5วินาทีเป็นเวลาที่สั้นเกินไปจนไม่คุ้มกับเวลาที่ต้องเสียไปในการเปลี่ยนสถานะ ส่วนที่คาบเวลาสูงนั้นเนื่องจากในคาบเวลาหนึ่งสมาร์ทโฟนอาจได้รับการติดต่อสื่อสารหลายครั้งซึ่งหากเมื่อจบคาบเวลาแล้วสมาร์ทโฟนยังอยู่ในบริเวณเดิมและลักษณะของเครือข่ายยังไม่เปลี่ยนไปมากนักย่อมส่งผลให้การเลือกสถานะมีประสิทธิภาพและทำให้สามารถลดอัตราการใช้พลังงานไปได้ อย่างไรก็ตามคาบเวลาที่ยาวนานเกินไปอาจทำให้เมื่อคาบเวลาสิ้นสุดลักษณะของเครือข่ายเปลี่ยนไปมากแล้วทำให้สถานะที่เลือกมาไม่เหมาะสมกับบริเวณปัจจุบันที่สมาร์ทโฟนอยู่ส่งผลให้ค่าความล่าช้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นแทน

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมมติฐานเบื้องต้นจบลง ผู้วิจัยได้มีการทดสอบหาฟังก์ชันในการแจกแจงสะสมของสมาร์ทโฟนเพิ่มเติม เนื่องจากผู้วิจัยต้องการเห็นความเร็วในการแพร่กระจายของข้อมูล ซึ่งในเบื้องต้นทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับสถานการณ์ที่มีจำนวนสมาร์ทโฟน 100เครื่อง โดยได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 23

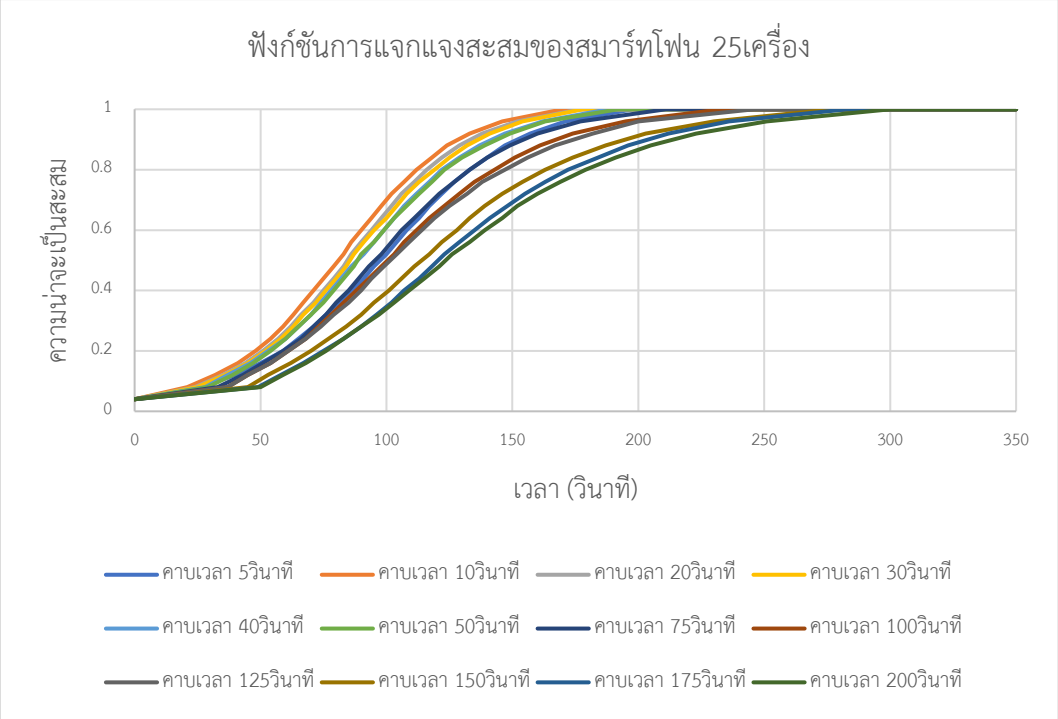


ภาพที่ 23 กราฟเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสมาร์ทโฟนจำนวน 100เครื่อง ระหว่างคาบเวลาในการทำงานค่าต่าง ๆ

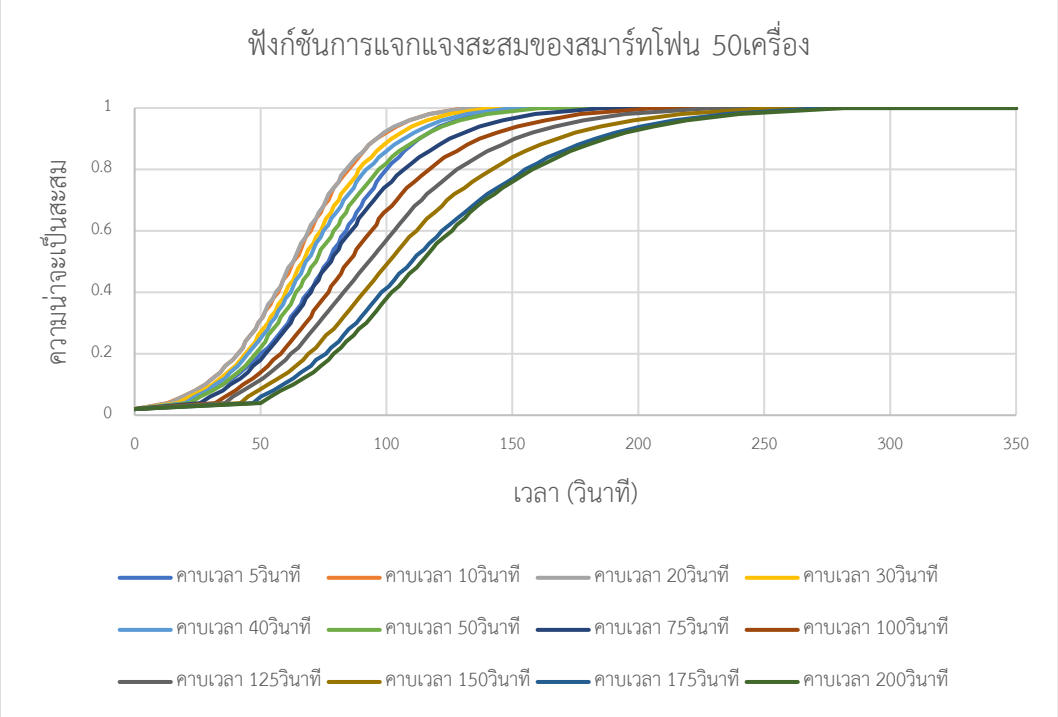
ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสมาร์ทโฟนจำนวน 100 เครื่องนั้นจะมีแนวโน้มเป็นแบบเดียวกันกับค่าความล่าช้าเฉลี่ย คือยิ่งคาบเวลาในการตัดสินใจต่ำจะยิ่งมีความเร็วในการแพร่ข้อมูลสูง แต่เมื่อต่ำถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไม่คุ้มค่ากับเวลาที่เสียไปในการเลือกสถานะจึงมีความเร็วลดลง โดยผู้วิจัยยังได้ทำการทดลองเพิ่มเติมกับสถานการณ์ซึ่งมีจำนวน สมาร์ทโฟนในระบบแบบต่าง ๆ ซึ่งก็พบว่าผลลัพธ์ยังคงมีแนวโน้มเดียวกันกับค่าความล่าช้าเฉลี่ยโดยแสดงดังแผนภูมิดังภาพที่ 24-28



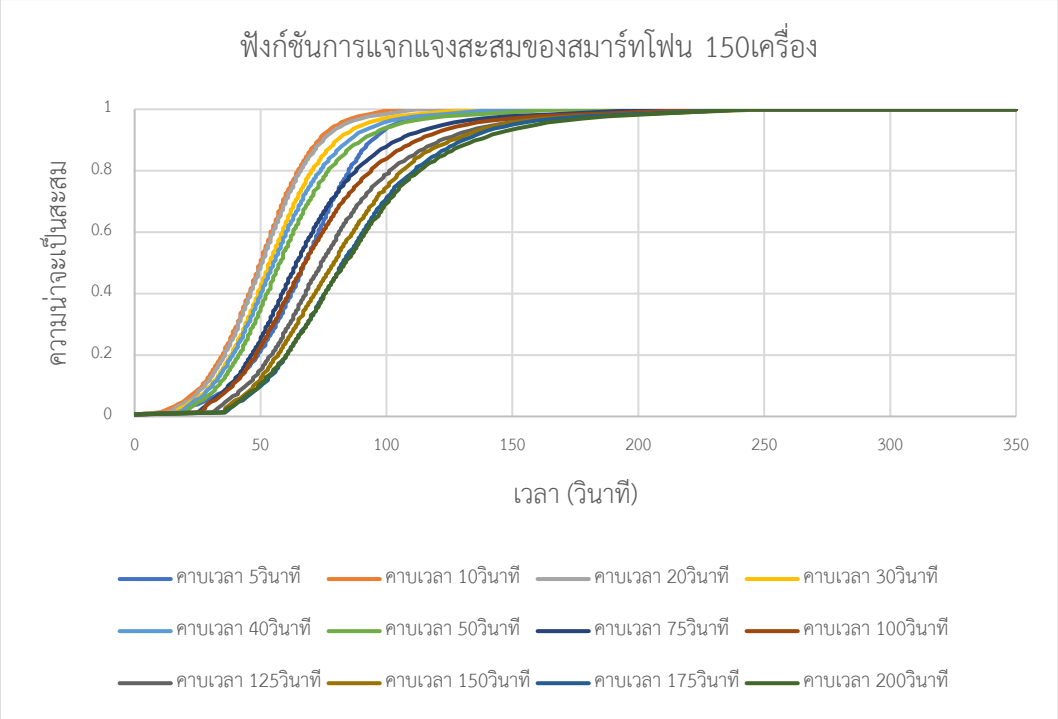
ภาพที่ 24 กราฟเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอุปกรณ์จำนวน 10เครื่อง ระหว่างคาบเวลาในการทำงานค่าต่าง ๆ



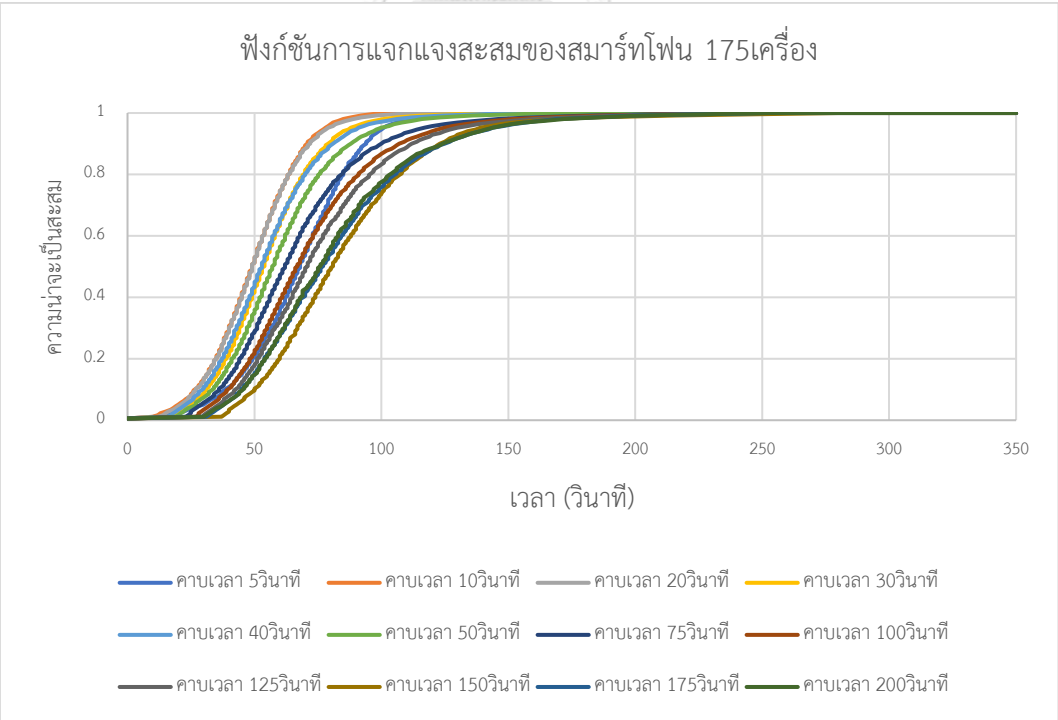
ภาพที่ 25 กราฟเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอุปกรณ์จำนวน 25เครื่อง ระหว่างคาบเวลาในการทำงานค่าต่าง ๆ



ภาพที่ 26 กราฟเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอุปกรณ์จำนวน 50เครื่อง ระหว่างคาบเวลาในการทำงานค่าต่าง ๆ



ภาพที่ 27 กราฟเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอุปกรณ์จำนวน 150เครื่อง ระหว่างคาบเวลาในการทำงานค่าต่าง ๆ



ภาพที่ 28 กราฟเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอุปกรณ์จำนวน 175เครื่อง ระหว่างคาบเวลาในการทำงานค่าต่าง ๆ

4.2.3 การทดสอบการทำงานของระบบที่ปรับคาบเวลาแล้ว

จากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการใช้คาบเวลาที่เหมาะสมกับงานวิจัยชิ้นนี้ โดยมีการพิจารณาจากลักษณะของเครือข่ายที่จะมีการทำงานในพื้นที่ภัยพิบัติดังนั้นพลังงานจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากในระบบ ซึ่งผู้วิจัยได้พิจารณาผลการทดลองและเห็นว่าคาบเวลาในการตัดสินใจ 100วินาที เป็นคาบเวลาที่มีการใช้พลังงานได้คุ้มค่ากับค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นมา ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้สมาร์ทโฟนมีคาบเวลาในการตัดสินใจเท่ากับ 100วินาที แต่เนื่องจากในระบบนั้นอาจมีสมาร์ทโฟนที่มีพลังงานเพียงพอและต้องการส่งข้อมูลอย่างมากซึ่งในกรณีนี้จะปรับให้สมาร์ทโฟนมีคาบเวลาในการตัดสินใจเท่ากับ 10วินาที และตั้งให้โอกาสที่สมาร์ทโฟนจะมีสถานะเป็นฮอตสปอตเท่ากับ 50% โดยตัวสมาร์ทโฟนจะปรับคาบเวลาในการตัดสินใจกลับมาเป็น 100วินาทีเมื่อผ่านไป 10คาบ หรือก็คือ 1คาบปกติโดยอาจะสรุปเป็นข้อได้ดังนี้

1) ปกติสมาร์ทโฟนจะตั้งคาบการตัดสินใจเท่ากับ 100วินาที เพื่อประหยัดการใช้พลังงาน
2) หากมีสมาร์ทโฟนใดมีข้อความที่มีความต้องการส่งอย่างมาก และมีพลังงานเพียงพอจะปรับคาบเวลาในการตัดสินใตเท่ากับ 10วินาที และให้ทำงานแบบนี้ไป 10คาบเวลา ซึ่งเท่ากับ 1 คาบปกติ โดยจะกำหนดโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเป็นฮอตสปอตให้เท่ากับ 50%

โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองการทำงานของระบบโดยมีตัวแปรที่ใช้ดังตารางที่ 4

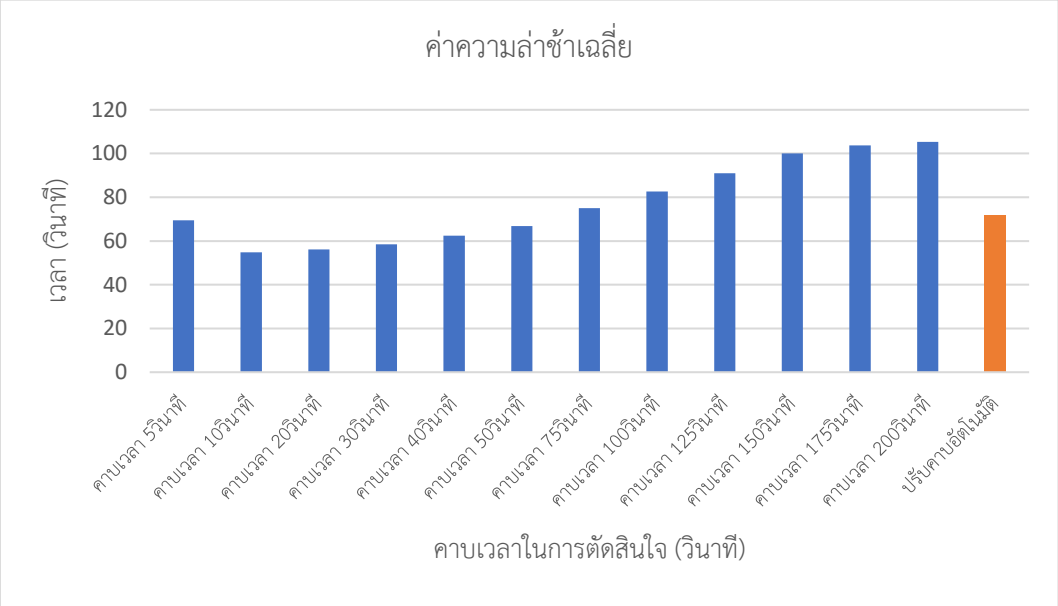
ตาราง 4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพระบบที่ปรับคาบเวลาอัตโนมัติ

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	ค่า
จำนวนครั้งในการทดลอง	50 ครั้ง
ขนาดพื้นที่ในการทดลอง	300เมตร x 300เมตร
จำนวนสมาร์ทโฟนในการทดลอง	100เครื่อง
เวลาในการทดลอง	1000 วินาที
ระยะในการส่งข้อมูล	30 เมตร
ขนาดของข้อมูล	1 กิโลไบต์
ระยะห่างเวลาในการสร้างข้อมูล	30 วินาที
คาบเวลาในการทำงาน	5วินาที, 10วินาที, 20วินาที, 30วินาที, 40วินาที, 50 วินาที, 75วินาที, 100วินาที, 125วินาที, 150วินาที, 175วินาที, 200วินาที,ปรับคาบเวลาอัตโนมัติ
อัตราการใช้พลังงานในสถานะฮอตสปอต	1 จูล ต่อ วินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

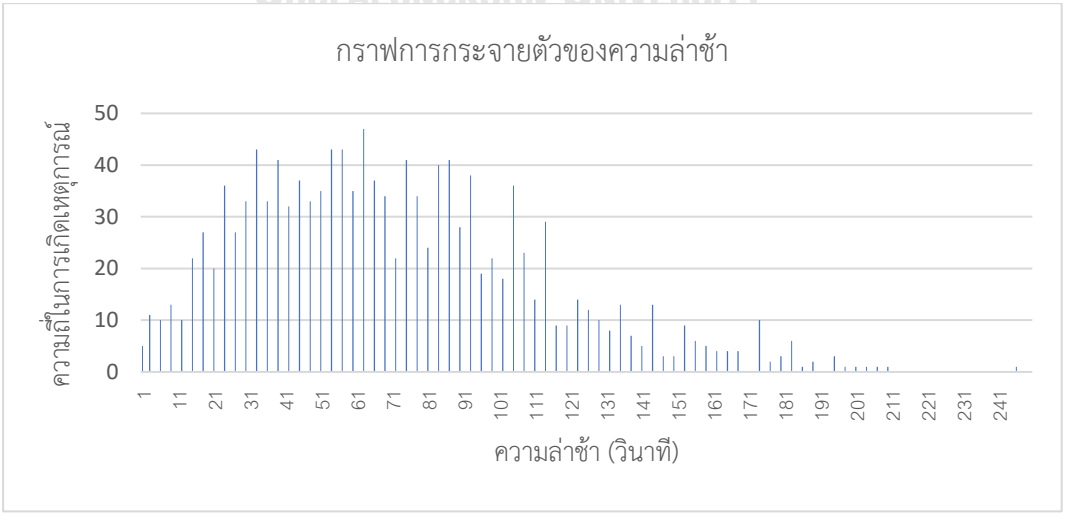
ความเร็วในการเคลื่อนที่โมเดลการเคลื่อนที่แบบสุ่มเส้นทาง (Random Waypoint Mobility Model)	1 ถึง 4 เมตร ต่อวินาที
เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนถานะ	2 วินาที

ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 29-33

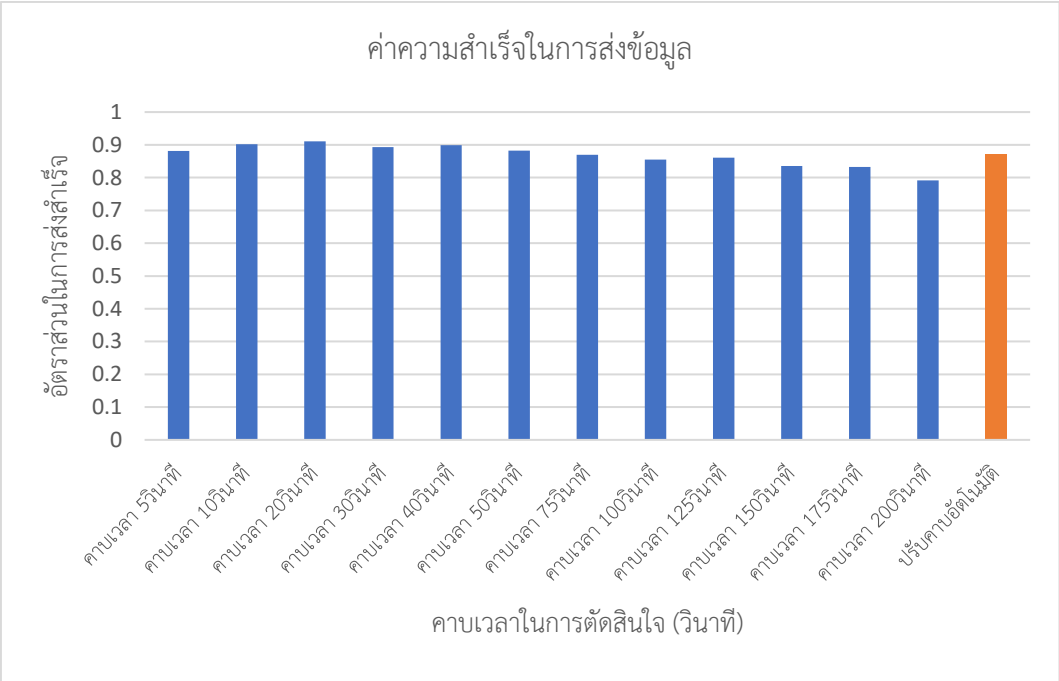


ภาพที่ 29 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้าเฉลี่ยระหว่างการปรับคาบอัตโนมัติ และคาบเวลาต่าง ๆ

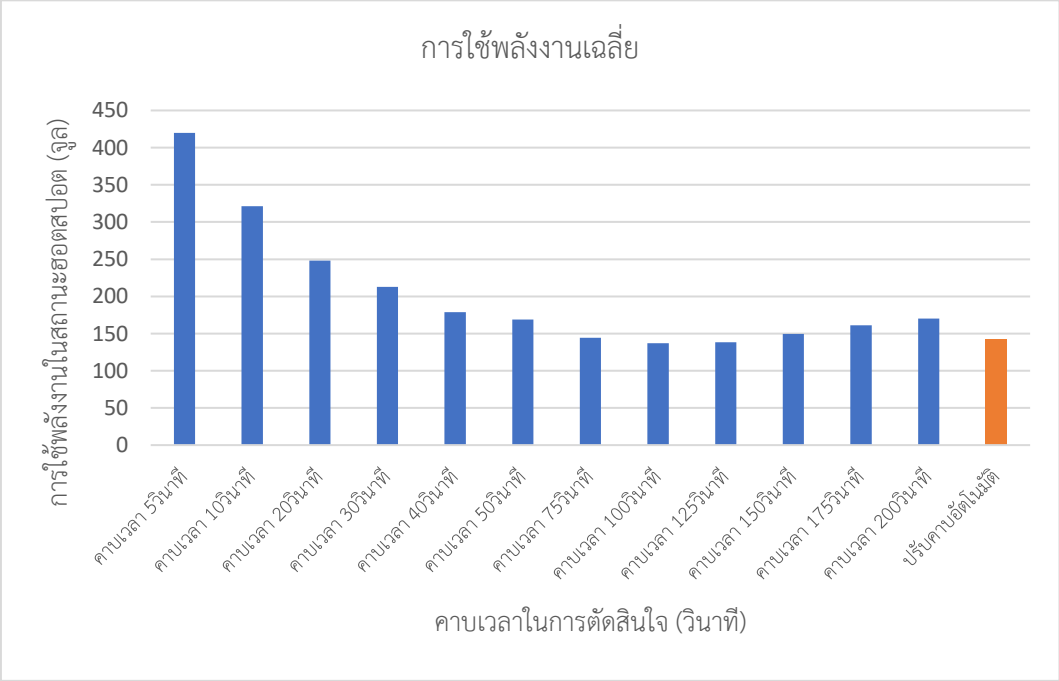
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



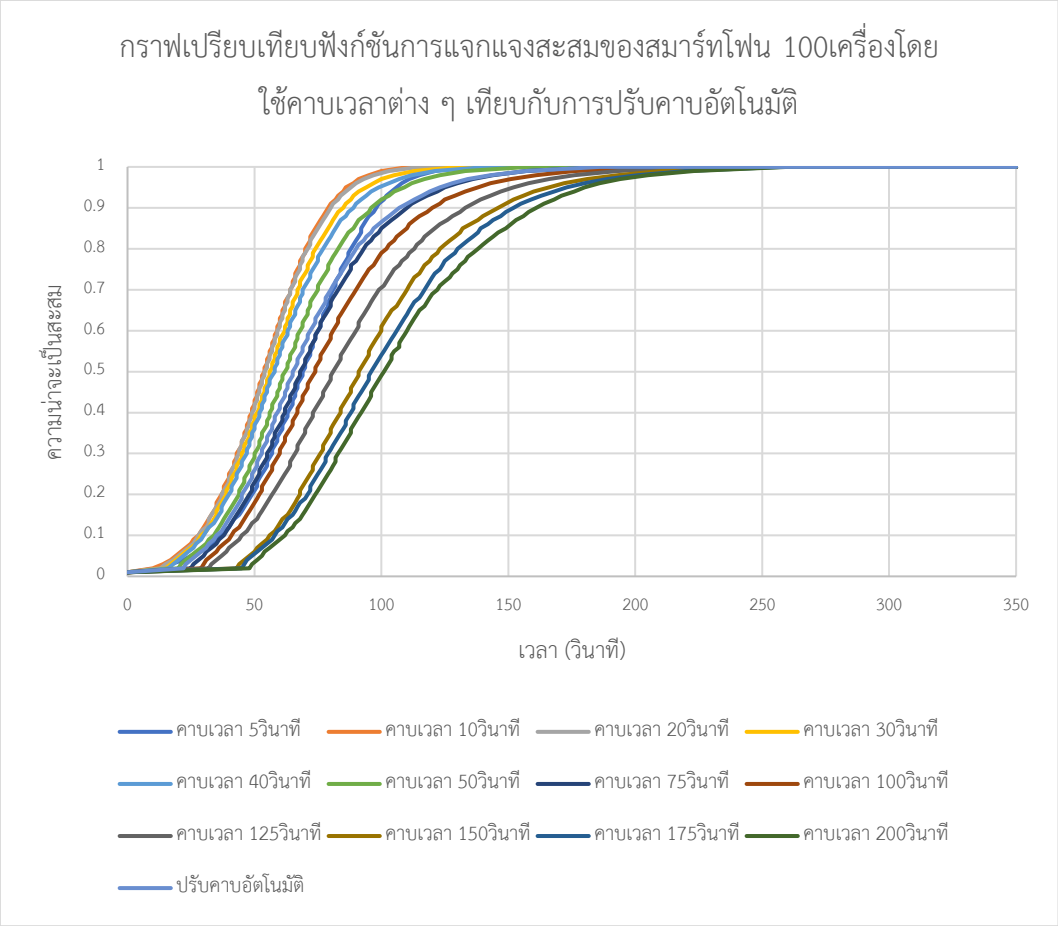
ภาพที่ 30 การกระจายตัวของความล่าช้า



ภาพที่ 31 กราฟเปรียบเทียบค่าความความสำเร็จในการส่งข้อมูลระหว่างการปรับคาบอัตโนมัติ และคาบเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 32 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานเฉลี่ยระหว่างการปรับคาบอัตโนมัติ และคาบเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 33 กราฟเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสมาร์ทโฟน 100เครื่องโดยใช้คาบเวลาต่าง ๆเทียบกับการปรับคาบอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการทดลองนี้จะมีข้อความที่ถูกสุ่มขึ้นมาทุก ๆ 30วินาที โดยเมื่อข้อความถูกสุ่มขึ้นมาแล้ว สมาร์ทโฟนที่ทำการสร้างข้อความขึ้นมาจะอยู่ในสถานะมีความต้องการส่งข้อมูลซึ่งทำให้คาบเวลาในการตัดสินใจถูกปรับเป็น 10วินาที ดังนั้นในระบบจะมีสมาร์ทโฟนที่คาบเวลาถูกปรับเป็น 10วินาที ได้มากที่สุด 4เครื่องในเวลาเดียวกันเท่านั้น โดยจากผลการทดลองพบว่า ในด้านค่าเฉลี่ยความล่าช้าเมื่อใช้การปรับคาบอัตโนมัติแล้วระบบมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยลดลงไป 11วินาที ซึ่งลดไปต่ำกว่าการใช้คาบเวลาตัดสินใจ 75วินาที โดยมีการกระจายตัวของความล่าช้าดังภาพที่ 30 จะพบว่าการกระจายตัวของความล่าช้าเป็นการกระจายตัวแบบปกติโดยค่าความล่าช้าที่มีค่าน้อยเกิดจากสมาร์ทโฟนเป้าหมายอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับสมาร์ทโฟนที่สร้างข้อความ และค่าความล่าช้าที่มีค่ามากเกิดจากสมาร์ทโฟนที่เป็นเป้าหมายอยู่ห่างจากอุปกรณ์ออกไป ในด้านการใช้พลังงานมีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย

เพิ่มขึ้นจากคาบเวลา 100วินาทีมา 6จูล แต่พลังงานที่เพิ่มขึ้นมามีค่าต่ำกว่าการใช้พลังงานเมื่อคาบเวลาในการตัดสินใจเท่ากับ 75วินาที และอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยมีค่ามากกว่าการใช้คาบเวลาในการตัดสินใจ 75วินาที ซึ่งเป็นผลมาจากการเลือกปรับคาบโอกาสให้กับเฉพาะสมาร์ทโฟนที่มีความต้องการส่งข้อมูลเท่านั้น ซึ่งทำให้การแพร่กระจายของข้อมูลเพิ่มขึ้นโดยตรงในขณะที่พลังงานเพิ่มแค่จากสมาร์ทโฟนที่มีความต้องการส่งข้อมูลเท่านั้น

4.2.4 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบคาบเวลาของระบบมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการที่คาบเวลานั้นมากหรือน้อย ก็จะมีข้อดีข้อเสียต่างกันไป หากคาบเวลาสั้นก็จะทำให้ข้อมูลสามารถกระจายได้เร็วขึ้นโดยแลกกับการใช้พลังงานที่มากขึ้น ในขณะที่หากคาบเวลายาวจะทำใช้มูลกระจายได้ช้าลงแต่แลกกับการประหยัดพลังงานมากขึ้น ซึ่งเนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเป้าไปที่สถานการณ์ภัยพิบัติ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกคาบเวลาในการทำงาน 100วินาทีซึ่งเป็นค่าที่ใช้พลังงานได้ประหยัดคุ้มค่ากับค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น เป็นคาบเวลาปกติที่สมาร์ทโฟนจะใช้งาน แต่ถ้ามีสมาร์ทโฟนใดที่มีความต้องการที่จะกระจายข้อมูลและมีพลังงานเพียงพอก็จะทำการปรับคาบเวลาเป็น 10วินาทีและปรับโอกาสที่สมาร์ทโฟนจะเป็น 50% ซึ่งจะทำให้ข้อมูลกระจายได้เร็วยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยปรับคาบให้สอดคล้องกับความต้องการของสมาร์ทโฟน เช่นถ้าในระบบไม่ไม่สมาร์ทโฟนใดต้องการส่งข้อมูลก็จะใช้คาบเวลา 100วินาที เพื่อประหยัดพลังงานแต่ถ้ามีข้อมูลต้องการส่งก็จะปรับคาบให้ส่งได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจากการทดลองพบว่าคาบเวลาที่ปรับโดยอัตโนมัติสามารถทำงานได้ดีโดยได้ค่าความล่าช้าเฉลี่ย 71วินาที ซึ่งลดลงไปจนต่ำกว่าคาบเวลาการตัดสินใจ 75วินาที และใช้พลังงานน้อยกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5 บทสรุปของงานวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการสร้างเครือข่ายแอดฮอกแบบเสมือนโดยใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอต ซึ่งเป็นระบบที่ใช้การเปลี่ยนสถานะของสมาร์ทโฟนเพื่อทำการสร้างเครือข่ายในการส่งข้อมูล โดยมีส่วนที่นำเสนอหลักคือ การเลือกสถานะของสมาร์ทโฟน และ การปรับคาบเวลาในการทำงาน

การเลือกสถานะของสมาร์ทโฟนถือเป็นส่วนที่สำคัญในการดำเนินงานครั้งนี้เนื่องจากการติดต่อระหว่างสมาร์ทโฟนโดยใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตจะเกิดขึ้นได้เมื่ออุปกรณ์อยู่ในสถานะที่แตกต่างกันเท่านั้น การเลือกสถานะให้เหมาะสมจึงจัดเป็นจุดที่สำคัญมากที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานโดยตรง โดยการเลือกสถานะของสมาร์ทโฟนในงานวิจัยชิ้นนี้จะเลือกโดยใช้ค่าความน่าจะเป็นของจำนวนอุปกรณ์ที่จะเชื่อมต่อแต่ละครั้ง ซึ่งมีหลักการคือในแต่ละรอบการทำงานจะเก็บจำนวนอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อในแต่ละครั้งไว้เพื่อนำมาเฉลี่ย และนำมาเข้าสู่สมการเพื่อหาโอกาสที่อุปกรณ์จะเป็นฮอตสปอตที่เหมาะสม โดยจะทำการเปรียบเทียบกับพลังงานที่เหลือของสมาร์ทโฟนด้วย ซึ่งหากโอกาสในการเป็นฮอตสปอตที่ได้จากสมการจะทำให้พลังงานที่เหลือมีไม่เพียงพอที่จะทำให้สมาร์ทโฟนสามารถทำงานได้จนถึงเวลาที่ต้องการก็จะทำการปรับค่าโอกาสในการเป็นฮอตสปอตลงเพื่อที่จะทำให้สมาร์ทโฟนสามารถทำงานได้ถึงเวลาที่ระบบต้องการ โดยจากการทดสอบในงานวิจัย[15] พบว่าการเลือกสถานะของสมาร์ทโฟนที่เสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้พลังงานจะใช้พลังงานน้อยกว่าการกำหนดสถานะแบบที่เสนอในงานวิจัย “Phone-to-phone Communication Utilizing Wi-Fi Hotspot in Energy-Constrained Pocket Switched Networks” (Wang, Yang et al. 2016) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่คำนึงถึงเรื่องพลังงานเป็นหลักเช่นกัน โดยจากการทดลองในพื้นที่ขนาด 150 เมตร x 150เมตร จะใช้พลังงานน้อยกว่า 62% ในขณะที่ค่าความล่าช้าเฉลี่ย และ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากระบบจะอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งในคาบเวลาหนึ่ง ๆ ก่อนจะทำการเลือกสถานะใหม่เมื่อคาบเวลาการทำงานปัจจุบันจบลง การปรับคาบเวลาการทำงานให้เหมาะสมจึงเป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนที่จะต้องพิจารณาเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การปรับคาบเวลาในการทำงานของงานวิจัยชิ้นนี้จะปรับให้เหมาะสมกับสถานการณ์ภัยพิบัติซึ่งพลังงานเป็นสิ่งสำคัญ โดยจากการทดลองพบว่าคาบเวลาในการทำงาน 100วินาทีจะเป็นค่าที่ใช้พลังงานได้เหมาะสมกับค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น จึงใช้ค่านี้เป็นค่าคาบการทำงานพื้นฐานที่ระบบจะใช้ในการทำงาน แต่ถ้าสมาร์ทโฟนเครื่องใดมีความต้องการส่งข้อมูลเป็นพิเศษและมีพลังงาน

เพียงพอก็จะทำการปรับคาบเวลาในการทำงานเป็น 10วินาที และปรับโอกาสในการเปลี่ยนสถานะเป็นฮอตสปอตให้เท่ากับ 50% เพื่อเพิ่มความเร็วในการกระจายของข้อมูลให้เหมาะสมกับสถานการณ์และความต้องการของสมาร์ทโฟนเครื่องนั้น ๆ

5.2 ข้อจำกัดของระบบ

เนื่องจากระบบยังคงใช้เทคโนโลยีวายฟายฮอตสปอตโดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีดังนั้นหากสมาร์ทโฟนทุกชิ้นในระบบไม่มีพลังงานหรือมีพลังงานน้อยก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลต่ำลง

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ

เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทดลองบนโปรแกรมจำลองเครือข่าย NS-3 ในขั้นต่อไปในการพัฒนางานวิจัยชิ้นนี้ทางผู้วิจัยเห็นว่าควรจะมีแนวทางการพัฒนาต่อดังต่อไปนี้

1) ทำการพัฒนาแอพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนจริงและทำการทดสอบประสิทธิภาพ จากนั้นนำข้อมูลจากการทดลองจริงมาทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานของระบบ
2) ทำการพัฒนาแอพลิเคชั่นให้เข้ากับสถานการณ์อื่น ๆ นอกจากสถานการณ์ภัยพิบัติโดยอาจทำการปรับค่าตัวแปรของระบบโดยอ้างอิงจากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ และอาจมีขั้นตอนการทำงานเพิ่มเติมให้เหมาะสมกับกับการทำงานนั้น ๆ เช่น ในงานวิจัยชิ้นนี้การส่งข้อมูลจะส่งแบบเป็นการประกาศทุกคนสามารถเห็นและอ่านข้อมูลได้หมด แต่หากเป็นสถานการณ์ที่ต้องการให้ข้อความอ่านได้เฉพาะคนเท่านั้น ก็อาจจะพัฒนาให้แอพพลิเคชั่นมีการเพิ่มเพื่อนและแลกเปลี่ยนคีย์สาธารณะ (Public Key) กันก่อน เมื่อมีการส่งข้อมูลก็จะทำการเข้ารหัสด้วยกุญแจสาธารณะก่อนทำการส่งข้อมูลซึ่งคนที่จะอ่านได้ก็จะต้องมีกุญแจส่วนตัว (Private Key) ที่ตรงเท่านั้นจึงจะสามารถอ่านข้อความได้
3) มุมหนึ่งที่น่าสนใจในการทำวิจัยต่อก็คือวิธีการเลือกฮอตสปอตในการเชื่อมต่อ เนื่องจากระบบในปัจจุบันจะทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดก่อน ซึ่งอาจมีวิธีการเลือกเครือข่ายที่เหมาะสมกว่าเช่น อาจเลือกกลุ่มที่มีจำนวนอุปกรณ์เชื่อมต่ออยู่มากกว่าก่อน เป็นต้น

รายการอ้างอิง

1. ERICSSON. *Ericsson Mobility Report*. 2016; Available from: https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2016/ericsson-mobility-report-november-2016.pdf.
2. Pentland, A., R. Fletcher, and A. Hasson, *DakNet: rethinking connectivity in developing nations.* Computer, 2004. **37**(1): p. 78-83.
3. Lu, Z., G. Cao, and T.L. Porta, *TeamPhone: Networking SmartPhones for Disaster Recovery.* IEEE Transactions on Mobile Computing, 2017. **16**(12): p. 3554-3567.
4. NS-3. *The network simulator 3* Available from: http://www.nsnam.org/.
5. Pitkänen, M., T. Kärkkäinen, and J. Ott. *Mobility and service discovery in opportunistic networks*. in *2012 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*. 2012.
6. Reina, D.G., et al. *A Survey on Ad Hoc Networks for Disaster Scenarios*. in *2014 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*. 2014.
7. Ray, S.K., R. Sinha, and S.K. Ray. *A smartphone-based post-disaster management mechanism using WiFi tethering*. in *2015 IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. 2015.
8. Hu, S., et al. *Towards automatic phone-to-phone communication for vehicular networking applications*. in *IEEE INFOCOM 2014 - IEEE Conference on Computer Communications*. 2014.
9. Franke, T., et al. *Leveraging human mobility in smartphone based Ad-Hoc information distribution in crowd management scenarios*. in *2015 2nd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)*. 2015.
10. Sharma, A., et al., *Cool-Tether: energy efficient on-the-fly wifi hot-spots using mobile phones*, in *Proceedings of the 5th international conference on*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Emerging networking experiments and technologies. 2009, ACM: Rome, Italy. p. 109-120.

11. Keshav, K., V.R. Indukuri, and P. Venkataram. *Energy efficient scheduling in 4G smart phones for Mobile Hotspot application*. in *2012 National Conference on Communications (NCC)*. 2012.
12. Jung, K.H., et al. *Energy efficient Wifi tethering on a smartphone*. in *IEEE INFOCOM 2014 - IEEE Conference on Computer Communications*. 2014.
13. Wang, E., Y. Yang, and J. Wu. *Energy Efficient Phone-to-Phone Communication Based on WiFi Hotspot in PSN*. in *2015 24th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*. 2015.
14. Wang, E., et al., *Phone-to-Phone Communication Utilizing WiFi Hotspot in Energy-Constrained Pocket Switched Networks.* IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016. **65**(10): p. 8578-8590.
15. Rattanapongphan, C., K.N. Nakorn, and K. Rojviboonchai. *Adaptive Wi-Fi hotspot mode switching for phone-to-phone communication in opportunistic network*. in *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*. 2017.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายฉันทวัฒน์ รัตนพงศ์พันธ์ ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ เกิดเมื่อวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2537 จบการศึกษาระดับชั้นปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีพ.ศ. 2559 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาจากทุนอัจฉริยะคืนรัง ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY