



ระบบเลือกเครือข่ายสื่อสารของโทรศัพท์มือถือสำหรับข้อมูลขนาดเล็ก  
Wireless Network Selection in Mobile Device for Small Data

นนท์ปกิตต์ พรเฉลิมพงศ์  
Nonpakit Pornchalermpong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering  
Prince of Songkla University

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ระบบเลือกเครือข่ายสื่อสารของโทรศัพท์มือถือสำหรับข้อมูลขนาดเล็ก  
Wireless Network Selection in Mobile Device for Small Data

นนท์ปกิตต์ พรเฉลิมพงศ์  
Nonpakit Pornchalermpong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering  
Prince of Songkla University

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ระบบเลือกเครือข่ายสื่อสารของโทรศัพท์มือถือสำหรับข้อมูลขนาดเล็ก  
 ผู้เขียน นายนนท์ปกิตต์ พรเฉลิมพงศ์  
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุจดาว บุรณะพานิชย์กิจ)

.....ประธานกรรมการ  
 (ดร.รักรัตน์ ดวงสร้อยทอง)

.....กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิกรม ธีรภาพจรเดช)

.....กรรมการ  
 (ดร.กิตติคุณ ทองพูล)

.....กรรมการ  
 (ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกมาลิน)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น  
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุจดาว บุรณะพานิชย์กิจ)  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....

(นายนนท์ปกิตต์ พรเฉลิมพงศ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....

(นายนนท์ภักดิ์ พรเฉลิมพงศ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์      ระบบเลือกเครือข่ายสื่อสารของโทรศัพท์มือถือสำหรับข้อมูลขนาดเล็ก  
ผู้เขียน                นายนนท์ปกิตต์ พรเฉลิมพงศ์  
สาขาวิชา              วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา            2560

#### บทคัดย่อ

จากการเฝ้าสังเกต สังคมในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีกลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในด้านต่าง ๆ รวมไปถึงทางด้านการแพทย์ ซึ่งเทคโนโลยีในทางด้านการแพทย์นี้เป็นส่วนสำคัญในการช่วยเหลือผู้ป่วยในยุคปัจจุบันเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้งานในสังคมปัจจุบันในทางด้านการแพทย์คือ อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการพัฒนาที่รวดเร็วมาก และเหมาะสมในการใช้ติดต่อสื่อสาร โดยเฉพาะการติดตามสัญญาณชีพผู้ป่วย ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กและต้องมีความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลที่สูง จากการใช้งานอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือในทุกวันนี้ จะเห็นได้ว่าผู้คนได้ใช้อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Internet) เป็นจำนวนมากยิ่งขึ้น แต่มีจำนวนอุปกรณ์ที่จ่ายสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (access point) ที่จำกัด ซึ่งอาจจะทำให้ผู้ใช้งานหลุดจากการเชื่อมต่อ หรือมีประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อได้ไม่ดีเพียงพอ ซึ่งสิ่งที่ได้กล่าวมาคือ ปัญหาที่เกิดจากการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตที่ไม่ได้มีการกล่าวถึงเลยในการนำเทคโนโลยีเพื่อการส่งข้อมูลที่มีขนาดเล็ก มาใช้ในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ในการแก้ไขปัญหาในเรื่องการสื่อสารของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือสามารถทำได้หลายวิธี ดังที่จะกล่าวในงานวิจัยนี้จะเกี่ยวกับการเลือกเครือข่ายการสื่อสารก่อนทำการส่งข้อมูล ซึ่งเครือข่ายการสื่อสารดังกล่าวคือเซลลูลาร์ (Cellular) และแลนไร้สาย (WLANs) ที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือในยุคปัจจุบันรองรับในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารนั้น โดยระบบจะคำนึงถึงตัวแปรที่ได้รับมาจากการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของแต่ละช่องทาง โดยจะใช้วิธีการหาค่าสูงสุดของค่าต่ำสุดทั้งหมด (Maximin) เพื่อใช้ในการคำนวณและเลือกเครือข่ายการสื่อสาร และเมื่อทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรม จะพบว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

Thesis Title      Wireless Network Selection in Mobile Device for Small Data  
Author             Mr.Nonpakit Pornchalermpong  
Major Program    Electrical Engineering  
Academic Year    2017

#### ABSTRACT

In nowadays society, technologies become part of human daily life. Every people are getting involve with technologies. Technologies are also involved in many careers including healthcare. Healthcare technologies are very important in term of patients' treatment in healthcare center. One technology that is widely used in healthcare is a mobile phone. Mobile phones have been used for patients' monitoring process, that need to send small and reliable data between specialists in healthcare center and patients themselves. From this communication, there are limited of access points for many users to access the Internet at the same time. This problem can cause the quality of communication and loss of connection. This project is about network selection, helping users select a network between every WLANs and Cellular to solve the problem of quality of communication for small data. This project uses a game theory technique call zero sum game with Maximin algorithm for weighting function and select a network. In experiment, in order to check the correctness of this program, the program is run each function separately.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุจดาว บุรณะพาณิชย์กิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์ และสนับสนุนในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ในแนวทางที่ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.รักกฤตว์ ดวงสร้อยทอง ประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิกรม อธิภาพจรเดช ดร.กิตติคุณ ทองพูล และศาสตราจารย์ ดร.ประยูทธ อัครเอกมาลิน ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาเป็นกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานวิจัย และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนบัณฑิตสำหรับการศึกษา อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทั้งให้ความรู้ ช่วยดูแลอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวก จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดาและครอบครัว ที่ช่วยส่งเสริม สนับสนุน ให้คำแนะนำ และทุนทรัพย์แก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

นนท์ปกิตต์ พรเฉลิมพงศ์



## สารบัญ

|  |           |
|--|-----------|
| สารบัญ.....  | 8         |
| สารบัญตาราง.....   | 10        |
| สารบัญภาพประกอบ .....  | 12        |
| <b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย.....  | 1         |
| 1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ.....   | 3         |
| 1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....  | 3         |
| 1.4. ขอบเขตของการวิจัย.....  | 3         |
| 1.5. แผนการดำเนินงาน.....  | 3         |
| 1.6. อุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย.....  | 6         |
| 1.7. การทบทวนวรรณกรรม .....  | 7         |
| 1.8. ประเด็นวิจัย.....   | 26        |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....</b>  | <b>27</b> |
| 2.1. การเชื่อมต่อผ่านแลนไร้สาย 802.11x [23].....   | 27        |
| 2.2. การเชื่อมต่อผ่านผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือ [24].....  | 28        |
| 2.3. มาตรฐานการเชื่อมต่อของสำนักคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และ<br>กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช) [25] .....                    | 31        |
| 2.4. รูปแบบข้อมูลของการทดสอบหาความล่าช้าโดยใช้ไอซีเอ็มพีเอคโค (Internet Control<br>Message Protocol Echo : ICMP Echo) หรือปิง (Ping) [26]..... | 32        |
| 2.5. รูปแบบการส่งข้อมูล UDP (User Datagram Protocol : UDP) [27].....   | 32        |
| 2.6. รูปแบบการส่งข้อมูล TCP (Transmission Control Protocol : TCP) [28] .....   | 33        |
| 2.7. ความแรงสัญญาณที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือได้รับ [29].....   | 34        |

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| 2.8.           | ทฤษฎีเกม (Game Theory) [30].....   | 35        |
| 2.9.           | เกมการบวกที่เท่ากับศูนย์ (Zero Sum Game) [30].....                           | 36        |
| 2.10.          | Max-Min Fairness [31].....   | 36        |
| 2.11.          | แม็กซิมิน (Maximin) [32].....  | 37        |
| <b>บทที่ 3</b> | <b>วิธีการวิจัย</b> .....  | <b>38</b> |
| 3.1.           | ส่วนของการเก็บค่าข้อมูล (Data Collection).....                               | 39        |
| 3.2.           | กระบวนการหาค่าน้ำหนัก (Weight Calculation).....                              | 45        |
| 3.3.           | การเลือกเครือข่ายการสื่อสาร (Network Selection).....                         | 51        |
| <b>บทที่ 4</b> | <b>การทดลองเพื่อเก็บค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ</b> .....                      | <b>53</b> |
| 4.1.           | ค่าตัวแปรเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Active Parameters).....                      | 54        |
| <b>บทที่ 5</b> | <b>การทดสอบระบบ</b> .....  | <b>66</b> |
| 5.1.           | การทำงานของตัวแปรที่เก็บค่าได้ภายในโทรศัพท์มือถือ (Passive Measurement)..... | 66        |
| 5.2.           | การทดสอบตัวแปรเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ต (Active Measurement).....           | 68        |
| 5.3.           | การทดสอบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์.....             | 71        |
| <b>บทที่ 6</b> | <b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....                                     | <b>74</b> |
| 6.1.           | สรุปผลการวิจัย.....  | 74        |
| 6.2.           | ข้อเสนอแนะ.....  | 74        |
| <b>บทที่ 7</b> | <b>บรรณานุกรม</b> .....  | <b>75</b> |
| <b>บทที่ 8</b> | <b>ภาคผนวก</b> .....   | <b>79</b> |
| 8.1.           | การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน.....  | 79        |

## สารบัญตาราง

|  |    |
|--|----|
| ตาราง 1-1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....  | 5  |
| ตาราง 1-2 ข้อมูลโทรศัพท์มือถือ .....   | 6  |
| ตาราง 1-3 ตารางสรุปการเปรียบเทียบเรื่องการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร.....              | 23 |
| ตาราง 2-1 สรุปความเร็วของแลนไร้สายแต่ละความถี่ [23].....                             | 28 |
| ตาราง 2-2 ตารางความเร็วของการรับส่งข้อมูล 2G ของโทรศัพท์มือถือ .....                 | 29 |
| ตาราง 2-3 ตารางความเร็วของการรับส่งข้อมูล 3G ของโทรศัพท์มือถือ .....                 | 29 |
| ตาราง 2-4 ตารางความเร็วของการรับส่งข้อมูล 4G ของโทรศัพท์มือถือ .....                 | 30 |
| ตาราง 2-5 ตารางมาตรฐานการทดสอบความล่าช้าของข้อมูล [25].....                          | 31 |
| ตาราง 2-6 โครงสร้าง ICMP Ping.....   | 32 |
| ตาราง 2-7 โครงสร้าง UDP.....   | 33 |
| ตาราง 2-8 ตัวอย่างการทำแม็กซิมีนโดยใช้ Newsboy Problem [32].....                     | 37 |
| ตาราง 3-1 ตัวอย่างการหาค่าแม็กซิมีน .....  | 49 |
| ตาราง 3-2 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเลือกเครือข่ายสื่อสาร .....                  | 52 |
| ตาราง 4-1 ตารางการตั้งค่าการทดลองความล่าช้า.....                                     | 56 |
| ตาราง 4-2 ผลการทดลองความล่าช้า.....  | 60 |
| ตาราง 4-3 ตารางการตั้งค่าการทดลองความสำเร็จของการส่ง UDP .....                       | 61 |
| ตาราง 4-4 ผลการทดลอง UDP เบื้องต้น.....  | 62 |
| ตาราง 4-5 ผลการทดสอบ UDP ในจำนวนข้อมูลและเวลาที่แตกต่างกัน .....                     | 62 |
| ตาราง 4-6 การตั้งค่าการทดลองค่าพลังงานที่ใช้ .....                                   | 64 |
| ตาราง 4-7 พลังงานที่วัดได้.....  | 65 |
| ตาราง 5-1 การตั้งค่าการทดลอง Passive Measurement.....                                | 66 |
| ตาราง 5-2 ผลการทดสอบตัวแปรที่ไม่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต .....                      | 68 |
| ตาราง 5-3 การตั้งค่าการทดลอง Active Measurement.....                                 | 70 |
| ตาราง 5-4 ผลการทดสอบค่าความเร็วของการส่ง UDP ความล่าช้า และพลังงาน.....              | 70 |
| ตาราง 5-5 ผลแบบจำลองเลือกช่องทางแบบเซลลูล่าเดี่ยวและแลนไร้สาย 2.4 GHz กับ 5 GHz..... | 72 |

ตาราง 5-6 ผลแบบจำลองเลือกเครือข่ายการสื่อสารแบบเซลลูล่าร์และแลนไร้สายมากกว่า 2 ชั้นไป. 73

## สารบัญภาพประกอบ

|  |    |
|--|----|
| ภาพประกอบ 1-1 โทรศัพท์มือถือและเครือข่ายการสื่อสาร .....                                   | 2  |
| ภาพประกอบ 1-2 Multinets Architecture [12].....   | 7  |
| ภาพประกอบ 1-3 Nesto Architecture [13].....   | 8  |
| ภาพประกอบ 1-4 E-PoFANS Architecture [14].....  | 10 |
| ภาพประกอบ 1-5 Delphi Design [15].....  | 12 |
| ภาพประกอบ 1-6 An exemplary heterogeneous network with 2 SPs, 3 PUs, and 4 SUs<br>[19]..... | 16 |
| ภาพประกอบ 1-7 IP-based heterogeneous wireless networks [20] .....                          | 17 |
| ภาพประกอบ 1-8 ตัวอย่าง MPTCP [8].....  | 19 |
| ภาพประกอบ 1-9 A system scenario under study [21].....                                      | 21 |
| ภาพประกอบ 1-10 รูปแบบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยรวม .....                               | 26 |
| ภาพประกอบ 2-1 การจัดสรรคลื่นความถี่ในประเทศไทย .....                                       | 31 |
| ภาพประกอบ 2-2 ICMP echo/echo reply header .....  | 32 |
| ภาพประกอบ 2-3 UDP Structure .....  | 33 |
| ภาพประกอบ 2-4 Transmission Control Protocol (TCP) Header .....                             | 34 |
| ภาพประกอบ 2-5 3G RSSI.....   | 34 |
| ภาพประกอบ 2-6 LTE RSRP .....   | 35 |
| ภาพประกอบ 2-7 Wi-Fi Signal Strength.....   | 35 |
| ภาพประกอบ 2-8 Zero Sum Game Generic .....  | 36 |
| ภาพประกอบ 3-1 ภาพรวมของงานวิจัยนี้ .....   | 38 |
| ภาพประกอบ 3-2 กระบวนการการทำงาน.....   | 39 |
| ภาพประกอบ 3-3 การตรวจสอบข้อมูลของเครือข่ายที่โทรศัพท์ที่ได้รับ .....                       | 40 |
| ภาพประกอบ 3-4 การตรวจสอบข้อมูลเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ต.....                              | 42 |
| ภาพประกอบ 3-5 การทดสอบพลังงานที่ใช้.....   | 43 |
| ภาพประกอบ 3-6 การทดสอบค่าความสำเร็จในการส่ง UDP .....                                      | 44 |

|   |    |
|---|----|
| ภาพประกอบ 3-7 การทดสอบความล่าช้า.....   | 45 |
| ภาพประกอบ 3-8 การทำ Dynamic Weight .....  | 46 |
| ภาพประกอบ 3-9 Zero Sum Game .....   | 50 |
| ภาพประกอบ 4-1 ตำแหน่งเสาสัญญาณ 3G ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ [33].....  | 53 |
| ภาพประกอบ 4-2 ภาพรวมการทดลอง.....   | 54 |
| ภาพประกอบ 4-3 โครงสร้างการทดลองความล่าช้า .....   | 55 |
| ภาพประกอบ 4-4 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยของ AIS ในภาควิชา.....  | 56 |
| ภาพประกอบ 4-5 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยของ DTAC ในภาควิชา .....  | 57 |
| ภาพประกอบ 4-6 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยของ TRUEMOVE-H ในภาควิชา.....   | 58 |
| ภาพประกอบ 4-7 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยของแลนไร้สายในภาควิชาโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน<br>ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 52 มิลลิวินาที .....                | 58 |
| ภาพประกอบ 4-8 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยทั้งหมดของช่วงเวลา 5 วัน .....  | 59 |
| ภาพประกอบ 4-9 การทดลองความล่าช้าทั้งหมดซึ่งมีทั้งค่าน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ย และค่ามากที่สุด<br>ตามลำดับจากซ้ายไปขวาของแต่ละเครือข่ายสื่อสาร..... | 59 |
| ภาพประกอบ 4-10 การวางระบบทดลอง UDP และพลังงานที่ใช้.....  | 63 |
| ภาพประกอบ 5-1 ตำแหน่งการทดสอบตัวแปรที่ไม่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต .....  | 67 |
| ภาพประกอบ 5-2 การทดสอบที่ตึกสิรินธร .....   | 69 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1. ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

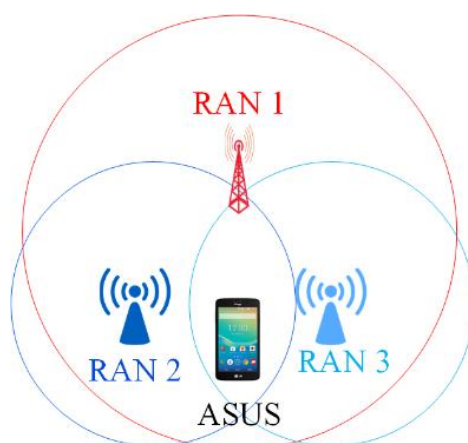
จากการเฝ้าสังเกต สังคมในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีกลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการติดต่อสื่อสาร การศึกษา การสืบค้นหรือค้นคว้าหาข้อมูล ทั้งนี้ ยังรวมไปถึงทางด้านการแพทย์ ในงานวิจัยนี้ จะเกี่ยวกับการเลือกเครือข่ายการสื่อสารสำหรับข้อมูลขนาดเล็ก เช่นข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับทางการแพทย์ ซึ่งเทคโนโลยีในทางด้านการแพทย์นี้เป็นส่วนสำคัญในการช่วยเหลือผู้ป่วยในยุคปัจจุบันเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่นระบบการติดตามผู้ป่วย ระบบอาร์เอฟไอดี (RFID) ที่มีการติดตามผู้ป่วยในโรงพยาบาลว่ามีการเคลื่อนย้ายไปที่ใดบ้าง หรือในกรณีที่ผู้ป่วยอาจจะเกิดอุบัติเหตุอยู่ที่ใดที่หนึ่ง แพทย์ หรือผู้ช่วยแพทย์จะสามารถติดตามเพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยได้ เทคโนโลยียังสามารถช่วยในเรื่องการเฝ้าระวังผู้ป่วย เช่นการวัดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ (ECG) และความดัน ซึ่งในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน อุปกรณ์จะทำการส่งข้อมูลหรือมีการแจ้งเตือนไปยังแพทย์ หรือผู้ช่วยแพทย์ เพื่อให้สามารถช่วยเหลือผู้ป่วยได้ทันทั่วถึง

เทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้งานในสังคมปัจจุบันในทางด้านการแพทย์คือ อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการพัฒนาที่รวดเร็วมาก และเหมาะสมในการใช้ติดต่อสื่อสาร หรือรับส่งข้อมูลจำพวกงานเอกสารผ่านระบบเครือข่าย อันเนื่องมาจากเป็นอุปกรณ์ที่สะดวกต่อการพกพา หรือการนำไปใช้นอกสถานที่ อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่มีการใช้งานในทางด้านการแพทย์ ส่วนใหญ่จะเป็นการนำมาใช้ในการวัดสัญญาณชีพต่าง ๆ อันได้แก่ สัญญาณไฟฟ้าหัวใจ วัดความดันเลือด วัดค่าออกซิเจนในเลือด วัดค่าน้ำหนัก เป็นต้น ซึ่งค่าที่ได้มักจะนำมาใช้ในการติดตามผู้ป่วย เพื่อป้องกันในกรณีฉุกเฉินที่ผู้ป่วยอาจจะเกิดอาการร้ายแรงจากโรคที่เป็นอยู่ได้ เช่น หัวใจวาย เป็นต้น หรือใช้ในการช่วยวินิจฉัยเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของโรคหรือวิธีการรักษาผู้ป่วยเพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาและดูแลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังที่มีในงานวิจัยมาแล้วต่าง ๆ [1]–[5]

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่า ในยุคปัจจุบันโทรศัพท์มือถือมีส่วนเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางด้านการแพทย์มากขึ้น โดยเฉพาะการติดตามผู้ป่วยและส่งข้อมูลสัญญาณชีพซึ่งเป็นข้อมูลที่มีขนาดเล็ก และจากการใช้งานอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือในทุกวันนี้ จะเห็นได้ว่าผู้คนได้ใช้อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Internet) เป็นจำนวนมากยิ่งขึ้น แต่มีจำนวนอุปกรณ์ที่จ่ายสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (access point) ที่จำกัด ซึ่งอาจจะทำให้ผู้ใช้ประสบปัญหาจากการเชื่อมต่อ หรือมีประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อได้ไม่ดีเพียงพอ ซึ่งสิ่งนี้ได้กล่าวมา

คือ ปัญหาที่เกิดจากการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตที่ไม่ได้มีการกล่าวถึงเลยในการนำเทคโนโลยีทางด้านการแพทย์มาใช้ในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ

ในการแก้ไขปัญหาในเรื่องการสื่อสารของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือสามารถทำได้หลายวิธี ดังเช่นการบีบอัดข้อมูลเพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการส่ง [6] การทำมัลติพาทที่ซีพี (Multipath TCP) [7]–[11] เพื่อให้ระบบทำการสับเปลี่ยนเครือข่ายการสื่อสารได้เมื่อเครือข่ายเดิมเกิดปัญหา หรือแม้กระทั่งการเลือกเครือข่ายการสื่อสารก่อนทำการส่งข้อมูลดังที่จะกล่าวในงานวิจัยนี้



ภาพประกอบ 1-1 โทรศัพท์มือถือและเครือข่ายการสื่อสาร

ในงานวิจัยนี้จะเกี่ยวกับการเลือกเครือข่ายการสื่อสารก่อนทำการส่งข้อมูล ซึ่งเครือข่ายการสื่อสารดังกล่าวคือเซลลูล่า (Cellular) และแลนไร้สาย (WLANs) ที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือในปัจจุบันรองรับดังภาพประกอบ 1-1 ในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารนั้น ระบบจะคำนึงถึงค่าพลังงานที่ใช้ ค่าอัตราการส่งข้อมูล และความล่าช้าในการส่งข้อมูล โดยจะใช้วิธีการของทฤษฎีเกม โดยใช้วิธี เกมการบวกที่เท่ากับศูนย์ (Zero-sum game) และแม็กซิมิน เพื่อให้ระบบให้ความสำคัญต่อค่าตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมดเท่า ๆ กัน ข้อมูลและค่าที่งานวิจัยนี้ใช้ในการตัดสินใจเลือกเครือข่ายการสื่อสาร จะทำการเก็บข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณ และคำนวณค่าที่ใช้ในการเลือกเครือข่าย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนของอุปกรณ์จ่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ต การเปลี่ยนความถี่ของเครือข่ายการสื่อสาร หรือการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสัญญาณที่โทรศัพท์มือถือรับได้ โดยอุปกรณ์จะทำการเก็บข้อมูล และคำนวณค่าที่ใช้ในการเลือกเครือข่ายเมื่ออุปกรณ์ทำการตรวจสอบหาแลนไร้สายทุกครั้ง



## 1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาเทคนิคการเลือกเครือข่ายการสื่อสารในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือระหว่าง Cellular กับแลนไร้สายสำหรับข้อมูลที่มีขนาดเล็ก และต้องส่งเป็นเวลาต่อเนื่อง
2. วิเคราะห์เทคนิคการเลือกเครือข่ายการสื่อสารผ่านระบบอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับงานส่งข้อมูลขนาดเล็ก

## 1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลขนาดเล็กได้

## 1.4. ขอบเขตของการวิจัย

1. ระบบรองรับการใช้งานเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์มือถือบนเครือข่าย Cellular และแลนไร้สายที่ความถี่ 2.4/5 GHz โดยระบบสามารถเลือกเครือข่ายการสื่อสารที่เหมาะสมได้ภายใต้การจำลองที่ถูกควบคุมการจราจรภายในเครือข่ายและความแรงของสัญญาณด้วยอุปกรณ์จ่ายสัญญาณ ที่สามารถเลือกช่องความถี่ ความแรงของสัญญาณ หรือมาตรฐานของ IEEE 802.11 ทั้ง b, g, หรือ n ได้ รวมถึงระบบดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องเมื่อใช้งานในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ได้จริง
2. ระบบไม่รองรับการใช้งานในแอปพลิเคชันอื่น ๆ นอกเหนือจากงานวิจัยนี้ และไม่คำนึงถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ภายในเครือข่ายที่ทำให้เกิดความล่าช้า หรือปัญหาที่เกิดขึ้นจากการรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย

## 1.5. แผนการดำเนินงาน

1. ศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการการพัฒนาโปรแกรมบนอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
3. ศึกษาทฤษฎีในเรื่องของการสื่อสารที่มีการรองรับในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ
4. ออกแบบงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร
5. ทดสอบคุณลักษณะของค่าความล่าช้าที่เกิดจากความหนาแน่นของจราจรภายในเครือข่าย
6. ทดสอบคุณลักษณะและศึกษาเรื่องความสำเร็จของการส่งข้อมูลแบบยูดีพี (UDP)
7. ทดสอบคุณลักษณะและศึกษาในเรื่องของพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล

8. พัฒนาโปรแกรมเบื้องต้นเพื่อใช้ในการทดสอบการเปลี่ยนเครือข่ายการสื่อสารโดยผู้ใช้เป็นผู้กำหนดค่าพลังงาน ความสำเร็จของการทดสอบ UDP และความล่าช้า
9. พัฒนาโปรแกรมให้ระบบสามารถเลือกเครือข่ายการสื่อสารได้อัตโนมัติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรความแรงของสัญญาณ ปริมาณอุปกรณ์จ่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ต และความถี่ของสัญญาณเปลี่ยน
10. ทดสอบเก็บค่าตัวแปรพลังงาน ความสำเร็จของการทดสอบ UDP และความล่าช้า เพื่อใช้ในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารผ่านโปรแกรมจำลองในคอมพิวเตอร์
11. สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ
12. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



## 1.6. อุปกรณ์และสถานที่ทำการวิจัย

### 1. อุปกรณ์

- โทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) พร้อมสายต่อคอมพิวเตอร์ (USB) จำนวน 7 เครื่องดังตาราง 1-2

ตาราง 1-2 ข้อมูลโทรศัพท์มือถือ

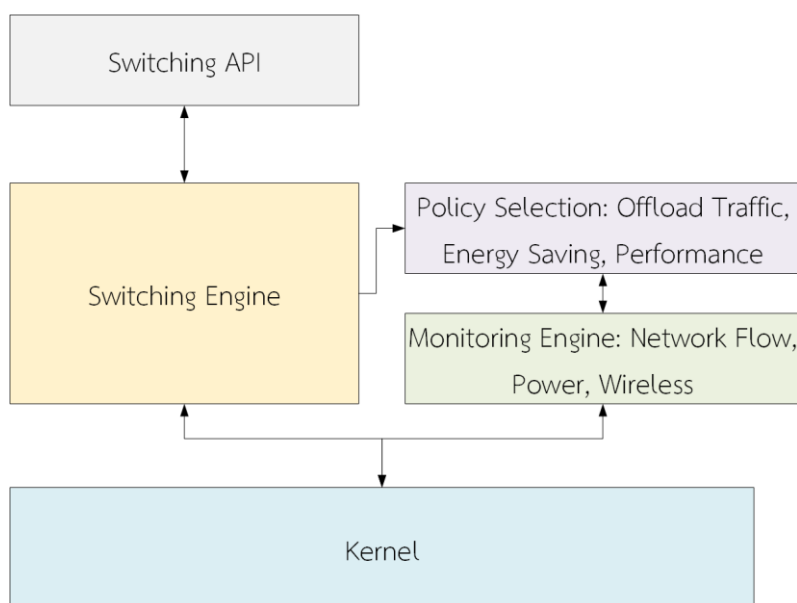
| เครื่องที่       | รุ่น                        | CPU                    | จอแสดงผล      | ซิม                      | แลนไร้สาย                              |
|------------------|-----------------------------|------------------------|---------------|--------------------------|--|
| 1                | ASUS<br>Zenfone 2<br>Deluxe | Quad-core<br>2.3 GHz   | PowerVR       | Dual stand-<br>by/Active | IEEE 802.11<br>a/b/g/n/ac 2.4/5<br>GHz |
| 2 ถึง 4<br>และ 8 | ASUS<br>Zenfone 2           | Quad-core<br>1.2 GHz   | Adreno<br>306 | Dual stand-<br>by        | IEEE 802.11 b/g/n<br>2.4 GHz           |
| 5 และ 6          | NOKIA 8                     | Octa-core<br>4x2.5 GHz | Adreno<br>540 | Dual stand-<br>by        | IEEE 802.11<br>a/b/g/n/ac 2.4/5<br>GHz |
| 7                | Galaxy S8                   | Octa-core<br>4x2.3 GHz | Adreno<br>540 | Dual stand-<br>by        | IEEE 802.11<br>a/b/g/n/ac 2.4/5<br>GHz |

- คอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวอุปกรณ์ปลายทางสำหรับการทดสอบความล่าช้าและปริมาณงาน
  - อุปกรณ์จ่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายที่ใช้ในการทดสอบระบบ ซึ่งมีความสามารถในการจ่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ตบนคลื่นความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz
- ### 2. สถานที่
- ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
  - ตึกสิรินธร ชั้น 7 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## 1.7. การทบทวนวรรณกรรม

### 1.7.1. MultiNets: Policy Oriented Real-Time Switching of Wireless Interfaces on Mobile Device [12]

เป็นบทความที่นำเสนอวิธีการมัลติเน็ต (MultiNets) ซึ่งเป็นระบบสำหรับเปลี่ยนเครือข่ายการเชื่อมต่อไร้สายจากแลนไร้สายเป็นเซอร์วิสจากผู้ให้บริการสัญญาณ หรือสลับกันในรูปแบบเรียลไทม์ มัลติเน็ตถูกออกแบบมาไว้ใช้ในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือเพื่อลดปริมาณพลังงานที่ใช้ควบคุมข้อมูลในเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อจำนวนมาก และให้ค่าปริมาณงาน ที่เร็วขึ้นโดยมีโครงสร้างดังภาพประกอบ 1-2 ซึ่งการทำงานของมัลติเน็ต จะสามารถแบ่งได้เป็นสองขั้นตอนคือ



ภาพประกอบ 1-2 Multinets Architecture [12]

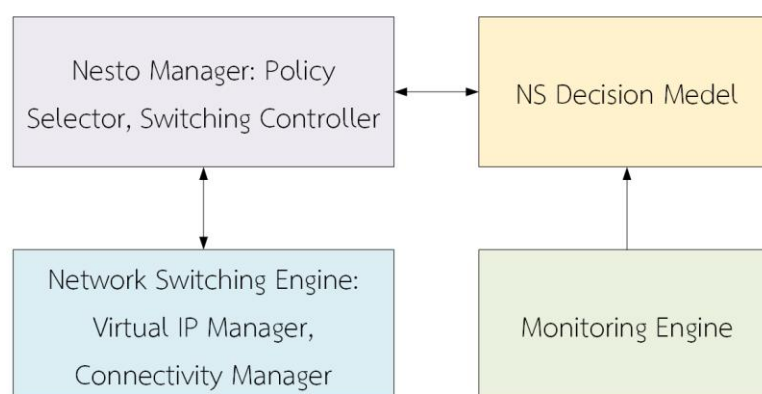
- คอนเน็คชันเลสส์เซสชัน (Connectionless Session) ระบบจะเปิดการเชื่อมต่อไร้สายเครือข่ายใหม่ แล้วลบข้อมูลการจัดเครือข่ายของเก่าออก หลังจากนั้นระบบจะปิดการเชื่อมต่อเก่า ซึ่งจะทำให้เกิดการขาดหายของข้อมูลในบางส่วนได้ แต่สามารถถูกแก้ไขเพื่อให้ข้อมูลกลับมาที่มีความสมบูรณ์ได้
- คอนเน็คชันโอเรียนเทดเซสชัน (Connection-Oriented Session) จะเริ่มการนับจำนวนการรับส่งข้อมูลในการเชื่อมต่อเก่า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายในการเชื่อมต่อ คือถ้าจำนวนการเชื่อมต่อที่นับได้มีค่าเป็นศูนย์ จะมีการจัดเครือข่ายใหม่ให้ทุกเครือข่ายการเชื่อมต่อที่ระบบ

สามารถเชื่อมต่อได้ ณ เวลานั้น ๆ ซึ่งหลังจากนั้น ระบบจะใช้เครือข่ายการเชื่อมต่อใหม่ที่ได้ไปใช้งาน ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเก่า ระบบจะลบเครือข่ายการเชื่อมต่อเก่าออก สุดท้ายระบบจะคอยให้การส่งข้อมูลมีอยู่การทำงานอยู่บนเครือข่ายการเชื่อมต่ออันเก่าเสร็จสิ้นก่อนที่ระบบจะย้ายไปใช้งานในการเชื่อมต่อใหม่

การออกแบบระบบ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องเลือกว่าจะให้ระบบทำงานในรูปแบบใด อันได้แก่

- กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Saving Policy) จะเป็นการออกแบบให้ระบบประหยัดพลังงาน โดยจะดูจากขนาดของข้อมูลว่ามีขนาดเกินค่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้าเกินระบบจะทำการเชื่อมต่อผ่านแลนไร้สาย อันเนื่องมาจากการเชื่อมต่อที่ใช้พลังงานน้อยกว่าเซลลูล่า
- กฎการถ่ายข้อมูล (Offloading Policy) จะเป็นการออกแบบที่จะทำการเชื่อมต่อผ่านแลนไร้สายเป็นหลักในทุกกรณีที่สามารถเชื่อมต่อได้ เพราะในเวลาที่ยังหาความนี้ได้ทำการวิจัยการเชื่อมต่อผ่านแลนไร้สายจะให้ผลการส่งข้อมูลที่ดีกว่าเซลลูล่า
- กฎประสิทธิภาพ (Performance Policy) จะทำการเปรียบเทียบค่าแบนด์วิดท์เพื่อใช้เลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยทำการเปรียบเทียบว่าการเชื่อมต่อใดให้ค่าแบนด์วิดท์ที่มากกว่ากัน

### 1.7.2. Nesto – Network Selection and Traffic Offloading System for Android Mobile Devices [13]



ภาพประกอบ 1-3 Nesto Architecture [13]

เป็นงานวิจัยที่มีขึ้นเพื่อนำเสนอวิธีการเนสโต (Nesto) ที่มีความสามารถในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีเปลี่ยนการเชื่อมต่อ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ระบบพัฒนาในเรื่องของพลังงานที่ใช้ การใช้แบนด์วิดท์ที่มากขึ้น และแผนการจัดการ การเชื่อมต่อที่หนาแน่น โดยเนสโตได้มีการออกแบบทั้งหมดสองระบบคือระบบการเชื่อมต่อเครือข่ายเดียว (single connectivity

mode) และระบบการเชื่อมต่อสองเครือข่ายแบบเต็มรูปแบบ (full dual mode) โดยแบ่งเป็นโครงสร้างของระบบได้เป็นดังภาพประกอบ 1-3

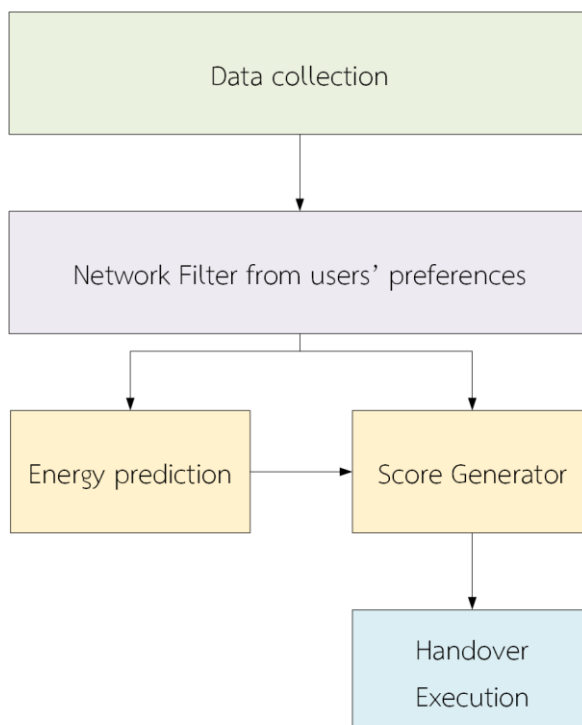
- ตัวจัดการค่าไอพีจำลอง (Virtual IP Manager) เป็นส่วนที่ทำงานเหมือนเป็นตัวกลางระหว่างอุปกรณ์ และส่วนของเครือข่าย โดยจะมีค่าไอพีที่เป็นค่าที่สร้างขึ้นมาเป็นตัวส่งข้อมูลหลัก และมีไอพีจากเซลล์คู่ และแลนไร้สายรับเข้ามาในส่วนนี้
- ตัวจัดการการเชื่อมต่อ (Connectivity Manager) เป็นส่วนที่ทำงานในการเปลี่ยนการเชื่อมต่อจากผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์และแลนไร้สายโดยใช้วิธีมัลติเน็ต
- ระบบติดตามข้อมูล (Monitoring Engine) เป็นโครงสร้างที่มีสามส่วนคือส่วนติดตามเครือข่าย (Network Monitor), ส่วนประมาณค่าเครือข่าย (Network Estimator), และส่วนจัดการอุปกรณ์ (Device Manager) โดยส่วนติดตามเครือข่ายทำหน้าที่หาเครือข่ายที่สามารถเชื่อมต่อได้ หาโครงสร้างของเครือข่าย และหากำลังของสัญญาณ ส่วนที่สองคือส่วนประมาณค่าเครือข่าย เป็นส่วนที่หาค่าประสิทธิภาพของเครือข่าย คือ ความล่าช้า, การเปลี่ยนแปลง (jitter) และ อัตราการสูญหายของข้อมูล (packet error rate: PER) โดยทำการส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์แล้วรอรับผลตอบกลับ ส่วนสุดท้ายคือส่วนจัดการอุปกรณ์ มีขึ้นเพื่อทำการติดตามปริมาณข้อมูลที่มีการรับส่ง การทำงานในแต่ละเครือข่าย และปริมาณพลังงานในปัจจุบัน
- ชุดนโยบาย (Policy Repository) จะทำงานเหมือนตัวช่วยในการเลือกเครือข่ายที่ดีที่สุด โดยใช้ค่าน้ำหนักเอ็นไซส์ (N-sized weight) และค่าเวกเตอร์มาตรฐาน (normalized vector) เป็นตัวหาความสำคัญของความสัมพันธ์ของทั้งสอง ซึ่งประกอบไปด้วยสิบบรูปแบบการส่งข้อมูล คือ OFF, ES, MaxBand, FTP, FTP\_O, Stream, Stream\_O, RT, RT\_O, และ Back
- กฎการตัดสินใจหลัก (Core Decision Protocols) เป็นเทคนิคการเลือกเครือข่ายของเนสโต โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี SAW ซึ่งเป็นอีกหนึ่งวิธีในการคำนวณจากค่าน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบเลือกเครือข่าย

การเปลี่ยนการเชื่อมต่อโดยใช้ตัวควบคุมการสับเปลี่ยน (Switching Controller) ซึ่งได้แบ่งระบบออกเป็นสามโหมดการทำงานคือ

- โหมดที่หนึ่ง สำหรับประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อ (QoS) ซึ่งอยู่ในการเชื่อมต่อเครือข่ายเดียวจะมีการทำงานดังนี้คือ รับข้อมูลจากระบบติดตามข้อมูล ทำ CDP จากรูปแบบการเชื่อมต่อปัจจุบัน รับค่าไอดีเครือข่ายการเชื่อมต่อที่ดีที่สุด, ค่าการให้คะแนน (rating score) ที่ดีที่สุดจาก CDP และรับค่าคะแนน (current rating score) จาก CDP ถ้าค่าความต่างของคะแนนที่ดีที่สุด (best rating score) และค่าคะแนนปัจจุบัน (current rating score) สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการเปลี่ยนเครือข่ายการรับส่งสัญญาณไปยังเครือข่ายที่ดีที่สุด

- โหมดที่สองคือระบบการเชื่อมต่อสองเครือข่ายแบบเต็มรูปแบบสำหรับค่าแบนวิดท์ที่มากที่สุด (Full Dual Mode for maximizing bandwidth) ซึ่งมีการทำงานคือ เลือกการส่งข้อมูลผ่านแลนไร้สายที่ดีที่สุด โดยในขั้นตอนที่หนึ่งระบบต้องทำการเปลี่ยนการเชื่อมต่อ โดยให้ระบบทำงานที่กำลังดำเนินการให้แล้วเสร็จ หลังจากนั้นทำการเลือกการส่งข้อมูลผ่านผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ที่ดีที่สุด ดังที่ทำในระบบการเชื่อมต่อเครือข่ายเดียว
- โหมดสุดท้าย ระบบการเชื่อมต่อสองเครือข่ายแบบเต็มรูปแบบสำหรับชุดระดับที่มากที่สุด (Full Dual Mode for maximizing session level) ในส่วนประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อ มีการทำงานคือ เลือกการส่งข้อมูลที่ดีที่สุดโดยเลือกรูปแบบข้อมูลที่สำคัญที่สุด แล้วดำเนินการกระบวนการเหมือนระบบการเชื่อมต่อเครือข่ายเดียว ถ้าไม่มีการเปลี่ยนเครือข่ายการสื่อสาร ให้ระบบเลือกรูปแบบข้อมูลการสื่อสารต่อไป ก่อนทำระบบการเชื่อมต่อเครือข่ายเดียว โดยแต่ละโปรแกรม จะทำการเลือกเครือข่ายการสื่อสารที่ดีที่สุดผ่านตัวระบบนี้ และเพิ่มข้อมูลการเลือกเครือข่ายการสื่อสารดังกล่าวหรืออัปเดตข้อมูลในตัวจัดการค่าไอพีจำลอง

### 1.7.3. Enhanced Power-Friendly Access Network Selection Strategy for Multimedia Delivery Over Heterogeneous Wireless Networks [14]



ภาพประกอบ 1-4 E-PoFANS Architecture [14]



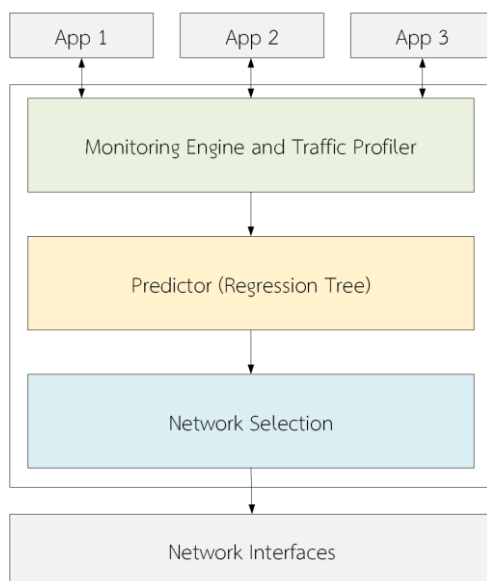
งานวิจัยนี้นำเสนอเรื่อง Enhanced Power-Friendly Access Network Selection (E-PoFANS) เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลรูปแบบมัลติมีเดียผ่านการสื่อสารไร้สาย โดยพลังงานที่ใช้ในอุปกรณ์มือถือจะสามารถใช้งานได้นานมากขึ้น และยังคงประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการเปลี่ยนเครือข่ายการเชื่อมต่อ

เทคโนโลยีนี้ จะมีการใช้พื้นฐานของ IEEE 802.21 ในการเก็บค่าข้อมูลในเครือข่ายไร้สาย เช่น ค่าปริมาณงาน และค่าใช้จ่ายสำหรับการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย ซึ่งจะมีการแบ่งตัวระบบออกได้เป็นส่วนดังภาพประกอบ 1-4 อันได้แก่

- ส่วนเก็บข้อมูล (Data Collection) เป็นส่วนที่มีไว้เก็บค่าข้อมูลที่จำเป็นกับ E-PoFANS เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกเครือข่ายการสื่อสาร โดยเทคโนโลยีนี้ จะใช้ข้อมูลอันได้แก่ การเคลื่อนที่ของผู้ใช้ การตั้งค่าของผู้ใช้ ค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้งานการรับส่งข้อมูล และค่าประสิทธิภาพ
- ส่วนกรองเครือข่าย (Network Filtering) เป็นส่วนที่ใช้กำจัดเครือข่ายการรับส่งข้อมูลที่ไม่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ก่อนทำการส่งเครือข่ายการสื่อสารที่เหลือไปยังส่วนต่อไป
- ส่วนการประมาณค่าพลังงาน (E-PoFANS Energy Prediction) ซึ่งเป็นส่วนที่จะคำนวณค่าความคาดหมายของการใช้พลังงานของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ โดยจะทำการคำนวณข้อมูลในรูปแบบของเรียลไทม์ หลังจากนั้น ข้อมูลจะมีการส่งไปยังส่วนต่อไปเพื่อใช้ในการตัดสินใจ
- ส่วนการเลือกเครือข่ายจากสมการ (E-PoFANS proposed network selection score function) ซึ่งใช้ในการคำนวณหาคะแนนเพื่อใช้งานการเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยจะนำเครือข่ายที่ได้จากส่วนกรองเครือข่าย และส่วนการประมาณค่าพลังงาน มาใช้ในการคำนวณ โดยเครือข่ายที่มีคะแนนมากที่สุด จะเป็นเครือข่ายที่ระบบจะทำการเลือกการใช้งาน

#### 1.7.4. Delphi: A Software Controller for Mobile Network Selection [15]

เป็นงานวิจัยที่ทำการสร้างเทคโนโลยี Delphi ที่เป็นเทคนิคเพื่อให้ระบบทำการเลือกเครือข่ายการส่งข้อมูลที่ดีที่สุดไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อแบบเครือข่ายเดียว (single path) หรือการเชื่อมต่อแบบหลายเครือข่าย (multipath TCP) โดยระบบจะมีหน้าตั้งค่าให้ผู้ใช้เลือกกว่าจะทำการเน้นในการส่งข้อมูลทางด้านใด อันได้แก่ ประหยัดพลังงาน ความเร็วในการรับส่งข้อมูล และค่าการใช้จ่ายสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ โดยระบบจะทำการลงข้อมูลของ Delphi ลงในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) ในการทำงานของ Delphi จะประกอบไปด้วยส่วนดังภาพประกอบ 1-5



ภาพประกอบ 1-5 Delphi Design [15]

- ส่วนเก็บค่าความหนาแน่นเครือข่าย (Traffic Profiler) ทำหน้าที่รับข้อมูลที่จำเป็นในการเชื่อมต่อ ก่อนทำการส่งข้อมูลไปยังส่วนประมาณค่าประสิทธิภาพเครือข่าย โดยข้อมูลดังกล่าวได้แก่ TCP\_CONNECTION\_ID, ขนาดข้อมูล, และเส้นทาง โดยเส้นทางหมายถึงการรับข้อมูล (download) หรือการส่งข้อมูล (upload) โดยเทคโนโลยี Delphi ได้นำเสนอ API ที่ช่วยในการรับค่าเหล่านี้ และควรมีปริมาณข้อมูลเท่าไรที่จะต้องทำการส่งข้อมูล
- ส่วนติดตามเครือข่าย (Network Monitor) เป็นส่วนที่จะติดตามว่าเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะทำการบอกให้ส่วนประมาณค่าประสิทธิภาพเครือข่ายทำงาน ในส่วนติดตามเครือข่ายนี้ จะแบ่งได้เป็นสองส่วนอันได้แก่ค่าเครือข่ายภายในมือถือ (passive measurement) และค่าเครือข่ายในเส้นทาง (active probing/adaptive probing) ในส่วนของค่าเครือข่ายภายในมือถือจะตรวจสอบประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อและดูความหนาแน่นของข้อมูลในการเชื่อมต่อฮอตสปอตท้ายก่อนถึงตัวรับข้อมูลปลายทางในการสื่อสารไร้สาย แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของฮอตสปอตท้ายนี้ไม่ได้บอกถึงคุณภาพของการเชื่อมต่อเสมอไป เช่นในการเชื่อมต่อผ่านผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือ และเพื่อให้ระบบสามารถรับรู้ถึงคุณภาพของการเชื่อมต่อนี้ได้ ระบบจึงได้นำเสนอในส่วนที่สองคือค่าเครือข่ายในเส้นทางที่สามารถนำเสนอข้อมูลที่มีความสำคัญในการใช้ในเวลาคคะเนคุณภาพของการเชื่อมต่อ อันเกิดจากปัญหาของค่าเครือข่ายภายในมือถือแต่จะทำให้ระบบใช้พลังงาน แบตเตอรี่ และเกิดความล่าช้ามากขึ้นด้วย เพื่อลดปัญหาดังกล่าว คือ ปริมาณหัวข้อมูล และพลังงานที่ต้องใช้ในส่วนนี้ ระบบจึงยอมให้ทำงานในส่วนนี้ก็ต่อเมื่อในส่วนค่าเครือข่ายภายในมือถือมีการเปลี่ยนแปลง และให้ระบบทำงาน

เมื่อหน้าจอบ่งแสดงผลการทำงานเท่านั้น หรือต่อเมื่อระบบต้องการรับหรือส่งข้อมูล ในการทำงานของทั้งสองส่วน ระบบจะทำการคำนวณหาค่าความต่างของทั้งสองส่วนโดยทำการทำงานทั้งสองส่วนเป็นจำนวนสองครั้ง ถ้าค่าความต่างของค่าเครือข่ายภายในมือถือมากกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะให้ค่าที่ได้จากการทำค่าเครือข่ายในเส้นทางเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณ และใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณครั้งที่สองของค่าเครือข่ายในเส้นทางเป็นค่าฐานข้อมูลเพื่อหาค่าความผิดพลาดและถ้าค่าความต่างมากกว่าค่าที่กำหนดจะทำค่าเครือข่ายในเส้นทางอีกรอบ

- ส่วนประมาณค่าประสิทธิภาพเครือข่าย (Network Performance Predictor) จะทำงานโดยใช้วิธี Regression Tree โดยจะรับค่าอินพุตในรูปแบบหลายมิติ อันได้แก่ ขนาดของข้อมูล และสถานะของเครือข่าย ในการฝึกให้ Regression Tree ทำงาน จะใช้ข้อมูลทั้งหมด 10% ของข้อมูลทั้งหมดในการฝึก และใช้ข้อมูลอีก 90% ในการตรวจสอบระบบ ซึ่งผลที่ได้จากการทำงานนี้จะออกมาเป็นค่าน้ำหนักที่ไว้ใช้ในกระบวนการของ Network Selector
- ส่วนเลือกเครือข่าย (Network Selector) ในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณงาน ( $S_i^\alpha$ ) พลังงาน ( $E_i^\beta$ ) และค่าใช้จ่ายในการใช้สัญญาณอินเตอร์เน็ตจากผู้ให้บริการเครือข่าย ( $M_i^\gamma$ ) ของแต่ละเครือข่าย ( $i$ ) โดยจะใช้สมการที่ 1-1 เพื่อใช้ในการคำนวณของแต่ละเครือข่าย และเลือกเครือข่ายที่มีค่ามากที่สุด

$$O_i = \frac{S_i^\alpha}{E_i^\beta \cdot M_i^\gamma} \quad 1-1$$

โดยที่  $\alpha$  คือค่าน้ำหนักของค่าปริมาณงาน

$\beta$  คือค่าน้ำหนักของพลังงาน

$\gamma$  คือค่าน้ำหนักของค่าใช้จ่าย

#### 1.7.5. Network Selection Algorithm Based on Diff- AHP and TOPSIS in Heterogeneous Wireless Networks [16]

เป็นงานวิจัยที่มีขึ้นเพื่อนำเสนอวิธีการในการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร โดยใช้เทคนิคการผสมผสานกันระหว่าง Diff-AHP เพื่อใช้ในการหาค่าน้ำหนักของเครือข่ายการรับส่งข้อมูลของสัญญาณที่มีให้ และ TOPSIS ซึ่งมีขึ้นเพื่อช่วยในเรื่องของการตัดสินใจว่าระบบควรที่จะเลือกเครือข่ายการสื่อสารเครือข่ายไหน

ระบบจะทำการวัดหาความต่างของน้ำหนักของข้อมูลในส่วนของ Diff-AHP ก่อน หลังจากนั้นจะใช้ค่าดังกล่าวใน TOPSIS เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าจะใช้เครือข่ายใดในการรับส่งข้อมูลในการทำงานของ Diff-AHP จะมีขั้นตอนดังนี้คือ ทำการสร้างลำดับชั้นของข้อมูลก่อน ซึ่งประกอบไป

ด้วย ผลลัพธ์ที่ต้องการโดยรวมไว้บนสุด ในชั้นกลางจะมีค่าที่ใช้ในการตัดสินใจการเลือกเครือข่าย และทางเลือกของเครือข่ายในชั้นล่างสุด ต่อไประบบจะสร้างเมตริกที่มีการใส่ค่าที่ได้มีการกำหนดไว้แล้ว แล้วนำไปใช้หาค่าเมตริกการตัดสินใจมาตรฐาน ต่อไประบบจะใช้ค่าในเมตริกดังกล่าวไปคำนวณหาค่าน้ำหนักของข้อมูลเพื่อนำไปใช้ใน TOPSIS ต่อไป

ในการทำงานของ TOPSIS ระบบจะทำการสร้างเมตริกที่ใช้ในการตัดสินใจจากอัตราการลำดับขั้นของเมตริกแรกใน Diff-AHP แล้วนำข้อมูลภายในเมตริกมาสร้างเมตริกมาตรฐานโดยใช้วิธี Euclidean Normalization ต่อไประบบจะทำการคำนวณหาค่าน้ำหนักออกมาเป็นตารางเมตริก โดยใช้ค่าจากใน Diff-AHP มาเข้าสมการกับค่าที่คำนวณในลำดับขั้นก่อนหน้านี้ หลังจากนั้น TOPSIS จะหาค่าอุดมคติ (ideal) และค่าต่อต้านอุดมคติ (anti-ideal) เพื่อใช้ในการหาค่าใกล้เคียงเพื่อที่จะสามารถนำมาจัดลำดับของช่องสัญญาณการสื่อสารได้

ในการทดสอบ ระบบได้ทำการทดสอบผ่านการจำลองด้วย MATLAB ซึ่งได้รับผลลัพธ์ว่า ระบบให้ค่าการจัดลำดับการเลือกเครือข่ายการสื่อสารได้ดีขึ้น และยังให้ผลประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเครือข่ายการสื่อสารด้วย

#### 1.7.6. A Network Selection Mechanism for Fourth Generation Communication Networks [17]

ในงานวิจัยนี้ ระบบได้สร้างเกมที่เกี่ยวข้องกับการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร โดยแต่ละผู้เล่นจะทำการแข่งขันว่าผู้เล่นใดจะสามารถทำการเชื่อมต่อได้ โดยผู้เล่นในกรณีนี้คือ ระบบที่จะทำการเลือกและเก็บค่าข้อมูลที่ใช้ในการช่วยตัดสินใจเลือกเครือข่ายการสื่อสารเป็นค่าเซตอันได้แก่ เซตของช่องสัญญาณ คือ WCDMA, WLAN และ WiMAX เซตของแผนการเชื่อมต่อ คือการแสดงวิดีโอแบบต่อเนื่อง (Streaming video), การเล่นอินเทอร์เน็ต (internet surfing) และการโทรออกด้วยเสียง (voice call) และเซตสุดท้ายคือค่าผลตอบแทน (payoff)

ในการทำงานของระบบ ระบบจะทำการคำนวณค่าผลตอบแทนของแต่ละผู้เล่น เพื่อเปรียบเทียบว่าผู้เล่นใดที่มีค่าผลตอบแทนมากที่สุด จะทำการเลือกผู้เล่นนั้นเป็นเครือข่ายการสื่อสาร ในการคำนวณนี้จะทำการตรวจสอบว่าระบบใช้แผนการเชื่อมต่ออะไร มีการตั้งค่าให้เน้นทางด้านประสิทธิภาพหรือค่าใช้จ่าย และปริมาณข้อมูลที่มีการส่งและความแรงของสัญญาณที่ได้รับ มาแบ่งตามสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อกำหนดค่าจุดประสิทธิภาพ (Quality Point) ของแต่ละอัน นอกจากนี้ระบบจะดูพลังงานที่ใช้ในการเชื่อมต่อหรือส่งข้อมูล โดยในแต่ละอุปกรณ์และยุคสมัยจะมีปริมาณการใช้พลังงานในการส่งที่แตกต่างกัน ซึ่งจะแบ่งออกมาเป็นค่าจุดประสิทธิภาพของค่าพลังงานนี้ได้ และระบบยังได้ดูความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือถือด้วยว่ามีการเคลื่อนที่เร็วหรือช้า ถ้าผู้ใช้งานเคลื่อนที่เร็ว การเชื่อมต่อผ่าน WLAN จะเป็นการเชื่อมต่อที่แย่มากที่สุด ซึ่งสามารถแบ่ง

สถานการณ์ดังกล่าวออกมาเป็นค่าจุดประสิทธิภาพได้ หลังจากนั้นระบบจะทำการหาผลรวมของค่าน้ำหนัก ซึ่งจะแล้วแต่ความสำคัญที่ผู้ใช้งานต้องการคุณด้วยค่าจุดประสิทธิภาพของแต่ละอัน เพื่อที่จะได้เป็นค่าผลตอบแทน หลังจากนั้นระบบจะทำการเปรียบเทียบว่าควรเลือกเครือข่ายใดในการเชื่อมต่อ แต่ในกรณีนี้ ระบบจะทำการปรับตัวที่แพ้ให้มีการเลือกวิธีการเชื่อมต่ออื่น ๆ ต่อ เพื่อที่จะให้เอาชนะให้ได้ในครั้งต่อ ๆ ไป ซึ่งผลที่ได้จากการกระทำดังกล่าว จะทำให้ระบบได้เครือข่ายการเชื่อมต่อที่ดีที่สุดเมื่อเวลาผ่านไปพอสมควร

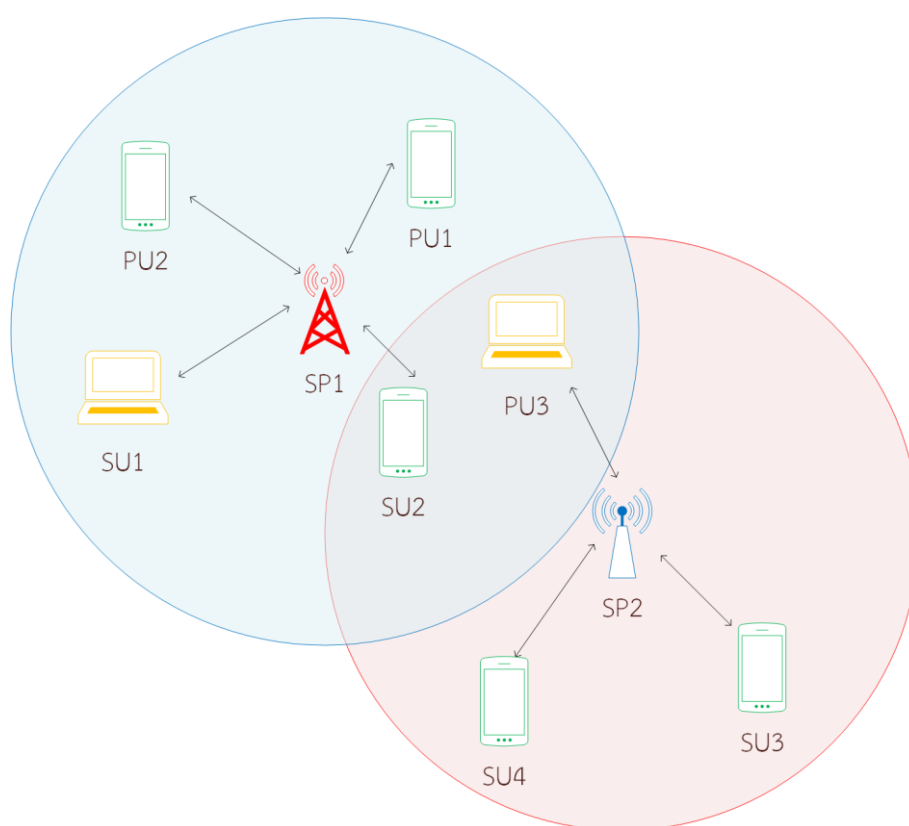
### 1.7.7. Integrated Network Selection Scheme for Remote Healthcare Systems [18]

เป็นงานวิจัยที่มีการรวมเทคนิคของการเลือกเครือข่ายการสื่อสารลงไปในทางการแพทย์ที่ใช้งานบนอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ โดยระบบจะทำการเก็บค่าประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อที่ต้องการจากค่าที่ใช้ในการติดตามผู้ป่วยในโรคต่าง ๆ เพื่อสร้างเมตริกความจริง (Truth Matrix) ขึ้นมา หลังจากนั้นจะทำการคำนวณค่าความจริง (Truth Value) จากค่าต่าง ๆ ในเมตริกความจริง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความจริงพึงประสงค์ (Desired Trust Value) เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกเครือข่ายการสื่อสาร

ในการทำงานของระบบ ระบบจะทำการเก็บค่าที่จำเป็นต้องใช้ในการติดตามผู้ป่วย และตั้งค่ากรอบของข้อมูล ในกรณีที่ค่าที่วัดได้มีค่าเกินหรือน้อยกว่าค่ากรอบ จะทำการส่งข้อมูลฉุกเฉินไปยังอุปกรณ์เซิร์ฟเวอร์ได้ แต่ในกรณีที่ข้อมูลปกติ ระบบจะทำการทำงานเก็บค่าการชักตัวอย่างปกติตามตารางเวลาที่ได้มีตั้งค่าไว้ หลังจากนั้น ค่าที่ได้จากการชักตัวอย่างข้อมูลจะถูกทำเป็นค่าปกติให้สัญญาณอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 นอกจากนี้ จะต้องมีการกำหนดค่าน้ำหนักของข้อมูลตามแต่โรคของผู้ป่วย เพื่อนำมาเข้าหาผลรวมของค่ารากของตัวแปรที่ไม่เป็นศูนย์ หลังจากนั้นจะทำการหารระดับของค่าโรคของผู้ป่วย แล้วนำไปใช้ร่วมกับค่าประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อทั้ง 7 ตัวแปร อันได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการใช้อินเทอร์เน็ต เทียบเป็นเวลาและปริมาณข้อมูล ค่าอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล ค่าความปลอดภัย ค่าความล่าช้า เปอร์เซ็นการสูญเสียข้อมูล และความผิดพลาดของข้อมูล เพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อ ในรูปของตัวอักษร หลังจากนั้น ระบบจะนำค่าประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อดังกล่าว มาใช้ในการช่วยคำนวณหาค่าน้ำหนักของระดับความสัมพันธ์ (Degree of Membership : DoM) แล้วทำให้เป็นค่าปกติของข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 แล้วทำการจัดเรียงข้อมูล หลังจากนั้น ระบบจะนำค่าน้ำหนักดังกล่าวมารวมกันตามความสำคัญที่ผู้ใช้งานต้องการ ถ้าผู้ใช้งานต้องการให้ระบบคำนึงถึงประสิทธิภาพทั้ง 7 ตัวแปร จะทำการรวมค่าน้ำหนักของทั้ง 7 ตัวแปรนั้นเข้าด้วยกัน เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกว่าระบบจะเลือกเครือข่ายใดในการส่งข้อมูลเมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากับเครือข่ายอื่น ๆ

### 1.7.8. Network Selection in Cognitive Heterogeneous Networks Using Stochastic Learning [19]

เป็นงานวิจัยที่ใช้ทฤษฎีทางด้านเกมในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยใช้วิธีการจัดการเลือกเครือข่ายการสื่อสารด้วยตัวเอง (Self-Organized Network Selection) ซึ่งจะเป็นเทคนิคการพัฒนาการเลือกเครือข่ายของแต่ละผู้เล่นให้เข้าใกล้ความสมดุลของนาช (Nash Equilibrium) มากขึ้น โดยในการเลือกเครือข่ายนี้ จะแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเลือกเครือข่ายที่มีค่าปริมาณงานที่ดี และให้ประสิทธิภาพที่พอประมาณ



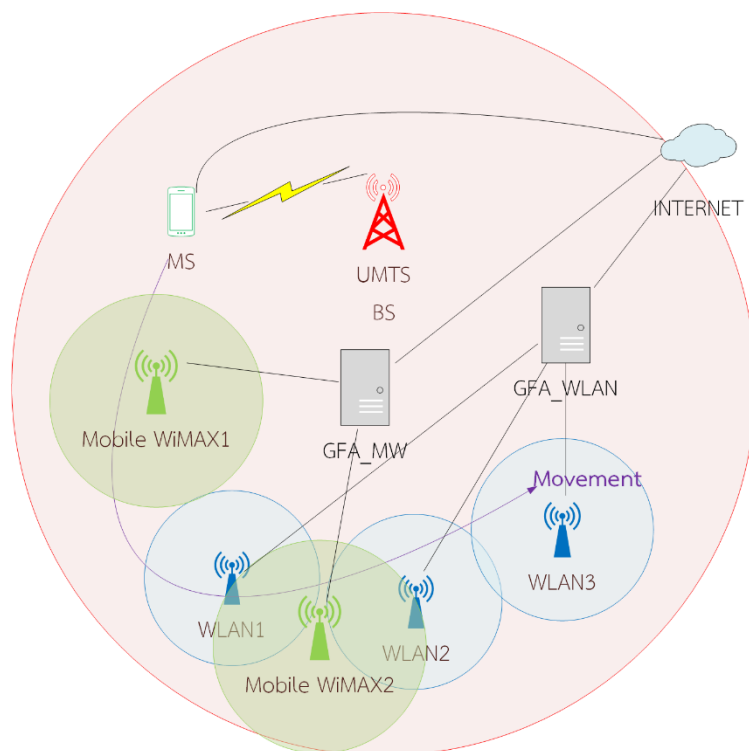
ภาพประกอบ 1-6 An exemplary heterogeneous network with 2 SPs, 3 PUs, and 4 SUs [19]

ในการทำงานของระบบ ระบบจะให้ผู้ใช้เลือกการเชื่อมต่อได้อย่างอิสระ โดยหนึ่งผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อได้เพียงหนึ่งเครือข่ายการสื่อสารเท่านั้นดังภาพประกอบ 1-6 โดยในเกมจะตรวจสอบผลจากการคำนวณฟังก์ชันยูทิลิตี้ (Utility Function) ว่าใครมีมากกว่า ก็จะทำให้ผู้ใช้คนนั้นเป็นผู้ชนะ โดยในการคำนวณฟังก์ชันยูทิลิตี้นั้น จะแสดงให้เห็นถึงค่าความเป็นไปได้ของการทดสอบ (Probabilistic experiment) ที่ได้จากการอัปเดตค่าที่มีการให้ไว้จากการคำนวณครั้งแรก เมื่อเวลา

ผ่านไประยะเวลาหนึ่ง จะทำการอัปเดตค่าดังกล่าวโดยนำผลการแข่งครั้งก่อนหน้ามาใช้ร่วมในการคำนวณแล้วทำการเปรียบเทียบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบว่าจะให้เครือข่ายไหนเป็นผู้ชนะ โดยค่าที่ให้ความสนใจในการใช้คำนวณดังกล่าวคือค่า ปริมาณงาน, ความแรงของสัญญาณ, และค่าอัตราการเรียนรู้ ที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 1

### 1.7.9. Vertical Handoff with Predictive RSS and Dwell Time [20]

เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตัดสินใจเปลี่ยนเครือข่ายการสื่อสารระหว่างสัญญาณอินเทอร์เน็ตจากผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือ และสัญญาณแลนไร้สายดังภาพประกอบ 1-7 โดยมีวิธี mobile IP regional registration (MIP-RR) โดยในการตัดสินใจจะขึ้นอยู่กับค่าความแรงของสัญญาณ (Receive Signal Strength: RSS) และค่าตัวเลขนับถอยหลัง (dwell time) โดยจะมีการคำนวณค่า merit เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อเลือกเครือข่ายการสื่อสาร ซึ่งระบบดังกล่าวจะใช้ในระบบที่ผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ระหว่างที่ทำการใช้งาน โดยตัวระบบนี้จะทำให้ระบบเลือกการเปลี่ยนเครือข่ายได้เร็วขึ้นกว่าปกติ นอกจากจะทำให้ระบบทำงานได้โดยไม่เสียประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อแล้ว ยังทำให้ระบบลดปริมาณความเป็นไปได้ที่จะทำให้อายุเสียข้อมูลระหว่างการส่งข้อมูลด้วย ในระบบนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนคือ



ภาพประกอบ 1-7 IP-based heterogeneous wireless networks [20]

- ส่วนแรกคือการทำงานโดยเปลี่ยนจากเชื่อมต่อจากสัญญาณอินเทอร์เน็ตจากผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือเป็นแลนไร้สาย จะทำการตรวจสอบว่าสัญญาณที่รับได้ใหม่มีค่าความแรงของสัญญาณเกินค่าขอบเขตที่กำหนดหรือไม่ หรือสัญญาณที่เคยได้รับมีการเพิ่มขนาดของสัญญาณเกินค่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้าใช่ในกรณีใดกรณีหนึ่ง จะทำการตรวจสอบว่าในขณะที่เกินค่าขอบเขตนั้นมีเวลานับถอยหลังที่ครบตามกำหนดแล้วหรือไม่ ถ้าครบตามกำหนดแล้วระบบจะทำการเริ่มระบบในการทำงานใหม่อีกรอบ โดยค่าเวลานับถอยหลังคือเวลาที่ปรับเปลี่ยนไปตามการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ คือเมื่อผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ที่ไม่ปกติคือไปกลับตลอดเวลา ค่าดังกล่าวจะมีเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ต่อไปถ้าระบบตรวจสอบว่าค่าความแรงของสัญญาณของสัญญาณอินเทอร์เน็ตจากผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือ มีค่าน้อยลงในขณะที่ค่าความแรงของสัญญาณของแลนไร้สายมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หมายความว่าผู้ใช้งานเคลื่อนที่ออกจากวงสัญญาณของสัญญาณอินเทอร์เน็ตของผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ระบบจะทำการตรวจสอบแลนไร้สาย ว่าการเชื่อมต่อใดมีค่าฟังก์ชันคุณสมบัติ (Merit Function) ที่มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดจะทำการเลือกเครือข่ายการสื่อสารนั้น ในกรณีอื่น ถ้าผู้ใช้งานไม่เคลื่อนที่ออกจากวงสัญญาณของสัญญาณอินเทอร์เน็ตของผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ระบบจะทำการตรวจสอบค่าฟังก์ชันคุณสมบัติเพื่อเลือกการเชื่อมต่อที่มีค่ามากกว่า โดยที่ค่าฟังก์ชันคุณสมบัติคือค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายการสื่อสาร
- ในการทำงานอีกส่วนคือเปลี่ยนจากการเชื่อมต่อแลนไร้สายเป็นสัญญาณอินเทอร์เน็ตจากผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือหรือแลนไร้สายอื่น ๆ โดยจะทำการตรวจสอบก่อนว่าการเชื่อมต่อปัจจุบันมีค่าความแรงของสัญญาณน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ หรือเริ่มมีการลดลงจนถึงค่าที่กำหนดเป็นครั้งแรก จะทำการหาเครือข่ายการสื่อสารที่มีค่าความแรงของสัญญาณมาก เป็นเวลาของเวลานับถอยหลังที่ได้คำนวณไว้ ระบบจะทำการสับเปลี่ยนไปยังเครือข่ายที่มีค่าฟังก์ชันคุณสมบัติที่มากกว่า หรือถ้าในกรณีที่เท่ากันจะทำการเลือกตามลำดับดังนี้คือแลนไร้สาย WiMAX และสัญญาณอินเทอร์เน็ตจากผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

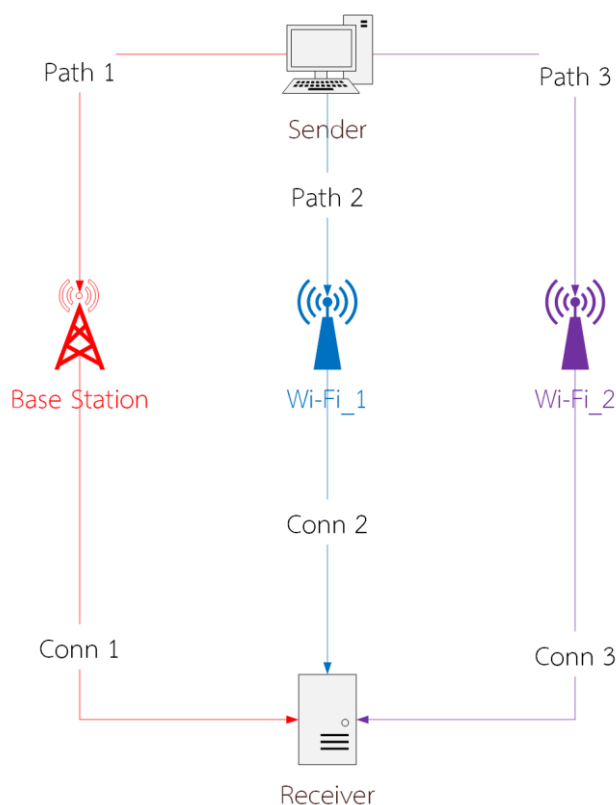
#### 1.7.10. Multipath TCP [7]-[11]

MPTCP หรือก็คือ Multipath TCP เป็นระบบที่ยอมให้ทีซีพีสามารถเชื่อมต่อไปยังอินเทอร์เน็ตผ่านได้มากกว่าหนึ่งเครือข่ายดังภาพประกอบ 1-8 เช่น ในการเชื่อมต่อผ่านแลนไร้สายระบบอาจจะมีการเปลี่ยนการส่งข้อมูลเป็นสัญญาณอินเทอร์เน็ตจากผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือช่วงใดช่วงหนึ่งได้ แต่จะมีช่วงเวลาที่ใช้ในการเริ่มระบบใหม่ในการเปลี่ยนเครือข่ายการสื่อสาร ซึ่งตัว MPTCP จะช่วยให้ระบบไม่มีการขาดตอนในการรับส่งข้อมูลในช่วงเวลาดังกล่าว แต่การ



ที่ MPTCP จะทำงานได้ ในการเชื่อมต่อ ทั้งสองฝั่งการรับส่งข้อมูล จะต้องรองรับระบบการเชื่อมต่อ MPTCP เพื่อให้ระบบใช้งานได้ปกติ

MPTCP มีการทำงานคือ เมื่อระบบเริ่มการเชื่อมต่อระบบจะทำการส่ง SYN เพื่อตรวจสอบว่าอีกฝั่งมีการสนับสนุน MPTCP ได้ และเพื่อรับเครื่องหมาย (Token) ที่ใช้ในการสื่อสารในครั้งนั้น ๆ และการเชื่อมต่อย่อย จะทำการใช้เครื่องหมายที่ได้รับจากการทำการสื่อสารเบื้องต้น (handshaking) ดังกล่าวในการเชื่อมต่อระบบต่อไป หลังจากนั้น MPTCP จะทำการแบ่งข้อมูลไปยังการเชื่อมต่อย่อยต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานทรัพยากรได้คุ้มค่าที่สุด แต่ระบบจะใช้เพียงการเชื่อมต่อย่อยเพียงอันเดียวเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด และมีความเร็วในการส่งมากที่สุด ในการสื่อสารของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ เมื่อระบบมีการเปลี่ยนเครือข่ายการสื่อสารและมีการเปลี่ยนไอพีที่อยู่ (IP Address) ของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ เช่น เปลี่ยนจากการเชื่อมต่อแลนไร้สายเป็นสัญญาณอินเทอร์เน็ตของโทรศัพท์มือถือ หรือเปลี่ยนช่วงรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตของโทรศัพท์มือถือแรก ไปรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตของโทรศัพท์มือถือในตัวปล่อยสัญญาณโทรศัพท์อื่น ๆ MPTCP จะช่วยให้ไม่มีการขาดการเชื่อมต่อของระบบโดยการเลือกการเชื่อมต่อย่อยอันอื่น ๆ ได้



ภาพประกอบ 1-8 ตัวอย่าง MPTCP [8]

MPTCP สามารถเพิ่มหรือลดการเชื่อมต่อย่อยได้ หากอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือมี address เพิ่ม สามารถทำได้โดยส่ง SYN และ JOIN เพื่อบอกที่อยู่ (Address) ของที่ซีพียูให้แก่ตัวเซิร์ฟเวอร์ โดยเซิร์ฟเวอร์จะใช้ตัว JOIN ในการบอกว่าที่อยู่ นั้น ๆ อยู่ใน การเชื่อมต่อย่อยอันไหน และถ้าตัวเซิร์ฟเวอร์มีหลายที่อยู่ เซิร์ฟเวอร์จะส่งข้อมูลการเพิ่มที่อยู่ (Add Address) ไปยังที่ซีพียูด้วย และเมื่อที่ซีพียูได้รับ จะทำการสร้างเครือข่ายของที่ซีพียูไปยังที่อยู่ดังกล่าวด้วย

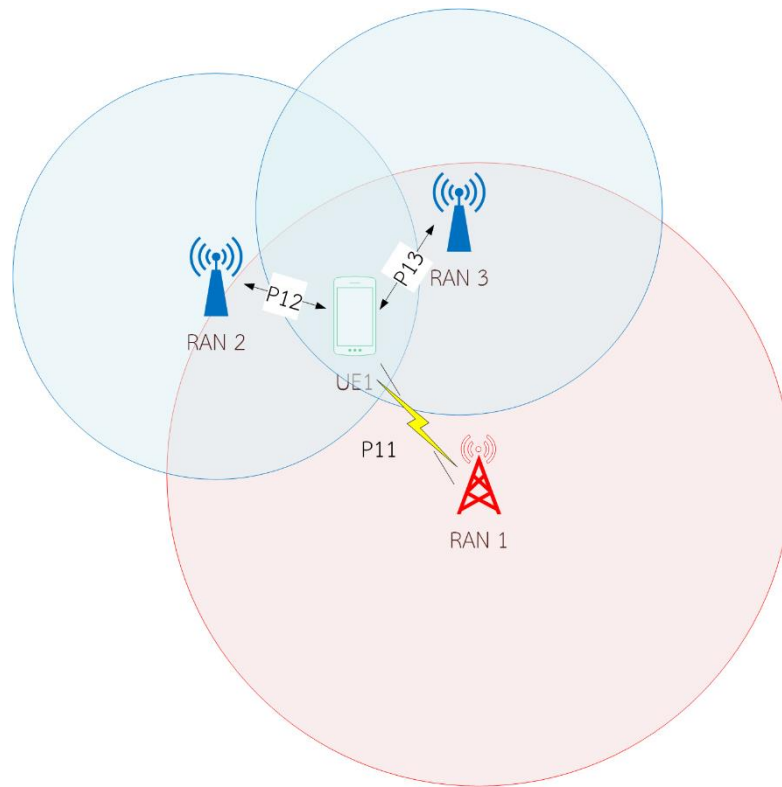
ในการทำงานของ MPTCP ตอนนี้ มีการออกแบบสามระบบคือ

- โหมด MPTCP แบบสมบูรณ์ (Full-MPTCP Mode) คือในการเชื่อมต่อ จะมีการเชื่อมต่อย่อย ซึ่งในระบบนี้ จะทำการเชื่อมต่อย่อยไว้ทุกการเชื่อมต่อ เพื่อให้ระบบตอบสนองต่อความเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่สุด
- โหมดสำรอง (Backup Mode) คือการใช้งานการเชื่อมต่อย่อย แต่จะใช้งานในการส่งข้อมูลแค่บางส่วน เพื่อที่จะลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลให้มากที่สุด โดยในปัจจุบันนี้ ระบบโทรศัพท์มือถือมักจะเลือกการส่งผ่านแลนไร้สายมากกว่าสัญญาณอินเทอร์เน็ตของโทรศัพท์มือถือ เพื่อลดปริมาณพลังงานที่ใช้
- โหมดช่องทางเดียว (Single-Path Mode) คือการทำงานที่ใกล้เคียงกับโหมดสำรอง แต่จะทำการเชื่อมต่อย่อยอันเดียวในการต่อผ่านระบบใดระบบหนึ่งไว้ก่อน และเมื่อระบบขาดการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายนี้ อีกการเชื่อมต่อย่อยจะทำการเชื่อมต่อผ่านระบบอื่น ๆ แทน

#### 1.7.11. Dynamic Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks [21]

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการเลือกเครือข่ายการสื่อสารของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือคุณภาพประกอบ 1-9 โดยใช้เทคนิคของแมกมินแฟร์เนส ซึ่งจะทำการพิจารณาค่าพลังงานคงเหลือของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ความล่าช้าของการส่งข้อมูล และค่าใช้จ่ายในการใช้งานอินเทอร์เน็ต

ในการทำงานของวิธีการเลือกเครือข่ายการสื่อสารนี้ ตัวโปรแกรมจะทำการวัดค่าตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกเครือข่ายการสื่อสาร อันได้แก่ พลังงานคงเหลือของโทรศัพท์มือถือ ( $E_{ij}$ ) ความล่าช้าของการส่งข้อมูล ( $\tau_{ij}$ ) และค่าใช้จ่ายในการใช้งานอินเทอร์เน็ต ( $C_{ij}$ ) แล้วคิดคำนวณหาค่าน้ำหนักของตัวแปรทั้ง 3 อันได้แก่ น้ำหนักของพลังงานคงเหลือ ( $\alpha_i$ ) น้ำหนักของความล่าช้า ( $\gamma_i$ ) และน้ำหนักของค่าใช้จ่ายในการใช้งานอินเทอร์เน็ต ( $\beta_i$ ) ที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยวิธีการของแมกมินแฟร์เนส (Max-Min Fairness) เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าน้ำหนักที่เหมาะสม เทคนิคเกมการบวกที่เท่ากับศูนย์ (Zero-Sum Game) เพื่อให้ได้ความเป็นไปได้ของน้ำหนักรวมทั้งหมด 11 กรณี ซึ่งค่าน้ำหนักทั้งสามตัว ถ้าบวกกันแล้วจะมีค่าเท่ากับ 1



ภาพประกอบ 1-9 A system scenario under study [21]

ในเทคนิคของแม็กมินแพร์เนส โปรแกรมจะคิดคำนวณรอบตั้งแต่การหาค่า น้ำหนักไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่าที่คำนวณได้ ( $U$ ) ที่ได้จากสมการ 1-2 ของค่าก่อนหน้าเท่ากับค่าปัจจุบัน หรือครบตามจำนวนรอบที่กำหนด เมื่อระบบได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมทั้งสามตัวแล้ว โปรแกรมจะทำการนำค่าน้ำหนักมาใช้ในการคำนวณแต่ละเครือข่าย เพื่อเลือกเครือข่ายที่มีค่าที่ได้จากการคำนวณมากที่สุด

$$U_{ij} = \alpha_i \cdot E_{ij} + \beta_i \cdot C_{ij} + \gamma_i \cdot \tau_{ij} \quad 1-2$$

โดยที่  $i$  คือเครือข่ายการสื่อสาร

$j$  คืออุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ

#### 1.7.12. Accurate Online Power Estimation and Automatic Battery Behavior Based Power Model Generation for Smartphones [22]

งานวิจัยนี้เป็นงานที่นำเสนอรูปแบบการคำนวณเพื่อคำนวณพลังงานที่ใช้ใน โทรศัพท์มือถือ โดยจะคำนึงถึงการทำงานของซีพียู จอแอลซีดี จีพีเอส เสียง แลนไร้สาย และ

อินเทอร์เน็ตผ่านผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์ โดยงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือรุ่น HTC Dream ซึ่งเป็นอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่อนุญาตให้ผู้ผู้ใช้เก็บค่าข้อมูลของฮาร์ดแวร์ของเครื่องได้

การที่จะได้รับมาซึ่งรูปแบบของสมการ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ปล่อยไฟฟ้าชื่อว่ามอนซูน (Monsoon) แล้วทำการเก็บค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละส่วนของอุปกรณ์ในโทรศัพท์มือถือ เช่น เมื่อต้องการวัดซีพียู จะทำการปิดระบบการทำงานของจอแอลซีดี จีพีเอส แลนไร้สาย และอินเทอร์เน็ตผ่านผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น

เมื่อได้พลังงานของแต่ละส่วนอุปกรณ์จากการทดลองแล้ว งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบสมการการคำนวณหาพลังงานที่ใช้จากค่าที่ได้จากการทดลองดังกล่าวเพื่อที่จะใช้ในโปรแกรม PowerTutor

ตาราง 1-3 ตารางสรุปการเปรียบเทียบเรื่องการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร

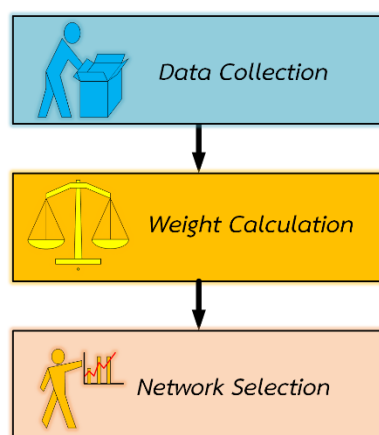
| เทคนิค                   | จุดประสงค์   | การทำงาน<br>ของระบบ | การ<br>ดัดแปลง<br>เฟิร์มแวร์ | เลเยอร์การ<br>ทดสอบ                     | ตัวแปรที่สำคัญในการเลือกเครือข่าย  | การทดสอบ                               |
|--------------------------|--|---------------------|------------------------------|---|--|--|
| <i>MultiNets</i><br>[12] | ประหยัดพลังงาน เพิ่ม<br>ความเร็ว และการจัดการ<br>จราจรในข้อมูลทีมาก                  | ผู้ใช้เลือก         | ไม่                          | <i>Application</i>                      | ขนาดข้อมูล, ความแรงของสัญญาณ<br>วิทยุ, จำนวนและสถานะของทีซีพี ยูดี<br>พี, พลังงานที่ใช้                              | สภาพแวดล้อมจริง                        |
| <i>Nesto</i> [13]        | นำเสนอวิธีที่ยืดหยุ่นต่อการ<br>เลือกเครือข่ายการสื่อสาร                              | ผู้ใช้เลือก         | ใช่                          | <i>Application,</i><br><i>Transport</i> | ความแรงของสัญญาณวิทยุ, ความ<br>ล่าช้า, <i>jitter</i> , <i>PER</i> , ขนาดข้อมูล,<br>พลังงานที่ใช้                     | จำลองข้อมูลและ<br>สภาพแวดล้อมจริง      |
| <i>E-PoFANS</i><br>[14]  | ประหยัดพลังงานพร้อมคง<br>ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อ                                     | ผู้ใช้เลือก         | ไม่                          | <i>Application</i>                      | การเคลื่อนที่, การตั้งค่า, ปริมาณงาน,<br>พลังงานที่ใช้, ค่าใช้จ่าย   | สภาพแวดล้อม<br>กำหนดและจำลอง<br>ข้อมูล |
| <i>Delphi</i><br>[15]    | ให้แอปพลิเคชันเลือก<br>เครือข่ายการสื่อสารที่ดีที่สุด<br>โดยวิธี <i>Optimization</i> | ผู้ใช้ตั้งค่า       | ไม่                          | <i>Application</i>                      | ขนาดข้อมูล, ความล่าช้า, ความแรง<br>ของสัญญาณวิทยุ, ความเร็วเครือข่าย,<br>จำนวนอุปกรณ์จ่ายสัญญาณไร้สาย,<br>ค่าใช้จ่าย | จำลองข้อมูลและ<br>สภาพแวดล้อมจริง      |

| เทคนิค  | จุดประสงค์   | การทำงานของระบบ  | การ<br>ดัดแปลง<br>เฟิร์มแวร์ | เลเยอร์การ<br>ทดสอบ | ตัวแปรที่สำคัญในการเลือก<br>เครือข่าย   | การทดสอบ                             |
|---|--|--|------------------------------|---------------------|---|--------------------------------------|
| <i>Diff-AHP,</i><br><i>TOPSIS</i><br>[16]                             | วิธีการใหม่ในการเลือก<br>เครือข่าย   | นำหนักจาก <i>AHP</i> ที่ได้<br>จากการเปรียบเทียบ<br>กับค่าที่ได้ให้ไว้ | ไม่                          | <i>Application</i>  | ค่าใช้จ่าย, แบนด์วิดท์, ความ<br>ปลอดภัย, ความล่าช้า, <i>Packet</i><br><i>Jitter, Packet loss</i>                    | จำลองข้อมูล<br>ด้วย<br><i>MATLAB</i> |
| [17]  | แสดงให้เห็นถึงการใช้ทฤษฎี<br>เกมในการแก้ปัญหาการ<br>เลือกเครือข่ายการเชื่อมต่อ | สู้เพื่อแข่งขัน  | ไม่                          | <i>Application</i>  | ค่าใช้จ่าย, ประสิทธิภาพ, ความแรง<br>ของสัญญาณวิทยุ, การเคลื่อนที่,<br>พลังงานที่ใช้                                 | จำลองข้อมูล                          |
| <i>Truth</i><br><i>Value</i><br><i>Truth</i><br><i>Matrix</i><br>[18] | เพื่อสร้าง <i>Truth Matrix</i> ที่<br>ใช้ในการเขียนกฎของ <i>fuzzy</i>          | ผู้ใช้ตั้งค่าความสำคัญ<br>ของสิ่งที่ต้องการ                            | ไม่                          | <i>Application</i>  | ค่าใช้จ่าย, อัตราการส่งข้อมูล, ความ<br>ปลอดภัย, ความล่าช้า, การสูญเสีย<br>ข้อมูล, อัตราผิดพลาดของแต่ละบิต<br>ข้อมูล | จำลองข้อมูล                          |
| <i>SoNS</i> [19]  | ให้ค่าปริมาณงานที่ดีและ<br>ประสิทธิภาพที่เพียงพอ                               | ตั้งค่า <i>learning rate</i>   | ไม่                          | <i>Application</i>  | <i>Learning rate, indicator</i><br><i>function, history reward</i>  | จำลองข้อมูล                          |

| เทคนิค            | จุดประสงค์   | การทำงานของระบบ                                | การตัดแปลงเฟิร์มแวร์ | เลเยอร์การทดสอบ    | ตัวแปรที่สำคัญในการเลือกเครือข่าย   | การทดสอบ                              |
|-------------------|--|--|----------------------|--------------------|---|---------------------------------------|
| MIP-RR<br>[20]    | ให้ระบบเลือกเครือข่ายการสื่อสารในขณะที่มีการเคลื่อนที่ | คำนวณความเป็นไปได้                             | ไม่                  | Application        | ความแรงของสัญญาณวิทยุ, พลังงานที่ใช้ส่งข้อมูล, ระยะห่างระหว่างมือถือ และตัวปล่อยสัญญาณ  | จำลองข้อมูล                           |
| MPTCP<br>[7]-[11] | การทำ Handover ระหว่าง WLAN กับ UMTS                   | ระบบเปลี่ยนเครือข่ายเอง, ตรวจสอบ WLAN ก่อน [9] | ใช่                  | Network, Transport | ขนาดของ WLAN/UMTS congestion window [9]   | จำลองข้อมูล, สภาพแวดล้อมจริง และกำหนด |
| ASWU<br>[21]      | เลือกเครือข่ายในการสื่อสารที่เหมาะสม                   | Dynamic Weights                                | ไม่                  | Application        | ความล่าช้า, พลังงานคงเหลือ, และค่าใช้จ่าย   | จำลองข้อมูล                           |
| งานวิจัย          | เลือกเครือข่ายในการส่งข้อมูลขนาดเล็กที่เหมาะสม         | Dynamic Weights                                | ไม่                  | Application        | ความแรงของสัญญาณวิทยุ, จำนวนอุปกรณ์จ่ายสัญญาณไร้สาย, ความเร็วเครือข่าย, ความล่าช้า, อัตราการสำเร็จในการส่งข้อมูลยูดีพี, พลังงานที่ใช้ | จำลองข้อมูลและสภาพแวดล้อมจริง         |

## 1.8. ประเด็นวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมในเรื่องการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร จะเห็นได้ว่า งานวรรณกรรมส่วนใหญ่จะมีรูปแบบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารพอสรุปสังเขปได้ดังภาพประกอบ 1-10 โดยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร หลังจากนั้นระบบจะทำการคำนวณค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลของแต่ละเครือข่ายการสื่อสารเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกเครือข่าย โดยบทความส่วนใหญ่จะใช้การกำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) กับค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยค่าน้ำหนักดังกล่าวนั้นอาจจะมาจากการคำนวณในการเรียนรู้ของอุปกรณ์ หรือการให้ผู้ใช้เป็นคนกำหนดข้อมูล



ภาพประกอบ 1-10 รูปแบบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยรวม

ในงานวิจัยนี้จะเกี่ยวกับการเลือกเครือข่ายการสื่อสารก่อนทำการรับส่งข้อมูล ผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือทั่วไปในยุคปัจจุบัน โดยในการเลือกเครือข่ายดังกล่าว นั้น ระบบจะมีการเปลี่ยนเครือข่ายการสื่อสารโดยอัตโนมัติ โดยคำนึงถึงค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล อัตราการสูญเสียของข้อมูล และพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล ซึ่งจะแตกต่างจากระบบปกติที่จะทำการเชื่อมต่อผ่าน Cellular หรือ WLAN อย่างไม่อย่างหนึ่ง ตลอดเวลาที่สามารถเชื่อมต่อได้ โดยข้อมูลที่จะใช้ในการส่งนั้น จะเป็นข้อมูลที่มีขนาดเล็กและมีการส่งแบบต่อเนื่อง

ในระบบนี้ ระบบจะทำการเก็บค่าข้อมูลเพื่อใช้ในการตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแต่ละเครือข่ายการสื่อสารที่ได้รับของเครือข่ายภายในโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้ระบบรู้ว่า จะทำการเลือกเครือข่ายการสื่อสารใหม่เมื่อใด นอกจากนี้ ระบบจะทำการเก็บค่าที่ใช้ในการคำนวณคือ ค่าภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อใช้เลือกเครือข่ายการสื่อสาร เมื่อระบบทำการเก็บค่าข้อมูลแล้ว ระบบจะทำการคำนวณหาค่าน้ำหนักที่ให้ความเท่าเทียมกันของค่าในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมากที่สุด เพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อให้สามารถเลือกเครือข่ายการสื่อสารที่ดีที่สุดได้



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในส่วนนี้ จะเกี่ยวกับการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่จำเป็นในการทำงานวิจัยนี้ ซึ่งจะ เป็นข้อมูลเกี่ยวกับการสื่อสารเป็นส่วนใหญ่ จำพวกเช่นมาตรฐานการสื่อสารของแลนไร้สาย มาตรฐาน การสื่อสารผ่านเซลลูล่า ซึ่งค่าทั้งสองนี้ สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นค่าความเร็วเชื่อมต่อได้ เบื้องต้นสำหรับการเก็บค่าตัวแปรเครือข่ายภายในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ นอกจากข้อมูลที่ใช้ในการ สื่อสารแล้ว จะมีข้อมูลของ ความแรงของสัญญาณ (RSSI) ของแต่ละเครือข่าย และตัวแปรที่เก็บค่าได้ เมื่อทำการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จำพวกค่าความล่าช้าโดยใช้วิธีการส่ง ICMP Echo และ UDP ซึ่งสามารถแบ่งออกมาเป็นหัวข้อต่าง ๆ ได้ดังนี้

#### 2.1. การเชื่อมต่อผ่านแลนไร้สาย 802.11x [23]

802.11x คือมาตรฐานการเชื่อมต่อของการสื่อสารไร้สาย หรือ Wireless LAN (WLAN) ซึ่งเกี่ยวกับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ลูกข่ายกับตัวรับส่งสัญญาณผ่านอากาศ โดย เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายนี้ได้ถูกยอมรับให้เป็นหนึ่งในมาตรฐานการเชื่อมต่อของ IEEE ใน ปี ค.ศ. 1997 มาตรฐานของ 802.11 ได้แบ่งออกมาเป็นหลายๆ มาตรฐานการเชื่อมต่อ อันได้แก่

- 802.11 จะเป็นการเชื่อมต่อแบบไร้สายบนคลื่นความถี่ 2.4 GHz โดยมีความเร็วอยู่ที่ 1 ถึง 2 Mbps โดยใช้เทคนิค hopping spread spectrum (FHSS) หรือ direct sequence spread spectrum (DSSS)
- 802.11a เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อมาจาก 802.11 ที่สามารถทำให้มีการเชื่อมต่อความเร็วสูงสุด ได้ถึง 54 Mbps บนคลื่นความถี่ 5 GHz โดยใช้เทคนิค orthogonal frequency division multiplexing encoding scheme
- 802.11b เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อมาจาก 802.11 ที่สามารถทำให้มีการเชื่อมต่อความเร็ว สูงสุดได้ถึง 11 Mbps บนคลื่นความถี่ 2.4 GHz
- 802.11g เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการเชื่อมต่อในระยะใกล้ โดยให้ความเร็วสูงสุดได้ถึง 54 Mbps บนความถี่ 2.4 GHz
- 802.11n เป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาต่อให้รองรับการรับหลายช่องทางและส่งหลายช่องทาง (MIMO) ที่ให้ความเร็วได้สูงสุด 100 Mbps
- 802.11ac เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อมาให้มีความเร็วได้สูงสุด 433 Mbps หรือ 1.3 Gbps เมื่อมี 3 เสาสัญญาณ โดยจะทำงานอยู่บนความถี่ 5 GHz

จากข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปเป็นความเร็วของแต่ละความถี่ของแต่ละมาตรฐานดังตาราง 2-1 เนื่องจากการสื่อสารไร้สายบนคลื่นความถี่ 2.4 GHz มีการใช้งานนอกเหนือจากการสื่อสารแลนไร้สาย เช่น อุปกรณ์ติดตามเด็กเล็ก โทรศัพท์ไร้สายรุ่นเก่า หรืออุปกรณ์เปิดประตูระยะไกล เป็นต้น ทำให้ความถี่ 2.4 GHz มีการใช้งานที่สูงมาก และมีความเป็นไปได้สูงที่จะถูกรบกวนได้ง่าย ทำให้การสื่อสารบนความถี่ 5 GHz สามารถลดการถูกรบกวนจากอุปกรณ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ และจากมาตรฐาน 802.11 จะเห็นได้ว่า ความเป็นไปได้ที่การสื่อสารบนความถี่ 5 GHz มีความเร็วกว่าการสื่อสารบนความถี่ 2.4 GHz

ตาราง 2-1 สรุปความเร็วของแลนไร้สายแต่ละความถี่ [23]

| มาตรฐาน                    | 802.11a  | 802.11b  | 802.11g    | 802.11n         | 802.11ac                 |
|----------------------------|----------|----------|------------|-----------------|--------------------------|
| ปีที่ออก                   | 1999     | 1999     | 2003       | 2000            | 2012                     |
| ความเร็วส่งสูงสุด          | 54 Mbps  | 11 Mbps  | 54 Mbps    | 65 – 600 Mbps   | 78 Mbps – 3.2 Gbps       |
| ช่วงความถี่                | 5 GHz    | 2.4 GHz  | 2.4 GHz    | 2.4 หรือ 5 GHz  | 5 GHz                    |
| ช่องแบนด์วิธด์             | 20 MHz   | 20 MHz   | 20 MHz     | 20, 40 MHz      | 40, 80, 160 MHz          |
| มอดูเลชัน                  | QAM      | CCK      | QAM        | QAM             | QAM                      |
| ค่าลำดับของมอดูเลชันสูงสุด | 64       | 11       | 64         | 64              | 256                      |
| การใช้คลื่นสัญญาณ          | OFDM     | DSSS     | DSSS, OFDM | OFDM            | SC-OFDM                  |
| การตั้งค่าเสาสัญญาณ        | 1X1 SISO | 1X1 SISO | 1X1 SISO   | มากถึง 4X4 MIMO | มากถึง 8X8 MIMO, MU-MIMO |

## 2.2. การเชื่อมต่อผ่านผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือ [24]

การเชื่อมต่อผ่านเครือข่าย ได้มีการพัฒนามาตั้งแต่อดีต ตั้งแต่ 0G จนถึงปัจจุบัน คือ 4.5G หรือ LTE Advanced ซึ่งสามารถอธิบายการพัฒนาของระบบได้ดังนี้

- 0G หรือที่เรียกว่าการสื่อสารไร้สายผ่านสัญญาณวิทยุ ซึ่งเป็นรุ่นบุกเบิกก่อนการเชื่อมต่อในโทรศัพท์มือถือ

- 1G เป็นรุ่นแรกของการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ซึ่งเป็นรุ่นการเชื่อมต่อข้อมูลแบบแอนะล็อก
- 2G เป็นรุ่นที่มีการให้บริการการรับส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล เป็นจุดแรกที่มีการใช้งาน SMS หรือ Short Message Service และ MMS หรือ Multimedia Message Service สามารถแสดงความเร็วในการรับส่งข้อมูลได้ดังตาราง 2-2

ตาราง 2-2 ตารางความเร็วของการรับส่งข้อมูล 2G ของโทรศัพท์มือถือ

| Second generation (2G) from 1991: |             |
|-----------------------------------|-------------|
| Speeds in kbit/s                  | down and up |
| GSM CSD                           | 9.6         |
| CDPD                              | UP TO 19.2  |
| GSM GPRS (2.5G)                   | 56–115      |
| GSM EDGE (2.75G)                  | UP TO 237   |

- 3G เป็นรุ่นที่รองรับการรับส่งได้ถึง 200 Kbps ซึ่งทำให้รองรับการใช้งานอินเทอร์เน็ต โทรศัพท์เสียงแบบไร้สาย วิดีโอคอลล์ และโทรศัพท์มือถือสามารถแสดงความเร็วได้ดังตาราง 2-3

ตาราง 2-3 ตารางความเร็วของการรับส่งข้อมูล 3G ของโทรศัพท์มือถือ

| Third generation (3G) from 2001: |         |          |
|----------------------------------|---------|----------|
| Speeds in Mbit/s                 | down    | up       |
| UMTS W-CDMA                      | 0.4     |          |
| UMTS HSPA                        | 14.4    | 5.8      |
| UMTS TDD                         | 16      |          |
| CDMA2000 1xRTT                   | 0.3     | 0.15     |
| CDMA2000 EV-DO                   | 2.5–4.9 | 0.15–1.8 |
| GSM EDGE-Evolution               | 1.6     | 0.5      |

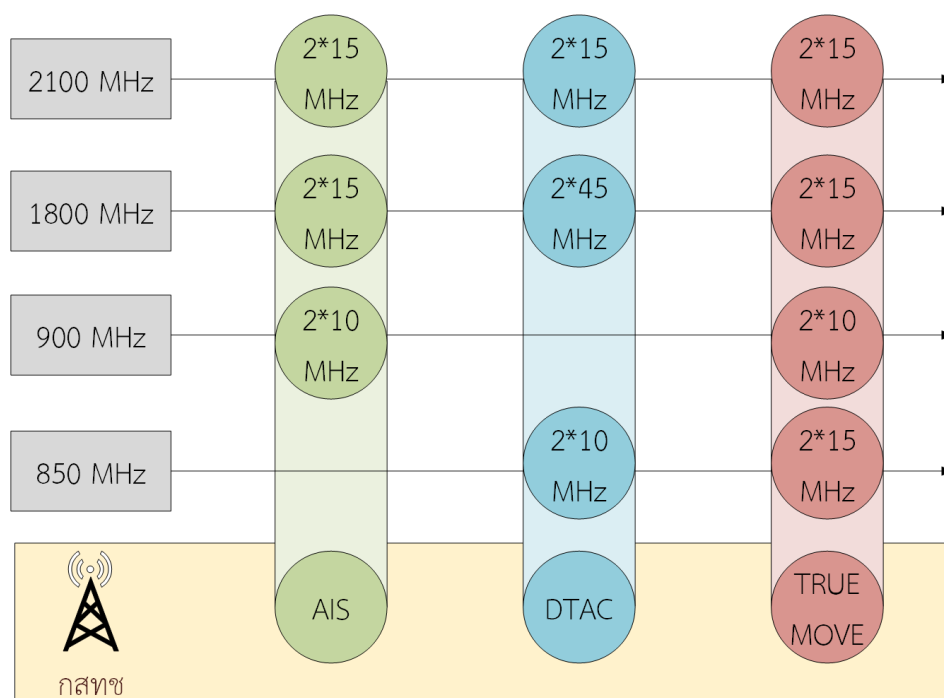
- 3.5G ได้ถูกออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพที่มากขึ้นกว่าระบบ 3G และให้พร้อมต่อการทำงานในระบบ 4G
- 4G เป็นรุ่นที่มีออกมาให้รองรับการใช้งานการเชื่อมต่อที่มากขึ้น เช่น ใช้งานในอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับตัวโน้ตบุ๊กส่วนบุคคลได้ ในสมาร์ตโฟนได้ และอุปกรณ์อื่น ๆ อีกมากมาย สามารถแสดงความเร็วได้ดังตาราง 2-4
- 4.5G เป็นรุ่นที่ให้ประสิทธิภาพที่มากกว่า 4G เพื่อให้พร้อมสำหรับพัฒนาเป็น 5G โดยในเทคโนโลยีนี้รวมถึง LTE Advanced และ MIMO

ตาราง 2-4 ตารางความเร็วของการรับส่งข้อมูล 4G ของโทรศัพท์มือถือ

| Fourth generation (4G) from 2006:        |            |         |
|--|------------|---------|
| Speeds in Mbit/s                         | down       | up      |
| HSPA+                                    | 21–672     | 5.8–168 |
| Mobile WiMAX (802.16)                    | 37–365     | 17–376  |
| LTE                                      | 100–300    | 50–75   |
| LTE-Advanced:                            |            |         |
| while moving at high speeds              | 100        |         |
| while stationary or moving at low speeds | up to 1000 |         |
| MBWA (802.20)                            | 80         |         |

ภายในประเทศไทย มีผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์มือถือใหญ่ ๆ ทั้งหมด 3 ค่ายผู้ให้บริการ คือ DTAC, AIS, และ TRUEMOVE-H โดยมีการจัดสรรคลื่นความถี่โดยสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ โดยสำนักงานได้จัดการประมูลคลื่นความถี่ขึ้น เพื่อให้ค่ายต่าง ๆ ทำการประมูลเพื่อใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่ดังกล่าวในเรื่องของโทรคมนาคม

จากการประมูลดังกล่าวสามารถแบ่งเป็นคลื่นความถี่ออกมาเป็นแต่ละค่ายดังภาพประกอบ 2-1



ภาพประกอบ 2-1 การจัดสรรคลื่นความถี่ในประเทศไทย

### 2.3. มาตรฐานการเชื่อมต่อของสำนักคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และ กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช) [25]

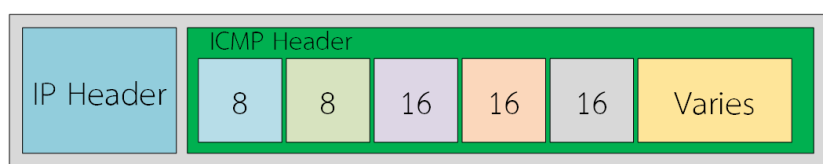
จากมาตรฐานที่ทาง กสทช ดังตาราง 2-5 ได้มีการกำหนดให้ส่งข้อมูลที่มีขนาด 32 ไบต์ ไปยังไอพีแอดเดรสของอุปกรณ์ปลายทางที่เป็นกลางเท่านั้น โดยในการทดสอบจะต้องส่งข้อมูลต่อเนื่องเป็นจำนวนทั้งหมด 10 ครั้งและต้องมีค่าความแรงของสัญญาณโทรศัพท์มือถือเพียงพอ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าน้อยสุด ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุด โดยค่าความล่าช้าสูงสุดสำหรับเทคโนโลยี 2G ไม่ควรเกิน 1000 มิลลิวินาที และเทคโนโลยี 3G ขึ้นไปไม่เกิน 500 มิลลิวินาที

ตาราง 2-5 ตารางมาตรฐานการทดสอบความล่าช้าของข้อมูล [25]

| พารามิเตอร์ของคุณภาพบริการ | คำจำกัดความ  | เป้าหมาย                                   |
|----------------------------|--|--|
| ค่าความล่าช้า              | ค่าประวิงเวลาของแพ็กเก็ตเกิดจากฝั่งส่งไปยังฝั่งรับจนกระทั่งกลับมายังฝั่งส่งอีกครั้งหนึ่งในหน่วยของ มิลลิวินาที | 2G ไม่เกิน 1 วินาที, 3G ไม่เกินครึ่งวินาที |

## 2.4. รูปแบบข้อมูลของการทดสอบหาความล่าช้าโดยใช้ไอซีเอ็มพีเอคโค (Internet Control Message Protocol Echo : ICMP Echo) หรือปิง (Ping) [26]

ICMP Echo เป็นการทำงานที่เป็นที่รู้จักกันดีสำหรับใช้ในการตรวจสอบปัญหาด้านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ซึ่งประกอบไปด้วยคำสั่งร้องขอไปยังปลายทาง (Ping Request) และการตอบกลับจากปลายทาง (Ping Reply)



ภาพประกอบ 2-2 ICMP echo/echo reply header

ICMP Ping ประกอบไปด้วยส่วนของ IP Header คือส่วนบอกต้นทางและปลายทางของข้อมูล และส่วนของ ICMP Header ดังที่แสดงในตาราง 2-6 และภาพประกอบ 2-2

ตาราง 2-6 โครงสร้าง ICMP Ping

| ชื่อ                     | ขนาด (บิต) | อธิบาย  |
|--------------------------|------------|---|
| ชนิด (Type)              | 8          | ถ้าเป็น Echo จะมีค่าเป็น 8 และถ้าเป็น Reply จะมีค่าเป็น 0 |
| โค้ด (Code)              | 8          | มีค่าเป็น 0   |
| ตรวจสอบ (Checksum)       | 16         | ส่วนของการตรวจสอบความถูกต้อง                              |
| ตัวจำแนก (Identifier)    | 16         | ถ้าเท่ากับ 0 จะถูกใช้งานเพื่อจับคู่คำสั่ง Echo และ Reply  |
| ตัวเลข (Sequence Number) | 16         | ถ้าเท่ากับ 0 จะถูกใช้งานเพื่อจับคู่คำสั่ง Echo และ Reply  |
| ข้อมูล (Variable Data)   | -          | ขนาดตามที่ใช้กำหนด  |

## 2.5. รูปแบบการส่งข้อมูล UDP (User Datagram Protocol : UDP) [27]

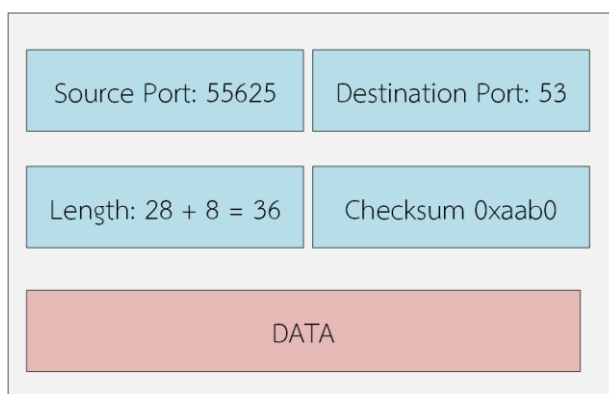
UDP เป็นการสื่อสารมาตรฐานชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานการเชื่อมต่อแบบไม่กำหนดการเชื่อมต่อ (connectionless) ซึ่งจะไม่มีส่วนของการเตรียมการส่งข้อมูล (handshaking) และไม่มีการยืนยันการได้รับข้อมูลที่อุปกรณ์ปลายทางได้รับ

UDP จะประกอบไปด้วยส่วนของพอร์ตต้นทาง พอร์ตปลายทาง ขนาดข้อมูล และส่วนตรวจสอบข้อมูล โดยแต่ละส่วนจะมีขนาดสองไบต์ หรือสิบหกบิตดังแสดงในตาราง 2-7

ตาราง 2-7 โครงสร้าง UDP

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| พอร์ตต้นทาง (2 ไบต์) | พอร์ตปลายทาง (2 ไบต์) |
| ขนาด (2 ไบต์)        | ตรวจสอบ (2 ไบต์)      |
| ขนาดข้อมูล           |                       |

ตัวอย่างข้อมูลในการส่ง UDP สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 2-3 โดยมีการกำหนดพอร์ตต้นทางและปลายทางคือ 55625 และ 53 ตามลำดับ โดยมีการส่งข้อมูลขนาด 28 ไบต์ และมีหัวข้อมูลอยู่ที่ 8 ไบต์

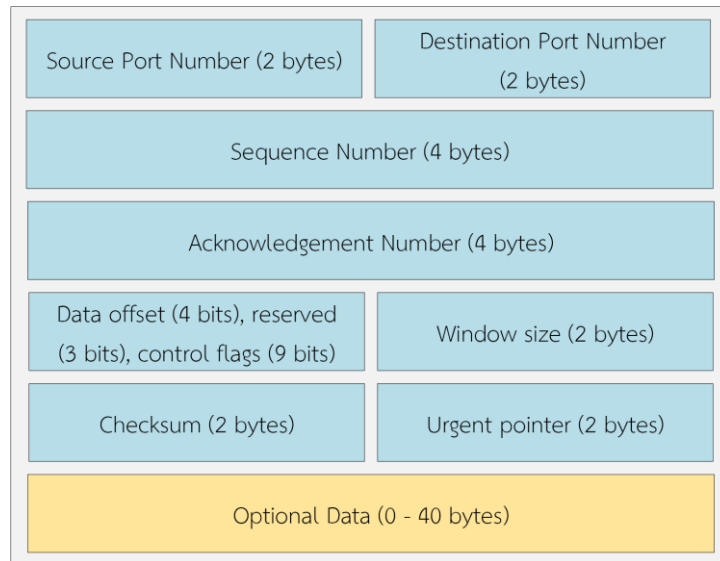


ภาพประกอบ 2-3 UDP Structure

## 2.6. รูปแบบการส่งข้อมูล TCP (Transmission Control Protocol : TCP) [28]

TCP เป็นหนึ่งในวิธีการเชื่อมต่อหลักที่ใช้ในปัจจุบัน TCP สามารถให้ความเชื่อถือ การเรียงลำดับของข้อมูล และตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลระหว่างการสื่อสารได้ ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้จากรูปแบบการส่งข้อมูลแบบ TCP ได้แก่ เว็บไซต์ อีเมลล์ การเชื่อมต่อเพื่อทำงานแบบ ไร้สาย และการส่งข้อมูล เป็นต้น

TCP ประกอบไปด้วย พอร์ตต้นทาง พอร์ตปลายทาง ลำดับที่ ตัวเลขตอบกลับ ขนาดข้อมูล การจองพื้นที่ ธงแสดงผล ขนาดหน้าต่างข้อมูล การตรวจสอบ ส่วนบ่งชี้ และขนาดข้อมูลดังแสดงภาพประกอบ 2-4 โดยส่วนหัวของข้อมูล ซึ่งไม่รวมขนาดข้อมูล จะมีขนาดโดยรวมเท่ากับ 20 ไบต์



ภาพประกอบ 2-4 Transmission Control Protocol (TCP) Header

## 2.7. ความแรงสัญญาณที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือได้รับ [29]

ความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือได้รับสามารถแบ่งออกมาได้ 2 สัญญาณคือ สัญญาณเซลลูล่า และสัญญาณแลนไร้สาย ซึ่งทั้งสองสัญญาณจะมีช่วงสัญญาณแบ่งออกมาเป็นระดับในมือถือที่แตกต่างกัน โดยสามารถอธิบายแยกออกมาได้ดังนี้

- เซลลูล่า

เซลลูล่าได้แบ่งความแรงสัญญาณออกมาตามเทคโนโลยีการสื่อสาร คือ 3G ดังภาพประกอบ 2-5 หรือ LTE ดังภาพประกอบ 2-6 เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่เทคโนโลยีการเชื่อมต่อใหม่ ๆ ดังตัวอย่างที่ได้กล่าวมา

| RSSI                | Signal Strength |
|---------------------|-----------------|
| > -70 dBm           | Excellent       |
| -70 dBm to -85 dBm  | Good            |
| -86 dBm to -100 dBm | Fair            |
| < -100 dBm          | Poor            |
| -100 dBm            | No signal       |

ภาพประกอบ 2-5 3G RSSI



| RSSI                 | Signal Strength |
|----------------------|-----------------|
| > -90 dBm            | Excellent       |
| -90 dBm to -105 dBm  | Good            |
| -106 dBm to -120 dBm | Fair            |
| < -120 dBm           | Poor            |

ภาพประกอบ 2-6 LTE RSRP

จะเห็นว่าระยะห่างของแต่ละช่วงความแรงของสัญญาณจะอยู่ที่ประมาณ  $\pm 15$  dBm ก่อนเปลี่ยนระดับความแรงของสัญญาณ

- แลนไร้สาย

ความแรงของสัญญาณของแลนไร้สายสามารถแสดงแบ่งออกมาเป็นระดับได้ดังภาพประกอบ 2-7 ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละระดับจะมีช่วงห่างอยู่ที่  $\pm 10$  dBm เช่นเดียวกับค่าประมาณของเซลล์ลู่ล่า

| RSSI               | Signal Strength |
|--------------------|-----------------|
| > -50 dBm          | Excellent       |
| -50 dBm to -60 dBm | Good            |
| -60 dBm to -70 dBm | Fair            |
| < -70 dBm          | Poor            |

ภาพประกอบ 2-7 Wi-Fi Signal Strength

## 2.8. ทฤษฎีเกม (Game Theory) [30]

ทฤษฎีเกมเป็นการศึกษาโมเดลทางคณิตศาสตร์หรือความเป็นไปได้ของแผนการของความขัดแย้งหรือการทำงานร่วมกันของสิ่งที่สนใจ ตัวอย่างของทฤษฎีเกมคือ The prisoners' Dilemma โดยสามารถอธิบายตัวเกมได้ คือ ในเกมจะมีนักโทษ 2 คน ซึ่งจะถูกแยกสอบปากคำ โดยบทลงโทษจะกำหนดตามการยอมรับผิดของนักโทษแต่ละคน คือ ถ้าไม่ยอมรับทั้ง 2 คนจะโดนจำคุกคนละ 1 เดือน ถ้ายอมรับ 1 คน คนที่ยอมรับไม่ต้องจำคุก แต่คนที่ไม่ยอมรับจะโดนจำคุก 9 เดือน แต่ถ้ายอมรับทั้ง 2 คนจะโดนจำคุกคนละ 6 เดือนเป็นต้น

เกมที่มีการศึกษาภายในทฤษฎีเกมจะประกอบไปด้วยส่วนของผู้เล่น จากตัวอย่างจะหมายถึงตัวนักโทษ และส่วนของค่าใช้จ่าย (payoffs) ของแต่ละผลลัพธ์ จากตัวอย่าง จะหมายถึงจำนวนเดือนของการโดนขังคุก โดยในการทำงานของทฤษฎีเกมจะมีการใช้ส่วนประกอบทั้ง 2 ส่วนนี้ตามรูปแบบเกมที่ได้เลือกไว้ มาหาผลสรุปที่ได้อยู่ในรูปกลุ่มของวิธีการที่มีความสมดุลของแต่ละผู้เล่น โดยวิธีการที่มีความสมดุลจะทำให้เกมมีความสมดุลไปด้วย

## 2.9. เกมการบวกที่เท่ากับศูนย์ (Zero Sum Game) [30]

เกมการบวกที่เท่ากับศูนย์เป็นหนึ่งในเกมของทฤษฎีเกม ที่มีกระบวนการทำงานคือ เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของค่าที่คำนวณได้ (Utility) ของผู้เล่นคนหนึ่ง ก็จะมีการลดลงในจำนวนที่เท่ากันเพื่อให้เกิดความสมดุลของผู้เล่นคนอื่น ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มขึ้นและลดลงที่เท่ากันดังภาพประกอบ 2-8 จะทำให้มีผลรวมของค่าใช้จ่ายเท่ากับ 0 กล่าวคือ ผลรวมของค่าใช้จ่าย (Payoffs) รวมแล้วมีค่าเท่ากับ 0 เกมการบวกที่เท่ากับศูนย์ส่วนใหญ่จะถูกแก้ปัญหาโดยใช้ทฤษฎี minimax ซึ่งมีความใกล้เคียงกับโปรแกรมเชิงเส้น (linear programming duality) หรือความสมดุลของแนช (Nash equilibrium)

| (Red, Blue) | A         | B         | C         |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 1           | (30, -30) | (-10, 10) | (20, -20) |
| 2           | (-10, 10) | (20, -20) | (-20, 20) |

ภาพประกอบ 2-8 Zero Sum Game Generic

ทฤษฎี minimax เป็นทฤษฎีที่ทำหน้าที่ยืนยันให้ค่าที่ไม่เท่าเทียมกันของค่า max-min ว่ามีความเท่าเทียมกัน โดยทฤษฎีแรกของ minimax คือ von Neumann's minimax theorem ซึ่งมีสมการดังสมการที่ 2-1

$$\min_{x \in X} \max_{y \in Y} f(x, y) = \max_{y \in Y} \min_{x \in X} f(x, y) \quad 2-1$$

## 2.10. Max-Min Fairness [31]

จากการทำในส่วนของทฤษฎีเกม จะพบปัญหาเรื่องการแบ่งข้อมูลให้แต่ละผู้เล่นตามทฤษฎีที่ผู้เล่นแต่ละคนมีโอกาสในการได้รับการจัดสรรข้อมูลที่เท่าเทียมกัน แต่ผู้เล่นบางผู้เล่นต้องการ

ปริมาณข้อมูลที่น้อยกว่าผู้เล่นคนอื่น ซึ่งเทคนิคที่มีการใช้เป็นส่วนใหญ่เพื่อแก้ไขปัญหานี้คือ Max-min fair share

เทคนิค Max-min fair share นี้ เป็นเทคนิคการจัดสรรข้อมูลโดยมีการจัดสรรให้ผู้ที่ต้องการข้อมูลน้อยที่สุดก่อน แล้วนำส่วนเกินที่เหลือมาจัดแบ่งให้ผู้เล่นคนอื่นที่เหลือ นอกจากนี้ ในกรณีที่ระบบต้องการให้ข้อมูลกับผู้เล่นบางคนให้มากกว่าผู้เล่นผู้อื่น สามารถทำได้โดยใช้การให้น้ำหนักสำหรับการจัดสรรข้อมูลให้แต่ละผู้เล่นได้ ซึ่งสามารถเขียนออกมาเป็นคำจำกัดความได้ดังนี้

- การจัดสรรข้อมูลจะเพิ่มขึ้นตามความต้องการของแต่ละผู้เล่น เพื่อนอร์มัลไลส์ผู้เล่นด้วยค่าน้ำหนัก
- ไม่มีผู้เล่นใดได้ข้อมูลเกินกว่าที่ผู้เล่นต้องการ
- ผู้เล่นที่ได้ข้อมูลไม่ตรงตามต้องการจะได้ข้อมูลตามการจัดแบ่งตามค่าน้ำหนัก

### 2.11. แม็กซิมิน (Maximin) [32]

แม็กซิมินเป็นหนึ่งในกระบวนการวิเคราะห์แนวทางการแก้ปัญหาเพื่อใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจ โดยจะกล่าวถึงเทคนิคการแก้ปัญหาของ Newsboy เป็นหลัก แม็กซิมินจะเป็นกระบวนการหาค่าใช้จ่าย (payoff) ที่น้อยที่สุดของความเป็นไปได้ในแต่ละการกระทำ (action) และเลือกการกระทำที่มีค่ามากที่สุด โดยสามารถแสดงเป็นตัวอย่างได้ดังตาราง 2-8

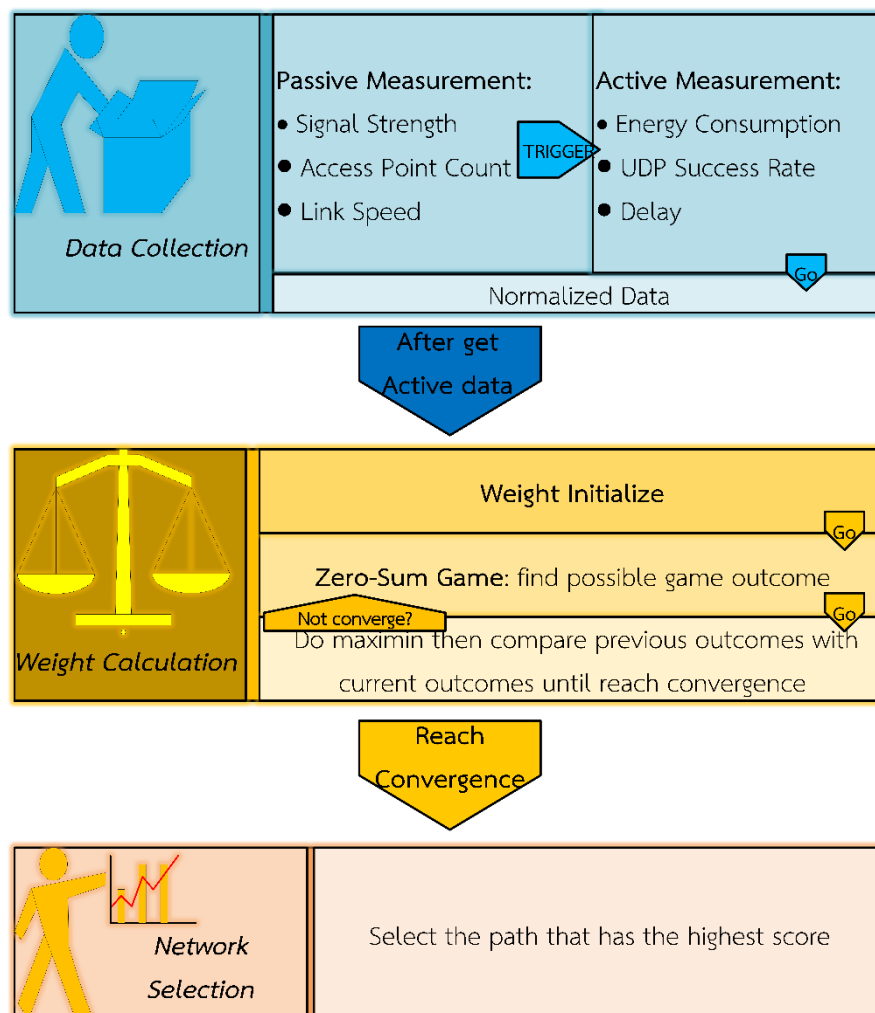
ตาราง 2-8 ตัวอย่างการทำแม็กซิมินโดยใช้ Newsboy Problem [32]

|                   |      | Demand        |               |               |               | Minimum |
|-------------------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|
|                   |      | D=20          | D=21          | D=22          | D=23          | Payoff  |
| Order<br>Quantity | Y=20 | <u>\$9.00</u> | <u>\$9.00</u> | <u>\$9.00</u> | <u>\$9.00</u> | \$9.00  |
|                   | Y=21 | <u>\$8.30</u> | \$9.45        | \$9.45        | \$9.45        | \$8.30  |
|                   | Y=22 | <u>\$7.60</u> | \$8.75        | \$9.90        | \$9.90        | \$7.60  |
|                   | Y=23 | <u>\$6.90</u> | \$8.05        | \$9.20        | \$10.35       | \$6.90  |
| Probability       |      | 0.2           | 0.4           | 0.3           | 0.1           |         |

โดยที่ค่าที่มีเส้นใต้ตัวหนังสือคือค่าที่น้อยที่สุด และตัวหนาคือค่าที่มากที่สุดในช่อง Minimum Payoff จากตารางจะเห็นได้ว่า การสั่งซื้อที่เหมาะสมที่สุดคือ Y=20 ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายแค่ \$9.00 โดยใช้วิธีการแม็กซิมินข้อดีของกระบวนการนี้คือเป็นกระบวนการประเมินที่ปลอดภัยสำหรับการช่วยวิเคราะห์แนวทางการแก้ปัญหา

### บทที่ 3 วิธีการวิจัย

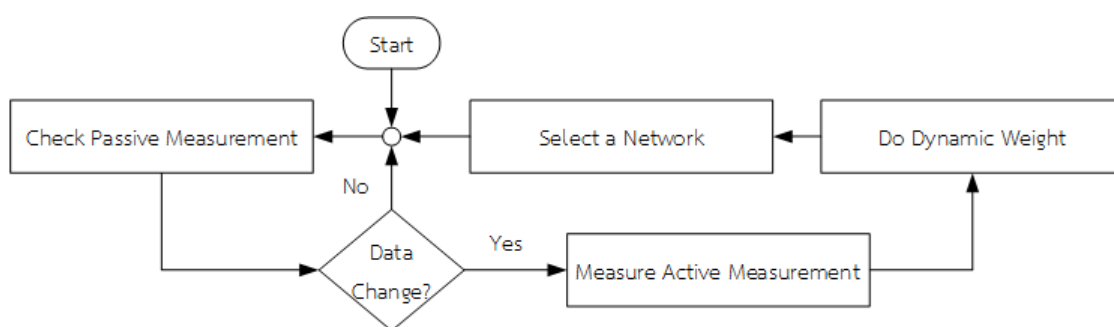
งานวิจัยนี้สามารถแบ่งการทำงานของระบบที่ใช้ในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือออกมาเป็นส่วน ๆ เพื่อให้ได้การสื่อสารที่ดีที่สุด คือ (1) ส่วนของการเก็บข้อมูล (Data Collection) (2) ส่วนของการคำนวณค่าข้อมูล (Weight Calculation) และสุดท้ายคือ (3) ส่วนของการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร (Network Selection) ซึ่งสามารถแสดงออกมาเป็นภาพรวมได้ดังภาพประกอบ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 ภาพรวมของงานวิจัยนี้

จากภาพรวมของงานวิจัยข้างต้น ในส่วนของการเก็บข้อมูล จะประกอบไปด้วยการเก็บข้อมูลเครือข่ายภายในโทรศัพท์ และการเก็บข้อมูลเครือข่ายในอินเทอร์เน็ต และการทำค่าที่ได้รับ

ให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ในส่วนของการคำนวณค่าข้อมูล จะมีการคิดคำนวณผ่านเกม Zero-Sum และมีการทำ Max-Min Fairness ในส่วนของการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร จะมีการคำนวณเพื่อเลือกเครือข่ายที่ดีที่สุด โดยสามารถแสดงออกมาเป็นกระบวนการทำงานภาพรวมดังภาพประกอบ 3-2 โดยสามารถอธิบายในแต่ละส่วนออกมาเป็นข้อ ๆ ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 3-2 กระบวนการการทำงาน

### 3.1. ส่วนของการเก็บค่าข้อมูล (Data Collection)

การเก็บข้อมูลนี้ โปรแกรมสามารถแบ่งการเก็บข้อมูลออกมาได้สองรูปแบบ คือ ส่วนการตรวจสอบข้อมูลเครือข่ายภายในโทรศัพท์ และส่วนการตรวจสอบข้อมูลเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ต ซึ่งการแบ่งออกมาเป็นสองรูปแบบนี้ จะช่วยลดความบ่อยครั้งในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และพลังงานที่ใช้ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เมื่อโปรแกรมเก็บข้อมูลที่ได้จากการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแล้ว โปรแกรมจะทำงานในส่วนต่อไป คือการคำนวณหาเครือข่ายที่ดีที่สุด

#### 3.1.1. การตรวจสอบข้อมูลของเครือข่าย (Passive Measurement)

ส่วนของการเก็บข้อมูลนี้ สามารถแสดงออกมดั่งภาพประกอบ 3-3 ในการทำงาน จะมีการตรวจสอบข้อมูลทุกครั้งที่อยู่บริเวณโทรศัพท์มือถือทำการตรวจสอบดูสัญญาณแลนไร้สาย หรือ ผ่านมาช่วงระยะเวลาหนึ่งตามโปรแกรมที่ทำการจับเวลาเป็นเวลา 5 นาทีเมื่อการเชื่อมต่อแลนไร้สาย ปิดการเชื่อมต่อ โดยโปรแกรมนี้อาจทำงานคู่ขนานกับโปรแกรมปัจจุบันจึงทำให้เวลาในการตรวจสอบข้อมูลใช้เวลาไม่เกิน 5 นาที ในการเก็บข้อมูลนั้น จะมีการเก็บค่าจำนวนอุปกรณ์จ่ายแลนไร้สาย (WLAN) ที่อยู่บริเวณโทรศัพท์มือถือรู้จัก และเคยทำการเชื่อมต่อมาก่อนแล้ว ตรวจสอบซิมการ์ดใน อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ค่าความแรงของสัญญาณ และรูปแบบของสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายที่ โทรศัพท์มือถือได้รับ ซึ่งถ้าเป็นการเชื่อมต่อผ่านผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตผ่านระบบซิมการ์ด จะดูจากรุ่นของเทคโนโลยีการเชื่อมต่อสื่อสาร เช่น แอลทีอี (LTE) หรือ ยูเอ็มทีเอส (UMTS) เป็นต้น หรือ ถ้าเป็นการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณจะดูจากความถี่ที่ใช้งาน คือ 2.4 GHz หรือ 5 GHz

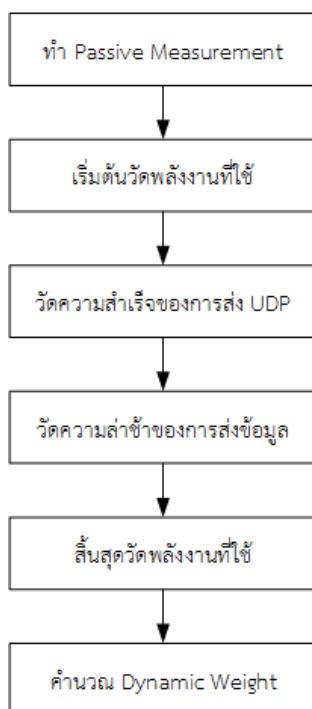


- การเก็บค่าความแรงของสัญญาณ โปรแกรมจะนำค่าความแรงของสัญญาณในหน่วยของเดซิเบล มิลลิวัตต์ (dBm) มาเปรียบเทียบกับค่าก่อนหน้าทั้งสองรูปแบบ คือ รูปแบบการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย และรูปแบบการเชื่อมต่อผ่านสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ถ้าค่าที่เปรียบเทียบได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่สิบขึ้นไปดังที่ได้ศึกษาในทฤษฎี คือ ช่วงระดับของความแรงของสัญญาณที่มือถือได้รับออกมาเป็นเลเวลของสัญญาณจะห่างกันประมาณ  $\pm 10$  เดซิเบล มิลลิวัตต์ โปรแกรมจะเริ่มทำงานในส่วนการเก็บข้อมูลเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ตในหัวข้อการเก็บข้อมูลถัดไป
- การเก็บค่ารูปแบบของสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายทั้งผ่านอุปกรณ์และระบบซิมการ์ด ในส่วนของอุปกรณ์กระจายสัญญาณนั้น โปรแกรมจะตรวจสอบดูว่าสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่ได้รับมานั้น อยู่บนคลื่นความถี่ 2.4 GHz หรือ 5 GHz ซึ่งจากการสืบค้นข้อมูล ที่ได้กล่าวมาแล้วในส่วนของทฤษฎีและหลักการ จะเห็นว่าคลื่นความถี่ส่งผลกระทบต่อความเร็วในการเชื่อมต่อได้ ซึ่งถ้าค่าความถี่ดังกล่าวเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนหน้าของอุปกรณ์กระจายสัญญาณอันเดียวกัน โปรแกรมจะเก็บข้อมูลที่จำเป็นต้องทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และทำงานในส่วนต่อไป และในส่วนของกรณีของซิมการ์ด โปรแกรมจะตรวจสอบดูว่า ถ้าเทคโนโลยีการเชื่อมต่อเพื่อส่งข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง เช่น จากยูเอสบีเอสเป็นแอลทีอี เป็นต้น โปรแกรมจะเริ่มทำงานในส่วนถัดไป

### 3.1.2. การตรวจสอบข้อมูลเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ต (Active Measurement)

การทำงานของกรเก็บข้อมูลในส่วนนี้ จะเริ่มมีการเก็บค่าข้อมูลเมื่อการเก็บข้อมูลเครือข่ายภายในโทรศัพท์มีการเปลี่ยนแปลงตามค่าที่กำหนดของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งตัวแปรดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.1.1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเครือข่ายภายในโทรศัพท์แล้ว การทำงานในส่วนนี้จะทำงานต่อดังที่แสดงออกมาได้ดังภาพประกอบ 3-4

ในการเก็บข้อมูลนั้น จะมีการเก็บค่าของพลังงานที่ใช้ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ค่าความสำเร็จของการส่ง UDP และค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล (Round Trip Time) การเก็บค่าของพลังงานที่ใช้ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตนั้นจะเกิดจากค่าพลังงานที่ใช้ระหว่างที่มีการเก็บค่าข้อมูลเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ตเท่านั้น กล่าวคือ จะมีการเก็บค่าพลังงานก่อนเก็บค่าความสำเร็จของการส่ง UDP และหลังจากเก็บค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล ก่อนที่จะทำงานในส่วนของการคำนวณค่าข้อมูลโดยจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.2



ภาพประกอบ 3-4 การตรวจสอบข้อมูลเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ต

- การเก็บค่าของพลังงานที่ใช้ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โปรแกรมได้ประยุกต์ใช้งานวิจัยของ PowerTutor [22] ในการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ของตัวโปรแกรมนี้ในหน่วยจูล โดยจะเก็บค่าก่อนทำการตรวจสอบค่าความสำเร็จของ UDP และค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล และจะเก็บค่าอีกรอบหลังจากตรวจสอบค่าทั้งสองดังกล่าวแล้ว เพื่อที่จะได้พลังงานที่ใช้ในการเก็บค่าที่จำเป็นต้องทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ซึ่งโปรแกรมจะนำค่าพลังงานที่ได้ มาแปลงเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยใช้สมการที่ 3-1 และมีกระบวนการทำงานดังภาพประกอบ 3-5

$$E_i = 1 - \frac{e - e_{\min}}{e_{\max} - e_{\min}} \quad 3-1$$

โดยที่  $E_i$  คือค่าพลังงานที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ของเครือข่ายการสื่อสาร  $i$

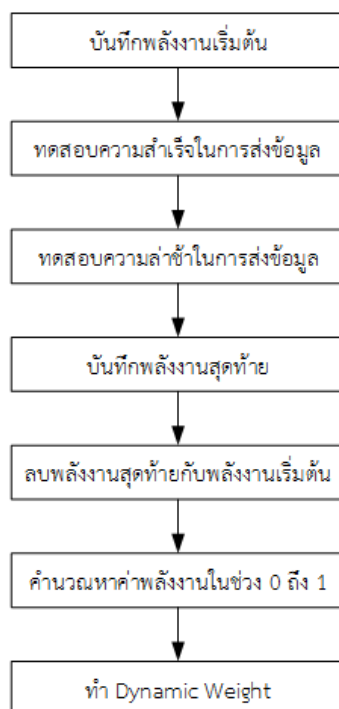
$e$  คือพลังงานที่วัดได้ในหน่วยจูล

$e_{\min}$  และ  $e_{\max}$  คือพลังงานที่น้อยที่สุดและมากที่สุดตามลำดับ

ค่าพลังงานที่น้อยที่สุดและมากที่สุดจะเป็นค่าที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.1.3

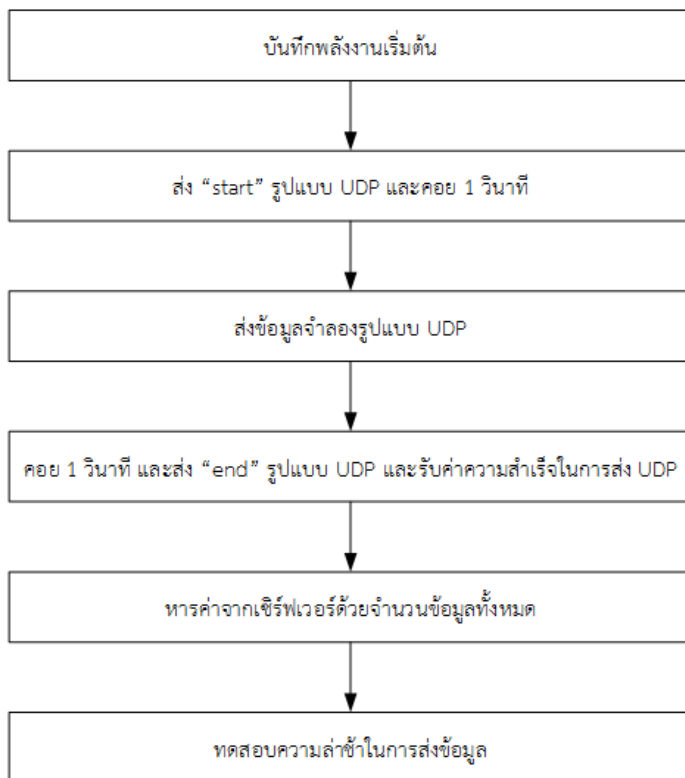
ซึ่งเป็นการทดลองเรื่องค่าพลังงานที่ใช้ในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารของอุปกรณ์โทรศัพท์ในรุ่นต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้คือ โปรแกรมนี้จะใช้ค่า 0.970 จูล และ 4.217 จูล ซึ่งเป็นค่าพลังงานต่ำสุด และสูงที่สุดของโทรศัพท์มือถือเครื่องที่ 1 ตามลำดับ





ภาพประกอบ 3-5 การทดสอบพลังงานที่ใช้

- การเก็บค่าความสำเร็จของการส่ง UDP จะทำการเก็บค่าโดยจะเริ่มส่งข้อมูล UDP ซึ่งมีข้อมูลที่ส่งไปคือค่า “start” ไปยังส่วนของอุปกรณ์ปลายทางหรือเซิร์ฟเวอร์ก่อน เพื่อบอกอุปกรณ์ปลายทางว่าโปรแกรมจะเริ่มต้นทำการทดสอบ UDP หลังจากนั้นโปรแกรมจะรอเป็นระยะเวลา 1 วินาทีเพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ส่งไป ส่งไปถึงเซิร์ฟเวอร์ก่อนทำการส่งข้อมูลที่เป็นตัวเลขที่จำลองขึ้นไปยังอุปกรณ์ปลายทางเป็นจำนวน 2000 แพ็กเก็ตหรือข้อมูล โดยเวลาระหว่างการส่งแต่ละข้อมูลห่างกัน 1 นาโนวินาที ซึ่งจำนวนแพ็กเก็ตที่ใช้ และเวลาระหว่างการส่งแต่ละข้อมูลเกิดจากการทดลองในหัวข้อที่ 4.1.2 เพื่อหาจำนวนแพ็กเก็ตและเวลาระหว่างการส่งแต่ละข้อมูลที่เหมาะสมและใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อเลือกช่องทางการสื่อสารได้มากยิ่งขึ้น เมื่อค่าตัวเลขจำลองที่ส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ส่งครบตามจำนวนที่กำหนด โปรแกรมจะส่ง UDP ที่มีค่าเป็น “end” ไปยังส่วนของอุปกรณ์ปลายทางเพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางส่งค่ากลับมาว่าได้รับ UDP ทั้งหมดที่ค่าซึ่งค่าที่ได้รับมาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึงค่าที่กำหนดไว้ตอนส่งข้อมูล โดยโปรแกรมจะทำการนำค่าที่ได้มาหารด้วยจำนวนค่าที่กำหนดไว้ดังกล่าว เพื่อให้ค่าที่ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 เหมือนกับพลังงานที่ใช้ โดยสามารถอธิบายการทำงานได้ดังภาพประกอบ 3-6



ภาพประกอบ 3-6 การทดสอบค่าความสำเร็จในการส่ง UDP

- การเก็บค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูล จะเก็บค่าโดยการทดสอบส่ง ping ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง โดยจะทำการส่งข้อมูลทั้งหมด 10 แพ็กเก็ต โดยมีขนาด 32 ไบต์ต่อ 1 แพ็กเก็ต ซึ่งโปรแกรมจะนำค่าเฉลี่ยของค่าความสำเร็จมาใช้ โดยจะนำมาเข้าสมการที่ 3-2 ดังภาพประกอบ 3-7

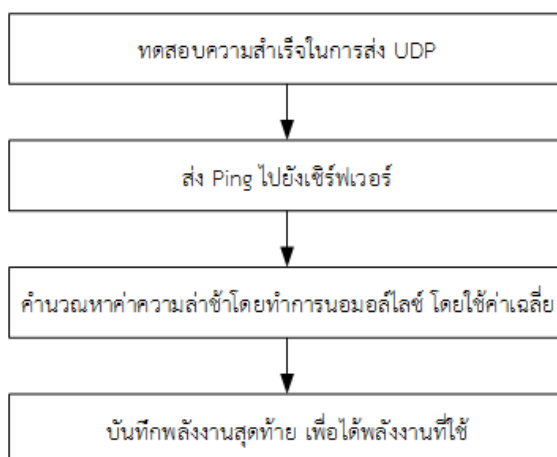
$$n_i = \min(0, (D_i - T_m) / T_m) \quad 3-2$$

โดยที่  $n_i$  คือค่าความสำเร็จที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ของเครือข่ายการสื่อสาร  $i$

$D_i$  คือค่าเฉลี่ยความสำเร็จที่วัดได้ในหน่วยมิลลิวินาที

$T_m$  คือค่าความสำเร็จสูงสุดในหน่วยมิลลิวินาที

ค่าความสำเร็จสูงสุดนี้จะได้มาจากการทดลองเรื่องค่าความสำเร็จในหัวข้อที่ 4.1.1 ซึ่งเป็นการทดลองวัดความสำเร็จโดยใช้วิธีการส่ง ICMP Ping ไปยังเซิร์ฟเวอร์ของเซลล์ูล่า และแลนไร้สาย จากผลการทดลองดังกล่าว จะใช้ค่าความสำเร็จสูงสุดเท่ากับ 250 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นค่าสูงสุดเฉลี่ยของการทดลองดังกล่าว

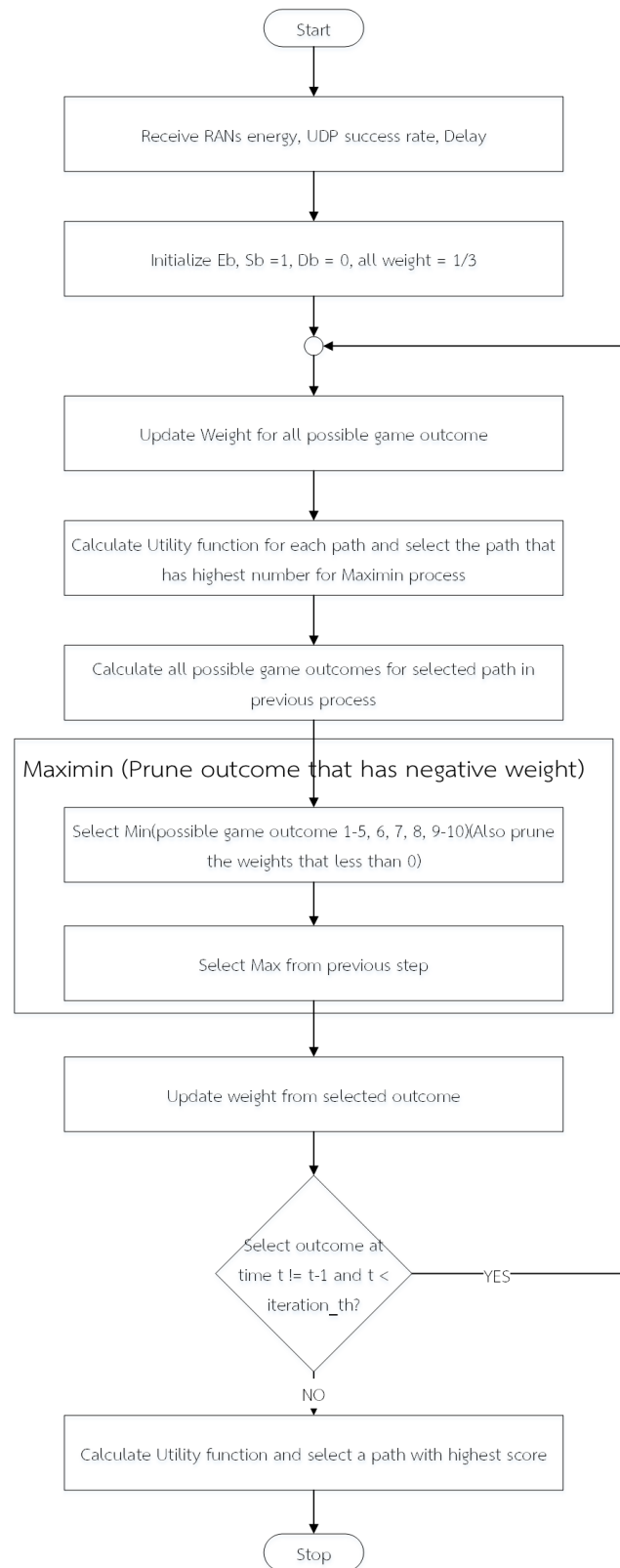


ภาพประกอบ 3-7 การทดสอบความล่าช้า

ในส่วนของการเก็บข้อมูลนี้ สามารถสรุปได้ว่า ในการเก็บข้อมูลของตัวโปรแกรมนี้ จะทำการตรวจสอบเครือข่ายภายในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือก่อน อันได้แก่ค่าจำนวนอุปกรณ์กระจายสัญญาณ และซิมการ์ด ค่าความแรงของสัญญาณ และค่าความถี่หรือเทคโนโลยีการสื่อสารของซิมการ์ด เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแล้วต้องทำการตรวจสอบค่าเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ตตลอดเวลา โดยค่าเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ตอันได้แก่ค่าพลังงานที่ใช้ ค่าความสำเร็จของการส่ง UDP และค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล ในกรณีที่ค่าที่ตรวจสอบได้ของค่าเครือข่ายภายในโทรศัพท์มือถือมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการตรวจสอบก่อนหน้าที่มีการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร หรือเป็นครั้งแรกของการตรวจสอบ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบค่าที่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในส่วนของการคำนวณต่อไป

### 3.2. กระบวนการหาค่าน้ำหนัก (Weight Calculation)

ในส่วนของการคำนวณนี้ โปรแกรมจะทำการคำนวณเพื่อที่จะให้ได้ค่าน้ำหนักที่ใช้ในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ทฤษฎีเกมแบบลำดับที่มีผลรวมเป็นศูนย์ (Zero Sum Sequential Game) ซึ่งเป็นทฤษฎีเกมเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าน้ำหนัก โดยค่าน้ำหนักของแต่ละตัวแปรจะมีความเป็นธรรมในการคำนวณมากที่สุด ในการทำงานจะใช้วิธีเกมการบวกที่มีค่าผลรวมเท่ากับศูนย์ (Zero-Sum Game) คือ มีส่วนของค่าข้อมูล (Payoffs) ที่มีผลรวมเท่ากับศูนย์ ค่าข้อมูลจะถูกจัดสรรให้แต่ละผู้เล่น อันได้แก่ ค่าพลังงานที่ใช้ ค่าความสำเร็จในการส่ง UDP และค่าความล่าช้า จะมีการจัดสรรค่าในรูปแบบของทฤษฎีเกมส์แบบลำดับ (Sequential Game)



ภาพประกอบ 3-8 การทำ Dynamic Weight

ในการใส่ค่าข้อมูลให้แต่ละผู้เล่น จะไม่มีการบวกค่าน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณของตัวแปรอื่นเลย เช่น เพื่อหาค่าข้อมูลของพลังงานที่ใช้ จะไม่มีการบวกค่าน้ำหนักที่คำนวณได้ของค่าความสำเร็จในการส่ง UDP และค่าความล่าช้าเลย แต่สามารถลบค่าทั้ง 2 ได้ โดยจะได้ความเป็นไปได้ของน้ำหนักทั้งหมด 11 กรณี แล้วใช้เทคนิคของแม็กซิมีนเพื่อเลือกน้ำหนัก โดยโปรแกรมจะทำการคิดคำนวณโดยใช้วิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดจนกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากัน กล่าวคือค่าที่ได้มีการลู่เข้าจนมีค่าเท่ากัน ซึ่งจะถือว่าค่าน้ำหนักมีความเป็นธรรมในการคำนวณที่สุดแล้วดังที่ได้กล่าวในทฤษฎีในเรื่องของแม็กมินแฟร์เนส (Max-Min Fairness) คือกระจายค่าให้ผู้เล่นที่มีความต้องการข้อมูลน้อยที่สุดให้เต็มก่อน แล้วค่อยกระจายค่าที่เหลือให้ผู้เล่นคนอื่น เมื่อได้ค่าน้ำหนักแล้วระบบจะใช้ค่าน้ำหนักในการทำงานในส่วนต่อไป ซึ่งสามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังภาพประกอบ 3-8

จากภาพเมื่อตรวจสอบค่าเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ตแล้ว โปรแกรมจะนำค่าน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีทฤษฎีเกมการบวกที่มีค่าผลรวมเท่ากับศูนย์ (Zero Sum Game) ซึ่งค่าน้ำหนักที่เป็นค่าข้อมูล (Payoffs) ที่จะถูกจัดสรร อันได้แก่ค่าข้อมูลจัดสรรของพลังงานที่ใช้ ( $w_e^+$ ) ค่าข้อมูลจัดสรรของความสำเร็จในการส่ง UDP ( $w_s^+$ ) และค่าข้อมูลจัดสรรของความล่าช้า ( $w_d^+$ ) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3-3, 3-4 และ 3-5 ตามลำดับ เมื่อนำค่าข้อมูลจัดสรรมาบวกกับค่าน้ำหนักที่ได้ทำการบันทึกในการทำงานในครั้งก่อนหน้า ( $t-1$ ) หรือค่าน้ำหนักเริ่มต้นของแต่ละตัวแปร (Players) ดังสมการที่ 3-6, 3-7 และ 3-8 จะสามารถได้ความเป็นไปได้ของน้ำหนักทั้งหมด 11 กรณีของรอบที่  $t$  ดังภาพประกอบ 3-9

$$w_e^+ = (1 - E_b) \cdot w_e^{t-1} \quad 3-3$$

$$w_s^+ = (1 - S_b) \cdot w_s^{t-1} \quad 3-4$$

$$w_d^+ = n_b \cdot w_d^{t-1} \quad 3-5$$

ตัวอย่างในการคิดคำนวณคือ กำหนดให้น้ำหนักของพลังงาน น้ำหนักของความสำเร็จในการส่ง UDP และน้ำหนักของความล่าช้ามีค่าเท่ากับ 0.4, 0.2, และ 0.4 ตามลำดับของรอบที่  $t-1$  และเมื่อนำค่าน้ำหนักทั้ง 3 มาคำนวณในสมการที่ 3-3, 3-4 และ 3-5 จะได้ค่าข้อมูลจัดสรรที่ใช้ในทฤษฎีเกมการบวกที่มีผลรวมเท่ากับศูนย์ โดยจะสมมติให้มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.2, และ 0.2 ตามลำดับ ในความเป็นไปได้ที่ 1 จะนำค่าน้ำหนักของรอบก่อนหน้าของพลังงานมาบวกกับข้อมูลจัดสรรของพลังงานที่ได้สมมติไว้แล้วในสมการ 3-3 คือมีค่าเท่ากับ 0.6 ค่าน้ำหนักเก่าของค่าความสำเร็จในการส่ง UDP มาบวกกับข้อมูลจัดสรรของค่าความสำเร็จในการส่ง UDP จากสมการ

3-4 คือมีค่าเท่ากับ 0.4 และค่าน้ำหนักเก่าของความล่าช้ามาลบข้อมูลจัดสรรของพลังงานและค่าความสำเร็จในการส่ง UDP ที่ได้จากสมการ 3-4 คือมีค่าเท่ากับ 0 จะทำให้ได้ค่าน้ำหนักของความ เป็นไปได้ที่ 1 ของพลังงาน ( $w_{e1}^t$ ) ความสำเร็จในการส่ง UDP ( $w_{s1}^t$ ) และความล่าช้ามีค่า ( $w_{d1}^t$ ) เท่ากับ 0.6, 0.4, และ 0 ตามลำดับ

$$w_{ej}^t = w_e^{t-1} + w_e^+ \quad 3-6$$

$$w_{sj}^t = w_s^{t-1} + w_s^+ \quad 3-7$$

$$w_{dj}^t = w_d^{t-1} + w_d^+ \quad 3-8$$

ในกรณีที่เป็นการทำงานครั้งแรก โปรแกรมจะมีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1/3 ของทั้งสาม น้ำหนัก อันได้แก่ น้ำหนักของพลังงานที่ใช้ ( $w_e^{t-1}$ ) น้ำหนักของค่าความสำเร็จของการส่ง UDP ( $w_s^{t-1}$ ) และน้ำหนักของค่าความล่าช้า ( $w_d^{t-1}$ ) ซึ่งน้ำหนักทั้งสามตัว เมื่อทำการบวกกันแล้ว จะมีค่าเท่ากับ 1 โดยที่  $t$  คือรอบการทำงาน;  $E_b$  คือพลังงานที่ใช้ที่ได้เลือกในรอบที่  $t-1$ ;  $S_b$  คือค่าความสำเร็จในการส่ง UDP ที่ได้เลือกในรอบที่  $t-1$ ; และ  $n_b$  คือค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลที่ได้เลือกในรอบที่  $t-1$  ซึ่งในการทำงานครั้งแรก ทั้งสามค่าจะมีค่าเท่ากับ 1 ในตัวแปรพลังงานและความสำเร็จในการส่ง UDP และจะมีค่าเท่ากับ 0 ในตัวแปรความล่าช้า

$$U_i^t = w_e^{t-1} \cdot E_i + w_s^{t-1} \cdot S_i + w_d^{t-1} \cdot n_i \quad 3-9$$

เมื่อได้น้ำหนักของความเป็นไปได้ทั้ง 11 กรณีแล้ว ในเครือข่ายที่มีค่าน้ำหนักที่มีค่า ติดลบ ความเป็นไปได้ของกรณีดังกล่าวจะไม่ถูกคำนวณในกระบวนการต่อไป ซึ่งในกรณีที่เหลือที่มีค่า น้ำหนักมากกว่า 0 จะถูกนำมาคิดคำนวณในสมการที่ 3-9 เพื่อใช้ในการเลือกเครือข่ายที่จะใช้ในการ คำนวณในกระบวนการต่อไป โดยจะกำหนดเป็นค่าเศษส่วนของข้อมูล (fraction of data) ของ เครือข่ายที่มีค่า  $U_i^t$  มากที่สุดให้มีค่าเท่ากับ 1 ส่วนเครือข่ายอื่นจะมีค่าเท่ากับ 0 กล่าวคือ จะคิด คำนวณเฉพาะเครือข่ายที่มีค่า  $U_i^t$  มากที่สุดเท่านั้น

เมื่อได้เครือข่ายที่จะใช้ในการคำนวณในกระบวนการต่อไปแล้ว จะทำการคำนวณ ค่าสุดท้ายของแต่ละกิ่งของเกมการบวกโดยใช้สมการ 3-10 ซึ่งจะได้มาทั้งหมด 11 กรณี เพื่อนำค่าที่ ได้มาใช้ในการคำนวณหาเครือข่ายที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีการแม็กซิมีนของทฤษฎีเกม

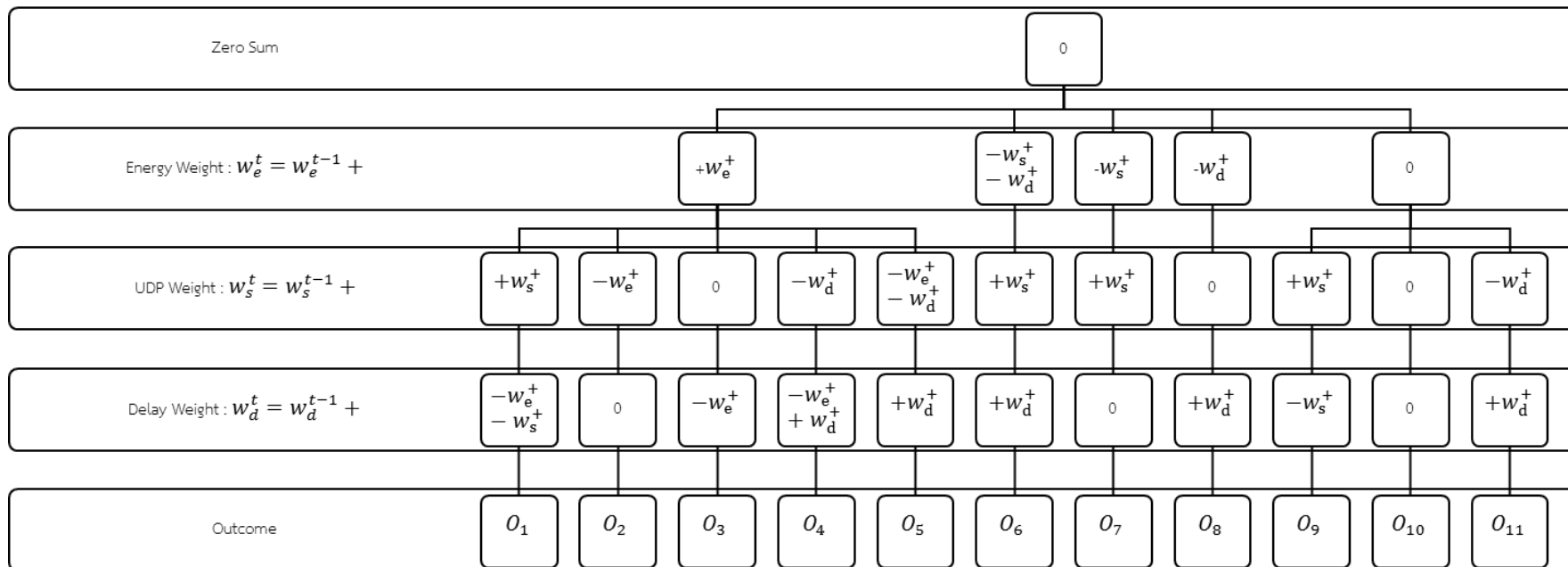
$$O_{ij}^t = w_{ej}^t \cdot E_i + w_{sj}^t \cdot S_i + w_{dj}^t \cdot n_i \quad 3-10$$

เมื่อทำการคำนวณผลลัพธ์ ( $O'_j$ ) ของแต่ละกรณีแล้ว โปรแกรมจะทำการหาค่าแม็กซ์ซิมินดังภาพประกอบ 3-8 โดยคำนวณจากค่าผลลัพธ์ที่ได้คำนวณมาแล้วใน  $O'_j$  โดยจะหาค่าที่น้อยที่สุดของของผลลัพธ์ในกรณีที่ 1 ถึง 5, 6, 7, 8, และ 9 ถึง 11 ซึ่งจะได้ค่าที่น้อยที่สุดมาทั้งหมด 5 ค่าเพื่อมาหาค่าที่มากที่สุดว่าตรงกับกรณีใด ดังตัวอย่างในตาราง 3-1

ตาราง 3-1 ตัวอย่างการหาค่าแม็กซ์ซิมิน

| O1     | O2            | O3     | O4     | O5     | O6            | O7     | O8     | O9     | O10    | O11    |
|--------|---------------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1.0031 | <u>0.9951</u> | 0.9986 | 0.9986 | 0.9951 | <b>0.9960</b> | 0.9959 | 0.9954 | 0.9999 | 0.9954 | 0.9954 |

จากตาราง 3-1 ค่าที่มีเส้นใต้ข้อความคือค่าที่น้อยที่สุด โดยที่ 0.9951 คือค่าที่น้อยที่สุดของ O1 ถึง O5, 0.9960 คือค่าที่น้อยที่สุดของ O6 เป็นต้น หลังจากนั้นจะทำการหาค่าที่มากที่สุดจากค่าที่น้อยที่สุดที่ได้เลือกโดยการกำกับเส้นใต้ข้อความไว้แล้วโดยจะใช้เป็นตัวหนา คือค่า 0.9960 ในกรณีที่ O6 เมื่อสามารถเลือกความเป็นไปได้ในกรณีที่ได้กล่าวมาแล้ว โปรแกรมจะเก็บค่าน้ำหนักทั้งสาม และค่าที่ได้จากการตรวจค่าเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ตเพื่อใช้ในการคำนวณถัดไป โดยจะเริ่มทำซ้ำตั้งแต่กระบวนการหาค่าความเป็นไปได้ของน้ำหนักในเกมการบวกที่มีผลรวมเท่ากับศูนย์ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีการลู่เข้าของข้อมูล (Convergence) กล่าวคือ ผู้เล่นที่ต้องการข้อมูลน้อยที่สุด ได้ข้อมูลสูงสุดตามทฤษฎีที่กำหนดแล้ว หรือครบกำหนดของค่าที่ตั้งขึ้นซึ่งเป็นค่าที่เท่ากับ 9000 (รอบ) เพื่อป้องกันการทำงานไม่รู้จบของตัวโปรแกรม ในกรณีที่ค่าที่ได้จากการคำนวณครั้งนี้กับครั้งก่อนหน้ามีค่าเท่ากันหรือมีการลู่เข้า กล่าวคือในกรณีที่ค่าน้ำหนักที่ได้มีค่าที่เหมาะสมที่สุด หรือมีค่าการคำนวณแบบวนรอบครบจำนวน 9000 รอบ โปรแกรมจะทำงานในส่วนของการเลือกเครือข่ายการสื่อสารต่อไป



ภาพประกอบ 3-9 Zero Sum Game



### 3.3. การเลือกเครือข่ายการสื่อสาร (Network Selection)

ในการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร เพื่อให้โปรแกรมสามารถเลือกเครือข่ายการสื่อสารในเครือข่ายที่ดีที่สุดได้ โปรแกรมจะนำค่าน้ำหนักที่ทำการบันทึกหลังจากการคำนวณค่าน้ำหนักที่มีการลู่อเข้าแล้วมาใช้ในการคำนวณในสมการที่ 3-11 ซึ่งเป็นสมการที่มีการใช้มาแล้วในส่วนของการคำนวณค่าข้อมูล โดยโปรแกรมจะนำค่าผลลัพธ์ ( $U_i$ ) ที่ได้จากการคำนวณในสมการดังกล่าวของทุกเครือข่ายการสื่อสารมาเปรียบเทียบกัน โดยที่  $i$  คือเครือข่ายการสื่อสาร เมื่อได้ค่าผลลัพธ์ของทุกเครือข่ายการสื่อสารแล้ว ระบบจะเลือกเครือข่ายการสื่อสารที่มีค่าที่ได้จากการคำนวณมากที่สุด แล้วให้ระบบทำการเชื่อมต่อเครือข่ายการสื่อสารนั้น

$$U_i = w_e \cdot E_i + w_s \cdot S_i + w_d \cdot n_i \quad 3-11$$

งานวิจัยนี้สามารถสรุปวิธีการวิจัยได้คือ ตัวโปรแกรมจะเริ่มจากการเก็บข้อมูล โดยจะทำการเก็บข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตก่อน ถ้าค่าที่ได้ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงมาก โปรแกรมจะเริ่มการเก็บข้อมูลในส่วนที่จำเป็นต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีเกม สำหรับเป็นตัวช่วยแก้ปัญหาการจัดสรรค่าน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมก่อนที่จะนำค่าน้ำหนักนั้นมาใช้ในการคำนวณในสมการเพื่อเลือกเครือข่ายที่ได้ค่าที่ได้จากการคำนวณที่มีค่ามากที่สุด หรือเครือข่ายการสื่อสารที่ดีที่สุดในช่วงเวลานั้น ๆ โดยสามารถเขียนออกมาเป็นลำดับขั้นตอนได้ดังตาราง 3-2

ตาราง 3-2 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเลือกเครือข่ายสื่อสาร

| ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเลือกเครือข่ายสื่อสาร  |
|--|
| 1. รับค่าตัวแปรพลังงานที่ใช้ ค่าความสำเร็จในการส่ง UDP และค่าความล่าช้าของทุกเครือข่ายสื่อสาร  |
| 2. กำหนดค่าเริ่มต้นให้ตัวแปรที่จะถูกเลือก (ไม่ใช่แต่ละเครือข่าย) และค่าน้ำหนัก   |
| 3. อัปเดตค่าน้ำหนักสำหรับทุกความเป็นไปได้ (ในลำดับเกมการบวกที่มีผลรวมเท่ากับศูนย์)   |
| 4. เลือกเครือข่ายสำหรับกำหนดค่าเศษส่วนของข้อมูล (fraction of data) โดยใช้สมการ 3-9 ตามทฤษฎีฟังก์ชันน้ำหนัก (weight function) โดยใช้เครือข่ายที่มีค่าสูงสุดให้มีค่าเศษส่วนของข้อมูลเท่ากับ 1 ที่เหลือมีค่าเท่ากับ 0 |
| 5. เมื่อเลือกเครือข่ายในข้อที่ 4. แล้ว ให้คำนวณหาผลลัพธ์ ทั้งหมดในทุกความเป็นไปได้ในข้อที่ 3. เพื่อใช้ในกระบวนการแม็กซิมีน   |
| 6. เลือกค่าต่ำที่สุดของผลลัพธ์ที่คำนวณในข้อที่ 5 สำหรับผลลัพธ์ที่ 1-5, 6, 7, 8, 9-10 ซึ่งจะได้มาทั้งหมด 5 ผลลัพธ์  |
| 7. เลือกค่าสูงที่สุดของค่าผลลัพธ์ทั้ง 5 จากข้อที่ 6. ซึ่งจะได้มา 1 ผลลัพธ์   |
| 8. อัปเดตค่าน้ำหนักตามผลลัพธ์ที่เลือกในข้อที่ 7.   |
| 9. ตรวจสอบว่าค่าผลลัพธ์ที่เลือกในข้อที่ 7. มีค่าเท่ากับผลลัพธ์ในข้อที่ 7. ในการทำงานในรอบก่อนหน้าหรือไม่ หรือจำนวนรอบการวนรอบมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามกรณีทั้ง 2 กลับไปทำข้อที่ 3.            |
| 10. ให้คำนวณในสมการ 3-11 เพื่อเลือกเครือข่ายที่มีค่ามากที่สุด  |

## บทที่ 4

### การทดลองเพื่อเก็บค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

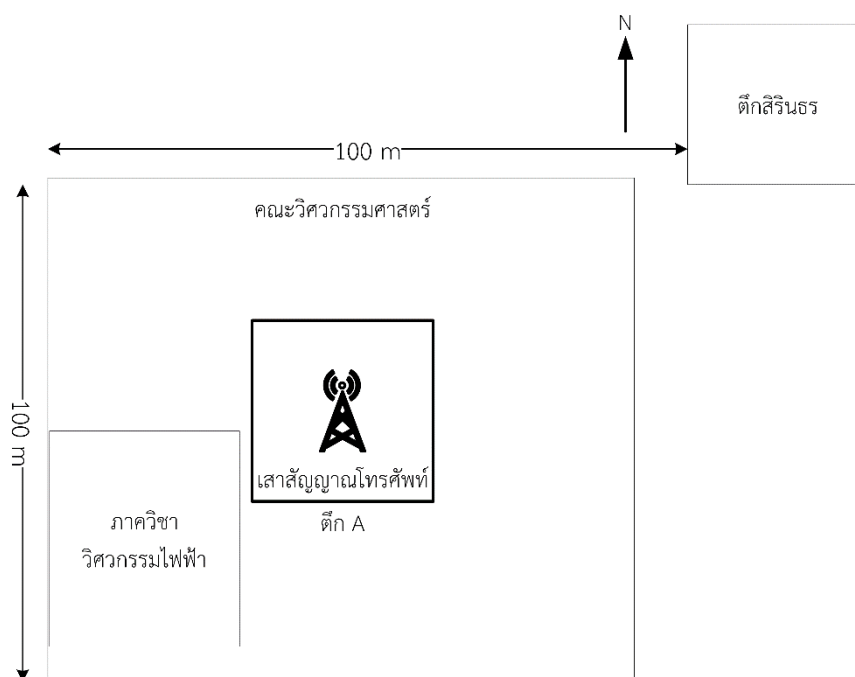
การทดลองค่าตัวแปรมีขึ้นเพื่อศึกษาตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สำหรับการตั้งค่าและการคำนวณที่ใช้ในโปรแกรม โดยตัวแปรที่ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาจะเป็นตัวแปรที่มาจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต อันได้แก่ค่าความล่าช้า ค่าความสำเร็จในการส่ง UDP และค่าพลังงานที่ใช้

การทดลองนี้ ได้ถูกทดลองบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยมีตำแหน่งเสาสัญญาณ 3G ที่มีถือือสามารถเชื่อมต่อได้ดังภาพประกอบ 4-1 โดยจุดวงกลมในสี่เหลี่ยมจะแสดงถึงตำแหน่งของเสาสัญญาณ และมีภาพรวมของภาควิชาดังภาพประกอบ 4-2



ภาพประกอบ 4-1 ตำแหน่งเสาสัญญาณ 3G ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ [33]

นอกจากการศึกษาค่าตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยนี้แล้ว ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเทคนิคการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร และตรวจสอบว่ากระบวนการทำงานเพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมมีการลู่เข้าจนสามารถได้ค่าที่เหมาะสมได้ ก่อนนำค่ามาใช้ในกระบวนการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร



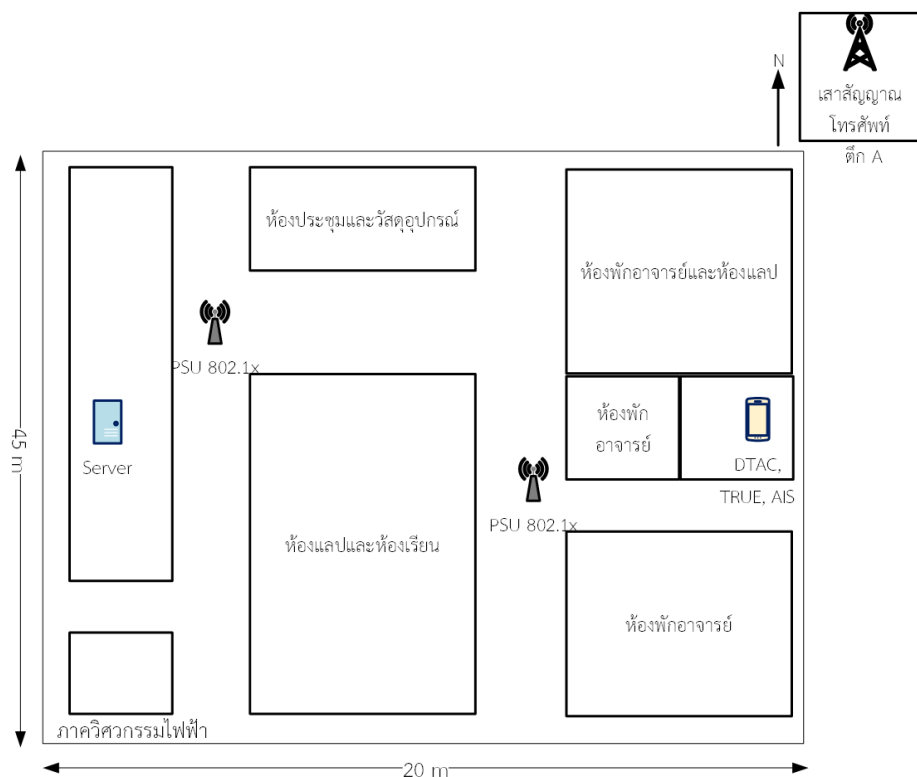
ภาพประกอบ 4-2 ภาพรวมการทดลอง

#### 4.1. ค่าตัวแปรเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Active Parameters)

ในการทดลองค่าตัวแปรเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค่าตัวแปรเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแต่ละค่าแยกกัน ซึ่งจะประกอบไปด้วย (1) ค่าตัวแปรความล่าช้า ที่นำค่าสูงสุดเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองนี้ ไปใช้ในการคำนวณให้ค่าพลังงานที่วัดได้ในกระบวนการเลือกเครือข่ายการสื่อสารตามปกติมีค่านอร์มัลไลซ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 (2) ค่าตัวแปร UDP มีการทดลองเพื่อให้ได้จำนวนข้อมูลที่ใช้ส่งและเวลาระหว่างข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ UDP ในโปรแกรมเลือกเครือข่ายการสื่อสาร และสุดท้าย (3) ค่าตัวแปรพลังงาน โดยทำการทดลองเพื่อหาค่าพลังงานสูงสุด และต่ำที่สุดเพื่อใช้ในการคำนวณให้เป็นค่านอร์มัลไลซ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1

ในการทดลองทั้งหมด ได้ทำการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เท่านั้น โดยมีอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือเครื่องที่ 1 (Quad-Core 2.3 GHz, PowerVR, Dual stand-by/active, IEEE 802.11 a/b/g/n/ac 2.4/5GHz) เครื่องที่ 2 ถึง 4 และ 8 (Quad-Core 1.2GHz, Adreno 306, Dual stand-by, IEEE 802.11 b/g/n 2.4GHz) โดยตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์จะแสดงรายละเอียดในหัวข้อการทดลองนั้น ๆ ต่อไป

#### 4.1.1. ค่าความล่าช้า (Delay)



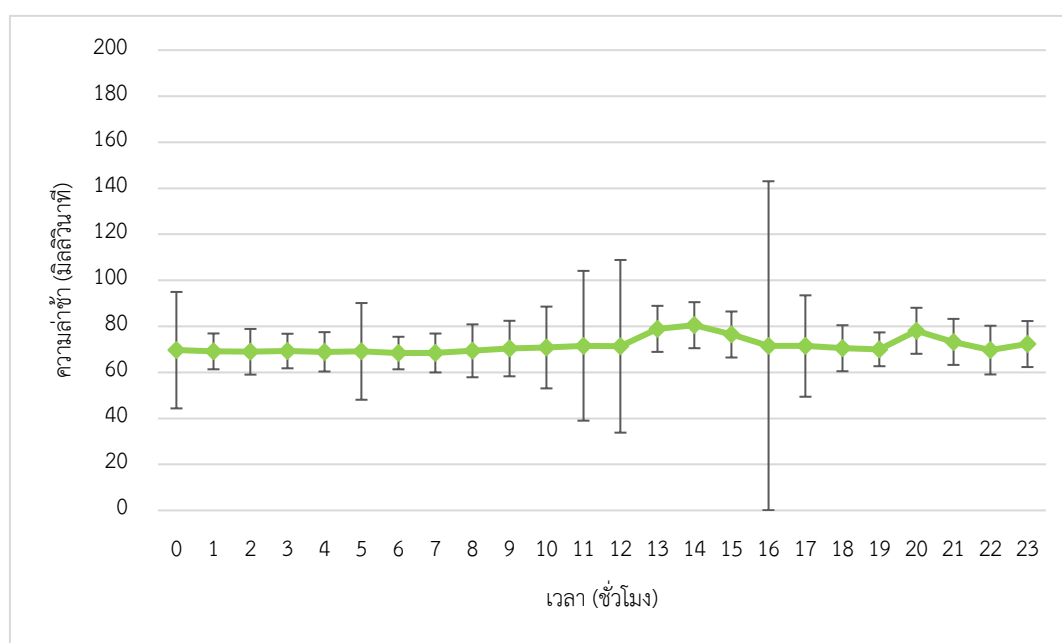
ภาพประกอบ 4-3 โครงสร้างการทดลองความล่าช้า

การทดลองความล่าช้าของข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ มีขึ้นเพื่อที่จะศึกษาหาค่าความล่าช้าที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการกระบวนการปรับค่าความล่าช้าให้อยู่ในบรรทัดฐานเดียวกัน ในการทดลองนี้ ได้ทำการทดลองส่งค่า ping ไปยังเซิร์ฟเวอร์ (Server) ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 4-3 ด้วยไอพีแอดเดรส (IP Address) 202.29.148.77 ทุก ๆ 1 นาที โดยทำการส่งข้อมูล 10 แพ็กเก็ต ในรูปแบบ ICMP Ping โดยในแต่ละแพ็กเก็ตมีขนาด 32 ไบต์ สำหรับทั้ง 4 เครือข่าย คือ DTAC AIS และ TRUEMOVE-H และเครือข่ายแลนไร้สายซึ่งมีการตั้งอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ 4 เครื่อง ได้แก่ เครื่องที่ 2 3 4 และ 8 (Quad-Core 1.2GHz, Adreno 306, Dual stand-by, IEEE 802.11 b/g/n 2.4GHz) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 1.6 มาจัดตั้งอยู่ในสถานที่เดียวกันดังแสดงในภาพประกอบ 4-3 ทดลองเป็นเวลา 5 วัน ตลอด 24 ชั่วโมง โดยสามารถสรุปการตั้งค่าการทดลองออกมาได้ดังตาราง 4-1 นอกจากนี้ได้ทดลองส่งไปยังเว็บไซต์ google ด้วยไอพีแอดเดรส 61.91.160.93 ซึ่งมีการตั้งค่าเดียวกันกับการทดสอบส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และมีผลการทดลองที่มีความใกล้เคียงกัน ในการทดลองนี้จึงนำเสนอผลการทดลองส่งไปยังภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเท่านั้น

ตาราง 4-1 ตารางการตั้งค่าการทดลองความล่าช้า

| การตั้งค่าการทดลอง |  |
|--------------------|--|
| สถานที่            | ห้องพักอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า                                      |
| โทรศัพท์มือถือ     | Quad-Core 1.2GHz, Adreno 306, Dual stand-by, IEEE 802.11 b/g/n<br>2.4GHz |
| เครือข่าย          | AIS, DTAC, TRUEMOVE-H, Wi-Fi   |
| ระยะเวลาทดลอง      | 5 วัน (กลางวันและกลางคืน)  |
| รูปแบบข้อมูลที่ส่ง | ICMP Ping  |

จากภาพประกอบ 4-4 ถึง ภาพประกอบ 4-6 จะเป็นผลการทดสอบการส่ง ICMP Ping ไปยังเซิร์ฟเวอร์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าซึ่งมีความล่าช้าโดยเฉลี่ยไม่เกิน 250 มิลลิวินาที ของการทดสอบทั้ง 4 เครือข่าย คือ AIS, DTAC, TRUEMOVE-H และแลนไร้สาย โดยเครือข่าย AIS มีค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลน้อยที่สุดและมีความเสถียรของความล่าช้ามากที่สุด รองลงมาคือเครือข่าย TRUEMOVE-H, DTAC และสุดท้ายคือเครือข่ายแลนไร้สาย

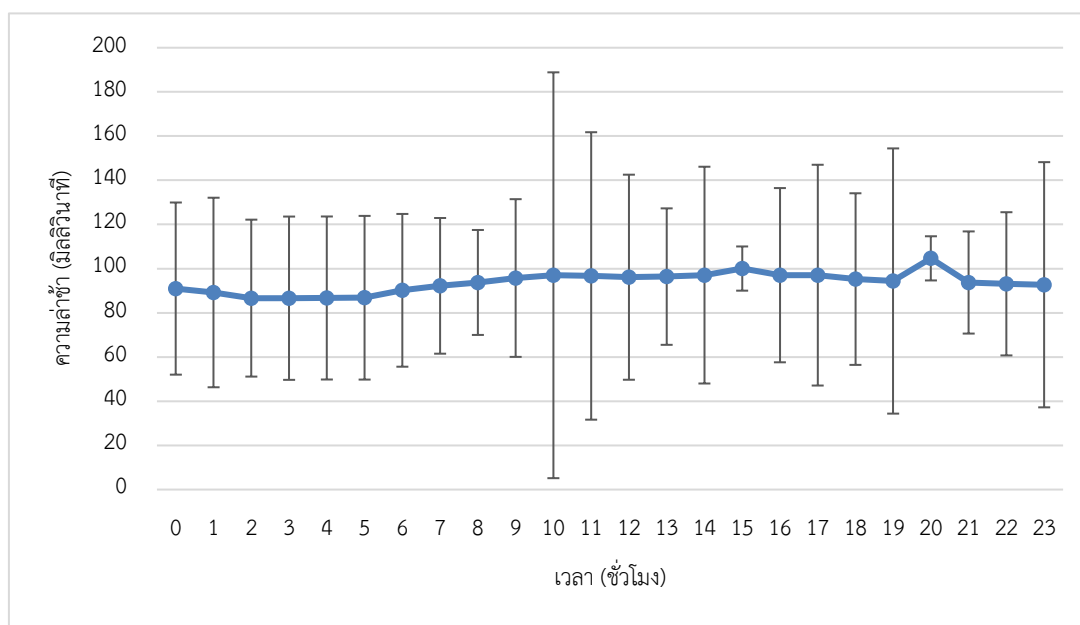


ภาพประกอบ 4-4 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยของ AIS ในภาควิชา

ในการทดลองส่ง Ping ของ AIS ไปยังเซิร์ฟเวอร์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าตั้ง ภาพประกอบ 4-4 จะมีบางช่วงเวลามีค่าคลาดเคลื่อนเกินค่าสเกลของแกนความล่าช้า จึงกำหนดค่า

ขึ้นเป็นค่าเท่ากับ 10 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นค่าส่วนใหญ่ จะเกิดขึ้นในช่วงบ่ายไปจนถึงตอนกลางคืน ซึ่งคิดว่าน่าจะเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้งานอินเทอร์เน็ตภายในมหาวิทยาลัยมากที่สุด

ในการส่ง Ping ของ DTAC ดังภาพประกอบ 4-5 จะมีค่าคลาดเคลื่อนที่เกินจากค่าที่กำหนดน้อยที่สุดของการเครือข่ายเซลลูล่า แต่ค่าคลาดเคลื่อนโดยรวมและความล่าช้าเฉลี่ยจะมีค่ามากที่สุด โดยค่าคลาดเคลื่อนของ DTAC จะมีค่ามากขึ้นตั้งแต่ช่วงเวลาที่เที่ยงไปจนถึงกลางคืน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่คาดว่าจะมีผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตหรือโทรศัพท์มือถือถือมากที่สุด

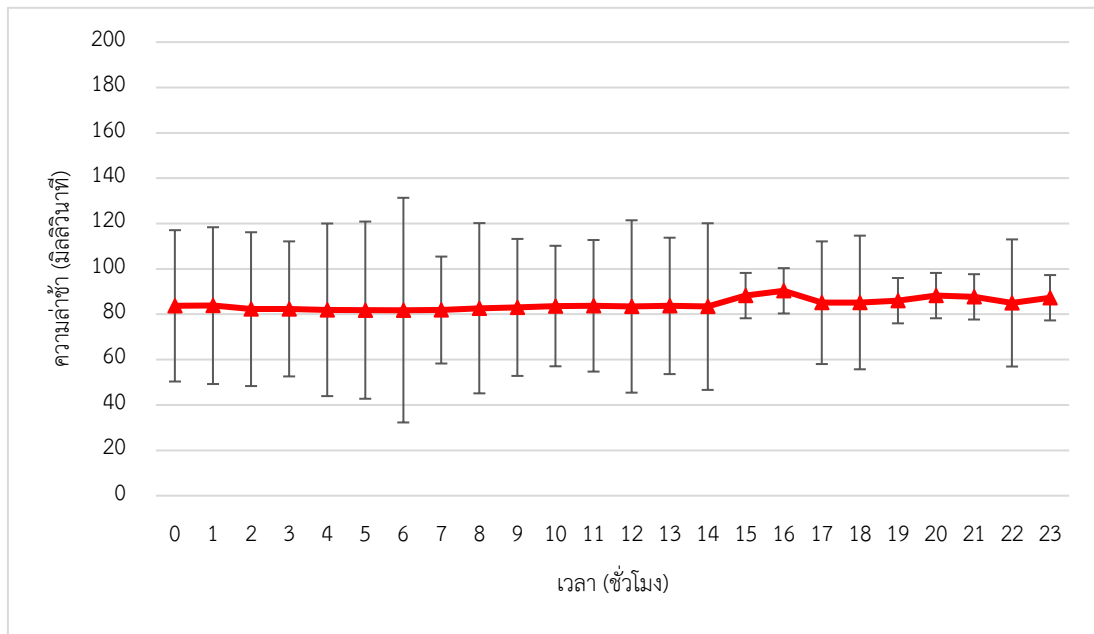


ภาพประกอบ 4-5 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยของ DTAC ในภาคเช้า

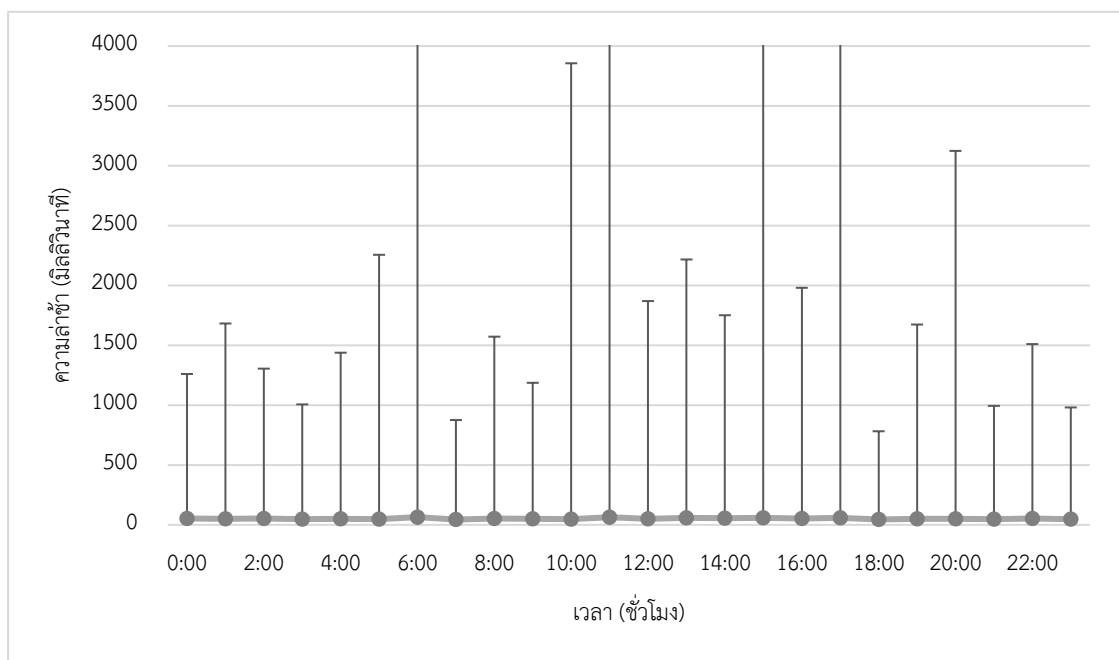
ในการส่ง Ping ของ TRUEMOVE-H สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังภาพประกอบ 4-6 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ TRUEMOVE-H จะมีค่ามากกว่าเครือข่ายของ AIS แต่จะเห็นว่ามีความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกับ DTAC ค่าคลาดเคลื่อนที่เกินกำหนดจะมีบ้างอยู่ในช่วงเวลาดังแต่ช่วงบ่ายถึงเที่ยงคืนรวมถึงค่าคลาดเคลื่อนที่มีค่าคลาดเคลื่อนสูงก็อยู่ในช่วงบ่ายถึงเที่ยงคืนเช่นกัน ซึ่งเป็นช่วงที่คาดว่าจะมีผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตหรือโทรศัพท์มือถือถือมากที่สุดที่ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการส่ง Ping ของ TRUEMOVE-H จะมีค่าความล่าช้าเฉลี่ยอยู่ระหว่างเครือข่าย AIS และ DTAC และมีความเสถียรของค่าความล่าช้ามากที่สุด

ในการส่ง Ping ของแลนไร้สายที่มีค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่ 52 มิลลิวินาที สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังภาพประกอบ 4-7 จากผลการทดลอง เครือข่ายแลนไร้สายจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับเครือข่ายเซลลูล่าแต่จะให้ค่าความล่าช้าที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครือข่ายเซลลูล่าทั้ง 3 เครือข่าย เนื่องจากความเร็วของการรับส่งข้อมูลในปัจจุบันแลนไร้สายสามารถ

ให้ความเร็วได้มากกว่าเครือข่ายเซลลูล่า ค่าคลาดเคลื่อนของเครือข่ายแลนไร้สายจะมีค่าที่สูงขึ้นในบางช่วงเวลาตั้งแต่ช่วงเช้าถึงช่วงเย็น คือช่วงเวลาที่น่าจะมีผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตมากที่สุดเนื่องจากเป็นเวลาทำงานของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



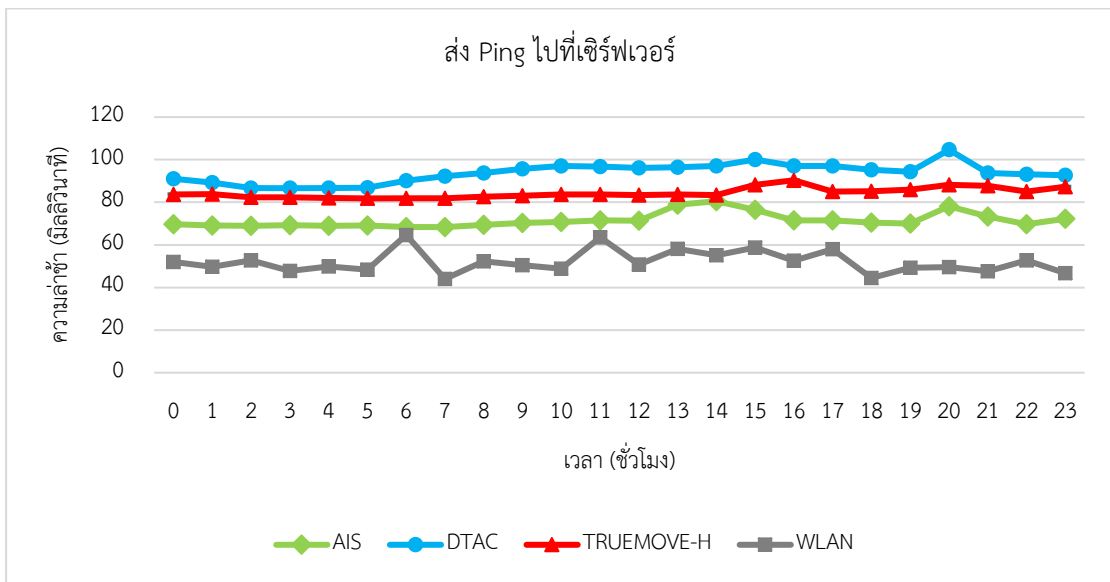
ภาพประกอบ 4-6 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยของ TRUEMOVE-H ในภาคเช้า



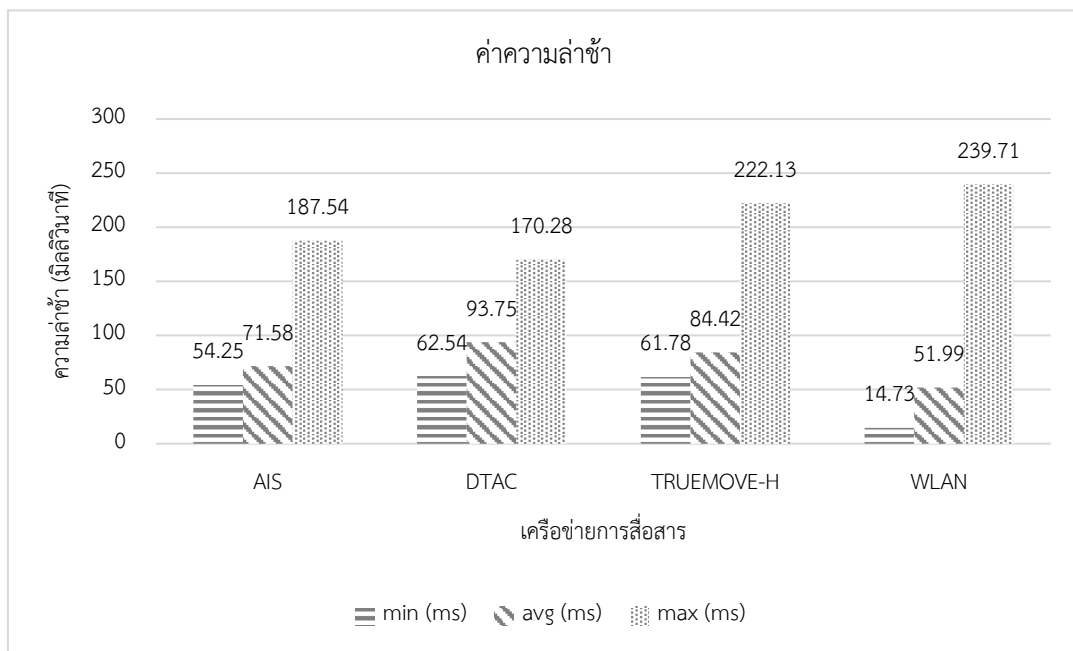
ภาพประกอบ 4-7 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยของแลนไร้สายในภาคเช้าโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 52 มิลลิวินาที



ซึ่งผลจากการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปออกมาเป็นค่าความล่าช้าเฉลี่ยได้ดังภาพประกอบ 4-8 โดยจะเห็นว่า ถ้าเรียงลำดับความล่าช้าจากน้อยสุด จะสามารถเรียงได้คือ แลนไร้สาย AIS TRUEMOVE-H และ DTAC ตามลำดับ ซึ่งมีการเปรียบเทียบทั้งค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยมากที่สุดได้ดังภาพประกอบ 4-9 และตาราง 4-2



ภาพประกอบ 4-8 การทดลองความล่าช้าเฉลี่ยทั้งหมดของช่วงเวลา 5 วัน



ภาพประกอบ 4-9 การทดลองความล่าช้าทั้งหมดซึ่งมีทั้งค่าน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ย และค่ามากที่สุดตามลำดับจากซ้ายไปขวาของแต่ละเครือข่ายสื่อสาร

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปออกมาได้ดังตาราง 4-2 หรือภาพประกอบ 4-9 โดยข้อมูลทั้งหมดที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าสูงสุดจากทุกเครือข่าย จะได้ค่าสูงสุดมีค่าประมาณ 240 มิลลิวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นไปตามมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ที่กำหนดให้ค่าล่าช้าไม่เกิน 500 มิลลิวินาที ซึ่ง AIS, DTAC, TRUEMOVE-H และแลนไร้สายจะมีข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ประมาณ 5000 ข้อมูล และทดสอบประมาณ 5 วัน ซึ่งค่าล่าช้าสูงสุดที่งานวิจัยนี้ใช้ จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 250 มิลลิวินาที โดยปรับค่าประมาณของความล่าช้าสูงสุดคือ 240 มิลลิวินาที ให้เป็นตัวเลขที่ลงตัวและเหมาะต่อการนำมาใช้ จากการประมาณค่าสูงสุดของแลนไร้สายในตาราง 4-2 จากการประมาณค่าสูงสุดเฉลี่ยของทั้ง 3 เครือข่าย โดยจะนำมาใช้ในสมการ 3-2

ตาราง 4-2 ผลการทดลองความล่าช้า

|            | ค่าน้อยสุด (มิลลิวินาที) | ค่าเฉลี่ย (มิลลิวินาที) | ค่าสูงสุด (มิลลิวินาที) |
|------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| AIS        | 54.25                    | 71.58                   | 187.54                  |
| DTAC       | 62.54                    | 93.75                   | 170.28                  |
| TRUEMOVE-H | 61.78                    | 84.42                   | 222.13                  |
| WLAN       | 14.73                    | 51.99                   | 239.71                  |

จากข้อมูลจะเห็นว่า จากการนำค่ามากที่สุดของทั้ง 4 เครือข่ายออกมาหาเป็นค่าน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ย และค่ามากที่สุดตามลำดับ ค่าน้อยที่สุดจะอยู่ในช่วง 14 ถึง 50 มิลลิวินาที ค่าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 51 ถึง 94 มิลลิวินาที และค่ามากที่สุดจะอยู่ในช่วง 170 ถึง 240 มิลลิวินาที โดยมี DTAC จะมีผลล่าช้าสูงสุดเฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 4 เครือข่าย รองลงมาคือ AIS, TRUEMOVE-H และแลนไร้สายตามลำดับ

#### 4.1.2. ค่าความสำเร็จการส่งข้อมูล UDP (UDP Success Rate)

การทดสอบความสำเร็จในการส่ง UDP ในจำนวนข้อมูลและเวลาที่แตกต่างกัน มีขึ้นเพื่อให้ได้รู้ระยะเวลาระหว่างการส่งข้อมูลแต่ละข้อมูล และจำนวนที่เหมาะสม โดยจะพิจารณาจากเวลาที่ใช้โดยรวม และความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่ไม่ควรเป็นหนึ่งทั้งหมด ในการทดลองนี้ ได้ใช้อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือเครื่องที่ 1 โดยใช้สัญญาณแลนไร้สายของคณะวิศวกรรมไฟฟ้าและchimการ์ดของ TRUEMOVE-H โดยสามารถสรุปการตั้งค่าการทดลองได้ดังตาราง 4-3 นอกจากนี้ มีการสร้างโปรแกรมในอุปกรณ์เซิร์ฟเวอร์เพื่อให้สามารถรับค่า UDP และมีการตอบกลับมาได้ ซึ่งการทำงานของระบบคือ อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือจะส่งค่า “start” ไปยังอุปกรณ์เซิร์ฟเวอร์ก่อน เพื่อให้อุปกรณ์

เซิร์ฟเวอร์ทำการลบข้อมูลเก่าออก ซึ่งจะส่งผลให้ค่าที่โปรแกรมได้นับจำนวน UDP ไว้แล้ว มีค่าเท่ากับ ศูนย์ของไอพีของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถืออื่น ๆ หลังจากนั้นหนึ่งวินาที โทรศัพท์มือถือจะเริ่มทำการส่ง ค่าจำลองสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ ไปยังอุปกรณ์เซิร์ฟเวอร์ตั้งการทดลองที่จะกล่าวถัดไป ซึ่งหลังจากที่ส่ง ข้อมูลครบแล้ว โทรศัพท์มือถือจะคอยหนึ่งวินาทีแล้วส่งค่า “end” ไปยังเซิร์ฟเวอร์ เพื่อให้เซิร์ฟเวอร์ ส่งค่าที่นับจำนวนข้อมูล UDP กลับมายังอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือสำหรับค่าความสำเร็จในการส่ง UDP

ตาราง 4-3 ตารางการตั้งค่าการทดลองความสำเร็จของการส่ง UDP

| การตั้งค่าการทดลอง |  |
|--------------------|--|
| สถานที่            | ห้องวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า   |
| โทรศัพท์มือถือ     | Quad-core 2.3 GHz, PowerVR, Dual stand-by/active, IEEE 802.11 a/b/g/n/ac 2.4/5 GHz |
| เครือข่าย          | TRUEMOVE-H, Wi-Fi 2.4 GHz, Wi-Fi 5 GHz   |
| ระยะเวลาทดลอง      | 1 วัน (กลางวัน)  |
| รูปแบบข้อมูลที่ส่ง | UDP  |

- การศึกษาเมื่อจำนวนแพ็กเก็ตของ UDP เท่ากับ 100 แพ็กเก็ต

ในการทดลองความสำเร็จในการส่ง UDP ได้ทำการทดลองส่งค่าจำลอง 100 แพ็กเก็ต และหลายแพ็กเก็ต เพื่อให้ค่าที่อุปกรณ์เซิร์ฟเวอร์ได้รับมีค่าที่มีความเปลี่ยนแปลงมากยิ่งขึ้น ซึ่งผลที่จะแสดงในตาราง 4-4 เป็นการทดลองส่งข้อมูลจำลองครั้งละ 100 แพ็กเก็ต โดยมีเวลาระหว่างแพ็กเก็ตที่ 1 มิลลิวินาที ผ่านสัญญาณแลนไร้สายของคณะวิศวกรรมศาสตร์ และเซลล์ค่าของ DTAC ที่ความเร็ว 100 Mbps ซึ่งให้ผลคือเปอร์เซ็นต์ของการส่งข้อมูล UDP สำเร็จที่ไม่ใช่ 100 เปอร์เซ็นต์ผ่านเครือข่ายที่ 1 สามารถส่งข้อมูลได้ 94.6% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด เปอร์เซ็นต์ของการส่งข้อมูล UDP สำเร็จที่ไม่ใช่ 100 เปอร์เซ็นต์ผ่านเครือข่ายที่ 2 สามารถส่งข้อมูลได้ 100.0% และเครือข่ายที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์การส่งข้อมูลที่ไม่ใช่ 100 เปอร์เซ็นต์คือ 99.9% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด

จากผลดังกล่าว จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองความสำเร็จในการส่ง UDP มีความสำเร็จในการส่งครบ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ค่อนข้างสูง คือในเครือข่ายที่ 1 และ 3 จะมีแค่ครั้งเดียวจากทั้งหมด 10 ครั้งที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเครือข่ายที่ 2 จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จที่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทุกค่า ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งานในการ

เลือกเครือข่ายการสื่อสารอันเนื่องมาจากค่าที่วัดได้มีนอร์มัลไลซ์เท่ากับ 1 ทุกเครือข่ายการสื่อสารจากเหตุผลข้างต้น จึงนำมาซึ่งการทดลองเมื่อจำนวนแพ็กเก็ตมากกว่า 100 และมีระยะเวลาระหว่างแพ็กเก็ตที่เปลี่ยนไป

ตาราง 4-4 ผลการทดลอง UDP เบื้องต้น

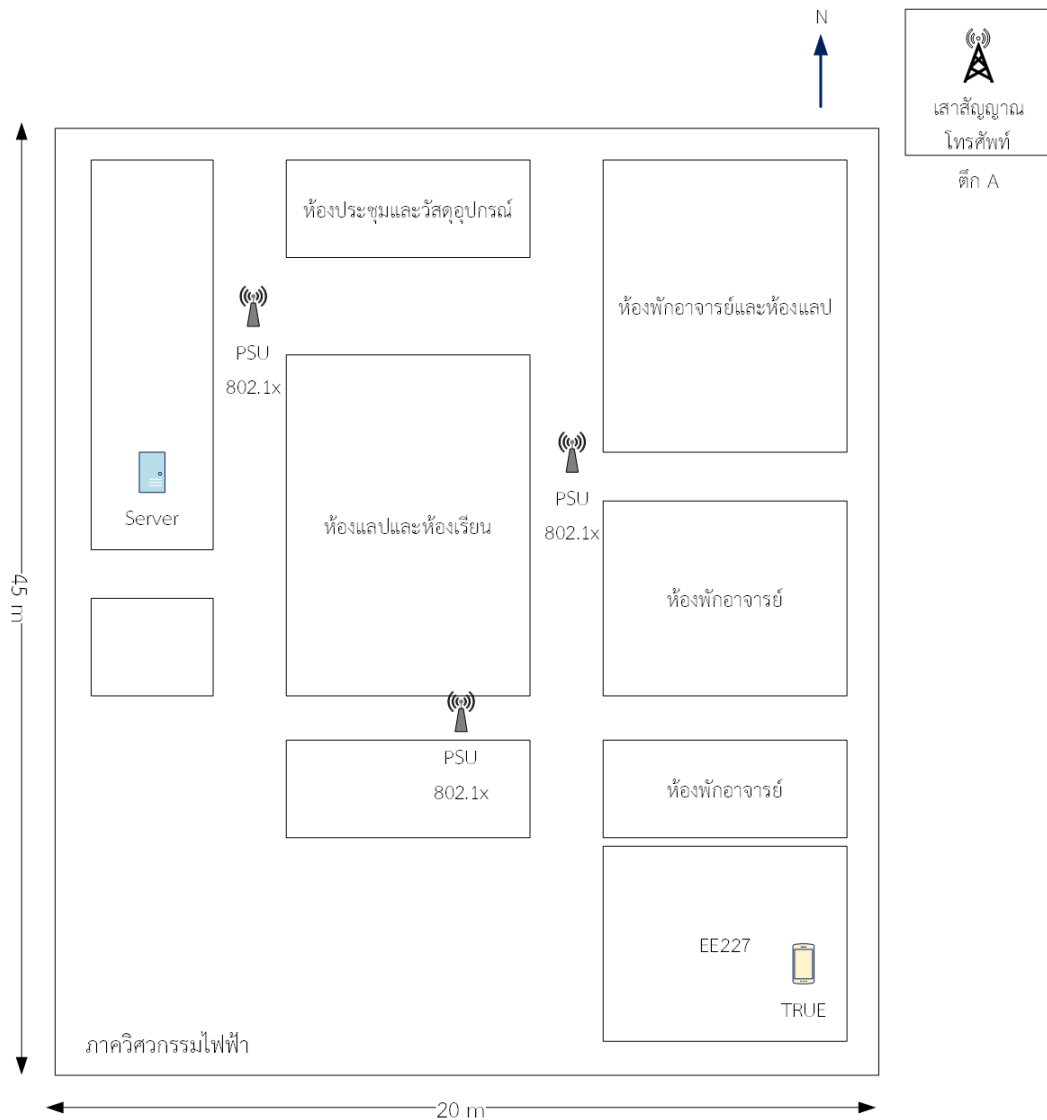
| เครือข่ายการสื่อสาร | จำนวนครั้ง | เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการทดลองโดยเฉลี่ย | จำนวนครั้งความสำเร็จของ UDP ที่ไม่ใช่ 100% ใน 10 ครั้ง |
|---------------------|------------|---|--|
| Cellular            | 10         | 94.6                                      | 1  |
| WLAN 2.4            | 10         | 100.0                                     | 0  |
| WLAN 5              | 10         | 99.9                                      | 1  |

- จำนวนแพ็กเก็ตที่มากกว่า 100 แพ็กเก็ต และระยะเวลาที่แพ็กเก็ตที่เหมาะสม

การทดลองนี้ มีขึ้นเพื่อให้สามารถตั้งค่าการทดสอบความสำเร็จในการส่ง UDP ให้ผลการทดสอบมีค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยแต่ละรูปแบบการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้งโดยมีการวางระบบการทดลองดังภาพประกอบ 4-10 โดยผลจากการทดลอง สามารถแสดงผลออกมาดังตาราง 4-5

ตาราง 4-5 ผลการทดสอบ UDP ในจำนวนข้อมูลและเวลาที่แตกต่างกัน

| จำนวนแพ็กเก็ต (แพ็กเก็ต) | เวลาระหว่างแพ็กเก็ต (นาโนวินาที) | เวลาที่ใช้ในการส่ง UDP โดยเฉลี่ย (วินาที) | จำนวนครั้งที่มีความผิดพลาด ใน 10 ครั้ง |
|--------------------------|----------------------------------|---|--|
| 100                      | 1000                             | 12  | 0                                      |
|                          | 1                                | 18  | 3                                      |
| 1000                     | 1000                             | 14  | 3                                      |
|                          | 1                                | 15  | 5                                      |
| 2000                     | 1000                             | 18  | 4                                      |
|                          | 1                                | 18  | 7                                      |
| 3000                     | 1000                             | 20  | 5                                      |
|                          | 1                                | 19  | 5                                      |



ภาพประกอบ 4-10 การวางระบบทดลอง UDP และพลังงานที่ใช้

จากการทดสอบ จะเห็นได้ว่า ถ้าส่ง UDP เป็นจำนวน 2000 ข้อมูล โดยมีระยะเวลา ระหว่างข้อมูลอยู่ที่ 1 นาโนวินาที จะให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่เหมาะสมและมีความใกล้เคียงกับการส่ง 3000 ข้อมูล นอกจากนี้ ค่าความสำเร็จของส่งส่ง UDP ที่มีค่าไม่เท่ากับ 1 มีค่ามากกว่า 5 จากการส่ง ทั้งหมด 10 ครั้ง ซึ่งมีค่าเกินครึ่งหนึ่งของการส่งทั้งหมด ในโปรแกรมนี้ จึงเลือกจำนวนข้อมูลที่ 2000 โดยมีระยะเวลาระหว่างข้อมูลที่ 1 นาโนวินาทีในการทดสอบหาความสำเร็จในการส่ง UDP ในหัวข้อที่ 3.1.2 ในเรื่องการเก็บค่าความสำเร็จในการส่ง UDP

#### 4.1.3. ค่าพลังงานที่ใช้ (Energy Consumption)

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหาค่าพลังงานที่สูงที่สุด และต่ำที่สุดเพื่อใช้ในการคำนวณในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยสามารถสรุปการตั้งค่าการทดลองดังตาราง 4-6 ซึ่งการทดลองดังกล่าวได้ประยุกต์ใช้วิธีการของ Powertutor ที่ได้กล่าวมาแล้วในส่วนของการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับค่าพลังงานของตัวโปรแกรมในหน่วยของจูล ซึ่งในโปรแกรมของงานวิจัยนี้ จะเก็บค่าพลังงานจาก Powertutor ทั้งหมดสองรอบ คือ ก่อนทำการตรวจสอบค่าตัวแปรภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และหลังเก็บค่าตัวแปร เพื่อให้ได้พลังงานที่ใช้ในการตรวจสอบค่าในเครือข่ายดังกล่าว ซึ่งในการทดลอง ได้ทดลองเก็บค่าทั้งแลนไร้สายและเครือข่ายของซิมการ์ด โดยให้ระบบทำงานตามขั้นตอนในงานวิจัยนี้ตามปกติ แต่จะให้มีการทำงานเก็บค่าตัวแปรภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทุกครั้งที่มีการตรวจสอบค่าตัวแปรเครือข่ายภายในโทรศัพท์ โดยมีการเก็บค่าพลังงานที่ใช้เป็นจำนวน 1 วัน มีการวางระบบดังภาพประกอบ 4-10

ตาราง 4-6 การตั้งค่าการทดลองค่าพลังงานที่ใช้

| การตั้งค่าการทดลอง |   |
|--------------------|---|
| สถานที่            | ห้องวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  |
| โทรศัพท์มือถือ     | - Quad-core 2.3 GHz, PowerVR, Dual stand-by/active, IEEE 802. 11 a/b/g/n/ac 2.4/5 GHz<br>- Octa-core 4x2. 5 GHz, Adreno 306, Dual stand-by, IEEE 802. 11 b/g/n/ac 2.4/5 GHz<br>- Octa-core 4x2. 3 GHz, Adreno 540, Dual stand-by, IEEE 802. 11 a/b/g/n/ac 2.4/5 GHz |
| เครือข่าย          | TRUEMOVE-H, Wi-Fi 2.4 GHz, Wi-Fi 5 GHz  |
| ระยะเวลาทดลอง      | 3 วัน (กลางวันและกลางคืน)   |
| รูปแบบข้อมูลที่ส่ง | ICMP Ping และ UDP   |

ผลที่ได้จากการทดลองคือ ค่าพลังงานที่มีค่าต่ำสุดคือ 0.483 จูล ของเครื่องที่ 5 และพลังงานที่มีค่าสูงสุดคือ 4.217 จูล ของเครื่องที่ 1 ดังแสดงในตาราง 1-2 ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ค่าต่ำสุดและสูงสุดของเครื่องที่ 1 เนื่องจากได้ใช้ในการทดลองค่าความล่าช้า และความสำเร็จในการส่งข้อมูล UDP ในการทดลองก่อนหน้านี้แล้ว ซึ่งค่าที่ใช้ จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่านอร์มัลไลซ์ที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ในเรื่องของการเก็บค่าพลังงานดังที่กล่าวมาแล้วในเรื่องการเก็บค่าตัวแปรในวิธีการวิจัย

นอกจากนี้ได้ทดสอบวัดพลังงานในอุปกรณ์เครื่องที่ 7 ผลที่ได้คือ เครื่องดังกล่าวใช้พลังงานมากกว่าเครื่องที่ 1 และ 5 ซึ่งน่าจะเกิดจากโปรแกรมที่ทำงานอยู่เบื้องหลังที่แตกต่างกัน

ตาราง 4-7 พลังงานที่วัดได้

| พลังงาน      | ค่าต่ำสุด (จูล) | ค่าเฉลี่ย (จูล) | ค่าสูงสุด (จูล) | ค่ามัธยฐาน (จูล) |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| เครื่องที่ 1 | 0.970           | 1.830           | 4.217           | 1.712            |
| เครื่องที่ 5 | 0.483           | 3.606           | 4.193           | 4.043            |
| เครื่องที่ 7 | 2.377           | 6.490           | 9.939           | 6.488            |

## บทที่ 5

### การทดสอบระบบ

การทดสอบนี้ มีขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยรวม ซึ่งจะประกอบไปด้วยการทดสอบการทำงานของตัวแปรเครือข่ายภายในโทรศัพท์มือถือ เพื่อตรวจสอบว่าสามารถทำงานได้ถูกต้อง การทดสอบรวมค่าตัวแปรภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของระบบเลือกเครือข่ายเพื่อศึกษาสมรรถนะของเครือข่ายจริง นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เพื่อตรวจสอบการเลือกเครือข่ายสื่อสารของโทรศัพท์มือถือ โดยจะอธิบายเป็นรายละเอียดเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

#### 5.1. การทำงานของตัวแปรที่เก็บค่าได้ภายในโทรศัพท์มือถือ (Passive Measurement)

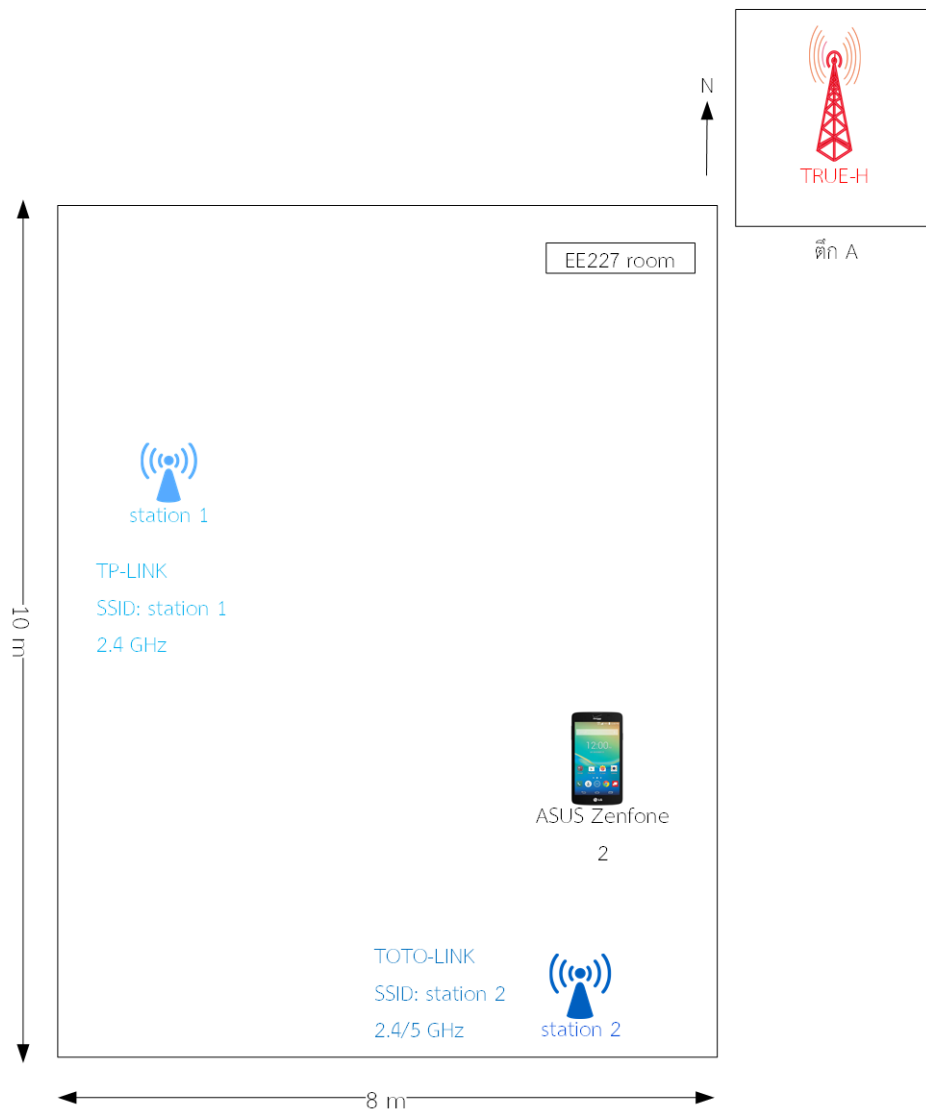
การทดสอบนี้ มีขึ้นเพื่อทดสอบโปรแกรมว่ามีการทำงานถูกต้องตามที่ได้กำหนดไว้ โดยทำการทดสอบพร้อมกันทั้ง 3 ค่า ในกระบวนการทดสอบตัวแปรเครือข่ายภายในโทรศัพท์มือถือมีกระบวนการทำงานคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าของตัวแปรภายในเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ โปรแกรมจะมีการเรียกการทำงานของทดสอบหาค่าตัวแปรภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยในการทดสอบนี้ ได้ใช้อุปกรณ์โทรศัพท์เครื่องที่ 1 (Quad-Core 2.3 GHz, PowerVR, Dual stand-by/active, IEEE 802.11 a/b/g/n/ac 2.4/5GHz) ดังตาราง 5-1 อุปกรณ์จ่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ต 2 ตัว โดยได้ทำการทดสอบในห้องวิจัยอีอีสองสองเจ็ด (EE227) ภายในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ดังแสดงในภาพประกอบ 5-1

ตาราง 5-1 การตั้งค่าการทดสอบ Passive Measurement

| การตั้งค่าการทดสอบ |  |
|--------------------|--|
| สถานที่            | ห้องวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า   |
| โทรศัพท์มือถือ     | Quad-core 2.3 GHz, PowerVR, Dual stand-by/active, IEEE 802.11 a/b/g/n/ac 2.4/5 GHz |
| เครือข่าย          | TRUEMOVE-H, Wi-Fi 2.4 GHz, Wi-Fi 5 GHz   |
| ระยะเวลาทดลอง      | 1 วัน (กลางวัน)  |
| รูปแบบข้อมูลที่ส่ง | -  |



จากการตั้งค่าการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้ว โปรแกรมได้ถูกทดลองเป็นจำนวน 14 ครั้ง โดยระบบจะเริ่มกระบวนการถ่ายภาพประกอบ 5-1 หลังจากนั้น จะมีการเปลี่ยนความถี่ของอุปกรณ์กระจายสัญญาณชื่อสเตชันสอง (station 2) เพื่อให้โปรแกรมเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงซึ่งความเร็วอันเนื่องมาจากความถี่เปลี่ยนดังที่ได้ศึกษามาแล้วในส่วนของทฤษฎีและหลักการ ในขั้นตอนต่อไป จะทำการเปิดอุปกรณ์กระจายสัญญาณสเตชันหนึ่ง (station 1) เพื่อให้โปรแกรมเห็นถึงจำนวนอุปกรณ์กระจายสัญญาณที่เปลี่ยนไป สุดท้ายจะทำการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือไปใกล้กับอุปกรณ์กระจายสัญญาณสเตชันหนึ่ง เพื่อให้โปรแกรมเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความแรงของสัญญาณที่ได้รับ



ภาพประกอบ 5-1 ตำแหน่งการทดสอบตัวแปรที่ไม่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

ผลที่ได้จากการทดสอบคือ โปรแกรมมีการเรียกการทำงานเพื่อให้ได้มาซึ่งตัวแปรที่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตทุกครั้งในตัวแปรเครือข่ายภายในโทรศัพท์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามที่กำหนดคือ (1) เมื่อเริ่มระบบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารใหม่ (2) ความเร็วเครือข่ายเปลี่ยน ซึ่งความเร็วของเครือข่ายจะมาจากทฤษฎีและหลักการในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 (3) จำนวนอุปกรณ์กระจายสัญญาณเปลี่ยน และ (4) ความแรงสัญญาณเปลี่ยนเกินค่าที่กำหนดคือเปลี่ยนเกิน 10 dBm ดังที่ได้ศึกษาในทฤษฎีและหลักการในหัวข้อที่ 2.7 ซึ่งสามารถแสดงเป็นตัวอย่างของผลการทดลองได้ดังตาราง 5-2

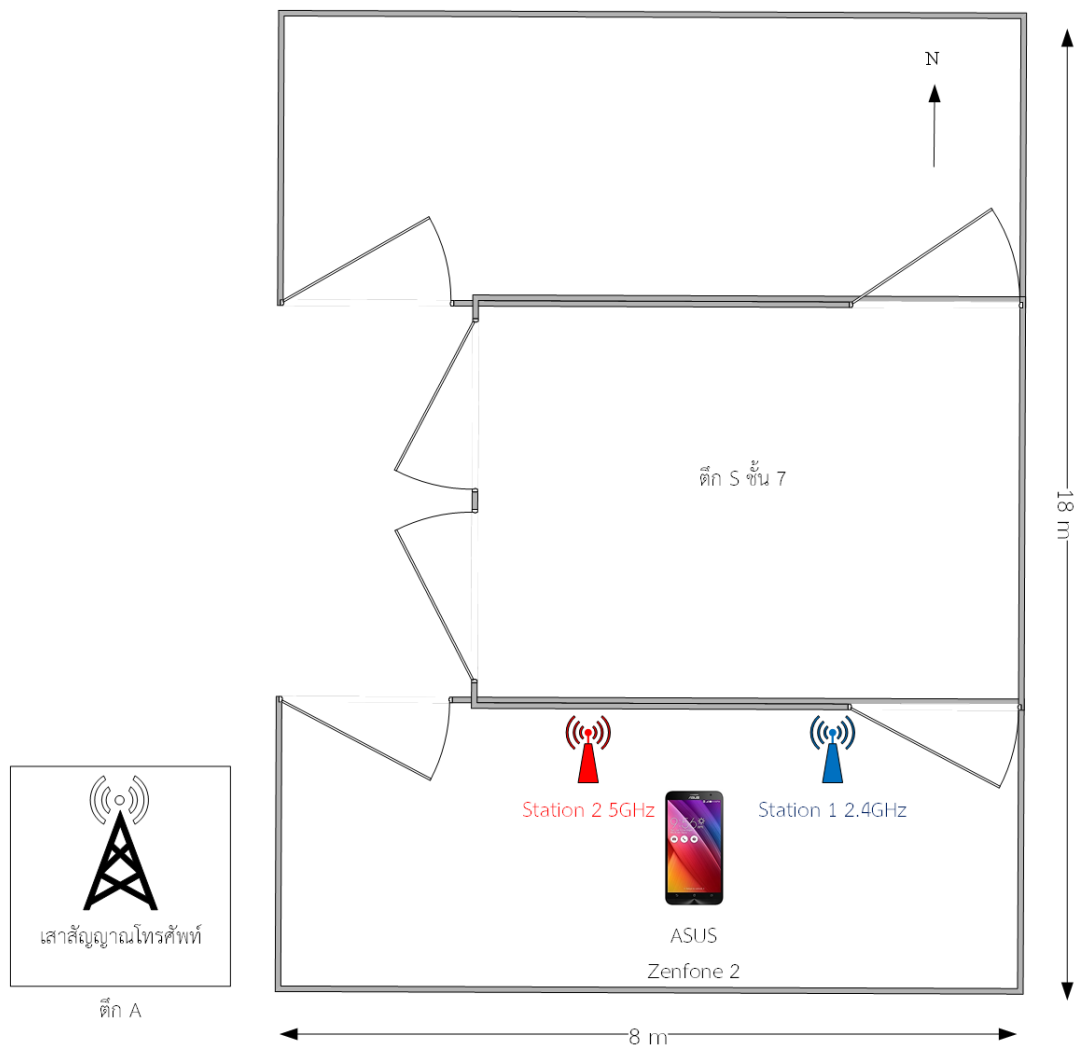
ตาราง 5-2 ผลการทดสอบตัวแปรที่ไม่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

| ครั้งที่ | เหตุการณ์ที่ทำการเก็บค่า<br>Active measurement | ชื่อ<br>เครือข่าย | ความแรง<br>สัญญาณ (dBm) | ความเร็วเครือข่าย<br>(Mbps) |
|----------|--|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1        | เริ่มระบบใหม่                                  | station 2         | -41                     | 1000                        |
|          |  | Cellular          | -81                     | 300                         |
| 2        | ความเร็วเครือข่ายเปลี่ยน                       | station 2         | -37                     | 600                         |
|          |  | Cellular          | -78                     | 300                         |
| 3        | จำนวนอุปกรณ์จ่ายสัญญาณ<br>เปลี่ยน              | station 1         | -50                     | 600                         |
|          |  | station 2         | -39                     | 600                         |
|          |  | Cellular          | -80                     | 300                         |
| 4        | ความแรงสัญญาณแตกต่าง<br>มากกว่า 10 dBm         | station 1         | -59                     | 600                         |
|          |  | station 2         | -28                     | 600                         |
|          |  | Cellular          | -80                     | 300                         |

## 5.2. การทดสอบตัวแปรเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ต (Active Measurement)

ในการทดสอบนี้ จะทดสอบพร้อมกันทั้งหมด 3 ค่าของตัวแปรเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ต ตัวแปรเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ต จะประกอบไปด้วยค่าพลังงานที่ใช้ ค่าความสำเร็จในการส่ง UDP และค่าความล่าช้า ซึ่งในการทดสอบตัวแปรเครือข่ายภายในอินเทอร์เน็ตนี้ จะมีการทดสอบเพื่อตรวจสอบหาค่าปริมาณงาน ความล่าช้า และพลังงานที่ใช้ ที่โปรแกรมสามารถทำได้ โดยมีการทดสอบคือ ให้โปรแกรมทำงานปกติตามรูปแบบการทำงานของระบบเลือกเครือข่ายการสื่อสาร โดยให้มีการทำการวัดค่าตัวแปรที่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตทุกครั้งที่มีการตรวจสอบค่าตัวแปรที่ไม่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยค่าปริมาณงานที่วัดได้ จะมาจากการหาเวลาที่ใช้ในระหว่างที่มีการทำการตรวจสอบความสำเร็จในการส่ง UDP แล้วนำค่าเวลาที่ได้ไปใช้หารค่าของจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการ

ทดสอบความสำเร็จในการส่ง UDP ทั้งหมด โดยยังคงเก็บค่าความล่าช้า และพลังงานตามปกติโดยไม่  
ต้องทำให้เป็นค่านอร์มัลโลก่อนการบันทึกข้อมูล



ภาพประกอบ 5-2 การทดสอบที่ตึกสิรินธร

ในการทดสอบนี้ ได้มีการทดสอบที่ตึกสิรินธร ชั้นที่ 7 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยมีการอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือเครื่องที่ 1 (Quad-  
Core 2.3 GHz, PowerVR, Dual stand-by/active, IEEE 802.11 a/b/g/n/ac 2.4/5GHz) และได้  
จัดวางระบบดังภาพประกอบ 5-2 ซึ่งมีผลการทดสอบสามารถแสดงออกมาได้ดังตาราง 5-4

ตาราง 5-3 การตั้งค่าการทดสอบ Active Measurement

| การตั้งค่าการทดสอบ |  |
|--------------------|--|
| สถานที่            | ห้องวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า   |
| โทรศัพท์มือถือ     | Quad-core 2.3 GHz, PowerVR, Dual stand-by/active, IEEE 802.11 a/b/g/n/ac 2.4/5 GHz |
| เครือข่าย          | DTAC, Wi-Fi 2.4 GHz, Wi-Fi 5 GHz   |
| ระยะเวลาทดลอง      | 3 วัน (กลางวันและกลางคืน)  |
| รูปแบบข้อมูลที่ส่ง | ICMP Ping และ UDP  |

จากผลการทดสอบจะเห็นว่า การเชื่อมต่อผ่านแลนไร้สายที่ความถี่ 5 GHz จะมีความล่าช้าในการเชื่อมต่อที่น้อยที่สุด รองลงมาคือแลนไร้สายที่ความถี่ 2.4 GHz และล่าช้าที่สุดคือเซลลูลาร์ของ DTAC ซึ่งจะเป็นไปตามทฤษฎีคือ การเชื่อมต่อแลนไร้สายที่ความถี่ 5 GHz จะให้ความเร็วที่มากกว่าการเชื่อมต่อแลนไร้สายที่ 2.4 GHz และเร็วกว่าการเชื่อมต่อผ่านเซลลูลาร์ ในเรื่องของความเร็วในการส่ง UDP เซลลูลาร์จะมีความเร็วในการส่งมากที่สุด และมีความเร็วแลนไร้สายทั้ง 2 คลื่นความถี่ที่ใกล้เคียงกัน และสุดท้ายพลังงานที่ใช้ในการเชื่อมต่อของเซลลูลาร์มีค่าน้อยกว่าของแลนไร้สาย ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากกระบวนการทำงานของ Powertutor [22] ที่จะมีการเก็บค่าพลังงานตลอดเวลาผ่านจากการติดตามการทำงานของส่วนต่าง ๆ ของโทรศัพท์มือถือ และนำผลการติดตามเข้าสมการเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน โดยมีมือถือในปัจจุบันมีการใช้งานเซลลูลาร์ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะเชื่อมต่อแลนไร้สายอยู่ เช่นการทำงานของระบบ Voice Over LTE เป็นต้น ซึ่งจะต่างจากทฤษฎีที่มีการเปิดระบบการเชื่อมต่อช่องทางเดียว เช่น ถ้าเป็นแลนไร้สาย ก็จะไม่มีการเชื่อมต่อเซลลูลาร์ในอุปกรณ์เลย เป็นต้น จึงทำให้พลังงานที่ใช้ในการเชื่อมต่อผ่านแลนไร้สายน้อยกว่าการเชื่อมต่อผ่านเซลลูลาร์ จากข้อมูลข้างต้น ในงานวิจัยนี้ค่าพลังงานในส่วนของเซลลูลาร์จึงมีค่าน้อยกว่าแลนไร้สาย

ตาราง 5-4 ผลการทดสอบค่าความเร็วของการส่ง UDP ความล่าช้า และพลังงาน

| เครือข่าย | ความล่าช้า (มิลลิวินาที) |           |           | ความเร็ว UDP (kbps) | พลังงานที่ใช้ (จูล) |
|-----------|--------------------------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
|           | ค่าน้อยสุด               | ค่าเฉลี่ย | ค่าสูงสุด |                     |                     |
| เซลลูลาร์ | 64.92                    | 131.40    | 167.63    | 112.19              | 1.81                |
| WLAN 2.4  | 1.94                     | 41.71     | 122.58    | 102.90              | 1.97                |
| WLAN 5.0  | 1.76                     | 37.11     | 115.51    | 102.66              | 1.96                |

### 5.3. การทดสอบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์

ในการทดสอบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารนี้ มีขึ้นเพื่อศึกษาเทคนิคการเลือกเครือข่าย และตรวจสอบสมรรถนะในการเลือกเครือข่ายการสื่อสารว่าสามารถรองรับการเลือกเครือข่ายจำนวนมากได้จริง โดยในการทดลองได้มีการทดลองเลือกเครือข่ายการสื่อสารมากที่สุดที่ 10 เครือข่ายการสื่อสาร โดยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ใช้ Windows 10 ที่มีระบบประมวลผลเป็น Intel® Core™ i7 – 6700 CPU @ 3.40 GHz 3.40 GHz แรม 8 GB โดยใช้โปรแกรม NetBeans IDE เป็นโปรแกรมที่เขียนโปรแกรมจำลองขึ้นมาโดยใช้ภาษาจาวา (JAVA) ซึ่งเป็นภาษาเดียวกับการเขียนโปรแกรมในอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมจำลองการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร จะประกอบไปด้วยส่วนของการคำนวณน้ำหนัก (Weight Calculation) และส่วนของการเลือกเครือข่าย (Network Selection)

การทดสอบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารเพื่อตรวจสอบการลู่เข้าของกระบวนการคำนวณน้ำหนัก ซึ่งในการศึกษานี้ จะใช้ค่าตัวแปรที่วัดได้จากอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ ซึ่งเป็นข้อมูลจริงที่วัดได้ อันประกอบไปด้วย ค่าพลังงานที่ใช้ ค่าความสำเร็จของการส่ง UDP และค่าความล่าช้า โดยสามารถแสดงออกมาได้ดังตาราง 5-5 จากตารางจะเห็นว่า ระบบสามารถเลือกเครือข่ายการสื่อสารได้นั้นหมายถึงว่ากระบวนการคำนวณน้ำหนักมีการลู่เข้า ซึ่งจากการทดลองจะได้จำนวนรอบของการคำนวณ ก่อนได้ค่าน้ำหนักที่ใช้ในกระบวนการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร

นอกจากนี้ การทดลองการเลือกเครือข่ายการสื่อสารในกรณีที่โทรศัพท์มือถือสามารถเลือกเครือข่ายได้ทั้งสองซิมการ์ดและแลนไร้สายทั้งสองคลื่นความถี่ (2.4 GHz และ 5 GHz) โดยค่าตัวแปรภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้มาจากข้อมูลจริงที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือได้รับ ซึ่งแสดงในตาราง 5-6 จะเห็นว่าได้มีการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะมีแลนไร้สาย 2 เครือข่ายและเซลลูล่า 2 เครือข่าย และในครั้งที่ 2 จะมีแลนไร้สาย 3 เครือข่ายและเซลลูล่า 2 เครือข่าย โดยมีผลการทดลองคือ ระบบการเลือกเครือข่ายการสื่อสารสามารถรองรับโทรศัพท์มือถือในอนาคตที่สามารถเชื่อมต่อและเลือกเครือข่ายการเชื่อมต่อระหว่างซิมการ์ดได้นอกจากนี้ ถึงจะมีเครือข่ายการสื่อสารที่มากขึ้น ระบบก็ยังสามารถเลือกเครือข่ายสื่อสารได้อย่างปกติ

ตาราง 5-5 ผลแบบจำลองเลือกช่องทางแบบเซลล์เดี่ยวและแลนไร้สาย 2.4 GHz กับ 5 GHz

| ครั้งที่ | ชื่อ<br>เครือข่าย<br>ที่ตั้งขึ้น | พลังงาน<br>ที่ใช้ | ค่าความสำเร็จ<br>ของ UDP | ค่าความ<br>ล่าช้า | น้ำหนัก<br>พลังงาน | น้ำหนัก<br>UDP | น้ำหนัก<br>ความล่าช้า | จำนวนรอบ<br>ของการ<br>คำนวณ | ผลลัพธ์จาก<br>สมการ<br>3-11 | เครือข่ายที่เลือก<br>ได้ของงานวิจัยนี้ |
|----------|----------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| 1        | RAN 1                            | 0.8411            | 0.9050                   | -0.0257           | 0.02067            | 0.97822        | 0.00110               | 156                         | 0.90265                     | RAN 3                                  |
|          | RAN 2                            | 0.8798            | 0.7640                   | -0.1058           |                    |                |                       |                             | 0.76543                     |  |
|          | RAN 3                            | 0.8895            | 0.9045                   | -0.3272           |                    |                |                       |                             | 0.90283                     |  |
| 2        | RAN 1                            | 0.9000            | 0.9770                   | -0.8226           | 0.00036            | 0.99963        | 0.00000               | 84                          | 0.97776                     | RAN 2                                  |
|          | RAN 2                            | 0.8700            | 0.9890                   | -0.8103           |                    |                |                       |                             | 0.98895                     |  |
|          | RAN 3                            | 0.8900            | 0.9880                   | -0.8662           |                    |                |                       |                             | 0.98795                     |  |
| 3        | RAN 1                            | 0.8701            | 0.8910                   | -0.0756           | 0.00039            | 0.99746        | 0.00214               | 30                          | 0.88891                     | RAN 3                                  |
|          | RAN 2                            | 0.8331            | 0.8315                   | -0.0674           |                    |                |                       |                             | 0.82957                     |  |
|          | RAN 3                            | 0.8869            | 0.9140                   | -0.3046           |                    |                |                       |                             | 0.91137                     |  |
| 4        | RAN 1                            | 0.9100            | 0.9830                   | -0.8190           | 0.17468            | 0.82531        | 0.00000               | 9000                        | 0.97024                     | RAN 2                                  |
|          | RAN 2                            | 0.9400            | 0.9870                   | -0.8016           |                    |                |                       |                             | 0.97878                     |  |
|          | RAN 3                            | 0.8400            | 0.9870                   | -0.8640           |                    |                |                       |                             | 0.96131                     |  |

หมายเหตุ ค่าพลังงานที่ใช้ ค่าความสำเร็จของ UDP และค่าความล่าช้า ที่เป็นค่านอร์มัลไลซ์ กับน้ำหนักทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

ตาราง 5-6 ผลแบบจำลองเลือกเครือข่ายการสื่อสารแบบเซลลูลาร์และแลนไร้สายมากกว่า 2 ชั้นไป

| ครั้งที่ | ชื่อเครือข่ายที่ตั้งขึ้น | พลังงานที่ใช้ | ค่าความสำเร็จของ UDP | ค่าความล่าช้า | น้ำหนักพลังงาน | น้ำหนัก UDP | น้ำหนักความล่าช้า | จำนวนรอบของการทำงาน | ผลลัพธ์จากสมการ 3-11 | เครือข่ายที่เลือกได้ |
|----------|--------------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------|-------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1        | Station 1                | 0.8411        | 0.9050               | -0.0257       | 0.00057        | 0.99875     | 0.00067           | 121                 | 0.90433              | Station 2            |
|          | Station 2                | 0.8772        | 0.9760               | -0.1364       |                |             |                   |                     | 0.97519              |                      |
|          | Cellular 1               | 0.8895        | 0.9045               | -0.3272       |                |             |                   |                     | 0.90366              |                      |
|          | Cellular 2               | 0.8798        | 0.7640               | -0.1058       |                |             |                   |                     | 0.76348              |                      |
| 2        | Station 1                | 0.8701        | 0.8910               | -0.0756       | 0.00008        | 0.99882     | 0.00109           | 104                 | 0.88994              | Cellular 1           |
|          | Station 2                | 0.8331        | 0.8315               | -0.0674       |                |             |                   |                     | 0.83051              |                      |
|          | Station 3                | 0.8869        | 0.9140               | -0.3046       |                |             |                   |                     | 0.91266              |                      |
|          | Cellular 1               | 0.8530        | 0.9320               | -0.1512       |                |             |                   |                     | 0.93080              |                      |
|          | Cellular 2               | 0.8513        | 0.8200               | -0.2720       |                |             |                   |                     | 0.81880              |                      |

หมายเหตุ ค่าพลังงานที่ใช้ ค่าความสำเร็จของ UDP และค่าความล่าช้า ที่เป็นค่านอร์มัลไลซ์ กับน้ำหนักทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 6.1. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับระบบการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร โดยจะมีการพิจารณาค่าตัวแปรที่แบ่งออกเป็นสองรูปแบบคือ ตัวแปรที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ซึ่งประกอบไปด้วยค่าจำนวนอุปกรณ์จ่ายสัญญาณอินเทอร์เน็ต ค่าความแรงของสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่ได้รับ และความเร็วของเครือข่ายการสื่อสารดังกล่าวโดยจะพิจารณาจากความเร็วที่ใช้งานของแลนไร้สาย และรุ่นของเซลลูล่า อีกรูปแบบของตัวแปรคือ ตัวแปรที่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ซึ่งประกอบไปด้วยค่าพลังงานที่ใช้ ค่าความสำเร็จในการส่ง UDP และค่าความล่าช้า โดยโปรแกรมจะทำการเก็บค่าตัวแปรที่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตก็ต่อเมื่อตัวแปรที่ไม่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตมีการเปลี่ยนแปลงต่อมา ตัวแปรที่ได้มาจากการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณเลือกเครือข่ายการสื่อสารโดยใช้วิธีแมกมินแฟร์เนส เพื่อให้เลือกเครือข่ายที่มีความยุติธรรมกับค่าตัวแปรทั้งสามมากที่สุด

ในการทดสอบโปรแกรม ได้มีการทดสอบเพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมว่าสามารถทำงานโดยใช้วิธีแมกมินแฟร์เนสได้อย่างถูกต้อง ผลที่ได้คือ โปรแกรมสามารถทำงานในการเลือกเครือข่ายสื่อสารของโทรศัพท์มือถือได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเลือกเครือข่ายได้มากกว่า 3 เครือข่ายการสื่อสารขึ้นไป เพื่อรองรับเทคโนโลยีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่าน 2 ซิมการ์ดรวมทั้งสามารถนำไปใช้งานได้จริง

#### 6.2. ข้อเสนอแนะ

ในกรณีที่มีการทำงานจริง ถ้าโปรแกรมสามารถหยุดการส่งข้อมูลในระหว่างที่มีการเลือกเครือข่ายการสื่อสาร โดยอาจจะทำการเก็บข้อมูลไว้ก่อน แล้วค่อยทำการส่งข้อมูลดังกล่าวไปเมื่อเลือกเครือข่ายการสื่อสารสำเร็จแล้ว อาจจะทำให้อัตราการสูญเสียของข้อมูลมีน้อยลงได้ หรืออาจจะหาวิธีส่งข้อมูลในรูปแบบการสื่อสารอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความสำเร็จในการส่งข้อมูล ซึ่งในส่วนนี้ จะถูกศึกษาต่อไปในงานวิจัยอื่น ๆ ต่อไป



## บทที่ 7

### บรรณานุกรม

- [1] C. De Capua, A. Meduri, and R. Morello, “A smart ECG measurement system based on web-service-oriented architecture for telemedicine applications,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 59, no. 10, pp. 2530–2538, 2010.
- [2] L. Fanucci *et al.*, “Sensing devices and sensor signal processing for remote monitoring of vital signs in CHF patients,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 62, no. 3, pp. 553–569, 2013.
- [3] W.-T. Sung, J.-H. Chen, and K.-W. Chang, “Mobile physiological measurement platform with cloud and analysis functions implemented via IPSO,” *IEEE Sens. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 111–123, 2014.
- [4] C. Wen, M.-F. Yeh, K.-C. Chang, and R.-G. Lee, “Real-time ECG telemonitoring system design with mobile phone platform,” *Measurement*, vol. 41, no. 4, pp. 463–470, 2008.
- [5] P. Kugler, D. Schuldhaus, U. Jensen, and B. Eskofier, “Mobile recording system for sport applications,” in *Proceedings of the 8th international symposium on computer science in sport (IACSS 2011), Liverpool, 2011*, pp. 67–70.
- [6] N. Kimura and S. Latifi, “A survey on data compression in wireless sensor networks,” in *Information Technology: Coding and Computing, 2005. ITCC 2005. International Conference on, 2005*, vol. 2, pp. 8–13.
- [7] Y.-C. Chen, Y. Lim, R. J. Gibbens, E. M. Nahum, R. Khalili, and D. Towsley, “A measurement-based study of multipath tcp performance over wireless networks,” in *Proceedings of the 2013 conference on Internet measurement conference, 2013*, pp. 455–468.
- [8] Y. Hasegawa, I. Yamaguchi, T. Hama, H. Shimonishi, and T. Murase, “Improved data distribution for multipath TCP communication,” in *Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM'05. IEEE, 2005*, vol. 1, pp. 5–pp.
- [9] S. Chen, Z. Yuan, and G.-M. Muntean, “An energy-aware multipath-TCP-based content delivery scheme in heterogeneous wireless networks,” in *Wireless*

- Communications and Networking Conference (WCNC), 2013 IEEE*, 2013, pp. 1291–1296.
- [10] C. Paasch, G. Detal, F. Duchene, C. Raiciu, and O. Bonaventure, “Exploring mobile/WiFi handover with multipath TCP,” in *Proceedings of the 2012 ACM SIGCOMM workshop on Cellular networks: operations, challenges, and future design*, 2012, pp. 31–36.
- [11] C. Pluntke, L. Eggert, and N. Kiukkonen, “Saving mobile device energy with multipath TCP,” in *Proceedings of the sixth international workshop on MobiArch*, 2011, pp. 1–6.
- [12] S. Nirjon, A. Nicoara, C.-H. Hsu, J. Singh, and J. Stankovic, “Multinets: Policy oriented real-time switching of wireless interfaces on mobile devices,” in *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS), 2012 IEEE 18th*, 2012, pp. 251–260.
- [13] A. Bar, D. Mimran, L. Chekina, Y. Elovici, and B. Shapira, “Nesto-Network selection and traffic offloading system for android mobile devices,” in *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2013 9th International*, 2013, pp. 337–342.
- [14] R. Trestian, O. Ormond, and G.-M. Muntean, “Enhanced power-friendly access network selection strategy for multimedia delivery over heterogeneous wireless networks,” *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 60, no. 1, pp. 85–101, 2014.
- [15] S. Deng, A. Sivaraman, and H. Balakrishnan, “Delphi: A Software Controller for Mobile Network Selection,” 2016.
- [16] M. Lahby, L. Cherkaoui, and A. Adib, “Network selection algorithm based on diff-ahp and topsis in heterogeneous wireless networks,” in *Multimedia Computing and Systems (ICMCS), 2012 International Conference on*, 2012, pp. 485–490.
- [17] M. S. Z. Khan, S. Alam, and M. R. H. Khan, “A network selection mechanism for fourth generation communication networks,” *J. Adv. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 189–196, 2010.

- [18] A. Sehgal and R. Agrawal, “Integrated network selection scheme for remote healthcare systems,” in *Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT), 2014 International Conference on*, 2014, pp. 790–796.
- [19] L.-C. Tseng, F.-T. Chien, D. Zhang, R. Y. Chang, W.-H. Chung, and C. Huang, “Network selection in cognitive heterogeneous networks using stochastic learning,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 12, pp. 2304–2307, 2013.
- [20] S. Kunarak, R. Sulesathira, and E. Dutkiewicz, “Vertical handoff with predictive RSS and dwell time,” in *TENCON 2013-2013 IEEE Region 10 Conference (31194)*, 2013, pp. 1–5.
- [21] A. Awad, A. Mohamed, and C.-F. Chiasserini, “Dynamic Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks: A user-centric scheme for improved delivery,” *IEEE Consum. Electron. Mag.*, vol. 6, no. 1, pp. 53–60, 2017.
- [22] L. Zhang *et al.*, “Accurate online power estimation and automatic battery behavior based power model generation for smartphones,” in *Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ ISSS), 2010 IEEE/ACM/IFIP International Conference on*, 2010, pp. 105–114.
- [23] M. Gast, *802.11 wireless networks: the definitive guide*. O’Reilly Media, Inc., 2005.
- [24] S. Sesia, M. Baker, and I. Toufik, *LTE-the UMTS long term evolution: from theory to practice*. John Wiley & Sons, 2011.
- [25] “คุณภาพการให้บริการ (QoS).” [Online]. Available: <http://standard.nbt.go.th/index.php/qos>. [Accessed: 05-Nov-2017].
- [26] A. Conta and M. Gupta, “Internet control message protocol (icmpv6) for the internet protocol version 6 (ipv6) specification,” 2006.
- [27] J. Postel, “User datagram protocol,” 1980.
- [28] J. Postel, “Transmission control protocol,” 1981.
- [29] D. D. Coleman and D. A. Westcott, *CWNA Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide: Exam PW0-104*. John Wiley & Sons, 2009.
- [30] Ken Binmore, *Playing For Real : A TEXT ON GAME THEORY*, vol. 2005. Oxford University Press, Inc.

- [31] Ivan Marsic, *Computer Networks : Performance and Quality of Service*, vol. 2013. Rutgers University, New Brunswick, New Jersey.
- [32] K. Maredia, “A study in decision analysis using decision trees and game theory,” PhD Thesis, University of Houston–Downtown, 2010.
- [33] “กลุ่มขอย้ายเสาสัญญาณ 3G ออกจากพื้นที่ชุมชน ม.อ.” [Online]. Available: <https://www.facebook.com/PSUMast/>. [Accessed: 28-Nov-2017].

## บทที่ 8

### ภาคผนวก

#### 8.1. การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

# Mobile Network Selection Algorithm based on Max-Min Fairness for Dynamic Weights

Nonpakit Pornchalermpong, Dujdow Buranapanichkit, and Krerkchai Thongnoo  
 Department of Electrical Engineering  
 Faculty of Engineering, Prince of Songkla University  
 Songkhla, Thailand 90112  
 Email: 5810120027@email.psu.ac.th, {dujdow.b, and krerkchai.t}@psu.ac.th

**Abstract**—In recent years, wireless networks have become extremely necessary in modern communications. Especially in mobile phones, we are using wireless networks to connect to networks around the world using both cellulars and WLANs. In order to connect to the Internet, mobile phones can connect to the Internet using these wireless network technologies, but, mobile phones cannot select a suitable wireless network. In this paper, we propose the network selection that considers both Wi-Fis and cellulars by using *energy efficiency*, *delay*, and *UDP loss rate* as key factors. To get these parameters, we used data from our measurement for four periods of time. After collecting the data, the algorithm applied for dynamic weight calculation based on Max-Min Fairness Algorithm and compared score results of each network path to select the best path. The simulation results demonstrate that the process of this proposed algorithm leads to convergence, therefore, this scheme can be used for network selection in mobile devices.

**Index Terms**—Network selection, energy efficiency, ping RTT, UDP success rate

#### I. INTRODUCTION

Nowadays, technology is becoming an important thing in daily life. Without technologies, many careers need to spend more efforts to make things done. One of the most important technologies is communication. It is mostly used for communication, education, research, or even healthcare. The examples of using technology are the communication between any hospitals and inside a hospital, telephone, and etcetera. Wireless communication, one of the data communication technologies, has become important role in modern communications. The most popular wireless communication in these days is mobile phones. For today mobile phones, they are using wireless networks to connect to the worldwide. Examples are GSM, LTE, WCDMA, and Wi-Fi. The mobile phone's owner can choose which path to connect to the Internet. Moreover, mobile phones can select the network path by themselves, by trying to connect to Wi-Fi first if this connection is available. If there are none of Wi-Fi are available, mobile phones switch to cellular instead. Never the less, the mobile phones cannot measure the network performance of each path to connect to the Internet. Therefore, it may obtain the worst network path in network selection.

To encounter this problem, there are many papers with regard to research about network selection. Some papers consider in physical layer of the network, so that, the Internet can be used on all network paths at the same time [1] but this scheme requires modification of mobile phone firmware and servers to support the algorithm. Some are using neural networks for wireless network selection [2][3][4]. Their algorithms collect the important data and use these data in neural network training to get the optimized network. The paper [5] identified the mobility of devices for network selection. They predicted which route the device was moving toward. Then, the device connected to the router in the selected route to prevent the loss of data during the devices movement. Some papers applied human consideration to weight each parameter for calculation [6][7][8], by allowing the users to input the data for working on their method. Furthermore, in Delphi [9], their algorithm is based on the regression tree to select the optimized wireless network by using data from regression tree, energy and monetary cost in objective function and using weight from user assignment. This scheme was separated into three functions which was data collection, weight calculation, and network selection. Finally, ASWU [10] was a paper that used Max-Min Fairness Algorithm for dynamic weights and Zero-Sum Game, which is a mathematical of a situation where adding equal to subtracting of each participant, so, the loss or gain of the data of each participant is balanced by the loss or gain of other participants. Then, the device used weight for calculate the score function to get the optimized network.

Due to the difference method of paying for Internet usage in Thailand, like a buffet per month, so, in this paper, we propose the wireless network selection for mobile devices that is not considering money cost for Internet usage, but it focuses on data throughput. We use an approach based on dynamic weight from Max-Min Fairness Algorithm. The paper is organized as follows. Section II introduces the method for the proposed network selection and describes our network selection algorithm, while section III presents the results from the simulation of network selection algorithm. Finally, section IV concludes the paper.

## II. METHODOLOGY

In this paper, proposed network selection algorithm, it considers both Wi-Fis and cellular as shown in Fig 1. According to network performance; throughput, delay, and energy efficiency we use all of these parameters for our proposed wireless network selection via mobile device. There are three processes to select a network as shown in Fig 2 which are Data Collection, Weight Calculation, and Network Selection. In data collection, the device is able to receive the configure data of every Radio Access Networks (RANs). Then, in weight calculation, the algorithm uses dynamic weight [10] to indicate the important factor of each parameters based on Max-Min Fairness of all data. Finally, in network selection, the algorithm calculates score functions to compare each network for optimized network selection using weights from the previous process.

### A. Data Collection

Data collection is a process to profile important data for evaluate our algorithm. The important data are consisting of *energy efficiency*, *UDP success rate*, and *delay*. In ASWU, they utilize energy remaining, delay, and monetary cost. However, we are interested in UDP success rate instead of monetary

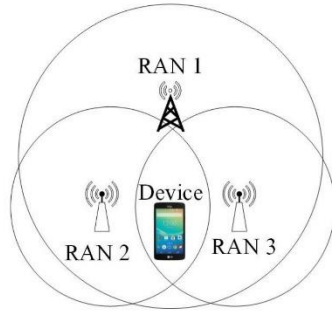


Fig. 1. The system of Radio Access Network.

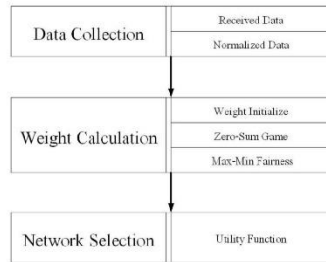


Fig. 2. Network Selector's method.

cost with regard to the success ratio of network path and energy efficiency.

All of three data, *Energy efficiency*, *UDP success rate*, and *Delay*, are from our measurement. For energy efficiency, we used data from battery usage information within setting menu of Android mobile phones. The battery usage is separated into energy usage of each application. So, our energy efficiency is equal to one minus energy usage of ping round trip time application and UDP loss rate application. For UDP success rate, we used data from sending a hundred packets to our server. Then, the device receives the packet count from the server. Last, delay, we use ping round trip times to measure delay to our server. The *delay*, before using this data, the data is put in equation 1 to obtain the normalized data which is in range between 0 and 1.  $D_i$  is the received delay while  $i$  indicates the RAN number and  $T_m$  is the delay threshold that indicates the maximum delay that the network can occur.

$$n_i = |\min(0, (D_i - T_m)/T_m)| \quad (1)$$

### B. Weight Calculation

In this subsection, device gains the dynamic weights based on Zero Sum Game in Fig 3. Furthermore, algorithm obtains all possible game outcomes by adding the data from the Zero Sum Game to the given data in each path. The weight of the energy efficiency, UDP success rate, and delay become higher when one of the parameter is increased. As a result, the weight calculations apply to equations 2 to 4.

For initialization, all of the weights, energy weight ( $w_e$ ), UDP weight ( $w_s$ ), and delay weight ( $w_d$ ), are equal to 1/3 to make the initialize process to be fairness. Whereas the selected data from the normalize parameter value in data collection, selected energy efficiency ( $E_b$ ), selected UDP success rate ( $S_b$ ), and selected delay ( $n$ ), equal to 1 to assume the best data in the algorithm for Max-Min Fairness Algorithm.

$$w_e^+ = (1 - E_b)w_e \quad (2)$$

$$w_s^+ = (1 - S_b)w_s \quad (3)$$

$$w_d^+ = (1 - n)w_d \quad (4)$$

For the results of weights calculation, the summation of all weights in each Zero-Sum game outcome was equal to one. For additional, the path has at least a weight that is less than zero, the outcome of that path could be pruned. To calculate the utility function, the algorithm processes equation 5 to obtain the data. Then the algorithm compares the calculated data of every RANs with previous utility scores based on Max-Min Fairness algorithm with respect to maximum the worst case outcome of previous utility scores.

$$U = w_e * E_i + w_s * S_i + w_d * n_i \quad (5)$$

To put in other words of Max-Min Fairness, the algorithm selects the outcome that has the minimum scores in previous scores but has the highest score of current scores. Next, the algorithm assigns weights depending on the selected outcome



TABLE II  
TABLE OF USED PARAMETERS IN SIMULATIONS

| NO | RANs | $E_i$ | $S_i$ | $n_i$   | SRAN | DRAN [9] |
|----|------|-------|-------|---------|------|----------|
| 1  | 1    | 0.81  | 0.987 | 0.82210 | 2    | 2        |
|    | 2    | 0.92  | 0.988 | 0.80781 |      |          |
|    | 3    | 0.89  | 0.994 | 0.86623 |      |          |
| 2  | 1    | 0.90  | 0.977 | 0.82262 | 3    | 3        |
|    | 2    | 0.87  | 0.989 | 0.81030 |      |          |
|    | 3    | 0.89  | 0.988 | 0.86623 |      |          |
| 3  | 1    | 0.92  | 0.980 | 0.81896 | 1    | 1        |
|    | 2    | 0.61  | 0.986 | 0.80446 |      |          |
|    | 3    | 0.86  | 0.999 | 0.86670 |      |          |
| 4  | 1    | 0.91  | 0.983 | 0.81896 | 3    | 3        |
|    | 2    | 0.94  | 0.987 | 0.80159 |      |          |
|    | 3    | 0.84  | 0.987 | 0.86396 |      |          |

#### IV. SIMULATION RESULT

From our simulation on section III, we obtained that, our Max-Min Fairness Algorithm reached the maximum of iteration and the selected RAN of our algorithm is the same as Delphi [9]. The results of selected RAN is shown in TABLE II. In the table,  $NO$  is scenario number.  $RANs$  identifies radio access network that a mobile phone can detect.  $E_i$ ,  $S_i$ , and  $n_i$  are normalized data of energy efficiency, UDP success rate, and delay respectively.  $SRAN$  describes the selection of radio access network number in this algorithm. At last,  $DRAN$  tells the selection of radio access network number in Delphi [9]. In our discussion, number of iteration had some meaning within it. The number of iterations was increased due to the similarity of the data between each RAN. Therefore, the algorithm needed to run more iteration to satisfy the weight fairness. The results from testing two to nine RANs showed that even the number of RANs is increasing, the number of iterations is still the same if only if the later RANs is totally worse than the early RANs. The total processing time of the algorithm was not more than two seconds in worst scenario. In practical, the algorithm is going to take more time for processing due to the similarity of data using in algorithm. Also, the algorithm needs to measure energy efficiency, UDP success rate, and delay of each RAN.

Due to using JAVA language to implement this algorithm, the code can be applied to Android application directly without modification. Therefore, the network selection algorithm can be used for network selection in real life on Android mobile devices.

#### V. SUMMARY

This paper, proposed network selection algorithm, is considered both Wi-Fis and mobile network by using *energy efficiency*, *delay*, and *throughput*. After the algorithm receives required data, the algorithm uses these data for dynamic weights calculation [10]. Then, the algorithm uses the weights

from final result of dynamic weight for network selection by comparing result score of each paths, in the utility function. The simulation results show that, the iteration of this algorithm can reach the stopping step, reach the convergence. In summary, this algorithm can be used for Android mobile network selection and can select the best network among receiving RANs.

#### REFERENCES

- [1] Y. Hasegawa, I. Yamaguchi, T. Hama, H. Shimonishi, and T. Murase, Improved data distribution for multipath TCP communication, in Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM05. IEEE, 2005, vol. 1, p. 5pp.
- [2] A. Schgal and R. Agrawal, Integrated network selection scheme for remote healthcare systems, in Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT), 2014 International Conference on, 2014, pp. 790796.
- [3] L.-C. Tseng, F.-T. Chien, D. Zhang, R. Y. Chang, W.-H. Chung, and C. Huang, Network selection in cognitive heterogeneous networks using stochastic learning, Communications Letters, IEEE, vol. 17, no. 12, pp. 23042307, 2013.
- [4] M. Lahby, L. Cherkaoui, and A. Adib, Network selection algorithm based on diff-ahp and topsis in heterogeneous wireless networks, in Multimedia Computing and Systems (ICMCS), 2012 International Conference on, 2012, pp. 485490.
- [5] S. Kunarak, R. Suleesathira, and E. Dutkiewicz, Vertical handoff with predictive RSS and dwell time, in TENCN 2013-2013 IEEE Region 10 Conference (31194), 2013, pp. 15.
- [6] R. Trestian, O. Ormond, and G.-M. Muntean, Enhanced power-friendly access network selection strategy for multimedia delivery over heterogeneous wireless networks, Broadcasting, IEEE Transactions on, vol. 60, no. 1, pp. 85101, 2014.
- [7] A. Bar, D. Mimran, L. Chekina, Y. Elovici, and B. Shapira, Nesto- Network selection and traffic offloading system for android mobile devices, in Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2013 9th International, 2013, pp. 337342.
- [8] S. Nirjon, A. Nicoara, C.-H. Hsu, J. Singh, and J. Stankovic, Multinets: Policy oriented real-time switching of wireless interfaces on mobile devices, in Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS), 2012 IEEE 18th, 2012, pp. 251260.
- [9] S. Deng, A. Sivaraman, and H. Balakrishnan, Delphi: A Software Controller for Mobile Network Selection, 2016.
- [10] Awad, Alaa, Amr Mohamed, and Carla Fabiana Chiasserini. "Dynamic Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks." IEEE CONSUMER ELECTRONICS MAGAZINE (2016).



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายนนท์ปกิตต์ พรเฉลิมพงศ์  
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810120027  
 วุฒิการศึกษา

| วุฒิ                   | ชื่อสถาบัน       | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
|------------------------|------------------|---------------------|
| วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ | มหาวิทยาลัยมหิดล | 2558                |

## ทุนการศึกษา

- ทุนบัณฑิตของวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ทุนสนับสนุนวิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ทุนนักวิจัยของกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

N. Pornchalermpong, D. Buranapanichkit, and K. Thongnoo, "Mobile Network Selection Algorithm based on Max-Min Fairness for Dynamic Weights," in 2017 14th International Conference on Electrical Engineering / Electronics Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI – CON2017), 2017.