การติดตามเส้นทางจราจรจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ

นายปวีร์ ทองไพบูลย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Traffic route tracking by bluetooth detector device

Mr. Pavee Thongpaiboon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การติดตามเส้นทางจราจรจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ
โดย	นายปวีร์ ทองไพบูลย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.วศิน เกียรติโกมล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปวีร์ ทองไพบูลย์ : การติดตามเส้นทางจราจรจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ (Traffic route tracking by bluetooth detector device) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สรวิศ นฤปิติ, หน้า.

ในปัจจุบันสารสนเทศการจราจรเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการวางแผนและจัดการปัญหาจราจรติดขัด สารสนเทศการจราจรที่ดีมาจากข้อมูลจราจรที่เป็นประโยชน์และมีความน่าเชื่อถือ การติดตามเส้นทางการจราจรเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์แต่รวบรวมได้ยากจากวิธีการเก็บข้อมูลการจราจรแบบดั้งเดิม งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเพื่อเก็บข้อมูลจราจรและ สร้างการติดตามยานพาหนะบนโครงข่ายถนน การศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธจำนวน 40 จุด ที่ติดตั้งบนโครงข่ายถนนในเขตพื้นที่ชั้นในกรุงเทพมหานครและเก็บข้อมูลจำนวน 2 วัน MAC address และ เวลาที่ยานพาหนะผ่านอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยวิธี Re-identification เพื่อสร้างเส้นทางการแล่นของยานพาหนะ โดยวิเคราะห์ลักษณะและความต่อเนื่องของข้อมูลการติดตามยานพาหนะที่ได้ และเสนอวิธีการตรวจสอบลักษณะการหาย และการประมาณเส้นทางในกรณีที่ข้อมูลเกิดการหายขึ้น ผลการศึกษาพบว่าจากข้อมูลการตรวจจับสัญญาณบลูทูธสามารถนำมาสร้างข้อมูลจราจรและติดตามการเดินทางบนโครงข่ายถนนได้โดยสามารถสร้างทราบแบบแผน (pattern) การจราจร อาทิ จุดเริ่มต้นจุดสิ้นสุดการเดินทาง ลักษณะการเดินทางรายช่วงเวลาในหนึ่งวัน เวลาและเส้นทางการเดินทาง จำนวนการสิ้นสุดการเดินทางในแต่ละพื้นที่บนโครงข่ายในแต่ละช่วงเวลา และ ยังพบว่าข้อมูลมีความไม่ต่อเนื่องหรือการหายของข้อมูลร้อยละ 40 ซึ่งหากใช้การประมาณเส้นทางโดยใช้ระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุดเทียบกับข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงพบว่าจะสามารถเพิ่มการติดตามเส้นทางได้อย่างมาก การศึกษาเลือก 3 กรณีศึกษา (6 เส้นทาง) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเลือกใช้เส้นทางและพบว่า ประมาณครึ่งหนึ่งของผู้เดินทางเลือกเส้นทางที่มีเวลาในการเดินทางสั้นกว่า เมื่อเปรียบเทียบเส้นทางเลือกที่เป็นไปได้สองเส้นทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

5770220221 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORDS: BLUETOOTH DATA / TRACKING / TRAFFIC DATA

PAVEE THONGPAIBOON: Traffic route tracking by bluetooth detector device. ADVISOR: ASSOC. PROF.SORAWIT NARUPITI, Ph.D., pp.

Nowadays, Traffic information is important and necessary for planning and solving traffic congestion. Good information comes from useful and reliable traffic data. Tracking of traffic route is useful data, yet difficult to collect from conventional traffic data collection method. This research investigates the use of Bluetooth detector device (BT) to collect traffic data and convert it into vehicle (traffic) tracking on road network. The study employed 40 BT units installed on Bangkok inner city road network and collected data for 2 days. MAC Addresses and times detected of Bluetooth device in network were collected. Data were analyzed by re-identification method. Characteristics of tracked data and continuity of data were examined. Characteristics of missing data were investigated and route estimation when data were missing was introduced. The result of the study shows that data from BT can create a pattern of traffic such as origin-destination, trip characteristic by time of day travel time per trip, route of travel, counts of trip at each area on the network and at each time period of day. It is found that data missing is originally around 40 percent in the study. If route estimation is employed, using possible shortest travel time route finding, then the possibility of route tracking is much improved. The study selected 3 cases (6 specific routes) to study the current route selection behavior and its travel time. The result shows that around half of the current Bangkok travelers chooses the shorter travel-time route, when two alternate routes are compared.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Civil Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Civil Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษางานวิจัยในหัวข้อ " การติดตามเส้นทางจราจรจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ" สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีเนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รศ.ดร.สรวิศ นฤปิติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ แนวคิด และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จึงทำให้งานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านซึ่งประกอบไปด้วย ผศ. ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม และ ดร.วศิน เกียรติโกมล ที่ได้สละเวลาช่วยให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และให้ความเอื้อเฟื้อต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จโดยสมบูรณ์ และขอขอบคุณ Professor Edward Chung ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ

นอกจากนี้ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะสาขาวิศวกรรมขนส่ง ที่ได้กรุณาช่วยแนะนำข้อเสนออื่นๆ ที่มีประโยชน์แก่งานวิจัยนี้จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดจนขอบคุณพี่ๆ และ เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจให้เสมอ จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ด้วยความขอบคุณและศรัทธา

นาย ปวีร์ ทองไพบูลย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.5 ลำดับการนำเสนอวิทยานิพนธ์ 3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 เครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธ 4
2.1.1 บลูทูธ 4
2.1.2 การทำงานของตรวจจับสัญญาณบลูทูธ 4
2.1.3 รัศมีการค้นหา 5
2.1.4 ความถี่การค้นหา 7
2.1.5 MAC Address vs Unique MAC Address 7
2.2 การนำเทคโนโลยีบลูทูธมาใช้ในงานจราจร 7
2.2.1 การหาเวลาเดินทาง (Travel time) จากข้อมูลบลูทูธ 7
2.2.2 การติดตาม (tracking) 8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.2.3 ปัญหาที่พบในการใช้งานการตรวจจับสัญญาณบลูทูธในงานด้านจราจร 9
2.3 กรณีศึกษา การใช้งานการตรวจจับสัญญาณบลูทูธในงานจราจร 10
2.3.1 กรณีศึกษาในเมือง Indiana, USA (2010) 10
2.3.2 กรณีศึกษาในเมือง Ankara, Turkey (2013) 11
2.3.3 กรณีศึกษาในเมือง Jacksonville, USA (2012) 12
2.3.4 กรณีศึกษาในเมือง Brisbane 13
2.4 เทคนิคการจัดการข้อมูลจากบลูทูธ 14
2.4.1 การกรองข้อมูลที่ต้นทาง 14
2.4.2 การกำจัด outlier 14
2.4.3 การประมาณจุดต้นทาง - ปลายทาง ณ ทางแยก 15
2.4.4 การหาเวลาเดินทางจากข้อมูลบลูทูธ 16
2.4.5 การหาจุดต้นทาง - จุดปลายทาง และ การติดตามเส้นทางจากข้อมูลบลูทูธ 17
2.4.6 การกู้คืนเส้นทาง 18
2.4.7 การจัดการข้อมูลเวลาเดินในแต่ละช่วงเวลา 19
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 21
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 21
3.2 การเตรียมเก็บข้อมูล 22
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 22
3.2.2 การวางแผนพื้นที่ศึกษาและแผนที่ประกอบ 23
3.2.3 ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ 24
3.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม 25
3.4 การจัดการข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ 26
3.4.1 การเลือกใช้ข้อมูลและสร้างการเดินทางจากข้อมูล 27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.4.2 การสร้างฐานข้อมูลเวลาในการเดินทาง 31
3.5 การประมาณเส้นทางด้วยวิธีเวลาเดินทางสั้นที่สุด 32
3.6 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย 33
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล 34
4.1 ลักษณะข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ 34
4.1.1 จำนวนของข้อมูล Unique MAC Address ในแต่ละสถานี 34
4.1.2 จำนวนของข้อมูล Unique MAC Address ในแต่ละช่วงเวลาของวัน 37
4.1.3 จำนวนสถานีที่พบต่อ 1 การเดินทาง 37
4.1.4 จำนวนการเดินทางรายชั่วโมง 38
4.1.5 จุดต้นทาง – จุดปลายทาง ของการเดินทาง 39
4.2 การติดตามการเดินทาง 43
4.3 การหายของข้อมูล 46
4.3.1 การวิเคราะห์การหายที่เกิดขึ้นในการติดตามการเดินทาง 46
4.3.2 การหายของข้อมูลในแต่ละสถานี 49
4.4 การประยุกต์ข้อมูลจากบลูทูธเพื่อการประมาณเส้นทางการเดินทาง 53
4.4.1 การประมาณเส้นทางโดยใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุด 59
4.4.2 ความแตกต่างของเวลาเดินทางของกลุ่มตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน 71
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 75
5.1 สรุปผลงานวิจัย 76
5.1.1 ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ 76
5.1.2 การติดตามการเดินทางจากข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ 76
5.1.3 ลักษณะการหายและความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลในการติดตามการเดินทาง 77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

5.1.4 การศึกษาเส้นทางเลือกเพื่อประมาณเส้นทาง 77
5.2 สิ่งที่ค้นพบและการนำไปประยุกต์ใช้ 78
5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัยและแนวทางศึกษาในอนาคต 79
..... 80
รายการอ้างอิง 80
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การแปลความหมายค่า GEH value 15

ตารางที่ 4.1 จุดต้นทาง – จุดปลายทาง 10 อันดับแรกของการเดินทาง 40

ตารางที่ 4.2 จำนวนการเดินทางแบ่งตาม จุดต้นทาง - จุดปลายทาง 10 อันดับแรกในช่วงเร่งด่วนเช้า 7:00-9:00 42

ตารางที่ 4.3 จำนวนการเดินทางแบ่งตาม จุดต้นทาง - จุดปลายทาง 10 อันดับแรกในช่วงเร่งด่วนเย็น 16:00-19:00 43

ตารางที่ 4.4 ร้อยละจำนวนช่วงการหายของข้อมูล 48

ตารางที่ 4.5 อัตราการหายของข้อมูลในแต่ละสถานี 50

ตารางที่ 4.6 จำนวนข้อมูลการเดินทางในแต่ละเส้นทาง 57

ตารางที่ 4.7 ตารางแจกแจงการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มตัวอย่างจากข้อมูลบลูทูธ 58

ตารางที่ 4.8 ตารางผลการเลือกเส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุด 63

ตารางที่ 4.9 จำนวนข้อมูลในแต่ละช่วง MAPE 73

ตารางที่ 4.10 ค่า MAPE ระหว่างเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงกับเวลาเดินทางเฉลี่ย 73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ลักษณะของรัศมีการค้นหาของเสาแบบต่างๆ 5
รูปที่ 2.2 รัศมีที่ตรวจจับสัญญาณบลูทูธได้จากยานพาหนะทดสอบ 6
รูปที่ 2.3 รัศมีที่ตรวจจับสัญญาณบลูทูธได้จากการเดิน 6
รูปที่ 2.4 วิธีหาเวลาเดินทางจากบลูทูธ 8
รูปที่ 2.5 แผนที่การวางอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเพื่อหาเส้นทางที่ใช้เดินทางระหว่างตำแหน่งต่างๆ 9
รูปที่ 2.6 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธในพื้นที่ศึกษาเมือง Ankara, Turkey 11
รูปที่ 2.7 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์และเส้นทางที่เป็นไปได้ในพื้นที่ศึกษาเมือง Jacksonville, USA 12
รูปที่ 2.8 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธในพื้นที่ศึกษาเมือง Brisbane 13
รูปที่ 2.9 การหาเวลาเดินทางบนช่วงถนน 17
รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้แบ่งการเดินทาง 18
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างของโครงข่ายถนน 19
รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 21
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเมื่อประกอบเข้ากับกล่อง 22
รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ 24
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลจากอุปกรณ์บลูทูธ 25
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ ณ ป้อมตำรวจบริเวณแยกอังรีดูนังต์ 26
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการสร้างการเดินทางจากข้อมูลบลูทูธ 27
รูปที่ 3.7 การหาเวลาเดินทางโดยใช้ เวลาค่าสุดท้าย 28
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างข้อมูลที่เรียงตามเลข MAC Address 28
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างข้อมูลที่ผ่านกระบวนการสร้างการเดินทาง 29
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการหา จุดต้นทาง – จุดปลายทาง ของการเดินทาง 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.11 สรุปผลข้อมูลการเดินทาง 31
รูปที่ 4.1 จำนวน Unique MAC Address ในแต่ละสถานี 35
รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงจำนวน Unique MAC Address ในแต่ละสถานี 36
รูปที่ 4.3 จำนวน Unique MAC Address ในแต่ละช่วงเวลา 37
รูปที่ 4.4 การแจกแจงจำนวนสถานี ที่ Unique MAC Address ผ่าน 38
รูปที่ 4.5 จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นรายชั่วโมง (พิจารณาการเดินทาง 3 สถานีขึ้นไป) 39
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงจุดต้นทาง - จุดปลายทาง ของการเดินทางที่มีปริมาณมาก 5 อันดับแรก 41
รูปที่ 4.7 ร้อยละของการเดินทางที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง 44
รูปที่ 4.8 จำนวนการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องแบ่งตามจำนวนสถานีที่การเดินทางผ่าน 45
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการวิเคราะห์การหายของข้อมูล 47
รูปที่ 4.10 อัตราการหายของข้อมูลในแต่ละสถานี 52
รูปที่ 4.11 เส้นทางตัวอย่าง 54
รูปที่ 4.12 กรณีศึกษาเส้นทางที่เลือกเดินทาง 56
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบเวลาการเดินทางของสองทางเลือก 60
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 1 วันที่ 4 ก.พ. 65
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 2 วันที่ 4 ก.พ. 66
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 3 วันที่ 4 ก.พ. 67
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 1 วันที่ 5 ก.พ. 68
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 2 วันที่ 5 ก.พ. 69
รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 3 วันที่ 5 ก.พ. 70
รูปที่ 4.20 เวลาเดินทางจริงจากกลุ่มตัวอย่างและเวลาเดินทางเฉลี่ย 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันข้อมูลจราจรถือเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์และมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการศึกษาในด้านการขนส่งและจราจร ซึ่งการเก็บข้อมูลจราจรในปัจจุบันสามารถแบ่งวิธีการเก็บและลักษณะของข้อมูลออกมาได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1. Planned conventional data ที่ใช้วิธีการที่ใช้วางแผนการเก็บข้อมูล อาทิ การใช้แบบสอบถามเพื่อสำรวจข้อมูลการเดินทาง การนับปริมาณจราจรตามแยก และนำข้อมูลที่ได้มาใช้วิธีการทางสถิติเพื่อแปลผลของข้อมูล
2. Big Data ที่ใช้การเก็บข้อมูลโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ ซึ่งพยายามที่จะเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันให้ได้มากที่สุด อาทิ ข้อมูลจากสัญญาณบลูทูธ ข้อมูลจากเครือข่ายโทรศัพท์ GPS เพื่อดูลักษณะหรือรูปแบบของข้อมูล พฤติกรรม ลักษณะของการจราจร จากข้อมูลที่รวบรวมมา

ซึ่งแต่ละวิธีมี ข้อดี ข้อเสีย รวมถึงลักษณะของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีความสนใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เก็บข้อมูลจราจรในลักษณะ Big Data โดยการใช้เครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยม เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูง สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง และข้อมูลที่ได้รับจะเป็นข้อมูลกลุ่มตัวอย่างของยานพาหนะบนท้องถนน ซึ่งถือเป็นตัวแทนที่แท้จริงของสภาพการจราจรบนถนน จึงนิยมนำมาใช้ในการหาเวลาเดินทาง และค่าการจราจรอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลจากบลูทูธจะมุ่งเน้นไปที่การหาเวลาเดินทางเป็นหลัก และเริ่มมีงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องการ re-identification ของข้อมูลบลูทูธ เนื่องจากลักษณะเด่นของข้อมูลจากบลูทูธคือ สัญญาณของแต่ละอุปกรณ์จะมีเลข Mac Address ซึ่งสามารถใช้ระบุตัวตนของอุปกรณ์ ทำให้สามารถติดตามการเดินทางของอุปกรณ์นั้นๆ ได้ตลอดการเดินทาง คล้ายกับการใช้การอ่านป้ายทะเบียนของรถยนต์ ซึ่งในงานวิจัยของ (Carpenter, Fowler, & Adler, 2012) ได้ศึกษาการเดินทางที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดที่เหมือนกันแต่ใช้เส้นทางคนละเส้นทางจากข้อมูลบลูทูธ หรือ (Hainen et al., 2011) ศึกษาการใช้เส้นทางของผู้ใช้ถนนโดยใช้ข้อมูลบลูทูธ จากงานวิจัยดังกล่าวศึกษาการติดตามเส้นทางการจราจรโดยที่กำหนดจุดต้นทางและจุดปลายทางไว้และติดตามการเลือกใช้เส้นทาง แต่ยังไม่ค่อยพบการศึกษาเรื่องลักษณะของข้อมูลที่ได้ ในกรณีที่มีการติดตั้ง

อุปกรณ์เป็นโครงข่าย รวมถึงความต่อเนื่องของข้อมูลในกรณีใช้ในการติดตามเส้นทางจราจรภายในเมืองโดยไม่ได้กำหนดจุดต้นทางและจุดปลายทาง ซึ่งเป็นข้อมูลจราจรที่สำคัญและยากที่จะหาด้วยอุปกรณ์อื่นๆ

จากสาเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาลักษณะของข้อมูลบลูทูธเพื่อใช้ในการติดตามเส้นทางจราจร ลักษณะของการหายของข้อมูลในกรณีที่ใช้ในการติดตามเส้นทางจราจร และการประมาณเส้นทางในกรณีที่ข้อมูลมีความไม่ต่อเนื่องหรือเกิดการหายของข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง การเลือกใช้เส้นทางของผู้เดินทาง ในระดับบุคคล ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญและมีประโยชน์อย่างมากกับการใช้งานด้านการจราจรและขนส่ง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาลักษณะการหายของข้อมูล (Missing data) ที่มาจากการติดตามเส้นทางจากข้อมูลบลูทูธ
2. เพื่อทดสอบการประมาณเส้นทางของข้อมูลที่หายไปด้วยวิธีการใช้เส้นทางที่ระยะเวลาสั้นที่สุด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้ข้อมูลจากเครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธที่ติดตั้งในกรุงเทพมหานครภายในป้อมจราจรและตำแหน่งติดตั้งชั่วคราว
2. ติดตามเส้นทางโดยใช้ MAC Address และรายงานความต่อเนื่องของเส้นทาง ลักษณะการหายของข้อมูล จำนวนจุดตามเส้นทางที่หายไปเพื่อประเมินเหตุการณ์จริงที่ต้องประมาณเส้นทาง
3. วิเคราะห์การหายของข้อมูลโดยพิจารณาการประมาณเส้นทางที่ขาดหายไป (โดยใช้ระยะทางสั้นที่สุด) และ ตรวจสอบการหายของข้อมูล
4. คัดเลือกกรณีศึกษา 3 กรณีประกอบด้วย 6 เส้นทางและทดสอบการประมาณเส้นทาง (โดยใช้ระยะเวลาสั้นที่สุด) โดยคำนวณหาเวลาในการเดินทางบนเส้นทางเลือกสองเส้นทาง หาเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุด
5. วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาการเดินทางบนเส้นทางจริงและเส้นทางที่ประมาณขึ้น และ วิเคราะห์พฤติกรรมการเลือกใช้เส้นทางที่เกิดขึ้นจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงลักษณะการหายของข้อมูลจากการติดตามเส้นทางจราจรจากข้อมูลบลูทูธ
2. ทราบถึงลักษณะ พฤติกรรมการเลือกใช้เส้นทางของผู้ใช้ถนน และความถูกต้องของการประมาณเส้นทางโดยใช้ระยะเวลาสั้นที่สุด

1.5 ลำดับการนำเสนอวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึง ที่มาและความสำคัญของงานวิจัยนี้ วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา และประโยชน์ ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านเข้าใจถึงภาพรวมของการศึกษานี้

บทที่ 2 เป็นการทบทวนการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ ซึ่งทำให้ทราบถึงภาพรวมการศึกษาในอดีต และ องค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้ได้แนวทางการพัฒนาโจทย์และระเบียบวิธีที่จะใช้ในการศึกษาครั้งนี้

บทที่ 3 ประกอบไปด้วยแผนดำเนินการศึกษา พื้นที่ศึกษา รายละเอียดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ การทดสอบอุปกรณ์ รูปแบบของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ และ การจัดการข้อมูล ซึ่งจะทำให้ทราบถึง กระบวนการและวิธีการในการติดตามเส้นทางจราจรด้วยข้อมูลบลูทูธ

บทที่ 4 แสดงถึงการวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้จากบลูทูธ ภาพรวมข้อมูลที่ได้จากโครงข่าย อธิบายถึงลักษณะของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ การติดตามการเดินทาง การหายของข้อมูล และ การประยุกต์ข้อมูลจากบลูทูธเพื่อการประมาณเส้นทางการเดินทาง พฤติกรรมการเลือกใช้เส้นทางของผู้ใช้ถนน

บทที่ 5 ในบทนี้จะแบ่งออกเป็นสามส่วน โดยส่วนแรกคือการสรุปภาพรวมของงานวิจัย ขั้นตอน วิธีการศึกษา รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้ข้อมูลบลูทูธ ลักษณะการหายของข้อมูล และผลของการประมาณเส้นทางโดยวิธีการใช้เส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุด ส่วนที่สองจะเป็นการนำผลลัพธ์จากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ และส่วนสุดท้ายคือแนวทางในการศึกษาในอนาคต

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้ศึกษา ค้นคว้า แนวคิด ทฤษฎี วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลจราจร ดังแสดงในหัวข้อดังต่อไปนี้

1. เครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธ
2. การนำเทคโนโลยีบลูทูธมาใช้ในงานจราจร
3. งานวิจัยที่มีการนำข้อมูลบลูทูธมาใช้งานด้านจราจร
4. เทคนิคการจัดการข้อมูลจากบลูทูธ

2.1 เครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธ

2.1.1 บลูทูธ

บลูทูธเป็นมาตรฐานเทคโนโลยีไร้สายเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระยะสั้นโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ UHF ในช่วง ISM Band ที่ความถี่ 2.4 – 2.495 GHz ซึ่งถูกคิดค้นโดยบริษัท Ericsson ในปี 1994 โดยในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น Bluetooth Low Energy (LE) และ Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR) (Bluetooth SIG Inc.)

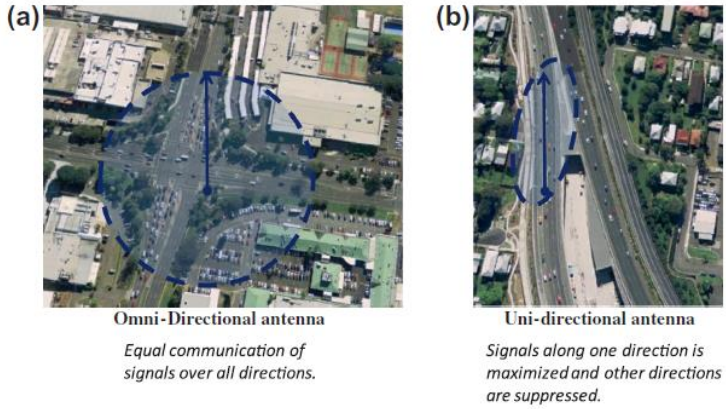
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.2 การทำงานของตรวจจับสัญญาณบลูทูธ

ในการตรวจจับสัญญาณบลูทูธ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธจะทำหน้าที่ค้นหาอุปกรณ์ที่เปิดบลูทูธในรัศมีการตรวจจับ โดยเมื่อพบอุปกรณ์ที่เปิดสัญญาณบลูทูธในรัศมีค้นหาจะบันทึกเลข Media Access Control Address หรือ MAC Address ซึ่งเป็นเลขเฉพาะที่ใช้ในการระบุตัวตนของอุปกรณ์บลูทูธ พร้อมกับ เวลาที่ตรวจจับได้ และหมายเลขของเครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธ และบันทึกลงในฐานข้อมูล

2.1.3 รัศมีการค้นหา

รัศมีการค้นหานั้นจะขึ้นอยู่กับ class ของอุปกรณ์บลูทูธ ลักษณะของเสา ขนาดการขยายสัญญาณ และกำลังส่ง โดยจากการทดลองของ (Bhaskar & Chung, 2013) ได้ทดลองเปรียบเทียบเสาที่มีกำลังขยายขนาด 3, 9 และ 20 dBi พบว่าจะได้ระยะของการค้นหาประมาณ 35, 100 และ 150 เมตร ตามลำดับ และประเภทของเสามีผลต่อลักษณะของรัศมีการค้นหาดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของรัศมีการค้นหาของเสาแบบต่างๆ

ที่มา: (Bhaskar & Chung, 2013)

(พีรวัส โชติพานิช & ภวินท์ เจริญสมบัติ, 2558) ได้ทดสอบระยะตรวจจับสัญญาณของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ซึ่งทดสอบโดย นำสมาร์ทโฟนทั้งหมด จำนวน 3 เครื่อง และอุปกรณ์ติดตามยานพาหนะหรือจีพีเอส (GPS) ที่สามารถปล่อยสัญญาณบลูทูธได้ จำนวน 1 เครื่อง วางไว้ในรถยนต์ที่เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ที่ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธนั้นได้ติดตั้งไว้ในป้อมสัญญาณไฟจราจรบริเวณสี่แยกชื่อแยกนรินทร โดยให้ยานพาหนะทดสอบเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธจำนวน 9 เที่ยว แบ่งเป็น 4 ทิศทาง โดยผลลัพธ์ของตำแหน่งที่อุปกรณ์สามารถตรวจจับได้ในแต่ละทิศทางสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.2 รัศมีที่ตรวจจับสัญญาณบลูทูธได้จากยานพาหนะทดสอบ

ที่มา : (พีรวัส โชติพานิช & ภวินท์ เจริญสมบัติ, 2558)

ตารางที่ 2.1 ระยะทางจากที่ตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธที่ตรวจจับสัญญาณได้

ตำแหน่งขาเข้า	ระยะห่าง (เมตร)	ตำแหน่งขาออก	ระยะห่าง (เมตร)
A	57	a	51
B	37	b	24
C	88	c	46
D	76	d	60

นอกจากการนำสมาร์ทโฟนและอุปกรณ์ติดตามจีพีเอสไว้ในยานพาหนะแล้ว (พีรวัส โชติพานิช & ภวินท์ เจริญสมบัติ, 2558) ยังได้ทดสอบการตรวจจับสัญญาณบลูทูธโดยถืออุปกรณ์สมาร์ทโฟนและอุปกรณ์ติดตามจีพีเอส เดินเข้าและเดินออกจากแยก ตามทิศทางของการเดินรถ ผลการทดสอบพิจารณาได้จากรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 รัศมีที่ตรวจจับสัญญาณบลูทูธได้จากการเดิน

ที่มา : (พีรวัส โชติพานิช & ภวินท์ เจริญสมบัติ, 2558)

ผลการทดสอบจากรูปที่ 2.2 จุดขาเข้าที่ตรวจพบอุปกรณ์บลูทูธ จะอยู่ห่างจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธมากกว่าจุดขาออกที่ตรวจพบ เพราะ ขณะเข้าแยกยานพาหนะมักจะติดไฟแดง จึงไม่เกิดการเคลื่อนที่ แต่ขณะออกจากแยกซึ่งเป็นเวลาที่อุปกรณ์กำลังเคลื่อนที่ ระยะตรวจจับสัญญาณจะน้อยกว่าขณะหยุดนิ่ง ในขณะที่รูป 2.3 พบว่าสัญญาณบลูทูธจากการทดสอบการตรวจจับสัญญาณบลูทูธจากการเดินมีระยะในการตรวจจับใกล้เคียงกันทั้งการเข้าสู่บริเวณทางแยก และออกจากบริเวณทางแยก สำหรับตำแหน่งเมื่อเทียบระยะตรวจจับสัญญาณจากยานพาหนะพบว่า การถืออุปกรณ์บลูทูธไว้ในขณะเดิน เครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธตรวจจับสัญญาณบลูทูธจากสมาร์ทโฟนได้ได้ไกลกว่าสัญญาณบลูทูธจากอุปกรณ์ที่วางไว้ในยานพาหนะ

2.1.4 ความถี่การค้นหา

ในการตรวจจับสัญญาณบลูทูธ นอกจากขนาดของเสา และ class ของอุปกรณ์แล้ว ความถี่หรือรอบในการตรวจจับสัญญาณก็เป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญ โดยถ้าความถี่ของรอบการตรวจจับสัญญาณสูง จะทำให้โอกาสของการตรวจจับแล้วเจออุปกรณ์มีมากขึ้น

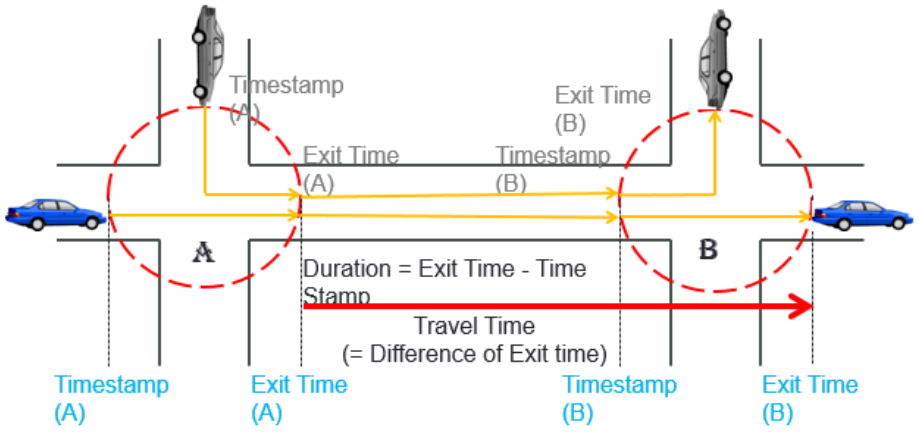
2.1.5 MAC Address vs Unique MAC Address

MAC Address คือชุดตัวเลขที่ใช้เพื่อระบุตัวอุปกรณ์บลูทูธ ซึ่งความแตกต่างกับ Unique MAC Address คือ เมื่อตรวจจับสัญญาณและบันทึกเลข MAC Address ซึ่งการนับจำนวน MAC Address แบบนี้จะนับรวม MAC Address ที่เจอซ้ำกันรวมอยู่ด้วย ซึ่งจะให้ความหมายของข้อมูลคือมีเวลาที่อุปกรณ์ที่อยู่ในระยะตรวจจับได้นาน หรืออาจค้างอยู่ในพื้นที่รัศมีตรวจจับได้นาน จึงทำให้จำนวนตรวจจับ MAC Address มีจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการนับจำนวน Unique MAC Address ซึ่งเป็นการนับเลข MAC Address ที่ไม่ซ้ำกันในช่วงเวลาที่กำหนดทำ Unique MAC Address จึงเป็นค่า (หรือจำนวน) ที่สามารถบอกได้ว่ามีจำนวนอุปกรณ์บลูทูธผ่านมากหรือน้อย

2.2 การนำเทคโนโลยีบลูทูธมาใช้ในงานจราจร

2.2.1 การหาเวลาเดินทาง (Travel time) จากข้อมูลบลูทูธ

การหาเวลาเดินทางจากบลูทูธ ใช้หลักการจับคู่ของเลข MAC Address ที่บันทึกไว้จากจุดสองจุดพร้อมกับเวลาที่บันทึก ซึ่งเมื่อพบ MAC Address เลขเดิมซ้ำกันจากเครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธที่อยู่คนละจุดจะสามารถนำเวลาที่ตรวจพบของทั้งสองจุด มาลบกันเพื่อที่จะหา เวลาเดินทาง ระหว่างจุดสองจุดนั้นได้ ดังที่แสดงในรูป 2.4



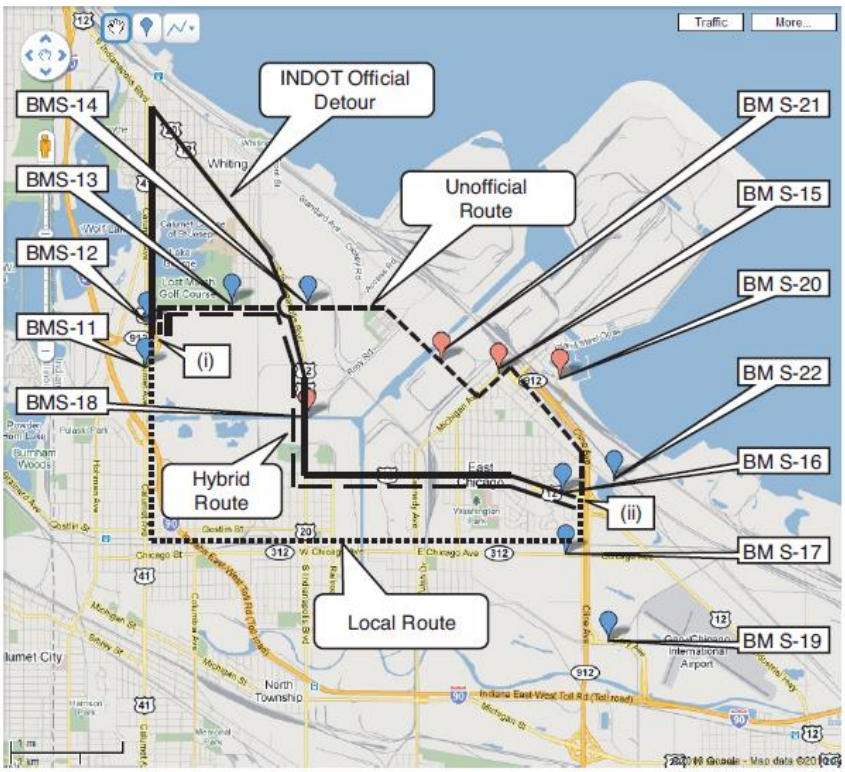
รูปที่ 2.4 วิธีหาเวลาเดินทางจากบลูทูธ

ที่มา: (Tsubota, Bhaskar, Chung, & Billot, 2011)

รูปที่ 2.4 แสดงการหา travel time จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ โดยเมื่อรถแล่นเข้ามาในรัศมีการตรวจจับ จะบันทึกเวลาที่สามารถจับได้ครั้งแรกเป็น time stamp และ เวลาสุดท้ายที่จับได้ก่อนจะหายเป็น exit time โดยระยะเวลาที่อยู่ในรัศมีเรียกว่า duration time ซึ่งหาได้จาก exit time – time stamp และ travel time สามารถหาได้จาก exit time a – exit time b

2.2.2 การติดตาม (tracking)

จากการใช้ข้อมูลจากบลูทูธเพื่อหาเวลาเดินทางระหว่างจุดสองจุด เราสามารถที่จะติดตาม การเดินทางได้โดยอาศัยหลักการเดียวกันคือการติดตาม MAC Address โดยจะใช้การจับคู่ MAC Address ที่เหมือนกันในแต่ละช่วงถนน หลังจากนั้นจะนำมาวาดเส้นเพื่อดูเส้นทางที่รถยนต์ผ่าน จะได้เป็นข้อมูลการ tracking ของ MAC Address เลขนั้นๆ ซึ่งทำให้เราสามารถทราบ จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทาง รวมถึง เส้นทางที่ใช้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5 จากงานวิจัยของ (Hainen et al., 2011)



รูปที่ 2.5 แผนที่การวางอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเพื่อหาเส้นทางที่ใช้เดินทางระหว่างตำแหน่งต่างๆ
ที่มา: (Hainen *et al.*, 2011)

จากรูปจะเห็นเส้นทางที่สามารถเดินทางระหว่างตำแหน่ง i และ ii ได้ทั้งหมด 4 เส้นทางซึ่งการวางอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธจะช่วยให้ทราบว่ามีการเดินทางระหว่างตำแหน่ง i และ ii โดยใช้เส้นทางไหน ซึ่งถือเป็นการติดตาม เส้นทางการเดินทางวิธีหนึ่งที่ไม่ต้องอาศัยการวื่อสารและอุปกรณ์จากยานพาหนะ เช่นการติดตามยานพาหนะด้วยระบบ GPS

2.2.3 ปัญหาที่พบในการใช้งานการตรวจจับสัญญาณบลูทูธในงานด้านจราจร

งานวิจัยของ (Michau et al., 2017) ได้สรุปปัญหาของการใช้สัญญาณบลูทูธในการติดตามการเดินทางออกเป็นประเด็นต่างๆดังนี้

- Overlapping detections

ในกรณีที่มีการติดตั้งเครื่องตรวจจับสัญญาณบลูทูธไว้ใกล้กันจะทำให้เกิดจุดที่ระยะตรวจจับสัญญาณของทั้งสองจุดมีส่วนที่ทับซ้อนกัน ซึ่งเมื่อมีอุปกรณ์ผ่านมา จะทำให้สามารถจับสัญญาณจากสองจุดได้ที่ระยะเวลาเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการลำดับข้อมูลก่อนหลังของการตรวจเจอสัญญาณบลูทูธ

- Same MAC Address at 2 points

ในบางครั้งจะพบเลข MAC Address เลขเดียวกันจากเครื่องตรวจจับสัญญาณ 2 จุดในเวลาที่ใกล้กันโดยที่ตำแหน่งของเครื่องอยู่ไกลกันจนเป็นไปไม่ได้ที่จะเดินทางไปในเวลาที่ตรวจเจอของทั้งสองจุด ตำแหน่งติดตั้งใกล้ทางด่วนหรือทางข้ามแยก

ในกรณีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธใกล้บริเวณสะพาน ทางด่วน หรือทางข้ามแยก จะทำให้เกิดการการติดตามที่ผิดพลาดได้ ถ้ามีการตรวจจับสัญญาณจากรถที่วิ่งอยู่บนทางด่วนหรือทางข้ามแยก ซึ่งทำให้การติดตามการเดินทาง ทำไม่ได้หรือมีความผิดพลาด

- Missing detection

จากงานวิจัยในหลายๆงานกล่าวไว้ว่าความสามารถในการจับสัญญาณของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์ที่ปล่อยสัญญาณ ไม่ได้มีความสามารถในการจับได้ทั้งหมด โดยจากงานวิจัยต่างๆ สามารถแยกสาเหตุที่ทำให้เกิดการจับสัญญาณไม่ได้ดังนี้

- ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจจับสัญญาณ และอุปกรณ์ส่งสัญญาณไม่ได้มีความแรงเท่ากันทุกตัว บางตัวอาจมีความแรงมาก บางตัวความแรงของสัญญาณน้อย ทำใหเกิดการจับสัญญาณไม่ได้

- อัตราการที่จะจับสัญญาณไม่ได้จะเพิ่มขึ้นในกรณีที่พื้นที่ที่มีการตรวจจับสัญญาณมีอุปกรณ์ที่เปิดบลูทูธมาก ซึ่งในความเป็นจริงเมื่อมีการตรวจจับสัญญาณได้มากจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจับสัญญาณ ทำให้มีโอกาสที่จะจับสัญญาณไม่ได้

- ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณมีผลอย่างมาก เนื่องจากสัญญาณบลูทูธจะอ่อนลงเมื่อเจอสิ่งกีดขวางเช่น กำแพง หรือแผ่นโลหะ และ ระดับของตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ก็มีผลต่อการจับสัญญาณเช่นกัน

- อุปกรณ์บลูทูธทั้งหมดไม่ได้อยู่ในโหมดที่ทำให้อุปกรณ์อื่นๆสามารถค้นหาได้ตลอดเวลา บางอุปกรณ์จะไปอยู่ในโหมดค้นหาไม่ได้เมื่อเปิดทิ้งไว้สักพัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 กรณีศึกษา การใช้งานการตรวจจับสัญญาณบลูทูธในงานจราจร

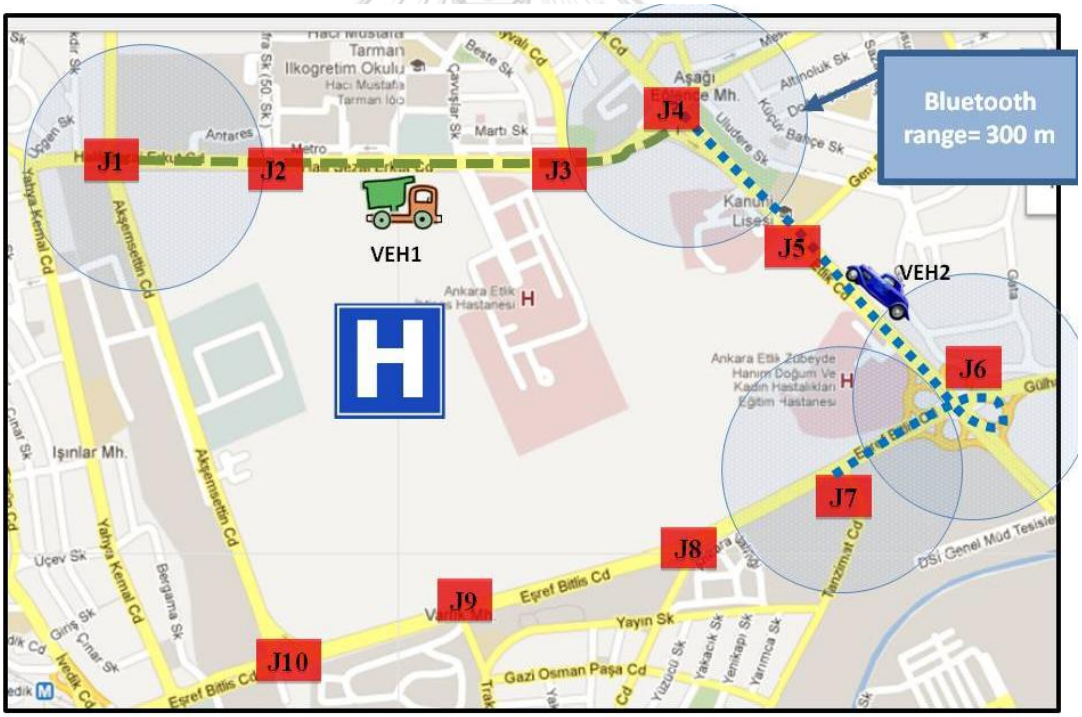
2.3.1 กรณีศึกษาในเมือง Indiana, USA (2010)

งานวิจัยโดย (Hainen et al., 2011) ใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธในการทำนายการกระจายตัวของการจราจรบนเส้นทางที่เป็นไปได้ 4 เส้นทางหลังจากมีการปิดสะพาน cline โดยมีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ 12 ตัวดังที่แสดงในรูป 2.5

การหาเส้นทางใช้เทคนิคการจับคู่แบบมีเงื่อนไขเพื่อหาเส้นทาง ใช้ช่วงเปอร์เซ็นไทล์ที่ 25 และ 75 เพื่อสร้างช่วงความถูกต้องของเวลาเดินทางในแต่ละเส้นทาง ซึ่งผลจากการใช้ข้อมูลจากบลูทูธสามารถทราบถึงเวลาที่ใช้เดินทางในช่วงเวลาต่างๆของวันของแต่ละเส้นทางรวมถึงจำนวนผู้ที่เลือกใช้แต่ละเส้นทาง ซึ่งจากผลของข้อมูลพบว่าผู้ใช้รถส่วนมากเลือกใช้เส้นทาง hybrid route (รูปที่ 2.5) เนื่องจากมีระยะเวลาเดินทางเฉลี่ยน้อยที่สุด

2.3.2 กรณีศึกษาในเมือง Ankara, Turkey (2013)

งานวิจัยโดย (Yucel, Tuydes-Yaman, Altintasi, & Ozen, 2013) ใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเพื่อดูรูปแบบการเดินทางที่เปลี่ยนแปลงจากลักษณะการใช้ที่ดินโดยมีการก่อสร้างศูนย์สุขภาพขนาดใหญ่ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเพื่อหาข้อมูล จุดต้นทาง-ปลายทาง (origin-destination) หรือ (O-D) และระยะเวลาของเดินทางในบริเวณนั้น โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ดังแสดงในรูป 2.6



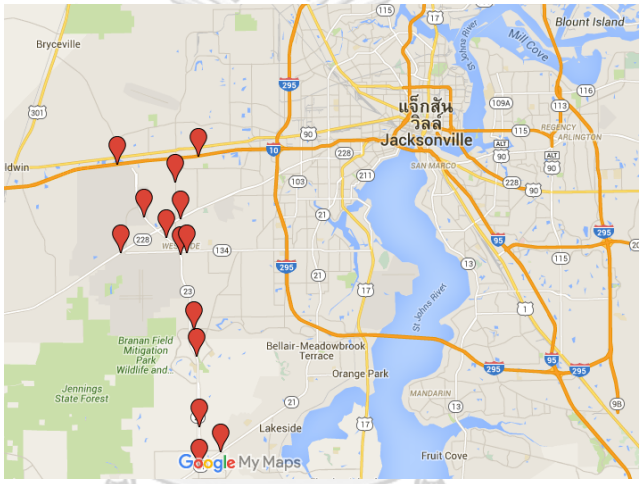
รูปที่ 2.6 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธในพื้นที่ศึกษาเมือง *Ankara, Turkey*
ที่มา (Yucel et al., 2013)

จากการเก็บข้อมูลพบว่าข้อมูลจากบลูทูธสามารถใช้หา จุดต้นทาง - จุดปลายทาง รวมถึงระยะเวลาเดินทางบนช่วงถนนแต่ละช่วงได้ โดยจะใช้ได้ดีในช่วงที่ไม่มีการจราจรติดขัด เนื่องจากการ

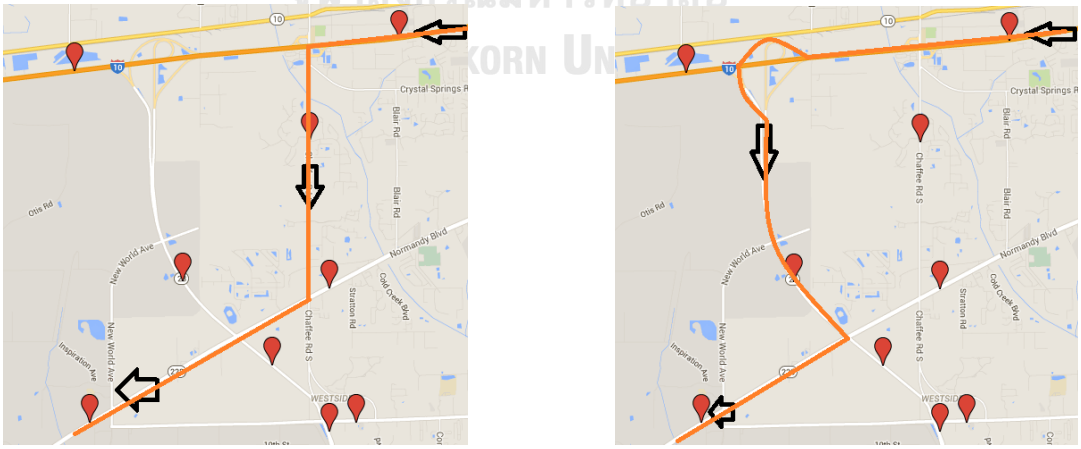
กรองข้อมูลบลูทูธในการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาเดินทางในช่วงที่สภาพการจราจรเป็นปกติ และ ความถูกต้องของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับจำนวนของอุปกรณ์บลูทูธที่จับสัญญาณได้ซึ่งหมายถึงยิ่งยานพาหนะมีอุปกรณ์บลูทูธมากขึ้นเท่าไหร่ ข้อมูลที่ได้จะแม่นยำขึ้นเท่านั้น

2.3.3 กรณีศึกษาในเมือง Jacksonville, USA (2012)

งานวิจัยโดย (Carpenter et al., 2012) นี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการหาเส้นทางสำหรับข้อมูล O-D ที่ Jacksonville, Florida, USA โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธทั้งหมด 14 ตัว แบ่งเป็น 7 ตัวติดตั้งบนเส้นทางหลัก และอีก 7 ตัวติดตั้งบนจุดตัด(ทางแยก)สำคัญ โดยใช้เกณฑ์ตัดข้อมูลที่มีระยะเวลาเดินทางเกิน 30 นาทีระหว่างจุดสองจุดออก (ถือว่าเป็น Outlier)



ก) ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ

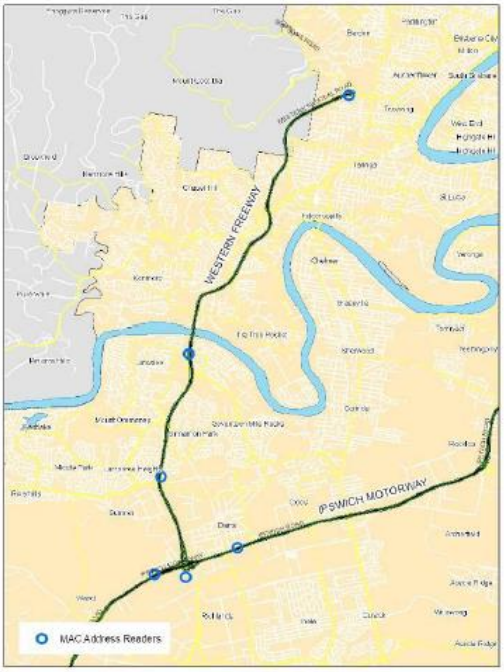


ข) ตัวอย่างเส้นทางที่แตกต่างกันของข้อมูลที่มี จุดต้นทาง – จุดปลายทาง เหมือนกัน

รูปที่ 2.7 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์และเส้นทางที่เป็นไปได้ในพื้นที่ศึกษาเมือง Jacksonville, USA ที่มา: (Carpenter et al., 2012)

2.3.4 กรณีศึกษาในเมือง Brisbane

งานวิจัย (Blogg, Semler, Hingorani, & Troutbeck, 2010) ได้ศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลจุดต้นทาง – จุดปลายทาง ระหว่างข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ กับข้อมูลจาก Automatic Number Plate Recognition (ANPR) หรือการอ่านป้ายทะเบียนอัตโนมัติ โดยกำหนดจุดต้นทาง – ปลายทางทั้งหมด 2 คู่



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธในพื้นที่ศึกษาเมือง Brisbane
ที่มา: (Blogg et al., 2010)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการเก็บข้อมูลพบว่า ข้อมูลจุดต้นทาง – จุดปลายทาง ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ จะมีจำนวนข้อมูลน้อยกว่า ANPR อยู่ร้อยละ 50 ประมาณ แต่แนวโน้มและสัดส่วนของ จุดต้นทาง - จุดปลายทางของข้อมูลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

2.4 เทคนิคการจัดการข้อมูลจากบลูทูธ

2.4.1 การกรองข้อมูลที่ต้นทาง

ในการใช้อุปกรณ์บลูทูธในการเก็บข้อมูลจะต้องเจอปัญหาเกี่ยวกับการตรวจจับได้มากกว่า 1 ครั้งในแต่ละจุด ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการในการกรองข้อมูลที่ซ้ำกันเช่น ข้อมูลจากรถคันเดียวกันเมื่ออุปกรณ์บลูทูธที่มีความถี่ในการจับสัญญาณสูงจะทำให้จับข้อมูลของรถคันเดียวได้ซ้ำกันหลายข้อมูล โดยวิธีการเบื้องต้นที่ใช้ในการกรองข้อมูลแบ่งได้ดังนี้

- First time คือการใช้ข้อมูลที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ครั้งแรกซึ่งเหมาะกับกรณีที่อุปกรณ์อยู่ใกล้กับจุดออกจากทางหลัก เนื่องจากที่จุดออกจากทางหลักจะทำให้ความเร็วในการจราจรของทางหลักลดลง หากต้องการทราบความเร็วในการจราจรบนทางหลักแล้ว จะใช้ข้อมูล First time ที่ขจัดปัญหาการชะลอตัวของรถเมื่อออกจากทางหลักออกไป
- Last time คือการใช้ข้อมูลจากการตรวจจับได้ครั้งสุดท้าย เหมาะกับกรณีที่ระจะเข้าทางหลักหรือทางแยกเพื่อที่จะสามารถกำจัดเวลาที่รถเสียไปในการที่จะเข้ามาทางหลัก รวมถึงกำจัดระยะเวลาที่ติดอยู่ในทางแยก
- Average time คือการใช้ข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากบลูทูธที่ตรวจเจอหลายครั้ง เหมาะกับในกรณีที่สภาพการจราจรติดขัดและไม่มีทางแยกเข้า-ออก จากถนนหลัก

2.4.2 การกำจัด outlier

การใช้อุปกรณ์บลูทูธในการเก็บข้อมูลจราจรยังมีข้อสงสัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพเนื่องจากผลของข้อมูลที่ผิดพลาด โดยข้อมูลที่ผิดพลาดสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทคือ sampling error, sampling bias, and measurement error โดยในสามประเภทนี้ sampling bias มีผลต่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลสูงที่สุด

การเกิด sampling bias จะเกิดจากปัจจัยต่อไปนี้

- มีอุปกรณ์บลูทูธหลายตัวในยานพาหนะ
- เมื่อมีการตรวจจับสัญญาณบลูทูธจากอุปกรณ์ที่ไม่ได้อยู่บนยานพาหนะเช่น คนเดิน หรือจักรยาน
- เมื่อเจออุปกรณ์ที่ต้นทาง และไม่เจอที่ปลายทางเนื่องจากยานพาหนะหยุดจอดระหว่างทาง

ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้รับมาทั้งหมด ไม่สามารถใช้ได้ทันที ต้องนำมาตรวจสอบคัดกรองข้อมูลที่เป็น Outlier ออกก่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.3 การประมาณจุดต้นทาง - ปลายทาง ณ ทางแยก

(Chitturi, Shaw, Campbell, & Noyce, 2014) ได้ศึกษาการตรวจสอบข้อมูล จุดต้นทาง-ปลายทาง ที่ทางแยกเดี่ยว (หรือปริมาณรถในแต่ละทิศทางการจราจร) จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ว่ามีความแม่นยำน่าเชื่อถือได้ขนาดไหน โดยได้ทดลองที่บริเวณทางแยกที่สามารถนับจำนวนรถที่เข้าออกในแต่ละทิศทางได้เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ได้จากบลูทูธ ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลจากบลูทูธในจะใช้วิธีการuniform scaling factor และ biproportional factoring เพื่อปรับข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างข้อมูลจากบลูทูธให้เป็นข้อมูลจริง และ นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูล ปริมาณรถจากการนับ (traffic count) โดยใช้สมการ (Geoffrey E. Havers, GEH) ในการเปรียบเทียบข้อมูล

สมการ GEH สำหรับปริมาณรถรายชั่วโมง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G_H = \sqrt{\frac{2(v-\hat{v})^2}{v+\hat{v}}} \qquad (2.1)$$

เมื่อ G_H คือ GEH สำหรับปริมาณรถรายชั่วโมง

v คือ “Ground-Truth” OD volume

$\hat{v}$ คือ ค่าประมาณของ OD volume ที่มีพื้นฐานมาจากข้อมูลบลูทูธหรือภาพถ่ายทางอากาศ

สมการ GEH สำหรับปริมาณจราจรรายวัน

$$G_D = \sqrt{\frac{0.2v^2-0.4v\hat{v}+0.2\hat{v}^2}{v+\hat{v}}} \qquad (2.2)$$

เมื่อ G_D คือ GEH สำหรับปริมาณรถรายวัน

ตารางที่ 2.1 การแปลความหมายค่า GEH value

Value	Comment	Example 1	Example 2
GEH = 1.0	“Excellent”	±65 in 4,000	±25 in 500
GEH = 2.0	“Good”	±130 in 4,000	±45 in 500
GEH = 5.0	“Acceptable”	±325 in 4,000	±120 in 500
GEH =10.0	“Rubbish!”	±650 in 4,000	±250 in 500

ที่มา: (Vliet, 2013)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบค่า GEH ในตารางที่ 2.1 จะสามารถบอกได้ว่าค่าของข้อมูลจริงกับค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธมีความใกล้เคียงกันเท่าไหร่ โดยค่า GEH ยิ่งน้อยยิ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความใกล้เคียงกันมาก

ผลจากงานวิจับพบว่า ถ้าใช้วิธี uniform scaling factoring factor จะทำให้มี G_H value เฉลี่ยอยู่ที่ 6.1 ซึ่งเมื่อเทียบกับการใช้วิธี bipropoportional factoring ที่มีค่า G_H value เฉลี่ยอยู่ที่ 3.6 ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าการใช้วิธี bipropoportional factoring จะช่วยทำให้การใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจราจรที่เก็บโดยการนับมากกว่าวิธี uniform scaling factoring factor

2.4.4 การหาเวลาเดินทางจากข้อมูลบลูทูธ

ในการหาเวลาเดินทางจาก อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ที่คอยตรวจหาอุปกรณ์บลูทูธในระยะค้นหาซึ่งข้อมูลที่ได้จากบลูทูธจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

1 MAC Address ของอุปกรณ์บลูทูธที่ตรวจพบ

2 Time stamp เวลาที่ตรวจเจอ

3 Duration ระยะเวลาตั้งแต่ตรวจเจออุปกรณ์เมื่อเข้ามาในระยะตรวจจับสัญญาณจนออกจากระยะตรวจจับสัญญาณ

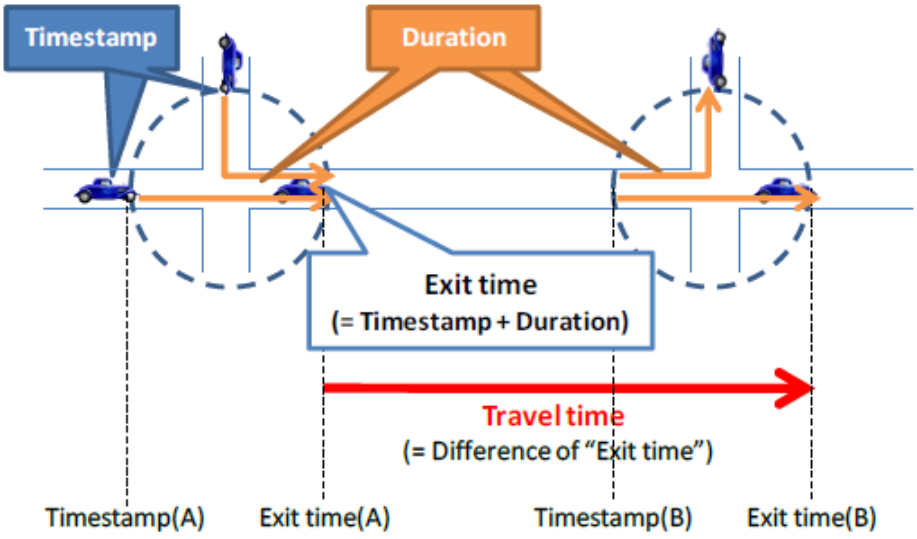
เรากำหนดให้ระยะระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ 2 ตัวเป็น 1 ช่วงถนนซึ่งจากข้อมูล time stamp ของสองจุดเราจะได้ เวลาเดินทางบนช่วงถนนที่รวมเวลาที่รถอยู่ในระยะสัญญาณของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ อย่างไรก็ตาม เวลาเดินทางบนช่วงถนน ที่ได้มานี้จะรวมความล่าช้าในการออกจากแยกด้วยเช่นกรณีเที่รถข้ามาถึงแล้วติดสัญญาณไฟแดง ซึ่งกรณีในเมืองที่มีสัญญาณไฟส่วนมากจะมีการติดขัดบริเวณแยกที่ออกจากช่วงถนน(รูปที่ 2.9) ดังนั้นจึงควรใช้เวลา exit time ในการหาค่าเวลาเดินทางของช่วงถนน ดังนั้นเราจะหาเวลาเดินทางได้จาก

$$tt_v = t_{v,i} - t_{v,j} \qquad (2.3)$$

เมื่อ tt_v คือ เวลาเดินทางของอุปกรณ์บลูทูธ v

$t_{v,i}$ คือ เวลาที่ออกจากจุด i ของอุปกรณ์บลูทูธ v

$t_{v,j}$ คือ เวลาที่ออกจากจุด j ของอุปกรณ์บลูทูธ v



รูปที่ 2.9 การหาเวลาเดินทางบนช่วงถนน

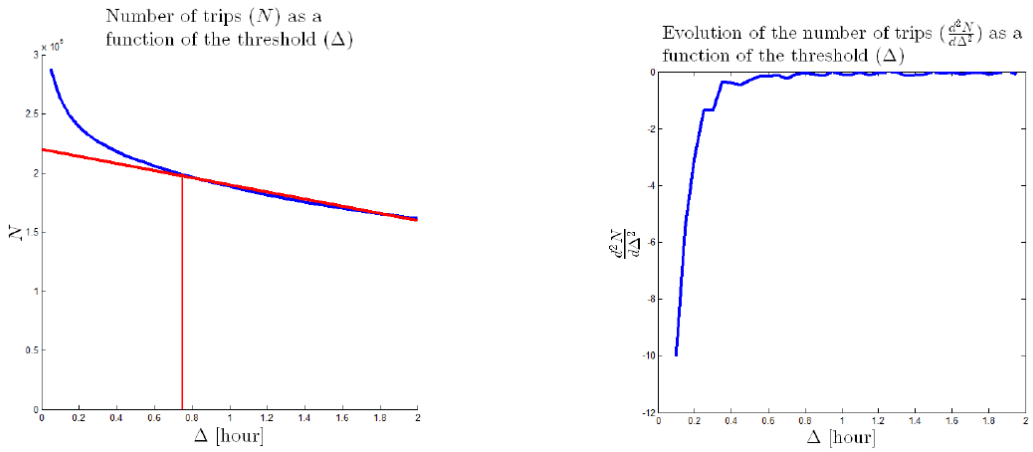
ที่มา: (Tsubota et al., 2011)

2.4.5 การหาจุดต้นทาง - จุดปลายทาง และ การติดตามเส้นทางจากข้อมูลบลูทูธ

ในการหาจุดต้นทาง-จุดปลายทาง (Origin-Desitnation หรือ OD) และ การติดตาม (tracking) โดยใช้ข้อมูลจากบลูทูธจะต้องมีขั้นตอนการจัดการข้อมูลเนื่องจากมีข้อมูลมหาศาล การติดตาม และ การหาจุดต้นทาง-จุดปลายทางจะอาศัยหลักการที่คล้ายๆกัน โดยการติดตามเราจะสนใจว่า MAC Address ที่เราบันทึกได้ว่ามีการเดินทางจากไหนไปไหน ซึ่งสามารถหาได้จากการ สร้างการเชื่อมต่อของแต่ละ ช่วงถนน ที่ใช้หาเวลาการเดินทาง เพื่อติดตามว่าเมื่ออุปกรณ์ออกจาก ช่วงถนน นึงสามารถที่จะไปต่อที่ช่วงถนนไหนได้บ้างและเมื่อตรวจไม่พอ เราสามารถบอกได้ว่าบริเวณที่สัญญาณหายไปครั้งสุดท้ายคือจุดหมายของการเดินทางหรือจุดปลายทางและจุดที่พบจุดแรกคือจุดเริ่มต้น

ในการที่จะสร้างแผนที่การติดตามหรือ จุดต้นทาง-จุดปลายทาง เมื่อใช้ MAC Address เป็นตัวระบุชุดของข้อมูล สิ่งต่อมาที่ต้องสนใจคือใน 1 วันจากข้อมูลที่ได้จะสามารถแบ่งเป็น การเดินทางย่อยๆ หลายครั้ง หรือเป็นการเดินทางต่อเนื่องครั้งเดียว โดยมีวิธีการตัดแบ่งการเดินทางโดยใช้การตรวจสอบระยะเวลาเดินทางจากจุดสองจุดที่ตรวจพบว่ามีค่าเกินกว่า เวลาเดินทางที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าเกินก็ตัดให้จุดสุดท้ายที่เจอเป็นจุดสิ้นสุดของการเดินทาง และจุดต่อไปเป็นจุดเริ่มต้นการเดินทาง ซึ่งการตั้งเวลาที่เป็นจุดตัดเพื่อเริ่มการเดินทางใหม่จะขึ้นอยู่กับระยะทางของจุดทั้งสองรวมถึงช่วงเวลาเดินทาง

จากงานวิจัยของ (Michau et al., 2015) ได้ศึกษาเรื่องของเวลาเดินทางที่ใช้ในการระบุจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของการเดินทางในแต่ละครั้ง ตั้งแต่ 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ได้ออกมาดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ใช้แบ่งการเดินทาง

ที่มา: (Michau et al., 2015)

ซึ่งจากรูปที่ 2.1 จะพบว่าเมื่อใช้ค่าเวลาเดินทางช่วงที่เลย 30 นาทีขึ้นไป จำนวนการเดินทางที่ได้เริ่มมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงใช้ค่า 30 นาที เป็นช่วงเวลาที่จะใช้ในการจบการเดินทางและเริ่มการเดินทางใหม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

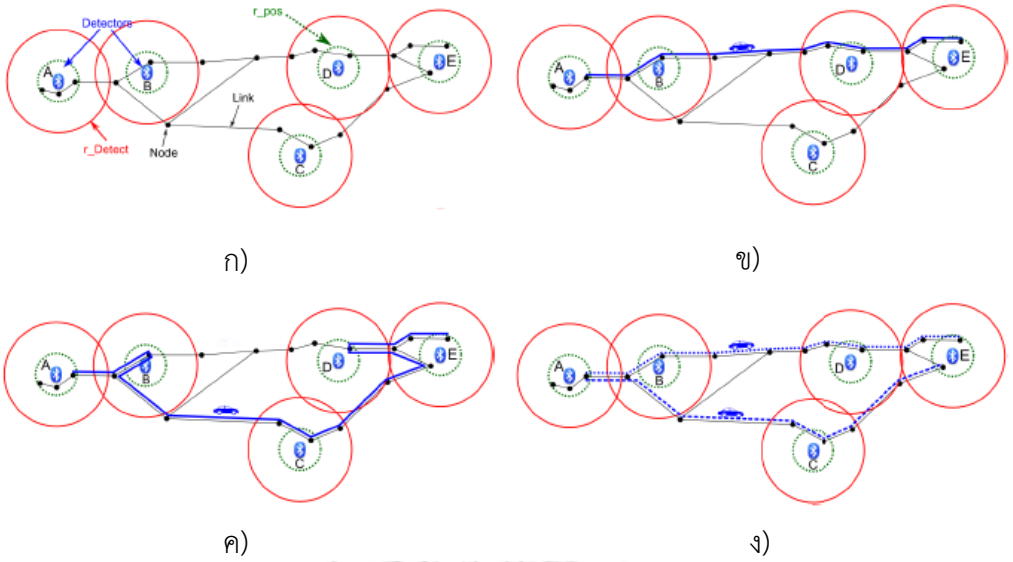
2.4.6 การกู้คืนเส้นทาง

จากการศึกษาการกู้คืนเส้นทางของ (Michau et al., 2015) พบว่ามีวิธีที่นิยมใช้อยู่สามวิธี :

1. The _naïve_ strategy: ใช้การหาเส้นทางสั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดปลายทาง

2 The _hybrid_ strategy: The trajectory recovered is เส้นทางที่สั้นที่สุดจากต้นทางมาปลายทางโดยใช้เงื่อนไขที่บริเวณตัวตรวจจับตรงกลางทาง 1 ตัว ภายใต้สองเงื่อนไขคือ ทุกการตรวจจับจะถือเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางที่มีการกู้คืน และ สามารถยอมรับได้หลายเส้นทาง โดยจะเลือกเส้นทางที่ลดโอกาสที่จะตรวจจับไม่ได้ในเส้นทางที่กู้คืนมา

3. The _All detectors_ Strategy : ใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดจากต้นทางไปปลายทางโดยผ่านจุด detection ทุกจุด



ก) ข)

ค) ง)

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างของโครงข่ายถนน
ที่มา (Michau et al., 2015)

จากรูป 2.11 ก) คือตัวอย่างของโครงข่ายถนน โดยเส้นสีเขียวคือรัศมีการค้นหาของเครื่องตรวจจับสัญญาณของโหนดนั้น ส่วนเส้นสีแดงคือ รัศมีที่ประเมิณการตรวจจับพร้อมกู้คืนเส้นทาง โดยเส้นทางจะถูกสร้างขึนจากวงกลมสีเขียวถึงวงกลมสีเขียว ส่วนลำดับการตรวจจับจะเรียงไปตามวงกลมสีแดง ที่ผู้ใช้ผ่าน โดยสมมุติให้รถูกตรวจเจอโดยเครื่องตรวจจับ ABCDE รูปที่ 2.11 ข) ใช้ The naïve strategy จะใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดจาก A ไป E โดยจะได้ลำดับการตรวจจับคือ ABDE รูปที่ 2.11 ค) The all detectors strategy ใช้เส้นทางสั้นสุดจาก a-b b-c c-d d-e จะได้ลำดับการตรวจจับเป็น ABCDEDE. รูปที่ 2.11 ง) The _hybrid_ strategy เปรียบเทียบความเป็นไปได้สามเส้นทาง 1 1: A ไป B และ E, 2: A ไป D และ E ซึ่งมีลำดับการตรวจจับเหมือนกันคือ =ABDE (matching score of 4/5). 3: จาก A ไป C และ E ลำดับดารตรวจจับเป็น ABCDE

2.4.7 การจัดการข้อมูลเวลาเดินในแต่ละช่วงเวลา

ในแต่ละช่วงเวลาจะมีข้อมูลเวลาเดินทาง จากอุปกรณ์มากกว่า 1 ค่าซึ่งจะต้องกรองข้อมูลและหาค่าเฉลี่ย ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีหาค่ากลางของค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อน (Median Absoulte Deviation, MAD)

Median Absolute Deviation (MAD) หรือ Absolute Deviation Around the Median เป็นสถิติเชิงปรับแก้ คือการหาความเอนเอียงจากศูนย์กลาง (central of tendency) หรือการ

กระจายตัวของข้อมูล ในข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative data) ซึ่งหลักการจะพิจารณาจากค่า มัธยฐาน (median) เป็นหลัก โดยขั้นตอนคำนวณ MAD คือ 1. นำข้อมูลตัวอย่างในช่วงเวลาที่ต้องการคำนวณหาระยะห่างจากค่ามัธยฐาน 2. หาค่ามัธยฐานจากข้อมูลระยะห่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ค่าผลลัพธ์ที่ได้คือค่า MAD ซึ่งใช้สำหรับการกำหนดช่วงขอบเขตบน และ ล่าง ของข้อมูล

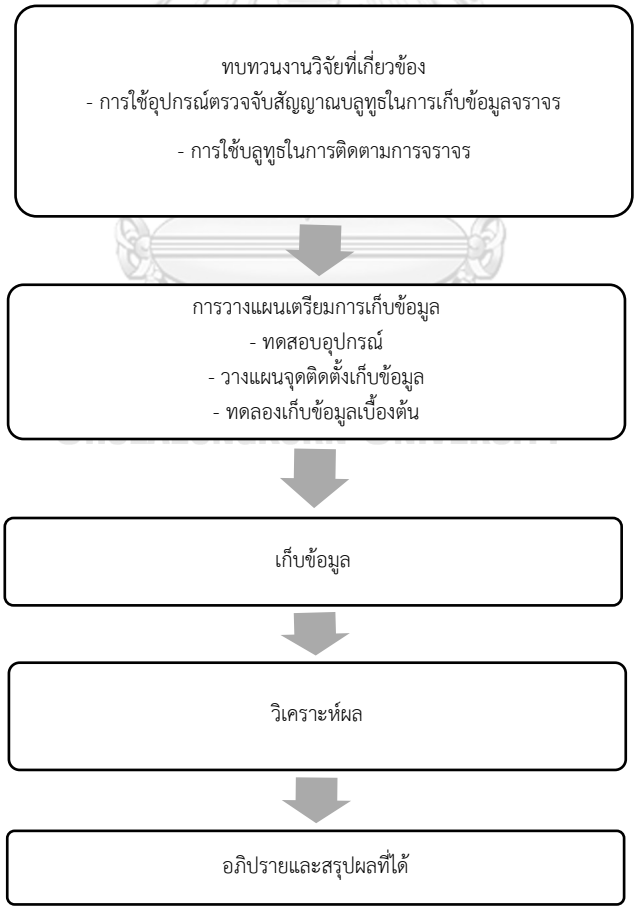
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการจัดทำงานวิจัยการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเพื่อเก็บข้อมูลจราจรซึ่งผู้ศึกษาได้มีขั้นตอนในการศึกษา เป็นดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

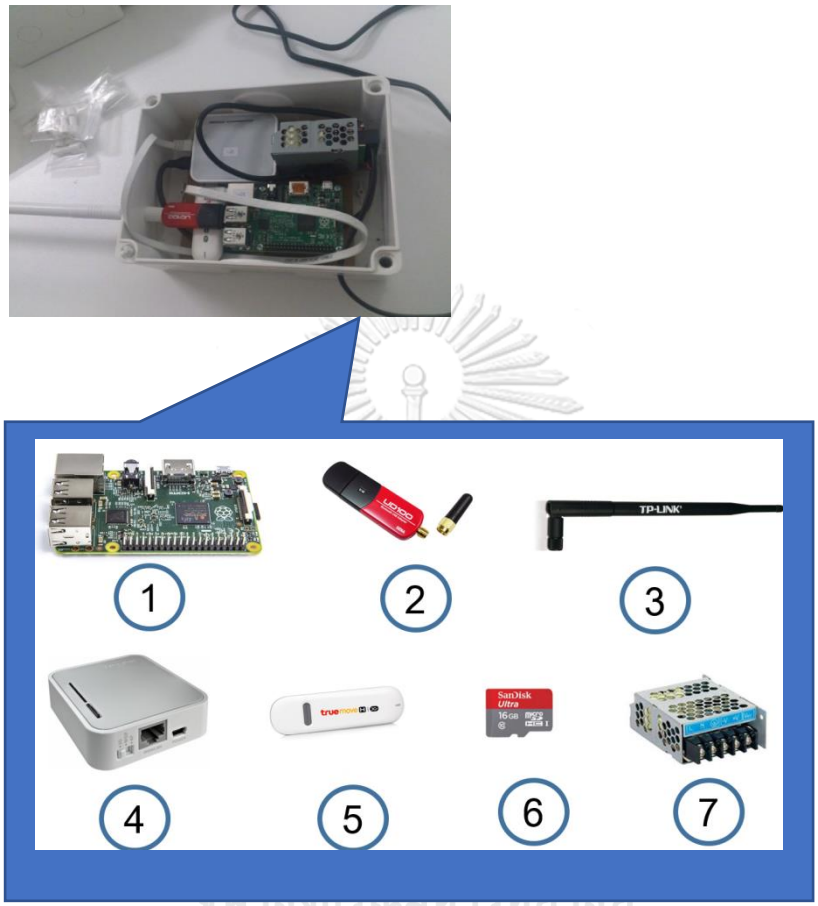
การดำเนินงานวิจัยจะเป็นไปตามรูปที่ 3.1 โดยเริ่มจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลจากบลูทูธ เทคนิคการจัดการข้อมูล การนำมาใช้งานจริงในประเทศต่างๆ รวมถึงเข้าใจถึงลักษณะของข้อมูลจากบลูทูธ หลังจากนั้นจะต้องมีการเริ่มพัฒนาและทดสอบอุปกรณ์ที่จะใช้งานในการเก็บข้อมูล รวมถึงกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ และทดลองเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ผลเบื้องต้น ต่อมาก็กำหนดช่วงเวลาที่จะเก็บข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การเตรียมเก็บข้อมูล

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเมื่อประกอบเข้ากับกล่อง

1. บอร์ด RASPBERRY PI 2 MODEL B

เปรียบเสมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเขียนโปรแกรมใส่คำสั่งเพื่อให้ประมวลผล ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้งานได้ ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถตรวจจับสัญญาณบลูทูธเมื่อมีการเชื่อมต่อกับ Bluetooth adapter

2. Bluetooth Adapter

Bluetooth adapter ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นรุ่น Parani-UD 100 ซึ่งเป็นอุปกรณ์บลูทูธ คลาส 1 ในทางทฤษฎีสามารถกระจายสัญญาณได้ในระยะ 100 เมตร และสามารถแปลี่ยนเสาอากาศเพื่อเพิ่มระยะของสัญญาณบลูทูธได้

3. เสาขยายสัญญาณ

ใช้เสาสัญญาณภายนอกเพื่อขยายสัญญาณการตรวจจับอุปกรณ์บลูทูธโดยใช้เสามีกำลังขยายสัญญาณขนาด 9dbi

4. Mobile 3g router

ทำหน้าที่เชื่อมต่อและส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธส่งกลับไปที่เซิร์ฟเวอร์ผ่านอินเตอร์เน็ตจาก Aircard

5. Aircard

ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตผ่านเครือข่ายมือถือ

6. การ์ดหน่วยความจำ

ใช้สาหรับป้อนคำสั่งให้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธทำงานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการและใช้บันทึกข้อมูล

7. Power Supply

อุปกรณ์ใช้แปลงไฟ จาก 220v ให้เป็น 5v เพื่อจ่ายไฟให้อุปกรณ์ ทั้ง raspberry pi และ mobile 3G

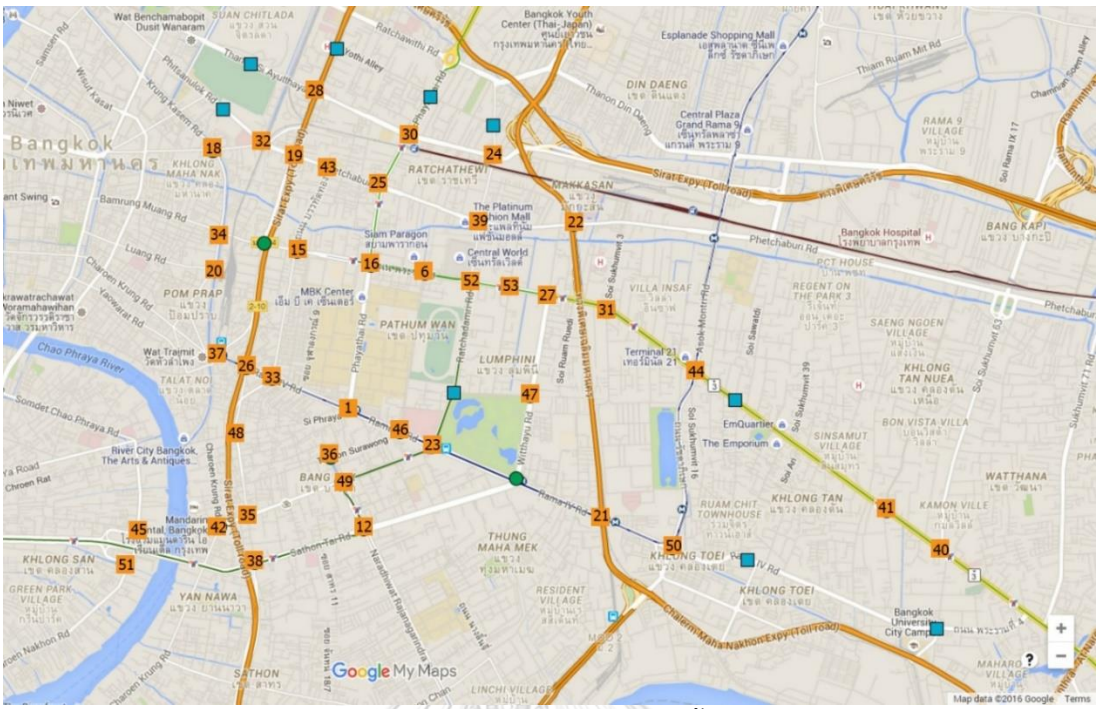
8. กล่องกันน้ำพลาสติก

กล่องใช้ใส่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณโดยใช้กล่องกันน้ำพลาสติก nano 205 มีขนาด 8 x 6 x 4 นิ้ว

3.2.2 การวางแผนพื้นที่ศึกษาและแผนที่ประกอบ

ในการวางแผนพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์จะเน้นไปที่แยกหลักที่มีความสำคัญในกรุงเทพมหานคร โดยอีกปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกจุดติดตั้งคือ ณ จุดติดตั้งจะต้องมีป้อมจราจร เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดเวลาในการทำงาน จึงพยายามติดตั้งในบริเวณแยกที่มีป้อมจราจรและมีความต่อเนื่องกันเพื่อที่จะสามารถติดตามรถที่ผ่านแต่ละแยกได้ว่าเดินทางไปไหน จึงได้แผนที่จุดติดตั้งอุปกรณ์ออกมาดังรูป 3.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์

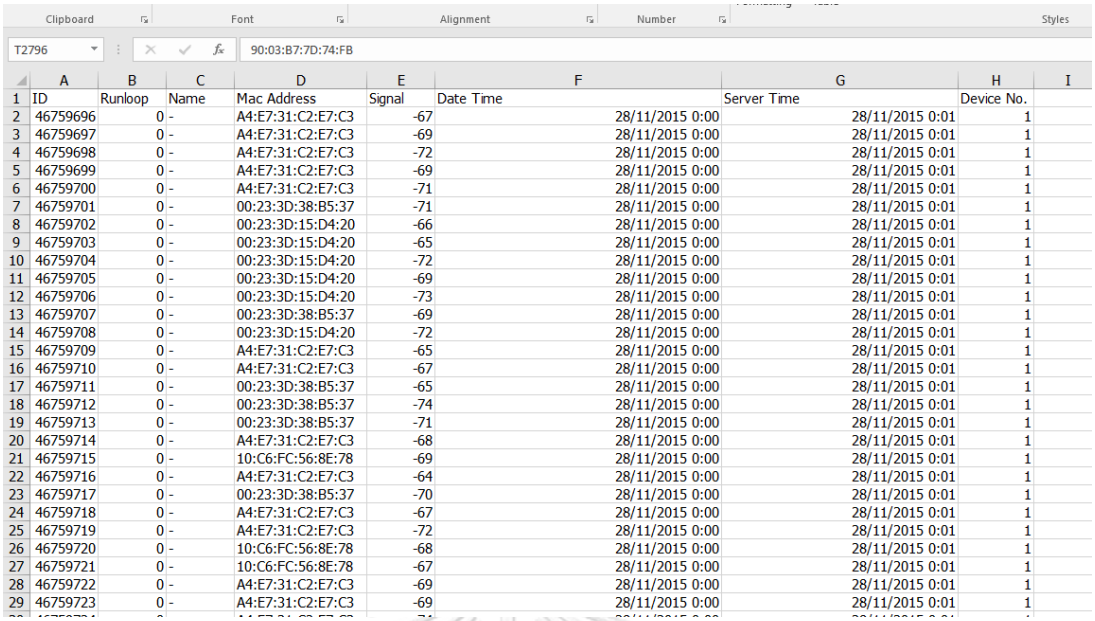
จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ในบริเวณกรุงเทพชั้นใน ซึ่งเป็นจุดที่มีการจราจรผ่านมาก เป็นแยกสำคัญ และพยายามติดตั้งอุปกรณ์ให้เป็นโครงข่ายในทุกๆแยกเท่าที่ทำได้ เพื่อที่จะได้สามารถทดสอบการติดตามการจราจรได้ โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด 40 จุด บน 40 ทางแยกจราจร แต่เนื่องจากอุปกรณ์จำเป็นจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าตลอดเวลา จึงมีข้อจำกัดในการติดตั้งคือ จะสามารถติดตั้งได้เฉพาะในแยกที่มีป้อมจราจรเท่านั้น

สำหรับระยะเวลาในการเก็บข้อมูล จะเก็บข้อมูลเป็นเวลา 2 วัน คือวันที่ 4 และ 5 กุมภาพันธ์ 2559 จำนวน 2 วัน โดยเก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.3 ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ

รูปแบบของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธจะประกอบด้วยเลข MAC Address ของอุปกรณ์ที่ตรวจจับได้ ความแรงของสัญญาณ เวลาที่ตรวจเจออุปกรณ์ เวลาที่ส่งข้อมูลกลับไปที่ เซิร์ฟเวอร์ และหมายเลขเครื่องของอุปกรณ์ตรวจจับ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้จะส่งผ่านระบบเครือข่ายมือถือกลับมาเก็บที่เซิร์ฟเวอร์ดังรูปที่ 3.4



Clipboard | Font | Alignment | Number | Styles

T2796 | 90:03:B7:7D:74:FB

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ID	Runloop	Name	Mac Address	Signal	Date Time	Server Time	Device No.	
2	46759696	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-67	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
3	46759697	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-69	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
4	46759698	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-72	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
5	46759699	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-69	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
6	46759700	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-71	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
7	46759701	0	-	00:23:3D:38:B5:37	-71	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
8	46759702	0	-	00:23:3D:15:D4:20	-66	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
9	46759703	0	-	00:23:3D:15:D4:20	-65	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
10	46759704	0	-	00:23:3D:15:D4:20	-72	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
11	46759705	0	-	00:23:3D:15:D4:20	-69	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
12	46759706	0	-	00:23:3D:15:D4:20	-73	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
13	46759707	0	-	00:23:3D:38:B5:37	-69	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
14	46759708	0	-	00:23:3D:15:D4:20	-72	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
15	46759709	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-65	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
16	46759710	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-67	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
17	46759711	0	-	00:23:3D:38:B5:37	-65	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
18	46759712	0	-	00:23:3D:38:B5:37	-74	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
19	46759713	0	-	00:23:3D:38:B5:37	-71	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
20	46759714	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-68	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
21	46759715	0	-	10:C6:FC:56:8E:78	-69	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
22	46759716	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-64	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
23	46759717	0	-	00:23:3D:38:B5:37	-70	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
24	46759718	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-67	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
25	46759719	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-72	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
26	46759720	0	-	10:C6:FC:56:8E:78	-68	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
27	46759721	0	-	10:C6:FC:56:8E:78	-67	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
28	46759722	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-69	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	
29	46759723	0	-	A4:E7:31:C2:E7:C3	-69	28/11/2015 0:00	28/11/2015 0:01	1	

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลจากอุปกรณ์บลูทูธ

3.3 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

ในการเก็บข้อมูลสิ่งที่ต้องทำคือนำอุปกรณ์ไปติดตั้งตามป้อมจราจรตามจุดต่างๆที่กำหนดไว้ โดยลักษณะการวางอุปกรณ์จะพยายามวางให้ใกล้กับแยกจราจรมากที่สุด เพื่อให้ระยะสัญญาณครอบคลุม ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์จะเป็นดังรูปที่ 3.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก) การวางอุปกรณ์ภายในป้อมตำรวจ

ข) ลักษณะของบริเวณทางแยกที่ติดตั้ง

ค) จุดติดตั้งบนแผนที่

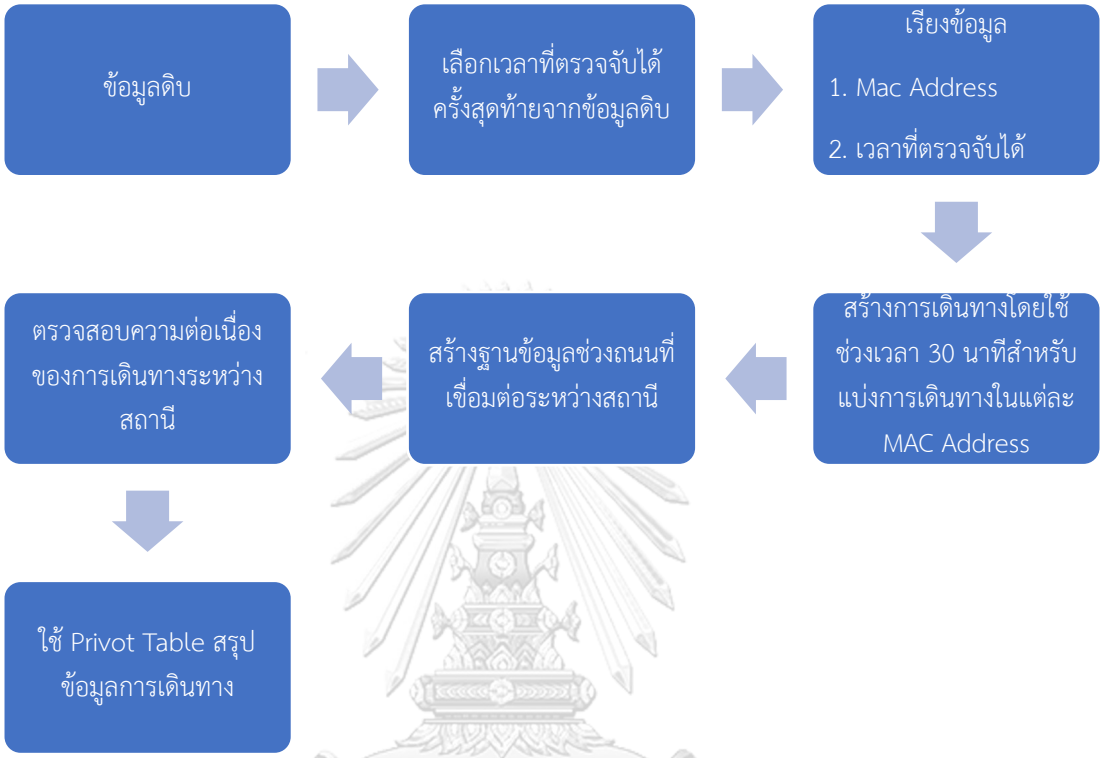
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ ณ ป้อมตำรวจบริเวณแยกอังรีดูนังต์

3.4 การจัดการข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการจัดการข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเพื่อแปลงข้อมูลดิบจากอุปกรณ์ออกมาเป็นข้อมูลการเดินทาง โดยจะแสดงวิธีการที่ใช้ในการสร้างการเดินทาง รวมถึงวิธีการตรวจสอบความต่อเนื่องของการเดินทาง โดยจากรูปข้อมูลเบื้องต้นในรูปที่ 3.4 ทางผู้วิจัยเลือกข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกเพียง ข้อมูล MAC Address หมายเลขสถานี และวันเวลาที่ถูกบันทึก

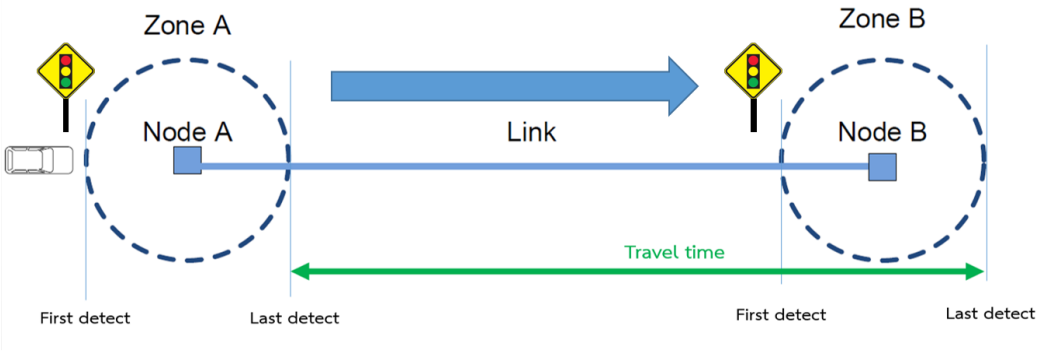
3.4.1 การเลือกใช้ข้อมูลและสร้างการเดินทางจากข้อมูล

ในการสร้างข้อมูลการจะมีขั้นตอนในการจัดการข้อมูลดิบที่ได้จากอุปกรณ์จนสามารถสร้างเป็นข้อมูลการเดินทางได้ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าว สามารถสรุปได้ดังที่แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการสร้างการเดินทางจากข้อมูลบลูทูธ

โดยในขั้นแรกเมื่อดึงข้อมูลดิบมาจะพบว่าในแต่ละจุด สามารถตรวจจับเวลาของยานพาหนะที่ผ่านได้หลายค่า ซึ่งขึ้นกับความเร็วและระยะเวลาที่ยานพาหนะอยู่ในรัศมีของการตรวจจับ ดังนั้นในการจะใช้ข้อมูล จะต้องมีการเลือกใช้ชุดของข้อมูล โดยในการศึกษานี้ทางผู้ศึกษาเลือกใช้ เวลาค่าสุดท้าย (Last detect) ที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธบันทึกไว้ได้มาพิจารณา



รูปที่ 3.7 การหาเวลาเดินทางโดยใช้ เวลาค่าสุดท้าย

ที่มา: (Yinhai Wang, Yegor Malinovskiy, Yao-Jan Wu, & Un Kun Lee, 2011)

โดยสาเหตุที่เลือกใช้ เวลาค่าสุดท้าย (Last detect) เนื่องมาจากรัศมีการตรวจจับของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเป็นลักษณะกระจายออกรอบตัวอุปกรณ์ ซึ่งในกรณีที่ยานพาหนะยังไม่เข้ามาในช่วงถนนที่เราพิจารณาแต่ติดสัญญาณไฟอยู่ในช่วงถนนก่อนหน้า หากใช้เวลาสุดท้ายพิจารณา จะได้เวลาที่ยานพาหนะผ่านช่วงถนนที่ต้องการ จากรูปที่ 3.7 จะพบว่าเวลาสุดท้ายที่สถานี A (Node A) ยานพาหนะได้เข้ามาในช่วงถนนแล้ว และที่ตำแหน่ง B ยานพาหนะออกจากช่วงถนนถึงแม้ว่าจะติดสัญญาณไฟที่จุด B ก็ตาม ก็นับว่าเป็นเวลาที่ยานพาหนะใช้อยู่บนช่วงถนน ทิศทางจาก A ไป B และ การคำนวณวิธีนี้จะรวมความล่าช้าที่เกิดขึ้น ณ ทางแยก และตรงกันทุกค่าการคำนวณ

ขั้นตอนต่อมาเมื่อสามารถเลือกข้อมูลที่จะใช้ได้แล้ว จะนำมาเรียงข้อมูลตามเลข MAC Address และเรียงลำดับข้อมูลในเลข MAC Address เดียวกันตามเวลาที่พบ จะได้ข้อมูลออกมาดังรูปที่ 3.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

	A	B	C	D	E	F
1	Order	mac_address	datetime	station		
2	1	0:00:00:00:00:01	11:47:40	38		
3	2	0:00:00:00:00:01	12:05:20	1		
4	3	0:00:00:00:00:01	12:10:33	21		
5	4	0:00:00:00:00:01	17:16:04	22		
6	5	0:00:00:00:00:01	17:16:25	50		
7	6	0:00:00:00:00:01	20:11:22	28		
8	7	0:00:00:00:00:01	20:13:19	43		
9	8	0:00:00:00:00:01	20:26:25	32		
10	9	0:00:00:00:00:14	20:35:37	19		
11	10	0:00:00:00:00:14	20:43:07	28		
12	11	0:00:00:00:00:14	20:56:55	24		
13	12	0:00:00:00:00:EB	15:39:09	34		
14	13	0:00:00:00:00:EB	15:50:15	18		
15	14	0:00:00:00:01:0B	6:42:02	38		
16	15	0:00:00:00:01:0B	8:32:43	50		
17	16	0:00:00:00:01:0B	8:38:43	21		
18	17	0:00:00:00:01:0B	8:55:40	49		

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างข้อมูลที่เรียงตามเลข MAC Address

หลังจากได้ข้อมูลดังรูปที่ 3.8 จะเริ่มกระบวนการสร้างการเดินทางจากข้อมูล โดยใช้เงื่อนไขดังนี้

1. เช็คคอลัมน์ B ว่าเป็นเลข MAC Address เดียวกันหรือไม่
2. ตรวจสอบความแตกต่างของเวลาของข้อมูลชุดที่อยู่ติดกันว่าเกิน 30 นาทีหรือไม่

ซึ่งจากเงื่อนไขข้างต้น ถ้าข้อมูลที่ผ่านทั้ง 2 เงื่อนไขนี้จะได้รับเลข no.trip เดียวกัน โดยในการศึกษานี้ได้นิยาม no.trip เป็นเลขที่ใช้เพื่อระบุว่าข้อมูลชุดดังกล่าว เป็นข้อมูลจากการเดินทางในครั้งเดียวกัน ซึ่ง no.trip จะแสดงในคอลัมน์ E

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Order	mac_address	datetime	station	no.trip	no.trip/MAC	no.sta/Trip	
2	1	0:00:00:00:00:01	11:47:40	38	1	1	1	
3	2	0:00:00:00:00:01	12:05:20	1	1	1	2	
4	3	0:00:00:00:00:01	12:10:33	21	1	1	3	
5	4	0:00:00:00:00:01	17:16:04	22	2	2	1	
6	5	0:00:00:00:00:01	17:16:25	50	2	2	2	
7	6	0:00:00:00:00:01	20:11:22	28	3	3	1	
8	7	0:00:00:00:00:01	20:13:19	43	3	3	2	
9	8	0:00:00:00:00:01	20:26:25	32	3	3	3	
10	9	0:00:00:00:00:14	20:35:37	19	4	1	1	
11	10	0:00:00:00:00:14	20:43:07	28	4	1	2	
12	11	0:00:00:00:00:14	20:56:55	24	4	1	3	
13	12	0:00:00:00:00:EB	15:39:09	34	5	1	1	
14	13	0:00:00:00:00:EB	15:50:15	18	5	1	2	
15	14	0:00:00:00:01:0B	6:42:02	38	6	1	1	
16	15	0:00:00:00:01:0B	8:32:43	50	7	2	1	
17	16	0:00:00:00:01:0B	8:38:43	21	7	2	2	
18	17	0:00:00:00:01:0B	8:55:40	49	7	2	3	
19	18	0:00:00:00:01:0B	8:57:32	35	7	2	4	
20	19	0:00:00:00:01:0B	9:14:09	12	7	2	5	
21	20	0:00:00:00:01:0B	10:36:18	42	8	3	1	
22	21	0:00:00:00:01:0B	10:42:32	35	8	3	2	
23	22	0:00:00:00:01:0B	10:44:54	49	8	3	3	
24	23	0:00:00:00:01:0B	10:54:05	12	8	3	4	
25	24	0:00:00:00:01:0B	13:17:20	50	9	4	1	

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างข้อมูลที่ผ่านกระบวนการสร้างการเดินทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนต่อมาเป็นการหาจำนวนการเดินทางต่อเลข MAC Address และ จำนวนสถานีที่ผ่านต่อการเดินทาง โดยจำนวนการเดินทางต่อ เลข MAC Address หาโดยเช็คว่าแต่ละ MAC Address มีเลข no.trip ทั้งหมดเท่ากี่เลข

ส่วนการหาจำนวนสถานีที่การเดินทางผ่าน จะใช้การนับสถานีที่ตรวจพบของแต่ละ no.trip ซึ่งเมื่อเสร็จจะได้ข้อมูลออกมาคือคอลัมน์ F และ G ดังที่แสดงในรูปที่ 3.9

หลังจากสร้าง no.trip ขึ้นมาได้ ในขั้นตอนต่อมาจะหา จุดเริ่มต้น และ จุดสิ้นสุดการเดินทาง โดยสร้างคอลัมน์ H เพื่อใส่จุดเริ่มต้นการเดินทางของ no.trip นั้น และคอลัมน์ I ใช้เพื่อเก็บค่าจุดสิ้นสุดการเดินทางของ no.trip นั้น และ คอลัมน์ J เพื่อเก็บสถานีที่ผ่านระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทาง โดยมีหลักการทำงานคือ

คอลัมน์ H ที่บอก origin หรือจุดเริ่มต้นการเดินทาง จะใช้คำสั่ง IF E2<>E1, D2,” “ คือให้ตรวจสอบคอลัมน์ E ของแถวที่อยู่ข้างบนเพื่อตรวจสอบ no.trip ว่าเป็นเลขเดียวกันหรือไม่ ถ้าไม่ใช่

จะดึงเลข Station หรือ สถานี จากคอลัมน์ D มาใส่เป็นจุด origin หรือจุดต้นทาง ถ้าเป็น no.trip เดียวกันจะว่างไว้

คอลัมน์ I ที่บอก Destination หรือจุดปลายทาง IF E2<>E3, D2,” “ คือให้ตรวจสอบคอลัมน์ E ของแถวที่อยู่ข้างล่างเพื่อตรวจสอบ no.trip ว่าเป็นเลขเดียวกันหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ จะดึงเลขสถานีจากคอลัมน์ D มาใส่เป็นจุด Destination ถ้าเป็น no.trip เดียวกันจะว่างไว้

คอลัมน์ J แสดงข้อมูลของการเดินทางนั้นๆ ว่ามีสถานีใดบ้างที่อยู่ระหว่าง จุดต้นทาง และจุดปลายทาง ของการเดินทาง โดยกำหนดให้ดูคอลัมน์ I และ H ถ้าไม่มีข้อมูลให้ดึงข้อมูลจากคอลัมน์ D มาแสดงผล ซึ่งจะได้ออกมาดังรูป 3.10

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	datetime	station	no.trip	no.trip/MAC	no.sta/Trip	First	Last	Mid	Origin	Destination	Mid
2	11:47:40	38	1	1	1	38			38	21	38
3	12:05:20	1	1	1	2			1	38	21	1
4	12:10:33	21	1	1	3		21		38	21	21
5	17:16:04	22	2	2	1	22			22	50	22
6	17:16:25	50	2	2	2		50		22	50	50
7	20:11:22	28	3	3	1	28			28	32	28
8	20:13:19	43	3	3	2			43	28	32	43
9	20:26:25	32	3	3	3		32		28	32	32
10	20:35:37	19	4	1	1	19			19	24	19
11	20:43:07	28	4	1	2			28	19	24	28
12	20:56:55	24	4	1	3		24		19	24	24
13	15:39:09	34	5	1	1	34			34	18	34
14	15:50:15	18	5	1	2		18		34	18	18
15	6:42:02	38	6	1	1	38	38		38	38	38
16	8:32:43	50	7	2	1	50			50	12	50
17	8:38:43	21	7	2	2			21	50	12	21
18	8:55:40	49	7	2	3			49	50	12	49
19	8:57:32	35	7	2	4			35	50	12	35
20	9:14:09	12	7	2	5		12		50	12	12
21	10:36:18	42	8	3	1	42			42	12	42
22	10:42:32	35	8	3	2			35	42	12	35
23	10:44:54	49	8	3	3			49	42	12	49
24	10:54:05	12	8	3	4		12		42	12	12

4 feb | 5 feb | 5 feb pivot | 4 feb sta | 5 feb sta | 4 feb result | 5 feb result | 4 feb trip | 5feb trip | 4 feb con | 5 feb con | จำนวนการเดินทาง ...

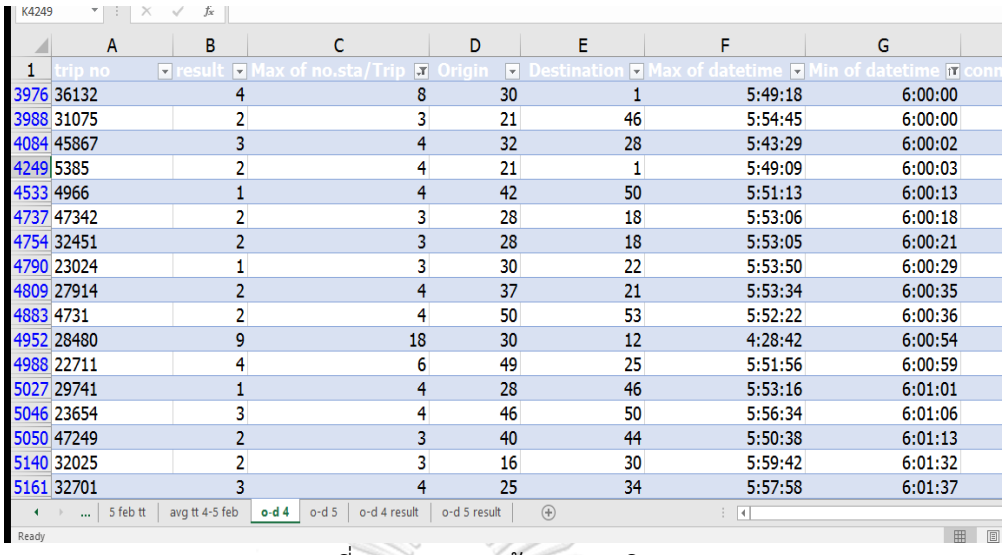
Ready

รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการหา จุดต้นทาง – จุดปลายทาง ของการเดินทาง

ขั้นตอนต่อมาทำการตรวจสอบในแต่ละการเดินทางในแต่ละช่วงถนนมีต่อเนื่องหรือไม่ โดยทำการตรวจสอบสถานีของแถวปัจจุบัน กับสถานีของแถวที่อยู่ถัดลงไป โดยมีเงื่อนไขคือ

1. แถวที่อยู่ถัดลงไปต้องมี no.trip เดียวกัน
2. สถานีที่อยู่ถัดไปต้องมีลิงค์เชื่อมต่อกับสถานีปัจจุบัน

ถ้าหากครบสองเงื่อนไขนี้ จะกำหนดให้แสดงผลออกมาเป็น 1 ถ้าไม่ครบจะแสดงค่าเป็น 0 ซึ่งในการเดินทางที่ต่อเนื่อง ผลรวมของการตรวจสอบจะเท่ากับ จำนวนสถานีที่การเดินทางผ่าน - 1



	A	B	C	D	E	F	G
1	trip no	result	Max of no.sta/Trip	Origin	Destination	Max of datetime	Min of datetime
3976	36132	4	8	30	1	5:49:18	6:00:00
3988	31075	2	3	21	46	5:54:45	6:00:00
4084	45867	3	4	32	28	5:43:29	6:00:02
4249	5385	2	4	21	1	5:49:09	6:00:03
4533	4966	1	4	42	50	5:51:13	6:00:13
4737	47342	2	3	28	18	5:53:06	6:00:18
4754	32451	2	3	28	18	5:53:05	6:00:21
4790	23024	1	3	30	22	5:53:50	6:00:29
4809	27914	2	4	37	21	5:53:34	6:00:35
4883	4731	2	4	50	53	5:52:22	6:00:36
4952	28480	9	18	30	12	4:28:42	6:00:54
4988	22711	4	6	49	25	5:51:56	6:00:59
5027	29741	1	4	28	46	5:53:16	6:01:01
5046	23654	3	4	46	50	5:56:34	6:01:06
5050	47249	2	3	40	44	5:50:38	6:01:13
5140	32025	2	3	16	30	5:59:42	6:01:32
5161	32701	3	4	25	34	5:57:58	6:01:37

รูปที่ 3.11 สรุปผลข้อมูลการเดินทาง

ต่อมาก็จะทำการใช้ตาราง pivot table เพื่อสรุปข้อมูลข้างต้นออกมาได้ดังรูปที่ โดยจากตารางจะทำการสรุปว่าแต่ละ no.trip มีจุดต้นทาง จุดปลายทางอยู่ที่จุดไหน จำนวนสถานีที่ผ่าน เวลาเริ่มและเวลาสิ้นสุดของการเดินทาง ความต่อเนื่องของการเดินทาง ซึ่งเราสามารถใช้เลข no.trip จากตารางนี้เพื่อไปค้นหาข้อมูลที่ต้องการจากฐานข้อมูลอีกที ซึ่งได้แสดงตารางสรุปผลดังรูปที่ 3.11

3.4.2 การสร้างฐานข้อมูลเวลาในการเดินทาง

ในการประมาณเส้นทางที่ใช้ระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุด จำเป็นจะต้องมีการสร้างฐานข้อมูลเวลาในการเดินทางของโครงข่าย โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. กำหนดช่วงถนนที่เชื่อมต่อระหว่างสถานีในโครงข่ายทั้งหมดเพื่อที่จะหาเวลาเดินทางในโครงข่าย
2. กรองข้อมูลเวลาเดินทางในแต่ละช่วงถนนโดยในขั้นที่ 1 จะตัดข้อมูลเวลาเดินทางในแต่ละช่วงถนนที่มีค่าเกินกว่า 30 นาทีออก
3. แบ่งช่วงเวลาของข้อมูลระยะเวลาเดินทางเป็นทุก 15 นาที ซึ่งทำให้ใน 1 วันมีข้อมูลทั้งหมด 96 ช่วง
4. นำข้อมูลในแต่ละช่วงหาค่า Median และ Median Absolute Deviation (MAD) เพื่อใช้ในการกำหนดขอบเขตบน (Upper bound) และขอบเขตล่าง (Lower bound) ในแต่ละช่วงของข้อมูลดังสมการ 3.1 และ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$Upper\ bound = median + MAD \quad (3.1)$$

$$Lower\ bound = median - MAD \quad (3.2)$$

โดยที่ median = ค่ามัธยฐานของเวลาในการเดินทาง (ความเร็ว) ในช่วงเวลา 15 นาที

MAD = ค่า Median Absolute Deviation

5. ในขั้นตอนต่อมาจะนำข้อมูลที่ผ่านการกรอง โดยวิธี Median Absolute Deviation (MAD) หาค่าเฉลี่ยระยะเวลาเดินทางในช่วงนั้นๆ

3.5 การประมาณเส้นทางด้วยวิธีเวลาเดินทางสั้นที่สุด

ในการประมาณเส้นทางและเปรียบเทียบเส้นทางที่ประมาณกับเส้นทางที่เกิดขึ้นจริงจะใช้เวลาเดินทางที่เกิดจากการประมาณ มาเปรียบเทียบกับเวลาเดินทางจริงของการเดินทางนั้นๆ ซึ่งในการศึกษานี้จะเลือกตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการประมาณโดย มีข้อกำหนดดังนี้

- เป็นเส้นทางที่ไม่มีสะพานข้ามแยก
- มีเส้นทางที่เป็นทางเลือกอย่างน้อย 2 เส้นทาง
- มีข้อมูลเวลาเดินทางในช่วงที่จะประมาณ ในทุกเส้นทางทางเลือก

ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบการประมาณเส้นทางจะใช้ข้อมูลดังนี้

- ข้อมูลการเดินทางที่เกิดขึ้นจริง และ เวลาเดินทางจริง ของการเดินทางในกรณีศึกษา
- ข้อมูลเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางที่ศึกษาในช่วงเวลาเดียวกัน
- ข้อมูลเวลาเดินทางจริงและเวลาเดินทางเฉลี่ย จะใช้ข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกันในการเปรียบเทียบ โดยแบ่งข้อมูลเวลาเดินทางออกเป็นช่วง โดยกำหนดให้แต่ละช่วงเท่ากับ 15 นาที
- จะใช้การประมานโดยเลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุดเพื่อเลือกมาเปรียบเทียบกับเส้นทางที่เกิดขึ้นจริง

การเปรียบเทียบความถูกต้อง จะเปรียบเทียบใน 3 ประเด็น

- เส้นทางที่ประมานโดยวิธีเวลาเดินทางสั้นที่สุดตรงกับเส้นทางที่เกิดขึ้นจริงหรือไม่
- เวลาที่ประมาณขึ้นมาจากค่าเฉลี่ยเวลาเดินทาง มีความแตกต่างกับเวลาที่เกิดขึ้นจริงอย่างไรบ้างในช่วงเวลาเดียวกัน
- เปรียบเทียบเวลาเดินทางเฉลี่ยระหว่างสองเส้นทางเลือกในแต่ละช่วงเวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.6 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษางานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้อง จากนั้นแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์ภาพรวมของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธรวมถึงวิธีการจัดการกับข้อมูล และการประมาณเส้นทางของข้อมูลที่หายไป ซึ่งข้อมูลที่จะใช้ใน 2 ส่วนนี้ได้การทดลองติดตั้งและใช้งานอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ในเขตกรุงเทพ เมื่อวันที่ 4 และ 5 กุมภาพันธ์ 2559

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธนั้น เริ่มจากการนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากอุปกรณ์ ซึ่งมีเพียง MAC Address เวลาที่ตรวจพบ และจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ มาสร้างข้อมูลการเดินทาง ซึ่งในที่นี้ทางผู้วิจัยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อสร้างข้อมูลการเดินทางจากข้อมูลบลูทูธ โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการ เลือกข้อมูล นำมาเรียงลำดับของข้อมูล สร้างการเดินทางโดยใช้เงื่อนไข แต่ละข้อมูลการเดินทางต้องมีเลข MAC Address เดียวกัน และ ระยะเวลาเดินทางระหว่างจุดต้องไม่เกิน 30 นาที เมื่อได้การเดินทางจากข้อมูลบลูทูธ จะสร้างโครงข่ายการเชื่อมต่อของแต่ละจุด รวมถึงระยะทางระหว่างสถานี เพื่อตรวจสอบความต่อเนื่องของการเดินทาง โดยจะประมาณการหายของข้อมูลจาก การเดินทางที่ไม่ต่อเนื่องโดยใช้วิธี ระยะทางสั้นที่สุด (shortest paths) เพื่อประมาณจุดที่น่าจะเกิดการหายในการเดินทางนั้นๆ

การประมาณเส้นทางของข้อมูล จะนำข้อมูลการเดินทางที่มีจุดต้นทางและปลายทางเหมือนกันมาเป็นข้อมูลตัวอย่าง และจะใช้ข้อมูลเวลาเดินทางเฉลี่ยในช่วงเวลาที่เกิดการเดินทาง ที่ทำการกรอง Outliers ออกโดยใช้วิธีหาค่ากลางของค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อน Median Absolute Deviation (MAD) เพื่อหาเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางนั้นๆ ในช่วงที่เกิดการเดินทาง และเปรียบเทียบ เวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงกับเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางนั้นๆในช่วงเวลาเดียวกันว่ามีความแตกต่างกันขนาดไหน และการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มตัวอย่างมีการเลือกใช้เส้นทางที่ใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุดหรือไม่

บทที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 ส่วน โดยในส่วนแรกจะอธิบายถึง ภาพรวมของข้อมูลที่ได้ ซึ่งจะประกอบไปด้วย จำนวนข้อมูล ลักษณะหรือรูปแบบของข้อมูล อาทิ จุดเริ่มต้น สิ้นสุดการเดินทาง ส่วนที่ 2 อธิบายถึง การติดตามการเดินทางและผลลัพธ์ที่ได้ ส่วนที่ 3 อธิบายถึงการหายของข้อมูล ลักษณะ หรือจุดที่เกิดการหาย และ ส่วนสุดท้ายจะอธิบายถึง วิธีการที่จะประมาณเส้นทางในกรณีที่เกิดการหายของข้อมูล รวมถึง เปรียบเทียบความถูกต้องของเส้นทางที่ประมาณขึ้นมา

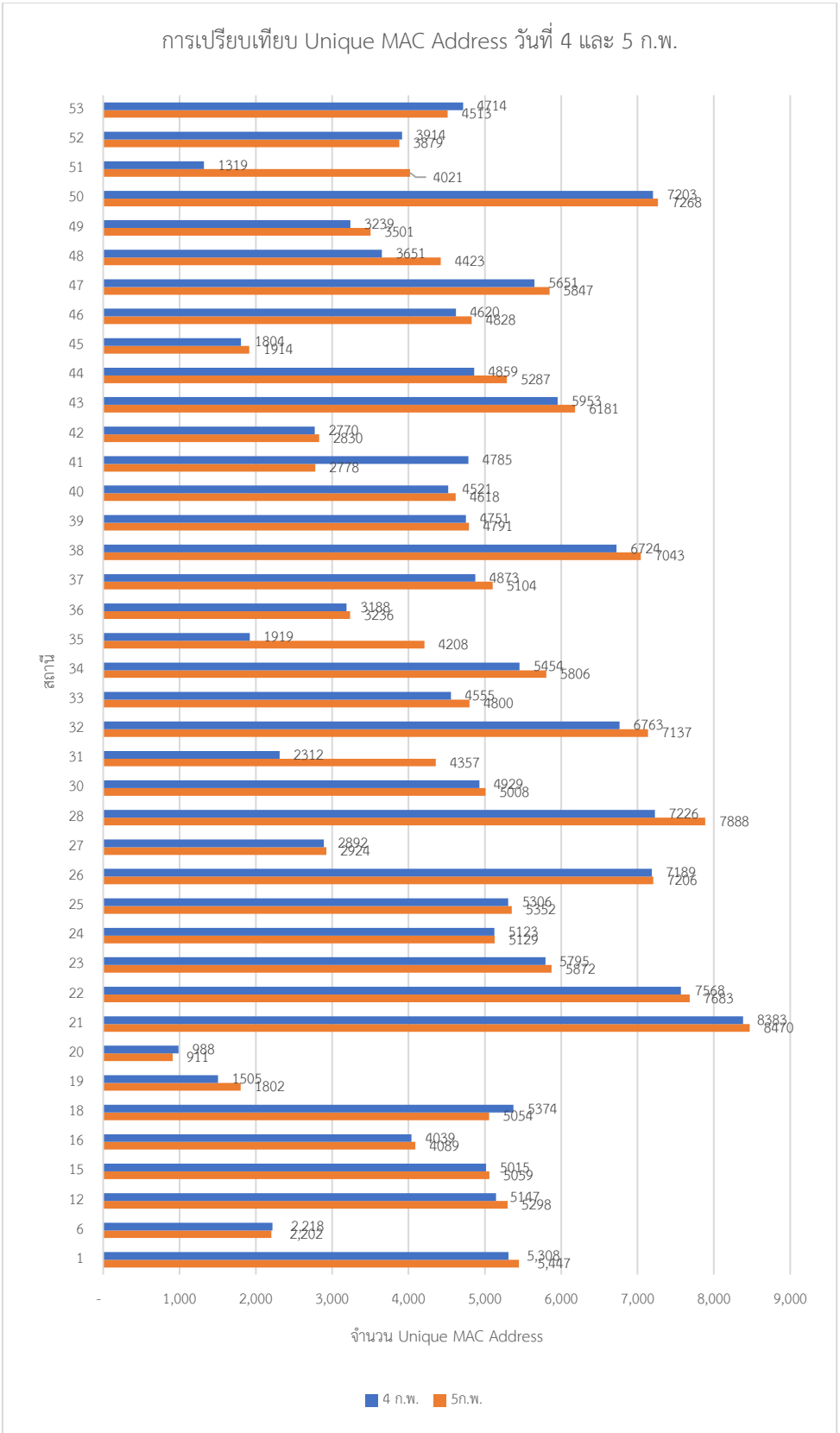
4.1 ลักษณะข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ

ภาพรวมของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธในลักษณะต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

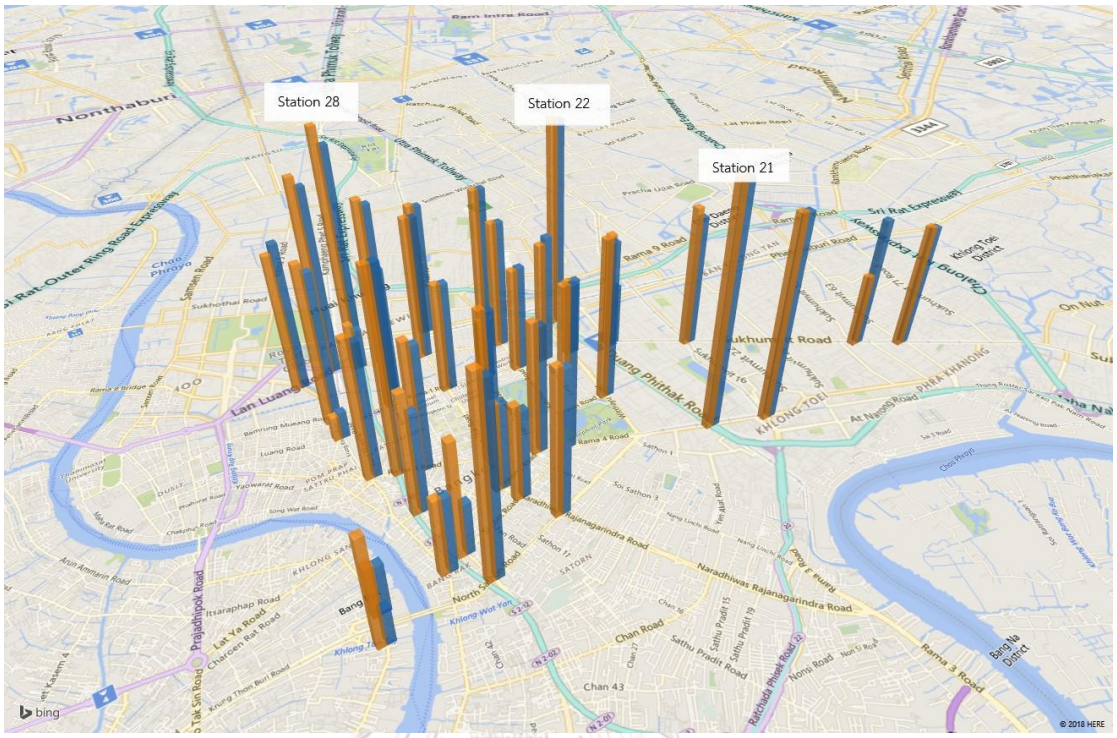
4.1.1 จำนวนของข้อมูล Unique MAC Address ในแต่ละสถานี

อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธในแต่ละสถานี ตรวจจับและบันทึกข้อมูล MAC Address ที่ไม่ซ้ำกัน (Unique MAC Address) ซึ่งแสดงถึงจำนวนของอุปกรณ์ที่เข้ามาในรัศมีการตรวจจับสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 โดยภาพรวมของข้อมูลในวันที่ 4 และ 5 กุมภาพันธ์ 2559 ก่อนจะมีการกรองข้อมูล มีจำนวน 183,547 และ 193,764 ข้อมูลต่อวัน ตามลำดับ โดย สถานีที่มีข้อมูลมากที่สุด สามอันดับแรกคือ สถานีที่ 21, 22 และ 28 ซึ่งเมื่อตรวจดูตำแหน่งของทั้งสามจุดบนแผนที่จะพบว่าเป็นบริเวณจุดเข้าออกพื้นที่ศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.1 จำนวน Unique MAC Address ในแต่ละสถานี



รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงจำนวน Unique MAC Address ในแต่ละสถานี

หมายเหตุ: ความสูงแสดงจำนวนที่บันทึกได้ สีฟ้าคือข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. สีส้มคือข้อมูลวันที่ 5 ก.พ.

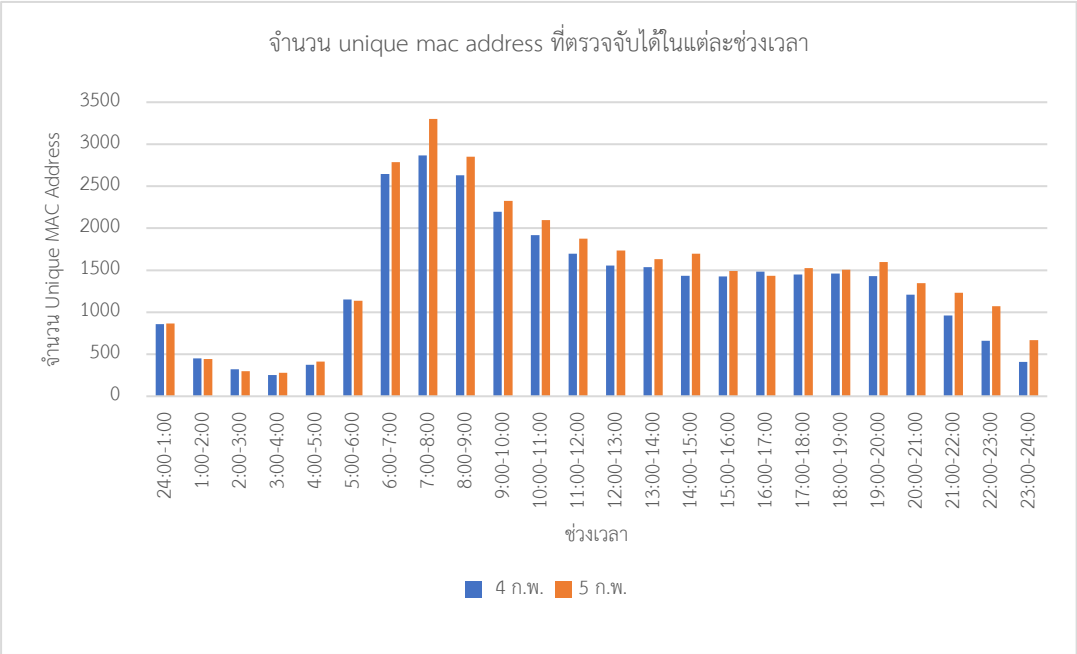
จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาภาพรวมจำนวน Unique MAC Address ที่ได้ในแต่ละสถานี พบว่าในแต่ละสถานี มีจำนวน Unique MAC Address แตกต่างกัน จำนวน Unique MAC Address รวมสองวันอยู่ในช่วง 2,000 ถึง 16,500 ข้อมูลต่อวัน จำนวน Unique MAC Address น่าจะสะท้อนถึงปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านแต่ละสถานี (แยก)

สถานีส่วนใหญ่จะมีจำนวน Unique MAC Address ใกล้เคียงกันในสองวันสำรวจ โดยมีเพียง 4 สถานีเท่านั้นที่มีจำนวนข้อมูลสองวันแตกต่างกันอย่างมาก (51,41,35 และ 31) ซึ่งอาจเกิดจากข้อผิดพลาดของอุปกรณ์เช่น มีการถอดสายไฟ อุปกรณ์หยุดทำงาน

สำหรับจำนวนข้อมูลรวมที่ใกล้เคียงกันของสองวันแสดงถึงการบันทึกได้และเกิดข้อมูลภาคสนามทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 จำนวนของข้อมูล Unique MAC Address ในแต่ละช่วงเวลาของวัน

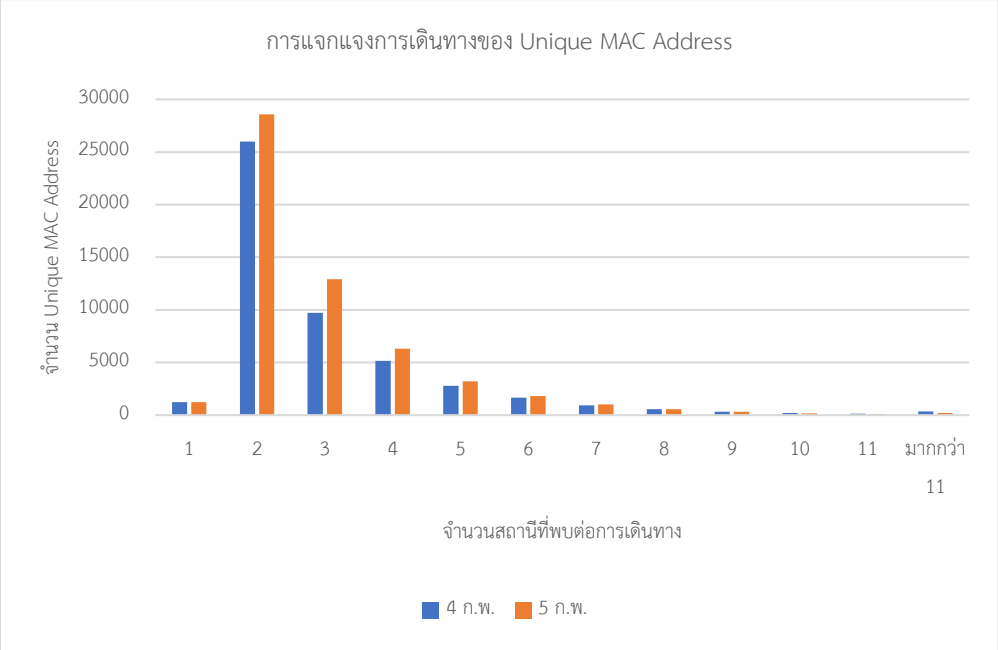


รูปที่ 4.3 จำนวน Unique MAC Address ในแต่ละช่วงเวลา

จากรูปที่ 4.3 จำนวน Unique MAC Address ที่ตรวจจับได้ บ่งบอกถึงจำนวนข้อมูลที่สามารถตรวจจับได้ภายในโครงข่าย (รวมทุกสถานี) ในแต่ละช่วงเวลา โดยพบว่าจำนวนข้อมูลที่ตรวจจับได้จะเพิ่มขึ้นในช่วง 5:00 – 8:00 มีค่าสูงสุดโดยประมาณอยู่ที่ 3000 ข้อมูลต่อชั่วโมงในเวลาช่วง 7:00 – 8:00 และค่อยๆ ลดลงจนคงที่ประมาณ 1500 ข้อมูล ต่อชั่วโมง ในช่วงเวลา 12:00 – 20:00 และลดลงในช่วงหลังเวลา 20:00 โดยมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 250 ข้อมูลต่อชั่วโมง ในช่วง 3:00 – 4:00 รูป 4.2 ได้แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของจำนวน Unique MAC Address ที่ตรวจจับได้ในแต่ละช่วงเวลามีจำนวนมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสะท้อนถึงจำนวนยานพาหนะบนท้องถนนที่มีมากในช่วงเวลากลางวัน และ ลดลงในช่วงกลางคืน

4.1.3 จำนวนสถานีที่พบต่อ 1 การเดินทาง

จำนวนสถานีที่พบต่อการเดินทางหมายถึงจำนวนสถานีที่สามารถตรวจพบเลข MAC Address เลขเดิม ภายในโครงข่ายที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ตัวอย่างเช่น 1 หมายถึงตรวจพบเลข Unique MAC Address นี้เพียง 1 สถานีบนโครงข่าย 2 หมายถึงสามารถตรวจพบ Unique MAC Address เลขนี้ได้บน 2 สถานีบนโครงข่าย เป็นต้น



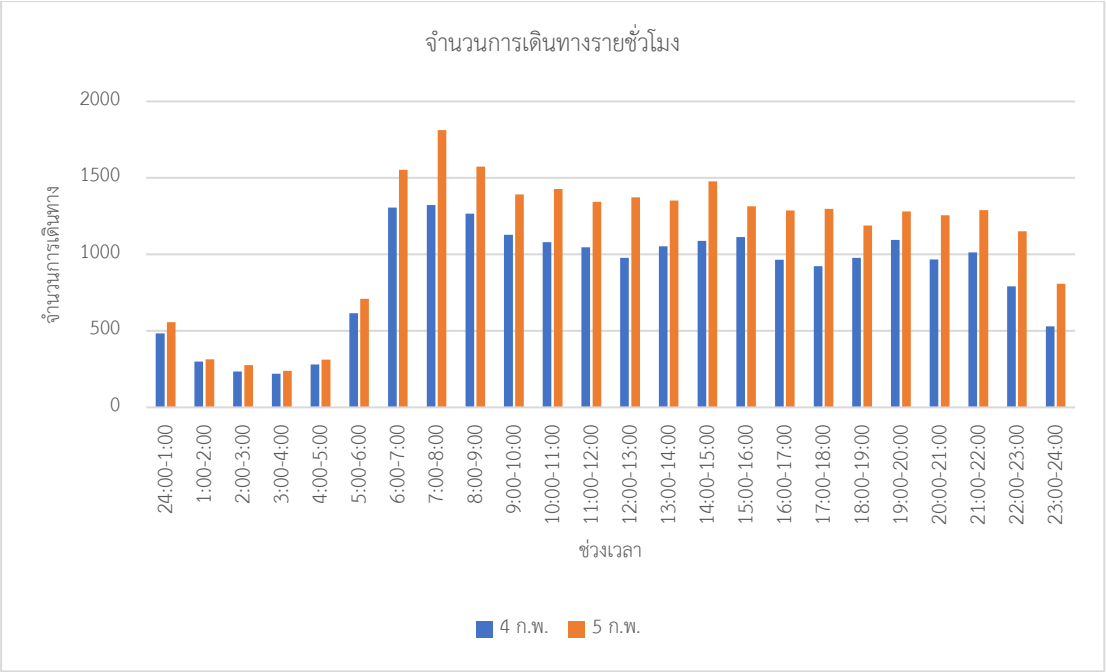
รูปที่ 4.4 การแจกแจงจำนวนสถานี ที่ Unique MAC Address ผ่าน

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงการติดตามเลข Unique MAC Address ที่พบในสถานีที่แตกต่างกันภายในโครงข่ายที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ซึ่งเป็นการติดตามในลักษณะของการ re-identification เหมือนกับการอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยจะพบว่าจำนวน Unique MAC Address ทั้งหมดภายในโครงข่ายสำหรับวันที่ 4 ก.พ. มีประมาณ 49,000 ข้อมูล และวันที่ 5 ก.พ. มีประมาณ 56,000 ข้อมูล และเมื่อนำมาแจกแจงตามจำนวนสถานีที่ตรวจพบ จะเห็นว่าร้อยละ 50 ของจำนวน MAC Address ภายในโครงข่ายจะถูกตรวจพบบน 2 สถานีภายในโครงข่าย และลดลงเหลือร้อยละ 20 และ 10 เมื่อถูกตรวจพบ 3 และ 4 สถานี ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.4 จำนวนการเดินทางรายชั่วโมง

การศึกษานี้ประมวลผลข้อมูลเพื่อวิเคราะห์การเดินทางที่เกิดขึ้น และพิจารณาเฉพาะข้อมูลการเดินทางที่มีการตรวจพบตั้งแต่ 3 สถานีขึ้นไปเท่านั้นในการวิเคราะห์ ซึ่งจะสามารถแสดงภาพรวมของการเกิดการเดินทางในช่วงเวลาต่างๆ ในโครงข่ายได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นรายชั่วโมง (พิจารณาการเดินทาง 3 สถานีขึ้นไป)

รูปที่ 4.5 แสดงถึงจำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นภายในโครงข่ายในช่วงเวลาต่างๆ ของวัน โดยพบว่าการเดินทางจะเริ่มเกิดขึ้นในช่วงเวลา 5:00-7:00 และเพิ่มจนถึงจุดสูงสุดในช่วงเวลา 7:00-8:00 โดยมีจำนวนการเดินทางเฉลี่ยที่ 1,500 การเดินทางต่อชั่วโมง หลังจากช่วงเวลาดังกล่าวจะลดลงมาคงที่อยู่ในช่วง 1,000 – 1,200 การเดินทางต่อชั่วโมง และเริ่มลดลงอีกครั้งในช่วงหลังเวลา 22:00 โดยช่วงที่มีการเดินทางน้อยที่สุดคือช่วง 3:00-4:00 มีการเดินทางเฉลี่ยที่ 200 การเดินทางต่อชั่วโมง

โดยสรุปจะพบว่า จำนวนข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาต่างๆ ของวัน จะพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลไม่ได้เท่ากันตลอดทั้งวัน โดยลักษณะการกระจายตัวของจำนวนข้อมูลจะเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า คงที่ในช่วงกลางวัน และลดลงในช่วงกลางคืน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของการเดินทางที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป

4.1.5 จุดต้นทาง – จุดปลายทาง ของการเดินทาง

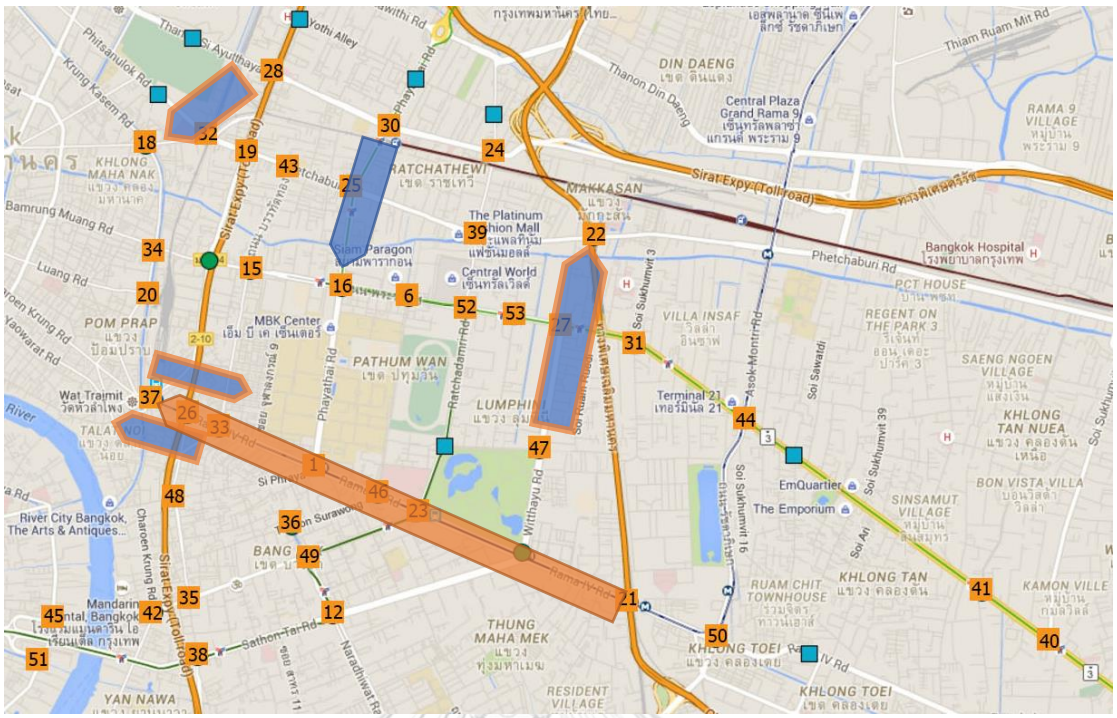
จากข้อมูล Unique MAC Address เมื่อประมวลผลเป็นการเดินทางแล้ว จะสามารถหาจุดต้นทาง – จุดปลายทางได้ โดยทราบจากจุดเริ่มต้น (สถานีเริ่มต้น) ของการเดินทางหนึ่ง และ จุดปลายทาง (สถานีสุดท้าย) จะเป็นตำแหน่งที่ตรวจพบ Unique MAC Address นั้นเป็นครั้งสุดท้าย (พิจารณาค่า threshold เงื่อนไขจุดสุดท้ายของการเดินทาง) จุดต้นทางและจุดปลายทางของการเดินทางที่เกิดขึ้น โดยในส่วนนี้จะยกตัวอย่าง จุดต้นทาง - ปลายทาง ที่มีจำนวนมากที่สุด 10 ลำดับ

แรก ซึ่งแบ่ง จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางเป็น ช่วงเวลาตลอดทั้งวัน ช่วงเร่งด่วนเช้า (7:00–9:00) ช่วงเร่งด่วนเย็น (16:00-19:00) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.1 จุดต้นทาง – จุดปลายทาง 10 อันดับแรกของการเดินทาง

ลำดับที่	4 ก.พ.		5 ก.พ.	
	จุดต้นทาง - จุดปลายทาง	จำนวนการเดินทาง (ครั้ง)	จุดต้นทาง - จุดปลายทาง	จำนวนการเดินทาง (ครั้ง)
1	33 - 37	411	33 - 37	340
2	28 - 18	243	28 - 18	276
3	37 - 33	237	21 - 37	231
4	47 - 22	217	37 - 33	229
5	30 - 16	205	47 - 22	220
6	21 - 46	174	30 - 16	176
7	1 - 37	166	21 - 46	174
8	21 - 37	159	46 - 21	156
9	15 - 18	149	1 - 37	153
10	30 - 22	129	48 - 38	140

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงจุดต้นทาง - จุดปลายทาง ของการเดินทางที่มีปริมาณมาก 5 อันดับแรก
หมายเหตุ : สีฟ้าแทนข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. สีส้มแทนข้อมูลวันที่ 5 ก.พ. และเส้นที่มีทั้ง 2 สี แสดงถึงข้อมูลที่เหมือนกันใน 2 วัน

เมื่อวิเคราะห์การเดินทางในช่วงเวลาตลอดทั้งวันของวันที่ 4 ก.พ. และ 5 ก.พ. จะสามารถหาจุดเจ้นทางและจุดปลายทางของข้อมูลการเดินทางจากกลุ่มตัวอย่างได้ดังข้อมูลในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะพบว่าการเดินทางที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่จะมีจุดต้นทางและจุดปลายทางอยู่ในแนวถนนพระราม 4 และลักษณะของการเดินทางจะเป็นการเดินทางที่จุดต้นทางและจุดปลายทางอยู่ห่างกันไม่มาก ยกเว้นการเดินทางจาก 21 ไป 37 ที่เป็นการเดินทางไปตามแนวถนนพระราม 4 และข้อมูลของทั้ง 2 วันมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.2 จำนวนการเดินทางแบ่งตาม จุดต้นทาง - จุดปลายทาง 10 อันดับแรกในช่วงเร่งด่วนเช้า 7:00-9:00

4 ก.พ.				5ก.พ.			
	จำนวนข้อมูล (ข้อมูล)				จำนวนข้อมูล (ข้อมูล)		
จุดต้นทาง - จุดปลายทาง	7:00-8:00	8:00-9:00	รวมในช่วงเร่งด่วน	จุดต้นทาง - จุดปลายทาง	7:00-8:00	8:00-9:00	รวมในช่วงเร่งด่วน
33 - 37	17	28	45	28 - 18	20	19	39
28 - 18	15	21	36	26 - 1	21	17	38
22 - 52	17	12	29	33 - 37	20	14	34
26 - 1	12	16	28	37 - 33	12	18	30
30 - 16	11	16	27	30 - 16	14	15	29
37 - 33	20	6	26	22 - 52	15	14	29
43 - 24	16	8	24	30 - 22	11	14	25
28 - 15	12	11	23	21 - 46	12	12	24
21 - 46	11	11	22	43 - 24	17	7	24
26 - 46	11	10	21	50 - 12	13	11	24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.3 จำนวนการเดินทางแบ่งตาม จุดต้นทาง - จุดปลายทาง 10 อันดับแรกในช่วงเร่งด่วนเย็น 16:00-19:00

4 ก.พ.					5 ก.พ.				
	จำนวนข้อมูล (ข้อมูล)					จำนวนข้อมูล (ข้อมูล)			
จุดต้นทาง - จุดปลายทาง	16:00 - 17:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	รวมช่วงเร่งด่วน	จุดต้นทาง - จุดปลายทาง	16:00 - 17:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	รวมช่วงเร่งด่วน
33 - 37	34	35	44	113	33 - 37	31	44	22	97
37 - 33	24	34	15	73	47 - 22	16	27	18	61
47 - 22	12	25	18	55	37 - 33	24	8	28	60
30 - 16	16	16	12	44	1 - 37	9	23	14	46
1 - 37	16	9	14	39	28 - 18	15	18	10	43
15 - 18	7	8	18	33	46 - 21	11	18	12	41
28 - 18	14	7	9	30	15 - 18	12	9	16	37
25 - 32	6	16	6	28	21 - 37	9	14	10	33
21 - 46	10	12	5	27	34 - 22	10	13	7	30
25 - 18	9	7	10	26	25 - 32	4	14	10	28

ตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงถึงจำนวนข้อมูลการเดินทางในแต่ละ จุดต้นทาง – จุดปลายทาง ของการเดินทางที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็น ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าจุดต้นทาง - ปลายทาง ในช่วงเร่งด่วนเช้าและเย็น มีความแตกต่างกัน ซึ่งน่าจะมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการเดินทาง ในช่วงเช้าและเย็นที่มีความแตกต่างกัน

โดยสรุปจะพบว่าลักษณะของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ มีจำนวนข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละสถานีและในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงจุดต้นทาง - จุดปลายทาง ของการเดินทาง ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการเดินทางที่เกิดขึ้นมีการกระจายตัวและแตกต่างกันในแต่ละสถานที่และช่วงเวลา

4.2 การติดตามการเดินทาง

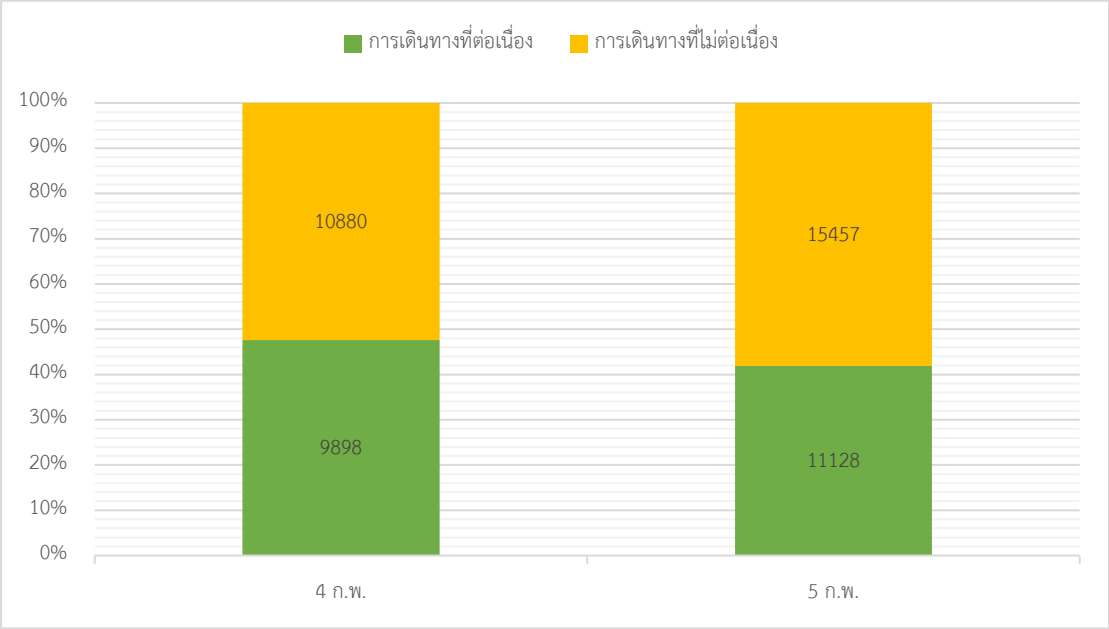
การติดตามการเดินทางจากข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ เป็นการตรวจสอบจำนวนสถานีที่พบ Unique MAC Address เดียวกัน โดยใช้อัลกอริทึมการตรวจติดตาม เพื่อ

ตรวจสอบ “ความต่อเนื่อง” ของการเดินทาง สมมติฐานเบื้องต้นเบื้องต้นคือ หากข้อมูลจากการตรวจจับสัญญาณบลูทูธถูกต้อง ไม่มีการหายของข้อมูลแล้ว จะต้องตรวจพบจำนวนของ Unique MAC Address หนึ่งทุกสถานีที่อยู่ในเส้นทาง จุดต้นทาง ถึง จุดปลายทาง (เส้นทางใดก็ได้)

ในการศึกษานี้จะตรวจสอบความต่อเนื่องของการเดินทางโดยมีวิธีการดังนี้

1. ตรวจสอบการเดินทางว่ามีการผ่าน สถานี ทั้งหมดกี่ สถานี และให้แสดงค่าเป็น N
2. ตรวจสอบช่วงถนนที่เชื่อมระหว่าง สถานี ที่มีการเดินทางผ่าน
3. ตรวจสอบการเดินทางว่าได้มีการผ่านตาม ช่วงถนนในข้อ 2. หรือไม่ โดยถ้าผ่าน จะให้นับเป็น 1 ถ้าไม่ผ่าน ให้นับเป็น 0 และรวมจำนวนช่วงถนนที่ผ่านทั้งหมดเป็นค่า L
4. ตรวจสอบการเดินทางว่ามีความต่อเนื่องหรือไม่โดย
   - หากเป็นการเดินทางที่ต่อเนื่อง N = L-1
   - หากเป็นการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่อง N ≠ L-1

ผลการตรวจสอบความต่อเนื่องของข้อมูลการเดินทางแสดงในรูปที่ 4.7

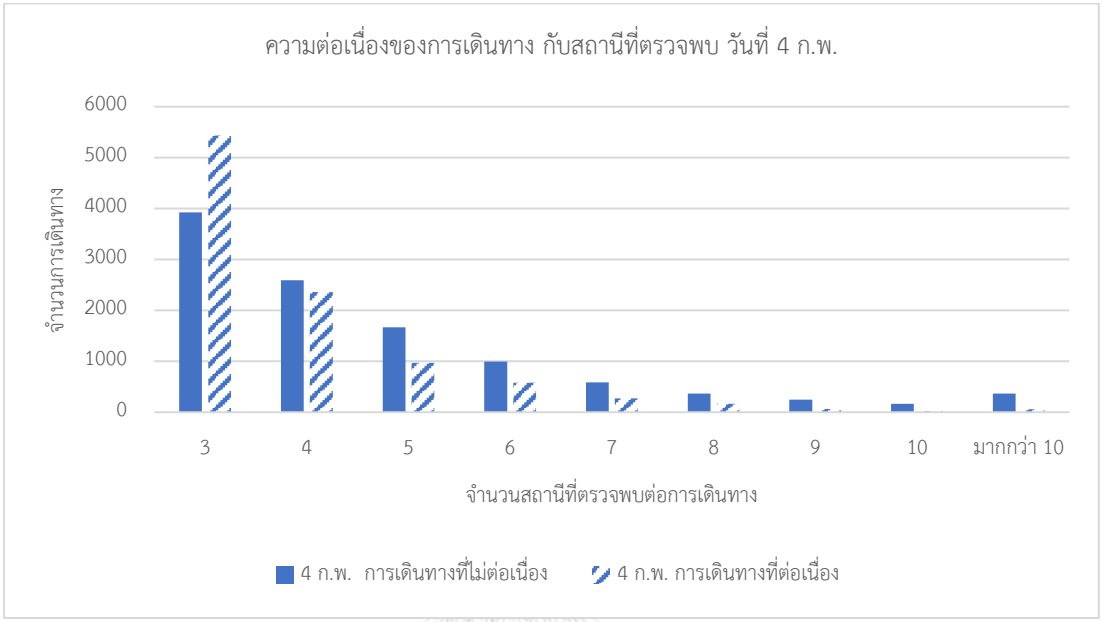


รูปที่ 4.7 ร้อยละของการเดินทางที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

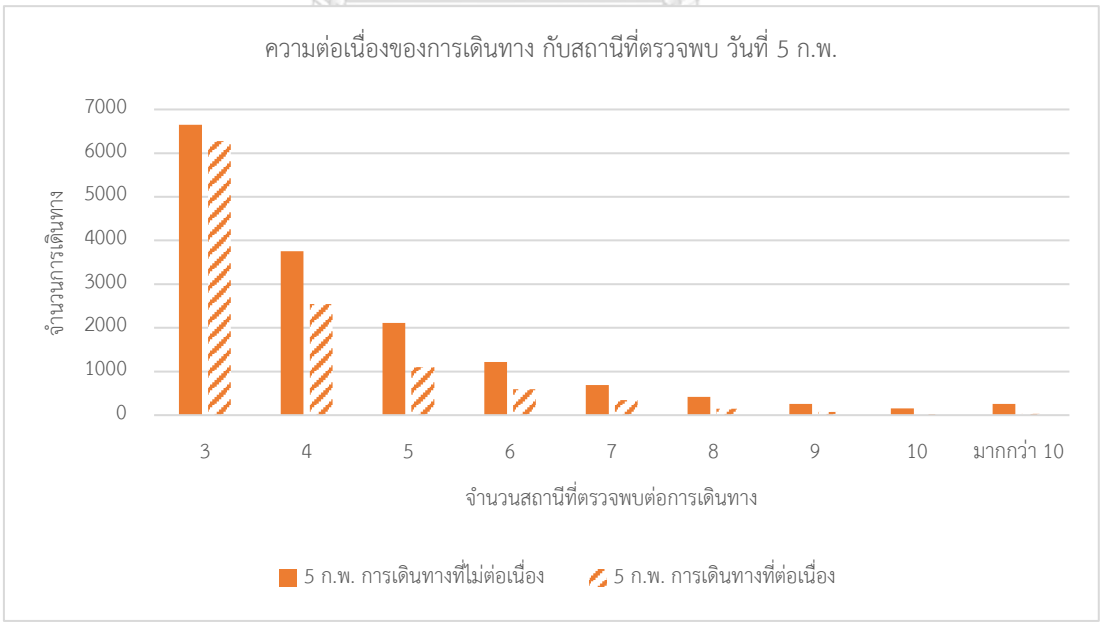
จากรูปที่ 4.7 เมื่อตรวจสอบการเดินทางทั้งหมด จะพบว่าในวันที่ 4 และ 5 ก.พ. มีการเดินทางเกิดขึ้นทั้งหมด 20,778 และ 26,585 การเดินทาง ตามลำดับโดยจะสามารถจำแนกเป็นการเดินทางที่ต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง โดยเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างการเดินทางที่ต่อเนื่องและไม่

ต่อเนื่อง ซึ่งจะพบว่าอัตราส่วนของการเดินทางที่ต่อเนื่องจะอยู่ที่ประมาณ ร้อยละ 40 ของการเดินทางทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองวัน พบว่ามีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อจำแนกการเดินทางที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องและเปรียบเทียบกับจำนวนสถานี ที่ตรวจพบ ต่อการเดินทางนั้นๆ จะสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.8



ก) ข้อมูลวันที่ 4 ก.พ.



ข) ข้อมูลวันที่ 5 ก.พ.

รูปที่ 4.8 จำนวนการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องแบ่งตามจำนวนสถานีที่การเดินทางผ่าน

จากรูปที่ 4.8 ก) สำหรับข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. พบว่าเมื่อมีการเดินทางที่ผ่าน 4 สถานี สัดส่วนของการเดินทางที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องจะยังคงใกล้เคียงกัน และเมื่อตรวจสอบการเดินทางที่ผ่าน 5 สถานีพบว่าสัดส่วนการเดินทางที่ต่อเนื่องจะลดลงต่ำกว่าการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่อง โดยเมื่อดูแนวโน้มจากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อมีการเดินทางที่ผ่านสถานีที่มากขึ้น พบสัดส่วนการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่องมากขึ้น

จากรูปที่ 4.8 ข) สำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ. พบว่าสัดส่วนการเดินทางที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องจะมีสัดส่วนใกล้เคียงกัน สำหรับการเดินทางที่ผ่าน 3 สถานีและมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีการเดินทางที่ผ่านจำนวนสถานีที่มากขึ้น

โดยสรุปจากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการแจกแจงการเดินทางที่เกิดขึ้น จะพบว่าการเดินทางที่เกิดขึ้นเกินครึ่งหนึ่งจะเป็นการเดินทางที่ผ่าน 3 สถานี และลดลงตามจำนวน สถานีที่ผ่านและสัดส่วนการเดินทางที่ต่อเนื่องจะลดลงเมื่อการเดินทางผ่านสถานี มากขึ้น ซึ่งข้อมูลในวันที่ 4 และ 5 ก.พ. มีแนวโน้มที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4.3 การหายของข้อมูล

ในการติดตามการเดินทาง กรณีที่เกิดความไม่ต่อเนื่องของการติดตามการเดินทาง จะสามารถวิเคราะห์ความไม่ต่อเนื่อง หรือ การหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ ดังนี้

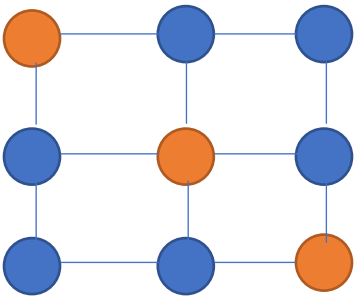
1. การหายของข้อมูลในแต่ละการเดินทาง เป็นการหายที่เกิดขึ้นในแต่ละการเดินทางโดยมีรายละเอียดและนิยามของการหายดังหัวข้อ 4.3.1

2. การหายของข้อมูลในแต่ละสถานี เป็นลักษณะการหายของแต่ละสถานี ซึ่งหาได้จากการประมาณเส้นทางการเดินทางที่ควรจะผ่านสถานี แต่ไม่สามารถตรวจพบข้อมูลได้ โดยมีรายละเอียดดังหัวข้อ 4.3.2

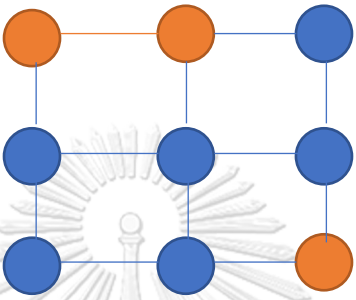
4.3.1 การวิเคราะห์การหายที่เกิดขึ้นในการติดตามการเดินทาง

ในการวิเคราะห์นี้นิยาม “การหายของข้อมูล” ที่เกิดขึ้นในการติดตามการเดินทางดังต่อไปนี้

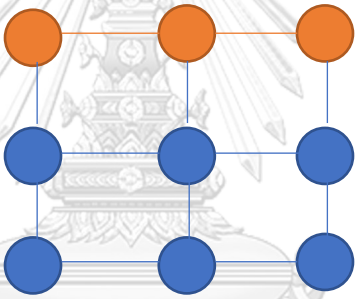
จำนวนช่วงการหายของข้อมูล หมายถึง จุดที่การติดตามข้อมูลการเดินทางเกิดความไม่ต่อเนื่องของการเดินทางระหว่าง สถานี ถึง สถานี ซึ่งจำนวนช่วงที่ขาดหายในแต่ละการเดินทางจะมีค่าไม่เกิน จำนวนสถานีที่การเดินทางผ่านลบด้วย 1 โดยแสดงตัวอย่างจำนวนช่วงการขาดหายของข้อมูลดังรูปที่ 4.9



ก) ตัวอย่างการเดินทางที่มีช่วงการหายของข้อมูล 2 ช่วง



ข) ตัวอย่างการเดินทางที่มีช่วงการหายของข้อมูล 1 ช่วง



ค) ตัวอย่างการเดินทางที่ไม่มีช่วงการหายของข้อมูล

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการวิเคราะห์การหายของข้อมูล

หมายเหตุ จุดสีส้มคือสถานีที่มีการเดินทางผ่าน จุดสีน้ำเงินคือสถานีที่ไม่มีการเดินทางผ่าน
เส้นสีส้มคือช่วงถนนที่การเดินทางผ่าน สีน้ำเงินคือช่วงถนนที่ไม่มีการเดินทางผ่าน

จากรูปที่ 4.9 ก) สมมติให้จุดสีส้มคือ สถานี ที่สามารถบันทึกข้อมูล Unique MAC Address ได้ จะเห็นได้ว่ามีการเดินทางครั้งนี้ เดินทางผ่านทั้งหมด 3 สถานีแต่ทั้ง 3 สถานี ไม่เชื่อมต่อกันได้โดยตรง ซึ่งในการศึกษานี้นิยามการเดินทางในลักษณะนี้ว่าเป็นการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่อง และมีจำนวนช่วงการหายของข้อมูลทั้งหมด 2 ช่วง

จากรูปที่ 4.9 ข) แสดงการเดินทางที่ตรวจพบข้อมูล MAC Address 3 สถานี เมื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันของสถานีพบว่า มีเพียง 2 สถานีที่สามารถเชื่อมต่อกันโดยตรง และมี 1 สถานีที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับสถานีอื่นๆ ได้โดยตรง ซึ่งในลักษณะนี้จะนิยามเป็นการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่อง และมีจำนวนช่วงการหายของข้อมูลทั้งหมด 1 ช่วง

จากรูปที่ 4.9 ค) แสดงการเดินทางที่ตรวจพบข้อมูล MAC Address 3 สถานี เมื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันของสถานีพบว่า ทั้ง 3 สถานีสามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรง ซึ่งในลักษณะนี้จะนิยามเป็น การเดินทางที่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 4.4 ร้อยละจำนวนช่วงการหายของข้อมูล

ก) 4 ก.พ.

จำนวนสถานีที่พบต่อการเดินทาง	จำนวนช่วงการหายของข้อมูล								ร้อยละของข้อมูลที่สมบูรณ์หากมีการแทนค่าช่วงการหายได้ 1 ช่วง
	0	1	2	3	4	5	6	7	
3	59	34	7						93
4	46	40	12	2					86
5	38	42	15	4	0				80
6	35	37	19	7	2	0			72
7	32	32	24	8	3	1			64
8	30	29	22	13	5	1	0	0	58
9	22	23	28	16	6	3	2	0	45
10	11	27	28	19	10	3	1	0	38

ข) 5 ก.พ.

จำนวนสถานีที่พบต่อการเดินทาง	จำนวนช่วงการหายของข้อมูล								ร้อยละของข้อมูลที่สมบูรณ์หากมีการแทนค่าช่วงการหายได้ 1 ช่วง
	0	1	2	3	4	5	6	7	
3	49	41	11						89
4	40	40	16	3					81
5	34	40	20	5	1				74
6	33	37	20	8	2	0			70
7	33	31	21	11	3	1	0		64
8	26	30	22	14	5	2	0	0	56
9	22	27	24	18	4	4	1	0	49
10	13	27	20	20	14	3	3	1	40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเดินทางในวันที่ 4 และ 5 ก.พ. ในตารางที่ 4.4 ก) และ ข) ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูลการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่อง หรือ การเดินทางที่มีช่วงการขาดหายของข้อมูล จะพบว่าสำหรับการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่อง จะพบร้อยละของข้อมูลที่มีช่วงการหายของข้อมูล 1 ช่วง จะมีค่าสูงที่สุดที่ประมาณร้อยละ 30-40 และแนวโน้มของช่วงการขาดหายของข้อมูล ของทั้ง 2 วัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งหากมีการประมาณช่วงการหายของข้อมูลดังกล่าวได้ จะทำให้มีข้อมูลการเดินทางที่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วงร้อยละ 90 สำหรับการเดินทางที่ผ่าน 3 สถานี และลดหลั่นลงมาเมื่อจำนวนสถานีที่พบต่อการเดินทางมากขึ้น

4.3.2 การหายของข้อมูลในแต่ละสถานี

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการขาดหายของข้อมูลเมื่อพิจารณารายสถานีโดยการประมาณการหายของข้อมูลในแต่ละสถานี จะมีวิธีการประมาณดังต่อไปนี้

1. จัดทำฐานข้อมูลระยะทางระหว่างสถานี และเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างแต่ละ สถานีภายในโครงข่าย
2. จัดกลุ่มข้อมูลการเดินทางที่มีลักษณะช่วงการหายของข้อมูลที่เหมือนกัน
3. ประมาณเส้นทางการเดินทางในช่วงที่เกิดการหายของข้อมูล โดยตั้งสมมติฐานว่าในช่วงที่เกิดการหายของข้อมูล การเดินทางจะเลือกใช้เส้นทางที่ระยะทางสั้นที่สุด ซึ่งใช้ฐานข้อมูลจากข้อ 1) ในการประมาณเส้นทาง โดยสาเหตุที่เลือกใช้ข้อมูลระยะทาง ในการประมาณเนื่องจาก เป็นข้อมูลที่สามารถหาได้ทันที ไม่ต้องรอการประมวลผลเหมือนข้อมูลเวลาเดินทาง
4. สรุปจำนวนการเดินทางที่เกิดจากการประมาณว่าจะต้องผ่าน สถานีไหนบ้าง เพื่อให้เป็นการเดินทางที่สมบูรณ์

จากขั้นตอนข้างต้น จะได้จำนวนการเดินทางในช่วงที่เกิดการหายของข้อมูลที่ควรจะผ่านสถานีต่างๆ ภายในโครงข่าย ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.5 ในช่อง (2) และสามารถหาอัตราการหายของข้อมูลในแต่ละ สถานี ได้ดังนี้

$$\text{อัตราการหายของแต่ละสถานี} = \frac{a}{a+b} x100 \qquad (4.1)$$

เมื่อ a = จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละสถานี

b = จำนวนการเดินทางที่เกิดจากการประมาณเส้นทางที่น่าจะเกิดการเดินทาง

ตารางที่ 4.5 อัตราการหายของข้อมูลในแต่ละสถานี

สถานี	จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละสถานี (1)		จำนวนการเดินทางที่เกิดจากการประมาณเส้นทางที่น่าจะเกิดการเดินทาง (2)		จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นจริง + จำนวนการเดินทางที่เกิดจากการประมาณ (1+2)		อัตราการหาย (ร้อยละ)		
	4 ก.พ.	5 ก.พ.	4 ก.พ.	5 ก.พ.	4 ก.พ.	5 ก.พ.	4 ก.พ.	5 ก.พ.	เฉลี่ย
1	3,698	4,281	1,369	2,051	5,067	6,332	27	32	30
6	1,685	1,888	685	809	2,370	2,697	29	30	29
12	2,075	2,830	117	302	2,192	3,132	5	10	8
15	3,504	3,920	661	1,038	4,165	4,958	16	21	19
16	3,462	3,758	749	1,168	4,211	4,926	18	24	21
18	2,164	2,371	35	84	2,199	2,455	2	3	3
19	1,290	1,665	2,646	3,104	3,936	4,769	67	65	66
20	684	659	0	0	684	659	0	0	0
21	3,446	4,293	413	792	3,859	5,085	11	16	13
22	2,465	3,408	0	0	2,465	3,408	0	0	0
23	3,833	4,285	1,928	2,813	5,761	7,098	33	40	37
24	1,768	2,186	144	263	1,912	2,449	8	11	9
25	4,024	4,242	1,488	2,291	5,512	6,533	27	35	31
26	4,478	4,870	1,017	1,792	5,495	6,662	19	27	23
27	2,006	2,236	1,147	2,281	3,153	4,517	36	50	45
28	1,773	2,361	0	0	1,773	2,361	0	0	0
30	2,841	3,095	343	612	3,184	3,707	11	17	14
31	802	2,265	546	448	1,348	2,713	41	17	24
32	2,414	2,810	88	135	2,502	2,945	4	5	4
33	3,416	3,769	958	1,420	4,374	5,189	22	27	25
34	2,757	3,345	669	878	3,426	4,223	20	21	20
35	803	2,300	800	989	1,603	3,289	50	30	37
36	1,915	2,317	379	706	2,294	3,023	17	23	20
37	3,044	3,304	365	683	3,409	3,987	11	17	14
38	1,928	3,080	72	341	2,000	3,421	4	10	8
39	2,634	3,073	1,076	1,650	3,710	4,723	29	35	32
40	562	700	0	0	562	700	0	0	0

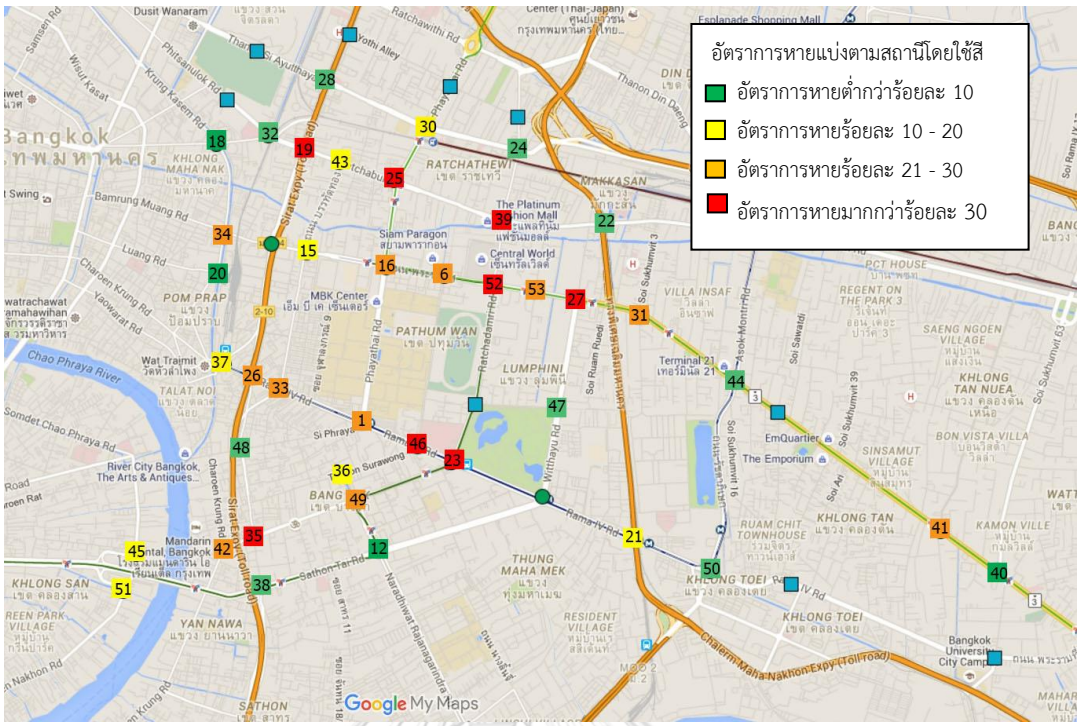
ตารางที่ 4.5 อัตราการหายของข้อมูลในแต่ละสถานี (ต่อ)

สถานี	จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละสถานี (1)		จำนวนการเดินทางที่เกิดจากการประมาณเส้นทางที่น่าจะเกิดการเดินทาง (2)		จำนวนการเดินทางที่เกิดขึ้นจริง + จำนวนการเดินทางที่เกิดจากการประมาณ (1+2)		อัตราการหาย (ร้อยละ)		
	4 ก.พ.	5 ก.พ.	4 ก.พ.	5 ก.พ.	4 ก.พ.	5 ก.พ.	4 ก.พ.	5 ก.พ.	เฉลี่ย
41	578	379	49	313	627	692	8	45	27
42	840	1,374	254	645	1,094	2,019	23	32	29
43	3,749	4,299	448	686	4,197	4,985	11	14	12
44	1,281	1,945	105	210	1,386	2,155	8	10	9
45	253	400	6	157	259	557	2	28	20
46	3,518	4,035	1,562	2,196	5,080	6,231	31	35	33
47	2,378	3,264	69	184	2,447	3,448	3	5	4
48	1,506	2,528	147	280	1,653	2,808	9	10	10
49	2,197	2,645	405	978	2,602	3,623	16	27	22
50	2,347	2,942	60	111	2,407	3,053	2	4	3
51	185	739	68	106	253	845	27	13	16
52	3,120	3,285	1,211	1,821	4,331	5,106	28	36	32
53	2,823	3,043	577	1,170	3,400	4,213	17	28	23
รวม	90,276	110,225	22,656	35,507	112,932	145,732	20	24	22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หมายเหตุ สีในแต่ละช่องจะสามารถแปลความหมายได้ดังต่อไปนี้

- คือ อัตราการหายมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมด
- คือ อัตราการหายมีค่าอยู่ในช่วงกลางๆ เมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมด
- คือ อัตราการหายมีค่าอยู่ในช่วงสูง เมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมด



รูปที่ 4.10 อัตราการหายของข้อมูลในแต่ละสถานี

จากตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.10 แสดงถึงอัตราการหายที่เกิดขึ้นบนสถานีต่างๆ ในโครงข่าย โดยในภาพรวมจะพบว่าอัตราการหายโดยเฉลี่ยของสถานีทั้งโครงข่ายอยู่ที่ร้อยละ 22 และเมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีบนโครงข่ายจะพบว่า สถานีที่อยู่บริเวณใจกลางของโครงข่ายจะมีแนวโน้มอัตราการหายสูงกว่า สถานีที่อยู่รอบนอก โดย สถานีที่มีอัตราการหายสูงที่สุด คือ สถานีที่ 19 ซึ่งมีอัตราการหายเฉลี่ย 2 วันอยู่ที่ร้อยละ 66 ซึ่งทางผู้วิจัยคาดว่าสาเหตุของอัตราการหายอาจเกิดได้ใน 2 ประเด็นดังนี้

1. ตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์อยู่บนแยก อุรุพงษ์ ซึ่งเป็นแยกขนาดใหญ่ แต่ป้อมจราจรซึ่งเป็นจุดติดตั้งอุปกรณ์ ตั้งอยู่บนมุมด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของทางแยก น่าจะทำให้อัตราการจับสัญญาณบลูทูธไม่สามารถครอบคลุมได้ทั้งแยก

2. สถานีที่ 19 เป็นจุดที่จะเชื่อมต่อไปยังสถานีที่ 28 และ 32 ซึ่งเป็นจุดเข้าออกของโครงข่าย ดังนั้นเมื่อมีการจำลองการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่อง จะทำให้การเดินทางที่จะไปยัง สถานีที่ 28 และ 32 จะถูกจำลองให้ผ่าน สถานีที่ 19 ด้วย

สำหรับจุดที่ไม่มีอัตราการหาย คือ สถานีที่ 20, 22, 28, และ 40 เนื่องจากเป็นจุดที่อยู่บริเวณทางเข้าออกของโครงข่าย ซึ่งการเดินทางโดยส่วนมากจะเริ่มต้นและสิ้นสุดในบริเวณดังกล่าว ดังนั้นการเดินทางที่ผ่านจุดดังกล่าวออกไป หรือเกิดการหายที่จุดดังกล่าว และออกจากโครงข่าย จะไม่สามารถตรวจสอบได้ เนื่องจากการเดินทางที่ออกจากโครงข่าย

Chulalongkorn University

การศึกษาการหายของข้อมูลสรุปได้ว่าข้อมูลการเดินทางที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธนั้น จะเกิดความไม่ต่อเนื่องหรือการขาดหายของข้อมูล ซึ่งทำให้ไม่สามารถติดตามการเดินทางได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะพบว่าจากข้อมูลการเดินทางทั้งหมด มีการเดินทางที่สามารถติดตามได้อย่างต่อเนื่องมีเพียงร้อยละ 40 - 50 หรือประมาณครึ่งหนึ่งของการเดินทางทั้งหมดที่ได้จากข้อมูลบลูทูธ ซึ่งหากมีการประมาณข้อมูลบางส่วนเพื่อทดแทนข้อมูลที่หายไปได้ 1 ช่วง จะทำให้มีข้อมูลการเดินทางที่สมบูรณ์ เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 70 - 80 และการประมาณข้อมูลการเดินทางด้วยการใช้ข้อมูลระยะทางระหว่างสถานี จะช่วยให้ทราบถึงตำแหน่งของ สถานีที่มีอัตราการหายของข้อมูลสูง ซึ่งจะสามารถไปตรวจสอบ หาสาเหตุและวิธีแก้ไขต่อไปได้

4.4 การประยุกต์ข้อมูลจากบลูทูธเพื่อการประมาณเส้นทางการเดินทาง

การศึกษาครั้งนี้ใช้ประโยชน์จากข้อมูลบลูทูธเมื่อติดตามเส้นทางการเดินทาง ประโยชน์ของการใช้ข้อมูลบลูทูธคือ การได้เส้นทางที่รถใช้เดินทาง รวมถึงลักษณะการเดินทางได้แก่ เส้นทางที่ใช้ (ผ่านสถานีใดบ้าง) เวลาของการเดินทางตั้งแต่จุดต้นทางจนถึงจุดปลายทาง (จริง) ค่าการจราจรเหล่านี้เป็นค่าที่ไม่สามารถหาได้ (หรือหาได้ยาก) จากวิธีการรวบรวมข้อมูลแบบดั้งเดิม (เครื่องตรวจจับการจราจรที่ติดตั้งตามแยก) ข้อมูลสำคัญที่ได้จากการติดตามเส้นทางคือ เวลาในการเดินทาง (รวมทั้งเส้นทาง) และเส้นทางที่ใช้ ซึ่งในส่วนนี้จะนำข้อมูลเวลาการเดินทางของเส้นทาง และเส้นทางที่ใช้ มาวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเลือกใช้เส้นทาง โดยเปรียบเทียบเส้นทางเลือกที่สามารถเดินทางระหว่างจุดต้นทาง - จุดปลายทาง เพื่อตรวจสอบเส้นทางที่ใช้ และเวลาเดินทางบนเส้นทางจริงเปรียบเทียบกับ ประมาณการเวลาเดินทางบนช่วงถนนแต่ละช่วง ที่สามารถหาได้โดยใช้ข้อมูลเวลาเดินทางแต่ละช่วงถนนที่คำนวณจากข้อมูลบลูทูธเช่นกัน รายละเอียดของการศึกษาดังปรากฏดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อมูลจากบลูทูธสามารถนำมาประมวลผลและประยุกต์เพื่อให้ได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- เวลาเดินทางเฉลี่ย (Estimate Travel time) ของแต่ละเส้นทางในช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งเกิดจากการใช้ค่าเฉลี่ยเวลาเดินทางของช่วงถนนแต่ละช่วง มารวมเป็นเวลาเดินทางของเส้นทางนั้นๆ โดยเวลาเดินทางเฉลี่ยของแต่ละช่วงจะเกิดจากการนำเวลาเดินทางของข้อมูลทั้งหมดที่ผ่านช่วงถนนนั้นๆ ในช่วงเวลา 15 นาที มาเฉลี่ย โดยใช้ วิธีหาค่ากลางของค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อน (Median Absolute Deviation, MAD) เพื่อกรอง outlier ของข้อมูล ก่อนนำมาเฉลี่ยเป็นเวลาเดินทาง โดยมีตัวอย่างดังนี้

รูปที่ 4.11 เส้นทางตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.11 การหาเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทาง 1–33-15 จะมีขั้นตอนดังนี้

1. ดึงข้อมูลการเดินทางที่ผ่านช่วง 1-33 และ 33–15 ทั้งหมดออกมาจากฐานข้อมูล ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นข้อมูลที่เดินทางผ่านทั้ง 1-33 และ 33–15
2. นำข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลมาหาค่าเวลาเดินทางในแต่ละช่วง และแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วงละ 15 นาที ทำให้มีทั้งหมด 96 ช่วง ใน 1 วัน
3. นำข้อมูลในแต่ละช่วงมาหาค่า Median และ Median Absolute Deviation เพื่อใช้ในการกำหนดขอบเขตบนและล่าง เพื่อตัดข้อมูลที่เป็น outlier ออก
4. นำข้อมูลเวลาเดินทางที่อยู่ในช่วงขอบเขตบนและขอบเขตล่างมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้คือเวลาเดินทางเฉลี่ยในช่วง 15 นาที ของช่วงถนนนั้นๆ
5. นำข้อมูลเวลาเดินทางในแต่ละช่วงถนน ในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งในตัวอย่างนี้คือ 1–33 และ 33 – 15 มาบวกกันจะได้เป็น เวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทาง 1-33-15

- เวลาของการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละการเดินทาง ซึ่งได้มาจากข้อมูลการติดตามการเดินทางของกลุ่มตัวอย่าง โดยจากรูปที่ 4. หากเป็นข้อมูลของเส้นทาง 1-33-15 เวลาเดินทางจริงจะต้องเกิดจากการติดตามเลข MAC Address ที่ได้มีการเดินทางผ่านสถานีที่ 1 33 และ 15 ในการเดินทางนั้นๆ
- เส้นทางการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงจากการติดตามการเดินทาง

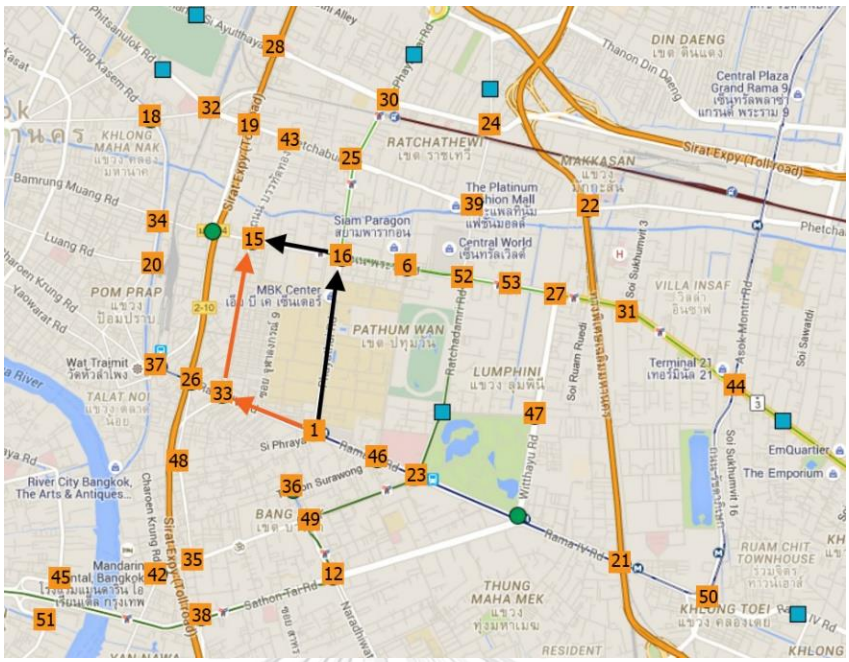
ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว สามารถนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้น โดยในหัวข้อนี้จะนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้เพื่อ

- ตรวจสอบว่าเส้นทางที่มีการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดหรือไม่ เมื่อเปรียบเทียบเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางทางเลือก
- ความถูกต้องของวิธีเลือกเส้นทางในกรณีที่ใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุดกับเส้นทางที่เกิดขึ้นจริง
- ความแตกต่างของเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงกับเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกันแตกต่างกันอย่างไร

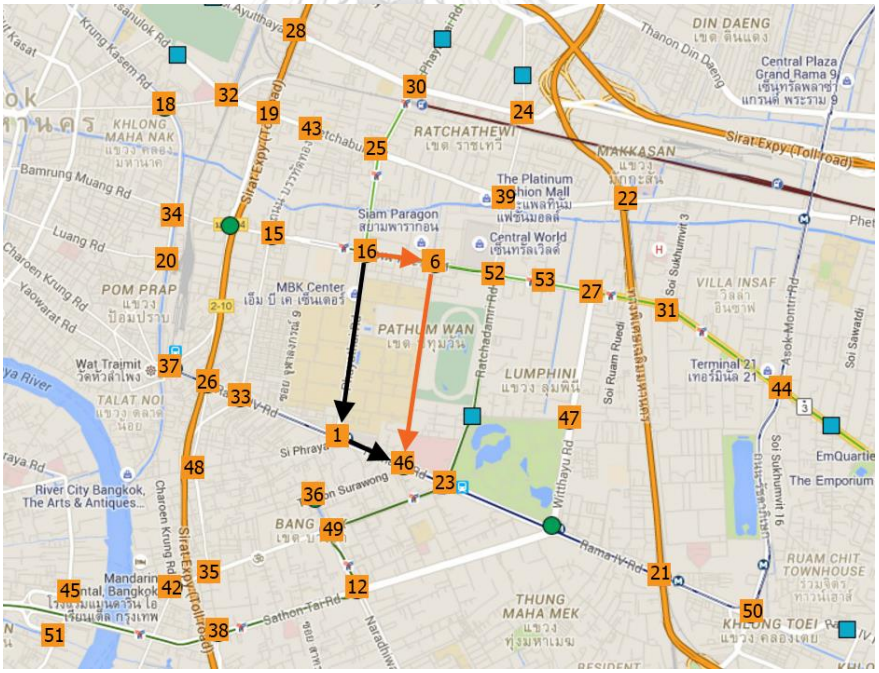
ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือก กรณีศึกษาขึ้นมา 3 กรณี คือเส้นทางการเดินทางบนโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา เนื่องด้วยข้อจำกัดของข้อมูลจึงเลือกเส้นทางกรณีศึกษาที่มีข้อมูลมากเพียงพอดังนี้ ดังนี้

- กรณีที่ 1 แยกสามย่าน – แยกเจริญผล แสดงในรูปที่ 4.12 ก)
- กรณีที่ 2 แยกปทุมวัน – แยกอังรีดูนังต์ แสดงในรูปที่ 4.12 ข)
- กรณีที่ 3 แยกราชประสงค์ – แยกอังรีดูนังต์ แสดงในรูปที่ 4.12 ค)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

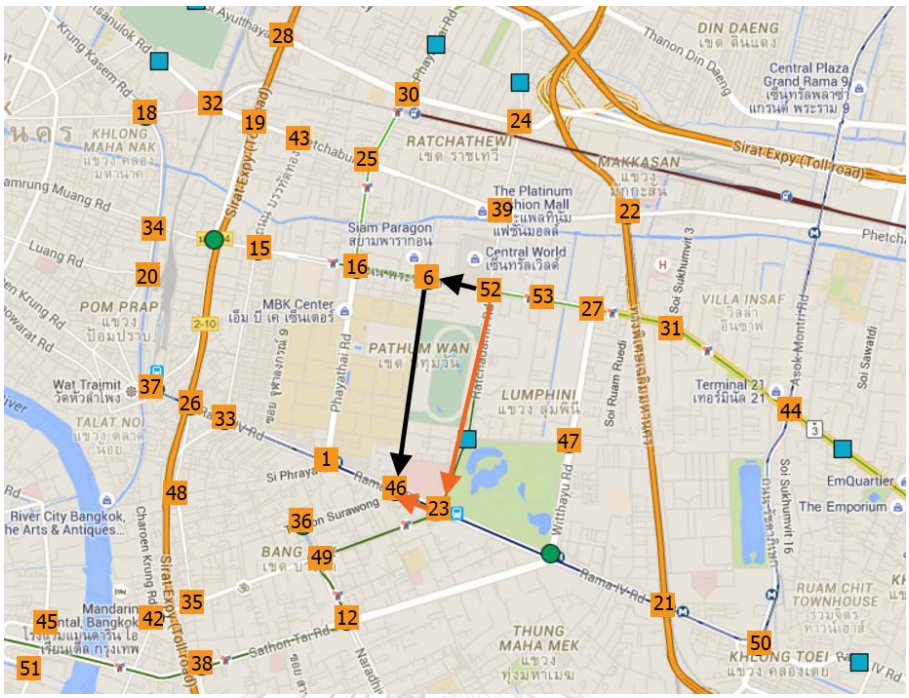


ก) กรณีที่ 1



ข) กรณีที่2

รูปที่ 4.12 กรณีศึกษาเส้นทางที่เลือกเดินทาง



ค) กรณีที่ 3

รูปที่ 4.12 กรณีศึกษาเส้นทางที่เลือกเดินทาง (ต่อ)

สรุปจำนวนข้อมูลกลุ่มตัวอย่างจากข้อมูลบลูทูธที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ดังนี้ โดยในการประมาณเส้นทางจะเลือกเส้นทางเพื่อทำการประมาณ 3 กรณี โดยในแต่ละกรณีจะมี 2 เส้นทาง โดยมีสรุปจำนวนข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์การประมาณเส้นทาง ระยะทางของแต่ละเส้นทาง ได้ดังตารางที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.6 จำนวนข้อมูลการเดินทางในแต่ละเส้นทาง

กรณีที่	เส้นทาง	ต้นทาง (สถานีที่)	ปลายทาง (สถานีที่)	ระยะทาง (เมตร)	จำนวนข้อมูลวันที่ 4 ก.พ.	จำนวนข้อมูลวันที่ 5 ก.พ.	รวม
1	1-16-15	1	15	2,250	18	28	46
	1-33-15	1	15	2,150	32	38	70
2	16-1-46	16	46	2,100	76	73	149
	16-6-46	16	46	2,150	25	26	51
3	52-6-46	52	46	2,100	23	16	39
	52-23-46	52	46	2,050	16	18	34

จากตารางที่ 4.6 พบว่ามีข้อมูลการเดินทางที่นำมาศึกษาเส้นทางเลือกเพื่อประมาณเส้นทางการเดินทาง รวม 2 วัน มีจำนวน 389 ข้อมูล โดยเมื่อแจกแจงรายละเอียดการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มตัวอย่างในเส้นทางกรณีที่มีจุดต้นทางและปลายทางเหมือนกันใน 3 กรณี ดังที่แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางแจกแจงการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มตัวอย่างจากข้อมูลบลูทูธ

กรณีที่	เส้นทาง	วันที่ 4 ก.พ.		วันที่ 5 ก.พ.	
		จำนวนการเดินทาง (ครั้ง)	ร้อยละ	จำนวนการเดินทาง (ครั้ง)	ร้อยละ
1	1-16-15	18	36	28	42
	1-33-15	32	64	38	58
	รวม	50	100	66	100
2	16-1-46	76	75	73	73
	16-6-46	25	25	26	27
	รวม	102	100	99	100
3	52-6-46	23	52	16	47
	52-23-46	16	48	18	53
	รวม	39	100	34	100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงการเลือกใช้เส้นทางที่เกิดขึ้นจริงของกลุ่มตัวอย่างจากข้อมูลบลูทูธ ในเส้นทางที่มีจุดต้นทาง - จุดปลายทางเดียวกัน แต่เลือกเดินทางใน 2 เส้นทาง โดยมีรายละเอียดดังนี้

กรณีที่ 1 มีจุดต้นทางที่ แยกสามย่าน ปลายทางที่ แยกเจริญผล มีการกระจายตัวใน 2 เส้นทางดังนี้ เส้นทางที่ 1 เดินทางจาก สามย่าน ผ่านแยกปทุมวัน และจบที่แยกเจริญผล เส้นทางที่ 2 เดินทางจากสามย่าน ผ่านแยกสะพานเหลือง และจบที่แยกเจริญผล มีการเลือกใช้เส้นทางที่ 1 ร้อยละ 36 สำหรับข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. และร้อยละ 42 สำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ. มีการเลือกใช้เส้นทางที่ 2 ร้อยละ 64 สำหรับข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. และร้อยละ 58 สำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ.

กรณีที่ 2 มีจุดต้นทางที่แยกปทุมวัน จุดปลายทางที่แยกอังรีดูนังต์ มีการกระจายตัวในสองเส้นทางดังนี้ เส้นทางที่ 1 เดินทางจากแยกปทุมวัน ผ่านแยกสามย่าน และจบที่แยก อังรีดูนังต์

เส้นทางที่ 2 เดินทางจากแยกปทุมวัน ผ่านแยกเฉลิมเผ่า และจบที่แยก อังรีดูนังต์ มีการเลือกใช้เส้นทางที่ 1 ร้อยละ 75 สำหรับข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. และร้อยละ 73 สำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ. มีการเลือกใช้ เส้นทางที่ 2 ร้อยละ 25 สำหรับข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. และร้อยละ 27 สำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ.

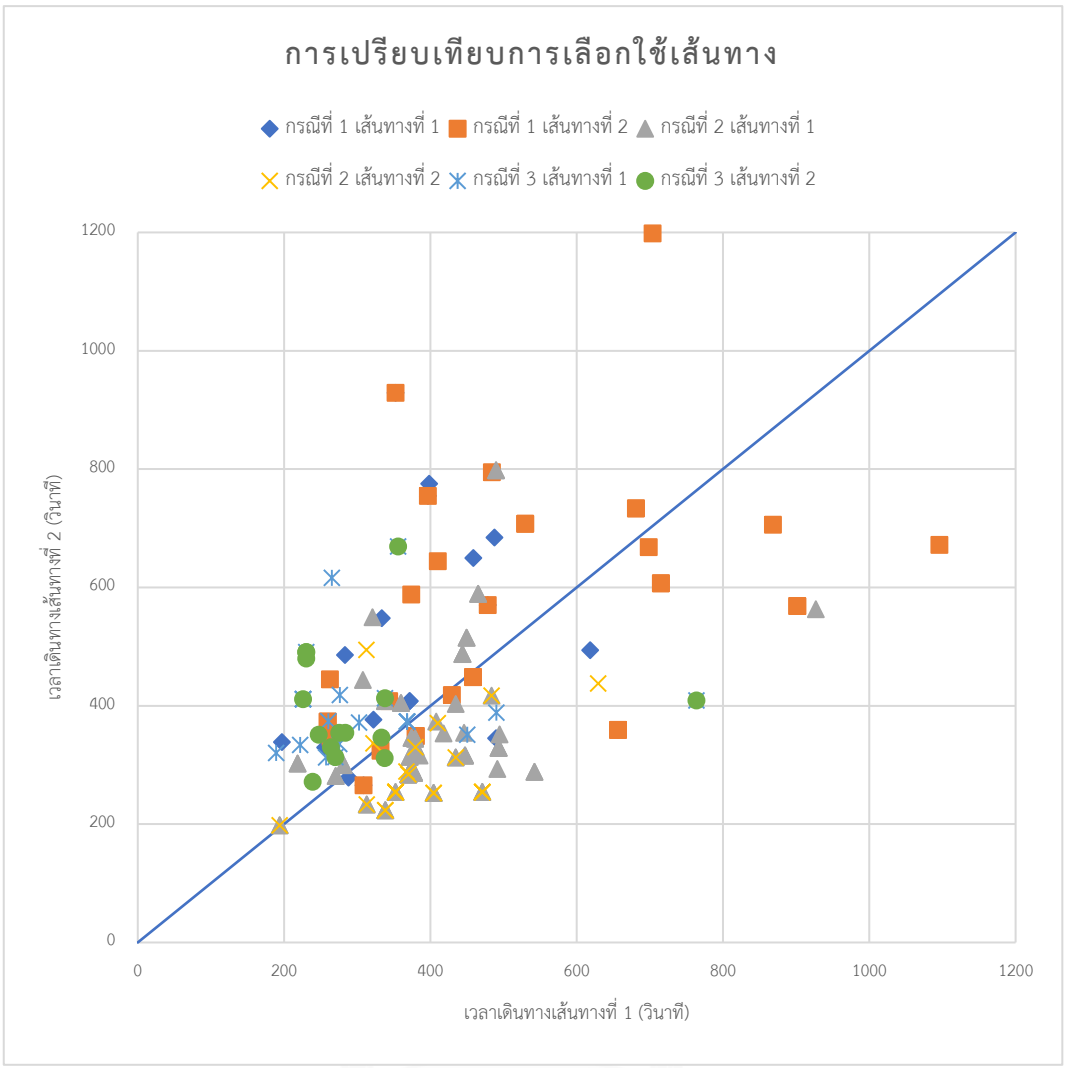
กรณีที่ 3 มีจุดต้นทางที่แยกราชประสงค์ จุดปลายทางที่แยกอังรีดูนังต์ มีการกระจายตัวในสองเส้นทางดังนี้ เส้นทางที่ 1 เดินทางจากแยกราชประสงค์ ผ่านแยกเฉลิมเผ่า และจบที่แยกอังรีดูนังต์ เส้นทางที่ 2 แยกราชประสงค์ ผ่านแยกศาลาแดง และจบที่แยกอังรีดูนังต์ มีการเลือกใช้เส้นทางที่ 1 ร้อยละ 52 สำหรับข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. และร้อยละ 47 สำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ. มีการเลือกใช้เส้นทางที่ 2 ร้อยละ 48 สำหรับข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. และร้อยละ 53 สำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ.

จากทั้ง 3 กรณีแสดงให้เห็นถึงว่าในความเป็นจริงการเลือกใช้เส้นทางมีการกระจายตัว ไม่ได้เป็นการเลือกใช้เส้นทางเพียงเส้นทางเดียว และในภาพรวมการกระจายตัวของการเลือกใช้เส้นทางในวันที่ 4 และ 5 ก.พ. เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4.4.1 การประมาณเส้นทางโดยใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุด

ในการประมาณเส้นทางโดยใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุด จะใช้ค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย (ได้จากข้อมูลบลูทูธในแต่ละช่วงถนนมารวมเป็นเวลาเดินทางของเส้นทาง) เพื่อเปรียบเทียบเวลาเดินทางของเส้นทางทั้ง 2 เส้นทางในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งจะสามารถบ่งบอกว่าในแต่ละช่วงเวลา เส้นทางใดที่มีระยะเวลาเดินทางที่สั้นกว่า และเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการติดตามการเดินทาง จะสามารถทราบได้ว่าการเลือกเส้นทางของกลุ่มตัวอย่าง ได้เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุดหรือไม่ในช่วงเวลาดังกล่าว

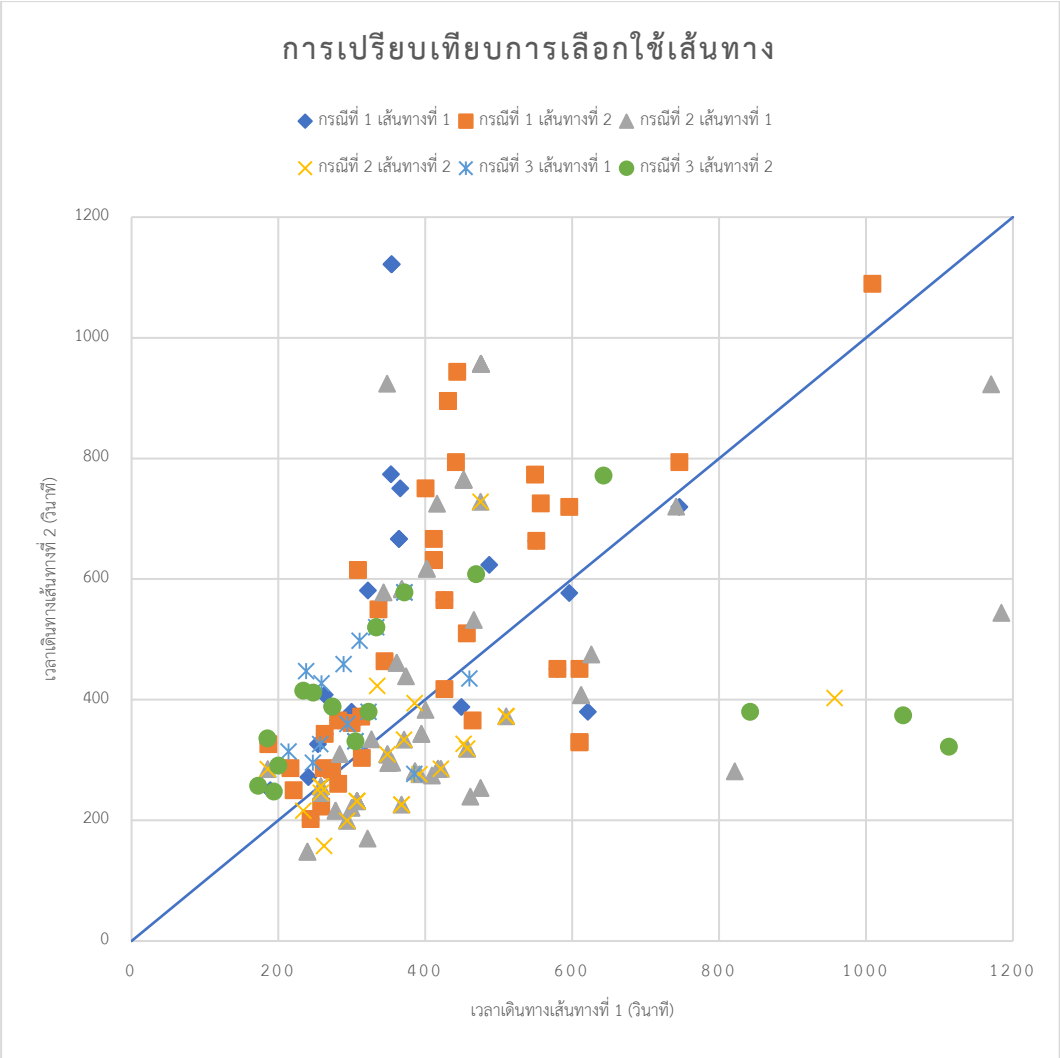
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ก) 4 ก.พ.

รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบเวลาการเดินทางของสองทางเลือก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ข) 5 ก.พ.

รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบเวลาการเดินทางของสองทางเลือก (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.13 แสดงถึงการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มตัวอย่างในวันที่ 4 ก.พ. และ 5 ก.พ. โดยการกำหนดค่าพิกัดแกน x คือเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางที่ 1 และแกน y คือเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางที่ 2 สำหรับข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างนั้นๆ ทำให้สามารถทราบถึงการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มตัวอย่างโดยหากเป็นกลุ่มตัวอย่างที่เลือกเส้นทางที่ 1 เมื่อนำข้อมูลเวลาเดินทางมากำหนดค่าพิกัด x และ y จากข้อมูล ซึ่งหากข้อมูลดังกล่าวอยู่เหนือเส้น 45 องศา (ซึ่งเป็นเส้นที่บ่งบอกว่าเวลาเดินทางของเส้นทางที่ 1 มีค่าเท่ากับเส้นทางที่ 2) จะสามารถแปลความหมายได้ว่า เส้นทางที่ 1 เป็นเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นกว่าเส้นทางที่ 2 หรือกล่าวคือ กลุ่มตัวอย่างดังกล่าวเลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุด และในทำนองเดียวกัน สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เลือกเส้นทางที่ 2 หากข้อมูลดังกล่าวอยู่ใต้เส้น 45 องศา จะหมายถึงว่ากลุ่มข้อมูลนั้นได้เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า

จากรูปที่ 4.13 ก) แสดงการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กรณี 6 เส้นทาง ในวันที่ 4 ก.พ. ซึ่งจากรูป กลุ่มตัวอย่างในกรณีที่ 1 ที่เลือกเส้นทางที่ 1 โดยส่วนใหญ่จะอยู่เหนือเส้น 45 องศา หรือหมายถึง กลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุด แต่เส้นทางที่ 2 จะมีทั้งกลุ่มตัวอย่างที่อยู่เหนือเส้นและใต้เส้น 45 องศา ในจำนวนที่ใกล้เคียงกัน อธิบายได้ว่ามีทั้งกลุ่มที่เลือกเส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุดและไม่สั้นที่สุดในจำนวนเท่าๆกัน

สำหรับกรณีที่ 2 ในเส้นทางที่ 1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ใต้เส้น 45 องศา หรือหมายถึงกลุ่มตัวอย่างไม่ได้เลือกใช้เส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า แต่ในเส้นทางที่ 2 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ใต้เส้น 45 องศา หรือหมายถึง กลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า

สำหรับกรณีที่ 3 ในเส้นทางที่ 1 พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่เหนือเส้น 45 องศา ซึ่งหมายถึง โดยส่วนใหญ่เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า แต่ในเส้นทางที่ 2 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่เหนือเส้น 45 องศา หรือหมายถึง โดยส่วนใหญ่ไม่ได้เลือกใช้เส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า

จากรูปที่ 4.13 ข) แสดงการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กรณี 6 เส้นทาง ในวันที่ 5 ก.พ. ซึ่งจากรูป กลุ่มตัวอย่างในกรณีที่ 1 ที่เลือกเส้นทางที่ 1 โดยส่วนใหญ่จะอยู่เหนือเส้น 45 องศา หรือหมายถึง กลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า แต่เส้นทางที่ 2 กลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่อยู่เหนือเส้น 45 องศา ซึ่งหมายถึงไม่ได้เลือกใช้เส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า

สำหรับกรณีที่ 2 ในเส้นทางที่ 1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ใต้เส้น 45 องศา หรือหมายถึงกลุ่มตัวอย่างไม่ได้เลือกใช้เส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นที่กว่า แต่ในเส้นทางที่ 2 ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ใต้เส้น 45 องศา หรือหมายถึง กลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า

สำหรับกรณีที่ 3 ในเส้นทางที่ 1 พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่เหนือเส้น 45 องศา ซึ่งหมายถึงโดยส่วนใหญ่เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า แต่ในเส้นทางที่ 2 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่เหนือเส้น 45 องศา หรือหมายถึงกลุ่มตัวอย่างไม่ได้เลือกใช้เส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นกว่า

จากข้อมูลรายละเอียดการเลือกใช้เส้นทาง เมื่อนำมาประมวลผลโดยเปรียบเทียบการเลือกใช้เส้นทางที่เกิดขึ้นจริง กับ เวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางที่ 1 และ 2 ของในแต่ละกรณี ภายในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อตรวจสอบว่าเส้นทางที่เกิดขึ้นจริงเป็นเส้นทางที่ใช้ระยะเวลาเดินทางน้อยที่สุดหรือไม่ โดยจะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางผลการเลือกเส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุด

กรณีที่	เส้นทาง	วันที่ 4 ก.พ.			วันที่ 5 ก.พ.		
		จำนวนข้อมูลการเดินทางทั้งหมด	เส้นทางที่เลือกเป็นเส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุด	ร้อยละ	จำนวนข้อมูลการเดินทางทั้งหมด	เส้นทางที่เลือกเป็นเส้นทางที่ระยะเวลาเดินทางสั้นที่สุด	ร้อยละ
1	1-16-15	18	13	72	28	22	78
	1-33-15	32	16	50	38	10	26
	รวม	50	29	58	66	32	48
2	16-1-46	76	23	30	73	23	32
	16-6-46	25	22	88	26	22	85
	รวม	101	45	44	99	45	45
3	52-6-46	23	20	86	16	14	88
	52-23-46	16	3	19	18	3	17
	รวม	48	23	48	34	17	50

จากตารางที่ 4.8 กรณีที่ 1 จุดต้นทางที่แยกสามย่าน ปลายทางที่แยกเจริญผล มีข้อมูลการเดินทางของวันที่ 4 ก.พ. 2 เส้นทาง รวมทั้งหมด 50 การเดินทาง โดยเมื่อนำข้อมูลเวลาเดินทางเฉลี่ยของสองเส้นทางมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเดินทางในช่วงเวลาเดียวกันจะพบว่ามีการเดินทางทั้งหมด 29 การเดินทางที่ เลือกใช้เส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 58 และในทำนองเดียวกันสำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ. มีข้อมูลการเดินทางทั้งหมด 66 การเดินทาง มีการเดินทางทั้งหมด 32 การเดินทางที่ เลือกใช้เส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 48 เมื่อพิจารณารายเส้นทางจากข้อมูลทั้ง 2 วันจะพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่เลือกเส้นทางที่ 1 จะมีโอกาสที่จะเป็นเส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุดถึงร้อยละ 70 ในขณะที่เส้นทางที่ 2 มีโอกาสเพียงร้อยละ 50

กรณีที่ 2 จุดต้นทางที่แยกปทุมวัน จุดปลายทางที่แยกอังรีดูนังต์ มีข้อมูลการเดินทางของวันที่ 4 ก.พ. 2 เส้นทาง รวมทั้งหมด 101 การเดินทาง โดยเมื่อนำข้อมูลเวลาเดินทางเฉลี่ยของสองเส้นทางมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเดินทางในช่วงเวลาเดียวกันจะพบว่ามีการเดินทางทั้งหมด 45 การเดินทางที่ เลือกใช้เส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 44 และในทำนองเดียวกัน

สำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ. มีข้อมูลการเดินทางทั้งหมด 99 การเดินทาง มีการเดินทางทั้งหมด 45 การเดินทางที่ เลือกใช้เส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 45 เมื่อพิจารณารายเส้นทางจากข้อมูลทั้ง 2 วันจะพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่เลือกเส้นทางที่ 1 จะมีโอกาสที่จะเป็นเส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุดประมาณร้อยละ 30 ในขณะที่เส้นทางที่ 2 มีโอกาสที่จะเป่นเส้นทางที่ใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุดถึงร้อยละ 80

กรณีที่ 3 จุดต้นทางที่แยกราชประสงค์ จุดปลายทางที่แยกอังรีดูนังต์ มีข้อมูลการเดินทางของวันที่ 4 ก.พ. 2 เส้นทาง รวมทั้งหมด 48 การเดินทาง โดยเมื่อนำข้อมูลเวลาเดินทางเฉลี่ยของสองเส้นทางมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเดินทางในช่วงเวลาเดียวกันจะพบว่ามีการเดินทางทั้งหมด 23 การเดินทางที่ เลือกใช้เส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 48 และในทำนองเดียวกันสำหรับข้อมูลวันที่ 5 ก.พ. มีข้อมูลการเดินทางทั้งหมด 34 การเดินทาง มีการเดินทางทั้งหมด 17 การเดินทางที่ เลือกใช้เส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 50 เมื่อพิจารณารายเส้นทางจากข้อมูลทั้ง 2 วันจะพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่เลือกเส้นทางที่ 1 จะมีโอกาสที่จะเป็นเส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุดถึงร้อยละ 86 ในขณะที่เส้นทางที่ 2 มีโอกาสเพียงร้อยละ 17

จากทั้ง 3 กรณี จะพบว่าในการเลือกใช้เส้นทางจากข้อมูลการเดินทางในวันที่ 4 และ 5 ก.พ. โดยเฉลี่ยแล้วจะมีการเดินทางที่เลือกใช้เส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุดประมาณร้อยละ 50 จากจำนวนการเดินทางทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มตัวอย่างไม่ได้เลือกใช้เส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุดเสมอ และข้อมูลของทั้ง 2 วัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นกรณีที่ 1 เส้นทางที่ 2 ที่ข้อมูลของทั้งสองวันมีความแตกต่างกัน

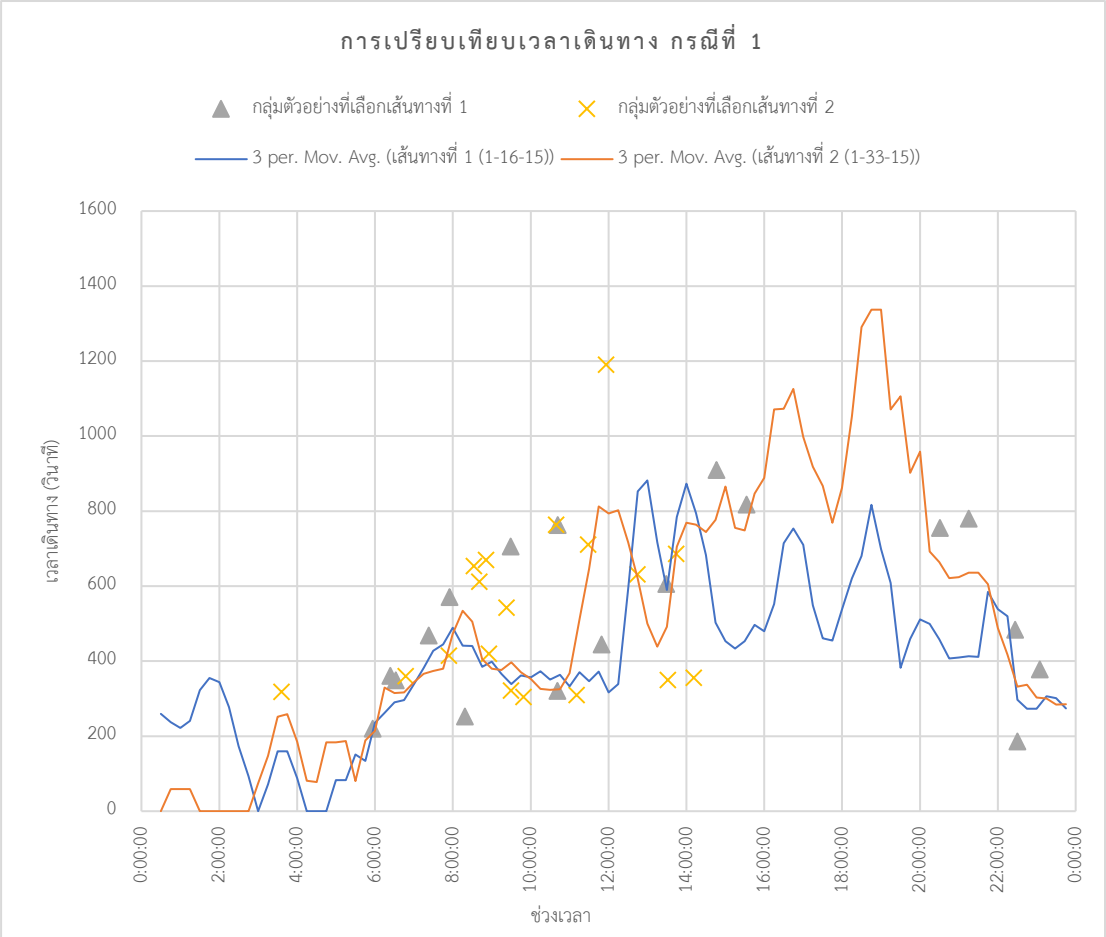
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบเส้นทางเลือกในแต่ละช่วงเวลา

ในส่วนนี้จะใช้ค่าเวลาเดินทางเฉลี่ยสำหรับการเปรียบเทียบเวลาเดินทางของสองเส้นทางในแต่ละช่วงเวลา และเปรียบเทียบแนวโน้มของเวลาเดินทางกับข้อมูลเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงจากกลุ่มตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.14 ถึง 4.19 ซึ่งในแต่ละรูปจะแสดงการเปรียบเทียบเวลาเดินทางของแต่ละเส้นทางโดย เส้นในรูป แทน เวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางนั้นๆ ที่ได้จากการรวมข้อมูลการเดินทางทั้งหมดที่ผ่านช่วงถนนแต่ละช่วงและนำข้อมูลเวลาเดินทางเฉลี่ยในแต่ละช่วงถนนมารวมเป็นเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทาง และจุดคือ เวลาเดินทางของกลุ่มตัวอย่างในแต่ละเส้นทาง โดยแต่ละจุด คือ เวลาเดินทางของ 1 ตัวอย่าง

โดยในการใช้ค่าเฉลี่ยทุก 15 นาที จะพบว่าในบางช่วงจะมีความแตกต่างของข้อมูลเวลาเดินทางสูงทำให้การเปรียบเทียบระหว่าง 2 เส้นทางเห็นแนวโน้มได้ไม่ชัดเจน ทางผู้วิจัยจึงนำค่าเฉลี่ย

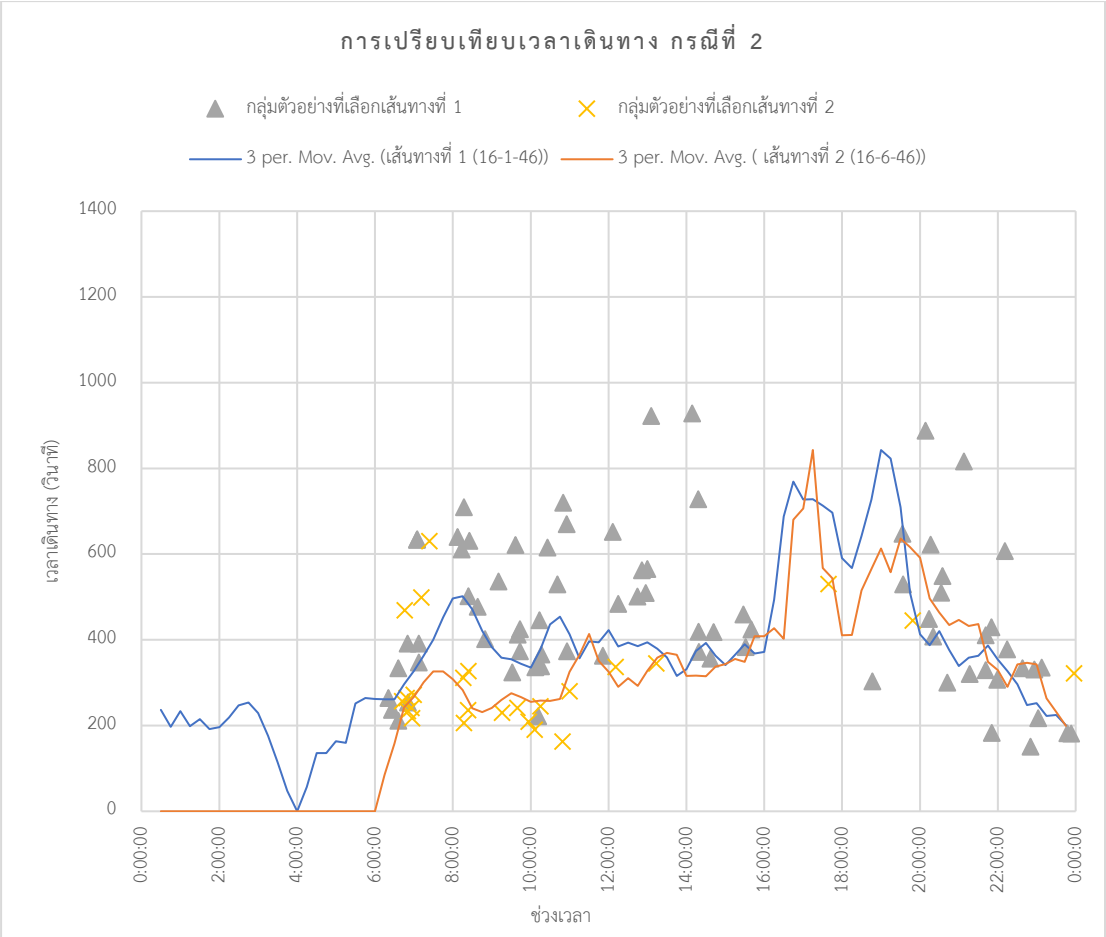
เวลาเดินทางมาปรับแก้ด้วยวิธี Moving Average เพื่อให้สามารถเห็นแนวโน้มและความแตกต่างของเวลาเดินทางในแต่ละช่วงได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยกำหนดช่วงของการเฉลี่ยที่ 3 ช่วง



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 1 วันที่ 4 ก.พ.

จากรูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบเวลาเดินทางของเส้นทางที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันโดยใช้ค่าเวลาเดินทางเฉลี่ยในกรณีที่ 1 จะพบว่าในช่วงเช้า เวลาเดินทางของทั้งสองเส้นทางจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และเริ่มมีความแตกต่างของเวลาเดินทางมากขึ้นในช่วงบ่าย โดยเส้นทางทางเลือกที่ 1 จะใช้เวลาเดินทางต่ำกว่าเส้นทางทางเลือกที่ 2 ตั้งแต่ช่วงเวลา 15:00 เป็นต้นไป

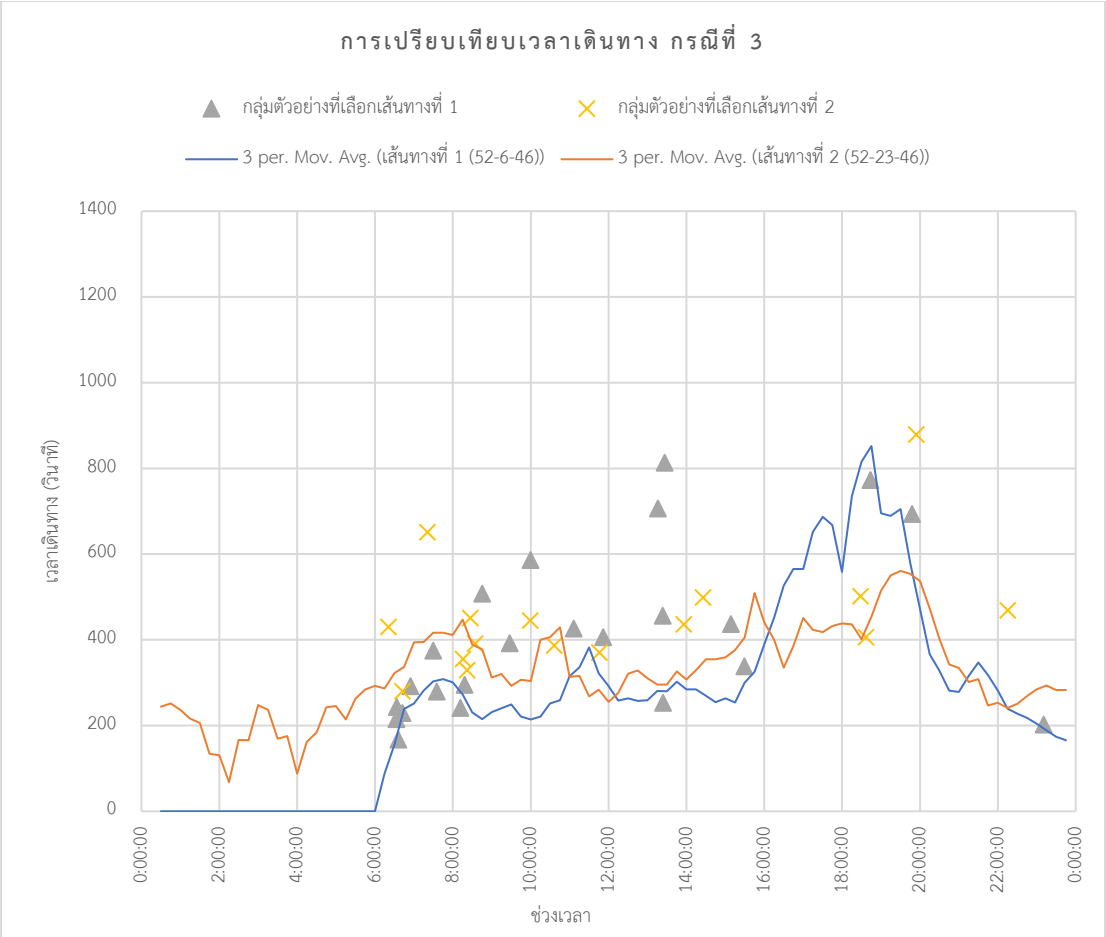
เมื่อพิจารณาข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่แสดงในรูปจะพบว่าข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างของทั้ง 2 เส้นทาง ในช่วงเวลาเดียวกันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 2 วันที่ 4 ก.พ.

จากรูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบเวลาเดินทางของเส้นทางที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันในกรณีที่ 2 จะพบว่า ในช่วงเช้าทั้งสองเส้นทางจะมีเวลาเดินทางที่แตกต่างกัน โดยเส้นทางที่ 2 จะใช้เวลาเดินทาง ต่ำกว่าเส้นทางที่ 1 ในช่วงเวลาเช้า ถึง เที่ยง และมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงบ่ายถึงเย็น

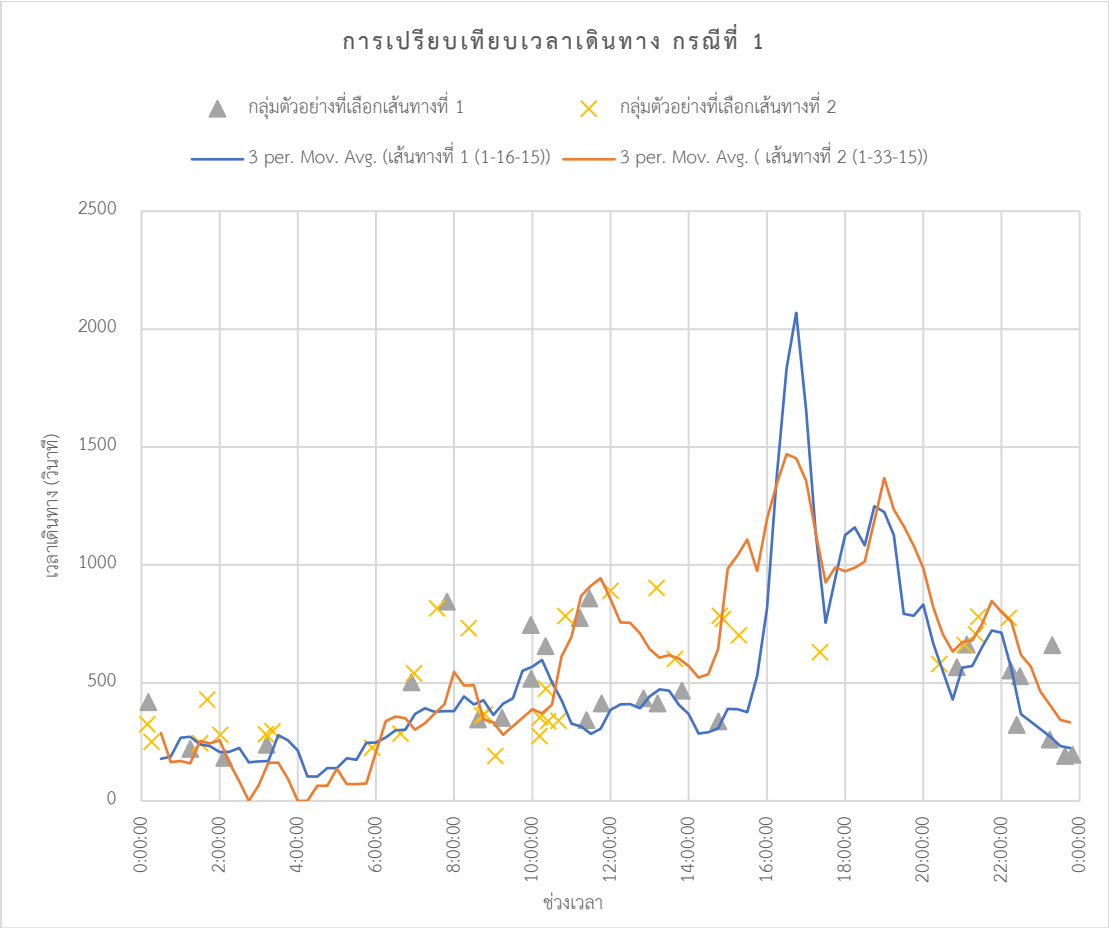
เมื่อพิจารณาข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่แสดงในรูปจะพบว่าข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างของทั้ง 2 เส้นทาง ในช่วงเวลาเดียวกันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 3 วันที่ 4 ก.พ.

จากรูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบเวลาเดินทางของเส้นทางที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันในกรณีที่ 3 จะพบว่าเส้นทางที่ 1 จะใช้เวลาเดินทางน้อยกว่าเส้นทางที่ 2 ในช่วงเช้าถึงประมาณ 11:00 และในช่วงบ่าย 14:00 - 16:00 และเส้นทางที่ 2 จะใช้เวลาน้อยกว่าเส้นทางที่ 1 ในช่วงเวลา 16:00 -20:00

เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลเวลาเดินทางของกลุ่มตัวอย่างของทั้ง 2 เส้นทางในช่วงเวลาเดียวกันจะพบว่าแนวโน้มของเวลาเดินทางจากกลุ่มตัวอย่างเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับข้อมูลเวลาเดินทางเฉลี่ย

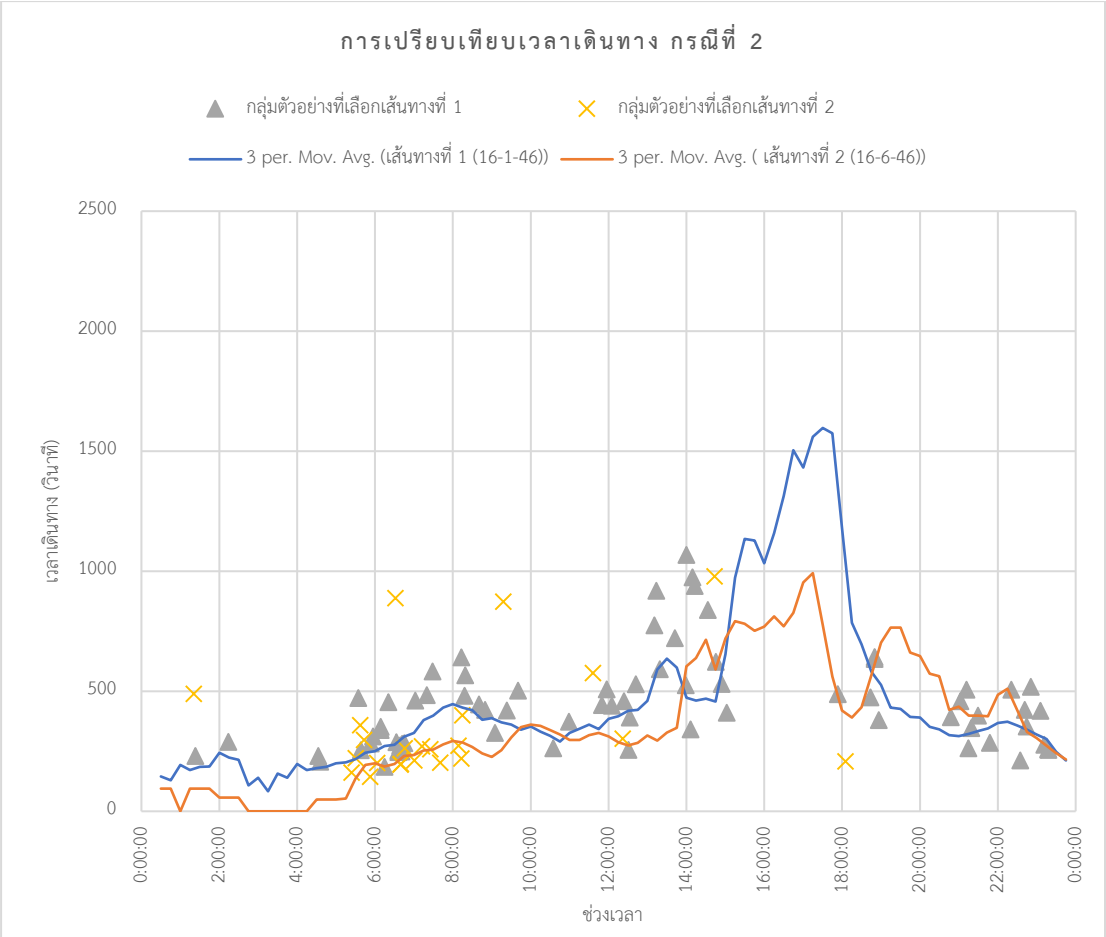


รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 1 วันที่ 5 ก.พ.

จากรูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบเวลาเดินทางของเส้นทางที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันในกรณีที่ 1 จะพบว่าในช่วงเช้า 6:00-9:00 เวลาเดินทางของเส้นทางทั้งสองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงเวลาหลัง 11:00 จะเริ่มพบความแตกต่างของเวลาเดินทางของทั้ง 2 เส้นทาง โดยเส้นทางทางที่ 1 จะใช้เวลาเดินทางต่ำกว่า เส้นทางที่ 2 จนถึงช่วงเวลาประมาณ 16:00 และหลังจากนั้นทั้งสองเส้นทางจะใช้เวลาเดินทางไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่แสดงในรูปจะพบว่าข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างของทั้ง 2 เส้นทาง ในช่วงเวลาเดียวกันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย

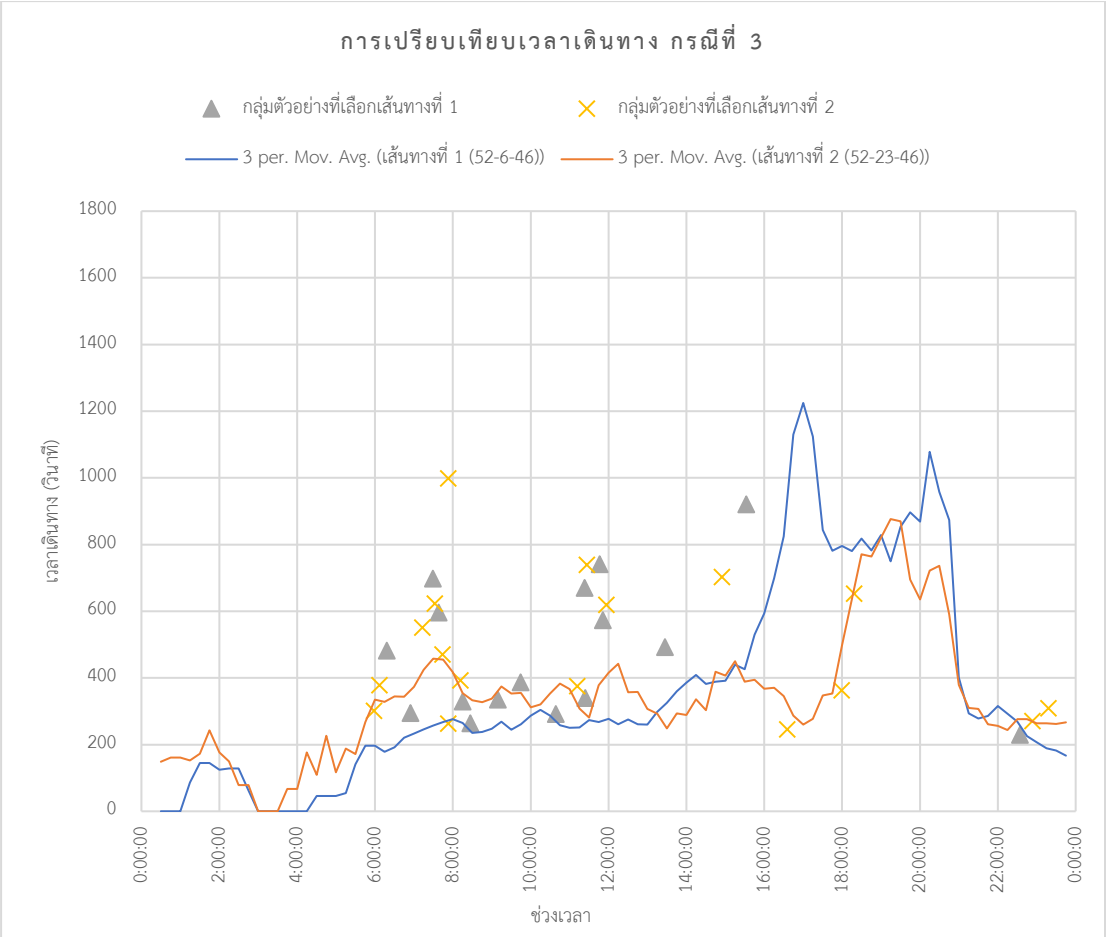
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 2 วันที่ 5 ก.พ.

จากรูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบเวลาเดินทางของเส้นทางที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกันในกรณีที่ 2 จะพบว่าใน เส้นทางที่ 2 ใช้เวลาเดินทางน้อยกว่าเส้นทางที่ 1 ในช่วงเวลา 6:00 – 9:00 และ 15:00 – 18:00 และเส้นทางที่ 1 จะใช้เวลาเดินทางน้อยกว่าเส้นทางที่ 2 ในช่วงเวลา 19:00 - 21:00

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่แสดงในรูปจะพบว่าข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างของทั้ง 2 เส้นทาง ในช่วงเวลาเดียวกันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบเวลาเดินทาง กรณีที่ 3 วันที่ 5 ก.พ.

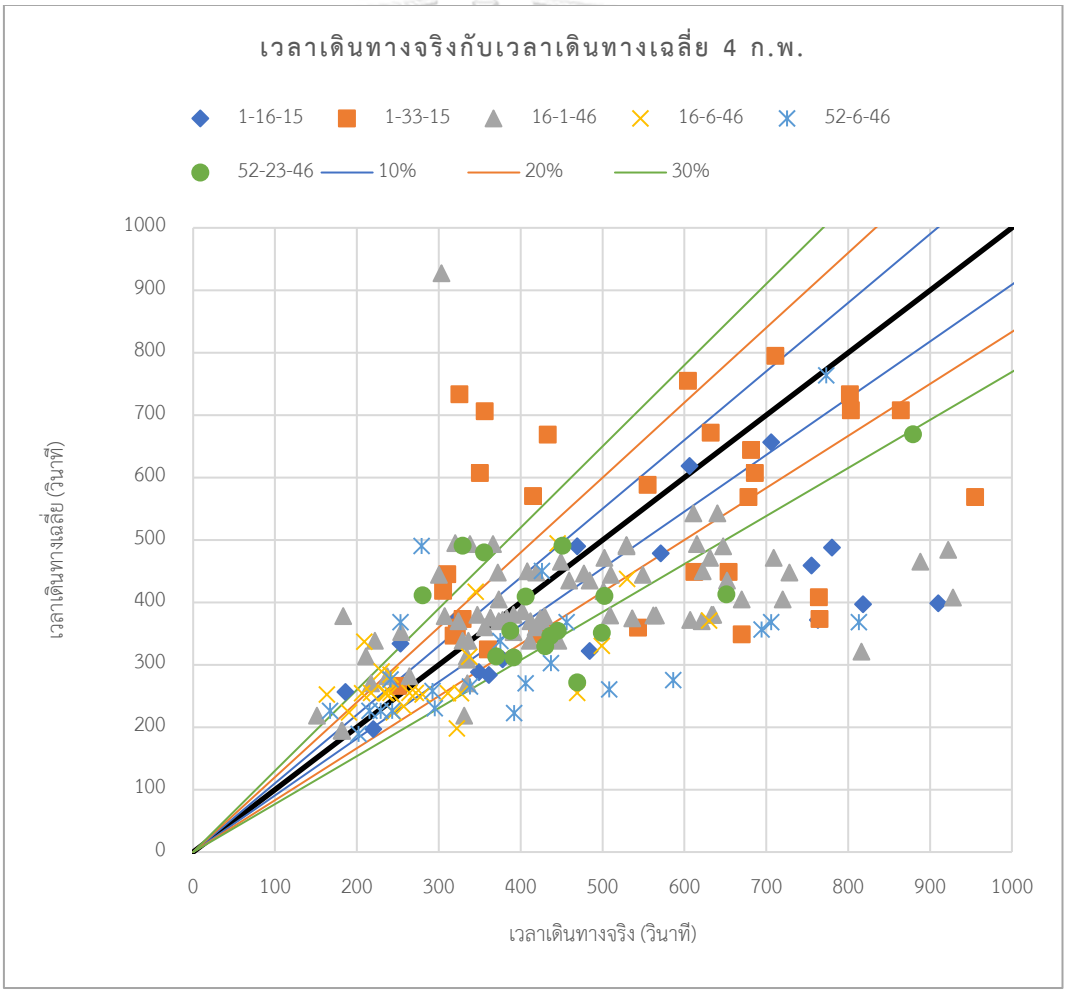
จากรูปที่ 4.19 ในการเปรียบเทียบทางเลือกของเส้นทางที่มีจุดต้นทางและปลายทางที่เหมือนกันในกรณีที่ 3 จะพบว่าเส้นทางที่ 1 จะมีระยะเวลาเดินทางใกล้เคียงหรือต่ำกว่าเส้นทางที่ 2 ยกเว้นในช่วงเวลา 16:00 – 18:00 ที่เส้นทางที่ 2 จะใช้เวลาเดินทางน้อยกว่าเส้นทางที่ 1 อย่างเห็นได้ชัด

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่แสดงในรูปจะพบว่าข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างของทั้ง 2 เส้นทาง ในช่วงเวลาเดียวกันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย

โดยสรุปจากทั้ง 3 กรณี 6 เส้นทางจะพบว่า เวลาเดินทางในแต่ละเส้นทางมีความแตกต่างกันตามช่วงเวลา และเส้นทางที่ใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุดจะเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลา และแนวโน้มค่าเวลาเดินทางจากกลุ่มตัวอย่างเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย

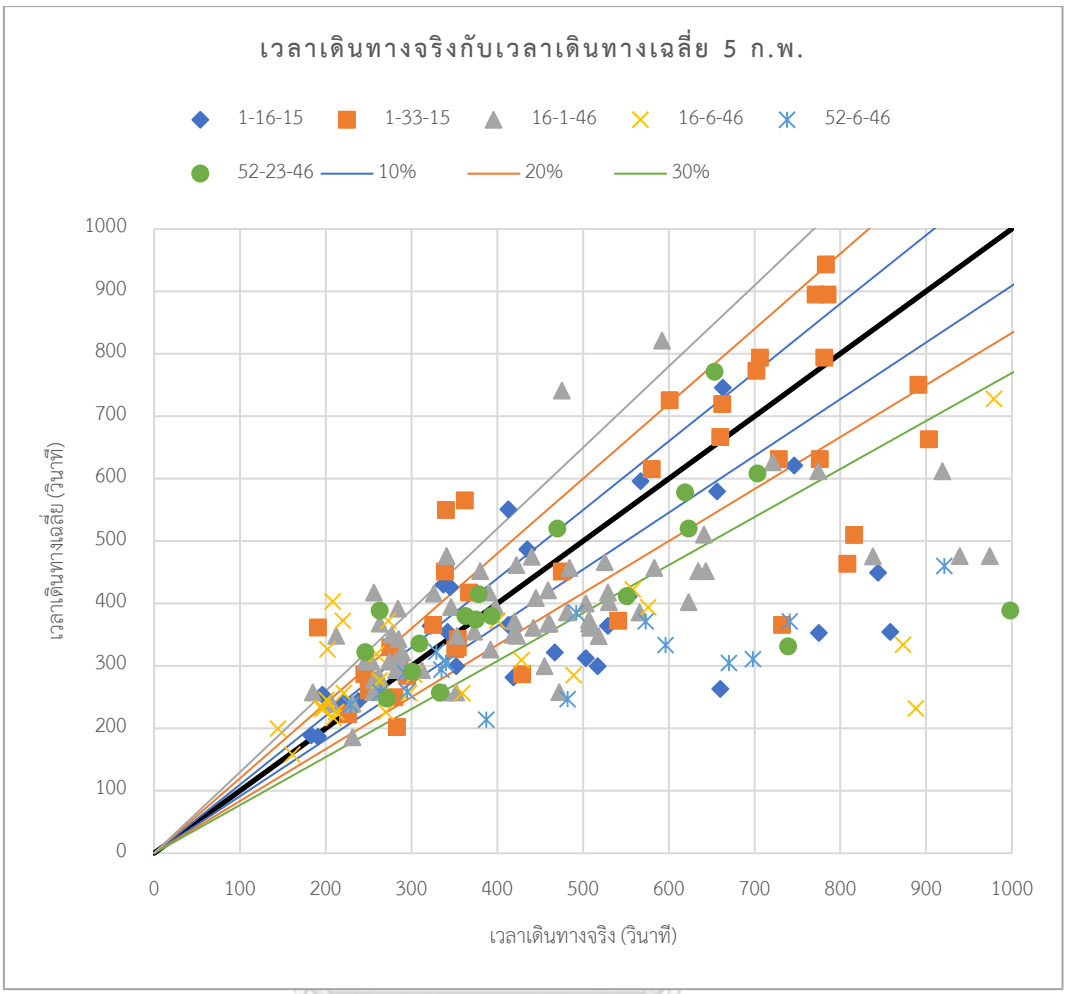
4.4.2 ความแตกต่างของเวลาเดินทางของกลุ่มตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกัน

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์เปรียบเทียบ ความแตกต่างของเวลาเดินทางรายเส้นทางที่เกิดขึ้นจริงที่ได้จากการเดินทางของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กรณี 6 เส้นทาง กับ เวลาเดินทางที่ได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลบลูทูธในแต่ละลิงค์มารวมเป็นเส้นทาง ในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเวลาการเดินทางที่ได้จาก 1 ตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบ เวลาเดินทางที่ใช้ค่าเฉลี่ยจากการเดินทางในลิงค์ย่อยๆ มารวมกันเป็นเส้นทาง มีความแตกต่างกันอย่างไร โดยกำหนดเส้น 45 องศา เป็นจุดที่เวลาการเดินทางที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับค่าเวลาเดินทางเฉลี่ย และเส้น 10% 20% 30% แสดงช่วง Mean absolute percentage error (MAPE) ที่ 10 20 และ 30



ก) 4 ก.พ.

รูปที่ 4.20 เวลาเดินทางจริงจากกลุ่มตัวอย่างและเวลาเดินทางเฉลี่ย



ข) 5 ก.พ.

รูปที่ 4.20 เวลาเดินทางจริงจากกลุ่มตัวอย่างและเวลาเดินทางเฉลี่ย (ต่อ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 4.20 ก) และ 4.20 ข) ซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงของกลุ่มตัวอย่างที่เดินทางในเส้นทางนั้นๆ และ เวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกัน ของวันที่ 4 ก.พ. และ 5 ก.พ. ซึ่งจากการหาความสัมพันธ์จะพบว่า ในภาพรวมของข้อมูลเวลาเดินทางจริงและเวลาเดินทางเฉลี่ย จะมีการกระจายตัวอยู่เหนือและใต้เส้น 45 องศา ซึ่งหมายความว่าเวลาเดินทางจริงมีทั้งค่าที่มากกว่าและน้อยกว่าเวลาเดินทางเฉลี่ย และข้อมูลโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะอยู่ใต้เส้น 45 องศา ซึ่งจะมีความหมายว่า เวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงมีแนวโน้มที่จะมีค่ามากกว่าเวลาเดินทางเฉลี่ย

เมื่อนำข้อมูลจากรูปที่ 4.20 ก) และ 4.20 ข) มาจำแนกเพื่อตรวจสอบจำนวนของข้อมูลเวลาเดินทางที่แตกต่างกันในแต่ละช่วง MAPE จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 จำนวนข้อมูลในแต่ละช่วง MAPE

ช่วง MAPE ที่เวลาเดินทางแตกต่างกัน	4 ก.พ.		5 ก.พ.	
	จำนวนข้อมูล	ร้อยละ	จำนวนข้อมูล	ร้อยละ
น้อยกว่า 10	57	30	57	29
11-20	40	21	49	25
21-30	23	12	32	16
มากกว่า 30	70	37	61	30
รวม	190	100	199	100

จากตารางที่ 4.9 ซึ่งแสเงข้อมูลในแต่ละช่วง MAPE จะพบว่าข้อมูลประมาณร้อยละ 50 อยู่ในช่วง MAPE น้อยกว่า 10 และ 11-20 และเมื่อดูแนวโน้มของข้อมูลจะพบว่า จำนวนข้อมูลจะน้อยลงเมื่อช่วง MAPE มากขึ้น และเนื่องจากข้อมูลการเดินทางจริงไม่ได้มีการตัด outlier ออก ซึ่งมีผลให้ข้อมูลในช่วง MAPE มากกว่า 30 มีจำนวนที่มาก

ส่วนต่อมาจะกล่าวถึงค่าความแตกต่างระหว่างเวลาเดินทางจริงและเวลาเดินทางเฉลี่ยโดยใช้ MAPE เพื่ออธิบายความแตกต่างของเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงและเวลาเดินทางเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในทุกๆ เส้นทาง

ตารางที่ 4.10 ค่า MAPE ระหว่างเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงกับเวลาเดินทางเฉลี่ย

กรณีที่	4 ก.พ.		5 ก.พ.	
	เส้นทาง	MAPE เฉลี่ยของเวลาเดินทางจริงและเวลาเดินทางเฉลี่ย	เส้นทาง	MAPE เฉลี่ยของเวลาเดินทางจริงและเวลาเดินทางเฉลี่ย
1	1-16-15	26	1-16-15	23
	1-33-15	31	1-33-15	22
2	16-1-46	25	16-1-46	27
	16-6-46	21	16-6-46	30
3	52-6-46	27	52-6-46	28
	52-23-46	24	52-23-46	19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.10 แสดงค่า MAPE ของแต่ละเส้นทางเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเวลาเดินทางจริงของเส้นทางที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง กับ เวลาเดินทางเฉลี่ยที่เกิดจากการใช้เวลาเดินทางในลิงค์ย่อยๆ มารวมเป็นเวล้เดินทางของเส้นทาง ในวันที่ 4 และ 5 ก.พ. ซึ่งจะพบว่าค่า MAPE ในภาพรวมของทุกๆ เส้นทาง จะอยู่ในช่วง 20-30 ซึ่งมีความหมายว่า ถ้าหากเราใช้ค่าเฉลี่ยเวลาเดินทางในการทำนายเวลาเดินทางของเส้นทาง จะมีค่าที่สามารถคลาดเคลื่อนจากเวลาที่เกิดขึ้นจริงอยู่ 20-30 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาการติดตามเส้นทางการเดินทางจากข้อมูลจราจรที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ซึ่งเป็นวิธีการเก็บข้อมูลในลักษณะของ Big Data ที่เน้นการพยายามเก็บรวบรวมข้อมูลให้มากที่สุดและดูลักษณะหรือแนวโน้มของข้อมูลที่สามารถเก็บได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธที่ได้รับการติดตั้งภายในป้อมจราจร บริเวณทางแยกที่สำคัญในกรุงเทพมหานครจำนวน 40 จุด ที่เป็นบริเวณที่มีความต่อเนื่องกัน โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ จะใช้การตรวจจับสัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์บลูทูธที่เข้ามาในรัศมีการตรวจจับของอุปกรณ์ ในการตรวจจับสัญญาณแต่ละครั้งจะได้ข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วย เลข MAC Address ของอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับได้ เวลาที่สามารถตรวจจับได้ และ หมายเลขของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธที่ตรวจจับสัญญาณได้ ซึ่งเป็นข้อมูลดิบที่ได้จากอุปกรณ์ที่ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที การจะใช้งานข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธนั้น จะต้องมีการนำข้อมูลดิบที่รวบรวมได้จากอุปกรณ์นำผ่านกระบวนการประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะนำไปใช้ต่อไป ซึ่งในการประมวลผลข้อมูลจะใช้การ re-identification เลข MAC Address ที่สามารถตรวจจับได้ประกอบกับเวลาที่ตรวจจับเลข MAC Address ได้ มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะพบว่าข้อมูลจากบลูทูธสามารถบอก เวลาเดินทางบนท้องถนน และสามารถติดตามการเดินทางที่เกิดขึ้นได้

อย่างไรก็ดีจากข้อมูลการติดตามการเดินทาง จะพบว่าข้อมูลดังกล่าวเกิดความไม่ต่อเนื่องหรือการหายของข้อมูล จึงต้องมีการตรวจสอบเพื่อหาลักษณะการหายของข้อมูล รวมถึงหาวิธีระบุจุดที่เกิดการหายของข้อมูล สำหรับการประมาณเส้นทางในกรณีที่เกิดการหายของข้อมูล ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีเวลาเดินทางสั้นที่สุด โดยเปรียบเทียบเส้นทางเลือกของการเดินทาง ทั้งหมด 3 กรณี 6 เส้นทาง โดยเปรียบเทียบการเลือกใช้เส้นทางของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบว่าเส้นทางที่เลือกเป็นเส้นทางที่ใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุดหรือไม่ โดยเวลาเดินทางที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะใช้ค่าเวลาเดินทางเฉลี่ยที่ได้จากข้อมูลทั้งหมดในช่วงเวลานั้น

ผู้วิจัยได้นำเสนอถึงวิธีการที่จะประมวลผลข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ เพื่อใช้ในการติดตามการเดินทาง ตรวจสอบความต่อเนื่องและลักษณะของการหาย ของข้อมูลจากการติดตามการเดินทางด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ และหาวิธีการที่จะประมาณข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยวิธีการใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุด ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธจำนวน 40 จุด โดยใช้ข้อมูลจำนวน 2 วัน คือวันที่ 4 และ 5 กุมภาพันธ์ 2559 และนำข้อมูลมาประมวลผล ซึ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในงานวิจัยนี้ได้นิยามลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาใช้ติดตามการเดินทาง จะต้องมีการตรวจพบไม่น้อยว่า 3 สถานี ถึงจะนับเป็นข้อมูลการเดินทาง

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยส่วนแรกคือการศึกษาลักษณะของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ส่วนที่สองเป็นการติดตามการเดินทางจากข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ส่วนที่สามคือลักษณะการหายและความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลในการติดตามการเดินทาง และส่วนสุดท้ายคือการศึกษาเส้นทางเลือกเพื่อประมาณเส้นทาง

5.1.1 ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ

ในงานวิจัยนั้นทางผู้วิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธที่ได้ทำการติดตั้งทั้งหมด 40 จุด โดยข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ จะต้องมีการนำข้อมูลมาผ่านการประมวลผล โดยในเบื้องต้นจะพบว่า ข้อมูล Unique MAC Address ที่เจอในแต่ละสถานีมีจำนวนไม่เท่ากัน โดยจำนวน Unique MAC Address ที่พบต่อสถานีใน 1 วันสูงสุดที่ 8500 ข้อมูล และต่ำสุดที่ 900 ข้อมูล และในภาพรวมของโครงข่ายพบว่าจำนวน Unique MAC Address ที่ตรวจพบมีค่าที่แตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลา โดยช่วงที่สามารถตรวจจับ Unique MAC Address ได้มากที่สุดอยู่ในช่วงเร่งด่วนเช้า โดยมีจำนวน Unique MAC Address ทั้งโครงข่าย 3000 ข้อมูลต่อชั่วโมง

5.1.2 การติดตามการเดินทางจากข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ

ข้อมูล MAC Address ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธประกอบด้วย ข้อมูลเวลาที่สามารถตรวจพบได้ และข้อมูลสถานีที่ตรวจพบเพื่อสร้างข้อมูลการเดินทาง โดยข้อมูลดังกล่าวถูกนำไปประมวลผลและได้ข้อมูลการเดินทางอันได้แก่ จุดต้นทาง จุดปลายทาง สถานีที่การเดินทางผ่าน เวลาเริ่มต้น-สิ้นสุดการเดินทาง ซึ่งทำให้สามารถทราบถึงรายละเอียดเส้นทางการเดินทางที่เกิดขึ้นได้ โดยจำนวนข้อมูลการเดินทางในวันที่ 4 และ 5 ก.พ. มีจำนวนทั้งหมด 20,778 และ 26,585 การเดินทาง ตามลำดับ และเมื่อตรวจสอบการเดินทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาพบว่า การเดินทางจะเกิดขึ้นในช่วงเร่งด่วนเช้า และลดลงจนคงที่ในช่วงเวลากลางวัน และค่อยๆลดลงอีกครั้งในช่วงดึก

5.1.3 ลักษณะการหายและความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลในการติดตามการเดินทาง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาข้อมูลการเดินทางที่สร้างจากข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธ ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่ามีข้อมูลการเดินทางที่ไม่ต่อเนื่องหรือเกิดการหายของข้อมูล ทำให้ไม่สามารถติดตามการเดินทางได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงศึกษาในรายละเอียดของการหายของข้อมูล โดยจะพบว่า จำนวนการเดินทางที่เกิดการหายของข้อมูลมีอยู่ประมาณ ร้อยละ 40 ของจำนวนข้อมูลการเดินทางทั้งหมด และพบว่าการเดินทางที่ผ่านจำนวนสถานีมากขึ้น จะมีโอกาสเกิดการหายของข้อมูลที่สูงขึ้น โดยในการศึกษานี้ได้ตรวจสอบลักษณะการหายของข้อมูลใน 2 ลักษณะ

1. จำนวนช่วงการหายที่เกิดขึ้นต่อการเดินทาง

เมื่อตรวจสอบข้อมูลการเดินทางจะพบว่า ช่วงที่เกิดความไม่ต่อเนื่องหรือการหายของข้อมูล 1 ช่วงมีประมาณร้อยละ 30 - 40 ของการเดินทางทั้งหมด และหากมีการประมาณช่วงที่เกิดการหายของข้อมูลได้ 1 ช่วงจะสามารถเพิ่มข้อมูลการเดินทางที่มีความต่อเนื่องสามารถติดตามการเดินทางได้มากขึ้น

2. การหายในแต่ละสถานี

หลังจากทราบถึงช่วงการหายของข้อมูลการเดินทาง ในส่วนต่อมาจะประมาณเส้นทางในช่วงที่เกิดการหายของข้อมูล โดยใช้สมมติฐานว่า การเดินทางจะเลือกเส้นทางที่ระยะทางสั้นที่สุด เพื่อหาสถานีที่การเดินทางน่าจะผ่านในช่วงที่เกิดการหายของข้อมูล ซึ่งจากการประมาณเส้นทางจะพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วอัตราการหายของข้อมูลต่อสถานีจะอยู่ที่ร้อยละ 30 โดยสถานีที่มีอัตราการหายสูงที่สุด คือ สถานีที่ 19 มีอัตราการหายร้อยละ 66 โดยข้อมูลในส่วนนี้จะช่วยระบุ สถานีที่เกิดปัญหาการหายและสามารถตรวจสอบเพิ่มเติมถึงสาเหตุของการหายต่อไปได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.4 การศึกษาเส้นทางเลือกเพื่อประมาณเส้นทาง

งานวิจัยนี้กำหนดกรณีศึกษา 3 กรณี 6 เส้นทาง และหารายละเอียดของเส้นทางเลือกในแต่ละกรณีศึกษา จากข้อมูลการเลือกใช้เส้นทางจริง และ เวลาในการเดินทางจากข้อมูลบลูทูธ ซึ่งจะใช้ข้อมูลการเดินทางและเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงของกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลเวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางที่ได้จากการนำข้อมูลเวลาเดินทางในช่วงถนน มารวมเป็นเวลาเดินทางของเส้นทาง ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้เวลาเดินทางเฉลี่ยของเส้นทางเลือกในช่วงเวลาเดียวกันมาเปรียบเทียบ เพื่อหาเส้นทางที่ใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุดในแต่ละช่วง หลังจากนั้นจะนำข้อมูลการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละช่วงเวลามาเปรียบเทียบเพื่อพิจารณาการเลือกเส้นทางของกลุ่มตัวอย่าง ว่าได้มีการเลือกเส้นทางที่

สั้นที่สุดหรือไม่ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจากข้อมูลการเดินทาง 389 ข้อมูล ในวันที่ 4 และ 5 ก.พ. จะพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วกลุ่มตัวอย่างจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด ประมาณร้อยละ 50 โดยในกรณีที่ 1 พบว่ากลุ่มตัวอย่างเลือกเส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุดร้อยละ 58 และ 48 กรณีที่ 2 เลือกเส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุดร้อยละ 44 และ 45 และ กรณีที่ 3 เลือกเส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุดร้อยละ 48 และ 50 สำหรับข้อมูลวันที่ 4 และ 5 ก.พ. ตามลำดับ และจากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถทราบถึงพฤติกรรมการเลือกใช้เส้นทาง และหากมีการประมาณเส้นทางโดยการใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุด จะมีความใกล้เคียงกับการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงอย่างไร และจากข้อมูลเวลาเดินทางเฉลี่ยรายเส้นทางจะพบว่า เวลาเดินทางของเส้นทางเลือกในแต่ละเส้นทางในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกัน ทำให้เส้นทางที่เวลาเดินทางสั้นที่สุดเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลา และพบว่าจากข้อมูลทั้งหมด 389 ตัวอย่าง จะมีกลุ่มตัวอย่างที่เลือกเส้นทางที่ใช้เวลาเดินทางสั้นที่สุดในช่วเวลานั้นๆ อยู่เพียงร้อยละ 50

การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงและเวลาเดินทางเฉลี่ย ในเส้นทางและช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าเวลาเดินที่เกิดขึ้นจริงของกลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่าเวลาเดินทางที่เกิดจากค่าเฉลี่ย และเมื่อเปรียบเทียบโดยการใช้ค่า MAPE จะพบว่าความแตกต่างของเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริงจากกลุ่มตัวอย่างจะแตกต่างกับเวลาเดินทางเฉลี่ยอยู่ประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าว สามารถเกิดขึ้นได้และเป็นเรื่องปกติและสามารถยอมรับได้สำหรับการรายงานเวลาเดินทาง เนื่องจากพฤติกรรมการขับขี่ของแต่ละบุคคล รวมถึงการติดสัญญาณไฟ จะทำให้เวลาเดินทางของแต่ละคนมีโอกาสที่จะความแตกต่างจากค่าเฉลี่ย

5.2 สิ่งที่ค้นพบและการนำไปประยุกต์ใช้

1. ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงวิธีการและแนวคิดที่จะประมวลผลข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณบลูทูธเพื่อที่จะใช้ในการติดตามการเดินทางที่เกิดขึ้นภายในโครงข่ายที่ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์และสร้างข้อมูลการเดินทาง ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในด้านวิศวกรรมขนส่งและจราจร

2. จากข้อมูลการเดินทางที่ได้จากการประมวลผลเมื่อตรวจสอบความต่อเนื่องของข้อมูลการเดินทางโดยวิธีการตรวจสอบสถานี และช่วงถนนที่เชื่อมต่อระหว่างสถานี ซึ่งพบว่าข้อมูลการติดตามการเดินทางจะมีข้อมูลที่สมบูรณ์เพียงร้อยละ 40 ถึง 50 และในงานวิจัยได้ได้นำเสนอถึงวิธีการตรวจสอบ ช่วงที่เกิดการหายของข้อมูล และ วิธีการที่จะประมาณจุดที่เกิดการหายของข้อมูลโดยใช้ข้อมูลระยะทางระหว่างสถานี ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจสอบจุดที่เกิดการหายของข้อมูล

3. จากข้อมูลการเดินทางที่เกิดขึ้นจริง ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงประโยชน์ของข้อมูลการเดินทาง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาเส้นทางการเดินทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา และเมื่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นำมาประยุกต์กับ ข้อมูลเวลาเดินทางของทั้งโครงข่ายจะสามารถทราบถึงพฤติกรรมการเลือกเส้นทางการเดินทาง ของกลุ่มตัวอย่าง ว่าได้เลือกเส้นทางที่ระยะเวลาการเดินทางสั้นที่สุดหรือไม่

4. งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงความแตกต่างของเวลาเดินทางรายเส้นทางจากข้อมูลการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงของ 1 ตัวอย่างข้อมูล กับ เวลาเดินทางที่เกิดจากการใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละช่วงถนน มารวมเป็นเวลาเดินทางของเส้นทางนั้นๆ ซึ่งจะพบว่าโดยเฉลี่ยแล้ว เวลาเดินทางในช่วงเวลาเดียวกันจะมีค่า MAPE อยู่ในช่วง 20 – 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายถึง เราสามารถใช้ค่าเวลาเดินทางเฉลี่ยในแต่ละช่วงถนน มารวมเป็นเวลาเดินทางรายเส้นทาง และรายงานเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นได้โดยมีโอกาสที่จะคลาดเคลื่อนอยู่ร้อยละ 20 – 30 เมื่อเทียบกับเวลาเดินทางที่เกิดขึ้นจริง

5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัยและแนวทางศึกษาในอนาคต

การพัฒนาวิธีประมาณจุดต้นทางปลายทาง

ในกรณีที่จุดต้นทาง – จุดปลายทาง ของการเดินทางอยู่ติดกับสถานี ที่มีอัตราการหายของข้อมูลสูง ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่อาจจะเกิดการหายที่จุดต้นทางหรือจุดปลายทางของการเดินทาง ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาวิธีการที่จะแทนค่าหรือหาจุดต้นทาง – ปลายทาง ที่แท้จริง

การพัฒนาวิธีการประมวลผลข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลเพียง 2 วัน ซึ่งหากมีการเก็บข้อมูลที่ต่อเนื่องในระยะยาว จะต้องมีการพัฒนาวิธีการประมวลผลข้อมูล ที่สามารถรองรับจำนวนข้อมูลที่มากขึ้น ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้แนวคิด หรือหลักการจากงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดวิธีการได้ ซึ่งข้อมูลในลักษณะของ Big Data ยิ่งมีจำนวนข้อมูลมากจะสามารถทำนายหรือบอกแนวโน้มได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การพัฒนาในด้านการหาเวลาเดินทาง

การหาค่าเวลาเดินทางเฉลี่ยในงานวิจัยนี้ ไม่ได้มีแยกทิศทางของรถที่บริเวณแยก ซึ่งอาจจะมีผลต่อระยะเวลาเดินทางของลิงค์นั้นๆ ในกรณีที่รถต้องจอดเนื่องจากสัญญาณไฟจราจร ซึ่งหากสามารถแยกทิศทางของรถเลี้ยวและตรงได้ จะสามารถทำให้ค่าเวลาเดินทางมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

Bhaskar, A., & Chung, E. (2013). Fundamental understanding on the use of Bluetooth scanner as a complementary transport data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies,* 37, 42-72. doi:https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.09.013

Blogg, M., Semler, C., Hingorani, M., & Troutbeck, R. (2010). *Travel Time and Origin-Destination Data Collection using Bluetooth MAC Address Readers*.

Bluetooth SIG Inc. Bluetooth Technology Retrieved from https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions

Carpenter, C., Fowler, M., & Adler, T. J. (2012). Generating Route-Specific Origin–Destination Tables Using Bluetooth Technology. *Transportation Research Record,* 2308(1), 96-102. doi:10.3141/2308-10

Chitturi, M. V., Shaw, J. W., Campbell, J. R., & Noyce, D. A. (2014). Validation of Origin–Destination Data from Bluetooth Reidentification and Aerial Observation. *Transportation Research Record,* 2430(1), 116-123. doi:10.3141/2430-12

Hainen, A. M., Wasson, J. S., Hubbard, S. M. L., Remias, S. M., Farnsworth, G. D., & Bullock, D. M. (2011). Estimating Route Choice and Travel Time Reliability with Field Observations of Bluetooth Probe Vehicles. *Transportation Research Record,* 2256(1), 43-50. doi:10.3141/2256-06

Michau, G., Nantes, A., Bhaskar, A., Chung, E., Abry, P., & Borgnat, P. (2017). *Bluetooth Data in an Urban Context: Retrieving Vehicle Trajectories* (Vol. PP).

Michau, G., Nantes, D. A., Bhaskar, D. A., Chung, P. E., Abry, D. P., & Borgnat, D. P. (2015). *Routes recovery from wireless detectors data: The case of bluetooth detectors in brisbane*. Paper presented at the Submitted for the 94rd Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Tsubota, T., Bhaskar, A., Chung, E., & Billot, R. (2011). *Arterial traffic congestion analysis using Bluetooth duration data*. Paper presented at the Australasian Transport Research Forum 2011, Adelaide Hilton Hotel, Adelaide, SA. https://eprints.qut.edu.au/46312/

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Vliet, D. V. (2013). *Saturn Software User's Manual (v*11.2)". Epsom, Surrey, UK.

Yinhai Wang, Yegor Malinovskiy, Yao-Jan Wu, & Un Kun Lee. (2011). *ERROR MODELING AND ANALYSIS FOR TRAVEL TIME DATA OBTAINED FROM BLUETOOTH MAC ADDRESS MATCHING* (WA-RD 782.1 / TNW 2011-01). Retrieved from

Yucel, S., Tuydes-Yaman, H., Altintasi, O., & Ozen, M. (2013). *DETERMINATION OF VEHICULAR TRAVEL PATTERNS IN AN URBAN LOCATION USING BLUETOOTH TECHNOLOGY*.

พีรวัส โชติพานิช, & ภวินท์ เจริญสมบัติ. (2558). การรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์บลูทูธ. (ปริญญาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปวีร์ ทองไพบูลย์ เกิดวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ.2534 สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์) ปี พ.ศ. 2552 ระดับปริญญาตรีจบการศึกษาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ปี พ.ศ. 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University