Chulalongkorn University

Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2021

การพัฒนาการแสดงผลความไม่แน่นอนเชิงพื้นที่ของความยาวแถวคอยจราจร

วิทวัส บรรณสาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

Follow this and additional works at: https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd

Part of the Engineering Commons

Recommended Citation

บรรณสาร, วิทวัส, "การพัฒนาการแสดงผลความไม่แน่นอนเชิงพื้นที่ของความยาวแถวคอยจราจร" (2021). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 5515.
https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5515

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การพัฒนาการแสดงผลความไม่แน่นอนเชิงพื้นที่ของความยาวแถวคอยจราจร

นายวิทวัส บรรณสาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF SPATIAL UNCERTAINTY-AWARE VISUALIZATION OF TRAFFIC QUEUE LENGTH

Mr. Wittawat Bunnasarn

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering
Department of Survey Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2021
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาการแสดงผลความไม่แน่นอนเชิงพื้นที่ของความยาวแถวคอยจราจร
โดย	นายวิทวัส บรรณสาร
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรวิก ตนักษรานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวภาษา)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรวิก ตนักษรานนท์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.อสมาภรณ์ สิทธิ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทวัส บรรณสาร : การพัฒนาการแสดงผลความไม่แน่นอนเชิงพื้นที่ของความยาวแถวคอยจราจร. (DEVELOPMENT OF SPATIAL UNCERTAINTY-AWARE VISUALIZATION OF TRAFFIC QUEUE LENGTH) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.กรวิก ตนักษรานนท์

ความยาวแถวคอยจราจรเป็นค่าวัดที่สำคัญค่าหนึ่งในการวัดประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรและการปรับสัญญาณไฟจราจร เนื่องจากความยาวแถวคอยมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรและจำนวนของรถบนถนน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงหรือความไม่แน่นอนของแถวคอยนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการนำไปจัดการและวางแผนเพื่อเพิ่มคุณภาพของสัญญาณไฟจราจร อย่างไรก็ตามการแสดงผลความไม่แน่นอนของความยาวแถวคอยในเชิงพื้นที่เวลาให้เข้าใจได้ง่ายยังพบได้น้อย ในงานวิจัยนี้การแสดงผลความไม่แน่นอนได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยการประยุกต์ใช้กราฟรูปแบบกล่องแสดงข้อมูลแถวคอยที่ได้มาจากข้อมูลจีพีเอสของแท็กซี่ และนำมาพัฒนาบนระบบแผนที่ออนไลน์ งานวิจัยนี้ยังได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยผลลัพธ์จากผู้เข้าร่วมทดสอบ 4 ใน 5 คนพบว่ามีความพึงพอใจต่อระบบและเข้าใจถึงวัตถุประสงค์ของระบบ นอกจากนี้เข้าใจว่าองค์ประกอบของกราฟรูปแบบกล่องบอกความไม่แน่นอนอย่างไรรวมถึงยังสามารถบอกถึงลักษณะความสัมพันธ์ของความยาวแถวคอยระหว่างทางแยกที่อยู่ใกล้เคียงกันได้ นอกจากนั้นผู้เข้าร่วมทดสอบยังสามารถเปรียบเทียบความไม่แน่นอนของแต่ละแยกได้ รวมไปถึงสามารถเห็นความแตกต่างของความยาวแถวคอยระหว่างช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกันได้ อย่างไรก็ดี ระบบยังไม่เหมาะกับผู้ใช้งานที่ไม่มีความรู้ด้านสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ	ลายมือชื่อนิสิต	....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....

6170508821 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: traffic flow, congestion, GPS patterns, car mobility, delay, queue length, signal control

Wittawat Bunnasarn : DEVELOPMENT OF SPATIAL UNCERTAINTY-AWARE VISUALIZATION OF TRAFFIC QUEUE LENGTH. Advisor: Asst. Prof. Garavig Tanaksaranond, Ph.D.

Traffic queue length is one of the most important measures of traffic signal performance and traffic signal optimization. Queue length at traffic signal is constantly changing depending on traffic signal control and also the number of vehicles on the road. Hence, information of the change of the queue length or its uncertainty is essential for managing and improving traffic signal performance. However, there are still few ways to display the uncertainty of traffic queue length. In this research, spatial uncertainty-aware visualization was developed by applying box plot to visualize queue length derived from taxi GPS data and was implemented on web mapping application. This research was also tested the efficiency of the developed system. The result indicated that four of five participants were satisfied and understood the purpose of the system. In addition, they understood how box plot can depict uncertainty and they could identify the relationship of the queue length between neighboring intersections. Moreover, the participants could compare the uncertainty of each intersection as well as being able to indicate the difference between days and times. However, the visualization is not suitable for users with no statistical background.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Survey Engineering	Student's Signature ....
Academic Year:	2021	Advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือ แนะนำ และสนับสนุนจากหลายท่านด้วยกัน โดยเฉพาะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรวิก ตนักษรานนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึงอาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวภาษา ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.อสมาภรณ์ สิทธิ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ซึ่งทุกท่านได้กรุณาให้แนวความคิด ความรู้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนมีความสมบูรณ์ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอกราบขอบพระคุณทุกท่านท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบริษัท แกร็บแท็กซี่ และโครงการพระรามสี่โมเดลสำหรับการสนับสนุนข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ที่ให้ความรู้ในการศึกษา ปลูกฝังการทำงานทางด้านการสำรวจรวมไปถึงขอบคุณมิตรภาพที่ดีของพี่ ๆ น้อง ๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ

ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวสำหรับกำลังใจ และการสนับสนุนในทุกด้านผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์ไม่มากก็น้อย และหากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้เขียนขอน้อมรับและขออภัยเป็นอย่างสูง

วิทวัส บรรณสาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

.... ค

บทคัดย่อภาษาไทย .... ค

.... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ง

กิตติกรรมประกาศ .... จ

สารบัญ .... ฉ

สารบัญตาราง .... ฌ

สารบัญรูป .... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตการวิจัย 3

1.3.1 โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย 3

1.3.2 พื้นที่ศึกษาวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1.1 การแสดงผลในรูปแบบความไม่แน่นอน (Visualization of Uncertainty) 5

2.1.2 แผนภูมิการลงจุดแบบกล่อง (Box Plot) 5

2.1.3 ความยาวแถวคอย (Queue Lengths) 7

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1 การแสดงผลความไม่แน่นอน (Visualization of Uncertainty)............................... 10
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการความยาวแถวคอย 17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 20
3.1 รวบรวมข้อมูล 20
3.2 คำนวณความเร็วรถ 21
3.3 กรองข้อมูลจุดตำแหน่งรถหยุด 22
3.4 เลือกข้อมูลจุดตำแหน่งรถหยุดตามช่วงวันและเวลา 23
3.5 คำนวณระยะทางตำแหน่งรถหยุดจากสัญญาณไฟจราจร 23
3.6 คำนวณองค์ประกอบของกราฟ Box Plot 24
3.7 แสดงความยาวแถวคอยในรูปแบบ Box Plot บนแผนที่ 25
3.8 นำข้อมูลผลลัพธ์ขึ้นระบบแผนที่ออนไลน์ 26
3.9 ทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลของแผนที่ 26
3.9.1 ขั้นตอนการทดสอบระบบ 27
3.9.2 รายละเอียดผู้เข้าร่วมทดสอบระบบ 28
บทที่ 4 ผลการวิจัย 29
4.1 ผลลัพธ์ความยาวแถวคอยบนระบบแผนที่ออนไลน์ 29
4.1.1 องค์ประกอบของระบบแผนที่ออนไลน์ 29
4.1.2 ความยาวแถวคอยบนระบบแผนที่ออนไลน์ 30
4.2 ผลการคำนวณระยะทางสำหรับความยาวแถวคอย 31
4.3 ผลลัพธ์ความยาวแถวคอยบนรูปแบบแผนที่ 35
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 37
5.1 อภิปรายผล 37
5.2 สรุปผล 39
5.3 ข้อจำกัด 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.4 ข้อเสนอแนะ 40

บรรณานุกรม.. 41

ภาคผนวก.. 46

ภาคผนวก ก. ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งจุดรถหยุด 47

ภาคผนวก ข โปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.9.1 48

ภาคผนวก ค ขั้นตอนการสร้างองค์ประกอบของกราฟ Box Plot จากข้อมูลจุดตำแหน่งรถหยุด 51

ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานระบบแผนที่ออนไลน์แสดงความยาวแถวคอย 58

ภาคผนวก จ ข้อมูลทั่วไปผู้เข้าร่วมระบบ 62

ประวัติผู้เขียน.. 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สถิติปริมาณจราจรบนถนนพระรามที่ 4 ปี 2558 ถึง ปี 2562 (สำนักงานการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร, 2019).. 4

ตารางที่ 2 แสดงคำอธิบายการจัดเก็บข้อมูล จากบริษัท แกร็บ จำกัด... 21

ตารางที่ 3 จำนวนจุดรถหยุดทั้งหมดโดยแบ่งรายวัน... 22

ตารางที่ 4 แสดงผลลัพธ์การคำนวณระยะทางสำหรับสร้างความยาวแถวคอย จากข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2562 32

ตารางที่ 5 แสดงระบบปฏิบัติการที่รองรับสำหรับโปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.9.1................. 49

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลฮาร์ดแวร์ที่รองรับสำหรับโปรแกรมเวอร์ชัน ArcGIS Pro 2.9.1.................... 50

ตารางที่ 7 ข้อมูลทั่วไปผู้เข้าร่วมทดสอบระบบ 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

หน้า

ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา ทั้งหมด 9 ทางแยกบนถนนพระรามที่ 4 จังหวัดกรุงเทพมหานคร 3

ภาพที่ 2 องค์ประกอบของแผนภูมิการลงจุดแบบกล่อง (Box Plot)... 6

ภาพที่ 3 อธิบายความยาวแถวคอยโดยใช้ความความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา (Wu, 1998) 8

ภาพที่ 4 ทฤษฎีการทำงานของ shock wave (Liu et al., 2009) 9

ภาพที่ 5 ตัวอย่างการใช้แถบข้อผิดพลาด (Error Bar) ร่วมกับกราฟแท่งแสดงความไม่แน่นอน (Wilke, 2020) 10

ภาพที่ 6 รูปแบบกราฟต่าง ๆ สำหรับแสดงความไม่แน่นอน (Correll and Gleicher, 2014)......... 11

ภาพที่ 7 แผนที่ความไม่แน่นอนของข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งในรูปแบบโครงสร้างสีสองสีเพื่อแสดงถึงพื้นที่ที่มีความไม่แน่นอนที่น้อยกว่าหรือมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Clarke and Keuper, 2003) 12

ภาพที่ 8 แผนที่ 2 มิติแสดงภาพถ่ายออร์โธ และความไม่แน่นอนของขอบเขตพื้นที่น้ำท่วม 13

ภาพที่ 9 แผนที่ 3 มิติภาพถ่ายออร์โธกับข้อมูล DEM และความไม่แน่นอนขอบเขตพื้นที่น้ำท่วม..... 13

ภาพที่ 10 ภาพออร์โธและกราฟแท่งเชิงคุณภาพ กราฟสีแดงหนึ่งแท่งบอกถึงพื้นที่น้ำท่วมในหนึ่งพื้นที่และสีเขียวหมายถึงไม่ใช่น้ำท่วม (Lim et al., 2016) 14

ภาพที่ 11 บาร์โค้ดแสดงความไม่แน่นอนของผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดิน 0-100% หมายถึงมีความไม่แน่นอนมาก (Kinkeldey, 2014)... 15

ภาพที่ 12 การแสดงความไม่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินในทุก ๆ ช่วงเวลา โดยใช้สัญลักษณ์รูปแบบเส้น (Kinkeldey, 2014)... 15

ภาพที่ 13 การประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่และเวลาจากการรายงานจำนวนผู้ป่วยไข้เลือดออกภายในช่วงเวลา 6 เดือนในปี พ.ศ. 2553 ภายในเมืองคาลีประเทศโคลัมเบีย.................................. 16

ภาพที่ 14 รูปแบบการคำนวณแผนภูมิการลงจุดแบบกล่อง (Box Plot) ที่เป็นสามมิติ..................... 17

ภาพที่ 15 แสดงการหาค่าเฉลี่ยความเร็วของแต่ละ link แล้วนำมาหาความแตกต่างของความเร็วเฉลี่ยของท่อนถนนที่ต่างกัน (Li et al., 2015) 18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 16 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 20

ภาพที่ 17 ระยะทางของรถที่วิ่งที่ระยะเวลาหนึ่ง 21

ภาพที่ 18 ตัวอย่างตำแหน่งสัญญาณไฟจราจรบนถนนพระรามที่ 4.. 23

ภาพที่ 19 ตำแหน่งรถหยุดห่างจากตำแหน่งสัญญาณไฟจราจร 24

ภาพที่ 20 กราฟ Box Plot แสดงระยะทางจุดตำแหน่งรถหยุดจากสัญญาณไฟจราจรระหว่าง ช่วงเวลา 07:00-09:00 นาฬิกาและ 17:00-19:00 นาฬิกาของข้อมูลวันจันทร์ถึงศุกร์ 25

ภาพที่ 21 การแสดงความยาวแถวคอยโดยใช้รูปแบบ Box Plot บนแผนที่..................................... 26

ภาพที่ 22 หน้าต่างผลลัพธ์การแสดงความยาวแถวคอยบนระบบแผนที่ออนไลน์............................. 30

ภาพที่ 23 การแสดงผลความยาวแถวคอยบนระบบแผนที่ออนไลน์โดยใช้องค์ประกอบของ Box Plot 30

ภาพที่ 24 ตัวอย่างผลลัพธ์ความยาวแถวคอยในช่วงวันที่แตกต่างกัน... 35

ภาพที่ 25 ตัวอย่างการแสดงความยาวแถวคอยพร้อมกันทั้งสองทิศทางการวิ่งของรถ 36

ภาพที่ 26 ตัวอย่างความยาวแถวคอยบริเวณแยกศาลาแดง... 36

ภาพที่ 27 ตัวอย่างข้อมูล GPS จากรถแท็กซี่โดยจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ .csv 47

ภาพที่ 28 ภาพตัวอย่างโปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.9.1 48

ภาพที่ 29 แสดงเครื่องมือ Create File Geodatabase... 51

ภาพที่ 30 แสดงเครื่องมือ XY Table to Point 52

ภาพที่ 31 แสดงผลลัพธ์ระบบฐานข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (File Geodatabase)..... 52

ภาพที่ 41 ตัวอย่างระบบแผนที่ออนไลน์แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ความยาวแถวคอย 58

ภาพที่ 42 ส่วนหัวของระบบแผนที่ออนไลน์จากการพัฒนา 58

ภาพที่ 43 เมนูควบคุมการทำงานของระบบแผนที่ออนไลน์... 58

ภาพที่ 44 คำอธิบายโดยย่อเกี่ยวกับระบบแผนที่ออนไลน์ 59

ภาพที่ 45 คำอธิบายสัญลักษณ์บนระบบแผนที่ออนไลน์.. 59

ภาพที่ 46 ตัวแผนที่บนระบบแผนที่ออนไลน์ 60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 47 เครื่องมือบุ๊กมาร์คของระบบแผนที่ออนไลน์.. 60

ภาพที่ 48 เครื่องมือสำหรับเปิด ปิดชั้นข้อมูลของระบบแผนที่ออนไลน์ 61

ภาพที่ 49 เครื่องมือสำหรับเปลี่ยนแผนที่ฐานของระบบแผนที่ออนไลน์.. 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กรุงเทพมหานคร เมืองหลวงของประเทศไทย จัดเป็น "มหานคร" ที่รวมศูนย์กลางความเจริญทุกด้าน ทั้งด้านเศรษฐกิจ การศึกษา สังคมและวัฒนธรรม และด้านการท่องเที่ยว ซึ่งส่งผลให้มีประชากรหลั่งไหลเข้ามาอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้มีความต้องการในการเดินทางที่มากขึ้น หากพิจารณาถึงการใช้รถเพื่อสัญจรบนท้องถนน กรุงเทพมหานครจัดเป็นเมืองที่ประสบปัญหาการจราจรติดขัดเป็นอย่างมาก จากการจัดอันดับเมืองตามดัชนีรถติดในปี 2562 โดยบริษัท ทอมทอม ซึ่งได้ทำการสำรวจครอบคลุมทั้งหมด 416 เมืองจาก 57 ประเทศภายใน 6 ทวีป พบว่ากรุงเทพมหานคร อยู่ในอันดับที่ 11 จาก 416 เมืองทั่วโลก (TomTom, 2019)

ถนนพระรามที่ 4 เป็นหนึ่งในถนนสายหลักของกรุงเทพมหานคร เนื่องจากมีสถานที่สำคัญหลายแห่ง เช่น ธุรกิจ สำนักงาน โรงแรม และมหาวิทยาลัยชั้นนำของประเทศ อีกทั้งยังเป็นจุดศูนย์กลางในย่านการค้าหลายแห่ง ส่งผลให้ถนนเส้นนี้มีปริมาณการจราจรที่หนาแน่นตลอดทั้งวัน ในปี 2562 สำนักงานการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร ได้จัดอันดับให้ถนนพระรามที่ 4 เป็น 1 ใน 5 ถนนที่มีรถติดมากที่สุด (สถานีวิทยุข่าวสารและการจราจร, 2019) ระยะทางของถนนพระรามที่ 4 มีความยาวประมาณ 12 กิโลเมตร และมีแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร มากกว่า 12 จุด สำนักงานการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร ได้รายงานปริมาณจราจรบริเวณทางแยกพบว่า ตั้งแต่เวลา 07:00-19:00 นาฬิกา แยกวิทยุซึ่งเป็นหนึ่งในทางแยกบนถนนพระรามที่ 4 มีปริมาณการจราจร 139,776 คัน ซึ่งสูงสุดเป็นอันดับที่ 9 ของทางแยกทั้งหมดในกรุงเทพมหานคร (สำนักงานการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร, 2019)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความยาวแถวคอยของรถบริเวณสัญญาณไฟจราจร ถือเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดที่สำคัญในเรื่องการบริหารจัดการสัญญาณไฟจราจร เนื่องจากเป็นค่าที่ทำความเข้าใจได้โดยง่าย (Mirchandani and Zou, 2007) ความยาวแถวคอยสามารถวัดได้หลากหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการวัดโดยตรงจากการติดเซ็นเซอร์ (Liu et al., 2009) หรือกล้องบนถนน (Higashikubo et al., 1996) หรือสามารถประมาณจากรถที่ติดตั้ง GPS (Comert and Cetin, 2009) ความยาวแถวคอยนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นกับการปรับสัญญาณไฟจราจร รวมไปถึงจำนวนรถที่อยู่บนถนนในบริเวณสัญญาณไฟจราจรนั้น ๆ เนื่องจากในปัจจุบัน รถแท็กซี่ที่สามารถเรียกผ่านแอปพลิเคชัน (ride hailing) ได้รับความนิยมสูง จึงสามารถนำข้อมูลจากระบบ ซึ่งมีการเก็บตำแหน่งของรถที่วิ่งอยู่บนถนนโดยใช้จุดตำแหน่งจากข้อมูล GPS และยังมีการระบุเวลาที่รถวิ่งอยู่ ณ ขณะนั้น มาประยุกต์ใช้ในการประมาณแถวคอยที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้

การแสดงผลข้อมูลจราจรแบ่งได้เป็น 2 วัตถุประสงค์ ได้แก่ 1) Advanced Traveller Information System (ATIS) เป็นระบบแสดงผลข้อมูลจราจรสำหรับผู้เดินทาง ตัวอย่างเช่นระแบบแผนที่ Google Map รูปแบบระบบนี้จะเน้นการแสดงผลข้อมูลเรียลไทม์หรือข้อมูลการพยากรณ์ลักษณะจราจรล่วงหน้าเพื่อให้ผู้ใช้ทราบระยะเวลาการเดินทางและเส้นทางที่เหมาะสม ทำให้สามารถวางแผนการเดินทางล่วงหน้าได้ และ 2) Advanced Traffic Management System (ATMS) เป็นระบบสำหรับการบริหารจราจรเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความปลอดภัย เช่น แสดงผ่านแดชบอร์ด (Dashboard) หรือการนำเสนอผ่านห้องวอร์รูมสำหรับการจราจร โดยจะเน้นไปที่การแสดงผลประสิทธิภาพของระบบจราจรเพื่อใช้ในการติดตามและวางแผนจัดการความคล่องตัวของสภาพการจราจร (Radivojevic, 2017) การศึกษาการแสดงผลข้อมูลจราจรที่ผ่านมามีหลายเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ เช่น Liu et al. (2017) ได้ศึกษาการใช้ข้อมูล GPS จากรถแท็กซี่วิเคราะห์และนำเสนอผลลัพธ์บนรูปแบบ Grid Mapping ซึ่งแสดงถึงพื้นที่ที่มีการจราจรติดขัดบนแผนที่และมีการแบ่งสีตามค่าพิกัดจุดภาพตามความหนาแน่นของจำนวนรถ Wang et al. (2017) ได้ศึกษาการนำข้อมูล GPS จากรถยนต์เพื่อวิเคราะห์หาบริเวณที่คาดว่ารถติด ซึ่งวิเคราะห์จากรถวิ่งในความเร็วได้แตกต่างกัน จากนั้นแสดงบนแผนที่ในรูปแบบการไล่ระดับสีเพื่อแสดงถึงถนนที่รถวิ่งในความเร็วที่ปกติและถนนที่รถติด Necula (2015) ได้วิเคราะห์ข้อมูล GPS จากรถที่มีการลงทะเบียนใช้งานแอปพลิเคชัน และนำเสนอข้อมูลรถติดผ่านกราฟระหว่างค่าดัชนีรถติดกับช่วงเวลาโดยวิเคราะห์การจัดกลุ่มของรถจากเทคนิค DBSCAN

ความยาวแถวคอยในปัจจุบันนอกจากจะมีความสำคัญกับการบริหารจัดการสัญญาณไฟจราจรแล้ว ข้อมูลความยาวในอดีตก็ยังมีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากการวัดประสิทธิภาพของการจัดการสัญญาณไฟจราจร จะต้องอาศัยความยาวแถวคอยในอดีตที่เคยเกิดขึ้น (Tišljarić et al., 2018) เพื่อให้ทราบว่าแถวคอยนั้นมีความยาวที่มากกว่าปกติหรือไม่ และกำลังจะส่งผลกับสัญญาณไฟที่อยู่ถัดไปหรือไม่ ซึ่งในปัจจุบันตำรวจจราจรใช้การสังเกตแถวคอยจากกล้อง CCTV เพื่อปรับสัญญาณไฟจราจรตามสภาพการจราจร ณ ขณะนั้น

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบการแสดงผลความยาวแถวคอย ที่ประมาณจากข้อมูลตำแหน่ง GPS ของรถแท็กซี่ ที่มาจากแอปพลิเคชันเรียกรถ บริเวณแยกไฟแดงรายแยกของถนนพระรามที่ 4 เพื่อใช้สำหรับการบริหารจัดการจราจร โดยการแสดงผลความยาวแถวคอยจะประยุกต์ใช้เทคนิคการแสดงผลแบบกล่อง (Box Plot) บนแผนที่ เพื่อให้เห็นความยาวของแถวคอยที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งการแสดงผลนั้นจะแสดงช่วงของความไม่แน่นอนที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของความยาวแถวคอย เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจช่วงของการเปลี่ยนแปลงของแถวคอยที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนารูปแบบการแสดงความยาวแถวคอยจากข้อมูล GPS แบบแผนที่ ซึ่งแสดงความยาวแถวคอยและความแปรปรวนในแต่ละช่วงเวลาบนถนนพระรามที่ 4

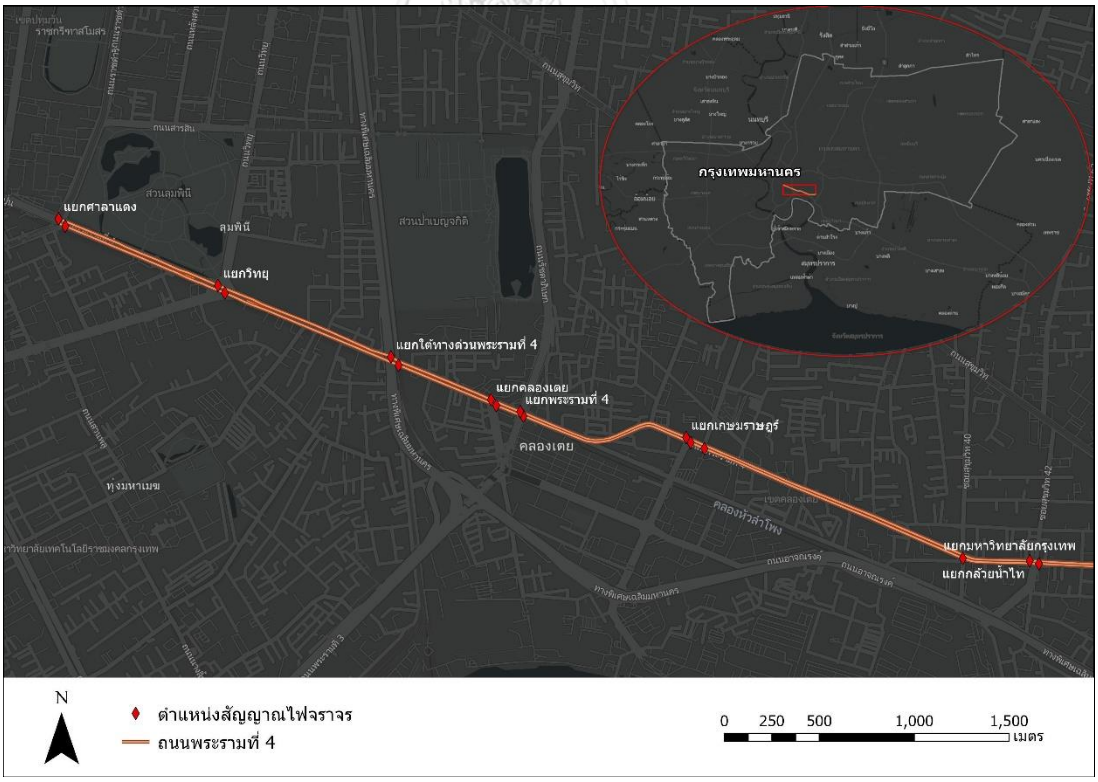
1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย

การประมวลผลข้อมูลในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Jupyter Notebook เวอร์ชัน 6.0.3 เพื่อเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โดยใช้ภาษา Python เวอร์ชัน 3.8 ที่มีไลบรารีที่หลากหลายพร้อมใช้ในการจัดการกับข้อมูล GPS จากไฟล์ตาราง CSV (Comma-Separated Value)

1.3.2 พื้นที่ศึกษาวิจัย

จังหวัดกรุงเทพมหานคร พื้นที่บริเวณถนนพระรามที่ 4 เริ่มต้นจากแยกกล้วยน้ำไทถึงทางแยกศาลาแดง และอีกฝั่งของถนนเริ่มต้นจากทางแยกศาลาแดงไปกลับไปยังทางแยกกล้วยน้ำไท โดยรวมทั้งหมด 9 ทางแยก ซึ่งประกอบไปด้วย แยกกล้วยน้ำไท แยกมหาวิทยาลัยกรุงเทพ แยกอารี แยกเกษมราษฎร์ แยกพระรามที่ 4 แยกคลองเตย แยกใต้ทางด่วนพระรามที่ 4 แยกวิทยุ และแยกศาลาแดง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา ทั้งหมด 9 ทางแยกบนถนนพระรามที่ 4 จังหวัดกรุงเทพมหานคร

สำหรับทางแยกทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่ศึกษานั้นมีปริมาณจำนวนรถที่ใช้งานค่อนข้างมาก โดยมีการรายงานสถิติปริมาณจราจรบนถนนพระรามที่ 4 ในช่วงปี 2558 ถึงปี 2562 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถิติปริมาณจราจรบนถนนพระรามที่ 4 ปี 2558 ถึง ปี 2562 (สำนักงานการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร, 2019)

ชื่อทางแยก	จำนวนคันรถตามปีที่สำรวจ				
	ปี 2558	ปี 2559	ปี 2560	ปี 2561	ปี 2562
ศาลาแดง	-	60,233	-	81,167	-
วิทยุ	88,427	-	-	88,730	88,881
ใต้ด่วนพระราม 4	76,451	-	68,083	-	-
คลองเตย	41,289	42,718	-	46,105	39,524
พระรามที่ 4	-	36,884	-	40,180	36,927
เกษมราษฎร์	51,276	-	8,936	-	47,793
กล้วยน้ำไท	-	34,629	-	35,821	-

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำการแสดงผลไปใช้งานในการช่วยวางแผนจัดการคุณภาพสัญญาณไฟจราจรในแต่ละแยก และดูแนวโน้มการส่งผลความยาวแถวคอยของแยกที่อยู่ติดกันในพื้นที่ใกล้เคียง รวมถึงการนำแผนที่ความยาวแถวคอยไปใช้จัดการปัญหารถติดในแต่ละช่วงเวลา สำหรับข้อมูลความยาวแถวคอยที่ได้จากการพัฒนาในงานวิจัยนี้จะเป็นการประมาณจากข้อมูลในอดีตซึ่งหากมีข้อมูลในรูปแบบ real-time ที่สามารถนำมาซ้อนทับได้ จะสามารถใช้เพื่อดูเปรียบเทียบว่าในอดีตกับปัจจุบันมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

กลุ่มผู้ใช้งานหลักที่จะสามารถใช้งานระบบแผนที่ได้จำเป็นต้องมีความรู้ด้านสถิติที่ทราบถึงหลักการของกราฟ Box Plot และช่วงของความไม่แน่นอนหรือผ่านการฝึกอบรมเพื่อให้สามารถใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ตัวอย่างกลุ่มเป้าหมายของระบบอาจจะเป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนจัดการจราจร เช่น สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร หรือหน่วยงานอื่น ๆ ที่ต้องการทราบถึงลักษณะการใช้รถใช้ถนนพระรามที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การแสดงผลในรูปแบบความไม่แน่นอน (Visualization of Uncertainty)

ความหมายของความไม่แน่นอนนั้นสามารถนิยามได้หลายความหมาย หากกล่าวถึงความไม่แน่นอนในด้านของข้อมูลเชิงพื้นที่ สามารถจำแนกได้ดังนี้ 1) ความถูกต้องและความผิดพลาด (Accuracy/error) หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง 2) ความแม่นยำ (Precision) หรือความเที่ยงตรงของค่าที่วัด 3) ความสมบูรณ์ (Completeness) ขอบเขตของความสมบูรณ์ของข้อมูล 4) ความสม่ำเสมอ (Consistency) ความสอดคล้องของข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ 5) จำนวนการเปลี่ยนแปลง (Lineage) จำนวนที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงมาจากข้อมูลตั้งต้น 6) ความถี่ในการเก็บข้อมูล (Currency/timing) ความห่างระหว่างข้อมูลที่เก็บกับข้อมูลจริง 7) ความน่าเชื่อถือ (Credibility) ความน่าเชื่อถือของแหล่งที่มาของข้อมูล (MacEachren et al., 2005)

ความไม่แน่นอนมีอยู่ในข้อมูลเชิงพื้นที่ทุกประเภทและเกิดจากหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นความไม่แน่นอนจากโลกความเป็นจริง ข้อจำกัดของความรู้ของมนุษย์ ข้อจำกัดของเทคโนโลยีการวัด และการนำเสนอข้อมูล (Shi, 2009) หนึ่งในสิ่งที่ท้าทายที่สุดของการแสดงข้อมูลคือการแสดงส่วนของความไม่แน่นอนของข้อมูลนั้น ในทุกข้อมูลที่นำมาใช้นั้นจะมีความไม่แน่นอนเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลอยู่เสมอ (Wilke, 2020) การมองข้ามความไม่แน่นอนของข้อมูลนั้นสามารถที่จะส่งผลให้เกิดความสงสัยและไม่น่าเชื่อถือกับข้อมูลที่เกิดขึ้น (Zhang and Goodchild, 2002) ดังนั้นการเลือกนำเสนอเกี่ยวกับความไม่แน่นอนจึงมีความจำเป็นเพราะทำให้คนดูผลลัพธ์มีความเข้าใจที่ถูกต้องและเชื่อถือกับการนำเสนอผลลัพธ์นั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

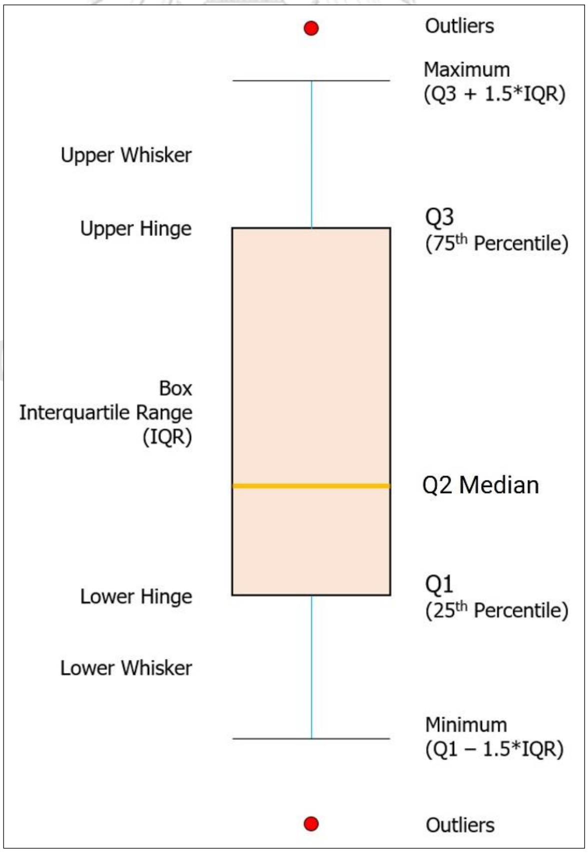
เนื่องจากการจัดการกับข้อมูลจราจรนั้นเกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนอยู่เสมอ ตัวอย่างเช่น การเดินทางจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งปกติใช้เวลา 1 ชั่วโมงโดยประมาณ แต่บางครั้งในช่วงเวลาหรือบางวันอาจมีการใช้เวลาที่มากขึ้นเป็น 2 ชั่วโมง ความไม่แน่นอนในการเดินทางทำให้เกิดความเสียหายต่อการเดินทางส่วนบุคคลและการขนส่ง หากสามารถจำกัดความไม่แน่นอนของการจราจรนี้จะทำให้ความเชื่อถือและประสิทธิภาพในการเดินทางมีมากขึ้น ความไม่แน่นอนของการจราจรจึงเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในหลาย ๆ ประเทศ

2.1.2 แผนภูมิการลงจุดแบบกล่อง (Box Plot)

แผนภูมิแบบ Box Plot ถูกพัฒนาและนำเสนอมานานมากกว่า 40 ปี ในปีคริสต์ศักราชที่ 1970 โดย John Tukey ได้พัฒนารูปแบบสำหรับใช้เพื่อดูและวิเคราะห์ข้อมูลในลักษณะของ Box

Plot โดยจะเน้นไปที่การสรุปการกระจายตัวของข้อมูลที่ดูแล้วเข้าใจได้ง่ายและกระชับเนื่องจากมีรายละเอียดที่น้อยกว่าและใช้พื้นที่การแสดงผลน้อยกว่าแผนภูมิรูปแบบอื่น เช่น รูปแบบของฮิสโตแกรม (Wickham and Stryjewski, 2011)

กราฟ Box Plot สามารถบ่งบอกถึงการกระจายตัวของข้อมูลได้ในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย รวมถึงสามารถบอกทิศทางการเบ้ (Skewed) ของข้อมูลต่ำหรือสูงจากค่ามัธยฐาน (Median) หลักการในการแสดงผลข้อมูลแบบ Box Plot ทำได้โดยการแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 3 ควอไทล์ โดยเริ่มจากการนำข้อมูลทั้งหมดเรียงลำดับจากค่าน้อยสุดไปค่ามากสุด หากข้อมูลที่ตกอยู่ในควอไทล์ที่ 1 คือข้อมูล 25% แรกจากค่าต่ำขึ้นมา จะแสดงผ่านกราฟในรูปเส้นตรง (Whisker) ให้ข้อมูลที่ตกอยู่ในควอไทล์ที่ 2 คือจาก 25% - 75% หรือช่วงที่เรียกว่า Inter Quartile Range แสดงข้อมูลในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะแสดงค่ากึ่งกลาง (Median) เป็นเส้นตัดผ่านสี่เหลี่ยม ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในลำดับที่ 50% ของข้อมูลทั้งหมด และค่าที่ตกอยู่ในควอไทล์ที่ 3 คือค่าที่อยู่ในช่วง 75% ขึ้นไปจนถึงค่าสูงสุด หากข้อมูลไหนที่ห่างจากกลุ่มมาก ๆ (อยู่ในช่วงที่มากกว่าควอไทล์ 3 + 1.5 x Inter Quartile Range หรือน้อยกว่าควอไทล์ 1 – 1.5 x Interquartile Range) จะถือว่าค่านั้นเป็นค่านอกกลุ่ม หรือ Outlier โดยองค์ประกอบของกราฟ Box Plot สามารถดูได้จากภาพที่ 2



ภาพที่ 2 องค์ประกอบของแผนภูมิการลงจุดแบบกล่อง (Box Plot)

รูปแบบการแสดงผล Box Plot นั้นสามารถปรับเปลี่ยนได้หลายแบบจากแนวคิดพื้นฐานตามวิธีของ John Turkey ตัวอย่างเช่น Hyndman and Fan (1996) ใช้การเลือกค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดเพื่อกำหนดค่านอกกลุ่มจากข้อมูลที่อยู่ในเปอร์เซ็นต์ที่ 2 และ เปอร์เซ็นต์ที่ 98 แทนการคำนวณโดยใช้ค่า 1.5 x IQR จากรูปแบบปกติ หรืออีกตัวอย่างที่มีการปรับใช้ Box Plot ให้มีประสิทธิภาพหากข้อมูลนั้นมีการแจกแจงแบบทวิฐานนิยม (bimodal distribution) ดังเช่น Chamnein and McNeil (2005) ได้นำเสนอการใช้วิธีการแบ่งกลุ่มของข้อมูลออกเป็นกลุ่ม ๆ เพื่อทำแผนภูมิ Box Plot อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบการสร้าง Box Plot ตามวิธีการของ John Turkey เนื่องจากเป็นที่นิยมและเนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีการแจกแจงที่ไม่ใช่ทวิฐานนิยมซึ่งสามารถใช้การแสดงผลแบบ Box Plot ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.3 ความยาวแถวคอย (Queue Lengths)

ความยาวแถวคอยเป็นหนึ่งในดัชนีที่มีความสำคัญในทางวิศวกรรมจราจรเนื่องจากใช้สำหรับบ่งบอกความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรและคุณภาพของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในแยกนั้น ๆ (Wu, 1998) ความยาวแถวคอยสามารถคำนวณได้จากระยะของรถที่มีการหยุดหลังเส้นหยุดบริเวณสัญญาณไฟจราจรไปจนถึงระยะของรถคันอื่นที่เข้ามายังบริเวณของแยกนั้นซึ่งไม่มีการชะลอความเร็วเพื่อหยุดรอสัญญาณไฟ โดยประเภทของการคำนวณแถวคอยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ๆได้ดังนี้ (Qi and Jiang, 2017)

2.1.3.1 ความยาวแถวคอยสูงสุดในหนึ่งรอบสัญญาณไฟจราจร (Maximum queue length in a cycle) ใช้การคำนวณจากข้อมูล GPS ในรูปแบบในรูปความถี่สูง (Short reporting interval) ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการเก็บตำแหน่งทุก ๆ 1-3 วินาที หรือยังสามารถใช้อุปกรณ์ลูปดีเทคเตอร์ (Loop Detector) ที่ติดตั้งอยู่บนพื้นถนนเมื่อรถวิ่งผ่านจะสามารถระบุตำแหน่งของรถได้

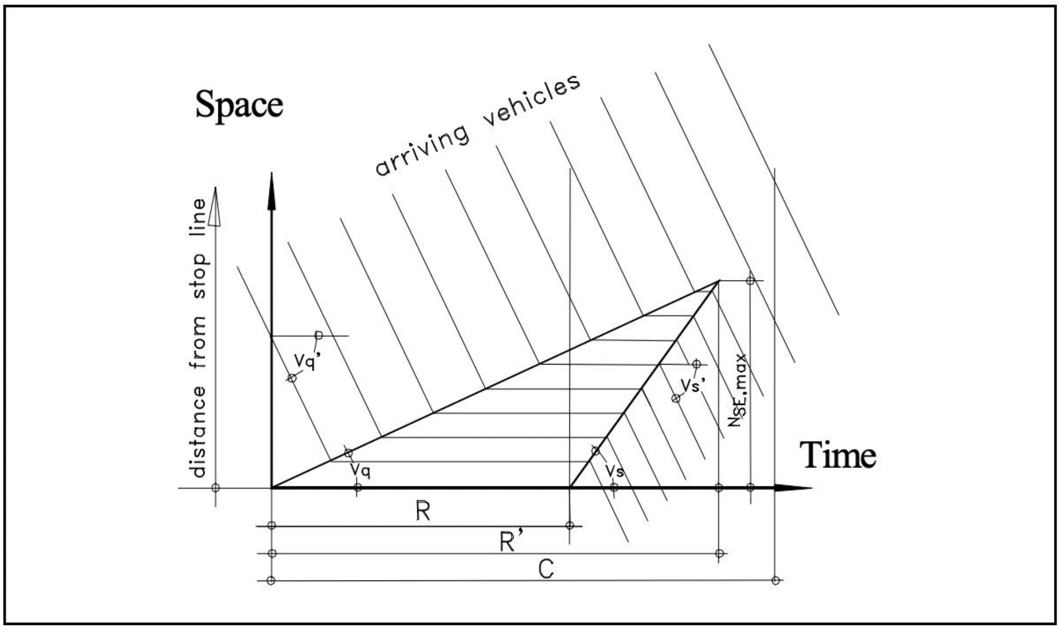
2.1.3.2 ความยาวแถวคอยเฉลี่ยสูงสุดจากสัญญาณไฟจราจรมากกว่าหนึ่งรอบ โดยสามารถใช้การคำนวณจาก GPS ในรูปแบบความถี่ต่ำ โดยเก็บข้อมูลประมาณ 30 วินาที

2.1.3.3 ความยาวแถวคอยแบบเรียลไทม์ ใช้ข้อมูล GPS ในรูปแบบความถี่สูงหรือการใช้เทคนิคการอ่านป้ายทะเบียน โดยจะสามารถระบุความยาวแถวคอย ณ เวลานั้น

2.1.3.4. ความยาวแถวคอยแบบการประมาณค่า การประมาณความยาวแถวคอยโดยใช้หลักการความน่าจะเป็นในการคำนวณ ซึ่งไม่ได้มีการวัดจากข้อมูลจริง

ความยาวแถวคอยสามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎี shock wave ซึ่งอธิบายได้จากภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจากเส้นหยุดที่สัญญาณไฟ (แกนตั้ง) และเวลา (แกนนอน) ด้านล่าง โดยเส้นแต่ละเส้นในภาพคือรถแต่ละคัน เมื่อรถวิ่งเข้ามาที่แยกไฟแดงด้วยความเร็ว V_q รถแต่ละคันจะใช้เวลาในการหยุดที่สัญญาณไฟไม่เท่ากัน โดยแสดงให้เห็นในภาพเปลี่ยนจากเส้นเฉียงเป็นเส้นตรง กล่าวคือไม่มีการเปลี่ยนแปลงระยะทางเมื่อเวลาผ่านไป เวลาของสัญญาณไฟแดงแสดงเป็นภาพตัว R

ในรูป เมื่อสัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นสีเขียว รถคันแรกจะเริ่มออกตัว ตามด้วยรถคันต่อ ๆ ไป ระยะแถวคอยที่มากที่สุดคือ $N_{SE, max}$ ซึ่งก็คือความสูงของสามเหลี่ยมตามภาพที่ 3

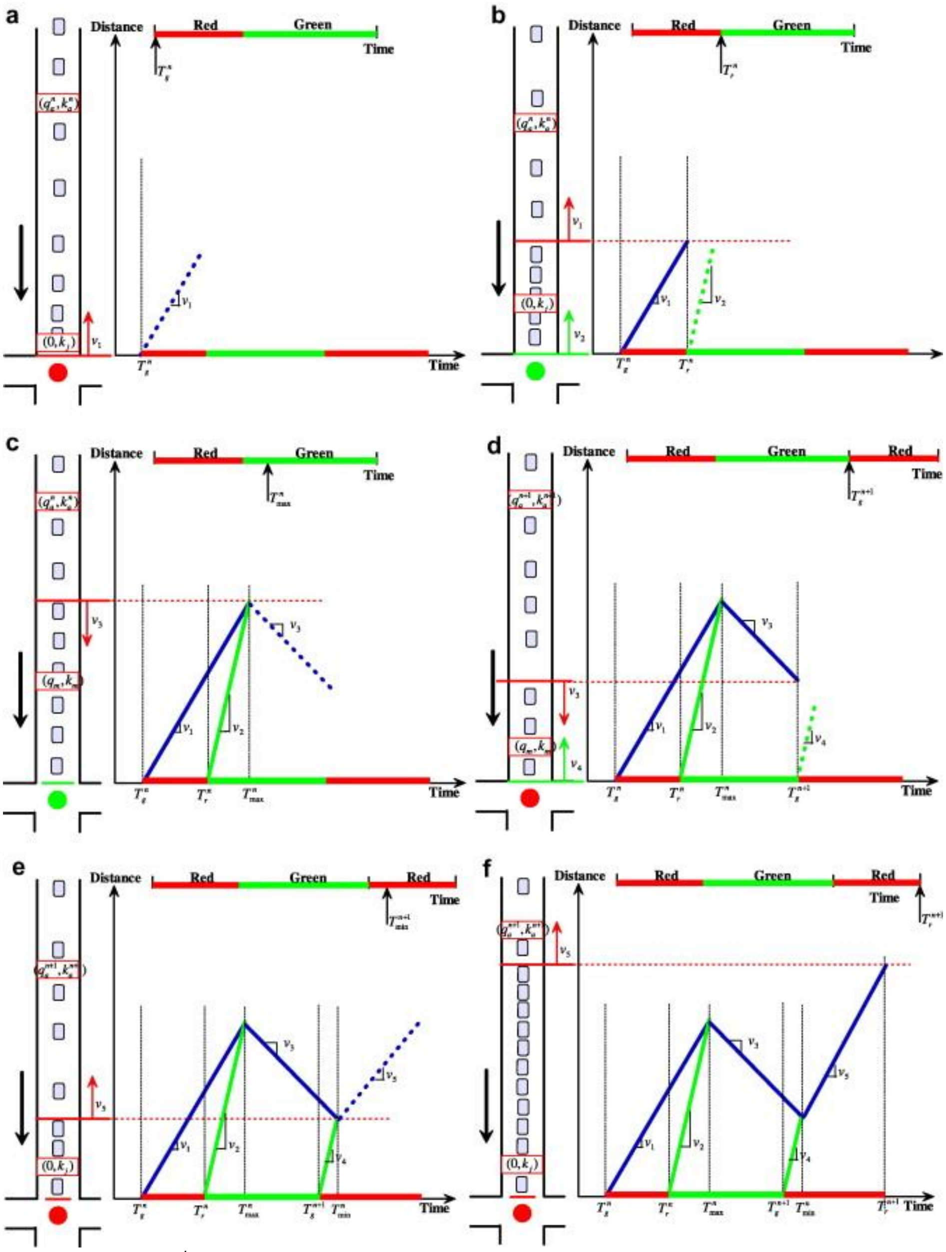


ภาพที่ 3 อธิบายความยาวแถวคอยโดยใช้ความความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา (Wu, 1998)

เมื่อมีการเปลี่ยนสัญญาณไฟเขียวเป็นไฟแดงและไฟแดงเป็นไฟเขียว จะเกิด shockwave ขึ้น หรือขอบเขตการเปลี่ยนแปลงระหว่างสถานะรถวิ่งกับรถหยุด และรถหยุดเป็นรถวิ่ง ดังรูปด้านบน จะเห็นบริเวณที่เป็นสามเหลี่ยมเกิดขึ้นบนกราฟระยะและเวลาเมื่อรถหยุดนิ่ง โดย shockwave คือขอบของรูปสามเหลี่ยม (Wu, 1998)

Liu et al. (2009) อธิบายเกี่ยวกับ shock wave ที่มีการเคลื่อนตัวในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของรถ และ shock wave เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณไฟเปลี่ยน ทั้งเปลี่ยนจากเขียวเป็นแดง และจากแดงเป็นเขียว รูปด้านล่างแสดงการเคลื่อนที่ของรถเมื่อมีการเปลี่ยนสัญญาณไฟ พร้อมทั้งขอบเขตของ shock wave บนถนน โดยรถจะวิ่งทิศทางตามลูกศรสีดำด้านซ้ายมือของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา ภาพที่ 4-a แสดงให้เห็นเมื่อสัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นไฟแดง ทำให้รถชะลอตัว ทำให้เกิด shock wave หรือขอบเขตระหว่างสถานะรถวิ่งกับรถหยุด ซึ่ง shock wave จะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็น v_1 (ความชันของกราฟเส้น) ในทิศทางย้อนกลับกับทิศทางของรถ (ลูกศรสีแดงบนภาพถนนด้านซ้ายมือของกราฟจากภาพที่ 4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4 ทฤษฎีการทำงานของ shock wave (Liu et al., 2009)

เมื่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจากไฟแดงเป็นไฟเขียว รถจะถูกปล่อยออกมา ทำให้เกิด shock wave หรือขอบเขตระหว่างสถานะรถหยุดเปลี่ยนเป็นรถวิ่ง ในทิศทางย้อนกลับด้วยความเร็ว v_2 ตามในภาพ 4-b ซึ่งในขณะนั้น shock wave แรกที่มีความเร็วเป็น v_1 จะเดินทางไปถึงระยะที่แสดงด้วยเส้นสีแดงในภาพ 4-b เมื่อไฟแดงอีกครั้ง แถวคอยอาจจะสะสมจนยาวถึงตำแหน่ง shock wave ที่มีความเร็ว v_5 แสดงด้วยเส้นสีแดงในภาพ 4-f จะเห็นว่าหากเรานิยามแถวคอยคือระยะที่รถคันสุดท้ายหยุดนิ่ง ความยาวแถวคอยนั้นก็คือตำแหน่งของ shock wave ที่มีการเปลี่ยนแปลง

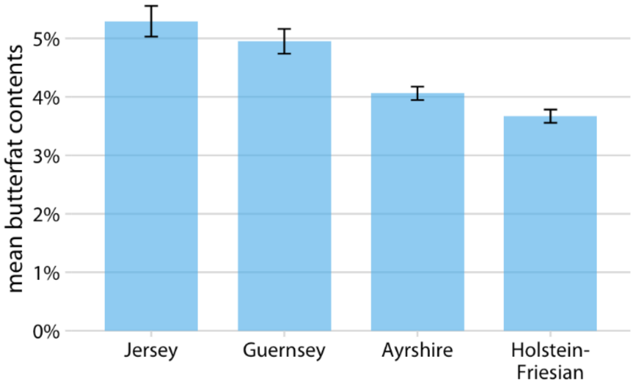
ตลอดเวลา ดังนั้นความไม่แน่นอนนี้สามารถแสดงได้ด้วยค่าเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นไทล์จึงมีความสำคัญ โดยเปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 สามารถประมาณความยาวของแถวคอยเลนถนนที่เลี้ยวได้ (Wu, 1998)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การแสดงผลความไม่แน่นอน (Visualization of Uncertainty)

การแสดงผลความไม่แน่นอนหากไม่เกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่จะมีการใช้รูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการแสดงผล เช่นการใช้แถบข้อผิดพลาด (Error Bar) แสดงข้อมูล การใช้กราฟแบบกล่อง (Box Plot) เป็นต้น

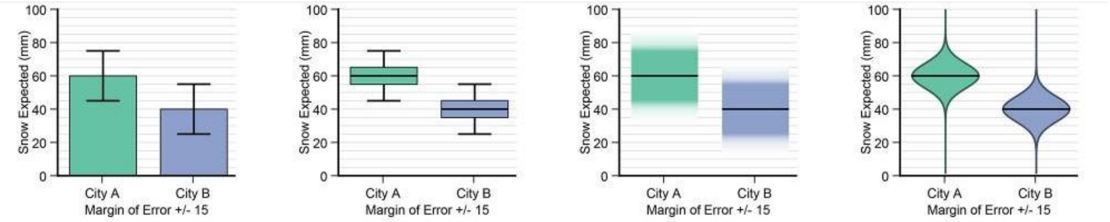
Wilke (2020) อธิบายถึงการแสดงผลความไม่แน่นอนของข้อมูลซึ่งไม่เกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยใช้การนำแถบข้อผิดพลาด (Error Bar) ร่วมกับกราฟแท่งเพื่อแสดงถึงปริมาณไขมันเนยเฉลี่ยจากวัวสี่สายพันธุ์ แถบความผิดพลาดถูกใช้เพื่อระบุถึงค่าความไม่แน่นอนจากค่าเฉลี่ยภายในหนึ่งค่าบวกลบของค่าข้อผิดพลาดมาตรฐาน (Standard Error) ซึ่งการแสดงรูปแบบนี้แม้จะไม่ได้แสดงค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยตรงแต่ตัวแถบข้อผิดพลาด (Error Bar) สามารถใช้เพื่อแสดงกรอบของความไม่แน่นอนของข้อมูลได้ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการใช้แถบข้อผิดพลาด (Error Bar) ร่วมกับกราฟแท่งแสดงความไม่แน่นอน (Wilke, 2020)

Correll and Gleicher (2014) ได้ทำศึกษาเพื่อหารูปแบบอื่นนอกจากการใช้แถบข้อผิดพลาด (Error bar) ร่วมกับกราฟแท่ง ซึ่งได้กล่าวว่ารูปแบบนี้มักมีการตีความที่ไม่ถูกต้องและผิดพลาด ในการศึกษานี้ได้มีการกล่าวถึงรูปแบบทั้งหมดสี่แบบ แม้จะมีรูปแบบกราฟกล่อง (Box Plot) ที่สามารถใช้แสดงถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลได้ แต่ในการศึกษานี้ไม่ได้นำมาใช้ในการประเมินผลเนื่องจากไม่เหมาะสมกับรูปแบบงานที่ทำและมองว่ากราฟรูปแบบกล่อง (Box Plot) เหมาะสมกับข้อมูลที่มีการกระจายตัว ดังนั้นจากการศึกษาและประเมินผลพบว่ากราฟรูปแบบกราฟเรืองแสง (Gradient pot) ซึ่งใช้ความโปร่งใสแสดงถึงความไม่แน่นอนและกราฟแบบไวโอลิน (Violin plot) ซึ่งใช้ความกว้างแสดง

ถึงความไม่แน่อน เป็นทางเลือกที่ดีกว่าการใช้แถบความผิดพลาด (Error bar) ร่วมกับกราฟแท่ง สำหรับการนำเสนอความไม่แน่นอน รูปแบบกราฟที่กล่าวมาทั้งสี่แบบสามารถดูได้จากภาพที่ 6



(a) **Bar chart** with error bars: the height of the bars encodes the sample mean, and the whiskers encode a 95% t-confidence interval.

(b) **Modified box plot**: The whiskers are the 95% t-confidence interval, the box is a 50% t-confidence interval.

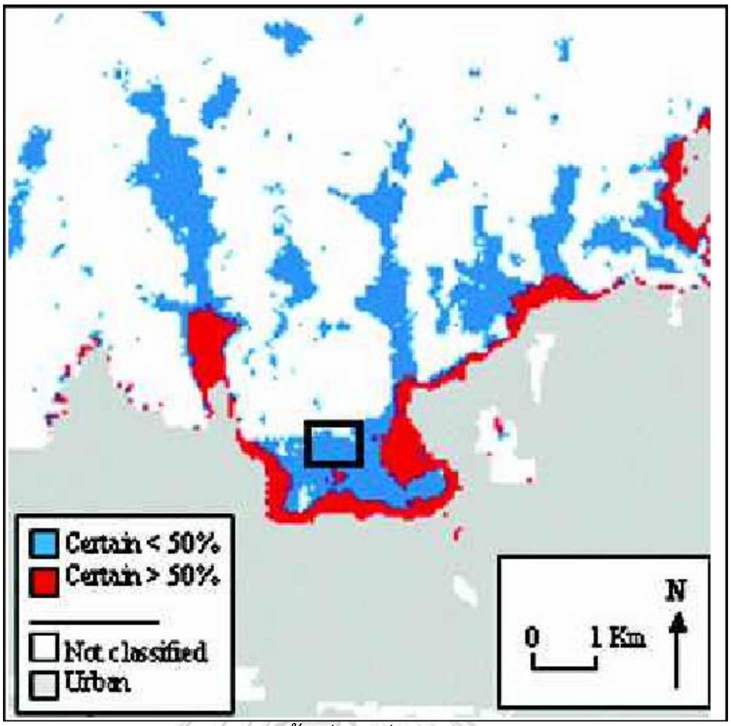
(c) **Gradient plot**: the transparency of the colored region corresponds to the cumulative density function of a t-distribution.

(d) **Violin plot**: the width of the colored region corresponds to the probability density function of a t-distribution.

ภาพที่ 6 รูปแบบกราฟต่าง ๆ สำหรับแสดงความไม่แน่นอน (Correll and Gleicher, 2014)

การแสดงผลความไม่แน่นอนบนแผนที่นั้นจะเหมือนกับการแสดงผลข้อมูลชนิดอื่น ๆ นั่นคือ การประยุกต์ใช้ visual variables (Bertin, 2010) ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบของกราฟิกที่ตาสามารถมองเห็นและแยกแยะได้ มาใช้ในการแสดงข้อมูลความไม่แน่นอน เช่น ตำแหน่ง ขนาด พื้นผิว การวางตัว รูปร่าง และสีกับองค์ประกอบของสี (color attributes) เช่น ค่าสี (hue) ความสว่าง (lightness) และความอิ่มตัว (saturation) เช่น Clarke and Keuper (2003) ได้ทำการแสดงผลของข้อมูลความไม่แน่นอนของข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยทำการวิเคราะห์ขอบเขตชายฝั่งทะเลซึ่งนำผลลัพธ์ไปแสดงในรูปแบบแผนที่ ด้วยเหตุผลที่ชายฝั่งทะเลนั้นไม่สามารถระบุได้ชัดเจนเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาการแสดงผลของความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ในการวิเคราะห์ เช่น ความสูงต่ำของพื้นที่ ความชัน และเส้นถนน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์จะแสดงถึงความไม่แน่นอนของชายฝั่งทะเลที่มีการระบุว่าขอบเขตเป็นส่วนไหนในแบบของสีที่แตกต่างกัน หากพื้นที่ใดมีความมั่นใจว่าเป็นชายฝั่งทะเลมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จะนำเสนอในพื้นที่สีแดงและหากน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์จะนำเสนอในพื้นที่สีน้ำเงิน ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งงานวิจัยนี้จัดเป็นหนึ่งในประเภทของความไม่แน่นอนที่ซึ่งคือประเภทความแม่นยำ (Precision) ตามการจัดกลุ่มที่กล่าวไว้ข้างต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

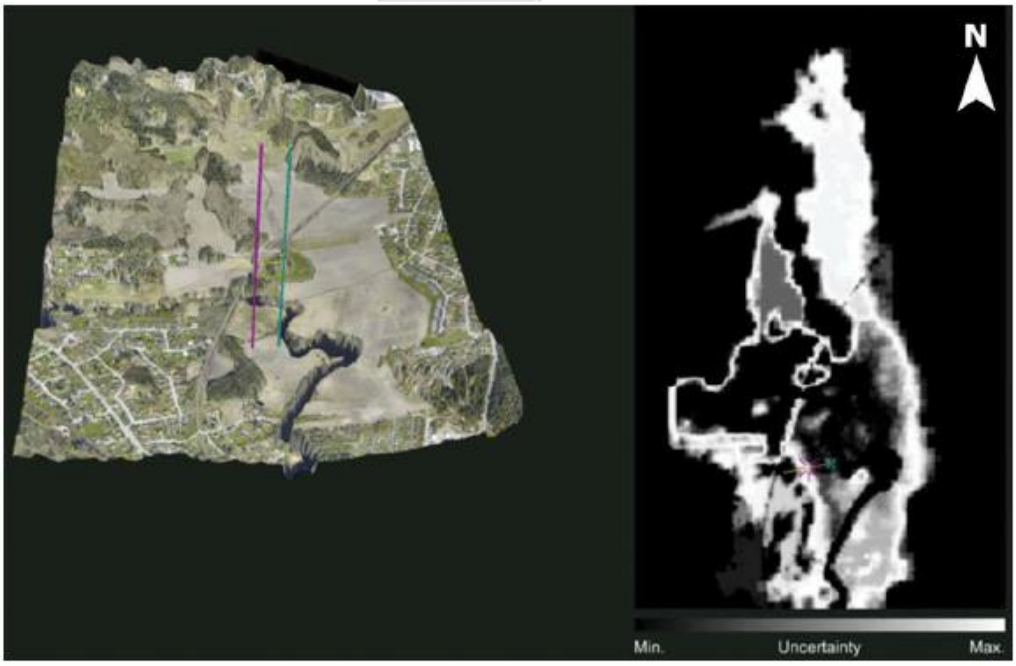


ภาพที่ 7 แผนที่ความไม่แน่นอนของข้อมูลพื้นที่ชายฝั่งในรูปแบบโครงสร้างสีสองสีเพื่อแสดงถึงพื้นที่ที่มีความไม่แน่นอนที่น้อยกว่าหรือมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Clarke and Keuper, 2003)

นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ความใส (transparency) ความคมชัดของภาพ (crispness) หรือ ความละเอียดของภาพ raster ในการแสดงความไม่แน่นอน เช่น Lim et al. (2016) ได้ศึกษาการทำแผนที่ขอบเขตบริเวณพื้นที่น้ำท่วมจากความไม่แน่นอนของการแปลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งการจำแนกน้ำท่วมจากภาพถ่ายดาวเทียมบางจุดภาพไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าเป็นพื้นที่น้ำท่วมหรือไม่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีการทำแผนที่ความไม่แน่นอนในการสร้างของขอบเขตพื้นที่น้ำท่วม ซึ่งแสดงข้อมูลที่น่าจะเป็นน้ำท่วมตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 โดยมีการไล่สีตั้งแต่ดำ ไป ขาว พื้นที่สีดำแทนพื้นที่แห้งหรือไม่เป็นน้ำท่วม และพื้นที่แสดงขาวมีความเป็นน้ำท่วมสูง โดยการแสดงความไม่แน่นอนของข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมนั้นแสดงเป็นแผนที่รูปแบบ 2 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 8 และ แผนที่ 3 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 9

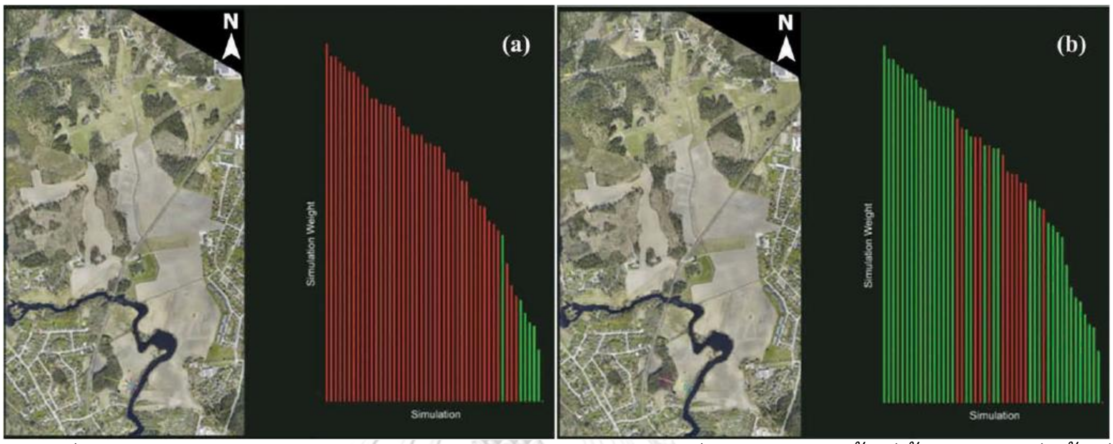
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 8 แผนที่ 2 มิติแสดงภาพถ่ายออร์โธ และความไม่แน่นอนของขอบเขตพื้นที่น้ำท่วม (Lim et al., 2016)



ภาพที่ 9 แผนที่ 3 มิติภาพถ่ายออร์โธกับข้อมูล DEM และความไม่แน่นอนขอบเขตพื้นที่น้ำท่วม (Lim et al., 2016)

การแสดงขอบเขตความไม่แน่นอนของพื้นที่น้ำท่วมยังสามารถแสดงในรูปแบบกราฟแท่งเชิงคุณภาพ (Performance Bars) ซึ่งการแสดงในรูปแบบกราฟนี้จะแตกต่างกันแผนที่ คือ กราฟแท่งจะแสดงผลลัพธ์ของข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง แต่แผนที่มีการแสดงผลลัพธ์ของข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน ซึ่งผลลัพธ์ทั้งหมดถูกนำเสนอจำนวนกราฟ 50 แท่งและในแต่ละแท่งแสดงปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน และใช้สีสำหรับบ่งบอกถึงความเป็นพื้นที่น้ำท่วมในสีแดง หากไม่ใช่พื้นที่น้ำท่วมจะแสดงด้วยสีเขียว ดังแสดงในภาพที่ 10 (Lim et al., 2016)



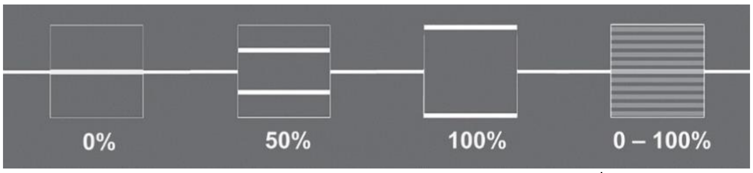
ภาพที่ 10 ภาพออร์โธและกราฟแท่งเชิงคุณภาพ กราฟสีแดงหนึ่งแท่งบอกถึงพื้นที่น้ำท่วมในหนึ่งพื้นที่และสีเขียวหมายถึงไม่ใช่น้ำท่วม (Lim et al., 2016)

McKenzie et al. (2016) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการแสดงความไม่แน่นอนของตำแหน่งจุดบนแผนที่ด้วยวงกลมที่มีความเบลอและวงกลมที่มีความใสคงที่ และพบว่าวงกลมที่มีความใสคงที่มีความแม่นยำและมีความรวดเร็วในการแปลผลมากที่สุด ซึ่งตรงข้ามกับงานวิจัยของ (MacEachren et al., 2012)

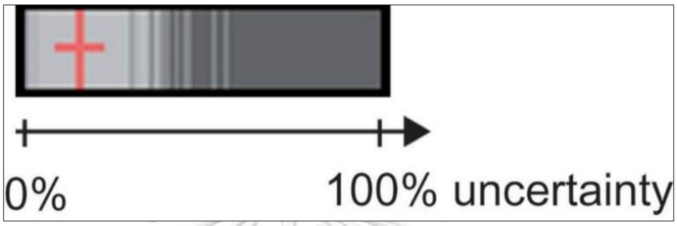
Kinkeldey (2014) ได้พัฒนาต้นแบบการนำเสนอความไม่แน่นอนจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน (Land Cover) เนื่องจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินจากการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) นั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วยความไม่แน่นอนของผลลัพธ์อยู่เสมอเพราะในการวิเคราะห์มีปัจจัยทั้งทางด้านพื้นที่และเวลา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างแผนที่ประกอบกับอินโฟกราฟิกส์ที่แสดงถึงความไม่แน่นอนของสิ่งปกคลุมดิน ณ ช่วงเวลาหนึ่งจะแสดงในรูปแบบบาร์โค้ด หากมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินที่ไม่ใช่ 0% 50% หรือ 100% จะแสดงในรูปแบบ 0 – 100% และมีการทำการเบลอเส้นเพื่อให้เห็นว่ามีความไม่แน่นอนอยู่ในผลลัพธ์ ดังแสดงในภาพที่ 11 นอกจากนั้นยังได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินทั้งหมดในรูปแบบสัญลักษณ์เส้น ประกอบด้วยเส้นสีเทาแนวตั้งบ่งบอกถึงความไม่แน่นอนตั้งแต่ 0-100% และ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบได้ใช้เส้นแนวตั้งและเส้นแนวนอนสีแดงบอกถึงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามลำดับ ดังที่แสดงในภาพที่ 12



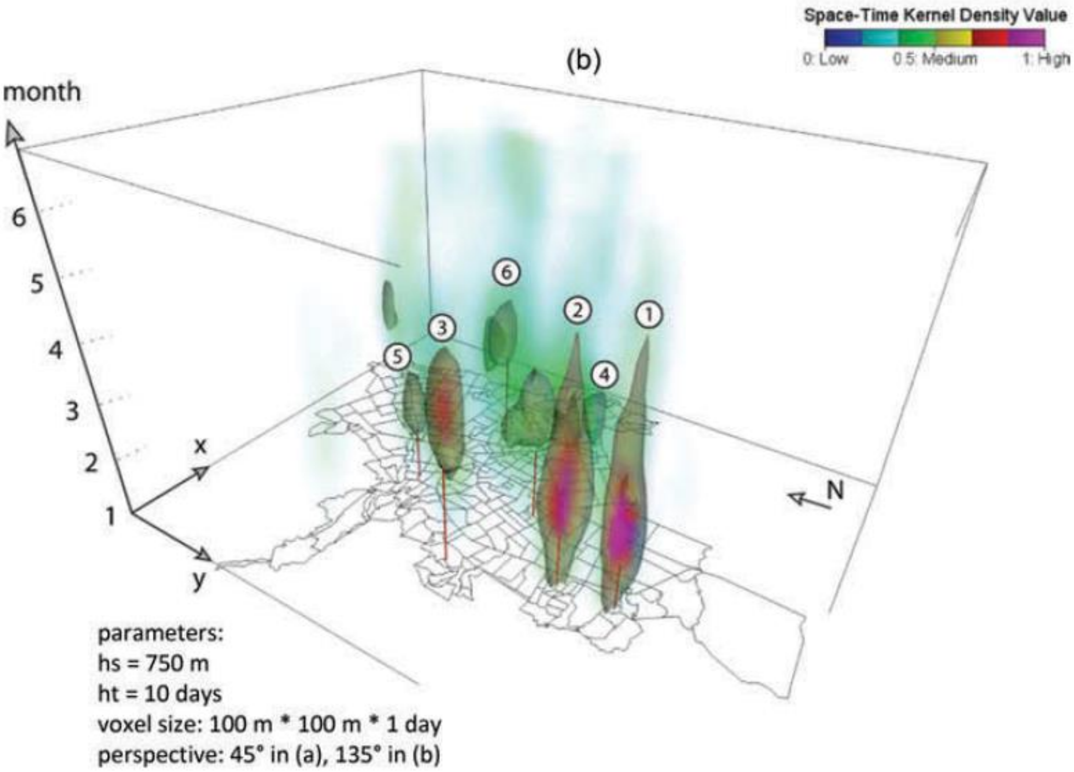
ภาพที่ 11 บาร์โค้ดแสดงความไม่แน่นอนของผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดิน 0-100% หมายถึงมีความไม่แน่นอนมาก (Kinkeldey, 2014)



ภาพที่ 12 การแสดงความไม่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินในทุก ๆ ช่วงเวลา โดยใช้สัญลักษณ์รูปแบบเส้น (Kinkeldey, 2014)

Cheong et al. (2016) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของการแสดงผลความไม่แน่นอนของพื้นที่เสี่ยงไฟป่าโดยใช้ขอบเส้นประ ความใส สี ความสว่าง และพื้นผิว งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าความเหมาะสมของการใช้ visual variables แสดงความไม่แน่นอนนั้นแล้วแต่ชนิดของข้อมูลและบริบทอื่น ๆ ด้วย

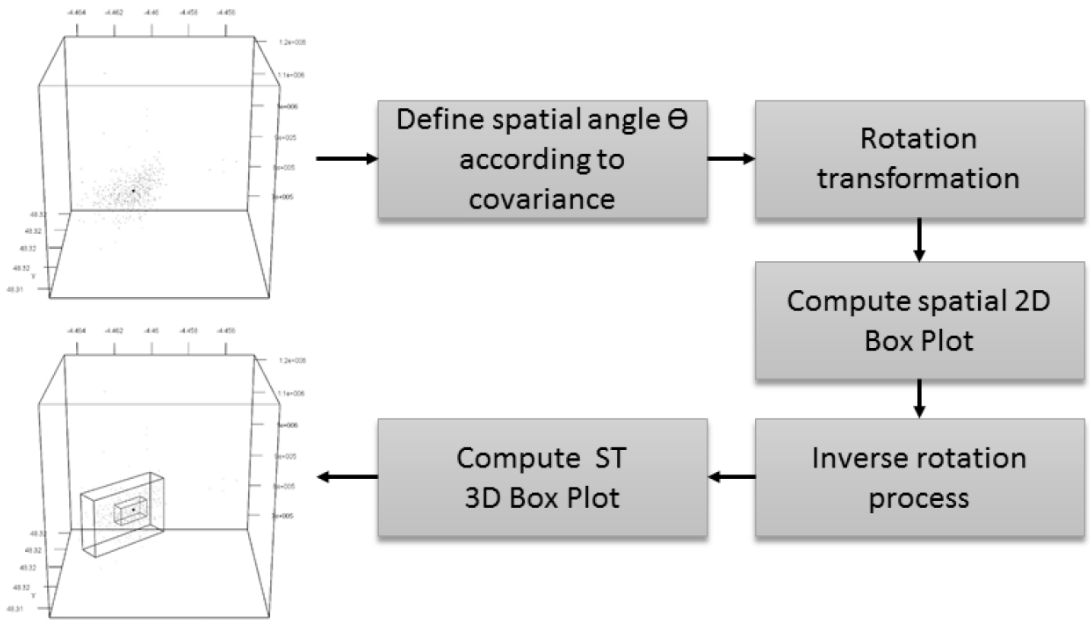
มีการประยุกต์การแสดงผลความไม่แน่นอนลงบนสามมิติ เพื่อให้สามารถแสดงได้ทั้งพื้นที่และเวลาพร้อมกัน เช่น Delmelle et al. (2014) นำเสนอความไม่แน่นอนของข้อมูลในเชิงตำแหน่งควบคู่กับเวลา มีการศึกษาผลกระทบของความไม่แน่นอนสำหรับโรคไข้เลือดออกในเมืองคาลีประเทศโคลัมเบีย ในงานวิจัยนี้มีข้อมูลความไม่แน่นอนประกอบด้วยสองส่วนหลักคือข้อมูลเชิงตำแหน่งจากสองแหล่งข้อมูลคือ พิกัดจากกระบวนการทำการแปลงที่อยู่ให้เป็นค่าพิกัด (Geocoding) และการเก็บค่าพิกัดจากภาคสนามโดยใช้เครื่องมือ GPS ในส่วนของข้อมูลความไม่แน่นอนเชิงเวลานั้นใช้ข้อมูลโดยประมาณของระยะฟักตัวของไข้เลือดออก ผลลัพธ์ของงานวิจัยจะถูกนำเสนอให้เห็นในรูปแบบกรอบ 3 มิติซึ่ง เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาของการระบาดของไข้เลือดออกควบคู่กับตำแหน่งเชิงพื้นที่ โดยผลลัพธ์จะช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับความซับซ้อนและไม่แน่นอนของโรคที่เกิดได้ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงพื้นที่ที่มีความหนาแน่นมากในรูปแบบสีม่วง และยังมีการจัดลำดับพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงสุดจากลำดับ 1 ถึง 6 ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่และเวลาจากการรายงานจำนวนผู้ป่วยไข้เลือดออกภายในช่วงเวลา 6 เดือนในปี พ.ศ. 2553 ภายในเมืองคาลีประเทศโคลัมเบีย (Delmelle et al., 2014)

Kuijpers et al. (2010) ประยุกต์ใช้ space-time prism ในการแสดงความไม่แน่นอนของเส้นทางการเดินทาง ซึ่งเป็นการแสดงในรูปแบบสามมิติ Huang and Wong (2015) แสดงความไม่แน่นอนของข้อมูลเส้นทางการเดินทางด้วย ST cone paths บนสามมิติ

Etienne et al. (2016) ได้นำข้อมูลจุดตำแหน่งจาก GPS เพื่อมาแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยอาศัยแผนภูมิการลงจุดแบบกล่อง (Box plot) มาแสดงกลุ่มข้อมูลในรูปแบบสามมิติ โดยใช้ค่าพิกัดตำแหน่ง (x, y) และค่าเวลา (t) เพื่อคำนวณดูทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สนใจ โดยผลลัพธ์สุดท้ายยังสามารถบอกการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลาได้ ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 รูปแบบการคำนวณแผนภูมิการลงจุดแบบกล่อง (Box Plot) ที่เป็นสามมิติ (Etienne et al., 2016)

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้กราฟแบบกล่อง (Box Plot) ซึ่งเป็นการแสดงผลความไม่แน่นอนที่เดิมนั้นไม่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงตำแหน่ง มาทำการแสดงบนแผนที่เพื่อแสดงข้อมูลเชิงตำแหน่ง

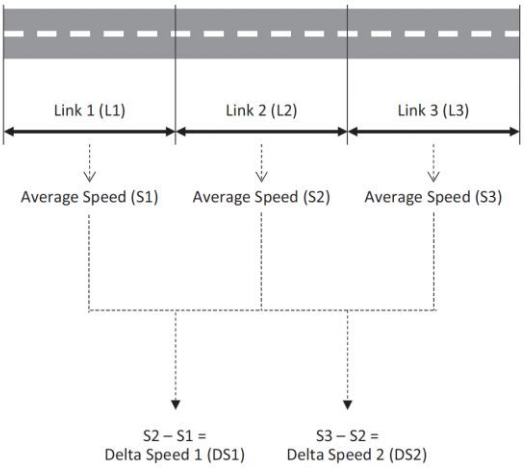
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการความยาวแถวคอย

การวัดความยาวแถวคอยบนถนนสามารถประมาณได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่บนถนนเช่น loop detector, stop bar detectors และเรดาร์ เช่น An et al. (2017) ใช้ Loop detector คำนวณหาความยาวแถวคอยบริเวณวงเวียน โดยใช้วิธีติดตั้งลูปดีเทคเตอร์ (Loop Detector) ไว้ที่พื้นถนนรอบวงเวียน เมื่อมีรถเข้ามาผ่าน loop detector จะสามารถคำนวณเวลาที่เข้าและออกไปผ่านตัวลูปดีเทคเตอร์ (Loop Detector) ตัวอื่นได้ สามารถนำมาทำอัตราการไหลของรถ และการชะลอตัวของรถที่เข้ามายังวงเวียน จากนั้นทำการคำนวณหาความยาวแถวคอย

นอกจากเซ็นเซอร์แล้ว แถวคอยยังสามารถประมาณได้จากข้อมูล GPS trajectories ซึ่งด้วยข้อจำกัดของข้อมูล ในวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลจากรูปแบบ GPS trajectories เท่านั้น

งานวิจัยการประมาณแถวคอยจาก GPS มีดังต่อไปนี้ Li et al. (2015) ได้ศึกษาการประมาณความยาวแถวคอยจากข้อมูล GPS โดยการนำข้อมูล trajectories ของ GPS ของรถแต่ละคันมาหาความเร็วเฉลี่ยของถนนในแต่ละท่อน (link) แล้วนำถนนท่อนที่อยู่ติดกันมาลบกัน ทำให้ทราบว่ารถมีความเร่งหรือกำลังลดความเร็ว หากค่าความต่างความเร็วเฉลี่ยเป็นลบ (ความเร็วช้าลง) และหาก

ความแตกต่างต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ จะถือว่าเส้นนั้นมีรถติดขัดเกิดขึ้น และอาจเป็นท้ายแถวคอย เนื่องจากเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงจากรถวิ่งเป็นรถหยุดหรือชะลอตัว (shock wave)



ภาพที่ 15 แสดงการหาค่าเฉลี่ยความเร็วของแต่ละ link แล้วนำมาหาความแตกต่างของความเร็วเฉลี่ยของท่อนถนนที่ต่างกัน (Li et al., 2015)

Cheng et al. (2012) ประมาณค่าความยาวแถวคอยบริเวณแยกสัญญาณไฟจราจรด้วยการหาจุดวิกฤตของ trajectory ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความเร่งและความเร่งมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งตำแหน่งที่เกิดจุดวิกฤตจะถูกนำมาหาความยาวแถวคอยและระยะเวลาของรอบสัญญาณไฟ

ข้อมูลที่มีความละเอียดก็จะสามารถประมาณค่าแถวคอยได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น เช่น Ramezani and Geroliminis (2014) ศึกษาลักษณะความยาวแถวคอยจากข้อมูลรถ probe trajectory Next Generation Simulation (NGSIM) ที่มีการเก็บข้อมูลทุก 0.1 วินาที โดยใช้การบูรณาการข้อมูล probe กับการวิเคราะห์คลื่นกระแทกการไหลของการจราจรและเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล อย่างไรก็ดี ในหลายๆ กรณีก็มีข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลที่มีความละเอียดสูงจึงต้องประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ความละเอียดต่ำแทน Qi and Jiang (2017) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณความยาวแถวคอยโดยใช้ข้อมูล GPS แบบ long reporting interval ซึ่งมีการเก็บข้อมูลทุก 30 วินาที จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองไปทดสอบประสิทธิภาพกับโปรแกรม Trans Modeler ซึ่งใช้จำลองสภาพการจราจร รวมไปถึงการนำแบบจำลองไปทดสองข้อมูลชุดอื่นและพื้นที่อื่น ผลลัพธ์จากการวิจัยนี้สามารถบ่งชี้ถึงความยาวแถวคอยเฉลี่ยที่สูงที่สุดในรอบสัญญาณไฟนั้น

นอกจากข้อมูลจาก GPS บนรถแล้ว ยังมีการประยุกต์ใช้ข้อมูลตำหน่งจากแหล่งอื่น ๆ เช่น Liu et al. (2021) ได้นำเสนอการนำข้อมูลรูปแบบ crowdsourced จากการรายงานผ่านแอปพลิเคชัน Waze เพื่อใช้ในการประมาณแถวคอย ซึ่งแถวคอยที่เกิดขึ้นนี้ไม่ใช้รูปแบบที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ (non-recurrent) เช่นเป็นแถวคอยที่เกิดจากจุดตำแหน่งการรายงานอุบัติเหตุ ซึ่งจุดตำแหน่งที่มีการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายงานนั้นจะมีการลักษณะเป็นกลุ่มของข้อมูล โดยในงานวิจัยได้มีการใช้เทคนิค Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) เพื่อช่วยในการแบ่งกลุ่มข้อมูลให้แยกจากข้อมูลกลุ่มอื่นที่มาจากการรายงานได้

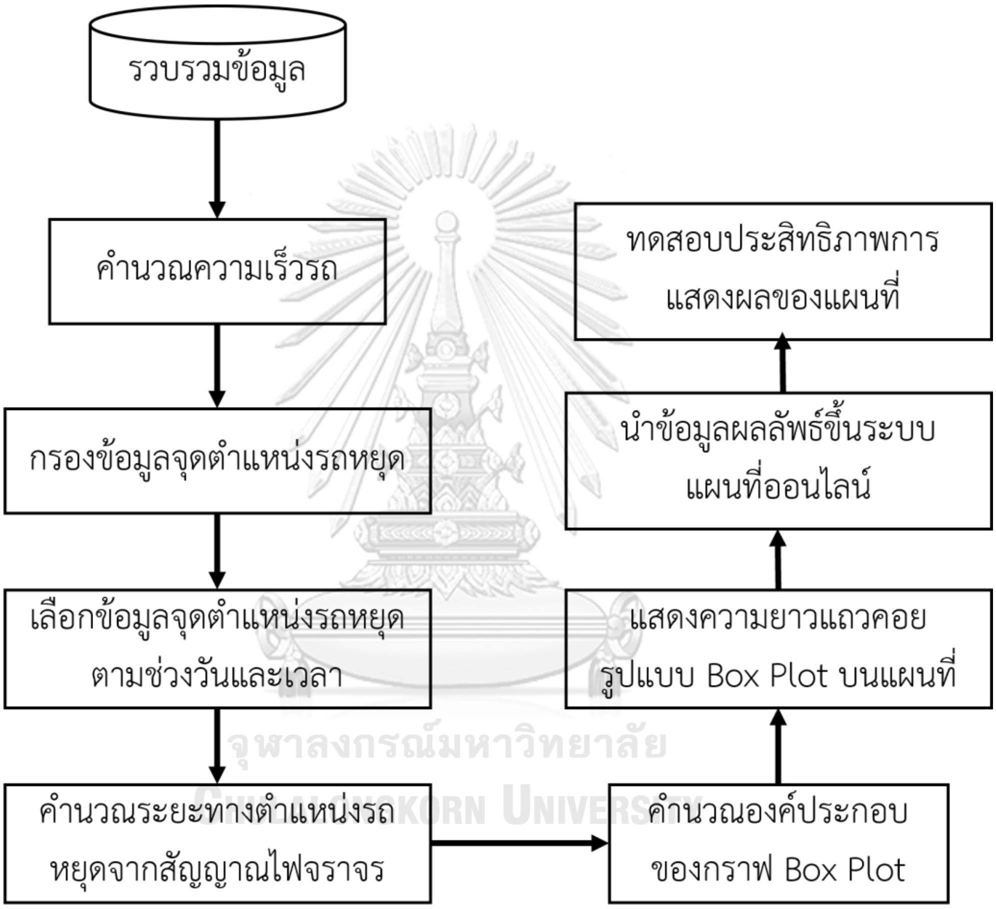
จากการศึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนที่ผ่านมา ในปัจจุบันยังไม่พบการแสดงผลความไม่แน่นอนในเชิงพื้นที่และเวลา ในงานวิจัยนี้จะมีการประยุกต์ใช้กราฟรูปแบบ Box Plot ที่เคยใช้กับการแสดงผลความไม่แน่นอนที่ไม่ใช่เชิงพื้นที่นำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อแสดงความไม่แน่นอนของความยาวแถวคอยลงบนแผนที่ทำให้สามารถแสดงความไม่แน่นอนของข้อมูลในเชิงพื้นที่และเวลาได้

สำหรับการประมาณความยาวแถวคอยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีหลายวิธีสำหรับประเมินความยาวแถวคอย เช่น การแบ่งถนนออกเป็นช่วง ๆ และใช้ความเร็วของรถเพื่อมาหาความยาวแถวคอย Li et al. (2015) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะมีกระบวนการใกล้เคียงกับ (Cheng et al., 2012) ที่ได้ศึกษา shock wave เพื่อการประมาณความยาวแถวคอยโดยใช้ข้อมูล Probe Trajectories โดยจะพิจารณาจุดที่รถหยุดเท่านั้น และไม่มีการจำแนกรถว่าอยู่ถนนเลนใด เนื่องจากสนใจความยาวแถวคอยที่มากที่สุด นั่นคือค่าระยะทางจากเส้นหยุดจนถึงตำแหน่งรถคันสุดท้ายที่หยุดเนื่องจากสัญญาณไฟ และสนใจการเปลี่ยนแปลงในความถี่ต่ำ (15 นาทีขึ้นไป) ซึ่งภายในระยะเวลานั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของแถวคอยหลายรอบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงไฟแดงไฟเขียว เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลซึ่งในบางช่วงเวลามีแท็กซี่วิ่งผ่านน้อย ทำให้ไม่สามารถคำนวณแถวคอยได้ รูปแบบการใช้งานสามารถดูได้จากภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานระบบแผนที่ออนไลน์แสดงความยาวแถวคอย

สำหรับในงานวิจัยนี้ยังได้พิจารณาถึงการนำรูปแบบการนำเสนอรูปแบบอื่นเข้ามาแสดงผลร่วมกับตัวโปรแกรมเช่นการทำแอนิเมชันแต่พบว่าเป็นการเพิ่มความซับซ้อนให้กับระบบ โดยที่ผ่านมามีการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้แอนิเมชันแสดงข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นจะส่งผลให้เกิดการมีข้อมูลที่มากเกินไปจนทำให้ผู้งานระบบไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ทัน (Blok et al., 2011) หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับข้อมูลขนาดใหญ่ที่ผู้ใช้ไม่สามารถรับรู้ได้ทันอาจจะส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดเมื่อแปลตีความ (Simons and Rensink, 2005) ด้วยเหตุผลนี้งานวิจัยฉบับนี้จะมุ่งเน้นไปที่การแสดงขอบเขตของความไม่แน่นอนของข้อมูลสำหรับแสดงความยาวแถวคอยบนแผนที่

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ตั้งแต่การเก็บรวบรวมข้อมูล วิธีการประมวลผลข้อมูล และแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 รวบรวมข้อมูล

ข้อมูลจุดตำแหน่ง GPS จากรถแท็กซี่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท แกร็บ จำกัด โดยมีการบันทึกข้อมูลจากรถแท็กซี่แต่ละคันทุก ๆ ประมาณ 3 วินาที และเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2562 ถึง 31 ธันวาคม 2562 ขนาดข้อมูลโดยประมาณ 16 กิกะไบต์และจำนวนแถวทั้งหมดรวม 56,539,344 แถว ข้อมูลถูกจัดเก็บไว้ในรูปแบบตารางบนระบบ Google Cloud Platform เนื่องจากรองรับการเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ที่สามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวกผ่าน

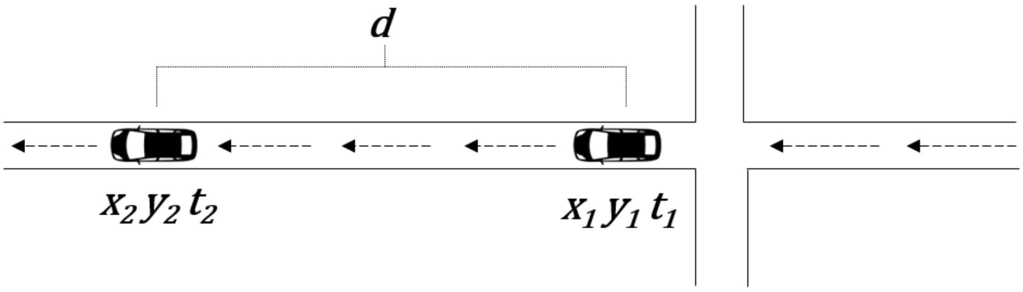
หลากหลายอุปกรณ์ โดยในตัวระบบมีเครื่องมือ Google BigQuery เป็นตัวช่วยในการสืบค้นข้อมูลผ่านภาษา Structured Query Language (SQL) ข้อมูลคอลัมน์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2 สำหรับตัวอย่างของข้อมูลสามารถดูได้จากภาคผนวก ก

ตารางที่ 2 แสดงคำอธิบายการจัดเก็บข้อมูล จากบริษัท แกร็บ จำกัด

คอลัมน์	ความหมาย
MapID	รหัสของแผนที่ที่ใช้สำหรับนำข้อมูล GPS จากรถแท็กซี่มาทำ map matching
MapVersion	เวอร์ชันของแผนที่ที่ใช้สำหรับทำ map matching
Driverid	รหัสรถแท็กซี่
PingTimestamp	เวลาที่ส่งมาจากรถแท็กซี่ในรูปแบบ UNIX
RawLat	ค่าพิกัดละติจูดจาก GPS รถแท็กซี่ที่ยังไม่ได้ทำการ map matching
RawLng	ค่าพิกัดลองจิจูดจาก GPS รถแท็กซี่ที่ยังไม่ได้ทำการ map matching
Speed	ความเร็วในขณะที่รถวิ่งในส่วนของถนนนั้นมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
ProjectedLat	ค่าพิกัดละติจูดของจุดที่ทำการ map matching กับถนนเส้นที่อยู่ใกล้ที่สุด
ProjectedLng	ค่าพิกัดลองจิจูดของจุดที่ทำการ map matching กับถนนเส้นที่อยู่ใกล้ที่สุด
WayIDs	รหัสของถนนจาก OpenStreetMap ที่ทำการ map matching กับข้อมูล GPS

3.2 คำนวณความเร็วรถ

สำหรับการคำนวณความเร็วของรถแต่ละคันจะมีวิธีการคำนวณจากตำแหน่งพิกัดของรถคันนั้นที่วิ่งได้ระยะทาง ณ ช่วงเวลาหนึ่ง โดยแบ่งการคำนวณออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือการคำนวณระยะทางโดยใช้พิกัดตำแหน่งของรถที่จุด 2 จุด ดังแสดงในภาพที่ 17 ในตำแหน่งแรกที่รถอยู่ค่าพิกัดจะเป็น x1, y1 และมีค่าเวลาเป็น t1 และในตำแหน่งที่สองพิกัดของรถจะมีค่า x2, y2 และมีค่าเวลาเป็น t2 เพื่อให้ได้ระยะทางที่รถวิ่งได้นั้นจะคำนวณระยะทาง d ได้จากสมการที่ (1)



ภาพที่ 17 ระยะทางของรถที่วิ่งที่ระยะเวลาหนึ่ง

$$d=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) ให้

x_1, y_1 คือ จุดตำแหน่งของรถที่ตำแหน่งเวลา t_1

x_2, y_2 คือ จุดตำแหน่งของรถที่ตำแหน่งเวลา t_2

d คือ ระยะทางที่รถวิ่งที่ในช่วงเวลาหนึ่ง

หลังจากคำนวณระยะทางของตำแหน่งระหว่างจุดจะสามารถคำนวณหาความเร็ว s ได้จากสมการที่ (2) ผลลัพธ์ที่ได้มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

$$s = \frac{d}{t_2 - t_1} \tag{2}$$

จากสมการที่ (2) ให้

d คือ ระยะทางที่รถวิ่ง ณ ช่วงเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็นเมตร

t_2 คือ เวลาที่รถวิ่ง ณ ตำแหน่งจุด x_2, y_2 มีหน่วยเป็นวินาที

t_1 คือ เวลาเริ่มต้นที่รถวิ่ง ณ ตำแหน่งจุด x_1, y_1 มีหน่วยเป็นวินาที

3.3 กรองข้อมูลจุดตำแหน่งรถหยุด

หลังจากคำนวณความเร็วที่รถวิ่งโดยใช้สมการที่ (2) แล้ว จะนำข้อมูลทั้งหมดมากรองเพื่อหาตำแหน่งรถหยุดโดยใช้เงื่อนไขที่ความเร็วของรถนั้นน้อยกว่า 1 เมตร/วินาที เนื่องจากเป็นความเร็วที่รถชะลอตัวเพื่อเตรียมหยุดบริเวณแยกสัญญาณไฟจราจร เนื่องจากสัญญาณ GPS ที่ได้จากอุปกรณ์ที่อยู่กับรถแท็กซี่นั้นหากพบว่ามีช่วงสัญญาณขาดหายความเร็วที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์ในระบบซึ่งขั้นตอนนี้จะมีการกรองข้อมูลออกและไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณกับข้อมูลส่วนอื่น

หลังเลือกจุดรถหยุดจากข้อมูลทั้งหมดออกมา ผลลัพธ์ที่ได้จะได้จำนวนจุดรถหยุดทั้งหมดอยู่ที่ 174,289 จุด โดยในตัวข้อมูลจะมีการระบุไว้ว่าจุดหยุดนั้นเป็นของวันที่เท่าไหร่ วันไหน ซึ่งหากนำข้อมูลมาแบ่งตามวันที่รถหยุดจะได้รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนจุดรถหยุดทั้งหมดโดยแบ่งรายวัน

วัน	จำนวนจุดรถหยุด
จันทร์	16,315 จุด
อังคาร	22,401 จุด
พุธ	24,579 จุด
พฤหัสบดี	30,901 จุด

ศุกร์	35,657 จุด
เสาร์	28,810 จุด
อาทิตย์	15,626 จุด

นอกจากข้อมูลวันที่ระบุในตัวข้อมูลแล้วนั้น ตัวข้อมูลยังประกอบไปด้วยข้อมูลเวลาระบุไว้ในแต่ละจุดที่รถมีการหยุด โดยข้อมูลเวลานี้จะสามารถนำไปเลือกช่วงเวลาที่สนใจในการแสดงผลต่อไป

3.4 เลือกข้อมูลจุดตำแหน่งรถหยุดตามช่วงวันและเวลา

จุดรถหยุดที่ถูกกรองออกมาจากขั้นตอนก่อนหน้า จะเห็นได้ว่ามีข้อมูลรถหยุดเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งวันและยังมีข้อมูลบอกว่าจุดรถหยุดนั้นอยู่ในช่วงวันไหน จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าช่วงวันจันทร์ถึงศุกร์จะมีรูปแบบของแถวคอยคล้าย ๆ กันแต่จะมีความแตกต่างจากวันเสาร์และวันอาทิตย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จุดตำแหน่งรถหยุดจะถูกรวมกลุ่มเข้าด้วยกันจากข้อมูลทั้งเดือนเพื่อใช้ในการแสดงภาพรวมตามช่วงวัน โดยจะแบ่งข้อมูลออกเป็นสามกลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ตำแหน่งจุดรถหยุดช่วงวันจันทร์ถึงวันศุกร์ กลุ่มที่ 2 วันเสาร์ และกลุ่มสุดท้ายวันอาทิตย์ นอกจากนี้ทุกจุดตำแหน่งรถหยุดในช่วงวันที่เลือกมานั้น จะถูกนำมารวมกับเวลาใกล้เคียงคือเลือกข้อมูลเฉพาะช่วงเวลา 07:00-09:00 นาฬิกา และ 17:00-19:00 นาฬิกา เพื่อให้จุดรถหยุดมีจำนวนเพียงพอต่อการใช้สำหรับทำ Box Plot ต่อไป

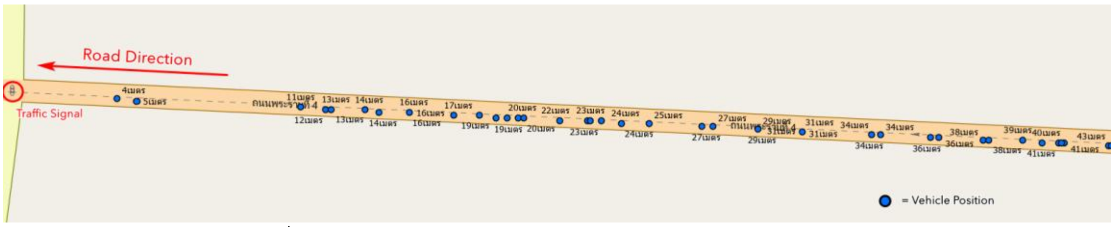
3.5 คำนวณระยะทางตำแหน่งรถหยุดจากสัญญาณไฟจราจร

ตำแหน่งรถหยุดที่เลือกออกมาจากข้อมูลทั้งหมด จะนำมาคำนวณระยะแถวคอย โดยความยาวแถวคอยนั้นคือระยะห่างของรถที่หยุดจากตำแหน่งเส้นหยุดของสัญญาณไฟจราจรนั้นกับตำแหน่งที่รถหยุดบนถนนซึ่งหน่วยที่ได้เป็นเมตร

ภาพที่ 18 ตัวอย่างตำแหน่งสัญญาณไฟจราจรบนถนนพระรามที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อคำนวณระยะห่างของตำแหน่งรถหยุดกับเส้นหยุดของสัญญาณไฟจราจร จะได้ระยะห่างจากสัญญาณไฟที่สนใจดังแสดงในภาพที่ 19 หากรถคันไหนอยู่ใกล้แยกสัญญาณไฟมากระยะห่างของรถกับจุดแยกจะน้อยไล่เรียงไปตามลำดับ

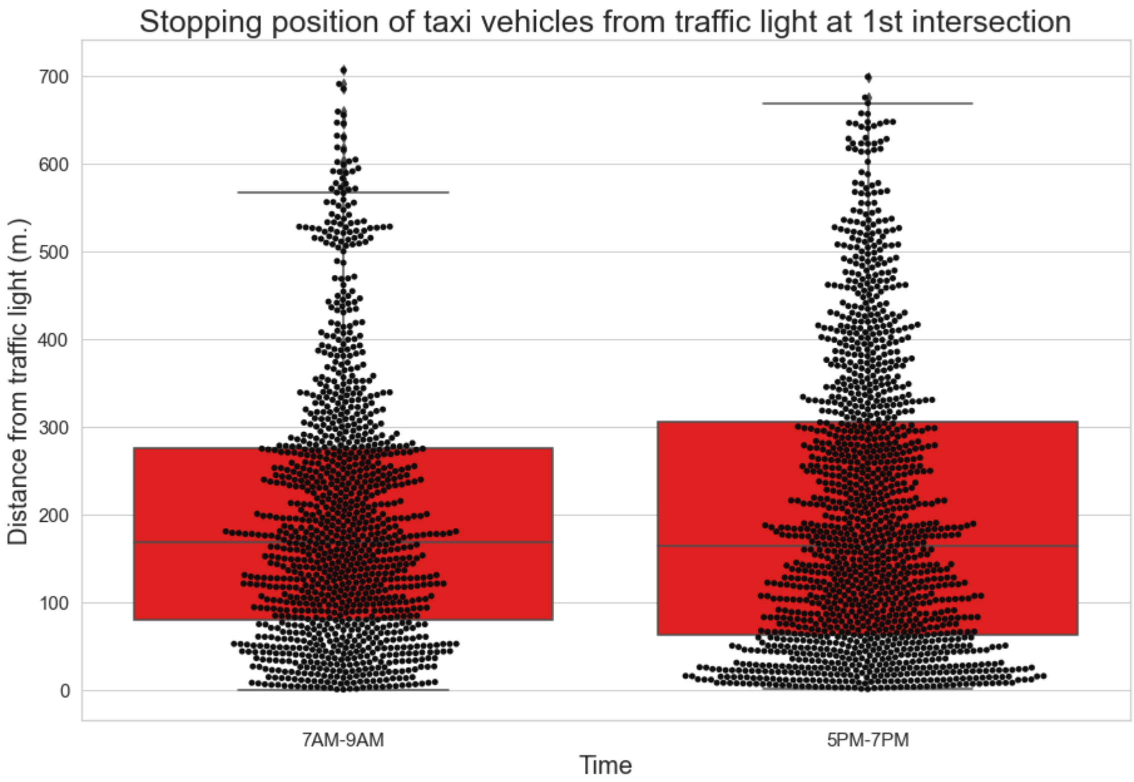


ภาพที่ 19 ตำแหน่งรถหยุดห่างจากตำแหน่งสัญญาณไฟจราจร

3.6 คำนวณองค์ประกอบของกราฟ Box Plot

สำหรับการคำนวณ Box Plot นั้นใช้รูปแบบ Swarm Plot ซึ่งเป็นการนำข้อมูลจุดสำรวจมาแสดงร่วมกับองค์ประกอบอื่นของกราฟ ซึ่งเป็นการนำข้อมูลในแต่ละกลุ่มวันและเวลาที่เลือกออกมาจากข้อมูลทั้งหมด หลังจากนั้นนำระยะทางจากเส้นหยุดของสัญญาณไฟจราจรมาเรียงลำดับจากระยะทางใกล้สัญญาณไฟจราจรน้อยที่สุดไปจนถึงมากที่สุด แล้วทำการคำนวณค่าควอไทล์ที่ 1 (Q1) คือข้อมูล 25 เปอร์เซ็นต์แรกจากค่าต่ำสุดขึ้นมา จากนั้นหาค่ามัธยฐานที่อยู่ตรงกลางของข้อมูลซึ่งคือข้อมูลที่ 50 เปอร์เซ็นต์หรือคือควอไทล์ที่ 2 (Q2) แล้วหาค่าควอไทล์ที่ 3 (Q3) คือข้อมูลที่อยู่บน 75 เปอร์เซ็นต์ สุดท้ายมีการคำนวณหาค่า ขอบเขตบนสุด (Upper Bound) และขอบเขตล่างสุด (Lower Bound) เพื่อตัดข้อมูลที่เป็นค่าผิดปกติ (Outliers) ออกจากการแสดงผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



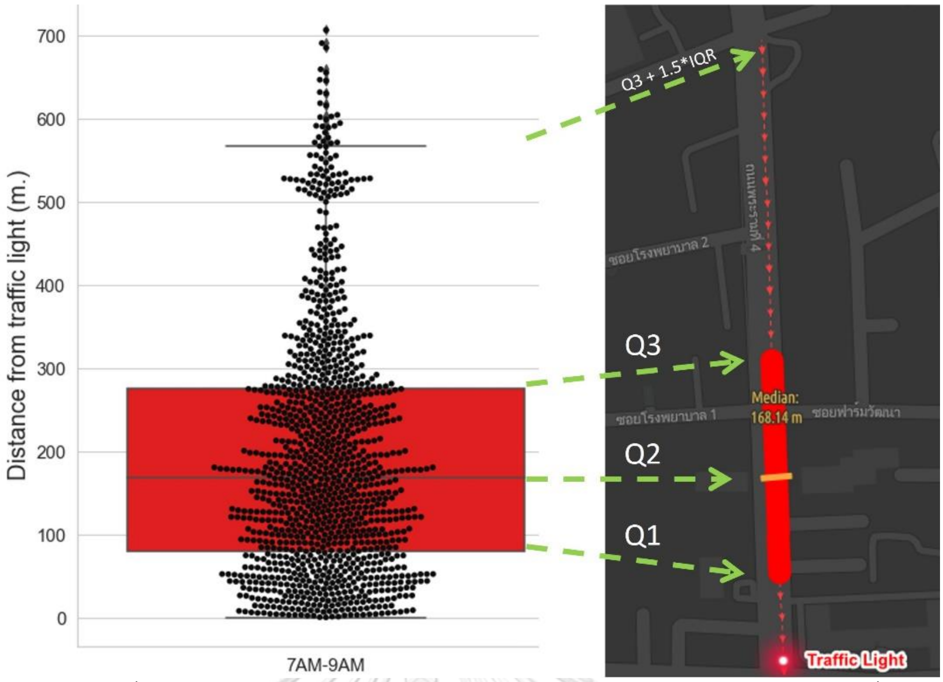
ภาพที่ 20 กราฟ Box Plot แสดงระยะทางจุดตำแหน่งรถหยุดจากสัญญาณไฟจราจรระหว่าง ช่วงเวลา 07:00-09:00 นาฬิกาและ 17:00-19:00 นาฬิกาของข้อมูลวันจันทร์ถึงศุกร์

จากภาพที่ 20 จะเห็นถึงตัวอย่างการนำข้อมูลจุดตำแหน่งรถหยุดของข้อมูลใน 1 จุดแยกโดยเลือกมาเฉพาะข้อมูลวันจันทร์ถึงศุกร์ จากนั้นคำนวณหาค่า Q1-Q3 ซึ่งจากภาพแสดงกล่องสีแดงและจะมีค่า Q2 หรือค่ามัธยฐานแสดงขีดระหว่างกล่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.7 แสดงความยาวแถวคอยในรูปแบบ Box Plot บนแผนที่

หลังคำนวณระยะที่จำเป็นสำหรับสร้าง Box Plot โดยใช้ระยะทางจากสัญญาณไฟจราจรเป็นจุดเริ่มต้นแล้วนั้น การนำข้อมูลเพื่อแสดงบนแผนที่จะเป็นการสร้างเส้นบนถนนโดยอ้างอิงจากจุดรถหยุดบนถนนเพื่อใช้เป็น Nodes สำหรับลากเส้นไปตามแนวถนน จุดทั้งหมดที่ไม่รวมค่าผิดปกติ (Outlier) จะถูกสร้างเป็นเส้นประสีแดงพร้อมทั้งลูกศรแสดงถึงทิศทางการวิ่งของรถ โดยส่วนนี้จะใช้เพื่อแสดงถึงหนวด (whiskers) ของ Box Plot จากนั้นจะสร้างตัวกล่อง Box Plot โดยใช้ค่าระหว่างควอไทล์ที่ 1 ถึงควอไทล์ที่ 3 โดยแสดงเป็นเส้นทึบขนาดกว้างสีแดง และมีเครื่องหมายขีดสีเหลืองแสดงบนกล่องซึ่งคือค่าควอไทล์ที่ 2 หรือค่ามัธยฐานจากข้อมูลของกลุ่มนี้ โดยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้นถูกแสดงดังภาพที่ 21 สำหรับวิธีการแบบละเอียดสามารถดูได้จากภาคผนวก ค ขั้นตอนการสร้างองค์ประกอบของกราฟ Box Plot จากข้อมูลจุดตำแหน่งรถหยุด



ภาพที่ 21 การแสดงความยาวแถวคอยโดยใช้รูปแบบ Box Plot บนแผนที่

3.8 นำข้อมูลผลลัพธ์ขึ้นระบบแผนที่ออนไลน์

ข้อมูลผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ถูกจัดเก็บในรูปแบบ Shapefile (.shp) ซึ่งเป็นรูปแบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเภทหนึ่งที่เก็บข้อมูลอยู่ในรูปของเวคเตอร์ (Vector) ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบแผนที่ออนไลน์โดยใช้โปรแกรม ArcGIS Dashboard ซึ่งเป็นโปรแกรมรูปแบบคลาวด์อยู่บนระบบ ArcGIS Online ตัวระบบเป็นแบบ Interactive บนเว็บไซต์โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลแผนที่โดยใช้ระบบอินเตอร์เน็ตผ่านเว็บบราวเซอร์ได้โดยตรง ตัวระบบ ArcGIS Online ยังมีเครื่องมือและความสามารถที่รองรับการแสดงข้อมูลที่ตรงตามความต้องการของผู้พัฒนาระบบ ตัวอย่างเช่นรูปแบบสัญลักษณ์ของเส้นถนนที่มีหัวลูกศรสำหรับบอกทิศทางการวิ่งของรถ สามารถดูคู่มือการใช้งานระบบได้จากภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานระบบแผนที่ออนไลน์แสดงความยาวแถวคอย

3.9 ทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลของแผนที่

การประเมินประสิทธิภาพของการใช้งานถือเป็นส่วนสำคัญสำหรับวัดคุณภาพของการพัฒนาแอพพลิเคชันเพื่อบ่งบอกถึงการพัฒนานั้นประสบความสำเร็จตามที่ผู้พัฒนาคาดหวังไว้หรือไม่ (Madan and Kumar, 2012) ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพนั้นมีหลักการทดสอบอยู่หลายแบบที่ถูกนำไปใช้ในการวัดคุณภาพของระบบเพื่อวัดถึงคุณภาพและความต้องการของผู้ใช้งาน ตัวอย่างเช่นรูปแบบที่แบ่งการทดสอบของระบบออกเป็นสามส่วนหลักที่เป็นอิสระต่อกัน การทดสอบประกอบด้วย คุณลักษณะของการใช้งาน คุณลักษณะของผู้ใช้งาน และ คุณลักษณะของตัวระบบ

(Eason, 1984) หรือวิธีการทดสอบการใช้งานระบบว่าการออกแบบระบบเป็นไปตามที่ผู้ออกแบบคาดหวังไว้หรือไม่ โดยการแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 ส่วนหลัก ประกอบด้วย ความสามารถในการเรียนรู้ (learnability) ประสิทธิผล (efficiency) การจดจำ (memorability) ข้อผิดพลาด (error) และ ความพึงพอใจ (satisfaction) ซึ่งการทดสอบทั้ง 5 ส่วนนั้นจะใช้แบบประเมินในการถามคำถามกับผู้ตอบที่จะตอบคำถามในมุมมองของผู้ใช้งานระบบ (Nielsen and Levy, 1994)

สำหรับในงานวิจัยนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของระบบจากการศึกษาผู้เข้าร่วมทดสอบสองรูปแบบไปพร้อมกัน โดยรูปแบบแรกคือการวิเคราะห์แบบ Verbal Protocol Analysis (VPA) ซึ่งเป็นการเก็บประสบการณ์ของผู้ใช้งานในด้านความรู้สึกที่ตอบสนองต่อการใช้งานระบบแบบ real time โดยให้ผู้ทดสอบตอบคำถามแบบมีเสียงออกมาตามความคิดในขณะที่ผู้ทดสอบโฟกัสไปที่การใช้งานระบบ ณ ขณะนั้น (Ericsson and Simon, 1984) ตัวอย่างการใช้งานรูปแบบ VPA เช่น Benbunan-Fich (2001) ใช้ VPA สำหรับทดสอบประสิทธิภาพของเว็บไซต์เชิงพาณิชย์เพื่อดูถึงผู้ใช้งานทั่วไปที่ไม่เคยผ่านการฝึกอบรมการใช้งานระบบว่าจะสามารถใช้งานเว็บไซต์ได้ดีหรือใช้งานได้ง่ายเพียงใด นอกจากการใช้รูปแบบ VPA แล้วงานวิจัยนี้ยังได้มีการใช้รูปแบบการศึกษาโดยการจัดการสนทนากลุ่ม (Focus group) ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยทางผู้วิจัยจะป้อนคำถามให้แก่ผู้เข้าร่วมทดสอบที่เชิญมาทุกคน เพื่อให้ทุกคนได้มีการเสนอแนวคิดและอภิปรายตามคำถามที่ได้รับ (Morgan et al., 1998) สำหรับการทำรูปแบบการจัดการสนทนากลุ่มนั้น โดยทั่วไปจำนวนของผู้เข้าร่วมทดสอบมักจะพบเป็นกลุ่มที่มีขนาดเล็ก จากการศึกษาที่ผ่านมาจำนวนของผู้เข้าร่วมทดสอบที่แนะนำอยู่ที่ 8 ถึง 12 คน (Bloor et al., 2001) แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่แนะนำให้ใช้ผู้เข้าร่วมทดสอบอยู่ที่ 5 ถึง 7 คนเพื่อให้ได้การสนทนาเชิงลึก (Krueger, 1994) โดยทั้งสองรูปแบบของการทดสอบระบบที่กล่าวมานั้นได้มีการรวมทั้งสองรูปแบบเข้าด้วยกัน โดยใช้การเชิญผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งหมดห้าคนมาเพื่อตอบคำถามที่มีการเตรียมไว้ โดยการทดสอบมุ่งเน้นไปที่การหาคำตอบว่าระบบนี้สามารถใช้งานได้และสามารถเข้าใจได้เกี่ยวกับตัวระบบ วิธีการนี้จะช่วยทำให้เราเข้าใจถึงความจำเป็นของตัวระบบและพฤติกรรมของผู้ใช้ระบบจากที่เราคาดหวังไว้ (Robinson et al., 2005)

3.9.1 ขั้นตอนการทดสอบระบบ

ผู้ทดสอบระบบจะได้ทดลองใช้ระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากงานวิจัยนี้โดยมีการมอบหมายงานให้ผู้ทดลองทำตาม (Task) ในขณะที่ผู้ทดสอบระบบกำลังทำงานที่ได้รับมอบหมาย ผู้ทดสอบจะถูกถามคำถาม ณ ขณะที่กำลังใช้งานตัวระบบและให้ตอบตามความคิดออกมาโดยการตอบแบบมีเสียง ผู้ทำการวิจัยจะบันทึกคำตอบเหล่านั้น พร้อมทั้งสังเกตพฤติกรรมการใช้งาน ในการทดลองระบบจะถูกแบ่งการทดสอบออกเป็นสามช่วงหลัก ๆ ช่วงแรกผู้ทดสอบจะได้รับฟังถึงวัตถุประสงค์ของตัวระบบที่ถูกพัฒนาขึ้น องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในระบบ รวมไปถึงสิ่งที่แสดงอยู่ในตัวระบบ โดยการอธิบายจะมุ่งเน้นไปที่ส่วนของช่วงความไม่แน่นอนของแถวคอยว่าถูกแสดงรูปแบบไหนประกอบไป

ด้วยอะไรบ้างบนตัวแผนที่ จากนั้นการทดลองในช่วงที่สอง ผู้ทดสอบระบบจะได้เริ่มทำตามงานที่ได้รับมอบหมาย (Task) โดยรูปแบบของงานที่มอบหมายให้กับผู้ทดสอบระบบนั้นใช้การอ้างอิงวิธีการเรียกงานมาจาก (Andrienko and Andrienko, 2005) ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการเลือกรูปแบบทั้งหมดมา 3 รูปแบบ ประกอบไปด้วยรูปแบบที่หนึ่งคือการค้นหาข้อมูล หรือ (Lookup) โดยใช้คำถามคือทางแยกไหนที่ความยาวแถวคอยมีการชนกันระหว่างทางแยกหรือส่งผลต่อกัน รูปแบบที่สองคือการเปรียบเทียบข้อมูล (Comparison) โดยใช้คำถามคือแยกไหนที่แถวคอยมีการเปลี่ยนแปลงเยอะที่สุด และรูปแบบที่สามคือการค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (Relation-Seeking) โดยมีคำถามคือความยาวแถวคอยช่วงวันธรรมดา วันเสาร์ วันอาทิตย์ มีความไม่แน่นอนของความยาวแถวคอยต่างกันหรือไม่อย่างไร และช่วงเวลาเช้ากับเย็นมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยคำถามทั้งหมดจะถูกอ่านโดยผู้วิจัยระหว่างที่ผู้ทดสอบกำลังทำงานที่ได้รับมอบหมาย ช่วงเวลาทั้งหมดของการทดลองอยู่ที่ 20-30 นาทีขึ้นอยู่กับความสนใจของผู้เข้าร่วมทดสอบ สำหรับการจับเวลาขณะทดสอบนั้นจะช่วยสำหรับการพิจารณาถึงประสิทธิผล (efficiency) ของผู้รับการทดสอบ ช่วงของการทดสอบที่สามผู้เข้าร่วมทดสอบจะถูกถามถึงความความพึงพอใจโดยรวมของตัวระบบเช่น ฟังก์ชันการใช้งานต่าง ๆ และสุดท้ายของการทดสอบระบบผู้ทำวิจัยได้ถามถึงความคิดเห็นที่จะเพิ่มประสิทธิภายให้กับตัวระบบรวมไปถึงความคิดเห็นทั่วไปหลังจากได้ใช้งานระบบ ซึ่งในส่วนที่สามนี้จะช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจถึงความพึงพอใจ (satisfaction) ของผู้ทดสอบระบบ

3.9.2 รายละเอียดผู้เข้าร่วมทดสอบระบบ

การทดสอบระบบได้มีการเชิญผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งหมดจำนวนห้าคน ซึ่งประกอบด้วยอายุ 29 ปีสองคน อายุ 30 ปีสองคน และอายุ 31 ปีหนึ่งคน แบ่งเป็นเพศชายจำนวนสามคนและเพศหญิงจำนวนสองคน โดยผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งหมดไม่ได้รับค่าตอบแทนจากการเข้าร่วมทดสอบในครั้งนี้ ผู้เข้าร่วมทดสอบสามคนเป็นผู้มีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับการใช้งานแผนที่ทั้งการเรียนและการทำงานในปัจจุบัน ผู้เข้าร่วมทดสอบอีกสองคนที่เหลือไม่ได้มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับข้อมูลภูมิศาสตร์แต่มีความคุ้นเคยเกี่ยวกับการใช้ข้อมูลสถิติสำหรับการทำงานในชีวิตประจำวัน ผู้ร่วมทดสอบทุกคนเคยศึกษาวิชาสถิติในชั้นเรียน โดยมีหนึ่งคนมีความคุ้นเคยกับกราฟ Box Plot และหลักการการสร้างกราฟ อีกสองคนมีความคุ้นเคยกับกราฟแต่ไม่ได้มีการใช้เป็นเวลานาน แต่มีสองคนไม่เข้าใจเกี่ยวกับหลักการสร้าง Box Plot และไม่รู้จักองค์ประกอบต่าง ๆ ของกราฟ แม้ว่าความไม่แน่นอนของข้อมูลไม่ใช่เรื่องใหม่สำหรับผู้ร่วมทดสอบทั้งห้าคน แต่มีเพียงคนเดียวที่รู้จักเกี่ยวกับความไม่แน่นอนของข้อมูลและสามารถบอกได้ว่าช่วงความไม่แน่นอนคือส่วนไหนของกราฟ Box Plot ผู้ร่วมทดสอบทุกคนมีความคุ้นเคยกับถนนพระรามที่ 4 ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาในงานวิจัย และหนึ่งในห้าคนมีที่พักอาศัยอยู่ใกล้กับถนนพระรามที่ 4 และมีความคุ้นเคยอย่างมากกับพื้นที่ศึกษา สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถดูได้จากภาคผนวก จ ข้อมูลทั่วไปผู้เข้าร่วมระบบท้ายเล่ม

บทที่ 4
ผลการวิจัย

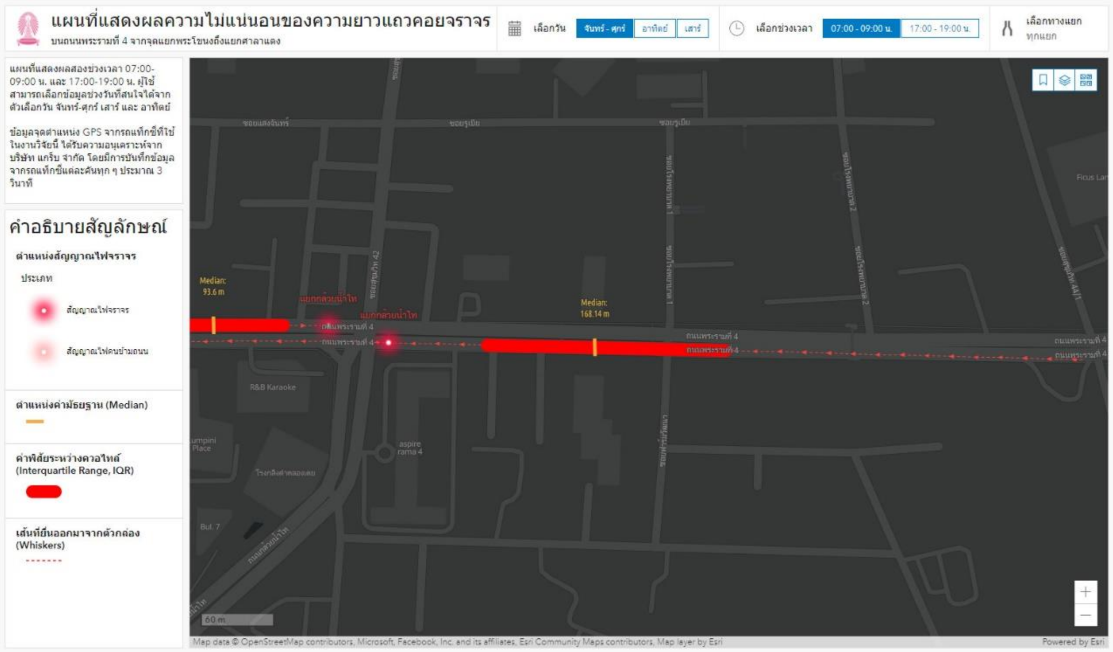
4.1 ผลลัพธ์ความยาวแถวคอยบนระบบแผนที่ออนไลน์

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ถูกนำเสนอในรูปแบบแผนที่ออนไลน์โดยประกอบไปด้วยทางแยกทั้งหมด 9 ทางแยกบนถนนพระรามที่ 4 เริ่มต้นจากแยกกล้วยน้ำไทถึงทางแยกศาลาแดง โดยทางแยกทั้งหมดประกอบไปด้วย แยกกล้วยน้ำไท แยกมหาวิทยาลัยกรุงเทพ แยกอารี แยกเกษมราษฎร์ แยกพระรามที่ 4 แยกคลองเตย แยกใต้ทางด่วนพระรามที่ 4 แยกวิทยุ และแยกศาลาแดง

4.1.1 องค์ประกอบของระบบแผนที่ออนไลน์

แผนที่แสดงความยาวแถวคอยผู้ใช้งานสามารถเลื่อนและซูมเพื่อดูรายละเอียดของทางแยกบนถนนพระรามที่ 4 และบริเวณรอบข้างได้ ระบบมีเครื่องมือบุคมาร์คเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดูรายละเอียดแยกต่าง ๆ ได้โดยง่าย สำหรับตัวความยาวแถวคอยนั้นจะแสดงเป็นเส้นประสีแดงพร้อมหัวลูกศรเพื่อบอกทิศทางการวิ่งของรถ ช่วงของความไม่แน่นอนของแถวคอยจะถูกนำเสนอด้วยกล่องสีแดงทึบเพื่อบ่งบอกถึงช่วงของค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ หรือ Interquartile Range (IQR) ด้านบนเส้นทึบสีแดงจะแสดงเส้นตัดสีเหลืองพร้อมทั้งป้ายข้อความเพื่อแสดงถึงค่ามัธยฐานของระยะห่างจากสัญญาณไฟจราจรโดยมีหน่วยเป็นเมตร ตัวเครื่องมือของระบบแผนที่ประกอบไปด้วยตัวเลือกอยู่ด้านบนสุดของหน้าจอระบบสำหรับดูแถวคอยรายแยกตามที่ผู้ใช้สนใจ ตัวเลือกวันของข้อมูลประกอบไปด้วยวันจันทร์ถึงศุกร์ วันเสาร์ หรือวันอาทิตย์ ตัวเลือกช่วงเวลาประกอบไปด้วยช่วงเวลา 07:00-09:00 นาฬิกา หรือ 17:00-19:00 นาฬิกา นอกจากตัวเลือกข้างต้นแล้ว ผู้ใช้ยังสามารถเลือกดูข้อมูลตามความสนใจได้ โดยมีคำอธิบายสัญลักษณ์เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าใจถึงแผนที่ได้ ตัวระบบยังรองรับการเปลี่ยนแผนที่ฐานเพื่อแสดงในรูปแบบภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อช่วยให้เห็นพื้นที่ใกล้เคียงพื้นที่จริงได้ดีมากขึ้นด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 22 หน้าต่างผลลัพธ์การแสดงความยาวแถวคอยบนระบบแผนที่ออนไลน์

4.1.2 ความยาวแถวคอยบนระบบแผนที่ออนไลน์

ผลลัพธ์ของความยาวแถวคอยที่แสดงในแต่ละทางแยกจะมีการแสดงผลโดยคิดระยะทางจากบริเวณเส้นหยุดของสัญญาณไฟจราจรบริเวณจุดแยกนั้นโดยจุดตำแหน่งสีแดงบนแผนที่แสดงถึงจุดตำแหน่งของสัญญาณไฟจราจร เส้นประสีแดงพร้อมหัวลูกศรชี้เข้าไปหาตำแหน่งสัญญาณไฟจราจรแสดงถึงทิศทางการวิ่งของรถที่มีการหยุดบริเวณสัญญาณไฟนั้น เส้นประสีแดงนี้แสดงถึงระยะทางของจุดตำแหน่งที่รถหยุดห่างจากสัญญาณไฟที่สุดไปจนถึงไกลที่สุดตามการคำนวณโดยไม่รวมค่าผิดปกติของข้อมูล สำหรับตัวกล่องของ Box Plot จะแทนด้วยเส้นทึบสีแดงตั้งแต่ช่วงข้อมูลที่ตกอยู่ระหว่างค่าควอไทล์ที่ 1 และควอไทล์ที่ 3 และนอกจากการแสดงความยาวแถวคอยแล้วนั้นยังได้มีการแสดงค่ามัธยฐานของแถวคอยนั้นด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 23 การแสดงผลความยาวแถวคอยบนระบบแผนที่ออนไลน์โดยใช้องค์ประกอบของ Box Plot

4.2 ผลการคำนวณระยะทางสำหรับความยาวแถวคอย

ความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกจะถูกคำนวณจากเส้นหยุดบริเวณสัญญาณไฟจราจรโดยได้มาจากการนำจุดรถหยุดในแต่ละแยกมาประมวลผลเพื่อหาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับใช้สร้างแผนที่ในรูปแบบกล่อง (Box Plot) และแสดงผลแผนที่ โดยค่าสถิติดักล่าวสามารถดูได้จากตารางที่ 4

จากผลการคำนวณเพื่อหาค่าสูงสุดของความยาวแถวคอยที่สามารถเป็นไปได้โดยใช้ค่า ขอบเขตบนสุด (Upper Bound) สามารถแบ่งกลุ่มที่สังเกตได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ทางแยกที่ความยาวแถวคอยสูงสุดน้อยกว่าระยะทางรวมของทางแยกนั้น ทางแยกที่อยู่ในกลุ่มนี้หางแถวของความยาวแถวคอยจะไม่ส่งผลกระทบกับแยกที่อยู่ติด ซึ่งจากผลการคำนวณพบเพียงหนึ่งทางแยกนั่นคือแยกกล้วยน้ำไทที่มีค่าขอบเขตบนสุดของความยาวแถวคอยของทุกช่วงวันและช่วงเวลาน้อยกว่าระยะทางรวมของถนนโดยประมาณคือ 956.79 เมตร

กลุ่มที่ 2 ทางแยกที่บางช่วงเวลามีความยาวแถวคอยสูงสุดมากกว่าระยะทางรวมของทางแยกนั้น กล่าวคือทางแยกเหล่านี้บางช่วงเวลาหางแถวจะส่งผลกระทบต่อแยกที่อยู่ติดกัน ซึ่งจากการคำนวณประกอบไปด้วยทางแยกอารี ทางแยกพระรามที่ 4 แยกใต้ทางด่วนพระรามที่ 4 และแยกศาลาแดง

กลุ่มที่ 3 ทางแยกที่ทุกช่วงวันและเวลามีความยาวแถวคอยสูงสุดมากกว่าระยะทางรวมของทางแยกนั้น กล่าวคือทางแยกเหล่านี้หางแถวของความยาวแถวคอยจะส่งผลกระทบต่อแยกที่อยู่ติดกัน ซึ่งจากการคำนวณประกอบไปด้วยทางแยกมหาวิทยาลัยกรุงเทพ แยกเกษมราษฎร์ แยกคลองเตย และแยกวิทยุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 แสดงผลลัพธ์การคำนวณระยะทางสำหรับสร้างความยาวแถวคอย จากข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2562

ชื่อทางแยก	ช่วงวัน	ช่วงเวลา	จำนวนรถหยุด	ระยะทาง (เมตร)						
				ขอบเขตล่างสุด (Lower Bound)	ควอไทล์ที่ 1 Q1	ค่ากลาง Median	ควอไทล์ที่ 3 Q3	อินเตอร์ควอไทล์	ขอบเขตบนสุด (Upper Bound)	ระยะทางรวมของทางแยก
แยกกล้วยน้ำไท	วันอาทิตย์	07-09 น.	91	-204.42	23.79	64.29	120.92	97.13	399.6	956.79
		17-19 น.	86	-141.11	22.09	46.21	173.09	151.01	321.07	
	วันเสาร์	07-09 น.	140	-302.57	35.78	86	175.34	139.55	670.02	
		17-19 น.	198	-121.9	32.21	64.56	147.75	115.54	266.62	
	วันจันทร์-ศุกร์	07-09 น.	1118	-173.55	79.94	168.08	274.89	194.95	384.67	
		17-19 น.	1384	-212.49	62.15	163.37	305.3	243.15	567.32	
แยกมหาวิทยาลัยกรุงเทพ	วันอาทิตย์	07-09 น.	74	-208.56	51.81	98.94	225.39	173.58	485.76	404.43
		17-19 น.	79	-401.11	42.81	120.25	338.75	295.94	782.67	
	วันเสาร์	07-09 น.	125	-151.57	73.39	151.95	223.36	149.97	448.32	
		17-19 น.	131	-232.1	41.41	75.79	223.74	182.34	497.24	
	วันจันทร์-ศุกร์	07-09 น.	383	-213.78	48.89	122.85	224.01	175.12	486.68	
		17-19 น.	339	-423.89	40.48	141.02	350.06	309.58	814.43	
แยกอารี	วันอาทิตย์	07-09 น.	65	-121.03	34.44	58.1	138.09	103.65	293.56	1484.36
		17-19 น.	202	-512.18	57.33	137.33	437	379.67	1006.51	
	วันเสาร์	07-09 น.	108	-302.52	29.12	77.5	250.21	221.09	581.85	
		17-19 น.	1444	-399.28	125.65	260.48	475.61	349.96	1000.54	
	วันจันทร์-ศุกร์	07-09 น.	1352	-690.2	139.95	335.11	693.38	553.43	1523.52	
		17-19 น.	5347	-436.04	132.35	275.47	511.27	378.93	1079.66	
แยกเกษมราษฎร์	วันอาทิตย์	07-09 น.	65	-32.38	19.99	36.56	54.89	34.91	107.26	78.80

ชื่อทางแยก	ช่วงวัน	ช่วงเวลา	จำนวนรถหยุด	ระยะทาง (เมตร)						
				ขอบเขตล่างสุด (Lower Bound)	ควอไทล์ที่ 1 Q1	ค่ากลาง Median	ควอไทล์ที่ 3 Q3	อินเตอร์ควอไทล์	ขอบเขตบนสุด (Upper Bound)	ระยะทางรวมของทางแยก
		17-19 น.	173	-29.17	20.13	37.15	53	32.87	102.3	
	วันเสาร์	07-09 น.	103	-34.75	17.94	35.74	53.07	35.13	105.76	
		17-19 น.	254	-29.42	22.45	39.31	57.03	34.58	108.9	
	วันจันทร์-ศุกร์	07-09 น.	349	-43.63	17.41	34.81	58.1	40.69	119.14	
		17-19 น.	854	-35.52	21.71	39.72	59.86	38.15	117.09	
แยกพระรามที่ 4	วันอาทิตย์	07-09 น.	327	-432.26	53.9	204.78	378	324.11	864.16	944.02
		17-19 น.	659	-527.35	68.35	242.23	465.48	397.13	1061.17	
	วันเสาร์	07-09 น.	467	-339.37	50.13	151.25	309.79	259.67	699.29	
		17-19 น.	1201	-444.05	97.17	266.3	457.98	360.81	999.2	
	วันจันทร์-ศุกร์	07-09 น.	3510	-264.98	152.32	293.67	430.52	278.2	847.82	
		17-19 น.	2200	-547.07	54.94	197.23	456.29	401.35	1058.31	
แยกคลองเตย	วันอาทิตย์	07-09 น.	88	-75.76	18.18	40.17	80.81	62.63	174.76	153.66
		17-19 น.	136	-87.52	23.7	49.52	97.84	74.14	209.06	
	วันเสาร์	07-09 น.	134	-100.79	22.66	41.34	104.96	82.3	228.4	
		17-19 น.	246	-107.11	20.09	51.74	104.9	84.8	232.1	
	วันจันทร์-ศุกร์	07-09 น.	383	-107.82	18.39	51.35	102.53	84.14	228.75	
		17-19 น.	762	-87.66	23.27	51.69	97.22	73.95	208.15	
แยกใต้ทางด่วนพระรามที่ 4	วันอาทิตย์	07-09 น.	99	-224.15	14.5	48.83	173.61	159.1	412.26	559.34
		17-19 น.	272	-86.65	17.75	44.57	87.35	69.6	191.75	
	วันเสาร์	07-09 น.	172	-77.59	18.93	39	83.28	64.35	179.8	
		17-19 น.	661	-168.68	28	79.92	159.13	131.12	355.81	
	วันจันทร์-ศุกร์	07-09 น.	2161	-244.76	82.64	180.83	300.91	218.27	628.31	

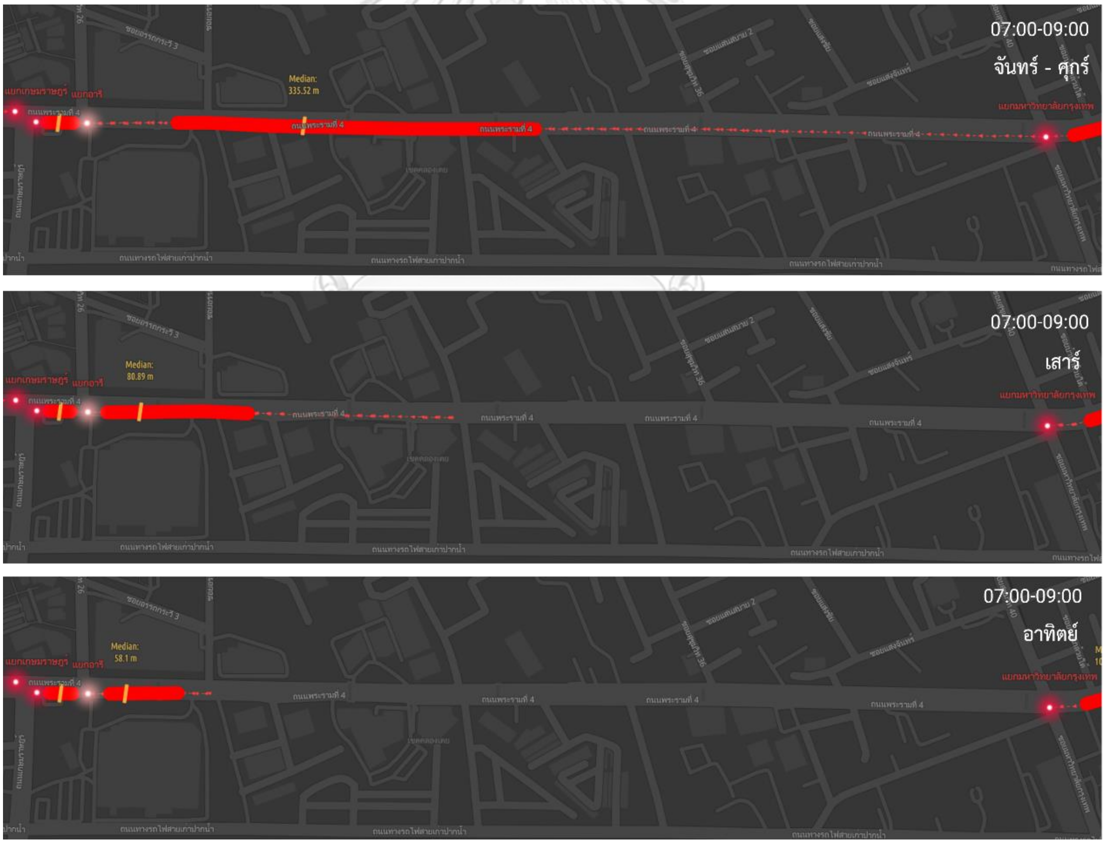
ชื่อทางแยก	ช่วงวัน	ช่วงเวลา	จำนวนรถหยุด	ระยะทาง (เมตร)						
				ขอบเขตล่างสุด (Lower Bound)	ควอไทล์ที่ 1 Q1	ค่ากลาง Median	ควอไทล์ที่ 3 Q3	อินเตอร์ควอไทล์	ขอบเขตบนสุด (Upper Bound)	ระยะทางรวมของทางแยก
		17-19 น.	4537	-292.95	71.6	172.95	314.63	243.03	679.18	
แยกวิทยุ	วันอาทิตย์	07-09 น.	141	-1044.34	145.08	397.71	938.03	792.95	2127.46	993.95
		17-19 น.	291	-940.55	203.62	401.8	966.41	762.78	2110.58	
	วันเสาร์	07-09 น.	258	-567.23	225.88	447.73	754.63	528.74	1547.74	
		17-19 น.	867	-443.1	224.01	412.6	668.76	444.74	1335.87	
	วันจันทร์-ศุกร์	07-09 น.	2177	-428.95	329.85	625.75	835.71	505.86	1594.5	
		17-19 น.	5537	-377.77	266.32	485.48	695.71	429.39	1339.79	
แยกศาลาแดง	วันอาทิตย์	07-09 น.	76	-709.16	30.34	85.28	523.34	493	1262.84	915.45
		17-19 น.	281	-672.15	63.47	262.14	553.89	490.42	1289.51	
	วันเสาร์	07-09 น.	171	-211.91	52.5	126.76	228.77	176.27	493.18	
		17-19 น.	270	-758.26	39.04	142.81	570.57	531.53	1367.87	
	วันจันทร์-ศุกร์	07-09 น.	801	-396.88	76.55	220.01	392.18	315.62	865.61	
		17-19 น.	3258	-197.01	158.06	268.66	394.78	236.71	749.85	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 ผลลัพธ์ความยาวแถวคอยบนรูปแบบแผนที่

ผลการวิเคราะห์เพื่อแสดงความยาวแถวคอยทั้ง 9 ทางแยกบนถนนพระรามที่ 4 พบว่าในช่วงวันจันทร์ถึงศุกร์มีความยาวแถวคอยยาวกว่าวันเสาร์และวันอาทิตย์ในบางทางแยก และพบว่าช่วงวันจันทร์ถึงศุกร์มีความยาวแถวคอยที่ส่งผลกระทบต่อแยกที่อยู่ติดกัน ตัวอย่างเช่นทางแยกอารี ซึ่งรถจะวิ่งจากแยกมหาวิทยาลัยกรุงเทพเข้าหาแยกอารี ในช่วงเวลา 07:00-09:00 นาฬิกาพบว่า ช่วงวันจันทร์ถึงศุกร์ความยาวของแถวคอยอาจมีความยาวจากแยกอารีส่งผลไปถึงแยกมหาวิทยาลัยกรุงเทพ ซึ่งเป็นแยกที่อยู่ติดกัน รูปแบบนี้จะไม่พบในช่วงของวันเสาร์และวันอาทิตย์

หากจะเปรียบเทียบเบื้องต้นค่ามัธยฐานของความยาวแถวคอยของช่วงวันจันทร์ถึงศุกร์นั้นอยู่ที่ 335.52 เมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมากกับช่วงของวันเสาร์ที่พบว่าค่ามัธยฐานของความยาวแถวคอยอยู่ที่ 80.89 เมตร และวันอาทิตย์อยู่ที่ 58.1 เมตร จากภาพที่ 24 จะเห็นได้ว่านอกจากความยาวของปลายแถวที่แตกต่างกันชัดเจน ช่วงของความไม่แน่นอนซึ่งถูกแสดงโดยใช้ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ก็สามารถเห็นได้จากตัวแผนที่ซึ่งแสดงเป็นเส้นสีแดงเข้ม



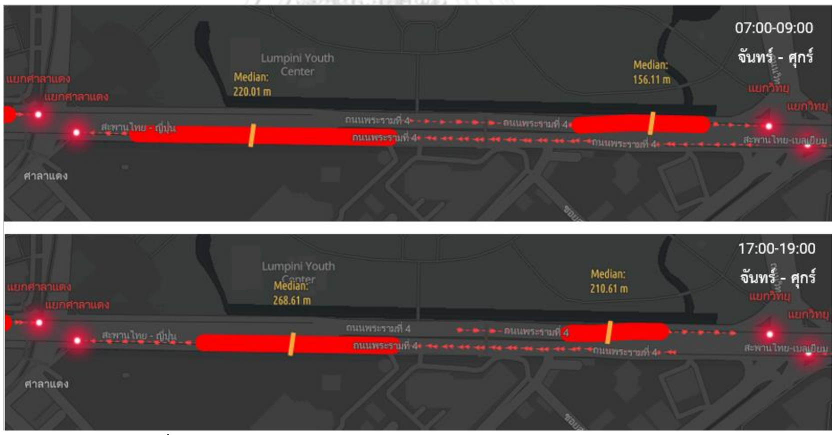
ภาพที่ 24 ตัวอย่างผลลัพธ์ความยาวแถวคอยในช่วงวันที่แตกต่างกัน

ตัวระบบนอกจากจะแสดงความยาวแถวคอยและช่วงของความไม่แน่นอนของแถวคอยแล้ว แผนที่ยังสามารถแสดงความยาวแถวคอยพร้อมกันได้ทั้งสองทิศทางการวิ่งของรถ กล่าวคือในหนึ่ง

มุมมองของแผนที่ ผู้ใช้งานจะสามารถเห็นถึงสองทิศทางการวิ่งของรถพร้อมกัน จากภาพที่ 25 ถนนเส้นด้านล่างจะเป็นการวิ่งของรถจากแยกพระรามที่ 4 ถึง แยกใต้ทางด่วนพระรามที่ 4 ซึ่งแตกต่างกับถนนเส้นด้านบนที่มีทิศทางการวิ่งที่สวนทางกัน

ภาพที่ 25 ตัวอย่างการแสดงความยาวแถวคอยพร้อมกันทั้งสองทิศทางการวิ่งของรถ

ผลลัพธ์สำหรับความยาวแถวคอยสำหรับแยกศาลาแดงโดยมีต้นทางมาจากแยกวิทยุในช่วงวันจันทร์ถึงศุกร์โดยเปรียบเทียบสองช่วงเวลาจะเห็นได้ว่าช่วงเช้า 07:00-09:00 นาฬิกามีค่ามัธยฐานของความยาวแถวคอยอยู่ที่ 220.01 เมตร ซึ่งมีความยาวน้อยกว่าในช่วงเย็น 17:00-19:00 นาฬิกาที่มีค่ามัธยฐานอยู่ที่ 268.61 เมตร แต่อย่างไรก็ตามช่วงเวลาเช้าจะมีช่วงของความไม่แน่นอนที่มากกว่าช่วงเย็นของวันจันทร์ถึงศุกร์



ภาพที่ 26 ตัวอย่างความยาวแถวคอยบริเวณแยกศาลาแดง

บทที่ 5
อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

ภาพรวมของระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จากผู้เข้าร่วมทดสอบระบบ โดยผู้เข้าร่วมทดสอบจากสี่ในห้าคนมีความพึงพอใจกับภาพรวมและเข้าใจถึงวัตถุประสงค์ของตัวระบบ อย่างไรก็ตามหนึ่งในห้าของผู้เข้าร่วมทดสอบซึ่งไม่มีประสบการณ์เกี่ยวกับแผนที่มาก่อนและไม่มีความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบของกราฟ Box Plot ได้แนะนำให้ปรับตัวระบบให้คนทั่วไปสามารถใช้งานง่ายขึ้นโดยที่ไม่ต้องมีความรู้เกี่ยวกับกราฟและการใช้แผนที่มาก่อน สำหรับคำถามเพื่อแนะนำและปรับปรุงระบบเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบนั้นมีผลลัพธ์คือต้องการให้มีการอธิบายถึงช่วงของควอร์ไทล์ที่สองถึงควอร์ไทล์ที่สาม หรือ Interquartile ที่แสดงอยู่บนระบบบริเวณคำอธิบายแผนที่ซึ่งแสดงถึงช่วงของความไม่แน่นอนของแถวคอยเพื่อให้คนทั่วไปสามารถเข้าใจตัวระบบได้ง่ายขึ้น หนึ่งในผู้เข้าร่วมทดสอบได้ให้ความเห็นถึงการเพิ่มข้อมูลจุดตำแหน่งจากข้อมูล GPS ที่ใหม่และเป็นปัจจุบันมากขึ้นเนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้บริการแกร๊บแท็กซี่ที่เพิ่มมากขึ้นอาจทำให้มีข้อมูลสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ที่ดีขึ้น และยังระบุว่ามีบางส่วนในตัวระบบที่ตัวหนังสือขาดไปเนื่องจากขนาดของหน้าจอที่ใช้ทดสอบนั้นมีขนาดค่อนข้างเล็ก หากมีการปรับให้ระบบสามารถแสดงผลได้หลากหลายขนาดหน้าจอจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้เข้าร่วมทดสอบยังได้แนะนำให้มีการเพิ่มตัวเลือกของช่วงเวลาจากที่มีอยู่แค่สองช่วงเวลาในระบบปัจจุบันเพื่อให้คนที่สนใจสามารถเลือกดูเองได้ตามความสนใจ

แม้จำนวนของผู้เข้าร่วมการทดสอบระบบในงานวิจัยครั้งนี้มีจำนวนทั้งหมด 5 คน แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการทดสอบระบบแบบการจัดการสนทนากลุ่ม (Focus group) ซึ่งมักมีการใช้ปริมาณผู้เข้าทดสอบในปริมาณที่ไม่มากเพื่อให้ได้การสนทนาในเชิงลึก โดยใช้เวลาแต่ละคนอยู่ที่ประมาณ 20 ถึง 30 นาทีตามความสนใจของผู้เข้าร่วมทดสอบ โดยการสนทนานั้นให้มุมมองต่อตัวระบบที่เพียงพอเนื่องจากผู้เข้าร่วมทดสอบมีพื้นฐานการศึกษาและประสบการณ์การใช้งานระบบแผนที่ซึ่งส่งผลให้มีความรู้สึกต่อการใช้งานระบบที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นผู้วิจัยเห็นว่าคำตอบที่ได้จากการทดสอบเป็นไปตามสิ่งที่คาดหวังของการทดสอบครั้งนี้คือมุ่งเน้นไปที่การใช้งานได้ของตัวระบบและความพึงพอใจต่อตัวระบบ ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยมองว่าจำนวนของผู้เข้าร่วมทดสอบนั้นเพียงพอต่อความต้องการสำหรับบ่งชี้ถึงการใช้งานได้และความพึงพอใจต่อตัวระบบ

สำหรับผลลัพธ์จากรูปแบบการทดสอบโดยมอบหมายงาน (Task) ให้ผู้ร่วมทดสอบทั้งหมดสามรูปแบบที่ใช้ในงานวิจันนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้ การทดสอบโดยรูปแบบการค้นหาข้อมูล (Lookup) ซึ่งใช้คำถามคือทางแยกไหนที่ความยาวแถวคอยมีการชนกันระหว่างทางแยกหรือส่งผลต่อกันระหว่างแยก ผลลัพธ์ที่ได้ผู้เข้าร่วมทดสอบทุกคนสามารถบอกได้ว่าแยกไหนที่มีการชนกันระหว่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แยก โดยใช้เวลาประมาณหนึ่งถึงสองนาทีเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับตัวแผนที่และหาคำตอบ โดยหนึ่งในห้าของผู้เข้าร่วมทดสอบที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญเรื่องการใช้แผนที่ได้ให้ความเห็นว่าหากแผนที่มีการซูมออกมาเพื่อดูทุกแยกพร้อมกันจะไม่สามารถบอกได้ว่าความยาวแถวคอยของแยกไหนมีการชนกัน เนื่องจากแผนที่แสดงความยาวแถวคอยสองเลนที่อยู่ใกล้กันทำให้มีการแสดงผลของตัวกราฟมีการซ้อนทับกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการซูมแผนที่เข้าไปดูรายแยกก็สามารถตอบคำถามได้

การทดสอบโดยใช้รูปแบบการเปรียบเทียบข้อมูล (Comparison) ซึ่งใช้คำถามเพื่อตรวจสอบถึงการใช้แผนที่ดูการเปลี่ยนแปลงของแถวคอยและเปรียบเทียบกับทางแยกอื่น โดยคำถามคือแยกไหนที่แถวคอยมีการเปลี่ยนแปลงเยอะที่สุด หนึ่งในผู้ทดสอบที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านสถิติและองค์ประกอบของกราฟ Box Plot ซึ่งไม่มีความรู้ด้านการใช้แผนที่มาก่อนสามารถระบุทางแยกได้โดยง่ายและรวดเร็วโดยใช้เวลาไม่ถึงหนึ่งนาทีและยังสามารถอธิบายได้ว่าใช้หลักการอะไรเพื่อดูถึงความเปลี่ยนแปลงแถวคอย ผู้ทดลองคนอื่นทั้งมีความรู้การใช้แผนที่และไม่มีการใช้แผนที่สามารถระบุทางแยกได้แต่ไม่แน่ใจว่าเป็นคำตอบที่ถูกหรือไม่และมีการถามผู้ควบคุมการทดสอบเพื่อความแน่ใจ อย่างไรก็ตามเมื่อผู้ร่วมทดสอบทุกคนได้รับคำแนะนำเพิ่มเติม ทุกคนสามารถระบุได้ว่าช่วงของความไม่แน่นอนคือส่วนไหนที่แสดงอยู่บนแผนที่ ซึ่งผู้ร่วมทดสอบทุกคนสามารถระบุได้ว่าดูจากช่วงของความยาวของเส้นทึบสีแดงหรือคือช่วง Interquartile ที่แสดงอยู่บนแผนที่

การทดสอบโดยใช้รูปแบบการค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (Relation-Seeking) ได้ใช้คำถามคือความยาวแถวคอยช่วงวันธรรมดา วันเสาร์ วันอาทิตย์ มีความไม่แน่นอนของความยาวแถวคอยต่างกันหรือไม่อย่างไร และช่วงเวลาเช้ากับเย็นมีความแตกต่างกันหรือไม่ ผู้ร่วมทดสอบได้ใช้เครื่องมือที่เตรียมไว้ให้บนระบบเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงในแต่ละทางแยก โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนั้นผู้เข้าร่วมทดสอบทุกคนระบุว่าเห็นถึงความแตกต่างระหว่างวันที่ชัดเจน อย่างไรก็ตามในส่วนของเวลาเช้ากับเย็นนั้น สองในห้าของผู้ร่วมทดสอบระบุว่าเห็นความแตกต่างเพียงเล็กน้อยในบางทางแยก ซึ่งหนึ่งในสองของผู้ร่วมทดสอบนี้ไม่ได้มีประสบการณ์การใช้งานแผนที่มาก่อน นอกเหนือจากนี้หนึ่งในผู้เข้าร่วมทดสอบที่อาศัยอยู่ใกล้และคุ้นเคยกับพื้นที่ศึกษาได้ให้ความเห็นว่าบริเวณช่วงวันจันทร์ถึงศุกร์ช่วงเวลาเช้าน่าจะมีความยาวแถวคอยที่น้อยกว่าช่วงเย็นเนื่องจากจำนวนคนใช้ถนนน่าจะน้อยกว่าเพราะเวลาของคนที่เข้าทำงานไม่ตรงกันทำให้เวลาการใช้ถนนแตกต่างกัน แต่ช่วงเวลาเย็นนั้นมีการใช้ถนนที่พร้อมกัน ซึ่งสอดคล้องกับระบบที่แยกใต้ทางด่วนพระรามที่ 4 ถึงแยกวิทยุช่วงเย็นจะมีความยาวแถวคอยที่ยาวกว่าช่วงเวลาในตอนเช้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 สรุปผล

จากการพัฒนาการแสดงผลความไม่แน่นอนเชิงพื้นที่ของความยาวแถวคอยจราจรโดยใช้ข้อมูล GPS จากรถแท็กซี่ที่หยุดรอสัญญาณไฟจราจรบนถนนพระรามที่ 4 และแสดงผลบนระบบแผนที่ออนไลน์ หลังจากพัฒนาได้ทำการทดสอบระบบโดยใช้การวิเคราะห์ผู้ร่วมทดสอบแบบ Verbal Protocol Analysis (VPA) ผ่านการกำหนดงาน (Task) ซึ่งได้เชิญผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งหมดห้าคนซึ่งมีช่วงอายุที่ใกล้เคียงกันแต่มีพื้นฐานด้านการศึกษาและการทำงานที่แตกต่างกันนั้น ผลลัพธ์พบว่าจากสี่ในห้าของผู้ร่วมทดสอบมีความพึงพอใจกับตัวระบบและเข้าใจถึงวัตถุประสงค์ของตัวระบบ และจากการทดสอบโดยใช้รูปแบบการค้นหาข้อมูล (Lookup) ผู้ร่วมทดสอบทุกคนสามารถระบุได้ว่าทางแยกไหนที่ความยาวแถวคอยมีการชนกันระหว่างทางแยกหรือส่งผลต่อกันระหว่างแยก ในด้านของการความไม่แน่นอนของความยาวแถวคอยโดยใช้รูปแบบการทดสอบแบบการเปรียบเทียบข้อมูล (Comparison) พบว่าหนึ่งในห้าของผู้ร่วมทดสอบสามารถตอบคำถามได้โดยมั่นใจ ผู้เข้าร่วมทดสอบที่เหลือจำเป็นต้องถามผู้พัฒนาระบบเพื่อความมั่นใจ แต่อย่างไรก็ดีเมื่อได้รับคำแนะนำจากผู้พัฒนาระบบผู้ร่วมทดสอบทุกคนสามารถระบุถึงช่วงของความไม่แน่นอนของแถวคอยที่แสดงบนระบบได้ และในด้านของการดูการเปลี่ยนแปลงของแถวคอยระหว่างช่วงวันและเวลาโดยใช้รูปแบบการค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (Relation-Seeking) สำหรับการทดสอบพบว่าผู้เข้าร่วมทดสอบทุกคนระบุว่าความยาวและความไม่แน่นอนของแถวคอยที่มีความแตกต่างระหว่างช่วงวันที่แตกต่างกันได้ชัดเจน อย่างไรก็ดีจากสองในห้าของผู้เข้าร่วมทดสอบระบุว่าในความแตกต่างของช่วงเวลานั้นเห็นความแตกต่างเพียงเล็กน้อย โดยแตกต่างกับผู้เข้าร่วมทดสอบที่เหลือซึ่งระบุว่าความต่างของช่วงเวลามีความชัดเจนจากการดูผ่านแผนที่ ผู้เข้าร่วมทดสอบทุกคนสามารถใช้งานเครื่องมือการปรับเปลี่ยนวันที่และเวลาบนระบบโดยไม่จำเป็นต้องได้รับคำแนะนำจากผู้พัฒนาระบบ

สำหรับคำแนะนำเพื่อพัฒนาระบบจากผู้เข้าร่วมทดสอบได้เสนอให้มีการพัฒนาสำหรับคนทั่วไปที่ไม่มีความรู้ด้านกราฟ Box Plot เข้าใจได้ง่ายมากขึ้นหรือมีคำแนะนำที่ชัดเจนมากขึ้นสำหรับช่วงของความไม่แน่นอน นอกจากนี้ยังได้แนะนำให้มีการอัพเดตข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความยาวแถวคอยให้เป็นปัจจุบัน รวมไปถึงการพัฒนาระบบให้สามารถแสดงผลได้ในขนาดหน้าจอที่หลายหลากหลายมากขึ้น

5.3 ข้อจำกัด

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การแสดงผลความยาวแถวคอยบนแผนที่โดยใช้ข้อมูลตำแหน่ง GPS จากรถแท็กซี่เท่านั้น ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแบบถนนนั้นความยาวของแถวคอยอาจจะมีความยาวมากกว่าที่ได้จากการวิเคราะห์เนื่องมีรถประเภทอื่นอยู่ในแถวคอยรวมอยู่ด้วย สำหรับข้อมูลที่ใช้ใน

การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะไม่ได้มีการแยกตำแหน่งของข้อมูล GPS ในแต่ละเลนถนน กล่าวคือความยาวแถวคอยที่ได้นั้นจะมาจากข้อมูลของทุกเลนบนถนนเส้นนั้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการพัฒนาต่อยอดอาจจะมีการปรับปรุงออกแบบเพื่อให้คนที่ไม่มีความรู้ด้านการใช้งานแผนที่หรือข้อมูลสถิติสามารถใช้งานได้เพื่อให้คนทั่วไปอาจจะสามารถใช้งานระบบได้ดีมากขึ้น และหากมีข้อมูล GPS จากยานพาหนะประเภทอื่นนอกเหนือจากรถแท็กซี่มาใช้วิเคราะห์เพิ่มเติม อาจจะทำให้ความยาวแถวคอยมีความแม่นยำมากขึ้นตามความครบถ้วนของข้อมูล หากตัวข้อมูล GPS มีความแม่นยำที่สามารถแบ่งแยกเลนการวิ่งของรถได้อาจจะทำให้เห็นความยาวแถวคอยในแต่ละเลนได้ด้วย ข้อมูลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์แถวคอยมาจากทิศทางการวิ่งของรถไปกลับในแต่ละแยกซึ่งไม่ได้มีการรวมข้อมูลจากทิศทางการวิ่งอื่นมาวิเคราะห์ร่วมด้วย ตัวอย่างเช่นบริเวณสี่แยกมีการคำนวณแค่ทิศทางวิ่งทิศตะวันออกไปตะวันตกและทิศทางวิ่งสวน แต่ไม่ได้มีการคำนวณทิศทางการวิ่งทิศเหนือไปทิศใต้และการวิ่งสวนทาง งานวิจัยนี้ใช้ระยะทางตำแหน่งการหยุดจากสัญญาณไฟของรถแท็กซี่ซึ่งได้มาจากความเร็วของรถที่คาดว่าจะหยุดบริเวณสัญญาณไฟจราจรมาวิเคราะห์ความยาวแถวคอยเท่านั้นซึ่งในอนาคตอาจจะมีการใช้เทคนิคการหาความยาวแถวคอยรูปแบบอื่นมาใช้ในการเปรียบเทียบเพิ่มเติม นอกจากนี้ตัวระบบอาจจะมีการพัฒนาให้รองรับการใช้งานผ่านมือถือเนื่องจากในปัจจุบันการเข้าถึงเว็บไซต์ผ่านอุปกรณ์มือถือมีความนิยมมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

AN, H. K., YUE, W. L. & STAZIC, B. 2017. Estimation of vehicle queuing lengths at metering roundabouts. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition),* 4, 545-554.

ANDRIENKO, N. & ANDRIENKO, G. 2005. *Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data: A Systematic Approach*, Springer-Verlag.

BENBUNAN-FICH, R. 2001. Using protocol analysis to evaluate the usability of a commercial web site. *Information & Management,* 39, 151-163.

BERTIN, J. 2010. *Graphische Semiologie: Diagramme, Netze, Karten*, Walter de Gruyter.

BLOK, C., TURDUKULOV, U., ZURITA-MILLA, R., RETSIOS, B., SCHOUWENBURG, M. & METAFERIA, M. 2011. Development of an Open-Source Toolbox for the Analysis and Visualization of Remotely Sensed Time Series. *Cartographica,* 46, 227-238.

BLOOR, M., FRANKLAND, J., THOMAS, M., ROBSON, K. & STEWART, K. 2001. *Focus Groups in Social Research*, SAGE Publications.

CHAMNEIN, C. & MCNEIL, D. 2005. Can the box plot be improved? *Songklanakarin Journal of Science and Technology,* 27.

CHENG, Y., QIN, X., JIN, J. & RAN, B. 2012. An Exploratory Shockwave Approach to Estimating Queue Length Using Probe Trajectories. *Journal of Intelligent Transportation Systems,* 16, 12-23.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

CHEONG, L., BLEISCH, S., KEALY, A., TOLHURST, K., WILKENING, T. & DUCKHAM, M. 2016. Evaluating the impact of visualization of wildfire hazard upon decision-making under uncertainty. *International Journal of Geographical Information Science,* 30, 1377-1404.

CLARKE, K. & KEUPER, A. 2003. Testing Popular Visualization Techniques for Representing Model Uncertainty. *Cartography and Geographic Information Science,* 30, 249-261.

COMERT, G. & CETIN, M. 2009. Queue length estimation from probe vehicle location and the impacts of sample size. *European Journal of Operational Research,* 197, 196-202.

CORRELL, M. & GLEICHER, M. 2014. Error Bars Considered Harmful: Exploring Alternate Encodings for Mean and Error. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,* 20, 2142-2151.

DELMELLE, E., DONY, C., CASAS, I., JIA, M. & TANG, W. 2014. Visualizing the impact of space-time uncertainties on dengue fever patterns. *International Journal of Geographical Information Science,* 28, 1107-1127.

EASON, K. 1984. Towards the experimental study of usability. *Behaviour & Information Technology,* 3, 133-143.

ERICSSON, K. A. & SIMON, H. A. 1984. *Protocol analysis: Verbal reports as data*, the MIT Press.

ETIENNE, L., DEVOGELE, T., BUCHIN, M. & MCARDLE, G. 2016. Trajectory Box Plot: a new pattern to summarize movements. *International Journal of Geographical Information Science,* 30, 835-853.

HIGASHIKUBO, M., HINENOYA, T. & TAKEUCHI, K. TRAFFIC QUEUE LENGTH MEASUREMENT USING AN IMAGE PROCESSING SENSOR. 1996.

HUANG, Q. & WONG, D. W. S. 2015. Modeling and Visualizing Regular Human Mobility Patterns with Uncertainty: An Example Using Twitter Data. *Annals of the Association of American Geographers,* 105, 1179-1197.

HYNDMAN, R. & FAN, Y. 1996. Sample Quantiles in Statistical Packages. *The American Statistician,* 50, 361-365.

KINKELDEY, C. 2014. Development of a prototype for uncertainty-aware geovisual analytics of land cover change. *International Journal of Geographical Information Science,* 28, 2076-2089.

KRUEGER, R. A. 1994. *Focus Groups:a Practical Guide for Applied Research. 2d Ed*, Sage.

KUIJPERS, B., MILLER, H. J., NEUTENS, T. & OTHMAN, W. 2010. Anchor uncertainty and space-time prisms on road networks. *International Journal of Geographical Information Science,* 24, 1223-1248.

LI, H., REMIAS, S. M., DAY, C. M., MEKKER, M. M., STURDEVANT, J. R. & BULLOCK, D. M. 2015. Shock Wave Boundary Identification Using Cloud-Based Probe Data. *Transportation Research Record,* 2526, 51-60.

LIM, N. J., BRANDT, S. A. & SEIPEL, S. 2016. Visualisation and evaluation of flood

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

uncertainties based on ensemble modelling. *International Journal of Geographical Information Science,* 30**,** 240-262.

LIU, H. X., WU, X., MA, W. & HU, H. 2009. Real-time queue length estimation for congested signalized intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies,* 17**,** 412-427.

LIU, Y., WANG, Y., YANG, Z. & WU, J. 2017. Grid Mapping for Spatial Pattern Analyses of Recurrent Urban Traffic Congestion Based on Taxi GPS Sensing Data. *Sustainability,* 9**,** 533.

LIU, Y., ZHANG, Z., HAN, L. D. & BRAKEWOOD, C. 2021. Automatic Traffic Queue-End Identification using Location-Based Waze User Reports. *Transportation Research Record,* 2675**,** 895-906.

MACEACHREN, A., ROBINSON, A., HOPPER, S., GARDNER, S., MURRAY, R., GAHEGAN, M. & HETZLER, E. 2005. Visualizing Geospatial Information Uncertainty: What We Know and What We Need to Know. *Cartography and Geographic Information Science,* 32**,** 139-160.

MACEACHREN, A. M., ROTH, R. E., BRIEN, J. O., LI, B., SWINGLEY, D. & GAHEGAN, M. 2012. Visual Semiotics & Uncertainty Visualization: An Empirical Study. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,* 18**,** 2496-2505.

MADAN, A. & KUMAR, S. 2012. Usability evaluation methods: a literature review. *International Journal of Engineering Science and Technology,* 4.

MCKENZIE, G., HEGARTY, M., BARRETT, T. & GOODCHILD, M. 2016. Assessing the effectiveness of different visualizations for judgments of positional uncertainty. *International Journal of Geographical Information Science,* 30**,** 221-239.

MIRCHANDANI, P. B. & ZOU, N. 2007. Queuing Models for Analysis of Traffic Adaptive Signal Control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,* 8**,** 50-59.

MORGAN, D. L., KRUEGER, R. A. & KING, J. A. 1998. *The focus group kit, Vols. 1–6*, Sage Publications, Inc.

NECULA, E. 2015. Analyzing Traffic Patterns on Street Segments Based on GPS Data Using R. *Transportation Research Procedia,* 10**,** 276-285.

NIELSEN, J. & LEVY, J. 1994. Measuring usability: preference vs. performance. *Commun.*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ACM, 37**,** 66–75.

QI, X. & JIANG, H. 2017. Estimating average maximum queue length using probe vehicle GPS data with long reporting intervals. *Working Paper*.

RADIVOJEVIC, D. 2017. *Monitoring of Traffic Signal System's Performance and Reliability Based on the Data from ATMS. Now Signal System Central Software*, Florida Atlantic University.

RAMEZANI, M. & GEROLIMINIS, N. 2014. Queue Profile Estimation in Congested Urban Networks with Probe Data. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering,* 30.

ROBINSON, A., CHEN, J., LENGERICH, E., MEYER, H. & MACEACHREN, A. 2005. Combining Usability Techniques to Design Geovisualization Tools for Epidemiology. *Cartography and geographic information science,* 32**,** 243-255.

SHI, W. 2009. *Principles of modeling uncertainties in spatial data and spatial analyses*.

SIMONS, D. & RENSINK, R. 2005. Change blindness: Past, present, and future. *Trends in cognitive sciences,* 9**,** 16-20.

TIŠLJARIĆ, L., ERDELIĆ, T. & CARIĆ, T. Analysis of Intersection Queue Lengths and Level of Service Using GPS data. 2018 International Symposium ELMAR, 16-19 Sept. 2018 2018. 43-46.

TOMTOM. 2019. *Traffic congestion ranking | TomTom Traffic Index* [Online]. Available: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/ [Accessed September 12, 2020].

WANG, X., ZHAO, S. & DONG, L. Research and Application of Traffic Visualization Based on Vehicle GPS Big Data. 2017 Singapore. Springer Singapore, 293-302.

WICKHAM, H. & STRYJEWSKI, L. 2011. 40 years of boxplots.

WILKE, C. O. 2020. *Fundamentals Of Data Visualization,* Beijing: O'Reilly Media.

WU, N. 1998. *Estimation of queue lengths and their percentiles at signalized intersections*.

ZHANG, J. & GOODCHILD, M. F. 2002. *Uncertainty in geographical information*, CRC press.

สถานีวิทยุข่าวสารและการจราจร. 2019. *5 อันดับถนนที่รถติดมากที่สุด ประจำปี 2562 โดย จส.100* [Online]. Available: https://www.js100.com/en/site/post_share/view/81143 [Accessed

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

November 07, 2020].

สำนักงานการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร. 2019. รายงานสถิติจราจรประจำปี 2562 [Online]. Available: http://office.bangkok.go.th/dotat/TrafficINFO/trafficinfo.html [Accessed November 07, 2019].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

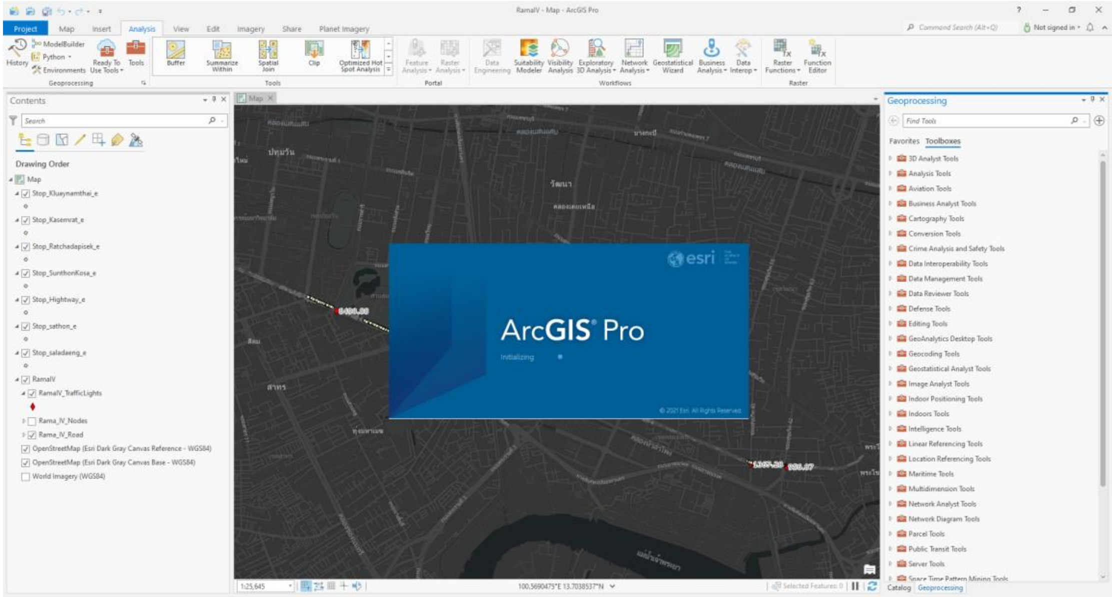
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งจุดรถหยุด

	driverid	pingtimestamp	speed	bearing	accuracy	mapversion	projectedlat	projectedlng	rawlat	rawlng	segmentstartnode	segmentendnode	wayids	mapid	timestamp	direction	rama4ref
89	60b0efd8aa280814f2aca0592e2662d8441	1546307751	8.7	111	4.5509996	2018-48	13.723749	100.550758	13.72375	100.5507586	1589652003	1692045608	300803489	BKK_4W	2019-01-01 08:55:51+07:00	e	4249.689
90	60b0efd8aa280814f2aca0592e2662d8441	1546307755	9.42	108	4.5509996	2018-48	13.723619	100.551048	13.72362	100.5510479	1589652003	1692045608	300803489	BKK_4W	2019-01-01 08:55:55+07:00	e	4273.48
91	60b0efd8aa280814f2aca0592e2662d8441	1546307759	10.24	113	4.5509996	2018-48	13.72347	100.551381	13.72347	100.5513789	1589652003	1692045608	300803489	BKK_4W	2019-01-01 08:55:59+07:00	e	4313.083
92	60b0efd8aa280814f2aca0592e2662d8441	1546307763	10.87	111	6.068	2018-48	13.723311	100.551737	13.72331	100.5517387	1589652003	1692045608	300803489	BKK_4W	2019-01-01 08:56:03+07:00	e	4296.674
299	bd156ed6d17c6b8efff5765ea19192f874c	1546307791	18.87	289	4.288	2018-48	13.727497	100.541259	13.72746	100.5412443	269742135	5952748005	300803486	BKK_4W	2019-01-01 08:56:31+07:00	w	6038.382
300	bd156ed6d17c6b8efff5765ea19192f874c	1546307795	18.17	291	4.288	2018-48	13.727747	100.540671	13.72771	100.5406545	269742135	5952748005	300803486	BKK_4W	2019-01-01 08:56:35+07:00	w	6073.362
301	bd156ed6d17c6b8efff5765ea19192f874c	1546307799	18.29	292	3.9	2018-48	13.728	100.540065	13.72795	100.5400441	1685054921	373088906	300803486	BKK_4W	2019-01-01 08:56:39+07:00	w	6103.349
302	bd156ed6d17c6b8efff5765ea19192f874c	1546307803	18.02	292	3.9	2018-48	13.728249	100.539467	13.72819	100.539441	373088906	5952785490	300803491	BKK_4W	2019-01-01 08:56:43+07:00	w	6269.231
408	5f6ffc00e62d7ed0179e0b0a461fabefce2	1546307835	7.18	267	10	2018-48	13.720172	100.558926	13.72024	100.5589489	272488163	1693004125	481971011	BKK_4W	2019-01-01 08:57:15+07:00	w	3899.442
409	5f6ffc00e62d7ed0179e0b0a461fabefce2	1546307839	12.37	293	6	2018-48	13.720308	100.55857	13.72035	100.5585867	1693004125	272491964	481971011	BKK_4W	2019-01-01 08:57:19+07:00	w	3940.744
410	5f6ffc00e62d7ed0179e0b0a461fabefce2	1546307843	15.63	292	4	2018-48	13.720494	100.558108	13.72055	100.5581307	1693004125	272491964	481971011	BKK_4W	2019-01-01 08:57:23+07:00	w	3994.76
471	c9c2dd457c2271983ed007bde243a08389	1546307845	12.9	144	10	2018-48	13.716044	100.574176	13.71608	100.5741918	765319547	85703490	300813736	BKK_2W	2019-01-01 08:57:25+07:00	e	7041.674
472	c9c2dd457c2271983ed007bde243a08389	1546307849	13.13	152	10	2018-48	13.71587	100.574606	13.71587	100.5746072	765319547	85703490	300813736	BKK_2W	2019-01-01 08:57:29+07:00	e	7091.993
473	c9c2dd457c2271983ed007bde243a08389	1546307853	14.63	182	10	2018-48	13.715669	100.575106	13.71565	100.5750958	765319547	85703490	300813736	BKK_2W	2019-01-01 08:57:33+07:00	e	7247.368
474	c9c2dd457c2271983ed007bde243a08389	1546307857	15.28	205	10	2018-48	13.715456	100.575635	13.71542	100.5756206	765319547	85703490	300813736	BKK_2W	2019-01-01 08:57:37+07:00	e	7185.509
766	b5bbb3771006bdb3752a038d0bf8ac66d8	1546307657	12.6	293	6.432	2018-48	13.723966	100.549731	13.72397	100.5497343	277923169	5278956911	300803492	BKK_4W	2019-01-01 08:54:17+07:00	w	5089.007
767	b5bbb3771006bdb3752a038d0bf8ac66d8	1546307661	13.49	293	4.288	2018-48	13.724145	100.549299	13.72415	100.5493025	5278956911	510151504	300803492	BKK_4W	2019-01-01 08:54:21+07:00	w	5047.394
768	b5bbb3771006bdb3752a038d0bf8ac66d8	1546307665	14.33	293	4.288	2018-48	13.724348	100.54881	13.72436	100.5488165	510151504	277922943	300803492	BKK_4W	2019-01-01 08:54:25+07:00	w	5104.835
769	b5bbb3771006bdb3752a038d0bf8ac66d8	1546307669	16.58	292	4.288	2018-48	13.724566	100.548288	13.72458	100.5482933	277922943	3500011365	300803492	BKK_4W	2019-01-01 08:54:29+07:00	w	5195.781
807	669241b9d2ec72761cd94beec082a41e3e	1546307667	3.45	315	7.085	2018-48	13.731668	100.531289	13.73158	100.531252	5950671774	5950672231	463827799	BKK_4W	2019-01-01 08:54:27+07:00	w	7192.703
808	669241b9d2ec72761cd94beec082a41e3e	1546307671	8.42	287	10	2018-48	13.731766	100.531053	13.73168	100.5310172	5950672231	5950672252	463827799	BKK_4W	2019-01-01 08:54:31+07:00	w	7208.541
809	669241b9d2ec72761cd94beec082a41e3e	1546307675	9.97	293	8	2018-48	13.731902	100.530721	13.73181	100.5306823	5950672231	5950672252	463827799	BKK_4W	2019-01-01 08:54:35+07:00	w	7245.433
810	669241b9d2ec72761cd94beec082a41e3e	1546307679	9.01	295	7	2018-48	13.732035	100.5304	13.73201	100.5303867	5220102687	373087596	463827799	BKK_4W	2019-01-01 08:54:39+07:00	w	7239.176
867	6479e0cd22d57b8833382571c8c2fb21fde	1546307680	12.79	110	3.9	2018-48	13.737629	100.517182	13.73767	100.5172006	1856531868	1856532260	364700046	BKK_2W	2019-01-01 08:54:40+07:00	e	246.7148
868	6479e0cd22d57b8833382571c8c2fb21fde	1546307684	11.46	112	3.9	2018-48	13.737454	100.517591	13.73752	100.5176213	1856531868	1856532260	364700046	BKK_2W	2019-01-01 08:54:44+07:00	e	326.1801
869	6479e0cd22d57b8833382571c8c2fb21fde	1546307688	11.54	112	3.9	2018-48	13.737295	100.517987	13.73735	100.5180112	1856532260	3356458976	364700046	BKK_2W	2019-01-01 08:54:48+07:00	e	329.0843
870	6479e0cd22d57b8833382571c8c2fb21fde	1546307692	8.69	113	3.9	2018-48	13.737155	100.518352	13.73722	100.5183779	3356458976	3356458975	364700046	BKK_2W	2019-01-01 08:54:52+07:00	e	376.8084
962	d407f1ece4fb9c71582be1445f97cb0026a	1546307868	19.67	293	21.238	2018-48	13.725408	100.546332	13.72543	100.546348	1702450927	1702450957	158010315	BKK_4W	2019-01-01 08:57:48+07:00	w	5487.354
963	d407f1ece4fb9c71582be1445f97cb0026a	1546307872	21.58	291	18.204	2018-48	13.725736	100.545601	13.72574	100.5456023	1702450891	1702450988	158010311	BKK_4W	2019-01-01 08:57:52+07:00	w	5478.917
964	d407f1ece4fb9c71582be1445f97cb0026a	1546307876	21.16	291	16.687	2018-48	13.726037	100.544881	13.72604	100.5448797	1702450891	1702450988	158010311	BKK_4W	2019-01-01 08:57:56+07:00	w	5536.919
965	d407f1ece4fb9c71582be1445f97cb0026a	1546307880	19.36	291	18.204	2018-48	13.726331	100.544178	13.7263	100.5441626	1702450891	1702450988	158010311	BKK_4W	2019-01-01 08:58:00+07:00	w	5642.399
983	7ef82a374d343762463e215377df074e8ff	1546307869	5.47	289	24	2018-48	13.719738	100.560034	13.71975	100.5600387	277944688	5161241361	459551208	BKK_4W	2019-01-01 08:57:49+07:00	w	3791.703
984	7ef82a374d343762463e215377df074e8ff	1546307873	7.51	285	16	2018-48	13.719828	100.559819	13.71983	100.5598188	5161241361	1693004037	459551208	BKK_4W	2019-01-01 08:57:53+07:00	w	3816.992
985	7ef82a374d343762463e215377df074e8ff	1546307877	10.87	283	24	2018-48	13.719964	100.559492	13.71994	100.5594824	5161241361	1693004037	459551208	BKK_4W	2019-01-01 08:57:57+07:00	w	3877.651
986	7ef82a374d343762463e215377df074e8ff	1546307881	5.28	291	16	2018-48	13.72005	100.559279	13.72008	100.5592913	1693004037	66263222	459551208	BKK_4W	2019-01-01 08:58:01+07:00	w	3863.141
1070	83a5dc499de9182430a3a1bf1c168b83cf8	1546307903	13.6	114	7	2018-48	13.71349	100.580184	13.71347	100.5801733	2496043705	85703491	300813736	BKK_4W	2019-01-01 08:58:23+07:00	e	7601.301
1071	83a5dc499de9182430a3a1bf1c168b83cf8	1546307907	8.6	116	7	2018-48	13.713335	100.580539	13.71331	100.5805267	2496043705	85703491	300813736	BKK_4W	2019-01-01 08:58:27+07:00	e	7685.468

ภาพที่ 27 ตัวอย่างข้อมูล GPS จากรถแท็กซี่โดยจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ .csv

ภาคผนวก ข โปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.9.1

โปรแกรม ArcGIS Pro เป็นโปรแกรมประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งใช้ในการจัดการข้อมูลภูมิสารสนเทศ ตัวโปรแกรมรองรับการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่และตาราง รวมไปถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกสำหรับใช้ในการตัดสินใจ สามารถบริหารจัดการข้อมูลได้ทั้งรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โปรแกรมถูกพัฒนาโดยบริษัท Environmental Systems Research Institute (Esri)



ภาพที่ 28 ภาพตัวอย่างโปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.9.1

โปรแกรมสามารถติดตั้งได้สำหรับระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์ (Microsoft Windows) โดยอ้างอิงจากเว็บไซต์ของโปรแกรม https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.9/get-started/arcgis-pro-system-requirements.htm

ระบบปฏิบัติการที่รองรับ	การทดสอบล่าสุดที่โปรแกรมสามารถทำงานได้
Windows 11 Home, Pro, and Enterprise (64 bit)	November 2021 update
Windows 10 Home, Pro, and Enterprise (64 bit)	September 2021 update
Windows 8.1 Pro and Enterprise (64 bit)	September 2021 update
Windows Server 2022 Standard and Datacenter (64 bit)	
Windows Server 2019 Standard and Datacenter (64 bit)	September 2021 update

ระบบปฏิบัติการที่รองรับ	การทดสอบล่าสุดที่โปรแกรมสามารถทำงานได้
Windows Server 2016 Standard and Datacenter (64 bit)	September 2021 update
Windows Server 2012 R2 Standard and Datacenter (64 bit)	September 2021 update
Windows Server 2012 Standard and Datacenter (64 bit)	September 2021 update

ตารางที่ 5 แสดงระบบปฏิบัติการที่รองรับสำหรับโปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.9.1

ความต้องการของระบบสำหรับคอมพิวเตอร์ที่จะติดตั้งโปรแกรม ArcGIS Pro อ้างอิงจากเว็บไซต์ของโปรแกรม https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.9/get-started/arcgis-pro-system-requirements.htm

อุปกรณ์	ข้อมูลความรองรับขั้นต่ำและความรองรับที่แนะนำ
CPU	Minimum: 2 cores, simultaneous multithreading Simultaneous multithreading, or hyperthreading, of CPUs typically features two threads per core. A multithreaded 2-core CPU will have four threads available for processing, while a multithreaded 6-core CPU will have 12 threads available for processing. Recommended: 4 cores Optimal: 10 cores
Platform	x64
Storage	Minimum: 32 GB of free space Recommended: 32 GB or more of free space on a solid-state drive (SSD)
Memory/RAM	Minimum: 8 GB Recommended: 16 GB Optimal: 32 GB or more
Dedicated (not shared) graphics	Recommended: 4 GB or more If you're using a notebook computer with an integrated GPU,

อุปกรณ์	ข้อมูลความรองรับขั้นต่ำและความรองรับที่แนะนำ
memory	consider increasing the system RAM to compensate for the usage of shared memory.
Visualization cache	The temporary visualization cache for ArcGIS Pro can consume up to 32 GB of space, if available, in the user-selected location. By default, the visualization cache is written to the user profile’s \Local subfolder, so it does not roam with the user profile if roaming profiles are enabled by your system administrator.
DirectX	Minimum: DirectX 11, feature level 11.0, Shader Model 5.0
OpenGL	Minimum: OpenGL 4.3 with the ARB_clip_control and EXT_texture_compression_s3tc extensions Recommended: OpenGL 4.5 with the ARB_shader_draw_parameters, EXT_swap_control, EXT_texture_compression_s3tc, and EXT_texture_filter_anisotropic extensions
Screen resolution	1024x768 or higher

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลฮาร์ดแวร์ที่รองรับสำหรับโปรแกรมเวอร์ชัน ArcGIS Pro 2.9.1

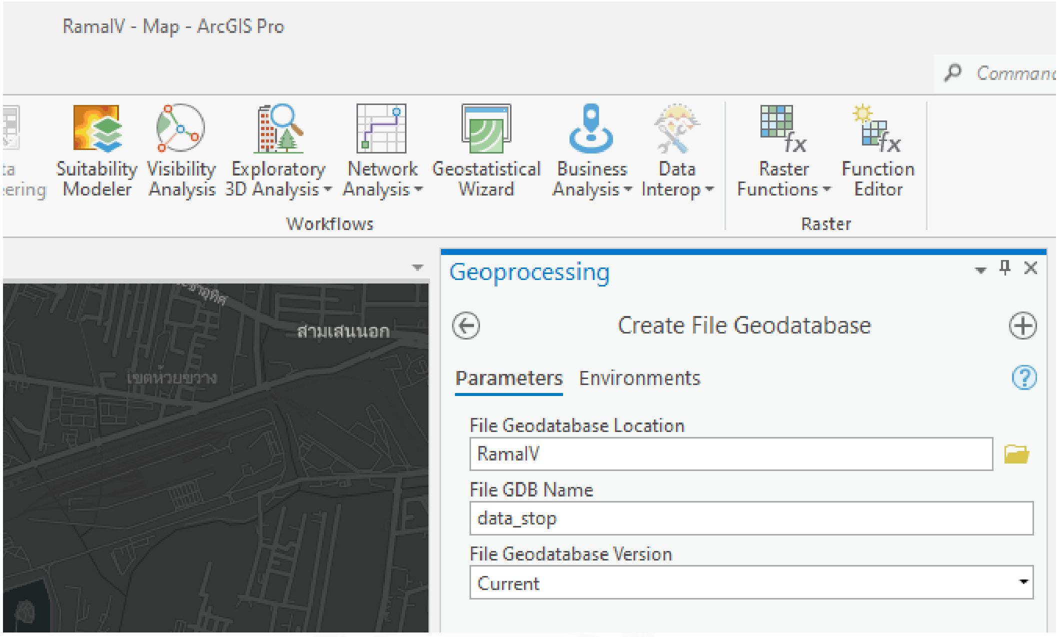
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค ขั้นตอนการสร้างองค์ประกอบของกราฟ Box Plot จากข้อมูลจุดตำแหน่งรถหยุด

แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 แปลงข้อมูลจากรูปแบบไฟล์ .csv เก็บในฐานข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (File Geodatabase) จากการใช้ค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดโดยใช้โปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.9.1

1. สร้างฐานข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์โดยใช้เครื่องมือ Data Management toolbox > Workspace toolset > **Create File Geodatabase**

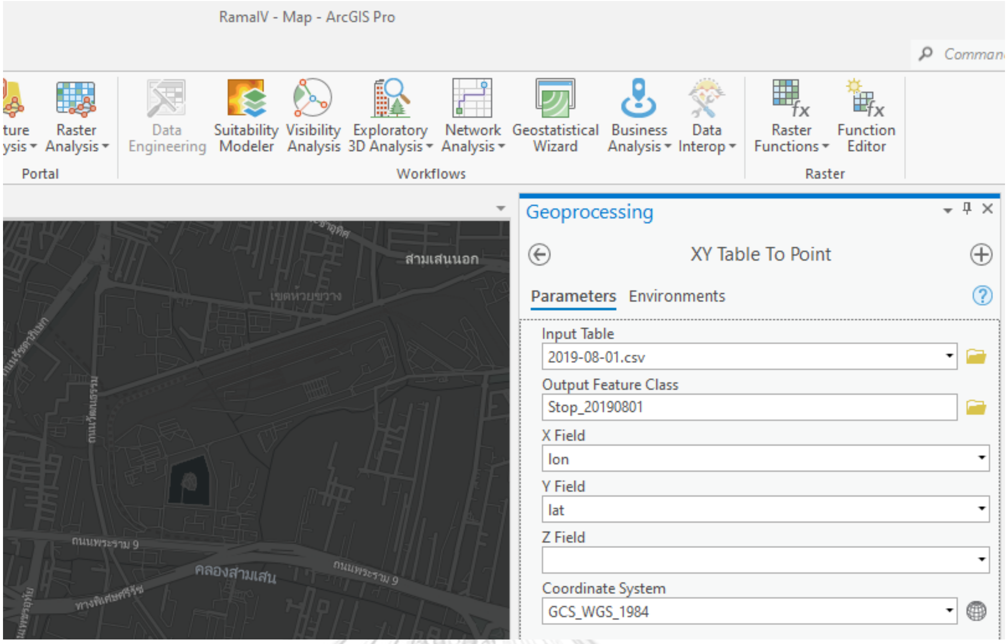


ภาพที่ 29 แสดงเครื่องมือ Create File Geodatabase

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

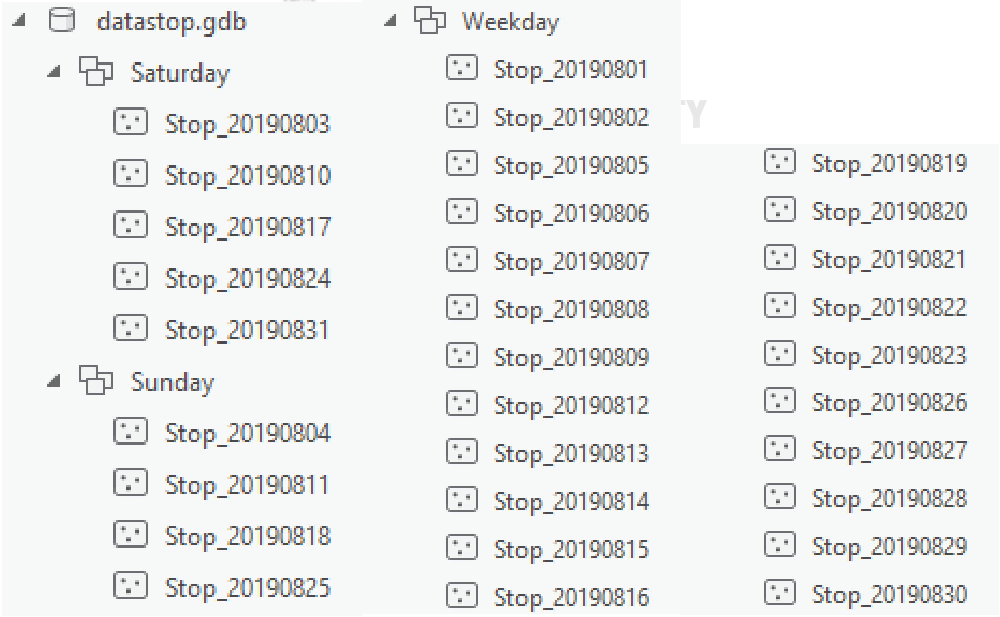
2. แปลงข้อมูลตำแหน่งจากค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดจากรูปแบบไฟล์ .csv เพื่อเก็บในระบบฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นจากขั้นตอนก่อนหน้า โดยใช้เครื่องมือ Data Management toolbox >

Features toolset > **XY Table to Point**



ภาพที่ 30 แสดงเครื่องมือ XY Table to Point

3. แบ่งกลุ่มข้อมูลในระบบฐานข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (File Geodatabase) โดยจุดเก็บแยกออกเป็นกลุ่มวันภายใต้ Feature dataset ทั้งหมด 3 ช่วงได้แก่ วันจันทร์ถึงศุกร์ (Weekday) วันเสาร์ (Saturday) และวันอาทิตย์ (Sunday)



ภาพที่ 31 แสดงผลลัพธ์ระบบฐานข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (File Geodatabase)

ขั้นตอนที่ 2 แยกข้อมูลชั่วโมงและตำแหน่งทางแยกของข้อมูลตำแหน่งรถหยุดโดยใช้ภาษา Python เวอร์ชัน 3.7.11 และไลบรารี่ ArcPy ที่ติดตั้งมาพร้อมกับโปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.9.1

แยกข้อมูลชั่วโมงออกจากจุดตำแหน่งรถหยุดโดยแยกจากข้อมูล timestamp หลังจากนั้นทำการแยกว่าจุดตำแหน่งรถหยุดตกอยู่บริเวณทางแยกไหนของถนนพระรามที่ 4 โดยใช้ข้อมูล location เพื่อทำการแบ่งแยก ผลลัพธ์จะได้จุดตำแหน่งรถหยุดพร้อมข้อมูลชั่วโมงและชื่อทางแยกในทุก ๆ จุดของตำแหน่งรถหยุด

```python
import arcpy

# Input variable: Input featureclass
stopFetureclass = "D:Project/WorkStation/RamaIV/datastop.gdb/Saturday/Stop_20190803"

# Prepare schema
arcpy.AddField_management(in_table=stopFetureclass, field_name="hour", field_type="SHORT")
arcpy.AddField_management(in_table=stopFetureclass, field_name="roadsection", field_type="TEXT", field_length=10)
arcpy.AddField_management(in_table=stopFetureclass, field_name="roadsection_hour", field_type="TEXT", field_length=20)
arcpy.AddField_management(in_table=stopFetureclass, field_name="distance", field_type="DOUBLE")

# Extract hour from timestamp field
arcpy.CalculateField_management(stopFetureclass, "hour", "!timestamp!.hour", "PYTHON3")

# List of traffic lights by location
intersectionPoints = [956.87, 1367.28, 2845.65, 2924.48, 3868.49, 4022.15, 4581.54, 5575.48, 6490.88]

# Assign stop points to roadsection and calculate distance from closest traffic light
location_fields = ["location", "roadsection", "distance"]

with arcpy.da.UpdateCursor(stopFetureclass, location_fields) as cursor:
    for row in cursor:
        if row[0] < intersectionPoints[0]: # < 956.67
            row[1] = "section01"
            row[2] = intersectionPoints[0] - row[0]
        elif row[0] > intersectionPoints[0] and row[0] < intersectionPoints[1]: # 956.87 to 1367.28
            row[1] = "section02"
            row[2] = intersectionPoints[1] - row[0]
        elif row[0] > intersectionPoints[1] and row[0] < intersectionPoints[2]: # 1367.28 to 2845.65
            row[1] = "section03"
            row[2] = intersectionPoints[2] - row[0]
        elif row[0] > intersectionPoints[2] and row[0] < intersectionPoints[3]: # 2845.65 to 2924.48
            row[1] = "section04"
            row[2] = intersectionPoints[3] - row[0]
        elif row[0] > intersectionPoints[3] and row[0] < intersectionPoints[4]: # 2924.48 to 3868.49
```

```
            row[1] = "section05"
            row[2] = intersectionPoints[4] - row[0]
        elif row[0] > intersectionPoints[4] and row[0] < intersectionPoints[5]: # 3868.49 to 4022.15
            row[1] = "section06"
            row[2] = intersectionPoints[5] - row[0]
        elif row[0] > intersectionPoints[5] and row[0] < intersectionPoints[6]: # 4022.15 to 4581.54
            row[1] = "section07"
            row[2] = intersectionPoints[6] - row[0]
        elif row[0] > intersectionPoints[6] and row[0] < intersectionPoints[7]: # 4581.54 to 5575.48
            row[1] = "section08"
            row[2] = intersectionPoints[7] - row[0]
        elif row[0] > intersectionPoints[7] and row[0] < intersectionPoints[8]: # 5575.48 to 6490.88
            row[1] = "section09"
            row[2] = intersectionPoints[8] - row[0]
        else:
            row[1] = "section10" # > 6490.88
        cursor.updateRow(row)

# Combine column roadsection and hour into single column
section_field = ["roadsection", "hour", "roadsection_hour"]
with arcpy.da.UpdateCursor(stopFetureclass, section_field) as cursor:
    for row in cursor:
        if row[1] < 10:
            row[2] = row[0] + "_0" + str(row[1])
        else:
            row[2] = row[0] + "_" + str(row[1])
        cursor.updateRow(row)
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าสถิติต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับ Box Plot เพื่อใช้ในการสร้างแผนที่ โดยประกอบด้วยค่าของตำแหน่งที่ 25th Percentile ค่ากลางข้อมูล (Median) ค่าของตำแหน่งที่ 75th Percentile ค่าระยะห่างระหว่าง 75th Percentile และ 25th Percentile หรือค่า Interquartile Range (IQR) และค่าผิดปกติ Outliers โดยใช้ภาษา Python เวอร์ชัน 3.7.11 พร้อมกับ Pandas ไลบรารี่และ ArcPy ไลบรารี่ที่ติดตั้งมาพร้อมกับโปรแกรม ArcGIS Pro เวอร์ชัน 2.9.1

```
import arcpy
import pandas as pd

arcpy.env.overwriteOutput = True

def arcgis_table_to_df(in_fc, input_fields=None, query=""):
    """Function will convert an arcgis table into a pandas dataframe with an object ID index, and the selected
    input fields using an arcpy.da.SearchCursor.
    :param - in_fc - input feature class or table to convert
    :param - input_fields - fields to input to a da search cursor for retrieval
    :param - query - sql query to grab appropriate values
    :returns - pandas.DataFrame
    https://gist.github.com/d-wasserman/e9c98be1d0caebc2935afecf0ba239a0
```

```python
    """
    OIDFieldName = arcpy.Describe(in_fc).OIDFieldName
    if input_fields:
        final_fields = [OIDFieldName] + input_fields
    else:
        final_fields = [field.name for field in arcpy.ListFields(in_fc)]
    data = [row for row in arcpy.da.SearchCursor(in_fc,final_fields,where_clause=query)]
    fc_dataframe = pd.DataFrame(data,columns=final_fields)
    fc_dataframe = fc_dataframe.set_index(OIDFieldName,drop=True)
    return fc_dataframe

####################  Define Input Varibles ##################
stopFetureclass = "D:/Project/WorkStation/RamaIV/datastop_merge.gdb/Stop_201908_Weekday"
#stopFetureclass = "D:/Project/WorkStation/RamaIV/datastop_merge.gdb/Stop_201908_Saturday"
#stopFetureclass = "D:/Project/WorkStation/RamaIV/datastop_merge.gdb/Stop_201908_Sunday"

input_hour = [7, 8, 9]
#input_hour = [17, 18, 19]

out_gdb = "D:/Project/WorkStation/RamaIV/output4boxplot.gdb/Weekday/"

out_prefix_name = stopFetureclass.split("/")[-1].split("_")[-1]
out_postfix_name = '_'.join(str(e) for e in input_hour)

section_list = ["section01", "section02", "section03", "section04", "section05", "section06", "section07", "section08", "section09"]

for section in section_list:
    input_section = section
    print("--------------------- Running section: --------------------- ".format(input_section))

    query = "roadsection='{}' And hour IN ({},{},{})".format(input_section, input_hour[0], input_hour[1], input_hour[2])
    dfStop = arcgis_table_to_df(stopFetureclass, ["location","hour","roadsection","distance"], query)

    # Get stat values
    q1Value = dfStop['distance'].describe()['25%']
    medianValue = dfStop['distance'].describe()['50%']
    q3Value = dfStop['distance'].describe()['75%']

    ##### Extract Q1-Q3 to line featureclass to be used for Boxplot #####
    where_clause = "roadsection='{}' And hour IN ({},{},{}) And distance >= {} And distance <= {}".format(input_section, input_hour[0], input_hour[1], input_hour[2], str(q1Value), str(q3Value))
    boxplot_out_layer = '_'.join([input_section, "hr", out_postfix_name, "lyr"])

    # Make a layer from feature class stop point
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(stopFetureclass, boxplot_out_layer, where_clause)

    # Execute PointsToLine
    pointFeatures = boxplot_out_layer
    boxplotLineFeatures = out_gdb + '_'.join([out_prefix_name, "boxplot", input_section, "hr", out_postfix_name])
    lineField = ""
```

```
    sortField = "distance"
    arcpy.PointsToLine_management(pointFeatures, boxplotLineFeatures, lineField, sortField)
    print("Extract Q1 to Q3 line successfully")

    # Execute Add field
    arcpy.AddField_management(in_table=boxplotLineFeatures, field_name="roadsection", field_type="TEXT", field_length=10)
    arcpy.AddField_management(in_table=boxplotLineFeatures, field_name="hour", field_type="TEXT", field_length=10)

    # Calculate road section and hour
    section_field = ["roadsection", "hour"]
    with arcpy.da.UpdateCursor(boxplotLineFeatures, section_field) as cursor:
        for row in cursor:
            row[0] = input_section
            row[1] = out_postfix_name
            cursor.updateRow(row)

    # Execute Delete Feature Layer
    arcpy.Delete_management(boxplot_out_layer)

    ##### Extract whiskers to line featureclass to be used for Boxplot #####
    # Interquartile Range (IQR)
    IQR = q3Value - q1Value
    # lower bound > Q1-1.5 * IRQ
    LB = q1Value - 1.5*IQR
    # Upper bound > Q3+1.5 * IRQ
    UB = q3Value + 1.5*IQR

    where_clause = "roadsection='{}' And hour IN ({},{},{}) And distance >= {} And distance <= {}".format(input_section, input_hour[0], input_hour[1], input_hour[2], str(LB), str(UB))
    whiskers_out_layer = '_'.join([input_section, "hr", out_postfix_name, "lyr"])

    # Make a layer from feature class stop point
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(stopFetureclass, whiskers_out_layer, where_clause)

    # Execute PointsToLine
    pointFeatures = whiskers_out_layer
    whiskersLineFeatures = out_gdb + '_'.join([out_prefix_name, "whiskers", input_section, "hr", out_postfix_name])
    lineField = ""
    sortField = "distance"
    arcpy.PointsToLine_management(pointFeatures, whiskersLineFeatures, lineField, sortField)
    print("Extract whiskers line successfully")

    # Execute Add field
    arcpy.AddField_management(in_table=whiskersLineFeatures, field_name="roadsection", field_type="TEXT", field_length=10)
    arcpy.AddField_management(in_table=whiskersLineFeatures, field_name="hour", field_type="TEXT", field_length=10)

    # Calculate road section and hour
    section_field = ["roadsection", "hour"]
    with arcpy.da.UpdateCursor(whiskersLineFeatures, section_field) as cursor:
        for row in cursor:
```

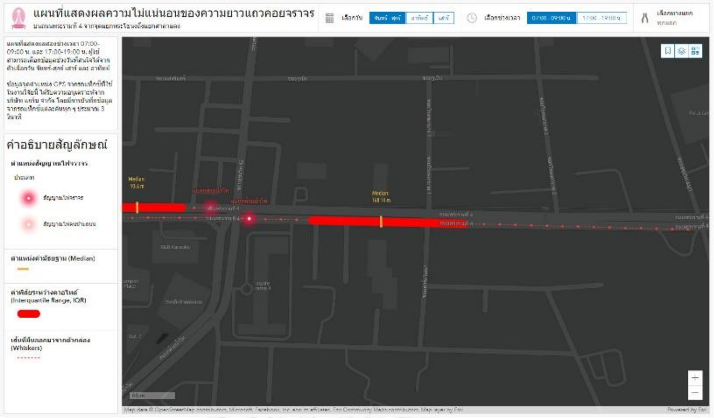
```
                row[0] = input_section
                row[1] = out_postfix_name
                cursor.updateRow(row)

        # Execute Delete Feature Layer
        arcpy.Delete_management(whiskers_out_layer)
    print("Task run successfully!")
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

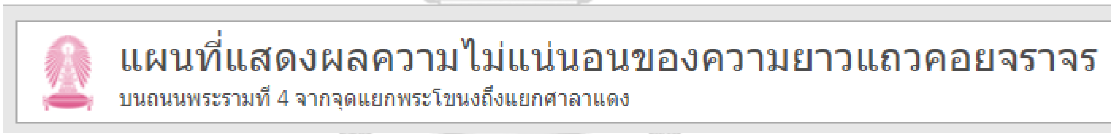
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานระบบแผนที่ออนไลน์แสดงความยาวแถวคอย

ระบบแผนที่ออนไลน์จากงานวิจัยนี้พัฒนาโดยใช้ซอฟต์แวร์สร้างแผนที่ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์บนระบบคลาวด์ ที่มีชื่อว่า ArcGIS Online ตัวระบบแบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนหลัก ๆ ดังนี้



ภาพที่ 32 ตัวอย่างระบบแผนที่ออนไลน์แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ความยาวแถวคอย

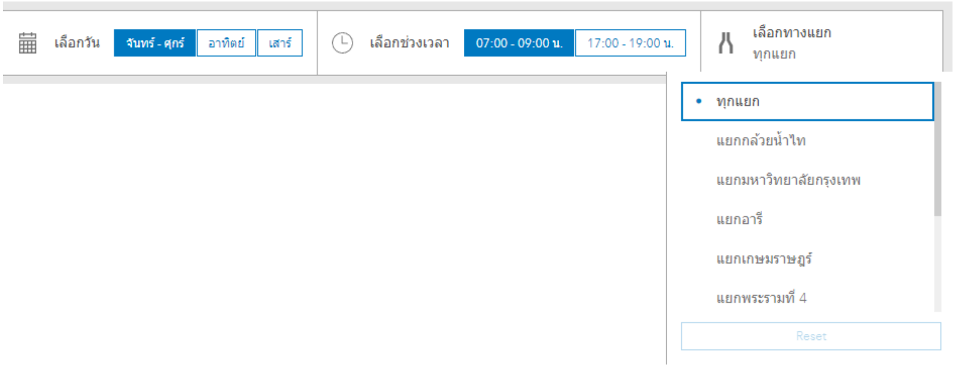
ส่วนที่ 1 ส่วนหัวของระบบ (Header) ซึ่งแสดงตราสัญลักษณ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพร้อมกับชื่อของระบบ



ภาพที่ 33 ส่วนหัวของระบบแผนที่ออนไลน์จากการพัฒนา

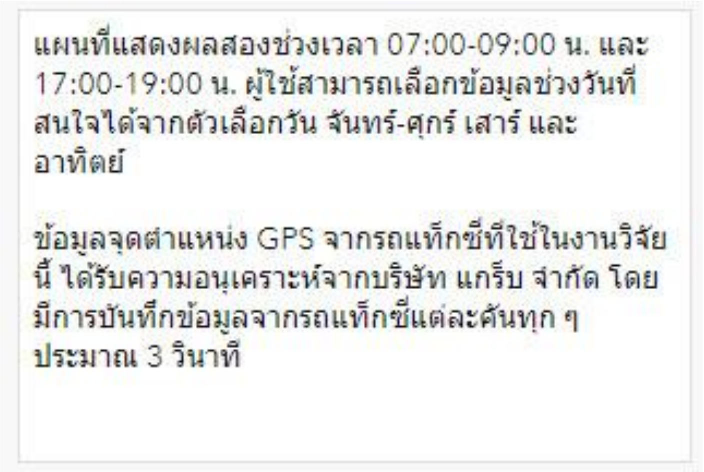
Chulalongkorn University

ผู้ใช้งานสามารถเลือกดูแผนที่ตามช่วงวันและเวลา รวมไปถึงกรองข้อมูลเฉพาะตามชื่อทางแยกที่ได้



ภาพที่ 34 เมนูควบคุมการทำงานของระบบแผนที่ออนไลน์

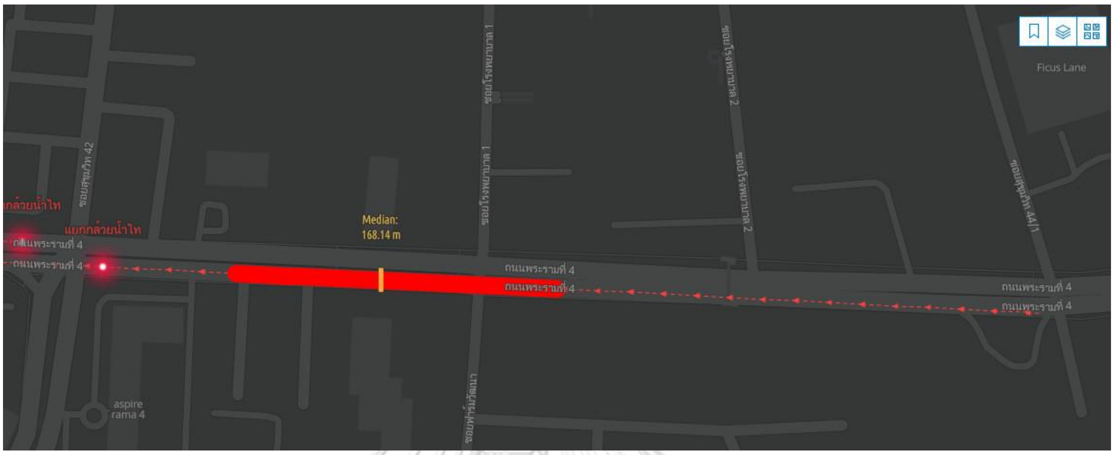
ส่วนที่ 2 แถบคำอธิบายด้านซ้ายมือ (Left Panel) ของผู้ใช้งาน อธิบายถึงข้อมูลพื้นฐานของระบบและคำอธิบายของแผนที่



ภาพที่ 35 คำอธิบายโดยย่อเกี่ยวกับระบบแผนที่ออนไลน์

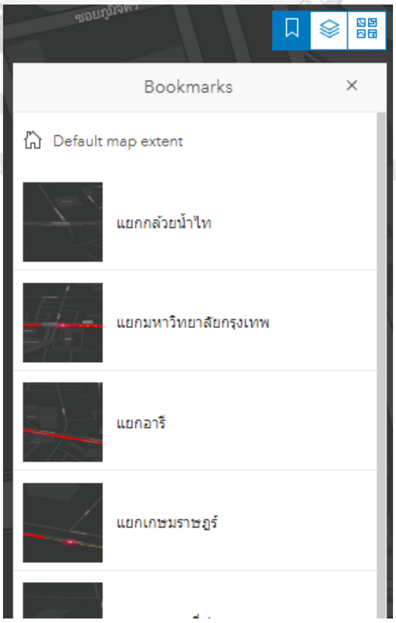
ภาพที่ 36 คำอธิบายสัญลักษณ์บนระบบแผนที่ออนไลน์

ส่วนที่ 3 ตัวแผนที่ (Map) แสดงถึงความยาวแถวคอยและความไม่แน่นอนของความยาวแถวในแต่ละจุดทางแยก ตัวแผนที่เป็นรูปแบบตอบสนองต่อผู้ใช้งาน (Interactive) ซึ่งผู้ใช้สามารถซูมเข้า ซูมออกแผนที่ได้ โดยการใช้เลื่อนล้อเมาส์ (Mouse wheel) หรือสามารถคลิกปุ่มซูมเข้า ซูมออกที่อยู่มุมล่างขวาของแผนที่



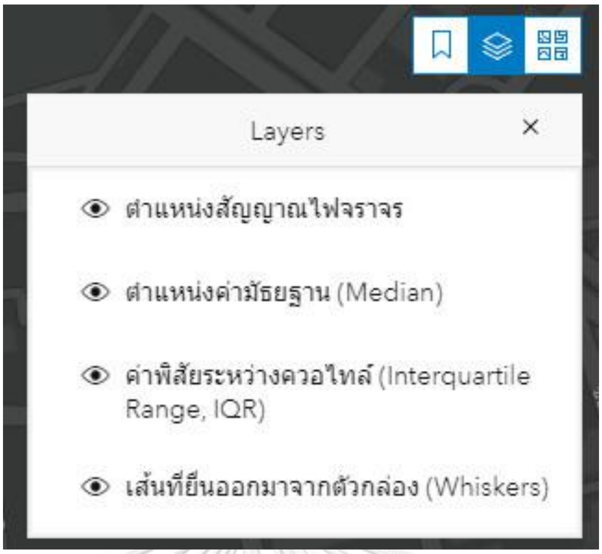
ภาพที่ 37 ตัวแผนที่บนระบบแผนที่ออนไลน์

ระบบแผนที่ออนไลน์มีเครื่องมือบุ๊กมาร์ค (Bookmark) เพื่อเลื่อนแผนที่ไปยังแยกต่าง ๆ โดยการคลิกที่ชื่อทางแยกที่สนใจ



ภาพที่ 38 เครื่องมือบุ๊กมาร์คของระบบแผนที่ออนไลน์

ผู้ใช้สามารถเปิด ปิด การแสดงข้อมูลบนแผนที่ได้โดยใช้เครื่องมือ Layer List



ภาพที่ 39 เครื่องมือสำหรับเปิด ปิดชั้นข้อมูลของระบบแผนที่ออนไลน์

ตัวระบบแผนที่รองรับการปรับเปลี่ยนการแสดงผลจองแผนที่พื้นหลังทั้งหมดสามรูปแบบได้แก่ รูปแบบเน้นสีดำ รูปแบบเน้นเส้นถนน และรูปแบบภาพถ่ายดาวเทียม โดยผู้ใช้สามารถคลิกที่ปุ่มมุมบนขวาของแผนที่เพื่อเลือกดูรูปแบบที่ต้องการได้

ภาพที่ 40 เครื่องมือสำหรับเปลี่ยนแผนที่ฐานของระบบแผนที่ออนไลน์

ภาคผนวก จ ข้อมูลทั่วไปผู้เข้าร่วมระบบ

ตารางที่ 7 ข้อมูลทั่วไปผู้เข้าร่วมทดสอบระบบ

ผู้เข้าร่วมทดสอบ	ช่วงอายุ	ประวัติการศึกษา	พื้นฐานการเรียนสถิติ	รู้จักข้อมูล Box Plot	รู้จักความไม่แน่นอน	ความคุ้นเคยกับถนนพระรามที่ 4
คนที่ 1	30-40 ปี	ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระดับปริญญาโท Energy and Environmental Policy Korea University (SEOUL)	เคยเรียนมาสำหรับวิศวรรมศาสตร์	คุ้นเคยกับกราฟและหลักการสร้างกราฟ	ทราบถึงช่วงของความไม่แน่นอนของข้อมูล	มีความคุ้นเคยกับถนนพระรามที่ 4 และมีการใช้งานคอนข้างบ่อย
คนที่ 2	21-30 ปี	ระดับปริญญาตรี ภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระดับปริญญาโท ภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา	เคยเรียนวิชาสถิติพื้นฐานเท่านั้น	ไม่เคยศึกษากราฟ Box Plot	เคยได้ยินมาบ้างแต่ไม่แน่ใจ	มีความคุ้นเคยและมีการใช้งานบ่อยครั้ง
คนที่ 3	30-40 ปี	ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับปริญญาโท Civil Engineering, University of Tokyo	เคยเรียนสถิติมา	รู้จักเมื่อนานมากแล้ว	รู้จักมาบ้าง ไม่ใช่เรื่องใหม่	คุ้นเคยเป็นอย่างมากและอาศัยอยู่ใกล้ถนนพระรามที่ 4
คนที่ 4	30-40 ปี	ระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมสำรวจ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ระดับปริญญาโท วิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	เคยเรียนมาบ้าง และเยอะพอสมควร	ไม่เคยได้ยินมา อาจจะต้องลองดูรูปก่อน	รู้จักเข้าใจว่ามีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลตามเวลา	มีความคุ้นเคยกับถนนพระรามที่ 4 เนื่องจากมหาวิทยาลัยอยู่ติดกับถนนพระรามที่ 4

คนที่ 5	21-30 ปี	ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	เคยเรียนมา	ไม่เคยได้ยินมาก่อน	ไม่แน่ใจ	ไม่ค่อยคุ้นเคย แต่เคยผ่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายวิทวัส บรรณสาร
วัน เดือน ปี เกิด	06 กรกฎาคม 2534
สถานที่เกิด	กาฬสินธุ์
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ที่อยู่ปัจจุบัน	204 หมู่ 2 ตำบลหนองแปน อำเภอกมลาไสย จังหวัดกาฬสินธุ์ 46130

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University