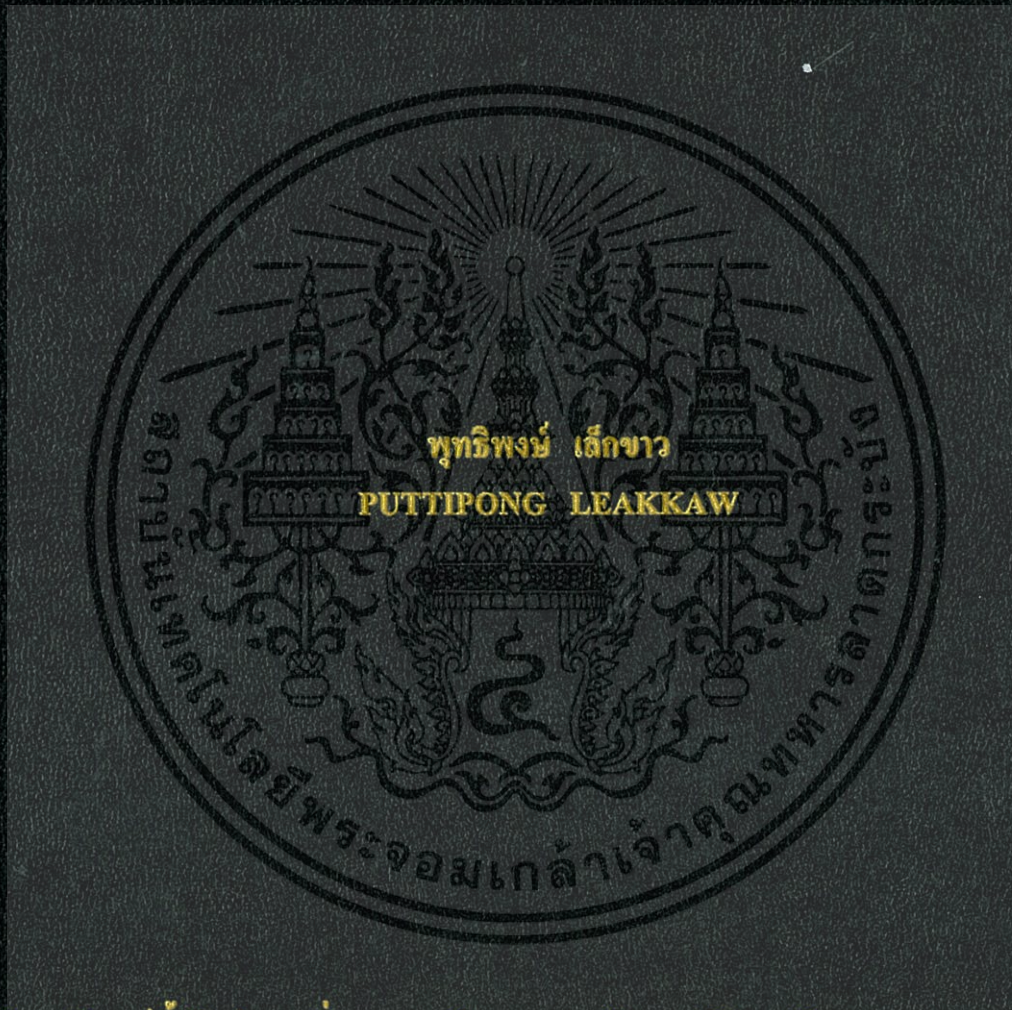


การประเมินสภาพการจราจรด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

TRAFFIC SENSING THROUGH MOBILE SENSORS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-IT-M-001-010

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประเมินสภาพการจราจรด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

TRAFFIC SENSING THROUGH MOBILE SENSORS



T143979



เลขหมู่..... 143979
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี 10 ต.ค. 2559

b. 00266985
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-IT-M-001-010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRAFFIC SENSING THROUGH MOBILE SENSORS



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2015

KMITL-2015-IT-M-001-010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินสภาพการจราจรด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่
Traffic sensing through mobile sensors
นักศึกษา นายพุทธิพงษ์ เล็กขาว
รหัสประจำตัว 55660405
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุชสันต์ พาณิชพาพิบูล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร. โชติพัทธ์ ภรณ์วลัย	
ดร. นวพร วิสิฐพงษ์พันธ์	
รองศาสตราจารย์ ดร. สุชสันต์ พาณิชพาพิบูล	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต	
ดร. นล เปรมชัยเชียร	นล เปรมชัยเชียร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 13 ตุลาคม 2558 เวลา 13.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง M03 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. จินตนาบุรณ สติตวิริยวงศ์)

คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

วันที่ 4 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินสภาพการจราจรด้วยเซ็นเซอร์บน โทรศัพท์เคลื่อนที่
นักศึกษา	นายพุทธิพงษ์ เล็กขาว
รหัสประจำตัว	55660405
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2558
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล

บทคัดย่อ

ด้วยความก้าวหน้าของการสื่อสารไร้สายและขีดความสามารถด้านการประมวลผลที่เพิ่มขึ้นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในอนาคตยานพาหนะจะสามารถเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลการจราจรระหว่างกันได้โดยไม่ต้องพึ่งพาระบบโครงสร้างพื้นฐาน โดยที่ยานพาหนะจะทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์เคลื่อนที่ และเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจรในระหว่างเดินทาง ซึ่งโทรศัพท์สมาร์ทโฟนถือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลการจราจร เนื่องจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในปัจจุบันมาพร้อมกับเซ็นเซอร์มากมาย เช่น เซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอส (Global Positioning System Receiver), เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer), เซ็นเซอร์วัดการหมุน (Gyroscope), กล้อง (Camera) และอื่นๆ โดยที่เซ็นเซอร์เหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลการจราจรได้ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าในโทรศัพท์สมาร์ทโฟนนั้นจะมีเซ็นเซอร์อยู่มากมาย แต่การศึกษาที่ผ่านมาล้วนแต่มุ่งเน้นไปที่การใช้งานเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสเป็นหลัก ซึ่งเซ็นเซอร์ดังกล่าวนั้นสิ้นเปลืองพลังงานในการทำงานมาก และส่งผลให้แบตเตอรี่ใช้งานได้สั้นลง ในงานวิจัยนี้เราจึงศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้เซ็นเซอร์อื่นๆ ที่มีในโทรศัพท์สมาร์ทโฟน มาใช้ในการตรวจวัดข้อมูลการจราจร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เราจะตรวจสอบทั้งความเป็นไปได้ และความแม่นยำในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่ง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเซ็นเซอร์วัดความเร่งนั้นสามารถใช้ในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะได้ และมีความแม่นยำที่น่าพอใจสำหรับนำไปใช้ในงานด้านการรายงานสภาพจราจร

Thesis	Traffic Sensing Through Mobile Sensors
Student	Mr.Puttipong Leakkaw
Student ID	55660405
Degree	Master of Science
Program	Information Technology
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Sooksan Panichpapiboon

ABSTRACT

With the advances in wireless communication and mobile computing, a future infrastructureless self-organizing traffic information system, where vehicles can form a network for exchanging traffic information among themselves, will soon be realized. In an infrastructureless traffic information system, vehicles will act as mobile sensors and collect the traffic data as they travel. Smartphones are a great choice for traffic sensing devices as they are now equipped with a variety of sensors such as global positioning system (GPS) receiver, accelerometer, gyroscope, camera, and microphone. These sensors can be exploited to collect traffic data. Although there are many types of sensors available for traffic sensing, past studies have mainly focused on a GPS receiver. However, a GPS receiver consumes a lot of power and hence it can significantly shorten the battery life. In this study, we explore the possibility of using other types of sensors on a smartphone for traffic sensing. Particularly, we investigate whether it is possible and how accurate it is to estimate vehicle speed from the data sensed by an accelerometer. The accuracy of our proposed estimation method will be presented.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาในการทำงาน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล ที่ให้ความกรุณา คอยเอาใจใส่ ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ มาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่าน ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่เคยสอนข้าพเจ้ามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่ๆ ในห้องปฏิบัติการและเพื่อนๆ ทุกคน ที่ได้ให้คำแนะนำที่ดีในการทำวิจัย และคอยเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน รวมทั้งคอยให้กำลังใจและได้ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน

คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

พุทธิพงษ์ เล็กขาว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 ระบบข้อมูลการจราจร.....	5
2.1.1.1 ระบบข้อมูลการจราจรแบบพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน.....	5
2.1.1.2 ระบบข้อมูลการจราจรแบบไม่พึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน.....	5
2.1.2 เซ็นเซอร์วัดความเร็ว.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2.1 โทรศัพท์สมาร์ตโฟน.....	7
2.2.2 การประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์ สมาร์ตโฟน.....	7
2.2.3 เซ็นเซอร์วัดความเร็วในงานด้านการจราจร.....	8
บทที่ 3 แนวทางการวิจัย.....	10
3.1 สมมติฐานเกี่ยวกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและการประเมินหา ความเร็ว.....	10
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	10
3.2.2 เส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	12
3.2.2.1 เส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลระยะแรก.....	12
3.2.2.2 เส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลระยะที่สอง.....	13
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น.....	13
3.3.1 สถานะหยุดนิ่ง.....	14
3.3.2 สถานะเคลื่อนที่.....	14
3.4 การประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ.....	15
3.4.1 การประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอย.....	15
3.4.2 การประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบของ ช่วงเวลา.....	19
3.4.2.1 ทฤษฎีการหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจากองค์ประกอบของ ช่วงเวลา.....	19
3.4.2.2 วิธีการวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจากองค์ประกอบของ ช่วงเวลา.....	20
3.4.2.3 การปรับความแม่นยำของวิธีการประเมินด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบ ของช่วงเวลา.....	23
3.5 การกำหนดเกณฑ์ความเร็วเพื่อเพิ่มความแม่นยำ.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง	26
4.1 ความแม่นยำของการตรวจสอบสถานะของยานพาหนะ.....	26
4.2 ความแม่นยำของการประเมินความเร็วเฉลี่ยโดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย.....	28
4.2.1 ผลการทดลองเบื้องต้น.....	28
4.2.2 ผลการทดลองระยะที่สอง.....	29
4.3 ความแม่นยำของการประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีวิเคราะห์ องค์ประกอบของช่วงเวลา	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	34
5.1 สรุปผลการวิจัย	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ	35
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก	38
ประวัติผู้เขียน	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	อัตราการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์แต่ละชนิดบนโทรศัพท์เคลื่อนที่.....8
3.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันถดถอยในแต่ละขนาดของกลุ่มการสอน.....17
4.1	จำนวนครั้งในการหยุดและระยะเวลาในการหยุดของยานพาหนะ เปรียบเทียบข้อมูลจาก เซ็นเซอร์วัดความเร่ง และ ข้อมูลที่บันทึกมาจากการสังเกตจริง.....27
4.2	ความแม่นยำของการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยในแต่ละขนาดของกลุ่มการสอน29
4.3	ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์การถดถอยในแต่ละเกณฑ์ความเร็วที่พอใจ.....30
4.4	ความแม่นยำของการประเมินด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลาในแต่ละเกณฑ์ ความเร็ว และระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์.....32



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงแผนการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความเร่งบนโทรศัพท์มือถือ.....6
2.2	แสดงลักษณะข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความเร่งบนโทรศัพท์มือถือ มือถือ.....7
3.1	ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่งหลังจากกรองสัญญาณความถี่สูง.....11
3.2	เส้นทางหลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูลระยะแรก บริเวณเขตปทุมวัน.....12
3.3	เส้นทางหลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูลระยะแรก บริเวณเขตลาดพร้าว.....12
3.4	เส้นทางเพิ่มเติมในการเก็บข้อมูลระยะที่สองบริเวณทางหลวงพิเศษหมายเลข 7.....13
3.5	ลักษณะของข้อมูลของเซ็นเซอร์วัดความเร่งทั้งสามแกน โดยที่ยานพาหนะจะถูกระบุว่า อยู่ในสถานะหยุดนิ่งในช่วง (ก) และจะถูกระบุว่าอยู่ในสถานะเคลื่อนที่ในช่วง (ข).....15
3.6	ลำดับวิธีการในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีการวิเคราะห์การ ถดถอย.....17
3.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเร็วของยานพาหนะกับระยะเวลาที่ยาน พาหนะเคลื่อนที่ได้ ในแต่ละขนาดของกลุ่มการสอน.....18
3.8	ตัวอย่างของลำดับสถานะ.....20
3.9	ความเร็วเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาของการเคลื่อนที่.....22
3.10	ภาพรวมของกระบวนการทั้งหมดในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธี การวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา.....23
3.11	ตัวอย่างช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ที่ไม่มีข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในฐานข้อมูล.....24
3.12	ตัวอย่างความเร็วเฉลี่ยต่อช่วงเวลาการเคลื่อนที่.....25
4.1	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ของความเร็วเฉลี่ยที่ประเมินจากวิธีวิเคราะห์การถดถอย ค่า T ในการพิจารณา คือ 360 วินาที.....30
4.2	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ของความเร็วเฉลี่ยที่ประเมินจากวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ ของช่วงเวลา และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ของความเร็วเฉลี่ยที่ประเมินจากวิธีวิเคราะห์ การถดถอย ค่า T ในการพิจารณา คือ 360 วินาที.....32
4.3	ความแม่นยำของวิธีการประเมินด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลาเมื่อมีการใช้ค่า ปรับสมดุลข้อมูลในแต่ละเกณฑ์ความเร็วที่พอใจ โดยวิเคราะห์ที่ระยะเวลา 360 วินาที.....33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบข้อมูลการจราจร (Traffic Information System) คือองค์ประกอบสำคัญสำหรับเก็บรวบรวมและเผยแพร่ข้อมูลการจราจร ยกตัวอย่างเช่น ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ (Average Speed), ความหนาแน่นของยานพาหนะ (Density), อัตราการไหลของยานพาหนะ (Flow Rate) และเวลาในการเดินทาง (Travel Time) ข้อมูลจราจรเหล่านี้สามารถช่วยผู้ขับขี่ให้เลือกเส้นทางได้อย่างชาญฉลาดยิ่งขึ้น

ในปัจจุบัน โดยมากแล้วระบบข้อมูลการจราจรจะเป็นแบบพึ่งพาระบบโครงสร้างพื้นฐานเป็นหลัก กล่าวคือข้อมูลการจราจรต่างๆจะถูกเก็บรวบรวมมาจากอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งไว้แบบถาวร ยกตัวอย่างเช่น วงแหวนเหนี่ยวนำ (Inductive Loop Detectors) และ กล้องวงจรปิด อย่างไรก็ตามในการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวมักจะต้องใช้เวลานาน และยุ่งยากในการติดตั้ง ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีของวงแหวนเหนี่ยวนำ ที่จำเป็นจะต้องเจาะพื้นผิวถนนเพื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวลงไป นอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังต้องใช้ค่าใช้จ่ายที่สูงมากในการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านั้นให้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่นตามเมืองต่างๆ และยิ่งไปกว่านั้น การดูแลอุปกรณ์ทั้งหมดที่ถูกติดตั้งไปเป็นจำนวนมาก นับว่าเป็นเรื่องที่ยากมากเลยทีเดียว ซึ่งระบบข้อมูลการจราจรจะถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและลดค่าใช้จ่ายลงได้ ถ้าหากข้อมูลการจราจรต่าง ๆ นั้นสามารถถูกรวบรวมและเผยแพร่ได้จากยานพาหนะบนท้องถนนเอง

ด้วยความก้าวหน้าของการสื่อสารไร้สายและการประมวลผลด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบัน ทำให้ระบบข้อมูลการจราจรแบบไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานนั้นเป็นไปได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยที่ในระบบดังกล่าว ยานพาหนะแต่ละคันจะทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์เคลื่อนที่และเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจรขณะเดินทาง โดยสามารถเผยแพร่และแบ่งปันข้อมูลการจราจรให้กับยานพาหนะคันอื่นๆ ได้ ซึ่งความท้าทายหลักของระบบนี้ คือการออกแบบวิธีการรวบรวมและประมวลผลข้อมูลการจราจร รวมไปถึงการเลือกใช้เซ็นเซอร์ และการเผยแพร่ข้อมูล โดยมีปัจจัยหลักที่ต้องคำนึงถึงดังต่อไปนี้ ข้อแรกก็จะเลือกใช้เซ็นเซอร์ชนิดใดในการเก็บข้อมูล ถัดมา ก็จะใช้เซ็นเซอร์นั้นๆ เก็บข้อมูลการจราจรได้อย่างไร และสิ่งที่สำคัญที่สุดก็จะแปลงข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ ให้เป็นข้อมูลที่สะท้อนสภาพการจราจรที่แท้จริงได้อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในมุมมองของผู้วิจัย โทรศัพท์สมาร์ทโฟนนับว่าเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลการจราจร เนื่องจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในปัจจุบันมาพร้อมกับเซ็นเซอร์ต่างๆมากมาย ยกตัวอย่างเช่น เซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอส (Global Positioning System Receiver), เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer), เซ็นเซอร์วัดการหมุน (Gyroscope), กล้อง (Camera) และอีกมากมาย ซึ่งเซ็นเซอร์ต่างๆเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลการจราจรได้ และยิ่งไปกว่านั้น เนื่องจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในปัจจุบันมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก นั้นหมายความว่าเพียงแค่ผู้คนมีโทรศัพท์สมาร์ทโฟนก็จะสามารถเปลี่ยนยานพาหนะที่ไม่ว่าจะใหม่หรือเก่าแค่ไหน ให้เป็นเซ็นเซอร์สำหรับเก็บข้อมูลการจราจรได้ทันที

ในปัจจุบันการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนสำหรับเก็บข้อมูลการจราจรนั้นได้รับความสนใจมากขึ้นในกลุ่มของการวิจัย แต่อย่างไรก็ตาม งานที่มีอยู่ส่วนมากจะมุ่งเน้นไปที่การใช้เซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะเป็นหลัก [1-4] ส่วนเซ็นเซอร์ชนิดอื่นๆนั้นส่วนใหญ่จะถูกละเลยไป เนื่องจากเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสนั้นสามารถนำมาใช้งานได้สะดวกกว่า แต่การใช้เซ็นเซอร์ดังกล่าวในการเก็บข้อมูลการจราจรนั้นก็ยังมีข้อบกพร่องร้ายแรงอยู่นั่นคือเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้พลังงานในการทำงานมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากต้องเปิดให้ทำงานอยู่ตลอดเวลาสำหรับเก็บข้อมูลการจราจรแล้ว แบตเตอรี่ของโทรศัพท์จะหมดลงอย่างรวดเร็ว

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานเซ็นเซอร์อื่นๆที่มีอยู่ในโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการตรวจจับข้อมูลการจราจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้วิจัยจะเน้นไปที่เซ็นเซอร์วัดความเร่ง เนื่องจากเซ็นเซอร์ดังกล่าวใช้พลังงานน้อยกว่าทุกๆเซ็นเซอร์ที่โทรศัพท์สมาร์ทโฟนมี [5] และยังใช้พลังงานน้อยกว่าเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสถึงหกเท่า [5]

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับเก็บข้อมูลการจราจร
2. เพื่อศึกษาแนวทางการความเป็นไปได้ในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจากข้อมูลที่เก็บโดยเซ็นเซอร์วัดความเร่งบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน
3. เพื่อทำการทดสอบประเมินความแม่นยำของการใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

โดยปกติแล้วในสภาพการจราจรที่แตกต่างกัน รูปแบบในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะย่อมแตกต่างกันตามไปด้วย ยกตัวอย่างเช่นในสภาพการจราจรที่หนาแน่น ยานพาหนะก็จะมีการหยุดบ่อยครั้ง หรือในการหยุดแต่ละครั้งจะมีระยะเวลาของการหยุดที่ยาวนาน ทำให้ยานพาหนะสามารถใช้ความเร็วได้น้อย และความเร็วเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาหนึ่งของยานพาหนะคันนั้นก็ยิ่งน้อยตามลงไปด้วย ในทางกลับกัน ในสภาพการจราจรที่คล่องตัว ยานพาหนะจะมีการหยุดน้อยครั้งกว่า ทำให้สามารถเร่งความเร็วได้อย่างอิสระจึงได้ความเร็วมากขึ้น ส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาหนึ่งของยานพาหนะคันนั้นก็สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงนำไปสู่แนวคิดว่าหากเราสามารถทราบได้ว่าในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยานพาหนะมีความถี่ในการหยุดกี่ครั้ง และในการหยุดแต่ละครั้งใช้เวลานานเท่าไร เราก็จะสามารถประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะคันนั้นๆ ได้ ซึ่งเซ็นเซอร์วัดความเร่งนั้นเป็นเซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจวัดแรงโน้มถ่วง (Gravitation Force) ได้ เช่นเมื่อเราเอียงโทรศัพท์ เซ็นเซอร์วัดความเร่งจะสามารถตรวจจับได้ว่าเราเอียงไปที่แกนใด รวมไปถึงการเขย่า ก็จะสามารถรู้ได้ว่าโทรศัพท์ถูกเขย่าแรงขนาดไหน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่ เซ็นเซอร์วัดความเร่งบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนนั้น จะสามารถใช้ในการตรวจจับการหยุดและการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้จากการวัดค่าความสั่นที่เกิดขึ้นกับโทรศัพท์เคลื่อนที่นั่นเอง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. การศึกษานี้พัฒนาวิธีการ (Algorithm) ในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่เก็บได้จริงจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟน กับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ
2. การศึกษานี้จะทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ โดยมีวิธีการทดสอบในเชิงปริมาณ

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการตรวจจับข้อมูลการจราจร
2. นำความรู้ที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อค้นหาวิธีการใหม่หรือทางเลือกใหม่ที่ดีกว่า ในการใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการตรวจจับข้อมูลการจราจร
3. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับเก็บข้อมูลตามการวิเคราะห์ในข้อ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการทดลองโดยการเก็บข้อมูลในสภาพการจราจรที่หลากหลาย
5. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาความสัมพันธ์ของข้อมูลกับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ
6. คำนวณและวิเคราะห์ความแม่นยำ เพื่อนำไปสู่การสรุปผลการพัฒนา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ และส่วนที่สองเป็นรายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ระบบข้อมูลการจราจร

ระบบข้อมูลการจราจร (Traffic Information System) คือระบบสำหรับจัดการกับข้อมูลการจราจร ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจรจากถนนเส้นต่างๆ ไปจนถึงการเผยแพร่ข้อมูลการจราจรที่ผ่านการวิเคราะห์เรียบร้อยแล้วออกสู่สาธารณะ ด้วยการแสดงผลที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งปัจจุบันระบบข้อมูลการจราจรสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่

2.1.1.1 ระบบข้อมูลการจราจรแบบพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน

โดยส่วนมากระบบข้อมูลการจราจรในปัจจุบันนั้นยังคงต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure-based Traffic Information System) ในการทำงาน ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลการจราจรต่างๆจะถูกเก็บรวบรวมจากอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งไว้อย่างถาวรตามเส้นทางนั้นๆ เช่นวงแหวนเหนี่ยวนำ หรือกล้องวงจรปิด เป็นต้น

2.1.1.2 ระบบข้อมูลการจราจรแบบไม่พึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน

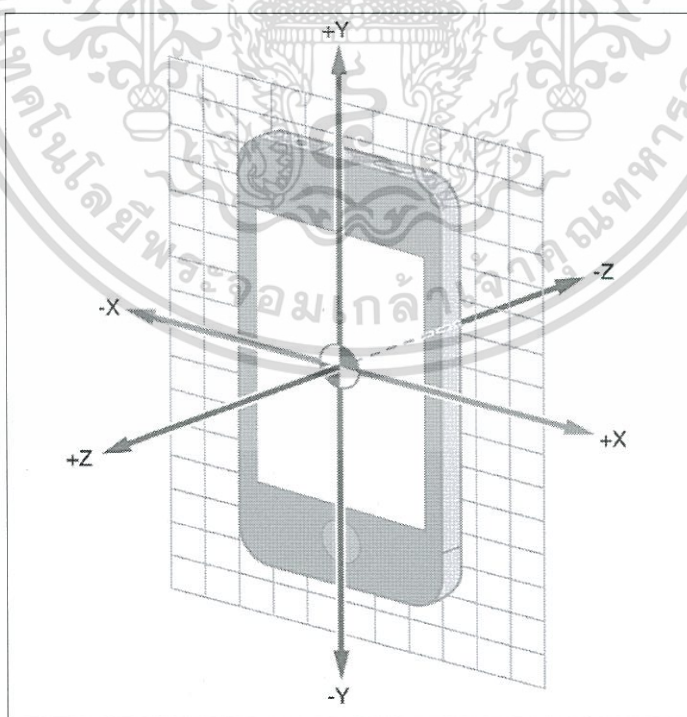
ระบบข้อมูลการจราจรแบบไม่พึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure-less Traffic Information System) เป็นระบบข้อมูลการจราจรที่จะไม่ใช้การเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งไว้ตามท้องถนน แต่จะใช้ยานพาหนะแต่ละคันเป็นตัวเก็บข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น การติดตั้งอุปกรณ์ชนิดใดชนิดหนึ่งลงไปบนยานพาหนะ และเก็บข้อมูลการจราจรในระหว่างเดินทาง

2.1.2 เซ็นเซอร์วัดความเร็ว

โทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันมาพร้อมกับเซ็นเซอร์ (Mobile Sensor) มากมาย ยกตัวอย่างเช่น เซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอส, เซ็นเซอร์วัดความเร็ว, เซ็นเซอร์วัดการหมุน, กล้อง และอื่นๆอีกมากมายในปัจจุบัน ทำให้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นเป็นตัวเลือกในลำดับต้นๆที่ถูกนำมาใช้

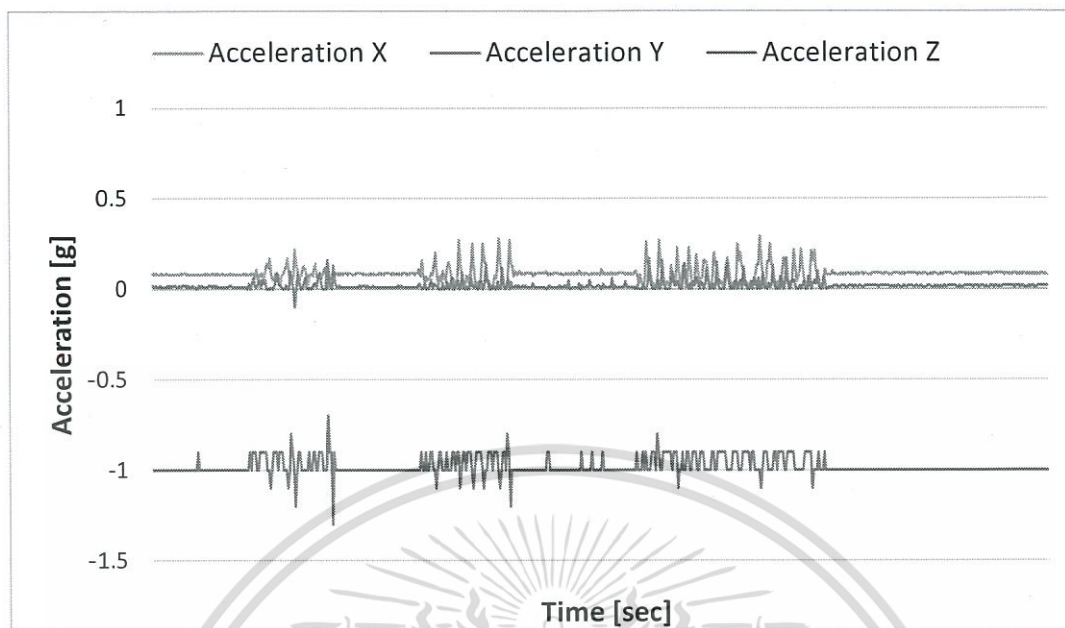
ในการเป็นเครื่องมือวัดการจราจร (Traffic Sensing) ในระบบข้อมูลการจราจรแบบไม่พึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน เนื่องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันนั้นสามารถหาซื้อได้ง่าย และเริ่มมีราคาที่ถูกลง อีกทั้งยังมีผู้ใช้เป็นจำนวนมาก จึงทำให้สามารถกระจายโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และเก็บรวบรวมข้อมูลจากยานพาหนะจำนวนมากได้อย่างง่ายดาย

เซ็นเซอร์วัดความเร่ง เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับแรงโน้มถ่วงของโลกที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสำหรับในโทรศัพท์มือถือ เช่น เซ็นเซอร์วัดความเร่งนั้นถูกนำมาใช้ในการตรวจจับลักษณะการเคลื่อนไหวเป็นหลัก โดยมีการตรวจจับแบบ 3 แกน แสดงดังรูปที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้งานของเซ็นเซอร์วัดความเร่งบนโทรศัพท์มือถือ เช่น การปรับทิศทางการแสดงผลของหน้าจอที่ไม่ว่าเราจะเอียงเครื่องไปทางไหน หน้าจอก็จะปรับทิศทางการแสดงผลไปทิศทางเดียวกันนั้นโดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามเซ็นเซอร์ดังกล่าวก็สามารถนำไปใช้ในการตรวจจับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับตัวเครื่องได้เช่นกัน โดยลักษณะข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่งในโทรศัพท์มือถือเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.2 จะสังเกตได้ว่า ค่าของแกน X และ Y จะมีจุดเริ่มต้นที่ 0 แต่ค่าของแกน Z จะมีจุดเริ่มต้นที่ -1 เนื่องจากในรูปดังกล่าวเป็นการแสดงข้อมูลของเซ็นเซอร์วัดความเร่งในกรณีที่วางโทรศัพท์ไว้ในแนวราบในลักษณะหงายเครื่องขึ้น ทำให้ค่าเริ่มต้นที่แกน Z นั้นจะเป็นค่าแรงดึงดูดของโลกที่มีขนาด $1g$ หรือ 9.8 m/s^2 นั่นเอง



รูปที่ 2.1 แสดงแกนการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความเร่งบนโทรศัพท์มือถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความเร่งบน โทรศัพท์
สมาร์ตโฟน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 โทรศัพท์สมาร์ตโฟน

ปัจจุบัน โทรศัพท์สมาร์ตโฟนถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัด (Sensing Device) ในงานหลากหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น นำมาใช้ในการตรวจจับการจราจร, การตรวจสอบสุขภาพ, ตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงทางด้านสังคม [6] โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจจับทางด้านจราจร ที่เริ่มได้รับความสนใจในการนำเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์สมาร์ตโฟนมาใช้งานด้านดังกล่าวมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในงานวิจัย [7] ซึ่งเป็นงานวิจัยที่นำกล้องบนโทรศัพท์สมาร์ตโฟนมาใช้ในการตรวจจับสัญญาณไฟจราจร และในงานวิจัย [8] เป็นการใช้ไมโครโฟนบนโทรศัพท์สมาร์ตโฟนเพื่อตรวจสอบความคับคั่งของการจราจรในประเทศอินเดีย เนื่องจากโดยทั่วไปผู้ขับขี่รถยนต์ในประเทศอินเดียนั้นจะนิยมที่จะบีบแตรเมื่อการจราจรคับคั่ง

2.2.2 การประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์สมาร์ตโฟน

โดยส่วนมากการใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์สมาร์ตโฟนในการระบุความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะนั้น จะมุ่งเน้นไปในการใช้เซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสเป็นหลัก ยกตัวอย่างเช่นระบบที่นำเสนอใน [1] ซึ่งยานพาหนะจะส่งพิกัดที่อยู่ปัจจุบันขึ้นไปยังเซิร์ฟเวอร์กลางเป็นช่วงๆ และเซิร์ฟเวอร์กลางจะทำหน้าที่คำนวณหาตำแหน่งพิกัดของยานพาหนะเพื่อคำนวณความเร็วเฉลี่ยของ

ยานพาหนะบนเส้นทางนั้นๆ เช่นเดียวกันกับการศึกษาอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกัน ในการใช้เซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอส เพื่อคำนวณความเร็วใน [2-4] และตัวอย่างของการใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์มือถือในการตรวจจับข้อมูลการจราจร ร่วมกับการแชร์ข้อมูลการจราจรด้วยมนุษย์ จะสามารถดูได้จากโปรแกรมประยุกต์ [9] ซึ่งเป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ทำการแสดงผลข้อมูลการจราจรจากผู้ใช้หลายคนที่รายงานเข้ามาผ่านทางโปรแกรมประยุกต์ ไม่ว่าจะเป็นรถติด, อุบัติเหตุ ไปจนถึงกระทั่งสภาพอากาศ เช่น ฝนตก เป็นต้น และยังมีในส่วนของกรบอกรายงานความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่วิ่งได้จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งได้มาจากการใช้การระบุความเร็วเฉลี่ยด้วยเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสร่วมด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การใช้เซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสบนโทรศัพท์มือถือในงานด้านการจราจรนั้นจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก เนื่องจากเซ็นเซอร์ดังกล่าวเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้พลังงานในการทำงานมากเป็นลำดับต้นๆ ในทุกเซ็นเซอร์ที่มีอยู่บนโทรศัพท์มือถือ [5] การใช้พลังงานของแต่ละเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์มือถือเป็นไปดังที่แสดงไว้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์แต่ละชนิดบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ข้อมูลจาก [5])

<i>Sensor</i>	<i>Approximate battery life (hrs)</i>	<i>Average power consumption (mW)</i>
Video camera	3.5	1258
IEEE 802.11	6.7	661
GPS (outdoors)	7.1	623
GPS (indoors)	11.6	383
Microphone	13.6	329
Bluetooth	21.0	211
Accelerometer	45.9	96
All sensors turned off	170.6	26

2.2.3 เซ็นเซอร์วัดความเร็วในงานด้านการจราจร

สำหรับการใช้งานเซ็นเซอร์วัดความเร็วในงานด้านการจราจรนั้น จะมีการใช้ในการตรวจสอบสภาพพื้นผิวถนน ยกตัวอย่างเช่น หลุม, ทางรถไฟ, หรือฝาท่อระบายน้ำ [10] หรือใช้ในการตรวจสอบการชน และการเบรก [11] และใน [12-14] เป็นการใช้งานเซ็นเซอร์วัดความเร็วบนโทรศัพท์มือถือในการระบุพฤติกรรมจราจรของผู้ขับขี่ เช่น ใช้เป็นการระบุว่าผู้ขับขี่มีพฤติกรรมการขับขี่แบบปลอดภัย หรืออันตราย เป็นต้น และในส่วนของโปรแกรมประยุกต์ [14] นั้นสามารถรายงานความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะได้ด้วย แต่อย่างไรก็ตามความเร็วเฉลี่ยที่รายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่าน โปรแกรมประยุกต์นี้นั้น ยังคงใช้การหาความเร็วเฉลี่ยจากเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสอยู่ และใน [15] มีการใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งในการตรวจสอบจำนวนครั้งในการหยุดของยานพาหนะ ซึ่งถ้าหากมีจำนวนครั้งในการหยุดที่มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ก็จะมีแนวโน้มว่าการจราจรแออัด แต่อย่างไรก็ตามในงานดังกล่าวไม่สามารถที่จะประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะหรือชี้วัดปริมาณการจราจรได้ นอกเหนือจากนี้ยังมีโปรแกรมประยุกต์บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่ใช้งานเซ็นเซอร์วัดความเร่งในการประเมินหาความเร็ว [16] แต่อย่างไรก็ตามงานดังกล่าวไม่ได้มีการระบุวิธีการทำงาน รวมไปถึงความแม่นยำก็ยังไม่ได้รับการประเมินหรือตรวจสอบแต่อย่างใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แนวทางการวิจัย

ในส่วนของขั้นตอนการวิจัยจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนหลักๆ โดยส่วนแรกจะอธิบายเกี่ยวกับสมมติฐานเบื้องต้นที่นำไปสู่การทดลอง ส่วนที่สองจะอธิบายเกี่ยวกับวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจรด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร็วบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ส่วนที่สามจะอธิบายเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น และส่วนสุดท้ายจะอธิบายวิธีการในการนำข้อมูลที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์เบื้องต้นมาแปลงให้เป็นข้อมูลการจราจรที่สะท้อนสภาพการจราจรจริงและเผยแพร่สู่ผู้ขับขี่ยานพาหนะได้ โดยงานวิจัยนี้มีการทดลองทั้งสิ้นสองระยะ และสองวิธีการในการประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ ซึ่งจะอธิบายให้เห็นในบทนี้

3.1 สมมติฐานเกี่ยวกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและการประเมินหาความเร็ว

หนึ่งในตัวชี้วัดสภาพการจราจร คือความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่กำลังเดินทางบนท้องถนน ซึ่งแน่นอนว่าในสภาพการจราจรที่แออัดนั้น ยานพาหนะจะมีความเร็วเฉลี่ยที่น้อยกว่าในสภาพการจราจรที่คล่องตัว ซึ่งทางผู้วิจัยตั้งสมมติฐานว่า ความเร็วของยานพาหนะนั้นมีความสัมพันธ์กับความถี่ในการหยุดและระยะเวลาที่ใช้ในการหยุดแต่ละครั้ง เช่นสภาพการจราจรที่แออัด ยานพาหนะก็จะมีการหยุดบ่อยครั้ง หรือในการหยุดแต่ละครั้งจะใช้เวลาาน ซึ่งในกรณีนี้ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจะต่ำ และในทางกลับกัน ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจะสูงขึ้นในสภาพการจราจรที่คล่องตัว เนื่องจากยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการหยุดใดๆ ซึ่งจากสมมติฐานดังกล่าว เราสามารถใช้การรวมกันของความถี่ในการหยุด และระยะเวลาในการหยุดแต่ละครั้งในการประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะได้

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อย คือส่วนของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และสถานที่ในการเก็บข้อมูลการจราจร

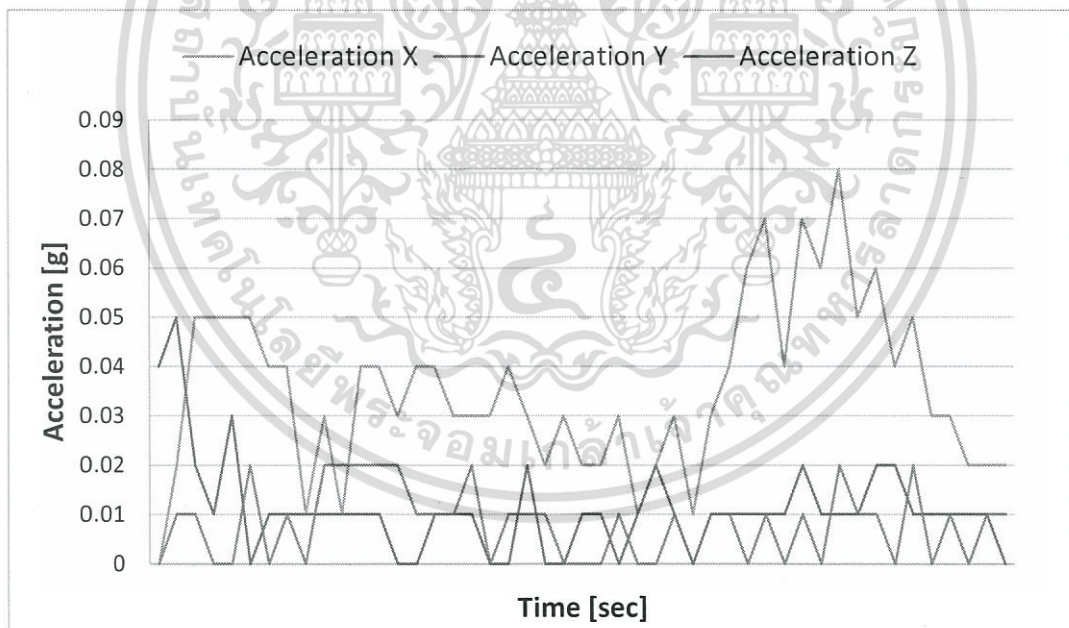
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ในการศึกษานี้จะใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน ไอโฟนห้า (iPhone 5) เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล และผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาสำหรับเก็บข้อมูลโดยเฉพาะ ซึ่งในขั้นตอนการเก็บนั้นจะนำโทรศัพท์สมาร์ทโฟนวางไว้ด้านบนของแผงหน้าปัดรถยนต์ โดยสามารถวางในทิศทางใดหรือลักษณะใดก็ได้ เนื่องจากตัวโปรแกรมประยุกต์จะทำการประมวลผลเพื่อปรับปรุงค่าเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซ็นเซอร์วัดความเร่งทั้ง 3 แกนด้วยการกรองสัญญาณความถี่สูง (High Pass Filter) ให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งเมื่อทำการปรับปรุ่ค่าดังกล่าวเรียบร้อยแล้ว ลักษณะของข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.1 เมื่อวางโทรศัพท์ไว้ที่แผงหน้าปัดเรียบร้อย และเปิดการใช้งานโปรแกรมประยุกต์แล้ว ผู้ขับขี่สามารถขยับยานพาหนะไปได้ตามปกติ

ในส่วนของข้อมูลที่มีการเก็บนั้นจะทำการเก็บค่าที่สำคัญต่างๆ ดังนี้ ค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่งของทั้ง 3 แกน, ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของยานพาหนะ (พิกัดเส้นรุ้ง และ พิกัดเส้นแวง) และความเร็วที่ได้มาจากการใช้เซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งความเร็วที่ได้จากเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสดังกล่าวจะใช้เพื่ออ้างอิงในการทดลองเท่านั้น เนื่องจากในการทดลองนี้จำเป็นต้องเก็บความเร็วจริงของยานพาหนะไว้ด้วย และเป็นเรื่องยากที่จะทำการเก็บความเร็วจริงจากมิเตอร์วัดความเร็วที่แสดงอยู่บนรถด้วยตาเปล่าให้ได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นการใช้ความเร็วที่วัดด้วยเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสนับว่าเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในขณะนี้ ซึ่งค่าทั้งหมดนี้จะถูกบันทึกไว้ทุกๆ 1 วินาที แต่สำหรับค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่งของทั้ง 3 แกนนั้น จะถูกบันทึกไว้ทุกๆ 0.1 วินาที



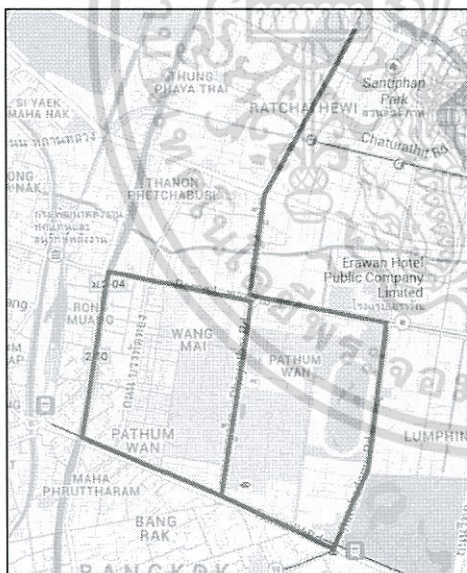
รูปที่ 3.1 ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่งหลังจากกรองสัญญาณความถี่สูง

3.2.2 เส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ในงานวิจัยนี้จะมีการเก็บข้อมูลและทดลองทั้งสิ้นสองระยะ ซึ่งมีเส้นทางในการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน

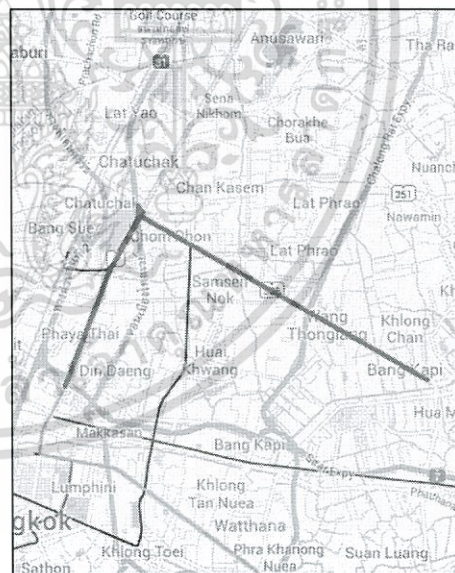
3.2.2.1 เส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลระยะแรก

ในระยะแรกของการทดลองจะเน้นไปที่สภาพการจราจรในถนนย่านใจกลางเมืองกรุงเทพมหานครเป็นหลัก โดยสองเส้นทางหลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูลได้แก่ เส้นทางบริเวณเขตปทุมวัน ประกอบด้วยเส้นทาง ถนนพระราม 1, ถนนพระราม 4, ถนนพญาไท และถนนราชดำริ ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.2 และอีกเส้นทางหนึ่งบริเวณลาดพร้าว ประกอบด้วย ถนนพหลโยธิน และ ถนนลาดพร้าว ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.3 ซึ่งเส้นทางเหล่านี้นับเป็นเส้นทางที่มีการจราจรพลุกพล่านที่สุดในกรุงเทพ ซึ่งมีลักษณะเป็นถนนในเมืองทั่วไปที่มีองค์ประกอบทั้งสัญญาณไฟจราจร และทางแยกต่างๆ โดยข้อมูลส่วนมากถูกเก็บในช่วงกลางวันของวันธรรมดา ซึ่งข้อมูลสำหรับการทดลองในระยะแรกนี้ ถูกเก็บรวบรวมตั้งแต่เดือนตุลาคม 2556 ถึงเดือน พฤศจิกายน 2556 โดยสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งหมดประมาณ 36,000 วินาที



รูปที่ 3.2 เส้นทางหลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ระยะแรก บริเวณเขตปทุมวัน



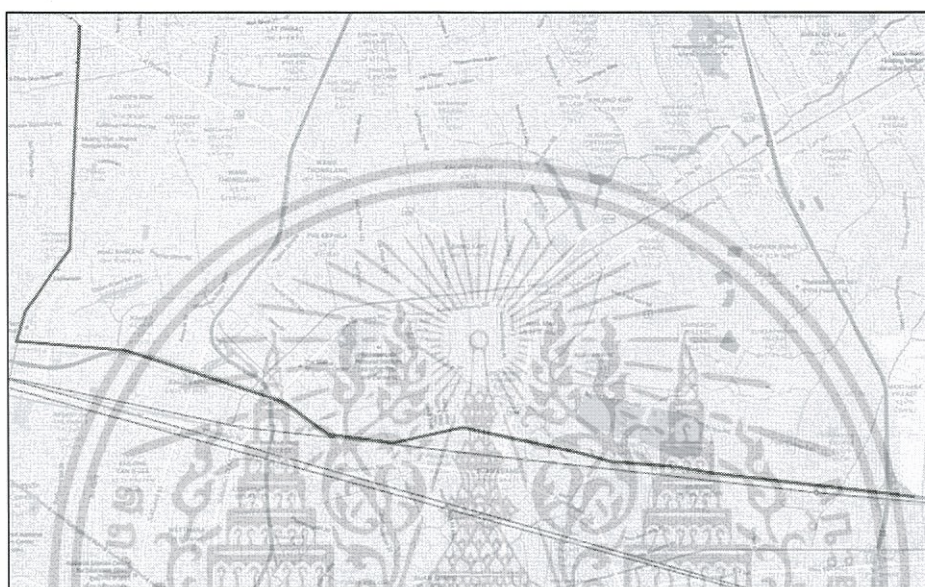
รูปที่ 3.3 เส้นทางหลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ระยะแรก บริเวณเขตลาดพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 เส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลระยะที่สอง

ในการเก็บข้อมูลระยะที่สองนั้นจะเป็นการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากข้อมูลระยะแรก โดยเพิ่มเส้นทางในการเก็บข้อมูล ซึ่งจะมีเส้นทางที่ไม่ได้อยู่ภายในใจกลางเมืองรวมอยู่ด้วย เช่น ทางพิเศษศรีรัช ไปจนถึง ทางหลวงพิเศษหมายเลข 7 ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เส้นทางเพิ่มเติมในการเก็บข้อมูลระยะที่สองบริเวณทางหลวงพิเศษหมายเลข 7

ซึ่งหลังจากการเก็บข้อมูลระยะที่สอง จะมีจำนวนข้อมูลเพิ่มขึ้นจากระยะแรกอีก 36,000 วินาที รวมทั้งสิ้น 72,000 วินาทีสำหรับการวิเคราะห์ในการทดลองระยะที่สอง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลได้เพียงพอแล้ว จะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นชุด โดยจะใช้ข้อมูลชุดละ 360 วินาที กล่าวคือเราจะวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในช่วงระยะเวลา 360 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากสภาพจราจรจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในช่วงเวลาดังกล่าว จากนั้นเราจะนำชุดข้อมูลแต่ละชุดมาแยกสถานะของยานพาหนะ โดยจะแยกเป็นสองสถานะคือสถานะหยุดนิ่ง (Stationary State) และสถานะที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ (Mobile State) โดยจะทำการแยกสถานะดังกล่าวด้วยข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วของแต่ละชุดข้อมูล โดยมีวิธีการในการแยกสถานะดังกล่าวด้วยข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วดังนี้

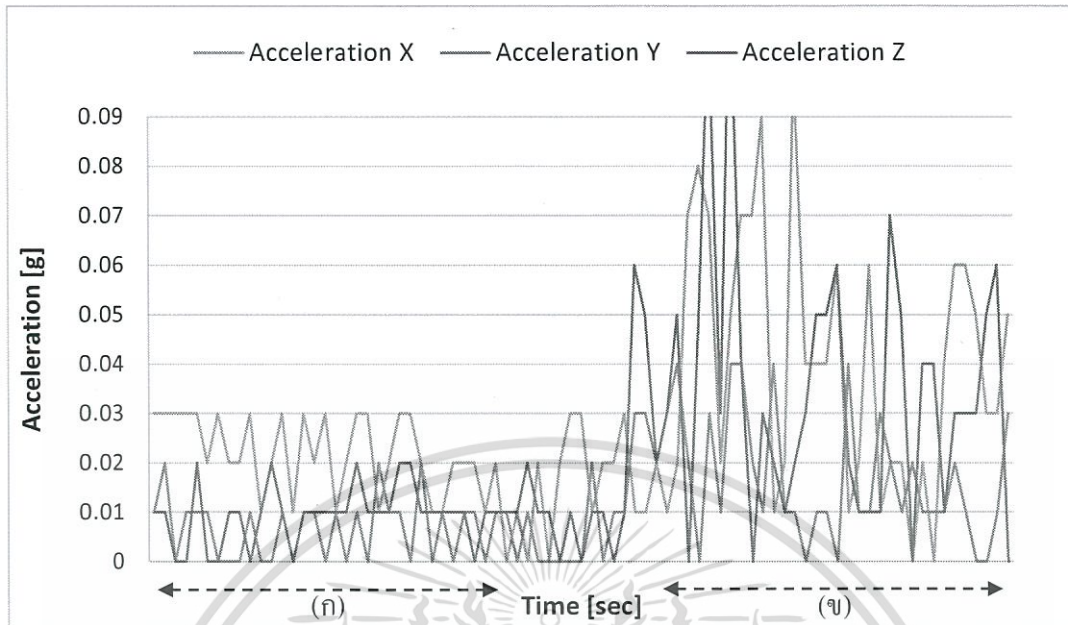
3.3.1 สถานะหยุดนิ่ง

ยานพาหนะจะถูกระบุว่าเป็นสถานะหยุดนิ่ง เมื่อความเบี่ยงเบนจากค่าเริ่มต้นของค่าบนแกน
ทุกๆแกนของเซ็นเซอร์วัดความเร่ง น้อยกว่า $\gamma \text{ m/s}^2$ ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลาอย่างน้อย ω วินาที

3.3.2 สถานะเคลื่อนที่

ยานพาหนะจะเปลี่ยนจากสถานะหยุดนิ่งเป็นเคลื่อนที่ เมื่อความเบี่ยงเบนจากค่าเริ่มต้นของค่า
บนแกนใดแกนหนึ่งของเซ็นเซอร์วัดความเร่งสูงกว่าหรือเท่ากับ $\gamma \text{ m/s}^2$ ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา
อย่างน้อย ψ วินาที

ซึ่งค่าของ γ ที่ใช้ในการศึกษานี้คือ 0.04g โดยที่ $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ คือความเร่งจากแรงดึงดูดของโลก ค่า ω และ ψ ที่ใช้ในการศึกษานี้คือ 1.5 และ 0.3 วินาทีตามลำดับ ผู้วิจัยได้ทดลองใช้ค่า
อื่นๆสำหรับ γ , ω และ ψ ด้วยเช่นกัน แต่ค่าตามที่ระบุให้ผลดีที่สุด รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่าง
สถานะหยุดนิ่งและสถานะเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ตรวจได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่ง จะเห็นได้
ว่าในช่วงแรก (ก) ค่าในทุกๆแกนของเซ็นเซอร์วัดความเร่งมีค่าน้อยกว่าค่า γ (0.04g) ทั้งหมด
ดังนั้นสถานะในช่วงเวลานี้จึงเป็นสถานะหยุดนิ่ง และในช่วงถัดมา (ข) จะเห็นได้ว่าค่าของแกน X
และ Z ของเซ็นเซอร์วัดความเร่งมีค่ามากกว่า γ ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลามากกว่า ψ (0.03) วินาที
จึงทำให้สรุปได้ว่าในช่วงเวลานี้นยานพาหนะอยู่ในสถานะเคลื่อนที่ ซึ่งความแม่นยำของการระบุ
สถานะหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ดังกล่าวจะแสดงให้เห็นในภายหลัง



รูปที่ 3.5 ลักษณะของข้อมูลของเซ็นเซอร์วัดความเร่งทั้งสามแกน โดยที่ยานพาหนะจะถูกระบุว่าอยู่ในสถานะหยุดนิ่งในช่วง (ก) และจะถูกระบุว่าอยู่ในสถานะเคลื่อนที่ในช่วง (ข)

3.4 การประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ

สำหรับการประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจะแบ่งออกเป็นสองวิธีการหลัก คือ วิธีวิเคราะห์การถดถอย และวิธีการวิเคราะห์ห้วงค้ำประกอบของช่วงเวลา ซึ่งจะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 การประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอย

หลังจากสามารถแยกสถานะของยานพาหนะได้แล้ว จากนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ใน 360 วินาที กับความเร็วเฉลี่ยที่ทำได้ ซึ่งแน่นอนว่าถ้าหากยานพาหนะมีระยะเวลาในการเคลื่อนที่ที่ยาวนาน ย่อมมีโอกาสที่จะใช้ความเร็วได้สูงขึ้น โดยจะแทนระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ใน 360 วินาทีด้วยตัวแปร τ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ (3.1)

$$\tau = 360 - \sum_{k=1}^N s_k \quad (3.1)$$

โดยที่ s_k คือระยะเวลาที่ยานพาหนะใช้ในการหยุดในครั้งที่ k และ N คือจำนวนครั้งที่ยานพาหนะหยุดในช่วงเวลา 360 วินาที

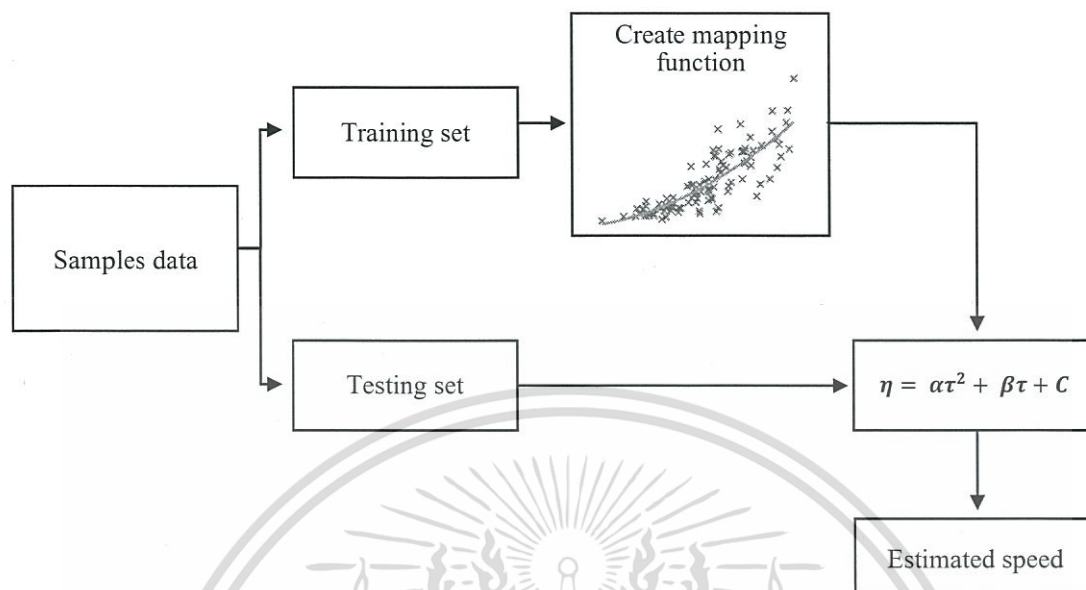
ถัดมา จะนำระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ใน 360 วินาที (τ) ที่ได้จากสมการข้างต้น มาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับความเร็วจริงเฉลี่ยของยานพาหนะ โดยในการทดลองนี้จะใช้ความเร็วที่ได้จากเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอสเป็นความเร็วอ้างอิง ซึ่งนำมาใช้เพียงเพื่อวัตถุประสงค์ในการทดลองเท่านั้น เมื่อได้ฟังก์ชันสำหรับแสดงความสัมพันธ์เรียบร้อยแล้ว ก็จะสามารถใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วเพียงอย่างเดียวในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะได้ โดยค่าความเร็วจริงเฉลี่ยของยานพาหนะในช่วงเวลา 360 วินาที สามารถหาได้ดังนี้

$$\bar{v} = \frac{1}{360} \sum_{k=1}^{360} v_k \quad (3.2)$$

โดยที่ \bar{v} คือค่าความเร็วจริงเฉลี่ยของยานพาหนะในช่วงระยะเวลา 360 วินาที v_k คือความเร็ว ณ วินาทีที่ k ซึ่งหลังจากได้ระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ใน 360 วินาที และค่าความเร็วจริงเฉลี่ยของยานพาหนะ (\bar{v}) เรียบร้อยแล้ว จะนำสองค่าดังกล่าวมาใช้ในการสร้างฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Mapping Function) โดยจะแบ่งชุดข้อมูลที่มีทั้งหมดออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกจะเป็นกลุ่มข้อมูลสำหรับการสร้างสมการความสัมพันธ์ หรือเรียกว่ากลุ่มการสอน (Training Set) ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุนาม (Polynomial Regression Analysis) ในการสร้างฟังก์ชันความสัมพันธ์ และกลุ่มที่สองจะเป็นกลุ่มข้อมูลสำหรับทดสอบความแม่นยำของฟังก์ชันความสัมพันธ์ หรือเรียกว่า กลุ่มทดสอบ (Testing Set) ซึ่งเมื่อทำการสอนข้อมูลในกลุ่มการสอนเรียบร้อยแล้ว จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นฟังก์ชันถดถอย (Regression Function) ที่จะใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ใน 360 วินาที กับความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ โดยฟังก์ชันถดถอยที่ได้จะมีรูปแบบดังนี้

$$\eta = \alpha\tau^2 + \beta\tau + C \quad (3.3)$$

โดยที่ η คือค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากฟังก์ชันถดถอย (Regressed Average Speed) α และ β คือค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันถดถอย และ C คือค่าคงที่ ซึ่งสามารถแสดงภาพรวมของวิธีการประเมินความเร็วเฉลี่ยนี้ได้ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลำดับวิธีการในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย

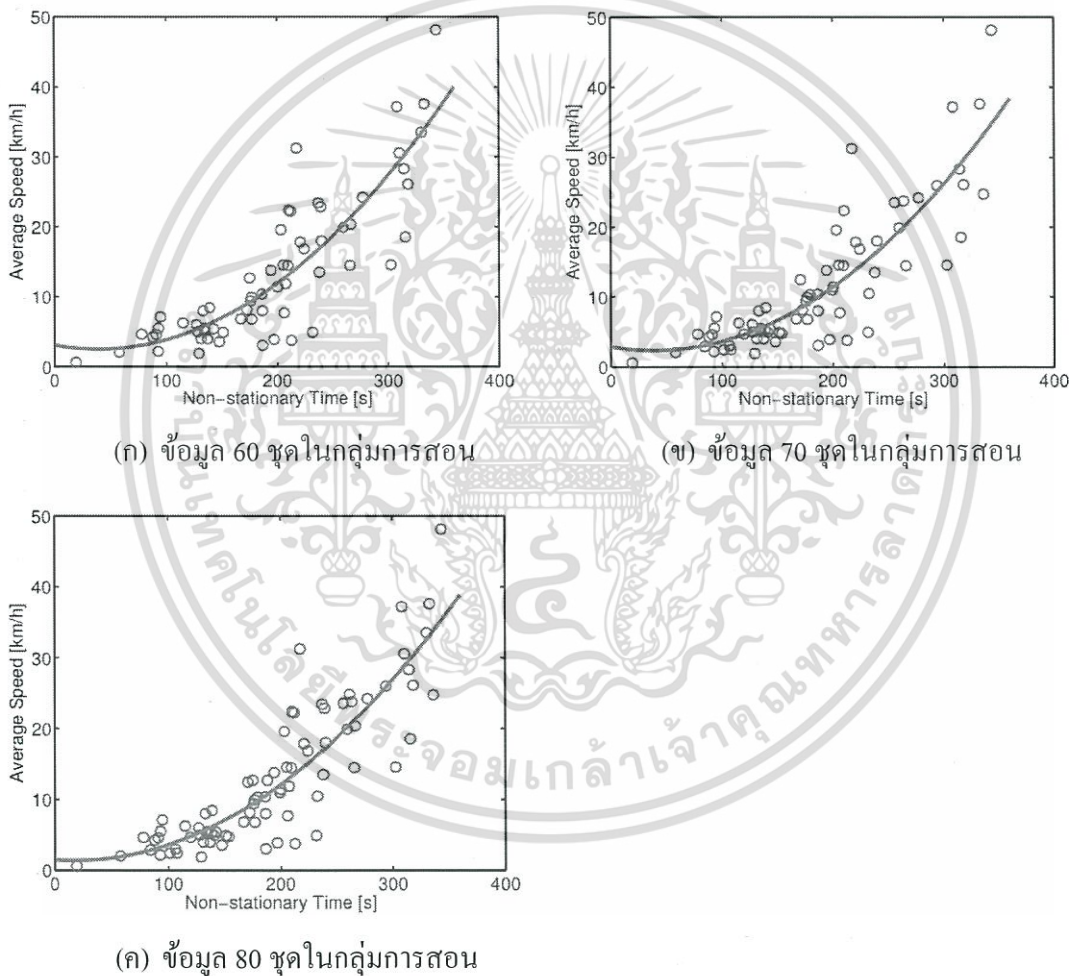
ซึ่งจากวิธีการดังกล่าวได้นำมาทำการทดลองเบื้องต้นกับข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ในระยะแรกทั้งหมด 36,000 วินาที เมื่อแบ่งเป็นชุดละ 360 วินาทีจะมีข้อมูลสำหรับการทดลองทั้งสิ้น 100 ชุด โดยจะทดลองทั้งหมดสามครั้ง ในแต่ละครั้งให้มีจำนวนข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มการสอนแตกต่างกัน ประกอบด้วย 60, 70 และ 80 ชุดข้อมูลตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันถดถอยในแต่ละขนาดของกลุ่มการสอน แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 จะสามารถเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันถดถอยในแต่ละขนาดของกลุ่มการสอนนั้นมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งหมายความว่า ถ้าหากมีจำนวนข้อมูลในกลุ่มการสอนมากกว่านี้ก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆมากนัก

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันถดถอยในแต่ละขนาดของกลุ่มการสอน

จำนวนชุดข้อมูลในกลุ่มการสอน	ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันพหุนาม (Coefficients of polynomials)		
	α	β	C
60	3.653×10^{-4}	-0.0287	3.0887
70	3.653×10^{-4}	-0.0273	2.8572
80	3.653×10^{-4}	-0.0102	1.4876

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจริงเฉลี่ยของยานพาหนะ กับระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ใน 360 วินาที โดยจุดที่ค่าทั้งสองอ้างอิงสอดคล้องกันจะแสดงด้วยสัญลักษณ์ “o” และเส้นโค้งสีแดงคือเส้นการถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression Line) เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเป็นเส้นที่ใช้ในการสร้างสมการในการเปรียบเทียบ จะเห็นได้ว่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่เก็บได้ในการทดลองนี้นั้นจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 48 กิโลเมตร/ชั่วโมง และโดยปกติแล้วถ้าหากมีจำนวนชุดข้อมูลในกลุ่มการสอนมากขึ้น เส้นการถดถอย (Regression Line) ก็จะมีคุณภาพที่ดีกับข้อมูลมากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเร็วของยานพาหนะกับระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ได้ ในแต่ละขนาดของกลุ่มการสอน

3.4.2 การประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา

ถึงแม้ว่าวิธีในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยที่ผู้วิจัยได้เสนอไปข้างต้นจะเป็นวิธีการที่ดี และได้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากวิธีที่ได้เสนอไปข้างต้นนั้นใช้เพียงระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่เพียงค่าเดียว ซึ่งอาจจะทำให้ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างสองสภาพการจราจรที่ยานพาหนะมีระยะเวลาในการเคลื่อนที่เท่ากันได้ ยกตัวอย่างเช่น ในช่วงเวลา 360 วินาที ยานพาหนะ ก มีการเคลื่อนที่ 5 วินาที และหยุด 5 วินาทีสลับกันไป จะได้ระยะเวลาทั้งหมดที่ยานพาหนะเคลื่อนที่เท่ากับ 180 วินาที ในขณะที่ยานพาหนะ ข หยุดเพียงครั้งเดียวนาน 180 วินาที จากนั้นได้เคลื่อนที่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 180 วินาที ก็จะมีระยะเวลาเคลื่อนที่รวม 180 วินาทีเช่นกัน ซึ่งแน่นอนว่าทั้งสองสถานการณ์นั้นควรจะได้ความเร็วเฉลี่ยที่แตกต่างกัน เนื่องจากยานพาหนะ ข มีช่วงเวลาการเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ทำให้สามารถเร่งความเร็วให้สูงขึ้นได้เรื่อยๆ ในขณะที่ยานพาหนะ ก มีโอกาสเคลื่อนที่เพียงระยะเวลาสั้นๆเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถเร่งความเร็วให้สูงขึ้นได้

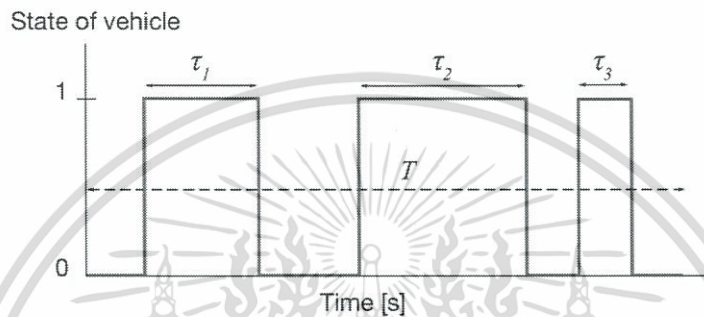
อีกทั้งวิธีการในการได้มาซึ่งฟังก์ชันถดถอยนั้น จะต้องมีการนำข้อมูลมาทำการสอน (Train) ก่อนทุกครั้ง กล่าวคือถ้าหากต้องการจะปรับปรุงประสิทธิภาพความแม่นยำของวิธีการดังกล่าว จะต้องนำข้อมูลที่เก็บได้ใหม่มารวมกับข้อมูลเดิมที่มีอยู่ และทำการสอนอีกครั้ง เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันถดถอยใหม่ออกมา ซึ่งนับว่ายุ่งยากอย่างมากในการที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพความแม่นยำแต่ละครั้ง โดยจากข้อจำกัดต่างๆที่ได้กล่าวมานั้น ผู้วิจัยจึงต้องการหาวิธีที่ดีกว่าในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร็ว ซึ่งเราจะแนะนำวิธีการใหม่ที่เรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา (Interval Component Analysis) หรือ ICA ซึ่งจะใช้ประโยชน์จากข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรมของยานพาหนะในการประเมิน

3.4.2.1 ทฤษฎีการหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจากองค์ประกอบของช่วงเวลา

ในวิธีการนี้จะดูลำดับการสลับของช่วงที่ยานพาหนะเคลื่อนที่และหยุดหนึ่งในระยะเวลาที่สังเกตทั้งหมด (T) โดยจะเรียกแทนว่าลำดับสถานะ (State Sequence) โดยตัวอย่างของลำดับสถานะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.8 ในตัวอย่างนี้จะมีช่วงที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ 3 ช่วง และช่วงที่ยานพาหนะหยุดนิ่ง 4 ช่วง ภายในระยะเวลาทั้งหมด โดยช่วงที่เคลื่อนที่ สถานะของยานพาหนะจะเป็น '1' และในช่วงที่หยุดนิ่ง สถานะของยานพาหนะจะเป็น '0' ซึ่งช่วงเวลาเหล่านี้จะสามารถใช้ระบุความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในระยะเวลา T ได้ โดยให้ τ_j เป็นช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ที่ j และ ν_{τ_j} เป็นความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในช่วงเวลาการเคลื่อนที่ที่ j ซึ่งมีระยะเวลา τ_j โดยทฤษฎีแล้วความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในระยะเวลา T จะแสดงได้เป็น

$$\bar{v}_T = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^J \tau_j v_{\tau_j} \quad (3.4)$$

โดยที่ J คือจำนวนของช่วงเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ภายในระยะเวลา T และเนื่องจากความเร็วของยานพาหนะในช่วงที่หยุดนิ่งจะเป็นศูนย์ จึงไม่ได้เป็นตัวแปรในสมการที่ (3.4)



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างของลำดับสถานะ

3.4.2.2 วิธีการวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะจากองค์ประกอบของช่วงเวลา

จากทฤษฎีการคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลาดังกล่าวนั้น ในส่วนของลำดับสถานะจะได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อที่ 3.3 และระยะเวลาของแต่ละช่วงการเคลื่อนที่ τ_j ก็สามารถหาได้จากลำดับสถานะนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลที่ขาดไปในการคำนวณนี้ คือ v_{τ_j} ของแต่ละช่วงการเคลื่อนที่ ซึ่งไม่สามารถหาได้โดยตรงจากข้อมูลของเซ็นเซอร์วัดความเร็ว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้ความเร็วที่เก็บจากจีพีเอสดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.2.1 ในการคำนวณความเร็วเฉลี่ย v_{τ_j} ของแต่ละช่วงการเคลื่อนที่ จากนั้นจะนำลำดับสถานะที่เราได้มาใช้ในการสร้างฐานข้อมูลสำหรับเก็บช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ τ_j และความเร็วเฉลี่ย v_{τ_j} ที่สัมพันธ์กัน โดยที่ฐานข้อมูลนี้จะใช้เป็นตารางการค้นหาค่าสำหรับขั้นตอนวิธีการประมาณค่า กล่าวคือเราจะสามารถหาความเร็วเฉลี่ย v_{τ_j} ที่ช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ τ_j ได้จากฐานข้อมูลนั่นเอง ซึ่งฐานข้อมูลนี้สามารถสร้างได้แบบออฟไลน์ และเมื่อฐานข้อมูลถูกสร้างขึ้นแล้ว ก็จะสามารถประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในระยะเวลา T ได้ โดยที่ใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วเพียงอย่างเดียว ไม่ต้องพึ่งพาข้อมูลจากจีพีเอส ซึ่งจากฐานข้อมูล ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในระยะเวลา T จะสามารถหาได้ดังนี้

$$\hat{v}_I = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^J \tau_j \hat{v}_{\tau_j} \quad (3.5)$$

โดย \hat{v}_{τ_j} คือความเร็วเฉลี่ยที่ประเมินได้ภายในช่วงความยาวของเวลา τ_j ซึ่งได้มาจากฐานข้อมูล และ J คือจำนวนของช่วงเวลากการเคลื่อนที่ในระยะเวลา T

ตัวอย่างของช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเร็วเฉลี่ยแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ในแต่ละตัวอย่างข้อมูลจะแทนด้วย “*” สามารถสังเกตได้ว่า ในแต่ละช่วงระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง จะมีความเร็วเฉลี่ยที่เป็นไปได้หลายค่า เช่น ช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ $\tau_j = 10$ วินาที ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ดังกล่าว มีค่าตั้งแต่ 0.5 กิโลเมตร/ชั่วโมง ไปจนถึง 19 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งไม่ใช่เรื่องที่น่าแปลกใจแต่อย่างใด เนื่องจากความเร็วเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่นั้นมาจากหลากหลายสภาพการจราจร และพฤติกรรมการขับของผู้ขับขี่ ดังนั้นการเคลื่อนที่ในช่วงระยะเวลาเท่ากันจึงไม่จำเป็นว่าจะต้องได้ค่าความเร็วเฉลี่ยเท่ากัน อย่างไรก็ตามเราต้องการค่าความเร็วเฉลี่ย \hat{v}_{τ_j} เพียงค่าเดียวในแต่ละช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ τ_j เราจึงใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วเฉลี่ยในการประมาณการ โดยให้ $v_{\tau_j,i}$ เป็นลำดับที่ i^{th} ของความเร็วเฉลี่ยที่สอดคล้องกับช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ τ_j โดยที่ความเร็วเฉลี่ย $\hat{v}_{\tau_j,i}$ สำหรับช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ τ_j หาได้จาก

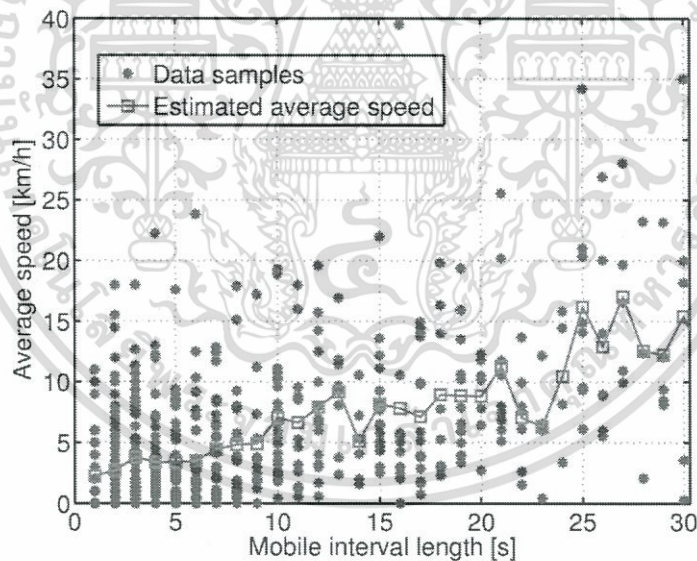
$$\hat{v}_{\tau_j} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_{\tau_j,i} \quad (3.6)$$

โดยที่ N คือจำนวนของชุดข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในฐานข้อมูลที่สัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ τ_j จากรูปที่ 3.9 ค่าความเร็วเฉลี่ย \hat{v}_{τ_j} ในแต่ละช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ τ_j แสดงให้เห็นด้วยสัญลักษณ์ ‘□’ ยกตัวอย่างเช่น ที่ช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ $\tau_j = 10$ วินาที ประเมินหาความเร็วเฉลี่ยที่สอดคล้องกันออกมาจะได้ค่า \hat{v}_{τ_j} ประมาณ 7 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ซึ่งจากวิธีการทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.10 ในส่วน (ก) เป็นวิธีการในการเก็บรวบรวมความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากจีพีเอสของแต่ละช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ลงในฐานข้อมูล ซึ่งจากตัวอย่าง ยานพาหนะมีช่วงที่สามารถเคลื่อนที่ได้ 4 ช่วง โดยช่วงแรกมีระยะเวลาเคลื่อนที่ 183 วินาที ความเร็วที่ได้จากจีพีเอสเฉลี่ยตลอด 183 วินาทีเท่ากับ 39 กิโลเมตร/ชั่วโมง ช่วงที่สองยานพาหนะมีระยะเวลาเคลื่อนที่ 32 วินาที มีความเร็วเฉลี่ยที่วัดได้เท่ากับ 9.7 กิโลเมตร/ชั่วโมง ช่วงที่สามยานพาหนะมีระยะเวลาเคลื่อนที่ 22 วินาที ความเร็วเฉลี่ยที่วัดได้เท่ากับ 5.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง และช่วงสุดท้ายยานพาหนะมีระยะเวลาเคลื่อนที่ 6 วินาที ความเร็วเฉลี่ยที่วัดได้

เท่ากับ 1.4 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งข้อมูลที่ได้มาทั้งหมดนี้จะถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูล โดยฐานข้อมูลจะบันทึกระยะเวลาเคลื่อนที่ (τ) กับความเร็วเฉลี่ยที่เป็นไปได้ของระยะเวลาเคลื่อนที่นั้นๆ ($v_{\tau_j} - v_{\tau_j}$) และค่าเฉลี่ยของความเร็วเฉลี่ยที่เป็นไปได้ในแต่ละระยะเวลาเคลื่อนที่ (\hat{v}_{τ}) ที่จะนำไปใช้ในการประเมิน ยกตัวอย่างเช่นที่ระยะเวลาเคลื่อนที่ 32 วินาทีมีความเร็วเฉลี่ยที่เป็นไปได้ 8.5, 7, 10 และ 9.7 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยค่าที่จะนำไปใช้ในการประเมินหรือ \hat{v}_{τ} ของระยะเวลาเคลื่อนที่ 32 วินาทีจะเท่ากับ 8.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง จากการคำนวณด้วยสมการ (3.6)

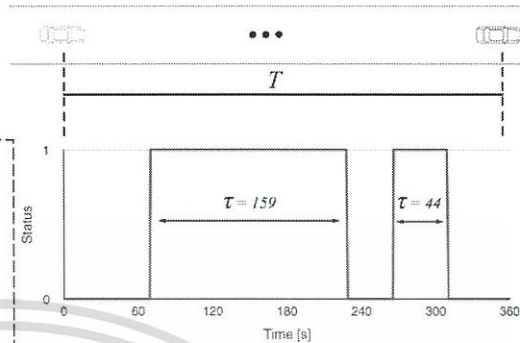
และในส่วน (ข) เป็นการประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะโดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วเพียงอย่างเดียวด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา ซึ่งจากตัวอย่างจะเห็นลำดับสถานะที่ได้มาจากข้อมูลของเซ็นเซอร์วัดความเร็วในระยะเวลา 360 วินาที โดยยานพาหนะมีช่วงที่มีสถานะเคลื่อนที่อยู่ 2 ช่วง มีระยะเวลาเคลื่อนที่ในแต่ละช่วงเท่ากับ 159 และ 44 วินาทีตามลำดับ จากนั้นจึงค่าเฉลี่ยของความเร็วเฉลี่ยที่เป็นไปได้ในระยะเวลาเคลื่อนที่ที่ 159 และ 44 วินาทีที่ลงมาจากฐานข้อมูล (\hat{v}_{159} , \hat{v}_{44}) และนำมาคำนวณตามสมการที่ (3.4) ตามรูป จะได้ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะภายในระยะเวลา 360 วินาที โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาข้อมูลจากจีพีเอส



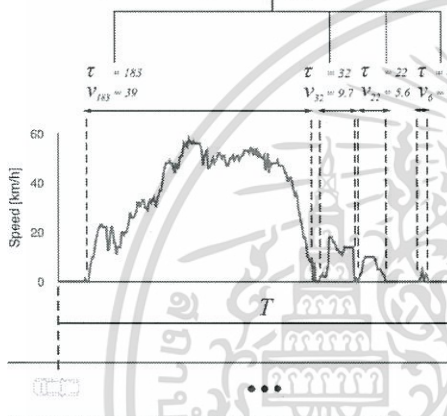
รูปที่ 3.9 ความเร็วเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาของการเคลื่อนที่

ฐานข้อมูล

วินาที (τ)	ความเร็วที่เป็นไปได้ ($v_{\tau_j} - v_{\tau_j}$)	ค่าความเร็ว เฉลี่ยที่ ประเมิน (\hat{v}_{τ})
1	$v_{1_1}, v_{1_2}, v_{1_3}, \dots, v_{1_j}$	\hat{v}_1
:	:	:
360	$v_{360_1}, v_{360_2}, v_{360_3}, \dots, v_{360_j}$	\hat{v}_{360}



อัตราความเร็วเฉลี่ย (v) ของแต่ละ
ช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ (τ) ลงในฐานข้อมูล



$$\bar{v}_{360} = \frac{1}{360} \sum_{j=1}^2 \tau_j \hat{v}_{\tau_j}$$

ดึงค่า \hat{v}_{τ_j} ในกรณีที่ $\tau = 159$ และ 44 จากฐานข้อมูล

$$\text{ความเร็วเฉลี่ย } \hat{v}_{360} = \frac{(159 \times \hat{v}_{159}) + (44 \times \hat{v}_{44})}{360}$$

(ก) เก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล

(ข) ประเมินความเร็วเฉลี่ย

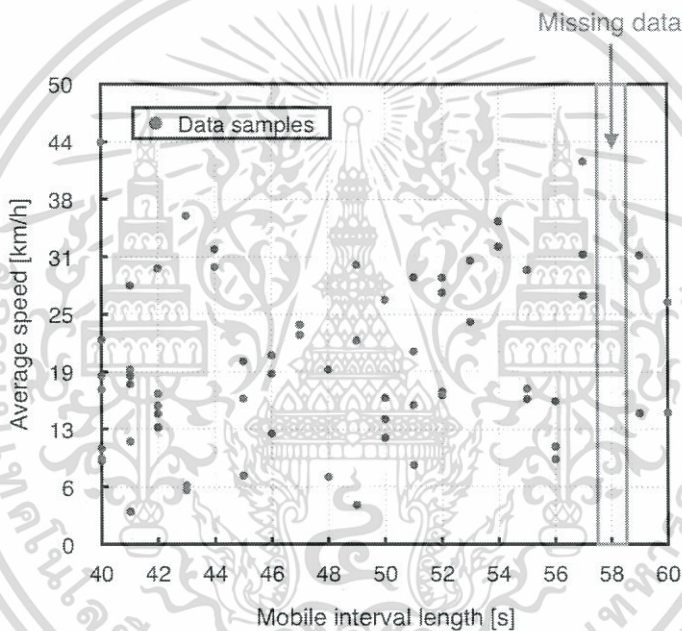
รูปที่ 3.10 ภาพรวมของกระบวนการทั้งหมดในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีการวิเคราะห์ห้วงประกอบของช่วงเวลา

3.4.2.3 การปรับความแม่นยำของวิธีการประเมินด้วยการวิเคราะห์ห้วงประกอบของช่วงเวลา

จากวิธีการดังกล่าวจะเห็นได้ชัดว่าต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของทุกๆ ช่วงระยะการเคลื่อนที่ลงในฐานข้อมูล ดังนั้นหากมีข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ใดขาดหายไปอาจส่งผลให้การประเมินความเร็วเฉลี่ยมีความแม่นยำลดลง ยกตัวอย่างเช่นรูปที่ 3.11 ในฐานข้อมูลไม่มีความเร็วเฉลี่ยของช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ที่ 58 วินาที ดังนั้นหากมีการประเมินความเร็วเฉลี่ยจากลำดับสถานะที่มีช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ 58 วินาทีรวมอยู่ด้วย ความแม่นยำในการประเมินจะลดลง นอกจากนี้ยังมีความผันผวนที่อาจเกิดขึ้นจากค่าที่ผิดปกติภายในกลุ่มตัวอย่างของความเร็วเฉลี่ยอีกด้วย เพื่อที่จะลดปัญหาดังกล่าวจึงใช้การปรับค่าความสมดุลเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น นั่นคือแทนที่จะใช้ค่าความเร็วเฉลี่ย (\hat{v}_{τ_j}) จากช่วงความยาวของเวลานั้นๆ (τ_j)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงค่าเดียวในการประเมิน เราจะใช้ความเร็วเฉลี่ยจากช่วงความยาวของเวลาที่ใกล้เคียงกันเข้ามาเฉลี่ยร่วมด้วย โดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของ $\hat{v}_{\tau_j-G}, \dots, \hat{v}_{\tau_j+G}$ โดยที่ $G \in \{0,1,2, \dots\}$ ซึ่งค่า G จะใช้เป็นค่าปรับความสมดุล (Smoothing Factor) ยกตัวอย่างเช่น หากกำหนดค่าปรับสมดุลให้ $G = 1$ ในกรณีที่ต้องการหาค่าความเร็วเฉลี่ย (\hat{v}_{τ_j}) ของช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ $\tau_j = 10$ วินาที ค่าความเร็วเฉลี่ยจากช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ $\tau_j = 9$ และ 11 วินาทีจะถูกนำมาใช้ในการหาค่าความเร็วเฉลี่ยร่วมด้วย สรุปคือ ผลลัพธ์จะได้มาจากค่าเฉลี่ยของ \hat{v}_9, \hat{v}_{10} และ \hat{v}_{11} นั่นเอง แต่หากกำหนดให้ค่า $G = 0$ จะไม่มีการปรับความสมดุล โดยความแม่นยำของความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์หาค่าประกอบของช่วงเวลากจะกล่าวถึงในบทถัดไป



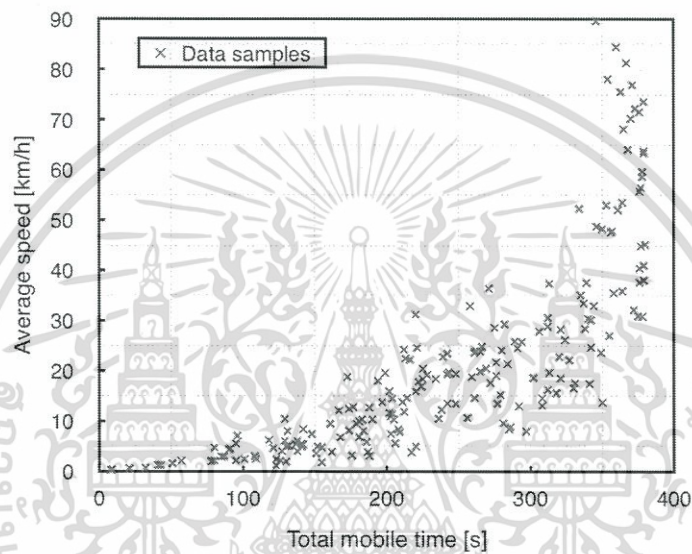
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ที่ไม่มีข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในฐานข้อมูล

3.5 การกำหนดเกณฑ์ความเร็วเพื่อเพิ่มความแม่นยำ

จากข้อมูลความเร็วของยานพาหนะ จะสามารถสังเกตได้ว่าหากยานพาหนะมีระยะเวลาในการเคลื่อนที่ยาวนานขึ้น ความเร็วเฉลี่ยที่ได้จะมีความแปรปรวนสูงขึ้นเรื่อยๆตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.12 ยกตัวอย่างเช่น ที่ระยะเวลาการเคลื่อนที่เท่ากับ 360 วินาที ยานพาหนะจะสามารถใช้ความเร็วได้ตั้งแต่ 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง ไปจนถึง 85 กิโลเมตร/ชั่วโมง กล่าวคือหากยานพาหนะมีช่วงระยะเวลาในการเคลื่อนที่ที่ยาวนาน จะสามารถบ่งบอกได้ว่าสภาพการจราจรมีความคล่องตัว ส่งผลให้ผู้ขับขี่สามารถใช้ความเร็วได้อย่างอิสระ ซึ่งจากกรณีดังกล่าว จะทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยรวมนั้นมีความแม่นยำลดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นวิธีการที่จะสามารถลดความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ย คือการควบคุมความเร็วที่สูง เป็นที่น่าพอใจไว้ในระดับเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น สภาพการจราจรในเมืองที่จำกัดความเร็วที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง หากยานพาหนะสามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วเฉลี่ยสูงกว่า 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง อาจถือได้ว่าการจราจรไม่แออัดและอยู่ในระดับที่น่าพอใจ ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องสนใจความเร็วเฉลี่ยที่มากกว่านี้อีก เนื่องจากความเร็วที่สูงกว่านี้จัดว่าสูงเกินกว่าระดับที่พอใจแล้ว ซึ่งวิธีการนี้จะสามารถลดช่วงของความเร็วเฉลี่ยที่มีความแปรปรวนมาลงได้



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างความเร็วเฉลี่ยต่อช่วงเวลาการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองของวิธีการทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ตั้งแต่ในส่วนของความแม่นยำในการตรวจสอบสถานะของยานพาหนะด้วยข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร็ว รวมถึงความแม่นยำของวิธีการในการประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะทั้งสองวิธี ซึ่งทำการทดลองในหลายๆกรณี เช่น ในกรณีที่มีการกำหนดเกณฑ์ความเร็วที่พอใจ รวมไปถึงกรณีที่ใช้วิธีการปรับปรุงความแม่นยำด้วยวิธีการต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้ทำการทดลองประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะภายในระยะเวลาที่แตกต่างออกไปจากเดิม กล่าวคือ จากเดิมทุกวิธีการที่ได้นำเสนอไปเป็นการประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะภายในระยะเวลา 360 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสมเนื่องจากสภาพการจราจรจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน หมายความว่าหากยานพาหนะเก็บข้อมูลในระหว่างเดินทาง และเผยแพร่ข้อมูลการจราจรจากการประเมินออกไป ข้อมูลนั้นจะไม่ล้าหลังเกินไปนั่นเอง นอกจากนี้เราจะทดสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเลือกระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ว่าส่งผลต่อความแม่นยำของความเร็วเฉลี่ยที่ประเมินได้มากน้อยเพียงใด

4.1 ความแม่นยำของการตรวจสอบสถานะของยานพาหนะ

เนื่องจากเราใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วในการอนุมานสถานะของยานพาหนะ จึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องประเมินค่าความแม่นยำในวิธีการจัดหมวดหมู่ของสถานะ ซึ่งในการทดสอบความแม่นยำเราจะเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่ยานพาหนะหยุด และระยะเวลาทั้งหมดที่ยานพาหนะหยุดหนึ่งที่ได้มาจากวิธีการจัดหมวดหมู่ กับจำนวนการหยุดจริงและระยะเวลาจริงที่ยานพาหนะหยุดหนึ่ง ที่ได้มาจากการสังเกตจริงและบันทึกไว้ ทั้งในส่วนของจำนวนครั้งที่ยานพาหนะหยุดหนึ่ง และระยะเวลาทั้งหมดที่ยานพาหนะหยุดหนึ่ง โดยเราทำการเก็บข้อมูลด้วยการสังเกตจริงเป็นระยะเวลากว่า 7,200 วินาที ซึ่งนับเป็นจำนวน 20 ชุดข้อมูลของระยะเวลา 360 วินาที

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลเซ็นเซอร์วัดความเร็ว และที่ได้มาจากการสังเกตจริงเปรียบเทียบและสรุปให้เห็นในตารางที่ 4.1 จากทั้งหมดจะสังเกตได้ว่าความแตกต่างระหว่างจำนวนครั้งในการหยุดของยานพาหนะที่ได้มาจากข้อมูลเซ็นเซอร์วัดความเร็ว กับข้อมูลที่ได้มาจากการสังเกตจริงนั้นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ที่เพียง 1.35 ครั้ง เท่านั้น และในส่วนของระยะเวลาทั้งหมดที่ยานพาหนะหยุดหนึ่ง ที่ได้มาจากเซ็นเซอร์วัดความเร็ว กับที่ได้มาจากการจับเวลาการหยุดหนึ่งจริงก็คลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเพียง 7.51 วินาที ซึ่งคิดเป็นประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.08% ของระยะเวลา 360 วินาทีเท่านั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ความแม่นยำของวิธีการจำแนกหมวดหมู่สถานะของยานพาหนะจากข้อมูลเซ็นเซอร์วัดความเร่งนั้นอยู่ในระดับที่ดี

ตารางที่ 4.1 จำนวนครั้งในการหยุดและระยะเวลาในการหยุดของยานพาหนะ เปรียบเทียบข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร่ง และ ข้อมูลที่บันทึกมาจากการสังเกตจริง

ชุด	เซ็นเซอร์วัดความเร่ง		สังเกตจริง	
	จำนวนครั้งที่หยุด	ระยะเวลาที่หยุดหนึ่ง (วินาที)	จำนวนครั้งที่หยุด	ระยะเวลาที่หยุดหนึ่ง (วินาที)
1	5	122.44	4	114
2	8	190	5	174
3	2	218.14	2	225.7
4	1	162	2	166.4
5	6	100.3	6	101.4
6	8	217.93	6	221.9
7	6	135.60	4	148.5
8	12	122.76	12	131
9	3	109.50	3	112.04
10	3	80.38	3	83.92
11	3	93.56	3	101.23
12	16	107.59	12	92.30
13	6	31.25	4	23.85
14	4	28.96	3	39.13
15	2	106.89	2	112.98
16	8	124.64	5	115.70
17	15	214.65	11	208.12
18	10	168.29	8	156.83
19	7	61.34	5	57.07
20	3	142.11	3	145.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความแม่นยำของการประเมินความเร็วเฉลี่ยโดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย

4.2.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

ในส่วนของการทดลองเบื้องต้นนั้นจะเป็นผลการทดลองที่มาจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมใน ระยะแรกของการทดลอง ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 36,000 วินาที โดยเมื่อแบ่งออกเป็นชุดละ 360 วินาที จะมีข้อมูลสำหรับการทดลองทั้งสิ้น 100 ชุด ที่แบ่งกลุ่มการสอนออกเป็น 3 ขนาด คือ 60, 70 และ 80 และได้ฟังก์ชันถดถอยออกมาตามตารางที่ 3.1 แล้วนั้น จะนำข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มทดสอบเข้าไปคำนวณในฟังก์ชันดังกล่าว ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในช่วงระยะเวลา 360 วินาที โดยจะนำความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากฟังก์ชันถดถอยดังกล่าว มาทำการประเมินความแม่นยำด้วยวิธีการนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วจริงเฉลี่ยที่ยานพาหนะทำได้ของข้อมูลชุดนั้นๆ เพื่อหาค่าความผิดพลาด (Error) ที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากฟังก์ชันถดถอยของข้อมูลชุด ก คือ 23 กิโลเมตร/ชั่วโมง และความเร็วจริงเฉลี่ยของข้อมูลชุด ก คือ 25 กิโลเมตร/ชั่วโมง เท่ากับว่าค่าความผิดพลาดคือ 2 กิโลเมตร/ชั่วโมง เป็นต้น โดยจะทำเช่นนี้กับข้อมูลทุกชุดที่อยู่ในกลุ่มทดสอบ เพื่อประเมินความแม่นยำของฟังก์ชันถดถอยที่ได้จากกลุ่มการ สอน ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error) หรือ MAE ที่หาได้จากสมการ (4.1)

$$\epsilon_R = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |\hat{v}_{R,k} - \bar{v}_{T,k}| \quad (4.1)$$

โดยที่ ϵ_R คือค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์, $\hat{v}_{R,k}$ คือค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากฟังก์ชันพหุนามของ ข้อมูลชุดที่ k^{th} , $\bar{v}_{T,k}$ คือค่าความเร็วจริงเฉลี่ยที่ใช้อ้างอิง ของข้อมูลชุดที่ k^{th} และ M คือจำนวน ข้อมูลในกลุ่มทดสอบ

ความแม่นยำของฟังก์ชันถดถอยที่อยู่ในรูปแบบของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ในแต่ละ ขนาดของกลุ่มการสอน แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาด สัมบูรณ์จะอยู่ในช่วง 4.72 ถึง 4.81 กิโลเมตร/ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งนับว่าค่อนข้างน้อย และสามารถ นำไปใช้ในงานด้านการจราจรได้

ตารางที่ 4.2 ความแม่นยำของการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยในแต่ละขนาดของกลุ่มการสอน

จำนวนข้อมูลในกลุ่มการสอน	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (ϵ) (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
60	4.81
70	4.76
80	4.72

4.2.2 ผลการทดลองระยะที่สอง

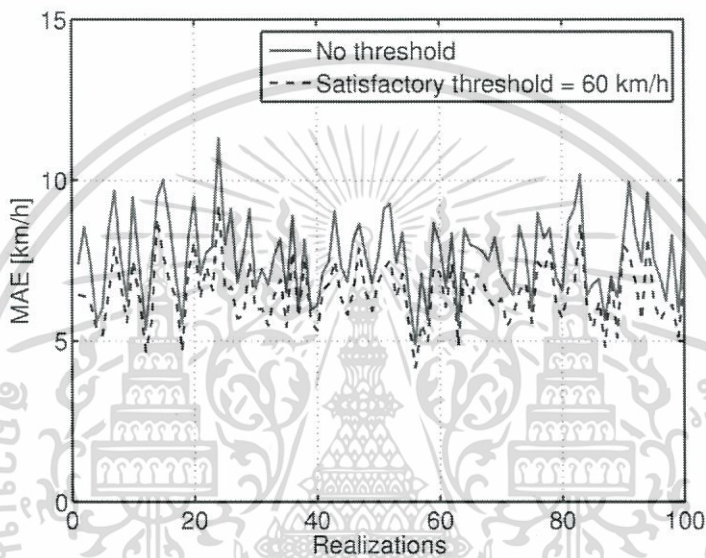
หลังจากที่ได้ผลการทดลองเบื้องต้นในส่วนแรกเรียบร้อยแล้ว เราได้มีการเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อทดสอบว่าหากมีข้อมูลเพิ่มมากขึ้นความแม่นยำของวิธีการดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นหรือไม่ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาสำหรับใช้ในการทดลองในระยะที่สองนี้มีทั้งสิ้น 72,000 วินาที เมื่อแบ่งเป็นชุดละ 360 วินาทีจะมีข้อมูลสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 200 ชุด ในการทดลองแต่ละครั้งจะสุ่มเลือกข้อมูลให้อยู่ในกลุ่มการสอน 150 ชุด และกลุ่มสำหรับทดสอบ 30 ชุด ทำการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง และหาผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ 100 ครั้งจากข้อมูลในกลุ่มการสอนที่แตกต่างกัน โดยที่ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์จะได้มาจากสมการที่ (4.1)

ในการทดลองจะเปรียบเทียบระหว่าง 2 กรณี คือผลค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์เมื่อมีการกำหนดเกณฑ์ความเร็วที่พอใจ กับผลค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์เมื่อไม่มีการกำหนดเกณฑ์ความเร็ว จากรูปที่ 4.1 จะแสดงผลของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์จากการทดสอบ 100 ครั้ง ที่เปรียบเทียบระหว่างในกรณีปกติที่ไม่ได้กำหนดเกณฑ์ความเร็ว แสดงด้วยเส้นทึบ กับ เมื่อกำหนดเกณฑ์ความเร็วที่พอใจที่ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง แสดงด้วยเส้นประ จะสังเกตเห็นว่าในกรณีปกติค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์จะอยู่ในช่วงระหว่าง 5 ถึง 11 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งความแปรปรวนที่ค่อนข้างสูงแสดงให้เห็นว่ายานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่หลากหลายเมื่อมีระยะเวลาในการเคลื่อนที่มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์จากการทดลองโดยไม่มีการกำหนดเกณฑ์ความเร็วทั้ง 100 ครั้งก็มีเพียง 7.64 กิโลเมตร/ชั่วโมงเท่านั้น

อย่างที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ในหัวข้อที่ 3.5 ว่าหากมีการกำหนดเกณฑ์ความเร็วในการประเมิน จะสามารถลดความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยลงได้ ส่งผลให้การประเมินมีประสิทธิภาพมากขึ้น สังเกตได้จากรูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ลดลงเมื่อกำหนดเกณฑ์ความเร็วที่พอใจไว้ที่ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีค่าความแปรปรวนจากการทดสอบทั้ง 100 ครั้งอยู่ที่ 4 ถึง 9 กิโลเมตร/ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ทั้งหมดอยู่ที่ 6.48 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์เมื่อมีการกำหนดเกณฑ์ความเร็วอื่นๆได้แสดงในตารางที่ 4.3 จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ลดลงเมื่อประเมิน

ภายใต้เกณฑ์ความเร็วที่ต่ำลง เนื่องมาจากการกำหนดเกณฑ์ความเร็วที่พอใจนั้นช่วยลดความแปรปรวนของความเร็วของยานพาหนะออกไปนั่นเอง

ส่วนที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่เห็นได้จากตารางที่ 4.3 คือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (T) ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์การถดถอยจะลดลงเมื่อระยะเวลาที่เราใช้ในการวิเคราะห์สั้นลง เหตุผลหลักก็คือหากช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ลดลง ข้อมูลที่มีสำหรับการวิเคราะห์ก็จะลดลงไปด้วย ทำให้มีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะทำให้การประเมินมีความแม่นยำนั่นเอง



รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ของความเร็วเฉลี่ยที่ประเมินจากวิธีวิเคราะห์การถดถอย
ค่า T ในการพิจารณา คือ 360 วินาที

ตารางที่ 4.3 ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์การถดถอยในแต่ละเกณฑ์ความเร็วที่พอใจ

เกณฑ์ความเร็วที่พอใจ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ 100 ครั้ง		
	$T = 360$ วินาที	$T = 270$ วินาที	$T = 180$ วินาที
ไม่กำหนด	7.64	8.09	8.68
80	7.54	7.96	8.49
60	6.43	6.84	7.23
40	4.38	4.64	5.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความแม่นยำของการประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา

ในส่วนนี้จะประเมินประสิทธิภาพของวิธีการประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา ที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่ 3.4.2 โดยในวิธีการนี้เราจะมองในแต่ละส่วนตลอดระยะเวลา T เป็นลำดับสถานะ โดยที่ลำดับสถานะดังกล่าวได้มาจากข้อมูลของเซ็นเซอร์วัดความเร่งที่ผ่านวิธีการแบ่งหมวดหมู่สถานะที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่ 3.3 จากนั้นจะทำการสุ่มลำดับสถานะเข้าไปอยู่ในกลุ่มการสอน 150 ชุด และกลุ่มทดสอบ 30 ชุด โดยที่ลำดับสถานะในกลุ่มทดสอบนั้นจะใช้ในการนำไปสร้างฐานข้อมูลความเร็วเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลาการเคลื่อนที่ โดยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลาจะใช้ประเมินหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในแต่ละลำดับสถานะในกลุ่มการสอน โดยค่าความเร็วเฉลี่ยที่ประเมินได้ (\hat{v}_I) ของแต่ละลำดับสถานะในกลุ่มการสอนจะถูกคำนวณด้วยสมการที่ (3.5) และเปรียบเทียบกับความเร็วเฉลี่ยอ้างอิงที่ได้จากเซ็นเซอร์รับสัญญาณจีพีเอส โดยที่ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์สามารถคำนวณหาได้จาก

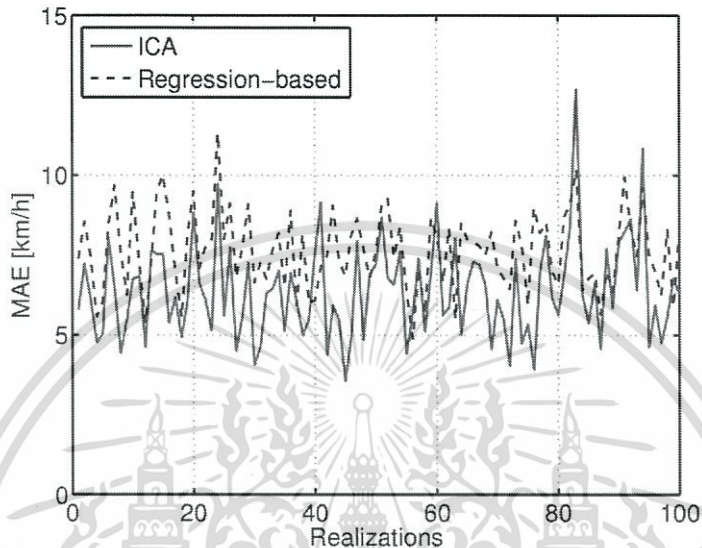
$$\epsilon_I = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |\hat{v}_{I,k} - \bar{v}_{T,k}| \quad (4.2)$$

โดยที่ ϵ_I คือค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ของความเร็วเฉลี่ย, $\hat{v}_{I,k}$ คือค่าความเร็วเฉลี่ยลำดับที่ k^{th} ที่ประเมินจากวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา, $\bar{v}_{T,k}$ คือค่าความเร็วเฉลี่ยอ้างอิงลำดับที่ k^{th} และ M คือจำนวนของลำดับในกลุ่มการสอน

ซึ่งในการสุ่มลำดับสถานะเข้าไปในกลุ่มการสอนและกลุ่มทดสอบนั้นจะสุ่มเลือกข้อมูลเข้าไปในทั้งสองกลุ่มให้แตกต่างกันทั้งหมด 100 รอบ โดยจะได้ผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่แตกต่างกันในแต่ละรอบตามที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 4.2 โดยที่ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์จากวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลาในแต่ละรอบนั้นได้มาจากสมการที่ (4.2) ซึ่งจากรูปจะเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ได้มาจากวิธีวิเคราะห์การถดถอย จะสามารถสังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ในกรณีของวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลานั้นจะต่ำกว่าวิธีวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์จากทั้ง 100 รอบสำหรับวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา อยู่ที่ 6.39 กิโลเมตร/ชั่วโมง และวิธีวิเคราะห์การถดถอย อยู่ที่ 7.64 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ในส่วนของความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลาในกรณีที่มีการกำหนดเกณฑ์ความเร็วที่พอใจ และ ช่วงระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ได้นำมาสรุปอยู่ในตารางที่

4.4 โดยสามารถสังเกตได้ว่าวิธีการประเมินความเร็วเฉลี่ยด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลานั้น ความแม่นยำจะลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาสำหรับวิเคราะห์ที่น้อยลงเช่นเดียวกันกับวิธีวิเคราะห์การถดถอย



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ของความเร็วเฉลี่ยที่ประเมินจากวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ของความเร็วเฉลี่ยที่ประเมินจากวิธีวิเคราะห์การถดถอย ค่า T ในการพิจารณาคือ 360 วินาที

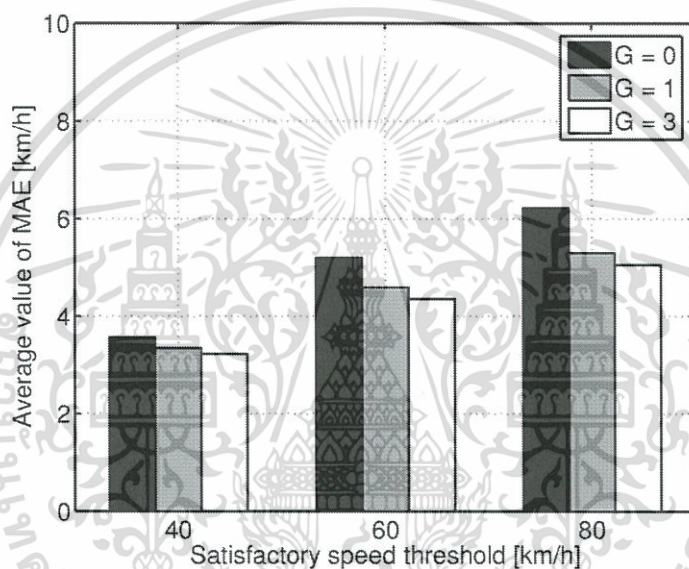
ตารางที่ 4.4 ความแม่นยำของการประเมินด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลาในแต่ละเกณฑ์ความเร็ว และระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์

เกณฑ์ความเร็วที่ พอใจ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ 100 ครั้ง (กม./ชม.)		
	$T = 360$ วินาที	$T = 270$ วินาที	$T = 180$ วินาที
ไม่กำหนด	6.39	6.69	7.37
80	6.22	6.60	7.25
60	5.20	5.73	6.32
40	3.57	3.77	4.31

และเนื่องจากวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลานั้นมีการเพิ่มในส่วนของการปรับสมดุลข้อมูล (Smoothing Factor) เพื่อเพิ่มความแม่นยำ โดยรูปที่ 4.3 จะแสดงค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์เมื่อมีการใช้ค่าสมดุลที่แตกต่างกันในแต่ละเกณฑ์ความเร็วที่พอใจ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ในรูปที่ 4.3 นั้น ได้มาจากการสอนและทดลอง 100 ครั้ง และเช่นเดียวกันกับวิธีวิเคราะห์การถดถอยที่ความแม่นยำเพิ่มมากขึ้นเมื่อกำหนดเกณฑ์ความเร็วที่พอใจให้ต่ำลง เพราะค่าเกณฑ์ความเร็วจะช่วยให้การกำจัดค่าความเร็วที่มีความแปรปรวนสูงในช่วงที่ยานพาหนะใช้ความเร็วได้อย่างอิสระออกไปนั่นเอง และสังเกตได้ว่าการปรับสมดุลข้อมูลสามารถเพิ่มความแม่นยำได้ ยกตัวอย่างเช่นที่เกณฑ์ความเร็วไม่เกิน 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่าง กรณีที่ไม่มีการใช้การปรับสมดุลข้อมูล ($G = 0$) กับกรณีที่มีการใช้การปรับสมดุลข้อมูล ($G > 0$)



รูปที่ 4.3 ความแม่นยำของวิธีการประเมินด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลาเมื่อมีการใช้ค่าปรับสมดุลข้อมูลในแต่ละเกณฑ์ความเร็วที่พอใจ โดยวิเคราะห์ที่ระยะเวลา 360 วินาที

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ค้นหาความเป็นไปได้ในการใช้เซ็นเซอร์ชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากจีพีเอส มาใช้ประโยชน์ในด้านการจราจร ซึ่งในการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่เซ็นเซอร์วัดความเร็วเป็นหลัก เนื่องจากเซ็นเซอร์ดังกล่าวมีอัตราการบริโภคนพลังงานที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับเซ็นเซอร์ชนิดอื่นๆ ที่มีบนสมาร์ตโฟน ซึ่งเราพบความเป็นไปได้ และสามารถหาความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะด้วยข้อมูลที่ได้มาจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วได้โดยสองวิธีการที่มีชื่อว่า วิชวิเคราะห์การถดถอย (Regression-based) และวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลา (Interval Component Analysis) หรือ ICA ซึ่งวิธีการเหล่านี้ใช้การวิเคราะห์สถานะของการเคลื่อนที่ และระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นหลัก โดยสถานะเหล่านี้ใช้เพียงแก้อุปกรณ์ที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร็วในการระบุเท่านั้น

โดยการประเมินความเร็วด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยนั้นไม่ยุ่งยากเท่าไรนัก มีเพียงแค่เวลาในการเคลื่อนที่ทั้งหมดของยานพาหนะในระยะเวลาที่กำหนดเท่านั้น ที่ต้องใช้ในการฟังก์ชันการถดถอยพหุนาม โดยเฉลี่ยแล้วค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของการประเมินความเร็วเฉลี่ยด้วยวิธีการนี้จะอยู่ที่ประมาณ 7.64 กิโลเมตร/ชั่วโมง แต่ความแม่นยำก็ยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยการกำหนดเกณฑ์ความเร็วตามที่ได้อธิบายไปในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความแม่นยำในการประเมินหาความเร็วเฉลี่ยได้ เนื่องจากความแตกต่างของความเร็วที่ถูกลดลงไป โดยเกณฑ์ความเร็วที่ไม่เกิน 60 กิโลเมตร/ชั่วโมงนั้น ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ลดลงเหลือเพียง 6.48 กิโลเมตร/ชั่วโมงซึ่งค่าความผิดพลาดก็จะลดลงไปอีกเมื่อกำหนดเกณฑ์ความเร็วให้ต่ำลง

ส่วนวิธีการประเมินด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบของช่วงเวลานั้นมีความยุ่งยากกว่าวิธีวิเคราะห์การถดถอยอยู่พอสมควร เพราะในวิธีการนี้ความเร็วเฉลี่ยจะถูกประเมินมาจากการสลับกันระหว่างการเคลื่อนที่และหยุดนิ่งของยานพาหนะ ซึ่งให้ความแม่นยำที่มากกว่าวิธีวิเคราะห์การถดถอย โดยค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์อยู่ที่ประมาณ 6.39 กิโลเมตร/ชั่วโมง และจะลดลงไปอีกหากใช้การปรับสมดุลข้อมูลร่วมด้วย และหากกำหนดเกณฑ์ความเร็วที่ไม่เกิน 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง ร่วมกับใช้ค่าปรับสมดุลที่ระดับ 1 ค่าความผิดพลาดจะลดลงเหลือเพียงแค่ 4.5 กิโลเมตร/ชั่วโมง เท่านั้น ซึ่งนับว่าเป็นความแม่นยำที่อยู่ในระดับสูงมาก เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการรายงานข้อมูลการจราจร

5.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ

การประเมินความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะในงานวิจัยนี้ เรายังไม่ได้แยกแยะความแตกต่างเมื่อ ยานพาหนะเดินทางในประเภทของถนนที่แตกต่างกัน ซึ่งประเภทของถนนที่แตกต่างกันย่อมมีการ จำกัดความเร็วรวมไปถึงกฎการจราจรที่แตกต่างกัน โดยการทดลองของเรานั้นเดินทางในเส้นทางที่ มีการจำกัดความเร็วที่หลากหลาย นั้นย่อมมีผลกระทบต่อความแม่นยำในการประเมินความเร็วเฉลี่ย แน่นนอน อย่างไรก็ตามแม้เราจะไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของถนนและการจำกัดความเร็วต่างๆ แต่ ก็แสดงให้เห็นแล้วว่าวิธีการที่เรานำเสนอมีความแม่นยำในระดับที่น่าพอใจ หากได้ข้อมูลเกี่ยวกับ ประเภทของถนนและการจำกัดความเร็วต่างๆเพิ่มเข้ามาน่าจะส่งผลให้ค่าความแม่นยำเพิ่มสูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Kovacheva, R. Frank, and T. Engel, “LuxTraffic: A collaborative traffic sensing system,” in *Proc. IEEE Int. Workshop on Local and Metropolitan Area Netw.*, Brussels, Belgium, Apr. 2013, pp. 1–6.
- [2] D.B.Work, O.Tossavainen, Q.Jacobson, and A.M.Bayen, “Lagrangian sensing: Traffic estimation with mobile devices,” in *Proc. IEEE Amer. Control Conf.*, St. Louis, MO, USA, Jun. 2009, pp. 1536–1543.
- [3] Z. Li, Y. Zhu, H. Zhu, and M. Li, “Compressive sensing approach to urban traffic sensing,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Distributed Comput. Syst. (ICDCS)*, Minneapolis, MN, USA, Jun. 2011, pp. 889–898.
- [4] X. Li, W. Shu, M. Li, H. Huang, P. Luo, and M. Wu, “Performance evaluation of vehicle-based mobile sensor networks for traffic monitoring,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 4, pp. 1647–1653, May 2009.
- [5] F. B. Abdesslem, A. Phillips, and T. Henderson, “Less is more: Energy efficient mobile sensing with senseless,” in *Proc. ACM Workshop on Netw., Syst., and Appl. for Mobile Handhelds (MobiHeld)*, Barcelona, Spain, Aug. 2009, pp. 61–62.
- [6] W. Z. Khan, Y. Xiang, M. Y. Aalsalem, and Q. Arshad, “Mobile phone sensing systems: A survey,” *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 15, no. 1, pp. 402–427, First Quarter 2013.
- [7] E. Koukoumidis, M. Martonosi, and L. Peh, “Leveraging smartphone cameras for collaborative road advisories,” *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 11, no. 5, pp. 707 – 723, May 2012.
- [8] R. Banerjee and A. Sinha, “TrigSense: Accelerometer triggered audio sensing for traffic condition monitoring,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Intell. Sensors, Sensor Netw., and Info. Processing*, Melbourne, Australia, Apr. 2013, pp. 135–140.
- [9] Waze Website, [Online], 2014, available: <http://www.waze.com>.
- [10] J. Eriksson, L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden, and H. Balakrishnan, “The pothole patrol: Using a mobile sensor network for road surface monitoring,” in *Proc.*

ACM Int. Conf. Mobile Syst. Appl. And Services (MobiSys), Breckenridge, CO, USA, Jun. 2008, pp. 29–39.

- [11] R. Bhoraskar, N. Vankadhara, B. Raman, and P. Kulkarni, “Wolverine: Traffic and road condition estimation using smartphone sensors,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Syst. and Netw. (COMSNETS)*, Bangalore, India, Jan. 2012, pp. 1–6.
- [12] H. Eren, S. Makinist, E. Akin, and A. Yilmaz, “Estimating driving behavior by a smartphone,” in *Proc. IEEE Intell. Vehicles Symp. (IV)*, Alcalá de Henares, Spain, Jan. 2012, pp. 234 – 239.
- [13] D. A. Johnson and M. M. Trivedi, “Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform,” in *Proc. IEEE Intell. Transp. Syst. Conf. (ITSC)*, Washington, DC, USA, Oct. 2011, pp. 1609–1615.
- [14] SafeMate Application, Google Play Website, [Online], available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mbi.safemate>.
- [15] U. Dakshitha, D. Lenagala, L. Silva, H. Siriwardene, and D. Dias, “Vehicular traffic monitoring with mobile devices,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Industrial and Info. Syst. (ICIIS)*, Sri Lanka, Dec. 2013, pp. 676–681.
- [16] Accelerometer Application, Google Play Website, [Online], available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.a10>.

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่ใช้สำเร็จการศึกษา

1. P. Leakkaw and S. Panichpapiboon, "Speed estimation through mobile sensing," in *Proc. IEEE Region 10 Conf. (TENCON)*, Bangkok, Thailand, Oct. 2014, pp. 1–5.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Speed Estimation Through Mobile Sensing

Puttipong Leakkaw and Sooksan Panichpapiboon

Faculty of Information Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

E-mail: puttipong.plk@gmail.com, sooksan@alumni.cmu.edu

Abstract—With the advances in wireless communication and mobile computing, a future *infrastructureless* self-organizing traffic information system, where vehicles can form a network for exchanging traffic information among themselves, will soon be realized. In an infrastructureless traffic information system, vehicles will act as mobile sensors and collect the traffic data as they travel. Smartphones are a great choice for traffic sensing devices as they are now equipped with a variety of sensors such as global positioning system (GPS) receiver, accelerometer, gyroscope, camera, and microphone. These sensors can be exploited to collect traffic data. Although there are many types of sensors available for traffic sensing, past studies have mainly focused on a GPS receiver. However, a GPS receiver consumes a lot of power and hence it can significantly shorten the battery life. In this paper, we explore the possibility of using other types of sensors on a smartphone for traffic sensing. Particularly, we investigate whether it is possible and how accurate it is to estimate vehicle speed from the data sensed by an accelerometer. The accuracy of our proposed estimation method will be presented.

Index Terms—Speed estimation, traffic sensing, traffic information systems, accelerometers, vehicular networks

I. INTRODUCTION

A traffic information system is essential for collecting and disseminating traffic data. Real-time traffic information such as the average speed of vehicles, vehicle density, flow rate, and travel time can help a motorist choose a route more wisely. Currently, most of the traffic information systems are an infrastructure-based system, where traffic data are collected from fixed sensors such as inductive loop detectors and surveillance cameras. However, it usually takes a great deal of time and effort to install sensors in such a system. In many cases, this involves digging up the road surface to implant the sensors underneath it. In addition, it is extremely costly to install sensors to cover a large area (e.g., city-wide coverage). Moreover, maintenance of these large number of fixed sensors is also difficult. The system could be made much more effective and less expensive if the traffic information could be collected and distributed by the vehicles on the road.

With the advances in wireless communication and mobile computing, a future *infrastructureless* self-organizing traffic information system in a form of vehicular ad hoc networks will soon be realized. In an infrastructureless traffic information system, vehicles will act as mobile sensors and collect the traffic data as they travel. They can also disseminate and share the traffic information with other vehicles. The main challenge

in this type of systems is in designing how to collect and process the traffic data since the sensors are now mobile and distributed. Among many things, a system designer needs to consider the following factors: (i) which types of sensors to use; (ii) how to use them to collect the traffic data; and most importantly (iii) how to turn the data into information that can accurately reflect the real traffic condition.

In our perspective, smartphones are a great choice for mobile traffic sensing devices. Smartphones are now equipped with a variety of sensors such as global positioning system (GPS) receiver, accelerometer, gyroscope, camera, and microphone. These sensors can be exploited to collect traffic data. Moreover, smartphones are now adopted by a large number of users. Consequently, a person with a smartphone can turn any vehicle, whether new or old, into a mobile traffic sensor.

The use of smartphones for traffic sensing is gaining more attention from the research community. However, most of the existing works have mainly focused on using only a GPS receiver in determining the average speed of a vehicle [1–4]. Other types of potential sensors have mostly been neglected. Despite its convenience, using a GPS receiver for traffic sensing has a serious shortcoming. A GPS receiver is a power-hungry sensor [5]. Using it continuously, especially for traffic sensing, can quickly drain out the phone battery.

In this paper, we explore the possibility of using other types of sensors on a smartphone for traffic sensing. Particularly, we will focus on an accelerometer since it consumes the least amount of power among the sensors on a smartphone [5]. In fact, its power consumption rate is approximately six times lower than that of a GPS receiver [5]. The key questions which we try to answer in this study are:

- Is it possible to estimate an average speed of a vehicle from the data sensed by an accelerometer on a smartphone?
- If so, how to estimate it and what is the accuracy of the estimation method?

The remainder of this paper is organized as follows. In Section II, we briefly discuss the work related to mobile traffic sensing. In Section III, we describe how our research is conducted and how the speed is estimated from the accelerometer data. In Section IV, we discuss the performance of the estimation method. Finally, we conclude the paper in Section V.

II. RELATED WORK

Smartphones are now used as sensing devices in many applications such as traffic sensing, health monitoring, environmental monitoring, and social interaction [6]. Traffic sensing is an application which has recently gained much attention from the intelligent transportation system (ITS) research community. A variety of sensors on a smartphone can potentially be used for traffic sensing. For example, in [7], a camera on a smartphone is used for capturing and detecting the traffic lights. In [8], a microphone is used for detecting a honking sound on a road in India. Basically, the motorists in India tend to honk more when the traffic is congested.

Most of the traffic sensing applications, however, rely on a GPS receiver. In [1], a GPS receiver on a smartphone is used in determining the average speed of a vehicle. In the system proposed in [1], vehicles will periodically send their locations to a central server. The central server will then use traces of vehicle locations to estimate the average speed of vehicles on a particular road. Similar studies which use GPS data for speed estimation can be found in [2–4]. An example of mobile traffic sensing applications which relies on a combination of GPS data and crowdsourcing can be found in [9]. However, using a GPS receiver on a smartphone is not energy-efficient. In other words, a GPS receiver consumes a lot of power [5].

There are also studies which use accelerometers for traffic applications. In [10, 11], the accelerometer data are used for identifying the road surface conditions (e.g., whether there are potholes and bumps on the road surface). In [12–14], the accelerometer data are used for identifying the driving behaviors of drivers (e.g., whether a driver drives safely or dangerously). Some of these applications (e.g., [14]) can also report a vehicle speed; however, the speed is still obtained through a GPS receiver. In [15], an accelerometer is used to detect the number of stops that a vehicle makes. If the number of stops is greater than a pre-defined threshold, then it is implied that the road is congested. However, it is not able to estimate the average speed of a vehicle or any quantitative traffic metrics. There is also a mobile application which uses an accelerometer for speed estimation [16]. However, the estimation method used in the application is not specified. Moreover, the correctness of the estimation method and its accuracy are neither evaluated nor verified.

In this paper, we distinguish ourselves from the existing works by investigating a way to estimate an average speed of a vehicle from a pattern of vehicle movement detected through an accelerometer. The speed estimation approach presented in this paper has not been considered by any of the existing works.

III. PATTERN ANALYSIS AND SPEED ESTIMATION

One of the main indicators of road traffic condition is the average speed of vehicles traveling on the road. Obviously, the average speed of vehicles on a congested road will be smaller than that of the freely flowing one. Intuitively, how fast an individual vehicle can move will depend on how frequent it needs to stop and the duration of each stop it makes. On a

congested road, a vehicle will have to stop frequently and each stop may last a while. In this case, the average speed of the vehicle will be small. In contrast, the average speed of a vehicle is higher on a non-congested road since it can move continuously without many interruptions. As a result, we can use the combination of the frequency of stops and the duration of stops to estimate the average speed of the vehicle. In this research, we introduce an innovative way to detect the stop frequency and the stop duration with an accelerometer on a smartphone. Moreover, we find a function which can transform the stop frequency and the stop duration into the average speed accurately. The approaches used in our study are described in the following subsections.

A. Data Collection

1) *Device*: In this study, an iPhone 5 is used as a mobile device for collecting the sensor data. An iOS application is developed for data collection purposes. In the beginning of each experiment, the mobile phone will be placed firmly on top of the dashboard of a vehicle. The phone can be placed in any orientation since the initial state of the 3-axis accelerometer will be automatically calibrated by the application. During the experiment, a driver can drive naturally with the flow of the traffic. The application will record the values sensed by the accelerometer, the geo-location of the mobile phone (i.e., its latitude and longitude), and the speed obtained through the GPS receiver. The speed obtained through the GPS receiver will only be used as a reference in our experiment. Note that it is rather difficult to get an accurate ground-truth speed displayed on the speedometer of the vehicle with bare eyes since the scale on the speedometer is very coarse. Thus, using the speed obtained from the GPS receiver as a referenced ground-truth speed is a better option.

2) *Experimental Sites*: Since our focus is on the urban road traffic, we conduct our experiments in Bangkok, Thailand. The data were collected on two routes as shown in Fig. 1. The route on the left of Fig. 1 is in the Pathumwan area, consisting of Rama I Road, Rama IV Road, Payathai Road, and Rajdamri Road. The route on the right of Fig. 1 is in the Ladprao area, consisting of Paholyothin Road and Ladprao Road. These are among the busiest roads in Bangkok. The structures of these roads are those of the typical urban roads, with multiple lanes, traffic lights, and intersections. The data were collected during daytime on weekdays in October and November 2013. Currently, we have approximately 36,000 seconds of data for analysis.

B. Data Analysis

After the data have been obtained, we divide them into blocks of 360 seconds each. This allows us to analyze the average speed of the vehicle over a 360-second period. This is appropriate because the traffic condition does not change abruptly in such a period. In each period, we need to identify when the vehicle is moving and when it is stationary. The difference between a stationary state and a non-stationary state of a vehicle can be classified as follows.

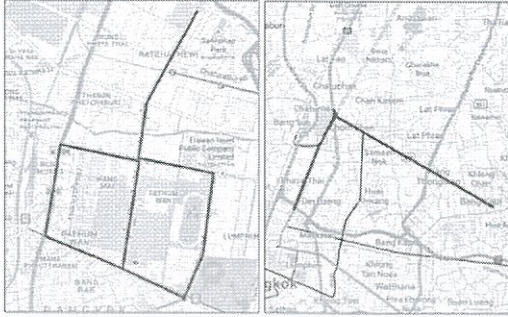


Fig. 1. Routes used in data collection. On the left is the Pathumwan area, consisting of Rama I Road, Rama IV Road, Payathai Road, and Rajdamri Road. On the right is the Ladprao area, consisting of Paholyothin Road and Ladprao Road. (Images from Google Maps.)

- 1) A vehicle will be considered as in a *stationary* state if the deviation from the initial calibrated value, on *every* axes of the accelerometer, is less than a threshold γ m/s² for a continuous duration of at least ω seconds.
- 2) A vehicle will transit from the stationary state to a *non-stationary* state if the deviation from the initial calibrated value, on *any* axes of the accelerometer, is greater than or equal to the threshold γ m/s² for a continuous duration of at least ψ seconds.

The value of γ used in our study is $0.04g$, where $g = 9.8$ m/s² is the gravitational acceleration. The values of ω and ψ used in our study are 1.5 second and 0.3 second, respectively.¹ The accuracy of this state classification method will be discussed in Section IV.

Once the number of stops and the duration of each stop in a 360-second period are determined, we need to map them to the ground-truth speed of the vehicle. It is logical to correlate the non-stationary time of the vehicle to the average speed. Intuitively, if the vehicle is able to move continuously over a longer period of time (i.e., longer non-stationary time), it has a better chance of accelerating to a higher speed. More formally, let τ be a non-stationary time of the vehicle over a 360-second period. The expression for τ can be given as

$$\tau = 360 - \sum_{k=1}^N s_k \quad (1)$$

where s_k is the duration of the k^{th} stop, and N is the total number of stops in the 360-second period.

Next, we will map the non-stationary time of the vehicle to the average speed. In this experiment, we will use the speed obtained through the GPS receiver on the mobile phone as a reference. Note that this is done for experimental purposes only. Once a mapping function is obtained, the speed estimation can be used on a device with an accelerometer, regardless of whether the device is equipped with a GPS

¹We have also experimented with other values of γ , ω , and ψ , but the values chosen here yield the best results.

TABLE I
NUMBER OF SAMPLES IN THE TRAINING SET AND THE RESULTING COEFFICIENTS OF THE POLYNOMIAL FUNCTIONS

Number of samples in the training set	Coefficients of polynomials		
	α	β	C
60	3.653×10^{-4}	-0.0287	3.0887
70	3.503×10^{-4}	-0.0273	2.8572
80	3.165×10^{-4}	-0.0102	1.4876

receiver or not. Based on the collected data, the instantaneous speed obtained through the GPS receiver is recorded every second. The average speed of the vehicle, denoted by \bar{v} , can then be calculated by averaging the instantaneous speed over the 360-second period as follows

$$\bar{v} = \frac{1}{360} \sum_{k=1}^{360} v_k \quad (2)$$

where v_k is the k^{th} sample of the instantaneous speed.

A mapping between a non-stationary time sample (τ) and an average speed (\bar{v}) can now be created. This is done as follows. The non-stationary time samples are divided into two separate sets. One set will be used for creating a mapping function, and the other set will be used for testing the accuracy of the mapping function. The former will be referred to as the "training set" while the latter will be referred to as the "testing set." A second-order polynomial regression function is used to map the non-stationary time of the vehicle to the average speed. The regression equation is of the following form

$$\eta = \alpha\tau^2 + \beta\tau + C \quad (3)$$

where η is the regressed average speed, α and β are coefficients of the polynomial, and C is a constant. The resulting coefficients of the polynomial functions at different sizes of the training set are listed in Table I.

Fig. 2 illustrates the average speed as a function of non-stationary time of the vehicle. The non-stationary time samples and their corresponding referenced average speed are shown with the symbol 'o'. The polynomial regression line is also shown for a comparison. The number of non-stationary time samples used in the training set in this case is 60. The coefficients of the polynomial function are as listed in Table I. Similarly, the scenarios where the number of non-stationary time samples in the training set is 70 and 80 are illustrated in Fig. 3 and Fig. 4, respectively. It can be observed that the average speed ranges approximately from 1 km/h to 48 km/h. In general, as the number of samples in the training set increases, the regression line is able to fit the data better. In order to concretely evaluate the performance of these polynomial regression functions, their accuracy will be tested on a separate set of data in the testing set. The performance evaluation will be discussed in Section IV.

IV. PERFORMANCE EVALUATION

In this section, we evaluate the accuracy of the state classification method and the accuracy of the speed estimation

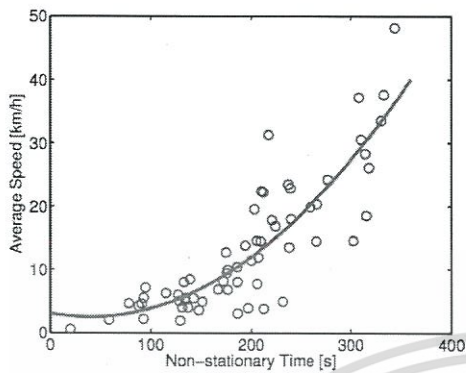


Fig. 2. Average speed as a function of non-stationary time. The number of samples in the training set in this case is 60.

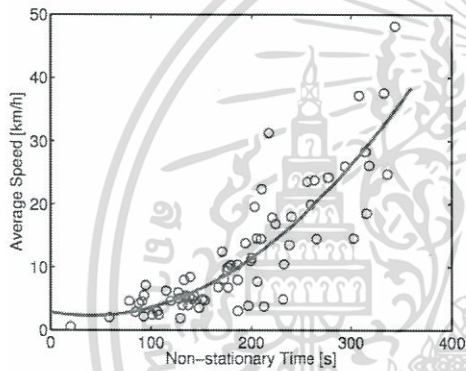


Fig. 3. Average speed as a function of non-stationary time. The number of samples in the training set in this case is 70.

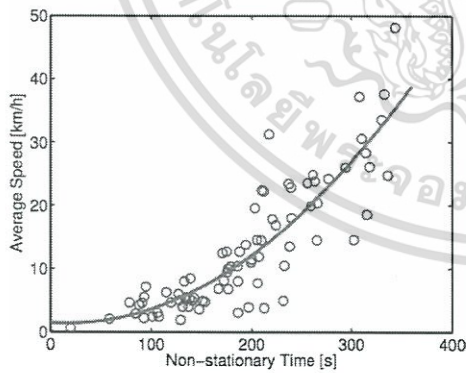


Fig. 4. Average speed as a function of non-stationary time. The number of samples in the training set in this case is 80.

TABLE II
A COMPARISON BETWEEN THE NUMBER OF STOPS AND STATIONARY TIME
INFERRED FROM THE ACCELEROMETER DATA AND THOSE OBTAINED
FROM PHYSICAL OBSERVATIONS

Set	Accelerometer		Physical Observations	
	Stop Count	Stationary Time (s)	Stop Count	Stationary Time (s)
1	5	122.44	4	114
2	8	190	5	174
3	2	218.14	2	225.7
4	1	162	2	166.4
5	6	100.3	6	101.4
6	8	217.93	6	221.9
7	6	135.60	4	148.5
8	12	122.76	12	131
9	3	109.50	3	112.04
10	3	80.38	3	83.92
11	3	93.56	3	101.23
12	16	107.59	12	92.30
13	6	31.25	4	23.85
14	4	28.96	3	39.13
15	2	106.89	2	112.98
16	8	124.64	5	115.70
17	15	214.65	11	208.12
18	10	168.29	8	156.83
19	7	61.34	5	57.07
20	3	142.11	3	145.84

method.

A. Accuracy of State Classification Method

Since we use the data sensed by an accelerometer to infer the stationary and non-stationary states of the vehicle, it is important to evaluate the accuracy of the state classification method. In order to test the accuracy of the state classification method, we compare the results obtained from the classification method with the actual number of stops and the duration of stationary time in each 360-second period. The actual number of stops and the duration of stationary time are obtained by physically observing the number of stops that the vehicle makes and the total duration of each stop. We have physically observed the states of the vehicle over the duration of 7,200 seconds. This constitutes to 20 sets of 360-second periods.

The number of stops and the stationary time obtained from the accelerometer data and those obtained from the physical observations are shown in Table II. Overall, it can be observed from Table II that the differences between the number of stops obtained from the accelerometer data and those obtained from the physical observations are quite small. In fact, on average, the difference between them is only about 1.35. In addition, it can also be observed that the differences between the stationary time obtained from the accelerometer data and those obtained from the physical observations are also quite small. Actually, the average difference between them is only

TABLE III
ACCURACY OF THE ESTIMATED AVERAGE SPEED AT VARIOUS SIZES OF
THE TRAINING SET

Number of samples in the training set	ϵ (km/h)
60	4.81
70	4.76
80	4.72

7.51 seconds, which is equivalent to around 2.08% of the duration of each observation period. As a result, the method used in classifying the state of the vehicles based on the accelerometer data is accurate.

B. Accuracy of Speed Estimation Method

In this section, we evaluate the accuracy of the average speed estimated from the accelerometer data. After obtaining a regression function for each training set, we test the accuracy of the function with a separate set of non-stationary time samples. The accuracy of the regression function is quantified in terms of mean absolute error, which can be expressed as follows

$$\epsilon = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |\eta_k - \bar{v}_k| \quad (4)$$

where ϵ is the mean absolute error, η_k is the k^{th} sample of the average speed estimated by the regression function, \bar{v}_k is the k^{th} sample of the referenced average speed, and M is the number of samples in the testing set.

The accuracy of the regression function in each case, in terms of mean absolute error, is shown in Table III. It can be observed that the mean absolute error ranges from 4.72 km/h to 4.81 km/h, which is rather small and acceptable for the targeted traffic applications. In addition, the accuracy tends to increase as the number of samples in the training set increases. Thus, we expect that the accuracy will be further improved if we have a larger number of samples in the training set. We are still in the process of collecting more data. However, the results presented in this paper serve as an evidence that our proposed method is able to transform the data sensed by an accelerometer on a smartphone into an average speed accurately.

V. CONCLUSION

In this paper, we have investigated the possibility of using an accelerometer on a smartphone for estimating the average speed of a vehicle. An accelerometer is considered in this study because it consumes much less power than a GPS receiver. Particularly, we have devised a novel method for transforming the data sensed by a 3-axis accelerometer into an average speed of a vehicle. Our estimation approach is based on an analysis of stationary and non-stationary states of a vehicle. It is shown in this paper that the average speed and the non-stationary time of a vehicle has a correlation which can be described by a second-order polynomial function. The

accuracy of our proposed estimation method is evaluated. It is shown that the proposed method can achieve the mean absolute error in the range of 4.72 km/h - 4.81 km/h, which is quite small and acceptable for the targeted traffic applications. However, the accuracy is expected to improve as the number of samples in the training set increases.

Further research is still needed to improve the accuracy. Moreover, a wider range of average speed samples also needs to be considered. We are in the process of collecting more data.

REFERENCES

- [1] A. Kovacheva, R. Frank, and T. Engel, "LuxTraffic: A collaborative traffic sensing system," in *Proc. IEEE Int. Workshop on Local and Metropolitan Area Netw.*, Brussels, Belgium, Apr. 2013, pp. 1-6.
- [2] D. B. Work, O. Tossavainen, Q. Jacobson, and A. M. Bayen, "Lagrangian sensing: Traffic estimation with mobile devices," in *Proc. IEEE Amer. Control Conf.*, St. Louis, MO, USA, Jun. 2009, pp. 1536-1543.
- [3] Z. Li, Y. Zhu, H. Zhu, and M. Li, "Compressive sensing approach to urban traffic sensing," in *Proc. IEEE Int. Conf. Distributed Comput. Syst. (ICDCS)*, Minneapolis, MN, USA, Jun. 2011, pp. 889-898.
- [4] X. Li, W. Shu, M. Li, H. Huang, P. Luo, and M. Wu, "Performance evaluation of vehicle-based mobile sensor networks for traffic monitoring," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 4, pp. 1647-1653, May 2009.
- [5] F. B. Abdesslem, A. Phillips, and T. Henderson, "Less is more: Energy-efficient mobile sensing with senseless," in *Proc. ACM Workshop on Netw., Syst., and Appl. for Mobile Handhelds (MobilHeld)*, Barcelona, Spain, Aug. 2009, pp. 61-62.
- [6] W. Z. Khan, Y. Xiang, M. Y. Aalsalem, and Q. Arshad, "Mobile phone sensing systems: A survey," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 15, no. 1, pp. 402-427, First Quarter 2013.
- [7] E. Koukounidis, M. Martonosi, and L. Peh, "Leveraging smartphone cameras for collaborative road advisories," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 11, no. 5, pp. 707-723, May 2012.
- [8] R. Banerjee and A. Sinha, "TrigSense: Accelerometer triggered audio sensing for traffic condition monitoring," in *Proc. IEEE Int. Conf. Intell. Sensors, Sensor Netw., and Info. Processing*, Melbourne, Australia, Apr. 2013, pp. 135-140.
- [9] Waze Website, [Online], 2014, available: <http://www.waze.com>.
- [10] J. Eriksson, L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden, and H. Balakrishnan, "The pothole patrol: Using a mobile sensor network for road surface monitoring," in *Proc. ACM Int. Conf. Mobile Syst. Appl. and Services (MobiSys)*, Breckenridge, CO, USA, Jun. 2008, pp. 29-39.
- [11] R. Bhoraskar, N. Vankadhara, B. Raman, and P. Kulkarni, "Wolverine: Traffic and road condition estimation using smartphone sensors," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Syst. and Netw. (COMSNETS)*, Bangalore, India, Jan. 2012, pp. 1-6.
- [12] H. Eren, S. Makinist, E. Akin, and A. Yilmaz, "Estimating driving behavior by a smartphone," in *Proc. IEEE Intell. Vehicles Symp. (IV)*, Alcalá de Henares, Spain, Jan. 2012, pp. 234-239.
- [13] D. A. Johnson and M. M. Trivedi, "Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform," in *Proc. IEEE Intell. Transp. Syst. Conf. (ITSC)*, Washington, DC, USA, Oct. 2011, pp. 1609-1615.
- [14] SafeMate Application, Google Play Website, [Online], available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mbi.safemate>.
- [15] U. Dakshitha, D. Lenagala, L. Silva, H. Siriwardene, and D. Dias, "Vehicular traffic monitoring with mobile devices," in *Proc. IEEE Int. Conf. Industrial and Info. Syst. (ICIIS)*, Sri Lanka, Dec. 2013, pp. 676-681.
- [16] Accelerometer Application, Google Play Website, [Online], available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.a10>.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพุทธิพงษ์ เล็กขาว
วันเดือนปีเกิด	17 สิงหาคม 2533
ที่อยู่	229/47 หมู่บ้านบัวหลวง ถ.เทศบาล4 ต.ปากเพรียว อ.เมือง จ.สระบุรี
ประวัติการศึกษา	2554 เทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ แขนงวิชาเทคโนโลยีเครือข่าย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี
ประสบการณ์การทำงาน	-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้