รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจจับการเปลี่ยนช่องจราจรด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

Lane Change Detection Through Mobile Sensing

สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การตรวจจับการเปลี่ยนช่องจราจรด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่
แหล่งเงิน เงินรายได้คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
ประจำปีงบประมาณ 2561 **จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน** 50,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี **ตั้งแต่** 1 ตุลาคม 2560 **ถึง** 30 กันยายน 2561
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการวิจัย
นายสุขสันต์ พาณิชพาพิบูล
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะนับว่าเป็นหนึ่งในข้อมูลการจราจรที่สำคัญ ซึ่งหากในเส้นทางใดเกิดการเปลี่ยนช่องทางการจราจรมากผิดปกติ ย่อมสามารถสะท้อนได้ว่าอาจมีบางช่องทางการจราจรในเส้นทางนั้นเกิดความผิดปกติขึ้น เช่น อุบัติเหตุ ยานพาหนะเสียกีดขวางช่องทางการจราจร หรือเหตุการณ์ใดๆที่เป็นเหตุให้ช่องทางการจราจรลดลง ซึ่งแน่นอนว่าข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะนั้นย่อมสามารถบ่งชี้ถึงความผิดปกติของการจราจรได้ โดยในปัจจุบันข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะส่วนใหญ่ได้มาจากเซ็นเซอร์ที่ถูกติดตั้งอยู่เหนือผิวทาง เช่น กล้องวงจรปิด เป็นหลัก ซึ่งเซ็นเซอร์เหล่านี้มีข้อจำกัดสำคัญในด้านของราคา และความครอบคลุม ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรนั้นน่าจะมีประสิทธิภาพมากกว่าหากยานพาหนะแต่ละคันที่วิ่งอยู่บนท้องถนนสามารถเก็บข้อมูลดังกล่าวได้ด้วยตนเอง โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอวิธีการใหม่ในการใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรแบบอัตโนมัติขณะขับขี่จากลักษณะการหมุนของพวงมาลัย ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพที่สูงมากด้วยค่าความแม่นยำในการตรวจจับ (Precision) และความถูกต้องในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องจราจรที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด (Recall) ที่มากกว่า 95%

คำสำคัญ : การตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจร, การตรวจจับข้อมูลจราจร, เซ็นเซอร์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title: Lane Change Detection Through Mobile Sensing

Type of Fund: Faculty of Information Technology Research Fund

Fiscal Year: 2018 **Amount of Fund:** 50,000 THB

Duration: 1 Year **From:** 1 October 2017 **To:** 30 September 2018

Principal Investigator:

Sooksan Panichpapiboon

Faculty of Information Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

Lane change is an important traffic information. An abnormally high number of lane changes on a particular section of the road typically suggests that some lanes are blocked due to traffic incidents such as accidents and vehicle break downs. As a result, the lane change information is useful for automatic traffic incident detection. Currently, lane change information of vehicles on an urban road is typically obtained from the over-roadway fixed sensors such as surveillance cameras. However, using fixed sensors has limitations in terms of cost and coverage. It would be more effective if the lane change information could be collected directly from each individual vehicle. In this research, we introduce a new mobile sensing approach to automatic real-time lane change detection. The lane change events are detected through the corresponding patterns of steering wheel rotation. The results show that the detection algorithm performs extremely well. Overall, it is able to achieve higher than 95% both in terms of precision and recall.

Keywords : Lane change detection, mobile sensing, traffic sensing, steering wheel rotation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นับว่าเป็นผลมาจากความร่วมมือร่วมใจและการสนับสนุนจากผู้เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณด้วยความซาบซึ้งใจยิ่ง

ขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัยในโครงการนี้ ได้แก่ นายพุทธิพงษ์ เล็กขาว ซึ่งได้ช่วยปฏิบัติงานวิจัยตามที่ได้รับมอบหมายด้วยความตั้งใจและความรับผิดชอบอย่างดียิ่ง

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล
หัวหน้าโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย **I**

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ **II**

กิตติกรรมประกาศ **III**

สารบัญ **IV**

สารบัญตาราง **VI**

สารบัญภาพ **VII**

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 2

1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย 2

1.4. วิธีดำเนินการวิจัย 2

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **3**

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

บทที่ 3 การตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยข้อมูลการหมุนพวงมาลัย **10**

3.1 การเข้าถึงข้อมูลองศาการหมุนของพวงมาลัย 10

3.2 การเก็บข้อมูลรูปแบบการหมุนพวงมาลัยขณะขับขี่ 13

3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจร 15

3.4 การตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจร 18

บทที่ 4 ผลการวิจัย **19**

4.1 ข้อมูลและเครื่องมือในการประเมินผลการวิจัย 19

4.2 ประสิทธิภาพการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยข้อมูลการหมุนของพวงมาลัย 22

บทที่ 5 สรุปผลโครงการวิจัย **24**

5.1 สรุปผลการวิจัย 24

5.2 ข้อเสนอแนะ 24

บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย **25**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

เอกสารอ้างอิง **26**

ประวัตินักวิจัย **28**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม 21
4.2 ประสิทธิภาพของวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจากข้อมูลการขับขี่รวมระยะเวลามากกว่า 6 ชั่วโมง 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ภาพแสดงทิศของค่าความเร่งที่เกิดขึ้นในแต่ละแกนของแอคเซเลอโรมิเตอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 8
2.2 ภาพแสดงทิศของค่าความเร็วเชิงมุมตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในแต่ละแกนของไจโรสโคปบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 9
3.1 ภาพแสดงมุมในการหมุนของแอทติจูดเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 11
3.2 อุปกรณ์ยึดโทรศัพท์เคลื่อนที่กับพวงมาลัย 12
3.3 ลักษณะการติดตั้งโทรศัพท์เคลื่อนที่ 12
3.4 ตัวอย่างของข้อมูลการหมุนพวงมาลัยที่ตรวจวัดได้ และข้อมูลการหมุนพวงมาลัยที่ผ่านการปรับสมดุล 13
3.5 ตัวอย่างข้อมูลองศาของพวงมาลัยขณะเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆประกอบด้วย การเปลี่ยนช่องทางการจราจรไปทางซ้าย-ขวา และ การเลี้ยวซ้าย-ขวา ตามลำดับ 14
3.6 ข้อมูลองศาพวงมาลัยขณะเปลี่ยนช่องทางการจราจร 16
3.7 การเคลื่อนที่ของยานพาหนะขณะหมุนพวงมาลัย 16
3.8 ตัวอย่างของข้อมูลทิศทางการหมุนพวงมาลัย 17
3.9 แผนภาพแสดงการตรวจหาการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจากข้อมูลการหมุนพวงมาลัย 18
4.1 ภาพหน้าจอแสดงผลสำหรับบันทึกข้อมูลองศาของพวงมาลัย 19
4.2 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความผิดพลาดของการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ α ต่างๆ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะบนท้องถนน เป็นหนึ่งในข้อมูลการจราจรที่มีความสำคัญ เนื่องจากพฤติกรรมการเปลี่ยนช่องทางการจราจรที่เกิดขึ้นนั้น สามารถสะท้อนถึงลักษณะของกระแสการจราจรในเส้นทางนั้นๆได้ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์หาความผิดปกติของการจราจรในแต่ละเส้นทางได้ [1] ซึ่งแน่นอนว่าหากในเส้นทางใดยานพาหนะมีการเปลี่ยนช่องทางการจราจรบ่อยครั้ง อาจจะสะท้อนถึงสภาวะผิดปกติของการจราจรในเส้นทางนั้นๆได้ เช่นเกิดอุบัติเหตุกีดขวางช่องทางการจราจร มียานพาหนะจอดกีดขวางช่องทางการจราจร หรือมีเหตุการณ์ใดๆที่เป็นเหตุให้ช่องทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะลดลง อีกทั้งข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรนี้ ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่ยานพาหนะได้ เช่น ผู้ขับขี่มีการเปลี่ยนช่องทางการจราจรที่ผิดแปลกไปจากปกติ จนอาจสะท้อนถึงการขับขี่ที่ไม่ปลอดภัยต่อตนเอง หรือยานพาหนะคันอื่นๆในเส้นทางเดียวกัน ดังจะสังเกตได้บ่อยๆว่า ผู้ขับขี่ที่มีพฤติกรรมการขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย มักจะมีการแซงและการเปลี่ยนช่องจราจรบ่อยกว่าผู้ขับขี่ปกติทั่วไป ดังนั้นการได้มาซึ่งข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรก็จะสามารถช่วยสะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ในส่วนนี้ได้

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการสำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะออกมาในหลากหลายรูปแบบ โดยหากแบ่งตามอุปกรณ์เก็บข้อมูลการจราจร สามารถแบ่งวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรออกเป็น 2 รูปแบบคือ

1. วิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะโดยอาศัยข้อมูลจากเซ็นเซอร์ไม่เคลื่อนที่ (Fixed Sensors) โดยจะอาศัยข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลการจราจรที่มีการติดตั้งแบบถาวรในบริเวณเส้นทางที่ต้องการเก็บข้อมูล ด้วยอุปกรณ์ประเภทตรวจวัดการจราจรที่ติดตั้งเหนือผิวทาง (Over-roadway Sensors) เช่น กล้องตรวจจับข้อมูลการจราจร ซึ่งวิธีการนี้มีข้อจำกัดทั้งในด้านของความยุ่งยากในการติดตั้ง และการบำรุงรักษา ไปจนถึงมูลค่าของตัวอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีราคาค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้ต้องใช้งบประมาณเป็นจำนวนมาก หากต้องการติดตั้งให้ครอบคลุมทุกเส้นทางในเมืองขนาดใหญ่
2. วิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยเซ็นเซอร์เคลื่อนที่ (Mobile Sensors) ซึ่งเป็นการลดข้อจำกัดของการเก็บข้อมูลการจราจรด้วยเซ็นเซอร์แบบไม่เคลื่อนที่ โดยส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ภายในยานพาหนะ เช่น กล้องวีดีโอ ซึ่งก็ยังมีข้อจำกัดในด้านของความยุ่งยากในการติดตั้ง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนนั้นเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันนั้นมาพร้อมกับเซ็นเซอร์ที่หลากหลาย จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในงานหลายๆด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการจราจร ซึ่งสามารถนำไปติดตั้งบนยานพาหนะเพื่อใช้เป็นเซ็นเซอร์เคลื่อนที่สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจรระหว่างการเดินทางในชีวิตประจำวันได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยมุ่งหวังที่จะศึกษาและคิดค้นวิธีในการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะ โดยจะเริ่มตั้งแต่การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยวิธีต่าง ๆ ทั้งแบบอาศัยข้อมูลจากเซ็นเซอร์ไม่เคลื่อนที่ และแบบใช้เซ็นเซอร์เคลื่อนที่ ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะ และพัฒนาวิธีการสำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่มีอยู่บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตลอดจนทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในการเก็บข้อมูลการจราจรนั้น จะสามารถทำให้ยานพาหนะไม่ว่าจะใหม่หรือเก่ากลายเป็นเซ็นเซอร์เคลื่อนที่สำหรับเก็บข้อมูลการจราจรระหว่างการเดินทางในชีวิตประจำวันได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น เพียงแค่ติดตั้งโทรศัพท์เคลื่อนที่ไว้บนยานพาหนะเท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อคิดหาวิธีในการใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรของยานพาหนะ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพความแม่นยำของการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์คลื่อนที่

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. มีการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรของยานพาหนะด้วยข้อมูลจากเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่
2. มีการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะที่มีอยู่ในปัจจุบัน
2. เก็บรวบรวมข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะ
3. พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยข้อมูลจากเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่
4. ทดสอบ และประเมินความแม่นยำ
5. วิเคราะห์ ปรับปรุงอัลกอริทึม
6. รวบรวมผล และจัดทำรายงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้ใหม่ในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่
2. ได้วิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะแบบใหม่ ที่มีประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนแรกอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ และส่วนที่สองเป็นรายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ระบบข้อมูลการจราจร

ระบบข้อมูลการจราจร (Traffic Information System) คือระบบสำหรับจัดการกับข้อมูลการจราจร ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจรมาจากถนนเส้นต่างๆ 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 (Infrastructureless Traffic Information System) เป็นระบบข้อมูลการจราจรที่จะไม่ใช้การเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ที่ถูกติดไว้ตามท้องถนน แต่จะใช้ยานพาหนะแต่ละคันเป็นตัวเก็บข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น การติดตั้งอุปกรณ์ชนิดใดชนิดหนึ่งลงไปบนยานพาหนะ และเก็บข้อมูลการจราจรในระหว่างเดินทาง

2.1.2 ข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจร

การเปลี่ยนช่องทางการจราจรขณะขับขี่ยานพาหนะนั้น คือการที่ผู้ขับขี่ควบคุมยานพาหนะออกจากช่องทางหนึ่งไปยังอีกช่องทางการจราจรหนึ่งในเส้นทางเดียวกัน โดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์หลักคือการหลบหลีกยานพาหนะที่อยู่ด้านหน้า ซึ่งอาจเกิดขึ้นด้วยหลากหลายเหตุผลด้วยกัน เช่น เปลี่ยนช่องทางการจราจรเพื่อแซงยานพาหนะด้านหน้าที่มีความเร็วต่ำกว่า หรือเปลี่ยนช่องทางการจราจรเพื่อหลีกเลี่ยงสภาพพื้นผิวถนนที่อยู่ในสภาพไม่สมบูรณ์ของช่องทางการจราจรที่กำลังขับขี่อยู่ ไปจนกระทั่งหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่อาจกีดขวางช่องทางการจราจร เช่น รถเสีย อุบัติเหตุ หรือ การปิดช่องทางการจราจรเพื่องานทางด้านวิศวกรรม เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะ จึงเป็นหนึ่งในข้อมูลการจราจรที่มีบทบาทสำคัญสำหรับนำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์ และออกแบบในงานด้านวิศวกรรมการจราจร เช่น การออกแบบเส้นทาง หรือช่องทางการจราจร, ทางแยก, ทางร่วมแยก ไปจนกระทั่งสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้สำหรับสังเกตพฤติกรรม และความเป็นไปของสภาพการจราจร เพื่อประเมินหาเหตุการณ์ผิดปกติบนท้องถนนได้อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มาซึ่งข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะบนท้องถนนนั้น สามารถตรวจจับได้จากอุปกรณ์หลากหลายประเภท ด้วยหลากหลายวิธีการ ซึ่งจะอธิบายในส่วนถัดไป

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงวิธีการในการได้มาซึ่งข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะบนท้องถนนด้วยวิธีการและอุปกรณ์ประเภทต่างๆที่มีในปัจจุบัน ตั้งแต่การได้มาซึ่งข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะจากเซ็นเซอร์ทั้งแบบไม่เคลื่อนที่และแบบเคลื่อนที่ ไปจนกระทั่งการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยเซ็นเซอร์บนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดและมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมากอย่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบัน ซึ่งเทคนิคและวิธีการที่ใช้สำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยเครื่องมือแต่ละประเภทนั้นอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 การเก็บข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยเซ็นเซอร์แบบไม่เคลื่อนที่

การตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรโดยอาศัยข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบไม่เคลื่อนที่จะอาศัยข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลการจราจร ซึ่งมีการติดตั้งแบบถาวรบริเวณเส้นทางที่ต้องการเก็บ ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดการจราจรที่ติดตั้งเหนือผิวทาง (Over-roadway Sensors) เช่น กล้องตรวจจับข้อมูลการจราจรเป็นหลัก สำหรับงานวิจัยในด้านการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรโดยอาศัยข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบไม่เคลื่อนที่ซึ่งได้มีการพัฒนาขึ้นในอดีตที่ผ่านมา ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การใช้อัลกอริทึมวิเคราะห์จากการมองเห็น (Vision-Based Algorithm) [2, 3, 4] กล่าวคือ การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยภาพจากกล้องวงจรปิดนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่นในงานวิจัย [2] ใช้ระบบการประมวลผลรูปภาพจากวีดีโอในการจำแนกยานพาหนะและพื้นผิวถนนออกจากกัน จากนั้นจึงตรวจจับและติดตามยานพาหนะที่อยู่ในภาพ และจำแนกช่องทางการจราจรจากรูปแบบการเรียงตัวและการเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยการประมวลผลแบบทันกาล จึงทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านกล้องในเส้นทางดังกล่าวได้ ส่วนในงานวิจัย [4] ได้นำเสนอระบบการประมวลผลวีดีโอแบบทันกาลในการติดตามยานพาหนะหลายคันในเส้นทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาตัวแปรทางด้านการจราจร เช่น การเปลี่ยนช่องทางการจราจร และการนับจำนวนของยานพาหนะที่วิ่งผ่านในเส้นทางที่ติดตั้งกล้องไว้ โดยการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะนั้นจะใช้วิธีแยกเส้นทางการจราจรบนถนนและนับจำนวนของยานพาหนะในแต่ละเฟรมทุกช่องทางการจราจร โดยความถี่ของการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจะได้มาจากการนับจำนวนยานพาหนะที่ตรวจจับได้ในแต่ละช่องทางการจราจรในทุกๆเฟรม ยกตัวอย่างเช่น ในเฟรมที่ 1 ช่องทางการจราจรที่ 1 มียานพาหนะอยู่ 4 คัน ช่องทางการจราจรที่ 2 มียานพาหนะอยู่ 3 คัน ในเฟรมถัดมาช่องทางการจราจรที่ 1 มียานพาหนะลดลงเหลือ 3 คัน และช่องทางการจราจรที่ 2 มียานพาหนะเพิ่มมาเป็น 4 คัน เท่ากับว่ามีการเปลี่ยนช่องทางการจราจรเกิดขึ้น 1 ครั้ง เป็นต้น

จากงานวิจัยในส่วนของการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยเซ็นเซอร์แบบไม่เคลื่อนที่ข้างต้น พบว่างานวิจัยซึ่งได้มีการพัฒนาจากอดีตจนกระทั่งปัจจุบันมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นและประสิทธิภาพในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ที่ดีขึ้น และสามารถใช้ในการเก็บข้อมูลการจราจรได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตาม การอาศัยข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบไม่เคลื่อนที่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บข้อมูลการจราจรนั้น มีอุปสรรคในด้านของการกระจายตัวของอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลการจราจร ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจะถูกเก็บได้เฉพาะช่วงถนนที่มีการติดตั้งกล้องวงจรปิดไว้เท่านั้น ส่งผลให้ไม่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรในเส้นทางอื่นๆที่ไม่มีกล้องวงจรปิดติดตั้งไว้ได้เลย นอกจากนี้กล้องที่ใช้สำหรับตรวจจับข้อมูลการจราจรนั้นมีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งยังต้องใช้งบประมาณในการติดตั้ง และดูแลรักษาเป็นจำนวนมากอีกด้วย

2.2.2 การตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรโดยอาศัยข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบเคลื่อนที่

จากข้อจำกัดของการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรโดยอาศัยข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบไม่เคลื่อนที่ จึงมีการนำเซ็นเซอร์แบบเคลื่อนที่มาใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลการจราจรแทน โดยยานพาหนะจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนเซ็นเซอร์เก็บข้อมูลการจราจรในระหว่างเดินทางผ่านเส้นทางต่างๆ ทำให้สามารถทราบข้อมูลการจราจรที่แท้จริง เพียงแค่มียานพาหนะส่งข้อมูลการจราจรในเส้นทางที่เคลื่อนที่ผ่านมายังระบบ ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งเซ็นเซอร์ไม่เคลื่อนที่สำหรับเก็บข้อมูลการจราจรอีกต่อไป

อย่างไรก็ตามยานพาหนะส่วนใหญ่ในปัจจุบันยังไม่สามารถเก็บข้อมูลการจราจรได้ด้วยตนเอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าไปในยานพาหนะ เพื่อให้ยานพาหนะมีเซ็นเซอร์สำหรับเก็บข้อมูลการจราจรในระหว่างเดินทางตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยทั่วไประบบระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (Global Positioning System) เป็นเซ็นเซอร์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ติดตั้งบนยานพาหนะ เพื่อแปลงยานพาหนะให้เป็นเซ็นเซอร์เคลื่อนที่สำหรับเก็บข้อมูลการจราจร เพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะสภาพการจราจรอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน [5]

ในทำนองเดียวกัน สำหรับการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะก็ได้มีการนำระบบระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลกมาใช้ด้วยเช่นกัน ในงานวิจัย [6] มีการใช้งาน Differential Global Positioning System (DGPS) ในการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะในระดับช่องทางการจราจร ซึ่ง DGPS นั้นสามารถให้ความแม่นยำได้ค่อนข้างสูง โดยมีค่าความผิดพลาดน้อย จึงสามารถใช้ในการติดตามการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ และจำแนกความเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งเมื่อยานพาหนะเปลี่ยนช่องทางการจราจรได้

นอกเหนือจากระบบระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลกที่นิยมนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลการจราจรแล้ว กล้องถ่ายภาพและวีดีโอก็นับเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลการจราจรด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจจับสภาพแวดล้อมด้านหน้าคนขับ เช่น ยานพาหนะที่อยู่ด้านหน้า หรือเส้นแบ่งช่องทางการจราจรเป็นต้น ซึ่งแน่นอนว่าหากสามารถตรวจจับเส้นแบ่งช่องทางการจราจรได้ การจะตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะนั้นก็สามารถทำได้ไม่ยากนัก ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัย [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] ล้วนเป็นงานวิจัยที่เริ่มต้นจากการตรวจจับเส้นแบ่งช่องทางการจราจรด้วยภาพจากกล้องที่ติดตั้งไว้ภายในรถ ด้วยเทคนิคการประมวลผลรูปภาพ (Image Processing) ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับการเคลื่อนที่ออกนอกช่องทางการจราจรของยานพาหนะ โดยสังเกตจากเส้นแบ่งช่องทางการจราจรที่ตรวจจับได้ ยกตัวอย่างเช่น หากยานพาหนะวิ่งอยู่ในช่องทางการจราจรของตนเอง เส้นแบ่งช่องทางการจราจรที่ตรวจจับได้จะปรากฏบริเวณด้านข้างของภาพ แต่หากสามารถตรวจจับเส้นแบ่งการจราจรได้บริเวณกลางภาพ จะตรวจจับว่ายานพาหนะกำลังเคลื่อนที่ออกนอกช่องทางการจราจร หรือย้ายช่องทางการจราจร เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บข้อมูลการเปลี่ยนช่องทางการจราจรได้ แต่อาจไม่สามารถระบุทิศทางการย้ายช่องทางการจราจร เช่น ย้ายจากซ้ายไปขวา หรือย้ายจากขวาไปซ้ายได้ นอกจากในงานวิจัย [16] ที่มีการพัฒนาให้สามารถระบุได้ว่ายานพาหนะกำลังจะมีการออกนอกช่องทางการจราจรไปทางซ้ายหรือขวา

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการใช้รูปภาพหรือวีดีโอในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรนั้น ใช้การตรวจหาเส้นแบ่งช่องทางการจราจรเป็นคุณสมบัติหลักในการทำงาน ดังนั้นจะมีข้อขัดข้องเกิดขึ้นเมื่อกล้องไม่สามารถมองเห็นเส้นแบ่งช่องทางการจราจรได้ชัดเจน ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายกรณี เช่น สีของเส้นแบ่งการจราจรจางหายหรือไม่ชัดเจน หรือในกรณีที่แสงสว่างไม่เพียงพอ เช่น ในเวลากลางคืน นอกจากนี้สภาพอากาศก็ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่จะสร้างข้อขัดข้องให้กับวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจากการใช้รูปภาพหรือวีดีโอ เช่น ในกรณีที่มีหมอก ฝนตกหนัก หรือหิมะ ซึ่งทำให้ทัศนวิสัยไม่ชัดเจน

นอกเหนือจากวิธีการเหล่านี้ การใช้ข้อมูลจากระบบ Controller Area Network หรือ CAN-bus ก็นับเป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้สำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะ ซึ่งระบบ CAN-bus ดังกล่าวเป็นระบบสื่อสารที่นำมาใช้กับระบบควบคุมภายในยานพาหนะ โดยถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการดึงข้อมูลการหันเหของยานพาหนะ เช่น ยานพาหนะหันไปทางซ้ายกี่องศา หรือหันไปทางขวากี่องศา เป็นต้น ซึ่งลักษณะการหันเหหรือเปลี่ยนวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรนั้นจะมีรูปแบบที่เป็นลักษณะเฉพาะ กล่าวคือในขณะยานพาหนะกำลังเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรนั้น ยานพาหนะจะเริ่มเปลี่ยนวิถี หรือหันหัวไปในทิศทางของช่องทางการจราจรที่ต้องการจะไป จากนั้นยานพาหนะจะต้องหันย้อนกลับมาในทิศทางตรงกันข้ามเล็กน้อยหลังจากเข้าสู่ช่องทางการจราจรใหม่เรียบร้อยแล้วเพื่อรักษาวิถีการเคลื่อนที่ในช่องทางการจราจรใหม่ตามลำดับ ซึ่งอัลกอริทึมจะคอยตรวจจับลักษณะการหันเห หรือวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีความสอดคล้องกับรูปแบบดังกล่าว จากข้อมูลองศาการหันเหของยานพาหนะที่ดึงมาได้จากระบบ CAN-bus นั่นเอง โดยที่ความแม่นยำในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยเทคนิคดังกล่าวก็นับว่าอยู่ในระดับที่สูง ตามที่แสดงในงานวิจัย [17, 18]

โดยรวมแล้วการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยการใช้เซ็นเซอร์แบบเคลื่อนที่โดยการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าไปในยานพาหนะ เช่น DGPS, กล้องบันทึกภาพ หรือระบบ CAN-bus นั้น นับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการแปลงยานพาหนะให้เป็นเซ็นเซอร์เคลื่อนที่สำหรับเก็บข้อมูลการจราจร แต่อย่างไรก็ตาม การจะใช้งานอุปกรณ์เหล่านั้นก็ยังมีความยุ่งยาก ทั้งในส่วนของการติดตั้งอุปกรณ์ ไปจนกระทั่งการตั้งค่าการบันทึก และประมวลผลข้อมูล ส่งผลให้การจะนำระบบดังกล่าวไปใช้เก็บข้อมูลการจราจรระหว่างเดินทางในชีวิตประจำวันนั้นมีความเป็นไปได้ยาก อีกทั้งการที่จะประเมินสภาพการจราจรหรือวิเคราะห์เหตุการณ์ผิดปกติต่างๆบนท้องถนนด้วยข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบเคลื่อนที่นั้น ต้องใช้ข้อมูลจากยานพาหนะจำนวนมากในเส้นทางเดียวกันจึงจะได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นหากการติดตั้งอุปกรณ์เข้าไปในยานพาหนะมีความยุ่งยาก จะส่งผลให้การที่จะแปลงยานพาหนะทั่วๆไปให้เป็นเซ็นเซอร์สำหรับเก็บข้อมูลการจราจรนั้นทำได้ยากขึ้น และมียานพาหนะที่จะสามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้ไม่มากนัก ทำให้ปริมาณข้อมูลที่ได้อาจไม่เพียงพอในการนำมาวิเคราะห์สภาพการจราจร หรือเหตุการณ์ผิดปกติในเส้นทางต่างๆให้มีความแม่นยำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การเก็บข้อมูลการจราจรโดยใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

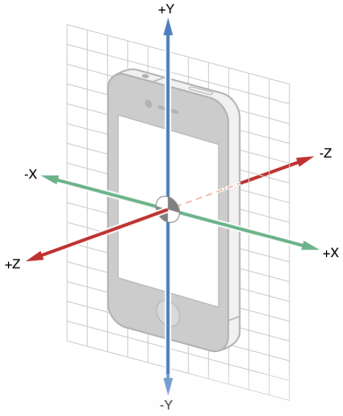
ในปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านของประสิทธิภาพการทำงาน และเทคโนโลยี รวมไปถึงเซ็นเซอร์ต่างๆที่ถูกเพิ่มเข้ามาในโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างมากมาย เช่น เซ็นเซอร์ระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (GPS), กล้องถ่ายภาพ, เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer), เซ็นเซอร์วัดการหมุน (Gyroscope), เซ็นเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Magnetometer) และอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งเซ็นเซอร์เหล่านี้ทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ไม่เพียงแค่ใช้ในการติดต่อสื่อสารเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยหลายด้าน [19] ตั้งแต่งานด้านสุขภาพ, พฤติกรรมมนุษย์, สิ่งแวดล้อม, การค้า, สังคม รวมไปถึงทางด้านการจราจร จึงเป็นสิ่งที่ยืนยันได้ว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตของมนุษย์ในทุกๆด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของการจราจร เนื่องจากปัญหาทางด้านการจราจรในปัจจุบัน เป็นสิ่งหนึ่งที่หลายคนต้องเผชิญโดยแทบจะหลีกเลี่ยงไม่ได้

บทบาทของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในงานด้านการจราจรนั้น ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การสนับสนุนการตัดสินใจของผู้ขับขี่ หรือการแจ้งเตือนเพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุ รวมไปถึงการประยุกต์เป็นเซ็นเซอร์เคลื่อนที่สำหรับเก็บข้อมูลการจราจรด้วย ซึ่งการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นเซ็นเซอร์เคลื่อนที่สำหรับเก็บข้อมูลการจราจรของยานพาหนะนั้นนับว่าเป็นทางเลือกที่ดี เนื่องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก จึงสามารถทำให้ยานพาหนะไม่ว่าใหม่หรือเก่าบนท้องถนนกลายเป็นเซ็นเซอร์เคลื่อนที่สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจรได้ ถือว่าเป็นการทำลายข้อจำกัดสำคัญของการใช้เซ็นเซอร์เคลื่อนที่ที่ต้องติดตั้งอุปกรณ์อย่างยุ่งยากเข้าไปในยานพาหนะเพื่อเก็บข้อมูลการจราจรตามหัวข้อก่อนหน้าที่ได้ทำการศึกษาไว้

2.2.4 การตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรโดยอาศัยข้อมูลจากเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

การใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะนั้น งานส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งหรือแอคเซเลอโรมิเตอร์ แทนที่จะใช้กล้องหรือตัวรับสัญญาณจีพีเอส เนื่องจากการประมวลผลรูปภาพหรือวีดีโอด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นต้องใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมากและบริโภคพลังงานสูง ในขณะที่พลังงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นมีจำกัด รวมไปถึงการใช้ตัวรับสัญญาณจีพีเอสบนโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรนั้นยังต้องพึ่งพาแผนที่ดิจิทัลที่มีความละเอียดถึงระดับช่องทางจราจร (Lane-level Digital Map) ซึ่งอาจจะไม่ได้มีให้ใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยเหตุนี้ทั้งกล้องและตัวรับสัญญาณจีพีเอสบนโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงไม่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะมากนัก ดังนั้นงานส่วนใหญ่ที่ใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรนั้น จึงมุ่งเน้นไปที่การใช้เซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจจับลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้เป็นหลัก ยกตัวอย่างเช่น แอคเซเลอโรมิเตอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรวจจับความเร่งหรือแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนตามภาพที่ 2.1 ดังนั้นเมื่อนำโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปติดตั้งบนยานพาหนะแล้วจะสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้จากข้อมูลของแอคเซเลอโรมิเตอร์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



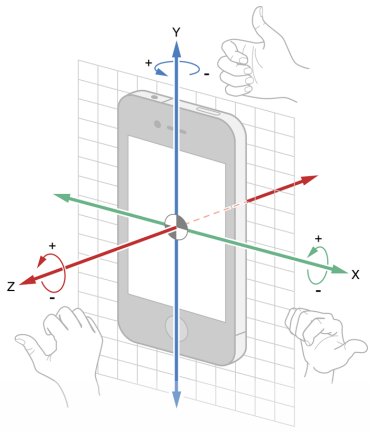
ภาพที่ 2.1 ภาพแสดงทิศของค่าความเร่งที่เกิดขึ้นในแต่ละแกนของแอคเซเลอโรมิเตอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

โดยงานวิจัย [20, 21] ผู้วิจัยวางโทรศัพท์ เคลื่อนที่ในแนวระนาบโดยให้ด้านบนของเครื่องชี้ไปทางด้านหน้ายานพาหนะ และใช้ค่าที่แอคเซเลอโรมิเตอร์อ่านได้จากแกน x ในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจร โดยดูจากค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในแกน x ซึ่งรูปแบบของค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นนั้น จะแตกต่างกันในกรณีที่เปลี่ยนช่องทางการจราจรไปทางซ้าย หรือเปลี่ยนช่องทางการจราจรไปทางขวา ทำให้สามารถระบุทิศทางการเปลี่ยนช่องทางการจราจรได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามวิธีการข้างต้นสามารถตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางของยานพาหนะได้เฉพาะเมื่อยานพาหนะมีการใช้ความเร็วอยู่ในระดับหนึ่ง หรืออยู่ในสภาพการจราจรที่คล่องตัวเท่านั้น เนื่องจากหากเปลี่ยนช่องทางการจราจรในสภาพการจราจรที่ติดขัดนั้น จะต้องใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนช่องทางการจราจรมากกว่า ส่งผลให้ค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นกับแอคเซเลอโรมิเตอร์ไม่ชัดเจนมากพอที่จะสามารถแยกแยะการเปลี่ยนช่องทางการจราจรออกจากการเคลื่อนที่ปกติได้

อย่างไรก็ตามในงานวิจัย [22] ได้พัฒนาอัลกอริทึมในการใช้ข้อมูลจากแอคเซเลอโรมิเตอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะ นับจำนวนช่องทางการจราจร รวมไปถึงระบุช่องทางการจราจรที่กำลังใช้งานอยู่ได้อย่างแม่นยำ โดยวิธีที่ใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะที่ใช้คือการจดจำรูปแบบของความแปรปรวนของข้อมูลจากแอคเซเลอโรมิเตอร์ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนช่องทางการจราจรในทุกๆรูปแบบ ทั้งเปลี่ยนช่องทางการจราจรทีละหนึ่งช่องทาง เปลี่ยนช่องทางการจราจรครั้งเดียวหลายช่องทาง เช่น เปลี่ยนจากช่องทางที่ 1 ไปช่องทางที่ 3 ในครั้งเดียว รวมไปถึงการเปลี่ยนช่องทางแล้วกลับมาที่ช่องทางเดิม โดยมีการทดลองทั้งในสภาพการจราจรที่คล่องตัว และในสภาพการจราจรที่ติดขัด

นอกจากแอคเซเลอโรมิเตอร์แล้ว ไจโรสโคปก็เป็นอีกหนึ่งเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถตรวจจับลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้ โดยที่เซ็นเซอร์ดังกล่าวจะสามารถตรวจจับความเร็วเชิงมุมตามแนวแกนของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ทั้ง 3 แกน ตามภาพที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ภาพแสดงทิศของค่าความเร็วเชิงมุมตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในแต่ละแกนของไจโรสโคปบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

ดังนั้นเมื่อนำโทรศัพท์เคลื่อนที่วางไว้ในแนวระนาบบนยานพาหนะ ค่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนแกน z จะสามารถใช้ในการอ้างอิงการหันเหของยานพาหนะ หรือวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้นั่นเอง ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้จะใช้หลักการเดียวกันกับการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยข้อมูลจากระบบ CAN-bus ตามที่ได้อธิบายไว้ในส่วนที่ 2.2.2 ซึ่งจากงานวิจัย [23] ที่มีการใช้งานไจโรสโคปบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะนั้น แสดงให้เห็นว่าการใช้เซ็นเซอร์ชนิดนี้มีความแม่นยำ และมีข้อจำกัดที่น้อยกว่าการใช้แอคเซเลอโรมิเตอร์ ซึ่งไจโรสโคปนั้นสามารถตรวจจับได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้เป็นการเปลี่ยนช่องทางการจราจรในขณะที่ยานพาหนะมีความเร็วต่ำ แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการตรวจจับจะลดลงอย่างมาก หากการเปลี่ยนช่องทางการจราจรถูกขัดจังหวะ หรือมีอุปสรรคที่ส่งผลให้การเปลี่ยนช่องทางการจราจรเกิดความไม่ต่อเนื่อง เช่น มียานพาหนะวิ่งเข้ามาขณะกำลังเปลี่ยนช่องทางการจราจร หรือต้องหยุดรอจังหวะเพื่อแทรกตัวเข้าไปในช่องทางการจราจรใหม่ ซึ่งจะส่งผลให้รูปแบบของข้อมูลเกิดความแตกต่างจากรูปแบบข้อมูลของการเปลี่ยนช่องทางการจราจรที่กำหนดไว้ ทำให้การตรวจจับเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้บ่อยครั้งในเส้นทางที่มีการจราจรติดขัด เช่นถนนในเมือง ที่มีความซับซ้อนของสภาพการจราจรค่อนข้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยข้อมูลการหมุนพวงมาลัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้คิดค้นวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยข้อมูลการหมุนของพวงมาลัยขณะขับขี่ ซึ่งวิธีการที่คิดค้นขึ้นนี้เป็นวิธีการใหม่ที่ยังไม่เคยมีงานวิจัยใดทำมาก่อน โดยมีเป้าหมายหลักคือ เพื่อทดสอบดูว่าการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะโดยใช้ข้อมูลการหมุนของพวงมาลัยขณะขับขี่นั้นจะเป็นไปได้หรือไม่ และมีประสิทธิภาพความถูกต้องและความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

ในการอธิบายการทำงานของวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยข้อมูลการหมุนของพวงมาลัยนั้น จะแบ่งลำดับการอธิบายการทำงานเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ประกอบด้วย

1. การเข้าถึงข้อมูลองศาการหมุนของพวงมาลัย
2. การเก็บข้อมูลรูปแบบการหมุนของพวงมาลัยขณะขับขี่
3. การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเฉพาะของการหมุนพวงมาลัยเพื่อแยกแยะการเปลี่ยนช่องทางการจราจร
4. การสร้างอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจากลักษณะการหมุนพวงมาลัยขณะขับขี่

โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

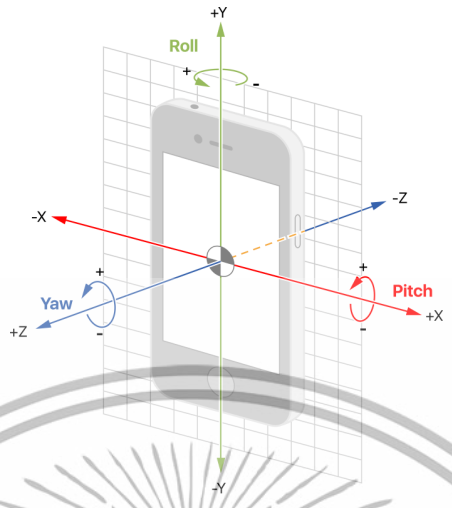
3.1 การเข้าถึงข้อมูลองศาการหมุนของพวงมาลัย

ในส่วนของการเข้าถึงข้อมูลองศาการหมุนของพวงมาลัยนี้จะแบ่งการอธิบายออกเป็นสองส่วนย่อยด้วยกัน ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับการหมุนของพวงมาลัย และการตรวจจับองศาของพวงมาลัยขณะขับขี่

3.1.1 เซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับการหมุนของพวงมาลัย

ในการจะตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจากลักษณะการหมุนพวงมาลัยขณะขับขี่นั้น ข้อมูลที่จะใช้ในการอ้างอิงการหมุนจะเป็นข้อมูลองศาของพวงมาลัย โดยวิธีการได้มาซึ่งองศาของพวงมาลัยดังกล่าว จะใช้เซ็นเซอร์แอทติจูด (Attitude) ที่มีอยู่ในโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับตรวจวัดองศาของพวงมาลัย ซึ่งค่าของแอทติจูดเซ็นเซอร์นั้นเป็นค่าที่ระบบปฏิบัติการคำนวณมาจากเซ็นเซอร์หลักอย่าง ไจโรสโคป และ แอคเซเลอโรมิเตอร์ โดยหน้าที่ของแอทติจูดเซ็นเซอร์นั้น คือการวัดค่าการหมุนของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในมุม Pitch, Yaw และ Roll ตามที่แสดงในภาพที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 ภาพแสดงมุมในการหมุนของแอทติจูดเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

ค่าของมุมที่ได้จากแอทติจูดเซ็นเซอร์นั้นจะอยู่ในรูปของค่ามุมในหน่วยเรเดียน แต่เราต้องการอ้างอิงการหมุนของพวงมาลัยด้วยหน่วยองศาดังนั้นเราจะทำการแปลงค่ามุมในหน่วยเรเดียนที่ได้จากเซ็นเซอร์ดังกล่าวให้อยู่ในรูปขององศาด้วยสมการ

$$x_n = r_n \frac{180^\circ}{\pi} \quad (1)$$

โดยที่ x_n คือค่าองศาที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้ในลำดับที่ n และ r_n คือค่ามุมในหน่วยเรเดียนของมุมที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้ในลำดับที่ n

3.1.2 การตรวจจับองศาของพวงมาลัยขณะขับขี่

ในการวัดองศาการหมุนของพวงมาลัย เราจะนำโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยึดติดกับพวงมาลัยของยานพาหนะด้วยอุปกรณ์จับยึดตามภาพที่ 3.2 และติดตั้งในลักษณะตามภาพที่ 3.3 เพื่อใช้ค่าการหมุนของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการอ้างอิงเป็นองศาของการหมุนพวงมาลัยนั่นเอง ซึ่งการติดตั้งในลักษณะนี้ ค่ามุมของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่นำมาใช้อ้างอิงการหมุนของพวงมาลัยนั้นจะใช้เป็นมุม Pitch โดยกำหนดให้ค่าองศาของพวงมาลัยอยู่ที่ 0° เมื่อพวงมาลัยตั้งตรงตามภาพที่ 3.3 และกำหนดให้เมื่อหมุนพวงมาลัยไปทางขวา (ตามเข็มนาฬิกา) ค่าองศาจะเป็นค่าลบ และในทางตรงกันข้าม หากหมุนพวงมาลัยไปทางซ้าย (ทวนเข็มนาฬิกา) ค่าองศาจะเป็นค่าบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์ยึดโทรศัพท์เคลื่อนที่กับพวงมาลัย

ภาพที่ 3.3 ลักษณะการติดตั้งโทรศัพท์เคลื่อนที่

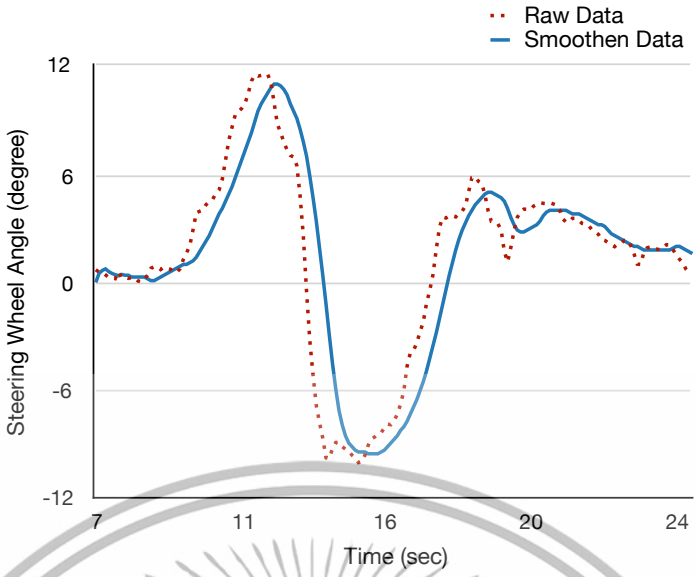
ในภาพที่ 3.4 เราได้ใช้เส้นประแสดงตัวอย่างข้อมูลองศาของพวงมาลัยขณะขับขี่ที่ตรวจวัดได้จากแอทติจูดเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ความถี่ในการบันทึก 10 ค่าต่อ 1 วินาที ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าองศาของพวงมาลัยขณะขับขี่มีความผันผวนค่อนข้างมาก ส่งผลให้ยากแก่การนำไปวิเคราะห์ ดังนั้นเพื่อลดความผันผวนดังกล่าว ค่าองศาที่ตรวจวัดได้จะถูกนำไปปรับสมดุล (Smoothen) ด้วยการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ หรือ Moving Average ตามสมการ

$$d_n = \frac{1}{w}\sum_{i=0}^{w-1} x_{n-i} \qquad (2)$$

โดยที่ d_n คือค่าองศาที่ผ่านการปรับสมดุลในลำดับที่ n, x_n คือค่าองศาที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้ในลำดับที่ n และ w คือขนาดช่วงของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการปรับสมดุล ซึ่งมีการทดลองเปลี่ยนแปลงค่า w ดังกล่าวนี้หลายค่าด้วยกัน ตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20 ช่วงข้อมูล และจากการทดลองพบว่า การกำหนดให้ค่า $w = 10$ เป็นค่าที่ให้ผลลัพธ์ได้ดีที่สุด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้ค่าดังกล่าวเป็นค่าขนาดช่วงของข้อมูลสำหรับการปรับสมดุล ซึ่งตัวอย่างข้อมูลองศาของพวงมาลัยที่ปรับสมดุลแล้วสามารถแสดงด้วยเส้นทึบในภาพที่ 3.4

เมื่อได้วิธีในการบันทึกข้อมูลการหมุนพวงมาลัยที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพเรียบร้อยแล้ว วิธีการดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้ในการบันทึกข้อมูลการหมุนพวงมาลัยขณะขับขี่ในสภาพการจราจรจริงในลำดับถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



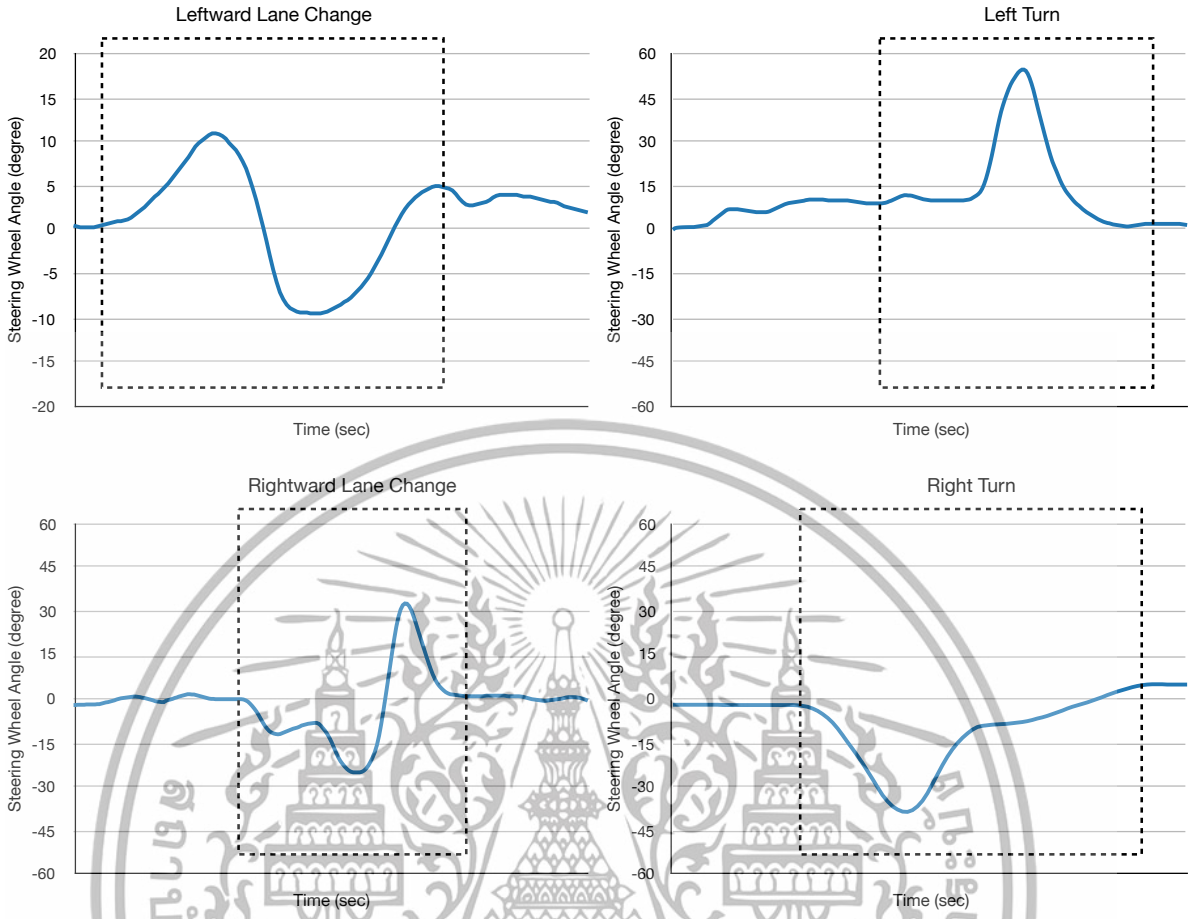
ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างของข้อมูลการหมุนพวงมาลัยที่ตรวจวัดได้ และข้อมูลการหมุนพวงมาลัยที่ผ่านการปรับสมดุล

3.2 การเก็บข้อมูลรูปแบบการหมุนพวงมาลัยขณะขับขี่

หลังจากได้วิธีการในการวัดและเก็บข้อมูลองศาของพวงมาลัยเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนต่อไปนี้จะเป็นการทดลองขับขี่ยานพาหนะเพื่อเก็บข้อมูลการหมุนพวงมาลัยในสถานการณ์ต่าง ๆบนเส้นทางและสภาพการจราจรจริงในกรุงเทพมหานคร ในการทดลองผู้ขับขี่สามารถขับขี่ยานพาหนะไปตามปกติ โดยที่แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจะทำการบันทึกค่าองศาของพวงมาลัยทุก ๆ 0.1 วินาที ในการเก็บข้อมูลเราจำเป็นต้องบันทึกการเปลี่ยนช่องทางการจราจรที่เกิดขึ้นจริงขณะขับขี่เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงด้วย ซึ่งสามารถทำได้โดยให้ผู้ขับขี่สัมผัสที่แอปพลิเคชันเมื่อจะเปลี่ยนช่องทางการจราจร และสัมผัสอีกครั้งเมื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรเสร็จสิ้น เพื่อบันทึกช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนช่องทางการจราจรเกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลนี้จะใช้สำหรับการจำแนกคุณลักษณะเฉพาะของข้อมูลการหมุนพวงมาลัย และเป็นข้อมูลจริงสำหรับเปรียบเทียบความแม่นยำในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรแบบอัตโนมัติต่อไป

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการหมุนพวงมาลัยขณะขับขี่ สามารถแสดงลักษณะของข้อมูลการหมุนพวงมาลัยในเหตุการณ์ต่าง ๆได้ตามภาพที่ 3.5 ซึ่งเป็นเหตุการณ์สำคัญที่เกิดขึ้นขณะขับขี่ ประกอบด้วยข้อมูลขณะเกิดการเปลี่ยนช่องทางการจราจรไปทางซ้าย, เปลี่ยนช่องทางการจราจรไปทางขวา, เลี้ยวซ้าย, และเลี้ยวขวา ตามลำดับ โดยสามารถสังเกตได้ว่า ลักษณะของข้อมูลการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรนั้นจะมีลักษณะที่แตกต่างจากการหมุนพวงมาลัยเพื่อเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวาอย่างชัดเจน โดยผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรดังกล่าวนี้ ในขั้นตอนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลองศาของพวงมาลัยขณะเกิดเหตุการณ์ต่างๆประกอบด้วย การเปลี่ยนช่องทางการจราจรไปทางซ้าย-ขวา และ การเลี้ยวซ้าย-ขวา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจร

จากข้อมูลการหมุนพวงมาลัยขณะขับขี่ที่เก็บรวบรวมได้ในขั้นตอนที่ 3.2 นั้น ผู้วิจัยพบว่าลักษณะของข้อมูลการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรมีรูปแบบเฉพาะที่แตกต่างจากรูปแบบข้อมูลของการหมุนพวงมาลัยในเหตุการณ์อื่นๆอย่างชัดเจน ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลการหมุนของพวงมาลัยขณะเปลี่ยนช่องทางการจราจรดังกล่าว สามารถแบ่งลักษณะการหมุนของพวงมาลัยที่เป็นเอกลักษณ์สำคัญของการเปลี่ยนช่องทางการจราจรออกได้เป็น 3 ช่วงด้วยกัน ประกอบด้วย

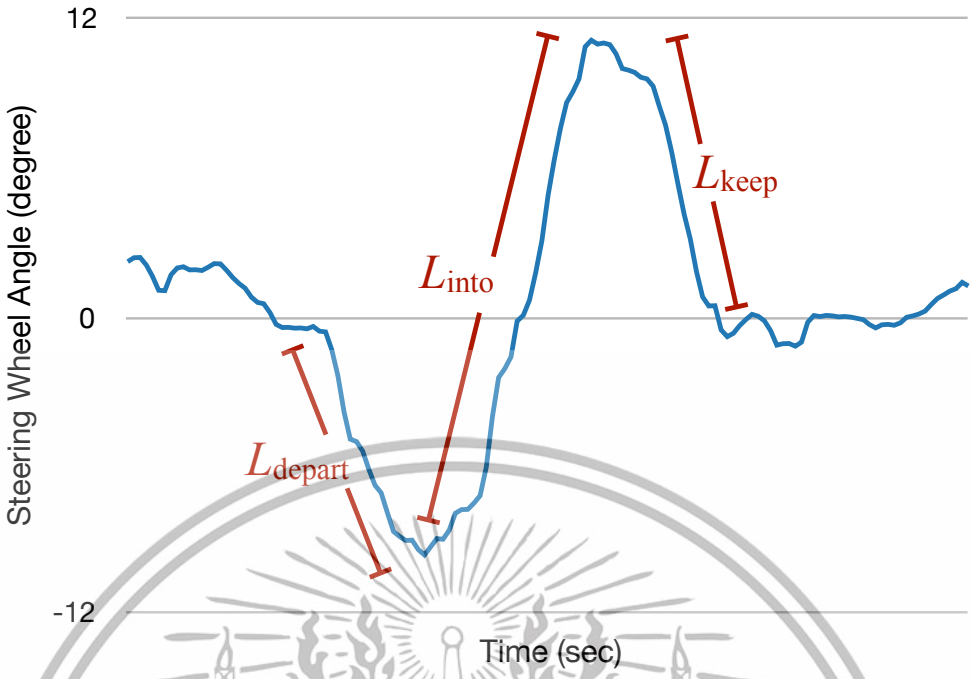
1. ช่วงแรก ผู้ขับขี่จะหมุนพวงมาลัยเพื่อเบี่ยงออกนอกช่องทางการจราจรเดิม โดยเราจะเรียกช่วงนี้ว่า L_{depart}
2. ช่วงที่สอง ผู้ขับขี่จะหมุนพวงมาลัยเพื่อบังคับยานพาหนะเข้าไปในช่องทางการจราจรที่ต้องการ โดยเราเรียกช่วงนี้ว่า L_{into}
3. ช่วงสุดท้าย ผู้ขับขี่จะหมุนพวงมาลัยเล็กน้อยเพื่อรักษาช่องทางการจราจรใหม่ ซึ่งเราเรียกช่วงนี้ว่า L_{keep}

โดยที่ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของยานพาหนะขณะเกิดการหมุนพวงมาลัยในแต่ละช่วง แสดงในภาพที่ 3.6 และ 3.7

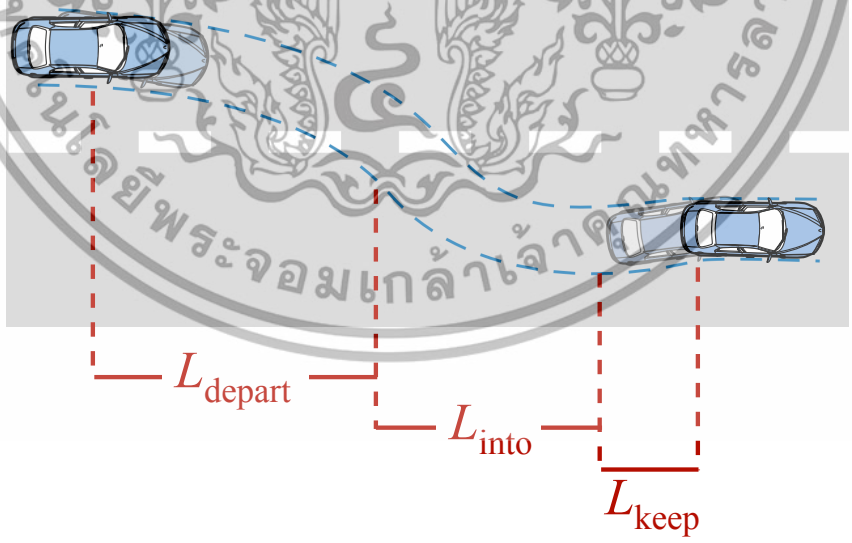
ขั้นตอนถัดมาผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาคุณลักษณะเฉพาะของการหมุนพวงมาลัยทั้งสามช่วงดังกล่าวนี้ โดยจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา ผู้วิจัยพบว่าในส่วนของการหมุนพวงมาลัยเพื่อออกนอกช่องทางการจราจรเดิม หรือ L_{depart} นั้น มีโอกาสเกิดการขัดจังหวะได้มาก เช่น หมุนพวงมาลัยไปแล้วแต่มียานพาหนะคันอื่นวิ่งเข้ามา ทำให้เกิดการหยุดชะงักในการหมุนพวงมาลัย หรือ ต้องหมุนพวงมาลัยกลับกระทันหัน ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้ล้วนส่งผลให้การหมุนพวงมาลัยในช่วง L_{depart} นั้นยากที่จะตรวจจับ หรือสามารถเกิดความผิดพลาดในการตรวจจับได้ง่าย ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาคุณลักษณะของการหมุนพวงมาลัยในช่วง L_{into} และ L_{keep} เป็นหลัก และจากการวิเคราะห์พบว่าสองลักษณะการหมุนพวงมาลัยที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกันนี้ มีคุณลักษณะเฉพาะเพียงพอที่จะใช้บ่งชี้ได้ว่าเป็นการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจร

ดังนั้นผู้วิจัยจะสร้างอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับการหมุนพวงมาลัยที่มีลักษณะตรงตามรูปแบบดังกล่าว โดยกำหนดให้การหมุนพวงมาลัยแต่ละครั้งแทนด้วย D ซึ่งการหมุนพวงมาลัยแต่ละครั้งนั้นหมายถึงลำดับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงขององศาของพวงมาลัย กล่าวคือ หากเป็นการหมุนพวงมาลัยไปทางซ้าย (ทวนเข็มนาฬิกา) จะเป็นลำดับขององศาของพวงมาลัยที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะเป็นการหมุนพวงมาลัยไปทางขวา (ตามเข็มนาฬิกา) เมื่อลำดับขององศาของพวงมาลัยลดลงอย่างต่อเนื่องนั่นเอง โดยตัวอย่างของข้อมูลการหมุนแต่ละครั้งแสดงในภาพที่ 3.8 ซึ่งจากนิยามที่กล่าวไว้ข้างต้น จะสามารถบ่งบอกได้ว่าการหมุนพวงมาลัยครั้งแรก หรือ D_1 นั้น เป็นการหมุนพวงมาลัยไปทางซ้าย เนื่องจากองศาของพวงมาลัย $(d_1, d_2, \ldots, d_k)$ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และการหมุนพวงมาลัยในครั้งที่สอง หรือ D_2 เป็นการหมุนพวงมาลัยไปทางขวาเนื่องจากค่าขององศาของพวงมาลัยลดลงอย่างต่อเนื่องนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

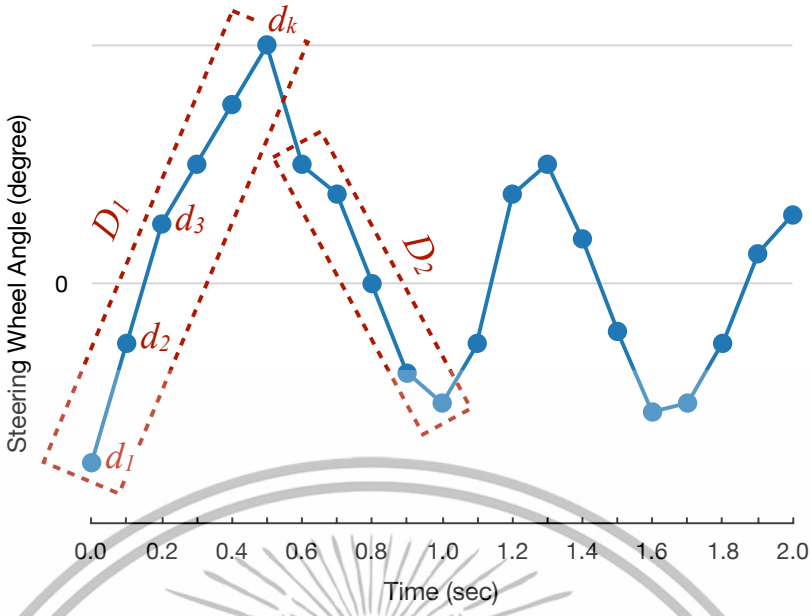


ภาพที่ 3.6 ข้อมูลองศาพวงมาลัยขณะเปลี่ยนช่องทางการจราจร



ภาพที่ 3.7 การเคลื่อนที่ของยานพาหนะขณะหมุนพวงมาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างของข้อมูลทิศทางการหมุนพวงมาลัย

ดังนั้นหลักการของการสร้างอัลกอริทึมในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรในงานวิจัยนี้ก็คือการสร้างเงื่อนไขสำหรับตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการหมุนพวงมาลัยในแต่ละครั้ง (D) ว่ามีความสอดคล้องกับคุณสมบัติของการหมุนพวงมาลัยในช่วง L_{into} และ L_{keep} หรือไม่ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ สามารถสรุปคุณสมบัติเฉพาะของการหมุนพวงมาลัยในช่วง L_{into} และ L_{keep} ได้ดังนี้

การหมุนพวงมาลัยจะถูกจัดว่าเป็นการหมุนในช่วง L_{into} เมื่อเงื่อนไขเหล่านี้เป็นจริง

1. เป็นการหมุนพวงมาลัยที่มากกว่า α องศา กล่าวคือ

$$|D^{(d_1)} - D^{(d_k)}| > \alpha$$

โดยที่ค่าพารามิเตอร์ α เป็นส่วนต่างของมุมขั้นต่ำที่สุดที่ทำให้การหมุนพวงมาลัยนี้สามารถนับว่าเป็นการหมุนในช่วง L_{into} ได้

2. เป็นการหมุนพวงมาลัยที่หมุนผ่านจุด 0° กล่าวคือ $D^{(d_1)}$ และ $D^{(d_k)}$ จะต้องมีเครื่องหมายต่างกัน เช่น ถ้าหาก $D^{(d_1)}$ เป็นค่าบวก $D^{(d_k)}$ จะต้องมีค่าเป็นลบนั่นเอง

การหมุนพวงมาลัยที่จะถูกจัดว่าเป็นการหมุนในช่วง L_{keep} เมื่อเงื่อนไขเหล่านี้เป็นจริง

1. จุดสิ้นสุดของการหมุนพวงมาลัยใกล้เคียงกับ 0° โดยต่างกันไม่เกิน $\pm\beta$ องศา กล่าวคือ

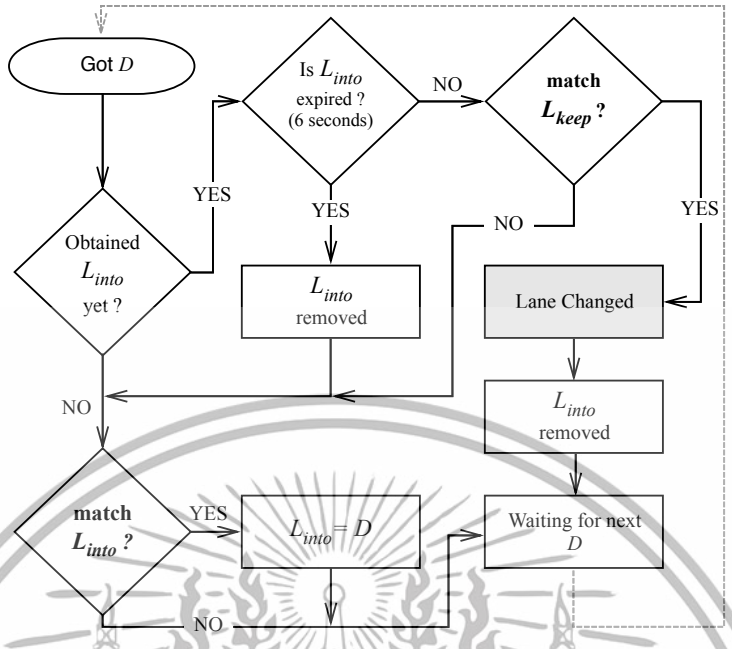
$$|D^{(d_k)}| \leq \beta$$

2. องศาในการหมุนเกิน $p_{\min}$ แต่ไม่เกิน $p_{\max}$ ของ L_{into} กล่าวคือ

$$p_{\min}\Omega < |D^{(d_1)} - D^{(d_k)}| < p_{\max}\Omega$$

โดยที่ $\Omega = |L_{\text{into}}^{(d_1)} - L_{\text{into}}^{(d_l)}|$ คือช่วงการหมุนของ L_{into} ที่ประกอบไปด้วยมุมจำนวน l มุม และ $0 < p_{\min} < p_{\max} < 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 แผนภาพแสดงการตรวจหาการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจากข้อมูลการหมุนพวงมาลัย

หลังจากทราบคุณลักษณะเฉพาะของการหมุนพวงมาลัยในทั้งสองช่วงที่ต้องการตรวจจับแล้ว ในส่วนสุดท้ายจะอธิบายขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรแบบทันกาลด้วยข้อมูลการหมุนของพวงมาลัย

3.4 การตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจร

ลักษณะการทำงานของอัลกอริทึมในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรแบบทันกาลด้วยข้อมูลการหมุนพวงมาลัยนั้น สามารถลำดับการทำงานให้เห็นได้ดังภาพที่ 3.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อผู้ขับขี่หมุนพวงมาลัยเสร็จสิ้นแต่ละครั้ง ข้อมูลการหมุนพวงมาลัยแต่ละครั้ง (D) จะถูกนำมาตรวจสอบคุณสมบัติว่ามีคุณสมบัติสอดคล้องกับการหมุนพวงมาลัยในช่วง L_{into} หรือไม่ เป็นลำดับแรก ซึ่งหากพบข้อมูลการหมุนพวงมาลัยที่มีคุณสมบัติตรงตามลักษณะการหมุนพวงมาลัยของ L_{into} เรียบร้อยแล้ว ก็จะรอตรวจสอบการหมุนพวงมาลัยครั้งถัดๆไปว่ามีคุณสมบัติตรงตามลักษณะการหมุนพวงมาลัยของ L_{keep} หรือไม่ ซึ่งหากตรวจพบการหมุนพวงมาลัยที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับ L_{keep} ภายในระยะเวลา 6 วินาที หลังจาก L_{into} ถูกตรวจจับได้ อัลกอริทึมจะตรวจจับว่าเป็นการเปลี่ยนช่องทางการจราจรในทันที

จากวิธีการในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรที่ได้นำเสนอไปข้างต้นนี้ ผู้วิจัยได้มีการทดสอบประสิทธิภาพ และนำเสนอความแม่นยำของวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยข้อมูลการหมุนพวงมาลัยในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะแสดงผลการวิจัยในด้านประสิทธิภาพและความแม่นยำของวิธีการในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยข้อมูลการหมุนของพวงมาลัยที่ได้นำเสนอไป โดยจะอธิบายองค์ประกอบที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพ ตั้งแต่เครื่องมือ และข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลการวิจัย ผลลัพธ์ความแม่นยำในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยวิธีการที่นำเสนอ รวมไปถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการดังกล่าวว่ามีจุดอ่อนและจุดแข็งอย่างไรบ้าง

4.1 ข้อมูลและเครื่องมือในการประเมินผลการวิจัย

ในการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยข้อมูลการหมุนของพวงมาลัยที่ได้นำเสนอไปนั้น ผู้วิจัยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ iPhone 5s ในการทดลอง โดยยึดโทรศัพท์เคลื่อนที่ดังกล่าวติดกับพวงมาลัยด้วยอุปกรณ์ตามที่แสดงไว้ในภาพที่ 4.1 ซึ่งแอปพลิเคชันจะบันทึกองศาของพวงมาลัยในทุกๆ 0.1 วินาที จากนั้นผู้ขับขี่จะขับรถตามปกติในถนนจริง โดยใช้เส้นทางส่วนใหญ่เป็นเส้นทางในเมืองภายในกรุงเทพมหานคร และผู้ขับขี่จะทำหน้าที่บันทึกช่วงที่เกิดการเปลี่ยนช่องทางการจราจร โดยการสัมผัสที่แอปพลิเคชันเมื่อตัดสินใจจะเปลี่ยนช่องทางการจราจรไปทางซ้าย หรือขวา และสัมผัสอีกครั้งเมื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรเสร็จสิ้น เพื่อบันทึกเป็นข้อมูลอ้างอิงในการตรวจสอบความแม่นยำของอัลกอริทึมที่นำเสนอ ซึ่งตัวอย่างของหน้าจอแสดงผลสำหรับบันทึกข้อมูลแสดงในภาพที่ 4.1

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยแบ่งการทดลองออกเป็นสองช่วงด้วยกัน โดยในช่วงแรกจะเป็นการรวบรวมข้อมูลการหมุนพวงมาลัยขณะเปลี่ยนช่องทางการจราจรเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจจับ และช่วงที่สองจะเป็นการขับขี่เพื่อรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบความแม่นยำของวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรที่นำเสนอ โดยรายละเอียดของการขับขี่แต่ละช่วงอธิบายได้ดังนี้

ภาพที่ 4.1 ภาพหน้าจอแสดงผลสำหรับบันทึกข้อมูลองศาของพวงมาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึม

การขับขี่เพื่อเก็บข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลองนี้เป็นการขับขี่ยานพาหนะบนถนนจริง ในเส้นทางการจราจรจริงในช่วงเวลาทั่วไป ทั้งในสภาพการจราจรที่ติดขัดและปกติ เพื่อบันทึกลักษณะการหมุนพวงมาลัยในทุกสถานการณ์และทุกรูปแบบที่สามารถเกิดขึ้นได้ เพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นค่าพารามิเตอร์ที่จะสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจร กับการหมุนพวงมาลัยในเหตุการณ์อื่นๆได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเส้นทางหลักที่ใช้ในการขับขี่เพื่อเก็บข้อมูลในช่วงนี้นั้น จะเป็นเส้นทางบริเวณรอบๆสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นหลัก เช่นถนนลาดกระบัง, ถนนทางหลวงหมายเลข 7 และ ถนนบริเวณรอบๆสนามบินสุวรรณภูมิ โดยข้อมูลการหมุนพวงมาลัยที่บันทึก และถูกนำมาใช้ในช่วงแรกของการทดลองนี้เป็นข้อมูลจากการขับขี่เป็นระยะเวลารวมทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 7 นาที ซึ่งมีการเปลี่ยนช่องทางการจราจรเกิดขึ้นทั้งสิ้น 143 ครั้ง

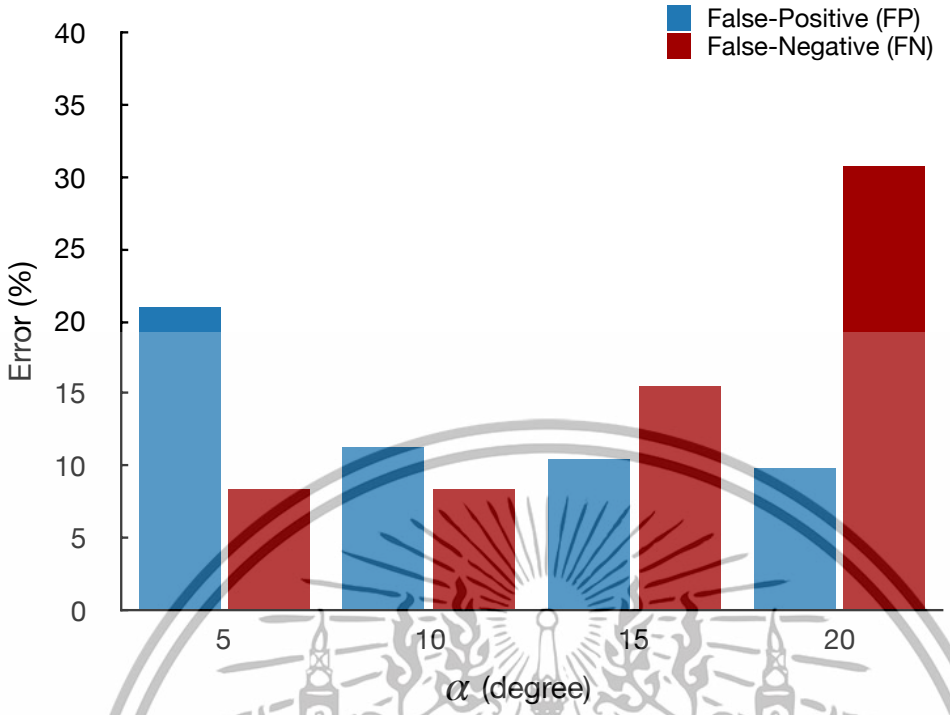
ค่าพารามิเตอร์ตัวแรกที่เราจำเป็นต้องหานั้นก็คือค่า α ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำหรับการบ่งชี้การหมุนพวงมาลัยในช่วง L_{into} เราได้ทดลองใช้ค่า α หลายๆค่าเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ภาพที่ 4.2 แสดงค่าความผิดพลาดของการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ α ต่างๆ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าพารามิเตอร์ α ที่เหมาะสมที่สุดคือ 10 เนื่องจากให้ค่า False-Positive Error และค่า False-Negative Error ที่ต่ำทั้งคู่ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอื่นๆ ได้แก่ β, $p_{\min}$, และ $p_{\max}$ ก็สามารถหาได้ในทำนองเดียวกัน ซึ่งค่าที่เหมาะสมนั้นแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

4.1.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับทดสอบความแม่นยำ

หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตรวจจับการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรเรียบร้อยแล้ว ในส่วนนี้จะเป็นการขับขี่เพื่อประเมินความแม่นยำของอัลกอริทึม โดยเส้นทางในการขับขี่เพื่อประเมินความแม่นยำนี้นั้นจะเน้นไปที่เส้นทางในกรุงเทพฯที่มีสภาพการจราจรค่อนข้างติดขัดหรือในช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่งเป็นหลัก ยกตัวอย่างเช่น ช่วงเวลา 07.00-09.00 และ 17.00-19.00 บนถนนพระรามสอง, ถนนพระรามสาม, ถนนสุขสวัสดิ์ หรือถนนกาญจนาภิเษก เป็นต้น ซึ่งในการขับขี่เพื่อประเมินความแม่นยำในช่วงนี้นั้นมีระยะเวลาการขับขี่รวมกว่า 6 ชั่วโมง และมีการเปลี่ยนช่องทางการจราจรเกิดขึ้นทั้งสิ้น 417 ครั้ง

ในการทดสอบประสิทธิภาพ ข้อมูลองศาการหมุนที่เก็บได้เหล่านี้จะถูกป้อนให้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำหน้าที่ประมวลผลและตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรทุกๆ 0.1 วินาที โดยที่ประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจากข้อมูลดังกล่าวนี้จะแสดงในส่วนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความผิดพลาดของการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ α ต่าง ๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

พารามิเตอร์	ค่า
α	10
β	10
$p_{\min}$	0.29
$p_{\max}$	0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ประสิทธิภาพการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยข้อมูลการหมุนของพวงมาลัย

ประสิทธิภาพของการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรในงานวิจัยนี้จะถูกประเมินโดยใช้ตัวชี้วัดที่สำคัญสองตัว ได้แก่ ความแม่นยำในการตรวจจับ (Precision) และความถูกต้องในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด (Recall)

ความแม่นยำในการตรวจจับ หรือ Precision สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

โดยที่ TP (True-Positive) คือจำนวนครั้งที่อัลกอริทึมตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรได้ถูกต้อง และ FP (False-Positive) คือ จำนวนครั้งที่อัลกอริทึมตรวจจับผิดพลาดในกรณีที่ไม่ได้มีการเปลี่ยนช่องทางการจราจรเกิดขึ้นแต่อัลกอริทึมระบุว่ามีการเปลี่ยนช่องทางการจราจรเกิดขึ้น

ความถูกต้องในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด หรือ Recall สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

โดยที่ FN (False-Negative) คือจำนวนครั้งที่มีการเปลี่ยนช่องทางการจราจรเกิดขึ้นแต่อัลกอริทึมไม่สามารถตรวจจับได้

ประสิทธิภาพความแม่นยำและความถูกต้องของวิธีการในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยข้อมูลการหมุนของพวงมาลัยที่ได้นำเสนอไปในงานวิจัยนี้ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 โดยประสิทธิภาพในการตรวจจับจะถูกแบ่งตามช่วงความเร็วของยานพาหนะขณะเปลี่ยนช่องทางการจราจร ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้นั้นมีประสิทธิภาพความแม่นยำในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรที่ค่อนข้างสูงมาก โดยเฉพาะในช่วงที่ยานพาหนะมีความเร็วสูงกว่า 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งมีความแม่นยำและความถูกต้องในการตรวจจับเกือบจะ 100% แต่อย่างไรก็ตามในช่วงความเร็วต่ำกว่า 15 กิโลเมตร/ชั่วโมงนั้น ความแม่นยำในการตรวจจับลดลงเล็กน้อย เนื่องจากถนนในช่วงที่ยานพาหนะไม่สามารถใช้ความเร็วได้ หรือในสภาพการจราจรที่แออัด มักจะมีสิ่งกีดขวางให้ผู้ขับขี่จำเป็นจะต้องหมุนพวงมาลัยเพื่อหลบหลีก เช่น รถจักรยานยนต์ที่ล้ำเข้ามาในช่องทางการจราจรของยานพาหนะที่ใช้เก็บข้อมูล (โดยเฉพาะอย่างยิ่งถนนในกรุงเทพมหานครซึ่งมีรถจักรยานยนต์เป็นจำนวนมาก) ซึ่งการหมุนพวงมาลัยเพื่อหักหลบสิ่งกีดขวาเหล่านี้นั้น ในบางครั้งมีลักษณะการหมุนพวงมาลัยที่ใกล้เคียงกับการเปลี่ยนช่องทางการจราจร เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้ในช่วงความเร็วที่ต่ำกว่า 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง นั้นมีการตรวจจับที่ผิดพลาด (False-Positive) เกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่าในช่วงความเร็วอื่นๆ

นอกจากนี้ เรายังจะสามารถสังเกตได้อีกว่า ในช่วงความเร็วที่มากกว่า 45 กิโลเมตร/ชั่วโมงนั้น มีเหตุการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนช่องทางการจราจรเกิดขึ้นแต่อัลกอริทึมไม่สามารถตรวจจับได้ (False-Negative) บ่อยครั้งกว่าช่วงความเร็วอื่นๆ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วเมื่อยานพาหนะมีความเร็วที่สูงขึ้น ผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรจากข้อมูลการขับขี่รวมระยะเวลามากกว่า 6 ชั่วโมง

ช่วงความเร็ว (km/h)	จำนวนการเปลี่ยนช่องทางการจราจร	ที่ตรวจจับถูกต้อง (TP)	ที่ตรวจจับผิดพลาด (FP)	ที่ไม่สามารถตรวจจับได้ (FN)	Precision (%)	Recall (%)
0-15	97	92	12	5	88.46	94.85
16-30	108	108	2	0	98.18	100.00
30-45	102	99	4	3	96.12	97.06
>45	110	101	2	9	98.06	91.82
ALL	417	400	20	17	95.20	95.93

ขับขี่มักจะใช้ระยะทางยาวขึ้นในการเปลี่ยนช่องทางการจราจร กล่าวคือผู้ขับขี่จะใช้การหมุนพวงมาลัยเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเพื่อค่อยๆเบี่ยงยานพาหนะของตนเข้าไปในช่องทางการจราจรที่ต้องการอย่างช้าๆ และราบรื่น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อัลกอริทึมไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรกับการหมุนพวงมาลัยเพื่อรักษาช่องทางการจราจรตามปกติได้

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพโดยรวมในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรของยานพาหนะด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอไปในงานวิจัยนี้ก็ยังคงมีความแม่นยำอยู่ในระดับที่ดีมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ในทุกๆช่วงความเร็วแล้ว วิธีการที่นำเสนอนี้มีความความแม่นยำในการตรวจจับถึง 95.20% และมีความถูกต้องในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องจราจรที่เกิดขึ้นจริงอยู่ที่ 95.93%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลโครงการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสามารถคิดค้นวิธีการในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรแบบทันกาล โดยอาศัยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งมีความแตกต่างจากวิธีการอื่นๆในปัจจุบัน โดยวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางจราจรจากลักษณะการหมุนของพวงมาลัยขณะขับขี่ วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง โดยไม่จำเพาะว่าต้องใช้เซ็นเซอร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่านั้น ซึ่งแน่นอนว่าเซ็นเซอร์ชนิดอื่นๆที่สามารถตรวจวัดมุมได้ก็จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับวิธีการที่นำเสนอนี้ได้เช่นเดียวกัน โดยอัลกอริทึมจะทำการตรวจหารูปแบบของการหมุนพวงมาลัยที่เป็นรูปแบบเฉพาะสำหรับการหมุนพวงมาลัยเพื่อเปลี่ยนช่องทางการจราจรขณะขับขี่ ซึ่งจากผลการวิจัยที่ได้นำเสนอไปในรายงานนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรที่สูงกว่า 95% ทั้งในส่วนของ Precision และ Recall ในทุกๆช่วงความเร็ว อีกทั้งการตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยวิธีการที่นำเสนอนี้ยังเป็นวิธีที่ง่าย และใช้พลังงานในการประมวลผลน้อยมาก หากเทียบกับวิธีการที่ใช้การประมวลผลจากกล้อง (Vision-based method) ที่นิยมในปัจจุบัน อีกทั้งยังไม่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น สภาพอากาศ หรือ สภาพของแสงเงา อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยที่ได้นำเสนอในโครงการวิจัยนี้อยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่เก็บได้จากสภาพการจราจรบนถนนในกรุงเทพมหานคร สำหรับการวิจัยต่อยอดในอนาคต ควรพิจารณาเก็บข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับสภาพการจราจรในพื้นที่อื่นๆด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

จากโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มีการนำส่งผลงานเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

1. พุทธิพงษ์ เล็กขาว และ สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล “การตรวจจับการเปลี่ยนช่องทางการจราจรด้วยเซ็นเซอร์บนโทรศัพท์คลื่อนที่,” วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศลาดกระบัง, 2018
2. P. Leakkaw and S. Panichpapiboon, “Real-Time Lane Change Detection Through Steering Wheel Rotation,” *IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, 2018

ซึ่งผลงานที่นำส่งเหล่านี้กำลังอยู่ในขั้นตอนการพิจารณาบทความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Siripanpornchana, S. Panichpapiboon and P. Chaovalit, “Effective variables for urban traffic incident detection,” in *Proc. IEEE Veh. Networking Conf. (VNC)*, Dec. 2015, pp. 190-195.

[2] B. Coifman, D. Beymer, P. McLauchlan, and J. Malik, “A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance,” *Transportation Research: Part C*, vol. 6, no. 4, pp. 271-288, 1998.

[3] W. Hsu, H. Liao, B. Jeng, and K. Fan, “Real-time vehicle tracking on highway,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Intell. Transportation Syst. (ITSC)*, Oct. 2003, pp. 909-914.

[4] R. Rad, and M. Jamzad, “Real time classification and tracking of multiple vehicles in highways,” *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, no. 10, pp. 1597-1607, July 2005.

[5] A. Janecek, D. Valerio, K. Hummel, F. Ricciato and H. Hlavacs, “The cellular network as a sensor: From mobile phone data to real-time road traffic monitoring,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 5, pp. 2551-2572, Apr. 2015.

[6] Y. Xuan and B. Coifman, “Lane change maneuver detection from probe vehicle DGPS data,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Intell. Transportation Syst. (ITSC)*, Sept. 2006, pp. 624-629.

[7] C. R. Jung, C. R. Kelber, “Lane following and lane departure using a linear-parabolic model,” *Image and Vision Computing*, vol. 23, no. 13, pp. 1192-1202, Nov. 2005.

[8] G. Wang, Y. Zhou, G. Xu, X. Liu and Y. Liu, “A novel lane changing algorithm with efficient method of lane detection,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Dec. 2013, pp. 2458-2463.

[9] J. Gangyi, C. Yanhua, Y. Mei and Z. Yi, “Approach to lane departure detection,” in *Proc. Int. Conf. Signal Processing*, Aug. 2000, pp. 971-974.

[10] W. Mo, X. An and H. He, “On vision-based lane departure detection approach,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Veh. Electron. and Safety*, Oct. 2005, pp. 353-357.

[11] T. B. Schon, A. Eidehall and F. Gustafsson, “Lane departure detection for improved road geometry estimation,” in *Proc. IEEE Intell. Vehicles Symp.*, June 2006, pp. 546-551.

[12] Y. Leng and C. Chen, “Vision-based lane departure detection system in urban traffic scenes,” in *Proc. Int. Conf. Control Automation Robotics and Vision*, Dec. 2010, pp. 1875-1880.

[13] H. Jung, J. Min and J. Kim, “An efficient lane detection algorithm for lane departure detection,” in *Proc. IEEE Intell. Vehicles Symp.*, June 2013, pp. 976-981.

[14] Y. Kortli, M. Marzougui and M. Atri, “Efficient implementation of a real-time lane departure warning system,” in *Proc. Int. Image Processing, Applications and Syst.*, Nov. 2016, pp. 1-6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] S. Chen and J. Hsieh, “Edge-based lane change detection and its application to suspicious driving behavior analysis,” in *Proc. Int. Conf. Intell. Inform. Hiding and Multimedia Signal Processing*, Nov. 2007, pp. 415-418.

[16] V. Gaikwad and S. Lokhande, “Lane departure identification for advanced driver assistance,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 2, pp. 910-918, Apr. 2015.

[17] Y. Zheng and J. H. L. Hansen, “Lane-change detection from steering signal using spectral segmentation and learning-based classification,” *IEEE Trans. Intell. Veh.*, vol. 2, no. 1, pp. 14-24, Mar. 2017.

[18] W. Yao et al., “On-road vehicle trajectory collection and scene-based lane change analysis: Part II,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 1, pp. 206-220, Jan. 2017.

[19] W. Z. Khan, Y. Xiang, M. Y. Aalsalem and Q. Arshad, “Mobile phone sensing systems: A survey,” *IEEE Commun. Surveys Tut.*, vol. 15, no. 1, pp. 402-427, 1st Quarter, 2013.

[20] M. Fazeen, B. Gozick, R. Dantu, M. Bhukhiya and M. C. González, “Safe driving using mobile phones,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 13, no. 3, pp. 1462-1468, Sept. 2012.

[21] N. Akhtar, K. Pandey and S. Gupta, “Mobile application for safe driving,” in *Proc. Int. Conf. Commun. Syst. and Network Technol.*, Apr. 2014, pp. 212-216.

[22] Z. Wu, J. Li, J. Yu, Y. Zhu, G. Xue and M. Li, “L3: Sensing driving conditions for vehicle lane-level localization on highways,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Commun. (INFOCOM)*, Apr. 2016, pp. 1-9.

[23] Z. Ouyang, J. Niu, and M. Guizani, “Improved vehicle steering pattern recognition by using selected sensor data,” *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 17, no. 6, pp.1383-1396, June 2018.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ-สกุล สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล
ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

- Ph.D. Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, USA, 2006
- M.S. Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, USA, 2002
- B.S. Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, USA, 2000

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ

- Intelligent Transportation Systems
- Vehicular Ad Hoc Networks
- Wireless Sensor Networks

ผลงานวิจัย

ประเภทวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

1. **S. Panichpapiboon** and P. Leakkaw, "Traffic Density Estimation: A Mobile Sensing Approach," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 12, pp. 126-131, Dec. 2017.
2. **S. Panichpapiboon** and P. Leakkaw, "Traffic Sensing Through Accelerometers," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 5, pp. 3559-3567, May 2016.
3. **S. Panichpapiboon**, "Time-Headway Distributions on an Expressway: Case of Bangkok," *ASCE Journal of Transportation Engineering*, vol. 141, no. 1, pp. 05014007, Jan. 2015.
4. **S. Panichpapiboon** and L. Cheng, "Irresponsible Forwarding Under Real Inter-vehicle Spacing Distributions," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 5, pp. 2264-2272, Jun. 2013.
5. L. Cheng and **S. Panichpapiboon**, "Effects of Intervehicle Spacing Distributions on Connectivity of VANET: A Case Study from Measured Highway Traffic," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 10, pp. 90-97, Oct. 2012.
6. **S. Panichpapiboon** and W. Pattara-atikom, "A Review of Information Dissemination Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 14, no. 3, pp. 784-798, Third Quarter, 2012.
7. **S. Panichpapiboon** and W. Pattara-atikom, "Exploiting Wireless Communication in Vehicle Density Estimation," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 6, pp. 2742-2751, Jul. 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. **S. Panichpapiboon**, G. Ferrari, and O. K. Tonguz, “Connectivity of Ad Hoc Wireless Networks: An Alternative to Graph-Theoretic Approaches,” *Wireless Networks*, vol. 16, no. 3, pp. 793-811, Apr. 2010.
9. **S. Panichpapiboon** and W. Pattara-atikom, “Connectivity Requirements for Self-Organizing Traffic Information Systems,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 6, pp. 3333-3340, Nov. 2008.
10. **S. Panichpapiboon** and J. M. Peha, “Providing Secondary Access to Licensed Spectrum Through Coordination,” *Wireless Networks*, vol. 14, no. 3, pp. 295-307, Jun. 2008.
11. **S. Panichpapiboon**, G. Ferrari, N. Wisitpongphan, and O. K. Tonguz, “Route Reservation in Ad Hoc Wireless Networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 6, no. 1, pp. 56-71, Jan. 2007.
12. **S. Panichpapiboon**, G. Ferrari, and O. K. Tonguz, “Optimal Transmit Power in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, no. 10, pp. 1432-1447, Oct. 2006.
13. J. M. Peha and **S. Panichpapiboon**, “Real-Time Secondary Markets for Spectrum,” *Telecommunications Policy*, vol. 28, pp. 603-618, Aug.-Sep. 2004.

ประเภทการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

1. P. Leakkaw and **S. Panichpapiboon**, “Clearance Estimation Through Mobile Sensing,” in *Proc. International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, Bangkok, Thailand, Nov. 2017, pp. 46-51.
2. C. Siripanpornchana, **S. Panichpapiboon**, and P. Chaovalit, “Travel-Time Prediction with Deep Learning,” in *Proc. IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, Singapore, Nov. 2016, pp. 1859-1862.
3. C. Siripanpornchana, **S. Panichpapiboon**, and P. Chaovalit, “Effective Variables for Urban Traffic Incident Detection,” in Proc. IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Kyoto Japan, Dec. 2015, pp. 190-195.
4. P. Leakkaw and **S. Panichpapiboon**, “Speed Estimation Through Mobile Sensing,” in *Proc. IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, Bangkok, Thailand, Oct. 2014, pp. 1-5.
5. **S. Panichpapiboon**, “Irresponsible Forwarding Under General Inter-vehicle Spacing Distributions,” in *Proc. ECTI International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI-CON)*, Khon Kaen, Thailand, May 2011, pp. 357-360.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. **S. Panichpapiboon** and W. Pattara-atikom, “An Analysis of GPS Sampling Rates Required in Travel Time Estimation,” in *Proc. IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, Tokyo, Japan, Oct. 2009, pp. 1-6.

7. **S. Panichpapiboon** and W. Pattara-atikom, “Connectivity Requirements for Vehicular Networks with Single-Hop Broadcasting,” in *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST)*, Lille, France, Oct. 2009, pp. 388-392.

8. **S. Panichpapiboon** and G. Ferrari, “Irresponsible Forwarding,” in *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST)*, Phuket, Thailand, Oct. 2008, pp. 311-316.

9. **S. Panichpapiboon** and W. Pattara-atikom, “Evaluation of a Neighbor-based Vehicle Density Estimation Scheme,” in *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST)*, Phuket, Thailand, Oct. 2008, pp. 294-298.

10. **S. Panichpapiboon** and W. Pattara-atikom, “Connectivity Requirements for a Self-Organizing Vehicular Network,” in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Eindhoven, The Netherlands, Jun. 2008, pp. 968-972.

11. **S. Panichpapiboon**, “Adaptive Frame Length Selection Scheme for RFID Object Identification,” in *Proc. IEEE International Conference on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Athens, Greece, Sep. 2007, pp. 1-5.

12. **S. Panichpapiboon**, G. Ferrari, N. Wisitpongphan, and O. K. Tonguz, “Pros and Cons of Route Reservation in Static Multi-hop Networks,” in *Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Seoul, Korea, May 2005, pp. 3000-3004.

13. **S. Panichpapiboon**, G. Ferrari, and O. K. Tonguz, “Optimal Common Transmit Power in Ad Hoc Wireless Networks,” in *Proc. IEEE Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC)*, Phoenix, Arizona, USA, Apr. 2005, pp. 593-597.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้