



อัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสำหรับใช้งานบน
เซนเซอร์สนามแม่เหล็ก

นายพิสิฐ คณาธารทิพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2554

อัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสำหรับใช้งานบน
เซนเซอร์สนามแม่เหล็ก

นายพิสิฐ คณาธารทิพย์ วศ.บ. (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ดร.อภิชัย ภัทรนันท์)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รศ.ดร.วุฒิพงษ์ คำวิไลศักดิ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
(ดร.จตุพร ชินรุ่งเรือง)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม)

.....
(ผศ. ดร.สุวัฒน์ ภัทรมาลัย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสำหรับใช้งานบนเซนเซอร์สนามแม่เหล็ก
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายพิสิฐ คณาธารทิพย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วุฒิพงษ์ คำวิไลย์ศักดิ์ ดร.จตุพร ชินรุ่งเรือง
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
สายวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสำหรับนำมาใช้กับอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบไร้สาย เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการบริหารจัดการจราจรล่วงหน้า อาศัยหลักการตรวจจับสนามแม่เหล็กโลกที่ถูกรบกวนโดยโครงสร้างของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์เซนเซอร์ อัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอได้รวมวิธีการทำให้ระดับสัญญาณอ้างอิงในขณะไม่มียานพาหนะวิ่งผ่านสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้อัตโนมัติ หรือ Automatic Adaptive Baseline มาใช้เพื่อป้องกันความผันผวนของสนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เกิดจากแสงแดดไม่คงที่ และวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป (รถยนต์ รถกระบะ รถตู้ รถบรรทุก และรถโดยสาร) และรถจักรยานยนต์ได้อัลกอริทึมที่เสนอสามารถตรวจจับและจำแนกยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป โดยมีประสิทธิภาพถึง 99.3% และสามารถตรวจจับและจำแนกรถจักรยานยนต์โดยมีประสิทธิภาพถึง 88.9% ภายใต้การทำงานจริงและสถานที่ต่างๆ รวมทั้งสามารถตรวจจับยานพาหนะที่หยุดนิ่ง และสามารถตรวจสอบความผิดพลาดของการทำงานบางอย่างด้วยตัวเองได้ เช่น ความผิดพลาดจากการตรวจจับซ้ำซ้อนที่มีสาเหตุจากยานพาหนะเคลื่อนที่ช้า และความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณกะทันหันอันเนื่องมาจากความเข้มของแสงแดดได้

คำสำคัญ : การจำแนกประเภทยานพาหนะ / การตรวจจับยานพาหนะ / แมกเนติกเซนเซอร์ /

ระบบการบริหารจัดการจราจรล่วงหน้า

Thesis Title	Robust Vehicle Detection Algorithm with Magnetic Sensor
Thesis Credits	12
Candidate	Mr.PisitKanathantip
Thesis Advisors	Assoc. Prof. Dr. WuttipongKumwilaisak Dr. JatupornChinrungrueng
Program	Master of Engineering
Field of Study	Electrical Engineering
Department	Electronic and Telecommunication Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2554

Abstract

This research presents a design of a robust vehicle detection algorithm. The proposed algorithm is performed on a wireless magnetic sensor node in order to apply to the advanced traffic management system. The magnetic sensor node operates by measuring the Earth's magnetic field that could be disturbed by a vehicle body motion within the sensor's neighborhood. The algorithm includes the automatic adaptive baseline method to prevent an uncontrollable drift in the magnetic signal due to unstable temperature, and the automatic checking process for possible errors. Moreover, the algorithm is designed to classify vehicles into road vehicles (cars, pickups, vans, trucks, and buses) and motorcycles (small vehicles). This system is performed in real-time and provides a satisfying accuracy in detecting the vehicles; 99.3% yield for road vehicles and 88.9% yield for motorcycles. Additionally, the system is performed well under various locations and environment. Moreover, the algorithm can detect stationary vehicles and performs the automatic checking process for errors such as the error of the double detection caused by slow vehicles and the error of the instant change of the baseline due to strong sunlight.

Keywords: Advanced Traffic Management System/Magnetic Sensor/ Vehicle Classification/
Vehicle Detection

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร.วุฒิพงษ์ คำวิลัยศักดิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ ดร.จตุพร ชินรุ่งเรือง นักวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.อภิชัย ภัทรนันท์ และผศ. ดร.สุวัฒน์ ภัทรมาลัย อาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อบรม สั่งสอนและให้คำแนะนำตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน และขอขอบคุณโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST: รหัสทุน TG-44-20-51-077M) และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนการศึกษาตลอดการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ซ
รายการสัญลักษณ์	ญ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เทคโนโลยีการตรวจตราการจราจร	4
2.1.1 เทคโนโลยีการตรวจตราแบบอินทราชีฟ	4
2.1.2 เทคโนโลยีการตรวจตราแบบนอนอินทราชีฟ	8
2.2 เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก	17
2.2.1 หลักการทำงานของระบบเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กของโลก	17
2.2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบไร้สาย	19
2.2.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อสนามแม่เหล็ก	21

3. วิธีการทดลอง	24
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	24
3.2 วิธีการทดลอง	24
3.3 กระบวนการทำงานของอัลกอริทึมในการตรวจจับยานพาหนะแบบปรับตัวได้	28
3.4 การวิเคราะห์การดำเนินการของอัลกอริทึมการตรวจจับจากสัญญาณสนามแม่เหล็ก	35
3.5 วิธีการที่ใช้ในการจำแนกประเภท	41
4. ผลการทดลอง	45
4.1 ผลการทดสอบการตรวจจับยานพาหนะจากสัญญาณสนามแม่เหล็ก	45
4.2 การวิเคราะห์ผลการทำงานของอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่นำเสนอ	50
4.3 การวิเคราะห์ผลการทำงานผิดพลาดจากอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอ	53
4.4 ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากผลการทำงานของอัลกอริทึม	55
4.5 ผลการทดสอบการจำแนกประเภทยานพาหนะแบบ 4 ประเภท	56
5. สรุปผลการวิจัยและแนวทางการพัฒนา	60
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.2 แนวทางการพัฒนา	61
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	65
ก ตัวอย่างการเก็บค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนและสัญญาณพลังงาน พร้อมกับการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพวิดีโอ	65
ประวัติผู้วิจัย	70

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ความสามารถในการประมวลผลข้อมูลของเทคโนโลยีการตรวจตราการจราจรประเภทต่างๆ	14
2.2 อัตราความผิดพลาดของเทคโนโลยีการตรวจตราการจราจรประเภทต่างๆ	15
2.3 อิทธิพลของสภาวะแวดล้อมต่อการทำงานของเทคโนโลยีแต่ละประเภท	16
2.4 รายละเอียดของคุณสมบัติของ HMC1051Z	21
3.1 ชุดข้อมูลประเภทของยานพาหนะ 2 ชุดที่ได้จากกล้องวิดีโอจากการทดลอง 2 ครั้ง	25
3.2 การบันทึกผลการตรวจจับสัญญาณเปรียบเทียบกับภาพจากกล้องวิดีโอ	27
4.1 ผลลัพธ์การตรวจจับและการจำแนกประเภท ในการทดลองของชุดข้อมูล A1 ที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลาบ่าย	46
4.2 ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับที่เสนอ ในการทดลองของชุดข้อมูล A1 ที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลาบ่าย	46
4.3 ผลลัพธ์การตรวจจับและการจำแนกประเภท ในการทดลองของชุดข้อมูล A2 ที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลากลางวัน	48
4.4 ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับที่เสนอ ในการทดลองของชุดข้อมูล A2 ที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลากลางวัน	48
4.5 ชุดข้อมูลประเภทของยานพาหนะ 2 ชุดที่ได้จากกล้องวิดีโอจากการทดลอง 2 ครั้ง	57
4.6 ประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบต้นไม้ในการทดสอบแบบที่ 1	57
4.7 ประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบต้นไม้ในการทดสอบแบบที่ 2	57
4.8 ประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบต้นไม้ร่วมกับ Golden Section Search Method ในการทดสอบแบบที่ 1	58
4.9 ประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบต้นไม้ร่วมกับ Golden Section Search Method ในการทดสอบแบบที่ 2	58

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องตรวจจับระยะใกล้ในวงล้อมสนามแม่เหล็กอย่างง่าย	5
2.2 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องตรวจจับแบบท่อลม	6
2.3 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องตรวจจับแรงกล	7
2.4 การเบี่ยงเบนของความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กโลกเมื่อมียานพาหนะวิ่งผ่าน	7
2.5 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับรดด้วยคลื่นไมโครเวฟ	8
2.6 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับด้วยระบบรังสีอินฟราเรดแบบแอคทีฟ	9
2.7 ตัวอย่างเครื่องตรวจวัดแบบระบบรังสีอินฟราเรดแบบแพสซีฟ	10
2.8 แผนผังการดำเนินการของระบบการประมวลผลด้วยภาพวิดีโอ	11
2.9 ตัวอย่างของเครื่องตรวจจับด้วยระบบคลื่นอุลตราโซนิก	12
2.10 ตัวอย่างของเครื่องตรวจจับด้วยระบบตรวจจับเสียงแบบพาสซีฟ	12
2.11 การรบกวนสนามแม่เหล็ก เมื่อสนามแม่เหล็กแทรกซึมไปในยานพาหนะ	18
2.12 การตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน ในช่วงที่มียานพาหนะวิ่งผ่าน	18
2.13 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	19
2.14 ลักษณะของ Permalloy thin film	20
2.15 เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก Honeywell HMC1051Z	21
2.16 การติดตั้งเซนเซอร์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอันเนื่องมาจากแสงแดดที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก	21
2.17 ผลการตรวจวัดสนามแม่เหล็กกับแสงแดดโดยตรงในตอนกลางวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	22
2.18 ผลการตรวจวัดสนามแม่เหล็กที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบ 1 วัน โดยเริ่มที่เวลา 17.00 น. เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง	23
3.1 การติดตั้งการทดลองเพื่อบันทึกสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนจากอุปกรณ์ Sensor node	2๓
3.2 ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน พร้อมกับการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพวิดีโอ	26
3.3 ตัวอย่างของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ที่ถูกป้อนให้อัลกอริทึมการตรวจจับ	26
3.4 แผนผังของการดำเนินการของอัลกอริทึมการตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ	30
3.5 แผนผังของการดำเนินการของอัลกอริทึมการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ	33

3.6	ตัวอย่างสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ถูกตรวจจับ ซึ่งได้บันทึกไว้ทั้ง 3 แกน	35
3.7	กราฟการเปลี่ยนแปลงของระดับเส้น Baseline เปรียบเทียบกับสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z	36
3.8	กราฟการตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะประเภท 4 ล้อจากสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z	37
3.9	กราฟแสดงการตรวจจับรถจักรยานยนต์จากสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z	38
3.10	กราฟแสดงการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะประเภท 4 ล้อจากสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้งบนแกน Y และแกน Z	39
3.11	การวิเคราะห์วิธีการป้องกันความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงของ Baseline กระทั่งหน้า	40
3.12	การดึงคุณลักษณะเฉพาะจากสัญญาณพลังงานในภาพล่าง ส่วนภาพบนแสดงถึงสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนที่นำมาคำนวณหาสัญญาณพลังงานรวม	42
3.13	วิธีการของ Golden Search Method	43
3.14	ตัวอย่างการซ้อนทับกันของขอบเขตของยานพาหนะ 2 ประเภท	44
3.15	แผนผังการจำแนกประเภทยานพาหนะแบบ Heuristic Algorithm	44
4.1	ความสามารถด้านการตอบสนองการรับรู้ยานพาหนะที่อยู่ใกล้กัน	50
4.2	กราฟสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ในช่วงการตรวจจับยานพาหนะคันเล็ก	51
4.3	สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ของรถประจำทางขณะปรากฏขึ้นในพื้นที่ตรวจจับ	52
4.4	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแม่เหล็กและระดับสัญญาณอ้างอิงบนแกน Z อันเนื่องมาจากแสงแดดความเข้มสูงเกิดขึ้น	53
4.5	ตัวอย่างเหตุการณ์ที่ไม่สามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์ได้ เนื่องจากวิ่งไม่ตรงกลางเลน	54
4.6	ตัวอย่างเหตุการณ์ที่ไม่สามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์ได้ เนื่องจากวิ่งใกล้รถยนต์เกินไป	54
4.7	ตัวอย่างเหตุการณ์ที่ไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป	55
4.8	ตัวอย่างเหตุการณ์ที่รถกระบะเคลื่อนที่มาแล้วหยุดก่อนถึงเซนเซอร์	56
4.9	สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ของรถยนต์ที่วิ่งชะลอความเร็วในพื้นที่ตรวจจับ	56
ก.1	ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กของรถยนต์ส่วนบุคคล	66
ก.2	ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กของรถกระบะ	67
ก.3	ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กของรถตู้	68
ก.4	ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กของประจำทาง	69

รายการสัญลักษณ์

k	=	ลำดับค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้
B_x	=	ค่าระดับอ้างอิงสนามแม่เหล็กบนแกน X หรือค่า Baseline บนแกน X
B_y	=	ค่าระดับอ้างอิงสนามแม่เหล็กบนแกน Y หรือค่า Baseline บนแกน Y
B_z	=	ค่าระดับอ้างอิงสนามแม่เหล็กบนแกน Z หรือค่า Baseline บนแกน Z
α	=	ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้
$M_{x,y,z}$	=	ค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ครั้งล่าสุดทั้งบนแกน X, Y และ Z
M_y	=	ค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ครั้งล่าสุดบนแกน Y
M_z	=	ค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ครั้งล่าสุดบนแกน Z
$TH_Z_{licoming}$	=	จุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การปรากฏขึ้น ของสนามแม่เหล็กบนแกน Z
$TH_Y_{Out-going}$	=	จุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การออกไป ของสนามแม่เหล็กบนแกน Y
$TH_Z_{Out-going}$	=	จุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การออกไป ของสนามแม่เหล็กบนแกน Z
$MEAN_y(k)$	=	ค่าเฉลี่ยของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Y ลำดับการตรวจวัดค่าที่ k
$MEAN_z(k)$	=	ค่าเฉลี่ยของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ลำดับการตรวจวัดค่าที่ k
MIN_z	=	ค่าต่ำสุดของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z
MAX_z	=	ค่าสูงสุดของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z
L	=	ความยาวของสัญญาณ
P	=	จำนวนจุดสูงสุดของสัญญาณ
AE	=	พลังงานเฉลี่ย

ประมวลศัพท์และคำย่อ

ITS	=	intelligent transportation systems
WSN	=	wireless sensor networks
AMR	=	three-axis anisotropic magnetoresistive sensor
ATDA	=	adaptive threshold detection algorithm

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่าประเทศไทยประสบปัญหาการจราจรแออัดโดยเฉพาะในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณยานพาหนะในเขตตัวเมือง และการวางผังเมืองเกี่ยวกับเส้นทางการจราจรที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในระบายนการเคลื่อนตัวของยานพาหนะ รวมทั้งถนนบางสายที่สำคัญมีขนาดเล็ก ทำให้เกิดความแออัดบนถนน ความสูญเสียที่เกิดขึ้นนั้น ได้ส่งผลโดยตรงกับผู้ที่มีกิจกรรมต่างๆ ในตัวเมือง ทั้งปัญหามลพิษทางอากาศ การเผาผลาญเชื้อเพลิงโดยไม่เกิดประโยชน์ หรือการสูญเสียโอกาสในการทำธุรกิจ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ก่อให้เกิดความเสียหายเป็นมูลค่าจำนวนมาก การแก้ไขปัญหาการคมนาคมที่เกิดจากความแออัดบนท้องถนนในประเทศไทยได้ถูกแก้ไขมาอย่างต่อเนื่อง เช่น การสร้างถนนเส้นใหม่ การสร้างสะพานข้ามแยก การสร้างอุโมงค์ หรือการสร้างรถไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งการแก้ไขปัญหาเหล่านี้เป็นการแก้ไขปัญหาในระยะยาว โดยการแก้ไขปัญหาระยะยาวดังที่กล่าวมามีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น ค่าใช้จ่ายสูงมาก ใช้ระยะเวลานานในการดำเนินการ ความจำกัดในพื้นที่ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงได้มีแนวความคิดผลักดันวิธีการแก้ปัญหาที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก และใช้เวลาในการดำเนินการที่เร็วกว่า ดังนั้นจึงมีการริเริ่มนำเทคโนโลยีที่เรียกว่าระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation Systems, ITS) เข้ามาช่วยในการบริหารจัดการการจราจรให้มีประสิทธิภาพ สิ่งสำคัญของระบบขนส่งอัจฉริยะ คือ การเก็บข้อมูลการจราจร เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับนำไปวิเคราะห์และประยุกต์ใช้งานต่างๆ โดยเฉพาะการควบคุมการจราจรตามทางแยก

การควบคุมการจราจรตามทางแยกแต่เดิมใช้การควบคุมโดยตรงจากคนหรือตำรวจจราจร ซึ่งทรัพยากรบุคคลทางด้านนี้มีจำกัด และการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรที่ถูกตั้งเวลาไว้สำหรับสัญญาณไฟแต่ละสี แต่มีข้อจำกัดในการระบายจำนวนยานพาหนะตามเส้นทางต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม เพราะการควบคุมการจราจรดังกล่าวไม่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานตามสภาวะจริงได้ เนื่องจากความหนาแน่นของปริมาณยานพาหนะในบริเวณต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดตามช่วงเวลา ดังนั้นการออกแบบระบบการการควบคุมการจราจรจึงควรเลือกใช้เทคโนโลยีในการประเมินสถานการณ์จริง และสามารถนำมาควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้สามารถปรับเปลี่ยนระบบการทำงานตามสถานการณ์ได้ ดังเช่นเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบไร้สายซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำหรับการ

ควบคุมการจราจรประเภทหนึ่ง ใช้ในการตรวจจับยานพาหนะโดยอาศัยการตรวจวัดการรบกวนสนามแม่เหล็กโลกอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ผ่านของยานพาหนะเหนือพื้นที่ตรวจจับของเซนเซอร์ เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบไร้สายมีขนาดเล็ก ติดตั้งง่าย และราคาไม่สูง จึงเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการควบคุมการจราจร การประยุกต์ใช้เซนเซอร์สนามแม่เหล็กในการควบคุมการจราจร ประกอบด้วยระบบการตรวจตรา (Surveillance) การควบคุมทางแยกรถไฟ การเฝ้าระวังพื้นที่จอดรถ และระบบการเปิดประตูอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปติดตั้งเป็นเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) ซึ่งเป็นเครือข่ายประเภทหนึ่งที่มีขนาดเล็ก ติดต่อสื่อสารระหว่างกันแบบไร้สาย เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนี้เป็นระบบที่ง่ายและราคาถูกในการเฝ้าสังเกตการจราจรและสถานะแวดล้อมต่างๆ บนถนนที่สำคัญต่างๆ และนำผลการประมวลผลของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแจ้งสถานการณ์ไปยังสถานีที่เป็นศูนย์กลางเพื่อควบคุมการจราจรได้

ในงานวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ อัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะแบบเวลาจริงที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม (Robust Vehicle Detection Algorithm) ที่นำมาใช้งานกับเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบไร้สาย (Wireless Magnetic sensors) เพื่อให้มีประสิทธิภาพและอัตราการตรวจจับที่ถูกต้องแม่นยำ เพื่อนำไปใช้กับการเฝ้าระวังและการควบคุมการจราจรที่มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาระบบคมนาคมอัจฉริยะและอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาข้อดีข้อเสียเพื่อวางแนวทางพัฒนาระบบที่นำเสนอให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- 2) เพื่อออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะจากสัญญาณสนามแม่เหล็ก ที่สามารถใช้งานบนอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการประเมินสภาพการจราจรจริงได้
- 3) เพื่อศึกษาวิธีการตรวจจับยานพาหนะแบบเวลาจริงที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมจริง รวมทั้งสามารถจำแนกประเภทยานพาหนะขนาดใหญ่และขนาดเล็กได้

1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- 1) ทำให้เกิดการพัฒนากระบวนการตรวจจับยานพาหนะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กโลกที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงด้วยราคาต้นทุนไม่แพง

- 2) สามารถประยุกต์ใช้กับระบบการตรวจตราการจราจรบนถนนตามทางแยก และในสถานที่จอดรถได้จริง
- 3) พัฒนาการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบไร้สายให้มีความเสถียร โดยสามารถทำงานแม่นยำภายใต้สภาพแวดล้อมจริง เช่น การเปลี่ยนแปลงของแสงแดด และอุณหภูมิ
- 4) พัฒนาและปรับปรุงระบบเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานระบบจราจรอัจฉริยะในเชิงพาณิชย์ได้

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) ศึกษาการทำงานของระบบตรวจจับยานพาหนะ หาแนวทางทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์
- 2) ออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะ และจำแนกประเภทยานพาหนะขนาดเล็กและขนาดใหญ่ได้ โดยใช้วิธีการและอุปกรณ์ที่นำเสนอ
- 3) ทดสอบอัลกอริทึมที่เสนอกับสัญญาณสนามแม่เหล็กแบบ 3 แกน ที่ได้จากการเก็บข้อมูลต่างวันและเวลาภายใต้สภาพแวดล้อมจริง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาการทำงานของระบบตรวจจับยานพาหนะที่มีอุปกรณ์ตรวจจับแบบต่างๆ
- 2) ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง และหาแนวทางทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์
- 3) ออกแบบอัลกอริทึมของระบบตรวจจับยานพาหนะ โดยใช้วิธีการและอุปกรณ์ที่นำเสนอ
- 4) ทดสอบระบบที่ออกแบบ
- 5) ประเมินผลระบบ

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีการตรวจตราการจราจร (Traffic Surveillance Technologies)

เทคโนโลยีการตรวจตราการจราจรเป็นเทคโนโลยีสำหรับการเก็บและจัดหาข้อมูลสำหรับระบบการคมนาคมอัจฉริยะ (ITS) ที่ใช้ในการควบคุมการจราจรที่มีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีการตรวจตราการจราจรได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จัดเก็บข้อมูลแบบเวลาจริงทั้งการนับจำนวนยานพาหนะ ความเร็วของยานพาหนะ การจำแนกหมวดหมู่ และการระบุประเภทของยานพาหนะ ในบริเวณและเวลาที่มีการตรวจสอบในปัจจุบันระบบการตรวจตราการจราจรยังมีข้อจำกัดในการทำงาน ดังนั้นการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมจึงจำเป็นต่อการพัฒนาระบบการทำงาน

เทคโนโลยีการตรวจตราต่างๆ สามารถถูกจำแนกประเภทได้เป็นเทคโนโลยีแบบอินท루ซีฟ (Intrusive) และแบบนอนอินท루ซีฟ (Non-Intrusive) โดยเทคโนโลยีแบบอินท루ซีฟจะเป็นการติดตั้งใต้พื้นผิวถนนหรือขวางทางถนน ซึ่งจำเป็นต้องปิดการจราจรบริเวณนั้นเพื่อติดตั้ง หรือซ่อมบำรุง ส่วนเทคโนโลยีแบบนอนอินท루ซีฟสามารถถูกติดตั้งเหนือพื้นผิวถนน หรือด้านข้างของถนนซึ่งไม่ต้องปิดการจราจรบริเวณที่ติดตั้งหรือซ่อมบำรุง

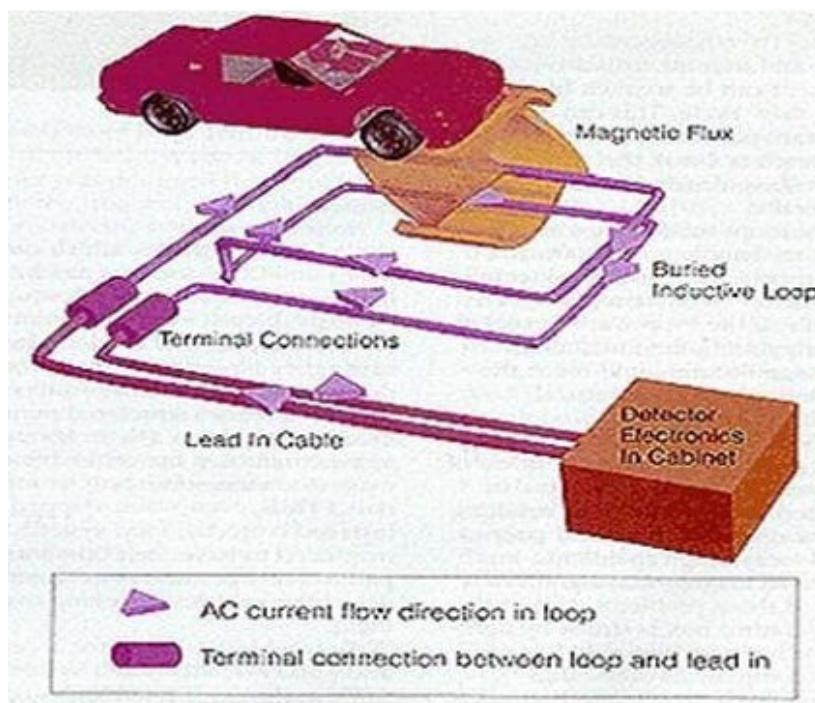
2.1.1 เทคโนโลยีการตรวจตราแบบอินท루ซีฟ (Intrusive)

เทคโนโลยีการตรวจตราแบบอินท루ซีฟเป็นเทคโนโลยีเซนเซอร์ที่จำเป็นต้องติดตั้งลงบนพื้นถนนโดยตรง หรือจำเป็นต้องขุดโพรงใต้พื้นถนนซึ่งเป็นสาเหตุการซ่อมถนนหรือการทำพื้นผิวถนนใหม่ซึ่งเป็นอุปสรรคของการจราจรบริเวณนั้น เทคโนโลยีประเภทนี้ได้แก่เครื่องตรวจจับสนามแม่เหล็กในวงลวด (Inductive Loop Detector) เครื่องตรวจจับสนามแม่เหล็กในท่อลม (Pneumatic Tube Sensor) และเครื่องตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Piezoelectric Sensor)

2.1.1.1 เครื่องตรวจจับสนามแม่เหล็กในวงลวด (Inductive Loop Detector)

เครื่องตรวจจับสนามแม่เหล็กในวงลวดเป็นเครื่องมือตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมระบบตรวจตราการจราจรมากที่สุด การติดตั้งเบื้องต้นอยู่ในรูปที่ 2.1 หลักการทำงาน ในระหว่างการทำงานที่ไม่มียานพาหนะ วงจรจะถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณที่มีความถี่ในช่วง 10 ถึง 50 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) เมื่อยานพาหนะหรือวัตถุที่มีโลหะได้เคลื่อนที่ผ่านหรือหยุดบริเวณตรวจจับสนามแม่เหล็กในวงลวดจะทำให้การเหนี่ยวนำของวงจรลดลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ oscillator

ถ้าการเปลี่ยนแปลงความถี่นี้มากกว่าค่าที่ตั้งไว้แล้วสัญญาณจะถูกส่งไปที่ส่วนประมวลผล (Controller) เพื่อป้องกันถึงการตรวจจับยานพาหนะ

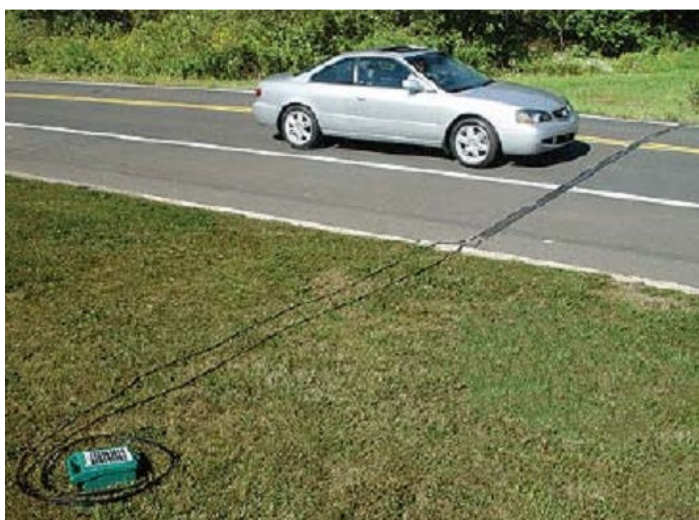


รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องตรวจจับระยะใกล้ในวงล้อย่อมสนามแม่เหล็กอย่างง่าย

เทคโนโลยี Inductive loop เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกพัฒนาอย่างสูงโดยระบบการตรวจสอบชนิดนี้ได้ถูกยอมรับว่าเป็นมาตรฐานของโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากความถูกต้องในการตรวจจับที่สูง (มากกว่า 97%) และทนต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงง่าย [2.2] แต่มีข้อเสียที่สำคัญมากในการเป็นอุปสรรคกีดขวางการจราจรในช่วงที่มีการติดตั้งหรือการซ่อมบำรุง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการติดตั้งและการบำรุงรักษามีมูลค่าสูงมาก นอกจากนี้ประสิทธิภาพของชุดวงจรนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยในด้านความหนาแน่นของจราจรและอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมขณะนั้น

2.1.1.2 เครื่องตรวจจับแบบท่อลม (Pneumatic Tube)

เครื่องตรวจวัดชนิดนี้อาศัยท่อลมในการตรวจจับ โดยท่อลมยางถูกติดตั้งวางยาวบนพื้นผิวถนน ซึ่งท่อลมยางนี้มีความยืดหยุ่นและภายในกลวง ซึ่งวางตั้งฉากกับทิศทางของเส้นทางการจราจร หลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อล้อของยานพาหนะวิ่งผ่านเหนือท่อลมนี้ น้ำหนักที่กดทับท่อลมทำให้เกิดแรงดัน กระจายไปในแนวท่อยาง โดยปลายด้านหนึ่งของท่อยางปิดตันและอีกด้านต่อเข้ากับอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า ซึ่งทำงานด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงในท่อทำให้ทราบจำนวนการกดทับและวิ่งผ่านท่อลม [2.6]

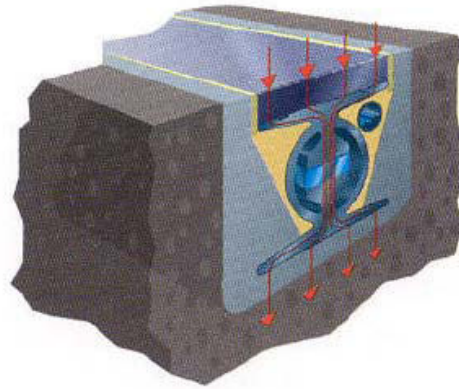


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องตรวจจับแบบทอลม

เนื่องจากการติดตั้งที่รวดเร็วและใช้พลังงานที่น้อย จึงมักถูกใช้สำหรับการศึกษาสภาพการจราจรในระยะสั้น อาศัยหลักการนับจำนวนเพลและระยะห่างระหว่างเพล โครงสร้างอุปกรณ์ง่าย ไม่ซับซ้อน ทำให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการบำรุงรักษานั้นต่ำไปด้วย ส่วนข้อเสียประกอบด้วยการนับจำนวนเพลที่ไม่แม่นยำโดยเฉพาะรถบรรทุกและรถโดยสารมีขนาดใหญ่ที่มีระยะห่างระหว่างเพลมากและเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบอย่างมากรวมทั้งปัญหาการอัศจรรย์การสีกกร่อนของท่ออย่างระดับสูง ส่งผลให้มีการบำรุงรักษาบ่อยๆ ดังนั้นทอลมจึงไม่ค่อยจะถูกใช้สำหรับระบบการตรวจตราในระยะยาว

2.1.1.3 เครื่องตรวจจับแรงกล (Piezoelectric Sensor)

เครื่องตรวจจับแรงกลคล้ายกับเครื่องตรวจจับระยะใกล้ในวงล้อมสนามแม่เหล็กซึ่งถูกติดตั้งโดยการฝังเซนเซอร์ภายใต้พื้นถนน เซนเซอร์นี้จะใช้วัสดุชนิดพิเศษที่จะสร้างแรงดันไฟฟ้าเมื่อได้รับผลกระทบทางกลไกหรือการสั่น ขนาดของแรงดันไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกับแรงหรือน้ำหนักของยานพาหนะ รวมทั้งสามารถนับจำนวนเพล ระยะห่างระหว่างเพลและน้ำหนักของยานพาหนะ ดังนั้นจึงถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบ weigh-in-motion (WIM) ส่วนข้อเสียคล้ายกับเครื่องตรวจจับแบบเครื่องตรวจจับระยะใกล้ในวงล้อมสนามแม่เหล็ก (Inductive Loop Detector) ได้แก่ การไปขัดขวางการจราจรเมื่อมีการติดตั้งและการซ่อมบำรุง ความผิดพลาดที่มักจะเกิดขึ้นเมื่อการจราจรมีความหนาแน่นมากหรือเมื่อมีการเปลี่ยนผิวถนนใหม่ นอกจากนี้การตอบสนองยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมและความเร็วยานพาหนะ แบบจำลองการติดตั้งเซนเซอร์เพียโซ (Piezoelectric Sensor) ได้ถูกแสดงดังรูปที่ 2.3 [2.7] ซึ่งประกอบด้วย เซนเซอร์เพียโซ แผ่นโค้ง (Bending plate) load cell จานรองสำหรับบรรจุกระแสไฟฟ้า และใยแก้วนำแสง

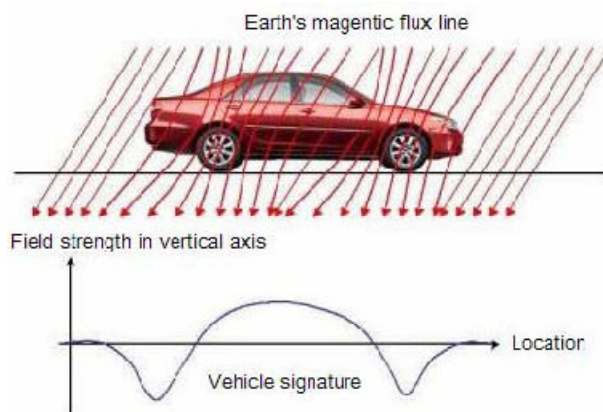


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องตรวจจับแรงกด (Piezoelectric Sensor)

2.1.1.4 อุปกรณ์รับรู้การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก (Magnetic sensor)

อุปกรณ์รับรู้การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กโลกที่ถูกรบกวนโดยยานพาหนะที่เคลื่อนที่ในบริเวณใกล้ตัวอุปกรณ์การติดตั้งจะทำโดยการเจาะรูบนผิวถนนความลึกประมาณ 5 cm นำตัวอุปกรณ์มาวางไว้ แล้วนำแผ่นยางปิดบริเวณดังกล่าวโดยใช้ตะปูตอกเพื่อยึดแผ่นยางไม่ให้แผ่นยางเปิดวิธีนี้ง่ายต่อการติดตั้ง

หลักการทำงานจะใช้หลักของการเปลี่ยนแปลงความนำไฟฟ้าของตัวนำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขั้วแม่เหล็กภายในของตัวนำการใช้ตัวตรวจวัดสนามแม่เหล็กโลกจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในระบบตรวจวัดยานพาหนะเนื่องจากอุปกรณ์รับรู้มีต้นทุนต่ำไม่มีข้อจำกัดเรื่องการติดตั้ง ประหยัดพลังงาน และไม่ไวต่อสภาพอากาศนอกจากนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานบนระบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Networks, WSN) ได้ง่าย ซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดในหัวข้อ 2.2



รูปที่ 2.4 การเบี่ยงเบนของความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กโลกเมื่อมียานพาหนะวิ่งผ่าน

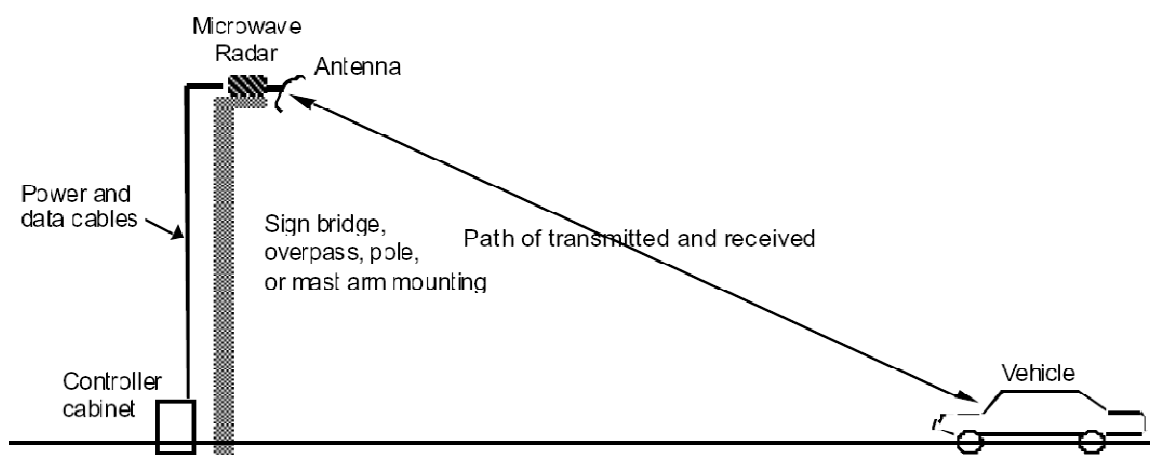
2.1.2 เทคโนโลยีการตรวจตราแบบนอนอินทราซีฟ (Non-Intrusive)

เทคโนโลยีการตรวจตราแบบนอนอินทราซีฟ ไม่จำเป็นต้องติดตั้งหรือซ่อมบำรุงบนพื้นถนน หรือใต้พื้นถนน ซึ่งจะไม่เป็นการรบกวนการจราจร โดยปกติเครื่องตรวจจับถูกติดตั้งบนริมถนน หรือ ที่ตำแหน่งลอยอยู่ข้างบน ตัวอย่างเทคโนโลยีประเภทนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับด้วยคลื่น ไมโครเวฟ (Microwave Radar) เครื่องตรวจจับระบบอินฟราเรด (Infrared-Based System) การประมวลผลภาพวิดีโอ (VIP) รังสีอัลตราโซนิก และ Passive Acoustic Array

2.1.2.1 อุปกรณ์ตรวจจับด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Radar)

เรดาร์ ย่อมาจาก Radio Detection and Ranging [2.10] เป็นระบบหนึ่งซึ่งใช้คลื่นวิทยุเพื่อตรวจจับยานพาหนะ คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 1 ถึง 30 เซนติเมตร และสอดคล้องกับความถี่ที่ 1 ถึง 30 กิกกะเฮิรตซ์ (GHz) ตัวอย่างการติดตั้งระบบ Microwave radar ได้แสดงดังรูปที่ 2.5 เครื่องมือตรวจวัดการจราจรแบบ Microwave Radar Sensors มี 2 ประเภท คือ 1) Doppler Microwave และ 2) Frequency – modulated continuous wave

หลักการทำงาน เครื่องตรวจวัดจะส่งสัญญาณและสะท้อนกลับของคลื่นไมโครเวฟออกมา เพื่อตรวจจับรถยนต์ที่วิ่งผ่านแนวสัญญาณ เครื่องตรวจวัดประมวลผลออกมาเป็นข้อมูลการตรวจนับ ปริมาณยานพาหนะ ความเร็ว และระยะห่างของแต่ละคัน ข้อดีที่สำคัญของคลื่นไมโครเวฟคือผลการ ทำงานของระบบไม่ได้ถูกรบกวนจากการเปลี่ยนแปลงของอากาศ และสามารถวัดความเร็วได้โดยตรง ส่วนข้อเสียคือ ไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะที่หยุดนิ่งได้ ถ้าอุปกรณ์ช่วยสนับสนุนไม่ได้ถูกติดตั้ง [2.6]

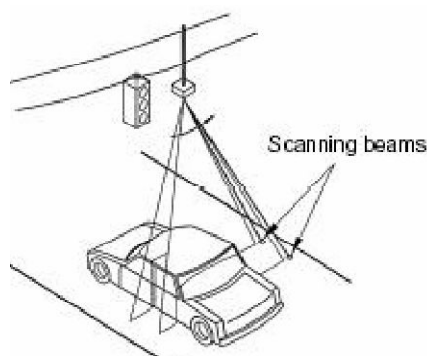


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับด้วยคลื่นไมโครเวฟ

2.1.2.2 เครื่องตรวจจับระบบรังสีอินฟราเรด (Infrared-Based System)

รังสีอินฟราเรด (IR) คือรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นยาวกว่าแสงที่ตามองเห็น แต่สั้นกว่าคลื่นวิทยุ ระบบโดยทั่วไปสำหรับระบบการตรวจตราการจราจรจะใช้รังสีอินฟราเรดในช่วง 100 ถึง 105 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ระบบรังสีอินฟราเรดในการนับจำนวน หลายช่องทางสื่อสาร และหลายพื้นที่ของการจราจร จะใช้หาค่าประมาณความเร็วและความยาวของยานพาหนะสำหรับการจำแนกหมวดหมู่ ระบบรังสีอินฟราเรดอยู่ 2 ประเภทคือระบบรังสีอินฟราเรดแบบแอคทีฟ (Active) และระบบรังสีอินฟราเรดแบบพาสซีฟ (Passive)

1) ระบบรังสีอินฟราเรดแบบแอคทีฟ (Active IR System) จะฉายรังสีพลังงานต่ำผ่าน LED หรือจะใช้รังสีพลังงานสูงจากไดโอดเลเซอร์ จะวัดความแตกต่างของเวลาระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งของสัญญาณที่สะท้อนมาจากพื้นที่การตรวจจับ ถ้าเวลาในการสะท้อนกลับสั้นกว่าเวลาอ้างอิงจะแสดงถึงการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ และสามารถประมาณค่าความเร็วได้ด้วยการส่งสัญญาณอินฟราเรด 2 สัญญาณหรือมากกว่า ลงบนตำแหน่งที่ต่างกันในพื้นที่การตรวจจับ จากรูปที่ 2.6 ได้แสดงการติดตั้งระบบอย่างง่ายข้อดีที่สำคัญของระบบรังสีอินฟราเรดคือ สามารถปรับปรุงการส่งลำแสงอินฟราเรดหลายๆ ลำแสงเพื่อการตรวจจับหลายๆ พื้นที่ได้ในเครื่องตรวจจับเครื่องเดียว ส่วนข้อเสียคือผลการทำงานของมันถูกรบกวนอย่างมากจากสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ผลกระทบจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากรังสีอินฟราเรดถูกดูดกลืนหรือถูกทำให้กระจายไปในอนุภาคของอากาศ หมอก ฝน และหิมะ [2.14]



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับด้วยระบบรังสีอินฟราเรดแบบแอคทีฟ

2) ระบบรังสีอินฟราเรดแบบพาสซีฟ (Passive IR System) ขึ้นอยู่กับรังสีที่ถูกส่งออกมาจากยานพาหนะและพื้นผิวบนถนน (Gray body emission) วัตถุใดๆ ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า - 273.15 องศาเซลเซียส จะส่งรังสีอินฟราเรดซึ่งมีปริมาณขึ้นอยู่กับอุณหภูมิบนพื้นผิวนั้น ขนาดและโครงสร้างของยานพาหนะ เมื่อมียานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านจะสามารถตรวจจับความร้อนที่เปลี่ยนไปในบริเวณนี้ได้ ผลการทดลองสามารถตรวจจับได้ดี แต่ความร้อนที่เซนเซอร์ตรวจจับได้อาจจะไม่ได้

เกิดจากยานพาหนะเพียงอย่างเดียวอาจจะเกิดจากมนุษย์ สัตว์ หรือวัตถุอื่นๆ ที่เคลื่อนที่ผ่าน จากรูปที่ 2.7 แสดงรูปของระบบรังสีอินฟราเรดแบบแพสซีฟ



ASIM IR 254



Siemens PIR-1

รูปที่ 2.7 ภาพตัวอย่างเครื่องตรวจวัดแบบระบบรังสีอินฟราเรดแบบแพสซีฟ (Passive IR System)

2.1.2.3 ระบบการประมวลผลด้วยภาพวิดีโอ (Video Image Processing, VIP)

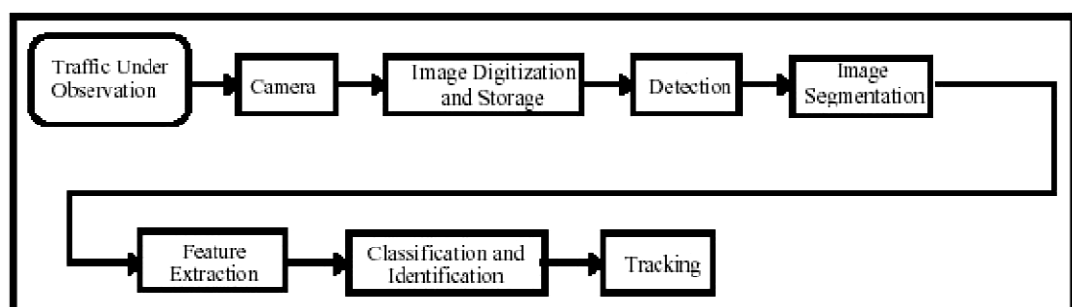
การดำเนินการระบบการประมวลผลด้วยภาพวิดีโอแสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งระบบประมวลผลประกอบด้วยกล้องวิดีโอที่จะจับภาพและส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยแผ่นวงจรประมวลผล(Microprocessor) และถูกจัดเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ ที่ซึ่งจะใช้ซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ภาพ ปกติการตรวจจับยานพาหนะจะใช้การติดตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างลำดับภาพในวิดีโอแบบต่อเนื่อง การตรวจจับยานพาหนะต่างๆ ถูกดำเนินการบนลำดับของภาพที่ต่อเนื่อง ทั้งการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ(Segmentation) เพื่อแบ่งพื้นที่ภาพเป็นบริเวณที่เล็กกว่า ที่ซึ่งสามารถดึงคุณลักษณะ(Feature Extraction) ออกได้ดีกว่า คุณลักษณะต่างๆ ที่ถูกดึงออกถูกใช้เพื่อการตรวจจับ การจำแนกประเภทและการติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

ระบบการประมวลผลด้วยภาพวิดีโอ (VIP system) มีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ การติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ (Tripline) การติดตามแบบ Closed-loop และการติดตามที่ใช้ความสัมพันธ์ของข้อมูล [2.16, 2.6]

1) ระบบการติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ เป็นระบบเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงในจุดภาพ (Pixel) ที่เกิดจากความสัมพันธ์ของกับพื้นที่ตรวจจับที่ว่างเปล่า ภาพจะถูกวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึม surface-based หรืออัลกอริทึม grid-based ที่จะระบุคุณลักษณะเส้นขอบของยานพาหนะหรือระบุประเภทรูปร่างสี่เหลี่ยมบน Fixed grid ว่ายานพาหนะกำลังวิ่ง หรือหยุดนิ่ง หรือไม่มียานพาหนะ

2) ระบบการติดตามแบบ Closed-loop โดยระบบจะติดตามยานพาหนะที่วิ่งผ่านพื้นที่ที่กล้องจับภาพอย่างต่อเนื่อง ด้วยวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับของยานพาหนะคันเดียวกันหลายครั้ง (Validating multiple detections of the same vehicle) ต่อการติดตามหนึ่งครั้ง

3) ระบบการติดตามที่ใช้ความสัมพันธ์ของข้อมูล (Data association tracking system) จะติดตามยานพาหนะเฉพาะคันหรือกลุ่มของยานพาหนะ ด้วยการดึงบริเวณจุดภาพที่มีการเชื่อมถึงกันออกมา

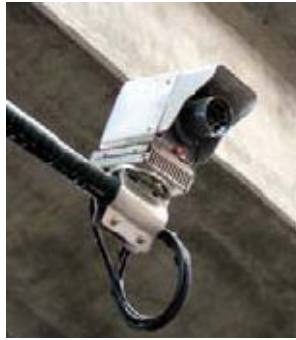


รูปที่ 2.8 แผนผังการดำเนินการของระบบการประมวลผลด้วยภาพวิดีโอ

ข้อเสียของระบบนี้ประกอบด้วยผลการทำงานที่ได้รับผลกระทบอย่างมากจากสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะแสงสว่าง (แสงแดด หรือแสงไฟหน้ายานพาหนะ) หิมะ หรือเงาที่มีผลต่อระดับแสงสว่าง และรวมถึงช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ทั้งนี้อัลกอริทึมต่างๆ ที่ได้ออกคิดค้นขึ้นให้สามารถทำงานได้ภายใต้เงื่อนไขสิ่งแวดล้อมที่ไม่สมบูรณ์ แต่ก็ยังไม่มีอัลกอริทึมใดที่สามารถทำงานได้ทุกสภาพแวดล้อม และทุกช่วงเวลา

2.1.2.4 เครื่องตรวจจับระบบคลื่นอุลตราโซนิก(Ultrasonic Sensors)

อุลตราโซนิกอ้างเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงซึ่งสูงกว่าขอบเขตที่มนุษย์ได้ยิน คลื่นความถี่อยู่ระหว่าง 25 ถึง 50 กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) โดยหลักการกลศาสตร์คล้ายกับเรดาร์ที่ใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) คือสัญญาณเสียงความถี่สูงจะถูกส่งสัญญาณเพื่อรอรับสัญญาณที่ถูกสะท้อนสัญญาณกลับมา ระยะทางจากเครื่องรับถึงถนนหรือพื้นผิวยานพาหนะจะถูกตรวจวัดโดยคิดจากช่วงเวลาที่คลื่นเดินทาง ถ้าระยะทางที่คลื่นเดินทางที่ตรวจวัดน้อยกว่าระยะทางที่สะท้อนจากพื้นผิวดนแล้ว แสดงว่าเกิดการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ ส่วนการประมาณค่าความเร็วถูกหาได้โดยการติดตั้งในพื้นที่การตรวจจับหลายพื้นที่



รูปที่ 2.9 ภาพตัวอย่างของเครื่องตรวจจับด้วยระบบคลื่นอุลตราโซนิก

จากรูปตัวอย่างของระบบอุลตราโซนิกใน รูปที่ 2.9 พบว่าระบบอุลตราโซนิกที่ความถี่สูงที่ ซึ่งตรวจวัดความเร็วโดยใช้ทฤษฎีของ Doppler รวมทั้งสามารถใช้ประโยชน์ได้ในเชิงการตลาด อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เหล่านี้มีค่าใช้จ่ายที่สูง เพราะฉะนั้นจึงไม่ค่อยนำมาใช้ รวมทั้งระบบผลการทำงานที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสภาพอากาศที่ผิดปกติ

2.1.2.5 ระบบตรวจจับเสียงแบบพาสซีฟ (Passive acoustic system)

ระบบตรวจจับเสียงแบบพาสซีฟจะตรวจวัดพลังงานเสียงที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะหรือเสียงที่สามารถได้ยิน ระดับพลังงานเสียงโดยรวมจะเพิ่มขึ้นเมื่อยานพาหนะวิ่งผ่านพื้นที่ตรวจจับ ระบบตรวจจับเสียงแบบพาสซีฟจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับเสียงเป็นไมโครโฟนซึ่งมีการตอบสนองต่อความถี่ของเสียง นอกจากการตรวจจับยานพาหนะและการประมาณค่าความเร็วด้วยพื้นที่การตรวจจับ 2 พื้นที่แล้ว การจำแนกหมวดหมู่สามารถทำได้ด้วยการประยุกต์ Pattern Matching และ Neural Network บนสัญญาณเสียง [2.20]



รูปที่ 2.10 ภาพตัวอย่างของเครื่องตรวจจับด้วยระบบตรวจจับเสียงแบบพาสซีฟ

จากรูปที่ 2.10แสดงถึงระบบตรวจจับเสียงแบบพาสซีฟที่ถูกติดตั้งบนถนนหลายช่องทาง (Multi-lane) ของ SmarTek SAS-1 [2.21] ระบบนี้ใช้เครื่องขยายเสียงวางเรียงกัน มันสามารถแผ่ระยะวงได้มากกว่า 7 ช่องทาง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่ดีกว่าสำหรับการนำใช้จริงบนถนนหลวง รวมทั้งเป็น

เทคโนโลยีแบบพาสซีฟ และไม่ไวต่อสภาพฝน ส่วนข้อเสียประกอบด้วยผลความถูกต้องของการตรวจจับลดลงที่อุณหภูมิต่ำและในสภาพการจราจรติดขัด

ในการพิจารณาการเลือกเทคโนโลยีที่จะนำมาศึกษา ต้องพิจารณาถึงข้อมูลการจราจรที่ต้องการทราบรวมถึงความถูกต้องแม่นยำ และความสามารถของเทคโนโลยีในการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมจริงซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่าย และความซับซ้อนในการติดตั้งและซ่อมบำรุง เมื่อต้องการขยายผลการนำไปใช้เป็นเครือข่ายเซนเซอร์

การพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยี เริ่มจากพิจารณาประเภทข้อมูลการจราจรที่ต้องการดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงถึงการใช้ประโยชน์ของประเภทข้อมูลเหล่านี้ในเทคโนโลยีที่ต่างกัน ซึ่งจะมีบางเทคโนโลยีที่ให้ข้อมูลการจราจรที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ได้ครบถ้วน ได้แก่ เครื่องตรวจจับระยะใกล้ในวงล้อมสนามแม่เหล็ก ระบบการประมวลผลด้วยภาพวิดีโอ ระบบตรวจจับเสียงแบบพาสซีฟ และเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก โดยประเภทข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ประโยชน์มีดังนี้

- 1) การนับจำนวนยานพาหนะ (Count) สามารถใช้ประโยชน์ได้ในทุกเทคโนโลยี และเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้พิจารณาความถูกต้องของเทคโนโลยีแต่ละประเภท
- 2) การตรวจวัดความเร็ว (Speed) โดยปกติต้องการพื้นที่การตรวจจับแบบคู่ (dual-detection-zone) สำหรับระบบที่ใช้พื้นที่ตรวจจับแบบเดี่ยว การประมาณค่าความเร็วแบบหยาบจะใช้การสมมติความยาวยานพาหนะมาคำนวณกับระยะเวลาที่ครอบครอง (Occupancy) เพื่อหาความเร็ว
- 3) การแยกประเภท (Classification) โดยปกติถูกหามาได้โดยการวิเคราะห์ความยาวของยานพาหนะ ความสูง จำนวนของเพลลา และระยะห่างของช่วงล่างกับพื้นถนน
- 4) ระยะเวลาที่ครอบครอง (Occupancy) ซึ่งเป็นเวลาที่ยานพาหนะอยู่ในพื้นที่ที่ตรวจจับนั้น
- 5) การมีอยู่ของยานพาหนะบริเวณนั้น (Presence) เพื่อใช้ตรวจสอบยานพาหนะที่หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ช้า

จากการศึกษาและวิจัยของ Cheung S. Y. และVaraiya P.[6]ในการทดสอบเทคโนโลยีการตรวจตราการจราจรที่ถูกดำเนินการภายใต้สิ่งแวดล้อมจริง ซึ่งได้สรุปผลการทำงานแสดงดังตารางที่ 2.2 โดยแสดงผลความถูกต้องของการนับจำนวน (Count) จะเห็นได้ว่าเครื่องตรวจจับระยะใกล้ในวงล้อมสนามแม่เหล็กเป็นเทคโนโลยีที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงสุด และมีอัตราความผิดพลาด (Error Rate) อยู่ที่ 0.1 - 3% ของการนับจำนวนยานพาหนะในระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง และถ้าพิจารณา

เปรียบเทียบกับเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กไร้สาย (Wireless Magnetic Sensors) พบว่ามีความถูกต้องแม่นยำอยู่ในระดับใกล้เคียงกันกับเครื่องตรวจจับระยะใกล้ในวงล้อมสนามแม่เหล็ก และมีอัตราความผิดพลาดอยู่ที่ 1 - 3% แต่ถ้าเปรียบเทียบในเรื่องค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กไร้สายนั้นกลับถูกกว่ามาก และความยุ่งยากในการติดตั้งและซ่อมบำรุงนั้นมีน้อยกว่า และยังสามารถในการให้ข้อมูลการจราจรที่สำคัญได้ครบถ้วน ถือได้ว่าเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กโลกแบบไร้สายจึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาวิจัย

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการประมวลผลข้อมูลของเทคโนโลยีการตรวจตราการจราจรประเภทต่างๆ

ประเภทเทคโนโลยี	ความสามารถในการประมวลผลข้อมูลของยานพาหนะ				
	จำนวน	ความเร็ว	ประเภท	เวลาการครอบครอง	การมีอยู่
Inductive Loop detector	Y	Y	Y	Y	Y
Pneumatic Tube	Y	Y	Y	N	N
Piezoelectric Sensors	Y	Y	Y	N	N
Magnetometer	Y	Y	Y	Y	Y
Microwave Radar	Y	Y	Y	Y	N
Infrared Sensors					
- Active	Y	Y	Y	N	N
- Passive	Y	Y	Y	Y	Y
Video Image Processing	Y	Y	Y	Y	Y
Ultrasonic Sensors	Y	N	N	N	Y
Passive Acoustic	Y	Y	Y	Y	Y

*Y = ประมวลผลได้ N = ประมวลผลไม่ได้

การใช้เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กโลกแบบไร้สายจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาศึกษาวิจัย เนื่องจากอุปกรณ์มีต้นทุนต่ำ ไม่มีข้อจำกัดเรื่องการติดตั้ง ประหยัดพลังงาน และไม่ไวต่อสภาพอากาศ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานบนระบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Networks, WSN) ได้ง่าย

ตารางที่ 2.2 อัตราความผิดพลาดของเทคโนโลยีการตรวจตราจราจรประเภทต่างๆ อ้างอิงงานวิจัย [6]

ประเภทเทคโนโลยี	ตำแหน่งติดตั้ง	ความผิดพลาดในการตรวจจับ (%)
Inductive Loop detector		
Saw-cut	พื้นถนน	0.1 - 3
Pneumatic Tube		
	พื้นถนน	0.92 - 30
Microwave Radar		
TDN 30	เหนือยานพาหนะ	2.5 - 13.8
RTMS	เหนือยานพาหนะ	2
Active Infrared Sensors		
Autosense II	เหนือยานพาหนะ	1
Video Image Processing		
Autoscope solo	ข้างไฟจราจร	5
Autoscope solo	เหนือยานพาหนะ	5
Ultrasonic Sensors		
Lane King	เหนือยานพาหนะ	1
Passive Acoustic		
SAS-1	ข้างไฟจราจร	8 - 16
Wireless Magnetic Sensors		
VSN240	พื้นถนน	1 - 3

นอกจากนี้ ปัจจัยสภาวะแวดล้อมเช่น ลม แสงแดด อุณหภูมิ หรือสภาพการจราจรแออัด เป็นต้น มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเทคโนโลยีประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งมีความสำคัญต่อการพิจารณาการเลือกใช้เทคโนโลยีด้วย สำหรับเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กไร้สาย จากตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยเฉพาะกับอุณหภูมิบนพื้นถนนที่เกิดจากแสงแดด ซึ่งมีความผันผวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ตลอดทั้งวัน

ในงานวิจัยของCheung S. Y. และVaraiya P.[6]ได้เสนอการใช้ อุปกรณ์ตรวจวัดโดยใช้ตัวต้านทานแม่เหล็กแบบสามแกน (Three-axis Anisotropic Magnetoresistive Sensor, ARM) หรือชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสนามแม่เหล็ก โดยใช้หลักการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กโลกที่ถูกรบกวนโดย

ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ในบริเวณอุปกรณ์ตรวจจับ รวมทั้งได้คิดค้นวิธีการในการป้องกันปัญหาความผันผวนของอุณหภูมินี้ โดยได้มีการนำเสนอวิธีการ Adaptive Threshold Detection Algorithm มาใช้เพื่อตรวจจับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านเหนือชุดเซนเซอร์ (Passing vehicle) ได้โดยป้องกันผลกระทบจากความผันผวนของอุณหภูมิตามพื้นถนน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 2.3 อิทธิพลของสภาวะแวดล้อมต่อการทำงานของเทคโนโลยีแต่ละประเภท

ประเภทเทคโนโลยี	ปัจจัยสิ่งแวดล้อม			
	ลม	อุณหภูมิ	แสง	จราจรแออัด
Inductive Loop detector	N	Y	N	N
Pneumatic Tube	N	Y	N	Y
Piezoelectric Sensors	N	Y	N	N
Magnetometer	N	Y	N	N
Microwave Radar	N	N	N	Y
Infrared-Based Sensors				
Active	N	N	N	N
Passive	N	N	N	N
Video Image Processing	Y	Y	Y	N
Ultrasonic Sensors	N	N	N	N
Pasive Acoustic	Y	N	Y	N

*Y = มีผลกระทบ และ N = ไม่ได้ผลกระทบ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนออัลกอริทึมในการตรวจจับยานพาหนะที่จะนำมาใช้กับเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก โดยปรับปรุงวิธีการ Adaptive Threshold Detection Algorithm ในส่วนของขั้นตอนการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ เพื่อให้ได้ผลการตรวจนับที่ถูกต้องแม่นยำ และการตรวจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กในช่วงที่ยานพาหนะวิ่งผ่านเซนเซอร์ให้สมบูรณ์ที่สุดทั้งการตรวจจับยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป และรถจักรยานยนต์ รวมถึงสามารถทำงานได้จริงในสถานที่ต่างๆ และคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Robustness) เช่น

แสงแดด อุณหภูมิ หมอก หรือฝน โดยเฉพาะอุณหภูมิที่เกิดจากแสงแดดในประเทศไทยซึ่งไม่คงที่ และอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหันได้ นอกจากนี้สามารถตรวจจับที่หยุดนิ่ง (Stationary vehicle) หรือเคลื่อนที่ช้าเหนือเซนเซอร์ได้

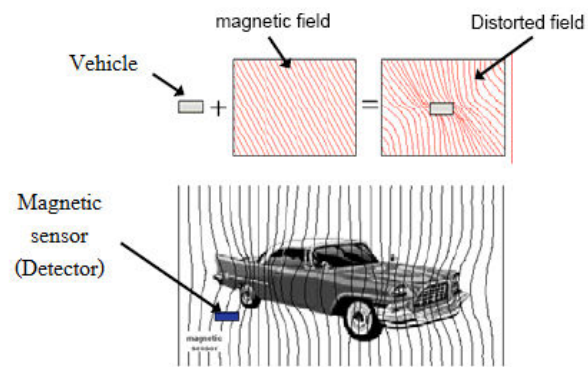
2.2 เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Magnetic Sensors)

ดังที่กล่าวไปแล้วถึงประโยชน์และข้อดีของเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กไว้สายดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกศึกษาเทคโนโลยี เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบไร้สายนี้ เพราะเป็นระบบที่ง่ายและราคาถูกในการเฝ้าสังเกตการจราจรและมีความเสถียรในการตรวจวัดสภาพจราจรในสถานะแวดล้อมต่างๆ บนถนนที่สำคัญทุกสาย ซึ่งในการใช้งานในสถานะจริงบนท้องถนน อุปกรณ์ต่างๆ ควรต้องมีขนาดเล็ก ควบคุมได้ง่าย ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่ถูกลง และต้องทนทานต่อการสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะแสงแดด ที่สิ่งสำคัญที่สุดคือระบบนั้นควรจะสามารถของการส่งข้อมูลไปให้กับผู้ควบคุมได้ตามเวลาจริงซึ่งเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กไร้สายสามารถตอบโจทย์สิ่งเหล่านี้ได้อย่างดี

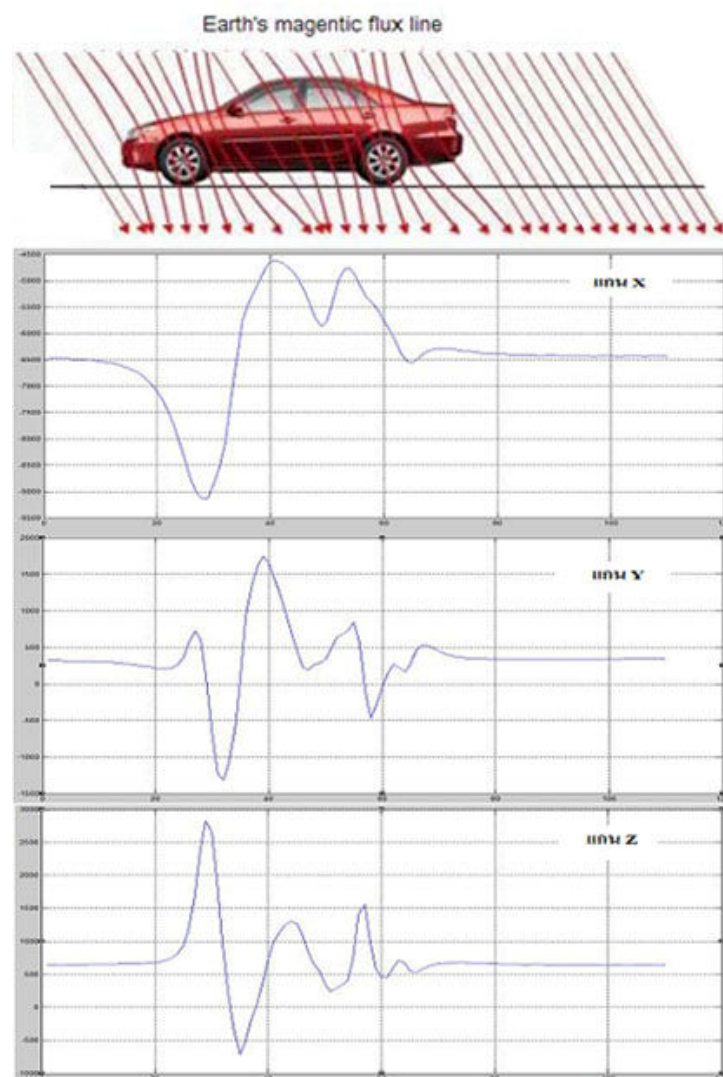
2.2.1 หลักการทำงานของระบบเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กของโลก

โดยทั่วไปสนามแม่เหล็กโลกจะมีคุณสมบัติที่เป็นบริเวณกว้างและกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวโลก แต่สำหรับบริเวณที่มีวัตถุที่เป็นโลหะอยู่จะส่งผลทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของสนามแม่เหล็ก อุปกรณ์รับรู้การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก หรือเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก(Magnetic Sensors) จะสามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงนี้ได้ ซึ่งโดยหลักการนี้ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับยานพาหนะ เพราะโครงสร้างส่วนใหญ่ของยานพาหนะเป็นโลหะ โดยเมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กโลกจะทำให้สนามแม่เหล็กโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง อันเนื่องมาจากการรบกวน (Disturbance) การไหลของสนามแม่เหล็กซึ่งได้แทรกซึมไปในยานพาหนะ โดยจะมีลักษณะเป็นสัญญาณดังรูปที่ 2.11

เซนเซอร์ตรวจจับยานพาหนะที่ใช้ทดสอบเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดตัวต้านทานแม่เหล็กแบบสามแกน หรืออุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยอุปกรณ์ตรวจวัดสนามแม่เหล็กเป็นแบบทิศทาง (Directional) ซึ่งสามารถหาขนาดของสนามแม่เหล็กที่ขนานไปกับแกนที่ตอบสนอง และตัวเซนเซอร์นี้เป็นสิ่งสำคัญในการแยกช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ถูกรบกวนอันเนื่องมาจากยานพาหนะ โดยความแตกต่างของสัญญาณแม่เหล็กที่ถูกรบกวนนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและรูปร่างของวัสดุที่เป็นเหล็กของยานพาหนะที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.11 การรบกวนสนามแม่เหล็กเมื่อสนามแม่เหล็กแทรกซึมไปในยานพาหนะ



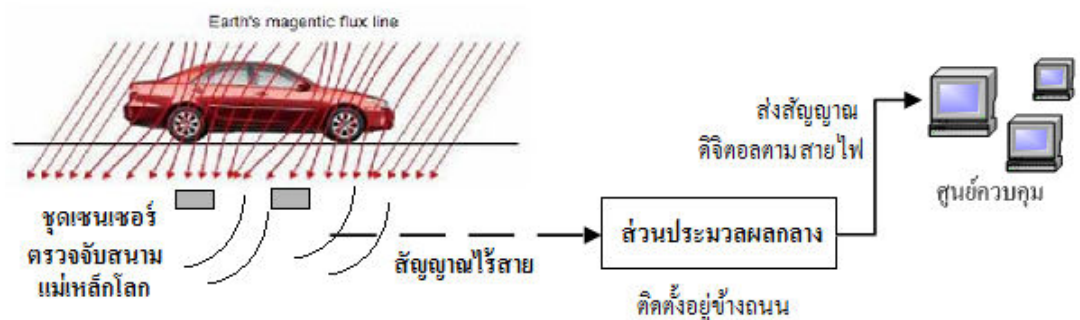
รูปที่ 2.12 ภาพแสดงการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน ในช่วงที่มียานพาหนะวิ่งผ่าน

ระบบการทำงานจะใช้การตรวจจับสนามแม่เหล็กของโลกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมียานพาหนะวิ่งผ่านตัวตรวจจับสัญญาณ โดยชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย ชุดเซนเซอร์ตรวจจับสัญญาณแม่เหล็กโลกในระยะวงล้อมรอบๆ ชุดอุปกรณ์ที่ฝังอยู่ใต้พื้นผิวถนน ส่วนเชื่อมโยงเครือข่าย และส่วน

ประมวลผล โดยระบบจะถูกออกแบบให้สามารถตรวจจับสัญญาณได้ทั้ง 3 แกน ประกอบด้วยแกนตามขวางการเคลื่อนที่ (X) แกนตามทิศทางการเคลื่อนที่ (Y) และแกนตั้งฉากกับพื้นถนน (Z) โดยอาศัยข้อสมมติฐานว่าสัญญาณที่ได้มาเนื่องจากยานพาหนะซึ่งเป็นโลหะวิ่งผ่านตัวตรวจจับสัญญาณ จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กของโลก ณ บริเวณนั้น และสัญญาณที่ตรวจจับได้จะมีความแตกต่างกันไปตามปริมาณวัสดุที่เป็นโลหะ และรูปร่างของยานพาหนะแต่ละประเภท เนื่องจากมีโครงสร้างและส่วนประกอบวัสดุไม่เหมือนกัน แสดงดังรูปที่ 2.12

2.2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบไร้สาย

ในการออกแบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย จะต้องระบบที่ง่ายและราคาถูกในการเฝ้าสังเกตการจราจรและสภาวะแวดล้อมต่างๆ บนถนนที่สำคัญทุกสาย เซนเซอร์ต่างๆ ควรต้องมีขนาดเล็ก ทนทานต่อการสภาวะต่างๆ สามารถควบคุมได้ง่าย และสามารถติดตั้งได้ในราคาที่ถูกระบบนั้นควรจะสามารถส่งข้อมูลไปให้กับผู้ควบคุมได้ตามเวลาจริง การติดตั้งสามารถทำได้ง่ายในราคาที่ถูกระบบนั้นควรจะเป็นไร้สาย เพื่อฝังใต้พื้นถนนได้ เซนเซอร์เหล่านี้สามารถแจ้งสถานการณ์ไปยังสถานีที่เป็นศูนย์กลางดังรูปที่ 2.13



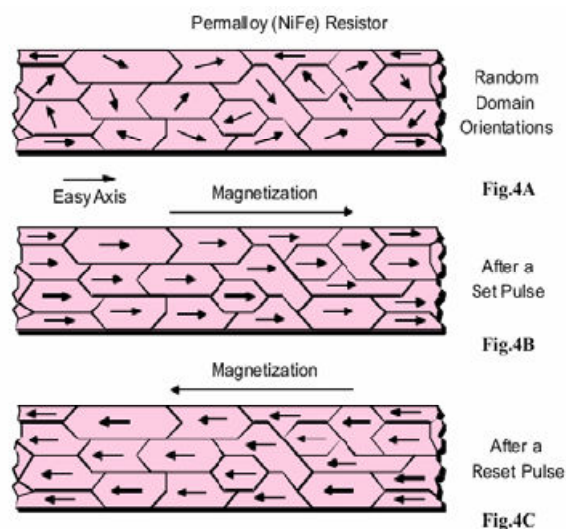
รูปที่ 2.13 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

โครงสร้างทางกายภาพของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกที่เป็นตัวลูกข่าย (Sensor Node) ซึ่งจะติดตั้งอยู่กลางเลนบนผิวถนน ซึ่งจะมีเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กประเภทตัวต้านทานแม่เหล็กแบบสามแกน ซึ่งสามารถตรวจจับสัญญาณออกมาได้ด้วยกัน 3 แกนและส่วนที่สองเป็นแม่ข่าย (Server Node) จะติดตั้งอยู่ในแนวฟุตบาท ซึ่งจะต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ประมวลผลค่าสัญญาณแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ และส่งไปยังหน่วยประมวลที่อยู่ในลำดับขั้นที่สูงขึ้นไปอีก

ในการประยุกต์ในเรื่องของระบบการตรวจตราการจราจร ส่วนตัวลูกข่ายหรือเซนเซอร์สนามแม่เหล็กทำหน้าที่ตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้งสามแกนบริเวณกลางถนน และทำให้ได้สัญญาณ

การเบี่ยงเบนของสนามแม่เหล็กเมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่านของยานพาหนะเหนือเซนเซอร์ โดยจะส่งสัญญาณที่วัดค่าได้มาที่ส่วนแม่ข่าย ข ซึ่งจะถูกประมวลผลผ่านอัลกอริทึมการตรวจจับสัญญาณแม่เหล็กของช่วงที่ยานพาหนะวิ่งผ่านยานพาหนะ และทำการประมวลผลเพื่อเก็บข้อมูลการจราจร ทั้งการนับจำนวน (Count) การตรวจวัดความเร็ว (Speed) การแยกประเภท (Classification) ระยะเวลาที่ครอบครอง (Occupancy) และการมีอยู่ของยานพาหนะบริเวณนั้น (Presence) สุดท้ายข้อมูลการจราจรเหล่านั้นจะถูกส่งต่อไปที่ศูนย์ควบคุมจัดการจราจร (Traffic Management Center) ตามเวลาจริง

เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กใช้หลักการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กโลกที่ถูกรบกวน โดยยานพาหนะที่เคลื่อนที่ในบริเวณอุปกรณ์ตรวจจับซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดยอ้อมเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กประเภทหนึ่ง ได้แก่ เซนเซอร์ตรวจวัดสนามแม่เหล็กชนิดตัวต้านทานแม่เหล็ก (Anisotropic Magneto-Resistive Sensor, AMR) ซึ่งเหมาะสมมากสำหรับการใช้ใน sensor node เนื่องจากมีขนาดเล็กมีความสามารถในการตอบสนองที่สูงและมีขอบเขตบริเวณที่จำกัดอาศัยการวัดระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงบนวัสดุที่มีความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก ซึ่งทำออกมาในรูปฟิล์มบาง โดยพื้นฐานเซนเซอร์ AMR ทำมาจาก Nickel-iron (Permalloy) ซึ่งเรียกว่า “Permalloy thin film” ฟิล์ม Permalloy นี้จะมีปฏิกิริยากับความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยความต้านทานของตัวฟิล์มนั้นจะแปรเปลี่ยนตามความเข้มของสนามแม่เหล็ก ลักษณะโครงสร้างจะเป็นไปตามรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะของ Permalloy Thin Film

ในงานวิจัยได้ทดลองกับเซนเซอร์ต้นแบบที่ใช้วงจรรวมของ AMR sensor Honeywell HMC1051Z [3.14] แสดงดังรูปที่ 2.15 เนื่องจากความสามารถในการตอบสนองที่สูง (1.0 mV/V/gauss) ซึ่งมีขนาดเล็ก (10 x 4 x 1.5 mm) และใช้พลังงานต่ำประมาณ 5mA ตามรายละเอียดในตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.15 เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก Honeywell HMC1051Z

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดของคุณสมบัติของ HMC1051Z

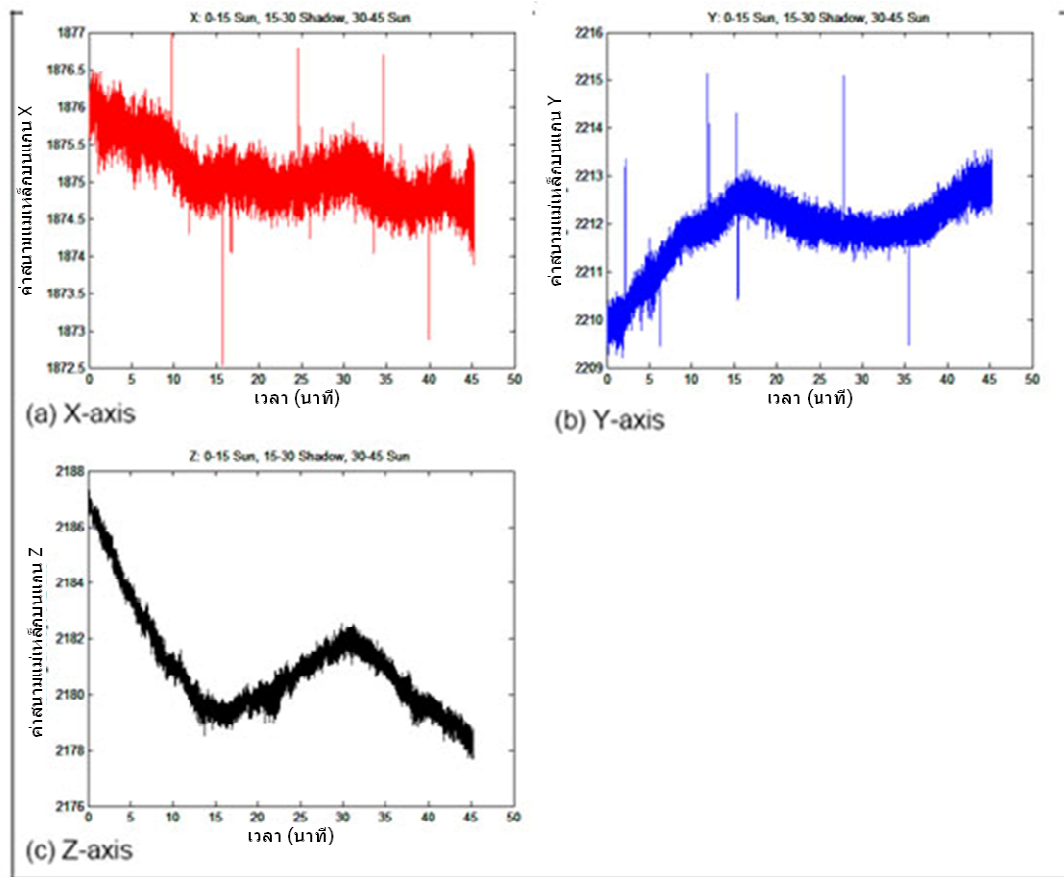
Characteristics	Min	Typical	Max	Units
Operating temperature	-40		125	°C
Field Range	-6		6	gauss
Sensitivity	0.8	1.0	1.2	mV/V/gauss
Resolution		120		μ gauss
Bandwidth		5		MHz

2.2.3 ผลกระทบต่อสนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ

การตรวจวัดจากเซนเซอร์สนามแม่เหล็กที่ใช้ในการทดลองนั้นพบว่าระดับอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อค่าแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ จากการทดลองของ Cheung S. Y. และ Varaiya P. [6] ได้มีการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ อันเนื่องมาจากแสงแดดที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งผลกระทบนี้ส่งผลต่อการทำงานของระบบการตรวจตราการจราจรของเซนเซอร์นี้ เนื่องจากอุณหภูมิตามพื้นถนนเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน



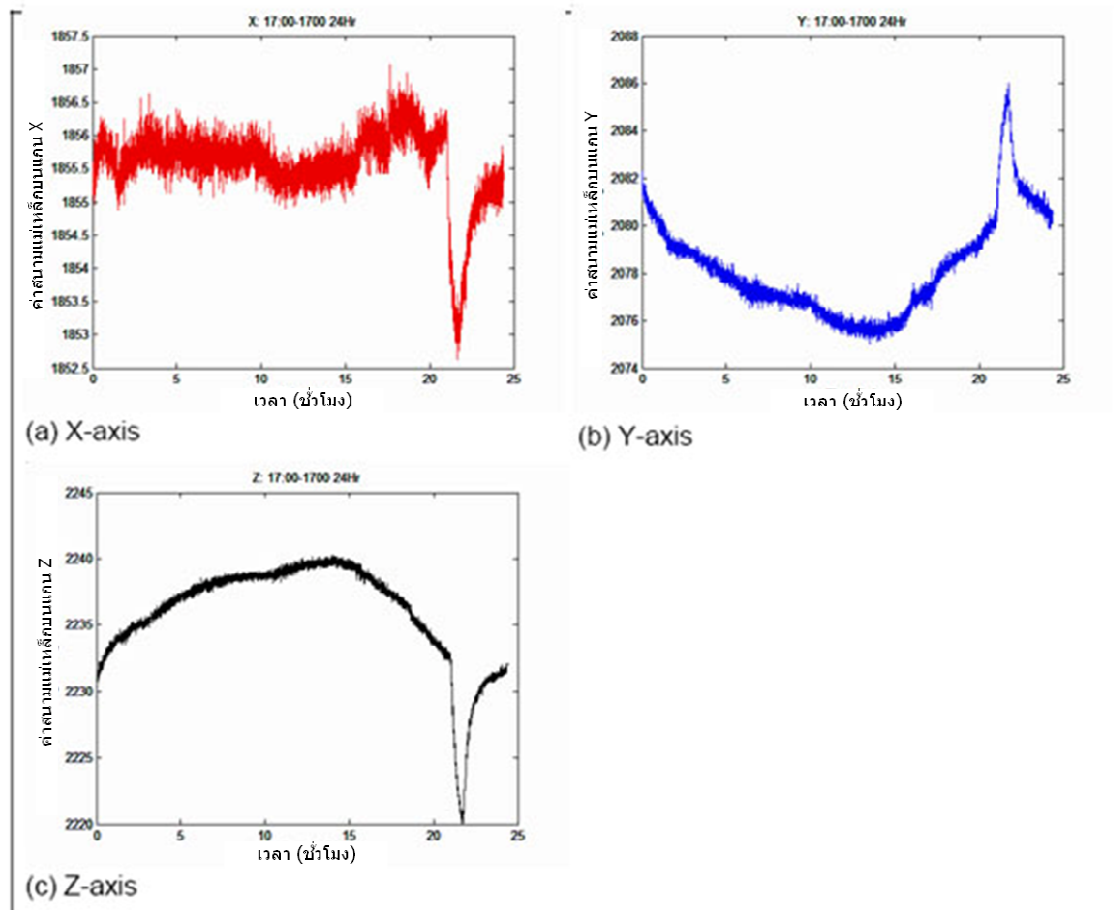
รูปที่ 2.16 การติดตั้งเซนเซอร์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอันเนื่องมาจากแสงแดดที่เปลี่ยนแปลง มีผลต่อการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.17 ผลการตรวจวัดสนามแม่เหล็กกับแสงแดดโดยตรงในตอนกลางวันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

การติดตั้งการทดลองแบบง่ายตามรูปที่ 2.16 ประกอบด้วยตัวลูกข่าง ซึ่งถูกวางในพื้นที่ที่เปิดโล่ง ที่ซึ่งมีแสงแดดส่องมาถึงโดยตรง การทดลองนี้ได้ถูกดำเนินการตอนกลางวันซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 60 องศาฟาเรนไฮต์ เวลาที่ใช้ทั้งหมด 45 นาที ทำการเก็บข้อมูลค่าตรวจวัดสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน ในช่วง 15 นาทีแรก ตัวลูกข่างได้อยู่ใต้แสงแดดโดยตรง หลังจากนั้นในช่วงเวลา 15 นาทีถัดมา เราได้มาอยู่เหนือตัวลูกข่าง และในช่วง 15 นาทีสุดท้าย เราได้ออกไปและตัวลูกข่างกลับมาอยู่ใต้แสงแดด โดยตรงอีกครั้ง ผลการตรวจวัดแกน X, Y และ Z ได้แสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งการตรวจวัดในแกน Z แสดงถึงเส้นทางที่เป็นเชิงเส้นที่ชัดเจนมาก ในช่วง 15 นาทีแรกภายใต้แสงแดด ค่าแม่เหล็กที่อ่านได้ลดลงจาก 2187 ไปเป็น 2179 ในช่วง 15 นาทีต่อมาของช่วงร่ม (ไม่มีแสงแดด) ค่าแม่เหล็กที่อ่านได้กลับเพิ่มขึ้นมาที่ 2182 และในช่วง 15 นาทีสุดท้าย ค่าแม่เหล็กที่อ่านได้กลับมามีค่าลดลงอีกครั้งเป็น 2178 ซึ่งมีการเกิดขึ้นของแสงแดดอีกครั้ง การตรวจวัดในแกน Y แสดงถึงพฤติกรรมที่คล้ายกันแต่ในทิศทางที่ตรงกันข้าม การตรวจวัดในแกน X ค่ายังค่อนข้างคงที่ในช่วงระหว่างทดลอง พฤติกรรมการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงนี้ของการตรวจวัดในแกน Z และ Y ได้พิสูจน์ผลกระทบของอุณหภูมิที่เกิดจากแสงแดดบนเซนเซอร์แม่เหล็กสนามแม่เหล็ก

การทดลองอีกอันหนึ่งได้ศึกษาแนวโน้มนี้ในช่วงเวลาตลอดทั้งวัน โดยนำตัวลูกข่าย (Sensor Node) วางบนพื้นสนามหลังบ้าน ซึ่งเป็นบริเวณที่แสงแดดส่องไม่ถึงตัวลูกข่าย การตรวจวัดใช้เวลา 24 ชั่วโมงซึ่งการบันทึกเริ่มต้นที่เวลา 17.00 น. โดยการตรวจวัดได้ถูกแสดงในรูปที่ 2.18 การอ่านค่าในแกน Z พบว่าค่าสนามแม่เหล็กมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลงในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 7.00 น. และค่าสนามแม่เหล็กกลับมามีค่าลดลงระหว่างช่วงเวลา 7.00 น. ถึง 14.00 น. นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็กกะทันหันพร้อมกันทั้ง 3 แกนที่เวลา 15.00 น. เนื่องจากปล่อยให้แสงแดดส่องถึงตัวลูกข่ายโดยตรงอย่างกะทันหัน ดังนั้นสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก โดยเฉพาะแกน Z (แกนตั้งฉากกับพื้น) ที่ถูกสังเกตถึงความเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน ดังนั้นการออกแบบอัลกอริทึมในการตรวจจับยานพาหนะจึงควรมีวิธีการที่ช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้



รูปที่ 2.18 ผลการตรวจวัดสนามแม่เหล็กที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบ 1 วัน โดยเริ่มที่เวลา 17.00 น. เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำฐานข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากการเก็บรวบรวมของอาจารย์ ดร. จตุพร ชินรุ่งเรืองกุล แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาทดสอบประสิทธิภาพกับอัลกอริทึมที่เสนอในการตรวจจับยานพาหนะ ซึ่งส่วนใหญ่ในการศึกษานี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังนั้นอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้มีดังนี้

1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแบบพกพา (LAPTOP) สำหรับจำลองการทำงานของระบบ

- CPU : Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU T7500

- ความเร็ว 2.20 GHz

- RAM 2.00 GB

2) ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows Vista

3) โปรแกรม Matlab version 7.0

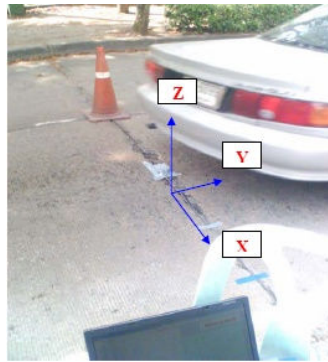
4) ฐานข้อมูลที่บ้านทีกค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน ได้แก่ แกนตามขบวนการเคลื่อนที่ (X) แกนตามทิศทางการเคลื่อนที่ (Y) และแกนตั้งฉากกับพื้นถนน (Z) ซึ่งได้จากการทดลองการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กจากอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Magnetic Sensor) จำนวน 2 ครั้งซึ่งได้ทดลองในสถานที่เดียวกัน แต่วันและเวลาแตกต่างกัน

5) ภาพถ่ายวิดีโอที่บ้านทีกเก็บภาพไว้พร้อมกับการเก็บค่าสนามแม่เหล็กจากการทดลองทั้ง 2 ครั้ง

3.2 วิธีการทดลอง

1) เก็บรวบรวมฐานข้อมูลที่ได้ที่บ้านทีกค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน ได้แก่ แกนตามขบวนการเคลื่อนที่ (X) แกนตามทิศทางการเคลื่อนที่ (Y) และแกนตั้งฉากกับพื้นถนน (Z) ซึ่งได้จากการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กจากอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Magnetic Sensor) เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบอัลกอริทึมของงานวิจัยนี้ โดยฐานข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กที่ใช้นี้ได้จากการติดตั้งและเก็บ

รวบรวมผลการตรวจวัดจากท่านอาจารย์ ดร. จตุพร ชินรุ่งเรืองกุล อาจารย์จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology) แห่งประเทศไทย [7] โดยข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ถูกเก็บรวบรวมจากบริเวณป้อมยามหน้าทางเข้าของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โดยตัวอุปกรณ์เซนเซอร์ (Sensor Node) ภายในเป็นชุดวงจรรวมที่มีเซนเซอร์ตรวจวัดสนามแม่เหล็กแบบตัวต้านทานแม่เหล็กแบบสามแกน โดยมี sampling rate อยู่ที่ 40Hz ถูกวางไว้กลางถนนบนตำแหน่งหลังป้อมยามประมาณ 5 เมตร ที่ซึ่งยานพาหนะที่จะเข้ามาต้องหยุดและรับบัตรผ่านประตูก่อนที่จะขับยานพาหนะเข้าไปดังรูปที่ 3.1 จึงทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ถูกรบกวนจากยานพาหนะ รวมทั้งมีการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพวิดีโอเพื่อทำการนับจำนวนยานพาหนะไปพร้อมกับเก็บค่าสนามแม่เหล็กจากตัวอุปกรณ์เซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อการเปรียบเทียบระหว่างผลการทำงานของการตรวจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กจากเซนเซอร์กับการตรวจสอบด้วยการนับด้วยคนจริงในภาคสนาม (Ground truth) ดังรูปที่ 3.2

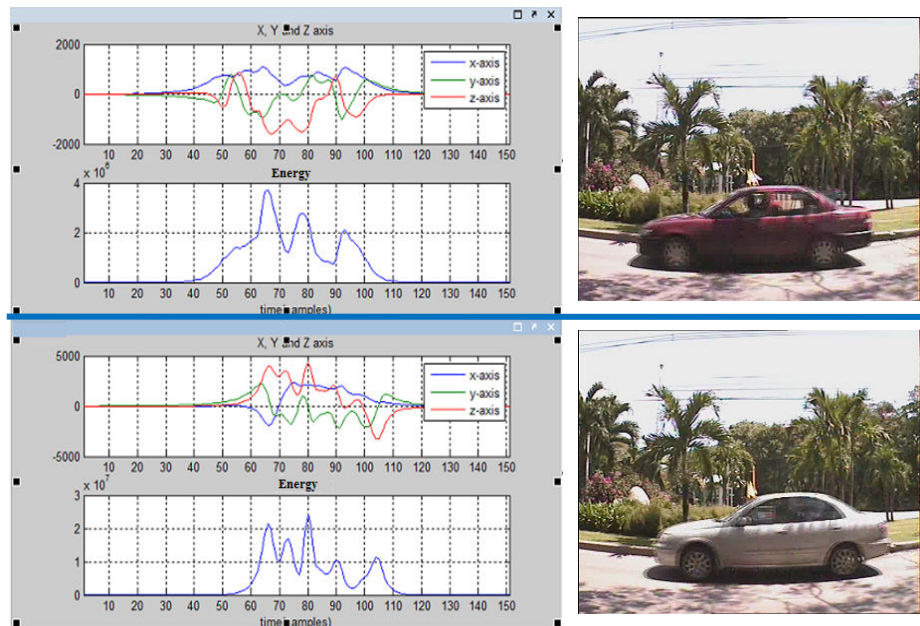


รูปที่ 3.1 การติดตั้งการทดลองเพื่อบันทึกสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนจากอุปกรณ์ Sensor node

สำหรับการเก็บข้อมูลด้วยกล้องวิดีโอนี้ตามตารางที่ 3.1 แสดงถึงการเก็บข้อมูลประเภทยานพาหนะโดยแบ่งข้อมูลไว้ 2 ชุดข้อมูลตามช่วงเวลาที่ทดลองเก็บข้อมูลต่างกัน ประกอบด้วยชุดข้อมูล A1 ซึ่งได้เก็บรวบรวมข้อมูลเมื่อวันที่ 10 เมษายน 2008 เวลา 13.00-16.00 น. (ช่วงเวลาบ่าย) และชุดข้อมูล A2 ซึ่งได้เก็บรวบรวมข้อมูลเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2008 เวลา 11.00-14.00 น. (ช่วงกลางวัน)

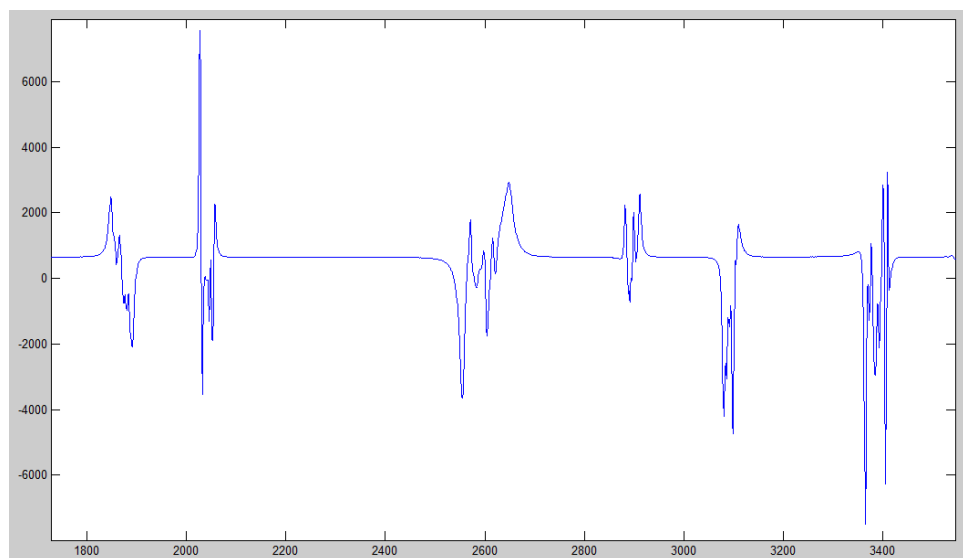
ตารางที่ 3.1 ชุดข้อมูลประเภทของยานพาหนะ 2 ชุดที่ได้จากกล้องวิดีโอจากการทดลอง 2 ครั้ง

ชุดข้อมูล	รถยนต์	รถกระบะ	รถตู้	รถบรรทุก	รถประจำทาง	รถจักรยานยนต์
A1 (10/4/2008)	139	88	29	2	39	54
A2 (16/5/2008)	201	117	59	7	38	66



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน พร้อมกับการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพวิดีโอ

2) จัดรูปแบบฐานข้อมูล ซึ่งฐานข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดด้วยเซนเซอร์สนามแม่เหล็ก จะเป็นค่าตัวเลขโคตที่แสดงถึงค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนที่ถูกอ่านค่าตามการSampling ของเซนเซอร์ โดยฐานข้อมูลนั้นได้ถูกจัดรูปแบบเป็นลักษณะสัญญาณต่อเนื่อง 3 สัญญาณที่แสดงถึงสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับป้อนให้กับอัลกอริทึมที่ถูกเขียนด้วยโปรแกรม MATLAB สำหรับการประมวลผลเพื่อการตรวจจับยานพาหนะ รวมทั้งวิเคราะห์สัญญาณเพื่อใช้ในการออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะโดยลักษณะของสัญญาณสนามแม่เหล็กเป็นดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นตัวอย่างช่วงหนึ่งของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z โดยที่แกนนอนแสดงถึงจำนวนของการจำนวนครั้งในการสุ่มค่าตัวอย่าง (samples) และแกนตั้งแสดงถึงค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ที่จะถูกป้อนให้อัลกอริทึมการตรวจจับ

3)ออกแบบอัลกอริทึมหรือกระบวนการในการประมวลผลสัญญาณสนามแม่เหล็กเพื่อใช้ในการตรวจจับยานพาหนะ และทำการเขียนโปรแกรมแสดงถึงขั้นตอนการประมวลผลในโปรแกรม MATLAB ไว้สำหรับการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม โดยรายละเอียดกระบวนการทำงานของอัลกอริทึมในการตรวจจับยานพาหนะแบบปรับตัวได้ที่เสนอนี้ได้ถูกแสดงไว้ในหัวข้อ 3.3 รวมทั้งได้อธิบายการวิเคราะห์การดำเนินการของอัลกอริทึมการตรวจจับจากสัญญาณสนามแม่เหล็กในหัวข้อ 3.4

4)เปรียบเทียบระหว่างผลการการตรวจจับที่ได้จากการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม กับผลที่ได้จากการตรวจนับจริงด้วยกล้องวิดีโอ ซึ่งมีการเทียบเวลาให้ตรงกันทั้งเวลาที่ได้จากแกนเวลาของสัญญาณสนามแม่เหล็กและเวลาจากภาพในกล้องวิดีโอ เพื่อทำการหาประสิทธิภาพการตรวจจับที่ถูกต้องหรืออัตราการตรวจจับ (Detection Rate) และวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นไว้สำหรับการปรับแก้ไขอัลกอริทึมในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการบันทึกผลการตรวจจับสัญญาณเปรียบเทียบกับภาพจากกล้องวิดีโอ

ข้อมูลจากกล้องวิดีโอ							ผลการตรวจจับสัญญาณ					
ไฟล์วิดีโอ	ลำดับ	เวลา	จุดเริ่มสัญญาณ ในวิดีโอ	เวลาสะสม ในวิดีโอ	ระยะห่าง ของเวลา (sec)	Category	สถานะการตรวจจับ	จุดเริ่ม ของ สัญญาณ (sample)	ระยะห่าง ของจุดเริ่ม สัญญาณ หน่วย sample	ระยะห่าง ของจุดเริ่ม สัญญาณ หน่วยเวลา (sec)	จุดปลาย ของ สัญญาณ (sample)	ความยาว ของสัญญาณ หน่วย sample
	.		.				.			.		
	.		.				.			.		
	.		.				.			.		
1	3	15:16:42	44	44	6	รถยนต์	การตรวจจับถูกต้อง	1812	281	7.025	1917	105
1	4		48	48	4	รถยนต์	การตรวจจับถูกต้อง	2011	199	4.975	2076	65
2	5		1	61	13	รถเมล์ (มีแอร์)	การตรวจจับถูกต้อง	2489	478	11.95	2702	213
2	6		9	69	8	SUV	การตรวจจับถูกต้อง	2859	370	9.25	2935	76
2	7		14	74	5	รถตู้	การตรวจจับถูกต้อง	3048	189	4.725	3137	89
2	8		20	80	6	รถตู้	การตรวจจับถูกต้อง	3317	269	6.725	3434	117
2	9		25	85	5	รถมอเตอร์ไซด์	การตรวจจับถูกต้อง	3530	213	5.325	3556	26
2	10		33	93	8	รถยนต์	การตรวจจับถูกต้อง	3845	315	7.875	3931	86
	.		.				.			.		
	.		.				.			.		
	.		.				.			.		
	.		.				.			.		
11	43		2	602	6	รถยนต์	การตรวจจับถูกต้อง	24955	306	7.65	25051	96
11	44		13	613	11	รถยนต์	การตรวจจับถูกต้อง	25373	418	10.45	25470	97
11	45		36	636	23	รถยนต์	การตรวจจับถูกต้อง	26347	974	24.35	26414	67
11	46		41	641	5	รถยนต์	การตรวจจับถูกต้อง	26541	194	4.85	26627	86
11	47		47	647	6	รถมอเตอร์ไซด์	ตรวจจับไม่พบ					
11	48		50	650	3	รถมอเตอร์ไซด์	การตรวจจับถูกต้อง	26922	381	9.525	26953	31
11	49		53	653	3	รถตู้	การตรวจจับถูกต้อง	27031	109	2.725	27136	105
	.		.				.			.		
	.		.				.			.		
	.		.				.			.		

จากตารางที่ 3.2 เป็นตัวอย่างการบันทึกเหตุการณ์ทั้งการบันทึกผลการตรวจจับสัญญาณที่ได้จากอัลกอริทึมที่เสนอ เปรียบเทียบกับข้อมูลจริงจากกล้องวิดีโอ โดยได้มีการเทียบเวลาหรือยานพาหนะที่ถูกตรวจจับด้วยอัลกอริทึมกับการสังเกตจริงจากกล้องวิดีโอให้ตรงกัน เราได้ใช้ข้อมูล “ระยะห่างของเวลา (วินาที)” จากกล้องวิดีโอ เทียบกับ “ระยะห่างของจุดเริ่มสัญญาณ (วินาที)” ที่ได้จากการตรวจจับของอัลกอริทึมที่เสนอ ทั้งนี้ข้อมูลทั้งสองควรมีค่าใกล้เคียงกันจึงจะสามารถบ่งบอกได้ว่าเป็นเหตุการณ์เดียวกัน ดังในกรอบสีแดงในตาราง รวมทั้งมีการเก็บข้อมูลที่สำคัญที่ได้จากการ

ตรวจจับด้วยอัลกอริทึมที่เสนอ ได้แก่ สถานะการตรวจจับ และความยาวของสัญญาณ สำหรับเหตุการณ์ในไฟล์วิดีโอที่ 11 ลำดับที่ 47 เป็นเหตุการณ์ที่มีรถจักรยานยนต์คันหนึ่งปรากฏขึ้นในพื้นที่การตรวจจับ แต่อัลกอริทึมกลับตรวจจับไม่พบ (Missing Detection) จะเห็นว่าการบินที่กินส่วนของอัลกอริทึมจะถูกข้ามไป และระยะห่างของเวลาก็จะถูกรวมไปที่ยานพาหนะคันถัดไป

5) ทำการปรับแก้ไขอัลกอริทึม เพื่อลดความผิดพลาดจากการตรวจจับ และทำการจำลองผลการทำงานของอัลกอริทึมอีกครั้ง ซึ่งจากการวิเคราะห์สัญญาณอย่างละเอียดในเหตุการณ์ที่การตรวจจับเกิดความผิดพลาด เราได้ทำการแก้ไขขั้นตอนในการประมวลผล ซึ่งการวิเคราะห์ความผิดพลาดนั้นได้ถูกอธิบายรายละเอียดในบทที่ 4

3.3 กระบวนการทำงานของอัลกอริทึมในการตรวจจับยานพาหนะแบบปรับตัวได้

ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นถึงการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการตรวจจับยานพาหนะ จึงขอกล่าวถึงกระบวนการทำงานของอัลกอริทึมในการตรวจจับยานพาหนะแบบปรับตัวได้ที่นำเสนอ เพื่อนำมาใช้กับเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กโดยอ้างอิงจากคุณสมบัติทางกายภาพของสนามแม่เหล็กโลกที่ถูกรบกวนจากยานพาหนะ และโครงสร้างการทำงานของระบบเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กแบบไร้สายจากบทที่ 2 รวมถึงการศึกษาผลกระทบต่อค่าสนามแม่เหล็กจากความผันผวนของอุณหภูมิในรอบวันอัลกอริทึมที่เสนอนี้ได้ปรับปรุงวิธีการ Adaptive Threshold Detection Algorithm เพื่อให้ได้ผลการตรวจนับที่ถูกต้องแม่นยำ และการตรวจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กในช่วงที่ยานพาหนะวิ่งผ่านเซนเซอร์ให้สมบูรณ์ที่สุดทั้งการตรวจจับยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป และรถจักรยานยนต์ รวมถึงสามารถทำงานได้จริงในสถานที่ต่างๆ และคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Robustness) เช่น แสงแดดหรืออุณหภูมิ โดยเฉพาะอุณหภูมิที่เกิดจากแสงแดดในประเทศไทยซึ่งไม่คงที่ และอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหันได้นอกจากนี้สามารถตรวจจับที่หยุดนิ่ง (Stationary vehicle) หรือเคลื่อนที่ช้าเหนือเซนเซอร์ได้

ด้วยเหตุที่ระบบการตรวจตราการจราจรจะต้องสามารถนำไปขยายการติดตั้งปริมาณมากในอนาคต ดังนั้นอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะต้องมีความถูกต้องสม่ำเสมอในการนำไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ รวมถึงต้องไม่มีความซับซ้อนในการคำนวณมากนัก เพื่อสามารถนำไปใช้ประมวลผลส่วนแม่ข่าย (Server Node) ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลที่จำกัด และด้วยวัตถุประสงค์สองอย่างนี้จึงได้มีการนำเทคนิคของ Cheung S. Y. และ Varaiya P. [6] ที่ได้ใช้ Adaptive Threshold Detection Algorithm (ATDA) เพื่อใช้ในการตรวจจับสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ถูกรบกวนจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ วิธีการคือการทำให้ระดับสัญญาณอ้างอิงในขณะไม่มียานพาหนะวิ่งผ่าน (Baseline) สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้แบบอัตโนมัติ หรือ Automatic Adaptive

Baseline ซึ่งมีผลให้การตรวจจับสัญญาณสามารถตัดช่วงสัญญาณที่บ่งบอกถึงยานพาหนะได้จริง และสามารถแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณสนามแม่เหล็กอ้างอิง (Baseline) อันมาเนื่องจากความผันผวนของอุณหภูมิบนพื้นถนนที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดวัน

อัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอสามารถตัดช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ถูกรบกวนจากยานพาหนะที่วิ่งผ่านเหนือเซนเซอร์ โดยช่วงสัญญาณนี้จะบ่งบอกถึงการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ ทำให้สามารถนับจำนวนเพื่อวิเคราะห์สภาพการจราจร เช่น ความแออัด อัตราการไหลของยานพาหนะ และความเร็วโดยเฉลี่ยของยานพาหนะที่วิ่งผ่านบริเวณที่ตรวจจับนั้นๆ รวมทั้งการตัดช่วงสัญญาณของแต่ละคันสามารถใช้เพื่อจำแนกประเภทของยานพาหนะได้

อัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอได้ถูกอธิบายแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ (Incoming detection of vehicle) และการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ (Out-going detection of vehicle) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ได้ถูกอธิบายโดยใช้ State machine ดังนี้

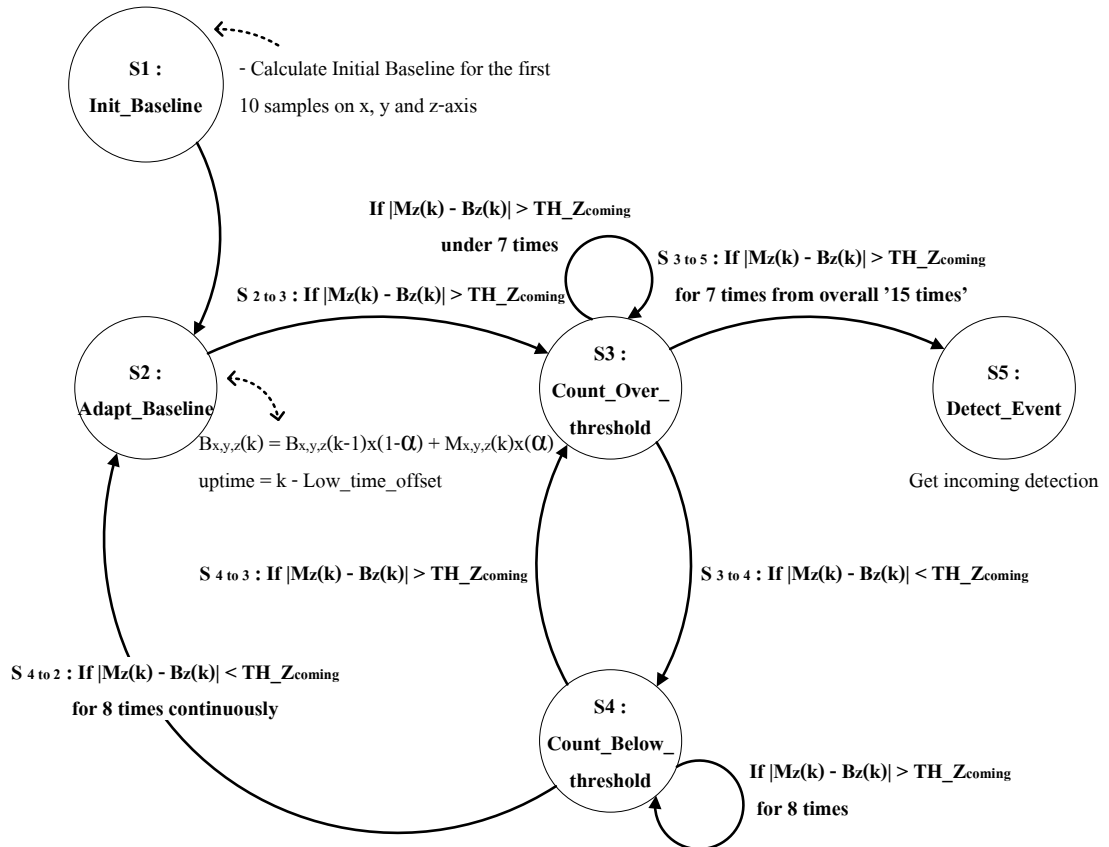
ส่วนที่ 1 การตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ (Incoming detection of vehicle)

ในส่วนของอัลกอริทึมการตรวจจับนี้ ได้ใช้สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z หรือแกนตั้งฉากกับพื้นถนน เพียงแกนเดียวในการประมวลผลการตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ เนื่องจากเป็นสนามแม่เหล็กบนแกนนี้มีโอกาสถูกรบกวนจากสิ่งอื่นนอกเหนือจากยานพาหนะได้น้อยกว่าแกนอื่นๆ รวมทั้งยังลดภาระและเวลาในการประมวลผลด้วย โดยลักษณะของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ดังในรูปที่ 3.3 ซึ่งแกนนอนแสดงถึงจำนวนของการจำนวนครั้งในการสุ่มค่าตัวอย่าง (Samples) และแกนตั้งแสดงถึงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและขั้นตอนการประมวลผลของอัลกอริทึมการตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.4

จากรูปที่ 3.4 แสดงแผนผังการดำเนินงานของอัลกอริทึม ซึ่งเชื่อมโยงกับสถานะต่าง ๆ S1 S2 S3 S4 และ S5 ซึ่งความหมายของสถานะดังกล่าวได้อธิบายตามด้านล่างนี้

S1:Init_Baseline

ในสถานะเริ่มต้น เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับเริ่มต้นทำงาน หรือกรณีที่ไม่มียานพาหนะอยู่ใกล้ Sensor node เป็นเวลานาน เซนเซอร์จะทำการ Reset โดยกลับจะไปสู่สถานะเริ่มต้นที่สถานะ S1: Init_Baseline ซึ่งในสถานะนี้ทำการคำนวณหาค่า Initial Baseline โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยจำนวน 10 samples ของสัญญาณทั้ง 3 แกน (แกน X Y และ Z) เพื่อกำหนดค่า Baseline เริ่มต้นทั้ง 3 แกน



รูปที่ 3.4 แผนผังของการดำเนินการของอัลกอริทึมการตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ

S2:Adapt_Baseline

หลังจากเริ่มต้นสร้างค่า Initial Baseline ในสถานะ S1: Init_Baseline แล้ว มันจะกระโดดไปที่สถานะ S2: Adapt_Baseline ในสถานะนี้เส้น Baseline ถูกอัปเดตค่าใหม่ทุกๆ การตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กล่าสุด โดยนำค่า Baseline เดิมมาบวกแบบถ่วงน้ำหนักกับค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ครั้งล่าสุดตามสมการที่ 3.1 ดังนั้นค่า Baseline ที่ได้จึงมีความสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้อย่างอัตโนมัติ (Adaptive Baseline) ตามสถานะที่เปลี่ยนไป ทั้งนี้เพื่อป้องกันผลกระทบจากการความผันผวนของอุณหภูมิบนพื้นถนนตลอดทั้งวัน

$$B_{x,y,z}(k) = (1 - \alpha) \times B_{x,y,z}(k - 1) + (\alpha) \times M_{x,y,z}(k) \quad (3.1)$$

โดยที่ $B_{x,y,z}(k)$ เป็นระดับสัญญาณสนามแม่เหล็กอ้างอิง (Baseline) ของทั้ง 3 แกน และให้ α เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ครั้งล่าสุดคือ $M_{x,y,z}(k)$ ในการทดลองได้ใช้ α เป็น 0.02 เพื่อให้การถ่วงน้ำหนักของค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอ้างอิงแบบอัตโนมัติ (Adaptive Baseline) ซึ่งได้จากการสุ่มค่าและทดสอบเพื่อให้ระดับ

สัญญาณอ้างอิงเปลี่ยนแปลงตัวเองตามระดับสัญญาณแม่เหล็กที่มีความผันผวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ และในสถานะ S2 นี้ ระดับสัญญาณอ้างอิง (Baseline) จะมีการปรับปรุงค่าอยู่ต่อเนื่อง พร้อมกับการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กบนแกน Z (แกนตั้งฉากกับพื้นถนน) เพื่อตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ โดยค่าสนามแม่เหล็กบนแกน Z ได้ถูกตรวจวัด ถ้าผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็ก (M_z) และค่า Baseline บนแกน Z (B_z) มีผลต่างมากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การปรากฏขึ้น (Incoming Threshold, $TH_{Z_INCOMING}$) เป็นผลให้เกิดการกระโดดไปที่สถานะ S3:Count_Over_Threshold โดยที่ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การปรากฏขึ้นนั้นได้มาจากการกำหนดค่าและทดสอบผลการทำงานซึ่งขึ้นอยู่กับชุดอุปกรณ์และสถานที่ต่อจากนั้นจึงเริ่มมีการบันทึกค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้งแกน X Y และ Z อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งบันทึกค่าเวลาเข้า (Uptime) แต่การเปลี่ยนสถานะ S2 ไปสถานะ S3 นี้ยังไม่เป็นการยืนยันว่าเป็นเหตุการณ์ที่มีการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ ซึ่งเป็นเพียงการสงสัยว่ามีการปรากฏขึ้นของยานพาหนะเท่านั้น

S3:Count_Over_threshold

ในสถานะ S3 นี้ เริ่มขึ้นหลังจากที่ตรวจสอบได้ว่าผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็ก (M_z) และค่า Baseline บนแกน Z (B_z) มีผลต่างมากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การปรากฏขึ้น (Incoming Threshold, $TH_{Z_INCOMING}$) แล้วจึงกระโดดไปที่สถานะ S3 ต่อจากนั้นทำการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กและบันทึกค่าที่ตรวจวัดได้ทั้ง 3 แกนขณะเดียวกันในสถานะนี้ยังทำการคำนวณผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็ก (M_z) และค่า Baseline บนแกน Z (B_z) ซ้ำอีกเป็นจำนวน 15 ครั้ง ถ้าจำนวนครั้งที่การคำนวณผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า $TH_{Z_INCOMING}$ เป็นจำนวนมากกว่า 7 ครั้ง จากการคำนวณซ้ำต่อเนื่อง 15 ครั้งแล้ว มันจะกระโดดไปที่สถานะ S5: Detect_Event ซึ่งบ่งบอกว่ามีการปรากฏขึ้นของยานพาหนะหรือยานพาหนะได้เข้ามาแล้ว ในทางตรงกันข้ามถ้ามีครั้งหนึ่งครั้งใดในการคำนวณผลต่างซ้ำ 15 ครั้งแล้วผลต่างที่คำนวณได้นั้นมีค่าน้อยกว่า $TH_{Z_INCOMING}$ จะทำให้เกิดการกระโดดไปที่สถานะ S4: Count_Below_threshold ซึ่งเป็นสถานะที่ยังสงสัยอยู่ว่ามียานพาหนะเข้ามาจริงหรือไม่

S4: Count_Below_threshold

ภายในสถานะนี้เกิดจากผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็ก (M_z) และค่า Baseline บนแกน Z (B_z) มีผลต่างน้อยกว่า $TH_{Z_INCOMING}$ ซึ่งอยู่สถานะสงสัยว่าจะมีการปรากฏขึ้นของยานพาหนะหรือไม่ โดยมันจะกลับไปสถานะ S2: Adapt_Baseline หลังจากจำนวนครั้งที่การคำนวณผลต่างนั้นมีค่าน้อยกว่า Incoming Threshold, $TH_{Z_INCOMING}$ เป็นจำนวน 8 ครั้งติดต่อกัน แสดงว่าในกรณีนี้ไม่ใช่ยานพาหนะเนื่องจากความผันผวนของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดจากความผันผวนของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าสนามแม่เหล็ก ในทางตรงกันข้ามมันจะกระโดดกลับไปสถานะ S3: Count_Over_threshold อีก

ครั้งในกรณีที่ผลต่างนั้นมีค่ามากกว่า $TH_Z_{INCOMING}$ เพื่อกลับไปสู่ขั้นตอนพิสูจน์การปรากฏขึ้นของยานพาหนะอีกครั้ง ซึ่งขั้นตอนนี้จะไม่ทำให้เกิดการตรวจจับยานพาหนะที่ผิดพลาด

S5:Detect_Event

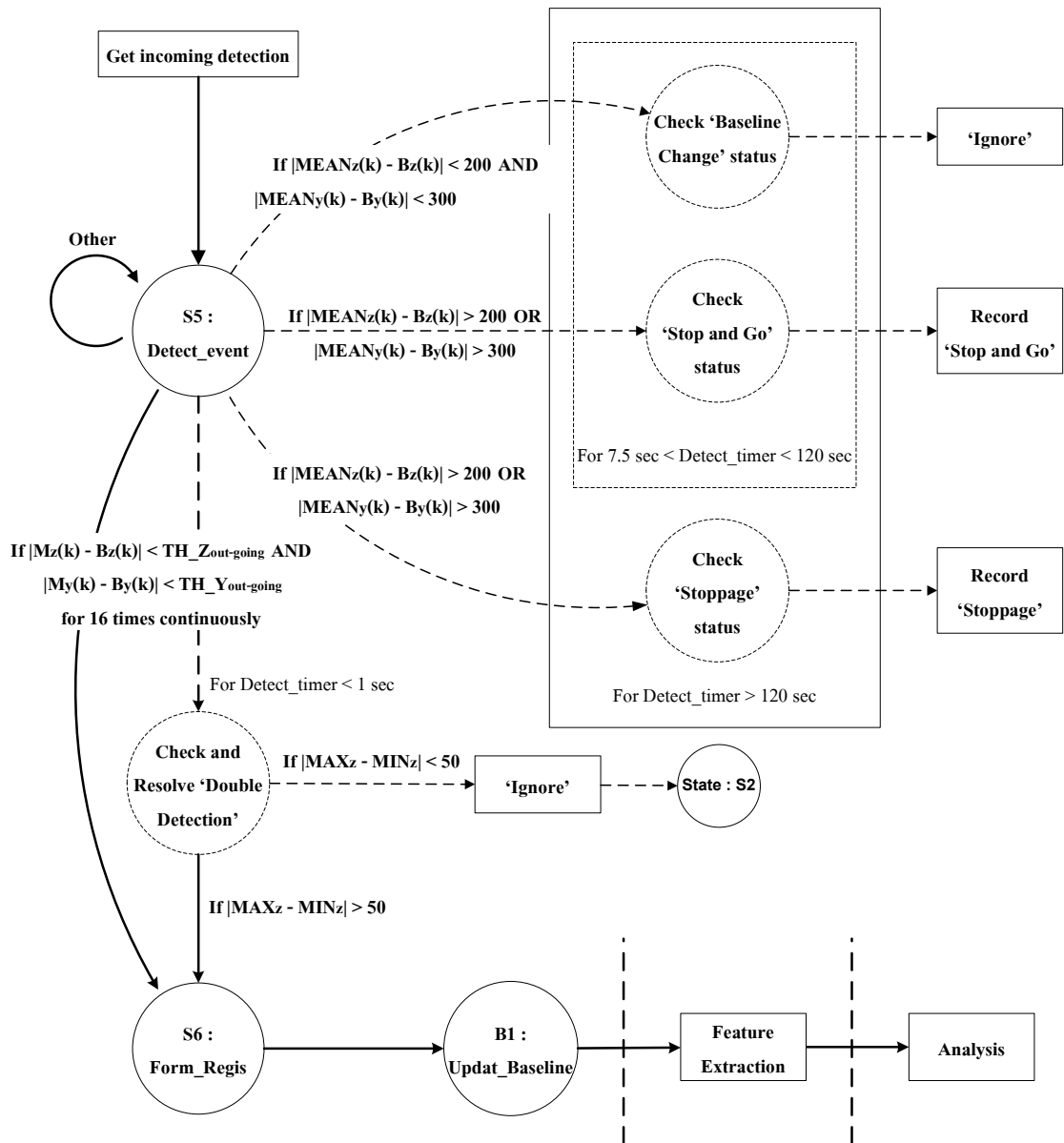
การที่มาอยู่ในสถานะ S5: Detect_Event นี้แสดงให้เห็นว่าความผันผวนของสนามแม่เหล็กมีอิทธิพลมากพอที่จะบ่งบอกว่าเกิดการปรากฏขึ้นของยานพาหนะหรือยานพาหนะได้เข้ามาเคลื่อนที่เหนือเซนเซอร์นี้แล้วในสถานะนี้ทำการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนและบันทึกค่าออกมาเป็นสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้งแกน X แกน Y และแกน Z โดยขณะนี้ถือได้ว่ารับรู้สถานะยานพาหนะเข้ามาแล้ว

ส่วนที่ 2 การตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ (Out-going detection of vehicle)

จากรูปที่ 3.4 แสดงถึงแผนผังการดำเนินงานของอัลกอริทึมการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ ซึ่งมีการทำงานร่วมกันระหว่างสถานะต่างๆ โดยคำอธิบายความหมายของสถานะต่างๆ อธิบายดังด้านล่างนี้

S5:Detect_Event

หลังจากที่รับรู้การเข้ามาของยานพาหนะด้วยอัลกอริทึมการตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะในส่วนที่ 1 แล้ว ต่อจากนั้นในสถานะ S5: Detect_Event นี้ทำการบันทึกค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนและจับเวลาการมีอยู่ของยานพาหนะในพื้นที่ตรวจจับ (DetectedTime or Occupancy) พร้อมกับการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ (Out-going vehicle detection) โดยมันจะตรวจเช็คค่าสนามแม่เหล็กจากแกน Y (M_Y) ซึ่งอยู่ในทิศทางตามการเคลื่อนที่ และค่าสนามแม่เหล็กจากแกน Z (M_Z) ซึ่งอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นถนน เปรียบเทียบกับระดับสัญญาณอ้างอิง (Baseline) ของทั้งสองแกนจนกระทั่งผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็กในแกน Y (M_Y) ที่เปรียบเทียบกับค่า Baseline บนแกน Y (B_Y) และผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็กในแกน Z (M_Z) ที่เปรียบเทียบกับค่า Baseline บนแกน Z (B_Z) นั้น มีค่าน้อยกว่ามากกว่าขีดเริ่มการเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การออกไปของยานพาหนะ (Out-going Threshold) ของทั้งสองแกน คือ $TH_Y_{Out-going}$ และ $TH_Z_{Out-going}$ เป็นจำนวนเท่ากับ 16 ครั้งติดต่อกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่ายานพาหนะได้เคลื่อนที่ออกไปจากบริเวณตรวจจับแล้ว (Out-going Detection) จึงทำให้เกิดการกระโดดไปที่ State S6: Form_Regis โดยขีดเริ่มการเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การออกไปของทั้งสองแกนได้มาจากการกำหนดและทดสอบเพื่อให้ได้ผลการทำงานในการตรวจจับการออกไปให้เร็วและแม่นยำที่สุด



รูปที่ 3.5 แผนผังของการดำเนินการของอัลกอริทึมการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ

การตรวจสอบค่าสนามแม่เหล็กจากทั้งสองแกนคือแกน Y และแกน Z ถูกนำมาปรับใช้สำหรับเหตุการณ์พิเศษ ได้แก่ เหตุการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนอุณหภูมิกะทันหันอันเนื่องมาจากแสงแดด มีผลทำให้ระดับสัญญาณแม่เหล็กโดยเฉลี่ยสูงขึ้นฉับพลัน หรือเหตุการณ์ที่มียานพาหนะวิ่งๆ หยุดๆ เหนือเซนเซอร์ (Stop-and-Go Vehicles) หรือเหตุการณ์ที่ยานพาหนะมาหยุดเหนือเซนเซอร์ (Stoppage Vehicles) เป็นต้น เหตุการณ์พิเศษเหล่านี้จะถูกตรวจสอบภายในสถานะ S5: Detect_Event นี้ ซึ่งจะเริ่มมีการตรวจสอบหลังจากที่เวลาการมีอยู่ของยานพาหนะในพื้นที่ตรวจจับ (Detected Time) มากกว่าเวลาที่กำหนด (ในการทดลองกำหนด 7.5 วินาที)

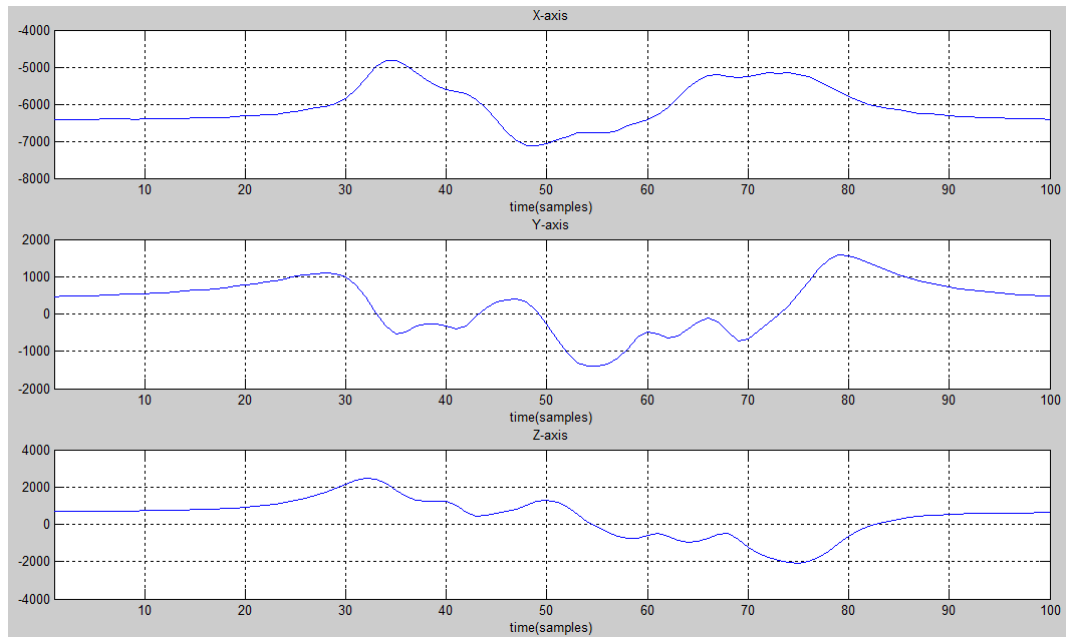
นอกจากนี้ได้เพิ่มขั้นตอนการป้องกันความผิดพลาดจากการตรวจจับซ้ำซ้อน(Double Detection Error) ซึ่งมีสาเหตุจากยานพาหนะวิ่งซ้ำ โดยเพิ่มขั้นตอน“Check and Resolve Double Detection Error” หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการบันทึกค่าสัญญาณแม่เหล็กในสถานะ S5: Detect_Event เพื่อตรวจจับสัญญาณที่มีช่วงเวลาการมีอยู่ของยานพาหนะในพื้นที่ตรวจจับ (Detected Time) น้อยกว่าเวลาที่กำหนด ซึ่งเวลาที่กำหนดจะเลือกใช้คือ 1 วินาที พร้อมกับตรวจเช็คผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกนZ ถ้าผลต่างนั้นน้อยกว่าค่าที่กำหนด (กำหนดผลต่างไว้ 50) ให้ทำการ “Ignore” เหตุการณ์นั้นหรือละทิ้งสัญญาณนั้น เนื่องจากแสดงให้เห็นว่าสัญญาณนั้นมีช่วงเวลาและมีขนาดเล็กเกินไปที่จะบ่งบอกถึงยานพาหนะต่อจากนั้นจะกลับไปสถานะS2 แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าผลต่างมากกว่าค่าที่กำหนด มันจะกระโดดไปที่สถานะ S6: Form_Regisต่อไป

State S6:Form_Regis

การเข้ามาสู่สถานะนี้แสดงว่าสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้นี้ถูกยืนยันว่าเป็นยานพาหนะจริง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการนำช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ได้บันทึกไว้ทั้ง 3 แกนมา รวมกับค่าสนามแม่เหล็กที่บันทึกไว้ช่วงกำลังพิสูจน์ยานพาหนะเริ่มต้นปรากฏ (Incoming Offset) และค่าสนามแม่เหล็กที่บันทึกไว้ช่วงกำลังพิสูจน์การออกไปของยานพาหนะ (Outgoing Offset) ทั้งสองช่วงได้ถูกบันทึกไว้ในสถานะS3 และ S5 ตามลำดับดังในรูปที่ 3.6รวมทั้งบันทึกเวลาที่ปรากฏเวลาที่ออกไปเวลาการมีอยู่ของยานพาหนะในพื้นที่ตรวจจับ (Detected Time) และค่าระดับBaseline ของทั้ง 3 แกน ขณะที่ยานพาหนะอยู่เหนือเซนเซอร์ และสุดท้ายมันจะกระโดดไปที่สถานะ B1: Update_Baseline

State B1:Update_Baseline

เมื่อมาถึงสถานะนี้ ค่าระดับBaseline ของทั้ง3 แกนจะถูกนำมาเฉลี่ยกับค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้ครั้งล่าสุด เพื่อลดผลต่างระหว่างค่าระดับBaseline กับค่าสนามแม่เหล็กล่าสุดของทั้ง 3 แกนที่ยังได้รับอิทธิพลของการรบกวนจากยานพาหนะ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความผิดพลาดการตรวจจับซ้ำซ้อน (Double Detection Error) ต่อจากนั้นมันจะกระโดดไปส่วนที่เป็น Feature Extraction และ Classification เพื่อทำการแยกประเภทยานพาหนะ 4 ล้อ และรถจักรยานยนต์หรือยานพาหนะคันเล็ก ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 3.5



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ถูกตรวจจับ ซึ่งได้บันทึกไว้ทั้ง 3 แกน

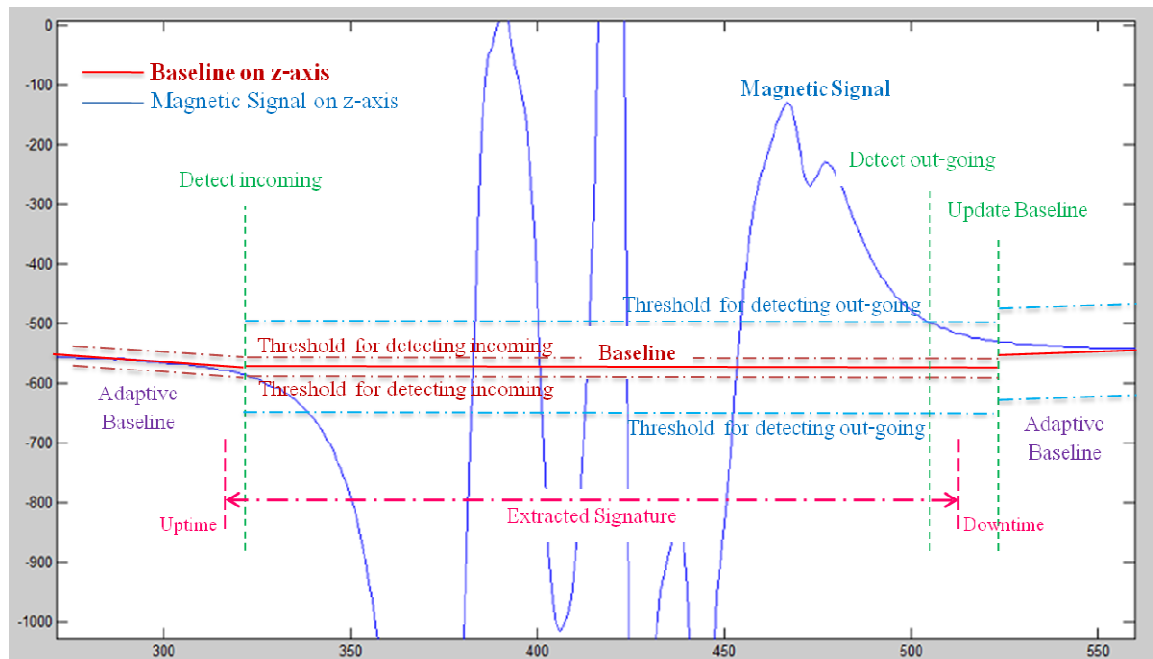
3.4 การวิเคราะห์การดำเนินการของอัลกอริทึมการตรวจจับจากสัญญาณสนามแม่เหล็ก

ในหัวข้อนี้จะกล่าวการวิเคราะห์เหตุการณ์ตัวอย่างของการดำเนินงานของอัลกอริทึมการตรวจจับจากสัญญาณสนามแม่เหล็ก ทั้งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตโนมัติของระดับสัญญาณอ้างอิง การวิเคราะห์สัญญาณจากการตรวจจับการปรากฏขึ้นและการออกไปของยานพาหนะประเภท 4 ล้อและรถจักรยานยนต์ รวมทั้งการวิเคราะห์การดำเนินการป้องกันความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับสนามแม่เหล็กอ้างอิงอย่างกะทันหัน (Instant Baseline-level ChangingError)

1) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับเส้น Baseline เปรียบเทียบกับสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z

จากรูปที่ 3.7 เป็นตัวอย่างของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ในช่วงที่มีการตรวจจับยานพาหนะคันหนึ่ง โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ถูกตรวจวัดได้บนแกน Z กับการเปลี่ยนแปลงของเส้นระดับอ้างอิง (Baseline) บนแกน Z ซึ่งมีการปรับปรุงค่าต่อเนื่องโดยอัลกอริทึม จะเห็นว่าเริ่มต้นก่อนที่ยานพาหนะเข้ามา (เริ่มจากด้านซ้ายมือของกราฟข้างบน) อยู่ในกระบวนการ Adaptive Baseline โดยเส้น Baseline จะถูกปรับปรุงค่าอัตโนมัติด้วยการบวกแบบถ่วงน้ำหนักกับค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ล่าสุดตามสมการที่ (1) จนกระทั่งเมื่อยานพาหนะเข้ามาเหนือเซนเซอร์มีผลทำให้ค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z เกิดการถูกรบกวนจนมีอิทธิพลมากพอที่จะทำให้เกิดความต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ล่าสุดกับเส้น Baseline มากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การปรากฏขึ้น (Incoming Threshold) บนแกน Z ดังบริเวณเส้น Detect incoming ในรูปที่ 3.5 เกิดการแจ้ง “สถานะตรวจจับขาเข้า (Incoming Detection)” พร้อมกับบันทึก

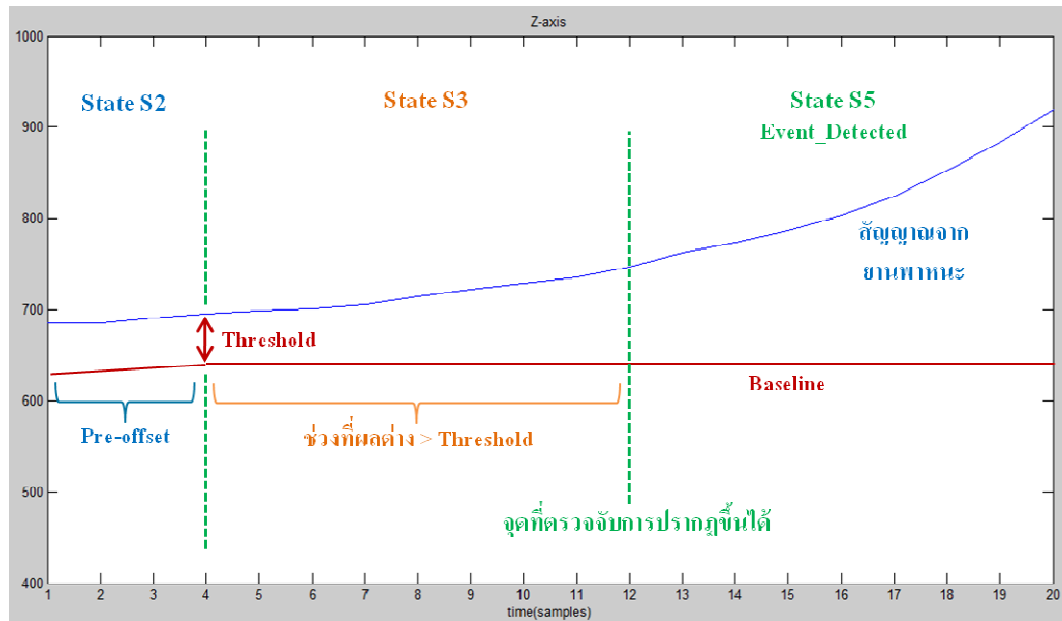
เวลาขณะที่ยานพาหนะได้เข้ามา (Uptime) เพื่อจับเวลาการมีอยู่ของยานพาหนะในพื้นที่ตรวจจับ (Detected Time)



รูปที่ 3.7กราฟการเปลี่ยนแปลงของระดับเส้น Baseline เปรียบเทียบกับสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z

ต่อจากนั้นเป็นช่วงของการบันทึกสัญญาณ โดยเส้น Baseline ในช่วงนี้มีระดับคงที่ตลอดการตรวจจับซึ่งเป็นช่วงที่ยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่เหนือเซนเซอร์หรือในพื้นที่ตรวจจับ และระหว่างนี้ค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน ได้ถูกบันทึกค่าเป็น Extracted Signature จนกระทั่งยานพาหนะเริ่มเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ตรวจจับ ซึ่งจะทำให้ค่าสนามแม่เหล็กทั้งแกน Y (ไม่ได้แสดงให้เห็นในกราฟ) และแกน Z เริ่มมีค่าที่เข้าใกล้เส้น Baseline มากขึ้น จนผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็กกับระดับ Baseline ทั้งสองแกนน้อยกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การออกไป (Out-going Threshold) ของทั้งของแกน ดังบริเวณเส้น Detect Out-going ในรูปที่ 3.5 พร้อมกับบันทึกเวลาที่ยานพาหนะได้ออกไป (Downtime) ซึ่งหลังจากนี้จะหยุดบันทึกค่าสัญญาณสนามแม่เหล็ก และอยู่ในสถานะ “การตรวจจับสำเร็จ” และในขั้นตอนสุดท้ายค่า Baseline ของทั้ง 3 แกน จะถูกนำมาเฉลี่ยกับค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ล่าสุดทั้ง 3 แกน ทำให้ผลต่างลดลงเพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการตรวจจับซ้ำซ้อน (Double Detection Error) ก่อนที่จะกลับมาสู่กระบวนการ Adaptive Baseline อีกครั้งเพื่อรอการตรวจจับยานพาหนะที่จะเข้ามาคันต่อไป

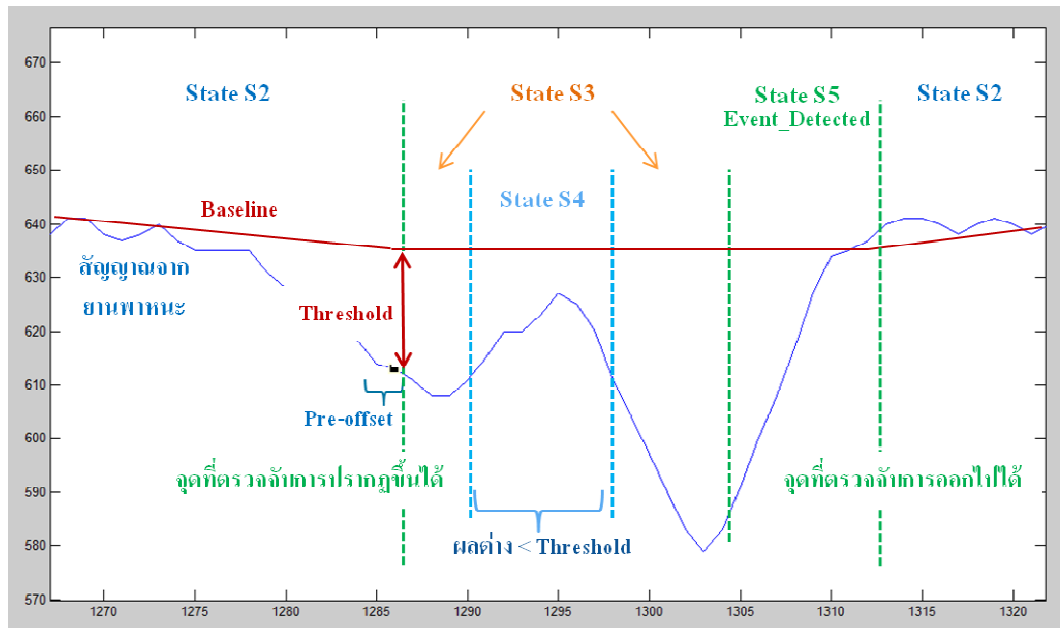
2)การวิเคราะห์การตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะประเภท 4 ล้อจากสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z



รูปที่ 3.8 กราฟการตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะประเภท 4 ล้อจากสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z

จากรูปที่ 3.8 เป็นตัวอย่างของเหตุการณ์การตรวจจับการปรากฏขึ้นจากสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ขณะที่มียานพาหนะประเภท 4 ล้อได้วิ่งเข้ามาในพื้นที่ตรวจจับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มที่ยานพาหนะปรากฏขึ้นสัญญาณสนามแม่เหล็กจากยานพาหนะเริ่มเปลี่ยนแปลงหนีออกจากระดับอ้างอิง (Baseline) จนกระทั่งมีเกิดความต่างมากกว่าค่า Incoming Threshold ที่เวลา 4 samples ทำให้สถานะในอัลกอริทึมเกิดการกระโดดจาก S2 ไปที่ S3 และทำการบันทึกค่า Baseline คงที่ไว้เพื่อทำการยืนยันการปรากฏขึ้นจริงโดยค่า Incoming Threshold นี้หาได้จากการสุ่มและทดสอบเพื่อให้สามารถตรวจจับยานพาหนะขนาดเล็กและป้องกันความผันผวนของอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อจากนั้นที่เวลา 4 samples ถึง 12 samples นั้นเป็นช่วงที่ผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็กและค่า Baseline บนแกน Z มีค่ามากกว่า Incoming Threshold อย่างต่อเนื่องจนเกิดการยืนยันได้ว่าเป็นการปรากฏขึ้นของยานพาหนะจริงที่เวลา 12 samples และทำการกระโดดไปสู่สถานะ S5 เพื่อทำการบันทึกค่าสัญญาณจากยานพาหนะต่อไป อย่างไรก็ตามการบันทึกค่าสัญญาณที่เกิดขึ้นนั้นได้มีการรวมช่วงสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะตั้งแต่ก่อนเข้าสู่สถานะที่ตรวจจับการปรากฏขึ้นได้จริงใน S3 หรือในช่วง sample ที่ 1 ถึง 11 ซึ่งได้มีการเก็บข้อมูลไว้ในบัฟเฟอร์ก่อนแล้ว

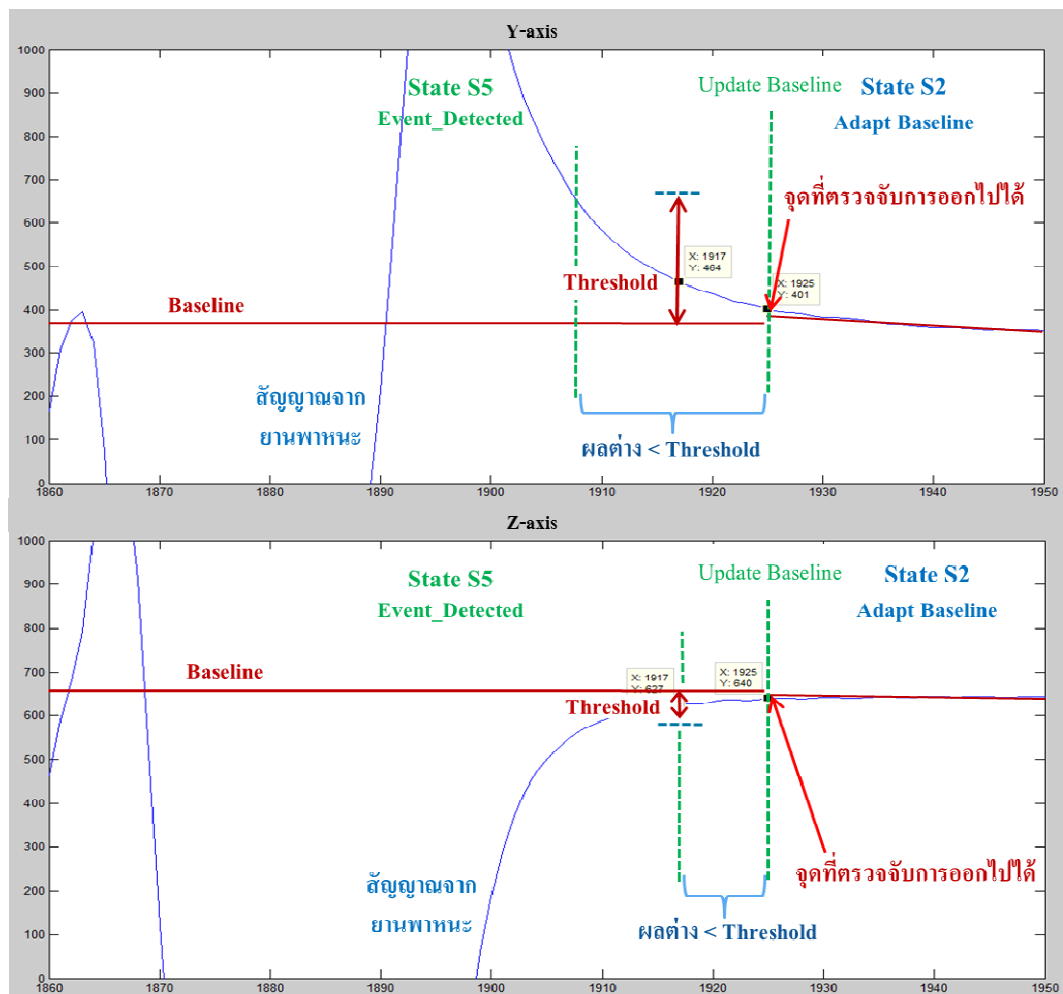
3)การวิเคราะห์การตรวจจับรถจักรยานยนต์หรือยานพาหนะขนาดเล็กจากสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงการตรวจับรถจักรยานยนต์จากสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z

จากรูปที่ 3.9 เป็นเหตุการณ์ตัวอย่างของการตรวจับรถจักรยานยนต์หรือยานพาหนะคันเล็กจากสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อรถจักรยานยนต์เริ่มปรากฏขึ้นขณะที่อยู่ในสถานะ S2 ซึ่งเป็นสถานะเฝ้าระวัง สัญญาณสนามแม่เหล็กจากยานพาหนะเกิดการเปลี่ยนแปลงหนีออกจากเส้น Baseline จนเกิดความต่างมากกว่าค่า Incoming Threshold ที่เวลา 1286 samples ทำให้เกิดการกระโดดไปที่สถานะ S3 เพื่อทำการยืนยันการปรากฏขึ้น อย่างไรก็ตามการยืนยันการปรากฏขึ้นในสถานะ S3 นี้ต้องหยุดชั่วคราวในช่วงเวลาที่ 1290 – 1297 samples เนื่องจากสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดมีความต่างกับเส้น Baseline มากกว่าค่า Incoming Threshold ไม่ต่อเนื่องหรืออีกนัยหนึ่งคือผลต่างนั้นน้อยกว่าค่า Incoming Threshold ทำให้ต้องกระโดดไปที่สถานะ S4 ซึ่งสงสัยว่าจะมีการปรากฏขึ้นของยานพาหนะหรือไม่ และที่เวลา 1297 samples นั้น ค่าสนามแม่เหล็กบนแกน Z ที่ตรวจวัดได้นั้นกลับมีผลต่างจากเส้น Baseline มากกว่าค่า Incoming Threshold และทำการกระโดดไปที่สถานะ S3 อีกครั้ง และความต่างที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ก็ต่อเนื่องเพียงพอที่จะยืนยันได้ว่าเกิดการปรากฏขึ้นของยานพาหนะจริงที่เวลา 1304 samples และทำการกระโดดไปสู่สถานะ S5 เพื่อทำการบันทึกค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนจากรถจักรยานยนต์พร้อมกับการตรวจับการออกไปของรถจักรยานยนต์ จนถึงจุดที่ค่าของสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงเส้น Baseline ต่อเนื่องมากพอที่จะตรวจับการออกไปนี้ได้

4) การวิเคราะห์การตรวจับการออกไปของยานพาหนะประเภท 4 ล้อจากสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้งบนแกน Y และบนแกน Z



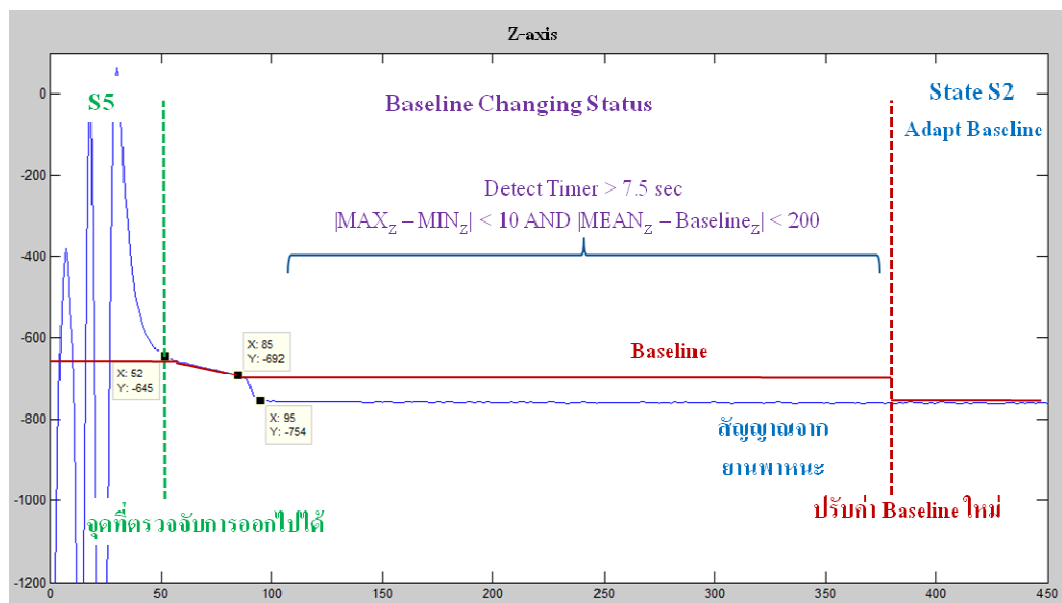
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะประเภท 4 ล้อจากสัญญาณ

สนามแม่เหล็กทั้งบนแกน Y และแกน Z

จากรูปที่ 3.10 เป็นตัวอย่างของเหตุการณ์ที่ยานพาหนะประเภท 4 ล้อเริ่มเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ตรวจจับซึ่งจะทำให้ค่าสนามแม่เหล็กทั้งบนแกน Y และบนแกน Z เริ่มมีค่าที่เข้าใกล้เส้น Baseline มากขึ้น จนผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็กกับระดับ Baseline ทั้งสองแกนน้อยกว่าค่า Out-going Threshold ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่ง (ระยะเวลาที่กำหนดไว้คือ 16 samples หรือประมาณ 0.4 วินาที) ซึ่งจะเป็นการยืนยันได้ถึง การออกไปของยานพาหนะคันนั้นแล้ว ทั้งนี้ อัลกอริทึมที่เสนอได้วางเงื่อนไขการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะในเฟิร์มแวร์สัญญาณสนามแม่เหล็กทั้งสองแกน คือ แกน Y และ แกน Z ทั้งนี้ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่สัญญาณสนามแม่เหล็กแกนใดแกนหนึ่งมีค่าคงขณะที่สัญญาณบนแกนอื่นมีการเปลี่ยนแปลง และจากรูปที่ 3.10 นี้จะพบว่ามีช่วงเวลาที่ผลต่างระหว่างค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้กับเส้น Baseline ทั้งสองแกนน้อยกว่าค่า Out-going Threshold เป็นระยะเวลาที่ไม่เท่ากัน ซึ่งอัลกอริทึมสามารถตรวจจับการออกไปได้ก็ต่อเมื่อผลต่างทั้งสองแกนต้องน้อยกว่าค่า Out-going Threshold ในช่วงเวลาเดียวกัน

เท่านั้น นอกจากนี้เส้น Baseline จะกลับเข้าสู่กระบวนการปรับตัวอัตโนมัติ(Adaptive Baseline) ได้อีกครั้ง เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะได้ ณ ตำแหน่งเส้น Update Baseline ในขั้นตอนสุดท้าย ที่ซึ่งค่า Baseline ของทั้ง 3 แกน จะถูกนำมาเฉลี่ยกับค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ล่าสุดของทั้ง 3 แกน

5)การวิเคราะห์วิธีการป้องกันความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับ Baseline กระทั่งหันอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของแสงแดดความเข้มสูง



รูปที่ 3.11 การวิเคราะห์วิธีการป้องกันความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงของBaselineกะทันหัน

เนื่องจากผลการทำงานหลังจากที่ได้ออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะ พบว่ามีเหตุการณ์สำคัญที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานนั้นคือ เหตุการณ์ที่เกิดแสงแดดจ้า หรือ เหตุการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของแสงแดดอย่างกะทันหัน และทำให้อุณหภูมิบนชุดอุปกรณ์เซนเซอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเหตุการณ์นี้ได้ส่งผลกระทบต่อระดับสัญญาณสนามแม่เหล็กโดยรวมเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างก้าวกระโดดจนทำให้ระดับสัญญาณอ้างอิงหรือ Baseline เปลี่ยนแปลงตามไม่ทัน และทำให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาด ทั้งนี้เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งแสงแดดมีความเข้มสูงโดยเฉพาะแสงแดดในประเทศไทย และไม่สามารถกำหนดเวลาที่แน่นอนได้

ปัจจัยที่มีผลกระทบ: แสงแดด → อุณหภูมิ → ระดับ Baseline

ด้วยเหตุนี้การออกแบบอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะนี้ จึงได้เสนอวิธีการตรวจสอบและป้องกัน โดยการเพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของระดับ Baselineกะทันหันนี้ใน

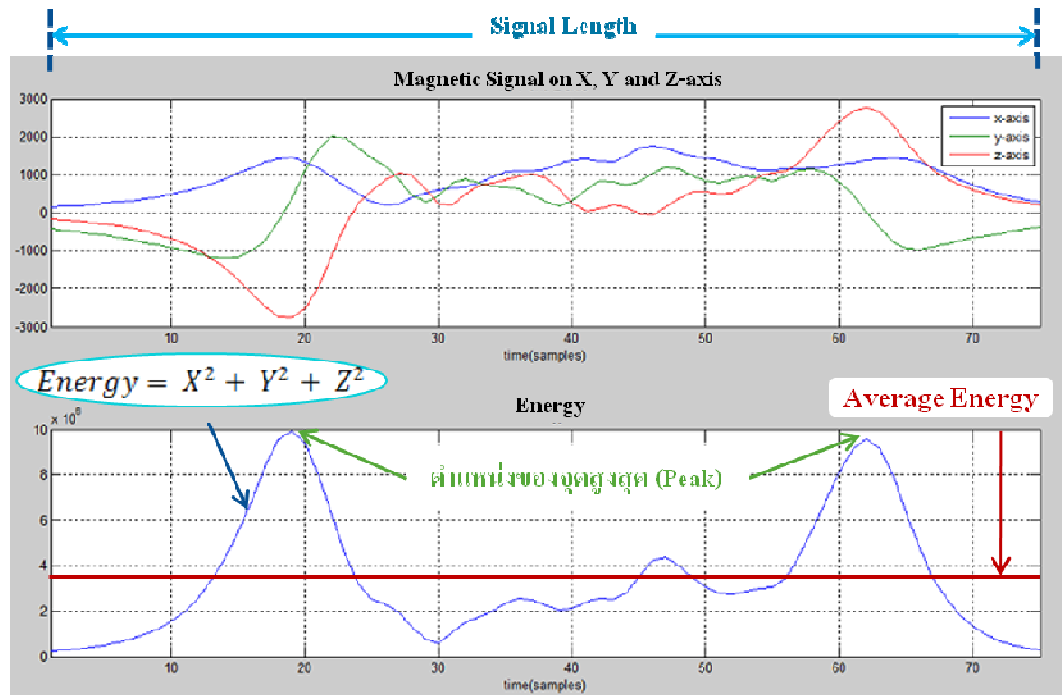
ส่วนของอัลกอริทึมการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ (Outgoing Vehicle Detection Algorithm) ตามรูปที่ 3.5 โดยในขั้นตอนนี้จะเริ่มทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงกะทันหันของระดับสัญญาณอ้างอิง(Baseline) เมื่อช่วงเวลาที่อยู่ในพื้นที่ตรวจจับ (Detection Time) มากกว่าเวลาที่กำหนดคือ 7.5 วินาที ซึ่งช่วงเวลานี้ครอบคลุมช่วงเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่เข้ามาพื้นที่ตรวจจับได้ทุกประเภท โดยจะทำการตรวจสอบสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้งบนแกน Y และแกน Z ดังในรูปที่ 3.11 ได้แสดงถึงการวิเคราะห์การดำเนินการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของBaselineกะทันหันจากสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z จะเห็นได้ว่าสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้หลังจากผ่าน “จุดตรวจจับการออกไปได้” นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแบบขึ้นบันได ซึ่งเส้น Baseline นั้นเปลี่ยนแปลงตามไม่ทัน โดยจากรูปค่าสนามแม่เหล็กกระโดดจากระดับ -692 ไปที่ระดับ -754 ในจุดนี้การดำเนินการของอัลกอริทึมที่เสนอนั้นจะสู่สถานการณ์ “ปรากฏขึ้นของยานพาหนะ” ได้ เนื่องจากสัญญาณสนามแม่เหล็กมีค่าต่างจากเส้น Baseline ได้ชัดเจนและเมื่อระยะเวลาการตรวจจับเกิน 7.5 วินาที แล้วการดำเนินการจะเข้าสู่การตรวจสอบระดับของสัญญาณสนามแม่เหล็ก ถ้าสัญญาณอยู่ในช่วงที่คงที่และมีค่าผลต่างจากเส้น Baseline มากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การปรากฏขึ้น แต่น้อยกว่าค่าสนามแม่เหล็กที่กำหนดคือ 200 แล้วสามารถยืนยันได้ว่าเกิดเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงของระดับ Baseline และบันทึกสถานะว่า “Baseline Changing” พร้อมทั้งทำการละทิ้งการบันทึกค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ผ่านมา และถือว่าไม่มีการตรวจจับยานพาหนะเกิดขึ้น การตรวจสอบสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z นี้ได้ดำเนินการเช่นเดียวกันกับสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Y ในเวลาเดียวกัน และสุดท้ายเส้น Baseline ทั้ง 3 แกนจะถูกคำนวณใหม่โดยการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณสนามแม่เหล็ก เพื่อเฟ้นหาการตรวจจับยานพาหนะคันถัดไป

3.5 วิธีการที่ใช้ในการจำแนกประเภท

เนื่องจากยานพาหนะที่วิ่งอยู่บนท้องถนนจริงนั้นมีทั้งยานพาหนะคันใหญ่หรือยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป ซึ่งยานพาหนะประเภทนี้มีผลต่อความคล่องตัวบนท้องถนน และมีส่วนอย่างมากในการทำให้เกิดความแออัด ขณะที่รถจักรยานยนต์หรือยานพาหนะขนาดเล็กนั้นกลับมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับความแออัดนี้น้อยกว่าอย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้การตรวจจับยานพาหนะเพื่อทำการประเมินสภาพการจราจรบนท้องถนนจึงจำเป็นต้องแบ่งประเภทยานพาหนะออกเป็นยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป และรถจักรยานยนต์

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการจำแนกประเภท (Classification) ที่ไม่ซับซ้อน และประมวลได้เร็ว เพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้จริงกับตัวอุปกรณ์เซนเซอร์หรืออุปกรณ์ลูกข่ายที่จะถูกติดตั้งบนถนน วิธีการที่นำมาใช้คือ Heuristic Algorithm ใช้ในการจำแนกประเภทยานพาหนะแบบต้นไม้ซึ่งเป็นรูปแบบการแยกประเภทแบบเชิงเส้น โดยการนำสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ถูกบันทึกไว้มาเข้าสู่

ผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณ (Signal Processing) เพื่อหาคุณลักษณะสำคัญ (Feature) ของสัญญาณ ในขั้นตอน Feature Extraction ก่อนที่จะนำไปเข้าสู่ขั้นตอนการจำแนกประเภท (Classification) ในขั้นตอนสุดท้ายดังรูปที่ 3.5 ที่แสดงถึงการดำเนินการของอัลกอริทึมการตรวจจับการออกไปของ ยานพาหนะ



รูปที่ 3.12 การดึงคุณลักษณะเฉพาะจากสัญญาณพลังงานในภาพล่าง ส่วนภาพบนแสดงถึงสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนที่นำมาคำนวณหาสัญญาณพลังงานรวม

$$Energy = M_x^2 + M_y^2 + M_z^2 \quad (3.2)$$

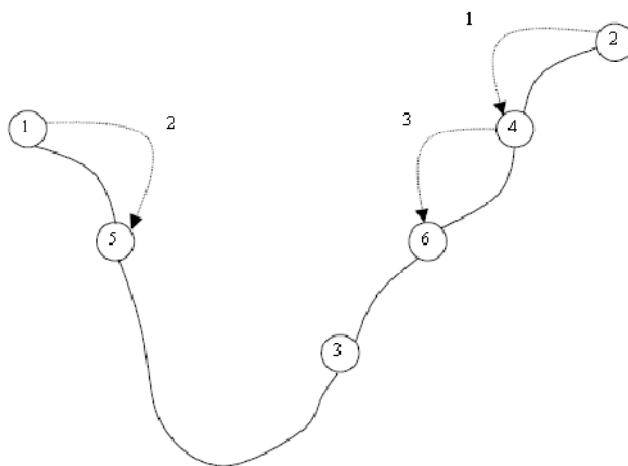
ในขั้นตอนการดึงคุณลักษณะ (Feature Extraction) นี้ ได้นำสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน มาเข้าสู่กระบวนการแปลงสัญญาณ (Signal Processing) โดยผ่านการ Normalization เพื่อให้มีระดับอ้างอิงเดียวกัน ต่อจากนั้นทำการคำนวณหาสัญญาณพลังงานของสนามแม่เหล็กด้วยการคำนวณผลรวมของสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนดังสมการ (3.2) หลังจากนั้นนำสัญญาณพลังงานที่ได้หาคุณลักษณะ (Feature) ที่สำคัญดังในรูปที่ 3.12 โดยในงานวิจัยได้เลือกใช้คุณลักษณะ 3 อย่างด้วยกัน ดังนี้

1) ความยาวของสัญญาณ (Length) มีหน่วยเป็นจำนวนค่าการสุ่มตัวอย่าง (Sample) ด้วยการนับจำนวนค่าการสุ่มตัวอย่างของช่วงสัญญาณซึ่งได้จากการตรวจจับช่วงสัญญาณสนามแม่เหล็กที่ถูกครอบคลุมจากยานพาหนะ ความยาวของสัญญาณสามารถแบ่งประเภทยานพาหนะที่มีขนาดต่างกันมากได้

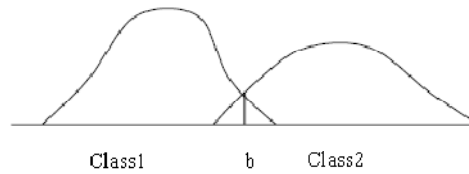
2) จำนวนจุดสูงสุด (Peak Number) ได้จากการประมวลผลรูปร่างสัญญาณพลังงาน โดยเลือกจุดสูงสุดที่มีความโดดเด่นดังในรูปที่ 3.11 ทั้งนี้จำนวนจุดสูงสุดนี้สามารถบ่งบอกถึงตำแหน่งในช่วงล่างของยานพาหนะที่มีโลหะหนาแน่นเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของยานพาหนะแต่ละประเภท

3) พลังงานเฉลี่ย (Average Energy) มีหน่วยเป็นโวลต์กำลังสอง (Volt²) ซึ่งได้จากการคำนวณค่าพลังงานเฉลี่ยของสัญญาณพลังงาน เนื่องจากค่าพลังงานเฉลี่ยจะแปรผกผันกับความสูงของช่วงล่างของยานพาหนะจากพื้นถนน

และในขั้นตอนการจำแนกประเภทยานพาหนะ ที่ได้ใช้นาคูณลักษณะเฉพาะทั้ง 3 อย่างที่ได้มาไว้ในวิธีการ HeuristicDiscriminantAlgorithm เพื่อมาแบ่งยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไปออกจากรถจักรยานยนต์ และได้นำ DiscriminantFunction มาใช้ในการคัดเลือกขอบเขตการขอบเขตการแบ่งประเภทหรือเป็นการ Training ให้กับอัลกอริทึมในการจำแนกประเภทแบบต้นไม้ (Heuristic Algorithm) วิธีการที่นำมาใช้เป็น Discriminant Function คือ Golden Section Search Method ดังรูปที่ 3.13 เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับ Feature ที่ได้มาซึ่งไม่มีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ชัดเจนและมีขอบเขตที่ซ้อนทับกันดังรูปที่ 3.14 ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำให้การคัดเลือกขอบเขตการแบ่งประเภทเพื่อแก้ปัญหาการซ้อนทับกันของขอบเขตของยานพาหนะหลายประเภทซึ่งขอบเขตการแบ่งประเภทที่เหมาะสมคือตำแหน่ง b ที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนกประเภท (Misclassification) น้อยที่สุด

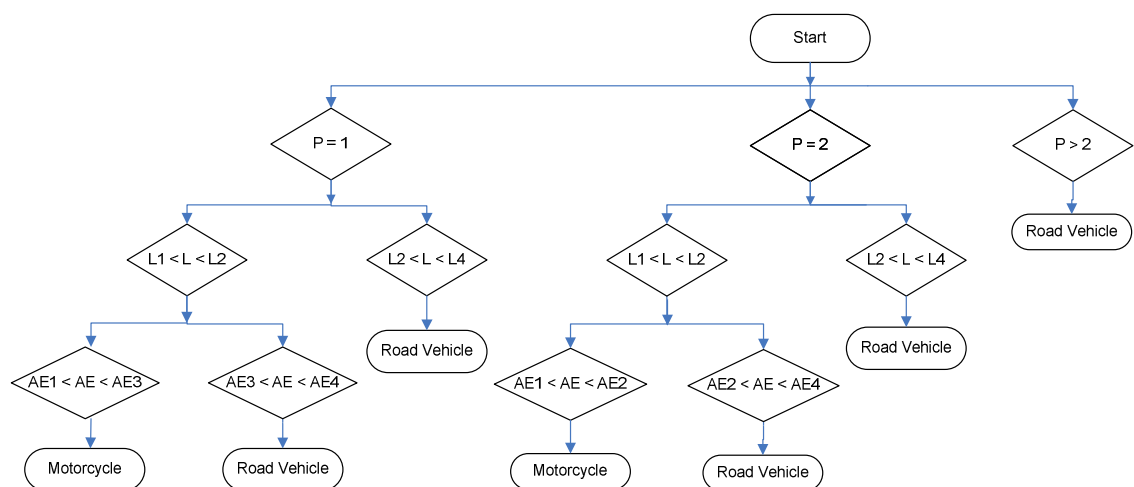


รูปที่ 3.13 วิธีการของ Golden Search Method



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการคัดเลือกขอบเขตการแบ่งประเภท เพื่อแก้ปัญหาการซ้อนทับกัน
ของขอบเขตของยานพาหนะ 2 ประเภท

ส่วนอัลกอริทึมการจำแนกประเภทที่ใช้ HeuristicDiscriminantAlgorithm ซึ่งได้ถูกกำหนดโครงสร้าง และขอบเขตของแต่ละตัวแปรไว้ดังรูปที่ 3.15 โดยในขั้นแรกอัลกอริทึมทำการจำแนกประเภทด้วยจำนวนจุดสูงสุด (สัญลักษณ์คือ P) ซึ่ง $P = 1$ และ $P = 2$ สามารถเป็นได้ทั้งยานพาหนะขนาดใหญ่และยานพาหนะขนาดเล็ก ขณะที่ $P > 2$ นั้นจะบ่งบอกได้ว่าเป็นยานพาหนะขนาดใหญ่ ส่วนในขั้นที่สองเป็นการจำแนกประเภทด้วยความยาวของสัญญาณ (สัญลักษณ์คือ L) เพื่อแบ่งประเภทยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่อย่างชัดเจนออกมา ซึ่งการจำแนกประเภทในขั้นนี้มีการใช้ Golden Section Search Method เนื่องจากมีการซ้อนทับของขอบเขตพารามิเตอร์ และขั้นสุดท้ายเป็นการจำแนกประเภทด้วยพลังงานเฉลี่ยต่อความยาวของสัญญาณ (สัญลักษณ์คือ AE) เพื่อจำแนกประเภทยานพาหนะขนาดใหญ่และยานพาหนะขนาดเล็กออกมา โดยการจำแนกประเภทในขั้นนี้มีการใช้ Golden Section Search Method เช่นกัน ส่วนเหตุผลของการที่เรียงลำดับการจำแนกประเภทนี้ เนื่องจากการซ้อนทับของขอบเขตพารามิเตอร์ในขั้นสุดท้ายนี้มีมากกว่าในขั้นที่สอง ซึ่งก็คือการซ้อนทับของขอบเขตของพลังงานเฉลี่ยมีมากกว่าพารามิเตอร์อื่น จึงได้ถูกเลือกอยู่ในขั้นสุดท้ายเพื่อลดความผิดพลาดในการจำแนกประเภท



รูปที่ 3.15 แผนผังการจำแนกประเภทยานพาหนะแบบ Heuristic Algorithm

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ จะนำเสนอผลของการนับจำนวนของยานพาหนะ (Count) และการตรวจจับการมีอยู่ของยานพาหนะ (Presence) ที่เข้ามาในพื้นที่ตรวจจับของเซนเซอร์สนามโดยนำฐานข้อมูลได้บันทึกค่าสนามแม่เหล็ก ทั้ง 3 แกนมาทำอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะแบบเวลาจริงที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของ สภาพแวดล้อม (Robust Real-Time Vehicle Detection Algorithm) ตามที่เสนอขึ้น ซึ่งผลการทดสอบ ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอจากสัญญาณสนามแม่เหล็กได้ถูกแสดง ไว้ในหัวข้อ 4.1 และการวิเคราะห์การทำงานของอัลกอริทึมการตรวจจับจากสัญญาณสนามแม่เหล็ก ได้ถูกอธิบายในหัวข้อ 4.2

4.1 ผลการทดสอบการตรวจจับยานพาหนะกับสัญญาณสนามแม่เหล็กด้วยอัลกอริทึมที่ นำเสนอ

การทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่นำเสนอ โดยนำ ฐานข้อมูลที่ได้จากการบันทึกค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกน ได้แก่ แกนตามขวางการเคลื่อนที่ (X), แกน ตามทิศทางการเคลื่อนที่ (Y) และแกนตั้งฉากกับพื้นถนน (Z) ซึ่งได้จากการตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก จากอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบอัลกอริทึมของงานวิจัยนี้ดัง ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยฐานข้อมูลที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย 2 ชุดข้อมูล ซึ่งได้ถูกเก็บข้อมูลต่างวัน และเวลา กัน ประกอบด้วยชุดข้อมูล A1 ที่เก็บข้อมูลช่วงเวลาบ่าย และชุดข้อมูล A2 ที่เก็บรวบรวม ข้อมูลช่วงกลางวัน ซึ่งรายละเอียดในการเก็บข้อมูลได้ถูกแสดงในตารางที่ 3.1 สำหรับผลการทำงาน ของอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะจากสัญญาณสนามแม่เหล็ก รวมถึงการจำแนกประเภท ยานพาหนะได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบจากการนับด้วยคนจริงในภาคสนาม (Ground Truth) ซึ่งได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์การตรวจจับและการจำแนกประเภท ในการทดลองของชุดข้อมูล A1 ที่เก็บข้อมูล
ในช่วงเวลาบ่าย

ยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป		จำนวน	อัตราความถูกต้อง (%)
การตรวจจับที่ถูกต้อง		343	97.72%
ความผิดพลาดจากการตรวจจับไม่พบ		7	1.99%
ความผิดพลาดจากการตรวจจับซ้ำซ้อน		1	0.28%
จำนวนทั้งหมด (จากภาพวิดีโอ)		351	100%
ยานพาหนะที่ถูกสังเกต	จำนวน	ผลลัพธ์จากการจำแนกประเภท	
		ยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป	รถจักรยานยนต์
ยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป	295	100%	0
รถจักรยานยนต์	48	0	100%

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับที่เสนอ ในการทดลองของชุดข้อมูล A1 ที่เก็บ
ข้อมูลในช่วงเวลาบ่าย

ยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป	จำนวน	อัตราความถูกต้อง (%)
การตรวจจับและจำแนกประเภทที่ถูกต้อง	295	99.33%
ความผิดพลาดประเภทนับขาด จากการตรวจจับไม่พบ	1	0.34%
ความผิดพลาดประเภทนับเกิน จากการตรวจจับซ้ำซ้อน	1	0.34%
จำนวนทั้งหมด (จากภาพวิดีโอ)	297	100.00%
รถจักรยานยนต์	จำนวน	อัตราความถูกต้อง (%)
การตรวจจับและจำแนกประเภทที่ถูกต้อง	48	88.89%
ความผิดพลาดประเภทนับขาด จากการตรวจจับไม่พบ	6	11.11%
จำนวนทั้งหมด (จากภาพวิดีโอ)	54	100.00%

ผลลัพธ์ในส่วนของการตรวจจับยานพาหนะและส่วนของการจำแนกประเภทยานพาหนะได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ที่ซึ่งผลลัพธ์การตรวจจับยานพาหนะทุกประเภทสามารถตรวจจับยานพาหนะได้ 343 คันจากทั้งหมด 351 คัน และในส่วนของการจำแนกประเภทสามารถแบ่งแยกยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป (Road vehicle) ออกจากรถจักรยานยนต์ (Motorcycle) ได้ 100 % ในการทดลองของชุดข้อมูล A1 ที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลาบ่าย

จากตารางที่ 4.2 แสดงถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่เสนอในการทดสอบกับชุดข้อมูล A1 จะเห็นได้ว่าการตรวจจับและการจำแนกประเภทยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป (Road vehicle) ได้ 295 คัน จากยานพาหนะที่ถูกเฝ้าสังเกต 297 คัน แต่เมื่อพิจารณาการตรวจจับของยานพาหนะทีละคันพบว่ามีความผิดพลาดในการตรวจจับยานพาหนะไม่พบจำนวน 1 ครั้งและการตรวจจับยานพาหนะเกินจำนวน 1 ครั้ง ดังนั้นการตรวจจับยานพาหนะจึงต้องลบออกไป 2 กรณี ($297 - 1 - 1 = 295$) ทำให้ได้อัตราการตรวจจับที่ถูกต้อง (Detection Rate) อยู่ที่ 99.3% ซึ่งสาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีดังนี้ การตรวจจับยานพาหนะที่ผิดพลาดประเภทนับขาดจากการตรวจจับยานพาหนะไม่พบ (Missing Detection) อยู่ที่ 1 เหตุการณ์ หรือคิดเป็น 0.34% และการตรวจจับยานพาหนะที่ผิดพลาดประเภทนับเกินจากการตรวจจับซ้ำซ้อน (Double Detection) อยู่ที่ 1 เหตุการณ์ หรือ 0.34% ทำให้เกิดการนับจำนวนเกินมา 1 คัน ส่วนการตรวจจับและการจำแนกประเภทรถจักรยานยนต์ (Motorcycle) หรือยานพาหนะคันเล็ก สามารถตรวจจับได้ 48 คัน จากรถจักรยานยนต์ที่ถูกเฝ้าสังเกต 54 คัน ทำให้มีอัตราการตรวจจับที่ถูกต้องอยู่ที่ 88.9% ซึ่งมีการตรวจจับที่ผิดพลาดประเภทนับขาด จากการตรวจจับยานพาหนะไม่พบจำนวน 6 คันจากรถจักรยานยนต์ทั้งหมด 54 คัน หรือคิดเป็น 11.11% โดยการทดสอบกับชุดข้อมูล A1 นี้สามารถจำแนกประเภทยานพาหนะได้ถูกต้อง 100%

ขณะที่การทดสอบอัลกอริทึมที่เสนอด้วยชุดข้อมูล A2 ที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลากลางวัน ผลลัพธ์ทั้งการตรวจจับและการจำแนกประเภทยานพาหนะได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 ที่ซึ่งอัตราการตรวจจับยานพาหนะทุกประเภทเป็น 99.18% ส่วนการจำแนกประเภทยานพาหนะนั้นสามารถจำแนกประเภทยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไปได้ถูกต้องทั้งหมด แต่ในการจำแนกประเภทรถจักรยานยนต์พบความผิดพลาดอยู่ 1 เหตุการณ์ที่จำแนกเป็นยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์การตรวจจับและการจำแนกประเภท ในการทดลองของชุดข้อมูล A2 ที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลากลางวัน

ยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป		จำนวน	อัตราความถูกต้อง (%)
การตรวจจับที่ถูกต้อง		484	99.18%
ความผิดพลาดจากการตรวจจับไม่พบ		4	0.82%
จำนวนทั้งหมด (จากภาพวิดีโอ)		488	100%
ยานพาหนะที่ถูกสังเกต	จำนวน	ผลลัพธ์จากการจำแนกประเภท	
		ยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป	รถจักรยานยนต์
ยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป	421	100%	0
รถจักรยานยนต์	63	1.59%	98.41%

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับที่เสนอ ในการทดลองของชุดข้อมูล A2 ที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลากลางวัน

ยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป	จำนวน	อัตราความถูกต้อง (%)
การตรวจจับและจำแนกประเภทที่ถูกต้อง	420	99.53%
ความผิดพลาดประเภทนับขาดจากการตรวจจับไม่พบ	1	0.24%
ความผิดพลาดประเภทนับเกินจากการจำแนกผิดพลาด	1	0.24%
จำนวนทั้งหมด (จากภาพวิดีโอ)	422	100.00%
รถจักรยานยนต์	จำนวน	อัตราความถูกต้อง (%)
การตรวจจับและจำแนกประเภทที่ถูกต้อง	62	93.93%
ความผิดพลาดประเภทนับขาดจากการตรวจจับไม่พบ	3	4.55%
ความผิดพลาดประเภทนับขาดจากการจำแนกผิดพลาด	1	1.51%
จำนวนทั้งหมด (จากภาพวิดีโอ)	66	100.00%

ในการทดสอบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอกับชุดข้อมูล A2 ที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลาบ่าย ได้ถูกแสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการตรวจจับและจำแนกประเภทยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไปได้ 420 คัน จากยานพาหนะที่ถูกเฝ้าสังเกต 422 คัน ซึ่งได้ถูกปล่อยออกไป 2 คันจากความผิดพลาดที่ทำให้นับเกินและนับขาดอย่างละ 1 คัน ทำให้ได้อัตราการตรวจจับที่ถูกต้องอยู่ที่ 99.53% ซึ่งสาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีดังนี้ การตรวจจับยานพาหนะที่ผิดพลาดประเภทนับขาดจากการตรวจจับยานพาหนะไม่พบอยู่ที่ 0.34% หรือผิดพลาดในการตรวจจับเพียง 1 เหตุการณ์ รวมทั้งยังพบความผิดพลาดจากการจำแนกประเภทซึ่งได้จำแนกเป็นยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไปแทนที่จะเป็นรถจักรยานยนต์อยู่ 1 เหตุการณ์ ส่วนการตรวจจับยานพาหนะและการจำแนกประเภทรถจักรยานยนต์หรือยานพาหนะคันเล็กนั้นมีอัตราการตรวจจับที่ถูกต้องอยู่ที่ 93.93% สามารถตรวจจับได้ 63 คัน จากรถจักรยานยนต์ที่ถูกเฝ้าสังเกต 66 คัน ซึ่งมีการตรวจจับที่ผิดพลาดประเภทนับขาดจากการตรวจจับยานพาหนะไม่พบจำนวน 3 คัน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอ ในการตรวจจับยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป มีอัตราการตรวจจับที่ถูกต้องมากกว่า 99% จากการทดสอบกับชุดข้อมูลทั้งสองชุด แม้ว่าจะมีการตรวจจับยานพาหนะที่ผิดพลาดประเภทนับขาดจากการตรวจจับยานพาหนะไม่พบอยู่ 1 เหตุการณ์ของทั้ง 2 ชุดข้อมูล ซึ่งสาเหตุเกิดจากยานพาหนะที่เคลื่อนที่ตามกันมีระยะห่างน้อยกว่า 2 เมตรทำให้มีความเสี่ยงที่จะเกิดความผิดพลาดจากการตรวจจับยานพาหนะไม่พบขึ้นได้ทำให้การตรวจจับมองสองคันเป็นคันเดียวทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วด้วย ขณะที่ความผิดพลาดการตรวจจับซ้ำซ้อน (Double Detection Error) ไม่พบความผิดพลาด เนื่องจากได้เพิ่มขั้นตอนการพิจารณาค่าเฉลี่ยพลังงานในช่วงที่ยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าและออกไป เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นของยานพาหนะจริงหรือไม่

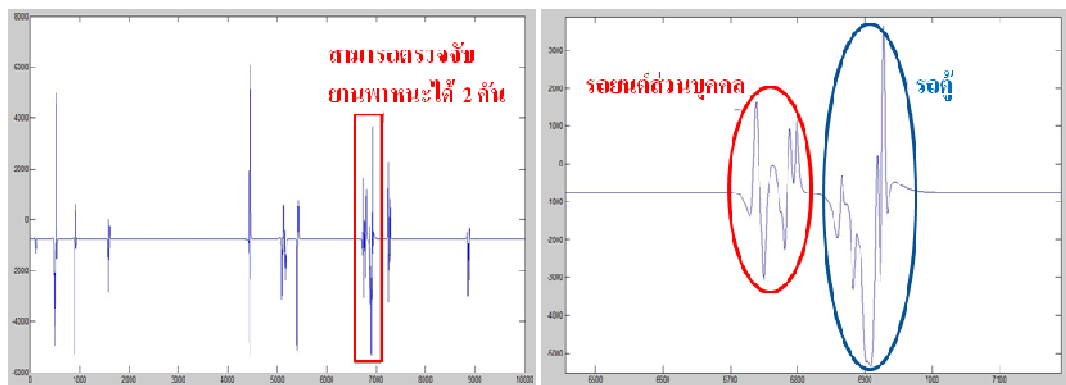
ในการตรวจจับรถจักรยานยนต์ซึ่งเป็นยานพาหนะขนาดเล็กนั้นมีความผิดพลาดประเภทการตรวจจับยานพาหนะไม่พบอยู่ที่ 11% ในชุดข้อมูล A1 และ 4.5% ในชุดข้อมูล A2 โดยสาเหตุเกิดจากรถจักรยานยนต์วิ่งด้วยความเร็ว และไม่ตรงกลางเลนหรือวิ่งห่างจากเซนเซอร์ประมาณ 1 เมตร ทำให้การรบกวนสนามแม่เหล็กในบริเวณตรวจจับของเซนเซอร์นั้นไม่เพียงพอที่จะสามารถตรวจจับได้นอกจากนี้ พบว่าการที่รถจักรยานยนต์วิ่งใกล้กับยานพาหนะ 4 ล้อขึ้นไป ในระยะห่างไม่เกิน 2 เมตรนั้นมีความเสี่ยงที่จะตรวจจับรถจักรยานยนต์ไม่พบได้ ในทางตรงกันข้ามความผิดพลาดจากการตรวจจับซ้ำซ้อนไม่ถูกพบในการตรวจจับรถจักรยานยนต์

4.2 การวิเคราะห์ผลการทำงานของอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่นำเสนอ

1) การเพิ่มความสามารถด้านการตอบสนองการตรวจจับยานพาหนะที่อยู่ใกล้กัน ซึ่งวิธีการที่เสนอได้กำหนดตัวแปรขีดเริ่มการเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การออกไปของยานพาหนะ (Out-going Threshold) ทั้งของสัญญาณบนแกน Y หรือแกนตามทิศทางเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ($TH_{Y_{Out-going}}$) และบนแกน Z หรือแกนตั้งฉากกับพื้นถนน ($TH_{Z_{Out-going}}$) ตัวแปรเหล่านี้ใช้ในการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถตรวจจับยานพาหนะสองคันที่วิ่งใกล้กันไม่น้อยกว่า 2 เมตรได้ แต่ก็ขึ้นอยู่กับความเร็วด้วยเช่นเดียวกัน



(ก)



(ข)

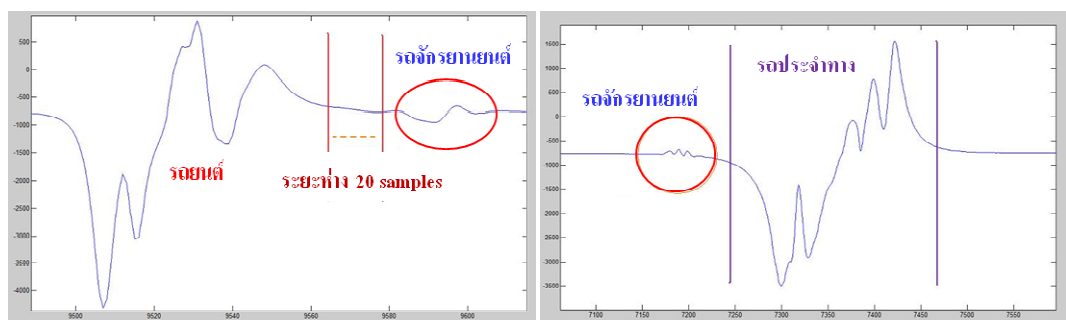
(ค)

รูปที่ 4.1 ความสามารถในการตอบสนองการรับรู้ยานพาหนะที่อยู่ใกล้กัน

- (ก) เหตุการณ์ที่รถยนต์วิ่งนำหน้ารถคู่ซึ่งมีระยะห่างประมาณ 2 เมตร
- (ข) สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z
- (ค) ภาพขยายในช่วงสัญญาณที่มีการตรวจจับยานพาหนะที่ใกล้กันทั้งสองคัน

ดังในรูปที่ 4.1 เป็นตัวอย่างเหตุการณ์ที่รถยนต์วิ่งนำหน้ารถผู้ซึ่งมีระยะห่างประมาณ 2 เมตร ความเร็วประมาณ 20 - 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยเหตุการณ์นี้ อัลกอริทึมสามารถตรวจจับยานพาหนะได้ทั้งสองคัน

2) การเพิ่มความสามารถด้านการตอบสนองการตรวจจับยานพาหนะคันเล็ก หรือรถจักรยานยนต์ซึ่งวิธีการที่เสนอได้กำหนดตัวแปรขีดเริ่มการเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การปรากฏขึ้นของยานพาหนะ ($IncomingThreshold$) ของสัญญาณแกน Z หรือแกนตั้งฉากกับพื้นถนน ($TH_{Z_{Incoming}}$) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับการรบกวนสนามแม่เหล็กบนแกน Z ในอัลกอริทึมในการตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะสามารถตรวจจับยานพาหนะคันเล็ก ถ้าการรบกวนสนามแม่เหล็กบนแกน Z มีพลังงานมากพอ จะทำให้สามารถตรวจจับยานพาหนะทั้งประเภท 4 ล้อขึ้นไป และยานพาหนะคันเล็กได้ ดังในรูปที่ 4.2 เป็นสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ของตัวอย่างการตรวจจับรถจักรยานยนต์ ที่วิ่งใกล้กับยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป ซึ่งอัลกอริทึมนี้สามารถตรวจจับได้



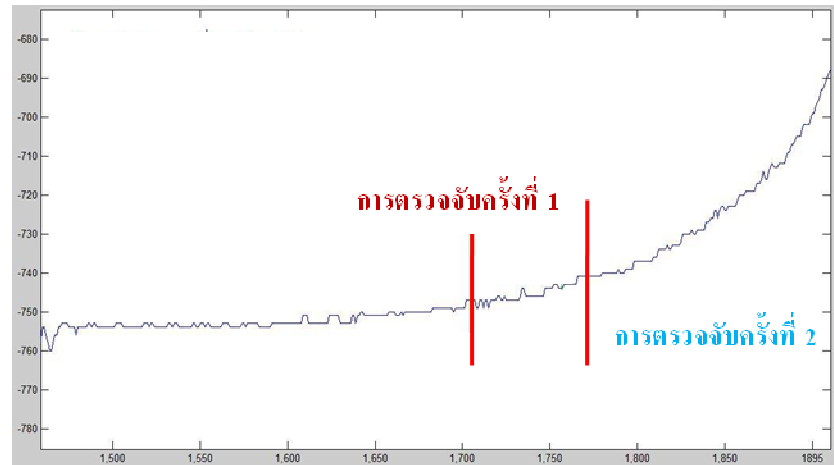
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.2 กราฟสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ในช่วงการตรวจจับยานพาหนะคันเล็ก

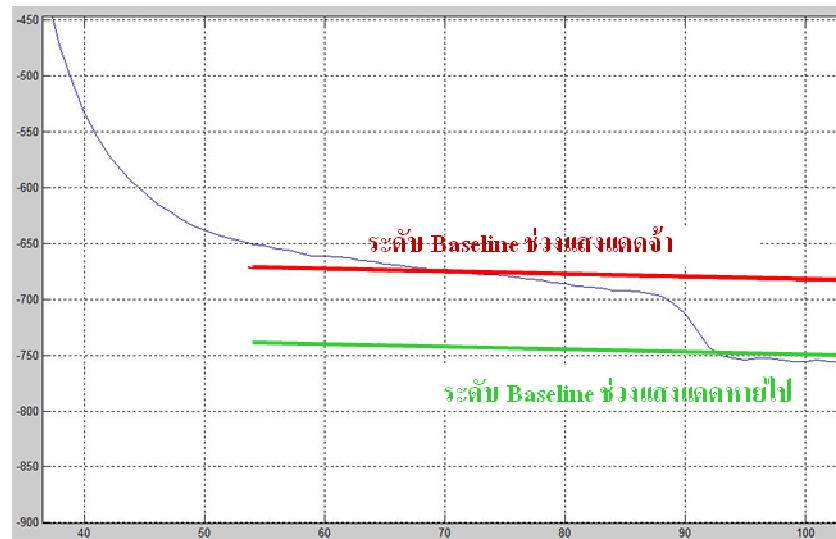
3) การป้องกันความผิดพลาดจากการตรวจจับซ้ำซ้อน (Double Detection Error) จากการวิเคราะห์ในเหตุการณ์ที่มีความผิดพลาดพบว่ามีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจากการตรวจจับซ้ำซ้อนได้ ถ้ายานพาหนะเคลื่อนที่ช้าๆ ผ่านพื้นที่ที่ตรวจจับ จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้าทำให้เกิดการตรวจจับยานพาหนะได้ 2 ครั้ง ซึ่งสัญญาณนี้เป็นของเหตุการณ์ที่รถประจำทางคันหนึ่งกำลังเคลื่อนที่เข้ามาในทันทีที่ตรวจจับอย่างช้าๆ และเพื่อป้องกันความผิดพลาดนี้ เราจึงได้เพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบและการแก้ไขการตรวจจับซ้ำซ้อน (Check and Resolve “Double detection” Step) ไว้ในส่วนของอัลกอริทึมการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ (Outgoing Vehicle Detection Algorithm) ดังในรูปที่ 3.4 โดยขั้นตอนการตรวจสอบและการแก้ไขการตรวจจับซ้ำซ้อนนี้จะทำการตรวจสอบความผิดพลาดหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการตรวจจับการออกไป

ของยานพาหนะ โดยจะตรวจสอบช่วงเวลาที่อยู่ในพื้นที่ตรวจจับ(Detection Time)ถ้าช่วงเวลาดังกล่าว มีค่าน้อยกว่า 1 วินาที และผลต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด Pre-assignedvalue(ค่าที่กำหนดให้อยู่ที่ 50)แล้วจะทำให้การตรวจจับนี้ถูก บ่งชี้ว่าเป็นความผิดพลาดจากการตรวจจับซ้ำซ้อน (Double Detection Error) และทำการละทิ้งข้อมูล การตรวจจับนี้ แล้วจึงกระโดดกลับไป S2 : Adapt_Baseline เพื่อที่จะรอการตรวจจับครั้งถัดไป



รูปที่ 4.3 สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ของรถประจำทางขณะปรากฏขึ้นในพื้นที่ตรวจจับ

4)การป้องกันความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับสนามแม่เหล็กอ้างอิงอย่างกะทันหัน (Instant Baseline-level ChangingError)จากปรากฏการณ์แสงแดดจ้าหรือแสงแดดความเข้มสูงปรากฏขึ้น ตามการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นและการวิเคราะห์การดำเนินการของอัลกอริทึมการที่เสนอในขั้นตอนการตรวจสอบความผิดพลาดนี้ในหัวข้อที่ 3.4 โดยเพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบในส่วนของอัลกอริทึมการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ (OutgoingVehicleDetection Algorithm)และจากผลการทดสอบนั้นไม่พบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์นี้ แสดงว่าวิธีการที่เสนอสามารถป้องกันความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับสนามแม่เหล็กอ้างอิงได้



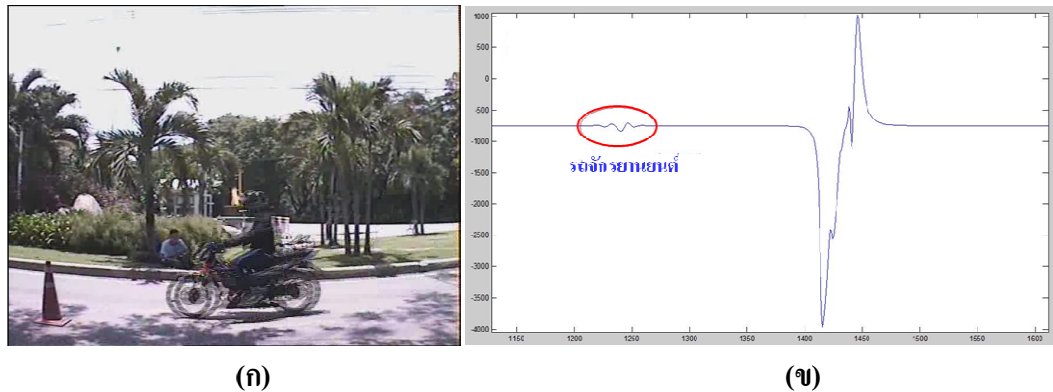
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแม่เหล็กและระดับสัญญาณอ้างอิงบนแกน Z อันเนื่องมาจากแสงแดดความเข้มสูงเกิดขึ้น

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแม่เหล็กและระดับสัญญาณอ้างอิงบนแกน Z จากปรากฏการณ์แสงแดดจ้าหรือแสงแดดความเข้มสูงปรากฏขึ้นในช่วงเวลา 13.05 น. ต่อจากนั้น 10 วินาที ความเข้มของแสงแดดกลับมาสู่ระดับเดิมอย่างรวดเร็ว จะเห็นได้ว่าสัญญาณสนามแม่เหล็กในช่วงที่ความเข้มของแสงแดดลดลงอย่างรวดเร็วนั้นได้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบขึ้นบันไดคือค่าสนามแม่เหล็กกระโดดจากระดับ -692 ไปที่ระดับ -754 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับค่าสนามแม่เหล็กในบริเวณนั้นโดยรวมอย่างมาก รวมทั้งระดับสัญญาณอ้างอิง (Baseline) ก็มีการเปลี่ยนระดับอย่างมากอีกด้วย

4.3 การวิเคราะห์ผลการทำงานผิดพลาดจากอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอ

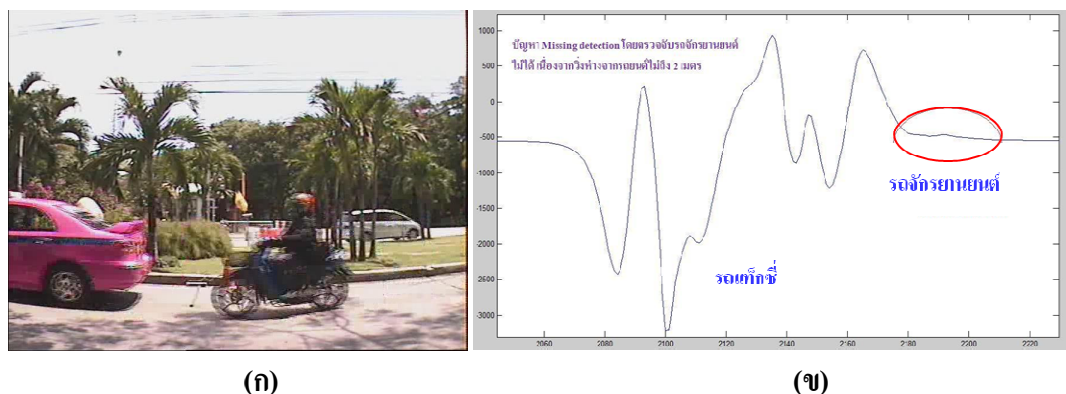
1) การวิเคราะห์ปัญหาความผิดพลาดจากการตรวจจับยานพาหนะไม่พบ (Missing Detection Error) ของการตรวจจับรถจักรยานยนต์หรือยานพาหนะขนาดเล็กพบว่าสาเหตุหลักเกิดจากรถจักรยานยนต์วิ่งด้วยความเร็ว และไม่ตรงกลางเลน ดังในรูปที่ 4.5 เป็นเหตุการณ์ตัวอย่างหนึ่ง ที่รถจักรยานยนต์วิ่งเบี่ยงออกด้านข้างเลน ห่างจากเซนเซอร์ประมาณ 1 เมตร ทำให้การรบกวนสนามแม่เหล็กในบริเวณตรวจจับของเซนเซอร์นั้น มีขนาดและความต่อเนื่องไม่เพียงพอที่จะสามารถตรวจจับได้รวมทั้งอีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากวงไกลกับยานพาหนะคันใหญ่หรือยานพาหนะ 4 ล้อขึ้นไป โดยมีระยะห่างไม่ถึง 2 เมตร ซึ่งมีโอกาสเกิดความผิดพลาดจากการตรวจจับไม่พบได้เช่นกัน ดังในรูป

ที่ 4.6 เป็นตัวอย่างเหตุการณ์หนึ่งที่ไม่สามารถตรวจจับมอเตอร์ไซด์ได้ เนื่องจากวิ่งไกลล์รถยนต์ห่างไม่ถึง 1 เมตร ทั้งนี้สาเหตุการตรวจจับไม่พบยังขึ้นอยู่กับความเร็วของยานพาหนะเป็นปัจจัยหนึ่งด้วย



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างเหตุการณ์ที่ไม่สามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์ได้ เนื่องจากวิ่งไกลล์รถยนต์

- (ก) รถจักรยานยนต์วิ่งออกห่างจากเซนเซอร์ประมาณ 1 เมตร
- (ข) สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ของรถจักรยานยนต์

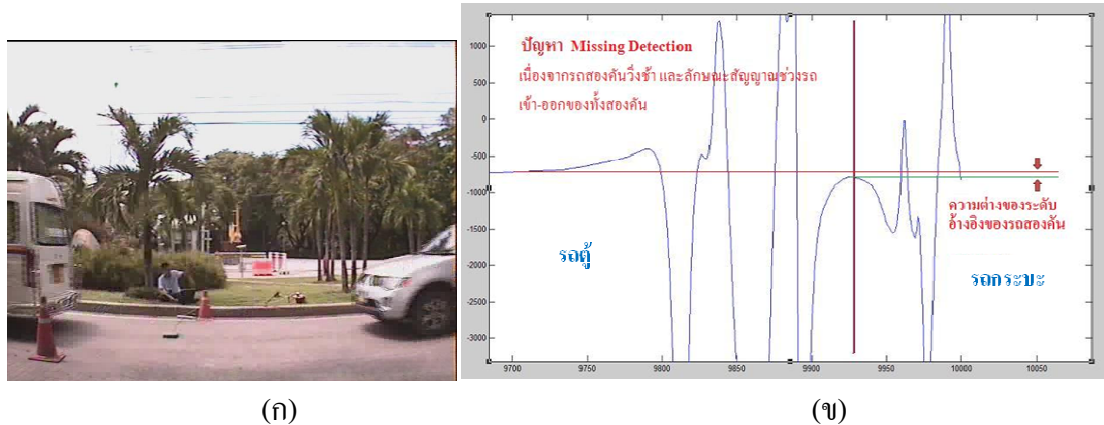


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างเหตุการณ์ที่ไม่สามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์ได้ เนื่องจากวิ่งไกลล์รถยนต์เกินไป

- (ก) รถจักรยานยนต์วิ่งไปด้านข้างเลน และอยู่ไกลล์รถยนต์ห่างไม่ถึง 1 เมตร
- (ข) สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ของทั้งสองคัน

2) การวิเคราะห์ความผิดพลาดจากการตรวจจับยานพาหนะไม่พบ (Missing Detection Error) ของการตรวจจับยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป จำนวน 2 ครั้งจากยานพาหนะ 719 คันจากชุดข้อมูลทั้งสองชุด พบว่าสาเหตุหนึ่งเกิดจากยานพาหนะที่วิ่งติดกันทั้งสองคันนั้นเคลื่อนที่ช้า ซึ่งมีโอกาสเสี่ยงที่จะตรวจจับยานพาหนะได้รวมเป็น 1 คันแทนที่จะตรวจจับได้ทั้งสองคัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสัญญาณสนามแม่เหล็กดังตัวอย่างเหตุการณ์หนึ่งดังรูปที่ 4.7 ที่สัญญาณสนามแม่เหล็กในช่วงท้ายสัญญาณของยานพาหนะคันหน้า ถึงสัญญาณสนามแม่เหล็กในช่วงต้นสัญญาณของยานพาหนะคัน

หลังนั้นมีความต่างกับระดับอ้างอิงน้อยกว่าจึงเริ่มการเปลี่ยนสำหรับการรับรู้การออกไปของยานพาหนะไม่ต่อเนื่องมากพอที่จะตรวจจับการออกไปของยานพาหนะได้



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างเหตุการณ์ที่ไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป

(ก) ยานพาหนะที่วิ่งติดกันทั้งสองคันเคลื่อนที่ช้า

(ข) สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z

4.4 ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากผลการทำงานของอัลกอริทึม

1) ขอบเขตของพื้นที่การตรวจจับยานพาหนะของเซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กมีรัศมีอยู่ที่ 1.6-1.8 เมตร ดังตัวอย่างเหตุการณ์ในรูปที่ 4.8 ซึ่งรถกระบะคันหนึ่งได้เคลื่อนที่เข้ามา และเบรกเพื่อหยุดรถก่อนถึงตัวเซนเซอร์ประมาณ 1.6-1.8 เมตร ต่อจากนั้นได้เคลื่อนที่ถอยหลังกลับไปเพื่อรับบัตรผ่านประตูที่ป้อมรักษาความปลอดภัย ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 4.8(ข) ที่เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กสามารถตรวจจับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะคันนี้ได้ โดยที่รถกระบะคันนี้อยู่ห่างจากเซนเซอร์ประมาณ 1.6-1.8 เมตร

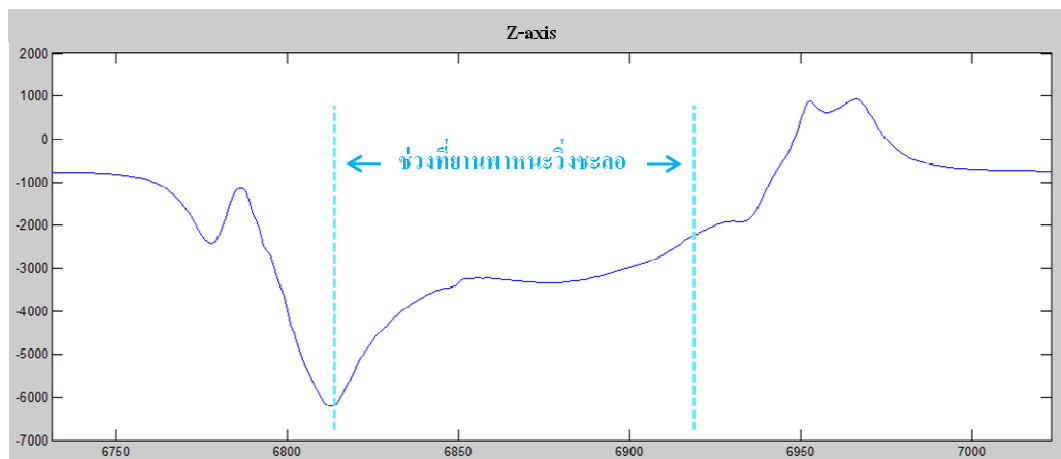
2) ยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้ามาในพื้นที่ตรวจจับ แล้วมีการชะลอความเร็วในช่วงนี้ ทำให้สัญญาณสนามแม่เหล็กที่ได้เกิดการยืดขยายในช่วงที่มีการชะลอความเร็ว ดังตัวอย่างเหตุการณ์ในรูปที่ 4.9 ซึ่งรถยนต์คันหนึ่งได้เคลื่อนที่เข้ามาในพื้นที่ตรวจจับ และชะลอความเร็วเพื่อสนทนากับผู้ที่อยู่ข้างทาง ก่อนที่จะเร่งความเร็วออกไป



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างเหตุการณ์ที่รถกระชากเคลื่อนที่มาแล้วหยุดก่อนถึงเซนเซอร์

(ก) ยานพาหนะหยุดก่อนถึงเซนเซอร์ 1.6-1.8 เมตร แล้วถอยหลังกลับไป

(ข) สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z



รูปที่ 4.9 สัญญาณสนามแม่เหล็กบนแกน Z ของรถยนต์ที่วิ่งชะลอความเร็วในพื้นที่ตรวจจับ

4.5 ผลการทดสอบการจำแนกประเภทยานพาหนะแบบ 4 ประเภท

นอกจากการตรวจจับยานพาหนะที่จำแนกเป็นยานพาหนะ 4 ล้อขึ้นไป และรถจักรยานยนต์ ซึ่งใช้ความสูงของช่วงล่างและขนาดเป็นตัวชี้วัด ดังที่ได้แสดงผลการตรวจสอบและวิเคราะห์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาการจำแนกประเภทยานพาหนะที่มีความละเอียดมากขึ้น โดยจำแนกประเภทยานพาหนะออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ 4 ล้อขนาดเล็ก (รถยนต์ส่วนบุคคล+รถกระบะ) รถตู้ รถจักรยานยนต์ และรถประจำทาง โดยตารางที่ 4.5 แสดงการตรวจสอบและจำแนกยานพาหนะโดยกล้องวิดีโอของ 2 ชุดข้อมูล (A1 และ A2)

ตารางที่ 4.5 ชุดข้อมูลประเภทของยานพาหนะ 2 ชุดที่ได้จากกล้องวิดีโอจากการทดลอง 2 ครั้ง

ชุดข้อมูล	รถยนต์+รถกระบะ	รถตู้	รถประจำทาง	รถจักรยานยนต์
A1 (10/4/2008)	227	29	39	54
A2 (16/5/2008)	318	59	38	66

การจำแนกประเภทยานพาหนะออกเป็น 4 ประเภทนี้ใช้วิธี Heuristic Discriminant Algorithm มาใช้ในการจำแนกประเภทเช่นเดียวกับการจำแนกประเภทแบบ 2 ประเภทตามรูปร่างและขนาด พื้นฐานคือ ยานพาหนะ 4 ล้อขึ้นไป และรถจักรยานยนต์ ซึ่งได้นำ Golden Section Search Method มาใช้ในการ Training ให้กับอัลกอริทึมในการจำแนกประเภทนี้เช่นกัน ซึ่งการทดสอบนั้นได้ทำการทดสอบอัลกอริทึมการจำแนกประเภทไว้สองแบบคือ แบบที่ 1 ได้ใช้ชุดข้อมูล A1 เป็น Training set และชุดข้อมูล A2 เป็น Testing set ส่วนแบบที่ 2 ใช้ชุดข้อมูล A2 เป็น Training set และชุดข้อมูล A1 เป็น Testing set โดยทั้งสองแบบจะใช้ชุดข้อมูลสลับกันเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลการทำงานที่ใกล้เคียงกัน โดยผลการทดสอบได้ถูกแสดงในตารางที่ 4.6- 4.9

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบค้นไม่ในการทดสอบแบบที่ 1

(Training Set:ชุดข้อมูล A1 และ Testing Set:ชุดข้อมูล A2)

ประเภทที่ถูกสังเกต	ผลการจำแนกประเภท(%)			
	รถยนต์ + รถกระบะ	รถตู้	รถจักรยานยนต์	รถประจำทาง
รถยนต์ + รถกระบะ	85.44	5.06	0.32	9.18
รถตู้	41.38	51.72	0.00	6.90
รถจักรยานยนต์	1.59	0.00	98.41	0.00
รถประจำทาง	5.13	0.00	0.00	94.74

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบค้นไม่ในการทดสอบแบบที่ 2

(Training Set:ชุดข้อมูล A2 และ Testing Set:ชุดข้อมูล A1)

ประเภทที่ถูกสังเกต	ผลการจำแนกประเภท (%)			
	รถยนต์ + รถกระบะ	รถตู้	รถจักรยานยนต์	รถประจำทาง
รถยนต์ + รถกระบะ	82.82	12.78	2.64	1.76
รถตู้	29.63	62.96	3.70	3.70
รถจักรยานยนต์	0.00	0.00	100.00	0.00
รถประจำทาง	15.38	2.56	0.00	82.05

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 แสดงประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบต้นไม้ของการทดสอบแบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการจำแนกประเภทรถประเภทรถจักรยานยนต์มีความแม่นยำสูงทั้งการทดสอบแบบที่ 1 และ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกของรถประเภทอื่นๆ เพราะขนาดของรถจักรยานยนต์ที่มีขนาดเล็กอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับรถประเภทอื่นๆ จึงทำให้การจำแนกมีความแม่นยำมากกว่า ในทางตรงกันข้ามการจำแนกประเภทของรถผู้มีความแม่นยำน้อยที่สุด อาจเนื่องด้วยขนาดของรถผู้มีความใกล้เคียงกับรถยนต์หรือรถกระบะ จึงทำให้มีความผิดพลาดระหว่างการจำแนกประเภทระหว่างรถผู้ และรถยนต์หรือรถกระบะได้

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบต้นไม้ร่วมกับ Golden Section Search Method ในการทดสอบแบบที่ 1

(Training Set:ชุดข้อมูล A1 และ Testing Set:ชุดข้อมูล A2)

ประเภทที่ถูกสังเกต	ผลการจำแนกประเภท (%)			
	รถยนต์ + รถกระบะ	รถตู้	รถจักรยานยนต์	รถประจำทาง
รถยนต์ + รถกระบะ	83.23	7.59	0.00	9.18
รถตู้	34.48	58.62	0.00	6.90
รถจักรยานยนต์	4.76	0.00	95.24	0.00
รถประจำทาง	5.26	0.00	0.00	94.74

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบต้นไม้ร่วมกับ Golden Section Search Method ในการทดสอบแบบที่ 2

(Training Set:ชุดข้อมูล A2 และ Testing Set:ชุดข้อมูล A1)

ประเภทที่ถูกสังเกต	ผลการจำแนกประเภท (%)			
	รถยนต์ + รถกระบะ	รถตู้	รถจักรยานยนต์	รถประจำทาง
รถยนต์ + รถกระบะ	77.53	19.38	0.88	2.20
รถตู้	22.22	70.37	3.70	3.70
รถจักรยานยนต์	0.00	0.00	100.00	0.00
รถประจำทาง	15.38	2.56	0.00	82.05

ตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทแบบต้นไม้ร่วมกับ Golden Section Search Method ของการทดสอบแบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบมีความคล้ายคลึงกับผลการทดสอบของการจำแนกประเภทแบบต้นไม้เพียงอย่างเดียว แต่จะแตกต่างในส่วนของการจำแนกประเภทวัตถุออกจากรถยนต์หรือรถกระบะ ซึ่งประสิทธิภาพการจำแนกประเภทของรถคู่นั้นสูงขึ้นกว่าแบบที่ไม่ได้ใช้ Golden Section Search Method ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพการจำแนกรถยนต์หรือรถกระบะกลับลดลง เนื่องจากวิธีการนี้เป็นการจัดสรรขอบเขตของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแบ่งแยกประเภทให้มีความผิดพลาดในการจำแนกแต่ละประเภทโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามการทดสอบของการจำแนกยานพาหนะทั้ง 4 ประเภทยังมีข้อจำกัดในการแยกขนาดของยานพาหนะ โดยเฉพาะการแยกรถคู่ออกจากรถยนต์หรือรถกระบะที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และจากการทดสอบยังพบอีกว่าสัญญาณจากยานพาหนะประเภทเดียวกันมีความหลากหลายและไม่มีรูปแบบที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของยานพาหนะแต่ละประเภทอย่างชัดเจนจึงทำให้เกิดความผิดพลาดของการจำแนกประเภทยานพาหนะในระดับสูงได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยได้เสนออัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่นำมาใช้กับอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปใช้ในการบริหารจัดการการจราจรล่วงหน้าได้อย่างเหมาะสม เช่น การตรวจนับจำนวนยานพาหนะที่มีอยู่ในแต่ละเส้นทาง ซึ่งจะช่วยให้ผู้ขับขี่เลือกเส้นทางอื่นแทนเส้นทางที่มีการจราจรหนาแน่นได้ และการประยุกต์ใช้กับการควบคุมการเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติให้สอดคล้องกับปริมาณรถในแต่ละฝั่งเพื่อลดจำนวนรถสะสมบริเวณทางแยกได้ รวมทั้งนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ เช่น การตรวจนับจำนวนยานพาหนะเข้า-ออกในสถานที่ต่างๆ และการแสดงจำนวนและตำแหน่งช่องจอดรถที่ว่างในลานจอดรถ

อัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอได้นี้วิธีการทำให้ระดับสัญญาณอ้างอิงในขณะไม่มียานพาหนะวิ่งผ่าน (Baseline) สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้แบบอัตโนมัติ หรือ Automatic Adaptive Baselineมาใช้เพื่อป้องกันความผันผวนของสนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เกิดจากแสงแดดที่ไม่คงที่ โดยนำ Automatic Adaptive Baseline มาใช้เปรียบเทียบกับค่าสนามแม่เหล็กที่ตรวจวัดได้ล่าสุดเพื่อการตรวจจับการปรากฏขึ้นและการออกไปของยานพาหนะ โดยให้ทำงานร่วมกับอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอนี้ อัลกอริทึมที่เสนอได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการตรวจจับการปรากฏขึ้นของยานพาหนะ (Incoming detection of vehicle) และส่วนของการตรวจจับการออกไปของยานพาหนะ (Out-going detection of vehicle) ซึ่งประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับยานพาหนะที่เสนอ สามารถตรวจจับและจำแนกยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไป โดยมีอัตราการตรวจจับที่ถูกต้อง (Detection Rate) มากกว่า 99.3% และสามารถตรวจจับและจำแนกประเภทรถจักรยานยนต์หรือยานพาหนะขนาดเล็กได้อัตราการตรวจจับที่ถูกต้อง (Detection Rate) มากกว่า 88.9% โดยการทดสอบนั้นใช้กับชุดข้อมูลทั้งสองชุดที่เก็บข้อมูลต่างวันและเวลากันภายใต้สภาพแวดล้อมจริงและจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่าอัลกอริทึมสามารถทำงานได้จริงในสถานที่ต่างๆ และคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Robustness) เช่น แสงแดด หรือ อุณหภูมิ โดยเฉพาะอุณหภูมิที่เกิดจากแสงแดดในประเทศไทยซึ่งมีปริมาณมากและไม่คงที่ และอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหันได้ รวมทั้งสามารถตรวจจับยานพาหนะที่หยุดนิ่ง (Stationary vehicle) และสามารถตรวจสอบความผิดพลาดของการทำงานบางอย่างด้วยตัวเองได้ เช่น ความผิดพลาดจากการตรวจจับซ้ำซ้อน (Double Detection Error) ซึ่งมี

สาเหตุมาจากยานพาหนะเคลื่อนที่ช้าเหนือเซนเซอร์ และความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอ้างอิง (Baseline) กะทันหันอันเนื่องมาจากแสงแดดจ้าได้

สำหรับวิธีการที่เสนอในการจำแนกประเภทยานพาหนะแบบ 4 ประเภทคือ รถยนต์ 4 ล้อขนาดเล็ก (รถยนต์ส่วนบุคคล+รถกระบะ) รถตู้ รถจักรยานยนต์ และรถประจำทาง โดยใช้การจำแนกประเภทแบบต้นไม้ร่วมกับ Golden Section Search Method นั้นให้ผลการจำแนกประเภทโดยเฉลี่ยที่ดีกว่า แต่ยังคงพบความผิดพลาดของการจำแนกประเภทในระดับที่สูง เพราะสัญญาณจากยานพาหนะประเภทเดียวกันมีความหลากหลายและไม่มีรูปแบบที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของยานพาหนะแต่ละประเภทอย่างชัดเจน

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไปกับงานวิจัยที่ใช้เซนเซอร์ประเภทเดียวกัน พบว่าอัลกอริทึมที่เสนอมีอัตราการตรวจจับที่ถูกต้องมากกว่า รวมทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใช้เซนเซอร์ประเภทอื่นๆ เช่น เครื่องตรวจจับระยะใกล้ในวงล้อมสนามแม่เหล็ก (Inductive Loop Detector) หรือเซนเซอร์ตรวจจับด้วยเสียง (Acoustic signal) พบว่ามีอัตราการตรวจจับที่ถูกต้องมากกว่าเช่นกัน

5.2 แนวทางการพัฒนา

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation Systems) ที่ได้นำเทคโนโลยีมาใช้ในการบริหารจัดการจราจรให้มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูลการจราจร ได้แก่ การนับจำนวน, การจับความเร็ว หรือการจำแนกประเภท เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำประยุกต์ในงานควบคุมการจราจร โดยใช้ระบบการประมวลผลอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์แทนที่การควบคุมด้วยคนโดยตรง นอกจากนี้ยังใช้ในเชิงพาณิชย์อื่นๆ ได้อีกด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้เสนออัลกอริทึมการจำแนกประเภทยานพาหนะแบบต้นไม้ (Heuristic Algorithm) เพื่อแบ่งแยกยานพาหนะประเภท 4 ล้อขึ้นไปออกจากรถจักรยานยนต์ โดยใช้การคำนวณไม้ซับซ้อนดังที่ได้อธิบายในบทที่ 3 โดยมีจุดประสงค์ในการนับจำนวนยานพาหนะประเภท 4 ล้อซึ่งมีผลต่อความแออัดบนจราจรมากกว่ารถจักรยานยนต์อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในการศึกษาจริงของผู้วิจัยได้ออกแบบและทดลองอัลกอริทึมการจำแนกประเภทยานพาหนะเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ โดยการจำแนกประเภทนั้นได้แบ่งประเภทยานพาหนะเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รถยนต์หรือรถกระบะ, รถตู้, รถบรรทุก, รถประจำทาง และรถจักรยานยนต์ โดยใช้วิธี Heuristic Discriminant

Algorithm ที่มีการนำGolden Section Search Method มาเป็น Discriminant Function แต่เนื่องจากประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทยานพาหนะนั้นไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้งานได้จริง ซึ่งยังคงต้องศึกษาเพื่อการพัฒนาต่อไป

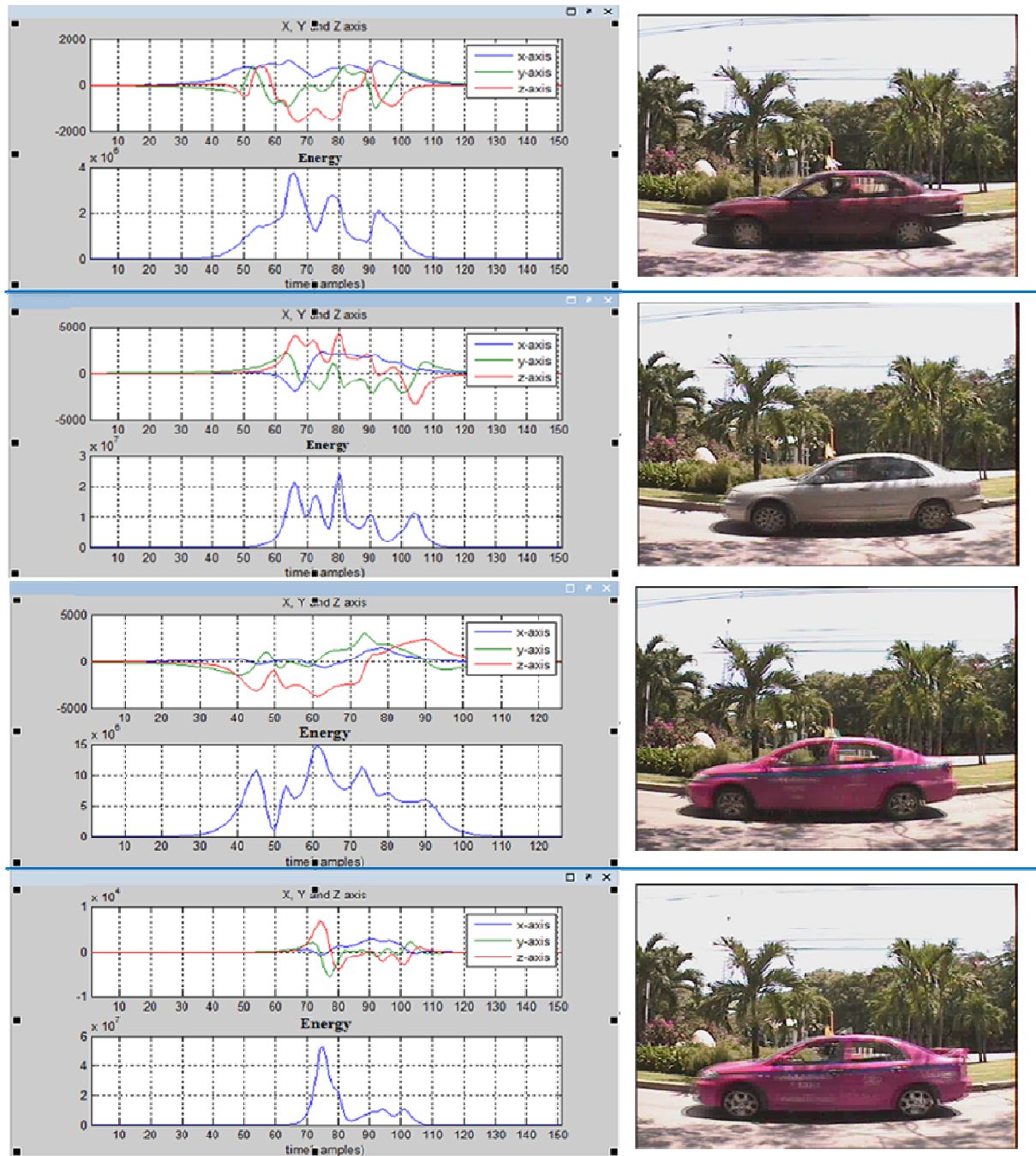
เอกสารอ้างอิง

1. Ding J., Cheung S.Y., Tan S.W. and Varaiya P., 2004, “Signal Processing of Sensor Node Data for Vehicle Detection”, **IEEE Intelligent Transportation Systems Conference**, October 3-6, Washington, D.C., USA, pp. 70 – 75.
2. Mantri, S. and Bullock, D., 1995, “A neural network based vehicle detection and tracking system”, **Proceedings of the Twenty-Seventh Southeastern Symposium**, March 12-14, pp. 279 – 283.
3. Ding, J., Cheung S.Y., Tan, C.W. and Varaiya P., 2004, “Vehicle Detection by Sensor Network Nodes”, **California PATH Research Report PATH Report UCB-ITS-PRR-2004-39**, University of California, Berkeley.
4. Kranig J., E. Minge, and C. Jones, 1997, “Field Test of Monitoring of Urban Vehicle Operations Using Non-Intrusive Technologies”, **FHWA-PL-97-018, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation**, Washington, D.C..
5. Sun C., 2000, “An Investigation in the Use of Inductive Loop Signatures for Vehicle Classification”, **California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2002-4**, University of California, Berkeley.
6. Cheung S.Y., and Varaiya P., 2007, “Traffic Surveillance by Wireless Sensor Networks”, **California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2007-4**, University of California, Berkeley.
7. Keawkamnerd S., Chinrungrueng J. and Jaruchart C., 2006, “Vehicle Classification with Low Computation Magnetic Sensor”, **the 8th International Conference on ITS Telecommunications**, October, pp. 164-169.

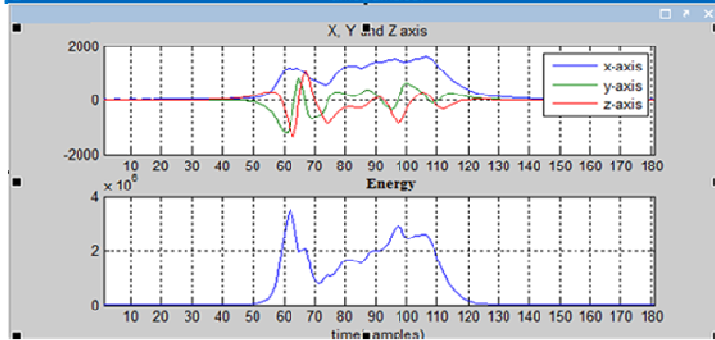
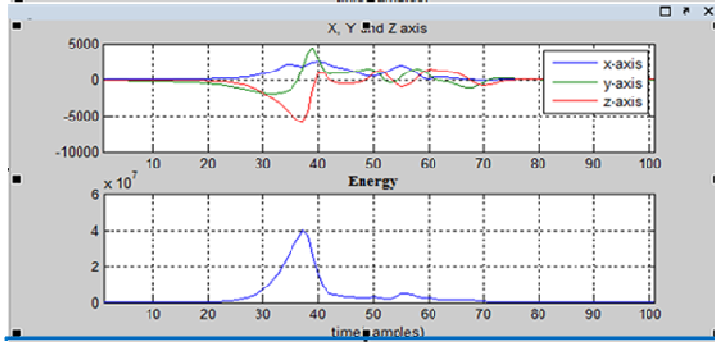
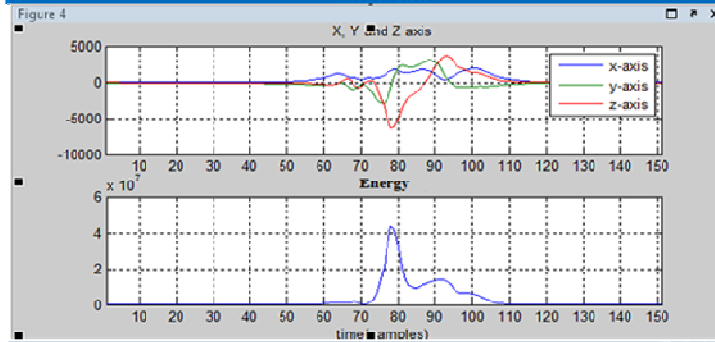
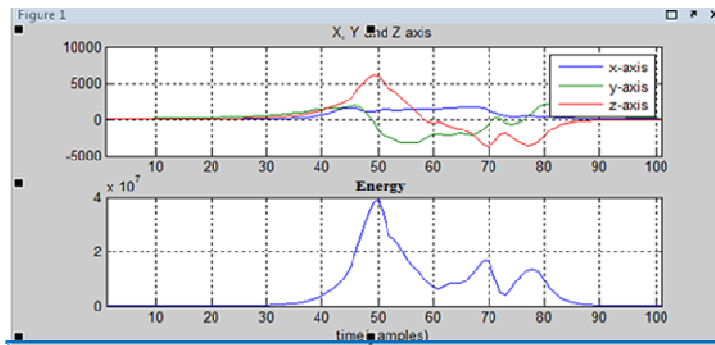
8. Knaian A. N., 2000, “A wireless sensor network for smart roadbeds and intelligent transportation systems”, **M.S. thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science**, MIT, Cambridge, Massachusetts, May 26.
9. Reijmers, J.J., 1980, “On-Line Vehicle Classification”, **IEEE IEEE Transactions on vehicular technology**, Vol. 29, No .2, pp. 156 – 161.

ภาคผนวก ก

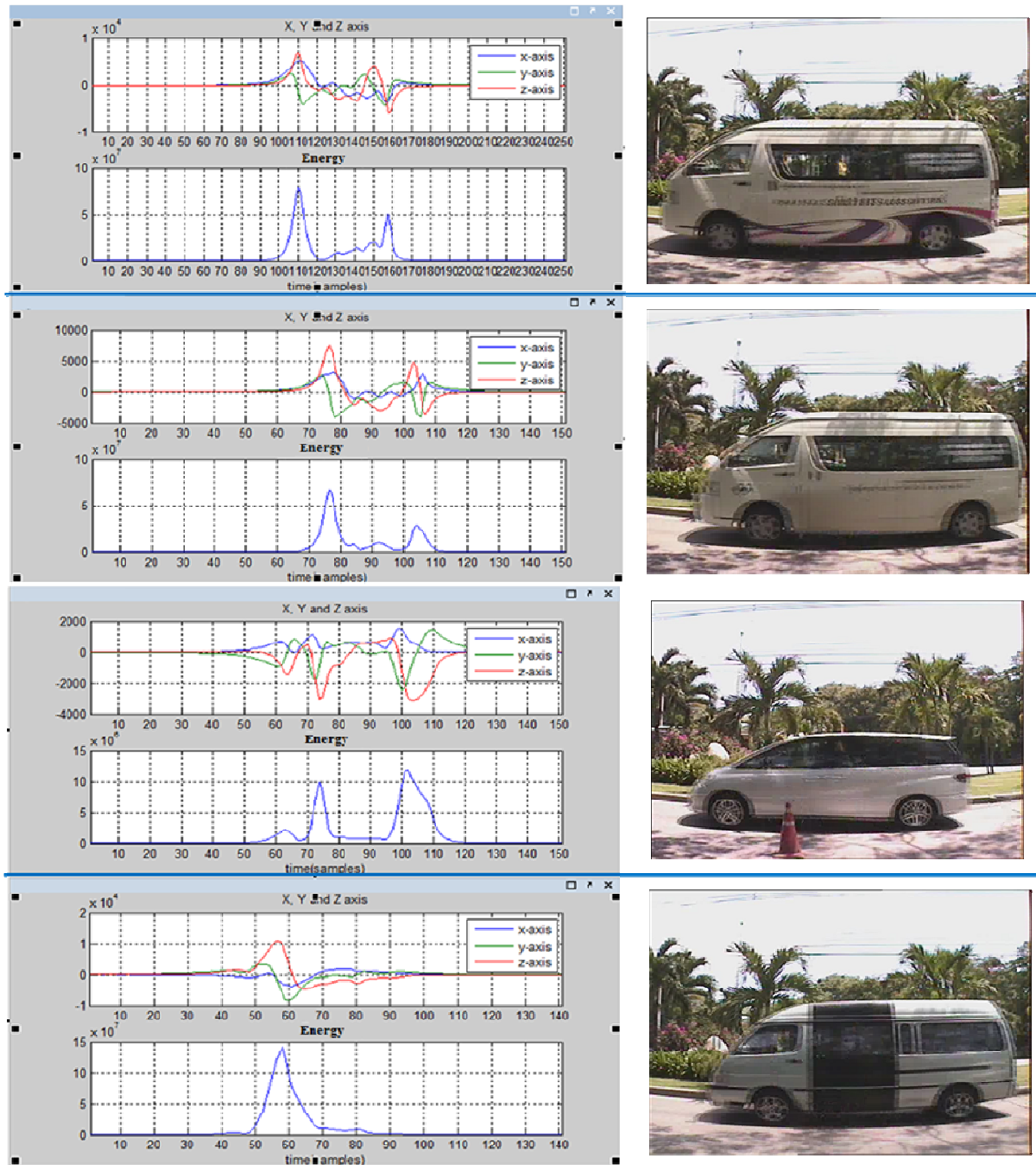
ตัวอย่างการเก็บค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนและสัญญาณพลังงาน
พร้อมกับการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพวิดีโอ



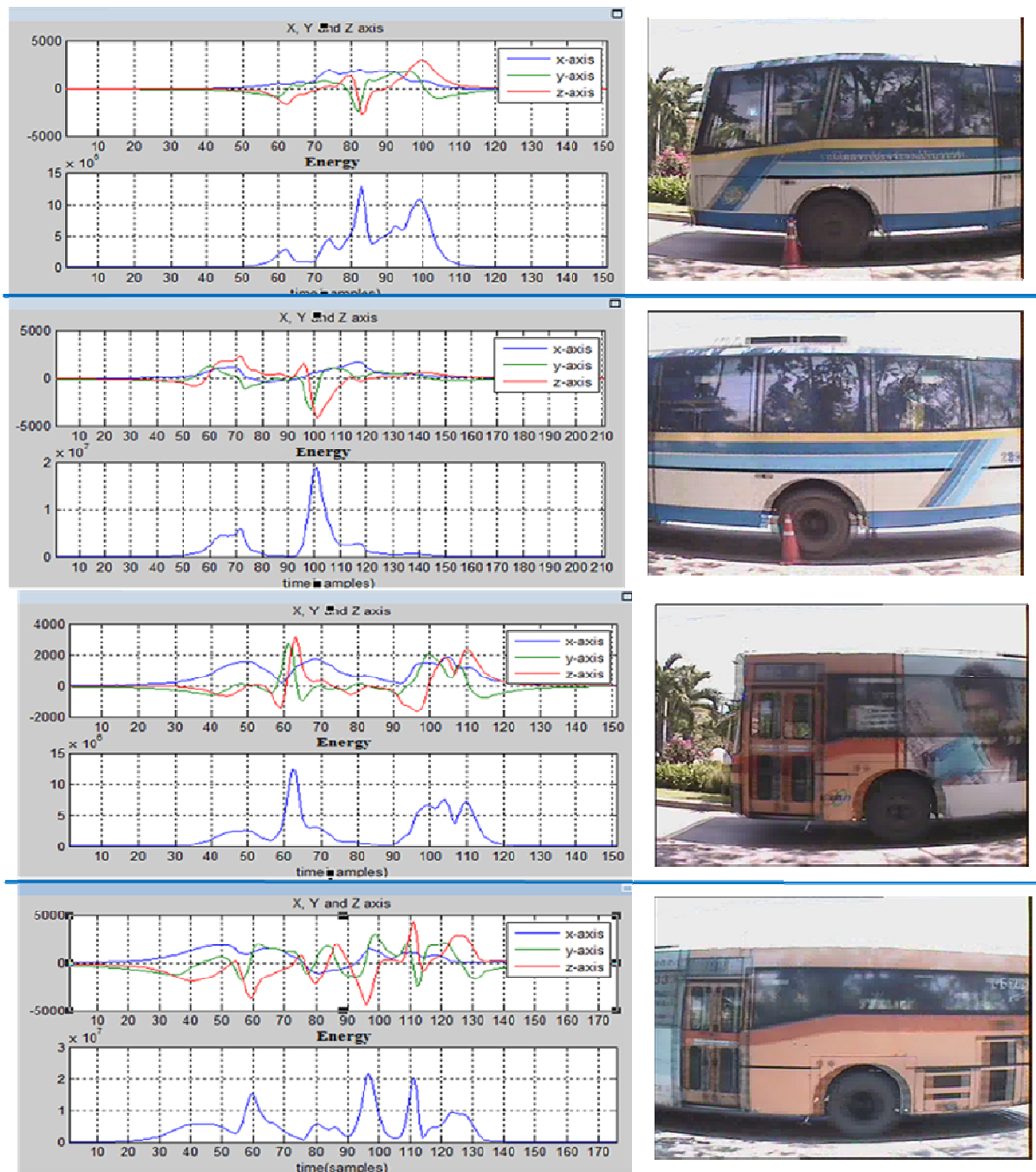
รูปที่ ก.1 ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กของรถยนต์ส่วนบุคคล



รูปที่ ก.2 ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กของรถกระบะ



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กของรถตู้



รูปที่ ก.4 ตัวอย่างการเก็บค่าสนามแม่เหล็กของประจำทาง

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	นายพิสิฐ คณาธารทิพย์
วัน เดือน ปีเกิด	1 กันยายน 2526
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวัดราชโอรส พ.ศ. 2544
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2548
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2554
ทุนการศึกษา	ทุน “โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย” สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) พ.ศ. 2551 – 2552
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	Kanathantip, P., Kumwilaisak, W. and Chinrungrueng, J., 2010, “Robust vehicle detection algorithm with magnetic sensor”, The 7th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI-CON 2010) , 19-21 May 2010, Chiang Mai, Thailand.