ระบบติดตามพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก
และเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว

นายชานนท์ โสตถิถาวร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

A VEHICLE TRACKING SYSTEM USING PRINCIPLE COMPONENT ANALYSIS AND ADAPTIVE RESONANCE THEORY NETWORK

Chanon Sotthithaworn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2008

ระบบติดตามพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก
และเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

____

(รศ. ดร.กิตติ อัตถกิจมงคล)
ประธานกรรมการ

____

(ผศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

____

(ผศ. ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)
กรรมการ

____

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

____

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชานนท์ โสตถิถาวร : ระบบติดตามพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว (A VEHICLE TRACKING SYSTEM USING PRINCIPLE COMPONENT ANALYSIS AND ADAPTIVE RESONANCE THEORY NETWORK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว, 128 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบการตรวจหาและติดตามพาหนะ (vehicle detecting & tracking) ภายในลำดับภาพที่เคลื่อนไหวจากกล้องที่ติดตั้งบนพาหนะที่เคลื่อนที่ไปบนถนน ตรวจหาพาหนะเป็นการตรวจหาตำแหน่งของพาหนะภายในภาพโดยใช้ค่าพลังงานที่ได้จากลักษณะที่เด่นชัดของพาหนะ ได้แก่ พลังงานกาบอร์ พลังงานถนน และพลังงานถนน เป็นต้น การติดตามพาหนะเป็นการนำเสนอความต่อเนื่องของการสัญจรบนท้องถนน จากข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันอุบัติเหตุบนท้องถนนได้ ในการติดตามพาหนะนี้ใช้เครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว (adaptive resonance theory) เพื่อคัดแยกและจดจำลักษณะเด่นของพาหนะแต่ละคันแบบอัตโนมัติ โดยทำการคัดแยกและจดจำจากอินพุตที่ผ่านตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม (log-Gabor filter) และวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis: PCA) เพื่อดึงลักษณะเด่นของยานพาหนะออกมาในรูปแบบเวกเตอร์ลักษณะ (feature vector) เครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว สามารถคัดแยกและจดจำข้อมูลแบบไม่ต้องมีผู้ฝึกสอน จึงเหมาะสำหรับระบบที่มีการเปลี่ยนขนาดและรูปทรงของพาหะตลอดเวลา นอกจากนั้นแล้วระบบที่นำเสนอสามารถที่จะตรวจจับและติดตามยานพาหนะได้มากกว่าหนึ่งคันพร้อม ๆ กันได้

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนักศึกษา ____________________

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ____________________

CHANON SOTTHITHAWORN : A VEHICLE TRACKING SYSTEM USING PRINCIPLE COMPONENT ANALYSIS AND ADAPTIVE RESONANCE THEORY NETWORK. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ARTHIT SRIKAEW, Ph.D., 128 PP.

VEHICLE DETECTION/ VEHICLE TRACKING/ LOG-GABOR FILTER / PRICIPLE COMPONENT ANALYSIS/ ADAPTIVE RESONANCE THEORY.

This work presents vehicle detecting and tracking system from a sequence of images. The system utilizes ART (Adaptive Resonance Theory) network for segmentation and recognition. By applying log-Gabor filters to the initially detected vehicle, the resulting filtered vehicles are fed into the network which can automatically recognize salient features of each detected vehicles by analyzing its principle components. This unsupervised network allows the system to efficiently perform tracking in dynamic environments where shapes and sizes of vehicles are changing all the time. The proposed system can also track multiple vehicles simultaneously. Results and discussions are described.

School of Electrical Engineering Student's Signature ____________________

Academic Year 2008 Advisor's Signature ____________________

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.สราวุฒิ สุจิตจร รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อัตถกิจมงคล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์ อาจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี และอาจารย์ ดร. เผด็จ เผ่าละออ คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเลขานุการและธุรการประจำสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ความช่วยเหลือและดูแลด้านเอกสารมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อปัญญา คุณแม่สุรินทร์ น้องออม น้องฝ้าย รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด รวมทั้งเป็นกำลังใจในยามที่ผู้วิจัยท้อและทุกข์ใจช่วยให้มีพลังเข้มแข็งพร้อมเผชิญกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ชานนท์ โสตถิถาวร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ช

สารบัญรูป ซ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ฒ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น 2

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 2

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 กล่าวนำ 3

2.2 การประมวลผลภาพ 3

2.3 การแยกส่วนภาพ 4

2.3.1 การตรวจหาเส้นขอบของภาพ 4

2.3.2 การหาขีดเริ่มเปลี่ยน 6

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม 7

2.4.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม 8

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการตรวจหาพาหนะ 11

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการติดตามพาหนะ 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 สรุป 20
3 ระบบการตรวจหาพาหนะภายในภาพ 21
3.1 กล่าวนำ 21
3.2 หลักการมองเห็นขนาดของพาหนะในภาพแบบที่มีสัดส่วน 22
3.3 ความสมมาตร 24
3.4 ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม 29
3.5 พลังงานกาบอร์ 36
3.6 พลังงานถนน 39
3.7 การปรับลดค่าพลังงานพาหนะ 40
3.8 พลังงานพาหนะ 43
3.8.1 การหาตำแหน่งพาหนะ 44
3.8.2 การตัดกรอบภาพพาหนะส่วนเกิน 47
3.9 สรุป 50
4 ระบบการติดตามพาหนะภายในภาพ 51
4.1 กล่าวนำ 51
4.2 วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 52
4.3 เครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว 57
4.4 ผลการทดสอบระบบ 60
4.5 สรุป 67
5 ผลการทดสอบระบบ 68
5.1 การตรวจหาพาหนะ 68
ตารางสรุปประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะ 89
5.2 การติดตามพาหนะ 90
ตารางสรุปประสิทธิภาพการติดตามพาหนะ 119
5.3 สรุป 120

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 121

5.1 สรุป 121

5.2 ปัญหาที่พบ 122

5.2 ข้อเสนอแนะ 122

รายการอ้างอิง 123

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา 127

ประวัติผู้เขียน 128

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ตารางสรุปประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะ 89

3.2 ตารางสรุปประสิทธิภาพการติดตามพาหนะ 119

สารบัญรูป

รูปที่ | **หน้า**

รูปที่		หน้า
2.1	แบบจำลองรูปลาดเอียงของขอบภาพ	4
2.2	ตัวอย่างการตรวจหาเส้นขอบของภาพโดยใช้วิธีต่าง ๆ	5
2.3	ตัวอย่างการหาขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ	6
2.4	แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียม	9
2.5	รูปแบบสัญลักษณ์ของเซลล์ประสาทเทียม	9
2.6	สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	10
2.7	การกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโครงข่าย N ชั้น	10
2.8	ขั้นตอนการตรวจหาพาหนะ	12
2.9	กระบวนการตรวจหาพาหนะแบบหลายสเกลจากขอบแนวตั้งและขอบแนวนอน	15
3.1	แผนผังการตรวจหาพาหนะในภาพ	21
3.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณหาความสูงของกรอบภาพพาหนะ	22
3.3	กรอบภาพพาหนะที่ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะต่างกัน	23
3.4	กรอบภาพพาหนะที่ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะเท่ากัน	24
3.5	แผนผังการคำนวณแถวลำดับสะสม	25
3.6	แกนสมมาตรที่ได้จากค่าแถวลำดับสะสม	27
3.7	ค่าความสมมาตรบนกรอบภาพพาหนะที่มีพาหนะอยู่	27
3.8	สัญญาณปรับคูณสามเหลี่ยม	29
3.9	แถวลำดับสะสมที่ผ่านการปรับคูณแล้ว	29
3.10	ตัวกรองกาบอร์ในโดเมนเวลา	30
3.11	ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมในโดเมนความถี่	31
3.12	ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม 3 ขนาดและมุม 0 องศา	32
3.13	ค่าขนาดของกาบอร์ที่ได้จากการใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม	33
3.14	ค่าขนาดของกาบอร์ที่ได้จากการใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมที่ขนาดต่าง ๆ	33
3.15	ตัวอย่างผลการทดสอบกาบอร์แบบลอการิทึมกับภาพที่มีพาหนะ	34
3.16	ตัวอย่างผลการทดสอบกาบอร์แบบลอการิทึมกับภาพที่ไม่ใช่พาหนะ	35
3.17	แผนผังการคำนวณค่าพลังงานกาบอร์	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.18 ตำแหน่ง A B และ C ในกรอบภาพพาหนะ 37
3.19 ภาพขาวดำที่ได้จากขนาดของกาบอร์ 37
3.20 แบบจำลองพาหนะ 38
3.21 ค่าขนาดของกาบอร์ 38
3.22 ภาพขาวดำของพาหนะ 39
3.23 ภาพระดับ S 40
3.24 กรอบภาพถนน 40
3.25 กรณีที่กรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะ 41
3.26 การกรองโดยการตัดภาพขาวดำก้อนที่แกนสมมาตรไม่ลากผ่านออก 41
3.27 ผลรวมตามแนวแกนตั้งของภาพขาวดำที่มากกว่า 0 มีค่าเท่ากับ 1 42
3.28 พื้นที่ ๆ ใช้สำหรับหาค่าปรับลด 43
3.29 ขนาดกรอบภาพพาหนะที่ตำแหน่ง $v_0 + 130$ 44
3.30 ฮิสโทแกรมของค่าพลังงานพาหนะ 45
3.31 ค่าพลังพาหนะ 46
3.32 ตำแหน่งของพาหนะคันแรก 46
3.33 ตำแหน่งของพาหนะคันที่สอง 47
3.34 กรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะเล็กน้อย 48
3.35 ผลจากการตัดกรอบภาพพาหนะตามแนวตั้ง 48
3.36 ผลจากการตัดกรอบภาพพาหนะตามแนวตั้งและแนวนอน 49
3.37 แผนผังการหาตำแหน่งพาหนะ 49
4.1 ระบบการติดตามพาหนะ 51
4.2 ขั้นตอนการหาเวกเตอร์ลักษณะ 52
4.3 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะที่เหมือนกัน 53
4.4 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะที่ต่างกัน 53
4.5 เวกเตอร์ลักษณะที่ได้จากกรอบภาพพาหนะ 55
4.6 เวกเตอร์ลักษณะที่ได้จากกรอบภาพพาหนะ 56
4.7 โครงสร้างเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว 57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	ค่าน้ำหนักประสาทของพาหนะคันแรก	59
4.8	ค่าน้ำหนักประสาทของพาหนะคันแรก	59
4.9	ค่าน้ำหนักประสาทของพาหนะคันแรกและคันที่สอง	59
4.10	ค่าน้ำหนักประสาทของพาหนะคันแรกและคันที่สาม	59
4.11	การติดตามพาหนะหนึ่งคันในภาพ	61
4.12	การติดตามพาหนะหนึ่งคันในภาพ	62
4.13	ค่าเทียบเคียงที่ลำดับภาพต่าง ๆ	63
4.14	ค่าเทียบเคียงที่ลำดับภาพต่าง ๆ	63
4.15	การติดตามพาหนะหนึ่งคันในภาพ	64
4.16	พาหนะที่ปรากฏในภาพมีลักษณะเหมือนกัน	66
5.1	ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 1	69
5.2	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 1	70
5.3	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 1	70
5.4	ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2	71
5.5	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2	71
5.6	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2	72
5.7	ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 3	72
5.8	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 3	73
5.9	ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4	73
5.10	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4	74
5.11	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4	74
5.12	ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5	75
5.13	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5	75
5.14	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5	76
5.15	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5	76
5.16	ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5	77
5.17	ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6	77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.18 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6 78
5.19 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6 78
5.20 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6 79
5.21 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 79
5.22 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 80
5.23 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 80
5.24 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 81
5.25 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 81
5.26 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8 82
5.27 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8 82
5.28 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8 83
5.29 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8 83
5.30 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9 84
5.31 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9 84
5.32 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9 85
5.33 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9 85
5.34 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10 86
5.35 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10 86
5.36 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10 87
5.37 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10 87
5.38 การตรวจหาพาหนะไม่พบ 88
5.39 การตรวจหาพาหนะผิดพลาด 88
5.40 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 1 91
5.41 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1 91
5.42 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 2 92
5.43 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1 92
5.44 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2 93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.45	กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด	93
5.46	ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2	94
5.47	ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1	94
5.48	ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1	95
5.49	กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด	95
5.50	ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 3	96
5.51	ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1	96
5.52	ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1	97
5.53	กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด	97
5.54	ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4	98
5.55	ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1	98
5.56	ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 2	99
5.57	ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 3	99
5.58	ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1	100
5.59	ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2	100
5.60	ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 3	101
5.61	กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด	101
5.62	ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5	102
5.63	เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1 ในลำภาพที่ 1 ถึง 30	103
5.64	เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1 ในลำภาพที่ 31 ถึง 64	103
5.65	ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1	104
5.66	กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด	104
5.67	ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6	105
5.68	เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1	106
5.69	เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 2	106
5.70	ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1	107
5.71	ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2	107

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.72 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 3 108
5.73 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด 108
5.74 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 109
5.75 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1 110
5.76 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 2 110
5.77 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1 111
5.78 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2 111
5.79 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 3 112
5.80 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด 112
5.81 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8 113
5.82 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1 114
5.83 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1 114
5.84 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด 114
5.85 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9 115
5.86 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1 116
5.87 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1 116
5.88 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด 116
5.89 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10 117
5.90 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1 117
5.91 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1 118
5.92 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2 118
5.93 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด 118

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	แถวลำดับสะสม
$A(x, y)$	=	คุณสมบัติของจุดภาพข้างเคียง
A_c	=	แถวลำดับสะสมที่ผ่านการปรับคูณแล้ว
An	=	ค่าขนาดของตัวกรองกาบอร์
An_{1A}	=	ค่าขนาดของกาบอร์แถวที่ 1 ถึง *A* ของทุกหลัก
An_{AB}	=	ค่าขนาดของกาบอร์แถวที่ *A* ถึง *B* ของทุกหลัก
An_{BC}	=	ค่าขนาดของกาบอร์แถวที่ *B* ถึง *C* ของทุกหลัก
ART	=	Adaptive Resonance Theory
b	=	ค่าน้ำหนักประสาท
B_G	=	ภาพขาวดำของขนาดกาบอร์
C	=	เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมเกี่ยว
E_G	=	ค่าพลังงานกาบอร์
E_r	=	พลังงานถนน
E_s	=	ค่าพลังงานความสมมาตรของพาหนะ
E_v	=	ค่าพลังงานพาหนะ
$f(x,y)$	=	ค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x,y)
$G(w)$	=	ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม
h_i	=	จำนวนจุดภาพความสูงของกรอบภาพพาหนะ
k / w_0	=	อัตราส่วนที่ใช้กำหนดค่า octave
LOC	=	Local Orientation Coding
m	=	จำนวนแถวของกรอบภาพถนน
n	=	จำนวนหลักของกรอบภาพถนน
PCA	=	Principle Component Analysis
r_J	=	ค่าความสอดคล้อง
R_s	=	ค่าระดับสี *S* ของกรอบภาพถนน
S_t	=	สัญญาณปรับคูณสามเหลี่ยม
s	=	เวกเตอร์ลักษณะ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

T	=	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน
u_i	=	เวกเตอร์ลักษณะของอินพุทตัวที่ i
υ	=	ค่าไอเกนเวกเตอร์
v_i	=	ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะ
v_0	=	ตำแหน่งเส้นขอบฟ้าในภาพ (Vanishing line)
w_i	=	ความกว้างของวัตถุในภาพ
w_{ij}	=	ค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มที่ j
w_J	=	ค่าน้ำหนักประสาทของนิวรอนตัวที่ชนะ
w_0	=	ค่าความถี่ศูนย์กลางตัวกรอง
y_c	=	ความสูงของกล้อง
y_i	=	ความสูงของพาหนะ
Y_j	=	ค่าคะแนนที่ใช้แข่งขันของค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มที่ j
α	=	ตัวปรับคูณค่าพลังงานความสมมาตรของพาหนะ
β	=	ตัวปรับคูณค่าพลังงานถนน
γ	=	ตัวปรับคูณ
Φ_i	=	คอลัมน์เวกเตอร์ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์
Ψ_i	=	คำนวณหาค่าเฉลี่ยของแต่ละเวกเตอร์
ε_2	=	ตัวปรับลดกรณีที่กรอบภาพพาหนะมีขนาดเล็กกว่ากรอบภาพพาหนะ

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการวิจัยที่มีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการปรับปรุงด้านความปลอดภัยและการลดอุบัติเหตุบนท้องถนน จากสถิติการเกิดอุบัติเหตุพบว่า โดยหลัก ๆ แล้วอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นส่วนมากเกิดจากตัวผู้ขับขี่พาหนะนอกเหนือไปจากความบกพร่องของพาหนะ ด้วยสาเหตุนี้จึงนำไปสู่การสร้างระบบช่วยเหลือคนขับขึ้น เพื่อทำการเตือนเมื่อมีโอกาสชนกับพาหนะคันอื่น ๆ หรือสามารถควบคุมพาหนะให้สามารถหลบเลี่ยงอุบัติเหตุด้วยตัวเองได้ โดยทั่วไปแล้วในการค้นหาพาหนะจะใช้ตัวรับรู้ 2 แบบ ได้แก่ ตัวรับรู้แบบไวงาน เช่น ไลดาร์ (lidar) เรดาร์ (radar) และเลเซอร์ (laser) เป็นต้น อย่างไรก็ดีอุปกรณ์เหล่านี้มีข้อจำกัด กล่าวคือมีความละเอียดต่ำ มีความเร็วในการสแกนต่ำและมีราคาแพง เป็นต้น ส่วนตัวรับรู้แบบเฉื่อย เช่น กล้องวีดีโอ กล้องอินฟาเรด เป็นต้น มีข้อดีคือ หาง่าย มีราคาถูกความละเอียดได้สูง และสามารถนำข้อมูลภาพที่ได้ไปประมวลผลใช้พร้อมกันได้หลายงาน เช่น การค้นหาช่องเดินรถ การจดจำเครื่องหมายจราจร เป็นต้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการติดตามพาหนะโดยใช้ภาพแบ่งเป็นสามประเภท ได้แก่ การไหลของแสง (optical flow) การใช้แบบจำลองของพาหนะ (vehicle model) และการใช้ลักษณะเด่นของพาหนะ (vehicle feature) โดยการไหลของแสงจะใช้เงื่อนไขเกี่ยวกับความสว่างของภาพเป็นหลักโดยสมมุติว่าการเปลี่ยนแปลงความสว่างของภาพเป็นแบบราบเรียบ (smooth) และมีความต่อเนื่อง การใช้แบบจำลองในการติดตามพาหนะ เป็นการสร้างแบบจำลองบนระนาบของภาพเพื่อใช้ในการตรวจหาและติดตามพาหนะในภาพ การใช้ลักษณะเด่นของรถ เช่น ขอบ ลักษณะของเนื้อผิว (textures) และมุม (coner) เป็นต้น ลักษณะเด่นเหล่านี้ถูกใช้ในการค้นหากับวัตถุที่มีลักษณะเด่นตรงตามที่ต้องการในภาพของแต่ละลำดับภาพ การติดตามพาหนะเป็นการนำเสนอความต่อเนื่องของการสัญจรบนท้องถนน จากข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันอุบัติเหตุบนท้องถนนได้ สิ่งที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องในการติดตามพาหนะได้แก่คุณภาพในการตรวจหาพาหนะ งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดในการดึงเอาลักษณะเด่นของพาหนะแต่ละคันจากการใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับการใช้ตัวกรองกาบอร์ กลไกหลักที่ใช้ติดตามพาหนะคือเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว ซึ่งสามารถจดจำลักษณะเด่นของพาหนะ ในแต่ละลำดับภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งไว้ในพาหนะที่เคลื่อนที่และสามารถคัดแยกและจดจำข้อมูลได้แบบไม่ต้องมีผู้ฝึกสอนจึงเหมาะสำหรับระบบที่มีการเปลี่ยนขนาดและรูปทรงเช่น ระบบการติดตามพาหนะบนท้องถนน เป็นต้น

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบติดตามพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและเครือข่าย ART

1.2 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.2.1 การตรวจจับภาพคนเดินถนนเป็นการทำงานแบบออฟไลน์

1.2.2 ใช้ภาพบริเวณถนนหลักภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2.3 บันทึกภาพในเวลากลางวัน

1.2.4 ไม่พิจารณาสภาวะของแสงที่แตกต่างกัน

1.2.5 มีข้อมูลตำแหน่งเส้นขอบฟ้าภายในภาพบริเวณถนนที่ถูกต้อง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 สร้างระบบติดตามพาหนะได้มากกว่า 1 คัน โดยที่ภาพบริเวณถนนที่ได้ต้องเป็นภาพที่สามารถสังเกตภาพพาหนะได้ด้วยสายตาปกติอย่างชัดเจนและครบถ้วนทุกส่วนของพาหนะ

1.3.2 พาหนะเป็นประเภทรถยนต์และรถกระบะ

1.3.3 พัฒนาระบบติดตามพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและเครือข่าย ART

1.3.4 พัฒนาอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม MATLAB

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วิธีการติดตามพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบที่ทำงานได้จริงอย่างอัตโนมัติ

1.4.2 ได้ซอฟต์แวร์สำหรับติดตามพาหนะจากภาพบริเวณถนน

1.4.3 ได้โปรแกรมต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาใช้ในงานต่าง ๆ เช่น ระบบเสริมช่วยขับขี่รถยนต์ ระบบสังเกตการณ์ช่วยเตือนภัยในการขับขี่ และระบบรถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ เป็นต้น

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 2 นี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ การแยกส่วนภาพ และโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นวิธีการที่วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ในระบบการตรวจหาและติดตามพาหนะ และได้นำเสนอผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตรวจหาและติดตามพาหนะ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2 การประมวลผลภาพ (image processing)

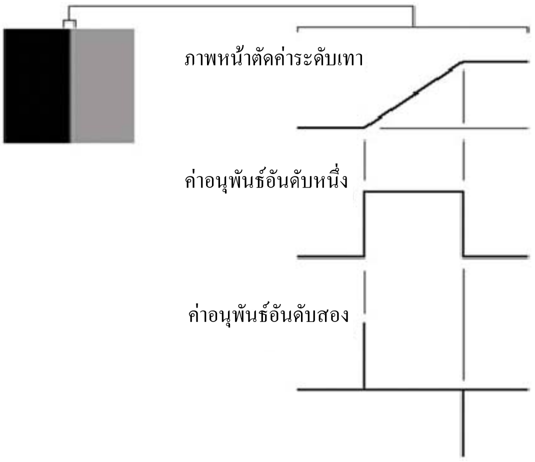
การประมวลผลข้อมูลภาพ หมายถึงการจัดการและการวิเคราะห์สารสนเทศของภาพ โดยใช้คอมพิวเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น การแปลงภาพ (image transformation) การนิยามภาพ (image description) การกรองภาพ (image filters) การแบ่งภาพและการหาขอบวัตถุในภาพ (image segmentation and edge detection) การคืนภาพ (image restoration) การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (image enhancement) และการบีบอัดข้อมูลภาพ (image compression) เป็นต้น

ภาพโมโนโครม (monochrome image) คือค่าความเข้มของแสงในสองมิติ ซึ่งกำหนดโดยฟังก์ชัน $f(x,y)$ เมื่อ x และ y เป็นค่าตำแหน่งเชิงพื้นที่ (spatial coordinates) และ f ณ ตำแหน่ง x และ y คือค่าความเข้มหรือความสว่างของแสง โดยในคอมพิวเตอร์จะแทนข้อมูลภาพ $f(x,y)$ ด้วยแถวลำดับสองมิติ (2D array) ละค่าความสว่างของแต่ละจุด (x,y) เรียกว่า ค่าระดับเทา หรือค่าความเข้มของภาพ สำหรับสมาชิกในแต่ละจุด (x,y) ของแถวลำดับเรียกว่า จุดภาพ (pixel) ขนาดของข้อมูลภาพจะกำหนดโดย MxN สามารถเขียนความสัมพันธ์ของข้อมูลภาพเชิงตัวเลข ได้ดังนี้

$$f = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

2.3 การแยกส่วนภาพ (image segmentation)

ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งของการประมวลผลภาพ คือ การแยกส่วนต่าง ๆ ของรูปภาพออกจากกันตามลักษณะสำคัญที่เราพิจารณา เพื่อลดจำนวนข้อมูลในรูปภาพที่ไม่จำเป็นในการวิเคราะห์ จัดระเบียบข้อมูลในรูปภาพให้เป็นกลุ่ม และแสดงข้อมูลในรูปที่เข้าใจง่าย หลักการที่ใช้ในการแยกส่วนภาพมี 2 หลักการ หลักการแรกคือแยกส่วนภาพจากความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity) ขององค์ประกอบภาพ โดยดูจากความเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของความเข้มขององค์ประกอบภาพ เช่น บริเวณที่เป็นเส้นขอบของภาพ หลักการที่สองคือการแยกส่วนภาพตามความคล้ายกัน (similarity) ขององค์ประกอบภาพ โดยแยกส่วนภาพตามคุณสมบัติของจุดภาพภายในพื้นที่เดียวกันที่มีความเหมือนกัน เทคนิคที่ใช้ในการแยกส่วนภาพมีดังต่อไปนี้

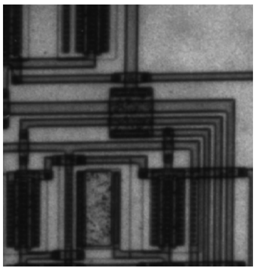


รูปที่ 2.1 แบบจำลองรูปลาดเอียงของขอบภาพ

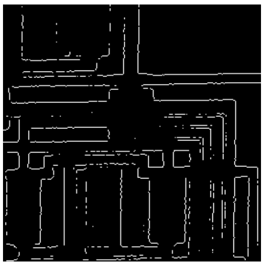
2.3.1 การตรวจหาเส้นขอบของภาพ (edge detection)

เส้นขอบ (edge) คือ ชุดของจุดภาพที่เชื่อมต่อกันวางตัวบนขอบระหว่าง 2 พื้นที่ (region) ที่มีค่าระดับเทาต่างกัน แบบจำลองของเส้นขอบหาได้จากการเปลี่ยนค่าระดับเทา (gray levels) ของจุดภาพ มีลักษณะของแบบจำลองเป็นรูปลาดเอียง (ramplike) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จากรูปแสดงให้เห็นค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่ง และค่าอนุพันธ์อันดับสองของค่าระดับเทา ซึ่งค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งสามารถใช้ในการตรวจจับเส้นขอบในภาพ และเครื่องหมายของอนุพันธ์อันดับสอง สามารถใช้ในการตรวจสอบว่า จุดภาพทางด้านไหนของเส้นขอบมีค่าระดับเทาสูงกว่าหรือต่ำกว่า หรือจุดภาพทางด้านไหนเป็นจุดภาพที่สว่างกว่าหรือมืดกว่า ตัวดำเนินการในการตรวจหาเส้นขอบของภาพที่ใช้ในปัจจุบันมีดังเช่น วิธีของโซเบล (Sobel method) หรือ SB วิธีของพรีวิตต์ (Prewitt method) วิธีของโรเบริตส์ (Roberts

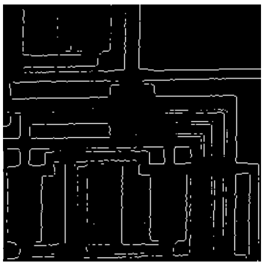
method) วิธีลาปาเชียนของเกาส์ (Laplacian of Gaussian method) หรือ LOG วิธีตัดขวางศูนย์ (Zero cross method) และวิธีของแคนนี (Canny method) แสดงดังรูปที่ 2.2



(ก) ภาพต้นแบบ

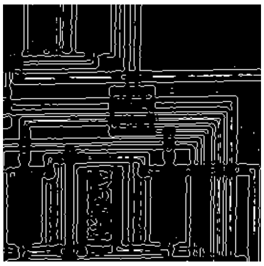


(ข) วิธี SB

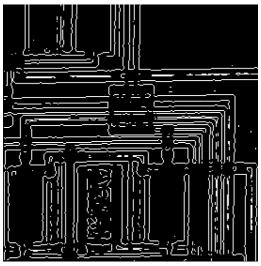


(ค) วิธี PW

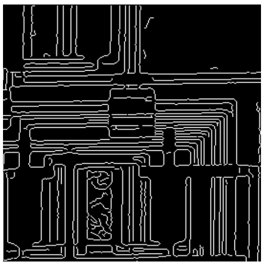
(ง) วิธี RB



(จ) วิธี LOG



(ฉ) วิธี ZC



(ช) วิธี CN

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการตรวจหาเส้นขอบของภาพโดยใช้วิธีต่าง ๆ

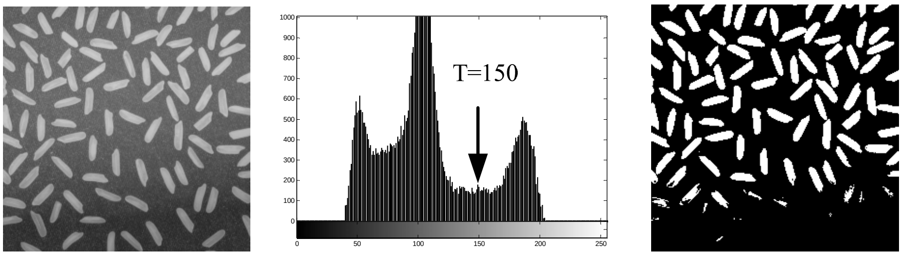
2.3.2 การหาขีดเริ่มเปลี่ยน (Thresholding)

การหาขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ เป็นกระบวนการในการสร้างพื้นที่ที่มีความเป็นเอกรูป (uniformity) ในรูปภาพออกเป็นส่วน ๆ ตามเกณฑ์ของขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold criterion: *T*) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.2 เมื่อ *T* เป็นฟังก์ชันของเกณฑ์ของขีดเริ่มเปลี่ยน $f(x,y)$ เป็นค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x,y) และ $A(x,y)$ แทนคุณสมบัติของจุดภาพข้างเคียง

$$T = T\{x, y, A(x,y), f(x,y)\} \tag{2.2}$$

ภาพที่ทำการหาขีดเริ่มเปลี่ยนแล้วก็คือ $g(x,y)$ มีค่าดังสมการที่ 2.3

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } f(x,y) \geq T \\ 0 & \text{ถ้า } f(x,y) \leq T \end{cases} \tag{2.3}$$



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการหาขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ

ค่าของฟังก์ชัน *T* สามารถแบ่งได้ 3 วิธีดังนี้

1) ขีดเริ่มเปลี่ยนวงกว้าง (global threshold) ค่าของ *T* ขึ้นอยู่กับค่าระดับเทาของแต่ละจุดภาพที่ (x,y) เท่านั้น

$$T = T\{f(x,y)\} \tag{2.4}$$

2) ขีดเริ่มเปลี่ยนเฉพาะที่ (local threshold) ค่าของ T ขึ้นอยู่กับจุดภาพข้างเคียงและค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x,y)

$$T = T\{A(x,y), f(x,y)\} \tag{2.5}$$

3) ขีดเริ่มเปลี่ยนพลวัต (dynamic threshold) ค่าของ T ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพ จุดภาพข้างเคียง และค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x,y)

$$T = T\{x, y, A(x,y), f(x,y)\} \tag{2.6}$$

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (neural network)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโครงข่ายที่สามารถปรับเปลี่ยนตัวเองต่อการตอบสนองของอินพุตตามกฎการเรียนรู้ (learning rule) หลังจากที่โครงข่ายได้เรียนรู้สิ่งที่ต้องการแล้ว โครงข่ายจะสามารถทำงานที่กำหนดไว้ได้ โครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกพัฒนาคิดค้นจากการทำงานของสมองมนุษย์ โดยสมองมนุษย์ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลเรียกว่าเซลล์ประสาทเทียม (neuron) จำนวนเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์มีอยู่ประมาณ 10^{11} และมีการเชื่อมต่อกันอย่างมากมาย สมองมนุษย์จึงสามารถกล่าวได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการปรับตัวเอง ไม่เป็นเชิงเส้น และทำงานแบบขนานในการดูแลจัดการการทำงานร่วมกันของเซลล์ประสาทในสมอง ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมที่เลียนแบบมาจากการทำงานของสมองมนุษย์นี้ จึงมีความสามารถในการเรียนรู้จากตัวอย่าง และการทำให้เป็นกรณีทั่วไป (generalize) ซึ่งถือว่าเป็นคุณลักษณะสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียม โดยโครงข่ายจะถูกฝึกสอนโดยการแสดงรูปแบบต่าง ๆ ที่ต้องการให้โครงข่ายเรียนรู้ด้วยกฎการเรียนรู้ ขบวนการเรียนรู้ได้ของโครงข่ายนี้ทำให้มีความแตกต่างไปจากการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่น ๆ การที่โครงข่ายถูกทำให้เป็นกรณีทั่วไปทำให้ตัวโครงข่ายสามารถจำแนกแยกแยะรูปแบบของอินพุตแบบใหม่ ๆ ที่ตัวโครงข่ายไม่รู้จักมาก่อนได้ ตัวโครงข่ายประสาทเทียมทำการเก็บข้อมูลความรู้ในระหว่างขั้นตอนของการเรียนรู้ ซึ่งเก็บไว้ที่จุดน้ำหนักประสาท (synaptic weights) ในโครงสร้างของตัวเซลล์ประสาทเทียมภายในโครงข่ายมีอยู่หลายชนิด ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้คุณลักษณะต่าง ๆ ของโครงข่ายแตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นการจัดวางเรียงตัวของเซลล์ประสาทเทียม กฎการเรียนรู้ที่ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนค่าของน้ำหนักประสาท และเงื่อนไขในการฝึกฝนของโครงข่าย อย่างไรก็ตามโครงข่ายชนิดต่าง ๆ มีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมที่เชื่อมต่อกันเป็นจำนวนมาก เหมือนกับสมองของมนุษย์ ความไม่เป็นเชิงเส้นก็เป็นคุณลักษณะร่วมกันของโครงข่ายเกือบทุก

แบบ นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมยังมีข้อดีอีกมากมาย เช่น มีความทนทานต่อความบกพร่อง เพราะข้อมูลภายในโครงข่ายได้ถูกกระจายไปทั้งโครงข่ายตามเซลล์ประสาทเทียมต่าง ๆ การจะทำให้ทั้งระบบไม่สามารถทำงานได้นั้นจะต้องทำให้เกิดความเสียหายอย่างหนักเท่านั้น และโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการโต้ตอบและตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมได้ โดยเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป ตัวโครงข่ายจะสามารถตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ แล้วทำการฝึกฝนให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมใหม่ได้

2.4.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม (neural network architecture)

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วยสองส่วนใหญ่ ๆ คือ แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียม และสถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายของเซลล์ประสาทเทียม แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียมแสดงดังรูปที่ 2.4 เซลล์ประสาทเทียมมี R อินพุต แต่ละอินพุตย่อย $p_1, p_2, p_3, \ldots, p_R$ ถูกคูณด้วยค่าน้ำหนักประสาท (weight) ของแต่ละตัว $w_{11}, w_{12}, w_{12}, \ldots, w_{1R}$ และ ไบอัส b (bias) เป็นอีกหนึ่งอินพุตที่มีค่าน้ำหนักประสาทคงที่เท่ากับ 1 โดยอินพุตทั้งสองถูกรวมได้เอาต์พุตเป็น n เรียกว่าเน็ตอินพุต (net input) ซึ่งจะเป็นอินพุตให้กับฟังก์ชันถ่ายโอน f (transfer function) และได้เอาต์พุตของเซลล์ประสาทเทียมคือ y โดยเอาต์พุตของเซลล์ประสาทเทียมสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$y = f(\mathbf{Wp} + \mathbf{b}) \tag{2.7}$$

เอาต์พุตของเซลล์ประสาทเทียมขึ้นอยู่กับน้ำหนักประสาท $\boldsymbol{W}$ และ $\boldsymbol{b}$ ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนถูกออกแบบเลือกโดยผู้ใช้ และพารามิเตอร์ $\boldsymbol{W}$ และ $\boldsymbol{b}$ จะถูกปรับค่าจากกฎการเรียนรู้

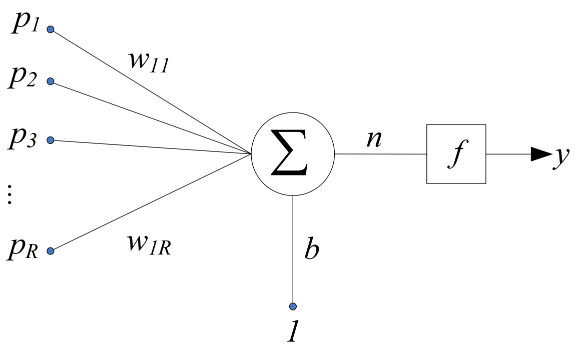
โครงข่ายประสาทเทียมสามารถมีโครงสร้างหลายชั้น (multiple layer) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จำนวนเซลล์ประสาทเทียมของแต่ละชั้นคือ $R - S^1 - S^2 - \ldots - S^N$ โดยปกติชั้นแรกเป็นชั้นอินพุต (input layer) ซึ่งทำหน้าที่รับอินพุตจากภายนอกโครงข่าย ในชั้นสุดท้ายจะเป็นชั้นเอาต์พุตสำหรับส่งค่าเอาต์พุตออกไปจากโครงข่าย ส่วนชั้นระหว่างอินพุตและเอาต์พุตเรียกว่าชั้นซ่อนเร้น (hidden layer) ซึ่งแต่ละชั้นมีเมตริกซ์น้ำหนักประสาท $\boldsymbol{W}$ ไบอัสเวกเตอร์ $\boldsymbol{b}$ เน็ตเอาต์พุต n และเอาต์พุต y ของชั้นนั้น และแต่ละชั้นสามารถมีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมแตกต่างกันได้ จากรูปที่ 2.7 พิจารณาโครงข่าย N ชั้น เอาต์พุตของแต่ละชั้นจะเป็นอินพุตให้กับชั้นถัดไป สามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$y^{l+1} = f^{l+1}(W^{l+1}y^{l} + b^{l+1}) \tag{2.8}$$

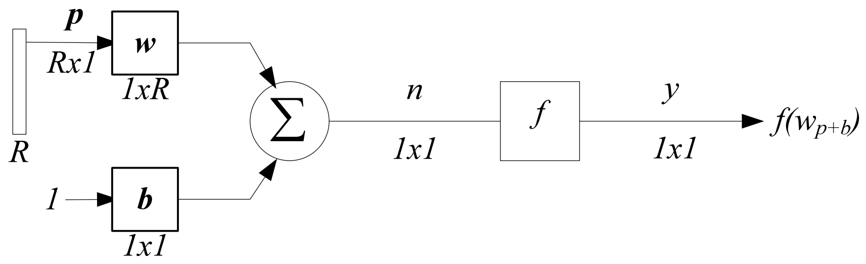
โดยที่ $l = 0,1,2, \ldots , N-1$ ในชั้นแรกเป็นชั้นอินพุตซึ่งรับอินพุตโดยตรงจากภายนอกโครงข่าย คือ

$$y^{0} = p \tag{2.9}$$

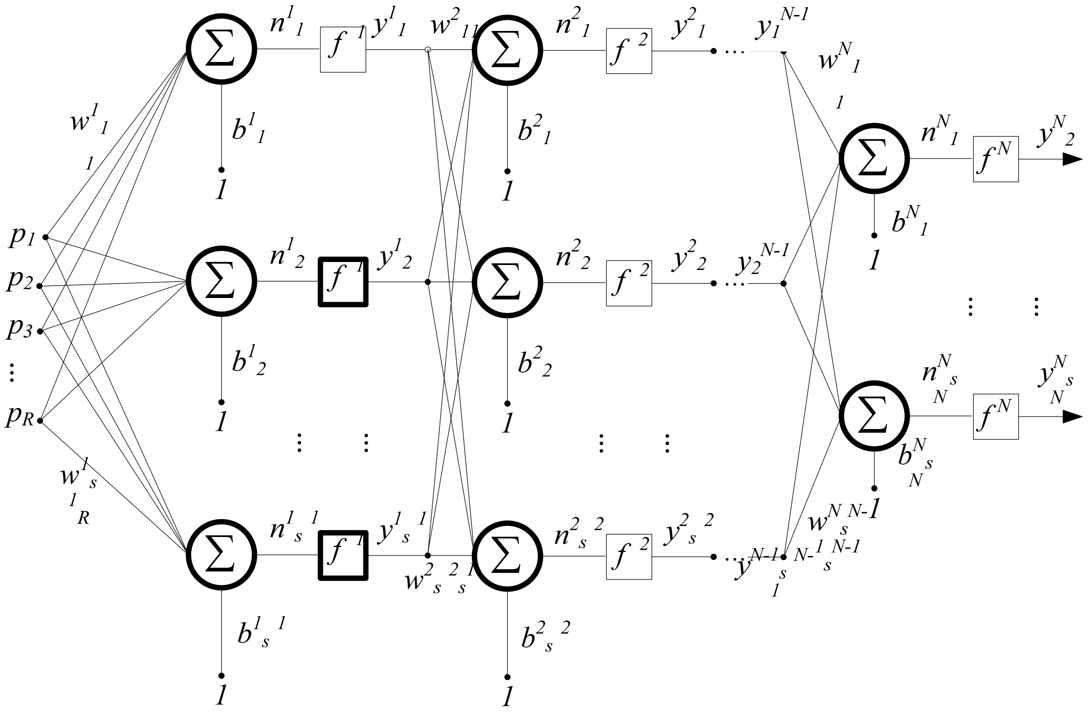
ในขณะที่เอาต์พุตในชั้นสุดท้ายคือ y^{N} โครงข่ายหลายชั้นมีพารามิเตอร์ค่อนข้างมาก ดังนั้นสิ่งแรกที่จะนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้งานจึงต้องทำการออกแบบพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น จำนวนชั้น จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในแต่ละชั้น จำนวนอินพุต จำนวนเอาต์พุต ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน ฯลฯ ให้เหมาะสม



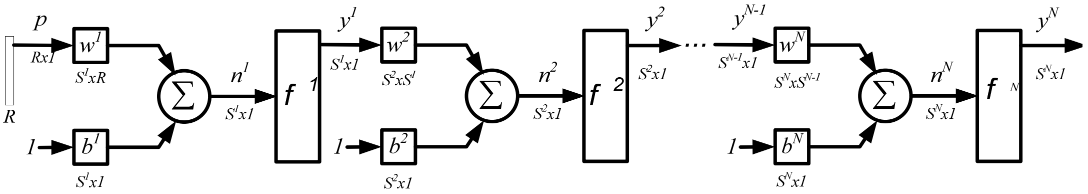
รูปที่ 2.4 แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียม



รูปที่ 2.5 รูปแบบสัญลักษณ์ของเซลล์ประสาทเทียม



รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น



รูปที่ 2.7 การกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโครงข่าย *N* ชั้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

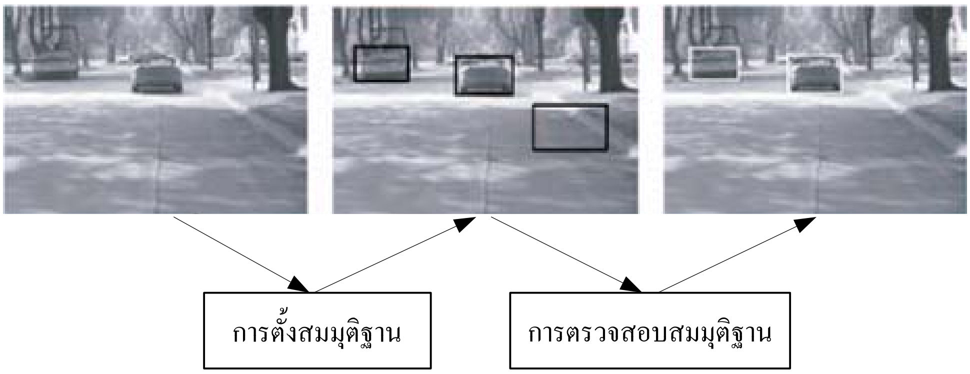
เนื่องจากอุบัติเหตุทางจราจรทำให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยในเรื่องการตรวจหาภาพพาหนะบนท้องถนนเพื่อช่วยรักษาความปลอดภัยทางชีวิตและทรัพย์สินของผู้ที่ใช้ถนน ในการตรวจหาพาหนะในภาพมีการใช้ตัวรับรู้ (sensor) 2 แบบ ได้แก่

1. ตัวรับรู้แบบไวงาน (active sensor) เช่น เลเซอร์ ไลดาร์ (Light Detection and Ranging) เรดาร์ เป็นต้น ตัวรับรู้แบบไวงานทำงานโดยการรับและส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยที่ตัวรับรู้จะวัดระห่างจากวัตถุโดยการจับเวลาที่การเดินทางของสัญญาณที่ถูกปล่อยออกมาจากตัวรับรู้และถูกสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับวัตถุ ซึ่งตัวรับรู้แบบไวงานมีข้อดีคือ สามารถวัดปริมาณ (เช่น ระยะห่าง) ได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีคุณภาพสูงมาคำนวณ ในสภาวะที่มีหมอกและฝนการใช้เรดาร์สามารถวัดระยะห่างได้สูงสุด 150 เมตรเมื่อเทียบกับคน โดยเฉลี่ยแล้วคนสามารถมองเห็นได้เพียง 10 เมตรหรือน้อยกว่านั้น ไลดาร์มีราคาถูกกว่าเรดาร์แต่อย่างไรก็ตามไลดาร์ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในบางงานวิจัยเนื่องจากไลดาร์มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเรดาร์ในสภาวะที่มีหมอกและฝน ระบบที่ใช้เลเซอร์มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าเรดาร์แต่มีข้อจำกัด คือมีราคาแพง และจากการที่นำตัวรับรู้แบบเลเซอร์ไปใช้กับพาหนะต้นแบบแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้งานได้แต่ถ้ามีจำนวนของพาหนะมาก ๆ และไปในทิศทางเดียวกันซึ่งจะมีผลทำให้การทำงานของตัวรับรู้เกี่ยวกับตำแหน่งการวางตัวของวัตถุทำได้ยากมาก นอกจากนั้นโดยทั่วไปแล้วตัวรับรู้แบบไวงานยังมีอุปสรรคต่าง ๆ เช่น มีความละเอียดต่ำและความเร็วในการสแกนต่ำ แต่ในกรณีนี้จะไม่เกิดกับการใช้เลเซอร์มีความละเอียดสูงและมีความเร็วในการสแกนสูง

2. ตัวรับรู้แบบเฉื่อย (passive sensor) เช่น กล้อง เป็นต้น เหตุผลที่ตัวรับรู้เหล่านี้ถูกเรียกว่าตัวรับรู้แบบเฉื่อยเนื่องจากเป็นการรับข้อมูลโดยที่ไม่ได้มีการส่งสัญญาณไปยังสิ่งแวดล้อมรอบข้างตัวรับรู้ ข้อดีของตัวรับรู้แบบเฉื่อยที่เหนือกว่าตัวรับรู้แบบไวงานคือราคาซึ่งตัวรับรู้แบบเฉื่อยมีราคาถูกกว่าตัวรับรู้แบบไวงานมาก ในการใช้งานตัวรับรู้แบบเฉื่อยเช่นกล้องโดยที่กล้องจะถูกติดตั้งบนพาหนะซึ่งสามารถหันหน้าไปได้ทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังของพาหนะได้เกือบ 360 องศา กล้องสามารถใช้ในการติดตามพาหนะที่อยู่ด้านหน้า ด้านหลังของพาหนะและพาหนะที่กำลังข้ามถนนอย่างมีประสิทธิภาพ และข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้ชนิดนี้มีการนำไปใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก เช่น การตรวจหาเลนถนน การจดจำเครื่องหมายจราจร และการระบุชนิดของวัตถุ (เช่น คนเดินถนนและสิ่งกีดขวาง) เป็นต้น

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการตรวจหาพาหนะ

ในงานวิจัยการตรวจหาพาหนะมีขั้นตอนหลัก ๆ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการตั้งสมมุติฐานเพื่อหาตำแหน่งที่น่าจะเป็นพาหนะและขั้นตอนการตรวจสอบสมมุติฐานว่าเป็นพาหนะหรือไม่ดังแสดงในรูปที่ 2.8 รายละเอียดมีดังนี้



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการตรวจหาพาหนะ

1. ขั้นตอนการตั้งสมมุติฐาน (vehicle hypothesis)

จุดมุ่งหมายขั้นตอนการตั้งสมมุติฐาน คือการค้นหาตำแหน่งที่มีโอกาสที่จะเป็นรถในภาพอย่างคร่าว ๆ โดยแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้ การใช้ข้อมูลที่เด่นชัดของพาหนะ (knowledge-based) การใช้ข้อมูลสเตอริโอ (stereo-based) และการใช้ข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (motion base) รายละเอียดมีดังนี้

การใช้ข้อมูลที่เด่นชัดของพาหนะ เป็นการนำความรู้ที่เกี่ยวข้องกับพาหนะมาใช้ในการตรวจหาตำแหน่งของพาหนะภาพซึ่งจะเป็นลักษณะของพาหนะที่ปรากฏเด่นชัดได้แก่ ความสมมาตร สี เงา มุม ขอบ ลักษณะของพื้นผิว และเงา เป็นต้น รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

(1) ความสมมาตร (Symmetry) สำหรับคอมพิวเตอร์วิทัศน์ความสมมาตรได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจหาและจดจำวัตถุ ซึ่งในการตรวจหาพาหนะในภาพ ๆ ที่ได้จากด้านท้ายหรือด้านหน้าของพาหนะจะมีความสมมาตรมากที่สุดทั้งแนวตั้งและแนวนอนโดยถูกใช้ในงานวิจัยของ (Kuehnle, 1991 and Zielke, 1993) ในงานวิจัยนี้ได้คำนวณความสมมาตรจากระดับเทาซึ่งแทนถึงพื้นที่ที่มีลักษณะเหมือนกันแต่ในงานวิจัยนี้มีข้อด้อย คือ การใช้หาความสมมาตรจากระดับเทามีสัญญาณรบกวนมากทำให้มีผลต่อความสมมาตร ดังนั้นในงานวิจัย (Bertozzi et al., 2000) จึงปรับปรุงโดยหาความสมมาตรจากภาพขอบ

(2) สี (color) ถึงแม้ว่าจะมีระบบการตรวจหาพาหนะน้อยมากที่ใช้ภาพสีในขั้นตอนการตั้งสมมุติฐาน แต่ข้อมูลเกี่ยวกับสีก็มีประโยชน์มากในการค้นหาสิ่งกีดขวาง เลนหรือถนน เป็นต้น ดังเช่นงานวิจัยของ (Crisman et al., 1988) สร้างระบบต้นแบบโดยใช้ภาพสีในการตรวจหาเลนหรือถนน งานวิจัยของ (Buluswar et al., 1998) และ (Guo et al., 2000) ใช้ภาพสีในการแยกพาหนะออกจากฉากหลัง นอกจากนี้งานวิจัยของ (Crisman et al., 1988) ยังใช้กล้องสองตัววางอยู่ใกล้กันเพื่อขยาย

ขอบเขตการมองเห็นของกล้อง โดยที่กล้องตัวแรกใช้ในการจับพื้นที่ที่เป็นเงาโดยการเปิดช่องรับแสงของกล้องถ่ายรูป (iris) และกล้องตัวที่สองใช้จับพื้นที่ที่สว่างโดยการปิดช่องรับแสงของกล้องถ่ายรูป จากนั้นจะนำมิติสี RGB ที่ได้จากกล้องทั้งสองมารวมกันอยู่ในรูปของ 6 มิติของมิติสี และใช้วิธีการกระจายตัวแบบเกาส์เซียนกับมิติสีเพื่อใช้ในการจำแนกว่าแต่ละจุดภาพเป็นจุดภาพของถนนหรือไม่ งานวิจัยของ (Buluswar et al., 1998) ใช้การเรียนรู้แบบไม่มีพารามิเตอร์ (nonparametic learning) สำหรับการแยกและจดจำวัตถุโดยใช้มิติสีแบบ RGB เนื่องจากไม่มีสัญญาณรบกวนข้อมูลของสีในช่วงเริ่มต้น แต่การใช้มิสีแบบ RGB มีความยากในการแยกความแตกต่างระหว่างสีทั้งสองจากระยะห่างในมิติสี ดังนั้นในงานวิจัยของ (Guo et al., 2000) ได้ทำการปรับปรุงโดยเลือกใช้มิติสีแบบ LAB แทน โดยคุณสมบัติของมิติสีแบบ LAB ก็คือสามารถให้ความแตกต่างของสีได้อย่างชัดเจนโดยมีค่าเท่ากับระยะห่างของมิติยูคลีเดียน (euclidean space) และงานวิจัยของ (Guo et al., 2000) ใช้วิธีการกรองพื้นที่แบบเพิ่ม (incremental region filtering) ในมิติสีแบบ LAB สำหรับการแยกถนน

(3) เงา (shadow) การใช้เงาของพาหนะเพื่อทำการตรวจหาพาหนะ เริ่มต้นในงานวิจัยของ (Mori et al., 1993) โดยการใช้ระดับความสว่างของภาพในการตรวจหาเงาของพาหนะในภาพ โดยพบว่าความสว่างของภาพส่วนที่อยู่ใต้พาหนะจะมีความมืดมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ที่อยู่บนถนน และหลังจากนั้นงานวิจัยของ (Dickmanns et al., 1994) ได้ทำการปรับปรุงโดยการหาวิธีที่ใช้ในการหาขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม และเนื่องจากระดับความเข้มของเงาในภาพขึ้นอยู่กับแสงที่ส่องโดยเกิดจากสภาวะอากาศในขณะนั้นซึ่งมีผลทำให้การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนไม่สามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยหรือกำหนดไว้ตายตัวได้ ดังนั้นการตรวจหาเงาของพาหนะในภาพต้องหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เป็นค่าสูงและค่าต่ำ โดยที่ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เป็นค่าสูงสามารถหาได้จากการประมาณการวิเคราะห์ระดับสีเทาของพื้นที่ขับอิสระ (free driving space) นั่นคือเป็นพื้นบนถนนที่ไม่มีพาหนะอยู่ แต่ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เป็นค่าต่ำนั้นหาได้ยาก ดังนั้นในงานวิจัยของ (Tzomakas et al., 1993) มีความคิดเดียวกันที่ต้องการที่จะหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน โดยการสมมุติการแจกแจงของระดับสีเทาของพื้นที่ขับอิสระให้เป็นการการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนได้จากการประมาณค่าโดยใช้การประมาณค่าความเหมือนสูงสุด (Maximum likelihood (ML) estimation) โดยค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่มีค่าสูงถูกกำหนดให้เป็นค่าจำกัด (limit) ของการกระจายตัวของค่าระดับเทาของถนนบนฝั่งซ้ายของค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ศูนย์ซึ่งประมาณค่าได้จากสมการ $m-3\sigma$ เมื่อ m คือค่าเฉลี่ย และ σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(4) มุม (Corners) เป็นการใช้ประโยชน์จากความจริงที่ว่าโดยทั่วไปแล้วพาหนะจะมีรูปทรงเป็นมุมฉากประกอบด้วย 4 มุม งานวิจัยของ (Bertozzi et al., 1997) ได้เสนอวิธีการใช้มุมเป็นหลักในการหาตำแหน่งของพาหนะอย่างคร่าว ๆ โดยใช้แผ่นแม่แบบ (template) 4 แบบ โดยแต่ละแผ่นแม่แบบจะสัมพันธ์กับมุมหนึ่งมุม และใช้แผ่นแม่แบบทั้งหมดในการค้นหามุมทุกมุมในภาพโดยการหามุมที่คู่กัน ยกตัวอย่างเช่น มุมซ้ายบนจะคู่กับมุมขวาล่าง เป็นต้น

(5) ขอบแนวตั้งและขอบแนวนอน (Vertical/Horizontal Edge) การมองพาหนะนั้นมองได้หลายมุมมองที่แตกต่างกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุมมองด้านหน้าและด้านท้ายพาหนะซึ่งมีโครงสร้างของขอบแนวนอนและแนวตั้งมากมาย เช่น กันชน เป็นต้น มีการใช้ขอบแนวตั้งและแนวนอนในการหาตำแหน่งของพาหนะอย่างคร่าว ๆ กันอย่างแพร่หลาย โดยที่งานวิจัยของ (Matthews et al., 1996) ใช้การหาภาพขอบเพื่อใช้ในการค้นหาขอบแนวตั้งของภาพเพื่อระบุตำแหน่งด้านซ้ายและด้านขวาของพาหนะโดยการคำนวณข้อมูลแนวตั้ง (vertical profile) ของภาพซึ่งเป็นการหาผลรวมของจุดภาพตามแนวคอลัมน์จากนั้นใช้การทำให้ราบเรียบ (smoothing) โดยใช้ตัวกรองแบบสามเหลี่ยม (triangular filter) แล้วหาจุดสูงสุดแบบท้องถิ่นออกมาโดยจุดสูงสุดแต่ละจุดมีโอกาสที่จะเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของพาหนะและใช้หลักการของการไต่เขาเพื่อหาตำแหน่งซ้ายขวาของพาหนะ และใช้วิธีการของการหาเงาใต้พาหนะคล้ายกับงานวิจัยของ (Tzomakas et al., 1993) เพื่อหาตำแหน่งของใต้พาหนะและตำแหน่งบนของพาหนะใช้อัตราส่วนในการประมาณหาตำแหน่งด้านบนหลังคาของพาหนะงานวิจัยของ (Goerick et al., 1996) ได้เสนอวิธีที่เรียกว่า Local Orientation Coding (LOC) ในการหาขอบ โดยที่ภาพที่ได้จากการใช้วิธีนี้จะประกอบด้วยตัวอักษรของรหัสเลขฐานสอง (binary code) ที่แทนทิศทางความหลากหลายของระดับสีเทาของจุดสีรอบข้าง รหัสนี้จะมีข้อมูลของขอบที่สำคัญบรรจุอยู่ งานวิจัยของ (Handmann et al., 2000) ใช้ LOC กับข้อมูลของเงาใต้พาหนะในการค้นหาพาหนะ งานวิจัยของ (Parodi et al., 1995) ได้เสนอโครงสร้างของภาพของบนท้องถนนโดยอันดับแรกทำการแยกภาพเป็นสี่ส่วนได้แก่ ถนน ท้องฟ้า และอีกสองส่วนเป็นกลุ่มของขอบโดยที่กลุ่มของขอบแนวตั้งที่อยู่บนถนนถูกจะกำหนดให้เป็นพาหนะ งานวิจัยของ (Betke et al., 2000)ใช้ขอบหาระยะห่างของพาหนะโดยใช้วิธีค้นหาจากหยาบไปละเอียด (coarse-to-fine search) ในการค้นหาวัตถุที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยม การค้นหาแบบหยาบจะใช้หาทั้งภาพและแบบละเอียดจะใช้กับพื้นที่เล็กๆ เท่านั้น และในการค้นหาแบบหยาบใช้หาขอบที่เด่นชัด เช่น ขอบที่มีความต่อเนื่อง เป็นต้น เมื่อตรวจเจอแล้วจึงทำการค้นหาแบบละเอียดต่อไปในพื้นนั้น ในงานวิจัยของ (Srinivasa, 2000) หาขอบแนวตั้งและแนวนอนโดยใช้ตัวดำเนินการโซเบลและใช้เงื่อนไข 2 เงื่อนไขในการกรองขอบ คือ ตัวกรองระดับ (rank filter)และตัวกรองเส้นขอบที่ติดกัน (attached line edge filter) ในการตรวจหาพาหนะออกจากฉากหลังโดยสมมุติว่าสามารถค้นหาเลนบนถนนได้แล้ว งานวิจัยของ (Bucher et al., 2003) ได้หาตำแหน่งพาหนะอย่างคร่าว ๆ โดยใช้การสแกนแต่ละเลนของถนน โดยเริ่มจากตำแหน่งด้านล่างและตรงขึ้นไปจนสุดถนนโดยจะสัมพันธ์กับการกำหนดระยะทางที่มากที่สุดก่อนในโลกจริงและตำแหน่งที่มีโอกาสเป็นพาหนะจะได้มาก็ต่อเมื่อขอบแนวนอนที่ชัดเจนถูกค้นพบในช่วงระหว่างเลน งานวิจัยของ (Sun et al., 2002) เสนอวิธีการที่ใช้ภาพหลายขนาดในการรวมการชักตัวอย่างย่อยเพื่อหาตำแหน่งซึ่งมีความคงทนมาก มีความละเอียด 3 ขนาดที่ถูกใช้ ได้แก่ 360x248, 180x124 และ90x62 ซึ่งในแต่ละระดับความละเอียดของภาพจะมีกระบวนการดังต่อไปนี้ เริ่มจากใช้ตัวกรองแบบต่ำผ่าน (คอลัมน์ที่ 1 ในรูปที่ 2.9) จากนั้นตรวจ

หาขอบแนวตั้ง (คอลัมน์ที่ 2 ในรูปที่ 2.9) จากนั้นตรวจหาข้อมูลแนวตั้ง (คอลัมน์สุดท้ายในรูปที่ 2.9) และกรองข้อมูลแนวตั้งโดยใช้ตัวกรองแบบต่ำผ่าน ลำดับต่อไปตรวจหาขอบแนวนอน (คอลัมน์ที่ 3 ในรูปที่ 2.9) จากนั้นตรวจหาข้อมูลแนวนอน (คอลัมน์สุดท้ายในรูปที่ 2.9) และกรองข้อมูลแนวนอนโดยใช้ตัวกรองแบบต่ำผ่าน และขั้นตอนสุดท้ายหาค่าต่ำสุดและสูงสุดแบบท้องถิ่นของทั้งข้อมูลแนวตั้งและข้อมูลแนวนอน

รูปที่ 2.9 กระบวนการตรวจหาพาหนะแบบหลายสเกลจากขอบแนวตั้งและขอบแนวนอน โดยที่แถวที่ 1 ขนาด 90x62 แถวที่ 2 ขนาด 180x124 และแถวที่ 3 ขนาด 360x248

ค่าต่ำสุดและสูงสุดแบบท้องถิ่นเป็นข้อมูลที่หนักแน่นเกี่ยวกับการนำเสนอข้อมูลของพาหนะในภาพ การเริ่มจากระดับที่รายละเอียดหยาบที่สุดจะได้ค่าสูงสุดแบบท้องถิ่นทั้งหมด แม้ว่าผลของภาพที่ความละเอียดต่ำจะสูญเสียรายละเอียดที่ดีไปแต่ความสำคัญของโครงสร้างของข้อมูลขอบแนวนอนและแนวตั้งยังคงถูกรักษาไว้ (แถวแรกรูปที่ 2.9) เมื่อค่าสูงสุดถูกพบที่ระดับหยาบที่สุดจากนั้นก็จะเปลี่ยนระดับการค้นหาที่ละเอียดมากกว่าเดิมและผลที่ได้จากระดับนี้ถูกใช้กับระดับที่ละเอียดที่สุดต่อไป จุดมุ่งหมายในการใช้วิธีการใช้ภาพหลายขนาดเพื่อปรับปรุงระบบให้มีความคงทน โดยที่การตั้งสมมุติฐานในครั้งแรกจะเริ่มในภาพที่มีระดับความละเอียดต่ำสุดเนื่องจากภาพในระดับนี้มีเพียงลักษณะรูปร่างที่เด่นชัดเท่านั้น นอกจากจะปรับปรุงเรื่องความคงทนของระบบแล้ว การที่ใช้ภาพหลายขนาดยังช่วยให้เพิ่มความเร็วในการประมวลผลเนื่องจากที่ความละเอียดภาพต่ำและมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน

(6) ลักษณะของพื้นผิว (texture) โดยทั่วไปแล้วพาหนะทุกคันมีลักษณะที่เหมือนกัน คือ ระดับความเข้มของแสงจะเปลี่ยนไปตามรูปแบบของผิวเนื้อ (texture pattern) โดยงานวิจัยของ (Kalinke et al., 1998) ใช้ข้อมูลของลักษณะของพื้นผิวในการทำให้พื้นที่ ๆ ใช้ในการตรวจหาพาหนะแคบลง โดยค่าเอ็นโทรปี (entropy) เป็นค่าแรกที่ใช้วัดสำหรับการตรวจหาลักษณะของพื้นผิว โดยการแบ่งภาพออกเป็นกรอบภาพเล็ก ๆ เพื่อใช้ในการหาค่าค่าเอ็นโทรปีและจะมีเพียงกรอบภาพที่มีค่าเอ็นโทรปีสูง ๆ เท่านั้นที่ถูกใช้ในกระบวนการตรวจหาพาหนะในขั้นตอนต่อไป

(7) แสงไฟของพาหนะ (Vehicle Lights) งานที่กล่าวมาแล้วข้างต้นส่วนมากไม่สามารถนำใช้สำหรับการตรวจหาพาหนะในเวลากลางคืนได้ซึ่งมีความยากในการหาลักษณะที่ปรากฏเด่นชัด เช่น เงา ขอบแนวตั้งและแนวนอนหรือมุม ลักษณะเด่นที่สามารถมองเห็นได้ในเวลากลางคืนคือแสงไฟของพาหนะ งานวิจัยของ (Cucchiara et al., 1999) ได้เสนอวิธีการเกี่ยวกับการวิเคราะห์รูปร่างลักษณะ (morphological) ในการหาคู่ของแสงไฟบนพาหนะ

ข้อมูลสเตอริโอ เป็นการประมวลผลภาพในสามมิติโดยการใช้กล้องสองตัวซึ่งให้ข้อมูลที่สำคัญคือ ระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุ อีกทั้งยังสามารถทำการแบ่งส่วนภาพ (image segmentation) ออกมาได้ดีกว่าการใช้กล้องเดี่ยวอีกด้วย แต่การใช้ระบบการมองเห็นในสามมิตินั้นต้องใช้การประมวลผลที่สูงเนื่องจากระบบต้องทำการประมวลผลภาพจากกล้องสองกล้องเพื่อให้ได้ข้อมูลตามที่ต้องการ โดยระบบการมองเห็นในสามมิตินั้นเป็นระบบที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดวงตาของมนุษย์มาก เนื่องจากการมองเห็นในสามมิตินั้นใช้กล้องในการจับภาพวัตถุ 2 ตัวทำให้สามารถที่จะระบุถึงระยะห่างของพาหนะกับวัตถุหรือระหว่างพาหนะด้วยกันเองได้ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์มากในการวางแผนการเคลื่อนที่เพื่อหลบหลีกสิ่งที่กีดขวางได้ การใช้ข้อมูลสเตอริโอในการตรวจหาพาหนะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ disparity map และ inverse perspective mapping

การใช้ข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ เป็นการประมวลผลภาพจากการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ทั่วไปในการตัดแยกส่วนภาพหรือดึงลักษณะเด่นของส่วนภาพที่สนใจจากภาพบริเวณถนน ระบบต้องใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องและวิธีการต่าง ๆ ที่น่าเชื่อถือในการตัดแยกวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ แต่ข้อเสียของระบบนี้คือไม่สามารถตัดแยกพาหนะที่ไม่มีการเคลื่อนที่ได้ รวมถึงให้ผลการประมวลผลหลังจากการใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องหลาย ๆ ลำดับภาพ ตัวอย่างงานวิจัยด้านนี้ ได้แก่ การตัดแยกการเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการไหลของแสง (optical flow) ซึ่งใช้แนวความคิดพื้นฐานจากการตัดแยกกลุ่มภาพที่มีลักษณะรูปร่างหรือสีคล้ายกันในแต่ละลำดับภาพ

2. ขั้นตอนการตรวจสอบสมมุติฐาน

อินพุตที่เข้าไปในขั้นตอนการตรวจสอบสมมุติฐาน คือ ตำแหน่งที่ตั้งสมมุติฐานว่าเป็นพาหนะจากขั้นตอนการตั้งสมมุติฐาน โดยขั้นตอนการตรวจสอบสมมุติฐานจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมมุติฐานแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ การใช้แผ่นแม่แบบเป็นหลัก (template-based) และการใช้ลักษณะที่ปรากฏเป็นหลัก (appearance-based) การใช้แผ่นแม่แบบเป็นหลัก เป็นการกำหนดรูปแบบจากชนิดของพาหนะและทำการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ส่วนการใช้ลักษณะที่ปรากฏเป็นหลักเป็นการเรียนรู้ลักษณะเฉพาะตัวของพาหนะจากเซตของภาพฝึกสอนซึ่งควรมีความหลากหลายของลักษณะที่ปรากฏของพาหนะ โดยปกติแล้วความหลากหลายของภาพที่ไม่ใช่พาหนะคือสิ่งที่ใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพเนื่องจากประสิทธิภาพในการตรวจหาพาหนะโดยหลัก ๆ แล้วขึ้นอยู่กับการฝึกสอนโดยใช้เซตของภาพที่เป็นพาหนะ แต่ละภาพที่ใช้ฝึกสอนจะถูกแทนด้วยเซตลักษณะเด่นของพาหนะ ดังนั้น การตัดสินใจแบ่งขอบเขตระหว่างกลุ่มที่เป็นพาหนะและไม่ใช่พาหนะ คือ การเรียนรู้โดยการฝึกสอน เครื่องมือที่ใช้แยกประเภทดังกล่าวได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียม เครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุน (support vector Machines) หรือโดยการสร้างแบบจำลองของความน่าจะเป็นของการแจกแจงของลักษณะเด่นของแต่ละประเภท (เช่น การแจกแจงของเกาส์เซียน) รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

(1) วิธีการใช้แผ่นแม่แบบเป็นหลัก เป็นการกำหนดแผ่นแม่แบบของประเภทพาหนะขึ้นมาเพื่อทำการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างแผ่นแม่แบบกับภาพเพื่อตรวจสอบว่าภาพนั้นเป็นพาหนะหรือไม่ งานวิจัยของ (Parodi et al., 1995) ได้เสนอการตรวจสอบสมมุติฐานโดยการใช้แผ่นแม่แบบของแผ่นป้ายทะเบียนและภาพด้านหลังพาหนะ งานวิจัยของ (Handmann et al., 2000) นำเสนอแผ่นแม่แบบของพาหนะจากการสังเกตมุมมองด้านท้ายพาหนะและหน้าพาหนะ โดยพบว่าด้านท้ายพาหนะและหน้าพาหนะมีรูปร่างเป็นรูปตัวยู (ประกอบด้วย ขอบแนวนอน 1 ขอบ ขอบแนวตั้ง 2 ขอบ และมุม 2 มุม ที่เชื่อมขอบแนวตั้งและนอน) ในการตรวจสอบสมมุติฐานจะพิจารณาว่าในภาพมีพาหนะถ้าพบรูปร่างตัวยูในภาพ งานวิจัยของ (Bensrhair et al., 2001) ได้สร้างแผ่นแม่แบบจากการใช้ข้อมูลเกี่ยวกับพาหนะที่มีอยู่แล้วนั่นคือ โดยทั่วไปแล้วพาหนะมีความสมมาตรและมีลักษณะเฉพาะตัว คือ มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมซึ่งจะทำให้ได้เงื่อนไขเกี่ยวกับอัตราส่วนของพาหนะ โดยแบบจำลองที่ใช้เริ่มต้นจากการหามุม 2 มุม ที่เป็นช่วงล่างของกรอบภาพคล้ายกับแนวความคิดที่ว่าพาหนะมีรูปร่างเป็นตัวยูในงานวิจัยของ (Handmann et al., 2000) และมุมที่ได้จะนำมาตรวจสอบโดยใช้เงื่อนไขของขนาดและหลักการมองเห็นขนาดของพาหนะในภาพแบบที่มีสัดส่วน (perspective) จากนั้นใช้หลักการมองเห็นขนาดของพาหนะในภาพแบบที่มีสัดส่วนอีกครั้งเพื่อตรวจหาส่วนบนของพาหนะเพื่อเป็นการยืนยันว่ามีพาหนะอยู่จริง

(2) วิธีการตามรูปร่างลักษณะ (appearance method) วิธีการตามรูปร่างลักษณะ คือ วิธีที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มของภาพออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ภาพพาหนะและไม่ใช่พาหนะ โดยในการแบ่งกลุ่ม

ทำได้โดยการฝึกสอนตัวคัดแยก (classifier) เพื่อให้เรียนรู้ลักษณะเฉพาะตัวของพาหนะและเรียนรู้ลักษณะของภาพที่ไม่พาหนะ ในงานวิจัยของ (Goerick et al., 1996) และ (Noli et al., 1995) ใช้วิธี LOC ในการเอาข้อมูลของขอบออกมาและนำพื้นที่ ๆ สนใจมาหาค่าฮิสโทแกรมของ LOC เพื่อนำไปเข้าเครือข่ายประสาทเทียมและตัวคัดแยกแบบ Bayes โดยทำการรวมผลที่ได้จากวิธีการทั้งสองสำหรับการแยกกลุ่ม สำหรับเครือข่ายประสาทเทียมจำนวนของโนดในชั้นแรกมี 350 ถึง 450 โนดขณะที่จำนวนโนดซ้อนเร้นมี 10 ถึง 40โนด ในการฝึกสอนใช้ตัวอย่าง 2000 ตัวอย่างและระบบทั้งหมดทำงานแบบเวลาจริง (real-time) โดยประสิทธิภาพของเครือข่ายประสาทเทียมคือ 94.7 เปอร์เซ็นต์ดีกว่าตัวแยกแบบ Bayes เล็กน้อย (94.4 เปอร์เซ็นต์) และเมื่อนำทั้งสองมารวมกันจะดีกว่าเล็กน้อย (95.7 เปอร์เซ็นต์) ในงานวิจัยของ (Kalinke et al., 1998) ได้ออกแบบแบบจำลอง 2 แบบ จำลอง สำหรับการตรวจหาพาหนะ โดยแบบจำลองแรกสำหรับพาหนะแบบซิแดนและอีกอันสำหรับรถ บรรทุก วิธีการสร้างสองแบบจำลองถูกออกแบบบนพื้นฐานขั้นตอนวิธีทางสถิติ (statistical algorithm) โดยใช้ตัวอย่างรถซิแดนและรถบรรทุก 50 ตัวอย่าง ตัวคัดแยกกลุ่มที่ใช้คือเครือข่ายประสาทเทียมโดยที่อินพุตของเครือข่ายประสาทเทียมคือ ระยะห่างของ Hausdorrf ระหว่างภาพที่ถูกตั้งสมมุติฐานว่าเป็นพาหนะกับแบบจำลองของพาหนะ โดยทั้งคู่จะอยู่ในรูปของ LOC และเครือข่ายประสาทเทียมจะทำการแยกทุก ๆ อินพุตเป็นสามประเภท ได้แก่ รถซิแดน รถบรรทุก และฉากหลัง ในงานวิจัยของ (Sun et al., 2002) ใช้ตัวกรองกาบอร์สำหรับการแยกลักษณะเด่นของพาหนะ โดยที่ตัวกรองกาบอร์จะให้โครงสร้างที่เป็นการวางตัวของขอบที่สามารถปรับขนาดได้ ในการตรวจหาพาหนะ ภาพที่ถูกตั้งสมมุติฐานว่าเป็นพาหนะจะถูกแบ่งย่อยเป็น 9 กรอบภาพย่อยที่ทับซ้อนกัน ตัวกรองกาบอร์จะถูกนำไปใช้กับแต่ละกรอบภาพย่อย ผลตอบสนองที่ได้จากตัวกรองกาบอร์ในแต่ละกรอบภาพย่อยถูกแทนด้วยค่าทางสถิติ 3 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ ค่าความเบ้ (skewness) การแยกกลุ่มจะทำโดยใช้เครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุนโดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 94.81 เปอร์เซ็นต์

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการติดตามพาหนะ

ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation Systems หรือ ITS) อย่างมากมาย หนึ่งในตัวรับรู้ (sensor) ที่นิยมนำมาใช้คือ กล้องถ่ายภาพวีดิโอ เนื่องจากสามารถจับภาพและมีข้อมูลภาพในการจดจำลักษณะโครงสร้างของถนนและสภาพการจราจรได้เป็นอย่างดี การติดตามพาหนะ (vehicles tracking) สามารถบอกข้อมูลต่อเนื่องถึงสภาพและทิศทางการจราจร ดังนั้นจึงเป็นงานที่สำคัญและท้าทายเมื่อนำกล้องถ่ายวีดิโอมาเป็นตัวรับรู้เพื่อส่งข้อมูลการประมวลผลติดตามพาหนะ เนื่องมาจากปัจจัยด้านต่าง ๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของการติดตามพาหนะขึ้นอยู่กับความชัดเจนของลักษณะภาพที่ได้จากการตรวจหาพาหนะ ระบบการติดตามพาหนะจะต้องทำงานตามเวลาจริง ดังนั้นการประมวลผลจะต้องเร็ว ใช้วิธีการไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพเพียงพอ

การติดตามพาหนะเป็นส่วนหนึ่งของงานการคำนวณด้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ ซึ่งในปัจจุบันสามารถคำนวณได้จาก 3 วิธีการหลัก (van Leuven et al., 2001) ได้แก่ การติดตามจากการไหลของแสง (optical flow based tracking) การติดตามจากแบบจำลอง (model based tracking) และการติดตามจากลักษณะเฉพาะของภาพ (feature based tracking) รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

(1) การติดตามจากการไหลของแสง เป็นวิธีการที่ทำงานภายใต้สภาวะค่าความสว่างของแสงในภาพ โดยอาศัยสมมุติฐานที่ว่าค่าความสว่างของวัตถุในภาพมีค่าค่อนข้างคงที่ในแต่ละลำดับภาพ ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้พื้นฐานจากการติดตามการไหลของแสง ได้แก่ งานวิจัยของ (Mea et al., 1996) เสนอวิธีการการคำนวณการไหลของแสงร่วมกับการตรวจหาเส้นขอบของภาพเพื่อติดตามวัตถุเป้าหมายในภาพพื้นหลังที่ซับซ้อน งานวิจัยของ (Altunbasak et al., 1998) เสนอการใช้ข้อมูลทางด้านสีและการไหลของแสงของวัตถุเพื่อตัดแยก (segment) วัตถุเป้าหมายออกจากภาพพื้นหลัง งานวิจัยของ (Giachetti et al., 1995) ใช้หน้าต่างหลากหลายรูปแบบและขนาดในการคำนวณการไหลของแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ สามารถคำนวณการไหลของแสงของวัตถุจากลำดับภาพต่อเนื่องได้ถูกต้องถึงแม้การไหลของแสงของวัตถุในบางภาพจะไม่ชัดเจนและคลาดเคลื่อน ข้อดีของการติดตามจากการไหลของแสงคือสามารถตรวจจับกลุ่มของวัตถุในภาพที่มีการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือต้องใช้ข้อมูลภาพลำดับต่อเนื่องในการคำนวณจำนวนมาก

(2) การติดตามจากแบบจำลอง เป็นการออกแบบแบบจำลองของวัตถุหรือยานพาหนะในภาพเพื่อใช้ในการตรวจจับและติดตามพาหนะหรือวัตถุเป้าหมายในภาพ งานวิจัยของ (van Leuven et al., 2001) เสนอวิธีการ 3 ขั้นตอนตามวิธีการติดตามจากแบบจำลอง ซึ่งสามารถติดตามยานพาหนะในลำดับภาพได้อย่างถูกต้องตามเวลาจริง งานวิจัยของ (Koller et al., 1994) ใช้แบบจำลองจากรูปร่างและการเคลื่อนที่ทางกายภาพของยานพาหนะเพื่อติดตามและจดจำยานพาหนะ งานวิจัยของ (Foresti et al., 1994) พัฒนาระบบการจดจำสภาพถนนจากการกระจายตัว 3 มิติจากพื้นฐานแบบจำลองหลายลำดับขั้นของวัตถุเป้าหมาย ระบบนี้สามารถจดจำและติดตามวัตถุเป้าหมายที่ไม่มีการเคลื่อนที่ได้ ซึ่งสามารถทำงานภายใต้สภาวะแสงสว่างซับซ้อนและภาพยานพาหนะที่มีขนาดเล็กได้ อย่างไรก็ตามการติดตามจากแบบจำลองสามารถติดตามได้แค่รถยนต์เท่านั้น ไม่สามารถติดตามรถจักรยานยนต์หรือคนเดินถนนได้

(3) การติดตามจากลักษณะเฉพาะของภาพ เป็นวิธีการที่ใช้การดึงลักษณะเด่นของวัตถุในภาพ เช่น เส้นขอบ พื้นผิว หรือ มุมของวัตถุ เป็นต้น เพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุเป้าหมายในภาพ งานวิจัยของ (Robert 1994) เสนอการใช้หน้าต่าง FOE (focus of expansion) ภายนอกและภายในในการกำหนดค่ามุมเริ่มต้น งานวิจัยนี้ได้เพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามวัตถุเป้าหมายโดยการพิจารณาเฉพาะส่วนภาพบริเวณที่สนใจ (region of interest) งานวิจัยของ (Smith and Brady, 1995) เสนอโครงสร้าง ASSET-2 ในการติดตามวัตถุเป้าหมายซึ่งใช้การตรวจจับมุมของวัตถุจากหลาย ๆ ลำดับ

ภาพ และหาความสัมพันธ์เชิงเส้นจากมุมของวัตถุ งานวิจัยของ (Kai-Tai Song et al., 2005) เสนอวิธีการใช้ FOE ร่วมกับการวิเคราะห์ฉาก (scene-analysis) ในการติดตามยานพาหนะ ซึ่งสามารถติดตามได้ทั้งรถยนต์และจักรยานยนต์ตามเวลาจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยของ (Graefe, 1993) ใช้วิธีการกราดวิเคราะห์ (scan) ภาพวัตถุต่าง ๆ เพื่อค้นหาลักษณะสำคัญของภาพที่มีลักษณะคล้ายกับลักษณะสำคัญของภาพยานพาหนะ ระบบนี้ได้ทดสอบในสภาพการจราจรที่หลากหลาย พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการตรวจจับและติดตามวัตถุเป้าหมายได้ถูกต้อง ระบบ CMU-Navlab จากงานวิจัยของ (Thrope et al., 1991) ใช้การคัดแยกจากสีของวัตถุและโครงข่ายประสาท (neural nets) ในการจดจำถนนและวัตถุเป้าหมาย สามารถควบคุมรถยนต์อัตโนมัติให้สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางและหลบหลีกสิ่งกีดขวางบนถนนได้ อย่างไรก็ตามการติดตามจากลักษณะเฉพาะของภาพมีข้อเสียคือมีโอกาสติดตามวัตถุเป้าหมายผิดพลาดสูง

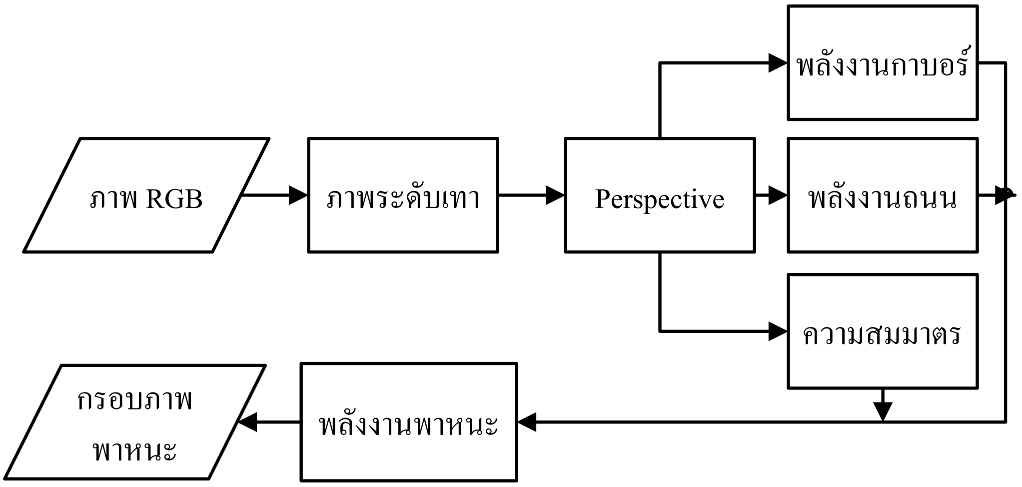
2.6 สรุป

บทที่ 2 เป็นการนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ การแยกส่วนภาพ และโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญที่นำไปใช้ในงานวิจัย นอกจากนี้ได้นำเสนอรายงานงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาและติดตามพาหนะซึ่งได้รวบรวมมาจากแหล่งความรู้ต่าง ๆ ทำให้ทราบวิธีการและแนวความคิดที่หลากหลายที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย รวมถึงจุดเด่นและข้อจำกัดของแต่ละวิธีการ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการทำวิจัยในลำดับต่อไป

บทที่ 3
ระบบการตรวจหาพาหนะภายในภาพ

3.1 กล่าวนำ

สำหรับในบทนี้กล่าวถึงการตรวจหาพาหนะภายในภาพ โดยระบบการตรวจหาพาหนะภายในภาพใช้หลักการมองเห็นขนาดของพาหนะในภาพแบบที่มีสัดส่วน (Perspective) ร่วมกับตัวกรองกาบอร์และความเป็นสมมาตรของพาหนะเพื่อหาตำแหน่งของพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยระบบมีข้อดี คือ เป็นระบบการตรวจหาพาหนะภายในภาพที่ไม่ต้องมีการฝึกสอนและใช้กล้องเพียง 1 ตัวทำให้ลดความยุ่งยากในการปรับจูนกล้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังการตรวจหาพาหนะในภาพ

3.2 หลักการมองเห็นขนาดของพาหนะในภาพแบบที่มีสัดส่วน (Perspective)

หลักการมองเห็นขนาดของพาหนะในภาพแบบที่มีสัดส่วน (Hoiem, 2006) คือ หลักการที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความกว้างและความสูงของพาหนะกับระยะห่างจากกล้องมาใช้ในการคำนวณหาขนาดความกว้างและความสูงของพาหนะในภาพ กล่าวคือ ขนาดของพาหนะภายในภาพที่อยู่ไกลจากกล้องจะมีขนาดเล็กกว่าพาหนะที่อยู่ใกล้กล้อง ในการหลักการมองเห็นขนาดของพาหนะในภาพแบบที่มีสัดส่วนทำให้สามารถลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณได้ อีกทั้งยังสามารถตัดภาพที่มีขนาดไม่พอดีกับความกว้างและความสูงที่คำนวณได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้กำหนดระยะความสูงของกล้องที่ 110 เซนติเมตร พาหนะมีความสูงเฉลี่ยที่ 180 เซนติเมตรและมีความกว้างเท่ากับ 230 เซนติเมตร และจากค่าดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณค่าความสูงของพาหนะในภาพดังสมการที่ 3.1

$$y_i = \frac{h_i y_c}{v_i - v_0} \tag{3.1}$$

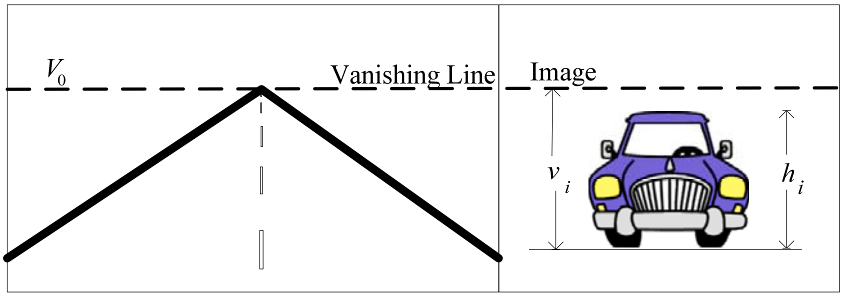
โดยที่ y_i คือ ความสูงของพาหนะในโลกจริง

h_i คือ จำนวนจุดภาพความสูงของกรอบภาพพาหนะ

y_c คือ ความสูงของกล้อง

v_i คือ ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะ

v_0 คือ ตำแหน่งเส้นขอบฟ้าในภาพ (Vanishing line)



รูปที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณหาความสูงของกรอบภาพพาหนะ

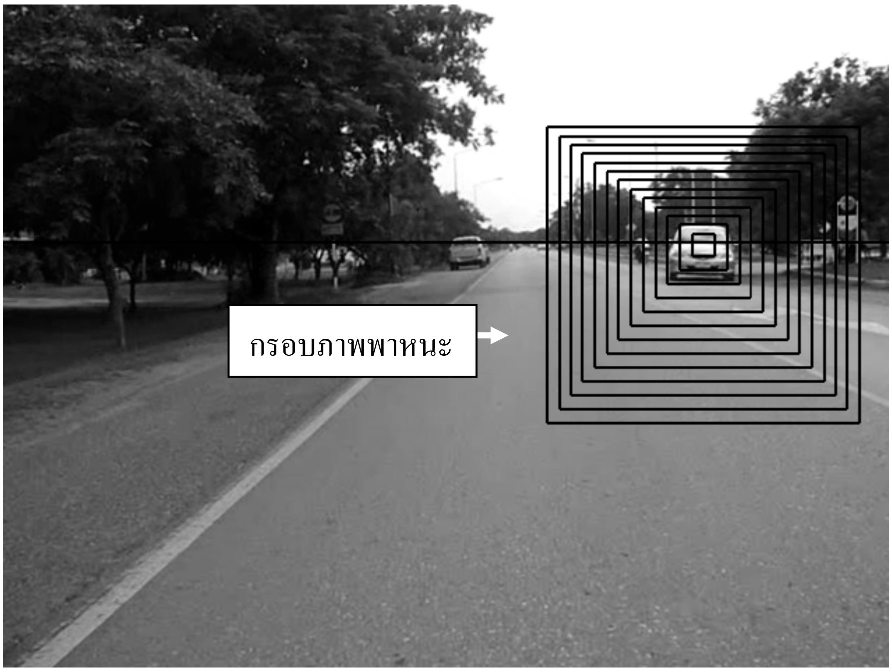
จากสมการที่ 3.1 สามารถคำนวณหาขนาดความสูง h_i ของกรอบภาพพาหนะภายในภาพได้ จากนั้นนำค่าความสูงที่ได้มาคำนวณหาค่าความกว้างของกรอบภาพพาหนะ โดยใช้อัตราส่วนของพาหนะที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังสมการที่ 3.2

$$\frac{w_i}{h_i} = \frac{230}{180} \tag{3.2}$$

โดยที่ w_i คือ ความกว้างของวัตถุในภาพ

h_i คือ ความสูงของวัตถุในภาพ

โดยเรียกกรอบภาพที่มีขนาดกว้างและความสูงที่ได้จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 ว่า กรอบภาพพาหนะ โดยเมื่อนำกรอบภาพพาหนะมาใช้กับจุดภาพที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่มีค่ามากกว่าตำแหน่งเส้นขอบฟ้าพบว่า ที่ค่าตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะค่าต่างกันจะทำให้ได้กรอบภาพพาหนะที่มีขนาดต่างกันดังรูปที่ 3.3 และที่ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะมีค่าเท่ากันจะมีกรอบภาพพาหนะที่มีขนาดเท่ากันดังรูปที่ 3.4

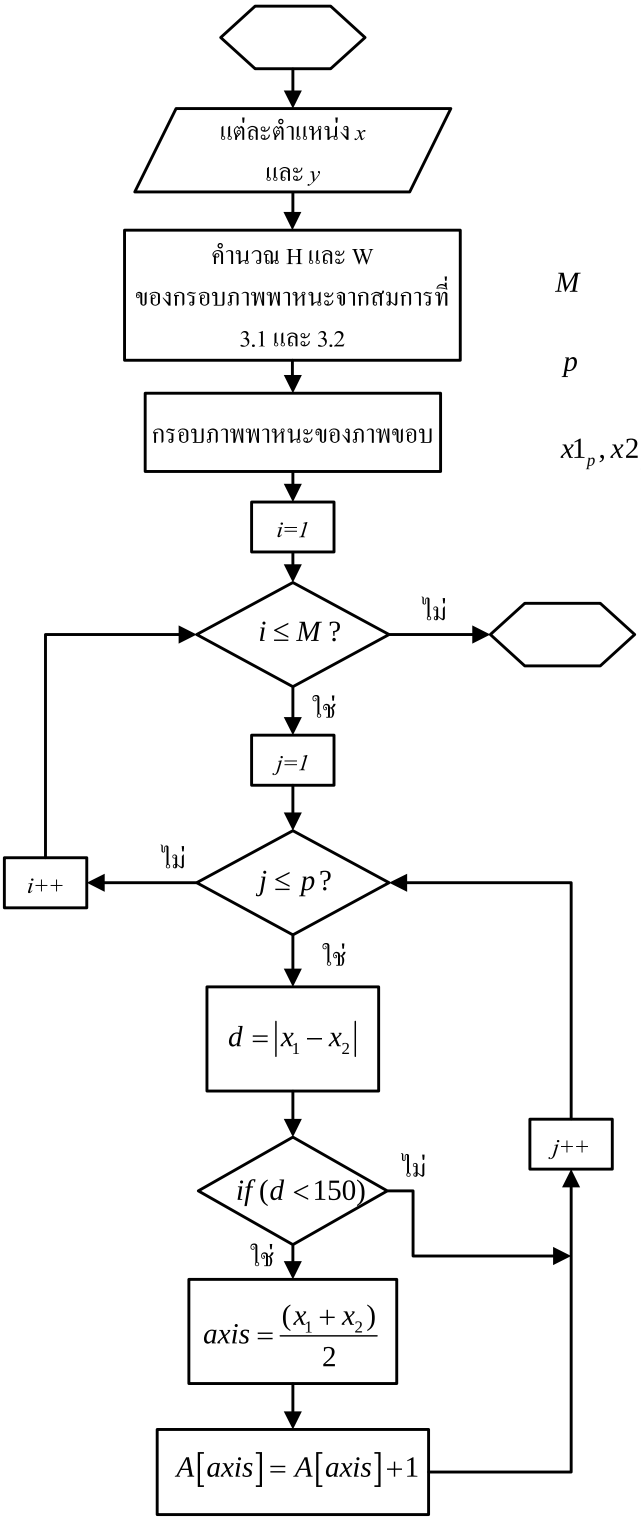


รูปที่ 3.3 กรอบภาพพาหนะที่ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะต่างกัน

รูปที่ 3.4 กรอบภาพพาหนะที่ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะเท่ากัน

3.3 ความสมมาตร (Symmetry)

โดยทั่วไปแล้ววัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นมักมีรูปทรงที่ความสมมาตรเสมอ ดังนั้นภาพขอบในกรอบภาพพาหนะจะถูกนำมาคำนวณความเป็นสมมาตร โดยในการคำนวณความสมมาตรมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.5 โดยจากรูปที่ 3.5 เริ่มจากการคำนวณภาพขอบโดยใช้ตัวดำเนินการของโซเบลและเลือกใช้ขอบตามแนวนอนเนื่องจากพาหนะมีขอบตามแนวนอนที่สมมาตร เมื่อคำนวณเสร็จจะได้ค่าแถวลำดับสะสม A (accumulator array) ของแต่ละกรอบภาพพาหนะที่มีขนาดเท่ากับจำนวนหลักของกรอบภาพพาหนะเพื่อใช้ในการหาตำแหน่งสมมาตรของวัตถุในกรอบภาพพาหนะ โดยค่าเริ่มต้นของสมาชิกทุกตัวในแถวลำดับสะสมมีค่าเท่ากับศูนย์และเมื่อคำนวณค่าแถวลำดับสะสมเรียบร้อยแล้วจึงนำแถวลำดับสะสมมาหาแกนสมมาตรโดยที่ค่าสมาชิกของแถวลำดับสะสมในหลักที่ค่ามากที่สุดเป็นแกนสมมาตรของกรอบภาพพาหนะดังแสดงในรูปที่ 3.6 และจากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่ากรอบภาพพาหนะทั้งสองมีพาหนะอยู่ทั้งสองกรอบภาพพาหนะแต่ตำแหน่งของค่าสูงสุดของแถวลำดับสะสมต่างกันเนื่องจากตำแหน่งของพาหนะในกรอบภาพพาหนะอยู่ต่างกัน ดังนั้นเพื่อทำให้แกนสมมาตรอยู่ตรงกลางของกรอบภาพพาหนะจึงได้มีการสร้างตัวปรับคูณขึ้นมาเพื่อปรับให้ค่าสูงสุดของค่าแถวลำดับสะสมที่ไม่อยู่ตรงกลางของกรอบภาพพาหนะมีค่าลดลง โดยตัวปรับคูณที่งานวิจัยนี้เลือกใช้คือ สัญญาณสามเหลี่ยมขนาดเท่ากับแถวลำดับสะสมและค่าอยู่ในช่วง -0.6 ถึง 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ในการปรับคูณจะใช้การคูณแบบจุดต่อจุด ดังสมการที่ 3.3



M คือ จำนวนแถวของกรอบภาพพาหนะ

p คือจำนวนคู่จุดภาพที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ของแต่ละแถว

$x1_p, x2_p$ คือ ค่า x ของคู่จุดภาพที่ p ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

รูปที่ 3.5 แผนผังการคำนวณแถวลำดับสะสม

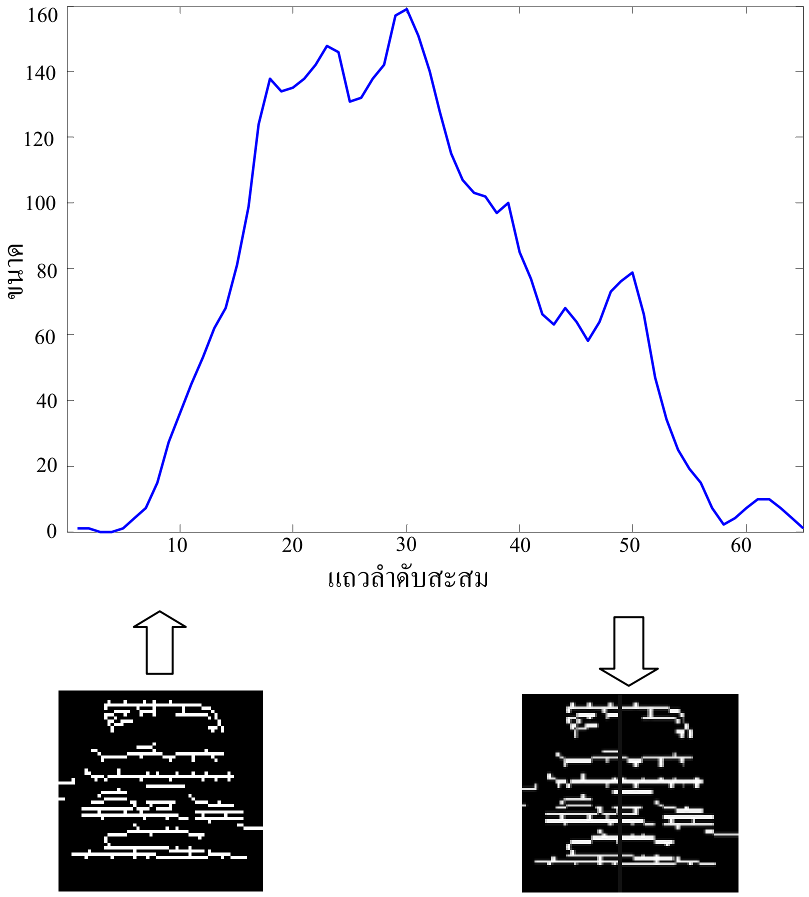
$$A_c = A \times S_t \tag{3.3}$$

โดยที่ A_c คือ แถวลำดับสะสมที่ผ่านการปรับคูณแล้ว
A คือ แถวลำดับสะสม
S_t คือ สัญญาณปรับคูณสามเหลี่ยม

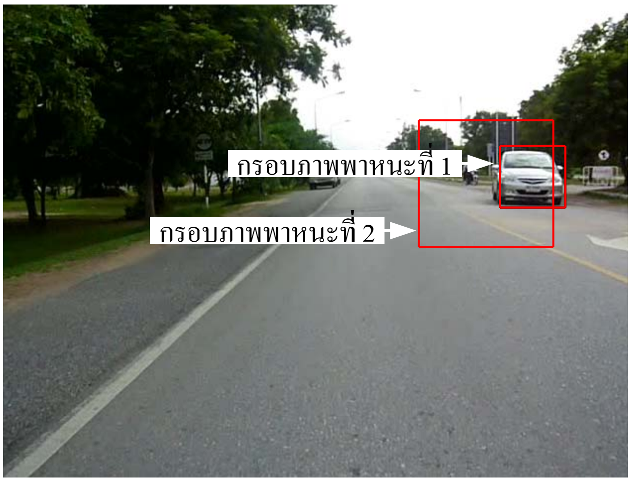
และจากการใช้สมการที่ 3.3 ทำให้ค่าสูงสุดของค่าแถวลำดับสะสมเปลี่ยนไปเนื่องจากตัวปรับคูณ กล่าวคือ ถ้าตำแหน่งของค่าสูงสุดของค่าแถวลำดับสะสมไม่อยู่ตรงกลางของกรอบภาพพาหนะก็จะมีค่าเท่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 3.9 ดังนั้นจึงให้อัตราส่วนของการลดลงของค่าสูงสุดของค่าแถวลำดับสะสมเป็นค่าพลังงานความสมมาตรของพาหนะ ดังสมการที่ 3.4

$$E_s = \alpha \frac{\max(A_c)}{\max(A)} \tag{3.4}$$

โดยที่ E_s คือ ค่าพลังงานความสมมาตรของพาหนะ
A_c คือ แถวลำดับสะสมที่ผ่านการปรับคูณแล้ว
A คือ แถวลำดับสะสม
α คือ ตัวปรับคูณค่าพลังงานความสมมาตรของพาหนะมีค่าเท่ากับ 10

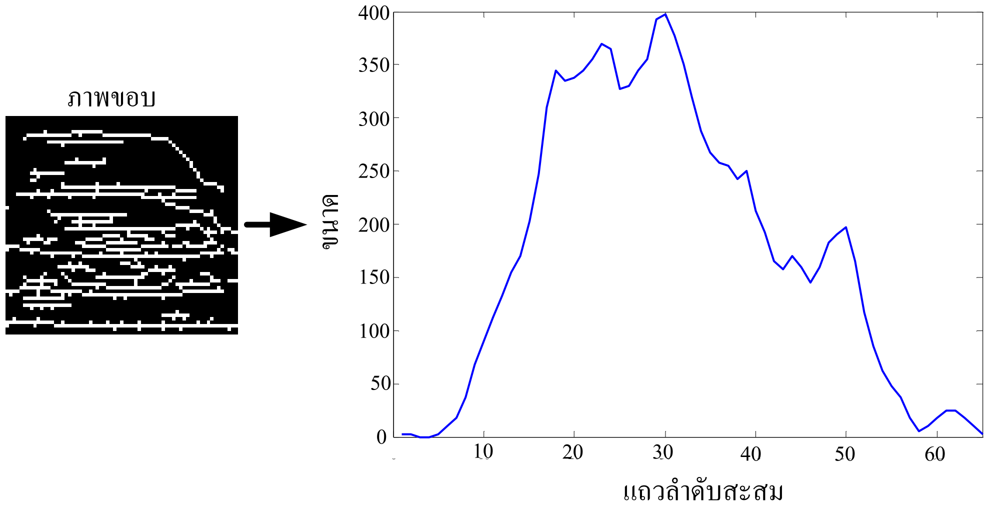


รูปที่ 3.6 แกนสมมาตรที่ได้จากค่าแถวลำดับสะสม

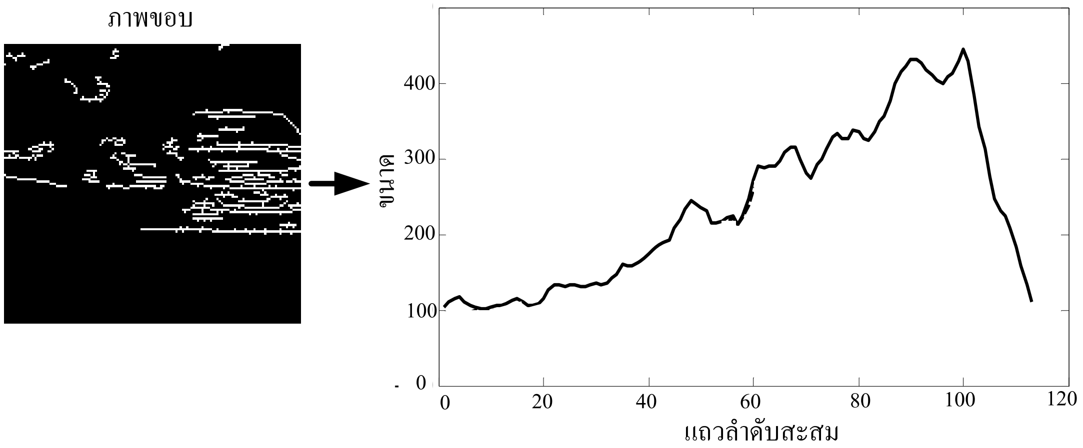


(ก) กรอบภาพพาหนะทั้งสองกรอบภาพที่มีพาหนะอยู่

รูปที่ 3.7 ค่าความสมมาตรบนกรอบภาพพาหนะที่มีพาหนะอยู่

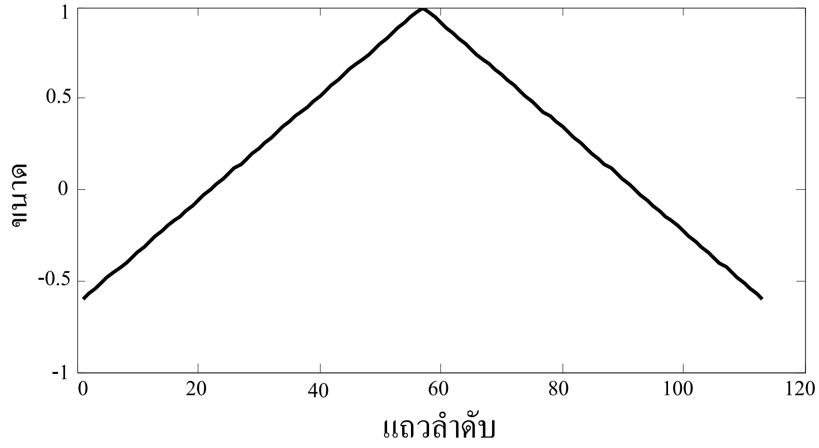


(ข) แถวลำดับสะสมของกรอบภาพพาหนะที่ 1

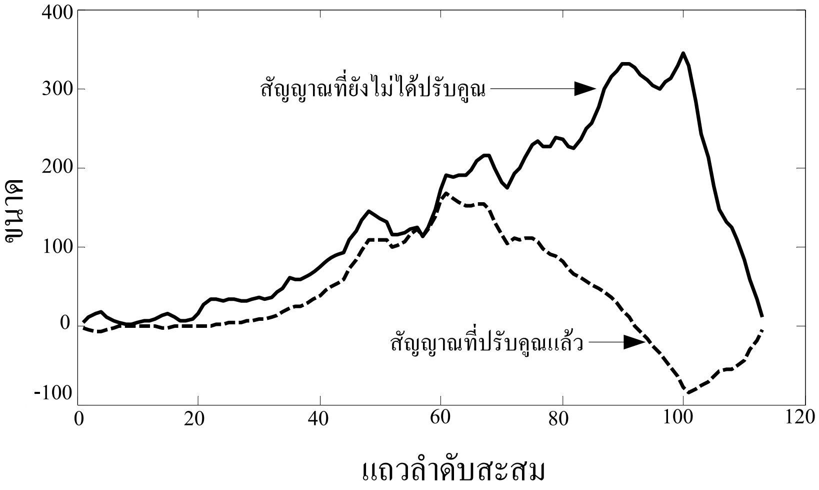


(ค) ค่าแถวลำดับสะสมของกรอบภาพพาหนะที่ 2

รูปที่ 3.7 ค่าความสมมาตรบนกรอบภาพพาหนะที่มีพาหนะอยู่ (ต่อ)



รูปที่ 3.8 สัญญาณปรับคูณสามเหลี่ยม



รูปที่ 3.9 แถวลำดับสะสมที่ผ่านการปรับคูณแล้ว

3.4 ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม (Log-Gabor Filter)

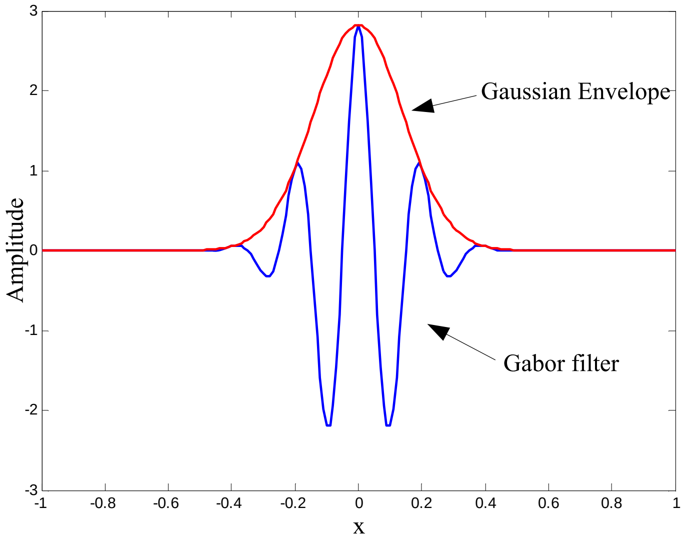
ตัวกรองกาบอร์ (gabor filter) หรือ เป็นเทคนิคการแปลงเวฟเล็ต (wavelet transform) รูปแบบหนึ่ง ถูกนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1946 โดยชาวเยอรมัน (Gabor, 1946) เทคนิคดังกล่าวเป็นเทคนิคที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางจนได้รับรางวัลโนเบลด้านฮอโลกราฟีประดิษฐ์ (inventing holography) ในเวลาต่อมา ตัวกรองกาบอร์สามารถพิจารณาได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่ง พิจารณาในเชิงเวลา (spatial domain) มองภาพว่าเป็นที่รวมของพิกเซลต่าง ๆ แต่ละพิกเซลมีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นแตกต่างกัน และแบบที่สองพิจารณาในเชิงความถี่ (frequency domain) มองภาพว่าเป็นผลรวมของสัญญาณรูปไซน์ที่มีอยู่อย่างไร้ขอบเขตจำกัด

ตัวกรองกาบอร์เป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.10 สามารถอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response Function: IRF) ซึ่งได้จากฟังก์ชันเกาส์เซียนมอดูเลตกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ฟังก์ชันกาบอร์ 2 มิติ สามารถพิจารณาได้ตามสมการ

$$G(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2}+\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right)\exp(j2\pi Wx) \tag{3.5}$$

โดยที่ W คือ ความถี่มอดูเลต (modulation frequency) ของฟังก์ชันกาบอร์

σ_x,σ_y คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Gaussian envelope ตามแนวแกน x และ y



รูปที่ 3.10 ตัวกรองกาบอร์ในโดเมนเวลา

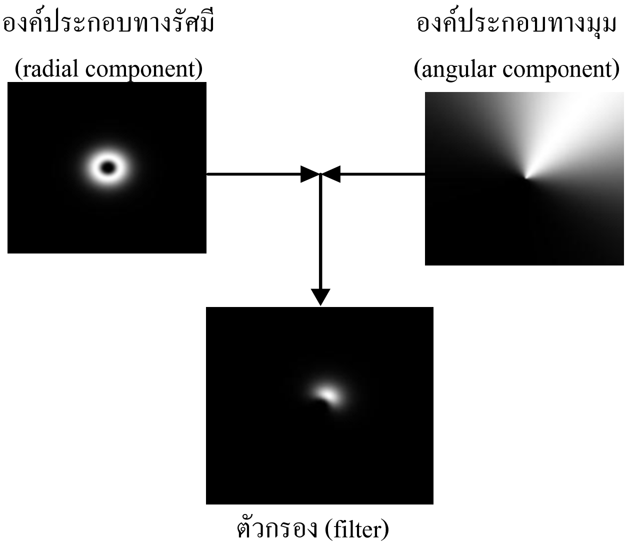
ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมเป็นตัวกรองแบบแบนด์พาสฟิลเตอร์ สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคการสร้างตัวกรองในโดเมนความถี่ แบ่งเป็น 2 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบทางรัศมีและองค์ประกอบทางมุม ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยมีสมการดังสมการที่ 3.6

$$G(w)=\exp\left(\frac{-\log(w/w_0)^2}{2\log(k/w_0)^2}\right) \tag{3.6}$$

โดยที่ $G(w)$ คือ ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม

w_0 คือ ค่าความถี่ศูนย์กลางตัวกรอง

$\frac{k}{w_0}$ คือ อัตราส่วนที่ใช้กำหนดค่า octave

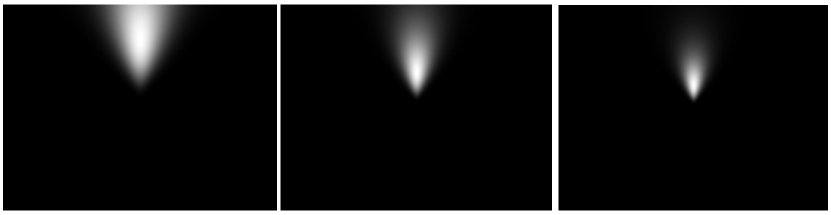


รูปที่ 3.11 ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมในโดเมนความถี่

อัตราส่วน k/w_0 เท่ากับ 0.74, 0.55 และ 0.41 จะให้ความกว้างแถบความถี่ (bandwidth) ที่ตัวกรองประมาณ 1 2 และ 3 octave ตามลำดับ octave เป็นหน่วยที่ใช้วัดความถี่เชิงมุม 2 ค่าใดๆ โดยค่า 1 octave จะเป็นสองเท่าหรือครึ่งหนึ่งของความถี่ที่พิจารณาอยู่

เมื่อสร้างตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมได้แล้วนำตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมมาคูณกับภาพที่ผ่านการแปลงฟูเรียร์และนำภาพที่ได้ไปแปลงฟูเรียร์กลับจะเป็นเมตริกซ์จำนวนเชิงซ้อน โดยแต่ละจุดภาพประกอบด้วยส่วนจริง $e(x)$ และส่วนจินตภาพ $o(x)$ ในส่วนของขั้นตอนการตรวจหาพาหนะเลือกใช้ค่าขนาดของกาบอร์ A_n ของเมตริกซ์จำนวนเชิงซ้อน ดังสมการที่ 3.7

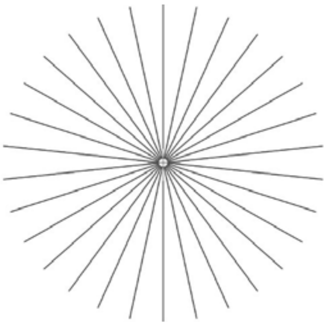
$$A_n = \sqrt{e(x)^2 + o(x)^2} \tag{3.7}$$



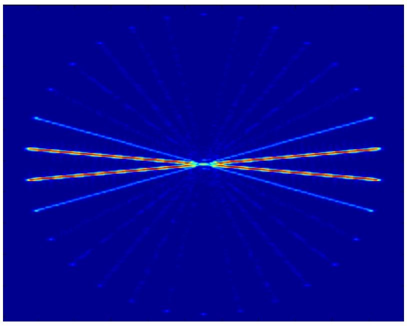
$w_0 = 1/3$ $w_0 = 1/6$ $w_0 = 1/9$

รูปที่ 3.12 ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม 3 ขนาดและมุม 0 องศา

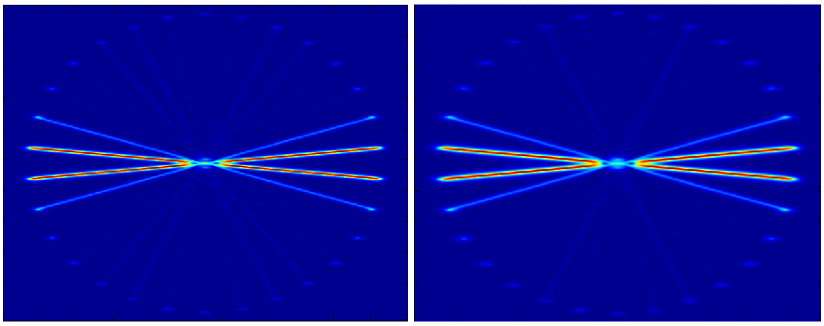
ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม 3 ขนาดและมุม 0 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.12 เมื่อนำตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมไปใช้กับภาพแล้วนำมาหาค่าขนาดของกาบอร์โดยใช้สมการที่ 3.7 จะได้ผลดังรูปที่ 3.13 และจากรูปที่ 3.15 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่มีพาหนะอยู่จะมีค่าขนาดสูง และจากรูปที่ 3.16 จะเห็นได้ว่าภาพที่ไม่ใช่พาหนะบนถนนจะมีค่าขนาดของกาบอร์ต่ำ ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าขนาดของภาพที่ผ่านตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการการตรวจหาพาหนะและเรียกพลังงานนี้ว่า พลังงานกาบอร์ และจากการนำตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมที่ขนาดต่าง ๆ ไปใช้กับภาพพบว่าที่ตัวกรองกาบอร์ที่ $w_0 = 1/3$ เหมาะสำหรับกรอบภาพพาหนะที่มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 40 จุดภาพ $w_0 = 1/6$ เหมาะสำหรับกรอบภาพพาหนะที่มีขนาดความกว้างมากกว่าหรือเท่ากับ 40 จุดภาพแต่น้อยกว่า 70 จุดภาพ และที่ $w_0 = 1/6$ เหมาะสำหรับกรอบภาพพาหนะที่มีขนาดความกว้างมากกว่าหรือเท่ากับ 70 จุดภาพขึ้นไป ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.14 โดยที่แถวแรกกรอบภาพพาหนะมีความกว้างมากกว่า 70 จุดภาพ และแถวที่สองกรอบภาพพาหนะมีความกว้างมากกว่า 40 จุดภาพแต่น้อยกว่า 70 จุดภาพ



(ก) ภาพต้นแบบ

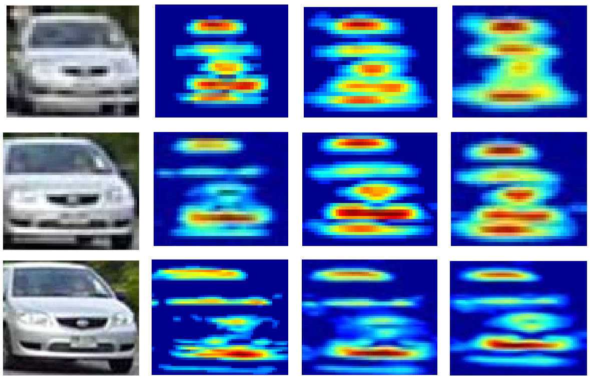


(ข) $w_0 = 1/3$



(ค) $w_0 = 1/6$ (ง) $w_0 = 1/9$

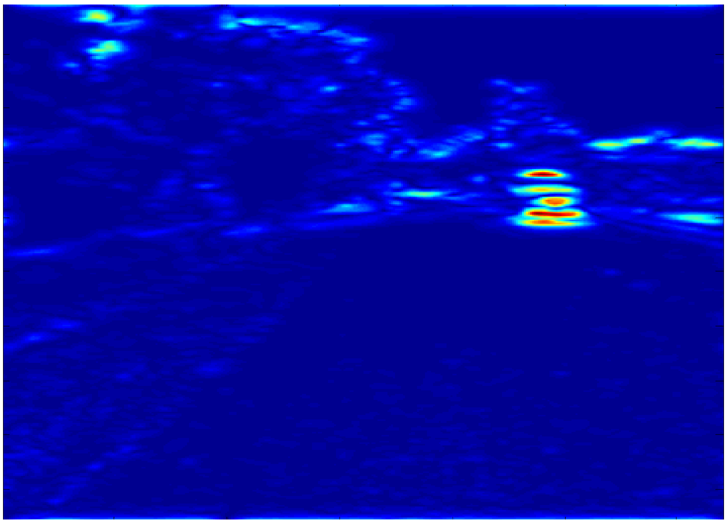
รูปที่ 3.13 ค่าขนาดของกาบอร์ที่ได้จากการใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม



$w_0 = \frac{1}{3}$ $w_0 = \frac{1}{6}$ $w_0 = \frac{1}{9}$

รูปที่ 3.14 ค่าขนาดของกาบอร์ที่ได้จากการใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมที่ขนาดต่าง ๆ

(ก) ภาพต้นแบบ



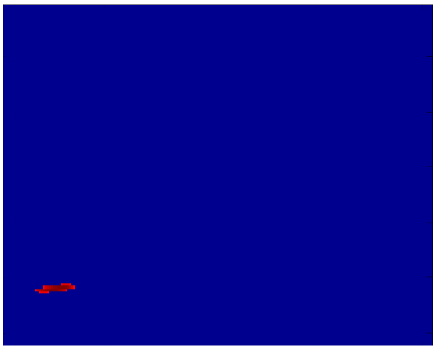
(ข) ขนาดของภาพที่ผ่านตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม

รูปที่ 3.15 ตัวอย่างผลการทดสอบกาบอร์แบบลอการิทึมกับภาพที่มีพาหนะ

(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ค่าขนาดของภาพที่ผ่านตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม

(ค) ภาพต้นแบบ

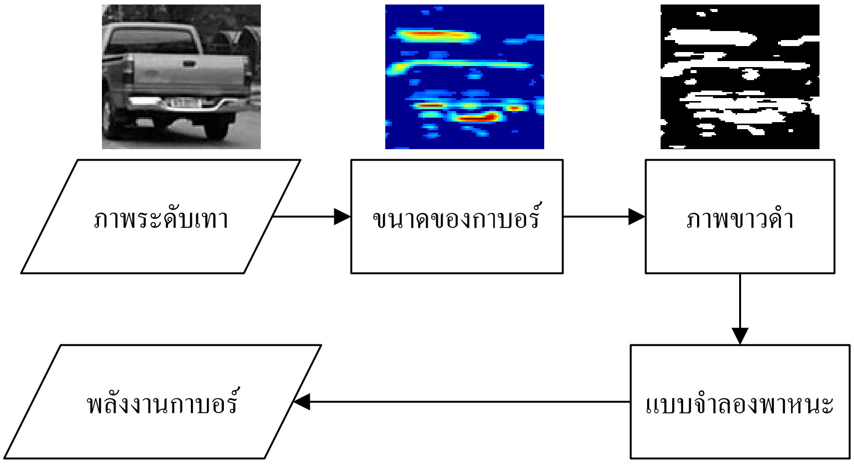


(ง) ค่าขนาดของภาพที่ผ่านตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม

รูปที่ 3.16 ตัวอย่างผลการทดสอบกาบอร์แบบลอการิทึมกับภาพที่ไม่ใช่พาหนะ

3.5 พลังงานกาบอร์

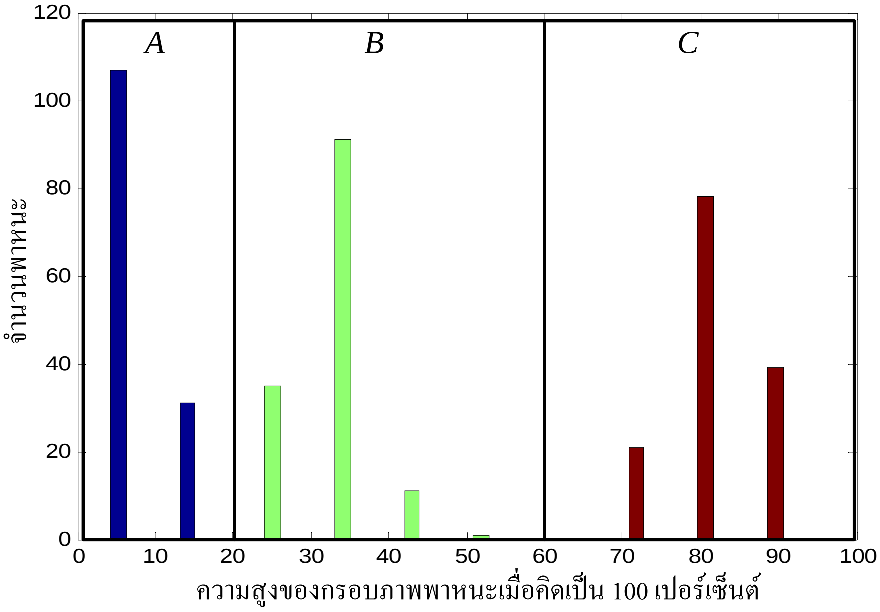
ขั้นตอนในการหาพลังงานกาบอร์นั้นมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.17 เนื่องจากค่าขนาดของกาบอร์ของพาหนะที่มีลักษณะที่เด่น คือ มีค่าขนาดของกาบอร์สูงและมีโครงสร้างที่เป็นแถบตามแนวนอนที่มีขนาดใกล้เคียงกับความกว้างของกรอบภาพพาหนะดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสร้างแบบจำลองพาหนะขึ้นมาซึ่งประกอบด้วยแถบตามแนวนอนหลัก ๆ สามแถบ โดยแต่ละแถบจะอยู่ที่ตำแหน่ง *A B* และ *C* ดังรูปที่ 3.20 โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าตำแหน่ง *A B* และ *C* จากการเก็บข้อมูลจากภาพพาหนะจำนวนทั้งหมด 138 ลำดับภาพแสดงในรูปที่ 3.18 พบว่า ค่า *A B* และ *C* มีค่าดังนี้ 1 $<A<$ 0.2H 0.15H$<B<$0.6H และ 0.65$H<C<H$ โดยที่ *H* คือ ค่าสูงของกรอบภาพพาหนะ



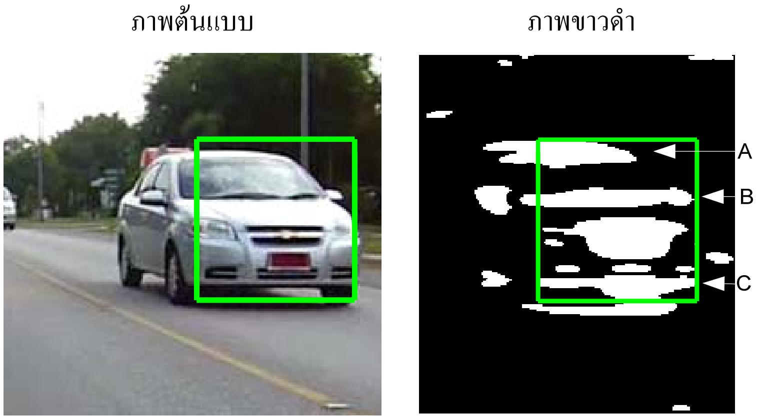
รูปที่ 3.17 แผนผังการคำนวณค่าพลังงานกาบอร์

ในการหาตำแหน่ง *A B* และ *C* เริ่มจากการนำกรอบภาพพาหนะมาหาขนาดของกาบอร์จากนั้นนำขนาดของกาบอร์ที่ได้มาผ่านค่าขีดเริ่มเปลี่ยนโดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 7 ได้ผลดังรูปที่ 3.19 เพื่อแปลงขนาดของกาบอร์ให้เป็นภาพระดับขาวดำ (binary image) จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่งในกรอบภาพพาหนะแถบ *A* สั้นกว่าแถบ *B* และ *C* เนื่องจากการมองพาหนะในมุมเอียงและแถบ *A* มีระยะห่างจากกล้องมากกว่าแถบ *B* และ *C* ซึ่งเป็นมุมมองที่แถบ *A B* และ *C* มีค่าน้อยที่สุด โดยที่แถบ *A* มีความยาวประมาณ 0.6*W* แถบ *B* และ *C* มีความยาวประมาณ 1*W* ดังนั้นจึงกำหนดให้ช่วงตำแหน่งช่วงกรอบภาพพาหนะแถวที่ 1 ถึง *A* ต้องมีค่าผลรวมตามแนวนอนของภาพขาวดำมากกว่า .3W โดยที่ตำแหน่งแถวที่ *A* ต้องมีค่าผลรวมตามแนวนอนน้อยกว่า .1W เพื่อให้ตำแหน่งแถวที่ *A* เป็นตำแหน่งที่อยู่ด้านล่างของแถบ *A* เช่นเดียวกันกับในช่วงกรอบภาพพาหนะแถวที่ *A* ถึง *B* และ *B* ถึง *C* ต้องมีค่าผลรวมตามแนวนอนมีค่ามากกว่า .8W โดยตำแหน่งแถวที่ *B*

และ *C* ต้องมีค่าผลรวมตามแนวนอนน้อยกว่า .5W โดยที่ W คือ ค่าความกว้างของกรอบภาพพาหนะ และ *A*<*B*<*C* เมื่อได้จุด *A* *B* และ *C* แล้วนำไปหาพลังงานกาบอร์ดังสมการที่ 3.8



รูปที่ 3.18 ตำแหน่ง *A* *B* และ *C* ในกรอบภาพพาหนะ



รูปที่ 3.19 ภาพขาวดำที่ได้จากขนาดของกาบอร์

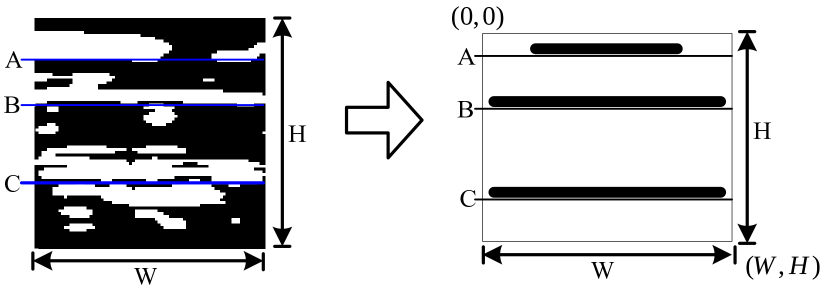
$$E_G = \max(An_{1A}) + \max(An_{AB}) + \max(An_{BC}) \tag{3.8}$$

โดยที่ E_G คือ ค่าพลังงานกาบอร์

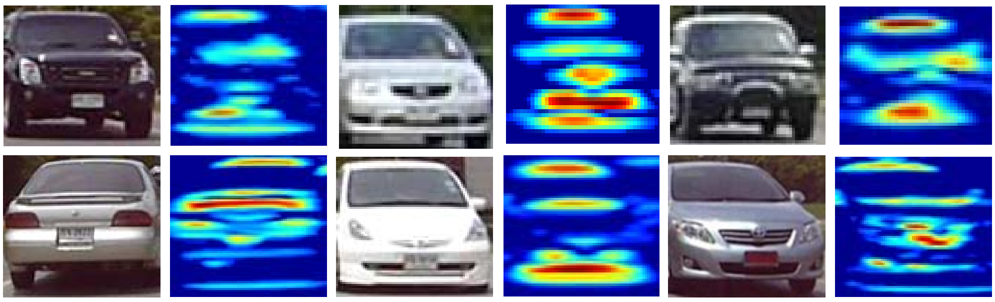
An_{1A} คือ ค่าขนาดของกาบอร์แถวที่ 1 ถึง A ของทุกหลัก

An_{AB} คือ ค่าขนาดของกาบอร์แถวที่ A ถึง B ของทุกหลัก

An_{BC} คือ ค่าขนาดของกาบอร์แถวที่ B ถึง C ของทุกหลัก



รูปที่ 3.20 แบบจำลองพาหนะ



รูปที่ 3.21 ค่าขนาดของกาบอร์

รูปที่ 3.22 ภาพขาวดำของพาหนะ

3.6 พลังงานถนน

เนื่องจากพาหนะทุกคันต้องอยู่บนถนน ดังนั้น ค่าพลังงานของวัตถุที่อยู่บนท้องถนนจึงถูกนำมาใช้เพื่อให้แน่ใจว่าวัตถุที่ตรวจเจอนั้นเป็นพาหนะ โดยในการหาพื้นที่ที่เป็นถนนนั้นจะใช้ข้อมูลเกี่ยวกับสี HSV (Hue, Saturation, Value) โดยเลือกใช้ระดับ S มาคำนวณเนื่องจากสีของพื้นถนนมีค่า S ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.23

ในการคำนวณค่าพลังงานของความเป็นถนนหาได้จากผลรวมของค่าในระดับสี S ของแต่ละจุดภาพในกรอบภาพถนนใต้กรอบภาพพาหนะ ดังแสดงในรูปที่ 3.24 โดยกรอบภาพถนนมีขนาดความสูงเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของกรอบภาพพาหนะและมีความกว้างเท่ากับกรอบภาพพาหนะ พลังงานถนนหาได้ดังสมการที่ 3.9

$$E_r = \frac{\beta \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} R_s(i, j)}{m \times n} \quad (3.9)$$

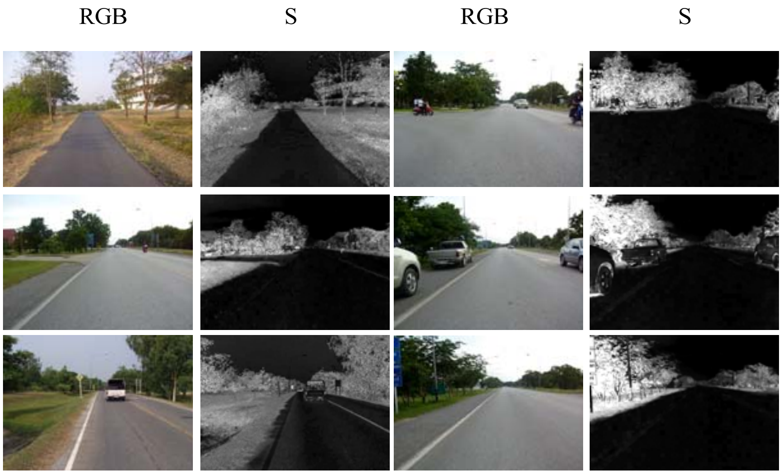
โดยที่ E_r คือ พลังงานถนน

R_s คือ ค่าระดับสี S ของกรอบภาพถนน

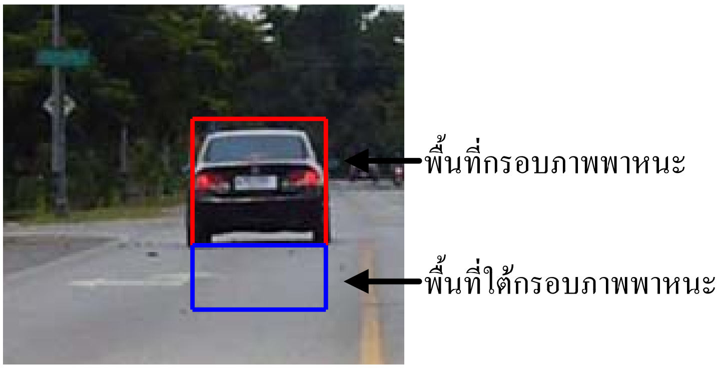
m คือ จำนวนแถวของกรอบภาพถนน

n คือ จำนวนหลักของกรอบภาพถนน

β คือ ตัวปรับคูณค่าพลังงานถนนมีค่าเท่ากับ 50



รูปที่ 3.23 ภาพระดับ S



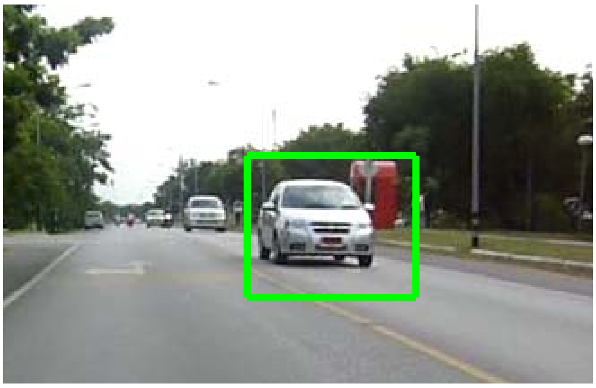
รูปที่ 3.24 กรอบภาพถนน

3.7 การปรับลดค่าพลังงานพาหนะ

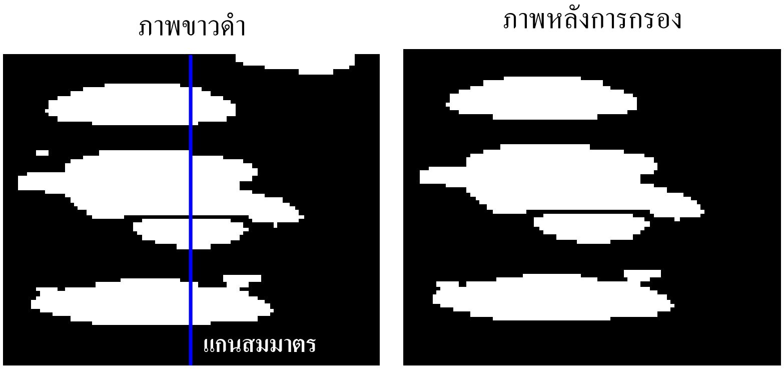
การปรับค่าพลังงานพาหนะใช้ในกรณีที่ค่ากรอบภาพพาหนะไม่พอดีกับขนาดของพาหนะ แบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่

3.7.1 กรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะ

ในกรณีที่กรอบภาพพาหนะใหญ่กว่าขนาดของพาหนะดังแสดงในรูปที่ 3.25 และเมื่อนำภาพจากกรอบภาพพาหนะมาหาภาพขาวดำจากขนาดของกาบอร์ดังหัวข้อ 3.4 และทำการกรองโดยการตัดภาพขาวดำก้อนที่แกนสมมาตรไม่ตัดผ่านออกดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 กรณีที่กรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะ



รูปที่ 3.26 การกรองโดยการตัดภาพขาวดำก้อนที่แกนสมมาตรไม่ลากผ่านออก

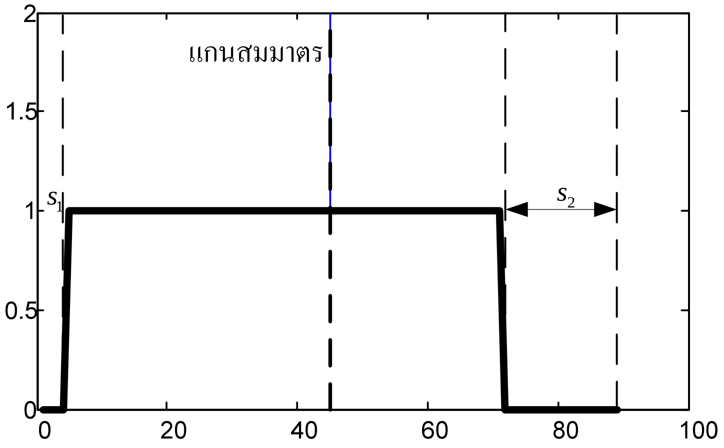
จากนั้นทำการหาผลรวมตามแนวแกนตั้งของภาพขาวดำและผลรวมตามแนวแกนตั้งของภาพขาวดำที่มีค่ามากกว่า 0 มีค่าเท่ากับ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ดังนั้นจึงให้จำนวนตำแหน่งที่ผลรวมตามแนวแกนตั้งของภาพขาวดำที่มีค่าเป็น 0 นั่นคือ S_1 และ S_2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่กรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะเป็นค่าปรับลด ε_1 ดังสมการที่

$$\varepsilon_1 = S_1 + S_2 \tag{3.10}$$

โดยที่ ε_1 คือ ค่าปรับลดกรณีที่กรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะ

S_1 คือ ตำแหน่งที่กรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะทางด้านซ้าย

S_2 คือ ตำแหน่งที่กรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะทางด้านขวา



รูปที่ 3.27 ผลรวมตามแนวแกนตั้งของภาพขาวดำที่มากกว่า 0 มีค่าเท่ากับ 1

3.7.2 กรอบภาพพาหนะมีขนาดเล็กกว่าพาหนะ

ในกรณีที่กรอบภาพพาหนะมีขนาดเล็กกว่ากรอบภาพพาหนะจะนำจุดภาพของภาพขาวดำที่ได้จากขนาดของกาบอร์จากหัวข้อ 3.4 มาใช้ในการคำนวณโดยมีพื้นที่ ๆ ใช้ในการปรับลด 2 ส่วนด้วยกันได้แก่ พื้น A และ *B* โดยที่พื้นที่ A คือพื้นที่บริเวณด้านข้างกรอบภาพพาหนะซึ่งในพื้นที่ส่วนนี้จะนำมาคำนวณก็ต่อเมื่อผลรวมในแนวแกนตั้งของแต่ละหลักของจุดภาพของภาพขาวดำที่ได้จากขนาดของกาบอร์ในพื้นที่ C มีค่ามากกว่า 0 โดยด้านขวาและซ้ายจะคำนวณแยกกัน กล่าวคือ ค่าปรับลดในส่วนนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีแถบของภาพขาวดำที่ได้จากขนาดของกาบอร์เป็นแนวยาวต่อเนื่องเกินกรอบภาพพาหนะของแต่ละด้าน โดยจำนวนหลักของพื้นที่ A ในแต่ละด้านมีค่าเท่ากับความยาวจากขอบของกรอบภาพพาหนะถึงจุดที่ผลรวมในแนวแกนตั้งของแต่ละหลักของจุดภาพของภาพขาวดำที่ได้จากขนาดของกาบอร์เท่ากับ 0 โดยพื้นที่ A และ C มีความสูงเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของกรอบภาพพาหนะ และพื้นที่ B คือพื้นที่ ๆ อยู่ใต้กรอบภาพพาหนะที่มีขนาดเท่าความสูงกับ 50 เปอร์เซ็นต์ของกรอบภาพพาหนะและมีความกว้างเท่ากรอบภาพพาหนะเหมือนกับการหาพลังงานของถนน โดยค่าปรับลดของพื้นที่ B มีสมการดังนี้

$$\varepsilon_2 = \gamma \frac{(B_{AL} + B_{AR} + B_B)}{H_A + N_B} \tag{3.11}$$

โดยที่ ε_2 คือ ตัวปรับลดของกรอบภาพ B

B_{AR} คือ จำนวนจุดภาพที่เท่ากับ 1 ในกรอบภาพ A ด้านขวา

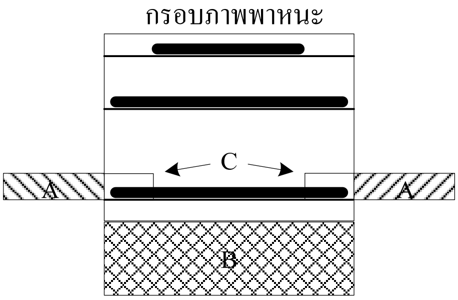
B_{AL} คือ จำนวนจุดภาพที่เท่ากับ 1 ในกรอบภาพ A ด้านซ้าย

B_B คือ จำนวนจุดภาพที่เท่ากับ 1 ในกรอบภาพ B

N_B คือ พื้นที่กรอบภาพ B

H_A คือ ความสูงของกรอบภาพ A

γ คือ ตัวปรับคูณมีค่าเท่ากับ 50



รูปที่ 3.28 พื้นที่ ๆ ใช้สำหรับหาค่าปรับลด

3.8 พลังงานพาหนะ

การตรวจหาพาหนะในภาพจะนำค่าพลังงานทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้นมารวมกัน ได้แก่ ค่าพลังงานความเป็นสมมาตรของวัตถุ ค่าพลังงานกาบอร์ ค่าพลังงานถนน ทำให้ค่าพลังงานพาหนะออกมาโดยที่ตำแหน่งในภาพที่ให้ค่าพลังงานพาหนะมากที่สุดก็จะมีโอกาสมากที่สุดที่มีพาหนะอยู่ในกรอบภาพพาหนะนั้น ค่าพลังงานพาหนะมีค่าดังสมการที่ 3.12

$$E_v = (E_s + E_G) - (E_r + \varepsilon_1 + \varepsilon_2) \qquad (3.12)$$

โดยที่ E_v คือ ค่าพลังงานพาหนะ

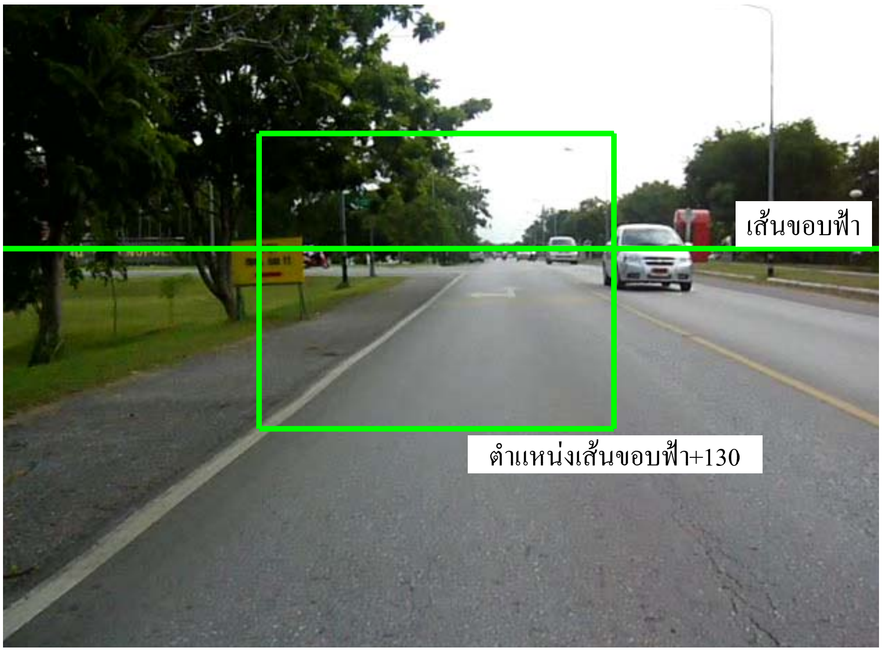
E_s คือ ค่าพลังงานความสมมาตรของพาหนะ

E_G คือ ค่าพลังงานกาบอร์

E_r คือ ค่าพลังงานถนน

3.8.1 การหาตำแหน่งพาหนะ

การตรวจหาพาหนะในภาพระบบจะเริ่มสแกนตั้งแต่เส้นขอบฟ้าลงมาจนถึงขอบล่างของภาพ โดยทำการสแกนตามแนวนอนและแนวตั้งของเมตริกซ์ภาพ กล่าวคือ ในแนวตั้งค่าตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะในภาพ v_i จะมีค่าตั้งแต่ค่าตำแหน่งเส้นขอบฟ้าในภาพ v_0 และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงตำแหน่ง v_0+130 จุดภาพจึงหยุดเนื่องจากขนาดกรอบภาพพาหนะที่ได้มีขนาดที่ใหญ่มากซึ่งไม่จำเป็นต้องนำใช้มาคำนวณหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 3.29

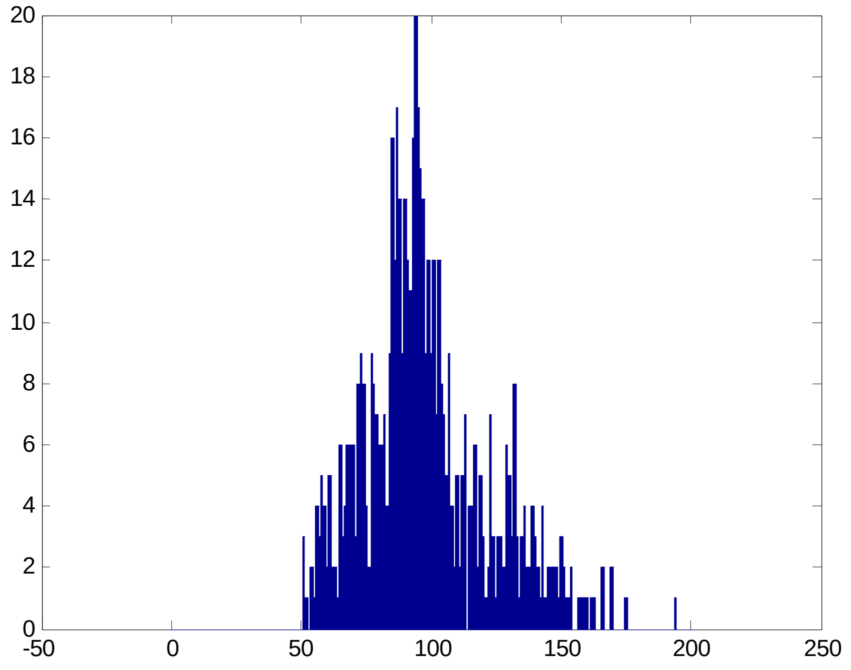


รูปที่ 3.29 ขนาดกรอบภาพพาหนะที่ตำแหน่ง v_0+130

โดยนำค่าพลังงานพาหนะที่ได้ในแต่ละตำแหน่ง x และ y เก็บไว้ในเมตริกซ์เมื่อสแกนเรียบร้อยจะได้เมตริกซ์ที่เก็บค่าพลังงานพาหนะดังรูปที่ 3.31 จากนั้นจึงนำเมตริกซ์ที่เก็บค่าพลังงานพาหนะมาหาตำแหน่งของพาหนะ โดยขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งพาหนะในภาพจากเมตริกซ์ที่เก็บค่าพลังงานพาหนะเป็นดังรูปที่ 3.37 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. หาตำแหน่งในเมตริกซ์ที่เก็บค่าพลังงานพาหนะที่ค่าพลังงานสูงสุดและค่าพลังงานที่ตำแหน่งนั้นต้องมากกว่า 50 ซึ่งได้มาจากฮิสโทแกรมของค่าพลังงานพาหนะจำนวน 588 ลำดับภาพดังแสดงในรูปที่ 3.30 โดยตำแหน่งที่ได้คือตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของกรอบภาพพาหนะ ซึ่งนำไปใช้ในการหาความกว้างและความสูงของกรอบภาพพาหนะได้ตามสมการที่ 3.1 ได้กรอบภาพพาหนะดังรูป

ที่ 3.32 จากนั้นทำการตัดกรอบภาพพาหนะส่วนเกินออกและทำการหาค่าพลังงานพาหนะจากกรอบภาพพาหนะที่ตัดแล้วอีกครั้งถ้าพลังงานมีค่ามากกว่า 50 ก็ถือว่าตำแหน่งที่ได้มีพาหนะอยู่ในกรอบภาพ



รูปที่ 3.30 ฮิสโทแกรมของค่าพลังงานพาหนะ

3. เมื่อได้ตำแหน่งของพาหนะตำแหน่งแรกแล้วในการหาพาหนะตำแหน่งต่อไปให้ลบค่าพลังงานพาหนะในกรอบภาพพาหนะในตำแหน่งแรกออกเสียก่อน ซึ่งเป็นการทำให้ค่าพลังงานในกรอบภาพพาหนะอันเดิมมีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นก็ทำซ้ำตามขั้นตอนที่หนึ่ง ได้ผลดังรูปที่ 3.33

4. ทำตามขั้นตอนที่ 1-3 ไปจนกว่าไม่มีค่าพลังงานพาหนะที่มากกว่า 50 จึงหยุดการตรวจหาพาหนะในภาพ

รูปที่ 3.31 ค่าพลังพาหนะ

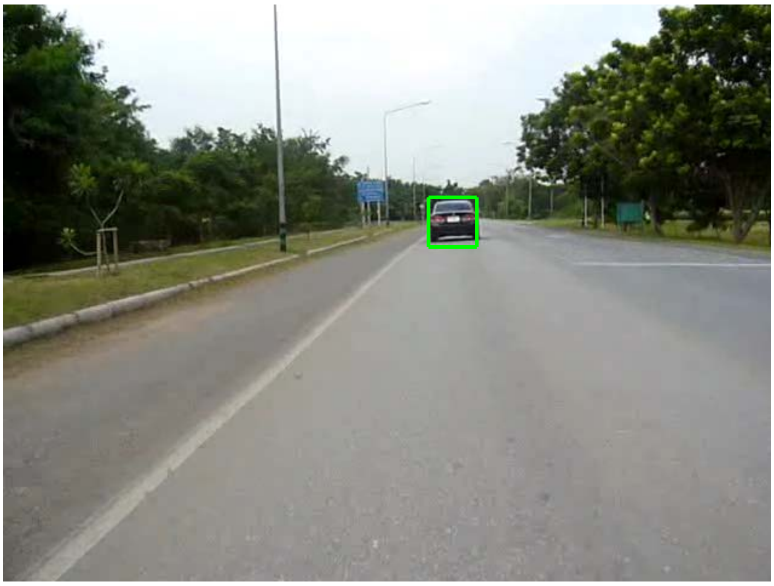
รูปที่ 3.32 ตำแหน่งของพาหนะคันแรก

รูปที่ 3.33 ตำแหน่งของพาหนะคันที่สอง

3.8.2 การตัดกรอบภาพพาหนะส่วนเกิน

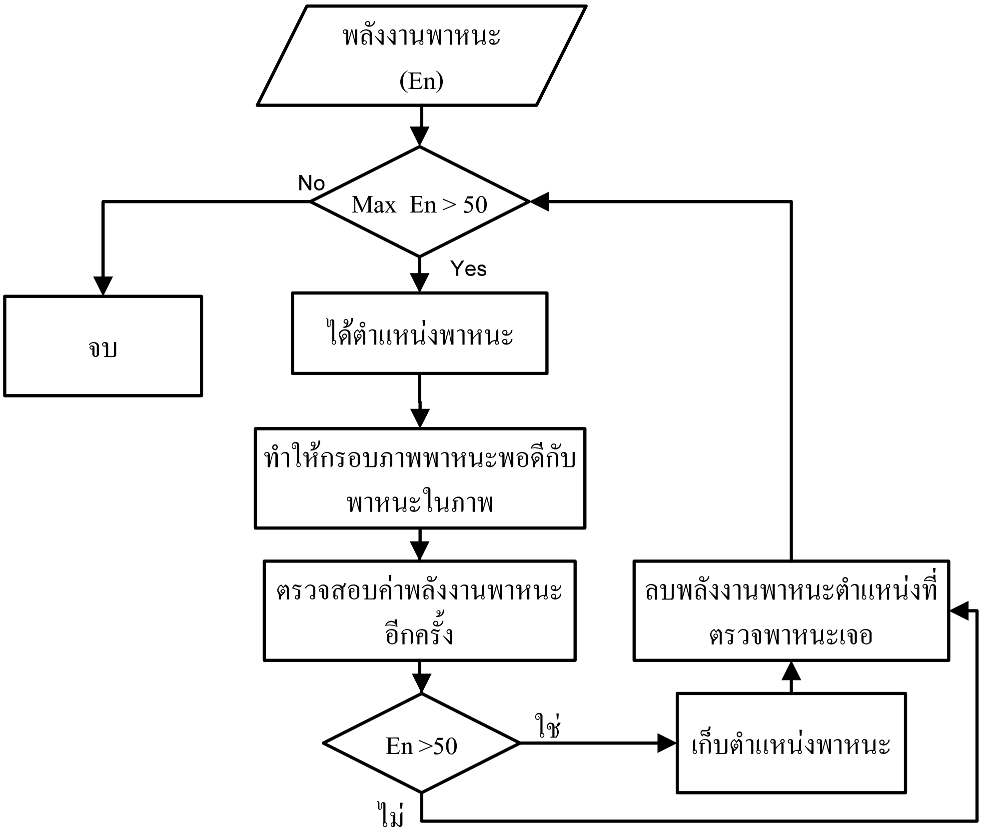
ถ้ากรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะดังรูปที่ 3.34 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตัดกรอบภาพพาหนะส่วนนี้ออกไป ในการตัดกรอบภาพพาหนะด้านซ้ายและขวาของกรอบภาพพาหนะจะตัดส่วนที่น้อยกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยของผลรวมตามแนวตั้งของภาพขาวดำของขนาดของกาบอร์ในกรอบภาพพาหนะคล้ายกับหัวข้อ 6.3.1 โดยผลจากการตัดได้แสดงในรูปที่ 3.35 ส่วนการตัดกรอบภาพพาหนะด้านบนและด้านล่างทำได้โดยด้านบนจะตัดตั้งแต่แถวที่ 1 จนถึงขอบภาพที่ยาวเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงที่สุดของผลรวมตามแนวนอนของภาพขอบแบบแนวนอนและด้านล่างจะตัดตั้งแต่แถวสุดท้ายจนถึงขอบภาพที่ยาวเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงที่สุดของผลรวมตามแนวนอนของภาพขอบแบบแนวนอนเพื่อทำการตัดส่วนภาพที่มีภาพขอบน้อยออกไป ได้ผลดังรูปที่ 3.36

รูปที่ 3.34 กรอบภาพพาหนะมีขนาดใหญ่กว่าพาหนะเล็กน้อย



รูปที่ 3.35 ผลจากการตัดกรอบภาพพาหนะตามแนวตั้ง

รูปที่ 3.36 ผลจากการตัดกรอบภาพพาหนะตามแนวตั้งและแนวนอน



รูปที่ 3.37 แผนผังการหาตำแหน่งพาหนะ

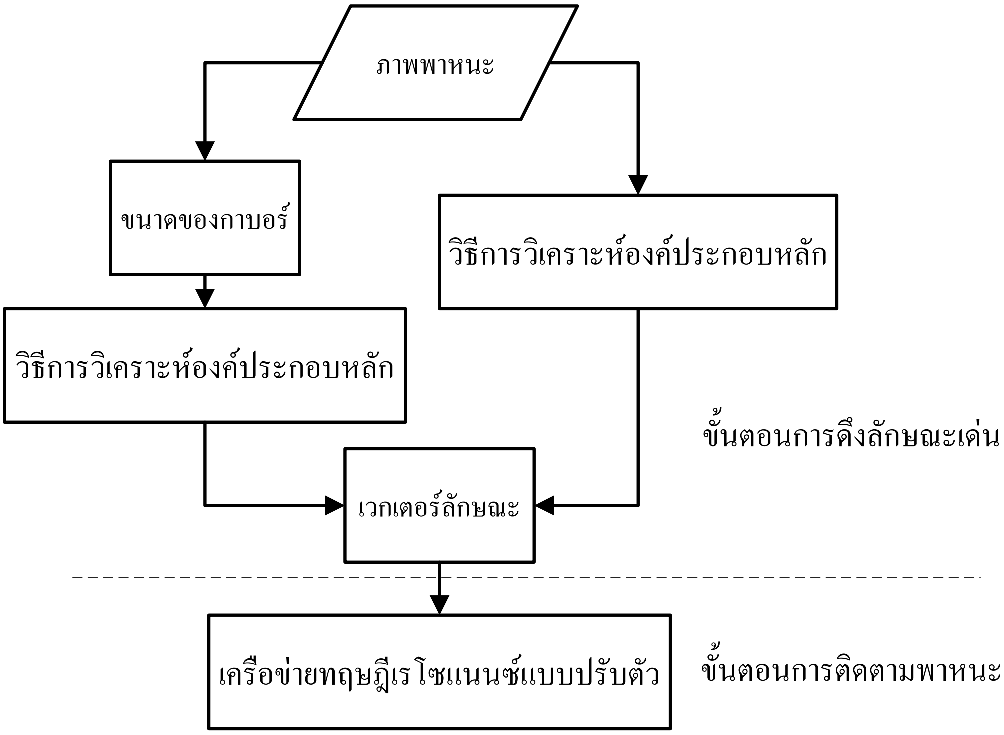
3.9 สรุป

การตรวจหาพาหนะเริ่มต้นจากการคำนวณขนาดของกรอบภาพพาหนะซึ่งจะทำให้ได้ขนาดของพาหนะที่เป็นไปได้ในแต่ละตำแหน่งบนภาพ และภาพที่ได้จากในแต่ละกรอบภาพพาหนะจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานพาหนะเพื่อทำการค้นหาตำแหน่งที่ให้ค่าพลังงานพาหนะมากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน โดยพลังงานพาหนะที่ใช้ประกอบด้วย พลังงานกาบอร์ใช้ค่าขนาดของตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมในการหาลักษณะเด่นทางเส้นของพาหนะโดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวกรองกาบอร์ที่ให้ลักษณะเด่นของเส้นแบบแนวนอนซึ่งมีในพาหนะมากที่สุด พลังงานความสมมาตรโดยการคำนวณพลังงานความสมมาตรเพื่อทำให้กรอบภาพพาหนะที่มีวัตถุที่มีความสมมาตรมีค่าพลังงานพาหนะเพิ่มมากขึ้นและทำให้กรอบภาพพาหนะอยู่ตรงกลางภาพพาหนะ และลบค่าพลังงานทั้งหมดที่กล่าวในขั้นต้นมาลบด้วยพลังงานถนนโดยหาได้จากค่าระดับ S ของมิติสี HSV เพื่อทำให้มั่นใจได้ว่าวัตถุที่พิจารณาอยู่นั้นอยู่บนถนนและลบด้วยค่าปรับลดซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้กรอบภาพพาหนะที่ได้มีขนาดไม่พอดีกับขนาดของพาหนะในภาพ และหลังจากที่ตรวจหาพาหนะเสร็จแล้วถ้ากรอบภาพพาหนะที่มีขนาดใหญ่กว่าพาหนะจึงจำเป็นต้องตัดกรอบภาพพาหนะส่วนนี้ออกไป

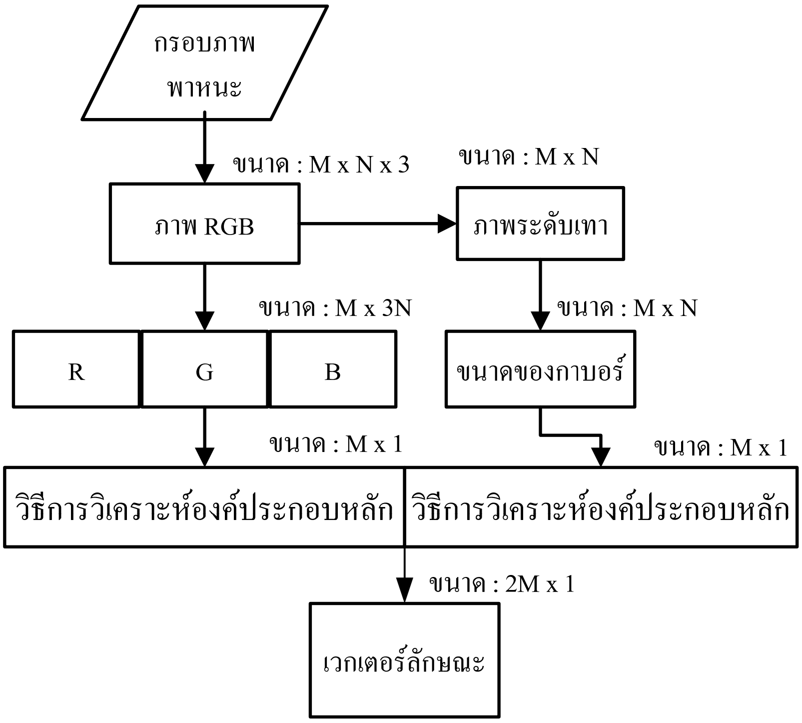
บทที่ 4
ระบบการติดตามหาพาหนะภายในภาพ

4.1 กล่าวนำ

ระบบการติดตามพาหนะคือ ระบบที่สามารถติดตามพาหนะที่ได้จากการตรวจหาพาหนะในบทที่ 3 ได้อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งพาหนะเคลื่อนที่ออกจากภาพ โดยขั้นตอนการติดตามพาหนะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ขั้นตอนการดึงลักษณะเด่น (feature extraction) และขั้นตอนการติดตามพาหนะ (vehicle tracking) ดังรูปที่ 4.1 ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ระบบการติดตามพาหนะ



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการหาเวกเตอร์ลักษณะ

4.2 วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis, PCA)

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เป็นการหาลักษณะเด่นของภาพและทำให้มิติ(dimension) ของภาพลดลง ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่ได้จากกรอบภาพพาหนะที่ผ่านตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม และภาพสีในแต่ละมิติได้แก่ R G และ B มาจัดรูปเป็นเวกเตอร์ลักษณะ (feature vector) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยมีสมมุติฐานที่ว่าพาหนะคันเดียวกันที่อยู่ในลำดับภาพติดกันจะให้เวกเตอร์ลักษณะที่คล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และพาหนะที่ไม่ใช่พาหนะคันเดียวกันจะให้เวกเตอร์ลักษณะที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เวกเตอร์ลักษณะเหล่านี้จะถูกวิเคราะห์ด้วยเครือข่ายเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว เพื่อทำการระบุและติดตามพาหนะเฟรมต่อเฟรมในลำดับภาพต่อไป โดยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก มีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

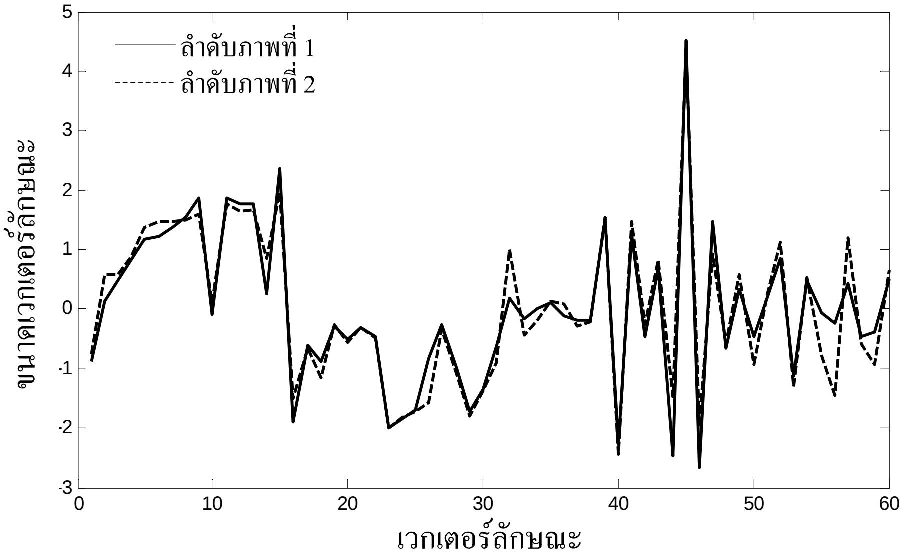
1. รับภาพอินพุตกรอบภาพพาหนะเข้ามาขนาด N แถว M คอลัมน์

2. กำหนดให้แต่ละคอลัมน์แทนด้วยเวกเตอร์ Γ_i โดย $i = 1, 2, \ldots, M$ จากนั้นทำให้ค่าเฉลี่ยของแต่ละคอลัมน์มีค่าเป็นศูนย์ ดังสมการต่อไปนี้

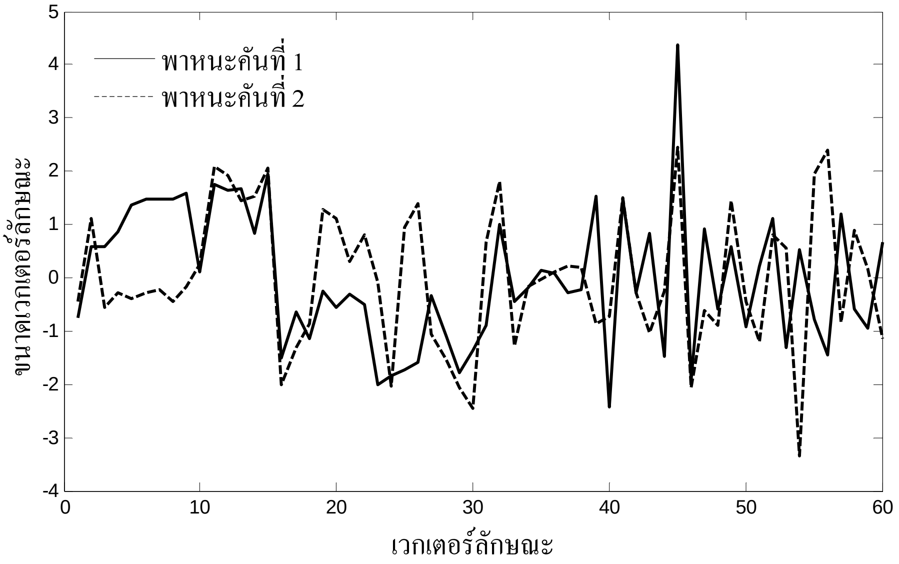
$$\Phi_i = \Gamma_i - \Psi_i \tag{4.1}$$

โดยที่ Φ_i คือ คอลัมน์เวกเตอร์ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

Ψ_i คือ ค่าเฉลี่ยของแต่ละเวกเตอร์ Γ_i



รูปที่ 4.3 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะที่เหมือนกัน



รูปที่ 4.4 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะที่ต่างกัน

จะได้เมตริกซ์ A ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ดังสมการ

$$A = \left[\Phi_1 \quad \Phi_2 \quad \ldots \quad \Phi_M\right] \tag{4.2}$$

โดยที่ A คือ เมตริกซ์ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

Φ_i คือ คอลัมน์เวกเตอร์ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

3. นำเมตริกซ์ A ที่ได้มาหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (covariance matrix) ที่มีขนาดเท่ากับ $N \times N$ จากสมการ

$$C = \frac{1}{M}\Sigma_{i=1}^{M}\Phi_i\Phi_i^T = AA^T \tag{4.3}$$

โดยที่ C คือ เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมเกี่ยว

4. ทำการคำนวณหาค่าไอเกน (λ) ของ C จากนั้นนำค่าไอเกนมาเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้ $[\lambda_1, \lambda_2, _{\ldots}, \lambda_n]$ เมื่อ $\lambda_1 > \ldots > \lambda_N$ จะได้ค่าไอเกนเวกเตอร์ $[\upsilon_1, \ldots, \upsilon_N]$

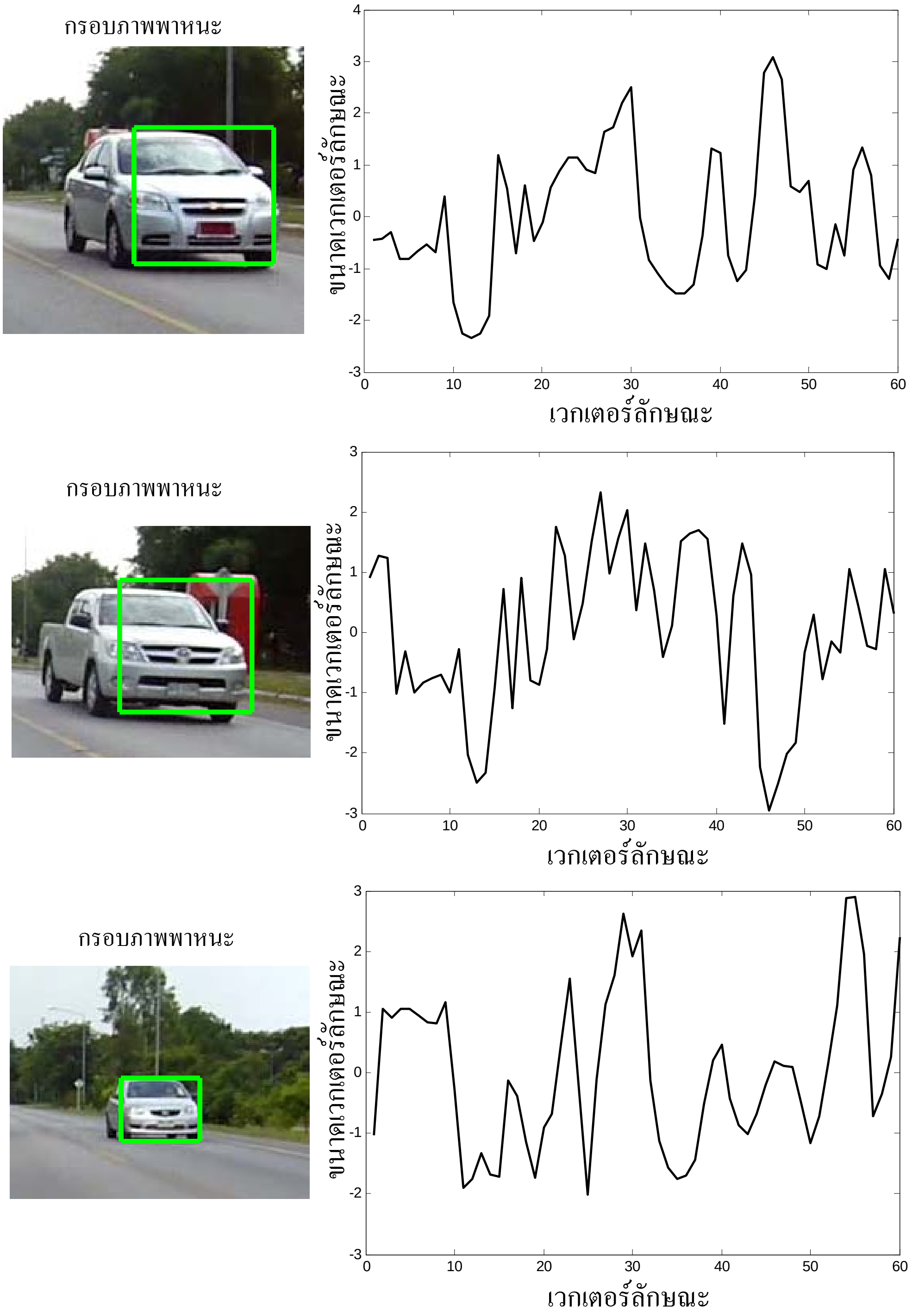
5. สร้าง PCA เมตริกซ์ ขนาด M แถว 1 คอลัมน์

$$s = A\upsilon_1 \tag{4.4}$$

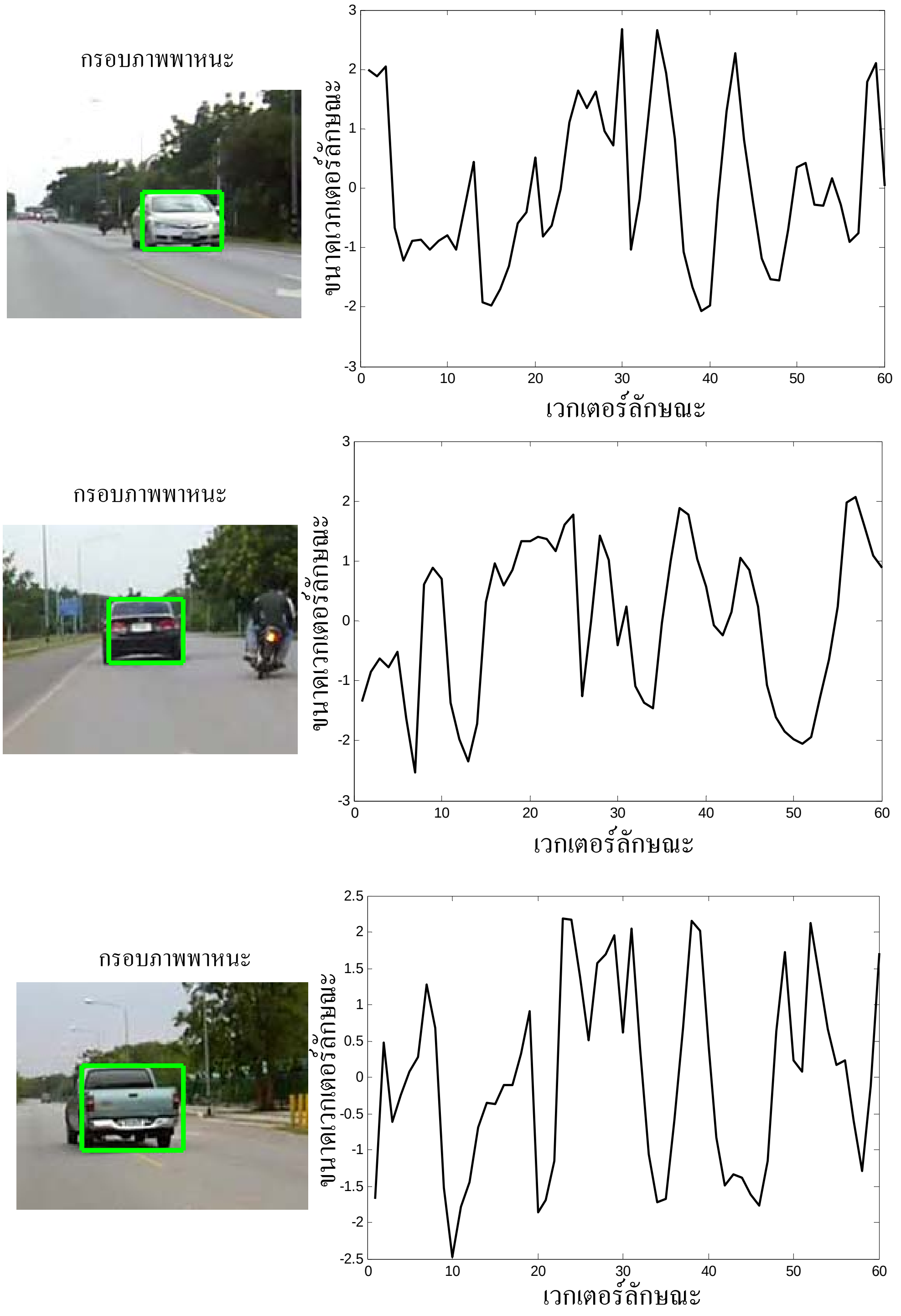
โดยที่ s คือ เวกเตอร์ลักษณะ

υ คือ ค่าไอเกนเวกเตอร์

4.2.1 ตัวอย่างเวกเตอร์ลักษณะที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก



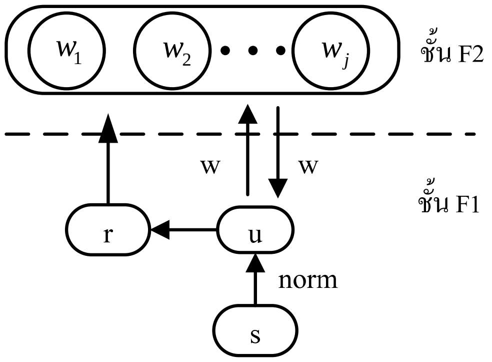
รูปที่ 4.5 เวกเตอร์ลักษณะที่ได้จากกรอบภาพพาหนะ



รูปที่ 4.6 เวกเตอร์ลักษณะที่ได้จากกรอบภาพพาหนะ

4.3 เครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว (Adaptive Resonance Theory: ART)

เครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว (Grossberg, 1991) มีโครงสร้างหลักแบ่งเป็น 2 ชั้น ได้แก่ชั้น F1 ทำหน้าที่รับอินพุต s ที่ได้จากการคำนวณค่า PCA และชั้น F2 เป็นชั้นของค่าน้ำหนักประสาท ทำหน้าที่เก็บค่าน้ำหนักประสาทซึ่งเป็นตัวแทนของเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะที่กำลังถูกติดตาม ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ในการทำงานของเครือข่ายเริ่มจากอินพุต s จะถูกป้อนให้กับเครือข่ายและถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalize) ในรูปของ u เพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับน้ำหนักประสาท w ที่เก็บไว้ในเครือข่าย



รูปที่ 4.7 โครงสร้างเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว

การปรับค่าน้ำหนักประสาทจะพิจารณานิวรอนตัวที่ชนะตามกฎการเรียนรู้แบบแข่งขันดังแสดงในสมการที่ 4.5 โดย Y_i ที่มีค่ามากที่สุดจะเป็นนิวรอนตัวที่ชนะ ค่า r_i ในสมการที่ 4.6 คือค่าเทียบเคียง ซึ่งจะใช้ในการเปรียบเทียบว่าอินพุตที่ป้อนเข้ามาในเครือข่ายยังเป็นพาหนะคันเดียวกันกับที่เก็บไว้ในเครือข่ายหรือไม่

$$Y_j = \sum_i w_{ij} u_i \tag{4.5}$$

โดยที่ Y_j คือ ค่าคะแนนที่ใช้แข่งขันของค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มที่ j

w_{ij} คือ ค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มที่ j

u_i คือ เวกเตอร์ลักษณะของอินพุทตัวที่ i

$$r_J = \frac{w_J \cdot u_i}{\|w_J\|\|u_i\|} \tag{4.6}$$

โดยที่ r_J คือ ค่าเทียบเคียง

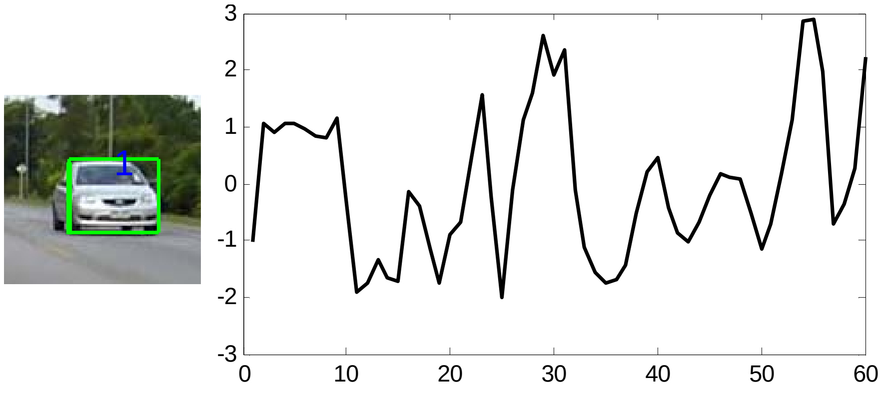
w_J คือ ค่าน้ำหนักประสาทของนิวรอนตัวที่ชนะ

การตรวจสอบค่าเทียบเคียงกับค่าความสอดส่อง (vigilance : ρ) พิจารณาจากเงื่อนไข $\|r_J\| > \rho$ ถ้าเป็นจริงแสดงว่าข้อมูลอินพุตและค่าน้ำหนักประสาทของนิวรอนตัวที่ชนะได้รับการยืนยันว่าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน กล่าวคือเป็นพาหนะที่กำลังถูกติดตามอยู่ ถ้าค่าเทียบเคียงที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าสอดส่อง ระบบจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลอินพุตกับค่าน้ำหนักประสาทของกลุ่มใหม่ที่มีค่า y_i น้อยกว่าจนกว่าจะได้กลุ่มที่ตรงกัน และถ้าข้อมูลอินพุตที่ได้นี้ไม่ตรงกับกลุ่มข้อมูลใดๆ เลย ระบบจะทำการจดจำข้อมูลอินพุตนี้ในกลุ่มที่สร้างขึ้นใหม่ต่อไป โดยถือเป็นพาหนะคันใหม่ที่ปรากฏขึ้นในภาพ เมื่อผ่านการตรวจสอบความสอดส่องแล้วค่าน้ำหนักประสาทของนิวรอนตัวที่ชนะจะถูกปรับตามสมการที่ 4.7 ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าความสอดคล้องเท่ากับ 0.75

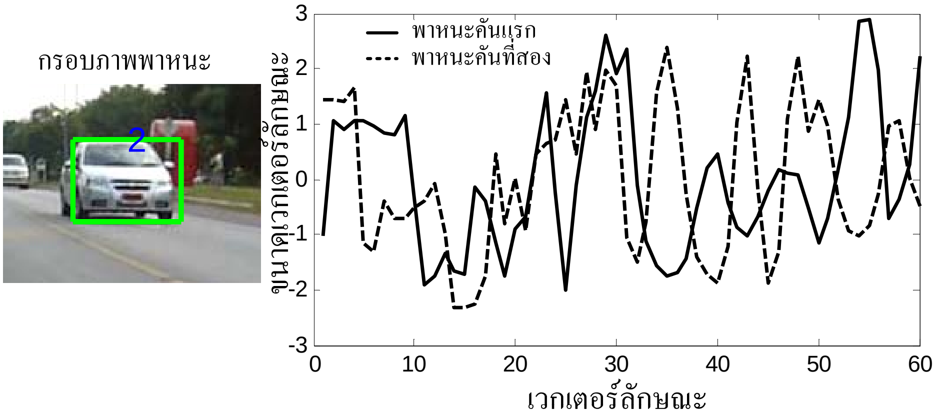
$$w_{Ji} = u_i \tag{4.7}$$

4.3.1 ตัวอย่างการทำงานของเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว

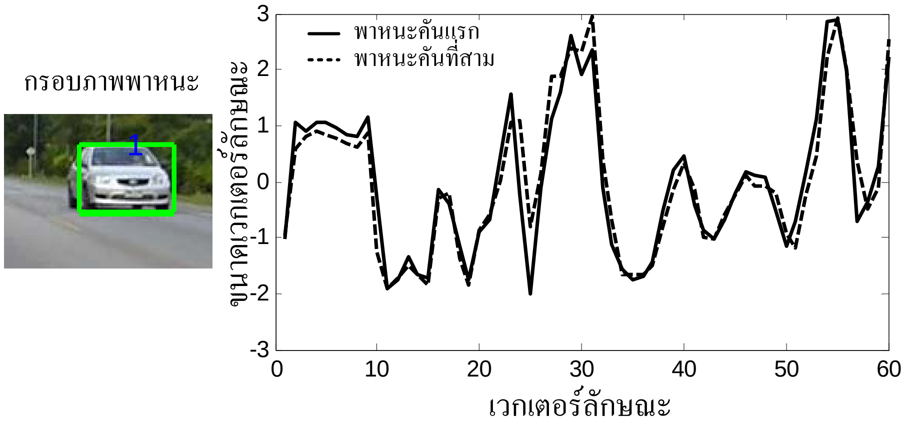
ในการติดตามพาหนะเมื่อมีการตรวจพบพาหนะกรอบภาพพาหนะที่ได้มาก็จะถูกนำไปคำนวณหาเวกเตอร์ลักษณะซึ่งเป็นอินพุตของเครือข่าย ART ถ้าอินพุตที่เข้ามาภายในเครือข่าย ART โดยที่ในชั้น F2 ไม่มีกลุ่มของค่าน้ำหนักประสาทอยู่เลย ดังนั้นค่าเวกเตอร์ลักษณะที่เข้ามาจะถูกกำหนดให้ค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มแรกโดยอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 4.8 ต่อมาเมื่อตรวจพบพาหนะอีกครั้งค่าเวกเตอร์ลักษณะที่เข้ามาใหม่ก็จะถูกนำไปคำนวณค่าเทียบเคียงจากสมการที่ 4.6 โดยไม่ต้องทำการแข่งขันเนื่องมีค่าน้ำหนักประสาทเพียงกลุ่มเดียวโดยค่าเทียบเคียงที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.5596 ซึ่งน้อยกว่าค่าความสอดคล้องจึงกำหนดให้ค่าเวกเตอร์ลักษณะที่เข้ามาใหม่นี้เป็นค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มที่สอง ในลำดับภาพต่อมา เมื่อตรวจพบพาหนะเครือข่าย ART ก็ทำการแข่งขันจากสมการที่ 4.5 เพื่อหากลุ่มค่าน้ำหนักประสาทที่ชนะเนื่องจากมีค่าน้ำหนักประสาทมากกว่าหนึ่งกลุ่ม โดยจากสมการที่ 4.5 จะได้ค่า $Y_1 = 94.92$ และ $Y_2 = 53.46$ ดังนั้นค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มที่หนึ่งจึงเป็นกลุ่มที่ชนะและถูกนำไปคำนวณค่าเทียบเคียงโดยค่าที่ได้คือ 0.9492 ดังนั้นค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มแรกจึงถูกปรับปรุงโดยมีค่าเท่ากับเวกเตอร์ลักษณะที่เข้ามาใหม่ และทำเช่นเดิมเมื่อมีการตรวจพบพาหนะคันใหม่



รูปที่ 4.8 ค่าน้ำหนักประสาทของพาหนะคันแรก



รูปที่ 4.9 ค่าน้ำหนักประสาทของพาหนะคันแรกและคันที่สอง

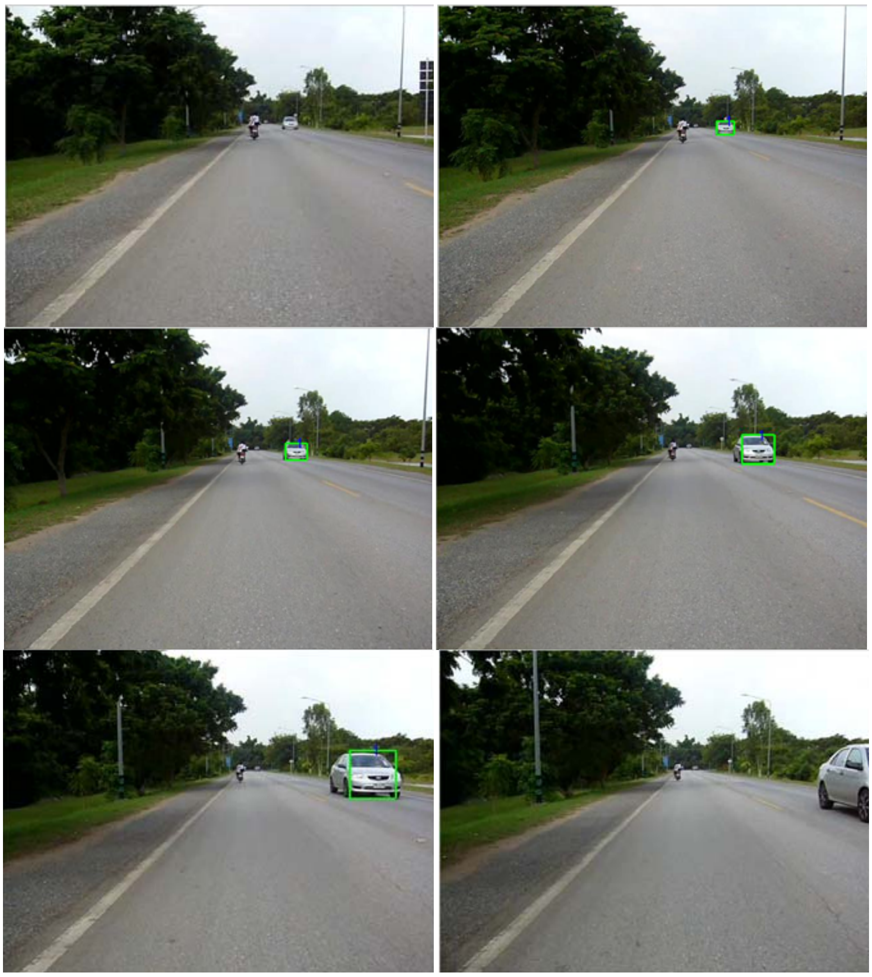


รูปที่ 4.10 ค่าน้ำหนักประสาทของพาหนะคันแรกและคันที่สาม

4.4 ผลการทดสอบระบบ

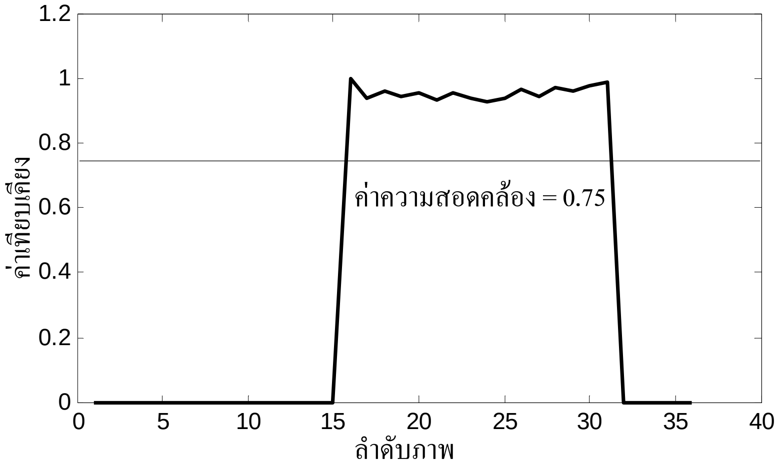
ในการทดสอบระบบการติดตามพาหนะแบ่งออกเป็น 3 กรณีได้แก่ กรณีที่มีพาหนะหนึ่งคันในภาพ กรณีที่มีพาหนะมากกว่าหนึ่งคันในภาพ และกรณีที่มีพาหนะที่เหมือนกันในภาพ

กรณีที่ 1 การติดตามพาหนะที่มีพาหนะหนึ่งคันในภาพ ในกรณีนี้ค่าน้ำหนักประสาทของเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวที่ถูกปรับปรุงจะมีเพียงกลุ่มเดียว และเมื่อพาหนะพ้นจากการถูกติดตามค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มพาหนะคันนั้นต้องถูกลบทิ้งไปเพื่อรอรับค่าน้ำหนักประสาทของพาหนะคันถัดไป โดยผลที่ได้จากการติดตามพาหนะที่แสดงในรูปที่ 4.11 เป็นการติดตามพาหนะจากด้านหน้าของพาหนะโดยมีค่าเทียบเคียงแสดงดังรูปที่ 4.13 และในรูปที่ 4.12 เป็นการติดตามพาหนะจากด้านหลังของพาหนะมีค่าเทียบเคียงแสดงดังรูปที่ 4.14 โดยบริเวณที่ค่าเทียบเคียงเป็นศูนย์คือลำดับภาพที่ตรวจหาพาหนะไม่เจอ โดยมากเกิดจากภาพพาหนะมีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่ากรอบภาพพาหนะที่กำหนดไว้ และบางกรณีเกิดจากภาพเบลอเนื่องจากกล้องสั่นทำให้รายละเอียดของภาพหายไป

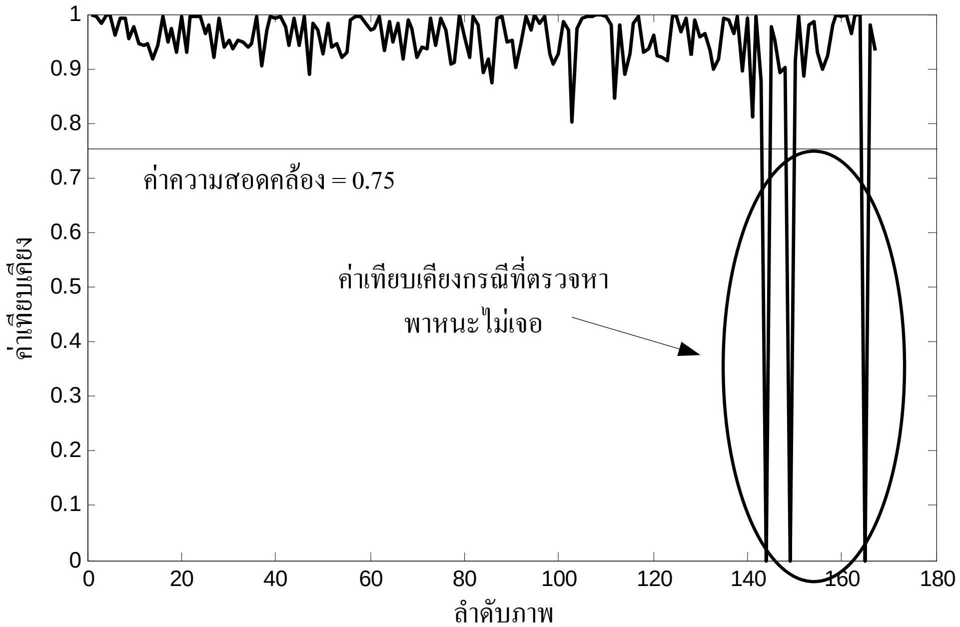


รูปที่ 4.11 การติดตามพาหนะหนึ่งคันในภาพ

รูปที่ 4.12 การติดตามพาหนะหนึ่งคันในภาพ



รูปที่ 4.13 ค่าเทียบเคียงที่ลำดับภาพต่าง ๆ



รูปที่ 4.14 ค่าเทียบเคียงที่ลำดับภาพต่าง ๆ

<u>กรณีที่ 2</u> การติดตามพาหนะที่มีพาหนะมากกว่าหนึ่งคันในภาพ ในกรณีนี้ค่าน้ำหนักประสาทของเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวที่ถูกปรับปรุงจะต้องมีเพียง 2 กลุ่มซึ่งแทนพาหนะสองคัน

รูปที่ 4.15 การติดตามพาหนะหนึ่งคันในภาพ

กรณีที่ 3 การติดตามพาหนะที่มีพาหนะมากกว่าหนึ่งคันในภาพและพาหนะที่ปรากฏในภาพมีลักษณะเหมือนกันซึ่งไม่เกิดขึ้นบ่อยนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีในการจัดการกับกรณีนี้แต่มิได้นำมาทดสอบจริง โดยในกรณีนี้ค่าน้ำหนักประสาทของเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวที่ถูกปรับปรุงจะมีเพียงกลุ่มเดียว ทำให้พาหนะคันที่มีลักษณะเหมือนกันอยู่กลุ่มเดียวกันทั้งหมดทำให้ไม่สามารถติดตามพาหนะแยกแต่ละคันได้ ดังนั้นจึงนำตำแหน่งและขนาดของกรอบภาพพาหนะมาสร้างเป็นเวกเตอร์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับกรอบภาพพาหนะของลำดับภาพปัจจุบันกับกรอบภาพพาหนะในลำดับภาพที่ผ่านมาหนึ่งลำดับภาพ ดังสมการ

$$V = \begin{bmatrix} x & y & w \end{bmatrix} \tag{4.8}$$

โดยที่ V คือ ค่าเวกเตอร์ตำแหน่ง
x คือ ตำแหน่งกรอบภาพพาหนะในแกน x
y คือ ตำแหน่งกรอบภาพพาหนะในแกน y
w คือ ความกว้างของกรอบภาพพาหนะ

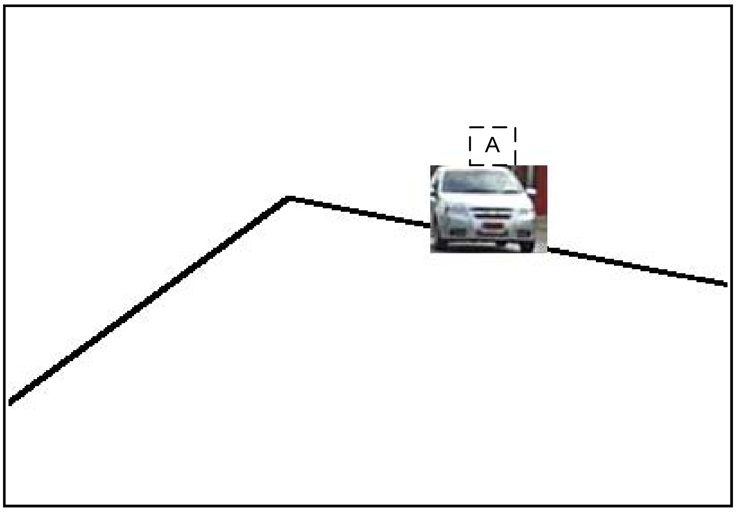
โดยจากสมการที่ 4.8 นำเวกเตอร์ที่ได้มาคำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างกรอบภาพพาหนะของลำดับภาพปัจจุบันกับกรอบภาพพาหนะในลำดับภาพที่ผ่านมาหนึ่งลำดับภาพ ดังสมการ

$$d_{ji} = \left\| V_{1i} - V_{2j} \right\| \tag{4.9}$$

โดยที่ d_{ji} คือ ค่าความแตกต่างระหว่างกรอบภาพพาหนะคันที่ i ในลำดับภาพปัจจุบันกับกรอบภาพพาหนะคันที่ j ในลำดับภาพที่ผ่านมาหนึ่งลำดับภาพ
V_{1i} คือ ค่าเวกเตอร์ตำแหน่งของกรอบภาพพาหนะคันที่ i ในลำดับภาพภาพปัจจุบัน
V_{2j} คือ ค่าเวกเตอร์ตำแหน่งของกรอบภาพพาหนะคันที่ j ในลำดับภาพที่ผ่านมาหนึ่งลำดับภาพ

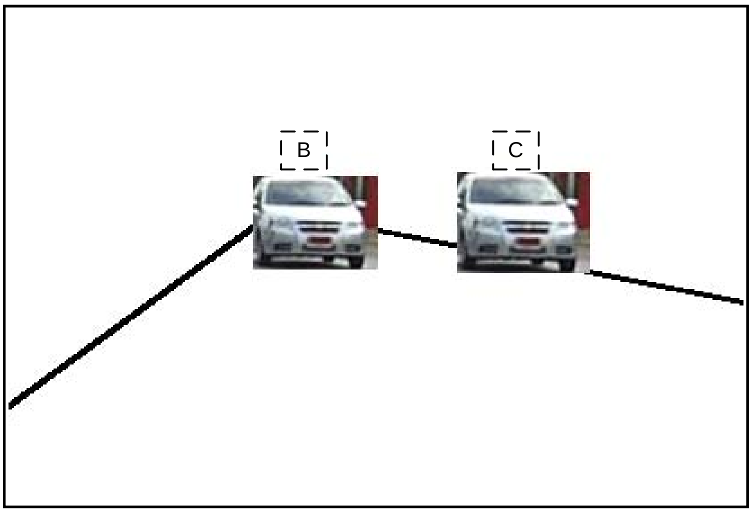
โดยจากสมการที่ 4.9 ค่า d_j เป็นค่าที่ใช้ระบุว่ากรอบภาพพาหนะที่ผ่านมาใกล้เคียงกับกรอบภาพพาหนะปัจจุบันตำแหน่งใดมากที่สุด ดังนั้นกรอบภาพพาหนะปัจจุบันที่มีค่า d_j น้อยที่สุดก็จะได้รับการยืนยันว่าเป็นพาหนะคันเดียวกับพาหนะคันที่ผ่านมา และกรอบพาหนะปัจจุบันที่ไม่ได้จับคู่กับกรอบภาพพาหนะลำดับภาพที่ผ่านมาก็คือพาหนะคันใหม่ที่เข้ามานั้นเอง

โดยตัวอย่างการติดตามพาหนะที่มีพาหนะมากกว่าหนึ่งคันในภาพและพาหนะที่ปรากฏในภาพมีลักษณะเหมือนกัน โดยเมื่อเกิดกรณีนี้ขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าพาหนะ B และ C มีลักษณะที่เหมือนกัน ดังนั้นระบบจะนำตำแหน่งและขนาดของกรอบภาพพาหนะ B และ C มาเทียบกับตำแหน่งและขนาดของกรอบภาพพาหนะ A เมื่อกรอบภาพพาหนะ A B และ C มีค่าเวกเตอร์ตำแหน่งเท่ากับ V_{21} V_{11} และ V_{12} ตามลำดับ โดยที่ V_{21}=[480 219 65] V_{11} = [390 221 69] และ V_{12} = [505 223 74] และเมื่อนำค่าเวกเตอร์ตำแหน่งมาหาค่าความแตกต่างระหว่างกรอบภาพพาหนะจากสมการที่ 4.9 จะได้ค่า $d_{11} = 90.11$ และ $d_{12} = 26.87$ ดังนั้นกรอบภาพพาหนะA จึงเป็นกรอบภาพกลุ่มเดียวกันกับกรอบภาพพาหนะ C แต่ถ้าไม่มีพาหนะในลำดับภาพที่ผ่านมาหนึ่งลำดับภาพ ระบบก็จะทำการระบุกลุ่มของพาหนะโดยอัตโนมัติตามลำดับการตรวจพบ



(ก) ลำดับภาพที่ 1

รูปที่ 4.16 พาหนะที่ปรากฏในภาพมีลักษณะเหมือนกัน



(ข) ลำดับภาพที่ 2

รูปที่ 4.16 (ต่อ) พาหนะที่ปรากฏในภาพมีลักษณะเหมือนกัน

4.5 สรุป

ระบบการติดตามพาหนะ แบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของการแปลงกรอบภาพพาหนะเป็นเวกเตอร์ลักษณะโดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อเป็นตัวแทนของกรอบภาพพาหนะนั้น ๆ และอีกส่วนคือ การติดตามพาหนะ ในส่วนนี้จะนำเวกเตอร์ลักษณะที่ได้จากส่วนแรกไปเข้าเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวเพื่อทำการจัดกลุ่มให้พาหนะคันเดียวกันซึ่งมีค่าน้ำหนักประสาทคล้ายกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน และพาหนะที่ไม่ใช่คันเดียวกันให้อยู่ค่าน้ำหนักประสาทอีกกลุ่มหนึ่ง โดยจากใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวให้ผลการติดตามพาหนะที่ดีและมีประสิทธิภาพ

บทที่ 4 ระบบการติดตามหาพาหนะภายในภาพ..51

4.1 กล่าวนำ 51

4.2 วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis, PCA) ...52

4.2.1 ตัวอย่างเวกเตอร์ลักษณะที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก 55

4.3 เครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว (Adaptive Resonance Theory : ART) 57

4.3.1 ตัวอย่างการทำงานของเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว 58

4.4 ผลการทดสอบระบบ...60

4.5 สรุป...67

บทที่ 5
ผลการทดสอบระบบ

การทดสอบข้อมูลวีดิทัศน์จากภาพบริเวณถนนเส้นหลักภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในเวลากลางวัน ซึ่งเป็นข้อมูลภาพเคลื่อนไหวที่มีความเร็วในการรับภาพ 10 ภาพ ต่อวินาที จากการติดตั้ง กล้องดิจิทัลที่ระยะสูงจากพื้นดินประมาณ 1.2 เมตร นำมาสกัดภาพนิ่งได้ภาพขนาด 640×480 จุดภาพเพื่อใช้ในการตรวจหาพาหนะ

5.1 การตรวจหาพาหนะ

ผลการตรวจหาพาหนะบนถนนจากข้อมูลวีดิทัศน์ สามารถแสดงผลประสิทธิภาพเป็นลำดับภาพที่ต่อเนื่องในระยะช่วงเวลาหนึ่งโดยแสดงผลการตรวจหาพาหนะในภาพเป็นกราฟสองชุดที่มีแกนตั้งเป็นจำนวนพาหนะที่ตรวจหาได้และจำนวนพาหนะที่ตรวจหาไม่เจอของแต่ละลำดับภาพ โดยแสดงตัวอย่างในการตรวจหาพาหนะโดยแบ่งเป็นชุดภาพวีดิทัศน์ตามบริเวณถนนต่าง ๆ ดังนี้

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 1 จำนวน 34 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.1 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงใน รูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 2 จำนวน 200 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.4 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.5 และ รูปที่ 5.6

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 3 จำนวน 36 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.7 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.8

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 4 จำนวน 41 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.9 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.10

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 5 จำนวน 64 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.12รูปที่ 5.1 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.13 ถึงรูปที่ 5.16

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 6 จำนวน 42 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.17 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.18 ถึงรูปที่ 5.23

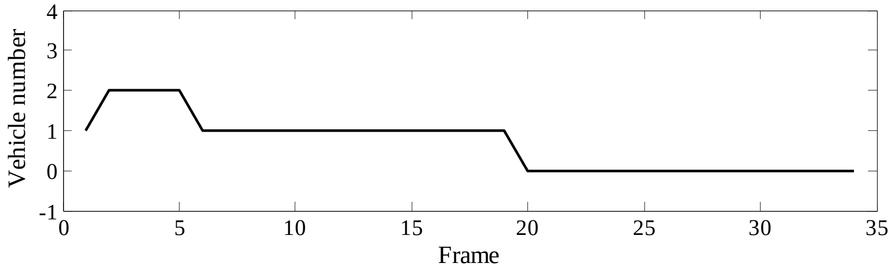
ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 7 จำนวน 37 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.21 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.24 และรูปที่ 5.25

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 8 จำนวน 186 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.26 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.27 ถึงรูปที่ 5.29

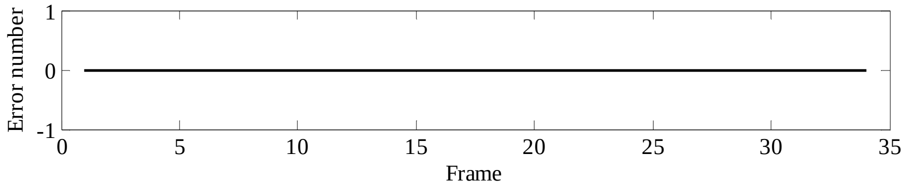
ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 9 จำนวน 87 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.30 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.31 ถึงรูปที่ 5.33

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 10 จำนวน 67 ลำดับภาพ โดยผลการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.34 และตัวอย่างการตรวจหาพาหนะในภาพดังแสดงในรูปที่ 5.37 และรูปที่ 5.35

5.1.1 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 1

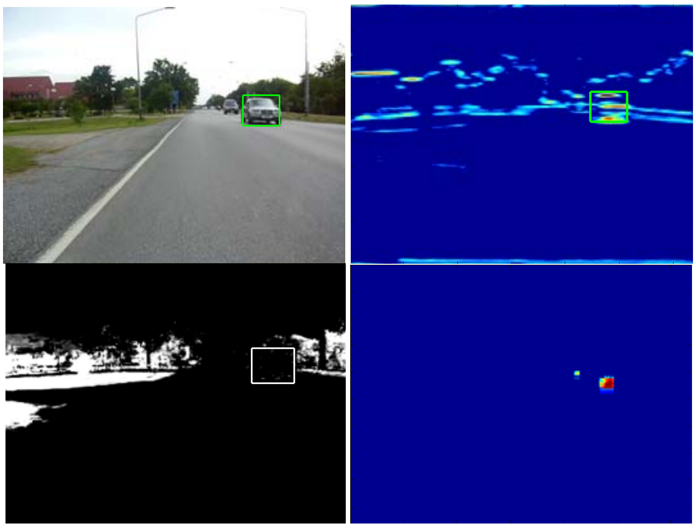


(ก)



(ข)

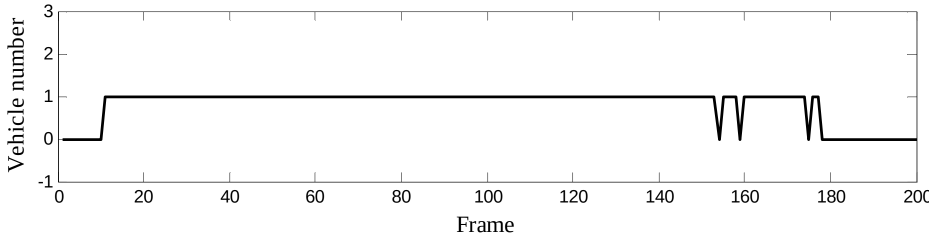
รูปที่ 5.1 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 1 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด



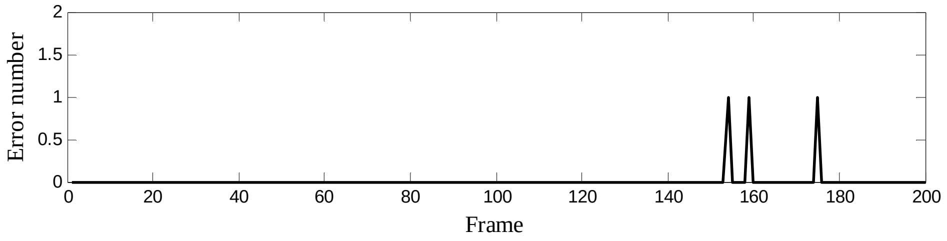
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 1 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 1 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.2 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 2

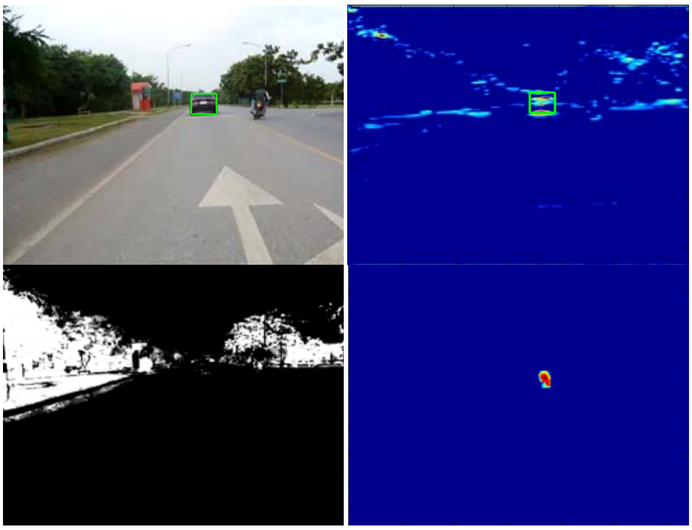


(ก)

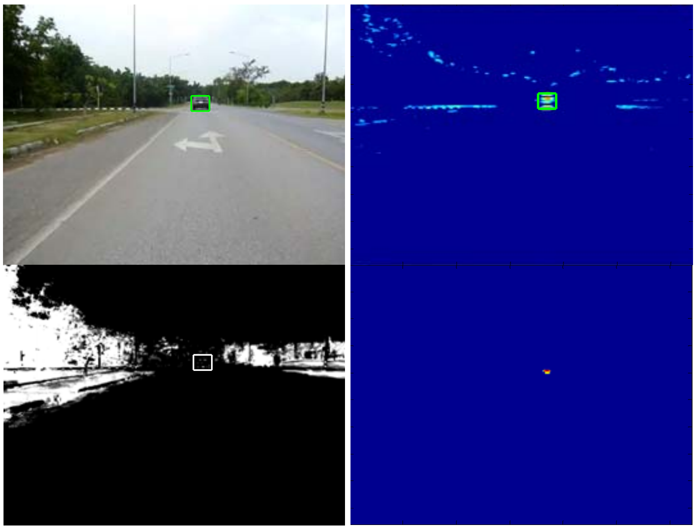


(ข)

รูปที่ 5.4 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

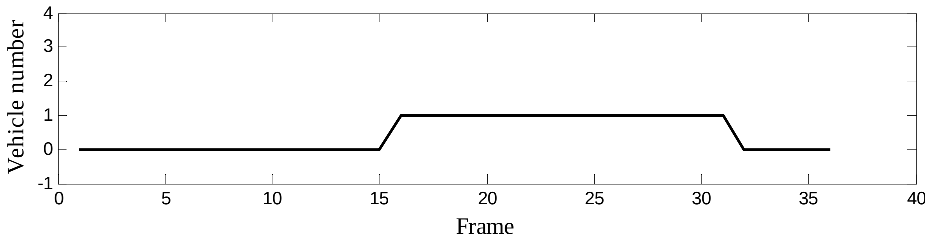


รูปที่ 5.5 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดง ผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

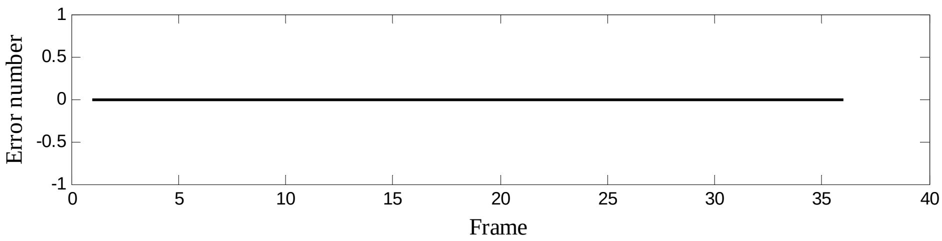


รูปที่ 5.6 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.3 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 3

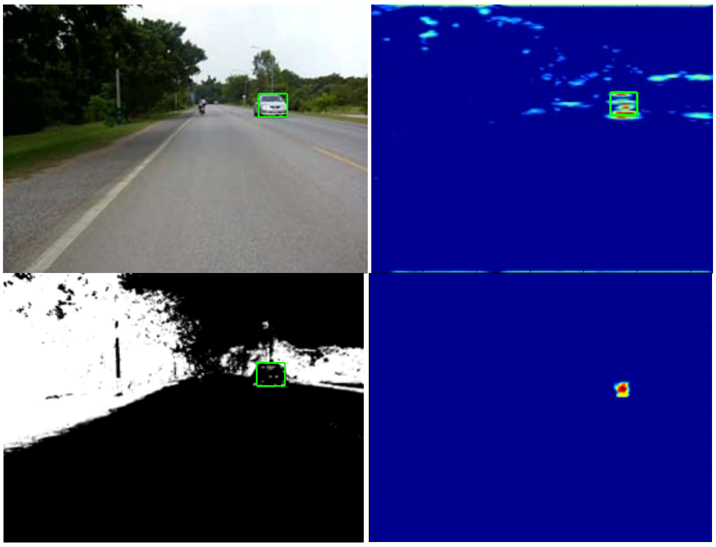


(ก)



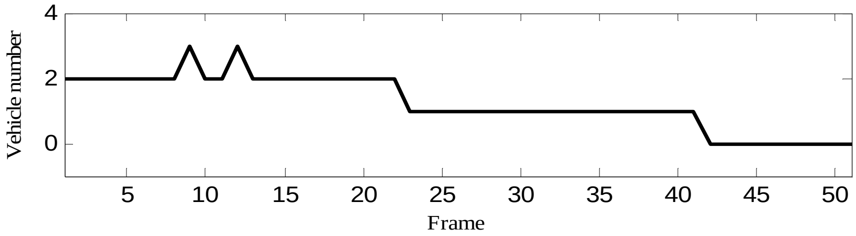
(ข)

รูปที่ 5.7 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 3 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

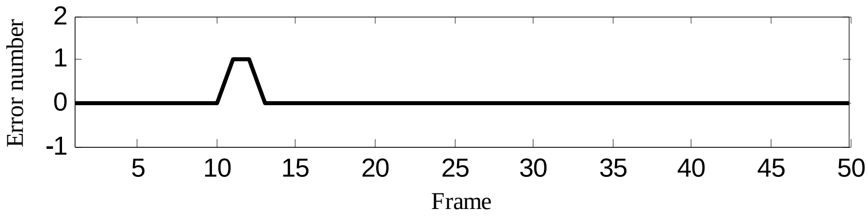


รูปที่ 5.8 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 3 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดง ผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.4 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 4

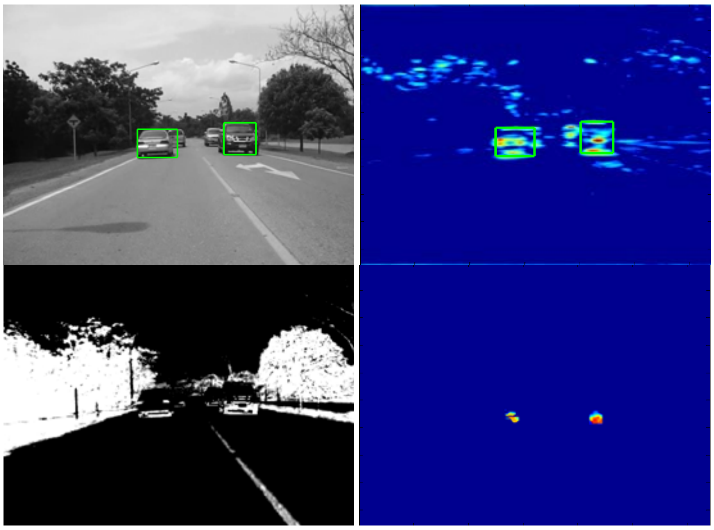


(ก)

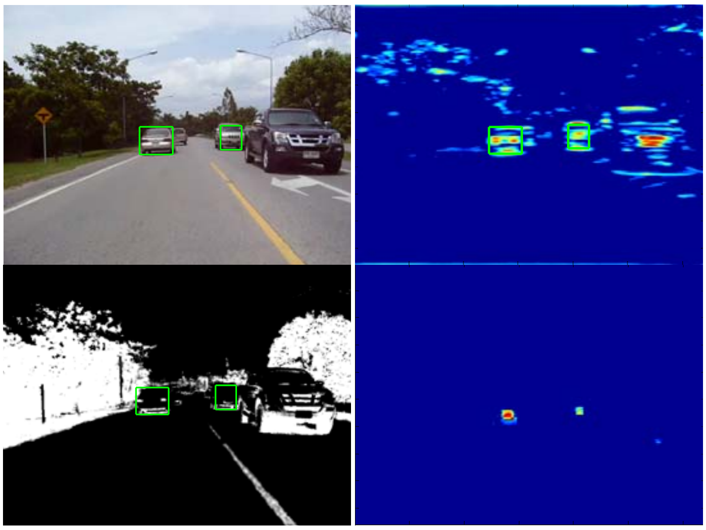


(ข)

รูปที่ 5.9 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

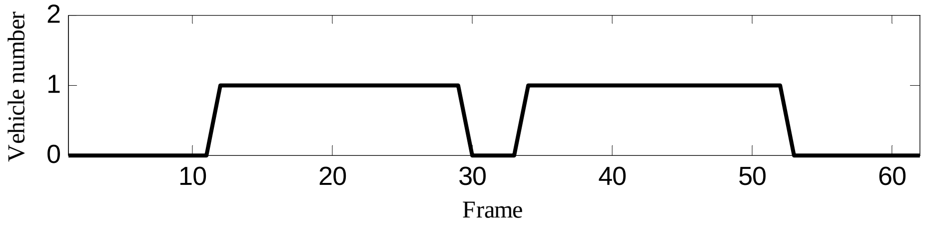


รูปที่ 5.10 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

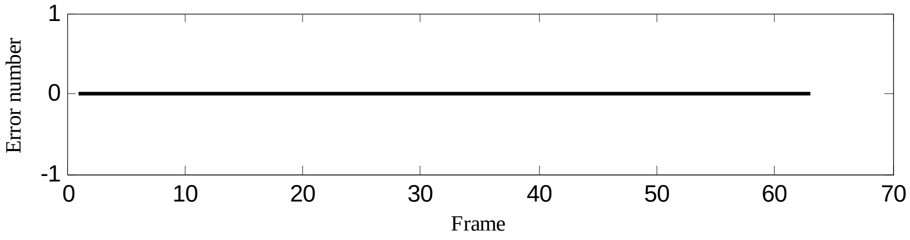


รูปที่ 5.11 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.5 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 5



(ก)

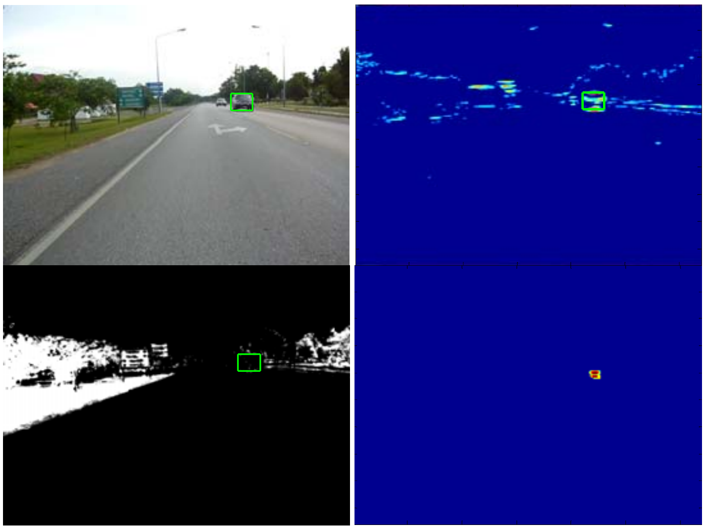


(ข)

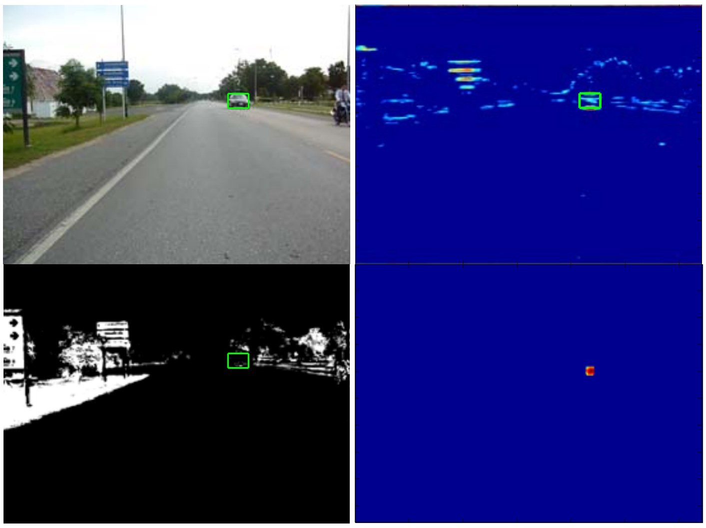
(ข)

รูปที่ 5.12 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

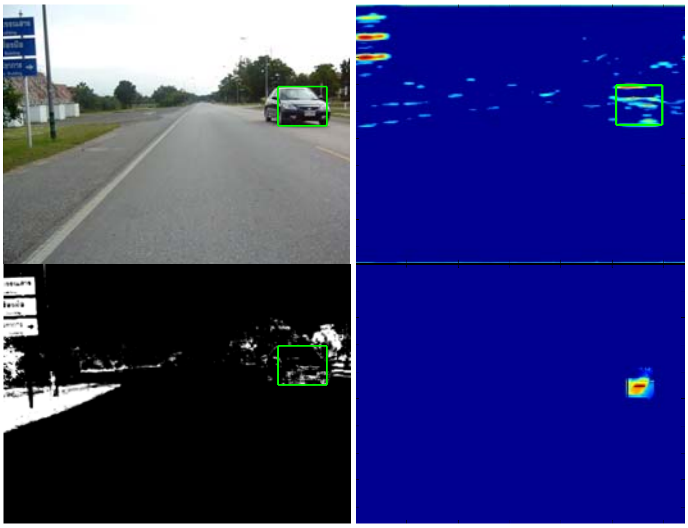
รูปที่ 5.13 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ



รูปที่ 5.14 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

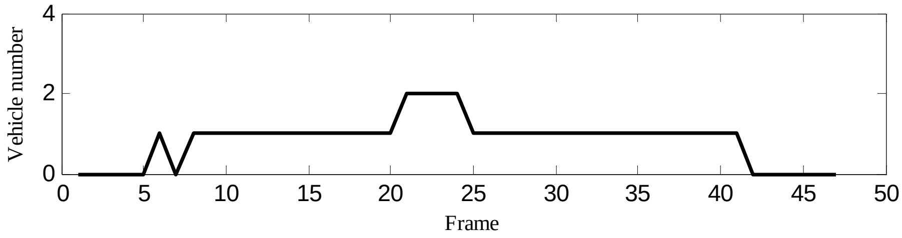


รูปที่ 5.15 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

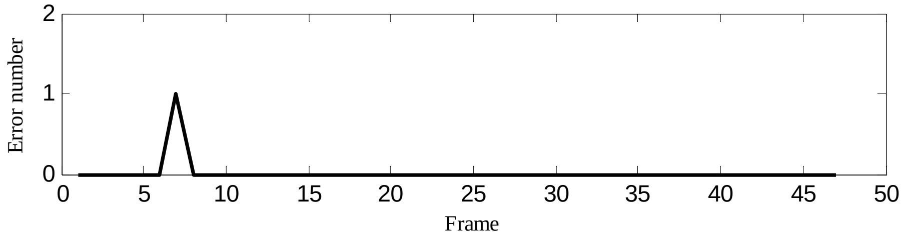


รูปที่ 5.16 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.6 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 6

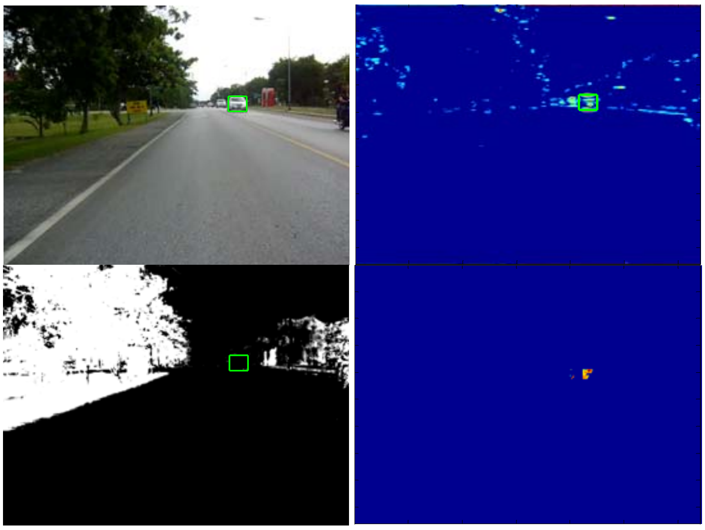


(ก)

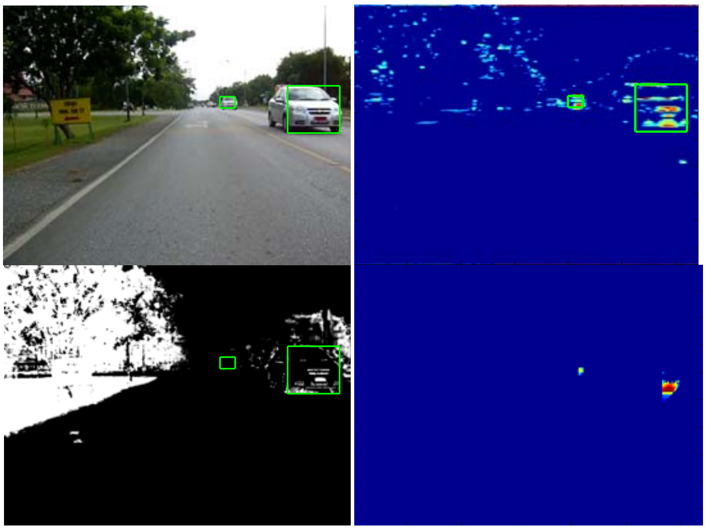


(ข)

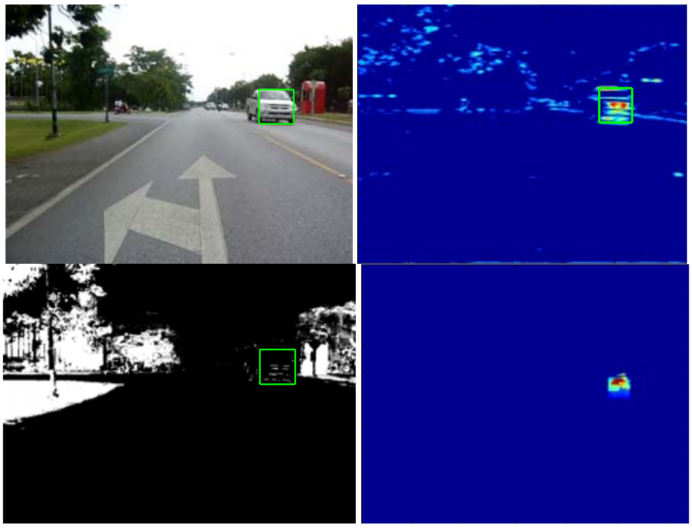
รูปที่ 5.17 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด



รูปที่ 5.18 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดง ผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

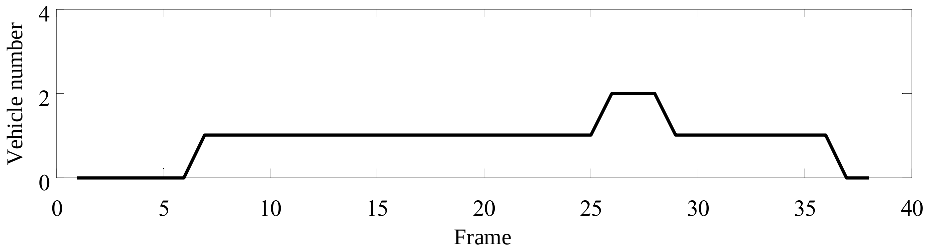


รูปที่ 5.19 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดง ผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

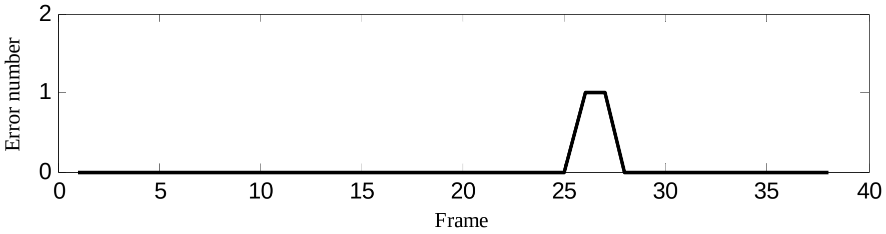


รูปที่ 5.20 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.7 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 7

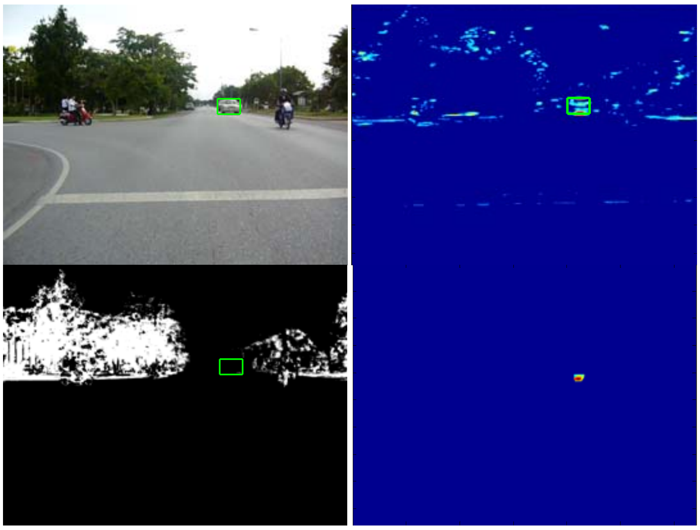


(ก)

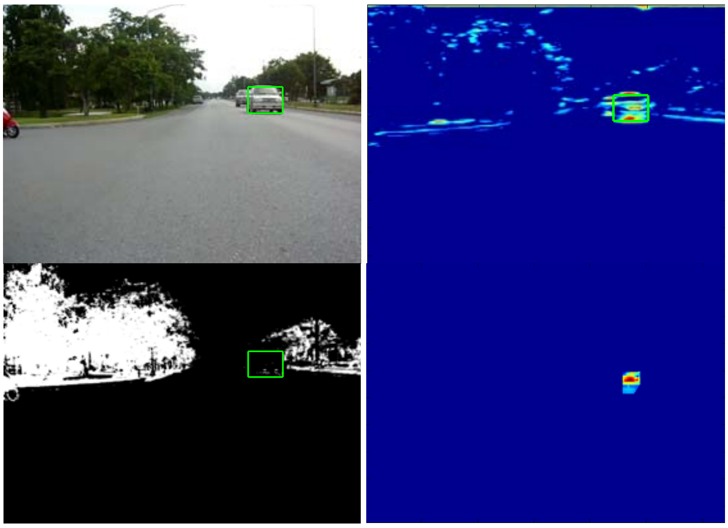


(ข)

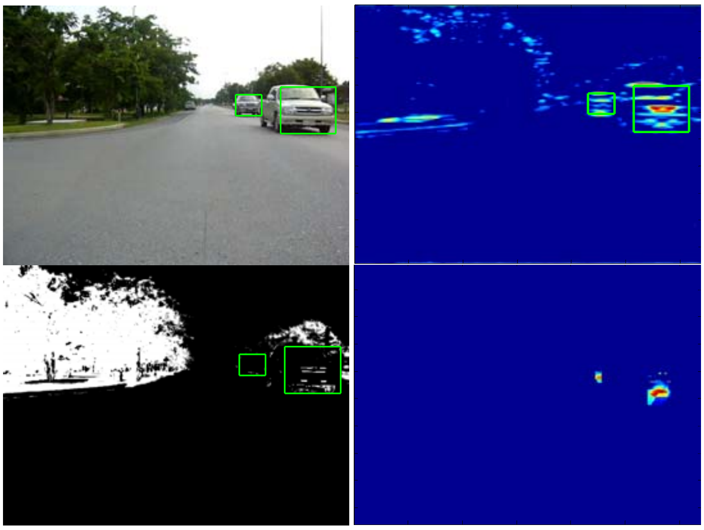
รูปที่ 5.21 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด



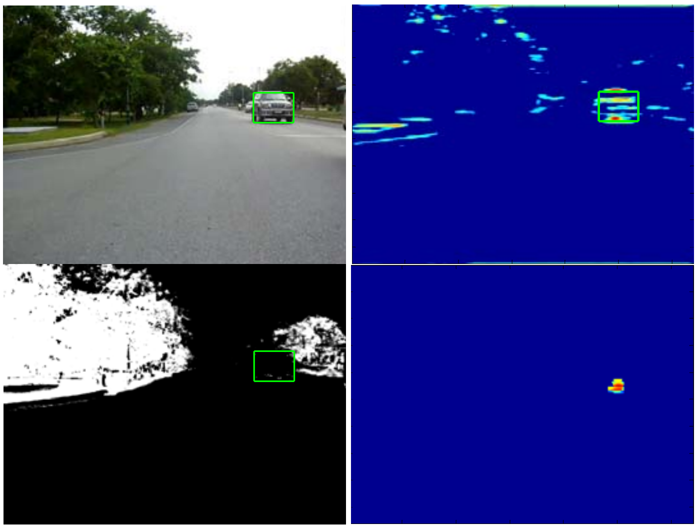
รูปที่ 5.22 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ



รูปที่ 5.23 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

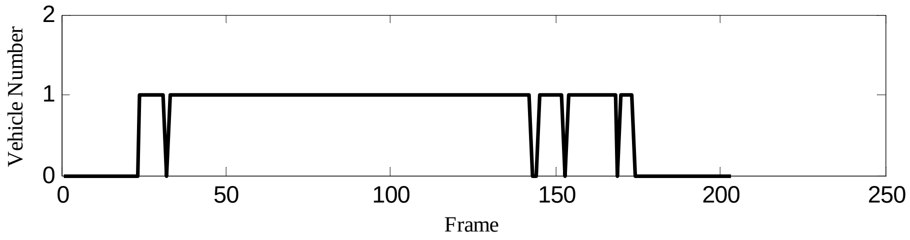


รูปที่ 5.24 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

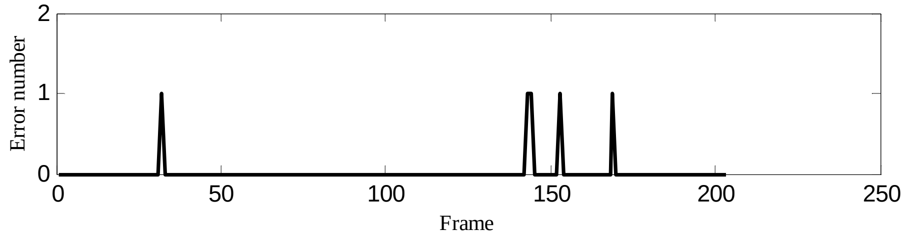


รูปที่ 5.25 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.8 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 8

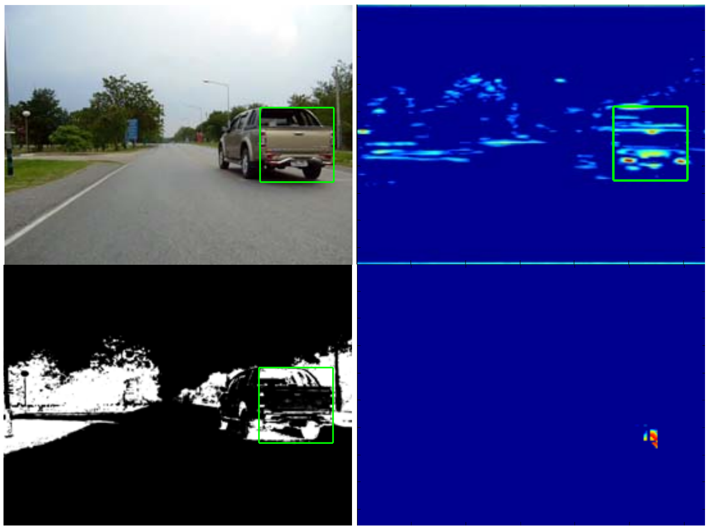


(ก)

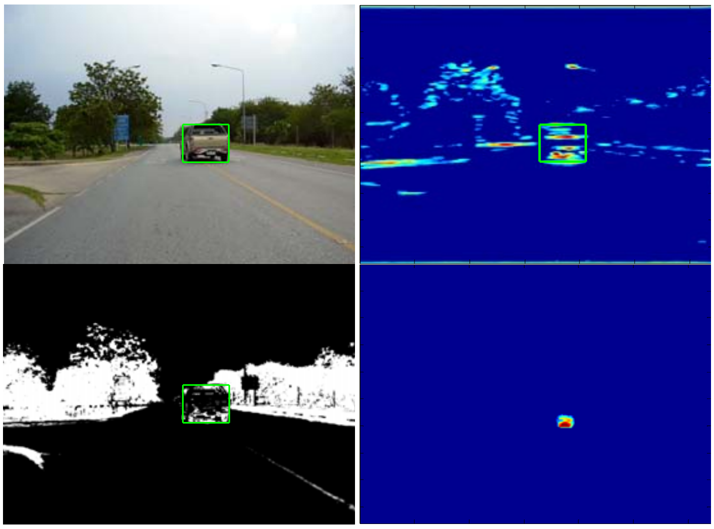


(ข)

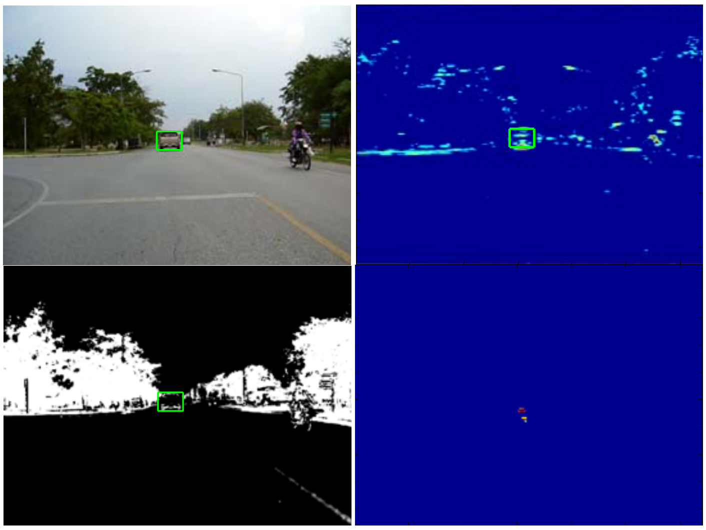
รูปที่ 5.26 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด



รูปที่ 5.27 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

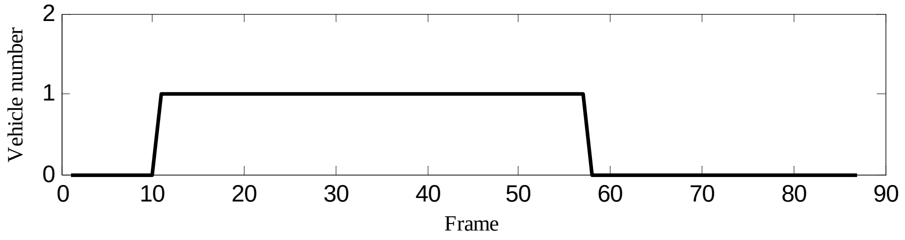


รูปที่ 5.28 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

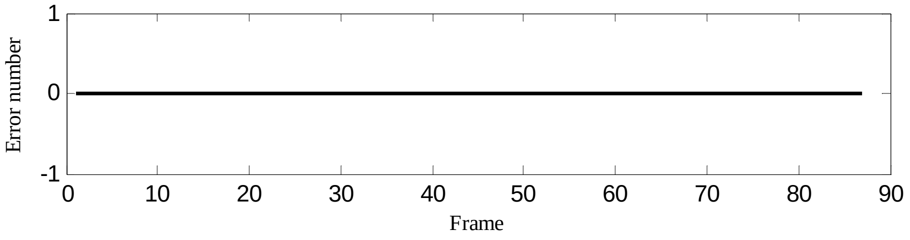


รูปที่ 5.29 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.9 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 9

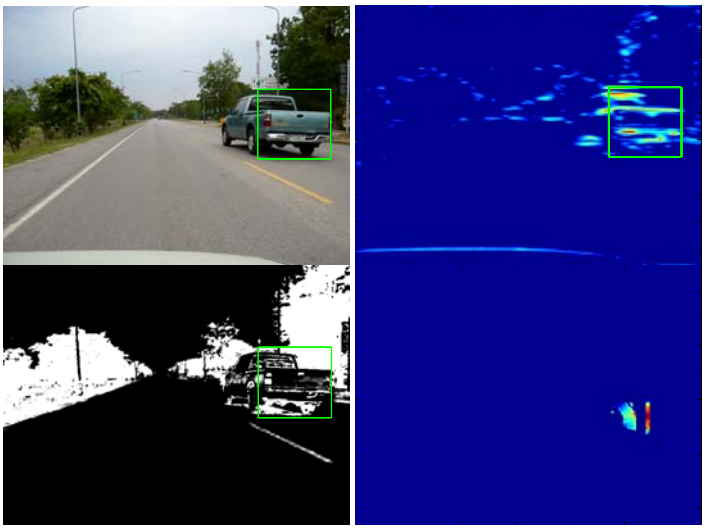


(ก)

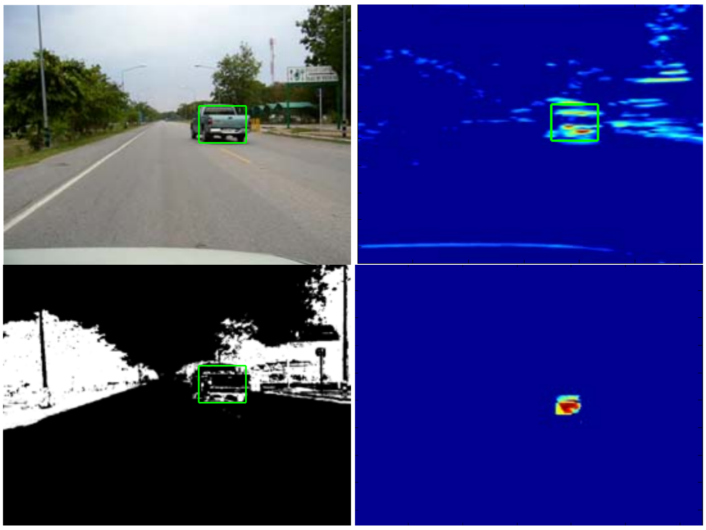


(ข)

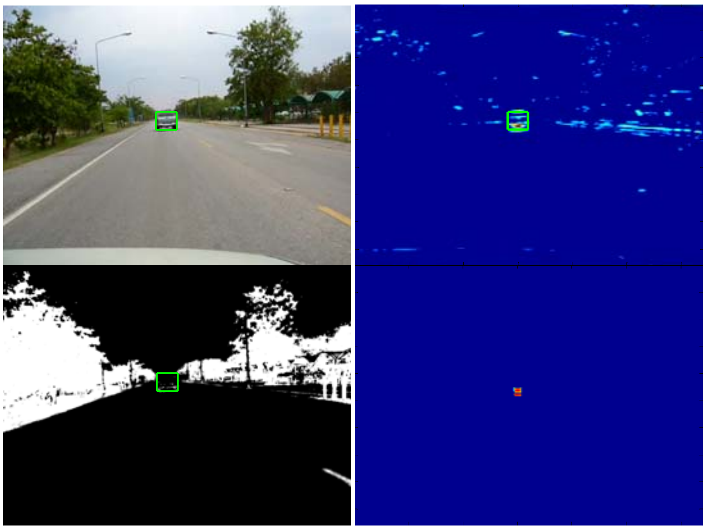
รูปที่ 5.30 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด



รูปที่ 5.31 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

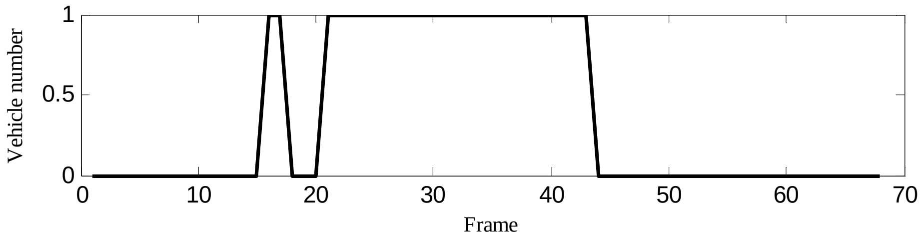


รูปที่ 5.32 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดง ผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

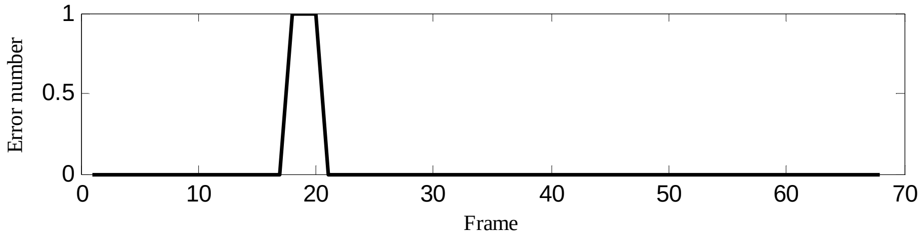


รูปที่ 5.33 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดง ผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.10 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 10

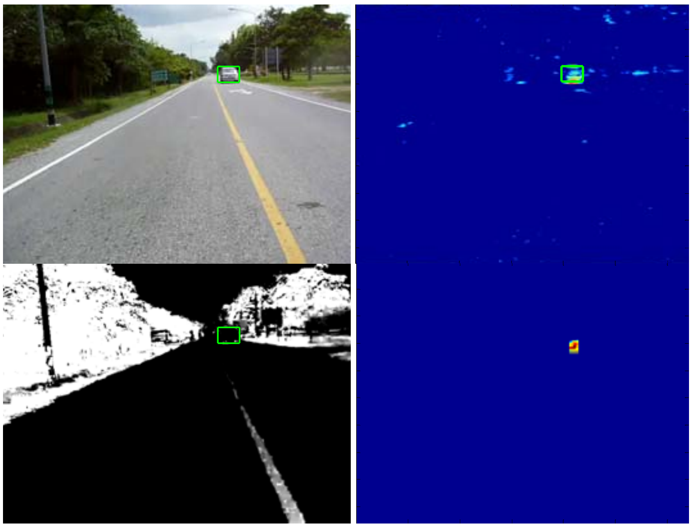


(ก)



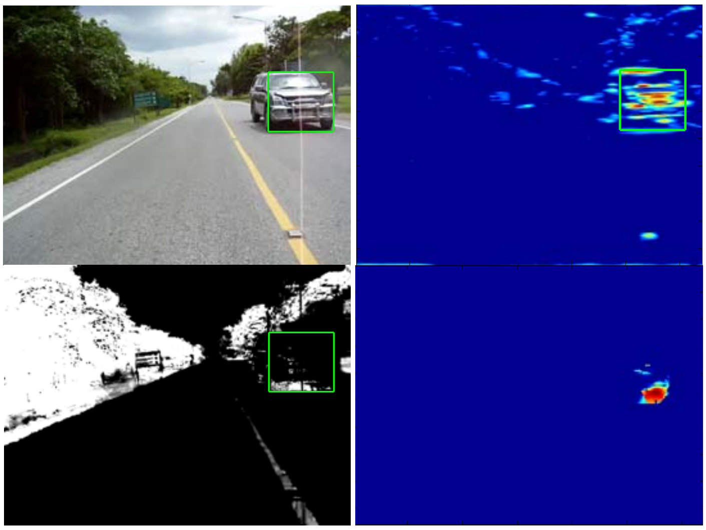
(ก)

รูปที่ 5.34 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10 (ก) กราฟประสิทธิการตรวจหาพาหนะในภาพ (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะในภาพที่ผิดพลาด



รูปที่ 5.35 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

รูปที่ 5.36 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ



รูปที่ 5.37 ตัวอย่างผลการตรวจหาพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10 จากภาพซ้ายไปขวาและบนลงล่างแสดงผลการตรวจหาพาหนะ ขนาดของกาบอร์ ภาพระดับ S และค่าพลังงานพาหนะตามลำดับ

5.1.11 ตัวอย่างการตรวจหาพาหนะที่ผิดพลาด

การตรวจหาพาหนะในภาพไม่พบเนื่องจากพาหนะในภาพมีขนาดเล็กซึ่งมีผลทำให้ค่าพลังงานพาหนะที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของพลังงานพาหนะที่ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 5.38

รูปที่ 5.38 การตรวจหาพาหนะไม่พบ

การตรวจหาพาหนะผิดพลาดที่เกิดจากการบดบังจากพาหนะคันหน้า ซึ่งมีผลทำให้ขนาดของกาบอร์ของพาหนะที่ถูกบดบังขาดหายไปจึงเกิดการตรวจหาพาหนะที่ผิดพลาดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.39

รูปที่ 5.39 การตรวจหาพาหนะผิดพลาด

ตารางที่ 3.1 สรุปประสิทธิภาพการตรวจหาพาหนะ

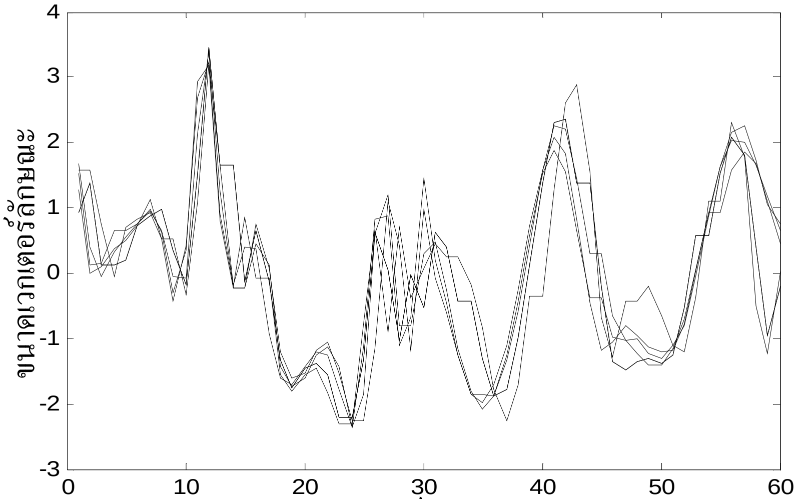
ภาพวีดิทัศน์ชุดที่	จำนวนลำดับภาพทั้งหมด	จำนวนลำดับภาพที่ผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
1	34	0	100
2	200	3	98.5
3	36	0	100
4	50	2	96
5	64	0	100
6	42	1	97.6
7	37	2	94.60
8	186	5	97.3
9	87	0	100
10	67	2	97
รวม	803	15	98.13

5.2 การติดตามพาหนะ

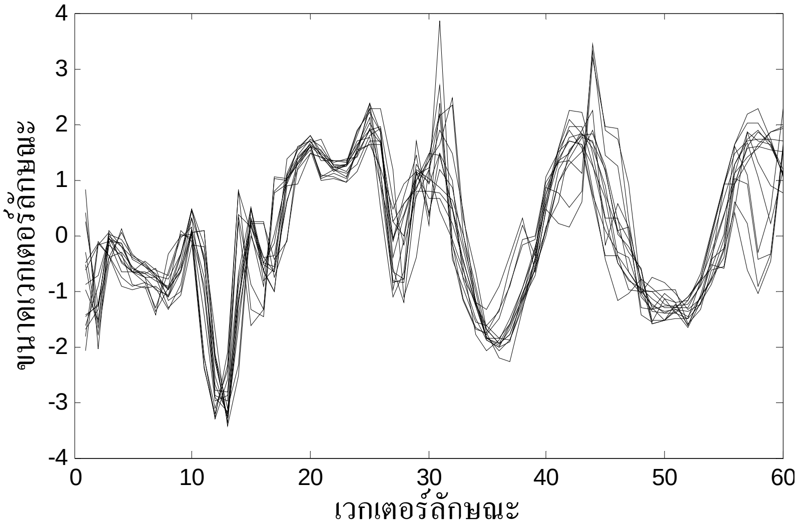
การติดตามพาหนะเริ่มต้นหลังจากเสร็จกระบวนการตรวจหาพาหนะในแต่ละลำดับภาพ โดยจะนำกรอบภาพพาหนะที่ได้จากขั้นตอนการตรวจหาพาหนะมาคำนวณหาเวกเตอร์ลักษณะเพื่อใช้สำหรับเครือข่าย ART ในการแยกกลุ่มของพาหนะดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ในการติดตามพาหนะสามารถแสดงผลประสิทธิภาพเป็นกราฟ 3 แบบได้แก่ แบบแรกเป็นกราฟที่แสดงเวกเตอร์ลักษณะที่ได้จากทุกกรอบภาพพาหนะที่อยู่ในกลุ่มของค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มเดียวกันของเครือข่าย ART โดยจะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มเดียวกันจะให้เวกเตอร์ลักษณะที่คล้ายคลึงกันดังแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 5.41 และรูปที่ 5.42 ส่วนกราฟที่สองเป็นกราฟที่แสดงผลประสิทธิภาพในการติดตามพาหนะในลำดับภาพที่ต่อเนื่องโดยแกนตั้งเป็นค่าเทียบเคียงของแต่ละลำดับภาพโดยจะเห็นได้ว่าค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1 จะมีค่าเทียบเคียงในกลุ่มค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มที่ 1 มากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มอื่น และมีค่าเทียบเคียงมากกว่าค่าความสอดคล้องดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5.43 ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าความสอดคล้องมีค่าเท่ากับ 0.75 และเช่นเดียวกันกับค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2 ซึ่งจะมีค่าเทียบเคียงในกลุ่มค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มที่ 2 มากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มอื่นดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5.44 และกราฟสุดท้ายเป็นกราฟที่แสดงจำนวนพาหนะที่ติดตามผิดพลาดของแต่ละลำดับภาพ โดยจะเห็นได้ว่าตำแหน่งลำดับภาพที่มีการติดตามผิดพลาดจะมีกลุ่มของค่าน้ำหนักประสาทเพิ่มขึ้นดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5.72 และรูปที่ 5.73 ที่มีกลุ่มของค่าน้ำหนักประสาทเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งกลุ่มเป็นกลุ่มที่ 3 ซึ่งโดยปกติแล้วชุดภาพวีดิทัศน์ในชุดนี้มีพาหนะที่ปรากฏมีเพียง 2 คันเท่านั้น

5.2.1 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 1

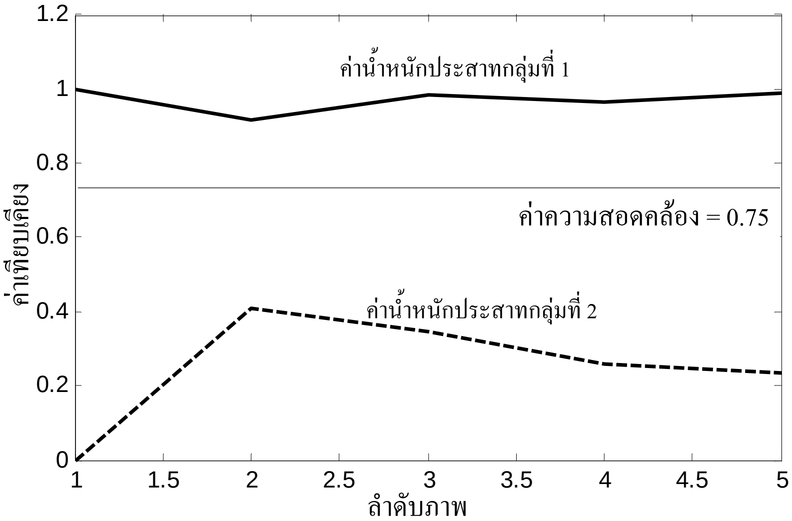
รูปที่ 5.40 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 1



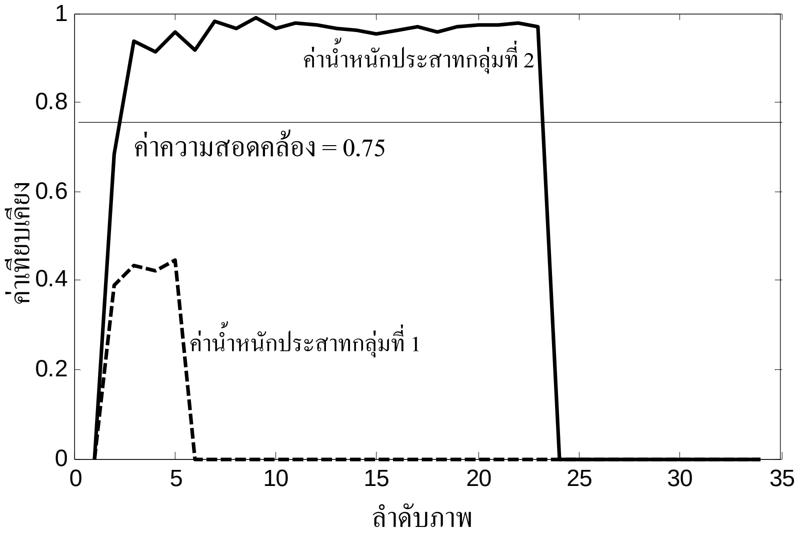
รูปที่ 5.41 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1



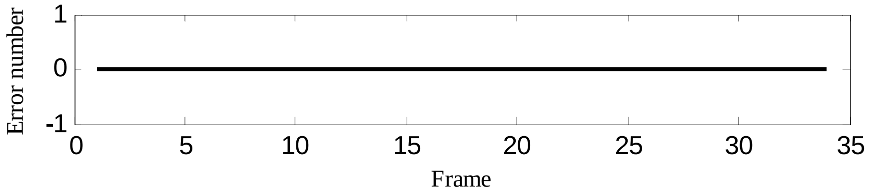
รูปที่ 5.42 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 2



รูปที่ 5.43 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



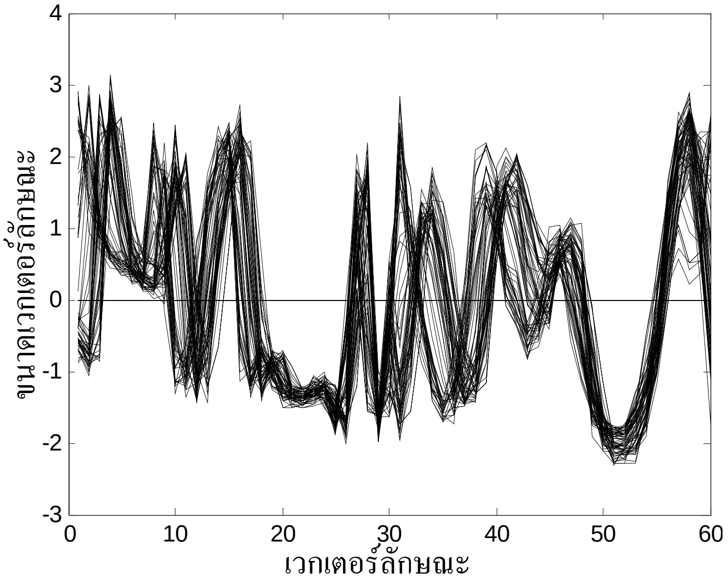
รูปที่ 5.44 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2



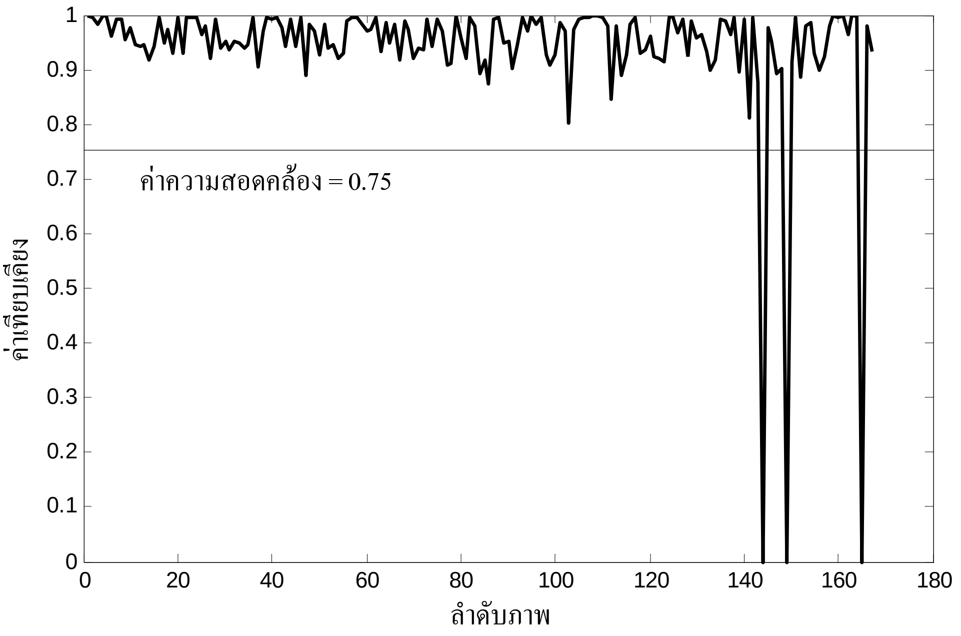
รูปที่ 5.45 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

5.2.2 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 2

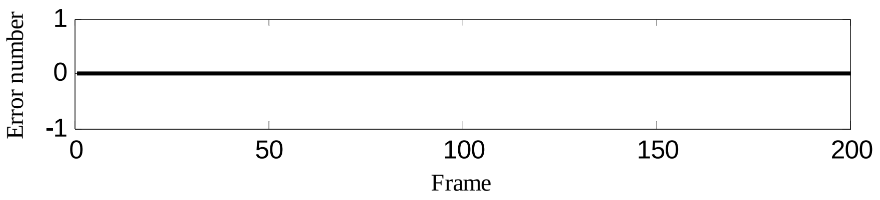
รูปที่ 5.46 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2



รูปที่ 5.47 ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1



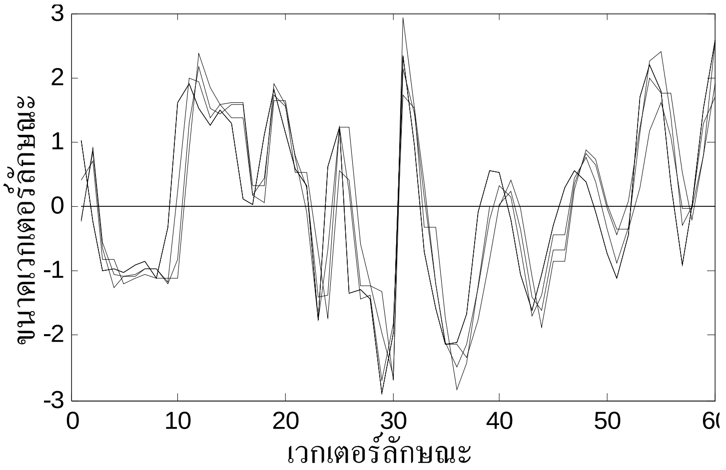
รูปที่ 5.48 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



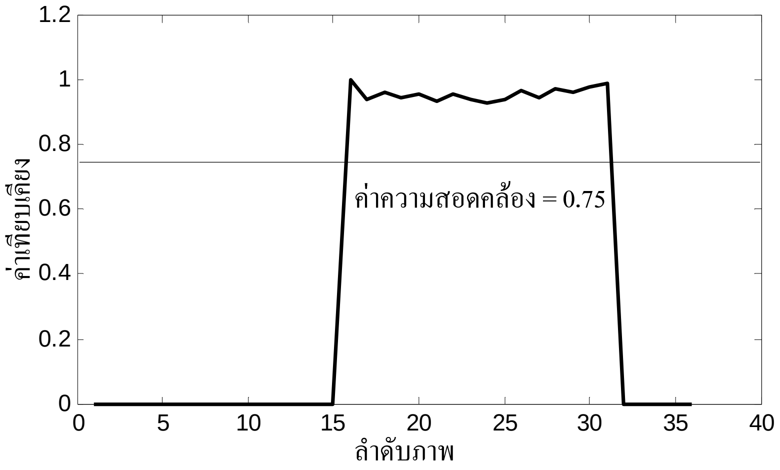
รูปที่ 5.49 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

5.2.3 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 3

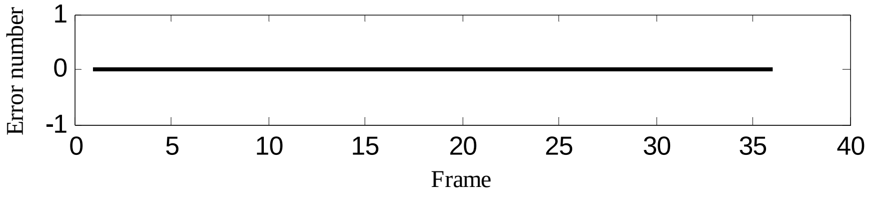
รูปที่ 5.50 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 3



รูปที่ 5.51 ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1



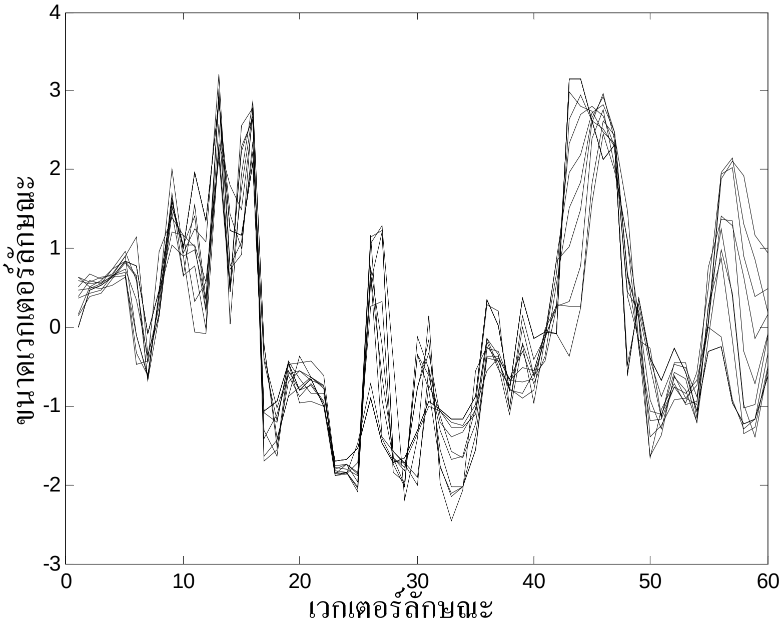
รูปที่ 5.52 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



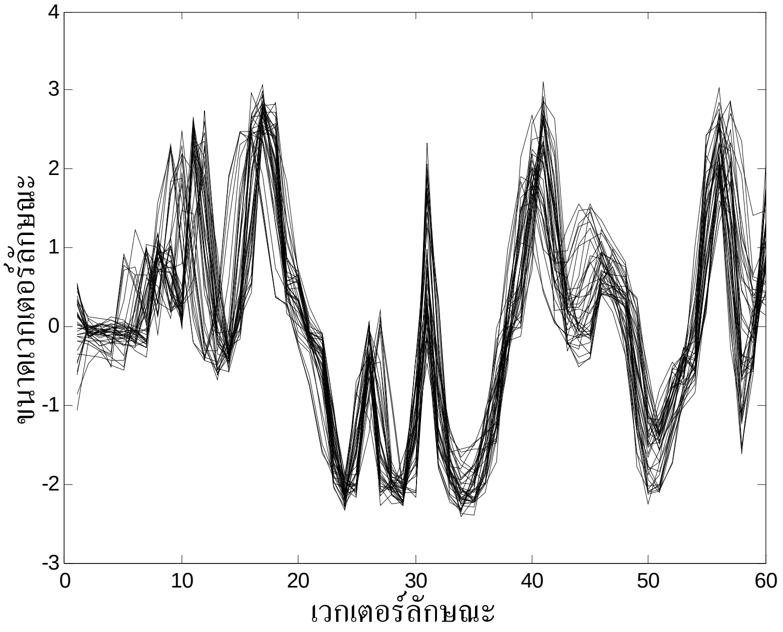
รูปที่ 5.53 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

5.2.4 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 4

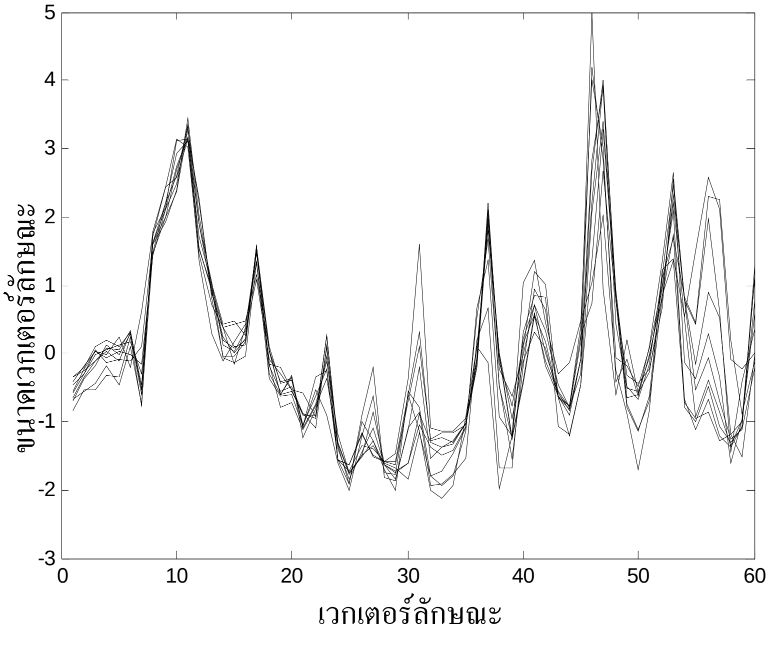
รูปที่ 5.54 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4



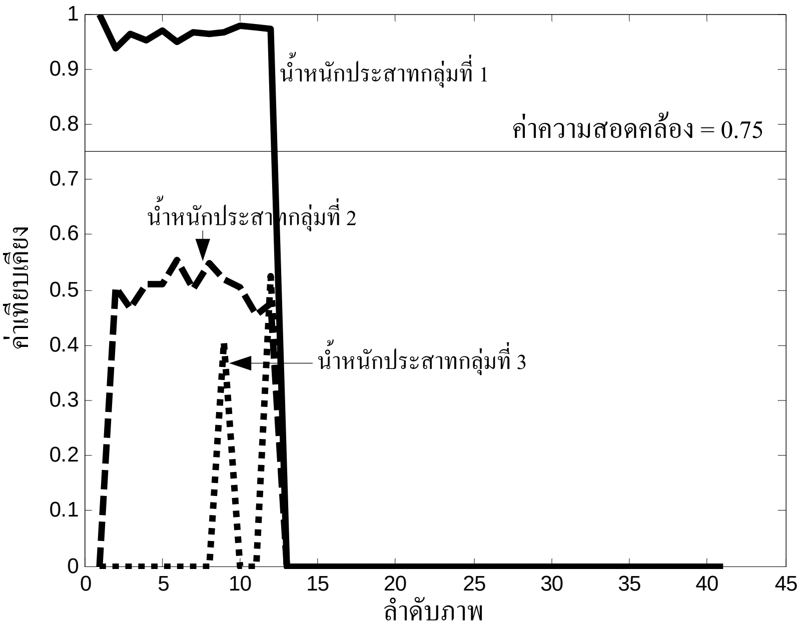
รูปที่ 5.55 ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1



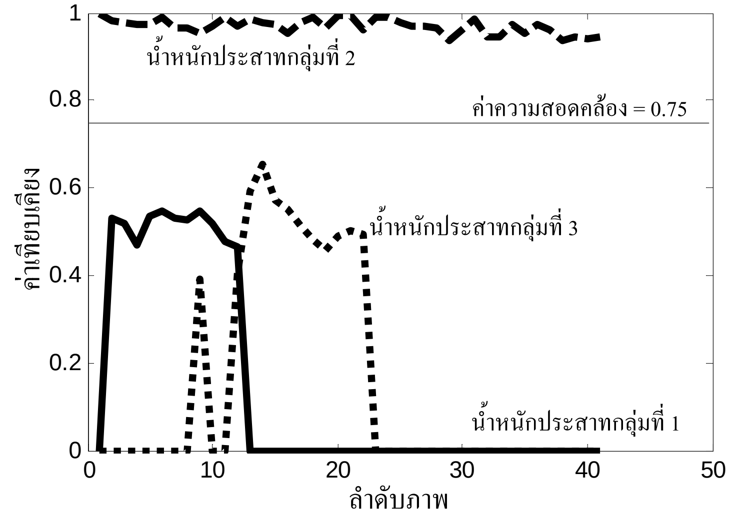
รูปที่ 5.56 ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 2



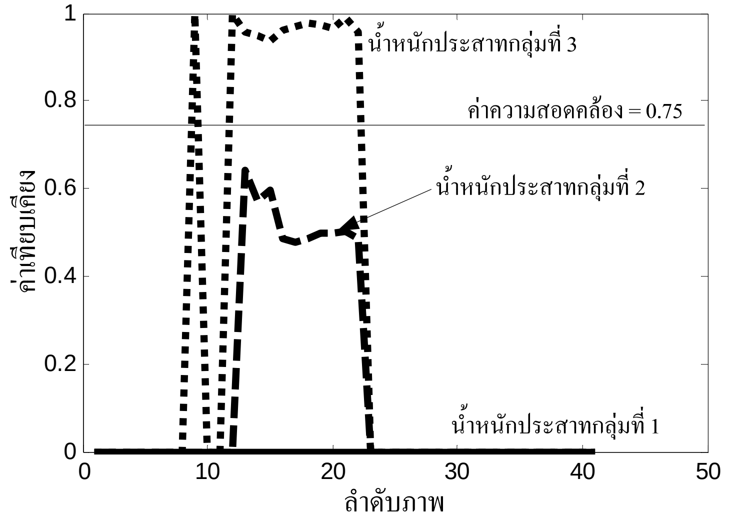
รูปที่ 5.57 ค่าเวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 3



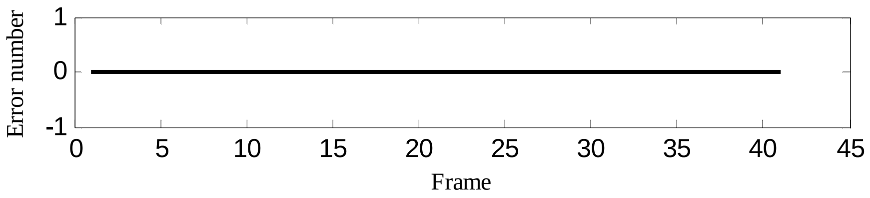
รูปที่ 5.58 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



รูปที่ 5.59 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2



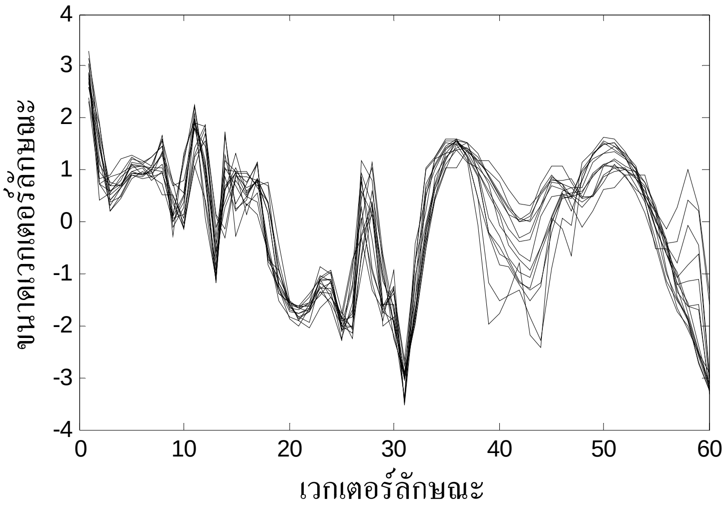
รูปที่ 5.60 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 3



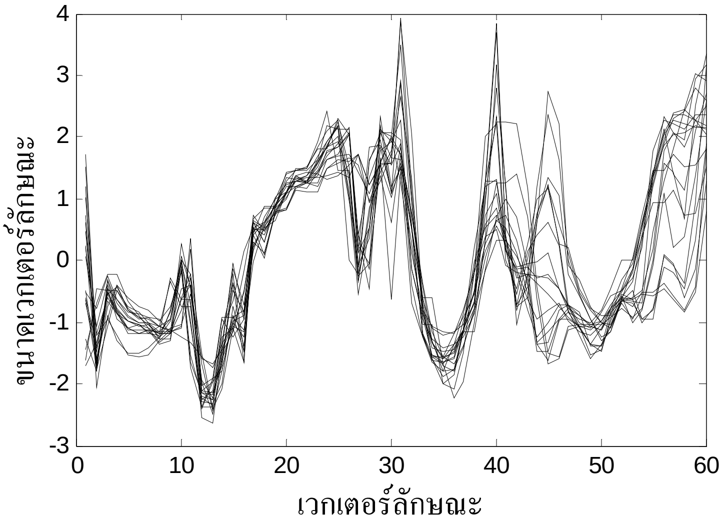
รูปที่ 5.61 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

5.2.5 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 5

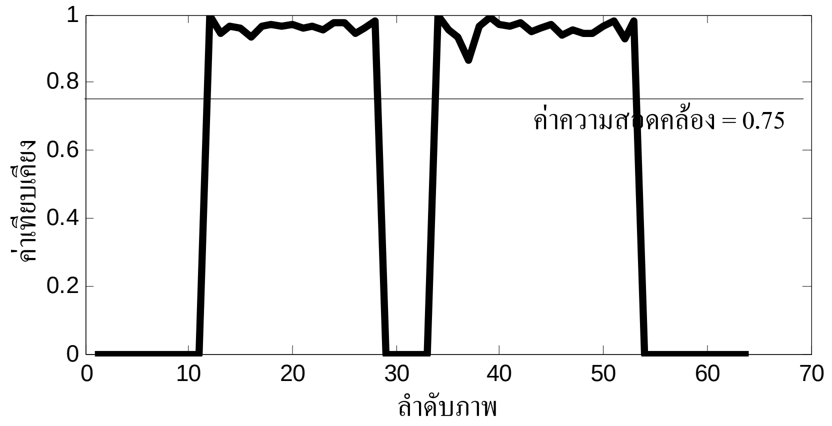
รูปที่ 5.62 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5



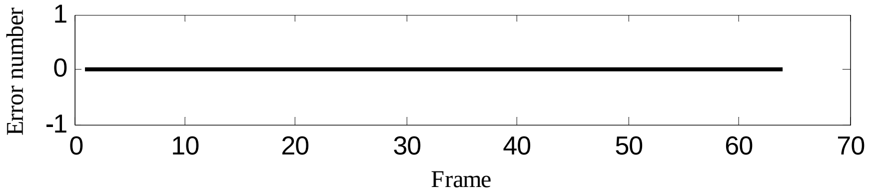
รูปที่ 5.63 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1 ในลำภาพที่ 1 ถึง 30



รูปที่ 5.64 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1 ในลำภาพที่ 31 ถึง 64



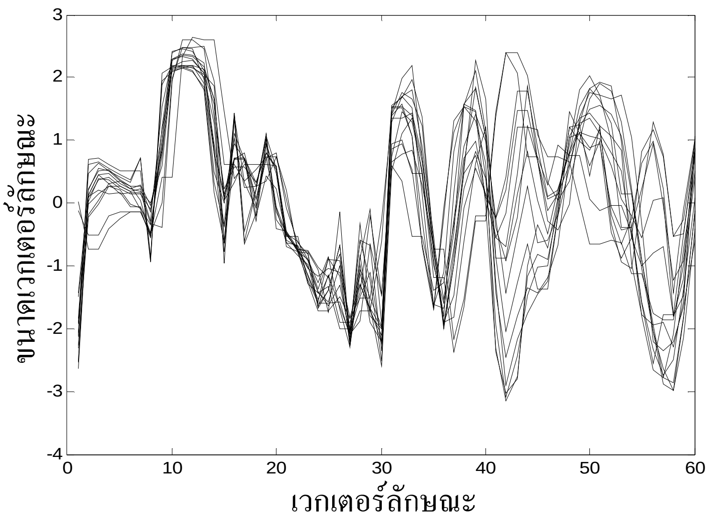
รูปที่ 5.65 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



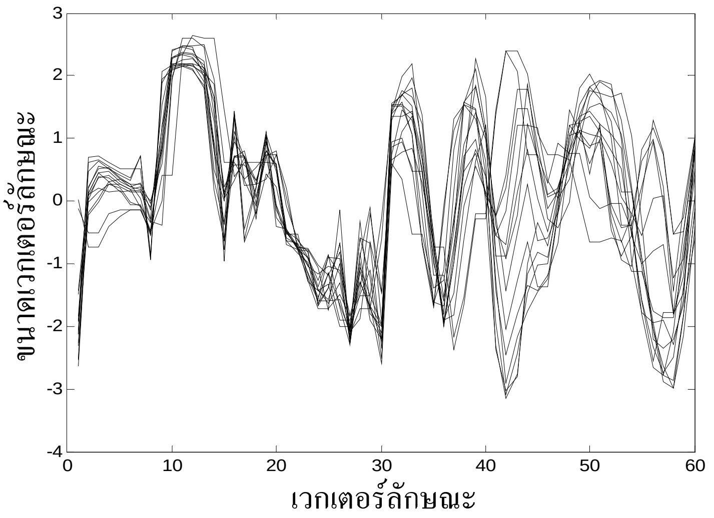
รูปที่ 5.66 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

5.2.6 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 6

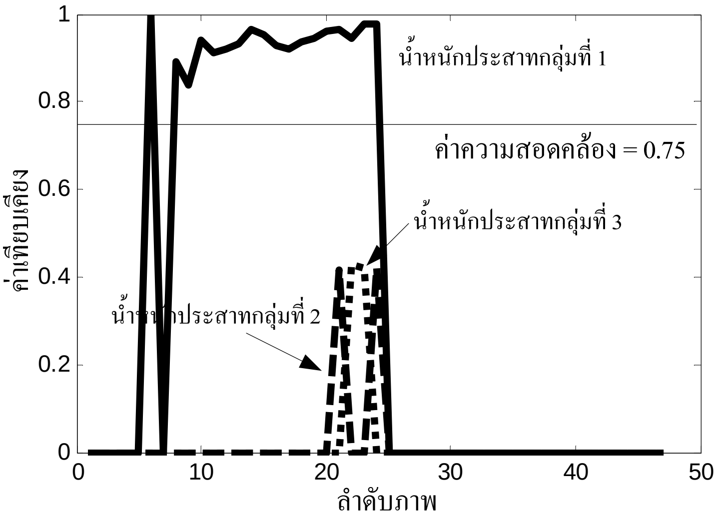
รูปที่ 5.67 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 6



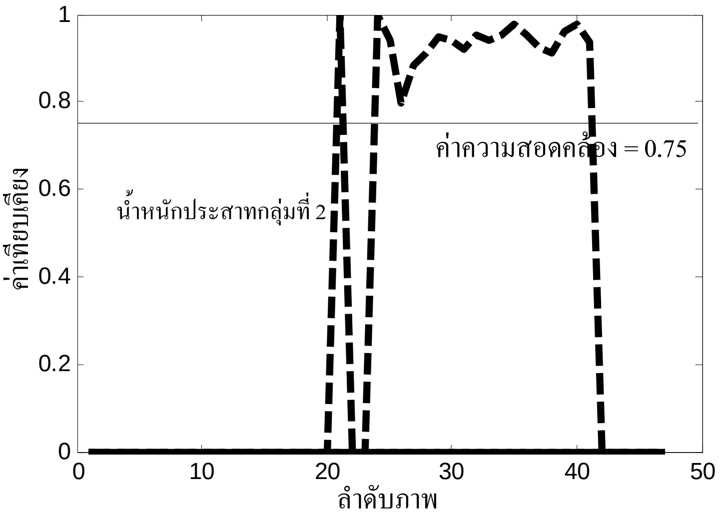
รูปที่ 5.68 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1



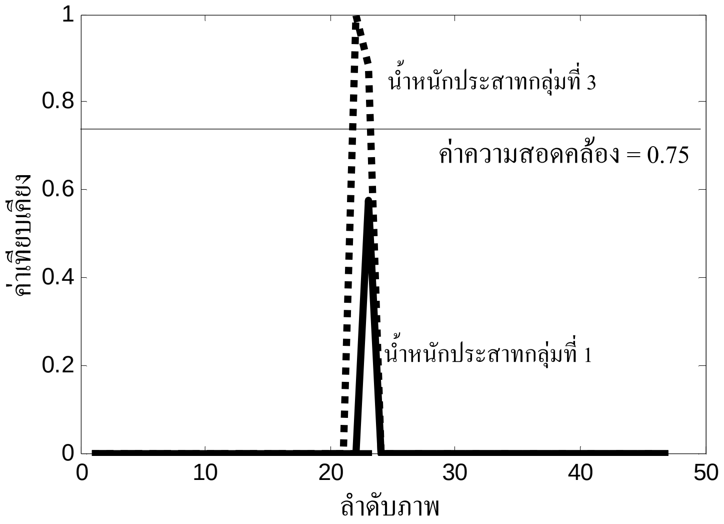
รูปที่ 5.69 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 2



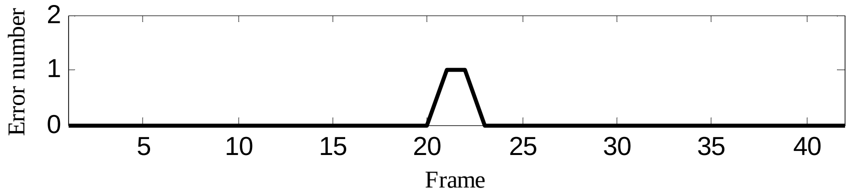
รูปที่ 5.70 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



รูปที่ 5.71 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2



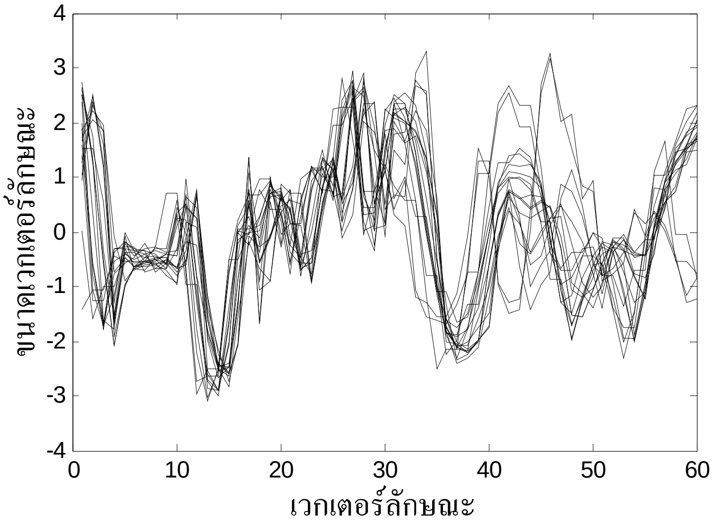
รูปที่ 5.72 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 3



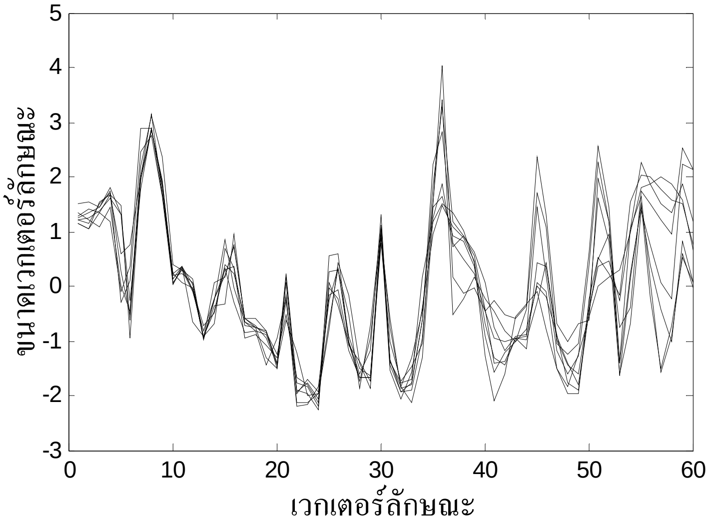
รูปที่ 5.73 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

5.2.7 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 7

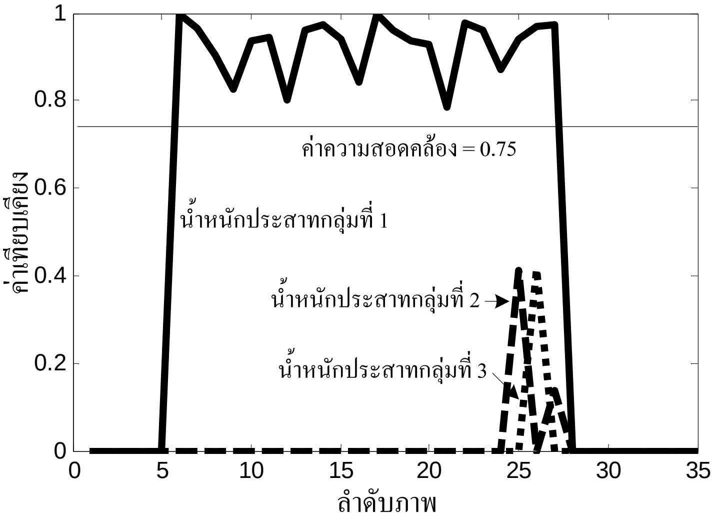
รูปที่ 5.74 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 7



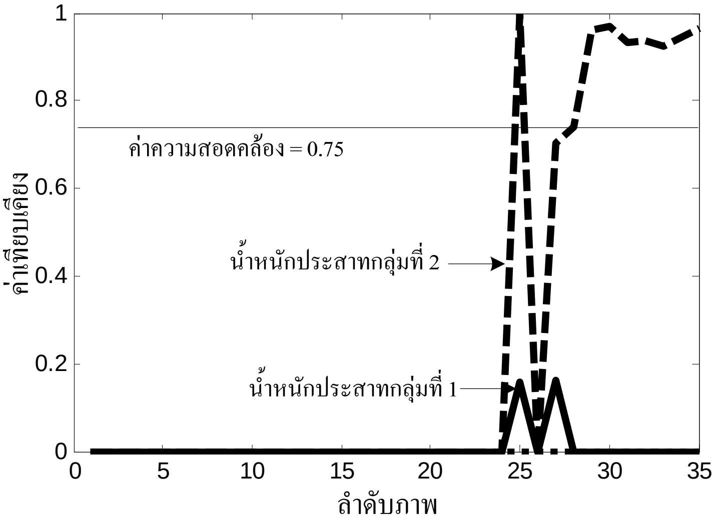
รูปที่ 5.75 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1



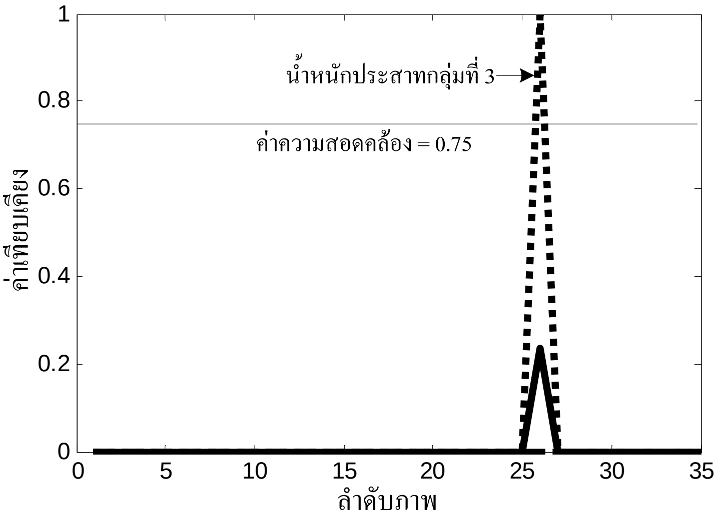
รูปที่ 5.76 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 2



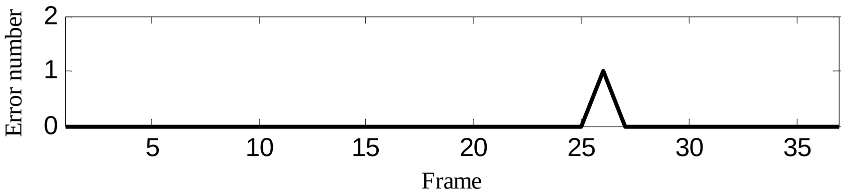
รูปที่ 5.77 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



รูปที่ 5.78 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2



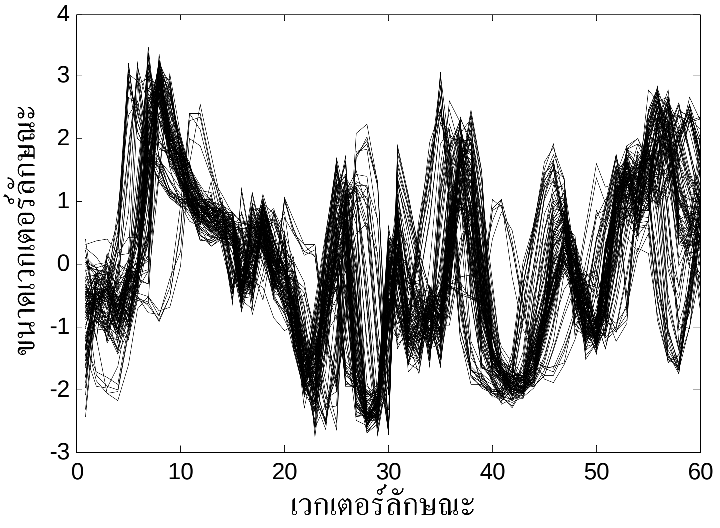
รูปที่ 5.79 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 3



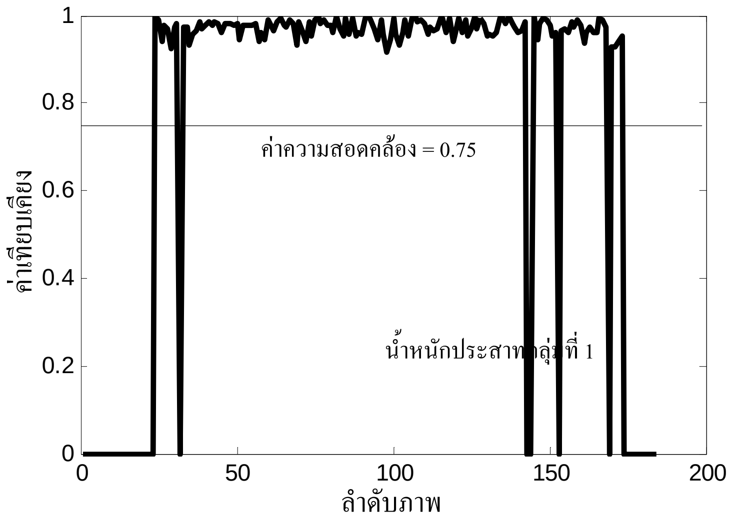
รูปที่ 5.80 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

5.2.8 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 8

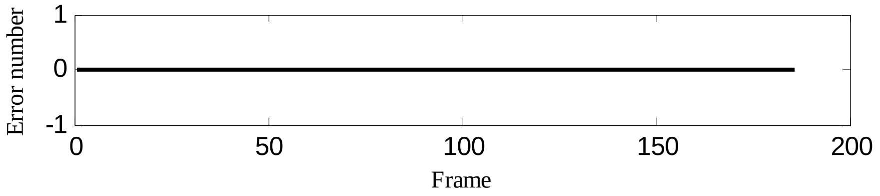
รูปที่ 5.81 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 8



รูปที่ 5.82 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1



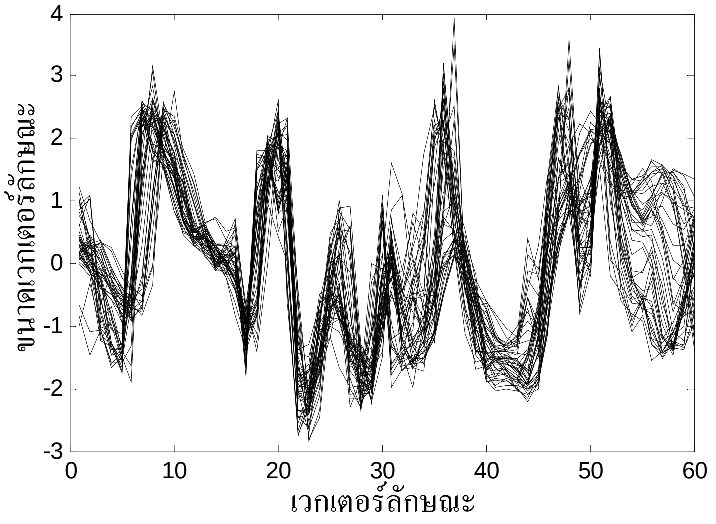
รูปที่ 5.83 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



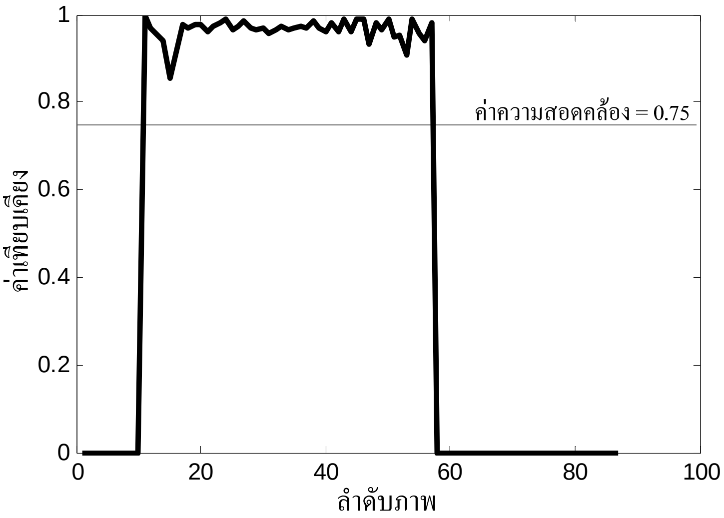
รูปที่ 5.84 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

5.2.9 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 9

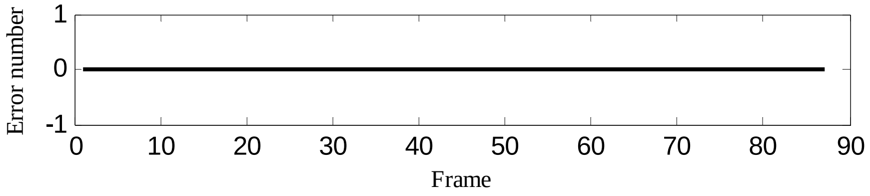
รูปที่ 5.85 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 9



รูปที่ 5.86 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1



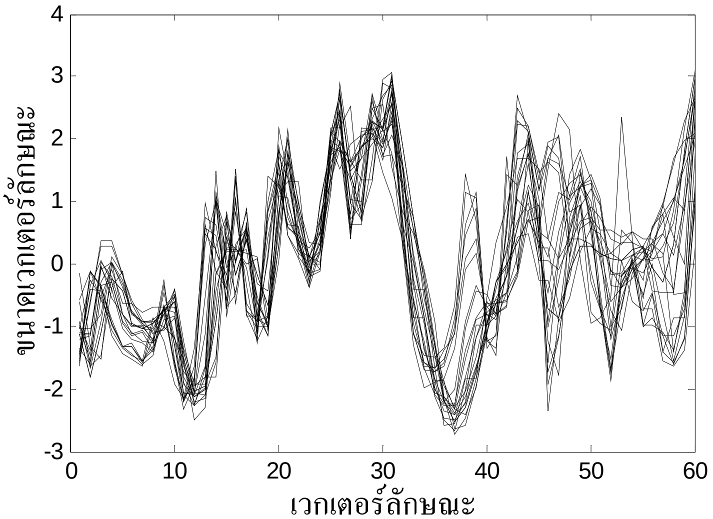
รูปที่ 5.87 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



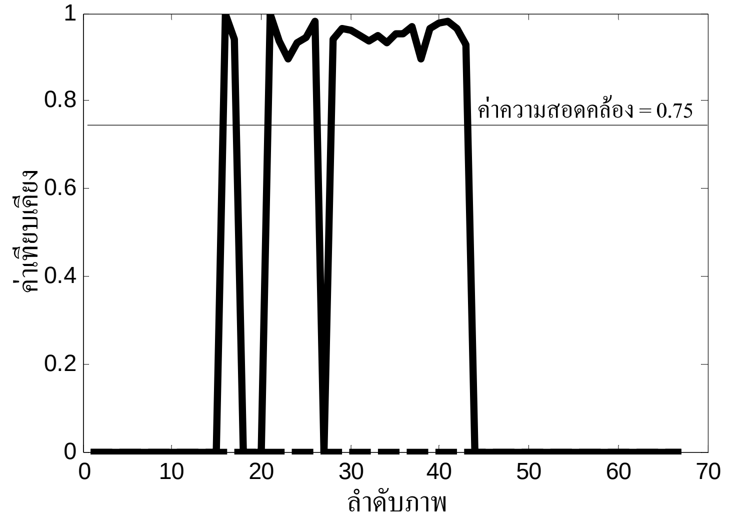
รูปที่ 5.88 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

5.2.10 ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 10

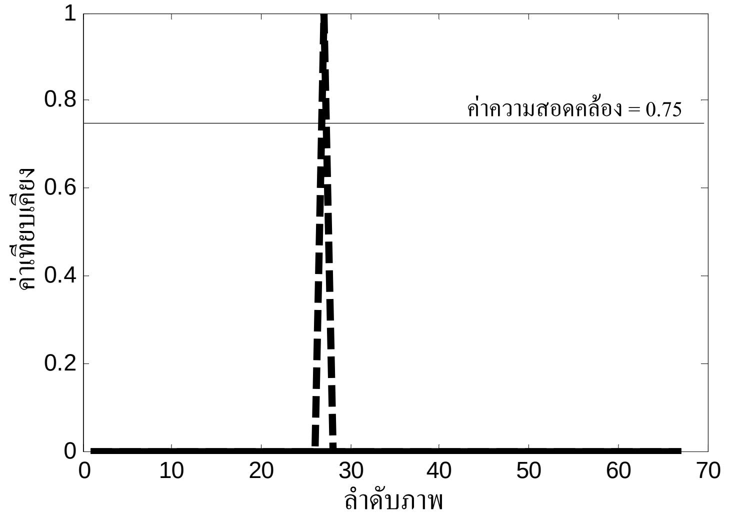
รูปที่ 5.89 ตัวอย่างผลการติดตามพาหนะภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 10



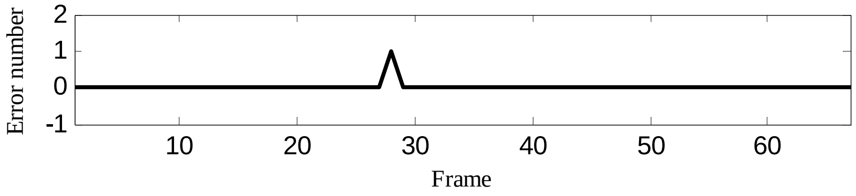
รูปที่ 5.90 เวกเตอร์ลักษณะของพาหนะกลุ่มที่ 1



รูปที่ 5.91 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 1



รูปที่ 5.92 ค่าเทียบเคียงของพาหนะกลุ่มที่ 2



รูปที่ 5.93 กราฟประสิทธิภาพการติดตามพาหนะในภาพที่ผิดพลาด

ตารางที่ 3.2 สรุปประสิทธิภาพการติดตามพาหนะ

ภาพวีดิทัศน์ชุดที่	จำนวนลำดับภาพทั้งหมด	จำนวนลำดับภาพที่ผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
1	34	0	100
2	200	0	100
3	36	0	100
4	41	0	100
5	64	0	100
6	42	2	95.23
7	37	1	97.3
8	186	0	100
9	87	0	100
10	67	1	98.5
รวม	803	4	99.5

จากการทดสอบจากข้อมูลวีดิทัศน์จากภาพบริเวณถนนจริงภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พบว่าผลการตรวจหาพาหนะจากใช้ค่าพลังงานต่าง ๆ เช่น พลังงานกาบอร์ พลังงานถนน และพลังงานความสมมาตร เป็นต้น และการติดตามพาหนะโดยใช้การในการใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวมีประสิทธิภาพสูง น่าเชื่อถือ และเพียงพอสำหรับนำไปพัฒนาใช้งาน โดยประสิทธิภาพในการติดตามพาหนะขึ้นอยู่กับการตรวจหาพาหนะ โดยถ้าตรวจหาพาหนะไม่ถูกต้องก็ไม่สามารถติดตามพาหนะได้ โดยมากแล้วการติดตามพาหนะที่ผิดพลาดเกิดเนื่องมาจากขนาดของพาหนะมีค่าไม่ตรงกับค่ากรอบภาพพาหนะที่ออกแบบไว้เช่น เล็กเกินไปหรือใหญ่เกินไป และในสภาวะที่มีพาหนะบนถนนมากอาจทำให้กรอบพาหนะที่เหมาะกับพาหนะนั้น ๆ มีขนาดใหญ่กว่าปกติซึ่งจะทำให้ค่าเทียบเคียงที่ได้จากเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวมีค่าลดลง ดังรูปที่ 5.59 และถ้าค่าเทียบเคียงมีค่าต่ำกว่าค่าความสอดคล้องทำให้การติดตามพาหนะนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

5.3 สรุป

ผลการทดสอบระบบการตรวจหาพาหนะและการติดตามพาหนะโดยการใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว พบว่าระบบสามารถตรวจหาและติดตามพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสมแก่การนำไปพัฒนาเป็นระบบใช้งานจริงได้ และประสิทธิภาพในการติดตามพาหนะขึ้นอยู่กับการตรวจหาพาหนะโดยถ้าตรวจหาพาหนะไม่ถูกต้องก็ไม่สามารถที่จะติดตามพาหนะได้ โดยมากแล้วการติดตามพาหนะที่ผิดพลาดเกิดเนื่องมาจากขนาดของพาหนะมีค่าไม่ตรงกับค่ากรอบภาพพาหนะที่ออกแบบไว้

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนาโครงสร้างระบบการตรวจหาภาพและติดตามพาหนะเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางด้านระบบการเตือนภัยและดูแลความปลอดภัยในขณะขับขี่ยานพาหนะ รวมถึงระบบรถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบไปด้วยการดึงลักษณะเด่นของภาพพาหนะ การคัดภาพแยกพาหนะ และการติดตามพาหนะ การดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ดังกล่าวสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยและพัฒนาทางวิศวกรรมเป็นข้อสรุปได้ดังต่อไปนี้

การปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้รับการรายงานไว้ในบทที่ 2 ซึ่งพบว่า มีการนำตัวรับรู้ประเภทต่าง ๆ มาใช้ในการตรวจหาภาพพาหนะบนถนน ได้แก่ ตัวรับรู้แบบไวงาน เช่นเรดาร์ เลเซอร์ ไลดาร์ เป็นต้น ตัวรับรู้แบบไม่ไวงาน เช่น กล้อง เป็นต้น และแนวความคิดหลักในการตรวจหาภาพพาหนะบนถนนมี 3 แนวทาง คือ การใช้ข้อมูลที่เด่นชัดของพาหนะ เช่น สี เงา มุม ขอบแนวตั้งและแนวนอน ความสมมาตร เป็นต้น การใช้ข้อมูลสเตอริโอและแนวความคิดหลักการเคลื่อนที่ โดยในงานวิจัยนี้ดำเนินการพัฒนาวิธีการตรวจหาภาพพาหนะบนถนนโดยการใช้ข้อมูลที่เด่นชัดของพาหนะโดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเพียง 1 ตัว

ในบทที่ 3 แสดงรายละเอียดของการตรวจหาพาหนะในภาพโดยใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมในการดึงลักษณะเด่นของพาหนะมีลักษณะเป็นขอบแนวนอนเพื่อนำมาหาค่าพลังงานพาหนะในกรอบภาพพาหนะเพื่อนำค่าพลังงานพาหนะมาคัดแยกภาพพาหนะกับภาพที่ไม่ใช่พาหนะ และกล่าวถึงประสิทธิภาพในการตรวจจับพาหนะในภาพ

ในบทที่ 4 แสดงรายละเอียดของการติดตามพาหนะจากกรอบภาพพาหนะโดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวเพื่อทำการคัดแยกกลุ่มพาหนะให้พาหนะคันเดียวกันซึ่งมีค่าน้ำหนักประสาทคล้ายกันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน และพาหนะที่ไม่ใช่คันเดียวกันให้อยู่ค่าน้ำหนักประสาทอีกกลุ่มหนึ่ง

ในบทที่ 5 แสดงรายละเอียดของการวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบการตรวจหาและติดตามพาหนะโดยการใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวพบว่าระบบสามารถตรวจหาและติดตามพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสมแก่การนำไปพัฒนาเป็นระบบใช้งานจริงได้

6.2 ปัญหาที่พบ

ปัญหาที่พบโดยมากในงานวิจัยนี้คือ การหาเส้นขอบฟ้าที่ถูกต้อง ตำแหน่งของเส้นขอบฟ้ามีผลโดยตรงกับการตรวจหาพาหนะในภาพโดยถ้าได้เส้นขอบฟ้าอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องก็จะทำให้การตรวจหาพาหนะผิดพลาด นอกจากนี้แล้วยังมีปัญหาด้านการติดตั้งกล้อง ในงานวิจัยนี้ทำการบันทึกภาพโดยการติดตั้งกล้องบนรถจักรยานยนต์ ซึ่งติดตั้งกล้องให้แข็งแรงได้ยากมากอีกทั้งในขณะที่ทำการบันทึกภาพอาจได้ภาพที่เอียงอันเนื่องมาจากรถจักรยานยนต์เอียงซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการตรวจหาและติดตามพาหนะได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมาและผลที่ได้ทำให้เกิดแนวคิดและข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

1. เพื่อพัฒนาระบบการตรวจหาภาพพาหนะบนถนนมีประสิทธิภาพมากขึ้นควรนำการระบบการตรวจหาถนนที่มีประสิทธิภาพมาใช้กับระบบ

2. เพื่อพัฒนาระบบการตรวจหาภาพพาหนะบนถนนให้เป็นระบบอัตโนมัติ ควรเพิ่มวิธีการคำนวณหาตำแหน่งเส้นขอบฟ้าที่ถูกต้องให้แก่ระบบ เพื่อให้ระบบสามารถคำนวณสัดส่วนภาพพาหนะบนถนนได้อย่างอัตโนมัติและถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

3. เพื่อพัฒนาระบบการตรวจหาภาพพาหนะบนถนนให้สามารถใช้งานตามเวลาจริง ควรนำวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้การประมวลผลค่อนข้างสูงไปเขียนโปรแกรมที่มีการประมวลผลเร็ว เช่น เขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี เป็นต้น

รายการอ้างอิง

Agarwal, S. and Roth, D. (2002). Learning a Sparse Representation for Object Detection. **Proc. European Conf. Computer Vision**.

Bensrhair, A. Bertozzi, M. Broggi, A. Miche, P. Mousset, S. and Moulminet, G. (2001). A Cooperative Approach to Vision-Based Vehicle Detection. **IEEE Intelligent Transportation Systems**, pp. 209-214.

Bertozzi, M., Broggi, A. and Castelluccio, S. (1997). "A Real-Time Oriented System for Vehicle Detection. **J. Systems Architecture**, pp. 317-325.

Betke, M. Haritaglu, E. and Davis, L. (2000). Real-Time Multiple Vehicle Detection and Tracking from a Moving Vehicle. **Machine Vision and Applications**, vol.12, no.2.

Bucher, T. Curio, C. Edelbrunner, J. Igel, C. Kastrup, D. Leefken, I. Lorenz, G. Steinhage, A. and von Seelen, W. (2003). Image Processing and Behavior Planning for Intelligent Vehicles. **IEEE Trans. Industrial Electronics.** vol.50, no.1, pp. 62-75.

Crisman, J. and Thorpe, C. (1988). Color Vision for Road Following. **Proc. SPIE Conf. Mobile Robots**, pp. 246-249.

Cucchiara, R. and Piccardi, M. (1999). Vehicle Detection under Day and Night Illumination. **Proc. Int'l ICSC Symp. Intelligent Industrial Automation**.

Dickmanns, E. (1994). The Seeing Passenger Car 'Vamors-P', **Proc. Int'l Symp. Intelligent Vehicles**. pp. 24-26.

Gabor D. (1946). Theory of communication. **Journal of the Institute of Electrical Engineer,** vol. 93, pp. 429-549.

Goerick, C. Detlev, N. and Werner, M. (1996). Artificial Neural Networks in Real-Time Car Detection and Tracking Applications. **Pattern Recognition Letters**, vol.17, pp. 335-343.

Graefe V. and Regensburger, U. (1996). A Novel Approach for the Detection of Vehicle on Freeways by Real-Time Vision. **Intelligent Vehicles**.

Grossberg, S. Carpenter, G.A., Rosen, D. (1991). ART 2-A: An Adaptive Resonance Algorithm for Rapid Category Learning and Recognition. **IEEE IJCNN-91-Seattle International Joint Conference on Neural Networks**, pp151-156

Guo, D. Fraichard, T. Xie, M. and Laugier, C. (2000) Color Modeling by Spherical Influence Field in Sensing Driving Environment. **Proc. IEEE Intelligent Vehicle Symp**., pp. 249-254.

Handmann, U. Kalinke, K. Tzomakas, C. Werner, M. and Seelen, W. (2000). An Image Processing System for Driver Assistance. **Image and Vision Computing**, vol.18, no.5.

Haralick, R. Shanmugam, B. and Dinstein, I. (1973). Texture Features for Image Classification. **IEEE Trans. System, Man, and Cybernetics**, pp. 610-621.

Hoiem, D., Efros, A. and Hebert, M. (2006). Putting Objects in Perspective, Computer Vision and Pattern Recognition, **IEEE Computer Society Conference**, vol. 2, 2006, pp. 2137-2144.

Kalinke, T. Tzomakas, C. and von Seelen, W. A Texture-Based Object Detection and an Adaptive Model-Based Classification. **Proc. IEEE Int'l Conf. Intelligent Vehicles**, pp. 143-148.

Kuehnle, A. (1991). Symmetry-Based Recognition for Vehicle Rears. **IEE Pattern Recognition Letters**, vol.12, pp. 249-258.

Leung, B. (2004). Component-Based Car Detection in Street SceneImages. **Technical report, Massachusetts Inst. of Technology**.

Matthews, N. An, P. Charnley, D. and Harris, C. (1996). Vehicle Detection and Recognition in Greyscale Imagery. **Control Eng. Practice**, vol.4, pp. 473-479.

Mori, H. and Charkai, N. (193). Shadow and Rhythm as Sign Patterns of Obstacle Detection. **Proc. Int'l Symp. Industrial Electronics**, pp. 271-277.

Noli, D. Werner, M. and von Seelen, W. (1995). Real-Time Vehicle Tracking and Classification. **Intelligent Vehicles**, pp. 101-106.

Papageorgiou, C. and Poggio, T. (2000). A Trainable System for Object Detection. **Int'l J.Computer Vision**, vol.38, no.1, pp. 15-33.

Parodi, P. and Piccioli, G. (1995). A Feature-Based Recognition Scheme for Traffic Scenes. **Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.**, pp. 229-234.

Regensburger U. and Graefe, V. (1995). Visual Recognition of Obstacles on Roads. **Intelligent Robots and Systems**, pp. 73-86.

Schneiderman, H. and Kanade, T. (2000). A Statistical Method for 3D Object Detection Applied to Faces and Cars. **Proc. IEEE Int'l Conf. Computer Vision and Pattern Recognition**, pp. 746-751.

Sun, Z. Bebis, G. and Miller, R. (2002). On-Road Vehicle Detection Using Gabor Filters and Support Vector Machines. **Proc. IEEE Int'l Conf' Digital Signal Processing**.

Sun, Z. Bebis, G. and Miller, R. (2002). Quantized Wavelet Features and Support Vector Machines for On-Road Vehicle Detection. **Proc. IEEE Int'l Conf. Control, Automation, Robotics, and Vision**.

Tzomakas, C. and Seelen, W.(1998). Vehicle Detection in Traffic Scenes Using Shadows. **Technical Report 98-06, Ruht-University, Bochum, Germany**.

von Seelen, W. Curio, C. Gayko, J. Handmann, U. and Kalinke, T. (2000). Scene Analysis and Organization of Behavior in Driver Assistance Systems. **Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing**, pp. 524-527.

Wu, J and Zhang, X. (2001). A PCA Classifier and Its Application in Vehicle Detection. **Proc. IEEE Int'l Joint Conf. Neural Networks**.

Ielke, T. Brauckmann, M. and von Seelen, W. (1993). Intensity and Edge-Based Symmetry Detection with an Application to Car-Following. **CVGIP: Image Understanding**, vol.58, pp. 177-190.

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

Sotthithaworn, S. Kumsawat, P., Attakitmongcol, K., and Srikaew, A. (2007). A Vehicle Tracking System Using PCA and Adaptive Resonance Theory. **Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Signal, Speech and Image Processing,** Beijing, China, September 15-17, 2007, pp. 554-606

Sotthithaworn, S. and Srikaew, A. (2007). A Vehicle Tracking System Using PCA and Adaptive Resonance Theory. **Proceedings of 30th Electrical Engineering Conference (EECON-30) on Signal, Speech and Image Processing**, Karnchanaburee, Thailand, October 25-26, 2007, pp. 733-736

ประวัติผู้เขียน

นายชานนท์ โสตถิถาวร เกิดเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2525 ที่อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนศึกษาวิทย์ จังหวัดพิษณุโลก ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนนครไทย จังหวัดพิษณุโลก และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ.2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขณะศึกษาได้ให้ความสนใจในด้านการควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัว การสร้างหุ่นยนต์ งานทางด้านการประมวลผลสัญญาณภาพ การมองเห็นของคอมพิวเตอร์และในขณะที่ศึกษา*ระดับปริญญาตรี*ได้เข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์หลายรายการ เช่น Intelligence Puzzle Robot 2003, ABU2003 (ตะกร้อพิชิตจักรวาล), ABU2004 (Ojak ตำนาน**สะพาน**แห่งความรัก), ABU2005 (จุดไฟศักดิ์สิทธิ์ พิชิตกำแพงเมืองจีน), Robocup 2004 และเป็นพี่เลี้ยงค่าย NECTEC eCAMP ขณะศึกษาใน*ระดับปริญญาโท*ได้เข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ Robocup 2006 อีกทั้งยังได้เข้าร่วมทีมงานในการสร้างอุทยานไดโนเสาร์ศรีเวียงเฉลิมพระเกียรติครองราชย์ครบ 60 ปี อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น โครงการสร้างหุ่นไดโนเสาร์เคลื่อนไหวเสมือนจริง ทั้งนี้มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ ดังรายชื่อที่ปรากฏในภาคผนวก ก.

ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรภูมิภาคเอเชีย แผนก HM&RW ที่บริษัทซีเกท เทคโนโลยีประเทศไทย