

การตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบทันทีกลางคืนโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์



นางนภัศกมล โม่งเย็น

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

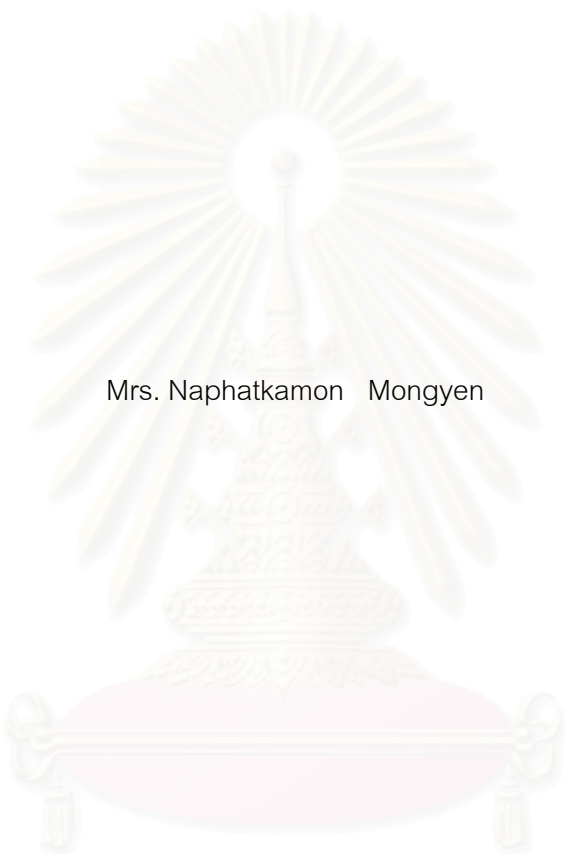
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REAL - TIME VEHICLE SPEED DETECTION AT NIGHT USING VIDEO IMAGE PROCESSING



Mrs. Naphatkamon Mongyen

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

นักสภมล โม่่งเ่ยน : การตรวจจับความเร็วรถยนต์ในเวลาากลางคืนแบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์. (REAL-TIME VEHICLE SPEED DETECTION AT NIGHT USING VIDEO IMAGE PROCESSING) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.สืบสกุล พิภพมงคล, 101 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัลกอริทึมและพัฒนาโปรแกรมต้นแบบในการตรวจจับความเร็วของรถยนต์ในเวลาากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์โดยเส้กงล้งมาทางด้านหน้ารถอัลกอริทึมที่นำเสนอในงานวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ การตรวจจับรถยนต์และการวัดความเร็วของรถยนต์ การทำงานเริ่มต้นด้วยการกำหนดกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรที่รถยนต์วิ่งผ่านและจะประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นในบริเวณกรอบตรวจจับที่กำหนด ขั้นตอนการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ใช้วิธีการตรวจหาตำแหน่งของดวงไฟหน้ารถยนต์ในกรอบตรวจจับเพื่อหาตำแหน่งอ้างอิงของรถยนต์ในภาพ แล้วใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงกำลังสามในการหาค่าระยะอ้างอิงตำแหน่งรถยนต์จริงบนพื้นถนน จากนั้นจะตรวจหาตำแหน่งรถยนต์ในเฟรมถัดไปโดยวิธีการเดียวกัน ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าความเร็วของรถยนต์ได้ โดยการนำระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถยนต์มาหารระยะทางจริงที่รถยนต์เคลื่อนที่ในสองเฟรมที่ต่อเนื่องกัน ในการทดสอบกระทำโดยการใช้ภาพวีดิทัศน์ที่บันทึกจากสภาพจราจรจริง การวัดความเร็วอ้างอิงของรถยนต์ทำโดยใช้เรดาร์เป็นเครื่องมือวัด ความเร็วของรถยนต์ที่สุ่มวัดในการทดสอบอยู่ระหว่าง 30 ถึง 95 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากการทดสอบพบว่าร้อยละ 92.1 ของรถที่ตรวจจับความเร็วได้จะมีความผิดพลาดของความเร็วไม่เกิน 0.686 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีความเบ้ียงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.614 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....นักสภมล โม่่งเ่ยน
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2549

4670328021 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEY WORD: VIDEO IMAGE PROCESSING /REAL-TIME DETECTION / SPEED DETECTION / NIGHT

NAPHATKAMON MONGYEN : REAL-TIME VEHICLE SPEED DETECTION AT NIGHT USING VIDEO IMAGE PROCESSING. THESIS ADVISOR: SUEBSKUL PHIPHOBMONGKOL, 101 pp.

The purposes of this research were to find an algorithm and to develop a prototype program for real-time vehicle detection at night, by aiming the video camera at the front of vehicles . The proposed algorithm consisted of two parts which were vehicle detection and speed measurement. The process began with the specifying of a detection frame in the traffic lane. Then image processing was invoked to analyze primitive data. The later stage was to identify the vehicles by locating their headlights, and by estimating the distance between the camera and the detected vehicles by using cubic spline interpolation. This algorithm was also applied to identify the same vehicle position in the consecutive frame to estimate the travel distance. Finally the speed calculation process was done by dividing the vehicle moving distance with the traveling time. The test was performed using recorded video images from real road traffic. A speed measuring radar was used to measure the vehicle reference speed. The sampled vehicles had the speed between 30 and 95 kilometers per hour. From the test result, 92.1% of the detected vehicle speed had errors within 0.686 kilometers per hour with the standard deviation of 0.614 kilometers per hour.

Department.....Computer Engineering.. Student's signature.....
 Field of study...Computer Engineering.. Advisor's signature.....
 Academic year 2006.....

ศาสตราจารย์ ดร. โฉมใจ

ศ.จ.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีเพราะความช่วยเหลือและสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อ.ดร. สืบสกุล พิภพมงคล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำปรึกษา เสนอข้อคิดเห็น แนวทางการวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือดูแลในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผศ. สุเมธ วัชรชัยสุรพล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาเสนอคำแนะนำ ข้อคิดเห็น และชี้แนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ ตลอดจนถึงตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สรวิต นฤปิติ ที่ให้ความกรุณา และสละเวลาในการให้คำแนะนำต่างๆและให้ยืมอุปกรณ์เรดาร์วัดความเร็ว

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สมาชิกภายในห้องปฏิบัติการวิจัย CGCI ที่น่ารักทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่ และให้ความสุขตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจทุกท่านที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ที่จะลืมมิได้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่อุปการะเลี้ยงดู เป็นกำลังใจ สนับสนุนในด้านการศึกษาและในด้านต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	6
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	7
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	7
1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์	7
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.2 ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล	13
2.3 เอนโทรปี.....	23
2.4 การประเมินค่าในช่วงด้วยเส้นโค้ง.....	23
2.5 ความเร็ว	25
2.6 ความผิดพลาดพาราแลกซ์.....	25
2.7 สถิติสำหรับการทำวิจัย.....	26
3 การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีในการตรวจจับและวัดความเร็วของรถยนต์...36	
3.1 การกำหนดกรอบตรวจจับ.....	38
3.2 การตรวจจับรถยนต์	39
3.3 ขั้นตอนการหาระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่	46
3.4 ระยะรถยนต์เทียบกับถนน	47
3.5 การหาความเร็วของรถยนต์.....	47

4	การทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์	50
4.1	วิธีการทดลอง.....	50
4.2	การเก็บข้อมูล.....	54
4.3	สมมติฐานการทดลอง	55
4.4	การทดลองวัดความเร็วรถยนต์.....	59
4.5	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	76
4.6	ความผิดพลาดในการวัดความเร็ว	81
4.7	ข้อจำกัด	81
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	82
5.1	สรุปผลการวิจัย	82
5.2	ปัญหาและอุปสรรค.....	83
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	84
	รายการอ้างอิง	86
	ภาคผนวก	88
	ภาคผนวก ก บทความที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ.....	89
	ภาคผนวก ข เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการหาค่าพารามิเตอร์ทางด้านจรรยาจร	96
	ภาคผนวก ค คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์การทดลองในงานวิจัย	98
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	101

ตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปค่าต่างๆ จากการทดลอง75



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 Inductive Loop.....	2
รูปที่ 1.2 อุปกรณ์ตรวจจับความเร็วประเภทเรดาร์.....	3
รูปที่ 1.3 ระบบการประมวลผลภาพวีดิทัศน์ในการหาความเร็วรถยนต์.....	4
รูปที่ 1.4 ลักษณะการติดตั้งกล้องประมวลผลภาพในการใช้งาน.....	4
รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบ VTTS.....	11
รูปที่ 2.2 ระบบการทำงานของระบบการประมวลผลภาพวีดิทัศน์.....	13
รูปที่ 2.3 การหาค่าขีดแบ่งจากฮิสโทแกรมของค่าระดับเทา.....	14
รูปที่ 2.4 หน้ากากของตัวดำเนินการโซเบล.....	17
รูปที่ 2.5 ขั้นตอนของ Canny edge detection.....	17
รูปที่ 2.6 ระบบสี่แบบบวก.....	19
รูปที่ 2.7 RGB cube.....	20
รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการทำ Run Length Smearing.....	21
รูปที่ 2.9 การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมกัน.....	22
รูปที่ 2.10 การประมาณค่าในช่วงกำลังสาม.....	23
รูปที่ 2.11 การเคลื่อนที่ของวัตถุ จากเวลา t_1 ไปยังเวลา t_2	25
รูปที่ 2.12 ความผิดพลาดพาราแลกซ์.....	26
รูปที่ 3.1 การประมวลผลภาพเพื่อหาความเร็วของรถยนต์.....	36
รูปที่ 3.2 ภาพฉายเปอร์สเปคทีฟ.....	37
รูปที่ 3.3 การกำหนดกรอบตรวจจับ.....	38
รูปที่ 3.4 ภาพจากกล้องวีดิทัศน์ในตอนกลางคืนที่แสงของดวงไฟหน้ารถเป็นคุณสมบัติเด่น.....	39
รูปที่ 3.5 กระบวนการรวมกลุ่มพื้นที่โดยใช้วิธีการ Run Length Encoding และ Union Find ...	41
รูปที่ 3.6 หลักการทำงานของอัลกอริทึม Union Find.....	42
รูปที่ 3.7 การแยกกลุ่มพื้นที่ที่มีความสว่างโดยใช้เทคนิค Run Length Encoding.....	42
รูปที่ 3.8 การตรวจจับรถยนต์โดยใช้เงื่อนไขความสว่าง เอนโทรปี และความสมมาตร.....	44
รูปที่ 3.9 การพิจารณาความสมมาตรในทิศทางแกนตั้งและแกนนอน.....	45
รูปที่ 3.10 การจับคู่ดวงไฟของรถยนต์คันเดียวกัน.....	46
รูปที่ 3.11 การหาระยะเคลื่อนที่ระหว่างรถยนต์.....	47

รูปที่ 3.12	การทำงานของขั้นตอนการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ในเวลาากลางคืน.....	48
รูปที่ 3.13	ขั้นตอนการหาความเร็วรถยนต์.....	49
รูปที่ 4.1	การติดตั้งกล้องวีดิทัศน์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	50
รูปที่ 4.2	ภาพจริงของมุม 0 องศา ที่มุมกอด 20 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทาง.....	51
รูปที่ 4.3	ภาพจริงของมุม 0 องศา ที่มุมกอด 35 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทาง.....	51
รูปที่ 4.4	ภาพจริงของมุม 5 องศา ที่มุมกอด 20 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทาง.....	52
รูปที่ 4.5	ภาพจริงของมุม 5 องศา ที่มุมกอด 35 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทาง.....	52
รูปที่ 4.6	ภาพจริงของมุม 20 องศา ที่มุมกอด 20 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทาง.....	53
รูปที่ 4.7	ภาพจริงของมุม 20 องศา ที่มุมกอด 35 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทาง.....	53
รูปที่ 4.8	แผนภูมิค่า CV ความเร็วรถในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 0 องศา มุมกอด 20 องศา.....	59
รูปที่ 4.9	แผนภูมิค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คัน ที่มุม 0 องศา มุมกอด 20 องศา..	60
รูปที่ 4.10	แผนภูมิความแตกต่างสูงสุด มุม 0 องศา มุมกอด 20 องศา.....	61
รูปที่ 4.11	แผนภูมิเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็วที่วัดจากเรดาร์ ที่มุม 0 องศา มุมกอด 20 องศา.....	61
รูปที่ 4.12	แผนภูมิค่า CV ความเร็วรถในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 0 องศา มุมกอด 35 องศา.....	62
รูปที่ 4.13	แผนภูมิค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คัน ที่มุม 0 องศา มุมกอด 35 องศา..	63
รูปที่ 4.14	แผนภูมิความแตกต่างสูงสุด มุม 0 องศา มุมกอด 35 องศา.....	63
รูปที่ 4.15	แผนภูมิเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็วที่วัดจากเรดาร์ ที่มุม 0 องศา มุมกอด 35 องศา.....	64
รูปที่ 4.16	แผนภูมิค่า CV ความเร็วรถในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 5 องศา มุมกอด 20 องศา.....	65
รูปที่ 4.17	แผนภูมิค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คัน ที่มุม 5 องศา มุมกอด 20 องศา..	65
รูปที่ 4.18	แผนภูมิความแตกต่างสูงสุด มุม 5 องศา มุมกอด 20 องศา.....	66
รูปที่ 4.19	แผนภูมิเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็วที่วัดจากเรดาร์ ที่มุม 5 องศา มุมกอด 20 องศา.....	66
รูปที่ 4.20	แผนภูมิค่า CV ความเร็วรถในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 5 องศา มุมกอด 35 องศา.....	67
รูปที่ 4.21	แผนภูมิค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คัน ที่มุม 5 องศา มุมกอด 35 องศา..	68
รูปที่ 4.22	แผนภูมิความแตกต่างสูงสุด มุม 5 องศา มุมกอด 35 องศา.....	68

รูปที่ 4.23 แผนภูมิเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็วที่วัดจากเรดาร์ ที่มุม 5 องศา มุมกด 35 องศา	69
รูปที่ 4.24 แผนภูมิค่า CV ความเร็วรถในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 20 องศา มุมกด 20 องศา	70
รูปที่ 4.25 แผนภูมิค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คัน ที่มุม 20 องศา มุมกด 20 องศา	70
รูปที่ 4.26 แผนภูมิความแตกต่างสูงสุด มุม 20 องศา มุมกด 20 องศา	71
รูปที่ 4.27 แผนภูมิเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็วที่วัดจากเรดาร์ ที่มุม 20 องศา มุมกด 20 องศา	71
รูปที่ 4.28 แผนภูมิค่า CV ความเร็วรถในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 20 องศา มุมกด 35 องศา	72
รูปที่ 4.29 แผนภูมิค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คัน ที่มุม 20 องศา มุมกด 35 องศา	73
รูปที่ 4.30 แผนภูมิความแตกต่างสูงสุด มุม 20 องศา มุมกด 35 องศา	74
รูปที่ 4.31 แผนภูมิเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็วที่วัดจากเรดาร์ ที่มุม 20 องศา มุมกด 35 องศา	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การขยายตัวของปริมาณยานพาหนะ และการคมนาคมขนส่งที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งการเพิ่มจำนวนประชากรที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในเมืองใหญ่ๆ ของประเทศ ทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก แนวทางในการแก้ปัญหาได้หลายแนวทาง เช่น การตัดถนนเพิ่ม เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการในการเดินทางที่มากขึ้นทุกปี หรือโครงการก่อสร้างระบบขนส่งมวลชน ระบบถนน ระบบทางด่วน ระบบรถไฟฟ้ารวมทั้งระบบรถไฟที่เป็นโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ที่ต้องใช้การลงทุนสูงและต้องใช้บริษัทที่มีความสามารถเฉพาะด้าน เป็นต้น

ปัจจุบันจึงมีระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transport System หรือ ITS) ซึ่งเป็นการพัฒนาระบบการจราจรและขนส่งที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น มีความคล่องตัวและความปลอดภัยสูง ด้วยการเลือกสรร พัฒนา และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อช่วยในการจราจรและขนส่งดีขึ้น เช่น เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และระบบควบคุมที่ทันสมัย การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆ จะช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบการจราจรและขนส่ง ลดปัญหาการจราจรที่เป็นอยู่ เพิ่มความปลอดภัยของการสัญจร และลดมลภาวะอันเกิดจากการขนส่ง นอกจากนี้ระบบขนส่งอัจฉริยะจะก่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจในการขนส่งเพิ่มคุณภาพชีวิตในการใช้รถใช้ถนน เสริมสร้างความเป็นอยู่ที่ดี ได้รับความสะดวกสบายในการขนส่งมากยิ่งขึ้น [1]

ระบบขนส่งอัจฉริยะสามารถเชื่อมข้อมูลการจราจรจากสถานที่ หลายๆ แห่ง และยังสามารถเก็บข้อมูลการจราจรไว้สำหรับการวิเคราะห์ในภายหลังได้ โดยพารามิเตอร์สำคัญในด้านการจราจรที่เกี่ยวข้องในระบบขนส่งอัจฉริยะเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์แก้ปัญหาวางแผน บำรุงรักษา และควบคุม เช่น ปริมาณยานพาหนะ ความยาวแถวคอยของยานพาหนะที่รอสัญญาณบริเวณทางแยก ระยะห่างของยานพาหนะ และความเร็วของยานพาหนะ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์แล้วนำผลของการวิเคราะห์ไปใช้ในการจัดการจราจรที่เหมาะสมต่อไป สำหรับค่าความเร็วของยานพาหนะนั้นนับเป็นพารามิเตอร์การจราจรในระบบขนส่งอัจฉริยะ ที่

สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาความเร็วเฉลี่ยของการจราจรโดยรวม สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเลือกเส้นทางจราจร และยังช่วยลดอุบัติเหตุบนถนนได้ เช่น ใช้ในการเตือนให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะบนถนนที่ใช้ความเร็วเกินกำหนด ให้ลดความเร็วลงมาอยู่ในระดับความเร็วที่มีความปลอดภัย เป็นต้น

การสำรวจข้อมูลการจราจรเหล่านี้โดยวิธีการใช้คนสำรวจเป็นเวลานานๆไม่เป็นการเหมาะสมในทางปฏิบัติเพราะค่าใช้จ่ายสูงหรือมีความผิดพลาดเนื่องจากความเบื่อหน่ายละเลย ดังนั้นวิธีที่เหมาะสม คือการใช้อุปกรณ์ช่วยในการเก็บข้อมูลแทน การเก็บข้อมูลจราจรได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แต่ละประเภท ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก [2] คือ อุปกรณ์รับรู้ประเภทแทรกซอน (Intrusive sensors) และอุปกรณ์รับรู้ประเภทไม่แทรกซอน (Non-intrusive sensors) อุปกรณ์รับรู้ประเภทแทรกซอนเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งฝังลงไปใต้ผิวถนน เช่น Inductive loop, Magnetometers, Microloop probes, Piezoelectric cables เป็นต้น Inductive loop มีลักษณะเป็นขดลวดฝังอยู่ใต้ผิวถนน เมื่อยานพาหนะเคลื่อนผ่านอุปกรณ์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าในขดลวดแล้วส่งไปที่วงจรที่ต่อไว้ ดังตัวอย่างรูปที่ 1.1 ทำให้สามารถนับจำนวนยานพาหนะ วัดความเร็วและแยกประเภทยานพาหนะได้ อุปกรณ์เหล่านี้จะติดตั้งฝังใต้ผิวทางจราจร ซึ่งมีความยุ่งยากในการติดตั้ง การซ่อมแซม การดูแลรักษา รวมถึงขั้นตอนการติดตั้งที่ไม่ได้มาตรฐานเป็นอีกหนึ่งข้อจำกัดของอุปกรณ์ประเภทนี้



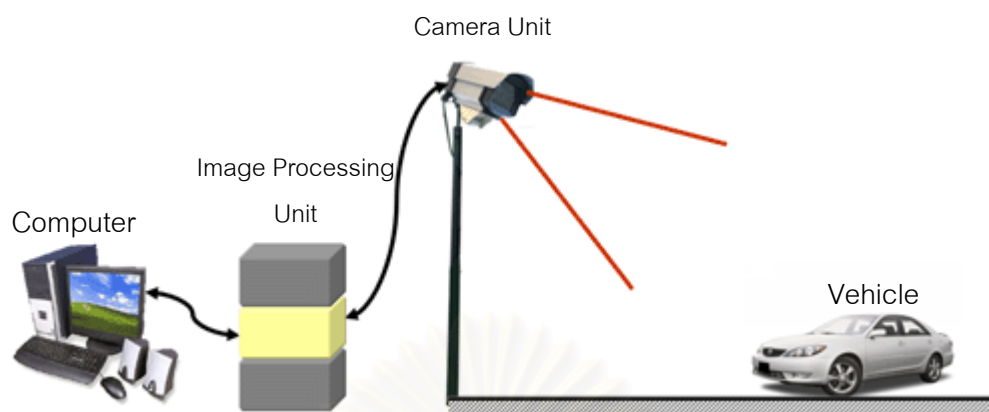
รูปที่ 1.1 Inductive Loop [3]

ส่วนอุปกรณ์รับรู้ประเภทไม่แทรกซอน เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่เหนือถนน เช่น การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ (Video Image Processing), Microwave radar, Ultrasonic, Passive infrared, Laser radar เป็นต้น อุปกรณ์ตรวจจับความเร็วประเภทเรดาร์ ใช้การส่งสัญญาณช่วงสั้นๆ ออกไปในลักษณะของคลื่นวิทยุ เมื่อคลื่นกระทบวัตถุที่กีดขวางก็จะถูกสะท้อนกลับโดยวัตถุ นั้น สัญญาณสะท้อนกลับจะถูกรับและวิเคราะห์ด้วยเครื่องรับของเรดาร์ ทำให้ทราบตำแหน่งและความเร็วของวัตถุได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 อุปกรณ์ตรวจจับความเร็วประเภทเรดาร์ [4]

การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ (Video Image Processing) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้หาข้อมูลด้านการจราจรโดยอาศัยการนำภาพจากอุปกรณ์รับภาพคือกล้องวีดิทัศน์และนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งวิธีนี้สะดวกต่อการติดตั้ง การดูแลและซ่อมบำรุงระบบ การใช้งาน มีประโยชน์มากในการตรวจจับยานพาหนะ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงข้อมูลเข้ากับระบบจัดการจราจรหลายจุดได้ การประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ในระบบจราจรนั้น อาจเป็นชนิดกล้องวีดิทัศน์ที่มีหน่วยประมวลผลติดตั้งอยู่ด้วย หรืออาจเป็นกล้องวีดิทัศน์ที่ถ่ายสภาพการจราจรในแต่ละถนน แล้วส่งสัญญาณภาพมาประมวลผลที่คอมพิวเตอร์ซึ่งอยู่ห่างจากกล้องก็ได้ เมื่อได้ข้อมูลด้านการจราจร เช่น ความเร็วของยานพาหนะในแต่ละเส้นทาง เป็นต้น ก็สามารถนำไปใช้สนับสนุนการสั่งการและอำนวยความสะดวก



รูปที่ 1.3 ระบบการประมวลผลภาพวิดีโอทัศนียภาพในการหาความเร็วยานพาหนะ



รูปที่ 1.4 ลักษณะการติดตั้งกล้องประมวลผลภาพในการใช้งาน [5]

การประมวลผลภาพวิดีโอทัศนียภาพในระบบจราจรนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานการนำร่องยานพาหนะไร้คนขับ (Autonomous vehicle navigation) ซึ่งใช้กล้องรับภาพช่วยหาระยะห่างของวัตถุในการขึ้นนำการขับเคลื่อนของยานพาหนะต่างๆ ในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจำเป็นจะต้องรู้ระยะห่างของวัตถุต่างๆ เพื่อที่จะให้การเดินทางเป็นไปด้วยความปลอดภัย เช่น ถ้ามีอุบัติเหตุบนท้องถนน ระบบจะแจ้งเตือนอันตรายที่มีบนท้องถนน ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงได้ทันท่วงที โดยจะติดกล้องและประมวลผลที่ยานพาหนะที่ต้องการขับขึ้น อีกงานหนึ่งคือ ระบบงานเฝ้าดูสภาพจราจร (Traffic monitoring system) สามารถใช้เป็นระบบติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) โดยนำ

กล้องถ่ายภาพการจราจรในแต่ละทางแยกซึ่งติดตั้งบริเวณที่เราไม่สามารถมองเห็นได้แล้วส่งภาพมายังจอแสดงภาพที่ติดตั้งในบริเวณที่เราสามารถมองเห็นภาพได้ตลอดเวลาเพื่อสนับสนุนการสั่งการและอำนวยความสะดวกจราจร หรือสามารถใช้เป็นระบบตรวจจับยานพาหนะจากกล้องรับภาพที่ติดอยู่กับที่แล้วเลือกเอาข้อมูลที่ได้มา เช่น ความเร็วของยานพาหนะ ความยาวของแถวคอย จำนวนยานพาหนะ เป็นต้น มาใช้ในการแก้ไขปัญหาจราจรในแต่ละเส้นทาง ข้อมูลหนึ่งที่เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และแก้ปัญหา คือความเร็วของยานพาหนะ ซึ่งได้มาจากการตรวจวัดความเร็วของยานพาหนะที่แล่นผ่านบริเวณที่ต้องการไม่ว่าจะเป็นการตรวจวัดความเร็วของยานพาหนะในตอนกลางวันหรือกลางคืน ซึ่งการประมวลผลวิถีทัศนศาสตร์สำหรับภาพจราจรในเวลากลางวันนั้น ภาพจราจรจะมีแสงและความสว่างพอเพียงทำให้สามารถมองเห็นรูปร่างและลักษณะของยานพาหนะชัดเจนกว่าในเวลากลางคืน [6-8 , 10-12] แต่ก็ยังมีปัจจัยอื่นๆเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมอีกหลายประการที่ทำให้ความสามารถในการประมวลผลภาพจราจรลดน้อยลงได้ เช่น ระดับความสว่าง แสงสะท้อนและเงาที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศและช่วงเวลา

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการหาความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืน โดยจะตรวจจับความเร็วของรถยนต์ที่แล่นผ่านช่องจราจรหนึ่งๆได้ในช่วงเวลาใดๆ ที่ได้จากการประมวลผลภาพสัญญาณวิถีทัศนศาสตร์แบบทันกาลในเวลากลางคืน เนื่องจากในเวลากลางคืนนั้นมีระดับความสว่างน้อย ลักษณะของข้อมูลที่นำมาประมวลผลไม่ชัดเจนเท่าที่ควรทำให้การตรวจจับยานพาหนะมีความผิดพลาดได้มาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับรถยนต์ในเวลากลางคืนให้ดีขึ้นซึ่งทำให้เพิ่มความสามารถในการหาความเร็วของรถยนต์ได้ถูกต้องมากขึ้นด้วย วิธีการที่นำเสนอสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกเป็นการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ โดยวิธีการหาตำแหน่งดวงไฟของรถยนต์ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของการหาความเร็วของรถยนต์ จะอาศัยข้อมูลที่ได้จากส่วนแรกมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเฟรม 2 เฟรมที่ต่อเนื่องกันของภาพเพื่อวิเคราะห์และหาระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ระหว่าง 2 เฟรมที่ต่อเนื่องกัน ทำให้สามารถหาความเร็วของรถยนต์ได้

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขั้นตอนวิธีการและพัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้ในการตรวจวัดความเร็วของยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวิถีทัศนศาสตร์ด้านหน้ารถ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดความเร็วของยานพาหนะในเวลากลางคืนจากภาพวีดิทัศน์แบบทันที มีขอบเขตดังนี้

- 1) ภาพที่นำมาประมวลผลเป็นภาพจากวีดิทัศน์
- 2) ภาพที่ใช้ต้องเป็นภาพซึ่งถ่ายภายใต้สภาวะปกติของถนนในเวลากลางคืนที่ไม่มีหมอก คิว หรือฝนตก(เวลากลางคืนในที่นี้หมายถึงเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมงหลังจากเวลาดวงอาทิตย์ตกจนถึงเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมงก่อนเวลาดวงอาทิตย์ขึ้นของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ เฉลี่ย ณ จังหวัดที่ทดลอง)
- 3) ภาพที่ใช้เป็นภาพถ่ายจากมุมมองจากระดับสูงไม่น้อยกว่า 5 เมตรจากผิวถนน (บนสะพานลอยคนเดินข้ามถนน) ด้วยมุมกวดลง 2 มุมที่ต่างกันไม่น้อยกว่า 15 องศา
- 4) ติดตั้งกล้องลงในแนวเดียวกับแนวทิศทางจราจร (รถวิ่งออกจากกล้อง)และเปลี่ยนตำแหน่งของกล้องโดยเลื่อนตำแหน่งกล้องไปด้านซ้ายมือหรือขวามือ (ในแนวเส้นตั้งฉากกับช่องทางเดินรถที่ผ่านจุดตั้งกล้องครั้งแรก) 2 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นมุมตั้งที่ต่างจากแนวเดิมอย่างน้อย 15 องศา
- 5) ตรวจวัดความเร็วของยานพาหนะตั้งแต่ 4 ล้อขึ้นไป ตรวจจับจากสัญญาณไฟหน้า 2 ดวงและไม่ับยานพาหนะที่วิ่งไม่ตรงช่องจราจรหรือวิ่งเปลี่ยนช่องทาง
- 6) ตรวจวัดความเร็วของยานพาหนะเฉพาะในช่องทางเดินรถ 1 ช่องจราจร
- 7) ให้ผลลัพธ์แบบทันที (Real-time) ในที่นี้หมายถึงการที่โปรแกรมสามารถวัดความเร็วยานพาหนะที่แล่นเข้ามาในกรอบตรวจจับได้เสร็จสิ้นและสามารถวัดความเร็วยานพาหนะคันต่อไปได้ทันที
- 8) ทดสอบความถูกต้องของการประมวลผลด้วยการเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดความเร็วโดยใช้อุปกรณ์เรดาร์ตรวจจับความเร็วภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาวิธีการตรวจวัดความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์
- 2) ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพดิจิทัล
- 3) ทดลองนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย
- 4) ออกแบบขั้นตอนวิธีการตรวจวัดความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนแบบทันกาล
- 5) พัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจวัดความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนจากขั้นตอนวิธีที่ออกแบบ
- 6) ทดสอบและวิเคราะห์ผล
- 7) สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง
- 8) จัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ได้ขั้นตอนวิธีการและโปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้ในการตรวจวัดความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนแบบทันกาล
- 2) สามารถนำขั้นตอนวิธีไปประยุกต์ใช้ร่วมกับงานในระบบงานจราจรได้

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีทั้งหมด 5 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในส่วนก่อนหน้านี้ บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย บทที่ 3 จะกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีในการตรวจจับและวัดความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนจากภาพวีดิทัศน์ ส่วนบทที่ 4 เป็นการทดลอง ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล และบทสุดท้ายคือบทที่ 5 เป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่าง ๆ

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดความเร็วยานพาหนะนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับเรื่อง การตรวจจับตำแหน่งยานพาหนะ เพื่อใช้ในการหาความเร็ว ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในที่นี่ จึงเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับการประมวลผลภาพเพื่อการตรวจจับให้พยานพาหนะในภาพ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาความเร็วของยานพาหนะ บางงานวิจัยเป็นการวิจัยจากภาพในเวลากลางวัน และบางงานวิจัยเป็นการวิจัยจากภาพในเวลากลางคืน ซึ่งมีอยู่หลายงานวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาความเร็วของยานพาหนะ

ในปี ค.ศ. 1995 Jung Soh และคณะ ได้ทำการวิจัยเรื่อง Analysis of Road Image Sequences for Vehicle Counting [6] โดยในงานนี้ได้อธิบายระบบคอมพิวเตอร์วิชัน ที่ใช้สำหรับการนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่บนถนนในเวลากลางวัน ระบบจะดึงภาพถ่ายในช่วงเวลาหนึ่งและจำกัดพื้นที่ตรวจจับในการตรวจนับยานพาหนะโดยใช้ข้อมูลโครงสร้างถนน แล้วคำนวณหาจำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่ผ่านไปในช่วงเวลานั้นๆ โดยจะนับจำนวนยานพาหนะได้จากการติดตามการเคลื่อนไหวยานพาหนะในบริเวณที่ติดตาม (Tracking zone) ระบบนี้จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) การดึงโครงสร้างของถนน จะใช้ตัวดำเนินการแบบเกรเดียนต์หาขอบถนน (Gradient-based edge detection) เพื่อแบ่งแยกช่องจราจร และทำการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected component labeling) เพื่อสร้างพื้นที่ที่จะนำไปเทียบเป็นอัตราส่วนกับขนาดของถนน จะได้เป็นพื้นที่ในการจำกัดบริเวณที่จะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนอื่นต่อไป 2) การตรวจจับยานพาหนะ ใช้ตัวดำเนินการหาขอบแบบพรีวิต (Prewitt edge detector) เพื่อหาขอบของยานพาหนะได้เป็นบริเวณที่เป็นยานพาหนะ 3) การวัดความเร็วของยานพาหนะ 4) การติดตามการเคลื่อนไหวยานพาหนะ ข้อดีคือสามารถปรับพื้นที่ในส่วนของการติดตามการเคลื่อนไหวยานพาหนะได้ตามความเร็วของยานพาหนะที่เคลื่อนที่

ในปี ค.ศ. 1997 กฤษดา โชคสินอนันต์ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การตรวจจับความเร็วยานพาหนะแบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ [7] ซึ่งได้ทำเป็นวิทยานิพนธ์เสนอต่อ

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในงานวิจัยนี้สามารถหาความเร็วของยานพาหนะในหนึ่งช่องทางจราจรแบบทันทีกาล (Real Time) โดยการวิเคราะห์ภาพต่อเนื่องที่ได้จากสัญญาณวิดีโอที่บันทึกในเวลากลางวัน การวัดความเร็วทำได้โดยการหาตำแหน่งหน้ารถที่เคลื่อนไปบนถนนระหว่างเฟรม 2 เฟรมและระยะเวลาระหว่างเฟรมที่ใช้ตรวจจับนั้น การตรวจจับว่ามีรถวิ่งเข้ามา ใช้การวัดค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงของภาพในกรอบพื้นที่ตรวจจับที่กำหนดไว้ 2 บริเวณ เมื่อตรวจจับได้ว่ามีรถเข้ามาก็จะหาตำแหน่งอ้างอิงของขอบหน้ารถอย่างละเอียดโดยใช้หลายเทคนิค ได้แก่ การเลื่อนกรอบตรวจจับโดยอัตโนมัติ Sobel Operator เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) และใช้ฟังก์ชัน Cubic Spline ในการประมาณระยะของรถบนพื้นถนน สมรรถนะของระบบเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์เรดาร์จับความเร็วพบว่ามีความผิดพลาดประมาณ 2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในปี ค.ศ.2001 Tun-Wen Pai และ Wen-Jung Juang ได้ทำการวิจัยเรื่อง An Adaptive Windowing Prediction Algorithm for Vehicle Speed Estimation [8] โดยได้เสนออัลกอริทึมระบบหาความเร็วของรถในเวลากลางวัน โดยอัลกอริทึมที่พัฒนานี้เรียกว่า Adaptive Windowing Prediction (AWP) ใช้หลักการหาความเร็วยานพาหนะในเฟรมที่ผ่านมา ความเร็วเฉลี่ยของการจราจรจะได้จากกล้อง CCD ซึ่งติดตั้งอยู่บนถนน ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพคำนวณระยะทางของพิกเซล แล้วแปลง inverse perspective ด้วยพารามิเตอร์ที่ทราบค่า สำหรับการตรวจจับยานพาหนะที่เคลื่อนที่จะใช้วิธีการ frame differencing ร่วมกับกระบวนการสัญญาณวิทยา และเทคนิค image region growing ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบนี้สามารถทำงานแบบทันทีกาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และระบบมีความถูกต้องในการหาความเร็วเป็น 98.5%

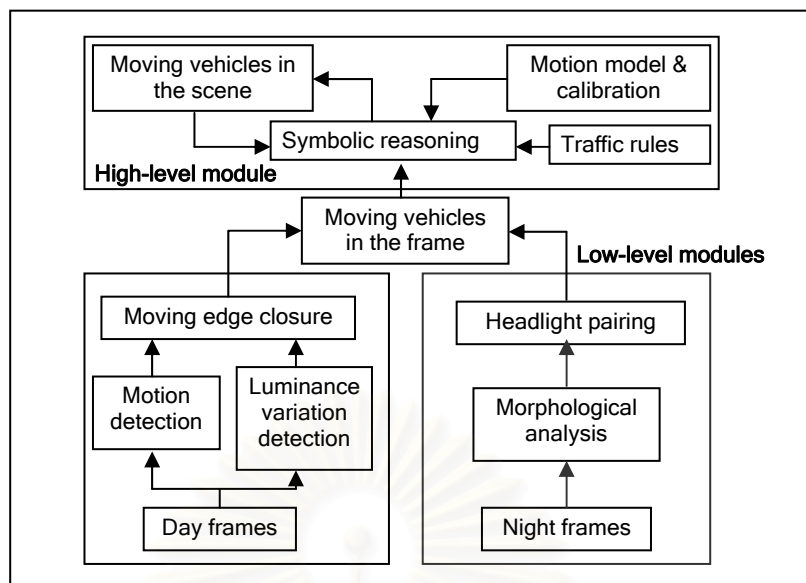
2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับให้พยานพาหนะ

ในปี ค.ศ. 1994 โดย R. Taktak และคณะ ได้ทำการวิจัยเรื่อง Vehicle Detection at Night using Image Processing and Pattern Recognition [9] โดยได้เสนอวิธีการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืน โดยใช้การประมวลผลภาพ (Image processing) และการรู้จำแบบรูป (Pattern recognition) โดยมีขั้นตอนหลักอยู่ 2 ขั้นตอน คือ 1) จะเป็นการกำหนดส่วนของถนนบนภาพเพื่อใช้อ้างอิง 2) เป็นการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนโดยใช้การตรวจจับดวงไฟคู่หน้าของยานพาหนะ โดยคำนวณหาลักษณะเด่นของภาพเช่นขนาด รูปร่างและระยะห่างระหว่างดวงไฟแล้วนำไปเปรียบเทียบกับแบบรูปอ้างอิงในการรู้จำยานพาหนะ แล้วตัดสินใจโดยให้คำตอบเป็นแบบรูปอ้างอิงที่คล้ายกับแบบรูปยานพาหนะมากที่สุด ซึ่งทำให้สามารถนำไปวิเคราะห์แยกประเภทของยานพาหนะได้ ในการประมวลผลภาพเบื้องต้นใช้เทคนิค Morphological opening

และ Thresholding เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจหายานพาหนะเป็น 99% ใน 500 ภาพต่อเนื่อง

ในปี ค.ศ. 1997 Juan Carlos Rojas และ Jill D.Crisman [10] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Vehicle Detection in Color Images โดยได้พัฒนาระบบตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางวัน ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ระบบแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการจัดเตรียม (Setup stage) และ วงจรการตรวจจับยานพาหนะ (Detection cycle) ขั้นตอนการจัดเตรียมจะทำเพียงครั้งเดียวก่อนที่จะทำการประมวลผลในขั้นตอนถัดไป โดยจะรับภาพจากกล้องมา 1 ภาพแล้วนำค่าสีในแต่ละพิกเซลมาสร้างเป็นแบบจำลองสีถนน (Road color model) และบอกตำแหน่งของส่วนที่เป็นถนนเพื่อเก็บข้อมูลนี้ไว้ใช้ในขั้นตอนถัดไป ขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะ เริ่มจากแยกส่วนที่เป็นถนนกับส่วนที่ไม่ใช่ถนน (Classify module) โดยการทำให้ Threshold แล้วรวมส่วนที่ไม่ใช่ถนนให้เป็นกลุ่มเดียวกัน (Merge vehicle regions module) โดยใช้เทคนิคการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันเพื่อระบุว่าเป็นยานพาหนะ ระบบสามารถตรวจจับยานพาหนะได้มากกว่า 90% แต่ก็จะมีอัตราความผิดพลาดในการตรวจจับมากขึ้นในสภาพอากาศในช่วงฝนตกและมีเงาเคลื่อนไหวที่ทอดผ่านบนถนน

ในปี ค.ศ. 2000 Rita Cucchiara และคณะ ได้ทำการวิจัยเรื่อง Image Analysis and Rule-based Reasoning for a Traffic Monitoring ได้เสนอระบบ Vehicular Traffic Tracking System (VTTS) [11] ที่แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยนำหลักการ Rule-base reasoning System มาใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของยานพาหนะ และแบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ Low-level module และ High-level module นอกจากนี้ในส่วน Low-level module ยังแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน เพื่อตรวจจับตำแหน่งของยานพาหนะทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน นั่นคือ การทำงานในส่วนกลางวัน จะใช้หลักการของการเคลื่อนที่ของรถ (Motion) โดยใช้เทคนิค Spatio-temporal analysis แต่การทำงานในช่วงกลางคืน จะใช้เกณฑ์การจับคู่ของดวงไฟหน้าของยานพาหนะ โดยเริ่มแรกจะกำหนดส่วนที่จะพิจารณาและทำ Thresholding ให้เหลือเฉพาะดวงไฟ หลังจากนั้นตรวจสอบความสัมพันธ์ต่างๆที่คาดว่าจะจะเป็นไฟคู่ ได้แก่ ความสมมาตรระหว่างไฟคู่ ระดับความสว่างของพิกเซลที่เป็นดวงไฟซึ่งจะมีสว่างมากกว่าบริเวณอื่นๆ โดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง (Morphological analysis)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบ VTTTS [11]

ในปี ค.ศ. 2002 Marinus B. Van Leeuwen และ Frans C.A. Groen ได้ทำการวิจัยเรื่อง Vehicle Detection with a Mobile Camera [12] โดยเสนอวิธีการตรวจจับยานพาหนะในเวลา กลางวัน ที่ใช้แนวคิดต่อไปนี้ร่วมกันคือ เงามด้านล่างยานพาหนะ เอนโทรปี และความสมมาตร โดยมีขั้นตอนอยู่ 3 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนแรกจะค้นหาบริเวณที่เป็นเงาด้านล่างของยานพาหนะ แต่ละคันโดยใช้การเปลี่ยนแปลง ของค่าความเข้มแสง ในขั้นตอนที่สองจะใช้หลักการเอนโทรปี มาตรวจสอบว่าบริเวณที่ได้มาจากการขั้นตอนแรกนั้นน่าจะเป็นยานพาหนะหรือไม่ โดยถ้ามีค่า เอนโทรปีสูง จึงจะตัดสินว่าเป็นส่วนของยานพาหนะ ต่อจากนั้นในขั้นตอนที่สามจะใช้ความ สมมาตรมายืนยันความถูกต้องว่าเป็นยานพาหนะ โดยใช้แนวคิดว่ายานพาหนะนั้นจะมีความ สมมาตรทั้งในแนวกว้างและแนวสูงของยานพาหนะ วิธีการตรวจจับที่เสนอนี้สามารถตรวจจับ ยานพาหนะที่แล่นผ่านกล้องวิดีโอได้ ความถูกต้องของการตรวจจับยานพาหนะโดยวิธีนี้มีความ ถูกต้องอยู่ระหว่าง 64% - 96% และมีค่าความผิดพลาดเชิงบวก (false positive) อยู่ระหว่าง 49% - 90%

ในปี ค.ศ. 2003 Ming-Yang Chern และ Ping-Cheng Hou ได้ทำการวิจัยเรื่อง The Lane Recognition and Vehicle Detection at Night for A Camera-Assisted Car on Highway [13] โดยได้เสนอระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ใช้ในการตรวจจับช่องจราจรและยานพาหนะในเวลา กลางคืนบนถนน ระบบจะตรวจจับช่องจราจรจากการดึงเอาความสว่างของฟลักซ์ออกมาและใช้สี เป็นการแบ่งแยกวัตถุในภาพ โดยระบบจะทำการรู้จำไฟท้ายของยานพาหนะจากกล้องที่ติดบน ยานพาหนะ ระบบไม่ได้ตรวจหารถบรรทุกหรือรถที่มีขนาดใหญ่เพราะไฟท้ายจะอยู่สูงกว่ากล้อง

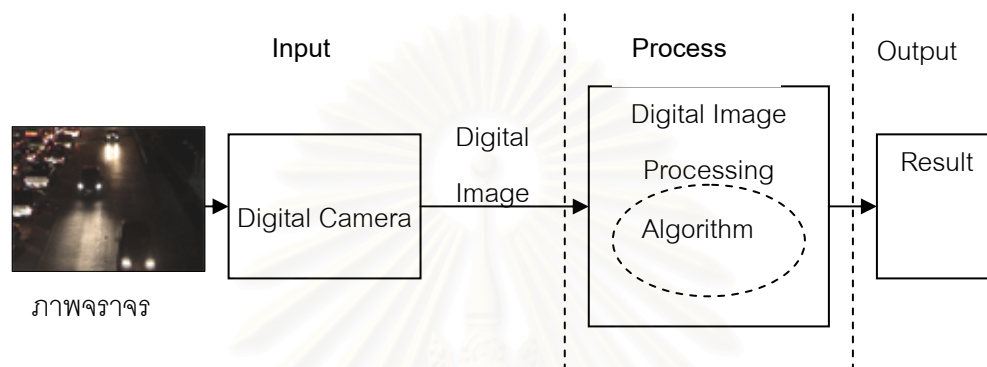
งานวิจัยตามที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น จะมีการติดตั้งตำแหน่งของกล้องวิดีโอที่แตกต่างกันโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทนั่นคือ 1) จะเป็นการติดตั้งกล้องวิดีโออยู่เหนือช่องทางจราจร แล้วถ่ายภาพในทิศทางที่ยานพาหนะวิ่งเข้ามาหากกล้อง โดยหากเป็นการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางวันจะตรวจจับจากลักษณะรูปร่างของยานพาหนะ แต่หากเป็นการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนจะตรวจจับจากตำแหน่งของดวงไฟหน้าของยานพาหนะ ดังในงานวิจัยของ Jung Soh และคณะ [6], กฤษดา ไชคสินอนันต์ [7], Tun-Wen Pai และ Wen-Jung Juang [8], R. Taktak และคณะ [9], Juan Carlos Rojas และ Jill D.Crisman [10] , Rita Cucchiara และคณะ [11] 2) จะเป็นการติดตั้งกล้องวิดีโออยู่ในยานพาหนะ ซึ่งจะติดตั้งกล้องบนยานพาหนะที่ต้องการจับ แล้วถ่ายภาพยานพาหนะคันที่อยู่ข้างหน้า หากเป็นการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางวันจะใช้หลักการพิจารณาจากรูปร่างของยานพาหนะ แต่หากเป็นการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนจะพิจารณาจากไฟท้ายของยานพาหนะที่อยู่ข้างหน้า ดังงานวิจัยของ Marinus B. Van Leeuwen และ Frans C.A. Groen [12], Ming-Yang Chern และ Ping-Cheng Hou [13]

งานวิจัยที่สามารถทำงานแบบทันทีกาล นั้นคือสามารถประมวลผลหาตำแหน่งและความเร็วของยานพาหนะได้เสร็จสิ้นก่อนที่ยานพาหนะคันต่อไปจะผ่านเข้ามา ได้แก่งานวิจัยของ Jung Soh และคณะ [6], กฤษดา ไชคสินอนันต์ [7], Tun-Wen Pai และ Wen-Jung Juang [8], Juan Carlos Rojas และ Jill D.Crisman [10] , Marinus B. Van Leeuwen และ Frans C.A. Groen [12], Ming-Yang Chern และ Ping-Cheng Hou [13] ส่วนงานวิจัยที่ไม่สามารถให้ผลลัพธ์แบบทันทีกาลได้แก่งานวิจัยของ R. Taktak และคณะ [9], Rita Cucchiara และคณะ [11] ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า ในงานวิจัยของ R.Taktak และคณะ [9] นั้นเป็นงานวิจัยที่มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยความถูกต้องในการตรวจหายานพาหนะถึง 99% แต่มีจุดอ่อนที่ไม่สามารถทำงานแบบทันทีกาลได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้รวมถึงขั้นตอนการหาความเร็วของยานพาหนะด้วย

งานวิจัยที่น่าเสนอนี้ได้เสนอวิธีการตรวจวัดความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนแบบทันทีกาล โดยติดตั้งกล้องในมุมที่ถ่ายภาพรถยนต์ในทิศทางวิ่งเข้าหากกล้องและพิจารณาจากดวงไฟคู่หน้าของรถยนต์ที่แล่นผ่านบริเวณกรอบตรวจจับ งานวิจัยนี้มีจุดเด่นกว่างานวิจัยที่ผ่านมาคือสามารถตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์และหาความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนและให้ผลลัพธ์ออกมาได้อย่างทันทีกาล เทคนิคที่เป็นจุดเด่นในงานวิจัยนี้ซึ่งถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ได้แก่ การใช้หลักการของเอนโทรปีมาพิจารณาตัดสินบริเวณพื้นที่ที่เป็นดวงไฟหน้ารถยนต์ และใช้หลักการความสมมาตรของดวงไฟหน้ารถยนต์มายืนยันความถูกต้องของตำแหน่งรถยนต์ ส่งผลให้เพิ่มความถูกต้องในการหาความเร็วของรถยนต์ด้วยเช่นกัน

2.2 ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัลเพื่อให้สามารถนำเอาข้อมูลเหล่านี้ผ่านกระบวนการต่างๆด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ดังรูปที่ 2.2 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลโดยมีการทำงานต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 ระบบการทำงานของ การประมวลผลภาพดิจิทัล

2.2.1 การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation)

วิธีที่เป็นที่รู้จักดีในการแบ่งแยกวัตถุจากภาพคือการแบ่งส่วนภาพ วิธีการพื้นฐานสำหรับการแบ่งส่วนภาพ คือการพิจารณา Image amplitude ซึ่งเป็นการพิจารณาความสว่างของภาพ สำหรับภาพระดับเทาและความแตกต่างของสีสำหรับภาพสี นอกจากนี้ขอบของวัตถุและลักษณะของพื้นผิวก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะทำให้สามารถทำการแบ่งส่วนภาพได้สะดวกยิ่งขึ้น

1) การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) [14]

การแบ่งส่วนภาพในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาความเข้มของจุดต่าง ๆ ภายในภาพ (pixel) ซึ่งผลของการแบ่งส่วนภาพจะขึ้นอยู่กับวิธีการ Threshold ของส่วนประกอบที่เป็นความเข้มหรือสีของภาพโดยการหาค่าขีดแบ่งซึ่งเป็นค่าความเข้มให้มีค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังมีหลายแบบดังนี้

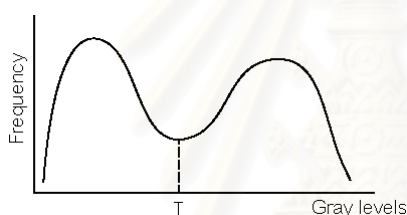
ก) การหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยว (Single threshold)

สมมติว่าภาพมีลักษณะของวัตถุที่มีความเข้มคงที่เมื่อเทียบกับพื้นหลัง เช่นภาพที่ประกอบด้วยวัตถุสว่างอยู่ในพื้นหลังที่มืด จะมีกลุ่มของค่าระดับเทา 2 กลุ่ม นั่นคือจุดภาพที่เป็น

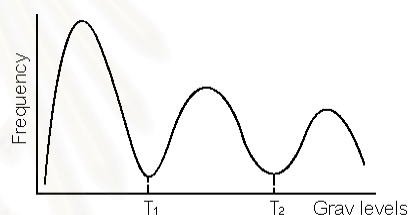
วัตถุและจุดภาพที่เป็นพื้นหลัง ซึ่งจะสามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน สามารถแสดงฮิสโทแกรมของภาพ $f(x, y)$ ได้ดังรูปที่ 2.3(ก) การแบ่งแยกวัตถุออกจากพื้นหลังทำได้โดยหาค่าขีดแบ่ง T ที่สามารถแบ่ง 2 กลุ่มดังกล่าวออกจากกัน โดยพิจารณาค่าขีดแบ่งจากฮิสโทแกรมที่อยู่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด จากนั้นกำหนดให้จุดภาพ (x, y) ที่มีค่าระดับเทา $f(x, y) > T$ เป็นจุดภาพของวัตถุ ส่วนจุดอื่นที่เหลือเป็นจุดภาพพื้นหลัง

ข) การหาค่าขีดแบ่งแบบหลายเชิง (Multiple threshold)

สมมติว่าภาพประกอบด้วยหลายๆวัตถุ เช่นภาพที่มีวัตถุสว่าง 2 อันอยู่ในพื้นหลังที่มีมืด การหาค่าขีดแบ่งเมื่อรูปภาพมีฮิสโทแกรมแบบ 3 สฐานนิยม ดังรูปที่ 2.3(ข) จะจำแนกจุดภาพ (x, y) ว่าเป็นจุดภาพของวัตถุแรกถ้า $T_1 < f(x, y) < T_2$ และเป็นจุดภาพของวัตถุที่สองถ้า $f(x, y) > T_2$ และเป็นจุดภาพพื้นหลังถ้า $f(x, y) \leq T_1$



(ก) การหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยว



(ข) การหาค่าขีดแบ่งแบบหลายเชิง

รูปที่ 2.3 การหาค่าขีดแบ่งจากฮิสโทแกรมของค่าระดับเทา

การหาค่าขีดแบ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันได้ดังสมการที่ 2.1 [11]

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)] \quad \dots (2.1)$$

เมื่อ $f(x, y)$ เป็นค่าระดับเทาของภาพ ณ จุด (x, y) และ $p(x, y)$ แสดงสมบัติเชิงท้องถิ่น (Local property) ของจุดดังกล่าว เช่น ค่าระดับเทาเฉลี่ยของจุดภาพใกล้เคียงที่มีจุดศูนย์กลาง ณ ตำแหน่ง (x, y) โดยทั่วไปภาพลักษณะพื้นฐานสอง $g(x, y)$ ที่ได้หลังจากการทำขีดแบ่งกับภาพระดับเทา $f(x, y)$ ด้วยค่าขีดแบ่ง T มีค่าดังสมการที่ 2.2

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad \dots (2.2)$$

จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 คือจุดภาพที่เป็นวัตถุ ขณะที่จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 คือจุดภาพที่เป็นพื้นหลัง

ค) การกำหนดค่าขีดแบ่งของขอบ (Edge Thresholding)

โดยส่วนใหญ่แล้วการกำหนดค่าขีดแบ่งจะทำการหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยวซึ่งหมายความว่าถ้าจุดภาพที่มีค่าขอบมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าขีดแบ่งแล้วเส้นขอบที่ปรากฏจะไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่าที่อยู่ต่ำกว่าและสูงกว่าค่าขอบแล้วถ้าจุดภาพที่มีค่าอยู่ระหว่างค่าขีดแบ่งทั้งสองแล้วจะเป็นเส้นขอบที่มีจุดภาพเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ กำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่า τ_l และ τ_h โดย $\tau_l < \tau_h$ เมื่อพิจารณาทุกจุดภาพที่เป็นขอบภาพใน I_N ให้กำหนดจุดภาพที่ $I_N(x, y) > \tau_h$ เป็นขอบภาพใหม่และจากจุดที่เป็นขอบภาพใหม่ กำหนดให้จุดภาพที่ $I_N(x, y) > \tau_l$ และอยู่ติดกับจุดภาพที่เป็นขอบภาพใหม่ถือว่าเป็นขอบภาพเช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้เป็นภาพลักษณะพื้นฐานสอง (Binary image) ที่แสดงเฉพาะขอบของวัตถุในภาพ

2) การตรวจหาขอบภาพ (Edge Detection)

การตรวจหาของภาพคือกระบวนการเพื่อหาขอบเขตและกำหนดตำแหน่งในภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้ม (Intensity) ของภาพอย่างรวดเร็ว สามารถใช้การตรวจหาขอบภาพมาตรวจหาขอบของวัตถุในภาพทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพออกเป็นบริเวณต่างๆ (Region) ได้ โดยที่ขอบเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หากความแตกต่างมีค่ามากจะเห็นขอบได้ชัด ถ้าความแตกต่างมีค่าน้อย ขอบจะเห็นไม่ชัดเจน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการหาค่าพีค (Peak) ของอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (First directional derivative) และการหาจุดผ่านศูนย์ (Zero-crossing) ของอนุพันธ์ลำดับที่สอง (Second directional derivative) ของภาพ [15]

ก) ตัวดำเนินการเกรเดียนต์ (Gradient Operator) [16]

อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First directional derivative) จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x, y)$ ซึ่งเป็นค่าระดับเทาของจุดภาพครั้งเดียว ถ้านำมาหาขอบในทิศทางแนวนอนและแนวตั้ง จะได้สมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า เกรเดียนต์ (Gradient) และเป็นเวกเตอร์เมตริกซ์ แสดงได้ดังนี้

$$\nabla f = \begin{bmatrix} H_r(x, y) \\ H_c(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} f(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} f(x, y) \end{bmatrix} \quad \dots(2.3)$$

โดยที่ $\frac{\partial}{\partial x} f(x, y)$ เป็นการหาขอบในแนวนอน (x)

และ $\frac{\partial}{\partial y} f(x, y)$ เป็นการหาขอบในแนวตั้ง (y)

ซึ่งถ้าหาขอบทั้ง 2 ทิศทาง จะเป็นขนาดของเวกเตอร์(Magnitude Vector) ของสมการที่ 2.3 ซึ่งเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\nabla f = \left[H_r^2(x, y) + H_c^2(x, y) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots(2.4)$$

แต่ในทางปฏิบัติสามารถประมาณค่าได้จากการใช้ค่าสัมบูรณ์ ดังสมการที่ 2.5

$$|\nabla f| \cong |H_r(x, y)| + |H_c(x, y)| \quad \dots(2.5)$$

ส่วนทิศทางการตรวจหาขอบได้จากสมการที่ 2.6

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{H_c(x, y)}{H_r(x, y)} \right] \quad \dots(2.6)$$

ข) ลaplacian (The Laplacian) [16]

ตัวดำเนินการเชิงอนุพันธ์ลำดับที่สองของฟังก์ชันสองมิติคือ Laplacian ของภาพ โดยจะเป็นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x, y)$ ซึ่งเป็นค่าระดับเทาของจุดภาพสองครั้ง โดยการนำสมการที่ 2.3 มาหาค่าอนุพันธ์อีกครั้ง จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} f(x, y) \quad \dots(2.7)$$

ตัวดำเนินการเชิงอนุพันธ์ลำดับที่สองนี้สมมาตรในแบบการหมุน (Rotationally symmetric) และยังคงรักษาเครื่องหมายความแตกต่างของความสว่างระหว่างขอบภาพไว้ด้วย โดยจุดผ่านศูนย์ (จุดที่เครื่องหมายเปลี่ยน) ของ $\nabla^2 f$ คือจุดที่แสดงถึงความเป็นขอบภาพในภาพ และเครื่องหมายบอกแสดงถึงด้านของขอบที่สว่างกว่า

ค) การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีโซเบล (Sobel Edge Detection)

วิธีการหาขอบโดยใช้ตัวดำเนินการโซเบล (Sobel) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้หาขอบของวัตถุในภาพ สามารถทำได้โดยใช้หน้ากาก (Mask) ขนาด 3x3 จำนวน 2 หน้ากาก ทำคอนโวลูชัน (Convolution) กับภาพในทิศทางแกน x และแกน y ซึ่งมีความง่ายและไม่ซับซ้อน โดยที่การหาขอบของวัตถุโดยใช้ตัวดำเนินการโซเบลจะใช้ค่า Mask Coefficient ดังนี้

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$$

(ก) ในทิศทางแนวนอน (แกน x)

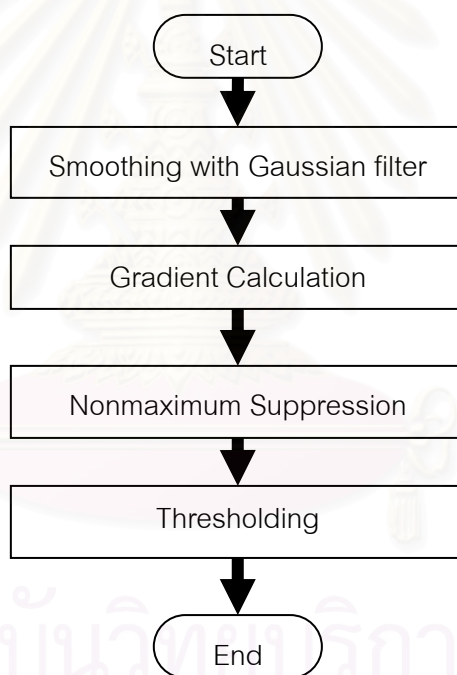
$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(ข) ในทิศทางแนวตั้ง (แกน y)

รูปที่ 2.4 หน้ากากของตัวดำเนินการโซเบล

ง) การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่ (Canny Edge Detection)

การหาขอบของวัตถุด้วยวิธีแคนนี่นั้นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่หาขอบของวัตถุในภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือสามารถหาขอบภาพที่มีอยู่จริงและสัญญาณรบกวนถูกแสดงออกมาเป็นขอบน้อยที่สุด วิธีการหาขอบด้วยวิธีแคนนี่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนของ Canny edge detection

การทำงานของ Canny edge detection นั้นเริ่มต้นจากการปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian filter) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน หลังจากนั้นคำนวณค่าขนาด (magnitude) และทิศทาง (orientation) ของ gradient โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ในถัดมาจึงใช้ Nonmaximum suppression กับ gradient magnitude เพื่อให้ได้ขอบที่บางลง และในขั้นตอนสุดท้ายใช้ double thresholding algorithm เพื่อระบุพิกเซลที่เป็นขอบและช่วยเชื่อมต่อบริเวณ [17] โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Smoothing with Gaussian filter

ในขั้นตอนแรกของการหาขอบโดยอัลกอริทึมนี้จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อนโดยใช้ Gaussian filter ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้กรอบ (mask) ขนาดเล็ก ขนาดของ Gaussian mask นี้หากมีขนาดกว้างจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มาก แต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะมีผลทำให้ขอบย่อยๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดนั้นหายไป สำหรับการคำนวณหาภาพที่ได้จากการใช้ Gaussian filter เป็นดังสมการที่ 2.8

$$S[i, j] = G[i, j, \sigma] * I[i, j] \quad \dots(2.8)$$

โดยที่ $I[i, j]$ เป็นภาพที่ต้องการหาขอบ

$G[i, j, \sigma]$ เป็น Gaussian smoothing filter

σ เป็น Spread of the Gaussian (ควบคุมระดับของการ smoothing)

- Gradient Calculation

ในขั้นแรกนำ Smoothing image $S[i, j]$ มาสร้าง x, y partial derivatives $P[i, j]$ และ $Q[i, j]$ ตามลำดับ ดังสมการที่ 2.9 และ 2.10

$$P[i, j] \approx \frac{S[i, j+1] - S[i, j] + S[i+1, j+1] - S[i+1, j]}{2} \quad \dots(2.9)$$

$$Q[i, j] \approx \frac{S[i, j] - S[i+1, j] + S[i, j+1] - S[i+1, j+1]}{2} \quad \dots(2.10)$$

หลังจากนั้นนำค่า x, y partial derivatives มาคำนวณด้วยสูตรมาตรฐานสำหรับการแปลงรูปแบบจาก rectangular ไปเป็น polar (rectangular-to-polar conversion) เพื่อหาขนาดและทิศทางของ gradient ตามสมการที่ 2.11

$$M[i, j] = \sqrt{P[i, j]^2 + Q[i, j]^2}$$

$$\theta[i, j] = \arctan(Q[i, j], P[i, j]) \quad \dots(2.11)$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถหาค่ามุม θ ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรในฟังก์ชัน $\arctan(x, y)$

- Nonmaximum Suppression

สำหรับการหาขอบโดย Canny method จุดที่ถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกับ gradient ด้วย ซึ่งด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 พิกเซล ภาพที่ได้หลังการทำ Nonmaximum Suppression จะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุด ยกเว้นจุดที่เป็น local maximum points ซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

- Thresholding

แม้ว่าภาพจะผ่านการ smoothing ในขั้นตอนแรกแล้วก็ตาม ภาพที่ได้อาจยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพ เป็นพื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียดภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่า threshold ขึ้นมา 2 ค่า คือ high threshold (T1) และ low threshold (T2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T1 จะถูกปรับเป็น 1 (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า T2 จะถูกปรับเป็น 0 ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่า threshold ทั้งสอง การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ค่า >T1) มีค่ามากกว่า T2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกัน

2.2.2 การประมวลผลภาพสี (Color Image Processing)

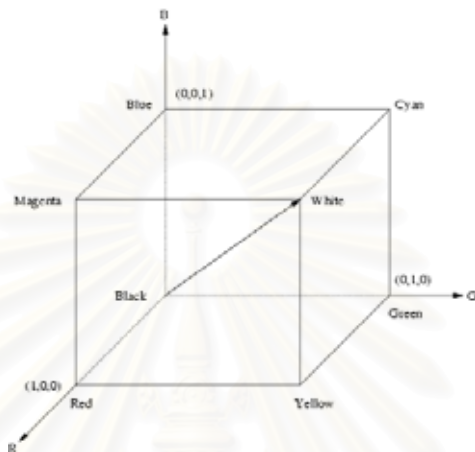
การประมวลผลภาพสีโดยทั่วไปมีทั้งระบบสีที่เกี่ยวข้องกับการผสมของแสงสี ระบบสีที่ใช้ในการพิมพ์ ระบบการมองเห็นสีของตามนุษย์ และระบบสีที่ใช้ในการออกอากาศภาพทางโทรทัศน์ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ระบบสี RGB (Red Green Blue) ในการประมวลผลภาพวิดีโอ

ระบบสี RGB เป็นสีที่ใช้สำหรับการใช้งานกับจอภาพคอมพิวเตอร์ และเป็นระบบสีที่เกิดจากการผสมสีของแสงที่ประกอบด้วยแม่สีหลักของแสง 3 สี คือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) ในสัดส่วนความเข้มของแม่สีแต่ละตัวที่แตกต่างกัน เมื่อสีเหล่านี้มีการผสมกันแล้ว เกิดเป็นสีอื่นต่าง ๆ จึงเรียกว่า "สีแบบบวก" (additive colors) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระบบสีแบบบวก (additive colors system)

แบบจำลองสีนี้สามารถแทนโดยใช้รูปลูกบาศก์ขนาด 1 หน่วย ดังรูปที่ 2.6 โดยที่สี RGB เป็นแกนทั้ง 3 ของรูปลูกบาศก์ โดยแต่ละสีมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ โดยที่ 0 แสดงถึงความมืดและ 1 แสดงถึงความสว่าง ภาพที่ได้จากแบบจำลอง RGB จะประกอบด้วยระนาบภาพสี RGB 3 ระนาบภาพที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นถ้าต้องการสร้างภาพจำลองบนจอภาพจะต้องอาศัยการผสมกันของระนาบภาพทั้ง 3 จึงจะทำให้เกิดสีต่างๆบนจอภาพ



รูปที่ 2.7 RGB cube

2.2.3 การแปลงค่าสีระหว่างระบบสีต่างๆ [16]

การแปลงค่าสีในส่วนนี้จะอธิบายถึงการแปลงภาพค่าสี RGB เป็นระบบสีต่างๆ

1) การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา

เนื่องจากการประมวลผลภาพสีค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นจึงนิยมที่จะแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาก่อนการประมวลผลภาพ โมเดลสีที่พยายามแยกส่วนประกอบของสีกับส่วนประกอบของความเข้มแสงออกจากกัน และส่วนประกอบของความเข้มแสงนี้เองที่เป็นส่วนแสดงค่าระดับเทาของภาพสีแต่ละภาพ โมเดลสีที่ใช้แปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาที่ใช้กันได้แก่ โมเดลสี YIQ ซึ่งมีค่า Y เป็นค่าแสดงความเข้มแสง คำนวณได้จากสมการที่ 2.12

$$Y = 0.212671R + 0.715160G + 0.072169B \quad \dots (2.12)$$

2) การแปลงภาพสี RGB เป็น HSV

$$\text{Hue} \quad H = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2} \{ (R-G) + (R-B) \}}{\{ (R-G)^2 + (R-B)(G-B) \}^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad \dots (2.13)$$

$$\text{Saturation} \quad S = 1 - \frac{3}{R+G+B} (\min(R+G+B)) \quad \dots(2.14)$$

$$\text{Value} \quad \dots(2.15)$$

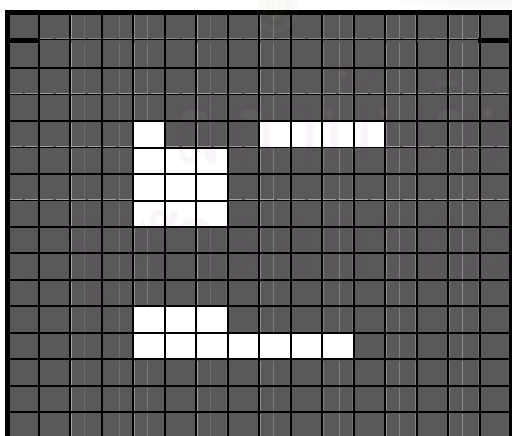
3) การแปลงภาพสี RGB เป็น CMY

สามารถคำนวณแต่ละสีได้ดังนี้

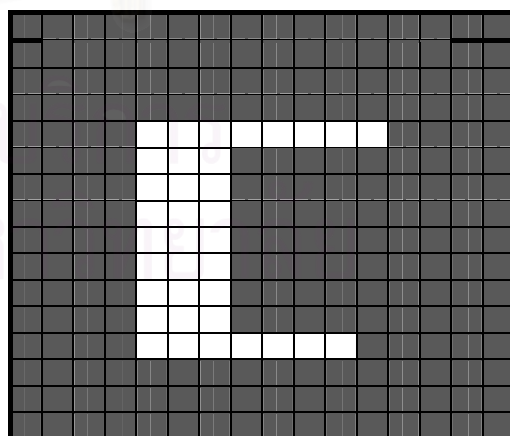
$$\begin{aligned} C &= 255 - R \\ M &= 255 - G \\ Y &= 255 - B \end{aligned} \quad \dots(2.16)$$

2.2.4 การเชื่อมจุดโดยวิธี Run – length smearing [16]

เป็นการเชื่อมจุดที่เป็นขอบของวัตถุให้เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น โดยใช้เทคนิค Run-length smearing ในแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งการทำ Run-length smearing ในแนวนอนนั้น ทำได้โดยสแกนหาจุดภาพแรกที่เป็นสีขาว (มีค่าเป็น 1) ในภาพจากซ้ายไปขวาจนกระทั่งพบจุดที่เป็นสีขาวอีกจุดภาพหนึ่งแล้วจึงจะคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดนั้น ถ้าค่าระยะห่างในแนวนอนมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง จะเติมเต็มสีขาวในระยะห่างนั้น แต่ถ้าระยะห่างในแนวนอนมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง ก็ไม่ต้องเติมเต็มด้วยสีขาวในระยะห่างนั้น แล้วทำตามขั้นตอนเช่นนี้เรื่อยไปจนหมดทั้งภาพ การทำ Run-length smearing ในแนวตั้งนั้นก็ทำเช่นเดียวกับการทำ Run-length smearing ในแนวนอน แตกต่างกันแค่เพียงสแกนหาจุดภาพที่เป็นสีขาวตามแนวตั้งของภาพและพิจารณาค่าระยะห่างในแนวตั้ง ภาพหลังจากที่ได้ทำ Run-length smearing แล้วจะทำให้ได้บริเวณสีขาวที่เป็นวัตถุเชื่อมต่อกันเป็นเนื้อเดียว แสดงตัวอย่างดังรูป 2.8



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพหลังทำ Run-length smearing

($T < 5$)

รูปที่ 2.8 แสดงการทำ Run-length smearing

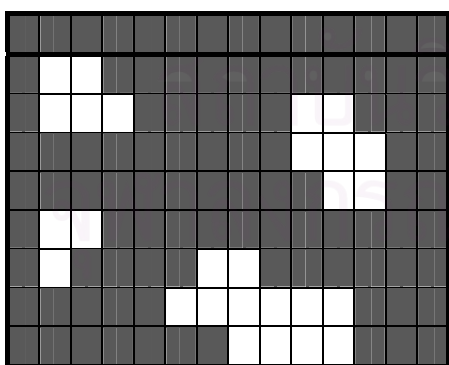
2.2.5 การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected Component Labeling) [16]

การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน เป็นการติดป้ายให้กับแต่ละส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันในภาพลักษณะฐานสองโดยที่ป้ายก็คือสัญลักษณ์ที่ตั้งชื่อให้กับแต่ละส่วนประกอบทำให้สามารถใช้ในการหาจำนวนวัตถุในภาพได้โดยทำการกำหนดค่าให้กับพิกเซลทุกๆพิกเซลในภาพที่มีสีขาว (มีค่าเป็น 1) สีขาวที่อยู่ติดกันจะมีค่าเดียวกันเพื่อบอกว่าเป็นวัตถุชิ้นเดียวกัน แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.9 โดยมีข้อมูลนำเข้าเป็นภาพขาวดำที่มีค่า 0 เป็นสีดำและมีค่า 1 เป็นสีขาว ซึ่ง จะทำการ “ติดป้าย” ส่วนที่เป็นสีขาวโดยในขั้นตอนวิธีจะใช้คิว (Queue) ในการเก็บจุดที่อยู่ติดกัน มีขั้นตอนดังนี้

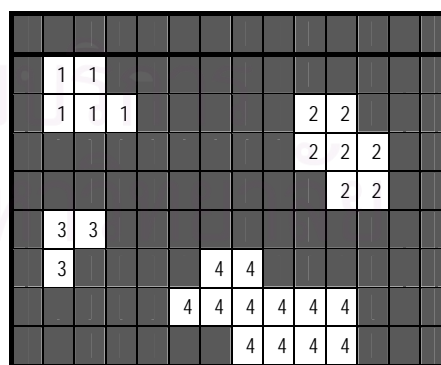
1. เริ่มต้นด้วยการสแกนรูปภาพในแต่ละพิกเซลเพื่อหาพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 แล้วนำตำแหน่งของพิกเซลนั้นไปเก็บในคิวพร้อมกับตรวจสอบว่ามีพิกเซลรอบข้าง 8 ทิศทาง (8-Neighbor) ของพิกเซลนั้นมีค่าเป็น 1 อีกหรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 1 ให้นำตำแหน่งพิกเซลรอบข้างทั้งหมดไปเก็บไว้ในคิว

2. ดึงค่าในคิวออกทีละค่าเพื่อกำหนดป้ายชื่อให้กับพิกเซลในตำแหน่งนั้นพร้อมกับตรวจสอบอีกว่ามีพิกเซลรอบข้าง 8 ทิศทางของพิกเซลนั้นมีค่าเป็น 1 อีกหรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 1 ให้นำตำแหน่งพิกเซลรอบข้างไปเก็บไว้ในคิว

3. การกำหนดป้ายชื่อจะสิ้นสุดลงเมื่อทำกระบวนการเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆจนกว่าคิวว่าง แล้วจึงเริ่มกระบวนการหาพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 ใหม่ ตามขั้นตอนที่ 1



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพหลังการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน

รูปที่ 2.9 การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน

2.3 เอนโทรปี (Entropy) [17]

เอนโทรปี เป็นค่าที่ใช้สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของพิกเซลที่อยู่ติดกัน โดยในการตรวจจับวัตถุภายในรูปภาพซึ่งมีรายละเอียดมากๆ นั้น สามารถใช้ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับ Entropy ของ Shannon ในปี 1948 โดยมีหลักการคือภายในรูปภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเกิดขึ้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเอนโทรปี โดยหากมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอย่างฉับพลัน เช่นเปลี่ยนจาก 0 (สีดำ) เป็น 255 (สีขาว) จะส่งผลให้เกิด entropy ค่าสูงๆ แต่ถ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอย่างค่อยเป็นค่อยไป เช่น เปลี่ยนจาก 0 (สีดำ) เป็น 10 (สีย้งค่อนข้างดำอยู่) จะเกิด entropy ที่มีค่าต่ำ การคำนวณค่าเอนโทรปี จะคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$H(x_k) = - \sum p(x_k) \log p(x_k) \quad \dots (2.17)$$

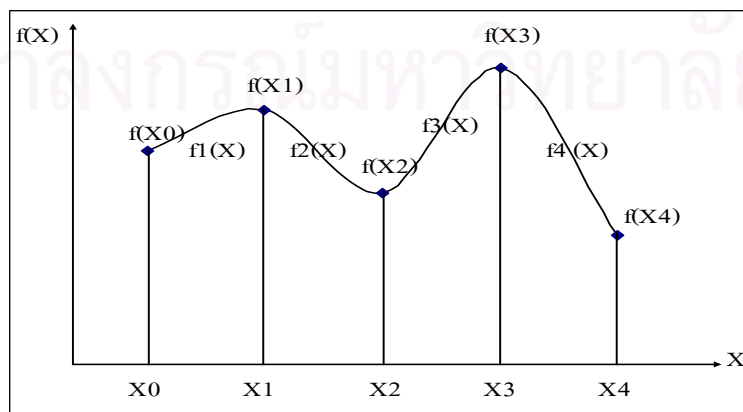
โดยที่ $p(x_k)$ เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าความเข้มแสง k

$H(x_k)$ เป็นฮีสโตแกรมความเข้มแสง

2.4 การประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้ง [18]

วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ การประมาณค่าในช่วงกำลังสาม (Cubic Spline) เพราะมีข้อดีกว่าการประมาณค่าโดยใช้ฟังก์ชันพหุนาม (Polynomial function) กำลังสูงๆ ซึ่งฟังก์ชันพหุนามกำลังสูงๆ นั้นจะมีการกระจายไม่ดีในระหว่างช่วงข้อมูล ดังนั้นจึงได้ใช้ฟังก์ชันพหุนามกำลังต่ำ ซึ่งมีการกระจายในช่วงข้อมูลดีกว่าเป็นตัวประมาณค่า

การประมาณเส้นโค้งวิธีนี้เป็นสร้างชุดของสมการกำลังสามที่แต่ละสมการใช้ในการประมาณค่าระหว่างข้อมูลสองข้อมูลที่อยู่ติดกัน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การประมาณค่าในช่วงกำลังสาม [18]

โดยมีสมการทั่วไปดังนี้

$$f_i(x) = a_i x_3 + b_i x_2 + c_i x + d_i, \quad x_{i-1} \leq x \leq x_i \quad \dots (2.18)$$

โดยที่ $f_i(x)$ เป็นฟังก์ชันกำลังสามที่ประมาณค่าระหว่าง x_{i-1} ถึง x_i เท่านั้น

a_i, b_i, c_i และ d_i เป็นค่าคงที่ซึ่งจะหาได้ด้วยข้อกำหนดต่างๆ ดังต่อไปนี้

i มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

x_i เป็นข้อมูลมีจำนวน $n+1$ ค่า โดยเริ่มจาก x_0, x_1, \dots, x_n

ในการหาค่าคงที่เส้นโค้งจะหาค่าคงที่ a_i, b_i, c_i และ d_i ขึ้นต้นโดยค่าของฟังก์ชันที่จุดต่อภายในใดๆ จะมีค่าเท่ากันเสมอ

$$f_i(x_i) = f(x_i) \quad \dots (2.19)$$

$$f_{i+1}(x_i) = f(x_i) \quad \dots (2.20)$$

ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขเป็นจำนวน $2^{(n-1)}$ เงื่อนไข ฟังก์ชันแรกจะผ่านค่าข้อมูล x_0 และฟังก์ชันที่ n จะผ่านค่าข้อมูลตัวที่ n เช่นกัน

$$f_1(x_0) = f(x_0) \quad \dots (2.21)$$

$$f_n(x_n) = f(x_n) \quad \dots (2.22)$$

ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขอีกจำนวน 2 เงื่อนไข อนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันที่จุดต่อภายในใดๆ จะต้องมีความเท่ากัน

$$\frac{d}{dx} f_i(x_i) = \frac{d}{dx} f_{i+1}(x_i) \quad \dots (2.23)$$

ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขอีกจำนวน $n-1$ เงื่อนไข อนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันที่จุดต่อภายในใดๆ จะต้องมีความเท่ากัน

$$\frac{d^2}{dx^2} f_i(x_i) = \frac{d^2}{dx^2} f_{i+1}(x_i) \quad \dots (2.24)$$

ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขอีกจำนวน $n-1$ เงื่อนไข ค่าของอนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันที่จุดปลายทั้งสองมีค่าเป็นศูนย์

$$\frac{d^2}{dx^2} f_1(x_0) = \frac{d^2}{dx^2} f_n(x_n) = 0 \quad \dots (2.25)$$

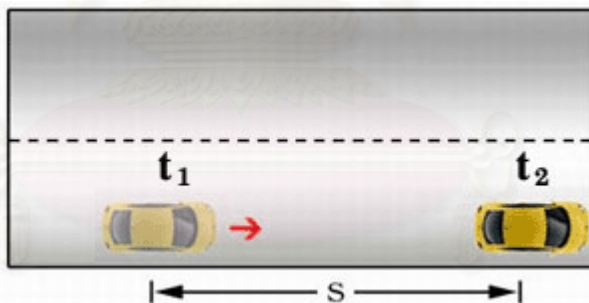
ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขอีกจำนวน $n-1$ เงื่อนไข

จากข้อกำหนด 5 ข้อข้างต้นทำให้สามารถสร้างสมการจำนวน $4n$ สมการ ซึ่งสามารถแก้ระบบสมการดังกล่าวเพื่อหาค่าคงที่ซึ่งมีจำนวน $4n$ ค่าได้

2.5 ความเร็ว (Velocity)

การคำนวณหาความเร็วของวัตถุใดๆ ที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่ง ณ เวลา t_1 ไปยังอีกจุดหนึ่งได้ ระยะทางเท่ากับ S ณ เวลา t_2 แสดงดังรูปที่ 2.11 ดังนั้นความเร็วของวัตถุ (V) จะคำนวณได้จาก

$$V = S / (t_2 - t_1) \quad \dots (2.26)$$

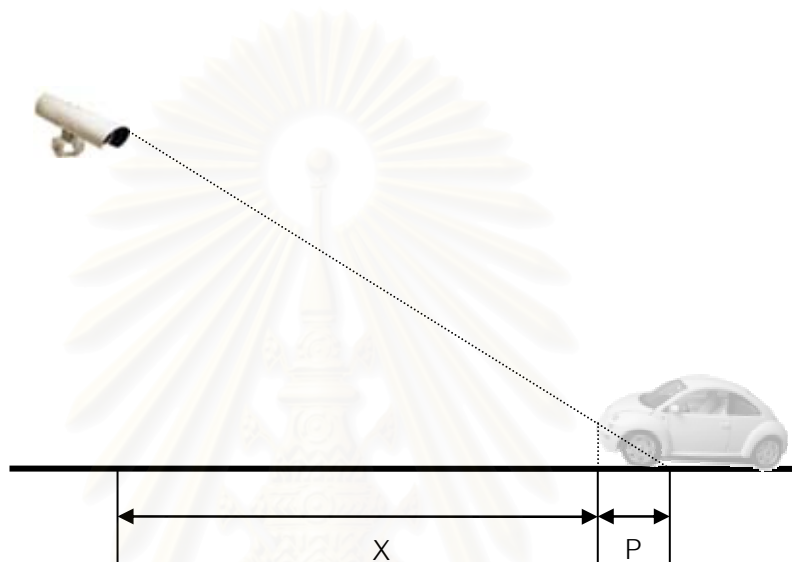


รูปที่ 2.11 แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุ จากเวลา t_1 ไปยังเวลา t_2

2.6 ความผิดพลาดพาราแลกซ์

Parallax (พาราแลกซ์) คือ เป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของการขยับเคลื่อนตำแหน่งของวัตถุเมื่อถูกมองโดยผู้สังเกตจากตำแหน่งสองตำแหน่ง หรือเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุเนื่องจากผู้สังเกตเคลื่อนไหว

ความผิดพลาดพาราแลกซ์ เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากมุมมองของกล้อง รูปที่ 2.12. เมื่อกล้องวัดทัศนภูมิถูกติดตั้งในบริเวณที่สูงจากระดับพื้นดิน แล้วมองกดลงยังรถยนต์ ภาพที่ปรากฏในกล้องนั้นบริเวณที่เป็นดวงไฟหน้ารถจะเป็นบริเวณที่อยู่ห่างจากกล้องไปเท่ากับ $X + P$ ซึ่งระยะที่แท้จริงจะเป็นเพียงระยะ X เท่านั้น ระยะทางที่เพิ่มมา P เป็นระยะที่เกิดจากความผิดพลาดพาราแลกซ์ โดยระยะทางที่เกิดจากความผิดพลาดพาราแลกซ์นี้จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อตำแหน่งของรถยนต์อยู่ไกลจากฐานกล้องมากขึ้นด้วย



รูปที่ 2.12 ความผิดพลาดพาราแลกซ์

2.7 สถิติสำหรับการวิจัย[19]

สถิติหมายถึง วิธีการที่วัดด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูล การนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการตีความหมายข้อมูล ในการพิจารณาข้อมูลใดๆ นิยมใช้ค่าทางสถิติในการอธิบายคุณสมบัติต่างๆ ของข้อมูลนั้นๆ ค่าทางสถิติ ที่นำมาใช้ในที่นี้มีดังนี้

2.7.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measures of Central Tendency)

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางคือระเบียบวิธีสถิติที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยหรือตัวแทน(1 ค่า) เพื่อแสดงขนาดของข้อมูลแต่ละชุด (ประคอง กรรณสูตร. 2535 : 71) การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้มี 3 วิธี คือ ค่าเฉลี่ย (mean) มัชยฐาน(median) และ ฐานนิยม (mode) ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามระดับของการวัดข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลระดับนามมาตรา (Nominal scale)

สถิติที่เหมาะสม คือ ฐานนิยม (mode) ซึ่งหมายถึงค่าของข้อมูลในชุดนั้นที่มีความถี่หรือมีค่าซ้ำกันมากที่สุด ข้อมูลชุดหนึ่งอาจไม่มีฐานนิยมเลยหรืออาจมีฐานนิยมหลายค่าได้

2. ข้อมูลระดับอันดับมาตรา (Ordinal scale)

สถิติที่เหมาะสม คือ มัธยฐาน (median) ซึ่งหมายถึงค่าของข้อมูลที่อยู่ตรงกลางเมื่อข้อมูลนั้น ๆ มีการเรียงลำดับแล้ว จะจากน้อยไปหามากหรือจากมากไปหาน้อยก็ได้ ซึ่งหมายความว่า จะมีข้อมูลจำนวนครึ่งหนึ่งหรือร้อยละ 50 มีค่ามากกว่าข้อมูลตัวนั้น (median) และอีกครึ่งหนึ่งหรือร้อยละ 50 เช่นกัน มีค่าน้อยกว่าข้อมูลตัวนั้น ดังนั้นมัธยฐานจึงเป็นข้อมูลที่มีตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile) ที่ 50 หรือ เดไซล์ (desile) ที่ 5 หรือ ควอร์ไทล์ (quatile) ที่ 2 อย่างไรก็ตาม กรณีที่ตำแหน่งของมัธยฐานอยู่ระหว่างค่า 2 ค่า หรือ 2 ข้อมูล จะต้องเอา 2 ค่าค่านั้นมารวมกันและหารด้วย 2 ก็จะได้ค่ามัธยฐาน

3. ข้อมูลระดับช่วงมาตรา (Interval scale) และอัตราส่วนมาตรา (Rate scale)

สถิติที่เหมาะสม คือ ค่ากลาง (mean) หรือที่เรียกกันว่า ค่าตัวกลางเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ย (มักใช้สัญลักษณ์ของกลุ่มตัวอย่างว่า \bar{X}) ค่าเฉลี่ยเป็นสถิติที่นำมาใช้กันมากที่สุด ทั้งในสถิติพรรณนาและสถิติอนุมานหรือสถิติอ้างอิง ค่าเฉลี่ยจะเท่ากับผลรวมของข้อมูลทั้งหมดแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad \dots(2.27)$$

โดยที่

N	เป็นจำนวนข้อมูลในกลุ่ม
X_i	เป็นค่าของข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม
\bar{X}	เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล

ค่าเฉลี่ยต่างกับค่ามัธยฐานตรงที่ค่าเฉลี่ยไม่ต้องการเรียงลำดับข้อมูลก่อนที่จะคำนวณ แต่ที่เหมือนกับค่ามัธยฐาน คือค่าเฉลี่ยอาจจะไม่ใช่ค่าเดียวกันกับค่าของข้อมูลเดิม (raw data) ก็ได้ ยกเว้นฐานนิยมเท่านั้นที่มีค่า เดียวกันกับค่าของข้อมูลดิบ

ข้อสังเกตในการใช้ค่า Mode, Median และ Mean

1. การกระจายของข้อมูลเป็นแบบปกติ หรือมีการแจกแจงสมมาตร (normal distribution) ค่า mode = median = mean เส้นโค้งที่ได้จากการแจกแจงข้อมูลจะเป็นรูปประฆังคว่ำ

2. การกระจายของข้อมูลมีลักษณะเบ้บวก ค่า mode จะมีน้อยกว่า median และค่า median ก็จะมีน้อยกว่า mean ($mode < median < mean$) เส้นโค้งที่ได้จากการแจกแจงข้อมูลจะเบ้ไปทางขวาหรือเบ้บวก

3. การกระจายของข้อมูลมีลักษณะเบ้ลบ ค่า mode จะมากกว่าค่า median และค่า median จะมากกว่าค่า mean ($mode > median > mean$) เส้นโค้งที่ได้จากการแจกแจงข้อมูลจะเบ้ไปทางซ้ายหรือเบ้ลบ

ในการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง ในกรณีที่ทราบว่าการกระจายในลักษณะที่เบ้มาก สถิติที่มักนิยมนำมาใช้คือ median

2.7.2 การวัดการกระจายของข้อมูล (Measure of Dispersion)

การทราบแต่เพียงค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางไม่เพียงพอที่จะอธิบายการแจกแจงของข้อมูลชุดนั้น ค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางแต่ละชนิดมิได้บอกให้ทราบว่า ค่าส่วนใหญ่อยู่รวมกลุ่มกันหรือกระจายออกไป การกระจายของข้อมูลจึงเป็นการแสดงถึงลักษณะการกระจายของข้อมูลว่าห่างออกไปจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลมากน้อยเพียงใด

ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่ต่างกลุ่มกัน จำเป็นต้องพิจารณาถึงการกระจายของข้อมูลควบคู่ไปกับค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางด้วยเสมอ สามารถใช้การวัดด้วยค่าต่อไปนี้

1. ข้อมูลระดับนามมาตรา (Nominal data)

สถิติที่ใช้คือ ค่าร้อยละ (Percent), ค่าสัดส่วน (Proportion)

2. ข้อมูลระดับอันดับมาตรา (Ordinal data)

สถิติที่ใช้คือ ค่าพิสัย (Range) หรือ ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ (Interquartile)

ก) ค่าพิสัย (Range)

ค่าพิสัย หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของข้อมูลชุดหนึ่ง การวิเคราะห์ความแตกต่างภายในกลุ่มด้วยการใช้ค่าพิสัยซึ่งใช้ข้อมูลเพียง 2 ตัว จึงเป็นค่าประมาณที่หาได้ง่าย ๆ แต่จะบอกรายละเอียดอะไรไม่ได้มากและไม่แน่นอน ทั้งยังไม่สามารถนำไปใช้คำนวณค่าสถิติอื่นต่อไปได้

ข) ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ (Interquartile)

ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ หมายถึง ค่าที่แสดงให้เห็นว่าข้อมูลจำนวน 50 % ตรงกลางของข้อมูลแตกต่างกันเท่าไร หาได้โดยนำค่า Q3 ลบด้วย Q1 แล้วหารด้วย 2

$$\frac{Q_3 - Q_1}{2} \quad \dots(2.28)$$

3. ข้อมูลระดับช่วงมาตรา (Interval data) / อัตราส่วนมาตรา (Ratio data)

สถิติที่ใช้ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ค่าความแปรปรวน, และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ดังนี้

ก) ค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Average Deviation : AD)

เป็นการวัดการกระจายของข้อมูลรอบๆ ค่าเฉลี่ย การกระจายจะน้อยถ้าข้อมูลอยู่รอบๆ ค่าเฉลี่ย โดยมีค่าจำกัดความว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยคือ ส่วนเบี่ยงเบนเลขคณิตของระยะข้อมูลทุกตัวในกลุ่มเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลกลุ่มนั้น โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย

$$AD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}| \quad \dots(2.29)$$

โดยที่	AD	เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย
	N	เป็นจำนวนข้อมูลในกลุ่ม
	X_i	เป็นค่าของข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม
	\bar{X}	เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล

ข) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation หรือ s.d)

เป็นสถิติที่ใช้หาความแตกต่างภายในกลุ่มของข้อมูล ที่ใช้กันมากทั้งในการบรรยายลักษณะของข้อมูลและการทดสอบสมมติฐานเพื่ออ้างสรุป (Generalization) ไปยังประชากร เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละตัวที่กระจายออกมาจากค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลนั้น มีสูตรดังนี้

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad \dots(2.30)$$

โดยที่ S	เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
N	เป็นจำนวนข้อมูลในกลุ่ม
X_i	เป็นค่าของข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม
\bar{X}	เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล

ค) ค่าความแปรปรวน (variance)

เป็นค่าผลรวมของผลต่างระหว่างค่าของข้อมูลกับค่าเฉลี่ยยกกำลังสอง (sum of squares ของผลต่าง) แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด

ง) ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variance หรือ CV)

เป็นค่าที่แสดงความมากน้อยของความแตกต่างภายในกลุ่มได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากค่าพิสัยจะบอกการกระจายของข้อมูลได้เพียงหยาบๆ เท่านั้น แต่ถ้าใช้ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ แม้จะมีความละเอียดขึ้น แต่ก็ยังหยาบอยู่ สำหรับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้น แม้จะวัดการกระจายได้ละเอียด เพราะคำนวณมาจากข้อมูลทุกตัว แต่ก็อาจจะไม่แน่นอน กล่าวคือ ข้อมูลที่ต่างชุดกันแม้จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากัน ก็มีใช้ว่าจะมีการกระจายของข้อมูลเท่ากัน

สัมประสิทธิ์การกระจายนี้จะบอกปริมาณความแตกต่างของข้อมูลภายในกลุ่มเมื่อเทียบเป็น 100 ส่วนของค่าเฉลี่ย หน่วยที่ออกมาจะเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งตัว % มาก ก็แสดงว่าข้อมูลชุดนั้นมีการกระจายมาก และถ้า % น้อยก็แสดงว่าข้อมูลชุดนั้นมีการกระจายน้อย หรือข้อมูลมีการกระจุกตัวกัน ค่า CV จะมีประโยชน์มากในการเปรียบเทียบข้อมูล 2 ชุด ที่มีหน่วยต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบว่าข้อมูลชุดใดกระจายตัวมากหรือน้อยต่างกัน โดยมีสูตรดังนี้

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad \dots(2.31)$$

โดยที่	CV	เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์
	S	เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	\bar{X}	เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล

2.7.3 การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression)

เป็นการสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือเส้นตรงที่ผ่านกลุ่มข้อมูล โดยเส้นตรงที่ได้จากการถดถอยจะเป็นเส้นตรงที่ใช้ในการประมาณค่าข้อมูลของกลุ่มนั้นๆ ได้ดีที่สุด เส้นตรงนี้ (ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าเส้นถดถอย) จะใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรเมื่อตัวแปรตามมีความไม่แน่นอน หรือ มีความคลาดเคลื่อนจากการสังเกตการณ์

1. วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

กำหนดตัวเลขสองชุด ได้แก่ x_1, x_2, \dots, x_n และ y_1, y_2, \dots, y_n เป็นค่าที่ถูกสังเกตได้ และต้องการหาความสัมพันธ์เส้นถดถอย ที่ผ่านจุดคู่ลำดับ $(x_i, y_i), i = 1, \dots, N$ โดยให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

$$y = a + bx \quad \dots(2.32)$$

สมมติให้ x เป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ หากความสัมพันธ์ระหว่าง x_i และ y_i เป็นดัง (2.32) จริงแล้วเมื่อ $x = x_i$ ค่า y_i ที่ควรจะเป็นคือ

$$= a + bx \quad \dots(2.33)$$

i ถือว่าเป็นค่าประมาณของ y_i ที่ได้จากความสัมพันธ์เส้นถดถอยอย่างไรก็ตามค่าที่สังเกตได้จริงเป็น y_i ดังนั้นความคลาดเคลื่อนจากค่าประมาณ กับค่าที่สังเกตได้จริงสำหรับข้อมูลที่ i จึงเท่ากับ

$$y_i - \hat{y}_i = y_i - (a + bx_i) \quad \dots(2.34)$$

ค่ากำลังสองของความคลาดเคลื่อนทั้งหมดได้แก่

$$e(a, b) = \sum_{i=1}^N [y_i - (a + b x_i)]^2 \quad \dots(2.35)$$

สังเกตว่าค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเป็นฟังก์ชันของ a และ b การหาเส้นถดถอยที่ทำให้เกิดคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือการหาค่า a และ b เพื่อที่จะทำให้ $e(a, b)$ มีค่าน้อยที่สุด วิธีดังกล่าวเรียกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ด้วยวิธีนี้เมื่อนำผลต่างของค่าที่ประมาณได้จากเส้นถดถอยกับข้อมูลจริงของทุกข้อมูลมารวมกันแล้วยกกำลังสองจะต้องน้อยที่สุด

โดยการหาอนุพันธ์ของ e เทียบกับตัวแปรแต่ละตัวเราจะได้

$$\frac{\partial e}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - a - b x_i)$$

$$\frac{\partial e}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - a - b x_i) x_i$$

เมื่อให้อนุพันธ์ทั้งสองเท่ากับศูนย์เพื่อหาจุดต่ำสุด จะได้ระบบสมการเชิงเส้นสองตัวแปร

$$aN + b \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N y_i \quad \dots(2.36)$$

$$a \sum_{i=1}^N x_i + b \sum_{i=1}^N x_i^2 = \sum_{i=1}^N y_i x_i$$

ระบบสมการ (2.36) เรียกว่า normal equations จากการแก้ระบบสมการดังกล่าวจะได้

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - N \bar{x}_N \bar{y}_N}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - N \bar{x}_N^2} \quad \dots(2.37)$$

$$a = \bar{y}_N - b \bar{x}_N \quad \dots(2.38)$$

โดย $\bar{x}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ และ $\bar{y}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$ และ เมื่อจัดรูป b ใหม่เราจะได้

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N) y_i}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N)^2} \quad \dots(2.39)$$

2. Simple Linear Regression

หากทำการทดลองสองครั้ง และคำนวณ b มีความเป็นไปได้สูงที่ค่า b ของการทดลองสองครั้งจะไม่เท่ากัน เหตุผลเป็นเพราะค่า y_i ที่สังเกตได้จะมีความแตกต่างไปจากความสัมพันธ์เชิงเส้นของ x_i อย่างไม่เป็นระบบ มีสมมติฐานว่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอาจเกิดจากความไม่แน่นอนซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองด้วยตัวแปรสุ่ม Δ แบบ $N(0, \sigma^2)$ และสามารถเขียนความสัมพันธ์ของ y_i กับ x_i ด้วยสมการเชิงเส้นของตัวแปรสุ่ม

$$Y = \alpha + \beta x + \Delta \quad \dots(2.40)$$

สมการข้างต้นหมายความว่าตัวแปร x เป็นตัวแปรอิสระที่สามารถควบคุมได้ และ Y เป็นผลจากความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ x บวกกับความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงแบบปกติ และสามารถตีความได้ว่า y_i เป็นการปรากฏของ Y ซึ่งเป็นผลจากการปรากฏ δ_i ของความคลาดเคลื่อนสุ่ม Δ

สังเกตว่าสำหรับ x ใดๆ Y จะมีการแจกแจงแบบ $N(\alpha + \beta x, \sigma^2)$ และสามารถพิจารณาว่า a และ b เป็นตัวประมาณของพารามิเตอร์ α และ β ตามลำดับ ซึ่งสังเกตจาก Y_1, Y_2, \dots, Y_N โดย

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N) Y_i}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N)^2} \quad \dots(2.41)$$

$$a = \bar{Y}_N - b\bar{x}_N \quad \dots(2.42)$$

โดย $\bar{Y}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$ และ $\bar{x}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$

ดังนั้น a และ b เป็นตัวแปรสุ่ม ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Y_1, Y_2, \dots, Y_N

3. ค่าความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอย (The Estimate of the Variance of the Regression Line and The Standard Error of Estimate for a Regression Line)

ตัวประมาณอีกตัวหนึ่งซึ่งมีความสำคัญได้แก่ S^2 ซึ่งเป็นค่าความแปรปรวนจากเส้นถดถอย (หรือตัวประมาณของ σ^2 ที่เป็นค่าเดียวกันกับความแปรปรวนของ Δ ด้วย) แต่เนื่องจาก

เราไม่ทราบค่าที่แท้จริงของ α และ β ดังนั้นเพื่อประมาณ σ^2 จึงสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองตัวด้วยตัวประมาณ a และ b ดังนั้นตัวประมาณที่เราใช้คือ S^2 นิยามโดย

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - a - bx_i)^2}{N-2} \quad \dots(2.43)$$

ด้วยการปรับเปลี่ยนตัวแปร เราอาจเขียน S^2 ได้ในรูป

$$S^2 = \frac{1}{N-2} \left(\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_N)^2 - b^2 (x_i - \bar{x}_N)^2 \right) \quad \dots(2.44)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประมาณ (SD) มีค่าเป็น

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N-2} \left(\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_N)^2 - b^2 (x_i - \bar{x}_N)^2 \right)} \quad \dots(2.45)$$

4. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination)

กำหนด $y_i, i = 1, 2, \dots, n$ เป็นค่าที่สังเกตได้ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย \bar{y} ความแตกต่างของระหว่าง y_i และ \bar{y} สามารถแยกเป็นสองส่วน

$$y_i - \bar{y} = (y_i - \hat{y}_i) + (\hat{y}_i - \bar{y}) \quad \dots(2.46)$$

ความแตกต่างส่วนแรก $(y_i - \hat{y}_i)$ เป็นความแตกต่างเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนสุ่ม Δ ซึ่งเป็นอิสระจาก x_i ส่วนความแตกต่างส่วนที่สอง เป็นความแตกต่างเนื่องมาจาก x_i ซึ่งดูได้จาก

$$\begin{aligned} \hat{y}_i - \bar{y} &= b_0 + b_1 x_i - \bar{y} \\ &= (\bar{y} - b_1 \bar{x}) + b_1 x_i - \bar{y} \\ &= b_1 (x_i - \bar{x}) \end{aligned} \quad \dots(2.47)$$

จากสมการ (2.46)

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)(\hat{y}_i - \bar{y})$$

แต่เนื่องจาก

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)(\hat{y}_i - \bar{y}) = b \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)(x_i - \bar{x}) = 0$$

สามารถแยกผลรวมของความแตกต่างกำลังสองระหว่าง y_i และ \bar{y} เรียกว่า SS(TT) ออกเป็นสองส่วน

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad \dots(2.48)$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + b^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \dots(2.49)$$

ส่วนแรกเป็นผลจากความคลาดเคลื่อนสุ่ม ซึ่งไม่เกี่ยวกับ x เรียกว่า SS(E) ส่วนที่สองเป็นผลจากความแตกต่างของ x_i กับ \bar{x} ซึ่งเรียกว่าเป็นผลรวมความแตกต่างกำลังสองจาก regression SS(R)

$$SS(TT) = SS(E) + SS(R) \quad \dots(2.50)$$

ถ้าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง y_i และ x_i มีความชัดเจนเมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนสุ่ม เทอมที่สองนี้จะมีค่ามากกว่าเทอมที่หนึ่ง ดังนั้นเรานิยาม

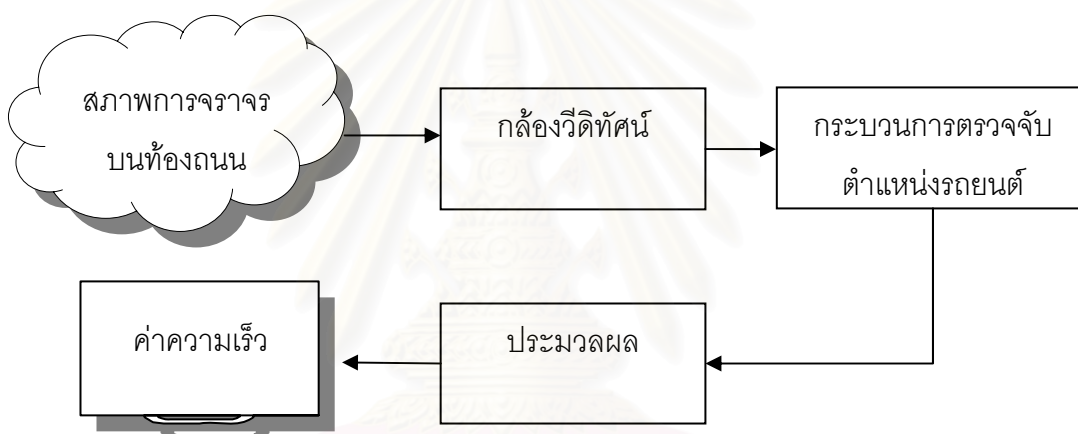
$$R^2 = \frac{b^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{SS(R)}{SS(TT)} \quad \dots(2.51)$$

ค่า R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าค่า R^2 มีค่ายิ่งมาก ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง y และ x จะยิ่งชัดเจน แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมาก และถ้า $R^2 = 1$ แล้ว แสดงว่าข้อมูลทุกจุดอยู่บนเส้นถดถอย

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีในการตรวจจับและวัดความเร็วของรถยนต์

ในการนำการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับและวัดความเร็วของรถยนต์ จะดำเนินการโดยบันทึกสภาพการจราจรบนท้องถนน แล้วนำภาพที่ได้ไปประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังระบบที่แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การประมวลผลภาพเพื่อหาความเร็วของรถยนต์

ภาพรวมของแนวคิดในงานวิจัยนี้คือ นำข้อมูลภาพวีดิทัศน์เข้ามาผ่านขั้นตอนการประมวลผลเพื่อตรวจวัดความเร็วของรถยนต์แล้วแสดงค่าข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นผลลัพธ์

การตรวจจับความเร็วของรถยนต์นั้นจะต้องหาตำแหน่งของรถยนต์ในภาพก่อน แต่เนื่องจากการตรวจจับในเวลากลางคืนจะมีแสงสว่างไม่เพียงพอที่จะตรวจจับรถยนต์โดยใช้รูปร่างของรถยนต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการวัดความเร็วของรถยนต์โดยตรวจจับรถยนต์จากดวงไฟหน้า ขั้นตอนการวัดความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนแบบทันทีจากภาพวีดิทัศน์ด้านหน้ารถ มีขั้นตอนคร่าวๆ ดังนี้



รูปที่ 3.2 ภาพฉายเปอร์สเปคทีฟ

จากรูปที่ 3.2 จะพบว่าถนนมีลักษณะลู่เข้า โดยที่บริเวณด้านล่างของภาพถนนจะกว้างกว่าเพราะอยู่ใกล้กล้องมากกว่า ส่วนบริเวณด้านบนของภาพเป็นบริเวณที่อยู่ไกลออกไป

การตรวจจับความเร็วของรถยนต์นั้นจะต้องหาตำแหน่งของรถยนต์ในภาพก่อน แต่เนื่องจากการตรวจจับในเวลากลางคืนจะมีแสงสว่างไม่เพียงพอที่จะตรวจจับรถยนต์โดยใช้รูปร่างของรถยนต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการวัดความเร็วของรถยนต์โดยตรวจจับรถยนต์จากดวงไฟหน้า ขั้นตอนการวัดความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนแบบทันทีจากภาพวีดิทัศน์ด้านหน้ารถ มีขั้นตอนคร่าวๆ ดังนี้

- 1) กำหนดกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรที่รถยนต์แล่นผ่าน
- 2) อ่านข้อมูลภาพวีดิทัศน์จำนวน 1 เฟรม
- 3) ตรวจสอบคู่ดวงไฟหน้าของรถยนต์แล้วคำนวณตำแหน่งของรถยนต์
- 4) อ่านข้อมูลภาพวีดิทัศน์ในเฟรมถัดไป
- 5) ตรวจสอบคู่ดวงไฟหน้าของรถยนต์แล้วคำนวณตำแหน่งของรถยนต์
- 6) คำนวณหาความเร็วของรถยนต์ โดยคำนวณหาระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ระหว่างสองเฟรม หารด้วยเวลาระหว่างสองเฟรม
- 7) ทำตามขั้นตอนที่ 2 ต่อไปจนกว่าภาพวีดิทัศน์จะหมดหรือสั่งหยุดโปรแกรม

การหาระยะทางการเคลื่อนที่ จะคำนวณหาระยะอ้างอิงของตำแหน่งรถยนต์โดยใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงกำลังสามในการหาค่า โดยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณและต้องกำหนดประกอบด้วยกรอบตรวจจับ (Detecting Frame) แกนตั้งฉากอ้างอิง (Reference Perpendicular Axis) เครื่องหมายกำหนดระยะทาง (Distance Marking) ความสูงของกล้องวิดีโอทัศน์ มุมรับภาพของกล้องวิดีโอทัศน์ และมุมก้มของกล้องวิดีโอทัศน์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดกรอบตรวจจับ

โดยทั่วไปแล้วภาพวิดีโอทัศน์ที่จะนำมาประมวลผลมีขนาดใหญ่ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลภาพมาก ถ้าต้องการให้ใช้เวลาในการประมวลผลภาพเร็วขึ้นจะต้องลดจำนวนจุดภาพในการประมวลผลน้อยลง ดังนั้นเมื่อรับภาพวิดีโอทัศน์เข้ามาผู้ใช้จะต้องกำหนดกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรที่รถยนต์วิ่งผ่านและจะประมวลผลภาพในบริเวณผิวจราจรเท่านั้น เพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ไม่จำเป็นเพื่อให้ประหยัดเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

ขนาดของกรอบตรวจจับนั้นควรมีขนาดความกว้างครอบคลุมรถยนต์ซึ่งใหญ่พอที่มีรถยนต์เพียงหนึ่งคันปรากฏอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับ ความกว้างของกรอบตรวจจับไม่ควรมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่มีรถยนต์ปรากฏอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับมากกว่า 1 คันขึ้นไป เนื่องจากอาจทำให้การประมวลผลเกิดข้อผิดพลาดได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การกำหนดกรอบตรวจจับ

3.2 การตรวจจ้บรถยนต์

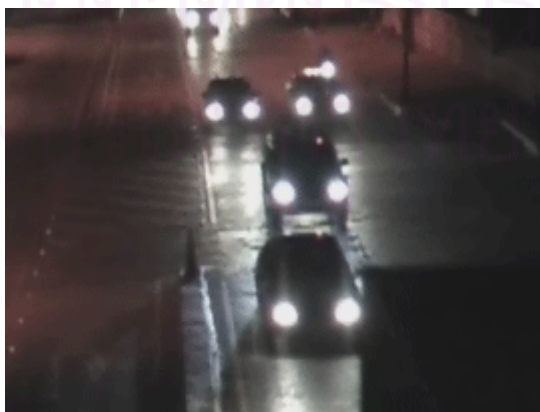
ในขั้นตอนการตรวจจ้บรถยนต์ในเวลากลางวัน ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้การตรวจจ้บรถยนต์ในเวลากลางวันมีความยาก คือการที่ภาพวีดิทัศน์มีสภาพแวดล้อมค่อนข้างมืดไม่เอื้ออำนวยเท่าการตรวจจ้บในเวลากลางวัน อีกทั้งสภาพแสงที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมด้วย จึงทำให้การตรวจจ้บรถยนต์ยังไม่แม่นยำมากนัก โดยในขั้นตอนนี้จะประมวลผลภาพเพื่อหาการปรากฏของรถยนต์ในบริเวณกรอบตรวจจ้บ สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

3.2.1 การตรวจสอบการปรากฏของดวงไฟหน้ารถยนต์

สมมติฐานในการตรวจหาการปรากฏของรถยนต์คือการแยกส่วนที่ใช้อ้างอิงรถยนต์ออกจากพื้นถนนในบริเวณกรอบตรวจจ้บโดยตรวจสอบความสว่างและสีของไฟหน้ารถยนต์ โดยจะอธิบายรายละเอียดขั้นตอนโดยละเอียดดังต่อไปนี้

1) การตรวจสอบการปรากฏของดวงไฟหน้ารถยนต์จากการพิจารณาความสว่างและสีของดวงไฟหน้ารถ

จากการวิเคราะห์ภาพวีดิทัศน์จะสังเกตได้ว่ารถยนต์ปรากฏขึ้นโดยมีสีและรูปร่างที่แตกต่างกัน แต่คุณสมบัติอย่างหนึ่งที่ทั้งหมดมีก็คือแสงของดวงไฟหน้ารถ (Headlight) ดังนั้นดวงไฟหน้ารถจึงเป็นแนวคิดที่ใช้ค้นหาใน image plane ของแต่ละเฟรมภาพ จุดประสงค์คือเพื่อหาตำแหน่งที่รถยนต์อยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพจากกล้องวีดิทัศน์ในตอนกลางคืนที่แสงของดวงไฟหน้ารถเป็นคุณสมบัติเด่นในภาพ

การระบุถึงพื้นที่ของดวงไฟหน้ารถมาจากข้อเท็จจริงที่ว่าแสงของดวงไฟหน้ารถจะมีความสว่างมากกว่าถนนมาก ดังนั้นจะเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงกับพื้นหลังของภาพได้ นอกจากนี้พื้นที่ของแสงจากดวงไฟหน้ารถจะมีลักษณะที่สมมาตร เราจึงสามารถใช้คุณสมบัติความสมมาตรมาร่วมวิเคราะห์ได้ โดยขั้นตอนในการตรวจจ็บรถยนต์สามารถแยกออกเป็นขั้นตอนย่อยได้ดังต่อไปนี้

2) ขั้นตอนการตรวจจ็บพื้นที่ที่ควรจะเป็นดวงไฟหน้ารถโดยใช้ค่าขีดแบ่ง

จากการวิเคราะห์ในบริเวณกรอบตรวจจ็บ เห็นได้ว่าแต่ละจุดภาพที่เป็นพื้นถนนจะมีค่าความเข้มแสงที่มีค่อนข้างต่ำและมีความใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีรถยนต์ปรากฏขึ้นจะเกิดแสงของดวงไฟซึ่งมีค่าความเข้มแสงค่ามากและจะทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความเข้มแสงระหว่างพื้นถนนกับดวงไฟมาก ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ค่าความสว่างในการตรวจหาตำแหน่งของดวงไฟ โดยการใช้การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการทำ Thresholding ในการจ็บตำแหน่งของดวงไฟในภาพตัวอย่างซึ่งแสดงในรูป 3.4 จะใช้การตรวจสอบความแตกต่างของค่าสีของวัตถุต่างๆในบริเวณกรอบตรวจจ็บ ทดลองวัด Range ของแต่ละสีจากข้อมูลของภาพที่ใช้ในการทดสอบซึ่งอยู่ใน RGB Format ทำให้สามารถแยก Range ของค่าสีที่แทนความสว่างได้ แล้วสรุปความสัมพันธ์ R G B ของสีดวงไฟที่จะตรวจจ็บ จะได้สมการ ที่ใช้ในการเลือกวัตถุในภาพ ดังสมการ (3.1)

$$P[i, j] = \begin{cases} 255 & \text{if } P_R[i, j] \geq T_R \text{ and} \\ & P_G[i, j] \geq T_G \text{ and} \\ & P_B[i, j] \geq T_B \text{ and} \\ P[i, j] & \text{Otherwise} \end{cases} \quad \dots(3.1)$$

โดยที่ i, j คือดัชนี ประจำแถวและคอลัมน์ ตามลำดับ

$P[i, j]$ คือเมตริกซ์ของรูปภาพ ณ ตำแหน่ง i, j

$P_R[i, j]$ คือระนาบสีแดงของ $P[i, j]$

$P_G[i, j]$ คือระนาบสีเขียวของ $P[i, j]$

$P_B[i, j]$ คือระนาบสีน้ำเงินของ $P[i, j]$

T_R คือค่าขีดแบ่งของสีแดงที่กำหนดว่าเป็นสีดวงไฟ

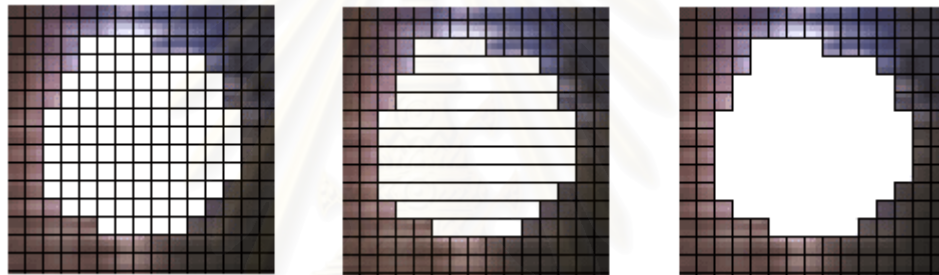
T_G คือค่าขีดแบ่งของสีเขียวที่กำหนดว่าเป็นสีดวงไฟ

T_B คือค่าขีดแบ่งของสีเหลืองที่กำหนดว่าเป็นสีดวงไฟ

การทำงานในขั้นตอนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าสีของเมตริกซ์รูปภาพ P ที่ตำแหน่งพิกเซล i, j ใดๆ ว่ามีค่าสีอยู่ในช่วงค่าขีดแบ่งที่กำหนดว่าเป็นค่าความเข้มแสงของดวงไฟหน้ารถหรือไม่ ถ้าอยู่ในช่วงดังกล่าว จะกำหนดให้มีค่าสีประจำตำแหน่งพิกเซลนั้นเป็น 255 ส่วนที่ตำแหน่งอื่นๆ ที่ไม่อยู่ในช่วงค่าขีดแบ่งนี้ ก็จะมีค่าสีตามเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง

3) ขั้นตอนการรวมกลุ่มพื้นที่ที่เป็นดวงไฟหน้ารถยนต์

ขั้นตอนต่อไปจะรวมกลุ่มของพื้นที่ (Region Merging) โดยใช้วิธีการ Run Length Encoding (RLE) [18] และ วิธีการ Union Find [18] เพื่อรวมกลุ่มพิกเซลที่มีค่าสีเป็น 255 ให้เป็นกลุ่มพื้นที่ที่มีความสว่างแยกออกมาจากพิกเซลที่เป็นพื้นถนน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



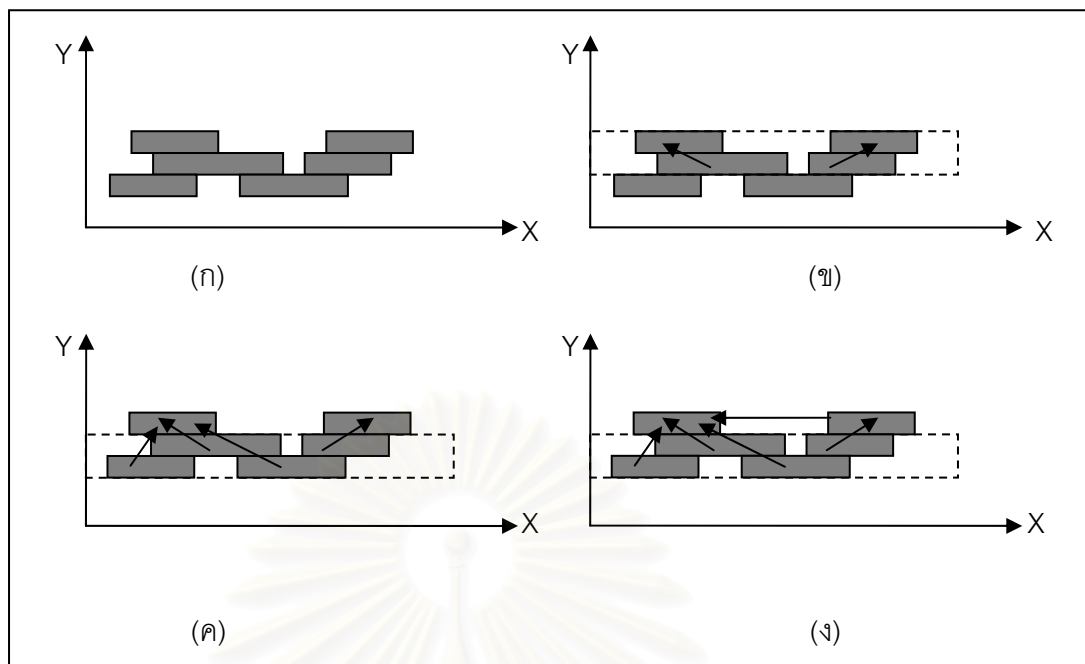
(ก) รูปภาพต้นฉบับ

(ข) รูปภาพหลังทำ RLE

(ค) รูปภาพหลังทำ Union Find

รูปที่ 3.5 กระบวนการรวมกลุ่มพื้นที่โดยใช้วิธีการ Run Length Encoding และ Union Find

ในการรวมกลุ่มพื้นที่จะแยกการทำงานออกเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นการรวมกลุ่มพิกเซลในแต่ละแถว โดยใช้วิธีการ Run Length Encoding โดยจะพิจารณาพิกเซลในแต่ละแถวของรูปภาพเพื่อรวมกลุ่มพิกเซลที่มีค่าสีเป็น 255 และเชื่อมต่อกันในแนวนอนเข้าเป็นพื้นที่เดียวกัน ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะแสดงดังรูป 3.5(ข) ส่วนขั้นตอนที่สองจะเป็นการรวมกลุ่มพิกเซลที่เชื่อมต่อกันในแนวตั้ง โดยใช้อัลกอริทึม Union Find ภาพผลลัพธ์จะแสดงดังรูป 3.5(ค) โดยอัลกอริทึม Union Find สามารถอธิบายการทำงานได้ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 หลักการทำงานของอัลกอริทึม Union Find

หลังจากผ่านกระบวนการรวมกลุ่มพื้นที่ที่มีความสว่างด้วยวิธี Run Length Encoding และ Union Find แล้ว จะได้กลุ่มของพื้นที่ที่มีความสว่างแยกออกมาจากพื้นหลังอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการแยกกลุ่มพื้นที่ที่มีความสว่างโดยใช้เทคนิค Run Length Encoding และ Union-Find

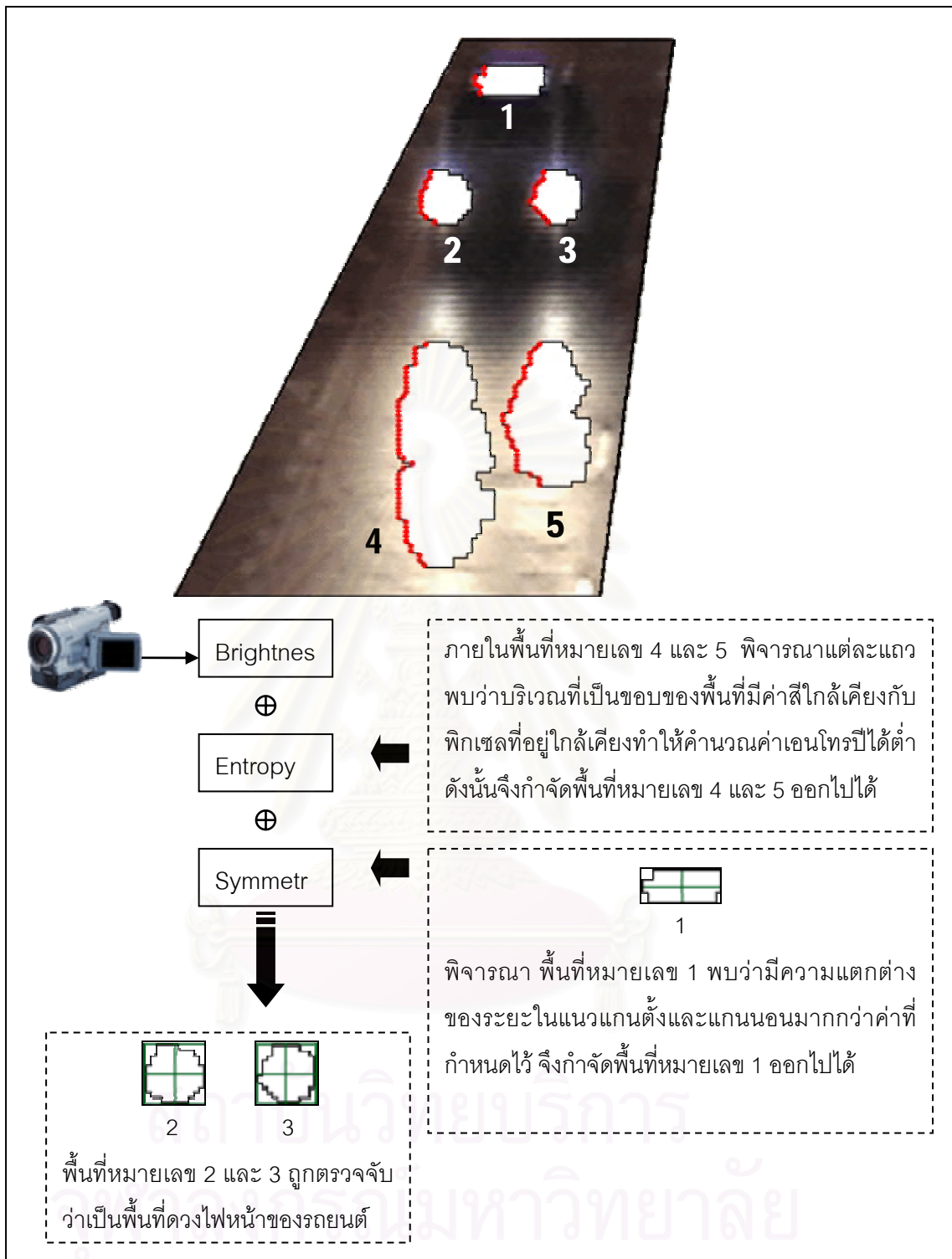
3.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์พื้นที่โดยใช้เอนโทรปี

เป็นขั้นตอนที่วิเคราะห์พื้นที่ที่มีค่าความเข้มแสงตรงตามเงื่อนไขของขั้นตอนส่วนแรกทั้งหมดที่ค้นพบในเฟรมภาพว่าควรจะเป็นดวงไฟหน้ารถหรือเป็นพื้นที่ของแสงสะท้อนของดวงไฟบนถนน โดยในขั้นตอนนี้จะใช้หลักการของเอนโทรปีมาพิจารณา ภายในขอบเขตของพื้นที่ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นดวงไฟหน้ารถ . โดยใช้หลักการนี้ถ้าเป็นพื้นที่ของดวงไฟหน้ารถแล้ว ขอบเขตด้านซ้ายและขวาของพวกมัน และการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอื่นๆ ระหว่างขอบเขตเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดเอนโทรปีสูงๆ (คำนวณไปในทิศทางเส้นแนวนอน) แต่ถ้าเป็นพื้นที่ของแสงสะท้อนดวงไฟบนถนน จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงน้อยมาก เนื่องจากแสงสะท้อนบนถนนจะมีลักษณะค่อยๆ เปลี่ยนระดับสี ทำให้ได้ค่าเอนโทรปีต่ำๆ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่าเอนโทรปีไปในทิศทางของเส้นขอบ และสามารถกำจัดแถวที่มีเอนโทรปีน้อยๆ ออกไปได้ จากวิเคราะห์รูปภาพโดยใช้หลักการเอนโทรปี ดังแสดงในรูปที่ 3.8 นั้น พื้นที่หมายเลข 4 และ 5 จะถูกตัดออกได้เนื่องจากเป็นพื้นที่ของแสงสะท้อนบนถนนที่มีลักษณะกระจายความสว่าง ดังนั้นบริเวณขอบเขตด้านซ้ายและขวานั้นมีลักษณะค่อยๆ เปลี่ยนค่าความเข้มแสง พิกเซลที่อยู่ใกล้เคียงกับขอบเขตพื้นที่จึงมีค่าความเข้มแสงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าเอนโทรปีที่คำนวณออกมาจึงมีค่าต่ำ ส่วนในพื้นที่หมายเลข 1, 2 และ 3 นั้น บริเวณขอบเขตของพื้นที่ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอย่างฉับพลัน ทำให้ค่าเอนโทรปีที่คำนวณได้นั้นมีค่าสูงมาก โดยในการคำนวณค่าเอนโทรปีนั้น จะคำนวณได้จาก

$$H(x_k) = - \sum p(x_k) \log p(x_k) \quad \dots(3.2)$$

โดยที่ $p(x_k)$ เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าความเข้มแสง k
 $H(x_k)$ เป็นฮีสโตแกรมความเข้มแสง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



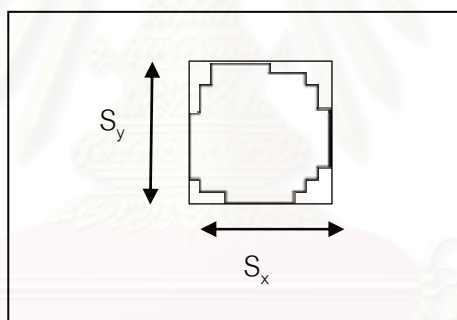
รูปที่ 3.8 การตรวจจับรถยนต์ โดยใช้เงื่อนไข ความสว่าง เอนโทรปี และ ความสมมาตร

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์พื้นที่โดยใช้ความสมมาตร

เป็นขั้นตอนที่วิเคราะห์ดูความสมมาตรของพื้นที่ในแกนตั้งและแกนนอน นั่นคือถ้ากรอบสี่เหลี่ยมมีระยะความสูงและความกว้าง เกือบจะเท่ากัน จึงจะตัดสินว่าเป็นพื้นที่ดวงไฟหน้ารถ นอกจากนี้ในส่วนนี้ยังใช้การกำหนดขนาดของดวงไฟหน้ารถมาร่วมพิจารณาด้วย ดังแสดงตัวอย่างในการพิจารณา ดังรูปที่ 3.8 ข้างต้น

การพิจารณาว่าเป็นพื้นที่ดวงไฟหรือไม่ จะเปรียบเทียบระยะแตกต่างในแนวแกนนอน (S_x) และแนวแกนตั้ง (S_y) ของพื้นที่ที่มีความสว่างในภาพ ดังรูปที่ 3.9 กับค่า Threshold ความแตกต่างของระยะห่างมากที่สุด ($TErrWidth$) โดยกำหนดเป็นสมการความสมมาตรได้ดังสมการ (3.3)

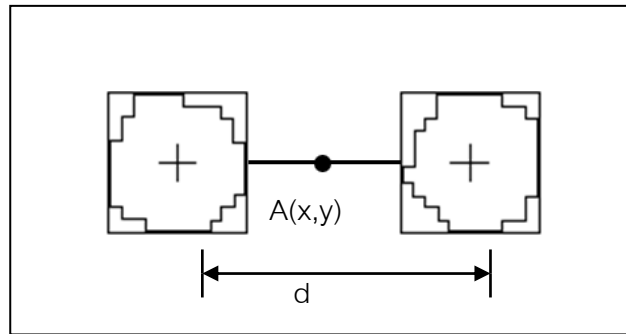
$$\begin{array}{ll} \text{ถ้า } |S_x - S_y| \leq TErrWidth & \text{เป็นดวงไฟ} \\ \text{กรณีอื่นๆ} & \text{ไม่เป็นดวงไฟ} \end{array} \quad \dots(3.3)$$



รูปที่ 3.9 การพิจารณาความสมมาตรในทิศทางแกนตั้งและแกนนอน

3.2.4 ส่วนการจับคู่ดวงไฟหน้ารถ

เป็นขั้นตอนที่จับคู่ดวงไฟหน้ารถที่เป็นของรถยนต์คันเดียวกันเข้าด้วยกัน เพื่อระบุแทนตำแหน่งของรถยนต์ โดยเมื่อได้พื้นที่ดวงไฟหน้ารถจากขั้นตอนก่อนหน้าแล้ว จะค้นหาพื้นที่ดวงไฟหน้ารถซึ่งเป็นของรถยนต์คันเดียวกัน โดยค้นหาไปในแกนนอน ถ้าพบพื้นที่ซึ่งมีระยะห่างจากดวงไฟหน้ารถดวงแรกอยู่ระหว่างค่าคงที่ค่าหนึ่ง และพื้นที่ดวงไฟหน้ารถทั้งสองนี้มีพื้นที่เกือบจะเท่ากัน จึงจะจับคู่แล้วสร้างกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบ หาพิกัดจุดกึ่งกลางของกรอบสี่เหลี่ยมแล้วระบุเป็นตำแหน่งของรถยนต์ $A(x,y)$ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การจับคู่ดวงไฟของรถยนต์คันเดียวกัน

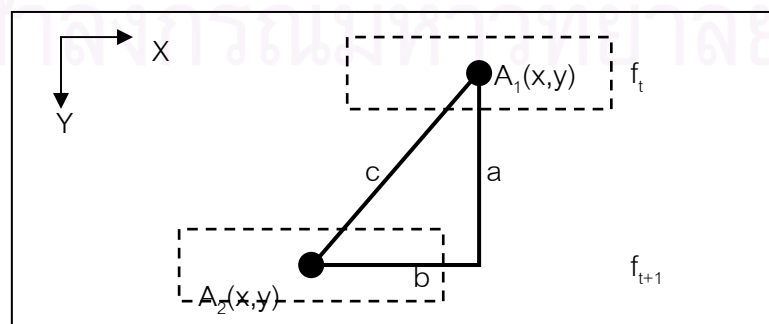
โดยที่ $A(x,y)$ เป็นจุดกึ่งกลางของกรอบสี่เหลี่ยมที่คาดว่าเป็นดวงไฟหน้ารถ
 x,y เป็นค่าพิกัดแนวนอนและแนวตั้งในภาพ ตามลำดับ

การตัดสินใจว่าเป็นดวงไฟของรถยนต์คันเดียวกันหรือไม่ จะพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า Threshold (TD) ซึ่งกำหนดให้เป็นระยะห่างมากที่สุดของดวงไฟของรถยนต์คันเดียวกัน โดยกำหนดเป็นสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ถ้า } d \leq T_D & \text{สรุปว่าเป็นดวงไฟของรถยนต์คันเดียวกัน} \\ \text{กรณีอื่นๆ} & \text{เป็นดวงไฟของรถยนต์คนละคัน} \end{aligned} \quad \dots(3.4)$$

3.3 ขั้นตอนการหาระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่

เป็นขั้นตอนที่จะคำนวณหาระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ในเฟรมภาพ 2 เฟรมที่ต่อเนื่องกัน โดยใช้พิกัดจุดศูนย์กลางของรถยนต์ในเฟรมแรก ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า f_t เป็นจุดอ้างอิง แล้วค้นหาจุดศูนย์กลางของรถยนต์ในเฟรมถัดมา ซึ่งต่อไปเรียกว่า f_{t+1} ดังแสดงในรูปที่ 3.11 แล้วคำนวณหาระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.11 การหาระยะเคลื่อนที่ระหว่างรถยนต์

- โดยที่
- a เป็นระยะแตกต่างในแกน X
 - b เป็นระยะแตกต่างในแกน Y
 - c เป็นระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่

เมื่อได้ระยะทางในภาพที่รถยนต์เคลื่อนที่ระหว่างสองเฟรมที่ติดกัน(มีหน่วยเป็นพิกเซล) จะประมาณค่าให้เป็นระยะทางจริงที่รถยนต์เคลื่อนที่บนถนน(มีหน่วยเป็นเมตร) โดยในการแปลงจะใช้หลักการของการประมาณค่าในช่วง (interpolation) โดยใช้วิธี การประมาณค่าในช่วงกำลังสาม (Cubic Spline)

3.4 ระยะของรถยนต์เทียบกับถนน

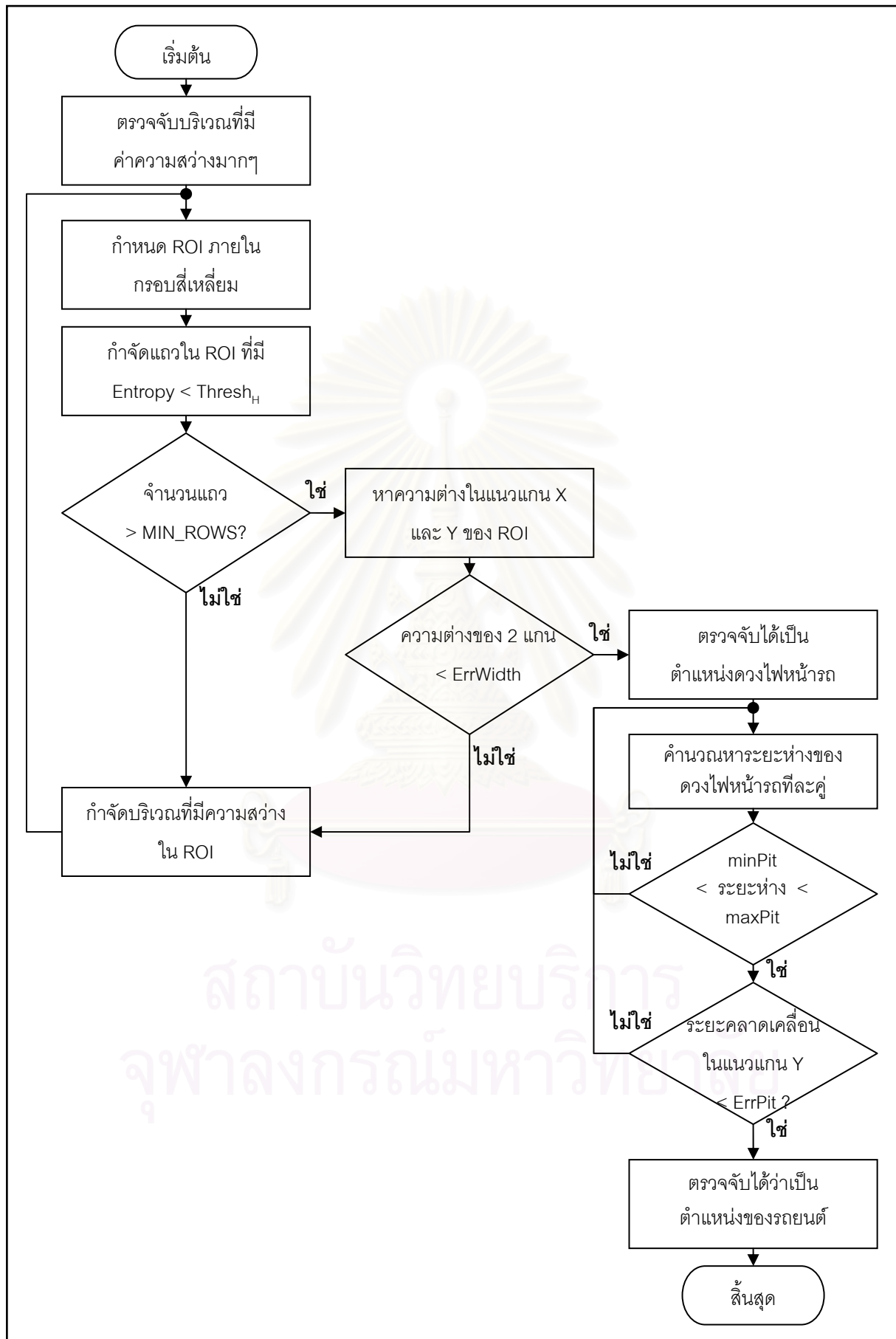
ระยะทางอ้างอิงของรถยนต์ในภาพ สามารถนำมาคำนวณหาระยะจริงบนถนนได้โดยใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงกำลังสาม (Cubic Spline) ในการคำนวณ สาเหตุที่ต้องมีการคำนวณระยะทางด้วยฟังก์ชันการประมาณในช่วงกำลังสามนั้นก็เพราะภาพที่ได้จริงมักมีการบิดเบี้ยว (Distort) อันเกิดจากการขยายภาพหรือ เกิดจากเลนส์ที่ใช้ในกล้อง การคำนวณด้วยวิธีนี้ จะได้ผลที่ใกล้เคียงกับของจริงมากและลดปัญหาเรื่องการบิดเบี้ยวของภาพได้

3.5 การหาความเร็วของรถยนต์

ขั้นนี้จะหาความเร็วของรถยนต์ โดยเมื่อได้ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่บนถนนแล้ว เราจะหารด้วยเวลาระหว่างเฟรม จะได้ความเร็วของรถยนต์ออกมา ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความเร็ว} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}} \quad \dots(3.5)$$

จากที่ได้อธิบายรายละเอียดในการทำงานไปแล้วข้างต้น สามารถสรุปการทำงานของวิธีการตรวจจับความเร็วของรถยนต์ในเวลากลางคืนได้ดังรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 การทำงานของขั้นตอนการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ในเวลาการคืน

โดยที่

ROI (Region Of Interested) เป็นพื้นที่ที่จะทำการวิเคราะห์

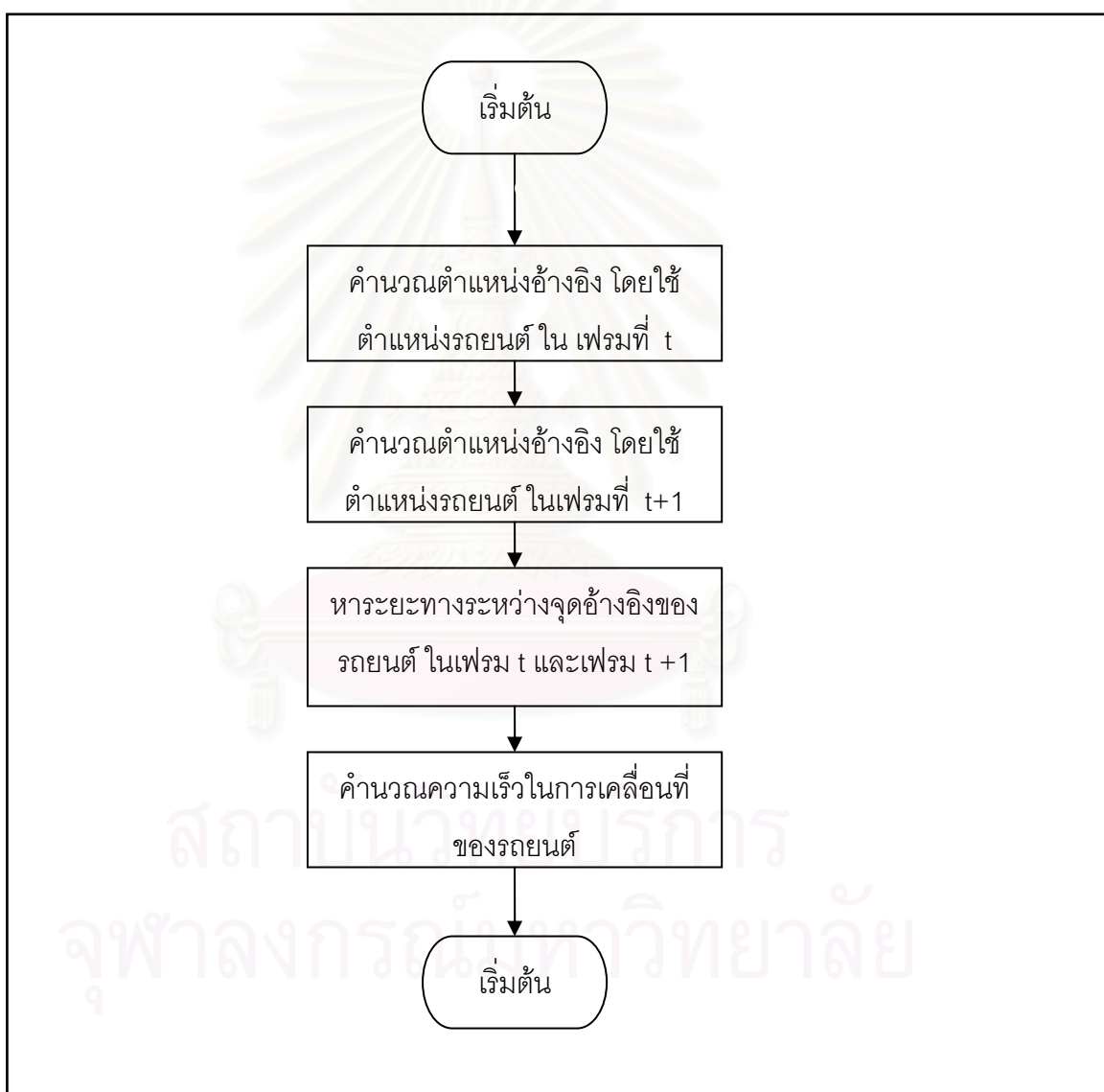
$Thresh_H$ เป็นค่าขีดแบ่งเอนโทรปี

MinRow เป็นจำนวนแถวน้อยที่สุดสำหรับพื้นที่ที่จะเป็นพื้นที่ของดวงไฟหน้า

ErrWidth เป็นความแตกต่างมากที่สุดในแนวความสูงและความกว้างของพื้นที่ดวงไฟหน้ารถ

MinPit เป็น ระยะห่างน้อยที่สุดของคู่ดวงไฟหน้า

MaxPit เป็น ระยะห่างมากที่สุดของคู่ดวงไฟหน้า



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการหาความเร็วรถยนต์

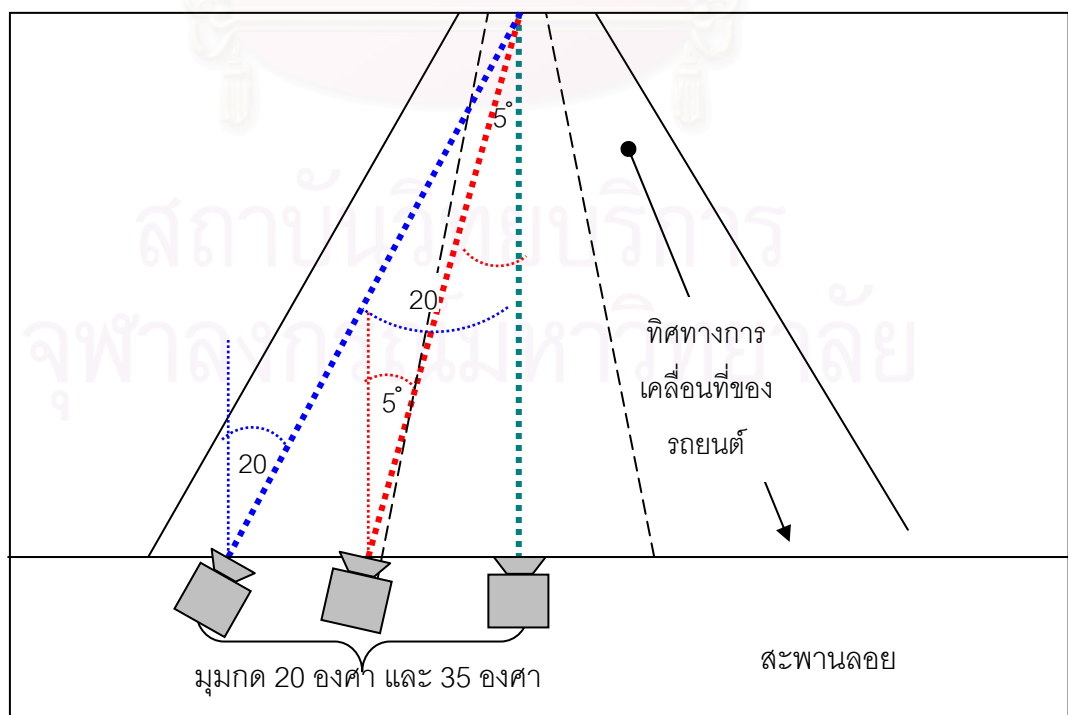
บทที่ 4

การทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองที่ได้ทำนั้นแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การทดลองที่ 1 , 2 และ 3 โดยการทดลองที่ 1 นั้นกระทำที่มุม 0 องศาเป็นมุมประมาณระหว่างแนวเล็งกล้องกับแนวการวิ่งของรถยนต์ มีจำนวนรถยนต์ที่ทำการทดลองทั้งสิ้น 30 คันที่ทราบความเร็ว โดยสภาวะแวดล้อมที่ทำการทดลองนั้นเป็นเวลากลางวัน เวลาประมาณ 19.00 น. ที่หน้าโรงเรียนนานาชาติ บางกอกพัฒนา บริเวณสะพานลอยคนข้าม โดยถ่ายภาพจากบนสะพานลอยที่มีความสูง 7.5 เมตร ลงมาบนช่องทางจราจรด้วยมุมกดลง 2 มุมคือ 20 และ 35 องศา ดังรูปที่ 4.1 และมีเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนพื้นผิวจราจรนั้นเป็นแนวข้างถนนขนานกับช่องทางจราจรที่ต้องการวัดความเร็วของรถยนต์

ส่วนในการทดลองที่ 2 และ 3 ได้ทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของกล้องโดยเลื่อนกล้องไปด้านซ้ายมือของภาพจริงแล้วกำหนดมุมมองกลับไปบริเวณเดิมโดยที่การทดลองที่ 2 และ 3 มีค่ามุมประมาณ 5 และ 20 องศาตามลำดับ โดยการทดลองที่ 2 และ 3 ต่างก็ถ่ายภาพจากบนสะพานลอยลงมาบนช่องทางจราจรด้วยมุมกดลง 2 มุมคือ 20 และ 35 เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.1 การติดตั้งกล้องวิดีโอที่ใช้นในงานวิจัย

การทดลองทั้งหมดสามารถวิเคราะห์ถึงลักษณะของภาพที่ได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1 กระทำในเวลาประมาณ 19.00 น. ติดตั้งกล้องที่มุม 0 องศา กล้องอยู่เหนือช่องทางจราจรพอดี แสงสะท้อนของดวงไฟหน้ารถที่ทอดลงบนถนนจะเกือบเป็นแนวเดียวกับแสงสะท้อนดวงไฟหน้ารถ ในการทดลองนี้ใช้เครื่องหมายบอกระยะใกล้กับช่องทางจราจรมาก ดังนั้นทำให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากการฉายเงา (Projection) จากบริเวณดวงไฟหน้ารถไปยังเส้นกำหนดระยะทางน้อย แบ่งการทดลองเป็นมุมกอดสองมุมคือ ที่มุมกอด 20 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และการทดลองที่ มุมกอด 35 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ตามลำดับ



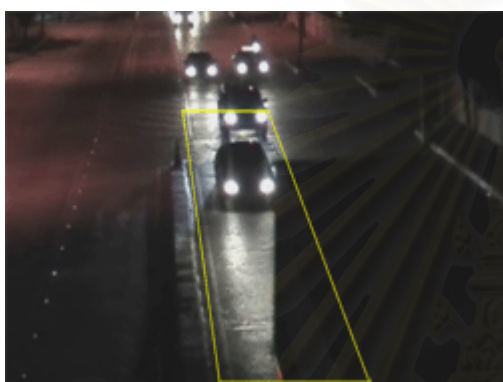
รูปที่ 4.2 ภาพจริงของมุม 0 องศา ที่มุมกอด 20 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนน



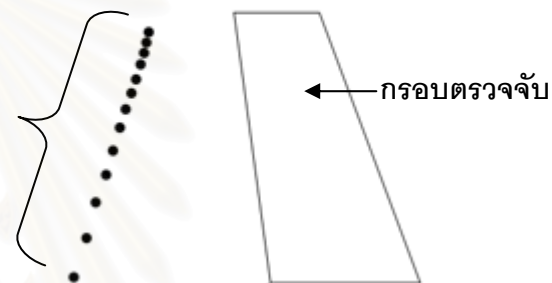
รูปที่ 4.3 ภาพจริงของมุม 0 องศา ที่มุม 35 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนน

4.1.2 การทดลองที่ 2

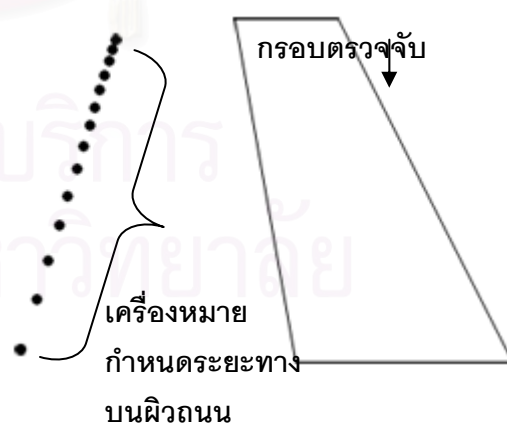
การทดลองที่ 2 กระทำที่เวลาประมาณ 20.00 น. ติดตั้งกล้องที่มุม 5 องศา กล้องอยู่เหนือช่องทางจราจร แต่เล็งมาทางซ้ายเล็กน้อย (ในการทดลองเล็งมาทางซ้ายเป็นระยะทาง 1.3 เมตร) โดยใช้เครื่องหมายบอกระยะห่างจากช่องทางจราจรไปหนึ่งช่องทาง แบ่งการทดลองเป็นมุมกวดสองมุมคือ ที่มุมกวด 20 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และการทดลองที่ มุมกวด 35 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ตามลำดับ



เครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนน



รูปที่ 4.4 ภาพจริงของมุม 5 องศา ที่มุมกวด 20 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนน



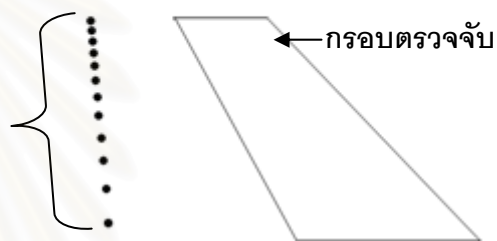
รูปที่ 4.5 ภาพจริงของมุม 5 องศา ที่มุมกวด 35 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนน

4.1.3 การทดลองที่ 3

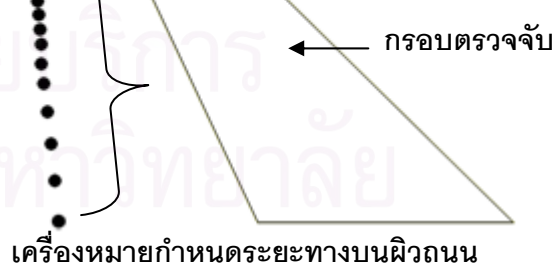
การทดลองที่ 3 กระทำที่เวลาประมาณ 21.00 น. ติดตั้งกล้องที่มุม 20 องศา กล้องเลื่อนมาทางซ้ายเพิ่มขึ้น (ในการทดลองเลื่อนมาทางซ้ายเป็นระยะทาง 5.1 เมตร) โดยใช้เครื่องหมายบอกระยะห่างจากช่องทางจราจรไปหนึ่งช่องทาง ช่องทาง แบ่งการทดลองเป็นมุมกวดสองมุมคือ ที่มุมกวด 20 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และการทดลองที่ มุมกวด 35 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ตามลำดับ



เครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนน



รูปที่ 4.6 ภาพจริงของมุม 20 องศาที่มุมกวด 20 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนน



รูปที่ 4.7 ภาพจริงของมุม 20 องศา ที่มุมกวด 35 องศา กับเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนน

4.2 การเก็บข้อมูล

ในการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ได้เก็บข้อมูลการจราจรบริเวณหน้าโรงเรียนนานาชาติ บางกอกพัฒนา ในเวลาประมาณ 19.00 น. เป็นต้นไป ได้ใช้ผู้เก็บข้อมูลจำนวน 3 คน โดยแยกหน้าที่กันทำคือ คนที่ 1 ทำหน้าที่ติดตั้งกล้องวิดีโอที่ถนนสะพานลอยเพื่อบันทึกภาพรถในช่องทางที่ต้องการ คอยควบคุมกล้องอยู่บนสะพานลอยและทำการย้ายกล้องเมื่อต้องการมุมอื่นๆ คนที่ 2 และ 3 ทำหน้าที่วัดระยะห่างของเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนพื้นผิวจราจร (ระยะห่างทุก 1 เมตร) ในช่องทางที่รถยนต์แล่น ถัดจากนั้นประจำที่อยู่บริเวณข้างถนนเพื่อเก็บข้อมูลของรถที่แล่น โดย คนที่ 2 ทำการวัดความเร็วรถยนต์ที่แล่นมาด้วยอุปกรณ์เรดาร์ตรวจจับความเร็ว แล้วรายงานความเร็วให้คนที่ 3 ทำการจดบันทึกความเร็วและลักษณะของรถโดยบันทึกเสียงลงเครื่องบันทึกเสียง ในการทดลองนี้ได้เก็บข้อมูลทั้งสิ้น 200 คัน (รวมทุกมุมกล้อง) แต่ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการทดสอบได้นั้นมีเพียง 180 คัน สาเหตุมาจากการเปลี่ยนช่องทางจราจรของรถยนต์ บางคัน ในบริเวณดังกล่าวเพื่อหลบรถที่เลี้ยวเข้าซอยและกลับรถในบริเวณทางแยก รถคันที่ต้องการแล่นตรงไปข้างหน้าจึงต้องเปลี่ยนช่องทางวิ่งไปใช้ช่องทางถัดไป รถยนต์ที่จับความเร็วได้นั้นเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นส่วนใหญ่และมีรถบรรทุกขนาดเล็ก(รถปิคอัพ) รวมอยู่ด้วย สภาพการจราจรในขณะนั้นการจราจรไม่หนาแน่นนัก รถแล่นมาเป็นระยะๆ

อุปสรรคที่พบในการเก็บข้อมูลนั้นที่สำคัญได้แก่ การเก็บข้อมูลในเวลากลางวันที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอ ทำให้ผู้เก็บข้อมูลมองเห็นลักษณะของรถยนต์ได้ไม่ชัดเจน อีกทั้งในบางขณะรถยนต์แล่นด้วยความเร็วสูง จึงทำให้ผู้จดบันทึกไม่สามารถจดบันทึกลักษณะของรถได้ต่อเนื่องทุกคัน นอกจากนี้การติดเทปหรือกระดาษสะท้อนแสงเพื่อกำหนดระยะทางบนพื้นถนนยังไม่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนเนื่องจากเป็นเวลากลางคืน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องหมายกำหนดระยะทางที่เป็นลักษณะฝังแก้วติดอยู่บนถนน ซึ่งบางครั้งก็ไม่ได้อยู่ในช่องทางที่รถยนต์แล่น

ช่วงความเร็วของรถยนต์ที่เก็บข้อมูลได้มีช่วงความเร็วตั้งแต่ 30 ถึง 95 กม./ชม. เนื่องจากบริเวณที่เก็บข้อมูลเป็นเขตชุมชน รถจึงแล่นได้โดยใช้ความเร็วที่ไม่สูงมากนัก ส่วนการเก็บข้อมูลของรถยนต์ในช่วงความเร็วที่มากกว่า 95 กม./ชม. นั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากต้องไปเก็บข้อมูลบนถนนสายหลัก เช่น ถนนวิภาวดี เป็นต้น ซึ่งอุปสรรคที่ทำให้ไม่สามารถไปเก็บข้อมูลในถนนสายหลักได้คือ บนถนนสายหลักที่รถยนต์แล่นด้วยความเร็วที่สูงๆ นั้น ไม่มีสะพานลอยให้ขึ้นไปเก็บข้อมูล ส่วนความเร็วของรถในช่วงที่ต่ำกว่า 30 กม./ชม. นั้น ไม่ได้มีการเก็บข้อมูลเนื่องจากรถยนต์จะแล่นมาด้วยความเร็วที่ช้ามาก และมีช่วงระยะห่างระหว่างรถยนต์แต่ละคันน้อย ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบความเร็วที่คำนวณได้กับความเร็วจากเรดาร์ตรวจจับความเร็ว

หลังจากเก็บข้อมูลแล้วนำภาพที่ได้มาทำการทดลองกับโปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Borland Delphi 7 และได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีซีพียู Pentium4 ความเร็ว 2.66 MHz มีหน่วยความจำหลัก (RAM) 1024 MB และใช้แผ่นวงจรถับเฟรมในการประมวลผล ผลการบันทึกข้อมูลได้ภาพรถที่ทราบความเร็วจำนวน 180 คัน ซึ่งมีช่วงความเร็วตั้งแต่ 30 ถึง 95 กม./ชม. เป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นข้อมูลขาเข้า (Input) โดยถ่ายภาพดังกล่าวบนสะพานลอยที่มีมุมกดลงและได้ทดลองความสามารถของโปรแกรมในการวัดความเร็วของรถยนต์ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.3 สมมติฐานในการทดลอง

สมมติฐานในการทดลองได้เน้น 2 ประเด็นที่สำคัญคือ ความสม่ำเสมอของระบบและความแม่นยำของความเร็วที่ระบบให้เป็นผลลัพธ์

4.3.1 ความสม่ำเสมอของระบบ

ความสม่ำเสมอของระบบคือ ความสามารถในการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์และให้ค่าความเร็วของรถคันเดียวกันสม่ำเสมอเพียงใด ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) ของการทดลองนั้นๆ โดยทำการเล่นกลับเทปของรถคันเดียวกันประมาณ 10 ครั้ง เพื่อดูว่าการจับเฟรมที่ต่างกันออกไปจะมีผลอย่างไรกับการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์และมีผลอย่างไรกับความเร็วรถยนต์ที่คำนวณได้

1) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation หรือ SD)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นสถิติที่ใช้หาความแตกต่างภายในกลุ่มของข้อมูล โดยในการทดลองนี้กลุ่มข้อมูลคือค่าความเร็วรถที่วัดได้จากโปรแกรมทั้ง 10 รอบของรถแต่ละคัน สามารถใช้บอกถึงลักษณะของข้อมูลและการทดสอบสมมติฐานเพื่ออ้างสรุป (Generalization) ไปยังประชากร เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลความเร็วรถแต่ละรอบที่กระจายออกมาจากค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลความเร็วรถนั้นๆ มีสูตรดังนี้

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad \dots(4.1)$$

โดยที่ S	เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
N	เป็นจำนวนข้อมูลในกลุ่ม (ในงานวิจัยนี้ มีค่าเท่ากับ 10)
X_i	เป็นค่าของข้อมูลความเร็วรถที่วัดได้จากโปรแกรมรอบที่ i
\bar{X}	เป็นค่าเฉลี่ยของความเร็วรถใน 10 รอบ

2) ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variation)

ค่า CV หรือค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย เป็นค่าที่ใช้บอกปริมาณความแตกต่างของข้อมูลภายในกลุ่มเมื่อเทียบเป็น 100 ส่วนของค่าเฉลี่ย หน่วยที่ออกมาจะเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งถ้า % มาก ก็แสดงว่าข้อมูลชุดนั้นมีการกระจายมาก และถ้า % น้อยก็แสดงว่าข้อมูลชุดนั้นมีการกระจายน้อย หรือ ข้อมูลมีการกระจุกตัวกัน ดังนั้นในการทดลองจะเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของระบบในการประมวลผลให้ค่าความเร็วของรถคันเดียวกัน ในจำนวน 10 รอบของการทดลอง โดยพิจารณาจากค่า CV ซึ่งหากค่า CV มีค่าน้อยกว่า 5% แสดงว่าระบบมีความสม่ำเสมออยู่ในเกณฑ์ที่ดี [7] การคำนวณหาค่า CV หาได้จากสมการ (4.1) ดังนี้

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad \dots(4.2)$$

โดยที่ S เป็น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลความเร็วรถยนต์ใน 10 รอบ

\bar{X} เป็น ค่าความเร็วเฉลี่ยของความเร็วรถยนต์ใน 10 รอบ

4.3.2 ความแม่นยำของความเร็ว

ความแม่นยำของความเร็วคือความสามารถที่ระบบให้เป็นความเร็วผลลัพธ์ที่คำนวณได้ออกมาถูกต้องเพียงใด โดยได้ตรวจสอบเทียบกับค่าความเร็วที่ได้จากเรดาร์วัดความเร็ว ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิความแตกต่างสูงสุดและแผนภูมิเส้นถดถอย

1) ค่าความแตกต่างสูงสุด

ค่าความแตกต่างสูงสุดซึ่งเป็นความแตกต่างของความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมของรถยนต์คันเดียวกันในแต่ละรอบ(ทดลองทั้งหมด 10 รอบ) กับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย คำนวณได้จากสมการ (4.2) ดังนี้

$$\text{ค่าความแตกต่างสูงสุด} = |V_p - V_r| \quad \dots(4.2)$$

โดยที่ V_p เป็นความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรม
 V_r เป็นความเร็วที่วัดจากเรดาร์

ส่วนค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุดจะใช้วัดการกระจายของข้อมูลความเร็วรอบๆค่าความเร็วที่วัดจากเรดาร์ การกระจายจะน้อยถ้าข้อมูลอยู่รอบๆ ค่าความเร็วที่วัดจากเรดาร์ โดยมีคำจำกัดความว่า ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุดคือ ส่วนเฉลี่ยแบบเลขคณิตของระยะข้อมูลความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมในแต่ละรอบที่เบี่ยงเบนไปจากค่าความเร็วที่วัดจากเรดาร์ โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย คำนวณได้จากสมการ (4.3) ดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยค่าความแตกต่างสูงสุด} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |V_p - V_r| \quad \dots(4.3)$$

โดยที่ N เป็นจำนวนของข้อมูลหรือจำนวนรอบของรถแต่ละคันที่หาความเร็ว

2) เส้นถดถอย

เส้นถดถอยเป็นเส้นตรงที่ผ่านกลุ่มข้อมูล โดยเส้นตรงที่ได้จากการถดถอยจะเป็นเส้นตรงที่ใช้ในการประมาณค่าข้อมูลของกลุ่มนั้นๆ ได้ดีที่สุด ในงานวิจัยนี้เส้นถดถอยจะใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรคือ ความเร็วที่วัดจากเรดาร์ และ ความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบ ที่วัดได้จากโปรแกรม

กลุ่มข้อมูลความเร็วรถที่นำมาหาเส้นถดถอยนั้นแต่ละตัวของข้อมูลจะเป็นคู่ลำดับ x และ y โดยที่การหาสมการเส้นตรง $g(x) = y = a + b x$ เป็นเส้นถดถอยที่แทนข้อมูลในกลุ่ม

กำหนดให้คู่ลำดับ y_i และ x_i เป็นข้อมูลตัวที่ i มี y_i เป็นตัวแปรตาม x_i เป็นตัวแปรต้น และมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น N ตัว ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนั้น กล่าวได้ว่า เมื่อนำผลต่างของค่าที่ประมาณได้จากเส้นถดถอยกับข้อมูลจริงของทุกข้อมูลมารวมกันแล้วยกกำลังสองจะต้องน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเขียนสมการแทนได้ว่า

$$\begin{aligned} SSE &= \sum_{i=1}^N (y_i - g(x_i))^2 \\ SSE &= \sum_{i=1}^N (y_i - a + bx_i)^2 \end{aligned} \quad \dots(4.4)$$

โดยที่ SSE เป็นผลรวมกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Error)

y_i เป็นตัวแปรตามของข้อมูลในคู่ลำดับตัวที่ i

x_i เป็นตัวแปรต้นข้อมูลในคู่ลำดับตัวที่ i

$g(x_i)$ เป็นค่าประมาณจากเส้นถดถอยที่ข้อมูล i

ในการหาค่าพารามิเตอร์ a และ b สามารถทำได้โดย

$$\frac{\partial \text{SSE}}{\partial a} = 0 \quad \text{และ} \quad \frac{\partial \text{SSE}}{\partial b} = 0 \quad \dots(4.5)$$

และกำหนดให้

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^N y_i (x_i - \bar{x}), \quad S_{yy} = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$$

$$\text{และ} \quad \text{SSR} = \sum_{i=1}^N (g(x_i) - \bar{y})^2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad S_{yy} = \text{SSR} + \text{SSE}$$

โดยที่ S_{yy} เป็นความผันแปรโดยรวม (Total Variation) ของค่าสังเกต ซึ่งได้รับการกระจายออกเป็น 2 เทอม

SSR เป็นค่าความผันแปรรอบเส้นถดถอย

SSE เป็นค่าความผันแปรของเศษเหลือที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยเส้นถดถอย

3) ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2)

การตัดสินใจโดยอาศัยเส้นถดถอยนี้ จะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงไร ขึ้นกับว่าเส้นถดถอยสามารถอธิบายลักษณะข้อมูลได้ดีหรือไม่ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ซึ่งนิยามได้ว่า

$$R^2 = \frac{\text{ความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยเส้นถดถอย}}{\text{ความผันแปรโดยรวม}} \quad \dots(4.6)$$

ค่า R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าค่า R^2 มีค่ายิ่งมาก ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง y และ x จะยิ่งชัดเจน แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมาก และถ้า $R^2 = 1$ แล้ว แสดงว่าข้อมูลทุกจุดอยู่บนเส้นถดถอย

4.4 การทดลองวัดความเร็วรถยนต์

4.4.1 การทดลองที่ 1

ติดตั้งกล้องที่มุม 0 องศา อยู่เหนือช่องทางจราจรพอดี ใช้เครื่องหมายกำหนดระยะทางที่อยู่ติดกับช่องจราจรพอดี โดยทำการทดลองที่มุมกล้องต่างๆ ดังนี้

1) มุมกล้อง 20 องศา

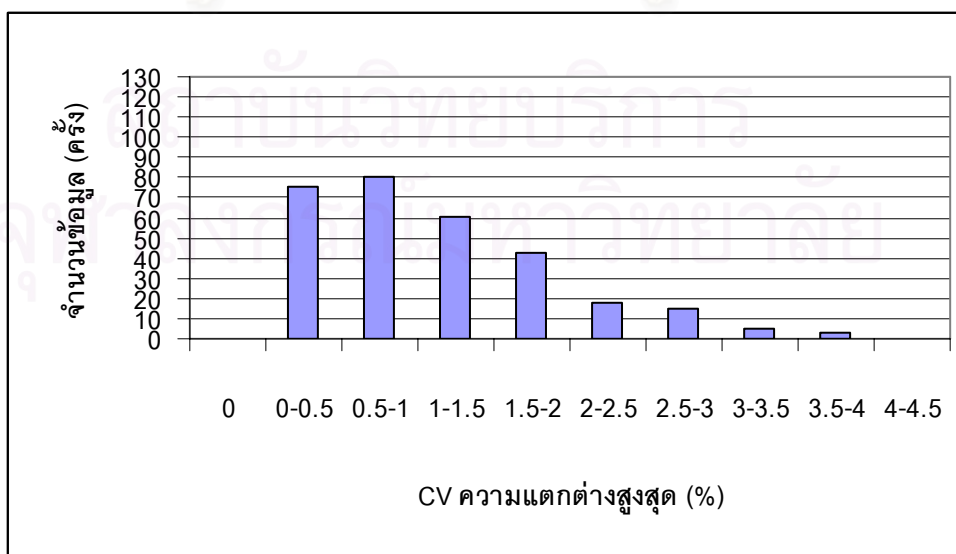
มีรถยนต์ที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 30 คัน มีช่วงพิสัยความเร็วระหว่าง 42 ถึง 74 กม. / ชม. ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบสำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 300 ครั้ง ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 26 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 8.6 มีการตรวจจับได้บริเวณที่ไม่ใช่ดวงไฟหน้ารถของรถยนต์ 23 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 7.6 โดยขนาดกรอบมีพิกัดอยู่ที่ (164, 71), (197, 71), (92, 238), (215, 238)

ก) ค่า CV ของความแตกต่างของความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมกับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ โดยใช้ความเร็วที่โปรแกรมตรวจจับได้ในแต่ละรอบ

คำนวณหาค่า CV ของความแตกต่างสูงสุด ดังนี้

$$CV = \frac{|ความเร็วที่วัดจากโปรแกรม - ความเร็วที่วัดจากเรดาร์|}{ความเร็วที่วัดจากเรดาร์} \times 100 \% \quad \dots(4.7)$$

จากการทดลองพบว่า ค่า CV มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0% ถึง 3.8 % โดยสามารถแบ่ง CV เป็นช่วงข้อมูลคำนวณหาจำนวนข้อมูลมาแสดงได้เป็นแผนภูมิ ดังรูปที่ 4.8

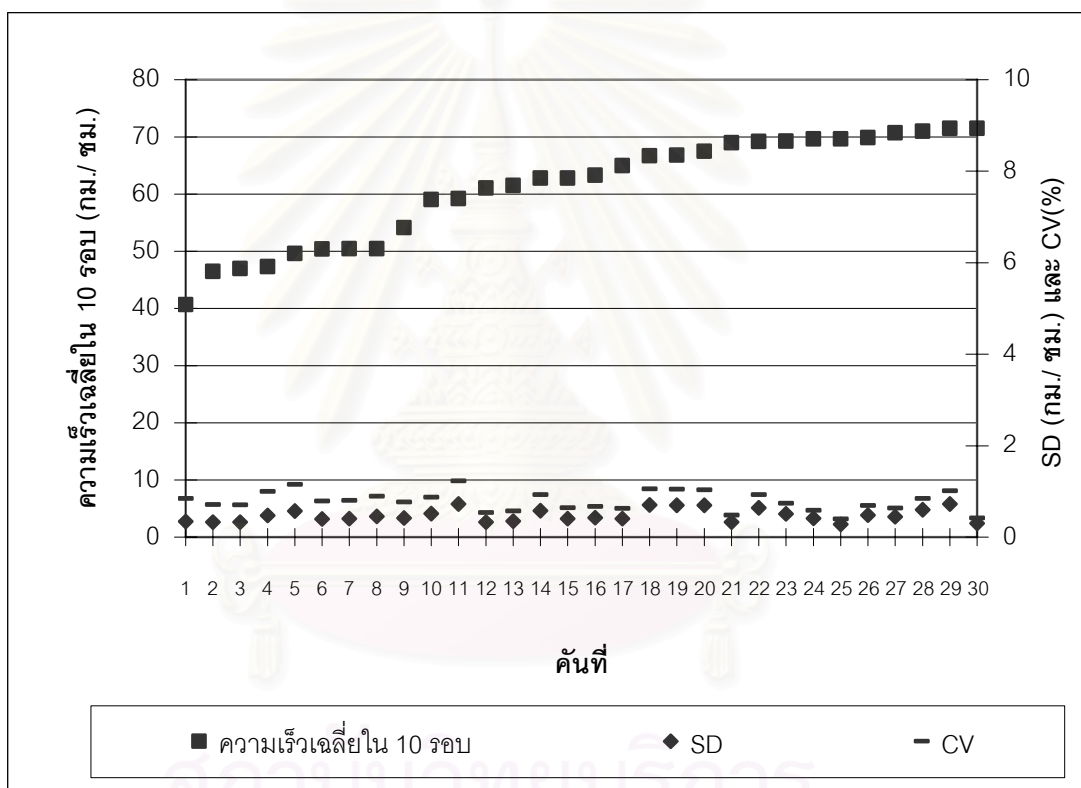


รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงค่า CV ของความเร็วรถ ในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 0 องศา มุมกล้อง 20 องศา

ข) ค่า SD และค่า CV ของความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมซึ่งเป็นความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบ

เพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของระบบ จะนำค่าความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมทั้ง 10 รอบ มาหาค่าเฉลี่ยเป็นความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบของรถยนต์แต่ละคัน แล้วคำนวณหาค่า CV และ SD เพื่อดูการกระจายของข้อมูลความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมในแต่ละรอบ เปรียบเทียบกับความเร็วเฉลี่ย โดยใช้สมการ (4.1) เพื่อหาค่า SD และใช้ สมการที่ (4.2) เพื่อหาค่า CV

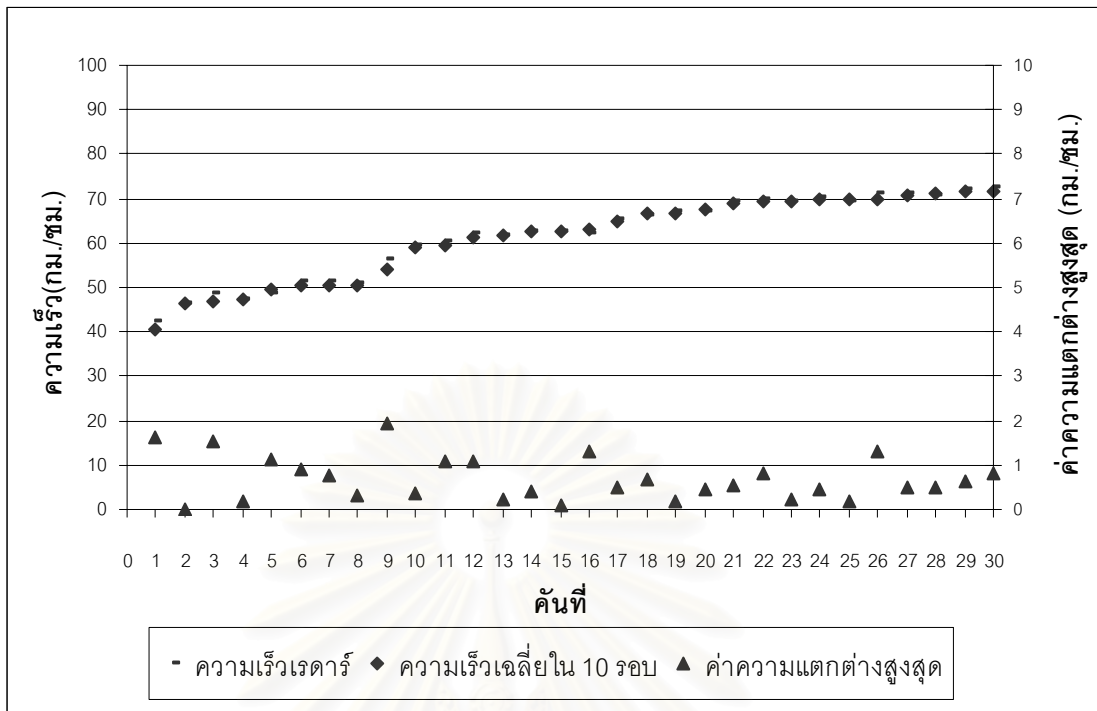
พบว่าค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.4% ถึง 1.2% โดย 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 1.05% ค่าความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบ, CV และค่า SD ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงค่าความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบ SD และ CV ของรถ 30 คัน
ที่มุม 0 องศา มุมกด 20 องศา

ค) ค่าความแตกต่างสูงสุด

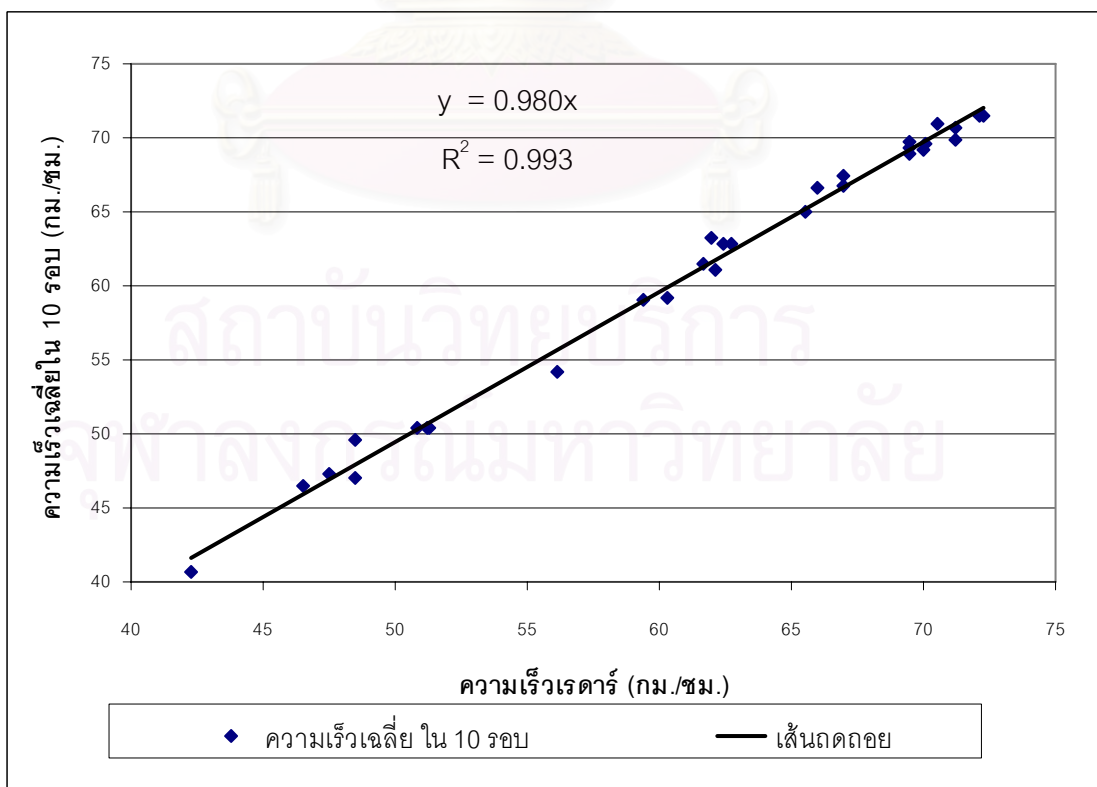
มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด เป็น 0.493 กม./ ชม. มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 0.686 กม./ ชม.



รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงความแตกต่างสูงสุด ที่มุม 0 องศา มุมกด 20 องศา

ง) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 0.758 กม./ ชม.



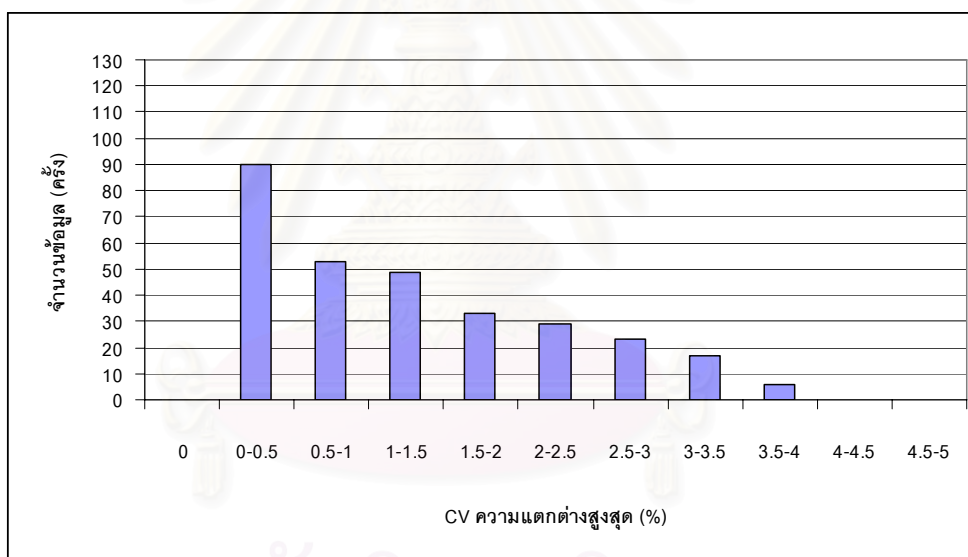
รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์

2) มุมกดลง 35 องศา

มีรถยนต์ที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 30 คัน มีช่วงพิสัยความเร็วระหว่าง 37 ถึง 71 กม./ ชม. ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบสำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 300 ครั้ง ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 23 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 7.7 มีการตรวจจับได้บริเวณที่ไม่ใช่ดวงไฟหน้ารถของรถยนต์ 17 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 5.7 โดยขนาดกรอบมีพิกัดอยู่ที่ (160, 23), (205, 23), (82, 232), (226, 232)

ก) ค่า CV ของความแตกต่างของความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมกับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ โดยใช้ความเร็วที่โปรแกรมตรวจจับได้ในแต่ละรอบ

จากการทดลองเมื่อคำนวณหาค่า CV ของความแตกต่างสูงสุด โดยใช้สมการ (4.7) พบว่าค่า CV มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0% ถึง 3.9 % โดยสามารถแบ่ง CV เป็นช่วงข้อมูลคำนวณหาจำนวนข้อมูลมาแสดงได้เป็นแผนภูมิ ดังรูปที่ 4.12

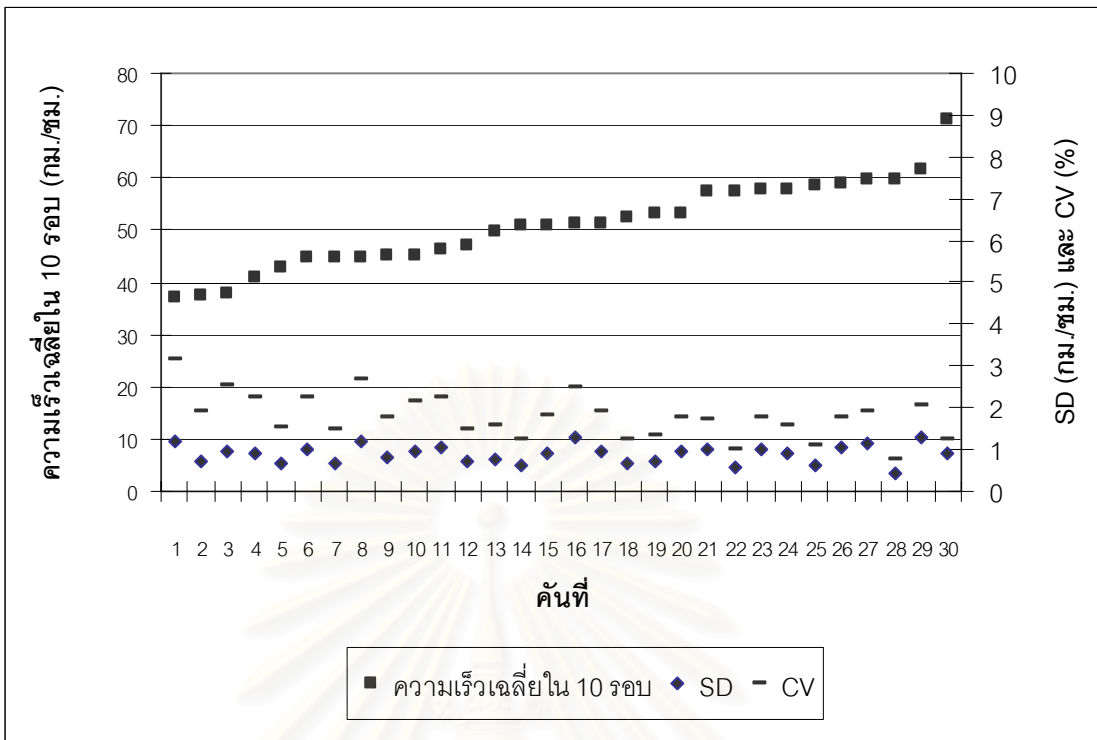


รูปที่ 4.12 แผนภูมิแสดงค่า CV ของความเร็วรถ ในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 0 องศา มุมกด 35 องศา

ข) ค่า SD และค่า CV

เพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของระบบ จะนำค่าความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมทั้ง 10 รอบ มาหาค่าเฉลี่ยเป็นความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบของรถยนต์แต่ละคัน แล้วคำนวณหาค่า CV และ SD เพื่อดูการกระจายของข้อมูลความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมในแต่ละรอบ เปรียบเทียบกับความเร็วเฉลี่ย โดยใช้สมการ (4.1) เพื่อหาค่า SD และใช้ สมการที่ (4.2) เพื่อหาค่า CV

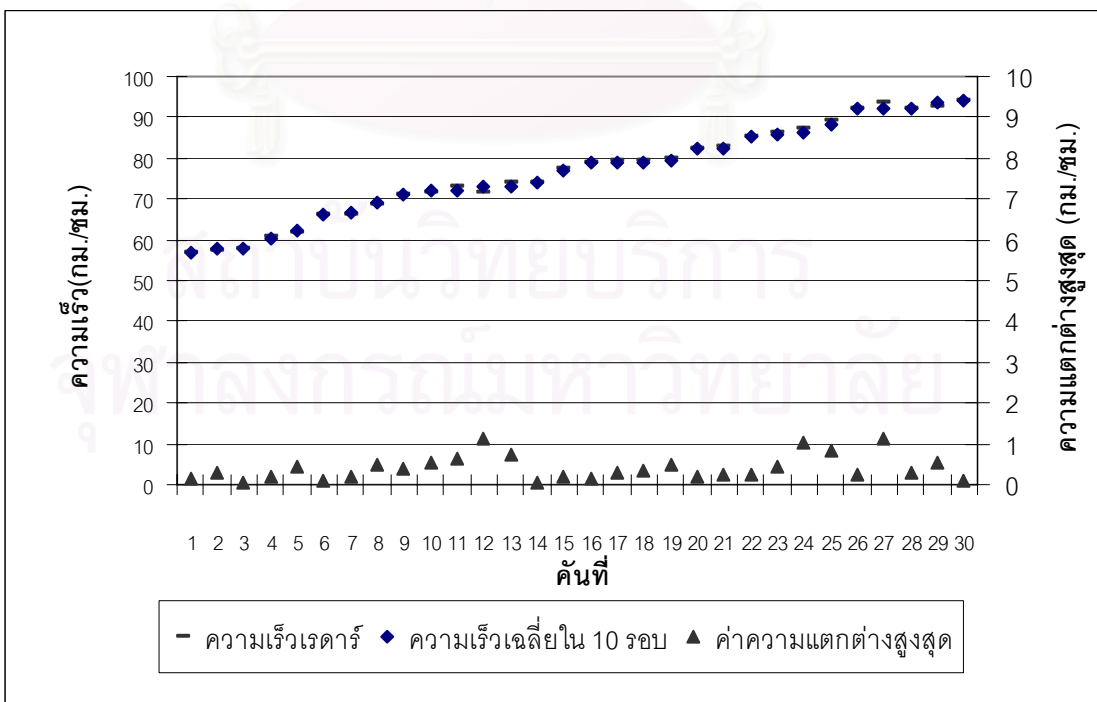
พบว่าค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.7% ถึง 3.2% 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 2.5% ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แผนภูมิแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คัน ที่มุม 0 องศา มุมกต 35 องศา

ค) ค่าความแตกต่างสูงสุด

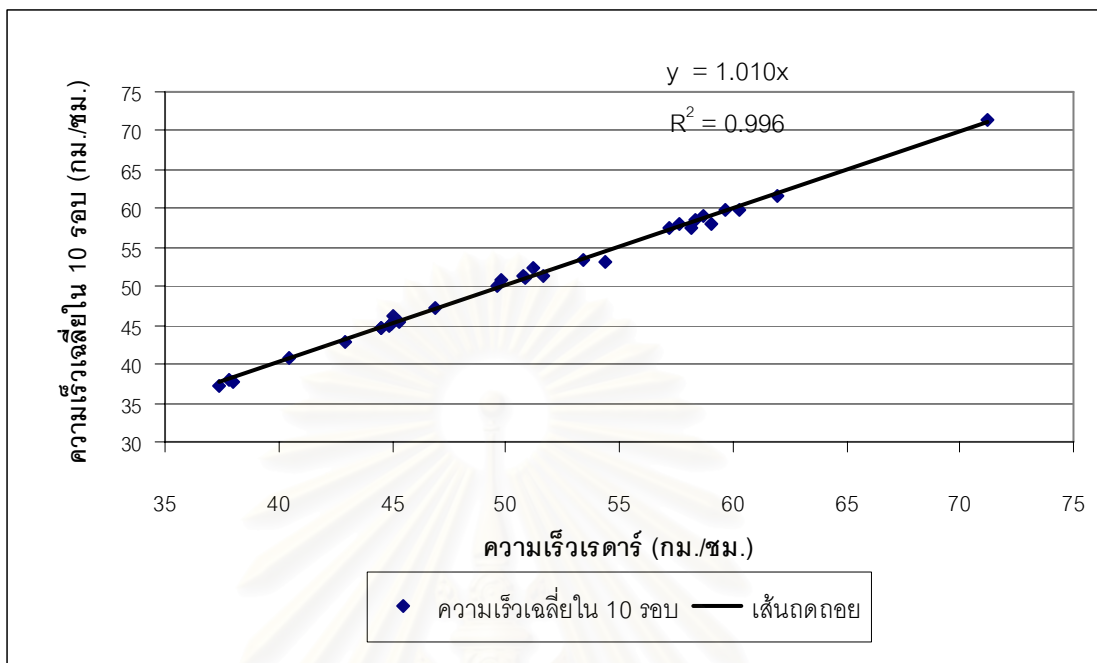
มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 0.403 กม. / ชม. มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด เป็น 0.376 กม./ ชม.



รูปที่ 4.14 แผนภูมิแสดงความแตกต่างสูงสุด ที่มุม 0 องศา มุมกต 35 องศา

ง) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 0.545 กม./ชม.



รูปที่ 4.15 แผนภูมิแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ ที่มุม 0 องศา มุมกด 35 องศา

4.4.2 การทดลองที่ 2

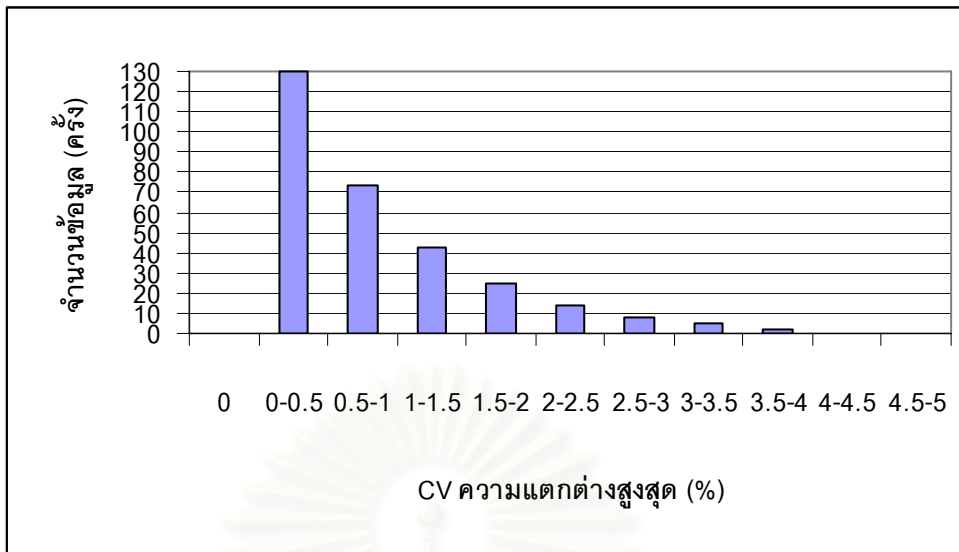
กล้องตั้งอยู่เหนือช่องจราจรโดยเลือนมาทางซ้ายเล็กน้อยเป็นมุม 5 องศา ใช้เครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนนในช่องจราจรที่ถัดออกมาช่องหนึ่ง

1) มุมกดลง 20 องศา

มีรถยนต์ที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 30 คัน มีช่วงพิสัยความเร็วระหว่าง 37 ถึง 68 กม./ ชม. ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบสำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 300 ครั้ง ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 24 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 8 มีการตรวจจับได้บริเวณที่ไม่ใช่ดวงไฟหน้ารถของรถยนต์ 19 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 6.3 โดยขนาดกรอบมีพิกัดอยู่ที่ (113, 64), (168, 64), (136, 237), (233, 237)

ก) ค่า CV ของความแตกต่างของความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมกับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ โดยใช้ความเร็วที่โปรแกรมตรวจจับได้ในแต่ละรอบ

จากการทดลองเมื่อคำนวณหาค่า CV ของความแตกต่างสูงสุด โดยใช้สมการ (4.7) พบว่าค่า CV มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0% ถึง 3.8 % โดยสามารถแบ่ง CV เป็นช่วงข้อมูลคำนวณหาจำนวนข้อมูลมาแสดงได้เป็นแผนภูมิ ดังรูปที่ 4.16

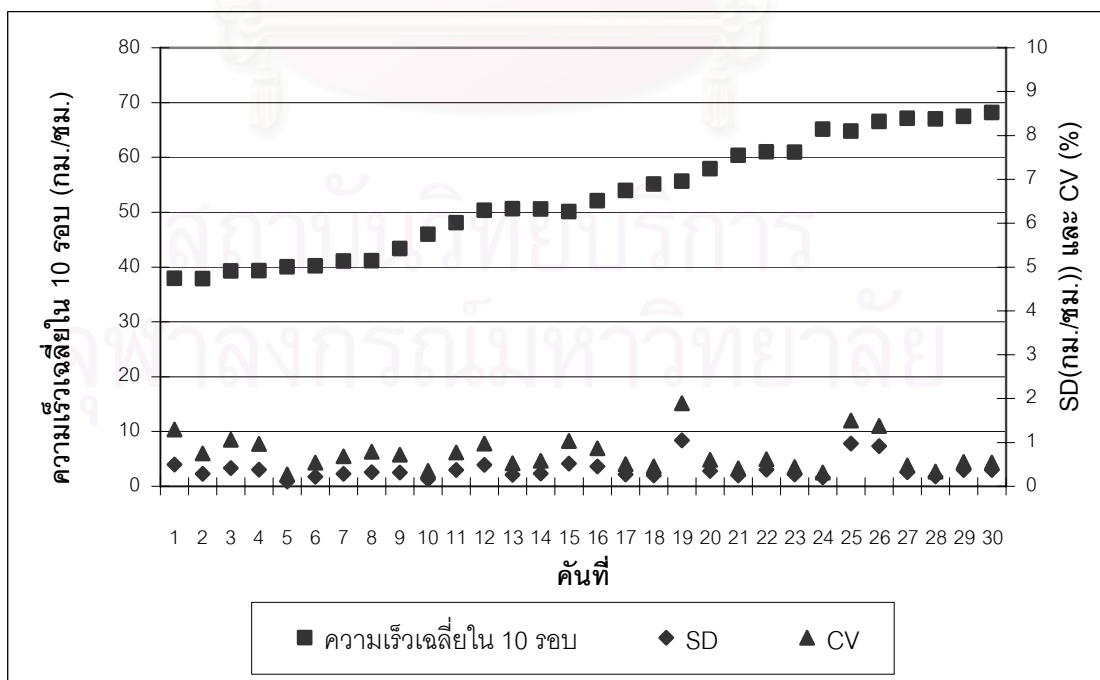


รูปที่ 4.16 แผนภูมิแสดงค่า CV ของความเร็วรถ ในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 5 องศา มุมกด 20 องศา

ข) ค่า SD และค่า CV

เพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของระบบ จะนำค่าความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมทั้ง 10 รอบ มาหาค่าเฉลี่ยเป็นความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบของรถยนต์แต่ละคัน แล้วคำนวณหาค่า CV และ SD เพื่อดูการกระจายของข้อมูลความเร็วรถที่วัดได้จากโปรแกรมในแต่ละรอบ เปรียบเทียบกับความเร็วเฉลี่ย โดยใช้สมการ (4.1) เพื่อหาค่า SD และใช้ สมการที่ (4.2) เพื่อหาค่า CV

พบว่าค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.3% ถึง 1.9 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 1.3% ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD ดังแสดงในรูปที่ 4.17

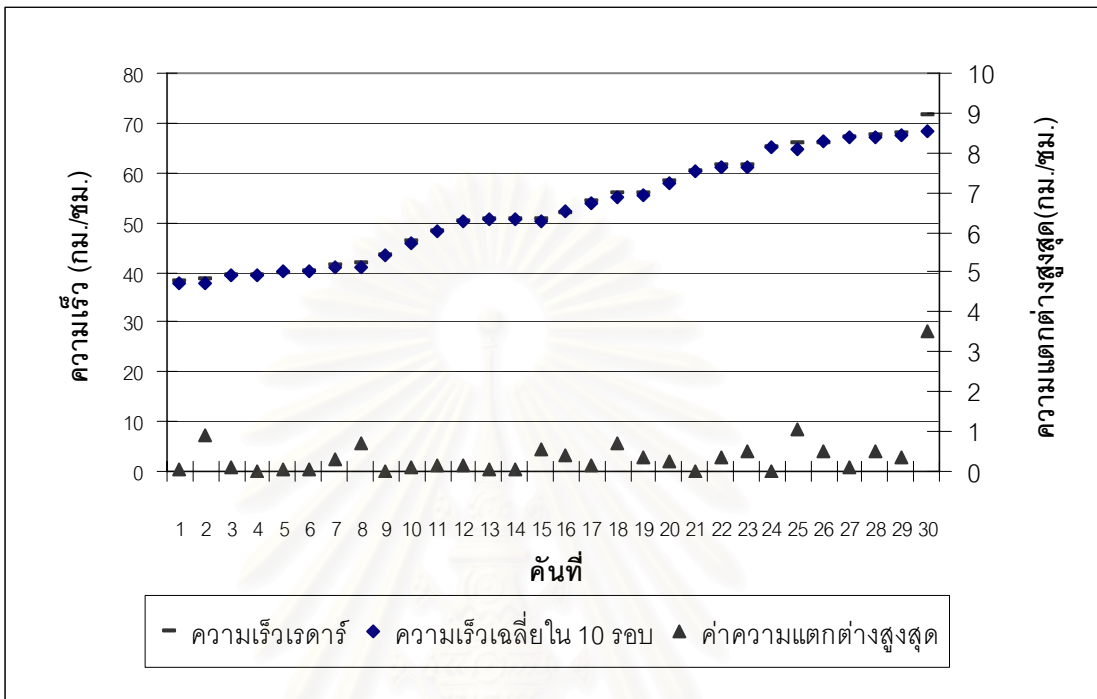


รูปที่ 4.17 แผนภูมิแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คัน ที่มุม 5 องศา มุมกด 20 องศา

ค) ค่าความแตกต่าง

มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 0.292 กม./ ชม.

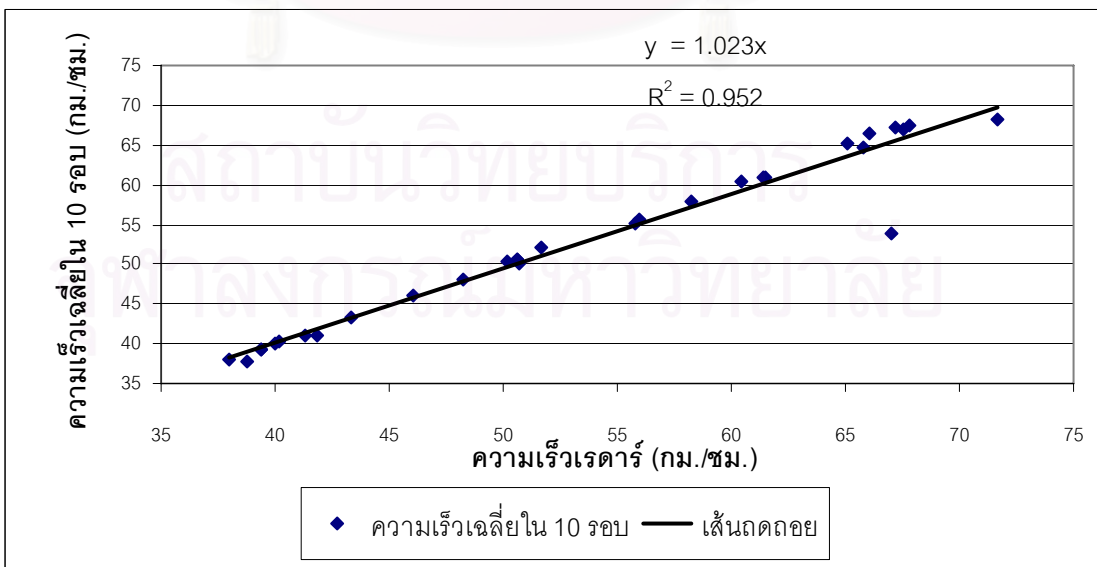
มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด เป็น 0.288 กม./ ชม.



รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงความแตกต่างสูงสุด ที่มุม 5 องศา มุมกด 20 องศา

ง) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 2.453 กม./ ชม.



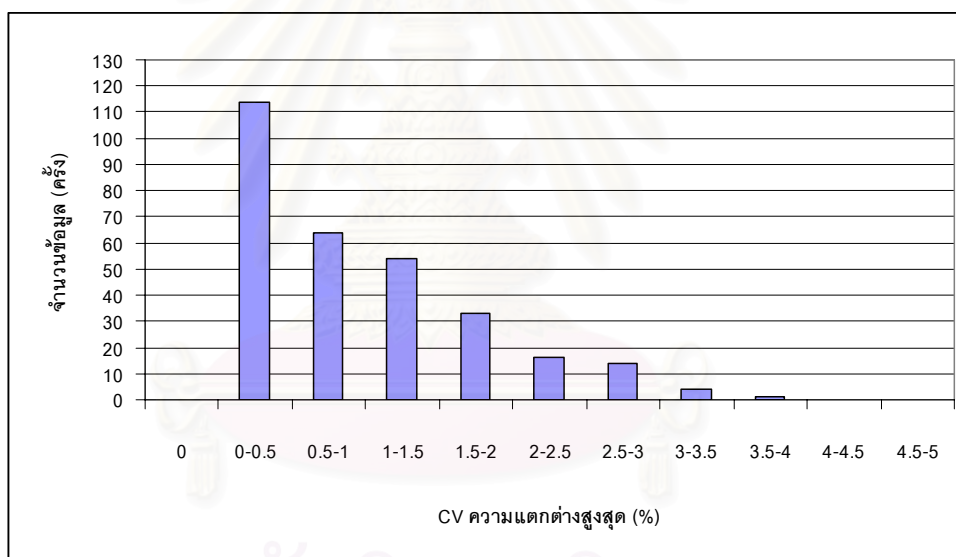
รูปที่ 4.19 แผนภูมิแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ ที่มุม 5 องศา มุมกด 20 องศา

2) มุมทดลอง 35 องศา

มีรถยนต์ที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 30 คัน มีช่วงพิสัยความเร็วระหว่าง 49 ถึง 90 กม./ชม. ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบสำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 300 ครั้ง ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 22 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 7.3 มีการตรวจจับได้บริเวณที่ไม่ใช่ดวงไฟหน้ารถของรถยนต์ 16 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 5.3 โดยขนาดกรอบมีพิกัดอยู่ที่ (141, 7), (208, 7), (179, 227), (319, 227)

ก) ค่า CV ของความแตกต่างของความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมกับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ โดยใช้ความเร็วที่โปรแกรมตรวจจับได้ในแต่ละรอบ

จากการทดลองเมื่อคำนวณหาค่า CV ของความแตกต่างสูงสุด โดยใช้สมการ (4.7) พบว่าค่า CV มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0% ถึง 3.6 % โดยสามารถแบ่ง CV เป็นช่วงข้อมูลคำนวณหาจำนวนข้อมูลมาแสดงได้เป็นแผนภูมิ ดังรูปที่ 4.20

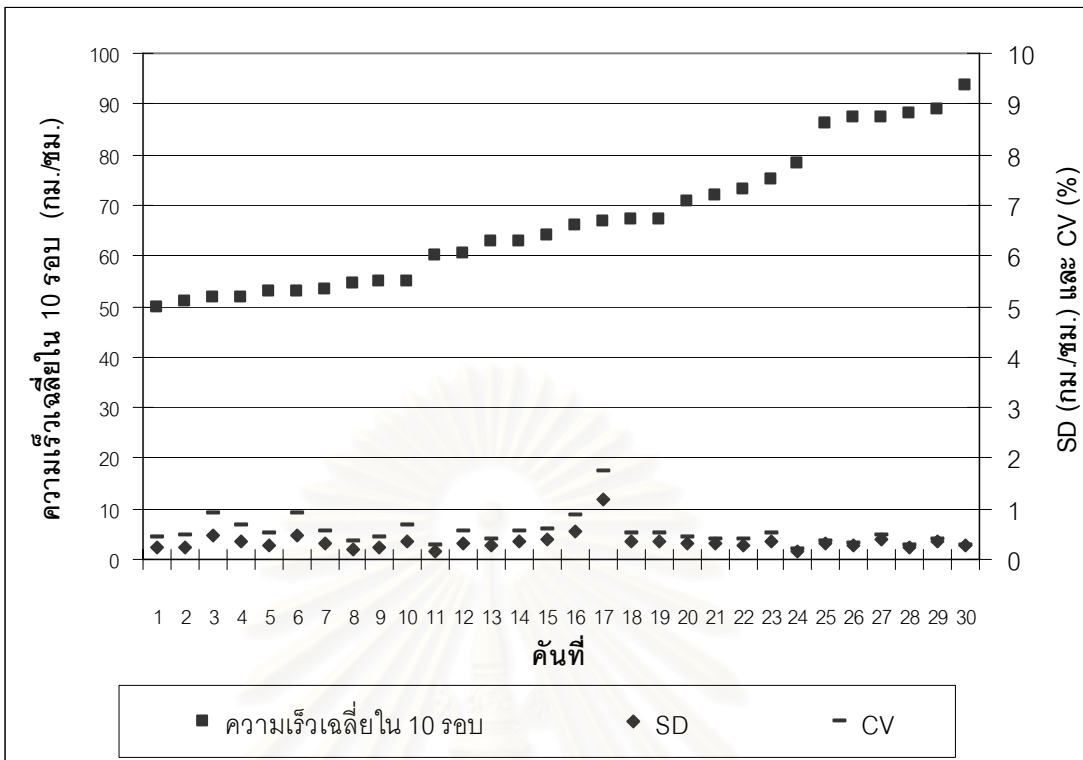


รูปที่ 4.20 แผนภูมิแสดงค่า CV ของความเร็วรถ ในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 5 องศา มุมทดลอง 35 องศา

ข) ค่า SD และค่า CV

เพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของระบบ จะนำค่าความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมทั้ง 10 รอบ มาหาค่าเฉลี่ยเป็นความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบของรถยนต์แต่ละคัน แล้วคำนวณหาค่า CV และ SD เพื่อดูการกระจายของข้อมูลความเร็วรถที่วัดได้จากโปรแกรมในแต่ละรอบ เปรียบเทียบกับความเร็วเฉลี่ย โดยใช้สมการ (4.1) เพื่อหาค่า SD และใช้ สมการที่ (4.2) เพื่อหาค่า CV

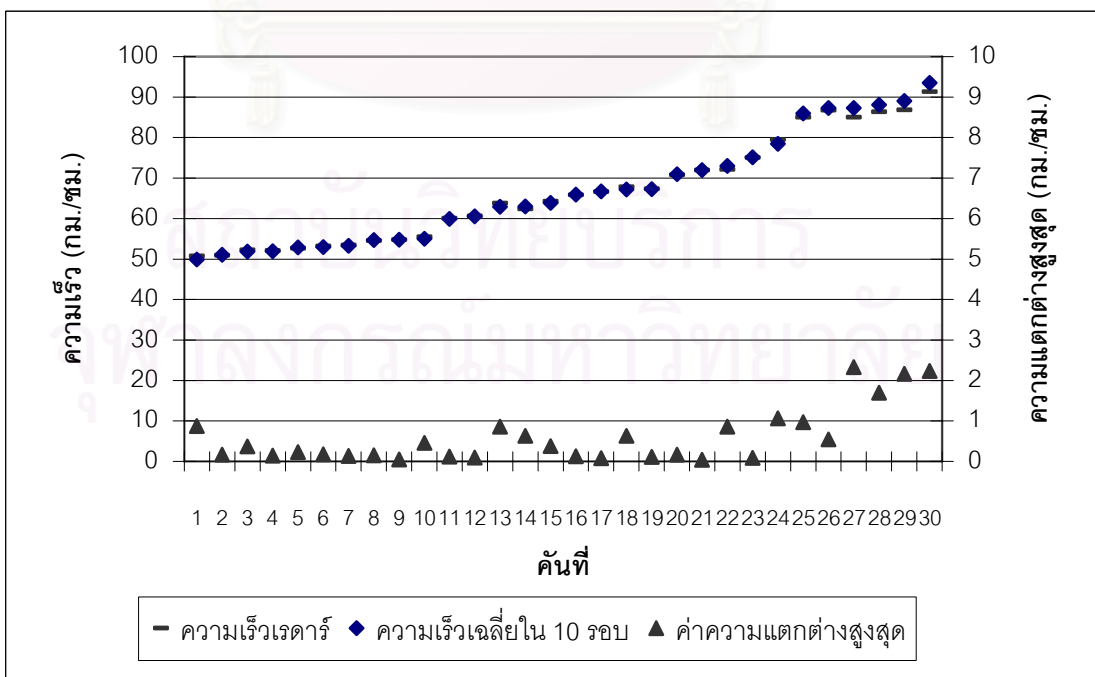
พบว่าค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.18% ถึง 1.8% 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 0.87% ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แผนภูมิแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คัน ที่มุม 5 องศา มุมกด 35 องศา

ค) ค่าความแตกต่าง

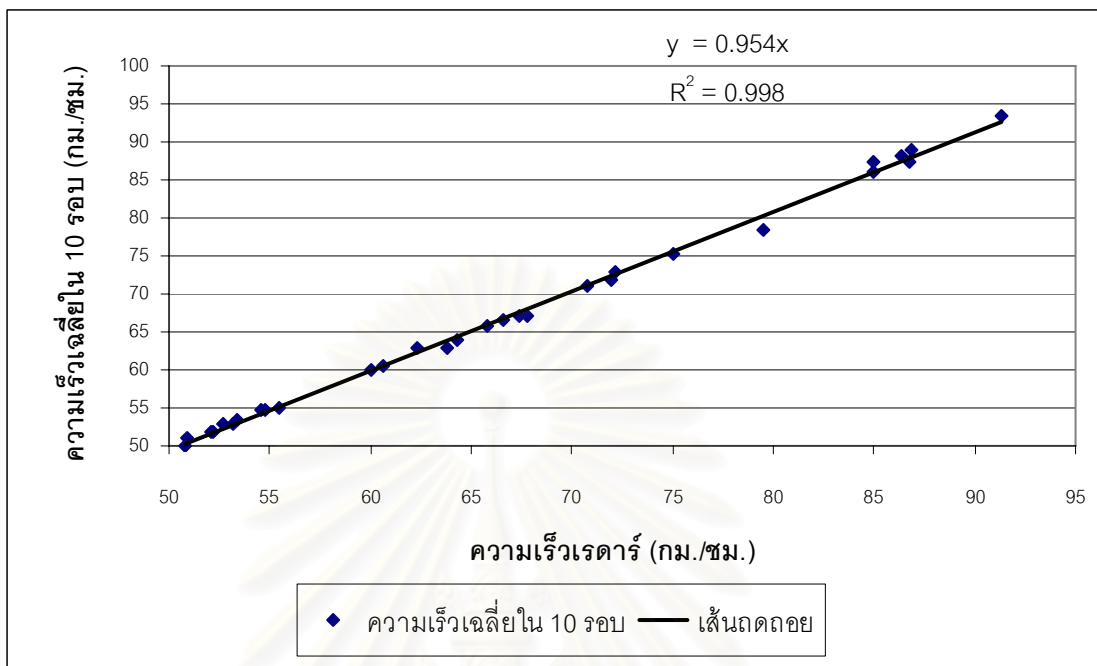
มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 0.541 กม./ ชม. มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด เป็น 0.614กม./ ชม.



รูปที่ 4.22 แผนภูมิแสดงความแตกต่างสูงสุด ที่มุม 5 องศา มุมกด 35 องศา

ง) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอย 0.637 กม./ชม.



รูปที่ 4.23 แผนภูมิแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ ที่มุม 5 องศา มุมกด 35 องศา

4.4.3 การทดลองที่ 3

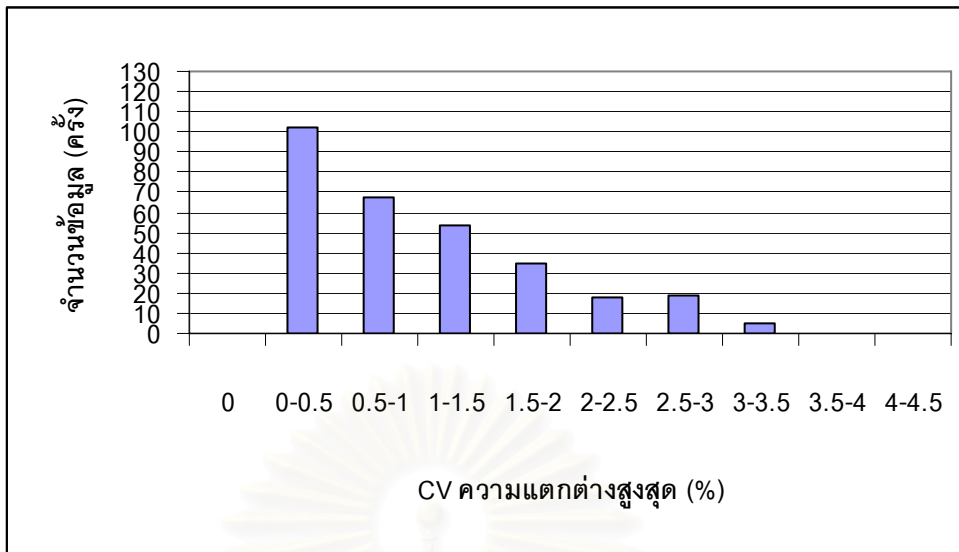
กล้องตั้งอยู่เหนือช่องจราจรโดยเลื่อนมาทางซ้ายเพิ่มขึ้นเป็นมุม 20 องศา ใช้เครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนนในช่องจราจรที่ถัดออกมาช่องหนึ่ง

1) มุมกดลง 20 องศา

มีรถยนต์ที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 30 คัน มีช่วงพิสัยความเร็วระหว่าง 56 ถึง 95 กม./ ชม. ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบสำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 300 ครั้ง ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 23 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 7.6 มีการตรวจจับได้บริเวณที่ไม่ใช่ดวงไฟหน้ารถของรถยนต์ 19 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 6.3 โดยขนาดกรอบมีพิกัดอยู่ที่ (73, 93), (133, 93), (151, 236), (268, 236)

ก) ค่า CV ของความแตกต่างของความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมกับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ โดยใช้ความเร็วที่โปรแกรมตรวจจับได้ในแต่ละรอบ

จากการทดลองเมื่อคำนวณหาค่า CV ของความแตกต่างสูงสุด โดยใช้สมการ (4.7) พบว่าค่า CV มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0% ถึง 3.4 % โดยสามารถแบ่ง CV เป็นช่วงข้อมูลคำนวณหาจำนวนข้อมูลมาแสดงได้เป็นแผนภูมิ ดังรูปที่ 4.24

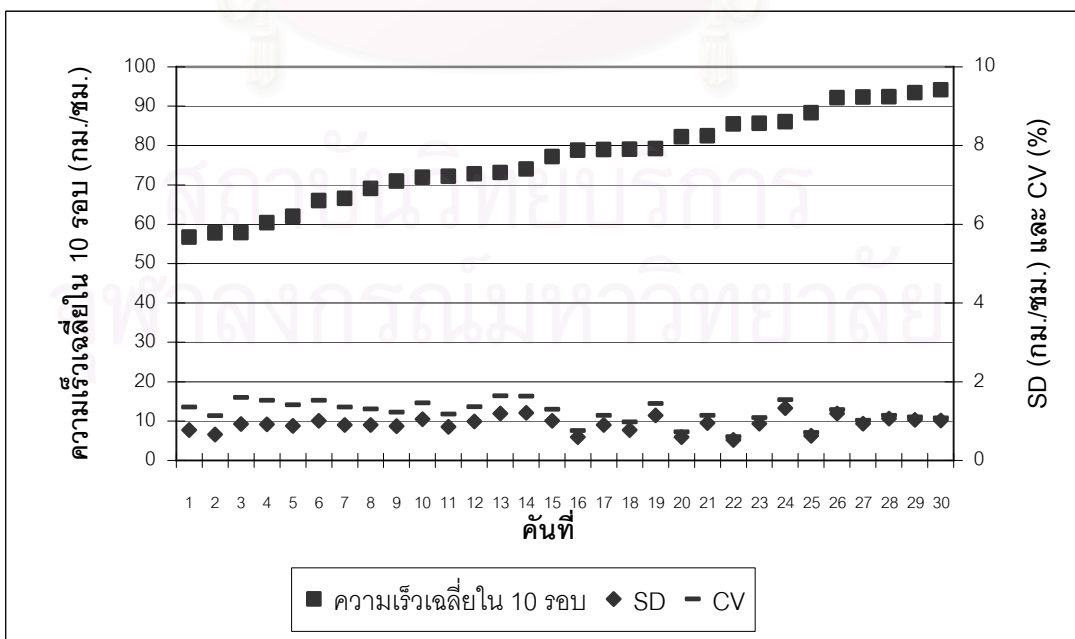


รูปที่ 4.24 แผนภูมิแสดงค่า CV ของความเร็วรถ ในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 20 องศา มุมกด 20 องศา

ข) ค่า SD และค่า CV

เพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของระบบ จะนำค่าความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมทั้ง 10 รอบ มาหาค่าเฉลี่ยเป็นความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบของรถยนต์แต่ละคัน แล้วคำนวณหาค่า CV และ SD เพื่อดูการกระจายของข้อมูลความเร็วรถที่วัดได้จากโปรแกรมในแต่ละรอบ เปรียบเทียบกับความเร็วเฉลี่ย โดยใช้สมการ (4.1) เพื่อหาค่า SD และใช้ สมการที่ (4.2) เพื่อหาค่า CV

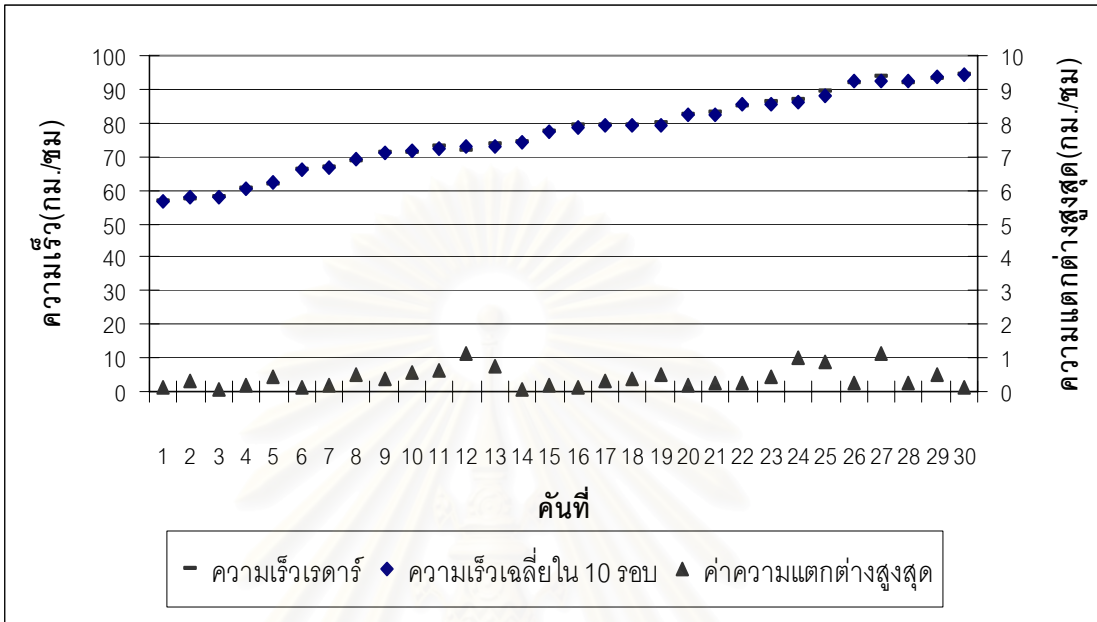
พบว่าค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.6% ถึง 1.6% 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 1.55% ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แผนภูมิแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คันที่มุม 20 องศา มุมกด 20 องศา

ค) ค่าความแตกต่าง

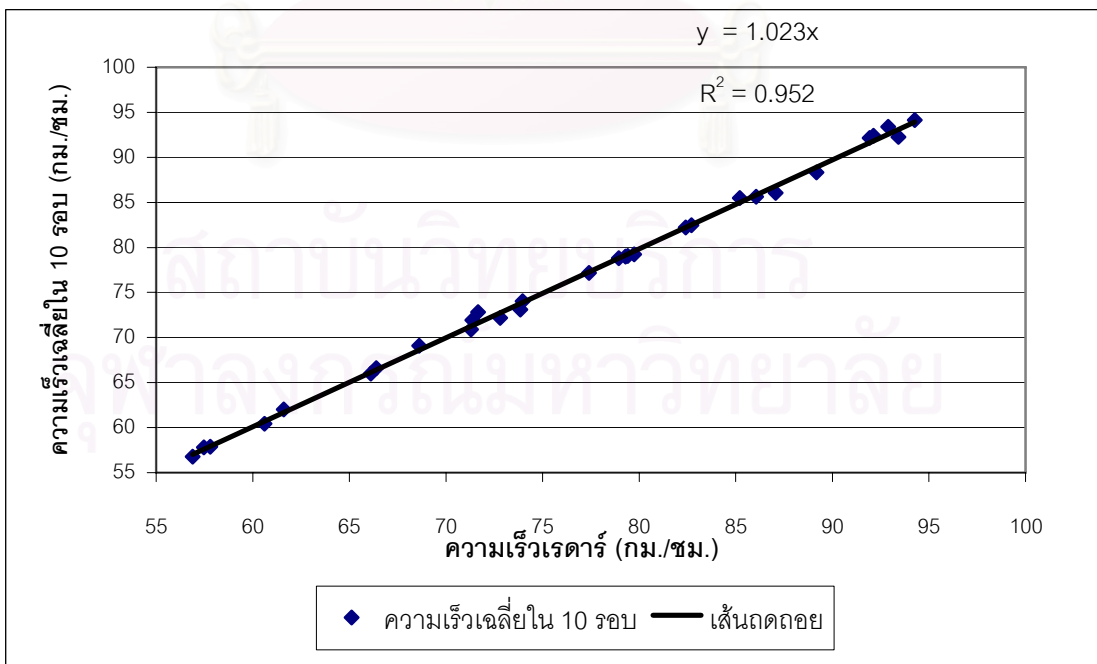
มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 0.416 กม./ ชม. มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด เป็น 0.312 กม./ ชม.



รูปที่ 4.26 แผนภูมิแสดงความแตกต่างสูงสุด ที่มุม 20 องศา มุมกด 20 องศา

ง) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 0.496 กม./ ชม.



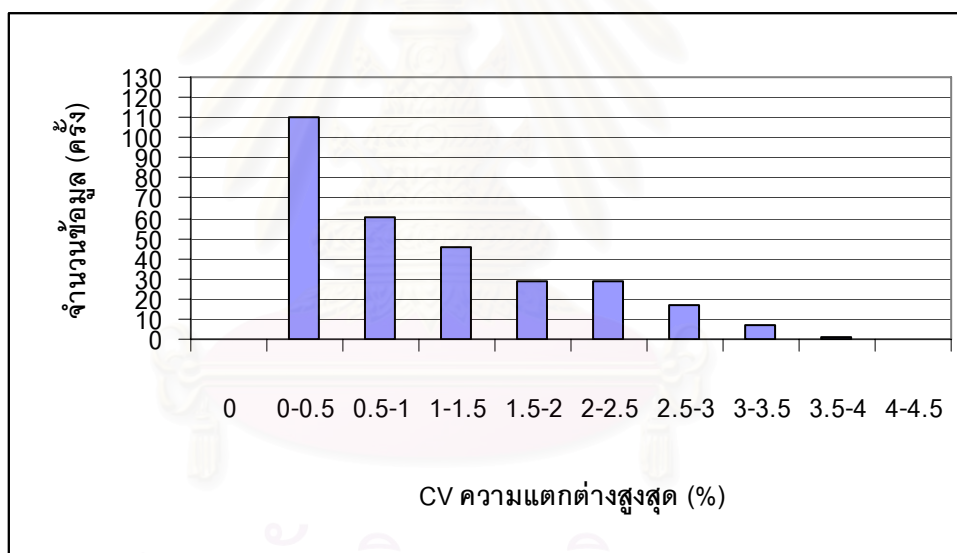
รูปที่ 4.27 แผนภูมิแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ ที่มุม 20 องศา มุมกด 20 องศา

2) มุมทดลอง 35 องศา

มีรถยนต์ที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 30 คัน มีช่วงพิสัยความเร็วระหว่าง 30 ถึง 76 กม./ ชม. ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบสำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 300 ครั้ง ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 25 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 8.3 มีการตรวจจับได้บริเวณที่ไม่ใช่ดวงไฟหน้ารถของรถยนต์ 20 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 6.7 โดยขนาดกรอบมีพิกัดอยู่ที่ (67, 47), (129, 47), (154, 234), (317, 234)

ก) ค่า CV ของความแตกต่างของความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมกับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ โดยใช้ความเร็วที่โปรแกรมตรวจจับได้ในแต่ละรอบ

จากการทดลองเมื่อคำนวณหาค่า CV ของความแตกต่างสูงสุด โดยใช้สมการ (4.7) พบว่าค่า CV มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0% ถึง 3.5 % โดยสามารถแบ่ง CV เป็นช่วงข้อมูลคำนวณหาจำนวนข้อมูลมาแสดงได้เป็นแผนภูมิ ดังรูปที่ 4.28

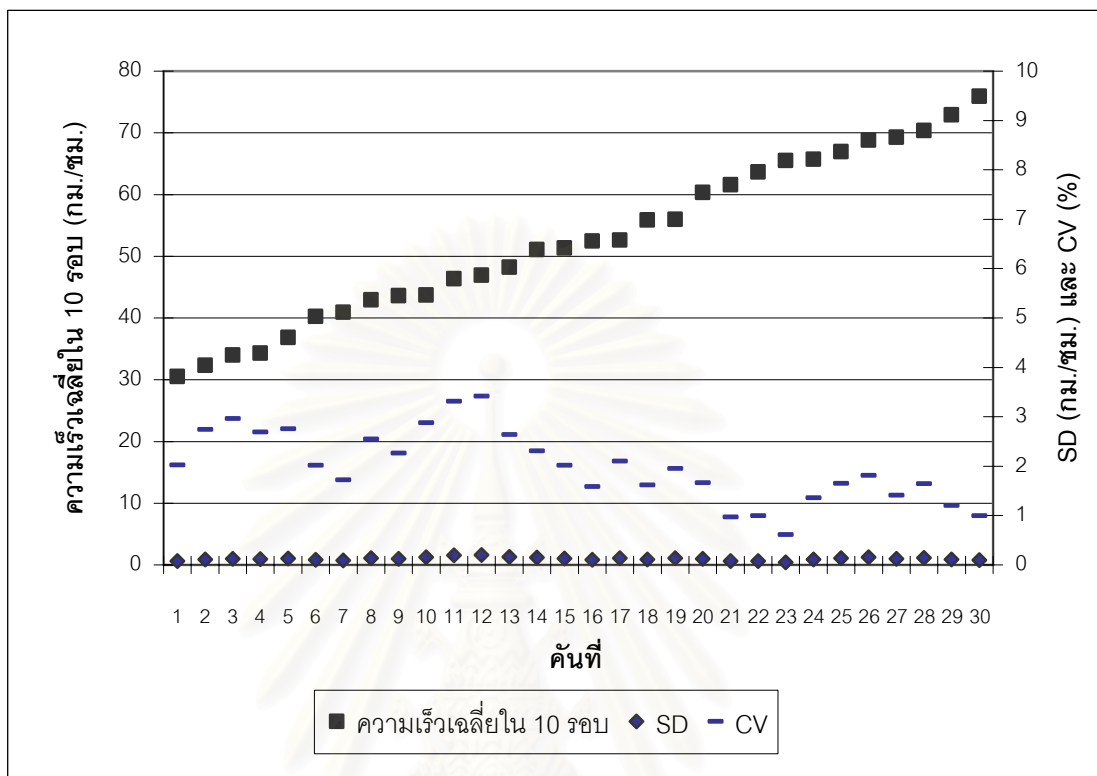


รูปที่ 4.28 แผนภูมิแสดงค่า CV ของความเร็วรถ ในจำนวน 300 ครั้ง ที่มุม 20 องศา มุมทดลอง 35 องศา

ข) ค่า SD และค่า CV

เพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของระบบ จะนำค่าความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมทั้ง 10 รอบ มาหาค่าเฉลี่ยเป็นความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบของรถยนต์แต่ละคัน แล้วคำนวณหาค่า CV และ SD เพื่อดูการกระจายของข้อมูลความเร็วรถที่วัดได้จากโปรแกรมในแต่ละรอบ เปรียบเทียบกับความเร็วเฉลี่ย โดยใช้สมการ (4.1) เพื่อหาค่า SD และใช้ สมการที่ (4.2) เพื่อหาค่า CV

พบว่าค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.61% ถึง 3.4% 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 2.9% ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD ดังแสดงใน รูปที่ 4.29

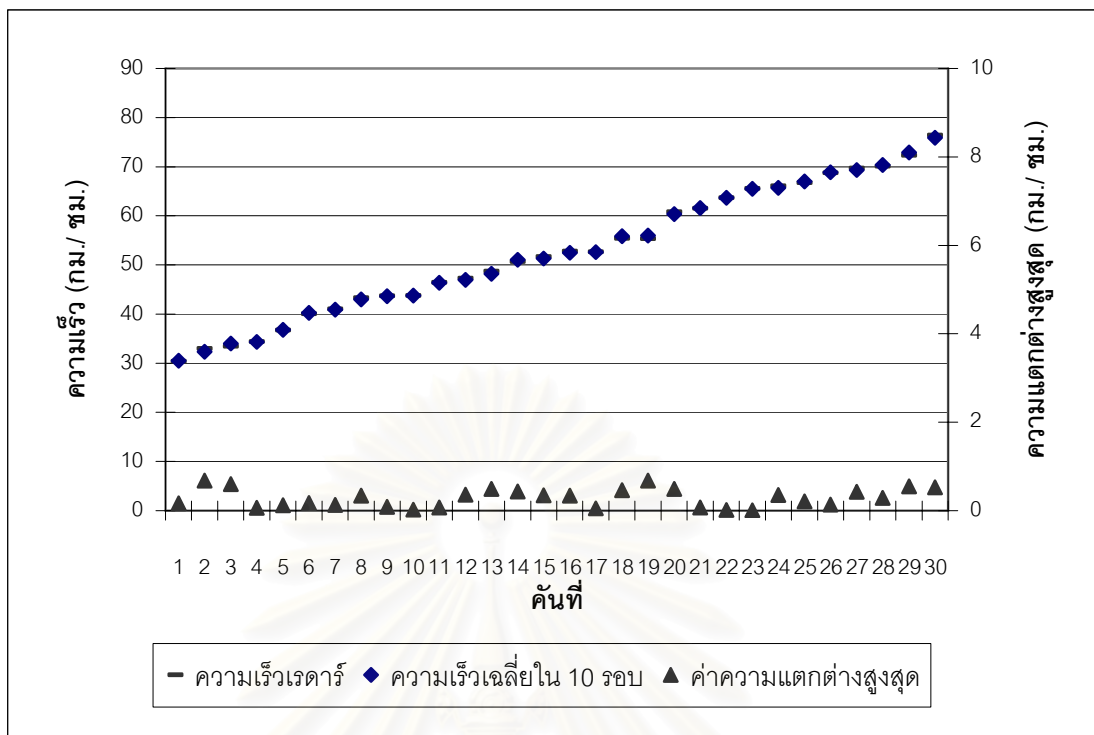


รูปที่ 4.29 แผนภูมิแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 30 คันที่มุม 20 องศา มุมกด 35 องศา

ค) ค่าความแตกต่าง

มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 0.282 กม./ ชม. มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด เป็น 0.211 กม./ ชม.

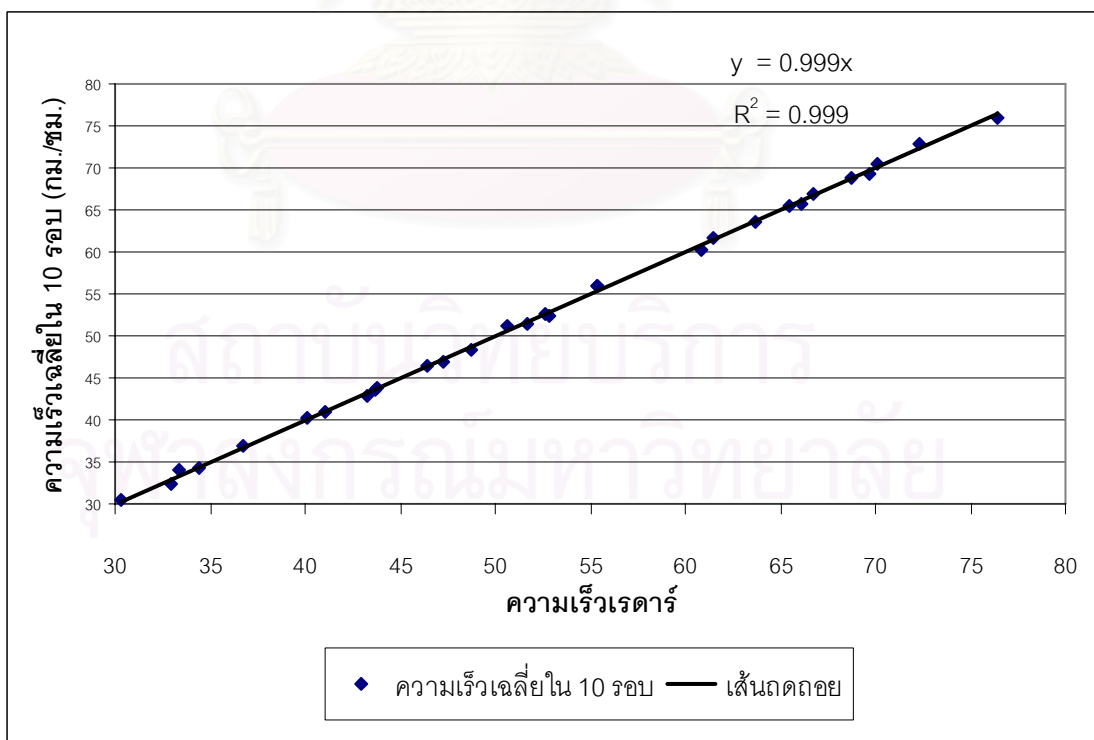
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.30 แผนภูมิแสดงความแตกต่างสูงสุด ที่มุม 20 องศา มุมกด 35 องศา

ง) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 0.367 กม./ ชม.



รูปที่ 4.31 แผนภูมิแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ ที่มุม 20 องศา มุมกด 35 องศา

สรุปการทดลองโดยนำค่าต่างๆ ที่สำคัญ มาสรุปเป็นตารางได้ดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปค่าต่างๆ จากการทดลอง

การทดลองที่ / มุม (องศา)	1		2		3	
มุม (องศา)	0		5		20	
มุมก้ม (องศา)	20	35	20	35	20	35
พิสัยความเร็ว (กม./ชม.)	42-74	37-71	37-68	49-94	56-95	30-76
จำนวนรถ (คัน)	30	30	30	30	30	30
ตรวจจับตำแหน่ง รถยนต์ผิดพลาต (ร้อยละ)	7.6	5.7	6.3	5.3	6.3	6.7
ตรวจวัดความเร็วไม่ได้ (ร้อยละ)	8.6	7.7	8.0	7.3	7.6	8.3
90 ของ CV (ร้อยละ)	1.05	2.48	1.30	0.87	1.55	2.88
ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง สูงสุด (กม./ชม.)	0.686	0.403	0.292	0.541	0.416	0.282
ความเบี่ยงเบน มาตรฐานความ แตกต่างสูงสุด (กม./ชม.)	0.493	0.376	0.288	0.614	0.312	0.211
ความชันของเส้น ถดถอย	0.980	1.010	1.023	0.954	1.011	0.996
R^2	0.993	0.996	0.952	0.998	0.998	0.999
SD เทียบกับ เส้นถดถอย (กม./ชม.)	0.758	0.545	2.453	0.637	0.496	0.367

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองตามสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้ในงานวิจัยประกอบด้วย 2 ประเด็นที่สำคัญคือ ความสม่ำเสมอของระบบและความแม่นยำของความเร็วที่ระบบให้ เป็นผลลัพธ์

4.5.1 ความสม่ำเสมอของระบบ

การพิจารณาความสม่ำเสมอหรือความมีเสถียรภาพของโปรแกรมต้นแบบในการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ จะพิจารณาว่าโปรแกรมมีความสามารถในการตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ คันเดียวกันแล้วได้ผลเหมือนกันทุกครั้งในการเล่นเทปซ้ำหรือไม่ โดยผลของการตรวจจับตำแหน่งอาจจะเป็นได้ทั้ง ตรวจจับได้และตรวจจับไม่ได้ หากโปรแกรมมีเสถียรภาพของระบบดีมาก ผลของการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์คันเดียวกันในการเล่นเทปซ้ำ ควรจะได้ผลเช่นเดียวกัน เช่น ตรวจจับตำแหน่งได้ทุกรอบ หรือ ตรวจจับตำแหน่งไม่ได้ทุกรอบ

ในการทดลองได้ทำการทดลองโดยเล่นเทปซ้ำทั้งหมด 10 รอบ สำหรับรถยนต์แต่ละคัน จากการทดลองพบว่ามีโอกาสที่โปรแกรมต้นแบบจะตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ได้ไม่เสถียร (บางรอบตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ได้ แต่บางรอบตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ไม่ได้) โดยพบว่า จำนวนครั้งมากที่สุดที่การตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ไม่เสถียรสำหรับรถยนต์คันเดียวกันคือ 1 ใน 10 ครั้ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกรณีดังกล่าวจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก นั่นคือในการทดลองกับรถยนต์จำนวน 30 คัน ทดลองซ้ำ 10 รอบ รวมเป็น 300 ครั้งนั้น ความไม่เสถียรของการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ที่พบมีเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น

ปัญหาความไม่เสถียรในการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์นี้เกิดขึ้นเนื่องจากการกระโดดของเฟรม โดยในการคำนวณของโปรแกรมต้นแบบนั้น ไม่ได้กำหนดให้มีการคำนวณสำหรับทุกเฟรม แต่ให้มีการ skip frame ทุก 3 เฟรม เพื่อลดเวลาในการประมวลผล ทำให้มีโอกาสที่เฟรมภาพที่นำเข้ามาในการพิจารณาแต่ละรอบนั้นเป็นคนละเฟรมกัน และส่งผลให้เกิดการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ที่แตกต่างกันได้

ในงานวิจัยนี้ยังได้ทดลองเพื่อดูความสม่ำเสมอของระบบในการวัดความเร็วของรถยนต์ ซึ่งเป็นการทดสอบว่าในการเล่นเทปซ้ำกันหลายๆ ครั้ง ของรถยนต์คันเดิม ระบบจะต้องให้ผลลัพธ์ ซึ่งเป็นความเร็วของรถยนต์เป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยสามารถพิจารณาการกระจายของข้อมูลความเร็วรถในแต่ละรอบกับความเร็วเฉลี่ยทั้ง 10 รอบ โดยใช้ค่า CV ในงานวิจัยที่ผ่านมาระบุว่า สำหรับระบบที่มีความสม่ำเสมอในการวัดความเร็วแล้ว ควรจะมีค่า CV ไม่เกิน 5% [7]

ผลจากการทดลองในงานวิจัยที่เสนอนี้พบว่า

การทดลองที่ 1 ที่มี 0 องศา ซึ่งกล้องติดตั้งอยู่เหนือช่องทางจราจรพอดีนั้น ที่มีมุมกวด 20 องศา ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.4% ถึง 1.2 % โดยค่า CV ส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 90 นั้นจะมีค่าน้อยกว่า 1.1% ส่วนที่มีมุมกวด 35 องศา ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.74% ถึง 3.2% โดยค่า CV ส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 90 มีค่าน้อยกว่า 2.5%

การทดลองที่ 2 กล้องเลื่อนไปทางซ้ายเล็กน้อย ที่มีมุมกวด 20 องศา ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.3% ถึง 1.9 % โดยค่า CV ส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 90 นั้นจะมีค่าน้อยกว่า 1.3% ส่วนที่มีมุมกวด 35 องศา ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.2% ถึง 1.8% โดยค่า CV ส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 90 มีค่าน้อยกว่า 0.9%

การทดลองที่ 3 กล้องเลื่อนไปทางซ้ายเพิ่มขึ้น ที่มีมุมกวด 20 องศา ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.6% ถึง 1.6 % โดยค่า CV ส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 90 นั้นจะมีค่าน้อยกว่า 1.6% ส่วนที่มีมุมกวด 35 องศา ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.6% ถึง 3.4% โดยค่า CV ส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 90 มีค่าน้อยกว่า 2.9%

ค่า CV หรือค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ที่นำเสนอนี้เป็นค่าที่ใช้บอกปริมาณความแตกต่างของข้อมูลภายในกลุ่มเมื่อเทียบเป็น 100 ส่วนของค่าเฉลี่ย โดยสามารถแปลความหมายได้ดังนี้คือ ค่า CV ซึ่งมีค่า 0.4% หมายความว่า ในช่วงความเร็วของรถยนต์ที่แล่นมาด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. นั้น ในการวัดหาความเร็วแต่ละรอบ จะได้ความแตกต่างของค่าความเร็ว อยู่ที่ 0.4 กม./ชม. นั่นคือความเร็วที่คำนวณได้ในแต่ละรอบจะอยู่ที่ช่วง 99.6 ถึง 100.4 กม./ชม. เท่านั้น หรือค่า CV ที่มีค่า 3.2% มีความหมายว่า ในช่วงความเร็วของรถยนต์ที่แล่นมาด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. นั้น ความเร็วของรถยนต์ที่โปรแกรมวัดออกมา จะได้ความแตกต่างของค่าความเร็ว (เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็ว 100 กม./ชม.) อยู่ที่ 3.2 กม./ชม. นั่นคือคำนวณได้ความเร็วอยู่ในช่วง 96.8 ถึง 103.2 กม./ชม.

จากการทดลองทั้ง 3 การทดลอง พบว่า ค่า CV มากที่สุดเท่ากับ 3.4% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5% จึงถือได้ว่าระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีความสม่ำเสมอในการหาความเร็วรถยนต์อยู่ในระดับดี

4.5.2 ความแม่นยำของความเร็วที่ระบบให้เป็นผลลัพธ์

การวิเคราะห์ความแม่นยำของความเร็วที่ระบบให้เป็นผลลัพธ์ จะเปรียบเทียบความเร็วที่ระบบคำนวณได้ในแต่ละรอบ กับเรดาร์ตรวจจับความเร็ว แล้วคำนวณหาค่า CV ของค่าความแตกต่างสูงสุดออกมาพิจารณา แล้วค่า CV เป็นช่วงต่างๆ เพื่อหาความถี่หรือจำนวนข้อมูลของค่า CV แต่ละช่วงนั้นๆ โดยสามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิในรูปที่ 4.7, 4.11, 4.15, 4.19, 4.23, 4.27 ตามลำดับ ผลจากการทดลองพบว่า

ในการทดลองที่ 1 ที่มุกด 20 องศา ค่า CV ความแตกต่างสูงสุด อยู่ในช่วง 0 ถึง 3.8% โดยมีช่วงค่า CV ที่มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5% มีความถี่เท่ากับ 102 ครั้ง และค่า CV ร้อยละ 90 มีค่าน้อยกว่า 2% ส่วนที่มุกด 35 องศา ค่า CV ความแตกต่างสูงสุด อยู่ในช่วง 0 ถึง 3.9% โดยมีช่วงค่า CV ที่มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5% มีความถี่เท่ากับ 90 ครั้ง และค่า CV ร้อยละ 90 มีค่าน้อยกว่า 3%

ในการทดลองที่ 2 ที่มุกด 20 องศา ค่า CV ความแตกต่างสูงสุด อยู่ในช่วง 0 ถึง 3.8% โดยมีช่วงค่า CV ที่มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5% มีความถี่เท่ากับ 130 ครั้ง และค่า CV ร้อยละ 90 มีค่าน้อยกว่า 2% ส่วนที่มุกด 35 องศา ค่า CV ความแตกต่างสูงสุด อยู่ในช่วง 0 ถึง 3.6% โดยมีช่วงค่า CV ที่มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5% มีความถี่เท่ากับ 114 ครั้ง และค่า CV ร้อยละ 90 มีค่าน้อยกว่า 2.5%

ในการทดลองที่ 3 ที่มุกด 20 องศา ค่า CV ความแตกต่างสูงสุด อยู่ในช่วง 0 ถึง 3.4% โดยมีช่วงค่า CV ที่มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5% มีความถี่เท่ากับ 102 ครั้ง และค่า CV ร้อยละ 90 มีค่าน้อยกว่า 2.5% ส่วนที่มุกด 35 องศา ค่า CV ความแตกต่างสูงสุด อยู่ในช่วง 0 ถึง 3.5% โดยมีช่วงค่า CV ที่มีความถี่สูงสุดอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5% มีความถี่เท่ากับ 110 ครั้ง และค่า CV ร้อยละ 90 มีค่าน้อยกว่า 2.5%

ผลของการทดลองทั้ง 3 การทดลอง แสดงให้เห็นว่า ค่า CV ความแตกต่างสูงสุด มีค่าไม่เกิน 3.9% และข้อมูลส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 85.4 มีค่า CV น้อยกว่า 2% นั่นคือ หากรถยนต์แล่นมาด้วยความเร็วจริง 100 กม./ชม. ระบบคอมพิวเตอร์จะสามารถคำนวณความเร็วได้แตกต่างไม่เกิน 2 กม./ชม. นั่นคืออยู่ในช่วง 98 ถึง 102 กม./ชม.เท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความผิดพลาดในการวัดความเร็วอยู่ที่ 2 กม./ชม. [7] นั้น แสดงว่า ระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีความแม่นยำในการหาความเร็วรถยนต์

จากการวิเคราะห์ผลการตรวจจับความเร็วของรถยนต์ที่ได้ทดลองนั้น ปรากฏว่าปัจจัยที่มีผลต่อการหาความเร็วของรถยนต์ ประกอบด้วย การกำหนดมุมมองของกล้องวิดีโอทัศน และความเร็วของรถยนต์ที่แล่นมาขณะนั้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การพิจารณาจากการกำหนดมุมมองของกล้องวิดีโอทัศน

การกำหนดมุมมองของกล้องวิดีโอทัศนมีผลต่อการตรวจจับให้พบตำแหน่งของรถยนต์ โดยจากการทดลองพบว่าในการทดลองที่ 1 ที่มุม 0 องศา ซึ่งกล้องติดตั้งอยู่เหนือช่องทางจราจรพอดีนั้น การทดลองนี้จะมองเห็นความสว่างของแสงสะท้อนจากดวงไฟหน้ารถบนถนนได้ชัดเจนมาก โดยความสว่างของแสงสะท้อนบนถนนจะสว่างใกล้เคียงกับความสว่างของดวงไฟหน้ารถ ทำให้อยู่ในแนวเดียวกัน จึงทำให้ระบบคอมพิวเตอร์ตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ผิดพลาดมาก โดยในการทดลองที่มุมกวด 20 องศา นั้น มีการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ผิดพลาด ถึงร้อยละ 7.6 ส่งผลให้ไม่สามารถตรวจจับความเร็วของรถยนต์ได้ถึงร้อยละ 8.6 ซึ่งมีค่ามากที่สุดในการทดลอง ส่วนในการทดลองที่มุมกวด 35 องศา นั้น กล้องมีมุมกวดมากขึ้น ทำให้สามารถแยกความแตกต่างของความสว่างระหว่างดวงไฟหน้ารถกับแสงสะท้อนบนถนนได้ชัดเจนกว่า โดยระบบคอมพิวเตอร์สามารถตรวจจับรถยนต์ได้ถูกต้องมากขึ้น ความผิดพลาดเหลือเพียงร้อยละ 5.7 และไม่สามารถตรวจจับความเร็วของรถได้เพียงร้อยละ 7.7

การทดลองที่ 2 ที่มุม 5 องศา กล้องเลื่อนไปทางซ้ายเล็กน้อย (ทำมุมกับช่องทางจราจรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย) ในการทดลองนี้แสงสะท้อนของดวงไฟหน้ารถที่ทอดลงบนถนน จะมีความสว่างน้อยกว่า และมีลักษณะการกระจายของความสว่างมากกว่าแสงสะท้อนของดวงไฟหน้ารถ ซึ่งเป็นผลจากมุมกล้องที่ทำมุมกับช่องทางจราจรเพิ่มขึ้นนั่นเอง ดังนั้นระบบคอมพิวเตอร์จึงสามารถตรวจจับตำแหน่งของรถยนต์ได้ถูกต้องมากกว่าในการทดลองที่ 1 โดยที่มุมกวด 20 องศา นั้น มีการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ผิดพลาดร้อยละ 6.3 และไม่สามารถตรวจจับความเร็วได้ร้อยละ 8 ส่วน ที่มุมกวด 35 องศา นั้น มีการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ผิดพลาดเหลือเพียงร้อยละ 5.3 และไม่สามารถตรวจจับความเร็วได้ร้อยละ 7.3

การทดลองที่ 3 ที่มุม 20 องศา กล้องเลื่อนไปทางซ้ายเพิ่มขึ้น ในการทดลองนี้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ได้ดีขึ้น มีค่าใกล้เคียงกับในการทดลองที่ 2 โดยที่มุมกวด 20 องศา นั้น มีการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ผิดพลาดร้อยละ 6.3 และไม่สามารถตรวจจับความเร็วได้ร้อยละ 7.6 ส่วน ที่มุมกวด 35 องศา นั้น มีการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ผิดพลาดเหลือเพียงร้อยละ 6.7 และไม่สามารถตรวจจับความเร็วได้ร้อยละ 8.3

2) การพิจารณาจากความเร็วของรถยนต์

ในการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่ตรวจจับได้จากระบบคอมพิวเตอร์ โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยใน 10 รอบสำหรับรถยนต์แต่ละคัน กับความเร็วที่วัดได้จากเรดาร์ตรวจจับความเร็ว โดยในทั้งสามการทดลองให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน คือ เมื่อความเร็วรถยนต์สูงขึ้น จะมีความคลาดเคลื่อนกับความเร็วที่วัดจากเรดาร์มากขึ้นเช่นกัน ความคลาดเคลื่อนของความเร็วนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก ในการคำนวณหาตำแหน่งของดวงไฟหน้ารถนั้น คำนวณได้เป็นบริเวณที่อยู่เหนือพื้นถนน จึงเกิดความผิดพลาดพาราแลกซ์ขึ้น โดยผลการทดลองพบว่า

ในช่วงความเร็วรถยนต์ระหว่าง 30 กม./ชม. ถึง 60 กม./ชม. มีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุดอยู่ในช่วง 0.1 กม./ชม. ถึง 0.5 กม./ชม.

ในช่วงความเร็วรถยนต์ระหว่าง 60 กม./ชม. ถึง 80 กม./ชม. มีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุดอยู่ในช่วง 0.7 กม./ชม. ถึง 2 กม./ชม.

ในช่วงความเร็วรถยนต์ที่สูงกว่า 80 กม./ชม. จะมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุดอยู่ในช่วง 2 กม./ชม. ถึง 3 กม./ชม.

โดยสรุปแล้วขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นนี้จะให้ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.952 ถึง 0.999 ซึ่งโดยปกติค่า R^2 นี้จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 หากมีค่าใกล้ 1 มากแสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมาก แสดงว่าค่าความเร็วที่ได้จากระบบคอมพิวเตอร์มีความสัมพันธ์กับความเร็วจริงมาก มีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุดอยู่ในช่วง 0.282 กม./ชม. ถึง 0.686 กม./ชม. และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างสูงสุดอยู่ในช่วง 0.211 กม./ชม. ถึง 0.614 กม./ชม.

ในงานวิจัยนี้เป็นการหาความเร็วรถยนต์แบบทันทีกาล (Real Time) ซึ่งหมายถึงการที่โปรแกรมสามารถคำนวณความเร็วของรถยนต์ที่แล่นเข้ามาในเฟรมได้เสร็จสิ้นและสามารถจะคำนวณความเร็วของรถคันต่อไปได้ทัน โดยจากการทดลองโปรแกรมต้นแบบพบว่าใช้เวลาในการประมวลผลตั้งแต่รับภาพการจราจรเข้ามาจนกระทั่งคำนวณความเร็วของรถยนต์เสร็จสิ้นใช้เวลาเพียง 0.83 วินาที

4.6 ความผิดพลาดในการวัดความเร็ว

1. ถ้าเส้นกำหนดระยะทางห่างจากช่องทางจราจรมากขึ้น จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณระยะทางมาก
2. ความผิดพลาดของอุปกรณ์เรดาร์ตรวจจับความเร็วซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการเปรียบเทียบความเร็วกับความเร็วที่ได้จากระบบคอมพิวเตอร์ โดยอุปกรณ์เรดาร์ตรวจจับความเร็วมีความผิดพลาดประมาณ 2 กม./ ชม.
3. แผ่นวงจรจับเฟรมมีปัญหา ไม่สามารถจับเฟรมติดต่อกันทุกเฟรม และเกิดการหยุดชะงัก โดยไม่สามารถจับภาพได้เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาสั้น
4. ความผิดพลาดเนื่องจากมุมมองของกล้องทำให้บริเวณที่ไกลกล้องมีขนาดเล็ก ดังนั้นการคำนวณระยะทางในบริเวณที่อยู่ไกลกล้องจะมีความผิดพลาดมากกว่าบริเวณที่อยู่ใกล้กล้องมากกว่า

4.7 ข้อจำกัด

1. สามารถตรวจจับความเร็วของรถยนต์ได้เพียง 1 ช่องทางจราจร
2. มุมกล้องเป็นมุมมองจากที่สูงลงมา ไม่สามารถติดตั้งที่ระดับผิวถนนได้
3. เส้นกำหนดระยะทางสามารถเอียงเมื่อเทียบกับแนวตั้งของภาพ (แกน Y) ในภาพได้สูงสุด 45 องศา สาเหตุเนื่องจากการที่ระบบคำนวณฟังก์ชันการประมาณค่ากำลังสามโดยใช้ค่าของแกน Y เพียงค่าเดียว เมื่อเส้นกำหนดระยะทางเอียงมากกว่า 45 องศาแล้ว จะทำให้การคำนวณระยะทางมีความผิดพลาดมากกว่าใช้ค่าของแกน X มาคำนวณ จึงไม่ควรทำ
4. เมื่อรถมีการเปลี่ยนช่องทางจราจร ระบบไม่สามารถคำนวณความเร็วของรถได้
5. งานวิจัยนี้ไม่รวมการแก้ความผิดพลาดพาราแลกซ์ไว้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยโดยสรุปจากการทดลองการวัดความเร็วรถยนต์ในเวลา กลางคืนแบบทันกาลจากภาพวิดีโอที่บันทึกด้านหน้ารถ รวมถึงข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการ พัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เน้นการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวัดความเร็วของรถยนต์จากภาพที่ได้จาก สัญญาณวิดีโอที่บันทึก โดยการทำงานเป็นแบบทันกาล (Real Time) หาความเร็วของรถยนต์จำกัดอยู่ ในหนึ่งช่องทางจราจรเท่านั้น โดยมุมมองเป็นมุมมองจากที่สูงลงมา

ในการตรวจวัดความเร็วนั้นได้กำหนดกรอบตรวจวัดในช่องทางวิ่งของรถ โดยมี เครื่องหมายกำหนดระยะทางไว้ข้างช่องทางจราจร ก่อนใช้งานต้องตรวจวัด (Calibrate) กับ ระยะทางจริงบนถนน ต่อมาจึงตรวจหาตำแหน่งของดวงไฟหน้ารถยนต์ในกรอบตรวจวัด เพื่อหา ระยะอ้างอิงของตำแหน่งรถยนต์ การคำนวณหาระยะอ้างอิงของตำแหน่งรถยนต์นั้นใช้ฟังก์ชันการ ประมาณค่าในช่วงกำลังสามในการหาค่า โดยค่าที่ใช้ในการคำนวณได้จากเครื่องหมายกำหนด ระยะทางบนพื้นถนน จากนั้นจะตรวจหารถยนต์ในเฟรมถัดไป และจะทำการหาระยะอ้างอิง ตำแหน่งรถยนต์ด้วยวิธีทำนองเดียวกัน ก็จะสามารถหาระยะทางที่รถเคลื่อนไปได้ เมื่อนำเวลาที่ใช้ ในการเคลื่อนที่มารหาระยะทางดังกล่าวก็จะสามารถคำนวณความเร็วของรถยนต์คันดังกล่าวได้ กรอบตรวจวัดที่กำหนดและอัตราจับเฟรมของภาพได้จำกัดช่วงการตรวจวัดความเร็วเป็นระหว่าง 30 กม. ถึง 95 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในการวัดความเร็วที่มีความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วของรถยนต์ที่วัด จากเรดาร์ตรวจวัดความเร็ว โดยรถยนต์ที่แล่นมาด้วยความเร็วสูงจะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่า รถยนต์ที่แล่นมาด้วยความเร็วต่ำ ตัวอย่างเช่น รถยนต์ที่แล่นมาด้วยความเร็ว 70 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมงเมื่อตรวจวัดด้วยเรดาร์ ระบบจะคำนวณได้ความเร็วเป็น 69.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ รถยนต์ที่แล่นมาด้วยความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (เมื่อวัดด้วยเรดาร์) ระบบจะคำนวณ ความเร็วได้ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเช่นเดียวกัน ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดเนื่องจากมุมมองของภาพ

โดยภาพในระยะใกล้กว่าจะมีขนาดเล็กลงทำให้ความกว้างของแถบที่ใช้เป็นเครื่องตรวจจับรถ แทนที่พื้นถนนด้วยพื้นที่ที่ใหญ่ขึ้น (1 pixel) โดยภาพที่ถ่ายเป็นมุมมองออกไปไกลเท่าใดก็จะมีปัญหานี้มากเท่านั้น

จากการทดลองพบว่าการวัดความเร็วของรถยนต์ในงานวิจัยนี้ ทั้ง 3 การทดลอง คือที่ มุมกล้อง 0 องศา 5 องศา และ 20 องศา ด้วยมุมกวดสองมุม คือ 20 และ 35 องศา เมื่อเปรียบเทียบกับ การวัดความเร็วด้วยเรดาร์ตรวจจับความเร็วจะมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด ประมาณ 0.408 กิโลเมตรต่อ โดยเทียบความเร็วที่ได้กับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ซึ่งมีความ ผิดพลาดประมาณ 2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เมื่อพิจารณาจากสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับความสม่ำเสมอและความแม่นยำของการหา ความเร็วรถยนต์ สามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมมีความสม่ำเสมอในการตรวจหาความเร็วของรถยนต์ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) ของการหาความเร็วรถยนต์ในแต่ละรอบ มีค่ามากที่สุด เพียง 3.7% เมื่อนิยามความสม่ำเสมอของระบบดังที่ระบุในงานวิจัยที่ผ่านมาว่า ค่า CV ควรจะมี ค่าน้อยกว่า 5% [7] ส่วนความแม่นยำของการหาความเร็วรถยนต์จะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ปัจจัยคือ มุมมองของกล้องวีดิทัศน์และความเร็วของรถยนต์ที่แล่นมาในขณะนั้น ปรากฏว่า มุมมองของกล้องวีดิทัศน์ที่โปรแกรมสามารถคำนวณหาความเร็วของรถยนต์ได้ใกล้เคียงกับเรดาร์ โดยมีความคลาดเคลื่อนกับเรดาร์น้อยที่สุดคือ การติดตั้งกล้องที่มุม 5 องศา กับแนวช่องทางจราจร ของรถ และใช้มุมกวด 35 องศา ซึ่งจะมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างสูงสุดอยู่ที่ 0.2 กม./ ชม. เท่านั้น ส่วนปัจจัยด้านความเร็วของรถยนต์ที่แล่นมาในขณะทำการทดลองนั้น พบว่า โปรแกรมสามารถหาความเร็วของรถยนต์ได้ดีที่สุด มีความคลาดเคลื่อนจากเรดาร์น้อยที่สุด หากรถยนต์วิ่งมาด้วยความเร็วระหว่าง 30 ถึง 60 กม./ ชม. โดยโปรแกรมสามารถทำงานได้แบบ ทันกาล คือสามารถคำนวณหาความเร็วของรถยนต์ที่แล่นเข้ามาเสร็จสิ้นในเวลาเพียง 0.83 วินาที เท่านั้น

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. การตรวจจับความเร็วของรถยนต์ในช่วงเวลาที่มีรถยนต์เป็นจำนวนมากบนท้องถนน นั้น พบว่า หากความเร็วของรถยนต์ที่สามารถแล่นได้บนถนนมีค่าน้อยกว่า 35 กม./ชม. และ รถยนต์จะแล่นมาชนกันมาก มีระยะห่างระหว่างคันน้อย ทำให้การวัดความเร็วโดยเรดาร์มีความ ลำบาก นอกจากนี้จะเกิดการบังกันของรถยนต์คันหน้ากับแสงของดวงไฟหน้ารถของรถยนต์คัน หลัง ทำให้ไม่สามารถตรวจจับความเร็วของรถยนต์ได้เช่นเดียวกัน

2. การทดลองในงานวิจัยนี้ไม่ได้รวมถึงการตรวจวัดความเร็วของรถยนต์ที่แล่นมาด้วยความเร็วสูงกว่า 95 กม./ชม. เนื่องจากภาพจราจรที่ใช้ในการทดลองนั้น เป็นถนนที่อยู่ในเขตชุมชน ความเร็วของรถยนต์จะไม่สูงเทียบเท่ากับถนนเส้นทางหลัก เช่น ถนนวิภาวดี เป็นต้น ทั้งนี้สาเหตุที่ไม่สามารถนำภาพจราจรในบริเวณที่รถยนต์แล่นด้วยความเร็วสูงมาทดลองได้ เนื่องจากไม่สามารถหาสะพานลอยได้ในบริเวณนั้น

3. การทำเครื่องหมายกำหนดระยะทางโดยการใช้เทปขาว หรือกระดาษสะท้อนแสง ไปติดลงบนถนนในช่องทางที่รถยนต์แล่นผ่านนั้น ปรากฏว่าเนื่องจากเป็นเวลากลางคืน จะไม่สามารถมองเห็นเครื่องหมายกำหนดระยะทางดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในการทดลองจึงจำเป็นต้องอาศัยเครื่องหมายกำหนดระยะทางที่ฝังอยู่บนถนนอยู่แล้ว (เป็นจุดที่ฝังแก้ว)

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาโปรแกรมและทดลองวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้พบว่ายังมีส่วนที่ควรปรับปรุงเพื่อให้การตรวจวัดความเร็วรถยนต์ในเวลากลางคืนแบบทันทีจากภาพวีดิทัศน์ด้านหน้ามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังต่อไปนี้

1. พัฒนาโปรแกรมต้นแบบให้สามารถตรวจวัดความเร็วรถยนต์ได้ที่ละหลายๆช่องจราจรพร้อมๆกันในการประมวลผลแต่ละครั้ง โดยใช้วิธีเดิม แต่เพิ่มจำนวนกรอบตรวจจับให้มากขึ้นและลดความยาวของกรอบตรวจจับให้สั้นลง
2. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถตรวจนับยานพาหนะได้ รวมทั้งสามารถตรวจจับรถยนต์รับจ้างไม่ประจำทาง (Taxi) ได้ โดยใช้วิธีการตรวจจับรูปแบบของดวงไฟบนหลังคาของรถที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม ไม่ได้เป็นลักษณะที่สมมาตรเหมือนดวงไฟหน้ารถ
3. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถทดลองกับภาพที่ใช้งานจริงที่มีการติดตั้งระบบไว้แล้ว เช่น ภาพจากระบบจราจรบนทางด่วน หรือภาพจากกล้อง CCTV ที่ติดอยู่บนถนนในปัจจุบัน
4. พัฒนาโปรแกรมให้เพิ่มความสามารถในการปรับค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติได้ (Adaptive Threshold) เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้ค่า Threshold ที่เป็นค่าคงที่ ซึ่งการพัฒนาต่อไปในอนาคตนั้น ควรจะปรับปรุงให้ค่า Threshold นี้ให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เอง โดยค่า Adaptive Threshold นี้จะเป็นค่าที่สามารถใช้ได้กับทุกสภาพการจราจรที่อาจจะมีหมอก ควัน ฝนตก หรือกรณีที่ Auto Iris หรือ Auto Focus ของกล้องวีดิทัศน์ปรับไม่ทัน

5. พัฒนาโปรแกรมให้เพิ่มความสามารถในการระบุตำแหน่งรถยนต์ได้อย่างถูกต้องและมีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากหลักการที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้เทคนิคการหาค่าขีดแบ่ง เอนโทรปี ความสมมาตร เท่านั้น ซึ่งสำหรับการตรวจจับตำแหน่งรถยนต์ที่มีไฟตัดหมอกอยู่ด้านล่างหรือมีไฟสูงจะใช้ได้ดีในกรณีที่รถยนต์วิ่งอยู่ใกล้กล้องวีดิทัศน์ เนื่องจากจะเห็นลักษณะสมมาตรของดวงไฟได้ชัดเจนกว่าในขณะที่รถยนต์อยู่ไกลออกไป แต่หากเพิ่มเทคนิคในการพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุ (motion estimation) มาพิจารณาว่ากลุ่มวัตถุใดเคลื่อนที่มาจากด้วยแนวทางการเคลื่อนที่เดียวกัน จะถือเป็นวัตถุเดียวกัน จะทำให้การระบุตำแหน่งรถยนต์ถูกต้องมากยิ่งขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. สรวิต นฤปิติ. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในระบบขนส่งอัจฉริยะ (ITS. จาก: http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~kong/GIS_in_ITS_2.pdf.
2. Viroat Srisuapanon. 1993. Analysis of Traffic Data Using the Image Processing Approach. Master's thesis Department of computer Science Graduate School Asian Institute of Technology.
3. Cochran , D. L. 2004. Typical Speed Monitoring Highway Types And Some Data Collection. from: <http://bridge.ecn.purdue.edu/~speed/Photos/traf-photo.htm>.
4. Issaquah. 2004. Patrol and Traffic. from: <http://www.ci.issaquah.wa.us>.
5. Flemmer K. 2001. Traffic management system now available for most Twin Cities roadways. from: <http://www.dot.state.mn.us/newsline/archive/01/may/9.html>.
6. S. Jung, B.T. Chun, and M. Wang. October 1995. Analysis of Road Image Sequences for Vehicle Counting. Intelligent Systems for the 21st Century IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 1. (October 1995) : 679 – 683.
7. กฤษฎา โชคสินอนันต์. 2542. การตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. Tun-Wen Pai , Wen-Jung Juang and Lee-Jyi Wang. 2001. An adaptive windowing prediction algorithm for vehicle speed estimation. Proceeding of Intelligent Transportation System. (2001) : 901 – 906.
9. Taktak, R. , Dufaut, M. and Husson, R. 1994. Vehicle detection at night using image processing and pattern recognition. Proceeding of the ICIP-94Conference on Image Processing (1994) : 296 - 300.
10. J.C. Rojas, and J.D. Crisman. November 1997. Vehicle Detection in Color Images. IEEE Conference on Intelligent Transportation System (November 1997) : 403 - 408.

11. R.Cucchiara, M. Piccardi, and P. Mello. June 2000. Image analysis and rule-based reasoning for a traffic monitoring system. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Volume:1, Issue:2 (June 2000) : 119 - 130..
12. Marinus B. Van Leeuwen and Frans C.A. Groen. 2002. Vehicle detection with a mobile camera. Intelligent Autonomous Systems Group. Faculty of Science , University of Amsterdam, Amsterdam
13. Ming-Yang Chern, and Ping-Cheng Hou. September 2003. The lane recognition and vehicle detection at night for a camera-assisted car on highway. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) vol.2 (September 2003) : 2110 - 2115.
14. A. Rosenfeld, and C. Kak. 1976. Digital Picture Processing. U.K.: Academic Press(London),
15. D. Marr and E. Hildreth. Theory of Edge Detection. Proc. R Soc (London),
16. R.C. Gonzalez and R.E. Woods. 2002. Digital Image Processing. U.S.A.: Prentice-Hall,
17. David A. Forsyth & Jean Ponce. 2002. Computer Vision - A modern Approach. Ed. 1. ครั้งที่พิมพ์ (ถ้ามี). Prentice Hall,
18. ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2544. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
19. F. Siegel and C.J. Morgan. 1996. Statistic and Data Analysis: An Introduction. U.S.A: John Wiley & Sons,



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

บทความที่นำเสนอในงานการประชุมวิชาการ

บทความเรื่อง “ Real – Time Vehicle’s Speed Detection at Night Using Video Image Processing” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 1st Northeastern Computer Science and Engineering Conference 2005 จัดที่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ระหว่างวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2548 ถึงวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2548 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of The 1st Northeastern Computer Science and Engineering Conference 2005 หน้า 24 - 29



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจจับความเร็วของยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันที
โดยการประมวลผลภาพวีดิทัศน์
Real-Time Vehicle's Speed Detection at Night
Using Video Image Processing

<p>ชรพรรณ โมงเย็น ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Email: tarapan.m@student.chula.ac.th</p>	<p>สืบสกุล พิภพมงคล ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Email: suebskul.p@chula.ac.th</p>
<p>สรวิศ นฤปิติ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Email: sorawit.n@chula.ac.th</p>	

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีการหาความเร็วของยานพาหนะบนถนนในเวลากลางคืนสำหรับหนึ่งช่องทางจราจรแบบทันที (Real-Time) โดยการวิเคราะห์ภาพต่อเนื่องของสัญญาณวีดิทัศน์ การหาความเร็วทำได้โดยการหาตำแหน่งไฟหน้าของยานพาหนะที่เคลื่อนไปบนถนนระหว่างเฟรม 2 เฟรมและหาระยะเวลาระหว่างเฟรม ที่ใช้ตรวจจับนั้น การตรวจจับว่าเป็นไฟหน้าใช้การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของภาพ โดยใช้เทคนิคของการประมวลผลภาพ (Digital Image Processing) ร่วมกับทฤษฎีเรื่อง Entropy และ Symmetry แล้วใช้การประมาณค่าระยะทางการเคลื่อนที่บนถนนของยานพาหนะ วิธีการนี้ทำงานแบบทันทีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความผิดพลาดของความเร็วที่วัดได้เมื่อเทียบกับค่าที่วัดจากอุปกรณ์เรดาร์จับความเร็วอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

คำสำคัญ การตรวจจับยานพาหนะ, การหาความเร็วของยานพาหนะ, การตรวจจับในเวลากลางคืน

1. บทนำ

ในการพัฒนาระบบการควบคุมการจราจรอัตโนมัติจำเป็นต้องมีข้อมูลทางด้านจราจรต่างๆ มาวิเคราะห์ผล เช่น ปริมาณยานพาหนะ ความเร็วของยานพาหนะ ระยะห่างของยานพาหนะ ฯลฯ ในการหาข้อมูลด้านความเร็วของยานพาหนะ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้ Loop Coil Detector อุปกรณ์ Infrared Portable Radar การนับด้วยมือ และการประมวลผลภาพ (Image Processing) เป็นต้น การใช้อุปกรณ์ดังที่

กล่าวข้างต้นมีอุปสรรคอยู่พอสมควร เช่น การใช้ Loop Coil จะมีอายุการใช้งานไม่นาน และอาจเสื่อมสภาพได้ง่ายจากการขูดข้อมถนน การใช้อุปกรณ์เรดาร์จะมีปัญหาเมื่อมีจำนวนรถมากกว่า 1 ช่องทาง ในขณะที่การใช้กล้องวีดิทัศน์มีข้อดีเหนือกว่า เช่น ไม่ถูกกระทบกระเทือนจากการรบกวนบนผิวถนน สามารถย้ายไปตรวจจับความเร็วในบริเวณต่างๆ ได้โดยเปลี่ยนมุมกล้อง ด้วยข้อดีเหล่านี้จึงทำให้มีการบันทึกภาพ จากกล้องวีดิทัศน์มาวิเคราะห์หาข้อมูลด้านความเร็วรถมากขึ้น

กฤษฎา โชคสินอนันต์ [1] ใช้วิธีการประมวลผลภาพ เพื่อตรวจจับความเร็วของรถยนต์แบบทันกาลจากเทปบันทึกภาพอัตโนมัติ โดยแปลงภาพเป็นภาพไบนารีแล้วจะกำหนดกรอบตรวจจับขึ้นมา 2 กรอบขวางช่องทางจราจรที่ต้องการหาความเร็ว ความเข้มของภาพไบนารีจะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีรถผ่านกรอบตรวจจับหรือไม่ ความผิดพลาดของความเร็วจึงวัดได้เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์เรดาร์จับความเร็วอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ Tun-Wen Pai และ Wen-Jung Juang [2] เสนอระบบหาความเร็วของยานพาหนะ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพคำนวณระยะทางการเคลื่อนที่ของพิกเซล แล้วแปลงเป็นระยะทางบนถนนด้วยพารามิเตอร์ที่ทราบค่า โดยระบบนี้สามารถทำงานแบบทันกาลได้และมีประสิทธิภาพของระบบที่ดี แต่ในการหาความเร็วของยานพาหนะในเวลากลางคืนเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่น่าท้าทาย เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างมืดไม่เอื้ออำนวยต่อการตรวจจับยานพาหนะเท่าในเวลากลางวัน จึงทำให้การตรวจจับยานพาหนะยังไม่แม่นยำมากนัก งานวิจัยของ R.Taktak และคณะ [3] ได้เสนอการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนจากดวงไฟหน้า โดยใช้การรู้จำแบบรูป (Pattern recognition) ส่วน R.Cucchiara และคณะ [4][5] เสนอวิธีการตรวจจับยานพาหนะในระบบงานควบคุมจราจร ซึ่งในเวลากลางคืนนั้นจะใช้เทคนิคกระบวนการพื้นฐานวิทยา ตรวจจับดวงไฟแล้วนำมาออกแบบเป็นกฎเกณฑ์พื้นฐานเพื่อใช้ในการติดตามยานพาหนะในรูปภาพต่อไป

งานวิจัยที่กล่าวถึงข้างต้นใช้วิธีการตรวจจับยานพาหนะจากการตรวจสอบค่าความสว่างจากดวงไฟซึ่งหากค่าความสว่างของดวงไฟและสภาพแวดล้อมไม่คงที่อาจทำให้เกิดการตรวจจับดวงไฟผิดพลาดและทำให้การหาความเร็วของยานพาหนะผิดพลาด บทความนี้จึงเสนอวิธีการหาความเร็วของยานพาหนะ โดยในส่วนของ การตรวจจับยานพาหนะนั้นจะใช้วิธีตรวจหาพื้นที่ที่มีความสว่างในภาพ และนำหลักการของเอนโทรปี (Entropy)

และความสมมาตร (Symmetry) มาร่วมพิจารณาด้วย เพื่อช่วยให้การตรวจจับยานพาหนะบนถนนในเวลากลางคืนมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การหาความเร็วของยานพาหนะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นด้วย

2. ทฤษฎีและหลักการ

บทความนี้เสนอวิธีการวัดความเร็วยานพาหนะจากภาพซึ่งได้จากสัญญาณวิดีโอ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การกำหนดกรอบตรวจจับ

เมื่อรับภาพเข้ามา ผู้ใช้จะต้องกำหนดกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรที่ยานพาหนะวิ่งผ่านและจะประมวลผลภาพในบริเวณกรอบตรวจจับที่กำหนดเท่านั้น เพื่อลดจำนวนจุดภาพที่นำมาประมวลผล ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การกำหนดกรอบตรวจจับ

2.2. การตรวจจับยานพาหนะ

จากการวิเคราะห์ภาพเฉพาะบริเวณกรอบตรวจจับจุดภาพที่เป็นพื้นถนนจะมีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมียานพาหนะปรากฏขึ้นจะเกิดแสงของดวงไฟซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความเข้มแสงระหว่างพื้นถนนกับดวงไฟมาก บทความนี้จึงได้ใช้ค่าความสว่างในการตรวจหาตำแหน่งยานพาหนะ โดยใช้เทคนิคการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการทำ Thresholding เพื่อแยกพื้นที่ที่มีความสว่างออกมารวมกับวิธี Run Length Encoding (RLE) และ Union Find เพื่อรวมกลุ่มของพื้นที่ แล้วใช้หลักการของเอนโทรปี (Entropy) และความสมมาตร (Symmetry) มาร่วมพิจารณาในการระบุ

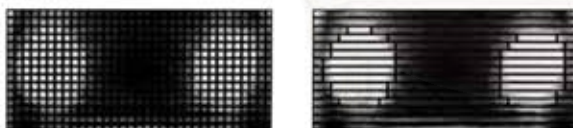
2.2.1. การตรวจจับดวงไฟหน้าของยานพาหนะ

ในการจับตำแหน่งของดวงไฟในภาพตัวอย่างซึ่งแสดงในรูป 1 จะใช้การตรวจสอบความแตกต่างของค่าสีของวัตถุต่างๆในบริเวณกรอบตรวจจับ ทำการทดลองวัด Range ของแต่ละสีจากข้อมูลของภาพที่ใช้ในการทดสอบซึ่งอยู่ใน RGB Format ทำให้สามารถแยก Range ของค่าสีที่แทนความสว่างได้ จะได้สมการ ที่ใช้ในการเลือกวัตถุในภาพ ดังสมการ (1)

$$P[i,j] = \begin{cases} 255 & \text{ถ้า } (P_R[i,j] \geq T_R) \text{ และ } (P_G[i,j] \geq T_G) \\ & \text{และ } (P_B[i,j] \geq T_B) \\ P[i,j] & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (1)$$

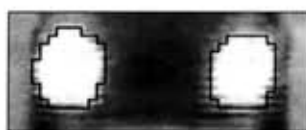
โดยที่ i,j เป็นดัชนี ประจําแถวและคอลัมน์ ตามลำดับ $P[i,j]$ เป็นเมตริกซ์ของรูปภาพ $P_R[i,j]$, $P_G[i,j]$, $P_B[i,j]$ เป็นระนาบสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินของ $P[i,j]$ ตามลำดับ

ขั้นตอนต่อไปจะรวมกลุ่มพื้นที่โดยใช้วิธีการ Run Length Encoding (RLE) [6] พิจารณารูปภาพในแต่ละแถวเพื่อรวมกลุ่มพิกเซลที่มีค่าสี เป็น 255 และเชื่อมต่อกันในแนวนอนเข้าเป็นพื้นที่เดียวกัน ดังรูปที่ 2



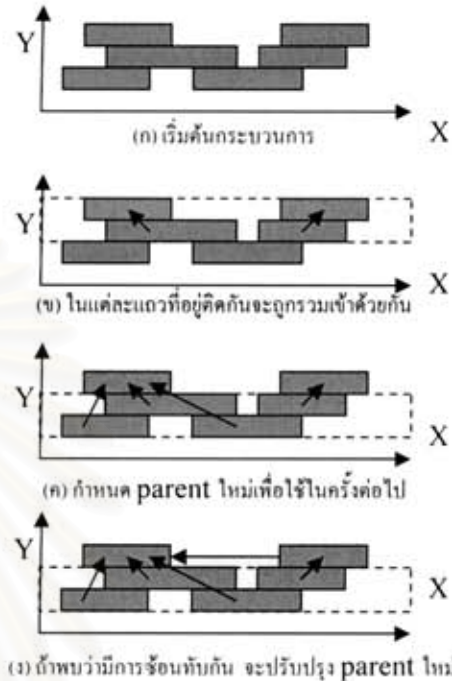
รูปที่ 2 กระบวนการรวมกลุ่มพื้นที่โดยใช้วิธีการ RLE (ซ้าย) รูปภาพต้นฉบับ (ขวา) รูปภาพหลังทำ RLE

หลังจากนั้นจะใช้อัลกอริทึม Union Find [7] เพื่อรวมกลุ่มพื้นที่ที่เชื่อมต่อกันในแนวตั้ง จะได้กลุ่มของพื้นที่แยกออกมาจากพื้นหลังอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กลุ่มของพื้นที่ที่มีความสว่างถูกแยกออกมา โดยใช้วิธี Run Length Encoding และ Union Find

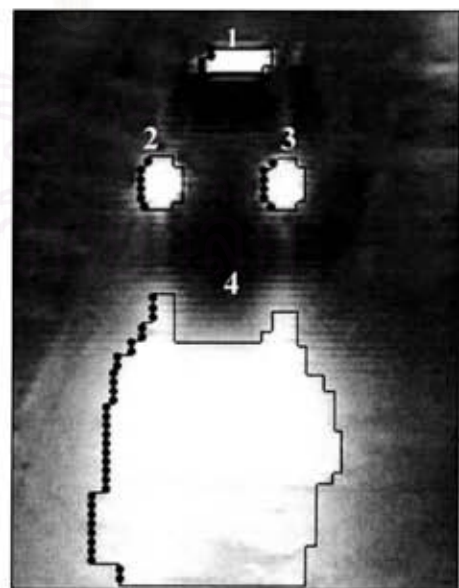
หลักการทํางานของอัลกอริทึม Union Find ที่ใช้ในการรวมกลุ่มพื้นที่ที่เชื่อมต่อกันในแนวตั้งแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 หลักการทํางานของอัลกอริทึม Union Find

2.2.2. การวิเคราะห์ห้กลุ่มพื้นที่โดยใช้หลักการเอนโทรปี

ในการวิเคราะห์ห้กลุ่มพื้นที่ ว่าเป็นดวงไฟของยานพาหนะหรือเป็นแสงสะท้อนบนถนน จะใช้หลักการของเอนโทรปี[8] มาพิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การคำนวณหาค่าเอนโทรปีในแต่ละแถว

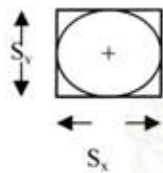
ในการวิเคราะห์โดยใช้หลักการเอนโทรปีนั้นถ้าเป็นดวงไฟแล้วขอบเขตด้านซ้ายและขวา รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงอื่นๆ ที่อยู่ในทิศทางแกนตั้งระหว่างขอบเขตเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดเอนโทรปีสูงๆ (คำนวณไปในทิศทางเส้นแนวนอน) แต่ถ้าเป็นแสงสะท้อนบนถนนนั้นพื้นที่จะมีลักษณะค้อยๆ เปลี่ยนค่าความเข้มแสง พิกเซลที่อยู่ใกล้เคียงกับขอบเขตพื้นที่จึงมีค่าความเข้มแสงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก จะคำนวณได้ค่าเอนโทรปีน้อย จึงสามารถกำจัดพื้นที่หมายเลข 4 ออกไปได้ ในการคำนวณค่าเอนโทรปีนั้น จะคำนวณได้จาก

$$H(x_k) = - \sum p(x_k) \log p(x_k) \quad (2)$$

โดยที่ $p(x_k)$ เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าความเข้มแสง k ซึ่งได้มาจากฮิสโตแกรมความเข้มแสง

2.2.3. การวิเคราะห์พื้นที่ที่ใช้หลักการความสมมาตร

วิเคราะห์คู่ความสมมาตรของพื้นที่ในทิศทางแกนตั้งและแกนนอน ถ้าความกว้างและความสูงของพื้นที่มีระยะเกือบจะเท่ากัน จึงจะตัดสินใจว่าเป็นพื้นที่ดวงไฟ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การพิจารณาความสมมาตรของพื้นที่

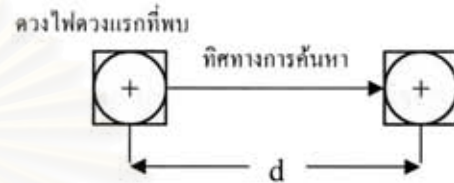
การพิจารณาว่าเป็นพื้นที่ดวงไฟหรือไม่ จะเปรียบเทียบกับค่า Threshold ความแตกต่างของระยะห่างมากที่สุด ($T_{ErrWidth}$) โดยกำหนดเป็นสมการความสมมาตรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ถ้า } |S_y - S_x| \leq T_{ErrWidth} & \text{ เป็นดวงไฟ} \\ \text{กรณีอื่นๆ} & \text{ ไม่เป็นดวงไฟ} \end{aligned} \quad (3)$$

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5 จะใช้หลักการความสมมาตรมาวิเคราะห์ได้ว่าพื้นที่หมายเลข 1 ไม่เป็นพื้นที่ของดวงไฟ เนื่องจากมีค่าความแตกต่างของความกว้างและความสูงมากกว่าค่าระยะห่างมากที่สุด ดังนั้นพื้นที่ที่เป็นดวงไฟจึงได้แก่ พื้นที่หมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ

2.2.4. การจับคู่ดวงไฟของยานพาหนะคันเดียวกัน

การค้นหาดวงไฟซึ่งเป็นของยานพาหนะคันเดียวกัน จะทำการค้นหาไปในทิศทางแกนนอน ถ้าพบพื้นที่ของดวงไฟซึ่งมีระยะห่างจากดวงไฟดวงแรกอยู่ระหว่างค่าคงที่ที่กำหนด จะสร้างกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบ เพื่อระบุแทนตำแหน่งของยานพาหนะ ดังรูปที่ 7



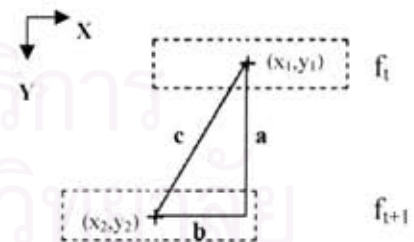
รูปที่ 7 การจับคู่ดวงไฟของยานพาหนะคันเดียวกัน

ในการพิจารณาจะเปรียบเทียบกับค่า Threshold ระยะห่างมากที่สุด (T_D) โดยกำหนดเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ถ้า } d \leq T_D & \text{ เป็นดวงไฟของยานพาหนะคันเดียวกัน} \\ \text{กรณีอื่นๆ} & \text{ เป็นดวงไฟของยานพาหนะคนละคัน} \end{aligned} \quad (4)$$

2.3. การหาระยะทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่

ใช้พิกัดจุดศูนย์กลางของยานพาหนะ ในเฟรมแรก เป็นจุดอ้างอิงแล้วค้นหาจุดศูนย์กลางของยานพาหนะในเฟรมถัดมา ในการค้นหาจะดำเนินการไปในทิศทางแนวแกน Y เลือกยานพาหนะที่มีความแตกต่างทิศทางแกน X ที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 8

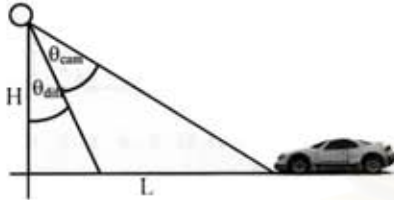


รูปที่ 8 การหาระยะเคลื่อนที่ระหว่างยานพาหนะระยะทางในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะระหว่างสองเฟรมจะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5)$$

โดยที่ $a = (x_2 - x_1)$ เป็นระยะแตกต่างในแกน X
 $b = (y_2 - y_1)$ เป็นระยะแตกต่างในแกน Y
 c เป็นระยะทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ในภาพ

เมื่อได้ระยะภาพที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ระหว่างสองเฟรมที่ติดกันจะทำการประมาณค่าให้เป็นระยะทางจริงที่ยานพาหนะเคลื่อนที่บนถนน โดยในการแปลงจะใช้หลักการของกล้องรับภาพ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การประมาณระยะทางจริงของการเคลื่อนที่

ในการประมาณค่าการแปลงระยะทางจะคำนวณได้ดังนี้

$$L = H \cdot \tan(\theta_{diff} + \theta_{cam}) \quad (6)$$

- โดยที่ L คือระยะทางจากกล้องวิดีโอถึงวัตถุ
 H คือความสูงจากถนนถึงกล้องวิดีโอ
 θ_{cam} คือมุมรับภาพของกล้อง
 θ_{diff} คือผลต่างของมุมตกกระทบวัตถุ กับจุดกึ่งกลางของจอร์รับภาพกล้องวิดีโอ

เมื่อได้ระยะทางจริงบนถนน(มีหน่วยเป็นเมตร) ที่เป็นระยะทางจากกล้องวิดีโอถึงยานพาหนะในแต่ละเฟรมแล้ว จะคำนวณระยะทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ระหว่างสองเฟรมที่ติดกัน ได้ดังนี้

$$S = L_i - L_{i-1} \quad (7)$$

- โดยที่ S คือระยะทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ระหว่างสองเฟรม
 L_{i-1} คือระยะทางจากกล้องวิดีโอถึงตำแหน่งของยานพาหนะในเฟรม f_{i-1}
 L_i คือระยะทางจากกล้องวิดีโอถึงตำแหน่งของยานพาหนะในเฟรม f_i

2.3. การหาความเร็ว

ในการหาความเร็ว ทำโดยใช้สูตรต่อไปนี้

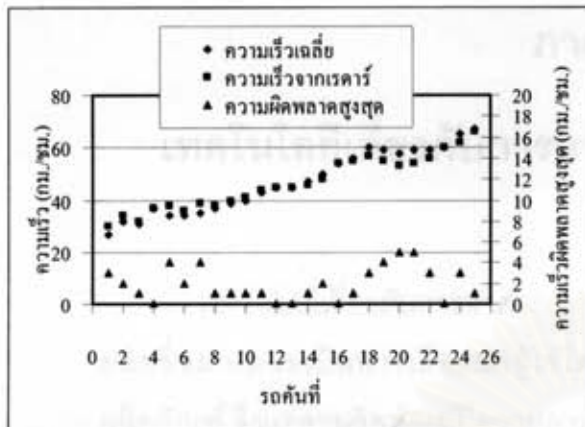
$$V = \frac{S}{T} \quad (8)$$

- โดยที่ V คือความเร็วที่ระบบคำนวณได้
 S คือระยะทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่
 T คือระยะเวลาระหว่างเฟรม f_i และ f_{i+1}

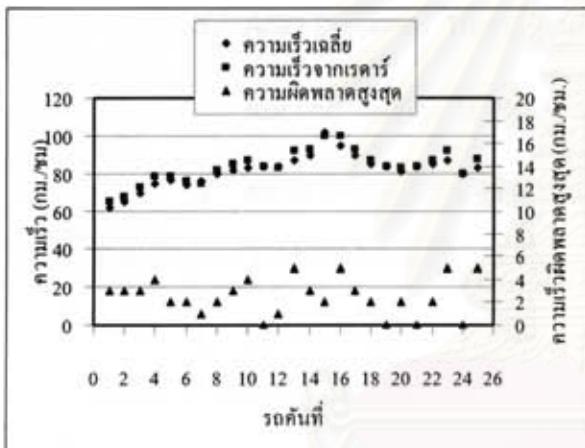
3. การทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในการทดสอบใช้เครื่อง Pentium IV 2.4 GHz มีหน่วยความจำหลัก 512 MB รับสัญญาณภาพวิดีโอเป็นสัญญาณดิจิตอลผ่านทางพอร์ต USB แล้วใช้เทปบันทึกภาพยานพาหนะที่ทราบความเร็วจำนวน 50 คัน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นยานพาหนะในเขตชุมชนที่มีช่วงความเร็ว 10 – 70 กม./ชม. จำนวน 25 คัน ส่วนกลุ่มที่สองเป็นยานพาหนะบนถนนสายหลัก ที่มีช่วงความเร็ว 40 – 110 กม./ชม. อีกจำนวน 25 คัน โดยยานพาหนะที่ใช้ทดสอบความเร็วได้แก่รถกระบะ รถยนต์ส่วนบุคคล และรถโดยสารประจำทาง บันทึกภาพยานพาหนะบนสะพานลอยที่มีความสูงไม่เกิน 8 เมตร

จากนั้นนำเทปบันทึกภาพมาหาความเร็วยานพาหนะทั้งหมดจำนวน 10 รอบ(ของแต่ละคัน) แล้วเปรียบเทียบกับความเร็วที่วัดได้จากเรดาร์ตรวจจับความเร็วซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ที่หาความเร็วอ้างอิง ผลลัพธ์การหาความเร็วของยานพาหนะในเขตชุมชน และ บนถนนสายหลัก แสดงในรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้นำความเร็วในการทดสอบมาหาความผิดพลาดของความเร็วเมื่อเทียบกับค่าความเร็วที่ได้จากอุปกรณ์เรดาร์ โดยในการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความผิดพลาดสูงสุด สำหรับยานพาหนะบนถนนใน เขตชุมชนซึ่งมีอัตราเร็วไม่มาก จะมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสูงสุด 1.828 กม./ชม. โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.614 ส่วนยานพาหนะบนถนนสายหลักที่มีความเร็วมากกว่า จะมีค่าความเฉลี่ยผิดพลาดสูงสุด 1.952 กม./ชม. และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.487 ตามลำดับ และจากผลการทดสอบยานพาหนะทั้งสองกลุ่ม พบว่าความเร็วที่ได้มีแนวโน้มผิดพลาดมากขึ้นเมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้น



รูปที่ 10 กราฟความเร็วเฉลี่ย ความเร็วที่ได้รับจากอุปกรณ์เรดาร์ และความผิดพลาดสูงสุด สำหรับยานพาหนะบนถนนในเขตชุมชน



รูปที่ 11 กราฟความเร็วเฉลี่ย ความเร็วที่ได้รับจากอุปกรณ์เรดาร์ และความผิดพลาดสูงสุด สำหรับยานพาหนะบนถนนสายหลัก

4. สรุป

บทความนี้เสนอระบบการวัดความเร็วของยานพาหนะที่ได้ใช้เทคนิคต่างๆ ในการลดขนาดข้อมูลและเวลาที่ใช้ในการประมวลผล เพื่อที่ระบบนี้จะสามารถทำงานได้อย่างทันกาล โดยในส่วนของ การตรวจจับยานพาหนะนั้น ได้เพิ่มหลักการของเอนโทรปี และความสมมาตร เพื่อช่วยให้การตรวจจับยานพาหนะมีความแม่นยำ และส่งผลให้การหาความเร็วมีความถูกต้องยิ่งขึ้น จากการทดสอบพบว่า ระบบมีความสามารถในการตรวจจับความเร็วของยานพาหนะแบบทันกาลได้ในระดับที่น่าพอใจ

เสถียรภาพในการตรวจจับความเร็วเป็นที่ยอมรับได้ และ ความผิดพลาดสูงสุดเฉลี่ยไม่เกิน 2 กม./ชม. ในช่วงความเร็วที่ดำเนินการทดสอบ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤษฎา โชคตินอนันต์, “การตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวิดิทัศน์”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [2] Tun-Wen Pai, Wen-Jung Juang, and Lee-Jyi Wang, “An adaptive windowing prediction algorithm for vehicle speed estimation”, in *The Proceeding of Intelligent Transport System*, pp. 901-906, 2001.
- [3] R. Taktak, M. Dufaut, and R. Husson, “Vehicle detection at night using image processing and pattern recognition”, *Proceedings of ICIP-94., IEEE International Conference Image Processing, Volume2 : 296-300. 1994*
- [4] R.Cucchiara, M. Piccardi, and P. Mello, “Vehicle Detection under Day and Night Illumination”, *Proceeding of ISCS-IIA99 Special session on vehicle traffic and surveillance, 1999.*
- [5] R.Cucchiara, M. Piccardi, and P. Mello, “Image analysis and rule-based reasoning for a traffic monitoring system”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Volume1, Issue2: 119-130. 2000.*
- [6] J. Bruce, T. Balch, and M. Veloso, “Fast and Cheap Color Image Segmentation for Interactive Robots”, *Workshop on Interactive Robotics and Entertainment, Pittsburgh, April, 2000.*
- [7] J. Bruce, T. Balch, and M.Veloso, “Fast and Inexpensive Color Image Segmentation for Interactive Robots”, in *The Proceeding of IROS-2000, Japan, October 2000.*
- [8] C.E. Shannon, “Mathematic theory of communication., *Journal of Bell System Technical. Volume27: 379-423, 623-650.1948.*

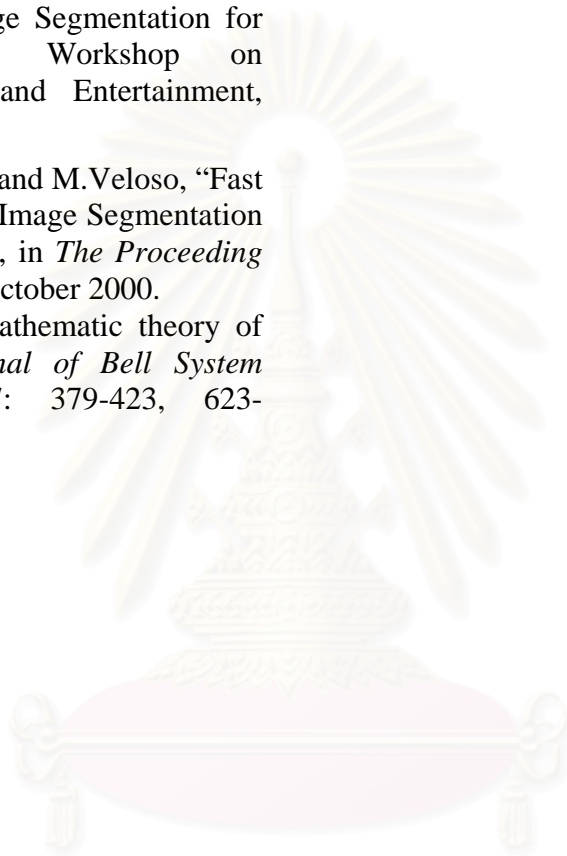
Special session on vehicle traffic and surveillance, 1999.

[5] R.Cucchiara, M. Piccardi, and P. Mello, “Image analysis and rule-based reasoning for a traffic monitoring system”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Volume1, Issue2: 119-130. 2000.

[6] J. Bruce, T. Balch, and M. Veloso, “Fast and Cheap Color Image Segmentation for Interactive Robots”, *Workshop on Interactive Robotics and Entertainment*, Pittsburgh, April, 2000.

[7] J. Bruce, T. Balch, and M.Veloso, “Fast and Inexpensive Color Image Segmentation for Interactive Robots”, in *The Proceeding of IROS-2000*, Japan, October 2000.

[8] C.E. Shannon, “Mathematic theory of communication., *Journal of Bell System Technical.* Volume27: 379-423, 623-650.1948.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

เทคโนโลยีเกี่ยวกับการหาค่าพารามิเตอร์ทางด้านจราจร

เทคโนโลยีเกี่ยวกับการหาค่าพารามิเตอร์ทางการจราจรในปัจจุบัน ซึ่งบริษัทต่างๆ ได้ผลิตขึ้นมาเสนอเป็นทางเลือกแก่ผู้ใช้โดยทำในรูปแบบทางการค้า ประกอบด้วยหลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการตรวจจับตำแหน่งของยานพาหนะ แยกประเภทของยานพาหนะ นับจำนวนยานพาหนะ หาความเร็วของยานพาหนะ โดยใช้หลักการที่แตกต่างกันไป ผลิตภัณฑ์ของบริษัทต่างๆ สามารถยกตัวอย่างได้ ดังต่อไปนี้

1. AGD Systems - Traffic Information and Measurement Equipment
2. Applied Traffic - Traffic Monitoring Systems
3. ASIM Technologies Ltd - Detectors for Road Traffic Data Acquisition and Intersection Control Applications
4. Banner Engineering - Industrial Sensors for Vehicle Detection, Overheight Detection, Parking Control and Toll Booth Applications
5. Citilog - Advanced Video Surveillance Systems
6. Counters & Accessories - Traffic Data Collection Products, Services and Software
7. DataCollect Traffic Systems - Vehicle Detection Technology and Traffic Management Systems
8. Diamond Consulting Services - Idris® Automatic Vehicle Detection and Classification Software
9. EIS Electronic Integrated Systems - Sensor-Based Electronic Systems for Traffic Management
10. Eurotech - Passenger Counting Solutions

11. Image Sensing Systems - Autoscope Video Vehicle Detection
12. JAMAR Technologies - Traffic Data Collection Equipment, Software and Supplies
13. MDL - Eye Safe Laser Measurement Systems
14. Measurement Specialties - Traffic Sensors for Data Collection and Car Parking Sensor Systems
15. Noptel - Laser Distance Sensors for Traffic Control
16. Nu-Metrics - Roadway Traffic Monitoring, Vehicle Detection and Distance Measuring Equipment
17. OSI LaserScan - Laser Detection Sensors and Vehicle Detection Systems for Toll and Traffic Management
18. Peek Traffic - Intersection Control, Vehicle Detection and Automated Red Light Enforcement Systems
19. Sensor Line - Fiber Optic Traffic Sensors for Axle Detection
20. Sky High Technology - High-Level Video Traffic Surveys
21. SmarTek Systems - Highway Traffic Detection Products
22. TDC Systems - Traffic Data Collection, Vehicle Counter Classifying, Weigh-In-Motion and Vehicle Weight Enforcement Systems
23. TEC Traffic Systems - Vehicle Detection Technology and Traffic Management Systems
24. Traficon - Video Detection Solutions for Traffic Data Acquisition, Automatic Incident Detection and Presence Detection
25. Vehicle Information Processing - Automatic Vehicle, People, Cycle and Equestrian Counters
26. Weiss-Electronic - Traffic Sensors and Electronic Traffic Control Systems

ภาคผนวก ค

คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์การทดลองในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยมีการนำสัญญาณภาพผ่านทางการ์ด IEEE 1394 โดยใช้กล้องวิดีโอทัศนแบบดิจิทัล และเขียนโปรแกรมด้วย Borland Delphi 7 รายการอุปกรณ์ต่างๆ เป็นดังนี้

1. กล้องวิดีโอทัศนที่ใช้ในการทำวิจัย



ชื่อรุ่น Panasonic NV-GS200 mini-DV Camcorder PAL

คุณสมบัติ

- Number of Image Sensors: 3
- Image Sensor Size (Inches): 1/6
- Optical Zoom: 10x
- Digital Zoom: 500x
- Aperture: F1.8 (Wide)/F2.8 (Tele)
- Focal Length: 2.45-24.5mm
- Lens Filter Diameter: 37mm
- Minimum Illumination: 1 lux
- LCD Monitor Screen Size: 2.5 inches
- Stereo Zoom Microphone
- Digital Image Stabiliser Type
- Inbuilt Flash
- Microphone Input: Stereo Mini Jack
- S-video, AV and DV Input/Output

2. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทำวิจัย

- CPU Pentium 4 2.66 G
- RAM 1 GHz

3. วงจรจับเฟรม (Frame Grabber) ที่ใช้ในการทำวิจัย

วงจรจับเฟรม หรือ อุปกรณ์จับเฟรมภาพ เป็นการกำหนดหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลภาพ ในการประมวลผลร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยวงจรจับเฟรมที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ชื่อรุ่น Billionton IEEE 1394 to PCI Adapter

คุณสมบัติ

- Fully Supports Provisions of IEEE 1394 -1995
- standard for high-performance
- Support Hot Swap.
- Provides three 1394a fully-compliant cable ports at 100/200/400 Megabits per Second (Mbits/s)
- Can plug 63 Devices.
- Support Plug and Play specification
- Provide PCI Bus Master function for supporting DMA operations

Specification

- Compliant with PCI specification 2.2
- 100 / 200 / 400 Mbps operation
- Isochroous / Asynchronous Packet Transmission
- Automatic configuration to single-port, two-port and three-port applications
- Cable Power Source
- Fully compliant with Open HCI requirements
- Support IEEE-1394a with OHCI three port

Mechanical :

- PCB Size: 119.91x71.4x1.6(mm)
- Limit High:17.5mm
- IEEE1394 cable Connector(6-pin)x3.

Certification :

- FCC15 (CLASS B), CE (CLASS B), VCCI (CLASS 2)

Environmental:

- Operating Ranges: Temperature: 0 ~55? C

Power Consumption :

- Operation Power : 0.67W/5V
- Operation Current:130.4mA~133,9mA/3.3V
- Standby Current :111.1mA~124.1Ma/3.3V

Drivers support: WINDOWS 98, ME, 2000, XP.

4. ซอฟต์แวร์

- Borland Delphi 7 Enterprise
- Windows XP Professional

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางนภัสมล โม่งเย็น เกิดวันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ.2521 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2543 หลังจากนั้นได้เข้ามาศึกษาต่อใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรม คอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย