การตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์

นายกฤษดา โชคสินอนันต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-518-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19247369

REAL TIME VEHICLE SPEED DETECTION USING VIDEO IMAGE PROCESSING

Mr. Krissada Choksinanun

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-334-518-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์
โดย	นายกฤษดา โชคสินอนันต์
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สมชาย ทยานยง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กฤษดา โชคสินอนันต์ : การตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ (Real Time Vehicle Speed Detection using Video Image Processing) อาจารย์ที่ปรึกษา : อ. ดร.สืบสกุล พิภพมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร.สรวิศ นฤปิติ; 76 หน้า. ISBN 974-334-518-3.

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการตรวจจับความเร็วของรถยนต์โดยการประมวลผลข้อมูลภาพที่ได้จากสัญญาณวีดิทัศน์โดยทำงานแบบทันกาล การวัดความเร็วกระทำโดยการคำนวณหาระยะทางจริงของรถที่เคลื่อนที่ไปในภาพแล้วหารด้วยระยะเวลาการเคลื่อนที่ของรถ เทคนิคด้านการประมวลผลภาพหลายวิธีได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาตำแหน่งของรถ ในที่นี้ได้ทำการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการเพิ่มความแม่นยำในการหาตำแหน่งของรถซึ่งจะส่งผลให้การวัดความเร็วมีความผิดพลาดน้อยลง การทดสอบกระทำโดยการใช้ภาพวีดิทัศน์ที่บันทึกจากสภาพจราจรจริง การวัดความเร็วอ้างอิงของรถทำโดยใช้เรดาร์เป็นเครื่องมือวัด ความเร็วของรถที่สุ่มวัดในการทดสอบอยู่ระหว่าง 32 ถึง 79 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุดของความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมเมื่อเทียบกับที่วัดจากเรดาร์ มีค่าไม่เกิน 3.23 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างนี้ไม่เกิน 2.23 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความสามารถในการตรวจจับความเร็วของระบบอยู่ระหว่าง 15 ถึง 94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่อนิสิต**	กฤษดา โชคสินอนันต์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา**	สืบสกุล
ปีการศึกษา	2542	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**	สรวิศ นฤปิติ

KRISSADA CHOKSINANUN: REAL TIME VEHICLE SPEED DETECTION USING VIDEO IMAGE PROCESSING. THESIS ADVISOR: SUEBSKUL PHIPHOBMONGKOL, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR: SORAWIT NARUPITI, Ph.D. 76 pp. ISBN 974-334-518-3.

This thesis presented a method to detect vehicle speed by processing the image data from video signal in real time. The speed measuring process was done by calculating the real distance that the vehicles moved corresponding to the vehicle displacement in the image and dividing this value by the travelling time, resulting in the speed value. Many image processing techniques were used to find the vehicle position. An algorithm was developed to improve the accuracy of the position finding, thus, lowering the speed error. The test was performed using recorded video images from real road traffic. A radar was used to measure the vehicle reference speed. The sampled vehicles had the speed between 32 and 79 kilometers per hour. The result showed that the average of the maximum differences between the resulting speed and the radar speed was within 3.23 kilometers per hour and the standard deviation of the differences was within 2.23 kilometers per hour. The speed detection range of this system is between 15 and 94 kilometers per hour.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ **ลายมือชื่อนิสิต** .....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....

ปีการศึกษา 2542 **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล และอาจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติที่ให้คำปรึกษาและข้อแนะนำในวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง ที่คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้สละเวลาในการตรวจอ่านตลอดจนให้คำแนะนำและแนวความคิด ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ พร้อมทั้งขอบคุณอาจารย์ชัชวาล วงศ์ศิริประเสริฐที่ให้คำปรึกษาในการเขียน Visual C++ รุ่นน้องและรุ่นพี่ที่สละเวลาช่วยในการเก็บข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย และขอบคุณบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ที่ให้คำแนะนำต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาซึ่งให้การสนับสนุนส่งเสริมให้ผู้วิจัยได้รับการศึกษาจนถึงปัจจุบันนี้ รวมทั้งให้กำลังทุนทรัพย์ในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วย

กฤษดา โชคสินอนันต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 3
1.4 ขั้นตอนการวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีพื้นฐาน 4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.2 ค่าทางสถิติ 7
2.2.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measures of Central Tendency) 7
2.2.2 การกระจายของข้อมูล (Dispersion) 8
2.2.3 การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) 9
2.3 ขั้นตอนวิธีทางกราฟิก 11
2.3.1 การแปลงภาพใน 2 มิติ (Two Dimensional Transformation) 11
2.3.2 การหมุนภาพ (Rotation) 12
2.4 การประมวลผลภาพเชิงเลข (Digital Image Processing) 14
2.4.1 การหาขอบของรูปภาพ (Edge Detection) 14
2.4.2 การสร้างภาพไบนารี (Binary Image) 16
2.4.3 การฉาย (Projection) 17
2.5 การประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้ง 17
2.6 ความเร็ว (Velocity) 19
2.7 ความผิดพลาดพาราแลกซ์ (Parallax Error) 20
3. การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวัดความเร็ว 21
3.1 การตรวจสอบการปรากฏของรถในกรอบตรวจจับ 28

3.2 การเลื่อนกรอบตรวจจับหาขอบหน้ารถยนต์ 28
3.3 การหาขอบของหน้ารถ 30
3.4 ระยะของตำแหน่งหน้ารถเทียบกับถนน 32
3.5 การหาความเร็ว 34
3.6 ความเร็วสูงสุด 34
3.7 ความเร็วต่ำสุด 35
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 37
4.1 วิธีการทดลอง 37
4.2 การเก็บข้อมูล 42
4.3 การทดลองตรวจนับรถยนต์ 43
4.4 การทดลองวัดความเร็วรถยนต์ 44
4.4.1 การทดลองที่ 1 44
4.4.2 การทดลองที่ 2 47
4.4.2.1 มุม 0 องศา กล้องตั้งอยู่เหนือช่องทางจราจรพอดี 47
4.4.2.2 มุม 10 องศา กล้องตั้งอยู่เหนือช่องทางจราจร 50
4.4.2.3 มุม 17 องศา กล้องเลื่อนมาทางซ้ายเพิ่มขึ้น 53
4.4.2.4 มุม 20 องศา กล้องเลื่อนมาทางซ้ายเพิ่มขึ้น 56
4.4.2.5 มุม 36 องศา กล้องเลื่อนมาทางซ้ายเพิ่มขึ้น 59
4.5 ความผิดพลาดในการวัดความเร็ว 64
4.6 ข้อจำกัด 65
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 67
5.1 สรุปผลการวิจัย 67
5.2 ข้อเสนอแนะ 68
รายการอ้างอิง 69
ภาคผนวก 71
การวัดความเร็วของรถยนต์โดยวิธีการหาขอบหน้ารถ 72
ประวัติผู้เขียน 76

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ค่าสัดส่วนต่างๆของรถยนต์ที่ใช้ในการคำนวณความผิดพลาดพาราแลกซ์.... 40
ตารางที่ 4.2 ความผิดพลาดพาราแลกซ์ที่ความเร็วต่างๆ 40
ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปค่าต่างๆจากการทดลอง 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 การหมุนภาพ โดยหมุนจุด P ไปยังจุด P* 13
รูปที่ 2.2 การฉาย (Projection) (ก) เป็นวัตถุ (ข) กราฟด้านล่างเป็นผลที่ได้รับ 17
รูปที่ 2.3 การประมาณค่าในช่วงกำลังสาม 18
รูปที่ 2.4 ความผิดพลาดพาราแลกซ์ 20
รูปที่ 3.1 ภาพฉายเปอร์สเปคทีฟ 21
รูปที่ 3.2 การหาความเร็ว 26
รูปที่ 3.3 ภาพจริงพร้อมกับตำแหน่งกรอบตรวจจับทั้งสอง 27
รูปที่ 3.4 ภาพแสดงกรอบตรวจจับ แกนตั้งฉากอ้างอิงและเครื่องหมายกำหนดระยะทาง 28
รูปที่ 3.5 การเลื่อนกรอบตรวจจับเพื่อหาตำแหน่งหน้ารถที่ถูกต้อง 29
รูปที่ 3.6 เป็นรูปจากกรอบตรวจจับที่ 1 ข. เป็นรูปจากกรอบตรวจจับที่ 2
และเส้นที่ลากขวางเป็นบริเวณที่พบว่าเป็นขอบรถ 29
รูปที่ 3.7 การหมุนกรอบเพื่อให้แนวหน้ารถขนานกับแนวราบ 31
รูปที่ 3.8 การหาขอบรถจากภาพขอบรถ 31
รูปที่ 3.9 แสดงการคำนวณหาจุดตัดบนเส้นกำหนดระยะทาง 32
รูปที่ 3.10 ภาพแสดงกรณีที่ 1 35
รูปที่ 4.1 มุมกล้องที่ทำการทดลอง และบริเวณที่กำหนดกรอบตรวจจับทั้ง 2 ตำแหน่ง .. 37
รูปที่ 4.2 ภาพแสดงการเกิดความคลาดพาราแลกซ์ 38
รูปที่ 4.3 แสดงหน้ารถ และสัดส่วนโดยเฉลี่ยของรถยนต์บริเวณด้านหน้า 40
รูปที่ 4.4 แสดงการตรวจจับได้บริเวณกระจกหน้ารถ 41
รูปที่ 4.5 (ก) ภาพจริงกับกรอบตรวจจับทั้งสอง (ข) เป็นการกำหนดค่าต่างๆ
โดยจุดอ้างอิงเป็นจุดแรกของจุดกำหนดระยะทางด้านบน 45
รูปที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยโดยใช้แกนตั้งด้านซ้าย ส่วน SD และ ค่าเปอร์เซ็นต์ของ CV
ใช้แกนตั้งด้านขวาโดยแกนนอนเป็นรถคันที่ 45
รูปที่ 4.7 กราฟความแตกต่างสูงสุด 46
รูปที่ 4.8 กราฟเส้นถดถอยของความเร็วต่อความเร็วของการทดลองที่ 1 46
รูปที่ 4.9 ภาพจริงของมุม 0 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ 47
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 40 คันที่มุม 0 องศา 47
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 0 องศา 48
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัด
จากเรดาร์โดยใช้มุมกล้อง 0 องศา 48

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 0 องศาไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 49
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ที่มุม 0 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกรถและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 49
รูปที่ 4.15 ภาพจริงของมุม 10 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ 50
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 46 คันที่มุม 10 องศา 50
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 10 องศา 51
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วต่อความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์โดยใช้มุมกล้อง 10 องศา 51
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 10 องศาไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 52
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ที่มุม 10 องศาไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกรถและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 52
รูปที่ 4.21 ภาพจริงของมุม 17 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ 53
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 38 คันที่มุม 17 องศา 53
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 17 องศา 54
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์โดยใช้มุมกล้อง 17 องศา 54
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 17 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 55
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ของมุม 17 ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 55
รูปที่ 4.27 ภาพจริงของมุม 20 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ 56
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 39 คันที่มุม 20 องศา 56
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 20 องศา 57
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์โดยใช้มุมกล้อง 20 องศา 57
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 20 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 58

รูปที่ 4.32 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ที่มุม 20 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 58
รูปที่ 4.33 ภาพจริงของมุม 36 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ 59
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 45 คันที่มุม 36 องศา 59
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 36 องศา 60
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์โดยใช้มุมกล้อง 36 องศา 60
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 36 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 61
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ที่มุม 36 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์ 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตามเมืองใหญ่ๆทั่วโลกที่เป็นศูนย์กลางทางด้านเศรษฐกิจและความเจริญต่างๆ ปริมาณรถได้มีมากขึ้นเนื่องมาจากการขยายตัวของเมือง ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆตามมารวมถึงปัญหาทางการจราจรด้วยซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น การกำหนดผังเมืองที่ไม่ดี การจัดการจราจรที่ขาดประสิทธิภาพ เป็นต้น ประเทศไทยก็ประสบปัญหานี้เช่นเดียวกันดังจะเห็นได้จากสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานคร การแก้ไขได้ใช้ความพยายามในระดับหนึ่งโดยให้ตำรวจจราจรควบคุมแต่ละทางแยกและติดต่อประสานงานกันผ่านทางวิทยุตำรวจ ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่สะดวก ตำรวจต้องใช้ความพยายามอย่างมากในการทำงานเพื่อควบคุมการจราจรให้ได้ผลดี

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบควบคุมการจราจรโดยอัตโนมัติ ซึ่งระบบดังกล่าวต้องการข้อมูลการจราจรต่างๆเพื่อใช้ในการวางแผนและควบคุมระบบจราจร เช่น ความยาวของแถวคอยของรถที่รอสัญญาณที่ทางแยก ระยะห่างของรถ ความเร็วของรถ จำนวนรถ ความหนาแน่นของรถ ฯลฯ โดยเฉพาะความเร็วนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในบางลักษณะการควบคุมและการให้คำแนะนำผู้ใช้บริการถนน ดังต่อไปนี้

1) สามารถนำความเร็วของรถในแต่ละถนนไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกเส้นทางของผู้ใช้รถ เพื่อให้เป็นการประหยัดมากที่สุด

2) ใช้เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการอนุญาตให้รถยนต์ขึ้นบนทางด่วน เพราะความเร็วเฉลี่ยของรถที่วิ่งบนทางด่วนจะมีผลต่อความเร็วเฉลี่ยโดยรวมของรถบนทางด่วน ถ้าปริมาณรถมากจะทำให้ความเร็วเฉลี่ยโดยรวมต่ำลงซึ่งเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของทางด่วนต่ำลงด้วย [1]

3) ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์บนถนนสายใดๆจะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของรถบนถนนนั้นๆ ทำให้สามารถนำค่าความเร็วเฉลี่ยของรถมาคำนวนหาค่าความหนาแน่นของรถยนต์บนถนนได้ [2]

4) ในบริเวณที่จะต้องจำกัดความเร็ว เช่น บริเวณชุมชน โค้งอันตราย จะต้องตรวจสอบความเร็วของรถที่แล่นมาเพื่อเตือนผู้ขับขี่ให้ลดความเร็วลงในกรณีที่ผู้ขับขี่ขับรถด้วยความเร็วเกินพิกัดที่มีความปลอดภัย

ในการเก็บข้อมูลความเร็วนั้นสามารถใช้อุปกรณ์ได้หลายแบบ โดยอุปกรณ์เหล่านั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆได้ดังต่อไปนี้

1) เครื่องตรวจจับบนถนน (Road Detector) [3]

2) อุปกรณ์ที่ใช้หลักการของดอปเลอร์ (Doppler) หรือในลักษณะของเรดาร์ (Radar)[3]

3) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [3]

เครื่องตรวจจับบนถนนสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เครื่องตรวจจับชนิดท่อยาง (Pneumatic tubes) และเครื่องตรวจจับประเภทขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductive loop)

เครื่องตรวจจับชนิดท่อยางมีลักษณะเป็นท่อยางฝังในถนนเมื่อรถวิ่งผ่านจะทำให้เกิดแรงดันในท่อยางส่งไปที่วงจรที่ต่อไว้ จากวิธีนี้จะไม่สามารถทราบได้ว่าเป็นรถประเภทใดวิ่งผ่านและท่อยางมีการเสื่อมสภาพเร็ว เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการวัดความเร็วจะทำได้ไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากจะต้องใช้ท่อยางสองอันวางในแนวที่รถวิ่งผ่านและระยะทางระหว่างท่อยางจะต้องสั้นเพื่อป้องกันรถคันอื่นมาทับท่อยางซึ่งจะทำให้ผลที่ได้ผิดพลาดไป โดยทั่วไประยะห่างจะอยู่ระหว่าง 3-5 ฟุต

เครื่องตรวจจับประเภทขดลวดเหนี่ยวนำมีลักษณะเป็นขดลวดไฟฟ้าฝังอยู่ที่ถนน เมื่อมีรถวิ่งผ่านจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในขดลวดซึ่งต่อกับวงจรไฟฟ้าไว้ เครื่องตรวจจับชนิดนี้มีราคาถูกและใช้อย่างแพร่หลายแต่ไม่เหมาะกับประเทศไทยเนื่องจากมีการขุดถนนบ่อย เมื่อประยุกต์ใช้กับการวัดความเร็วจะทำเช่นเดียวกันกับเครื่องตรวจจับชนิดท่อยาง

อุปกรณ์ที่ใช้หลักการของดอปเลอร์การทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้จะอาศัยการแปลงเวลาในการเดินทางของคลื่นที่ส่งออกไปจนถึงเมื่อคลื่นสะท้อนกลับมาเปรียบเทียบกับเวลาในการเดินทางที่คลื่นที่ส่งออกไปในช่วงเวลาก่อนหน้านี้และหาความเร็วจากการคำนวณเมื่อทราบความถี่ของคลื่นและความแตกต่างเวลาในการเดินทางของคลื่นในสองช่วงเวลา อุปกรณ์ประเภทนี้ได้แก่ เครื่องตรวจจับเรดาร์และเลเซอร์ ซึ่งใช้งานแพร่หลายในงานตำรวจจราจร

อุปกรณ์ที่ใช้หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญได้แก่ การประมวลผลภาพเป็นอีกวิธีหนึ่งในการวิเคราะห์หาข้อมูล โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนี้จะนำข้อมูลภาพจากกล้องวีดิทัศน์ซึ่งทำการถ่ายภาพเคลื่อนไหวจากบริเวณที่ต้องการหาข้อมูลการจราจร ซึ่งจะมีข้อดีกว่าระบบเก่าเนื่องจากความสามารถต่างๆในการหาข้อมูลจะขึ้นอยู่กับระบบประมวลผล สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานได้ง่าย สามารถบันทึกภาพการจราจรเพื่อเป็นหลักฐานหรือข้อมูลต่างๆในภายหลังได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อคำนวณความเร็วของรถยนต์แบบทันกาลและทดลองหาความถูกต้องของค่าที่ได้นั้นของรถยนต์ที่ความเร็วต่างๆ

2) เพื่อศึกษาการทำงานของการวิเคราะห์ภาพที่ทำงานแบบทันกาล

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การพัฒนาระบบต้นแบบในการวิเคราะห์ภาพเพื่อคำนวณความเร็วของรถยนต์แบบทันกาล มีขอบเขตดังนี้

1) การตรวจวัดจะทำใน 1 ช่องทางจราจรสามารถกำหนดบริเวณตรวจวัดได้โดยควบคุมจากคอมพิวเตอร์
2) สามารถนับจำนวนรถยนต์ วัดความเร็วของรถยนต์ที่ผ่านบริเวณตรวจจับได้และตอบสนองแบบทันกาล
3) สัญญาณภาพที่ใช้จะมาจากกล้องวีดิทัศน์หรือเครื่องเล่นเทปบันทึกภาพระบบ PAL
4) การเปรียบเทียบความเร็วจะเปรียบเทียบกับรถยนต์ที่ทราบความเร็วอยู่แล้ว (รถทดสอบ)

โดยจะแสดงความแม่นยำที่ความเร็วต่างๆที่ใช้ทดสอบด้วย

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1) ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ
2) วิเคราะห์และเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่จะใช้ในระบบต้นแบบ
3) ทำการศึกษาการใช้งานแผ่นวงจรจับเฟรม (Frame Grabber)
4) ออกแบบระบบเบื้องต้นและพัฒนาระบบ
5) ทำการทดสอบวิเคราะห์ระบบเบื้องต้นและปรับปรุงแก้ไข
6) ทดลองใช้งานจริงเพื่อสรุปผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เป็นพื้นฐานในการกำหนดลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบวัดความเร็วอัตโนมัติ
2) จะได้โปรแกรมซึ่งสามารถวิเคราะห์ภาพยวดยานบนถนน ทำให้สามารถหาความเร็วรถยนต์แบบทันกาลได้
3) สามารถประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆที่คล้ายคลึงกัน เช่น การวัดความเร็วของวัตถุ, การวัดปริมาณวัตถุที่ผ่าน เป็นต้น

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นอาจจะแบ่งได้สองกลุ่มคือ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่เกี่ยวกับการออกแบบระบบที่วัดความเร็วของยานพาหนะโดยตรง และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นการประเมินเกี่ยวกับความผิดพลาดของระบบและการวัดประสิทธิภาพของระบบที่มีอยู่แล้วโดยเฉพาะระบบที่มีจำหน่ายแล้วซึ่งได้รับการยอมรับโดยทั่วไป

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบระบบที่วัดความเร็วของยานพาหนะโดยตรงมีดังต่อไปนี้

งานวิจัยของวิโรจน์ ศรีสุรภานนท์ [4] ซึ่งได้ทำเป็นวิทยานิพนธ์เสนอต่อภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซีย (AIT) เป็นการออกแบบระบบการประมวลผลแบบไม่เชื่อมตรง (Offline) โดยได้ทำการวิเคราะห์ภาพเพื่อเก็บข้อมูลการจราจรต่างๆ เช่น ระยะเวลาระหว่างคัน (Headway) ความเร็วของยานพาหนะ การเปลี่ยนช่องการจราจร การจำแนกประเภทของยานพาหนะตามความยาวของยานพาหนะ จากเครื่องเล่นเทปบันทึกภาพซึ่งเล่นในรูปแบบเล่นช้ากว่าปกติ โดยปกติเครื่องบันทึกเทปจะเล่น 30 เฟรมในหนึ่งวินาทีซึ่งใช้เวลาระหว่างเฟรมเป็น 0.033 วินาที แต่การเล่นช้ากว่าปกติทำให้สามารถขยายระยะเวลาระหว่างเฟรมจาก 0.033 วินาทีเป็น 0.833 วินาทีได้ และระบบวัดความเร็วดังกล่าวนี้จะประมวลผลในหนึ่งเฟรมเสร็จสิ้นในเวลา 5 วินาที จึงทำให้ระบบดังกล่าวข้ามภาพไป 5 เฟรมทุกครั้งที่ประมวลผลการวิเคราะห์ภาพเริ่มด้วยการกำหนดเส้นตรวจจับขึ้นมา 2 เส้นขวางช่องทางจราจรที่ต้องการหาข้อมูลการจราจรโดยเส้นตรวจจับนี้จะตรวจจับว่ามีรถอยู่หรือไม่ ในการทดลองระยะห่างของเส้นเป็น 45 เมตร ต่อจากนั้นนำภาพที่ได้จากเครื่องบันทึกเทปมาทำกระบวนการเพื่อหาวัตถุที่เคลื่อนที่ ต่อมาจึงแปลงภาพดังกล่าวให้เป็นภาพไบนารี ความเข้มของภาพไบนารีที่บริเวณเส้นตรวจจับที่ขวางช่องทางจราจรจะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีรถผ่านเส้นตรวจจับหรือไม่ จากวิธีการดังกล่าวมีข้อเสียคือ การทำงานเป็นแบบไม่ทันกาล (Non Real Time) และไม่สามารถทำงานได้ถูกต้องถ้ารถจอดอยู่กับที่ โดยความผิดพลาดจากการวัดความเร็วในแต่ละคันมีค่าอยู่ในช่วง –9.4 % ถึง 11.8 % ที่ความเร็ว 85 กม./ชม.

งานวิจัยของเกษร สุนสิน [5] ได้ทำการพัฒนาระบบที่ทำงานได้แบบทันกาล (Real Time) สามารถหาข้อมูลที่สำคัญทางการจราจรโดยเน้นการนับจำนวนยานพาหนะเป็นหลัก และได้ขยายเพิ่มเติมให้หาความเร็วของยานพาหนะได้ หลักการทำงานทำโดยการกำหนดเส้นตรวจจับขึ้นมา 2 เส้นขวางช่องทางจราจรที่ต้องการหาข้อมูลการจราจร ค่าสถิติของภาพในเส้นจะเป็นตัวบ่งบอกว่ามียานพาหนะผ่านเส้นตรวจจับหรือไม่ และเมื่อมียานพาหนะแล่นผ่านเส้นตรวจจับเส้นแรก ระบบจะเริ่มจับเวลาและนับจำนวนยานพาหนะ ต่อจากนั้นระบบจะตรวจสอบจนกระทั่งมียานพาหนะปรากฏที่เส้นตรวจจับที่สอง ระบบจะคำนวณความเร็วออกมาเป็นผลลัพธ์ แต่เนื่องจากความช้าของ

เครื่องคอมพิวเตอร์และแผ่นวงจรจับเฟรม (Frame Grabber) จึงทำให้การวัดความเร็วของยานพาหนะมีความผิดพลาดค่อนข้างมาก และยังนับจำนวนรถผิดพลาดโดยทั่วไปประมาณ 4 - 10 % ที่ระยะห่างระหว่างเส้นตรวจจับทั้งสองเท่ากับ 2 ถึง 3 เมตร และความผิดพลาดจะน้อยลงเมื่อระยะห่างระหว่างเส้นตรวจจับมากขึ้น

งานวิจัยของ Marie-Pierre Dubuisson [6] ได้ทำการพัฒนาระบบเพื่อหาข้อมูลการจราจรได้แก่ ความเร็วในการเดินทาง (Travel Speed) จำนวนรถ ประเภทของรถ เป็นต้น โดยใช้กล้องอย่างน้อย 2 ตัวจับภาพตามจุดที่ต้องการเมื่อมียานพาหนะผ่านมา โดยแบ่งการทำงานของระบบได้ 2 ส่วนย่อยคือ

1) ระบบแยกภาพของยานพาหนะที่อยู่ใกล้กล้องที่สุดออกจากภาพพื้นหลังและยานพาหนะคันอื่นๆที่อยู่ถัดไป จากนั้นจะทำการหารูปร่างของยานพาหนะเพื่อจำแนกประเภทของยานพาหนะ ระบบในส่วนนี้จะวิเคราะห์ข้อมูลที่สำคัญ เช่น สี รูปร่าง ลักษณะของรถ เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

2) ระบบจับคู่ข้อมูลในฐานข้อมูลที่ได้จากส่วนที่ 1 เมื่อยานพาหนะผ่านกล้องตัวที่ 2 จะทำการวิเคราะห์ว่าเป็นยานพาหนะที่ผ่านมาจากกล้องตัวใดและทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการเช่น ความเร็วเฉลี่ย จำนวนยานพาหนะที่ผ่านแต่ละจุด เป็นต้น

ในการทดลองการจำแนกประเภทของรถถูกต้อง 92 % และผลการจับคู่ภาพจากกล้องตัวแรกกับตัวที่สองได้ผลใกล้เคียงกับมนุษย์ทำ โดยความเร็วคำนวณจากระยะระหว่างจุดจับภาพของกล้องแรกและกล้องสุดท้ายที่จับรถคันเดียวกันหารด้วยระยะเวลาที่รถคันที่ถูกจับภาพใช้เวลาเดินทางความเร็วที่ได้เป็นความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง

งานวิจัยของบริษัทออโตสโคป (Autoscope) [7] ซึ่งเป็นของบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์หาค่าพารามิเตอร์ด้านจราจร โดยใช้การวิเคราะห์ภาพ ใช้วิธีทำการกำหนดแถบตรวจจับ (Speed Trap) ขวางช่องทางจราจรสองตำแหน่งที่ยานพาหนะต้องแล่นผ่าน ในการตรวจจับยานพาหนะนั้นได้ใช้วิธีการทางสถิติในการทำงาน โดยถ้าค่าสถิติในแถบตรวจจับมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้นั้นแสดงว่ามียานพาหนะอยู่ ระบบจะทำการนับจำนวนรถที่วิ่งผ่านบริเวณที่ตรวจจับได้ ระบบสามารถหาความเร็วได้ในการทดสอบได้เทียบกับเรดาร์ตรวจจับความเร็ว โดยตั้งกล้องอยู่บริเวณข้างทางด่วนห่างจากขอบทางเป็นระยะ 10.6 เมตร กล้องอยู่สูงจากพื้นเป็นระยะ 15.15 เมตร มุมมองของกล้องมองไปตามถนนเป็นมุมกดลง แถบตรวจจับที่หนึ่งอยู่ห่างจากฐานกล้องเป็นระยะทาง 45.45 เมตร และมีความกว้าง 15.15 เมตร แถบตรวจจับที่สองห่างจากแถบที่หนึ่งเป็นระยะทาง 60.6 เมตรและมีขนาดเท่ากัน โดยรถยนต์มีความเร็วในช่วง 64 กม./ชม. ถึง 105 กม./ชม. ผลการทดลองปรากฏว่ามีความถูกต้อง 94.57 % ถึง 97.66 %

งานที่เกี่ยวกับการประเมินความผิดพลาดของระบบและการวัดประสิทธิภาพของระบบที่มีอยู่แล้วมีดังต่อไปนี้

James A. Bonneson และ Joel W. Fitts ได้เสนองานวิจัยเรื่อง Traffic Data Collection Using Video-Based Systems [8] ซึ่งเป็นบทความที่วิเคราะห์ความผิดพลาดของระบบวัดความเร็วแบบอัตโนมัติและแบบมนุษย์ทำการวัดเอง ในการวัดความเร็วของรถนี้จะทำการกำหนดเส้นตรวจจับ 2 เส้นขวางช่องทางจราจรไว้ โดยในระบบอัตโนมัตินั้นจะกำหนดผ่านระบบคอมพิวเตอร์บนหน้าจอแสดงผล ส่วนในแบบมนุษย์ทำการวัดเองนั้นจะนำแถบเทปขนาดเล็กติดบนจอภาพตรงกับตำแหน่งที่รู้ระยะทางจริงของรถนั้น และเลื่อนภาพทีละเฟรม ด้วยระยะทางจริงที่เทียบได้บนภาพและเวลาของเฟรม ก็จะสามารคำนวณความเร็วได้

ความผิดพลาดจากการวิเคราะห์โดยวิธีนี้เกิดจากหลายสาเหตุเช่น

1) ในทางทฤษฎีเครื่องเล่นเทประบบภาพสีจะต้องเล่นกลับ (Play Back) ได้ 29.970 เฟรมต่อวินาทีไม่ใช่ 30 เฟรมต่อวินาที แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบก็ไม่สามารถเล่นกลับได้ตรงตามทฤษฎีเสมอไปเช่นกัน โดยขึ้นอยู่กับคุณภาพของเครื่องเล่นเทปนั้นเป็นหลัก แต่ความผิดพลาดแบบนี้จะไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกันมากนัก

2) ความผิดพลาดเนื่องจากมุมมองภาพ ภาพในระยะไกลกว่าจะมีขนาดเล็กลงทำให้ความกว้างของแถบที่ใช้เป็นเครื่องตรวจจับรถแทนที่พื้นถนนด้วยพื้นที่ที่ใหญ่ขึ้น โดยภาพที่ถ่ายเป็นมุมมองออกไปไกลเท่าใดก็จะมีปัญหานี้มากเท่านั้น

3) ความผิดพลาดเนื่องจากความเหลื่อมของตำแหน่งแนวขอบหน้ารถจริงกับตำแหน่งของแนวขอบหน้ารถที่วัดได้จากภาพเป็นความคลาดเคลื่อนเดียวกับความผิดพลาดพาราแลกซ์ (ซึ่งจะอธิบายต่อไปในบทนี้) ซึ่งเกิดจากมุมมองของกล้องที่ไม่ได้มองในแนวดิ่งมาบนตัวรถ

ในการวัดความเร็วนั้นยังพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องด้วยคือ ระยะทางระหว่างเส้นตรวจจับทั้งสองถ้ามากจะทำให้ความผิดพลาดน้อยลง อีกพารามิเตอร์หนึ่งคือความเร็วของรถที่วัดนั้นถ้ามีความเร็วสูงจะทำให้ความผิดพลาดจากการวัดสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยรวมแล้วการคำนวณด้วยมือจะให้ผลที่มีความผิดพลาดน้อยกว่าระบบอัตโนมัติทุกกรณี ระบบอัตโนมัติที่ใช้ในการทดสอบนั้นได้แก่ ออโตสโคป 2003 (Autoscope 2003)

Cheng-Chen Kou และ Randy B. Machemehl ได้เสนองานวิจัย [9] โดยได้ใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในการวัดความเร็วโดยวิเคราะห์ภาพวีดิทัศน์ที่ใช้เส้นตรวจจับสองเส้นขวางการจราจรและใช้คอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์ ซึ่งพบว่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลต่อความผิดพลาดในการวัดความเร็วนั้นมี 3 พารามิเตอร์ด้วยกัน ได้แก่ ความเร็วของเฟรมภาพที่ใช้บันทึก ระยะห่างของเส้นตรวจจับทั้งสอง และความเร็วของรถยนต์ที่ตรวจจับซึ่งก็ยืนยันไปในทางเดียวกันกับ [8]

ความเร็วของเฟรมภาพมีผลมากที่สุดกับความผิดพลาดในการวัดความเร็ว โดยที่เมื่อจำนวนเฟรมที่ใช้บันทึกต่อวินาทีสูงความผิดพลาดจะน้อย ในการจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ได้กำหนด

ให้ระยะห่างระหว่างเส้นตรวจจับเป็น 15.24 เมตร ความเร็วของรถยนต์เป็น 80.46 กม./ชม. โดยเปรียบเทียบจำนวนเฟรม 10 เฟรมต่อวินาที ซึ่งจะมีความผิดพลาดสูงกว่าถึง 4 เท่าเมื่อเทียบกับ 30 เฟรมต่อวินาที

ระยะห่างระหว่างเส้นตรวจจับทั้งสองนั้น เมื่อระยะห่างน้อยลงจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดความเร็วมากกว่าเมื่อระยะห่างระหว่างเส้นตรวจจับมากขึ้น

ความเร็วของรถที่ตรวจจับนั้นมีผลต่อความผิดพลาดในการตรวจจับความเร็วของระบบด้วย โดยการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า รถที่แล่นด้วยความเร็ว 64.37 กม./ชม. จะมีความผิดพลาดในการวัด 2.20 กม./ชม. และรถที่แล่นด้วยความเร็ว 96.56 กม./ชม. มีความผิดพลาดในการวัด 4.93 กม./ชม.

Chi-Hyun Shin Dongsoo Son และ Seongho Kim ได้เสนองานวิจัย [10] โดยได้ขอความร่วมมือจากบริษัทตัวแทนของอุปกรณ์หาข้อมูลทางจราจรโดยใช้ภาพวีดิทัศน์จำนวน 5 บริษัท โดยตั้งกล้องบนตึกของถนนที่ต้องการหาข้อมูลการจราจร ผลการทดลองสรุปได้ว่า โดยทั่วไปอุปกรณ์มีความผิดพลาดน้อยกว่า 5% ภายใต้เงื่อนไขจราจรและแสงแบบต่างๆ ระบบทำงานได้ดีกว่าในตอนเช้าและตอนบ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานตอนเช้าตรู่และตอนกลางคืน ซึ่งสรุปได้ว่าแสงมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้มาก ส่วนในการตรวจจับความเร็วนั้นทำได้ดีทุกระบบ และงานวิจัยนี้ได้สรุปโดยสันนิษฐานว่าความถูกต้องของการตรวจจับความเร็วจะไม่ขึ้นต่อแสง แต่ขึ้นกับปริมาณรถในบริเวณที่ตรวจจับเป็นสำคัญ

2.2 ค่าทางสถิติ

ในการพิจารณาข้อมูลใดๆ นิยมใช้ค่าทางสถิติในการอธิบายคุณสมบัติต่างๆของข้อมูลนั้นๆ ค่าทางสถิติ [11] ที่นำมาใช้ในที่นี้มีดังนี้

2.2.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measures of Central Tendency)

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเป็นการหาค่าๆหนึ่งที่เป็นตัวแทนของประชากรในกลุ่มข้อมูลกลุ่มหนึ่ง ซึ่งมีวิธีการในการหาค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางอยู่หลายวิธีดังต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ย (Average หรือ Mean)

หาได้ตามสูตรต่อไปนี้

$$\overline{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i \qquad \ldots(1)$$

โดยที่ N เป็นจำนวนข้อมูลในกลุ่ม

x_i เป็นค่าของข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม

$\overline{X}$ เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล

2.2.2 การกระจายของข้อมูล (Dispersion)

การกระจายของข้อมูลเป็นการแสดงถึงลักษณะการกระจายของข้อมูลว่าห่างออกไปจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลมากน้อยเพียงใด

ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่ต่างกลุ่มกัน จำเป็นต้องพิจารณาถึงการกระจายของข้อมูลควบคู่ไปกับค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางด้วยเสมอ สามารถใช้การวัดด้วยค่าต่อไปนี้

1) ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Average Deviation: AD)

เป็นการวัดการกระจายของข้อมูลรอบๆค่าเฉลี่ย การกระจายจะน้อยถ้าข้อมูลอยู่รอบๆค่าเฉลี่ย โดยมีคำจำกัดความว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยคือ ส่วนเฉลี่ยแบบเลขคณิตของระยะข้อมูลทุกตัวในกลุ่มเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลกลุ่มนั้น โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย [11]

$$AD = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|x_i - \overline{X}\right| \qquad \ldots(2)$$

โดยที่ AD เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย

x_i เป็นข้อมูลในกลุ่มตัวที่ i

N เป็นจำนวนของข้อมูล

$\overline{X}$ เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล

2) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

เป็นวิธีการวัดการกระจายของข้อมูลรอบๆค่าเฉลี่ย โดยเป็นวิธีที่มีความนิยมใช้กันมากที่สุดวิธีหนึ่ง มีสูตรดังนี้

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{X})^2}{N-1}} \qquad \ldots(3)$$

โดยที่ S เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x_i เป็นข้อมูลในกลุ่มตัวที่ i

N เป็นจำนวนของข้อมูล

$\overline{X}$ เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มข้อมูล

3) สัมประสิทธิ์แห่งความผันแปร (Coefficient of Variation)

เป็นค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบในกรณีที่กลุ่มของข้อมูลสองกลุ่มมีช่วง (Range) ของข้อมูลต่างกันมาก โดยจะพิจารณาเฉพาะค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอย่างเดียวไม่ได้ แต่ต้องปรับฐานข้อมูลก่อนทำการเปรียบเทียบ โดยมีสูตรดังนี้

$$CV = \frac{S}{\overline{X}} \times 100\% \qquad \ldots(4)$$

โดยที่ CV เป็นค่าสัมประสิทธิ์แห่งความผันแปร

S เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\overline{X}$ เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มข้อมูล

โดยค่าสัมประสิทธิ์แห่งความผันแปรนี้จะมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

2.2.3 การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) [14 - 16]

1) การถดถอยเชิงเส้น

เป็นการสร้างเส้นตรงที่ผ่านกลุ่มข้อมูล โดยเส้นตรงที่ได้จากการถดถอยจะเป็นเส้นตรงที่ใช้ในการประมาณค่าข้อมูลของกลุ่มนั้นๆได้ดีที่สุด

กลุ่มข้อมูลที่นำมาหาเส้นถดถอยนั้นแต่ละตัวของข้อมูลจะเป็นคู่ลำดับ (Ordered Pair) X และ Y โดยที่การหาสมการเส้นตรง $g(X) = Y = a + bX$ เป็นเส้นถดถอยที่แทนข้อมูลในกลุ่ม

กำหนดให้คู่ลำดับ Y_i และ X_i เป็นข้อมูลตัวที่ i Y_i เป็นตัวแปรตาม X_i เป็นตัวแปรต้น และมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น N ตัว ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนั้น กล่าวได้ว่า เมื่อนำผลต่างของค่าที่ประมาณได้จากเส้นถดถอยกับข้อมูลจริงของทุกข้อมูลมารวมกันแล้วยกกำลังสองจะต้องน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเขียนสมการแทนได้ว่า

$$SSE = \sum_{i=1}^{N} (Y_i - g(X_i))^2$$

$$SSE = \sum_{i=1}^{N} [Y_i - (a + bX_i)]^2 \qquad \ldots(5)$$

โดยที่ SSE เป็นผลรวมกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Error)

Y_i เป็นตัวแปรตามของข้อมูลในคู่ลำดับตัวที่ i

X_i เป็นตัวแปรต้นข้อมูลในคู่ลำดับตัวที่ i

$g(X_i)$ เป็นค่าประมาณจากเส้นถดถอยที่ข้อมูล i

ในการหาค่าพารามิเตอร์ a และ b สามารถทำโดย

$$\frac{\partial SSE}{\partial a} = 0 \text{ และ } \frac{\partial SSE}{\partial b} = 0 \qquad \ldots(6)$$

เมื่อแก้ระบบสมการดังกล่าวแล้วจะได้

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^{N} Y_i)(\sum_{i=1}^{N} X_i^2) - (\sum_{i=1}^{N} X_i Y_i)(\sum_{i=1}^{N} X_i)}{N(\sum_{i=1}^{N} x_i^2) - (\sum_{i=1}^{N} Xi)^2} \qquad \ldots(7)$$

$$b = \frac{N(\sum_{i=1}^{N} X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^{N} X_i)(\sum_{i=1}^{N} Y_i)}{N(\sum_{i=1}^{N} x_i^2) - (\sum_{i=1}^{N} Xi)^2} \qquad \ldots(8)$$

และกำหนดให้

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^{N} (X_i - \overline{X})^2 \ , \ S_{xy} = \sum_{i=1}^{N} Y_i (X_i - \overline{X}) \ , \ S_{yy} = \sum_{i=1}^{N} (Y_i - \overline{Y})^2$$

และ $SSR = \sum_{i=1}^{N} (g(X_i) - \overline{Y})^2$

ดังนั้น $S_{yy} = SSR + SSE$

S_{yy} เป็นความผันแปรโดยรวม (Total Variation) ของค่าสังเกต ซึ่งได้รับการกระจายออกเป็น 2 เทอม คือ SSR หมายถึง ค่าความผันแปรรอบเส้นถดถอย และ SSE หมายถึง ค่าความผันแปรของเศษเหลือที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยเส้นถดถอย

2) ค่าความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอย

(The Estimate of the Variance of the Regression Line and

The Standard Error of Estimate for a Regression Line) [16]

ค่าความแปรปรวนจากเส้นถดถอยมีค่าเป็น

$$\sigma^2 = \frac{SSE}{N-2} \qquad \ldots(9)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประมาณ (SD) มีค่าเป็น

$$SD = \sqrt{\frac{SSE}{N-2}} \qquad \ldots(10)$$

3) ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

การตัดสินใจโดยอาศัยเส้นถดถอยนี้จะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงไรขึ้นกับว่าเส้นถดถอยสามารถอธิบายลักษณะข้อมูลได้ดีหรือไม่ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ซึ่งนิยามได้ว่า

$$R^2 = \frac{\text{ความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยเส้นถดถอย}}{\text{ความผันแปรโดยรวม}}$$

$$R^2 = \frac{SSR}{S_{yy}} = 1 - \frac{SSE}{S_{yy}} \qquad \ldots(11)$$

โดยค่าของ R^2 จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 หากมีค่าใกล้ 1 มากแสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมาก และถ้า $R^2 = 1$ แล้วแสดงว่าข้อมูลทุกจุดอยู่บนเส้นถดถอย ในการพิจารณาค่า R^2 อาจกล่าวได้ว่า $100R^2$ % ของการผันแปรในค่าของ Y เป็นผลเนื่องมาจากการมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปร X

2.3 ขั้นตอนวิธีทางกราฟิก

2.3.1 การแปลงภาพใน 2 มิติ (Two Dimensional Transformation) [12]

ภาพทั่วไปประกอบด้วยจุดภาพ (Pixel) ที่มีการเรียงอย่างเป็นระเบียบในลักษณะเป็น 2 มิติ จึงสามารถกำหนดตำแหน่งของจุดสีต่างๆในรูปภาพได้โดยใช้ระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinate) โดยมีแกน x คือแกนทางแนวนอน และ y เป็นแกนทางแนวตั้ง โดยที่ x และ y เป็นจำนวนเต็ม จุดภาพที่อยู่ตำแหน่งที่แทนด้วยพิกัด x, y ใดๆ จะมีค่าของความเข้มของแสงหรือจุดภาพประจำจุดนั้น ดังนั้นสามารถเขียนตำแหน่งจุดภาพต่างๆของภาพได้โดยใช้เมทริกซ์ดังนี้

$$P = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} \qquad \ldots(12)$$

โดยที่ P เป็นจุดใดๆในภาพ (จุดๆเดียว)

x, y เป็นค่าพิกัดตามแกนนอน และแกนตั้งตามลำดับ

การประมวลผลภาพแบบต่างๆเช่น การขยายภาพ การย้ายตำแหน่งของภาพและการหมุนภาพ จะเรียกการกระทำดังกล่าวนี้ว่าการแปลง (Transformation) สามารถเขียนในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} x^* & y^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax + cy & bx + dy \end{bmatrix} \quad \ldots(13)$$

ดังนั้น $x^* = ax + cy$ และ $y^* = bx + dy$ ...(14)

โดยที่ x^*, y^* เป็นค่าพิกัดใหม่หลังจากการแปลงแล้ว

$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ เป็นเมทริกซ์การแปลงซึ่งจะเป็นการแปลงชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับค่า a, b, c และ d

x, y เป็นค่าพิกัดของภาพที่จะทำการแปลง

เมทริกซ์การแปลงนั้นมีด้วยกันหลายชนิดขึ้นกับค่าของสมาชิกในเมทริกซ์ เช่น

$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ การแปลงด้วยเมทริกซ์นี้จะให้ภาพเหมือนเดิมทุกประการ

$\begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$ การแปลงด้วยเมทริกซ์นี้จะเป็นการขยายภาพขึ้นเป็น 2 เท่าของภาพเดิม

2.3.2 การหมุนภาพ (Rotation)

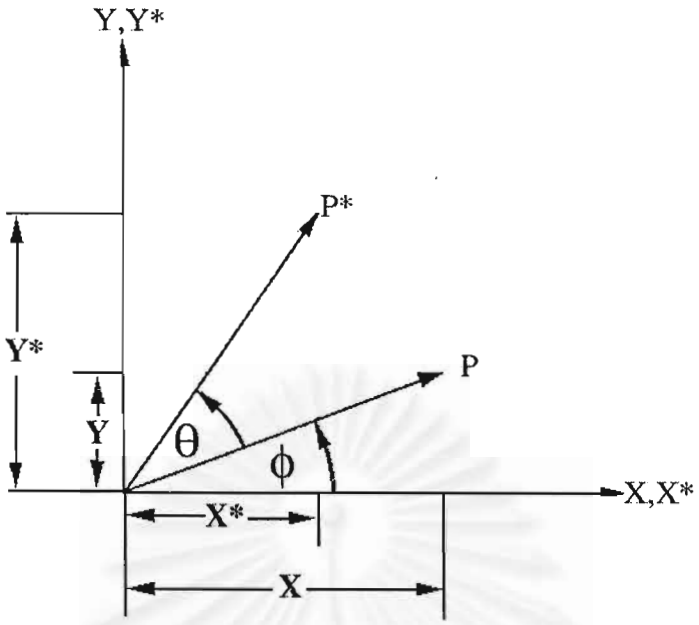
ในการหมุนภาพ [12] นั้นเป็นการแปลงแบบหนึ่งเช่นกัน โดยสามารถหาเมทริกซ์ของการหมุนภาพรอบจุดกำเนิด (จุดหมุน) ตามรูป 2.1 โดยสามารถเขียนตำแหน่งของจุด P และ P*ได้ดังนี้

$$P = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r\cos\phi & r\sin\phi \end{bmatrix} \quad \ldots(15)$$

และ $P^* = \begin{bmatrix} x^* & y^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r\cos(\phi + \theta) & r\sin(\phi + \theta) \end{bmatrix}$ ...(16)

จากการกระจายพจน์ Cosine ของผลบวก และ Sine ของผลบวก จะได้

$$P^* = \begin{bmatrix} x^* & y^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r(\cos\phi\cos\theta - \sin\phi\sin\theta) & r(\cos\phi\sin\theta + \sin\phi\cos\theta) \end{bmatrix} \quad \ldots(17)$$



รูปที่ 2.1 การหมุนภาพ โดยหมุนจุด P ไปยังจุด P*

แทนค่า P เข้าไปในสมการได้

$$P^* = \begin{bmatrix} x^* & y^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x\cos\theta - y\sin\theta & x\sin\theta + y\cos\theta \end{bmatrix} \quad \ldots(18)$$

ดังนั้น

$$x^* = x\cos\theta - y\sin\theta \quad \ldots(19)$$

$$y^* = x\sin\theta + y\cos\theta \quad \ldots(20)$$

หรือเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x^* & y^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad \ldots(21)$$

ดังนั้นเมทริกซ์ของการหมุนภาพรอบจุดกำเนิดคือ

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad \ldots(22)$$

ในทางกลับกันสามารถหาเมทริกซ์ของการหมุนภาพกลับทิศรอบจุดกำเนิดได้เช่นกัน โดยมีเมทริกซ์ดังนี้

$$R^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \qquad \ldots(23)$$

2.4 การประมวลผลภาพเชิงเลข (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพเชิงเลขที่ใช้มีดังนี้

2.4.1 การหาขอบของรูปภาพ (Edge Detection) [13]

จากพื้นฐานด้านแคลคูลัสจะพบค่าของอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งคือความชันของฟังก์ชันนั้นๆ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ตำแหน่งที่ค่าฟังก์ชันมีการเปลี่ยนแปลงมากๆจะทำให้ได้ค่าของความชันสูง ส่วนในตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงน้อยจะทำให้ค่าของความชันมีค่าต่ำๆหรือมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และเมื่อพิจารณาที่รูปภาพแล้วจะพบว่าบริเวณที่เกิดขอบของรูปคือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงมากๆทำให้เกิดเป็นเส้นขอบของรูปขึ้นมา

จากลักษณะของการเรียงข้อมูลของรูปภาพจะมีลักษณะเป็น 2 มิติ โดยมีแกน x คือแกนทางแนวนอน และ y เป็นแกนทางแนวตั้ง โดยที่ x และ y เป็นจำนวนเต็ม จุดภาพที่อยู่ตำแหน่ง x, y ใดๆ จะมีค่าของความเข้มของแสงค่าหนึ่ง ดังนั้น $f(x,y)$ จะเป็นค่าความเข้มของแสง ณ. พิกัด x และ y เป็นตำแหน่งตามแกนนอนและแกนตั้ง ตามลำดับ

จากการแทนรูปภาพเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์นั้นทำให้สามารถทำการหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของภาพได้โดยวิธีทางแคลคูลัส ดังต่อไปนี้

ให้ $f(x,y)$ เป็นฟังก์ชันของความเข้มของแสงที่ตำแหน่ง x และ y

อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของฟังก์ชัน $f(x,y)$ คือ $\nabla f(x,y)$ โดยที่

$$\nabla f(x,y) = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} + \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}$$

$$\nabla f(x,y) = Gx + Gy \qquad \ldots(24)$$

โดยที่

$$Gx = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}$$

$$Gx = \frac{f(x+1,y) - f(x,y)}{(x+1) - x}$$

$$Gx = f(x+1,y) - f(x,y) \qquad \ldots(25)$$

และในกรณีของ Gy ก็ทำนองเดียวกัน

$$Gy = f(x,y+1) - f(x,y) \qquad \ldots(26)$$

ดังนั้นขนาดและมุม (phase) ของค่าอนุพันธ์จะเป็น

$$\left\|\nabla f(x,y)\right\| = \sqrt{Gx^2 + Gy^2} \qquad \ldots(27)$$

$$\angle\nabla f(x,y) = \arctan(\frac{Gy}{Gx}) \qquad \ldots(28)$$

และจากลักษณะการวางตัวของข้อมูลในรูปภาพทำให้สามารถแทนค่าของรูปภาพเป็นเมทริกซ์ได้เช่นกัน และในการหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของเมทริกซ์นี้ทำได้โดยกระบวนการคอนโวลูต (Convolute) เมทริกซ์ดังกล่าวด้วยสูตรต่อไปนี้

$$E = f(x,y) \otimes M \qquad \ldots(29)$$

หรือ

$$E_{ij} = \sum_{l=0}^{m-1}\sum_{k=0}^{n-1} f(i+l, j+k) \times M(l,k) \qquad \ldots(30)$$

โดยที่

เมทริกซ์ M มีขนาด $m \times n$

E เป็นรูปภาพที่ทำการหาขอบแล้ว

เครื่องหมาย $\otimes$ แทนการคอนโวลูชั่น

สามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$Gx = f(x,y) \otimes \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \qquad \ldots(31)$$

$$Gy = f(x,y) \otimes \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad \ldots(32)$$

จากที่กล่าวข้างต้น ข้อมูลที่ได้จากการหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งนั้นจะเป็นภาพที่มีข้อมูลของขอบเด่นชัดเพราะมีค่าสูงๆ ส่วนบริเวณที่ไม่มีขอบอยู่จะมีค่าของอนุพันธ์ต่ำๆหรือเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นถ้าต้องการภาพที่เป็นขอบเด่นชัดขึ้นสามารถทำได้โดยการใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน(Threshold) เพื่อปรับค่าความเข้มให้เป็น 2 ค่าเท่านั้นโดยค่าขีดเริ่มเปลี่ยนนี้จะต้องมากกว่าค่าความเข้มแสงของจุดที่ไม่ต้องการเน้นขอบ แต่ต้องน้อยกว่าค่าความเข้มแสงของจุดที่ต้องการให้เป็นขอบ

ในการหาขอบของรูปภาพนั้นจะต้องทำกระบวนการคอนโวลูตทุกๆจุดของรูปภาพ ซึ่งมีวิธีการที่น่าสนใจคือ การหาขอบของรูปภาพโดยใช้ตัวดำเนินการโรเบิต (Roberts Operator) และตัวดำเนินการโซเบล (Sobel Operator) เป็นต้น

$\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ และ $\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ เป็นตัวดำเนินการโรเบิต

$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ และ $\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ เป็นตัวดำเนินการโซเบล

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ตัวดำเนินการโซเบล

2.4.2 การสร้างภาพไบนารี (Binary Image)

ภาพการจราจรส่วนใหญ่แล้วจะเป็นภาพที่มีพื้นหลัง (Background) ซึ่งเป็นถนนมีลักษณะค่อนข้างจะทึบเพราะมีค่าความเข้มของแสงน้อย ส่วนบริเวณที่เป็นวัตถุในภาพเช่นรถยนต์จะเป็นบริเวณที่มีความเข้มของแสงมากกว่ามาก ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีการทางการประมวลผลภาพในการทำให้วัตถุเด่นขึ้นมาและลบส่วนที่เป็นพื้นหลังออกไปโดยหาค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่งในการเปรียบเทียบซึ่งก็คือค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ถ้าจุดภาพในภาพมีค่ามากกว่าค่าดังกล่าวแล้วแสดงว่าเป็นจุดของวัตถุ ในทางกลับกันจะเป็นบริเวณพื้นหลังอธิบายด้วยฟังก์ชัน $g(x,y)$ ดังนี้

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x,y) > T \\ 0 & \text{if } f(x,y) \le T \end{cases} \quad \ldots(33)$$

โดยที่ $f(x,y)$ เป็นภาพที่จะทำการแปลงเป็นภาพไบนารี

$g(x,y)$ เป็นภาพไบนารี

T เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold)

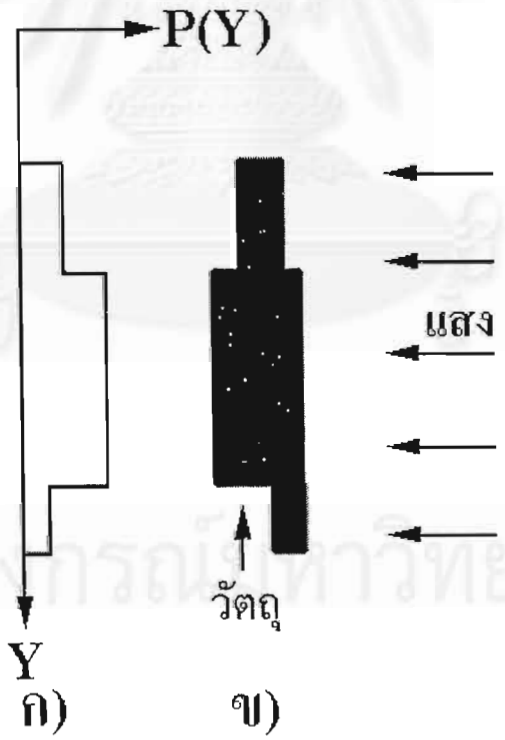
2.4.3 การฉาย (Projection)

เป็นการสร้างกราฟของฟังก์ชัน P(Y) จากภาพไบนารี (Binary Image) โดยที่สมมุติว่ามีแสงขนานที่ฉายตั้งฉากกับแกน Y ของภาพไบนารีนั้น ถ้าตำแหน่ง Y ใดๆในรูปภาพเป็นบริเวณที่วัตถุมีความหนามากก็จะทำให้แสงผ่านได้น้อย ส่วนในบริเวณที่บางกว่าก็จะทำให้แสงผ่านได้มากกว่าบริเวณที่ไม่มีวัตถุขวางทางเดินของแสงก็จะทำให้แสงผ่านได้ 100% ซึ่งจะเป็นบริเวณที่สว่างมากที่สุดนั้นเอง ดังนั้นจึงกำหนดให้ P(Y) เป็นผลรวมความหนาของวัตถุ ณ ระยะ Y ดังรูปที่ 2.2

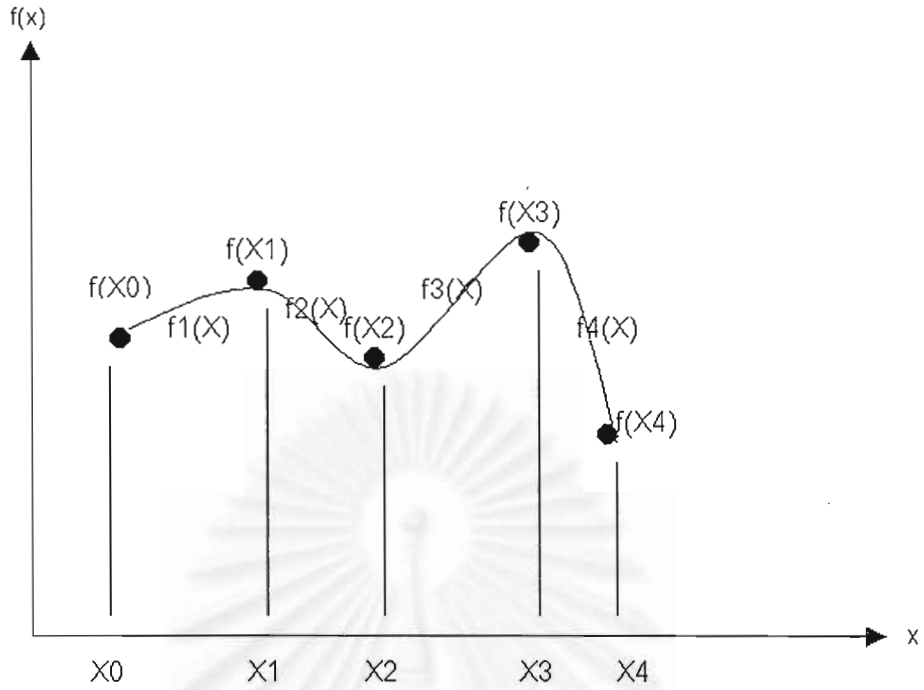
2.5 การประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้ง [14]

วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ การประมาณค่าในช่วงกำลังสาม (Cubic Spline) เพราะมีข้อดีกว่าการประมาณค่าโดยใช้ฟังก์ชันพหุนาม (Polynomial function) กำลังสูงๆ ซึ่งฟังก์ชันพหุนามกำลังสูงนั้นจะมีการกระจายไม่ดีในระหว่างช่วงข้อมูล ดังนั้นจึงได้ใช้ฟังก์ชันพหุนามกำลังต่ำซึ่งมีการกระจายในช่วงของข้อมูลดีกว่าเป็นตัวประมาณ

การประมาณเส้นโค้งวิธีนี้เป็นการสร้างชุดของสมการกำลังสามที่แต่ละสมการใช้ในการประมาณค่าระหว่างข้อมูลสองข้อมูลที่อยู่ติดกัน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การฉาย (Projection) (ก) เป็นวัตถุ (ข) กราฟด้านล่างเป็นผลที่ได้รับ



รูปที่ 2.3 การประมาณค่าในช่วงกำลังสาม [14]

โดยมีสมการทั่วไปดังนี้

$$f_i(x) = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i \quad , x_{i-1} \le x \le x_i \qquad \ldots(34)$$

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

a_i, b_i, c_i และ d_i เป็นค่าคงที่ซึ่งจะหาได้ด้วยข้อกำหนดต่างๆดังต่อไปนี้

i มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

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

การหาค่าคงที่ของเส้นโค้ง [14]

การหาค่าคงที่ของเส้นโค้งคือการหาค่าคงที่ a_i, b_i, c_i และ d_i ข้างต้นโดย

1) ค่าของฟังก์ชันที่จุดต่อภายในใดๆจะมีค่าเท่ากับเสมอ

$$f_i(x_i) = f(x_i) \qquad \ldots(35)$$

$$f_{i+1}(x_i) = f(x_i) \qquad \ldots(36)$$

ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขเป็นจำนวน $2(n-1)$ เงื่อนไข

2) ฟังก์ชันแรกจะผ่านค่าข้อมูล x_0 และฟังก์ชันที่ n จะผ่านค่าข้อมูลตัวที่ n เช่นกัน

$$f_1(x_0) = f(x_0) \quad \ldots(37)$$

$$f_n(x_n) = f(x_n) \quad \ldots(38)$$

ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขอีกจำนวน 2 เงื่อนไข

3) อนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันที่จุดต่อภายในใดๆจะต้องมีค่าเท่ากัน

$$\frac{d}{dx} f_i(x_i) = \frac{d}{dx} f_{i+1}(x_i) \quad \ldots(39)$$

ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขอีกจำนวน $n-1$ เงื่อนไข

4) อนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันที่จุดต่อภายในใดๆจะต้องมีค่าเท่ากัน

$$\frac{d^2}{d^2x} f_i(x_i) = \frac{d^2}{d^2x} f_{i+1}(x_i) \quad \ldots(40)$$

ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขอีกจำนวน $n-1$ เงื่อนไข

5) ค่าของอนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันที่จุดปลายทั้งสองมีค่าเป็นศูนย์

$$\frac{d^2}{d^2x} f_1(x_0) = \frac{d^2}{d^2x} f_n(x_n) = 0 \quad \ldots(41)$$

ซึ่งจะทำให้เกิดเงื่อนไขอีกจำนวน 2 เงื่อนไข

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

2.6 ความเร็ว (Velocity)

การคำนวณหาความเร็วของวัตถุใดๆที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งที่เวลา t_1 ไปยังอีกจุดหนึ่งได้ระยะทางเป็น S ณ เวลา t_2 ดังนั้นความเร็ว V จะเป็น

$$V = \frac{S}{T} \quad \ldots(42)$$

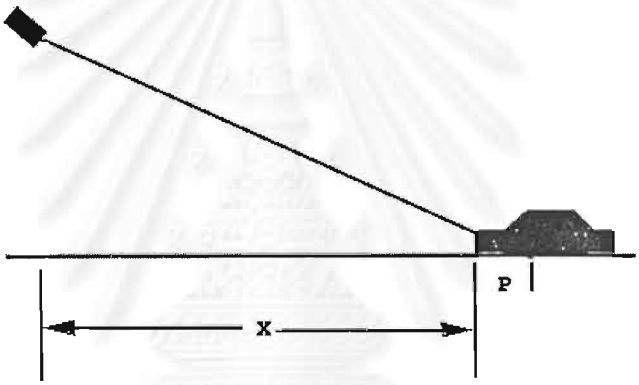
โดยที่ V เป็นความเร็วของวัตถุนั้น

S เป็นระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้

T เป็นเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เท่ากับ $t_2 - t_1$

2.7 ความผิดพลาดพาราแลกซ์ (Parallax Error)

ความผิดพลาดนี้เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากมุมมองของกล้อง รูปที่ 2.4 เมื่อกล้องติดตั้งในบริเวณที่สูงจากระดับพื้นดินแล้วมองกดลงยังรถยนต์ ภาพที่ปรากฏในกล้องนั้นบริเวณหน้ารถจะเป็นบริเวณที่อยู่ห่างจากกล้องไปเท่ากับ X+P ซึ่งระยะที่แท้จริงจะเป็นเพียงระยะ X เท่านั้น ระยะทางที่เพิ่มมา P เป็นระยะที่เกิดจากความผิดพลาดพาราแลกซ์ โดยระยะทางที่เกิดจากความผิดพลาดพาราแลกซ์นี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อตำแหน่งของรถยนต์อยู่ไกลจากฐานกล้องมากขึ้นด้วย



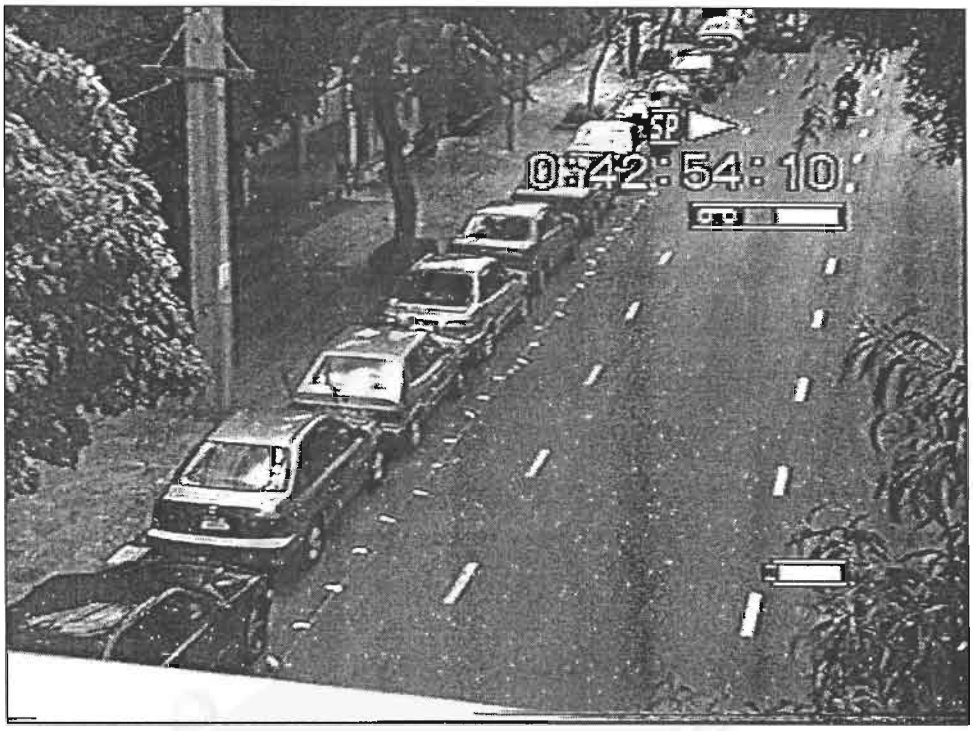
รูปที่ 2.4 ความผิดพลาดพาราแลกซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวัดความเร็ว

ในบทนี้เป็นการเสนอวิธีการวัดความเร็วรถยนต์ โดยการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากสัญญาณวีดิทัศน์ ภาพที่ได้จะเป็นภาพที่มองจากที่สูงมองลงไปยังช่องทางจราจรที่ต้องการตรวจจับความเร็วของรถยนต์ ลักษณะของภาพที่ได้รับจะเป็นภาพฉายเปอร์สเปคทีฟ (Perspective) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพฉายเปอร์สเปคทีฟ

จากรูปที่ 3.1 จะพบว่าถนนมีลักษณะลู่เข้า โดยที่บริเวณด้านล่างของภาพถนนจะกว้างกว่าเพราะอยู่ใกล้กล้องมากกว่า ส่วนบริเวณด้านบนของภาพเป็นบริเวณที่อยู่ไกลออกไป

นิยามคำศัพท์ที่อ้างถึงในการออกแบบขั้นตอนวิธีมีดังต่อไปนี้

1) ระบบพิกัดภาพ เป็นระบบที่ใช้ในการอ้างอิงจุดภาพบนจอภาพ (Monitor) โดยระบบที่ใช้ในที่นี้จะมีจุดกำเนิดที่มุมซ้ายบนและมีแกน X เป็นแกนนอนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจุดภาพอยู่ทางขวามือ และมีแกนตั้งเป็นแกน Y โดยมีค่าพิกัดเพิ่มขึ้นเมื่อจุดภาพอยู่ด้านล่างมีหน่วยเป็นจุดภาพ (Pixel)
2) ระยะทางจริง เป็นระยะที่วัดจากจุดอ้างอิง (Reference Point) บนพื้นถนนจุดใดจุดหนึ่งถึงจุดที่ต้องการทราบระยะทางจริงโดยทำการลากเส้นตรงเชื่อมจุดทั้งสองมีหน่วยเป็นเมตร

3) ผู้ใช้ (user) ในที่นี้หมายถึงผู้ที่ใช้งานโปรแกรมนี้
4) กรอบตรวจจับ (Detecting Frame) เป็นกรอบสี่เหลี่ยมที่ผู้ใช้งานระบบจะเป็นผู้กำหนดบนจอภาพด้วยเมาส์ โดยกรอบตรวจจับจะทำหน้าที่กำหนดขอบเขตที่โปรแกรมจะทำการประมวลผลเพื่อตรวจสอบการมีรถหรือไม่
5) แกนตั้งฉากอ้างอิง (Reference Perpendicular Axis, RPA) เป็นเส้นที่ผู้ใช้จะเป็นผู้กำหนดให้ระบบเอง โดยเส้นดังกล่าวนี้จะเป็นแนวสมมุติว่าตั้งฉากกับแนวเคลื่อนที่ของรถจริงบนพื้นถนน(ขนานกับหน้ารถ) ซึ่งจะใช้ประโยชน์ในขั้นตอนวิธีหาตำแหน่งจริงของขอบหน้ารถ
6) ทันกาล (Real Time) ในที่นี้หมายถึงการที่โปรแกรมสามารถคำนวณความเร็วของรถยนต์ที่แล่นเข้ามาในเฟรมได้เสร็จสิ้นและสามารถจะคำนวณความเร็วของรถคันต่อไปได้ทัน
7) ระยะห่างระหว่างกรอบตรวจจับ (Distance) เป็นระยะห่างระหว่างกรอบตรวจจับทั้งสองในมีหน่วยเป็นเมตร
8) อัตราในการจับเฟรม (Frame Rate) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของแผ่นวงจรจับเฟรม (Frame Grabber) โดยทั่วไปแล้วระบบเล่นเทปกลับนั้นจะส่งสัญญาณภาพออกมาประมาณ 30 เฟรมในหนึ่งวินาที แต่แผ่นวงจรจับเฟรมนั้นโดยทั่วไปแล้วจะไม่สามารถจับเฟรมมาได้ทั้งหมด 30 เฟรมในหนึ่งวินาที แต่จะจับได้น้อยกว่านั้นมาก ในระบบที่ใช้งานนี้จับได้เพียง 7 เฟรมในหนึ่งวินาที

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะของ Kou & Machemehl [9] ได้แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ความเร็ว ระยะห่างระหว่างกรอบตรวจจับ ความเร็วการจับเฟรมและความเร็วที่ความผิดพลาด โดยสรุปได้ว่าความเร็วการจับเฟรมมีผลมากที่สุดกับความผิดพลาดของความเร็วที่วัดได้ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำการจับเฟรมได้รวดเร็วเช่นนั้น จึงต้องลดความเร็วของการจับเฟรมลงทำให้เกิดความผิดพลาดของความเร็วมากขึ้น ระยะห่างระหว่างกรอบตรวจจับนั้นถ้ามีระยะสั้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดของความเร็วที่ตรวจจับมากกว่าระยะของกรอบตรวจจับที่ห่างกันมากกว่า แต่ถ้าระยะระหว่างกรอบตรวจจับห่างกันมากก็จะทำให้ได้ความเร็วเฉลี่ยยิ่งขึ้นแทนที่จะได้ค่าที่เข้าใกล้ค่าความเร็วขณะใดขณะหนึ่งของรถ ส่วนพารามิเตอร์สุดท้ายคือความเร็วของรถยนต์ที่ระบบตรวจจับถ้ามีความเร็วสูงจะทำให้ระบบตรวจจับได้ความเร็วผิดพลาดมากกว่ารถยนต์ที่มีความเร็วต่ำกว่า แต่พารามิเตอร์นี้เป็นสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้

ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญคือ ความสามารถของแผ่นจับเฟรม (Frame Grabber) ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถจับเฟรมได้เท่ากับมาตรฐาน โดยแผ่นวงจรที่ใช้อยู่ในขณะพัฒนานี้สามารถทำการจับเฟรมได้ 7 เฟรมต่อวินาที แต่ถ้ารวมเวลาที่ใช้ในการนำข้อมูลจากแผ่นวงจรจับเฟรมมาไว้ใน

หน่วยความจำหลัก (Main Memory) ของระบบคอมพิวเตอร์และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลภาพแล้วโดยเฉลี่ยจะสามารถทำได้ประมาณ 5 เฟรมต่อวินาทีเท่านั้น

การวัดความเร็วของรถยนต์โดยทั่วไปนั้นสามารถทำได้โดยกำหนดจุดสองจุดที่อยู่ห่างกันและทราบระยะทางนี้แน่นอน จากนั้นจะทำการบันทึกเวลาที่รถแล่นถึงจุดแรก และเมื่อรถแล่นถึงจุดที่สองก็จะบันทึกเวลาอีกครั้งหนึ่ง ระยะเวลาที่รถใช้ไปในการแล่นผ่านจุดแรกจนถึงจุดที่สองนั้นก็สามารถคำนวณได้จากเวลาที่บันทึกนั้นเอง ดังนั้นจึงสามารถคำนวณความเร็วของรถคันนั้นได้โดยนำระยะทางระหว่างจุดทั้งสองที่ทราบอยู่แล้วหารด้วยเวลาที่ใช้ไป

จากข้อจำกัดต่างๆที่กล่าวมาแล้วเป็นเหตุให้ต้องพิจารณาในสองส่วนที่สำคัญคือทำการกำหนดมุมมองของภาพและขั้นตอนวิธีเพื่อใช้ให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถทำงานในเวลาจริงได้

การกำหนดมุมมองของภาพ

เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์นี้เป็นระบบที่ทำงานในเวลาจริงเพื่อคำนวณความเร็วของรถยนต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพโดยตรง ดังนั้นลักษณะของภาพที่ใช้เป็นข้อมูลขาเข้าจึงมีความสำคัญเช่นกัน จากข้อจำกัดเรื่องความเร็วการจับเฟรมของแผ่นวงจรจับเฟรม เวลาที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละเฟรมและความเร็วสูงสุดที่ต้องการจับอย่างคร่าวๆ (ความเร็วสูงสุดที่จับได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นจะอธิบายในภายหลัง) จะเป็นปัจจัยในการกำหนดระยะห่างระหว่างกรอบตรวจจับทั้งสอง ระยะห่างระหว่างกรอบตัวจับที่สั้นที่สุดที่เป็นไปได้จะเท่ากับความเร็วสูงสุด (อย่างคร่าวๆ) ที่ต้องการตรวจจับคูณด้วยเวลาที่นานที่สุดที่ใช้ในการทำงานในหนึ่งเฟรมนั้นเอง

สมมุติว่ารถแล่นบนพื้นถนนผ่านกรอบตรวจจับที่ 1 แล้วในเวลาต่อมาก็แล่นผ่านกรอบตรวจจับที่ 2 ในการคำนวณความเร็วนั้นระบบคอมพิวเตอร์ต้องนำภาพรถเข้ามาประมวลผลซึ่งใช้เวลานานที่สุด 0.397848 วินาที ดังนั้นเมื่อระบบคอมพิวเตอร์จับภาพรถได้บริเวณตรวจจับที่ 1 แล้วทำการคำนวณตำแหน่งระยะจริงของรถบริเวณกรอบตรวจจับที่ 1 เสร็จสิ้นแล้ว จะทำการอ่านเฟรมถัดไปเข้ามาซึ่งเวลาก็ผ่านไปแล้ว 0.397848 วินาที ถ้ารถแล่นด้วยความเร็วสูงระบบอาจจะตรวจจับรถยนต์คันเดิมได้ในเฟรมถัดมาเลยก็เป็นได้ แต่ถ้ารถยนต์คันดังกล่าวแล่นช้ากว่านั้นก็จะจับได้ในเฟรมถัดๆไปนั้นเอง ดังนั้นจากระยะเวลาระหว่างเฟรมที่ใช้ในการประมวลผลคือ 0.397848 วินาทีนั้น สามารถนำมาคำนวณเพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับความเร็วรถยนต์ในช่วงที่กำหนดได้ เนื่องจากรถแล่นจากกรอบตรวจจับที่ 1 มายังกรอบตรวจจับที่ 2 ใช้เวลานานที่สุด 0.397848 วินาที ถ้ารถแล่นด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. หรือ 27.78 เมตรต่อวินาที ดังนั้นระยะทางที่รถแล่นได้เท่ากับ 11.05 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดที่เป็นไปได้ระหว่างกรอบตรวจจับทั้งสองถ้าต้องการวัดความเร็วรถที่แล่นด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. เป็นต้น ดังนั้นในการกำหนดมุมมองของภาพจึงต้องกำหนดให้ภาพที่ได้มีความกว้างยาวครอบคลุมระยะทางดังกล่าวด้วย และในการหาระยะทางจริงของรถในภาพในขั้นตอนวิธีนี้จะทำการหาเส้นตัวแทนของขอบหน้ารถ ดังนั้นจึงเป็นเงื่อนไขในการกำหนด

มุมมองด้วยเช่นกัน มองมุมที่ได้จะต้องเห็นบริเวณขอบหน้ารถชัดเจนนั้นเอง โดยในระบบคอมพิวเตอร์ระบบนี้จะกำหนดมุมมองของกล้องโดยเป็นมุมของกล้องที่ติดตั้งในบริเวณที่สูงเช่น เสาไฟฟ้า หรือบนสะพานลอยมองเป็นมุมกดลงมาที่ถนนโดยครอบคลุมระยะทางระหว่างกรอบตรวจจับทั้งสองด้วย โดยที่ให้รถวิ่งเข้าหากล้องเพื่อจะได้เห็นขอบหน้ารถอย่างชัดเจนนั่นเอง ข้อมูลภาพที่ใช้ในการประมวลผลนั้นต้องเป็นภาพที่เห็นขอบหน้าชัดเจน จึงเป็นเงื่อนไขหนึ่งที่แสงสว่างในขณะจับภาพนั้นจะต้องมีมากซึ่งก็คือเวลากลางวัน

ข้อมูลที่ผู้ใช้จะต้องกำหนดในการใช้โปรแกรมมีดังต่อไปนี้

1) กรอบตรวจจับ (Detecting Frame)

2) แกนตั้งฉากอ้างอิง (Reference Perpendicular Axis)

3) เครื่องหมายกำหนดระยะทาง (Distance Marking)

1) กรอบตรวจจับ (Detecting Frame)

กรอบตรวจจับถูกกำหนดขึ้นจำนวนสองกรอบ โดยกำหนดกรอบที่ 1 เป็นกรอบเริ่มจับหรือเป็นบริเวณที่รถแล่นมาถึงเป็นจุดแรก กรอบที่ 2 เป็นบริเวณที่แล่นต่อมาจากบริเวณกรอบที่ 1 ระยะห่างระหว่างกรอบนั้นถ้ามีระยะสั้นจะทำให้คำนวณความเร็วได้เป็นความเร็วเฉลี่ยที่มีค่าใกล้เคียงความเร็วขณะใดขณะหนึ่งของรถ แต่ก็จะมีผลเสียทำให้ความเร็วที่คำนวณได้มีความผิดพลาดมาก ถ้าเพิ่มระยะห่างระหว่างกรอบทั้งสองขึ้นจะทำให้การคำนวณมีความผิดพลาดน้อยลงแต่ความเร็วที่คำนวณได้นั้นจะเป็นความเร็วเฉลี่ยซึ่งอาจจะมีค่าต่างจากความเร็วขณะใดขณะหนึ่งมากขึ้น

ขนาดของกรอบตรวจจับนั้นควรมีขนาดที่สามารถครอบคลุมบริเวณขอบหน้ารถยนต์ที่จะตรวจจับได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากในขั้นตอนวิธีจำเป็นต้องหาตำแหน่งอ้างอิงของขอบหน้ารถ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการกำหนดควรจะมีขนาดใหญ่ประมาณสองเท่าของหน้ารถที่เห็นบนจอภาพ (Monitor)

บริเวณที่ใช้ในการกำหนดกรอบตรวจจับที่ 1 นั้นเป็นบริเวณแรกที่รถจะแล่นมาถึง ซึ่งจะอยู่บริเวณด้านบนของภาพในจอภาพ โดยกำหนดให้อยู่ในทางวิ่งของรถและมีเครื่องหมายกำหนดระยะทางปรากฏอยู่ด้วย ส่วนการกำหนดกรอบตรวจจับที่ 2 นั้นเป็นบริเวณที่รถแล่นผ่านมาจากกรอบตรวจจับที่ 1 แล้วโดยจะกำหนดไว้บริเวณด้านล่างของภาพที่เห็นในจอภาพ โดยกำหนดให้ห่างจากขอบล่างของจอภาพเป็นระยะอย่างน้อยหนึ่งช่วงคันรถ เพราะในขั้นตอนวิธีในการหาขอบหน้าของรถมีการเลื่อนกรอบตรวจจับเพื่อหาขอบหน้ารถ ถ้ากำหนดให้กรอบตรวจจับอยู่ห่างจากขอบด้านล่างของจอภาพน้อยเกินไป จะทำให้ไม่เห็นขอบหน้ารถเมื่อต้องเลื่อนกรอบตรวจจับ

2) แกนตั้งฉากอ้างอิง (Reference Perpendicular Axis หรือ RPA)

แกนตั้งฉากอ้างอิง จะกำหนดไว้จำนวนสองเส้น การกำหนดแกนตั้งฉากอ้างอิงนั้นจะต้องกำหนดให้เส้นดังกล่าวนี้ให้ขนานกับแนวหน้ารถมากที่สุด เพื่อลดความผิดพลาดในการหมุนภาพและฉายเงาซึ่งจะกล่าวต่อไป ในการกำหนดแกนตั้งฉากอ้างอิงควรจะทำโดยการจับภาพนิ่งของรถยนต์ที่แล่นมาในบริเวณกรอบตรวจจับที่ต้องการกำหนดแกนตั้งฉากอ้างอิงจากนั้นจึงใช้บริเวณขอบ

หน้ารถของภาพนิ่งดังกล่าวเป็นแนวในการลากเส้นเพื่อกำหนดแกนตั้งฉากอ้างอิงบริเวณกรอบตรวจจับนั้น ในการกำหนดตำแหน่งของแกนตั้งฉากอ้างอิง ควรกำหนดให้อยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับไปจนกึ่งตำแหน่งที่การเลื่อนกรอบตรวจจับจะครอบคลุมถึงเพื่อให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่หน้ารถจะปรากฏมากที่สุดเพื่อให้ระยะทางอ้างอิงที่จะคำนวณได้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของเปอร์สเปคทีฟของภาพ

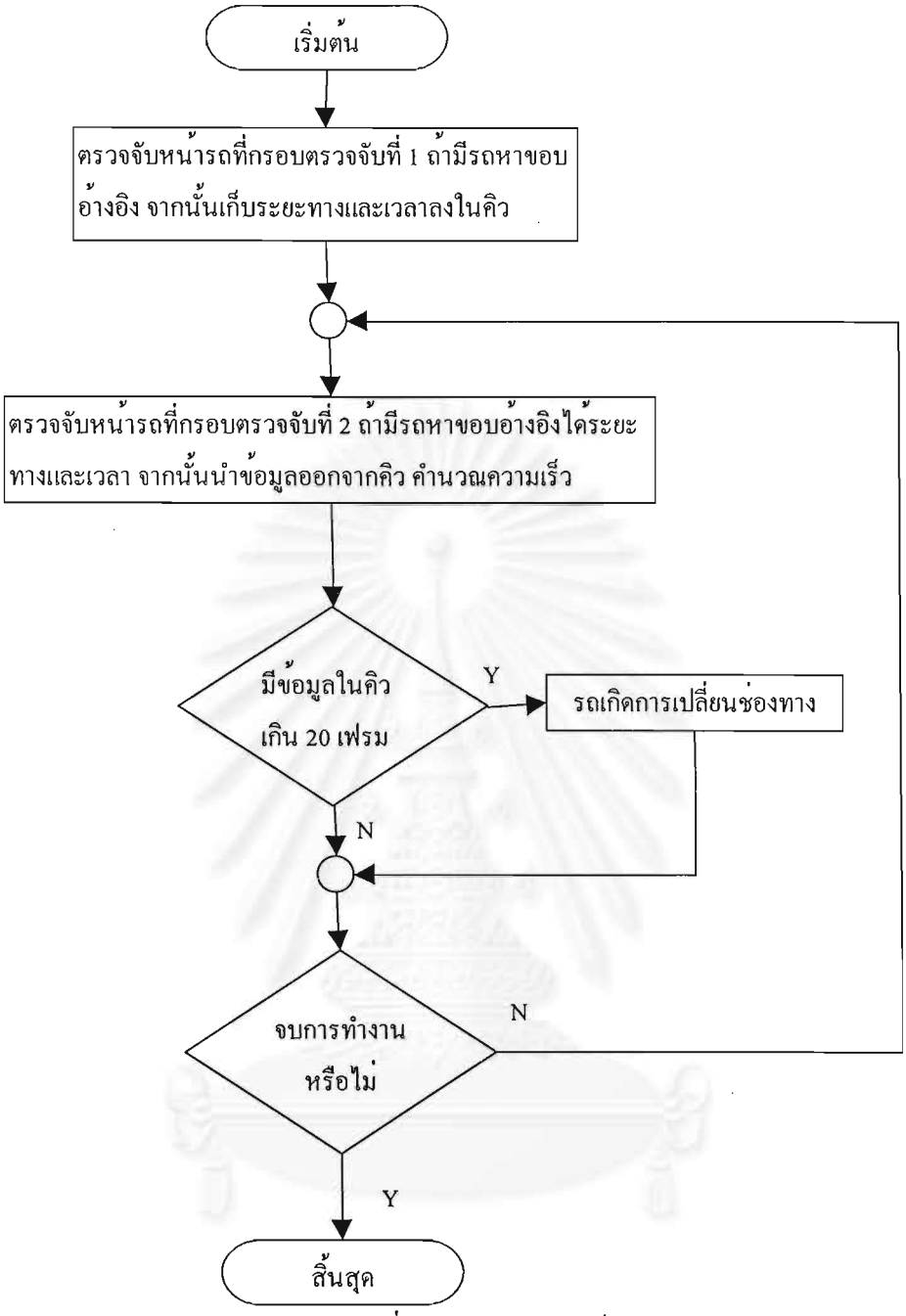
3) เครื่องหมายกำหนดระยะทาง (Distance Marking)

เครื่องหมายกำหนดระยะทาง เป็นส่วนที่ใช้ในคำนวณหาระยะทางของขอบหน้ารถที่โปรแกรมคำนวณได้ โดยการกำหนดค่านี้ในที่นี้ใช้ระยะทุกๆ 1 เมตร เป็นแนวเส้นตรงขนานกับทางวิ่งของรถยนต์ตั้งแต่บริเวณกรอบตรวจจับที่ 1 ไปจนกระทั่งสุดภาพในกล้องวีดิทัศน์เมื่อจะทำการตรวจจับความเร็ว

ขั้นตอนวิธี

การคำนวณหาความเร็วของรถยนต์นั้นสามารถทำได้ดังรูปที่ 3.2 โดยเริ่มจากตรวจสอบหารถที่กรอบตรวจจับที่ 1 ถ้ามีให้ทำการหาขอบอ้างอิงของรถและคำนวณระยะทางของขอบอ้างอิงจากนั้นเก็บข้อมูลระยะทางและเวลาลงในคิว เพื่อนำมาคำนวณในขั้นตอนต่อไป ลำดับถัดมาตรวจสอบหารถที่กรอบตรวจจับที่ 2 ถ้ามีให้ทำการหาขอบอ้างอิงของรถและคำนวณระยะทางของขอบอ้างอิง จากนั้นนำข้อมูลระยะทางและเวลาที่เก็บไว้ในคิวมาทำการคำนวณหาระยะทางที่รถแล่นจากกรอบตรวจจับที่ 1 ถึง 2 และหาเวลาที่ใช้ไป เมื่อทราบระยะทางและเวลาที่ใช้เดินทางจะสามารถคำนวณหาความเร็วของรถยนต์คันดังกล่าวได้

ขั้นตอนที่กำหนดค่าเริ่มต้นก่อนการตรวจจับขอบของรถ ณ บริเวณตรวจจับสองจุด ได้แก่ การกำหนดจุดอ้างอิง(Reference Point) เครื่องหมายกำหนดระยะทาง (Distance Marking) และการคำนวณระยะบนถนนของบริเวณขอบหน้ารถ ขั้นตอนดังกล่าวเริ่มจากการกำหนดเครื่องหมายบอกระยะ ในการวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการทำเครื่องหมายบอกระยะทางบนพื้นผิวถนนโดยใช้แถบเส้นที่ใช้ในการกำหนดระยะทาง รูปที่ 3.3 และ 3.4 แสดงให้เห็นถึงเครื่องหมายกำหนดระยะทางทุกๆ 1 เมตร โดยจะกำหนดจุดแรกที่อยู่ด้านบน(ไกลกล้องที่สุด)ของรูปเป็นจุดอ้างอิง การคำนวณระยะทางเทียบกับจุดอ้างอิงนั้นทำได้โดยคำนวณหาตำแหน่งขอบหน้ารถ จากนั้นทำการฉายเงา (Projection) ขอบหน้ารถที่หาได้ตามแกนตั้งฉากอ้างอิงที่ได้กำหนดไว้ก่อนหน้าแล้ว โดยเส้นดังกล่าวเป็นเส้นที่ผู้ใช้กำหนดโดยเชื่อว่าเป็นเส้นซึ่งขนานกับแนวหน้ารถจริง ณ บริเวณที่ตรวจจับนั้นๆ ดังนั้นจะทราบระยะทางของหน้ารถเทียบกับจุดอ้างอิงได้ สาเหตุที่ต้องกำหนดแกนตั้งฉากอ้างอิงเพราะเมื่อภาพที่ได้รับเป็นภาพเอียงแนวขอบหน้ารถจะเป็นแนวที่ไม่ขนานกับแนวนอนจึงต้องมีการกำหนดแนวนี้ด้วย



รูปที่ 3.2 การหาความเร็ว

ลำดับต่อไปจะเป็นวิธีการวัดความเร็วรถยนต์อย่างละเอียดโดยประมวลข้อมูลจากภาพระดับเทาซึ่งต่อไปจะเรียกว่า f_{raw} ซึ่งได้จากแผ่นวงจรจับภาพ โดยรถที่ต้องการตรวจจับความเร็วจะอยู่ในแนวของช่องทางที่มีการกำหนดบริเวณตรวจจับทั้ง 2 บริเวณ ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งขั้นตอนในการหาความเร็วมีดังนี้

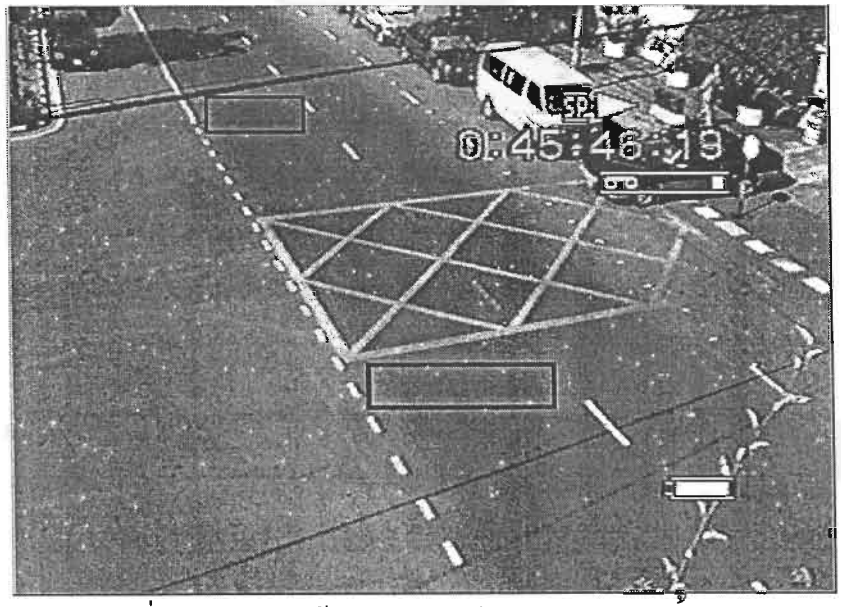
1. กำหนดกรอบตรวจจับ (Detecting Frame) ในช่องทางจราจรที่รถแล่นผ่าน ระยะห่างกันซึ่งสามารถคำนวณได้จากความเร็วการจับเฟรมและความเร็วสูงสุดของรถยนต์ที่ต้องการตรวจ

จับความเร็วดังที่ได้แสดงตัวอย่างในข้างต้น เพื่อตรวจจับตำแหน่งขอบหน้าของรถตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 ดังรูปที่ 3.4

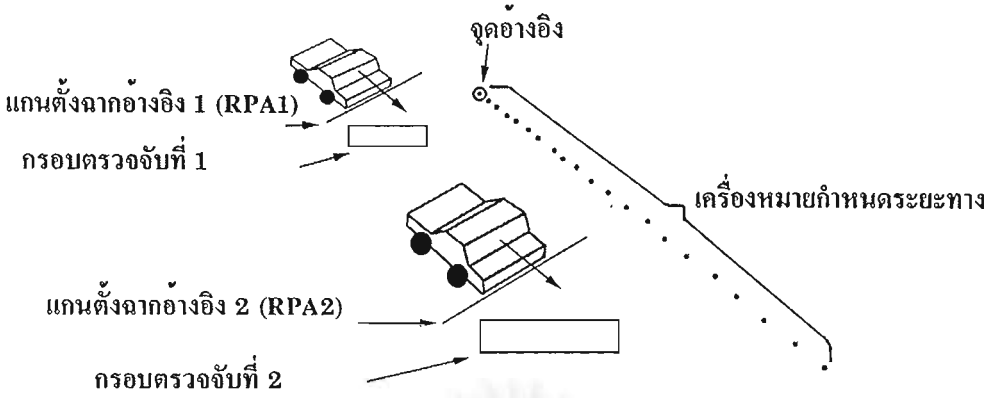
2. กำหนดเครื่องหมายกำหนดระยะทาง (Distance Marking) บนถนนเพื่อใช้ในการประมาณตำแหน่งขอบหน้ารถที่ตรวจจับ และแกนตั้งฉากอ้างอิง RPA1 และ RPA2 ดังรูปที่ 3.4
3. อ่านข้อมูลสัญญาณวีดิทัศน์จำนวน 1 เฟรม (f_{raw}) และบันทึกเวลา
4. หาตำแหน่งขอบหน้ารถในบริเวณกรอบตรวจจับที่ 1 (Detecting Frame 1) ถ้ามีรถปรากฏอยู่ จะได้ตำแหน่งหน้ารถมีระยะเป็น S_1 เมตร และนำเวลาที่บันทึกไว้เก็บลงในคิว (Queue) และกำหนดเรียกว่า t_1 ทั้งนี้เพื่อป้องกันความผิดพลาดในกรณีที่รถคันแรกได้ผ่านกรอบตรวจจับที่ 1 แล้วแต่ยังไม่ผ่านกรอบตรวจจับที่ 2 (Detecting Frame 2) แต่ปรากฏว่ามีรถคันที่ 2 เข้ามาในกรอบตรวจจับที่ 1 มาอีก
5. หาตำแหน่งขอบหน้ารถในบริเวณกรอบตรวจจับที่ 2 ถ้ามีรถปรากฏอยู่จะได้ตำแหน่งหน้ารถมีระยะเป็น S_2 เมตร และเวลาที่บันทึกไว้นั้นเรียกว่า t_2
6. ถ้าขั้นตอนที่ 5 มีรถปรากฏอยู่ นำข้อมูลตำแหน่ง S_1 และ t_1 ออกจากคิว (Queue) คำนวณความเร็วได้จาก

$$V = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1}$$

7. ถ้ายังไม่จบโปรแกรมเริ่มทำข้อ 3 ใหม่



รูปที่3.3 ภาพจริงพร้อมกับตำแหน่งกรอบตรวจจับทั้งสอง



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงกรอบตรวจจับ แกนตั้งฉากอ้างอิงและเครื่องหมายกำหนดระยะทาง

จากขั้นตอนข้างต้นนั้น ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดคือการหาขอบหน้ารถให้ถูกต้องเพื่อการคำนวณหาระยะทางเทียบกับจุดอ้างอิง ซึ่งจะมีผลต่อความแม่นยำในการวัดความเร็ว เพื่อหาขอบหน้ารถมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การตรวจสอบการปรากฏของรถในกรอบตรวจจับ

ในการตรวจสอบว่ามีรถปรากฏในกรอบตรวจจับหรือไม่ สามารถทำโดยการใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (AD) ของจุดภาพในกรอบตรวจจับเป็นตัวบ่งบอก โดยทั่วไปถ้าภาพในกรอบตรวจจับเป็นถนนจะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยต่ำ ในกรณีที่กรอบตรวจจับมีบางส่วนของรถยนต์ปรากฏจะทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยมีค่ามากกว่าปกติ ดังนั้นหากกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่เหมาะสมก็จะสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจว่ามีรถหรือไม่มีรถในกรอบตรวจจับได้ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนได้จากการทดลองกับภาพตัวอย่างนั้นพบว่าถ้าเป็นภาพที่มีรถยนต์อยู่ในกรอบตรวจจับจะมีค่าส่วนเบนเบี่ยงเฉลี่ยสูงมาก จากการทดลองพบว่าเมื่อไม่มีรถค่านี้จะไม่เกิน 10 ในภาพที่มีรถปรากฏจะมีค่ามากกว่า 30 ในที่นี้จึงได้ใช้ค่า 20 เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน

3.2 การเลื่อนกรอบตรวจจับหาขอบหน้ารถยนต์

เมื่อตรวจพบว่ามีรถอยู่ในกรอบตรวจจับแล้ว ในลำดับต่อไปจะต้องตรวจหาเส้นอ้างอิงของตัวรถซึ่งในที่นี้จะใช้ส่วนหน้าสุดของรถเป็นหลัก แต่เนื่องจากส่วนของรถยนต์ในกรอบตรวจจับไม่จำเป็นต้องเป็นส่วนหน้าสุดของรถเสมอไปขึ้นอยู่กับจังหวะที่จับภาพรถได้ว่าเป็นเฟรมใด ในที่นี้ได้ใช้วิธีเลื่อนกรอบไปในทิศทางที่รถเคลื่อนที่ครั้งละครึ่งหนึ่งของความลึกของกรอบตรวจจับเพื่อตรวจว่ามีบางส่วนของรถอยู่หรือไม่ จนกระทั่งพบบริเวณที่เป็นส่วนหน้ารถ ดังในรูปที่ 3.5 และในรูปที่ 3.6

การเลื่อนกรอบไปในทิศทางที่รถแล่นนั้นสามารถคำนวณหาได้จากสมการเส้นตรงที่ผ่านจุดกึ่งกลางของกรอบตรวจจับที่ 1 และกึ่งกลางของกรอบตรวจจับที่ 2 เนื่องจากรถแล่นจากกรอบตรวจจับที่ 1 ไปยังกรอบตรวจจับที่ 2 ดังสมการที่ (43) ต่อไปนี้

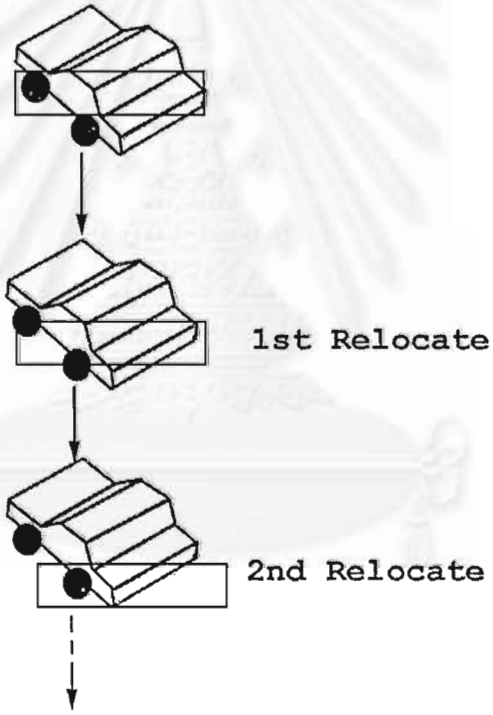
$$Y = \frac{(Y_2 - Y_1) * X}{(X_2 - X_1)} + Y_1 - \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} * X_1 \qquad \ldots(43)$$

โดยที่ Y เป็นพิกัดทางแนวตั้งของภาพ

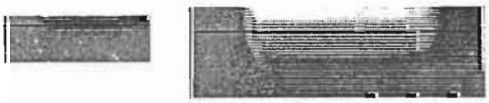
X เป็นพิกัดทางแนวนอนของภาพ

X_1, Y_1 เป็นตำแหน่งพิกัดของจุดกึ่งกลางของกรอบตรวจจับที่1 ในภาพที่จับได้

X_2, Y_2 เป็นตำแหน่งพิกัดของจุดกึ่งกลางของกรอบตรวจจับที่2 ในภาพที่จับได้



รูปที่ 3.5 การเลื่อนกรอบตรวจจับเพื่อหาตำแหน่งหน้ารถที่ถูกต้อง



(ก) (ข)

รูปที่ 3.6 (ก) เป็นรูปจากกรอบตรวจจับที่ 1 (ข) เป็นรูปจากกรอบตรวจจับที่ 2 และเส้นที่ลากขวางเป็นบริเวณที่พบว่าเป็นขอบรถ

ตำแหน่งพิกัดใหม่ของกรอบตรวจจับที่เลื่อนไปคือ Y_{new} และ X_{new} โดย Y_{new} ได้จากการเลื่อนตำแหน่ง Y_{old} ไปเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึกของกรอบ

$$Y_{new} = Y_{old} + \frac{Depth}{2} \qquad \ldots(44)$$

โดยที่ Y_{new} เป็นตำแหน่งพิกัดภาพ Y ใหม่ของกรอบตรวจจับ

Y_{old} เป็นตำแหน่งพิกัดภาพ Y เก่าของกรอบตรวจจับ

$Depth$ เป็นความสูงของกรอบตรวจจับ

เมื่อได้ Y_{new} ก็สามารถหาค่า X_{new} ซึ่งเป็นตำแหน่งพิกัดภาพ X ใหม่ของกรอบตรวจจับได้โดยใช้สมการเส้นตรง (43) ข้างต้น

3.3 การหาขอบของหน้ารถ

ในการหาขอบของหน้ารถนั้นในขั้นแรกต้องทำการหาขอบของภาพรถในกรอบตรวจสอบทำโดยใช้ตัวดำเนินการโซเบล (Sobel Operator) ทำคอนโวลูชั่น (Convolution) กับภาพที่ต้องการหาขอบ ได้ผลเป็น f_{edge} จากนั้นนำ f_{edge} ไปทำเป็นภาพไบนารีโดยนำค่าของจุดในรูปตรวจสอบกับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่กำหนดไว้ถ้ามากกว่าก็กำหนดค่าเป็น 1 ถ้าน้อยกว่ากำหนดค่าเป็น 0 ได้ผลลัพธ์เป็น f_{bin} ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากการทดลองมีค่าเป็น 80 (จากค่า 0 ถึง 255)

$$f_{edge}(i,j) = Sx \otimes f_{raw}(i,j) + Sy \otimes f_{raw}(i,j) \qquad \ldots(45)$$

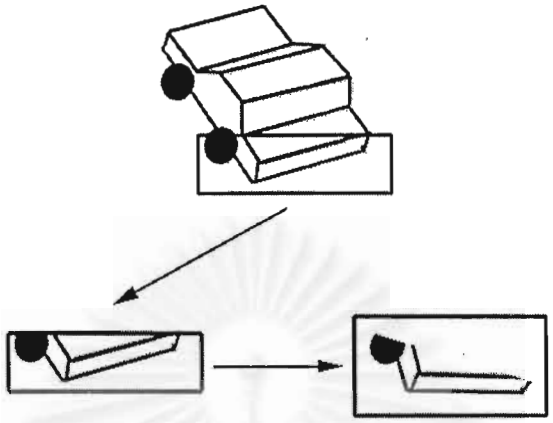
$$Sx = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ และ } Sy = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \qquad \ldots(46)$$

$$f_{bin}(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } f_{edge}(\text{i, j}) \geq \text{Threshold} \\ 0 & \text{if } f_{edge}(\text{i, j}) < \text{Threshold} \end{cases} \qquad \ldots(47)$$

โดยที่ (i,j)เป็นจุดที่อยู่ในกรอบตรวจจับ

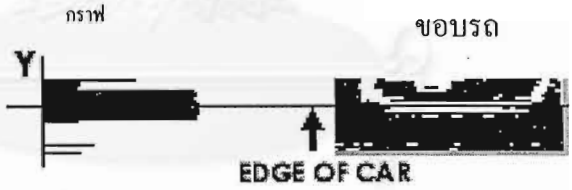
ขั้นตอนข้างต้นนี้จะทำให้ได้ภาพที่มีความเข้มสองระดับหรือภาพไบนารีที่เป็นขอบของรถเท่านั้น แต่เนื่องจากภาพขอบหน้ารถไม่อยู่ในแกนนอนจึงทำให้คำนวณหาแนวหน้ารถในทันทีไม่

ได้ วิธีแก้ปัญหานี้กระทำโดยการนำภาพไบนารีที่ได้มาทำการหมุนภาพเพื่อฉายภาพ (Projection) ลงบนแกน Y ตามรูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8 ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 การหมุนกรอบเพื่อให้แนวหน้ารถขนานกับแนวราบ

โดยมุมที่ใช้ในการหมุนคือมุมที่ได้จากผู้ใช้กำหนดแกนตั้งฉากอ้างอิง (RPA) โดยจะทำการหมุนในแนวขอบหน้ารถขนานกับแนวนอนของภาพ จากนั้นนำภาพไบนารีของหน้ารถไปเขียนกราฟฉายภาพโดยมีลักษณะดังรูปที่ 3.8 โดยที่แกน X และ Y เป็นไปตามความหมายของการฉายในหัวข้อ 2.4.3



รูปที่ 3.8 การหาขอบรถจากภาพขอบรถ

จากนั้นทำการหาพื้นที่โดยการอินทิเกรต (Integrate) กราฟที่ได้โดยการอินทิเกรตตามแนวตั้ง กำหนดให้ตัวแทนของขอบที่แท้จริงอยู่ที่ตำแหน่งที่แบ่งพื้นที่ของกราฟเป็น 2 ส่วนเท่าๆกันซึ่งต่อไปกำหนดเรียกว่า Real Edge (RE) ตามรูปที่ 3.8 คือ Edge of Car ซึ่งเส้น RE นี้เป็นเส้นที่ได้จากภาพที่หมุนแกนแล้วจึงทำให้ไม่เป็นเส้นในพิกัดภาพของรูปจริง จึงจำเป็นต้องนำเส้น RE มาหมุนกลับ (Inverse of the Rotation) เพื่อให้อยู่ในพิกัดภาพและสามารถอ้างอิงระยะจริงที่กำหนดไว้แต่ต้นที่ขอบถนนได้ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

3.4 ระยะของตำแหน่งหน้ารถเทียบกับถนน

เนื่องจากเส้น RE ซึ่งเป็นเส้นที่แทนขอบหน้ารถในภาพ สามารถลากแนวเส้นเพื่อหาจุดตัดของเส้น RE กับเส้นกำหนดระยะทางคือจุด P1 จะเป็นจุดตำแหน่งอ้างอิงของระยะของขอบหน้ารถบนถนนในภาพ จุดดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาระยะจริงบนถนนได้โดยใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงกำลังสาม(Cubic Spline)ในการคำนวณ สาเหตุที่ต้องทำการคำนวณระยะทางด้วยฟังก์ชันการประมาณในช่วงกำลังสามนั้นก็เพราะภาพที่ได้จริงมักมีการบิดเบี้ยว (Distort) อันเกิดจากการขยายภาพหรือ เกิดจากเลนส์ที่ใช้ในกล้อง การคำนวณด้วยวิธีนี้ จะได้ผลที่ใกล้เคียงกับของจริงมากและลดปัญหาเรื่องการบิดเบี้ยวของภาพได้

จากรูปที่ 3.9 ที่กรอบตรวจจับที่ 1 มีเส้น RE1 เป็นตัวแทนขอบหน้าของรถยนต์ โดยมีสมการของ RE1 ดังต่อไปนี้

$$Y_{rel} = M_{rel} X_{rel} + C_{rel} \qquad \ldots(48)$$

โดยที่ Y_{rel} , X_{rel} เป็นพิกัดของจุดในเส้น RE1

M_{rel} เป็นความชันของแนวขนานขอบหน้ารถ

C_{rel} เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากการฉายภาพในขั้นตอนที่แล้ว

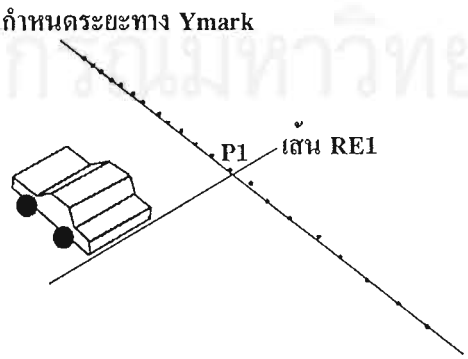
ส่วนเส้นกำหนดระยะทางมีสมการดังต่อไปนี้

$$Y_{mark} = M_{mark} X_{mark} + C_{mark} \qquad \ldots(49)$$

โดยที่ Y_{mark} , X_{mark} เป็นพิกัดของจุดในเส้นกำหนดระยะทาง

M_{mark} เป็นความชันเป็นความชันของเส้นบอกระยะ

C_{mark} เป็นค่าคงที่สามารถหาได้จากจุดกำหนดระยะทาง



รูปที่ 3.9 แสดงการคำนวณหาจุดตัดบนเส้นกำหนดระยะทาง

จากสมการทั้งสองสามารถคำนวณหาจุดตัดที่ P1 ได้ซึ่งเป็นจุดบนเส้นกำหนดระยะที่ผู้ใช้ได้ทำเครื่องหมายบอกระยะไว้บนถนน จุด P1 ที่ได้นั้นเป็นจุดบนภาพจึงต้องใช้การประมาณในช่วงกำลังสามในการประมาณระยะทางจริงเทียบกับจุดอ้างอิงบนถนน โดยสามารถเขียนได้ดังนี้

$$D = f(x, y) \qquad \ldots(50)$$

โดยที่ D เป็นระยะทางจริงที่ได้จากการเทียบจากภาพ

f เป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับพิกัด x, y ของรูปภาพ

x, y เป็นพิกัดของรูปภาพ

แต่จากรูปจะพบว่าเส้นกำหนดระยะทางบนพื้นถนนนั้นเป็นเส้นตรง ทำให้เขียนได้ว่า

$$x = g(y) \qquad \ldots(51)$$

โดยที่ g เป็นฟังก์ชันเส้นตรงโดยที่มี x เป็นตัวแปรตาม และ y เป็นตัวแปรต้น

x เป็นพิกัดแกนนอนของรูป

y เป็นพิกัดแกนตั้งของรูป

หรือสามารถแทนได้ด้วยสมการ

$$D = f(g(y), y) = T(y) \qquad \ldots(52)$$

โดยที่ T เป็นฟังก์ชันที่แทนความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางบนถนนกับพิกัด y ของรูปภาพ

y เป็นพิกัดแกนตั้งของรูปภาพ

ดังนั้นจึงสามารถสร้างฟังก์ชันการประมาณในช่วงกำลังสามที่ใช้เพียงค่าพิกัดแนวตั้งของรูปภาพเพื่อคำนวณหาระยะทางจริงบนถนนได้ จากจุด P1 สามารถคำนวณหาระยะทางจริงบนถนนได้โดยคำนวณจากพิกัดแกนตั้งของจุด P1 นั้นเอง ระยะทางที่จุด P2 ก็สามารถทำได้ด้วยวิธีที่กล่าวข้างต้นด้วย

3.5 การหาความเร็ว

จากนั้นเมื่อทราบระยะทางที่รถเคลื่อนจากจุด P_1 ไปยังจุด P_2 และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ แล้วก็สามารถทำการคำนวณความเร็วของรถยนต์ได้ดังสูตร $V = \frac{S}{T}$ โดยที่ V เป็นความเร็ว S เป็นระยะทาง และ T เป็นเวลาที่ใช้

3.6 ความเร็วสูงสุด

ความเร็วสูงสุดที่โปรแกรมสามารถวัดได้นั้น จะคิดได้ในสองกรณี ลักษณะแรกคือกรณีวิกฤต (Critical Case) และกรณีที่สองเป็นลักษณะทั่วไปที่เกิดขึ้นบ่อยๆ (Average Case)

กรณีที่ 1

กรณีนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อในการจับเฟรมใดๆแล้วต้องใช้เวลาในการประมวลผลกับเฟรมนั้นนานเป็นพิเศษ ซึ่งเกิดจากสาเหตุต้องมีการเลื่อนกรอบตรวจจับหลายครั้ง หลังจากการคำนวณเฟรมดังกล่าวแล้วก็จะทำการจับเฟรมต่อไปเพื่อคำนวณความเร็วแต่ปรากฏว่ารถมีความเร็วสูงทำให้ในเฟรมถัดมาไม่สามารถจับภาพรถในบริเวณกรอบตรวจจับทำให้ไม่สามารถจับความเร็วของรถคันดังกล่าวนี้ ความเร็วดังกล่าวจึงเป็นความเร็วสูงสุดกรณีที่ 1 ในการวัดเวลาที่โปรแกรมใช้ในการประมวลผลในเฟรมลักษณะต่างๆพบว่ากรณีที่เป็นไปได้ในการใช้เวลามากที่สุดแล้วต้องจับเฟรมถัดไปเพื่อที่จะหารถคันใหม่ได้ทันนั้นเป็นตามรูปที่ 3.10 เมื่อโปรแกรมจับเฟรมได้แล้ว ปรากฏว่ามีรถอยู่ในกรอบตรวจจับที่ 1 โดยส่วนท้ายของรถอยู่ในกรอบตรวจจับ ทำให้โปรแกรมต้องเสียเวลาในการเลื่อนกรอบมากที่สุด และรถอีกคันหนึ่งอยู่ในบริเวณที่จะเข้ากรอบตรวจจับที่ 2 แต่ยังไม่เข้า ดังนั้นโปรแกรมจะเสียเวลาสูงสุดในการตรวจหาบริเวณหน้ารถในกรอบตรวจจับที่ 1 เป็นเวลา 0.397848 วินาที ซึ่งเมื่อพ้นเวลาดังกล่าวรถก็ได้แล่นเลยผ่านกรอบตรวจจับที่ 2 ไปแล้วซึ่งระยะทางที่รถแล่นไปเท่ากับความยาวของรถ (4 เมตรในที่นี้) รวมกับความลึกของกรอบตรวจจับที่ 2 (1.2 เมตรในที่นี้) ซึ่งเป็นระยะทางทั้งสิ้น 5.2 เมตร ดังนั้นความเร็วสูงสุดที่โปรแกรมจะคำนวณได้คือความเร็วที่รถวิ่งได้ 5.2 เมตรใน 0.397848 วินาที หรือ 47.05 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่กรณีนี้จะเกิดขึ้นยากมาก

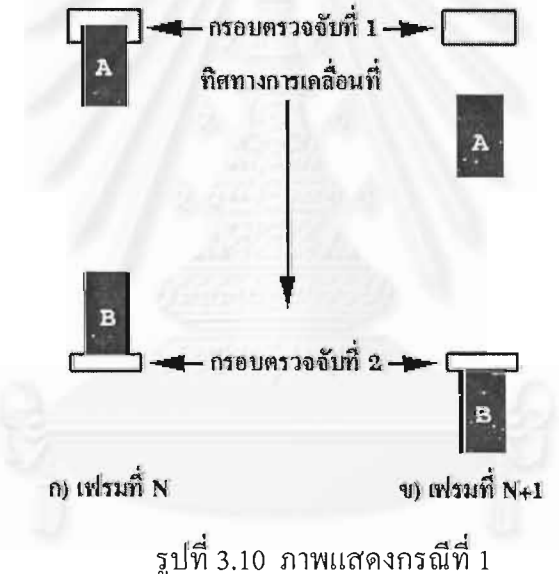
กรณีที่ 2

ในกรณีนี้รถที่ปรากฏอยู่ในเฟรมนั้นจะมีเพียงคันเดียวเท่านั้น ซึ่งอาจจะอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับที่ 1 หรือ 2 ก็ได้ ความเร็วสูงสุดในกรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อรถแล่นเข้าใกล้กรอบตรวจจับแล้วแต่ยังไม่ถึง จึงตรวจจับไม่พบซึ่งโปรแกรมจะใช้เวลาไปในการประมวลผลด้วยซึ่งจากการวัดมีค่าเท่ากับ 0.198744 วินาที ซึ่งในช่วงที่โปรแกรมทำการประมวลผลนั้นรถก็แล่นไปด้วย ถ้ารถคันดังกล่าวมีความเร็วมากพอก็จะแล่นข้ามกรอบตรวจจับไปได้ซึ่งระยะทางเท่ากับความลึกของกรอบ (กรอบตรวจจับที่ 1 เป็น 2.5 เมตร และกรอบตรวจจับที่ 2 เป็น 1.2 เมตร) รวมกับความยาวของรถ

ยนต์ (4 เมตร) ซึ่งจะเป็นผลให้โปรแกรมไม่สามารถจับความเร็วของรถคันดังกล่าวได้ ในการคิดความเร็วดังกล่าวจะแยกพิจารณาที่แต่ละกรอบตรวจจับดังนี้

1) กรอบตรวจจับที่ 1 ความเร็วสูงสุดที่โปรแกรมคำนวณได้นั้นจะมีค่าเท่ากับระยะทางที่รถแล่นผ่านกรอบตรวจจับที่ 1 ซึ่งเท่ากับระยะความลึกรวมกับความยาวรถเป็น 6.5 เมตร และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลนั้นเป็น 0.198744 วินาที ดังนั้นความเร็วสูงสุดจะเป็น 117.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2) กรอบตรวจจับที่ 2 คิดทำนองเดียวกันกับกรอบตรวจจับที่ 1 โดยระยะทางที่รถแล่นผ่านกรอบตรวจจับที่ 2 เท่ากับ 5.2 เมตร เวลาที่ใช้นั้นเท่ากัน ดังนั้นความเร็วสูงสุดเป็น 94.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ด้วยเหตุผลในกรณีต่างๆเหล่านี้ความเร็วสูงสุดที่ระบบจะสามารถวัดได้โดยทั่วไปจะไม่เกิน 94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.10 ภาพแสดงกรณีที่ 1

3.7 ความเร็วต่ำสุด

ความเร็วต่ำสุดนั้นเป็นความเร็วที่เกิดในกรณีที่รถแล่นช้ามากจนทำให้โปรแกรมสรุปว่ารถคันดังกล่าวได้เปลี่ยนช่องทางวิ่งไปแล้วดังนั้นโปรแกรมจะทำการลบข้อมูลของรถคันดังกล่าวจากคิว (Queue) ที่ทำการรอเพื่อหาความเร็ว ทำให้ไม่สามารถหาความเร็วของรถที่แล่นด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วค่านี้ไปได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้กล่าวคือ เมื่อรถแล่นมาในบริเวณกรอบตรวจจับที่ 1 โปรแกรมจะทำการคำนวณตำแหน่งหน้ารถออกมา จากนั้นก็ทำการจับเฟรมถัดไปทันทีแต่เนื่องจากรถแล่นช้ามากจึงไม่พบรถคันดังกล่าว ซึ่งโปรแกรมก็จะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งครบ 20 เฟรม ซึ่งจากการวัดเวลาโปรแกรมใช้เวลารวมทั้งสิ้นประมาณ 3.99 วินาที ระบบจะทำการลบข้อมูล

ออกจากคิวทันทีและสรุปว่ารถคันนี้ได้มีการเปลี่ยนช่องทางจราจรแล้ว ดังนั้นรถจะแล่นด้วยระยะทางไม่เกินระยะระหว่างกรอบตรวจจับทั้งสอง (16 เมตร) ความเร็วต่ำสุดที่โปรแกรมจะสามารถตรวจจับได้นั้นประมาณ 14.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

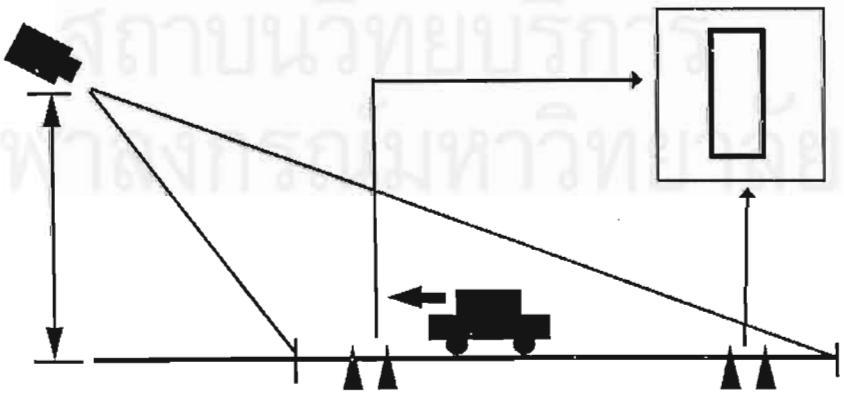
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ได้ทำนั้นแบ่งเป็นสองส่วน คือ การทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 โดยการทดลองที่ 1 นั้นกระทำที่มุม 0 องศาเป็นมุมประมาณระหว่างแนวเล็งกล้องกับแนวการวิ่งของรถโดยมองจากด้านบน (Top View) มีจำนวนรถที่ทำการทดลองทั้งสิ้น 21 คันที่ทราบความเร็ว โดยสภาวะแวดล้อมที่ทำการทดลองนั้นเป็นเวลาที่มีแสงแดดจัด เวลาประมาณ 13.00 น.ที่หน้าโรงเรียนสาธิตปทุมวัน บริเวณสะพานลอยคนข้าม โดยถ่ายจากบนสะพานลอยเป็นมุมกดลงดังรูปที่ 4.1 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ด้านหลังรถเล็กน้อย มีเงาที่บริเวณหน้ารถบนถนน การติดเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนพื้นผิวจราจรนั้นติดเป็นแนวข้างถนนขนานช่องทางจราจรที่ต้องการวัดความเร็วของรถยนต์

ส่วนในการทดลองที่ 2 มีทั้งหมด 5 มุมกล้องด้วยกัน โดยถ่ายบริเวณเดียวกันกับการทดลองที่ 1 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอยู่ด้านซ้ายมือค่อนมาทางบริเวณหน้ารถเล็กน้อยทำให้เกิดเงาที่บริเวณด้านข้างขวามือของรถในภาพจริงที่ได้จากกล้องวิดีทัศน์ การทดลองที่ 2 มุมที่ 1 นั้นเป็นการถ่ายจากบนสะพานลอยลงมาบนช่องทางจราจรพอดี และมุมที่ 2 3 4 และ 5 ได้ทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของกล้อง โดยเลื่อนกล้องไปด้านซ้ายมือของภาพจริงแล้วกำหนดมุมมองกลับไปบริเวณเดิม โดยเลื่อนมากขึ้นเรื่อยๆ โดยมุมที่ 5 เป็นมุมที่กล้องเลื่อนไปมากที่สุดโดยที่ตำแหน่ง 2 3 4 และ 5 มีค่ามุมประมาณ 10 17 20 และ 36 องศาตามลำดับ การติดเครื่องหมายกำหนดระยะทางในการทดลองที่ 2 นี้ จะติดถัดจากช่องทางจราจรไปหนึ่งช่องทาง เนื่องจากหลีกเลี่ยงอันตรายจากการเกิดอุบัติเหตุในการติดเทปบริเวณใกล้เกาะกลางถนน



รูปที่ 4.1 มุมกล้องที่ทำการทดลอง และบริเวณที่กำหนดกรอบตรวจจับทั้ง 2 ตำแหน่ง

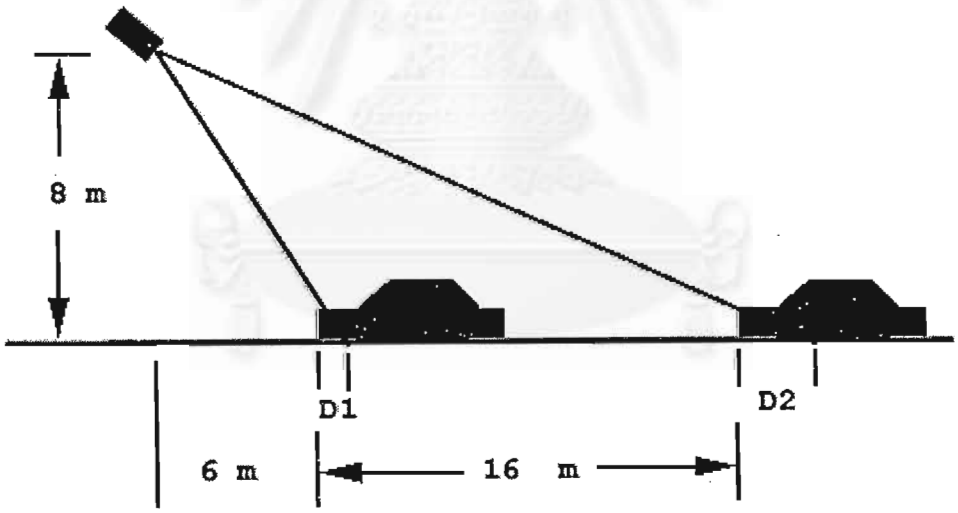
การทดลองทั้งหมดสามารถวิเคราะห์ถึงลักษณะของภาพที่ได้ดังต่อไปนี้

1) การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1 กระทำในเวลาหลังเที่ยงวันเล็กน้อย เงาของรถอันเกิดจากแสงอาทิตย์ทอดลงบนถนนเกือบเป็นแนวดิ่งแต่ค่อนมาข้างหน้าเล็กน้อยจึงทำให้การตรวจจับขอบหน้ารถอยู่ใกล้เคียงบริเวณรอยต่อระหว่างเงาหน้ารถกับพื้นถนนที่ไม่มีเงา ทำให้ไม่เกิดความผิดพลาดพาราแลกซ์ขึ้น จึงไม่ต้องชดเชยความผิดพลาดนี้ และการกำหนดเครื่องหมายบอกระยะกำหนดใกล้กับช่องทางจราจรมาก ดังนั้นทำให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากการฉายเงา(Projection) จากบริเวณหน้ารถไปยังเส้นกำหนดระยะทางน้อย

2) การทดลองที่ 2

ตำแหน่งของเงาไม่ได้ปรากฏอยู่หน้ารถเหมือนการทดลองที่ 1 บริเวณที่โปรแกรมตรวจจับได้จึงเป็นบริเวณขอบหน้าของตัวถังรถซึ่งอยู่สูงจากพื้นถนนประมาณ 40 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเทียบเป็นตำแหน่งอ้างอิงของหน้ารถจะได้ตำแหน่งที่ลึกเข้าไปจากขอบหน้าเป็นระยะทาง D1 หรือ D2 ตามรูปที่ 4.2 และจากสาเหตุนี้ทำให้ความเร็วที่วัดได้จากโปรแกรมมีค่าสูงกว่าความเร็วที่วัดได้จากเรดาร์ตรวจจับความเร็ว



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงการเกิดความคลาดพาราแลกซ์

ระยะทางที่จับหน้ารถครั้งแรกกับครั้งถัดไปนั้นเป็นระยะทางที่ไม่แน่นอนเพราะในการหาหน้ารถมีการเลื่อนกรอบหาตำแหน่งหน้ารถด้วย เพื่อให้การคำนวณนี้สะดวกจึงประมาณว่าระยะทางนี้เป็นค่าคงที่ 16 เมตร และระยะของกรอบตรวจจับที่ 2 อยู่ห่างจากกล้องเป็นระยะ 6 เมตร ส่วนกล้องวีดิทัศน์อยู่ข้างบนสูงเป็นระยะทาง 8 เมตรจากพื้นถนน และตำแหน่งของหน้ารถที่ระบบ

คอมพิวเตอร์ตรวจจับได้นั้นเป็นตำแหน่งที่อยู่สูง 0.4 เมตรสูงจากพื้นถนนดังที่กล่าวไปแล้ว ดังในรูปที่ 4.2

ระยะทาง D1 และ D2 ในรูป 4.2 สามารถคำนวณได้โดยใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้ายดังนี้

$$\frac{6+D1}{8}=\frac{D1}{0.4} \qquad \ldots(53)$$

ดังนั้นระยะ D1 จึงเป็น 0.32 เมตร

ทำนองเดียวกันจะได้

$$\frac{22+D2}{8}=\frac{D2}{0.4} \qquad \ldots(54)$$

ระยะ D2 จึงเป็น 1.16 เมตร

ดังนั้นระยะทางที่รถเคลื่อนที่ไปที่โปรแกรมคำนวณได้จะเท่ากับ D2 + 16 – D1 = 16.84 ดังนั้นระยะทางที่เกินคือระยะ 16.84 - 16 เท่ากับ 0.84 เมตรนั้นเอง ดังนั้นเวลาที่ใช้ไปจึงเป็น $t=\frac{16}{Vr}$ โดยที่ Vr เป็นความเร็วจริง แต่เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์ตรวจจับได้ระยะทาง

ดังนั้นความเร็วที่ระบบคอมพิวเตอร์คำนวณได้ Vc เป็น

$$Vc=\frac{D2+16-D1}{t}=\frac{16.84}{t}$$

$$Vc=\frac{16}{t}+\frac{0.84}{t}$$

$$Vc=Vr+Vparallax \qquad \ldots(55)$$

โดยที่ Vc เป็นความเร็วที่ระบบคอมพิวเตอร์คำนวณได้

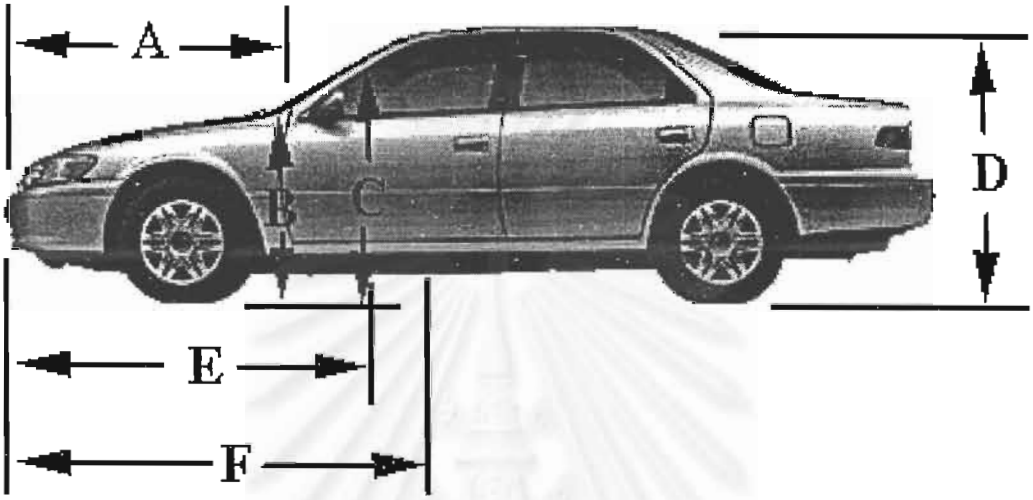
Vr เป็นความเร็วจริงของรถที่วิ่ง โดยยึดความเร็วจากเครื่องเรดาร์ตรวจจับความเร็ว

$Vparallax$ เป็นความเร็วที่เกินมาเนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์ตรวจจับตำแหน่งหน้ารถได้สูงจากพื้นขึ้นไปเป็นระยะทาง 0.4 เมตร

รูปที่ 4.3 เป็นการแสดงสัดส่วนของรถที่นำมาใช้ประมาณค่าในการคำนวณ โดยค่า A B C D E และ F เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับลักษณะในแต่ละรุ่นแต่ละยี่ห้อซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณหาค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์จึงกำหนดค่าต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าสัดส่วนต่างๆของรถยนต์ที่ใช้ในการคำนวณความผิดพลาดพาราแลกซ์

A	B	C	D	E	F
1.1 m	0.8 m	1.05 m	1.3 m	1.4 m	1.7 m



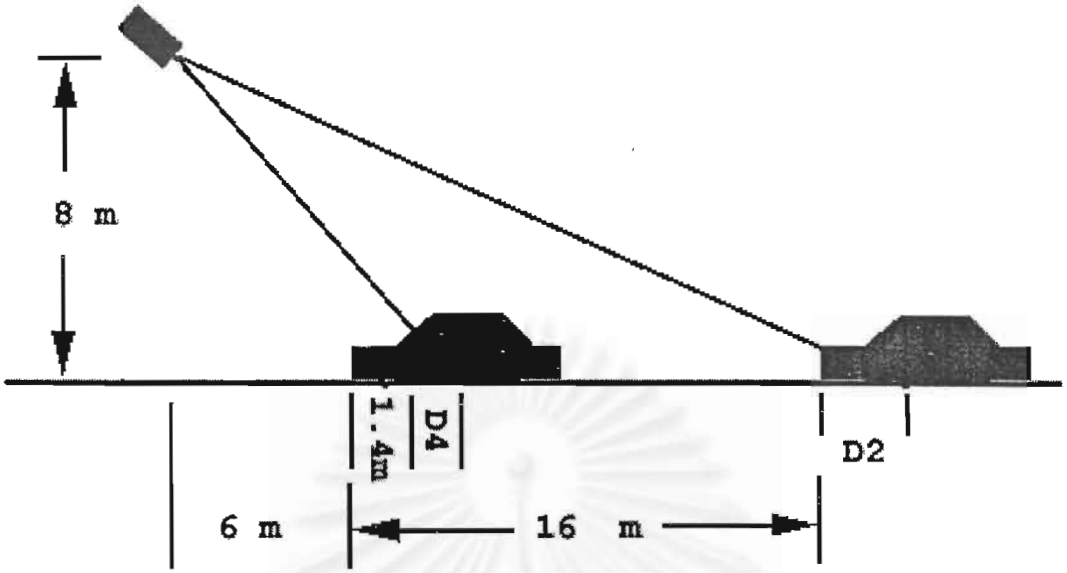
รูปที่ 4.3 แสดงหน้ารถ และสัดส่วนโดยเฉลี่ยของรถยนต์บริเวณด้านหน้า

จากสมการดังกล่าวจะเห็นว่า *Vparallax* ขึ้นอยู่กับ t ซึ่งเปลี่ยนไปตามความเร็วของรถ ตารางที่ 4.2 แสดงค่า *Vparallax* ที่ความเร็วต่างๆกัน โดยใช้ค่าสัดส่วนที่กำหนดจากตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ความผิดพลาดพาราแลกซ์ที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็วรถยนต์ (กม./ชม.)	30	40	50	60	70	80	90	100
ความเร็วพาราแลกซ์ (กม./ชม.)	1.6	2.1	2.7	3.2	3.7	4.2	4.7	5.3

และในการทดลองที่ 2 มีกรณีที่ทำให้การตรวจจับความเร็วได้ค่าที่ผิดพลาดไปมาก เนื่องจากโปรแกรมตรวจจับบริเวณกระจกเป็นบริเวณหน้ารถแทน ดังรูปที่ 4.3 ทำให้ได้ความเร็วที่ต่ำกว่าความเป็นจริงมาก ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลความแม่นยำของความเร็วจึงตัดกรณีนี้ออกไป โดยรายงานเป็นความผิดพลาดในการตรวจจับที่กระจกแทน



รูปที่ 4.4 แสดงการตรวจจับได้บริเวณกระจกหน้ารถ

สาเหตุเนื่องจากการตรวจจับในกรอบตรวจจับที่ 2 ตรวจจับได้บริเวณที่เกินกว่ากึ่งกลางกระจกหน้ารถเป็นต้นไปในทิศทางค่อนไปทางด้านหลังของรถ จากทฤษฎีสามเหลี่ยมคล้ายเมื่อใช้สัดส่วนดังรูปที่ 4.4 จะสามารถคำนวณระยะได้ ดังนี้

$$\frac{6+1.4+D}{8}=\frac{D4}{1.05} \qquad \ldots(57)$$

D4 = 1.12 เมตร

ดังนั้นให้ D3 = 1.4 + D4 เท่ากับ 2.52 เมตร

ความเร็วที่ระบบคอมพิวเตอร์ตรวจจับได้จะเป็นดังนี้

$$Vm=\frac{D2+16-D3}{t}$$

$$Vm=Vr+Ve \qquad \ldots(58)$$

โดยที่ Ve เป็นความเร็วที่เกิดจากการจับหน้ารถผิดเป็นบริเวณกระจกแทน

$$Ve = \frac{D2 - D3}{t}$$
$$Ve = \frac{1.16 - 2.52}{t}$$
$$Ve = \frac{-1.36}{t} \qquad \ldots(59)$$

Vm เป็นความเร็วที่ระบบคอมพิวเตอร์ตรวจจับได้

Vr เป็นความเร็วจริงของรถยนต์ โดยยึดความเร็วของเรดาร์ตรวจจับความเร็วเป็นหลัก

ความเร็วส่วนที่ได้จากการตรวจจับผิดพลาดเป็นลบแสดงว่าความเร็วที่ระบบคอมพิวเตอร์ตรวจจับได้จะเป็นค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง

4.2 การเก็บข้อมูล

ในการทดลองที่ 1 ได้เก็บข้อมูลการจราจรในบริเวณหน้าโรงเรียนสาธิตปทุมวัน ในเวลาประมาณ 13:00 น. ได้ใช้ผู้เก็บข้อมูลจำนวน 2 คน ติดเทปกาวทุก 1 เมตรเพื่อบอกระยะทาง นำไปติดข้างช่องทางที่รถแล่นโดยติดอยู่บริเวณใกล้กับเกาะกลางถนน ถัดจากนั้นได้ตั้งกล้องวีดิทัศน์บนสะพานลอยเพื่อบันทึกภาพรถในช่องทางที่ต้องการโดยปล่อยให้กล้องทำการบันทึกภาพวีดิทัศน์ของรถยนต์แต่ละคันไปเรื่อยๆ ผู้เก็บข้อมูลทั้งสองคนจะอยู่ข้างถนนโดยที่ คนที่ 1 ทำการวัดความเร็วของรถยนต์ที่แล่นมาด้วยอุปกรณ์เรดาร์ตรวจจับความเร็ว แล้วขานความเร็วให้คนที่สองทำการจดบันทึกความเร็วและลักษณะของรถ แต่เนื่องจากรถแล่นด้วยความเร็วสูง จึงทำให้ไม่สามารถจดบันทึกลักษณะของรถได้ต่อเนื่องทุกคัน การเก็บครั้งนี้เก็บข้อมูลรถได้ 23 คัน เมื่อทำการบันทึกข้อมูลเสร็จสิ้น ได้ทำการถอดเทปและเตรียมข้อมูลรถทั้ง 23 คัน ปรากฏว่าสามารถใช้ข้อมูลได้จริงเพียง 21 คัน เนื่องจากมีรถสองคันที่ทำการเปลี่ยนช่องทางวิ่งในขณะที่ผ่านเข้ามาในบริเวณที่ทำการจับความเร็ว รถที่จับความเร็วได้นั้นเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นส่วนใหญ่และมีรถบรรทุกขนาดเล็ก(รถปิกอัพ)รวมอยู่ด้วยซึ่งมีลักษณะหน้ารถเช่นเดียวกับรถยนต์ สภาพการจราจรในขณะนั้นการจราจรไม่หนาแน่นนัก รถแล่นมาเป็นระยะๆ

อุปสรรคที่พบในการเก็บข้อมูลนั้นที่สำคัญได้แก่การติดเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนผิวถนน ซึ่งในการทดลองนี้ได้ติดขนานกับช่องทางนอกสุด และบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่กลับรถด้วย จึงทำให้เกิดความเสี่ยงกับการเกิดอุบัติเหตุมาก อุปสรรคต่อมาคือการเก็บข้อมูลใช้จำนวนคนน้อยเกินไป จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลรถต่อเนื่องทุกคันได้ เนื่องจากผู้จดบันทึกไม่สามารถจดบันทึกข้อมูลของรถได้ทัน

การทดลองที่ 2 ได้ทำการเก็บข้อมูลในบริเวณเดิม ในวันที่ 13 สิงหาคม 2542 เวลาประมาณ 11:00 น. เป็นต้นไป ในการทดลองนี้ลดความเสี่ยงอันตรายโดยติดเทปกาวกำหนดระยะทางในบริเวณใกล้กับทางเท้าในช่องทางด้านในสุดแทน และได้เพิ่มจำนวนผู้เก็บข้อมูลเป็น 4 คน โดยแยก

หน้าที่กันทำคือ คนที่ 1 ควบคุมกล้องอยู่บนสะพานลอยและทำการย้ายกล้องเมื่อต้องการมุมอื่นๆ คนที่ 2 3 และ 4 อยู่บริเวณเกาะกลางถนนเพื่อเก็บข้อมูลของรถที่แล่นในช่องทางชิดเกาะกลางถนน คนที่ 2 จะทำการขานเวลาที่รถคันที่จับความเร็วนั้นผ่านเข้ามา คนที่ 3 จะทำการจับความเร็วของรถยนต์ที่แล่นเข้ามาในบริเวณจับความเร็วด้วยเราดาร์ และคนที่ 4 จะทำการจดบันทึกข้อมูลจากคนที่ 2 คนที่ 3 และลักษณะที่เห็นของรถยนต์ที่แล่นเข้ามาในบริเวณตรวจจับความเร็ว ในการทดลองนี้ได้เก็บข้อมูลทั้งสิ้น 267 คัน(รวมทุกมุมกล้อง) แต่ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการทดสอบได้นั้นมีเพียง 229 คัน สาเหตุมาจากการเปลี่ยนช่องทางจราจรของรถยนต์บางคัน ในบริเวณดังกล่าวเพื่อหลบรถที่กลับรถในบริเวณซึ่งมีบ่อยครั้ง รถคันที่ต้องการแล่นตรงไปข้างหน้าจึงต้องเปลี่ยนช่องทางวิ่งไปใช้ช่องทางถัดไป สภาพการจราจรเป็นตอนก่อนเลิกเรียนจึงมีผู้ปกครองมารอรับบุตรหลานจำนวนพอสมควร จึงทำให้มีปริมาณรถมากกว่าการทดลองที่ 1 ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน

อุปสรรคที่พบก็เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 คือต้องระวังอุบัติเหตุ ขณะวัดไม่สามารถสื่อสารกับผู้ดูแลกล้องบนสะพานลอยได้ และต้องใช้ผู้เก็บข้อมูลหลายคน

หลังจากเก็บข้อมูลภาคสนามแล้วจะนำข้อมูลมาบันทึกลงเทปและทำการทดลองบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีซีพียู Pentium II 300 MHz มีหน่วยความจำหลัก (RAM) 64 Mbyte และใช้แผ่นวงจรจับเฟรม ผลการบันทึกข้อมูลได้ภาพรถที่ทราบความเร็วจำนวน 229 คัน ซึ่งมีช่วงความเร็วตั้งแต่ 32 ถึง 79 กม./ชม. เป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นข้อมูลขาเข้า (Input) โดยถ่ายภาพดังกล่าวบนสะพานลอย โดยมีมุมกดลงโดยได้ทดลองความสามารถของโปรแกรมทั้งในด้านการตรวจนับรถยนต์และการตรวจจับความเร็วซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.3 การทดลองตรวจนับรถยนต์

การทดลองนี้เป็นการหาความสามารถในการตรวจนับรถยนต์โดยใช้ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (AD) ในการตรวจจับรถยนต์ในบริเวณที่วางกรอบตรวจจับไว้ ซึ่งจะวางไว้สองตำแหน่ง คือบริเวณด้านบน และบริเวณด้านล่าง ขนาดกว้างยาวของกรอบตรวจจับทั้งสองบริเวณไม่เท่ากัน โดยที่บริเวณด้านบนเป็นบริเวณที่รถอยู่ไกลออกไปจึงใช้กรอบตรวจจับขนาดเล็กซึ่งพอเพียงที่จะครอบคลุมได้ถึงประมาณครึ่งคัน ส่วนบริเวณด้านล่างเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับกล้องมากกว่าขนาดรถที่ผ่านบริเวณดังกล่าวก็จะมีขนาดใหญ่กว่าบริเวณด้านบนจึงต้องใช้กรอบตรวจจับที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยทั่วไปพื้นถนนที่ไม่มีรถยนต์อยู่จะมีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยต่ำคือประมาณ 3-5 แต่ถ้ามีรถยนต์อยู่ในกรอบจะทำให้ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยมีค่าสูงมาก โดยปกติจะมีค่าสูงถึงเกือบ 30 ดังนั้นในที่นี้จึงกำหนดค่า 20 เป็นค่าแบ่งแยกว่าเป็นถนนหรือรถยนต์ ถ้ามีค่าน้อยกว่าจะเป็นพื้นถนน และถ้ามีค่ามากกว่าจะเป็นรถยนต์

การทดลองตรวจนับรถยนต์ได้ทำทั้งสองบริเวณของกรอบตรวจจับ โดยทำทีละบริเวณได้ผลดังนี้

1) การทดลองตรวจนับบริเวณด้านบน ทำการตรวจจับด้านบนโดยทำการนับเปรียบเทียบกับคนนับ โดยที่วางกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรที่ต้องการตรวจจับ ผลการทดลองคนนับได้ 102 คัน โดยในจำนวนรถทั้งหมดนี้เป็นรถยนต์จำนวน 96 คัน และรถจักรยานยนต์ 6 คัน ส่วนโปรแกรมสามารถนับได้ 102 คันเช่นกัน โดยโปรแกรมมีความแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนเฟรมที่ใช้ต่อวินาที (Frame Rate) เท่ากับ 6.19 เฟรมต่อวินาที

2) การทดลองตรวจนับด้านล่างเปรียบเทียบกับคนนับ โดยวางกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรเดียวกันกับที่วางกรอบตรวจจับด้านบน คนนับได้ 101 คัน ส่วนโปรแกรมสามารถตรวจจับได้ 100 คัน โดยรถที่นับไม่ได้เป็นรถยนต์สีแดงสดทั้งคัน สาเหตุมาจากเมื่อแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาแล้วได้ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยไม่ต่างจากพื้นถนนมากนักจึงไม่สามารถตรวจนับได้ โดยโปรแกรมมีความแม่นยำ 99 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนเฟรมที่ใช้ต่อวินาที (Frame Rate) เท่ากับ 4.5 เฟรมต่อวินาที

การที่จำนวนอัตราจับเฟรมแตกต่างกันก็เนื่องมาจากรายละเอียดในกรอบที่เล็กกว่า ใช้เวลาน้อยกว่าในการคำนวณจึงสามารถประมวลผลได้เทียบเป็นจำนวนเฟรมต่อวินาทีต่างกัน

4.4 การทดลองวัดความเร็วรถยนต์

ในการทดลองนี้กำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในการแปลงภาพเป็นภาพไบนารี่เป็น 80

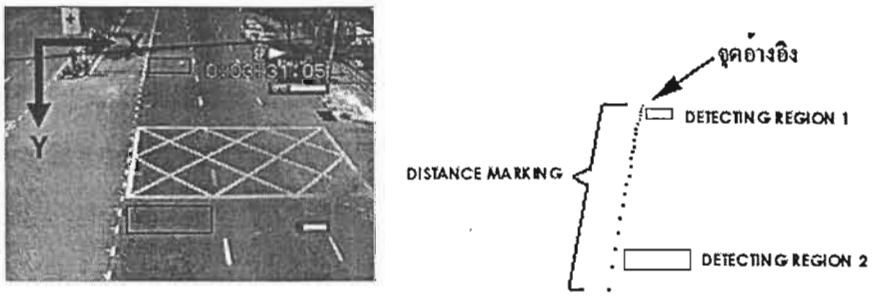
การทดลองได้เน้น 2 ประเด็นที่สำคัญคือ ความสม่ำเสมอของระบบและความแม่นยำของความเร็วที่ระบบให้เป็นผลลัพธ์

ความสม่ำเสมอที่ของระบบคือ ความสามารถในการให้ค่าความเร็วของรถคันเดียวกันสม่ำเสมอเพียงใด ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่า CV ของการทดลองนั้นๆ โดยทำการเล่นกลับเทปของรถคันเดียวกันประมาณ 6 - 10 ครั้ง เพื่อดูว่าการจับเฟรมที่ต่างกันออกไปจะมีผลอย่างไรกับความเร็วที่คำนวณได้

ความแม่นยำของความเร็วคือความสามารถที่ระบบให้เป็นความเร็วผลลัพธ์ที่คำนวณได้ออกมาถูกต้องเพียงใด โดยได้ตรวจสอบเทียบกับค่าความเร็วที่ได้จากเรดาร์วัดความเร็ว ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากกราฟความแตกต่างสูงสุดและกราฟเส้นถดถอย

4.4.1 การทดลองที่ 1

ทำการทดลองโดยติดตั้งเครื่องหมายกำหนดระยะทางใกล้ช่องทางจราจร แสงของดวงอาทิตย์มาจากข้างหลังรถ เกิดเงาที่หน้ารถบนพื้นถนน การจับภาพได้เงาของรถประมาณตรงกับตำแหน่งหน้ารถทำให้ไม่จำเป็นต้องชดเชยค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์



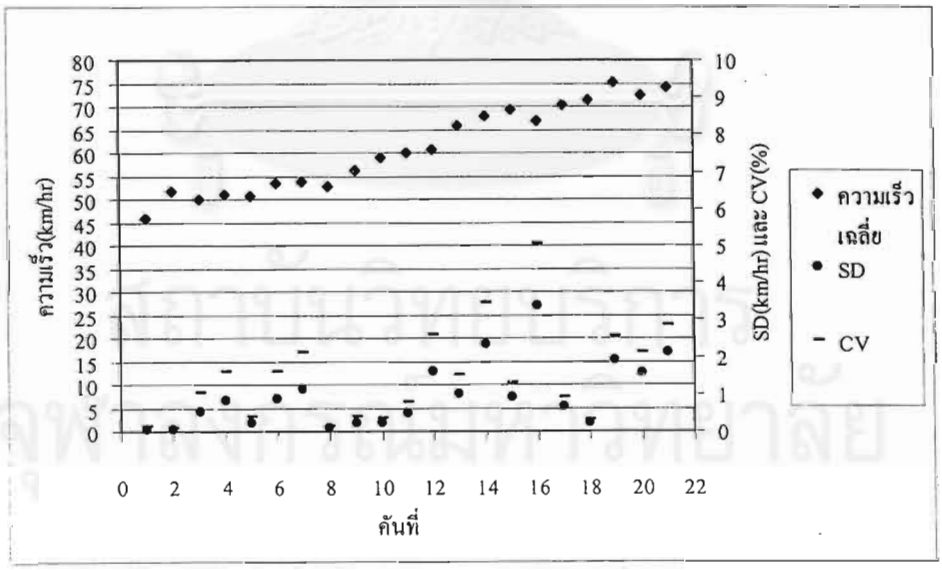
(ก) (ข)

รูปที่ 4.5 (ก) ภาพจริงกับกรอบตรวจจับทั้งสอง (ข) เป็นการกำหนดค่าต่างๆ โดยจุดอ้างอิงเป็นจุดแรกของจุดกำหนดระยะทางด้านบน

มีรถที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดที่ทราบความเร็ว 21 คัน มีช่วงพิสัยความเร็วระหว่าง 46 ถึง 72 กม./ชม. ทำการทดลองโดยเล่นเทปทั้งสิ้นเป็นจำนวน 10 รอบสำหรับรถแต่ละคัน โปรแกรมสามารถหาความเร็วได้ครบทุกคัน โดยตรวจจับตำแหน่งหน้ารถได้ทั้งหมด ขนาดกรอบตัวจับที่ 1 (ด้านบนในรูป) กว้าง 88 จุดภาพ ลึก 30 จุดภาพ และกรอบตัวจับที่ 2 (ด้านล่างในรูป) กว้าง 187 จุดภาพ ลึก 59 จุดภาพ

1) ค่าเฉลี่ย ค่า SD และค่า CV

มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.075 % ถึง 5.054 % และ 90 % ของรถทั้งหมดมีค่า CV ต่ำกว่า 3.5 %

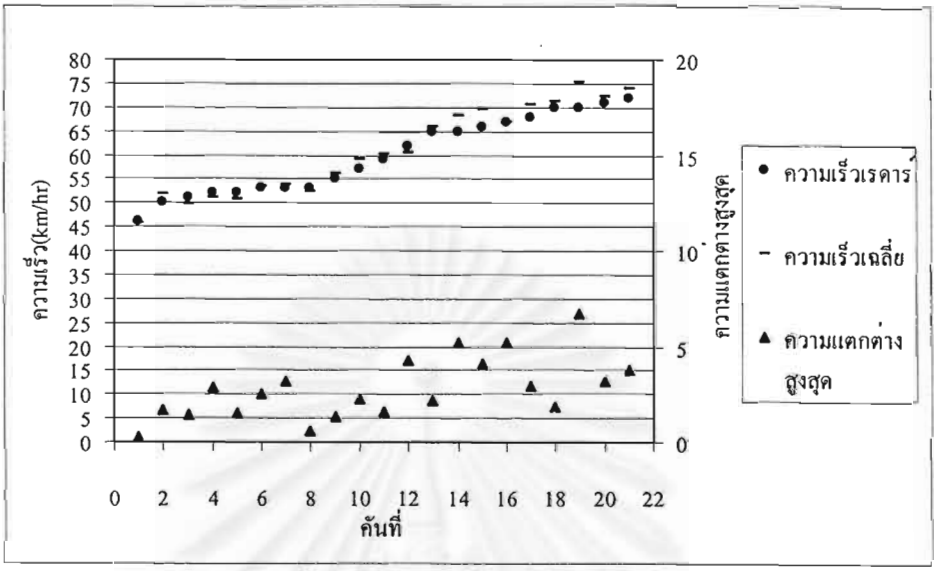


รูปที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยโดยใช้แกนตั้งด้านซ้าย ส่วน SD และ ค่าเปอร์เซ็นต์ของ CV ใช้แกนตั้งด้านขวาโดยแกนนอนเป็นรถคันที่

2) ค่าความแตกต่างสูงสุด

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 2.81 กม./ชม.

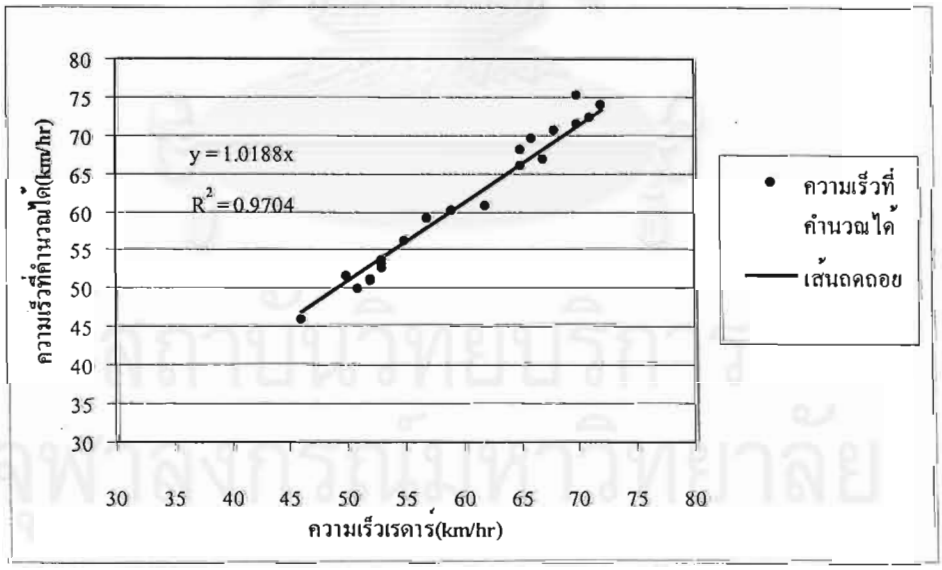
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างสูงสุด 1.64 กม./ชม.



รูปที่ 4.7 กราฟความแตกต่างสูงสุด

3) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 1.64 กม./ชม.



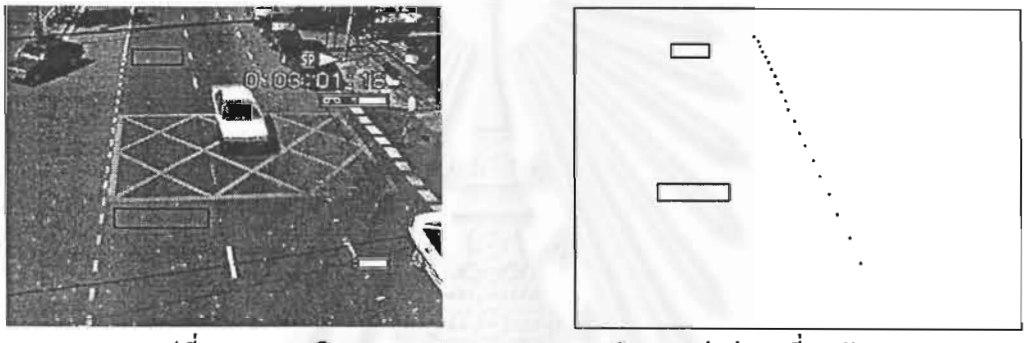
รูปที่ 4.8 กราฟเส้นถดถอยของความเร็วต่อความเร็วของการทดลองที่ 1

4.4.2 การทดลองที่ 2

ทำการทดลองโดยติดตั้งเครื่องหมายกำหนดระยะทางถัดไปหนึ่งช่องทาง เพื่อลดความเสี่ยงอันตรายในการทำงาน โดยทำการทดลองที่มุมกล้องต่างๆดังนี้

4.4.2.1 มุม 0 องศา กล้องตั้งอยู่เหนือช่องทางจราจรพอดี

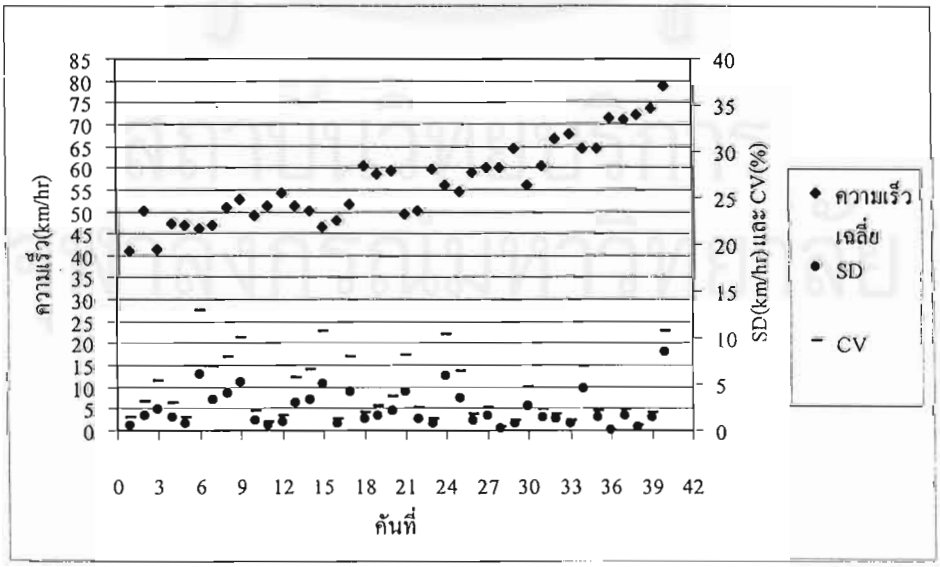
มีรถที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 40 คัน ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 6 รอบสำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 240 รอบ ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 43 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 17.9 มีการตรวจจับได้บริเวณกระจกทั้งสิ้น 40 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 16.67 โดยขนาดกรอบตัวจับที่ 1 (ด้านบนในรูป) กว้าง 90 จุดภาพ ลึก 29 จุดภาพ และกรอบตัวจับที่ 2 (ด้านล่างในรูป) กว้าง 169 จุดภาพ ลึก 39 จุดภาพ



รูปที่ 4.9 ภาพจริงของมุม 0 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ

1) ค่าความเร็วเฉลี่ย ค่า SD และค่า CV

ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.04 % ถึง 12.99 % โดย 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 10 % ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD ดังแสดงในรูปที่ 4.10

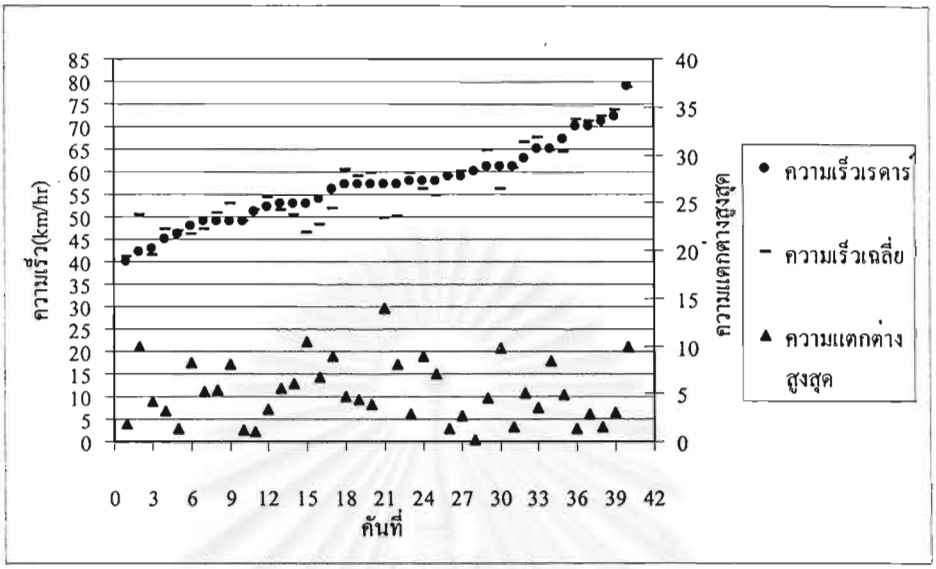


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 40 คันที่มุม 0 องศา

2) ค่าความแตกต่างสูงสุด

มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 5.13 กม./ชม.

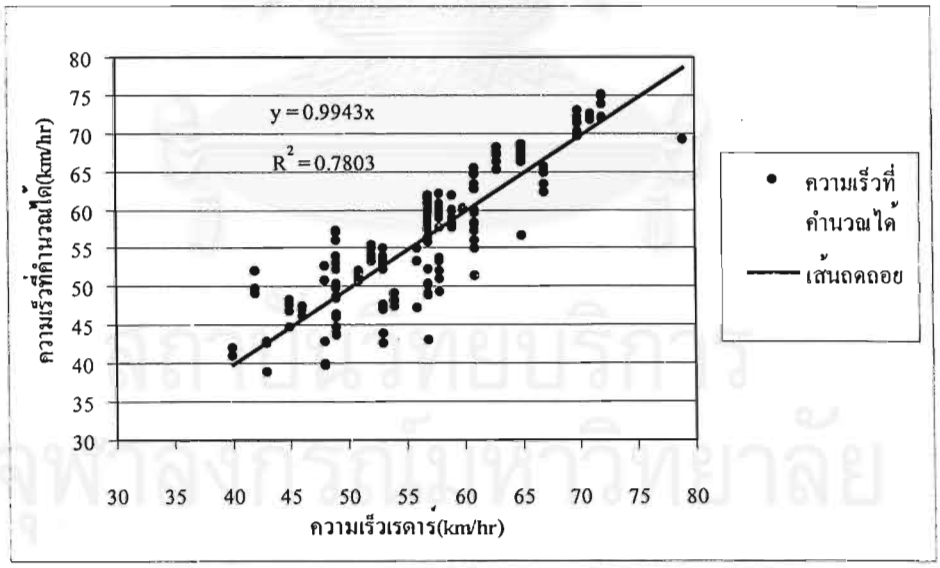
มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสูด เป็น 3.27 กม./ชม.



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 0 องศา

3) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 2.46 กม./ชม.

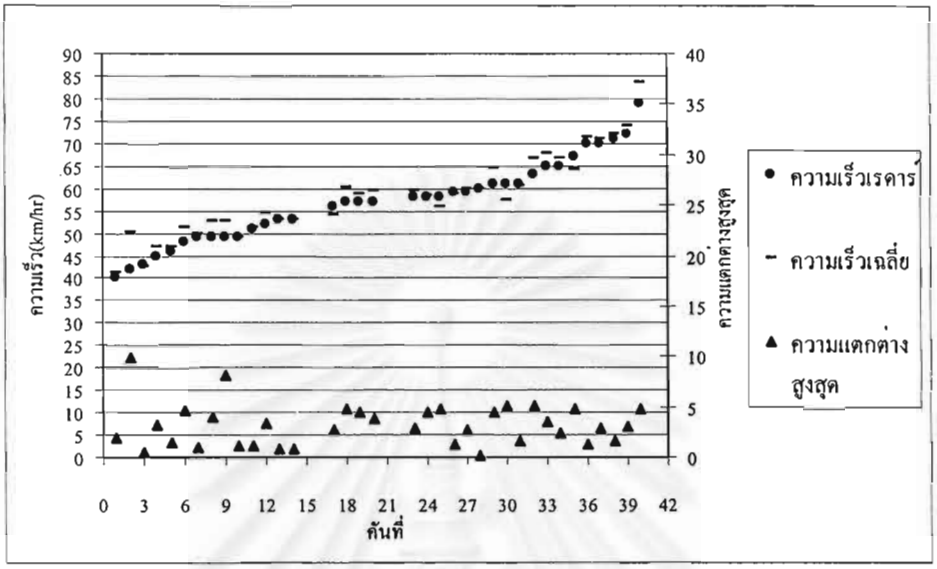


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ โดยใช้มุมกล้อง 0 องศา

4) ค่าความแตกต่างสูงสุดเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 2.94

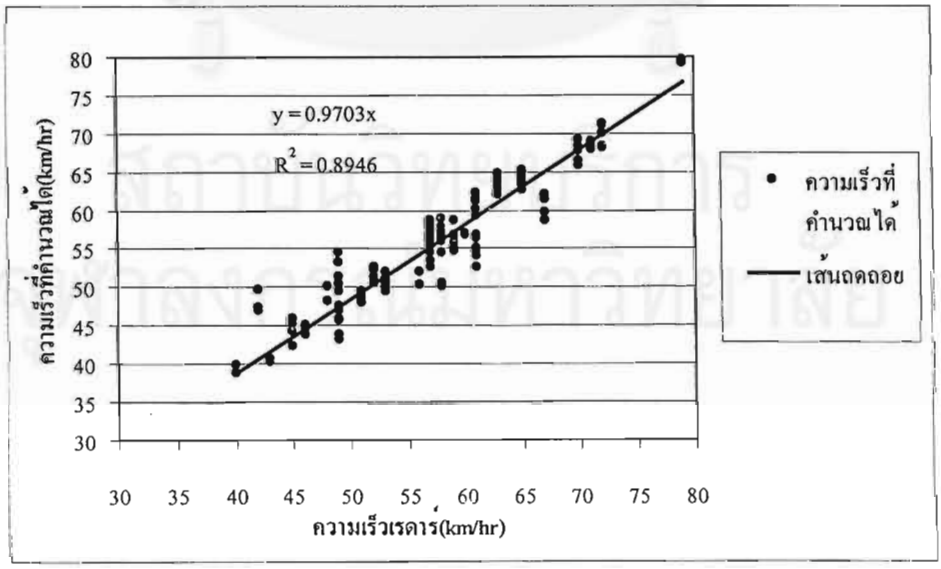
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด 2.14



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 0 องศาไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

5) เส้นถดถอยเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

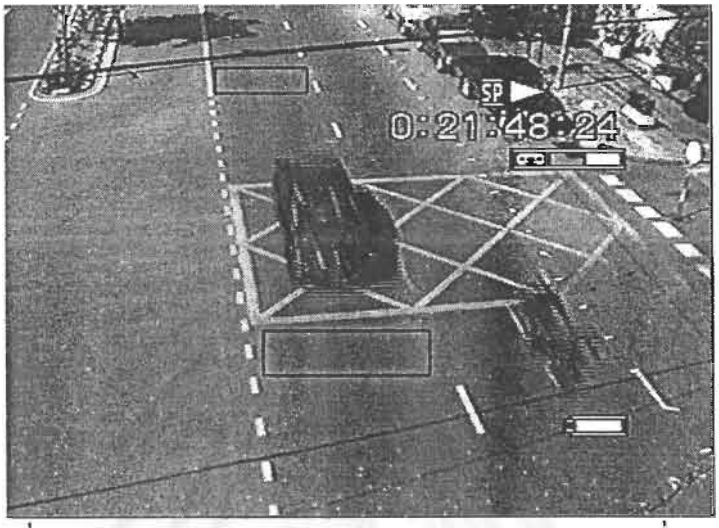
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 2.58 กม./ชม.



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ที่มุม 0 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกรถและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

4.4.2.2 มุม 10 องศา กล้องตั้งอยู่เหนือช่องทางจราจร แต่เลื่อนมาทางซ้ายเล็กน้อย

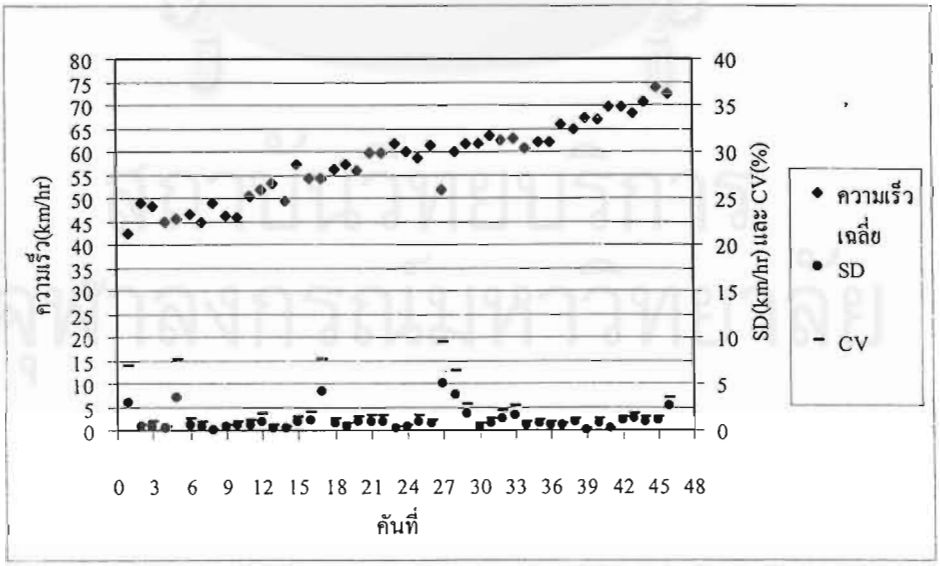
มีรถที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 46 คัน ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบ สำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 460 รอบ ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 26 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 5.65 มีการตรวจจับได้บริเวณกระจกทั้งสิ้น 8 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 1.74 โดยขนาดกรอบตัวจับที่ 1 (ด้านบนในรูป) กว้าง 90 จุดภาพ ลึก 29 จุดภาพ และกรอบตัวจับที่ 2 (ด้านล่างในรูป) กว้าง 169 จุดภาพ ลึก 39 จุดภาพ



รูปที่ 4.15 ภาพจริงของมุม 10 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ

1) ค่าความเร็วเฉลี่ย ค่า SD และค่า CV

ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.04 % ถึง 9.54 % โดย 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 3.6 % ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD ดังแสดงในรูปที่ 4.16

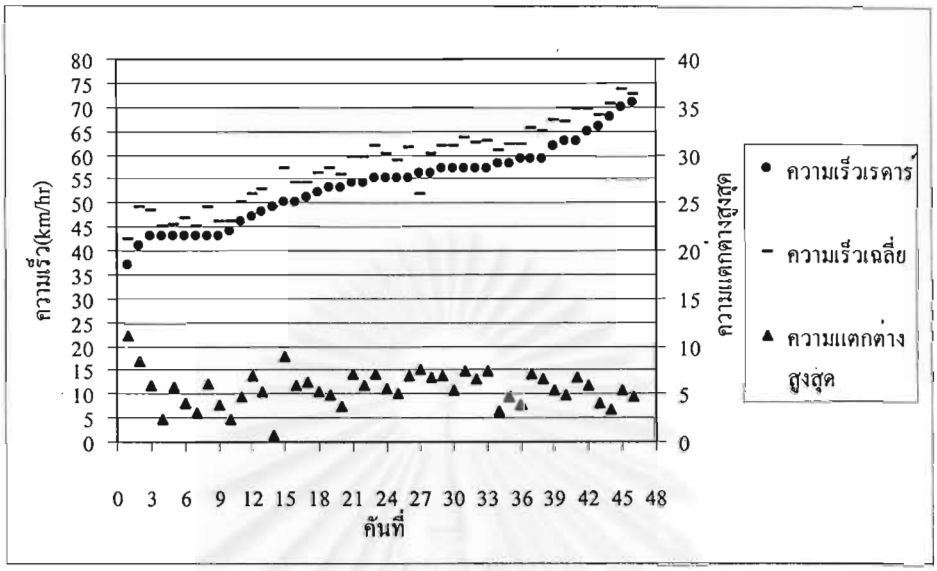


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 46 คันที่มุม 10 องศา

2) ค่าความแตกต่างสูงสุด

ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุด 5.57 กม./ชม.

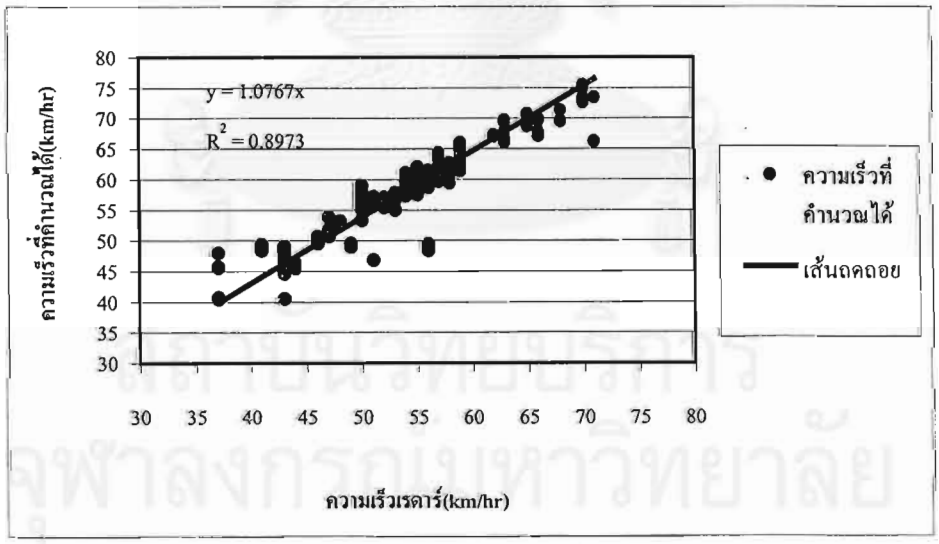
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1.86 กม./ชม.



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 10 องศา

3) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 2.09 กม./ชม.

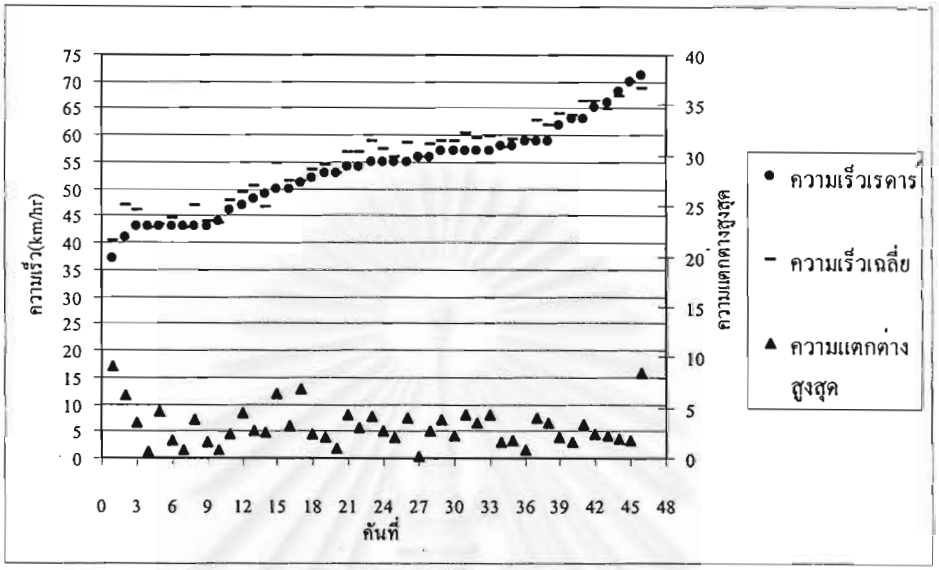


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วต่อความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์โดยใช้มุมกล้อง 10 องศา

4) ค่าความแตกต่างสูงสุดเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 3.13 กม./ชม.

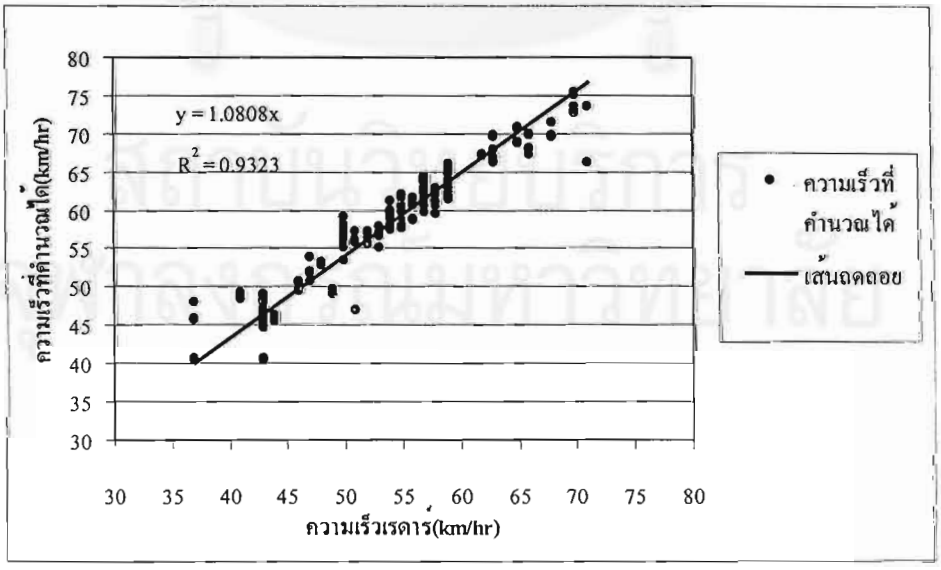
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด 1.93 กม./ชม.



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 10 องศาไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

5) เส้นถดถอยเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

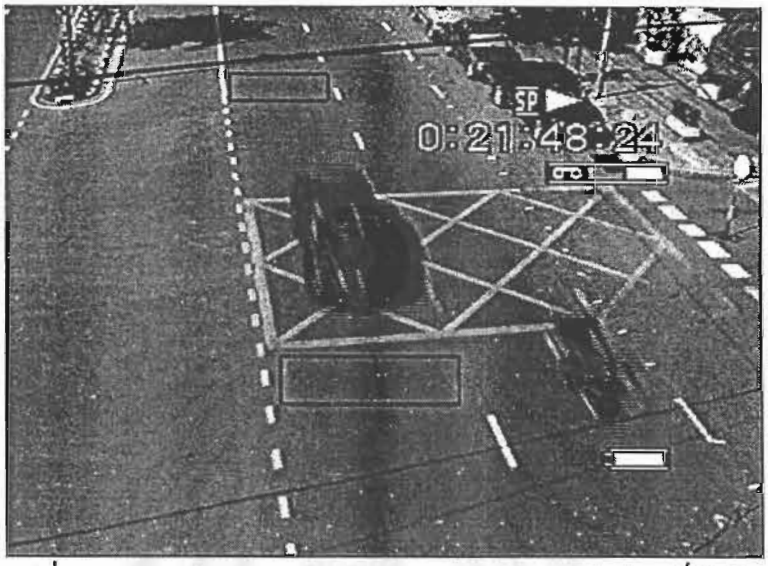
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 2.17 กม./ชม.



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ที่มุม 10 องศาไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกรถและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

4.4.2.3 มุม 17 องศา กล้องเลื่อนมาทางซ้ายเพิ่มขึ้น

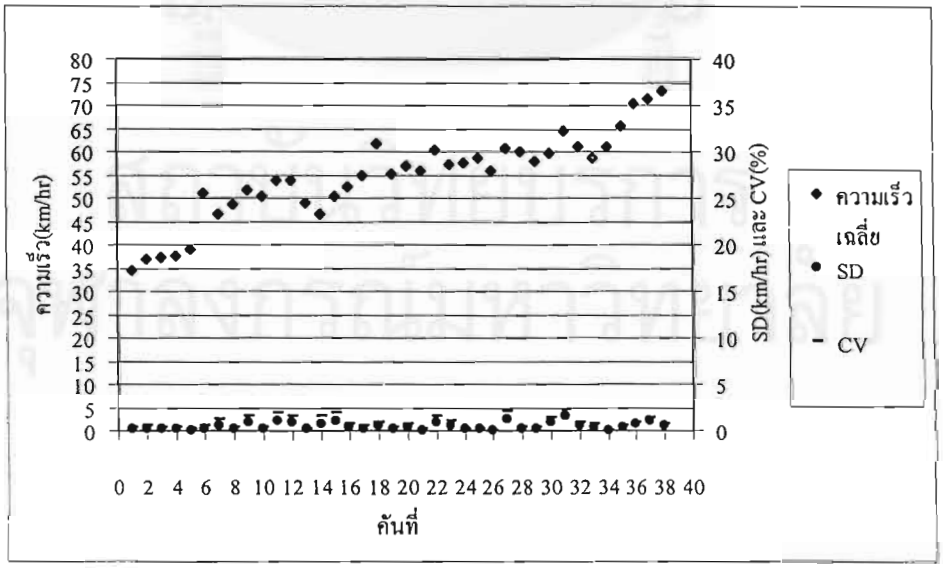
มีรถที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 38 คัน ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบ สำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 380 รอบ ไม่สามารถจับความเร็วได้ 14 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 3.68 ไม่มีการตรวจจับได้ที่กระจก โดยขนาดกรอบตัวจับที่ 1 (ด้านบนในรูป) กว้าง 102 จุดภาพ ลึก 30 จุดภาพ และกรอบตัวจับที่ 2 (ด้านล่างในรูป) กว้าง 182 จุดภาพ ลึก 49 จุดภาพ



รูปที่ 4.21 ภาพจริงของมุม 17 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ

1) ค่าความเร็วเฉลี่ย ค่า SD และค่า CV

ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0 % ถึง 2.29 % โดย 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 1.82 % ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD แสดงดังรูปที่ 4.22

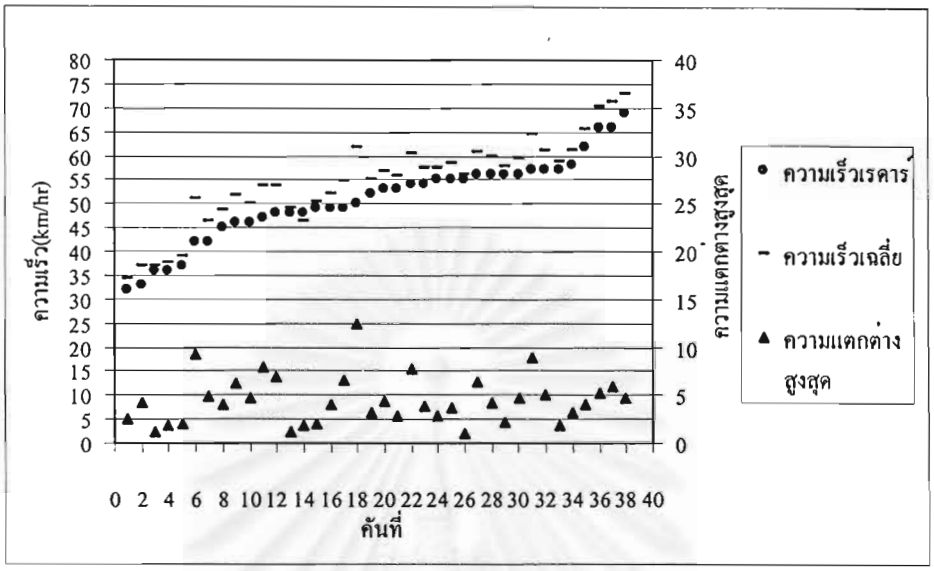


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 38 คันที่มุม 17 องศา

2) ค่าความแตกต่างสูงสุด

ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุด 4.47 กม./ชม.

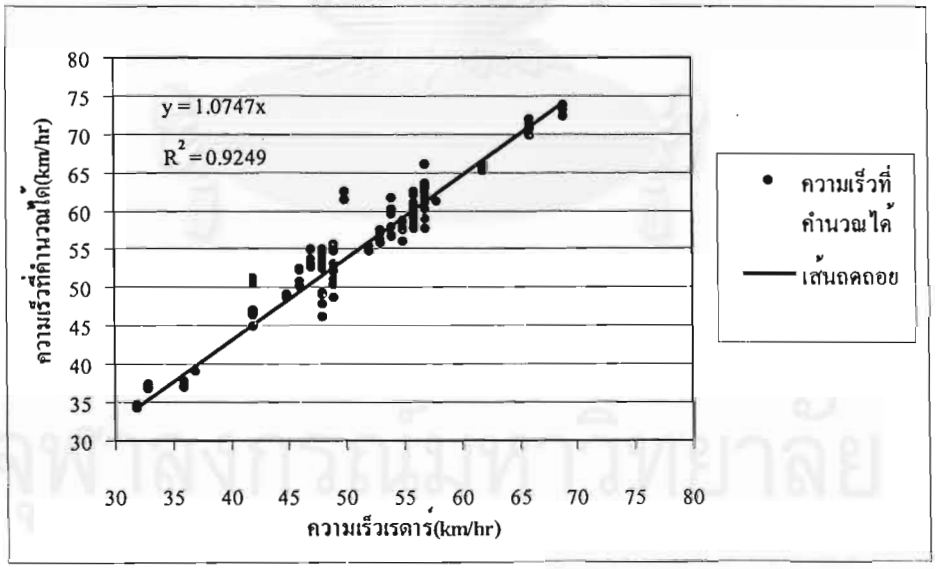
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.51 กม./ชม.



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 17 องศา

3) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 2.49

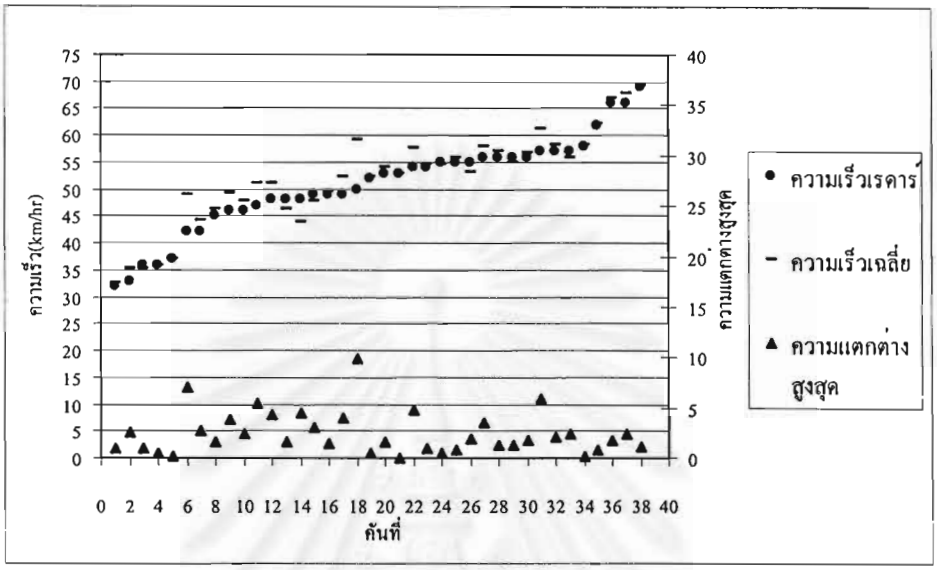


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์โดยใช้มุมกล้อง 17 องศา

4) ค่าความแตกต่างสูงสุดเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 2.42 กม./ชม.

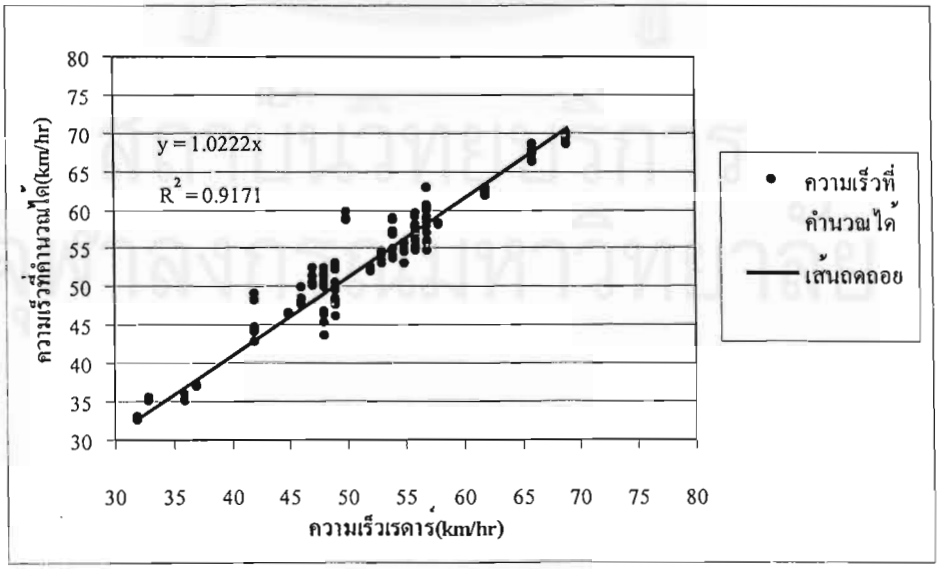
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด 2.10 กม./ชม.



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 17 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

5) เส้นถดถอยเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

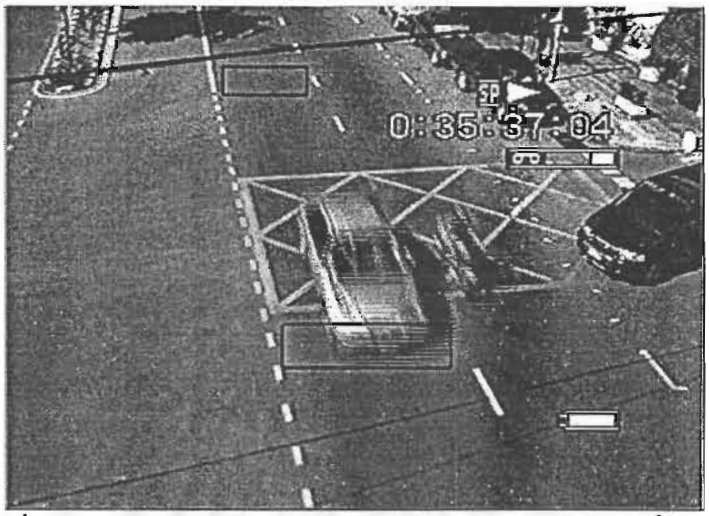
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 2.49 กม./ชม.



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ของมุม 17 ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

4.4.2.4 มุม 20 องศา กล้องเลื่อนมาทางซ้ายเพิ่มขึ้น

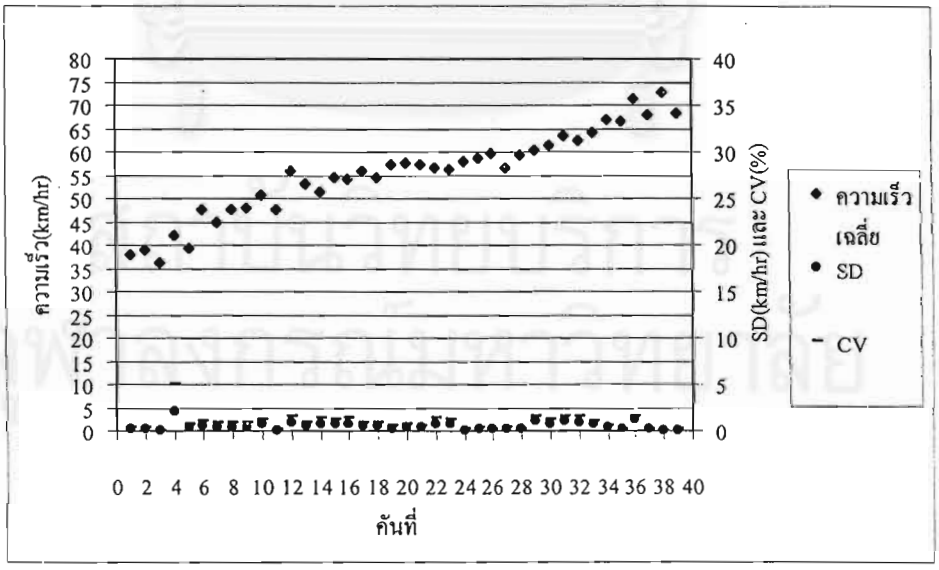
มีรถที่ทดลองทั้งสิ้น 39 คัน ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบสำหรับรถแต่ละคัน โดยในจำนวน 390 รอบ ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 15 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 3.85 ไม่มีการจับได้ที่กระจก โดยขนาดกรอบตัวจับที่ 1 (ด้านบนในรูป) กว้าง 95 จุดภาพ ลึก 34 จุดภาพ และกรอบตัวจับที่ 2 (ด้านล่างในรูป) กว้าง 190 จุดภาพ ลึก 49 จุดภาพ



รูปที่ 4.27 ภาพจริงของมุม 20 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ

1) ค่าความเร็วเฉลี่ย ค่า SD และค่า CV

ค่า CV อยู่ในช่วง 0.04 % ถึง 4.96 % โดย 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 1.53 % ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD แสดงดังรูปที่ 4.28

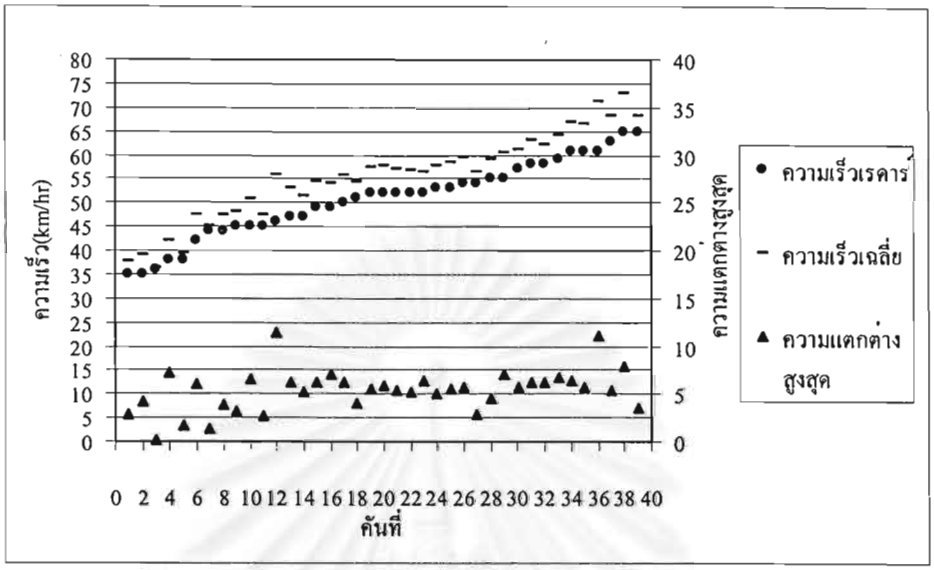


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 39 คันที่มุม 20 องศา

2) ค่าความแตกต่างสูงสุด

ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุด 5.39 กม./ชม.

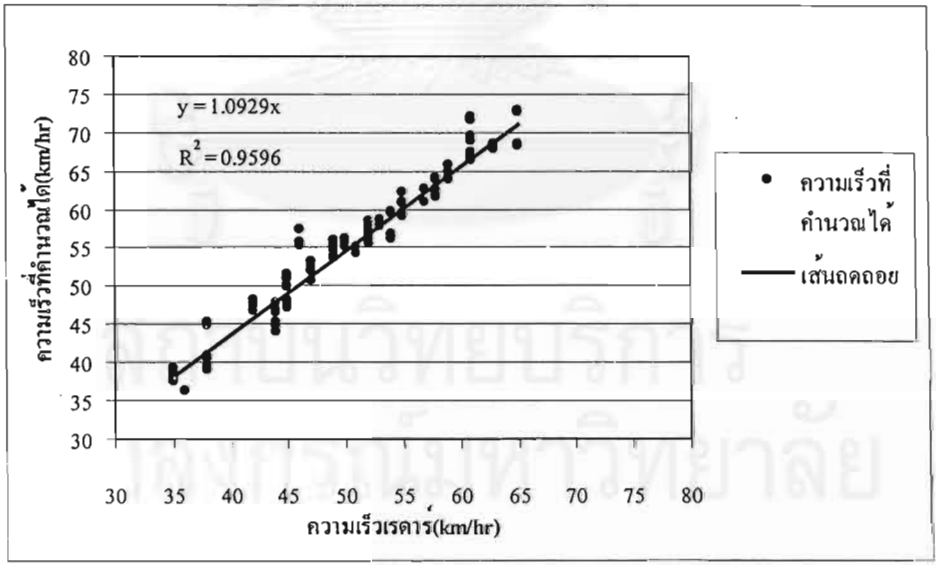
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.22 กม./ชม.



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 20 องศา

3) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 1.8

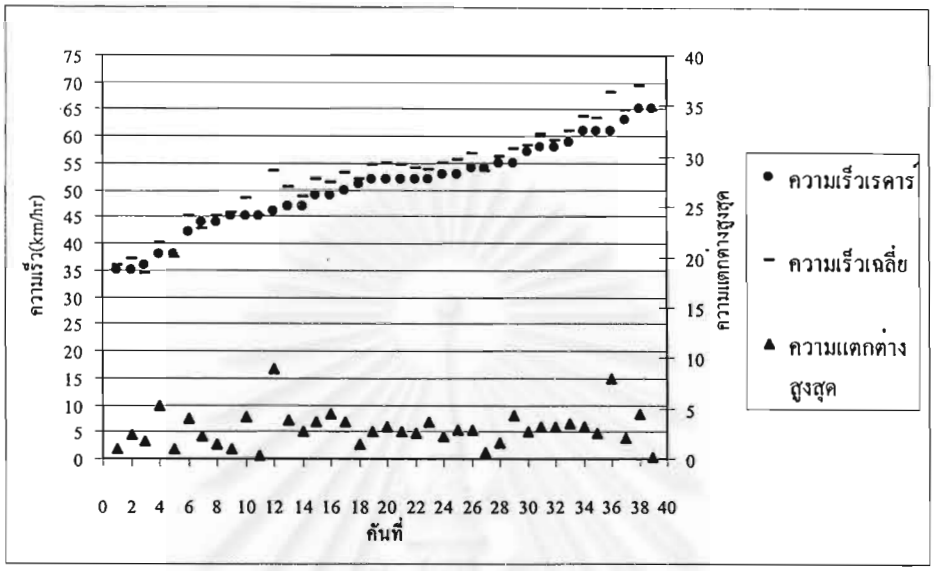


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์โดยใช้มุมกล้อง 20 องศา

4) ค่าความแตกต่างสูงสุดเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 2.95 กม./ชม.

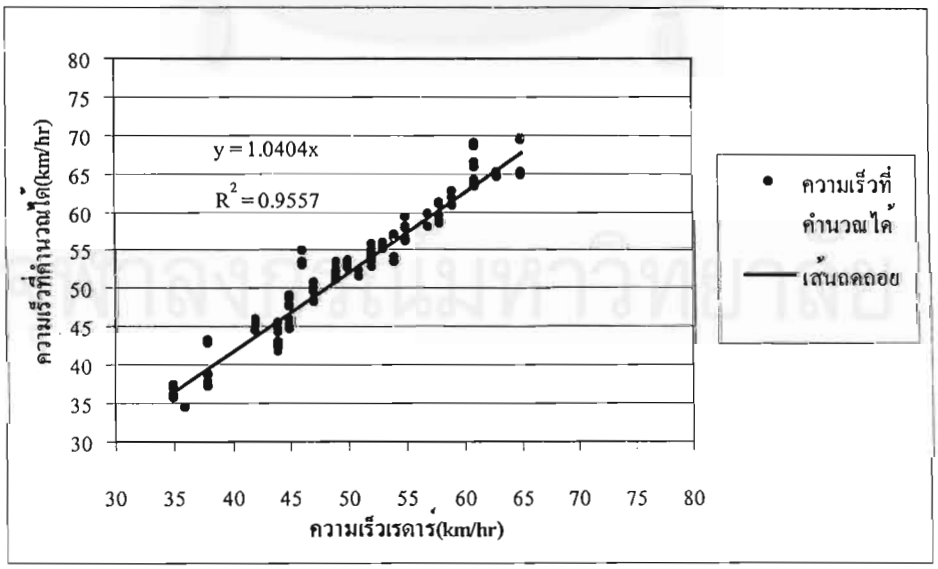
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด 1.78 กม./ชม.



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 20 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

5) เส้นถดถอยเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

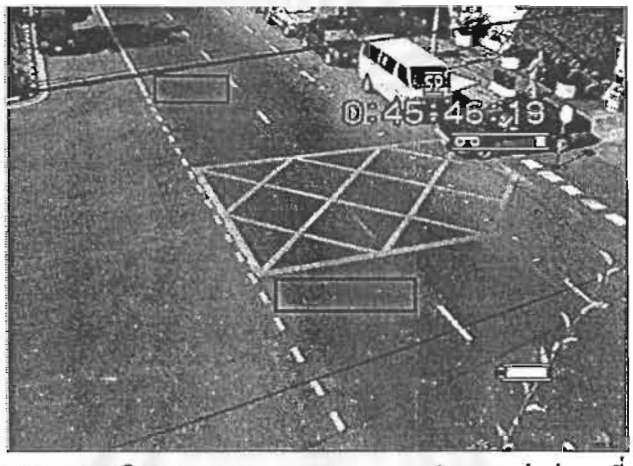
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 1.8



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ที่มุม 20 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

4.4.2.5 มุม 36 องศา กล้องเลื่อนมาทางซ้ายเพิ่มขึ้น

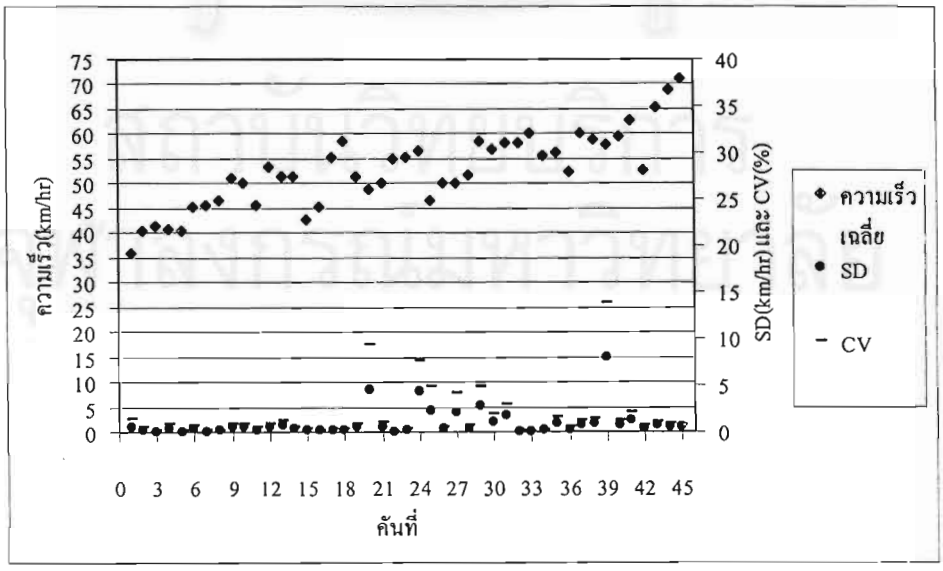
มีรถที่ทราบความเร็วทั้งสิ้น 45 คัน ทำการทดลองโดยเล่นกลับเทปซ้ำทั้งสิ้น 10 รอบ สำหรับรถแต่ละคัน และในครึ่งแรกมีแสงแดดดีมาก แต่ในช่วงครึ่งสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไม่โดยมีเมฆบังดวงอาทิตย์ทำให้แสงแดดอ่อนลงมาก บนถนนไม่สามารถสังเกตเห็นเงาของรถที่แล่นผ่านได้ โดยในจำนวน 450 รอบ ไม่สามารถจับความเร็วรถได้ 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 0.22 มีการตรวจจับได้บริเวณกระจกทั้งสิ้น 33 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 7.33 โดยขนาดกรอบตัวจับที่ 1 (ด้านบนในรูป) กว้าง 93 จุดภาพ ลึก 37 จุดภาพ และกรอบตัวจับที่ 2 (ด้านล่างในรูป) กว้าง 176 จุดภาพ ลึก 44 จุดภาพ



รูปที่ 4.33 ภาพจริงของมุม 36 องศาและการกำหนดค่าต่างๆที่สำคัญ

1) ค่าความเร็วเฉลี่ย ค่า SD และค่า CV

ค่า CV มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.008 % ถึง 13.72 % โดย 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมีค่า CV น้อยกว่า 4.81 % ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า SD แสดงดังรูปที่ 4.34

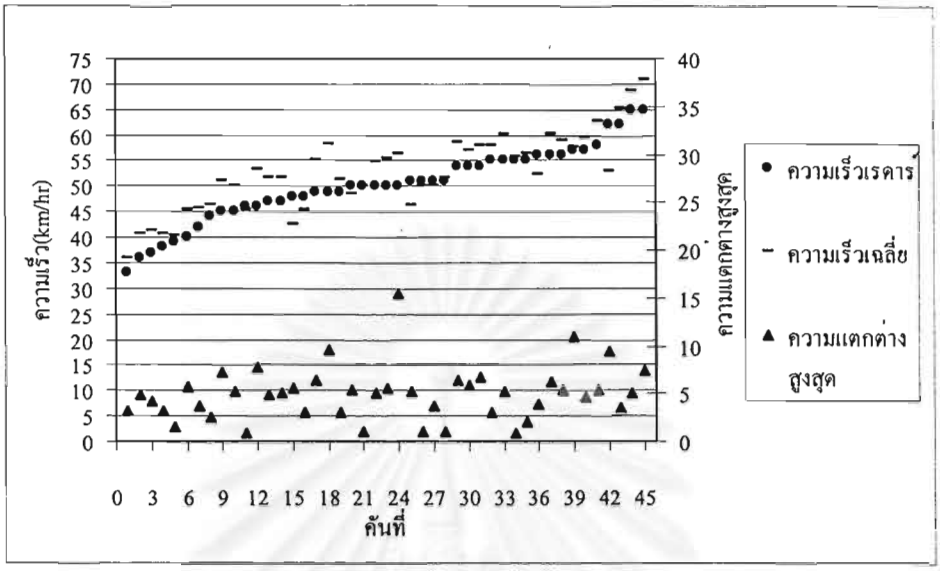


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ย SD และ CV ของรถ 45 คันที่มุม 36 องศา

2) ค่าความแตกต่างสูงสุด

ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุด 4.96 กม./ชม.

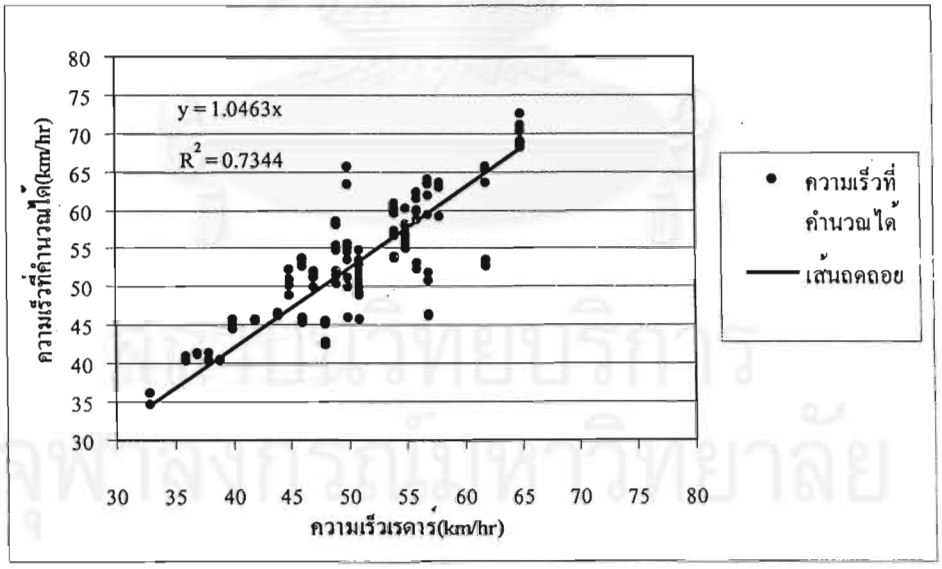
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 2.81 กม./ชม.



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 36 องศา

3) เส้นถดถอย

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 2.90

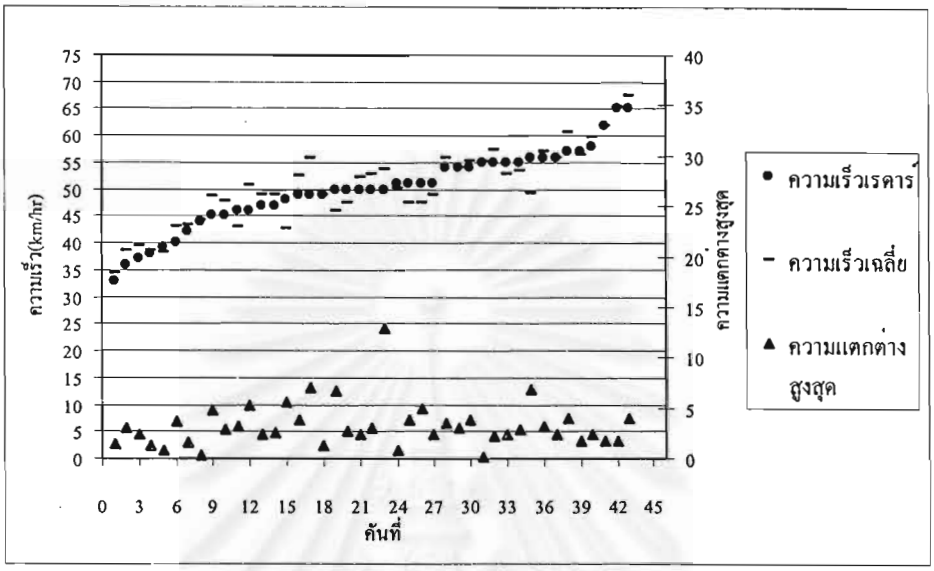


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์โดยใช้มุมกล้อง 36 องศา

4) ค่าความแตกต่างสูงสุดเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด 3.23 กม./ชม.

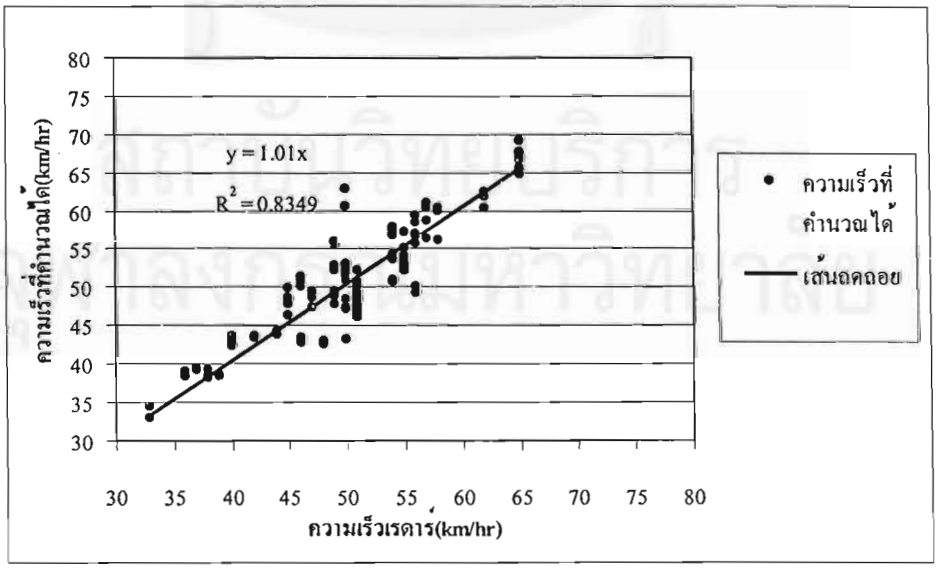
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด 2.23 กม./ชม.



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความแตกต่างสูงสุดที่มุม 36 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

5) เส้นถดถอยเมื่อตัดกรณีตรวจจับกระจกได้แทนขอบหน้ารถและปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากเส้นถดถอยเป็น 3.03 กม./ชม.



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงเส้นถดถอยของความเร็วที่คำนวณจากโปรแกรมต่อความเร็ววัดจากเรดาร์ที่มุม 36 องศา ไม่รวมกรณีตรวจจับได้ที่กระจกและปรับความผิดพลาดพาราแลกซ์

สรุปการทดลองโดยนำค่าต่างๆที่สำคัญที่ปรับค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์และตัดรถที่ตรวจจับได้บริเวณกระจกออก นำมาสรุปเป็นตารางดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปค่าต่างๆจากการทดลอง

การทดลองที่/มุม (องศา)	1/0	2/0	2/10	2/17	2/20	2/36
พิสัยความเร็ว (กม./ชม.)	46 - 72	40 – 79	37 – 71	32 – 69	35 – 65	33 – 65
จำนวนรถ (คัน)	21	40	46	38	39	45
การจับความเร็วไม่ได้ (ร้อยละ)	0	17.9	5.65	3.68	3.85	0.22
จับกระจกได้ (ร้อยละ)	0	16.67	1.74	0	0	7.33
90 % ของ CV (ร้อยละ)	3.5	10	3.6	1.82	1.53	4.81
ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุด (กม./ชม.)	2.81	2.94	3.13	2.42	2.95	3.23
ความเบี่ยงเบนมาตรฐานความแตกต่างสูงสุด (กม./ชม.)	1.64	2.14	1.93	2.10	1.78	2.23
ความชันของเส้นถดถอย	1.0188	0.9703	1.0808	1.0222	1.0404	1.01
R^2	0.9704	0.8946	0.9323	0.9171	0.9557	0.8349
SD เทียบกับเส้นถดถอย (กม./ชม.)	1.64	2.58	2.17	2.49	1.8	3.03

ผลการนับรถโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (AD) เป็นหลักนั้นสามารถตรวจจับรถยนต์ได้ดีมาก โดยในกรอบตรวจจับไกลกล้องนั้นสามารถตรวจจับได้ทุกครั้ง ส่วนกรอบตรวจจับใกล้กล้องนั้นสามารถตรวจจับได้ถึง 99 % โดยมีรถหนึ่งคันซึ่งมีสีแดงทั้งคันที่ไม่สามารถตรวจจับได้ โดยสาเหตุมาจากการที่ระบบคอมพิวเตอร์แปลงภาพสีไปเป็นภาพขาวดำ ผลลัพธ์ที่ได้ปรากฏว่าสีรถมีความแตกต่างกับถนนน้อยจึงเป็นสาเหตุให้ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของกรอบตรวจจับต่ำกว่าที่ควร จึงไม่สามารถตรวจจับรถคันดังกล่าวได้

ผลการจับความเร็วของรถยนต์ที่ได้ทดลองนั้น ปรากฏว่าแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ และตำแหน่งของดวงอาทิตย์นั้นมีผลกับการตรวจจับของระบบคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเงารถถ้าอยู่หน้ารถจะทำให้ความผิดพลาดพาราแลกซ์ไม่เกิด

การทดลองที่ 1 นั้นมีเงาปรากฏอยู่ด้านหน้าของรถยนต์ จึงทำให้ระบบคอมพิวเตอร์ตรวจจับตำแหน่งหน้ารถเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างเงากับถนน ซึ่งทำให้ไม่เกิดความผิดพลาดพาราแลกซ์

ซึ่งความเร็วที่ได้ดังกล่าวจะมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงประมาณ 1.88 % และมีความคลาดเคลื่อนจากการฉายเงาหน้ารถไปยังเส้นกำหนดระยะทางน้อยเนื่องจากเส้นกำหนดระยะทางนั้นอยู่ติดกับช่องทางจราจร

การทดลองที่ 2 นั้นตำแหน่งของเงารถยนต์ไม่เหมือนการทดลองที่ 1 โดยการทดลองนี้เงาจะปรากฏอยู่ด้านข้างของรถยนต์ ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์ตรวจจับได้บริเวณหน้ารถจริง และคำนวณหาเส้นตัวแทนของหน้ารถได้เป็นบริเวณที่อยู่เหนือพื้นถนนจึงทำให้เกิดความผิดพลาดพาราแลกซ์ขึ้นซึ่งความคลาดดังกล่าวนี้จะขึ้นกับความเร็วของรถยนต์ และทำให้ความเร็วที่ระบบคอมพิวเตอร์คำนวณได้มากกว่าความเร็วจริงเล็กน้อยโดยรถยนต์แล่นที่ความเร็ว 30 กม./ชม. มีค่าความเร็วที่เกิดจากความผิดพลาดพาราแลกซ์ประมาณ 1.6 กม./ชม. แล่นที่ความเร็ว 50 กม./ชม. จะมีความเร็วที่เกิดจากค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์ประมาณ 2.6 กม./ชม. แล่นที่ความเร็ว 70 กม./ชม. จะมีความเร็วที่เกิดจากค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์ประมาณ 3.7 กม./ชม. และในการกำหนดเครื่องหมายกำหนดระยะทางนั้นอยู่ห่างจากช่องทางจราจรไปหนึ่งช่องทาง ทำให้เกิดความผิดพลาดจากการฉายเงาหน้ารถไปบนเส้นกำหนดระยะทางมากกว่าในการทดลองที่ 1

ที่มุม 0 องศาตำแหน่งกล้องอยู่เหนือช่องทางจราจรพอดี และเนื่องจากเป็นบริเวณต้นเทปทำให้ในการเขียนโปรแกรมมีการใช้เป็นบริเวณทดสอบโปรแกรมบ่อยครั้งจึงทำให้บริเวณนี้มีการเสื่อมสภาพค่อนข้างมาก ในบางครั้งไม่สามารถจับภาพผ่านแผ่นวงจรจับเฟรมได้เลย และในการทดลองนี้มีการตรวจจับรถได้ที่บริเวณกระจกหน้ารถบ้าง อาจจะมีสาเหตุมาจากการที่เทปเสื่อมสภาพ จึงทำให้ระบบคอมพิวเตอร์คำนวณความเร็วได้ไม่เสถียรจึงมีค่า CV สูงถึง 10 % การตรวจจับไม่ได้ 17.9 % ตรวจจับผิดโดยพบบริเวณกระจก 16.67 % และถ้าตัดความเร็วที่เกิดจากความผิดพลาดพาราแลกซ์ระบบคอมพิวเตอร์จะให้ความเร็วต่ำกว่าปกติ 2.97 % ซึ่งอาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของเทป

ที่มุม 10 องศาตำแหน่งกล้องเลื่อนไปทางซ้ายเพิ่มขึ้น(ทำมุมกับแนวช่องทางเดินรถมากขึ้น) มากกว่ามุม 0 องศาพบว่าการตรวจจับไม่ได้ 5.65 % การตรวจจับได้บริเวณกระจกรถ 1.74 % และค่า CV 3.6 % โดยค่าทั้งหมดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมุม 0 องศาและถ้าตัดความเร็วที่เกิดจากความผิดพลาดพาราแลกซ์ระบบคอมพิวเตอร์จะให้ความเร็วสูงกว่าปกติ 8.08 %

ที่มุม 17 องศาตำแหน่งกล้องเลื่อนไปทางซ้ายเพิ่มขึ้นมากกว่ามุม 10 องศามีการตรวจจับไม่ได้ 3.68 % ซึ่งมีประมาณใกล้เคียงกับมุม 10 องศาแต่การตรวจจับพบบริเวณกระจกนั้นไม่มีเลย ส่วน CV นั้นมีค่าต่ำประมาณ 1.82 % และถ้าตัดกรณีความเร็วที่เกิดจากความผิดพลาดพาราแลกซ์ระบบคอมพิวเตอร์จะให้ความเร็วสูงกว่าปกติ 2.22 %

ที่มุม 20 องศาตำแหน่งกล้องเลื่อนไปทางซ้ายเพิ่มขึ้นมากกว่ามุม 17 องศา ค่าที่ได้จากมุมนี้มีความใกล้เคียงกับมุม 17 องศามาก โดยมีการตรวจจับไม่ได้ 3.85 % ไม่มีการผิดพลาดจากการ

ตรวจจับพบบริเวณกระจกเหมือนกัน และค่า CV มีค่าต่ำเท่ากับ 1.53 % และถ้าตัดกรณีความเร็วที่เกิดจากความผิดพลาดพาราแลกซ์ระบบคอมพิวเตอร์จะให้ความเร็วสูงกว่าปกติ 4.04 %

ที่มุม 36 องศาตำแหน่งกล้องเลื่อนไปทางซ้ายเพิ่มขึ้นมากกว่ามุม 20 องศาในมุมนี้มีการเปลี่ยนความเข้มของแสงแดดเกิดขึ้น โดยรถจำนวน 26 คันแรกนั้นมีแสงแดดเหมือนกับมุม 0 องศาถึง 20 องศาที่กล่าวมาแล้ว แต่อีก 24 คันถัดมาได้มีเมฆบังดวงอาทิตย์ทำให้ปริมาณแสงแดดน้อยลงจนเงารถยนต์บนพื้นผิวถนนมีน้อยมากหรือไม่สามารถสังเกตเห็นเงารถยนต์ได้เลย ในมุมนี้มีการจับความเร็วไม่ได้เพียง 0.22 % เท่านั้น แต่การจับพบกระจกหน้ารถกลับสูงขึ้นเป็น 7.33 % ส่วนค่า CV ก็สูงขึ้นเป็น 4.81 % และถ้าชดเชยความผิดพลาดพาราแลกซ์แล้วโปรแกรมจะให้ความเร็วสูงกว่าความเร็วจากเรดาร์ประมาณ 1 %

ขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบและพัฒนานี้จะให้ค่าความเร็วที่สูงกว่าค่าอ้างอิง 1% ถึง 8.08% และมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.8349 ถึง 0.9704 ซึ่งแสดงว่าค่าความเร็วที่ได้จากระบบคอมพิวเตอร์มีความสัมพันธ์กับความเร็วจริงมาก มีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสูงสุดอยู่ในช่วง 2.42 กม./ชม. ถึง 3.23 กม./ชม. และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างสูงสุดอยู่ในช่วง 1.64 กม./ชม. ถึง 2.23 กม./ชม.

4.5 ความผิดพลาดในการวัดความเร็ว

1) การฉายเงา (Projection) ของเส้นตัวแทนหน้ารถ (RE) ไปยังเส้นกำหนดระยะทาง ถ้าเส้นกำหนดระยะทางห่างจากช่องทางจราจรมากขึ้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณระยะทางมากขึ้นเช่นกัน

2) ความผิดพลาดของอุปกรณ์เรดาร์ตรวจจับความเร็วซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการเปรียบเทียบความเร็วกับความเร็วที่ได้จากระบบคอมพิวเตอร์ โดยอุปกรณ์เรดาร์ตรวจจับความเร็วมีความผิดพลาดประมาณ 2 กม./ชม.

3) ความผิดพลาดเนื่องจากมุมมองของกล้องทำให้เกิดความผิดพลาดพาราแลกซ์ ซึ่งความผิดพลาดนี้จะแปรผันตามความเร็วของรถยนต์ โดยปกติจะมีค่าน้อย อยู่ระหว่าง 2.5 กม./ชม. ถึง 3.5 กม./ชม.

4) สีของรถยนต์ที่ตรวจจับ ถ้าสีของรถเมื่อแปลงเป็นภาพระดับเทาแล้วมีความแตกต่างจากถนนเพียงเล็กน้อยจะทำให้ระบบไม่สามารถแยกรถกับถนนได้ และในบางกรณีทำให้ตรวจจับได้ขอบกระจก

5) เทปบันทึกภาพเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งานมากในช่วงการพัฒนาโปรแกรม

6) แผ่นวงจรจับเฟรมมีปัญหา ไม่สามารถจับเฟรมติดต่อกันทุกเฟรม และเกิดการหยุดชะงักโดยไม่สามารถจับภาพได้เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน

7) การจับความเร็วไม่ได้ เนื่องจากรถแล่นด้วยความเร็วสูง และจังหวะที่แผ่นวงจรจับเฟรมจับเฟรมภาพได้นั้น ตำแหน่งหน้ารถพ้นออกจากมุมมองของกล้องแล้ว จึงไม่สามารถหาหน้ารถได้

8) การจับความเร็วไม่ได้ เนื่องจากจังหวะที่แผ่นวงจรจับเฟรมจับเฟรมภาพได้นั้น ตำแหน่งหน้ารถได้เลยขอบเขตของเส้นกำหนดระยะทางแล้ว ทำให้ฟังก์ชันการประมาณในช่วงกำลังสามไม่สามารถคำนวณตำแหน่งหน้ารถได้

9) เมื่อรถแล่นด้วยความเร็วสูงและตำแหน่งรถอยู่ใกล้กล้อง จะทำให้กล้องไม่สามารถจับภาพรถได้คมชัด สาเหตุมาจากการเก็บข้อมูลของกล้อง โดยกล้องจะเก็บข้อมูลของเส้นคู่ก่อนแล้วจึงเก็บข้อมูลของเส้นคี่ตามหลัง ในระหว่างเก็บข้อมูลนั้นรถก็มีการเคลื่อนที่ด้วยจึงได้ภาพที่ไม่ชัด

10) ภาพที่ได้จากกล้องนั่นมีการสั่นเล็กน้อยสามารถสังเกตได้ทำให้ระยะที่กำหนดในระบบคอมพิวเตอร์ไม่คงที่ อาจจะเกิดจากการสั่นสะเทือนของสะพานคนข้ามถนน

11) ความผิดพลาดที่เกิดจากเครื่องเล่นเทปบันทึกมีคุณภาพด้อยกว่ามาตรฐาน ตามงานวิจัยที่เสนอโดย Bonneson และ Fitts [8] กล่าวคือเครื่องเล่นเทปไม่สามารถเล่นกลับได้อัตราเร็วของเฟรมตรงตามมาตรฐาน

12) ความผิดพลาดเนื่องจากขั้นตอนการในการหาพื้นที่โดยการอินทิเกรต ภาพที่ใช้ในการหาพื้นที่นั้นมีส่วนขอบด้านข้างปรากฏด้วยจึงทำให้ไม่ได้ตำแหน่งกลางของขอบหน้ารถจริง แต่ใช้สมมุติฐานว่าขอบด้านข้างมีขนาดเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับบริเวณขอบจริง จึงมีผลเพียงเล็กน้อย

13) ความผิดพลาดเนื่องจากขั้นตอนในการแปลงภาพขอบเป็นภาพไบนารีต้องใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตายตัว อาจมีผลเมื่อสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะแสงสว่างมีการเปลี่ยนแปลงไป

14) ความผิดพลาดเนื่องจากมุมมองของกล้องทำให้บริเวณที่ไกลกล้องมีขนาดเล็ก ดังนั้นการคำนวณระยะทางในบริเวณที่อยู่ไกลกล้องจะมีความผิดพลาดมากกว่าบริเวณที่อยู่ใกล้กล้องมากกว่า

15) เงารถยนต์ที่เกิดบนถนนถัดจากแนวรถไปข้างหน้าทำให้ความผิดพลาดพาราแลกซ์ไม่เกิดเพราะโปรแกรมตรวจจับได้เงารถยนต์แทนบริเวณหน้ารถจริง

4.6 ข้อจำกัด

1) สามารถตรวจจับความเร็วของรถยนต์ได้เพียง 1 ช่องทางจราจร

2) สามารถนับรถยนต์ได้เพียง 1 ช่องทางจราจร

3) มุมกล้องเป็นมุมมองจากที่สูงลงมา ไม่สามารถติดตั้งที่ระดับผิวถนนได้

4) เส้นกำหนดระยะทางสามารถเอียงเมื่อเทียบกับแนวตั้งของภาพ (แกน Y) ในภาพได้สูงสุด 45 องศา สาเหตุเนื่องจากการที่ระบบคำนวณฟังก์ชันการประมาณค่ากำลังสามโดยใช้ค่าของ

แกน Y เพียงค่าเดียวเมื่อเส้นกำหนดระยะทางเอียงมากกว่า 45 องศาแล้ว จะทำให้การการคำนวณระยะทางมีความผิดพลาดมากกว่าใช้ค่าของแกน X มาคำนวณ จึงไม่สมควรทำ

5) เมื่อรถมีการเปลี่ยนช่องทางจราจร ระบบไม่สามารถคำนวณความเร็วของรถได้

6) กรอบตรวจจับที่กำหนดและอัตราจับเฟรมของภาพได้จำกัดความเร็วต่ำสุดและสูงสุดโดยทั่วไปในการตรวจจับความเร็วรถในการทดลองไว้ที่ 14.4 และ 94 กม./ชม. ตามลำดับ ยกเว้นกรณีที่ 1 ซึ่งจะทำให้ตรวจจับความเร็วได้ไม่เกิน 47.05 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดได้ยากมาก

7) ขั้นตอนวิธีนี้ไม่รวมการแก้ความผิดพลาดพาราแลกซ์ไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เน้นการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการวัดความเร็วของรถยนต์จากภาพที่ได้จากสัญญาณวีดิทัศน์ โดยการทำงานเป็นแบบทันกาล (Real Time) การนับและหาความเร็วของรถยนต์นั้นจำกัดอยู่ในหนึ่งช่องทางจราจรเท่านั้น โดยมุมกล้องเป็นมุมมองจากที่สูงลงมา

ในการตรวจนับรถยนต์ได้ใช้ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (AD) ของความเข้มแสงในการบ่งบอกการปรากฏของรถยนต์บนพื้นผิวการจราจร จากการทดลองพบว่าค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของพื้นถนนนั้นจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับเมื่อมีรถปรากฏอยู่ด้วยซึ่งค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยจะสูงขึ้นมากเป็น 4 - 7 เท่า

ในการตรวจจับความเร็วนั้นได้กำหนดกรอบตรวจจับจำนวน 2 กรอบ ขวางช่องทางวิ่งของรถ และติดเครื่องหมายกำหนดระยะทางไว้ข้างช่องทางจราจร ลำดับต่อมาจึงตรวจจับรถในกรอบตรวจจับที่ 1 เมื่อตรวจจับได้แล้วจะทำการเลื่อนกรอบเพื่อหาบริเวณหน้ารถจากนั้นจึงหาระยะอ้างอิงของตำแหน่งหน้ารถ การคำนวณหาระยะอ้างอิงของตำแหน่งหน้ารถนั้นใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงกำลังสามในการหาค่า โดยค่าที่ใช้ในการคำนวณได้จากเครื่องหมายกำหนดระยะทางบนพื้นถนน จากนั้นจะตรวจหารถในกรอบตรวจจับที่ 2 และจะทำการหาระยะอ้างอิงหน้ารถด้วยวิธีทำนองเดียวกัน ก็จะสามารถหาระยะทางที่รถเคลื่อนไปได้ เมื่อนำเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่มาหารระยะทางดังกล่าวก็จะสามารถคำนวณความเร็วของรถคันดังกล่าวได้ กรอบตรวจจับที่กำหนดและอัตราจับเฟรมของภาพได้จำกัดช่วงการตรวจจับความเร็วเป็นระหว่าง 15 ถึง 94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในการวัดความเร็วนั้นมีความผิดพลาดพาราแลกซ์ซึ่งแปรผันตามความเร็วของรถที่ตรวจจับ รถที่มีความเร็วสูงจะมีค่าความผิดพลาดพาราแลกซ์สูง ตัวอย่างเช่น รถยนต์แล่นด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระบบคอมพิวเตอร์จะคำนวณได้ความเร็วเป็น 52.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สาเหตุที่เกิดความผิดพลาดพาราแลกซ์นี้เนื่องจากมุมมองของกล้อง แต่ในกรณีที่มีเงารถเกิดบนถนนถัดจากแนวรถไปข้างหน้าจะทำให้ความผิดพลาดพาราแลกซ์ไม่เกิดขึ้นเพราะโปรแกรมตรวจจับได้เงาของรถแทนหน้ารถจริง

นอกจากนี้ในการทดลองได้พบความผิดพลาดต่างๆ เช่น ไม่สามารถจับความเร็วของรถได้เนื่องจากรถอยู่นอกระยะของเครื่องหมายกำหนดระยะทางทำให้ฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงกำลังสามไม่สามารถคำนวณได้นอกจากนี้ยังมีกรณีผิดพลาดอย่างอื่นเช่น การตรวจจับได้กระจกหน้ารถแทนบริเวณหน้ารถจริง ซึ่งเกิดจากภาพของกระจกมีสีใกล้เคียงกับภาพของพื้นถนน และจากการทดลองพบว่าความเร็วที่วัดได้ที่มุมกล้อง 0 10 17 20 และ 36 องศา เมื่อเทียบกับการวัดด้วยเรดาร์จะมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสูงสุดประมาณ 3.23 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ประมาณ 2.23 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความชันของเส้นถดถอยจะไม่เกิน 8.08 % โดยเทียบความเร็วที่ได้กับความเร็วที่วัดจากเรดาร์ซึ่งมีความผิดพลาดประมาณ 2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในการทดลองนับรถพบว่ามีความถูกต้องดีมาก กล่าวคือในการนับรถในบริเวณกรอบตรวจจับที่อยู่ไกลกล้องสามารถจับได้ 100 % ส่วนในกรอบตรวจจับที่อยู่ใกล้กล้องนั้นสามารถจับได้ 99 % สาเหตุเพราะในกรอบตรวจจับใกล้กล้องภาพรถจะเคลื่อนที่เร็วกว่า ทำให้เกิดความคมชัดน้อยลง ทำให้โปรแกรมตรวจจับความเร็วคำนวณค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยใกล้เคียงกับพื้นถนนมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ความผิดพลาดพาราแลกซ์อาจทำให้ลดลงได้ด้วยการหาวิธีในการกำจัดความผิดพลาดพาราแลกซ์ที่เกิดขึ้น โดยกำหนดความสูงของกล้องและระยะห่างระหว่างกล้องกับกรอบตรวจจับทั้งสอง

2) ใช้กล้องวีดิทัศน์ที่มีความละเอียดมากขึ้น และใช้ระบบจับภาพเข้ามาทั้งเฟรมในเวลาเดียวกันแทนระบบที่ใช้วิธีอ่านข้อมูลเส้นคู่ก่อนแล้วจึงอ่านข้อมูลเส้นคี่

3) ใช้บริเวณที่มีความสูงจากพื้นผิวจราจรสูงกว่าที่เป็นอยู่ในการตั้งกล้อง ซึ่งจะทำให้กล้องมีมุมกดมากขึ้นเป็นการลดความผิดพลาดพาราแลกซ์

4) ควรจะเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขการประมาณในช่วงกำลังสาม (Cubic Spline) ซึ่งเป็นการประมาณในช่วงเท่านั้น ให้สามารถประมาณนอกช่วงได้ด้วย ซึ่งจะทำให้อัตราการจับความเร็วรถไม่ได้ลดลง โดยอาจจะใช้การประมาณค่าด้วยพหุนามกำลังสามกับจุดที่อยู่นอกช่วงของฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงกำลังสาม

5) หากต้องการทำการทดลองเพิ่มเติมควรทำการทดลองดังต่อไปนี้

- มุมกล้องอื่น ๆ
- ทำการทดลองกับภาพที่ใช้งานจริงที่มีการติดตั้งระบบไว้แล้ว เช่น ภาพจากระบบทางด่วน
- ทำการทดลองในสภาพแสงน้อย มีเมฆ ในมุมกล้องต่างๆ
- ทดลองเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในโปรแกรม เช่น ขนาดกรอบตรวจจับ ค่าขีดเริ่มในการทำภาพขอบให้เป็นภาพไบนารี เป็นต้น

รายการอ้างอิง

1. John E. Baerwald, Matthew J. Huber, Louis E. Keefer. Transportation and traffic engineering Handbook. (n.p.) :1976. pp. 95-96.
2. Hiroshi Inose, Takashi Hanmada. Road Traffic Control. 1975.
3. Nicholas J. Garber, Lester A. Hoel. Traffic and Highway Engineering. (n.p.) : PWS Publishing Company,1997.
4. Viroat Srisuapanon. Analysis of Traffic Data Using the Image Processing Approach. Master's thesis Department of computer Science Graduate School Asian Institute of Technology, 1993.
5. เกสร สุนสิน. การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อนับยานพาหนะบนถนน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
6. Marie-Pierre Dubuisson. Segmentation and Matching of Moving Vehicles in Complex Outdoor Scenes. Doctoral dissertation Department of Computer Science Graduate School Michigan State University, 1995.
7. Michalopoulos, P.G. Vehicle Detection Video Through Image Processing: The Autoscope System. IEEE Transactions on vehicular Technology 40 (1991) : 21-9.
8. Boneson, J. A. and Fitts, J. W. Traffic Data Collection using Video-Based Systems. Transportation Research Record 1477 (1995) : 31-40.
9. Kou C. C. and Machemehl R. B. Probabilistic Speed-Estimation Measurement Errors Through Video Images. Journal of Transportation Engineering (1997).
10. Chi-Hyun Shin, Bongsoo Son and Seongho Kim Performance evaluation of image detectors on congested urban intersections. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 3 (1999).
11. Irwin Miller and John E. Freund. Probability and Statistics for Engineers. (n.p.) : Prentice Hall, 1977.
12. David F. Rogers and J. Alan Adams. Mathematical Elements for Computer Graphics. (n.p.) : McGraw-Hill, 1990.
13. R.C. Gonzalez and R.E. Woods. Digital Image Processing. (n.p.) : Addison-Wesley, 1993.
14. ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

15. กิติศักดิ์ พลอยพาณิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.
16. คณาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ความน่าจะเป็นและสถิติ. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวัดความเร็วของรถยนต์โดยวิธีการหาขอบหน้ารถ†

Measuring velocity of car by finding edge of car

กฤษดา โชคสินอนันต์* สืบสกุล พิภพมงคล* และ สรวิศ นฤปิติ**

*ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

**ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกรุงเทพฯ 10330

*โทร (02) 2186978 E-Mail: g39kcs@cpu200.cp.eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีการหาความเร็วของรถยนต์ในหนึ่งช่องทางจราจรแบบทันกาล (Real Time) โดยการวิเคราะห์ภาพต่อเนื่องของสัญญาณวิดีทัศน์ การวัดความเร็วทำโดยการหาตำแหน่งหน้ารถที่เคลื่อนไปบนถนนระหว่างเฟรม 2 เฟรมและระยะเวลาระหว่างเฟรมที่ใช้ตรวจจับนั้น การตรวจจับว่ามีรถวิ่งเข้ามาใช้การวัดค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงของภาพในกรอบพื้นที่ตรวจจับที่กำหนดไว้ 2 บริเวณ เมื่อตรวจได้ว่ามีรถเข้ามาก็จะทำการหาตำแหน่งที่ละเอียดของขอบหน้ารถโดยใช้เทคนิคต่างๆดังนี้ การเลื่อนกรอบตรวจจับโดยอัตโนมัติ Sobel Operator เทคนิคการประมวลผลภาพเชิงเลข (Digital Image Processing) ที่เสนอในบทความนี้ และใช้ฟังก์ชัน Cubic Spline ในการประมาณค่าระยะทางบนพื้นถนนของรถ ความผิดพลาดของความเร็วที่วัดได้เมื่อเทียบกับค่าที่วัดจากอุปกรณ์เรดาร์จับความเร็วอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

Abstract

This paper describes a method for detecting the speed of vehicles in one driving lane in real time. This is done by analyzing continuous video frames of video signal. The speed is calculated from the displacement of the car front and the time between the two grabbed frames. To determine the presence of a vehicle, the image intensity average dispersion is calculated within two specified regions, one in the first frame and another one a fixed distance away. Once a car is detected, the program uses the automatic detecting region sliding technique, Sobel Operation and other digital image processing techniques to locate the reference point on the car front. Cubic Spline is also used in the distance interpolation. The resulting speed errors when compared to the radar detector readings are in the satisfying range.

1. คำนำ

ปัจจุบันตามเมืองใหญ่ๆทั่วโลกได้มีปริมาณรถมากขึ้นเนื่องมาจากการขยายตัวของเมือง จึงเป็นที่มาของปัญหาต่างๆรวมถึงปัญหาการจราจร ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบควบคุมการจราจรโดยอัตโนมัติ ซึ่งระบบดังกล่าวต้องการข้อมูลทางด้านจราจรต่างๆเช่น ความยาวของแถวคอยของรถที่รอสัญญาณที่ทางแยก ระยะห่างของรถ ความเร็วของรถ จำนวนรถ ฯลฯ ในการหาข้อมูลด้านความเร็วนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้ทิวบ์ดีเทคเตอร์ (Tube detector) ลูพคอยล์ดีเทคเตอร์ (Loop coil detector) อุปกรณ์ Infrared Portable Radar การนับด้วยมือ อุปกรณ์ Ultrasonic และการประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นต้น การใช้อุปกรณ์ดังที่กล่าวข้างต้นมีอุปสรรคอยู่พอสมควร [1] เช่น การใช้อุปกรณ์เรดาร์จะมีปัญหาเมื่อมีจำนวนรถมากกว่า 1 ช่องทาง การใช้ Loop Coil หรือ Tube มีความเสื่อมสภาพง่าย อายุการใช้งานไม่นาน การบำรุง/ซ่อม ต้องปิดการจราจร อาจชำรุดจากการขุดซ่อมถนน ในขณะที่การใช้กล้องวิดีทัศน์มีข้อดีเหนือกว่า เช่น ไม่ถูกกระทบกระเทือนจากการรบกวนบนผิวถนน สามารถย้ายไปตรวจจับความเร็วในบริเวณต่างๆได้โดยเปลี่ยนมุมกล้อง ด้วยข้อดีเหล่านี้จึงทำให้มีการจับการใช้ภาพจากกล้องมาวิเคราะห์หาข้อมูลจราจรมากขึ้น แต่อย่างไรการใช้ภาพวิดีทัศน์ก็มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความเร็วของกล้อง (จำนวนเฟรมต่อวินาที) และมุมมองของภาพที่นำมาประมวลผลด้วย [2]

วิโรจน์ ศรีสุรภานนท์ [3] ได้ใช้วิธีการประมวลผลภาพเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านการจราจร เช่น ระยะห่างระหว่างคัน (Headway) ความเร็วของยานพาหนะ การเปลี่ยนช่องการจราจร การจำแนกประเภทของยานพาหนะตามความยาวของยานพาหนะ จากเทปบันทึกภาพโดยอัตโนมัติ โดยการแปลงภาพเป็นภาพไบนารีก่อนและกำหนดเส้นตรวจจับขึ้นมา 2 เส้นขวางช่องทางจราจรที่ต้องการหาข้อมูลการจราจร ความเข้มของภาพไบนารีจะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีรถผ่านเส้นตรวจจับหรือไม่ จากวิธีการดังกล่าวสามารถทำการนับจำนวน ความเร็วได้แม่นยำพอสมควร แต่การทำงานไม่เป็นแบบทันกาล

เกษร สุนสิน [4] ได้ทำการพัฒนาระบบที่สามารถหาข้อมูลที่สำคัญทางการจราจรแบบทันกาลคือ จำนวนยานพาหนะและความเร็วของยานพาหนะ หลักการทำงานทำโดยการกำหนดเส้นตรวจสอบขึ้นมา 2 เส้นขวางช่องทางการจราจรที่ต้องการหาข้อมูลการจราจร การกระจายสัมพัทธ์ (Relative Dispersion) ของแนวเส้นตรวจจับจะเป็นตัวบ่งบอกว่า

---

† ผลงานที่ตีพิมพ์ในวารสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 22 (EECON 22)

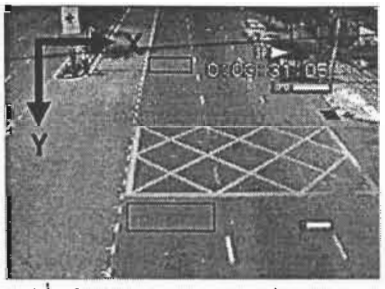
มียานพาหนะผ่านเส้นตรวจสอบหรือไม่ จากวิธีดังกล่าวนี้สามารถนับจำนวนรถได้ดี แต่ในการวัดความเร็วของยานพาหนะมีความผิดพลาดค่อนข้างมาก

Marie-Pierre Dubuisson [5] ได้ทำการพัฒนาระบบที่ทำงานแบบทันกาล โดยใช้กล้องอย่างน้อย 2 ตัวจับภาพตามจุดที่ต้องการ เมื่อมียานพาหนะผ่านกล้อง ระบบจะจำลักษณะต่างๆของยานพาหนะไว้ เมื่อยานพาหนะดังกล่าวผ่านกล้องตัวที่ 2 จะทำการวิเคราะห์ว่าเป็นยานพาหนะที่ผ่านมาจากกล้องตัวใดและทำการคำนวณหาค่าต่างๆที่ต้องการ เช่น ความเร็วเฉลี่ย จำนวนยานพาหนะที่ผ่านแต่ละจุด ฯลฯ ระบบเครื่องที่ใช้ในการคำนวณต้องมีความเร็วในการประมวลผลสูง และมีปัญหาเรื่องเงาของยานพาหนะ

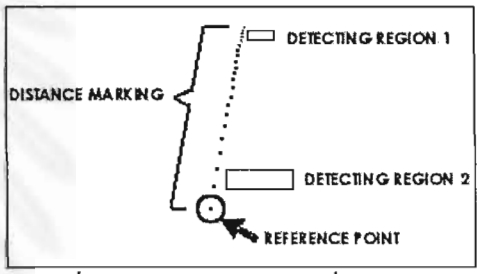
2. ทฤษฎีและหลักการ

ในบทความนี้ได้เสนอวิธีการวัดความเร็วรถยนต์โดยคำนวณจากภาพระดับเทาซึ่งต่อไปจะกำหนดเรียกว่า f_{raw} ซึ่งได้จากการ์ดแปลงสัญญาณวิดีทัศน์ โดยรถวิ่งตามแกน Y ของภาพดังรูปที่ 1 ในการหาความเร็วจะต้องคำนวณตำแหน่งของขอบอ้างอิงของหน้ารถตำแหน่งแรก เมื่อเวลาผ่านไปจึงคำนวณหาตำแหน่งของขอบอ้างอิงของหน้ารถตำแหน่งที่สอง ซึ่งความเร็วที่ได้คือระยะทางที่รถเคลื่อนที่จากตำแหน่งแรกไปสู่ตำแหน่งที่สองหารด้วยเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ และในการหาระยะทางจากตำแหน่งขอบอ้างอิงของหน้ารถทำได้โดยการประมาณจากตำแหน่งที่ทราบค่าแล้วบนพื้นถนนโดยกำหนดจุดอ้างอิง (Reference point) มีค่าเป็นศูนย์ และกำหนดระยะทางของจุดอื่นที่เหลือเทียบกับจุดอ้างอิงดังรูปที่ 2 ซึ่งขั้นตอนในการหาความเร็วมีดังนี้

1. กำหนดกรอบตรวจจับ (Detecting Region) ในช่องทางจราจรที่รถแล่นผ่าน ระยะห่างกันพอประมาณ เพื่อตรวจจับบริเวณหน้าของรถตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 ดังรูปที่ 2
2. กำหนดเครื่องหมายบอกระยะ (Distance Marking) บนถนนเพื่อใช้ในการประมาณตำแหน่งขอบอ้างอิงของหน้ารถที่ตรวจจับ ดังรูปที่ 2
3. อ่านข้อมูลสัญญาณวิดีทัศน์จำนวน 1 เฟรม (f_{raw})
4. หาตำแหน่งขอบอ้างอิงของหน้ารถในบริเวณกรอบตรวจจับที่ 1 (Detecting Region 1) ถ้ามีรถปรากฏอยู่ จะได้ตำแหน่งหน้ารถมีระยะเป็น S1 เมตร และเวลาขณะนั้นเป็น t1 เก็บลงในคิว (Queue) ทั้งนี้เพื่อป้องกันในกรณีที่รถคันแรกได้ผ่านกรอบตรวจจับที่ 1 แล้วแต่ยังไม่ผ่านกรอบตรวจจับที่ 2 (Detecting Region 2) ปรากฏมีรถคันที่ 2 เข้ามาในกรอบตรวจจับที่ 1 มาอีก
5. หาตำแหน่งขอบอ้างอิงของหน้ารถในบริเวณกรอบตรวจจับที่ 2 ถ้ามีรถปรากฏอยู่จะได้ตำแหน่งหน้ารถมีระยะเป็น S2 เมตร และเวลาขณะนั้นเป็น t2
6. ถ้าขั้นตอนที่ 5 มีรถปรากฏอยู่ นำข้อมูลตำแหน่ง S1 และ t1 ออกจากคิว (Queue) คำนวณความเร็วได้จาก
   V = (S2-S1)/(t2-t1)
7. อ่านเฟรมข้อมูลใหม่จากการ์ดแปลงสัญญาณวิดีทัศน์
8. ถ้ายังไม่จบโปรแกรมเริ่มทำ 4 ใหม่



รูปที่1 ทิศทางแกน X และ Y เทียบกับถนน



รูปที่ 2 กรอบตรวจจับที่ 1 อยู่ด้านบน กรอบตรวจจับที่ 2 อยู่ด้านล่าง และเครื่องหมายบอกระยะทาง

จากขั้นตอนข้างต้นนั้น ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดคือการหาขอบอ้างอิงของหน้ารถให้ถูกต้อง ซึ่งจะมีผลต่อความแม่นยำในการวัดความเร็ว ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 การตรวจจับรถ

ในการตรวจสอบว่ามีรถหรือไม่ ทำโดยการใช้ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (AD) [6] ของจุดภาพในกรอบตรวจสอบเป็นตัวบ่งบอก โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$AD = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|X_i - \mu| \quad (1)$$

$$\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}X_i \quad (2)$$

โดยที่ AD เป็นค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย

μ เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิต

X_i เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพ

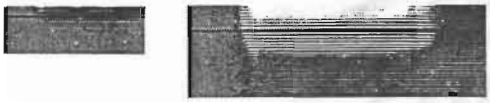
N เป็นจำนวนจุดภาพที่ต้องการหาค่า AD

ถ้าภาพในกรอบตรวจจับเป็นถนนแล้วจะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยต่ำ ในกรณีที่กรอบตรวจจับมีบางส่วนของรถยนต์ปรากฏจะทำให้ค่า

ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยมีค่ามากกว่าปกติ หากว่าเกินระดับที่กำหนดไว้ก็จะถือว่ามีรถอยู่

2.2 การเลื่อนกรอบตรวจจับบริเวณหน้ารถยนต์

เมื่อตรวจพบว่ามีรถอยู่ในกรอบตรวจจับแล้ว โปรแกรมจะกำหนดกรอบตรวจจับใหม่ในทิศทางที่รถวิ่ง โดยเลื่อนไปทีละครึ่งหนึ่งของระยะกรอบเดิม (ครึ่งหนึ่งของความสูงกรอบในรูปที่ 1) จนกว่าจะพบภาพถนนอย่างเดียวแล้วจึงจะถอยกลับมาครึ่งช่องระยะกรอบ ทั้งนี้เพื่อให้ภาพในกรอบครอบคลุมหน้ารถและถนนอย่างเพียงพอ เพื่อว่าจะสามารถหาขอบอ้างอิงของหน้ารถได้ตามข้อ 2.3 กรณีที่รถไม่อยู่ในกรอบพอดีก็สามารถตรวจจับได้ ยกเว้นเมื่อรถเปลี่ยนช่องทางจนภาพรถปรากฏในกรอบน้อยมาก



ก. ข.

รูปที่ 3 ก. เป็นรูปจากกรอบตรวจจับที่ 1 ข. เป็นรูปจากกรอบตรวจจับที่ 2 และเส้นที่ลากขวางเป็นบริเวณที่พบว่าเป็นขอบอ้างอิงของหน้ารถ

2.3 การหาขอบอ้างอิงของหน้ารถ

เริ่มจากการหาขอบของภาพในกรอบตรวจสอบทำโดยใช้ Sobel Operator [7] ทำการ convolute กับภาพที่ต้องการหาขอบ ได้ผลเป็น f_{edge} จากนั้นนำ f_{edge} ไปทำเป็นภาพไบนารีโดยนำค่าของจุดในรูปตรวจสอบกับค่าที่กำหนดไว้ (Threshold) ถ้ามากกว่าก็กำหนดค่าเป็น 1 ถ้าน้อยกว่ากำหนดค่าเป็น 0 ได้ผลลัพธ์เป็น f_{bin}

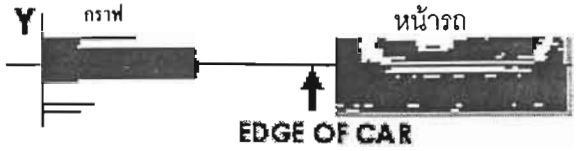
$$f_{edge}(i,j) = \left|Sx \otimes f_{raw}(i,j)\right| + \left|Sy \otimes f_{raw}(i,j)\right| \qquad (3)$$

$$Sx = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ และ } Sy = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \qquad (4)$$

$$f_{bin}(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } f_{edge}(i,j) \geq \text{Threshold} \\ 0 & \text{if } f_{edge}(i,j) < \text{Threshold} \end{cases} \qquad (5)$$

โดยที่ (i,j) เป็นจุดที่อยู่กรอบตรวจจับ

จากนั้นนำภาพไบนารีของหน้ารถไปเขียนกราฟโดยมีลักษณะดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การหาขอบอ้างอิงของหน้ารถจากภาพขอบรถ

แกน Y แทนระยะจุดภาพในแนวแกน Y ของภาพรถ (ภาพทั้งหมดไม่เฉพาะในกรอบตรวจสอบ)

แกน X แทนจำนวนจุดที่เป็น 1 ของรูปหน้ารถในกรอบตรวจจับ

ทำการหาพื้นที่ (Integration) ของกราฟที่ได้ลงบนแกน Y ขอบอ้างอิงจะอยู่ที่ตำแหน่งที่แบ่งพื้นที่ของกราฟเป็น 2 ส่วนเท่าๆกันซึ่งต่อไปกำหนดเรียกว่า Reference Edge (RE) ตามรูปที่ 4 คือ Edge of Car

2.4 ระยะของตำแหน่งหน้ารถบนถนน

จากค่า RE นั้นเป็นค่าระยะจุดในรูปภาพที่ได้จากเฟรมซึ่งยังไม่ทราบระยะทางที่แท้จริงบนถนน ดังนั้นจึงใช้ฟังก์ชัน Cubic Spline [8] ในการประมาณค่าระยะทางบนถนน ซึ่งการประมาณเส้นโค้งวิธีนี้เป็นการสร้างชุดของสมการกำลัง 3 ที่แต่ละสมการใช้ในการประมาณค่าระหว่างจุดอ้างอิงสองจุดอ้างอิง โดยมีสมการทั่วไปดังนี้

$$fi(x) = aix^3 + bix^2 + cix + di \qquad (6)$$

โดยที่ ai, bi, ci, di เป็นค่าคงที่ที่ต้องหาด้วยวิธี Cubic Spline

f_i เป็นฟังก์ชันประมาณค่าระหว่างข้อมูลอ้างอิงที่ i และ $i-1$

ซึ่งค่าที่ฟังก์ชัน Cubic Spline ใช้เป็นค่าอ้างอิงในการหาคือค่าที่กำหนดระยะทางบนภาพไว้ตั้งแต่เริ่มต้นนั้นเอง

2.5 การหาความเร็ว

ในการหาความเร็ว ทำโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$V = (S2-S1)/(T2-T1) \qquad (7)$$

โดยที่ V เป็นความเร็วที่ระบบคำนวณได้

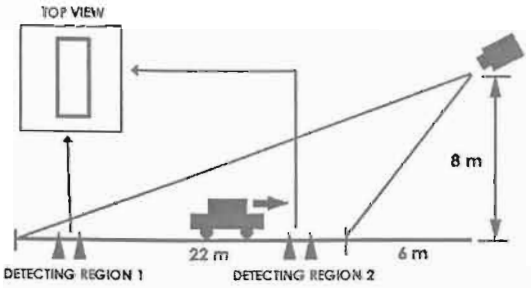
S1 S2 เป็นระยะทางที่รถเคลื่อนที่จากกรอบตรวจจับที่ 1 และกรอบตรวจจับที่ 2 ตามลำดับ

T1 และ T2 เป็นเวลา ณ. กรอบตรวจจับที่ 1 และกรอบตรวจจับที่ 2 ตามลำดับ

3. การทดสอบและวิเคราะห์ผล

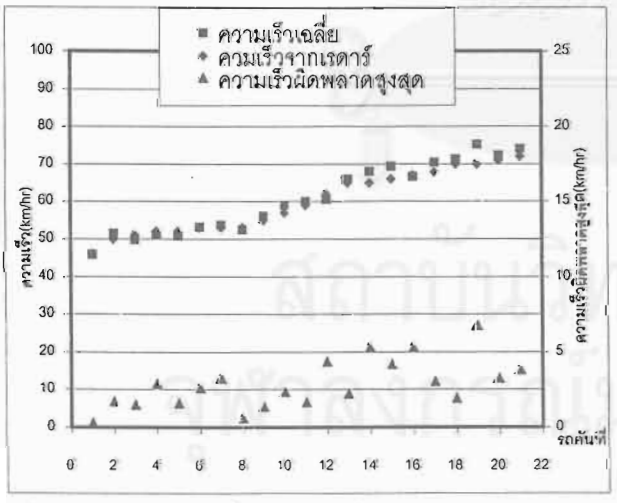
ในการทดสอบได้ใช้เครื่อง Pentium II 300 MHz มีหน่วยความจำหลัก 64 MB และใช้การ์ดแปลงสัญญาณวิดีทัศน์เป็นข้อมูลดิจิตอล และใช้เทปบันทึกภาพรถที่ทราบความเร็วจำนวน 21 คัน ซึ่งมีช่วงความเร็วตั้งแต่ 46 ถึง 72 กม./ชม. เป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถ

กระบะเป็นข้อมูลขาเข้า (Input) โดยถ่ายภาพดังกล่าวบนสะพานลอย โดยมีมุมกดดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 มุมกล้องที่ทำการทดลอง และบริเวณที่กำหนดกรอบตรวจจับทั้ง 2 ตำแหน่ง

การหาระยะอ้างอิงได้ใช้การกำหนดเครื่องหมายเป็นแนวตามขอบช่องทางจราจรทุกๆ 1 เมตรเป็นระยะทางทั้งสิ้น 22 เมตร เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงของฟังก์ชัน Cubic Spline จากนั้นกำหนดค่า Threshold ในขั้นตอนที่ 2.3 (มีค่า 80 คงที่) ซึ่งค่านี้ได้จากการทดลอง กรอบตรวจจับที่ 1 กว้าง 88 จุดภาพ สูง 30 จุดภาพ และกรอบตรวจจับที่ 2 กว้าง 187 จุดภาพ สูง 59 จุดภาพ วางในตำแหน่งดังรูปที่ 1 จากนั้นนำเทปมาทำการหาความเร็วของรถทั้งหมดจำนวน 10 รอบ (ของแต่ละคัน) นำมาเปรียบเทียบกับความเร็วจากเรดาร์ตรวจจับความเร็ว (Radar Gun) ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ที่หาค่าความเร็วอ้างอิง ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเรดาร์ตรวจจับความเร็วนี้มีความผิดพลาดประมาณ 2 กม/ชม ซึ่งในระหว่างการวัดต้องควบคุมมุมในการวัดให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาดให้น้อยที่สุด



รูปที่ 6 กราฟความเร็วเฉลี่ย ความเร็วที่ได้รับจากอุปกรณ์เรดาร์ และความเร็วผิดพลาดสูงสุดที่คำนวณได้

นอกจากนี้ได้นำผลจากการทดสอบข้างต้นมาวิเคราะห์ใน 2 ประเด็นคือ หาความแน่นอนของระบบว่าเมื่อวิเคราะห์เฟรมของภาพที่ต่างกันในรอบต่างๆ (ของ 10 รอบ) จะมีผลต่อเสถียรภาพของค่าความเร็วที่ได้เพียงใด โดยใช้ค่า Coefficient of Variation (CV) [6] และหาค่าความผิดพลาดของความเร็วเมื่อเทียบกับค่าความเร็วจากเรดาร์ตรวจจับ โดยการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของความผิดพลาดสูงสุด ค่า CV ที่ได้อยู่ระหว่าง 0.075 % ถึง 5.054 % และใน 90 % ของจำนวนรถทั้งหมดมี CV ต่ำกว่า 3.5 % ส่วนค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสูงสุดมีค่า 2.809 กม./ชม. โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน 1.639 โดยทั่วไปค่าความเร็วที่วัดได้ใกล้เคียงกับความเร็วจากเรดาร์มาก และจากรูปที่ 6 ความเร็วที่ได้มีแนวโน้มผิดพลาดมากขึ้นที่ความเร็วสูงขึ้น

4. สรุป

ระบบการวัดความเร็วของรถยนต์นี้ได้ใช้เทคนิคต่างๆ เพื่อลดขนาดข้อมูลและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อที่ระบบนี้จะสามารถทำงานได้ทันกาล จากการทดสอบพบว่าระบบมีความสามารถในการตรวจจับความเร็วของรถยนต์ในระดับที่น่าพอใจ เสถียรภาพในการตรวจจับความเร็วเป็นที่น่าพอใจ และความผิดพลาดสูงสุดเฉลี่ยไม่เกิน 2.8 กม./ชม. ในช่วงความเร็วที่ทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] Stanislaw Berka and Kent Lall, "New perspectives for ATMS: Advanced Technologies In Traffic Detection", Journal of Transportation engineering, January/February 1998

[2] Cheng-Chen Kou and Randy B. Machemehl, "Probabilistic Speed-Estimation Measurement Errors Through Video Images", Journal of Transportation engineering, March/April 1997

[3] Viroat Srisuapanon. "Analysis of Traffic Data Using the Image Processing Approach", Master's thesis, Department of computer Science, Graduate School, Asian Institute of Technology, Thailand, 1993.

[4] เกษร สุนสิน, "การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อนับยานพาหนะบนถนน", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย, 2538

[5] Marie-Pierre Dubuisson, "Segmentation and Matching of Moving Vehicles in Complex Outdoor Scenes Doctoral dissertation", Department of Computer Science, Graduate School, Michigan State University, 1995

[6] Irwin Miller and John E. Freund, "Probabilty and Statistics for Engineers", Prentice-Hall, Inc., 1977

[7] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, "Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1993

[8] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, "ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม", สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538

ประวัติผู้เขียน

นายกฤษดา โชคสินอนันต์ เกิดวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2539

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย