การตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์ด้านหลังรถ

นางสาวเมทินี วัฒนะเมธานนท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-3860-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REAL-TIME VEHICLE COUNTING AT NIGHT FROM VEHICLE REAR VIEW VIDEO IMAGE

Miss Metinee Wattanamethanont

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2004
ISBN 974-17-3860-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์ด้านหลังรถ

โดย นางสาวเมทินี วัฒนะเมธานนท์

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……………………………………. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……………………………………... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

……………………………………... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล)

…………………………………… กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)

…………………………………… กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช)

…………………………………… กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ รองวิริยะพานิช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมทินี วัฒนะเมธานนท์ : การตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์ด้านหลังรถ (REAL-TIME VEHICLE COUNTING AT NIGHT FROM REAR VIEW VIDEO IMAGE) อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.ดร.สืบสกุล พิภพมงคล, 103 หน้า. ISBN 974-17-3860-9.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริธึมและโปรแกรมต้นแบบในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์เมื่อเล็งกล้องด้านหลังรถ อัลกอริธึมที่นำเสนอประกอบด้วยสองขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นเพื่อหายานพาหนะในกรอบตรวจจับและขั้นตอนการนับจำนวนยานพาหนะ

โปรแกรมจะนับจำนวนยานพาหนะในบริเวณกรอบตรวจจับที่กำหนด โดยขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นจะตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะในแต่ละเฟรมของวีดิทัศน์เพื่อแยกยานพาหนะออกจากพื้นถนนโดยได้ทดลองวิธีการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะสองวิธีได้แก่การตรวจหาส่วนท้ายของยานพาหนะ และการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะจากขอบของยานพาหนะ ส่วนขั้นตอนการนับจำนวนยานพาหนะจากภาพวีดิทัศน์จะอาศัยข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนแรก ซึ่งประมวลผลเฟรมสองเฟรมที่ต่อเนื่องกัน เพื่อนำมาประมวลผลนับจำนวนยานพาหนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองโปรแกรมต้นแบบจากภาพวีดิทัศน์ที่มีมุมก้มและและมุมเฉียงในการเล็งกล้องที่แตกต่างกัน ภาพที่ใช้มีความละเอียด 320x240 จุดภาพ โดยถ่ายภาพวีดิทัศน์บนสะพานลอย กล้องสูงจากพื้นถนนประมาณ 7.5 เมตร ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจนับจำนวนยานพาหนะโดยมนุษย์แบ่งได้เป็นสองกรณี คือการนับจำนวนยานพาหนะโดยหายานพาหนะจากการพิจารณาท้ายรถมีความถูกต้องระหว่างร้อยละ 87 ถึงร้อยละ 98 การนับจำนวนยานพาหนะโดยหายานพาหนะจากการพิจารณาขอบของยานพาหนะมีความถูกต้องระหว่างร้อยละ 92 ถึงร้อยละ 96 โดยพบว่าความถูกต้องในการนับ อย่างน้อยขึ้นกับมุมกล้องที่เล็งไปยังกรอบตรวจนับและระยะห่างระหว่างกล้องกับกรอบตรวจนับเมื่อคุณภาพกล้องคงที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2547.....

4570709421 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORD: IMAGE PROCESSING / VEHICLE DETECTION / VEHICLE COUNTING / DETECTION AT NIGHT

METINEE WATTANAMETHANONT : REAL-TIME VEHICLE COUNTING AT NIGHT FROM VEHICLE REAR VIEW VIDEO IMAGE. THESIS ADVISOR : SUEBSKUL PHIPHOBMONGKOL PH.D. , 103 pp. ISBN 974-17-3860-9.

The purposes of this research are to develop an algorithm and a prototype program to count road vehicles at night in real time using video images shooting at vehicle rear end. The proposed algorithm consists of two steps; the pre-processing step and vehicle counting step. The program counts vehicles in a predefined region or frame on the road surface. The pre-processing step allocated a vehicle in the video frame by distinguishing a vehicle from the road and forward the result to the vehicle counting step.

Two approaches were used to check the existence of a vehicle. The first approach is by analyzing the rear end image of vehicles using the intensity and the red color of the vehicle rear end. The second approach is by extracting vehicle edges. The vehicle counting process used the results from the pre-processing step which was performed on two consecutive image frames. The results were then used by the counting process.

In this research, video images were taken from different angles and positions. The video shooting was done on a pedestrian flyover about 7.5 metres over road surface. The resolution of video images is 320 x 240 pixels. The resulting vehicle counts by the program were compared to that of human counts for the two approaches. The vehicle rear end analysis approach gave the count accuracy range from 87% to 98%. The vehicle edge analysis approach gave the count accuracy range from 92% to 96%. It was found that the vehicle count accuracy depends, at least, on the shooting angles and the distance from the video camera to the detecting region, given the same quality video cameras used.

Department.....Computer Engineering..... Student's signature.....................

Field of study.....Computer Engineering..... Advisor's signature.....................

Academic year.....2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีเพราะได้รับความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนจากบุคคลหลายท่านดังต่อไปนี้ อ.ดร.สืบสกุล พิภพมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งช่วยให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะและดูแลในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ และกรรมสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.นงลักษณ์ โควาวิสารัช, รศ.ดร.สรวิศ นฤปิติ และอ.ดร.ทรงศักดิ์ รองวีริยะพานิช ที่ให้ความกรุณาในการตรวจสอบและให้คำแนะนำรวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณนายอรรถกร พูนศิลป์และนายวรพงษ์ ตันติศิริโรจน์ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม Visual C++ ในการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ

ขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในห้องวิจัยนิสิตระดับบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพวีดิทัศน์

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และรุ่นน้องทุกคนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความรู้และประสบการณ์ในด้านต่างๆ ตลอดจนเป็นสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบุคคลที่มิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ที่ช่วยให้คำปรึกษาและข้อแนะนำต่างๆ

และสุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 4
1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 4
2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีพื้นฐาน
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.2 การประมวลผลภาพดิจิตอล 7
2.2.1 การแบ่งส่วนภาพ 8
2.2.1.1 การกำหนดค่าขีดแบ่ง 8
2.2.1.2 การตรวจหาขอบ 9
2.2.2 การประมวลผลภาพสี 12
2.2.2.1 มาตรฐานของสี 12
2.2.1.2 การแปลงค่าสีระหว่างระบบสีต่างๆ 14
2.2.3 การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานวิทยา 15
2.2.4 การเชื่อมจุดโดยวิธี run-length smearing 17
2.2.5 การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน 18
2.2.6 โพรไฟล์การฉาย 19
3 การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ
3.1 การกำหนดกรอบตรวจจับ 22

บทที่ หน้า

3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น......23

3.2.1 การตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะ

จากการพิจารณาท้ายยานพาหนะ......23

3.2.1.1 การตรวจสีแดงที่มีความสว่างในกรอบตรวจจับ......24

3.2.1.2 การตรวจหาท้ายยานพาหนะ......25

3.2.2 การตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะ

จากการพิจารณาขอบของยานพาหนะ......26

3.2.2.1 การหาขอบของยานพาหนะโดยวิธีแคนนี......26

3.2.2.2 การฉายโพรไฟล์ของภาพลักษณ์ฐานสอง......27

3.3 การนับจำนวนยานพาหนะจากภาพวีดิทัศน์......27

4 การทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การทดลอง......30

4.2 การเก็บข้อมูล......31

4.3 ผลการทดลองการตรวจนับจำนวนยานพาหนะจากภาพวีดิทัศน์......32

4.4 วิเคราะห์ขีดจำกัดด้านความเร็วรถ......36

4.4.1 ความเร็วสูงสุดและความเร็วต่ำสุด......36

4.4.2 ความทันกาล......38

4.4.3 ขนาดกรอบตรวจจับ......38

4.5 ความผิดพลาดในการนับ......39

4.6 ข้อจำกัดในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ......41

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย......42

5.2 ข้อเสนอแนะ......43

รายการอ้างอิง......44

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมต้นแบบ......47

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง......54

ภาคผนวก ค

คุณสมบัติของกล้อง......88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ง

บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ 94

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 103

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่า Hue อยู่ในรูปขององศา 14
3.1 ค่าความหนาแน่นและค่าความสว่างของของสีแดง 24
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการปรากฏของยานพาหนะ
ในเฟรมก่อนหน้าและเฟรมปัจจุบัน 28
4.1 ผลการนับยานพาหนะตามมุมก้ม (vertical angle) 35
4.2 ผลการนับยานพาหนะตามตำแหน่งกล้องที่ทำมุมกับแนวช่องจราจร (Horizontal angle) ... 36
ก.1 ปุ่มและหน้าที่ของแถบเครื่องมือ 50
ข.1 ผลการทดลอง 58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

1.1 Inductive Loop 1
1.2 การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ 2
2.1 โครงสร้างระบบ VTTS 7
2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล 8
2.3 การหาค่าขีดแบ่งจากฮิสโทแกรมของค่าระดับเทา 9
2.4 หน้ากากของตัวดำเนินการ Sobel 10
2.5 ระบบสี RGB 12
2.6 ระบบสีแบบลบ 13
2.7 ระบบสี HSV 14
2.8 การขยายขนาด 16
2.9 การกร่อน 17
2.10 ตัวอย่างการทำ Run-length smearing 18
2.11 การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน 19
2.12 ตัวอย่างภาพเงาการฉายของภาพภาพลักษณ์ฐานสอง 19
3.1 ระบบงานจราจร 21
3.2 ขั้นตอนการทำงานหลักของโปรแกรมต้นแบบ
ในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืน 22
3.3 กรอบตรวจจับ 24
3.4 ตัวอย่างการแยกดวงไฟท้าย 25
3.5 การจับคู่กลุ่มพิกเซลสว่างสีแดงเพื่อยืนยันว่าเป็นดวงไฟของยานพาหนะคันเดียวกัน 26
3.6 ตัวอย่างการจับคู่ดวงไฟท้าย 26
3.7 ตัวอย่างภาพการหาขอบและโพรไฟล์การฉายตามแนวนอน 27
3.8 การนับยานพาหนะ 29
4.1 ทดลองโดยเล็งกล้องด้วยมุมก้ม (Vertical angle)ต่างกัน 2 ค่า 30
4.2 ทดลองโดยเล็งกล้องที่ทำมุมกับแนวช่องจราจร (Horizontal angle) ต่างๆ กัน 31
4.3 แนวเล็งกล้องที่มุมก้มต่างกัน 33
4.4 แนวเล็งกล้องที่กรอบตรวจจับเดียวกันแต่มุมเล็งต่างๆ กัน 33
4.5 ภาพกรณีวิกฤติ 37
ก.1 หน้าจอหลัก 48

รูปที่ หน้า

ก.2 เมนูย่อยของเมนู File 48
ก.3 เมนูย่อยของเมนู View 49
ก.4 เมนูย่อยของเมนู Process 49
ก.5 เมนูย่อยของเมนู Window 50
ก.6 หน้าจอสำหรับการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ 51
ก.7 หน้าจอแสดงภาพวีดิทัศน์ 52
ก.8 แถบสถานะ 52

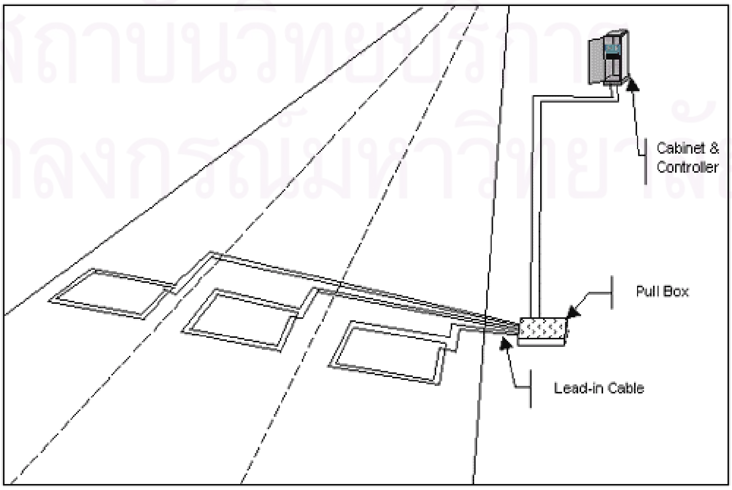
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

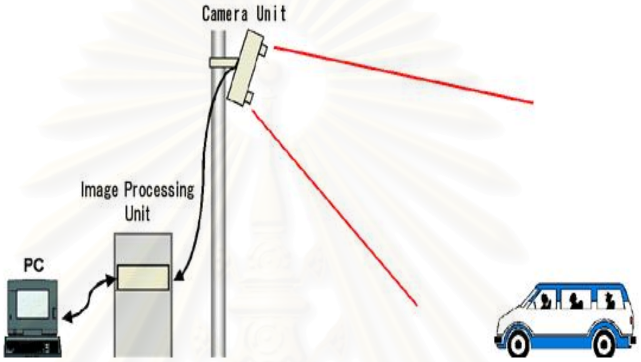
ปัจจุบันในเมืองใหญ่จะมีปริมาณยานพาหนะและการคมนาคมขนส่งที่มากขึ้น ทำให้เกิดปัญหาจราจร การควบคุมระบบจราจรที่ดีเพื่อบรรเทาปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลของการจราจรมาวิเคราะห์ เช่น ความเร็วของยานพาหนะ ความยาวของแถวคอย จำนวนยานพาหนะ ประเภทของยานพาหนะ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์แล้วนำผลของการวิเคราะห์ไปใช้ในการจัดการจราจรที่เหมาะสมต่อไป การสำรวจข้อมูลเหล่านี้จากการใช้คนสำรวจเป็นเวลานานๆ ไม่เป็นการเหมาะสมในทางปฏิบัติเพราะค่าใช้จ่ายสูงหรือมีความผิดพลาดเนื่องจากความเบื่อหน่ายละเลย ดังนั้นวิธีที่เหมาะสม คือการใช้อุปกรณ์ช่วยในการเก็บข้อมูลแทน การเก็บข้อมูลจราจรได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แต่ละประเภท ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก [1] คือ อุปกรณ์รับรู้ประเภทแทรกซอน (Intrusive sensors) และอุปกรณ์รับรู้ประเภทไม่แทรกซอน (Non-intrusive sensors) อุปกรณ์รับรู้ประเภทแทรกซอนเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งฝังลงไปใต้ผิวถนน เช่น Inductive loop, Magnetometers, Microloop probes, Piezoelectric cables เป็นต้น Inductive loop มีลักษณะเป็นขดลวดฝังอยู่ใต้ผิวถนน เมื่อยานพาหนะเคลื่อนผ่านอุปกรณ์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าในขดลวดแล้วส่งไปที่วงจรที่ต่อไว้ ดังตัวอย่างรูปที่ 1.1 [2] ทำให้สามารถนับจำนวนยานพาหนะ วัดความเร็วและแยกประเภทยานพาหนะได้ อุปกรณ์เหล่านี้จะติดตั้งฝังใต้ผิวทางจราจร ซึ่งมีความยุ่งยากในการติดตั้ง การซ่อมแซม การดูแลรักษา รวมถึงขั้นตอนการติดตั้งที่ไม่ได้มาตรฐานเป็นอีกหนึ่งข้อจำกัดของอุปกรณ์ประเภทนี้



รูปที่ 1.1 Inductive Loop

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนอุปกรณ์รับรู้ประเภทไม่แทรกซอน เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่เหนือถนน เช่น การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ (Video Image Processing), Microwave radar, Ultrasonic, Passive infrared, Laser radar เป็นต้น การประมวลผลภาพวีดิทัศน์อาศัยการนำภาพที่ได้จากอุปกรณ์รับภาพ คือกล้องถ่ายวีดิทัศน์ และนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพนั้น แสดงดังรูปที่ 1.2 [3] ซึ่งวิธีนี้สะดวกต่อการติดตั้ง การดูแลและซ่อมบำรุงระบบ การใช้งาน มีประโยชน์มากในการตรวจจับยานพาหนะ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงข้อมูลเข้ากับระบบจัดการจราจรหลายๆ จุดได้



รูปที่ 1.2 การประมวลผลภาพวีดิทัศน์

การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ในระบบจราจรนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานการนำร่องยานพาหนะไร้คนขับ (Autonomous vehicle navigation) ซึ่งใช้กล้องรับภาพช่วยหาระยะห่างของวัตถุในการชี้นำการขับเคลื่อนของยานพาหนะต่างๆ [4-6] ในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจำเป็นจะต้องรู้ระยะห่างของวัตถุต่างๆ เพื่อที่จะให้การเดินทางเป็นไปด้วยความปลอดภัย เช่น ถ้ามีอุบัติเหตุบนท้องถนน ระบบจะแจ้งเตือนอันตรายที่มีบนท้องถนน ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงได้ทันท่วงที โดยจะติดกล้องและประมวลผลที่ยานพาหนะที่ต้องการขับขี่ อีกงานหนึ่งคือ ระบบงานเฝ้าดูสภาพจราจร (Traffic monitoring system) สามารถใช้เป็นระบบติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) โดยนำกล้องถ่ายสภาพการจราจรในแต่ละทางแยกซึ่งติดตั้งบริเวณที่ไม่สามารถมองเห็นได้แล้วส่งภาพมายังจอแสดงภาพที่ติดตั้งในบริเวณที่สามารถมองเห็นภาพได้ตลอดเวลาเพื่อสนับสนุนการสั่งการและอำนวยการจราจร หรือสามารถใช้เป็นระบบตรวจจับยานพาหนะจากกล้องรับภาพที่ติดอยู่กับที่แล้วเลือกเอาข้อมูลที่ได้มา เช่น ความเร็วของยานพาหนะ ความยาวของแถวคอย จำนวนยานพาหนะ เป็นต้น มาใช้ในการแก้ไขปัญหาจราจรในแต่ละเส้นทาง [7-17] ข้อมูลหนึ่งที่เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และแก้ปัญหา คือจำนวนยานพาหนะ ซึ่งได้มาจากการตรวจนับยานพาหนะที่แล่นผ่านบริเวณที่ต้องการไม่ว่าจะเป็นการตรวจนับยานพาหนะในตอนกลางวันหรือกลางคืน ซึ่งในการตรวจนับยานพาหนะในเวลากลางวัน [12-14] ภาพที่ได้จะแสดงให้เห็นรูปร่างและลักษณะต่างๆ ของยานพาหนะได้ชัดเจนกว่าการตรวจนับยานพาหนะในเวลากลางคืน [15-

17] แต่ก็ยังมีปัจจัยอื่นๆ เนื่องมาจากสภาพแวดล้อมอีกหลายประการที่ทำให้ความสามารถในการตรวจจับยานพาหนะลดลงได้ เช่น ระดับความสว่าง แสงสะท้อนและเงา

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการนับยานพาหนะ ในเวลากลางคืน โดยจะตรวจนับจำนวนยานพาหนะที่แล่นผ่านช่องจราจรหนึ่งๆ โดยการประมวลผลภาพวีดิทัศน์แบบทันกาล เนื่องจากในเวลากลางคืนนั้นมีระดับความสว่างน้อย ภาพที่นำมาประมวลผลจะไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำภาพไฟท้ายของยานพาหนะซึ่งมีความสว่างในเวลากลางคืนมาประมวลผลเพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจจับยานพาหนะให้ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้เพิ่มความสามารถในการนับจำนวนยานพาหนะได้ถูกต้องมากขึ้นด้วย วิธีการที่นำเสนอสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกเป็นการประมวลผลภาพจากบริเวณที่กำหนด (กรอบตรวจจับ) เพื่อจะแยกยานพาหนะออกมาจากสิ่งที่ไม่ต้องการ โดยดึงเอาลักษณะของยานพาหนะจากวิธีหาท้ายยานพาหนะจากค่าความสว่างและค่าสีแดงหรือจากการหาขอบของยานพาหนะมาตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะในหนึ่งเฟรม ส่วนที่สองเป็นส่วนของการนับจำนวนยานพาหนะ จะอาศัยข้อมูลที่ได้จากส่วนแรกมาตรวจสอบความสัมพันธ์ของภาพระหว่างเฟรม 2 เฟรมที่ต่อเนื่องกันเพื่อนับจำนวนยานพาหนะที่เพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขั้นตอนวิธีการและพัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้ในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์ด้านหลังรถ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การพัฒนาวิธีการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนจากภาพวีดิทัศน์แบบทันกาล มีขอบเขตดังนี้

1) ภาพที่นำมาประมวลผลเป็นภาพจากวีดิทัศน์ที่เป็นไฟล์ avi หรือภาพที่ได้จากวงจรจับภาพ (Frame grabber)

2) ภาพที่ใช้ต้องเป็นภาพซึ่งถ่ายภายใต้สภาวะปกติของถนนในเวลากลางคืนที่ไม่มีหมอก ควันหรือฝนตก

3) ภาพที่ใช้เป็นภาพถ่ายจากมุมมองจากระดับสูงไม่น้อยกว่า 5 เมตรจากผิวถนน (บนสะพานลอยคนเดินข้ามถนน) ด้วยมุมกดลง 2 มุมที่ต่างกันไม่น้อยกว่า 15 องศา

4) ติดตั้งกล้องเล็งในแนวเดียวกับแนวทิศทางจราจร (รถวิ่งออกจากกล้อง)และเปลี่ยนตำแหน่งของกล้องโดยเลื่อนตำแหน่งกล้องไปด้านซ้ายมือหรือขวามือ (ในแนวเส้นตั้งฉากกับช่องทางเดินรถที่ผ่านจุดตั้งกล้องครั้งแรก) 2 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นมุมเล็งที่ต่างจากแนวเดิมอย่างน้อย 15 องศา

5) ตรวจนับจำนวนยานพาหนะตั้งแต่ 4 ล้อขึ้นไปและรถสามล้อเครื่อง (รถตุ๊กๆ) ที่มีสัญญาณไฟท้าย 2 ดวงขึ้นไปและไม่นับยานพาหนะที่วิ่งไม่ตรงช่องจราจรหรือวิ่งเปลี่ยนช่องทาง

6) ตรวจนับเฉพาะ 1 ช่องจราจร

7) ให้ผลลัพธ์แบบทันกาล (Real time) ในที่นี้หมายถึงการที่โปรแกรมสามารถนับยานพาหนะที่แล่นเข้ามาในกรอบตรวจจับได้เสร็จสิ้นและสามารถนับยานพาหนะคันต่อไปได้ทัน

8) ทดสอบความถูกต้องของการประมวลผลด้วยการเปรียบเทียบกับผลการตรวจนับโดยมนุษย์ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาวิธีการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์

2) ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพดิจิทัล

3) ทดลองนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

4) ออกแบบขั้นตอนวิธีการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาล

5) พัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนจากขั้นตอนวิธีที่ออกแบบ

6) ทดสอบและวิเคราะห์ผล

7) สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

8) จัดทำเอกสารวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ได้ขั้นตอนวิธีการและโปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้ในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาล

2) สามารถนำขั้นตอนวิธีไปประยุกต์ใช้ร่วมกับงานในระบบงานจราจรได้

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

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

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจนับจำนวนยานพาหนะจากภาพวีดิทัศน์ ได้แก่

1) การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อนับยานพาหนะบนถนน ปี พ.ศ. 2538 โดย เกษร สุนสิน [12] ได้เสนอการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการประมวลผลภาพ โดยกำหนดแถบตรวจจับขึ้นมา 2 แถบและพิจารณาค่าของความเข้มแสงที่เปลี่ยนไปจากการคำนวณค่าทางสถิติในบริเวณแถบตรวจจับ 2 แถบที่ขวางช่องทางเดินรถ เพื่อตรวจนับปริมาณยานพาหนะและสามารถหาความเร็วเฉลี่ยได้จากระยะห่างระหว่างแถบตรวจจับเทียบกับระยะเวลาที่ยานพาหนะผ่านแถบตรวจจับทั้ง 2 แถบ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของการนับปริมาณยานพาหนะร้อยละ 5

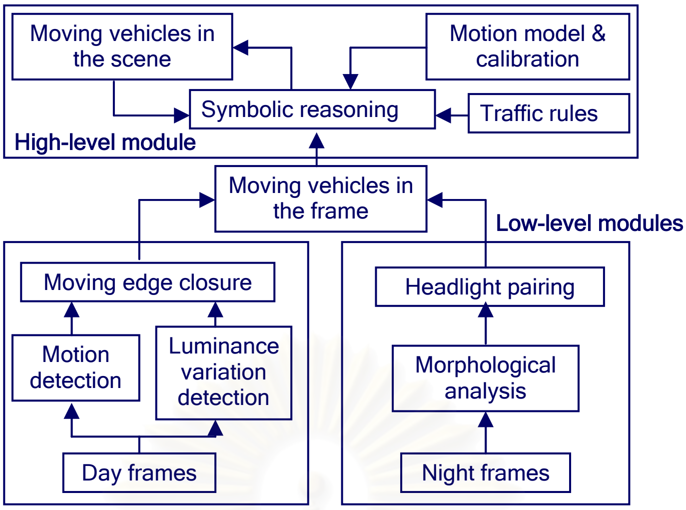
2) Analysis of Road Image Sequences for Vehicle Counting ปี ค.ศ. 1995 Jung Soh และคณะ [14] ได้อธิบายระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision) ที่ใช้สำหรับการนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่บนถนน ระบบจะดึงภาพถ่ายในช่วงเวลาหนึ่งและจำกัดพื้นที่ตรวจจับในการตรวจนับยานพาหนะโดยใช้ข้อมูลโครงสร้างถนน แล้วคำนวณหาจำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่ผ่านไปในช่วงเวลานั้นๆ โดยจะนับจำนวนยานพาหนะได้จากการติดตามการเคลื่อนไหวยานพาหนะในบริเวณที่ติดตาม (Tracking zone) ระบบนี้จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) การดึงโครงสร้างของถนน จะใช้ตัวดำเนินการแบบเกรเดียนต์หาขอบถนน (Gradient-based edge detection) เพื่อแบ่งแยกช่องจราจรและทำการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected component labeling) เพื่อสร้างพื้นที่ที่จะนำไปเทียบเป็นอัตราส่วนกับขนาดของถนน จะได้เป็นพื้นที่ในการจำกัดบริเวณที่จะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนอื่นต่อไป 2) การตรวจจับยานพาหนะ ใช้ตัวดำเนินการหาขอบแบบพรีวิต (Prewitt edge detector) เพื่อหาขอบของยานพาหนะได้เป็นบริเวณที่เป็นยานพาหนะ 3) การวัดความเร็วของยานพาหนะ 4) การติดตามการเคลื่อนไหวของยานพาหนะ ข้อดีคือสามารถปรับพื้นที่ในส่วนของติดตามการเคลื่อนไหวของยานพาหนะได้ตามความเร็วของยานพาหนะที่เคลื่อนที่

3) Vehicle Detection in Color Images ปี ค.ศ. 1997 โดย Juan Carlos Rojas และ Jill D.Crisman [11] ได้พัฒนาระบบตรวจจับยานพาหนะภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ระบบแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการจัดเตรียม (Setup stage) และ วงจรการตรวจจับยานพาหนะ (Detection cycle) ขั้นตอนการจัดเตรียมจะทำเพียงครั้งเดียวก่อนที่จะประมวลผลในขั้นตอนถัดไป โดยจะรับภาพจากกล้องมา 1 ภาพแล้วนำค่าสีในแต่ละพิกเซลมาสร้างเป็นแบบจำลองสี

ถนน (Road color model) และบอกตำแหน่งของส่วนที่เป็นถนนเพื่อเก็บข้อมูลนี้ไว้ใช้ในขั้นตอนถัดไป ขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะ เริ่มจากแยกส่วนที่เป็นถนนกับส่วนที่ไม่ใช่ถนน (Classify module) โดยการทำ Threshold แล้วรวมส่วนที่ไม่ใช่ถนนให้เป็นกลุ่มเดียวกัน (Merge vehicle regions module) โดยใช้เทคนิคการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันเพื่อระบุว่าเป็นยานพาหนะ ระบบสามารถตรวจจับยานพาหนะได้มากกว่า 90% แต่ก็จะมีอัตราความผิดพลาดในการตรวจจับมากขึ้นในสภาพอากาศในช่วงฝนตกและมีเงาเคลื่อนไหวที่ทอดผ่านบนถนน

4) Vehicle Detection at Night Using Image Processing and Pattern Recognition ปี ค.ศ. 1994 โดย R. Taktak และคณะ [15] เสนอวิธีการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนบนทางหลวง โดยใช้การประมวลผลภาพ (Image processing) และการรู้จำแบบรูป (Pattern recognition) โดยมีขั้นตอนหลักอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็น Initialization phase จะเก็บข้อมูลลักษณะของถนนเพื่อใช้กำหนดขอบเขตอ้างอิงในการประมวลผล ส่วนหลังเป็นการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนจากการตรวจจับดวงไฟคู่หน้าของยานพาหนะ โดยคำนวณหาลักษณะเด่นของภาพเช่น ขนาด รูปร่างและระยะห่างระหว่างดวงไฟแล้วนำไปเปรียบเทียบกับแบบรูปอ้างอิงต่างๆ ในการรู้จำยานพาหนะ แล้วตัดสินใจโดยให้คำตอบเป็นแบบรูปอ้างอิงที่คล้ายกับแบบรูปยานพาหนะมากที่สุด ทำให้สามารถนำไปวิเคราะห์แยกประเภทของยานพาหนะได้ ในการประมวลผลภาพเบื้องต้นใช้เทคนิค Morphological opening และ Thresholding ความแม่นยำเฉลี่ยในการตรวจจับยานพาหนะเป็น 99% ใน 500 ภาพต่อเนื่อง

5) Image Analysis and Rule-based Reasoning for a Traffic Monitoring System ปี ค.ศ. 2000 โดย Rita Cucchiara และคณะ [17] ได้เสนอระบบ Vehicular Traffic Tracking System (VTTS) แสดงดังรูปที่ 3 โดยนำหลักการ Rule-base reasoning มาใช้ในการตรวจจับยานพาหนะ และแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนหลัก คือ Low-level module และ High-level module นอกจากนี้ในส่วน Low-level module ยังแบ่งการทำงานเพื่อตรวจจับยานพาหนะทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน การทำงานในส่วนกลางวัน จะใช้หลักการของการเคลื่อนที่ของรถ (Motion) โดยใช้ Spatio-temporal analysis แต่การทำงานในช่วงกลางคืน จะใช้เกณฑ์การจับคู่ของไฟหน้ายานพาหนะ โดยเริ่มแรกจะกำหนดส่วนที่จะพิจารณาและทำ Thresholding ให้เหลือเฉพาะดวงไฟ หลังจากนั้นตรวจสอบความสัมพันธ์ต่างๆ ที่คาดว่าจะเป็นไฟคู่ ได้แก่ ความสมมาตรระหว่างไฟคู่ ระดับความสว่างของพิกเซลที่เป็นดวงไฟซึ่งจะมีสว่างมากกว่าบริเวณอื่นๆ โดยใช้การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา (Morphological analysis)



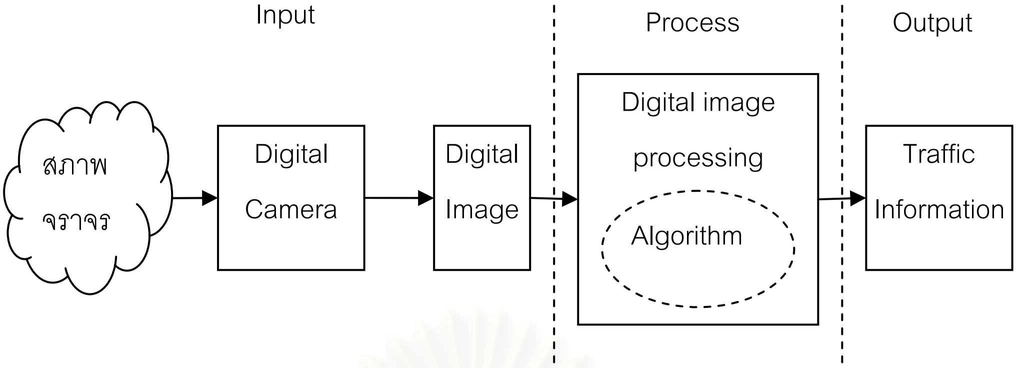
รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบ VTTS [17]

6) The Lane Recognition and Vehicle Detection at Night for A Camera-Assisted Car on Highway ปี ค.ศ. 2003 โดย Ming-Yang Chem และ Ping-Cheng Hou [6] ได้เสนอระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ใช้ในการตรวจจับช่องจราจรและยานพาหนะในเวลากลางคืนบนถนนทางหลวง ระบบจะตรวจจับช่องจราจรจากการดึงเอาความสว่างของพิกเซลออกมาและจะใช้สีเป็นการแบ่งแยกวัตถุในภาพ โดยระบบจะทำการรู้จำไฟท้ายของยานพาหนะจากกล้องที่ติดบนยานพาหนะ ระบบไม่ได้ตรวจหารถบรรทุกหรือรถที่มีขนาดใหญ่เพราะไฟท้ายจะอยู่สูงกว่ากล้อง

ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น งานวิจัยที่ 1[12], 2[14], 3[11] จะตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางวัน งานวิจัยที่ 4[15], 5[17], 6[6] ตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืน โดยงานวิจัยที่ 6[6] จะติดตั้งกล้องบนยานพาหนะที่ต้องการขับขี่ ซึ่งจะตรวจจับยานพาหนะได้โดยพิจารณาจากไฟท้ายของยานพาหนะที่อยู่ข้างหน้า ส่วนงานวิจัยที่ 4[15], 5[17] มีการติดตั้งกล้องอยู่กับที่โดยถ่ายภาพยานพาหนะในทิศที่วิ่งเข้ามาหากล้องซึ่งจะตรวจจับยานพาหนะได้โดยพิจารณาจากดวงไฟคู่หน้าของยานพาหนะ แต่ในบางกรณีอาจตรวจจับยานพาหนะจากด้านหน้ารถไม่ได้เพราะข้อจำกัดในการติดตั้งกล้อง ในที่นี้จึงได้เสนอวิธีการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืน โดยติดตั้งกล้องในมุมที่ถ่ายภาพยานพาหนะในทิศทางวิ่งออกจากกล้องและพิจารณาจากท้ายของยานพาหนะที่แล่นผ่านบริเวณกรอบตรวจจับ

2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัลเพื่อให้สามารถนำเอาข้อมูลเหล่านี้ผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ได้ โดยที่อินพุตและเอาท์พุตจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัล ดังรูปที่ 2.2 โดยมีทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้



รูปที่ 2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล

2.2.1 **การแบ่งส่วนภาพ** (Image Segmentation)

การแบ่งส่วนภาพทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมาได้ วิธีการพื้นฐานสำหรับการแบ่งส่วนภาพ คือการพิจารณา Image amplitude ซึ่งเป็นการพิจารณาความสว่างของภาพสำหรับภาพระดับเทาและความแตกต่างของสีสำหรับภาพสี นอกจากนี้ขอบของวัตถุและลักษณะของพื้นผิวก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะทำให้สามารถทำการแบ่งส่วนภาพได้สะดวกยิ่งขึ้น

2.2.1.1 **การกำหนดค่าขีดแบ่ง** (Thresholding) [18]

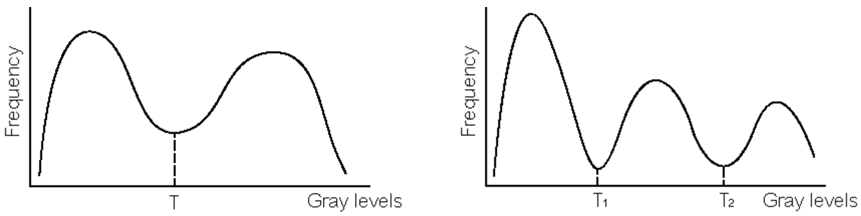
การแบ่งส่วนภาพในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาความเข้มของจุดต่าง ๆ ภายในภาพ (pixel) ซึ่งผลของการแบ่งส่วนภาพจะขึ้นอยู่กับวิธีการ Threshold ของส่วนประกอบที่เป็นความเข้มหรือสีของภาพ โดยการหาค่าขีดแบ่งซึ่งเป็นค่าความเข้มให้มีค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังมีหลายแบบดังนี้

ก) การหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยว (Single threshold)

สมมติว่าภาพมีลักษณะของวัตถุที่มีความเข้มคงที่เมื่อเทียบกับพื้นหลัง เช่นภาพที่ประกอบด้วยวัตถุสว่างอยู่ในพื้นหลังที่มืด จะมีกลุ่มของค่าระดับเทา 2 กลุ่ม นั่นคือจุดภาพที่เป็นวัตถุและจุดภาพที่เป็นพื้นหลัง ซึ่งจะสามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้อย่างชัดเจน สามารถแสดงฮิสโทแกรมของภาพ $f(x, y)$ ได้ดังรูปที่ 2.3(ก) การแบ่งแยกวัตถุออกจากพื้นหลังทำโดยหาค่าขีดแบ่ง T ที่สามารถแบ่ง 2 กลุ่มดังกล่าวออกจากกัน โดยพิจารณาค่าขีดแบ่งจากฮิสโทแกรมที่อยู่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด จากนั้นกำหนดให้จุดภาพ (x, y) ที่มีค่าระดับเทา $f(x, y) > T$ เป็นจุดภาพของวัตถุ ส่วนจุดอื่นที่เหลือเป็นจุดภาพพื้นหลัง

ข) การหาค่าขีดแบ่งแบบหลายเชิง (Multiple threshold)

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



(ก) การหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยว *(ข) การหาค่าขีดแบ่งแบบหลายเชิง*

รูปที่ 2.3 การหาค่าขีดแบ่งจากฮิสโทแกรมของค่าระดับเทา

การหาค่าขีดแบ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันได้ดังสมการที่ 2.1 [18]

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)] \qquad \text{... (2.1)}$$

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

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & if \;\; f(x, y) > T \\ 0 & if \;\; f(x, y) \le T \end{cases} \qquad \text{... (2.2)}$$

จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 คือจุดภาพที่เป็นวัตถุ ขณะที่จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 คือจุดภาพที่เป็นพื้นหลัง

2.2.1.2 การตรวจหาขอบ (Edge Detection) [19]

การตรวจหาขอบของวัตถุในภาพทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพออกเป็นบริเวณต่างๆ (Region) ได้ โดยที่ขอบเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หากความแตกต่างมีค่ามากจะเห็นขอบได้ชัด ถ้าความแตกต่างมีค่าน้อย ขอบจะเห็นไม่ชัดเจน ซึ่งวิธีการหาขอบของวัตถุในภาพมีอยู่หลายวิธีโดยจะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของขอบที่ได้จากการหาอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของฟังก์ชัน

อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Order Derivative) จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x, y)$ ซึ่งเป็นค่าระดับเทาของจุดภาพครั้งเดียว ถ้านำมาหาขอบในทิศทางแนวนอนและแนวตั้ง จะได้สมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า เกรเดียนต์ (Gradient) และเป็นเวคเตอร์เมตริกซ์ แสดงได้ดังนี้

$$\nabla f = \begin{bmatrix} H_r(x, y) \\ H_c(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial}{\partial x} f(x, y) \\ \dfrac{\partial}{\partial y} f(x, y) \end{bmatrix} \qquad \text{...(2.3)}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

ซึ่งถ้าหาขอบทั้ง 2 ทิศทาง จะเป็นขนาดของเวคเตอร์ (Magnitude Vector) ของสมการที่ 2.3 ซึ่งเขียนใหม่ได้ดังนี้

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

แต่ในทางปฏิบัติสามารถประมาณค่าได้จากการใช้ค่าสัมบูรณ์ ดังสมการที่ 2.5

$$|\nabla f| \cong |H_r(x, y)| + |H_c(x, y)| \qquad \ldots(2.5)$$

ส่วนทิศทางการตรวจหาขอบได้จากสมการที่ 2.6

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

อนุพันธ์อันดับสอง (Second Order Derivative) เป็นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x, y)$ ซึ่งเป็นค่าระดับเทาของจุดภาพสองครั้ง โดยการนำสมการที่ 2.3 มาหาค่าอนุพันธ์อีกครั้ง จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\nabla^2 f = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x}^2 f(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y}^2 f(x, y) \end{bmatrix} \qquad \ldots(2.7)$$

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

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

(ก) ในทิศทางแนวนอน (แกน x)

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

(ข) ในทิศทางแนวตั้ง (แกน y)

รูปที่ 2.4 หน้ากากของตัวดำเนินการโซเบล

ส่วนการหาขอบของวัตถุด้วยวิธีแคนนี (Canny Edge Detection) [19] นั้นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่หาขอบของวัตถุในภาพได้อย่างที่มีประสิทธิภาพ คือสามารถหาขอบภาพที่มีอยู่จริงและสัญญาณรบกวนถูกแสดงออกมาเป็นขอบน้อยที่สุดโดยมีวิธีทำ 4 ขั้นตอน อธิบายดังต่อไปนี้

1) การทำภาพให้เรียบ (Image Smoothing)

เมื่อภาพ f ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวน การขจัดสัญญาณรบกวนทำได้โดยใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียน กำหนดให้ G คือฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น σ โดยผลที่ได้คือ $f_G = f * G$

2) การหาค่าความแตกต่าง (Differentiation)

การหาค่าความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งตามทิศทางในแนวแกน x และ y จากการคำนวณค่าส่วนประกอบเกรเดียนต์ G_x และ G_y ในแต่ละจุดภาพ (x, y) โดยประมาณค่าขนาดของขอบภาพ (Gradient magnitude) และทิศทางตั้งฉากกับขอบภาพ(Gradient angle)ในแต่ละพิกเซล (x, y) ด้วยสมการที่ 2.4 และสมการที่ 2.5 ตามลำดับ [16] และใช้ตัวดำเนินการโซเบลในการหาขอบ

ผลที่ได้คือภาพเกรเดียนต์ E_s จากค่าของ $|\nabla f_G(x, y)|$ และภาพทิศทาง E_0 จากค่าของ $\alpha(x, y)$

3) การกำจัดค่าที่ไม่มากสุด (Non-Maximum Suppression)

หลังจากการคำนวณค่าส่วนประกอบเกรเดียนต์ในแต่ละจุดภาพแล้วจุดที่เป็นขอบนั้นสามารถมีค่าขนาดของขอบภาพภายในจุดภาพใกล้เคียงสูงสุดได้ ดังนั้นการทำขอบภาพให้บางด้วยวิธีการกำจัดค่าที่ไม่มากสุด ซึ่งวิธีนี้เป็นการกำจัดจุดภาพที่มีค่าระดับเทาต่ำกว่าจุดภาพใกล้เคียง (Neighbors of a pixel) ที่มีพิกัดในแนวทิศทางของเกรเดียนต์ (Gradient) ให้เป็น 0 โดยมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อพิจารณาทิศทาง 4 ทิศทางในแต่ละจุดภาพ (x, y) คือ $d_1 ... d_4$ ซึ่งกำหนดเป็น $0°$ $45°$ $90°$ และ $135°$

- หาทิศทาง $\hat{d}_k$ ซึ่งใกล้เคียงกับ $E_0(x, y)$ ที่สุด ถ้า $E_s(x, y)$ มีค่าน้อยกว่าค่าใดค่าหนึ่งของจุดภาพ 2 จุดระหว่างทิศทางของ $\hat{d}_k$ ให้กำหนด $I_N(x, y) = 0$ แต่ในทางตรงกันข้าม กำหนดให้ $I_N(x, y) = E_s(x, y)$

ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพ $I_N(x, y)$ ซึ่งคือภาพ $E_s(x, y)$ หลังจากกำจัดจุดของขอบภาพที่ไม่มากสุดออกไปแล้ว

4) การกำหนดค่าขีดแบ่งของขอบ (Edge Thresholding)

โดยส่วนใหญ่แล้วการกำหนดค่าขีดแบ่งจะทำการหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยวซึ่งหมายความว่าถ้าจุดภาพที่มีค่าขอบมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าขีดแบ่งแล้วเส้นขอบที่ปรากฏจะไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่าที่อยู่ต่ำกว่าและสูงกว่าค่าขอบแล้วถ้าจุดภาพที่มีค่าอยู่ระหว่างค่าขีดแบ่งทั้งสองแล้วจะเป็นเส้นขอบที่มีจุดภาพเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ กำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่า τ_l และ τ_h โดย

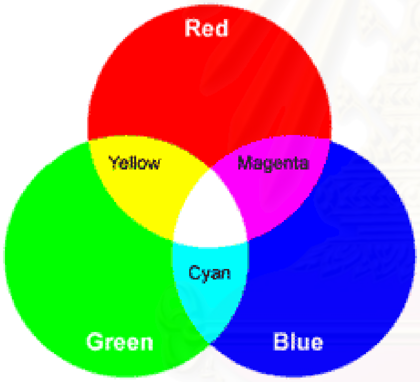
$\tau_l < \tau_h$ เมื่อพิจารณาทุกจุดภาพที่เป็นขอบภาพใน I_N ให้กำหนดจุดภาพที่ $I_N(x,y) > \tau_h$ เป็นขอบภาพใหม่และจากจุดที่เป็นขอบภาพใหม่ กำหนดให้จุดภาพที่ $I_N(x,y) > \tau_l$ และอยู่ติดกับจุดภาพที่เป็นขอบภาพใหม่ถือว่าเป็นขอบภาพเช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้เป็นภาพลักษณ์ฐานสอง (Binary image) ที่แสดงเฉพาะขอบของวัตถุในภาพ

2.2.2 **การประมวลผลภาพสี** (Color Image Processing)

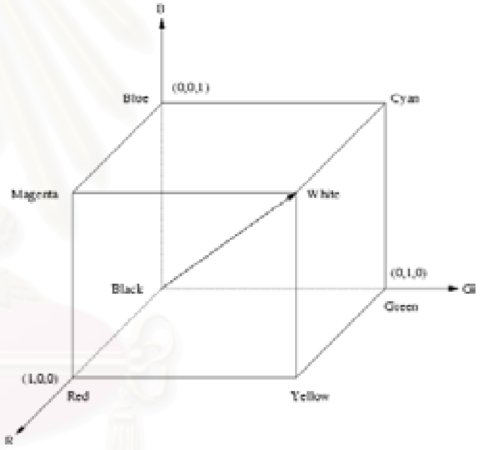
2.2.2.1 **มาตรฐานของสี** [18]

ก) ระบบสี RGB (Red Green Blue)

ระบบสี RGB เป็นสีที่ใช้สำหรับการใช้งานกับจอภาพคอมพิวเตอร์ และเป็นระบบสีที่เกิดจากการผสมสีของแสงที่ประกอบด้วยแม่สีหลักของแสง 3 สี คือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) ในสัดส่วนความเข้มของแม่สีแต่ละตัวที่แตกต่างกัน เป็นแบบจำลองสี RGB เมื่อสีเหล่านี้มีการผสมกันแล้วเกิดเป็นสีสันต่างๆ จึงเรียกว่า "สีแบบบวก" (additative colors) ดังรูปที่ 2.5(ก)



(ก) ระบบสีแบบบวก



(ข) RGB cube

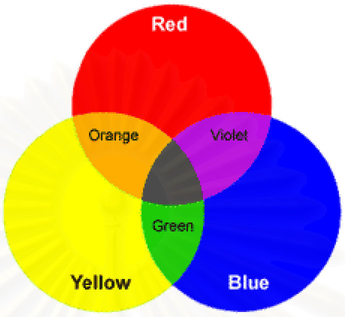
รูปที่ 2.5 ระบบสี RGB

แบบจำลองสีนี้สามารถแทนโดยใช้รูปลูกบาศก์ขนาด 1 หน่วย ดังรูปที่ 2.5(ข) โดยที่สี RGB เป็นแกนทั้ง 3 ของรูปลูกบาศก์ โดยแต่สีมีละค่าอยู่ในช่วง [0,1] 0 แสดงถึงความมืดและ 1 แสดงถึงความสว่าง ภาพที่ได้จากแบบจำลอง RGB จะประกอบด้วยระนาบภาพสี RGB 3 ระนาบภาพที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นถ้าต้องการสร้างภาพจำลองบนจอภาพจะต้องอาศัยการผสมกันของระนาบภาพทั้ง 3 จึงจะทำให้เกิดสีต่างๆ บนจอภาพ

ข) ระบบสี CMYK (Cyan Magenta Yellow Black)

ระบบสี CMYK เป็นสีที่ใช้สำหรับการใช้งานกับเครื่องพิมพ์ และเป็นการถูกดูดกลืนแสงสะท้อนจากวัตถุของสี เมื่อแสงสีขาวตกกระทบกับวัตถุสีต่าง ๆ วัตถุนั้นจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นบางระดับ

ไว้แล้วสะท้อนออกมาแสดงให้เห็นในปริมาณที่ลดลง ประกอบด้วย สีม่วงแดง (magenta) สีน้ำเงินแกมเขียว (cyan) และสีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black) เมื่อถูกผสมเข้าด้วยกันจะเห็นเป็นสีดำ จึงเรียกระบบสีนี้ว่า "ระบบสีแบบลบ" (subtractive colors system) แสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถแทนแบบจำลองนี้ในรูปลูกบาศก์ขนาด 1 หน่วยได้การกำหนดมุม 3 มุมที่เหลือในแบบจำลอง RGB



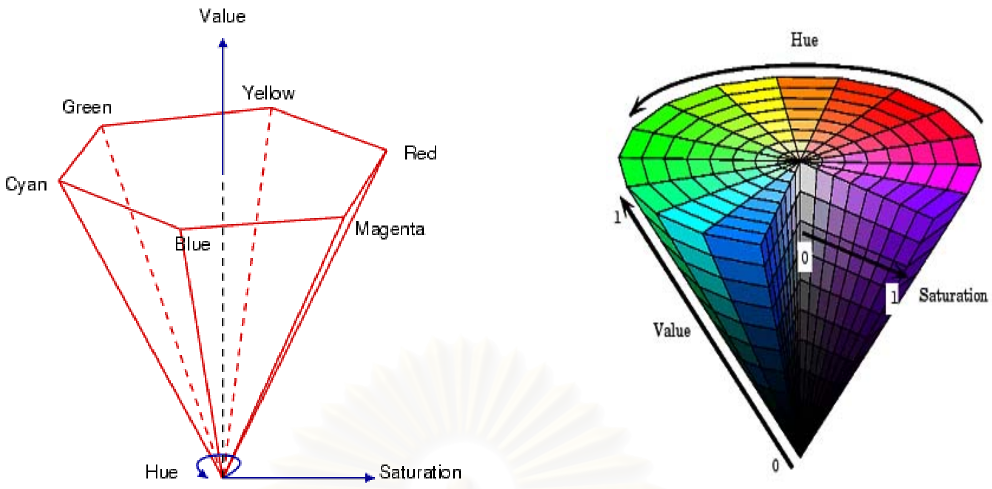
รูปที่ 2.6 ระบบสีแบบลบ (Subtractive colors system)

ค) ระบบสี HSV (Hue Saturation Value)

ระบบสี HSV เป็นสีพื้นฐานสำหรับการมองเห็นสีตามสายของตามนุษย์และเป็นแบบจำลองสีอีกแบบหนึ่งที่พิจารณาสีโดยใช้ Hue Saturation และ Value แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่ง H(Hue) คือค่าสีของสีหลัก(แดง เขียวและน้ำเงิน) สีเหล่านี้ถูกจัดระเบียบด้วยการสร้างเป็นวงล้อสีที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ซึ่งถ้าค่า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดงและเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง โดยสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ตามตารางที่ 2.1 ส่วน S(Saturation) คือ ความเข้ม – ความอ่อนของสีที่วัดเป็นระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของวงล้อสี เมื่อสีที่มี S=0 จะได้เป็นสีขาว เมื่อสีที่มีค่า S=1 จะได้สีที่มีความเข้มมากของสีนั้นและ V (Value) คือ ปริมาณแสงหรือปริมาณความสว่างของสี ถ้าค่าความสว่างสูงจะได้สีที่มีความสว่างมาก เมื่อ V=0 จะได้เป็นสีดำ V=1 จะได้สีที่สว่างมาก

ง) ระบบสี YIQ

ระบบสี YIQ เป็นระบบที่ใช้ใน TV broadcasting เพื่อใช้งานกับโทรทัศน์แบบขาวดำ โดยที่ค่า y คือความเข้มแสง ส่วน I และ Q เป็นสัญญาณที่เข้ารหัสสีของภาพ



รูปที่ 2.7 ระบบสี HSV

สี	องศา
แดง	0
เหลือง	60
เขียว	120
ฟ้า	180
น้ำเงิน	240
ม่วง	320

ตารางที่ 2.1 ค่า Hue อยู่ในรูปขององศา

2.2.2.2 การแปลงค่าสีระหว่างระบบสีต่าง ๆ

การแปลงค่าสีในส่วนนี้จะอธิบายถึงการแปลงภาพค่าสี RGB เป็นระบบสีต่างๆ

ก) การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา

เนื่องจากการประมวลผลภาพสีค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นจึงนิยมที่จะแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาก่อนการประมวลผลภาพ โมเดลสีที่พยายามแยกส่วนประกอบของสีกับส่วนประกอบของความเข้มแสงออกจากกัน และส่วนประกอบของความเข้มแสงนี้เองที่เป็นส่วนแสดงค่าระดับเทาของภาพสีแต่ละภาพ โมเดลสีที่ใช้แปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทาที่ใช้กันได้แก่ โมเดลสี YIQ ซึ่งมีค่า Y เป็นค่าแสดงความเข้มแสง คำนวณได้จากสมการที่ 2.8 [18]

$$Y = 0.212671R + 0.715160G + 0.072169B \quad \text{... (2.8)}$$

ข) การแปลงภาพสี RGBเป็น HSV

สามารถคำนวณแต่ละสีได้ดังนี้

Hue $$H = \cos^{-1}\left\{\frac{\frac{1}{2}\{(R-G)+(R-B)\}}{\{(R-G)^2+(R-B)(G-B)\}^{\frac{1}{2}}}\right\} \quad ...(2.9)$$

Saturation $$S = 1-\frac{3}{R+G+B}\left(\min(R+G+B)\right) \quad ...(2.10)$$

Value $$V = \frac{R+G+B}{3} \quad ...(2.11)$$

ค) การแปลงภาพสี RGBเป็น CMY

สามารถคำนวณแต่ละสีได้ดังนี้

$$\begin{aligned} C &= 255-R \\ M &= 255-G \\ Y &= 255-B \end{aligned} \quad ...(2.12)$$

2.2.3 **การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานวิทยา** (Morphological Image Processing) [20]

การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานวิทยาเป็นการประมวลผลภาพโดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ การดำเนินการพื้นฐานโดยทั่วไปได้แก่ การขยายขนาด (Dilation) และ การกร่อน (Erosion) ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อจากนี้ นอกจากการดำเนินการพื้นฐานดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วยังมีการดำเนินการอื่น ๆ อีกได้แก่การ Opening และ Closing เป็นต้น การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานวิทยาสามารถประมวลผลได้ทั้งภาพลักษณ์ฐานสอง ภาพระดับเทา และภาพสี อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ใช้การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานวิทยากับภาพลักษณ์ฐานสองเท่านั้น

การดำเนินการแบบสัณฐานวิทยา (Morphological Operations)

1) **การขยายขนาด** (Dilation)

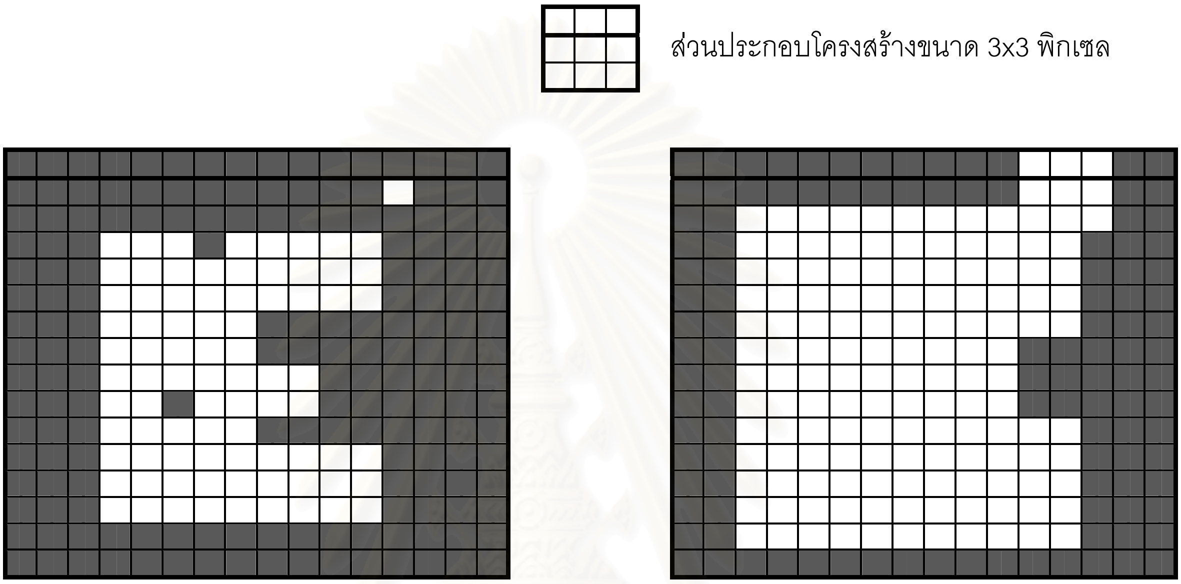
การขยายขนาดเป็นการขยายขนาดของวัตถุในภาพเพื่อจุดประสงค์บางประการ เช่น เพื่อปิดรูเล็ก ๆ ในวัตถุ หรือใช้เพื่อช่วยให้วัตถุ 2 วัตถุที่ไม่มีสมาชิกร่วมกันแต่อยู่ใกล้กันสามารถต่อเชื่อมกันได้เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.8(ข) การขยายขนาดทำได้โดยวางส่วนประกอบโครงสร้าง (Structure element) ลงบนภาพแล้วเลื่อนส่วนประกอบโครงสร้างในลักษณะเดียวกับการทำคอนโวลูชัน แต่ต่างกันที่ขั้นตอนการดำเนินการ การขยายขนาดมีขั้นตอนดังนี้

1. ถ้าจุดศูนย์กลางของส่วนประกอบโครงสร้างตรงกับค่า ‘0’ ในภาพ ไม่ต้องดำเนินการใด ๆ และให้เลื่อนสมาชิกโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป

2. ถ้าจุดศูนย์กลางของส่วนประกอบโครงสร้างตรงกับค่า ‘1’ ในภาพ ให้ดำเนินการด้วยตัวดำเนินการทางตรรกะออร์ (or) ระหว่างภาพกับส่วนประกอบโครงสร้าง

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบฟังก์ชันได้ดังสมการที่

$$D(A,B) = A \oplus B = \bigcup_{\beta \in B} (A + B) \qquad \ldots(2.13)$$



(ก) ภาพต้นฉบับ *(ข) ภาพหลังการขยาย*

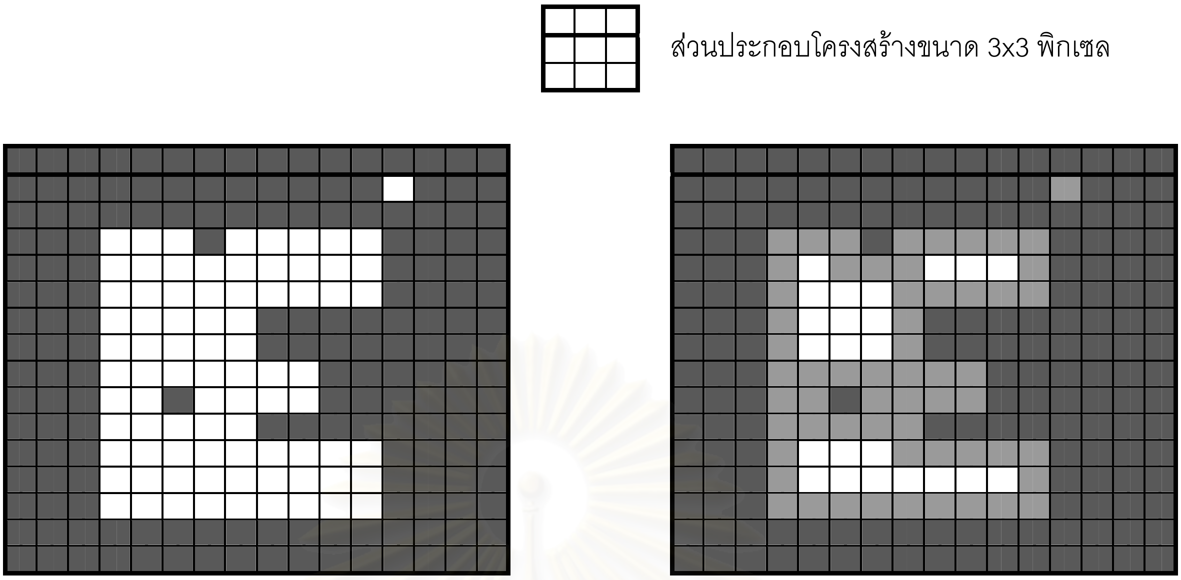
รูปที่ 2.8 การขยายขนาด

รูปที่ 2.8 แสดงภาพหลังจากการทำการขยายขนาดด้วยส่วนประกอบโครงสร้างดัง จะเห็นได้ว่าวัตถุในภาพซึ่งมีค่า ‘1’ (สีขาว) มีการขยายขนาดเพิ่มขึ้น

2) **การกร่อน** (Erosion)

การกร่อนเป็นการดำเนินการทางสัณฐานวิทยาเช่นเดียวกับการขยายขนาด แต่ให้ผลลัพธ์ในลักษณะที่ตรงกันข้าม นั่นคือการกร่อนจะลดขนาดของวัตถุให้เล็กลง แสดงดังรูปที่ 2.9(ข) ขั้นตอนการประมวลผลทำเช่นเดียวกับการขยายขนาดแต่ดำเนินการต่างกันดังนี้

1. ถ้าจุดศูนย์กลางของส่วนประกอบโครงสร้างตรงกับค่า ‘0’ ในภาพ ไม่ต้องดำเนินการใด ๆ และให้เลื่อนส่วนประกอบโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป
2. ถ้าจุดศูนย์กลางของส่วนประกอบโครงสร้างตรงกับค่า ‘1’ ในภาพ ให้พิจารณาว่าถ้ามีจุดภาพค่า ‘1’ ในส่วนประกอบโครงสร้างเลยออกมาจากวัตถุซึ่งมีค่า ‘1’ ในภาพ ให้เปลี่ยนค่า ‘1’ ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดศูนย์กลางในภาพเป็นค่า ‘0’



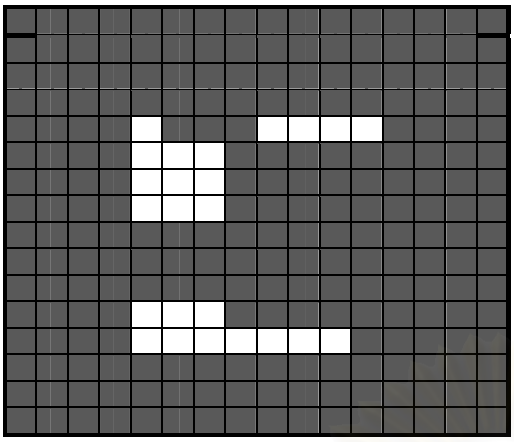
(ก) ภาพต้นฉบับ *(ข) ภาพหลังการกร่อน*

รูปที่ 2.9 การกร่อน

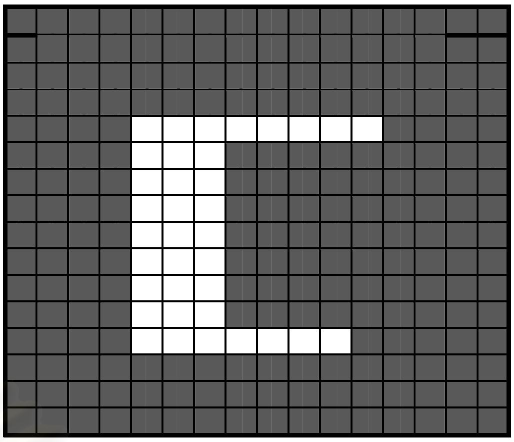
รูปที่ 2.9 แสดงภาพหลังจากการทำการกร่อนด้วยส่วนประกอบโครงสร้าง จะเห็นได้ว่าวัตถุในภาพซึ่งมีค่า ‘1’ (สีขาว) มีการลดขนาดลง

2.2.4 **การเชื่อมจุดโดยวิธี** Run – length smearing [14]

เป็นการเชื่อมจุดที่เป็นขอบของวัตถุให้เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น โดยใช้เทคนิค Run-length smearing ในแนวนอนและแนวดิ่ง ซึ่งการทำ Run-length smearing ในแนวนอนนั้น ทำได้โดยสแกนหาจุดภาพแรกที่เป็นสีขาว (มีค่าเป็น 1) ในภาพจากซ้ายไปขวาจนกระทั่งพบจุดที่เป็นสีขาวอีกจุดภาพหนึ่ง แล้วจึงจะคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดนั้น ถ้าค่าระยะห่างในแนวนอนมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งจะเติมเต็มสีขาวในระยะห่างนั้นแต่ถ้าระยะห่างในแนวนอนมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งก็ไม่ต้องเติมเต็มด้วยสีขาวในระยะห่างนั้น แล้วทำตามขั้นตอนเช่นนี้เรื่อยไปจนหมดทั้งภาพ การทำ Run-length smearing ในแนวดิ่งนั้นก็ทำเช่นเดียวกับการทำ Run-length smearing ในแนวนอน แตกต่างกันแค่เพียงสแกนหาจุดภาพที่เป็นสีขาวตามแนวดิ่งของภาพและพิจารณาค่าระยะห่างในแนวดิ่ง ภาพหลังจากที่ได้ทำ Run-length smearing แล้วจะทำให้ได้บริเวณสีขาวที่เป็นวัตถุเชื่อมต่อกันเป็นเนื้อเดียว แสดงตัวอย่างดังรูป 2.10



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพหลังทำ Run-length smearing(T<5)

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการทำ Run-length smearing

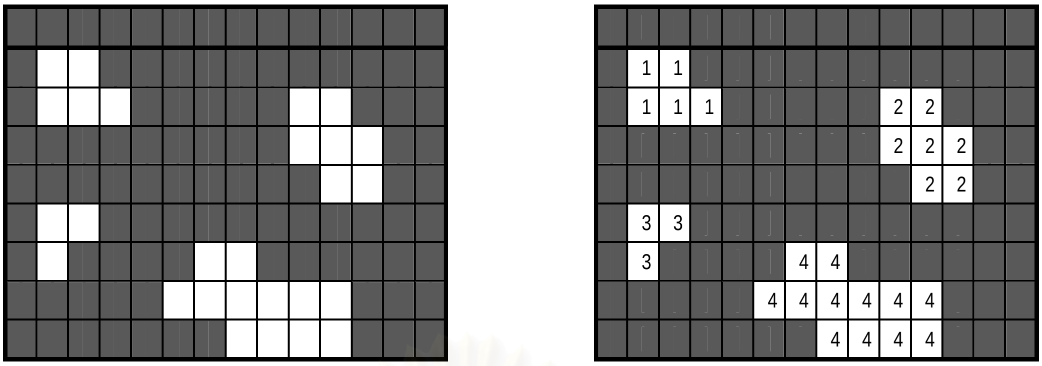
2.2.5 การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected Component Labeling) [18]

การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน เป็นการติดป้ายให้กับแต่ละส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันในภาพลักษณ์ฐานสองโดยที่ป้ายก็คือสัญลักษณ์ที่ตั้งชื่อให้กับแต่ละส่วนประกอบทำให้สามารถใช้ในการหาจำนวนวัตถุในภาพได้โดยทำการกำหนดค่าให้กับพิกเซลทุกๆ พิกเซลในภาพที่มีสีขาว (มีค่าเป็น 1) สีขาวที่อยู่ติดกันจะมีค่าเดียวกันเพื่อบอกว่าเป็นวัตถุชิ้นเดียวกัน แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.11 โดยมีข้อมูลนำเข้าเป็นภาพขาวดำที่มีค่า 0 เป็นสีดำและมีค่า 1 เป็นสีขาว ซึ่งจะทำการ “ติดป้าย” ส่วนที่เป็นสีขาวโดยในขั้นตอนวิธีจะใช้คิว (Queue) ในการเก็บจุดที่อยู่ติดกัน มีขั้นตอนดังนี้

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

2. ดึงค่าในคิวออกทีละค่าเพื่อกำหนดป้ายชื่อให้กับพิกเซลในตำแหน่งนั้นพร้อมกับตรวจสอบอีกว่ามีพิกเซลรอบข้าง 8 ทิศทางของพิกเซลนั้นมีค่าเป็น 1 อีกหรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 1 ให้นำตำแหน่งพิกเซลรอบข้างไปเก็บไว้ในคิว

3. การกำหนดป้ายชื่อจะสิ้นสุดลงเมื่อทำกระบวนการเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆจนกว่าคิวว่าง แล้วจึงเริ่มกระบวนการหาพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 ใหม่ ตามขั้นตอนที่ 1

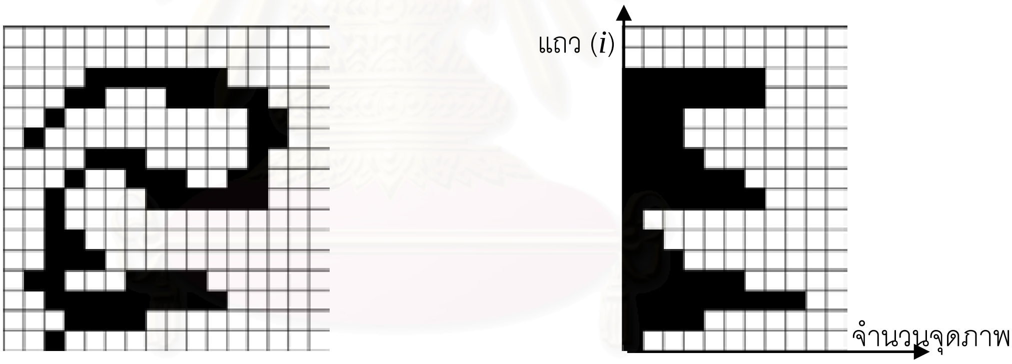


(ก) ภาพต้นฉบับ *(ข) ภาพหลังการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน*

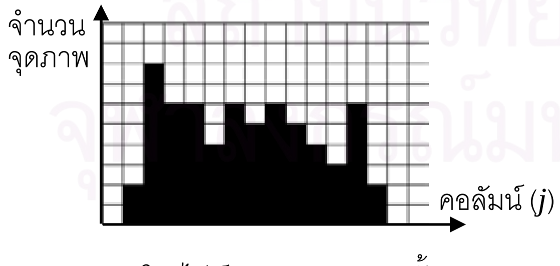
รูปที่ 2.11 การติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน

2.2.6 **โพรไฟล์การฉาย** (Projection Profile)

การฉายของภาพลักษณ์ฐานสองลงบนเส้นตรงสามารถทำได้โดยแบ่งเส้นตรงออกเป็นช่อง ๆ และหาจำนวนของจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับเส้นตรงในแต่ละช่องนั้น โพรไฟล์การฉายเป็นการแสดงข้อมูลของภาพที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง



(ก) ภาพลักษณ์ฐานสอง *(ข) โพรไฟล์การฉายตามแนวนอน*



(ค) โพรไฟล์การฉายตามแนวตั้ง

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างโพรไฟล์การฉายของภาพภาพลักษณ์ฐานสอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อย่างไรก็ตามโพรไฟล์การฉายมีข้อเสียอันเนื่องมาจากเป็นข้อมูลที่ไม่เป็นเอกลักษณ์ของภาพ ภาพมากกว่าหนึ่งภาพอาจมีโพรไฟล์การฉายที่เหมือนกัน โพรไฟล์การฉายตามแนวนอนและแนวตั้งหาได้อย่างง่าย ๆ จากการนับจำนวนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 ในทิศทางตามแนวนอนและแนวตั้งของช่องแต่ละช่องในเส้นตรงที่แบ่งไว้ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยที่จุดภาพสีดำมีค่าเท่ากับ 1 และจุดภาพสีขาวมีค่าเท่ากับ 0

โพรไฟล์การฉายตามแนวนอน $H[i]$ และแนวตั้ง $V[j]$ ของภาพลักษณ์ฐานสองกำหนดโดยสมการที่ 2.14 และ 2.15 ตามลำดับ [21]

$$H[i] = \sum_{j=1}^{m} B[i, j] \quad \text{... (2.14)}$$

$$V[j] = \sum_{i=1}^{n} B[i, j] \quad \text{... (2.15)}$$

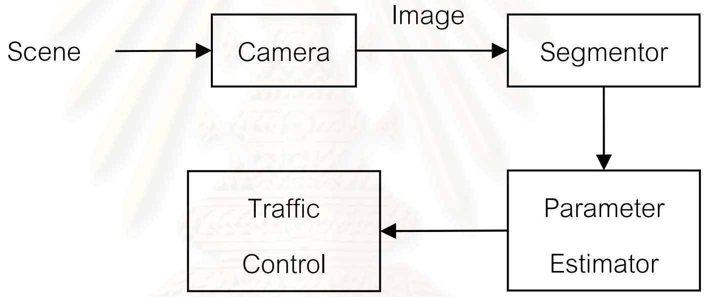
โดยที่ B เป็นภาพลักษณ์ฐานสองซึ่งมีความสูงเท่ากับ m จุดภาพ และมีความกว้างเท่ากับ n จุดภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ

ในระบบงานจราจรที่ได้นำเอาวิธีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในการประมวลผลเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลต่างๆ ด้านจราจร แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยติดตั้งกล้องแล้วนำภาพที่ได้ไปประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมการจราจร ซึ่งในการตรวจจับยานพาหนะนั้นจำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่มีคุณภาพ เพราะต้องนำผลลัพธ์ที่ได้ไปประมวลผลต่อไปอีก



รูปที่ 3.1 ระบบงานจราจร

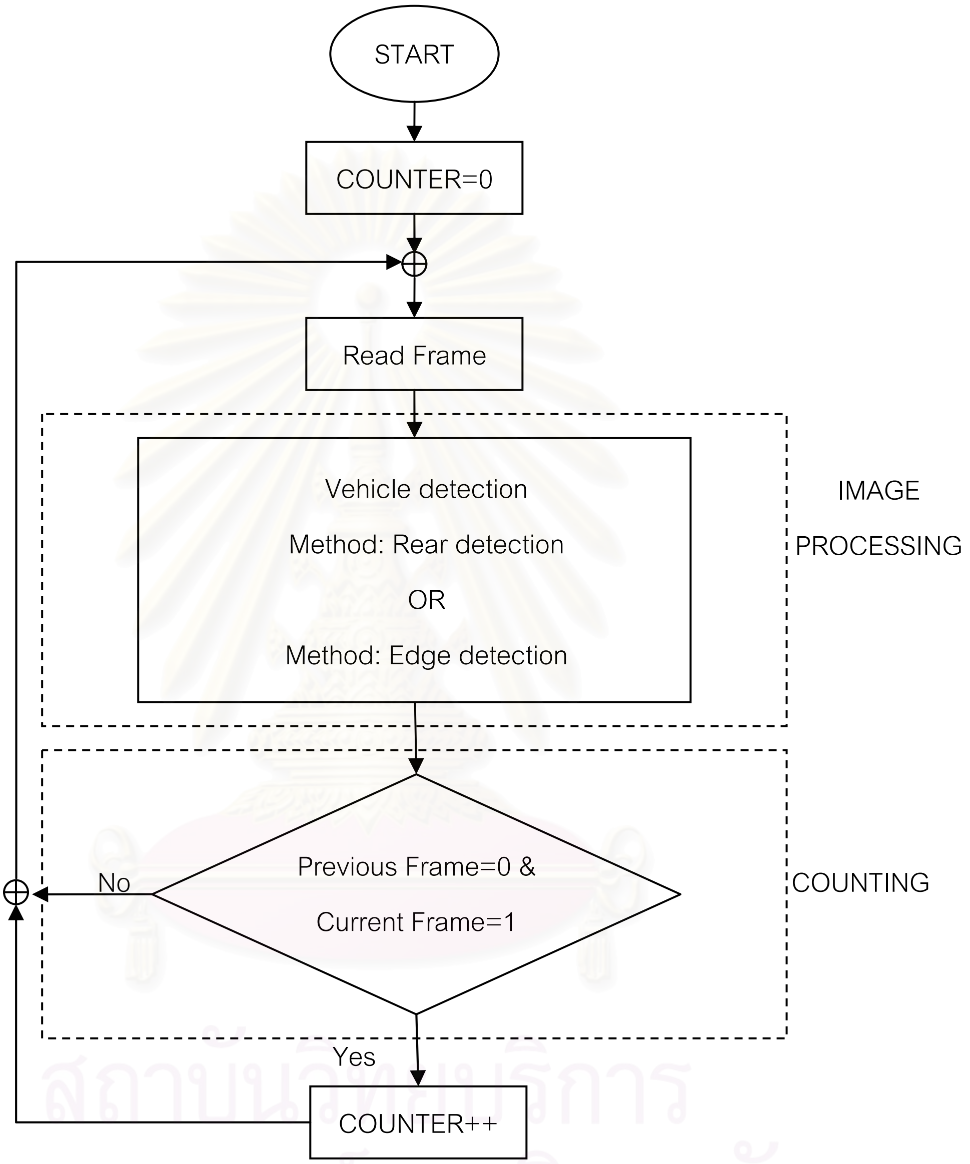
งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเก็บข้อมูลจราจรในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ โดยมีภาพรวมของแนวคิดในงานวิจัยนี้คือ นำข้อมูลภาพวีดิทัศน์เข้ามาผ่านขั้นตอนการประมวลภาพเพื่อตรวจนับจำนวนยานพาหนะแล้วแสดงค่าข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นผลลัพธ์

โดยขั้นตอนการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์ด้านหลังรถแสดงดังรูปที่ 3.2 และมีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. กำหนดกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรที่ยานพาหนะแล่นผ่าน
2. อ่านข้อมูลภาพวีดิทัศน์จำนวน 1 เฟรม (เฟรมปัจจุบัน)
3. ประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นในภาพเฟรมปัจจุบันด้วยการหาท้ายของยานพาหนะหรือหาขอบของยานพาหนะในบริเวณกรอบตรวจจับ ถ้าตรวจหาได้แสดงว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่ ถ้าตรวจหาไม่ได้แสดงว่าไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่
4. ตรวจสอบการปรากฏของยานพาหนะในเฟรมปัจจุบันและเฟรมก่อนหน้า ถ้าเฟรมปัจจุบันมียานพาหนะและเฟรมก่อนหน้าไม่มียานพาหนะจึงนับจำนวนยานพาหนะเพิ่ม

5. อ่านข้อมูลภาพวีดิทัศน์เฟรมใหม่จำนวน 1 เฟรมและดำเนินการตามข้อ 3 และข้อ 4

6. ทำตามขั้นตอนที่ 5 ต่อไปจนกว่าภาพวีดิทัศน์จะหมดหรือสั่งหยุดโปรแกรม



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานหลักของโปรแกรมต้นแบบในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืน

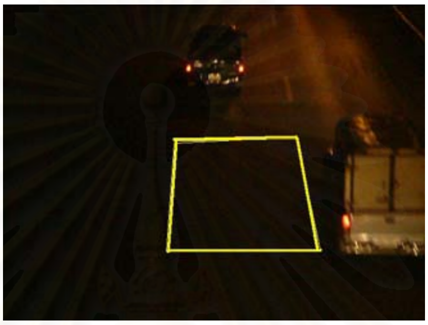
ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดกรอบตรวจจับ

โดยทั่วไปแล้วภาพวีดิทัศน์ที่จะนำมาประมวลผลมีขนาดใหญ่ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลภาพมาก ถ้าต้องการให้ใช้เวลาในการประมวลผลภาพเร็วขึ้นจะต้องลดจำนวนจุดภาพในการประมวลผล

น้อยลง ดังนั้นเมื่อรับภาพวีดิทัศน์เข้ามาผู้ใช้จะต้องกำหนดกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรที่ยานพาหนะวิ่งผ่านเพียง 1 ช่องจราจรและในการประมวลผลภาพจะประมวลผลภาพเฉพาะในบริเวณกรอบตรวจจับที่กำหนด

ขนาดของกรอบตรวจจับนั้นควรมีขนาดครอบคลุมยานพาหนะซึ่งใหญ่พอที่มียานพาหนะเพียงหนึ่งคันปรากฏอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับ (ขนาดกรอบตรวจจับไม่ควรมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่มียานพาหนะปรากฏอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับมากกว่าหนึ่งคันขึ้นไป)



รูปที่ 3.3 กรอบตรวจจับ

3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

ในการหายานพาหนะในเวลากลางคืน ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้การหายานพาหนะในเวลากลางคืนมีความยาก คือการที่ภาพวีดิทัศน์มีสภาพแวดล้อมค่อนข้างมืดไม่เอื้ออำนวยเท่าการหายานพาหนะในเวลากลางวัน และสภาพแสงเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม ในขั้นตอนนี้จึงเสนอการประมวลผลภาพเบื้องต้นเพื่อตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะในบริเวณกรอบตรวจจับภายใต้สภาพอุปสรรคดังกล่าว (เวลากลางคืนในที่นี้หมายถึงช่วงเวลาระหว่างเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมงหลังจากเวลาดวงอาทิตย์ตกจนถึงเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมงก่อนเวลาดวงอาทิตย์ขึ้นของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ เฉลี่ย ณ จังหวัดที่ทดลอง)

ในงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานวิธีการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะในการแยกยานพาหนะออกจากพื้นถนนเฉพาะบริเวณกรอบตรวจจับไว้ 2 วิธี คือ วิธีแรกเป็นการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะจากการพิจารณาส่วนท้ายของยานพาหนะ และอีกวิธีหนึ่งคือการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะจากการพิจารณาขอบของยานพาหนะ โดยจะอธิบายรายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ของแต่ละวิธีดังต่อไปนี้

3.2.1 การตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะจากการพิจารณาท้ายยานพาหนะ

จากการวิเคราะห์ภาพวีดิทัศน์จะสังเกตได้ว่ายานพาหนะที่ได้มาตรฐานจะมีไฟท้ายสีแดงที่สว่างสังเกตได้ง่าย ในที่นี้จึงได้ใช้การหาดวงไฟท้ายเป็นหลักยกเว้นบางกรณีที่ท้ายรถเป็นสีแดงอยู่ด้วยไฟท้าย

จะกลมกลืนกับท้ายรถจึงต้องใช้เงื่อนไขในการประมวลผลโดยเฉพาะ ทั้ง 2 วิธีนี้มีขั้นตอนดังนี้

3.2.1.1 การตรวจหาสีแดงที่สว่างในกรอบตรวจจับ

ในการตรวจหาความแตกต่างระหว่างพื้นถนนกับท้ายรถโดยใช้สีแดงที่สว่างเป็นตัวพิจารณาจะใช้คุณสมบัติทางด้านสีในการแยก โดยการกรอง (Filter) เอาเฉพาะพิกเซลที่มีสีแดงที่สว่างของดวงไฟท้ายหรือท้ายรถออกมาจากพื้นถนน ซึ่งจะตรวจหาความแตกต่างที่อยู่ในระบบสี RGB จากการกรองค่าความหนาแน่นของสีแดงและกรองค่าความสว่างตามสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2 ตามลำดับ

$$R = \frac{R}{R+G+B} \quad \text{...(3.1)}$$

$$Sum = R+G+B \quad \text{...(3.2)}$$

ทดลองวัดค่าความหนาแน่นของสีแดงและค่าความสว่างภายในภาพตัวอย่างซึ่งแสดงในรูปที่ 3.3 สามารถแยกค่าความหนาแน่นและค่าความสว่างของสีแดงที่ต้องทำการตรวจหาได้เป็นช่วงโดยประมาณดังตารางที่ 3.1

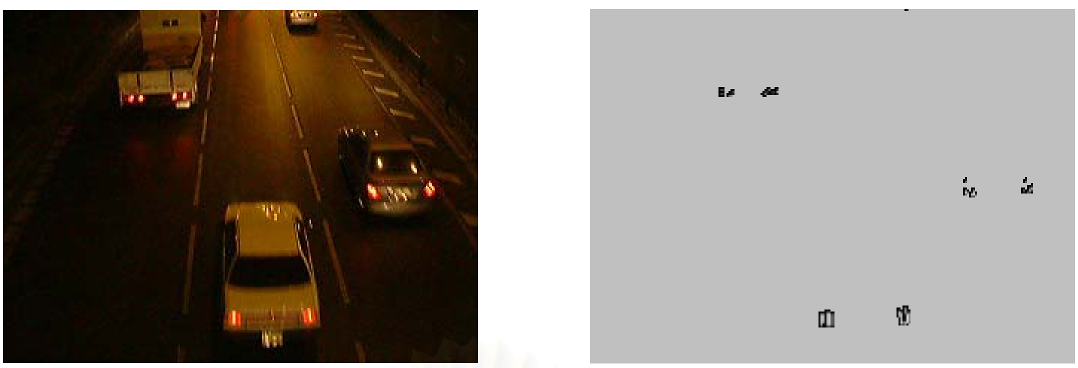
ตารางที่ 3.1 ค่าความหนาแน่นและค่าความสว่างของสีแดง

	R*100	Sum
ดวงไฟท้ายหรือท้ายรถที่เป็นสีแดง	> 75	> 200
พื้นถนน	< 75	< 200

จากตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของดวงไฟท้ายหรือท้ายรถที่เป็นสีแดงกับพื้นถนนสามารถสรุปเป็นสมการและเงื่อนไขได้ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 3.3

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 \;\; if \;\; \dfrac{f_R(x,y)}{f_R(x,y)+f_G(x,y)+f_B(x,y)} > T \;\; and \;\; f_R(x,y)+f_G(x,y)+f_B(x,y) > T \\ 0 \;\; if \;\; otherwise \end{cases} \quad \text{...(3.3)}$$

เมื่อ $f(x,y)$ เป็นเมตริกซ์ของภาพ ณ จุด (x,y) $f_R(x,y)$, $f_G(x,y)$ และ $f_B(x,y)$ เป็นระนาบสีแดง ระนาบสีเขียวและระนาบสีน้ำเงินของภาพ $f(x,y)$ ณ จุด (x,y) ตามลำดับ โดยมีความหมายว่า เมตริกซ์ของภาพ $f(x,y)$ ณ จุด (x,y) ใดๆ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของสีแดงและค่าความสว่างของสีแดงตามที่กำหนดจะมีค่า ณ จุดนั้นเป็น 1 ส่วนที่จุดอื่นๆ ก็จะมีค่าเป็น 0 ซึ่งภาพ $g(x,y)$ ที่ได้หลังจากการทำขีดแบ่งกับภาพระดับเทา $f(x,y)$ ด้วยค่าขีดแบ่ง T เป็นภาพลักษณ์ฐานสอง แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.4



(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพหลังการแยกสีแดงที่มีความสว่างมาก

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการแยกดวงไฟท้าย

3.2.1.2 การตรวจหาท้ายยานพาหนะ

เมื่อได้แยกค่าแต่ละพิกเซลที่ต้องการออกมาจากขั้นตอนก่อนหน้านี้แล้ว จะรวมกลุ่มพิกเซลที่อยู่ใกล้กันมารวมกันให้เป็นกลุ่มก้อนเดียวกันโดยทำการขยายขนาดของพิกเซลให้มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วใช้วิธี Run-length smearing เพื่อให้พิกเซลเกาะกลุ่มซึ่งจะได้ภาพของดวงไฟท้ายที่มีภายในตัน (Filled) หลังจากนั้นใช้เทคนิคการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected component labeling) เพื่อพิจารณาหาจำนวนกลุ่มพิกเซลสว่างสีแดง โดยแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

1) กรณีที่มีกลุ่มพิกเซลสว่างสีแดงเพียง 2 กลุ่ม

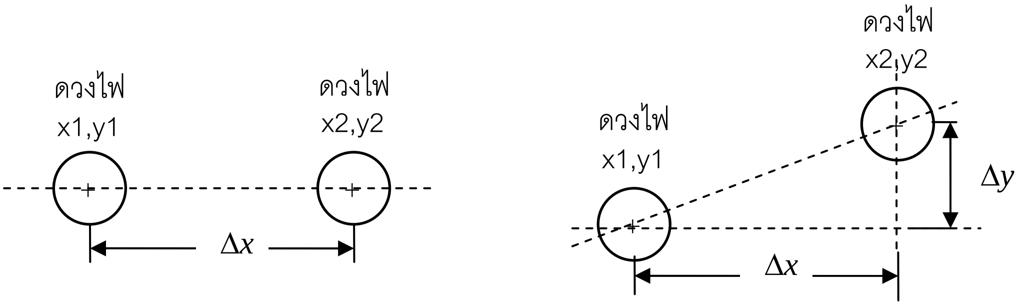
หลังจากที่ได้กลุ่มของพิกเซลที่มีภายในตันเพียง 2 กลุ่มแล้วแสดงว่าอาจจะเป็นดวงไฟท้ายจึงตรวจสอบจากการจับคู่กลุ่มพิกเซลสว่างสีแดง โดยใช้เทคนิคการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected component labeling) เพื่อระบุตำแหน่งของแต่ละกลุ่มพิกเซลสว่างสีแดงพร้อมหาระยะห่างในแนวนอนและแนวตั้ง โดยถ้าเส้นเชื่อมจุดกึ่งกลางของกลุ่มพิกเซลทั้ง 2 เอียงไปไม่เกินค่าที่กำหนดแสดงว่าเป็นคู่ของดวงไฟท้ายของยานพาหนะคันเดียวกัน ดังรูปที่ 3.5 และแสดงตัวอย่างการจับคู่ดวงไฟท้ายได้ดังรูปที่ 3.6 เมื่อจับคู่ดวงไฟท้ายของยานพาหนะคันเดียวกันได้แล้วแสดงว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับ

2) กรณีที่มีกลุ่มพิกเซลสว่างสีแดงไม่เป็น 2 กลุ่ม

กรณีที่มีกลุ่มพิกเซลสว่างสีแดงไม่เป็น 2 กลุ่มจะตรวจสอบผลรวมของจำนวนพิกเซลทั้งหมดในกรอบตรวจจับแล้วพิจารณาค่าผลรวมนั้นโดยถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดแสดงว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับ

ขั้นตอนต่อไป คือการนับจำนวนยานพาหนะซึ่งจะกล่าวถึงหลังจากได้อธิบายรายละเอียดสมมติฐานการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะจากการพิจารณาขอบของไฟท้าย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เส้นเชื่อมขนานกับแนวนอนของภาพ *(ข) เส้นเชื่อมไม่ขนานกับแนวนอนของภาพ*

รูปที่ 3.5 การจับคู่กลุ่มพิกเซลสว่างสีแดงเพื่อยืนยันว่าเป็นดวงไฟของยานพาหนะคันเดียวกัน

(ก) ภาพต้นฉบับ *(ข) ภาพหลังการแยกพิกเซลสว่างสีแดง* *(ค) ภาพการจับคู่กลุ่มพิกเซลสว่างสีแดง*

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการจับคู่ดวงไฟท้าย

3.2.2 การตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะจากการพิจารณาขอบของยานพาหนะ

จากการวิเคราะห์ภาพวีดิทัศน์เฉพาะบริเวณกรอบตรวจจับสังเกตได้ว่าแต่ละจุดภาพที่เป็นพื้นถนนจะมีค่าความเข้มแสงที่มีความใกล้เคียงกันมาก แต่ในขณะที่มียานพาหนะปรากฏอยู่จะทำให้เกิดความเปรียบต่างของค่าความเข้มแสงระหว่างพื้นถนนกับยานพาหนะมาก ทำให้เกิดเป็นลักษณะขอบของยานพาหนะขึ้นมาและทำให้สามารถแบ่งส่วนของยานพาหนะออกจากพื้นถนนได้ จากสมมติฐานเบื้องต้นนี้เองจึงใช้ข้อมูลของขอบในการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะ ซึ่งมีขั้นตอนย่อยดังนี้

3.2.2.1 การหาขอบของยานพาหนะโดยใช้วิธีแคนนี

การตรวจหาขอบของยานพาหนะโดยใช้วิธีแคนนี (Canny) เป็นวิธีการหาขอบที่มีประสิทธิภาพเพราะสามารถแสดงขอบภาพที่มีอยู่จริงและสัญญาณรบกวนจะแสดงออกมาเป็นขอบน้อยที่สุดโดยเริ่มจากการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา จากนั้นจึงตรวจหาขอบภาพด้วยวิธีการแคนนีซึ่งการหาขอบโดยวิธีแคนนีนั้นประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอนคือ

1. นำภาพระดับเทามาทำภาพให้เรียบเพื่อขจัดสัญญาณรบกวน
2. ใช้ตัวดำเนินการโซเบลในการหาขอบ

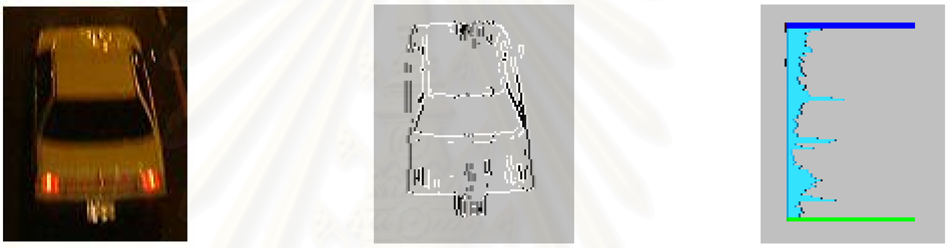
3. ทำขอบภาพให้บางด้วยวิธีการกำจัดค่าที่ไม่มากสุดเพื่อกำจัดจุดภาพที่มีค่าระดับเทาต่ำกว่าจุดภาพใกล้เคียง

4. หาขอบภาพที่มีอยู่จริงโดยใช้การกำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่า คือค่าขีดแบ่งต่ำสุดและค่าขีดแบ่งสูงสุด ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมทั้ง 2 ค่า ค่าขีดแบ่งสูงสุดควรมีค่ามากกว่าสองเท่าของค่าขีดแบ่งต่ำสุด

ผลลัพธ์หลังจากการหาขอบโดยวิธีแคนนีแล้วจะได้ภาพลักษณ์ฐานสองที่มีขอบหนาเพียง 1 จุดภาพ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.7

3.2.2.2 การฉายโพรไฟล์ของภาพลักษณ์ฐานสอง

หลังจากได้ขอบของยานพาหนะแล้วนำภาพลักษณ์ฐานสองที่ได้มาหาโพรไฟล์การฉายตามแนวนอนจากการหาจำนวนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 ในทิศทางตามแนวนอนของช่องแต่ละช่องในเส้นตรงที่แบ่งไว้ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.7



(ก) ภาพต้นฉบับ *(ข) ภาพหลังจากหาขอบ* *(ค) ภาพโพรไฟล์การฉาย*

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างภาพการหาขอบและโพรไฟล์การฉายตามแนวนอน

เมื่อหาโพรไฟล์การฉายตามแนวนอนแล้วนำจำนวนจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 มาหาผลรวมแล้วพิจาณาค่าผลรวมนั้นโดยถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดแสดงว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับ

3.3 การนับจำนวนยานพาหนะจากภาพวีดิทัศน์

เมื่อตรวจหายานพาหนะในหนึ่งเฟรมจากขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นได้แล้วขั้นตอนต่อไปคือ การนับจำนวนยานพาหนะจากภาพวีดิทัศน์โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างการปรากฏของยานพาหนะในเฟรมก่อนหน้าและการปรากฏของยานพาหนะในเฟรมปัจจุบัน คือถ้าเฟรมปัจจุบันมียานพาหนะปรากฏอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับและเฟรมก่อนหน้าไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่จึงจะนับจำนวนยานพาหนะเพิ่ม ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการปรากฏของยานพาหนะในเฟรมก่อนหน้าและเฟรมปัจจุบัน

เฟรมก่อนหน้า	เฟรมปัจจุบัน	การนับ
ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่	ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่	ไม่ต้องนับจำนวนยานพาหนะเพิ่ม
ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่	มียานพาหนะปรากฏอยู่	นับจำนวนยานพาหนะเพิ่ม
ยานพาหนะปรากฏอยู่	ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่	ไม่ต้องนับจำนวนยานพาหนะเพิ่ม
ยานพาหนะปรากฏอยู่	ยานพาหนะปรากฏอยู่	ไม่ต้องนับจำนวนยานพาหนะเพิ่ม

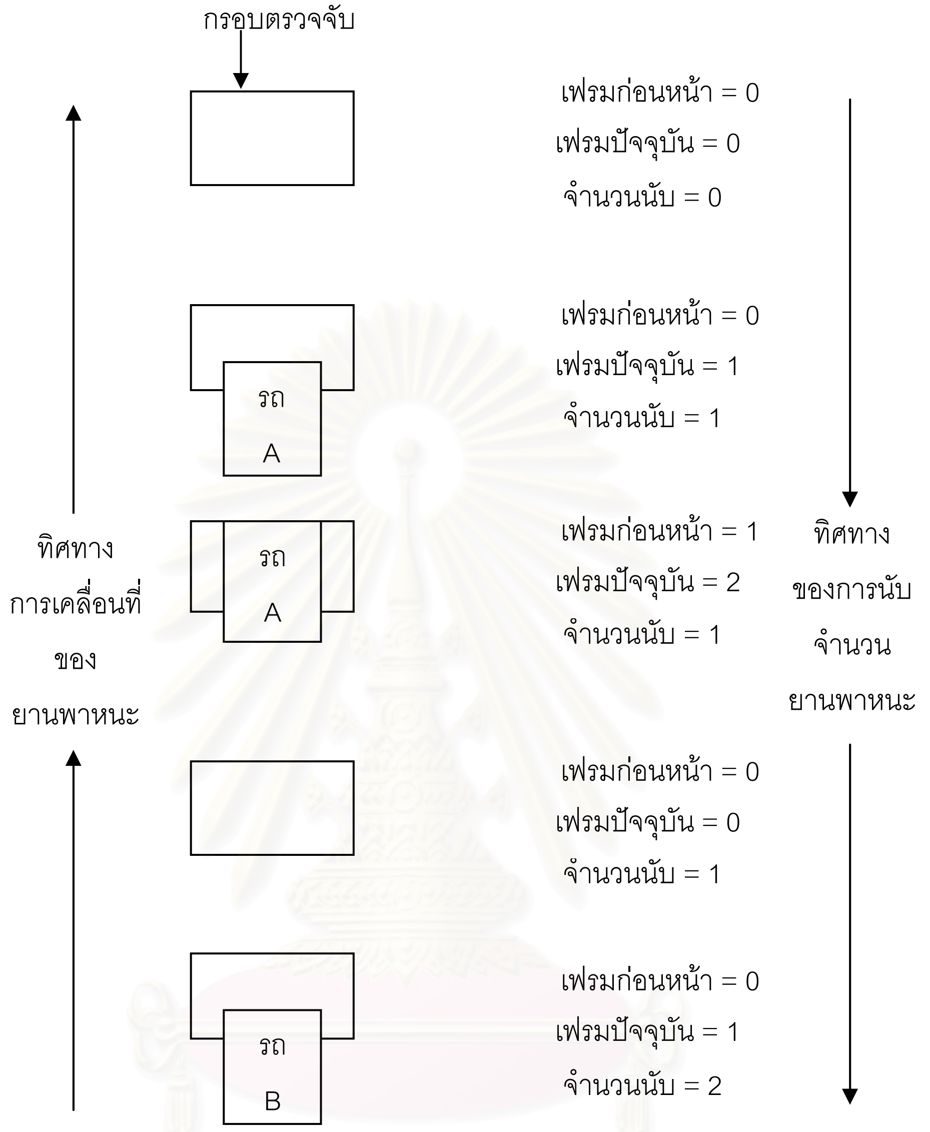
จากตารางที่ 3.2 ถ้าให้การมียานพาหนะปรากฏอยู่ในบริเวณกรอบตรวจจับมีค่าเป็น 1 และการไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่เป็น 0 แล้วสามารถแสดงตัวอย่างการนับจำนวนยานพาหนะได้จากภาพที่ 3.8 โดยอธิบายได้ว่า

เมื่อในบริเวณกรอบตรวจจับเป็นภาพพื้นถนนนั่นคือ ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ ดังนั้นในเฟรมปัจจุบันและเฟรมก่อนหน้าจะมีค่าเป็น 0

เมื่อมียานพาหนะคันแรก (A) เริ่มปรากฏเข้ามาทำให้ในเฟรมปัจจุบันมีค่าเป็น 1 พร้อมกับตรวจสอบว่าเฟรมก่อนหน้ามีค่าเป็น 0 หรือไม่ ถ้าเป็น 0 ให้นับจำนวนยานพาหนะเพิ่ม 1 คัน ถ้าไม่เป็น 0 ให้ตรวจสอบในเฟรมถัดไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่

เมื่อมียานพาหนะคันที่ 2 (B) เริ่มปรากฏเข้ามาทำให้ในเฟรมปัจจุบันมีค่าเป็น 1 พร้อมกับตรวจสอบว่าเฟรมก่อนหน้ามีค่าเป็น 0 หรือไม่ ถ้าเป็น 0 จึงนับจำนวนยานพาหนะเพิ่มขึ้นเป็น 2 คัน เมื่อมียานพาหนะแล่นผ่านเข้ามาอีกก็ตรวจสอบเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ทำให้สามารถนับจำนวนยานพาหนะได้ ซึ่งวิธีการนับจำนวนยานพาหนะในข้างต้นจะพิจารณาในกรณีที่สภาพการจราจรที่ไม่ติดขัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 การนับยานพาหนะ

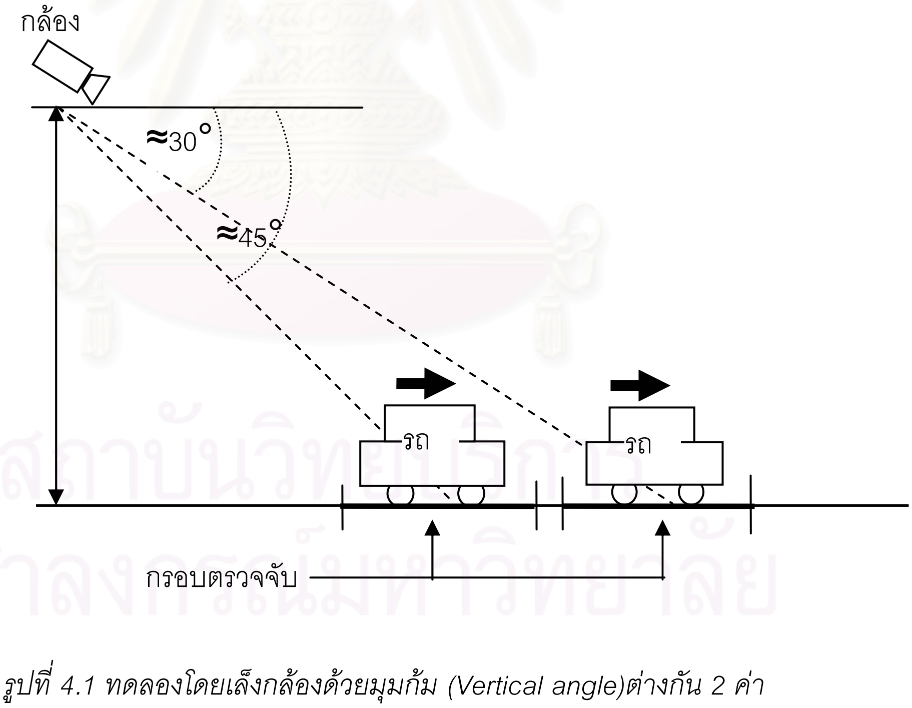
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

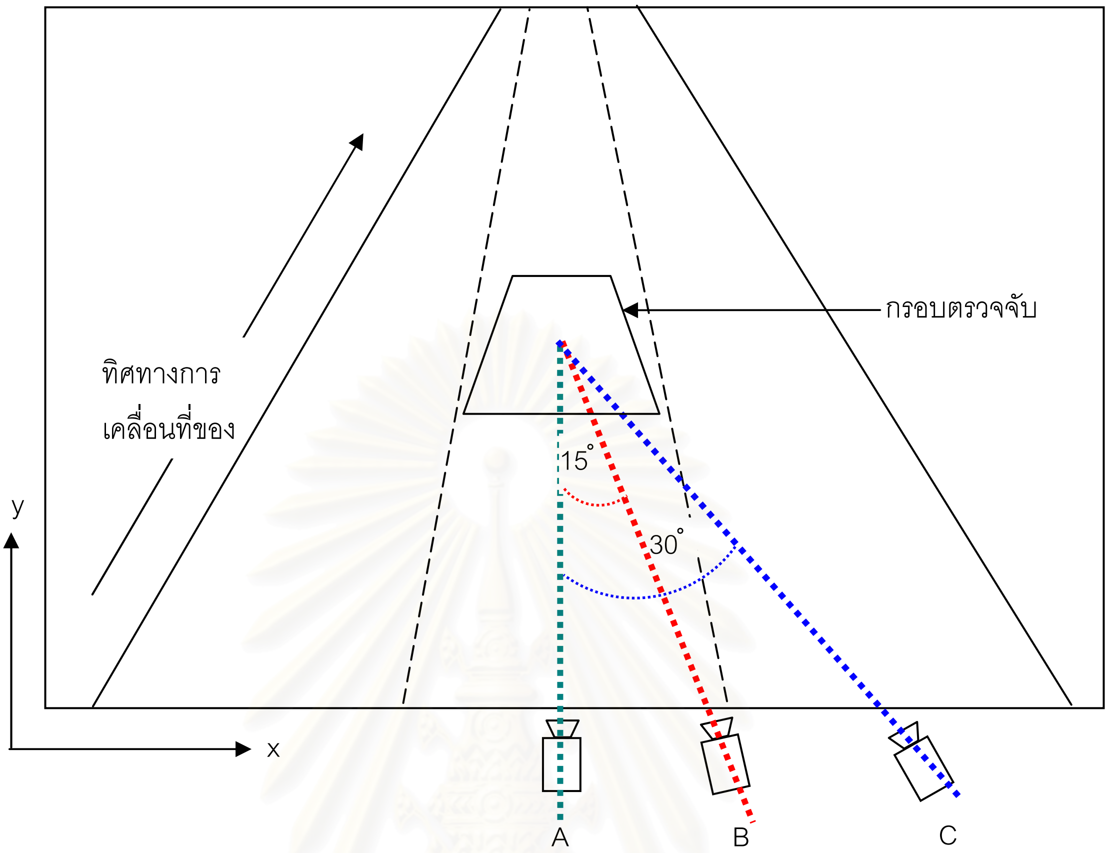
การทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การทดลอง

การทดลองที่ได้ทำนั้นได้ทดลองด้วยมุมก้ม (Vertical angle) 2 ค่าที่ต่างกันไม่น้อยกว่า 15 องศา คือมุมก้มประมาณ 30 องศาและมุมก้มประมาณ 45 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และทดลองตามตำแหน่งการติดตั้งกล้อง 3 ตำแหน่งโดยแต่ละตำแหน่งทำมุมกับแนวช่องจราจร (Horizontal angle) ต่างกันไม่น้อยกว่า 15 องศา ที่จุดเล็งเดียวกันคือตำแหน่งแรกติดตั้งกล้องเล็งในแนวเดียว (0 องศา) กับแนวช่องทางจราจร ตำแหน่งที่ 2 เลื่อนกล้องไปในแนวตั้งฉากกับช่องทางเดินรถและเล็งกล้องไปยังจุดเดิมบนถนนโดยทำมุมประมาณ 15 องศากับแนวช่องจราจรและตำแหน่งที่ 3 เลื่อนกล้องทำนองเดียวกันแต่เลื่อนไปจนทำมุมประมาณ 30 องศากับแนวช่องทางจราจร ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ทดลองโดยเล็งกล้องด้วยมุมก้ม (Vertical angle)ต่างกัน 2 ค่า



รูปที่ 4.2 ทดลองโดยเล็งกล้องที่ทำมุมกับแนวช่องจราจร (Horizontal angle) ต่างๆ กัน

4.2 การเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลของการทดลองทั้งหมดได้ใช้กล้องถ่ายรูปดิจิทัล Fuji รุ่น FinePix F601 บันทึกภาพเป็นภาพวีดิทัศน์ที่มีความละเอียด 320x240 จุดภาพ (QVGA) ความเร็ว 15 เฟรมต่อวินาทีในฟอร์แมต AVI และใช้กล้องถ่ายรูปดิจิทัล Sony Cyber shot รุ่น DSC-F717 บันทึกภาพเป็นภาพวีดิทัศน์ที่มีความละเอียด 320x240 จุดภาพ (QVGA) ความเร็ว 25 เฟรมต่อวินาทีในฟอร์แมต MPEG การถ่ายภาพโดยถ่ายภาพวีดิทัศน์ดังกล่าวบนสะพานลอยที่มีมุมก้ม (Vertical angle) และมุมในแนวนอนที่ทำมุมกับแนวช่องจราจร (Horizontal angle) ตามการทดลองที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในการเก็บข้อมูลของการทดลองทั้งหมดได้ดังต่อไปนี้

ข้อมูลชุดที่1 ได้จากการตั้งกล้อง 2 กล้องที่ตำแหน่งในแนว 0 องศา (Horizontal angle) กับช่องจราจรบนสะพานลอยอยู่สูงจากพื้นถนนประมาณ 7.5 เมตร กล้องตัวแรกถ่ายภาพด้วยมุมก้ม (Vertical angle) ประมาณ 30 องศาจากแนวระดับแล้วเล็งกล้องไปที่ถนน แล้วใช้จุดนี้เป็นจุดศูนย์กลางของบริเวณตรวจจับสำหรับมุมก้มประมาณ 30 องศา กล้องตัวที่ 2 ถ่ายภาพด้วยมุมก้ม (Vertical angle) ประมาณ 45 องศาจากแนวระดับแล้วเล็งกล้องไปที่ถนน แล้วใช้จุดนี้เป็นจุดศูนย์กลางของบริเวณตรวจจับสำหรับมุมก้มประมาณ 45 องศา เพื่อบันทึกภาพวีดิทัศน์ให้เป็นชุดเดียวกัน

ข้อมูลชุดที่ 2 ได้จากการเลื่อนกล้อง 2 กล้องจากตำแหน่งเดิมเมื่อเก็บข้อมูลชุดที่ 1 โดยเลื่อนไปทางขวาประมาณ 3.5 เมตรสำหรับกล้องที่ 1 และประมาณ 2 เมตรสำหรับกล้องที่ 2 ซึ่งจะมีผลให้ทำมุมในแนวนอนประมาณ 15 องศา (Horizontal angle) กับช่องจราจรโดยเล็งไปยังกรอบตรวจจับเดิมของแต่ละกล้องเมื่อครั้งที่เก็บข้อมูลชุดที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งจะได้มุมก้มประมาณ 29 องศาจากแนวระดับ สำหรับกล้องตัวที่ 1 และได้มุมก้มประมาณ 44 องศาจากแนวระดับ สำหรับกล้องตัวที่ 2 เพื่อบันทึกภาพวีดิทัศน์ให้เป็นชุดเดียวกันเป็นข้อมูลชุดที่ 2

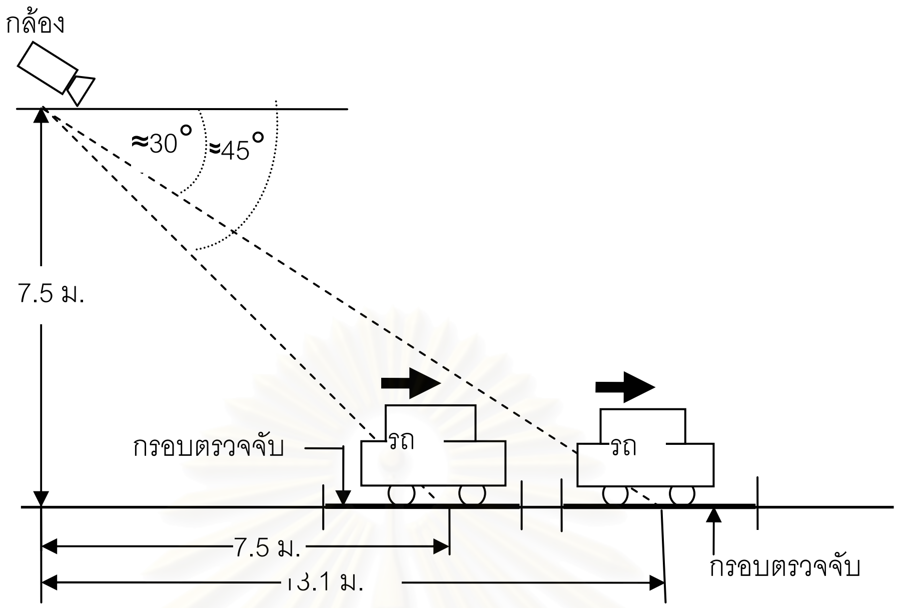
ข้อมูลชุดที่ 3 ได้จากการเลื่อนกล้อง 2 กล้องจากตำแหน่งเดิมเมื่อเก็บข้อมูลชุดที่ 1 โดยเลื่อนไปทางขวาประมาณ 7.5 เมตรสำหรับกล้องที่ 1 และประมาณ 4.3 เมตรสำหรับกล้องที่ 2 ซึ่งจะมีผลให้ทำมุมในแนวนอนประมาณ 30 องศา (Horizontal angle) กับช่องจราจรโดยเล็งไปยังกรอบตรวจจับเดิมของแต่ละกล้องเมื่อครั้งที่เก็บข้อมูลชุดที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งจะได้มุมก้มประมาณ 26 องศาจากแนวระดับสำหรับกล้องตัวที่ 1 และได้มุมก้มประมาณ 41 องศาจากแนวระดับ สำหรับกล้องตัวที่ 2 เพื่อบันทึกภาพวีดิทัศน์ให้เป็นชุดเดียวกันเป็นข้อมูลชุดที่ 3

ข้อมูลชุดที่ 4 ได้จากการตั้งกล้องเช่นเดียวกับเมื่อครั้งเก็บข้อมูลชุดที่ 1 เพียงแต่เลื่อนกล้องตัวที่ 1 ไปทางขวาประมาณ 2 เมตรและเล็งกล้องไปที่เดียวกับกล้องตัวที่ 2 ซึ่งจะมีผลให้สามารถเก็บข้อมูลชุดเดียวกันเมื่อทั้งสองกล้องทำมุมก้มใกล้เคียงกันคือประมาณ 45 องศา และทำมุมในแนวนอนต่างกันประมาณ 15 องศากับช่องจราจร

ข้อมูลชุดที่ 5 ได้จากการตั้งกล้องเช่นเดียวกับเมื่อครั้งเก็บข้อมูลชุดที่ 1 เพียงแต่เลื่อนกล้องตัวที่ 1 ไปทางขวาประมาณ 4.3 เมตรและเล็งกล้องไปที่เดียวกับกล้องตัวที่ 2 ซึ่งจะมีผลให้สามารถเก็บข้อมูลชุดเดียวกันเมื่อทั้งสองกล้องทำมุมก้มใกล้เคียงกันคือประมาณ 45 องศา และทำมุมในแนวนอนต่างกันประมาณ 30 องศากับช่องจราจร

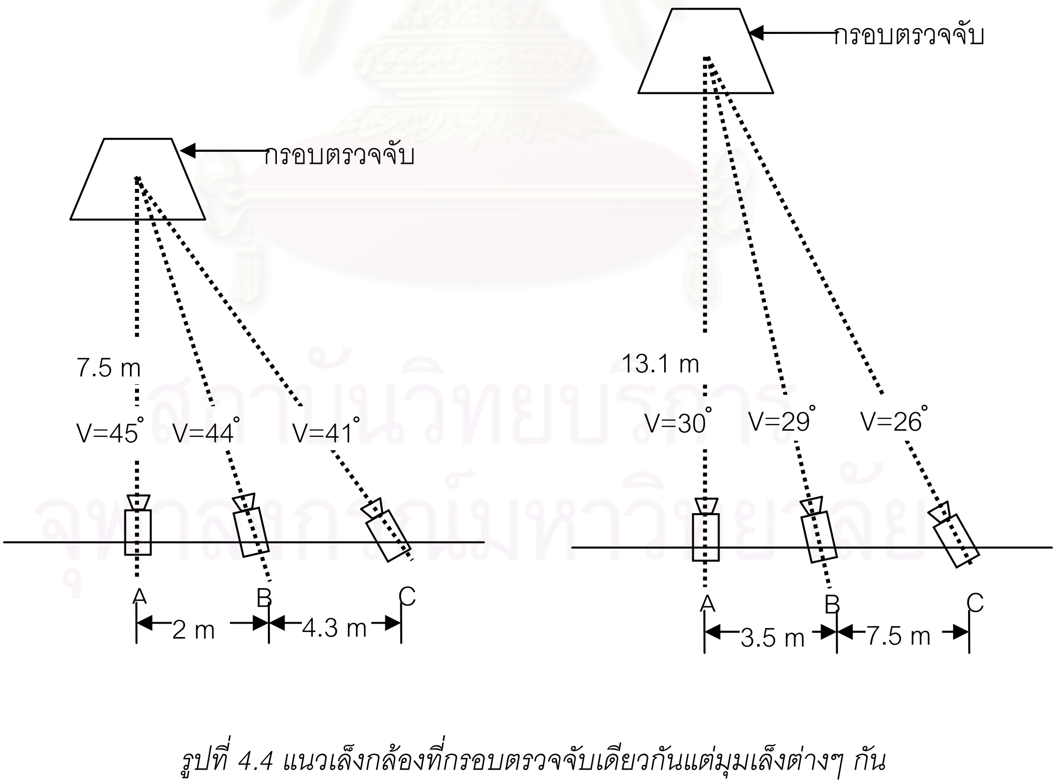
ในการทดลองได้เก็บข้อมูลสภาพจราจรบริเวณสี่แยกแคราย โดยข้อมูลชุดที่ 1 ข้อมูลชุดที่ 2 และข้อมูลชุดที่ 3 บันทึกภาพถ่ายวีดิทัศน์ในช่วงเวลาประมาณ 22:00 น.- 0:30 น. ในวันที่ 21 เมษายน 2548 เก็บข้อมูลสภาพจราจรข้อมูลชุดที่ 4 และข้อมูลชุดที่ 5 ในบริเวณเดิม (สี่แยกแคราย) บันทึกภาพถ่ายวีดิทัศน์ในช่วงเวลาประมาณ 22:00 น.- 23:00 น. ในวันที่ 22 เมษายน 2548

อนึ่งเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องขาตั้งกล้องจึงทำให้ไม่สามารถทำมุมก้มค่าเดียวกันได้สำหรับกรอบตรวจจับเดียวกันที่มุมในแนวนอนต่างๆ กัน



รูปที่ 4.3 แนวเล็งกล้องที่มุมก้มต่างกัน

*หมายเหตุ: ค่าระยะและมุมต่างๆ เป็นค่าโดยประมาณ



รูปที่ 4.4 แนวเล็งกล้องที่กรอบตรวจจับเดียวกันแต่มุมเล็งต่างๆ กัน

*หมายเหตุ: ค่าระยะและมุมต่างๆ เป็นค่าโดยประมาณ

หลังจากเก็บข้อมูลแล้วนำภาพวีดิทัศน์ที่ได้มาทดลองกับโปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MS Visual Studio C++ 6.0 และได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีซีพียู Pentium III ความถี่นาฬิกา 863 MHz มีหน่วยความจำหลัก (RAM) 256 MB ในการประมวลผลและได้ทดลองความสามารถของโปรแกรมต้นแบบในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์ด้านหลังรถ

4.3 ผลการทดลองการตรวจนับจำนวนยานพาหนะจากภาพวีดิทัศน์

การทดลองนี้เป็นการหาความแม่นยำของอัลกอริธึมในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะว่าถูกต้องเพียงใดเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนยานพาหนะที่ได้จากการนับโดยมนุษย์ เนื่องจากวิธีที่ใช้ในการประมวลผลภาพมี 2 แนวทางคือ โดยการหาภาพท้ายรถและโดยการหาขอบ ซึ่งได้เก็บข้อมูลดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2 จึงแบ่งผลการทดลองเป็น 2 ส่วนตามแนวทางทั้งสอง ดังนี้

วิธีหาท้ายรถ

มุม	ความยาวกรอบ
≈ 30 องศา	4 เมตร (40 พิกเซล)
≈ 45 องศา	4.5 เมตร (60 พิกเซล)

วิธีหาขอบ

มุม	ความยาวกรอบ
≈ 30 องศา	4.5 เมตร (60 พิกเซล)
≈ 45 องศา	5 เมตร (70 พิกเซล)

โดยกรอบตรวจจับมีความกว้างเท่ากับช่องจราจร ทั้งนี้ได้ทดลองซ้ำ 3 รอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยสำหรับแต่ละแนวทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการนับยานพาหนะตามมุมก้ม (vertical angle)

Horizontal angle	Vertical angle	Human Counting	Rear Approach Counting 1st	Rear Approach Counting 2nd	Rear Approach Counting 3rd	Edge Approach Counting 1st	Edge Approach Counting 2nd	Edge Approach Counting 3rd
0	30	57	50	50	50	55	54	68
0	45	57	53	53	53	58	59	59
15	29	43	39	37	36	52	52	53
15	44	43	48	48	48	53	55	54
30	26	44	41	40	41	40	41	40
30	41	44	44	45	45	47	49	48

วิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับข้อมูลชุดที่ 1 2 และ 3

ผลการทดลองจากข้อมูลชุดที่ 1 ลักษณะของยานพาหนะจะขนานกับช่องจราจรโดยที่มุมก้ม 30 องศามีระยะภาพไกลกว่าที่มุมก้ม 45 องศา ดังนั้นยานพาหนะที่มุมก้ม 30 องศาจึงมีขนาดเล็กกว่าและอยู่ไกลกล้องมากกว่ายานพาหนะที่มุมก้ม 45 องศา การนับยานพาหนะจากการประมวลผลโดยใช้วิธีหาท้ายยานพาหนะที่มุมก้ม 30 องศาจึงมีความผิดพลาดเนื่องมาจากระยะของยานพาหนะไกลกล้องทำให้ท้ายรถมีขนาดเล็ก จำนวนพิกเซลสีแดงน้อยลงและค่าความสว่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับท้ายยานพาหนะที่มุมก้ม 45 องศา ส่วนวิธีการหาขอบที่มุมก้ม 30 องศาและที่มุมก้ม 45 องศามีความผิดพลาดใกล้เคียงกันในลักษณะเดียวกัน คือผิดพลาดเนื่องมาจากจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด (ในที่นี้ได้ใช้ค่าที่กำหนดจาก 40% ของผลรวมของจำนวนพิกเซลที่มีอยู่ในกรอบตรวจจับ)

ผลการทดลองจากข้อมูลชุดที่ 2 และชุดที่ 3 กล้องเล็งเอียงทำมุม 15 องศาและ 30 องศากับช่องจราจรตามลำดับ โดยที่มุมก้มประมาณ 30 องศามีระยะภาพไกลกว่าที่มุมก้มประมาณ 45 องศา ทำให้เกิดความผิดพลาดด้วยเหตุผลทำนองเดียวกันกับการหาท้ายรถในข้อมูลชุดที่ 1 ส่วนวิธีการหาขอบที่มุมก้มประมาณ 30 องศาและที่มุมก้มประมาณ 45 องศามีความผิดพลาดใกล้เคียงกันด้วยเหตุผลทำนองเดียวกันกับการหาขอบในข้อมูลชุดที่ 1

จากผลการทดลองในส่วนแรก (ข้อมูลชุดที่ 1 2 และ 3) ให้ผลดีที่มุมก้มประมาณ 45 องศาจึงใช้มุมก้มนี้ในการทดลองในส่วนที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลการนับยานพาหนะโดยเล็งกล้อง 2 กล้องทำมุมกับแนวช่องจราจร (Horizontal angle) ในแนว 0 องศาและ15 องศาตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทดลองเล็งกล้อง 2 กล้องทำมุมกับแนวช่องจราจร (Horizontal angle) ในแนว 0 องศาและ30 องศาตามลำดับ ดังอธิบายในหัวข้อ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการนับยานพาหนะตามตำแหน่งกล้องที่ทำมุมกับแนวช่องจราจร (Horizontal angle)

Vertical angle	Horizontal angle	Human Counting	Rear Approach Counting 1st	Rear Approach Counting 1st	Rear Approach Counting 1st	Edge Approach Counting 1st	Edge Approach Counting 1st	Edge Approach Counting 1st
45	0	70	69	68	69	68	68	67
44	15	70	62	63	62	65	65	66
45	0	73	73	73	72	87	77	78
41	30	73	72	73	68	75	72	74

วิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับข้อมูลชุดที่ 4 และ 5

ผลการทดลองจากข้อมูลชุดที่ 4 ที่มุมก้ม 45 องศา การนับยานพาหนะจากการประมวลผลโดยใช้วิธีหาท้ายยานพาหนะโดยเล็งกล้องในแนวเดียวกับช่องจราจรและเล็งกล้องทำมุม 15 องศากับช่องจราจร ผลที่ได้เมื่อเล็งกล้องในแนวเดียวกับช่องจราจร มีความผิดพลาดน้อยกว่าทั้งนี้เนื่องจากระยะจากกล้องถึงกรอบตรวจจับใกล้กว่า ทำให้สามารถตรวจหาสีแดงที่สว่างได้ดีกว่า ส่วนวิธีการหาขอบมีความผิดพลาดใกล้เคียงกันในลักษณะเดียวกัน คือผิดพลาดเนื่องมาจากจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด

ผลการทดลองจากข้อมูลชุดที่ 5 ที่มุมก้ม 45 องศา การนับยานพาหนะจากการประมวลผลโดยใช้วิธีหาท้ายยานพาหนะและหาขอบยานพาหนะโดยเล็งกล้องในแนวเดียวกับช่องจราจรและเล็งกล้องทำมุม 30 องศากับช่องจราจร ผลที่ได้เป็นไปด้วยเหตุผลทำนองเดียวกันกับการวิเคราะห์ผลข้อมูลชุดที่ 4

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองจากข้อมูลข้างต้น โปรแกรมต้นแบบมีความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะโดยเปรียบเทียบกับการตรวจนับจำนวนยานพาหนะโดยมนุษย์แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือการนับจำนวนยานพาหนะโดยหายานพาหนะจากการพิจารณาท้ายยานพาหนะมีความถูกต้องระหว่างร้อยละ 87 ถึงร้อยละ 98 และการนับจำนวนยานพาหนะโดยหายานพาหนะจากการพิจารณาขอบของยานพาหนะมีความถูกต้องระหว่างร้อยละ 92 ถึงร้อยละ 96 ทั้งนี้ขึ้นกับมุมก้มและมุมแนวกล้องเทียบกับช่องทางจราจรและระยะห่างกล้องกับกรอบตรวจจับ

4.4 วิเคราะห์ขีดจำกัดด้านความเร็วรถ

4.4.1 ความเร็วสูงสุดและความเร็วต่ำสุด

ความเร็วสูงสุดและความเร็วต่ำสุดของยานพาหนะที่โปรแกรมต้นแบบสามารถนับจำนวนยานพาหนะได้ แบ่งได้ตามวิธีการดังนี้

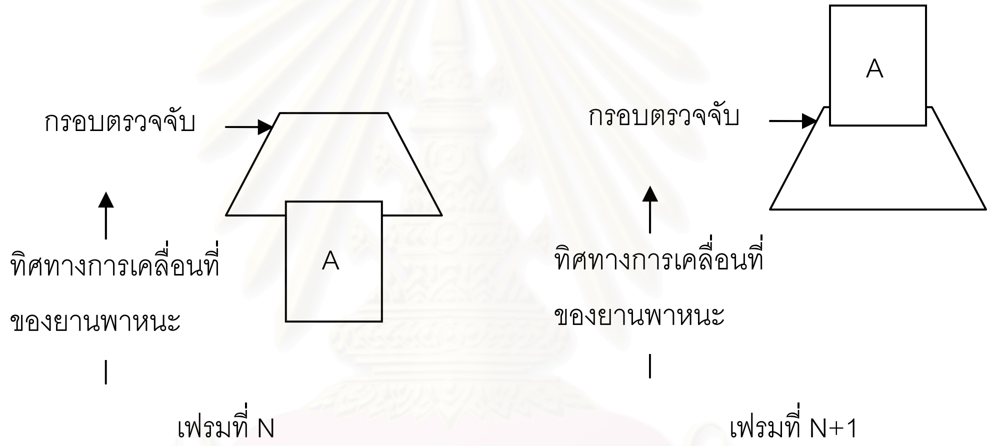
วิธีหาท้ายยานพาหนะ

1) ความเร็วสูงสุด

ความเร็วสูงสุดในกรณีวิกฤต (Critical Case) จะเกิดขึ้นเมื่อเฟรมแรกมีท้ายยานพาหนะปรากฏอยู่ในกรอบตรวจจับและเฟรมถัดมาท้ายยานพาหนะยังปรากฏอยู่ในกรอบตรวจจับโดยมีระยะเวลาระหว่างเฟรมที่ใช้ในการประมวลผลคือ 0.066 วินาที ดังนั้นความเร็วสูงสุดคำนวณได้จากสมการ 4.1

$$\text{ความเร็วสูงสุด} = \frac{\text{ความสูงกรอบตรวจจับ} + \text{ความยาวยานพาหนะ}}{1/\text{อัตราเฟรม}} \qquad \ldots(4.1)$$

โดยที่ความสูงกรอบตรวจจับและความยาวยานพาหนะมีหน่วยเป็นเมตร อัตราเฟรมมีหน่วยเป็นเฟรมต่อวินาที



รูปที่ 4.5 ภาพกรณีวิกฤต

สมมติ ระยะทางที่ท้ายยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าและออกไปจากกรอบตรวจจับ (เท่ากับความยาวของยานพาหนะประมาณ 4.5 เมตร) รวมกับความสูงของกรอบตรวจจับ (เท่ากับ 4 เมตร) ระยะเวลาระหว่างเฟรมที่ใช้ในการประมวลผลเป็น 0.066 วินาที ดังนั้นความเร็วสูงสุดที่คำนวณได้คือ ความเร็วที่ยานพาหนะวิ่งได้ 127.5 เมตรต่อวินาทีหรือ 459 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้ที่ความเร็วยานพาหนะสูงสุดไม่น้อยกว่าที่ยานพาหนะในปัจจุบันสามารถทำได้

2) ความเร็วต่ำสุด

ตราบใดที่ความยาวยานพาหนะคันหลังกับภาพท้ายรถคันหน้าไม่อยู่ในกรอบตรวจจับพร้อมๆ กัน ก็จะนับยานพาหนะได้ที่ความเร็วต่ำสุดที่ยานพาหนะยังเคลื่อนที่อยู่ (ใกล้ 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) เนื่องจากในที่นี้ใช้กรอบขนาด 4 เมตรหรือต่ำกว่า ซึ่งเป็นระยะที่เงื่อนไขข้างต้นแทบจะไม่เกิดขึ้น ความเร็วต่ำสุดจึงเข้าใกล้รถหยุดนิ่ง

วิธีหาขอบยานพาหนะ

1) ความเร็วสูงสุด

ความเร็วสูงสุดในกรณีวิกฤต (Critical Case) จะเกิดขึ้นเมื่อเฟรมแรกเริ่มมีส่วนหัวยานพาหนะแล่นเข้ามาปรากฏอยู่ในกรอบตรวจจับและเฟรมถัดมาส่วนท้ายยานพาหนะยังปรากฏอยู่ในกรอบตรวจจับโดยมีระยะเวลาระหว่างเฟรมที่ใช้ในการประมวลผลคือ 0.066 วินาที ดังนั้นความเร็วสูงสุดคำนวณได้จากสมการ 4.1

สมมติ ระยะทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าและออกไปจากกรอบตรวจจับ (เท่ากับความยาวของยานพาหนะประมาณ 4.5 เมตร) รวมกับความสูงของกรอบตรวจจับ (เท่ากับ 4.5 เมตร) ระยะเวลาระหว่างเฟรมที่ใช้ในการประมวลผลเป็น 0.066 วินาที ดังนั้นความเร็วสูงสุดที่คำนวณได้คือ ความเร็วที่ยานพาหนะวิ่งได้ 136 เมตรต่อวินาทีหรือ 489.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้ที่ความเร็วยานพาหนะสูงสุดไม่น้อยกว่าที่ยานพาหนะในปัจจุบันสามารถทำได้

2) ความเร็วต่ำสุด มี 2 กรณี คือ

1. กรณียานพาหนะคันหลังห่างยานพาหนะคันหน้ามากกว่าความยาวกรอบตรวจจับ ก็จะนับยานพาหนะได้ที่ความเร็วต่ำสุดที่ยานพาหนะยังเคลื่อนที่อยู่ (ใกล้ 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ถ้ายานพาหนะคันหลังห่างมากกว่าความยาวกรอบตรวจจับ

2. กรณียานพาหนะคันหลังห่างจากยานพาหนะคันหน้าเท่ากับความยาวกรอบตรวจจับ ความเร็วต่ำสุดของยานพาหนะที่โปรแกรมจะทำงานได้จะเป็นความเร็วที่ผู้ขับขี่ยานพาหนะคันหลังขับอยู่ ซึ่งหากใช้สมมติฐานว่า head way หรือระยะระหว่างคันกำหนดในเชิงเวลาเป็น 2 วินาที กล่าวคือเป็นระยะทางที่ยานพาหนะคันหลังจะเคลื่อนไปถึงตำแหน่งของยานพาหนะคันแรกเมื่อ 2 วินาทีก่อนหน้านั้น ก็จะได้ว่าความเร็วต่ำสุดของยานพาหนะที่โปรแกรมทำงานได้คือ 8.1 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่กรอบตรวจจับยาว 4.5 เมตร

4.4.2 ความทันกาล (Real time)

การที่โปรแกรมต้นแบบจะทำงานได้จะต้องรับภาพยานพาหนะเข้ามาประมวลผล 1 เฟรมเสร็จสิ้นได้ทันก่อนที่เฟรมถัดไปจะตามมาคือ ต้องใช้เวลาในการประมวลผลไม่เกิน 0.066 วินาที แต่ในการนับจำนวนยานพาหนะนั้นโปรแกรมต้นแบบจะต้องใช้ภาพ 2 เฟรมที่ต่อเนื่องกันมาวิเคราะห์จึงจะสามารถนับจำนวนยานพาหนะได้ เพราะฉะนั้นจะต้องใช้ระยะเวลาในการประมวลผลคือ 0.132 วินาที สำหรับ 2 เฟรมแรกและใช้เวลา 0.066 วินาทีสำหรับแต่ละเฟรมต่อๆ ไป

จากการทดลองโปรแกรมต้นสามารถแบบตรวจนับจำนวนยานพาหนะได้เสร็จสิ้นได้ทันในทุกๆ เฟรมจึงสรุปได้ว่าโปรแกรมมีความทันกาลในขีดจำกัดความเร็วตามที่วิเคราะห์ข้างต้น

4.4.3 ขนาดกรอบตรวจจับ

วัดขนาดกรอบตรวจจับจากการเล็งกล้องไปที่ถนน แล้วใช้จุดนี้เป็นจุดศูนย์กลางของบริเวณกรอบตรวจจับสำหรับมุมก้มต่างๆ โดยวัดขนาดความยาวกรอบตรวจจับออกจากจุดศูนย์กลางของ

บริเวณกรอบตรวจจับในแนวตั้งมากขึ้นและลดลงตามระยะหรือจำนวนพิกเซลที่กำหนดในสัดส่วนที่เท่ากัน โดยภาพที่มีมุมก้มประมาณ 30 องศาจะเป็นภาพในระยะไกล ยานพาหนะจึงมีขนาดเล็ก ฉะนั้นกรอบตรวจจับจึงมีขนาดเล็กกว่าภาพที่มีมุมก้มประมาณ 45 องศา ขนาดกรอบตรวจจับที่ใช้ในการประมวลผลแต่ละวิธีมีขนาดที่ไม่เท่ากันเนื่องจากวิธีการหาท้ายยานพาหนะเป็นการดูดวงไฟและจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงในบริเวณท้ายของยานพาหนะซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดของยานพาหนะดังนั้นกรอบตรวจจับที่ใช้วิธีการหาท้ายรถไม่จำเป็นจะต้องมีขนาดใหญ่เกินกว่าขนาดของยานพาหนะมากก็สามารถนับยานพาหนะได้แต่ควรจะมีขนาดความยาวของกรอบตรวจจับไม่น้อยกว่า 1 เมตรเมื่อเทียบกับความยาวของยานพาหนะส่วนบุคคล 1 คันที่มีความยาวประมาณ 4.5 เมตร เพราะถ้ากรอบตรวจจับมีขนาดเล็กเกินกว่านี้ก็จะหาท้ายยานพาหนะผิดพลาดได้ ในที่นี้ได้ใช้ขนาดความยาวกรอบดังนี้

วิธีหาท้ายรถ

มุม	ความยาวกรอบ
≈ 30 องศา	4 เมตร (40 พิกเซล)
≈ 45 องศา	4.5 เมตร (60 พิกเซล)

ส่วนวิธีการหาขอบนั้นเป็นการหาจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบของยานพาหนะทั้งคัน ดังนั้นขนาดกรอบควรมีขนาดเท่ากับความยาวของยานพาหนะเมื่อเทียบกับความยาวของยานพาหนะส่วนบุคคล 1 คันที่มีความยาวประมาณ 4.5 เมตร

วิธีหาขอบ

มุม	ความยาวกรอบ
≈ 30 องศา	4.5 เมตร (60 พิกเซล)
≈ 45 องศา	5 เมตร (70 พิกเซล)

4.5 ความผิดพลาดในการนับ

ความผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ความผิดพลาดเชิงลบ (False Negative) เกิดจากการนับจำนวนยานพาหนะต่ำกว่าความเป็นจริงและความผิดพลาดเชิงบวก (False Positive) เกิดจากการนับจำนวนยานพาหนะเกินกว่าความเป็นจริง โดยความผิดพลาดอาจเกิดจากหลายสาเหตุ แบ่งได้ตามวิธีการได้ดังนี้

วิธีหาท้ายยานพาหนะ

1) ความผิดพลาดเชิงลบ

กรณีที่ 1 เนื่องมาจากจำนวนของพิกเซลสีแดงของท้ายยานพาหนะที่ตรวจจับได้มีน้อยเกินไป

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าขีดแบ่งตายตัวในการแยกพิกเซลที่ต้องการออกมา ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดได้เมื่อพิกเซลสีแดงของท้ายยานพาหนะที่ตรวจจับได้มีน้อยเกินไปหรือสว่างน้อยเกินไปเนื่องจากระยะห่างจากกล้องถึงยานพาหนะมากขึ้น แสงที่กล้องรับภาพได้จะน้อยลงทำให้ไม่สามารถแยกค่าที่ต้องการออกมาได้

กรณีที่ 2 เนื่องจากเห็นดวงไฟของยานพาหนะไม่เป็นสีแดง

โดยส่วนใหญ่แล้วท้ายยานพาหนะจะมีคุณสมบัติของดวงไฟที่ชัดเจนคือ มีทั้งค่าความสว่างและค่าสีแดงของพิกเซล แต่ในชุดข้อมูลที่ได้ทดลองนั้น ยานพาหนะบางคันมีดวงไฟที่ไม่สว่างพอและไม่มีค่าสีแดงอยู่เลยเพราะไฟท้ายที่ไม่ได้มาตรฐานเป็นสีอื่นหรือดวงไฟท้ายชำรุดทำให้ค่าที่ต้องการแยกออกมาไม่เป็นตามที่กำหนด

กรณีที่ 3 เนื่องจากไม่เห็นดวงไฟของยานพาหนะ

ในประเภทของยานพาหนะที่เป็นรถบรรทุกขนาดใหญ่ จะมีส่วนของยานพาหนะที่ยื่นออกมาบังส่วนที่เป็นดวงไฟท้าย ถ้าทดลองนับยานพาหนะที่มุมก้มประมาณ 45 องศาจะทำให้ไม่เห็นดวงไฟของยานพาหนะเลย เนื่องจากที่มุมก้มมากๆ ทำให้เห็นยานพาหนะในระยะใกล้กล้อง จึงมีบางส่วนของยานพาหนะที่ทำให้ไม่เห็นดวงไฟได้

2) ความผิดพลาดเชิงบวก

กรณีที่ 1 เนื่องจากยานพาหนะแล่นไม่ตรงช่องจราจร

เกิดจากยานพาหนะขับเปลี่ยนเลนหรือคร่อมเลนแล่นผ่านเข้ามาในบริเวณกรอบตรวจจับแล้วมีจำนวนพิกเซลมากพอที่จะเป็นยานพาหนะ จึงทำให้นับยานพาหนะเกินไป

วิธีหาขอบ

1) ความผิดพลาดเชิงลบ

กรณีที่ 1 เนื่องจากจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด

เกิดจากยานพาหนะที่แล่นผ่านเข้ามาในกรอบตรวจจับมีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด เนื่องมาจากยานพาหนะมีสีดำหรือมืดมาก

กรณีที่ 2 เนื่องจากยานพาหนะ 2 คันเข้ามาในกรอบตรวจจับพร้อมกัน

เกิดจากยานพาหนะแล่นมาด้วยความเร็วต่ำทำให้ยานพาหนะคันหน้ากับยานพาหนะคันหลังมีระยะห่างระหว่างคันใกล้กันมาก

2) ความผิดพลาดเชิงบวก

กรณีที่ 1 เนื่องจากจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบมีค่ามากกว่าที่กำหนด

เกิดจากยานพาหนะขับเปลี่ยนเลนหรือคร่อมเลนแล่นผ่านเข้ามาในบริเวณกรอบตรวจจับแล้วมีจำนวนพิกเซลมากพอที่จะเป็นยานพาหนะ จึงทำให้นับยานพาหนะเกินไป

กรณีที่ 2 เนื่องจากเกิดช่องว่างระหว่างคันของยานพาหนะ

โดยทั่วไปแล้วถ้าขนาดกรอบตรวจจับมีขนาดเท่ากับขนาดของยานพาหนะแล้วจะไม่เกิดความผิดพลาดในกรณีนี้ขึ้นแต่เนื่องจากชุดข้อมูลที่นำมาทดลองมียานพาหนะหลายประเภทและได้ทดลองกับกรอบตรวจจับที่มีขนาดเท่ากับยานพาหนะส่วนบุคคลซึ่งยาวประมาณ 4.5 เมตร ดังนั้นถ้ายานพาหนะที่มีขนาดยาวและความยาวระหว่างคันไม่สว่างพอที่จะหาขอบข้างของยานพาหนะได้ ก็จะนับยานพาหนะเกินเพราะขอบของยานพาหนะที่หาได้ส่วนใหญ่มีมากในบริเวณหน้าและท้ายของยานพาหนะแต่ละคัน

4.6 ข้อจำกัดในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ

จากการทดลองโปรแกรมต้นแบบสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพดีภายใต้ข้อจำกัดดังต่อไปนี้

1) ยานพาหนะที่แล่นผ่านบริเวณกรอบตรวจจับจะต้องเว้นระยะห่างระหว่างคันมากเกินกว่าที่ยานพาหนะคันต่อไปจะเล่นผ่านเข้ามาในบริเวณกรอบตรวจจับ

2) จำนวนพิกเซลของยานพาหนะที่สามารถตรวจหาได้ในบริเวณกรอบตรวจจับต้องมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด ในที่นี้ได้กำหนดค่าขีดแบ่งไว้ประมาณร้อยละ 40 ของขนาดกรอบตรวจจับขึ้นไปจึงจะบอกได้ว่ามียานพาหนะ

3) ในการตรวจจับยานพาหนะโดยใช้วิธีการจับคู่ดวงไฟท้าย ยานพาหนะที่แล่นผ่านบริเวณกรอบตรวจจับจะต้องมีคู่ดวงไฟท้ายครบและชัดเจน

4) ในการตรวจจับยานพาหนะโดยใช้วิธีการหาขอบ หากยานพาหนะมีความยาวมากและส่วนกลางยานพาหนะไม่สว่างพอก็จะทำให้เกิดการนับยานพาหนะเกินความเป็นจริงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัยจากการทดลองการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์ด้านหลังรถ รวมถึงข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนจากภาพวีดิทัศน์แบบทันกาล ซึ่งสามารถสรุปวิธีการได้ดังนี้

การทำงานเริ่มต้นจากการกำหนดกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรที่ยานพาหนะวิ่งผ่านและจะนับจำนวนยานพาหนะในบริเวณกรอบตรวจจับที่กำหนด โดยขั้นตอนการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นเป็นการหายานพาหนะจากการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะในหนึ่งเฟรมเพื่อแยกยานพาหนะออกจากพื้นถนนโดยมีวิธีการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะสองวิธี วิธีแรกเป็นการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะจากการพิจารณาท้ายยานพาหนะ และอีกวิธีหนึ่งคือการตรวจหาการปรากฏของยานพาหนะจากการพิจารณาขอบของยานพาหนะ ส่วนขั้นตอนการนับจำนวนยานพาหนะจากภาพวีดิทัศน์จะอาศัยข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นมาตรวจสอบความสัมพันธ์ของภาพระหว่างเฟรมสองเฟรมที่ต่อเนื่องกันเพื่อนับจำนวนยานพาหนะที่เพิ่มขึ้น

ทดลองโปรแกรมต้นแบบจากภาพวีดิทัศน์ที่มีมุมก้มและตำแหน่งการติดตั้งกล้องที่แตกต่างกัน มีความละเอียด 320x240 จุดภาพและถ่ายภาพวีดิทัศน์บนสะพานลอยโดยกล้องสูงจากพื้นถนนประมาณ 7.5 เมตร ผลการทดลองจากภาพวีดิทัศน์ข้างต้น โปรแกรมต้นแบบมีความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะโดยเปรียบเทียบกับการตรวจนับจำนวนยานพาหนะโดยมนุษย์แบ่งได้เป็นสองกรณี คือการนับจำนวนยานพาหนะโดยหายานพาหนะจากการพิจารณาท้ายยานพาหนะมีความถูกต้องระหว่างร้อยละ 87 ถึงร้อยละ 98 และการนับจำนวนยานพาหนะโดยหายานพาหนะจากการพิจารณาขอบของยานพาหนะมีความถูกต้องระหว่างร้อยละ 92 ถึงร้อยละ 96 ทั้งนี้ขึ้นกับมุมก้มและมุมแนวกล้องเทียบกับช่องทางจราจร

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาโปรแกรมและทดลองวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้พบว่ายังมีส่วนที่ควรปรับปรุงเพื่อให้การตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์ด้านหลังรถมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังต่อไปนี้

1. ในโปรแกรมต้นแบบได้ให้ผู้ใช้กำหนดกรอบตรวจจับขึ้นเอง ดังนั้นหากสามารถหาขั้นตอนในการแบ่งกรอบตรวจจับอย่างอัตโนมัติได้ จะทำให้ระบบเป็นอัตโนมัติมากขึ้น และพัฒนาให้สามารถตรวจนับจำนวนยานพาหนะได้ทีละหลายๆ ช่องจราจรพร้อมๆ กันในการประมวลผลแต่ละครั้ง

2. พัฒนาโปรแกรมต้นแบบให้สามารถใช้ข้อมูลขนาดของยานพาหนะที่ต้องการตรวจนับเพื่อการแยกประเภทของยานพาหนะและสามารถวัดความเร็วของยานพาหนะได้

3. การตรวจสอบการปรากฏของยานพาหนะจากการพิจารณาขอบของยานพาหนะโดยใช้วิธีแคนนีและการตรวจสอบการปรากฏของยานพาหนะจากการพิจารณาท้ายยานพาหนะ ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้สำหรับกำหนดค่าขีดแบ่งในการแบ่งแยกยานพาหนะออกจากพื้นถนน ดังนั้นหากสามารถพัฒนาหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้อย่างอัตโนมัติ ก็จะทำให้ระบบอัตโนมัติมากขึ้น

4. บางครั้งในการตรวจนับยานพาหนะจากการหาท้ายยานพาหนะนั้นไม่สามารถตรวจจับสีแดงสว่างได้เนื่องมาจากไฟหน้าของยานพาหนะคันหลังที่ส่องไปยังท้ายของยานพาหนะคันหน้ามีความสว่างมาก ดังนั้นจึงน่าจะทดลองแยกสีอื่นดู (อาจเป็นสีเหลืองหรือสีขาว)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Luz Elena Y. Mimbela, Lawrence A. Klein, Perry Kent, John L. Hamrick, and Karen M. Luces. A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems [Online]. The Vehicle Detector Clearinghouse [Producer], 2000. Available from: http://www.nmsu.edu/~traffic/ [2003]

2. Freeway Management and Operations Handbook [Online]. 2004. Available from: http://ops.fhwa.dot.gov/Travel/traffic/freeway_management_handbook/chapter15_01.htm [2004]

3. OMRON Corporation [Online]. 1999-2000. Available from: http://www.society.omron.com/traffic/svs/htm/product/setup/setup.htm [2004]

4. M. Betke, E. Haritaoglu, and L.S. Davis. Real-time multiple vehicle detection and tracking from a moving vehicle. Machine Vision and Applications. (2000): 69-83.

5. C.P. Lin, J.C. Tai, and K.T. Song. Traffic monitoring based on real-time image tracking. IEEE International Conference on Robotics and Automation ICRA 2 (September 2003): 2091 – 2096.

6. M.Y. Chern, and P.C. Hou. The lane recognition and vehicle detection at night for a camera-assisted car on highway. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) 2 (2003): 2110 - 2115.

7. L.A. Alexandre, and A.C. Campilho. A 2D Image Motion Detection Method Using a Stationary Camera. Proceedings 10 th Portuguese Conference on Pattern Recognition (1998): 103-107.

8. S. Gupte, O. Masoud, R.F.K. Martin, and N.P. Papanikolopoulos. Detection and Classification of Vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 3, 1 (March 2002): 37-47.

9. J. Badenas, M. Bober and F. Pla. Segmenting Traffic Scences from Gray Level and Motion Information. Pattern Analysis & Applications 4, (2001): 28-38.

10. M Y Siyal. A Neural Vision Based Approach For Intelligent Transportation System. IEEE International Conference (ICIT) (2002).

11. J.C. Rojas, and J.D. Crisman. Vehicle Detection in Color Images. IEEE Conference on Intelligent Transportation System (ITSC) (November 1997):403 – 408.

12. เกษร สุนสิน. การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อนับยานพาหนะบนถนน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

13. กฤษดา โชคสินอนันต์. การตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบทันกาลโดยใช้การประมวลผลภาพวีดิทัศน์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

14. J. Soh, B.T. Chun, and M. Wang. Analysis of Road Image Sequences for Vehicle Counting. Intelligent Systems for the 21st Century IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 1 (October 1995): 679 – 683.

15. R. Taktak, M. Dufaut, and R. Husson. Vehicle detection at night using image processing and pattern recognition. IEEE International Conference Image Processing (ICIP) 2 (1994): 296 – 300.

16. R.Cucchiara, and M. Piccardi. Vehicle Detection under Day and Night Illumination. Proceeding of ISCS-IIA99 Special session on vehicle traffic and surveillance (1999).

17. R.Cucchiara, M. Piccardi, and P. Mello. Image analysis and rule-based reasoning for a traffic monitoring system. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 1, 2 (June 2000): 119 - 130.

18. R. C. Gonzalez, and R. E. Woods. Digital Image Processing. U.S.A.: Prentice-Hall, 2002.

19. L. G. Shapiro, and G. C. Stockman. Computer Vision. U.S.A.: Prentice-Hall, Inc., 2001.

20. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. เอกสารคำสอน [Online] ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์: นิคม สุวรรณวร[Distributor], 2002. แหล่งที่มา: http://fivedots.coe.psu.ac.th/%7Emontri/Teaching/image/image.html [2004]

21. R. Jain, R. Kasturi, and B.G. Schunck. Machine Vision. Singapore: McGraw-Hill,1995

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมต้นแบบ

ภาคผนวก ก นี้อธิบายโปรแกรมต้นแบบที่ใช้ในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะในเวลากลางคืนแบบทันกาลจากภาพวีดิทัศน์ด้านหลังรถ หัวข้อในส่วนนี้ประกอบด้วยเงื่อนไขของโปรแกรม และโครงสร้างหน้าจอของโปรแกรม

ก.1 เงื่อนไขของโปรแกรม

โปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีเงื่อนไขการทำงานดังต่อไปนี้

1) โปรแกรมทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ตั้งแต่รุ่น 98 ขึ้นไป และต้องติดตั้งโปรแกรม DirectX SDK เวอร์ชัน 8.1 ขึ้นไป เพื่อใช้จัดการทางด้านวีดิทัศน์และโปรแกรม OpenCV เวอร์ชัน 3.1 ขึ้นไปเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ

2) ข้อมูลเข้าของโปรแกรมเป็นไฟล์ชนิด avi หรือ mpeg นอกจากนี้โปรแกรมสามารถรับข้อมูลภาพวีดิทัศน์จากเครื่องเล่นวีดิทัศน์ได้ แต่เครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องมีแผ่นวงจรจับเฟรมติดตั้งอยู่

ก.2 โครงสร้างหน้าจอของโปรแกรม

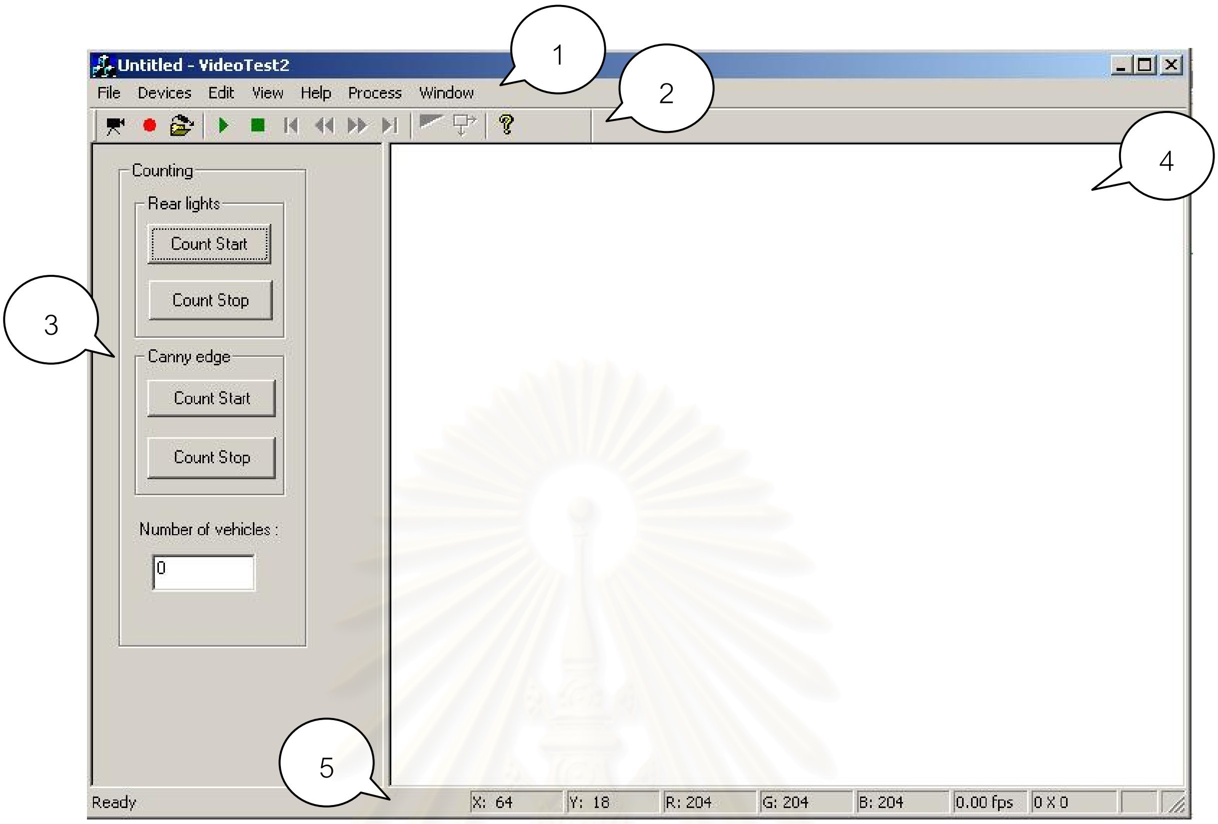
โปรแกรมต้นแบบมีหน้าจอหลักแสดงดังรูปที่ ก.1 ประกอบด้วย

1. เมนู
2. แถบเครื่องมือ
3. หน้าจอสำหรับการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ
4. หน้าจอแสดงภาพวีดิทัศน์
5. แถบแสดงสถานะ

แต่ละส่วนประกอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>เมนู</u>

โปรแกรมประกอบด้วยเมนูหลัก 7 รายการ ได้แก่ File, Devices, Edit, View, Help, Process และ Window แต่ละรายการมีเมนูย่อย ดังนี้



รูปที่ ก.1 หน้าจอหลัก

<u>File</u>

เมนู File ประกอบด้วยเมนูย่อยดังรูปที่ ก.2 โดยแต่ละเมนูย่อยมีหน้าที่ดังนี้

รูปที่ ก.2 เมนูย่อยของเมนู File

1. เมนูย่อย New ใช้สำหรับคืนค่าหน่วยความจำที่ใช้ประมวลผล เพื่อที่จะเปิดไฟล์วีดิทัศน์ไฟล์ใหม่
2. เมนูย่อย Open ใช้สำหรับเปิดไฟล์วีดิทัศน์ ซึ่งโปรแกรมรองรับไฟล์วีดิทัศน์ในรูปแบบ avi และ mpeg
3. เมนูย่อย Save ใช้สำหรับบันทึกภาพวีดิทัศน์จากเครื่องเล่นวีดิทัศน์เป็นไฟล์เก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์
4. เมนูย่อย Exit ใช้สำหรับปิดโปรแกรม

Devices

เมนู Devices เป็นเมนูที่ใช้แสดงแผ่นวงจรจับเฟรมที่ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่โปรแกรมตรวจหาได้

Edit

เมนู Edit ใช้สำหรับให้ผู้ใช้จัดการกับข้อมูลภาพวีดิทัศน์

View

เมนู View เป็นเมนูที่จัดการเกี่ยวกับการแสดงผลประกอบด้วยเมนูย่อยดังรูปที่ ก.3

รูปที่ ก.3 เมนูย่อยของเมนู View

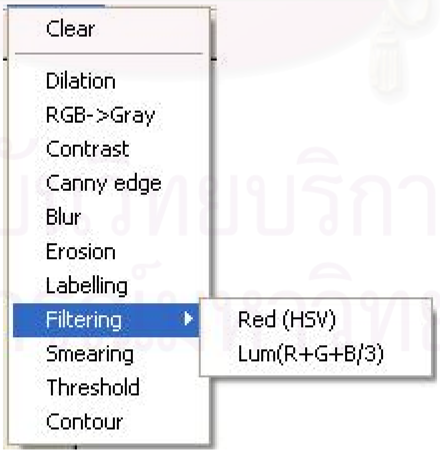
5. เมนูย่อย Scale Video ใช้สำหรับขยายขนาดภาพวีดิทัศน์ให้เต็มหน้าจอแสดงภาพวีดิทัศน์
6. เมนูย่อย Toolbar ใช้สำหรับปิดหรือเปิดการแสดงผลแถบเครื่องมือ
7. เมนูย่อย Status Bar ใช้สำหรับปิดหรือเปิดการแสดงผลแถบแสดงสถานะ

Help

เมนู Help มีเมนูย่อย About VideoTest2 ซึ่งแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรม

Process

เมนู Process เป็นเมนูที่ใช้ในการประมวลผลภาพเบื้องต้น ประกอบด้วยเมนูย่อยดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 เมนูย่อยของเมนู Process

8. เมนูย่อย Clear ใช้สำหรับลบข้อมูลที่แสดงผลไปแล้วและให้กลับมาที่ค่าเริ่มต้นใหม่ในหน้าจอหลัก
9. เมนูย่อย Dilation ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อขยายขนาดของพิกเซล

10. เมนูย่อย RGB->Gray ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อแปลงภาพสี RGBเป็นภาพระดับเทา
11. เมนูย่อย Contrast ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อปรับภาพให้มีความเปรียบต่างมากขึ้น
12. เมนูย่อย Canny Edge ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อหาขอบของวัตถุในภาพลักษณ์ฐานสอง และได้ขอบที่หนา 1 พิกเซล
13. เมนูย่อย Blur ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อทำให้ภาพเบลอ ไม่ชัดเจน
14. เมนูย่อย Erosion ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อกร่อนพิกเซล
15. เมนูย่อย Labelling ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อติดป้ายให้กับแต่ละส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันในภาพลักษณ์ฐานสอง
16. เมนูย่อย Filtering ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อกรองเอาพิกเซลที่ต้องการออกมาโดยมีเมนูย่อย 2 เมนูคือเมนู Red(HSV) ใช้สำหรับการกรองเอาพิกเซลที่มีค่าสีแดงในโมเดลสี HSV ออกมาและเมนู Lum(R+G+B/3) ใช้สำหรับการกรองเอาพิกเซลที่มีค่าความสว่างซึ่งได้จากการคำนวณค่าสีในโมเดลสี RGB ออกมา
17. เมนูย่อย Smearing ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อเชื่อมจุดที่มีค่าเป็นสีขาว (255) เหมือนกันให้เป็นเนื้อเดียวกัน
18. เมนูย่อย Threshold ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อแยกความแตกต่างของวัตถุออกจากพื้นหลังด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง
19. เมนูย่อย Contour ใช้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อหาขอบของวัตถุที่มีลักษณะเป็นขอบวัตถุปิด

Window

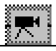
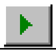
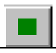
เมนู Window มีเมนูย่อยที่ใช้สำหรับแสดงภาพวีดิทัศน์ที่ยังไม่ได้ประมวลผลภาพ ดังรูปที่ ก.5

รูปที่ ก.5 เมนูย่อยของเมนู Window

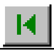
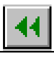
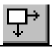
แถบเครื่องมือ

แถบเครื่องมือเป็นปุ่มที่ทำหน้าที่เดียวกับเมนูเพื่อให้ผู้ใช้สะดวกต่อการเรียกใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ รวมถึงมีปุ่มสำหรับควบคุมการเล่นวีดิทัศน์ ปุ่มแต่ละปุ่มทำหน้าที่ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ปุ่มและหน้าที่ของแถบเครื่องมือ

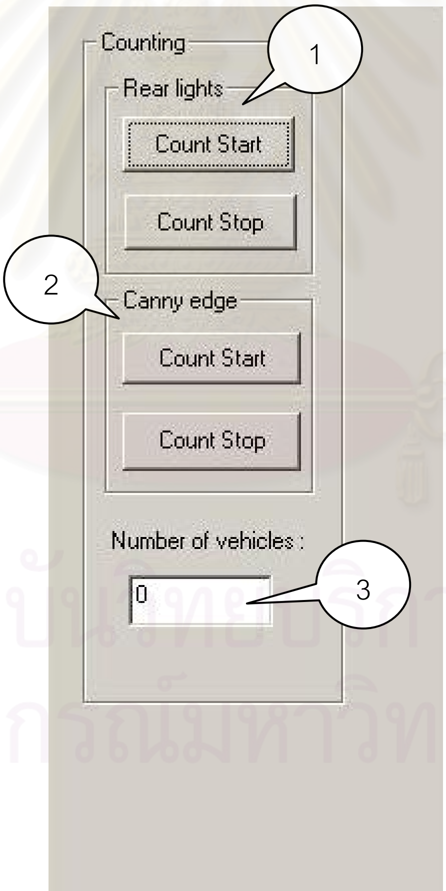
	จับภาพวีดิทัศน์จากเครื่องเล่นวีดิทัศน์
	บันทึกภาพวีดิทัศน์จากเครื่องเล่นวีดิทัศน์เป็นไฟล์เก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์
	เปิดไฟล์วีดิทัศน์ ซึ่งโปรแกรมรองรับไฟล์วีดิทัศน์ในรูปแบบ avi และ mpeg
	เล่นไฟล์วีดิทัศน์
	หยุดการเล่นไฟล์วีดิทัศน์

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	ไปที่ตำแหน่งเริ่มต้นของไฟล์วีดิทัศน์
	ย้อนหลังจากเฟรมปัจจุบันไป 1 เฟรม
	เดินหน้าจากเฟรมปัจจุบันไป 1 เฟรม
	ไปที่ตำแหน่งสิ้นสุดของไฟล์วีดิทัศน์
	ปรับคุณสมบัติของกล้อง
	ขยายขนาดภาพวีดิทัศน์ให้เต็มหน้าจอแสดงภาพวีดิทัศน์
	แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรม

<u>หน้าจอสำหรับการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ</u>

หน้าจอสำหรับการตรวจนับจำนวนยานพาหนะและแสดงผลการนับอยู่ ณ ตำแหน่งทางซ้ายของโปรแกรม รายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 หน้าจอสำหรับการตรวจนับจำนวนยานพาหนะ

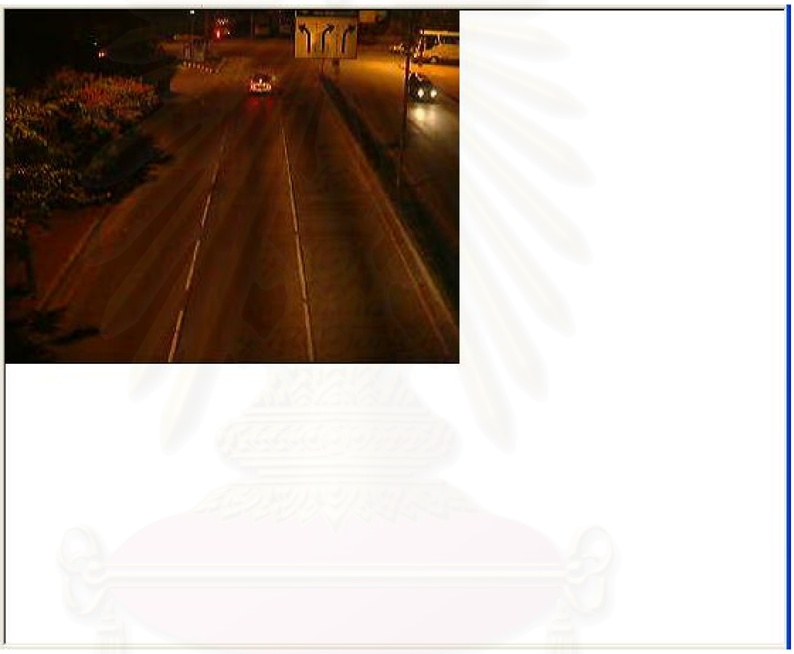
20. ส่วนที่ 1 Rear lights เป็นการตรวจนับจำนวนยานพาหนะโดยพิจารณาคู่ดวงไฟท้าย โดยมีปุ่ม Count Start ใช้ในการเริ่มนับจำนวนยานพาหนะและปุ่ม Count Stop ใช้หยุดการนับจำนวนยานพาหนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

21. ส่วนที่ 2 Canny Edge เป็นการตรวจนับจำนวนยานพาหนะโดยพิจารณาขอบของยานพาหนะ โดยมีปุ่ม Count Start ใช้ในการเริ่มนับจำนวนยานพาหนะและปุ่ม Count Stop ใช้หยุดการนับจำนวนยานพาหนะ
22. ส่วนที่ 3 ใช้แสดงผลการนับจำนวนยานพาหนะ

<u>หน้าจอแสดงภาพวีดิทัศน์</u>

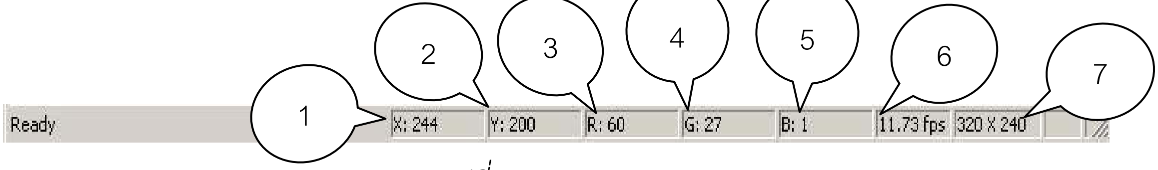
หน้าจอแสดงภาพวีดิทัศน์อยู่ ณ ตำแหน่งทางด้านขวาของโปรแกรม ทำหน้าที่แสดงภาพวีดิทัศน์ที่ผู้ใช้นำเข้าโปรแกรมจากไฟล์วีดิทัศน์ รูปที่ ก.7 แสดงตัวอย่างการแสดงภาพวีดิทัศน์



รูปที่ ก.7 หน้าจอแสดงภาพวีดิทัศน์

<u>แถบสถานะ</u>

แถบสถานะอยู่ ณ ตำแหน่งด้านล่างสุดของโปรแกรม ทำหน้าที่แสดงพิกัดและค่าสีของพิกเซลขณะที่ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ไป ณ จุดใดๆ ในภาพและแสดงข้อมูลของภาพวีดิทัศน์ว่ามีอัตราการจับเฟรมเท่าไรและภาพวีดิทัศน์มีขนาดเท่าไร ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 แถบสถานะ

23. หมายเลข 1 แสดงพิกัดของพิกเซลในแนวแกน x ขณะที่ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ไป ณ จุดใดๆ ในภาพ
24. หมายเลข 2 แสดงพิกัดของพิกเซลในแนวแกน y ขณะที่ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ไป ณ จุดใดๆ ในภาพ
25. หมายเลข 3 แสดงค่าสีของพิกเซลในระนาบ R ขณะที่ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ไป ณ จุดใดๆ ในภาพ
26. หมายเลข 4 แสดงค่าสีของพิกเซลในระนาบ G ขณะที่ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ไป ณ จุดใดๆ ในภาพ
27. หมายเลข 5 แสดงค่าสีของพิกเซลในระนาบ B ขณะที่ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ไป ณ จุดใดๆ ในภาพ
28. หมายเลข 6 แสดงอัตราการจับเฟรม
29. หมายเลข 7 แสดงขนาดของภาพวีดิทัศน์

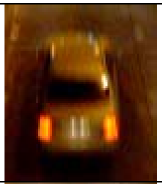
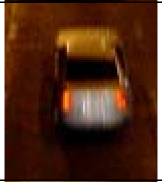
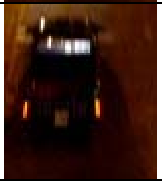
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

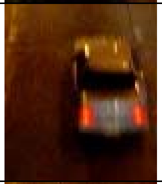
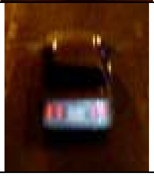
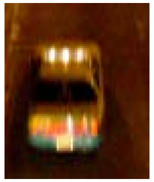
ผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

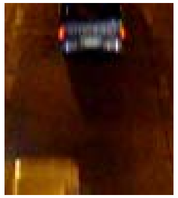
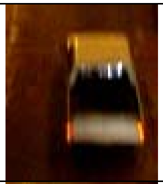
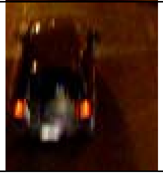
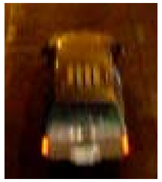
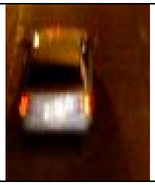
Experiment Data Set 1

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
1		☑	☑		☑		☑		☑	
2		☑	☑		☑		☑		☑	
3		☑	☑		☑		☑		☑	
4		☑	☑		☑		☒	ภาพดวงไฟท้ายไม่สว่างพอ	☑	

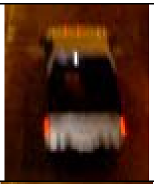
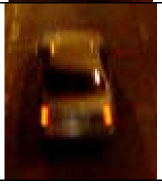
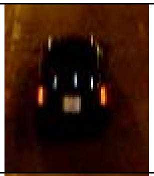
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
5		☑	☑		☒	มีแถบมืด กลางคัน ยานพาหนะ	☑		☒	มีแถบมืด กลางคัน ยานพาหนะ
6		☑	☑		☑		☑		☑	
7		☑	☑		☑		☑		☑	
8		☑	☒	ตรวจจับไฟ ซ้ายข้างเดียว	☑		☑		☑	
9		☑	☒	ตรวจจับไฟ ขวาข้างเดียว	☑		☒	มีจำนวน พิกเซลที่เป็นสี แดงน้อยกว่า ค่าที่กำหนด	☑	

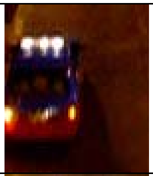
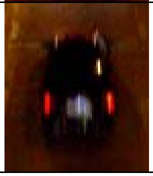
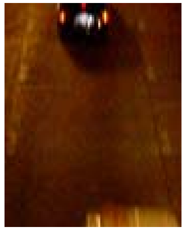
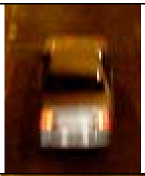
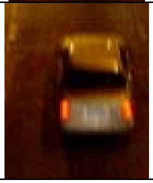
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
10		☑	☑		☒	มียานพาหนะวิ่งเข้ามาในกรอบตรวจจับพร้อมกัน 2 คัน	☑		☑	
11		☑	☑		☑		☑		☑	
12		☑	☑		☑		☑		☑	
13		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑		☑	
14		☑	☑		☑		☑		☑	

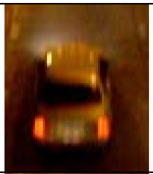
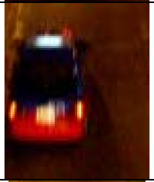
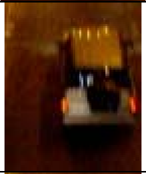
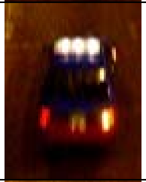
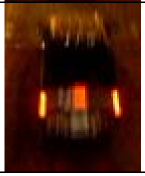
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
15		☑	☑		☑		☑		☑	
16		☑	☑		☑		☑		☑	
17		☑	☑		☒	มีแถบมืดกลางคันยานพาหนะ	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑	
18		☑	☑		☑		☑		☑	
19		☑	☑		☑		☑		☑	

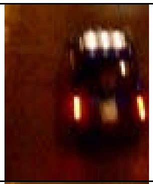
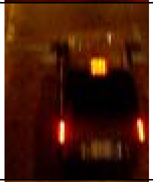
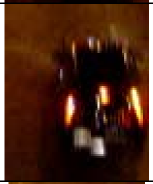
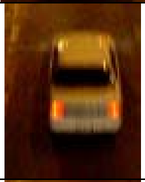
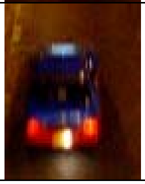
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
20		☑	☑		☑		☑		☑	
21		☑	☑		☑		☑		☑	
22		☑	☑		☒	มียานพาหนะวิ่งเข้ามาในกรอบตรวจจับพร้อมกัน 2 คัน	☑		☑	
23		☑	☑		☑		☑		☑	
24		☑	☑		☑		☑		☑	

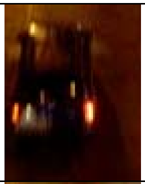
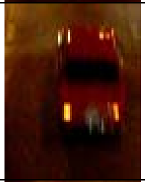
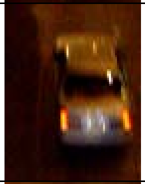
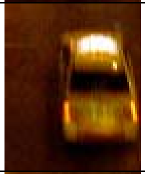
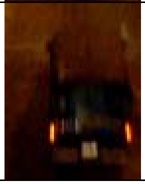
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
25		☑	☑		☑		☑		☑	
26		☑	☑		☑		☑		☑	
27		☑	☑		☑		☑		☑	
28		☑	☑		☑		☑		☑	
29		☑	☑		☑		☑		☑	

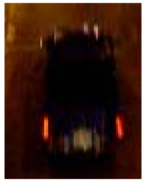
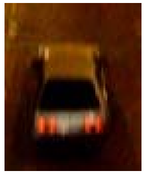
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
30		☑	☑		☑		☑		☑	
31		☑	☑		☑		☑		☑	
32		☑	☑		☑		☑		☑	
33		☑	☑		☑		☑		☑	
34		☑	☑		☑		☑		☑	

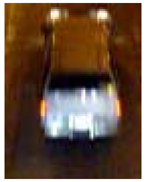
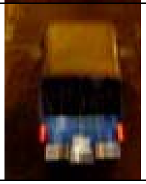
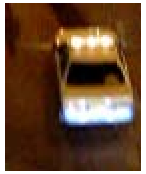
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
35		☑	☑		☑		☑		☑	
36		☑	☑		☑		☑		☑	
37		☑	☑		☑		☑		☑	
38		☑	☑		☑		☑		☑	
39		☑	☑		☑		☑		☑	

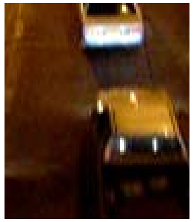
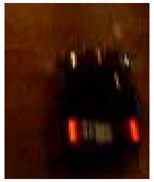
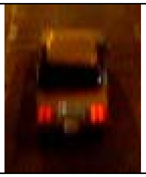
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
40		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑		☑	
41		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด
42		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด
43		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑		☑	

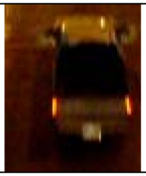
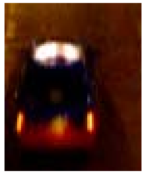
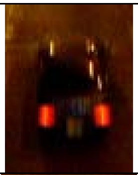
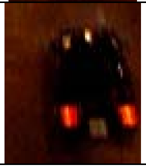
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
44		☑	☒	ไม่เห็นสีแดง เพราะแสงไฟ จากคันหลัง สว่างมาก	☑		☑		☑	
45		☑	☑		☑		☑		☑	
46		☑	☑		☑		☑		☑	
47		☑	☑		☑		☑		☑	
48		☑	☒	ไม่เห็นสีแดง เพราะแสงไฟ จากคันหลัง สว่างมาก	☑		☒	ไม่เห็นสีแดง เพราะแสงไฟ จากคันหลัง สว่างมาก	☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

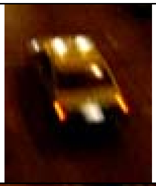
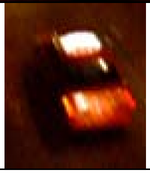
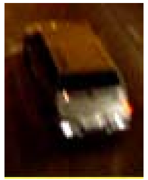
No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
49		☑	☑		☒	มียานพาหนะวิ่งเข้ามาในกรอบตรวจจับพร้อมกัน 2 คัน	☑		☑	
50		☑	☑		☑		☑		☑	
51		☑	☑		☑		☑		☑	
52		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด
53		☑	☑		☑		☑		☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

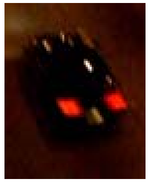
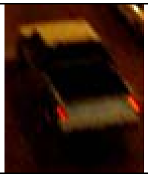
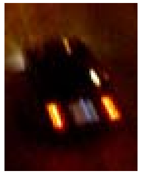
No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
54		☑	☑		☑		☑		☑	
55		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑		☑	
56		☑	☑		☑		☑		☑	
57		☑	☑		☑		☑		☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

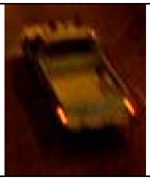
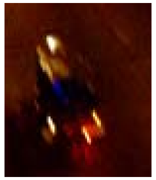
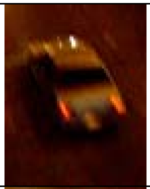
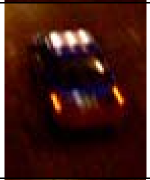
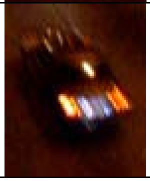
Experiment Data Set 2

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
1		☑	☑		☑		☑		☑	
2		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
3		☑	☑		☑		☑		☑	
4		☑	☒	ไม่เห็นสีแดงเพราะแสงไฟจากคันหลังสว่างมาก	☑		☒	ไม่เห็นสีแดงเพราะแสงไฟจากคันหลังสว่างมาก	☑	

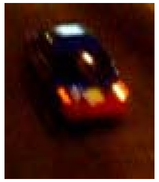
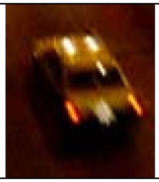
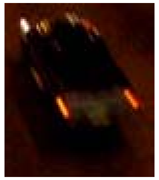
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
5		☑	☑		☑		☑		☑	
6		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
7		☑	☑		☑		☑		☑	
8		☑	☑		☑		☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด
9		☑	☑		☑		☑		☑	

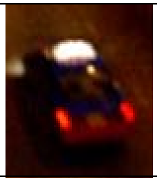
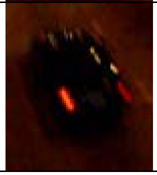
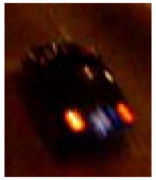
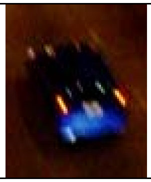
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
10		☑	☑		☑		☑		☑	
11		☑	☒	ตรวจจับไฟขวาดวงเดียว	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด
12		☑	☑		☑		☑		☑	
13		☑	☑		☑		☑		☑	
14		☑	☑		☑		☑		☑	

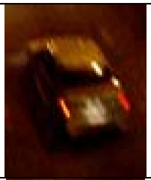
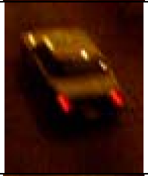
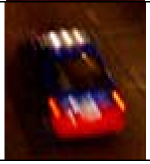
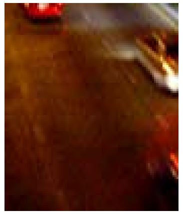
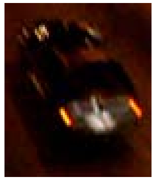
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
15		☑	☒	ตรวจจับไฟซ้ายดวงเดียว	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
16		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑		☑	
17		☑	☑		☑		☑		☑	
18		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
19		☑	☑		☑		☑		☑	

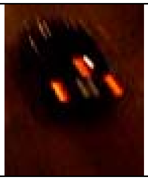
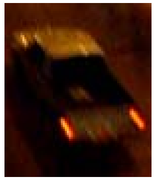
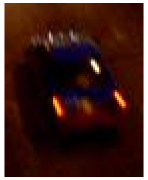
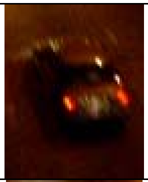
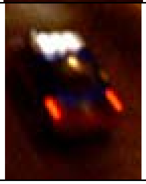
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
20		☑	☑		☑		☑		☑	
21		☑	☒	ตรวจจับไฟซ้ายดวงเดียว	☑		☑		☑	
22		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
23		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
24		☑	☑		☑		☑		☑	

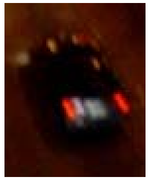
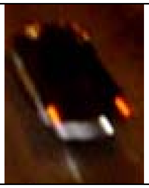
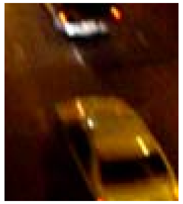
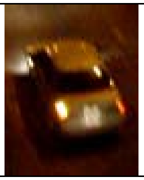
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
25		☑	☑		☑		☑		☑	
26		☑	☑		☑		☑		☑	
27		☑	☑		☑		☑		☑	
28		☑	☑		☒	มียานพาหนะวิ่งเข้ามาในกรอบตรวจจับพร้อมกัน 2 คัน			☑	
29		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	

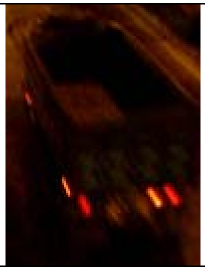
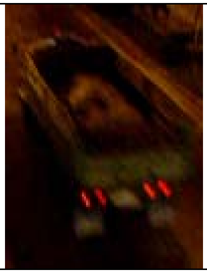
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
30		☑	☑		☑				☑	
31		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด			☑	
32		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
33		☑	☑		☑		☑		☑	
34		☑	☑		☑		☑		☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
35		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
36		☑	☑		☑		☑		☑	
37		☑	☑		☒	มียานพาหนะวิ่งเข้ามาในกรอบตรวจจับพร้อมกัน 2 คัน	☑		☑	
38		☑	☑		☑		☑		☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

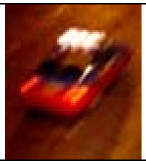
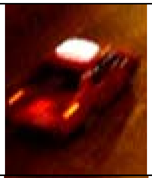
No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
39		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☒	มีแถบมืดกลางคันยานพาหนะ
40		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
41		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
42		☑	☑		☑		☑		☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

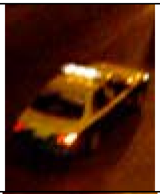
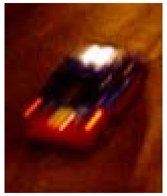
No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
43		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

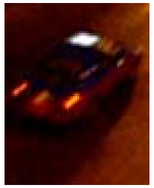
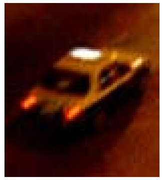
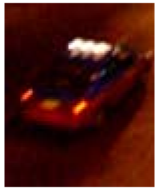
Experiment Data Set 3

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
1		☑	☑		☑		☑		☑	
2		☑	☒	ไม่เห็นสีแดง เพราะแสงไฟ จากคันหลัง สว่างมาก	☒	มีจำนวน พิกเซลที่เป็น ขอบน้อยกว่า ค่าที่กำหนด	☒	ไม่เห็นสีแดง เพราะแสงไฟ จากคันหลัง สว่างมาก	☑	
3		☑	☑		☑		☑		☑	
4		☑	☑		☑		☑		☑	
5		☑	☒	ไม่เห็นสีแดง เพราะแสงไฟ จากคันหลัง สว่างมาก	☑		☒	ไม่เห็นสีแดง เพราะแสงไฟ จากคันหลัง สว่างมาก	☑	

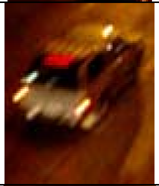
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
6		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑		☑	
7		☑	☑		☑		☑		☑	
8		☑	☑		☑		☑		☑	
9		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด

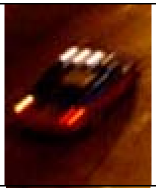
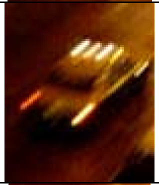
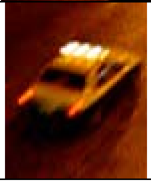
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
10		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
11		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑		☑	
10		☑	☑		☑		☑		☑	
11		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	

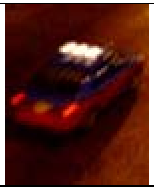
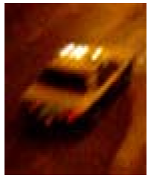
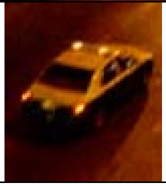
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
12		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด
13		☑	☒	ไม่เห็นสีแดงเพราะแสงไฟจากคันหลัง	☑		☑		☑	
14		☑	☑		☑		☑		☑	
15		☑	☑		☑		☑		☑	
16		☑	☑		☑		☑		☑	

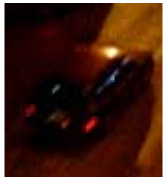
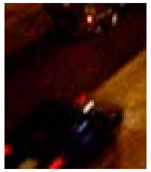
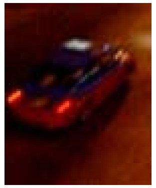
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
17		☑	☑		☑		☑		☑	
18		☑	☑		☑		☑		☑	
19		☑	☑		☑		☑		☑	
20		☑	☑		☑		☑		☑	
21		☑	☒		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด

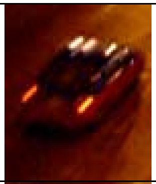
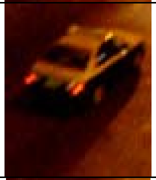
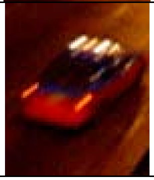
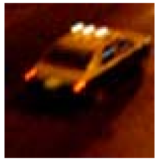
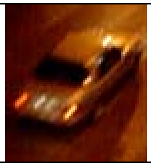
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
22		☑	☑		☑		☑		☑	
23		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑	
24		☑	☑		☑		☒	ภาพดวงไฟท้ายไม่สว่างพอ	☑	
25		☑	☑		☑		☑		☑	

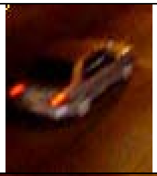
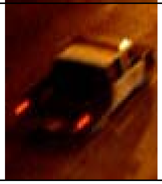
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
26		☑	☒	ภาพดวงไฟท้ายไม่สว่างพอ	☑		☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด
27		☑	☑		☒	มียานพาหนะวิ่งเข้ามาในกรอบตรวจจับพร้อมกัน 2 คัน	☑		☑	
28		☑	☑		☑		☑		☑	
29		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	

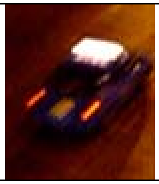
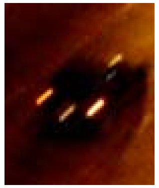
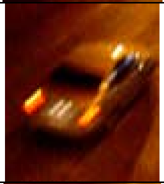
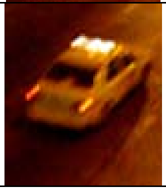
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
30		☑	☑		☑		☑		☑	
31		☑	☑		☑		☑		☑	
32		☑	☑		☑		☑		☑	
33		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑	
34		☑	☑		☑		☑		☑	

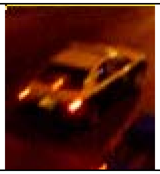
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
35		☑	☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นสีแดงน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☑		☑	
36					☑				☑	
37		☑	☑		☑		☑		☑	
38		☑	☑		☑		☑		☑	
39		☑	☑		☑		☑		☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
40		☑	☑		☑		☑		☑	
41		☑	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด	☑		☒	มีจำนวนพิกเซลที่เป็นขอบน้อยกว่าค่าที่กำหนด
42		☑	☑		☑		☑		☑	
43		☑	☑		☑		☑		☑	
44		☑	☑		☑		☑		☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Vehicles	Human counted	Tail vertical angle 30	หมายเหตุ	Edge vertical angle 30	หมายเหตุ	Tail vertical angle 45	หมายเหตุ	Edge vertical angle 45	หมายเหตุ
45		☑	☑		☑		☑		☑	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

คุณสมบัติของกล้อง

Fuji FinePix F601 Zoom Digital Camera

View Details	
Key Features	
Image Sensor Type	CCD
Resolution	3.3 Megapixel
Optical Zoom	3x
Camera Type	Standard Point and Shoot
Lens	
Interchangeable Lens	Without Interchangeable Lens
Optical Zoom	3x
35mm Zoom Lens	36 - 108 mm
Digital Zoom	4.4x
Focus Type	Autofocus & Manual Focus
Focus Range	24 in. to Infinity (w)
Macro Focus Range	8.4 - 31.2 in. (w)
Focal Length	8.3 - 24.9 mm
Image Quality	
Resolution	3.3 Megapixel
Resolutions	1280 x 960

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Video	
Video Resolutions	320 x 240 (QVGA)
Video Speed	15 fps
Max Movie Length	Without Limit (Depends on the camera free memory size)
Video Format	AVI
Exposure Control	
ISO Speeds	1600
Aperture Range	f12.4/f12.4 (w/t) - f2.8/f4.5 (w/t)
Shutter Speed	3 - 1/2000 sec
White Balance	Manual
Frames Per Second	5 Frames
Storage	
Memory Type	SmartMedia Card
Compression Modes	Basic
Compression Type	JPEG
File Size (High Res.)	1.2 MB (107 images on 128MB card)
File Size (Low Res.)	.13 MB (about 985 images on 128MB card)
Flash	
Flash Type	Built-In
Flash Functions	Slow Sync
Viewfinder / Display	
Viewfinder	Optical (Through-the-lens)
LCD Panel	With LCD Panel
LCD Panel Size	1.5 in.
LCD Screen Resolution	110,000 pixels
LCD Protected Position	Without LCD Protected Position
Interfaces	
Interface	USB
Video Interface	Video Out
Power Supply	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Battery Type	Proprietary Lithium
Battery Life	300 Images
Included Features	
Self Timer	10 Sec.
Mp3 Built In	Without MP3
Built-in Microphone	With Built-in Microphone
Built-in Speaker	With Built-in Speaker
Tripod Mount	With Tripod Mount
System Requirements	
Operating System	Microsoft Windows XP
Dimensions	
Width	2.8 in.
Depth	1.3 in.
Height	3.7 in.
Weight	0.49 lb.
Miscellaneous	
Exterior Color	Silver
Included Accessories	Strap
MPN	fpf601
Product ID	20234731
More Information	
The FinePix F601 Zoom integrates full digital multi- media video and sound with Fujifilm's new 3.1 Effective MegaPixel Super CCD, and fitted to a sharp 3X optical zoom in the stunning trademark vertical design. Fujifilm's new 3rd generation Super CCD system produces a maximum image file size of 6.0 Million Pixels. Also the new 3rd generation 3.1 million effective pixel Super CCD system can yield 1600 ISO at 1 MegaPixel with minimal electronic noise, higher shutter speeds and extraordinary performance. An optional cradle helps charge the Li-ion battery and acts as a simple USB computer docking station or base for PC-Cam videoconferencing, and can also connect to your TV.	

Sony Cyber-Shot DSC-F717 Digital Camera

View Details	
Key Features	
Image Sensor Type	CCD
Resolution	5.24 Megapixel
Optical Zoom	5x
Camera Type	Standard Point and Shoot
Lens	
Interchangeable Lens	Without Interchangeable Lens
Optical Zoom	5x
35mm Zoom Lens	38 - 190 mm
Digital Zoom	2x
Focus Type	Autofocus & Manual Focus
Focus Range	20.4 in. to Infinity (w)
Macro Focus Range	0.8 - 20.4 in. (w)
Focal Length	9.7 - 48.5 mm
Image Quality	
Resolution	5.24 Megapixel
Resolutions	1280 x 960
Video	
Video Resolutions	160 x 112
Video Speed	16 fps
Max Movie Length	Without Limit (Depends on the camera free memory size)

Video Format	MPEG
Exposure Control	
ISO Speeds	800
Aperture Range	f8 (w) - f2 (w)
Shutter Speed	30 - 1/1000 sec
White Balance	Auto
Frames Per Second	2 Frames
Storage	
Memory Type	Memory Stick
Compression Modes	Uncompressed
Compression Type	TIFF
File Size (High Res.)	2.51 MB (51 images on 128MB card)
File Size (Low Res.)	.07 MB (about 1,829 images on 128MB card)
Flash	
Flash Type	Built-In & External
Flash Functions	Red-eye Reduction Flash
Viewfinder / Display	
Viewfinder	Optical (Through-the-lens)
LCD Panel	With LCD Panel
LCD Panel Size	1.8 in.
LCD Screen Resolution	123,000 pixels
LCD Protected Position	Without LCD Protected Position
Interfaces	
Interface	USB
Video Interface	Video Out
Power Supply	
Battery Type	Proprietary Lithium
Battery Life	410 Images
Included Features	
Self Timer	10 Sec.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Mp3 Built In	Without MP3
Built-in Microphone	With Built-in Microphone
Built-in Speaker	With Built-in Speaker
Tripod Mount	With Tripod Mount
System Requirements	
Operating System	Microsoft Windows XP Professional
Dimensions	
Width	4.75 in.
Depth	6 in.
Height	2.75 in.
Weight	1.5 lb.
Warranty	
Warranty	1 Year
Miscellaneous	
Included Accessories	AC Power Adapter
Product ID	20255701
More Information	
Combining point-and-shoot convenience with a host of manual photographic controls this camera is sure to inspire digital photographers to expand creativity and get better results. Armed with high-quality Carl Zeiss optics ISO sensitivities of 100/200/400/800 and shutter speeds of up to 1/2000 second in auto mode the DSC-F717 produces stellar results even in the most demanding of shooting situations.	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

บทความที่นำเสนอในงานการประชุมวิชาการ

1. บทความเรื่อง “การตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนโดยการประมวลผลภาพวีดิทัศน์” นำเสนอในงานการประชุมวิชาการด้านวิทยาการและวิศวกรรมคอมพิวเตอร์แห่งชาติประจำปี 2547 : ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จัดการประชุมวิชาการด้านวิทยาการและวิศวกรรมคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ประจำปี 2547 ในระหว่างวันที่ 21 - 22 ตุลาคม 2547 ณ โรงแรมเจบี หาดใหญ่ จ.สงขลา บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of The 8^{th} National Computer Science and Engineering Conference 2004 หน้า 245 – 252

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนโดยการประมวลผลภาพวีดิทัศน์
Vehicle Detection at Night Using Video Image Processing

เมทินี วัฒนะเมธานนท์* สืบสกุล พิภพมงคล*และ สรวิศ นฤปิติ**
*ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
**ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพ 10330
*e-mail: Metinee.w@student.chula.ac.th, Suebskul.p@chula.ac.th, kong@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้เสนอวิธีการประมวลผลภาพเบื้องต้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนจากภาพวีดิทัศน์ โดยใช้วิธีการหาขอบของยานพาหนะในภาพ ซึ่งจะหาขอบของยานพาหนะเฉพาะในบริเวณที่กำหนดเท่านั้น ผลที่ได้จากการประมวลผลภาพเบื้องต้นคือตำแหน่งของยานพาหนะและสามารถตรวจสอบความแม่นยำในการตรวจจับได้จากการนับจำนวนยานพาหนะที่แล่นผ่านในช่วงเวลาหนึ่ง

คำสำคัญ: การตรวจจับยานพาหนะ, การตรวจจับในเวลากลางคืน, การประมวลผลภาพวีดิทัศน์

Abstract

This paper presents a image pre-processing to improve vehicle detection at night using video image processing. Vehicles' edge are detected in a defined area to find a position of a vehicle. Vehicles passing through the defined area are counted to examine accuracy of the method.

Key-Words: vehicle detection, detection at night, video image processing

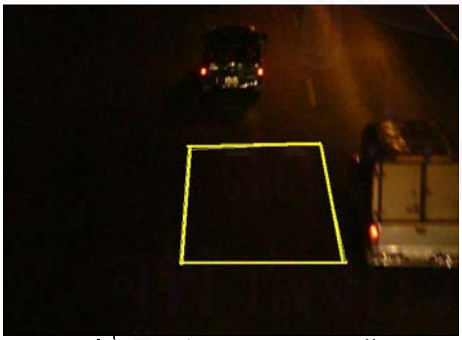
1. บทนำ

ระบบงานจราจรเป็นระบบงานหนึ่งที่สามารถนำการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในการประมวลผลเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลต่างๆ ด้านจราจร โดยติดตั้งกล้องแล้วนำภาพที่ได้ไปประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการตรวจจับยานพาหนะนั้นจำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่มีคุณภาพเพราะต้องนำผลลัพธ์ที่ได้ไปประมวลผลต่อไปอีก โดยเฉพาะการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่น่าท้าทาย เนื่องจากสภาพแวดล้อมค่อนข้างมืดไม่เอื้ออำนวยต่อการตรวจจับเท่าในเวลากลางวัน อีกทั้งสภาพแสงที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม จึงทำให้การตรวจจับยานพาหนะยังไม่แม่นยำมากนัก งานวิจัยที่ผ่านมาของ R.Taktak et. al. [1] ได้เสนอการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนจากไฟหน้าโดยใช้การรู้จำแบบรูป (Pattern recognition) R.Cucchiara et.al. [2][3] เสนอวิธีการตรวจจับยานพาหนะที่ใช้ในระบบงานควบคุมจราจร ที่มีการทำงาน 2 ส่วนหลักคือ ส่วนการประมวลผลภาพ เป็นการดึงข้อมูลจากภาพ โดยใช้เทคนิค Spatio-temporal วิเคราะห์ภาพในเวลากลางวัน และใช้เทคนิคสัณฐานวิทยา (Morphological) วิเคราะห์ภาพเพื่อตรวจจับไฟ

หน้าของยานพาหนะในเวลากลางคืน อีกส่วนหนึ่งเป็นการนำเอาข้อมูลที่ได้จากส่วนแรกมาออกแบบเป็นกฎเกณฑ์พื้นฐานและสร้างสัญลักษณ์เพื่อใช้ในการติดตามยานพาหนะในภาพต่อไป M.Y.Chern and P. Hou [4] ได้ติดกล้องบนยานพาหนะแล้วตรวจจับไฟท้ายของยานพาหนะและรู้จำช่องทางจราจรเพื่อช่วยนำร่องในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นไปด้วยความปลอดภัย จากงานวิจัยที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นใช้วิธีการตรวจจับยานพาหนะจากการตรวจสอบค่าความสว่างจากดวงไฟ ซึ่งอาจทำให้การตรวจจับผิดพลาดได้เนื่องจากค่าความสว่างไม่คงที่และมีสัญญาณรบกวนมาก งานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการประมวลผลภาพเบื้องต้นโดยใช้วิธีการหาขอบของยานพาหนะในกรอบตรวจจับเพื่อช่วยให้การตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนในภาพวีดิทัศน์มีความแม่นยำมากขึ้น

2. ขั้นตอนการตรวจจับยานพาหนะ

เมื่อรับภาพเข้ามา ผู้ใช้จะต้องกำหนดกรอบตรวจจับในช่องทางจราจรที่ยานพาหนะวิ่งผ่านและจะประมวลผลภาพในบริเวณกรอบตรวจจับที่กำหนดเท่านั้น เพื่อลดจำนวนจุดภาพที่นำมาประมวลผลต่อไป ดังรูปที่ 1



รูปที่1 การกำหนดกรอบตรวจจับ

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายเฉพาะบริเวณกรอบตรวจจับ เห็นได้ว่าแต่ละจุดภาพที่เป็นพื้นถนนจะมีค่าความเข้มแสงที่มีความใกล้เคียงกันมาก แต่ในขณะที่มียานพาหนะปรากฏอยู่จะทำให้เกิดความเปรียบต่างของค่าความเข้มแสงระหว่างพื้นถนนกับยานพาหนะมาก ทำให้เกิดเป็นลักษณะขอบของยานพาหนะขึ้นมา งานวิจัยนี้จึงได้ใช้ลักษณะพื้นผิวขอบในการตรวจหายานพาหนะ โดยใช้วิธีแคนนี (Canny) แล้วปรับภาพขอบที่ได้ให้เรียบเพื่อง่ายต่อการประมวลผลในขั้นตอนถัดไป โดยจะทำการขยายขนาด (Dilation) ภาพขอบที่ได้และทำการเชื่อมขอบโดยวิธี Run-length smearing สุดท้ายเป็นการระบุตำแหน่งของยานพาหนะโดยใช้เทคนิคการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected component labeling) ซึ่งวิธีการต่างๆที่ได้นำมาใช้ในการตรวจจับยานพาหนะนั้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การปรับภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับเทา

ภาพก่อนที่จะนำมาหาขอบนั้น เป็นภาพสีในโมเดล RGB ซึ่งต้องแปลงเป็นภาพระดับเทาเพื่อใช้ในการประมวลผลขั้นต่อไป การแปลงโมเดลสี RGB เป็นค่าระดับเทาแสดงได้ดังสมการที่ 1

$$Gray = 0.299R + 0.587G + 0.144B \qquad (1)$$

โดยที่ R, G และ B คือค่าความเข้มของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินในจุดภาพที่สนใจ

2.2 การหาขอบโดยวิธีแคนนี (Canny)

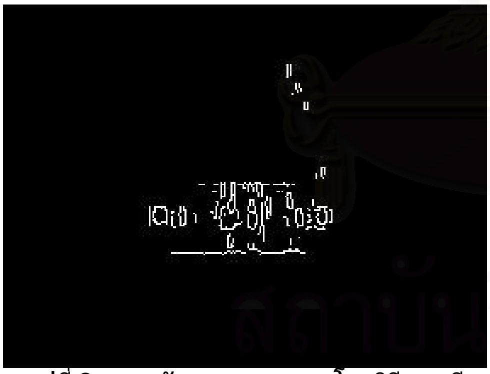
การหาขอบของวัตถุโดยวิธีโซเบล (Sobel) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้หาขอบของวัตถุในภาพ สามารถทำได้โดยใช้หน้ากาก (Mask) ขนาด 3x3 พิกเซลทำคอนโวลูชัน (Convolution) กับภาพในทิศทางแกน x และ y ซึ่งมีความง่ายและไม่ซับซ้อน ส่วนการหาขอบของวัตถุโดยวิธีแคนนีนั้นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่หาขอบของวัตถุในภาพได้อย่างมีคุณภาพ คือสามารถหาขอบภาพที่มีอยู่จริงและสัญญาณรบกวนถูกแสดงออกมาเป็นขอบน้อยที่สุด โดยมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากการขจัดสัญญาณรบกวน โดยทำคอนโวลูชันด้วยตัวดำเนินการแบบเกาส์เซียน

(Gaussian) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น σ จากนั้นคำนวณหาความเป็นขอบ (Gradient magnitude) และทิศทางตั้งฉากกับขอบในแต่ละพิกเซล (x,y) ด้วยสมการที่ 2 และสมการที่ 3 ตามลำดับ[6]

$$|\nabla f_G(x,y)| = \sqrt{{G_x}^2 + {G_y}^2} \qquad (2)$$

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1}(\frac{G_y}{G_x}) \qquad (3)$$

หลังจากนั้นทำขอบภาพให้บางด้วยวิธีการกำจัดค่าที่ไม่มากสุด (Non-maximum Suppression) ซึ่งวิธีนี้เป็นการกำจัดจุดภาพที่มีค่าระดับเทาต่ำกว่าจุดภาพใกล้เคียง (Neighbors of a pixel) ที่มีพิกัดในแนวทิศทางของเกรเดียนต์ (Gradient) ให้เป็น 0 ต่อไปกำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่า T_h และ T_l โดยให้จุดภาพที่มีค่ามากกว่า T_h เป็นขอบภาพใหม่และจากจุดที่เป็นขอบภาพใหม่ กำหนดให้จุดภาพที่มีค่าน้อยกว่า T_l และอยู่ติดกับจุดภาพที่เป็นขอบภาพใหม่ถือว่าเป็นขอบภาพด้วย ผลลัพธ์ที่ได้เป็นภาพลักษณ์ฐานสอง (Binary image) ที่แสดงเฉพาะโครงร่างของยานพาหนะเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพหลังจากการหาขอบโดยวิธีแคนนี

2.3 การขยายขนาด (Dilation)

การปรับภาพให้เรียบทำได้โดยการใช้เทคนิคการขยายขนาดดังสมการที่ 4[5]

$$D(A,B) = A \oplus B = \bigcup_{\beta \in B} (A+B) \qquad (4)$$

โดยที่ A คือเซ็ตของเวกเตอร์ที่แทนจุดต่างๆบนภาพ และ B คือเซ็ตของเวกเตอร์ที่แทนส่วนประกอบโครงสร้าง (Structure element) ในงานวิจัยนี้ใช้ส่วนประกอบโครงสร้างแบบสี่เหลี่ยมขนาด 3x3 พิกเซล การขยายขนาดจะทำให้ขอบภาพมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ส่วนย่อยของภาพที่ตรวจจับขอบได้เกาะกลุ่มเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมที่ภายในตัน (Filled rectangle) จากการทดลองการขยายขนาดเพื่อให้ได้การเกาะกลุ่มที่ดีนั้นต้องทำทั้งหมด 3 รอบ เพราะถ้าทำน้อยกว่า 3 รอบจะไม่ได้กลุ่มเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมที่ภายในตัน ถ้าทำมากกว่า 3 รอบจะได้กลุ่มเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมที่ภายในตันมากเกินไป ซึ่งอาจจะรวมกลุ่มวัตถุที่ไม่ใช่ยานพาหนะมาด้วย หลังจากขั้นตอนนี้ภาพที่ได้เป็นยานพาหนะที่เชื่อมต่อเป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ภาพหลังจากการขยายขนาด

2.4 การเชื่อมจุดโดยวิธี Run-length smearing

ขั้นตอนนี้เป็นการเชื่อมจุดที่อยู่ในยานพาหนะให้เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น โดยใช้เทคนิค Run-length smearing ในแนวนอนและแนวดิ่ง ซึ่งการทำ Run-length smearing ในแนวนอนนั้นทำได้โดยการหาจุดพิกเซลแรกที่เป็นสีขาว(มีค่าเป็น 1) ในภาพจากซ้ายไปขวาจนพบจุดที่เป็นสีขาวอีกจุดแล้วจึงจะคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดนั้น ถ้าค่าระยะห่างมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งจะทำการเติมเต็มสีขาวในระยะห่างนั้น แต่ถ้าระยะห่างมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งก็ไม่ต้องเติมเต็มด้วยสี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

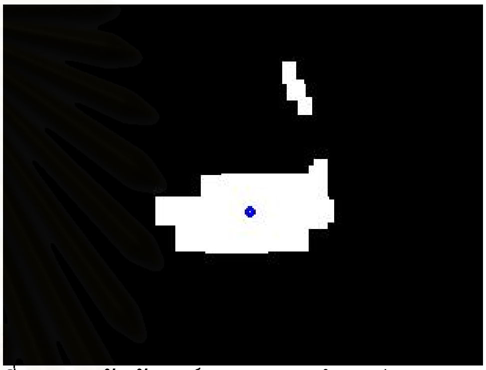
ขาวในระยะห่างนั้นแล้วทำตามขั้นตอนเช่นนี้เรื่อยไปจนหมดทั้งกรอบตรวจจับ หลังจากทำ Run-length smearing ในแนวนอนแล้วจึงทำการ Run-length smearing ในแนวดิ่งเพื่อเติมเต็มสีขาวในแนวดิ่ง โดยทำเช่นเดียวกับการทำ Run-length smearing ในแนวนอน แตกต่างกันเพียงทำตามแนวดิ่งของภาพเฉพาะในพื้นที่ของกรอบตรวจจับ ทำให้ได้บริเวณสีขาวที่เป็นพื้นยานพาหนะที่เชื่อมต่อกันเป็นเนื้อเดียว แสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 ภาพหลังจากทำ Run-length smearing ทั้งแนวนอนและแนวดิ่ง

2.5 การระบุตำแหน่งยานพาหนะโดยวิธีการติดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน (Connected Component Labeling)

ขั้นตอนนี้ได้เป็นการหาตำแหน่งที่แน่นอนของยานพาหนะโดยตำแหน่ง (x,y)ในแต่ละพิกเซลจะถูกรวมกลุ่มกันได้เป็นตำแหน่งของยานพาหนะ

การติดป้ายให้กับส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันนั้นข้อมูลนำเข้าเป็นภาพขาวดำที่มีค่า 0 เป็นสีดำและมีค่า 1 เป็นสีขาวซึ่งจะ "ติดป้าย" ส่วนที่เป็นสีขาวโดยในขั้นตอนวิธีจะใช้คิว (Queue) ในการเก็บจุดที่อยู่ติดกันเริ่มต้นด้วยการหาจุดพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 แล้วนำตำแหน่งของจุดนั้นไปเก็บในคิวพร้อมกับตรวจสอบพิกเซลรอบข้าง 8 ทิศทาง (8-Neighbor) ของจุดนั้นว่ามีค่าเป็น 1 หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 1 ให้นำตำแหน่งไปเก็บในคิว จากนั้นจึงดึงค่าในคิวออกทีละค่าเพื่อติดป้ายให้กับตำแหน่งนั้นแล้วตรวจสอบพิกเซลรอบข้าง 8 ทิศทางของค่าที่ดึงออกมาว่ามีค่าเป็น 1 หรือไม่ ถ้ามีค่าเป็น 1 ให้นำตำแหน่งไปเก็บในคิว ทำกระบวนการนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าคิวจะว่างแล้วจึงเริ่มกระบวนการหาค่าที่เป็น 1 ใหม่ เมื่อติดป้ายให้กับส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันแล้วจะระบุตำแหน่งของแต่ละกลุ่มป้ายนั้นด้วย โดยพิจารณาจากกลุ่มของพิกเซลที่เกาะเป็นก้อนเดียวกันที่เป็นสีขาว (มีค่าเป็น 1) ที่มีจำนวนพิกเซลมากที่สุดและการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มพิกเซลนั้นแล้วแทนสัญลักษณ์วงกลมในกลุ่มพิกเซลนั้น เพื่อแทนตำแหน่งของยานพาหนะ ดังตัวอย่างรูปที่ 5



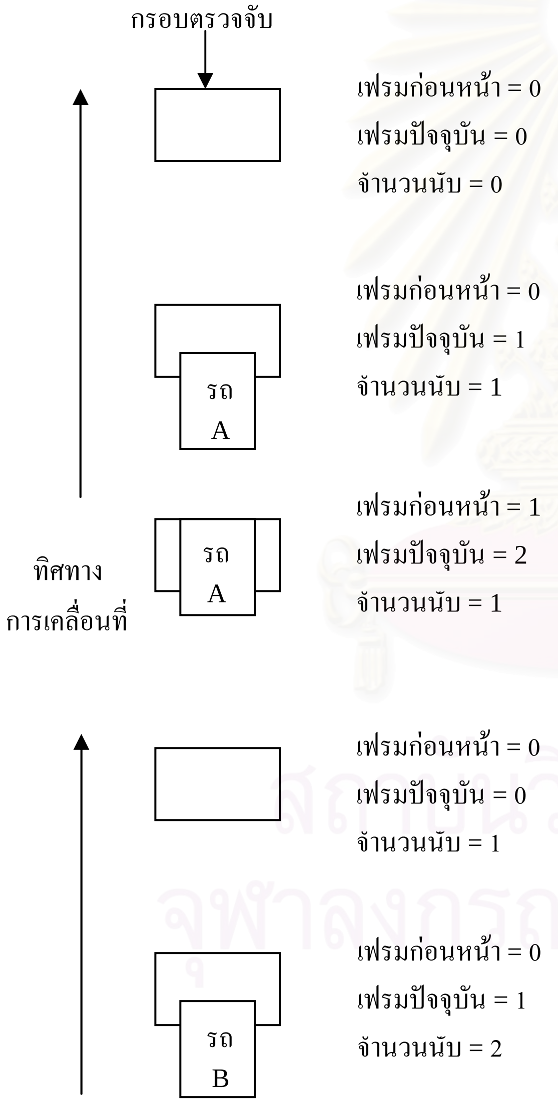
รูปที่ 5 แสดงสัญลักษณ์วงกลมแทนตำแหน่งยานพาหนะ

2.6 การนับจำนวนยานพาหนะ

หลังจากได้ตำแหน่งของยานพาหนะแล้วขั้นตอนต่อไปคือการนับจำนวนยานพาหนะที่แล่นผ่านเข้ามาในบริเวณกรอบตรวจจับโดยจะนับยานพาหนะเมื่อมียานพาหนะเริ่มปรากฏเข้ามาในบริเวณกรอบตรวจจับ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากจำนวนของยานพาหนะในเฟรมก่อนหน้าต้องเป็น 0 และจำนวนยานพาหนะในเฟรมปัจจุบันนี้ต้องมากกว่า 0 ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 อธิบายได้ว่าเมื่อในบริเวณกรอบตรวจจับไม่มียานพาหนะ นั่นคือเป็นภาพพื้นถนน ดังนั้นจำนวนยานพาหนะในเฟรมปัจจุบันและเฟรมก่อนหน้าจะมีค่าเป็น 0 แต่ถ้ามียานพาหนะคันแรก (A) เริ่มปรากฏเข้ามาทำให้จำนวนยานพาหนะในเฟรมปัจจุบันมีค่าเป็น 1 พร้อมกับตรวจสอบว่าเฟรมก่อนหน้ามีค่าเป็น 0 หรือไม่

ถ้าเป็น 0 ให้นับจำนวนยานพาหนะเป็น 1 คัน ถ้าไม่เป็น 0 ให้ตรวจสอบในเฟรมถัดไปเรื่อยๆจนกระทั่งเป็นพื้นถนนจะได้จำนวนยานพาหนะในเฟรมปัจจุบันและเฟรมก่อนหน้ามีค่าเป็น 0 เมื่อมียานพาหนะคันที่ 2 (B) เริ่มปรากฏเข้ามาจะตรวจสอบตามเงื่อนไขว่าจำนวนของยานพาหนะในเฟรมก่อนหน้าต้องเป็น 0 และจำนวนยานพาหนะในเฟรมปัจจุบันนี้ต้องมากกว่า 0 หรือไม่ ถ้าใช่จึงนับจำนวนยานพาหนะเพิ่มขึ้นเป็น 2 คัน เมื่อมียานพาหนะแล่นผ่านเข้ามาอีกก็ตรวจสอบเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ทำให้สามารถนับจำนวนยานพาหนะได้

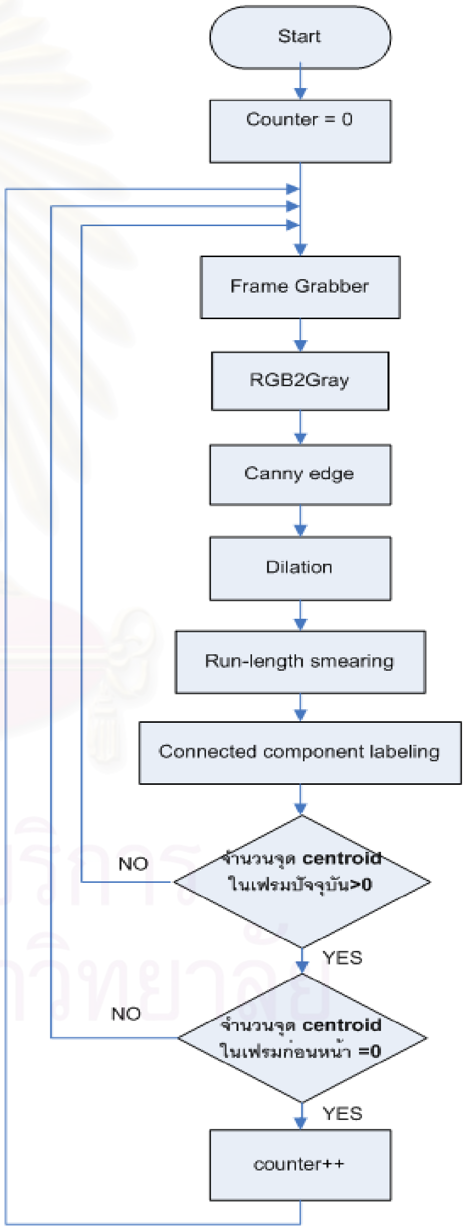


รูปที่ 6 แสดงการนับยานพาหนะ

เทคนิคนี้ตรวจนับจำนวนยานพาหนะได้ดีก็ต่อเมื่อบริเวณกรอบตรวจจับที่กำหนดมีขนาดเล็กพอที่จะมียานพาหนะอยู่ในนั้นเพียงคันเดียวในช่วงเวลาหนึ่งๆ

2.7 แผนผังแสดงการทำงานโดยรวม

ตามที่ได้อธิบายรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนไว้ในข้างต้นแล้ว สามารถนำมาเขียนสรุปเป็นแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังการทำงานของขั้นตอนวิธี

3. การทดลองและผลการทดลอง

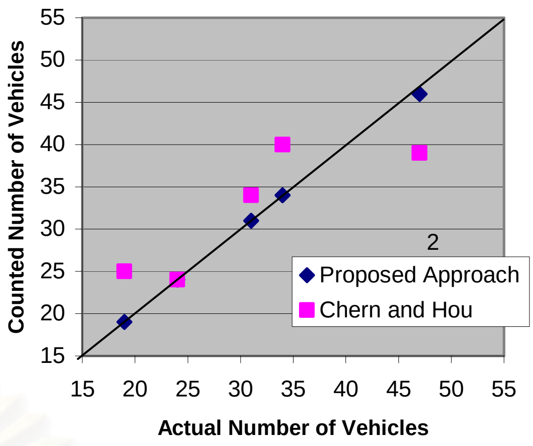
งานวิจัยนี้ทดสอบวิธีการประมวลผลภาพเบื้องต้นกับภาพวีดิทัศน์ในช่วงเวลากลางคืนที่นำมาจาก 2 แหล่ง แหล่งแรกเป็นภาพถนนในตัวเมือง (v1) ดังรูปที่ 8 ซึ่งมีความแสงสว่างมากกว่า แหล่งที่ 2 เป็นภาพถนนชานเมือง (v2) ดังรูปที่ 9 ภาพวีดิทัศน์ทั้งสองแหล่งมีความละเอียดภาพ 320 x 240 พิกเซล เฟรมเรต 15 เฟรมต่อวินาที โดยแต่ละแหล่งบันทึกภาพยานพาหนะซึ่งแล่นในทิศออกจากกล้องวีดิทัศน์เป็นเวลานาน 10 นาที สามารถแบ่งภาพได้ทั้งหมด 5 คลิปในเวลาที่แตกต่างกัน และทำการประมวลผลภาพในบริเวณกรอบตรวจจับที่กำหนดใน 1 ช่องทางจราจรที่ยานพาหนะวิ่งผ่าน โดยที่วิธีการตรวจจับยานพาหนะของ M.Y.Chern and P.Hou [4] ใช้เทคนิคการตรวจสอบค่าความสว่างของดวงไฟแต่เทคนิคที่นำเสนอใช้วิธีการหาขอบยานพาหนะโดยวิธีแคนนี แสดงผลการนับจำนวนยานพาหนะดังตารางที่ 1

รูปที่ 8 แสดงภาพในตัวเมือง

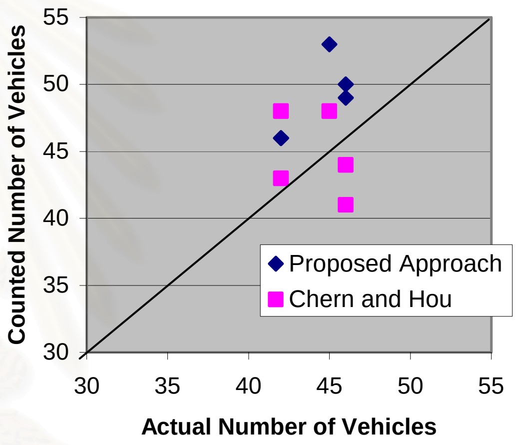
รูปที่ 9 แสดงภาพชานเมือง

ตารางที่ 1 ผลการนับจำนวนยานพาหนะ

ภาพวีดิทัศน์	คลิปที่	จำนวนยานพาหนะ(คัน)		
		ตรวจจับด้วยคน	เทคนิคที่นำเสนอ	เทคนิคของ Chern & Hou[4]
ภาพถนนในตัวเมือง (v1)	1	31	31	34
	2	34	34	40
	3	24	24	24
	4	19	19	25
	5	47	46	39
ภาพถนนชานเมือง (v2)	1	42	46	48
	2	46	49	44
	3	46	50	41
	4	42	46	43
	5	45	53	48



รูปที่ 10 เปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับจากภาพถนนในตัวเมือง



รูปที่ 11 เปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะที่ตรวจนับจากภาพถนนชานเมือง

ผลการทดลองกับภาพวีดิทัศน์ที่ถ่ายจากถนนในตัวเมืองและชานเมืองสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างจำนวนยานพาหนะที่นับได้จริงในแนวแกน x กับจำนวนยานพาหนะที่นับได้ในแต่ละวิธีในแนวแกน y ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ตามลำดับ ถ้าจำนวนยานพาหนะที่ได้จากการตรวจนับมีค่าเข้าใกล้ค่าที่นับได้จริงแล้วจุดที่ได้จะเข้าใกล้สมการเส้นตรง x = y จากกราฟรูปที่ 10 แสดงว่าการตรวจนับยานพาหนะจากภาพถนนในตัวเมืองโดยใช้วิธีที่นำเสนอมีความถูกต้องกว่าใช้วิธีของ M.Y.Chern and P.Hou [4] และจากกราฟรูปที่ 11 แสดงว่าการตรวจนับยานพาหนะจากภาพ

ถนนชานเมืองโดยใช้วิธีที่นำเสนอและวิธีของ M.Y.Chern and P.Hou [4] มีความถูกต้องใกล้เคียงกัน

ผลการนับจำนวนยานพาหนะแบ่งความผิดพลาดออกเป็น 2 แบบ คือ ความผิดพลาดเชิงลบ (Negative error) เกิดจากการนับจำนวนยานพาหนะขาดและความผิดพลาดเชิงบวก (Positive error) เกิดจากการนับจำนวนยานพาหนะเกิน ซึ่งค่าผิดพลาดดังกล่าวสามารถหาเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Percent Error) ของการนับจำนวนยานพาหนะและหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของค่าความผิดพลาดได้ ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธีการตรวจจับยานพาหนะโดยใช้วิธีที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่าวิธีของ M.Y.Chern and P.Hou [4] ทั้งในภาพถนนในตัวเมืองและชานเมือง

ความผิดพลาดของการนับจำนวนยานพาหนะโดยใช้เทคนิคที่ได้นำเสนอนั้น มีสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบเนื่องจากยานพาหนะที่แล่นผ่านบริเวณกรอบตรวจจับมีความเร็วมากจนไม่มีช่องว่างที่เป็นพื้นถนนระหว่างยานพาหนะทั้ง 2 คันจึงทำให้ขั้นตอนวิธีในการนับผิดพลาดและสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกเนื่องจากตรวจจับยานพาหนะที่มีความยาวมากทำให้เกิดช่องว่างระหว่างคัน ส่วนความผิดพลาดของการนับจำนวนยานพาหนะโดยใช้เทคนิคของ M.Y.Chern and P.Hou [4] นั้น มีสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบเนื่องจากตรวจจับค่าความสว่างของดวงไฟมีขนาดเล็กมากจนเห็นเป็นสัญญาณรบกวน (Noise) หรืออาจไม่เห็นดวงไฟเลย และสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกเนื่องจากตรวจจับค่าความสว่างของไฟที่ไม่ใช่ดวงไฟท้าย เช่นไฟป้ายโฆษณา

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการประมวลผลภาพเบื้องต้น เพื่อแก้ปัญหาการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การประมวลผลในขั้นตอนต่อไปเกิดความผิดพลาด จากผลการทดลองสรุปได้ว่า วิธีการตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนที่นำเสนอเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดีในสภาพที่มีแสงสว่างมากกว่า ซึ่งทำให้ตรวจหาขอบยานพาหนะได้มากกว่าในที่ที่มีแสงสว่างน้อยกว่าและวิธีการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้จริง เป็นผลทำให้การตรวจจับยานพาหนะในเวลากลางคืนมีความถูกต้องมากขึ้นและเนื่องจากในส่วนของการตรวจนับยานพาหนะในเวลากลางคืนจากภาพวีดิทัศน์ถนนชานเมืองมีความผิดพลาดสูง ขณะนี้ได้ดำเนินการวิจัยต่อโดยนำดวงไฟท้ายรถมาพิจารณาด้วย

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดลอง

Road Setting	Image Processing Method	Number of Vehicles		Error				S.D.
		Human counted	Program counted	Total Error	Total %Error	Max -Error	Max +Error	
Urban Traffic	Proposed Approach	155	154	-1	0.65	1	none	0.45
	Chern & Hou[4]	155	162	7	4.52	8	6	5.81
Rural Traffic	Proposed Approach	221	244	23	10.41	none	8	1.95
	Chern & Hou[4]	221	224	3	1.36	5	6	4.28

โดยที่ MAX -Error = Maximum Negatives Error MAX +Error = Maximum Positives Error
S.D. = Standard Deviation

5. เอกสารอ้างอิง

[1] R. Taktak, M. Dufaut, and R. Husson, "Vehicle detection at night using image processing and pattern recognition", Proceedings. ICIP-94., IEEE International Conference Image Processing, 13-16 Nov. 1994, Pages: 296 - 300 vol.2

[2] R.Cucchiara, M. Piccardi, and P. Mello, "Vehicle Detection under Day and Night Illumination", Proceeding of ISCS-IIA99 Special session on vehicle traffic and surveillance, 1999.

[3] R.Cucchiara, M. Piccardi, and P. Mello, "Image analysis and rule-based reasoning for a traffic monitoring system", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Volume:1, Issue:2, June2000 Pages: 119 - 130

[4] Ming-Yang Chern, Ping-Cheng Hou, "The lane recognition and vehicle detection at night for a camera-assisted car on highway", Proceedings. ICRA '03., IEEE International Conference on Robotics and Automation, 14-19 Sept. 2003, Pages:2110 - 2115 vol.2

[5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Wood, Digital Image Processing, 2nd Edition, Prentice Hall, 2001.

[6] L.GShapiro and G.C. Stockman, Computer Vision, U.S.A., Prentice-Hall, 2001.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเมทินี วัฒนะเมธานนท์ เกิดวันที่ 2 มีนาคม พ.ศ.2523 ที่จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ในปีการศึกษา 2544 หลังจากนั้นได้เข้ามาศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย