

การตรวจหายานพาหนะในภาพการจราจรแบบสแนปชอต



นายวรินทร์ ลิ้มประเสริฐ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

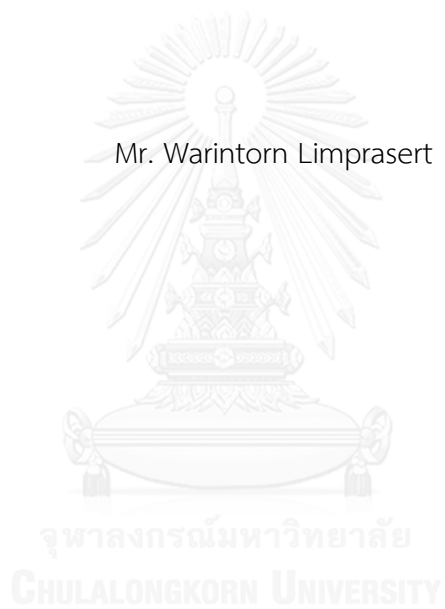
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VEHICLE DETECTION FROM SNAPSHOTS OF TRAFFIC SCENES

Mr. Warintorn Limprasert



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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

วรินทร์ ลิ่มประเสริฐ : การตรวจหายานพาหนะในภาพการจราจรแบบสแนปชอต (VEHICLE DETECTION FROM SNAPSHOTS OF TRAFFIC SCENES) อ.ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช, 87 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประเมินสภาพการจราจรในเขตกรุงเทพมหานครโดยใช้การวิเคราะห์จากข้อมูลภาพการจราจรแบบสแนปชอตที่ได้จากกล้องวงจรปิดของโครงการเครือข่ายตาจราจร ซึ่งภาพสแนปชอตเป็นภาพการจราจรแบบไม่ต่อเนื่องที่ถูกบันทึกในช่วงเวลาที่ต่างกันจึงทำให้มีความท้าทายในการวิเคราะห์ข้อมูลมากกว่าภาพการจราจรแบบวิดีโอที่ต่อเนื่อง

ผู้วิจัยประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพต่าง ๆ ประกอบด้วย การแปลงฮัฟ การลบพื้นหลัง การหาค่าเรขาคณิตแบบใช้ค่าเอนโทรปีและการตรวจจับจุดมุมด้วยวิธีฮาร์ริส เพื่อสกัดคุณลักษณะที่สำคัญออกมาจากแต่ละภาพสแนปชอตสำหรับการประเมินสภาพการจราจร ซึ่งผู้วิจัยนำเสนอการประเมินความหนาแน่นของการจราจรโดยคำนึงถึงการพิจารณามุมมองที่แตกต่างกันของถนนเพื่อให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากขึ้น

การประเมินความหนาแน่นการจราจรมีขั้นตอนโดยสังเขปคือ แบ่งถนนออกเป็นบล็อกที่มีขนาดแตกต่างกันตามระยะความห่างจากกล้องวงจรปิดจากนั้นหาอัตราส่วนระหว่างบล็อกที่มียานพาหนะกับบล็อกของถนนทั้งหมด ค่าที่ได้จะถูกนำมาจำแนกความหนาแน่นของการจราจรซึ่งแบ่งออกเป็นสถานะที่การจราจรคล่องตัว สถานะที่มีจราจรหนาแน่นแต่ยังเคลื่อนตัวได้ดีและสถานะที่การจราจรมีการติดขัด วิธีการเหล่านี้ถูกทดสอบกับข้อมูลภาพสแนปชอตสามรูปแบบที่แตกต่างกันและพบว่าได้ผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5570561021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: SNAPSHOT IMAGE / VEHICLE DETECTION / TRAFFIC DENSITY EVALUATION

WARINTORN LIMPRASERT: VEHICLE DETECTION FROM SNAPSHOTS OF TRAFFIC SCENES. ADVISOR: ASST. PROF.CHARNCHAI PLUEMPITIWIRIYAJEJ, 87 pp.

In this thesis, we are estimate traffic conditions in Bangkok by analyzing pictorial information in “snapshots” of road scenes taken by CCTV cameras in the Traffic Social Eyes (TRAFFY). Since snapshots are discontinuous scenes taken a certain time interval, it is more challenging than regular video processing problem.

We apply various image processing techniques such as Hough transform, background subtraction, entropy-based thresholding and Harris corner detection to extract important features, which are roads and vehicles out of each snapshot for accurately estimation of traffic conditions. Consequently, we propose a method to evaluate traffic density, by taking into our consideration the change in perspective view of the roads for more accurate results.

We divide the road into blobs of different sizes depending on its distance from camera, then take the ratio between blobs with vehicles and all blobs on the road. The value is to classify traffic density into “free flow”, “movable crowded” and “traffic jam” status. We applied our algorithm to three different data sets and found very satisfactory results.

Department: Electrical Engineering

Student's Signature

Field of Study: Electrical Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช ที่ให้คำแนะนำ เป็นที่ปรึกษา และแนะแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้โอกาสในการ เรียนรู้และสัมผัสงานวิจัยต่างๆหลากหลายด้านซึ่งถือว่าเป็นโอกาสที่ดีในการเรียนรู้สิ่งใหม่

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการศึกษา ค่าใช้จ่ายและให้ กำลังใจในการศึกษาระดับมหาบัณฑิต

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนและน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ทั้งด้านการเรียนและกิจกรรมต่างๆ ที่ทำให้การเรียนระดับมหาบัณฑิตมีความสุขสนุกสนานและมีสีสัน ไม่น่าเบื่อ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยสำหรับ “ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต” ที่ช่วย สนับสนุนค่าใช้จ่ายบางส่วนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	15
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	15
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	17
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	17
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	17
1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	22
2.1 การตรวจจับการเคลื่อนไหวในชุดภาพ.....	22
2.1.1 การหาความแตกต่างระหว่างเฟรม (frame differencing).....	22
2.1.2 การลบพื้นหลังด้วยภาพพื้นหลังที่เฉลี่ยจากชุดเฟรมก่อนหน้าอย่างต่อเนื่อง (running background average).....	23
2.1.3 การลบพื้นหลังด้วยภาพพื้นหลังที่ถูกปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (running- background update).....	25
2.1.4 การลบพื้นหลังด้วยภาพพื้นหลังที่ถูกปรับปรุงอย่างต่อเนื่องแบบมีเงื่อนไข (running background update with selectivity)	26
2.1.5 การตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยวิธีการสร้างพื้นหลังจากการผสมของระเบียบวิธี เกาส์เซียนหลายรูปแบบจากภาพสี (Gaussian mixture models).....	27
2.1.6 การตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยวิธีการสร้างพื้นหลังจากการผสมของระเบียบวิธี เกาส์เซียนหลายรูปแบบโดยใช้ภาพขอบ (Edge Gaussian mixture models)	32

2.2 การแบ่งระดับข้อมูลภาพโดยใช้ค่าธรชโฮล (Thresholding).....	34
2.2.1 การหาค่าธรชโฮลโดยการปรับปรุงค่าซ้ำ (Global thresholding).....	35
2.2.2 การหาค่าธรชโฮลแบบใช้ค่าเอนโทรปี (Entropy-based thresholding).....	36
2.2.3 การหาค่าธรชโฮลแบบโอตะสึ (Otsu's thresholding)	36
2.3 การตรวจจับจุดมุมด้วยวิธีฮาร์ริส (Harris corner detection).....	37
2.4 การแปลงฮัฟ (Hough transform).....	39
2.5 การหาวัตถุที่เชื่อมต่อกันในภาพไบนารี (Connected component detection).....	41
2.6 การรวมกลุ่มข้อมูล (Combining cluster).....	42
2.6.1 การรวมกลุ่มแบบเฉลี่ย (Average linkage).....	42
2.6.2 การรวมกลุ่มแบบเฉลี่ยภายในกลุ่ม (Average linkage within groups).....	42
2.6.4 การรวมกลุ่มแบบเดี่ยวระยะไกลที่สุด (Complete linkage).....	43
2.6.5 การรวมกลุ่มแบบจุดศูนย์กลาง (Centroid linkage)	44
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	45
3.1 การแบ่งส่วนภาพถนนในภาพการจราจร	46
3.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพของการใช้ภาพถนนในเบื้องต้น.....	46
3.1.2 การแบ่งส่วนภาพถนนแบบอัตโนมัติ.....	48
3.1.2.1 การหาเส้นขอบเขตถนนโดยใช้การแปลงฮัฟ	48
3.1.2.2 การสร้างภาพไบนารีจากคู่ของเส้นตรง	50
3.1.2.3 การจำแนกภาพไบนารีที่เป็นถนน	52
3.2 การตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ในภาพการจราจร.....	54
3.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีการลบพื้นหลังต่าง ๆ.....	55
3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของการทำธรชโฮลด้วยวิธีต่าง ๆ	60
3.2.3 การลดความผิดพลาดของการตรวจจับโดยการใช้อัตราการจับจุดมุม.....	63

3.3 การประเมินความหนาแน่นของสภาพการจราจร.....	65
3.3.1 การแบ่งบล็อภพถนนสองระดับ	66
3.3.2 การหาสัดส่วนการครอบครองบล็อภถนน	68
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	76
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและการพัฒนาในอนาคต	81
5.1 ด้านการตรวจจับยานพาหนะในภาพสแนปชอต	81
5.2 ด้านการประเมินสภาพการจราจรในภาพสแนปชอต.....	81
รายการอ้างอิง	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	87



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างข้อมูลภาพการจราจรจากกล้องวงจรปิดของหน่วยงานต่าง ๆ ที่แสดงผ่านระบบโซเซียลเน็ตเวิร์คต่าง ๆ	16
รูปที่ 1.2 ตัวอย่างภาพการจราจรแบบวิดิทัศน์ที่มีอัตราเฟรมสูง.....	16
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างภาพจราจรที่มีอัตราเฟรมต่ำของโครงการเครือข่ายตาจราจร (traffy social eyes).....	17
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการหาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงด้วยวิธีการหาความแตกต่างระหว่างเฟรม.....	23
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการหาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำด้วยวิธีการหาความแตกต่างระหว่างเฟรม.....	23
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ได้จากการเฉลี่ยเฟรมก่อนหน้า.....	24
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ได้จากการเฉลี่ยเฟรมก่อนหน้า.....	24
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ถูกปรับค่าให้ใกล้เคียงปัจจุบัน.....	25
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ถูกปรับค่าให้ใกล้เคียงปัจจุบัน.....	26
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ถูกปรับค่าให้ใกล้เคียงปัจจุบันแบบมีเงื่อนไข.....	27
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ถูกปรับค่าให้ใกล้เคียงปัจจุบันแบบมีเงื่อนไข.....	27
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างข้อมูลค่าความเข้มแสงของภาพการจราจร 20 ภาพ.....	29
รูปที่ 2.10 แสดงการแจกแจงแบบเกาส์เซียนที่ได้จากวิธี EM algorithm	30
รูปที่ 2.11 แสดงการจำแนกประเภทจุดภาพของวิธี GMMs	31
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการหาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงด้วยวิธี GMMs	32

รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างการหาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำด้วยวิธี GMMs.....	32
รูปที่ 2.14 จำลองฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพ	35
รูปที่ 2.15 แนวคิดการหามุมตามหลักการของฮาร์ริส	37
รูปที่ 2.16 การเลื่อนหน้าต่างย่อยในบริเวณต่าง ๆ.....	37
รูปที่ 2.17 รูปแสดงการจำแนกจุดมุม.....	39
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างผลลัพธ์การหาจุดมุมของวิธีฮาร์ริส.....	39
รูปที่ 2.19 พิกเซลขอบที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน	40
รูปที่ 2.20 เส้นตรงของแต่ละพิกเซลขอบในระนาบ (m, c)	40
รูปที่ 2.21 การเปลี่ยนพิกเซลขอบในพิกัด (x, y) เป็นพิกัดเชิงขั้ว (ρ, θ)	41
รูปที่ 2.22 การรวมกลุ่มแบบเฉลี่ย	42
รูปที่ 2.23 การรวมกลุ่มแบบเดียวระยะใกล้.....	43
รูปที่ 2.24 การรวมกลุ่มแบบเดียวระยะไกล.....	43
รูปที่ 2.25 การรวมกลุ่มแบบจุดศูนย์กลาง.....	44
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างผลลัพธ์ภาพไบนารีของการตรวจจับยานพาหนะในภาพสแนปชอต.....	45
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ภาพไบนารีของการตรวจจับยานพาหนะในวิดีโอ.....	46
รูปที่ 3.3 ผลลัพธ์ของการใช้ภาพถนนของข้อมูลชุดที่ 1 2 และ 3	47
รูปที่ 3.4 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลระหว่างภาพปกติและภาพที่จำกัดบริเวณถนน ของข้อมูลชุดที่ 1 จำนวน 60 เฟรม	48
รูปที่ 3.5 ภาพพื้นหลังที่ไม่มียานพาหนะ.....	49
รูปที่ 3.6 ภาพขอบที่ได้จากวิธีแคนนี่	49
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ρ, θ)	49
รูปที่ 3.8 พิกเซลขอบที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน	50
รูปที่ 3.9 เส้นตรงที่ได้จากการเชื่อมต่อพิกเซลขอบ	50
รูปที่ 3.10 ภาพตัวแทนถนนของภาพการจราจรชุดที่ 3.....	51

รูปที่ 3.11 ภาพพื้นหลังของข้อมูลภาพชุดที่ 3	52
รูปที่ 3.12 ภาพการจราจรที่ถูกจำกัดด้วยภาพใบนารีต่าง ๆ	52
รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการรวมกลุ่มข้อมูลของค่าความเข้มแสง	53
รูปที่ 3.14 ผลลัพธ์การแบ่งส่วนถนนในเส้นทางต่าง ๆ ที่ถูกต้อง	54
รูปที่ 3.15 ผลลัพธ์การแบ่งส่วนถนน	54
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพสแนปชอตของข้อมูลชุดที่ 3 ที่ผ่านการจำกัดบริเวณถนน	55
รูปที่ 3.17 เปรียบเทียบผลลัพธ์การตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีลบบพื้นหลังต่าง ๆ	56
รูปที่ 3.18 ผลการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ด้วยวิธี GMMs ของตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 3	58
รูปที่ 3.19 เปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลของแต่ละวิธีการกับข้อมูลชุดที่ 1	58
รูปที่ 3.20 เปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลของแต่ละวิธีการกับข้อมูลชุดที่ 2	59
รูปที่ 3.21 เปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลของแต่ละวิธีการกับข้อมูลชุดที่ 3	59
รูปที่ 3.22 ภาพตัวอย่างในการทดสอบ	60
รูปที่ 3.23 ฮีستแกรมของรูปที่ 3.22 ข) และค่าเรซโซลจากวิธีการต่าง ๆ	60
รูปที่ 3.24 ผลลัพธ์การแบ่งภาพด้วยค่าเรซโซลต่าง ๆ ในรูปที่ 3.23	61
รูปที่ 3.25 เปรียบเทียบผลลัพธ์การทำเรซโซลด้วยวิธีการต่าง ๆ	62
รูปที่ 3.26 ภาพผลลัพธ์ที่มีความผิดพลาดของการทำเรซโซลแบบใช้ค่าเอนโทรปี	63
รูปที่ 3.27 ผลลัพธ์การหาจุดมุมด้วยวิธีฮาร์ริส	63
รูปที่ 3.28 ภาพผลลัพธ์ที่มีความผิดพลาดกับจุดมุม	64
รูปที่ 3.29 ผลลัพธ์ยานพาหนะของการใช้จุดมุม	64
รูปที่ 3.30 ปัญหาการรวมกันของวัตถุ	65
รูปที่ 3.31 ปัญหาการแยกกันของวัตถุ	65
รูปที่ 3.32 ภาพถนนของข้อมูลภาพชุดที่ 1	66
รูปที่ 3.33 บล็อกถนนของขอบเขตที่ 1	67
รูปที่ 3.34 บล็อกถนนของขอบเขตที่ 2	67

รูปที่ 3.35 ผลลัพธ์บล็อบบนของข้อมูลภาพชุดที่ 1 เส้นทางที่ 1.....	67
รูปที่ 3.36 การสร้างบล็อบบนในเส้นทางที่ 2 ของข้อมูลชุดที่ 2	68
รูปที่ 3.37 การสร้างบล็อบบนในเส้นทางที่ 4 ของข้อมูลชุดที่ 3	68
รูปที่ 3.38 การจำแนกบล็อบบนพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 1 ของข้อมูลชุดที่ 1 ในกรณีที่ การจรรยาภิสภาพคล่องตัว	70
รูปที่ 3.39 การจำแนกบล็อบบนพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 1 ของข้อมูลชุดที่ 1 ในกรณีที่ การจรรยาภิสภาพหนาแน่น	71
รูปที่ 3.40 การจำแนกบล็อบบนพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 1 ของข้อมูลชุดที่ 1 ในกรณีที่ การจรรยาภิสภาพติดขัด.....	72
รูปที่ 3.41 การจำแนกบล็อบบนพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 4 ของข้อมูลชุดที่ 3 ในกรณีที่ การจรรยาภิสภาพคล่องตัว	73
รูปที่ 3.42 การจำแนกบล็อบบนพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 4 ของข้อมูลชุดที่ 3 ในกรณีที่ การจรรยาภิสภาพหนาแน่น	74
รูปที่ 3.43 การจำแนกบล็อบบนพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 4 ของข้อมูลชุดที่ 3 ในกรณีที่ การจรรยาภิสภาพติดขัด.....	75
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะของข้อมูลชุดที่ 1.....	76
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะของข้อมูลชุดที่ 2.....	77
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะของข้อมูลชุดที่ 3.....	77

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ค่าความเข้มแสงของแต่ละตัวแทนถนนของรูปที่ 3.12	52
ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์การประเมินสภาพการจราจรของตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 1	77
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์การประเมินสภาพการจราจรของตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 2	78
ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์การประเมินสภาพการจราจรของตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 3	79



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันงานวิจัยด้านระบบขนส่งและการจราจรอัจฉริยะ (intelligent transportation system) หรือ ITS [1-8] ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการบริหารจัดการระบบคมนาคมขนส่งและการจราจรบนท้องถนนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น งานด้านการตรวจสอบสภาพการจราจร [4] งานด้านการตรวจจับการละเมิดกฎจราจรรวมถึงการตรวจจับความผิดปกติหรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนท้องถนน [8] เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์อย่างมากต่อระบบการจัดการการจราจรเพราะสามารถนำมาช่วยในการวิเคราะห์ วางแผน และบริหารจัดการ เพื่อให้การแก้ไขปัญหาการจราจรมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ระบบขนส่งและการจราจรอัจฉริยะในประเทศไทยถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาด้านการจราจร โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครที่มีสภาวะการติดขัดและหนาแน่นทางการจราจรสูงเนื่องจากปริมาณของยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นมากขึ้นในแต่ละปีทำให้โครงสร้างถนนที่มีอยู่อย่างจำกัดไม่สามารถรองรับได้เพียงพอ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) สำนักงานตำรวจแห่งชาติ (สตช.) สำนักงานการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร (สจส.) และการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) จึงได้ดำเนินการและประยุกต์ใช้ระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้อุปกรณ์รับรู้หรือเซนเซอร์รวมทั้งการใช้กล้องวงจรปิดที่มีความสามารถในการประมวลผลภาพ [9, 10] เพื่อตรวจวัดระดับความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละช่วงเวลาแต่อุปกรณ์เหล่านี้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาสูงจึงทำให้มีการใช้งานเฉพาะถนนเส้นทางหลักเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงข้อมูลการจราจรได้ครอบคลุมมากขึ้นจึงมีการติดตั้งกล้องวงจรปิดสำหรับบันทึกภาพการจราจรสดในเส้นทางต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริงในขณะนั้นสำหรับเป็นข้อมูลในการวางแผนการเดินทางหรือการจัดการการจราจรได้อย่างเหมาะสมโดยแสดงผลผ่านระบบโซเซียลเน็ตเวิร์คต่าง ๆ ดังรูปที่ 1.1

ภาพการจราจรเหล่านี้เป็นข้อมูลภาพที่ยังไม่ผ่านการประมวลผลใด ๆ ทำให้ไม่มีความสามารถในการประเมินสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในขณะนั้นและเพื่อใช้ประโยชน์ภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีอยู่อย่างมากมายให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจึงเกิดแนวคิดที่ต้องการพัฒนาวิธีการที่สามารถประเมินสภาพการจราจรภายในภาพนั้น ๆ ได้ เพื่อให้กล้องวงจรปิดที่มีอยู่มีความสามารถในการประเมินสภาพการจราจรเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ที่มีราคาแพงได้ โดยความน่าสนใจและท้าทายของ













ประมวลผลภาพดังกล่าวคือ ข้อมูลภาพส่วนใหญ่จะถูกบันทึกเป็นสแนปชอต (snapshot) กล่าวคือ บันทึกภาพทุก ๆ ช่วงเวลาหนึ่งดังรูปที่ 1.3 ทั้งนี้เพื่อลดแบนด์วิดท์ (bandwidth) ในการส่งและแสดงผลข้อมูลภาพในระบบออนไลน์จึงทำให้ชุดภาพมีอัตราเฟรมต่ำกว่าปกติแต่ละลำดับเฟรมจะแตกต่างกันเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันน้อยทำให้ยานพาหนะในแต่ละเฟรมที่ต่อเนื่องกันไม่เหมือนกัน โดยเฉพาะค่าความเข้มแสงในแต่ละเฟรมที่ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ยังมีมุมมองภาพที่หลากหลายซึ่งเป็นปัญหาในการตรวจหาวัตถุเคลื่อนที่ภายในชุดเฟรมนั้น ๆ ต่างจากงานวิจัยอื่นเช่นใน [3-7] ที่ใช้ภาพการจราจรแบบวิดีโอที่บันทึกที่มีอัตราเฟรมสูงประมาณ 25 เฟรมต่อวินาทีดังแสดงในรูปที่ 1.2 จากชุดภาพที่ต่อเนื่องกันจะเห็นว่ายานพาหนะในแต่ละลำดับเฟรมแทบจะไม่แตกต่างกันแต่ละภาพมีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกันมากซึ่งมีความเหมาะสมต่อการประมวลผลเพื่อตรวจหาวัตถุเคลื่อนที่ได้ดีกว่า



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างข้อมูลภาพการจราจรจากกล้องวงจรปิดของหน่วยงานต่าง ๆ ที่แสดงผ่านระบบโซเชียลเน็ตเวิร์คต่าง ๆ

ภาพจราจรแบบวิดีโอที่บันทึก			
เฟรมที่ 1	เฟรมที่ 2	เฟรมที่ 3	เฟรมที่ 4

รูปที่ 1.2 ตัวอย่างภาพการจราจรแบบวิดีโอที่บันทึกที่มีอัตราเฟรมสูง

ภาพการจราจรแบบสแนปชอต				
ข้อมูลภาพชุดที่ 1	เฟรมที่ 1 	เฟรมที่ 2 	เฟรมที่ 3 	เฟรมที่ 4 
ข้อมูลภาพชุดที่ 2	เฟรมที่ 1 	เฟรมที่ 2 	เฟรมที่ 3 	เฟรมที่ 4 
ข้อมูลภาพชุดที่ 3	เฟรมที่ 1 	เฟรมที่ 2 	เฟรมที่ 3 	เฟรมที่ 4 

รูปที่ 1.3 ตัวอย่างภาพจราจรที่มีอัตราเฟรมต่ำของโครงการเครือข่ายตาจราจร (traffy social eyes)

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- หาวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจหายานพาหนะในภาพการจราจรแบบสแนปชอต
- หาวิธีการที่เหมาะสมในการประเมินสภาพการจราจรในภาพการจราจรแบบสแนปชอต

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- เขียนโปรแกรมตรวจหายานพาหนะด้วยโปรแกรม MATLAB
- ใช้ภาพการจราจรแบบสแนปชอตจากฐานข้อมูลของโครงการเครือข่ายตาจราจรของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติหรือ NECTEC ในช่วงเวลา 07.00 ถึง 16.00 นาฬิกาจำนวน 3 ชุดข้อมูลโดยมีอัตราเฟรมที่ใกล้เคียงกันประมาณ 15 วินาทีต่อเฟรมหรือ $\frac{1}{15}$ เฟรมต่อวินาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ศึกษาและเรียนรู้วิธีการต่าง ๆ ในการตรวจหายานพาหนะในชุดภาพการจราจร
- ได้กระบวนการวิธีที่สามารถตรวจหายานพาหนะในภาพการจราจรแบบสแนปชอต

- ได้กระบวนวิธีในการประเมินระดับความหนาแน่นการจราจรที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินสภาพการจราจรในภาพสแนปชอตที่ได้จากกล้องวงจรปิดต่าง ๆ

1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตการหาข้อมูลทางการจราจรมักนิยมใช้การวางเซนเซอร์หรืออุปกรณ์รับรู้ (detector-based method) ไว้ที่ฐานของถนน [11] เพราะให้ความแม่นยำที่เที่ยงตรงสูง อุปกรณ์ที่มีการใช้งาน ได้แก่

- bending plate คือแผ่นรับน้ำหนักที่แนบติดกับแผ่นโลหะที่ฝังอยู่ในถนนเพื่อวัดน้ำหนักหรือความเร็วของยานพาหนะที่วิ่งผ่าน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและต้องมีการดัดแปลงถนนเพื่อฝังอุปกรณ์นี้
- pneumatic road tube คือเซนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นหลอดยางที่ถูกติดตั้งไว้ที่ช่องทางถนนเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศในการบันทึกจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่าน
- inductive loop คือเซนเซอร์ที่ใช้ลวดที่ฝังในถนนเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่จะถ่ายทอดข้อมูลไปยังอุปกรณ์ในการนับจำนวนยานพาหนะที่อยู่ด้านข้างของถนนแต่มีอายุการใช้งานต่ำ เพราะสามารถเกิดความเสียหายจากน้ำหนักของยานพาหนะที่กดทับได้

แม้ชุดอุปกรณ์เหล่านี้จะมีความแม่นยำสูงในการตรวจนับจำนวนยานพาหนะบนท้องถนนแต่ชุดอุปกรณ์เหล่านี้ก็มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาสูงเช่นกัน อีกทั้งยังต้องติดตั้งอุปกรณ์ไว้ที่โครงสร้างของถนนจึงอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นถนนได้ ต่อมาในระยะหลังจึงมักนิยมใช้อุปกรณ์การวัดจากระยะไกลมากขึ้นเพราะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและสามารถลดความเสียหายของอุปกรณ์และพื้นถนนได้ อุปกรณ์ที่มีการใช้งาน ได้แก่

- passive and active infra-red คือเซนเซอร์ในการตรวจจับสถานะ ความเร็วและชนิดของยานพาหนะที่ติดตั้งในที่สูงโดยจะใช้การวัดพลังงาน infra-red ที่แผ่ออกมาจากบริเวณการตรวจจับ ซึ่งอาจให้ประสิทธิภาพไม่ดีเพราะสภาพอากาศที่แปรปรวนและระยะครอบคลุมของช่องทางถนน
- passive magnetic คือเซนเซอร์แม่เหล็กที่ใช้บันทึกจำนวน ความเร็วและชนิดของยานพาหนะแต่มีเงื่อนไขการใช้งานที่ยากในกรณีที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะที่อยู่ใกล้กันมาก
- microwave-doppler/radar คือเซนเซอร์ที่ติดตั้งในที่สูงเพื่อบันทึกยานพาหนะที่เคลื่อนที่และความเร็ว ข้อดีของอุปกรณ์นี้คือ ไม่ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศ แต่จากการที่ใช้เรดาร์จึงไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะที่หยุดนิ่งหรือยานพาหนะที่อยู่ใกล้กันมากได้ เช่น ในขณะที่รถติดเป็นระยะเวลาานาน

- ultrasonic and passive acoustic คือเซนเซอร์ที่ใช้คลื่นเสียงหรือพลังงานเสียงเพื่อตรวจจับยานพาหนะโดยอุปกรณ์อัลตราซาวด์จะถูกติดตั้งในที่สูง เพื่อบันทึกสถานะของยานพาหนะและเครื่องบันทึกเสียงจะถูกติดตั้งไว้ใกล้กับถนนและสามารถตรวจจับจำนวนและรูปแบบของยานพาหนะได้แต่อุปกรณ์นี้สามารถได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิและสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง

ถึงแม้อุปกรณ์ข้างต้นจะถูกติดตั้งในระยะไกลแต่ความยุ่งยากในการใช้งานอุปกรณ์และระยะที่ไม่ครอบคลุมพื้นที่การจราจรทั้งหมดก็ยังเป็นปัญหาต่อการทำงาน ต่อมาจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาระบบการประมวลผลผ่านระบบการจับภาพคอมพิวเตอร์ (computer vision system) สำหรับตรวจจับยานพาหนะในภาพวิดีโอที่บันทึกจากกล้องวงจรปิดแบบติดตั้งเพราะเป็นวิธีการที่ง่าย ใช้ต้นทุนต่ำและครอบคลุมพื้นที่การจราจรเป็นวงกว้างสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันการตรวจจับยานพาหนะจากภาพวิดีโอจึงเป็นงานวิจัยที่มีความน่าสนใจและได้รับความนิยมมากที่สุด ซึ่งหลายปีที่ผ่านมามีหลายงานวิจัยได้นำเสนอเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ ในการตรวจจับและติดตามยานพาหนะ (vehicle detection and tracking) ในภาพการจราจร ตัวอย่างงานวิจัยการติดตามยานพาหนะได้แก่

- Han *et al.* [12] นำเสนอการหาวัตถุที่เคลื่อนที่ในภาพการจราจรโดยใช้สมการ Optical Flow ทำการหาการเคลื่อนที่ของจุดภาพหรือพิกเซล (pixel) ต่าง ๆ ระหว่างเฟรมที่ติดกันเพื่อหาบริเวณที่มีเคลื่อนที่เกิดขึ้น
- Comaniciu and Meer [13] ได้นำเสนอการติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่โดยใช้ mean-shift algorithm กล่าวคือ เลือกสิ่งที่เราสนใจที่จะติดตามโดยใช้หน้าต่างย่อย (sub-window) จากนั้นคำนวณค่าสีที่เป็นไปได้ในการจำแนกฮิสโทแกรม (histogram classification) และเก็บค่าจุดศูนย์กลางมวล (center of mass) ไว้เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการติดตามวัตถุ

งานวิจัยเหล่านี้มักใช้ในการตรวจจับพฤติกรรมเคลื่อนที่หรือการประมาณความเร็วและการติดตามยานพาหนะซึ่งต้องใช้ชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงแต่เนื่องจากภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพแบบสแนปชอตที่มีอัตราเฟรมต่ำแต่ละเฟรมที่ต่อเนื่องกันแทบจะไม่มีความสัมพันธ์กันจึงไม่เหมาะสมที่จะตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีการดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอวิธีการสร้างโมเดลการเรียนรู้ (model-based method) เพื่อใช้ในการจำแนกคุณลักษณะของวัตถุที่เคลื่อนที่ในภาพการจราจร ตัวอย่างงานวิจัยได้แก่

- Sun *et al.* [14] กล่าวถึงการใช้ Gabor filter ในการสกัดคุณลักษณะรูปร่างของวัตถุในภาพ จากนั้นแต่ละตัวแทนของยานพาหนะ (vehicle candidate) ที่เป็นไปได้จะถูกตรวจสอบโดยใช้ support vector machine หรือตัวจำแนก SVM

- Aarthi *et al.* [15] กล่าวถึงวิธีการในการตรวจหายานพาหนะโดยใช้คุณลักษณะของสี่และแผนที่มุม (corner map) วิธีการคือทำการแปลงสีของทุกพิกเซลในภาพให้อยู่ในปริภูมิสีแบบใหม่ซึ่งง่ายต่อการจำแนกหาพิกเซลของรถและพิกเซลที่ไม่ใช่รถ สุดท้ายใช้ตัวจำแนก Bayesian ในการตรวจสอบพิกเซลของยานพาหนะจากภาพและใช้แผนที่มุมในการลบการตรวจหาที่ผิดพลาด
- Tsai *et al.* [16] กล่าวถึงวิธีการที่ใช้คุณลักษณะหลาย ๆ แบบคือ สี ขอบ แผนที่มุมและค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในการจำแนกหาตัวแทนยานพาหนะโดยใช้ Bayesian classifier

ข้อดีของการใช้ตัวจำแนกในการตรวจหาวัตถุคือ สามารถตรวจจับวัตถุที่สนใจได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำแต่ความถูกต้องของผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของคุณลักษณะและจำนวนของภาพฝึกฝนที่ใช้ในการรู้จำ ชุดภาพที่ใช้เพื่อฝึกฝนการรู้จำยานพาหนะ (positive training image) และชุดภาพที่ใช้เพื่อฝึกฝนการรู้จำพื้นหลัง (negative training image) ต้องมีความหลากหลายแตกต่างกันและมีจำนวนมาก เพื่อให้โมเดลมีความยืดหยุ่นสามารถจำแนกวัตถุที่เป็นยานพาหนะและที่ไม่ใช่ยานพาหนะในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากการศึกษาพบว่าวิธีการเหล่านี้แปรผันกับขนาดและทิศทางของยานพาหนะจึงไม่เหมาะสมกับการตรวจจับยานพาหนะที่มีขนาดและทิศทางแตกต่างกันตามมุมมองภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีความหลากหลาย

ด้วยเหตุนี้หลาย ๆ งานวิจัยจึงนิยมใช้การตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีลบค่าพื้นหลัง (background subtraction-based method) เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและมีความถูกต้องแม่นยำสูง ตัวอย่างงานวิจัยได้แก่

- Rao และ Darwin [17] กล่าวถึงการหาวัตถุเคลื่อนที่ในภาพการจราจรโดยใช้ความแตกต่างระหว่างเฟรม (frame differencing) หรือการลบเฟรมที่ติดกันของชุดเฟรมแบบต่อเนื่อง ค่าความแตกต่างที่ได้คือส่วนของยานพาหนะที่เคลื่อนที่แต่วิธีนี้มีความอ่อนไหวต่อค่าขีดแบ่ง (threshold) สูง
- Lo และ Velastin [18] กล่าวถึงการหาวัตถุเคลื่อนที่โดยใช้การลบภาพที่มีวัตถุกับภาพพื้นหลังที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าเฉลี่ยของชุดภาพก่อนหน้า วิธีนี้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธี frame differencing แต่ใช้ทรัพยากรการประมวลผลมากกว่า
- Surgailis *et al.* [19] กล่าวถึงการลบภาพที่มีวัตถุกับภาพพื้นหลังเหมือนวิธีก่อนหน้าแต่วิธีนี้ไม่ต้องเฉลี่ยหาภาพพื้นหลังใหม่ทุกครั้งแต่ใช้การปรับปรุงค่าจากพื้นหลังเดิม ทำให้ใช้ทรัพยากรการประมวลผลน้อยกว่าวิธีของ Lo และ Velastin
- Abbas *et al.* [20] กล่าวถึงการหาวัตถุเคลื่อนที่โดยใช้หลักการเดียวกับ Surgailis แต่งานวิจัยนี้จะปรับปรุงค่าเฉพาะบริเวณที่เป็นพื้นหลังเท่านั้น

- Santosh *et al.* [21] กล่าวถึงการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่แบบหลายวัตถุโดยใช้เทคนิค Gaussian mixture models หรือ GMMs และ blob analysis เพื่อตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ในเฟรมภาพ
- Li *et al.* [22] กล่าวถึงการใช้เทคนิค Edge gaussian mixture models หรือ EGMMs ที่เป็นการใช้เทคนิค GMMs กับภาพการจราจรที่เป็นภาพขอบเพื่อหลีกเลี่ยงการตรวจจับที่ผิดพลาดอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของแสงอย่างฉับพลัน ทั้งนี้เพราะภาพขอบมักไม่ได้รับอิทธิพลต่อแสงที่เปลี่ยนแปลงไป

วิธีการเหล่านี้ก็นิยมนำมาใช้ในการตรวจจับวัตถุที่มีการเคลื่อนที่เพราะมีการคำนวณไม่ซับซ้อน รวดเร็ว ไม่แปรผันกับขนาดและทิศทางของยานพาหนะทำให้ตรวจจับยานพาหนะในลักษณะมุมมองภาพต่าง ๆ ได้และมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดีแต่มีข้อเสียเรื่องการเปลี่ยนแปลงของแสงในฉากพื้นหลังอย่างฉับพลันที่มักส่งผลให้การตรวจจับมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ดังนั้นบางงานวิจัย เช่น Stewart-*et al.* [23] จึงทำการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่เฉพาะภายในบริเวณถนนที่สนใจหรือมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเท่านั้นไม่สนใจบริเวณอื่น ๆ เพื่อเป็นการจำกัดขอบเขตของการคำนวณทำให้ใช้ระยะเวลาการคำนวณลดลงและสามารถป้องกันการตรวจจับที่ผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นโดยรอบได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตรวจจับการเคลื่อนไหวในชุดภาพ

การตรวจจับการเคลื่อนไหวเป็นวิธีการในการตรวจหาวัตถุหรือบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ภายในภาพซึ่งมักถูกนำมาใช้กับภาพที่มีสภาพแวดล้อมคงที่ โดยมีจุดประสงค์เพื่อจำแนกหาจุดภาพที่เป็นส่วนของวัตถุเคลื่อนที่และส่วนของพื้นหลัง วิธีนี้มีข้อดีคือสามารถตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ได้หลากหลายรูปแบบไม่ขึ้นอยู่กับทิศทาง ขนาดและชนิดของวัตถุ ซึ่งปัจจุบันวิธีการพื้นฐานที่นิยมใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวประกอบด้วย 1. การหาความแตกต่างระหว่างเฟรม 2. การลบพื้นหลังด้วยภาพพื้นหลังที่เฉลี่ยจากชุดเฟรมก่อนหน้าอย่างต่อเนื่อง 3. การลบพื้นหลังด้วยภาพพื้นหลังที่ถูกปรับให้ใกล้เคียงปัจจุบันอย่างต่อเนื่อง 4. การลบพื้นหลังด้วยภาพพื้นหลังที่ถูกปรับให้ใกล้เคียงปัจจุบันแบบมีเงื่อนไขอย่างต่อเนื่องและ 5. การตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยการสร้างพื้นหลังจากการผสมของระเบียบวิธีเกาส์เซียนหลายรูปแบบ และเพื่อให้เข้าใจประสิทธิภาพของแต่ละวิธีมากขึ้นจะแสดงผลการตรวจหาวัตถุเคลื่อนที่โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงปกติกับชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำจากโครงการเครือข่ายดาวจร ซึ่งแต่ละวิธีการมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 การหาความแตกต่างระหว่างเฟรม (frame differencing)

การหาความแตกต่างระหว่างเฟรมเป็นวิธีการการหาวัตถุที่เคลื่อนที่ในชุดภาพการจราจรโดยใช้ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มแสง (intensity) ของเฟรมปัจจุบันกับเฟรมก่อนหน้าดังสมการ (2.1)

$$O_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } |I_i(x, y) - I_{i-1}(x, y)| > th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

โดย $O_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาออก ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i

$I_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาเข้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i

$I_{i-1}(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาเข้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ $i-1$

th แทน ค่าขีดแบ่ง (threshold)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดเพราะประมาณพื้นหลังด้วยเฟรมก่อนหน้าแต่จำเป็นต้องใช้กับชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงมาก ๆ เพื่อให้ได้วัตถุเคลื่อนที่ของเฟรมปัจจุบันเท่านั้นดังรูปที่ 2.1 ค) แสดงผลลัพธ์ของการใช้วิธีนี้หาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูง ซึ่งจะได้วัตถุเคลื่อนที่ (สีขาว) ของเฟรมปัจจุบันเท่านั้นต่างจากรูปที่ 2.2 ค) ที่แสดงผลลัพธ์ของการหาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตรา

เฟรมต่ำซึ่งจะเห็นว่าภาพผลลัพธ์ปรากฏวัตถุเคลื่อนที่ของทั้งเฟรมปัจจุบันและเฟรมก่อนหน้าปนกันซึ่งไม่ถูกต้อง อีกทั้งยังมีความอ่อนไหวต่อค่าขีดแบ่งสูงแต่วิธีนี้ใช้ทรัพยากรหน่วยความจำต่ำ



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการหาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงด้วยวิธีการหาความแตกต่างระหว่างเฟรม ก) เฟรมปัจจุบัน ข) เฟรมก่อนหน้า ค) ผลลัพธ์



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการหาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำด้วยวิธีการหาความแตกต่างระหว่างเฟรม ก) เฟรมปัจจุบัน ข) เฟรมก่อนหน้า ค) ผลลัพธ์

2.1.2 การลบพื้นหลังด้วยภาพพื้นหลังที่เฉลี่ยจากชุดเฟรมก่อนหน้าอย่างต่อเนื่อง (running background average)

การลบพื้นหลังด้วยวิธีนี้ถูกพัฒนาต่อจากวิธีในหัวข้อ 2.1.1 โดยเปลี่ยนการประมาณพื้นหลังด้วยเฟรมก่อนหน้าเป็นการใช้ภาพพื้นหลังที่ไม่มียานพาหนะที่ถูกสร้างขึ้นโดยการหาค่าเฉลี่ยของชุดเฟรมก่อนหน้าตามสมการ (2.2) จากนั้นนำไปหาค่าความแตกต่างกับภาพวัตถุที่มียานพาหนะดังสมการ (2.3) จะได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.3 ค) ซึ่งสังเกตว่าสามารถตรวจหาวัตถุเคลื่อนที่ได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับรูปที่ 2.4 ค) และจากรูปที่ 2.4 ค) จะเห็นว่าถึงแม้จะสามารถตรวจจับยานพาหนะที่อยู่ในเฟรมปัจจุบันได้แต่ก็มีการตรวจจับที่ผิดพลาด (false detection) เกิดขึ้นหลายบริเวณเป็นเพราะแต่ละลำดับเฟรมก่อนหน้าที่นำมาใช้สร้างภาพพื้นหลังมักมีค่าความเข้มแสงไม่เท่ากันจึงทำให้ค่าความเข้มแสงของภาพพื้นหลังไม่สัมพันธ์กับความเข้มแสงของเฟรมปัจจุบันในขณะนั้น เมื่อหาค่าความแตกต่างกันตามสมการ (2.3) จึงถูกจำแนกเป็นวัตถุเคลื่อนที่ไปด้วย วิธีนี้ใช้ทรัพยากรหน่วยความจำสูงขนาดเท่ากับจำนวนเฟรมก่อนหน้าที่ใช้คุณขนาดของเฟรมภาพ

$$B_i(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{i-j}(x, y) \quad (2.2)$$

$$O_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } |I_i(x, y) - B_i(x, y)| > th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

โดย $B_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพของภาพพื้นหลังที่หาจากค่าเฉลี่ยของ n เฟรมก่อนหน้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i

$I_{i-j}(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาเข้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพก่อนหน้าที่ $i - j$

n แทน จำนวนเฟรมก่อนหน้าที่ใช้หาค่าเฉลี่ย

$O_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาออก ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i

$I_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาเข้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i
 th แทน ค่าขีดแบ่ง



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ได้จากการเฉลี่ยเฟรมก่อนหน้า ก) เฟรมปัจจุบัน ข) เฟรมพื้นหลัง ค) ผลลัพธ์



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ได้จากการเฉลี่ยเฟรมก่อนหน้า ก) เฟรมปัจจุบัน ข) เฟรมพื้นหลัง ค) ผลลัพธ์

2.1.3 การลบพื้นหลังด้วยภาพพื้นหลังที่ถูกปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (running-background update)

การลบพื้นหลังด้วยวิธีนี้ถูกพัฒนาต่อจากวิธีในหัวข้อ 2.1.2 เนื่องจากต้องการลดทรัพยากรประมวลผลลงโดยแทนที่จะใช้การเฉลี่ยชุดเฟรมก่อนหน้านี้เพื่อสร้างภาพพื้นหลังทุกครั้งที่ทำกรลบพื้นหลังแต่จะเปลี่ยนมาใช้ในการปรับค่าความเข้มแสงของภาพพื้นหลังเดิมให้ใกล้เคียงกับเฟรมปัจจุบันด้วยสมการ (2.4) และนำภาพพื้นหลังใหม่ไปลบพื้นหลังตามสมการ (2.5) ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6 ตามลำดับ วิธีนี้ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับวิธีในหัวข้อ 2.1.2 โดยเฉพาะผลลัพธ์ของชุดเฟรมแบบสแนปชอตดังรูปที่ 2.6 ค) ที่ยังคงมีการตรวจจับที่ผิดพลาดเกิดขึ้นเช่นเดียวกันเป็นเพราะภาพพื้นหลังเดิมกับเฟรมปัจจุบันที่นำมาปรับมักมีค่าความเข้มแสงแตกต่างกันมากจึงทำให้ไม่สามารถปรับค่าความเข้มแสงของพื้นหลังให้ใกล้เคียงกับเฟรมปัจจุบันได้ทั้งหมด

$$B_i(x, y) = \alpha \cdot I_i(x, y) + (1 - \alpha) \cdot B_{i-1}(x, y) \quad (2.4)$$

$$O_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } |I_i(x, y) - B_i(x, y)| > th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

โดย $I_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาเข้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i

$B_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพของภาพพื้นหลังใหม่ที่ถูกปรับปรุ่ค่า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i

$B_{i-1}(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพของภาพพื้นหลังก่อนหน้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y)

α แทน ค่าน้ำหนักในการปรับปรุ่ค่าของจุดภาพของพื้นหลัง

$O_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาออก ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i

th แทน ค่าขีดแบ่ง



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ถูกปรับค่าให้ใกล้เคียงปัจจุบัน ก) เฟรมปัจจุบัน ข) เฟรมพื้นหลังที่ถูกปรับปรุ่ ค) ผลลัพธ์



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ถูกปรับค่าให้ใกล้เคียงปัจจุบัน ก) เฟรมปัจจุบัน ข) เฟรมพื้นหลังที่ถูกปรับปรุง ค) ผลลัพธ์

2.1.4 การลบพื้นหลังด้วยภาพพื้นหลังที่ถูกปรับปรุงอย่างต่อเนื่องแบบมีเงื่อนไข (running background update with selectivity)

วิธีการนี้คล้ายกับวิธีในหัวข้อ 2.1.3 เพียงแต่มีเงื่อนไขในการปรับปรุงพื้นหลังคือ ถ้าบริเวณนั้นเป็น foreground จะไม่สนใจและไม่นำมาคำนวณ แต่ถ้าบริเวณนั้นเป็น background ค่าพื้นหลังจะต้องถูกอัปเดตตามสมการ (2.7) ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ค่าของจุดภาพที่ไม่ใช่ส่วนของพื้นหลังถูกปรับปรุงรวมไปด้วย ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 ซึ่งใกล้เคียงกับผลลัพธ์ของวิธีในหัวข้อ 2.1.3

$$O_{i-1}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } |I_{i-1}(x, y) - B_{i-1}(x, y)| > th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.6)$$

$$B_i(x, y) = \begin{cases} \alpha \cdot I_i(x, y) + (1 - \alpha) \cdot B_{i-1}(x, y) & \text{if } O_{i-1}(x, y) = 0 \text{ (background)} \\ B_{i-1}(x, y) & \text{otherwise (foreground)} \end{cases} \quad (2.7)$$

โดย $I_{i-1}(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาเข้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ $i-1$

$B_{i-1}(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพของภาพพื้นหลังก่อนหน้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ $i-1$

$O_{i-1}(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาออก ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ $i-1$

$B_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพของภาพพื้นหลังใหม่ ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i

$I_i(x, y)$ แทน ค่าของจุดภาพขาเข้า ณ ตำแหน่งพิกัด (x, y) ของลำดับภาพที่ i

α แทน ค่าน้ำหนักในการปรับปรุงค่าของจุดภาพของพื้นหลัง

th แทน ค่าขีดแบ่ง



ก)

ข)

ค)

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ถูกปรับค่าให้ใกล้เคียงปัจจุบันแบบมีเงื่อนไข ก) เฟรมปัจจุบัน ข) เฟรมพื้นหลังที่ถูกปรับปรุงแบบมีเงื่อนไข ค) ผลลัพธ์



ก)

ข)

ค)

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการลบพื้นหลังในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำโดยใช้ภาพพื้นหลังที่ถูกปรับค่าให้ใกล้เคียงปัจจุบันแบบมีเงื่อนไข ก) เฟรมปัจจุบัน ข) เฟรมพื้นหลังที่ถูกปรับปรุงแบบมีเงื่อนไข ค) ผลลัพธ์

2.1.5 การตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยวิธีการสร้างพื้นหลังจากการผสมของระเบียบวิธีเกาส์เซียนหลายรูปแบบจากภาพสี (Gaussian mixture models)

การสร้างพื้นหลังจากการผสมของระเบียบวิธีเกาส์เซียนหลายรูปแบบ (Gaussian mixture models) หรือ GMMs เป็นการสร้างโมเดลของภาพพื้นหลังที่สามารถปรับค่าให้เป็นปัจจุบันได้ตลอดเวลาให้เหมือนกับพื้นหลังของทุก ๆ เฟรมปัจจุบันที่มีวัตถุที่เคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในเฟรมนั้น ๆ โดยแต่ละจุดสีในภาพจะถูกจำแนกเป็นจุดสีของพื้นหลังและจุดสีของวัตถุด้วยวิธีการแจกแจงแบบเกาส์เซียนที่มากกว่า 1 กลุ่ม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการหาโมเดลพื้นหลังที่มีความซับซ้อน กล่าวคือในสภาพแวดล้อมจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอนตามสภาพแวดล้อม เช่น ความเข้มของแสง เงาจากต้นไม้หรืออาคารต่าง ๆ รวมถึงการเคลื่อนที่ที่ถี่เกิดซ้ำ ๆ ทำให้ค่าของจุดสีที่ตำแหน่งเดิมของแต่ละลำดับเฟรมเปลี่ยนแปลงไป ทำให้การสร้างโมเดลของพื้นหลังเพียงหนึ่งโมเดลอาจจะไม่เพียงพอกับภาพการจราจรที่มีความซับซ้อน ดังนั้นจึงเสนอการสร้างโมเดลพื้นหลังที่มีหลายค่าเพื่อแก้ปัญหาจุดสีของพื้นหลังที่มีหลายค่าทำให้การแบ่งประเภทของจุดสีถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งในที่นี้พิจารณาค่าของแต่ละ

ละจุดสีของภาพที่ตำแหน่ง (x_0, y_0) เมื่อเวลาผ่านไป t ใด ๆ ได้ตั้งสมการที่ (2.8) และแสดงตัวอย่างข้อมูลของแต่ละจุดสีหรือ X_t ที่เวลา $t=20$ ได้ดังรูปที่ 2.9

$$\{X_1, \dots, X_t\} = \{I(x_0, y_0, i) : 1 \leq i \leq t\} \quad (2.8)$$

โดย X_1 แทน ค่าจุดสี ณ ตำแหน่ง (x_0, y_0) ที่เวลา $i=1$

X_t แทน ค่าจุดสี ณ ตำแหน่ง (x_0, y_0) ที่เวลา $i=t$

$I(x_0, y_0, i)$ แทน ค่าจุดสี ณ ตำแหน่ง (x_0, y_0) ที่เวลา i

และมีความน่าจะเป็นของการพิจารณาทุกค่าจุดสีที่เวลา t ใด ๆ อธิบายได้ดังสมการ (2.9)

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^K \omega_{i,t} * \eta(X_t; \mu_{i,t}, C_{i,t}) \quad (2.9)$$

โดย $P(X_t)$ แทน ความน่าจะเป็นของการพิจารณาทุกค่าจุดสีที่เวลา t

K แทน จำนวนของการแจกแจงเกาส์เซียนโดยปกติใช้ 3 ถึง 5

$\omega_{i,t}$ แทน ค่าน้ำหนักของเกาส์เซียนตัวที่ i^{th} ที่เวลา t

$\mu_{i,t}$ แทน ค่าเฉลี่ยของเกาส์เซียนตัวที่ i^{th} ที่เวลา t

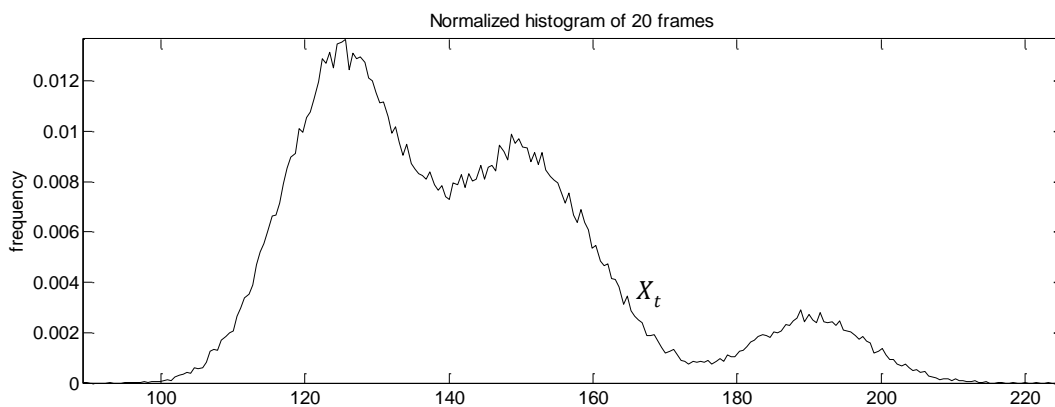
η แทน Gaussian probability density function แสดงดังสมการ (2.10)

$$\eta(X_t; \mu, C) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |C|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(X_t - \mu)^T C^{-1} (X_t - \mu)} \quad (2.10)$$

$C_{i,t}$ แทน ค่าความแปรปรวนร่วมของเกาส์เซียนตัวที่ i^{th} ที่เวลา t และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบสมการ (2.11) โดยสมมติว่าค่าจุดสี R G และ B อิสระต่อกันและมีค่าความแปรปรวน (σ_i^2) เดียวกัน

$$C_{i,t} = \sigma_i^2 I \quad (2.11)$$

ซึ่งวิธี GMMs สร้างรูปแบบของพื้นหลัง (background models) โดยใช้วิธีการประมาณค่ามากที่สุด (Expectation Minimization) หรือ EM algorithm ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อสร้างการแจกแจงเกาส์เซียนตามจำนวนที่กำหนดโดยในตัวอย่างนี้กำหนด $K=3$



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างข้อมูลค่าความเข้มแสงของภาพการจราจร 20 ภาพ

ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการประมาณค่ามากที่สุดออกเป็นสองขั้นตอนคือ การประมาณค่าและการปรับปรุงค่า โดยการประมาณค่าสามารถทำได้ดังสมการ (2.12)

$$P^{(j)}(i|n) = \frac{\omega_i^{(j)} \eta(X_n; \mu_i^{(j)}, \sigma_i^{(j)})}{\sum_{i=1}^K \omega_i^{(j)} \eta(X_n; \mu_i^{(j)}, \sigma_i^{(j)})} \quad (2.12)$$

โดย $\omega_i^{(j)}$ แทน ค่าถ่วงน้ำหนักของความเข้มทุก ๆ จุดภาพในรอบการคำนวณที่ j

$\mu_i^{(j)}$ แทน ค่าเฉลี่ยของความเข้มทุก ๆ จุดภาพในรอบการคำนวณที่ j

$\sigma_i^{(j)}$ แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มทุก ๆ จุดภาพในรอบการคำนวณที่ j

$P^{(j)}(i|n)$ แทน ความน่าจะเป็นที่จุดภาพที่ n จะเป็นองค์ประกอบที่ i

n แทน จุดภาพ

i แทน องค์ประกอบ (label)

j แทน รอบที่ใช้ในการคำนวณ

η แทน Gaussian probability density function

K แทน จำนวนการแจกแจงเกาส์เซียน

โดยจะต้องกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปร $\omega_i^{(0)}, \mu_i^{(0)}, \sigma_i^{(0)}$ ในสมการ (2.12) จากนั้นค่าความน่าจะเป็นหรือ $P(i|n)$ ที่คำนวณได้จะถูกนำมาปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ ตามสมการ (2.13) (2.14) และ (2.15) ตามลำดับ

$$\mu_i^{(j+1)} = \frac{\sum_{n=1}^N P^{(j)}(i|n) X_n}{\sum_{n=1}^N P^{(j)}(i|n)} \quad (2.13)$$

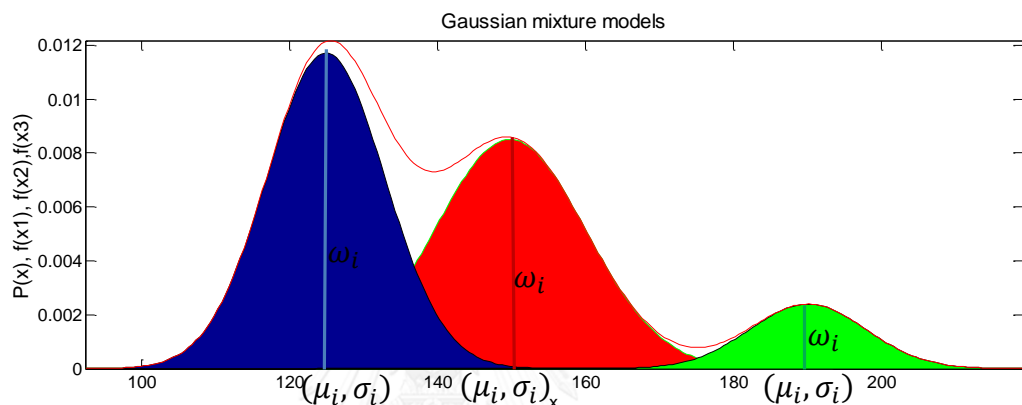
$$\sigma_i^{(j+1)} = \sqrt{\frac{1}{D} \frac{\sum_{n=1}^N P^{(j)}(i|n) \|x_n - \mu_i^{(j+1)}\|^2}{\sum_{n=1}^N P^{(j)}(i|n)}} \quad (2.14)$$

$$\omega_i^{(j+1)} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P^{(j)}(i | n) \quad (2.15)$$

โดย D แทน มิติของข้อมูล

N แทน จำนวนจุดภาพทั้งหมด

ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกปรับปรุงนี้จะถูกส่งกลับไปคำนวณค่าความน่าจะเป็นตามสมการ (2.12) และทำซ้ำไปจนกระทั่งค่าความน่าจะเป็นของรอบปัจจุบันมีค่าใกล้เคียงกับรอบที่ผ่านมา มาก ๆ สุดท้ายจะได้การแจกแจงแบบเกาส์เซียนที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ $(\omega_i, \mu_i, \sigma_i)$ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการแจกแจงแบบเกาส์เซียนที่ได้จากวิธี EM algorithm

เมื่อได้รูปแบบพื้นหลังในลักษณะการแจกแจงเกาส์เซียนแล้วเมื่อมีเฟรมใหม่เข้ามาทุกจุดสีของเฟรมใหม่จะถูกตรวจสอบกับทุกการแจกแจงเกาส์เซียนที่มีอยู่เพื่อทำการจับคู่ (matching) กับการแจกแจงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะเข้าคู่กันเมื่อจุดสีนั้นอยู่ภายในระยะ 2.5 ส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือ $2.5\sigma_i$ ของการแจกแจงใด ๆ ดังรูปที่ 2.11 ถ้าจุดภาพของเฟรมใหม่อยู่ในระยะ $2.5\sigma_i$ ของการแจกแจงสีน้ำเงินจะถือว่าเป็นประเภทของการแจกแจงนี้ แต่ถ้าจุดสีใหม่ไม่เข้าคู่กับการแจกแจงใดเลย การแจกแจงเดิมที่มีความเป็นไปได้น้อยที่สุดจะถูกแทนด้วยการแจกแจงของจุดสีใหม่ด้วยค่าเฉลี่ยใหม่ที่มีค่าความแปรปรวนสูงและมีค่าน้ำหนักต่ำ ซึ่งทุกครั้งที่มีเฟรมใหม่เข้ามาค่าน้ำหนักของทุกการแจกแจงจะต้องถูกปรับตามสมการ (2.16)

$$\omega_{k,t} = (1-\alpha)\omega_{k,t-1} + \alpha(M_{k,t}) \quad (2.16)$$

โดย $\omega_{k,t}$ แทน ค่าน้ำหนักใหม่ของการแจกแจงเกาส์เซียนตัวที่ k ที่เวลา t

$\omega_{k,t-1}$ แทน ค่าน้ำหนักเดิมของการแจกแจงเกาส์เซียนตัวที่ k ที่เวลา $t-1$

α แทน อัตราการเรียนรู้

$M_{k,t}$ เท่ากับ 1 ถ้าการแจกแจงนั้นเข้าคู่และเท่ากับ 0 ถ้าไม่เข้าคู่

โดยที่การแจกแจงใดที่ไม่เข้ากับจุดสีใหม่จะมีค่า (μ, σ) เหมือนเดิมแต่การแจกแจงที่เข้ากับจุดสีใหม่จะถูกปรับ (μ, σ) ให้เป็นปัจจุบันตามสมการ (2.17) และ (2.18)

$$\mu_t = (1 - \rho)\mu_{t-1} + \rho X_t \quad (2.17)$$

$$\sigma_t^2 = (1 - \rho)\sigma_{t-1}^2 + \rho(X_t - \mu_t)^T(X_t - \mu_t) \quad (2.18)$$

โดย μ_t แทน ค่าเฉลี่ยใหม่ของการแจกแจงเกาส์เซียนที่เวลา t

μ_{t-1} แทน ค่าเฉลี่ยเดิมของการแจกแจงเกาส์เซียนที่เวลา $t-1$

X_t แทน ค่าจุดสีของเฟรมใหม่

ρ แทน Gaussian probability density function ของจุดสีเฟรมใหม่

$$\rho = \alpha \eta(X_t | \mu_k, \sigma_k) \quad (2.19)$$

α แทน อัตราการเรียนรู้

σ_t^2 แทน ค่าความแปรปรวนใหม่ของการแจกแจงเกาส์เซียนที่เวลา t

σ_{t-1}^2 แทน ค่าความแปรปรวนเดิมของการแจกแจงเกาส์เซียนที่เวลา $t-1$

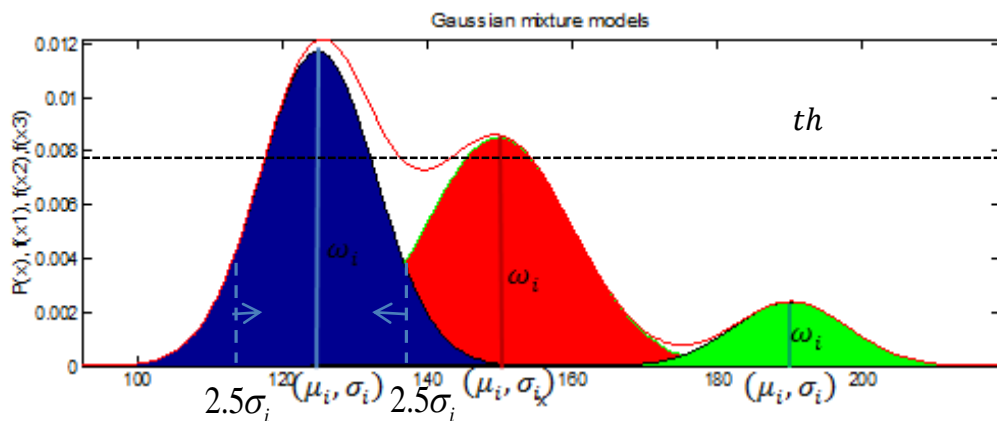
ซึ่งวิธีการในการจำแนกว่าการแจกแจงใดเป็นส่วนของพื้นหลังหรือส่วนของวัตถุเคลื่อนที่นั้นหาได้จากสมการ (2.20) โดยถ้าค่า ω_i ของการแจกแจงใดมากกว่าค่าขีดแบ่งการแจกแจงนั้นจะเป็นส่วนของพื้นหลังเพราะบ่งบอกถึงความหนาแน่นของปริมาณค่าความเข้มแสงของพื้นหลังที่มีในภาพแต่ถ้าค่า ω_i มีค่าน้อยกว่าจะเป็นส่วนของวัตถุเคลื่อนที่และสามารถอธิบายการได้ดังรูปที่ 2.11

$$\sum_{i=1}^K \omega_i > th \quad (2.20)$$

โดย K แทน จำนวนของการแจกแจงเกาส์เซียน

ω_i แทน ค่าน้ำหนักของการแจกแจงเกาส์เซียนตัวที่ i^{th}

th แทน ค่าขีดแบ่ง



รูปที่ 2.11 แสดงการจำแนกประเภทจุดภาพของวิธี GMMs



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการหาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมสูงด้วยวิธี GMMs

ก) เฟรมปัจจุบัน ข) ผลลัพธ์



รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างการหาวัตถุเคลื่อนที่ในชุดเฟรมที่มีอัตราเฟรมต่ำด้วยวิธี GMMs

ก) เฟรมปัจจุบัน ข) ผลลัพธ์

2.1.6 การตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยวิธีการสร้างพื้นหลังจากการผสมของระเบียบวิธีเกาส์เซียนหลายรูปแบบโดยใช้ภาพขอบ (Edge Gaussian mixture models)

วิธีนี้ใช้การตรวจจับด้วยวิธีเดียวกับหัวข้อ 2.1.5 แต่ใช้การสร้างรูปแบบพื้นหลังจากภาพขอบแทนการใช้ภาพสีเรียกว่าวิธี EGMMs เพราะการใช้ค่าความเข้มแสงในภาพสีมาสร้างโมเดลจะได้รับอิทธิพลในกรณีที่มีแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันต่างจากการใช้ภาพขอบที่มักไม่ได้รับผลกระทบจากแสงที่เปลี่ยนไป การหาภาพขอบวัตถุสามารถกระทำได้หลายวิธีแต่วิธีการหาขอบแบบแคณนี่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุด

การหาขอบแบบแคณนี่ (Canny edge detection)

เริ่มต้นการทำงานด้วยการกำจัดสัญญาณรบกวนของรูปโดยใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน จากนั้นทำการคำนวณหาค่าขนาด (magnitude) และทิศทาง (orientation) ของเกรเดียนต์โดยใช้การกระทำทางเกรเดียนต์ (gradient operator) ด้วยการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งเช่น โรเบิร์ตส์, 프리วิทท์, โซเบล เป็นต้น ถัดมาใช้นอนแมกซิมาซัพเพรสชัน (nonmaxima suppression) เพื่อให้ขอบของรูปที่ได้บางลง ขั้นตอนสุดท้ายใช้ค่าขีดแบ่งสองระดับ (double threshold algorithm) เพื่อทำการระบุขอบของรูป รวมถึงกำจัดสัญญาณรบกวนที่อาจหลงเหลือจากการใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน และช่วยลดรายละเอียดที่ไม่ต้องการภายในของรูปด้วย โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ทำให้เรียบโดยใช้เกาส์เซียน (Smoothing with Gaussian filter)

ขั้นตอนแรกของการหาขอบด้วยวิธีแคนนี่ จะเริ่มจากการกำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อน ซึ่งเกาส์เซียนเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนสามารถคำนวณได้โดยการใช้ หน้าต่าง ซึ่งขนาดของหน้าต่างจะมีผลต่อภาพหากมีขนาดกว้างจะทำให้ข้อมูลภาพผลลัพธ์ลด สัญญาณรบกวนได้มาก แต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะส่งผลทำให้ขอบภาพย้อยๆที่เป็นส่วนของ รายละเอียดนั้นหายไปซึ่งการคำนวณเกาส์เซียนเป็นดังสมการ (2.21)

$$S[i, j] = G[i, j, \sigma] * I[i, j] \quad (2.21)$$

$$G[i, j, \alpha] = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(i^2+j^2)/2\sigma^2} \quad (2.22)$$

โดยที่ * แทน การคอนโวลูชัน

$I[i, j]$ แทน ภาพระดับเทา (grayscale image)

σ แทน ควบคุมระดับของการทำให้ภาพเรียบ

- การคำนวณเกรเดียนต์ (Gradient calculation)

ขั้นแรกนำภาพที่ผ่านการทำให้เรียบโดยนำ $S[i, j]$ มาใช้ในการหาอนุพันธ์ย่อย (Partial derivatives) x, y เป็น $P[i, j]$ และ $Q[i, j]$ ตามลำดับ ซึ่งจะอาศัยการหาขอบของภาพตามวิธีโซเบลมาช่วยดังสมการ (2.23) และ (2.24)

$$P[i, j] = (S[i-1, j+1] + 2 * S[i, j+1] + S[i+1, j+1]) - (S[i-1, j-1] + 2 * S[i, j-1] + S[i+1, j-1]) \quad (2.23)$$

$$Q[i, j] = (S[i-1, j-1] + 2 * S[i-1, j] + S[i-1, j+1]) - (S[i+1, j-1] + 2 * S[i+1, j] + S[i+1, j+1]) \quad (2.24)$$

หลังจากนั้นนำค่าการหาอนุพันธ์ย่อย x, y มาคำนวณด้วยสูตรมาตรฐานสำหรับการแปลงรูปจากพิกัดมุมฉาก (rectangular) ไปเป็นพิกัดเชิงขั้ว (polar) เพื่อหาขนาดและทิศทางของเกรเดียนต์ตามสมการ (2.25)

$$M[i, j] = \sqrt{P[i, j]^2 + Q[i, j]^2} \quad (2.25)$$

$$\theta[i, j] = \arctan(Q[i, j] / P[i, j])$$

(2.26)

จากสมการข้างต้นจะสามารถหาค่ามุม θ ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรใน $\arctan(y / x)$

- นอนแมกซิมาซัพเพรสชัน (Nonmaxima suppression)

การหาขอบด้วยวิธีแคนนี่ จุดที่จะถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกับเกรเดียนต์ด้วย ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่ามุม θ ออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

$$Non_ \theta[i, j] = \begin{cases} 0 & \text{if } -22.5 < \theta[i, j] \leq 22.5 \quad \text{and} \quad 157.5 < \theta[i, j] \leq 202.5 \\ 1 & \text{if } -22.5 < \theta[i, j] \leq 67.5 \quad \text{and} \quad 202.5 < \theta[i, j] \leq 247.5 \\ 2 & \text{if } 67.5 < \theta[i, j] \leq 122.5 \quad \text{and} \quad 247.5 < \theta[i, j] \leq 292.5 \\ 3 & \text{if } 112.5 < \theta[i, j] \leq 157.5 \quad \text{and} \quad 292.5 < \theta[i, j] \leq 337.5 \end{cases} \quad (2.27)$$

จากนั้นตรวจสอบค่า $M[i, j]$ กับ M ใกล้เคียงในทิศเดียวกับเกรเดียนต์ ถ้า $M[i, j]$ มากกว่า M ใกล้เคียงจะคงค่านั้นไว้ แต่ถ้าน้อยกว่า $M[i, j]$ จะมีค่าเป็นศูนย์ด้วยวิธีดังกล่าวนี้ ทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 พิกเซล ภาพที่ได้หลังการทําอนแมกซิมาซัพเพรสชันจะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุดยกเว้นจุดที่เป็นค่าที่มากที่สุด ในทิศเดียวกับเกรเดียนต์ซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

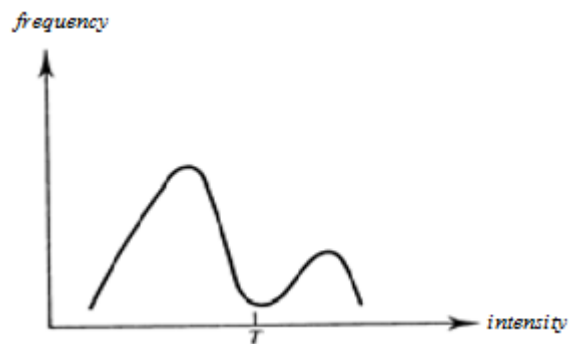
- การขีดแบ่งค่าสองระดับ (Double thresholds)

แม้ว่าภาพจะผ่านการทําให้เรียบมาในขั้นตอนแรกแล้ว แต่ภาพที่ได้อาจยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่ เนื่องจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็นพื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียดภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่าขีดแบ่งขึ้นมา 2 ค่า คือค่าขีดแบ่งสูงสุด (High Threshold: $T1$) และค่าขีดแบ่งต่ำสุด (Low Threshold: $T2$) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า $T1$ จะถูกปรับเป็น 1 (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า $T2$ จะถูกปรับเป็น 0 ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่าขีดแบ่งทั้งสองนั้น การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 ขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ค่า $> T1$) มีค่ามากกว่า $T2$ แล้วจะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกัน

เมื่อผ่านการระบวนการทั้งหมดสุดท้ายภาพสีจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของภาพขอบแบบไบนารีซึ่งและภาพขอบนี้จะถูกนำมาใช้ในการสร้างรูปแบบพื้นหลังจากการผสมของระเบียบวิธีเกาส์เซียนหลายรูปแบบ (Gaussian mixture models) หรือ GMMs เพื่อจำแนกวัตถุที่สนใจต่อไป

2.2 การแบ่งระดับข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเรชโฮล (Thresholding)

การทำเรชโฮล [24] ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการแบ่งส่วนภาพ (segmentation) เพราะจะใช้ค่าเรชโฮลในการแบ่งค่าความเข้มแสงในภาพออกเป็นสองระดับในรูปแบบของภาพไบนารี ขาวดำ ดังนั้นการเลือกค่าเรชโฮลที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการมากที่สุด ปัจจุบันการหาค่าเรชโฮลจะอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าค่าความเข้มแสงในภาพที่สนใจจะมีการกระจายตัวแบบคู่ (bimodel) ดังนั้นค่าเรชโฮลที่เหมาะสมคือค่าระหว่างฮิสโตแกรมที่แยกข้อมูลทั้งสองกลุ่มออกจากกันมากที่สุด ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 จำลองฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพ

จากรูปที่ 2.14 แสดงค่าฮิสโตแกรมของการกระจายตัวของค่าความเข้มแสง (intensity) ในภาพโดย T คือค่าเรชโฮลที่ใช้แบ่งค่าความเข้มแสงออกเป็นสองกลุ่มลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การทำเรชโฮลแบบสองระดับ (bilinear thresholding) กล่าวคือ การใช้ค่าเรชโฮลที่ถูกกำหนดเพื่อแบ่งภาพที่มีความเข้มแสงแบบคงที่เพียงสองระดับคือ ความเข้มของวัตถุและความเข้มของพื้นหลัง ค่าเรชโฮลนี้จะสามารถแบ่งวัตถุและพื้นหลังได้อย่างชัดเจน เช่น การทำเรชโฮลในภาพตัวอักษร เป็นต้น แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาการหาค่าเรชโฮลแบบอัตโนมัติเป็นหลักเพราะสามารถหลีกเลี่ยงความยุ่งยากในการกำหนดค่าที่เหมาะสมเองอีกทั้งค่าที่ได้ยังมีความถูกต้องแม่นยำสูง ซึ่งในปัจจุบันการหาค่าเรชโฮลแบบอัตโนมัติประกอบด้วย

2.2.1 การหาค่าเรชโฮลโดยการปรับปรุงค่าซ้ำ (Global thresholding)

เป็นวิธีการหาค่าเรชโฮลที่ใช้บ่อยในกระบวนการการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล โดยกำหนดค่าเรชโฮลเริ่มต้นเพื่อแบ่งภาพออกเป็นสองกลุ่ม ในที่นี้กำหนดค่าเริ่มต้นเป็นค่าระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดในภาพดังสมการ (2.28) จากนั้นแบ่งภาพออกเป็นสองกลุ่มและทำการหาค่าความเข้มแสงของแต่ละกลุ่มเพื่อหาค่าเรชโฮลใหม่ดังสมการ (2.29) กระบวนการนี้จะทำซ้ำจนกระทั่งได้ค่าเรชโฮลใหม่ที่ต่างจากค่าเดิมน้อยที่สุดตามเงื่อนไขในสมการ (2.30)

$$Th = \frac{\max + \min}{2} \quad (2.28)$$

$$Th_{new} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \quad (2.29)$$

$$|Th - Th_{new}| < \varepsilon \quad (2.30)$$

โดยที่ Th แทน ค่าเรชโฮลเริ่มต้น

Th_{new} แทน ค่าเรชโฮลใหม่

ε แทน ค่าในการหยุด

2.2.2 การหาค่าเธรชโวลแบบใช้ค่าเอนโทรปี (Entropy-based thresholding)

เป็นการหาค่าเธรชโวลโดยใช้ค่าเอนโทรปีในการแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำแบบไบนารี ในส่วนนี้กล่าวถึงภาพที่มีมิติสีเดียวคือภาพ 256 ระดับสี (grayscale) หลักการของวิธีการนี้คือพิจารณาพื้นหน้าและพื้นหลังของภาพเป็นสัญญาณที่แตกต่างกันสองสัญญาณ โดยพื้นหน้าและพื้นหลังของภาพแยกออกจากกันด้วยค่าเธรชโวลซึ่งมีค่าระหว่าง 0-255 ในสมการ (2.31) จากนั้นหาค่าผลรวมค่าคอร์รีเลชันของเอนโทรปี $TC(T)$ ของสองสัญญาณนั้นโดยค่าผลรวมที่ตำแหน่งความเข้มแสงมากที่สุดคือค่าเธรชโวลที่เหมาะสมที่สุดในการแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำแบบไบนารี

$$TC(T) = -\log \sum_{i=0}^T \left\{ \left[\frac{p(i)}{P(T)} \right]^2 \right\} - \log \sum_{i=T+1}^{255} \left\{ \left[\frac{p(i)}{1-P(T)} \right]^2 \right\} \quad (2.31)$$

โดยที่ $p(i)$ แทน ค่าความน่าจะเป็นที่เป็นค่าความสว่าง i

T แทน ค่าเธรชโวลที่เหมาะสมในการแยกภาพสีเป็นภาพขาวดำ

$P(T)$ แทน ฟังก์ชันของความน่าจะเป็นแบบสะสมหาได้จาก $P(T) = \sum_{i=0}^{255} P(i)$

2.2.3 การหาค่าเธรชโวลแบบโอเอส (Otsu's thresholding)

การหาค่าเธรชโวลของวิธีการนี้เกิดจากแนวคิดที่ต้องการหาค่าเธรชโวลที่ทำให้ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มในฮิสโตแกรมมีค่ามากที่สุด โดยมีสมมุติฐานเริ่มต้นคือ ฮิสโตแกรมรวมของภาพมีการกระจายแบบคู่ (bimodel) การคำนวณเริ่มต้นจากการหาค่าความน่าจะเป็นสะสมทั้งสองกลุ่มดังสมการ (2.32) เมื่อได้ความน่าจะเป็นสะสมแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มดังสมการ (2.33) จากนั้นนำมาหาค่าเธรชโวลตามสมการ (2.34)

$$\omega_1(t) = \sum_{i=0}^t p_i, \quad \omega_2(t) = \sum_{i=t+1}^{255} p_i \quad (2.32)$$

โดยที่ $\omega_1(t)$ แทน ความน่าจะเป็นสะสมตั้งแต่ 0 ถึง t

$\omega_2(t)$ แทน ความน่าจะเป็นสะสมตั้งแต่ $t+1$ ถึง 255

p_i แทน ความน่าจะเป็นของค่าความเข้มแสง i

$$\mu_1(t) = \sum_{i=0}^t ip_i / \omega_1(t), \quad \mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^{255} ip_i / \omega_2(t) \quad (2.33)$$

โดยที่ $\mu_1(t)$ แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1

$\mu_2(t)$ แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 2

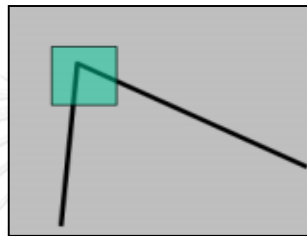
$$t^* = \underset{0 \leq t \leq 255}{\text{Max}} \{ \omega_1(t) \mu_1^2(t) + \omega_2(t) \mu_2^2(t) \} \quad (2.34)$$

โดยที่ t^* แทน ค่าเธรชโวลโอเอส

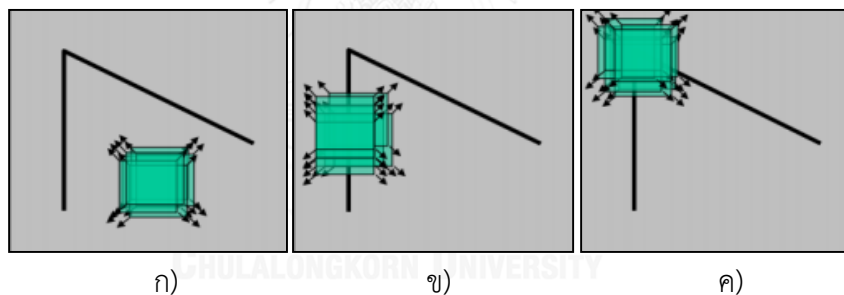
2.3 การตรวจจับจุดมุมด้วยวิธีฮาร์ริส (Harris corner detection)

โดยปกติยานพาหนะมักประกอบด้วยจุดมุมถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันในด้านของขนาดทิศทางหรือสี ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีของฮาร์ริส [25] ในการหามุมของยานพาหนะต่าง ๆ ในภาพการจราจร

การตรวจจับจุดมุมด้วยวิธีฮาร์ริสเป็นเทคนิคการหาจุดมุมของวัตถุในภาพที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากมีความแม่นยำสูง ซึ่งมีหลักการการค้นหาจุดมุมโดยมองผ่านหน้าต่างเล็ก ๆ (กรอบสี่เหลี่ยม) ที่กำหนดขึ้นโดยภายในจะเป็นเส้นของรูปจากนั้นให้เลื่อนหน้าต่างเล็ก ๆ ที่ได้กำหนดขึ้นไปในทิศทางต่าง ๆ ตามเส้นเมื่อพบกับการเปลี่ยนแปลงเส้นทางเป็นอย่างมากหรือกล่าวคือเกิดการหักเหของเส้นมาก ๆ จะถือว่าจุดนั้นเป็นจุดมุมดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แนวคิดการหามุมตามหลักการของฮาร์ริส



รูปที่ 2.16 การเลื่อนหน้าต่างย่อยในบริเวณต่าง ๆ ก) บริเวณพื้นเรียบ ข) บริเวณขอบ ค) บริเวณมุม
จากรูปที่ 2.16 ก) เป็นการเลื่อนหน้าต่าง (กรอบสี่เหลี่ยม) บนพื้นผิวเรียบซึ่งจะเห็นว่าไม่ว่าจะเลื่อนไปในทิศทางใดจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เช่นเดียวกับรูปที่ 2.16 ข) ที่ไม่ว่าเลื่อนหน้าต่างไปในทิศทางใดก็ยังไม่พบการหักเหหรือเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงเช่นกัน แต่ในรูปที่ 2.16 ค) จะเห็นว่าไม่ว่าจะเลื่อนหน้าต่างไปในทิศทางใดในบริเวณจุดมุมจะพบการเปลี่ยนแปลงหรือการหักเหของค่าความเข้มแสงเสมอ ซึ่งเป็นแนวคิดการหามุมตามวิธีของฮาร์ริสและการเลื่อนหน้าต่างไปบนภาพในทิศทาง $[u, v]$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการ (2.35) ได้ดังนี้

$$E(u, v) = \sum_{(x, y) \in W} \left[\underbrace{I(x+u, y+v)}_{\text{Shifted intensity}} - \underbrace{I(x, y)}_{\text{Intensity}} \right]^2 \quad (2.35)$$

โดย $E(u, v)$ แทน ผลรวมของค่าความเข้มแสงในการเลื่อนหน้าต่างที่ตำแหน่ง (x, y) ไปขนาด $[u, v]$

$I(x+u, y+v)$ แทน ค่าความเข้มแสงที่ตำแหน่ง $(x+u, y+v)$

$I(x, y)$ แทน ค่าความเข้มแสงที่ตำแหน่ง (x, y)

และสมมุติให้การเลื่อนตำแหน่งในทิศทาง $[u, v]$ มีขนาดเล็กมาก ๆ สามารถประมาณด้วยอนุกรม Taylor's จะได้

$$I(x+u, y+v) \approx I(x, y) + \frac{\partial I}{\partial x} u + \frac{\partial I}{\partial y} v \quad (2.36)$$

$$I(x+u, y+v) \approx I(x, y) + \begin{bmatrix} I_x & I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

แทนสมการ (2.37) ลงในสมการ (2.36) จะได้

$$E(u, v) = \sum_{(x, y) \in W} [I(x, y) + \begin{bmatrix} I_x & I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} - I(x, y)]^2 \quad (2.38)$$

$$E(u, v) = \sum_{(x, y) \in W} \left[\begin{bmatrix} I_x & I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \right]^2 \quad (2.39)$$

$$E(u, v) = \sum_{(x, y) \in W} [u \quad v] \underbrace{\begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_y I_x & I_y^2 \end{bmatrix}}_H \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

$$E(u, v) = \sum_{(x, y) \in W} [u \quad v] H \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

โดยที่ H คือ เมทริกซ์ของการเลื่อนกล่าวคือ ทุกครั้งที่ทำการเลื่อนหน้าต่างไปบนภาพจะได้เมทริกซ์ H หนึ่งค่าเสมอและทำการหาค่า eigenvalue จากเมทริกซ์ H ดังกล่าวด้วยสมการ (2.42)

$$\det(H - \lambda I) = 0 \quad (2.42)$$

$$\det \begin{bmatrix} h_{11} - \lambda_1 & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} - \lambda_2 \end{bmatrix} = 0 \left. \vphantom{\det} \right\} \lambda_1, \lambda_2 \quad (2.43)$$

โดย λ_1 และ λ_2 แทน eigenvalue ของเมทริกซ์ H

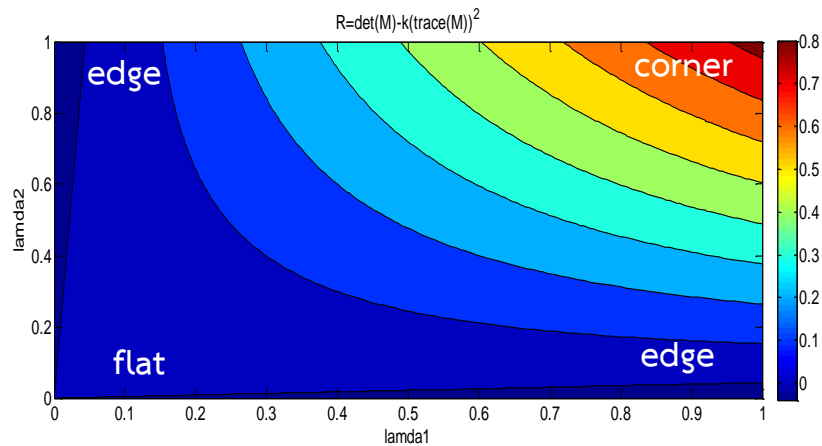
ค่า eigenvalue ที่ได้จะถูกนำมาหาค่า R ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกความเป็นจุดมุดตั้งสมการ (2.44) และสามารถอธิบายการจำแนกจุดมุดด้วยรูปที่ 2.17

$$R = \det(H) - k(\text{trace}(H))^2 \quad (2.44)$$

โดย $\det(H) = \lambda_1 \cdot \lambda_2$

$$\text{trace}(H) = \lambda_1 + \lambda_2$$

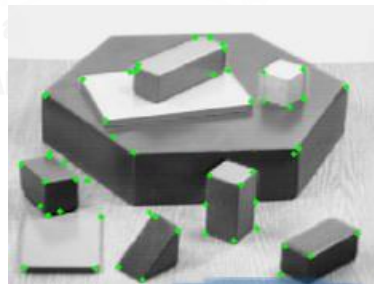
k แทน ค่าคงที่มีค่าระหว่าง 0.04-0.06



รูปที่ 2.17 รูปแสดงการจำแนกจุดมุม

จากรูปจะเห็นว่าในกรณีที่ค่า λ_1, λ_2 มีค่าน้อย ๆ บริเวณการเคลื่อนนั้นจะเป็นส่วนของพื้นราบ เพราะมีการเปลี่ยนแปลงค่าในทิศทางใด ๆ เพียงเล็กน้อยทำให้ค่า R ต่ำ ในขณะที่ถ้าค่า λ_1, λ_2 มีค่าแตกต่างกันมาก ๆ บริเวณการเคลื่อนนั้นจะเป็นขอบเพราะมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวและมีค่า R ตีดลบแต่ถ้า λ_1, λ_2 มีค่ามากทั้งคู่บริเวณการเคลื่อนนั้นจะมีลักษณะเป็นจุดมุมเพราะไม่ว่าจะเลื่อนหน้าต่างไปในทิศทางใด ๆ ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงที่มากที่สุดจึงทำให้ค่า R มีค่ามากยิ่งถ้า λ_1, λ_2 มีค่ามากก็จะยิ่งทำให้ค่า R มากขึ้นโอกาสที่การเคลื่อนนั้นจะเป็นจุดมุมก็จะมีค่าสูงขึ้นตามสมการ (2.45) โดยถ้าค่า R มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดบริเวณการเคลื่อนนั้นเป็นจุดมุม

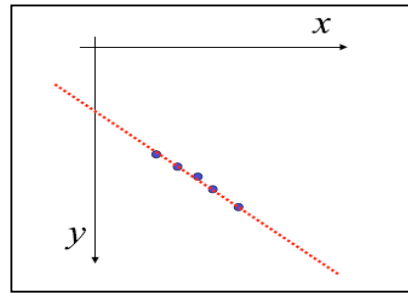
$$R > th \quad (2.45)$$



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างผลลัพธ์การหาจุดมุมของวิธีฮาร์ริส

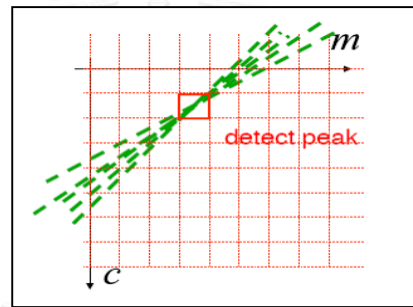
2.4 การแปลงฮัฟ (Hough transform)

การแปลงฮัฟ [26] เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้สำหรับตรวจจับเส้นตรงหรือรูปร่างทางเรขาคณิตภายในภาพโดยจะทำการตรวจหาจุดหรือพิกเซลขอบที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันดังรูปที่ 2.19 โดยจุดสีฟ้าแทน พิกเซลขอบใด ๆ ในภาพและเส้นสีแดงแทน แนวเส้นตรงเดียวของพิกเซลขอบทั้งหมด



รูปที่ 2.19 พิกเซลขอบที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

จากรูปที่ 2.19 เราต้องการหาพิกเซลขอบที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันมากที่สุดโดยปกติการหาเส้นตรงในแนวเดียวกันของแต่ละพิกเซลขอบ (จุดสีฟ้า) จะทำได้โดยการแปลงค่าพิกัดของแต่ละพิกเซล (x, y) เป็นค่า (m, c) ด้วยสมการเส้นตรง $y = mx + c$ และวาดลงบนระนาบ (m, c) ได้ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 เส้นตรงของแต่ละพิกเซลขอบในระนาบ (m, c)

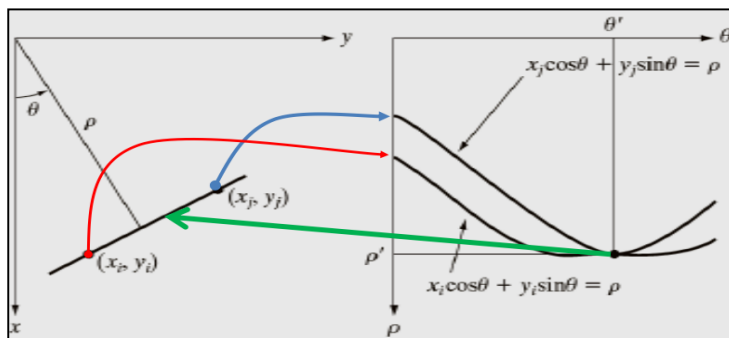
จากนั้นทำการตรวจสอบหาจุดที่มีค่าสูงสุดซึ่งเป็นบริเวณที่มีหลายเส้นมาตัดกันมากที่สุดด้วยรูปค่า (m, c) ณ จุดนั้นคือ ค่าของเส้นตรงที่อยู่ในแนวเดียวกันของพิกเซลขอบดังกล่าวแต่การใช้วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถหาค่าความชันของเส้นตรงในกรณีที่เป็นค่าอนันต์ (infinite-slope) ได้

ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาค่าความชันอนันต์จึงเสนอการแปลงฮัพซึ่งเป็นการพิจารณาเส้นตรงในพิกัดเชิงขั้ว (polar coordinate) แทนการพิจารณาเส้นตรงในระนาบ (x, y) ดังรูปที่ 2.21

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2.46)$$

โดยที่ ρ คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดไปตั้งฉากกับเส้นตรงใด ๆ

θ คือ มุมระหว่างแกน x กับเส้นที่ลากไปตั้งฉากกับเส้นตรงใด ๆ



รูปที่ 2.21 การเปลี่ยนพิกเซลขอบในพิกัด (x, y) เป็นพิกัดเชิงขั้ว (ρ, θ)

จากรูปที่ 2.21 รูปซ้ายแทนเส้นตรงใด ๆ ที่อยู่ในระนาบ (x, y) โดยที่ (x_i, y_i) แทนจุดสีแดงและ (x_j, y_j) แทนจุดสีน้ำเงินคือ พิกเซลขอบใด ๆ ที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันพิกเซลขอบดังกล่าวจะถูกแปลงให้อยู่ในพิกัดเชิงขั้วด้วยสมการ (2.46) ดังรูปขวาอธิบายตามเส้นสีแดงและน้ำเงินตามลำดับ จุดที่ตัดกันคือ ค่า (ρ, θ) ของเส้นตรงที่อยู่ในแนวเดียวกันของทั้งสองจุดยิ่งถ้ามีหลายเส้นมาตัดกันจะทำให้มีค่าสูงแสดงว่ามีหลายพิกเซลขอบที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

2.5 การหาวัตถุที่เชื่อมต่อกันในภาพไบนารี (Connected component detection)

การหาวัตถุที่เชื่อมต่อกันมักถูกใช้ในการหาจำนวนของวัตถุสีขาวที่ปรากฏในภาพไบนารีขาวดำ โดยแต่ละวัตถุคือ กลุ่มของพิกเซลสีขาวที่เชื่อมต่อกันในภาพ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- เริ่มแรกทำการกราดตรวจพิกเซลในภาพไบนารีทีละแถว
- เมื่อเจอพิกเซลสีขาวจะถือว่าจุดนั้นเป็นจุดเริ่มต้นของวัตถุนั้นและทำการตรวจสอบพิกเซลรอบข้างใน 8 ทิศทาง (8 neighbor pixels) เพื่อหาพิกเซลสีขาวที่ติดกัน พิกเซลรอบข้างสีขาวที่ติดกันนี้จะถือเป็นวัตถุเดียวกัน
- จากนั้นทำซ้ำโดยพิกเซลรอบข้างสีขาวดังกล่าวจะถูกตรวจสอบพิกเซลรอบข้างใน 8 ทิศทางเพื่อหาพิกเซลสีขาวที่ติดกัน
- ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่พบพิกเซลสีขาวที่เชื่อมต่อกันอีก

จากนั้นทำการกราดตรวจในแถวถัดไป ถ้าเจอพิกเซลสีขาวที่ถูกตรวจสอบไปแล้วให้ข้ามไปตรวจพิกเซลสีขาวที่ยังไม่ถูกตรวจสอบพิกเซลสีขาวใหม่จะถือเป็นวัตถุใหม่ในภาพ จากนั้นทำการตรวจสอบพิกเซลรอบข้างตามวิธีข้างต้นไปเรื่อย ๆ ทำการกราดตรวจเช่นนี้ จนครบทุกแถวในภาพ

2.6 การรวมกลุ่มข้อมูล (Combining cluster)

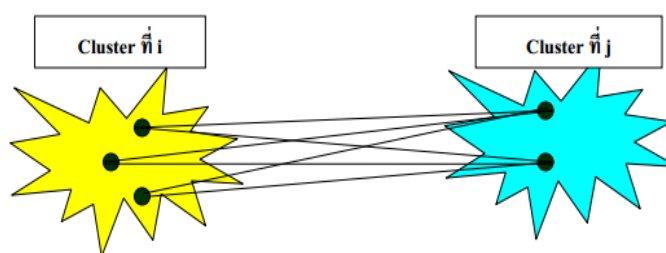
โดยปกติมักนิยมใช้การรวมกลุ่มแบบเป็นขั้นตอนหรือ Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รวม 2 ข้อมูลให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันโดยพิจารณาจากระยะห่างหรือค่าความคล้าย

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาว่าจะรวมข้อมูลที่ 3 เข้าไปในกลุ่มแรกหรือแยกเป็นกลุ่มใหม่โดยพิจารณาจากค่าระยะห่างหรือค่าความคล้าย

ทำขั้นที่ 3, 4, ... โดยใช้หลักเกณฑ์เดียวกับขั้นตอนที่ 2 คือ รวมวัตถุใหม่เข้าไปในกลุ่มเดิมหรือแยกเป็นกลุ่มใหม่โดยใช้ค่าระยะห่าง ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งทุกข้อมูลถูกรวมกลุ่มเข้าด้วยกันทั้งหมด การรวมกลุ่มมีหลายวิธีดังต่อไปนี้

2.6.1 การรวมกลุ่มแบบเฉลี่ย (Average linkage)



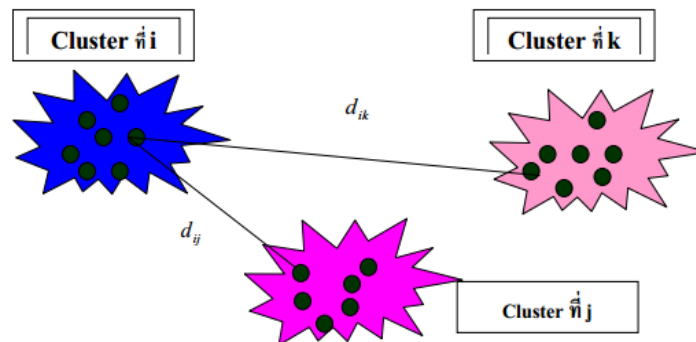
รูปที่ 2.22 การรวมกลุ่มแบบเฉลี่ย

วิธีนี้จะคำนวณหาระยะห่างเฉลี่ยของทุกคู่ของข้อมูลโดยที่ข้อมูลหนึ่งจะอยู่ในกลุ่ม i และอีกข้อมูลหนึ่งอยู่ในกลุ่ม j ถ้ากลุ่ม i มีระยะห่างเฉลี่ยจากกลุ่ม j สั้นกว่ากลุ่มอื่นจะนำข้อมูล i และ j รวมเป็นกลุ่มเดียวกัน

2.6.2 การรวมกลุ่มแบบเฉลี่ยภายในกลุ่ม (Average linkage within groups)

วิธีนี้จะรวมกลุ่มข้อมูลเข้าด้วยกันถ้าระยะห่างเฉลี่ยระหว่างทุกข้อมูลในกลุ่มนั้น ๆ มีค่าน้อยที่สุด

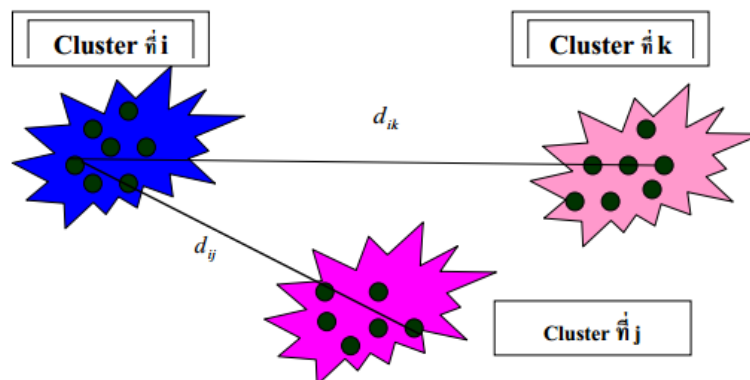
2.6.3 การรวมกลุ่มแบบเดียวระยะสั้นที่สุด (Single linkage)



รูปที่ 2.23 การรวมกลุ่มแบบเดียวระยะใกล้

วิธีนี้จะรวมกลุ่ม 2 กลุ่มเข้าด้วยกันโดยพิจารณาจากระยะห่างที่สั้นที่สุด โดยที่ d_{ik} เป็นระยะห่างที่สั้นที่สุดระหว่างกลุ่ม i และ k ในรูปที่ 2.23 จะรวมกลุ่ม i และ j เข้าด้วยกันเพราะ $d_{ij} < d_{ik}$

2.6.4 การรวมกลุ่มแบบเดียวระยะไกลที่สุด (Complete linkage)



รูปที่ 2.24 การรวมกลุ่มแบบเดียวระยะไกล

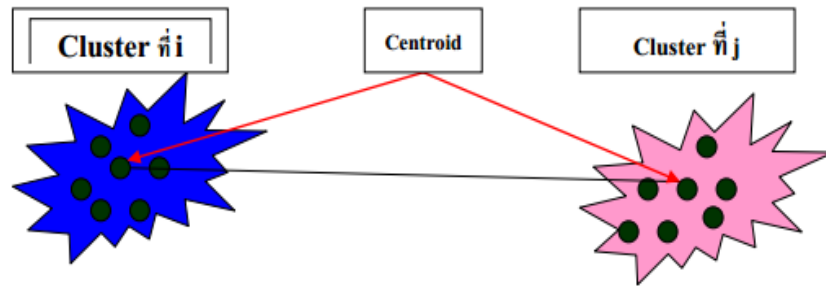
วิธีนี้จะรวมกลุ่มสองกลุ่มเข้าด้วยกันโดยพิจารณาจากระยะห่างที่ยาวที่สุด

โดยที่ d_{ik} แทน ระยะห่างที่ยาวที่สุดของกลุ่มที่ i และ k

d_{ij} แทน ระยะห่างที่ยาวที่สุดของกลุ่มที่ i และ j

ในที่นี้ $d_{ij} < d_{ik}$ จึงรวมกลุ่มที่ i และ k เข้าด้วยกัน

2.6.5 การรวมกลุ่มแบบจุดศูนย์กลาง (Centroid linkage)



รูปที่ 2.25 การรวมกลุ่มแบบจุดศูนย์กลาง

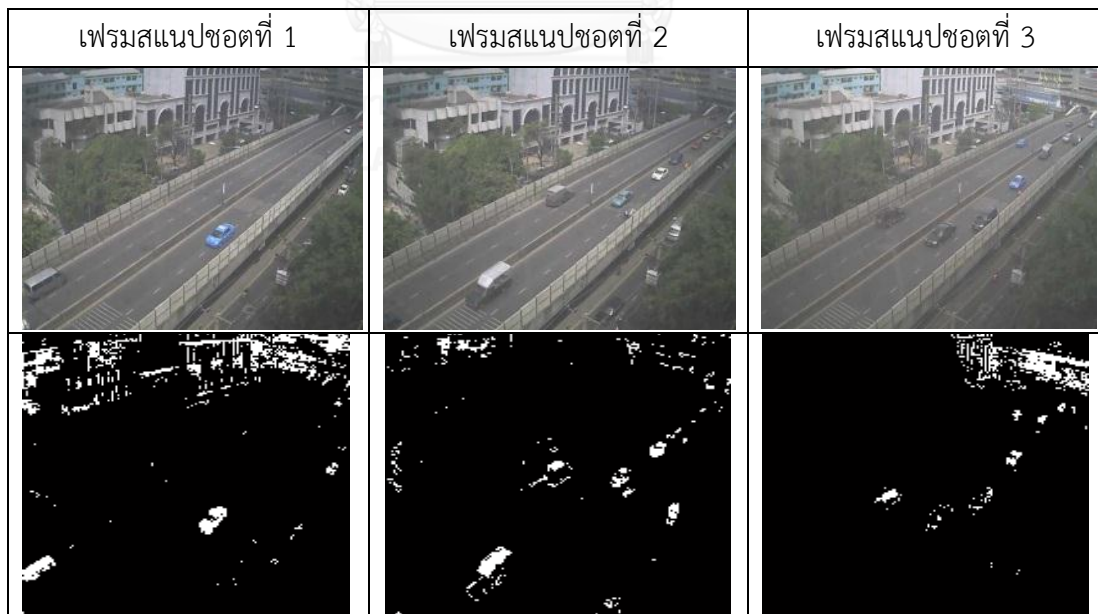
วิธีนี้จะรวมกลุ่ม 2 กลุ่มเข้าด้วยกันโดยพิจารณาจากระยะห่างของจุดกลางของกลุ่ม วิธีการนี้จะคำนวณหาระยะห่างระหว่าง Centroid ของกลุ่มทีละคู่ ในที่นี้จะเรียกค่าเฉลี่ยหรือค่ากลางของแต่ละกลุ่มว่า Centroid ของกลุ่ม เนื่องจากการแบ่งกลุ่มข้อมูลจะพิจารณาจากตัวแปรหลาย ๆ ตัวพร้อม ๆ กันจึงเรียกค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยว่า Centroid ระยะห่างระหว่าง Centroid ของกลุ่มคู่ใดต่าจะรวมกลุ่มคู่นั้นเป็นกลุ่มเดียวกัน

บทที่ 3

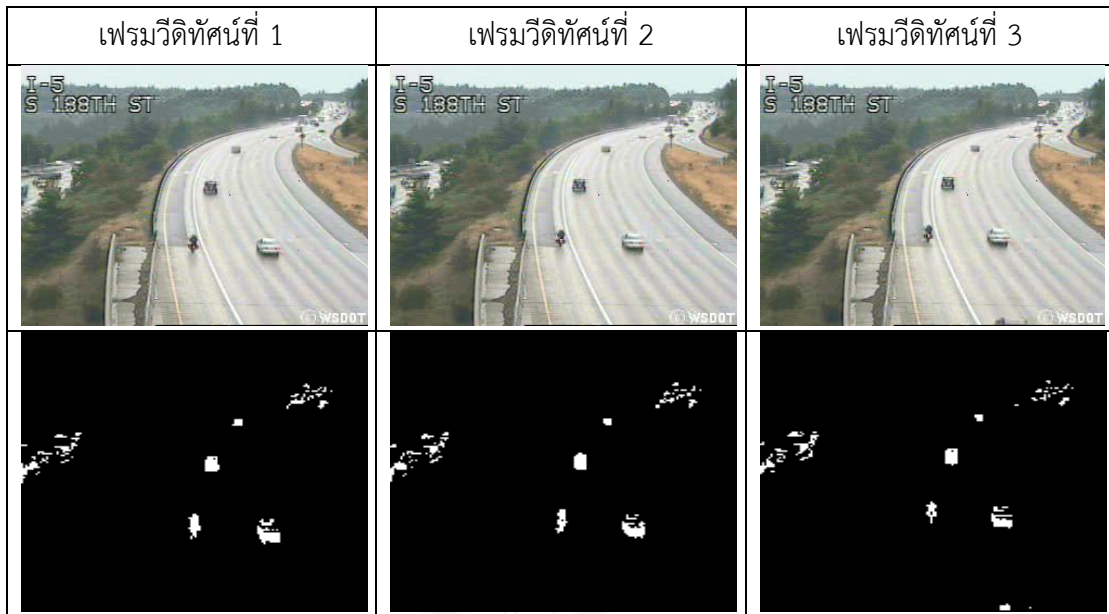
ขั้นตอนการดำเนินงาน

ภาพการจราจรจากโครงการเครือข่ายตาจราจรเป็นภาพแบบสแนปชอตที่มีอัตราเฟรมต่ำกว่าชุดเฟรมแบบปกติที่แสดงในรูปที่ 3.1 โดยจะเห็นว่าในแต่ละลำดับเฟรมมีค่าความเข้มแสงในแต่ละบริเวณไม่ต่อเนื่องกันและมียานพาหนะในแต่ละเฟรมไม่เหมือนกันทั้งนี้เพราะถูกเก็บภาพในช่วงเวลาที่ต่างกันจึงทำให้แต่ละเฟรมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันน้อยจึงเป็นปัญหาในการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ และจากผลลัพธ์ภาพไบนารีของการตรวจจับยานพาหนะในภาพสแนปชอตด้วยวิธีลบพื้นหลังจะเห็นว่าไม่สามารถตรวจจับวัตถุยานพาหนะได้ถูกต้องเพราะภาพที่ใช้ลบพื้นหลังมีความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันแต่จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าการตรวจจับยานพาหนะในภาพวิดีโอที่ค้นกลับสามารถตรวจจับวัตถุยานพาหนะได้อย่างถูกต้องไม่มีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นเพราะมีความต่อเนื่องของค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกันมาก

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจจับยานพาหนะในภาพ สแนปชอต และสามารถประเมินสภาพการจราจรในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยใช้ชุดเฟรมแบบสแนปชอตจากโครงการเครือข่ายตาจราจรในการทดลองทั้งหมด 3 ชุดภาพแต่ละชุดภาพมีอัตราเฟรมใกล้เคียงกันประมาณ 15 วินาทีต่อเฟรมซึ่งเป็นภาพในช่วงเวลาตั้งแต่ 7.00 นาฬิกาถึง 16.00 นาฬิกา



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างผลลัพธ์ภาพไบนารีของการตรวจจับยานพาหนะในภาพสแนปชอต



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ภาพไบนารีของการตรวจจับยานพาหนะในวีดิทัศน์




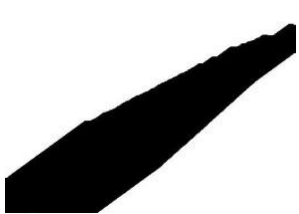
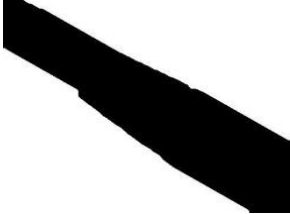
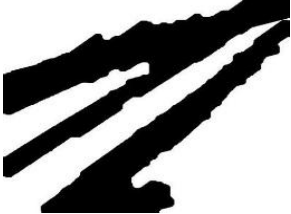


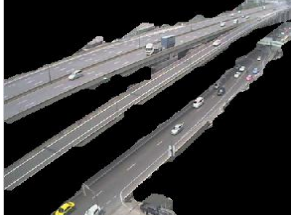






ขั้นตอนการดำเนินงานในวิทยานิพนธ์นี้สามารถแบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ๆ คือ การแบ่งส่วนภาพถนนในภาพการจราจร การตรวจจับยานพาหนะในภาพการจราจรและการประเมินสภาพการจราจร

3.1 การแบ่งส่วนภาพถนนในภาพการจราจร

การแบ่งส่วนภาพถนนในภาพการจราจรเป็นกระบวนการแรกในการตรวจจับยานพาหนะในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อจำกัดขอบเขตของการประมวลผลให้ทำเฉพาะบริเวณที่มีการเคลื่อนที่เกิดขึ้นเท่านั้น

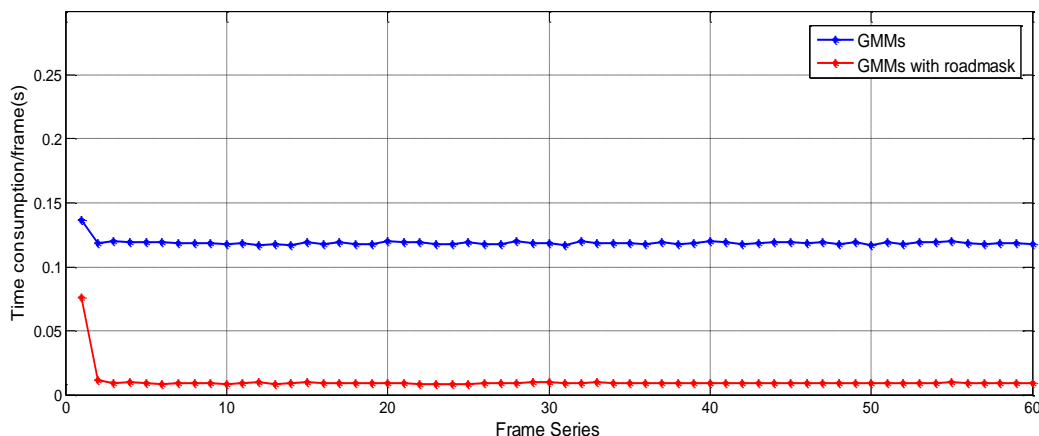
3.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพของการใช้ภาพถนนในเบื้องต้น

ในเบื้องต้นผู้วิจัยต้องการทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจจับยานพาหนะเฉพาะในบริเวณถนนที่สนใจเพื่อทดสอบว่าการใช้ภาพถนนสามารถป้องกันการตรวจจับที่ผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการลบพื้นหลังภายนอกบริเวณถนนได้หรือไม่ ซึ่งทดลองโดยใช้การหาภาพถนนจากงานวิจัยก่อนหน้า [27] ในการจำกัดบริเวณถนนและได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.3

	ตัวอย่างภาพชุดที่ 1	ตัวอย่างภาพชุดที่ 2	ตัวอย่างภาพชุดที่ 3
ภาพการจราจร			
ภาพถนน			
ภาพถนนการจราจร			
ผลลัพธ์เมื่อใช้ภาพถนน			
ผลลัพธ์เมื่อไม่ใช้ภาพถนน			

รูปที่ 3.3 ผลลัพธ์ของการใช้ภาพถนนของข้อมูลชุดที่ 1 2 และ 3

จากรูปที่ 3.3 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ในภาพการจราจรที่จำกัดบริเวณถนนและไม่จำกัดบริเวณถนนของทั้ง 3 ชุดข้อมูล จะเห็นว่าผลลัพธ์ของการตรวจจับยานพาหนะในภาพการจราจรที่ไม่ถูกจำกัดบริเวณถนนจะมีสิ่งรบกวนภายนอกเกิดขึ้นจำนวนมากและเมื่อจำกัดบริเวณถนนจะเห็นว่าสามารถป้องกันและลดการเกิดสิ่งรบกวนภายนอกได้ นอกจากนี้รูปที่ 3.4 ยังแสดงกราฟเปรียบเทียบเวลาในการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ด้วยวิธี GMMs ของภาพการจราจรที่ไม่จำกัดบริเวณถนนและจำกัดถนนในแต่ละเฟรม ซึ่งจะเห็นว่า การจำกัดบริเวณถนนเป็นการลดพื้นที่ในการประมวลผลลงทำให้ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลน้อยลงมาก



รูปที่ 3.4 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลระหว่างภาพปกติและภาพที่จำกัดบริเวณถนนของข้อมูลชุดที่ 1 จำนวน 60 เฟรม

3.1.2 การแบ่งส่วนภาพถนนแบบอัตโนมัติ

จากการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการจำกัดบริเวณถนนในการประมวลผลสามารถป้องกันการตรวจจับที่ผิดพลาดและช่วยลดระยะเวลาในการประมวลผลได้ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงขั้นตอนความยุ่งยากในการระบุบริเวณถนนแบบกำหนดเองจากผู้ดูแล วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการในการแบ่งส่วนบริเวณถนนแบบอัตโนมัติเพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งานในภาพการจราจรที่หลากหลายซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.1.2.1 การหาเส้นขอบเขตถนนโดยใช้การแปลงฮัฟ

ผู้วิจัยใช้การแปลงฮัฟในการตรวจจับเส้นตรงที่เป็นขอบเขตของถนนในภาพการจราจรโดยมีรายละเอียดดังที่กล่าวไปในบทที่ 2 ทั้งนี้ภาพการจราจรที่ใช้ต้องเป็นภาพที่ไม่มียานพาหนะปรากฏอยู่ เพราะยานพาหนะเหล่านั้นอาจทำให้ได้เส้นตรงที่ไม่ต้องการและในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะสาธิตการแบ่งส่วนถนนกับข้อมูลภาพชุดที่ 3 ที่มีขนาด 400x400 พิกเซล โดยเริ่มแรกสามารถหาภาพพื้นหลังได้โดยการเฉลี่ยชุดเฟรมก่อนหน้าจำนวน N เฟรมตามสมการ (3.1) และได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.5

$$B(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N I(x, y, t) \quad (3.1)$$

โดยที่ $I(x, y, t)$ แทน ภาพแต่ละสแนปชอตที่ได้จากกล้องวงจรปิด

(x, y) แทน ตำแหน่งของแต่ละพิกเซลในภาพ

t แทน เลขที่เฟรมของชุดภาพ

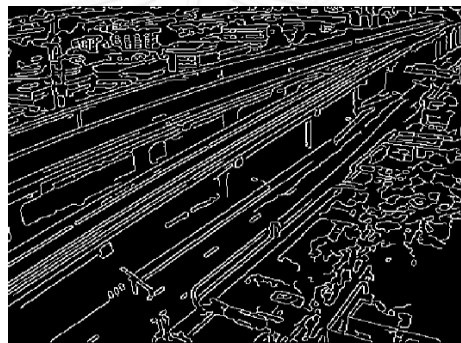
N แทน จำนวนเฟรมที่ใช้

$B(x, y)$ แทน ผลลัพธ์ภาพพื้นหลัง



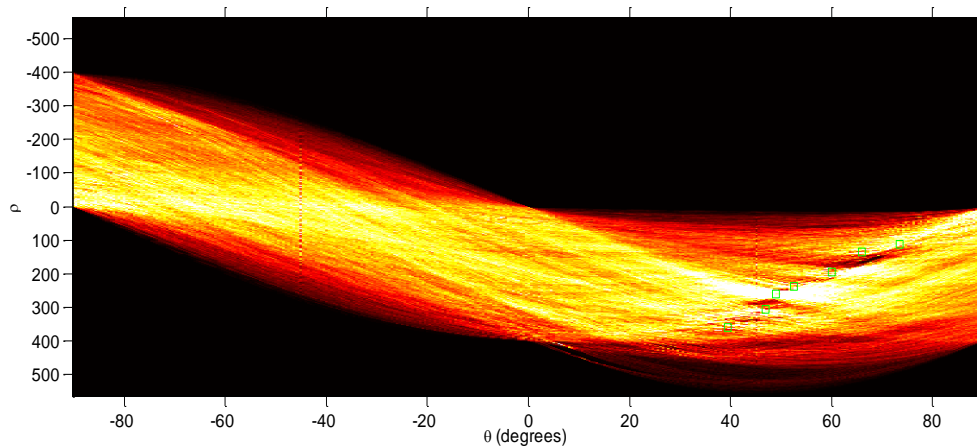
รูปที่ 3.5 ภาพพื้นหลังที่ไม่มียานพาหนะ

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าภาพพื้นหลังที่ได้ไม่มียานพาหนะบนท้องถนนทั้งนี้เพราะยานพาหนะแต่ละคันจะปรากฏในเพียงบางสแน็ปช็อตเท่านั้น เมื่อนำภาพทั้งหมด N เฟรมมาเฉลี่ยค่าความเข้มแสงกันค่าสีของยานพาหนะจึงถูกกลืนไปกับพื้นถนน ขั้นตอนถัดไปนำภาพไปหาภาพขอบด้วยวิธีแคนนี่ ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ภาพขอบที่ได้จากวิธีแคนนี่

จากนั้นแต่ละพิกเซลขอบจะถูกพิจารณาเพื่อหาพิกเซลที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน โดยแต่ละพิกเซลจะถูกหาค่า ρ ตามแต่ละ θ โดยหาทุกทิศทางจนครบ 360 องศาตามสมการ 2.21 จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ρ, θ) ดังรูปที่ 3.7



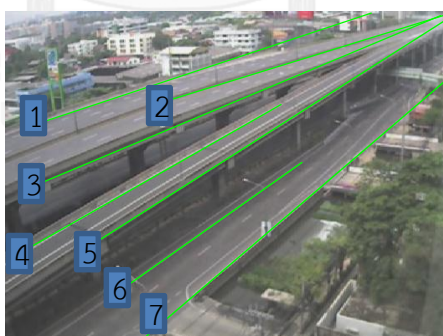
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ρ, θ)

จากรูปแสดงเส้นโค้งความสัมพันธ์ของแต่ละพิกเซลขอบที่ถูกแปลงให้อยู่ในพิกัดเชิงขั้วโดยแต่ละเส้นสีเหลืองแทนค่า ρ ของแต่ละพิกเซลขอบที่มุม θ ต่าง ๆ จากนั้นทำการเลือกบริเวณที่มีค่าสูงที่สุดกล่าวคือ บริเวณที่มีจำนวนเส้นมาตัดกันมากที่สุด โดยทำการกราดตรวจด้วยหน้าต่างย่อยขนาด 33×33 พิกเซล ทั้งนี้ขนาดหน้าต่างย่อยจะมีผลต่อเส้นตรงที่ได้ถ้าเลือกให้มีขนาดใหญ่จะทำให้ได้จุดพิกหรือกรอบสี่เหลี่ยมที่ห่างกันทำให้ได้เส้นตรงในมุมที่แตกต่างกัน ในทางกลับกันถ้าเลือกหน้าต่างย่อยขนาดเล็กจะได้จุดพิกใกล้เคียงกันและทำให้ได้เส้นตรงในมุมที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเส้นใด ๆ ที่ตัดกันที่จุดพิกเดียวกันดังรูปจะเป็นพิกเซลขอบที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 พิกเซลขอบที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

จุดสี่เหลี่ยมในภาพคือพิกเซลขอบที่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันจากนั้นทำการเชื่อมต่อแต่ละจุดให้เป็นเส้นตรงเดียวกันตามค่า (ρ, θ) ของแต่ละเส้นได้ผลลัพธ์แสดงดังเส้นสีเขียวในรูปที่ 3.9 และทำการเรียงลำดับแต่ละเส้นตรงตามค่า ρ



รูปที่ 3.9 เส้นตรงที่ได้จากการเชื่อมต่อพิกเซลขอบ

3.1.2.2 การสร้างภาพไบนารีจากคู่ของเส้นตรง

เมื่อได้เส้นตรงดังรูปที่ 3.9 เส้นตรงแต่ละเส้นจะถูกกำหนดเป็นขอบเขตของถนนในแต่ละเส้นทาง ต่อไปทำการจับคู่เส้นตรงที่ละคู่จากเส้นแรกไปจนถึงเส้นสุดท้ายเพื่อสร้างภาพไบนารีตัวแทนถนนระหว่างเส้นที่อยู่ติดกันได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ภาพตัวแทนถนนของภาพการจราจรชุดที่ 3 ก) ลำดับคู่ของเส้นตรง

ข) ภาพไบนารีขาวดำ

จากรูปที่ 3.10 กำหนดให้บริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 1 และบริเวณภายนอกมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจะเห็นว่าภาพไบนารีที่ 1 2 4 และ 6 คือภาพไบนารีของถนนที่สนใจ ส่วนภาพไบนารีที่ 3 และ 5 คือพื้นที่หลังที่ไม่สนใจ ซึ่งต้องมีการกระบวนการในการจำแนกว่าภาพไบนารีใดเป็นภาพถนน

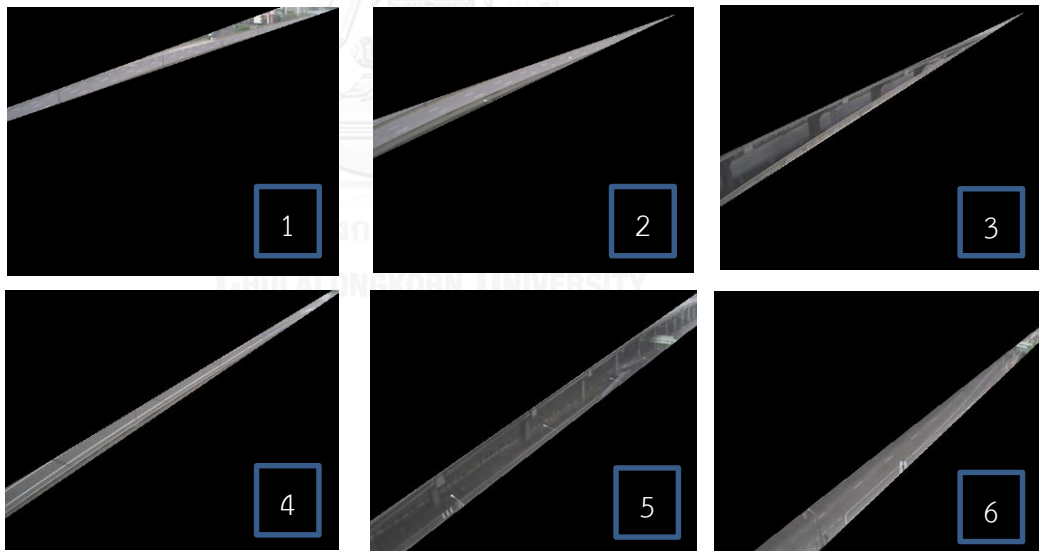
3.1.2.3 การจำแนกภาพไบนารีที่เป็นถนน

ภาพไบนารีระหว่างเส้นตรงต่าง ๆ ในรูปที่ 3.10 ข) จะถูกจำแนกหาภาพไบนารีที่เป็นถนนที่สนใจโดยใช้สมมติฐานที่ว่าบริเวณที่เป็นถนนในภาพมักมีความราบเรียบของค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกันต่างจากบริเวณอื่นพิจารณาดังรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นภาพพื้นหลังของข้อมูลภาพชุดที่ 3 ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.11 ภาพพื้นหลังของข้อมูลภาพชุดที่ 3

จากนั้นหาค่าความเข้มแสงของแต่ละตัวแทนถนนภายในรูปที่ 3.10 ข) แสดงดังรูปที่ 3.12 โดยภาพที่ 1 2 4 และ 6 คือภาพถนนที่ต้องการ

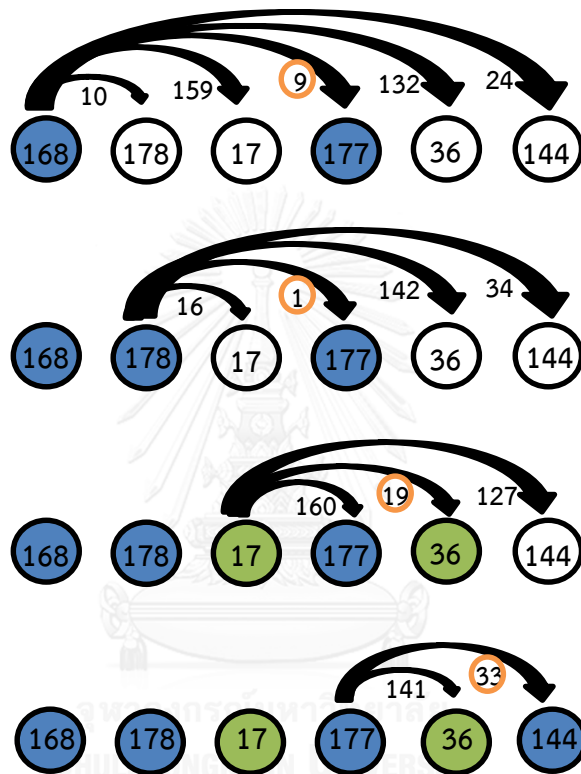


รูปที่ 3.12 ภาพการจราจรที่ถูกจำกัดด้วยภาพไบนารีต่าง ๆ

ลำดับ	1	2	3	4	5	6
ค่าความเข้มแสง	168	178	17	177	36	144

ตารางที่ 3.1 ค่าความเข้มแสงของแต่ละตัวแทนถนนของรูปที่ 3.12

จากตารางที่ 3.1 แถบสีแดงคือ ลำดับของภาพไบนารีที่เป็นภาพถนนและแถวที่ 2 คือค่าความเข้มแสงของแต่ละภาพสีที่ถูกจำกัดด้วยภาพไบนารีที่ต่างกัน ค่าความเข้มแสงเหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มโดยใช้การรวมกลุ่มข้อมูลแบบเดียวระยะสั้นที่สุด (Single linkage) กล่าวคือ หาความแตกต่างของข้อมูลแต่ละตัวกับข้อมูลที่เหลือทั้งหมดจากนั้นรวมข้อมูลที่มีความแตกต่างระหว่างกันน้อยที่สุดเข้าด้วยกันและทำการตรวจสอบซ้ำไปเรื่อย ๆ จนครบทุกข้อมูลแสดงวิธีการดังรูปที่ 3.13



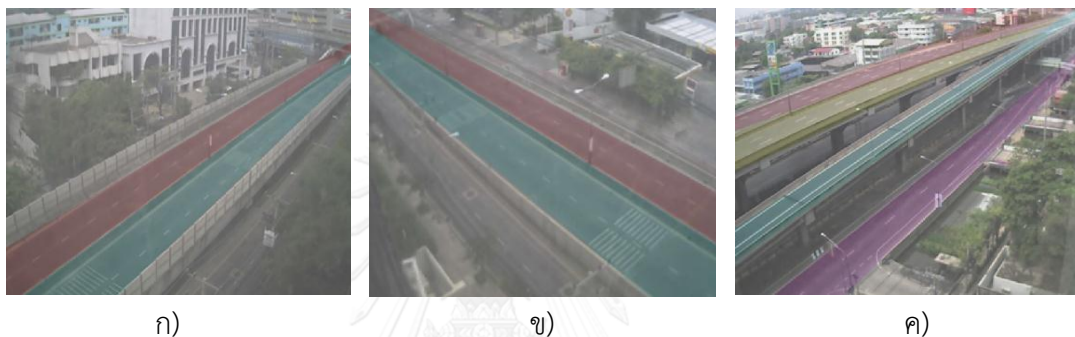
รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการรวมกลุ่มข้อมูลของค่าความเข้มแสง

จากรูปที่ 3.13 สามารถจัดกลุ่มค่าความเข้มแสงออกเป็น 2 กลุ่มจากนั้นทำการเลือกกลุ่มที่เป็นถนนโดยพิจารณาจากผลรวมพิกเซลสีขาวของแต่ละภาพตัวแทนไบนารีทั้งหมดในแต่ละกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าผลรวมพิกเซลสีขาวมากที่สุดหรือมีขนาดรวมใหญ่ที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นกลุ่มของภาพถนน ในที่นี้ค่าความเข้มแสงกลุ่มสีฟ้ามีค่าผลรวมขนาดพิกเซลสีขาวมากที่สุดจึงถือว่าแต่ละภาพไบนารีในลำดับดังกล่าวเป็นภาพถนนและสามารถแสดงผลการทำงานของส่วนภาพถนนในเส้นทางต่าง ๆ เป็นแถบสีได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ผลลัพธ์การแบ่งส่วนถนนในเส้นทางต่าง ๆ ที่ถูกต้อง

กระบวนการแบ่งส่วนถนนแบบอัตโนมัตินี้ได้ถูกทดสอบกับภาพการจราจรชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.15



ก)

ข)

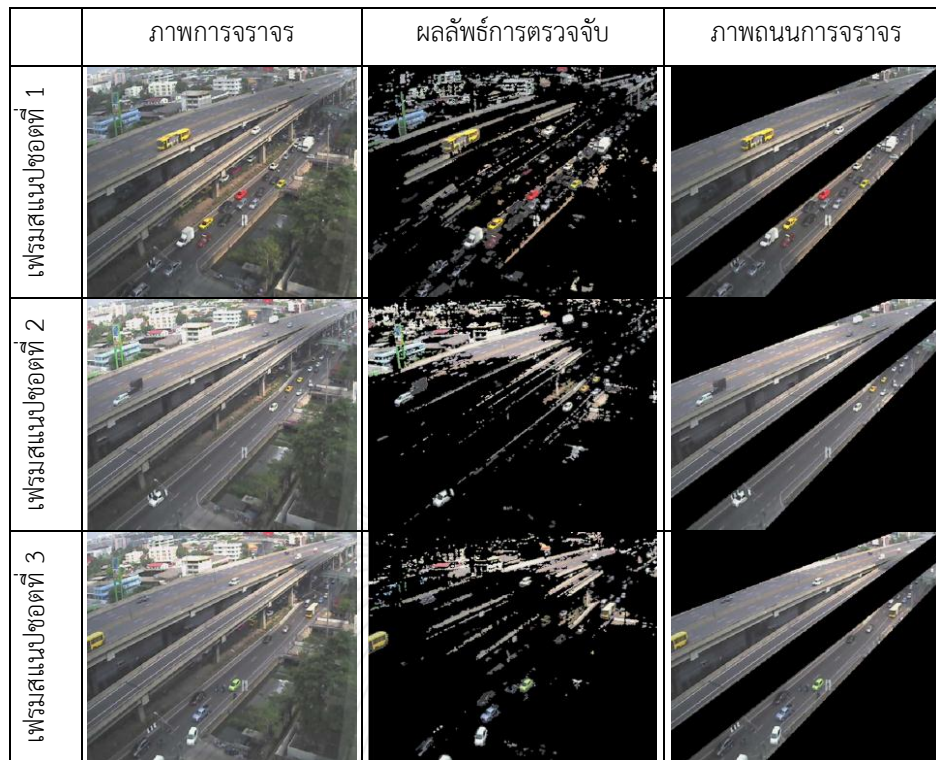
ค)

รูปที่ 3.15 ผลลัพธ์การแบ่งส่วนถนน ก) ข้อมูลภาพชุดที่ 1 ข) ข้อมูลภาพชุดที่ 2 ค) ข้อมูลภาพชุดที่ 3

3.2 การตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ในภาพการจราจร






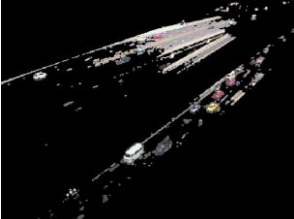


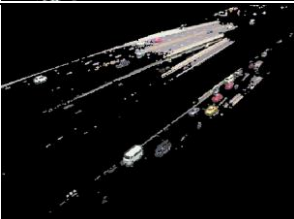



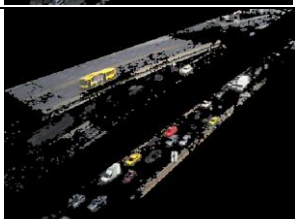
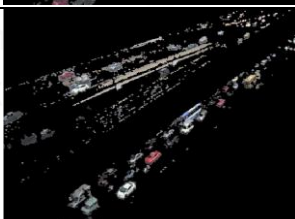


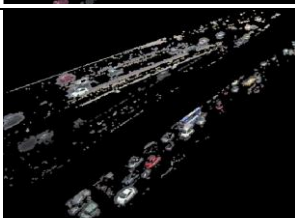

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งใช้การตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ด้วยวิธีการลบพื้นหลังเป็นหลักเพราะไม่แปรผันตามขนาดและทิศทางของยานพาหนะจึงทำให้มีความเหมาะสมในการตรวจจับยานพาหนะในภาพการจราจรแบบสแนปชอตที่มีมุมมองภาพที่หลากหลาย ดังนั้นในเบื้องต้นผู้วิจัยจะทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลบพื้นหลังด้วยวิธีการต่าง ๆ กับตัวอย่างข้อมูลภาพการจราจรชุดที่ 3 จำนวนห้าภาพเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจจับยานพาหนะในวิทยานิพนธ์นี้โดยแต่ละภาพที่ใช้ทดลองเป็นภาพที่ผ่านการจำกัดบริเวณถนนดังแสดงในรูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพสแนปชอตของข้อมูลชุดที่ 3 ที่ผ่านการจำกัดบริเวณถนนและแสดงผลลัพธ์การตรวจจับดัง

3.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีการลบพื้นหลังต่าง ๆ



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพสแนปชอตของข้อมูลชุดที่ 3 ที่ผ่านการจำกัดบริเวณถนน

จากรูปข้างต้นแสดงภาพการจราจรของข้อมูลชุดที่ 3 จำนวน 3 ภาพที่มีปริมาณความเข้มแสงแตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อทำการตรวจจับยานพาหนะด้วยการลบพื้นหลังจะทำให้เกิดความผิดพลาดบริเวณรอบนอกถนนเป็นจำนวนมากและการจำกัดบริเวณถนนให้ประมวลผลเฉพาะบริเวณที่มีการเคลื่อนที่จะช่วยป้องกันการเกิดการตรวจจับที่ผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในฉากรอบนอกได้ ภาพที่ผ่านการแบ่งส่วนถนนดังกล่าวจะถูกนำมาตรวจจับการเคลื่อนที่ด้วยวิธีลบพื้นหลังต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1 เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการตรวจจับยานพาหนะในภาพการจราจรที่มีปริมาณแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันแสดงดังรูปที่ 3.17

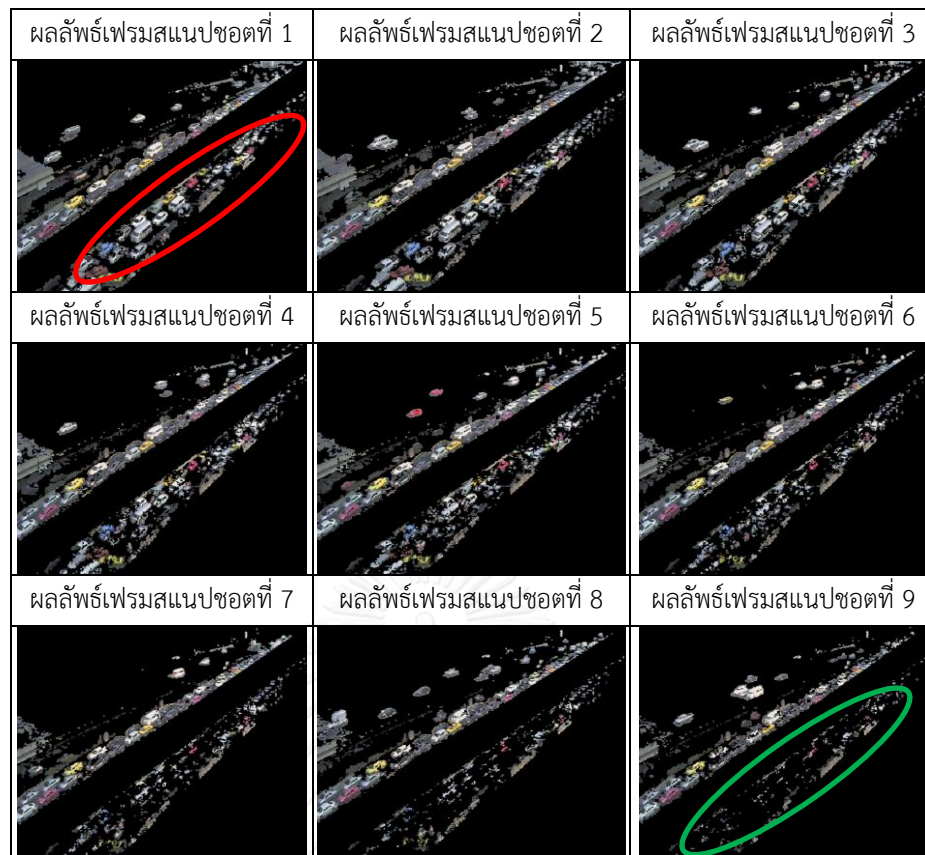
	ภาพสแนปชอตที่ 1	ภาพสแนปชอตที่ 2	ภาพสแนปชอตที่ 3
			
การลบพื้นหลังด้วยการ ภาพพื้นหลังจากการ เฉลี่ย			
การลบพื้นหลังด้วย ภาพพื้นหลังที่ ปรับปรุง			
การลบพื้นหลังด้วยการ ภาพพื้นหลังที่ปรับปรุง เฉพาะพื้นหลัง			
การจำแนกรูปแบบ พื้นหลังเกาส์เซียน จากภาพสี			
การจำแนกรูปแบบ พื้นหลังเกาส์เซียน จากภาพขอบ			

รูปที่ 3.17 เปรียบเทียบผลลัพธ์การตรวจจับยานพาหนะด้วยวิธีลบพื้นหลังต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.17 จะเห็นว่าแต่ละเฟรมมีลักษณะของปริมาณแสงที่แตกต่างกันซึ่งเป็นลักษณะของภาพแบบสแนปชอตที่มีอัตราเฟรมต่ำ เมื่อมีค่าความเข้มแสงในภาพพื้นหลังเปลี่ยนแปลงไปจากค่าปัจจุบันมากเกินไปจะทำให้การลบพื้นหลังเกิดความผิดพลาดกล่าวคือ โดยปกติบริเวณที่มีค่าความเข้มแสงเปลี่ยนไปจากค่าความเข้มแสงเดิมมากจะถูกจำแนกเป็นส่วนของวัตถุเคลื่อนที่และบริเวณอื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงไปน้อยจะถูกจำแนกเป็นพื้นหลัง ดังนั้นถ้าค่าความเข้มแสงของภาพปัจจุบันมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันไปจากเดิมบริเวณที่เคยเป็นพื้นหลังที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสงจะถูกจำแนกให้เป็นส่วนของวัตถุเคลื่อนที่ไปด้วยซึ่งไม่ถูกต้องยกตัวอย่างเช่น กรณีที่ก้อนเมฆบังแสงแดดจะทำให้ค่าความเข้มแสงในแต่ละบริเวณของภาพสว่างไม่เท่ากันทำให้ภาพขณะนั้นแตกต่างจากภาพพื้นหลังเดิม

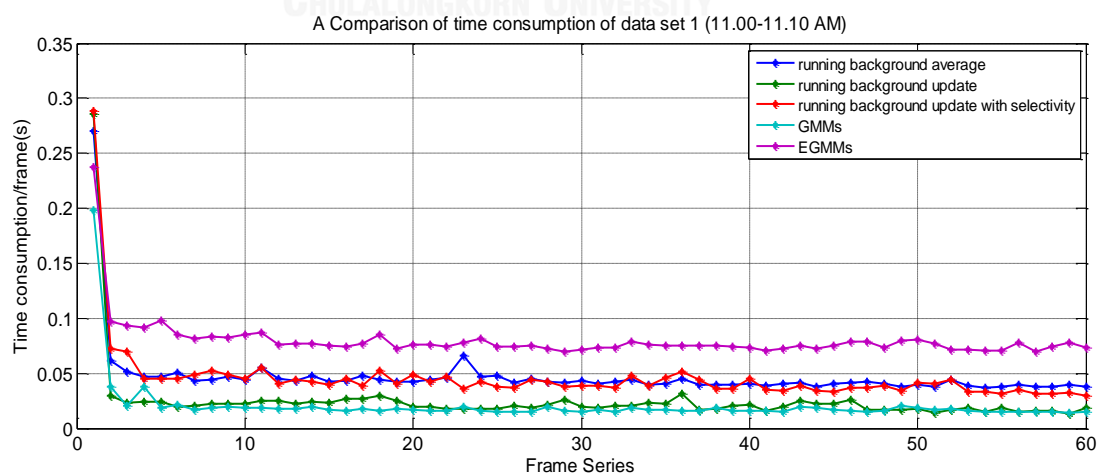
จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการลบพื้นหลังในแต่ละวิธีการข้างต้นไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะได้อย่างถูกต้องทั้งหมด โดยเฉพาะวิธี GMMs ที่ถูกระบุว่าเป็นวิธีที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงแต่เมื่อนำมาใช้กับชุดภาพแบบสแนปชอตในวิทยานิพนธ์นี้จะเห็นว่าไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะได้อย่างถูกต้องทั้งนี้เกิดจากการจับคู่ค่าความเข้มแสงของเฟรมปัจจุบันกับการกระจายตัวของรูปแบบพื้นหลัง (background model) ที่สร้างขึ้นจากชุดเฟรมก่อนหน้าที่ไม่สัมพันธ์กันกล่าวคือเมื่อเฟรมปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงของแสงมากเกินไปอาจทำให้พื้นหลังบริเวณนั้นถูกจำแนกเป็นยานพาหนะเพราะมีค่าความเข้มแสงเข้าคู่กับการกระจายเกาส์เซียนของวัตถุ ในทางกลับกันถ้าบริเวณของยานพาหนะมีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกับการกระจายเกาส์เซียนของพื้นหลังก็อาจถูกจำแนกให้เป็นส่วนของพื้นหลังได้เช่นกัน ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลของแสงผู้วิจัยจึงได้ทดลองใช้ภาพขอบแทนการใช้ภาพสี EGMMs ซึ่งมีข้อดีคือแสงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะไม่ส่งผลกระทบต่อบริเวณที่เป็นขอบในภาพไบนารีที่ผ่านการหาขอบวัตถุแต่จากการทดลองพบว่าแสงที่เปลี่ยนแปลงในภาพสแนปชอตไม่มีความสม่ำเสมอไม่คงที่รวมทั้งมุมมองภาพที่มีความเอียงลึกจึงทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความเข้มแสงบริเวณขอบเมื่อมีแสงมากขึ้นหรือลดลงเพราะฉะนั้นจึงไม่สามารถใช้ภาพขอบในการจำแนกวัตถุเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้อง

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่าในกรณีที่สภาพการจราจรเกิดการติดขัดเป็นเวลานานดังรูปที่ 3.18 พิจารณาภายในวงกลมสีแดง การตรวจจับด้วยวิธี GMMs หรือ EGMMs จะทำให้เกิดผิดพลาดเมื่อเวลาผ่านไปภาพรถในเฟรมถัดมาที่มีการติดขัดอยู่จะถูกใช้ปรับปรุงโมเดลพื้นหลังอย่างต่อเนื่องจนทำให้รถที่ปรากฏค่อย ๆ รวมเข้ากับรูปแบบพื้นหลังจนทำให้รถในบริเวณดังกล่าวถูกจำแนกเป็นพื้นหลังและหายไปแสดงดังวงกลมสีเขียว

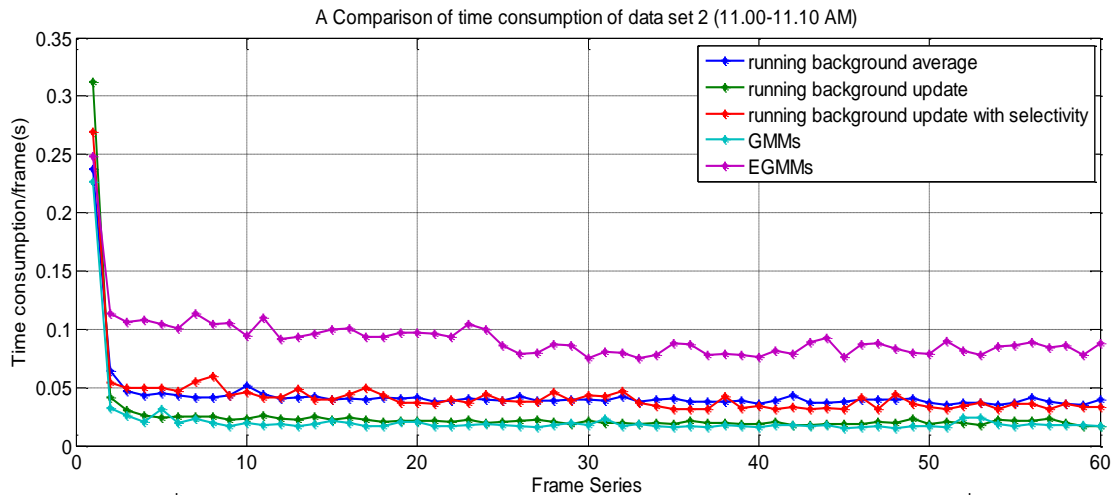


รูปที่ 3.18 ผลการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ด้วยวิธี GMMs ของตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 3

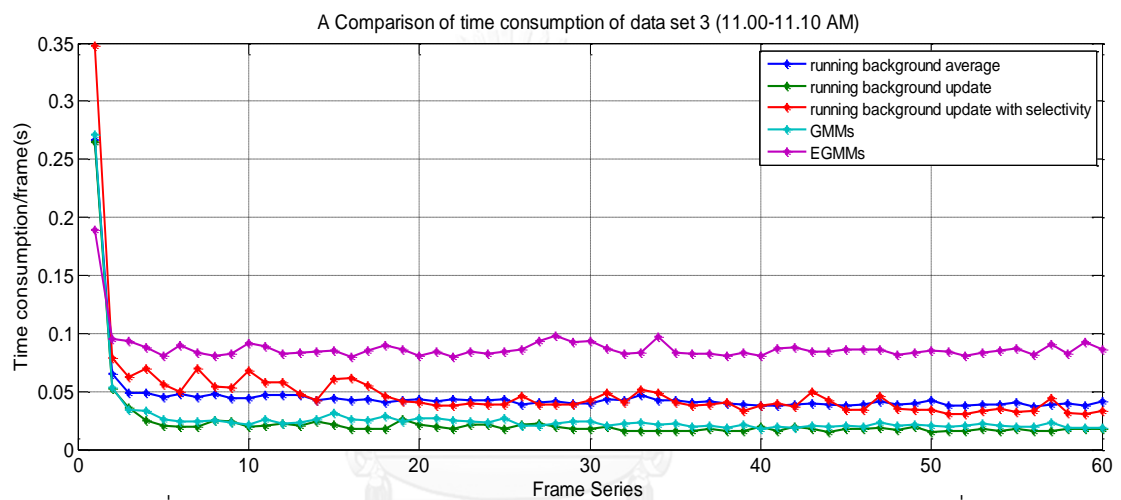
นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบความเร็วในการประมวลผลของแต่ละวิธีการได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.19 รูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21 ตามลำดับ



รูปที่ 3.19 เปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลของแต่ละวิธีการกับข้อมูลชุดที่ 1



รูปที่ 3.20 เปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลของแต่ละวิธีการกับข้อมูลชุดที่ 2



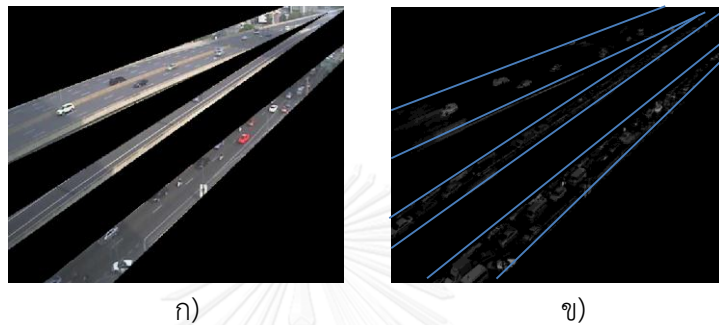
รูปที่ 3.21 เปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลของแต่ละวิธีการกับข้อมูลชุดที่ 3

รูปกราฟข้างต้นแสดงระยะเวลาที่แต่ละวิธีการใช้ในการตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ในแต่ละเฟรมจำนวน 60 เฟรม ซึ่งจะเห็นว่าวิธีปรับปรุงพื้นหลังอย่างต่อเนื่องที่ แทนด้วยเส้นสีเขียวและวิธี GMMs ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลเร็วที่สุดใกล้เคียงกันและวิธี EGMMs ใช้เวลานานที่สุดเพราะต้องใช้เวลาในการนำภาพสีไปหาภาพขอบก่อน

จากผลการทดสอบดังกล่าววิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้วิธีการลบพื้นหลังแบบปรับปรุงพื้นหลังอย่างต่อเนื่องหรือ running background average ในการตรวจจับยานพาหนะในภาพการจราจรแบบสแนปชอตแต่จากผลการทดลองข้างต้นจึงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงวิธีการเพิ่มเติมเพื่อลดการตรวจจับที่ผิดพลาดต่อไป

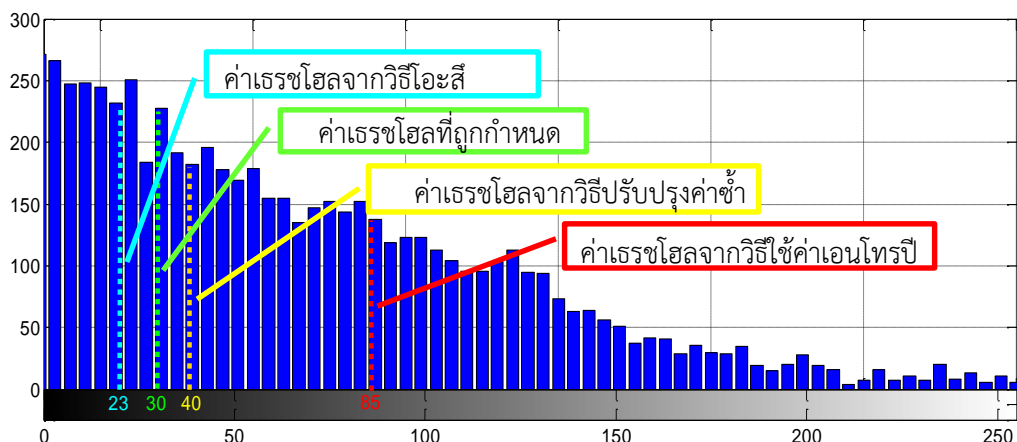
3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของการทำเรซโฮลด้วยวิธีต่าง ๆ

การหาค่าเรซโฮลที่เหมาะสมถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในกระบวนการลบพื้นหลังเพราะค่าที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลลัพธ์ภาพยานพาหนะที่ต้องการมากที่สุด การหาค่าเรซโฮลสามารถทำได้หลายวิธีดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบการหาค่าเรซโฮลด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อหาวิธีการที่ให้ค่าเรซโฮลที่เหมาะสมในการแบ่งภาพวัตถุที่เป็นยานพาหนะและพื้นหลังได้ถูกต้องมากที่สุดโดยแสดงการทดสอบด้วยตัวอย่างรูปที่ 3.22



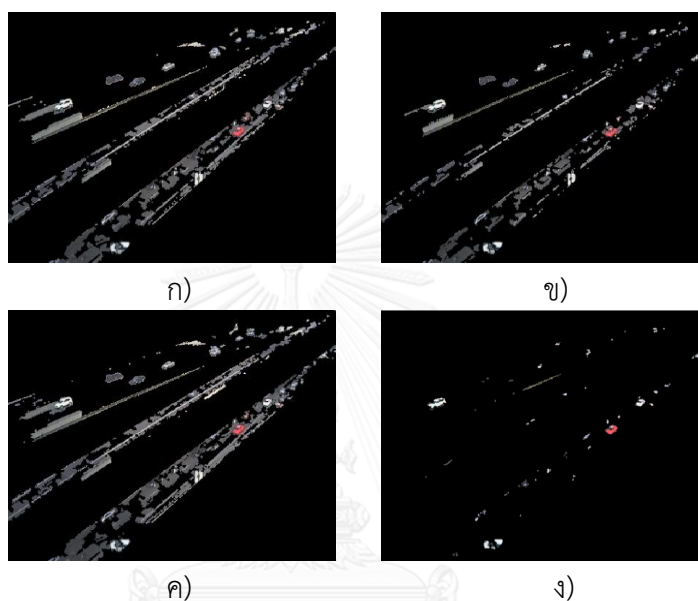
รูปที่ 3.22 ภาพตัวอย่างในการทดสอบ ก) ภาพการจราจร ข) ภาพผลต่างจากการลบพื้นหลัง

จากรูปที่ 3.22 ก) แสดงตัวอย่างภาพยานพาหนะที่ผ่านการแบ่งส่วนถนนแล้วจากนั้นนำมาลบพื้นหลังด้วยการปรับปรุงพื้นหลังอย่างต่อเนื่องจะได้ภาพผลต่างดังรูปที่ 3.22 ข) จากรูปจะเห็นว่าเนื่องจากภาพผลต่างนี้ได้จากการลบกันของภาพการจราจรและภาพพื้นหลังที่มีค่าไม่เท่ากันจึงทำให้บริเวณที่ไม่มียานพาหนะกลับได้ค่าความเข้มแสงมากและอาจถูกจำแนกให้เป็นส่วนของยานพาหนะในขั้นตอนการทำเรซโฮลได้ ดังนั้นจึงต้องหาค่าเรซโฮลที่เหมาะสมที่สามารถจำแนกส่วนของยานพาหนะและพื้นหลังออกจากกันได้อย่างถูกต้องมากที่สุด ในที่นี้ทำการทดสอบโดยนำค่าความเข้มแสงในบริเวณถนนของภาพผลต่างรูปที่ 3.22 ข) ไปหาค่าเรซโฮลด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้ผลลัพธ์แสดงดังนี้







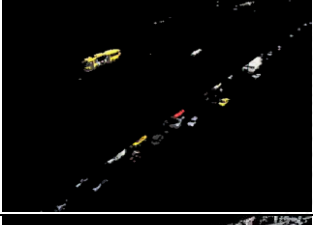

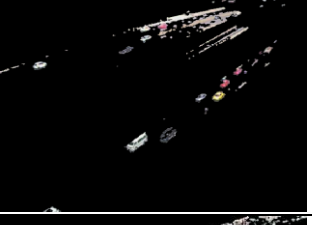

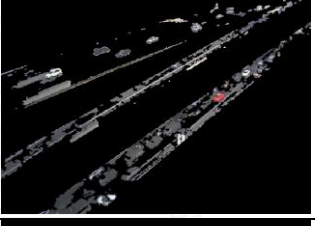

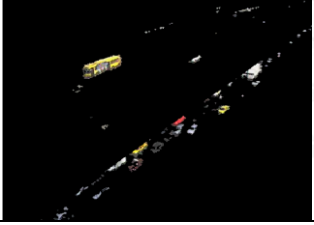
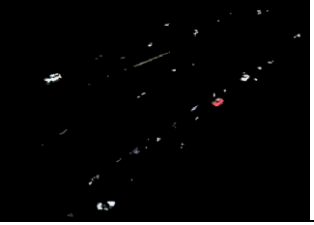
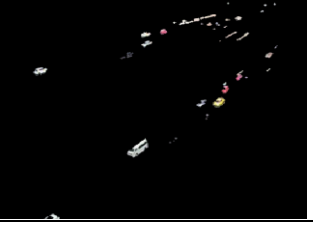


รูปที่ 3.23 ฮิสโตแกรมของรูปที่ 3.22 ข) และค่าเรซโฮลจากวิธีการต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.23 แสดงฮีสโตแกรมของรูปที่ 3.22 ข) โดยแกนตั้งคือ ความถี่ของค่าความเข้มแสง นั้น ๆ แกนนอนคือ ระดับความเข้มแสง 0-255 และค่าเรซโซลที่ได้จากการนำภาพผลต่างดังกล่าวไป หาด้วยวิธีการต่าง ๆ ในหัวข้อที่ 2.2 โดยวิธีโอะสีให้ค่าเรซโซลเท่ากับ 23 วิธีปรับปรุงค่าซ้ำให้ค่า เรซโซลเท่ากับ 40 และวิธีแบบใช้ค่าเอนโทรปีให้ค่าเรซโซลเท่ากับ 85 ตามลำดับ ค่าเรซโซลเหล่านี้ จะแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน ส่วนที่มีค่ามากกว่าค่าเรซโซลจะกำหนดให้เป็นวัตถุยานพาหนะที่ ต้องการและส่วนที่มีค่าน้อยกว่าจะให้ค่าเท่ากับ 0 ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ผลลัพธ์การแบ่งภาพด้วยค่าเรซโซลต่าง ๆ ก) ผลลัพธ์การแบ่งภาพด้วยการกำหนดค่า เรซโซลเท่ากับ 30 ข) ผลลัพธ์การแบ่งภาพด้วยการใช้ค่าเรซโซลแบบปรับปรุงค่าซ้ำมีค่าเท่ากับ 40 ค) ผลลัพธ์การแบ่งภาพด้วยการใช้ค่าเรซโซลแบบโอะสีมีค่าเท่ากับ 23 ง) ผลลัพธ์การแบ่งภาพด้วย การใช้ค่าเรซโซลแบบใช้ค่าเอนโทรปีมีค่าเท่ากับ 85

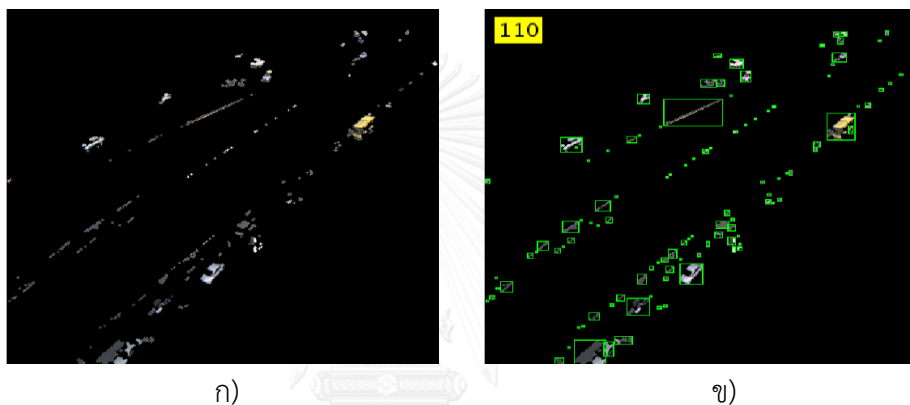
	เฟรมสแนปชอตที่ 1	เฟรมสแนปชอตที่ 2	เฟรมสแนปชอตที่ 3
			
การกำหนดค่า เรชโซไฮล (30)			
การหาค่าเรชโซไฮล แบบปรับปรุงซ้ำ			
การหาค่าเรชโซไฮล แบบโอเอสซี			
การหาค่าเรชโซไฮล แบบใช้ค่าเอนโทร			

รูปที่ 3.25 เปรียบเทียบผลลัพธ์การทำเรชโซไฮลด้วยวิธีการต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.25 จะเห็นว่าการแบ่งภาพโดยใช้การกำหนดค่าเรชโซไฮลและการหาโดยวิธีโอเอสซี จะทำให้เกิดการตรวจจับที่ผิดพลาดเพราะให้ค่าเรชโซไฮลที่จำแนกบริเวณสีขาวในรูปที่ 3.22 ทั้งหมดจึง ทำให้ได้ส่วนของถนนที่ไม่ต้องการมาด้วยเป็นการย้ำให้เห็นว่าการหาค่าเรชโซไฮลด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งอาจ ให้ผลลัพธ์ที่ดีในแง่ของการแบ่งข้อมูลแต่อาจไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ผู้ใช้ต้องการ ในทางกลับกันวิธีการหาค่าเรชโซไฮลแบบปรับปรุงค่าซ้ำและวิธีที่ใช้ค่าเอนโทรปีกลับสามารถแบ่งส่วนเฉพาะวัตถุยานพาหนะได้แต่ หากพิจารณาจำนวนสิ่งรบกวนที่เหลืออยู่จะเห็นว่าการหาค่าเรชโซไฮลโดยใช้ค่าเอนโทรปีมีจำนวน สิ่งรบกวนที่ไม่ใช่ยานพาหนะน้อยที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การหาค่าเรชโซไฮลแบบใช้ค่าเอนโทรปีใน วิทยานิพนธ์นี้

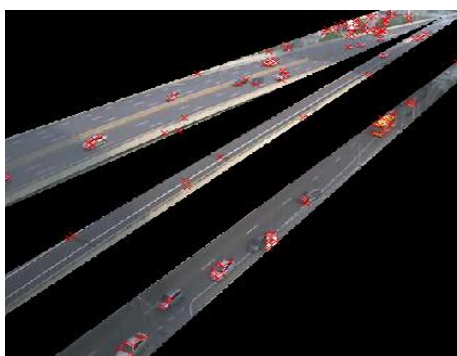
3.2.3 การลดความผิดพลาดของการตรวจจับโดยใช้จุดมุม

การทำเทรซโฮลดีนึ่งที่เหมะสมสามารถลดความผิดพลาดของการตรวจจับยานพาหนะในกรณีทีค่าความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้แต่จากการทดลองพบว่าในบางกรณีทีค่าความเข้มแสงมีผลต่อบางบริเวณมากเกินไปการทำเทรซโฮลดีนึ่งจะยังมีความผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่ดังแสดงในรูปที่ 3.26 ก) และทำให้จำนวนของยานพาหนะทีประมาณจากจำนวนวัตถุในภาพในกรอบสี่เหลี่ยมผิดพลาดจากจำนวนยานพาหนะจริงเป็นอย่างมากดังรูปที่ 3.26 ข) ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอการลดความผิดพลาดดังกล่าวโดยการใช้จุดมุมจำแนกสิ่งรบกวนทีไม่ใช่ยานพาหนะออกไปให้มากที่สุดเพื่อให้สามารถประเมินสภาพการจราจรได้ถูกต้อง



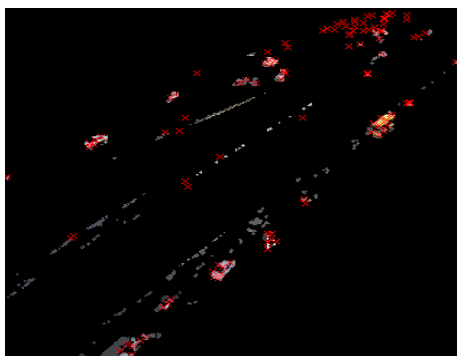
รูปที่ 3.26 ภาพผลลัพธ์ทีมีความผิดพลาดของการทำเทรซโฮลดีนึ่งแบบใช้ค่าเอนโทรปี ก) ภาพผลลัพธ์จากการลบพื้นหลัง ข) การนับจำนวนวัตถุทีเชื่อมต่อกัน

เพื่อให้การตรวจจับถูกต้องมากที่สุดจึงต้องกำจัดสิ่งรบกวนทั้งหมดออกไปโดยในวิทยานิพนธ์นี้เสนอการจำแนกวัตถุทีเป็นยานพาหนะและไม่ใช่ยานพาหนะออกจากกันด้วยการใช้จุดมุมทีได้จากวิธีฮาร์ริสโดยมีขั้นตอนแสดงดังรายละเอียดในบทที่ 2 เริ่มแรกนำภาพการจราจรดังกล่าวทีเกิดปัญหาไปหาบริเวณทีเป็นมุมในภาพด้วยวิธีฮาร์ริสได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ผลลัพธ์การหาจุดมุมด้วยวิธีฮาร์ริส

จุดสีแดงแทนจุดมุมภายในภาพการจราจรที่ได้จากวิธีฮาร์ริสสังเกตว่าจุดมุมที่ปรากฏมักอยู่บนบริเวณของยานพาหนะเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงเกิดสมมุติฐานที่ว่าวัตถุใดก็ตามในรูปที่ 3.26 ก) ที่มีจุดมุมสีแดงปรากฏอยู่จะเป็นวัตถุของยานพาหนะแสดงดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ภาพผลลัพธ์ที่มีความผิดพลาดกับจุดมุม

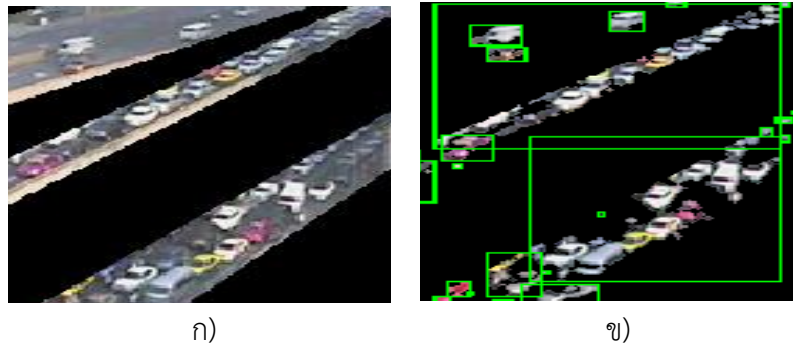
จากรูปที่ 3.28 วัตถุใด ๆ ที่มีจุดมุมสีแดงปรากฏจะเป็นวัตถุยานพาหนะที่ต้องการและวัตถุที่ไม่มีจุดมุมจะถูกกำจัดออกไป สุดท้ายจะได้ผลลัพธ์วัตถุยานพาหนะดังแสดงในกรอบสีเขียวดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ผลลัพธ์ยานพาหนะของการใช้จุดมุม

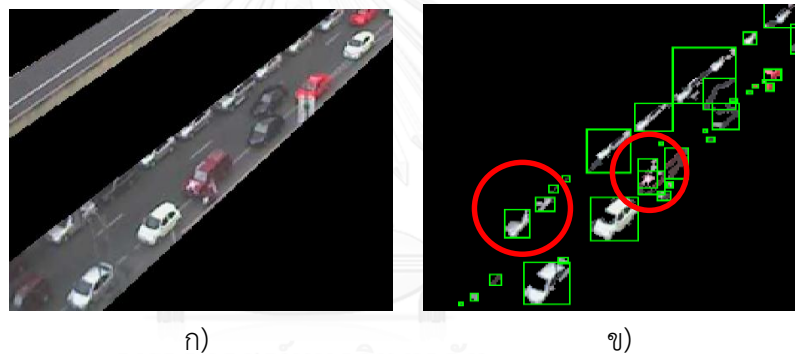
จากรูปจะเห็นว่าวัตถุที่เหลืออยู่เป็นวัตถุยานพาหนะที่ต้องการและแถบสีเหลืองด้านบนซ้ายของรูปแทนจำนวนของวัตถุทั้งหมดที่ตรวจจับได้ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้จำนวนนี้แทนจำนวนของยานพาหนะที่มีในภาพ ดังนั้นจะเห็นว่ากระบวนการข้างต้นสามารถทำให้จำนวนวัตถุยานพาหนะใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

จำนวนยานพาหนะที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นค่าทางสถิติในการประเมินความหนาแน่นของการจราจร [34] ในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่าถึงแม้จำนวนวัตถุยานพาหนะที่นับได้จะมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนยานพาหนะจริงในภาพมากขึ้นแต่ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉพาะในกรณีที่มีการจราจรติดขัดวัตถุที่ตรวจจับได้จะติดกันทำให้ถูกนับเป็นวัตถุเดียวกันและทำให้จำนวนวัตถุยานพาหนะที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อนแสดงดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ปัญหาการรวมกันของวัตถุ ก) ภาพการจราจร ข) ภาพการตรวจจับวัตถุ

นอกจากปัญหาการรวมกันของวัตถุยังพบปัญหาการแยกกันของวัตถุกล่าวคือ วัตถุของยานพาหนะหนึ่งคันอาจมีมากกว่า 1 วัตถุ ดังรูปที่ 3.31 ข) พิจารณาในวงกลมสีแดงจะเห็นว่าวัตถุยานพาหนะคันเดียวกันไม่เชื่อมต่อกันทำให้ถูกนับเป็นวัตถุคนละวัตถุกันจึงอาจทำให้จำนวนยานพาหนะที่นับได้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น



รูปที่ 3.31 ปัญหาการแยกกันของวัตถุ ก) ภาพการจราจร ข) ภาพการตรวจจับวัตถุ

3.3 การประเมินความหนาแน่นของสภาพการจราจร

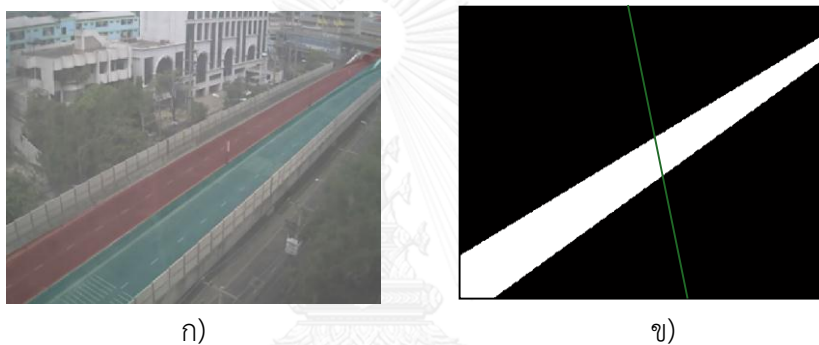
การประเมินสภาพการจราจรเป็นขั้นตอนสุดท้ายในวิทยานิพนธ์นี้โดยวัตถุเคลื่อนที่ที่จำแนกได้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อประเมินสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นในขณะนั้นโดยวิทยานิพนธ์นี้เสนอการหาความหนาแน่นของการจราจรในเส้นทางต่าง ๆ โดยใช้การพิจารณาการครอบครองพื้นที่ถนนของวัตถุยานพาหนะสีขาวในภาพใบนารี โดยวิทยานิพนธ์นี้ต้องการประเมินสภาพการจราจรออกเป็น 3 ระดับคือ

- ระดับที่ 1 สภาพการจราจรคล่องตัว
- ระดับที่ 2 สภาพการจราจรหนาแน่นปานกลาง
- ระดับที่ 3 สภาพการจราจรติดขัด

3.3.1 การแบ่งบล็อภพถนนสองระดับ

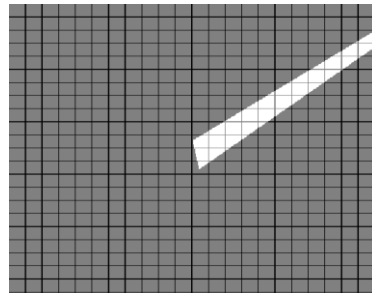
ภาพแบบสเนปชอตที่ได้จากกล้องวงจรปิดต่าง ๆ มีมุมมองภาพที่แตกต่างกันและมีลักษณะที่สำคัญคือ มุมมองของภาพจะไม่เท่ากันแตกต่างกันตามระยะห่างในการเก็บภาพจึงทำให้วัตถุที่อยู่ไกลมีขนาดเล็กกว่าวัตถุที่อยู่ใกล้กล้องวงจรปิด ดังนั้นในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของยานพาหนะจึงต้องให้ความสำคัญกับขนาดของวัตถุที่แตกต่างกันตามมุมมอง

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงแบ่งการพิจารณาความหนาแน่นของการจราจรเป็น 2 บริเวณอย่างคร่าว ๆ คือ บริเวณระยะใกล้และบริเวณระยะไกลโดยทำการแบ่งครึ่งภาพถนนในเส้นทางต่าง ๆ โดยใช้จุดกึ่งกลางของเส้นตรงทั้งสองที่ได้จากขั้นตอนการแปลงฮัฟเป็นแนวในการแบ่งภาพเพื่อจำแนกบริเวณในการประมวลผลแสดงตัวอย่างการทดลองด้วยภาพถนนในเส้นทางที่ 1 ของข้อมูลภาพชุดที่ 1 ดังรูปที่ 3.32

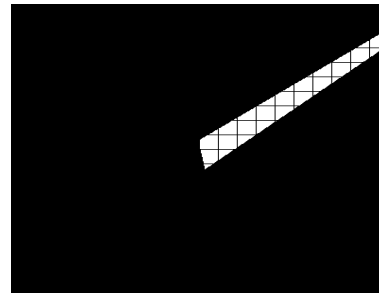


รูปที่ 3.32 ภาพถนนของข้อมูลภาพชุดที่ 1 ก) ภาพถนนในสองเส้นทาง
ข) ภาพไบนารีของถนนในเส้นทางที่ 1 (แถบสีแดง)

เส้นตรงสีเขียวดังกล่าวแทนแนวที่ใช้แบ่งส่วนถนนเป็นบริเวณระยะใกล้และระยะไกลโดยกำหนดให้ด้านที่เส้นตรงสีเขียวเชื่อมกับมุมกับแกน x เป็นมุมป้านเป็นชิ้นส่วนแรกแบบระยะไกลและให้อีกส่วนเป็นชิ้นส่วนระยะใกล้ จากนั้นกำหนดให้ขนาดบล็อภพของส่วนระยะไกลด้านบนมีขนาดเล็กกว่าด้านล่างที่เป็นระยะใกล้ ซึ่งในการสร้างบล็อภพขนาดเท่า ๆ กันภายในบริเวณถนนที่มีรูปร่างไม่เป็นสี่เหลี่ยมและไม่สมมาตรกันนั้นมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก ผู้วิจัยจึงทำการสร้างบล็อภพแบบหยาบโดยการกำหนดบล็อภพขนาดเท่ากันทั้งภาพในกรณีนี้กำหนดขนาดบล็อภพเท่ากับ 20×20 พิกเซล ซึ่งบล็อภพที่อยู่ในบริเวณถนนจะถูกพิจารณาเป็นบล็อภพของถนนส่วนนั้นแสดงดังรูปที่ 3.33 ก) และได้ผลลัพธ์บล็อภพถนนของขอบเขตที่ 1 ดังรูปที่ 3.33 ข)



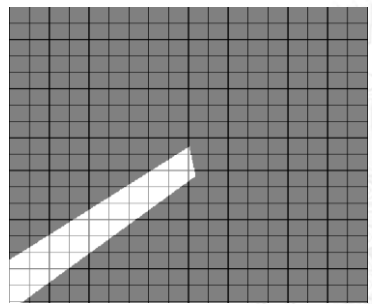
ก)



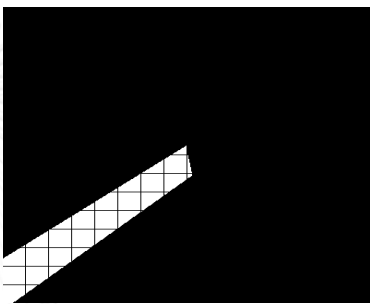
ข)

รูปที่ 3.33 บล๊อบถนนของขอบเขตที่ 1 ก) การสร้างบล็อบทั้งภาพ ข) บล๊อบถนนที่ได้

จากนั้นใช้วิธีการเดียวกันในการสร้างบล๊อบถนนขอบเขตที่ 2 โดยกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 25x25 พิกเซลได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.34



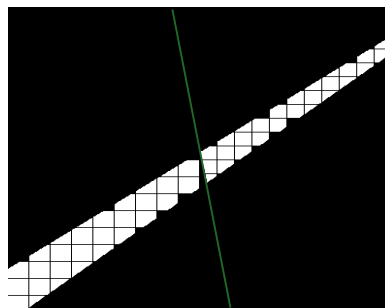
ก)



ข)

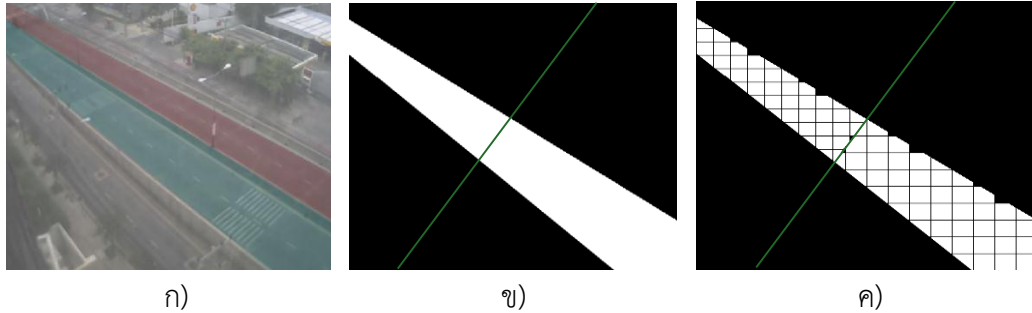
รูปที่ 3.34 บล๊อบถนนของขอบเขตที่ 2 ก) การสร้างบล็อบทั้งภาพ ข) บล๊อบถนนที่ได้

จากรูปที่ 3.33 ข) และรูปที่ 3.34 ข) จะเห็นว่าบล็อบที่ได้มีขนาดไม่เท่ากันโดยเฉพาะบล็อบที่บริเวณขอบจะมีรูปร่างไม่เป็นสี่เหลี่ยมและมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นจึงต้องลบบล็อบดังกล่าวออกโดยกำหนดว่าถ้าบล็อบใด ๆ มีขนาดน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดบล็อบสี่เหลี่ยมจะไม่พิจารณา สุดท้ายจะได้ผลลัพธ์บล็อบของถนนทั้งสองบริเวณรวมกันแสดงดังรูปที่ 3.35

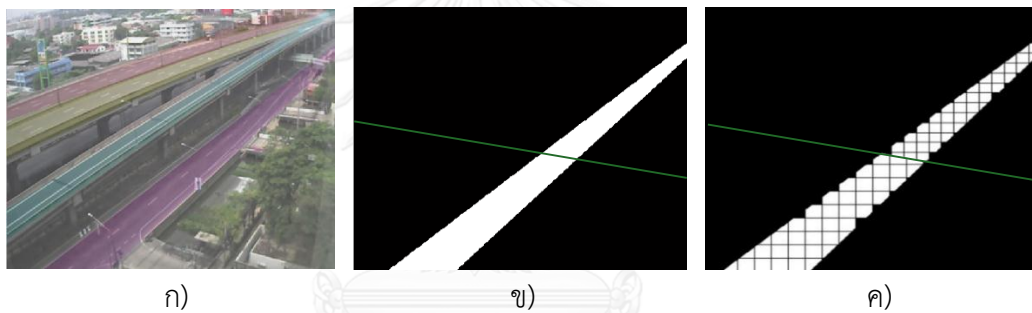


รูปที่ 3.35 ผลลัพธ์บล็อบถนนของข้อมูลภาพชุดที่ 1 เส้นทางที่ 1

จากนั้นใช้วิธีการข้างต้นแสดงการแบ่งบล็อกของถนนในเส้นทางที่ 2 ของข้อมูลภาพชุดที่ 2 โดยกำหนดให้ขนาดบล็อกเท่ากันคือ ด้านบนมีขนาด 20x20 พิกเซลและบล็อกด้านล่างมีขนาด 25x25 พิกเซล ทั้งนี้เพราะมีลักษณะของภาพแบบเดียวกัน



รูปที่ 3.36 การสร้างบล็อกถนนในเส้นทางที่ 2 ของข้อมูลชุดที่ 2 ก) ภาพถนนของข้อมูลภาพชุดที่ 2 ข) ภาพไบนารีถนนในเส้นทางที่ 2 (สีฟ้า) ค) ภาพบล็อกถนนในเส้นทางที่ 2



รูปที่ 3.37 การสร้างบล็อกถนนในเส้นทางที่ 4 ของข้อมูลชุดที่ 3 ก) ภาพถนนของข้อมูลภาพชุดที่ 3 ข) ภาพไบนารีถนนในเส้นทางที่ 4 (สีม่วง) ค) ภาพบล็อกถนนในเส้นทางที่ 4

รูปที่ 3.37 แสดงตัวอย่างของการแบ่งบล็อกถนนของข้อมูลภาพชุดที่ 3 สังเกตว่าข้อมูลภาพจะมีมุมมองในระยะที่ไกลกว่าชุดที่ 1 และ 2 จึงกำหนดให้ขนาดบล็อกด้านบนและด้านล่างมีขนาดเล็กคือ 15x15 พิกเซลและ 20x20 พิกเซลตามลำดับ

3.3.2 การหาสัดส่วนการครอบครองบล็อกถนน

ในหัวข้อนี้เป็นขั้นตอนในการหาความหนาแน่นระหว่างบล็อกที่รถครอบครองเทียบกับบล็อกของถนนทั้งหมดตามสมการ (3.2) เพื่อดูความหนาแน่นของวัตถุที่ตรวจจับได้ในบริเวณถนนโดยมีสมมุติฐานว่า ถ้าวัตถุยานพาหนะครอบครองบล็อกถนนจำนวนมากแสดงว่ามีความหนาแน่นของยานพาหนะสูงในทางกลับกันถ้ามีวัตถุครอบครองจำนวนบล็อกน้อยก็ถือว่ามีการกระจายตัวของยานพาหนะต่ำ

$$\% \text{Density} = \alpha \left(\frac{NB_{car1}}{NB_{road1}} \times 100 \right) + (1 - \alpha) \left(\frac{NB_{car2}}{NB_{road2}} \times 100 \right) \quad (3.2)$$

โดยที่ NB_{car1} แทน จำนวนรถที่จอดที่วัดอุทยานพาหนะครอบครองในขอบเขตที่ 1

NB_{road1} แทน จำนวนรถที่จอดของขอบเขตที่ 1 ทั้งหมด

NB_{car2} แทน จำนวนรถที่จอดที่วัดอุทยานพาหนะครอบครองในขอบเขตที่ 2

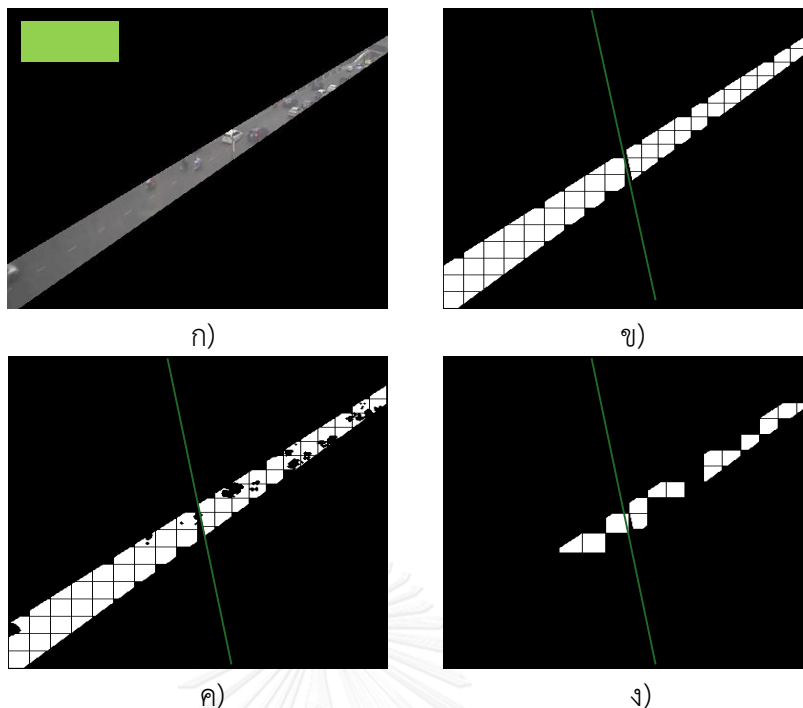
NB_{road2} แทน จำนวนรถที่จอดของขอบเขตที่ 2 ทั้งหมด

α แทน ค่าถ่วงน้ำหนัก กำหนดให้เท่ากับ 0.5

ซึ่งผู้วิจัยจำแนกความหนาแน่นจากสมการข้างต้นออกเป็น 3 กรณีคือ

- ถ้าร้อยละความหนาแน่นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 กำหนดให้เป็นกรณีที่มีการจราจรมีสภาพคล่องตัวสูงมีปริมาณรถน้อยมาก
- ถ้าร้อยละความหนาแน่นอยู่ในช่วง 30 ถึง 70 กำหนดให้เป็นกรณีที่มีการจราจรมีสภาพหนาแน่นปานกลางมีปริมาณรถมากขึ้นแต่ยังเคลื่อนตัวได้
- ถ้าร้อยละความหนาแน่นมากกว่าหรือเท่ากับ 70 กำหนดให้เป็นกรณีที่มีการจราจรมีสภาพคับคั่งและเกิดการติดขัด

เพื่อให้เห็นประสิทธิภาพการจำแนกระดับการจราจรในวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยยกตัวอย่างการประเมินสภาพการจราจรในถนนเส้นทางที่ 1 ของข้อมูลชุดที่ 1 ดังรูปที่ 3.38 รูปที่ 3.39 และรูปที่ 3.40 ตามลำดับ



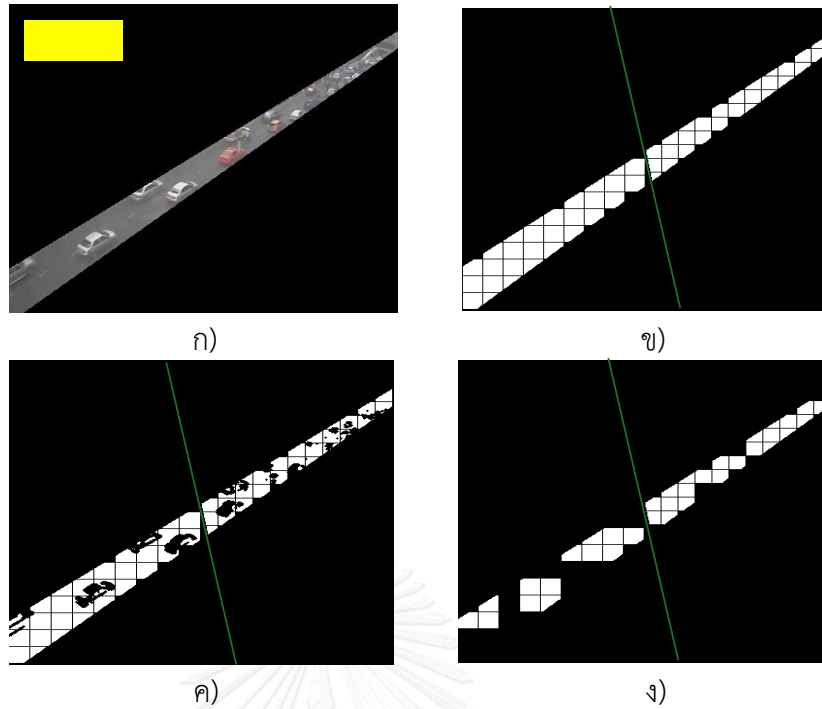
รูปที่ 3.38 การจำแนกขี้อยานพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 1 ของข้อมูลชุดที่ 1 ในกรณีที่ การจราจรมีสภาพคล่องตัว ก) ภาพการจราจร ข) ภาพไบนารีบล็อบนแบบสองระดับ ค) ภาพเปรียบเทียบวัดถยานพาหนะกับบล็อบน ง) บล็อบนที่ยานพาหนะครอบครอง

จากรูปที่ 3.38 ค) พิกเซลสีดำที่ปรากฏบนบล็อบนคือ วัดถยานพาหนะที่ตรวจจับได้จาก หัวข้อ 3.2 ซึ่งถูกนำมาแสดงเปรียบเทียบกันโดยมีหลักการคือ บล็อบนใด ๆ ที่มีพิกเซลดำปรากฏ อยู่ถึว่าบล็อบนั้นถูกครอบครองโดยยานพาหนะแสดงดังรูปที่ 3.38 ง) จากนั้นนับจำนวนบล็อบน ทั้งหมด (NB_{road1}, NB_{road2}) และบล็อบนที่ยานพาหนะครอบครอง (NB_{car1}, NB_{car2}) ของแต่ละ ขอบเขตโดยพิจารณาแยกกันนำมาคำนวณความหนาแน่นของการจราจรตามสมการ 2.34 จะได้

$$\%Density = 0.5 \left(\frac{13}{30} \times 100 \right) + 0.5 \left(\frac{2}{29} \times 100 \right)$$

$$\%Density = 25.5$$

เพราะฉะนั้นกำหนดให้เป็นสถานะที่การจราจรคล่องตัว

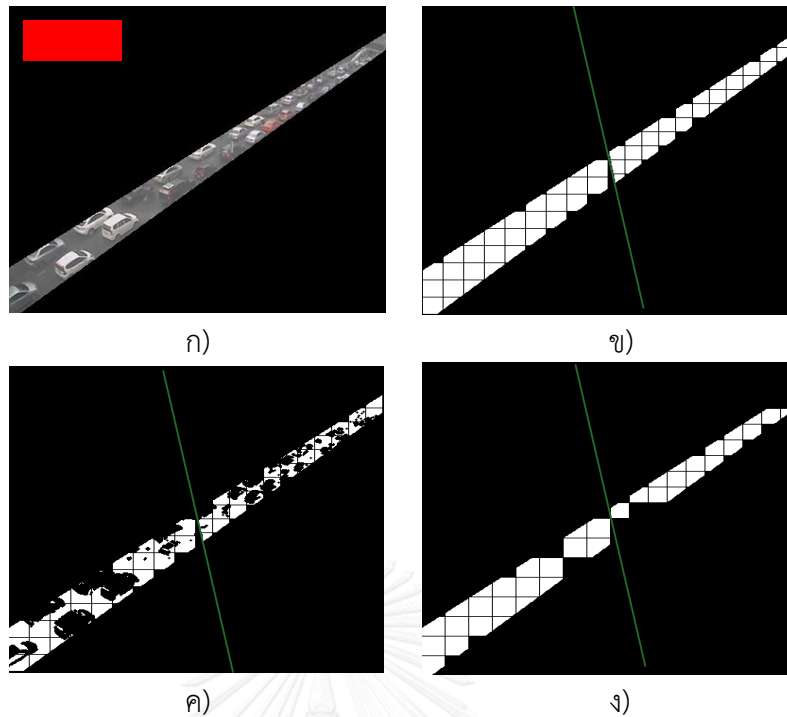


รูปที่ 3.39 การจำแนกขี้อยานพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 1 ของข้อมูลชุดที่ 1 ในกรณีที่
 การจราจรมีสภาพหนาแน่น ก) ภาพการจราจร ข) ภาพไบนารีขี้อถนนแบบสองระดับ
 ค) ภาพเปรียบเทียบขี้อถนนพาหนะกับขี้อถนน ง) ขี้อถนนที่ขี้อถนนครอบครอง

$$\%Density = 0.5 \left(\frac{22}{27} \times 100 \right) + 0.5 \left(\frac{14}{27} \times 100 \right)$$

$$\%Density = 67$$

เพราะฉะนั้นกำหนดให้เป็นสถานะที่การจราจรหนาแน่น



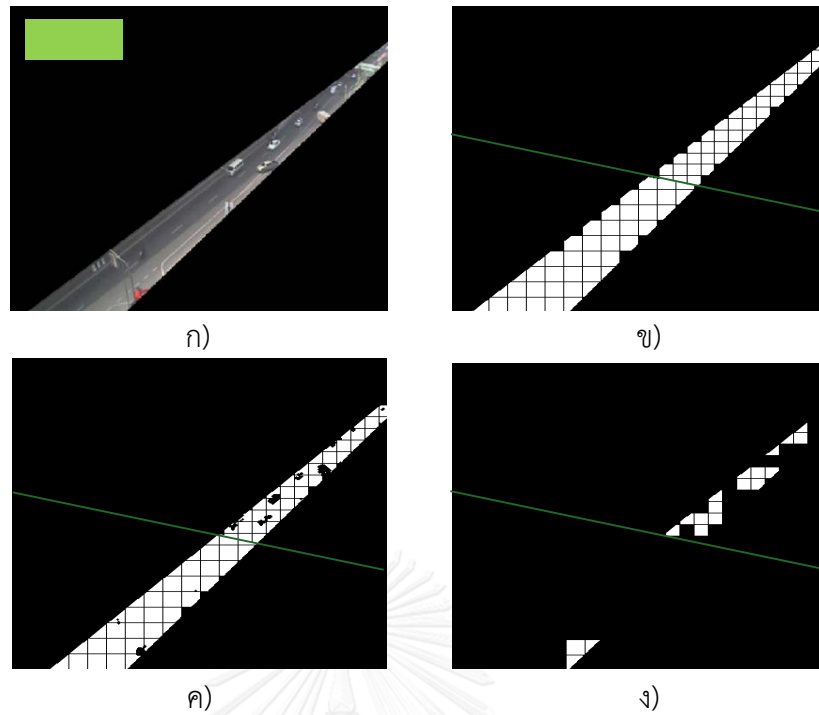
รูปที่ 3.40 การจำแนกยานพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 1 ของข้อมูลชุดที่ 1 ในกรณีที่การจราจรมีสภาพติดขัด ก) ภาพการจราจร ข) ภาพไบนารีรถถนนแบบสองระดับ ค) ภาพเปรียบเทียบวัตถุยานพาหนะกับรถถนน ง) รถถนนที่ยานพาหนะครอบครอง

$$\%Density = 0.5 \left(\frac{23}{27} \times 100 \right) + 0.5 \left(\frac{22}{27} \times 100 \right)$$

$$\%Density = 84$$

เพราะฉะนั้นกำหนดให้เป็นสถานะที่การจราจรติดขัด

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบหาความหนาแน่นของการจราจรในถนนเส้นทางที่ 4 ของข้อมูลภาพชุดที่ 3 ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3.41 รูปที่ 3.42 และรูปที่ 3.43 ตามลำดับ

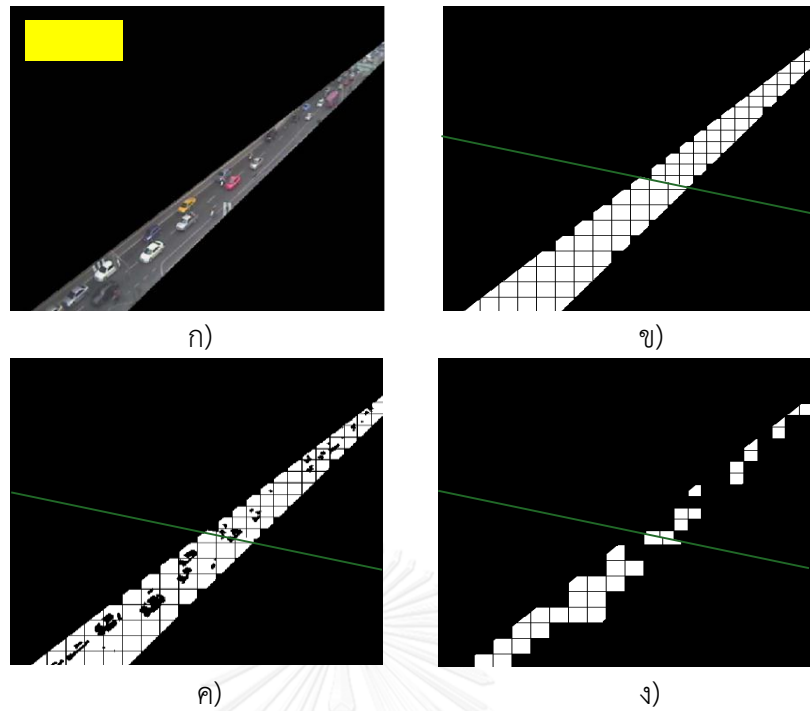


รูปที่ 3.41 การจำแนกขี้อยานพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 4 ของข้อมูลชุดที่ 3 ในกรณีที่
การจราจรมีสภาพคล่องตัว ก) ภาพการจราจร ข) ภาพไบนารีขี้อบนนแบบสองระดับ
ค) ภาพเปรียบเทียบขี้อบนนพาหนะกับขี้อบนน ง) ขี้อบนนขี้อบนนพาหนะครอบครอง

$$\%Density = 0.5 \left(\frac{17}{38} \times 100 \right) + 0.5 \left(\frac{3}{38} \times 100 \right)$$

$$\%Density = 26.5$$

เพราะฉะนั้นกำหนดให้เป็นสถานะที่การจราจรคล่องตัว

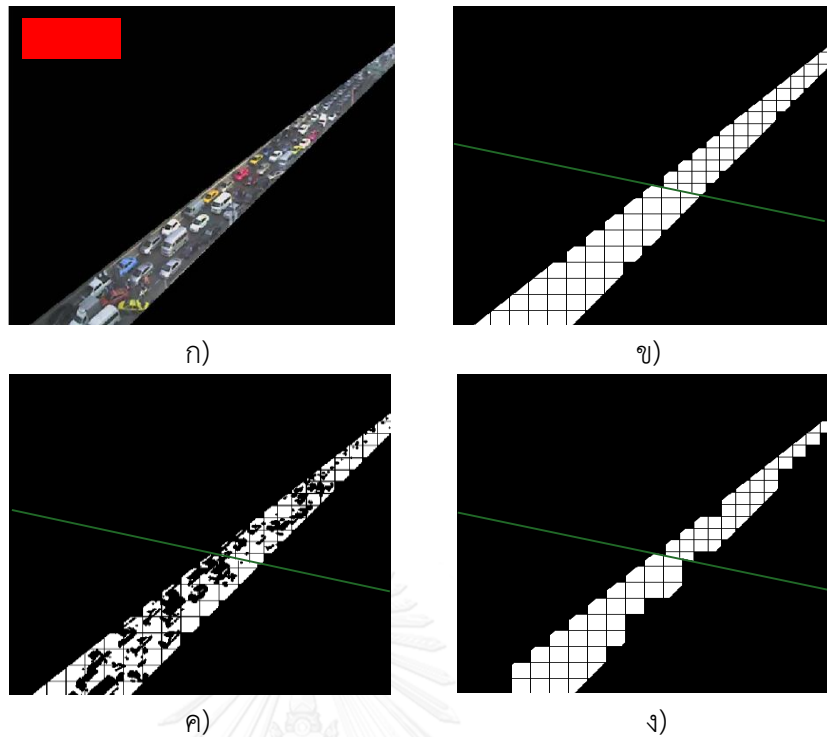


รูปที่ 3.42 การจำแนกขี้อยานพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 4 ของข้อมูลชุดที่ 3 ในกรณีที่มีการจราจรมีสภาพหนาแน่น ก) ภาพการจราจร ข) ภาพไบนารีขี้อถนนแบบสองระดับ ค) ภาพเปรียบเทียบวัดขี้อยานพาหนะกับขี้อถนน ง) ขี้อถนนที่ขี้อยานพาหนะครอบครอง

$$\%Density = 0.5 \left(\frac{12}{38} \times 100 \right) + 0.5 \left(\frac{19}{38} \times 100 \right)$$

$$\%Density = 41$$

เพราะฉะนั้นกำหนดให้เป็นสถานะที่มีการจราจรหนาแน่น



รูปที่ 3.43 การจำแนกขี้อยานพาหนะในภาพถนนเส้นทางที่ 4 ของข้อมูลชุดที่ 3 ในกรณีที่มีการจราจรมีสภาพติดขัด ก) ภาพการจราจร ข) ภาพไบนารีขี้อบถนนแบบสองระดับ
ค) ภาพเปรียบเทียบวัตถุยานพาหนะกับขี้อบถนน ง) ขี้อบถนนที่ยานพาหนะครอบครอง

$$\%Density = 0.5 \left(\frac{27}{38} \times 100 \right) + 0.5 \left(\frac{31}{38} \times 100 \right)$$

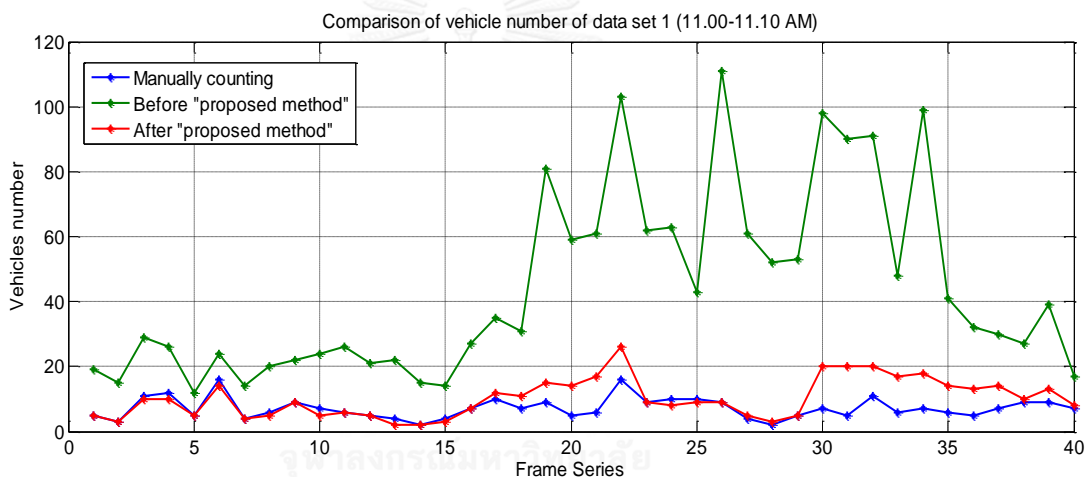
$$\%Density = 77$$

เพราะฉะนั้นกำหนดให้เป็นสถานะที่มีการจราจรติดขัด

บทที่ 4

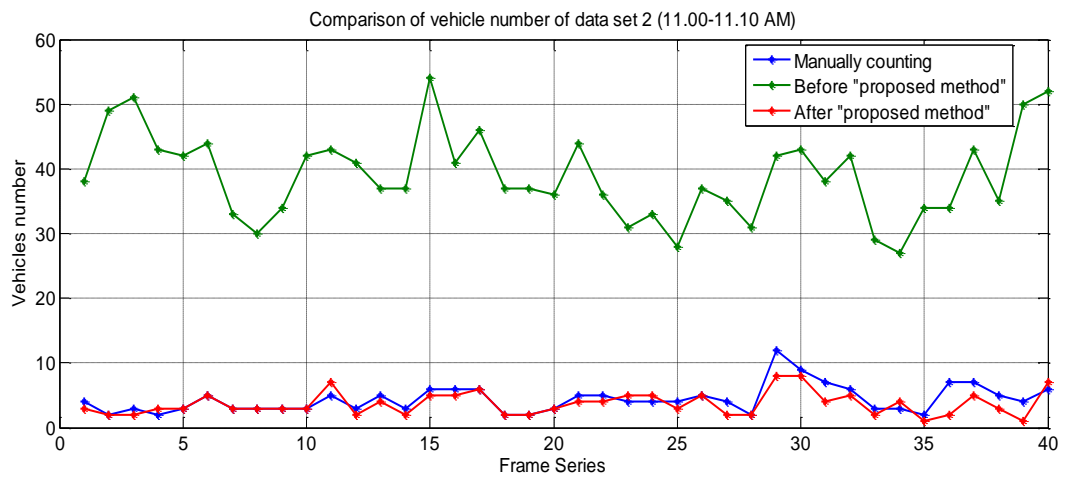
ผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการตรวจจับและประเมินยานพาหนะในภาพแบบสแนปชอตด้วยกระบวนการตามหัวข้อ 3.1 3.2 และ 3.3 กับข้อมูลภาพ 3 ชุด จากการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจจับวัตถุที่เป็นยานพาหนะในภาพได้อย่างเหมาะสมมีการตรวจจับที่ผิดพลาด (false detection) เกิดขึ้นน้อย เพื่อแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของวิธีการตรวจจับที่นำเสนอผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะที่ได้โดยใช้วิธีที่นำเสนอและไม่ใช่วิธีที่นำเสนอเทียบกับจำนวนยานพาหนะจริงในภาพนั้น ๆ โดยกำหนดให้จำนวนวัตถุสีขาวที่ตรวจจับได้ในภาพไปนารีแทนจำนวนยานพาหนะผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.1 รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ

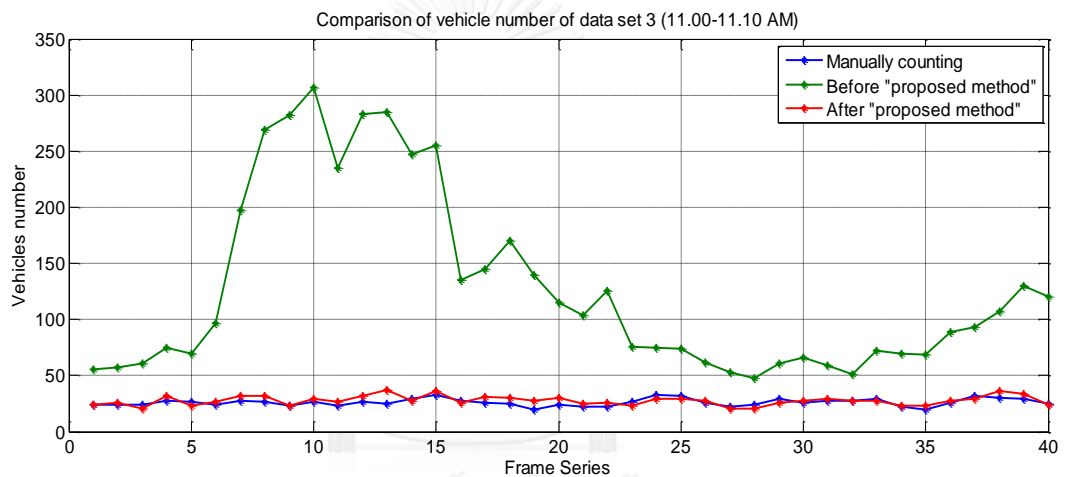


รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะของข้อมูลชุดที่ 1

รูปที่ 4.1 แสดงจำนวนวัตถุยานพาหนะที่ตรวจจับได้ในแต่ละเฟรมของข้อมูลชุดที่ 1 จำนวน 40 เฟรมในช่วงเวลา 11.00-11.10 นาฬิกา โดยเส้นสีเขียวแทน จำนวนวัตถุที่ตรวจจับได้ในแต่ละเฟรมโดยไม่ผ่านวิธีการที่นำเสนอ เส้นสีแดงแทน จำนวนวัตถุที่ตรวจจับได้ในแต่ละเฟรมโดยผ่านวิธีการที่นำเสนอและเส้นสีน้ำเงินแทน จำนวนยานพาหนะจริงในแต่ละเฟรม ซึ่งจะเห็นว่า การตรวจจับที่ไม่ผ่านวิธีการที่นำเสนอจะทำให้จำนวนวัตถุแตกต่างกับจำนวนยานพาหนะจริงเป็นอย่างมากแต่เมื่อตรวจจับด้วยวิธีการที่นำเสนอจะเห็นว่าจำนวนวัตถุที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับจำนวนยานพาหนะจริงในแต่ละเฟรมมากขึ้น เช่นเดียวกับรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบจำนวนของวัตถุยานพาหนะของข้อมูลชุดที่ 2 และ 3 จำนวน 40 เฟรม



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะของข้อมูลชุดที่ 2



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะของข้อมูลชุดที่ 3

ด้านการประเมินสภาพการจราจรผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการหาระดับความหนาแน่นของการจราจรโดยทำการทดสอบกับภาพการจราจรทั้งหมด 50 ภาพในแต่ละชุดข้อมูล และตรวจสอบว่าสามารถประเมินระดับความหนาแน่นได้ถูกต้องตามสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริงหรือไม่ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

	เส้นทางที่ 1		เส้นทางที่ 2	
	ค่าจริง(ภาพ)	ถูกต้อง(ภาพ)	ค่าจริง(ภาพ)	ถูกต้อง(ภาพ)
สภาพจราจร				
คล่องตัว	13	13	50	46
หนาแน่น	14	12	-	-
ติดขัด	23	14	-	-
รวม(ภาพ)	50	39	50	46
ความถูกต้อง(ร้อยละ)	78		92	

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์การประเมินสภาพการจราจรของตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 1

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลลัพธ์การประเมินสภาพการจราจรของข้อมูลชุดที่ 1 จำนวน 50 ภาพในช่วงเวลา 07:23:26 ถึง 07:35:41

หมายเหตุ 07:23:26 แทนเวลา 7 นาฬิกา 23 นาที 26 วินาที

เส้นทางที่ 1 : ประกอบด้วย

- ภาพการจราจรที่มีสถานะคล่องตัวจำนวน 13 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 13 ภาพ
- ภาพการจราจรที่มีสถานะหนาแน่นจำนวน 14 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 12 ภาพ ส่วน 1 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบติดขัด
- ภาพการจราจรที่มีสถานะติดขัดจำนวน 23 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 14 ภาพ ส่วน 9 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบติดขัด

เพราะฉะนั้นคิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 78

เส้นทางที่ 2 : ประกอบด้วย

- ภาพการจราจรที่มีสถานะคล่องตัวจำนวน 50 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 46 ภาพ ส่วน 4 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบหนาแน่น

เพราะฉะนั้นคิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 96

ระดับความหนาแน่น	เส้นทางที่ 1		เส้นทางที่ 2	
	ค่าจริง(ภาพ)	ถูกต้อง(ภาพ)	ค่าจริง(ภาพ)	ถูกต้อง(ภาพ)
คล่องตัว	50	49	50	46
หนาแน่น	-	-	-	-
ติดขัด	-	-	-	-
รวม(ภาพ)	50	49	50	46
ความถูกต้อง(ร้อยละ)	98		92	

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์การประเมินสภาพการจราจรของตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 2

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์การประเมินสภาพการจราจรของข้อมูลชุดที่ 2 จำนวน 50 ภาพในช่วงเวลา 14:45:40 ถึง 14:57:39

เส้นทางที่ 1 : ประกอบด้วย

- ภาพการจราจรที่มีสถานะคล่องตัวจำนวน 50 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 49 ภาพ ส่วน 1 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบหนาแน่น

เพราะฉะนั้นคิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 98

เส้นทางที่ 2 : ประกอบด้วย

- ภาพการจราจรที่มีสถานะวะคล่องตัวจำนวน 50 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 46 ภาพ ส่วน 4 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบหนาแน่น

เพราะฉะนั้นคิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 92

	เส้นทางที่ 1		เส้นทางที่ 2		เส้นทางที่ 3		เส้นทางที่ 4	
	ค่าจริง (ภาพ)	ถูกต้อง (ภาพ)	ค่าจริง (ภาพ)	ถูกต้อง (ภาพ)	ค่าจริง (ภาพ)	ถูกต้อง (ภาพ)	ค่าจริง (ภาพ)	ถูกต้อง (ภาพ)
ระดับความ หนาแน่น								
คล่องตัว	50	49	50	30	38	36	6	3
หนาแน่น	-	-	-	-	-	-	23	20
ติดขัด	-	-	-	-	12	11	21	19
รวม(ภาพ)	50	49	50	30	50	47	50	42
ความถูกต้อง (ร้อยละ)	98		60		94		84	

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์การประเมินสภาพการจราจรของตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 3

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์การประเมินสภาพการจราจรของข้อมูลชุดที่ 3 จำนวน 50 ภาพในช่วงเวลา 07:52:01 ถึง 09:25:01

เส้นทางที่ 1 : ประกอบด้วย

- ภาพการจราจรที่มีสถานะวะคล่องตัวจำนวน 50 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 49 ภาพ ส่วน 1 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบหนาแน่น

เพราะฉะนั้นคิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 98

เส้นทางที่ 2 : ประกอบด้วย

- ภาพการจราจรที่มีสถานะวะคล่องตัวจำนวน 50 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 30 ภาพ ส่วน 20 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบหนาแน่น

เพราะฉะนั้นคิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 60

เส้นทางที่ 3 : ประกอบด้วย

- ภาพการจราจรที่มีสถานะวะคล่องตัวจำนวน 38 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 36 ภาพ ส่วน 2 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบหนาแน่น

- ภาพการจราจรที่มีสถานะวะติดขัดจำนวน 12 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 11 ภาพ ส่วน 1 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบหนาแน่น

เพราะฉะนั้นคิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 94

เส้นทางที่ 4 : ประกอบด้วย

- ภาพการจราจรที่มีสภาวะคล่องตัวจำนวน 6 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 3 ภาพ ส่วน 3 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบหนาแน่น
- ภาพการจราจรที่มีสภาวะหนาแน่นจำนวน 23 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 20 ภาพ ส่วน 3 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบติดขัด
- ภาพการจราจรที่มีสภาวะติดขัดจำนวน 21 ภาพ ประเมินได้ถูกต้อง 19 ภาพ ส่วน 2 ภาพที่ประเมินผิดพลาดได้เป็นสภาวะการจราจรแบบหนาแน่น

เพราะฉะนั้นคิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 84

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการประเมินระดับการจราจรในตัวอย่างภาพสแนปชอตของข้อมูลทั้ง 3 ชุดดังกล่าวมีสาเหตุหลัก ๆ คือ

1. ในกรณีที่มีสิ่งรบกวนที่ไม่ใช่ยานพาหนะอยู่ในบล็อบบนใด ๆ บล็อบบนนั้นจะถูกกำหนดเป็นบล็อกของยานพาหนะและถูกใช้ในการคำนวณความหนาแน่นจึงทำให้ค่าความหนาแน่นที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น
2. การกำหนดเงื่อนไขในการแบ่งระดับการจราจรโดยใช้ค่าคงที่ใด ๆ ดังตัวอย่างในวิทยานิพนธ์นี้อาจทำให้การกำหนดสถานะการจราจรเกิดความผิดพลาดได้ยกตัวอย่างเช่น ถ้าค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้มีค่าสูงเท่ากับ 69 ซึ่งมีความใกล้เคียงที่จะเป็นสถานะการจราจรที่ติดขัดแต่กลับถูกกำหนดให้เป็นสถานะการจราจรแบบหนาแน่นปานกลางตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้
3. การประเมินความหนาแน่นการจราจรในถนนเส้นทางที่ 2 ของข้อมูลชุดที่ 3 มีความผิดพลาดเกิดขึ้นมากถึง 20 ภาพ ทั้งนี้เพราะผู้วิจัยกำหนดให้ถนนส่วนที่อยู่ด้านบนของเส้นตรงที่ใช้แบ่งเป็นมุมมองระยะไกลและต้องมีขนาดบล็อบลึกกว่าส่วนด้านล่างซึ่งเป็นมุมมองระยะใกล้เสมอ ซึ่งในกรณีดังกล่าวแนวเส้นตรงที่ได้กำหนดให้ส่วนที่อยู่ไกลและใกล้สลับกันจึงทำให้ถนนในส่วนที่อยู่ไกลถูกกำหนดให้ขนาดบล็อบลึกกว่าส่วนที่อยู่ใกล้จึงทำให้การคำนวณอัตราส่วนของบล็อกมีความผิดพลาดเกิดขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและการพัฒนาในอนาคต

วิทยานิพนธ์นี้สรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ที่นำเสนอใน 2 ประเด็นคือ

5.1 ด้านการตรวจจับสนานพาหนะในภาพสแนปชอต

จากผลการทดลองในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าการตรวจจับสนานพาหนะในภาพสแนปชอตด้วยวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพอยู่เกณฑ์ที่ดีเพราะสามารถจำแนกหาวัตถุที่เป็นยานพาหนะได้โดยมีความผิดพลาดหรือสิ่งรบกวนเกิดขึ้นน้อย จำนวนวัตถุยานพาหนะที่ได้สามารถใช้เป็นค่าประมาณของจำนวนยานพาหนะที่มีในภาพได้และสามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการจราจรได้ต่อไป

การพัฒนาในอนาคต

การแบ่งส่วนภาพถนนโดยใช้วิธีการแปลงฮัฟมาตรวจจับเส้นตรงขอบเขตถนนอาจใช้ได้ดีกับภาพถนนที่เป็นเส้นตรงเท่านั้นในกรณีที่ภาพถนนมีลักษณะเป็นเส้นโค้งหรือมีรูปร่างที่ไม่เป็นเส้นตรงจึงอาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องซึ่งต้องมีการปรับปรุงวิธีการต่อไปในอนาคต

5.2 ด้านการประเมินสภาพการจราจรในภาพสแนปชอต

จากผลการทดลองในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถประเมินสภาพการจราจรในภาพสแนปชอตที่มีอัตราเฟรมต่ำได้โดยสามารถจำแนกสถานะการจราจรได้เป็น 3 ระดับคือ สถานะที่มีสภาพการจราจรคล่องตัว สถานะที่มีสภาพการจราจรหนาแน่นและสถานะที่มีสภาพการจราจรติดขัด ทั้งยังมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเพราะสามารถประเมินสภาพการจราจรในสถานะต่าง ๆ ได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 50 วิธีการประเมินสภาพการจราจรที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพในแง่ของการใช้งานจริงได้ดีกว่าวิธีอื่นเพราะสามารถประเมินระดับการจราจรของถนนเส้นทางต่าง ๆ ในขณะนั้นได้โดยผู้ใช้ไม่ต้องตรวจสอบจากจำนวนยานพาหนะหรือค่าพารามิเตอร์ทางการจราจรอื่น ๆ ในแง่ของความแม่นยำถึงแม้ว่าการประเมินสภาพการจราจรที่นำเสนอมีความผิดพลาดอยู่บ้างแต่ในการรายงานผลสภาพการจราจรจริงนั้นจะรายงานเป็นค่าประมาณแบบช่วงเวลาจึงทำให้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบ้างนั้นมีผลกระทบน้อยลงผลการจราจรที่ประเมินได้จึงถือว่าอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

การพัฒนาในอนาคต

1. ประสิทธิภาพของการประเมินความหนาแน่นด้วยวิธีที่นำเสนอขึ้นอยู่กับข้อกำหนดขนาดของบล็อบนนซึ่งต้องกำหนดให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของภาพกล่าวคือ พิจารณาจากขนาดและระยะห่างระหว่างยานพาหนะเป็นหลัก สำหรับวิทยานิพนธ์นี้กำหนดขนาดบล็อบโดยใช้การทดลองปรับค่าที่เหมาะสมดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงวิธีการในการกำหนดขนาดบล็อบบนอัตโนมัติต่อไป
2. สำหรับงานในอนาคตเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการหาขนาดบล็อบที่เหมาะสมในแต่ละบริเวณที่มีมุมมองต่างกัน ผู้วิจัยเสนอให้ใช้การปรับมุมมองภาพถนนทั้งหมดให้เท่ากันก่อนทำการแบ่งบล็อบนน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถกำหนดขนาดบล็อบที่มีขนาดเท่ากันได้



รายการอ้างอิง

1. inc., H.I. *Vehicle Detection Using AMR Sensors*. 2005; Available from: <http://www.honeywell.com>.
2. *Intelligent transportation system*. 2014; Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_transportation_system.
3. Royani, T., Haddadnia, and M. Pooshideh. *A simple method for calculation Vehicle density in traffic images*. in *Machine Vision and Image Processing (MVIP)*. 2010. Iranian.
4. Lim, D.W., S.H. Choi, and J.S. Jun. *Automated detection of all kinds of violations at street intersection using real time individual vehicle tracking*. in *IEEE Fifth Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation*. 2002.
5. Kiratiratanapruk, K. and S. Siddhichai. *Vehicle Detection and Tracking for Traffic Monitoring System*. in *the IEEE TENCON*. 2006.
6. H.Rahim, et al. *Vehicle velocity estimation for traffic surveillance system*. in *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2010.
7. Chen, Z. and T. Ellis. *Vehicle Detection, Tracking and Classification in Urban Traffic*. in *IEEE 15th Trans. Intelligent Transportation System*. 2012. Alaska USA.
8. Barria , J.A. and S. Thajchayapong *Detection and classification of traffic anomalies using microscopic traffic variables*. in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2011.
9. Genius Joint Venture Co., L. ป้ายจราจรอัจฉริยะ. Available from: <http://forth-its.com/home.php>.
10. Center, N.E.a.C.T. *Traffy Social Eyes*. Available from: <http://its.nectec.or.th/traffy-social-eyes>.
11. Slack, D.B. *Traffic Counts and Traffic Surveys*. Available from: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/methods/ch9m2en.html>.
12. B. Han, e.a. *Motion-segmentation-based change detection*. in *SPIE Defence & Security Symposium 2007*. 2007.

13. Comaniciu, D. and P. Meer. *Mean Shift Analysis and Applications*. in the *IEEE International Conference on Computer Vision*. 1999. Kerkyra, Greece.
14. Sun, Z., G. Bebis, and R. Miller. *On-road vehicle detection using gabor filters and support vector machines*. in *International Conference on Digital Signal Processing*. 2002.
15. Aarthi, R., S. Padmavathi, and J. Amudha. *Vehicle detection in static images using color and corner map*. in the *2010 International Conference on Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society.
16. Tsai, L.-W., Hsieh, and Jun-Wei. 'Vehicle Detection Using Normalized Color and Edge Map'. in *IEEE Transactions on Image Processing*. 2007.
17. Rao, C.S. and P.Darwin. *Frame Difference And Kalman Filter Techniques For Detection Of Moving Vehicles In Video Surveillance*. in *International Journal of Engineering Research and Applications*. 2012.
18. Lo, B. and S. Velastin. *Automatic congestion detection system for underground platforms*. in *of 2001 International symposium on intelligent multimedia, video, and speech processing*. 2001. Hong Kong.
19. Surgailis, T., A. Valinevicius, and M. Zilys. *Traffic image processing systems*. in *IEEE Second International Conference on Advances in Circuits* 2009.
20. Abbas, N., M. Tayyab, and T.M. Qadri, *Real Time Traffic Density Count using Image Processing*. *International Journal of Computer Applications*, 2013. 83(9).
21. Santosh, D.H.H., et al., *Tracking Multiple Moving Objects Using Gaussian Mixture Model*. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN*, 2013. 3(2): p. 2231-2307.
22. Li, Y., et al. *Vehicle Detecting and Shadow Removing Based on Edged Mixture Gaussian Model*. in the *18th IFAC World Congress Milano*. 2011. Milan.
23. Stewart, B.D., et al. *Adaptive lane finding in road traffic image analysis*. in *Seventh International Conference on Road Traffic Monitoring and Control*. 1994. IEE, London.
24. *Thresholding*. Available from:
<http://www.math.tau.ac.il/~turkel/notes/threshold.pdf>.

25. Harris, C. and M. Stephens. *A combined corner and edge detector*. in *Fourth Alvey Vision Conference*. 1988. Manchester, UK.
26. Duda, R.O. and P.E. Hart. *Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures*. in *Communications of Association for Computing Machinery*. 1972.
27. วรินทร์ ลิ่มประเสริฐ, พิมพ์วดี เชาวลิต, and ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช. การแบ่งส่วนถนนในลำดับภาพจากกล้องวงจรปิด. in การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 36 2556. โรงแรมเฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรินทร์ ลิ่มประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย เพชรบุรี ในปีการศึกษา 2550 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตในปีการศึกษา 2554 จากนั้นได้เข้ารับการศึกษต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2557

บทความทางวิชาการ

[1] วรินทร์ ลิ่มประเสริฐ, พิมพ์วดี เซาวลิต, และชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช. (2556). การแบ่งส่วนถนนในลำดับภาพจากกล้องวงจรปิด. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 36 ณ โรงแรมเฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี, 11-13 ธันวาคม 2556.

