

การจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวีดิทัศน์หลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน

นายนิธิพัฒน์ ศิริคันธะมาต



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

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.

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VEHICLE MATCHING FROM MULTIPLE NON-OVERLAPPING CAMERAS

Mr. Nitipat Sirikuntamat



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

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอที่คนหลายตัวที่มีมุมมอง ไม่ทับซ้อนกัน
โดย	นายนิธิพัฒน์ ศิริคันธะมาต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนารัตน์ ชลิตาพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. ศุภกร สิทธิไชย

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สืบสกุล พิภพมงคล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนารัตน์ ชลิตาพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ดร. ศุภกร สิทธิไชย)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุกรี สิ้นธุภิญโญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. ทรงพล องค์กรวัฒนกุล)

นิพนธ์ ศิริคันธะมาต : การจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน (VEHICLE MATCHING FROM MULTIPLE NON-OVERLAPPING CAMERAS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ธนารัตน์ ชลิตาพงศ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. ศุภกร สิทธิไชย, 55 หน้า.

ปัจจุบันมีการติดตั้งกล้องวิดีโอตามเส้นทางต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเฝ้าติดตามสภาพจราจร ตรวจจับอุบัติเหตุ รวมถึงนำข้อมูลไปใช้เพื่อบริหารจัดการจราจรให้มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ระบบดังกล่าวยังจำเป็นต้องใช้เจ้าหน้าที่จำนวนมากในการเฝ้าดูวิดีโอ จึงเป็นการยากที่เจ้าหน้าที่จะสามารถเฝ้าดูได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา ดังนั้นหากเราสามารถพัฒนาระบบอัตโนมัติที่สามารถเฝ้าติดตามยานพาหนะจากกล้องวิดีโอเหล่านี้ได้อย่างทันกาล จะทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามการติดตั้งกล้องวิดีโอเพื่องานจราจรในปัจจุบัน เป็นการติดตั้งที่มีระยะห่างระหว่างกล้องมาก ซึ่งทำให้กล้องมีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน จึงเป็นเรื่องที่ยากและท้าทายที่กล้องทั้งสองจะสามารถทราบได้ว่า ยานพาหนะที่ตรวจจับได้เป็นยานพาหนะคันเดียวกัน เพื่อจะได้ส่งต่อข้อมูลเพื่อใช้ในการติดตามยานพาหนะต่อไปได้

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการจับคู่ยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน โดยอาศัยการจำแนกรุ่น สี และข้อมูลเชิงเวลาของยานพาหนะที่ปรากฏเทียบกับตำแหน่งของกล้องทั้งสอง ขั้นตอนวิธีที่เสนอประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การสกัดส่วนภาพยานพาหนะออกจากฉากหลังในภาพ การติดตามส่วนภาพยานพาหนะตลอดการเคลื่อนที่ภายในวิดีโอ การจำแนกรุ่นยานพาหนะ การจำแนกสียานพาหนะ และการจับคู่ยานพาหนะระหว่างสองกล้องโดยการพิจารณา รุ่น สี และข้อมูลเชิงเวลา

จากผลการทดลองในการวัดประสิทธิภาพการจับคู่ยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอสองตัวที่ติดตั้งบนสะพานลอย บนทางหลวงแห่งหนึ่ง พบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถให้ความถูกต้อง 68% โดยวิธีการประเมินความถูกต้องในการจับคู่ยานพาหนะนั้น จะพิจารณาจากความเหมือนกันของรุ่น และสียานพาหนะเท่านั้น

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5470250821 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS: VEHICLE MATCHING / VEHICLE DETECTION / VEHICLE TRACKING

NITIPAT SIRIKUNTAMAT: VEHICLE MATCHING FROM MULTIPLE NON-OVERLAPPING CAMERAS. ADVISOR: ASST. PROF. DR. THANARAT CHALIDABHONGSE, CO-ADVISOR: DR. SUPAKORN SIDDHICHAJ, 55 pp.

Recently, many traffic surveillance cameras have been installed along the roads and highways to monitor the traffic, detect the accidents, as well as to analyze the traffic flows for effective traffic management. However, the current systems still require a lot of personnel in monitoring these videos manually which is very difficult to do it effectively at all time. Therefore, if we can develop an automatic system that be able to track vehicles from these videos in real-time, the traffic monitoring will be done more effectively and efficiently. However, the traffic surveillance cameras typically are installed apart from each other to cover large area. This makes their field of views not overlapping. This leads to a challenge that is how these cameras being able to handover the information of the vehicles being tracked among each other to continue the tracking.

This thesis proposes a method for matching vehicles from multiple non-overlapping cameras by classifying model and color of the vehicles as well as their appearance timings in those videos. The proposed method is consisted mainly of 5 steps: vehicle segmentation, vehicle tracking within the field of view of each camera, vehicle's models classification, vehicle's color classification, and vehicle matching using model, color and temporal information.

To evaluate the effectiveness of the method, we tested with videos captured by 2 cameras installed on 2 pedestrian overpasses which are about 1 km. apart along a highway. The experimental results show that the proposed method yields 68% accuracy. The matching correctness is considered the similarity in vehicle's model and color only.

Department:	Computer Engineering	Student's Signature .....
Field of Study:	Computer Engineering	Advisor's Signature .....
Academic Year:	2014	Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดขึ้นได้ด้วยคำชี้แนะแนวทางการศึกษา และวิจัยอย่างทุ่มเทของ ผศ.ดร.ธนรัตน์ ชลิตาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.ศุภกร สิทธิไชย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาฯ เจ้าหน้าที่ห้องสมุด ตลอดจนเพื่อนๆ ทั้งหลักสูตรในเวลาและภาคนอกเวลาราชการ ที่คอยสนับสนุนการทำงาน ให้ความเห็นและกำลังใจ ในการทำวิจัย รวมทั้ง ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้การศึกษาและเลี้ยงดูเป็นอย่างดีเสมอมา



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ปัญหาของงานวิจัย .....	3
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	4
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
1.7 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ .....	5
1.8 โครงสร้างงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1.1 การลบฉากหลังแบบปรับตัวได้ด้วยวิธีการเชิงสถิติและการตรวจจับเงา (Adaptive Statistical Background Subtraction and Shadow Detection) .....	6
2.1.1.1 ค่าความบิดเบี้ยวของความสว่าง (Brightness Distortion).....	8
2.1.1.2 ค่าความบิดเบี้ยวของสี (Chromatic Distortion) .....	8
2.1.2 การติดตามวัตถุด้วยเทคนิคแคมชิฟท์ (CAMShift).....	9

2.1.2.1 การแปลงผันระบบสี (Color conversion).....	10
2.1.2.2 การคำนวณฮิสโทแกรม (Histogram) .....	11
2.1.2.3 การฉายกลับฮิสโทแกรม (Histogram Backprojection).....	12
2.1.2.4 การคำนวณหาตำแหน่งเซนทรอยด์และขนาดของพื้นที่ค้นหา .....	13
2.1.2.5 Speeded Up Robust Features (SURF) .....	14
2.1.2.5.1 ภาพอินทิกรัล (Integral Image).....	15
2.1.2.5.2 เฮเซียนเมทริกซ์ (Hessian Matrix) .....	15
2.1.2.5.3 การหาจุดสนใจ.....	17
2.1.2.5.4 การอธิบายคุณลักษณะเฉพาะของภาพ.....	17
2.1.3 การรู้จำด้วยวิธี Bag of words.....	18
2.1.3.1 การจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-mean clustering).....	18
2.1.3.2 การหาจุดกึ่งกลางใหม่ของกลุ่มข้อมูล .....	18
2.1.3.3 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) .....	18
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	20
2.2.1 การตรวจจับยานพาหนะ .....	20
2.2.1.1 การลบฉากหลัง (Background Subtraction).....	20
2.2.1.1.1 สี (Color) 20	
2.2.1.1.2 วิธีฮิสโทแกรม (Histogram Method).....	22
2.2.1.1.3 วิธีค่าเฉลี่ย (Average Method).....	22
2.2.1.2 เส้นเชื่อมในแนวตั้งและแนวนอน (Vertical/Horizontal Edges) .....	22
2.2.1.3 วิธีการคำนวณผลต่างระหว่างเฟรม (Frame Differential Method) .....	22
2.2.1.4 วิธี Optical Flow.....	23
2.2.1.5 การตรวจจับยานพาหนะโดยใช้คุณลักษณะเด่นของยานพาหนะ .....	23



2.2.2 การสกัดคุณลักษณะเด่นของยานพาหนะ.....	23
2.2.3 การติดตามยานพาหนะ .....	24
2.2.3.1 การติดตามยานพาหนะภายในกล้องวิดีโอ.....	24
2.2.3.2 การติดตามยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอ.....	25
บทที่ 3     ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ.....	27
3.1 ภาพรวมของวิธีการที่นำเสนอ.....	27
3.2 การสกัดยานพาหนะ.....	28
3.3 การติดตามยานพาหนะ .....	30
3.4 การจำแนกรุ่นยานพาหนะ .....	31
3.5 การจำแนกสีของยานพาหนะ.....	32
3.6 การจับคู่ยานพาหนะโดยใช้ข้อมูลเชิงเวลา.....	34
บทที่ 4     การทดลองและผลการทดลอง.....	35
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง .....	35
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	37
4.3 การทดลองการสกัดแยกส่วนของยานพาหนะ .....	37
4.4 การทดลองการติดตามยานพาหนะ.....	40
4.5 การทดลองการจำแนกรุ่นยานพาหนะ.....	43
4.6 การทดลองการจำแนกสียานพาหนะ.....	45
4.7 การทดลองการจับคู่ยานพาหนะ .....	47
บทที่ 5     สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
รายการอ้างอิง .....	51

ญ

หน้า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 55



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1-1 ภาพแสดงตำแหน่งที่มีการติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิดตรวจวัดและรายงานสภาพ จราจร ของกรุงเทพมหานคร [1].....	1
รูปที่ 1-2 ภาพแสดงการติดตั้งกล้องวีดิทัศน์เพื่องานจราจร (ก) กรณีติดตั้งกล้องให้มีมุมมองที่ทับ ซ้อนกัน [3] (ข) กรณีติดตั้งกล้องที่มีมุมมองที่ไม่ทับซ้อนกัน [4] .....	2
รูปที่ 2-1 แบบจำลองการประมาณค่ามัธยฐานบนปริภูมิสี RGB .....	8
รูปที่ 2-2 การจำแนกประเภทของจุดภาพ [5] .....	8
รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการทำงานของ CAMShift .....	9
รูปที่ 2-4 ตัวอย่างการทำงานของแคมชิฟท์ .....	10
รูปที่ 2-5 ตัวอย่างฮิสโทแกรม.....	12
รูปที่ 2-6 ตัวอย่างค่าสเกลและขนาดตัวกรองในแต่ละอ็อกเทฟ [8].....	15
รูปที่ 2-7 ตัวอย่างการสร้างภาพแบบอินทิกรัล .....	15
รูปที่ 2-8 อนุพันธ์อันดับสองของเกาส์เซียนโดยมีค่า $\sigma = 1.2$ (ก) การประมาณของอนุพันธ์ อันดับสองของเกาส์เซียน (ข) อนุพันธ์อันดับสองของเกาส์เซียนในแนวแกน $y$ และ $x$ - $y$ ตามลำดับ [8].....	16
รูปที่ 2-9 การเปรียบเทียบค่าจุดภาพ [9].....	17
รูปที่ 2-10 ตัวอย่าง Haar wavelet ที่ใช้ในการคำนวณ [8].....	17
รูปที่ 2-11 ตัวอย่างการทำงานของ SVM.....	20
รูปที่ 2-12 ภาพแสดงการตัดแยกยานพาหนะที่มีเงาติดมา [11] .....	21
รูปที่ 2-13 การตัดแยกเงาออกจากยานพาหนะโดยการใช้ข้อมูลสีในระบบ HSV [12] .....	21
รูปที่ 2-14 แสดงการเปรียบเทียบยานพาหนะโดยใช้กราฟค่าเฉลี่ยความเข้มของจุดภาพ [19].....	24
รูปที่ 2-15 (a) ภาพต้นแบบและบริเวณที่สนใจ (b) ภาพที่ได้จากการประมวลผลด้วยค่า H (c) ภาพที่ได้จากการประมวลผลด้วยฮิสโทแกรม 3 มิติ (HSV) (d) ภาพที่ได้จากการ ประมวลผลด้วยฮิสโทแกรมแบบถ่วงน้ำหนัก .....	25

รูปที่ 3-1	แผนภาพที่แสดงภาพรวมของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในการจับคู่ยานพาหนะที่ปรากฏใน วิดีโอที่บันทึกจากกล้องตัวที่ 1 และวิดีโอที่บันทึกจากกล้องตัวที่ 2 โดยแต่ละกล้องจะทำงาน ลักษณะเดียวกัน ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักในการสกัดข้อมูลรุ่นและสี ยานพาหนะที่ตรวจจับได้ จากนั้นจึงนำข้อมูลจากสองกล้อง มาประมวลผลร่วมกันเพื่อจับคู่ ภาพยานพาหนะคันเดียวกัน.....	27
รูปที่ 3-2 (ก)	ภาพวิดีโอที่บันทึกนำเข้าซึ่งมีเวลายานพาหนะอยู่ในฉากตลอดเวลา (ข) ภาพโมเดลฉาก หลังที่สร้างได้โดยการใช้เทคนิคการประมาณค่ามัธยฐาน [5].....	29
รูปที่ 3-3 (ก)	ภาพวิดีโอที่บันทึกที่มีการลบฉากหลังด้วยเทคนิค ASBGS (ข) ภาพวิดีโอที่บันทึกหลังจากการ คัดกรองขนาดของส่วนภาพที่มีขนาดเล็กเกินไปออกไป (ค) ภาพวิดีโอที่บันทึกแสดงบริเวณภาพ ที่กำหนดเส้นแนวนอนสีขาวเพื่อสกัดแยกยานพาหนะและแสดงยานพาหนะที่ถูกสกัด แยกด้วยกรอบสี่เหลี่ยมสีขาว.....	30
รูปที่ 3-4	แสดงภาพยานพาหนะจากเฟรมที่ต่อเนื่องกันซึ่งสกัดแยกได้จากขั้นตอนการติดตาม ยานพาหนะโดยใช้ขั้นตอนวิธี CAMShift.....	32
รูปที่ 3-5	แผนภาพกิจกรรมขั้นตอนการจำแนกสีของยานพาหนะ.....	33
รูปที่ 3-6	ภาพแสดงการจับคู่ยานพาหนะระหว่าง ชีวิตสีขาวที่ปรากฏในวิดีโอที่บันทึกที่ 1 ในช่วงเวลา T1 ถึง T30 กับชีวิตสีขาวที่ปรากฏในวิดีโอที่บันทึกที่ 2 ในช่วงเวลา T1000 ถึง T1040.....	34
รูปที่ 4-1	แสดงตำแหน่งการติดตั้งกล้องวิดีโอที่บันทึกตัวที่ 1 และกล้องวิดีโอที่บันทึกตัวที่ 2 บนสะพานลอย ซึ่งมีระยะห่างประมาณ 1 กิโลเมตร.....	35
รูปที่ 4-2	แสดงภาพจากกล้องวิดีโอที่บันทึกในชุดข้อมูลที่ 1 – 5 ความยาวรวม 50 นาที เก็บข้อมูลโดย ใช้กล้อง Canon EOS 60D พร้อมกับเลนส์ Canon EF 50mm f/1.8 II จำนวน 2 ตัว ติดตั้งอยู่บนสะพานลอยที่มีระยะห่างประมาณ 1 กิโลเมตร บริเวณถนนบรมราชชนนี เขตทวีวัฒนา (ก) แสดงภาพจากกล้องตัวที่ 1 (ข) ภาพทางจากกล้องตัวที่ 2.....	36
รูปที่ 4-3	แสดงภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอที่บันทึกในชุดข้อมูลที่ 6 – 7 ความยาวรวม 20 นาที เก็บข้อมูล โดยใช้กล้อง DSLR และกล้องบันทึกวิดีโอติดตั้งอยู่บนสะพานลอยที่มีระยะห่าง ประมาณ 1 กิโลเมตร บริเวณถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง (ก) แสดงภาพจาก กล้องตัวที่ 1 (ข) ภาพทางจากกล้องตัวที่ 2.....	37
รูปที่ 4-4	ภาพแสดงการสกัดแยกยานพาหนะด้วยการตีกรอบสี่เหลี่ยมสีขาว เมื่อยานพาหนะผ่าน บริเวณภาพที่กำหนดเพื่อสกัดแยกยานพาหนะดังกล่าว.....	39

รูปที่ 4-5 (ก) แสดงภาพยานพาหนะภายในวงกลม ซึ่งสูญเสียพื้นที่ยานพาหนะจากขั้นตอนการ ลบฉากหลัง ภาพวีดิทัศน์หลังจากลบฉากหลัง (ข) แสดงให้เห็นว่ายานพาหนะที่สูญเสีย พื้นที่จากขั้นตอนการลบฉากหลังจะไม่ถูกสกัดแยกเมื่อผ่านบริเวณที่กำหนด .....	40
รูปที่ 4-6 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ถูกตีกรอบสีแดง ด้วยลูกศรสีแดงซึ่งได้จาก การติดตามยานพาหนะภายในกล้องวีดิทัศน์ โดยที่ยานพาหนะมีสีคล้ายกับพื้นหลัง .....	41
รูปที่ 4-7 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ถูกตีกรอบสีเขียว ด้วยลูกศรสีแดงซึ่งได้จาก การติดตามยานพาหนะภายในกล้องวีดิทัศน์ โดยที่ยานพาหนะมีการเปลี่ยนช่องทาง จราจรจากช่องทางขวาไปที่ช่องทางกลาง.....	42
รูปที่ 4-8 แสดงยานพาหนะ 4 แบบที่สูญเสียพื้นที่ของยานพาหนะจากขั้นตอนการลบฉากหลัง.....	42
รูปที่ 4-9 ตัวอย่างยานพาหนะโตโยต้า โคโรลล่า อัลติส รุ่นปี 2009-2011 ที่ใช้ในการจำแนกรุ่น ยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่แตกต่างกันทั้งสี และการตกแต่งบนพื้นผิว .	44
รูปที่ 4-10 ตัวอย่างยานพาหนะ ฮอนด้า ซิตี รุ่นปี 2009-2011 ที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่มีสีและรูปแบบแตกต่างกัน.....	44
รูปที่ 4-11 ตัวอย่างยานพาหนะโตโยต้า วีออส รุ่นปี 2006-2008 ที่ใช้ในการจำแนกรุ่น ยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่มีสีและรูปแบบแตกต่างกัน.....	44
รูปที่ 4-12 ตัวอย่างรูปรถตู้ที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่มีสี และรูปแบบแตกต่างกัน.....	44
รูปที่ 4-13 ตัวอย่างรูปรถเอนกประสงค์ที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วย ยานพาหนะที่มีสีและรูปแบบแตกต่างกัน.....	45
รูปที่ 4-14 ตัวอย่างรูปรถกระบะที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะ ที่มีสีและรูปแบบแตกต่างกัน .....	45
รูปที่ 4-15 ภาพแสดงยานพาหนะที่มีการลบฉากหลัง เพื่อใช้ในการจำแนกลีขนยานพาหนะ .....	46
รูปที่ 4-16 ยานพาหนะที่มีการบรรทุกสิ่งซึ่งทำให้บังบังพื้นผิวของยานพาหนะ .....	46
รูปที่ 4-17 แสดงการจับคู่ยานพาหนะรุ่นฮอนด้า ซิตี สีขาว จากวีดิทัศน์ที่ 1 กับยานพาหนะรุ่น ฮอนด้า ซิตี สีขาว จากวีดิทัศน์ที่ 2 ซึ่งมีการเปรียบเทียบรูปลานพาหนะจริงกับชื่อรุ่น และสียานพาหนะที่ระบุไว้ในฐานข้อมูล.....	47

รูปที่ 4-18 การจับคู่ยานพาหนะรุ่นอัลติส สีแดง จากวีดิทัศน์ที่ 1 กับยานพาหนะรุ่นอัลติส สีแดง จากวีดิทัศน์ที่ 2 แต่เมื่อเปรียบเทียบรูปยานพาหนะจริงกับชื่อรุ่นและสียานพาหนะที่ระบุไว้ในฐานข้อมูลพบว่ายานพาหนะจริงเป็นยานพาหนะรุ่นอัลติส สีชมพู ..... 48



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงการเก็บข้อมูลรุ่นและสียานพาหนะ รวมถึงช่วงเวลาที่ยานพาหนะปรากฏในวิดีโอทัศน	34
ตารางที่ 4-1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสกัดยานพาหนะ ประกอบไปด้วย 3 ชุดข้อมูล ชุดข้อมูลที่ 1 เก็บจากถนนบรมราชชนนี เขตทวีวัฒนา ด้วยกล้อง Canon EOS 60D และชุดข้อมูลที่ 6 และ 7 เก็บจากถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง ด้วยกล้อง DSLR และกล้องบันทึกวิดีโอตามลำดับ	38
ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองการสกัดแยกยานพาหนะจากวิดีโอทัศน 3 ชุด ประกอบไปด้วยระยะเวลาของวิดีโอทัศน จำนวนยานพาหนะที่ปรากฏในวิดีโอทัศน และความถูกต้องของการสกัดแยก	39
ตารางที่ 4-3 แสดงความถูกต้องของการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะทั้งหมด 6 รุ่น	45

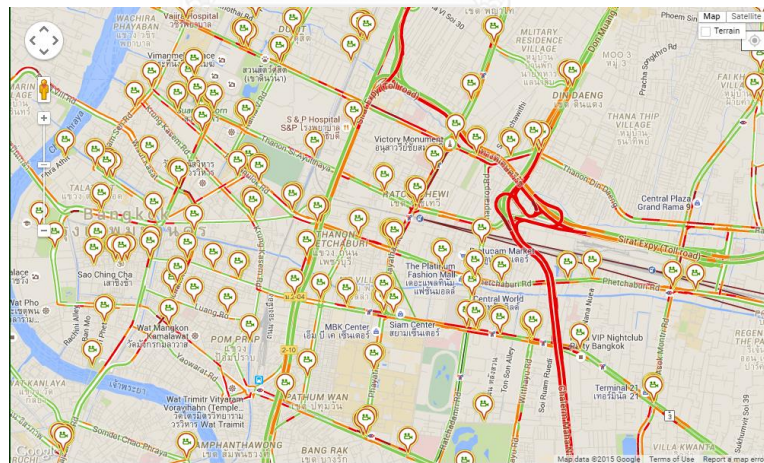
# บทที่ 1

## บทนำ

บทนี้จะอธิบายที่มาและความสำคัญของงานวิจัย ซึ่งเกี่ยวกับการพัฒนาขั้นตอนวิธีการจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน รวมทั้งสรุปประเด็นสำคัญของงานวิจัย ได้แก่ ปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนวิธี และประโยชน์ นอกจากนี้ยังอธิบายถึงโครงสร้างของเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ทั้งหมด 5 บท เพื่อให้เข้าใจถึงภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบท

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในเมืองต่าง ๆ มีการติดตั้งกล้องวิดีโอตามเส้นทางหลัก ทางหลวง และทางด่วน เพื่อใช้ในการเฝ้าติดตามสภาพจราจร ตรวจสอบอุบัติเหตุ รวมถึงนำข้อมูลไปใช้เพื่อบริหารจัดการจราจรให้มีประสิทธิภาพ ดังเช่น ระบบกล้องวิดีโอจราจรปิดบนการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ระบบกล้องวิดีโอจราจรปิดของกองบังคับการตำรวจจราจร ระบบกล้องวิดีโอจราจรปิดตรวจวัดและรายงานสภาพจราจรของกรุงเทพมหานคร ซึ่งได้ติดตั้งกล้องตามถนนสายหลักและแยกต่าง ๆ ที่สำคัญในเขตกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในรูปที่ 1-1 เป็นต้น



รูปที่ 1-1 ภาพแสดงตำแหน่งที่มีการติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิดตรวจวัดและรายงานสภาพจราจรของกรุงเทพมหานคร [1]

แต่ในปัจจุบันระบบกล้องวิดีโอเพื่องานจราจรเหล่านี้ ยังจำเป็นต้องใช้เจ้าหน้าที่จำนวนมากในการเฝ้าดูวิดีโอ ทำให้มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น เป็นการยากที่เจ้าหน้าที่จะสามารถเฝ้าดูได้

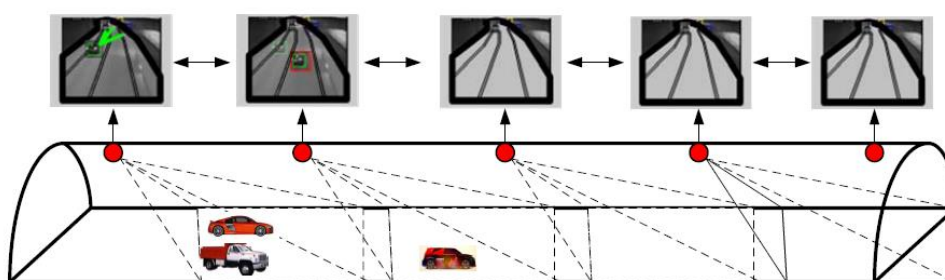


อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา ปัจจุบันจึงใช้ประโยชน์จากระบบกล้องวิดีโอที่วงจรปิดได้อย่างจำกัด จึงมีความพยายามที่จะพัฒนาระบบอัตโนมัติ ที่สามารถเฝ้าติดตามยานพาหนะ ตรวจสอบอุบัติเหตุ วิเคราะห์สภาพจราจร จากกล้องวิดีโอเหล่านี้ได้อย่างทันกาลและมีประสิทธิภาพ

จากการสำรวจงานวิจัยในหลายปีที่ผ่านมา พบว่างานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับและติดตามยานพาหนะจากกล้องวิดีโอ 1 ตัว มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีความก้าวหน้า [2] แต่ข้อมูลการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่สกัดได้นั้นเป็นระยะทางสั้นๆ เฉพาะการเคลื่อนที่ที่ผ่านมุมมองของกล้องตัวเดียว จึงนำไปประยุกต์ใช้ได้จำกัด หากเราสามารถเชื่อมโยงข้อมูลผลการติดตามยานพาหนะจากกล้องวิดีโอหลายตัวได้ จะเพิ่มศักยภาพในการนำไปประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่น สามารถติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่สนใจได้ตลอดเส้นทางที่ยาวขึ้น สามารถนำข้อมูลเส้นทางของยานพาหนะไปใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติ เพื่อการรายงานสภาพจราจรโดยรวมแบบทันกาล หรือเพื่อการวางแผนจัดการจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการติดตามยานพาหนะโดยใช้กล้องหลายตัวแบ่งออกเป็น 2 สถานการณ์ คือ กรณีที่กล้องมีมุมมองที่ทับซ้อนกัน และกรณีที่กล้องมีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน ดังรูปที่ 1-2



(ก)



(ข)

รูปที่ 1-2 ภาพแสดงการติดตั้งกล้องวิดีโอเพื่องานจราจร (ก) กรณีติดตั้งกล้องให้มีมุมมองที่ทับซ้อนกัน [3] (ข) กรณีติดตั้งกล้องที่มีมุมมองที่ไม่ทับซ้อนกัน [4]

สำหรับกรณีแรกนั้น มีงานวิจัยของ Dixon และคณะ [3] ซึ่งได้นำเสนอวิธีการใช้สี และ ตำแหน่งในการติดตามยานพาหนะภายในกล้องวิดีโอ และเมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่มาอยู่ใน ตำแหน่งที่ทับซ้อนของมุมมองทั้งสอง กล้องวิดีโอตัวแรกจะทำการส่งต่อ (handoff) ข้อมูลที่ใช้ในการติดตามยานพาหนะคันนั้นให้กับกล้องวิดีโอตัวถัดไป ส่วนกรณีที่สองซึ่งเป็นสถานการณ์ที่กล้อง อยู่ห่างกันมาก จึงทำให้ไม่มีส่วนที่ทับซ้อนกัน ซึ่งผู้วิจัยมีความเห็นว่า กรณีนี้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของการติดตั้งกล้องวิดีโอเพื่องานจราจรในปัจจุบัน เนื่องจากมีความต้องการติดตั้งกล้องวิดีโอ ให้ครอบคลุมพื้นที่กว้างที่สุดในงบประมาณที่จำกัด ดังนั้นปัญหาคือ ทำอย่างไรที่กล้องทั้งสองจะสามารถทราบได้ว่ายานพาหนะที่ตรวจจับได้ เป็นยานพาหนะคันเดียวกัน เพื่อจะได้ส่งต่อข้อมูลเพื่อใช้ในการติดตามยานพาหนะ และเชื่อมโยงข้อมูลเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะคันดังกล่าว เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการในการจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน โดยใช้ข้อมูลการจำแนกรุ่น สี และ ข้อมูลเวลาที่ปรากฏเทียบกับ ตำแหน่งของกล้องที่ตรวจพบยานพาหนะ

## 1.2 ปัญหาของงานวิจัย

1. จะสกัดแยกยานพาหนะจากภาพวิดีโอได้อย่างไร
2. จะจำแนกรุ่นยานพาหนะได้อย่างไร
3. จะจำแนกสียานพาหนะได้อย่างไร
4. จะจับคู่ยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอได้อย่างไร

## 1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีในการจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน

## 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. วิดีโอส่งเข้ามาจากกล้องรุ่นเดียวกัน 2 ตัว ที่ติดตั้งบนทางด่วนหรือทางหลวง ที่มีสภาพจราจรไม่หนาแน่น โดยกล้องทั้งสองมีมุมมองที่ไม่ทับซ้อนกัน
2. การจับคู่ยานพาหนะที่ผ่านกล้องตัวที่ 1 และ 2 ถ้าเป็นรุ่นและสีเดียวกันถึงแม้เป็นรถคนละคันก็ถือว่าจับคู่ถูกต้อง

3. ยานพาหนะภายในวิดิทัศน์เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันและต้องผ่านทั้ง 2 กล้อง
4. ภาพที่ได้จากกล้องวิดิทัศน์เป็นภาพมุมสูงในเวลากลางวันซึ่งไม่มีการทับซ้อนกันของยานพาหนะ

#### 1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. เก็บข้อมูลวิดิทัศน์จราจรด้วยกล้องวิดิทัศน์รุ่นเดียวกันจำนวน 2 ตัว ซึ่งติดตั้งบนสะพานลอยที่มีระยะห่างประมาณ 1 กิโลเมตร
2. ออกแบบวิธีการสกัดยานพาหนะจากกล้องวิดิทัศน์
3. ทดสอบวิธีการสกัดยานพาหนะจากกล้องวิดิทัศน์
4. ออกแบบวิธีการจำแนกรุ่นและสียานพาหนะ
5. ทดสอบวิธีการจำแนกรุ่นและสียานพาหนะ
6. ออกแบบวิธีการจับคู่ยานพาหนะ
7. ทดสอบวิธีการจับคู่ยานพาหนะ
8. สรุปผลงานวิจัย

#### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. งานวิจัยนี้นำเสนอการจับคู่ยานพาหนะที่มีรุ่นและสีเดียวกัน จากกล้องวิดิทัศน์หลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่สนใจได้
2. สามารถนำข้อมูลเส้นทางของยานพาหนะ ไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อตรวจจับพฤติกรรมการใช้รถ ตรวจจับเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถเป้าหมาย ตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติ รายงานสภาพจราจรโดยรวมแบบทันกาล หรือ วางแผนจัดการจราจรอย่างมีประสิทธิภาพได้

## 1.7 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

1. N. Sirikuntamat, S. Siddhichai and T. H. Chalidabhongse, "Vehicle Matching from Multiple Non-overlapping Cameras," in The 35th Electrical Engineering Conference (EECON), 2012.
2. N. Sirikuntamat, T. H. Chalidabhongse and S. Siddhichai, "Vehicle Matching from Multiple Non-overlapping Cameras," in The 2014 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), 2014, pp.253-257.
3. N. Sirikuntamat, S. Satoh and T. H. Chalidabhongse, "Vehicle Tracking in Low Hue Contrast Based on CAMShift and Background Subtraction," in The 12th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 2015.(To be published)

## 1.8 โครงสร้างงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วย ที่มาและความสำคัญ ปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนวิธี ประโยชน์ของงานวิจัย และบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีการสกัดแยกวัตถุ การติดตามวัตถุ ภายในกล้องวิดีโอ และการจำแนกกลุ่มวัตถุ

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ ซึ่งเป็นรายละเอียดของวิธีการจับคู่ยานพาหนะจาก กล้องวิดีโอหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน รวมถึงรายละเอียดของการออกแบบระบบโดยรวม

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อประเมินผลของวิธีการ จับคู่ยานพาหนะที่นำเสนอ โดยจะอธิบายในข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย และการทดลองในขั้นตอนต่าง ๆ

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุป ซึ่งประกอบไปด้วย สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัดการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ งานวิจัยในอนาคต

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญของงานวิจัยนี้ รวมถึงงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญของงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยการลบฉากหลังจากภาพวีดิทัศน์ การติดตามวัตถุภายในกล้องวีดิทัศน์ และการรู้จำกลุ่มของวัตถุ

##### 2.1.1 การลบฉากหลังแบบปรับตัวได้ด้วยวิธีการเชิงสถิติและการตรวจจับเงา (Adaptive Statistical Background Subtraction and Shadow Detection)

วิธีการลบฉากหลังแบบปรับตัวได้ด้วยวิธีการเชิงสถิติและการตรวจจับเงา หรือ ASBGS เป็นปรับปรุงวิธีการลบฉากหลังด้วยวิธีการเชิงสถิติและการตรวจจับเงา (Statistical Background Subtraction and Shadow Detection) หรือ SBGS ด้วยการเพิ่มการสร้างแบบจำลองฉากหลังปรับตัวได้ (Adaptive Modeling) โดยใช้เทคนิคการประมาณค่ามัธยฐานแบบเวกเตอร์สี (Approximated Color Median Filtering)

ASBGS จะทำการสร้างฉากหลังด้วยเทคนิคการประมาณค่ามัธยฐาน (Approximated median filter) บนปริภูมิ RGB ซึ่งเป็นการสร้างฉากหลังได้อย่างแม่นยำโดยไม่ต้องพักเก็บข้อมูลภาพล่วงหน้าและไม่มีการสะสมความผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งฉากหลังที่สร้างจะมีการปรับปรุงเมื่อมีจุดภาพใด ๆ ในภาพถูกจัดเป็นฉากหลังของภาพ

การจำแนกประเภทของจุดภาพ จะทำการคำนวณค่าความบิดเบี้ยวของความสว่าง (Brightness Distortion) และค่าความบิดเบี้ยวของสี (Chromatic Distortion) เพื่อนำไปหาค่าขีดแบ่งในการจำแนกประเภทของจุดภาพ ซึ่งจุดภาพจะแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ฉากหลัง (Background) เงา (Shadow) ไฮไลต์ (Highlight) และฉากหน้า (Foreground) ดังรูปที่ 14 การสร้างแบบจำลองฉากหลังแบบปรับตัวได้ (Adaptive background modeling)

การสร้างแบบจำลองฉากหลังแบบปรับตัวได้จะเริ่มจากการกำหนดให้ภาพในเฟรมแรกเป็นภาพพื้นหลัง โดยที่จุดสีในภาพพื้นหลังจะปรับตัวเข้าหาจุดสีในภาพที่เข้ามาใหม่ ซึ่งความเร็วในการปรับตัวจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ ( $\beta$ )

กำหนดให้

$$E_{i,n} = (R_{i,n}, G_{i,n}, B_{i,n}) \quad \text{เป็นจุดภาพบนภาพฉากหลังปัจจุบัน}$$

$$I_{i,n} = (r_{i,n}, g_{i,n}, b_{i,n}) \quad \text{เป็นจุดภาพที่เข้ามาใหม่}$$

$$E_{i,n+1} = (R_{i,n+1}, G_{i,n+1}, B_{i,n+1}) \quad \text{เป็นจุดภาพบนภาพฉากหลังใหม่}$$

การคำนวณค่าความเข้มของจุดภาพบนภาพฉากหลังใหม่

$$R_{i,n+1} = R_{i,n} + \beta_{R,i} \quad (2.1)$$

$$G_{i,n+1} = G_{i,n} + \beta_{G,i} \quad (2.2)$$

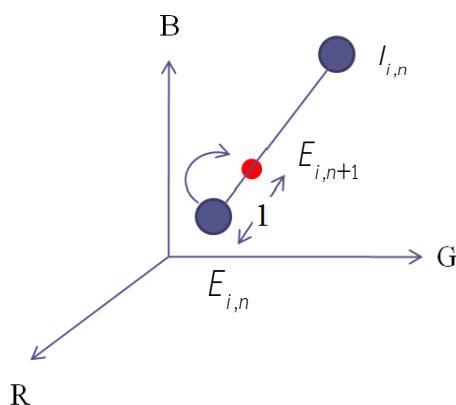
$$B_{i,n+1} = B_{i,n} + \beta_{B,i} \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$\beta_{R,i} = \begin{cases} \frac{r_{i,n} - R_{i,n}}{\|I_{i,n} - E_{i,n}\|} & \text{for } \|I_{i,n} - E_{i,n}\| \neq 0 \\ 0 & \text{for otherwise} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$\beta_{G,i} = \begin{cases} \frac{g_{i,n} - G_{i,n}}{\|I_{i,n} - E_{i,n}\|} & \text{for } \|I_{i,n} - E_{i,n}\| \neq 0 \\ 0 & \text{for otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\beta_{B,i} = \begin{cases} \frac{b_{i,n} - B_{i,n}}{\|I_{i,n} - E_{i,n}\|} & \text{for } \|I_{i,n} - E_{i,n}\| \neq 0 \\ 0 & \text{for otherwise} \end{cases} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2-1 แบบจำลองการประมาณค่ามัธยฐานบนปริภูมิสี RGB

### 2.1.1.1 ค่าความบิดเบี้ยวของความสว่าง (Brightness Distortion)

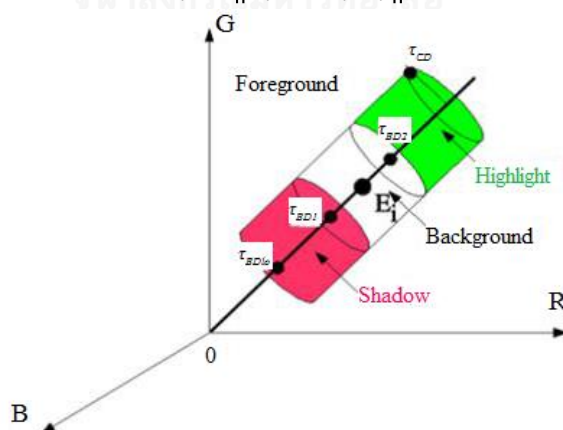
ค่าความบิดเบี้ยวของความสว่าง หรือ  $\alpha$  คำนวณได้จากสมการ 20 โดยที่  $I_i$  แทนค่าความเข้มของจุดภาพในภาพปัจจุบัน  $E_i$  แทนค่าความเข้มของฉากหลังที่จุดภาพ  $i$

$$\alpha_i = \arg \min_{\alpha} (I_i - \alpha E_i)^2 \quad (2.7)$$

### 2.1.1.2 ค่าความบิดเบี้ยวของสี (Chromatic Distortion)

ค่าความบิดเบี้ยวของสี หรือ CD คือ ระยะตั้งฉากระหว่างจุดภาพกับเส้นอ้างอิงของสีซึ่งเป็นตัวแทนฉากหลัง โดยคำนวณได้จากสมการ

$$CD_i = \|I_i - \alpha_i E_i\| \quad (2.8)$$



รูปที่ 2-2 การจำแนกประเภทของจุดภาพ [5]

### 2.1.2 การติดตามวัตถุด้วยเทคนิคแคมชิฟต์ (CAMShift)

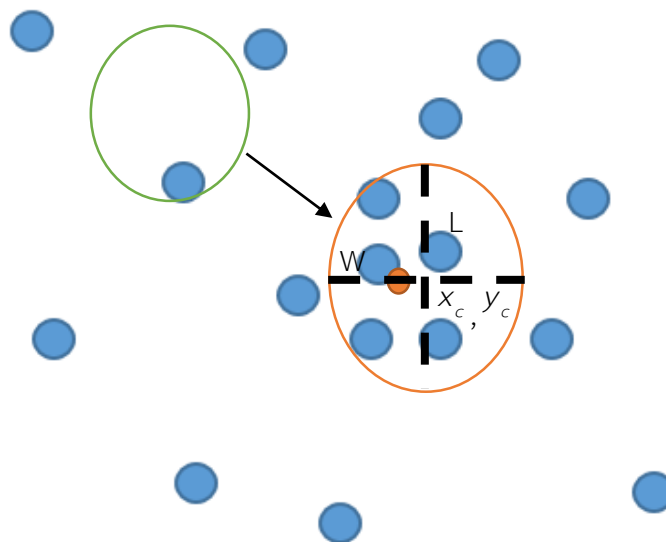
แคมชิฟต์ [6] เป็นวิธีที่พัฒนามาจากมินชิฟต์ (Mean Shift) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้การคำนวณหาจุดที่มีความหนาแน่นของข้อมูลสูงที่สุด โดยเริ่มจากการกำหนดพื้นที่ค้นหา (Search window) จากนั้นแคมชิฟต์จะเริ่มค้นหาค่าเฉลี่ยภายในพื้นที่ค้นหาโดยจะปรับพื้นที่ค้นหาจากข้อมูลค่าเฉลี่ยจนกว่าจะมีระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของพื้นที่ค้นหากับค่าเฉลี่ยต่ำกว่าที่กำหนด



รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการทำงานของ CAMShift

แคมชิฟต์เป็นขั้นตอนวิธีที่ได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้กับการค้นหาวัตถุในภาพวิดีโอ โดยนำภาพวิดีโอมาแปลงให้อยู่ในระบบสี HSV เพื่อนำมาสร้างฮิสโทแกรมของค่าความเข้มของ H จากนั้นจะทำการสร้างภาพการกระจายตัวของความน่าจะเป็น (Probability distribution Image) เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแคมชิฟต์ในการหาค่าเซนทรอยด์





รูปที่ 2-4 ตัวอย่างการทำงานของแคมชิพท์

### 2.1.2.1 การแปลงผันระบบสี (Color conversion)

ในการตรวจจับยานพาหนะหรือการติดตามยานพาหนะ ระบบสีมีความสำคัญในการระบุตำแหน่งของยานพาหนะในภาพวิดีโอที่ค้น หรือในการตัดแยกระหว่างวัตถุที่สนใจกับภาพพื้นหลัง ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอที่ค้นจะเป็นภาพที่อยู่ในระบบสี RGB ในขณะที่ระบบสี HSV สามารถที่จะแบ่งแยกได้ระหว่างค่าความเข้มของสีหลัก (Hue) ความอิ่มตัวของสี (Saturation) และความสว่างของสี (Value) ซึ่งทำให้สามารถเลือกพิจารณาได้เฉพาะเนื้อสีของภาพในกรณีที่ภาพวิดีโอที่ค้นมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแสง โดยทำการแปลงระบบสี [7] ดังนี้

$$R' = R / 255 \quad (2.9)$$

$$G' = G / 255 \quad (2.10)$$

$$B' = B / 255 \quad (2.11)$$

$$M = \max(R', G', B') \quad (2.12)$$

$$m = \min(R', G', B') \quad (2.13)$$

$$C = M - m \quad (2.14)$$

การคำนวณค่าความเข้มของสีหลัก

$$H = \begin{cases} 60 \left( \frac{G' - B'}{C} \right) ,if & M = R' \\ 120 + 60 \left( \frac{B' - R'}{C} \right) ,if & M = G' \\ 240 + 60 \left( \frac{R' - G'}{C} \right) ,if & M = B' \end{cases} \quad (2.15)$$

$$H = H + 360 ,if \quad H < 0 \quad (2.16)$$

การคำนวณความสว่างของสี

$$V = M$$

การคำนวณความอิ่มตัวของสี

$$S = \begin{cases} \frac{C}{V} ,if & C \neq 0 \\ 0 ,otherwise \end{cases} \quad (2.18)$$

### 2.1.2.2 การคำนวณฮิสโทแกรม (Histogram)

ฮิสโทแกรม หรือ  $q$  เป็นแผนภูมิแท่ง โดยแกนตั้งเป็นความถี่ และแกนนอนเป็นชั้นข้อมูลที่สนใจ ( $u$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2-5 ซึ่งการคำนวณความถี่ของชั้นข้อมูลสามารถคำนวณได้จากสมการ

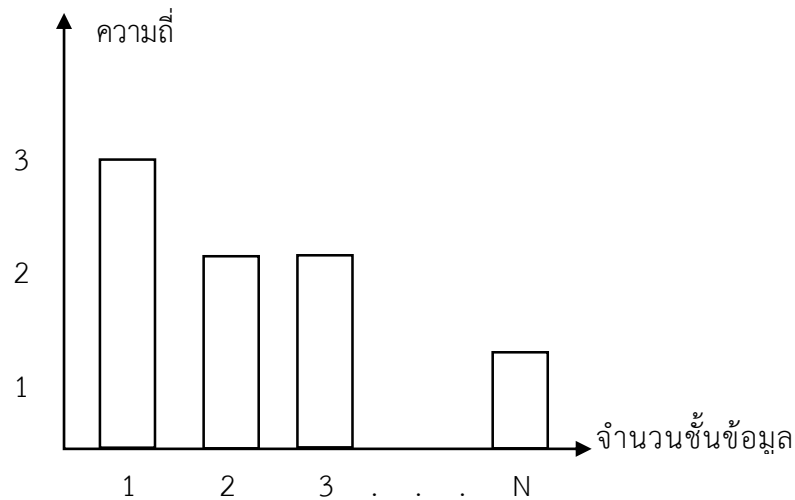
$$q_u = \sum_{i=1}^N \delta [I(X_i^*) - u] \quad (2.19)$$

$$\delta[A] = \begin{cases} 1 & for \quad A = 0 \\ 0 & for \quad A \neq 0 \end{cases} \quad (2.20)$$

เมื่อ  $I(X_i^*)$  เป็นค่าความเข้มของจุดข้อมูลภาพที่ตำแหน่ง  $X_i^*$

$X_i^*$  เป็นจุดข้อมูลภาพที่ตำแหน่ง  $(x, y)$

$q_u$  เป็นจำนวนความถี่ของชั้นข้อมูลที่  $u$



รูปที่ 2-5 ตัวอย่างฮิสโทแกรม

### 2.1.2.3 การฉายกลับฮิสโทแกรม (Histogram Backprojection)

การฉายกลับฮิสโทแกรมเป็นการคำนวณความน่าจะเป็นของค่าความเข้มของจุดภาพที่จะเป็นส่วนหนึ่งของภาพเป้าหมาย (target) โดยที่  $R_j$  คือฮิสโทแกรมความน่าจะเป็นที่ค่าความเข้ม  $j$  จะเป็นส่วนหนึ่งของภาพเป้าหมาย โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพ ( $H$ ) ที่แทนค่าของแต่ละจุดภาพด้วยค่าความน่าจะเป็น

$$R_j = \frac{M_j}{I_j} \quad (2.21)$$

เมื่อ  $R_j$  เป็นค่าฮิสโทแกรมที่ชั้นข้อมูล  $j$

$M_j$  เป็นค่าฮิสโทแกรมของภาพเป้าหมายที่ชั้นข้อมูล  $j$

$I_j$  เป็นค่าฮิสโทแกรมของภาพที่ค้นหาที่ชั้นข้อมูล  $j$

$$H_{x,y} = \min(R_{c(I_{x,y})}, 1) \quad (2.22)$$

$$R_{c(I_{x,y})} = R_{I_{x,y}} \cdot I_{x,y} \quad (2.23)$$

เมื่อ  $H_{x,y}$  เป็นค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่ง  $x, y$  ของภาพที่ค้นหา

$I_{x,y}$  เป็นค่าความเข้มในตำแหน่ง  $x, y$  ของภาพที่ค้นหา

### 2.1.2.4 การคำนวณหาตำแหน่งเซนทรอยด์และขนาดของพื้นที่คั่นหา

ให้  $x_c$ ,  $y_c$  เป็นจุดเซนทรอยด์  $w$  เป็นขนาดแกน  $X$  ของพื้นที่คั่นหา และ  $l$  เป็นขนาดแกน  $y$  ของพื้นที่คั่นหา

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad (2.24)$$

$$y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (2.25)$$

เมื่อ  $M_{00}$  เป็นโมเมนต์ลำดับที่ 0

$$M_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y) \quad (2.26)$$

$M_{10}$  เป็นโมเมนต์ลำดับที่ 1 ของ  $X$

$$M_{10} = \sum_x \sum_y I(x, y) \cdot x \quad (2.27)$$

$M_{01}$  เป็นโมเมนต์ลำดับที่ 1 ของ  $y$

$$M_{01} = \sum_x \sum_y I(x, y) \cdot y \quad (2.28)$$

การคำนวณขนาดของพื้นที่คั่นหา

$$w = \sqrt{\frac{((a+c) - \sqrt{b^2 + (a-c)^2})^2}{2}} \quad (2.29)$$

$$l = \sqrt{\frac{((a+c) + \sqrt{b^2 + (a-c)^2})^2}{2}} \quad (2.30)$$

$$a = \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2 \quad (2.31)$$

$$b = 2 \cdot \left( \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c \cdot y_c \right) \quad (2.32)$$

$$c = \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2 \quad (2.33)$$

เมื่อ  $M_{20}$  เป็นโมเมนต์ลำดับที่ 2 ของ  $x$

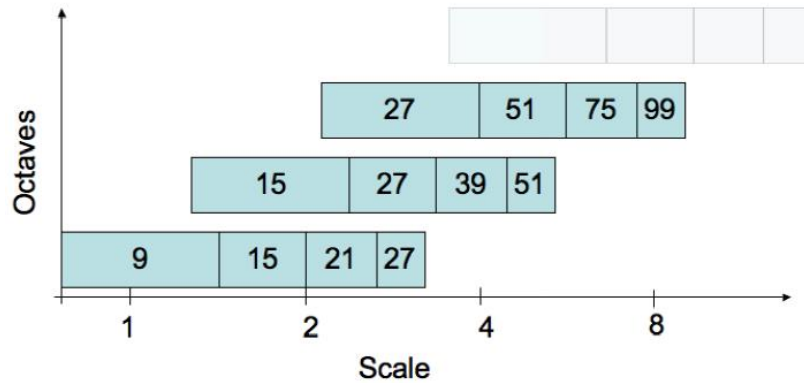
$$M_{20} = \sum_x \sum_y I(x, y) \cdot x^2 \quad (2.34)$$

$M_{02}$  เป็นโมเมนต์ลำดับที่ 2 ของ  $y$

$$M_{02} = \sum_x \sum_y I(x, y) \cdot y^2 \quad (2.35)$$

#### 2.1.2.5 Speeded Up Robust Features (SURF)

SURF [8] เป็นวิธีการที่ใช้ในการคำนวณหาคุณลักษณะสำคัญของจุดสนใจในภาพเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือแยกแยะวัตถุ ซึ่งมีความทนทานต่อการหมุน การเบลอ หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพแสง ซึ่งพัฒนามาจาก SIFT เพื่อให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น โดยการสร้างภาพอินทิกรัล (Integral Image) จากภาพต้นแบบเพื่อลดเวลาในการประมวลผล จากนั้นคำนวณดิสคริมีแนนต์ของเฮเซียน (Hessian Discriminant) จากเฮเซียนเมทริกซ์ (Hessian Matrix) เพื่อใช้บอกจุดใดเป็นจุดสนใจ โดยพิจารณาจากค่าดีเทอร์มิแนนต์ (Determinant) ของเฮเซียนเมทริกซ์ ถ้าค่าดีเทอร์มิแนนต์มีค่าเป็นบวกจะทำให้จุด ๆ นั้นมีค่าสูงสุดซึ่งถือเป็นจุดที่สนใจ สุดท้ายทำการอธิบายจุดสนใจของภาพด้วยการหาผลรวมของ Haar wavelet (SURF descriptor) เพื่อให้หาจุดสนใจ (key point) ในภาพที่มีขนาดต่างกัน (scale invariant) ได้ จึงทำการวนซ้ำการเพิ่มขนาดของตัวกรอง (filter) ของการประมาณของอนุพันธ์อันดับสองของเกาส์เซียนที่มีสเกล ( $\sigma$ ) ด้วยวิธี scale space representation โดยการแบ่งค่าอ็อกเทฟ (Octave) ออกเป็น 5 อ็อกเทฟ และใช้ขนาดของตัวกรอง 4 ขนาดดังรูป

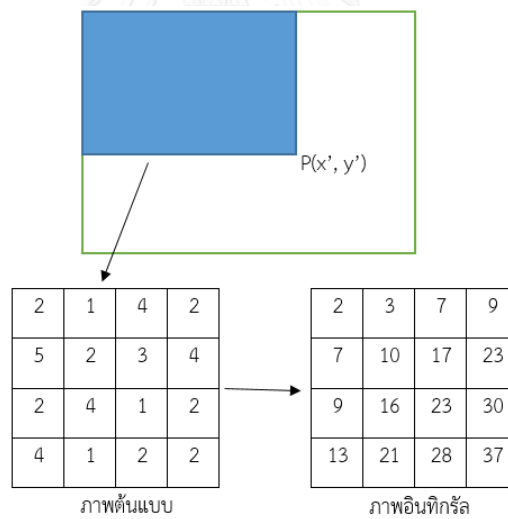


รูปที่ 2-6 ตัวอย่างค่าสเกลและขนาดตัวกรองในแต่ละอ็อกเทฟ [8]

2.1.2.5.1 ภาพอินทิกรัล (Integral Image)

ภาพอินทิกรัลคือการสร้างภาพที่แต่ละจุดภาพจะมีค่าเท่ากับผลรวมค่าของจุดภาพตั้งแต่ตำแหน่ง (1,1) จนถึง (a, b) นั้นๆ

$$P(x', y') = \sum_{x=1}^{x \leq a} \sum_{y=1}^{y \leq b} I(x, y) \tag{2.36}$$



รูปที่ 2-7 ตัวอย่างการสร้างภาพแบบอินทิกรัล

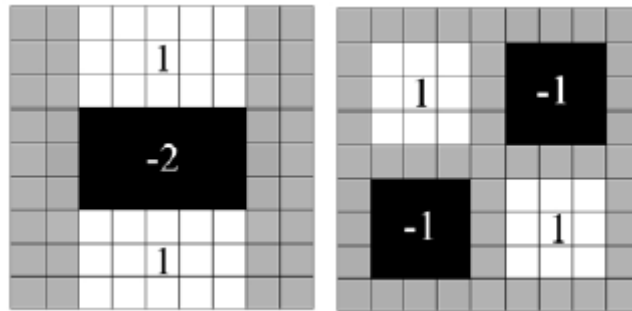
2.1.2.5.2 เฮเซียนเมทริกซ์ (Hessian Matrix)

เฮเซียนเมทริกซ์ คือ วิธีการที่ใช้ในการหาคุนลักษณะเฉพาะ (key point) ของภาพซึ่งมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น ขนาด หรือ การหมุน เป็นต้น ซึ่งการคำนวณหาเฮเซียนเมทริกซ์ที่จุดภาพ X จะคำนวณได้จากสมการ

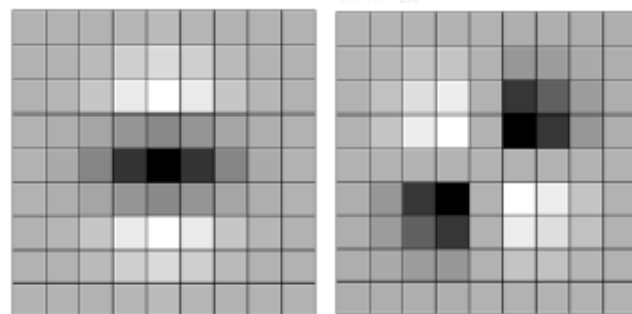
$$H(X, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

เมื่อ  $L_{xx}(x, \sigma)$  คือ คอนโวลูชันระหว่างอนุพันธ์อันดับสองของเกาส์เซียน (The convolution of the Gaussian second order derivative) กับจุดภาพ  $\mathbf{X}$

$D_{xx}$ ,  $D_{xy}$  และ  $D_{yy}$  คือ การคอนโวลูชันระหว่างจุดภาพ  $\mathbf{X}$  กับ อนุพันธ์อันดับสองของเกาส์เซียนในแนวแกน  $x$ ,  $x-y$  และ  $y$  ตามลำดับดังแสดงในรูป



(ก)



(ข)

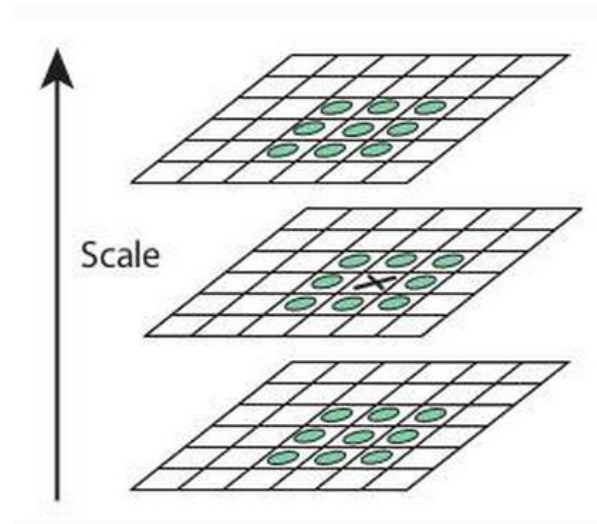
รูปที่ 2-8 อนุพันธ์อันดับสองของเกาส์เซียนโดยมีค่า  $\sigma = 1.2$  (ก) การประมาณของอนุพันธ์อันดับสองของเกาส์เซียน (ข) อนุพันธ์อันดับสองของเกาส์เซียนในแนวแกน  $y$  และ  $x-y$  ตามลำดับ [8]

จากนั้นคำนวณหาค่าดีเทอร์มิแนนต์ของเฮเซียนเมทริกซ์จากสมการ

$$\det(H_{approx}) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2 \quad (2.38)$$

### 2.1.2.5.3 การหาจุดสนใจ

การกำหนดจุดสนใจทำได้ด้วยวิธีการขจัดค่าที่ไม่มากที่สุด (Non-maxima suppression) โดยเปรียบเทียบกับจุดภาพรอบข้างและจุดภาพรอบข้างในสเกลที่สูงกว่าและต่ำกว่า ซึ่งถ้าจุดนั้นมีค่าสูงสุดจะถือว่าจุดภาพนั้นเป็นจุดสนใจ (key point) ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 การเปรียบเทียบค่าจุดภาพ [9]

### 2.1.2.5.4 การอธิบายคุณลักษณะเฉพาะของภาพ

ในการอธิบายคุณลักษณะเฉพาะของภาพทำได้โดยการหาผลรวมของ Haar wavelet ซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงตามการหมุน (rotation) หรือการเปลี่ยนแปลงขนาดของภาพ (scaling)

การคำนวณจะคำนวณจากจุดสนใจในภาพด้วยการสร้างพื้นที่สี่เหลี่ยมรอบจุดสนใจขนาด  $20\sigma$  และแบ่งพื้นที่ดังกล่าวออกเป็นพื้นที่ย่อยขนาด  $4 \times 4$  หรือ 16 ช่องย่อย หลังจากนั้นจะทำการคอนโวลูทระหว่าง Haar wavelet (รูปที่ 2-10) กับพื้นที่ย่อยแต่ละพื้นที่ โดยจะได้เป็นเวกเตอร์ที่อธิบายจุดสนใจดังกล่าวตามสมการ

$$v = [\sum d_x, \sum d_y, \sum |d_x|, \sum |d_y|] \quad (2.39)$$



รูปที่ 2-10 ตัวอย่าง Haar wavelet ที่ใช้ในการคำนวณ [8]



### 2.1.3 การรู้จำด้วยวิธี Bag of words

หลักการงานของการรู้จำด้วยวิธี Bag of words คือ พิจารณาเอกสารหนึ่ง ๆ เสมือนเป็นถุงใส่คำถุงหนึ่ง โดยที่ไม่สนใจลำดับหรือหลักไวยากรณ์ใด ๆ แล้วสร้างเวกเตอร์ความถี่ของคำที่ปรากฏในเอกสารนั้น จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลความถี่ที่ได้เรียนรู้ไว้ก่อน โดยมีการประยุกต์ใช้การรู้จำด้วยวิธีถุงคำในงานด้านต่าง ๆ หลายด้าน เช่น ระบบป้องกัน spam หรือ การรู้จำวัตถุ (Object recognition) เป็นต้น

#### 2.1.3.1 การจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-mean clustering)

การจัดกลุ่มแบบเคมีนเป็นวิธีการจัดแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มด้วยวิธีการแบ่งกัน (Partitioning) ซึ่งจะพิจารณาจากระยะทางระหว่างจุดกึ่งกลาง (Centroid) ของกลุ่มกับข้อมูล โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการแบ่งกัน K กลุ่มและกำหนดจุดกึ่งกลางเริ่มต้น
2. คำนวณจุดกึ่งกลางโดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean)
3. คำนวณระยะระหว่างจุดข้อมูลนั้นกับจุดกึ่งกลางข้อมูลเพื่อกำหนดกลุ่มของข้อมูล
4. ทำซ้ำข้อ 2 จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มข้อมูล หรือ ครบตามจำนวนรอบที่กำหนด

#### 2.1.3.2 การหาจุดกึ่งกลางใหม่ของกลุ่มข้อมูล

$$C_{x,j} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2.40)$$

$$C_y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (2.41)$$

เมื่อ  $C_{x,j}$  เป็นจุดกึ่งกลางข้อมูลใหม่ที่ตำแหน่ง  $x$  ในกลุ่ม  $j$

$C_{y,j}$  เป็นจุดกึ่งกลางข้อมูลใหม่ที่ตำแหน่ง  $y$  ในกลุ่ม  $j$

$x_i$  เป็นตำแหน่งในแกน  $x$  ของข้อมูลที่  $i$  ในกลุ่มข้อมูล

$y_i$  เป็นตำแหน่งในแกน  $y$  ของข้อมูลที่  $i$  ในกลุ่มข้อมูล

#### 2.1.3.3 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine)

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน หรือ SVM เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลด้วยการปรับกลุ่มข้อมูลให้อยู่ในพื้นที่คุณลักษณะสำคัญ (feature space) หรือการแปลงข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้

เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบที่สามารถแยกแยะได้ด้วยสมการเชิงเส้น จากนั้นทำการหาเส้นแบ่ง (hyperplane) ที่มีระยะห่างจากเส้นขอบของกลุ่มข้อมูลมากที่สุด

การคำนวณหาความกว้างของเส้นขอบ ( $M$ )

$$M = \frac{2}{\|w\|} \quad (2.42)$$

สมการเส้นขอบของกลุ่มข้อมูล

ถ้าข้อมูลอยู่ในกลุ่ม  $y=+1$

$$w \cdot x + b \geq y; y = +1 \quad (2.43)$$

ถ้าข้อมูลอยู่ในกลุ่ม  $y=-1$

$$w \cdot x + b \leq y; y = -1 \quad (2.44)$$

เมื่อ  $y$  คือ กลุ่มข้อมูล (+1, -1)

$w$  คือ ความชัน

$x$  คือ คุณลักษณะสำคัญ

$b$  คือ ค่าคงที่

$$w = \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i x_i \quad (2.45)$$

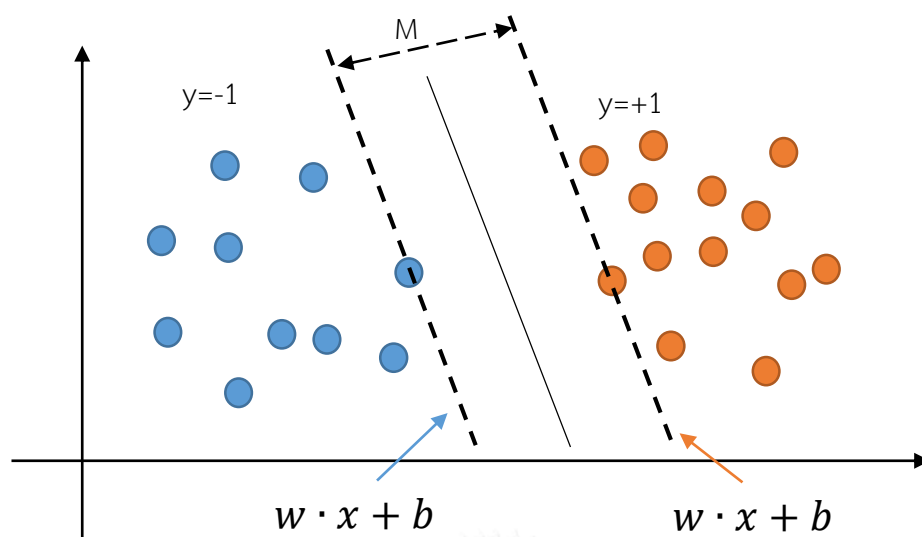
เมื่อ  $\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่

$N$  คือ จำนวนข้อมูล

$$b = -\frac{\max_{y_i=-1} (w \cdot x_i) + \min_{y_i=1} (w \cdot x_i)}{2} \quad (2.46)$$

สมการที่ใช้หาว่าข้อมูลใหม่อยู่ในกลุ่มข้อมูลใด

$$y = w \cdot x + b \quad (2.47)$$



รูปที่ 2-11 ตัวอย่างการทำงานของ SVM

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการติดตามยานพาหนะโดยการจับคู่ นั้น แบ่งเป็นหัวข้อหลักได้ 3 ส่วน โดยเริ่มจากการตรวจจับยานพาหนะ ต่อด้วยการสกัดคุณลักษณะเด่นของยานพาหนะ และสุดท้ายคือ การติดตามยานพาหนะโดยการจับคู่ยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์

### 2.2.1 การตรวจจับยานพาหนะ

จากการสำรวจงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการตรวจจับวัตถุจากภาพวิดีโอทัศน์รวมถึงงานวิจัยที่ถูกกล่าวถึงในการสำรวจงานวิจัยโดย G. Wang, D. Xiao และ J. Gu [2] และ K. Wu และคณะ [10] พบว่า วิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการตรวจจับยานพาหนะสามารถแบ่งเป็นประเภทได้ดังนี้

#### 2.2.1.1 การลบฉากหลัง (Background Subtraction)

การลบฉากหลังเป็นวิธีการใช้ในการตัดแยกยานพาหนะที่สนใจออกจากพื้นหลังของวิดีโอทัศน์ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความสนใจเป็นอย่างมาก โดยมีแนวคิด คือ การหาผลต่างระหว่างภาพที่สนใจกับภาพพื้นหลัง แล้วใช้ค่าขีดแบ่ง (threshold) เพื่อแปลงเป็นภาพฐานสอง (binary image) เพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุซึ่งวิธีการนี้สามารถตรวจจับได้ทั้งวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วและวัตถุที่หยุดนิ่ง แต่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของฉากหลัง ไม่ว่าจะเป็นสภาพแสง หรือเงา

ภาพพื้นหลังซึ่งเป็นส่วนสำคัญในวิธีการนี้ สามารถสร้างได้ด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้

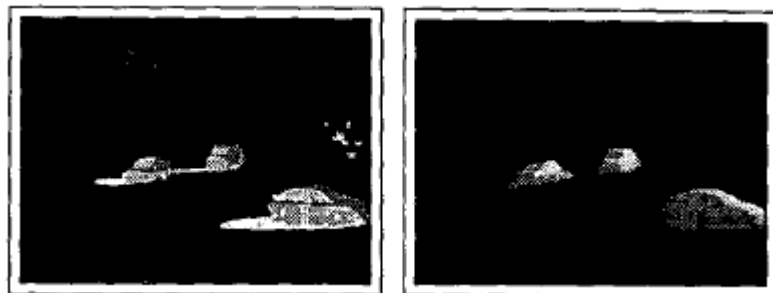
##### 2.2.1.1.1 สี (Color)

สีของยานพาหนะเป็นวิธีการพื้นฐานวิธีหนึ่งที่ใช้ในการสร้างภาพพื้นหลัง ซึ่งช่วยในการตรวจจับยานพาหนะช่องทางจราจร รวมถึงการใช้ค่าความเข้มของจุดภาพเพื่อช่วยในการตรวจจับการ

เคลื่อนไหวของวัตถุ และการคำนวณผลต่างระหว่างเฟรมด้วย โดยที่ Y. Liu และ P. Payeur [11] ได้นำเสนอการใช้พื้นหลังแบบปรับตัวได้ (adaptive background) ร่วมกับระบบสีแบบ HSV ในการปรับขั้นตอนวิธีตัดแยกคุณลักษณะเฉพาะแบบอัตโนมัติเพื่อตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารซึ่งมีความทนทานต่อความหลากหลายของสภาพแสงและสภาพอากาศ แต่ยานพาหนะที่ตัดแยกได้จะมีเงาของยานพาหนะติดมาด้วย ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการติดตามยานพาหนะดังแสดงในรูปที่ 2-12 ต่อมา Cucchiara และคณะ [12] จึงเสนอวิธีการตรวจจับเงาของยานพาหนะโดยแปลงภาพให้อยู่ในระบบสี HSV ร่วมกับการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อตัดแยกส่วนที่เป็นเงาออกจากยานพาหนะและยังสามารถใช้ในการตัดแยกไฟท้ายของยานพาหนะได้อีกด้วยดังรูปที่ 2-13 Y. Li และ Q. Yao [13] โดยการใช้วิธีการ Maximally Stable Extremal Regions (MSER) ในการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติในขณะที่ Horprasert [14] ใช้ค่าความบิดเบือนทางความสว่าง (Brightness Distortion) และค่าความบิดเบือนทางสี (Color Distortion) ในการจำแนกประเภทของจุดภาพว่าจุดใดเป็นฉากหน้า ฉากหลัง เงา และไฮไลต์



รูปที่ 2-12 ภาพแสดงการตัดแยกยานพาหนะที่มีเงาติดมา [11]



รูปที่ 2-13 การตัดแยกเงาออกจากยานพาหนะโดยการใช้ข้อมูลสีในระบบ HSV [12]

### 2.2.1.1.2 วิธีฮิสโทแกรม (Histogram Method)

ฮิสโทแกรมใช้การพิจารณานภาพสีเทาโดยการเก็บสถิติค่าความเข้มของจุดภาพในตำแหน่งเดียวกันจากชุดภาพที่ต่อเนื่องกัน  $n$  ภาพ ซึ่งค่าความเข้มที่ตำแหน่งใดมีความถี่สูงสุดจะถือว่าเป็นค่าของภาพพื้นหลัง ซึ่งวิธีการนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ภาพส่วนใหญ่ของวิดีโอเป็นภาพพื้นหลัง ดังนั้นหากสภาพจราจรอยู่ในช่วงที่มีความแออัดของยานพาหนะ จะทำให้ภาพพื้นหลังที่ได้ไม่ใช่ภาพพื้นหลังที่แท้จริง

### 2.2.1.1.3 วิธีค่าเฉลี่ย (Average Method)

ภาพพื้นหลังที่ได้จากวิธีการนี้จะพิจารณานภาพในระบบสีเทา โดยการหาค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มของจุดภาพในตำแหน่งเดียวกันจากภาพที่มีความต่อเนื่องกัน  $n$  ภาพ และมีการปรับปรุงพื้นหลังอย่างต่อเนื่องโดยการใช้ค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (weighted average) ระหว่างภาพพื้นหลังกับภาพปัจจุบัน ซึ่งภาพปัจจุบันจะทำการตัดภาพส่วนที่สนใจออกก่อนจึงนำมาใช้ในการปรับปรุงภาพพื้นหลัง ซึ่งผลที่ได้ดีกว่าวิธีฮิสโทแกรม แต่ข้อเสียคือการใช้หน่วยความจำเป็นจำนวนมากในการคำนวณ

### 2.2.1.2 เส้นเชื่อมในแนวตั้งและแนวนอน (Vertical/Horizontal Edges)

การตรวจจับเส้นเชื่อมแบ่งได้ 2 แบบคือ การตรวจจับเส้นเชื่อมแบบ gradient based (gradient based edge detector) ซึ่งมีวิธีการที่ได้รับความนิยมมากในการประมวลผลภาพ เช่น Sobel operator และ generalized Hough transform (GHT) ในขณะที่การตรวจจับเส้นเชื่อมเชิงโครงสร้าง (morphological edge detector) โดยการใช้การขยายขนาด (dilation) และการกร่อน (erosion) ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า แต่การตรวจจับโดยใช้เส้นเชื่อมทุกวิธีมีข้อเสียเหมือนกันคือ การเสียข้อมูลของภาพในขั้นตอนการตรวจจับเส้นเชื่อม

M.Y. Siyal [15] ได้เสนอวิธีการ Separate morphological edge detector (SMED) ซึ่งลดการอาศัยทิศทางของเส้นเชื่อมลงเพื่อช่วยเพิ่มความทนทานในการตรวจจับยานพาหนะ ในขณะที่ E.F. Chou และ D.C. Tseng [16] ทำการแปลงให้เป็นภาพฐานสองโดยการใช้ค่าขีดแบ่ง แล้วจึงทำการหาความต่อเนื่องของจุดภาพในแนวนอน โดยใช้ค่าความยาวขั้นต่ำในการตัดกรองเส้นเชื่อมที่ตรวจจับได้ หลังจากนั้นจึงพิจารณาเส้นเชื่อมในแนวตั้งที่อยู่ในบริเวณความกว้างของเส้นเชื่อมที่ตรวจจับได้ เมื่อได้พื้นที่แล้วนำมาตรวจสอบโดย Support Vector Machine (SVM) ว่าเป็นยานพาหนะหรือไม่ ซึ่งวิธีการนี้มีข้อเสียในการที่จะต้องกำหนดค่าขีดแบ่งและค่าความยาวขั้นต่ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน

### 2.2.1.3 วิธีการคำนวณผลต่างระหว่างเฟรม (Frame Differential Method)

วิธีการนี้จะทำการคำนวณผลต่างระหว่างเฟรมที่ต่อเนื่องกัน จากนั้นแปลงภาพให้เป็นภาพฐานสอง (binary image) โดยการใช้ค่าขีดแบ่ง (threshold) แล้วทำการกำจัดโพรงภายในวัตถุโดย

พิจารณาการเชื่อมต่อของจุดภาพ สุดท้ายทำการกรองวัตถุที่ได้โดยการกำหนดค่าขีดแบ่งของขนาดวัตถุที่สนใจ ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้คือ การคำนวณที่ไม่ซับซ้อน และพัฒนาได้ง่าย แต่การกำหนดค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการทำภาพฐานสองและค่าขีดแบ่งของขนาดวัตถุเป็นการกำหนดแบบเจาะจง ทำให้หากสภาพแวดล้อมเปลี่ยนก็ต้องกำหนดค่าขีดแบ่งใหม่ทั้งหมด

#### 2.2.1.4 วิธี Optical Flow

Optical Flow ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับวัตถุ โดยการตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุสามารถคำนวณจากภาพต้นฉบับได้โดยไม่ต้องปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อน แต่วิธี Optical Flow มีการคำนวณที่ซับซ้อนและมีความทนทานต่อสิ่งรบกวนต่ำ

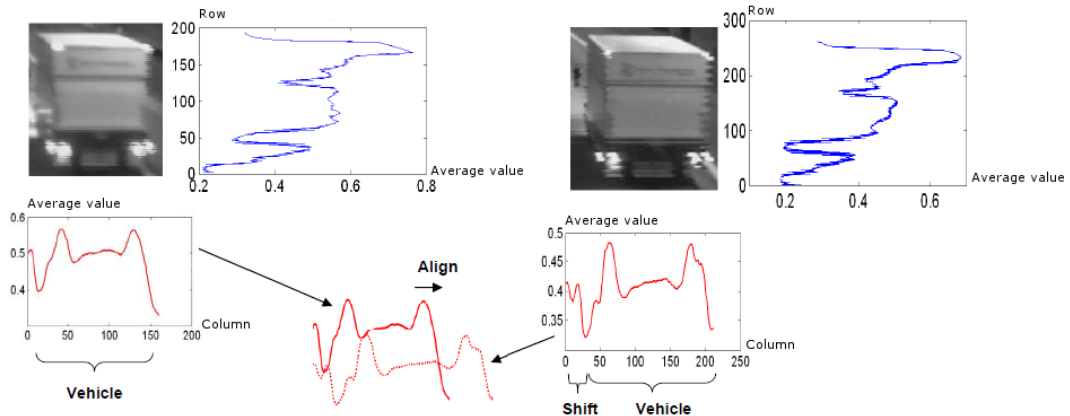
#### 2.2.1.5 การตรวจจับยานพาหนะโดยใช้คุณลักษณะเด่นของยานพาหนะ

Castaneda และคณะ [4] ได้นำเทคนิคการตรวจจับแบบ Viola-Jones มาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นการเพิ่มการคำนวณ Integral Image ก่อนทำการเรียนรู้แบบ Adaboost ทำให้ลดเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้เวลาในการตรวจจับน้อย เนื่องจากตัวแยกประเภทที่ใช้ในการตรวจจับ ถูกสร้างขึ้นก่อนที่จะเริ่มทำการตรวจจับยานพาหนะ โดยข้อเสียของวิธีการนี้คือ ต้องใช้เวลานานในการเรียนรู้แบบ Adaboost เพื่อสร้างตัวแยกประเภท ในระหว่างการประมวลผลจะไม่มี การปรับปรุงตัวแยกประเภทเลย ดังนั้นหากสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป ดังเช่น สภาพแสง จะทำให้การตรวจจับยานพาหนะด้อยลง และผลที่ได้จากการใช้วิธีการนี้ทำให้เกิด false positive สูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อติดตามยานพาหนะต่อไปอีกด้วย ซึ่ง Lu และคณะ [17] ได้เสนอวิธีในการลด false positive ที่เกิดขึ้นโดยการใช้วิธี Simple but efficient after process (SEAP) ซึ่งจะพิจารณาพื้นที่ทับซ้อนกันระหว่างวัตถุที่ตรวจจับได้สองอัน หากมีพื้นที่ทับซ้อนมากกว่าค่าขีดแบ่งก็จะทำการเลือกวัตถุที่มีระยะระหว่างจุดศูนย์กลางและจุดศูนย์กลางน้อยที่สุดทิ้งไป ในขณะที่ Yang และคณะ [18] เลือกใช้กระจกหน้ารถเป็นคุณลักษณะเด่นในการตรวจจับยานพาหนะในการตรวจจับกระจกหน้ายานพาหนะซึ่งประเภทของยานพาหนะต่างกันจะมีขนาดของกระจกหน้ายานพาหนะต่างกัน

#### 2.2.2 การสกัดคุณลักษณะเด่นของยานพาหนะ

Jelaca [19] และคณะเสนอการสกัดคุณลักษณะเด่นของยานพาหนะโดยใช้กราฟที่สร้างจากการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มของจุดภาพของภาพยานพาหนะในแต่และแถวทั้งแนวนอนและแนวตั้ง (รูปที่ 2-14) ซึ่งกราฟที่ได้จะมีความจำเพาะกับยานพาหนะแต่ละคัน ถึงแม้จะมีสภาพแสงที่เปลี่ยนแปลงไปและChou และ Tseng [16] ใช้เส้นเชื่อมเป็นคุณลักษณะเด่นของยานพาหนะโดยการเริ่มพิจารณาจากเส้นเชื่อมในแนวนอนที่มีความยาวมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดและจึงพิจารณาเส้นขีดแบ่งในแนวตั้งที่อยู่บนเส้นเชื่อมในแนวนอนต่อไป ในขณะที่ Yang และคณะ [18] เลือกใช้ทั้งสี่และเส้นเชื่อม (edge) ในการสกัดกระจกหน้าของยานพาหนะเพื่อใช้เป็นคุณลักษณะเด่นของยานพาหนะ

ซึ่งมีความจำเพาะต่อยานพาหนะแต่ละประเภทและเป็นส่วนเดียวของยานพาหนะที่ไม่ถูกบดบังในขณะที่สภาพจราจรหนาแน่น ส่วน Javed และคณะ [20] นั้นใช้ Parzen window ในการประมาณความน่าจะเป็นของ space-time ระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์ซึ่งถูกใช้เป็นคุณลักษณะเด่นในการติดตามวัตถุ โดยการใช้ข้อมูลจากตำแหน่ง เวลา และความเร็วของวัตถุในขณะเคลื่อนที่ออกจากกล้องวิดีโอทัศน์



รูปที่ 2-14 แสดงการเปรียบเทียบยานพาหนะโดยใช้กราฟค่าเฉลี่ยความเข้มของจุดภาพ [19]

### 2.2.3 การติดตามยานพาหนะ

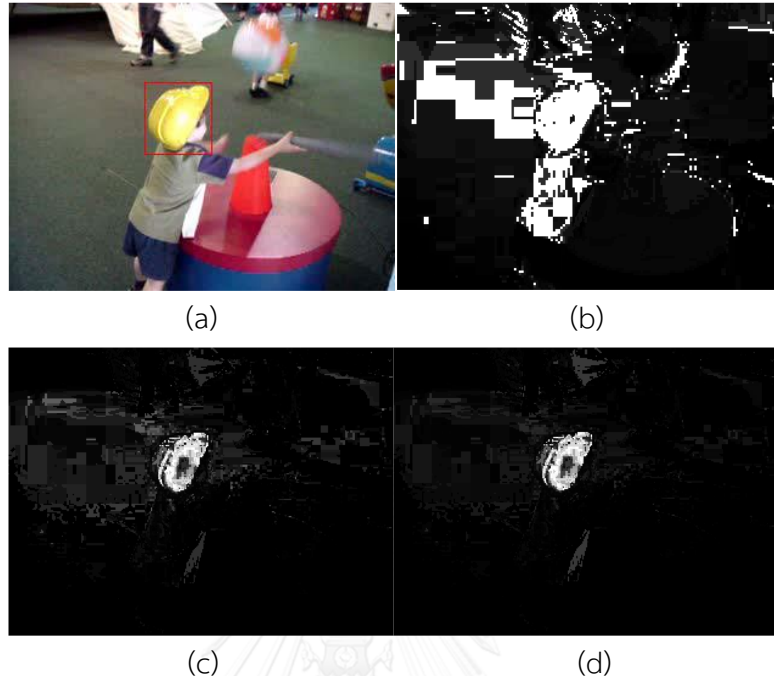
การติดตามยานพาหนะแบ่งได้เป็นสองรูปแบบคือ การติดตามยานพาหนะภายในกล้องวิดีโอทัศน์ซึ่งสภาพแสง ความอึมตัวของสี ไม่มีความแตกต่างกัน รวมถึงความเปลี่ยนแปลงทางด้านรูปร่างหรือมุมของยานพาหนะระหว่างเฟรมต่อเฟรมมีน้อย และการติดตามยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์หลายตัว จะเกิดปัญหาตามที่กล่าวไว้ข้างต้น รวมถึงการติดตั้งกล้องวิดีโอทัศน์แต่ละตัวที่มีความแตกต่างกัน ทำให้เกิดความแตกต่างทั้งในเรื่องมุมมอง และการทับซ้อนกันของมุมมอง

#### 2.2.3.1 การติดตามยานพาหนะภายในกล้องวิดีโอทัศน์

แคมชิฟท์ (CAMShift) เป็นขั้นตอนวิธีที่ได้รับความนิยมสูงในการติดตามวัตถุที่สนใจภายในกล้องวิดีโอทัศน์ ซึ่งนำเสนอโดย Bradski [6] แต่เนื่องจากแคมชิฟท์ประมวลผลบนค่า H ในระบบสี HSV ทำให้แคมชิฟท์มีปัญหาในการติดตามวัตถุที่มีสีเหมือนกับพื้นหลัง และวัตถุที่มีสีขาว สีเทา หรือสีดำ

Allen et al. [21] จึงได้เสนอวิธีการปรับปรุงโดยใช้ฮิสโทแกรม 3 มิติ (3D histogram) ซึ่งได้จากการคำนวณระบบสี HSV ทั้ง 3 ช่องสัญญาณ (รูปที่ 2-15 (c)) ร่วมกับการคำนวณฮิสโทแกรมแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted histogram) (รูปที่ 2-15 (d)) เพื่อทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างวัตถุกับพื้นหลัง โดยค่าถ่วงน้ำหนักจะแปรผันตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง อย่างไรก็ตามการคำนวณฮิสโทแกรมแบบถ่วงน้ำหนักยังมีผลกระทบจากภาพพื้นหลังบริเวณรอบพื้นที่ค้นหา จึงได้มีการเสนอการ

คำนวณฮิสโทแกรมแบบอัตราส่วน (Ratio histogram) เพื่อลดผลกระทบจากพื้นที่รอบ ๆ พื้นที่ค้นหาโดยการให้ลดความสำคัญของพื้นหลังด้วยการถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 2-15 (a) ภาพต้นแบบและบริเวณที่สนใจ (b) ภาพที่ได้จากการประมวลผลด้วยค่า H (c) ภาพที่ได้จากการประมวลผลด้วยฮิสโทแกรม 3 มิติ (HSV) (d) ภาพที่ได้จากการประมวลผลด้วยฮิสโทแกรมแบบถ่วงน้ำหนัก

### 2.2.3.2 การติดตามยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอ

การติดตามยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีอนั้นมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการติดตามยานพาหนะโดยใช้คุณลักษณะพื้นฐาน การประมาณตำแหน่งของวัตถุด้วยเทคนิควิธี Kalman filter หรือ Maximum a posteriori (MAP)

คุณลักษณะพื้นฐานที่ใช้ในการติดตามยานพาหนะมีการใช้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น สี ขอบภาพ หรือลักษณะภายนอกของยานพาหนะ (appearance) ซึ่งจะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป อย่างเช่น Dixon และคณะ [3] ใช้ค่าความเข้มของจุดภาพเป็นแผนแบบในการติดตามยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอ โดยมีข้อจำกัดคือทำให้ค่าความเข้มของจุดภาพที่แตกต่างกันระหว่างกล้องวิดีโอ ทำให้การเปรียบเทียบค่าความเข้มของจุดภาพโดยตรงไม่สามารถใช้ในการติดตามระหว่างกล้องวิดีโอได้ จึงมีการใช้มุมของกล้องวิดีโอที่ทับซ้อนกัน เพื่อช่วยในการระบุตำแหน่งของยานพาหนะเมื่อเข้าสู่พื้นที่ทับซ้อนระหว่างกล้อง ต่อมาจึงมีการประยุกต์ใช้ค่าความเข้มของจุดภาพโดยใช้กราฟที่ได้จากค่าเฉลี่ยของความเข้มของจุดภาพของภาพ ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ในการเปรียบเทียบยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอ ซึ่งนำเสนอ



โดย Castaneda และคณะ [4] ทำให้สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความสว่าง หรือความอึมตัวของ สีที่แตกต่างกันระหว่างกล้องวิดีโอได้ แต่จะเกิดข้อผิดพลาดได้หากมีการเปลี่ยนแปลงมุมหรือรูปร่าง ของยานพาหนะในขณะที่ Yang และคณะ [18] เลือกใช้ feature points ในการติดตามยานพาหนะ ซึ่งได้จาก สี เส้นเชื่อม และกระจกหน้าของยานพาหนะ

การประมาณตำแหน่งของวัตถุด้วยเทคนิควิธี Kalman filter เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการ ประมาณตำแหน่งของวัตถุที่สนใจโดยการใช้ข้อมูลตำแหน่งของวัตถุที่สนใจในช่วงเวลาที่ผ่านมา ซึ่งมี หลายงานวิจัยที่ใช้วิธีการนี้เป็นส่วนสำคัญในการติดตามยานพาหนะ Qian [22] ใช้ Kalman filter โดยอาศัยการระบุตำแหน่งของยานพาหนะจากการตรวจจับมุมของยานพาหนะด้วยขั้นตอนวิธี Scale-invariant feature transform (SIFT) ในขณะที่ Li และ Yao [13] ใช้ Kalman filter ช่วยใน การติดตามไฟท้ายของยานพาหนะ ซึ่งได้จากการใช้ Gabor filter ในการเปรียบเทียบความเหมือน ระหว่างไฟท้ายทั้งสองข้าง ซึ่งวิธีการนี้สามารถติดตามได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน Liu และ Yang [23] ใช้ kalman filter ประมาณตำแหน่งของพื้นที่ของยานพาหนะแล้วจึงใช้การเปรียบเทียบ ระหว่างแบบจำลองบริเวณ (region model) ของยานพาหนะ เพื่อจับคู่และติดตามยานพาหนะต่อไป

การประมาณค่าสูงสุด (Maximum a posteriori estimation) คือ การคำนวณความน่าจะเป็น จากข้อมูลที่มีเพื่อจำแนกว่าวัตถุนั้นน่าจะเป็นสิ่งใด ซึ่ง Javed และคณะ [20, 24] ใช้ space-time และลักษณะภายนอกของยานพาหนะ (appearance) เป็นข้อมูลในการคำนวณ MAP เพื่อ ติดตามยานพาหนะ

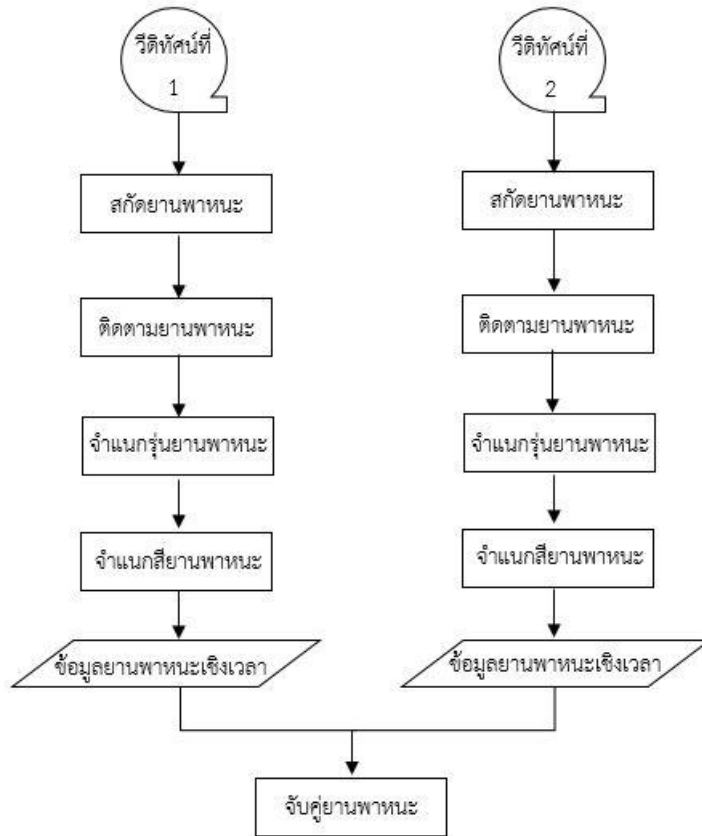
จากที่กล่าวมาข้างต้นไม่ว่าจะเป็นการลบฉากหลังด้วยเทคนิคที่สามารถลบฉากหลังจากภาพ วิดิทัศน์ที่มีการเคลื่อนไหวของวัตถุตลอดเวลาได้ การติดตามยานพาหนะที่ใช้เพื่อติดตามวัตถุภายใน กล้องวิดีโอ หรือการจำแนกกลุ่มของวัตถุนั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจับคู่ยานพาหนะ ระหว่างกล้องวิดีโอได้ ซึ่งมีงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจับคู่ยานพาหนะระหว่างกล้องวิดีโอด้วย เทคนิคต่าง ๆ เช่น การใช้ค่าความเข้มของจุดภาพ การใช้เส้นขอบ หรือการทำนายตำแหน่งของ ยานพาหนะล่วงหน้า

### บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอทัศนหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน โดยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การสกัดแยกยานพาหนะจากวิดีโอทัศน การติดตามยานพาหนะภายในกล้องวิดีโอทัศน การจำแนกรุ่นยานพาหนะ การจำแนกสียานพาหนะ และการจับคู่ยานพาหนะโดยใช้ข้อมูลเชิงเวลา รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 3.2 - 3.6 ตามลำดับ

#### 3.1 ภาพรวมของวิธีการที่นำเสนอ

ภาพรวมของขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอสามารถแสดงได้ด้วยแผนภาพดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แผนภาพที่แสดงภาพรวมของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในการจับคู่ยานพาหนะที่ปรากฏในวิดีโอทัศนจากกล้องตัวที่ 1 และวิดีโอทัศนจากกล้องตัวที่ 2 โดยแต่ละกล้องจะทำงานลักษณะเดียวกัน ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักในการสกัดข้อมูลรุ่นและสียานพาหนะที่ตรวจจับได้ จากนั้นจึงนำข้อมูลจากสองกล้อง มาประมวลผลร่วมกันเพื่อจับคู่ภาพยานพาหนะคันเดียวกัน

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกันโดยอาศัยข้อมูลรุ่นและสียานพาหนะที่มีการจัดเก็บลงฐานข้อมูลตามช่วงเวลาปรากฏในกล้องวิดีโอ ทั้งนี้ต้องมีการสกัดแยกส่วนยานพาหนะจากวิดีโอ เพื่อใช้ในการติดตามยานพาหนะภายในกล้องวิดีโอ จากนั้นจึงนำชุดภาพยานพาหนะที่ได้จากการติดตามยานพาหนะ เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการจำแนกรุ่นและสียานพาหนะ และจัดเก็บข้อมูลรุ่นและสียานพาหนะลงฐานข้อมูลร่วมกับช่วงเวลาปรากฏในวิดีโอ

### 3.2 การสกัดยานพาหนะ

เนื่องจากข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการจับคู่ยานพาหนะเป็นวิดีโอจากกล้อง ซึ่งแต่ละเฟรมภาพ ประกอบไปด้วยส่วนภาพที่เป็นยานพาหนะ พื้นถนน เส้นแบ่งช่องทางจราจร ต้นไม้ และวัตถุอื่น ๆ ซึ่งในงานการจับคู่ยานพาหนะ ส่วนภาพยานพาหนะเป็นส่วนภาพที่สนใจในวิดีโอ ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถเลือกเฉพาะส่วนภาพที่สนใจจากวิดีโอได้ จึงต้องมีการลบส่วนภาพอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ส่วนภาพยานพาหนะออกก่อน

การสกัดแยกยานพาหนะจากวิดีโอจราจรเป็นการเลือกส่วนภาพที่เป็นยานพาหนะออกจากส่วนภาพอื่น ๆ ในวิดีโอ วิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยม คือ การลบฉากหลัง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำการลบภาพนำเข้ากับโมเดลฉากหลังที่ได้จากการคำนวณฉากหลังขณะว่างเปล่าไม่มีวัตถุที่สนใจอยู่ในฉาก แต่เนื่องจากสภาพจราจรบนท้องถนนมีการเคลื่อนไหวของยานพาหนะตลอดเวลา ทำให้ไม่สามารถบันทึกวิดีโอขณะถนนว่างเปล่าไม่มียานพาหนะสัญจรไปมา เพื่อทำการโมเดลฉากหลังได้ ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้เทคนิคการลบฉากหลังแบบปรับตัวได้ (ASBGS) [5] ซึ่งได้นำเสนอการโมเดลฉากหลังจากวิดีโอที่มีการเคลื่อนไหวของวัตถุตลอดเวลา โดยใช้หลักการที่ว่า จุดภาพที่เป็นวัตถุที่เคลื่อนที่ในวิดีโอจะปรากฏในระยะเวลานับไม่ถ้วน ในขณะที่ฉากหลังจะมีระยะเวลาที่ปรากฏในวิดีโอมากที่สุด แต่เนื่องจากค่าความเข้มของจุดภาพไม่คงที่ ดังนั้นเทคนิคการลบฉากหลังแบบปรับตัวได้ (ASBGS) จึงเสนอการประมาณค่ามัธยฐาน (Approximated median filter) ของจุดภาพในวิดีโอเป็นวิธีในการโมเดลฉากหลัง เนื่องจากการประมาณค่ามัธยฐาน ใช้หลักการเดียวกันกับการหาค่ามัธยฐาน ซึ่งค่ามัธยฐานที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับช่วงข้อมูลที่มีความหนาแน่นที่สุด แต่การหาค่ามัธยฐานแบบปกตินั้นจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำก่อนประมวลผล จึงมีการประยุกต์ใช้การประมาณค่ามัธยฐานแทน เพราะไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลในหน่วยความจำล่วงหน้า เนื่องจากการประมาณค่ามัธยฐานจะประมวลผลระหว่างภาพฉากหลังปัจจุบันกับภาพวิดีโอในเฟรมใหม่ครั้งละสองภาพเท่านั้น โดยจะปรับค่าความเข้มของจุดภาพฉากหลังเข้าหาค่าความเข้มของจุดภาพในภาพเฟรมใหม่ครั้งละ 1 ระดับ ซึ่งถ้าค่าความเข้มของจุดภาพในเฟรมใหม่มีค่ามากกว่าค่าความเข้มของ

จุดภาพฉากหลังปัจจุบัน จะเพิ่มค่าความเข้มของจุดภาพฉากหลังขึ้น 1 ระดับ ในขณะที่หากค่าความเข้มของจุดภาพในเฟรมใหม่มีค่าน้อยกว่าค่าความเข้มของจุดภาพฉากหลังปัจจุบัน จะลดค่าความเข้มของจุดภาพฉากหลังลง 1 ระดับ เมื่อครบตามจำนวนเฟรมที่กำหนดก็จะได้เป็นภาพโมเดลฉากหลังดังแสดงในรูปที่ 3-2 (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 3-2 (ก) ภาพวิดีโอที่คนนำเข้าซึ่งมีรถยนต์หลายคันอยู่ในฉากตลอดเวลา (ข) ภาพโมเดลฉากหลังที่สร้างได้โดยการใช้เทคนิคการประมาณค่ามัธยฐาน [5]

จากนั้นจะสร้างหน้ากาก (mask) เพื่อระบุตำแหน่งของฉากหน้า (foreground) โดยการหาจุดภาพที่มีผลต่างค่าความเข้มของจุดภาพ ระหว่างภาพวิดีโอที่คนนำเข้าและภาพฉากหลังมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ จากสมการ

$$M(i) = \begin{cases} 1 & , \text{for } |I(i) - B(i)| > kc \\ 0 & , \text{for otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

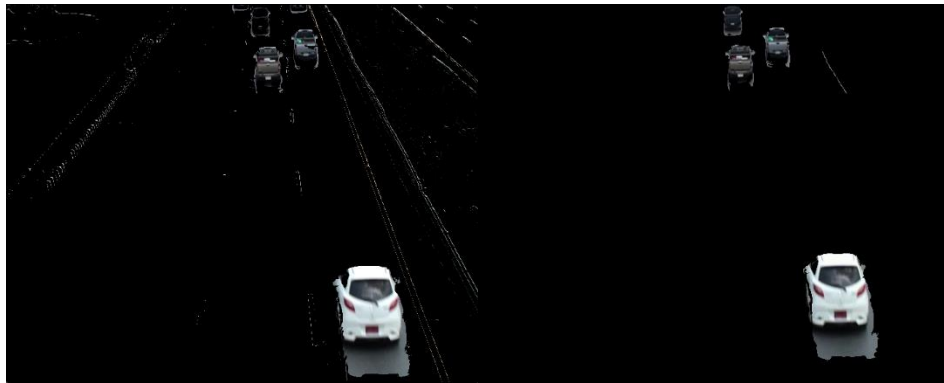
โดยให้  $M(i)$  เป็นหน้ากากที่ตำแหน่งจุดภาพ  $i$

$I(i)$  เป็นค่าความเข้มของจุดภาพ  $i$  บนภาพวิดีโอที่คนนำเข้า

$B(i)$  เป็นค่าความเข้มของจุดภาพ  $i$  บนภาพฉากหลัง

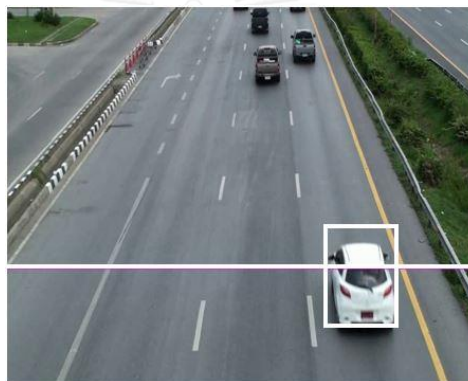
เนื่องจากผลที่ได้จากการลบฉากหลังด้วยเทคนิค ASBGS ไม่สามารถลบฉากหลังออกจากภาพวิดีโอที่คนนำเข้าได้หมด ดังรูปที่ 3-3 (ก) ผู้วิจัยจึงทำการคัดกรองขนาดของส่วนภาพที่มีขนาดเล็กเกินไปออก โดยมีสมมติฐานว่า ส่วนภาพบริเวณที่เป็นยานพาหนะควรมีขนาดใหญ่พอควร ผลลัพธ์จากการกรองขนาดส่วนภาพ แสดงดังรูปที่ 3-3 (ข) จากนั้นระบบจะสกัดเฉพาะส่วนภาพที่เป็นยานพาหนะที่

จะติดตาม โดยกำหนดเงื่อนไขว่า เป็นยานพาหนะที่เข้ามาอยู่ในบริเวณภาพที่กำหนด ดังแสดงด้วย  
เส้นแนวนอนในรูปที่ 3-3 (ค)



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 3-3 (ก) ภาพวิดีโอที่ทำการลบฉากหลังด้วยเทคนิค ASBGS (ข) ภาพวิดีโอหลังจากการตัด  
กรองขนาดของส่วนภาพที่มีขนาดเล็กเกินไป (ค) ภาพวิดีโอแสดงบริเวณภาพที่กำหนดเส้นแน  
นวนสีขาวเพื่อสกัดแยกยานพาหนะและแสดงยานพาหนะที่ถูกสกัดแยกด้วยกรอบสี่เหลี่ยมสีขาว

### 3.3 การติดตามยานพาหนะ

หลังจากที่ได้ตรวจพบและสกัดส่วนภาพยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาในบริเวณที่กำหนด ตามที่ได้  
อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ระบบจะทำการติดตามยานพาหนะโดยใช้ข้อมูลภาพส่วนที่ลบฉากหลังออก  
แล้วด้วยขั้นตอนวิธี CAMShift ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีสำหรับการติดตามวัตถุภายในกล้องวิดีโอ

ขั้นตอนวิธี CAMShift เป็นการติดตามยานพาหนะโดยการค้นหาค้นหาบริเวณในภาพวิดีโอที่มี  
คุณลักษณะเหมือนกับยานพาหนะเป้าหมายมากที่สุด ซึ่งคุณลักษณะที่เลือกใช้วิธีการนี้ คือ ฮิสโทแกรม  
สียานพาหนะ เนื่องจากสีเป็นหนึ่งในคุณลักษณะที่เด่นชัดที่สุดของวัตถุ ดังนั้นยานพาหนะที่  
เหมือนกันก็ควรที่จะมีฮิสโทแกรมสีที่ใกล้เคียงกันด้วย แต่ในความเป็นจริงสีของยานพาหนะก็เป็น

คุณลักษณะที่มีความอ่อนไหวต่อสภาพแสงมาก เช่น สีแดงอยู่ในสภาพแสงสว่าง กับสีแดงที่อยู่ในสภาพแสงมืด จะให้ค่าความเข้มของสีที่แตกต่างกัน ดังนั้นขั้นตอนวิธี CAMShift จึงทำการแปลงค่าสีของจุดภาพให้อยู่ในปริภูมิสี HSV (Hue-Saturation-Value) ก่อน เนื่องจากปริภูมิสีจะทำการแยกเนื้อสี (Hue) ปริมาณความอิ่มตัวของสี (Saturation) และปริมาณความสว่างของสี (Value) ออกจากกัน ดังนั้นไม่ว่าสีของยานพาหนะจะอยู่ในสภาพแสงแบบใดก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อค่า Hue ของยานพาหนะ

เมื่อแปลงภาพให้อยู่ในปริภูมิสี HSV แล้วจะหาความน่าจะเป็นของค่า Hue ที่จะเป็นส่วนหนึ่งของยานพาหนะ ซึ่งได้จากการนำค่าความถี่ของค่า Hue จากภาพวีดิทัศน์ โดยถ้าค่าความถี่ของ Hue ในภาพยานพาหนะเป้าหมายสูง ค่าความน่าจะเป็นที่ค่า Hue นั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของยานพาหนะก็จะสูงตามไปด้วย จากนั้นจะทำการสร้างภาพการกระจายตัวของความน่าจะเป็น (Probability distribution image) โดยที่แต่ละจุดภาพจะมีค่าเท่ากับ ผลคูณระหว่างค่า Hue ของจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกัน กับความน่าจะเป็นของค่า Hue ของจุดภาพนั้น สุดท้าย Camshift จะหาดำแหน่งเซนทรอยด์ (centroid) ของภาพเพื่อระบุว่าเป็นตำแหน่งของยานพาหนะเป้าหมายที่ต้องการติดตาม

แต่เนื่องจากขั้นตอนวิธี CAMShift ใช้ค่า Hue เป็นคุณลักษณะสำคัญเพียงอย่างเดียวในการค้นหายานพาหนะในภาพวีดิทัศน์ ดังนั้นถ้าฉากหลังของวีดิทัศน์มีบริเวณที่มีสีซึ่งให้ค่า Hue เหมือนกับยานพาหนะเป้าหมาย จะส่งผลให้ขั้นตอนวิธี CAMShift เลือกบริเวณนั้นแทนบริเวณที่มียานพาหนะได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอการตรวจสอบตำแหน่งของยานพาหนะใหม่หลังจากขั้นตอนวิธี CAMShift เพื่อโดยการเปรียบเทียบตำแหน่งของยานพาหนะ ซึ่งถ้าตำแหน่งของยานพาหนะที่ได้จากขั้นตอนวิธี CAMShift ห่างจากตำแหน่งยานพาหนะเป้าหมายมาก จะเลือกใช้ตำแหน่งของวัตถุที่ใกล้กับยานพาหนะเป้าหมายมากที่สุดแทนตำแหน่งยานพาหนะจากขั้นตอนวิธี CAMShift

### 3.4 การจำแนกรุ่นยานพาหนะ

เมื่อระบบทำการติดตามยานพาหนะภายในกล้องวีดิทัศน์แล้ว จะส่งชุดข้อมูลดังกล่าว (รูปที่ 3-4) ที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนการจำแนกรุ่นยานพาหนะด้วยเทคนิค bag of words ซึ่งจะเป็นเทคนิคในการระบุว่า ยานพาหนะที่นำเข้ามีลักษณะใกล้เคียงกับยานพาหนะรุ่นใด โดยพิจารณาจากคุณลักษณะสำคัญ (feature) ของยานพาหนะคันดังกล่าว

ทั้งนี้ยานพาหนะที่ปรากฏในวีดิทัศน์จะมีลักษณะการเคลื่อนเข้าหา หรือออกห่างจากกล้องวีดิทัศน์ ซึ่งทำให้ขนาดของยานพาหนะที่สกัดแยกจากวีดิทัศน์มีความแตกต่างกัน นอกจากนั้นกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัวมีการติดตั้งตามสถานที่ที่แตกต่างกัน ทำให้อาจจะมีสภาพแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อ

ภาพยานพาหนะที่นำมาจำแนก ดังนั้นเทคนิค bag of word จึงนำเสนอการสกัดคุณลักษณะสำคัญ ด้วยเทคนิค SURF ซึ่งคุณลักษณะสำคัญที่สกัดได้จะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด และ สภาพแสง

จากนั้น bag of words จะทำการรวบรวมคุณลักษณะสำคัญของยานพาหนะทุกคันเข้าด้วยกันเพื่อจัดคุณลักษณะสำคัญที่มีความใกล้เคียงกันเข้าด้วยกัน แล้วจึงทำการเรียนรู้รูปแบบของยานพาหนะโดยการหาความถี่ของกลุ่มคุณลักษณะสำคัญที่ปรากฏในยานพาหนะนำเข้า สุดท้ายความถี่ของกลุ่มคุณลักษณะสำคัญของยานพาหนะนำเข้าจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบของยานพาหนะรุ่นต่าง ๆ ที่มีการเรียนรู้ไว้ก่อนหน้านี้เพื่อหาว่ามีความใกล้เคียงกับรุ่นใดมากที่สุด

เนื่องจากขั้นตอนวิธีนี้เป็นขั้นตอนต่อเนื่องจากการติดตามยานพาหนะ ซึ่งมีข้อมูลนำเข้าเป็นชุดภาพที่ได้จากการติดตามยานพาหนะ ดังนั้นเมื่อระบบทำการจำแนกรุ่นยานพาหนะแต่ละภาพเสร็จแล้ว จะทำการหาคำตอบโดยรวมของชุดภาพ เนื่องจากชุดภาพดังกล่าวเป็นยานพาหนะคันเดียวกัน ซึ่งระบบจะหาค่าฐานนิยมของชื่อรุ่นยานพาหนะภายในชุดภาพเพื่อให้เป็นชื่อรุ่นของชุดภาพยานพาหนะคันดังกล่าว



รูปที่ 3-4 แสดงภาพยานพาหนะจากเฟรมที่ต่อเนื่องกันซึ่งสกัดแยกได้จากขั้นตอนการติดตามยานพาหนะโดยใช้ขั้นตอนวิธี CAMShift

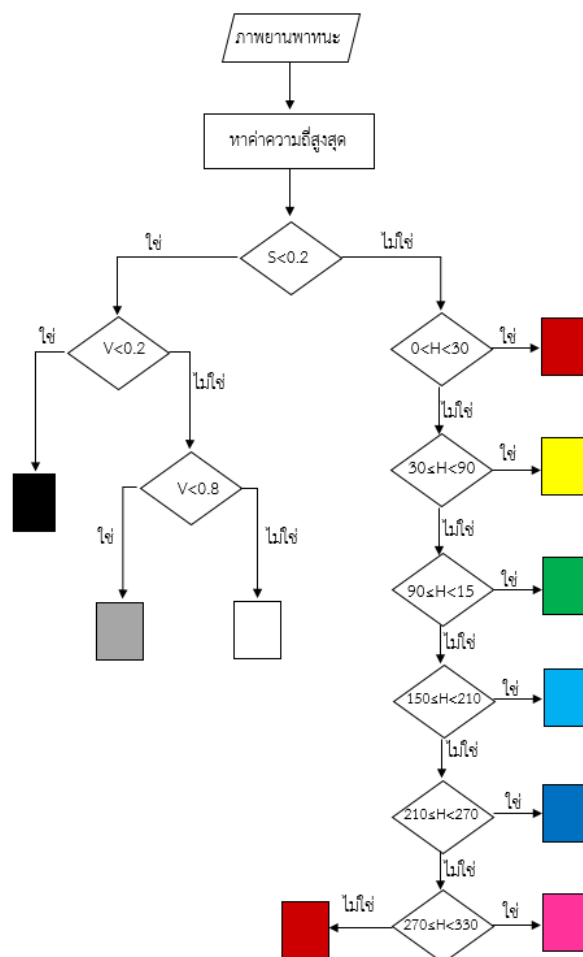
### 3.5 การจำแนกสีของยานพาหนะ

ชุดภาพที่ผ่านการจำแนกรุ่นยานพาหนะจะถูกนำเข้าเข้าสู่ขั้นตอนการจำแนกสียานพาหนะ โดยแต่ละภาพจะหาค่า Hue (H), Saturation (S) และ Value (V) ที่มีความถี่สูงสุดเพื่อใช้เป็นตัวแทนยานพาหนะในการจำแนกสี เนื่องจากพื้นที่ผิวของยานพาหนะเป็นบริเวณที่ใหญ่ที่สุดของยานพาหนะและเป็นบริเวณที่แสดงสีของยานพาหนะด้วย ดังนั้นจึงควรจะให้ค่าความถี่ที่สูงที่สุดด้วย

การจำแนกสีของยานพาหนะในงานวิจัยนี้จะแบ่งสีออกเป็นทั้งหมด 9 กลุ่มคือ สีขาว สีเทา สีดำ สีแดง สีเหลือง สีเขียว สีฟ้า สีน้ำเงิน และสีชมพู โดยการจำแนกสียานพาหนะจะทำการเป็นลำดับขั้นดังแสดงในแผนภาพดังรูปที่ 3-5 โดยในขั้นแรกจะจำแนกสีออกเป็น 2 กลุ่มก่อนด้วยค่า S ได้แก่ กลุ่ม

ที่ 1 ยานพาหนะที่มีสีขาว สีเทา และสีดำ กลุ่มที่ 2 ยานพาหนะที่มีสีแดง สีเหลือง สีเขียว สีฟ้า สีนํ้าเงิน เนื่องจากค่า S เป็นค่าแสดงความอึมตัวของสี ซึ่งสีที่มีความอึมตัวต่ำจะแสดงสีออกมาในรูปแบบของสีขาว สีเทา หรือสีดำ จากนั้นยานพาหนะที่ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มที่ 1 จะใช้ค่า V ใช้การจำแนกระหว่างสีขาว สีเทา และสีดำ เนื่องจากค่า V เป็นค่าแสดงปริมาณความสว่างของสี ดังนั้นถ้าค่า V ต่ำก็เปรียบเสมือนเรามองในที่มืด ไม่ว่าจะยานพาหนะจะเป็นสีใดก็จะเห็นเป็นสีดำหมด ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า V สูงมากเราก็จะมองเห็นยานพาหนะเป็นสีขาว ในขณะที่ยานพาหนะที่ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มที่ 2 จะใช้ค่า H ในการจำแนกสียานพาหนะ เนื่องจากค่า H เป็นค่าที่ใช้ในการระบุสีต่าง ๆ ได้ ดังนั้นถ้าค่า H ของยานพาหนะอยู่ในช่วงสีใด ก็จะถือว่ายานพาหนะเป็นสีนั้นๆ

เมื่อยานพาหนะแต่ละภาพในชุดข้อมูลถูกจำแนกสีแล้ว จะทำการหาค่าสีซึ่งเป็นคำตอบของชุดข้อมูลทั้งหมด เนื่องจากทั้งชุดข้อมูลเป็นยานพาหนะคันเดียวกันซึ่งได้จากการติดตามยานพาหนะ โดยที่สีที่ถูกตอบมากที่สุดเ็นชุดข้อมูลนั้นจะถูกเลือกเป็นสีของทั้งชุดข้อมูล



รูปที่ 3-5 แผนภาพกิจกรรมขั้นตอนการจำแนกสีของยานพาหนะ



### 3.6 การจับคู่ยานพาหนะโดยใช้ข้อมูลเชิงเวลา

หลังจากชุดข้อมูลที่ได้จากการติดตามยานพาหนะผ่านการจำแนกรุ่นและสีแล้ว จะถูกเก็บลงฐานข้อมูลของกล้องวิดิทัศน์ที่ยานพาหนะนั้นเคลื่อนที่ผ่าน โดยข้อมูลที่เก็บจะประกอบไปด้วยข้อมูลรุ่นยานพาหนะ สียานพาหนะ และช่วงเวลาที่ยานพาหนะปรากฏในวิดิทัศน์ดังแสดงในตารางที่ 3-1

จากนั้นในการจับคู่ยานพาหนะ ระบบจะทำการใช้ข้อมูลรุ่นยานพาหนะ สียานพาหนะ รวมถึงช่วงเวลาที่ปรากฏในกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 เป็นข้อมูลอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูลของกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 2 ซึ่งยานพาหนะที่จะถูกจับคู่เข้าด้วยกัน จะต้องมียี่ห้อและสียานพาหนะที่ตรงกัน รวมถึงช่วงเวลาที่ปรากฏในกล้องวิดิทัศน์ที่ 2 จะต้องห่างจากกล้องวิดิทัศน์ที่ 1 แปรผันตามระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 3-6

ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงการเก็บข้อมูลรุ่นและสียานพาหนะ รวมถึงช่วงเวลาที่ยานพาหนะปรากฏในวิดิทัศน์

ยานพาหนะ	เฟรมเริ่มต้น	เฟรมสุดท้าย
ว๊ออสสีแดง	T1	T40
ซิติ้สีขาว	T1	T30
ว๊ออสสีขาว	T10	T50

ฐานข้อมูลวิดิทัศน์ที่ 1

ยานพาหนะ	เฟรมเริ่มต้น	เฟรมสุดท้าย
ว๊ออสสีแดง	T1	T40
ซิติ้สีขาว	T1	T30
ว๊ออสสีขาว	T10	T50

ฐานข้อมูลวิดิทัศน์ที่ 2

ยานพาหนะ	เฟรมเริ่มต้น	เฟรมสุดท้าย
...	...	...
ซิติ้สีขาว	T1000	T1040
...	...	...

รูปที่ 3-6 ภาพแสดงการจับคู่ยานพาหนะระหว่าง ซิติ้สีขาวที่ปรากฏในวิดิทัศน์ที่ 1 ในช่วงเวลา T1 ถึง T30 กับซิติ้สีขาวที่ปรากฏในวิดิทัศน์ที่ 2 ในช่วงเวลา T1000 ถึง T1040

## บทที่ 4

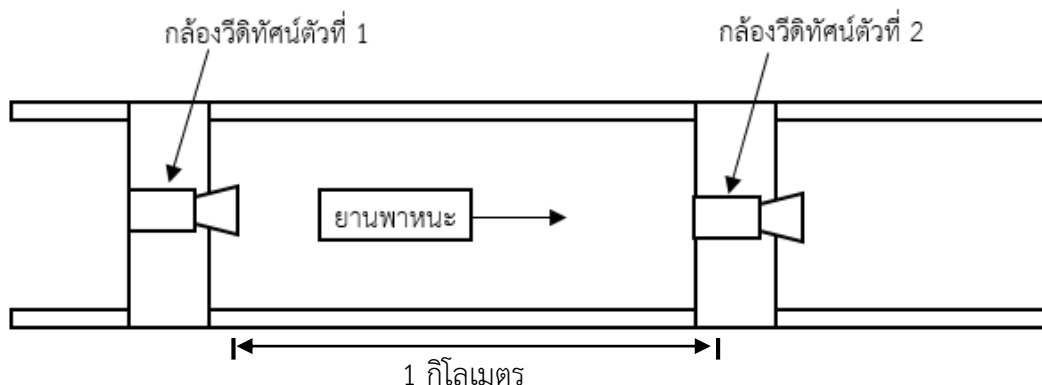
### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในการจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอที่นำเสนอ ทั้งนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย การทดลอง ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง











#### 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกวิดีโอเพื่อใช้ในการออกแบบขั้นตอนวิธีและทดสอบขั้นตอนวิธี ซึ่งประกอบไปด้วยชุดข้อมูลทั้งสิ้น 7 ชุด โดยที่แต่ละชุดข้อมูลประกอบด้วยวิดีโอจากกล้อง 2 ตัว ติดตั้งบนสะพานลอยที่ห่างกันประมาณ 1 กิโลเมตรดังแสดงในรูปที่ 4-1





1. ชุดข้อมูลที่ 1-5 เก็บจากถนนบรมราชชนนี เขตทวีวัฒนา โดยใช้กล้อง Canon EOS 60D ร่วมกับเลนส์ Canon EF 50mm f/1.8 II จำนวน 2 ตัว ความยาวรวมประมาณ 50 นาที ขนาดภาพ 720x418 จุดภาพ (Pixel) อัตราความเร็วในการแสดงภาพ (Frame rate) 25 เฟรมต่อวินาที รูปที่ 4-2 แสดงภาพตัวอย่างชุดข้อมูลที่ 1-5 จากกล้องทั้ง 2 ตัว
2. ชุดข้อมูลที่ 6-7 เก็บจากถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง โดยใช้กล้อง DSLR และกล้องบันทึกวิดีโอตามลำดับ ความยาวรวมประมาณ 20 นาที ขนาดภาพ 720x576 จุดภาพ (Pixel) อัตราความเร็วในการแสดงภาพ (Frame rate) 25 เฟรมต่อวินาที รูปที่ 4-3 แสดงภาพตัวอย่างชุดข้อมูลที่ 6-7 จากกล้องทั้ง 2 ตัว



รูปที่ 4-1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งกล้องวิดีโอตัวที่ 1 และกล้องวิดีโอตัวที่ 2 บนสะพานลอยซึ่งมีระยะห่างประมาณ 1 กิโลเมตร

ชุดข้อมูลที่	กล้องตัวที่ 1 (ก)	กล้องตัวที่ 2 (ข)
1		
2		
3		
4		
5		

รูปที่ 4-2 แสดงภาพจากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งในชุดข้อมูลที่ 1 – 5 ความยาวรวม 50 นาที เก็บข้อมูลโดยใช้กล้อง Canon EOS 60D พร้อมกับเลนส์ Canon EF 50mm f/1.8 II จำนวน 2 ตัว ติดตั้งอยู่บนสะพานลอยที่มีระยะห่างประมาณ 1 กิโลเมตร บริเวณถนนบรมราชชนนี เขตทวีวัฒนา (ก) แสดงภาพจากกล้องตัวที่ 1 (ข) ภาพทางจากกล้องตัวที่ 2

ชุดข้อมูลที่	กล้องตัวที่ 1 (ก)	กล้องตัวที่ 2 (ข)
6		
7		

รูปที่ 4-3 แสดงภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งในชุดข้อมูลที่ 6 – 7 ความยาวรวม 20 นาที เก็บข้อมูลโดยใช้กล้อง DSLR และกล้องบันทึกวิดีโอ ติดตั้งอยู่บนสะพานลอยที่มีระยะห่างประมาณ 1 กิโลเมตร บริเวณถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง (ก) แสดงภาพจากกล้องตัวที่ 1 (ข) ภาพทางจากกล้องตัวที่ 2

#### 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องคอมพิวเตอร์วางตั้ง (Laptop)




หน่วยประมวลผลกลาง	Intel Core i5 M540
หน่วยความจำ	4 GB
ระบบปฏิบัติการ	MAC OS X Yosemite

#### 4.3 การทดลองการสกัดแยกส่วนของยานพาหนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิดีโอที่จรรยาจรเป็นข้อมูลนำเข้า ซึ่งวิดีโอที่มาจากกล้องวิดีโอที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ในสถานที่ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้วิดีโอแต่ละตัวจะมีความละเอียดของภาพ สภาพแสง และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

ดังนั้นในการทดลองการสกัดแยกส่วนของยานพาหนะ จึงใช้ข้อมูลจากกล้องวีดิทัศน์ 3 ชุด ข้อมูล โดยแต่ละชุดมีความแตกต่างกันดังตารางที่ 4-1 เพื่อทดลองว่า วิธีการที่เลือกใช้ในการสกัดแยกยานพาหนะสามารถทำงานได้ในวีดิทัศน์หลากหลายรูปแบบ

ตารางที่ 4-1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสกัดยานพาหนะ ประกอบไปด้วย 3 ชุดข้อมูล ชุดข้อมูลที่ 1 เก็บจากถนนบรมราชชนนี เขตทวีวัฒนา ด้วยกล้อง Canon EOS 60D และชุดข้อมูลที่ 6 และ 7 เก็บจากถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง ด้วยกล้อง DSLR และกล้องบันทึกวีดิโอตามลำดับ

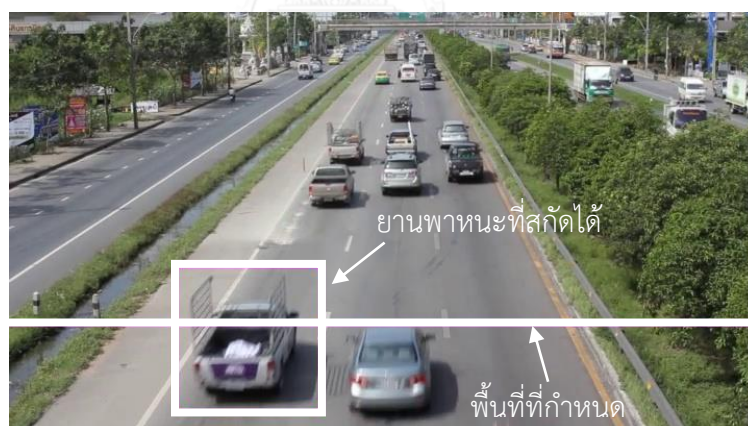
ชุดข้อมูลที่	สถานที่เก็บข้อมูล	อุปกรณ์	ตัวอย่างภาพ
1 (กล้องตัวที่ 1)	ถนนบรมราชชนนี เขตทวีวัฒนา	Canon EOS 60D	
6 (กล้องตัวที่ 2)	ถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง	กล้อง DSLR	
7 (กล้องตัวที่ 1)	ถนนพหลโยธิน อำเภอคลองหลวง	กล้องบันทึกวีดิโอ	

การตรวจสอบความถูกต้องของการสกัดยานพาหนะ จะทำการเปรียบเทียบจำนวนยานพาหนะในกล้องวีดิทัศน์ซึ่งสังเกตโดยผู้วิจัย กับจำนวนยานพาหนะที่สกัดแยกได้จากระบบ ซึ่งวัดได้จากการนับยานพาหนะที่ถูกตีกรอบเมื่อผ่านพื้นที่ที่กำหนดในภาพวีดิทัศน์ดังแสดงในรูปที่ 4-4 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีที่ประยุกต์ใช้มีประสิทธิภาพในการสกัดแยกยานพาหนะจากภาพวีดิทัศน์ที่มีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา และสามารถสกัดแยกยานพาหนะได้โดยไม่ขึ้นกับสภาพแสงหรือสภาพแวดล้อมของภาพวีดิทัศน์ แต่จากการทดลองพบว่าในบางกรณีที่พื้นที่ยานพาหนะมีค่าความเข้มของจุดภาพใกล้เคียงกับฉากหลัง จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ยานพาหนะไปในขั้นตอนของการลบ

ฉากหลังดังแสดงบริเวณที่วงกลมในรูปที่ 4-5 (ก) ทำให้ยานพาหนะคันนั้นไม่ถูกสกัดแยกเมื่อผ่านพื้นที่ที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 4-5 (ข) โดยผลการทดลองของการสกัดแยกยานพาหนะเป็นดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองการสกัดแยกยานพาหนะจากวีดิทัศน์ 3 ชุด ประกอบไปด้วยระยะเวลาของวีดิทัศน์ จำนวนยานพาหนะที่ปรากฏในวีดิทัศน์ และความถูกต้องของการสกัดแยก

ชุดข้อมูล	ระยะเวลา (นาที)	จำนวนยานพาหนะ (คัน)	ความถูกต้อง (True Positive)
1 (กล้องตัวที่ 1)	10	949	81.13%
2 (กล้องตัวที่ 2)	10	812	85.22%
3 (กล้องตัวที่ 1)	10	533	79.71%



รูปที่ 4-4 ภาพแสดงการสกัดแยกยานพาหนะด้วยการตีกรอบสี่เหลี่ยมสีขาว เมื่อยานพาหนะผ่านบริเวณภาพที่กำหนดเพื่อสกัดแยกยานพาหนะดั่งเส้นสีขาว



(ก)

(ข)

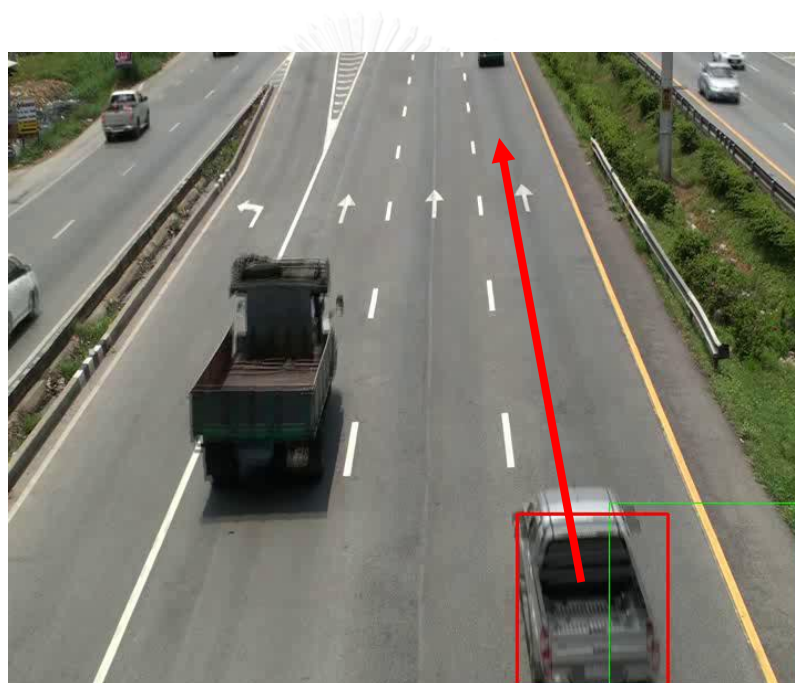
รูปที่ 4-5 (ก) แสดงภาพยานพาหนะภายในวงกลม ซึ่งสูญเสียพื้นที่ยานพาหนะจากขั้นตอนการลบฉากหลัง ภาพวีดิทัศน์หลังจากลบฉากหลัง (ข) แสดงให้เห็นว่ายานพาหนะที่สูญเสียพื้นที่จากขั้นตอนการลบฉากหลังจะไม่ถูกสกัดแยกเมื่อผ่านบริเวณที่กำหนด

#### 4.4 การทดลองการติดตามยานพาหนะ

การทดลองติดตามยานพาหนะจากวีดิทัศน์จะเป็นการติดตามยานพาหนะที่ได้จากขั้นตอนการสกัดแยกยานพาหนะ ซึ่งยานพาหนะที่ได้จากการสกัดแยกจะนำเข้าไปเป็นยานพาหนะเริ่มต้นสำหรับการติดตามยานพาหนะ โดยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะทำการติดตามยานพาหนะเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 40 เฟรม จากการทดลองพบว่า ช่วงระยะเวลาที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ภายในวีดิทัศน์ มีโอกาสที่ยานพาหนะจะเกิดการเปลี่ยนช่องทางจราจร ซึ่งทำให้รูปร่างของยานพาหนะเปลี่ยนไปด้วย เช่น ยานพาหนะที่อยู่ในช่องทางขวาซึ่งจะมองเห็นด้านข้างทางซ้ายของยานพาหนะมากกว่า เปลี่ยนช่องทางไปเป็นช่องทางซ้าย ซึ่งจะมองเห็นด้านข้างทางขวาของยานพาหนะมากกว่า รวมถึงยานพาหนะในวีดิทัศน์จราจรจะมีการเคลื่อนที่ออกห่าง หรือเคลื่อนที่เข้าหากล้องวีดิทัศน์ ทำให้ยานพาหนะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการติดตามยานพาหนะได้

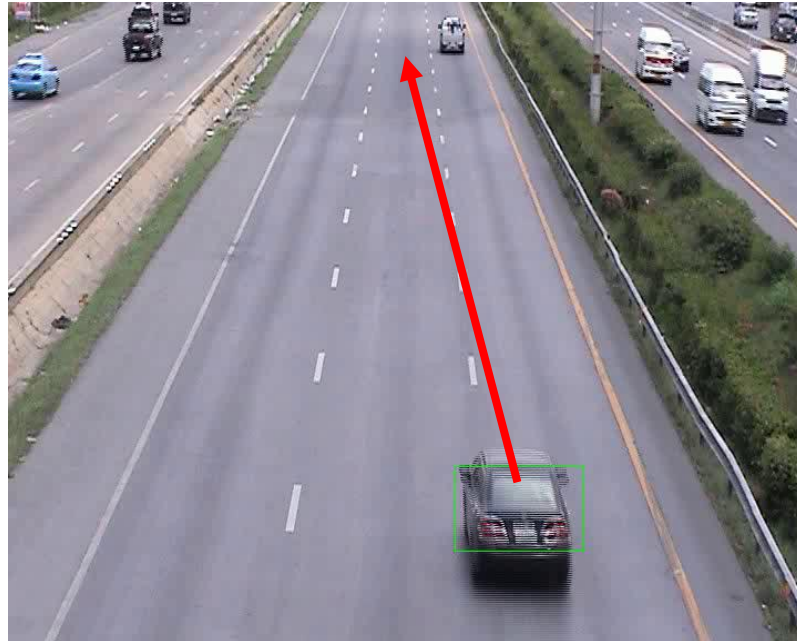
ดังนั้นชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองการติดตามยานพาหนะภายในวีดิทัศน์ จึงประกอบไปด้วยยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ที่หลากหลาย เช่น ยานพาหนะที่มีการเปลี่ยนช่องทางจราจรจากช่องทางขวาไปยังช่องทางกลางดังแสดงในรูปที่ 4-7 หรือยานพาหนะที่มีสีใกล้เคียงกับฉากหลังดังรูปที่ 4-6 เป็นต้น โดยชุดข้อมูลที่ใช้ทดลองประกอบด้วยยานพาหนะทั้งหมด 780 คัน แต่ละคันจะติดตามต่อเนื่องเป็นจำนวน 40 เฟรม

ในการตรวจสอบความถูกต้องของการติดตามยานพาหนะ จะเปรียบเทียบจำนวนเฟรมของยานพาหนะที่ติดตามทั้งหมด กับจำนวนเฟรมที่ระบบสามารถติดตามยานพาหนะได้ต่อเนื่อง เช่น ยานพาหนะคันหนึ่งถูกติดตามในช่วงเฟรมที่ 1 - 25 และ 30 - 40 การวัดความถูกต้องของยานพาหนะคันนั้นจะนับแค่ 25 เฟรมเท่านั้น จากผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนการติดตามยานพาหนะภายในวิดิทัศน์มีความถูกต้องอยู่ที่ 78.35% ซึ่งพบว่า ยานพาหนะที่สูญเสียพื้นที่ของยานพาหนะในขั้นตอนการลบฉากหลัง (รูปที่ 4-8) จะส่งผลให้การติดตามยานพาหนะผิดพลาดตามไปด้วย เนื่องจากยานพาหนะจากการลบฉากหลังจะถูกใช้เป็นต้นแบบสำหรับการติดตามยานพาหนะ



รูปที่ 4-6 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ถูกตีกรอบสีแดง ด้วยลูกศรสีแดงซึ่งได้จากการติดตามยานพาหนะภายในกล้องวิดิทัศน์ โดยที่ยานพาหนะมีสีคล้ายกับพื้นหลัง





รูปที่ 4-7 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ถูกตีกรอบสีเขียว ด้วยลูกศรสีแดงซึ่งได้จากการติดตามยานพาหนะภายในกล้องวิดีโอ โดยที่ยานพาหนะมีการเปลี่ยนช่องทางจราจรจากช่องทางขวาไปที่ช่องทางกลาง



รูปที่ 4-8 แสดงยานพาหนะ 4 แบบที่สูญเสียมุมมองของยานพาหนะจากขั้นตอนการลบฉากหลัง

#### 4.5 การทดลองการจำแนกรุ่นยานพาหนะ

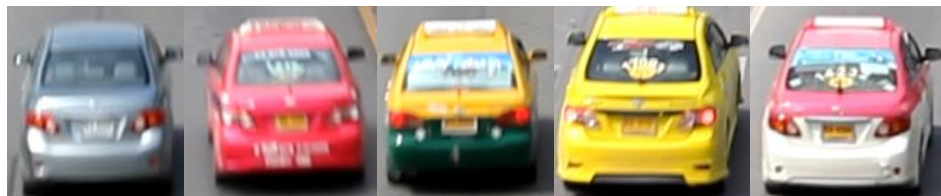
เนื่องจากรุ่นยานพาหนะที่พบในประเทศไทยมีเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือกยานพาหนะบางรุ่นเพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในการทดลองระบบ จากการสำรวจข้อมูลจากกลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก พบว่ารุ่นของยานพาหนะที่มีการจำหน่ายสูงสุดในประเทศไทยประจำปี 2555 พบว่า โตโยต้า วีออส และฮอนด้า ซิตีมียอดจำหน่ายสูงสุดอยู่ที่ 80,410 คัน และ 44,079 คันตามลำดับ

นอกจากนี้ข้อมูลการจดทะเบียนยานพาหนะในปี 2557 โดยแยกตามประเภทของยานพาหนะ พบว่า มีการจดทะเบียนรถกระบะจำนวน 281,719 คัน รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน (รถเอนกประสงค์) จำนวน 19,407 คัน และรถตู้จำนวน 13,114 คัน ในขณะที่มีการจดทะเบียนรถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน มีจำนวน 8,106 คัน ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่เป็นยานพาหนะรุ่นโตโยต้า โคโรลล่า อัลติส

ดังนั้นจากข้อมูลที่ทำการศึกษาจึงเลือกชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองดังนี้

1. โตโยต้า โคโรลล่า อัลติส รุ่นปี 2009-2011 จำนวน 30 คัน ดังแสดงในรูปที่ 4-9
2. ฮอนด้า ซิตี รุ่นปี 2009-2011 จำนวน 30 คัน ดังแสดงในรูปที่ 4-10
3. โตโยต้า วีออส รุ่นปี 2006-2008 จำนวน 30 คัน ดังแสดงในรูปที่ 4-11
4. รถตู้ จำนวน 50 คัน ดังแสดงในรูปที่ 4-12
5. รถเอนกประสงค์ จำนวน 50 คัน ดังแสดงในรูปที่ 4-13
6. รถกระบะ จำนวน 50 คัน ดังแสดงในรูปที่ 4-14

ในการตรวจสอบความถูกต้องของขั้นตอนวิธีนี้จะพิจารณาโดยการกำหนดรุ่นของยานพาหนะที่ใช้ทดสอบไว้ล่วงหน้า จากนั้นใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอทดสอบกับภาพยานพาหนะ แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับรุ่นของยานพาหนะที่กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยมีผลการทดลองดังแสดงตารางที่ 4-3 โดยจากผลการทดลองพบว่ายานพาหนะรุ่นโตโยต้า โคโรลล่า อัลติส ซึ่งเป็นยานพาหนะที่นิยมใช้เป็นรถแท็กซี่จะมีการติตลวดลายบนพื้นผิวของยานพาหนะเป็นจำนวนมาก ทำให้อายุยานพาหนะรุ่นนี้มีความหลากหลายของพื้นผิวสูง ซึ่งส่งผลให้มีความผิดพลาดในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ



รูปที่ 4-9 ตัวอย่างยานพาหนะโตโยต้า โคโรลล่า อัลติส รุ่นปี 2009-2011 ที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่แตกต่างกันทั้งสี และการตกแต่งบนพื้นผิว



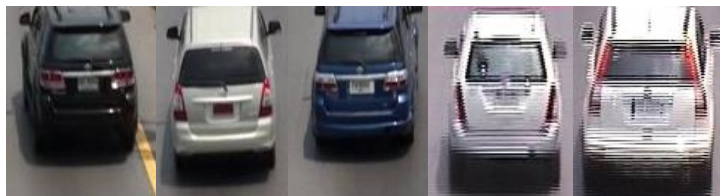
รูปที่ 4-10 ตัวอย่างยานพาหนะ ฮอนด้า ซิตี รุ่นปี 2009-2011 ที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่มีสีและรูปแบบแตกต่างกัน



รูปที่ 4-11 ตัวอย่างยานพาหนะโตโยต้า วีออส รุ่นปี 2006-2008 ที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่มีสีและรูปแบบแตกต่างกัน



รูปที่ 4-12 ตัวอย่างรถตู้ที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่มีสีและรูปแบบแตกต่างกัน



รูปที่ 4-13 ตัวอย่างรูปรถเอนกประสงค์ที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่มีสีและรูปแบบแตกต่างกัน



รูปที่ 4-14 ตัวอย่างรูปรถกระบะที่ใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะที่มีสีและรูปแบบแตกต่างกัน

ตารางที่ 4-3 แสดงความถูกต้องของการจำแนกรุ่นยานพาหนะ ซึ่งประกอบไปด้วยยานพาหนะทั้งหมด 6 รุ่น

การทดสอบ	ความถูกต้อง (True Positive)
โตโยต้า โคโรลล่า อัลติส	41.13%
ฮอนด้า ซิตี	59.97%
โตโยต้า วีออส รุ่นปี 2006-2008	91.2%
รถตู้	75.00%
รถเอนกประสงค์	66.67%
รถกระบะ	94.04%

#### 4.6 การทดลองการจำแนกสียานพาหนะ

ชุดข้อมูลที่ใช้ทำการทดลองจำแนกสีของยานพาหนะ ประกอบไปด้วยภาพยานพาหนะทั้งหมด 100 ภาพ ซึ่งมีสีแตกต่างกัน 9 สีคือ สีขาว สีเทา สีดำ สีแดง สีเหลือง สีเขียว สีฟ้า สีน้ำเงิน และสีชมพู อย่างละ 10 ภาพ และยานพาหนะที่มีความหลากหลายของสีบนพื้นผิวยานพาหนะอีก 10

ภาพ เพื่อทดลองการจำแนกสีในกรณีที่ยานพาหนะมีสีของพื้นผิวมากกว่า 1 สี ภาพยานพาหนะที่ใช้เป็นข้อมูลทดลองจะผ่านขั้นตอนการลบฉากหลังเพื่อกำจัดบริเวณที่เป็นพื้นถนนออกดังรูปที่ 4-15 จากนั้นจึงทำการกำหนดสีของยานพาหนะที่ทดสอบไว้ล่วงหน้า แล้วนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ พบว่ามีความถูกต้องอยู่ที่ 65.74%

จากการทดลองพบว่า ความผิดพลาดในการจำแนกสีของยานพาหนะเกิดจากยานพาหนะบางประเภทมีการบรรทุกสิ่งของ (รูปที่ 4-16) ซึ่งทำให้พื้นผิวของยานพาหนะถูกบดบัง ส่งผลให้ขั้นตอนวิธีไม่สามารถจำแนกสีของยานพาหนะจริงได้ รวมถึงยานพาหนะประเภทแท็กซี่ซึ่งส่วนใหญ่จะมีประกอบไปด้วยสีอย่างน้อย 2 สีบนพื้นผิวยานพาหนะ เช่น เขียว-เหลือง หรือขาว-แดง เป็นต้น ซึ่งเป็นผลให้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไม่สามารถจำแนกสีที่แท้จริงของยานพาหนะได้ สุดท้ายเนื่องจากขั้นตอนการจำแนกสียานพาหนะ เป็นการใช้อัตราส่วนต่อเนื่องจากขั้นตอนการลบฉากหลัง ซึ่งพบว่า ภาพยานพาหนะบางภาพมีส่วนของพื้นถนนติดมาด้วยในปริมาณมาก จึงทำให้การจำแนกยานพาหนะเชื่อว่าบริเวณที่เป็นพื้นถนนเป็นส่วนของยานพาหนะ ทำให้การจำแนกสียานพาหนะผิดพลาด



รูปที่ 4-15 ภาพแสดงยานพาหนะที่มีการลบฉากหลัง เพื่อใช้ในการจำแนกสียานพาหนะ

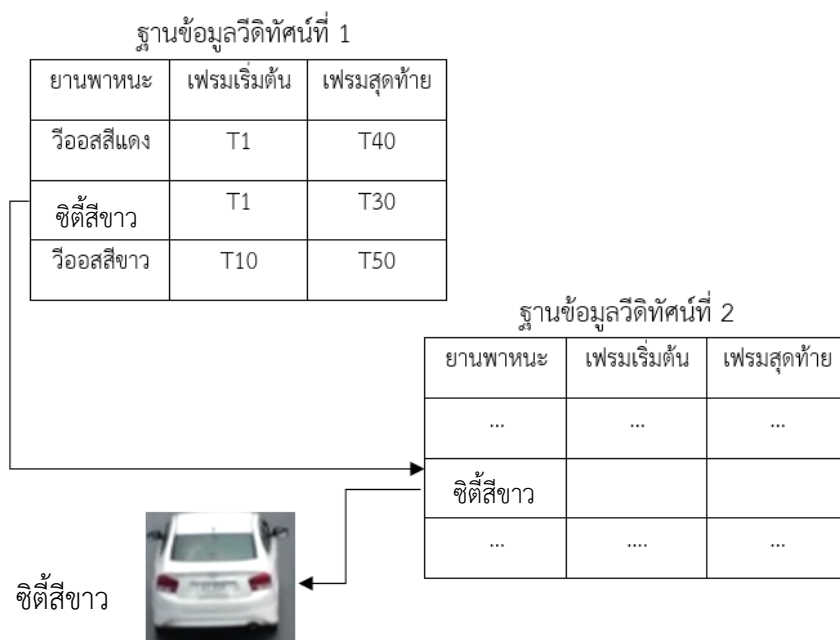


รูปที่ 4-16 ยานพาหนะที่มีการบรรทุกสิ่งของซึ่งทำให้บดบังพื้นผิวของยานพาหนะ

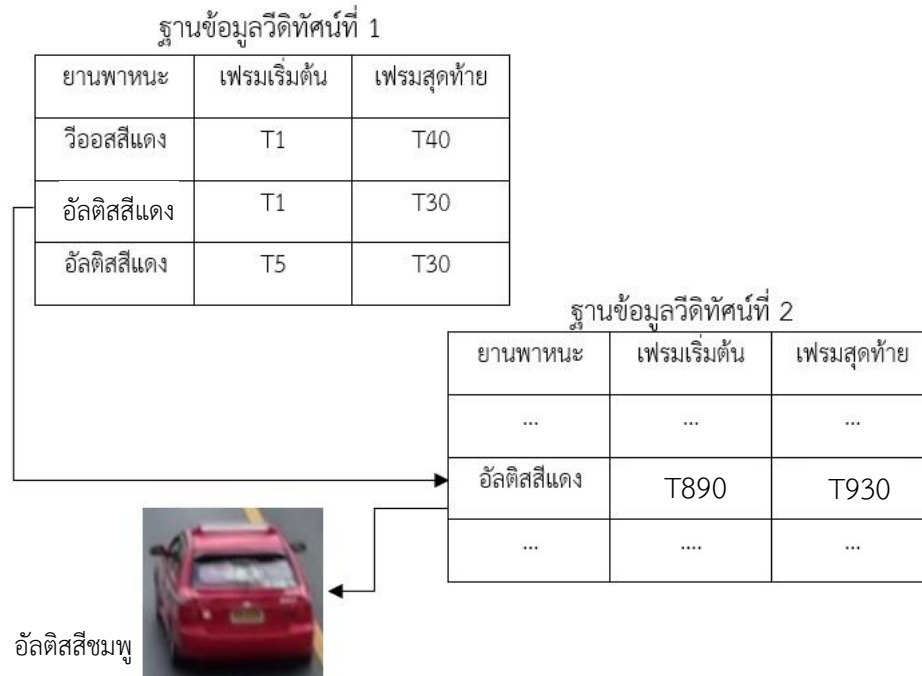
#### 4.7 การทดลองการจับคู่ยานพาหนะ

การจับคู่ยานพาหนะเป็นขั้นตอนสุดท้ายของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอโดยอาศัยข้อมูลจากการจำแนกรุ่นและสียานพาหนะเป็นหลักพร้อมกับข้อมูลเชิงเวลาเพื่อบันทึกหลักฐานข้อมูล โดยชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบได้จากการสุ่มยานพาหนะจากกล้องวิดีโอที่ 1 จำนวน 50 คัน เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการค้นหายานพาหนะจากกล้องวิดีโอที่ 2

การตรวจสอบความถูกต้องจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือความถูกต้องของการจับคู่ระหว่างฐานข้อมูลของกล้องวิดีโอที่ 1 และความถูกต้องของการจำแนกรุ่นและสียานพาหนะที่ได้จากการจับคู่ ซึ่งการในการวัดความถูกต้องของการจับคู่จะต้องมีความถูกต้องทั้งในส่วนของการจับคู่จากฐานข้อมูลและการจำแนกรุ่นและสียานพาหนะ เช่นในรูปที่ 4-17 ชื่อยานพาหนะที่ถูกจับคู่ระหว่างฐานข้อมูลถูกต้อง และชื่อรุ่นและสียานพาหนะตรงกับที่กำหนดไว้ โดยจากการทดลองพบว่ามีความถูกต้องอยู่ที่ 68% โดยที่ความผิดพลาดของการจับคู่ยานพาหนะจะเกิดขึ้นในส่วนของการจำแนกรุ่นและสีของยานพาหนะเท่านั้น เช่นในรูปที่ 4-18 ชื่อยานพาหนะที่ถูกจับคู่ระหว่างฐานข้อมูลถูกต้อง แต่ชื่อรุ่นและสียานพาหนะไม่ตรงกับที่กำหนดไว้



รูปที่ 4-17 แสดงการจับคู่ยานพาหนะรุ่นฮอนด้า ซิติ้ สีขาว จากวิดีโอที่ 1 กับยานพาหนะรุ่นฮอนด้า ซิติ้ สีขาว จากวิดีโอที่ 2 ซึ่งมีการเปรียบเทียบรูปลักษณ์ยานพาหนะจริงกับชื่อรุ่นและสียานพาหนะที่ระบุไว้ในฐานข้อมูล



รูปที่ 4-18 การจับคู่ยานพาหนะรุ่นอัลติส สีแดง จากวิดิทัศน์ที่ 1 กับยานพาหนะรุ่นอัลติส สีแดง จากวิดิทัศน์ที่ 2 แต่เมื่อเปรียบเทียบรูปยานพาหนะจริงกับชื่อรุ่นและสียานพาหนะที่ระบุไว้ใน ฐานข้อมูลพบว่ายานพาหนะจริงเป็นยานพาหนะรุ่นอัลติส สีชมพู

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทสุดท้ายนี้จะเป็นการสรุปผลการวิจัยซึ่งจะกล่าวถึงสิ่งที่ได้นำเสนอและผลสรุปของการทดลอง และข้อเสนอแนะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอขั้นตอนวิธีในการจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอทัศนหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ในการเฝ้าติดตามยานพาหนะ ตรวจจับอุบัติเหตุ หรือวิเคราะห์สภาพจราจร จากกล้องวิดีโอทัศนที่มีการติดตั้งตามเส้นทางหลัก ทางหลวง และทางด่วนได้อย่างทันกาลและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากปัจจุบันการใช้กล้องวิดีโอเหล่านี้เพื่องานจราจรยังจำเป็นต้องใช้เจ้าหน้าที่ในการเฝ้าดูภาพจากกล้องวิดีโอทัศน แต่เนื่องจากปริมาณกล้องวิดีโอทัศนที่มีเป็นจำนวนมากร่วมกับข้อจำกัดของเจ้าหน้าที่ในเรื่องของความเหนื่อยล้า ทำให้เจ้าหน้าที่ไม่สามารถเฝ้าดูกล้องวิดีโอทัศนทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา

งานวิจัยนี้ได้ทำการจับคู่ยานพาหนะจากกล้องวิดีโอทัศนหลายตัวที่มีมุมมองไม่ทับซ้อนกัน โดยใช้ข้อมูลรุ่น สี และข้อมูลเชิงเวลาของยานพาหนะ ซึ่งชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเป็นวิดีโอทัศนจากกล้องซึ่งติดตั้งบนสะพานลอยที่มีระยะห่างประมาณ 1 กิโลเมตร ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบจะใช้ข้อมูลรุ่น สี และข้อมูลเชิงเวลาของยานพาหนะจากสองกล้อง ซึ่งได้จากการนำวิดีโอทัศนจราจรประมวลผลตามขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ คือสกัดแยกยานพาหนะ ติดตามยานพาหนะ จำแนกรุ่นยานพาหนะ และจำแนกสียานพาหนะ โดยที่ข้อมูลทั้งหมดจะบันทึกลงฐานข้อมูล การประเมินความถูกต้องจะพิจารณาจากยานพาหนะที่ถูกจับคู่เข้าด้วยกันต้องมีรุ่นและสียานพาหนะเหมือนกัน

จากการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอยังมีข้อจำกัดในการจับคู่ยานพาหนะที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น รถแท็กซี่ที่มีการติดสติ๊กเกอร์ รถกระบะที่บรรทุกของบนกระบะหลัง เป็นต้น รวมถึงขั้นตอนวิธีจำเป็นต้องมีการเรียนรู้รูปแบบของยานพาหนะแต่ละรุ่น ก่อนที่จะนำไปใช้ในการจำแนกรุ่นยานพาหนะได้ ดังนั้นรุ่นยานพาหนะที่ไม่เคยผ่านการเรียนรู้มาก่อน จะไม่สามารถจำแนกรุ่นได้ ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถจับคู่ยานพาหนะได้ด้วย



## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับนำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไปพัฒนาต่อในอนาคตมีดังนี้

### 1. การสกัดยานพาหนะ

การสกัดยานพาหนะในขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะมีการลบฉากหลังก่อนที่จะสกัดแยกส่วนยานพาหนะจากภาพวิดีโอที่ค้น ซึ่งจากการทดลองพบว่ายังมีความผิดพลาดในขั้นตอนการลบฉากหลัง เช่น พื้นที่ของยานพาหนะถูกลบออกไปด้วย หรือมีส่วนของพื้นถนนติดมากับยานพาหนะหลังจากที่ลบฉากหลังออกแล้ว ซึ่งส่งผลทั้งในขั้นตอนการติดตามยานพาหนะและการจำแนกรุ่นและสียานพาหนะ ดังนั้นหากสามารถเพิ่มความถูกต้องในการลบฉากหลังได้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของการจับคู่ยานพาหนะ

### 2. การรู้จำยานพาหนะ

เนื่องจากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เทคนิคการรู้จำในการจำแนกรุ่นของยานพาหนะ จึงทำให้สามารถรู้จำเฉพาะรุ่นของยานพาหนะที่มีการเรียนรู้ไว้ก่อนเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถคัดแยกรุ่นของยานพาหนะที่ไม่เคยรู้จักมาก่อนได้ จำเป็นต้องพัฒนาขั้นตอนวิธีในส่วนของกรจำแนกรุ่นยานพาหนะ

### 3. การรู้จำสียานพาหนะ

เนื่องจากวิธีการที่ใช้ในการจำแนกสียานพาหนะจะแทนสีของยานพาหนะด้วยสีเพียงสีเดียว โดยสีที่ใช้ในการจำแนกยานพาหนะจะเป็นกลุ่มสีต่าง ๆ ดังนั้นถ้ามียานพาหนะที่สีอยู่นอกเหนือจากกลุ่มสีที่แบ่งไว้ หรือเป็นยานพาหนะที่มีมากกว่าหนึ่งสี จะทำให้ไม่สามารถระบุสีที่ถูกต้องของยานพาหนะได้

## รายการอ้างอิง

1. กรุงเทพมหานคร, ส. ระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (cctv) ตรวจวัดและรายงานสภาพการจราจร . 2015 [cited 2015 14 July]; Available from: <http://www.bmatraffic.com/index.aspx>.
2. Guolin, W., X. Deyun, and J. Gu. *Review on vehicle detection based on video for traffic surveillance*. in *Automation and Logistics, 2008. ICAL 2008. IEEE International Conference on*. 2008.
3. Dixon, M., N. Jacobs, and R. Pless. *An efficient system for vehicle tracking in multi-camera networks*. in *Distributed Smart Cameras, 2009. ICDSC 2009. Third ACM/IEEE International Conference on*. 2009.
4. Castaneda, J.N., et al. *Non-Overlapping Multi-camera Detection and Tracking of Vehicles in Tunnel Surveillance*. in *Digital Image Computing Techniques and Applications (DICTA), 2011 International Conference on*. 2011.
5. Siricharoen, P., et al. *Vehicle segmentation from video using color and edges*. in *Multimedia and Expo (ICME), 2011 IEEE International Conference on*. 2011.
6. Bradski, G.R., *Computer Vision Face Tracking For Use in a Perceptual User Interface*. 1998.
7. team, o.d. *Miscellaneous Image Transformations*. 2015 [cited 2015 3 July].
8. Herbert Bay, A.E., Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool, *SURF: Speeded Up Robust Features*. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, 2008. **110**(3): p. 346-359.
9. Lowe, D.G., *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*. *International Journal of Computer Vision*, 2004. **60**(2): p. 91-110.
10. Kun, W., et al. *Overview of video-based vehicle detection technologies*. in *Computer Science & Education (ICCSE), 2011 6th International Conference on*. 2011.
11. Liu, Y. and P. Payeur. *Vision-based detection of activity for traffic control*. in *Electrical and Computer Engineering, 2003. IEEE CCECE 2003. Canadian Conference on*. 2003.

12. Cucchiara, R., et al. *Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information*. in *Intelligent Transportation Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE*. 2001.
13. Ye, L. and Y. Qingming. *Rear lamp based vehicle detection and tracking for complex traffic conditions*. in *Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2012 9th IEEE International Conference on*. 2012.
14. Horprasert, T., D. Harwood, and L.S. Davis, *A statistical approach for real-time robust background subtraction and shadow detection*. 1999. p. 1-19.
15. Siyal, M.Y. *A neural vision based approach for intelligent transportation system*. in *Industrial Technology, 2002. IEEE ICIT '02. 2002 IEEE International Conference on*. 2002.
16. Chou, E.-F. and D.-C. Tseng, *Weather-adapted Vehicle Detection for Forward Collision Warning System*. Lecture Notes in Engineering and Computer Science, 2011.
17. Wenhao, L., W. Shengjin, and D. Xiaojing. *Vehicle detection and tracking in relatively crowded conditions*. in *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*. 2009.
18. Jun, Y., et al. *Feature fusion for vehicle detection and tracking with low-angle cameras*. in *Applications of Computer Vision (WACV), 2011 IEEE Workshop on*. 2011.
19. Jelača, V., et al. *Real-time vehicle matching for multi-camera tunnel surveillance*. 2011.
20. Javed, O., et al. *Tracking across multiple cameras with disjoint views*. in *Computer Vision, 2003. Proceedings. Ninth IEEE International Conference on*. 2003.
21. Allen, J.G., R.Y.D. Xu, and J.S. Jin, *Object tracking using CamShift algorithm and multiple quantized feature spaces*, in *Proceedings of the Pan-Sydney area workshop on Visual information processing*. 2004, Australian Computer Society, Inc.: Sydney, Australia, USA. p. 3-7.

22. Sen, Q. *Corner invariant and graph clustering based vehicle tracking algorithm.* in *Systems and Informatics (ICSAI), 2012 International Conference on.* 2012.
23. Zhigang, L. and Y. Hua. *A new vehicle tracking method with region matching based on Kalman forecasting model.* in *Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2010 International Conference on.* 2010.
24. Javed, O., K. Shafique, and M. Shah. *Appearance modeling for tracking in multiple non-overlapping cameras.* in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on.* 2005.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนิธิวัฒน์ ศิริคั่นระฆาต เกิดเมื่อวันที่ 6 มกราคม 2532 ในกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนอัสสัมชัญธนบุรี กรุงเทพมหานคร และจบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตเกียรตินิยมอันดับ 2 จากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปีการศึกษา 2553

