

การตรวจหาและการจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล



นายภัทรพันธ์ วานิชชัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Traffic Warning Sign Detection and Classification Using Digital Image Processing



Mr. Pattarapan Wanitchai

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตรวจหาและการจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนด้วย  
การประมวลผลภาพดิจิทัล

โดย

นายภัทรพันธ์ วานิชชัย

สาขาวิชา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คนบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ นงลักษณ์ ไคววาสารัช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.เดชาลิขิต กตัญญูทวีทิพย์)

ภัทรพันธ์ วานิชชัย : การตรวจหาและการจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล. (TRAFFIC WARNING SIGN DETECTION AND CLASSIFICATION USING DIGITAL IMAGE PROCESSING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
หลัก : ผศ. ดร. สืบสกุล พิภพมงคล, 91 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้เสนอขั้นตอนวิธีการตรวจหาและการจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแบบมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม ด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล ขั้นตอนวิธีในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสองขั้นตอนคือขั้นตอนการตรวจหาและขั้นตอนการจำแนก ในขั้นตอนการตรวจหาจะแปลงภาพนำเข้าจากแบบจำลองสี RGB ให้เป็นแบบจำลองสี HSV และตรวจหาจุดภาพสีเหลืองของป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนโดยวิธีการเปรียบเทียบสีของจุดภาพนำเข้ากับฐานข้อมูลสีของป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน ถ้าพบว่าตรงกับฐานข้อมูล ก็จะรวมกลุ่มของจุดภาพเหล่านี้เข้าด้วยกัน และทำการหาคอนเวกซ์ฮัลพร้อมกับหาสีเหลืองมปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดของแต่ละกลุ่มจุดภาพนั้นด้วยขั้นตอนวิธีวัดขนาดด้วยการหมุนจนครบทุกบริเวณที่ตรวจหาได้ หากบริเวณใดมีลักษณะตรงกับลักษณะที่กำหนด ก็จะนำบริเวณนั้นส่งเป็นภาพนำเข้าให้กับขั้นตอนการจำแนกต่อไป ในขั้นตอนการจำแนกจะตัดแยกสัญลักษณ์สีคำออกมา และหาขอบของสัญลักษณ์สีคำด้วยตัวกรองความถี่สูง และนำขอบที่หาได้ไปเปรียบเทียบกับขอบของป้ายจราจรแม่แบบ โดยใช้การหาค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างคู่จุดที่ใกล้ที่สุดตลอดขอบนำเข้าและขอบแม่แบบ

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบความถูกต้องกับภาพถ่ายจากการสำรวจสายทางโดยรถสำรวจจำนวน 5,135 ภาพ และภาพถ่ายโดยผู้วิจัยเป็นผู้ถ่ายภาพ จำนวน 1,050 ภาพ โดยถ่ายภาพทั้งหมดในสภาพแวดล้อมเปิด ผลการทดลองกับภาพถ่ายที่ถ่ายโดยรถสำรวจให้ค่าความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ 17.14 และค่าผิดพลาดเชิงบวกเฉลี่ยร้อยละ 1.07 ผลการทดลองกับภาพถ่ายที่ถ่ายโดยผู้วิจัยให้ค่าความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ 5.24 และค่าผิดพลาดเชิงบวกเฉลี่ยร้อยละ 0.67 จากการทดลองพบว่า ความผิดพลาดเชิงลบส่วนใหญ่เกิดจากการหาคอนเวกซ์ฮัลที่ผิดพลาดและความผิดพลาดเชิงบวกส่วนใหญ่เกิดจากวัตถุสีเหลืองอื่นที่ไม่ใช่ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต ภัทรพันธ์ วานิชชัย  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา.....2552.....



## 5070392921 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : TRAFFIC SIGN / WARNING SIGN / DETECTION / CLASSIFICATION

PATTARAPAN WANITCHAI : TRAFFIC WARNING SIGN DETECTION AND CLASSIFICATION USING DIGITAL IMAGE PROCESSING.

THESIS ADVISOR : ASST.PROF.SUEBSKUL PHIPHOBMONGKOL, PH.D., 91 pp.

This research proposed a digital image processing algorithm for traffic warning sign detection and classification. The proposed algorithm could be divided into two phases, detection and classification. The detection step transformed an input image from RGB color model to HSV color model and detected the yellow color of the traffic warning sign by comparing the pixel colors in the image with the colors in the database. Pixels that matched the database and were close together would be grouped. Convex Hull algorithm would then be performed and the minimal area enclosing rectangle would be found by using Rotating Caliper algorithm. The processed were applied to all pixel groups. Any groups that matched the required features would be forwarded to the classification step. In this step, black symbols were extracted and their edges were found using high-pass filter. The resulting edges would be compared to the edge templates by using the average distance between the closest pairs of the input edge and the template edge. The accuracy measurement was performed on 5,135 images, taken from a survey vehicle and was also performed on 1,050 images, taken by the researcher. All images were taken in open environment. The images from the survey vehicle were processed, resulted in an average of 17.14% false negative and an average of 1.07 % false positive, respectively. The images taken by the researcher were processed, resulted in an average of 5.24% false negative and an average of 0.67 % false positive, respectively. It was found that most of the false negatives occurred from false Convex Hull and most of the false positives occurred from yellow objects which were not traffic warning signs.

Department : Computer Engineering.....

Student's Signature ธำมรงค์ วานิชชัย

Field of Study : Computer Engineering.....

Advisor's Signature Byy

Academic Year : 2009.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สืบสกุล พิภพมงคล ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำ ปรึกษาและเสนอแนะข้อคิดเห็นในแนวทางวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือดูแลในด้านต่างๆเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.นงลักษณ์ โค้ววิสารัช และ ดร.เดชานูชิต กตัญญูพิทักษ์ ที่ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และเสนอแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ ตลอดจนถึงการตรวจสอบและการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับเพิ่มข้อมูลวีดิทัศน์จากการสำรวจสายทางโดยรถสำรวจสายทาง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สมาชิกห้องปฏิบัติการ CGCI ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และดูแลเอาใจใส่ตลอดการพัฒนางานวิจัย

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่คอยสนับสนุนจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมารดาที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจในทุก ๆ ด้านรวมทั้งส่งเสริมให้ศึกษาอย่างต่อเนื่องกับผู้วิจัยเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับป้ายจราจร.....	4
2.1.1 ประเภทป้ายจราจร.....	4
2.1.2 ลักษณะป้ายจราจร.....	4
2.1.3 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน.....	6
2.2 แบบจำลองสี.....	13
2.2.1 แบบจำลองสี RGB.....	13
2.2.2 แบบจำลองสี HSV.....	13
2.2.3 การแปลงแบบจำลองสี RGB เป็นแบบจำลองสี HSV.....	14
2.2.4 การแปลงแบบจำลองสี HSV เป็นแบบจำลองสี RGB.....	14
2.3 การแปลงภาพใน 2 มิติ (2D Image Transformation).....	15
2.3.1 การเลื่อนภาพ (Translation).....	16
2.3.2 การปรับมาตราภาพ (Scaling).....	16



2.3.3 การหมุนภาพ (Rotation).....	17
2.4 การแบ่งด้วยค่าขีดแบ่ง (Threshold).....	18
2.5 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา.....	18
2.6 การลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction).....	18
2.6.1 ตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter).....	18
2.6.2 ตัวกรองมัธยฐาน (Median Filter).....	20
2.7 การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน (Morphological Image Processing).....	21
2.7.1 การขยายขนาด (Dilation).....	21
2.7.2 การกร่อน (Erosion).....	22
2.7.3 การเปิด (Opening).....	23
2.7.4 การปิด (Closing).....	23
2.8 การหาขอบ (Edge Detection).....	24
2.9 การปรับปรุงฮิสโตแกรมให้เสมอภาคกัน (Histogram Equalization).....	25
2.10 คอนเวกซ์ฮัลล์ (Convex Hull).....	26
2.11 การวัดขนาดด้วยการหมุน (Rotating Caliper).....	27
2.12 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3. ขั้นตอนวิธีในการตรวจหาและการจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน.....	32
3.1 ขั้นตอนการเตรียมภาพ.....	32
3.2 ขั้นตอนการตรวจหา.....	34
3.2.1 การตรวจหาจุดภาพด้วยฐานข้อมูลสี่แม่แบบ.....	34
3.2.2 การหารูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุด.....	35
3.2.3 การตัดแยกป้ายจราจรที่ติดกันในแนวตั้ง.....	38
3.3 ขั้นตอนการจำแนก.....	40
3.3.1 การหาขอบของสัญลักษณ์สีดำ.....	40
3.3.2 การเปรียบเทียบขอบของสัญลักษณ์สีดำ.....	41
3.3.3 การจำแนกป้ายเตือนแบบมาตรฐาน รหัส ต.31 ต.32 และ ต.61.....	45
3.3.4 การจำแนกป้ายเตือนแบบมาตรฐานที่มีสี.....	48
4. การทดลองและผลการทดลอง.....	51
4.1 การทดลองหาค่าขีดแบ่งสำหรับขั้นตอนการจำแนก.....	51
4.2 การทดลองขั้นตอนวิธีกับภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจสายทางโดยรถสำรวจ.....	53



4.3 การทดลองขั้นตอนวิธีกับภาพถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพโดยผู้วิจัย.....	63
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	73
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	73
5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	75
5.3 ข้อเสนอแนะและข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	79
ภาคผนวก ก.....	80
ภาคผนวก ข.....	82
ภาคผนวก ค.....	85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	91



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
2.1	ป้ายเตือนมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม.....	8
2.2	การจำแนกชนิดของป้ายจราจรในงานวิจัยของ Carlos Filipe Paulo.....	31
3.1	ตัวอย่างระยะทางระหว่างคู่จุดที่เป็นไปได้ในการจับคู่ขอบนำเข้าและขอบ แม่แบบ.....	42
3.2	คุณสมบัติที่นิยามสำหรับป้ายเตือนรหัส ต.31.....	46
3.3	คุณสมบัติที่นิยามสำหรับป้ายเตือนรหัส ต.32.....	47
3.4	คุณสมบัติที่นิยามสำหรับป้ายเตือนรหัส ต.61.....	48
3.5	คุณสมบัติที่นิยามสำหรับป้ายเตือนรหัส ต.53 ต.54 ต.55 ต.26 ต.27.....	49
4.1	ผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงลบกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่าย โดยรถสำรวจสายทาง โดยแยกวิเคราะห์ผลตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน แต่ละรหัส.....	56
4.2	การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบ.....	59
4.3	ผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงบวกกับภาพถ่ายที่ถ่ายโดยรถสำรวจสาย ทาง.....	60
4.4	การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวก.....	60
4.5	ผลการทดลองกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย โดยแยก วิเคราะห์ผลตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส.....	66
4.6	ผลการทดลองกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย โดยแยกวิเคราะห์ผลตามระยะทางที่ถ่าย.....	72
5.1	สรุปสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบ.....	74
5.2	สรุปสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวก.....	74

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างป้ายจราจรชนิดป้ายบังคับ ได้แก่ (ก) ห้ามเลี้ยวซ้าย (ข) ห้ามจอด (ค) หยุด (ง) สิ้นสุดเขตบังคับ (จ) ให้ชิดซ้าย.....	4
2.2	ตัวอย่างป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน ได้แก่ (ก) ทางโค้งซ้าย (ข) ทางโค้งขวา (ค) ทางตัดทางเอก (ง) วงเวียน (จ) สะพานแคบ.....	5
2.3	รูปที่ 2.3 ตัวอย่างป้ายจราจรชนิดป้ายแนะนำ ได้แก่ (ก) แนะนำล่วงหน้า (ข) บอกจุดหมายปลายทาง (ค) เริ่มต้นทางด่วน (ง) สิ้นสุดช่องเดินรถประจำทาง (จ) โรงพยาบาล.....	5
2.4	ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.1 ถึง ต.60 และ ต.62 ต.75.....	6
2.5	ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.61.....	6
2.6	ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.63 และ ต.66.....	6
2.7	ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.71 ถึง ต.73.....	7
2.8	ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.64 และ ต.67.....	7
2.9	ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.69.....	7
2.10	ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.65 ต.68 และ ต.70.....	7
2.11	ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.74.....	7
2.12	แบบจำลองสี RGB.....	13
2.13	แบบจำลองสี HSV.....	13
2.14	การหมุนจุดภาพ.....	17
2.15	ตัวกรองเกาส์เซียน.....	19
2.16	ตัวกรองเกาส์เซียนขนาด 5x5.....	19
2.17	(ก) ตัวอย่างภาพก่อนผ่านตัวกรองเกาส์เซียน (ข) ตัวอย่างภาพหลังผ่านตัวกรองเกาส์เซียน.....	20
2.18	ตัวกรองมัลติฐาน.....	20
2.19	(ก) ตัวอย่างภาพก่อนผ่านตัวกรองมัลติฐาน (ข) ตัวอย่างภาพหลังผ่านตัวกรองมัลติฐาน.....	21
2.20	(ก) ตัวอย่างสมาชิกโครงสร้าง (ข) ภาพต้นฉบับ.....	21
2.21	ผลลัพธ์ที่ได้จากการขยายขนาด.....	22



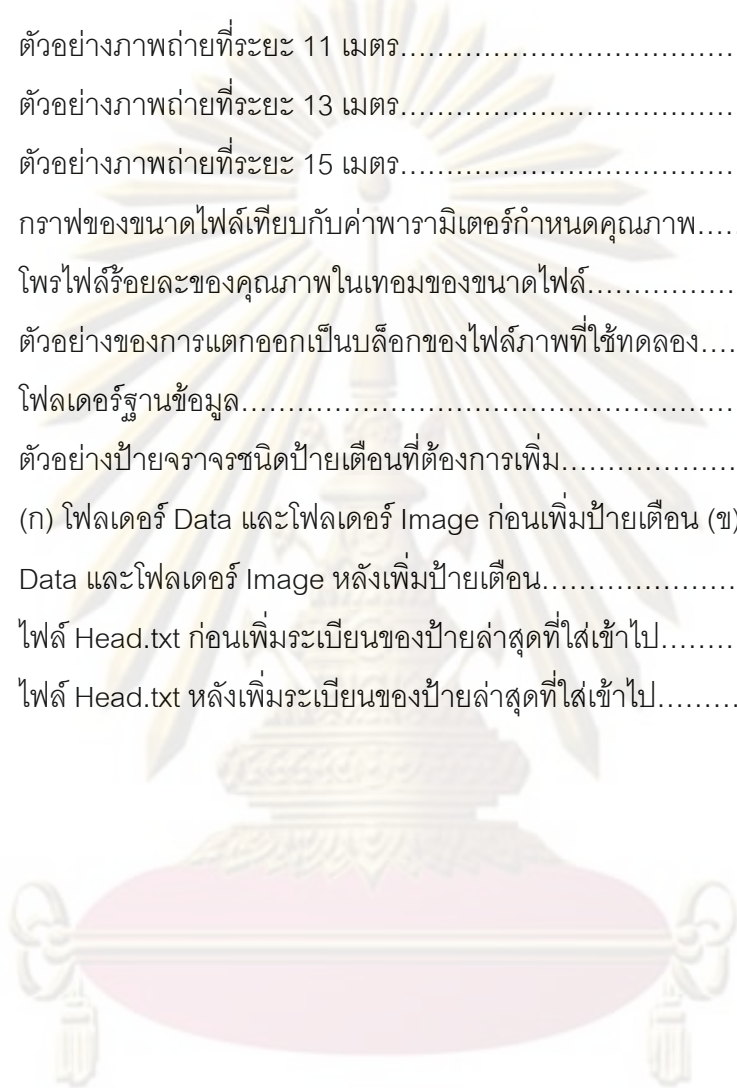
2.22	ผลลัพธ์ที่ได้จากการกร่อน.....	23
2.23	(ก) ตัวอย่างภาพก่อนผ่านตัวกรองลาปลาเซียน (ข) ตัวอย่างภาพหลังผ่านตัวกรองลาปลาเซียน.....	24
2.24	(ก) ตัวอย่างภาพก่อนปรับปรุงฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน (ข) ตัวอย่างภาพหลังปรับปรุงฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน.....	25
2.25	(ก) ตัวอย่างฮิสโทแกรมก่อนปรับปรุงให้เสมอภาคกัน (ข) ตัวอย่างฮิสโทแกรมหลังปรับปรุงให้เสมอภาคกัน.....	25
2.26	รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการหาคอนเวกซ์ฮัล.....	26
2.27	การหาคอนเวกซ์ฮัล.....	26
2.28	รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีวัดขนาดด้วยการหมุน.....	27
2.29	การหาสี่เหลี่ยมปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดโดยขั้นตอนวิธีการวัดขนาดด้วยการหมุน.....	27
2.30	การตรวจหาวงกลมด้วยขั้นตอนวิธี FRS.....	30
2.31	การกำหนดบริเวณที่สนใจเพื่อหาจุดมุม.....	31
3.1	ขั้นตอนการทำงานของระบบ.....	32
3.2	ผังงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ.....	33
3.3	ฐานข้อมูลสี่แม่แบบของป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน.....	34
3.4	(ก) ภาพนำเข้า (ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการกรองภาพนำเข้าด้วยฐานข้อมูลสี่แม่แบบ.....	34
3.5	(ก) ภาพลักษณะฐานสองที่ได้จากการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่ง (ข) ภาพผลลัพธ์ของภาพลักษณะฐานสองเมื่อลดสัญญาณรบกวนแล้ว.....	35
3.6	(ก) ขอบเขตของรูปลี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อม (ข) บริเวณที่สนใจที่ตรวจหาได้ของภาพนำเข้า.....	36
3.7	บริเวณที่สนใจที่จะทำการตัดแยก.....	36
3.8	(ก) บริเวณที่สนใจที่เป็นป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน (ข) บริเวณที่สนใจที่ไม่ใช่ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน.....	36
3.9	(ก) คอนเวกซ์ฮัลของป้ายเตือน (ข) คอนเวกซ์ฮัลของเส้นถนน.....	37
3.10	ตัวอย่างบริเวณที่สนใจ (กรอบสีแดง) และรูปลี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุด (กรอบสีเขียว) ที่ตรวจหาได้จากขั้นตอนวิธี.....	37

3.11	(ก) บ้ายจรรยาสองป้ายติดอยู่บนเสาเดียวกันโดยเรียงตามแนวตั้ง (ข) ภาพลักษณ์ฐานสองที่เตรียมไว้สำหรับหาคอนเวกซ์ฮัลด์ (ค) บริเวณที่สนใจที่ถูกตัดแยกออกเป็นสองส่วน.....	38
3.12	(ก) โพรไฟล์ระยะทางในแนวนอนจากขอบซ้าย (ข) โพรไฟล์ระยะทางในแนวนอนจากขอบขวา.....	39
3.13	โพรไฟล์ระยะทางในมุมมองภาพสเกลสี่เทา (ก) โพรไฟล์ระยะทางจากขอบซ้าย (ข) โพรไฟล์ระยะทางจากขอบขวา.....	39
3.14	เกรเดียนต์ทิศทาง (สีแดง) และทิศทาง (สีเขียว) ที่ยาวที่สุด (ก) ของโพรไฟล์ระยะทางจากขอบซ้าย (ข) ของโพรไฟล์ระยะทางจากขอบขวา.....	39
3.15	(ก) จุดที่ทำการตัดแยกบริเวณที่สนใจออกเป็นสองส่วน (เส้นสีเขียว) (ข) บริเวณส่วนบนที่ตัดแยกออกมา (ค) บริเวณส่วนล่างที่ตัดแยกออกมา.....	39
3.16	มุมที่รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดทำกับขอบล่างสุดของบริเวณที่สนใจ.....	40
3.17	(ก) ภาพนำเข้าที่ถูกหมุนและตัดแยกแล้ว (ข) ภาพสเกลสี่เทาของภาพนำเข้า...	41
3.18	(ก) ภาพสเกลสี่เทาที่ได้จากการปรับฮิสโตแกรมให้เท่ากัน (ข) ภาพลักษณ์ฐานสองที่ได้จากการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่ง .....	41
3.19	(ก) โพรไฟล์สี (ข) โพรไฟล์ขอบ.....	41
3.20	รหัสเทียมสำหรับการหาตารางระยะทาง.....	43
3.21	(ก) รหัสเทียมการหาจุดขอบแม่แบบที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบนำเข้า (ข) รหัสเทียมการหาจุดขอบนำเข้าที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบแม่แบบ.....	43
3.22	ตัวอย่างการจับคู่ที่ไม่สอดคล้อง (ก) การจับคู่ขอบที่ใกล้ที่สุดจากขอบแม่แบบไปหาขอบนำเข้า (ข) การจับคู่ที่ใกล้ที่สุดจากขอบนำเข้าไปหาขอบแม่แบบ.....	45
3.23	ตัวอย่างการจับคู่ที่สอดคล้อง (ก) การจับคู่ขอบที่ใกล้ที่สุดจากขอบแม่แบบไปหาขอบนำเข้า (ข) การจับคู่ที่ใกล้ที่สุดจากขอบนำเข้าไปหาขอบแม่แบบ.....	45
3.24	(ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.31 (ข) ภาพลักษณ์ฐานสองของสัญลักษณ์สีดำที่หาได้ (ค) วัตถุที่ตรงตามตารางคุณสมบัติ (ง) ผลลัพธ์ของการจำแนก.....	46
3.25	(ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.32 (ข) ภาพลักษณ์ฐานสองของสัญลักษณ์สีดำที่หาได้ (ค) วัตถุที่ตรงตามตารางคุณสมบัติ (ง) ผลลัพธ์ของการจำแนก.....	47

3.26	(ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.61 (ข) คอนกรีตเสริมเหล็กที่ปิดล้อมป้าย (ค) วัสดุที่อยู่ภายในคอนกรีตเสริมเหล็ก (ง) ผลลัพธ์ของการจำแนก.....	48
3.27	(ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.53 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัสดุสีแดงที่ตรวจหาได้ (จ) วัสดุสีเขียวที่ตรวจหาได้ (ฉ) ผลลัพธ์ของการจำแนก.....	49
3.28	(ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.54 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัสดุสีแดงที่ตรวจหาได้ (จ) ผลลัพธ์ของการจำแนก.....	50
3.29	(ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.55 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัสดุสีขาวที่ตรวจหาได้ (จ) ผลลัพธ์ของการจำแนก.....	50
3.30	(ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.26 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัสดุสีแดงที่ตรวจหาได้ (จ) ผลลัพธ์ของการจำแนก.....	50
3.31	(ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.27 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัสดุสีแดงที่ตรวจหาได้ (จ) ผลลัพธ์ของการจำแนก.....	50
4.1	ขั้นตอนวิธีการหาค่าขีดแบ่ง สำหรับแต่ละป้ายเตือน.....	51
4.2	ตัวอย่างบริเวณที่สนใจที่มีป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนตามแบบมาตรฐาน.....	51
4.3	ตัวอย่างบริเวณที่สนใจที่ไม่มีป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนตามแบบมาตรฐาน.....	52
4.4	จำนวนบริเวณที่สนใจที่นำมาสอน.....	52
4.5	ค่าขีดแบ่ง ที่ได้จากการสอน.....	52
4.6	การกระจายตัวความกว้างxความสูง ของบริเวณป้ายจราจรที่ตรวจหาได้.....	53
4.7	ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจสายทางโดยรถสำรวจสายทาง.....	54
4.8	ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ.....	55
4.9	ตัวอย่างวัตถุอื่น ๆ ที่เป็นสีเหลือง.....	61
4.10	ตัวอย่างป้ายจราจรสีขีด.....	61
4.11	ตัวอย่างป้ายจราจรที่มีแสงตกลงบนพื้นผิวน้อย.....	61
4.12	ตัวอย่างป้ายจราจรที่เสียรูปแบบบิดเบือน.....	62
4.13	ตัวอย่างป้ายจราจรที่สกปรกหรือเปื้อน.....	62
4.14	ตัวอย่างป้ายจราจรที่ถูกสิ่งกีดขวางบัง.....	62
4.15	ตัวอย่างป้ายจราจรที่มีแสงตกลงบนพื้นผิวมากเกินไป.....	63
4.16	(ก) ตัวป้ายจราจรที่ซ้อนกันในแนวตั้งตั้งแต่ตัดแยกผิวดลาด (ข) ตัวอย่างป้ายจราจรที่มีบางส่วนหลุดจากภาพไป.....	63
4.17	ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 3 เมตร.....	64



4.18	ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 5 เมตร.....	64
4.19	ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 7 เมตร.....	64
4.20	ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 9 เมตร.....	65
4.21	ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 11 เมตร.....	65
4.22	ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 13 เมตร.....	65
4.23	ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 15 เมตร.....	66
ก-1	กราฟของขนาดไฟล์เทียบกับค่าพารามิเตอร์กำหนดคุณภาพ.....	80
ก-2	โพรไฟล์ร้อยละของคุณภาพในทอมของขนาดไฟล์.....	81
ก-3	ตัวอย่างของการแตกออกเป็นบล็อกของไฟล์ภาพที่ใช้ทดลอง.....	81
ข-1	โพลเดอร์ฐานข้อมูล.....	82
ข-2	ตัวอย่างป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ต้องการเพิ่ม.....	82
ข-3	(ก) โพลเดอร์ Data และโพลเดอร์ Image ก่อนเพิ่มป้ายเตือน (ข) โพลเดอร์ Data และโพลเดอร์ Image หลังเพิ่มป้ายเตือน.....	83
ข-4	ไฟล์ Head.txt ก่อนเพิ่มระเบียบของป้ายล่าสุดที่ใส่เข้าไป.....	83
ข-5	ไฟล์ Head.txt หลังเพิ่มระเบียบของป้ายล่าสุดที่ใส่เข้าไป.....	84



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่ช่วยลดอุบัติเหตุบนท้องถนนและช่วยให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะขับขี่ได้อย่างปลอดภัยมากขึ้น ในทุกปีจะมีป้ายจราจรที่ชำรุดเสียหายหรือต้องบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดีเพื่อให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะสามารถสังเกตเห็นได้ชัด โดยจะมีหน่วยงานที่ดูแลเกี่ยวกับทรัพย์สินของทางหลวงทำหน้าที่บำรุงรักษา เช่น กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท เป็นต้น

ในการบำรุงรักษานั้นอาจใช้รถสำรวจบันทึกภาพไปตามท้องถนน จากนั้นบุคลากรจะนำภาพที่บันทึกมาเล่นกลับ (Playback) และประเมินตามอัตวิสัย (Subjective) ของบุคคลนั้นว่าป้ายชำรุดเสียหายหรือถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวางหรือไม่ ทำให้สิ้นเปลืองเวลา ค่าใช้จ่ายและทรัพยากรต่างๆ ปัจจุบันทางหลวงทั่วประเทศมีระยะทางมากกว่า 50,000 กิโลเมตร [1] ดังนั้นหากมีระบบอัตโนมัติช่วยในการสำรวจจะช่วยลดเวลา ค่าใช้จ่าย และสะดวกในการนำไปใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) เพื่อสร้างแผนที่แสดงตำแหน่งของป้ายจราจรและสามารถพิจารณาได้ว่าตำแหน่งที่ควรจะมีป้ายเตือนเพื่อบอกลักษณะทางนั้นมีป้ายเตือนปรากฏอยู่หรือไม่ ในต่างประเทศเริ่มมีการนำงานวิจัยการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) มาช่วยในงานซ่อมบำรุงแล้ว [2]

ในการประมวลผลภาพดิจิทัลแสงและเงาเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ป้ายจราจรที่ปรากฏบนภาพดิจิทัลมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงกันออกไป การตรวจหาป้ายจราจรบนท้องถนนนั้นสภาพแสงและเงาจะไม่คงที่เนื่องจากสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น เมฆ หมอก ควัน เงาของสิ่งก่อสร้างหรือต้นไม้ หรือแม้กระทั่งช่วงเวลาของวัน ล้วนแต่เป็นปัญหาที่ทำให้การตรวจหาและจำแนกป้ายจราจร นอกจากนี้วัตถุกีดขวางหรือสิ่งเปื้อนที่ไม่สามารถคาดเดาได้ การเปลี่ยนแปลงลักษณะ (Deformation) เนื่องจากเวลาการใช้งานที่ผ่านไปของป้ายจราจร เช่น บิดเบี้ยว หมุน เป็นต้น การขาดคุณภาพของภาพดิจิทัลเนื่องจากการบีบอัด (Compression) หรือแม้กระทั่งมุมที่กล้องสำรวจทำกับพื้นผิวของป้ายจราจร ล้วนแต่มีนัยสำคัญต่อผลของการตรวจหาและจำแนกป้ายจราจรด้วย รวมทั้งป้ายอื่นๆที่ไม่ใช่ป้ายจราจร เช่น ป้ายโฆษณา ป้ายงานวัด ป้ายประกาศต่างๆ ก็เป็นสิ่งที่เพิ่มความยุ่งยากให้แก่การตรวจหาและการจำแนกด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาขั้นตอนวิธีการตรวจหา (Detection) และจำแนก (Classification) ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนด้วยวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล เมื่อได้ผลลัพธ์ของการตรวจหามาแล้วหน่วยงานที่เกี่ยวข้องก็จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบภาพเครื่องหมายจราจรหรือป้ายจราจร หรือใช้ประกอบการกำหนดงบประมาณซ่อมบำรุงได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีในการตรวจหาและจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน โดยใช้การประมวลผลภาพภาพดิจิทัล

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้ภาพจากแฟ้มข้อมูลการสำรวจสายทางที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีอยู่ โดยเป็นไฟล์ภาพสกุล JPEG ขนาดกว้างยาว 1,280x960 พิกเซล
2. ภาพที่ใช้เป็นภาพถ่ายในเวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น. ของแฟ้มข้อมูลข้างต้น และเป็นภาพถ่ายที่มีแสงสว่างเพียงพอ และถ่ายในสภาพอากาศที่ไม่มีเมฆ หมอก หรือ ฝน
3. ภาพที่ใช้ต้องเป็นภาพที่มีป้ายเตือนปรากฏเต็มป้าย
4. งานวิจัยนี้จะตรวจหาและจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแบบมาตรฐาน [1] ที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม ยกเว้นป้ายเตือนเสริมที่มีเฉพาะคำหรือข้อความ งานวิจัยนี้จะตรวจหาเป็นเพียงบริเวณที่มีสีดำเป็นพื้นหน้าและมีสีเหลืองเป็นพื้นหลังเท่านั้น
5. วัตถุประสงค์เกี่ยวกับการดูด้วยตา

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ขั้นตอนวิธีในการตรวจหาและจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแบบมาตรฐาน [1] ที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน
2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและวิเคราะห์ปัญหาของการสำรวจป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน



3. ศึกษาความรู้เบื้องต้นและเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพดิจิทัล
4. ทดลองนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย
5. ออกแบบขั้นตอนวิธีการในการตรวจหาและจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน
6. ทดลองขั้นตอนวิธีที่ออกแบบ
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง
8. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง
9. จัดทำรายงาน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับป้ายจราจร [1]

##### 2.1.1 ประเภทป้ายจราจร

ป้ายจราจรแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

1) **ป้ายบังคับ** ใช้เพื่อสั่งให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะทราบถึง การบังคับ การห้ามหรือข้อจำกัด บางประการและคำสั่งให้ปฏิบัติ ทั้งนี้จะใช้ร่วมกับการบังคับตามพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก และกฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2) **ป้ายเตือน** ใช้เพื่อสั่งให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะระมัดระวังอันตรายหรือทราบล่วงหน้าถึง สภาพทางหรือสภาวะอย่างอื่นที่เกิดขึ้นบนสายทางอันอาจเกิดอันตรายหรืออุบัติเหตุ

3) **ป้ายแนะนำ** ใช้เพื่อแนะนำให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะถึงทิศทางของการเดินทางไปสู่ จุดหมายปลายทาง หรือข้อมูลข่าวสารที่สำคัญในการเดินทางรวมทั้งสถานที่และบริเวณต่างๆ ที่ตั้ง อยู่ตามเส้นทางที่ตัดผ่าน เพื่อให้เดินทางไปสู่จุดหมายปลายทางได้สะดวกและถูกต้อง

##### 2.1.2 ลักษณะป้ายจราจร

**ป้ายบังคับ** โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นป้ายวงกลมและใช้สีขาวเป็นพื้น เส้นขอบป้าย เส้นขีดเฉียง (ถ้ามี) ใช้สีแดง เครื่องหมายสัญลักษณ์ ตัวเลขและตัวอักษรบนป้ายใช้สีดำดังรูปที่ 2.1 โดย อาจจะมีสีหรือรูปร่างอื่นตามที่กำหนดเฉพาะป้าย เช่น

- ป้ายห้ามจอด : พื้นป้ายสีน้ำเงิน เส้นขอบป้ายและเส้นขีดกลางใช้สีแดง
- ป้ายหยุด : พื้นป้ายสีแดง เส้นขอบป้ายและตัวอักษรใช้สีขาว
- ป้ายสุดเขตบังคับ : พื้นป้ายสีขาว เส้นขอบป้ายและเส้นขีดกลางสีดำ
- ป้ายคำสั่งให้ปฏิบัติ : พื้นป้ายสีน้ำเงินและขอบนอก เส้นขอบในและสัญลักษณ์สีขาว



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างป้ายจราจรชนิดป้ายบังคับ [1] ได้แก่ (ก) ห้ามเลี้ยวซ้าย (ข) ห้ามจอด (ค) หยุด

(ง) สิ้นสุดเขตบังคับ (จ) ให้ชิดซ้าย

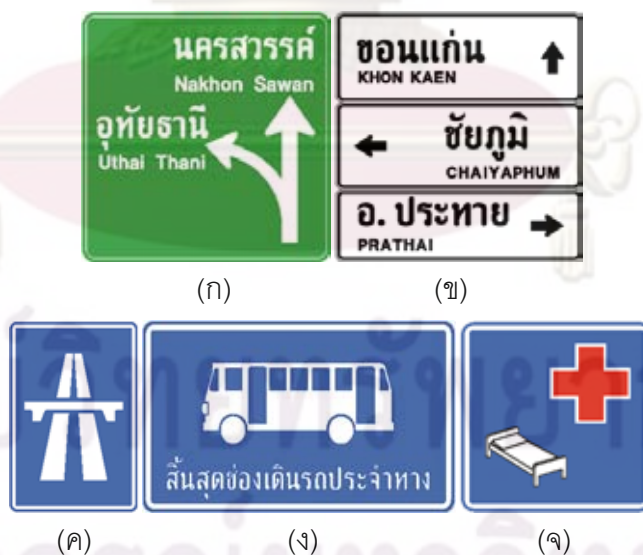
**ป้ายเตือน** โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นป้ายสี่เหลี่ยมจัตุรัสตั้งมุมขึ้นหรือเป็นป้ายสี่เหลี่ยม ใช้สีเหลืองเป็นพื้น เส้นขอบป้าย เครื่องหมายสัญลักษณ์ตัวเลขและตัวอักษรบนป้ายใช้สีดำ ดังรูปที่ 2.2 โดยอาจจะมีสีหรือรูปร่างอื่นตามที่กำหนดเฉพาะป้าย



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน [1] ได้แก่ (ก) ทางโค้งซ้าย (ข) ทางโค้งขวา (ค) ทางโทตัดทางเอก (ง) วงเวียน (จ) สะพานแคบ

**ป้ายแนะนำ** ป้ายแนะนำทั่วไปมีลักษณะเป็นป้ายสี่เหลี่ยม ใช้สีเขียว เขียว และน้ำเงินเป็นพื้น ดังรูปที่ 2.3 โดยอาจจะมีสีหรือรูปร่างอื่นตามที่กำหนดเฉพาะป้าย เช่น

- พื้นป้ายสีเขียว เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย ตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์ใช้สีดำ
- พื้นป้ายสีเขียว เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย ตัวอักษรและ สัญลักษณ์ใช้สีขาว
- พื้นป้ายสีน้ำเงิน เส้นขอบป้าย เครื่องหมาย ตัวเลข และตัวอักษรใช้สีขาว

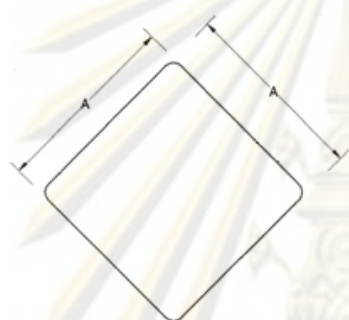


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างป้ายจราจรชนิดป้ายแนะนำ [1] ได้แก่ (ก) แนะนำล่วงหน้า (ข) บอกจุดหมายปลายทาง (ค) เริ่มต้นทางด่วน (ง) สิ้นสุดช่องเดินรถประจำทาง (จ) โรงพยาบาล



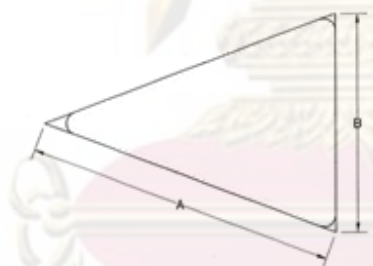
### 2.1.3 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน

ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนตามมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคมจะประกอบด้วยสองสีหลักคือ สีเหลืองซึ่งเป็นสีพื้นหลัง และสีดำซึ่งเป็นสีของสัญลักษณ์ โดยอาจจะมีสีแดง สีเขียว สีขาว ในเฉพาะบางป้ายที่กำหนดเช่น ป้ายเตือนสัญญาณจราจร (ต.53) ป้ายเตือนให้ทางข้างหน้า (ต.55) เป็นต้น ซึ่งป้ายเตือนแบบมาตรฐาน [1] ที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม มีทั้งหมด 75 ป้ายดังตารางที่ 2.1 และมีขนาดมิติกว้างยาว [3] ดังรูปที่ 2.4 ถึงรูปที่ 2.11



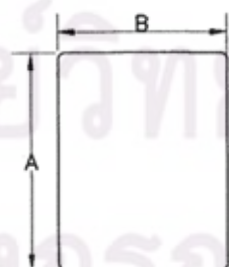
มิติเป็นเซนติเมตร	
A	A
60	60

รูปที่ 2.4 ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.1 ถึง ต.60 และ ต.62 ต.75 [3]



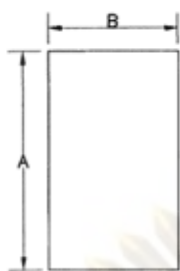
มิติเป็นเซนติเมตร	
A	B
100	75

รูปที่ 2.5 ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.61 [3]



มิติเป็นเซนติเมตร	
A	B
75	60

รูปที่ 2.6 ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.63 และ ต.66 [3]



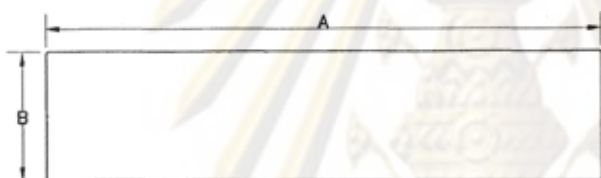
มิติเป็นเซนติเมตร	
A	B
75	45

รูปที่ 2.7 ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.71 ถึง ต.73 [3]



มิติเป็นเซนติเมตร	
A	B
100	40

รูปที่ 2.8 ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.64 และ ต.67 [3]



มิติเป็นเซนติเมตร	
A	B
155	40

รูปที่ 2.9 ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.69 [3]



มิติเป็นเซนติเมตร	
A	B
120	60

รูปที่ 2.10 ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.65 ต.68 และ ต.70 [3]



มิติเป็นเซนติเมตร	
A	B
80	60

รูปที่ 2.11 ขนาดมิติกว้างยาวของป้ายเตือนรหัส ต.74 [3]

ตารางที่ 2.1 ป้ายเตือนมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม [1]

รูป	ชื่อเครื่องหมาย	รหัส
	ทางโค้งซ้าย	ต.1
	ทางโค้งขวา	ต.2
	ทางโค้งรัศมีแคบเลี้ยวซ้าย	ต.3
	ทางโค้งรัศมีแคบเลี้ยวขวา	ต.4
	ทางโค้งกลับเริ่มซ้าย	ต.5
	ทางโค้งกลับเริ่มขวา	ต.6
	ทางโค้งกลับรัศมีแคบเริ่มซ้าย	ต.7
	ทางโค้งกลับรัศมีแคบเริ่มขวา	ต.8
	ทางคดเคี้ยวเริ่มซ้าย	ต.9
	ทางคดเคี้ยวเริ่มขวา	ต.10
	ทางโทตัดทางเอก	ต.11
	ทางแยกรูปตัววาย	ต.12
	ทางโทแยกทางเอกทางซ้าย	ต.13
	ทางโทแยกทางเอกทางขวา	ต.14
	ทางโทแยกทางเอกเยื้องกันเริ่มซ้าย	ต.15

ตารางที่ 2.1 ป้ายเตือนมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม (ต่อ)
















รูป	ชื่อเครื่องหมาย	รหัส
	ทางโทแยกทางเอกเฉียงกันเริ่มขวา	ต.16
	ทางโทเชื่อมทางเอกจากซ้าย	ต.17
	ทางโทเชื่อมทางเอกจากขวา	ต.18
	ทางโทแยกทางเอกทางซ้ายรูปตัววาย	ต.19
	ทางโทแยกทางเอกทางขวารูปตัววาย	ต.20
	วงเวียน	ต.21
	ทางแคบทั้งสองด้าน	ต.22
	ทางแคบด้านซ้าย	ต.23
	ทางแคบด้านขวา	ต.24
	สะพานแคบ	ต.25
	ช่องจราจรปิดทางซ้าย	ต.26
	ช่องจราจรปิดทางขวา	ต.27
	ทางข้ามรถไฟไม่มีเครื่องกั้นทาง	ต.28
	ทางข้ามรถไฟมีเครื่องกั้นทาง	ต.29
	ทางข้ามรถไฟติดทางแยก	ต.30
	ทางแคบ	ต.31














ตารางที่ 2.1 ป้ายเตือนมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม (ต่อ)

รูป	ชื่อเครื่องหมาย	รหัส
	ทางลอดต่ำ	ต.32
	ทางขึ้นลาดชัน	ต.33
	ทางลงลาดชัน	ต.34
	เตือนรถกระโดด	ต.35
	ผิวทางขรุขระ	ต.36
	ทางเป็นแอ่ง	ต.37
	ทางลื่น	ต.38
	ผิวทางร่วน	ต.39
	ระวางหินร่วง	ต.40
	สะพานเปิดได้	ต.41
	ให้เปลี่ยนช่องทางจราจรทางซ้าย	ต.42
	ให้เปลี่ยนช่องทางจราจรทางขวา	ต.43
	ออกทางขนาน	ต.44
	เข้าทางหลัก	ต.45
	ทางร่วมจากซ้าย	ต.46

ตารางที่ 2.1 ป้ายเตือนมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม (ต่อ)

รูป	ชื่อเครื่องหมาย	รหัส
	ทางร่วมจากขวา	ต.47
	ทางคู่ข้างหน้า	ต.48
	จุดกลับรถทางขวา	ต.50
	จุดกลับรถทางซ้าย	ต.51
	ทางเดินรถสองทาง	ต.52
	สัญญาณจราจร	ต.53
	หยุดข้างหน้า	ต.54
	ให้ทางข้างหน้า	ต.55
	ระวังคนข้ามถนน	ต.56
	โรงเรียนระวังเด็ก	ต.57
	ระวังสัตว์	ต.58
	ระวังเครื่องบินต่ำ	ต.59
	ระวังอันตราย	ต.60
	เขตห้ามแซง	ต.61
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.62
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.63

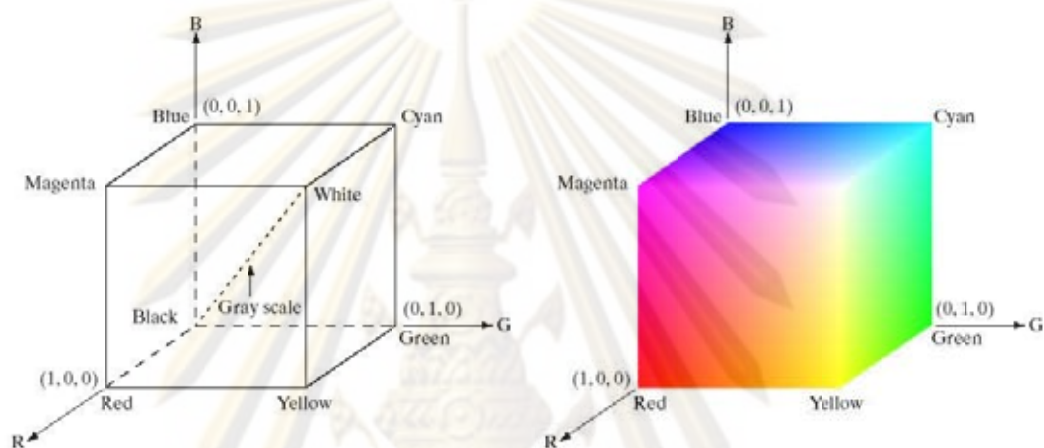
ตารางที่ 2.1 ป้ายเตือนมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมทางหลวงกระทรวงคมนาคม (ต่อ)

รูป	ชื่อเครื่องหมาย	รหัส
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.64
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.65
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.66
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.67
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.68
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.69
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.70
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.71
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.72
	เตือนแนวทางต่างๆ	ต.73
	สลัดกันไป	ต.74
	ทางโทเชื่อมทางเอกข้างหน้า	ต.75

## 2.2 แบบจำลองสี

### 2.2.1 แบบจำลองสี RGB

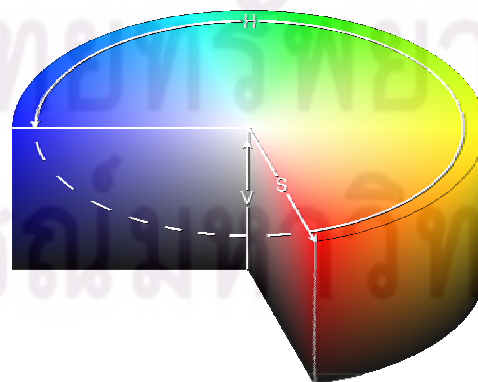
แบบจำลองสี RGB [4] จะแทนสีแต่ละสีด้วยสามแม่สีหลักคือ แดง เขียว น้ำเงิน โดยแบบจำลองสี RGB จะมีลักษณะเป็นลูกบาศก์ดังรูปที่ 2.12 แบบจำลองสี RGB นั้นไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้ในงานที่ต้องวิเคราะห์ภาพสีที่มีการยุ่งเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสง เนื่องจากค่าความเข้มของแสงนั้นขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลักทั้งสามตัวของแบบจำลองสี



รูปที่ 2.12 แบบจำลองสี RGB [4]

### 2.2.2 แบบจำลองสี HSV

แบบจำลองสี HSV [4] จะแทนสีแต่ละสีด้วย ค่าสี (Hue) ความอิ่มตัวของสี (Saturation) ความเข้มของสี (Value of Intensity) แบบจำลองสี HSV จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกดังรูปที่ 2.13 แบบจำลองสี HSV เป็นแบบจำลองหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับนำมาวิเคราะห์ภาพสีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง เนื่องจากเมื่อความเข้มสีเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงนี้จะไม่ส่งผลต่อค่าสี



รูปที่ 2.13 แบบจำลองสี HSV [5]



### 2.2.3 การแปลงแบบจำลองสี RGB เป็นแบบจำลองสี HSV

ค่าสีในแบบจำลองสี RGB สามารถเปลี่ยนเป็นค่าสีในแบบจำลองสี HSV [4] ได้โดยสามารถหาค่าสีได้จากสมการ 2.1 ค่าความเข้มตัวได้จากสมการ 2.2 และ ค่าความเข้มของสีได้จากสมการ 2.3

$$h = \begin{cases} 0^\circ & ;max = min \\ \left( 60^\circ \times \frac{g-b}{max-min} + 0^\circ \right) \bmod 360^\circ & ;max = r \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{max-min} + 120^\circ & ;max = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{max-min} + 240^\circ & ;max = b \end{cases} \quad (2.1)$$

$$s = \begin{cases} 0 & ;max = 0 \\ 1 - \frac{min}{max} & ;otherwise \end{cases} \quad (2.2)$$

$$v = max \quad (2.3)$$

โดยที่  $r, g, b$  คือ ค่าสีแดง ค่าของสีเขียว และค่าของสีน้ำเงินตามลำดับ

$max = \max(r, g, b)$  คือ ค่าสูงสุดระหว่างค่าสีแดง ค่าสีเขียว หรือค่าสีน้ำเงิน

$min = \min(r, g, b)$  คือ ค่าต่ำสุดระหว่างค่าสีแดง ค่าสีเขียว หรือค่าสีน้ำเงิน

### 2.2.4 การแปลงแบบจำลองสี HSV เป็นแบบจำลองสี RGB

ค่าสีในแบบจำลองสี HSV สามารถเปลี่ยนเป็นค่าสีในแบบจำลองสี RGB [4] ได้ดังสมการ 2.4

$$(r, g, b) = \begin{cases} (v, t, p) & ;h_i = 0 \\ (q, v, p) & ;h_i = 1 \\ (p, v, t) & ;h_i = 2 \\ (p, q, v) & ;h_i = 3 \\ (t, p, v) & ;h_i = 4 \\ (v, p, q) & ;h_i = 5 \end{cases} \quad (2.9)$$

โดยเราสามารถหา  $h_i$  ได้จากสมการ 2.5 สามารถหา  $p$  ได้จากสมการ 2.6 สามารถหา  $q$  ได้จากสมการ 2.7 สามารถหา  $t$  ได้จาก สมการ 2.8 โดยที่  $f$  ในสมการ 2.7 และ 2.8 มีค่าดังสมการ 2.9

$$h_i = \left\lfloor \frac{h}{60} \right\rfloor \bmod 6 \quad (2.5)$$

$$p = v \times (1 - s) \quad (2.6)$$

$$q = v \times (1 - f \times s) \quad (2.7)$$

$$t = v \times (1 - (1 - f) \times s) \quad (2.8)$$

$$f = \frac{h}{60} - \left\lfloor \frac{h}{60} \right\rfloor \quad (2.9)$$

โดยที่  $h, s, v$  คือ ค่าสี ค่าความอิ่มตัวของสี และค่าความเข้มของสี ตามลำดับ

### 2.3 การแปลงภาพใน 2 มิติ (2D Image Transformation) [6]

ภาพดิจิทัล (Digital Image) จะประกอบด้วยจุดภาพ (Pixel) ที่เรียงกันในระนาบ 2 มิติ ดังนั้นจึงสามารถกำหนดตำแหน่งของจุดสีต่างๆในรูปภาพได้โดยใช้ระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinate) โดยมีแกน  $x$  เป็นแกนทางแนวนอน และมีแกน  $y$  เป็นแกนทางแนวตั้ง โดยที่  $x$  และ  $y$  เป็นจำนวนเต็ม สามารถเขียนตำแหน่งจุดภาพต่างๆในรูปภาพได้โดยใช้เมทริกซ์ดังนี้

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

โดยที่  $P$  เป็นจุดใดๆในภาพ

$x$  เป็นค่าพิกัดตามแกนแนวนอน

$y$  เป็นค่าพิกัดตามแกนตั้ง

### 2.3.1 การเลื่อนภาพ (Translation)

เมื่อกำหนดให้  $P$  คือจุดพิกัดเดิม  $P'$  คือจุดพิกัดใหม่ และ  $T$  คือเมทริกซ์การเลื่อน (Translation Matrix) สามารถเขียนสมการของการเลื่อนภาพให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังสมการ 2.11 และ 2.12

$$P' = P + T \quad (2.11)$$

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

โดยที่  $x, y$  คือจุดพิกัดเดิมตามแกน  $x$  และแกน  $y$  ตามลำดับ  
 $x', y'$  คือจุดพิกัดใหม่ตามแกน  $x$  และแกน  $y$  ตามลำดับ  
 $T_x$  คือการกระจัดตามแกน  $x$   
 $T_y$  คือการกระจัดตามแกน  $y$

### 2.3.2 การปรับขนาดภาพ (Scaling)

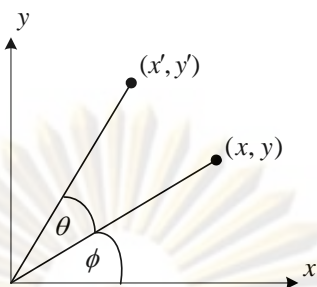
เมื่อกำหนดให้  $P$  คือจุดพิกัดเดิม  $P'$  คือจุดพิกัดใหม่ และ  $S$  คือเมทริกซ์การปรับขนาด (Scaling Matrix) สามารถเขียนสมการของการปรับขนาดภาพให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังสมการ 2.13 และ 2.14

$$P' = S \cdot P \quad (2.13)$$

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

โดยที่  $x, y$  คือจุดพิกัดเดิมตามแกน  $x$  และแกน  $y$  ตามลำดับ  
 $x', y'$  คือจุดพิกัดใหม่ตามแกน  $x$  และแกน  $y$  ตามลำดับ  
 $S_x$  คืออัตราส่วนการปรับขนาดตามแกน  $x$   
 $S_y$  คืออัตราส่วนการปรับขนาดตามแกน  $y$

### 2.3.3 การหมุนภาพ (Rotation)



รูปที่ 2.14 การหมุนจุดภาพ

จากรูปที่ 2.14 จะได้ว่า

$$x = r \cos \phi \quad (2.15)$$

$$y = r \sin \phi \quad (2.16)$$

$$x' = r \cos(\phi + \theta) = r(\cos \phi \cos \theta - \sin \phi \sin \theta) \quad (2.17)$$

$$y' = r \sin(\phi + \theta) = r(\sin \phi \cos \theta + \cos \phi \sin \theta) \quad (2.18)$$

จากสมการ 2.15 2.16 2.17 และ 2.18 จะได้ว่า

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta \quad (2.19)$$

$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta \quad (2.20)$$

เมื่อกำหนดให้  $P$  คือจุดพิกัดเดิม  $P'$  คือจุดพิกัดใหม่ และ  $R$  คือเมทริกซ์การหมุน (Rotation Matrix) สามารถเขียนสมการของการปรับมาตราภาพให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ ได้ดังสมการ 2.21 และ 2.22

$$P' = R \cdot P \quad (2.21)$$

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.22)$$



## 2.4 การแบ่งด้วยค่าขีดแบ่ง (Threshold)

การแบ่งด้วยค่าขีดแบ่ง [4] เป็นวิธีการแปลงภาพให้เป็นภาพลักษณะพื้นฐานสอง (Binary Image) การหาค่าขีดแบ่งนิยมใช้ในการตัดแยก (Segment) บริเวณที่สนใจ (Region of Interest) ออกจากพื้นหลัง (Background) การหาค่าขีดแบ่งทำโดยเลือกค่าขีดแบ่ง  $T$  ที่สามารถแบ่งบริเวณที่สนใจกับพื้นหลังออกจากกันได้ จากนั้นกำหนดให้จุดภาพ  $(x, y)$  ที่มีค่าระดับความเข้ม (Intensity)  $f(x, y) > T$  เป็นจุดภาพของส่วนบริเวณที่สนใจ ส่วนจุดอื่นที่เหลือเป็นจุดภาพพื้นหลัง ดังสมการ 2.23

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & ; f(x, y) > T \\ 0 & ; f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2.23)$$

โดยจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 คือ จุดภาพที่เป็นส่วนวัตถุที่สนใจ ขณะที่จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 คือ จุดภาพที่เป็นพื้นหลัง

## 2.5 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา

ภาพระดับเทา (Gray Scale Image) [4] คือภาพที่แสดงถึงความเข้มของแสง (Intensity) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทานี้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.24

$$F(x, y) = 0.299 f_r(x, y) + 0.587 f_g(x, y) + 0.114 f_b(x, y) \quad (2.24)$$

โดยที่  $F(x, y)$  คือค่าระดับเทาที่ได้จากการคำนวณในจุดภาพพิกัด  $(x, y)$

$f_r(x, y)$  คือค่าสีแดง (Red) ในจุดภาพพิกัด  $(x, y)$

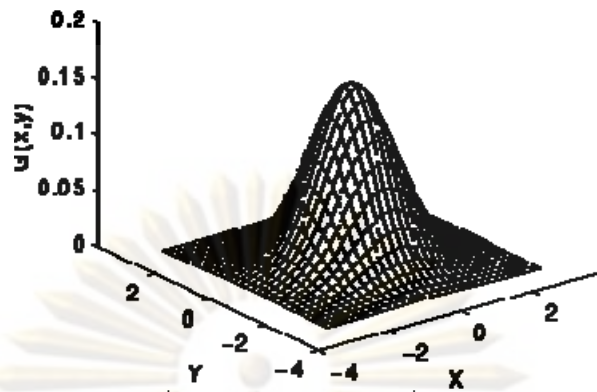
$f_g(x, y)$  คือค่าสีเขียว (Green) ในจุดภาพพิกัด  $(x, y)$

$f_b(x, y)$  คือค่าสีน้ำเงิน (Blue) ในจุดภาพพิกัด  $(x, y)$

## 2.6 การลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)

### 2.6.1 ตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter)

ตัวกรองเกาส์เซียน [4] เป็นตัวกรองที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ดังรูปที่ 2.15 ตัวกรองเกาส์เซียนเป็นตัวกรองชนิดกรองความถี่ต่ำ (Low-pass Filter) ใช้สำหรับลดสัญญาณรบกวน (Noise) หรือปรับภาพให้ราบเรียบ (Smoothing) โดยการนำ ตัวกรองเกาส์เซียน ไปทำการสังวัตนาการ (Convolution) กับภาพที่นำมาประมวลผล



รูปที่ 2.15 ตัวกรองเกาส์เซียน [7]

ตัวกรองเกาส์เซียนสามารถเขียนได้ดังสมการ 2.25

$$G(x, y) = \frac{1}{k} e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{\sigma^2}} \quad (2.25)$$

โดยที่  $\sigma$  คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

$$k = 2\pi\sigma^2$$

ตัวอย่างตัวกรองเกาส์เซียนขนาด  $5 \times 5$  และมี  $\sigma = 1.0$  ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งภาพตัวอย่างที่ถูกรองด้วยตัวกรองเกาส์เซียนนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17

1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1

รูปที่ 2.16 ตัวกรองเกาส์เซียนขนาด  $5 \times 5$  [7]



(ก)

(ข)

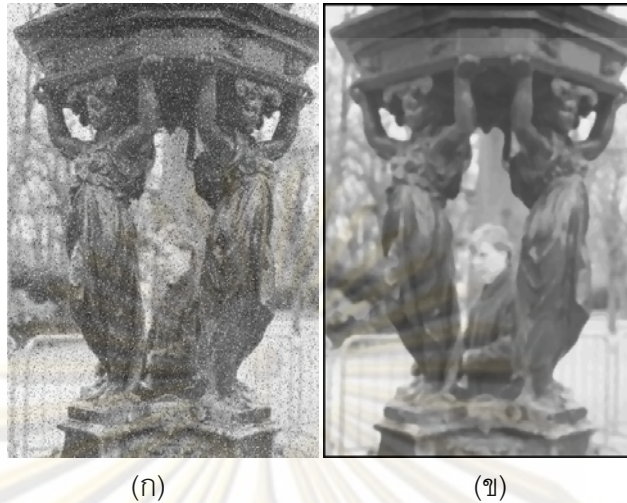
รูปที่ 2.17 (ก) ตัวอย่างภาพก่อนผ่านตัวกรองเกาส์เซียน [7] (ข) ตัวอย่างภาพหลังผ่านตัวกรองเกาส์เซียน [7]

### 2.6.2 ตัวกรองมัธยฐาน (Median Filter)

ตัวกรองมัธยฐาน [4] เป็นตัวกรองชนิดกรองความถี่ต่ำ (Low-pass Filter) และเหมาะที่จะใช้สำหรับลดสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นจุดขนาดเล็กที่กระจายอยู่ในภาพ โดยตัวกรองมัธยฐานจะพิจารณาจุดภาพปัจจุบันและจุดภาพเพื่อนบ้าน โดยการนำค่าของจุดภาพปัจจุบันและจุดภาพเพื่อนบ้านมาเรียงลำดับจากมากไปน้อยเพื่อหาค่ามัธยฐาน ดังรูปที่ 2.18 และจะแทนจุดภาพปัจจุบันด้วยค่ามัธยฐานนี้ ซึ่งภาพตัวอย่างที่ถูกกรองด้วยตัวกรองมัธยฐาน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.19

123	125	126	130	140	Neighbourhood Values : 115, 119, 120, 123, 124, 125, 126, 127, 150 Median Vaule : 124
122	124	126	127	135	
118	120	150	125	134	
119	115	119	123	133	
111	116	110	120	130	

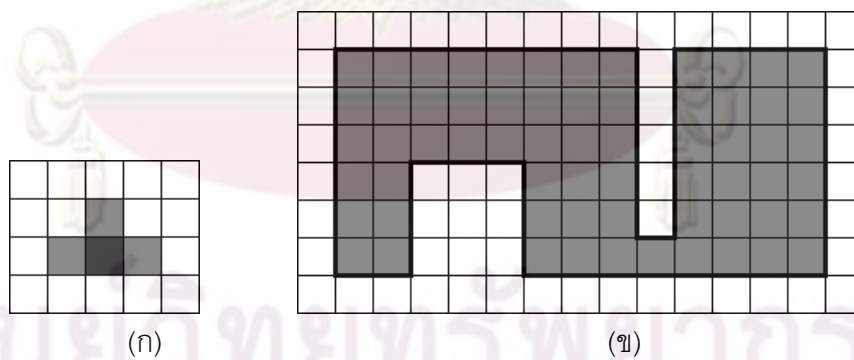
รูปที่ 2.18 ตัวกรองมัธยฐาน [8]



รูปที่ 2.19 (ก) ตัวอย่างภาพก่อนผ่านตัวกรองมัลติฐาน [8] (ข) ตัวอย่างภาพหลังผ่านตัวกรองมัลติฐาน [8]

## 2.7 การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน (Morphological Image Processing)

การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน [4] จะใช้ทฤษฎีของเซต (Set Theory) ซึ่งใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ในการประมวลผล การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานจะต้องมีสมาชิกโครงสร้าง (Structure Element) และภาพต้นฉบับ โดยตัวอย่างสมาชิกโครงสร้างเช่นรูปที่ 2.12 (ก) ตัวอย่างภาพต้นฉบับเช่นรูปที่ 2.12 (ข)



รูปที่ 2.20 (ก) ตัวอย่างสมาชิกโครงสร้าง (ข) ภาพต้นฉบับ

### 2.7.1 การขยายขนาด (Dilation)

การขยายขนาดเป็นตัวดำเนินการของการประมวลผลภาพเชิงสัณฐานซึ่งใช้ในการเชื่อมวัตถุสองวัตถุที่อยู่ใกล้กันหรือขาดออกจากกัน การขยายขนาดสามารถแสดงได้ดังสมการ 2.26



$$A \oplus B = \{x : \hat{B}_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (2.26)$$

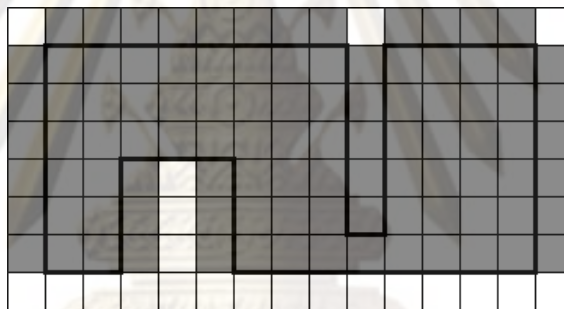
โดยที่  $A$  คือภาพต้นฉบับ

$B$  คือสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพต้นฉบับ

$\hat{B}$  คือสมาชิกโครงสร้างที่มีค่าตรงข้ามกับ  $B$

$x$  คือตำแหน่งที่ใช้ในการเลื่อนสมาชิกโครงสร้าง

ในการขยายขนาดจะทำโดยการเลื่อน (Translation) สมาชิกโครงสร้างไปบนภาพโดยใช้จุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างเป็นจุดหลักแล้วดำเนินการขยายขนาดตามสมการที่ 2.26 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ของภาพต้นฉบับในรูป เมื่อดำเนินการขยายขนาดด้วยสมาชิกโครงสร้างในรูปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ผลลัพธ์ที่ได้จากการขยายขนาด

### 2.7.2 การกร่อน (Erosion)

การกร่อนเป็นตัวดำเนินการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณซึ่งใช้ในลดขนาดของวัตถุให้เล็กลงหรือใช้ในการลดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็กน้อยในภาพ การกร่อนสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.2

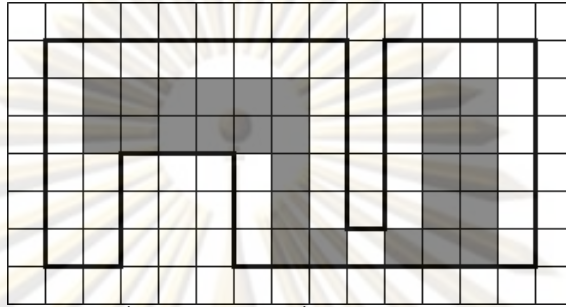
$$A \ominus B = \{x : B_x \subseteq A\} \quad (2.27)$$

โดยที่  $A$  คือภาพต้นฉบับ

$B$  คือสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพต้นฉบับ

$x$  คือตำแหน่งที่ใช้ในการเลื่อนสมาชิกโครงสร้าง

ในการกร่อนจะทำโดยการเลื่อนสมาชิกโครงสร้างไปบนภาพโดยใช้จุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างเป็นจุดหลักแล้วดำเนินการกร่อนตามสมการที่ 2.27 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ของภาพต้นฉบับในรูป เมื่อดำเนินการกร่อนด้วยสมาชิกโครงสร้างในรูป สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกร่อน

### 2.7.3 การเปิด (Opening)

การเปิดเป็นการนำตัวดำเนินการพื้นฐานทางการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณมารวมกัน ซึ่งใช้ในการปรับเรียบขอบที่มีลักษณะเป็นเนิน การเปิดสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.28

$$A \bullet B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2.28)$$

โดยที่  $A$  เป็นภาพต้นฉบับ

$B$  เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ

### 2.7.4 การปิด (Closing)

การปิดเป็นการนำตัวดำเนินการพื้นฐานทางการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณมารวมกัน ซึ่งใช้ในการปรับเรียบขอบที่มีลักษณะเป็นหลุม การปิดสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.29

$$A \circ B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.29)$$

โดยที่  $A$  เป็นภาพต้นฉบับ

$B$  เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ

## 2.8 การหาขอบ (Edge Detection)

ขอบภาพเกิดจากความแตกต่างกันระหว่างความเข้มของจุดภาพจุดหนึ่งกับอีกจุดหนึ่ง หากความแตกต่างนี้มีค่ามากขอบภาพก็จะเห็นได้ชัด ในทางตรงกันข้ามหากมีความแตกต่างน้อย ขอบภาพก็จะไม่ชัดเจน วิธีการหนึ่งในการหาขอบภาพที่นิยมใช้กันคือการหาขอบภาพด้วยตัวกรอง ลaplacian [4] ซึ่งเป็นตัวกรองชนิดกรองความถี่สูง (High-pass Filter) โดย Laplacian  $\nabla^2 f$  ของจุดภาพ  $f(x, y)$  สามารถเขียนได้ดังสมการ 2.30

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2.30)$$

โดยที่ 
$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y) \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y) \quad (2.32)$$

ดังนั้นจากสมการ 2.30 2.31 และ 2.32 จะได้ว่า

$$\nabla^2 f = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \quad (2.33)$$

โดยสามารถเขียน  $\nabla^2 f$  และ  $-\nabla^2 f$  ให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังสมการ 2.34 ซึ่ง ภาพตัวอย่างที่ถูกกรองด้วยตัวกรอง Laplacian สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.23

$$\nabla^2 f = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad -\nabla^2 f = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.23 (ก) ตัวอย่างภาพก่อนผ่านตัวกรอง Laplacian [9] (ข) ตัวอย่างภาพหลังผ่านตัวกรอง Laplacian [9]

## 2.9 การปรับปรุงฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน (Histogram Equalization)

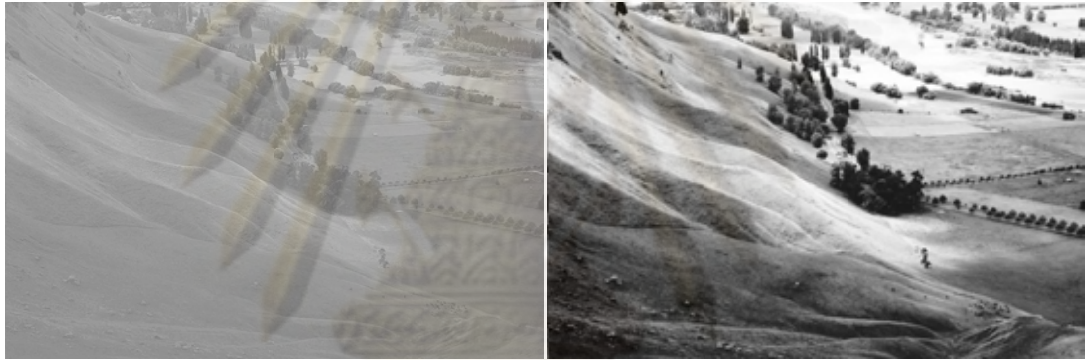
การปรับปรุงฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน [4] สามารถทำได้โดยการสร้างฟังก์ชันการแปลง (Transformation Function) ขึ้นดังสมการ 2.35 ตัวอย่างภาพก่อนปรับปรุงฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน ดังรูปที่ 2.24 (ก) หลังปรับปรุงฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกันดังรูปที่ 2.24 (ข) โดยรูปที่ 2.25 (ก) คือ ฮิสโทแกรมของภาพก่อนปรับปรุง และ รูปที่ 2.25 (ข) คือฮิสโทแกรมของภาพหลังปรับปรุง

$$s = T(r) = \sum_{w=0}^r p(w) \quad (2.35)$$

โดยที่  $s$  คือ ค่าระดับเทาใหม่

$r$  คือ ค่าระดับเทาเดิม

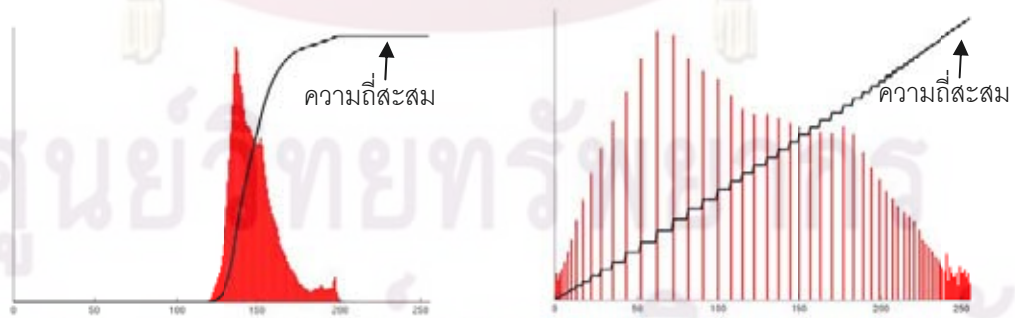
$p(w)$  คือ จำนวนจุดพิกเซลที่มีค่าระดับเทา  $w$  ต่อจำนวนจุดพิกเซลทั้งหมดในภาพ



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.24 (ก) ตัวอย่างภาพก่อนปรับปรุงฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน [10] (ข) ตัวอย่างภาพหลังปรับปรุงฮิสโทแกรมให้เสมอภาคกัน [10]



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.25 (ก) ตัวอย่างฮิสโทแกรมก่อนปรับปรุงให้เสมอภาคกัน [10] (ข) ตัวอย่างฮิสโทแกรมหลังปรับปรุงให้เสมอภาคกัน [10]



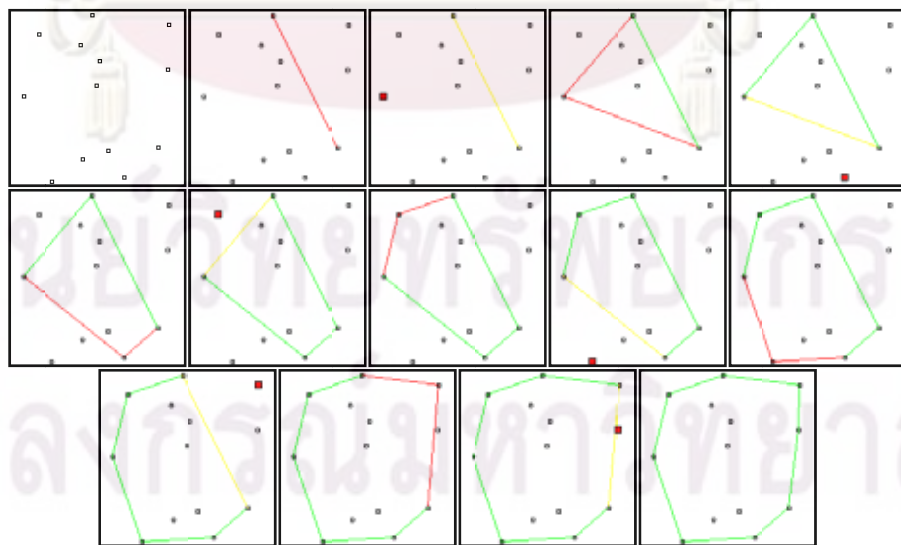
## 2.10 คอนเวกซ์ฮัลล์ (Convex Hull)

คอนเวกซ์ฮัลล์ [11] คือเซตของจุดยอด (Convex) ที่น้อยที่สุดที่ครอบคลุมจำนวนจุดทั้งหมดในระนาบ เมื่อกำหนดให้  $S$  คือเซตของจุดคู่ลำดับ  $(x, y)$  ในระนาบ 2 มิติ และ  $E$  คือเซตของเส้นเชื่อม (Edge) ระหว่างจุดคู่ลำดับ 2 จุดใดๆ สามารถหาคอนเวกซ์ฮัลล์ของเซต  $S$  ได้จากรหัสเทียมดังรูปที่ 2.26 ตัวอย่างของขั้นตอนวิธีแสดงได้ดังรูปที่ 2.27

ขั้นตอนวิธีการหาคอนเวกซ์ฮัลล์

- 1) เลือกจุดใดๆ ในเซต  $S$  มา 2 จุด และลบออกจากเซต  $S$ , สร้างเส้นเชื่อมระหว่างจุด 2 จุดนี้ และเพิ่มเส้นเชื่อมนี้ลงในเซต  $E$
- 2) เลือกจุดใดๆ ในเซต  $S$  มา 1 จุด และลบออกจากเซต  $S$ , สร้างเส้นเชื่อมกับจุดปลายของเส้นเชื่อมในขั้นตอนที่ 1), เพิ่มเส้นเชื่อมทั้ง 2 เส้นลงในเซต  $E$
- 3) เลือกจุดใดๆ ในเซต  $S$  มา 1 จุด กำหนดให้เป็น  $p$  และลบออกจากเซต  $S$
- 4) ตรวจสอบจุด  $p$  ว่าเป็นจุดที่ถูกปิดล้อมด้วยเส้นเชื่อมในเซต  $E$  หรือไม่ ถ้าเป็นให้กลับไปขั้นตอนที่ 3) ถ้าไม่เป็นให้ทำต่อไปขั้นตอนที่ 5)
- 5) เลือกเส้นเชื่อมในเซต  $E$  ที่ใกล้ที่สุดกับจุด  $p$  กำหนดให้เป็น  $e$
- 6) สร้างเชื่อมระหว่างจุด  $p$  กับจุดปลายของเส้นเชื่อม  $e$
- 7) เพิ่มเส้นเชื่อมทั้ง 2 เส้นลงในเซต  $E$ , ลบเส้นเชื่อม  $e$  ออกจาก  $E$
- 8) กลับไปทำขั้นตอนที่ 3) จนกระทั่ง  $S = \phi$  จะได้คอนเวกซ์ฮัลล์ของเซต  $S$  คือเซต  $E$

รูปที่ 2.26 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการหาคอนเวกซ์ฮัลล์



รูปที่ 2.27 การหาคอนเวกซ์ฮัลล์

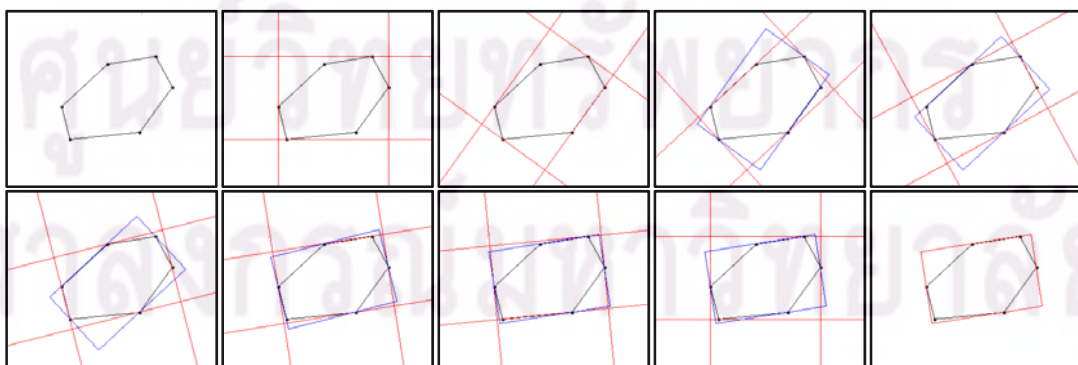
## 2.11 การวัดขนาดด้วยการหมุน (Rotating Caliper)

การวัดขนาดด้วยการหมุน [12, 13] เป็นขั้นตอนวิธีในการแก้ไขปัญหาเรขาคณิตเชิงคำนวณ (Computational Geometry Problems) และเป็นขั้นตอนวิธีหนึ่งในการหาสี่เหลี่ยมปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุด (Minimal Area Enclosing Rectangle) ที่ครอบคลุมรูปหลายเหลี่ยมแบบคอนเวกซ์ฮัลล์ (Convex Polygon) โดยขั้นตอนวิธีวัดขนาดด้วยการหมุนที่ใช้สำหรับหาสี่เหลี่ยมปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดสามารถแสดงเป็นรหัสเทียมได้ดังรูปที่ 2.28 ซึ่งตัวอย่างของขั้นตอนวิธีดังรูปที่ 2.29

### ขั้นตอนวิธีวัดขนาดด้วยการหมุน

- 1) หาจุดปลายสุด 4 จุดในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  คือ  $X_{\min}$ ,  $X_{\max}$ ,  $Y_{\min}$  และ  $Y_{\max}$  กำหนดให้เป็นจุดปลายสุดชุดปัจจุบัน
- 2) สร้างเส้นตรง 2 เส้นในแนวนอนผ่านจุดปลายสุด  $Y_{\min}$ ,  $Y_{\max}$  และ 2 เส้นในแนวตั้งผ่านจุดปลายสุด  $X_{\min}$ ,  $X_{\max}$  กำหนดให้เซต  $L$  คือเซตของเส้นตรงที่สร้างขึ้น
- 3) ถ้ามีเส้นตรงใน  $L$  ทับกันสนิทกับด้านใดด้านหนึ่งของรูปหลายเหลี่ยม ให้คำนวณหาขนาดของพื้นที่ที่ถูกปิดล้อมด้วย  $L$  ถ้ามีค่าน้อยกว่าน้อยสุดที่เก็บไว้ ให้เปลี่ยนค่าน้อยสุดเป็นค่าพื้นที่ปัจจุบัน และเก็บจุดตัดทั้ง 4 จุดของเส้นตรงทั้ง 4 เส้นใน  $L$  ไว้เป็นคำตอบชุดปัจจุบัน
- 4) พิจารณาเส้นเชื่อมของรูปหลายเหลี่ยมด้านที่ทับกันสนิทกับเส้นตรงใน  $L$  ให้เปลี่ยนจุดปลายสุดที่อยู่บนเส้นเชื่อมนี้เป็นจุดปลายด้านตรงข้ามของเส้นเชื่อม
- 5) หมุน  $L$  โดยใช้จุดปลายสุดเป็นจุดหมุน จนกระทั่งมีด้านที่ทับกันสนิทกับรูปหลายเหลี่ยมเกิดขึ้นให้กลับไปขั้นตอนที่ 3) 4) 5) จนกระทั่งหมุนครบ 90 องศา

รูปที่ 2.28 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีวัดขนาดด้วยการหมุน



รูปที่ 2.29 การหาสี่เหลี่ยมปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดโดยขั้นตอนวิธีการวัดขนาดด้วยการหมุน

## 2.12 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) Automatic Detection and Recognition of Traffic Signs using Geometric Structure Analysis ของ Vavilin Andrey และ Kang Hyun Jo [15] งานวิจัยนี้เสนอขั้นตอนการตรวจหาและการรู้จำป้ายจราจร 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่งคือป้ายบังคับรูปวงกลมที่มีขอบสีแดง และป้ายเตือนรูปสามเหลี่ยมที่มีขอบแดงสีแดง กลุ่มที่สองคือป้ายแนะนำที่มีพื้นหลังสีน้ำเงินหรือสีเขียว งานวิจัยนี้เสนอวิธีการตรวจหาและรู้จำป้ายจราจร โดยวิธีการตรวจหาจากสีขอบและสีพื้นหลังของป้ายจราจร โดยใช้แบบจำลองสี RGB ด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อตรวจหาจุดภาพ (Pixel) ของสีที่ต้องการ โดยค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการตรวจหาป้ายจราจรแบ่งเป็น 3 ชุดคือ ค่าขีดแบ่งสำหรับป้ายจราจรในกลุ่มที่หนึ่งเมื่อสภาพแสงดี ค่าขีดแบ่งสำหรับป้ายจราจรในกลุ่มที่หนึ่งเมื่อสภาพแสงไม่ดี และค่าขีดแบ่งสำหรับป้ายจราจรในกลุ่มที่สอง โดยบริเวณที่สนใจที่ตรวจหาได้จะแบ่งเป็นสองประเภทคือ บริเวณที่สนใจที่มีขอบสีแดง (ป้ายจราจรในกลุ่มที่หนึ่ง) และบริเวณที่สนใจที่มีพื้นหลังสีเขียวหรือสีน้ำเงิน (ป้ายจราจรในกลุ่มที่สอง) หากเป็นบริเวณที่สนใจของป้ายจราจรในกลุ่มที่หนึ่งจะวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐาน (Shape Analysis) เพื่อระบุว่าเป็นป้ายบังคับหรือป้ายเตือนด้วยการสร้างฮิสโทแกรมแนวตั้ง (Vertical Histogram) ของลักษณะพื้นฐาน (Shape) และฮิสโทแกรมแนวนอน (Horizontal Histogram) ของลักษณะพื้นฐาน จากนั้นจะนำฮิสโทแกรมของภาพนำเข้า (Input) เปรียบเทียบกับฮิสโทแกรมแม่แบบ (Template) เพื่อตรวจสอบว่าเป็นป้ายวงกลมหรือป้ายสามเหลี่ยม หากเป็นป้ายวงกลมจะระบุว่าเป็นป้ายบังคับ หากเป็นป้ายสามเหลี่ยมจะระบุว่าเป็นป้ายเตือน ในขั้นตอนการรู้จำนั้นงานวิจัยนี้หากเป็นป้ายจราจรในกลุ่มที่หนึ่ง ทำโดยการนำป้ายจราจรนำเข้าไปซ้อนทับ (Overlaying) กับป้ายจราจรแม่แบบ สำหรับป้ายจราจรในกลุ่มที่สองนั้นงานวิจัยนี้ไม่ได้เสนอขั้นตอนวิธีการรู้จำ แต่แนะนำแนวทางในการรู้จำด้วยการวิเคราะห์หัวลูกศรและตัวอักษรที่ปรากฏอยู่ในป้าย โดยผลการทดลองของขั้นตอนการตรวจหาที่มีความผิดพลาดร้อยละ 2.3 สำหรับป้ายจราจรในกลุ่มที่หนึ่งโดยมีภาพในกลุ่มที่หนึ่งที่ใช้ทดลองทั้งหมด 124 ภาพ และมีความผิดพลาดร้อยละ 0.8 สำหรับป้ายจราจรในกลุ่มที่สองโดยมีภาพในกลุ่มที่สองที่ใช้ทดลองทั้งหมด 95 ภาพ ผลการทดลองในขั้นตอนการรู้จำสำหรับป้ายจราจรในกลุ่มที่หนึ่งมีความผิดพลาดเชิงลบร้อยละ 6.4 และความผิดพลาดเชิงบวกร้อยละ 2.3 สำหรับป้ายจราจรในกลุ่มที่สองไม่มีผลการทดลองในขั้นตอนการรู้จำ

2) Fast and Robust Traffic Sign Detection ของ Aryunto Soetedjo และ Koichi Yamada [16] ได้เสนอวิธีการตรวจหาป้ายจราจรชนิดป้ายบังคับที่มีลักษณะเป็นป้ายวงกลมและมีขอบสีแดง ด้วยการหาขอบสีแดงจากการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่งในโมเดลสี RGB และหาขอบของป้าย



ด้วยขั้นตอนวิธีของ H. Chun-Ta และ C. Ling-Hwei [17] โดยชอบที่หาได้นั้นจะแบ่งเป็นสองส่วนคือชอบซ้ายและชอบขวา และจะยืนยันว่าจุดภาพใดเป็นขอบนอกของป้ายจราจรด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) โดยใช้วิธีการจับคู่จุดภาพของชอบทีละคู่จุด และประเมินค่า (Evaluation) คู่จุดนี้ด้วยฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) ที่นับจำนวนจุดภาพสีแดงระหว่างคู่จุดกัน จากนั้นสร้างวงกลมหรือวงรีที่ระบุตำแหน่งของป้ายด้วยชอบซ้ายและชอบขวาที่หาได้ โดยผลการทดลองของงานวิจัยนี้ใช้ภาพที่ทดลองทั้งสิ้น 100 ภาพ มีความถูกต้องร้อยละ 87.84 เมื่อภาพที่ทดลองมีป้ายจราจรเพียงป้ายเดียว และมีความถูกต้องร้อยละ 86.08 เมื่อภาพที่ทดลองมีป้ายจราจรหลายป้าย โดยมีเวลาเฉลี่ยในการตรวจหาเท่ากับ 3.73 วินาที เมื่อทดลองด้วยหน่วยประมวลผล Pentium-4 2.0Ghz

3) Fast Traffic Sign Detection and Recognition Under Changing Lighting Conditions ของ Miguel Angel Garcia-Garrido, Miguel Angel Sotelo และ Ernesto Martin-Gorostiza [18] ได้เสนอวิธีการตรวจหาป้ายจราจรชนิดป้ายจำกัดความเร็วที่มีลักษณะเป็นป้ายวงกลมและป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม โดยใช้ขั้นตอนวิธีการหาขอบของแคนนี่ (Canny) โดยพารามิเตอร์ของค่าขีดแบ่งทั้งสองตัวของตัวดำเนินการแคนนี่ที่ใช้ นั้น จะคำนวณจากลักษณะฮิสโทแกรมของภาพนำเข้า จากนั้นจะหาคอนทัวร์ที่เป็นวงปิด (Closed contour) และตรวจสอบคอนทัวร์วงปิดนี้ว่ามีลักษณะเป็นลักษณะวงกลมหรือสามเหลี่ยมด้วยการแปลงฮัฟสำหรับเส้นรอบวง (Hough transform for circumferences) และการแปลงฮัฟสำหรับเส้นตรง (Hough transform for straight line) ในขั้นตอนวิธีการรู้จำใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back propagation neural networks) โดยมีข้อมูลนำเข้าขนาด 32x32 พิกเซล และแบ่งเป็น 2 โครงข่ายคือ โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับป้ายวงกลม และโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับป้ายสามเหลี่ยม โดยผลการทดลองจากขั้นตอนวิธีที่เสนอกับป้ายจำกัดความเร็วจำนวน 435 ป้าย มีความถูกต้องในขั้นตอนการตรวจหาร้อยละ 97.2 และมีความถูกต้องในขั้นตอนการรู้จำร้อยละ 98.5 ผลการทดลองจากขั้นตอนวิธีที่เสนอกับป้ายเตือนจำนวน 312 ป้าย มีความถูกต้องในขั้นตอนการตรวจหาร้อยละ 94.3 และมีความถูกต้องในขั้นตอนการรู้จำร้อยละ 97.2

4) Road Traffic Signs Detection and Classification for Blind Man Navigation System ของ S. Kantawong [19] ได้เสนอขั้นตอนวิธีการตรวจหาและการจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายบังคับสำหรับระบบนำร่องเพื่อคนตาบอด ในขั้นตอนวิธีการตรวจหาป้ายจราจรนั้น จะมี



อุปกรณ์สำหรับสวมศีรษะเพื่อรับภาพนำเข้าและส่งภาพนำเข้ามายังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล โดยจะตัดแยก (Segment) สัญญาณสีดำของป้ายบังคับออกมาด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง จากนั้นจะหาโครงกระดูก (Skeleton) ของสัญญาณสีดำนี้ด้วย SPTA (Safe Point Thinning Algorithm) [20] และแปลงผลลัพธ์ของ SPTA ให้เป็นรหัสฐานสอง (Binary Code) เพื่อนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าไปในขั้นตอนการจำแนก โดยงานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับในการจำแนกชนิดของป้ายจราจร ป้ายบังคับที่งานวิจัยนี้ใช้ทดลองอยู่ทั้งหมด 12 ป้าย โดยแต่ละป้ายมีภาพสำหรับทดลองทั้งหมด 50 รูป ผลการทดลองจากขั้นตอนวิธีที่เสนอมีความถูกต้องร้อยละ 92.83

5) Automatic Detection and Classification of Traffic Signs ของ Carlos Filipe Paulo และ Paulo Lobato Correia [21] ได้เสนอวิธีการวิธีการตรวจหาป้ายจราจรที่มีลักษณะเป็นป้ายสามเหลี่ยม สีเหลี่ยม และวงกลมโดยขั้นตอนการตรวจหา นั้นใช้โมเดลสี HSV โดยการตรวจหา นั้นจะตรวจหาบริเวณที่สนใจ (Region of Interest) จากจุดภาพสีแดงและสีน้ำเงิน ในขั้นตอนการจำแนก จะระบุ (Identification) ว่าบริเวณที่สนใจว่ามีป้ายวงกลมอยู่หรือไม่ด้วย FRS (Fast Radial Symmetry Detection) [22] ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 การตรวจหาวงกลมด้วยขั้นตอนวิธี FRS [21]

จากนั้นจะหาค่าเฉลี่ย  $avg$  และค่าสูงสุด  $max$  ของจุดภาพในบริเวณตรงกลางของผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธี FRS โดยจะหาค่าความน่าจะเป็นที่จะเป็นป้ายวงกลม ( $cp$ ) จากสมการ 2.37 โดยจะระบุบริเวณที่สนใจนี้เป็นป้ายวงกลมก็ต่อเมื่อค่าความน่าจะเป็นที่จะเป็นวงกลมเกินร้อยละ 75

$$cp = \begin{cases} 0 & max < 0 \\ avg & 0 < max < 1 \\ \frac{avg}{max} & max > 1 \end{cases} \quad (2.37)$$

หากระบุแล้วว่าไม่ใช่ป้ายวงกลมจะระบุว่าเป็นป้ายสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมโดยการหาจุดมุมด้วยขั้นตอนวิธีตรวจหามุมของ Harris [23] และจะแบ่งบริเวณที่สนใจออกเป็น 6 ส่วนย่อยดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 การกำหนดบริเวณที่สนใจเพื่อหาจุดมุม [21]

จากนั้นจะพิจารณาว่าจุดมุมที่ตรวจหาได้นั้นตรงอยู่ในส่วนย่อยใดบ้าง จากนั้นคำนวณหาค่าความเป็นสี่เหลี่ยมจากสมการ 2.38 คำนวณหาค่าความเป็นสามเหลี่ยมตั้งจากสมการ 2.39 และคำนวณหาค่าความเป็นสามเหลี่ยมคว่ำจากสมการ 2.40

$$sqp = tl + tr + bl + br \quad (2.38)$$

$$tup = 1.32 \times (bl + br) + tc - 1.1 \times (tl + tr) \quad (2.39)$$

$$tdp = 1.32 \times (tl + tr) + bc - 1.1 \times (bl + br) \quad (2.40)$$

ในขั้นตอนการรู้จำนั้นจะทำการนำสีที่ตรวจหาได้และลักษณะรูปร่างที่ระบุจากขั้นตอนวิธีดังกล่าวมา จำแนกว่าเป็นป้ายจราจรชนิดดังตารางที่ 2.2 โดยผลการทดลองจากขั้นตอนวิธีที่เสนอมีความถูกต้องร้อยละ 93.1 เมื่อสภาพแสงน้อยโดยทดลองทั้งหมด 218 ภาพ มีความถูกต้องร้อยละ 97.7 เมื่อสภาพแสงดีโดยทดลองทั้งหมด 344 ภาพ และมีความถูกต้องร้อยละ 29.4 เมื่อสภาพแสงมากเกินไปโดยทดลองทั้งหมด 17 ภาพ

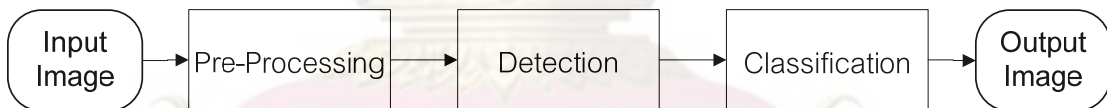
ตารางที่ 2.2 การจำแนกชนิดของป้ายจราจรในงานวิจัยของ Carlos Filipe Paulo [21]

SHAPE COLOR					
BLUE			INFORMATION	OBLIGATION	
RED	DANGER	YIELD SIGN		PROHIBITION	STOP SIGN

## บทที่ 3

### ขั้นตอนวิธีในการตรวจหาและการจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน

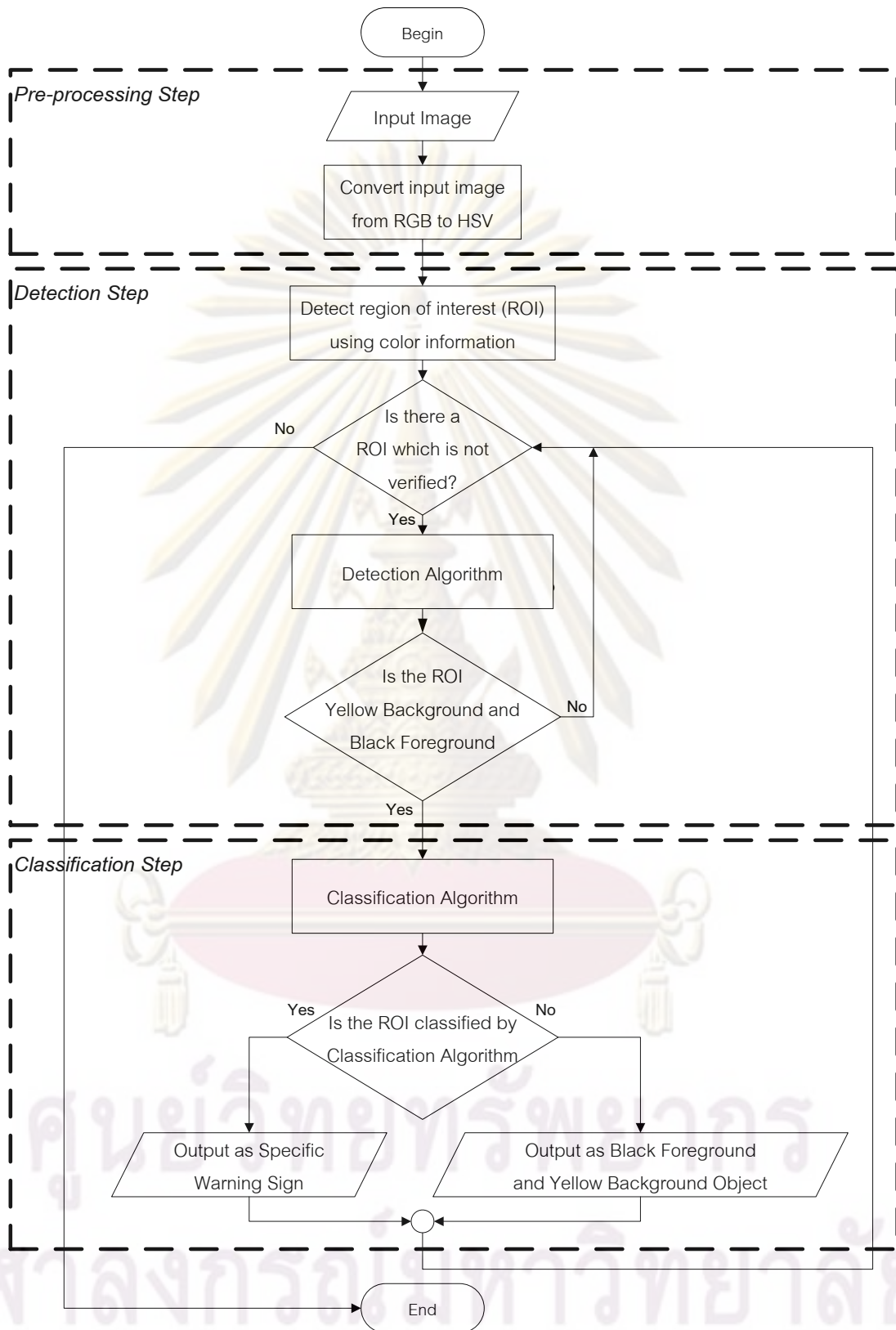
ในบทนี้เป็นการเสนอขั้นตอนวิธีในการตรวจหาและการจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน โดยขั้นตอนการทำงานของระบบแบ่งออกเป็น ขั้นตอนการเตรียมภาพ ขั้นตอนการตรวจหา และขั้นตอนการจำแนก ดังรูปที่ 3.1 โดยขั้นตอนการตรวจหาจะกำหนดบริเวณที่สนใจ (Region of Interest) ด้วยการตรวจหาจุดภาพ (Pixel) ที่เป็นจุดภาพของป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนโดยวิธีการเปรียบเทียบสีของจุดภาพนำเข้า (Input Image) กับฐานข้อมูลสีแม่แบบของป้ายเตือน และระบุบริเวณของป้ายเตือนที่แม่นยำยิ่งขึ้นด้วยวิธีการวัดขนาดด้วยการหมุน โดยจะวิเคราะห์บริเวณที่สนใจที่ละบริเวณจนครบทุกบริเวณที่ตรวจหาได้ หากบริเวณที่สนใจใดเมื่อวิเคราะห์พีเจอร์ (Feature) ออกมาแล้วมีพีเจอร์ตรงกับที่กำหนด ก็จะนำบริเวณที่สนใจนี้ส่งเป็นภาพนำเข้าให้กับขั้นตอนการจำแนกต่อไป ในขั้นตอนการจำแนกจะหาขอบของสัญลักษณ์ และนำขอบที่หาได้ไปเปรียบเทียบกับขอบของป้ายจราจรแม่แบบในฐานข้อมูล ซึ่งผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนวิธีที่เสนอมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

#### 3.1 ขั้นตอนการเตรียมภาพ

เนื่องจากแบบจำลองสี RGB นั้นไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการวิเคราะห์สีและแสง เนื่องจากค่าความเข้มของแสงในแบบจำลองสี RGB นั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรค่าสีทั้งสามตัวคือ ค่าสีแดง ค่าสีเขียวและค่าสีน้ำเงิน ดังนั้นเพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์ภาพด้วยทฤษฎีสี จะแปลงภาพนำเข้าจากแบบจำลองสี RGB ให้เป็นแบบจำลองสี HSV ซึ่งตัวแปรเกี่ยวกับสีจะแยกออกจากแสงโดยสิ้นเชิง



รูปที่ 3.2 ผังงานของขั้นตอนวิธีที่เสนอ



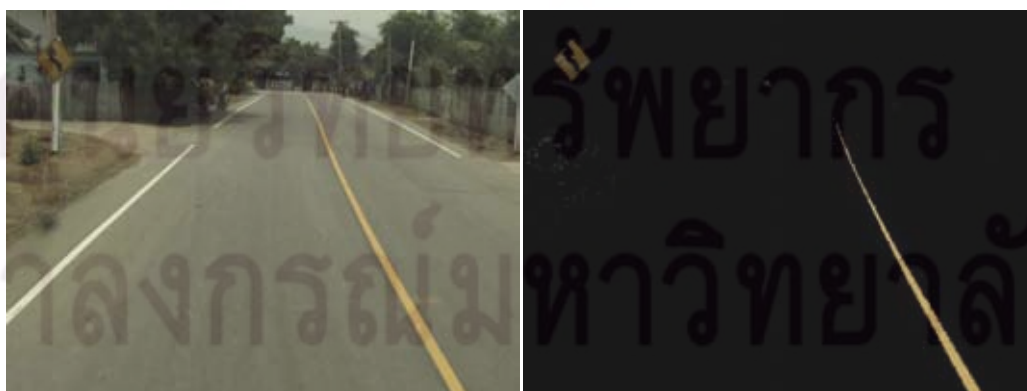
## 3.2 ขั้นตอนการตรวจหา

### 3.2.1 การตรวจหาจุดภาพด้วยฐานข้อมูลสีแม่แบบ

ในงานวิจัยนี้จะสร้างฐานข้อมูลสีแม่แบบของป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ปรากฏในสภาพแสงต่าง ๆ กันขึ้น โดยฐานข้อมูลนี้ได้จากการเก็บจุดภาพ (Pixel) ของบริเวณป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ปรากฏในสภาพแสงต่าง ๆ กัน จำนวน 21,280 จุดภาพ โดยค่าที่เก็บในฐานข้อมูลนั้นเป็นค่าสี (Hue) และค่าความอิ่มตัว (Saturation) ในแบบจำลองสี HSV ซึ่งสามารถนำกลับมาสร้างเป็นภาพสเปกตรัม (Spectrum) ของสีเพื่อให้ง่ายแก่การสร้างมโนภาพ ดังรูปที่ 3.3 โดยที่จุดสีดำคือบริเวณสีที่เป็นสีของป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน



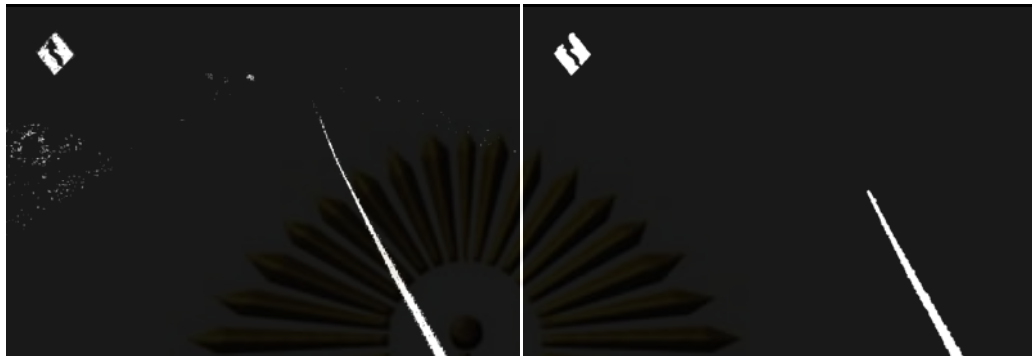
ในขั้นตอนการตรวจหา นั้นจะกรองภาพนำเข้า รูปที่ 3.4 (ก) ด้วยการตรวจหาจุดภาพของภาพนำเข้าที่อยู่ในฐานข้อมูลสีแม่แบบ ดังรูปที่ 3.4 (ข) จากนั้นจะสร้างภาพลักษณะฐานสอง (Binary Image) ขึ้น ดังรูปที่ 3.5 (ก) โดยจุดภาพใดที่ผ่านการกรองด้วยฐานข้อมูลสีแม่แบบให้มีค่าเป็น 1 และจุดภาพใดที่ไม่ผ่านการกรองด้วยฐานข้อมูลสีแม่แบบให้มีค่าเป็น 0



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) ภาพนำเข้า (ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการกรองภาพนำเข้าด้วยฐานข้อมูลสีแม่แบบ



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.5 (ก) ภาพลักษณะฐานสองที่ได้จากการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่ง (ข) ภาพผลลัพธ์ของภาพลักษณะฐานสองเมื่อลดสัญญาณรบกวนแล้ว

จากนั้นกำจัดจุดภาพที่มีลักษณะเป็นสัญญาณรบกวน (Noise) จุดเล็กๆ ในภาพลักษณะฐานสองนี้ด้วยตัวกรองมัธยฐาน (Median Filter) และประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน (Morphological Processing) ด้วยตัวดำเนินการการปิด (Closing) เพื่อให้กลุ่มของจุดภาพที่ขาดจากกันเชื่อมต่อกัน จากนั้นจะหาส่วนประกอบของจุดภาพที่เชื่อมต่อกัน (Connected Component) ดังรูปที่ 3.5 (ข) โดยที่พื้นที่ของส่วนประกอบของจุดจุดภาพที่เชื่อมต่อกันจะต้องมีขนาดพื้นที่มากกว่า 5x5 พิกเซล

### 3.2.2 การหารูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุด

ขั้นตอนนี้จะหาขอบเขตของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อม (Bounding Rectangle) ที่ครอบคลุมส่วนประกอบของจุดภาพที่เชื่อมต่อกันนี้ ดังรูปที่ 3.6 (ก) หากขอบเขตของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมใดมีส่วนร่วมกัน (Intersection) จะผสาน (Merge) ให้เหลือเพียงขอบเขตเดียวดังรูปที่ 3.6 (ข) โดยขอบเขตแต่ละขอบเขตของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่หาได้นั้นคือบริเวณที่สนใจ (Region of Interest) ดังรูปที่ 3.7 ที่จะตัดแยก (Segmentation) ออกมาจากภาพนำเข้า โดยตัวอย่างบริเวณที่สนใจที่เป็นป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน ดังรูปที่ 3.8 (ก) ตัวอย่างบริเวณที่สนใจที่ไม่ใช่ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน ดังรูปที่ 3.8 (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.6 (ก) ขอบเขตของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อม (ข) บริเวณที่สนใจที่ตรวจหาได้ของภาพนำเข้า



รูปที่ 3.7 บริเวณที่สนใจที่จะตัดแยก



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 (ก) บริเวณที่สนใจที่เป็นป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน (ข) บริเวณที่สนใจที่ไม่ใช่ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน

จากนั้นจะหาคอนเวกซ์ฮัลล์ (Convex Hull) ของส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันทั้งหมดภายในบริเวณที่สนใจ ดังรูปที่ 3.9 และใช้ขั้นตอนวิธีวัดขนาดด้วยการหมุน (Rotating Caliper) เพื่อกำหนดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุด (Minimal Area Enclosing Rectangle) ตัวอย่างของบริเวณที่สนใจและรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 3.10 โดยที่รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดนี้คือบริเวณพื้นที่จะตัดแยกเป็นข้อมูลนำเข้าไปกับขั้นตอนการจำแนก



รูปที่ 3.9 (ก) คอนเวกซ์ฮัลล์ของป้ายเตือน (ข) คอนเวกซ์ฮัลล์ของเส้นถนน



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างบริเวณที่สนใจ (กรอบสีแดง) และรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุด (กรอบสีเขียว) ที่ตรวจหาได้จากขั้นตอนวิธี



### 3.2.3 การตัดแยกป้ายจราจรที่ติดกันในแนวตั้ง

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ดำเนินการก่อนที่จะหาคอนเวกซ์ฮัลล์ของส่วนประกอบของจุดภาพในบริเวณที่สนใจ เพื่อแก้ปัญหากรณีที่ป้ายจราจรสองป้ายติดอยู่บนเสาเดียวกันโดยเรียงตามแนวตั้ง (Vertical) ดังรูปที่ 3.11 (ก) ในการตัดแยกนั้น ทำโดยการวิเคราะห์รูปร่างของภาพลักษณะพื้นฐานสองที่เตรียมไว้สำหรับหาคอนเวกซ์ฮัลล์ ดังรูปที่ 3.11 (ข) ด้วยการสร้างโพรไฟล์ระยะทางในแนวนอนของขอบซ้ายของภาพไปจนถึงบริเวณสีขาว ดังรูปที่ 3.12 (ก) และการสร้างโพรไฟล์ระยะทางในแนวนอนของขอบขวาของภาพไปจนถึงบริเวณสีขาว ดังรูปที่ 3.12 (ข) โดยสามารถเปลี่ยนโพรไฟล์ของการฉายเป็นภาพระดับเทา เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างมโนภาพ (Visualization) ของเกรเดียนต์ ได้ดังรูปที่ 3.13



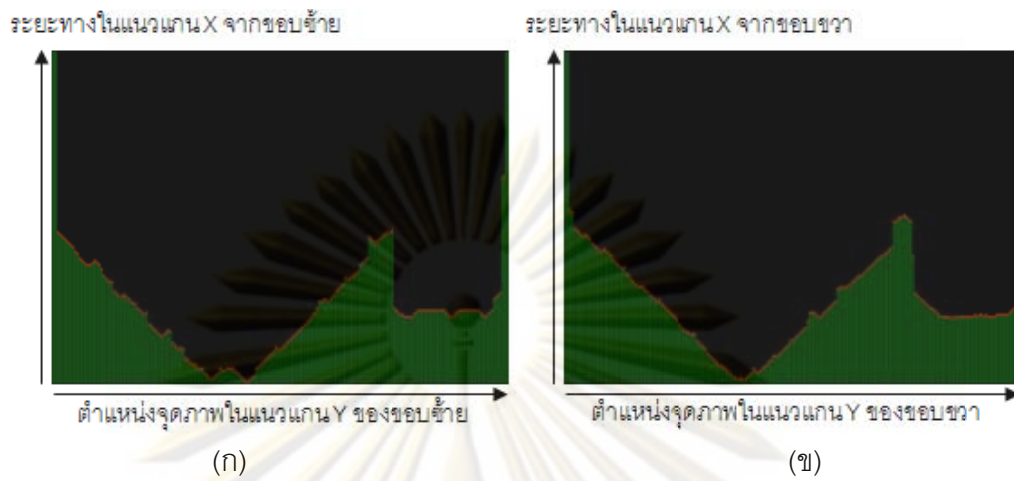
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.11 (ก) ป้ายจราจรสองป้ายติดอยู่บนเสาเดียวกันโดยเรียงตามแนวตั้ง (ข) ภาพลักษณะพื้นฐานสองที่เตรียมไว้สำหรับหาคอนเวกซ์ฮัลล์ (ค) บริเวณที่สนใจที่ถูกตัดแยกออกเป็นสองส่วน

โดยการตัดแยกนั้นทำโดยหาเกรเดียนต์ของโพรไฟล์โดยหาสองทิศทางคือเกรเดียนต์ทิศลงที่ยาวที่สุด รูปที่ 3.14 บริเวณสีแดง และเกรเดียนต์ทิศขึ้นที่ยาวที่สุด รูปที่ 3.14 บริเวณสีเขียว โดยทำการหาทั้งสองโพรไฟล์ หากเกรเดียนต์ทิศลงและทิศขึ้นที่ยาวที่สุดของทั้งสองโพรไฟล์อยู่ติดกัน เกรเดียนต์ทิศลงมาก่อนเกรเดียนต์ทิศขึ้น มีอัตราส่วนความยาวของเกรเดียนต์ทิศลงต่อเกรเดียนต์ทิศขึ้นและอัตราส่วนความยาวของเกรเดียนต์ทิศลงรวมกับทิศขึ้นของทั้งสองโพรไฟล์มีค่าใกล้ 1 โดยมีค่าขาลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10 ก็จะได้ตัดแยกบริเวณที่สนใจออกเป็นสองส่วน โดยจุดที่ตัดแยกนั้น ก็คือค่าเฉลี่ยตำแหน่งสุดท้ายของบริเวณที่สนใจในแนวแกน Y ของเกรเดียนต์ทิศขึ้นที่ยาวที่สุดจากทั้งสองโพรไฟล์ ดังรูปที่ 3.15 (ก) ซึ่งจะได้บริเวณที่สนใจใหม่สองบริเวณดังรูปที่ 3.15 (ข) และ (ค)



รูปที่ 3.12 (ก) โพรไฟล์ระยะทางในแนวนอนจากขอบซ้าย (ข) โพรไฟล์ระยะทางในแนวนอนจากขอบขวา



รูปที่ 3.13 โพรไฟล์ระยะทางในมุมมองภาพสเกลสีเทา (ก) โพรไฟล์ระยะทางจากขอบซ้าย (ข) โพรไฟล์ระยะทางจากขอบขวา



รูปที่ 3.14 เกรเดียนต์สีแดง (สีแดง) และสีเขียวก่อน (สีเขียว) ที่ยาวที่สุด (ก) ของโพรไฟล์ระยะทางจากขอบซ้าย (ข) ของโพรไฟล์ระยะทางจากขอบขวา



รูปที่ 3.15 (ก) จุดที่ตัดแยกบริเวณที่สนใจออกเป็นสองส่วน (เส้นสีเขียว) (ข) บริเวณส่วนบนที่ตัดแยกออกมา (ค) บริเวณส่วนล่างที่ตัดแยกออกมา

### 3.3 ขั้นตอนการจำแนก

#### 3.3.1 การหาขอบของสัญลักษณ์สีดำ

เมื่อกำหนดให้  $\theta$  คือมุมที่รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดทำกับขอบล่างสุดของบริเวณที่สนใจ ดังรูปที่ 3.16 เมื่อตัดแยกบริเวณจุดภาพที่ถูกปิดล้อมด้วยรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดออกมาแล้ว จะหมุนบริเวณนี้ให้อยู่ในแนวราบ



รูปที่ 3.16 มุมที่รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดทำกับขอบล่างสุดของบริเวณที่สนใจ

วิธีการหมุนทำโดยสร้างเวกเตอร์การหมุน (Rotation Vector)  $R_\theta$  กำหนดค่าดังสมการ 3.1 จากนั้นจะหมุนจุดภาพของบริเวณที่สนใจใน ด้วยสมการ 3.2 โดยกำหนดให้  $(x, y)$  คือจุดภาพเดิม และ  $(x', y')$  คือจุดภาพที่หมุนไป

$$R_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = R_\theta \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

เมื่อได้ภาพนำเข้าที่ถูกหมุนและตัดแยกแล้ว ดังรูป 3.17 (ก) ขั้นตอนต่อไปจะแปลงภาพให้เป็นภาพสเกลสีเทา (Gray Scale) ดังรูปที่ 3.17 (ข) และปรับฮิสโตแกรมให้เสมอกัน (Histogram Equalization) ดังรูปที่ 3.18 (ก) ทำการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่ง (Threshold) จากนั้นจะนำภาพลักษณะฐานสองที่ได้จากการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่งเพื่อตัดแยกเฉพาะส่วนของสัญลักษณ์สีดำออกมาและผกผันค่าสี (Invert Color) ดังรูปที่ 3.18 (ข) จากนั้นจะสร้างโพรไฟล์สีขึ้นจากสัญลักษณ์สีดำที่หาได้ โดยให้พื้นหลังโพรไฟล์เป็นสีเหลือง ดังรูปที่ 3.19 (ก) จะทำการปรับขนาดรูปให้เป็นบรรทัดฐาน

เดียวกันกับขนาดป้ายแม่แบบในฐานข้อมูล และหาขอบ (Edge) ของสัญลักษณ์นี้ด้วยตัวกรองลาปลาเซียน (Laplacian Filter) ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.19 (ข)



รูปที่ 3.17 (ก) ภาพนำเข้าที่ถูกหมุนและตัดแยกแล้ว (ข) ภาพสเกลสีเทาของภาพนำเข้า



รูปที่ 3.18 (ก) ภาพสเกลสีเทาที่ได้จากการปรับฮิสโตแกรมให้เท่ากัน (ข) ภาพลักษณะฐานสองที่ได้จากการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่ง



รูปที่ 3.19 (ก) โพรไฟล์สี (ข) โพรไฟล์ขอบ

### 3.3.2 การเปรียบเทียบขอบของสัญลักษณ์สีดำ

จากนั้นจะนำภาพขอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับภาพขอบในฐานข้อมูล โดยในการเปรียบเทียบนั้นจะให้จุดศูนย์กลางของขอบเป็นจุดอ้างอิงในการเปรียบเทียบ ซึ่งจุดศูนย์กลางของขอบสามารถหาได้ด้วยสมการ 3.4 และ 3.5



$$\bar{x} = \frac{1}{A} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n xI(x, y) \quad (3.4)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n yI(x, y) \quad (3.5)$$

โดยที่  $m, n$  คือความกว้างและความสูงของบริเวณที่สนใจ

$I(x, y)$  คือฟังก์ชันความเข้มแสงของจุดภาพที่พิกัด  $(x, y)$  ของภาพลักษณะพื้นฐานสอง

$I(x, y) = 1$  เมื่อเป็นจุดภาพสีขาว และ  $I(x, y) = 0$  เมื่อเป็นจุดภาพสีดำ

$A$  คือจำนวนจุดภาพสีขาวทั้งหมดในบริเวณที่สนใจ

การเปรียบเทียบขอบนำเข้ากับขอบแม่แบบนั้นจะทำให้โดยการสร้างตารางระยะทางระหว่างคู่จุดที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการจับคู่ของขอบนำเข้ากับขอบแม่แบบ ตัวอย่างดังตารางที่ 3.1 ซึ่งขั้นตอนวิธีของการสร้างตารางระยะทางสามารถแสดงเป็นรหัสเทียมได้ดังรูปที่ 3.20 เมื่อได้ตารางระยะทางแล้ว โดยจะจับคู่แบบสองทางคือ จับคู่จุดขอบแม่แบบที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบนำเข้ากับแต่ละจุด ซึ่งแสดงเป็นรหัสเทียมได้ดังรูปที่ 3.21 (ก) และจับคู่จุดขอบนำเข้ากับที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบแม่แบบแต่ละจุด ซึ่งแสดงเป็นรหัสเทียมได้ดังรูปที่ 3.21 (ข)

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างระยะทางระหว่างคู่จุดที่เป็นไปได้ในการจับคู่ขอบนำเข้ากับขอบแม่แบบ

	1	2	3	4	5	...	m
1	38.0	37.0	39.0	1.4	2.2	...	6.4
2	37.0	36.0	38.0	1.0	1.4	...	13.5
3	36.0	35.0	37.0	1.4	1.0	...	7.9
4	35.0	34.0	36.0	2.2	1.4	...	3.3
5	34.0	33.0	35.0	3.2	2.2	...	25.0
...	...	...	...	...	...	...	28.7
n	20.5	19.3	5.5	4.5	12.3	13.0	14.5

ให้  $A$  คือ ะเรย์ที่เก็บพิกัดของจุดขอบนำเข้าความยาว  $m$

ให้  $B$  คือ ะเรย์ที่เก็บพิกัดของจุดขอบแม่แบบความยาว  $n$

ให้  $Close_A$  คือ ะเรย์ความยาว  $m$

ให้  $Close_B$  คือ ะเรย์ความยาว  $n$

ให้  $D[1..m,1..n]$  คือ ะเรย์ความยาว  $m \times n$

โดยที่  $A[i].x$  คือค่าพิกัดในแนวแกน  $x$  ของจุดขอบนำเข้าลำดับที่  $i$

$A[i].y$  คือค่าพิกัดในแนวแกน  $y$  ของจุดขอบนำเข้าลำดับที่  $i$

$B[j].x$  คือค่าพิกัดในแนวแกน  $x$  ของจุดขอบแม่แบบลำดับที่  $j$

$B[j].y$  คือค่าพิกัดในแนวแกน  $y$  ของจุดขอบแม่แบบลำดับที่  $j$

$D[i, j]$  คือค่าระยะทาง (พิกเซล) ระหว่างจุดขอบนำเข้าลำดับที่  $i$  กับจุดขอบแม่แบบ ลำดับที่  $j$

```

1: for  $i = 1$  to  $m$ 
2:   for  $j = 1$  to  $n$ 
3:      $D[i, j] = \sqrt{(A[i].x - B[j].x)^2 + (A[i].y - B[j].y)^2}$ 

```

รูปที่ 3.20 รหัสเทียมสำหรับการหาตารางระยะทาง

```

1: for  $i = 1$  to  $m$ 
2:   for  $j = 1$  to  $n$  {
3:      $min = D[i, j]$ 
4:      $Close_A[i] = j$ 
5:   }

```

(ก)

```

1: for  $i = 1$  to  $m$ 
2:   for  $j = 1$  to  $n$  {
3:      $min = D[i, j]$ 
4:      $Close_A[i] = j$ 
5:   }

```

(ข)

รูปที่ 3.21 (ก) รหัสเทียมการหาจุดขอบแม่แบบที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบนำเข้า (ข) รหัสเทียมการหาจุดขอบนำเข้าที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบแม่แบบ

ขั้นตอนต่อไปจะหาระยะทางเฉลี่ยสำหรับการจับคู่จุดขอบแม่แบบที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบนำเข้าแต่ละจุด จากสมการ 3.6 และระยะทางเฉลี่ยสำหรับการจับคู่จุดขอบนำเข้าที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบแม่แบบแต่ละจุดจากสมการ 3.7 เมื่อได้ระยะทางเฉลี่ยสำหรับการจับคู่จุดที่ใกล้ที่สุดในขอบนำเข้าสำหรับขอบแม่แบบแต่ละจุดและระยะทางเฉลี่ยสำหรับการจับคู่จุดที่ใกล้ที่สุดในขอบนำเข้าสำหรับขอบแม่แบบแต่ละจุด โดยจะทำการหาค่าเฉลี่ยของการจับคู่ทั้งสองแบบดังสมการ 3.8

$$d_{ii} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sqrt{(x_i - x'_{\min i})^2 + (y_i - y'_{\min i})^2} \quad (3.6)$$

โดยที่  $x_i$  และ  $y_i$  คือค่าพิกัดในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  ของจุดขอบนำเข้าลำดับที่  $i$

$x'_{\min i}$  และ  $y'_{\min i}$  คือค่าพิกัดในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  ของจุดขอบแม่แบบที่ใกล้ที่สุดกับจุดขอบนำเข้าลำดับที่  $i$

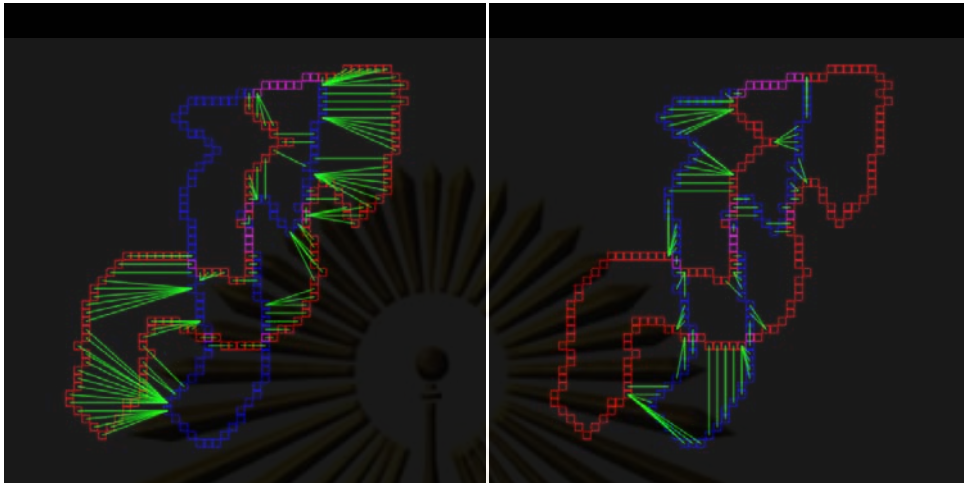
$$d_{ii} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{\min j} - x'_j)^2 + (y_{\min j} - y'_j)^2} \quad (3.7)$$

โดยที่  $x'_j$  และ  $y'_j$  คือค่าพิกัดในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  ของจุดขอบแม่แบบลำดับที่  $j$

$x_{\min j}$  และ  $y_{\min j}$  คือค่าพิกัดในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  ของจุดขอบนำเข้าที่ใกล้ที่สุดกับจุดขอบแม่แบบลำดับที่  $j$

$$d = \frac{d_{ii} + d_{ii}}{2} \quad (3.8)$$

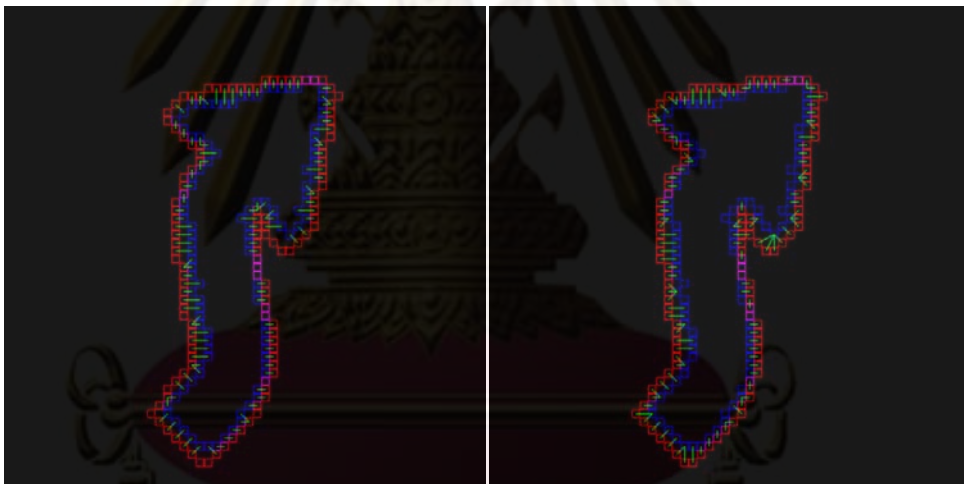
หากค่าที่คำนวณได้มีค่ามากแสดงว่าเป็นการจับคู่ที่ไม่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.22 (ก) และ (ข) ในทางตรงกันข้ามหากค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อยแสดงว่าเป็นการจับคู่ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.23 (ก) และ (ข) ดังนั้นผลลัพธ์ที่จะคืนค่าออกมาคือป้ายจรรยาบรรณป้ายเตือนในฐานะข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยตามสมการ น้อยที่สุด โดยที่ค่าระยะเฉลี่ยนี้จะต้องมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดจึงจะจำแนกเป็นป้ายเตือนหรือไม่ หากมีค่ามากกว่าจะจำแนกเป็นบริเวณที่มีพื้นหน้า (Foreground) สีดำ และพื้นหลังสีเหลือง (Background)



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการจับคู่ที่ไม่สอดคล้อง (ก) การจับคู่ขอบที่ใกล้ที่สุดจากขอบแม่แบบไปหาขอบนำเข้า (ข) การจับคู่ที่ใกล้ที่สุดจากขอบนำเข้าไปหาขอบแม่แบบ



(ก)

(ข)

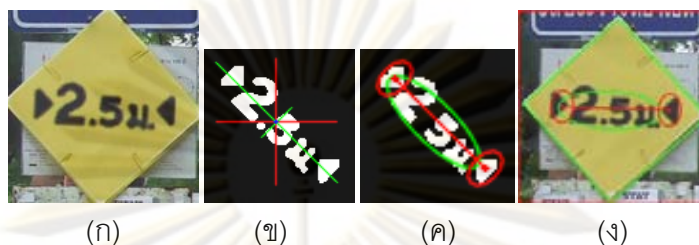
รูปที่ 3.23 ตัวอย่างการจับคู่ที่สอดคล้อง (ก) การจับคู่ขอบที่ใกล้ที่สุดจากขอบแม่แบบไปหาขอบนำเข้า (ข) การจับคู่ที่ใกล้ที่สุดจากขอบนำเข้าไปหาขอบแม่แบบ

### 3.3.3 การจำแนกป้ายจราจรแบบมาตรฐานรหัส ต.31 ต.32 และ ต.61

การจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนในกลุ่มนี้ จะวิเคราะห์ภาพลักษณะฐานสองของสัญลักษณ์สีดำที่ได้จากการแบ่งด้วยค่าขีดแบ่งหลังจากปรับฮิสโตแกรมให้เท่ากันแล้ว สำหรับป้ายเตือนรหัส ต.31 จะหาวัตถุที่อยู่ซ้ายสุดและวัตถุที่อยู่ขวาสุด จากนั้นวัตถุส่วนที่เหลือให้รวม



เป็นกลุ่มเดียวกัน หากมีคุณสมบัติสอดคล้องตามตารางที่ 3.2 ก็จะถูกจำแนกเป็นป้ายเตือนรหัส ต.31 ตัวอย่างการจำแนกป้ายเตือนรหัส ต.31 ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 (ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.31 (ข) ภาพลักษณะพื้นฐานสองของสัญลักษณ์สีดำที่หาได้ (ค) วัตถุที่ตรงตามตารางคุณสมบัติ (ง) ผลลัพธ์ของการจำแนก

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติที่นิยามสำหรับป้ายเตือนรหัส ต.31

คุณสมบัติ	วัตถุซ้ายสุด	วัตถุขวาสุด	วัตถุส่วนที่เหลือ
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางในแนวแกน $X$ ต่อความกว้าง	$0.2 \pm 0.05$	$0.8 \pm 0.05$	$0.5 \pm 0.10$
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางในแนวแกน $Y$ ต่อความสูง	$0.2 \pm 0.05$	$0.8 \pm 0.05$	$0.5 \pm 0.10$
อัตราส่วนพื้นที่วัตถุต่อพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมปิดล้อม	$\geq 0.5$	$\geq 0.5$	-
อัตราส่วนพื้นที่วัตถุต่อพื้นที่ทั้งหมด	$0.015 \pm 0.005$	$0.015 \pm 0.005$	$0.1 \pm 0.05$
อัตราส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวทแยงมุม ซ้ายบน-ขวาล่าง ต่อ ซ้ายล่าง-ขวาบน	-	-	$0.4 \pm 0.1$
อัตราส่วนระยะทางระหว่างจุดกึ่งกลางวัตถุซ้ายสุดกับจุด กึ่งกลางวัตถุขวาสุดต่อความยาวเส้นทแยงมุม	$0.6 \pm 0.5$		-
มุมทวนเข็มนาฬิกาของเส้นที่ลากจากจุดกึ่งกลางวัตถุซ้ายสุด ไปจุดกึ่งกลางวัตถุขวาสุดทำกับขอบภาพด้านล่าง	$135^\circ \pm 5^\circ$		-
วัตถุส่วนที่เหลือถูกผ่าด้วยเส้นที่ลากจากจุดกึ่งกลางวัตถุซ้าย สุดไปจุดกึ่งกลางวัตถุขวาสุด			ใช่

สำหรับป้ายเตือนรหัส ต.32 จะหาวัตถุที่อยู่บนสุดและวัตถุที่อยู่ล่างสุด จากนั้นวัดดูส่วนที่เหลือให้รวมเป็นกลุ่มเดียวกัน หากมีคุณสมบัติสอดคล้องตามตารางที่ 3.3 ก็จะทำเป็นป้ายเตือนรหัส ต.31 ตัวอย่างการจำแนกป้ายเตือนรหัส ต.32 ดังรูปที่ 3.25



(ก)

(ข)

(ค)

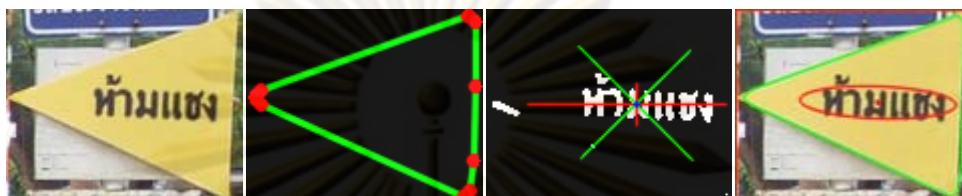
(ง)

รูปที่ 3.25 (ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.32 (ข) ภาพลักษณะพื้นฐานสองของสัญลักษณ์สีดำที่หาได้ (ค) วัตถุที่ตรงตามตารางคุณสมบัติ (ง) ผลลัพธ์ของการจำแนก

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติที่นิยามสำหรับป้ายเตือนรหัส ต.32

คุณสมบัติ	วัตถุบนสุด	วัตถุล่างสุด	วัตถุส่วนที่เหลือ
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางในแนวแกน $X$ ต่อความกว้าง	$0.8 \pm 0.05$	$0.2 \pm 0.05$	$0.5 \pm 0.10$
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางในแนวแกน $Y$ ต่อความสูง	$0.2 \pm 0.05$	$0.8 \pm 0.05$	$0.5 \pm 0.10$
อัตราส่วนพื้นที่วัตถุต่อพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมปิดล้อม	$\geq 0.5$	$\geq 0.5$	-
อัตราส่วนพื้นที่วัตถุต่อพื้นที่ทั้งหมด	$0.015 \pm 0.005$	$0.015 \pm 0.005$	$0.1 \pm 0.05$
อัตราส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวทแยงมุม ซ้ายบน-ขวาล่าง ต่อ ซ้ายล่าง-ขวาบน	-	-	$0.4 \pm 0.1$
อัตราส่วนระยะทางระหว่างจุดกึ่งกลางวัตถุบนสุดกับจุด กึ่งกลางวัตถุล่างสุดต่อความยาวเส้นทแยงมุม	$0.6 \pm 0.5$		-
มุมทวนเข็มนาฬิกาของเส้นที่ลากจากจุดกึ่งกลางวัตถุบนสุดไป จุดกึ่งกลางวัตถุล่างสุดทำกับขอบภาพด้านล่าง	$45^\circ \pm 5^\circ$		-
วัตถุส่วนที่เหลือถูกผ่าด้วยเส้นที่ลากจากจุดกึ่งกลางวัตถุบนสุด ไปจุดกึ่งกลางวัตถุล่างสุด	ใช่		

สำหรับป้ายเตือนรหัส ต.61 จะหาวัตถุที่อยู่ภายในพื้นที่ที่ปิดล้อมด้วยคอนกรีตฮัลหากมีคุณสมบัติสอดคล้องตามตารางที่ 3.4 ก็จะทำเนกเป็นเป็นป้ายเตือนรหัส ต.61 ตัวอย่างการจำเนกป้ายเตือนรหัส ต.61 ดังรูปที่ 3.26



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 3.26 (ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.61 (ข) คอนกรีตฮัลที่ปิดล้อมป้าย (ค) วัตถุที่อยู่ภายในคอนกรีตฮัล (ง) ผลลัพธ์ของการจำเนก

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติที่นิยามสำหรับป้ายเตือนรหัส ต.61

นิยาม	วัตถุนสูงสุด
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางในแนวแกน $X$ ต่อความกว้าง	$0.6 \pm 0.1$
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางในแนวแกน $Y$ ต่อความสูง	$0.5 \pm 0.1$
อัตราส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวนอนต่อแนวตั้ง	$\geq 2.0$
อัตราส่วนจำนวนจุดพิกเซลสีดำภายในคอนกรีตฮัลต่อพื้นที่ทั้งหมด	$0.075 \pm 0.025$
อัตราส่วนพื้นที่ที่เหลือจากการอินเตอร์เซกกันของบริเวณภายในคอนกรีตฮัลกับรูปสามเหลี่ยมแม่แบบ ต่อพื้นที่ทั้งหมด	$\leq 0.1$

### 3.3.4 การจำเนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแบบมาตรฐานที่มีสี

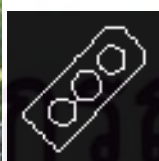
การจำเนกป้ายจราจรในกลุ่มนี้ เกิดขึ้นภายหลังจากจำเนกขอบนำเข้าแล้ว แต่ต้องการยืนยันว่าขอบนำเข้านั้นมีสีตรงตามป้ายจราจรแม่แบบในฐานข้อมูล โดยจะตรวจหาตำแหน่งของสีแดง สีเขียว และสีขาว ในภาพโพรไฟล์สี หากมีคุณสมบัติสอดคล้องตามตารางที่ 3.5 ก็จะทำเนกเป็นป้ายเตือนตามรหัสที่สอดคล้อง การจำเนกป้ายเตือนในกลุ่มนี้ดังรูปที่ 3.27 ถึง 3.31

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติที่นิยามสำหรับป้ายเตือนรหัส ต.53 ต.54 ต.55 ต.26 ต.27

คุณสมบัติ	ต.53	ต.54	ต.55	ต.26	ต.27
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุสีแดง ในแนวแกน $X$ ต่อความกว้าง	$0.65 \pm 0.05$	$0.4 \pm 0.05$	-	$0.55 \pm 0.05$	$0.55 \pm 0.05$
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุสีแดง ในแนวแกน $Y$ ต่อความสูง	$0.35 \pm 0.05$	$0.6 \pm 0.05$	-	$0.55 \pm 0.05$	$0.55 \pm 0.05$
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุสีเขียว ในแนวแกน $X$ ต่อความกว้าง	$0.35 \pm 0.05$	-	-	-	-
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุสีเขียว ในแนวแกน $Y$ ต่อความสูง	$0.65 \pm 0.05$	-	-	-	-
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุสีขาว ในแนวแกน $X$ ต่อความกว้าง	-	-	$0.4 \pm 0.05$	-	-
อัตราส่วนตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุสีขาว ในแนวแกน $Y$ ต่อความสูง	-	-	$0.6 \pm 0.05$	-	-
ร้อยละของพื้นที่ที่อินเตอร์เซกกันของวัตถุ สีแดงระหว่างวัตถุนำเข้าและวัตถุแม่แบบ	$\geq 80$	$\geq 80$	-	$\geq 80$	$\geq 80$
ร้อยละของพื้นที่ที่อินเตอร์เซกกันของวัตถุ สีเขียวระหว่างวัตถุนำเข้าและวัตถุแม่แบบ	$\geq 80$	-	-	-	-
ร้อยละของพื้นที่ที่อินเตอร์เซกกันของวัตถุ สีขาวระหว่างวัตถุนำเข้าและวัตถุแม่แบบ	-	-	$\geq 80$	-	-



(ก)



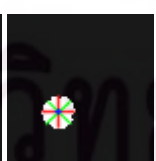
(ข)



(ค)



(ง)



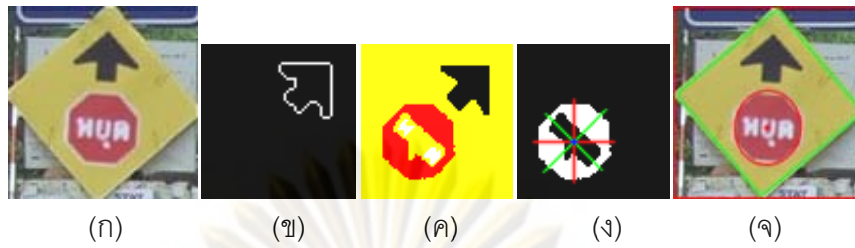
(จ)



(ฉ)

รูปที่ 3.27 (ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.53 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัตถุสีแดง  
ที่ตรวจหาได้ (จ) วัตถุสีเขียวที่ตรวจหาได้ (ฉ) ผลลัพธ์ของการจำแนก

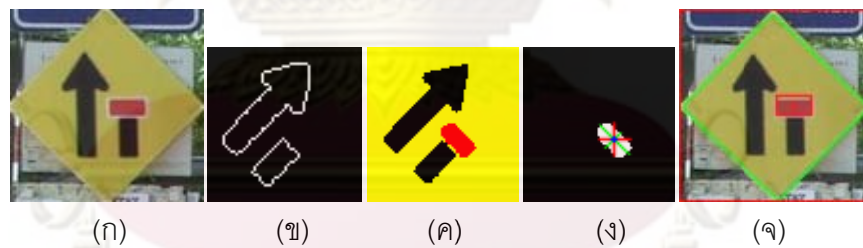




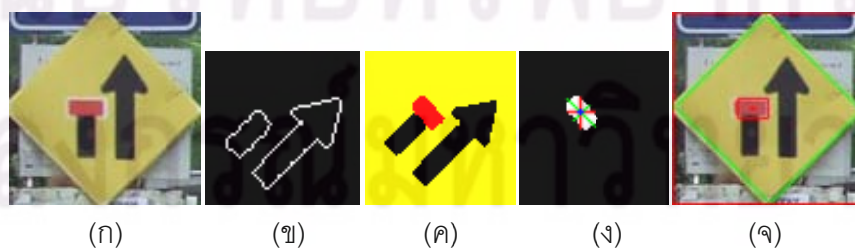
รูปที่ 3.28 (ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.54 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัตถุสีแดง  
ที่ตรวจหาได้ (จ) ผลลัพธ์ของการจำแนก



รูปที่ 3.29 (ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.55 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัตถุสีขาว  
ที่ตรวจหาได้ (จ) ผลลัพธ์ของการจำแนก



รูปที่ 3.30 (ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.26 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัตถุสีแดง  
ที่ตรวจหาได้ (จ) ผลลัพธ์ของการจำแนก



รูปที่ 3.31 (ก) บริเวณที่สนใจที่มีป้ายเตือนรหัส ต.27 (ข) โพรไฟล์ขอบ (ค) โพรไฟล์สี (ง) วัตถุสีแดง  
ที่ตรวจหาได้ (จ) ผลลัพธ์ของการจำแนก

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

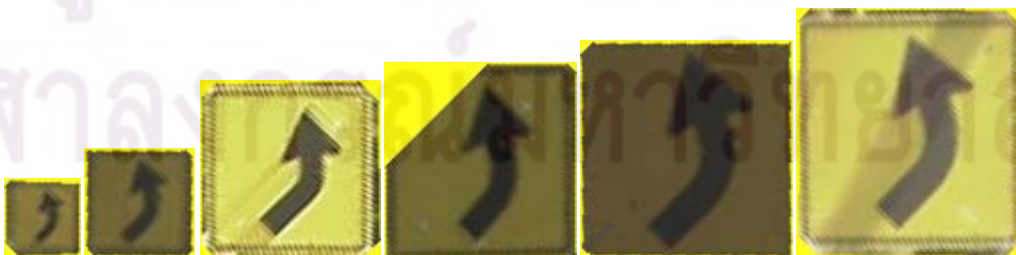
#### 4.1 การทดลองหาค่าขีดแบ่งสำหรับขั้นตอนการจำแนก

ขั้นตอนที่เสนอในงานวิจัยนี้จะให้ผลลัพธ์ในการจำแนกว่าบริเวณที่สนใจนั้นใกล้เคียงกับป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนในฐานะข้อมูลป้ายใดมากที่สุดเสมอ แม้ว่าบริเวณที่สนใจนั้นเป็นป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนในฐานะข้อมูลหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทดลองหาค่าขีดแบ่ง  $\tau$  ที่ใช้ในการตัดสินใจว่าป้ายจราจรเป็นป้ายที่อยู่ในฐานข้อมูลหรือไม่ โดยค่าขีดแบ่ง  $\tau$  ที่หานั้นเป็นค่าขีดแบ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดเชิงลบและความผิดพลาดเชิงบวกรวมกันน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนวิธีการหาค่าขีดแบ่ง  $\tau$  สำหรับแต่ละป้ายเตือน

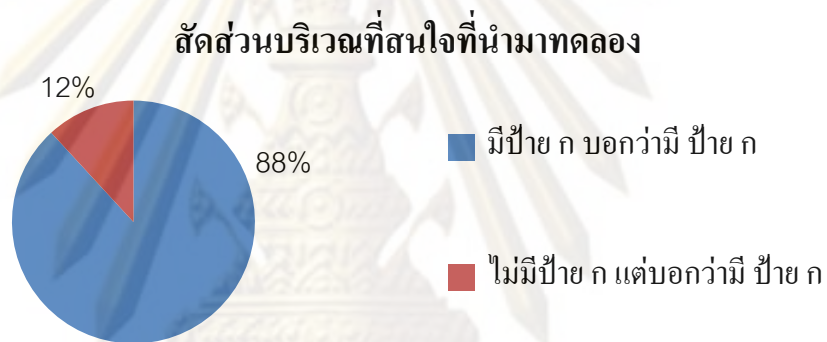
งานวิจัยนี้ได้ทดลองหาค่าขีดแบ่ง  $\tau$  กับบริเวณที่สนใจจำนวน 5,293 บริเวณ แบ่งเป็นบริเวณที่มีป้าย ก บอกว่ามีป้าย ก จำนวน 4,666 บริเวณ ตัวอย่างดังรูปที่ 4.2 และบริเวณที่ไม่มีป้าย ก แต่บอกว่ามีป้าย ก จำนวน 627 บริเวณ ตัวอย่างดังรูปที่ 4.3 อัตราส่วนร้อยละของบริเวณที่สนใจที่นำมาทดลองดังรูปที่ 4.4 ได้ผลลัพธ์การทดลองหาค่าขีดแบ่ง  $\tau$  สำหรับป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนในฐานะข้อมูลแต่ละป้าย ดังรูปที่ 4.5 โดยมีค่าเฉลี่ยของค่าขีดแบ่ง  $\tau$  เท่ากับ 3.9



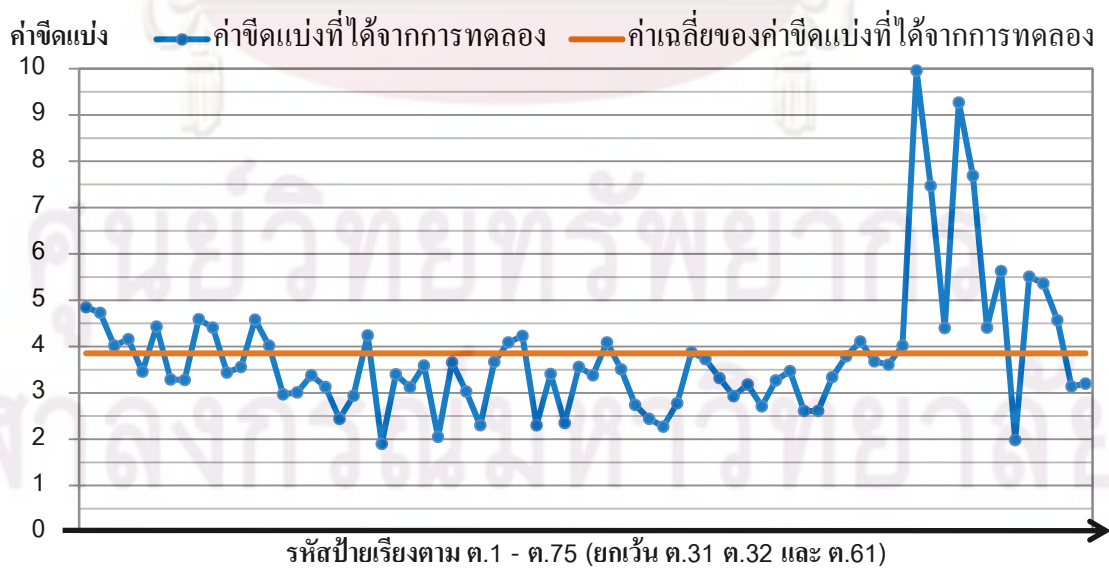
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างบริเวณที่สนใจที่มีป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนตามแบบมาตรฐาน



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างบริเวณที่สนใจที่ไม่มีป้ายจรรยาบรรณป้ายเตือนตามแบบมาตรฐาน

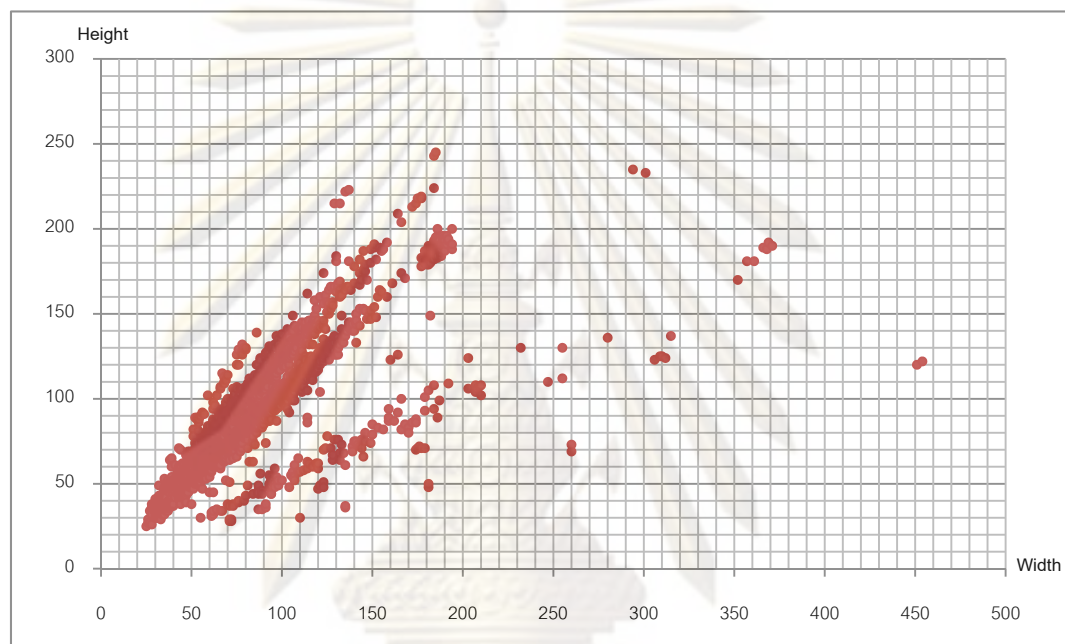


รูปที่ 4.4 สัดส่วนบริเวณที่สนใจที่นำมาทดลอง



รูปที่ 4.5 ค่าขีดแบ่ง  $\tau$  ที่ได้จากการทดลอง

โดยบริเวณที่สนใจที่มีป้าย ก บอกว่ามีป้าย ก จำนวนทั้งหมด 4,666 บริเวณ มีการกระจายของขนาดความกว้างxความสูง ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 79x83 พิกเซล โดยมีขนาดเล็กสุดเท่ากับ 25x25 พิกเซล ดังรูป และขนาดใหญ่สุดเท่ากับ 369x192 พิกเซล มีความกว้างมากที่สุดเท่ากับ 454 พิกเซล มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 245 พิกเซล



รูปที่ 4.6 การกระจายตัวความกว้างxความสูง ของบริเวณป้ายจราจรที่ตรวจหาได้

#### 4.2 การทดลองขั้นตอนวิธีกับภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจสายทางโดยรถสำรวจ

การทดลองนี้ได้ทดลองขั้นตอนวิธีที่เสนอกับภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจสายทางในสภาพแวดล้อมเปิด โดยทดลองทั้งสิ้น 5,135 ภาพ โดยแบ่งเป็น ภาพที่ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนจำนวน 4,154 ภาพ และภาพที่ไม่มีป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนจำนวน 981 ภาพ มีความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ 17.14 ความผิดพลาดเชิงบวกเฉลี่ยร้อยละ 1.07 โดยผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงลบแยกตามรหัสป้าย ดังตารางที่ 4.1 สาเหตุความผิดพลาดเชิงลบดังตารางที่ 4.2 และผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงบวก ดังตารางที่ 4.3 สาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกดังตารางที่ 4.4 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจสายทางในโดยรถสำรวจสายทาง ดังรูปที่ 4.7 ตัวอย่างผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4.8





รูปที่ 4.7 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจสายทางโดยรถสำรวจสายทาง



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการขั้นตอนวิธีที่เสนอ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงลบกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยรถสำรวจสายทาง โดยแยกวิเคราะห์ผลตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส

รหัสป้าย	จำนวนรูปภาพทั้งหมด	จำนวนรูปภาพที่ตรวจหาและจำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ตรวจหาและจำแนกไม่ถูกต้อง	ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ	ความผิดพลาดเชิงลบคิดเป็นร้อยละ
ต.1	439	365	74	83.14	16.86
ต.2	424	357	67	84.20	15.80
ต.3	72	60	12	83.33	16.67
ต.4	84	72	12	85.71	14.29
ต.5	122	102	20	83.61	16.39
ต.6	121	100	21	82.64	17.36
ต.7	53	44	9	83.02	16.98
ต.8	47	42	5	89.36	10.64
ต.9	261	211	50	80.84	19.16
ต.10	289	239	50	82.70	17.30
ต.11	26	20	6	76.92	23.08
ต.12	4	3	1	75.00	25.00
ต.13	128	111	17	86.72	13.28
ต.14	76	67	9	88.16	11.84
ต.15	2	2	0	100.00	0.00



ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงลบกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดย  
รถสำรวจสายทาง โดยแยกวิเคราะห์ผลตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส (ต่อ)

รหัสป้าย	จำนวน รูปภาพ ทั้งหมด	จำนวนรูปภาพ ที่ตรวจหาและ จำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ ตรวจหาและ จำแนกไม่ถูกต้อง	ความถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ	ความผิดพลาดเชิง ลบคิดเป็นร้อยละ
ต.17	7	5	2	71.43	28.57
ต.18	4	4	0	100.00	0.00
ต.19	1	1	0	100.00	0.00
ต.20	5	4	1	80.00	20.00
ต.21	12	12	0	100.00	0.00
ต.23	24	23	1	95.83	4.17
ต.24	1	1	0	100.00	0.00
ต.25	81	67	14	82.72	17.28
ต.33	56	42	14	75.00	25.00
ต.34	64	53	11	82.81	17.19
ต.36	1	1	0	100.00	0.00
ต.38	10	7	3	70.00	30.00
ต.46	2	1	1	50.00	50.00
ต.47	1	1	0	100.00	0.00
ต.48	16	14	2	87.50	12.50



ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงลบกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดย  
รถสำรวจสายทาง โดยแยกวิเคราะห์ผลตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส (ต่อ)

รหัสป้าย	จำนวน รูปภาพ ทั้งหมด	จำนวนรูปภาพ ที่ตรวจหาและ จำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ ตรวจหาและ จำแนกไม่ถูกต้อง	ความถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ	ความผิดพลาดเชิง ลบคิดเป็นร้อยละ
ต.49	10	9	1	90.00	10.00
ต.52	1	1	0	100.00	0.00
ต.53	13	0	13	0.00	100.00
ต.56	3	2	1	66.67	33.33
ต.57	97	80	17	82.47	17.53
ต.58	14	11	3	78.57	21.43
ต.62	16	13	3	81.25	18.75
ต.63	1,046	861	185	82.31	17.69
ต.65	65	55	10	84.62	15.38
ต.66	450	375	75	83.33	16.67
ต.68	40	33	7	82.50	17.50
ต.70	1	1	0	100.00	0.00
ต.71	11	10	1	90.91	9.09
ต.72	24	18	6	75.00	25.00
ต.73	1	1	0	100.00	0.00

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงลบกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยรถสำรวจสายทาง โดยแยกวิเคราะห์ผลตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส (ต่อ)

รหัสป้าย	จำนวนรูปภาพทั้งหมด	จำนวนรูปภาพที่ตรวจหาและจำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ตรวจหาและจำแนกไม่ถูกต้อง	ความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ	ความผิดพลาดเชิงลบคิดเป็นร้อยละ
ต.75	5	4	1	80.00	20.00
รวม	4,230	3,505	725	82.86	17.14

ตารางที่ 4.2 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบ

สาเหตุ	ร้อยละ
การหาคอนเวกซ์ฮัลผิดพลาดเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เป็นสีเหลืองหรือมีวัตถุสีเหลืองอยู่รอบข้างป้ายจราจร	40.35
ป้ายจราจรสีซีด	13.61
แสงที่ตกลงบนป้ายจราจรน้อยเกินไป	13.29
การเสียรูปแบบบิดเบือนเนื่องจากมุมที่กล้องทำกับป้าย	11.08
มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางบดบังป้ายจราจร	6.80
ป้ายจราจรสกปรกหรือเปียก	5.70
แสงที่ตกลงบนป้ายจราจรมากเกินไป	2.22
อื่นๆ เช่น ป้ายจราจรมีบางส่วนหลุดจากภาพ ป้ายจราจรวางซ้อนกันในแนวตั้งที่ตัดแยกผิดพลาด ป้ายจราจรที่หาได้ไม่เชื่อมต่อกัน เป็นต้น	6.48

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาความผิดพลาดเชิงบวกกับภาพถ่ายที่ถ่ายโดยรถสำรวจสายทาง

	จำนวนรูปภาพ ทั้งหมด	จำนวนรูปภาพที่มี ความผิดพลาดเชิงบวก	ผิดพลาดเชิงบวกคิด เป็นร้อยละ
ภาพที่มีป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน	4,154	30	0.72
ภาพที่ไม่มีป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน	981	25	2.55
รวม	5,135	55	1.07

ตารางที่ 4.4 การแจกแจงสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวก

สาเหตุ	ร้อยละ
วัตถุที่มีสีเหลือง เช่น บ้าน ป้าย รถยนต์ คน พุ่มไม้ เป็นต้น	50.91
การหาคอนเวกซ์ฮัลผิดพลาดเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เป็นสีเหลืองหรือมีวัตถุสีเหลืองอยู่รอบข้างป้ายจราจร	38.18
มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางบดบังป้ายจราจร	7.27
ป้ายจราจรสกปรกหรือเปื้อน	1.82
ป้ายจราจรวางซ้อนกันในแนวตั้งที่ตัดแยกผิดพลาด	1.82

สาเหตุความผิดพลาดเชิงลบส่วนใหญ่เกิดจาก การหาคอนเวกซ์ฮัลผิดพลาดเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เป็นสีเหลืองหรือมีวัตถุสีเหลืองอยู่รอบข้างป้ายจราจร ดังรูปที่ 4.9 ส่วนสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกส่วนใหญ่เกิดจาก วัตถุที่มีสีเหลือง เช่น บ้าน ป้าย รถยนต์ คน พุ่มไม้ เป็นต้น ดังรูปที่ 4.9 ส่วนสาเหตุอื่นๆที่ทำให้เกิดความผิดพลาด ได้แก่ ป้ายจราจรสีซีด ดังรูปที่ 4.10 แสงที่ตกลงบนป้ายจราจรน้อยเกินไป ดังรูปที่ 4.11 การเสียรูปแบบบิดเบือนเนื่องจากมุมที่กล้องทำกับป้าย ดังรูปที่ 4.12 มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางบดบังป้ายจราจร ดังรูปที่ 4.13 ป้ายจราจรสกปรกหรือเปื้อน ดังรูปที่ 4.14 แสงที่ตกลงบนป้ายจราจรมากเกินไป ดังรูปที่ 4.15 และอื่นๆ เช่น ป้ายจราจรมีบางส่วนหลุดจากภาพ ป้ายจราจรวางซ้อนกันในแนวตั้งที่ตัดแยกผิดพลาด ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างวัตถุอื่น ๆ ที่เป็นสีเหลือง



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างป้ายจราจรสีขีด



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างป้ายจราจรที่มีแสงตกลงบนพื้นผิวน้อย





รูปที่ 4.12 ตัวอย่างป้ายจราจรที่เสียรูปแบบบิดเบี้ยว



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างป้ายจราจรที่สกปรกหรือเปื้อน



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างป้ายจราจรที่ถูกสิ่งกีดขวางบัง



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างป้ายจราจรที่มีแสงตกลงบนพื้นผิวมากเกินไป



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.16 (ก) ตัวป้ายจราจรที่ซ้อนกันในแนวตั้งตั้งแต่ตัดแยกผิวดลาด (ข) ตัวอย่างป้ายจราจรที่มีบางส่วนหลุดจากภาพไป

#### 4.3 การทดลองขั้นตอนวิธีกับภาพถ่ายที่ถ่ายโดยผู้วิจัย

การทดลองนี้ได้ทดลองขั้นตอนวิธีที่เสนอกับภาพถ่ายป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายดิจิทัลที่ถ่ายโดยผู้วิจัย โดยภาพถ่ายที่ใช้เป็นไฟล์สกุล JPEG ที่มีความละเอียด 1,280 x 960 พิกเซล เท่ากับภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจสายทางโดยรถสำรวจ ทดลองทั้งสิ้น 1,050 ภาพ แบ่งออกเป็น 14 ภาพ ในป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส โดยถ่ายทั้งหมด 7 ระยะเวลาแต่ละระยะถ่ายภาพ ได้แก่ ภาพที่ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนอยู่ส่วนซ้ายของภาพและภาพที่ป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนอยู่ส่วนขวาของภาพ เริ่มต้นถ่ายที่ระยะ 3 เมตร เพิ่มขึ้นทีละ 2 เมตร จนถึงระยะ 15



เมตร บ้ายจรรยาชนิตป้ายเตือนที่ใช้มีขนาดพื้นที่เป็น 1 ใน 4 ของขนาดมาตรฐาน โดยมีความสูงและความกว้างเป็นครึ่งหนึ่งของขนาดมาตรฐาน ผลการทดลองมีความถูกต้องร้อยละ 94.10 มีความผิดพลาดเชิงลบร้อยละ 5.24 ดังตารางที่ 4.5 และมีความผิดพลาดเชิงบวกร้อยละ 0.67 ดังตารางที่ 4.6 ตัวอย่างภาพที่ถ่ายโดยผู้วิจัย ดังรูปที่ 4.17 ถึง รูปที่ 4.23



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 3 เมตร



รูปที่ 4.18 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 5 เมตร



รูปที่ 4.19 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 7 เมตร



รูปที่ 4.20 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 9 เมตร



รูปที่ 4.21 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 11 เมตร



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 13 เมตร





รูปที่ 4.23 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ระยะ 15 เมตร

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย โดยแยกวิเคราะห์ผล

ตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส

รหัสป้าย	จำนวนรูปภาพทั้งหมด	จำนวนรูปภาพที่ตรวจหาและจำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ผิดพลาดเชิงลบ	จำนวนรูปภาพที่ผิดพลาดเชิงบวก
ต.1	14	14	0	0
ต.2	14	14	0	0
ต.3	14	14	0	0
ต.4	14	14	0	0
ต.5	14	14	0	0
ต.6	14	14	0	0
ต.7	14	14	0	0
ต.8	14	13	0	1

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย โดยแยกวิเคราะห์ผล  
ตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส (ต่อ)

รหัสป้าย	จำนวนรูปภาพ ทั้งหมด	จำนวนรูปภาพ ที่ตรวจหาและ จำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ ผิดพลาดเชิงลบ	จำนวนรูปภาพที่ ผิดพลาดเชิงบวก
ต.9	14	14	0	0
ต.10	14	14	0	0
ต.11	14	14	0	0
ต.12	14	14	0	0
ต.13	14	14	0	0
ต.14	14	14	0	0
ต.15	14	14	0	0
ต.16	14	14	0	0
ต.17	14	14	0	0
ต.18	14	14	0	0
ต.19	14	14	0	0
ต.20	14	14	0	0
ต.21	14	14	0	0
ต.22	14	14	0	0
ต.23	14	14	0	0

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย โดยแยกวิเคราะห์ผล  
ตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส (ต่อ)

รหัสป้าย	จำนวนรูปภาพ ทั้งหมด	จำนวนรูปภาพที่ ตรวจหาและ จำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ ผิดพลาดเชิงลบ	จำนวนรูปภาพที่ ผิดพลาดเชิงบวก
ต.24	14	14	0	0
ต.25	14	14	0	0
ต.26	14	11	3	0
ต.27	14	11	2	1
ต.28	14	12	2	0
ต.29	14	14	0	0
ต.30	14	11	3	0
ต.31	14	11	0	3
ต.32	14	14	0	0
ต.33	14	14	0	0
ต.34	14	14	0	0
ต.36	14	14	0	0
ต.37	14	14	0	0
ต.38	14	14	0	0
ต.39	14	11	3	0

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย โดยแยกวิเคราะห์ผล  
ตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส (ต่อ)

รหัสป้าย	จำนวนรูปภาพ ทั้งหมด	จำนวนรูปภาพที่ ตรวจหาและ จำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ ผิดพลาดเชิงลบ	จำนวนรูปภาพที่ ผิดพลาดเชิงบวก
ต.40	14	10	3	1
ต.41	14	14	0	0
ต.42	14	14	0	0
ต.43	14	14	0	0
ต.44	14	14	0	0
ต.45	14	14	0	0
ต.46	14	14	0	0
ต.47	14	14	0	0
ต.48	14	12	2	0
ต.49	14	10	4	0
ต.50	14	14	0	0
ต.51	14	14	0	0
ต.52	14	14	0	0
ต.53	14	12	2	0
ต.54	14	13	1	0



ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย โดยแยกวิเคราะห์ผลตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส (ต่อ)

รหัสป้าย	จำนวนรูปภาพทั้งหมด	จำนวนรูปภาพที่ตรวจหาและจำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ผิดพลาดเชิงลบ	จำนวนรูปภาพที่ผิดพลาดเชิงบวก
ต.55	14	10	3	1
ต.56	14	14	0	0
ต.57	14	14	0	0
ต.58	14	14	0	0
ต.59	14	14	0	0
ต.60	14	14	0	0
ต.61	14	14	0	0
ต.62	14	13	1	0
ต.63	14	14	0	0
ต.64	14	10	4	0
ต.65	14	14	0	0
ต.66	14	14	0	0
ต.67	14	12	2	0
ต.68	14	14	0	0
ต.69	14	10	4	0

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย โดยแยกวิเคราะห์ผลตามรหัสป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแต่ละรหัส (ต่อ)

รหัสป้าย	จำนวนรูปภาพทั้งหมด	จำนวนรูปภาพที่ตรวจหาและจำแนกถูกต้อง	จำนวนรูปภาพที่ผิดพลาดเชิงลบ	จำนวนรูปภาพที่ผิดพลาดเชิงบวก
ต.70	14	14	0	0
ต.71	14	10	4	0
ต.72	14	8	6	0
ต.73	14	8	6	0
ต.74	14	14	0	0
ต.75	14	14	0	0
รวม	1,050	988	55	7
ร้อยละ	100.00	94.10	5.24	0.67

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองกับภาพป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ถ่ายโดยผู้วิจัย  
โดยแยกวิเคราะห์ผลตามระยะทางที่ถ่าย

ระยะทาง	3 เมตร	5 เมตร	7 เมตร	9 เมตร	11 เมตร	13 เมตร	15 เมตร
ขนาดเฉลี่ยของ ความกว้างxความสูง	199x189	112x106	78x74	58x55	48x45	39x38	34x33
จำนวนภาพถ่าย ทั้งหมด	150	150	150	150	150	150	150
จำนวนภาพถ่ายที่ ตรวจหาและจำแนก ถูกต้อง	150	150	150	150	144	128	116
จำนวนภาพถ่ายที่ ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ	100.00	100.00	100.00	100.00	96.00	85.33	77.33

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอขั้นตอนวิธีการตรวจหาและการจำแนกป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนแบบมาตรฐาน [1] ที่กำหนดโดยกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1 ขั้นตอนวิธีที่เสนอในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการตรวจหาและขั้นตอนการจำแนก ขั้นตอนการตรวจหาทำโดยตรวจหาจากสีของป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลสีแม่แบบ และระบุบริเวณของป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนโดยการหาจุดสีเหลืองปิดล้อมที่มีพื้นที่น้อยที่สุดด้วยวิธีการวัดขนาดด้วยการหมุน ในขั้นตอนการจำแนกจะหาขอบของสัญลักษณ์สีดำในบริเวณที่วางนี้ และนำขอบที่หาได้ไปเปรียบเทียบกับขอบของป้ายจราจรแม่แบบในฐานข้อมูล ด้วยการหาค่าเฉลี่ยของระยะห่างที่ได้จากการจับคู่จุดขอบแม่แบบที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบนำเข้าแต่ละจุด และการหาค่าเฉลี่ยของระยะห่างที่ได้จากการจับคู่จุดขอบนำเข้าที่ใกล้ที่สุดสำหรับขอบแม่แบบแต่ละจุด

2.งานวิจัยนี้ทดลองกับรูปสี่แบบ RGB ขนาด 1,280x960 พิกเซล ทั้งสิ้น 6,185 ภาพ แบ่งเป็นภาพถ่ายในสภาพแวดล้อมเปิดที่ได้จากรถสำรวจสายทางจำนวน 5,135 ภาพ และภาพถ่ายในสภาพแวดล้อมเปิดโดยผู้วิจัยเป็นผู้ถ่ายภาพจำนวน 1,050 ภาพ โดยผลการทดลองกับภาพที่ได้จากการสำรวจสายทางโดยรถสำรวจสายทาง มีความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ 17.14 และมีความผิดพลาดเชิงบวกเฉลี่ยร้อยละ 1.07 โดยผลการทดลองกับภาพที่ถ่ายโดยผู้วิจัย มีความผิดพลาดเชิงลบเฉลี่ยร้อยละ 5.24 และมีความผิดพลาดเชิงบวกเฉลี่ยร้อยละ 0.67

3.ความผิดพลาดเกิดจากสาเหตุหลายประการซึ่งสาเหตุของความผิดพลาดเชิงลบสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1 โดยสาเหตุของความผิดพลาดเชิงลบส่วนใหญ่เกิดจากการหาคอนเวกซ์ฮัลล์ผิดพลาดเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เป็นสีเหลืองหรือมีวัตถุสีเหลืองอยู่รอบข้างป้ายจราจร สาเหตุความผิดพลาดเชิงบวกสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.2 โดยสาเหตุของความผิดพลาดเชิงบวกส่วนใหญ่เกิดจากวัตถุที่มีสีเหลือง เช่น บ้าน ป้าย รถยนต์ คน พุ่มไม้ เป็นต้น



ตารางที่ 5.1 สรุปสาเหตุความผิดพลาดเชิงลบ

สาเหตุ	ร้อยละ
การหาคอนเวกซ์ฮัลผิดพลาดเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เป็นสีเหลืองหรือมีวัตถุสีเหลืองอยู่รอบข้างป้ายจราจร	40.35
ป้ายจราจรสีซีด	13.61
แสงที่ตกลงบนป้ายจราจรน้อยเกินไป	13.29
การเสียรูปแบบบิดเบือนเนื่องจากมุมที่กล้องทำกับป้าย	11.08
มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางบดบังป้ายจราจร	6.80
ป้ายจราจรสกปรกหรือเปื้อน	5.70
แสงที่ตกลงบนป้ายจราจรมากเกินไป	2.22
อื่นๆ เช่น ป้ายจราจรมีบางส่วนหลุดจากภาพ ป้ายจราจรวางซ้อนกันในแนวตั้งที่ตัดแยกผิดพลาด ป้ายจราจรที่หาได้ไม่เชื่อมต่อกัน เป็นต้น	6.48

ตารางที่ 5.2 สรุปสาเหตุความผิดพลาดเชิงบวก

สาเหตุ	ร้อยละ
วัตถุที่มีสีเหลือง เช่น บ้าน ป้าย รถยนต์ คน พุ่มไม้ เป็นต้น	50.91
การหาคอนเวกซ์ฮัลผิดพลาดเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เป็นสีเหลืองหรือมีวัตถุสีเหลืองอยู่รอบข้างป้ายจราจร	38.18
มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางบดบังป้ายจราจร	7.27
ป้ายจราจรสกปรกหรือเปื้อน	1.82
ป้ายจราจรวางซ้อนกันแนวตั้งที่ตัดแยกผิดพลาด	1.82

## 5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. ขั้นตอนวิธีที่เสนอเหมาะสมกับภาพถ่ายดิจิทัลที่เก็บข้อมูลในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่แสงสว่างเพียงพอ และต้องเป็นภาพถ่ายที่เก็บข้อมูลในสภาพอากาศที่แจ่มใสไม่มีฝนตกหรือหมอก

2. ในกรณีที่เป็นป้ายเตือนเสริม คือ เป็นป้ายสีเหลืองมูมจากพื้นเหลืองซึ่งมีคำหรือข้อความได้หลากหลาย ขั้นตอนวิธีที่เสนอสามารถระบุได้เป็นเพียงบริเวณที่มีสีพื้นหลัง (Background Color) เป็นสีเหลือง และมีสีพื้นหน้า (Foreground Color) เป็นสีดำ

3. ขั้นตอนวิธีที่เสนอสามารถตรวจหาและจำแนกป้ายเตือนที่มีการหมุนทำมุมกับแนวราบในช่วง  $0^{\circ}$  ถึง  $90^{\circ}$  เท่านั้น

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

เมื่อทดลองขั้นตอนวิธีที่เสนอพบว่ามีส่วนที่สามารถปรับปรุงเพื่อให้ขั้นตอนวิธีที่เสนอมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นได้ ดังต่อไปนี้

1. ความผิดพลาดที่เกิดจากวัตถุที่มีสีเหลือง เช่น บ้าน คน พุ่มไม้ เป็นต้น อาจทำให้ลดลงได้ด้วยการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว (Texture Analysis)

2. การใช้ภาพนำเข้าที่มีความละเอียด (Resolution) มากขึ้นและไม่ถูกบีบอัด (Compression) สามารถทำให้การตรวจหาจุดภาพสีเหลือง การหาสัญลักษณ์สีดำและการหาขอบมีความแม่นยำมากขึ้น

3. รฐานข้อมูลสีแม่แบบของป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนสามารถปรับปรุง ให้มีความรัดกุมและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มน้ำหนักหรือค่าความน่าจะเป็นให้แต่ละระเบียบ (Record) ในฐานข้อมูลสี (ซึ่งเก็บเฉพาะค่าสีและค่าความเข้มตัวแต่ไม่ได้เก็บค่าความสว่าง) โดยระเบียบที่พบมากให้น้ำหนักมาก ระเบียบที่พบน้อยให้น้ำหนักน้อย หรือปรับปรุงให้มีการบันทึกความสัมพันธ์ของสีระหว่างจุดภาพที่ทำการบันทึกและจุดภาพรอบข้าง โดยขั้นตอนการหาสีของป้ายเตือนจะไม่พิจารณาเพียงสีของจุดภาพที่สนใจว่าอยู่ในฐานข้อมูลเท่านั้น แต่จะพิจารณาความสัมพันธ์ของสีระหว่างจุดภาพรอบข้างที่มีต่อจุดภาพที่สนใจด้วย

4.ลดเวลาในการประมวลผลให้น้อยลง โดยแก้ไขการเปรียบเทียบขอบนำเข้ากับขอบแม่แบบทั้งหมดเป็นการแบ่งกลุ่ม (Clustering) เปรียบเทียบ

5.ปรับปรุงให้ระบบสามารถรองรับการเพิ่มป้ายเตือนที่มีสีนอกเหนือจากสีเหลืองและสีดำ โดยการเพิ่มขอบแม่แบบสำหรับการเปรียบเทียบ โดยมีขอบแม่แบบ 5 อันต่อ 1 ป้าย ได้แก่ ขอบของสีดำ ขอบของสีขาว ขอบของสีแดง ขอบของสีเขียว และขอบของสีน้ำเงิน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [1] กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. ป้ายจราจรบนทางหลวง [Online]. Available From: [http://www.doh.go.th/dohweb/data/data\\_05-2.html](http://www.doh.go.th/dohweb/data/data_05-2.html)
- [2] Xu, B. and Huang, Y. Automatic Inspection of Pavement Cracking Distress. Journal of Electronic Imaging Volume 15, 2005 : 1-10.
- [3] กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. มาตรฐานป้ายจราจร. ชุดที่ 2 ป้ายเตือน, 252-343. สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและการจราจร (สนข.) : 2521
- [4] Gonzalez, R.C. and Woods, R.E.. Digital Image Processing. Second Edition. Prentice Hall, 2002
- [5] Wikipedia. HSL and HSV [Online]. 2009. Available From: [http://en.wikipedia.org/wiki/HSL\\_and\\_HSV](http://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV)
- [6] David F. Rogers and J. Alan Adams. Mathematical Elements for Computer Graphics. McGraw-Hill, 1990
- [7] R. Fisher, S. Perkins, A. Walker and E. Wolfart. Gaussian Smoothing [Online]. Available From: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>
- [8] R. Fisher, S. Perkins, A. Walker and E. Wolfart. Median Filter [Online]. Available From: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/median.htm>
- [9] Romanofski. Edge-Detect Filters [Online]. Available From: [http://www.linuxtopia.org/online\\_books/graphics\\_tools/gimp\\_user\\_manual/en/plugin-in-laplace.html](http://www.linuxtopia.org/online_books/graphics_tools/gimp_user_manual/en/plugin-in-laplace.html)
- [10] Wikipedia. Histogram Equalization [Online]. Available From: [http://en.wikipedia.org/wiki/Histogram\\_Equalization](http://en.wikipedia.org/wiki/Histogram_Equalization)
- [11] Preparata, F.P. and Shamos, M.I.. Computational Geometry: An Introduction. Springer, 1985
- [12] Toussaint, G.T.. Solving geometric problems with the rotating calipers. Proceedings of IEEE MELECON 1983 : 1-8.
- [13] Pirzadeh, H.. Computational geometry with the rotating calipers. Master's thesis. School of Computer Science, McGill University, 1999.



- [14] Bergroth, L., Hakonen, H. and Raita, T.. A survey of longest common subsequence algorithms. Seventh International Symposium on String Processing and Information Retrieval 2000 : 39-48.
- [15] Andrey, V. and Hyunjo, K.. Automatic Detection and Recognition of Traffic Signs using Geometric Structure Analysis. SICE-ICASE International Joint Conference 2006 : 1451-1456.
- [16] Soetedjo, A. and Yamada, K.. Fast and Robust Traffic Sign Detection. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2005 : 1341-1346.
- [17] Chun-Ta, H. and Ling-Hwei, C.. A high speed algorithm for elliptical object detection. IEEE Transactions on Image Processing Volume 5, 1996 : 547-550.
- [18] Garcia-Garrido, M.A., Sotelo, M.A. and Martin-Gorostiza, E.. Fast Traffic Sign Detection and Recognition Under Changing Lighting Conditions. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference 2006 : 811-816.
- [19] Kantawong, S.. Road Traffic Signs Detection and Classification for Blind Man Navigation System. IEEE International Conference on Control, Automation and Systems 2007 : 847-852.
- [20] Lam, L., Lee, S.W. and Suen, C.Y.. Thinning methodologies: A comprehensive survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Volume 14, 1992: 869-885.
- [21] Paulo, C.F. and Correia, P.L.. Automatic Detection and Classification of Traffic Signs. Eight International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services 2007: 11-14.
- [22] Loy, G. and Zelinsky, A.. Fast Radial Symmetry for Detecting Points of Interest. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence Volume 25, 2003 : 959-973.
- [23] Harris, C. and Stephens, M.J.. A combined corner and edge detector. Alvey Vision Conference 1988: 147-151.



ภาคผนวก

(Appendixes)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ก

#### คุณภาพเชิงวัตถุวิสัยในเทอมของขนาดไฟล์ของภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจ สายทางโดยรถสำรวจสายทาง

การบอกคุณภาพของรูปภาพดิจิทัลว่าชัดไม่ชัดนั้นเป็นการวัดคุณภาพในเชิงอัตวิสัย (Subjective) ซึ่งในแต่ละบุคคลมีวิสัยที่ต่างกัน ดังนั้นจะวัดคุณภาพของรูปภาพดิจิทัลที่ใช้ทดลองในเชิงวัตถุวิสัย (Objective) ในเทอมของขนาดไฟล์ ดังนี้

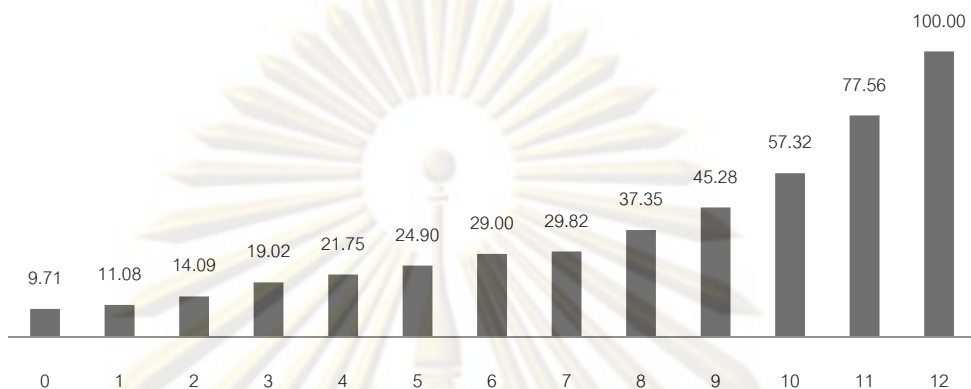
โดยปกติไฟล์ภาพสกุล BMP ซึ่งไม่มีการบีบอัด (Compression) เพื่อลดขนาดของไฟล์ โดยมี 3 ช่องสัญญาณ (Channel) และมีความลึกของสี (Color Depth) 24 บิต (Bit) จะมีขนาดโดยประมาณเท่ากับ  $(24 \div 8) \times width \times height$  ไบต์ (Byte) ในงานวิจัยนี้ไฟล์ภาพที่ใช้ทดลองมีขนาดกว้าง 1,280 พิกเซล สูง 960 พิกเซล ซึ่งถ้าไฟล์ภาพที่ใช้ทดลองเป็นไฟล์ภาพสกุล BMP จะมีขนาดเท่ากับ 3,686,400 ไบต์ หรือเท่ากับ 3,600 กิโลไบต์

เมื่อแปลงไฟล์ภาพสกุล BMP ขนาด 1,280x960 พิกเซล เป็นไฟล์ภาพสกุล JPEG ซึ่งเป็นไฟล์ภาพที่มีการบีบอัดแบบสูญเสีย (Lossy Compression) ด้วยโปรแกรมโฟโตชอป (Photoshop) ซึ่งมีพารามิเตอร์ในการกำหนดคุณภาพ (Quality Parameter) ของภาพผลลัพธ์ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 12 โดยยิ่งค่ามากภาพผลลัพธ์จะยิ่งมีความชัดมากขึ้น จะได้กราฟโดยประมาณของขนาดไฟล์ของภาพผลลัพธ์เทียบกับค่าพารามิเตอร์ในการกำหนดคุณภาพดังรูปที่ ก-1



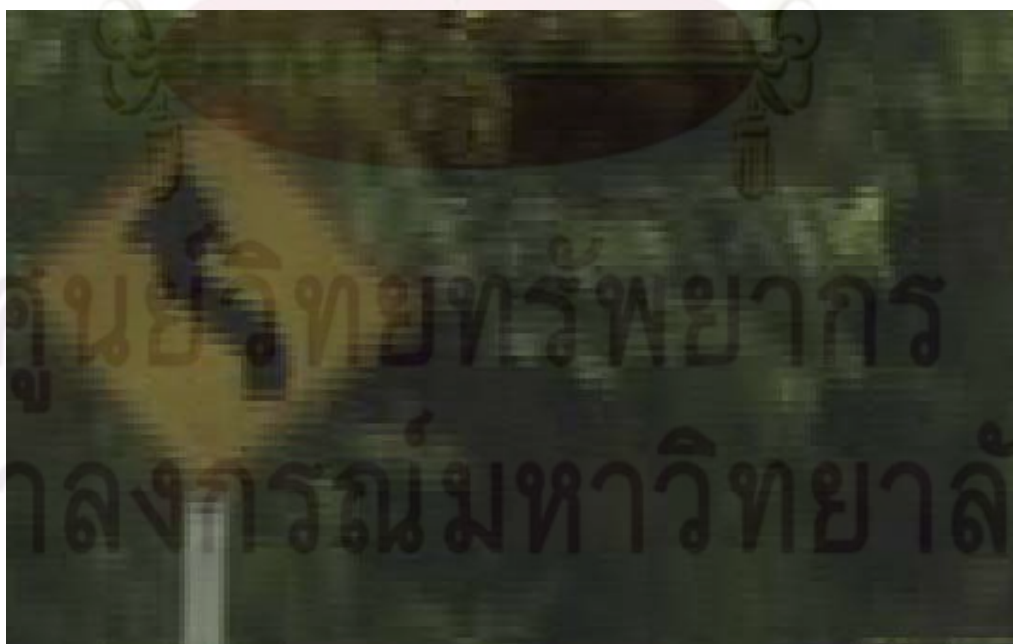
รูปที่ ก-1 กราฟของขนาดไฟล์เทียบกับค่าพารามิเตอร์กำหนดคุณภาพ

เมื่อกำหนดให้ไฟล์ภาพสกุล JPEG ที่มีคุณภาพดีที่สุดคือไฟล์ภาพที่ถูกแปลงด้วยค่าพารามิเตอร์เท่ากับ 12 สามารถแสดงโพรไฟล์ร้อยละของคุณภาพในเทอมของขนาดไฟล์ เมื่อแปลงด้วยค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ได้ดังรูปที่ ก-2



รูปที่ ก-2 โพรไฟล์ร้อยละของคุณภาพในเทอมของขนาดไฟล์

ภาพที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นภาพที่ได้จากการจับภาพ (Capture) จากไฟล์วีดิทัศน์สกุล AVI โดยเท่าที่ได้ทดลองไปนั้น พบว่าไฟล์วีดิทัศน์ที่ใช้ทดลองมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 58,291 กิโลไบต์ โดยที่ในแต่ละไฟล์มีจำนวนภาพเท่ากับ 500 ภาพ ดังนั้นจะได้ค่าเฉลี่ยของขนาดไฟล์ภาพที่ใช้ทดลองประมาณ 116 กิโลไบต์ ซึ่งหากแบ่งระดับคุณภาพออกเป็น 3 ระดับคือ ต่ำ (0-4) กลาง (5-8) สูง (9-12) จะพบว่าภาพที่ใช้ทดลองนั้นเป็นภาพ JPEG ที่มีคุณภาพในเทอมของขนาดไฟล์ต่ำ ซึ่งภาพจะมีลักษณะแตกออกเป็นบล็อก (Block) ดังรูปที่ ก-3



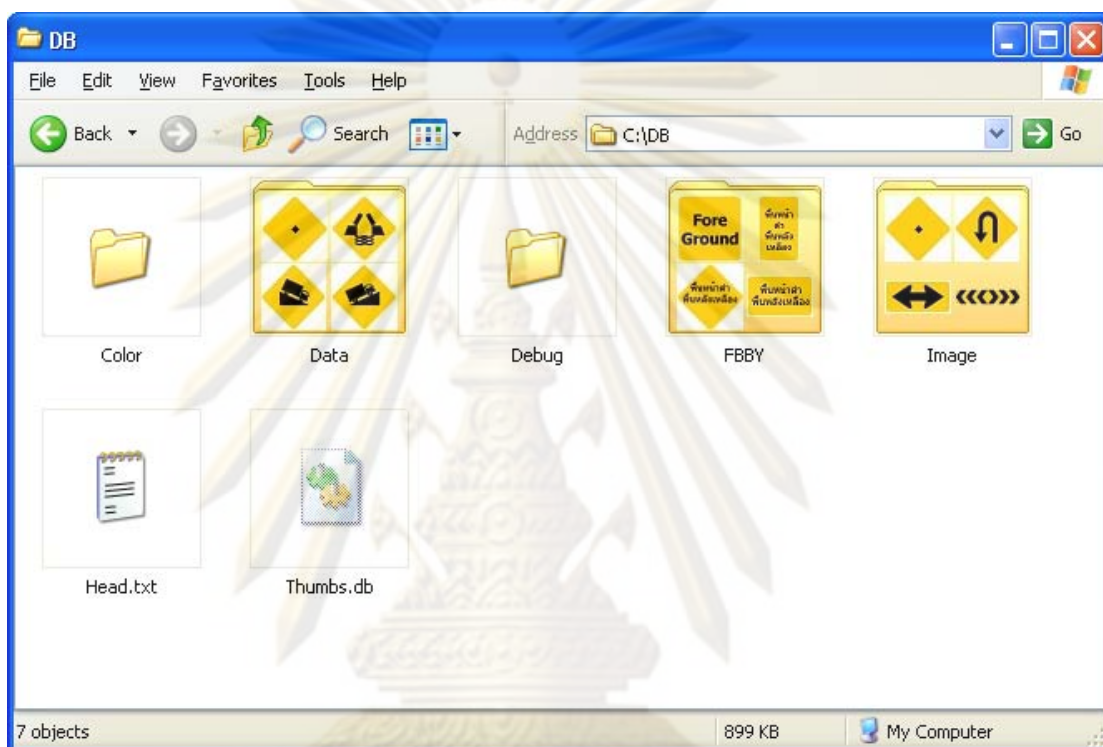
รูปที่ ก-3 ตัวอย่างของการแตกออกเป็นบล็อกของไฟล์ภาพที่ใช้ทดลอง



## ภาคผนวก ข

### การเพิ่มป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนลงในฐานข้อมูล

ภายในโฟลเดอร์ (Folder) ฐานข้อมูลจะประกอบไปด้วยโฟลเดอร์ และไฟล์ดังต่อไปนี้ Color, Data, Image, Debug, และ FBBY ดังรูปที่ ข-1



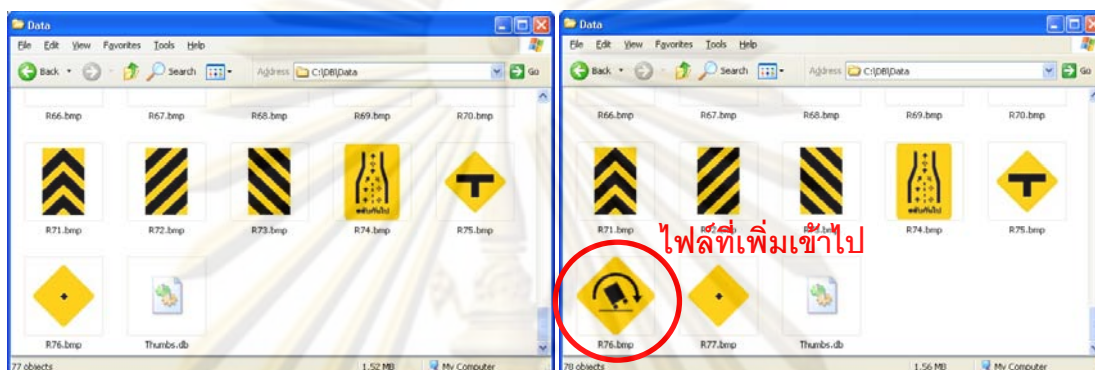
รูปที่ ข-1 โฟลเดอร์ฐานข้อมูล



รูปที่ ข-2 ตัวอย่างป้ายจราจรชนิดป้ายเตือนที่ต้องการเพิ่ม

หากต้องการเพิ่มป้ายจราจรชนิดป้ายเตือน ตัวอย่างเช่น ปัจจุบันมีป้ายจราจรในฐานข้อมูล 75 ป้าย โดยมีป้ายดัมมี่ (Dummy) เป็น รหัส ต.76 หากต้องการเพิ่มป้ายเข้าไปหนึ่งป้าย ตัวอย่างเช่นดังรูปที่ ข-2 ให้ เปลี่ยนป้ายดัมมี่เป็น รหัส ต.77 และให้ป้ายที่เพิ่มเข้าไปใหม่เป็น

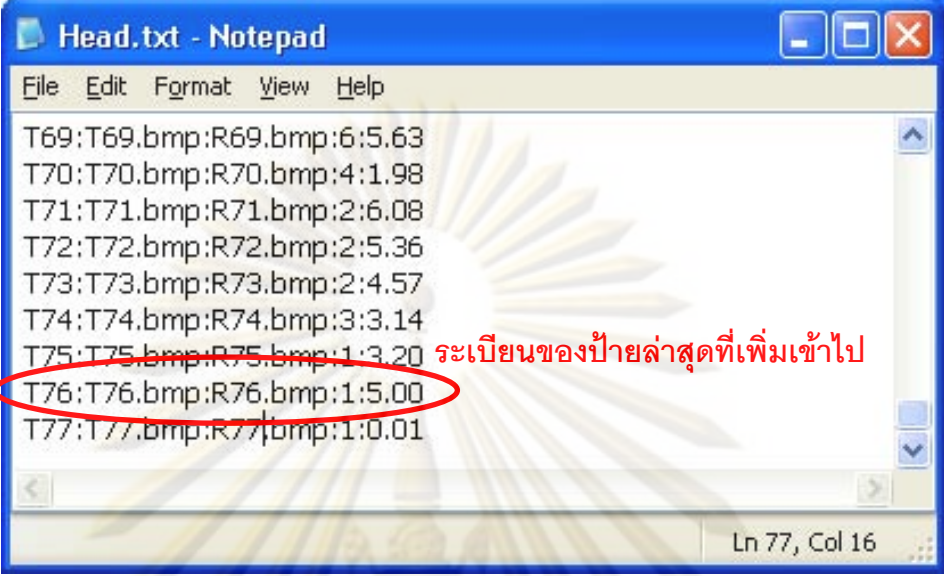
รหัส ต.76 เป็นต้น การเพิ่มทำโดยให้วางไฟล์รูปแม่แบบของป้ายที่ต้องการเพิ่มเข้าไปไว้ในโฟลเดอร์ Data โดยให้ตั้งชื่อขึ้นต้นด้วย R ตามด้วยรหัสป้าย และใส่ไว้ในโฟลเดอร์ Image โดยให้ตั้งชื่อขึ้นต้นด้วย T ตามด้วยรหัสป้าย ดังรูปที่ ข-3 จากนั้นให้เพิ่มระเบียน (Record) เข้าไปยังไฟล์ Head.txt โดยต้องระบุค่าขีดแบ่งด้วย ดังรูปที่ ข-4 และ ข-5



รูปที่ ข-3 (ก) โฟลเดอร์ Data และโฟลเดอร์ Image ก่อนเพิ่มป้ายเตือน (ข) โฟลเดอร์ Data และโฟลเดอร์ Image หลังเพิ่มป้ายเตือน



รูปที่ ข-4 ไฟล์ Head.txt ก่อนเพิ่มระเบียนของป้ายล่าสุดที่ใส่เข้าไป



```
File Edit Format View Help
T69:T69.bmp:R69.bmp:6:5.63
T70:T70.bmp:R70.bmp:4:1.98
T71:T71.bmp:R71.bmp:2:6.08
T72:T72.bmp:R72.bmp:2:5.36
T73:T73.bmp:R73.bmp:2:4.57
T74:T74.bmp:R74.bmp:3:3.14
T75:T75.bmp:R75.bmp:1:3.20
T76:T76.bmp:R76.bmp:1:5.00
T77:T77.bmp:R77.bmp:1:0.01
Ln 77, Col 16
```

รูปที่ ข-5 ไฟล์ Head.txt หลังเพิ่มระเบียบของป้ายล่าสุดที่ใส่เข้าไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค  
บทความที่เสนอในงานประชุมวิชาการ

บทความเรื่อง “Traffic Warning Sign Detection and Recognition Using Fuzzy Logic and Chain Code Analysis” เสนอในงานประชุมวิชาการ The 2<sup>nd</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Information Technology Application 2008 (IITA2008), Shanghai, China. จัดระหว่างวันที่ 21-23 ธันวาคม พ.ศ. 2551 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceeding of the 2<sup>nd</sup> IEEE International Symposium on Intelligent Information Technology Application 2008 หน้า 508-512



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## Traffic Warning Signs Detection and Recognition Based on Fuzzy Logic and Chain Code Analysis

Pattarapan Wanitchai and Suebskul Phiphobmongkol  
 Department of Computer Engineering, Chulalongkorn University  
 Bangkok, 10330, Thailand.  
 pattarapan.w@student.chula.ac.th, suebskul.p@chula.ac.th

### Abstract

*This paper presents an algorithm for the detection and recognition of traffic signs in a category of warning sign. The algorithm could be divided into two phases: detection and recognition. Images were captured from a survey vehicle camera surveying actual road environment. The detection step used HSV color model to process and detect the region of interest using color of the traffic sign by fuzzy logic. The recognition step processed the traffic sign symbols and transformed them into chain codes which were compared with the chain codes in the database by using longest common subsequence algorithm. The algorithm was applied to more than 4000 images and produced an accuracy over 90% with average errors of 8.9% positive false and 9.71% negative false.*

### 1. Introduction

Traffic warning signs are essential for road users because the signs are used to warn drivers about road condition, help reduce accidents and enhance road safety. Traffic sign detection is useful for autonomous vehicle as well as for the asset collection of the authority that is responsible for road safety and maintenance. Manually surveying of traffic signs for the latter takes long time, is costly, and inefficient. An automatic traffic sign detection and recognition system can help reduce time and save cost.

The detection of traffic signs in actual road environment is a challenging problem since it has to deal with outdoor light condition which varies on uncertainty of weather such as cloudy sky, rain, and fog. These kinds of environment cannot be controlled. Light condition does not only depend on weather but also depends on the time of the day. Besides light conditions, traffic signs detection has to deal with rotation and distortion of the signs with respect to camera axis. Another problem is the unpredictable obstacles that may appear in front of the signs inside images, e.g., tree branches, electric poles. Moreover, similar object such as billboards and commercial signs can also add difficulties to the detection process.

Many researches have been done in the traffic sign detection and recognition. Color and shape are used in the analysis because they are distinct features of traffic sign. In the detection step, it is difficult to detect the region of interest in RGB color model because the model is highly dependent on the light and complicated conditions must be defined [1, 2]. Thus, many researches prefer the use of light independent color model such as HSV [3, 4], L\*a\*b [5], CIECAM97 [6, 7]. In classification and recognition steps, some algorithms such as Hough transform [8] and genetic algorithm [9] were proposed. Hough transform and genetic algorithm are time consuming. Neural networks [2, 10] and support vector machine [11, 12] have also been used. It requires large training data set to train good network. Template matching [1, 13-15] were used for fast recognition. Many templates may have to be provided for matching to deal with object deformation.

The proposed algorithm used HSV color model with fuzzy detection to make the detection robust to handle different light condition. The chain code of the symbol edge in a warning sign was used to recognize the symbol efficiently. Longest common subsequence algorithm was used to compare this chain code with the chain codes in the database.

### 2. The Proposed Algorithm

The proposed algorithm can be divided into two phases, the first is the detection process and the second is the recognition process. In the detection phase, membership function of hue saturation and brightness of HSV color model are defined to detect the color of warning signs (yellow in this case). The intensity profile in the middle of the warning sign is analyzed to find the symbol of the warning sign. A rotation process for adjusting the sign to vertical axis is included. In the recognition phase, the edge of symbol in a warning sign is detected and transformed into chain code. Later, the chain code is compared with the chain code of warning sign symbol in the database by using longest common subsequence algorithm.

This method is straight forward. Though, in this paper, it was applied to signs with a single object or symbol inside, the method can also be applied to signs with multiple objects or symbols inside a sign by transforming each object inside a sign into chain codes and group them together as a set of chain codes to represent the profile of the sign. However, the input images must have higher resolution.

### 3. Detection

#### 3.1 Membership function

The first step was a local pre-processing to reduce noise in image with Gaussian filter and transform image from RGB color model to HSV color model. After that, membership function must be defined to hue, saturation and brightness of HSV color model based on Gaussian function, according to equation (1)

$$F(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} \quad (1)$$

Where  $a$  is the height of the curve's peak,  $b$  is the position of the center of the peak in x-axis and  $c$  control the width of the curve. The membership functions were defined as follows.

$$P_H(h) = e^{-\frac{(h-\bar{h})^2}{2(\sigma_h)^2}} \quad (2)$$

$$P_S(s) = e^{-\frac{(s-\bar{s})^2}{2(\sigma_s)^2}} \quad (3)$$

$$P_V(v) = \begin{cases} e^{-\frac{(v-\bar{v})^2}{2(\sigma_v)^2}}, & v < 70 \\ 1, & v \geq 70 \end{cases} \quad (4)$$

Where  $P_H$  is the membership function of hue,  $P_S$  is the membership function of saturation and  $P_V$  is a membership function of brightness. In the proposed algorithm  $\bar{h}$ ,  $\bar{s}$ ,  $\bar{v}$  were set to be equal to 60, 100, 70 respectively and  $\sigma_h$ ,  $\sigma_s$ ,  $\sigma_v$  equal to 10, 24, 25 respectively.  $P_H$  has a high membership value when hue approach to 60 degree, as illustrated in Figure 1.

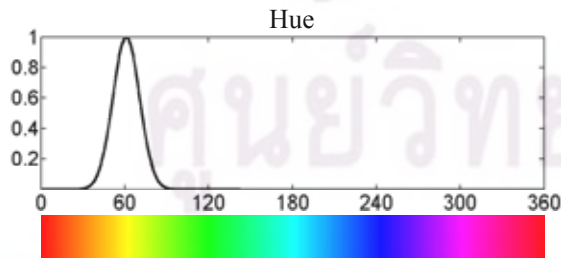


Figure 1 Membership function of Hue

When saturation and brightness were high, the apparent color would be affected by hue. If saturation and brightness were low, the apparent color would tend to be black or gray. Therefore,  $P_S$  and  $P_V$  should have a

low membership value, when saturation and brightness were low, as illustrated in Figure 2.

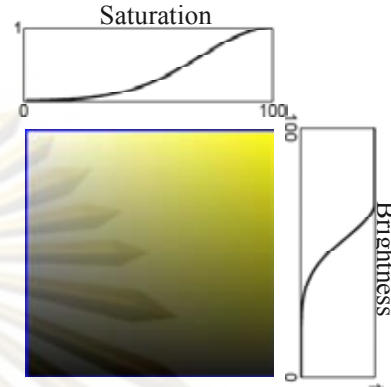


Figure 2 Membership function of Saturation and Brightness

When saturation and brightness were high, the apparent color would be affected by hue. If saturation and brightness were low, the apparent color would tend to be black or gray. Therefore,  $P_S$  and  $P_V$  should have a low membership value, when saturation and brightness were low, as illustrated in Figure 2.

In next step, each pixel in the original image, as illustrated in Figure 3a, would be calculated to find the probability of yellow pixel by equation (5)

$$Y_{x,y} = P_H(h_{x,y}) \times P_S(s_{x,y}) \times P_V(v_{x,y}) \quad (5)$$

The probability  $Y_{x,y}$  would be normalized for visualization by equation (6) as illustrated in Figure 3b.

$$G_{x,y} = Y_{x,y} \times 2^n \quad (6)$$

Where  $G_{x,y}$  is a gray-scale value at a coordinate  $(x, y)$ ,  $n$  is an amount of bit per pixel of gray-scale image.

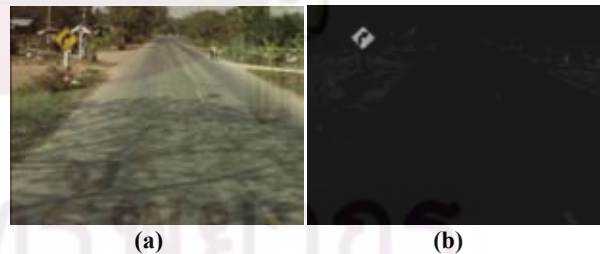


Figure 3 (a) Original image, (b) Result image

Only a high probability pixel was decided to be a candidate of yellow pixel, by compared  $G_{x,y}$  with a predefined threshold value and transformed a result of comparison into binary images. After that, all of the connected candidate pixels were grouped as one connected component as illustrated in Figure 4a. If the area of the connected component was greater than 1% of image area, ratio of width to height and the ratio of height to width was less than 2:1, then the connected



component would be segmented from the image as the region of interest. The convex hull of the region of interest would be found and then Rotating Caliper Algorithm [16] was applied to the convex hull of the region of interest to find the minimal area enclosing rectangle as illustrated in Figure 4b.

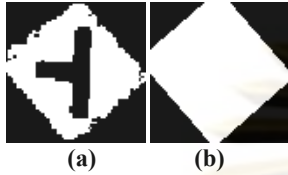


Figure 4 (a) Result of comparison as binary image, (b) The minimal area enclosing rectangle

### 3.2 Intensity profile analysis

The region of interest might be a yellow region, which was not a traffic warning sign such as road line, billboard, flag, awing or roof and etc. Traffic warning sign must contain a black symbol in the middle of the sign. Hence, intensity profile in the middle of the region of interest was analyzed to find the valley of the intensity profile using Simulated Annealing Algorithm. If valley has value of width and depth more than threshold value, it would be accepted as illustrated in Figure 5a. Any yellow object, which did not contain a group of black pixel in the middle of object such as road line as illustrated in Figure 5b, yellow awing as illustrated in Figure 5c, would be rejected. The accepted region of interest might be a good illumination region as illustrated in Figure 6a,6b or might be a poor illumination region as illustrated in Figure 6c,6d.

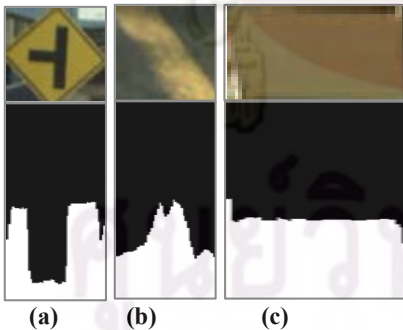


Figure 5 (a) Accepted region of interest, (b) and (c) Rejected region of interest

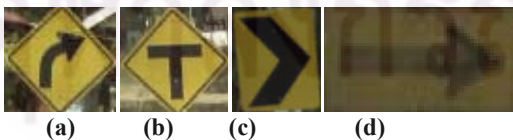


Figure 6 (a), (b) Good illumination, (c), (d) Poor illumination

### 3.3 Rotation method

In case of a pole of traffic warning sign was not perpendicular to the ground or skewed, that caused a sign rotating as illustrated in Figure 7a. To solve this problem, the angle between diagonal line and vertical line, which were through the center of the minimal area enclosing rectangle, was analyzed as illustrated in Figure 7b. The center of the minimal area enclosing rectangle could be found according to equation (7) and (8), the angle between diagonal line and vertical line could be found according to equation (9), where  $(\hat{x}, \hat{y})$  is the top most point of the minimal area enclosing rectangle.

$$\bar{x} = \frac{1}{A} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} xI(x,y) \quad (7)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} yI(x,y) \quad (8)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\hat{x} - \bar{x}}{\bar{y}} \right) \quad (9)$$

Where  $m, n$  are width and height of region of interest,  $I(x, y)$  is an illumination function at coordinate  $(x, y)$  of binary image.  $I(x, y) = 1$  when a pixel is white,  $I(x, y) = 0$  when a pixel is black.  $A$  is an area of the minimal area enclosing rectangle.

If  $\theta$  had a value between  $-30^\circ$  and  $30^\circ$ , region of interest had a ratio of width to height approach to 1:1, then region of interest was defined to a diagonal traffic warning sign and rotated by rotation vector  $R_\theta$ , according to equation (10); otherwise, was defined to a horizontal traffic warning sign.

$$R_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (10)$$

After that, rotate all of pixel in region of interest by equation (11), where  $(x, y)$  is an original pixel,  $(x', y')$  is a rotated pixel.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = R_\theta \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (11)$$

The result of rotated minimal area enclosing rectangle as illustrated in Figure 7c, which the minimal area enclosing rectangle is stand upright in diagonal line.

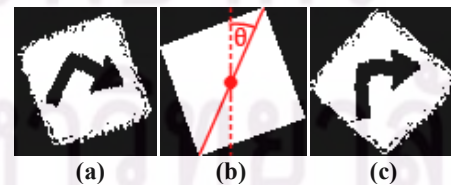


Figure 7 (a) Connected component before rotating, (b) The angle between diagonal line and vertical line which is through the center of the minimal area enclosing rectangle, (c) Rotated connected component

## 4. Recognition

### 4.1 Edge detection

A black symbol was extracted by convert the region of interest to gray-scale image as illustrated in Figure 8a, then local threshold was applied to the gray-scale image, the result was a binary image as illustrated in Figure 8b, brought it into logical AND with rotated minimal area enclosing rectangle, segmented only the black symbol out and inverted its color as illustrated in Figure 8c, then detected the edge of this symbol by Laplacian Filter as illustrated in Figure 8d and normalized the dimension of result image to the dimension of template image in the database.

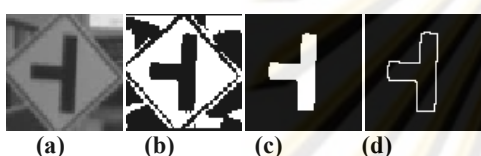


Figure 8 (a) Gray-scale image of region of interest, (b) Result image after applied local threshold, (c) The segmented, symbol (d) The edge of the segmented symbol

### 4.2 Chain code

The chain code was produced by routing along the edge of symbol as illustrated in Figure 8d, by defining the name of each neighbor pixel in each state as illustrated in Figure 10. There were eight states of routing. The direction of arrow was the current state of routing, the alphabet was a possible neighbor to route from the current state, the shadow was not a possible neighbor to route. In each routing, consider the right-hand neighbor first, if the neighbor had M-connectivity [17] then route to this neighbor and the name of this neighbor would be added to the sequence of routing, else the next neighbor was considered in a counter clockwise direction until the left-hand neighbor was done. The sequence of routing was arranged to be a string, this string was a profile of symbol.

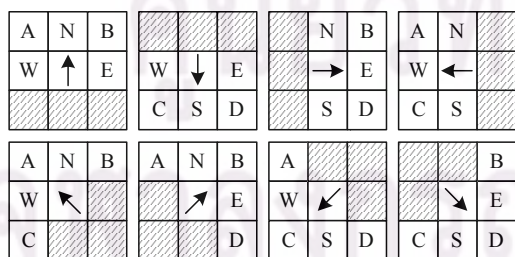


Figure 10 The directions which are possible to route in each state.

### 4.3 Longest common subsequence algorithm

Where  $X_m$  and  $Y_n$  are string which have length  $m$  and  $n$  respectively, subsequence of  $X_m$  is a new sequence which is formed from  $X_m$  but some of the elements disappear from  $X_m$  without disturbing the relative positions, and vice versa in  $Y_n$ . Longest common subsequence of  $X_m$  and  $Y_n$  could be found according to equation (12).

$$LCS(X_i, Y_j) = \begin{cases} \emptyset & , i = 0, j = 0 \\ LCS(X_{i-1}, Y_{j-1}) + x_i & , x_i = y_j \\ \text{MAX} \left( \begin{matrix} LCS(X_{i-1}, Y_j) \\ LCS(X_i, Y_{j-1}) \end{matrix} \right) & , x_i \neq y_j \end{cases} \quad (12)$$

Where  $x_i$  is  $i^{\text{th}}$  element of  $X_m$  and  $y_j$  is  $j^{\text{th}}$  element of  $Y_n$ . Input string, which was sampled for convenient for percentage comparison, would be compare with template string in database using longest common subsequence algorithm as showed in Table 1.

Table 1 The example of longest common subsequence of input string and template string

Input	Template	Longest Common Subsequence
EDSSSSSEDSSEEEE	EDSCCSSEEEDESD	EDSSSEEEESSE
SSSEEDSSSSSSSSSS	DSEDSDDSSSSSSSS	DSSSSSSSSSSSS
SSSSCWWWWANN	SSSCWWWWWNN	SSSCWWWNN
NNNNNNNNNNNNW	NNNNNNNNNNNN	NNNNNNNNNN
WAWANWWSCWS	NWAWNNWSSSCW	NNNNWWNWS
CWANNNWWNNNN	WWANNANNANN	CWANNNNNN
NWANNEEEEEENB	WANNNEEEENBEE	NWANNEEEEE

## 5. Experiment and Results

In the experiment, recorded AVI files from a survey vehicle camera were used and processed by the proposed algorithm. Each image has the resolution of 640 x 480 pixels. The total of 4084 actual road images were captured from the files. 2811 images of them contain traffic warning signs, 1273 images of them contain only yellow object such as billboard, flag, awing, roof, car, etc., but did not contain a traffic warning sign. There was a database of 25 traffic warning signs whose chain code representations had been produced. The result from the experiment had a 8.9% of positive false and 9.71% of negative false as introduced in Table 2 and 3.

Table 2 The experimental result of image which is contain a traffic warning sign

Number of Images	Correct Result	Incorrect Result	Percent of Correctness
2811	2538	273	90.29%



**Table 3 The experimental result of image which is not contain a traffic warning sign**

Number of Images	Correct Result	Incorrect Result	Percent of Correctness
1273	1159	114	91.10%

The result of the experiment showed that the proposed algorithm could detect and recognize warning signs, even though they were occluded or rotated as illustrated in Figure 11. The positive false were mostly resulted from warning signs not within our database. Negative false mostly came from other distinct yellow objects appearing within the images that contain the warning signs.

The proposed algorithm had an average time of 0.172 second per image on a Intel Core2Duo 2.00 GHz, and it was implemented by C++ language.



**Figure 11 Example of experimental results**

## 6. Conclusions

This paper proposed a fast and robust algorithm for the detection and recognition of traffic warning signs. According to experimental results, the proposed algorithm worked on actual road images with outdoor light condition and could recognize even rotated warning signs is rotated off the vertical axis by within 30 degrees. In the detection step, fuzzy detection using membership function of hue, saturation and brightness of HSV color model making the detection robust (could tolerate blurred or faded signs). In the recognition step, the chain code of edge of symbol in a warning sign is produced and is compared with the chain code of traffic sign in database using longest common subsequence algorithm. Furthermore, the algorithm also shows good performance in term of computing time.

## References

- [1] Hyunjo, V.A.a.K. (2006). "Automatic Detection and Recognition of Traffic Signs using Geometric Structure Analysis", *SICE-ICASE Int. Joint Conf.*, p.1451-1456.
- [2] Kantawong (2007). "Road Traffic Signs Detection and Classification for Blind Man Navigation System", *Int Conf. on Control, Automation and Systems*, Korea, p.847-852.
- [3] A. de la Escalera (2003). J.M.A.a.M.M., "Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles", *Image and Vision Computing*, Vol.21-3, p.247-258.
- [4] Ran, H.X.L.a.B. (2001). "Vision-Based Stop Sign Detection and Recognition System", *Transportation Research Record*, p.161-166.
- [5] Dermatas, G.K.S.a.E.S. (2006). "Detection, Tracking and Classification of Road Signs in Adverse Conditions", *IEEE MELECON*, Spain, p.537-540.
- [6] X.W. Gao, L.P., D.Shaposhnikov, K.Hong, and N. Shevtsova (2005). "Recognition of traffic signs based on their colour and shape features extracted using human vision models", *Journal of Visual Communication and Image Representation*.
- [7] X. Gao, N.S., K. Hong, S. Batty, L. Podladchikova, A. Golovan, D. Shaposhnikov and V. Gusakova (2002). "Vision Models Based Identification of Traffic Signs", *Proc. of 1st Euro. Conf. on Color in Graphics*, p.47-51.
- [8] Miguel Angel Garcia-Garrido, M.A.n.S.a.E.M.1.-G. (2006). "Fast Traffic Sign Detection and Recognition Under Changing Lighting Conditions", *IEEE Intelligent Transportation Systems Conf*, Canada, p.811-816.
- [9] A. de la Escalera, J. M. Armingol, and M. A. Salichs (2001). "Traffic sign detection for driver support systems", *Int. Conf. on Field and Service Robotics*.
- [10] Yok-Yen Nguwi, a.A.Z.K. (2006). "Automatic Road Sign Recognition Using Neural Networks", *Int. Joint Conf. on Neural Networks*, Canada, p. 3955-3962.
- [11] Lunbo Li, G.M.a.S.D. (2007). "Identification of Degraded Traffic Sign Symbols Using Multi-class Support Vector Machines", *IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation*, China, p.2467-2471.
- [12] Shuangdong Zhu, L.L.(2006). "Traffic Sign Recognition based on Color Standardization", *IEEE Inter. Conf. on Information Acquisition*, China, p.951-955.
- [13] J. Torresen, J.B., and L. Sekanina (2004). "Efficient recognition of speed limit signs", *Proc. of the 7th Int. IEEE Conf. on Intelligent Transportation Systems*, p.652-656.
- [14] Yves Berube Lauziere, D.G.a.F.P.F. (2001). "A Model-Based Road Sign Identification System", *Proc. of the IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, Volume 1, p.1163-1170.
- [15] Gavrila, D.M. (1999). "Traffic Sign Recognition Revisited", *Proc. of the 21st DAGM Symposium Mustererkennung*, Germany, p.86-93.
- [16] Toussaint, G.T. (1983). "Solving geometric problems with the rotating calipers", *Proc. of IEEE MELECON*, Greece.
- [17] R. C. Gonzalez and R. E. Woods (2002). *Digital Image Processing: Prentice-Hall*.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภัทรพันธ์ วานิชชัย เกิดวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย