

ระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวิดีโอ

นายอำนาจ สาทสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายอำนาจ สาทสิทธิ์
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวิดีโอ
สาขาวิชา : วิทยาการคอมพิวเตอร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ สมชาติ รุ่งเรืองสรการ
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวิดีโอโดยใช้
โมดิฟายด์เฮาซดรอพดิสแทนซ์ (Modified Hausdorff Distance) ซึ่งได้ปรับปรุงมาจาก
เฮาซดรอพดิสแทนซ์ (Hausdorff Distance) แบบดั้งเดิม ซึ่งมีการทำงานเป็น 4 ขั้นตอน
1.แบ่งแยกภาพโดยใช้สี 2.ปรับปรุงภาพให้สมบูรณ์ 3.การหาขอบภาพ 4.ตรวจหาป้ายกำหนด
ความเร็ว ผลการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ของรถด้วยอัตราความเร็ว
ที่แตกต่างกัน ให้ผลที่มีความถูกต้องในการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวิดีโอได้
98 เปอร์เซนต์

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 79 หน้า)

คำสำคัญ : โมดิฟายด์เฮาซดรอพดิสแทนซ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr. Amnaj Satsit
Thesis Title : Speed-limit Sign Detection from Video
Major Field : Computer Science
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Associate Professor Somchart Roongrangsorakarn
Academic Year : 2006

Abstract

The research proposes a novel technique to detect a speed-limit sign from video by using our new measure called Modified Hausdorff Distance. The Modified Hausdorff Distance is the enhancement of the conventional Hausdorff distance. It consists of four major steps 1) a color-based filtering, 2) improving picture's completion, 3) edge detection, and 4) locating sign by using Modified Hausdorff Distance. The experimental result of the proposed method implemented on the video recorded on different speed car give the accuracy 98%.

(Total 79 pages)

Keywords : Modified Hausdorff Distance

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้โดย รองศาสตราจารย์สมชาติ รุ่งเรืองสรการ อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และผมจะไม่ลืมบุญคุณของ รองศาสตราจารย์สมชาติ รุ่งเรืองสรการ ท่านคอยแนะนำสั่งสอนผมในทุก ๆ เรื่องที่ผมไม่เข้าใจ ทำให้ผมเข้าใจมากขึ้น และผมจะจดจำบุญคุณของอาจารย์ไปจนตราบชีวิตรของผม

ระลึกถึงบุญคุณของบิดา มารดา ที่ให้กำเนิด และให้การศึกษา ภรรยาที่คอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

อำนาจ สาทสิทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ระบบวิดีโอ	4
2.2 ภาพและความหมายของพิกเซล	6
2.3 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข	8
2.4 การสร้างภาพไบนารี	10
2.5 แบบจำลองสี	11
2.6 การแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ	13
2.7 คอนโวลูชัน	15
2.8 Morphological Operation	15
2.9 การหาขอบภาพ	20
2.10 การวัด และการแปลงระยะทาง	23
2.11 เสาชดรอพดิสเทนซ์	28
2.12 โมดิฟายน์เสาชดรอพดิสเทนซ์	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	34
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	34
3.2 โครงสร้างของระบบ	36
3.3 การแปลงค่าสีจาก RGB สู่แบบจำลองสี HSV	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การแบ่งแยกภาพโดยใช้สี	38
3.5 การปรับภาพให้สมบูรณ์โดยใช้ Closing	41
3.6 การหาขอบภาพ	42
3.7 เสาชดรอพดิสเทนซ์	44
3.8 ตรวจสอบขอบเขตป้ายกำหนดความเร็ว	46
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	48
4.1 รายละเอียดของระบบที่ใช้ในการทดสอบ	48
4.2 รายละเอียดของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบ	49
4.3 เส้นทางการถ่ายวิดีโอ	51
4.4 ผลการทดสอบ	52
4.5 ตัวอย่างแสดงการหาค่า $h(A, B)$	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	62
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 แนวทางการพัฒนา	63
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก ก	66
ภาคผนวก ข	69
ภาคผนวก ค	75
ประวัติผู้วิจัย	79

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	รายละเอียดของระบบที่ใช้ในการทดสอบ	48
4-2	ผลการตรวจหาป้าย	52
4-3	ผลการตรวจหาป้ายที่ความเร็ว 30 กม./ชม.	54
4-4	ผลการตรวจหาป้ายที่ความเร็ว 40 กม./ชม.	55
4-5	ผลการตรวจหาป้ายที่ความเร็ว 80 กม./ชม.	57

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 ขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว	2
2-1 ระบบวิดีโอ	5
2-2 ตำแหน่งของพิกเซล	7
2-3 เมตริกซ์ของพิกเซลในภาพ	7
2-4 การทำ Sampling และ Quantization	8
2-5 ภาพทresholdเลอร์	10
2-6 แบบจำลองสี RGB	12
2-7 แบบจำลองสี HSV	13
2-8 การทำคอนโวลูชัน	15
2-9 ค่าของ SE (Structuring Element)	16
2-10 การทำงานของ Dilation	16
2-11 ภาพการทำ Dilation	17
2-12 การทำงานของ Erosion	18
2-13 ภาพการทำ Erosion	18
2-14 ภาพการทำ Opening	19
2-15 ภาพการทำ Closing	19
2-16 ตัวอย่างการคำนวณการหาขอบภาพ	22
2-17 ภาพต้นฉบับก่อนนำไปหาขอบภาพ	23
2-18 ภาพที่ได้จากการหาขอบภาพ	23
2-19 ระยะยูคลิด	24
2-20 ระยะเชสบอร์ด	24
2-21 ระยะซิดีบัส	25
2-22 ตัวอย่างของ Distance Transform	26
2-23 Mask Coefficient ที่ใช้ทำ Distance Transform	26
2-24 ตำแหน่งของ Mask Coefficient	27
2-25 การหาค่าโมดิฟายน์เฮาซครอฟดิสเทนซ์ของภาพวงกลม ที่ระยะทางไม่ใช่ค่าน้อยที่สุด	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-26 ตัวอย่างการหาค่าโมดิฟายน์เฮาซครอฟตีสแทนซ์ของภาพวงกลม ที่ระยะทางมีค่าน้อยที่สุด	31
2-27 การหาค่าโมดิฟายน์เฮาซครอฟตีสแทนซ์ของภาพสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมที่ระยะทางไม่ใช่ค่าน้อยที่สุด	32
2-28 การหาค่าโมดิฟายน์เฮาซครอฟตีสแทนซ์แทนซ์ของภาพสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมที่ระยะทางมีค่าน้อยที่สุด	33
3-1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	34
3-2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	35
3-3 รูปแบบของการดำเนินการวิจัย	36
3-4 ตัวอย่างของการดำเนินการวิจัย	37
3-5 ขั้นตอนของการแบ่งแยกภาพโดยใช้สี	39
3-6 ภาพต้นฉบับก่อนทำ Color Segmentation	40
3-7 ภาพจากการทำ Color Segmentation	40
3-8 ขั้นตอนการทำ Closing	41
3-9 Structure Element	42
3-10 ภาพการทำ Closing	42
3-11 ภาพการหาขอบภาพ	43
3-12 ขั้นตอนการหาขอบภาพ	43
3-13 ภาพเทมเพลตวงกลมของป้ายกำหนดความเร็ว	44
3-14 ตัวอย่างภาพใบนารีของเทมเพลตวงกลมป้ายกำหนดความเร็ว	44
3-15 ผลลัพธ์ที่ได้จากระยะทางซิดีบัสล็อก	45
3-16 ผลลัพธ์จากการตรวจหา $h(A, B)$	46
3-17 เกณฑ์ในการเลือกภาพที่ดีที่สุด	47
4-1 ส่วนของการรับข้อมูลจากแฟ้มวิดีโอ	49
4-2 ส่วนการเปิดแฟ้มวิดีโอ	49
4-3 ผลลัพธ์ของการแปลงแฟ้มวิดีโอเป็นเฟรมที่อัตราเร็ว 40 กม./ชม.	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-4	ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบ	51
4-5	เส้นทางในการถ่ายวิดีโอ	51
4-6	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ตรวจหาป้าย	53
4-7	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของ $h(A, B)$ ที่ความเร็ว 30,40,60,80 และ 100 กม./ชม.	53
4-8	ค่า $h(A, B)$ เฟรมที่ 17 อัตราเร็ว 30 กม./ชม.	55
4-9	ค่า $h(A, B)$ เฟรมที่ 14 อัตราเร็ว 30 กม./ชม.	56
4-10	ค่า $h(A, B)$ เฟรมที่ 8 อัตราเร็ว 40 กม./ชม.	58
4-11	ค่า $h(A, B)$ เฟรมที่ 27 อัตราเร็ว 80 กม./ชม.	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบันมีการนำระบบตรวจหา (Detection) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่สำคัญแขนงหนึ่งของระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) นำมาใช้ประโยชน์กับระบบตรวจหาหลายชนิด เช่น การตรวจหาวัตถุ การตรวจหาใบหน้ามนุษย์ ตรวจสอบลายนิ้วมือ เป็นต้น

ระบบตรวจหาป้าย (Speed-Limit Sign Detection System) เป็นรูปแบบการตรวจหารูปแบบหนึ่ง ซึ่งปัญหาหลักที่สำคัญของการขับรถยนต์ส่วนหนึ่ง คือ อุบัติเหตุมักเกิดจากการประมาท หรือไม่ใส่ใจกับการกำหนดความเร็วของรถยนต์ ซึ่งระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว จะเป็นระบบเตือนให้ผู้ขับรถทราบว่าตนเป็นเขตกำหนดความเร็วหรือไม่ หรือเป็นเขตชุมชนที่มีการกำหนดความเร็ว [1] ส่วนสำคัญที่ต้องคำนึงถึงระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วคือ มีเงื่อนไขอื่น ๆ ที่นำมาพิจารณา เช่น ไฟฟ้ารถ เมา และสภาพอากาศ (แดด ฝน หรือหมอก) ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้เป็นปัญหาที่ท้าทายและเป็นปัญหาที่ยั่งยืน

Sekanian และ Torresen [1] ได้ทำการวิจัยระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว แบบอัตโนมัติในประเทศนอร์เวย์ โดยสร้างอัลกอริทึม (Algorithm) แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน 1. โดยการทำ HSV Color Segmentation 2. ตรวจหาตำแหน่งของป้ายกำหนดความเร็วโดยใช้ Template Matching Algorithm 3. นำป้ายกำหนดความเร็วที่ได้จากการตรวจหาไปรู้จำตัวเลข ซึ่งผลของการตรวจหาให้ผลความถูกต้อง 97 เปอร์เซ็นต์

Liu และ Ran [2] ได้ทำการวิจัยระบบตรวจหาและรู้จำป้ายหยุด (Stop Sign) โดยการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน 1. โดยการทำ HSV Color Segmentation 2. ตรวจหาป้ายหยุดโดยการวิเคราะห์ขนาด และอัตราส่วน ฯลฯ 3. นำส่วนของป้ายหยุดไปรู้จำโดยนิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network) ซึ่งผลของการตรวจหาให้ผลความถูกต้อง 95 เปอร์เซ็นต์

Shneier [3] ได้ทำการวิจัยระบบตรวจหาและรู้จำป้ายจราจร (Road Sign) โดยอาศัยการวิเคราะห์สี และลักษณะรูปร่าง หรือขอบเขต ของป้ายจราจร ก่อนนำไปรู้จำโดยวิธีการ Template matching และ Track ตามลำดับของภาพ ผลลัพธ์จากการตรวจหาให้ผลความถูกต้อง 96 เปอร์เซ็นต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิธีการทำงานของระบบประมวลผลภาพ (Image Processing)

1.2.2 ศึกษาวิธีการทำงานของโมดิฟายด์เฮาส์ดอร์ฟดิสเทนซ์ (Modified Hausdorff Distance)

เพื่อใช้ในการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว

1.2.3 เพื่อพัฒนาระบบการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว

1.2.4 เพื่อประยุกต์ใช้ระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว

1.2.5 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว และนำไปพัฒนาระบบการรู้จำตัวเลขต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ป้ายกำหนดความเร็วที่ใช้เพื่อทดสอบเป็นป้ายกำหนดความเร็วในประเทศไทย

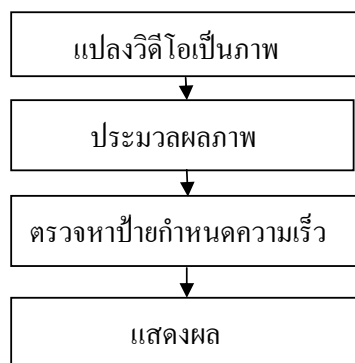
1.3.2 ภาพวิดีโอถ่ายทำในรถยนต์ที่มีอัตราความเร็วของรถยนต์ประกอบด้วย 30 กม./ชม. 40 กม./ชม. 60 กม./ชม. 80 กม./ชม. 100 กม./ชม.

1.3.3 ภาพวิดีโอ ขนาด 320 x 240 ในระบบ PAL อัตรา 25 เฟรม ต่อวินาที บันทึกเป็น AVI

1.3.4 พัฒนาระบบการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว โดยใช้ Microsoft Visual Basic 6.0
เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ Pentium IV 2.4 GHz Ram 256 MB Hard Disk 40 GB

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีการรู้จำป้ายกำหนดความเร็ว โดยสามารถแบ่งวิธีการวิจัยเป็นขั้นตอนดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 ขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว

1.4.1 การวิเคราะห์ระบบ เป็นขั้นตอนศึกษาความเป็นไปได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการวิจัย ศึกษาทฤษฎีและวิธีการที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยและพัฒนาซอฟต์แวร์

1.4.2 การประมวลผล (Process) ภาพที่ได้จากการแปลง AVI นำไปประมวลผล Preprocessing ดังภาพที่ 3-2 แล้วนำไปตรวจหาโดยวิธี โมดิฟายน์เฮาซดรอปดิสแทนซ์

1.4.3 การแสดงผล เป็นการแสดงผลของการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วที่ได้จากตรวจหาโดยวิธีโมดิฟายน์เฮาซดรอปดิสแทนซ์

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

1.5.1 เข้าใจหลักการของโมดิฟายน์เฮาซดรอปดิสแทนซ์ และการประมวลผลภาพ

1.5.2 เป็นแนวทางพัฒนาระบบของการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว

1.5.3 นำไปพัฒนาความรู้จำตัวเลขของป้ายกำหนดความเร็ว

1.5.4 ได้ระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นส่วนประกอบของระบบการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว โดยการนำเอาแฟ้มวิดีโอมาแปลงให้เป็นภาพ ในอัตรา 25 ภาพต่อ 1 วินาที ขนาดภาพ 320 x 240 จากนั้นนำภาพที่ได้ผ่านขบวนการประมวลผลภาพ ขั้นตอนต่อไปนำภาพที่ได้ไปตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วโดยใช้โมดิฟายน์เฮาซครอฟติสแทนซ์

ในการวิจัยนี้จะเน้นเรื่องการประมวลผลภาพและการประยุกต์ใช้โมดิฟายน์เฮาซครอฟติสแทนซ์ อีกทั้งปัจจุบันวิทยาการด้านคอมพิวเตอร์มีการพัฒนามากขึ้น มนุษย์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับจัดรูปแบบของสี และแสงเงาของภาพเป็นข้อมูลดิจิทัล โดยมีวิธีการทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น หรือทำให้ภาพให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของภาพ การประมวลผลภาพ และทฤษฎีของโมดิฟายน์เฮาซครอฟติสแทนซ์ ที่ถูกนำมาใช้กับระบบการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว

2.1 ระบบวิดีโอ

2.1.1 วิดีโอ คือการเรียงต่อกันของภาพเป็นเรื่องราว แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ วิดีโอแบบอนาล็อก (Analog Video) และแบบดิจิทัล (Digital Video) ซึ่งวิดีโอแบบอนาล็อกนี้จะเก็บข้อมูลภาพและเสียงในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า มีลักษณะเป็นคลื่นและเก็บข้อมูลลงในม้วนเทป วิดีโอในระบบอนาล็อกจะมีความไวต่อการผิดเพี้ยนสูง เมื่อมีการบันทึกต่อกันหลาย ๆ ครั้ง จะทำให้คุณภาพของภาพและเสียงลดลง สำหรับวิดีโอแบบดิจิทัลนั้นจะเก็บอยู่ในรูปของไฟล์คอมพิวเตอร์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำสำเนาได้ และสามารถปรับแต่งแก้ไขได้

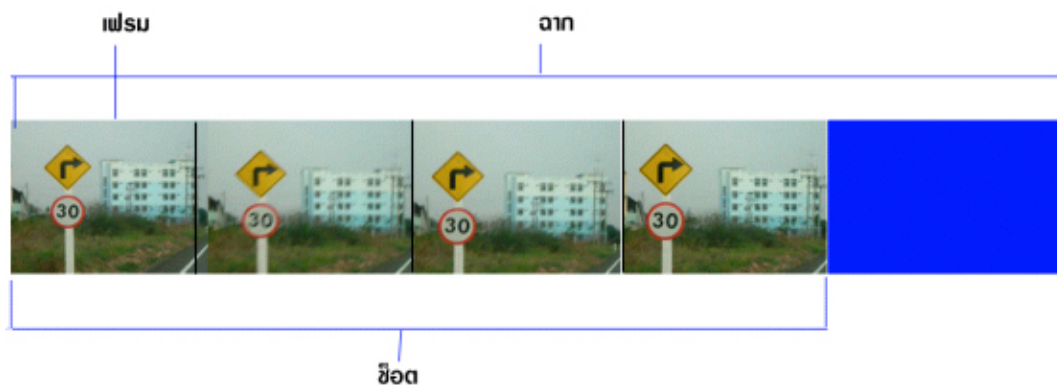
เนื้อหาภายในวิดีโอ แสดงดังภาพที่ 2-1 มีการแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ [4]

2.1.1.1 เฟรม คือภาพนิ่งแต่ละภาพที่เรียงต่อกันจนเป็นเรื่องราว

2.1.1.2 ช็อต คือกลุ่มของเฟรมที่เรียงกันอย่างต่อเนื่อง โดยที่มีเนื้อหาเดียวกันอย่างต่อเนื่อง

2.1.1.3 ฉาก คือช็อตหลาย ๆ ช็อตที่นำมาเรียงต่อเนื่องกัน

ดังนั้นในวิดีโอหนึ่งสามารถประกอบไปด้วยฉากหลาย ๆ ฉาก และในแต่ละฉากก็จะประกอบไปด้วยช็อตอย่างน้อย 1 ช็อต



ภาพที่ 2-1 ส่วนประกอบในไฟล์วิดีโอ

2.1.2 มาตรฐานการแพร่ภาพของวิดีโอ แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

2.2.1.1 ระบบ PAL (Phase Alternate Line) เป็นรูปแบบวิดีโอที่มีความละเอียดในแนวนอนเท่ากับ 625 เส้น ใช้อัตราการรีเฟรช (Frame Rate) เท่ากับ 25 เฟรม ต่อ 1 วินาที วิดีโอระบบนี้จะใช้ในประเทศออสเตรเลีย เบลเยียม จีน ฟินแลนด์ เยอรมัน สหราชอาณาจักร อิตาลี สิงคโปร์ มาเลเซีย และไทย เป็นต้น

2.2.1.2 ระบบ NTSC (National Television System Committee) เป็นรูปแบบวิดีโอที่มีความละเอียดในแนวนอนเท่ากับ 525 เส้น ใช้อัตราการรีเฟรช เท่ากับ 29.97 เฟรม ต่อ 1 วินาที วิดีโอระบบนี้จะใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น แคนาดา โคโลัมเบีย เม็กซิโก ไต้หวัน ฟิลิปปินส์ เป็นต้น

2.2.1.3 ระบบ SECAM (Sequential Color and Memory) เป็นรูปแบบวิดีโอที่มีความละเอียดในแนวนอนเท่ากับ 816 เส้น ใช้อัตราการรีเฟรช เท่ากับ 25 เฟรม ต่อ 1 วินาที วิดีโอระบบนี้จะใช้ในประเทศบัลแกเรีย ฝรั่งเศส อิรัก อิหร่าน รัสเซีย โปแลนด์ เป็นต้น

2.2.1.4 ระบบ HDTV (High Definition Television) เป็นเทคโนโลยีของการแพร่ภาพที่มีความละเอียดสูง คือ 1280 x 720 พิกเซล

2.1.3 คุณภาพของวิดีโอ

การวัดคุณภาพของวิดีโอสามารถวัดได้จาก อัตราเฟรม และความละเอียดของภาพ

2.1.3.1 อัตราเฟรม คืออัตราความถี่ในการแสดงภาพจาก Timeline ออกทางหน้าจอ ภาพ อัตราถูกแสดงในวิดีโอมีหน่วยเป็นเฟรมต่อวินาที (fps : Frame per second) เป็นหน่วยวัดปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการเก็บบันทึกและแสดงวิดีโอ) เช่น อัตราเฟรมของภาพยนตร์เท่ากับ 24 เฟรม

ต่อ 1 วินาที อัตราเฟรมระบบ PAL เท่ากับ 25 เฟรม ต่อ 1 วินาที และอัตราเฟรมของ NTSC เท่ากับ 30 เฟรมต่อ 1 วินาที

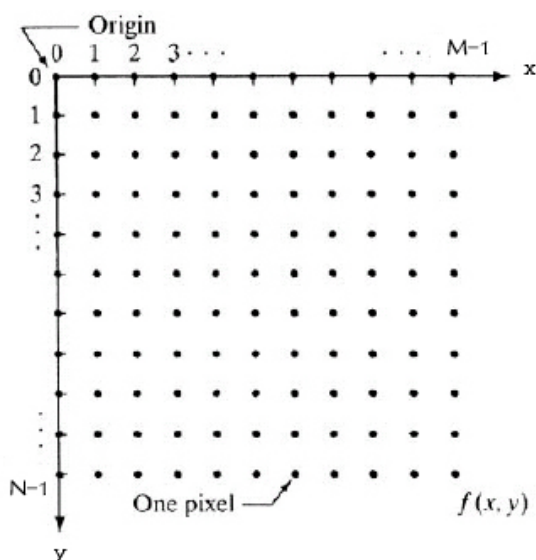
2.1.3.2 ความละเอียด หมายถึง ความชัดของภาพที่แสดงผลออกมาทางจอภาพ ความละเอียดของจอภาพขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซลทั้งหมดที่เกิดบนจอภาพ เช่น ความละเอียดของจอภาพ 640 x 480 พิกเซล หมายถึง มีจำนวนพิกเซลแสดงผลเรียงกันอยู่บนจอภาพในแนวนอน 640 พิกเซล และแนวตั้ง 480 พิกเซล

2.1.4 AVI (Audio Video Interleave) เป็นแฟ้มที่ประกอบด้วยวิดีโอ และเสียง ในรูปแบบของ มัลติมีเดีย เริ่มต้นโดยบริษัทไมโครซอฟต์ในเดือนพฤศจิกายน ปี 1992 เป็นเทคโนโลยีสำหรับระบบปฏิบัติการของวินโดวส์ (Windows) แฟ้ม AVI เป็นรูปแบบของวิดีโอและเสียงที่ต่อเนื่องกัน และ แฟ้ม AVI พัฒนาโดย Matrox และ OpenDML ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี 1996 และได้รับการสนับสนุนโดยบริษัทไมโครซอฟต์ ถูกเรียกว่า “AVI 2.0” แฟ้ม AVI อยู่ในรูปแบบของ Resource Interchange File Format (RIFF) ซึ่งแบ่งเป็น RIFF Header และข้อมูลถูกเก็บใน Blocks หรือ Chunks

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ใช้ วิดีโอบันทึกป้ายกำหนดความเร็วด้วยระบบ PAL ในอัตราเฟรม 25 เฟรม ต่อ 1 วินาที บันทึกเป็นแฟ้ม AVI และได้ใช้ avifil32.dll ในการแปลง AVI ให้เป็นภาพ

2.2 ภาพและความหมายของพิกเซล

2.2.1 พิกเซล (Pixel) คือ ความเข้มแสงที่รวมกันทำให้เกิดเป็นภาพ ภาพหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยพิกเซลมากมาย ซึ่งภาพแต่ละภาพที่สร้างขึ้นจะมีความหนาแน่นของพิกเซลเหล่านี้แตกต่างกันออกไป ความหนาแน่นนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความละเอียด (Resolution) ของภาพ ซึ่งมีหน่วยเป็น ppi (Pixel Per Inch) คือ จำนวนพิกเซลต่อนิ้ว ซึ่งโดยทั่วไปถือว่าภาพที่มีความละเอียดสูงหรือคุณภาพดี จะมีความละเอียด 300 x 300 ppi ขึ้นไป ค่า ppi ยิ่งสูงขึ้น ภาพก็จะมีรายละเอียดและคมชัดมากขึ้น ภาพที่ 2-2 แสดงถึงความเข้มแสงของภาพแต่ละพิกเซล



ภาพที่ 2-2 ตำแหน่งของพิกเซล

N = จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในแกน Y

M = จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในแกน X

ในภาพหนึ่ง ๆ เราสามารถอธิบายได้ในรูปแบบเมตริกซ์ของพิกเซลขนาด $N \times M$ ดังภาพที่ 2-3 โดยใช้คู่ลำดับ $f(i, j)$ แทนค่าของแต่ละพิกเซล และบ่งชี้ความเข้มแสงที่พิกเซลนั้น ๆ ของภาพ

	0					$j \rightarrow M$
0	$f(0,0)$	$f(0,1)$	$f(0,2)$	$f(0,3)$	$f(0,4)$	
	$f(1,0)$	$f(1,1)$	$f(1,2)$	$f(1,3)$	$f(1,4)$	
	$f(2,0)$	$f(2,1)$	$f(2,2)$	$f(1,3)$		
i	$f(3,0)$	$f(3,1)$	$f(3,2)$			
$\downarrow$	$f(4,0)$	$f(4,1)$	$f(4,2)$			
N						

ภาพที่ 2-3 เมตริกซ์ของพิกเซลในภาพ

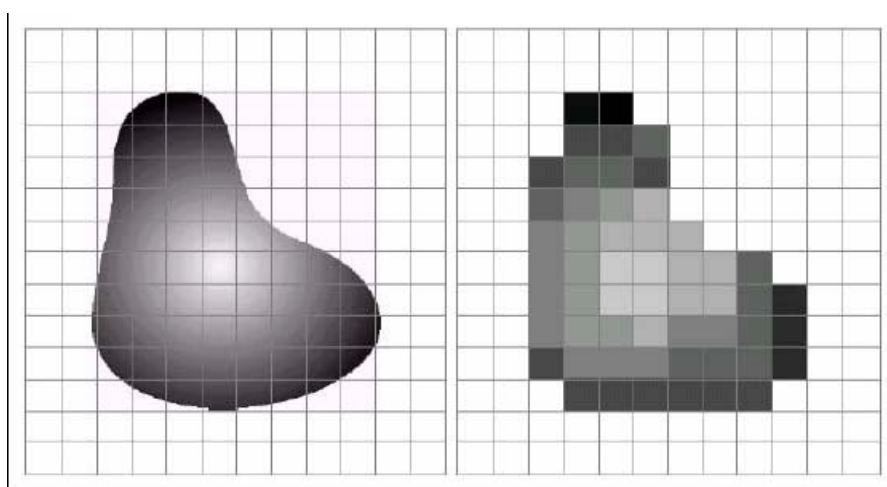
ค่าที่กำกับแต่ละพิกเซลจะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงในภาพที่พิกเซลนั้น โดยค่าของพิกเซลดังกล่าวจะเขียนแทนด้วย $f(i, j)$

2.3 การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital Image Processing)

2.3.1 การแทนภาพด้วยภาพแบบดิจิทัล

ภาพแบบดิจิทัล (Digital Image) เป็นภาพที่ถูกแปลงมาจากอนาล็อก ให้อยู่ในรูปของตัวเลข โดยภาพอนาล็อกถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่เรียกว่าพิกเซล ในแต่ละพิกเซลจะถูกระบุตำแหน่งด้วยคู่อพิกัด (x, y) และค่าระดับความเข้มแสงของพิกเซลนั้นๆ โดยเราสามารถแปลงภาพเป็นภาพแบบดิจิทัลได้โดยมีขั้นตอนและวิธีการดังนี้

เมื่อเรานำสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการประมวลผลผ่านส่วนที่เรียกว่า ดิจิไทเซอร์ (Digitizer) ซึ่งจะมีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นทำการควอนไทซ์ (Quantizing) เพื่อแปลงค่าความเข้มแสงให้เป็นตัวเลข ฟังก์ชันของภาพ $f(x, y)$ จะถูกทำให้เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบของภาพซึ่งเรียกว่า การสุ่มภาพ (Image Sampling) ของฟังก์ชันที่ได้เรียกว่า การควอนไทซ์ระดับความเข้มแสง (Grey Level Quantization) ก็จะได้ข้อมูลที่เป็นดิจิทัล ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 การทำ Sampling และ Quantization

สมมุติว่าสัญญาณภาพต่อเนื่อง $f(x, y)$ ถูกดิจิไทซ์ในระนาบ x และ y เป็นช่วงเท่า ๆ กัน เราสามารถจัด $f(x, y)$ ให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ ขนาด $N \times N$ ได้ดังสมการที่ 2-1

$$\begin{array}{cccc}
 f(0,0) & f(0,1) & f(0,2) & \dots f(0,N-1) \\
 f(1,0) & f(1,1) & f(1,2) & \dots f(1,N-1) \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 f(N-1,0) & f(N-1,1) & f(N-1,2) & \dots f(N-1,N-1)
 \end{array}
 \quad f(x,y) = \quad (2-1)$$

ซึ่งทางขวาของสมการ จะเรียกว่าข้อมูลภาพดิจิทัล และทุก ๆ สมาชิกของเมตริกซ์จะเรียกว่า พิกเซล จากขบวนการสร้างภาพดิจิทัลดังข้างต้น จะเห็นได้ว่าเราสามารถทราบขนาดของรายละเอียดของภาพ $N \times N$ พิกเซล และจำนวนระดับของความเข้มแสง ในทางปฏิบัติการทำคอนไคเซนซ์ ในระบบภาพดิจิทัลจะมีค่าดังสมการ

	B	$=$	$N \times N \times M$
เมื่อ	B	$=$	ขนาดของข้อมูลภาพที่เป็นดิจิทัล
	G	$=$	จำนวนความเข้มแสงที่ต้องการใช้ในการเก็บข้อมูลภาพ
โดย	M	$=$	จำนวนบิตที่ใช้ในการแทนข้อมูลภาพ 1 พิกเซล
	G	$=$	2^M

2.3.2 ลักษณะการจัดเก็บข้อมูลภาพแบบดิจิทัล

โดยทั่วไปแล้วภาพจะมีความเข้มตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป แต่ที่นิยมใช้กันมาก คือค่าระดับความเข้มของพิกเซลที่เท่ากับ 256 ระดับ ซึ่งจะทำให้ค่าของพิกเซลอยู่ในช่วง (0-255) โดยใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลขนาด 1 ไบต์หรือ 8 บิต สำหรับข้อมูล 1 พิกเซล (256) ในกรณีที่ต้องการภาพที่มีความเข้มสูงอาจจะต้องการจำนวนบิตสำหรับการเก็บข้อมูลมากกว่า 8 บิต คืออาจจะเป็น 16 หรือ 24 บิต โดยจะแยกความแตกต่างของภาพแต่ละประเภทให้เห็นอย่างชัดเจนได้ดังนี้

2.3.2.1 ภาพ 2 ระดับ คือมีพิกเซลสีขาวกับสีดำเท่านั้น โดยแต่ละพิกเซลจะมีขนาดของข้อมูลเท่ากับ 1 บิต

2.3.2.2 ภาพ 16 ระดับ คือในแต่ละพิกเซลจะมีขนาดของข้อมูล 4 บิต ซึ่งทำให้สามารถแสดงได้ 16 ระดับสี

2.3.2.3 ภาพ 256 ระดับ คือในแต่ละพิกเซลจะมีขนาดของข้อมูล 8 บิต ซึ่งทำให้สามารถแสดงภาพได้ความเข้มถึง 256 ระดับ

2.3.2.4 ภาพทิวคัลเลอร์ (True Color) คือในแต่ละพิกเซลจะมีขนาดของข้อมูล 24 บิต ทำให้สามารถแสดงภาพออกมาได้เหมือนจริงมากที่สุด เพราะสามารถแสดงสีได้ถึง 16,777,216 สี ภาพทิวคัลเลอร์สามารถแสดงได้เฉพาะภาพสีเท่านั้น ไม่สามารถแสดงเป็นภาพขาวดำได้ ดังภาพ 2-5



ภาพที่ 2-5 ภาพทรูคัลเลอร์

โดยทั่วไปวิธีการประมวลผลภาพเชิงตัวเลขที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จักวัตถุในภาพได้นั้นแบ่งออกได้เป็นสองระดับด้วยกันคือ การประมวลผลภาพในระดับต่ำ (Low-Level Image Processing) และการประมวลผลภาพในระดับสูง (High-Level Image Processing) การประมวลผลภาพในระดับต่ำจะเป็นการประมวลผลเชิงตัวเลขเกือบทั้งหมด เพื่อหาตัวแปรต่างๆ มาอธิบายข้อมูลภาพ โดยมีจุดประสงค์ที่จะนำตัวแปรเหล่านั้นไปใช้ในการประมวลผลภาพระดับสูงต่อไปโดยทั่วไปแล้วการประมวลผลภาพระดับต่ำจะประกอบด้วย การประมวลผลภาพก่อน(PreProcessing) เช่น การกำจัดสัญญาณรบกวน หรือการทำให้ภาพคมชัดการหาขอบภาพ เป็นต้น

การประมวลผลระดับสูงเป็นการนำผลลัพธ์ หรือสัญลักษณ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพระดับต่ำมาตีความหรือประมวลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จักและเข้าใจภาพได้ สำหรับความแตกต่างของการประมวลผลภาพ ทั้ง 2 ประเภทนั้น คือ การประมวลผลภาพระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่างของจุดภาพ (พิกเซล) ส่วนการประมวลผลภาพระดับสูงนั้นข้อมูลภาพที่นำมาประมวลผลจะถูกแสดงในรูปสัญลักษณ์ ซึ่งสัญลักษณ์เหล่านี้จะแสดงถึงสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในภาพเช่น ขนาดของวัตถุ

รูปร่าง และความสัมพันธ์กันระหว่างวัตถุภาพ

2.4 การสร้างภาพไบนารี

การสร้างภาพไบนารีสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล (Thresholding Technique) โดยพิจารณาว่าพิกเซลใดเป็นสีขาวหรือสีดำ จะกระทำโดยการเปรียบเทียบระหว่างพิกเซลของภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า “ค่าเทรชโฮล” (Threshold Value) เทคนิคนี้ใช้กันมากในกรณีที่

ข้อมูลภาพมีลักษณะที่ต่างกันระหว่างวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) โดยค่าของพิกเซลของภาพใด ๆ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลจะถูกเปลี่ยนเป็น 0 (จุดดำ)

ในการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคเทรชโฮลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและคมชัด สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ค่าเทรชโฮล เนื่องจากถ้าเลือกค่าเทรชโฮลที่ไม่เหมาะสม (ค่าเทรชโฮลที่มีค่าน้อยเกินไปหรือมากเกินไป) ภาพที่ได้อาจจะมืดเกินไป หรือสว่างมากเกินไป หรือภาพที่ได้มีสิ่งรบกวน (Noise) เกิดขึ้น อันเป็นผลทำให้ภาพที่ได้ไม่สวยงามเท่าที่ควร ดังนั้นปัญหาของการสร้างภาพไบนารี คือวิธีการกำหนดค่าเทรชโฮลที่เหมาะสมสำหรับแต่ละภาพที่จะนำมาทำการสร้างภาพไบนารี ซึ่งมีวิธีคำนวณค่าเทรชโฮลหลายวิธี โดยแต่ละวิธีเหมาะสมกับลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันไป เช่น การหาค่าเทรชโฮลโดยกำหนดค่าล่วงหน้า (Pre-assigned Threshold Value) การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Mid-range Threshold Value) ซึ่งแต่ละวิธีอธิบายได้ดังนี้

2.4.1 การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดค่าล่วงหน้า เป็นการกำหนดค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดเองจากผู้ใช้งาน ซึ่งการกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้คนนั้น ๆ โดยการเลือกค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ค่าเทรชโฮล โดยค่าที่เลือกมานี้จะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มแสงของภาพ เช่น ภาพอินพุตมีระดับความเข้มแสง 256 ระดับ จะมีค่าได้ตั้งแต่ 0-255 เมื่อเลือกค่าเทรชโฮลได้แล้วสามารถสร้างภาพไบนารีได้

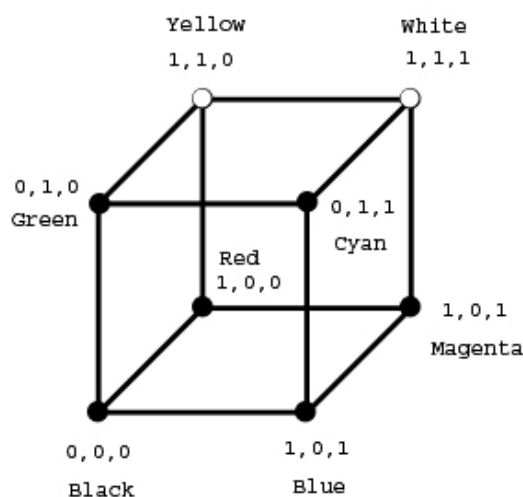
2.4.2 การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง เป็นการหาเทรชโฮลที่แตกต่างจากการหาค่าเทรชโฮลวิธีแรก สำหรับวิธีนี้จะเป็นการคำนวณค่าเทรชโฮลโดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องให้ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนด โดยการหาค่าเทรชโฮลนี้ใช้วิธีทางสถิติในเรื่องการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเทรชโฮลที่คำนวณได้จากค่ากึ่งกลางที่อยู่ระหว่างค่าระดับความเข้มสูงสุด (Maximum Level) และระดับความเข้มต่ำสุด (Minimum Level) ของภาพ เมื่อทำการคำนวณค่าเทรชโฮลได้แล้วก็สามารถสร้างภาพไบนารีได้โดยนำค่าเทรชโฮลที่ได้มาใช้

2.5 แบบจำลองสี (Color Model)

แบบจำลองสี (Color Model) เป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงถึงสีต่าง ๆ สำหรับคอมพิวเตอร์แล้วเราจะไม่ใช้แบบจำลองที่เป็น Analytical Model เหมือนกับที่ใช้ในทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งใช้วิธีการวัดซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานตลอดช่วงของสเปกตรัม (Spectrum) แต่จะเป็น Empirical Model ที่ได้รับความสัมพันธ์ของค่าที่ใช้อ้างอิงกับสีใด ๆ จากการทดลองที่เป็นการศึกษาแบบ Psychophysical ที่มีการรับรู้ของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง

แบบจำลองสีมีหลายแบบด้วยกัน เช่น แบบจำลองสี RGB แบบจำลองสี CMY แบบจำลองสี CMYK แบบจำลองสี HSV แบบจำลองสี HIS แบบจำลองสี HLS แบบจำลองสี YIQ และแบบจำลองสี YUV (แบบจำลอง YcbCr) เป็นต้น

2.5.1 แบบจำลองสี RGB (RGB Color Model) เป็นแบบจำลองที่เฉพาะเจาะจงกับจอภาพคอมพิวเตอร์ เนื่องจาก RGB Model ได้ทำการสร้างสีต่าง ๆ ขึ้นโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจำนวนสามสี ได้แก่ สีแดง (Red), สีเขียว (Green), และสีน้ำเงิน (Blue) ที่เกิดจากสารเรืองแสงที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามลำดับ ซึ่งแสงทั้งสามสีจะไม่เท่ากันในแต่ละอุปกรณ์ นอกเสียจากว่าจะมีคุณสมบัติของสารเรืองแสงและการตั้งค่าจอภาพ และสภาพแวดล้อมที่จอภาพคอมพิวเตอร์เหมือนกันทุกประการ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป ดังภาพที่ 2-6



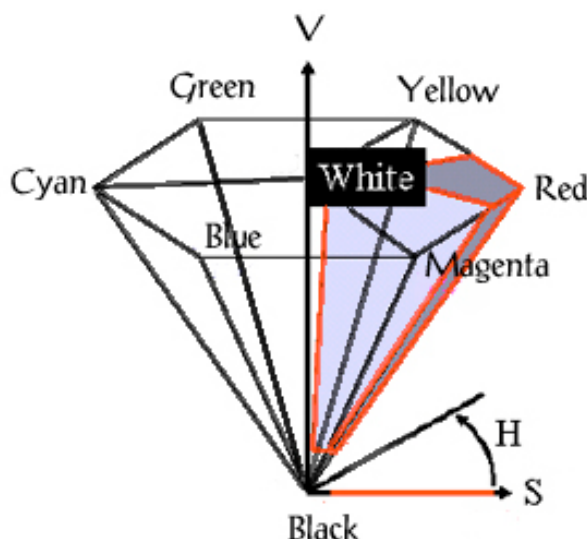
ภาพที่ 2-6 แบบจำลองสี RGB

แบบจำลองสี RGB ประกอบด้วยข้อมูลจำนวนสามส่วนคือ ค่า Intensity ของสีทั้งสาม ซึ่งได้แก่สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

2.5.2 แบบจำลองสี HSV (HSV Color Model) เป็นแบบจำลองสีที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นทางเลือก โดยแบบจำลองสี HSV แสดงในภาพที่ 2-6 จะให้ความหมายที่ดีกว่าเมื่อกล่าวถึง สีต่าง ๆ ในเชิงศิลปะ เช่น เมื่อพูดถึงสีเหลืองในทางศิลปะจะมีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาสีเหลืองอ่อน สีเหลืองแก่ หรือสีน้ำตาลว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร จะพบว่าทุกสี คือสีเหลืองนั่นเอง ที่มีระดับความเข้มหรือความอิ่มตัวที่ต่างกัน ดังนั้นสีในแบบจำลองสี HSV จึงให้ความรู้สึกที่เข้าใจได้มากกว่าสำหรับมนุษย์ซึ่งจำลองสี HSV ประกอบด้วยสามส่วนคือ

H หมายถึง Hue หรือสีที่มีค่าที่แตกต่างออกไปตามความถี่ของแสง เช่น แดง เหลือง เขียว น้ำเงิน หรือ ม่วง เป็นต้น

S หมายถึง Saturation หรือความอิ่มตัวของ Hue นั้น ๆ เช่น สีแดง และสีชมพูก็คือสีแดง เพียงแต่สีชมพูมีความอิ่มตัวน้อยกว่า



ภาพที่ 2-7 แบบจำลองสี HSV

V หมายถึง Value หรือค่าความสว่างของสี โดยที่ค่า Value ต่ำสุดหมายถึง สีดำ ไม่ว่าจะมี Hue หรือ Saturation เท่าใด และค่า Value สูงสุดหมายถึง สีขาว ซึ่งเป็นสีที่สว่างที่สุดของ Hue และ Saturation นั้นๆ เช่น Hue ใดๆ มีค่า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ Value สูงสุดก็คือสีขาว และ Value ต่ำสุด คือสีดำ หรือ Hue สีเหลืองที่ Saturation มีค่าเท่ากับ 100 เมื่อ Value สูงสุดคือสีเหลือง และ Value ต่ำสุดคือสีดำ [5]

วิทยานิพนธ์นี้ใช้แบบจำลองสี RGB ของภาพที่ได้จากขั้นตอนของการแปลงแฟ้ม วิดีโอเป็นภาพ และแบบจำลองสี HSV จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนของการแบ่งแยกภาพด้วยสี

2.6 การแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ (Image Segmentation)

การแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ จะทำให้สามารถแยกภาพส่วนที่ต้องการออกจากส่วนอื่น ๆ วิธีการพื้นฐานสำหรับการแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ คือการพิจารณา Image Amplitude (ได้แก่การพิจารณาความสว่างของภาพสำหรับภาพแบบ Gray Scale และความแตกต่างของสีสำหรับภาพสี)

นอกจากนี้ขอบของภาพและลักษณะของ Texture ก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะทำให้สามารถทำการแบ่งแยกภาพได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยทั่วไปการแยกภาพออกเป็น ส่วน ๆ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

2.6.1 Amplitude Segmentation Method

เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากความเหมือนกันของคุณสมบัติของพิกเซลภายในพื้นที่เพียงอย่างเดียว เช่นวิธีการ Intensity thresholding เป็นการแยกแยะวัตถุจากฉากหลังโดยดูจาก Intensity ของพิกเซลเป็นหลัก ข้อดีของวิธีการนี้คือมีขั้นตอนในการทำงานที่ง่ายไม่ซับซ้อนทำงานได้รวดเร็ว แต่ข้อเสียคือไม่สามารถใช้กับภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก หรือภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอ

2.6.2 Region Segmentation Method

เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากตำแหน่งของพิกเซลและความเหมือนกันของคุณสมบัติของพิกเซลภายในพื้นที่เป็นหลัก โดยถ้าพิกเซลที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน ข้อดีของการทำเช่นนี้จะได้พื้นที่ต่อเนื่องกัน ปัญหาอุปสรรคของวิธีการนี้คือ การกำหนดกฎเกณฑ์ที่เหมาะสมที่ใช้ตรวจสอบว่าพิกเซลนั้นที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เพื่อใช้ในการรวมกลุ่มเข้าด้วยกันทำได้ยาก และวิธีการเหล่านี้อาศัยอัลกอริทึมและโครงสร้างข้อมูลที่ซับซ้อน การประมวลผลใช้เวลานาน

2.6.3 Edge Segmentation Method

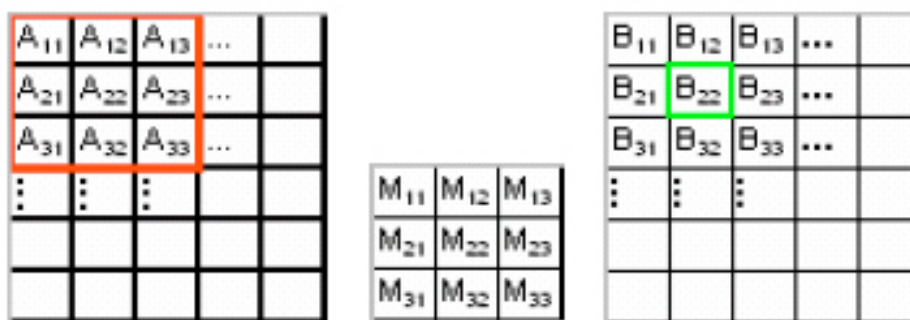
เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพ โดยอาศัยความไม่ต่อเนื่องของคุณสมบัติของพิกเซลที่บริเวณขอบของวัตถุ ดังนั้นวิธีการนี้จึงมุ่งที่จะตรวจหาขอบของวัตถุเป็นข้อดีของวิธีการนี้คือมีความรวดเร็วในการประมวลผล เพราะวิธีการนี้ใช้เฉพาะข้อมูลบริเวณขอบของวัตถุเท่านั้น ส่วนข้อเสียของวิธีการนี้คือผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของ “ขอบ” ของวัตถุซึ่งอาจจะต้องผ่านกระบวนการอื่นอีกต่อหนึ่ง จึงสามารถใช้งานได้ นอกจากนี้ขอบของวัตถุที่ได้อาจไม่ต่อเนื่องถ้าวัตถุมีสีที่ไม่สม่ำเสมอ

วิทยานิพนธ์ได้ใช้วิธีการของ Amplitude Segmentation Method ในการแบ่งแยกภาพโดยใช้สี โดยการหาสีแดงที่เป็นส่วนประกอบของป้ายกำหนดความเร็วในภาพทำการแปลงภาพสีจาก RGB ให้เป็น HSV โดยกำหนดสีแดงของป้ายกำหนดความเร็วจะมีค่า Hue $345^{\circ} \dots 0^{\circ} \dots 15^{\circ}$ Saturation $0.1 \dots 1.0$ Value $0.2 \dots 1.0$ [6] แล้วนำมาแบ่งแยกสี โดยที่สีแดงถูกกำหนดให้เป็นสีขาว ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่สีแดงจะกำหนดให้เป็นสีดำ ซึ่งเป็นการแปลงเป็นภาพไบนารี

2.7 คอนโวลูชัน (Convolution)

การทำคอนโวลูชัน คือการคำนวณเป็นพื้นที่รอบ ๆ ค่าของพิกเซล โดยการนำค่าของพิกเซลที่ล้อมรอบพิกเซลที่กำลังพิจารณามาทำการคำนวณกับตัวเลขคงที่กลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า ค่าตัวร่วม หรือ Mask Coefficient เข้าไปคูณกับค่าของพิกเซลเหล่านั้น แล้วนำผลคูณที่ได้มาบวกเข้าด้วยกัน ผลลัพธ์จะเก็บไว้ในตำแหน่งที่กำลังพิจารณาของภาพ (ตำแหน่งตรงกลาง) การทำคอนโวลูชันจะทำการสแกนจากตำแหน่งบนซ้ายไปยังตำแหน่งล่างขวา แสดงดังสมการที่ 2-2 และตัวอย่างดังภาพที่ 2-8

$$B(i,j) = \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{l=0}^{m-1} A(k,l) \cdot M(i-k, j-l) \quad (2-2)$$



ภาพที่ 2-8 การทำคอนโวลูชัน

ตัวอย่างการคำนวณคอนโวลูชันที่ตำแหน่ง B_{22}

$$\begin{aligned} B_{22} = & (A_{11} \times B_{11}) + (A_{12} \times B_{12}) + (A_{13} \times B_{13}) \\ & + (A_{21} \times B_{21}) + (A_{22} \times B_{22}) + (A_{23} \times B_{23}) \\ & + (A_{31} \times B_{31}) + (A_{32} \times B_{32}) + (A_{33} \times B_{33}) \end{aligned}$$

2.8 Morphological Operation

Mathematical morphology เป็นเครื่องมือที่ใช้งานด้าน Digital image processing สำหรับตัดต่อ หรือแต่งเติมส่วนขอบของภาพ โครงสร้างของภาพ โดยใช้ทฤษฎีของเซต ซึ่งเซตใน Morphology จะแทนรูปร่างหรือรูปทรงของวัตถุในภาพ เช่นกลุ่มของสีดำทั้งหมดในภาพไปนารี สำหรับการทำให้ Morphological สามารถใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวน ขยายพื้นที่ของวัตถุ และกำจัดส่วนเกินของวัตถุได้ [7]

2.8.1 Dilation and Erosion

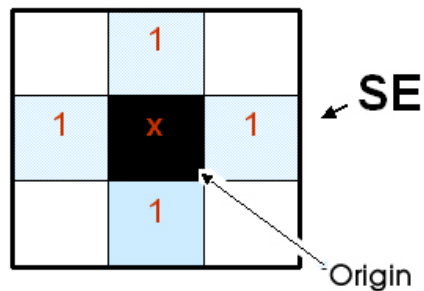
2.8.1.1 Dilation คือ การขยายพิกเซลของภาพ โดยการสแกนค่าของ SE (Structuring Element) ดังภาพที่ 2-9 บนแต่ละค่าของพิกเซลภาพ โดยทำการสแกนจากตำแหน่งบนซ้ายไปยังตำแหน่งล่างขวา ซึ่งจะเปลี่ยนค่าของพิกเซลที่มีค่าเป็น 0 ให้มีค่าเป็น 1 เมื่อค่าของพิกเซลใด ๆ

พิกเซลหนึ่งบน SE มีค่าตรงกับค่าของพิกเซลภาพ และจะมีค่าคงเดิม เมื่อทุกค่าของ SE มีค่าตรงกับทุกค่าของพิกเซลภาพ แสดงดังภาพที่ 2-10 โดยมีสมการดังนี้

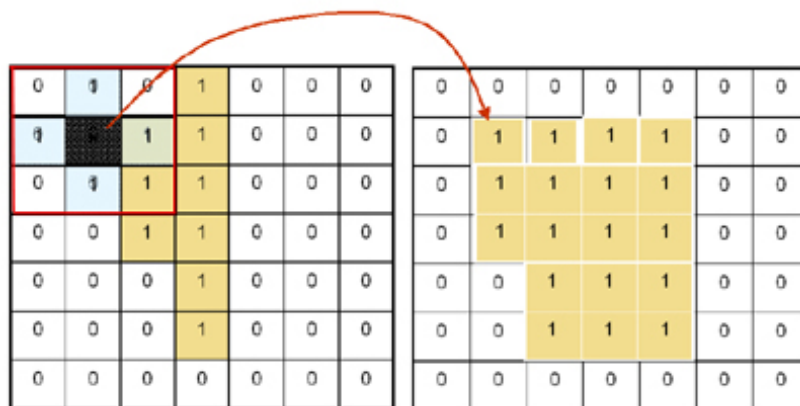
$$A \oplus B = \bigcup_{x \in B} (A_x) \quad (2-3)$$

เรียก B ว่าเป็น Structuring element in dilation

ความหมายคือทุก ๆ พิกเซล $x \in B$ ทำการเคลื่อนย้ายไปยัง A โดยการยูเนียนไปตามพิกัดของ x



ภาพที่ 2-9 ค่าของ SE (Structuring Element)



ภาพที่ 2-10 การทำงานของ Dilation

จากภาพที่ 2-10 เมื่อค่าของพิกเซลใน SE ตรงกับค่าของพิกเซลใด ๆ พิกเซลหนึ่งของภาพพิกเซลที่ตำแหน่ง Origin จะเปลี่ยนเป็น 1 ผลลัพธ์ของ Dilation แสดงดังภาพที่ 2-11 (ข)



(ก)



(ข)

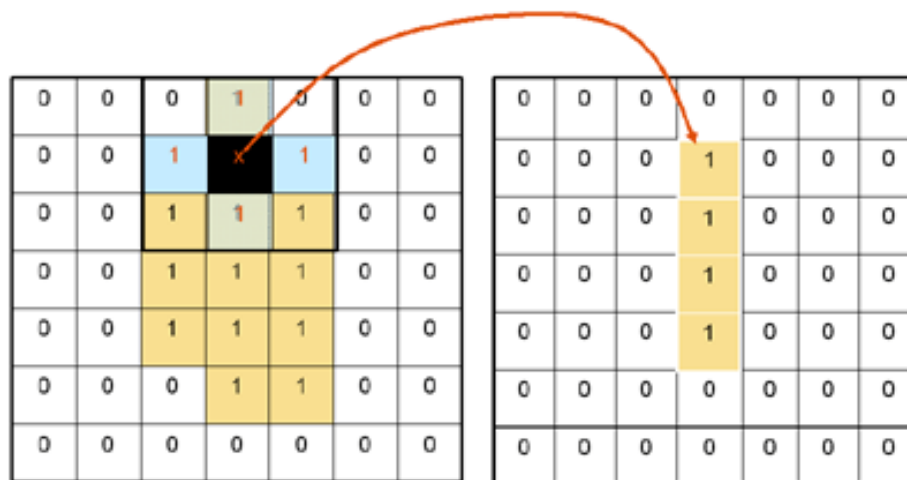
ภาพที่ 2-11 ภาพการทำ Dilation (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ผลลัพธ์จากการทำ Dilation

2.8.1.2 Erosion เป็นวิธีการที่ตรงข้ามกับ Dilation คือจะลดขนาดของพิกเซล โดยการสแกนค่าของ SE บนแต่ละค่าของพิกเซลภาพ โดยทำการสแกนจากตำแหน่งบนซ้ายไปยังตำแหน่งล่างขวา ซึ่งจะเปลี่ยนค่าของพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 ให้มีค่าเป็น 0 เมื่อพิกเซลใดพิกเซลหนึ่งบน SE มีค่าตรงกับค่าของพิกเซลภาพ และจะมีค่าคงเดิม เมื่อทุกพิกเซลของ SE มีค่าตรงกับค่าของพิกเซลภาพ แสดงดังภาพที่ 2-12 โดยมีสมการดังนี้

$$A \ominus B = \{w : B_w \subset A\} \quad (2-4)$$

เรียก B ว่าเป็น Structuring element in Erosion

ความหมายคือ B_w เป็นสับเซตของ A โดยที่ค่าของ B จะต้องประกอบด้วยทุก ๆ พิกเซลของ w มีพิกัดเป็น (x, y) ซึ่งค่า B_w จะต้องอยู่ใน A



ภาพที่ 2-12 การทำงานของ Erosion

จากภาพที่ 2-12 เมื่อค่าของพิกเซลใน SE ทุก ๆ พิกเซลมีค่าตรงกับค่าของพิกเซลในภาพทุกตำแหน่ง พิกเซลที่ตำแหน่ง Origin จะมีค่าคงเดิม และจะมีค่าเป็น 0 เมื่อค่าของ SE ตรงกับค่าของพิกเซลใดพิกเซลหนึ่งของภาพ ผลลัพธ์ของ Erosion แสดงดังภาพที่ 2-13 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2-13 ภาพการทำ Erosion (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ผลลัพธ์จากการทำ Erosion

2.8.2 Opening and Closing

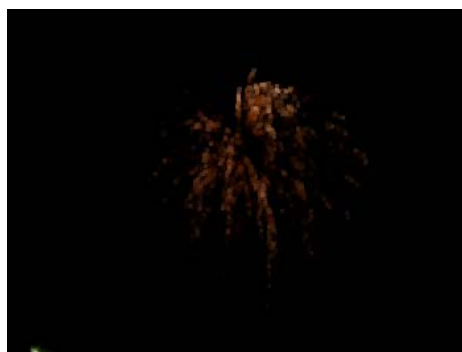
2.8.2.1 Opening ใช้เพื่อกำจัดรายละเอียดขนาดเล็กของภาพ และการทำ Opening จะทำให้พิกเซลของภาพจะถูกเปิดกว้างมากขึ้นดังภาพที่ 2-14 และวิธีการของ Opening คือการทำ Erosion ก่อน จากนั้นจึงทำ Dilation ดังสมการที่ 2-5

$$A \ominus B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2-5)$$

เรียก B ว่าเป็น Structuring element



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2-14 ภาพการทำ Opening (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ผลลัพธ์จากการทำ Opening

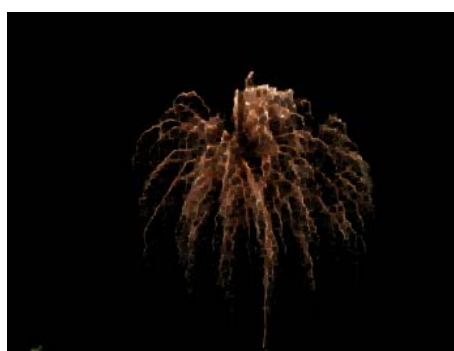
2.8.2.2 Closing ทำในวิธีตรงข้ามกับ Opening จะเป็นการทำให้ภาพมีการเชื่อมต่อกันมากขึ้นและการทำ Closing จะทำให้พิกเซลของภาพจะถูกปิดเชื่อมต่อกันมากขึ้นดังภาพที่ 2-15
วิธีการทำ Closing คือการทำ Dilation ก่อน จากนั้นจึงทำ Erosion ดังสมการที่ 2-6

$$A \bullet B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2-6)$$

เรียก B ว่าเป็น Structuring element



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2-15 ภาพการทำ Closing (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ผลลัพธ์จากการทำ Closing

วิทยานิพนธ์ได้ใช้วิธีการ Closing ในการเติมช่องว่างของภาพที่ขาดหายไปของป้ายกำหนดความเร็วให้ดีขึ้น ทำให้ภาพมีความสมบูรณ์มากขึ้นกว่าเดิม ก่อนที่จะนำไปหาขอบภาพ

2.9 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพ เป็นการหาขอบเขตของวัตถุภายในภาพ โดยขอบภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ดังนั้นถ้าหากความเข้มแสงมีค่าความแตกต่างมาก จะทำให้ขอบภาพมีความชัดเจน ในทางตรงข้ามถ้าหากมีค่าความแตกต่างน้อยขอบภาพจะไม่ชัดเจน ซึ่งการหาขอบภาพแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.9.1 การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง

การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง เป็นการแปลงเกรเดียนต์แบบไม่ต่อเนื่องบนภาพเชิงตัวเลข เนื่องจากการหาขอบภาพเป็นการประมวลผลแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงต้องใช้อนุพันธ์ย่อยแบบไม่ต่อเนื่องตามทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน x และแกน y ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\nabla_x g(x,y) = g(x,y) - g(x-1,y) \quad (2-7)$$

$$\nabla_y g(x,y) = g(x,y) - g(x,y-1) \quad (2-8)$$

โดยขนาดของเกรเดียนต์ตามทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน x และแกน y รวมกันได้เป็นสมการ 2-9

$$|\nabla g(x,y)| = |\nabla_x g(x,y)| + |\nabla_y g(x,y)| \quad (2-9)$$

การหาขอบภาพโดยใช้เกรเดียนต์ในทางปฏิบัติจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ตามวิธีดังนี้

Roberts

$$|\nabla g(x,y)| = \max \left(\begin{array}{l} |g(x,y) - g(x+1,y+1)|, \\ |g(x+1,y) - g(x,y+1)| \end{array} \right) \quad (2-10)$$

Prewitt

$$|\nabla g(x,y)| = \left(\begin{array}{l} \left| \sum_y^{y+2} g(x,y) - \sum_y^{y+2} g(x+2,y) \right| + \\ \left| \sum_x^{x+2} g(x,y) - \sum_x^{x+2} g(x,y+2) \right| \end{array} \right) \quad (2-11)$$

Sobel

$$|\nabla g(x,y)| = \sqrt{\left(\begin{array}{c} |g(x,y) + 2g(x,y+1) + g(x,y+2) - \\ (g(x+2,y) + 2g(x+2,y+1) + g(x+2,y+2))| \\ |g(x,y) + 2g(x+1,y) + g(x+2,y) - \\ (g(x,y+2) + 2g(x+1,y+2) + g(x+2,y+2))| \end{array} \right)^2 + \left(\begin{array}{c} |g(x,y) + 2g(x,y+1) + g(x,y+2) - \\ (g(x+2,y) + 2g(x+2,y+1) + g(x+2,y+2))| \\ |g(x,y) + 2g(x+1,y) + g(x+2,y) - \\ (g(x,y+2) + 2g(x+1,y+2) + g(x+2,y+2))| \end{array} \right)^2} \quad (2-12)$$

จากสมการ 2-10 ถึง 2-12 สามารถเขียนในรูปของ Mask Coefficient ได้ดังนี้

Robert
$$W_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-13)$$

Prewitt

$$W_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad W_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2-14)$$

Sobel

$$W_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad W_2 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-15)$$

นำ Mask Coefficient W ของแต่ละวิธีมาหาขอบภาพ จะต้องนำ Mask Coefficient ของวิธีนั้น ๆ มาทำการคอนโวลูชัน กับภาพสามารถแสดงในสมการที่ 2-16

$$h_k(x,y) = \sum_i \sum_j w_k(i,j)g(x+i-1,y+j-1) \quad (2-16)$$

โดย $h_k(x,y)$ คือพิกเซลของภาพ ณ ตำแหน่ง x, y ที่ผ่านการคอนโวลูชันแล้วด้วย Mask Coefficient ที่ k

$w_k(i,j)$ คือสมาชิกตัวที่ i, j ของ Mask Coefficient ตัวที่ k

เมื่อดำเนินการคอนโวลูชันระหว่างภาพกับ Mask Coefficient แล้วนำ $h_k(x,y)$ สำหรับ k ทุกตัวมาทำการเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮล ถ้ามากกว่า เทรชโฮล แสดงว่าเป็นขอบภาพ ตัวอย่างการหาขอบภาพด้วยวิธีของ Sobel และใช้ค่าเทรชโฮลด้วยค่า 12 ดังภาพที่ 2-16

ภาพพิกเซลของภาพ							
0	0	0	0	0	0	2	0
0	0	0	1	0	0	0	2
0	0	2	0	2	4	3	3
0	0	1	3	3	4	3	3
0	1	0	4	3	3	2	4
0	0	1	2	3	3	4	4
0	0	0	0	0	0	2	0
0	0	0	1	0	0	0	2
0	0	2	0	2	4	3	3
0	0	1	3	3	4	3	3
0	1	0	4	3	3	2	4
0	0	1	2	3	3	4	4

ค่าที่ได้จากการทำคอนโวลูชัน							
4	6	4	10	14	12	14	4
6	8	10	20	16	12	6	0
4	10	14	10	2	4	2	4
2	12	12	2	2	4	6	8

เทรชโฮลด้วยค่า 12							
0	0	0	0	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0

ภาพที่ 2-16 ตัวอย่างการคำนวณการหาขอบภาพ

2.9.2 การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับที่สอง

การหาขอบภาพโดยวิธีนี้จะไม่มีการพิจารณาทิศทางของขอบภาพ แต่จะสนใจเฉพาะขนาดของความเป็นขอบภาพ (เกรเดียนต์) เท่านั้น โดยวิธีนี้ได้แก่ ตัวดำเนินการลาปลาเซียน (Laplacian)

เกรเดียนต์ของ $\nabla^2 g(x, y)$ ได้จากการประมาณอนุพันธ์เชิงเส้นของฟังก์ชันต่อเนื่อง

$$\begin{aligned} \nabla^2 g(x, y) = & 4g(x, y) - (g(x+1, y) + g(x-1, y) \\ & + g(x, y+1) + g(x, y-1)) \end{aligned} \quad (2-17)$$

จากสมการ 2-17 สามารถเขียนในรูปของ Mask Coefficient ได้ดังสมการที่ 2-18

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2-18)$$

วิทยานิพนธ์ได้ใช้วิธี Sobel ในการหาขอบภาพของป้ายกำหนดความเร็ว การหาขอบภาพจะทำการที่จะนำไปทำการวัดระยะด้วยโมดิฟายน์เฮาซครอฟติสแทนซ์



ภาพที่ 2-17 ภาพต้นฉบับก่อนนำไปหาขอบภาพ



ภาพที่ 2-18 ภาพที่ได้จากการหาขอบภาพ

2.10 การวัด และการแปลงระยะทาง (Distance transform)

2.10.1 การวัดระยะทาง (Distance)

การวัดการระยะทางระหว่างพิกเซลของภาพ เป็นการวัดระยะทางของพิกเซลหนึ่งไปยังอีกพิกเซลหนึ่ง โดยที่การวัดระยะมีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ระยะยูคลิด (Euclidean Distance) ระยะเชสบอร์ด (Chess-board distance) ระยะซิตี้บล็อก (City-block distance) โดยที่การวัดระยะทางของพิกเซล P, Q, R ใด ๆ ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

$$D(P, Q) \geq 0 \quad (2-19)$$

$$D(P, Q) = D(Q, P) \quad (2-20)$$

$$D(P, R) \leq D(P, Q) + D(Q, R) \quad (2-21)$$

ความหมายของคุณสมบัตินี้ คือ

เมื่อ $D(P, Q)$ ระยะทางระหว่างพิกเซล P และ Q ก็ต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 0

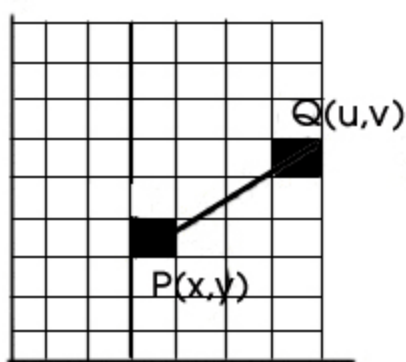
$D(P, Q)$ ระยะทางระหว่างพิกเซล P และ Q ก็ต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 0

$D(P, Q)$ ระยะทางระหว่างพิกเซล P และ Q ก็ต้องเท่ากับ Q และ P

สมการที่ 2-21 ระยะทางระหว่างพิกเซล P และ R ต้องน้อยกว่า หรือเท่ากับพิกเซล P และ Q

บวกด้วยระยะทางระหว่าง Q และ R

2.10.1.1 ระยะยูคลิด



ภาพที่ 2-19 ระยะยูคลิด

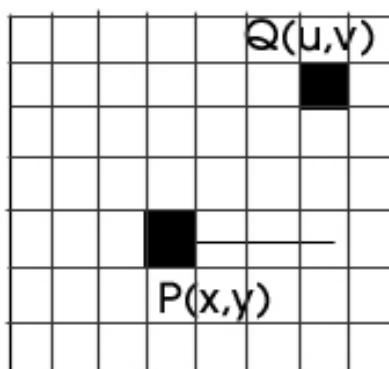
$$D_E = \sqrt{(x-u)^2 + (y-v)^2} \quad (2-22)$$

โดยที่ P เป็นพิกเซลของภาพ ซึ่งมีตำแหน่ง เป็น (x, y)

Q เป็นพิกเซลของภาพ ซึ่งมีตำแหน่งเป็น (u, v)

D_E เป็นระยะระหว่างพิกเซลแบบยูคลิด

2.10.1.2 ระยะเชสบอร์ด



ภาพที่ 2-20 ระยะเชสบอร์ด

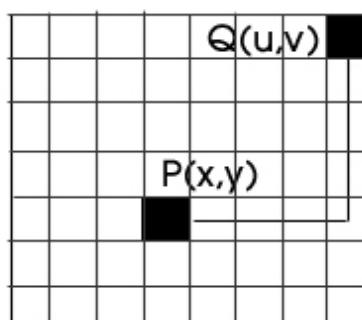
$$D_8(x, y) = \text{Max}(|x - u|, |y - v|) \quad (2-23)$$

โดยที่ P เป็นพิกเซลของภาพ ซึ่งมีตำแหน่งเป็น (x, y)

Q เป็นพิกเซลของภาพ ซึ่งมีตำแหน่งเป็น (u, v)

D_8 เป็นระยะระหว่างพิกเซลแบบเชสบอร์ด

2.10.1.3 ระยะซิดีบล็อก



ภาพที่ 2-21 ระยะซิดีบล็อก

$$D_4(x, y) = |x - u| + |y - v| \quad (2-24)$$

โดยที่ P เป็นพิกเซลของภาพ ซึ่งมีตำแหน่งเป็น (x, y)

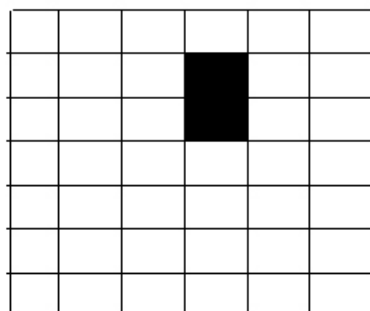
Q เป็นพิกเซลของภาพ ซึ่งมีตำแหน่งเป็น (u, v)

D_4 เป็นระยะระหว่างพิกเซลแบบซิดีบล็อก

2.10.2 การแปลงระยะทาง (Distance transform)

การแปลงระยะทางจะแปลงจากภาพไบนารีให้อยู่ในรูปของ Distance map ดังภาพที่

2-22(ข) โดยจะพิจารณาจากระยะของพิกเซลปัจจุบันไปยังพิกเซลที่อยู่รอบ ๆ โดยรูปแบบของการแปลงระยะทาง เช่น Chamfer distance transform จะถูกนำไปใช้ในการแปลงระยะทางซิดีบล็อก หรือ การแปลงระยะทางเชสบอร์ด [8] และ Mask Coefficient ที่ใช้ในการแปลงระยะทาง แสดงดังภาพที่ 2-23

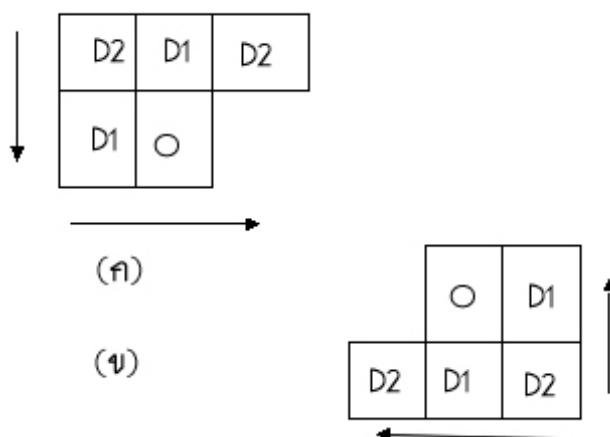


(ก)

4	3	2	1	2	3
3	2	1		1	2
3	2	1		1	2
4	3	2	1	2	3
5	4	3	2	3	4
6	5	4	3	4	5
7	6	5	4	5	6

(ข)

ภาพที่ 2-22 ตัวอย่างของ Distance Transform (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Distance map โดยใช้ชิตบ์ล็อก



ภาพที่ 2-23 Mask Coefficient ที่ใช้ทำ Distance Transform

(ก) สแกนจากซ้ายไปขวา , บนลงล่าง (ข) สแกนจากขวาไปซ้าย , ล่างขึ้นบน

Mask Coefficient กำหนดค่าโดย

$D1$ = ระยะทางระหว่างพิกเซล 2 พิกเซลที่ติดกันในแนวนอน

$D2$ = ระยะทางระหว่างพิกเซล 2 พิกเซลที่ติดกันในแนวตั้ง

0 = พิกเซลที่กำลังพิจารณาโดยมีค่าระยะเป็น 0

ระยะทางชิตบ์ล็อก มีค่า $D1 = 1$ และ $D2 = 2$

ระยะทางเชสบอร์ด มีค่า $D1 = 1$ และ $D2 = 1$

จากภาพที่ 2-23 (ก) ทิศทางการสแกนจะทำโดยสแกนจากซ้ายไปขวา และสแกนจากแถวบนลงมาข้างล่าง เรียกว่า First scan

2-22 (ข) ทิศทางการสแกนจะทำการสแกนจากขวาไปซ้าย และสแกนจากแถวล่างขึ้นข้างบน เรียกว่า Second scan

ขั้นตอนของการทำ Chamfer distance algorithm (CDA)

กำหนดให้ I เป็นรูปภาพไบนารี ขนาด X x Y

$I(x, y) = 0$ เป็นพิกเซลของภาพที่อยู่ภายนอกวัตถุ และ

$I(x, y) = 1$ เป็นพิกเซลของภาพที่อยู่ภายในวัตถุ

II เป็นพิกเซลของขอบวัตถุในภาพ I โดยกำหนดได้ดังสมการ

$$[I(x, y) = 1] \wedge [I(x+1, y) = 0 \vee I(x-1, y) = 0 \vee I(x, y+1) = 0 \vee I(x, y-1) = 0] \quad (2-25)$$

CDA กำหนด $d(x, y) = \infty$ ในทุก ๆ พิกเซลของภาพ

II = 0 ในทุก ๆ พิกเซลของภาพ

Forward Scan ด้วย Mask Coefficient 3 x 3 ด้วยภาพที่ 2-22 (ก) ดังสมการ

$$d(x, y) = \min \left\{ \begin{array}{l} d(x-1, y-1) + w(-1, -1), d(x, y-1) + w(0, -1), \\ d(x+1, y-1) + w(1, -1), d(x-1, y) + w(-1, 0), d(x, y) \end{array} \right\} \quad (2-26)$$

$d(x, y)$ เป็นระยะจากพิกเซลที่พิจารณาไปยังขอบของวัตถุ การสแกนจะกระทำจากซ้ายไปขวา และบนลงล่าง

Backward Scan ด้วย Mask Coefficient 3 x 3 ด้วยภาพที่ 2-22 (ข) ดังสมการ

$$d(x, y) = \min \left\{ \begin{array}{l} d(x+1, y) + w(+1, 1), d(x, y+1) + w(0, +1) \\ d(x-1, y+1) + w(-1, +1), d(x+1, y+1) + w(+1, 0), d(x, y) \end{array} \right\} \quad (2-27)$$

$d(x, y)$ เป็นระยะจากพิกเซลที่พิจารณาไปยังขอบของวัตถุ การสแกนจะกระทำจากขวาไปซ้าย และล่างขึ้นข้างบน

หมายเหตุ Mask Coefficient จะมีตำแหน่งที่กำหนดได้ดังภาพที่ 2-4

$w(-1, -1)$	$w(0, -1)$	$w(1, -1)$
$w(-1, 0)$	0	$w(+1, 0)$
$w(-1, +1)$	$w(0, +1)$	$w(+1, 1)$

ภาพที่ 2-24 ตำแหน่งของ Mask Coefficient

2.11 เฮาซดรอฟดิสแทนซ์

ในปี 1868-1942 นักคณิตศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ Felix Hausdorff ได้ค้นพบวิธีเปรียบเทียบภาพ 2 ภาพ ว่าคล้ายหรือแตกต่างกัน ด้วยวิธีการคำนวณระยะทางจากพิกเซลใด ๆ บนภาพ โดยค่าของพิกเซลบนภาพจะบอกถึงระยะห่างของพิกเซลนั่นเอง ซึ่งต่อมาเรียกว่าเทคนิคเฮาซดรอฟดิสแทนซ์ (Hausdorff Distance Technique) [8, 9]

การเปรียบเทียบภาพด้วยเฮาซดรอฟดิสแทนซ์ เป็นการนำภาพเทมเพลต (Template) มาวัดความคล้ายกับภาพต้นฉบับ (Feature Image) โดยกำหนดพิกเซลของภาพเทมเพลตด้วยเซต $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$, $a_i = (s_i, t_i), 1 \leq i \leq m$ และพิกเซลที่เป็นภาพต้นฉบับด้วยเซต $B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}$, $b_j = (x_j, y_j), 1 \leq j \leq n$ เมื่อ m และ n คือจำนวนพิกเซลบนภาพที่นำมาทดสอบดังสมการ

$$H(A, B) = \text{Max}(h(A, B), h(B, A)) \quad (2-28)$$

เมื่อ

$$h(A, B) = \text{Max}_{a \in A} \text{Min}_{b \in B} \|a - b\| \quad (2-29)$$

$$h(B, A) = \text{Max}_{b \in B} \text{Min}_{a \in A} \|b - a\| \quad (2-30)$$

ฟังก์ชัน $h(A, B)$ เรียกว่า Direct Hausdorff distance จาก A ไป B จากสมการที่ 2-29

$h(A, B)$ เป็นการนำ $a \in A$ หนึ่งตำแหน่งไปวัดระยะกับ B ทุก ๆ ตำแหน่ง แล้วเลือกระยะทางที่มีค่าน้อยที่สุดไว้ จากนั้นเลื่อนตำแหน่งของ a และนำไปวัดระยะทางกับ B อีกครั้ง ทำซ้ำจนกระทั่งสิ้นสุด A แล้วเลือกค่าที่วัดระยะทางระหว่าง A กับ B ที่มีค่ามากที่สุดเพียงค่าเดียวออกมา (เป็นตำแหน่งที่ A ไกลจาก B มากที่สุด) สมการที่ 2-30 เรียกว่า Reverse Hausdorff distance เป็นการวัดจาก B ไป A สมการที่ 2-28 จะเป็นการเลือกระยะทางระหว่าง A ไป B และจาก B ไป A แล้วเลือกระยะทางที่ไกลที่สุด ซึ่งก็คือเป็นการวัดจุดที่มีความผิดพลาด (Mismatch) ระหว่าง A กับ B มากที่สุดนั่นเอง

||.|| หมายถึงการวัดระยะทางระหว่างพิกเซลมีหลายวิธีเช่น ระยะยุคลิด, ระยะซิดดิส, ระยะเชสบอร์ค

2.12 โมดิฟายน์เฮาซดรอพดิสแทนซ์

การวัดระยะทางระหว่างสองพิกเซลในเซต A และ เซต B Dubuisson และ Jain [10] นำไปสู่การปรับปรุงวิธีวัดระยะทางแบบใหม่ที่เรียกว่า โมดิฟายน์เฮาซดรอพดิสแทนซ์(MHD) ซึ่งพัฒนามาจากเฮาซดรอพดิสแทนซ์แบบดั้งเดิม ดังสมการที่ 2-31

$$h(A,B) = \frac{1}{N_a} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (2-31)$$

เมื่อ N_a เป็นจำนวนพิกเซลของเทมเพลตเซต A (เช่น เลือก a มีค่าเป็น 0) โดยที่ค่าของโมดิฟายน์เฮาซดรอพดิสแทนซ์ จะใช้ค่าเฉลี่ยของระยะทางระหว่างเซต A ไปยังเซต B ผลลัพธ์ที่ได้ถ้าเป็นค่าของระยะทางที่น้อยที่สุด แสดงว่าเซตทั้งสองจะมีความคล้ายกันมากที่สุด

ต่อไปนี้จะแสดงตัวอย่างของการหาระยะทางโดยโมดิฟายน์เฮาซดรอพดิสแทนซ์ โดยแสดงใน 2 แบบคือ

แบบที่ 1 เทมเพลตเป็นภาพวงกลม และภาพต้นแบบเป็นภาพวงกลมเหมือนกัน

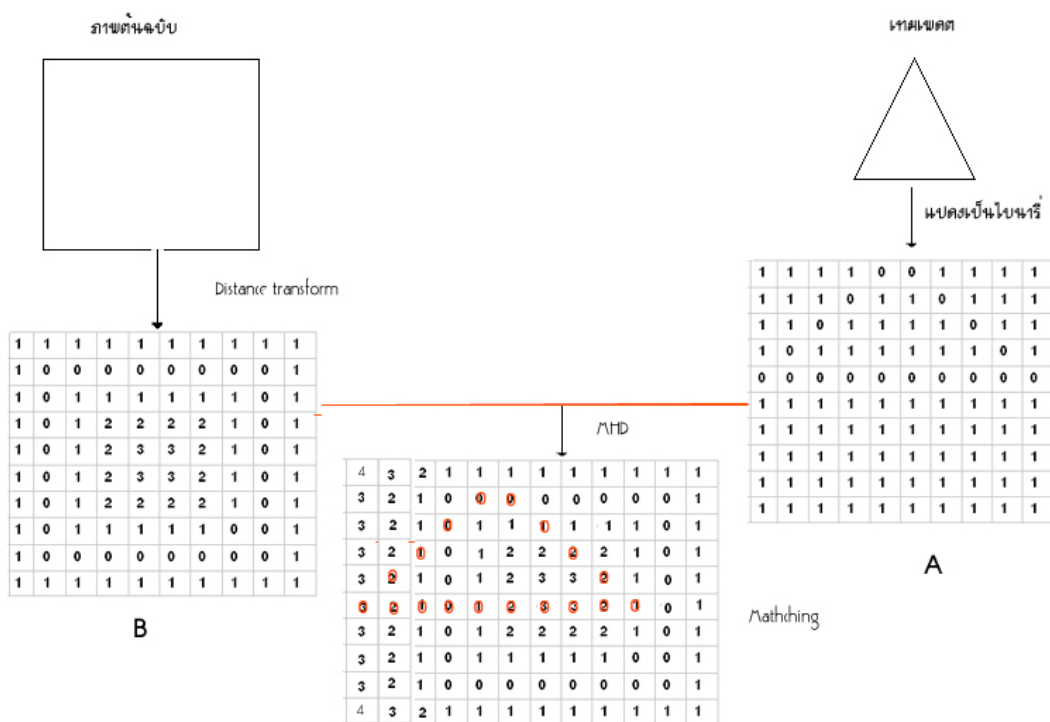
แบบที่ 2 เทมเพลตเป็นภาพสามเหลี่ยม และภาพต้นแบบเป็นภาพสี่เหลี่ยม ซึ่งเป็นภาพที่ไม่เหมือนกัน



ภาพที่ 2-25 การหาโมดิฟายน์เฮาซครอฟตีสแทนซ์ของภาพวงกลม
ที่ระยะทางไม่ใช่ค่าน้อยที่สุด

จากภาพที่ 2-25 แสดงตัวอย่างการหาค่าของโมดิฟายน์เฮาซครอฟตีสแทนซ์ โดยที่วงกลมของภาพต้นฉบับ และวงกลมของภาพเทมเพลตหาการทำให้ Distance Transform ของภาพต้นฉบับ และภาพวงกลมของภาพเทมเพลตนำมาแปลงเป็นไบนารี แล้วนำมาวัดระยะทางระหว่างภาพทั้งสองภาพ ดังสมการ

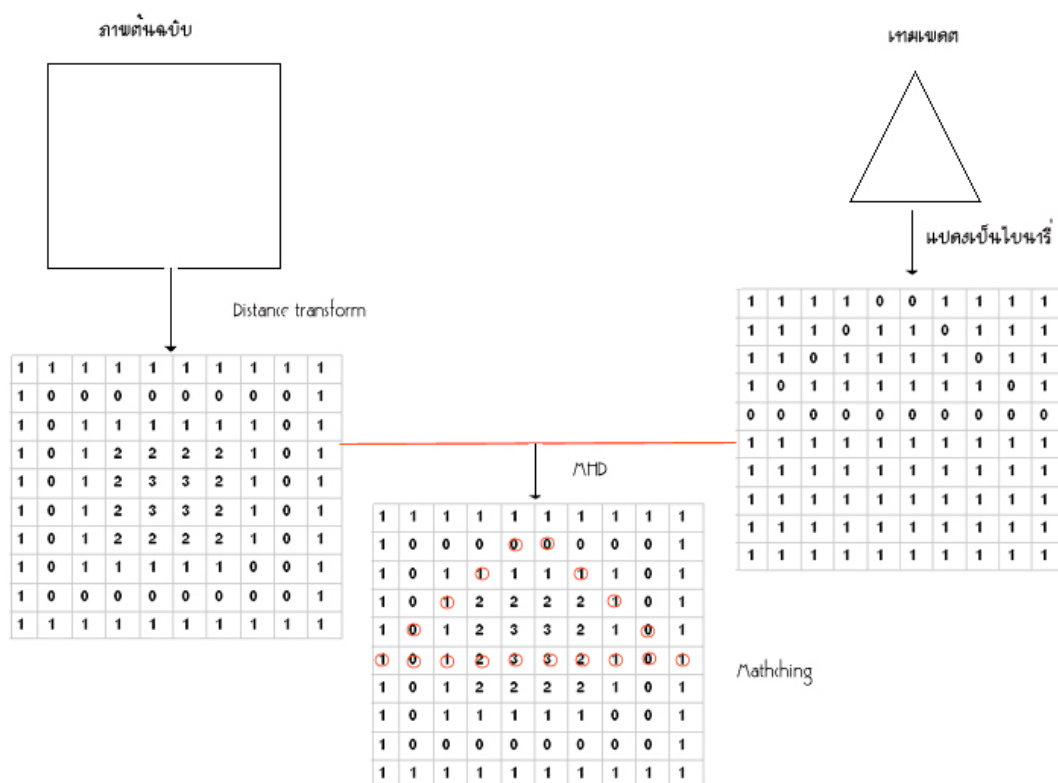
$$h(A, B) = \frac{1}{36} (0+0+0+1+1+1+1+1+1+1+0) = 0.75 \quad (2-32)$$



ภาพที่ 2-27 การหาค่าโมดิฟายน์เฮาส์ดรอพดิสแทนซ์ของภาพสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม
ที่ระยะทางไม่ใช่ค่าน้อยที่สุด

จากภาพที่ 2-27 จะเป็นการแสดงถึงการหาค่า $h(A, B)$ ของภาพที่ต่างกัน ระหว่าง
สามเหลี่ยมของภาพเทมเพลตกับสี่เหลี่ยมของภาพต้นฉบับ ดังสมการ

$$h(A, B) = \frac{1}{18} (0+0+1+2+3+2+1+0+1+2+3+3+2+1+2+2+1+0) = 1.444 \quad (2-34)$$



ภาพที่ 2-28 การหาค่าโมดิฟายน์เฮาซครอฟดิสแทนซ์ของภาพสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม
ที่ระยะทางมีค่าน้อยที่สุด

จากภาพที่ 2-28 จะเป็นการแสดงถึงการหาค่า $h(A, B)$

$$h(A, B) = \frac{1}{18} (0+0+1+1+0+1+0+1+2+3+3+2+1+0+1+0+1+1) = 1 \quad (2-35)$$

จากสมการที่ 2-32 ค่า $h(A, B)$ ยังไม่ใช่ระยะที่น้อยที่สุดระหว่างวงกลมของเทมเพลต
และวงกลมของภาพต้นฉบับ ถ้าเลื่อนตำแหน่งไปทางขวามืออีกหนึ่งตำแหน่ง จะได้ค่าระยะทางที่
น้อยที่สุด ดังสมการที่ 2-33 ที่มีระยะทางเท่ากับ 0 แสดงว่าภาพต้นฉบับ และภาพเทมเพลตเป็นภาพ
เดียวกัน ดังภาพที่ 2-25

จากสมการที่ 2-34 ค่า $h(A, B) = 1.444$ ยังไม่ใช่ระยะที่น้อยที่สุดระหว่างสามเหลี่ยมของภาพ
เทมเพลต และสี่เหลี่ยมของภาพต้นฉบับ และถ้าเลื่อนตำแหน่งไปทางขวามืออีกหนึ่งตำแหน่ง จะได้
ระยะทางที่ค่าเป็น 1 คือมีค่าไม่ใกล้ 0 แสดงว่าภาพต้นฉบับ และภาพเทมเพลตไม่ได้เป็นภาพเดียว
กัน แสดงดังภาพที่ 2-8

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวิดีโอ ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย และการพัฒนาระบบตรวจหาป้าย โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็นส่วนที่สำคัญดังนี้

1. แปลงแฟ้มวิดีโอให้เป็นรูปภาพ
2. แปลงค่าสีจาก RGB สู่แบบจำลองสี HSV
3. แบ่งแยกภาพโดยใช้สี
4. ปรับภาพให้สมบูรณ์โดยใช้ Closing
5. การหาขอบภาพ
6. หาระยะทางโดยใช้โมดิฟายเฮาซครอฟตีสเทนซ์
7. ตรวจสอบขอบเขตป้ายกำหนดความเร็ว

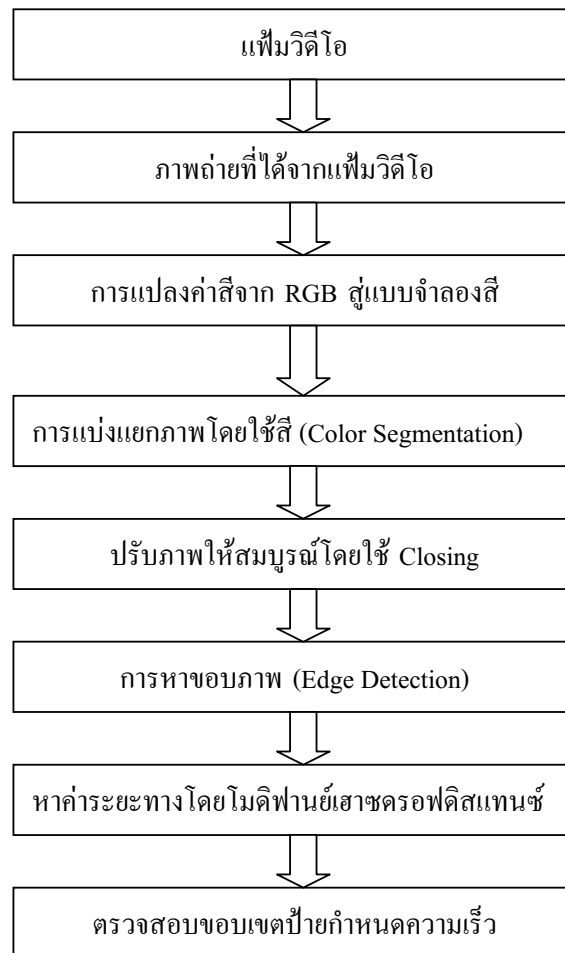
3.1 ขั้นตอนการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ดำเนินการวิจัยระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วเป็นดังภาพที่ 3-1



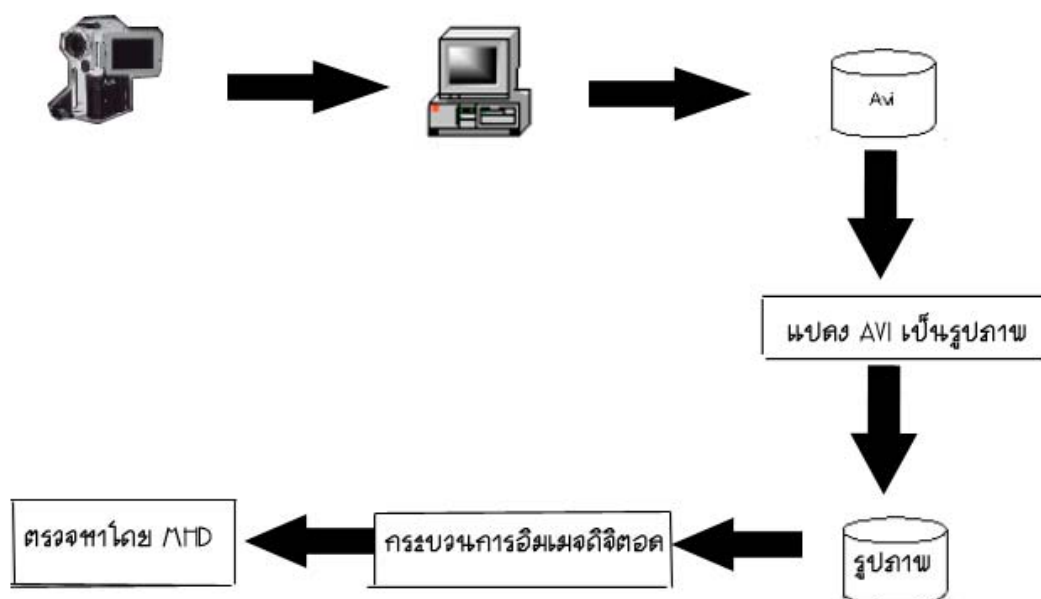
ภาพที่ 3-1 เครื่องมือที่ใช้การดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการค้นหาลำโพงกำหนดความเร็วจากวิดีโอ แบ่งการทำงานเป็นขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

จากภาพที่ 3-2 ขั้นตอนของการแปลงค่าสีจาก RGB สู่แบบจำลองสี HSV ไปจนถึง การหาขอบภาพ เรียกว่า Preprocessing



ภาพที่ 3-3 รูปแบบของการดำเนินการวิจัย

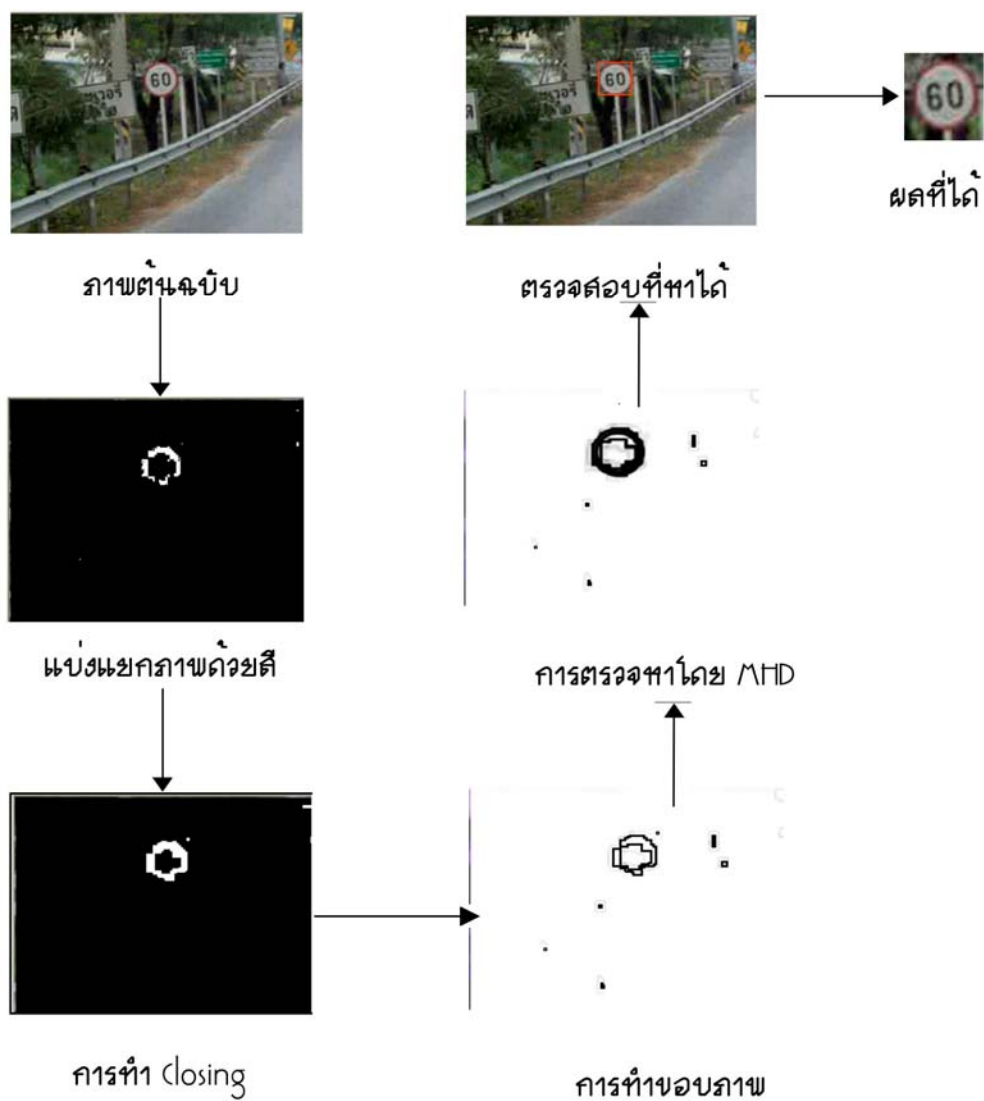
3.2 โครงสร้างของระบบ

3.2.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

- 3.2.1.1 ป้ายกำหนดความเร็ว
- 3.2.1.2 กล้องวิดีโอดิจิทัล (Video Digital)
- 3.2.1.3 รถยนต์
- 3.2.1.4 ถนนที่มีป้ายกำหนดความเร็ว
- 3.2.1.5 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

3.2.2 โครงสร้างทางซอฟต์แวร์

- 3.2.2.1 บันทึกข้อมูลจากกล้องวิดีโอดิจิทัล
- 3.2.2.2 ประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์
- 3.2.2.3 แปลงแฟ้มวิดีโอ AVI เป็นแฟ้มรูปภาพ BMP
- 3.2.2.4 รูปภาพที่ได้ผ่านกระบวนการรูปภาพดิจิทัล
- 3.2.2.5 ตรวจสอบป้ายกำหนดความเร็วโดยโมดิฟายน์เฮาเซดรอฟติสแทนซ์



ภาพที่ 3-4 ตัวอย่างของการดำเนินการวิจัย

3.3 การแปลงค่าสีจาก RGB สู่วัสดุจำลองสี HSV

RGB Model เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงจำนวนสามสีได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เนื่องจากค่าสี RGB จะมีค่าแสงและค่าความสว่างผสมอยู่ด้วย ทำให้มีความยุ่งยาก

ในการตรวจสอบค่าสี ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองสี HSV (Hue-Saturation-Value) ในการตรวจสอบค่าสี โดยที่ H คือ ค่าสีที่มีความแตกต่างไปตามความถี่ของสี S คือ ค่าแสงผสมกับค่าสี และ V หมายถึง Value ค่าความสว่างของภาพ สมการที่ใช้ในแปลงภาพสีจาก RGB ไปสู่ HSV [11] เป็นดังสมการ

$$V = \max \quad (3-1)$$

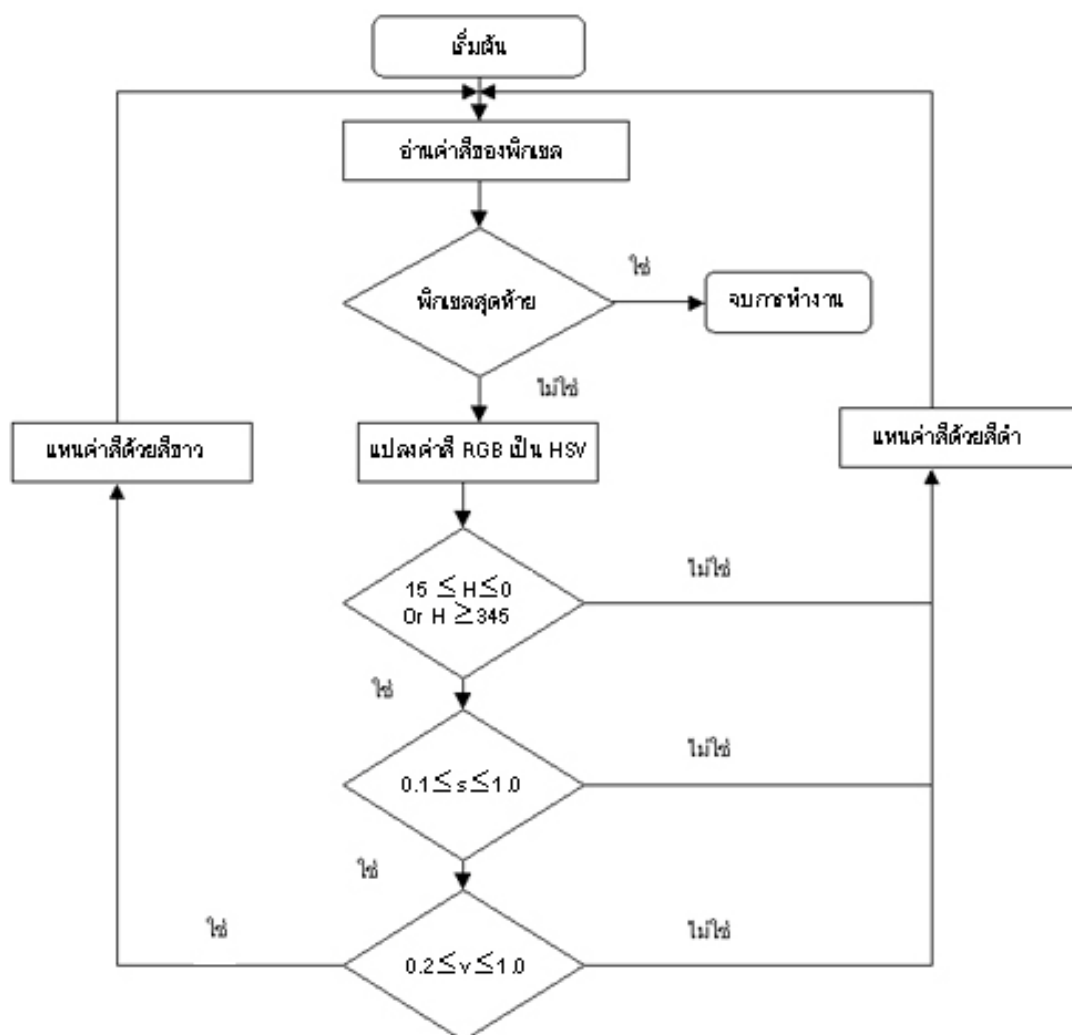
$$S = \begin{cases} \frac{(\max - \min)}{\max} & \text{if } \max \neq 0, \\ 0 & \text{if } \max = 0 \end{cases} \quad (3-2)$$

$$H = \begin{cases} -1 \times 60 & \text{if } S = 0, \\ \left[\frac{(G - B)}{(\max - \min)} \right] \times 60 & \text{if } R = \max, \\ \left[2 + \frac{(B - R)}{(\max - \min)} \right] \times 60 & \text{if } G = \max, \\ \left[4 + \frac{(R - G)}{(\max - \min)} \right] \times 60 & \text{if } B = \max \end{cases} \quad (3-3)$$

เมื่อ $\max$ คือค่าสูงสุดของหนึ่งพิกเซล RGB และ $\min$ คือค่าต่ำสุดของหนึ่งพิกเซล RGB ตามลำดับ

3.4 การแบ่งแยกภาพโดยใช้สี (Color Segmentation)

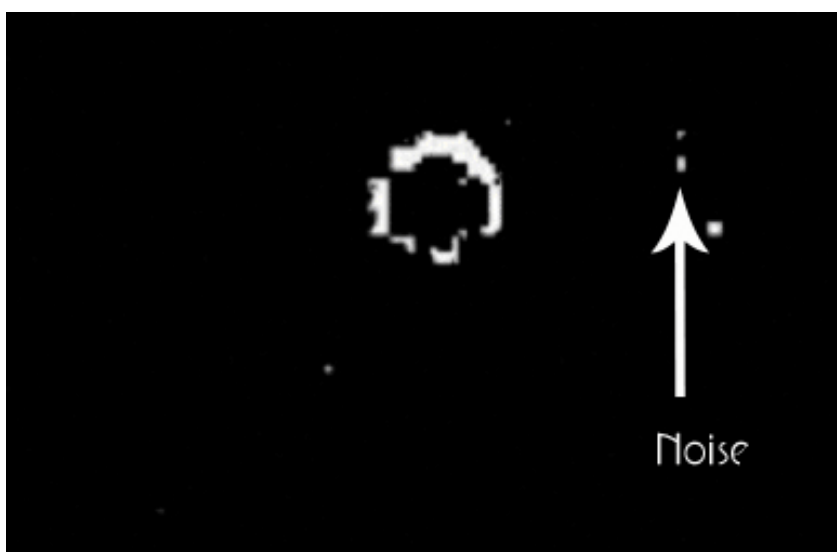
โดยการหาสีแดงที่เป็นส่วนประกอบของป้ายกำหนดความเร็วในภาพทำการแปลงภาพสีจาก RGB ให้เป็น HSV ซึ่งเป็นการแบ่งแยกภาพโดยใช้สีใน 2.9 และทำการแปลงเป็นภาพไบนารี โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 3-5 และแสดงตามภาพต้นฉบับก่อนทำ Color Segmentation ภาพที่ 3-6 เป็นภาพที่ได้จากการทำ Color Segmentation ดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนของการแบ่งแยกภาพโดยใช้สี



ภาพที่ 3-6 ภาพต้นฉบับก่อนทำ Color Segmentation

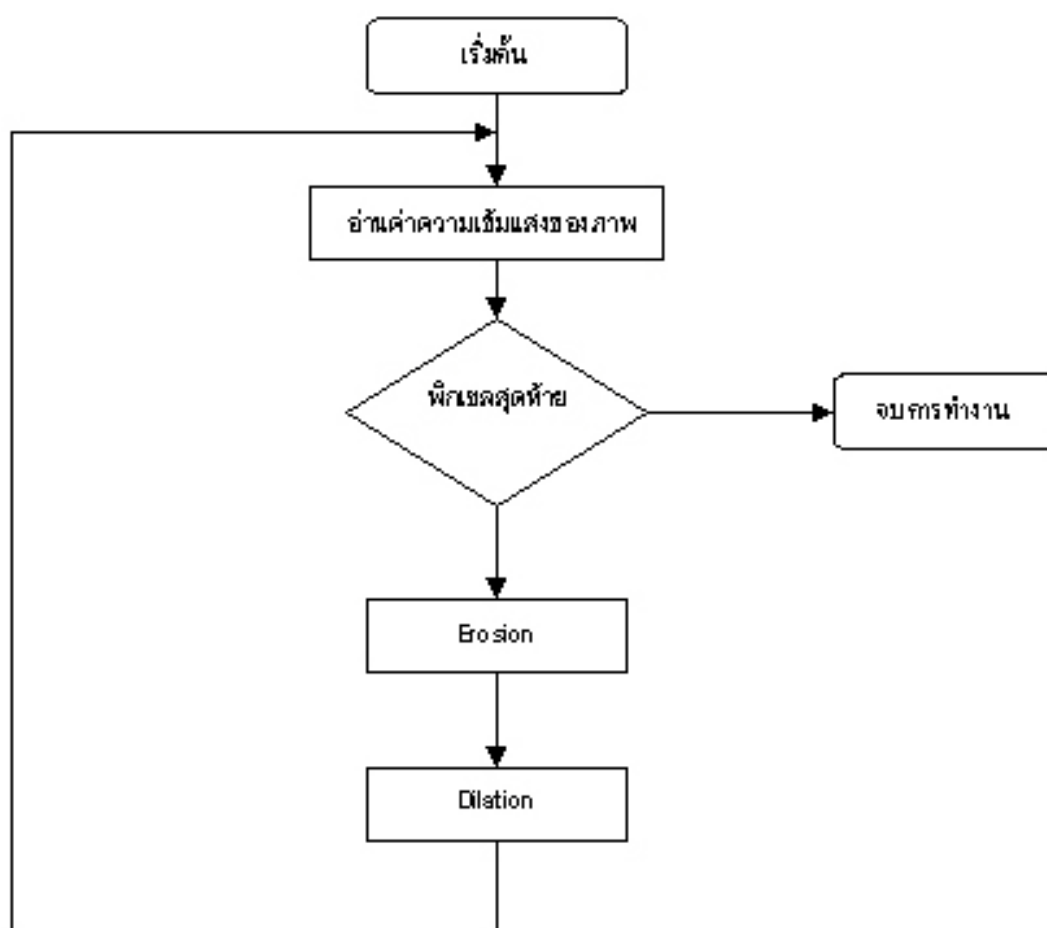


ภาพที่ 3-7 ภาพจากการทำ Color Segmentation

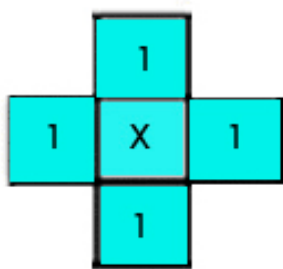
ภาพที่ 3-7 ภาพที่เกิดจากการทำการแบ่งแยกโดยสี อาจจะเกิด noise ขึ้นได้ ซึ่ง noise ที่เกิดขึ้นเกิดจากองค์ประกอบอื่นที่เป็นสีแดง เช่น ป้ายโฆษณา ต้นไม้ เป็นต้น

3.5 การปรับภาพให้สมบูรณ์โดยใช้ Closing

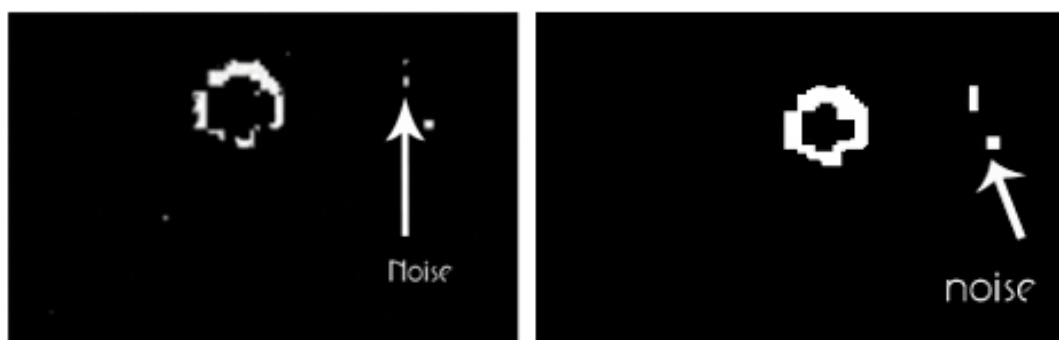
การปรับภาพให้สมบูรณ์ทำได้โดยใช้ Closing โดยที่จะเป็นการเติมช่องว่างขนาดเล็กของภาพ หรือเชื่อมต่อวัตถุที่ใกล้ชิดกันให้ติดกันมากขึ้น โดยที่การทำ Closing จะทำให้ขอบวงกลม ป้ายกำหนดความเร็วให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น การปรับภาพให้สมบูรณ์ประกอบด้วย Dilation ซึ่งจะเป็นการขยายภาพของไบนารีให้กว้างขึ้น ตามด้วย Erosion ซึ่งจะลดขนาดของภาพไบนารีให้เล็กลง เรียกการกระทำแบบนี้ว่า Closing โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 3-8 [12] และกำหนด Structuring element ดังภาพที่ 3-9 ผลลัพธ์ของการทำ Closing กำหนดดังภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการทำ Closing



ภาพที่ 3-9 Structuring element



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3-10 การทำ Closing (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพจากการทำ Closing

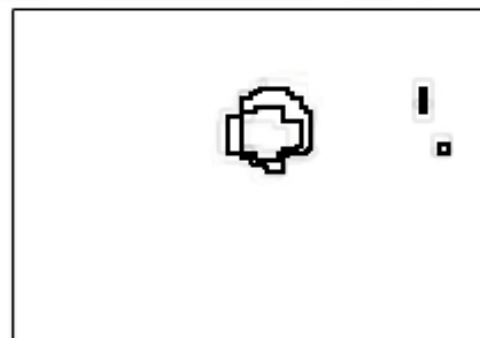
ภาพที่ 3-10 ภาพหลังการทำ Closing อาจยังคงมี noise อีก แต่จะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนของการตรวจหาโดยโมดิไฟน์เฮาซคอร์พดิสแทนซ์ ซึ่งก็คือ ค่า $h(A, B)$ ของ noise ไม่ใช่ค่าที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับวงกลมของป้ายกำหนดความเร็ว

3.6 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพ เป็นการหาเส้นรอบวัตถุของภาพ การหาขอบภาพแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือการหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง และการหาอนุพันธ์อันดับที่สอง ซึ่งวิธีการของ Sobel Edge Detection ใช้อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งตามทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน x และแกน y สามารถเขียนในรูปของ Mask Coefficient ได้ดังสมการที่ 2-15 นำ Mask Coefficient มาทำการคอนโวลูชัน ผลลัพธ์ที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮล ถ้ามากกว่าค่าเทรชโฮล แสดงว่าเป็นขอบภาพ แสดงขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 3-12 และภาพการหาขอบภาพของป้ายกำหนดความเร็วดังภาพที่ 3-11

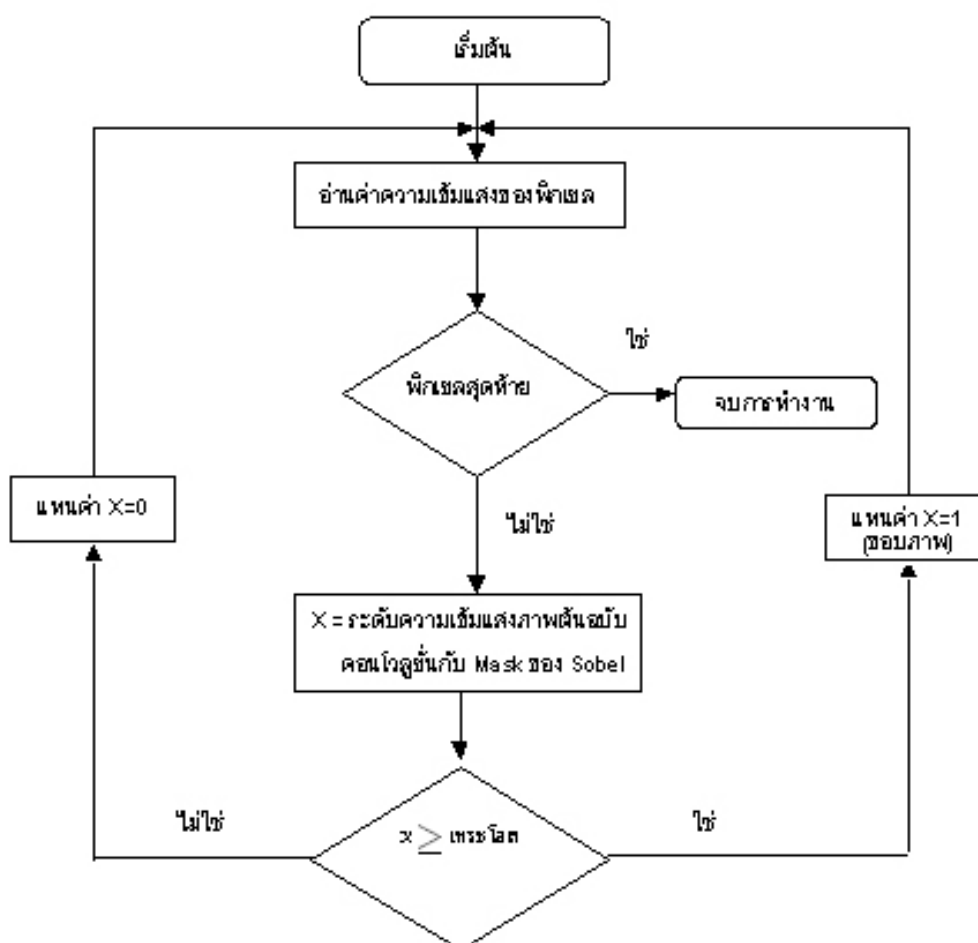


(ก)



(ข)

ภาพที่ 3-11 การหาขอบภาพ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพจากการหาขอบภาพ

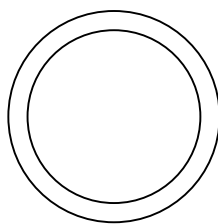


ภาพที่ 3-12 ขั้นตอนการหาขอบภาพ

3.7 เฮาซดรอฟดิสแทนซ์ (Hausdorff Distance)

3.7.1 การสร้างภาพเทมเพลต (Template)

สร้างภาพเทมเพลตวงกลมของป้ายกำหนดความเร็ว ซึ่งภาพต้นฉบับมาจากแฟ้มวิดีโอ ในงานวิจัยนี้ใช้ภาพเทมเพลตขนาด 40 x 40 เพื่อที่จะนำไปวัดระยะกับภาพต้นฉบับ (Feature Image) โดยภาพเทมเพลตที่สร้างขึ้นดังภาพที่ 3-13 และตัวอย่างภาพเทมเพลตที่เป็นไบนารี ดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-13 ภาพเทมเพลตวงกลมของป้ายกำหนดความเร็ว

1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0	1
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
0	1	0	1	1	1	1	0	1	0
0	1	0	1	1	1	1	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	1	1	1

ภาพที่ 3-14 ตัวอย่างภาพไบนารีของเทมเพลตวงกลมป้ายกำหนดความเร็ว ขนาด 40 x 40

3.7.2 การตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วด้วยโมดิฟายน์เฮาซดรอฟดิสแทนซ์

การตรวจหาภาพป้ายกำหนดความเร็วด้วยเฮาซดรอฟดิสแทนซ์ เป็นการนำภาพเทมเพลตป้ายวงกลม มาวัดระยะทางกับภาพต้นฉบับ โดยกำหนดให้ภาพเทมเพลตด้วยเซต

$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$, $a_i = (s_i, t_i), 1 \leq i \leq m$ และภาพต้นฉบับด้วยเซต $B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}$, $b_j = (x_j, y_j), 1 \leq j \leq n$ เมื่อ m และ n คือจำนวนพิกเซลบนภาพเทมเพลตและภาพต้นฉบับ ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกการวัดระยะทาง City-block distance ดังภาพที่ 3-15

โดยนิยามของการวัดระยะทางระหว่างสมาชิกในเซต A และ เซต B Dubuisson และ Jain ได้ศึกษาวิธีวัดระยะทางที่มีความแตกต่างของเฮาซดอร์ฟดิสเทนซ์ได้ถึง 24 วิธี และนำไปสู่การปรับปรุงวิธีวัดระยะทางแบบใหม่ที่เรียกว่า Modified Hausdorff Distance (MHD) ดังสมการที่ 2-31 ผลลัพธ์ของการตรวจหาป้าย ดังภาพที่ 3-16

```

5 4 3 2 1 0 0 0 1 2 3 4 3 2 1 0 0 0 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 10 10 10 10
6 5 4 3 2 1 1 1 2 3 3 3 3 2 1 0 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 10 9 9 9 9 9
6 6 5 4 3 2 2 2 2 2 2 2 3 3 2 1 1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 10 10 9 8 8 8 8 8
5 6 6 5 4 3 2 1 1 1 1 1 1 2 3 3 2 2 2 3 4 5 6 7 8 9 10 10 9 9 8 7 7 7 7 7 7
4 5 5 4 3 2 1 0 0 0 0 0 0 1 2 3 3 3 3 4 5 6 7 8 9 10 10 9 8 8 7 6 6 6 6 6 6
3 4 4 3 2 1 0 0 0 0 0 0 0 1 2 3 4 4 4 5 6 7 8 9 9 9 9 8 7 7 6 5 5 5 5 5 5 5
2 3 4 3 2 1 0 0 0 0 0 0 0 1 2 3 4 5 5 6 7 8 9 9 8 8 8 7 6 6 5 4 4 4 4 4 4 4
1 2 3 3 2 1 0 0 0 0 0 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 9 8 7 7 7 6 5 5 4 3 3 3 3 3 3 3
0 1 2 3 2 1 0 0 0 0 0 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 8 7 6 6 6 5 4 4 3 2 2 2 2 2 2 2
0 1 2 3 3 2 1 0 0 0 0 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 8 7 6 5 5 5 4 3 3 2 1 1 1 1 1 1 1
0 1 2 3 3 2 1 0 0 0 0 1 1 2 3 4 5 6 7 8 8 7 6 5 4 4 4 3 2 2 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 3 2 1 0 0 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 8 7 6 5 4 3 3 3 2 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 2 3 2 1 0 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 8 7 6 5 4 3 2 2 2 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1
0 0 1 2 3 3 2 1 1 1 2 3 4 5 6 7 8 8 7 6 5 4 3 2 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0
1 1 2 3 4 4 3 2 2 2 3 4 5 6 7 8 8 7 6 5 4 3 2 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0
2 2 3 4 5 5 4 3 3 3 4 5 6 7 8 8 7 6 5 4 3 2 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0
3 3 4 5 6 6 5 4 4 4 4 5 6 7 8 7 6 5 4 3 2 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1

```

ภาพที่ 3-15 ผลลัพธ์ที่ได้จากระยะทางซิดีบล็อก

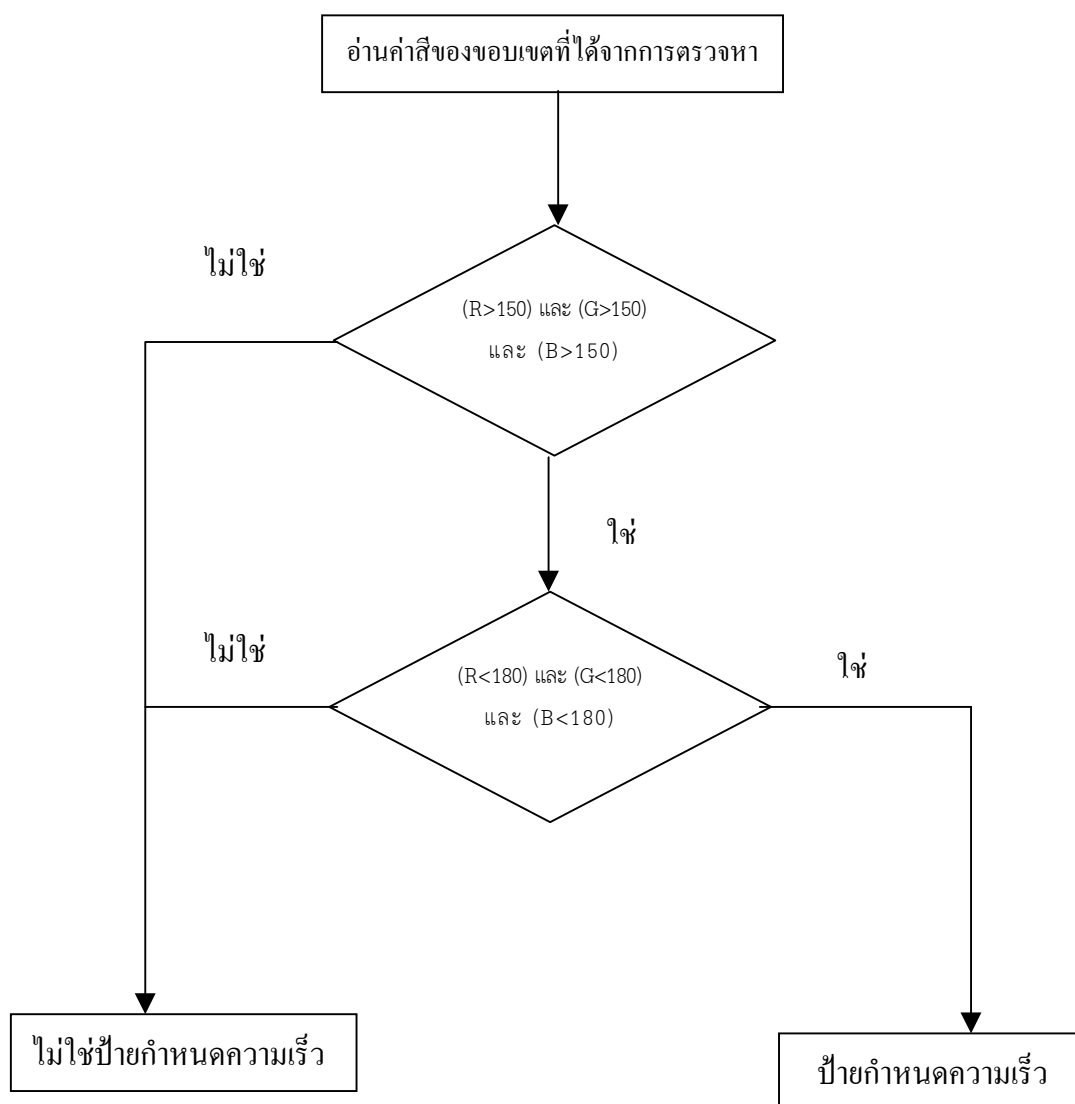
ภาพที่ 3-15 เป็นบางส่วนของภาพที่มีป้ายกำหนดความเร็ว โดยใช้ ซิดีบล็อก โดยการกำหนด $D1=1$ และ $D2=2$ โดยใช้ Mask Coefficient ดังภาพที่ 2-23



ภาพที่ 3-16 ผลลัพธ์จากการตรวจหาโดย $h(A, B)$

3.8 ตรวจสอบขอบเขตป้ายกำหนดความเร็ว

เมื่อผ่านขั้นตอนการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วโดยใช้โมดิฟายด์เฮาซครอฟตีสแทนซ์แล้ว จะได้ขอบเขตของป้ายกำหนดความเร็ว แล้วทำการตรวจสอบขอบเขตที่ได้ว่าเป็นป้ายกำหนดความเร็วหรือไม่ ซึ่งเงื่อนไขของป้ายกำหนดความเร็วภายในวงกลมของป้ายจะประกอบด้วย สีขาวประกอบด้วย ($R > 150$) และ ($G > 150$) และ ($B > 150$) ส่วนสีดำประกอบด้วย ($R < 180$) และ ($G < 180$) และ ($R < 180$) [1] ดังภาพที่ 3-17



ภาพที่ 3-17 เกณฑ์ในการเลือกภาพที่ดีที่สุด

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองเพื่อตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วโดยใช้โมดิฟาย์เฮาซโครฟติสแทนซ์ กับแฟ้มวิดีโอ จำนวน 50 แฟ้ม ผลการทดลองที่ได้จากการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วที่อัตราความเร็วของรถยนต์ที่แตกต่างกันในอัตรา 30 กม./ชม. 40 กม./ชม. 60 กม./ชม. 80 กม./ชม. 100 กม./ชม. พบว่าสามารถตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วได้ถูกต้อง 98 เปอร์เซ็นต์

4.1 รายละเอียดของระบบที่ใช้ในการทดสอบ

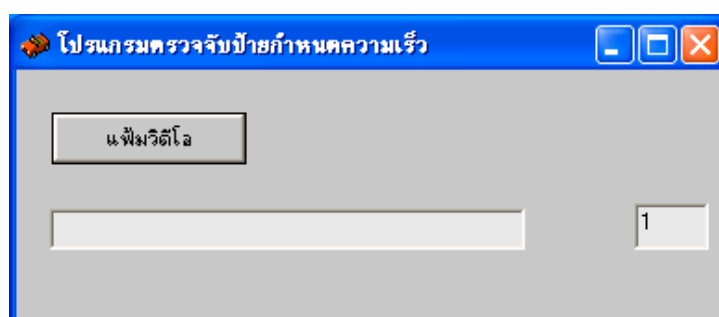
สำหรับรายละเอียดของซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ ขั้นตอนการประมวลผล ดังตารางที่ 4-1

ตาราง 4-1 รายละเอียดของระบบที่ใช้ในการทดสอบ

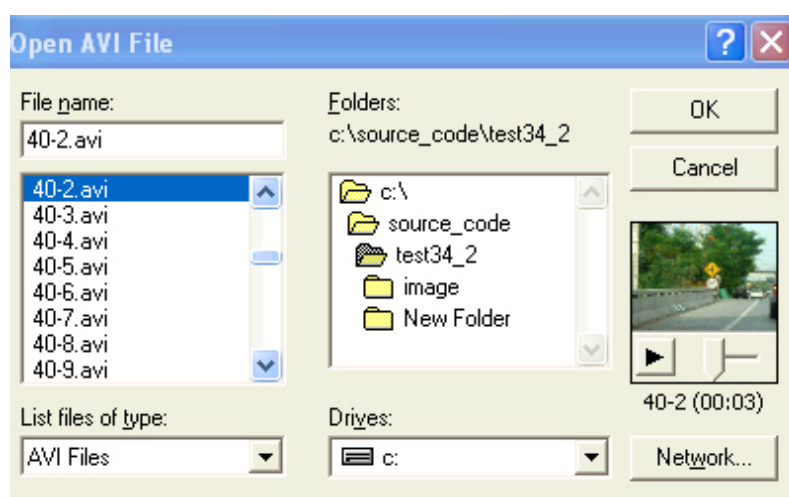
รายการ	รายละเอียด
คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์ Notebook Presario 2100
กล้องวิดีโอ	Panasonic
วิดีโอป้ายกำหนดความเร็ว	ถนนสายรังสิต-นครนายก
ระบบปฏิบัติการ	วินโดวส์ XP Professional
ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา	Microsoft Visual Basic 6.0
ซอฟต์แวร์ที่ติดตั้ง	ซอฟต์แวร์ระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว
การประมวลผล	1. แปลงวิดีโอ (AVI) เป็นแฟ้มภาพ (BMP) 2. Pre Processing 3. ตรวจหาโดยใช้โมดิฟาย์เฮาซโครฟติสแทนซ์

4.2 รายละเอียดของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบ

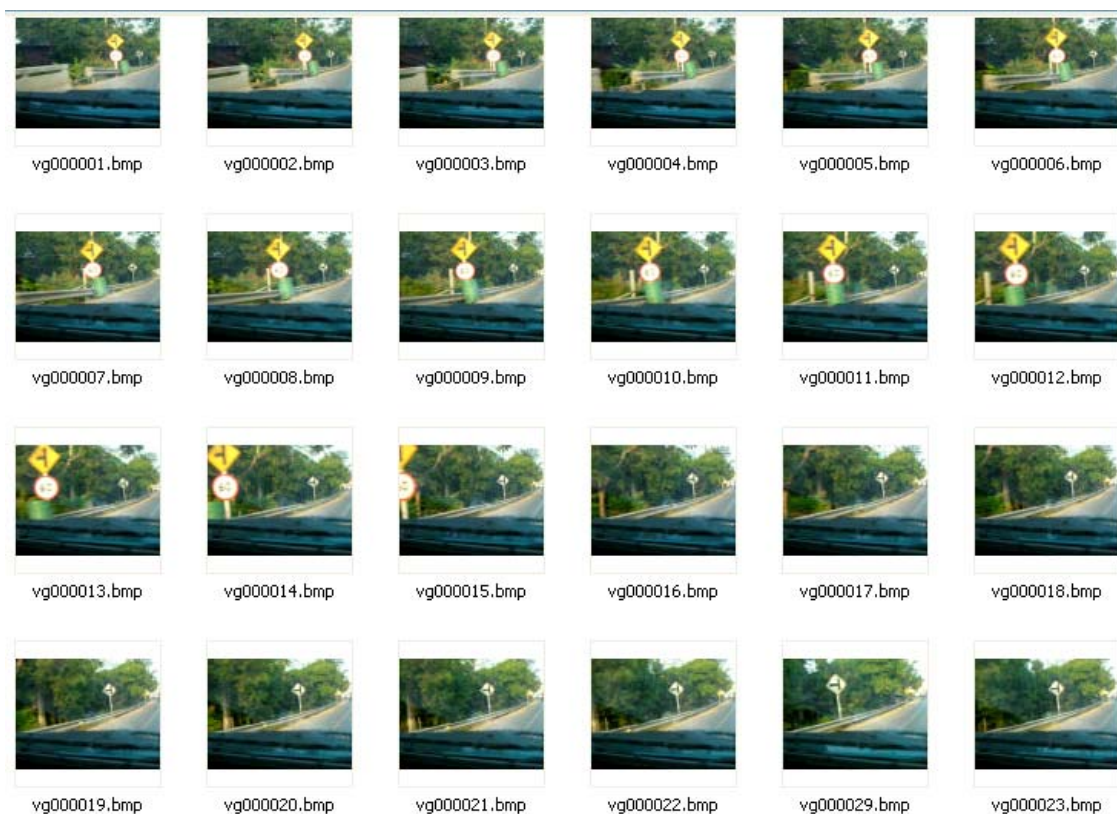
4.2.1 ข้อมูลเข้าเป็นแฟ้มวิดีโอฟอร์แมต (AVI) ซอฟต์แวร์จะทำการแปลงเป็นภาพ (BMP) ในอัตรา 25 ภาพต่อ 1 วินาที โดยที่ซอฟต์แวร์ตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจะทำการรับข้อมูลโดยเลือกแฟ้มวิดีโอค้างภาพที่ 4-1 แล้วจะปรากฏหน้าต่างให้เลือกแฟ้มวิดีโอที่ต้องการตรวจหาดังภาพที่ 4-2 และผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเป็นภาพจะเริ่มตั้งแต่ภาพที่ 1 คือ vg000001.BMP ภาพที่ 2 คือ vg000002.BMP และตัวเลขในชื่อแฟ้มจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนจบแฟ้มวิดีโอค้างภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-1 ส่วนของการรับข้อมูลจากแฟ้มวิดีโอ

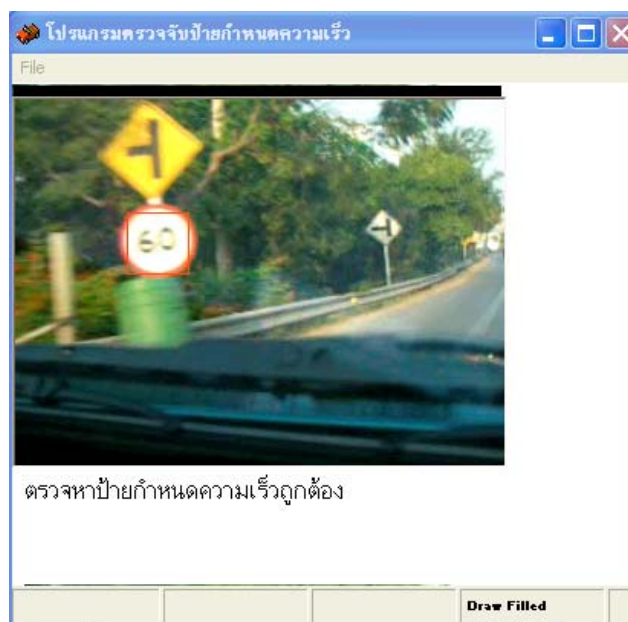


ภาพที่ 4-2 ส่วนการเปิดแฟ้มวิดีโอ



ภาพที่ 4-3 ผลลัพธ์ของการแปลงเฟรมวิดีโอเป็นเฟรมที่อัตราเร็ว 40 กม./ชม.

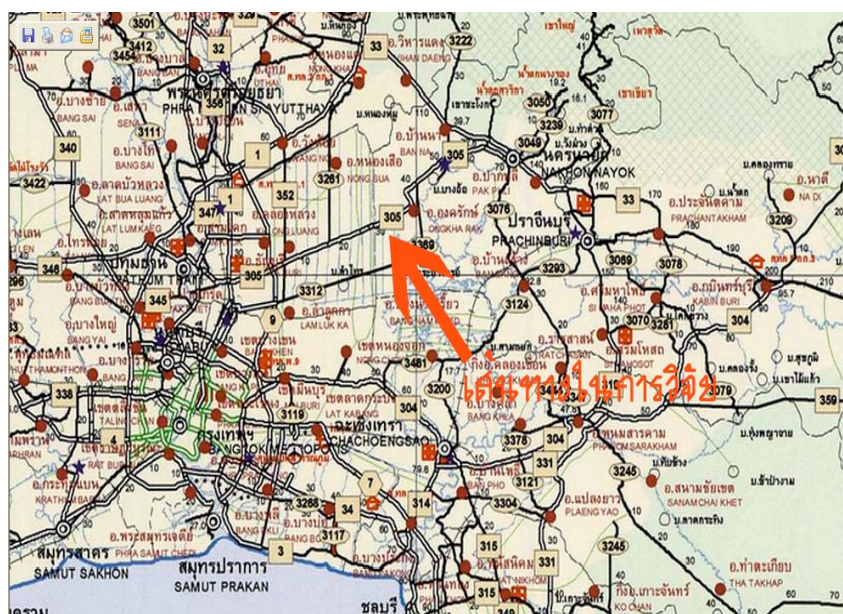
4.2.2 รายละเอียดของการแสดงผล เฟรมภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.2.1 เมื่อผ่านขบวนการประมวลผลภาพ และนำไปตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วโดยโมดิฟายน์เฮาซครอปฟิสเทนซ์ ผลที่ได้ได้นำออกมาแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยที่ซอฟต์แวร์ที่ใช้ทดสอบแสดงดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.3 เส้นทางการถ่ายวิดีโอ

เส้นทางในการถ่ายวิดีโอ เป็นเส้นทางหลวงหมายเลข 306 รังสิต-นครนายก ซึ่งถูกนำไปใช้ในการทดสอบ เป็นเส้นทางที่มีป้ายการกำหนดความเร็ว เพราะมีแหล่งชุมชนอยู่มาก รวมทั้งมีทางแยกเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถทำความเร็วได้หลายระดับ เส้นทางแสดงดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 เส้นทางในการถ่ายวิดีโอ

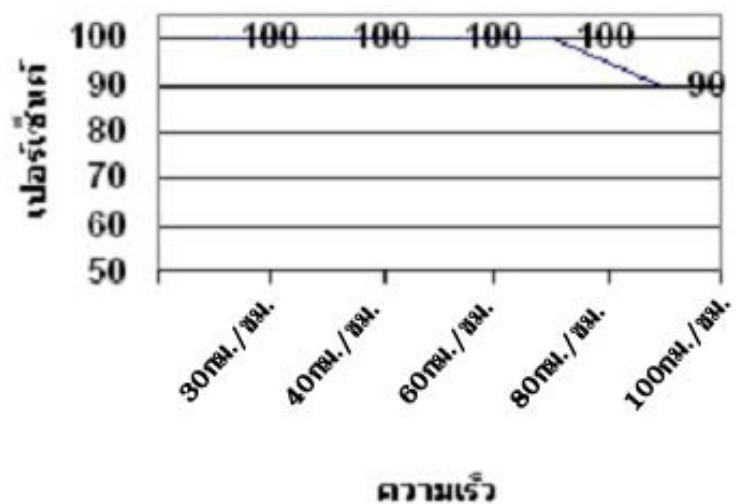
4.4 ผลการทดสอบ

ผลลัพธ์ในการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วโดยใช้โมดิฟายด์เฮาซครอฟติสแทนซ์ในงานวิจัยนี้ ในส่วนของการตรวจหาป้ายได้ถูกต้อง ผลของการถ่ายวิดีโอขนาด 320 x 240 พิกเซล ในอัตรา 25 เฟรม ต่อวินาที ตัวอย่างดังภาพที่ 4-4 ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 4-2

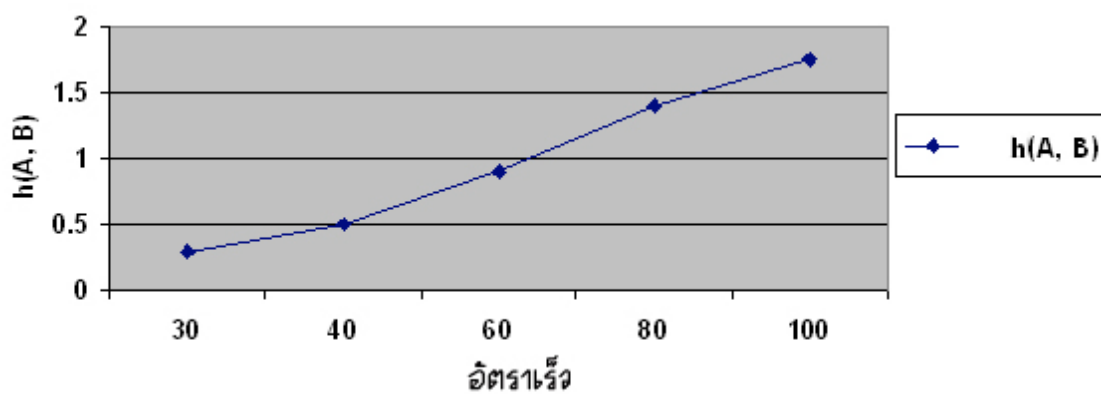
จากการทดลองการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วกับแฟ้มวิดีโอ จำนวน 50 แฟ้มตัวอย่าง กับ สภาพแวดล้อมบนถนนสายรังสิต-นครนายก ที่อัตราความเร็วของรถยนต์ที่แตกต่างกัน แบ่งแยกได้ เป็น 30 กม./ชม. 40 กม./ชม. 60 กม./ชม. 80 กม./ชม. 100 กม./ชม. สามารถตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วได้ถูกต้อง 98 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลการตรวจหาป้ายดังตารางที่ 4-2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ ที่ตรวจหาป้าย ดังภาพที่ 4-6 และกราฟแสดงค่าเฉลี่ย $h(A, B)$ ที่อัตราความเร็วแตกต่างกัน ดังภาพที่ 4-7

ตารางที่ 4-2 ผลการตรวจหาป้าย

อัตราความเร็ว	จำนวนแฟ้มวิดีโอ	ตรวจหาถูกต้อง	ตรวจหาไม่ถูกต้อง	%
30 กม./ชม.	10	10	0	100
40 กม./ชม.	10	10	0	100
60 กม./ชม.	10	10	0	100
80 กม./ชม.	10	10	0	100
100 กม./ชม.	10	9	1	90
รวม	50	49	1	98



ภาพที่ 4-6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ตรวจหาป้าย



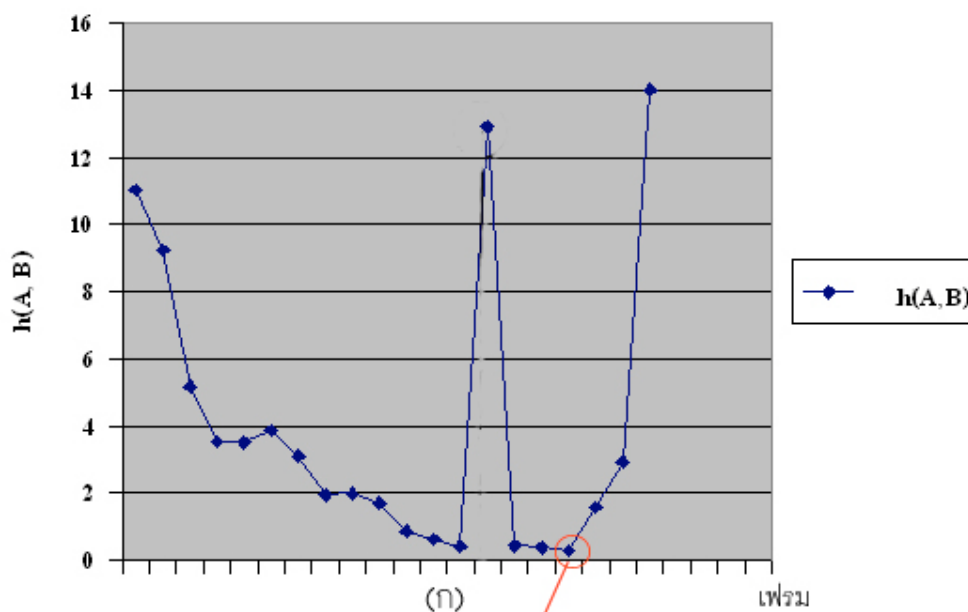
ภาพที่ 4-7 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของ $h(A, B)$ ที่ความเร็ว 30,40,60,80 และ 100 กม./ชม.

4.5 ตัวอย่างแสดงการหาค่า $h(A, B)$

วิธีการหาค่า $h(A, B)$ จะนำในแต่ละเฟรมมาคำนวณหาระยะทาง ตั้งแต่เฟรมแรกจนถึงเฟรมสุดท้าย แล้วเลือกค่า $h(A, B)$ ของเฟรมที่มีค่าน้อยที่สุด เพื่อที่จะได้ค่าระยะทางที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4-3 ผลการตรวจหาป้ายที่ความเร็ว 30 กม./ชม. จากแฟ้มวิดีโอที่ 30-1.avi

เฟรมที่	ค่า $h(A, B)$	หมายเหตุ
1	11.035	
2	9.25	
3	5.170	
4	3.526	
5	3.526	
6	3.866	
7	3.098	
8	1.940	
9	1.991	
10	1.700	
11	0.848	
12	0.616	
13	0.410	
14	12.937	
15	0.437	
16	0.375	
17	0.285	**ค่าน้อยที่สุด**
18	1.5714	
...	...	
...	...	



(ข)

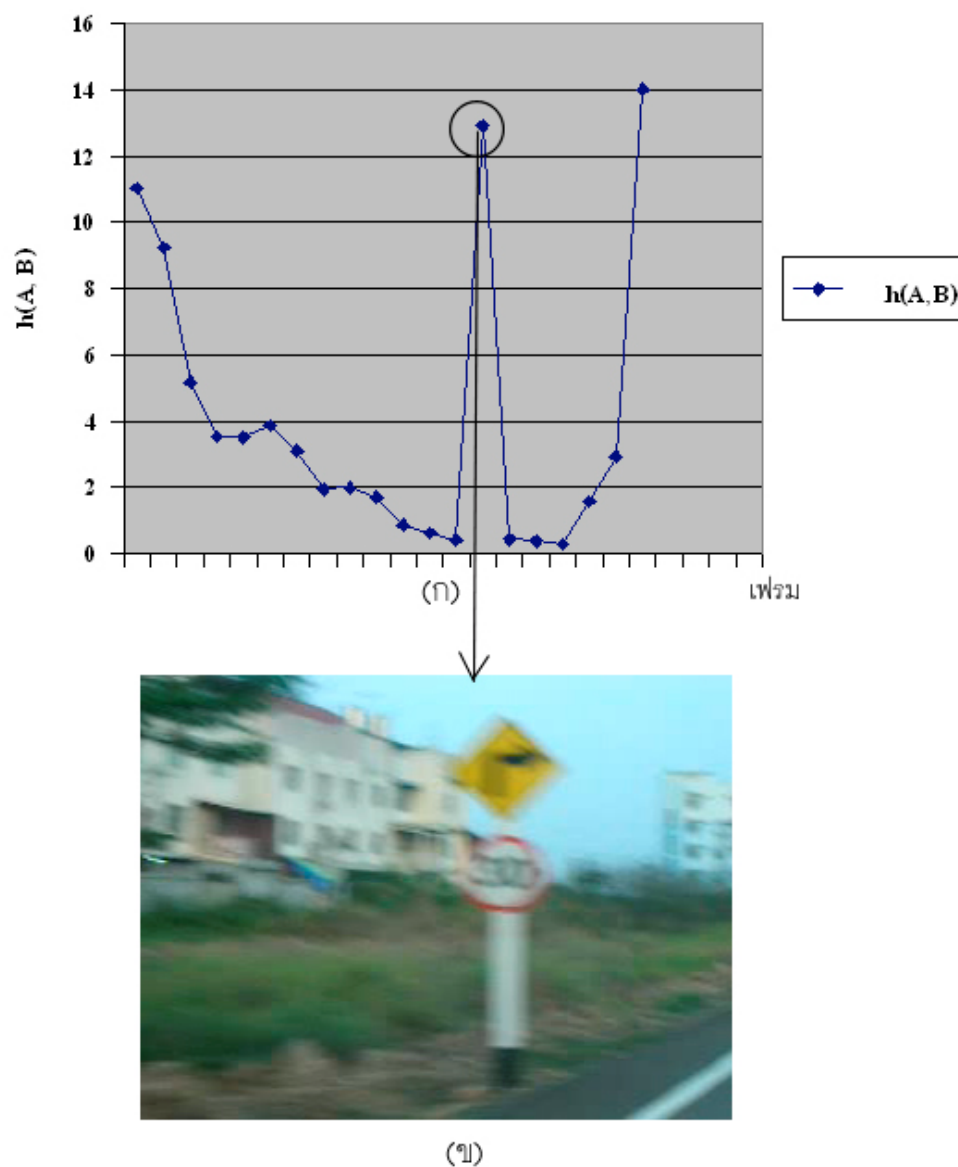
ภาพที่ 4-8 ค่า $h(A, B)$ เฟรมที่ 17 อัตราเร็ว 30 กม./ชม. ตารางที่ 4-3

(ก) กราฟของค่า $h(A, B)$ ที่อัตราเร็ว 30 กม./ชม.

(ข) ผลลัพธ์ของการตรวจหาป้าย

ตารางที่ 4-3 อัตราความเร็วที่ 30 กม./ชม. จะเห็นว่าค่า $h(A, B)$ มีค่าลดลง สาเหตุเกิดขึ้นจากภาพของป้ายกำหนดความเร็วมีความชัดเจนขึ้นเรื่อย ๆ ขณะที่รถยนต์เคลื่อนที่เข้าหาป้าย จนถึงเฟรมที่ 17 ค่าของ $h(A, B)$ จะมีค่าต่ำสุด ดังภาพที่ 4-8 หลังจากเฟรมที่ 17 ค่าของ $h(A, B)$ จะเพิ่มขึ้น แต่บางโอกาสค่า $h(A, B)$ มีค่าสูงขึ้น เช่นเฟรมที่ 14 เกิดขึ้นจากขณะถ่ายวิดีโอเกิดการสั่นไหวของ

กล้องทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพของภาพเบลอ และมีผลต่อค่า $h(A, B)$ แสดงดังภาพที่ 4-10 แต่สาเหตุดังกล่าวไม่มีผลต่อการตรวจหาป้าย



ภาพที่ 4-9 ค่า $h(A, B)$ เฟรมที่ 14 อัตราเร็ว 30 กม./ชม. ตารางที่ 4-3

(ก) กราฟของค่า $h(A, B)$ ที่อัตราเร็ว 30 กม./ชม.

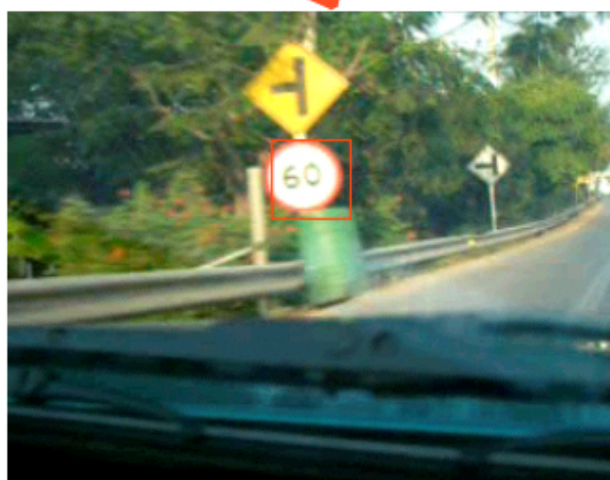
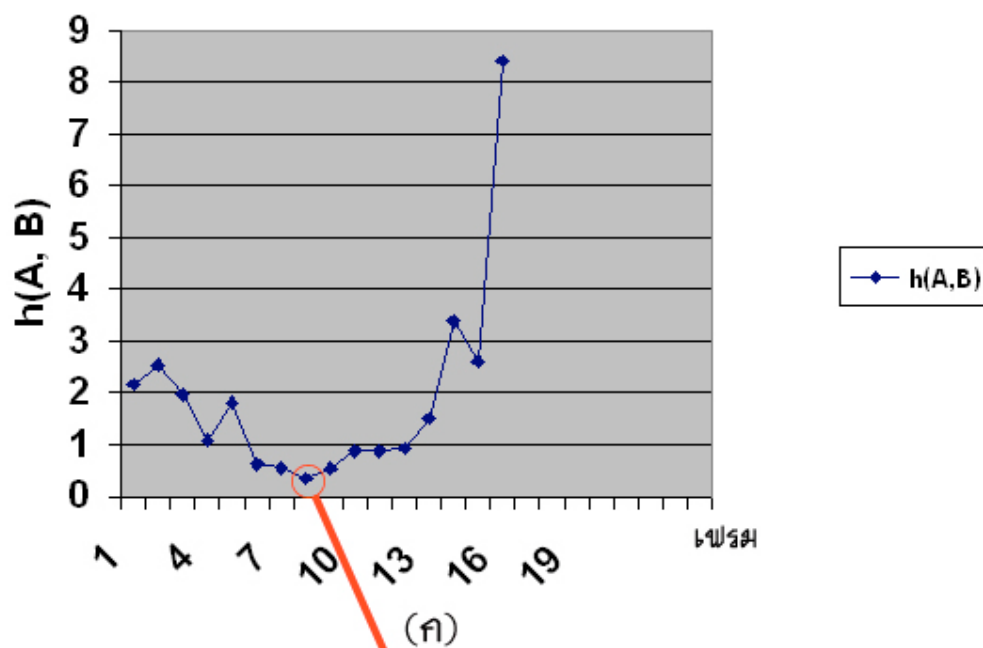
(ข) ผลลัพธ์ของการตรวจหาป้าย

จากกราฟเฟรมที่ 14 เกิดการสั่นไหวของกล้องขณะถ่ายวิดีโอ ทำให้ภาพที่ได้เบลอ และภาพไม่สมบูรณ์ดังภาพที่ 4-9 (ข)

ตารางที่ 4-4 ผลการตรวจหาป้ายที่ความเร็ว 40 กม./ชม. จากเพิ่มวิดีโอที่ 40-1.avi

เฟรมที่	ค่า $h(A, B)$	หมายเหตุ
1	2.160	
2	2.535	
3	1.973	
4	1.083	
5	1.812	
6	1.062	
7	1.553	
8	0.348	**ค่าที่น้อยที่สุด**
9	0.543	
10	0.883	
11	0.875	
12	0.925	
13	1.508	
14	3.390	
15	2.616	
16	8.4107	
...	...	
...	...	

ตารางที่ 4-4 ที่อัตราความเร็วที่ 40 กม./ชม. จะเห็นว่าค่า $h(A, B)$ จะมีค่าลดลงจนต่ำสุดที่เฟรมที่ 8 ค่าของ $h(A, B)=0.348$ และจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเลยจุดต่ำสุดไปแล้ว



(ข)

ภาพที่ 4-10 ค่า $h(A, B)$ เฟรมที่ 8 อัตราเร็ว 40 กม./ชม. ตารางที่ 4-4

(ก) กราฟของค่า $h(A, B)$ ที่อัตราเร็ว 40 กม./ชม.

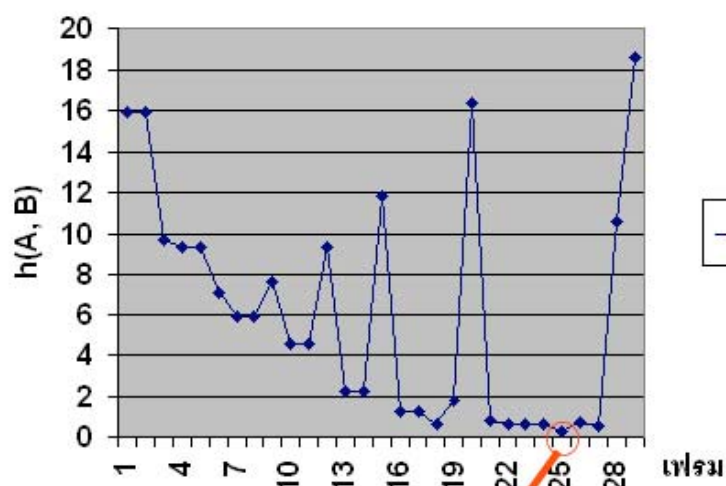
(ข) ผลลัพธ์ของการตรวจหาป้าย

จากภาพที่ 4-10 จะเห็นว่าค่าของ $h(A, B)$ จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนถึงเฟรมที่ 8 ซึ่งมีค่าของ $h(A, B)$ เป็น 0.348 มีค่าน้อยที่สุด หลังจากเฟรมที่ 8 แล้วค่าของ $h(A, B)$ จะมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 4-5 ผลการตรวจหาป้ายที่ความเร็ว 80 กม./ชม. จากแฟ้มวิดีโอที่ 80-1.avi

เฟรมที่	ค่า $h(A, B)$	หมายเหตุ
1	15.9	
2	15.9	
3	9.7	
4	9.29	
5	9.29	
6	7.07	
7	5.875	
8	5.89	
9	7.65	
10	4.52	
11	4.52	
12	9.29	
13	2.22	
14	2.25	
15	11.82	
16	1.25	
17	1.25	
18	0.66	
19	1.80	
20	16.35	
21	0.838	
22	0.589	
23	0.589	
24	0.607	
25	0.241	
26	0.741	
27	0.562	**ค่าที่น้อยที่สุด**

เฟรมที่	ค่า $h(A,B)$	หมายเหตุ
28	10.58	
29	18.58	



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-11 ค่า $h(A, B)$ เฟรมที่ 27 อัตราเร็ว 80 กม./ชม. ตารางที่ 4-5

(ก) กราฟของค่า $h(A, B)$ ที่อัตราเร็ว 80 กม./ชม.

(ข) ผลลัพธ์ของการตรวจหาป้าย

ตารางที่ 4-5 ที่อัตราความเร็วที่ 80 กม./ชม. จะเห็นว่าค่า $h(A, B)$ จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ แต่มีบางโอกาสค่า $h(A, B)$ จะมีค่าสูงขึ้น เช่นเฟรมที่ 9, 12, 15 จนกระทั่งเฟรมที่ 27 ค่าของ $h(A, B)$ เป็นค่าต่ำที่สุด สาเหตุของภาพที่ได้ไม่ชัดเจนเกิดจากสั่นไหวของกล้องวิดีโอ เหตุการณ์เดียวกับภาพที่ 4-10 แต่จะเห็นว่าค่า $h(A, B)$ สูงขึ้น มากกว่าที่อัตราความเร็วที่ต่ำกว่า เป็นเพราะความเร็วของรถที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสั่นไหวของกล้องวิดีโอมากตามขึ้นไปด้วย

จากกราฟจะเห็นว่าค่าของ $h(A, B)$ เป็น 0.562 ซึ่งมีระยะทางน้อยที่สุด ดังภาพที่ 4-11

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอเทคนิคการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วในจากวิดีโอ โดยใช้โมดิฟายน์เฮาซครอปดิสเทนซ์ แบ่งขั้นตอนของการทำงานออกเป็น ส่วน ๆ ดังนี้ 1. แปลงเพิ่มวิดีโอ AVI เป็นภาพ BMP 2. แบ่งแยกภาพโดยใช้สี 3. การทำภาพให้สมบูรณ์โดยใช้ Closing 4. การหาขอบภาพ 5. การตรวจหาโดยใช้โมดิฟายน์เฮาซครอปดิสเทนซ์ และนำแต่ละส่วนมาพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการทดสอบ โดยได้พัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบการทำงานบนระบบปฏิบัติการของวินโดวส์ ถูกนำมาทดสอบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วกับแฟ้มวิดีโอ จำนวน 50 แฟ้มตัวอย่าง กรณีของการทดสอบที่ใช้การเคลื่อนที่ของรถยนต์ที่อัตราความเร็วตั้งแต่ 30 กม./ชม. จำนวน 10 แฟ้ม 40 กม./ชม. จำนวน 10 แฟ้ม 60 กม./ชม. จำนวน 10 แฟ้ม 80 กม./ชม. จำนวน 10 แฟ้ม และ 100 กม./ชม. จำนวน 10 แฟ้ม สำหรับความถูกต้องในการตรวจหาที่อัตราความเร็ว 30 กม./ชม. คิดเป็นร้อยละ 100 ความถูกต้องในการตรวจหาที่อัตราความเร็ว 40 กม./ชม. คิดเป็นร้อยละ 100 ความถูกต้องในการตรวจหาที่อัตราความเร็ว 60 กม./ชม. คิดเป็นร้อยละ 100 ความถูกต้องในการตรวจหาที่อัตราความเร็ว 80 กม./ชม. คิดเป็นร้อยละ 100 และความถูกต้องในการตรวจหาที่อัตราความเร็วที่ 100 กม./ชม. คิดเป็นร้อยละ 98 เปอร์เซนต์ ความถูกต้องรวมคิดเป็นร้อยละ 98 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราความเร็วของรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้การตรวจหาที่มีความผิดพลาดมากกว่าอัตราความเร็วของรถยนต์ที่ต่ำกว่า

ความผิดพลาดในการประมวลผลที่ไม่ถูกต้อง พบว่าปัญหาความสมบูรณ์ของป้ายกำหนดความเร็ว เช่น สีไม่ชัดเจน ความขรุขระของป้าย ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่ทำให้การตรวจหาป้ายผิดพลาดได้ เกิดจากแสงสว่างขณะถ่ายวิดีโอมีน้อยเกินไป การถ่ายวิดีโอในลักษณะย้อนแสง ไป อาจจะแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการเพิ่มขั้นตอนของการปรับค่า Histogram Equalization หรือฝนตกหนักมากจนมากเห็นป้ายไม่ชัดเจน เกิดหมอก และทัศนวิสัยไม่ดี ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้เป็นปัญหาของระบบการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวิดีโอ ทำให้การตรวจหาเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

ปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้จะป็นจะเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวิดีโอในอนาคตให้มีความสามารถมากขึ้น และมีความผิดพลาดน้อยลงต่อไป

5.2 แนวทางการพัฒนา

จากการทดสอบสามารถรวบรวมเพื่อเป็นแนวทางพัฒนาระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วได้ดังนี้

5.2.1 ในอนาคตสามารถพัฒนาเป็นระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วโดยอัตโนมัติ

5.2.2 สามารถนำส่วนของการตรวจหาไปรู้จำตัวเลขในป้ายกำหนดความเร็วได้

เอกสารอ้างอิง

1. L.Sekanina and J. Torresen. "Detection of Norwegian Speed limit signs." In Proc. Of the 16th European Simulation Multiconference (ESM2002). SCS Europe, June 2002. PP 337-340.
2. X. Liu and Ran. 2001. Vision-Base Stop Sign Detection and Recognition System for Intelligent Vehicle. Available from : URL
www.topslab.wisc.edu/publications/ran_2001_0998.pdf.
3. M. Shneier. "Road Sign Detection and Recognition." IEEE Computer Society International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. (June 2005).
4. นูรินทร์ นรินทร์. การตรวจจับการเปลี่ยนชื่อถนนวิดีโอโดยการวิเคราะห์ตามเนื้อหาของภาพด้วยควอดทรี. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าพระนครเหนือ, 2547.
5. นกสินธุ์ บุญมาก. การค้นหาใบหน้ามนุษย์จากภาพสีที่พื้นหลังมีความสลับซับซ้อน. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าพระนครเหนือ, 2547.
6. RSR200. 2003. "Road Sign Recognition RSR200." available from URL:
http://www.computer-perception.ch/www_students/rsr200/RSR_Main.pdf.
7. C. Gonzalez and E. Woods. Digital Image Processing. , 2nd Edition. Prentice Hall. 2001.
8. D.W. Paglieroni. "Distance Transforms Properties and machine Vision application." Journal of Computer Vision Graphics Image Processing : Graphical Models Image Processing. (1992) : 55-74
9. P. Huttenlocher and G.A. Klanderman and W.J Rucklidge. "Comparing Image Using the Hausdorff Distance." IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 15, 19 September 1993.
10. M. Dubuisson and A. K. Jain. "A modified Hausdorff distance of object Matching." Proc. 12th Int. Conf. On Pattern Recognition Proc. SPIE/SPSE Symp. Electronic Imaging 1991.

11. S. Srisuk. "An Improved Speed of Automatic Face Detection." in Proc. of 23rd Electrical Engineering Conference (EECON'23), Chiang-Mai, Thailand. 22-24 Nov, 2000. pp. 461-464.
12. อรรถกร พูนศิลป์, วสิน ภิรมย์ "เทคนิคการเพิ่มความเร็วและความคงทนในการตรวจจับภาพใบหน้าสี่แบบพื้นกาล โดยใช้แฮสคอรฟดิสแทนซ์." The Seventh National Computer Science and Engineering Conference, 2004.

ภาคผนวก ก

อัลกอริทึมของ Chamfer-Distance Transform

อัลกอริทึมของ Chamfer-Distance

Inputs : I = a 2D binary image of size x by y

$d1$ = distance between two adjacent pixel in either x or y direction

$d2$ = diagonal distance between two diagonally adjacent pixels.

Output : d = a 2D grey images of size X and Y representing the distance image

// initialize

for $y=1$ to Y do begin

 for $x=1$ to X do begin

$d(x,y)=\infty$

 end

end

// initialize immediate interior & exterior elements

for $y=1$ to Y do begin

 for $x=1$ to X do begin

 if ($I(x-1,y) \neq I(x,y)$ or $I(x+1,y) \neq I(x,y)$ or

$I(x,y-1) \neq I(x,y)$ or $I(x,y+1) \neq I(x,y)$) then $d(x,y)=0$

 End

end

//perform the first (forward) pass

for $y=1$ to Y do begin

 for $x=1$ to X do begin

 if ($d(x-1,y-1)+d2 < d(x,y)$) then $d(x,y)=d(x-1,y-1)+d2$

 if ($d(x,y-1)+d1 < d(x,y)$) then $d(x,y)=d(x,y-1)+d1$

 if ($d(x+1,y-1)+d2 < d(x,y)$) then $d(x,y)=d(x+1,y-1)+d2$

 if ($d(x-1,y)+d1 < d(x,y)$) then $d(x,y)=d(x-1,y)+d1$

 end

end

```

//perform the final (backward) pass
for y=1 to Y do begin
    for x=1 to X do begin
        if (d(x+1,y)+d1 < d(x,y)) then d(x,y)=d(x+1,y)+d1
        if (d(x-1,y+1)+d2 < d(x,y)) then d(x,y)=d(x-1,y+1)+d2
        if (d(x,y+1)+d1 < d(x,y)) then d(x,y)=d(x,y+1)+d1
        if (d(x+1,y+1)+d2 < d(x,y)) then d(x,y)=d(x+1,y+1)+d1
    end
end
//indicate inside & outside
for y=Y to 1 do begin
    for x=X to 1 do begin
        if (I(x,y)==0) then d(x,y)=-d(x,y)
    end
end
end

```

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างของแฟ้มวิดีโอที่นำไปตรวจหาป้ายกำหนดความเร็ว



(ก)



(ข)

ค่าของ $h(A, B) = 0.285$ ที่อัตราเร็วความเร็ว 30 กม./ชม.



(ก)



(ข)

ค่าของ $h(A, B) = 0.49$ ที่อัตราเร็วความเร็ว 40 กม./ชม.



(ก)



(ข)

ค่าของ $h(A, B) = 0.330$ ที่อัตราเร็วความเร็ว 60 กม./ชม.



(ก)



(ข)

ค่าของ $h(A, B) = 0.56$ ที่อัตราเร็วความเร็ว 80 กม./ชม.



(ก)



(ข)

ค่าของ $h(A, B) = 1.30$ ที่อัตราเร็วความเร็ว 100 กม./ชม.

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบของแฟ้มวิดีโอ

ผลการทดสอบของแฟ้มวิดีโอที่ความเร็ว 30 กม./ชม.

แฟ้มที่	ชื่อแฟ้มวิดีโอ	ผลลัพธ์ของการตรวจหา
1	30-1.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
2	30-2.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
3	30-3.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
4	30-4.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
5	30-5.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
6	30-6.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
7	30-7.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
8	30-8.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
9	30-9.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
10	30-10.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง

ผลการทดสอบของแฟ้มวิดีโอที่ความเร็ว 40 กม./ชม.

แฟ้มที่	ชื่อแฟ้มวิดีโอ	ความถูกต้อง
1	40-1.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
2	40-2.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
3	40-3.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
4	40-4.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
5	40-5.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
6	40-6.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
7	40-7.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
8	40-8.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
9	40-9.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
10	40-10.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง

ผลการทดสอบของแฟ้มวิดีโอที่ความเร็ว 60 กม./ชม.

แฟ้มที่	ชื่อแฟ้มวิดีโอ	ความถูกต้อง
1	60-1.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
2	60-2.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
3	60-3.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
4	60-4.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
5	60-5.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
6	60-6.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
7	60-7.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
8	60-8.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
9	60-9.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
10	60-10.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง

ผลการทดสอบของแฟ้มวิดีโอที่ความเร็ว 80 กม./ชม.

แฟ้มที่	ชื่อแฟ้มวิดีโอ	ความถูกต้อง
1	80-1.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
2	80-2.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
3	80-3.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
4	80-4.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
5	80-5.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
6	80-6.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
7	80-7.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
8	80-8.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
9	80-9.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
10	80-10.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง

ผลการทดสอบของแฟ้มวิดีโอที่ความเร็ว 100 กม./ชม.

แฟ้มที่	ชื่อแฟ้มวิดีโอ	ความถูกต้อง
1	100-1.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
2	100-2.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
3	100-3.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
4	100-4.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
5	100-5.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
6	100-6.avi	ตรวจหาได้ไม่ถูกต้อง
7	100-7.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
8	100-8.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
9	100-9.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง
10	100-10.avi	ตรวจหาได้ถูกต้อง

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายอำนาจ สาทสิทธิ์

ชื่อวิทยานิพนธ์ : ระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวิดีโอ

สาขาวิชา : วิทยาการคอมพิวเตอร์

ประวัติ

ประวัติการศึกษา

- ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ประวัติการทำงาน

- 2539-2540 รับราชการเป็นวิชากรคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ปัจจุบัน เป็นอาจารย์ประจำคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สถานที่ทำงาน

- โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร(ฝ่ายมัธยม)