

การตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์ในภาพนิ่งซึ่งจับมาจากกล้องวีดิทัศน์



นาย สมจิตต์ อัครวรรมาศ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-932-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPUTER MONITOR DETECTION IN STILL IMAGES CAPTURED FROM A VIDEO CAMERA



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

Department of Computer Engineering

Graduate School

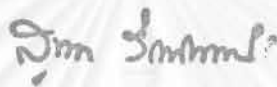
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-932-3

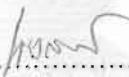
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์ในภาพนิ่งซึ่งจับมาจากกล้องวิดีโอ
โดย นาย สมจิตต์ อัครวรรมาศ
ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต วงศ์ประทีป

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต




..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)

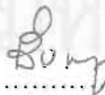
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ ไคววิสารัช)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต วงศ์ประทีป)



..... กรรมการ
(ดร.สืบสกุล พิภพมงคล)



..... กรรมการ
(ดร. อาทิตย์ ทองทักษ์)

สมจิตต์ อัครวรรมาศ : การตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์ในภาพนิ่งซึ่งจับมาจากกล้องวิดีโอ (COMPUTER MONITOR DETECTION IN STILL IMAGES CAPTURED FROM VIDEO CAMERA) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. สาธิต วงศ์ประทีป, 105 หน้า. ISBN 974-332-932-3.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอขั้นตอนและโปรแกรมการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ เพื่อทำการตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์จากภาพนิ่งที่ได้จากกล้องวิดีโอ โดยใช้ภาพแอนะล็อกที่ถ่าย ในมาตรฐานระบบ PAL ที่ความละเอียดภาพ 768 x 576 มีความลึกสีที่ 16 บิต และแปลงภาพชุดให้มา อยู่ในรูปแบบของภาพดิจิทัลแบบ AVI และลดความลึกสีลงมาเป็นภาพระดับเทาขนาด 8 บิต หลังจากนั้นนำไปประมวลผลภาพโดยการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยการหาค่าเฉลี่ยภาพและการวิเคราะห์ ฮิสโตแกรม แล้วนำไปผ่านขั้นตอนการตรวจจับขอบภาพและปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธี Hough & De-Hough Transform แล้วนำภาพที่ได้ทำการปรับปรุงขอบภาพจนสมบูรณ์แล้วไปเปรียบเทียบกับวัตถุ ต้นแบบที่ได้ทำการเก็บขนาดมิติเอาไว้ และจะทำการประเมินการเปรียบเทียบว่าวัตถุที่ตรวจจับได้กับ วัตถุต้นแบบเป็นวัตถุที่มีรูปร่างเช่นเดียวกันหรือไม่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การตรวจจับจอภาพ คอมพิวเตอร์เป็นวัตถุต้นแบบในการทำวิจัย โดยทดลองกับภาพห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์จำนวน 200 ภาพชุดแต่ละภาพชุดมีภาพจำนวน 10 ภาพ

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงขั้นตอนของการนำภาพจากกล้องวิดีโอมาประยุกต์ใช้และข้อจำกัด ต่าง ๆ ของการนำภาพจากกล้องมาประยุกต์ และวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดจากกล้องเนื่องจากความไม่ สมบูรณ์ของภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ เช่นความไม่คมชัดของภาพ ปริมาณแสงของภาพที่ถ่ายสว่าง หรือมืดเกินไป และปัจจัยที่ทำให้เกิดการเหลื่อมซ้อนกันของจอภาพที่เกิดจากการวางตำแหน่งของ กล้อง การเรียงตัวกันของจอภาพที่ทำการถ่ายและระยะจากกล้องถึงวัตถุจากผลการวิจัยที่ได้พบว่าภาพ ที่ถ่ายจากห้องปฏิบัติการต่าง ๆ สภาพปกติภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ และของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์จำนวน 200 ภาพชุด โดยโปรแกรมใช้ขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอ ในงานวิจัยนี้สามารถตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์ได้ประมาณ 90% โดยส่วนของจอภาพที่ไม่สามารถ ตรวจหาได้เกิดจากคุณภาพของภาพบางส่วนที่ไม่สมบูรณ์ และการเหลื่อมซ้อนกันของจอภาพ

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
2542
ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่อนิสิิต.....สมจิตต์ อัครวรรมาศ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4070446921 : MAJOR COMPUTER SCIENCE
KEY WORD: AVERAGE IMAGE / HISTOGRAM EQUALIZATION / HOUGH & DE-HOUGH
SOMCHIT AKARAWORAMAS : COMPUTER MONITOR DETECTION IN STILL
IMAGES CAPTURED FROM A VIDEO CAMERA. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF.
SARTID VONGPRADHIP, Ph.D. 105 pp. ISBN 974-332-932-3.

The objective of this research present an approach to the detection of monitors in still images captured from video camera. The monitors are analog image sequence use PAL standard at resolution 768 x 576 and 16 bit colors depth, transfer to digital images in AVI format and decrease color bit depth to 8 bit grayscale. Then, the quality of images is improved by "Average Image" method and histogram equalization. After that, edges are detected and edges discontinue were corrected by Hough & De-Hough Transform method. Finally, object edges and the boundary of template model are compared, if the edge of object and template model are matched, then it is the same object. The research was tested on 200 images sequence captured from computer laboratories and each images sequence has 10 frames picture.

This research involves studies of the procedure and limitations to apply the images captured from video camera, and method that is solving problems of images with blur images, dark or light images and objects that are overlapped. From 200 images sequence taken at different Computer Engineering laboratories under fluorescent light, the result of the research from proposed procedure can detected about 90 percent of computer monitors. The resent for undetected monitors are bad quality images and the images where the monitors are overlapped.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา.....2542

ลายมือชื่อนิสิต.....สมจิณห์ อัครวโรมาศ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาทิต วงศ์ประทีป อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้สละเวลา ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะและแนวทางต่าง ๆ ในการค้นคว้าตลอดช่วงเวลาของการทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ได้ช่วยพิจารณาให้คำแนะนำตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ฝ่ายโสตของภาควิชาที่ให้ยืมกล้อง ฟูเปอร์และอำนวยความสะดวกในการถ่ายภาพเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และผู้มีส่วนช่วยเหลือที่ไม่ได้เอ่ยมาในที่นี้ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทำให้การทำงานวิจัยเป็นไปอย่างราบรื่น

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่และน้อง ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 ทฤษฎีและแนวคิด.....	3
1.5 แนวทางในการพัฒนา.....	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.7 ขั้นตอนการวิจัย.....	5
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ทฤษฎีและแนวคิด.....	6
2.1 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ.....	6
2.1.1 การหาค่าเฉลี่ยของภาพ.....	6
2.1.2 Histogram Equalization.....	7
2.2 การหาขอบของรูปภาพ.....	10
2.2.1 การหาขอบของวัตถุในภาพด้วยวิธีการใช้แมสก์.....	10
2.2.2 การตรวจหาขอบของภาพด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์.....	13
2.3 Hough Transform.....	15
2.4 Camera Model	17
2.5 3-D Transform.....	20
2.5.1 การเปลี่ยนตำแหน่ง (Translation).....	20
2.5.2 การเปลี่ยนขนาด (Scaling).....	20
2.5.3 การหมุน (Rotation).....	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 การเปรียบเทียบเกี่ยวกับวัตถุต้นแบบ.....	22
3 การตรวจหาจอภาพ.....	25
3.1 การถ่ายภาพด้วยกล้องวิดีโอ.....	26
3.2 การนำภาพจากกล้องวิดีโอ หรือ เทปบันทึกภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์.....	27
3.3 การแปลงข้อมูลแบบ AVI ไปเป็น BMP.....	28
3.4 การปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ย.....	28
3.5 การวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของภาพ.....	29
3.6 การตรวจจับขอบภาพ.....	33
3.6.1 การตรวจจับขอบโดยการใส่แมสก์.....	33
3.6.2 การตรวจจับขอบโดยการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์.....	36
3.7 การปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธี Hough Transform.....	38
3.8 การทำ De-Hough.....	40
3.9 การเปรียบเทียบจอภาพกับจอภาพต้นแบบ.....	42
3.10 การประเมินผลการเปรียบเทียบกับจอภาพต้นแบบ.....	47
4 ผลการทดลอง.....	48
4.1 ตัวอย่างภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	48
4.2 ผลการทดลองโดยรวม.....	49
4.3 ผลการทดลองในแต่ละขั้นตอน.....	50
4.3.1 การถ่ายภาพด้วยกล้องวิดีโอ.....	50
4.3.2 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ โดยวิธีหาค่าเฉลี่ย.....	53
4.3.3 Histogram Equalization.....	56
4.3.4 การตรวจจับขอบภาพ.....	57
4.3.4.1 การตรวจจับขอบภาพโดยวิธีการใส่แมสก์.....	57
4.3.4.2 การตรวจจับขอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์.....	61
4.3.4.3 การตรวจจับขอบภาพโดยการใส่แมสก์และ ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ร่วมกัน.....	63
4.3.5 การปรับปรุงขอบภาพด้วย Hough และ De-Hough.....	65
4.3.6 การเปรียบเทียบจอภาพกับจอภาพต้นแบบ.....	68
4.3.6.1 ผลของการตรวจจับจอภาพแยกตามระยะระหว่างกล้องถึงท้ายภาพ.....	76
4.3.6.2 ผลของการตรวจจับจอภาพแยกตามเปอร์เซ็นต์การเหลื่อมซ้อนกัน.....	76

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3.6.3 ผลของการตรวจจับจอภาพแยกตามการหันของจอภาพ.....	77
4.3.6.4 ผลของการตรวจจับจอภาพ โดยใช้ความละเอียดของภาพลดลงครึ่งหนึ่ง.....	77
4.4 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการประมวลผล.....	77
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	79
5.2 ข้อจำกัดในการวิจัย.....	80
5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย.....	80
รายการอ้างอิง.....	81
บรรณานุกรม.....	82
ภาคผนวก.....	83
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	83
ภาคผนวก ข DirectX.....	88
ภาคผนวก ค ตัวอย่างภาพที่ได้จากการตรวจจับจอภาพ.....	93
ประวัติผู้วิจัย.....	105

สารบัญญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงภาพและฮิสโตแกรมของภาพ.....	7
2.2	ภาพฮิสโตแกรมก่อนทำ Histogram Equalization.....	8
2.3	ภาพฮิสโตแกรมหลังทำ Histogram Equalization.....	9
2.4	ตัวอย่างภาพก่อนและหลังทำ Histogram Equalization.....	9
2.5	แมสก์ของจุด 3x3.....	11
2.6	Prewitt แมสก์ 3x3.....	11
2.7	รูปแบบของแมสก์แบบอื่น ๆ ที่ใช้ในการหาขอบ.....	12
2.8	แมสก์ที่หาขอบได้ดีที่สุดจากการทดสอบกับภาพตัวอย่าง.....	13
2.9	ตัวอย่างขอบภาพที่ใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์.....	14
2.10	แสดงกราฟของจุดในพิกัด X,Y และ กราฟ M-C.....	15
2.11	แสดงเส้นตรงในระบบพิกัดเชิงขั้ว.....	16
2.12	ตัวอย่างของจุดหลังจากทำ Hough Transform.....	16
2.13	ตัวอย่างของการใช้งาน Hough Transform ในการแก้ปัญหาการหาเส้นขนานกันของวัตถุ	17
2.14	แสดง Camera Model.....	18
2.15	แสดง Camera Model เมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งกล้องและตำแหน่งภาพที่เกิด.....	19
2.16	การหมุนในระบบพิกัด 3 มิติ.....	21
2.17	การจับคู่ของขอบวัตถุกับวัตถุต้นแบบ.....	22
2.18	การขยายขอบของวัตถุต้นแบบ.....	23
2.19	การหมุนของวัตถุต้นแบบ.....	23
2.20	ภาพแสดงเมื่อวัตถุที่ตรวจจับและวัตถุต้นแบบสอดคล้องกัน.....	24
3.1	ขั้นตอนในการตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์.....	25
3.2	แสดงภาพขอบที่ได้จากกล้องทั้ง 3 ชนิด.....	27
3.3	การปรับปรุงภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ย.....	29
3.4	ฮิสโตแกรมของภาพตัวอย่างบางภาพ.....	30
3.5	ตัวอย่างกลุ่มของระดับความเทา.....	30
3.6	ภาพของการทำ Histogram Equalization.....	32
3.7	ภาพขอบของการทำ Histogram Equalization.....	32
3.8	แสดงแมสก์ที่ตรวจจับขอบได้ดีที่สุด.....	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.9	ตัวอย่างของแมสก์ที่นำมาทดสอบ.....	35
3.10	ผลของการจับขอบด้วยแมสก์ตามรูปที่ 3.8.....	36
3.11	แมสก์ของการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์.....	37
3.12	ตัวอย่างภาพขอบของวิธีค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์.....	37
3.13	เปรียบเทียบผลของวิธีหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์เทียบกับภาพต้นฉบับ.....	37
3.14	ภาพขอบของวัตถุที่ไม่ต่อเนื่อง.....	38
3.15	จุดเมื่อแปลงไปอยู่ในรูปแบบของ Hough Transform.....	39
3.16	เส้นตรงเมื่อแปลงไปอยู่ในรูปของ Hough Transform.....	39
3.17	ภาพที่ได้จากการทำ Hough Transform แล้วไปทำ Threshold.....	40
3.18	ผลของการปรับ Threshold ต่ำหรือสูงเกินไป.....	40
3.19	เส้นตรงที่ได้หลังจากการทำ De-Hough.....	41
3.20	รูปแสดงการต่อขอบหลังจากการทำ De-Hough.....	41
3.21	ภาพหลังจากทำการต่อขอบแล้ว.....	42
3.22	แสดงการวางตัวของจุดในแนว A สอดคล้องกับสมการเส้นตรง.....	44
3.23	แสดงการเปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบที่สอดคล้องกัน.....	44
4.1	กราฟแสดงจำนวนจอภาพที่ตรวจหาพบเมื่อเพิ่มจำนวนเฟรมที่นำมาหาค่าเฉลี่ย.....	56
4.2	แสดงตัวอย่าง Mask ส่วนหนึ่งที่นำมาทดสอบ.....	60
6.1	การทำงานของ DirectX.....	90
6.2	แสดงการ Flip Page ของ DirectX.....	91
6.3	แสดงการนำส่วนย่อยของ Buffer มาแสดง.....	92

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลของภาพที่ได้จากกล้อง Panasonic M3000.....	50
2	ผลของภาพที่ได้จากกล้อง SONY HandMate.....	51
3	ผลของภาพที่ได้จากกล้อง SONY HandyCam.....	52
4	ผลของจอภาพที่ตรวจหาได้ก่อนและหลังการหาค่าเฉลี่ย.....	53
5	จำนวนจอภาพที่ตรวจพบเมื่อเพิ่มจำนวนเฟรมที่นำมาเฉลี่ย.....	55
6	เปรียบเทียบการจับขอบของภาพก่อนและหลังทำ Histogram qualization.....	57
7	เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยแมสก์ตามรูป 4.2(a).....	57
8	แสดงผลเปรียบเทียบการตรวจจับขอบของแมสก์แบบต่าง ๆ.....	60
9	เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยวิธี การหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์.....	61
10	เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยวิธีการใช้ แมสก์และค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ร่วมกัน.....	63
11	ผลของการตรวจจับจอภาพก่อนและหลังทำ Hough&De-Hough.....	65
12	ผลของการตรวจจับจอภาพทั้ง 200 ตำแหน่งภาพ.....	68
13	ผลของการตรวจจับจอภาพแยกตามระยะระหว่างกล้องถึงท้ายภาพ.....	76
14	ผลของการตรวจจับจอภาพแยกตามเปอร์เซ็นต์การเหลื่อมซ้อนกัน.....	76
15	ผลของการตรวจจับจอภาพแยกตามการหันของจอภาพ.....	77



1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาในด้านการนำข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธีและมีการพัฒนาเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ รวมถึงอุปกรณ์และระบบสื่อผสมเป็นไปอย่างรวดเร็ว และมีราคาถูกลงอย่างมาก ซึ่งอุปกรณ์สื่อผสมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทำให้การส่งข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลสื่อผสมเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรมประยุกต์มีความสะดวกและมีความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น กล้องวิดีโอก็เป็นหนึ่งในอุปกรณ์สื่อผสมที่สามารถนำไปประยุกต์เพื่อให้นำข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปของภาพวิดีโอเข้ามาเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลภาพโดยนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ ได้ อย่างกว้างขวางเช่น ใช้ภาพที่ได้เป็นสื่อการสอน ใช้ภาพที่ได้จากกล้องจับภาพรถที่วิ่งตามถนนเพื่อคำนวณความเร็ว หรือใช้ในการตรวจจับวัตถุของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม การวิจัยและพัฒนาในด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ แยกออกเป็นหลายแขนงเช่น การประมวลผลภาพ (Image Processing), การมองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision), การเรียนรู้วัตถุ (Object Recognition), การวิเคราะห์รูปแบบ (Pattern Analysis) เป็นต้น ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะนำภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอมาประมวลผลภาพเพื่อให้คอมพิวเตอร์ตรวจหาวัตถุและสามารถแยกวัตถุนั้นออกจากวัตถุรอบข้างได้ อย่างถูกต้อง

ข้อมูลสื่อผสมที่ได้จากกล้องวิดีโอเป็นรูปแบบข้อมูลภาพแบบแอนะล็อกยังไม่สามารถนำมาประมวลผลได้โดยตรงต้องนำข้อมูลภาพแอนะล็อกที่ได้จากกล้องวิดีโอมาทำการจับเฟรม(frame grabble)เป็นเฟรม ๆ ที่มีข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล และนำเฟรมหลาย ๆ เฟรมเหล่านั้นมาสร้างเป็นภาพต่อเนื่องที่คล้ายกับภาพแอนะล็อกซึ่งนิยมเก็บอยู่ในรูปแบบแฟ้มแบบ AVI หรือ JPEG โดยอัตราจำนวนเฟรมที่สามารถมองเป็นภาพต่อเนื่องแบบแอนะล็อกอยู่ที่ประมาณ 30 เฟรมต่อวินาที หรือสามารถจับเฟรมให้เป็นภาพนิ่งที่อยู่ในรูปแบบแฟ้มดิจิทัลแบบ BMP หรือ JPG เมื่อได้ข้อมูลภาพที่อยู่ในรูปแบบของดิจิทัลแล้วก็สามารถนำมาประมวลผลภาพต่อไปได้ ภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอที่มีลักษณะของภาพในรูปแบบของภาพปรากฏแก่สายตา (Perspective) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับการมองของสายตามนุษย์ แต่ภาพจะมีความซับซ้อนมากเนื่องจากภาพที่ได้จะมีความลึกของวัตถุภายในภาพเกิดขึ้น และเกิดการเหลื่อมซ้อนกันของวัตถุภายในภาพเกิดขึ้น และในขณะที่วัตถุขึ้นเดียวกันอยู่ในตำแหน่งระยะห่างจากกล้องต่างกันก็ทำให้มีขนาดต่างกันด้วย กล่าวคือเมื่อวัตถุขึ้นเดียวกันอยู่ใกล้กับกล้องก็จะมีขนาดใหญ่ แต่เมื่อวัตถุขึ้นเดียวกันนี้อยู่ไกลออกไปจากตัวกล้องก็จะมีขนาดเล็กลงเมื่อมองผ่านจากกล้อง ดังนั้นในการประมวลผลภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องเหล่านี้ด้วย และปัญหาที่พบอีกก็คือเมื่อวัตถุเรียงตัวกันในแนวลึกเมื่อมองผ่านจากกล้องวิดีโอจะเกิดการเหลื่อมซ้อนกันของวัตถุทำให้วัตถุบางชิ้นไม่สามารถมองเห็นได้ครบทั้งวัตถุ และภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอจะมีคุณภาพไม่ชัดมากเช่น

มีจุด (noise) รบกวนหรือมีสัญญาณรบกวนเป็นเส้นจึงต้องใช้วิธีการประมวลผลภาพเพื่อช่วยแก้ไขภาพให้ดีขึ้นก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ตรวจหาวัตถุภายในภาพต่อไป

ในปัจจุบันกล้องวิดิทัศน์วิดิทัศน์ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วทำให้มีขนาดเล็กและราคาถูกลงอย่างมาก จึงทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งทางด้าน Computer Vision, Robotic, Video Conference เป็นต้นจึงมีแนวโน้มที่จะนำกล้องวิดิทัศน์ไปประยุกต์ใช้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และจะเป็นอุปกรณ์มาตรฐานต่อไป ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะนำภาพที่ได้จากกล้องวิดิทัศน์มาทำการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาวัตถุที่ต้องการ เพราะเห็นว่าการตรวจหาวัตถุผ่านกล้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ ได้อีกมากมาย เช่นการตรวจหาวัตถุทางไกลโดยผู้ตรวจไม่ต้องไปอยู่ในสถานที่จริง เช่นอาจติดกล้องอยู่กับเครื่องบิน หรือหุ่นยนต์ หรือในบริเวณที่มีอันตราย หรือการตรวจสอบจำนวนรถที่ติดอยู่ตามสี่แยกต่าง ๆ โดยแต่ละแยกจะมีกล้องติดอยู่เพื่อส่งข้อมูลภาพกลับมาประมวลผลยังส่วนกลาง หรือการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อสามารถรับส่งข้อมูลที่อยู่ห่างไกลมาก ๆ ได้และสามารถเข้าถึงข้อมูลภาพได้ในทุก ๆ ที่ที่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อไปถึง

งานวิจัยนี้ได้ใช้จอภาพคอมพิวเตอร์เป็นวัตถุที่จะตรวจหาจากภาพที่ได้จากการถ่ายภาพปฏิบัติการคอมพิวเตอร์เป็นกรณีศึกษา และใช้ในการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบการตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์โดยใช้การประมวลผลภาพที่ได้จากกล้องวิดิทัศน์

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Vehicle Segmentation and Classification Using Deformable Templates [1] เป็นการตรวจจับรถที่วิ่งอยู่บนถนนด้วยกล้อง แล้วนำไปประมวลผลภาพเพื่อจำแนกประเภทรถว่าเป็นรถประเภทใด เช่น รถเก๋ง รถกระบะ รถตู้ รถแวน เป็นต้น ซึ่งใช้วิธีหาขอบนอกของรถแล้วนำไปเปรียบเทียบกับรูปขอบของรถต้นแบบซึ่งเก็บข้อมูลไว้ก่อนแล้ว ปัญหาและข้อจำกัดที่พบคือ การถ่ายภาพรถเป็นการถ่ายจากด้านข้างซึ่งในขณะที่ทำการถ่ายมีรถคันอื่นมาบังหรือมีรถคันอื่นซ้อนอยู่ด้านหลังของรถที่ทำการตรวจจับ หรือในขณะที่จับรถเกิดการหักเลี้ยวก็จะทำให้รูปแบบของรถที่ถ่ายจากด้านข้างผิดรูปไป ก็จะทำให้ภาพรถที่ได้มาเมื่อนำไปประมวลผลภาพเกิดการผิดพลาดได้ ซึ่งงานวิจัยนี้มีความถูกต้องในการตรวจจับและแยกประเภทรถได้ถูกต้อง 91.9 %

Visual Appearance of Matte Surfaces[2] เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการให้คอมพิวเตอร์รู้รูปแบบวัตถุ โดยการใช้การหาขอบของวัตถุเพื่อหารูปร่างและความแตกต่างของพื้นผิวของวัตถุช่วยในการแบ่งแยกวัตถุแต่ละชนิดออกจากกัน มีปัญหาและข้อจำกัดคือ ถ้าต้นกำเนิดแสงเปลี่ยนไปก็จะทำให้การสะท้อนของพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไปด้วย และในกรณีที่เกิดเงาของวัตถุชิ้นหนึ่งไปบังพื้นผิวของวัตถุอีกชิ้นหนึ่งก็จะทำให้วัตถุที่ถูกเงาบังมีการสะท้อนของผิวผิดเพี้ยนไปด้วย แล้วการแยกวัตถุด้วยวิธีนี้ก็ต้องใช้ในการจับภาพวัตถุจะต้องมีโฟกัสที่เที่ยงตรงสูงเนื่องจากการสะท้อนของแสงในกรณีที่โฟกัสต่างกันการสะท้อนก็จะต่างไปด้วย

Lanc Boundary Detection [3] เป็นการตรวจจับขอบของถนน โดยตั้งกล้องไว้ที่ด้านหน้าของรถ แล้วใช้กล้องจับภาพไปบนถนนด้านหน้า และหาขอบของเลนถนนที่ดีเส้นขาวแบ่งเลนเอาไว้ซึ่งการประมวลผลภาพเพื่อหาเส้นขอบอาจทำให้เส้นขอบของเลนไม่ต่อเนื่องกันไป จึงใช้วิธีของ Hough Transform เพื่อทำให้เส้นขอบต่อเนื่องกันไป ผลที่ได้คือสามารถตรวจจับขอบของถนนได้จากตัวอย่างของถนนในที่ต่าง ๆ 34 ภาพ ปัญหาของการวิจัยนี้คือ เนื่องจากตั้งกล้องไว้ที่ด้านหน้าของรถ ดังนั้นในขณะที่ถ่ายภาพหากมีรถหรือวัตถุขนาดใหญ่อยู่ด้านหน้าในขณะที่ตรวจจับจะทำให้ไปบังเลนหรือขอบถนนทำให้ไม่สามารถหาขอบที่ต่อเนื่องกันได้

A Theory of Pattern Rejection[4] เป็นการให้คอมพิวเตอร์รู้รูปแบบวัตถุโดยการใช้วิธี Rejector และการเก็บภาพของวัตถุโดยวัตถุแต่ละชิ้นที่จะนำมาเรียนรู้จะนำมาเก็บภาพรอบวัตถุ โดยแต่ละภาพจะหมุนไปครั้งละ 5 องศา ดังนั้นวัตถุแต่ละชิ้นจะมีภาพต้นแบบ 72 ภาพเพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบวัตถุที่ต้องการตรวจจับ ปัญหาที่พบคือเนื่องจากต้องเก็บรูปภาพรอบวัตถุไว้เป็นจำนวนมากจึงทำให้เปลืองเนื้อที่และทำให้เวลาในการประมวลผลช้าเพราะต้องนำภาพจำนวนมากมาเปรียบเทียบกับวัตถุ

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาขั้นตอนและ โปรแกรมวิเคราะห์ประมวลผลภาพเพื่อทำการตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์จากภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอทัศน์
2. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์และประมวลผลภาพปรากฏแก่สายตาที่ได้จากกล้องวิดีโอทัศน์

1.4 ทฤษฎีและแนวคิด

1. การปรับปรุงคุณภาพของภาพ
2. Histogram Equalization
3. การหาขอบของรูปภาพ (Edge Detection)
4. Hough Transform
5. โมเดลกล้อง (Camera Model)
6. การแปลงในระบบพิกัด 3 มิติ (3D-Transform)
7. การเปรียบเทียบรูปทรง (Model Matching)

1.5 แนวทางในการพัฒนา

1. นำภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอทัศน์มาเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์
2. ภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอทัศน์จะเป็นภาพต่อเนื่องเป็นเฟรม ๆ จะทำการตัดบางเฟรมเพื่อนำมาทำการประมวลผลภาพ

3. ทำการเก็บภาพต้นแบบของจอภาพคอมพิวเตอร์ที่ต้องการตรวจจับพร้อมทั้งสัดส่วนและค่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของจอภาพ
4. นำเฟรมภาพที่ได้ มาทำการตรวจจับขอบวัตถุ
5. ทำการตรวจหาจอภาพด้วยวิธีประมวลผลภาพโดยการนำวัตถุที่ได้จากข้อ 4 เปรียบเทียบกับข้อมูลต้นแบบที่เก็บไว้ในข้อ 3 ทั้งนี้ในการประมวลผลจะต้องคำนึงถึงขนาดระยะห่าง, การหันของจอภาพและการซ้อนกันของจอภาพและระดับความเทา (Gray Scale) ด้วย ถ้าวัตถุที่ตรวจจับสอดคล้องกับข้อมูลต้นแบบก็จะทำการกำหนดเครื่องหมายไว้ว่าเป็นจอภาพคอมพิวเตอร์ที่ตรวจจับได้

1.6 ขอบเขตการวิจัย

การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้ในการตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์ โดยมีขอบเขตดังนี้คือ

1. กล้องที่ทำการจับภาพจะอยู่กับที่และไม่ปรับแต่งภาพ เช่น ไม่ใช้ฟิลเตอร์หรือเลนส์มุมกว้าง (wide-angle)
2. ภาพที่ใช้ในการวิจัยจะทำการวิจัยจากภาพเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจะทำการทดสอบจากห้องที่มีการจัดผังของเครื่องแตกต่างกันอย่างน้อย 3 รูปแบบ
3. ภาพที่นำมาประมวลผลเป็นภาพห้องปฏิบัติการที่อยู่ในสภาพปกติที่ไม่มีบุคคลอยู่ภายในภาพ
4. การตรวจหาจะทำการตรวจหาเฉพาะจอภาพคอมพิวเตอร์ที่มีรูปแบบตามที่มีการเก็บรูปแบบไว้ก่อน
5. การเปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจหาจะเปรียบเทียบจากจำนวนจอภาพที่มีอยู่จริง และเปรียบเทียบความแม่นยำของการตรวจหาที่ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้
 - ปัจจัยของจอภาพที่หันมุมต่าง ๆ กัน โดยจะทำการหาข้อจำกัดการหันของจอภาพว่ามีผลต่อการตรวจหาจอภาพได้อย่างถูกต้องเพียงไร
 - ปัจจัยการเหลื่อมซ้อนกันของจอภาพ หรือวัตถุอื่นบังอยู่โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดการเหลื่อมซ้อนกันคือตำแหน่งการวางจอ ตำแหน่งกล้อง และความลึกของห้องที่วางจอภาพอยู่ ซึ่งในการวิจัยจะทำการหาเปอร์เซ็นต์ของการเหลื่อมซ้อนกันของจอภาพที่มีผลต่อการตรวจหาจอภาพได้อย่างถูกต้อง
 - ปัจจัยของความละเอียดของภาพ (Resolution) โดยทำการหาข้อแตกต่างของความละเอียดของภาพว่ามีผลต่อการตรวจหาอย่างไร เพราะผลของความละเอียดจะมีผลต่อความถูกต้องในการตรวจหาและเวลาที่ใช้ในการตรวจหา

1.7 ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาการวิจัยที่ผ่านมา แนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหา และปัญหาที่พบ
2. ศึกษาทฤษฎีและวิธีการต่าง ๆ ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ
3. เลือกทฤษฎีและวิธีการที่เหมาะสมมาใช้
4. ศึกษาการนำข้อมูลภาพที่ได้จากวีดิทัศน์เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์
5. ออกแบบระบบและพัฒนาระบบ
6. ทำการกำหนดตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบ
7. ทำการทดสอบระบบและปรับปรุงแก้ไข
8. ทดลองใช้งานจริง และเปรียบเทียบผลที่ได้
9. สรุปผล

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้โปรแกรมต้นแบบสำหรับใช้ตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์
2. สามารถประยุกต์วิธีการไปใช้กับงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาวัตถุที่ต้องการปะปนอยู่กับวัตถุอื่น ๆ ผ่านกล้องวีดิทัศน์ได้เช่น การตรวจหากระเป๋าสตางค์โดยสารบนสายพานลำเลียงผ่านกล้องวีดิทัศน์ หรือตรวจหารถยนต์ของผู้ต้องสงสัย
3. ทราบถึงข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้งานกล้องวีดิทัศน์
4. เป็นพื้นฐานของการกำหนดลักษณะอุปกรณ์ที่ใช้กล้องวีดิทัศน์เป็นอุปกรณ์นำเข้าสู่ข้อมูลสื่อผสม

บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิด

2.1 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ

ภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอที่นั่นคุณภาพของภาพที่ได้จะสมบูรณ์หรือไม่ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาพของแสงในบริเวณที่ถ่าย เพราะบางบริเวณมีแสงมากไปหรือต่ำไปหรือมีการกระจายของแสงไม่ทั่วถึงทั้งบริเวณ เช่นในบริเวณที่อยู่ใกล้หลอดไฟ หรือหน้าต่างก็จะมีแสงตกกระทบมาก ส่วนถัดไปก็จะมีแสงลดหลั่นกันไป แต่เนื่องจากกล้องจะใช้ค่าเฉลี่ยของทั้งบริเวณรวมกันแล้วรับแสงให้อัตโนมัติคังนั้นจะทำให้ภาพที่ได้มีความเข้มแสงแตกต่างกันมากในแต่ละบริเวณ และการใช้กล้องแต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกัน เพราะกล้องต่างรุ่นหรือต่างบริษัทกันก็จะมีความเร็วต่อแสงและช่วงกว้างของความเข้มแสงต่างกันทำให้คุณภาพของภาพที่ได้ต่างกันไปด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการนำภาพที่ได้มาทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อนที่จะทำการประมวลผลในขั้นต่อ ๆ ไป

2.1.1 การหาค่าเฉลี่ยของภาพ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้นำภาพที่อยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลแบบ AVI ซึ่งมีลักษณะของแฟ้มภาพที่เป็นการนำภาพเป็นเฟรม ๆ มาวางต่อเนื่องกัน แต่คุณภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอจะมีความชัดอยู่ในระดับหนึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของกล้อง และสภาพแวดล้อมของแสงในตำแหน่งที่ถ่ายและความนิ่งและการปรับโฟกัสของกล้องในขณะที่ถ่ายภาพ ซึ่งภาพที่ได้หลังจากที่นำมาทำการจับเฟรมให้อยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลแบบ BMP แล้วส่วนใหญ่จะมีจุด(noise)รบกวนอยู่เป็นจำนวนมากดังนั้นจึงทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพได้โดยใช้วิธีการนำเฟรมของภาพจำนวนหนึ่งมาทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าระดับความเทาแสดงดังสมการที่ (2-1)

$$G_{(x,y)} = \frac{(g_{(x1,y1)} + g_{(x2,y2)} + g_{(x3,y3)} + \dots + g_{(xn,yn)})}{n} \quad (2-1)$$

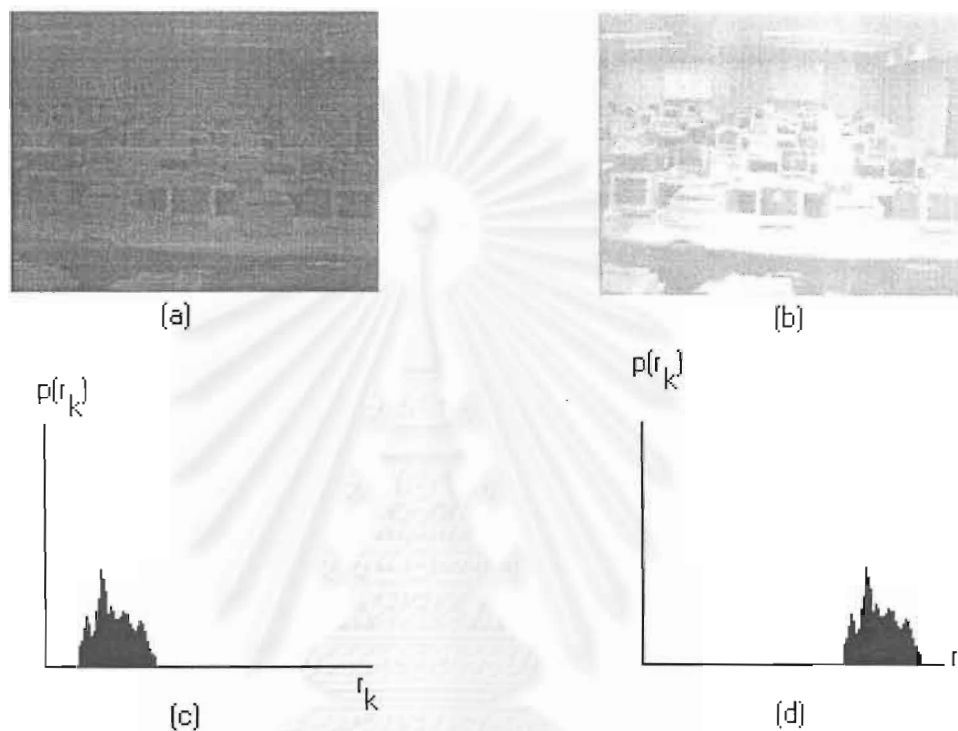
$$G_{(x,y)} = \text{ค่าระดับความเทาของภาพผลลัพธ์ตำแหน่ง (x,y)}$$

$$g_{(xn,yn)} = \text{ค่าระดับความเทาของตำแหน่ง (x,y) ของภาพเฟรมที่ } n$$

$$n = \text{จำนวนเฟรมที่นำมาเฉลี่ย}$$

2.1.2 Histogram Equalization

ภาพที่ได้จากกล้องบางครั้งอาจเกิดการกระจายของระดับความเทาของภาพจะไปรวมตัวกันที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งเป็นกลุ่ม เช่นถ้าภาพมีลักษณะมืดค่าระดับความเทา ก็จะจับกลุ่มกันทางด้านค่าต่ำ ๆ แต่ถ้าภาพมีลักษณะสว่างค่าระดับความเทา ก็จะจับกลุ่มกันทางด้านค่าสูง ๆ สามารถแสดงภาพของ ฮิสโตแกรม ได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงภาพและฮิสโตแกรมของภาพ (a) ภาพที่มีลักษณะค่อนข้างมืด (b) ภาพที่มีลักษณะค่อนข้างสว่าง (c) เป็นภาพฮิสโตแกรมของภาพ a (d) เป็นภาพฮิสโตแกรมของภาพ b

เราสามารถเขียนฮิสโตแกรมในรูป Discrete Function ได้ดังสมการที่ (2-2)

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad (2-2)$$

r_k = ค่าระดับความเทาที่ k

n_k = จำนวนจุดในภาพที่มีค่าระดับความเทา k

n = จำนวนจุดทั้งหมดของภาพ

k = ค่าระดับความเทา 0,1,2,3,...,L-1
โดย 0=ดำ ; L-1=ขาว

และเขียนรูปแบบการ Transform function ได้ดังสมการ (2-3)

$$S = T(r) \quad (2-3)$$

ถ้าพิจารณาให้ภาพมีระดับความเทาเท่ากับ w ระดับจะได้ Transform Function ดังสมการ (2-4)

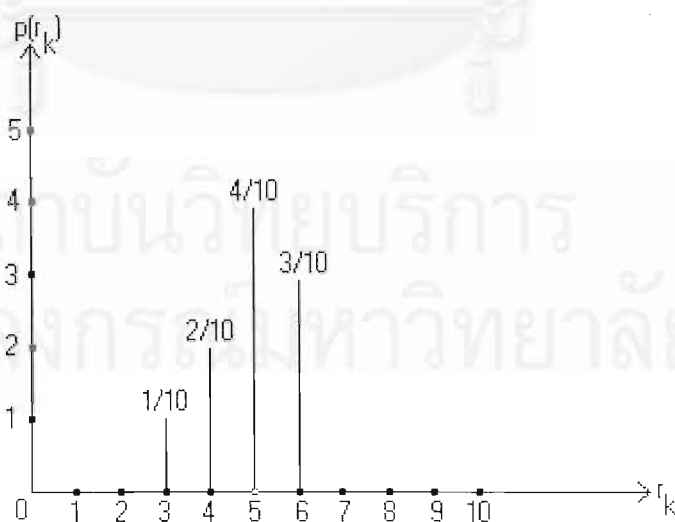
$$T(r) = w \sum_{w=0}^r p(w) \quad (2-4)$$

แทนค่าสมการ (2-4) ในสมการ (2-3) จะได้ผลลัพธ์ดังสมการ (2-5)

$$S = w \sum_{w=0}^r \frac{n_w}{n} \quad (2-5)$$

W =dummy variable of r เช่นกำหนดให้ $W=0...255$ ในกรณีเป็นภาพ 8 บิต/จุด

ตัวอย่างเช่นภาพที่มีฮิสโตแกรมดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาพฮิสโตแกรมก่อนทำ Histogram Equalization

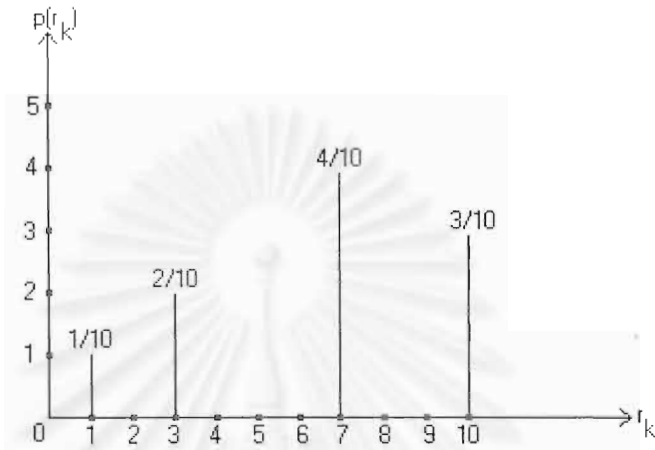
ที่ค่าระดับความเทา r_3 จะได้ $S = 10(1/10) = 1$

r_4 จะได้ $S = 10((1/10) + (2/10)) = 3$

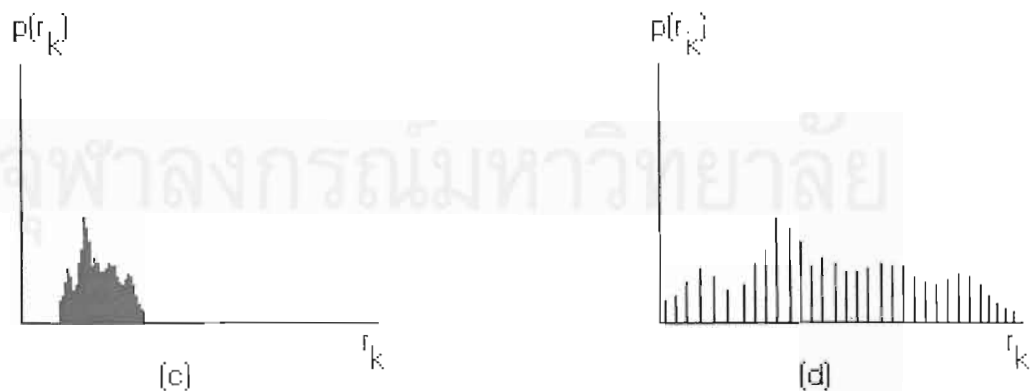
r_5 จะได้ $S = 10((1/10) + (2/10) + (4/10)) = 7$

r_6 จะได้ $S = 10((1/10) + (2/10) + (4/10) + (3/10)) = 10$

จะได้ภาพใหม่ที่มีฮิสโตแกรมหลังทำ Histogram Equalization ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพฮิสโตแกรมหลังทำ Histogram Equalization



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาพ (a) ภาพก่อนทำ Histogram Equalization (b) ภาพหลังทำ Histogram Equalization (c) ฮิสโตแกรมของภาพ a (d) ฮิสโตแกรมของภาพ b

จะเห็นได้ว่าหลังจากทำ Histogram Equalization แล้วค่าระดับความเทาจะกระจายกันออกไปไม่รวมกันเป็นกลุ่มรูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของภาพที่มีการกระจายค่าระดับความเทาและหลังจากการทำ Histogram Equalization

2.2 การหาขอบของรูปภาพ(Edge Detection)

2.2.1 การหาขอบของวัตถุในภาพด้วยวิธีการใช้แมสก์ (Mask)

การประมวลผลภาพ ด้วยวิธีการหาขอบ (Edge Detection) เพื่อหาขอบเขตของวัตถุ ซึ่งมีวิธีการหาขอบอยู่หลายวิธีซึ่งวิธีการใช้แมสก์ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีกาใช้กันอย่างแพร่หลาย พิจารณาจากภาพที่ใช้ในการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์จะมีรูปแบบอยู่ในรูปของการประกอบรวมกันของจุดที่อยู่ในระนาบ 2 มิติ x และ y โดย x จะแทนตำแหน่งของพิกัดในแนวนอน y จะแทนตำแหน่งของพิกัดในแนวตั้ง และพิจารณาที่ตำแหน่ง (x,y) ใด ๆ จะแทนค่าฟังก์ชัน $f(x,y)$ เป็นค่าความเข้มของแสงในกรณีที่เป็นภาพขาวดำ และเป็นค่าของสีในกรณีที่เป็นภาพสีแต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะภาพขาวดำ

จากพื้นฐานทางคณิตศาสตร์การหาค่าอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของฟังก์ชันที่จุด (x,y) ใด ๆ ก็คือค่าความชัน ณ.จุดนั้น และภาพที่บริเวณขอบของภาพคือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าฟังก์ชันสูงก็คือมีการเปลี่ยนค่าฟังก์ชันจากบริเวณรอบข้างมาก

พิจารณาฟังก์ชัน $f(x,y)$

อนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของฟังก์ชัน $f(x,y)$ แทนด้วย $\nabla f(x,y)$

และเรียก $\nabla f(x,y)$ ว่า gradient ของ f ที่ตำแหน่ง (x,y)

โดย

$$\nabla f(x,y) = \frac{df(x,y)}{dx} + \frac{df(x,y)}{dy} \quad (2-6)$$

หรือเขียนในรูปของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\nabla f(x,y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

จะได้ magnitude ของเวกเตอร์ได้ดังสมการ (2-6)

$$\text{mag}(\nabla f) = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2-8)$$

พิจารณาตำแหน่งของจุดใด ๆ ของภาพที่อยู่ติดกันชิดกัน 9 ตำแหน่งดังรูปที่ 2.5

Z1	Z2	Z3
Z4	Z5	Z6
Z7	Z8	Z9

รูปที่ 2.5 แมสก์ของจุด 3x3

จากรูปที่ 2.5 ค่า z จะแทนค่าระดับความเทาของตำแหน่งนั้น ๆ ในแมสก์
พิจารณาที่ตำแหน่ง z5, z6 และ z8 จะได้การเปลี่ยนแปลงดังนี้

การเปลี่ยนแปลงในแนวแกน y เท่ากับ (z5-z8)

การเปลี่ยนแปลงในแนวแกน x เท่ากับ (z5-z6)

จากสมการที่ (2-8) เราจะได้ว่า

$$\nabla f = [(z5 - z8)^2 + (z5 - z6)^2]^{1/2}$$

หรือเขียนในรูปแบบของค่าสัมบูรณ์ได้ดังนี้

$$\nabla f = |z5 - z8| + |z5 - z6|$$

และเมื่อพิจารณาจุดเป็นเมตริกซ์ขนาด 3x3 ดังแมสก์ ในรูปที่ 1 จะได้ว่า ที่ตำแหน่ง z5

$$\nabla f = |(z7 + z8 + z9) - (z1 + z2 + z3)| + |(z3 + z6 + z9) - (z1 + z4 + z7)| \quad (2-7)$$

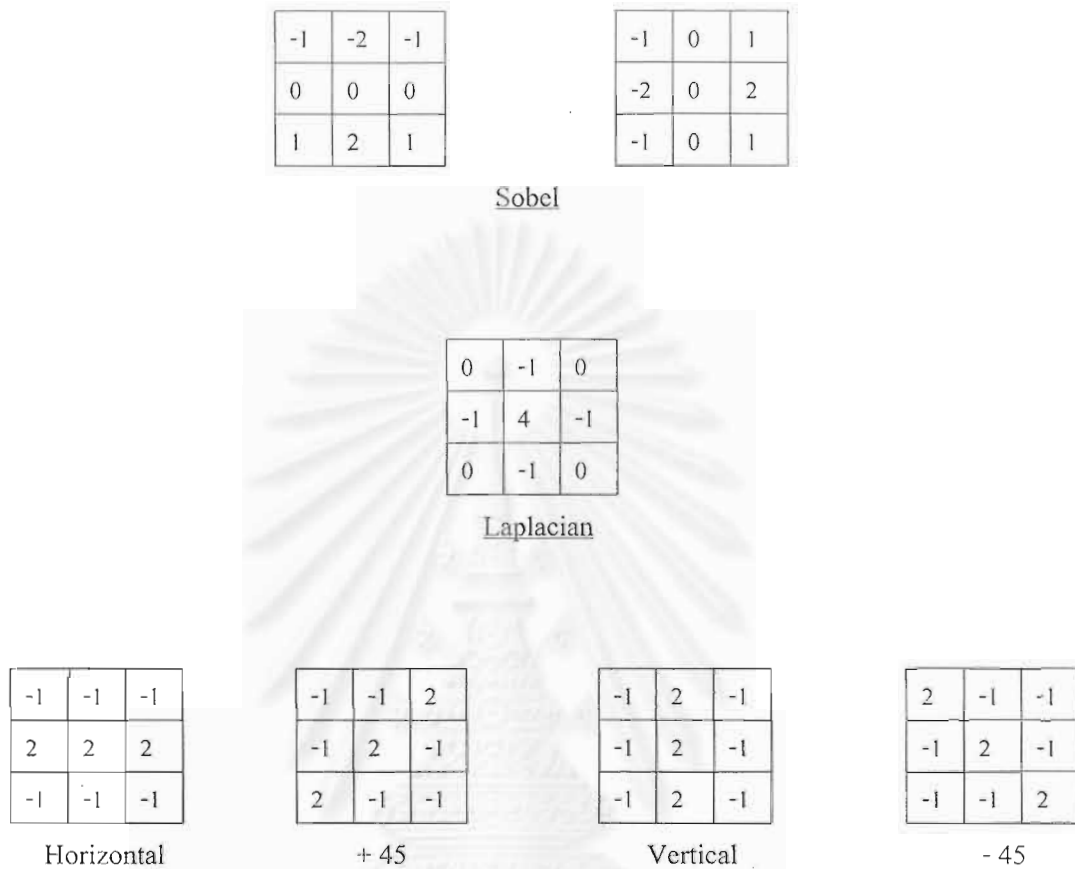
จากสมการ (2-7) เขียนในรูปแบบของแมสก์ได้ดังรูปที่ 2.6

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

รูปที่ 2.6 Prewitt แมสก์ 3x3

เรียกเมสก์นี้ว่า Prewitt operators นอกจากนี้ยังมีเมสก์ รูปแบบอื่น ๆ ที่ใช้ในการหาขอบของภาพอีกดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปแบบของเมสก์แบบอื่น ๆ ที่ใช้ในการหาขอบ

จากการวิจัยพบว่าการใช้เมสก์ที่ใช้กันทั่วไปเช่น Prewitt, Sobel หรือ Laplacian สามารถหาขอบของวัตถุในภาพได้ในระดับหนึ่งแต่การทดลองใช้เมสก์แบบต่าง ๆ พบว่ารูปแบบของเมสก์ที่แสดงดังรูป 2.8 สามารถหาขอบของภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัยได้ดีที่สุด เพราะจากลักษณะของจอภาพซึ่งเป็นวัตถุขนาดค่อนข้างใหญ่และมีรูปทรงแบบเรขาคณิตคือมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมและมีมุมที่ชัดเจนซึ่งรูปแบบที่สามารถจับได้จะมีลักษณะของแนวเส้นตรงในแนวตั้งและแนวนอนเป็นส่วนใหญ่แต่ในการวางตัวของวัตถุจะมีการวางตัวเอียงไปทางซ้ายหรือขวาบ้างทำให้เมสก์ในแนวทะแยงถูกนำมาใช้ด้วย ซึ่งจากการวิจัยพบว่าเมสก์ลักษณะนี้สามารถตรวจจับขอบของจอภาพได้เกือบทั้งหมดและขอบของวัตถุที่ตรวจจับได้จะมีความกว้างเหมาะสมคือมีความหนาของขอบไม่มากแต่ก็มีรายละเอียดของขอบครบ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมสก์ชนิดนี้จะไม่สามารถจับขอบได้ในกรณีที่ขอบของจอภาพมีระดับความเทาใกล้เคียงกับฉากหลังมาก ๆ

0	0	-1	-1	0	0	0
0	0	-1	-1	0	0	0
0	0	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	24	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	0	0
0	0	0	-1	-1	0	0
0	0	0	-1	-1	0	0

รูปที่ 2.8 แมสก์ที่หาขอบได้ดีที่สุดจากการทดสอบกับภาพตัวอย่าง

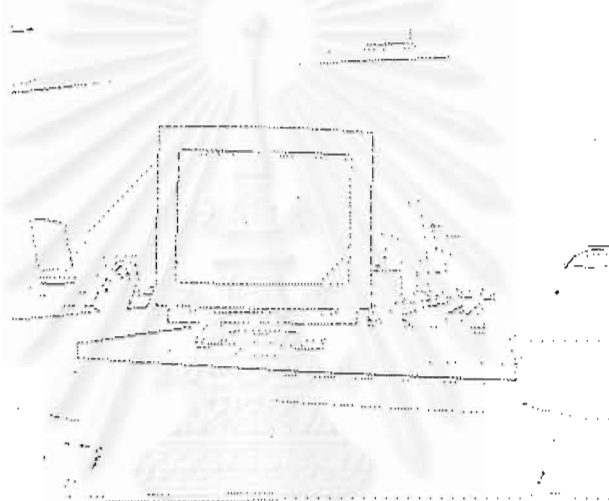
2.2.2 การตรวจหาขอบของภาพด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์

เนื่องจากมีแนวความคิดที่ว่าจุดที่เป็นขอบของวัตถุในภาพจะมีความแตกต่างจากจุดรอบข้างมากจึงแสดงให้เห็นเป็นขอบของวัตถุขึ้นมาโดยขอบของวัตถุหาได้จากค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ของจุดรอบข้างในแนวดิ่งและแนวนอน

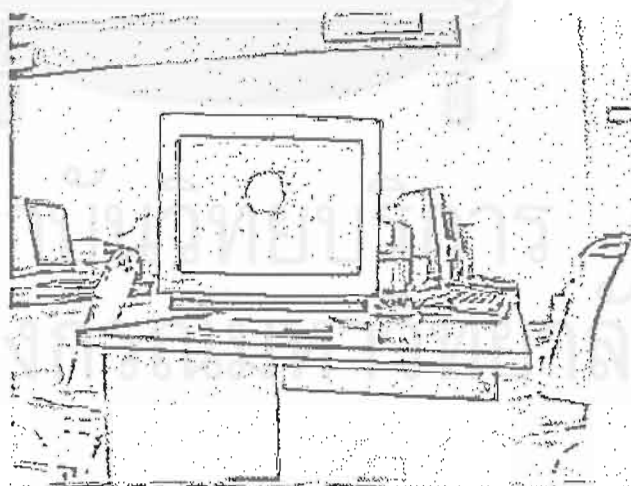
จากแมสก์ที่ใช้ในหัวข้อ 2.2.1 สามารถตรวจจับขอบของวัตถุได้ในระดับหนึ่งแต่ขอบที่ได้จากแมสก์ตามรูปที่ 2.8 นั้นเนื่องจากเป็นแมสก์ที่มีขนาด 7×7 และมีการตรวจจับแนวขอบมีความกว้าง 2 จุดจึงทำให้ขอบของวัตถุที่ตรวจจับได้มีความกว้างมากซึ่งขอบที่มีความกว้างมากจะทำให้การประมวลผลในขั้นตอนของการเปรียบเทียบขอบภาพของวัตถุกับวัตถุต้นแบบต้องใช้เวลาในการคำนวณมากเพราะแนวเส้นตรงที่มีขนาดความกว้างของเส้นมากต้องนำมาหาเส้นที่เป็นตัวแทนของเส้นขอบทั้งหมดเพื่อนำไปเปรียบเทียบขอบเป็นผลทำให้การประมวลผลในการตรวจหาขอบภาพมากไปด้วย จึงได้นำวิธีหาขอบภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์มาใช้ร่วมกับแมสก์ในหัวข้อที่แล้ว เพื่อนำขอบของทั้ง 2 วิธีมาตรวจสอบร่วมกันเพื่อให้ได้ขอบของภาพที่มีขนาดของขอบลดลงแต่ยังมีรายละเอียดขอบครบถ้วนดังตัวอย่าง จากรูปที่ 2.9 (a) จะเห็นว่าวิธีใช้แมสก์ตามรูป 2.8 หลังจากตรวจจับขอบภาพตัวอย่างแล้วจะได้ขอบภาพส่วนใหญ่ครบแต่ขอบที่ได้จะมีขนาดที่กว้าง ในรูป (b) เป็นการหาขอบของวัตถุในภาพโดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์เห็นได้ว่าเส้นขอบที่ได้จะมีขนาดเส้นขอบที่บางแต่มีเส้นขอบบางส่วนไม่ต่อเนื่องและขาดหายไป และรูป (c) เป็นการนำวิธีการหาขอบทั้ง 2 วิธีมาใช้ร่วมกันจะเห็นได้ว่าจะได้ขอบภาพที่บางและมีรายละเอียดครบ



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างขอบภาพ (a) ขอบภาพที่ได้จากการใช้แมสก์ตามรูป 2.8 (b) ขอบภาพที่ได้จากการใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ (c) ขอบภาพที่ได้จากการใช้ทั้งใช้แมสก์และหาค่าเฉลี่ยร่วมกัน

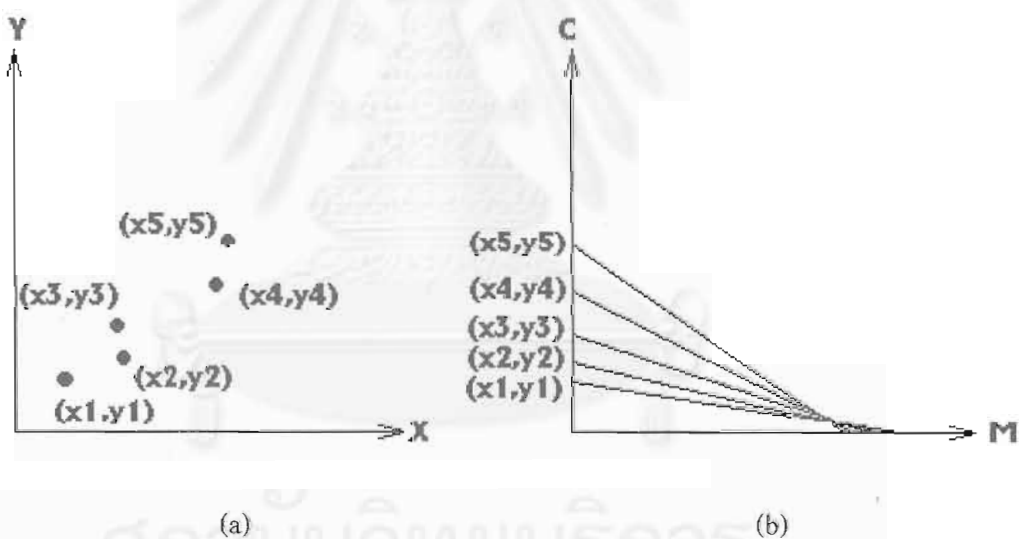
2.3 Hough Transform [5]

ปัญหาที่พบหลังจากการหาขอบของวัตถุก็คือ ขอบที่หาได้ไม่มีความต่อเนื่องคืออาจมีขอบบางส่วนขาดหายไป หรือคุณภาพของภาพที่นำมาใช้ไม่ดีพอมีจุด (noise) ปรกวนมากเป็นเหตุให้เวลาหาขอบแล้วทำให้ขอบไม่สมบูรณ์ และปัญหาอีกประการหนึ่งก็คือเมื่อเกิดการซ้อนกันของวัตถุจะไม่สามารถเห็นขอบของวัตถุที่ถูกบังได้ วิธีหนึ่งที่จะนำมาช่วยแก้ปัญหของขอบไม่ต่อเนื่องและการบังกันของวัตถุคือใช้วิธีของ Hough Transform เป็นวิธีการที่พิจารณาความสัมพันธ์ของจุดแต่ละจุดของภาพกับทุกจุดในภาพ ซึ่งวิธีการของการทำ Hough Transform ทำให้จุดต่าง ๆ ของภาพแปลงไปอยู่ในอีกโดเมนหนึ่ง และหลังจากปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นความเข้มแล้ว แล้วทำการแปลงกลับ (De-Hough) ให้อยู่ในโดเมนเดิมสามารถทำให้เส้นต่าง ๆ ที่ขาดหายไปเชื่อมต่อกันได้

หลักการของการทำ Hough Transform มีดังนี้คือจากพิกัดจุด (X, Y) ของรูปใด ๆ

พิจารณาที่จุด (X_i, Y_i) ใด ๆ และจากสมการเส้นตรง $Y_i = mX_i + c$

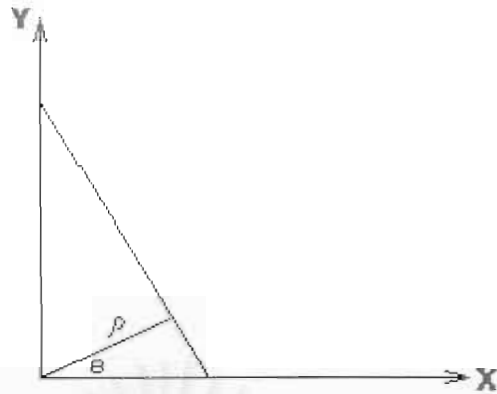
จะเห็นได้ว่ามีเส้นตรงจำนวนมาก ที่ผ่านจุด (X_i, Y_i) เมื่อเปลี่ยนค่า m และ c และในทางกลับกันเมื่อ m และ c คงที่ก็มีจุด (X_i, Y_i) หลายจุดที่สอดคล้องกับสมการ $Y_i = mX_i + c$



รูปที่ 2.10 แสดงภาพของจุด (a) จุดในพิกัด X, Y Point Images Spaces (b) จุดในระบบ $M-C$ Line in Parameter Space

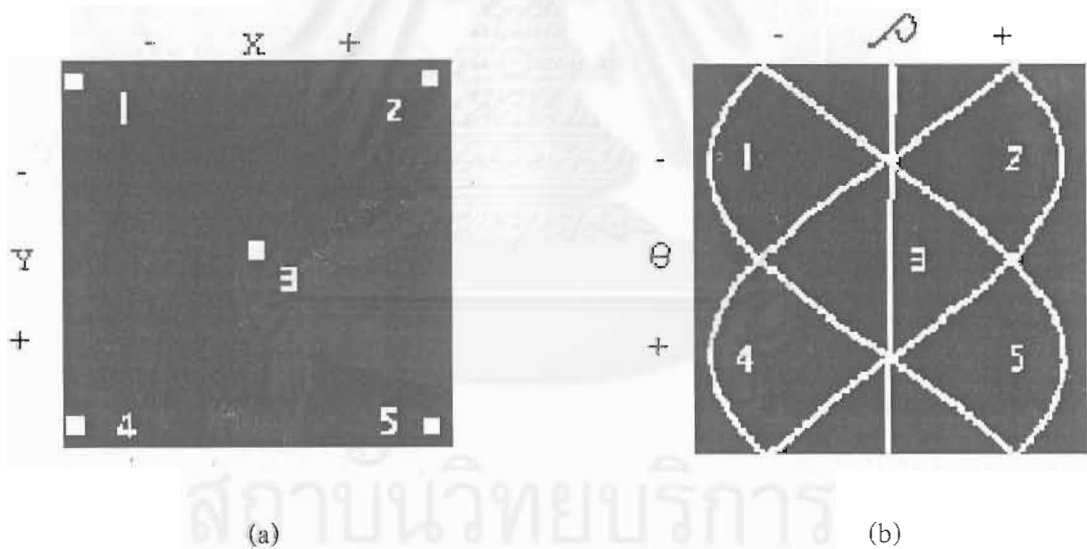
จากรูปที่ 2.10 เมื่อนำจุดที่อยู่ในระบบพิกัด X, Y (Image space) เปรียบเทียบกับเส้นในระบบ Parameter Space (กราฟ $M-C$) จะเห็นได้ว่าในระบบ Parameter Space บริเวณที่เส้นตรงตัดกันจะแสดงแนวของเส้นตรงที่ลากตามการวางตัวของจุดต่าง ๆ ในระบบพิกัดนั่นเอง และถ้ามองสมการเส้นตรงในระบบพิกัดเชิงขั้วจะได้สมการดังนี้

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (2-8)$$



โดย ρ = ระยะทางตั้งฉากระหว่างเส้นตรงไปยัง (X_0, Y_0)
 θ = มุมของ ρ เทียบกับแกน X

รูปที่ 2.11 แสดงเส้นตรงในระบบพิกัดเชิงขั้ว

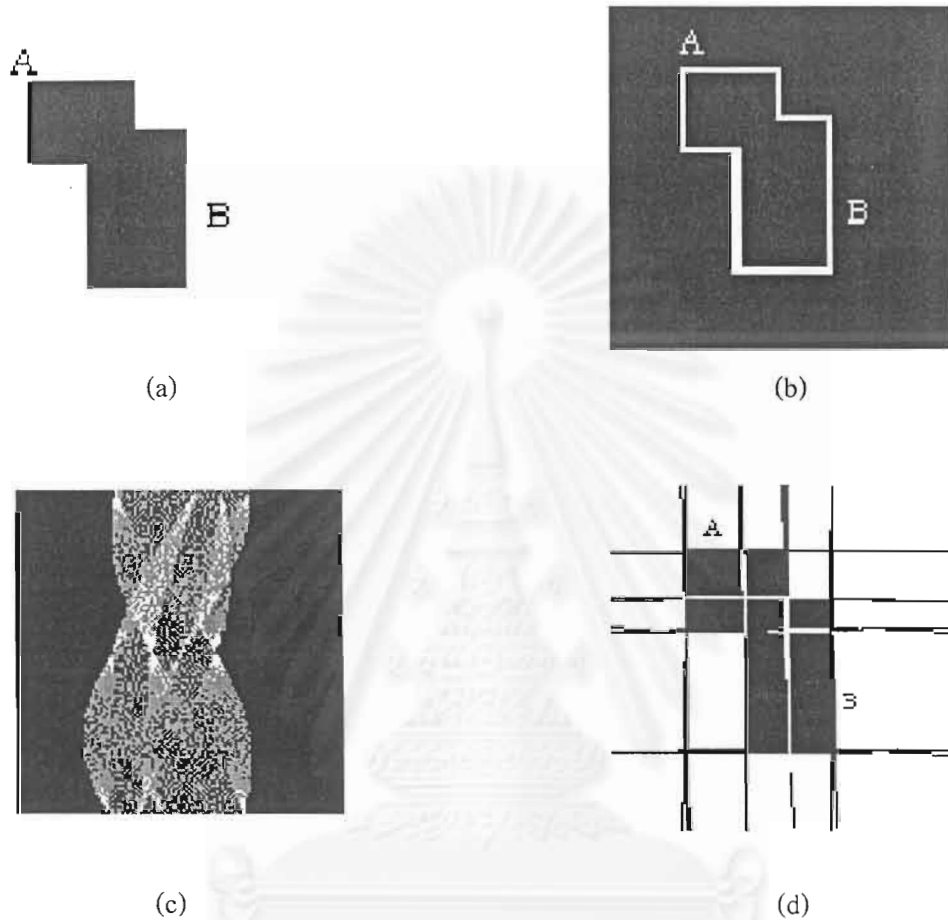


รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของจุดหลังจากทำ Hough Transform (a) จุดในพิกัด X,Y (b) ภาพของจุดในรูป a หลังทำ Hough Transform

รูปที่ 2.12 แสดงการแปลงจุดในพิกัด X,Y ในรูปแบบของพิกัดเชิงขั้วหลังจากทำ Hough Transform แล้วและทำการปรับค่าพารามิเตอร์เช่นความเข้มของแสงลงเพื่อให้เหลือเฉพาะจุดตัดของเส้นตรงต่าง ๆ แล้วทำการ De-Hough คือทำการแทนค่า θ และ ρ ในสมการ

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$$

เพื่อทำการคำนวณย้อนกลับให้ได้ X และ Y ก็จะได้เส้นตรงที่ต่อเนื่องกลับมา
รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างของการทำงานของ Hough Transform แก้ปัญหาการหาค่าพิกัดของรูปสี่เหลี่ยม

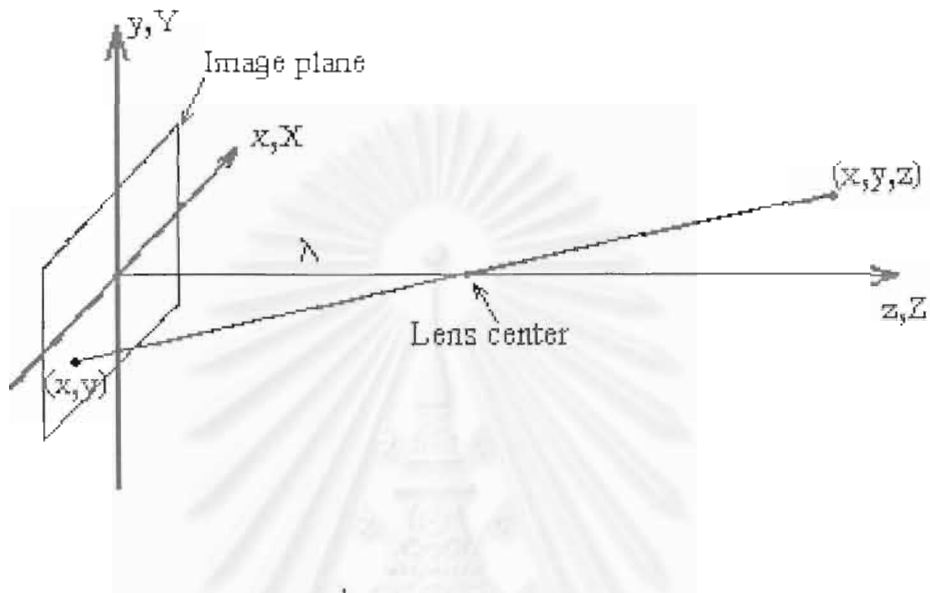


รูปที่ 2.13 ตัวอย่างของการทำงานของ Hough Transform (a) แสดงรูปสี่เหลี่ยม A และ B ที่มีมุมเหลี่ยมซ้อนกัน (b) ภาพสี่เหลี่ยม A และ B หลังทำการตรวจจับขอบ (c) ภาพแสดงผลที่ได้หลังจากทำ Hough Transform โดยส่วนที่เป็นจุดสว่างเข้มจะเป็นแนวที่ขอบเส้นตรงในรูป b ตัดกัน และ (d) เป็นผลของการทำ De-Hough จะเห็นได้ว่าจะทำให้เห็นแนวขอบกลับมา

2.4 Camera Model [6]

เป็นภาพที่เกิดจากการใช้กล้องถ่ายภาพวัตถุซึ่งเป็นลักษณะของวัตถุที่เป็น 3 มิติแต่เมื่อแสงที่กระทบวัตถุและสะท้อนผ่านเลนส์ของกล้องตกกระทบกับฉากรับภาพของกล้องซึ่งเป็นระนาบ 2 มิติ ซึ่งภาพที่ได้จะมีลักษณะเหมือนจริงคือวัตถุที่อยู่ใกล้จะมีขนาดใหญ่วัตถุที่อยู่ไกลออกไปก็จะมีขนาดเล็ก
 รูปที่ 2.14 โดยมี λ เป็นความยาวโฟกัสของเลนส์ โดยเลนส์มีตำแหน่งอยู่ที่ $(0, 0, \lambda)$ โดยมี

(x,y,z) เป็นพิกัดกล้อง (Camera Coordinate) และ (X,Y,Z) เป็นพิกัดจริง (World Coordinate) โดยมีวัตถุอยู่ด้านหน้าเลนส์และอยู่ไกลออกไปมากกว่า λ ซึ่งวัตถุที่อยู่ตำแหน่ง (X,Y,Z) จะทำให้เกิดภาพที่ตำแหน่ง (x,y) บนฉากรับภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และจากทฤษฎีสองเหลี่ยมคล้ายทำให้ได้ x และ y ดังสมการที่ (2-9) และ (2-10)



รูปที่ 2.14 แสดง Camera Model

(x,y,z) Camera Coordinate System : (X,Y,Z) World Coordinate System

จากภาพจะได้

$$\frac{x}{\lambda} = -\frac{X}{Z - \lambda} = \frac{X}{\lambda - Z}$$

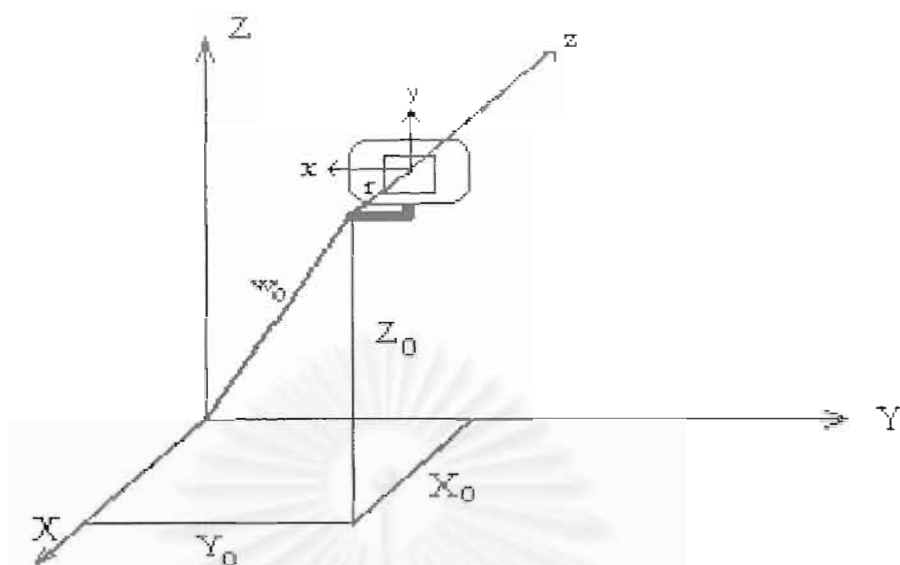
$$\frac{y}{\lambda} = -\frac{Y}{Z - \lambda} = \frac{Y}{\lambda - Z}$$

ดังนั้น

$$x = \frac{\lambda X}{\lambda - Z} \quad (2-9)$$

$$y = \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} \quad (2-10)$$

และเมื่อพิจารณาจากตำแหน่งกล้องและตำแหน่งภาพที่เกิดดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดง Camera Model เมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งกล้องและตำแหน่งภาพที่เกิด

เมื่อ w_0 เป็นตำแหน่งของกล้อง และ r เป็นระยะห่างของตำแหน่งของภาพที่เกิดกับตำแหน่งของกล้องจากสมการ (2-9) และ (2-10) เมื่อพิจารณาถึง r จะได้ตั้งสมการ (2-11) และ (2-12)

$$x = \lambda \frac{(X - X_0) \cos \theta + (Y - Y_0) \sin \theta - r_1}{-(X - X_0) \sin \theta \sin \alpha + (Y - Y_0) \cos \theta \sin \alpha - (Z - Z_0) \cos \alpha + r_3 + \lambda} \quad (2-11)$$

$$y = \lambda \frac{-(X - X_0) \sin \theta \cos \alpha + (Y - Y_0) \cos \theta \cos \alpha + (Z - Z_0) \sin \alpha - r_2}{-(X - X_0) \sin \theta \sin \alpha + (Y - Y_0) \cos \theta \sin \alpha - (Z - Z_0) \cos \alpha + r_3 + \lambda} \quad (2-12)$$

โดย

x, y = ตำแหน่งของภาพที่เกิดขึ้นบน Image plane

X, Y, Z = ตำแหน่งของวัตถุ

X_0, Y_0, Z_0 = ตำแหน่งของกล้อง

r_1, r_2, r_3 = ระยะของ Image plane กับตำแหน่งของกล้องในแนว X, Y, Z

λ = ความยาวโฟกัสของเลนส์

θ = มุมหันของกล้องบนแกน Z

α = มุมหันของกล้องเทียบกับระนาบ XY

2.5 การแปลงพิกัด 3 มิติ (3-D Transform) [7]

การแปลงพิกัดในระบบ 3 มิติเป็นการแปลงพิกัดจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งใหม่โดยใช้พิกัด (x,y,z) ซึ่งการแปลงพิกัดที่สำคัญมี 3 ลักษณะคือ การเปลี่ยนตำแหน่ง (Translation), การเปลี่ยนขนาด (Scaling) และการหมุน (Rotation) ของวัตถุในระบบ 3 มิติ

2.5.1 การเปลี่ยนตำแหน่ง (Translation)

ให้ตำแหน่ง (X,Y,Z) เป็นตำแหน่งจุดใด ๆ ในพิกัดระบบ 3 มิติเราสามารถเขียนสมการในการเปลี่ยนตำแหน่งของพิกัดใหม่ได้ดังสมการ 2-13

$$\begin{aligned} X^* &= X + X_0 \\ Y^* &= Y + Y_0 \\ Z^* &= Z + Z_0 \end{aligned} \quad (2-13)$$

โดย

- X เป็นตำแหน่งเริ่มต้น
- X^* เป็นตำแหน่งใหม่
- X_0 เป็นระยะทางระหว่างตำแหน่งเริ่มต้นกับตำแหน่งใหม่

และสามารถเขียนสมการ 2-13 ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังสมการ 2-14

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2-14)$$

หรือเขียนในรูปของเวกเตอร์ได้ดังสมการ 2-15

$$v^* = Av \quad (2-15)$$

โดย

A เป็น Transformation เมตริกซ์

2.5.2 การเปลี่ยนขนาด (Scaling)

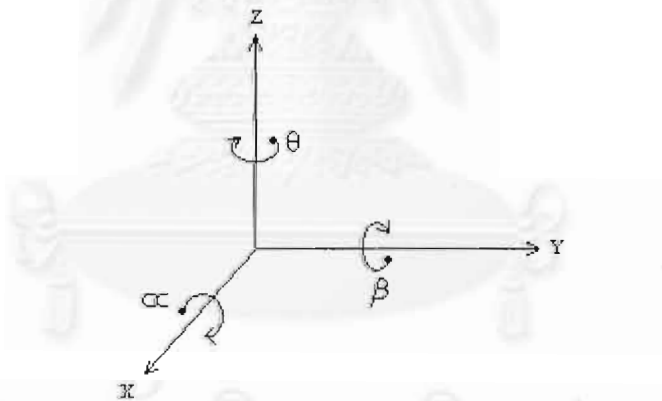
เป็นการเปลี่ยนขนาดของวัตถุในระบบ 3 มิติโดย S_x, S_y, S_z เป็นแฟกเตอร์ของขนาดที่เปลี่ยนแปลงสามารถแทนเมตริกซ์ในสมการ 2-16 ในสมการ 2-15 ได้ดังสมการที่ 2-17

$$S = \begin{bmatrix} S_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-16)$$

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2-17)$$

2.5.3 การหมุน (Rotation)

เป็นการหมุนของวัตถุหรือจุดเมื่อเทียบกับแกน X, Y และ Z ในระบบพิกัด 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การหมุนในระบบพิกัด 3 มิติ

สามารถเขียนเมตริกซ์ของการ Transform ของแกนต่างๆ ได้ดังนี้
การหมุนในแนวแกน Z

$$R_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-18)$$

การหมุนในแนวแกน X

$$R_\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-19)$$

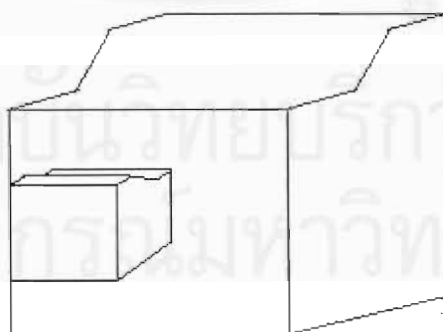
การหมุนในแนวแกน Y

$$R_\beta = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-20)$$

2.6 การเปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบ

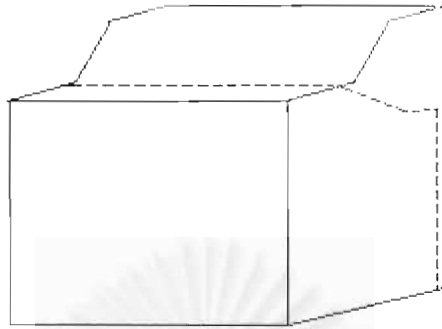
หลังจากนำภาพที่ประมวลผลมาทำการตรวจหาขอบของวัตถุแล้ว จะนำภาพขอบที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบซึ่งเก็บขนาดและรูปแบบ เอาไว้ก่อนแล้ว โดยนำมาเปรียบเทียบกับขอบของวัตถุที่ได้จากการตรวจหาขอบ มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. นำขอบของวัตถุที่พบบ้างคู่กับขอบของวัตถุต้นแบบดังรูปที่ 2.17



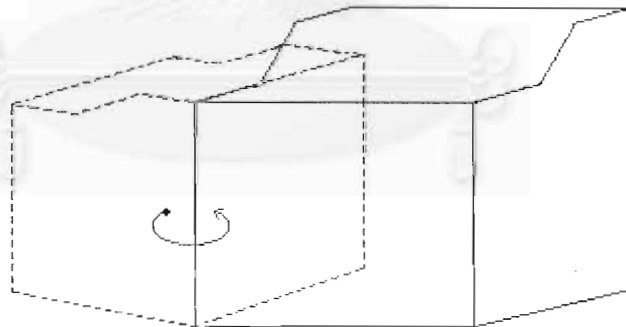
รูปที่ 2.17 การจับคู่ของขอบวัตถุกับวัตถุต้นแบบ

2. ขยายขอบของวัตถุต้นแบบให้สุดขอบของวัตถุ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การขยายขอบของวัตถุต้นแบบ

3. เมื่อขยายจนสุดแล้วให้ทำการหมุนวัตถุรอบแกนร่วมที่จำเป็นบรรจบกันดังแสดงในรูปที่ 2.19 แล้วพิจารณาด้านต่าง ๆ ที่เหลือว่าสอดคล้องกันหรือไม่ถ้ายังไม่สอดคล้องกันแสดงว่ายังไม่ใช้วัตถุต้นแบบให้นำด้านอื่นที่เหลือของวัตถุต้นแบบมาจับคู่ขอบใหม่แล้วทำซ้ำจากข้อ 2.6.1 ถึง 2.6.3

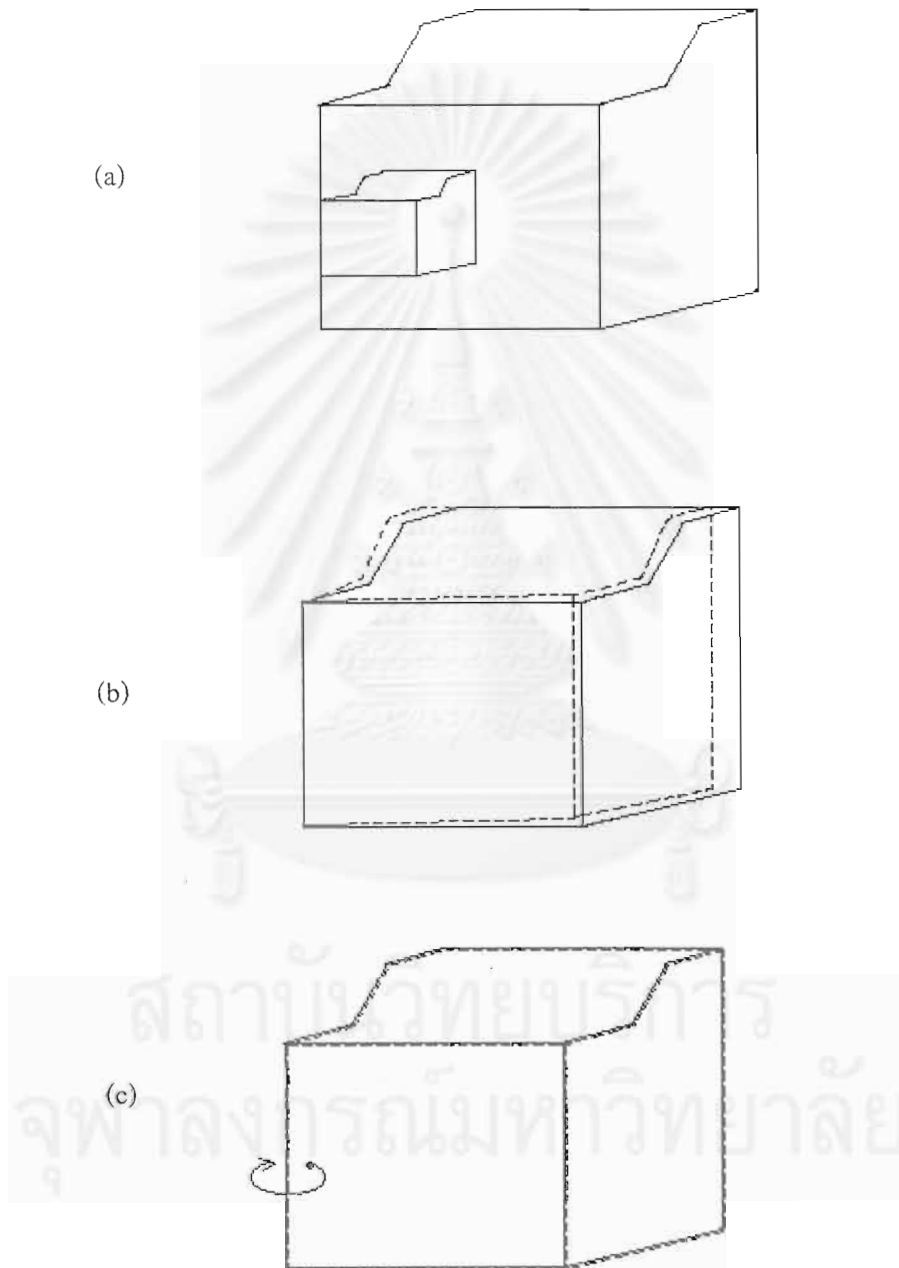


รูปที่ 2.19 การหมุนของวัตถุต้นแบบ

หากทำครบทุกด้านแล้วยังไม่มีส่วนที่สอดคล้องกันแสดงว่าวัตถุที่ถูกรตรวจสอบนั้นมีรูปร่างไม่เหมือนกับวัตถุต้นแบบ

4. จากรูปที่ 2.20 จะเห็นได้ว่าเมื่อพบส่วนของขอบวัตถุสอดคล้องกับวัตถุต้นแบบแล้วแสดงว่าวัตถุนั้นมีรูปร่างเหมือนวัตถุต้นแบบ แต่ในการเปรียบเทียบในความเป็นจริงแล้วคุณภาพของภาพวิถีทัศน

ที่ได้จากกล้องวิดิทัศน์นั้นหลังจากทำการจับเฟรมแล้วอาจมีขนาดคลาดเคลื่อนไปบ้าง และในการคำนวณขนาดของวัตถุที่ได้ทำการขยายขนาดแล้วก็มีส่วนคลาดเคลื่อนจากการปิดจุดทศนิยมเนื่องจากตำแหน่งของระบบพิกัดแบบ 2 มิติที่แสดงออกมาเป็นค่าจำนวนเต็ม ดังนั้นในการเปรียบเทียบขอบของวัตถุจึงต้องนำค่าคลาดเคลื่อนเหล่านี้มาพิจารณาด้วย โดยทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ในขณะประมวลผลโปรแกรม

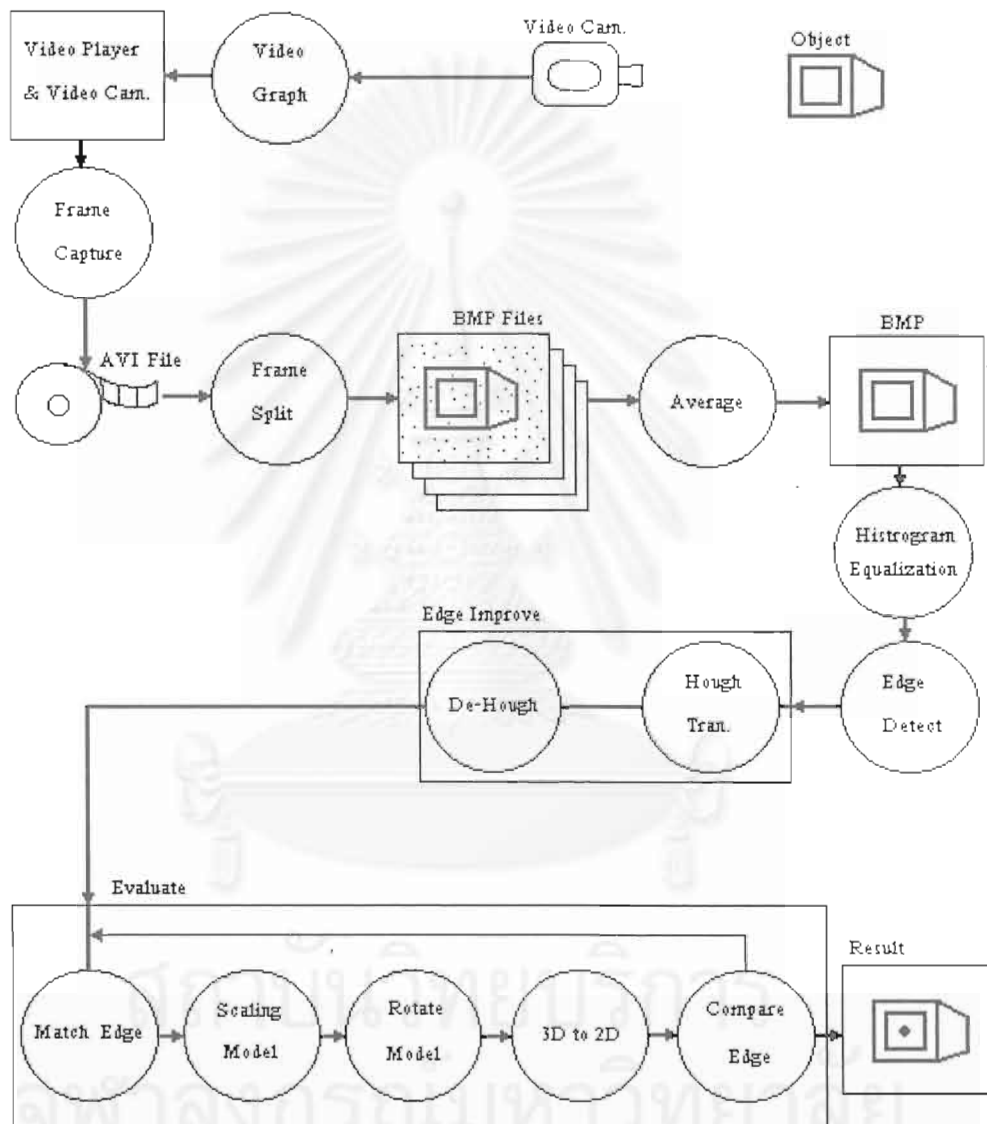


รูปที่ 2.20 ภาพแสดงเมื่อวัตถุที่ตรวจจับและวัตถุต้นแบบสอดคล้องกัน (a) นำวัตถุและต้นแบบมาจับคู่ขอบ (b) ทำการขยายขนาดวัตถุต้นแบบ (c) ทำการหมุนวัตถุต้นแบบรอบแกนร่วม

บทที่ 3

การตรวจหาขอบภาพ

ขั้นตอนในการตรวจหาขอบภาพคอมพิวเตอร์ที่จับภาพมาจากกล้องวิดีโอที่แบ่งออกเป็นหลายขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการตรวจหาขอบภาพคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนของการตรวจหาขอบภาพด้วยโปรแกรมมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้คือ นำกล้องวิดีโอไปถ่ายเครื่องคอมพิวเตอร์ในบริเวณที่ต้องการตรวจหาโดยอาจบันทึกเข้าสู่ม้วนวิดีโอหรือสามารถนำสัญญาณจากกล้องไปใช้โดยตรง หลังจากนั้นนำสัญญาณภาพที่ได้ไปทำการจับภาพ (Frame Capture)

ด้วยอุปกรณ์จับสัญญาณภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบของแฟ้มแบบ AVI จากนั้นนำข้อมูลแบบ AVI ไปทำการแปลงเป็นภาพที่อยู่ในรูปแบบของแฟ้มแบบ BMP เพื่อทำการประมวลผลภาพ ซึ่งภาพ BMP ที่ได้มานี้จะมีคุณภาพไม่ดีมากนักจึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยภาพโดยนำภาพจำนวนหลาย ๆ เฟรมมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อสร้างภาพที่มีคุณภาพดีขึ้น จำนวน 1 เฟรม หลังจากนั้นนำภาพที่ได้มาทำ Histogram Equalization เพื่อปรับปรุงการกระจายของระดับความเทาของภาพ เมื่อได้ภาพที่มีคุณภาพที่เหมาะสมแล้วขั้นต่อไปคือนำภาพมาทำการตรวจจับขอบของวัตถุภายในภาพ และทำการปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธี Hough & De-Hough Transform เมื่อได้ขอบของภาพที่ดีขึ้นแล้วขั้นต่อไปคือการนำขอบภาพที่ได้มาทำการประเมินว่าเป็นจอภาพหรือไม่โดย นำขอบของวัตถุและวัตถุต้นแบบมาเปรียบเทียบกัน โดยระหว่างการเปรียบเทียบจะต้องทำการขยายขนาดหมุนและแปลงมิติของวัตถุต้นแบบให้มาอยู่ในระบบพิกัดสองมิติเพื่อทำการเปรียบเทียบตลอดเวลาหากขอบของวัตถุและวัตถุต้นแบบสอดคล้องกันก็สรุปได้ว่าเป็นวัตถุที่มีรูปร่างเช่นเดียวกัน โดยแต่ละขั้นตอนนี้จะมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การถ่ายภาพด้วยกล้องวิดีโอ

ภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากกล้องวิดีโอที่ใช้ถ่ายภาพวิดีโอทั่วไป โดยใช้มาตรฐานในระบบ PAL ซึ่งมีความละเอียดในการสแกนทางด้านแนวนอน 576 เส้น และแนวตั้ง 768 เส้น โดยสถานที่ที่ใช้ในการถ่ายจะใช้ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ในสภาพปกติ คือภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยมีแสงจากภายนอกเข้ามาทางหน้าต่าง และ ประตูบางส่วน ขึ้นอยู่กับสถานที่ต่าง ๆ ที่ทำการถ่าย และในการถ่ายจะทำการถ่ายจากห้องปฏิบัติการที่มีการจัดรูปแบบห้องแตกต่างกันหลายรูปแบบ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ทำการถ่ายภาพของวัตถุหนึ่งจึงใช้ช่างตั้งกล้องเพื่อให้ภาพออกมามีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นเพื่อตัดปัญหาของภาพที่เกิดจากความไม่นิ่งของกล้องระหว่างการถ่าย

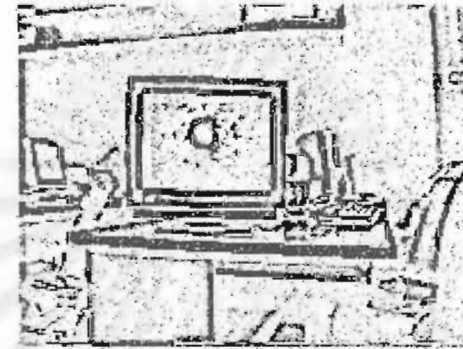
กล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพวิดีโอเพื่อนำมาใช้ในการวิจัยมี 3 ประเภทคือ

1. กล้อง Panasonic M3000
2. กล้อง SONY HandyMate
3. กล้อง SONY HandyCam

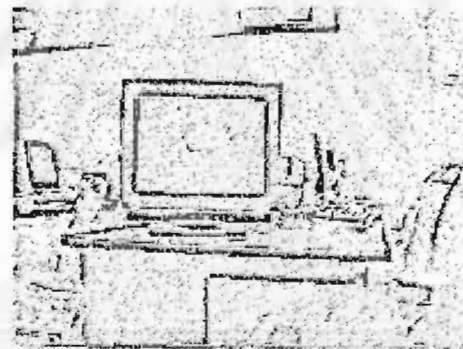
จากการทดลองโดยนำภาพที่ได้จากกล้องทั้ง 3 ชนิดซึ่งถ่ายจากสถานที่เดียวกันและในตำแหน่งเดียวกันมาทำการตรวจจับขอบภาพโดยภาพจากกล้องทั้ง 3 ตัวที่นำมาทดสอบจะไม่มีปรับปรุงคุณภาพของภาพใด ๆ ก่อนที่จะนำมาจับขอบภาพได้ด้วยอย่างผลที่ได้เปรียบเทียบกันดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยการทดลองจะทำการถ่ายจากบริเวณต่าง ๆ กันทั้งหมด 10 แห่งที่มีสภาพแสงต่าง ๆ กัน



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 3.2 แสดงภาพขอบที่ได้จากกล้องทั้ง 3 ชนิด (a) Panasonic
(b) SONY HandyMate (c) SONY HandyCam

ซึ่งจากการถ่ายจากบริเวณอื่น ๆ ก็ได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกัน และจากภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอที่พบว่าคุณภาพของภาพยังมีคุณภาพไม่ค่อยดีมากนัก ดังนั้นจึงต้องนำภาพที่ได้ไปทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อนที่นำไปประมวลผลในขั้นถัดไป

3.2 การนำภาพจากกล้องวิดีโอ หรือ เทปบันทึกภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์

หลังจากได้ภาพที่ถ่ายจากกล้องวิดีโอซึ่งอยู่ในรูปแบบของข้อมูลแบบแอนะล็อกแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะนำข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งอยู่ในรูปแบบของข้อมูลแบบดิจิทัล ซึ่งการนำข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. การนำสัญญาณภาพจากกล้องถ่ายภาพวิดีโอเข้าสู่เครื่องโดยตรง
2. การนำสัญญาณภาพจากม้วนเทปบันทึกภาพผ่านทางเครื่องเล่นวิดีโอที่ได้อาจมาจากการถ่ายมาจากกล้องวิดีโออีกทีหนึ่ง

การนำสัญญาณภาพแอนะล็อกเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์การแปลงสัญญาณภาพระบบ PAL เป็นข้อมูลแบบ AVI ของ Video V8 Captor ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้คือ

- สามารถจับสัญญาณระบบ PAL และ NTSC ได้สูงสุดดังนี้

ระบบ PAL รับได้สูงสุด 768 x 576

ระบบ NTSC รับได้สูงสุด 640 x 480

- มีอัตราการจับเฟรมได้สูงสุด 30 เฟรม/วินาที (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานด้วย)

- สามารถใช้จับสัญญาณภาพได้สูงสุดถึง 16 ล้านสี

เมื่อได้ภาพที่อยู่ในรูปแบบ AVI ซึ่งเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลแล้วสามารถนำไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ในขั้นตอนต่อไป

3.3 การแปลงข้อมูลภาพแบบ AVI ไปเป็นภาพแบบ BMP

เนื่องจากภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอมีคุณภาพไม่ดีมากนักดังนั้นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถสร้างภาพที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นจากภาพวิดีโอคือการนำภาพวิดีโอที่แปลงมาอยู่ในรูปของข้อมูลแบบ AVI ซึ่งมีรูปแบบภาพเป็นเฟรม ๆ หลายเฟรมต่อเนื่องกันไป และนำเฟรมเหล่านั้นมาทำการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละจุดภาพดังนั้นในการประมวลผลภาพจึงต้องแปลงข้อมูลในรูปแบบ AVI ไปเป็นข้อมูลแบบ BMP ซึ่งโปรแกรมที่ใช้สำหรับการแปลงข้อมูลแบบ AVI ไปเป็น BMP นั้นมีอยู่จำนวนมาก แต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โปรแกรมที่ชื่อ TS Tech V2I เป็นโปรแกรมแบบสาธารณะและสามารถนำมารวมกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้

3.4 การปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ย

หลังจากได้ภาพในรูปแบบเพิ่มข้อมูลแบบ BMP ของภาพที่เป็นบริเวณเดียวกันแต่มีจำนวนหลายเฟรมซึ่งภาพที่ได้มาจากการจับเฟรมในลักษณะนี้มักจะมีจุดรบกวน (noise) อยู่เป็นจำนวนมากเราสามารถกำจัดจุดรบกวนเหล่านี้ได้โดยนำภาพเหล่านั้นมาหาค่าเฉลี่ยด้วยสมการที่อธิบายในหัวข้อ 2.1.1 ดังนี้

$$G_{(x,y)} = \frac{(g_{(x1,y1)} + g_{(x2,y2)} + g_{(x3,y3)} + \dots + g_{(xn,yn)})}{n}$$

โดยหลังจากทำการเฉลี่ยภาพจากภาพหลาย ๆ เฟรม ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะได้ภาพที่มีจุดรบกวนลดลง แสดงตัวอย่างของภาพก่อนและหลังการหาค่าเฉลี่ยภาพได้ดังรูป 3.3



(a)



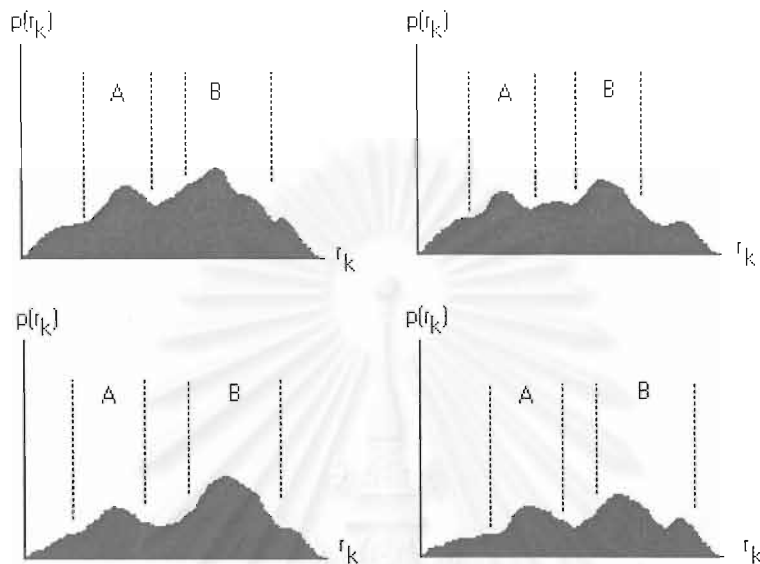
(b)

รูปที่ 3.3 การปรับปรุงภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ย (a) ภาพจำนวนหนึ่งเฟรมก่อนการปรับปรุงคุณภาพของภาพ (b) ภาพหลังจากปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ย

3.5 การวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของภาพ

จากภาพตัวอย่างที่ได้ทำการวิจัยที่สุ่มมา 20 ภาพจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 100 ภาพ เพื่อนำมาวิเคราะห์ฮิสโตแกรมแสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 3.4 พบว่ามีการเกาะกลุ่มกันของจุด อยู่บริเวณตรงกลางก่อนไปทางขวาของภาพ เพราะส่วนใหญ่ภาพภายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์แต่ละที่จะค่อนข้าง

สว่าง และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เช่นเครื่องคอมพิวเตอร์ จอภาพมอนิเตอร์ แป้นพิมพ์ และ เครื่องพิมพ์ มักจะมีสีครีมนซึ่งเป็นสีในโทนสว่าง ทำให้ภาพที่ถ่ายออกมาจึงมีการเกาะกลุ่มกันของจุดสว่างมาก และผนังห้องปฏิบัติการส่วนมากก็มักจะมีสีในโทนอ่อนจึงทำให้ภาพสว่าง จะมีบริเวณที่เป็นส่วนที่ในโทนมืดคือ ส่วนของบริเวณจอภาพที่เป็นจอแก้ว และบริเวณที่เป็นเงาใต้โต๊ะ แสดงส่วนต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ฮิสโตแกรมของภาพตัวอย่างบางภาพ โดย A เป็นส่วนที่มีมืด B เป็นส่วนที่สว่าง



(a)

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกลุ่มของระดับความเทา (a) ภาพต้นฉบับ



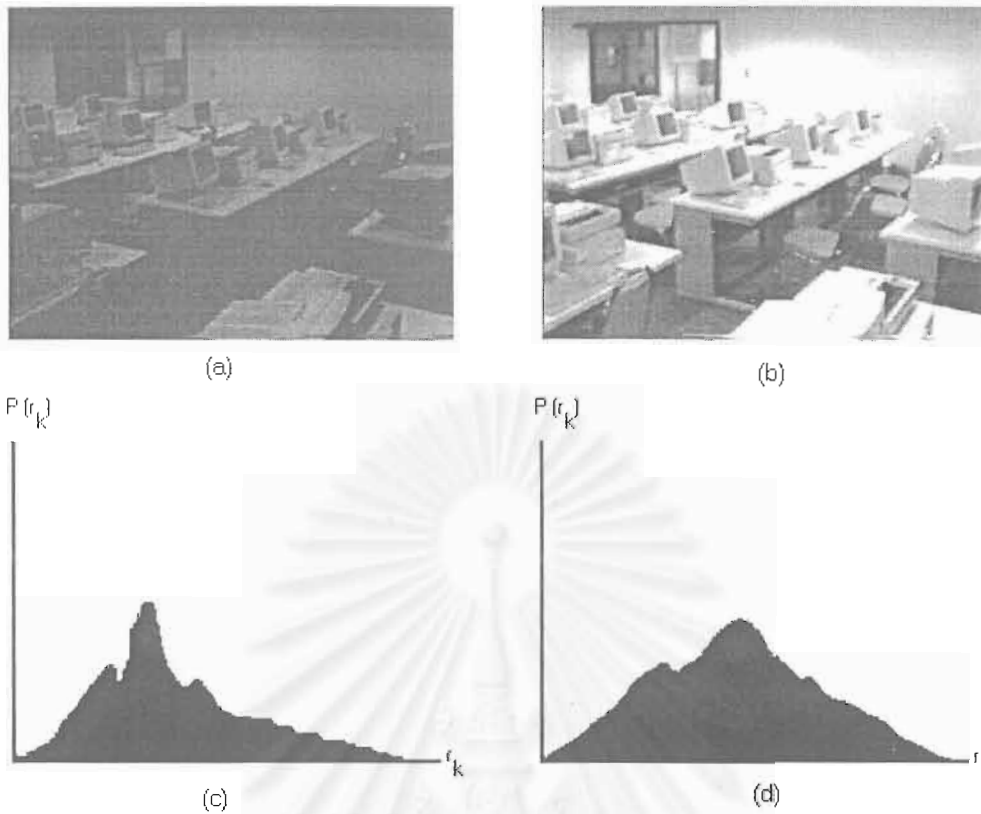
(b)



(c)

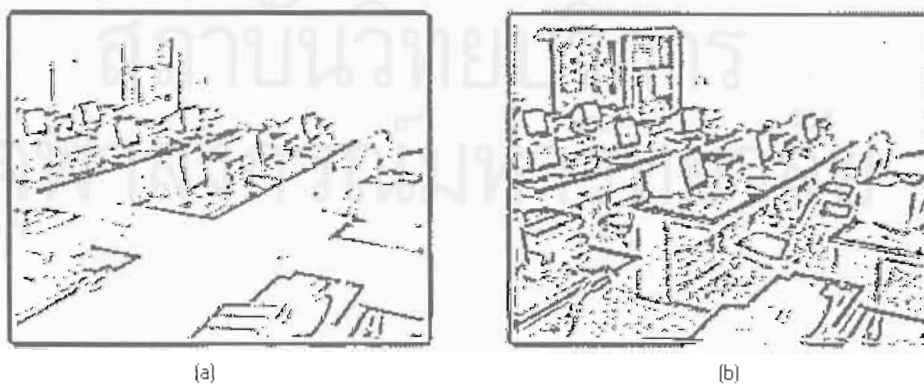
รูปที่ 3.5 (ต่อ) ตัวอย่างกลุ่มของระดับความเทา (b) ส่วนที่สว่าง (c) ส่วนที่มืด

จากงานวิจัยพบว่าภาพหลังจากการทำ Histogram Equalization ทำให้ส่วนที่มีมืดบางส่วนสามารถเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และส่วนที่สว่างเกินไปก็จะมีแสงลดลงมาโดยภาพรวมแล้วทำให้สามารถเห็นวัตถุต่าง ๆ ในภาพชัดเจนยิ่งขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ภาพของการทำ Histogram Equalization (a) ภาพก่อนทำ Histogram Equalization (b) ภาพหลังทำ Histogram Equalization (c) ฮิสโตแกรมของภาพ a (d) ฮิสโตแกรมของภาพ b

หลังจากการทำ Histogram Equalization แล้วก็จะทำในขั้นตอนต่อไปคือการตรวจจับขอบภาพ ซึ่งภาพที่ได้จากการทำ Histogram Equalization ก่อนแล้วไปทำการตรวจจับขอบภาพพบว่าทำให้สามารถตรวจขอบภาพได้ดีกว่าการไม่ทำ Histogram Equalization แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพขอบของการทำ Histogram Equalization (a) ภาพขอบก่อนทำ Histogram Equalization (b) ภาพขอบหลังทำ Histogram Equalization

โดยขั้นตอนในการวัดผลทำได้โดยนำภาพก่อนทำ Histogram Equalization มาทำการจับขอบภาพ แล้วใช้โปรแกรมตรวจหาขอบภาพทำการตรวจหาขอบภาพเปรียบเทียบกับจำนวนขอบภาพที่ตรวจหาได้จากภาพหลังทำ Histogram Equalization ว่าผลของการตรวจหาขอบภาพแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าภาพหลังทำ Histogram Equalization สามารถตรวจหาขอบภาพได้มากกว่าประมาณ 4.4 % ดังแสดงในผลการทดลองในบทที่ 4

3.6 การตรวจจับขอบภาพ

ภาพหลังจากทำ Histogram Equalization แล้วก็สามารถนำมาทำการตรวจจับขอบภาพ โดยในขั้นตอนนี้ได้ใช้วิธีการตรวจจับขอบอยู่ 2 วิธีคือ

- การตรวจจับขอบโดยการให้แมสก์
- การตรวจจับขอบโดยการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของจุดรอบข้าง

3.6.1 การตรวจจับขอบโดยการให้แมสก์

การตรวจจับขอบโดยวิธีการให้แมสก์เป็นวิธีพื้นฐานที่ใช้กันมากเพราะไม่ซับซ้อนและประมวลผลได้เร็วแต่ในการเลือกแมสก์ที่เหมาะสมนั้นจะต้องคำนึงถึงลักษณะของวัตถุที่ต้องการตรวจจับขอบด้วยเพราะ แมสก์แต่ละแบบก็จะจับขอบได้ประสิทธิภาพต่างกัน ไปเช่น

การตรวจจับขอบที่มีลักษณะขอบอยู่ในแนวนอนก็จะใช้ลักษณะของแมสก์ดังนี้

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

การตรวจจับขอบที่มีลักษณะขอบอยู่ในแนวตั้งก็จะใช้ลักษณะของแมสก์ดังนี้

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

การตรวจจับขอบที่มีลักษณะขอบอยู่ในแนว +45 องศา ก็จะใช้ลักษณะของแมสก์ดังนี้

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

การตรวจจับขอบที่มีลักษณะขอบอยู่ในแนว -45 องศาจะใช้ลักษณะของแมสก์ดังนี้

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

ส่วนการตรวจจับขอบทุกด้านแบบพื้นฐานจะใช้ลักษณะของแมสก์ดังนี้

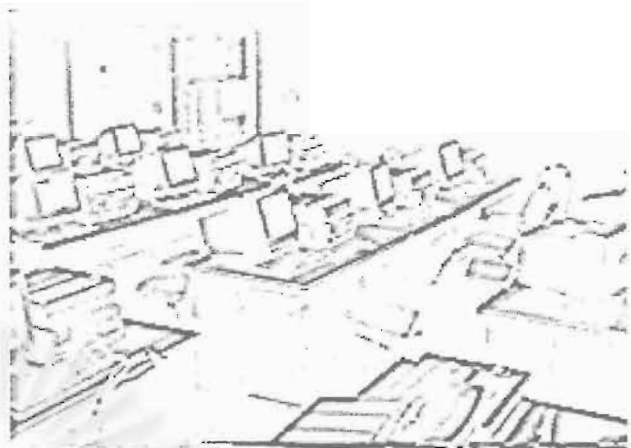
0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

และจากการทดลองใช้แมสก์ที่สร้างขึ้นมากมาย ๆ พบว่าการใช้แมสก์ที่แสดงดังรูปที่ 3.8 สามารถตรวจจับขอบได้ดีที่สุดจากจำนวนแมสก์ที่ได้ทำการทดสอบทั้งหมด 50 แมสก์ โดยรูปที่ 3.9 เป็นตัวอย่างส่วนหนึ่งของการเปรียบเทียบการตรวจจับขอบกับแมสก์แบบอื่น ๆ

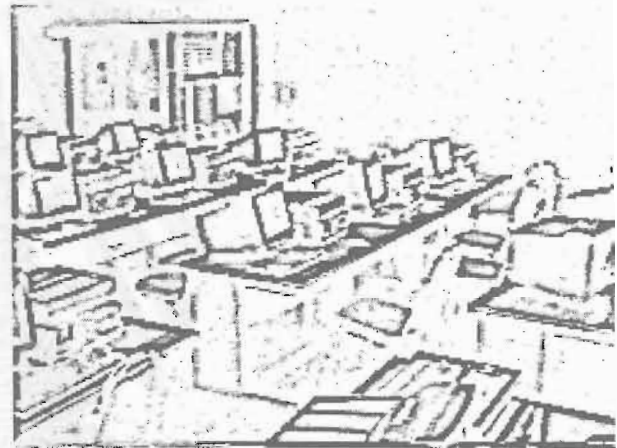
0	0	-1	-1	0	0	0
0	0	-1	-1	0	0	0
0	0	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	24	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	0	0
0	0	0	-1	-1	0	0
0	0	0	-1	-1	0	0

รูปที่ 3.8 แสดงแมสก์ที่ตรวจจับขอบได้ดีที่สุด

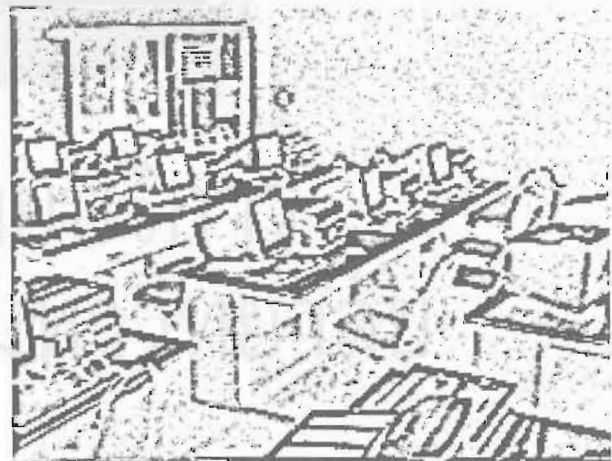
0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0
-1	-1	-1	12	-1	-1	-1
0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0



-1	0	0	-1	0	0	-1
0	-1	0	-1	0	-1	0
0	0	-1	-1	-1	0	0
-1	-1	-1	24	-1	-1	-1
0	0	-1	-1	-1	0	0
0	-1	0	-1	0	-1	0
-1	0	0	-1	0	0	-1



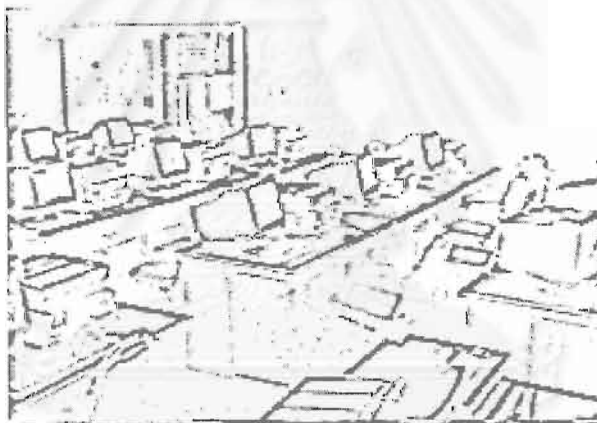
0	0	-1	-1	-1	0	0
0	0	-1	-1	-1	0	0
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	32	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
0	0	-1	-1	-1	0	0
0	0	-1	-1	-1	0	0



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างของแมสก์ที่นำมาทดสอบ

จากการทดสอบกับข้อมูลภาพตัวอย่างพบว่ากรณีที่แมสก์ตามรูปที่ 3.8 สามารถตรวจจับขอบได้ดีที่สุด เพราะจากลักษณะของจอภาพซึ่งเป็นวัตถุขนาดค่อนข้างใหญ่และมีรูปทรงแบบเรขาคณิตคือมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมและมีมุมที่ชัดเจนซึ่งรูปแบบที่สามารถจับได้จะมีลักษณะของแนวเส้นตรงในแนวตั้งและแนวนอนเป็นส่วนใหญ่แต่ในการวางตัวของวัตถุจะมีการวางตัวเอียงไปทางซ้ายหรือขวาบ้างทำให้แมสก์ในแนวทะแยงถูกนำมาใช้ด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าความกว้างของแนวแมสก์มีผลต่อขอบภาพที่ได้กล่าวคือถ้าแนวตรวจจับขอบของแมสก์กว้างก็จะได้ขอบภาพที่กว้างและถ้าแนวตรวจจับขอบของแมสก์แคบก็จะได้ขอบของภาพแคบด้วยจากการทดลองพบว่าลักษณะภาพของห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลองถ้าใช้แนวแมสก์เพียงแนวเดียวทำให้การตรวจจับขอบบางส่วนขาดหายไป และถ้าใช้แนวแมสก์สามแนวจะทำให้ขอบที่จับได้มีขนาดใหญ่ซึ่งจะทำให้เวลาในการประมวลผลในขั้นตอนการเปรียบเทียบจอภาพต้นแบบใช้เวลามาก ดังนั้นจึงเลือกใช้ในแมสก์สองแนวเพราะสามารถตรวจจับขอบได้ครบและขอบที่ได้ก็ไม่หนาเกินไป

ผลของการทดสอบการตรวจจับขอบของภาพด้วยแมสก์จากตัวอย่างภาพทั้งหมด 50 ภาพได้ผลของการตรวจจับขอบภาพของจอภาพคอมพิวเตอร์ได้ในระดับหนึ่งแสดงผลดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผลของการจับขอบด้วยแมสก์ตามรูปที่ 3.8

ซึ่งแมสก์ชนิดนี้สามารถตรวจจับขอบของภาพได้ดีในระดับหนึ่งและสามารถตรวจจับขอบของภาพได้ดีกว่าโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีใช้กันทั่วไปบางโปรแกรม เช่น Paint Shop Pro version 5.0 แต่เมื่อเทียบกับ Photoshop Version 5.0 แล้ว Photoshop สามารถจับขอบได้ดีกว่าเล็กน้อยในบางภาพดังนั้นจึงคิดวิธีการตรวจจับขอบโดยการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์กับบริเวณรอบข้างมาใช้ร่วมกับการตรวจจับขอบโดยใช้แมสก์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับขอบของภาพ

3.6.2 การตรวจจับขอบโดยการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของจุดรอบข้าง

การตรวจจับขอบภาพด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์จากจุดรอบข้างเป็นอีกแนวคิดหนึ่งที่ใช้วิธีการสังเกตเห็นว่าในส่วนที่เป็นขอบของวัตถุจะมีค่าระดับความเทาแตกต่างจากจุดรอบข้างสูง

ดังนั้นผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของจุดนั้นกับจุดรอบข้างก็จะมีค่าต่างกันด้วย และอาจมีค่าน้ำหนักเข้ามาคำนวณด้วยโดยวิธีการหาขอบภาพด้วยวิธีนี้จะใช้แมตริกซ์รูปที่ 3.11 และตัวอย่างของภาพที่ตรวจจับขอบภาพด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์สามารถจับขอบของวัตถุได้ชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 3.12

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & -1 & 0 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline \end{array} \times W$$

รูปที่ 3.11 แมตริกซ์ของการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างภาพขอบของวิธีค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์

จากผลการทดสอบกับภาพตัวอย่างจำนวน 50 ภาพที่สุ่มมาจากภาพทั้งหมด 200 ภาพพบว่าวิธีการตรวจจับขอบภาพวิธีนี้สามารถตรวจจับขอบภาพของจอภาพคอมพิวเตอร์ได้เกือบทั้งหมด ผลของการตรวจจับขอบภาพแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ภาพขอบของวิธีหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ (a) ภาพต้นฉบับ (b) เป็นขอบภาพที่ได้จากวิธีหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์

3.7 การปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธี Hough Transform

จากภาพที่ได้จากการจับขอบภาพด้วยวิธีใช้แมสก์และวิธี หาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.6 นั้นจะเห็นได้ว่าภาพขอบที่ได้มานั้นบางส่วนไม่สมบูรณ์เนื่องจากมีขอบของภาพบางส่วนขาดหายไป หรือขอบของภาพเป็นเส้นไม่ต่อเนื่องกันโดยตลอดทำให้เมื่อนำวัตถุนั้นไปประมวลผลในขั้นของการ เปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบอาจเกิดข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงใช้วิธีนำภาพที่ได้จากการตรวจจับ ขอบภาพมาผ่านขั้นตอนของการทำ Hough Transform เพื่อแก้ไขส่วนของเส้นที่ไม่ต่อเนื่องกัน



รูปที่ 3.14 ภาพขอบของวัตถุที่ไม่ต่อเนื่อง

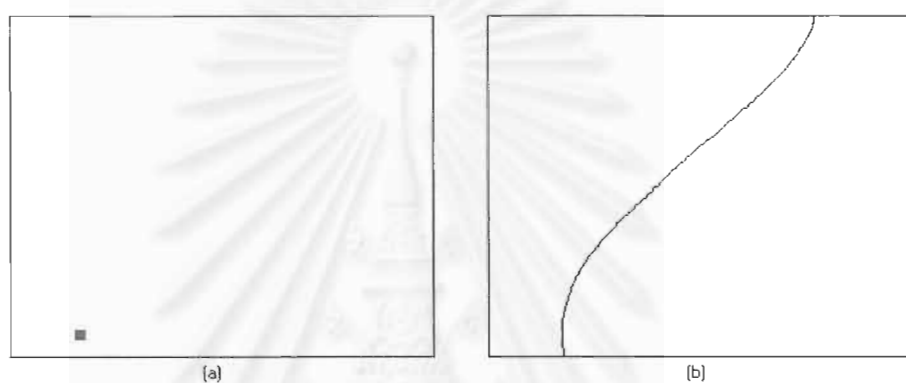
จากภาพขอบที่ได้มาแสดงดังรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าขอบของภาพที่ไม่ต่อเนื่องส่วนใหญ่จะมีความไม่ต่อเนื่องหรือมีส่วนที่ขาดหายไปเพียงส่วนน้อยเท่านั้นเช่นในภาพที่ 3.14 ที่ยกตัวอย่างมานั้นจะมี ส่วนขอบที่ขาดหายไปอยู่ประมาณ 30 จุดจากจำนวนจุดขอบทั้งหมดของวัตถุซึ่งมีประมาณ 600 จุด จะ เห็นได้ว่าจุดที่ขาดหายไปคิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนจุดทั้งหมดของวัตถุนั้น จากการทดสอบจาก ภาพตัวอย่างของวัตถุ 20 ภาพพบว่าจุดที่ขาดหายไปของวัตถุจะอยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวน จุดทั้งหมด

วิธีการของ Hough Transform เป็นวิธีการหาแนวการวางตัวของจุดในแนวเดียวกันซึ่งในการ ประมวลผลภาพก็มีความหมายของเส้นตรงนั่นเองโดยเส้นตรงหนึ่ง ๆ เมื่อ Transform ให้อยู่ในรูปแบบ ของ Hough Transform ตามสมการที่ (4-1) หรืออยู่ในรูปของระบบพิกัดเชิงขั้วตามสมการที่ (4-2) เพื่อ หลีกเลี่ยงปัญหาในกรณีที่ความชันของเส้นตรงเป็น 0 แล้วจะมีรูปแบบเป็นรูปคลื่นจำนวนเท่ากับจุดของ เส้นตรงโดยจุดหนึ่งจุดก็จะเกิดรูปคลื่นหนึ่งลูกและรูปคลื่นเหล่านั้นจะตัดกันที่จุด ๆ หนึ่งแสดงดังภาพที่

3.15 ซึ่งจุดที่ตัดกันนี้ก็คือแนวของเส้นตรงนั่นเอง ดังนั้นเส้นตรงหนึ่งเส้นในระบบพิกัด 2 มิติ ก็จะมีจุดตัดของคลื่นอยู่หนึ่งจุดใน Hough Transform เช่นกันแสดงดังรูปที่ 3.16

$$Y_i = mX_i + c \quad (4-1)$$

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (4-2)$$



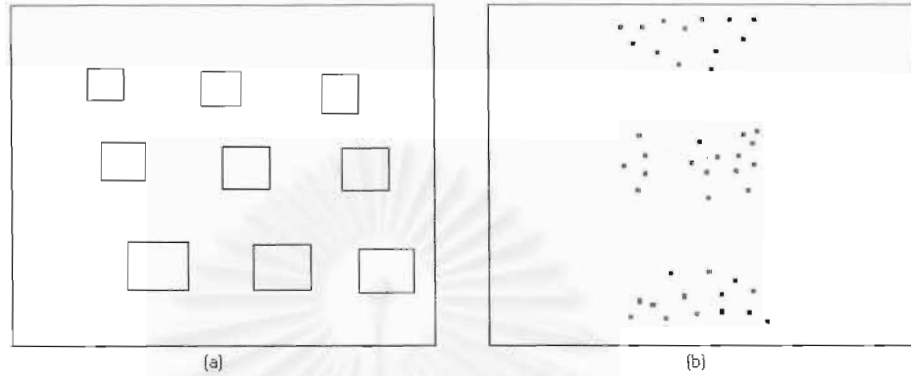
รูปที่ 3.15 จุดเมื่อแปลงไปอยู่ในรูปแบบของ Hough Transform (a) จุดในพิกัด X-Y
(b) จุดในรูปของ Hough Transform



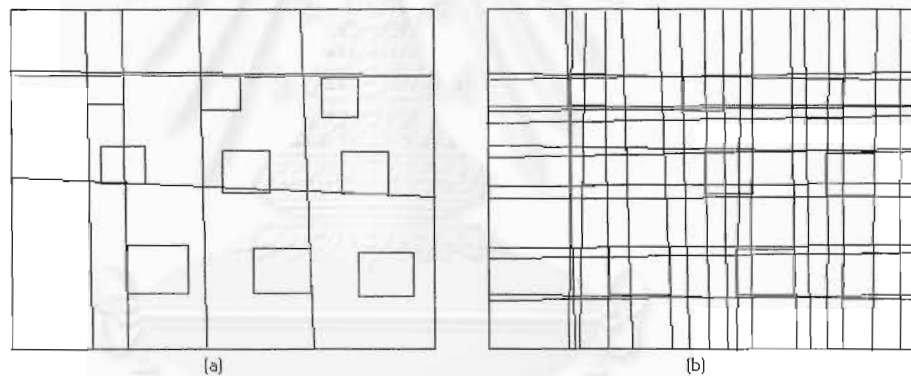
รูปที่ 3.16 เส้นตรงเมื่อแปลงไปอยู่ในรูปของ Hough Transform (a) เส้นตรงในพิกัด X-Y
(b) เส้นตรงในรูปของ Hough Transform

หลังจากทำการแปลงรูปขอบไปอยู่ในรูปของ Hough Transform แล้วขั้นตอนต่อไปคือการทำ Threshold ภาพที่ได้จาก Hough Transform แสดงดังรูปที่ 3.17 โดยจากการทดสอบจากภาพตัวอย่าง 50

ภาพพบว่า การปรับ Threshold ลงมาอยู่ในช่วง 20% ถึง 30% มีความเหมาะสมที่สุด เพราะถ้าลดลงมากกว่านี้ จะทำให้จุดตัดบางส่วนหายไป ซึ่งเป็นผลทำให้หลังทำการ De-Hough แล้ว จะมีเส้นตรงบางส่วนหายไปด้วย และถ้าปรับ Threshold สูงไปก็ จะทำให้เกิดจุดส่วนเกินเพิ่มขึ้นมาทำให้หลังจากการทำ De-Hough แล้ว เกิดเส้นตรงเพิ่มขึ้นมามากเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 ภาพที่ได้จากการทำ Hough Transform แล้วนำไปทำ Threshold (a) เป็นภาพในระบบพิกัด X-Y (b) เป็นภาพ a ในรูปของ Hough Transform และทำ Threshold แล้ว



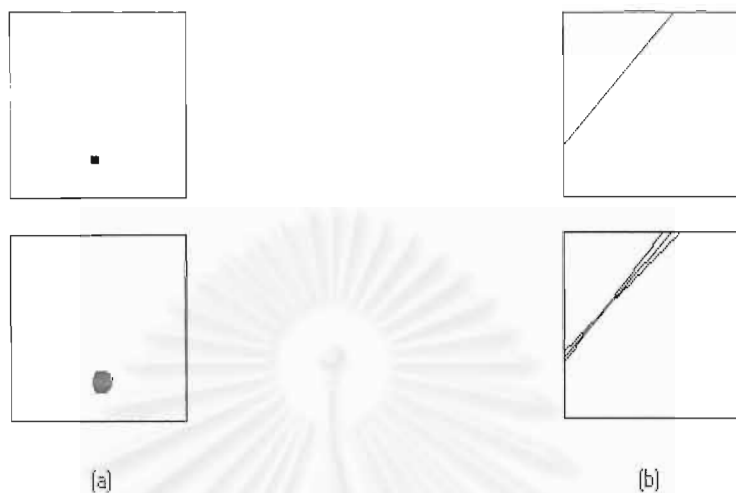
รูปที่ 3.18 ผลของการปรับ Threshold (a) ปรับ Threshold ต่ำไป (b) ปรับ Threshold สูงไป

หลังจากได้จุดตัดที่เกิดขึ้นในรูปของ Hough Transform และทำการปรับ Threshold แล้ว ก็จะได้จุดจำนวนมากซึ่งจุดเหล่านี้ก็คือเส้นตรงที่เกิดขึ้นในระบบพิกัด 2 มิติ นั่นเอง

3.8 การทำ De-Hough

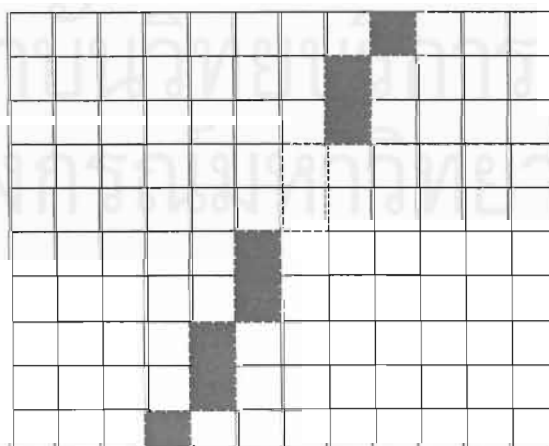
หลังจากทำ Hough Transform และทำการปรับ Threshold แล้ว ก็ จะทำการ De-Hough เพื่อการแปลงจุดที่อยู่ในรูปของ Hough Transform กลับไปเป็นเส้นตรงในระบบพิกัด 2 มิติ อย่างเดิม โดยการทำ De-Hough นั้นทำได้โดยนำค่าจุดที่ได้จากการทำ Hough Transform ไปแทนค่าในสมการที่ (4-1) หรือ

(4-2) คำนวณค่า X และ Y ย้อนค่ากลับไปเป็นเส้นตรงในระบบพิกัด 2 มิติ รูปที่ 3.19 แสดงเส้นตรงที่ได้หลังจากทำการ De-Hough แล้ว



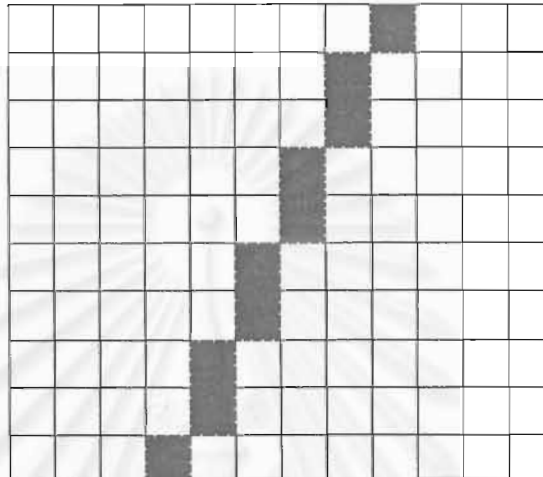
รูปที่ 3.19 เส้นตรงที่ได้หลังจากการทำ De-Hough (a) จุดในรูปของ Hough (b) เส้นตรงที่ได้หลังจากทำ De-Hough

เมื่อได้ภาพแนวเส้นตรงแล้วจะนำภาพที่ได้ไปเปรียบเทียบกับภาพขอบเดิมก่อนที่จะนำมาทำ Hough Transform โดยการเปรียบเทียบนี้จะใช้วิธีพิจารณาจากปลายเส้นตรงเดิมตรงตำแหน่งที่เส้นขาดหายไปแล้วทำการต่อขอบไปกับแนวเส้นตรงที่ได้จากการทำ De-Hough ไปยังส่วนต่อที่อยู่ถัดไป แสดงดังรูปที่ 3.20 โดยจำนวนที่ทำการต่อขอบออกไปนี้กำหนดให้เป็นพารามิเตอร์ระหว่างการประมวลผลโปรแกรม จากผลการทดสอบจากตัวอย่างที่ลุ่มมา 50 ภาพชุด จาก 200 ภาพชุด พบว่าค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 2-4 จุด เพราะภาพส่วนมากมักจะมีภาพขอบที่ขาดหายไปอยู่ในช่วงนี้



รูปที่ 3.20 รูปแสดงการต่อขอบหลังจากการทำ De-Hough

ภาพหลังจากทำ De-Hough และนำมาเปรียบเทียบกับภาพขอบเดิมแล้ว จะได้ภาพผลลัพธ์ของขอบที่สมบูรณ์ขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.21 ซึ่งภาพที่ได้สามารถนำไปประมวลผลภาพในขั้นต่อไปได้ประสิทธิภาพในการตรวจหาดีขึ้น



รูปที่ 3.21 ภาพหลังจากทำการต่อขอบแล้ว

3.9 การเปรียบเทียบจอภาพกับจอภาพต้นแบบ

หลังจากได้ภาพขอบที่สมบูรณ์ขึ้นจากขั้นตอนของการทำ Hough Transform และการทำ De-Hough และ ก็จะมาทำการเปรียบเทียบภาพขอบของวัตถุที่ได้จากการตรวจจับขอบภาพ กับภาพวัตถุต้นแบบที่ได้สร้างมิติต่าง ๆ ไว้ก่อนแล้ว โดยรูปของวัตถุต้นแบบสามารถสร้างด้วยโปรแกรมเวิร์ดโปรเซส ซึ่งทั่วไปหรือใช้วิธีการสร้างจากโปรแกรม 3D-Studio ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในการสร้างรูปโครงสร้างสามมิติที่ใช้กันโดยทั่วไป และสามารถแปลงข้อมูลแบบสามมิตินี้ไปใช้กับโปรแกรมอื่น ๆ ได้อีกมากมาย โดยข้อมูลที่เก็บในรูปแบบของ 3Dstudio จะเก็บอยู่ในแฟ้มที่มีนามสกุลแบบ 3DS และแปลงให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลของ DirectX และสามารถนำแฟ้มข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของ DirectX มาทำการสร้างภาพของวัตถุต้นแบบในรูปแบบ 3 มิติได้ และการเปรียบเทียบขอบของวัตถุกับวัตถุต้นแบบทำได้ โดยทำการสแกนภาพขอบเพื่อหาบริเวณเส้นขอบที่เป็นเส้นตรง วิธีการตรวจสอบว่าเป็นเส้นตรงหรือไม่ โดยการแทนค่าจุดต่าง ๆ ที่พบลงในสมการที่ (4-3) หากสอดคล้องกับสมการที่ (4-3) ก็แสดงว่าเป็นเส้นตรงแสดงดังรูปที่ 3.22 เมื่อได้เส้นขอบที่เป็นเส้นตรงแล้วก็จะทำการเปรียบเทียบขอบที่เหลือกับวัตถุต้นแบบต่อไป โดยโครงสร้างแฟ้ม 3 มิติของ DirectX ที่ใช้มีโครงสร้างแฟ้มดังนี้คือ

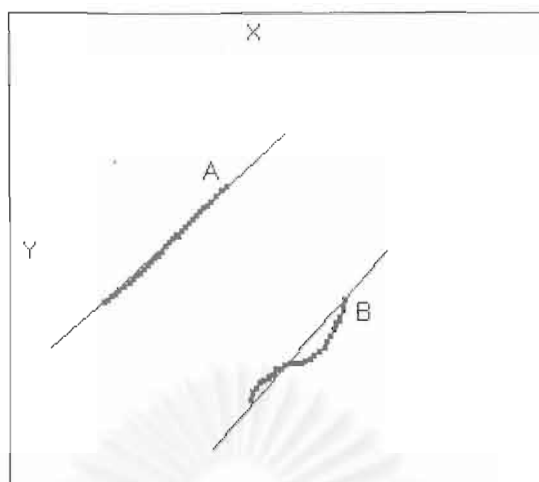
โครงสร้างของแฟ้มสามมิติของ DirectX

DESCRIPTION BLOCK
HEADER BLOCK
MESH BLOCK
MESH MATERIAL LIST BLOCK
MESH NORMAL BLOCK
MESH TEXTURE COORDINATE BLOCK

โดยส่วนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

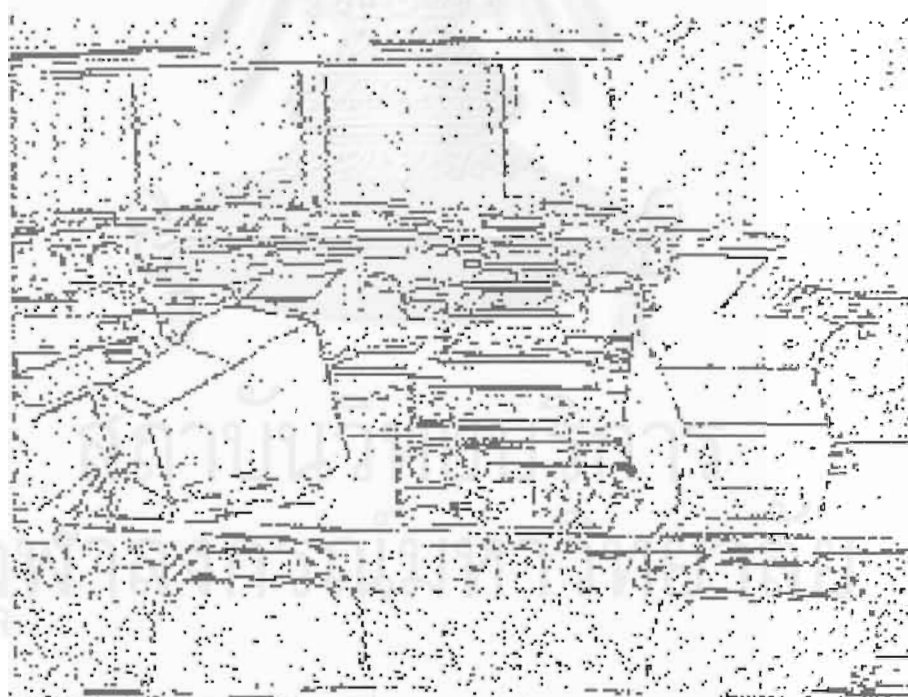
DESCRIPTION BLOCK	จะเป็นส่วนบอกคุณสมบัติของแฟ้ม โดยปกติมีค่าดังนี้ Xof 0303.txt 0032 ในกรณีที่เป็แฟ้มแบบตัวอักษร
HEADER BLOCK	จะเป็นส่วนหัวของแฟ้มมีค่าดังนี้ Header { 1;0;1; }
MESH BLOCK	จะเป็นส่วนที่ใช้เก็บพิกัดของจุดในระบบพิกัดสามมิติ และใช้เก็บเส้นขอบของวัตถุหรือจุดเชื่อมที่ประกอบกัน เป็นขอบของวัตถุ
MESH MATERIAL LIST BLOCK	เป็นรายละเอียดของวัสดุที่ใช้
MESH NORMAL BLOCK	เป็นรายละเอียดของระนาบพื้นผิวของวัตถุ
MESH TEXTURE COORDINATE	เป็นรายละเอียดของสีหรือลายพื้นผิวของวัตถุ

โดยข้อมูลที่น่ามาใช้ในการสร้างรูปทรง 3 มิติในงานวิจัยนี้จะใช้ในส่วนของ MESH BLOCK เท่านั้นในส่วนข้อมูลของ MESH MATERIAL LIST BLOCK , MESH NORMAL BLOCK และ MESH TEXTURE COORDINATE ไม่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เพราะในขั้นต้นยังไม่มีารเปรียบ เทียบพื้นผิวของวัตถุกับวัตถุต้นแบบ



รูปที่ 3.22 แสดงการวางตัวของจุดในแนว A สอดคล้องกับสมการเส้นตรง
แต่ในแนว B ไม่สอดคล้องกับสมการเส้นตรง

หลังจากพบเส้นตรงแล้วก็จะนำเส้นตรงที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบตามขั้นตอน
ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.6 วิธีการนำวัตถุต้นแบบมาเปรียบเทียบแสดงตัวอย่างได้ตามรูปที่ 3.23

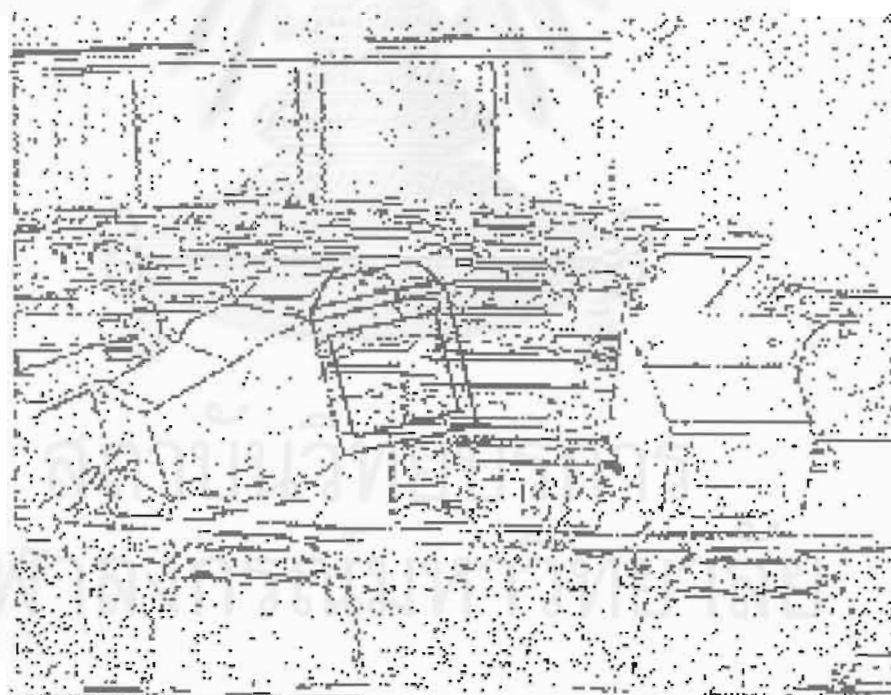


(a)

รูปที่ 3.23 แสดงการเปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบที่สอดคล้องกัน

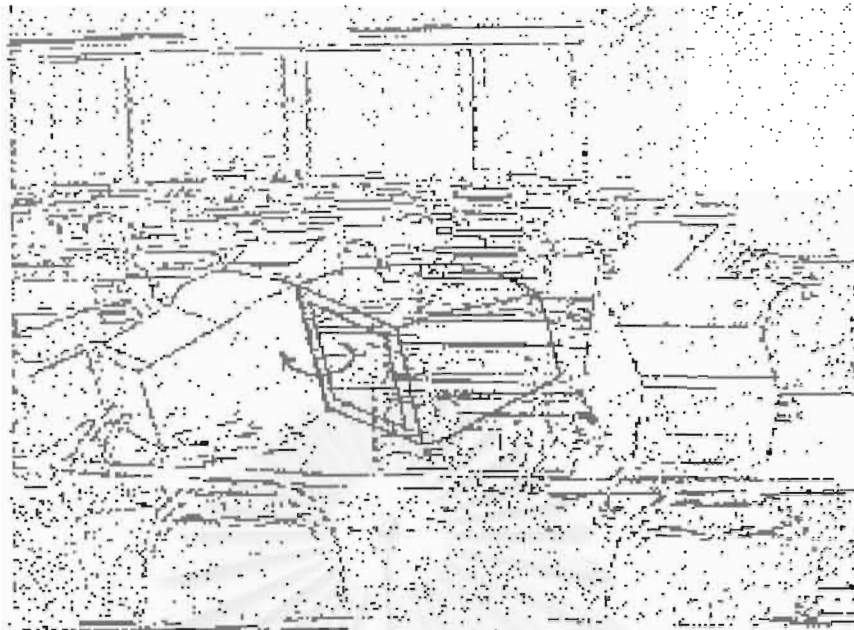


(b)

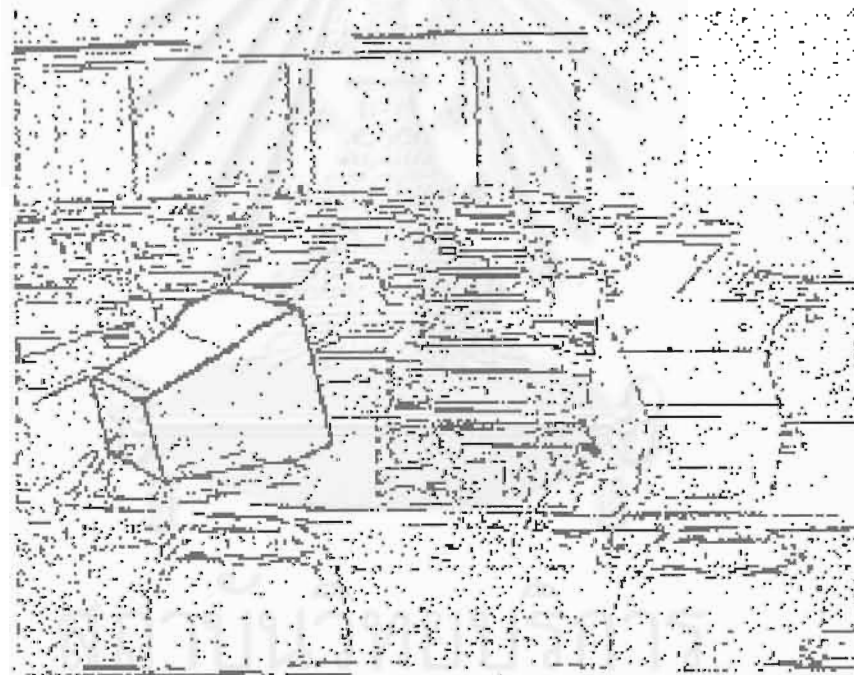


(c)

รูปที่ 3.23(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบที่สอดคล้องกัน



(d)



(c)

รูปที่ 3.23(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบที่สอดคล้องกัน (a) ภาพขอบที่ตรวจจับได้ (b) การจับคู่ขอบของวัตถุกับต้นแบบ (c) ทำการขยายขนาดของวัตถุต้นแบบจนสุดขอบวัตถุที่เปรียบเทียบ (d) ทำการหมุนวัตถุต้นแบบพร้อมทั้งเปรียบเทียบขอบ (e) ภาพแสดงหลังจากหมุนและทำการเปรียบเทียบแล้วสอดคล้องกับวัตถุต้นแบบ

3.10 การประเมินผลการเปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบ

ระหว่างการทำเหมืองวัตถุต้นแบบจะต้องทำการวิเคราะห์ว่าภาพขอบนั้นเป็นวัตถุเดียวกันกับวัตถุต้นแบบหรือไม่ โดยพิจารณาจาก เส้นขอบของภาพกับเส้นขอบของวัตถุต้นแบบว่าหลังจากหมุนรอบแกนที่นำมาจับคู่กันแล้วด้านอื่น ๆ ที่เหลือสอดคล้องกันหรือไม่โดยการคำนวณ วัตถุต้นแบบที่เป็น 3 มิติให้มาอยู่ในรูปของระนาบ 2 มิติของภาพโดยใช้สมการที่ (4-4)

$$abs(P_{(x,y)} - Q_{(x,y)}) < R \quad (4-4)$$

โดย

$P_{(x,y)}$ = ตำแหน่งของวัตถุในระบบพิกัด 2 มิติ

$Q_{(x,y)}$ = ตำแหน่งของวัตถุต้นแบบหลังจากแปลงมาอยู่ในระบบพิกัด 2 มิติ

R = ค่าเบี่ยงเบน

ถ้า $abs(P_{(x,y)} - Q_{(x,y)})$ มีค่าน้อยกว่า R จะตั้งสมมติฐานว่า

$P_{(x,y)}$ และ $Q_{(x,y)}$ มีค่าเท่ากัน

ขั้นตอนการเปรียบเทียบภาพขอบของวัตถุกับวัตถุต้นแบบ

1. คำนวณตำแหน่งของวัตถุต้นแบบจากระบบพิกัด 3 มิติ ให้มาอยู่ในระบบระบบพิกัด 2 มิติ
2. ให้นำตำแหน่งของภาพขอบของวัตถุเปรียบเทียบกับตำแหน่งของวัตถุต้นแบบที่คำนวณได้
 - ถ้าเป็นตำแหน่งเดียวกันก็ให้นับเป็นหนึ่งจุดของการเปรียบเทียบที่สอดคล้อง
 - ถ้าไม่เป็นตำแหน่งเดียวกันให้ผ่านไป
 - ทำสัญลักษณ์ตำแหน่งของจุดเอาไว้ว่าเคยประมวลผลมาแล้ว
3. เลื่อนไปยังจุดถัดไปของเส้นขอบของวัตถุต้นแบบแล้ววนทำข้อ 2 ใหม่จนกระทั่งครบทุกจุดของเส้นขอบของวัตถุต้นแบบ
4. พิจารณาจำนวนจุดที่สอดคล้องว่าเป็นที่เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดทั้งหมดของเส้นขอบของวัตถุต้นแบบ ถ้าจำนวนจุดที่สอดคล้องมากกว่าค่าที่กำหนดเอาไว้(สามารถกำหนดเป็นพารามิเตอร์ได้ตอนประมวลผล) ก็แสดงว่าวัตถุที่เปรียบเทียบสอดคล้องกับวัตถุต้นแบบ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการตรวจหาวัตถุจากภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอซึ่งในการวิจัยได้นำจอภาพคอมพิวเตอร์มาเป็นวัตถุตัวอย่างเพื่อใช้ศึกษาและพัฒนาขั้นตอนในการตรวจจับ หลังจากได้ทดลองกับภาพที่ได้ถ่ายมาจากห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ซึ่งมีรูปแบบในการจัดผังและการวางเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีรูปแบบต่าง ๆ กันจากหลายสถานที่ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ตัวอย่างภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง

จากการทดลองใช้ตัวอย่างภาพที่ถ่ายมาจากสถานที่ต่าง ๆ ดังนี้

สถานที่	จำนวนตำแหน่งที่ถ่าย
- ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์พระราชทาน	60
- ห้องปฏิบัติการ ไมโครคอมพิวเตอร์ ชั้น 18	40
- ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ (SUN) ชั้น 17	20
- ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์คณะวิศวกรรมศาสตร์	40
- ห้องปฏิบัติการ Digital System Engineering Lab	20
- ห้องปฏิบัติการ MIND Lab	20
รวม	200

แต่ละตำแหน่งที่นำมาใช้ประมวลผลตำแหน่งละ 10 ภาพ

รวมจำนวนภาพทั้งสิ้น 2,000 ภาพ

ภาพที่นำมาทดลอง 200 ตำแหน่งภาพสามารถแยกลักษณะภาพออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้

ตำแหน่งการหันของจอภาพเทียบกับกล้องสรุปได้ดังนี้

ตำแหน่งการหันของจอภาพ	จำนวนตำแหน่งที่ถ่าย
หันหน้าจอเข้าหากกล้อง	80
หันหลังจอเข้าหากกล้อง	20
หันด้านข้างเข้าหากกล้อง	30
หันด้านบนเข้าหากกล้อง	40
หันทุกด้านคละกัน	30
รวม	200

ระยะห่างจากกล้องถึงท้ายภาพสรุปได้ดังนี้

ระยะห่าง (เมตร)	จำนวนตำแหน่งที่ถ่าย
1-5	15
5-10	50
10-15	75
15-20	45
20-25	15
รวม	200

ระยะองศาของกล้องเทียบกับพื้นราบสรุปได้ดังนี้

มุมกล้องเทียบกับพื้นราบ(องศา)	จำนวนตำแหน่งที่ถ่าย
0-5	10
5-10	30
10-15	60
15-20	75
20-25	25
รวม	200

4.2 ผลการทดลองโดยรวม

ผลการทดลองโดยรวมจากการใช้โปรแกรมตรวจหาจอภาพ ที่ได้พัฒนาขึ้นสรุปได้ดังนี้

- สามารถตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์ได้ประมาณ 90 % ของจำนวนจอภาพที่มีอยู่ทั้งหมด
- ความถูกต้องของการค้นหามีปัจจัยหลักมาจากการซ้อนกันของจอภาพ คุณภาพของภาพ และแสง ระยะห่างระหว่างกล้องกับจอภาพ เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย
- เวลาที่ใช้ในการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาจอภาพใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1 นาที
- เวลาที่ใช้ในการประมวลผลขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุในภาพ และความซับซ้อนของการวางตัวของวัตถุในภาพ
- ตำแหน่งของจอภาพที่ไม่สามารถตรวจหาได้คือถูกวัตถุอื่นบังในส่วนที่เป็นขอบหรืออยู่ในตำแหน่งที่แสงส่องไปไม่เพียงพอ

- ตำแหน่งการหันของจอภาพไม่มีผลต่อความถูกต้องในการตรวจหาแต่มีผลต่อความเร็วในการตรวจหาโดยการตั้งหันหน้าจอเข้าหากล้องจะค้นหาได้เร็วที่สุด
- ตำแหน่งมุมของการถ่ายภาพกับแนวพื้นราบมีผลโดยตรงกับอัตราการหลอมน้อยของจอภาพถ้ามุมต่ำอัตราการช้อนจะสูง
- ความละเอียดของภาพ (Resolution) มีผลโดยตรงกับการตรวจหากว่าคือถ้าภาพมีความละเอียดสูงจะใช้เวลาในการประมวลผลมากแต่ผลของการตรวจหาจะถูกต้องสูงกว่า

4.3 ผลการทดลองในแต่ละขั้นตอน

ในการตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์แบ่งออกเป็นหลายขั้นตอนแต่ละขั้นตอนได้ผลการทดลองต่าง ๆ ดังนี้คือ

4.3.1 การถ่ายภาพด้วยกล้องวิดีโอ 3 ชนิดคือ

จากการทดลองถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายวิดีโอ 3 ชนิดคือ

กล้อง Panasonic M3000

กล้อง SONY HandMate

กล้อง SONY HandyCam

ผลของการตรวจหาจำนวนจอภาพของกล้องทั้ง 3 ชนิดแสดงดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 3 โดยการทดลองใช้ภาพที่ได้จากกล้องทั้ง 3 ประเภทถ่ายภาพในบริเวณเดียวกันที่มีสภาพแวดล้อมเดียวกันแล้วนำภาพที่ถ่ายมากล้องละ 10 ตำแหน่งภาพแต่ละตำแหน่งนำมา 2 บริเวณรวมทั้งสิ้น 60 บริเวณได้ผลดังตารางที่ 1 ถึง 3 โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดคือหลังจากนำภาพที่ได้จากกล้องทั้ง 3 ประเภทมาทำการตรวจจับขอบภาพแล้วนำไปผ่านโปรแกรมตรวจจับขอบภาพโดยทุกภาพจะใช้แม่สีจตามรูปที่ 4.8 เป็นแม่สีในการตรวจจับขอบร่วมกับวิธีการหาขอบด้วยค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	จำนวนจอภาพที่พบ	จำนวนจอภาพที่ขาด
Pana01	18	18	0
Pana02	18	18	0
Pana11	16	16	0
Pana12	16	16	0
Pana21	19	18	1
Pana22	19	18	1
Pana31	15	15	0

ตารางที่ 1 ผลของภาพที่ได้จากกล้อง Panasonic M3000

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	จำนวนจอภาพที่พบ	จำนวนจอภาพที่ขาด
Pana32	15	15	0
Pana41	20	19	1
Pana42	20	19	1
Pana51	16	16	0
Pana52	16	16	0
Pana61	14	14	0
Pana62	14	14	0
Pana71	9	9	0
Pana72	9	9	0
Pana81	12	12	0
Pana82	12	12	0
Pana91	11	11	0
Pana92	11	11	0
TOTAL	300	296	4

ตารางที่ 1(ต่อ) ผลของภาพที่ได้จากกล้อง Panasonic M3000

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	จำนวนจอภาพที่พบ	จำนวนจอภาพที่ขาด
Hmate01	18	17	1
Hmate 02	18	17	1
Hmate 11	16	16	0
Hmate 12	16	16	0
Hmate 21	19	18	1
Hmate 22	19	18	1
Hmate 31	15	15	0
Hmate 32	15	15	0
Hmate 41	20	19	1
Hmate 42	20	19	1

ตารางที่ 2 ผลของภาพที่ได้จากกล้อง SONY HandMate

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	จำนวนจอภาพที่พบ	จำนวนจอภาพที่ขาด
Hmate 51	16	16	0
Hmate 52	16	16	0
Hmate 61	14	14	0
Hmate 62	14	14	0
Hmate 71	9	9	0
Hmate 72	9	9	0
Hmate 81	12	12	0
Hmate 82	12	12	0
Hmate 91	11	11	0
Hmate 92	11	11	0
TOTAL	300	294	6

ตารางที่ 2 (ต่อ) ผลของภาพที่ได้จากกล้อง SONY HandMate

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	จำนวนจอภาพที่พบ	จำนวนจอภาพที่ขาด
Hcam01	18	17	1
Hcam 02	18	17	1
Hcam 11	16	16	0
Hcam 12	16	16	0
Hcam 21	19	18	1
Hcam 22	19	18	1
Hcam 31	15	15	0
Hcam 32	15	15	0
Hcam 41	20	19	1
Hcam 42	20	19	1
Hcam 51	16	15	1
Hcam 52	16	15	1
Hcam 61	14	14	0

ตารางที่ 3 ผลของภาพที่ได้จากกล้อง SONY HandyCam

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	จำนวนจอภาพที่พบ	จำนวนจอภาพที่ขาด
Hcam 62	14	14	0
Hcam 71	9	9	0
Hcam 72	9	9	0
Hcam 81	12	11	1
Hcam 82	12	11	1
Hcam 91	11	11	0
Hmate 92	11	11	0
TOTAL	300	290	10

ตารางที่ 3 (ต่อ) ผลของภาพที่ได้จากกล้อง SONY HandyCam

จากผลการทดลองพบว่าภาพที่ได้จากกล้องแต่ละชนิดมีผลต่อการประมวลผลเพื่อการตรวจหาจอภาพถั่วคือถ้าภาพที่ได้มามีความชัดเจนหรือมีความไวต่อแสงสูง(สามารถถ่ายในบริเวณที่มีแสงน้อยได้ดี) จะทำให้ภาพบริเวณที่ไกลออกไปมากเช่นบริเวณท้ายห้องยังมีความชัดอยู่ ทำให้สามารถตรวจหาจอภาพได้ถูกต้องสูงแต่ในกรณีที่กล้องที่มีความชัดหรือความไวแสงต่ำทำให้ภาพบริเวณท้ายห้องไม่ชัดเจนทำให้โปรแกรมตรวจหาจอภาพไม่สามารถตรวจหาจอภาพได้

4.3.2 การปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ย

จากภาพตัวอย่างทั้งหมด 200 ตำแหน่งภาพได้ทำการสุ่มตัวอย่างมา 20 ตำแหน่งภาพเพื่อนำมาประมวลผลโดยการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยของภาพได้ โดยนำภาพเฟรมแรกของภาพที่สุ่มมาทำการตรวจจับขอบเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากการนำภาพทั้ง 10 เฟรมของแต่ละตำแหน่งภาพมาทำการตรวจจับขอบได้ผลดังตารางที่ 4 โดยใช้หลักเกณฑ์ในการตรวจจับเช่นเดียวกันกับข้อ 4.3.1

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	จอภาพที่พบของภาพเฟรมที่ 1	จอภาพที่พบของภาพที่เฉลี่ยแล้ว	ส่วนต่าง
Frame005	10	10	10	0
Frame008	17	16	17	1
Frame013	12	12	12	0

ตารางที่ 4 ผลของจอภาพที่ตรวจหาก่อนและหลังการหาค่าเฉลี่ย

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพ จริง	จอภาพที่พบของ ภาพเฟรมที่ 1	จอภาพที่พบของ ภาพที่เฉลี่ยแล้ว	ส่วนต่าง
Frame017	17	16	17	1
Frame023	17	16	17	1
Frame034	12	12	12	0
Frame044	15	15	15	0
Frame050	21	20	21	1
Frame056	19	18	19	1
Frame066	9	9	9	0
Frame073	15	14	15	1
Frame078	19	18	19	1
Frame083	18	17	18	1
Frame089	15	15	15	0
Frame096	8	8	8	0
Frame103	20	19	20	1
Frame111	21	19	20	1
Frame129	15	15	15	0
Frame139	17	16	17	1
Frame148	19	17	19	2
TOTAL	316	302	315	13

ตารางที่ 4 (ต่อ) ผลของจอภาพที่ตรวจหาก่อนและหลังการหาค่าเฉลี่ย

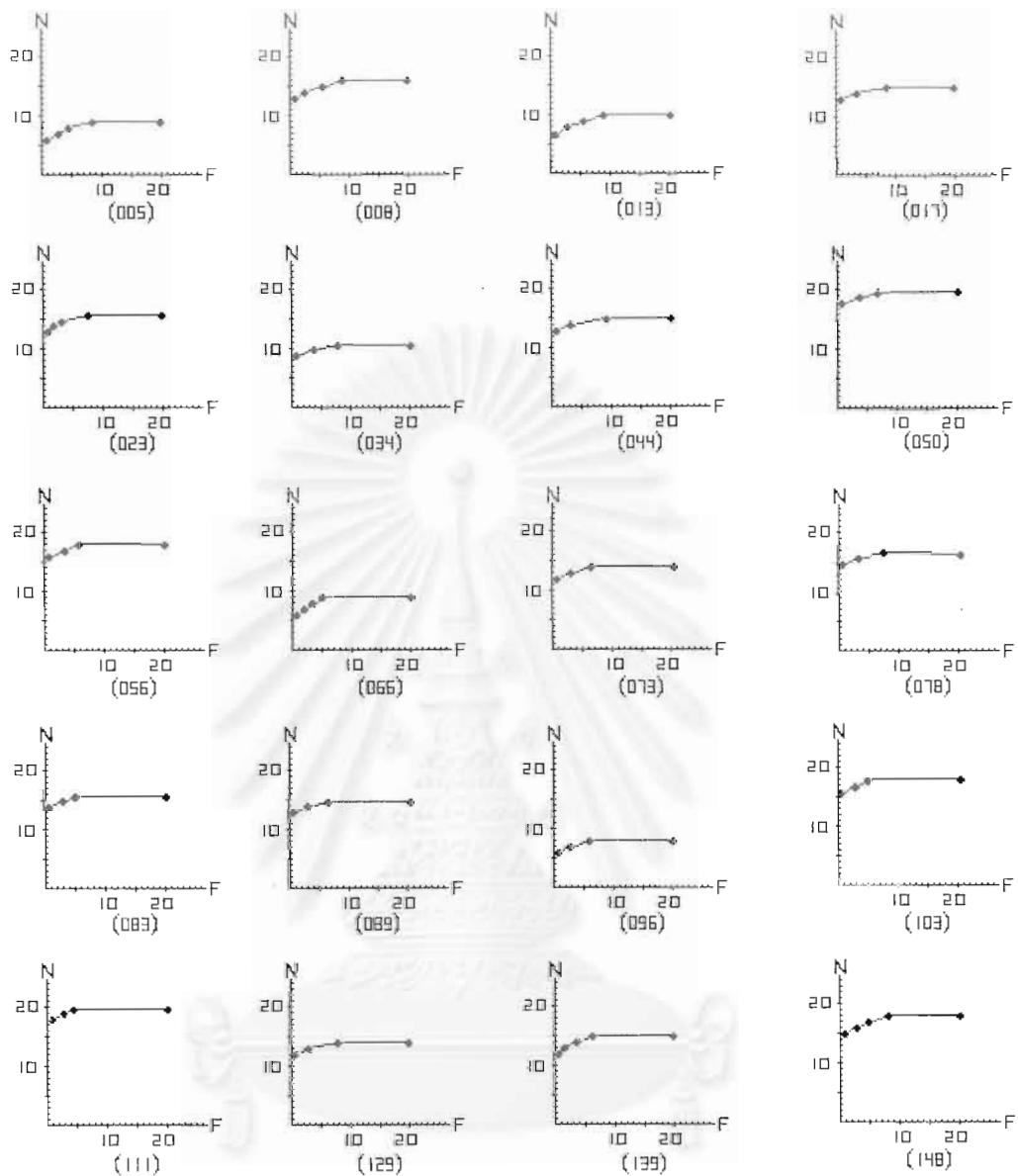
จากผลการวิจัยพบว่าภาพหลังจากนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพแล้วทำให้ตรวจหาจอภาพได้ดีขึ้นประมาณ 4.11% เพราะเส้นขอบที่ได้จะมีเส้นขอบที่ชัดเจนกว่าทำให้ผลของการตรวจหาได้แม่นยำขึ้น และจากผลของการทดลองที่ได้ตั้งแสดงในตารางที่ 4 พบว่าจำนวนเฟรมที่นำมาเฉลี่ยมีผลต่อจำนวนของจอภาพที่ตรวจหาพบ โดยพบว่าถ้าจำนวนเฟรมที่นำมาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทำให้ผลของการตรวจจับเพิ่มขึ้นด้วยแต่เมื่อเพิ่มจำนวนเฟรมที่นำมาหาค่าเฉลี่ยได้จำนวนหนึ่งผลของการตรวจหาจอภาพจะได้ผลลัพธ์คงที่คือไม่สามารถตรวจหาเพิ่มได้อีก และจากผลการทดลองจากข้อมูลภาพตัวอย่างที่นำทดลองในตารางที่ 5 พบว่าจำนวนเฟรมที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 10 เฟรมจากข้อมูลในตารางจะเห็น

ว่าหลังจากเฟรมที่ 10 ของทุกภาพจำนวนจอภาพที่ตรวจหาได้จะเริ่มคงที่ ซึ่งพบว่าในภาพอื่น ๆ ก็จะเป็นลักษณะเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงใช้จำนวนเฟรมในการทดลองอยู่ที่ 10 เฟรม

ชื่อภาพ	จำนวน ของจอ	จำนวนเฟรม/จำนวนจอภาพที่ตรวจพบ															
		จำนวน เฟรม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Frame005	10	6	6	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9
Frame008	17	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16
Frame013	12	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10
Frame017	17	13	13	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15
Frame023	17	13	14	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Frame034	12	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Frame044	15	13	13	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15
Frame050	21	18	18	18	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Frame056	19	16	16	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Frame066	9	6	7	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Frame073	15	12	12	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Frame078	19	15	15	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Frame083	18	14	14	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Frame089	15	13	13	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Frame096	8	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Frame103	20	16	16	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Frame111	21	18	18	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Frame129	15	12	12	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Frame139	17	12	13	13	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Frame148	19	15	15	16	16	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18

ตารางที่ 5 จำนวนจอภาพที่ตรวจพบเมื่อเพิ่มจำนวนเฟรมที่นำมาเฉลี่ย

จากข้อมูลตัวอย่างจำนวน 20 ภาพดังแสดงในตารางที่ 5 สามารถนำมาวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนจอภาพที่ตรวจหาพบได้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนเฟรมที่นำมาหาค่าเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจากการทดลองกับภาพอื่น ๆ ที่เหลือพบว่าจำนวนเฟรมที่นำมาเฉลี่ยแล้วไม่ทำให้จำนวนที่ตรวจหาเพิ่มขึ้นก็อยู่ที่ประมาณ 10 เฟรมเช่นกัน



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงจอภาพที่ตรวจหาพบเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนเฟรมที่นำมาหาค่าเฉลี่ย โดย N เป็นจำนวนจอภาพที่ตรวจหาพบ F เป็นจำนวนเฟรมที่นำมาเฉลี่ย

4.3.3 Histogram Equalization

จากการทดลองสุ่มภาพมา 60 ภาพจากภาพที่ถ่ายมา 200 ตำแหน่งภาพ โดย นำภาพก่อนทำ Histogram Equalization และหลังการทำ Histogram Equalization มาเปรียบเทียบผลของการตรวจจับขอบภาพตามเกณฑ์เช่นเดียวกับข้อ 3.1 แสดงผลดังตารางที่ 6 โดยในการทดลองได้แบ่งกลุ่มของฮิสโตแกรมออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- ภาพที่มีข้อมูลส่วนใหญ่ค่อนข้างมืดคือมีค่าระดับความเทาส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0-85
- ภาพที่มีข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงปานกลางคือมีค่าระดับความเทาส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 86-170
- ภาพที่มีข้อมูลส่วนใหญ่ค่อนข้างสว่างคือมีค่าระดับความเทาส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 171-255

ค่าระดับความเทา	จำนวนภาพที่นำ มาทดสอบ	จำนวนจอภาพ รวม	จำนวนที่ตรวจ จับได้(ก่อนทำ)	จำนวนที่ตรวจ จับได้(หลังทำ)
0-85	20	316	298	314
86-170	20	312	297	308
171-255	20	325	305	320

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบการจับขอบของภาพก่อนและหลังทำ Histogram Equalization

ข้อมูลจากตารางที่ 6 จะพบว่า ภาพหลังจากทำ Histogram Equalization แล้วสามารถทำให้การตรวจจับขอบดีขึ้นโดยรวม 4.4 % ดังแสดงในตาราง

4.3.4 การตรวจจับขอบภาพ

ผลการวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับขอบภาพแยกเป็น 3 กรณีดังนี้คือ

4.3.4.1 การตรวจจับขอบภาพโดยวิธีการใช้แมสก์

ตัวอย่างการตรวจจับจอภาพโดยวิธีการใช้แมสก์ ตามรูป 4.2(a) กับภาพตัวอย่างโดยสุ่มมา 50 ภาพจากจำนวน 200 ภาพสามารถตรวจจับจอภาพด้วยเกณฑ์การตรวจจับเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.1 ได้ดังตารางที่ 7

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบของ ภาพ	ส่วนที่ตรวจจับได้คิด เป็น % ของทั้งหมด
Frame002	12	11	91.66
Frame004	11	11	100
Frame006	17	16	94.12
Frame008	17	16	94.12
Frame010	18	17	94.44
Frame012	17	17	100

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยแมสก์ตามรูป 4.2(a)

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบของภาพ	ส่วนที่ตรวจจับได้คิดเป็น % ของทั้งหมด
Frame014	15	15	100
Frame016	17	16	94.12
Frame018	17	16	94.12
Frame020	18	17	94.44
Frame022	18	17	94.44
Frame024	17	16	94.12
Frame026	17	16	94.12
Frame028	16	16	100
Frame030	16	15	93.75
Frame032	16	15	93.75
Frame034	12	12	100
Frame036	15	15	100
Frame038	15	15	100
Frame040	16	15	93.75
Frame042	17	16	94.12
Frame044	15	15	100
Frame046	12	12	100
Frame048	11	11	100
Frame050	21	20	95.24
Frame052	13	12	92.31
Frame054	20	18	90
Frame056	19	18	94.74
Frame058	19	18	94.74
Frame060	19	17	89.47
Frame062	14	13	92.86
Frame064	12	12	100

ตารางที่ 7(ต่อ) เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยแมสก์ตามรูป 4.2(a)

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบของภาพ	ส่วนที่ตรวจจับได้คิดเป็น % ของทั้งหมด
Frame066	9	9	100
Frame068	9	9	100
Frame070	11	11	100
Frame072	18	17	94.44
Frame074	16	15	93.75
Frame076	15	15	100
Frame078	18	17	94.44
Frame080	18	17	94.44
Frame082	18	16	88.89
Frame084	17	16	94.12
Frame086	18	17	94.44
Frame088	17	16	94.12
Frame090	16	15	93.75
Frame092	9	9	100
Frame094	11	11	100
Frame096	8	8	100
Frame098	7	7	100
Frame100	22	20	90.90
TOTAL	766	731	95.41

ตารางที่ 7(ต่อ) เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยแมสก์ตามรูป 4.2(a)

จากภาพตัวอย่างจะพบว่าวิธีการใช้แมสก์ตามรูปที่ 4.2(a) แล้วสามารถตรวจจับขอบภาพได้ประมาณ 95.41 % ของจำนวนจอภาพทั้งหมด

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบกับแมสก์แบบอื่น ๆ อีก 50 แบบแต่ในที่นี้จะนำมาแสดงเฉพาะแมสก์ที่สามารถตรวจจับได้มากพอ ๆ กับแมสก์ตามรูป 4.2(a) ดังแสดงตามรูปที่ 4.1 และผลเปรียบเทียบการตรวจจับจอภาพแสดงในตารางที่ 8

		-1	-1			
		-1	-1			
		-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	24	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1		
			-1	-1		
			-1	-1		

(a)

-1			-1			-1
	-1		-1		-1	
		-1	-1	-1		
-1	-1	-1	24	-1	-1	-1
		-1	-1	-1		
	-1		-1		-1	
-1			-1			-1

(b)

		-1	-1	-1		
		-1	-1	-1		
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	32	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
		-1	-1	-1		
		-1	-1	-1		

(c)

-1			-2			-1
	-1		-2		-1	
		-1	-2	-1		
-2	-2	-2	36	-2	-2	-2
		-1	-2	-1		
	-1		-2		-1	
-1			-2			-1

(d)

			-1			
			-1			
			-1			
-1	-1	-1	24	-1	-1	-1
			-1			
			-1			
			-1			

(e)

			-2			
			-2			
		-1	-2	-1		
-2	-2	-2	28	-2	-2	-2
		-1	-2	-1		
			-2			
			-2			

(f)

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างแมสก์ส่วนหนึ่งที่นำมาทดสอบ

แมสก์	จำนวนภาพที่นำมาทดสอบ	จำนวนจอภาพที่มีอยู่จริง	การตรวจจับขอบของภาพ	ส่วนที่ตรวจจับได้คิดเป็น % ของทั้งหมด
(a)	10	150	140	93.33
(b)	10	150	135	90
(c)	10	150	130	86.67
(d)	10	150	132	88
(e)	10	150	127	84.67
(f)	10	150	130	86.67

ตารางที่ 8 แสดงผลเปรียบเทียบการตรวจจับขอบของแมสก์แบบต่าง ๆ

4.3.4.2 การตรวจจับขอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์

จากการตรวจจับขอบภาพด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยจากภาพตัวอย่าง 50 ภาพจากทั้งหมด 200 ภาพ ได้ผลดังตารางที่ 9 โดยใช้เกณฑ์ในการตรวจจับเช่นเดียวกับข้อ 4.3.1

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบของภาพ	ส่วนที่ตรวจจับได้คิดเป็น % ของทั้งหมด
Frame002	12	12	100
Frame004	11	11	100
Frame006	17	17	100
Frame008	17	16	94.12
Frame010	18	17	94.44
Frame012	17	17	100
Frame014	15	15	100
Frame016	17	17	100
Frame018	17	16	94.12
Frame020	18	17	94.44
Frame022	18	18	100
Frame024	17	17	100
Frame026	17	16	94.12
Frame028	16	16	100
Frame030	16	15	93.75
Frame032	16	15	93.75
Frame034	12	12	100
Frame036	15	15	100
Frame038	15	15	100
Frame040	16	15	93.75
Frame042	17	16	94.12
Frame044	15	15	100
Frame046	12	12	100
Frame048	11	11	100
Frame050	21	20	95.24

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยวิธี การหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบของภาพ	ส่วนที่ตรวจจับได้คิดเป็น % ของทั้งหมด
Frame052	13	13	100
Frame054	20	19	95
Frame056	19	19	100
Frame058	19	18	94.74
Frame060	19	18	94.74
Frame062	14	14	100
Frame064	12	12	100
Frame066	9	9	100
Frame068	9	9	100
Frame070	11	11	100
Frame072	18	17	94.44
Frame074	16	16	100
Frame076	15	15	100
Frame078	18	17	94.44
Frame080	18	17	94.44
Frame082	18	17	94.44
Frame084	17	16	94.12
Frame086	18	17	94.44
Frame088	17	17	100
Frame090	16	15	93.75
Frame092	9	9	100
Frame094	11	11	100
Frame096	8	8	100
Frame098	7	7	100
Frame100	22	20	90.91
TOTAL	766	744	97.12

ตารางที่ 9(ต่อ) เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยวิธี การหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์

จากภาพตัวอย่างจะพบว่า การตรวจจับขอบภาพด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์สามารถตรวจจับขอบภาพได้ประมาณ 97.12 % ของจำนวนจอภาพทั้งหมด

4.3.4.3 การตรวจจับขอบภาพโดยการใช้ Mask และ ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ร่วมกัน

จากการตรวจจับขอบภาพด้วยวิธีการใช้ Mask และการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ร่วมกันจากภาพตัวอย่าง 50 ภาพจากทั้งหมด 200 ภาพ ได้ผลดังตารางที่ 10 โดยใช้เกณฑ์ในการตรวจจับเช่นเดียวกันกับข้อ

4.3.1

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบของภาพ	ส่วนที่ตรวจจับได้คิดเป็น % ของทั้งหมด
Frame002	12	12	100
Frame004	11	11	100
Frame006	17	17	100
Frame008	17	17	100
Frame010	18	18	100
Frame012	17	17	100
Frame014	15	15	100
Frame016	17	17	100
Frame018	17	16	94.12
Frame020	18	17	94.44
Frame022	18	18	100
Frame024	17	17	100
Frame026	17	16	94.12
Frame028	16	16	100
Frame030	16	16	100
Frame032	16	16	100
Frame034	12	12	100
Frame036	15	15	100
Frame038	15	15	100
Frame040	16	15	93.75

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยวิธีการใช้ แมสก์และการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ร่วมกัน

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบของภาพ	ส่วนที่ตรวจจับได้คิดเป็น % ของทั้งหมด
Frame042	17	16	94.12
Frame044	15	15	100
Frame046	12	12	100
Frame048	11	11	100
Frame050	21	20	95.24
Frame052	13	13	100
Frame054	20	19	95
Frame056	19	19	100
Frame058	19	19	100
Frame060	19	19	100
Frame062	14	14	100
Frame064	12	12	100
Frame066	9	9	100
Frame068	9	9	100
Frame070	11	11	100
Frame072	18	18	100
Frame074	16	16	100
Frame076	15	15	100
Frame078	18	17	94.44
Frame080	18	17	94.44
Frame082	18	17	94.44
Frame084	17	16	94.12
Frame086	18	17	94.44
Frame088	17	17	100
Frame090	16	16	100
Frame092	9	9	100

ตารางที่ 10(ต่อ) เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยวิธีการใช้Mask และ
การหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ร่วมกัน

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบของภาพ	ส่วนที่ตรวจจับได้คิดเป็น % ของทั้งหมด
Frame094	11	11	100
Frame096	8	8	100
Frame098	7	7	100
Frame100	22	21	95.45
TOTAL	766	753	98.3

ตารางที่ 10(ต่อ) เปรียบเทียบการจับขอบของภาพด้วยวิธีการใช้ Mask และการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ร่วมกัน

จากภาพตัวอย่างจะพบว่า การตรวจจับขอบภาพด้วยวิธีการใช้ Mask และการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ร่วมกันสามารถตรวจจับขอบภาพได้ประมาณ 98.3 % ของจำนวนจอภาพทั้งหมด

จากผลการทดสอบการตรวจจับขอบภาพพบว่าวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขอบคือการใช้ทั้งวิธีการตรวจจับขอบภาพด้วย Mask และวิธีการหาค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ร่วมกัน

4.3.5 การปรับปรุงขอบภาพด้วย Hough และ De-Hough

หลังจากนำภาพที่ได้จากหัวข้อ 4.3.4 มาแล้วก็จะได้รูปขอบของวัตถุที่ชัดเจนขึ้นแต่รูปขอบที่ได้ก็ยังมีส่วนที่ไม่ต่อเนื่องกัน ผลการทดลองหลังจากนำภาพขอบที่ได้มาทำ Hough และ De-Hough แล้วจึงนำไปเปรียบเทียบกับวัตถุต้นแบบ แสดงดังตารางที่ 10 โดยการทดลองได้สุ่มภาพขอบของภาพจำนวน 50 ภาพมาทำการทดลอง แล้วใช้โปรแกรมต้นแบบที่จัดทำขึ้นทำการตรวจจับได้ผลดังนี้

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบโดยไม่ใช้ Hough&De-Hough	การตรวจจับขอบโดยการใช้ Hough&De-Hough
Frame002	12	11	12
Frame004	11	10	10
Frame006	17	15	16
Frame008	17	14	15
Frame010	18	15	16

ตารางที่ 11 ผลของการตรวจจับขอบภาพก่อนและหลังทำ Hough&De-Hough

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบโดยไม่ ใช้ Hough&De-Hough	การตรวจจับขอบโดยการ ใช้ Hough&De-Hough
Frame012	17	17	17
Frame014	15	13	14
Frame016	17	14	14
Frame018	17	15	17
Frame020	18	16	17
Frame022	18	15	17
Frame024	17	15	17
Frame026	17	17	17
Frame028	16	15	15
Frame030	16	16	16
Frame032	16	15	16
Frame034	12	11	11
Frame036	15	13	14
Frame038	15	13	14
Frame040	16	14	15
Frame042	17	16	16
Frame044	15	12	14
Frame046	12	10	11
Frame048	11	8	10
Frame050	21	20	20
Frame052	13	13	13
Frame054	20	18	19
Frame056	19	17	18
Frame058	19	17	19
Frame060	19	17	18
Frame062	14	12	13

ตารางที่ 11(ต่อ) ผลของการตรวจจับขอบภาพก่อนและหลังทำ Hough&De-Hough

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับขอบโดยไม่ใช้ Hough&De-Hough	การตรวจจับขอบโดยการ ใช้ Hough&De-Hough
Frame064	12	12	12
Frame066	9	9	9
Frame068	9	9	9
Frame070	11	8	10
Frame072	18	15	17
Frame074	16	12	14
Frame076	15	14	14
Frame078	18	15	16
Frame080	18	16	16
Frame082	18	16	16
Frame084	17	15	16
Frame086	18	13	15
Frame088	17	15	15
Frame090	16	13	14
Frame092	9	9	9
Frame094	11	11	11
Frame096	8	8	8
Frame098	7	4	6
Frame100	22	13	17
TOTAL	766	671	715

ตารางที่ 11 (ต่อ) ผลของการตรวจจับจอภาพก่อนและหลังทำ Hough&De-Hough

จากผลการทำ Hough และ De-Hough ก่อนนำมาทำการตรวจหาเทียบกับวัตถุต้นแบบพบว่าถ้าผ่านขั้นตอนการปรับปรุงขอบภาพด้วยวิธี Hough และ De-Hough แล้วสามารถตรวจจับจอภาพได้ดีเพิ่มขึ้นถึง 5.74 %

4.3.6 การเปรียบเทียบจอภาพกับจอภาพต้นแบบ

หลังจากนำภาพตัวอย่างที่เตรียมมาทดสอบทั้งหมดจำนวน 200 ตำแหน่งภาพ ๆ ละ 10 เฟรม แล้วทำการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมตรวจจับจอภาพที่พัฒนาขึ้นโดยมีการทำงานตามข้อ 4.3.1 ถึง 4.3.5 ตามลำดับได้ผลของการตรวจจับจอภาพดังตารางที่ 12 ดังนี้

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับที่ Res. 768 x 576	เวลาที่ใช้ (วินาที)	การตรวจจับที่ Res. 384 x 288	เวลาที่ใช้ (วินาที)
Frame000	18	17	58	16	30
Frame001	20	19	63	19	32
Frame002	12	11	65	11	33
Frame003	12	11	70	11	38
Frame004	11	10	72	10	36
Frame005	10	10	72	10	37
Frame006	17	16	68	14	38
Frame007	17	17	85	16	45
Frame008	17	14	57	14	31
Frame009	17	17	65	16	35
Frame010	18	15	63	15	34
Frame011	18	17	70	16	40
Frame012	17	17	72	16	36
Frame013	12	12	66	12	38
Frame014	15	13	64	13	37
Frame015	17	16	72	16	40
Frame016	17	14	74	14	40
Frame017	17	15	73	15	41
Frame018	17	15	58	15	33
Frame019	18	17	42	15	28
Frame020	18	16	63	16	35
Frame021	18	16	71	16	36

ตารางที่ 12 ผลของการตรวจจับจอภาพทั้ง 200 ตำแหน่งภาพ

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับที่ Res. 768 x 576	เวลาที่ใช้ (วินาที)	การตรวจจับที่ Res. 384 x 288	เวลาที่ใช้ (วินาที)
Frame022	18	15	82	15	40
Frame023	17	16	59	15	31
Frame024	17	15	57	15	31
Frame025	17	17	66	17	32
Frame026	17	17	54	17	28
Frame027	16	15	57	14	28
Frame028	16	15	67	15	36
Frame029	16	16	59	16	32
Frame030	16	15	74	14	37
Frame031	16	15	73	15	37
Frame032	16	15	58	15	30
Frame033	11	11	42	11	25
Frame034	12	11	63	11	33
Frame035	12	11	71	10	38
Frame036	15	13	82	12	43
Frame037	15	14	54	13	29
Frame038	15	13	57	13	30
Frame039	16	15	67	15	35
Frame040	16	14	59	14	29
Frame041	16	15	74	15	37
Frame042	17	16	73	15	36
Frame043	15	15	58	15	30
Frame044	15	12	42	12	25
Frame045	14	13	71	12	37
Frame046	12	10	82	10	40
Frame047	12	11	54	11	28

ตารางที่ 12 (ต่อ) ผลของการตรวจจับจอภาพทั้ง 200 ตำแหน่งภาพ

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับที่ Res. 768 x 576	เวลาที่ใช้ (วินาที)	การตรวจจับที่ Res. 384 x 288	เวลาที่ใช้ (วินาที)
Frame048	11	8	57	8	30
Frame049	9	9	67	8	36
Frame050	21	20	59	19	34
Frame051	17	16	74	16	38
Frame052	13	13	57	13	30
Frame053	13	12	67	12	36
Frame054	20	18	59	18	31
Frame055	20	19	74	19	34
Frame056	19	17	73	17	34
Frame057	19	18	58	18	31
Frame058	19	17	42	17	29
Frame059	19	18	63	18	35
Frame060	19	17	71	17	35
Frame061	19	18	82	17	44
Frame062	14	12	54	12	28
Frame063	13	12	57	12	32
Frame064	12	12	67	11	33
Frame065	10	10	59	10	31
Frame066	9	9	58	9	32
Frame067	9	9	42	9	26
Frame068	9	9	63	9	33
Frame069	9	9	71	9	40
Frame070	11	8	85	8	42
Frame071	19	17	57	16	31
Frame072	18	15	65	15	35
Frame073	15	14	63	13	35

ตารางที่ 12 (ต่อ) ผลของการตรวจจับจอภาพทั้ง 200 ตำแหน่งภาพ

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับที่ Res. 768 x 576	เวลาที่ใช้ (วินาที)	การตรวจจับที่ Res. 384 x 288	เวลาที่ใช้ (วินาที)
Frame074	16	12	70	12	36
Frame075	16	13	71	13	36
Frame076	15	14	82	14	45
Frame077	18	16	54	14	30
Frame078	18	15	57	15	29
Frame079	18	16	67	15	33
Frame080	18	16	59	15	32
Frame081	18	17	74	16	37
Frame082	18	16	57	16	32
Frame083	18	16	67	16	33
Frame084	17	15	63	15	30
Frame085	19	17	70	16	35
Frame086	18	13	85	13	43
Frame087	17	16	57	16	28
Frame088	17	15	65	15	35
Frame089	15	14	63	14	34
Frame090	16	13	70	13	37
Frame091	15	14	72	14	33
Frame092	9	9	66	9	30
Frame093	11	10	71	10	34
Frame094	11	11	82	11	43
Frame095	10	10	54	10	29
Frame096	8	8	57	8	31
Frame097	7	7	67	7	33
Frame098	7	4	59	4	31
Frame099	22	20	82	17	44

ตารางที่ 12 (ต่อ) ผลของการตรวจจับจอภาพทั้ง 200 ตำแหน่งภาพ

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับที่ Res. 768 x 576	เวลาที่ใช้ (วินาที)	การตรวจจับที่ Res. 384 x 288	เวลาที่ใช้ (วินาที)
Frame100	22	13	59	13	32
Frame101	21	15	57	15	31
Frame102	21	16	66	15	30
Frame103	20	16	54	15	30
Frame104	20	15	57	14	32
Frame105	20	16	67	16	29
Frame106	20	16	65	15	33
Frame107	20	17	63	15	32
Frame108	20	16	70	16	37
Frame109	20	16	72	16	35
Frame110	21	18	65	17	30
Frame111	21	18	63	17	32
Frame112	21	19	70	18	36
Frame113	21	18	72	17	38
Frame114	21	18	66	18	32
Frame115	21	18	64	17	32
Frame116	21	18	72	17	37
Frame117	21	17	72	17	38
Frame118	20	18	68	17	35
Frame119	19	16	85	15	43
Frame120	20	18	57	17	30
Frame121	20	17	65	16	30
Frame122	7	7	63	7	31
Frame123	7	7	70	7	32
Frame124	16	15	72	15	32
Frame125	17	16	66	16	30
Frame126	17	16	64	16	33

ตารางที่ 12 (ต่อ) ผลของการตรวจจับจอภาพทั้ง 200 ตำแหน่งภาพ

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับที่ Res. 768 x 576	เวลาที่ใช้ (วินาที)	การตรวจจับที่ Res. 384 x 288	เวลาที่ใช้ (วินาที)
Frame127	15	14	82	14	41
Frame128	15	14	54	14	28
Frame129	15	13	57	13	31
Frame130	13	13	67	13	36
Frame131	14	13	59	13	31
Frame132	16	15	82	14	40



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับที่ Res. 768 x 576	เวลาที่ใช้ (วินาที)	การตรวจจับที่ Res. 384 x 288	เวลาที่ใช้ (วินาที)
Frame153	17	16	63	16	31
Frame154	23	21	57	20	27
Frame155	18	15	67	14	35
Frame156	20	17	59	17	30
Frame157	18	17	74	17	35
Frame158	25	20	57	18	32
Frame159	9	7	67	7	37



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อภาพ	จำนวนจอภาพจริง	การตรวจจับที่ Res. 768 x 576	เวลาที่ใช้ (วินาที)	การตรวจจับที่ Res. 384 x 288	เวลาที่ใช้ (วินาที)
Frame180	14	13	68	13	35
Frame181	7	7	85	7	40
Frame182	9	7	57	7	31
Frame183	9	7	65	7	33
Frame184	13	11	63	11	31
Frame185	8	10	70	10	36
Frame186	10	13	57	13	30



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.6.1 ผลของการตรวจจับจอภาพแยกตามระยะระหว่างกล้องถึงท้ายภาพ

ระยะภาพ (เมตร)	จำนวนจอภาพจริง	จำนวนของการตรวจจับจอภาพด้วยโปรแกรม	คิดเป็น %
5-10	80	78	97.5
10-15	128	120	93.75
15-20	146	126	86.30
20-25	218	185	84.86

ตารางที่ 13 ผลของการตรวจจับจอภาพแยกตามระยะระหว่างกล้องถึงท้ายภาพ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.6.3 ผลของการตรวจจับจอภาพแยกตามการหันของจอภาพ

โดยเมื่อหน้าจอภาพหันหน้าตรงเข้ากล้องเป็นตำแหน่งเริ่มต้นที่ 0 องศา การหมุนใช้วิธีหมุนทวนเข็มนาฬิกา

การหันของจอภาพ (องศา)	จำนวนจอภาพจริง	จำนวนของการตรวจจับจอภาพด้วยโปรแกรม	คิดเป็น %
0-45	50	49	98
45-90	50	50	100
90-135	47	47	100



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยค่าทั้งสามนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 9 โดย 0 มีค่าต่ำสุด 9 มีค่าสูงสุดและในการประมวลผลโปรแกรมจะทำการตั้งค่าโดยปริยายให้เท่ากับ 5 ทั้งสามค่าซึ่งจะเหมาะสมกับการประมวลผลกับภาพที่ได้จากการถ่ายภาพปกติทั่วไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยทางการประมวลผลภาพ และการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการมองเห็นของมนุษย์ ได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพทั้งทางด้านความเร็วและความถูกต้องเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้การพัฒนาในด้านนี้ยังขึ้นอยู่กับความคิดค้นวิธีการหรือขั้นตอนวิธีใหม่ ๆ ที่จะใช้ในการแก้ปัญหา และอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นมาใหม่ที่มีคุณภาพเพิ่มขึ้นในอนาคต งานวิจัยนี้ก็เป็นการศึกษาขั้นตอนในการประมวลผลภาพ และการตรวจหาจอภาพซึ่งเป็นวัตถุตัวอย่างที่นำมาทดลองประมวลผล ซึ่งพบว่าการนำภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอมาประมวลผลยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการและต้องหาวิธีปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้จากกล้องมาทำการประมวลผลก่อนที่นำไปประยุกต์ใช้ และคุณภาพของภาพที่ได้มีผลโดยตรงกับความถูกต้องของการตรวจหาจอภาพคอมพิวเตอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการที่จะนำไปแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ส่วนหนึ่ง และสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่น ๆ ต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยพบว่าขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอานี้สามารถประมวลผลภาพและสามารถตรวจหาจอภาพจากภาพที่ได้มาจากกล้องวิดีโอ ได้ประมาณ 90% ของจำนวนจอภาพทั้งหมด ซึ่งส่วนของจอภาพอีกประมาณ 10% ที่ไม่สามารถตรวจหาได้เกิดขึ้นเนื่องจากคุณภาพของภาพที่นำมาประมวลผลยังมีคุณภาพไม่เหมาะกับการตรวจหาด้วยขั้นตอนวิธีนี้ทั้งหมด เพราะการตรวจหาด้วยขั้นตอนที่ได้แนะนำมานี้ภาพของวัตถุที่ต้องการตรวจหาจะต้องมีความชัดเจนของภาพมากและสภาพแวดล้อมของภาพ เช่น แสงจะต้องเพียงพอและการเหลื่อมซ้อนกันของภาพต่ำจึงจะได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง จากผลการวิจัยพบว่าขอบเขตของวัตถุที่สามารถตรวจหาได้ควรมีลักษณะดังนี้คือ

5.1.1 ภาพที่นำมาประมวลผลควรมีคุณภาพดี คือชัดเจนและแสงเพียงพอ

5.1.2 ผลของการตรวจจับจะได้ผลดีในระยะจากกล้องถึงถ่ายภาพอยู่ในช่วง 1-15 เมตรในกรณีของห้องภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของกล้องและแสงจากภายนอกด้วย

5.1.3 การเหลื่อมซ้อนของจอภาพ โดยปัจจัยของการเหลื่อมซ้อนกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการถ่ายภาพ ระยะของภาพ และการวางตำแหน่งของวัตถุในภาพ

5.2 ข้อจำกัดในการวิจัย

- 5.2.1 ภาพที่นำมาประมวลผลต้องมีความชัดเจนและคุณภาพของแสงดีจึงจะนำมาประมวลผลได้ถูกต้อง
- 5.2.1 ความถูกต้องในการตรวจหาขึ้นอยู่กับ การเชื่อมต่อของจอภาพ
- 5.2.3 วัตถุที่ต้องการตรวจหาจะต้องอยู่นิ่ง ไม่เคลื่อนไหวไปมา
- 5.2.4 กล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพจะต้องอยู่นิ่ง ในขณะที่ถ่ายและไม่ใช้เลนส์พิเศษหรือการดึงภาพ
- 5.2.5 วัตถุที่ทำการตรวจหาจะต้องมีขนาดไม่เล็กเกินไป
- 5.2.6 การถ่ายภาพจะใช้กล้องเพียงหนึ่งตัวในการนำภาพเข้ามาประมวลผล
- 5.2.7 คุณภาพของภาพที่ได้จากการจับภาพจากการแปลงจากสัญญาณวิดีโอที่ส่งมาเป็นรูปแบบแฟ้มแบบ AVI คุณภาพของภาพขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ (Capture Card) ด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

- 5.3.1 ในการประมวลผลภาพสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ โดยการให้กล้องสามาดดึงภาพหรือเคลื่อนที่เข้าไปหาวัตถุได้ในกรณีที่บริเวณใดที่วัตถุที่ตรวจจับไม่ชัดเจน แต่ต้องมีอุปกรณ์เฉพาะสำหรับใช้ประกอบกับกล้องที่ทำการถ่าย
- 5.3.2 หาขั้นตอนวิธีเพิ่มเติมสำหรับตรวจหาวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ได้ด้วย
- 5.3.3 นำไปใช้สำหรับค้นหาเกี่ยวกับวัตถุอื่น ๆ
- 5.3.4 การใช้กล้องมากกว่าหนึ่งตัวมาช่วยในการนำภาพมาประมวลผล
- 5.3.5 ในการประมวลผลด้วยภาพที่มีความละเอียดมากกว่าระบบ PAL และการประมวลผลภาพสีเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประมวลผล

รายการอ้างอิง

- [1] Jolly, M.-P. D.; Lakshmanan, S.; and Anil, K. J. Vehicle Segmentation and Classification Using Deformable Templates. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, VOL. 18, NO. 3, MARCH 1996.
- [2] Oren, M. Visual Appearance of Matte Surfaces. Department of Computer Science, Columbia University, 1995.
- [3] Bin, Y. ; and Anil, K. J. Lane Boundary Detection. Department of Computer Science, Michigan State University, 1996.
- [4] Simon, B. ; and Shree, K. N. A Theory of Pattern Rejection , Columbia University Technical Report ,Department of Computer Science Columbia University, 1995.
- [5] Rafael, C. G.; and Richard E. W. Hough Transform. Digital Image Processing, p. 432. Addison-wesley Company, 1993.
- [6] Fu, K.S.; Gonzalez, R.C.; and Lee, C.S.G. Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence. New York :McGraw-Hill, 1987.
- [7] Vera, B.A.; and Clemson V. Computer Graphics and Geometric Modeling. John Wiley & Sons., Inc. (n.d.). pp. 173-200.

บรรณานุกรม

1. Song De, M.A.; Xing, C. Hough transform Using Slope Curvature as Local Properties
IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1988.
2. Mark, C.K.; Jong-Seng, L.; Cheng-Chang, L; and Chung-Lin, H. Hough Transform
Modified by Line Connectivity and Line Thickness. IEEE Transaction on Pattern
Analysis and Machine Intelligence. Vol 19. NO:8 August 1997.
3. Awcock, G.j.; Thomas, R. Applied Image Processing . International Editions 1996.
McGraw-Hill,1995.
4. Lim, S. Two-dimensional Signal and Image Processing. Department of Electrical Engineering
and Computer Science Massachusetts Institute of Technology. Prentice-Hall,1990.
5. Jan, T. Digital Image Processing. Copenhagen University Observatory. Prentice-Hall,1993.
6. Loannis, P. Digital Image Processing Algorithms. Aristotle University of Thessaloniki.
Prentice-Hall Europe,1995.
7. Jason, K. Win32 Game Developer's Guide With DirectX 3. Waite Group Press,1997.
8. Paul, M.;Bruce K. C Language Algorithms for Digital Signal Processing. Prentice-Hall,1991.
9. Rafael, C. G.; and Richard E. W. Digital Image Processing. World Student Series.
Addison-wesley Company,1993.
10. Rod, S. Visual Basic Graphics Programming. John Wiley & Sons,1997.

ภาคผนวก ก
อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนาโปรแกรมมีดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลใช้หน่วยประมวลผลกลาง Pentium MMX 233 MHz
2. หน่วยความจำ 128 Mb
3. หน่วยเก็บข้อมูลสำรอง (Hard Disk) 2.1 Gb
4. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 95/98
5. Video V8 Captor Card
6. กล้องวิดีโอ
 - Panasonic M3000
 - SONY HandMate
 - SONY HandyCam
7. เครื่องมือในการพัฒนา
 - Microsoft Visual C++ Version 5.00
 - DirectX SDK Version 5.00
 - Asymantec Video Capture Version 4.0
 - TS Tech V2I Converter

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล้องวิดีโอ Panasonic NV-M3000EN

ข้อมูลจำเพาะ

ใช้ไฟ	DC 12.0 โวลท์
ระบบบันทึกภาพ	หัวเทปโรตารี 4 หัวเทป, ระบบบันทึก helical scanning
ความเร็วเทป	23.39 มม./วินาที
ระบบเทป	เทปแบบ VHS
ด้านภาพ	
ระบบโทรทัศน์	ระบบ CCIR; 625 เส้น, 50 เฟรมต่อวินาที สัญญาณสีระบบ PAL
ระบบมอดูเลท	ภาพขาวดำ; บันทึกแบบ FM azimuth สัญญาณสี; ระบบเปลี่ยน subcarrier phase shift recording
ระบบเอาท์พุท	Video Out (Phono); 1.0 Vp-p 75 โอห์ม อิมบาลานซ์ ขั้วเสียบ S-Video Out 1.0 Vp-p 75 โอห์ม อิมบาลานซ์
ด้านเสียง	
ระดับอินพุท	MIC IN (M3) -70 dB 4.7 กิโลโอห์ม อิมบาลานซ์
ระดับเอาท์พุท	Audio Out (PHONO) -8 dB 47 กิโลโอห์ม อิมบาลานซ์
ร่องเสียง	1 แทรค (เสียง โมโน สเตอริโอ), 2 ช่องเสียง (ไฮไฟ สเตอริโอ)
ตัวเซนเซอร์ภาพ	แบบ CCD 1/3 นิ้ว
เลนส์	เพาเวอร์ซูม 12 เท่า ความเร็วซูมภาพ 2 จังหวะ พร้อมระบบโฟกัส ภาพอัตโนมัติด้วยดิจิตอล AI ช่วงระยะการโฟกัส 5.6 – 67 มม. F 1.6 ม่านรับแสงอัตโนมัติ เส้นผ่านศูนย์กลางฟิลเตอร์ 49 มม.
ความเข้มแสงมาตรฐาน	1,400 ลักซ์
ความเข้มแสงต่ำสุด	1 ลักซ์
ภาพเนวอน ความชัดสี	VHS; มากกว่า 250 เส้น
อัตราส่วน S/N	ภาพ มากกว่า 43 เดซิเบล (แบบ SP) เสียง (ไฮไฟ) มากกว่า 47 dB (ปกติ) มากกว่า 43 dB
การตอบสนองความถี่	Hi-Fi 50-20,000 เฮิรตซ์ ธรรมชาติ 80-8,000 เฮิรตซ์
อุณหภูมิการใช้งาน	0-40 องศาเซลเซียส
ความชื้นใช้งาน	10%-80%
น้ำหนัก	ประมาณ 2.7 กิโลกรัม (ไม่รวมแบตเตอรี่แพค)
ขนาด	130 (กว้าง) x 245 (สูง) x 476 (ลึก) มม.

กล้องวิดีโอ SONY HandyMate Video8

ข้อมูลจำเพาะ

ใช้ไฟ	DC 6.0-7.5 โวลต์
ระบบบันทึกภาพ	หัวเทปโรตารี 2 หัวเทป, ระบบบันทึก helical scanning
ความเร็วเทป	20.051 มม./วินาที
ระบบเทป	เทปแบบ VHS
ด้านภาพ	
ระบบโทรทัศน์	ระบบ CCIR; 625 เส้น, 50 ฟิลด์ สัญญาณสีระบบ PAL
ระบบมอดูเลท	ภาพขาวดำ; บันทึกแบบ FM azimuth
ระบบเอาต์พุต	Video Out (Phono); 7.5 โวลต์ 1.2 แอมป์
ด้านเสียง	
ระดับอินพุต	MIC IN (M3) -66 dB
ระดับเอาต์พุต	Audio Out (PHONO) -7.5 dB 47 กิโลโอห์ม อิมบาลานซ์
ร่องเสียง	1 แทรค (เสียงโมนอธรรมดา)
ตัวเซนเซอร์ภาพ	แบบ CCD
เลนส์	ซูม 100 เท่า ช่วงระยะการโฟกัส 5.6 – 65 มม.
ความเข้มแสงสูงสุด	100,000 ลักซ์
ความเข้มแสงมาตรฐาน	100 ลักซ์
ความเข้มแสงต่ำสุด	6 ลักซ์
อุณหภูมิการใช้งาน	0-40 องศาเซลเซียส
น้ำหนัก	ประมาณ 315 กรัม (ไม่รวมแบตเตอรี่แพค)
ขนาด	112 (กว้าง) x 53 (สูง) x 74 (ลึก) มม.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล้องวิดีโอ SONY Handycam Video8

ข้อมูลจำเพาะ

ใช้ไฟ	DC 6.0-7.5 โวลต์
ระบบบันทึกภาพ	หัวเทปโรตารี 2 หัวเทป, ระบบบันทึก helical scanning
ความเร็วเทป	20.051 มม./วินาที
ระบบเทป	เทปแบบ VHS
ด้านภาพ	
ระบบโทรทัศน์	ระบบ CCIR; 625 เส้น, 50 เฟรมต่อวินาที สัญญาณสีระบบ PAL
ระบบมอดูเลต	ภาพขาวดำ; บันทึกแบบ FM azimuth
ระบบเข้าที่พูด	Video Out (Phono); 7.5 โวลต์ 1.2 แอมป์
ด้านเสียง	
ระดับอินพุต	MIC IN (M3) -66 dB
ระดับเอาท์พุต	Audio Out (PHONO) -7.5 dB 47 กิโลโอห์ม อิมพีแดนซ์
ร่องเสียง	1 แทรค (เสียงโมโนสเตอริโอ)
ตัวเซนเซอร์ภาพ	แบบ CCD
เลนส์	ซูม 48 เท่า ช่วงระยะการโฟกัส 5.4 – 64.8 มม.
ความเข้มแสงสูงสุด	100,000 ลักซ์
ความเข้มแสงมาตรฐาน	100 ลักซ์
ความเข้มแสงต่ำสุด	6 ลักซ์
อุณหภูมิการใช้งาน	0-40 องศาเซลเซียส
น้ำหนัก	ประมาณ 290 กรัม (ไม่รวมแบตเตอรี่แพค)
ขนาด	103 (กว้าง) x 49 (สูง) x 63 (ลึก) มม.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Asymantec Video Capture Version 4.0

ข้อมูลจำเพาะ

สัญญาณภาพ

ระบบ PAL รับสัญญาณได้สูงสุด 768 x 576

ระบบ NTSC รับสัญญาณได้สูงสุด 640 x 480

อัตราการจับเฟรม

สูงสุด 30 เฟรม/วินาที บนเครื่อง Pentium 100 หน่วยความจำ 16 MB ใช้ระบบ
ปฏิบัติการวินโดวส์ 95

สัญญาณภาพสี

รับสัญญาณภาพสีได้สูงสุด 16 ล้านสี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

DirectX

เนื่องจากงานวิจัยนี้งานส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับกราฟฟิกเกือบทั้งหมด ซึ่งในการประมวลผลงานที่เกี่ยวข้องกับกราฟฟิกนั้นจะต้องใช้หน่วยประมวลผลกลาง(CPU) และหน่วยความจำที่ค่อนข้างมากและต้องการความเร็วที่สูง แต่ภายใต้การพัฒนาโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์นั้นการเขียนโปรแกรมติดต่อกับระบบกราฟฟิกนั้น โปรแกรมจะต้องเขียนติดต่อกับระบบปฏิบัติการวินโดวส์แล้วระบบปฏิบัติการวินโดวส์จึงติดต่อกับฮาร์ดแวร์อีกทีหนึ่งซึ่งการทำงานในลักษณะนี้จะทำให้การทำงานช้าและเกิดการใช้ทรัพยากรของระบบมาก

ดังนั้นทางบริษัทไมโครซอฟท์จึงได้ออก Microsoft DirectX SDK(Software Development Kit) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ทางมัลติมีเดียและกราฟฟิกโดยเฉพาะ ซึ่งในปัจจุบันทางไมโครซอฟท์ได้ออก DirectX SDK มาถึงเวอร์ชัน 6 และเวอร์ชัน 7 อยู่ในระหว่างทำการทดลองใช้งาน (Beta Test) โดยส่วนประกอบของ DirectX มีอยู่หลายส่วนดังนี้

1 ส่วนประกอบของ DirectX

ส่วนประกอบหลัก ๆ ของ DirectX SDK มีดังนี้คือ

1. DirectDraw เป็นส่วนประกอบหลักของ DirectX SDK เนื่องจากมีหน้าที่จัดการการแสดงผลทางจอภาพและให้การความเร็วในการประมวลผลแบบกราฟฟิกเพื่อแสดงผลออกทางจอภาพได้เร็วกว่าวินโดวส์หรือ ระบบปฏิบัติการคอสเพลคติกมาก หรือการใช้ GDI(Graphics Device Interface) ของวินโดวส์ เนื่องจากมีการติดต่อและส่งข้อมูลโดยตรงกับฮาร์ดแวร์
2. Direct3D ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมที่เกี่ยวข้องของงานกราฟฟิกประเภท 3 มิติ
3. Direct Sound เป็นส่วนของการพัฒนาโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับเสียงและเวฟ(Wave) การปรับแต่งเสียงและตัดต่อเสียง
4. DirectPlay ใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่มีการติดต่อกับผู้ใช้งานหลาย ๆ คน การพัฒนาโปรแกรมติดต่อกับโมเด็ม เน็ตเวิร์กและอินเทอร์เน็ต
5. DirectInput ใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลภายนอกต่าง ๆ เช่น คีย์บอร์ด เมาส์ จอยสติ๊ก แสแกนเนอร์ กล้อง ให้สามารถใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพและยังรองรับอุปกรณ์ที่จะเกิดขึ้นใหม่ ๆ อีกเช่น USB(Universal Serial Bus)
6. DirectMusic มีลักษณะคล้าย ๆ กับ DirectSound แต่ในส่วนนี้จะมีฟังก์ชันใช้ในการสนับสนุนไฟล์ประเภท MIDI , MPEG , WAV และรูปแบบไฟล์เสียงอื่น ๆ อีกมาก

7. DirectSetup ช่วยในการติดตั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ของ DirectX ให้กับผู้ใช้ อย่างอัตโนมัติ

8. AutoPlay ใช้สำหรับทำให้โปรแกรมที่พัฒนาสามารถที่จะทำการติดตั้งลงในระบบปฏิบัติการวินโดวส์ได้ง่ายขึ้น หรือการทำให้โปรแกรมสามารถถูกเรียกออกมาใช้งานจากระบบปฏิบัติการวินโดวส์อย่างอัตโนมัติ

ในการพัฒนาโปรแกรมของผู้วิจัยพัฒนาโดยใช้ Microsoft Visual C++ V5.0 และพัฒนาผ่าน DirectX SDK บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95/98 โดยการพัฒนาโปรแกรมนั้นจะใช้ในส่วนของ DirectDraw เป็นหลัก

DirectDraw

การจัดการกราฟฟิกแบบ 2 มิติ จะอยู่ในส่วนของ DirectDraw Interface ในการพัฒนาโปรแกรมที่สร้างบนวินโดวส์ 95/98 DirectDraw เป็นส่วนสำคัญสิ่งแรกในการจัดการกับขั้นตอนแสดงผล ดังนั้น DirectDraw จึงเป็นส่วนสำคัญส่วนแรกของการพัฒนาด้วย DirectX

ในอดีตไมโครซอฟท์วินโดวส์ใช้ GDI(Graphics Device Interface) ในการจัดการกับระบบกราฟฟิก ไม่ว่าจะเป็นการวาดรูป หรือการจัดการกับรูปภาพต่าง ๆ ซึ่ง GDI เองนั้นมีฟังก์ชันคอยสนับสนุน ในช่วงแรกของระบบปฏิบัติการแบบวินโดวส์นั้น การพัฒนาโปรแกรมแบบกราฟฟิกนักพัฒนาพยายามที่จะใช้ GDI มาช่วยในการสร้างภาพแบบกราฟฟิกแต่เกิดปัญหาในเรื่องของความเร็วในการแสดงผล การประมวลผล และการใช้ทรัพยากรของระบบที่มากของวินโดวส์

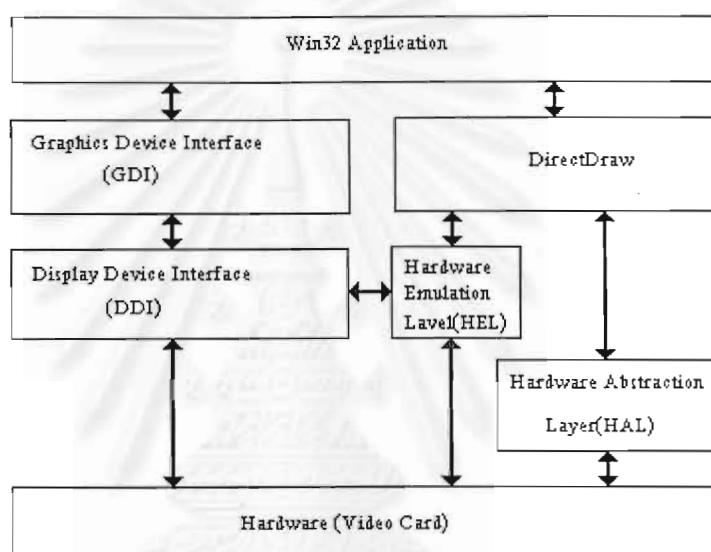
หลังจากนั้นทางไมโครซอฟท์ได้ทำการพัฒนา WinG SDK ขึ้นมาเพื่อให้นักพัฒนาใช้โดยสร้างฟังก์ชันต่าง ๆ ขึ้นมาให้ใช้แต่ก็ยังคงอาศัยการติดต่อผ่านระบบปฏิบัติการวินโดวส์อยู่ ต่อมาจึงได้ทำการพัฒนาเพิ่มเติมจนกลายเป็น DirectX SDK

DirectDraw มีหน้าที่ในการช่วยให้นักพัฒนาโปรแกรมได้ใช้งานทางด้านกราฟฟิกและการจัดการกับฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1. ช่วยจัดการกับระบบหน่วยความจำโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านระบบปฏิบัติการของวินโดวส์
2. จัดการกับระบบการแสดงผลให้อย่างอัตโนมัติ โดยผู้พัฒนาไม่จำเป็นต้องไปเขียนไดรเวอร์ติดต่อกับฮาร์ดแวร์เอง
3. สามารถใช้งานร่วมกับ GDI ของวินโดวส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. มีฟังก์ชันพื้นฐานต่าง ๆ ในการติดต่อกับหน่วยความจำโดยตรง หน่วยแสดงผล และวินโดวส์ให้ใช้งานกับกราฟฟิก 2 มิติ อย่างมากมาย

2 การทำงานของ DirectX

ในการใช้งาน DirectX ตัว DirectX จะคอยติดต่อกับโปรแกรมไดรเวอร์(Program Driver) ของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยตรงไม่ผ่านระบบปฏิบัติการวินโดวส์ แต่การติดต่อผ่านโปรแกรมไดรเวอร์ของอุปกรณ์ทำให้หาคำปัญหาในเรื่องของความเข้ากันไม่ได้ของฮาร์ดแวร์ซึ่งเกิดขึ้นกับการพัฒนาโปรแกรมบนคอส เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้มีการผลิตออกมาจากหลายบริษัทและหลายรุ่นเช่นการ์ดจอ จะมีหลายชนิดมีทั้งประเภท 2 มิติ 3 มิติ และแบบมีอุปกรณ์เร่งความเร็วในการแสดงผล ซึ่งความหลากหลายเหล่านี้ DirectX จะทำการติดต่อกับ โปรแกรมไดรเวอร์ของอุปกรณ์เหล่านั้นเองโดยผู้พัฒนาไม่ต้องคำนึงถึงความแตกต่างของการพัฒนาโปรแกรมเลย



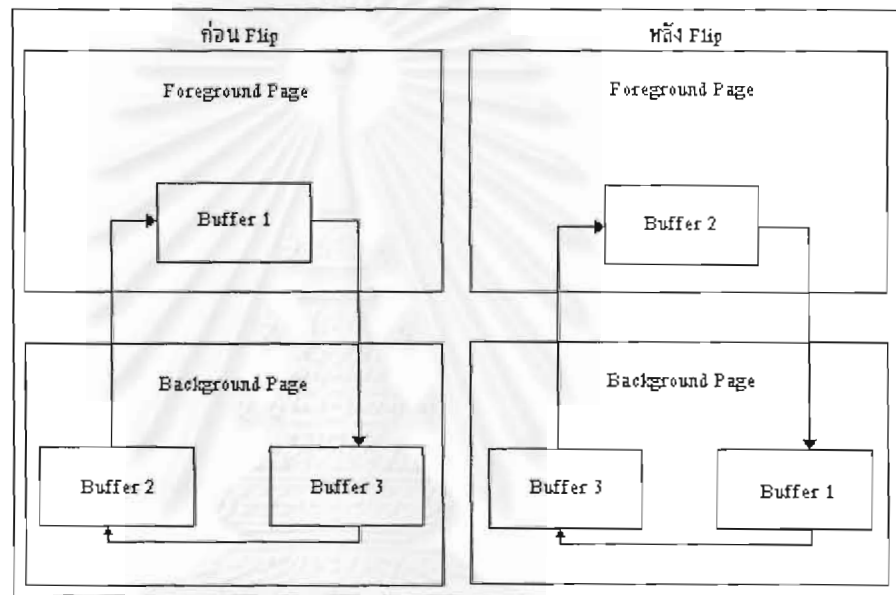
รูปที่ 6.1 การทำงานของ Direct X

ลักษณะการทำงานของ DirectX แสดงดังรูปที่ 6.1 พิจารณาจากรูปจะเห็นว่าโปรแกรมประยุกต์แบบ 32 บิต (Win32 Application) สามารถเขียนภาพออกทางหน้าจอของวินโดวส์ได้ 2 แบบคือ

- ผ่านทาง GDI
- ผ่านทาง DirectDraw

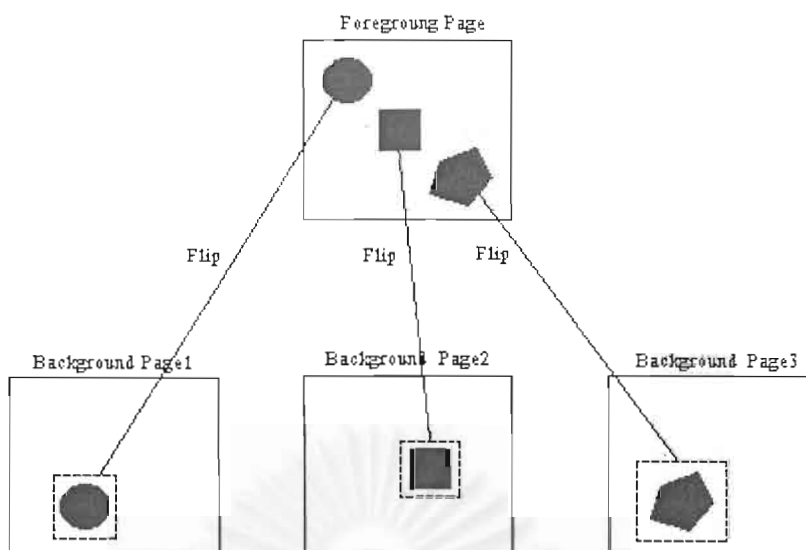
ซึ่งโดยทั่วไปในการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้งานที่ไม่ได้ใช้งานกราฟฟิกโดยตรงมักจะเขียนภาพออกทางหน้าจอผ่านทาง GDI แทบทั้งสิ้น ส่วนโปรแกรมที่ใช้งานเกี่ยวกับกราฟฟิกโดยตรงเช่นโปรแกรมตกแต่งภาพ โปรแกรมเกี่ยวกับสื่อผสม หรือเกมต่างจะใช้วิธีการเขียนจอภาพผ่านทาง DirectDraw เป็นส่วนใหญ่ เทคนิคที่สำคัญของ DirectDraw ที่สำคัญคือส่วนของบัฟเฟอร์ (Buffer) ของการประมวลผลเพื่อนำภาพออกสู่หน้าจอแสดงผล จะสนับสนุนการสลับหน้า (Flipping Page) คือการเขียนหน้าจอในบัฟเฟอร์ส่วนหลังของการแสดงผล (Background Page) เมื่อเขียนเสร็จแล้วจึงทำการสลับ

(Flip) มายังด้านหน้า(Foreground Page) โดย Background Page สามารถที่จะมีได้หลาย ๆ หน้าดังแสดงในรูปที่ 6.2 โดยขณะทำการแสดงผลในส่วนของ Foreground Page ก็ยังสามารถเขียนหน้าจอในส่วน Background Page ไปพร้อม ๆ กันได้ด้วยเมื่อต้องการนำหน้าจอส่วนใดขึ้นมาแสดงก็สามารถทำการสลับหน้าขึ้นมาได้ทันที ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ทำให้การแสดงผลเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก ซึ่งต่างจากการพัฒนาโปรแกรมผ่าน GDI ต้องทำการเขียนข้อมูลได้ครั้งละหนึ่งหน้าเท่านั้น



รูปที่ 6.2 แสดงการ Flip Page ของ Direct X

นอกจากนี้ในการเขียนหน้าจอของ DirectDraw ยังสามารถนำบัฟเฟอร์ของ Background Page จำนวนหลาย ๆ หน้าจามาซ้อนกันแล้วแสดงออกมาพร้อม ๆ กันได้ และในการนำบัฟเฟอร์ออกมาแสดงผลนั้นไม่จำเป็นต้องแสดงผลทั้งหมด สามารถเลือกแสดงเป็นส่วน ๆ ได้แสดงดังรูป 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงการนำส่วนย่อยของ Buffer มาแสดง

จากรูปที่ 6.1 จะเห็นว่า DirectDraw จะติดต่อการ์ดจอผ่าน HEL(Hardware Emulation Layer) และ HAL (Hardware Abstraction Layer) โดยจะติดต่อผ่าน Driver ของการ์ดจออีกทีหนึ่ง โดยการทำงานตัว DirectDraw จะเป็นตัวติดต่อให้ทั้งหมดตัวโปรแกรมประยุกต์ไม่ต้องติดต่อกับฮาร์ดแวร์โดยตรง โดยตัว HAL จะทำการรายงานรายละเอียดและความสามารถของอุปกรณ์ให้ DirectDraw ทราบ และ DirectDraw จะทำการติดต่อกับตัวโปรแกรมประยุกต์อีกทีหนึ่ง แต่ในกรณีที่ โปรแกรมประยุกต์มีการเรียกใช้งานบางฟังก์ชันที่ฮาร์ดแวร์ที่ใช้งานไม่สามารถตอบสนองได้ DirectDraw ก็จะไปเรียกใช้ฟังก์ชันนั้นผ่านทาง HEL แทนซึ่งเป็นการจำลองการทำงานของฮาร์ดแวร์ให้กับโปรแกรมประยุกต์ได้แต่การทำงานในลักษณะนี้จะทำงานได้ช้ากว่าฮาร์ดแวร์จริงๆ

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การประมวลผลภาพในลักษณะของการนำภาพที่ถ่ายมาเป็นภาพ Foreground และนำ วัตถุต้นแบบทำการประมวลผลในส่วนของ Background ซึ่งทำให้การประมวลผลทำได้เร็วกว่าการพัฒนาโปรแกรมผ่าน GDI ของวินโดวส์มาก จากการเขียนโปรแกรมทดสอบการทำงานเบื้องต้นก่อนที่จะนำมาใช้เขียนโปรแกรมจึงพบว่าการพัฒนาโปรแกรมด้วย DirectX สามารถทำงานได้เร็วกว่าการใช้ GDI ของวินโดวส์ประมาณ 7-10 เท่า ทั้งนี้ความเร็วแปรผันขึ้นอยู่กับรูปแบบของการเขียนโปรแกรมด้วย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างภาพของการตรวจจับจอภาพ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 9 จอจาก 10 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 12 จอจาก 13 จอ



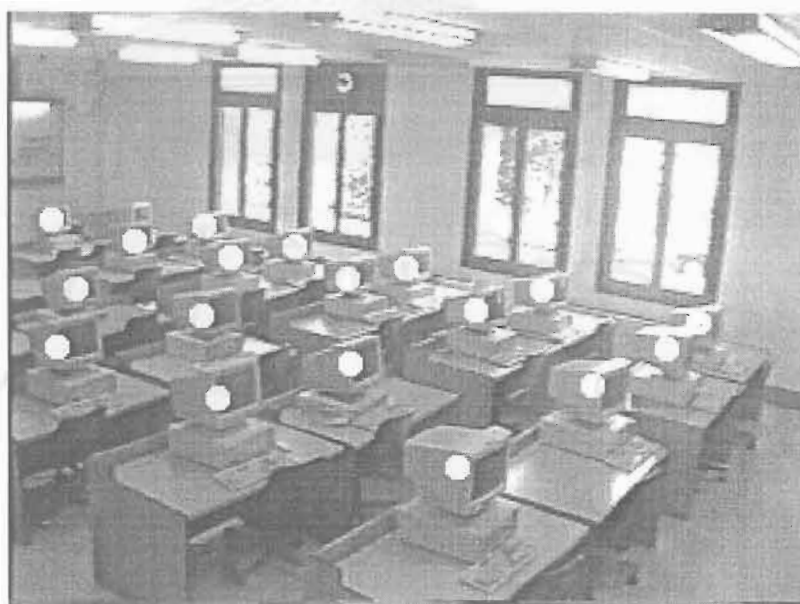
ผลตรวจจับจอภาพได้ 14 จอจาก 14 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 5 จอจาก 6 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 5 จอจาก 5 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 18 จอจาก 19 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 14 จอจาก 14 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 4 จอจาก 4 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 4 จอจาก 4 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 9 จอจาก 10 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 9 จอจาก 9 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 14 จอจาก 15 จอ



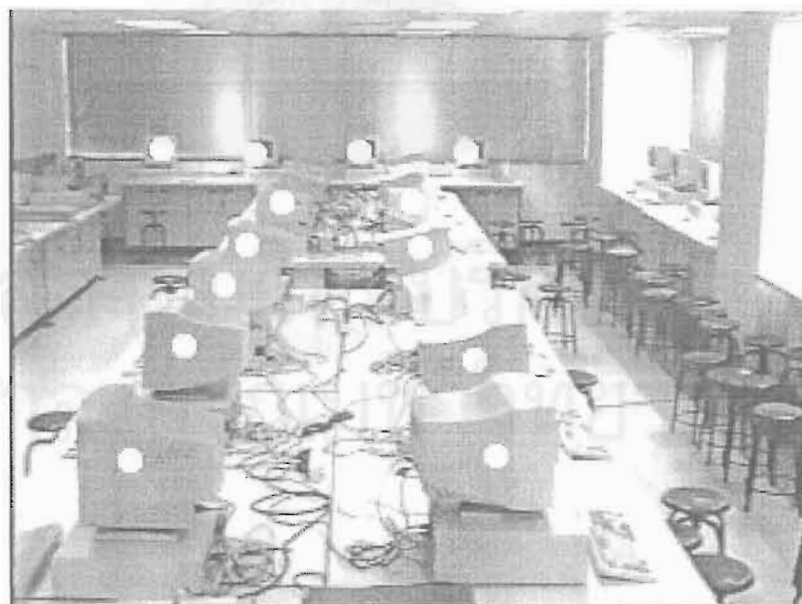
ผลตรวจจับจอภาพได้ 15 จอจาก 20 จอ



ผลตรวจจับจอภาพได้ 7 จอจาก 7 จอ



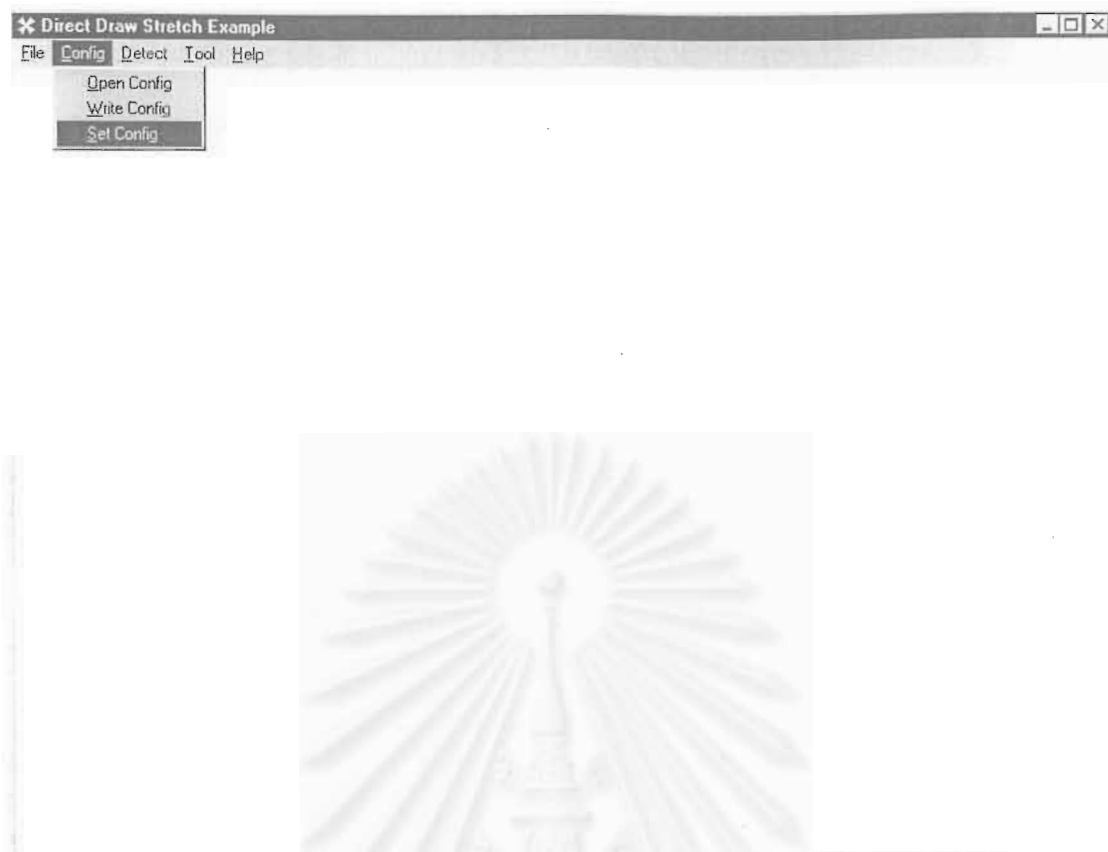
ผลตรวจจับจอภาพได้ 11 จอจาก 12 จอ



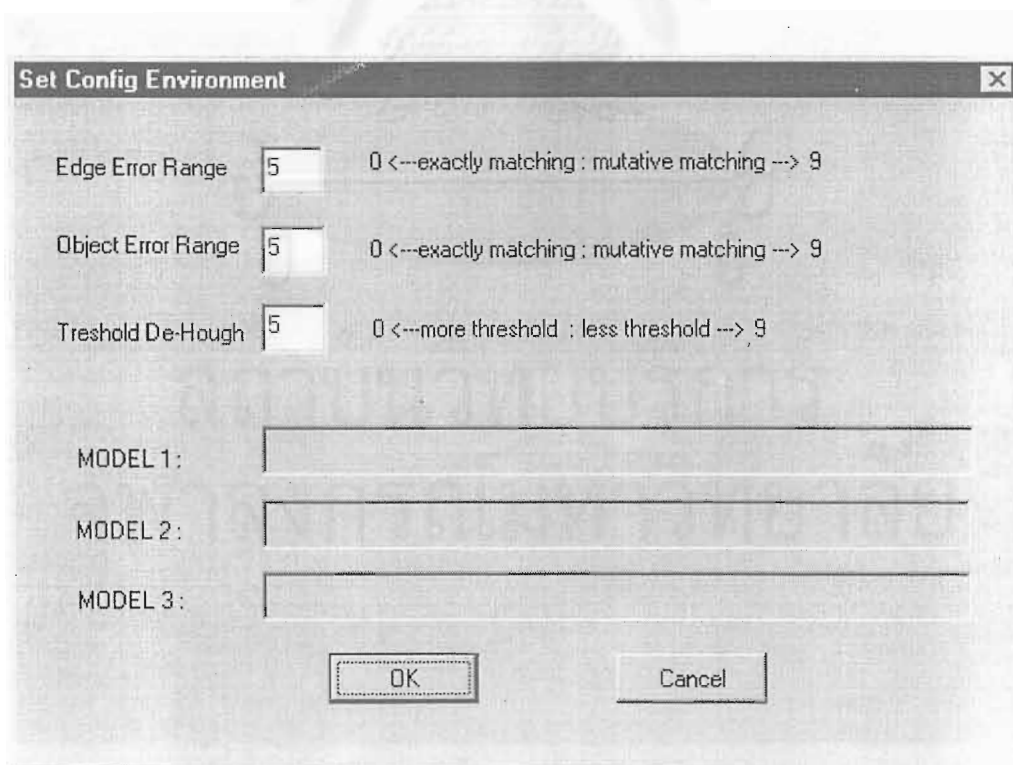
ผลตรวจจับจอภาพได้ 14 จอจาก 23 จอ



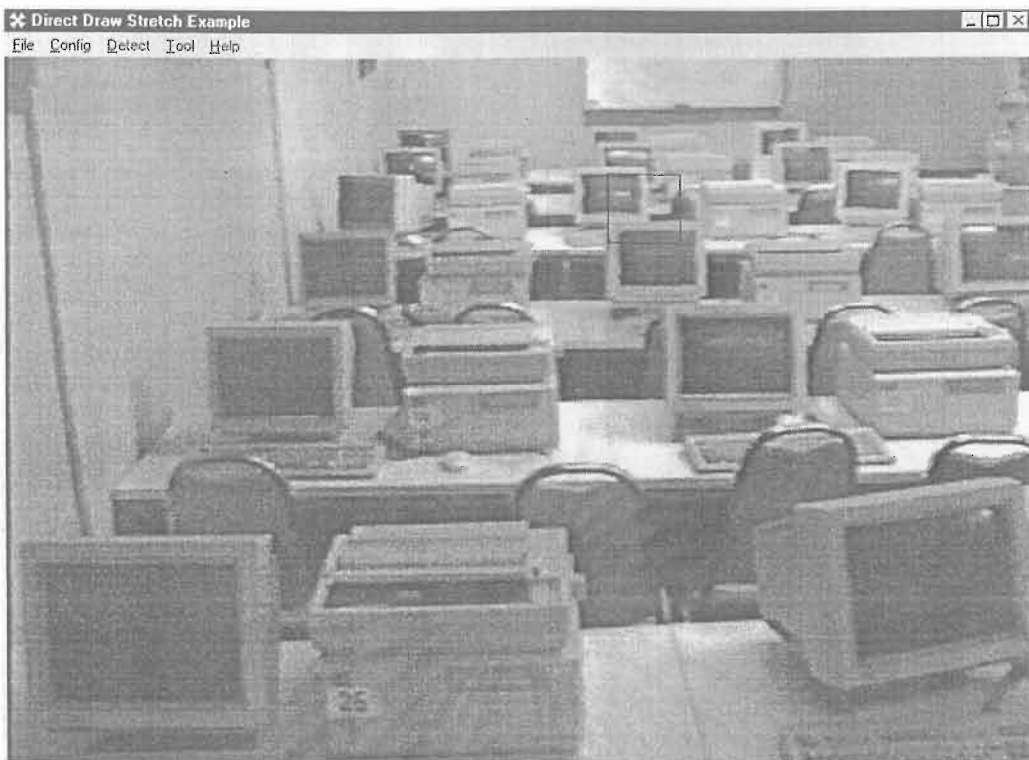
ตัวอย่างหน้าจอเมนู FILE



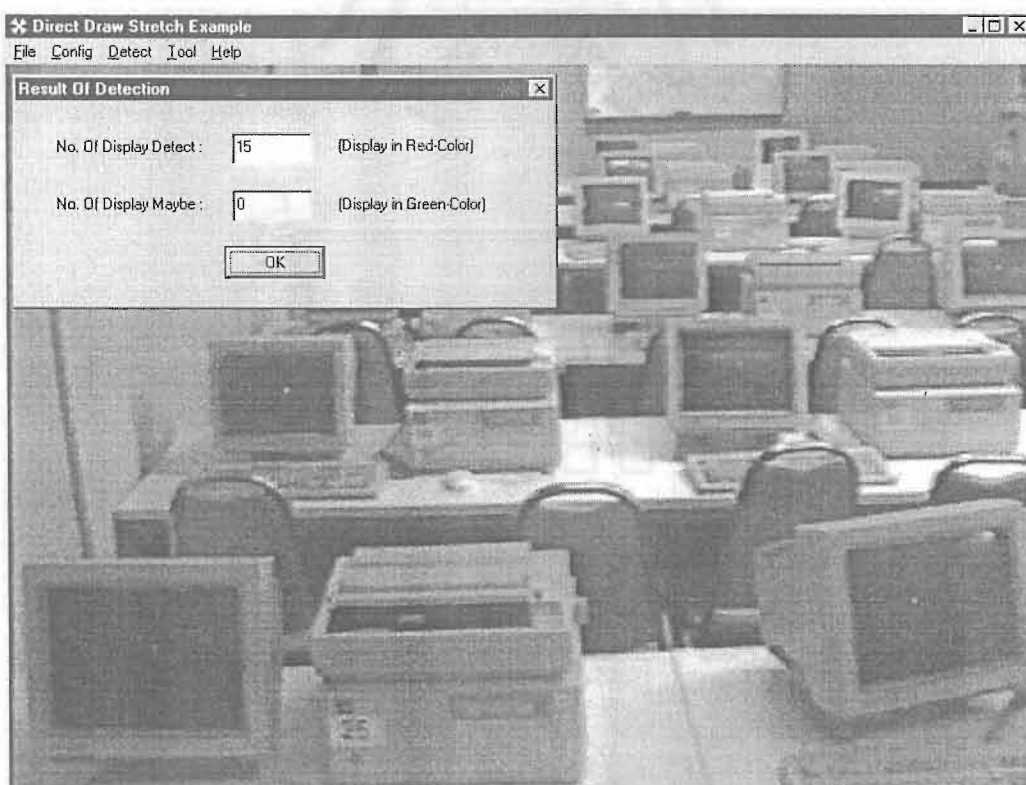
ตัวอย่างหน้าจอเมนู CONFIG



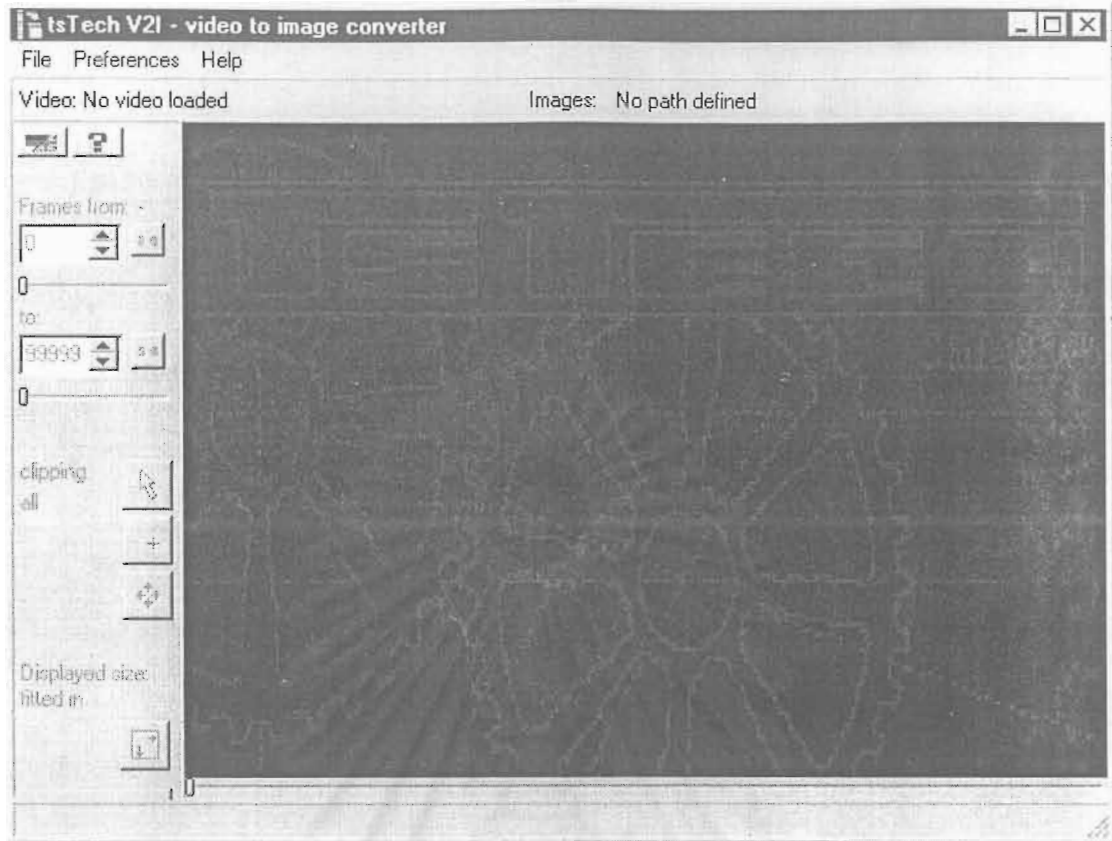
ตัวอย่างหน้าจอการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในเมนู SET CONFIG



ตัวอย่างหน้าจอขณะประมวลผล



ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลตรวจจับ



ตัวอย่างหน้าจอเมนูการแปลงข้อมูลเพิ่มแบบ AVI ไปเป็น BMP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นายสมจิตต์ อัครวราศ เกิดเมื่อวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2511 ที่อำเภอเถลียง จังหวัด
ภูเก็ต สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยา
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2535 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหา
บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย