

การหาพิกัดพื้นผิววัตถุสามมิติจากภาพถ่ายสเตอริโอ

3D SURFACE RANGE FINDING USING STEREO IMAGE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-572-5

การหาพิกัดพื้นผิววัตถุสามมิติจากภาพถ่ายสเตอริโอ

3D SURFACE RANGE FINDING USING STEREO IMAGE



เลขหนังสือพิมพ์.....
เลขทะเบียน..... 42556
วัน, เดือน, ปี..... 31 พ.ค. 2545

b..... 197201
i..... 1972015

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545
ISBN 974-648-572-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3D SURFACE RANGE FINDING USING STEREO IMAGE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-648-572-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

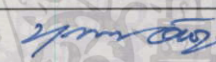
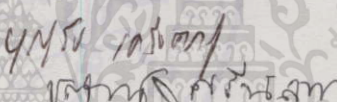
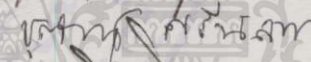
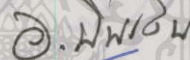

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลืกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาพิกัดพื้นผิววัตถุสามมิติจากภาพถ่ายสเตอริโอ
3D SURFACE RANGE FINDING USING STEREO IMAGE
ชื่อนักศึกษา นายอึ้งยศ ศรีบุญเรือง
รหัสประจำตัว 42061177
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชม กิมปาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.บุญวัฒน์	อัฐ	
รศ.ดร.บุญธีร์	เกรือตราชู	
ดร.ชุตินเมษณ์	ศรีนิลทา	
ผศ.ดร.เอื้อน	ปิ่นเงิน	
รศ.ดร.ชม	กิมปาน	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 25 ตุลาคม 2544 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-401)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัฐ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... 19 เดือน..... ตุลาคม พ.ศ..... ๒๕๔๔

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาพิกัดพื้นผิววัตถุสามมิติจากภาพถ่ายสเตอริโอ
นักศึกษา	นายยิ่งยศ ศรีบุญเรือง
รหัสประจำตัว	42061177
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ชม กัมปาน

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการพัฒนาเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพในการมองเห็นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง และการรู้ระยะทางเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับเครื่องจักรและหุ่นยนต์ในการเคลื่อนไหวได้อย่างถูกต้อง ปัญหาหลักของการมองเห็นที่สำคัญคือปัญหาความสอดคล้องของการมองเห็นภาพ เป็นปัญหาพื้นฐานของภาพสเตอริโอและการเคลื่อนไหว ในวิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการหาระยะทางของพื้นผิววัตถุ 2 วิธีหลักคือการหาระยะทางของพื้นผิววัตถุด้วยภาพสเตอริโอโดยใช้แสงเลเซอร์ในการกำหนดจุดภาพ และการหาระยะทางของพื้นผิวด้วยภาพสเตอริโอ ผลการทดลองจะเสนอค่าระยะพิกัดของวัตถุ และระยะพื้นผิวน้ำของมนุษย์ โดยสามารถนำระยะทางที่คำนวณได้ไปเป็นข้อมูลสำหรับการรู้จำ และแสดงรูปวัตถุในลักษณะไวร์เฟรม โดยสามารถนำไปใส่พื้นในแบบต่างๆ ซึ่งช่วยทำให้เข้าใจถึงรูปร่างหรือลักษณะของพื้นผิววัตถุได้ง่ายยิ่งขึ้น

Thesis Title	3D Surface Range Finding Using Stereo Image
Student	Mr. Yingyos Sriboonruang
Student ID.	42061177
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chom Kimpan

ABSTRACT

In present, The developments of machine vision efficiency have important. Range finding is particularly necessary for machine or robot to moving accurately. One of the most fundamental problems in machine vision is the problem of visual correspondence. The visual correspondence problem is the basis of stereo and motion. This thesis presents two methods for image range finding on object. First is image range finding using stereo image and laser for correspondence pixel. It is shown by simulation results with various real stereo images that the computational complexity is reduced to make it possible to used in real-time system. Experiment result present range finding of object and human face which used range finding to calculate normal vector, wire frame, mapping surface for understand geometrical and other feature of surface.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบุคคลๆ ฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณทุกท่านดังต่อไปนี้

คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งคอยอบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนและให้โอกาสในเรื่องการศึกษา และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

รศ.ดร.ชม กัมปาน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำชี้แนวทางในการศึกษาวิจัยและการทำวิทยานิพนธ์ โดยให้ความรู้ ความเข้าใจ ให้โอกาสในการศึกษาอย่างอิสระ และให้การอบรมสั่งสอนในทุกๆด้าน ตลอดระยะเวลาการศึกษา ซึ่งผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาจากท่านเป็นอย่างสูง

สำนักวิจัยสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ ขอขอบคุณที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในงานวิจัยที่มีราคาสูง และให้การสนับสนุนในด้านเงินทุนวิจัย ทำให้ผลงานวิจัยได้รับการตีพิมพ์และยอมรับในการประชุมสัมมนาทางในและต่างประเทศ

อาจารย์เสรี ปานขาว ที่ให้ความรู้และคำปรึกษาจนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จ ครู อาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้การอบรม สั่งสอนให้ความรู้ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกท่านที่ส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ยิ่งยศ ศรีบุญเรือง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์.....	5
2.1 การมองเห็นของมนุษย์.....	6
2.2 ความรู้และกระบวนการด้านต่างๆ ที่สนับสนุนระบบการมองเห็น.....	11
2.2.1 การเก็บภาพ.....	12
2.3 การประมวลผลภาพ (Image Processing).....	15
2.3.1 การประมวลผลภาพหรือการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพ.....	16
2.3.1.1 วิธีประมวลผลที่ละจุดใน 1 ภาพ.....	16
2.3.1.2 วิธีประมวลผลโดยใช้จุดภาพที่สอดคล้องกัน.....	16
2.3.1.3 วิธีประมวลผลที่ละกลุ่มใน 1 ภาพ.....	17
2.4 การแสดงข้อมูลภาพ.....	17
2.4.1 เฟรมบัพเฟอร์.....	18
2.4.2 ตัวควบคุมการแสดงภาพ.....	20
2.4.3 การแปลงภาพให้เป็นตำแหน่งของจุดภาพในเฟรมบัพเฟอร์.....	21
2.5 การแสดงภาพตามลำดับส่วนระยะทาง.....	21
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

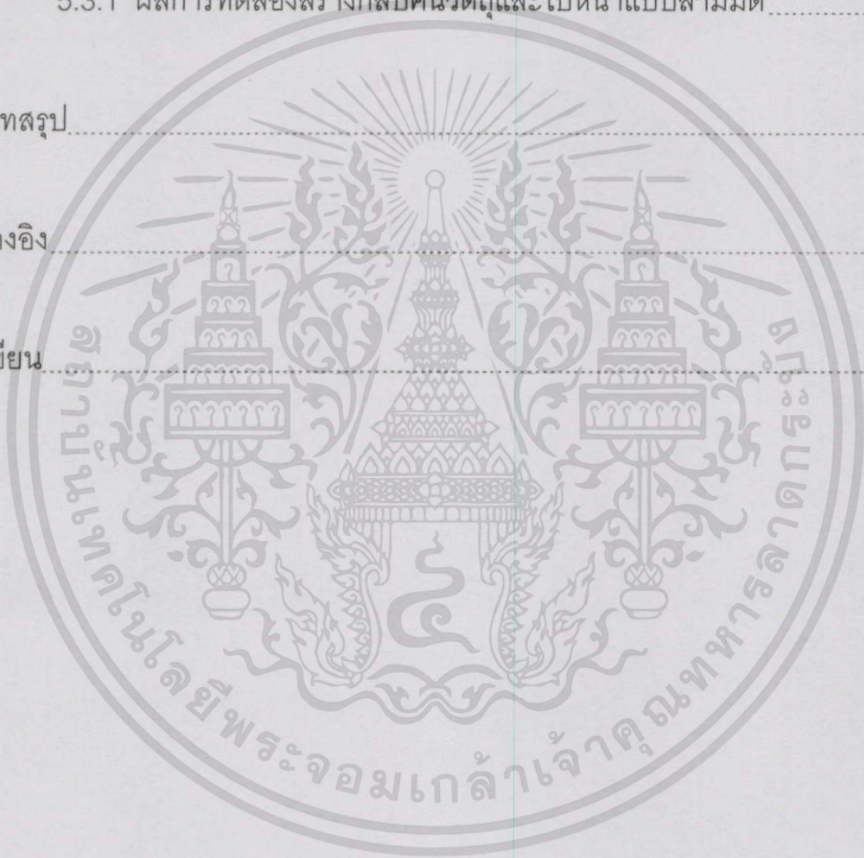
สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1 การกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองแบบเลือกค่ากลาง (Median Filter).....	24
3.2 การหาขอบภาพโดยใช้วิธีโซเบล (Sobel Method).....	24
3.3 การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform).....	25
3.3.1 การคำนวณการแปลงของเวฟเลต.....	26
3.4 ระบบพิกัด (Coordinate System).....	28
3.5 การแปลงเรขาคณิตของข้อมูลภาพ.....	29
3.5.1 การเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Translation).....	31
3.5.2 การหมุนวัตถุ (Rotation).....	31
3.5.3 การสเกล (Scaling).....	33
3.6 การฉายแสง (Ray Casting).....	33
3.7 การส่องสว่างและการให้แสงเงา (Illumination and Shading).....	35
3.7.1 เกรเดียนต์ (The Gradient).....	35
3.6.1.1 ตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์.....	36
3.6.1.2 เกรเดียนต์กับการสร้างภาพเชิงปริมาตร.....	37
3.6.2 การให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong.....	37
3.6.3 แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong.....	37
3.6.3.1 แสงแวดล้อม (Ambient Light).....	38
3.6.3.2 การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection).....	38
บทที่ 4 การหาระยะด้วยภาพสเตอริโอ.....	40
4.1 หลักการของสเตอริโอแบบพาสซีล.....	40
4.1.1 การหาความสัมพันธ์ของคู่จุดภาพ.....	42
4.2 การหาระยะพิกัดผิวหน้ามนุษย์และวัตถุโดยภาพสเตอริโอแบบเอกทิพ.....	47
4.2.1 การหาคุณสมบัติของกล้องและการหาระยะทางจากกล้องถึงผิววัตถุ.....	50
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	55
5.1 การทดลองหาระยะด้วยภาพถ่ายสเตอริโอแบบพาสซีล.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1.1 ผลการทดลองการคำนวณหาระยะทางแบบพาสซีฟ.....	62
5.2 การทดลองหาระยะด้วยภาพถ่ายสเตอริโอแบบแอกทีฟ.....	63
5.2.1 ผลการทดลองการคำนวณหาระยะทางแบบแอกทีฟ.....	70
5.3 การสแกนโครงสร้างใบหน้าและนำมาสร้างกลับแบบ 3 มิติ.....	71
5.3.1 ผลการทดลองสร้างกลับคืนวัตถุและใบหน้าแบบสามมิติ.....	72
บทที่ 6 บทสรุป.....	81
เอกสารอ้างอิง.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	84



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงข้อมูลจากการแปลงเวฟเลตจำนวน 4 ชั้น.....	28
5.1 แสดงค่าระยะทางที่วัดจริงและจากการคำนวณแบบสเตริโอแบบพาสซีส.....	62
5.2 ระยะความผิดพลาดจากการวัดจริงและจากการคำนวณ.....	71



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงภาพ Topography จากเครื่อง CT - Scan.....	5
2.2 ภาพแสดง Stereo Image.....	5
2.3 โครงสร้างของระบบการมองเห็น.....	6
2.4 ภาพตัดขวางอย่างง่ายของดวงตามนุษย์.....	7
2.5 การวางตัวของ rod และ cone ที่ระยะทางห่างจากศูนย์กลางของ fovea.....	7
2.6 แสดง Rods (ขาว) และ Cones (ซ้าย).....	8
2.7 แสดงการทำงานสองลักษณะของช่องตา.....	9
2.8 การโปรเจกของวัตถุบนเรตินา.....	10
2.9 contrast ระหว่างวัตถุกับฉากโดยรอบ.....	10
2.10 การส่องตัวอย่างสัญญาณ.....	13
2.11 แสดงการเปรียบเทียบภาพที่ใช้จำนวนบิตต่อ 1 จุดภาพต่างกัน.....	14
2.12 แสดงการประมวลผลภาพแบบไบนารี.....	15
2.13 แสดงการประมวลผลภาพในการกำจัดสัญญาณรบกวน.....	17
2.14 แสดงส่วนประกอบในหน่วยแสดงภาพ.....	18
2.15 แสดงความสัมพันธ์ของเฟรมบัพเฟอร์กับจอภาพ.....	19
2.16 แสดงระบบพิกัดของจอภาพ.....	20
2.17 แสดงเฟรมบัพเฟอร์ที่ใช้ 3 บิตต่อ 1 จุดภาพ.....	20
2.18 แสดงรูปการแปลงแบบเพอร์สเพกทีฟ.....	22
3.1 ระบบพิกัด (ก) ระบบมือขวา (ข) ระบบมือซ้าย.....	29
3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส.....	30
3.3 การย้ายตำแหน่งจุดข้อมูลไปที่จุดกำเนิด.....	31
3.4 การแปลงการหมุนรอบแกนต่างๆ.....	32
3.5 การฉายแสงเข้าไปในปริมาตร.....	33
3.6 ลักษณะของแสงที่ฉายเข้าไปในปริมาตร.....	34
3.7 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจาย.....	39
4.1 แสดงการหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุโดยหลักการสเตอริโอ.....	41
4.2 ตัวอย่างภาพสเตอริโอ.....	43

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	แสดงวิธีการหาตำแหน่งจุดภาพด้านขวาที่สัมพันธ์กับจุดภาพทางด้านซ้าย..... 44
4.4	ตัวอย่างการเลื่อนหน้าต่างในการหาความสัมพันธ์ของจุดภาพ..... 47
4.5	แสดงไดอะแกรมการหาระยะจากภาพสเตอริโอโดยใช้เลเซอร์สแกน..... 48
4.6	การติดตั้งฮาร์ดแวร์..... 49
4.7	การปรับแต่งกล้อง..... 49
4.8	การหามุมฉายของกล้อง..... 50
4.9	แสดงการหาจุด Opn โดยการฉาย Op..... 51
4.10	การหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ..... 52
5.1	ไดอะแกรมระบบการทำงาน..... 56
5.2	ภาพข้อมูลอินพุทที่ไม่ผ่านการแปลงใดๆ..... 56
5.3	ภาพข้อมูลอินพุทที่ทำการสเกลถึงขนาด 320x240..... 57
5.4	ภาพข้อมูลที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวน Median filter..... 57
5.5	แสดงการหาขอบภาพที่ขนาดหน้าต่างที่ต่างๆกัน..... 58
5.6	แสดงภาพความแตกต่างค่าต่างๆ (Disparity)..... 60
5.7	ค่าระยะทางที่ได้จากกล้องถึงวัตถุ(ใบหน้า)..... 61
5.8	แสดงตามพิกัดจุด x,y,z..... 61
5.9	ภาพในการทดลองหาระยะทางในการเปรียบเทียบ..... 62
5.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่วัดจริงและจากการคำนวณ..... 62
5.11	ภาพสเกลที่ถ่ายจากกล้องซ้ายและขวาเพื่อหาสัดส่วน H:L..... 63
5.12	ข้อมูลที่ได้จากการสแกนด้วยแสงเลเซอร์..... 66
5.13	ภาพก่อนการกำจัดสัญญาณรบกวน..... 66
5.14	ภาพหลังจากการกำจัดสัญญาณรบกวน..... 66
5.15	กราฟค่าสูงสุดจากภาพจากกล้องทางด้าน (ก) ซ้ายมือและ (ข) ด้านขวามือ..... 67
5.16	ค่าระยะทางจากกล้องถึงผิวหนังที่ได้..... 68
5.17	แสดงการเปรียบเทียบการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพเดียวกัน..... 69
5.18	ผลการกำจัดได้จากการกำจัดสัญญาณรบกวนในแบบต่างๆ..... 69
5.19	แสดงผลการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตตั้งแต่ระดับ 1-14..... 70

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20 แสดงรูปวัตถุที่ใช้ในการวัดระยะทอดสอบ.....	70
5.21 แสดงการสร้างกลับคืนของวัตถุในแบบ 3 มิติ.....	72
5.22 แสดงการสร้างกลับคืนผิวหน้ามนุษย์ 1 ใบหน้าในการถ่าย 3 ครั้ง.....	72



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

จากอดีตที่ผ่านมามนุษย์ได้พยายามสร้างและพัฒนาเครื่องอำนวยความสะดวกเพื่อนำมาใช้งานในชีวิตประจำวันทั้งในบ้านเรือน อาคารสำนักงาน และโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันเครื่องจักรเหล่านี้ถูกพัฒนาจนสามารถทำงานที่มีความละเอียดซับซ้อนได้ไม่ด้อยไปกว่ามนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นความแม่นยำ ความรวดเร็วในการประมวลผลและการตัดสินใจซึ่งคุณสมบัติข้อหนึ่งที่จะช่วยสนับสนุนให้เครื่องจักรเหล่านี้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมีความยืดหยุ่นและมีความน่าเชื่อถือก็คือ ความสามารถในการมองเห็น นักวิจัยจำนวนมากเสนองานวิจัยที่คิดค้นเพื่อให้เครื่องจักรมีความสามารถในการมองเห็นได้เหมือนมนุษย์ ในทางกายภาพระบบการมองเห็นได้ถูกพัฒนาในรูปของอุปกรณ์เซนเซอร์ชนิดต่างๆ เช่น กล้องถ่ายภาพ สแกนเนอร์ เครื่องเอกซเรย์ เครื่อง CT-Scan ฯลฯ ให้มีความสามารถในการรับข้อมูลภาพในลักษณะต่างๆ ได้หลากหลายมากขึ้น

ส่วนวิธีการในการมองเห็นของเครื่องจักรก็ได้มีการพัฒนาโดยอาศัยแนวความคิดเดียวกับการมองเห็นของมนุษย์ เช่นการแยกแยะวัตถุออกจากฉาก โดยการสังเกตจากลักษณะเด่นของวัตถุซึ่งอาจเป็นเส้นขอบที่บอกรูปร่างและขนาดของวัตถุ สีของวัตถุและลักษณะพื้นผิวของวัตถุเป็นต้น ในวิทยานิพนธ์นี้จะได้นำปัญหาในการมองเห็นวัตถุมาทำการแก้ไข ให้มีความรวดเร็ว และแม่นยำขึ้น วิธีการหาตำแหน่งหรือระยะทางของวัตถุมีอยู่หลายวิธีด้วยกันซึ่งจะได้เสนอต่อไป

ในการหาระยะทางของวัตถุจะใช้ตัวตรวจจับ (Sensor) ชนิดต่าง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับยังไม่ใช้เป็นระยะทางจริง จะต้องนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการคำนวณใหม่เสียก่อน เราเรียกข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับนี้ว่า ข้อมูลระยะทาง (Range Data) ดังนั้นข้อมูลระยะทางจึงมีประโยชน์มาก ซึ่งจะช่วยให้หุ่นยนต์เคลื่อนนำข้อมูลระยะทางดังกล่าวไปคำนวณหาระยะทางจริง เพื่อให้สามารถรับรู้ระยะทางที่จะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนไหวไปยังตำแหน่งที่ต้องการหรือเคลื่อนไหวไปหยิบจับวัตถุที่ต้องการได้ บางครั้งข้อมูลระยะทางยังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ภาพวัตถุชนิดสามมิติได้อีกด้วย เช่น ใช้ในการแบ่งข้อมูลภาพ (Segmentation) ใช้ในการอธิบายถึงรายละเอียดของภาพ (Description) เป็นต้น ในการหาข้อมูลระยะทาง มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีก็มีทั้งข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันออกไป

โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการหาระยะทางด้วยกล้อง CCD แบบสเตอริโอ ในการหาระยะ ทั้งแบบแอกทีฟ และแบบพาสซีฟโดยผลการทดลองจะแสดงผลด้วยการนำข้อมูลระยะทางมาสร้าง กลับในแบบสามมิติ โดยใส่พื้นผิวเข้าไปเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจในวัตถุที่เราทำการหาระยะ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงในงานอุตสาหกรรม และเทคนิคการ แพทย์ โดยเน้นในการมองเห็นแทนการมองเห็นของมนุษย์ในการตรวจสอบชิ้นงานที่กระทำซ้ำๆ กัน เป็นเวลานานๆ หรือในจุดที่ละเอียด
2. เพื่อให้ทราบถึงวิธีการและสร้างความเข้าใจในการรู้ระยะทางของวัตถุหนึ่งๆ หรือที่ ตำแหน่งใดก็ตามของหุ่นยนต์ โดยใช้ตัวตรวจจับชนิดต่างๆ เช่น เครื่องกำเนิดแสง ที่ใช้ในการช่วยหาจุด จุดภาพ เพื่อนำไปคำนวณระยะทางแบบสามมิติต่อไป
3. เพื่อให้สามารถคำนวณหาระยะทางแบบสามมิติบนทุกตำแหน่งของวัตถุได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำมากที่สุด
4. เพื่อให้สามารถนำข้อมูลระยะทางที่ได้ไปแสดงลักษณะพื้นผิวของวัตถุ และแสดงเป็นรูป ร้างวัตถุในลักษณะของ Wireframe ได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีประโยชน์มากในการนำไปใช้จดจำวัตถุแบบ สามมิติ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

เนื้อหาวิทยานิพนธ์จะอธิบายถึงขั้นตอนเนื้อหาและรายละเอียดต่างๆ ในการทดลอง โดยแบ่ง ออกเป็นบทต่างๆ ได้ดังนี้

บทที่ 1 อธิบายถึงความเป็นมาของปัญหาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการ วิจัย และขอบเขตการวิจัย

บทที่ 2 อธิบายถึงการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ โดยส่วนแรกจะกล่าวถึงการมองเห็นของ มนุษย์ โดยงานบางอย่างมนุษย์ไม่สามารถทำได้ดี จึงได้เปลี่ยนมาใช้ระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ แทน ซึ่งจะอธิบายถึงขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การเก็บภาพการการประมวลผล การแสดงข้อมูลภาพ ไปจน ถึงการแสดงผลภาพตามสัดส่วนของระยะทาง

บทที่ 3 อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการทั่วไปที่ใช้ในงานวิจัยประมวลผลภาพเพื่อให้ผลลัพธ์ดี ขึ้น

บทที่ 4 อธิบายถึงหลักการการคำนวณหาระยะด้วยภาพสเตอริโอสองแบบคือแบบแอกทิฟและแบบพาสซีฟ และนำระยะทางที่คำนวณได้ดังกล่าวไปแสดงเป็นข้อมูลระยะทางและสร้างกลับในระบบสามมิติ

บทที่ 5 อธิบายถึงการทดลองและผลการทดลองในการหาระยะและการสร้างกลับในระบบสามมิติ

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

ระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์

จากการศึกษากระบวนการความสามารถแห่งการมองเห็นได้ของมนุษย์ ทำให้เกิดความเคลื่อนไหวในแนวทางที่จะพัฒนาการมองเห็นได้ของคอมพิวเตอร์ งานใดที่ทำได้ด้วยความสามารถของมนุษย์ย่อมเป็นการยากที่จะกล่าวว่างานนั้นไม่สามารถทำได้ด้วยเครื่องกล หรือกล่าวอีกอย่างได้ว่าจากการศึกษาทางด้านกระบวนการของรูปภาพและการจดจำ มีบทบาทสำคัญที่ให้ความหวังในการสร้างประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์รับรู้สถานะทางฟิสิกส์ได้มากขึ้น

ในเนื้อหาส่วนนี้เป็นการกล่าวสั้นๆ ถึงคุณลักษณะของระบบการมองเห็นและพารามิเตอร์ซึ่งสำคัญในการออกแบบเทคนิคของกระบวนการประมวลผลภาพ เนื่องจากผลของกระบวนการรูปภาพนี้ประเมินจากการสังเกตและการตัดสินใจ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่สร้างระบบการมองเห็นเหมือนจริงบนรูปภาพที่ได้ ชั้นแรกเราต้องพิจารณาถึงการมองเห็นโดยธรรมชาติอย่างแท้จริง จากหลักฐานของการบรรยาย Cornsweet (1970) ว่าแพกเตอร์ที่สำคัญเกี่ยวกับคุณลักษณะของการมองเห็นคือฟิสิกส์และสรีรศาสตร์

ในการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ก็ได้มีการพัฒนาโดยอาศัยแนวความคิดเกี่ยวกับการมองเห็นของมนุษย์เช่นการแยกแยะวัตถุที่สนใจออกจากฉาก โดยการสังเกตจากลักษณะเด่นของวัตถุ ซึ่งอาจจะเป็นเส้นขอบที่บอกรูปทรงและของวัตถุ, สีของวัตถุและลักษณะพื้นผิวของวัตถุเป็นต้น ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ โดยจะเน้นในส่วนของการผสมผสานศาสตร์ทางด้านต่างๆเข้าด้วยกันเพื่อนำไปสู่การออกแบบใช้งานระบบการมองเห็น ของคอมพิวเตอร์, พื้นฐานของระบบประมวลผลภาพ และการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในงานด้านอุตสาหกรรม, การช่วยสนับสนุนทางการแพทย์ในด้านการวินิจฉัยโรค, การทำแผนที่ทางอากาศ และระบบการนำทางยานยนต์ชนิดต่างๆ เป็นต้น

เป้าหมายสำคัญของระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์คือ การสร้างแบบจำลองของสภาพแวดล้อมจริงจากข้อมูลภาพสองมิติ และนำข้อมูลที่ได้ไปแปลความหมายออกมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อนำไปควบคุมเครื่องจักรให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อให้ได้มองเห็นประโยชน์ของระบบการมองเห็นของเครื่องจักรได้ง่ายขึ้น จะแสดงตัวอย่างการนำระบบการมองเห็นของเครื่องคอมพิวเตอร์ไปใช้งานในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้ จากรูปที่ 2.1 เป็นการวินิจฉัยโรคโดยใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์ภาพ Topography จากเครื่อง CT-Scan ระบบจะช่วยทำให้ภาพถ่ายชัดเจนขึ้นโดย กระบวนการที่เรียกว่า “Image Enhancement” ทำให้แพทย์สามารถมองเห็นรายละเอียดในบริเวณที่สนใจ เช่นเห็นขนาดหรือรูปร่างของอวัยวะที่เปลี่ยนไปจากเดิม, ลักษณะเส้นเลือดที่ตีบตัน ซึ่งรายละเอียดเหล่านี้จะช่วยประกอบการตัดสินใจของแพทย์ ใน

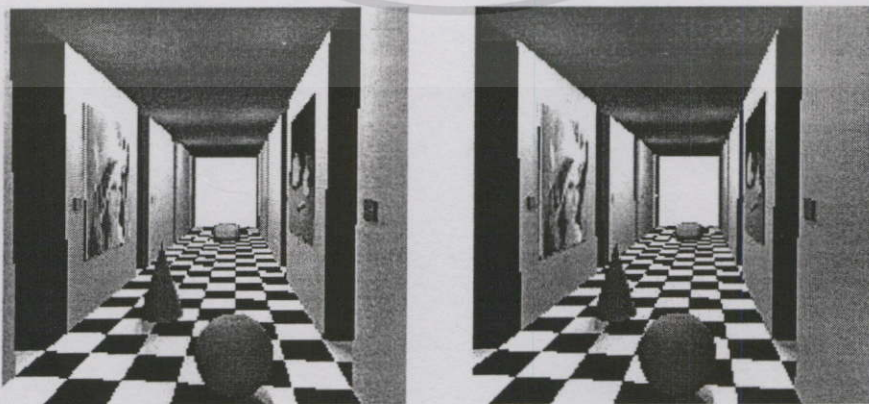
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนองเดียวกันอาจจะใช้เทคนิคเดียวกันนี้ไปพัฒนาเพื่อนำรายละเอียดบางอย่างที่เราสนใจภาพ
ถ่ายเช่น การค้นหาบริเวณที่เป็นถนนหรือแม่น้ำจากภาพแผนที่อากาศ หรือนำไปใช้ในการวัดขนาด
ในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพในสายการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.1 แสดงภาพ Topography จากเครื่อง CT – Scan

รูปที่ 2.2 เป็นภาพที่ได้จากระบบการนำทางที่ใช้ในหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติภาพนี้ได้
จากกล้องสองตัวที่ติดตั้งอยู่บนตัวหุ่นยนต์เราเรียกภาพ ที่ได้จากกล้องทั้งสองนี้ว่า “Stereo Image”
การประมวลผลภาพในลักษณะนี้ใช้แนวความคิดเดียวกันกับการมองโดยใช้ตาทั้งสองข้างของ
มนุษย์ ความแตกต่างจากมุมมองของกล้องจะช่วยให้ระบบความสามารถมองภาพเป็น 3 มิติ
(กว้าง, ยาว และลึก) โดยนำภาพทั้งสองมาหาความสัมพันธ์ของคู่จุดภาพ (Matching) ข้อมูลดัง
กล่าวจะถูกนำมาทำแผนที่เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปในสภาพแวดล้อมได้โดยไม่ชนกับสิ่ง
กีดขวางใดๆ ปัจจุบันเทคนิคนี้ได้ถูกพัฒนาจนสามารถนำมาใช้งานได้จริงในยานยนต์ประเภท
ต่างๆ ได้เป็นผลสำเร็จ



รูปที่ 2.2 ภาพแสดง Stereo Image

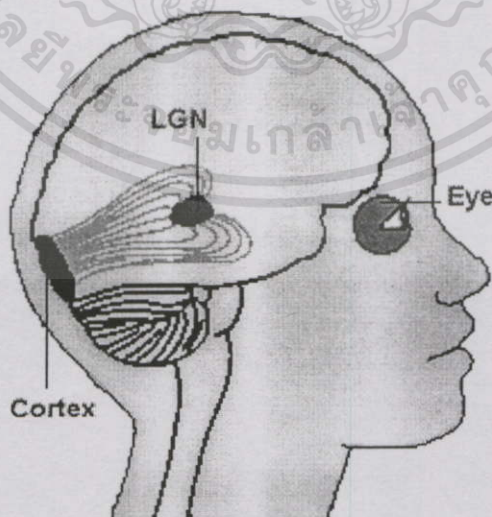
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 การมองเห็นของมนุษย์

จากการศึกษากระบวนการความสามารถแห่งการมองเห็นได้ของมนุษย์ ทำให้เกิดความเคลื่อนไหวในแนวทางที่จะพัฒนาการมองเห็นได้ของคอมพิวเตอร์ งานใดที่ทำได้ด้วยความสามารถของมนุษย์ย่อมเป็นการยากที่จะกล่าวว่างานนั้นไม่สามารถทำได้ด้วยเครื่องกล หรือกล่าวอีกอย่างได้ว่าจากการศึกษาทางด้านกระบวนการของรูปภาพและการจดจำ มีบทบาทสำคัญที่ให้ความหวังในการสร้าง ประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ให้รับรู้สภาวะทางฟิสิกส์ได้มากขึ้น

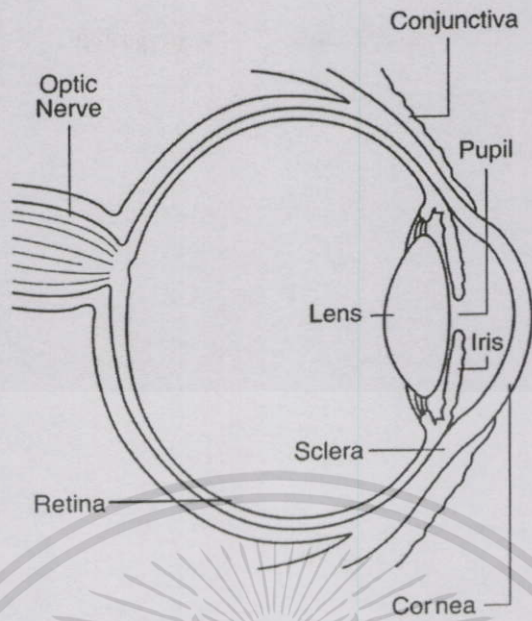
ในเนื้อเรื่องส่วนนี้เป็นกล่าวสั้นๆ ถึงคุณลักษณะของระบบการมองเห็นและพารามิเตอร์ซึ่งสำคัญในการออกแบบเทคนิคของกระบวนการรูปภาพ เนื่องจากผลของกระบวนการรูปภาพนี้ ประเมินจากการสังเกตและการตัดสินใจ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่สร้างระบบการมองเห็นเหมือนจริงบนรูปภาพที่ได้ ชั้นแรกเราต้องพิจารณาถึงการมองเห็นโดยธรรมชาติอย่างแท้จริง หลักฐานจากการบรรยายของ Cornsweet (1970) ว่าแพกเตอร์ที่สำคัญเกี่ยวกับคุณลักษณะของการมองเห็นคือฟิสิกส์และสรีรศาสตร์

ระบบการรับภาพสามารถอธิบายได้ดีที่สุดด้วยรายละเอียดทางกายวิภาคของระบบการมองเห็น (VHS) แบ่งเป็นองค์ประกอบสี่ส่วน กล่าวคือ ดวงตา ประสาทเชื่อมโยงจากดวงตาส่วน lateral geniculate body และส่วนของ visual cortex ดังแสดงในรูป 2.3 หากปรากฏบนเรตินาทั้งด้านซ้ายและขวา ผ่านกระบวนการทางเคมีภายในเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพัลส์ทางไฟฟ้าพัลส์เหล่านี้จะส่งผ่านไปสู่อptic chiasma ผ่าน lateral geniculate bodies และในที่สุดก็เข้าสู่บริเวณ visual cortex ใน occipital lobe ของสมอง



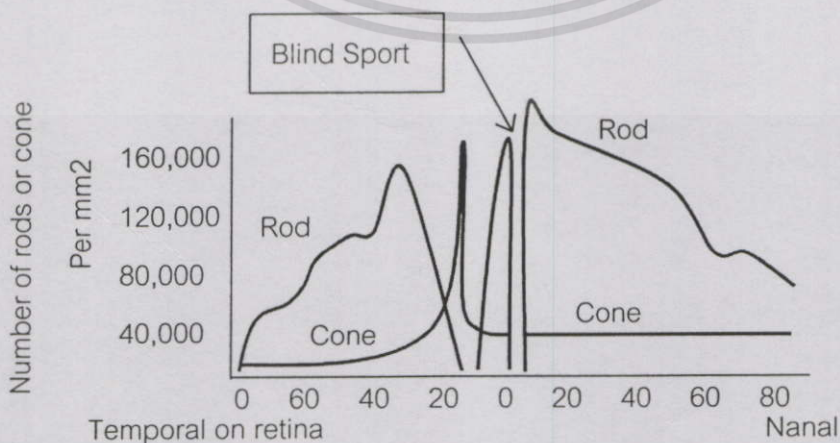
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของระบบการมองเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางอย่างง่ายของดวงตามนุษย์

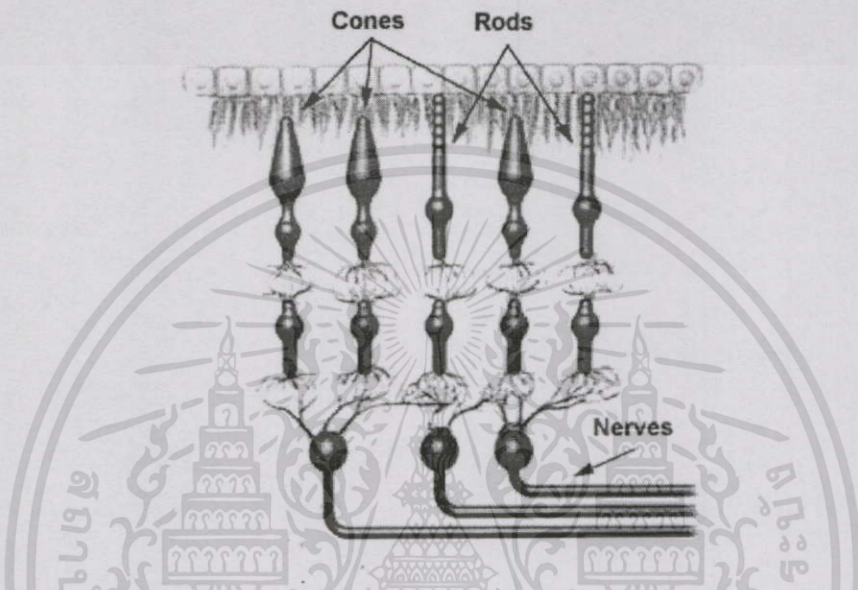
จากภาพตัดขวางดวงตามนุษย์ในรูปที่ 2.4 เนื้อเยื่อที่อยู่ที่ชั้นนอกสุด Sclera มีรูปร่างเกือบเป็นทรงกลมซึ่งมีรัศมีประมาณ 11 ม.ม และความหนา 1 ม.ม ที่ส่วนด้านหน้าของดวงตาเนื้อเยื่อ Sclera จะกลมกลืนกันไปกับ cornea ซึ่งพองนูนด้านหน้าด้วยรัศมีประมาณ 8 ม.ม. หนา 1 ม.ม. ทางด้านหลัง Optic nerve สอดเข้าไปในชั้น Sclera จากทางด้านจมูก ส่วน ciliary body อยู่บริเวณด้านหลังจุดรอยต่อระหว่าง cornea และ sclera ด้านหน้าของ ciliary body เป็น Iris ซึ่งเป็นช่องเกือบเป็นรูวงกลมและเป็นองค์ประกอบของแก้วตา ขนาดการเปิดของแก้วตาเปลี่ยนแปลงได้ประมาณ 2 ถึง 8 ม.ม. โดยการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อที่ควบคุม Iris ปรากฏเป็นการตอบสนองความล้มพันธ์ระหว่างแสงและสรีรศาสตร์



รูปที่ 2.5 การวางตัวของ rod และ cone ที่ระยะทางห่างจากศูนย์กลางของ fovea

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในแก้วตานั้นเลนส์ทั้งสองด้านลอยอยู่ในลักษณะที่เปลี่ยนรูปร่างได้ การเปลี่ยนรูปร่างได้นี้มีผลต่อการเปลี่ยนความยาวโฟกัสของเลนส์ ทำให้สามารถปรับระยะทางของการมองเห็นได้ช่องที่แยกจากกันโดยเลนส์จึงเกิดขึ้น anterior chamber เป็นส่วนที่มีของเหลวคายน้ำขังอยู่ ขณะที่ส่วนของ posterior chamber เต็มไปด้วยของเหลวที่มีความหนืด ชั้นในสุดของดวงตาปกคลุมด้วยส่วนที่มีความไวต่อแสงคือเรตินา

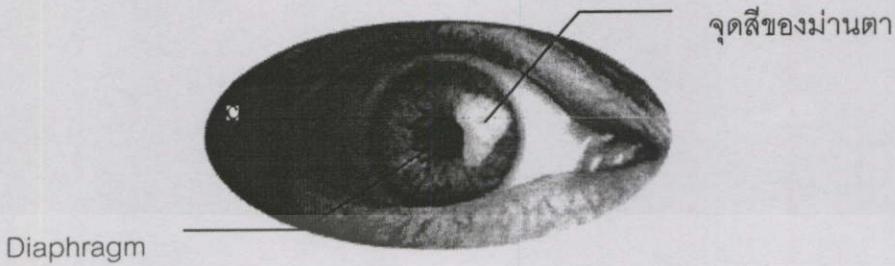


รูปที่ 2.6 แสดง Rods (ขวา) และ Cones (ซ้าย)

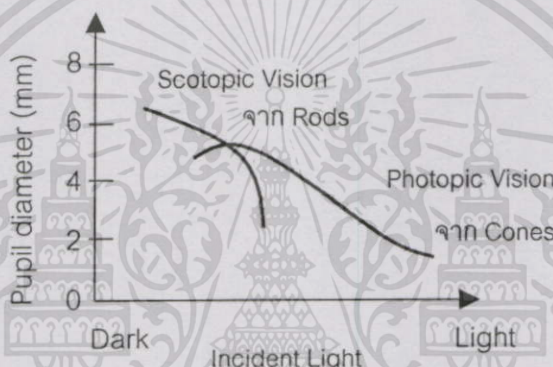
บนผิวเรตินาประกอบด้วยเซลล์รับแสงที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เรียกว่า rod และ cone ดังรูปที่ 2.6 การกระจายตัวของมันแสดงดังรูป 2.5 ช่วงตรงกลางซึ่งมีความแคบประมาณ 0.4 มม. เรียกว่า fovea ประกอบด้วยส่วนที่เป็น cone เท่านั้น เนื่องจากตำแหน่งและความหนาแน่นของ cone ทำให้เป็นส่วนที่รับสีดีที่สุด rod มีความหนาประมาณ 1-2 μm และยาว 60 μm สำหรับ cone มีขนาดแตกต่างกันไป แต่ส่วนที่อยู่บริเวณศูนย์กลางของ fovea มีความหนาประมาณ 1-2 μm เช่นเดียวกัน จำนวนของ cone มีประมาณ 5-7 ล้านและจำนวน rod ประมาณ 75-150 ล้าน ในบริเวณ fovea การเชื่อมต่อระหว่าง cone กับ optical fibers ประมาณค่าเป็นหนึ่งต่อหนึ่ง เมื่อระยะทางจาก fovea เพิ่มขึ้น จำนวนของการเชื่อมต่อง่ายมีค่ามากขึ้น rod จะมีความไวต่อความส่องสว่างต่ำและมีการตอบสนอง scotopic ส่วน cone ซึ่งมีความหนาแน่นมากในบริเวณ fovea อยู่ในตำแหน่งตามเส้นทางการมองเห็น และตอบสนองกับระบบการมองเห็น photopic มากที่สุด

ช่องเปิดของลูกตาจะเปิดกว้างขึ้นเมื่อมีแสงสว่างปริมาณมากขึ้น เพื่อลดจำนวนแสงที่ตกกระทบสู่เรตินา อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งเรตินาจะปรับตัวเข้าสู่ระดับใหม่ และช่องเปิด

กลับเข้าสู่ระดับเดิม ช่องเปิดนี้สามารถควบคุมปริมาณแสงด้วยแฟกเตอร์ 30 เรตินานั้นสามารถปรับตามขนาดของแสงได้เช่นกันแต่ด้วยแฟกเตอร์ 10^{10}



(ก) ภาพดวงตาของมนุษย์



(ข) การเปลี่ยนแปลงของตาตามฟังก์ชันของแสง

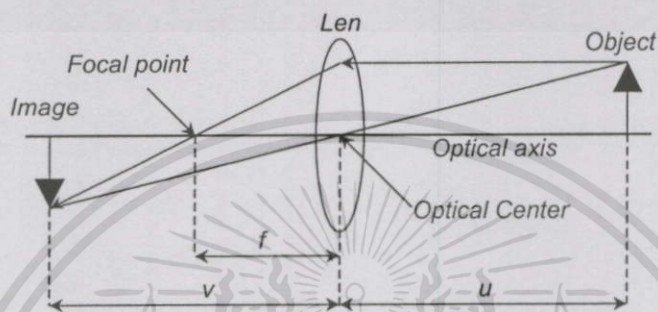
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของสองลักษณะของช่องตา

หลังจากแสงผ่าน aqueous humor มันจะผ่านช่องเปิดของตาบริเวณศูนย์กลางของม่านตา จากคุณสมบัติของเมดสีที่ม่านตาเป็นเหตุให้เกิดสีต่างๆของดวงตา ดวงตาของผู้หญิงมีช่องเปิดดวงตาใหญ่กว่าผู้ชาย ม่านตาทำหน้าที่คล้ายเครื่องกลในการควบคุมการปิดเปิดช่องตา ดังรูป 2.7 (ก) เป็นภาพด้านหน้าดวงตาของมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นปิดเปิดนี้ขึ้นอยู่กับกล้ามเนื้อสองชนิดคือ sphincter และ dilator pupillae กล้ามเนื้อ sphincter ใช้สำหรับการบีบรัดโดยเคลื่อนที่ขนานไปกับวงกลมของม่านตา และ dilator ใช้สำหรับการขยาย ขนาดของช่องว่างตามฟังก์ชันแสงตกกระทบนั้นแสดงดังรูป 2.7 (ข)

การเปลี่ยนขนาดของช่องตานี้สนองต่อ 3 วัตถุประสงค์ คือผลต่อฟังก์ชันการสะท้อนแสงเพื่อปรับขนาดปริมาณของแสงที่เข้าสู่ดวงตา การปรับสายตาเพื่อรับวัตถุ และปรับภาพภายใต้เงื่อนไขจากแสงที่สว่างมาก

ภาพถูกปรับระยะการมองเห็นได้ โดยเปลี่ยนระยะโฟกัสให้ภาพตกลงที่เรตินา และความสูงของภาพกลับหัวบนพื้นเรตินาจะสัมพันธ์กับวัตถุดังรูป 2.8

พารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับการมองเห็น และใช้ประโยชน์ในกระบวนการรูปภาพ เพื่ออธิบายให้เข้าใจในรายละเอียดคุณสมบัติเกี่ยวกับการมองเห็น จากแนวคิดพื้นฐานทั่วไปไปพารามิเตอร์เหล่านี้คือ ความสว่าง ความชัด ความละเอียด และความคม

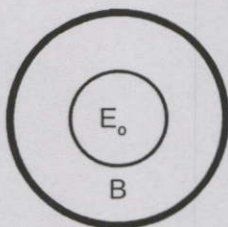


รูปที่ 2.8 การโปรเจกของวัตถุบนเรตินา

Brightness เป็นแนวคิดทางจิตศาสตร์หรือเป็นความรู้สึกสัมพันธ์กับจำนวนของแสงที่ถูกสร้างขึ้น เนื่องจากดวงตามนุษย์มีความสามารถปรับตัวตามขนาดของแสงอย่างมาก ดังนั้นมนุษย์จึงไม่สามารถจะตัดสินใจเกี่ยวกับค่าปริมาณแสงสว่างได้อย่างถูกต้อง

Lightness นั้นสัมพันธ์กับการรับรู้ของผู้สังเกตของความแตกต่างใน ความเป็นสีดำขาวหรือความเป็นสีเทาระหว่างวัตถุ ดังนั้นจึงแตกต่างจาก brightness คำว่า contrast ใช้สำหรับบ่งบอกลักษณะความแตกต่างในความสว่างนั้น ค่าความเป็นสีเทาขึ้นอยู่กับฉากเปรียบเทียบเบื้องหลังรูป 2.10 แสดงคุณสมบัติทางธรรมชาติซึ่งเรียกว่า simultaneous contrast โดยปกติถ้าอัตราส่วนของ contrast ระหว่างวัตถุและฉากเบื้องหลังมีค่าคงที่ ค่า lightness จะคงที่เช่นกัน

วิธีการวัด Contrast ที่ใช้อย่างกว้างขวางนั้นค่า C เป็นอัตราของ Contrast ระหว่างวัตถุ B_0 และพื้นที่โดยรอบในขณะนั้น B ดังแสดงในรูป 2.9



รูปที่ 2.9 contrast ระหว่างวัตถุกับฉากโดยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = (B_0 - B)/B \quad (2.1)$$

จากนิยามนี้ค่าของ Contrast สามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกและลบ ถ้าค่าเป็นนั้นหมายถึงค่าความสว่างของวัตถุมีค่าน้อยกว่าพื้นฉากโดยรอบ

2.2 ความรู้และกระบวนการด้านต่างๆ ที่สนับสนุนระบบการมองเห็น

เทคนิคและกระบวนการด้านต่างๆ ที่นำมารวมกันเพื่อออกแบบระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์โดยแบ่งเป็นเรื่องหลักๆ ได้ดังนี้

การประมวลผลทางภาพ (Image Processing) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยเทคนิคในการแปลงภาพต้นฉบับไปเป็นข้อมูลในรูปแบบอื่น ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้ การปรับปรุงภาพให้ชัดเจนขึ้น (Image Enhancement), การบีบอัดข้อมูลภาพให้มีขนาดเล็กลง (Image Compression) และการแก้ไขภาพที่เลือนลางหรือภาพที่มีปัญหาเรื่องการปรับโฟกัสระบบจะจัดการกับภาพที่เข้าและให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลในรูปแบบอื่นเช่น ภาพเส้นโครงร่างของวัตถุ (Contour) ดังนั้นความสำคัญของการประมวลผลภาพ (Image Processing) ในระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ก็คือ การแปลงข้อมูลภาพโดยอัตโนมัติ, การปรับปรุงภาพให้ชัดเจนขึ้นและการจำกัดสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดจากแสงสว่าง

คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ (Computer Graphics) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยเทคนิคในการนำข้อมูลที่ได้รับการเซนเซอร์ชนิดต่างมาสร้างเป็นภาพโดยจะแสดงผลเป็นรูปทางเรขาคณิตแบบง่ายๆ เช่น เส้นตรง, วงกลม และพื้นผิวแบบต่างๆ ความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ จะมีบทบาทในการสร้างภาพเสมือนและสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงให้กับระบบการมองเห็นของเครื่องจักร

การรู้จำ (Pattern Recognition) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการจำแนกประเภทของวัตถุด้วยข้อมูลที่เป็นตัวเลขและสัญลักษณ์ ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสถิติและความน่าจะเป็นความรู้ในเรื่องการรู้จำ (Pattern Recognition) จะมีบทบาทในการจัดจำรูปแบบของวัตถุที่สนใจซึ่งถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการจดจำและแยกแยะวัตถุในภาคอุตสาหกรรม

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการสอนให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถที่จะเรียนรู้และมีความเฉลียวฉลาดในการประมวลผลและตัดสินใจในสถานการณ์ต่างๆ การวิเคราะห์สถานการณ์จะทำการคำนวณสัญลักษณ์ที่แทนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น เทคนิคนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญสามคือ ส่วนแรกเรียกว่า “Perception” ทำหน้าที่แปลงเหตุการณ์หรือเงื่อนไขต่างๆ ให้อยู่ในรูปของสัญลักษณ์, ส่วนต่อมาเรียกว่า “Cognition” ทำหน้าที่จัดการหรือคำนวณข้อมูลสัญลักษณ์ด้วยวิธีที่เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลและผลลัพธ์ที่ต้องการว่าเป็นแบบใดและส่วนสุดท้ายเรียกว่า “Action” ทำหน้าที่แปลงข้อมูลสัญลักษณ์กลับมาเป็นข้อมูลหรือสัญญาณที่สามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อย้อนกลับไปเมื่อประมาณสิบปีที่ผ่านมาจะพบว่าโครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) เริ่มเข้ามามีบทบาทในงานทางด้านนี้ เนื่องจากลักษณะเด่นที่สามารถเรียนรู้และปรับตัวเองได้เหมือนกับการทำงานของสมองมนุษย์ซึ่งมีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้และตัดสินใจ จึงได้รับความนิยมตลอดมาจนถึงปัจจุบัน

การมองเห็นของมนุษย์ (Psychophysics) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการศึกษาการมองเห็นของมนุษย์โดยคิดออกมาเป็นรูปแบบซึ่งมีรูปแบบดังนี้

การมองเห็น = รูปทรงเรขาคณิต + การวัดขนาด + การแปลความหมาย

การออกแบบระบบการมองเห็นของเครื่องจักรจะอยู่บนพื้นฐานของรูปแบบการมองเห็นของมนุษย์คือ การหาลักษณะเฉพาะของวัตถุในภาพ, การวัดขนาดของลักษณะเฉพาะนั้นในเชิงของเรขาคณิต และการแปลความหมายของข้อมูลของเรขาคณิตที่ได้เช่น ขนาด, ตำแหน่ง, รูปทรง และชนิดของวัตถุ เป็นต้น

ในเบื้องต้นจะกล่าวถึงระบบประมวลผลภาพที่ใช้ในระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ เริ่มจากเรขาคณิตที่เกี่ยวกับการประมวลผลภาพ, การแซมปลิง (Sampling) และการควอนไทเซชัน (Quantization) และพื้นฐานการประมวลผลภาพสองระดับ (Binary Image Processing)

2.2.1 การเก็บภาพ

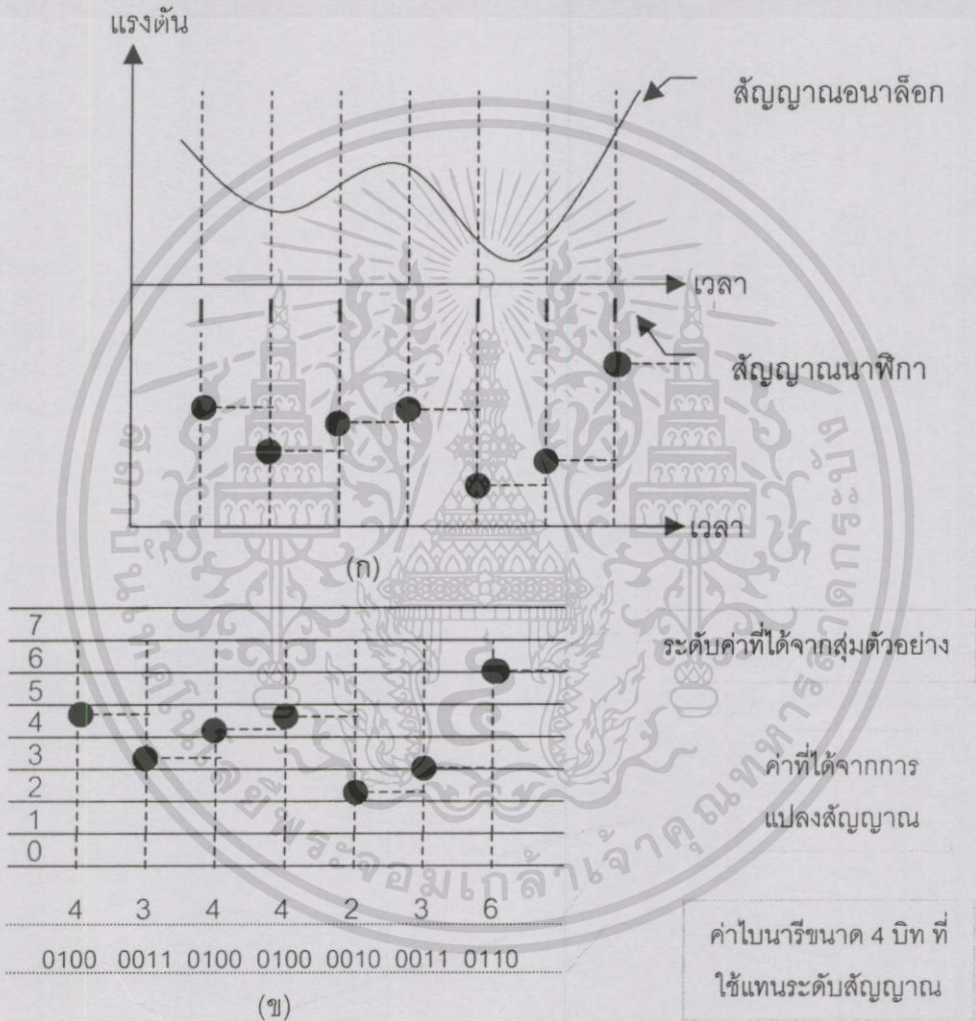
ในการเก็บภาพของวัตถุหนึ่งๆ จะต้องอาศัยอุปกรณ์สำหรับรับภาพได้แก่ กล้องวิดีโอ เพื่อทำการแปลงระดับความสว่างในแต่ละตำแหน่งของภาพได้แก่ กล้องวิดีโอ เพื่อทำการแปลงระดับความสว่างในแต่ละตำแหน่งของภาพให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าแบบอนาล็อก จากนั้นจะมีอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณภาพดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิทัล หรือ A/D เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และจะมีการจัดเรียงสัญญาณดิจิทัลนี้ลงสู่หน่วยความจำภาพ (Video Memory) ซึ่งจะแทนค่าความสว่างของภาพในแต่ละจุดให้เกิดเป็นภาพเรียกว่า ภาพดิจิทัล (Digital Image)

ในภาพหนึ่งๆ จะถูกแบ่งออกเป็นจุดย่อยๆ จำนวนมากเรียกว่า ส่วนประกอบภาพ (Picture Elements) หรือจุดภาพ (Pixel) จำนวนของจุดภาพยิ่งมากจะยิ่งทำให้ภาพมีความละเอียดชัดมากขึ้น จากนั้นจึงแทนภาพของแต่ละจุดภาพด้วยสัญญาณดิจิทัลหรือแทนด้วยสถานะลอจิก “0” และ “1” การใช้สัญญาณดิจิทัลมีข้อดีคือ การนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้สามารถทำได้ง่าย สิ่งที่สำคัญในการเก็บภาพคือ กระบวนการดิจิไทเซชัน และหน่วยความจำภาพ

กระบวนการดิจิไทเซชัน (Digitization) กระบวนการดิจิไทเซชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณภาพจากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นข้อมูลทางดิจิทัลแล้วนำไปจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Conversion หรือ A/D) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การสุ่มตัวอย่างสัญญาณอนาล็อก (Sampling) และการจัดระดับของ

สัญญาณที่สุ่มมา (Quantizing) แต่ละระดับแทนด้วยรหัสดิจิทัล ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งจะใช้รหัสดิจิทัลขนาด 8 บิตแทนระดับสัญญาณได้ 256 ระดับ ซึ่งพอเพียงสำหรับรายละเอียดภาพ

สัญญาณภาพประกอบด้วยสัญญาณหลายชนิดปะปนกันมา ในการแปลงสัญญาณจะทำการแปลงส่วนข้อมูลภาพจริงๆ เท่านั้น ในส่วนของสัญญาณอื่นๆ เช่น สัญญาณแบล็กกิ้ง ไม่ได้ถูกแปลงด้วย แต่จะใช้การควบคุมการแปลงสัญญาณและการเขียนข้อมูลที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วลงหน่วยความจำ



รูปที่ 2.10 (ก) แสดงรูปคลื่นสัญญาณอนาล็อกเมื่อถูกสุ่มตัวอย่างในกระบวนการดิจิทัลไคเซชัน
(ข) แสดงการจัดระดับสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างมาแล้วให้มีค่าเป็นจำนวนเต็ม และแปลงเป็นรหัสดิจิทัล 4 บิตแทน

เนื่องจากสัญญาณภาพมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็วมาก การจะเก็บรายละเอียดของสัญญาณภาพให้ครบ A/D ต้องทำงานที่ความถี่สูงๆ และต้องใช้รหัสดิจิทัลขนาด 8 บิตเป็นอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อย โดยส่วนมาก A/D ที่ใช้เป็นประเภทแฟลช (Flash A/D) ซึ่งแฟลช A/D นี้สามารถเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นค่าดิจิทัลได้เสร็จภายใน 1 คาบสัญญาณนาฬิกา

สำหรับภาพขาวดำ สัญญาณ Y หรือลูมิแนนซ์เท่านั้นที่ถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพราะเป็นส่วนข้อมูลภาพ สำหรับภาพสีใช้แต่สัญญาณ Y เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะอธิบายความหมายของสีได้ จึงจำเป็นต้องใช้ 3 สัญญาณ Y, R-Y, และ B-Y มาทำการแปลงสัญญาณ จะทำให้ต้องใช้ A/D และหน่วยความจำเพิ่มถึง 3 ชุด ถ้าไม่ใช้สัญญาณดังกล่าวสามารถใช้สัญญาณสี RGB ก็ได้ โดยการนำสัญญาณภาพไปเข้าวงจรถอดรหัส (Decoder) เพื่อแยกเอาสัญญาณสี RGB ออกมาจากสัญญาณภาพแล้วจึงนำไปแปลงสัญญาณต่อไป



(ก) 8 บิต ต่อ 1 จุดภาพ



(ข) 4 บิต ต่อ 1 จุดภาพ



(ค) 2 บิต ต่อ 1 จุดภาพ



(ง) 1 บิต ต่อ 1 จุดภาพ

รูปที่ 2.11 แสดงการเปรียบเทียบภาพที่ใช้จำนวนบิตต่อ 1 จุดภาพต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณภาพอนาล็อกสามารถแสดงความละเอียดและจำนวนสีของภาพอาจเรียกได้ว่าไม่จำกัด เนื่องจากความต่อเนื่องของสัญญาณ แต่เมื่อสัญญาณภาพอนาล็อกถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล ความละเอียดและจำนวนสีของภาพถูกจำกัดด้วยความเร็วของ A/D , จำนวนบิตที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของหน่วยความจำ ในภาพระดับเกรย์สเกลแต่ละจุดภาพสามารถแสดงระดับสัญญาณและขนาดของหน่วยความจำ ในภาพระดับเกรย์สเกลแต่ละจุดภาพสามารถแสดงระดับสัญญาณได้ 256 ระดับ นั่นคือ 1 จุดภาพจะต้องสร้างจากข้อมูลจำนวน 8 บิต แต่ถ้าเป็นภาพสี 1 จุดภาพจะประกอบด้วยสัญญาณสี RGB ดังนั้นในแต่ละจุดภาพจึงต้องใช้จำนวนบิตเท่ากับ 24 บิต เพื่อให้สามารถเห็นระดับความแตกต่างของสีได้อย่างพอเพียง ซึ่งสามารถแสดงสีที่แตกต่างกันได้ 16,777,216 สี ในภาพที่ 2.11 แสดงภาพเปรียบเทียบที่เกิดจากการกำหนดจำนวนบิตต่อ 1 จุดภาพที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าภาพที่มีจำนวนบิตต่อ 1 จุดภาพมากจะทำให้มีความละเอียดของภาพมากกว่าภาพที่มีจำนวนบิตต่อ 1 จุดภาพน้อย

หน่วยความจำภาพ (Video Memory) สัญญาณภาพอนาล็อกเมื่อถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วจะทำให้เกิดข้อมูลเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลไว้ชั่วคราวก่อนที่จะนำไปใช้งาน หน่วยความจำที่ใช้เป็นประเภทอ่านและเขียนข้อมูลใหม่ได้ หรือเรียกว่า RAM (Random Access Memory) บางครั้งหน่วยความจำภาพที่สำคัญคือ ต้องใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูล (Access Time) ที่ต่ำมากๆ นั่นคือ ความเร็วในการเขียนและอ่านข้อมูลต้องมากเพียงพอ

ขนาดของหน่วยความจำที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการจัดเก็บ ส่วนข้อมูลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพ ในงานวิจัยนี้ใช้การจัดเก็บภาพขนาด 640 x 480 จุดต่อภาพ และใช้รหัสดิจิทัล 8 บิตต่อ 1 ภาพ ดังนั้น 1 จุดภาพสามารถแสดงระดับเกรย์สเกลได้ 256 ระดับ และหน่วยความจำที่ใช้มีขนาด $(640 \times 480 \times 8) = 2611200$ บิตต่อภาพ หรือ 2.6 เมกะไบต์ต่อภาพ สำหรับภาพระดับเกรย์สเกล แต่ถ้าเป็นภาพสีจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า

2.3 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

ข้อจำกัดของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้ในการเก็บภาพในกระบวนการดิจิทัลเซชัน คือไม่สามารถแยกแยะ หรือกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นกับภาพนั้นได้ ยิ่งไปกว่านั้นข้อมูลภาพบางตำแหน่งยังปกปิดข้อมูลที่เราสงสัย ซึ่งหากมองด้วยตาแล้วไม่สามารถจะมองเห็นได้จึงได้มีการนำภาพดังกล่าวนั้นไปดำเนินการด้วยวิธีการที่เรียกว่า “การประมวลผลภาพ” ซึ่งจะทำการสร้างภาพใหม่ขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลตัวเลขคือ ในบริเวณที่เราสงสัยจะถูกกระทำการปรับปรุงรายละเอียดภาพ (Enhancement) และยังเป็นผลให้สัญญาณรบกวนลดลงหรือถูกกำจัดทิ้งไป ตัวอย่างของการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) ที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ การ

กำจัดสัญญาณรบกวน การหาขอบภาพ (Edge Enhancement) การฟิลเตอร์ (Filtering) และการปรับปรุงระดับเกรย์สเกล เป็นต้น

2.3.1 การประมวลผลภาพหรือการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพ

2.3.1.1 วิธีประมวลผลทีละจุดใน 1 ภาพ (Point by Point)

โดยแต่ละจุดภาพของภาพต้นแบบ (Original Image) จะถูกแปลงไปเป็นภาพใหม่ ซึ่งค่าของแต่ละจุดภาพในภาพใหม่นี้จะสัมพันธ์กับค่าของจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกันกับภาพต้นแบบ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนภาพไบนารี (Binary Image) จุดภาพที่มีระดับเป็น “0” ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็นระดับ “1” ในภาพใหม่ และจุดภาพที่มีระดับเป็น “1” ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็น “0” ในภาพใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 3



(ก) แสดงภาพก่อนการประมวลผลของภาพไบนารี

(ข) แสดงภาพหลังการประมวลผลทีละจุดของภาพไบนารี

รูปที่ 2.12 แสดงการประมวลผลภาพแบบไบนารี

2.3.1.2 วิธีประมวลผลโดยใช้จุดภาพที่สอดคล้องกัน (Corresponding Points)

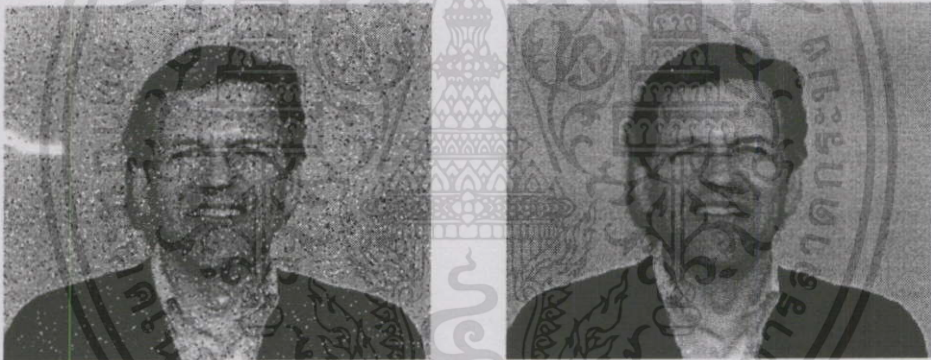
เป็นวิธีประมวลผลโดยใช้จุดภาพที่สอดคล้องกันจากภาพตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป วิธีนี้จะสร้างภาพใหม่โดยใช้การเทียบเคียง (Correlation) ของแต่ละจุดภาพ เพื่อหาค่าของจุดภาพที่เหมือนกันหรือสอดคล้องกันจากภาพ 2 ภาพหรือตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป

ค่าของจุดภาพดังกล่าวสามารถนำมารวมกันด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ค่าของจุดภาพ 2 ภาพของเมื่องๆ หนึ่ง ซึ่งเก็บมาที่เวลาต่างกันสามารถนำมาลบกันเพื่อคำนวณหาความเปลี่ยนแปลงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้รวมข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับ (Sensor) ต่างๆจำนวนหนึ่ง เพื่อแปลงไปเป็นข้อมูลภาพที่มีความสมบูรณ์หรือมีรายละเอียดของภาพที่สามารถแสดงให้เห็นเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งตัวตรวจจับอาจจะเป็นกล้องถ่ายภาพดาวเทียม โดยเก็บภาพของย่านสเปกตรัมต่างๆ กัน เช่น รังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเล็ต และรังสีที่สามารถมองเห็นได้ เป็นต้น

2.3.1.3 วิธีประมวลผลทีละกลุ่มใน 1 ภาพ (Regional Points)

ในการคำนวณจะใช้ค่าของจุดภาพที่อยู่รอบๆ จุดภาพหลัก นำมาสร้างภาพใหม่ด้วยวิธีการต่าง เช่น การเฉลี่ยข้อมูลจากจุดภาพที่อยู่รอบๆ จุดภาพหลัก ซึ่งจะช่วยลดข้อมูลที่มีความผิดพลาดให้ลดลง ดังนั้นค่าของจุดภาพในภาพใหม่นี้จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของจุดภาพ 9 จุดที่ติดกัน (จุดภาพหลัก 1 จุดและรอบๆ จุดภาพหลักอีก 8 จุด) ดังภาพที่ 2.13 (ก) แสดงภาพต้นแบบ จะเห็นว่ามีสัญญาณรบกวนเกินขึ้นบนภาพ แต่เมื่อนำมาประมวลผลโดยการเฉลี่ยแล้วจะได้อีกภาพที่ 4 (ข) จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนลดลงมาก



(ก) ภาพก่อนกำจัดสัญญาณรบกวน (ข) ภาพหลังจากกำจัดสัญญาณรบกวน

รูปที่ 2.13 แสดงการประมวลผลภาพในการกำจัดสัญญาณรบกวน

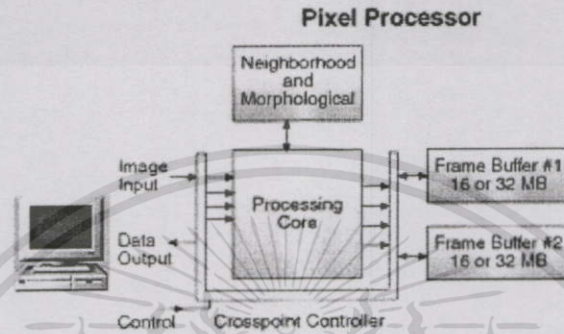
ในการเลือกใช้วิธีการประมวลผลภาพนั้น ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปใช้งานในลักษณะใด โดยส่วนใหญ่ในการประมวลผลภาพเพื่อเพิ่มรายละเอียดภาพนั้น นิยมใช้วิธีการประมวลผลทีละกลุ่มใน 1 ภาพหรือในวิธีที่ 3 นี้

2.4 การแสดงข้อมูลภาพ

การแสดงข้อมูลภาพจะนำข้อมูลดิจิทัลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพอนาล็อก (D/A Conversion) แล้วส่งไปยังจอภาพต่อไป ในการแสดงภาพหนึ่งภาพจะต้องมีจุดภาพบางจุดที่ต้องสว่างและบางจุดต้องมีมืด การที่จะจัดการให้เกิดภาพตามที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นมีส่วนประกอบ 3 ส่วนที่จะใช้ในการจัดการนี้ คือ เฟรมบัฟเฟอร์ (Frame Buffer) ตัวควบคุมการแสดงผลภาพ (Display Controller) และวิธีการแปลงภาพให้เป็นตำแหน่งของจุดภาพที่เหมาะสมในเฟรมบัฟเฟอร์ (Scan Conversion Algorithms) ดังภาพที่ 2.14

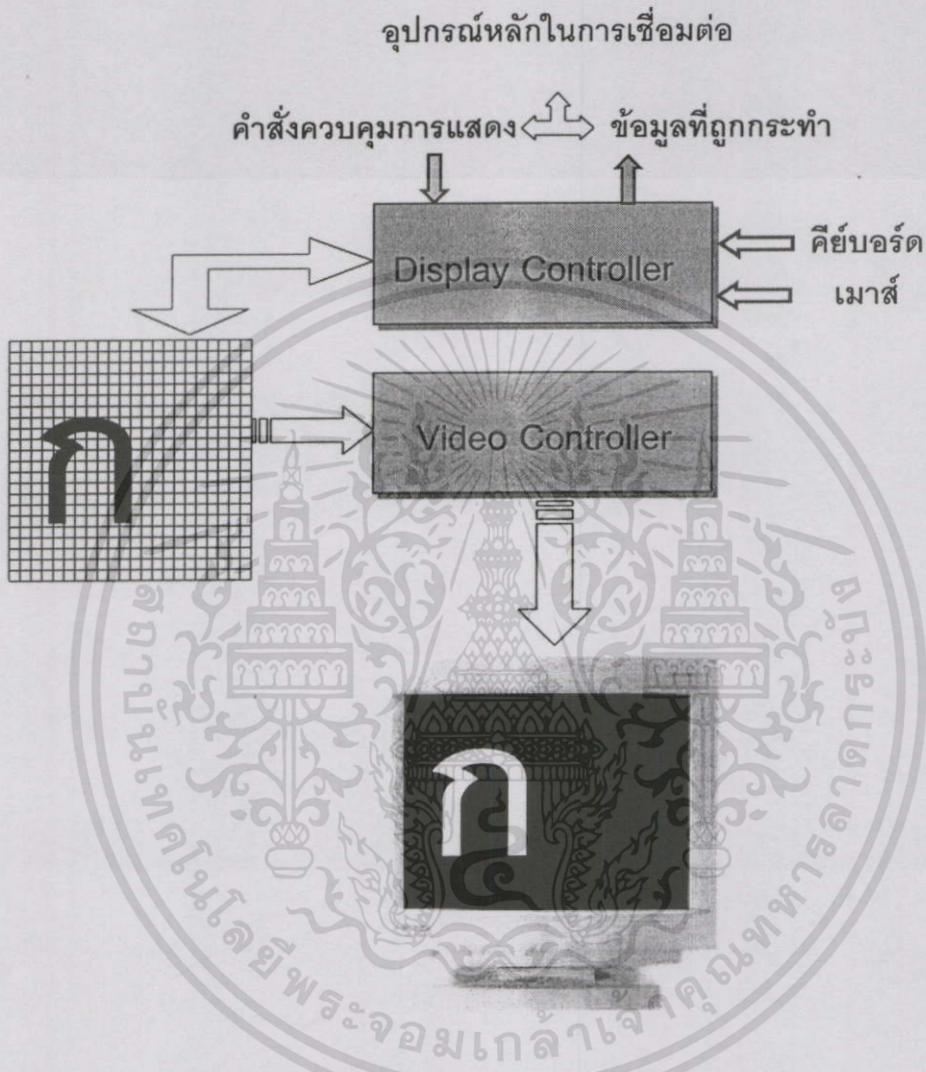


รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบในหน่วยแสดงผลภาพ

2.4.1 เฟรมบัฟเฟอร์

จุดแต่ละจุดที่ปรากฏอยู่บนจอภาพจะสอดคล้องกับค่าบิตที่อยู่ในหน่วยความจำส่วนหนึ่ง ซึ่งเราเรียกหน่วยความจำส่วนนี้ว่าเฟรมบัฟเฟอร์ หรือ บิตแมป (Bit Map) บิตเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ในลักษณะตารางๆ หน่วยความจำที่ใช้เป็นบัฟเฟอร์ในปัจจุบันมักจะแยกออกจากหน่วยความจำหลักของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะทำให้สามารถแสดงผลภาพออกทางจอภาพได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น จำนวนแถวและหลักของเฟรมบัฟเฟอร์จะเท่ากับจำนวนของจุดภาพที่จอภาพแสดงได้ การบอกขนาดของหน่วยความจำที่ใช้เป็นเฟรมบัฟเฟอร์อาจบอกในรูปของจำนวนจุดภาพที่สามารถแสดงบนจอภาพหรืออาจจะบอกในรูปของจำนวนจุดภาพในหลักคูณจำนวนจุดภาพในแถวก็ได้ ตัวอย่างเช่น 640×350 สำหรับจอภาพแบบ EGAHi และสำหรับจอภาพแบบ VGAHi จะเป็น 640×480 เป็นต้น เมื่อมีการใส่บิต 1 ลงในเฟรมบัฟเฟอร์ตรงตำแหน่งใดก็ตาม จะเกิดเป็นจุดสว่างบนจอภาพตรงตำแหน่งที่สอดคล้องกับเฟรมบัฟเฟอร์ เช่นถ้าให้แถวที่ 2 หลักที่ 3 ของเฟรมบัฟเฟอร์มีค่าเป็นบิต 1 จอภาพที่ตำแหน่งแถวที่ 2 หลักที่ 3 ก็จะเป็นจุดสว่างเป็นต้น ส่วนตำแหน่งที่มีค่าเป็นบิต 0 ก็จะไม่มีการจุดสว่าง ดังภาพที่ 2.15

แต่ละตำแหน่งจุดภาพบนจอภาพและตำแหน่งในหน่วยความจำที่สอดคล้องกันในเฟรมบัพเฟอร์จะถูกอ้างถึงได้โดยใช้คู่ลำดับ (x,y) โดยที่ x จะแทนค่าตำแหน่งของหลัก ส่วน y แทนตำแหน่งของแถว จุด (0,0) ของระบบพิกัดนี้จะอยู่ที่มุมบนซ้ายของจอภาพดังภาพที่ 2.16

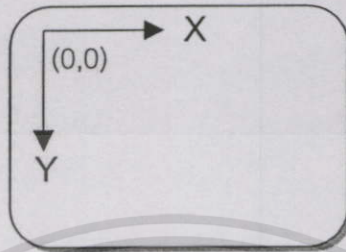


รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของเฟรมบัพเฟอร์กับจอภาพ

ข้อมูลในเฟรมบัพเฟอร์ซึ่งใช้แทนจุดภาพแต่ละจุดนั้นจะประกอบด้วยบิตจำนวนหนึ่งสำหรับจอภาพขาวดำซึ่งมีความเข้มเพียง 2 ระดับ ข้อมูลในเฟรมบัพเฟอร์จะมีเพียง 1 บิต (1-Bit Plane Frame Buffer) ซึ่งต่างกับจอภาพขาวดำที่มีความเข้มแสงหลายระดับ ข้อมูลสำหรับ 1 จุดภาพจะต้องมีมากกว่า 1 บิต ในภาพที่ 2.17 แสดงเฟรมบัพเฟอร์ที่ใช้ 3 บิตนั่นคือ ใน 1 จุดภาพจะมีค่าใช้แทนจุดภาพนี้ได้ 8 ค่า (2^3) ซึ่งแต่ละค่าจะแทนความเข้ม 1 ระดับรวมทั้งหมดจะแทนได้ 8 ระดับ จากระดับ 0 ถึงระดับ $2^3-1 = 7$ สำหรับจอภาพขาวดำถ้าใช้ข้อมูล 8 บิตสำหรับ 1 จุดภาพก็จะสามารถแสดงระดับความเข้มได้ถึง 2^8 หรือ 256 ระดับ สำหรับระบบจอภาพสีที่ต้องการข้อมูล 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

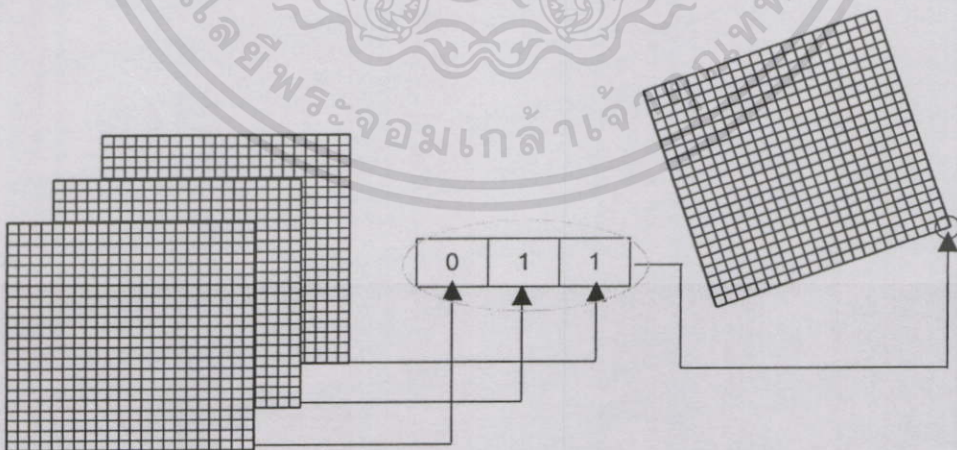
บิต (24-Bit Plane Frame Buffer) โดยที่จะใช้ 8 บิตสำหรับแต่ละแม่สีคือ แดง, เขียว และน้ำเงิน ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะสร้างได้ถึง 2^{24} เท่ากับ 16,777,216 สี สำหรับจอภาพที่มีความละเอียด 512 x 512 x 24 = 6,291,456 บิต ซึ่งหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ราคาต่ำๆ ไม่สามารถมีหน่วยความจำขนาดนี้ได้ ดังนั้นข้อมูลต่อ 1 จุดภาพจึงมีแค่เพียง 1 ถึง 4 บิตเท่านั้น



รูปที่ 2.16 แสดงระบบพิกัดของจอภาพ

2.4.2 ตัวควบคุมการแสดงผลภาพ

ในส่วนของหน่วยการแสดงผลภาพ คือ ตัวควบคุมการแสดงผลภาพ ฮาร์ดแวร์ส่วนนี้จะอ่านค่าที่อยู่ในเฟรมบัฟเฟอร์ไปไว้ในวีดีโอบัฟเฟอร์ (Video Buffer) ซึ่งจะเปลี่ยนค่าบิตเหล่านั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งใช้สำหรับควบคุมการแสดงผลภาพบนจอภาพตัวอย่างเช่น ถ้าตัวควบคุมการแสดงผลภาพพบค่าบิต 1 ในเฟรมบัฟเฟอร์ที่มีข้อมูล 1 บิตต่อจุดภาพ ก็จะทำให้เกิดการส่งสัญญาณแรงดันสูง ไปให้ CRT ซึ่งจะจัดการให้เกิดจุดสว่างบนจอภาพในตำแหน่งที่สอดคล้องกับข้อมูลที่อยู่ในเฟรมบัฟเฟอร์นั่นเอง



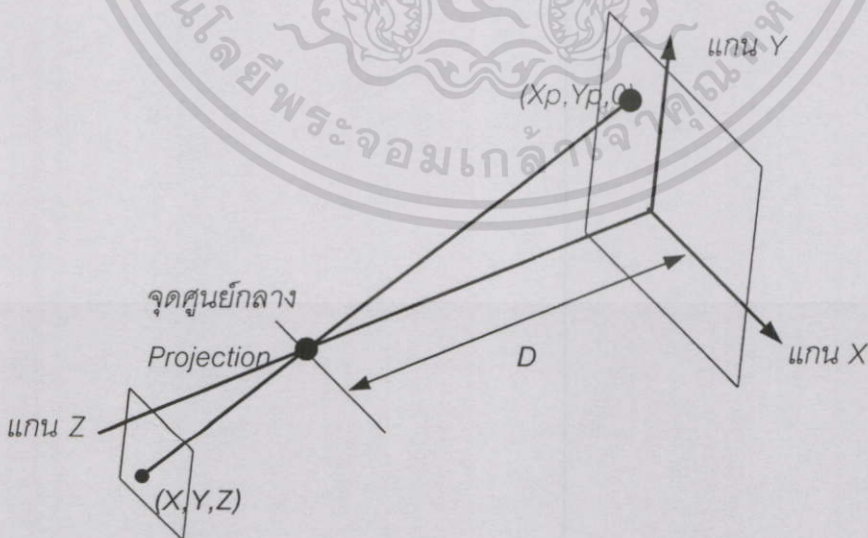
รูปที่ 2.17 แสดงเฟรมบัฟเฟอร์ที่ใช้ 3 บิตต่อ 1 จุดภาพ

2.4.3 วิธีการแปลงภาพให้เป็นตำแหน่งของจุดภาพที่เหมาะสมในเฟรมบัพเฟอร์

ส่วนนี้เป็นวิธีการหรือกระบวนการที่ใช้การเปลี่ยนคำสั่ง หรือสมการให้เป็นค่าที่เหมาะสมซึ่งสามารถใช้แทนภาพที่ได้จากสมการหรือคำสั่งนั้นได้แล้วเก็บลงเฟรมบัพเฟอร์ เช่น สมการเส้นตรง $x + y = 5$ หรือคำสั่ง $\text{Line}(a,b)$ จะต้องผ่านกระบวนการอันหนึ่งเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมแล้วเก็บในเฟรมบัพเฟอร์สำหรับจอภาพที่มีคุณภาพสูงๆ จะมีตัวประมวลผล (Processor) จัดการการแสดงผลภาพโดยเฉพาะเพื่อทำกระบวนการข้างต้นรวมทั้งการจัดการอื่นๆ เกี่ยวกับจอภาพ เช่น การลบจอภาพ เป็นต้น ส่วนจอภาพที่ราคาไม่แพงนัก จะใช้ CPU ของเครื่องกับโปรแกรมสำหรับการงานดังกล่าวซึ่งทำให้การทำงานทำได้ช้ากว่ามาก ยิ่งถ้าใช้ในระบบกราฟฟิกยากที่จะทำให้ระบบกราฟิกส์เป็นแบบอินเตอร์แอคทีฟได้ เนื่องจากในการเปลี่ยนแปลงภาพไปเพียงเล็กน้อยจะต้องมีการคำนวณมากมายตามมาเสมอ

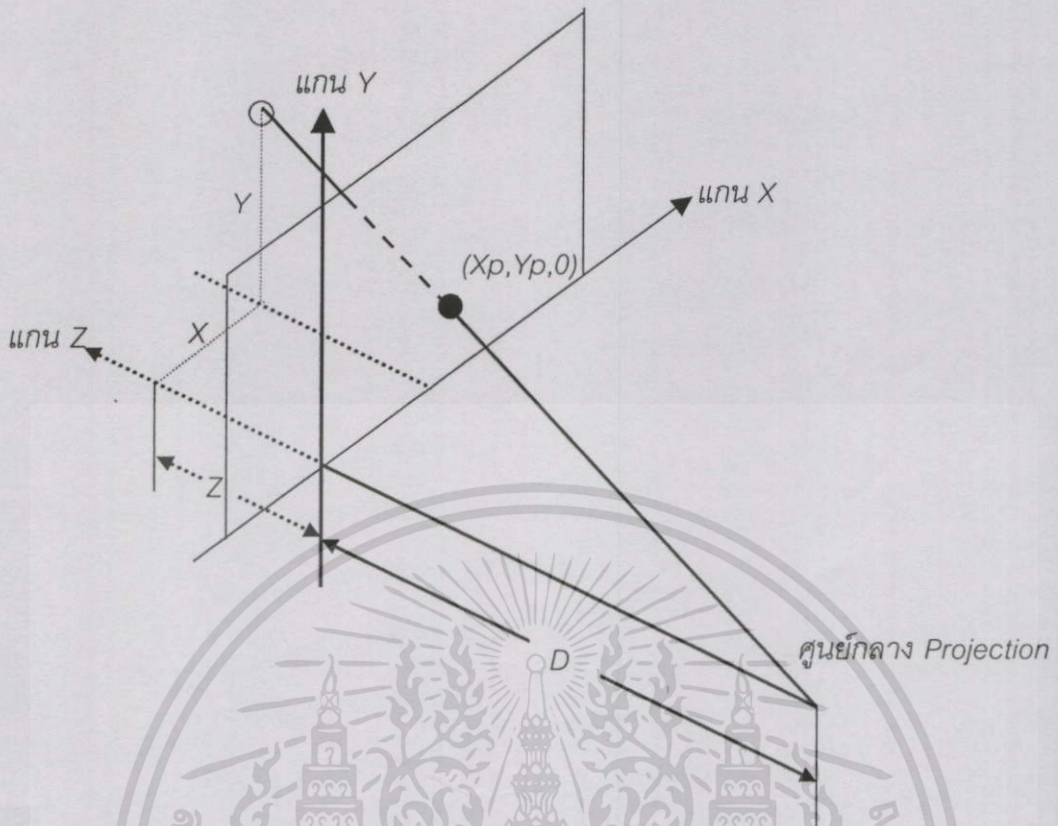
2.5 การแสดงภาพตามสัดส่วนระยะทาง

การแสดงภาพตามสัดส่วนระยะทางมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ขึ้นอยู่กับการเลือกการนำไปใช้งาน ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้หลักการที่เรียกว่า การแปลงแบบเพอร์สเพคทีฟ (Perspective Transformation) ซึ่งนิยมใช้ในการแปลงภาพจากพิกัดโลก หรือ World Coordinate ไปยังฉากรับภาพ (Image Plane) แล้วเก็บลงในหน่วยความจำภาพเพื่อใช้ประมวลผลภาพต่อไป หรือนำไปแสดงบนจอคอมพิวเตอร์ที่เห็นดังที่ใช้งานกันอยู่



(ก) การแปลงจุดภาพบนวัตถุในพิกัดโลกไปเป็นจุดภาพบนฉากรับภาพ

รูปที่ 2.18 แสดงรูปการแปลงแบบเพอร์สเพคทีฟ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) การแปลงจุดบนวัตถุผ่านเส้นตรงไปจบที่ศูนย์กลางของ Projection

รูปที่ 2.8(ต่อ)

รูปแบบการแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟ ซึ่งจะใช้หลักการของกล้องวิดีโอในการอธิบาย ดังภาพที่ 2.18 (ก) ดังการแปลงจุดภาพบนวัตถุในพิภพโลกไปเป็นจุดภาพบนฉากรับภาพ โดยผ่านจุดโฟกัสของเลนส์หรือกำหนดให้เป็นศูนย์กลางของ Projection และเพื่อให้ดูง่ายขึ้นจะย้ายศูนย์กลางของ Projection ไปไว้ที่ส่วนปลายและย้ายจุดฉากรับภาพขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ข)

เมื่อทำการแปลงจุดบนวัตถุผ่านเส้นตรงไปจบที่ศูนย์กลางของ Projection ในกรณีของภาพที่ 2.18 (ข) ศูนย์กลางของ Projection วางอยู่บนแกน Z ทางด้านลบซึ่งห่างจากฉากรับภาพเป็นระยะทาง D (D คือความยาวโฟกัสของกล้อง) เราสามารถเลือกตำแหน่งอื่นๆ ให้เป็นศูนย์กลางของ Projection ได้ แต่การเลือกตำแหน่งตามแกน Z จะง่ายต่อการคำนวณ

รูปแบบการแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟ จะนำมาเขียนเป็นสมการพาราเมตริกที่เกิดขึ้นบนเส้นตรงจากจุดบนวัตถุ $P(X,Y,Z)$ ไปยังศูนย์กลางของ Projection ได้เป็นสมการต่างๆ ดังนี้

$$\alpha = X - X\delta \quad (2.1)$$

$$\beta = Y - Y\delta \quad (2.2)$$

$$\gamma = z - (Z + D)\delta \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพารามิเตอร์ δ มีค่าเป็น 0~1 และโคออดิเนต (α, β, γ) แทนตำแหน่งบนเส้นตรง เมื่อ $\delta = 0$ เป็นผลให้จุดอยู่ที่วัตถุเป็น (X, Y, Z) เมื่อ $\delta = 1$ เป็นผลให้จุดไปอยู่ที่ศูนย์กลาง Projection ที่ตำแหน่ง $(0, 0, -D)$ เพื่อให้ได้รับโคออดิเนตบนฉากรับภาพ เราจะให้ $\gamma = 0$ และ คำนวณหาพารามิเตอร์ δ จะได้

$$\delta = \frac{Z}{(Z + D)} \quad (2.4)$$

จากค่าของพารามิเตอร์ δ เป็นผลให้เส้นตรงตัดกับฉากรับภาพที่ตำแหน่ง $(X_p, Y_p, 0)$ แทนค่า δ จากสมการ (2.4) ลงในสมการ (2.1), (2.2) และ (2.3) เราจะได้สมการของการแปลงแบบเพอร์สเปคทีฟดังนี้

$$X_p = \frac{D}{(Z + D)} \cdot X \quad (2.5)$$

$$Y_p = \frac{D}{(Z + D)} \cdot Y \quad (2.6)$$

$$Z_p = 0 \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.5), (2.6) และ (2.7) เป็นสมการที่ได้จากการแปลงภาพจากพิกัดโลกไปยังฉากรับภาพ แล้วเก็บลงในหน่วยความจำภาพเพื่อใช้ประมวลผลภาพต่อไป

ในวิทยานิพนธ์นี้ต้องการรู้ตำแหน่งในพิกัดโลกของวัตถุ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถรู้ตำแหน่งของวัตถุได้จริง ดังนั้นจึงต้องอาศัยข้อมูลอื่นๆ เข้าช่วย เช่น จากฉากรับภาพของกล้องวิดีโอ โดยจะนำตำแหน่งของจุดภาพที่ได้จากฉากรับภาพมาคำนวณหาด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในบทต่อไป

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองแบบเลือกค่ากลาง (Median Filter)

Median Filter เป็นการกำจัด Noise ที่มีความแตกต่างจากจุดอื่นมากๆ เช่น Impulse Noise ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นจุดดำหรือจุดขาวในภาพ วิธีการคือนำหน้ากาก ทาบลงไปบนจุดที่สนใจ เช่น ใช้หน้ากากขนาด 3×3 โดยจุดที่สนใจอยู่ตรงกลางหน้ากากนั้น จากนั้นทำการเรียงค่าระดับสีเทาของจุดภาพต่างๆ ในหน้ากาก จากน้อยไปมาก แล้วทำการเลือกเอาค่าที่อยู่กึ่งกลาง หรือค่า Median มาแทนลง ณ จุดที่สนใจ ดังนั้น ด้วยวิธีการนี้ Impulse Noise จึงสามารถถูกกำจัดไปได้

ตัวอย่างเช่น ถ้าหน้ากากสองมิติขนาด 3×3 ทาบลงไปบนข้อมูลที่สนใจ โดยมีค่าระดับสีเทา ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 59 & 65 & 63 \\ 60 & 255 & 80 \\ 120 & 110 & 95 \end{bmatrix}$$

ทำการเรียงข้อมูลในหน้ากากจากน้อยไปหามาก คือ

59,60,63,65,80,95,110,120,255

จะพบว่าค่า Median ที่ได้คือ 80 ดังนั้น จุดเดิม ซึ่งมีค่าเป็น 255 ซึ่งถือว่าเป็น Impulse Noise จะถูกกำจัดไปโดยจะถูกแทนที่ด้วยค่า 80 ซึ่งจะได้ข้อมูลหลังการกรองเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} 59 & 65 & 63 \\ 60 & 80 & 80 \\ 120 & 110 & 95 \end{bmatrix}$$

3.2 การหาขอบภาพโดยใช้วิธีโซเบล (Sobel Method)

ในการหาขอบภาพด้วย Sobel Operator ซึ่งเป็น Mask แบบมีทิศทาง สามารถหาลักษณะในการเปลี่ยนแปลงของขอบซึ่งเรียกว่าเกรเดียนท์ (Gradient) ได้ดังนี้

$$\nabla(x,y) = \sqrt{\nabla_x(x,y)^2 + \nabla_y(x,y)^2} \quad (3.1)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\nabla_x(x, y) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 [f(x-2+i, y-2+j) * M_x(i, j)] \quad (3.2)$$

$$\nabla_y(x, y) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 [f(x-2+i, y-2+j) * M_y(i, j)] \quad (3.3)$$

เมื่อ

$$M_x(i, j) = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad M_y(i, j) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

3.3 การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform)

การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform :WLT) ในการประมวลผลภาพเป็นการแยกองค์ประกอบความถี่สูงและความถี่ต่ำของภาพซึ่งมีหลักการคล้ายกับการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ในการนำไปใช้ประโยชน์จะเป็นการกำจัดความถี่ที่ไม่ต้องการในโดเมนของเวฟเลตทิ้งไป แล้วทำการสร้างภาพขึ้นมาใหม่จากองค์ประกอบของความถี่ที่เหลืออยู่ ซึ่งเวฟเลตมีประโยชน์มากมายทางการประมวลผลภาพ และสัญญาณ เช่น ใช้การบีบอัดข้อมูลแบบที่มีการสูญเสีย (Lossy Data Compression) เป็นต้น

การแปลงเวฟเลตแบ่งเป็นสองขั้นตอน คือ การแยกองค์ประกอบย่อย (Wavelet Decomposition) หรือการแปลงเวฟเลตและการสร้างมาใหม่ (Wavelet Reconstruction) หรือการแปลงกลับเวฟเลต

เวฟเลตฟังก์ชันที่นำมาใช้ในการแปลงเวฟเลต มีอยู่หลายชนิด ซึ่งเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกันไป ในที่นี้ใช้ฮาร์เวฟเลต (Haar Wavelet) ซึ่งเป็นเวฟเลตที่ง่ายและเก่าแก่ที่สุดในบรรดา เวฟเลตทั้งหลาย ที่มีอยู่ มันถูกใช้ในการวิเคราะห์ภาพโดยรู้จักกันในชื่อการแปลงฮาร์ (Haar Transform)(Pratt 1991) โดยฮาร์เวฟเลตเป็นสลับฟังก์ชัน ที่มีค่าระหว่าง +1 และ -1 ดังนี้

$$\psi_H(t) = \begin{cases} +1 & 0 < t < 0.5 \\ -1 & 0.5 \leq t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.5)$$

เวฟเลตจะมีคุณสมบัติในการย่อขยาย (Scale) และการเลื่อน (Translation) การย่อขยายจะอยู่ในรูปของเลขสองยกกำลัง ตัวอย่างเช่น การย่อขยายของ $\psi_H(t)$ คือ $\psi_j(t) = \psi_H(2^j t)$ และการเลื่อนตำแหน่ง $\psi_H(t)$ คือ $\psi_j(t) = \psi_H(t - k)$ ดังนั้นเราสามารถเขียนฮาร์เวฟเลตได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\psi_{kj}(t) = \psi_H(2^j t - k) \quad (3.6)$$

กระบวนการแปลงเวฟเลตคล้ายกับการนำอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) มาประมาณฟังก์ชันต่างๆ ที่เป็นคาบ (Periodic) ว่าประกอบด้วยส่วนประกอบพื้นฐานที่เป็นฟังก์ชันสัญญาณไซน์ (Sine) และโคไซน์ (Cosine) ได้ ดังนั้นในการประมาณแบบองค์ประกอบย่อยด้วยฮาร์เวฟเลตได้ดังนี้

$$f(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} A_j \sum_{k=-\infty}^{\infty} B_{jk} \psi_H(2^j t - k) \quad (3.7)$$

ซึ่งมีสัมประสิทธิ์คือ A_j และ B_{jk} ซึ่งสามารถรวมกันได้เป็นสัมประสิทธิ์ C_{jk} โดยการนำมาใช้กับการประมวลผลสัญญาณฟังก์ชัน f เป็นข้อมูลที่สุ่มมาแบบไม่ต่อเนื่อง และเมื่อนำมาเขียนสมการการแปลงเวฟเลตที่ใช้พื้นฐานของฮาร์ ก็คือการหาสัมประสิทธิ์ C_{jk} ต่างๆ นั้นเองดังสมการต่อไป

$$C_{jk} = 2_j \int_{2^{-j}}^{2^{-(j+1)}} f(t) \psi_{jk}(t) dt \quad (3.8)$$

3.3.1 การคำนวณการแปลงของเวฟเลต

ด้วยการอธิบายของ Lancaster(1996) อนุกรมฟังก์ชันในสมการ 3.7 สามารถเขียนได้เป็น

$$f(t) = \sum_{j=-\infty}^{-1} \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{jk} \psi_{jk}(t) \quad (3.9)$$

โดยการสมมติว่าส่วนประกอบความถี่สูงที่สุดจะอยู่ใน 2^{-1} ซึ่งเป็นการทำการสเกลด้วย 2 ขั้นตอนแรกในการหาสัมประสิทธิ์ C_{jk} เป็นกรแยกส่วนความถี่สูงออกมาก่อน ซึ่งมันอยู่ที่ขั้น $j = -1$ ดังนั้นผลรวมจะกลายเป็น

$$\begin{aligned} f(t) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{-1,k} \psi_{-1,k}(t) + \sum_{j=-\infty}^{-2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{jk} \psi_{jk}(t) \\ &= W_{-1}(t) + f_{-1}(t) \end{aligned} \quad (3.10)$$

โดยที่ผลรวมที่ถูกแทนด้วยเทอม $W_{-1}(t)$ เป็นส่วนความถี่สูงและ $f_{-1}(t)$ เป็นส่วนที่เหลือทั้งหมดสัมประสิทธิ์ของขั้นความถี่สูงที่สุดมีค่า $j = -1$ โดยการแก้สมการ 3.7 โดยใช้ฮาร์เวฟเลตจะได้

$$C_{-1,k} = \frac{1}{2} \int_{2k}^{2(k+1)} f(t) \psi_{-1,k}(t) dt = \frac{f(2k) - f(2k+1)}{2} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการอินทิเกรตนี้สามารถทำได้ด้วยมือหรือโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปก็ได้มาทำการหาคำตอบ ซึ่งเราจะได้ค่า $C_{-1,k}$ ออกมาได้จากข้อมูล f โดยตรง

และในการคำนวณในชั้นความถี่ที่สูงขึ้นไปคือ $W_{-2}(t)$ สามารถทำได้โดยการแยกองค์ประกอบที่เหลืออยู่คือ $f_{-1}(t)$ ด้วยวิธีการที่คล้ายกับที่กล่าวมา โดยเราจะได้

$$W_{-2}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{-2,k} \psi_{-2,k}(t) \quad (3.12)$$

$$f_{-2}(t) = \sum_{j=-\infty}^{-3} \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{j,k} \psi_{j,k}(t)$$

โดยการใช้สมการ 3.12 และทำการหาคำตอบของการอินทิเกรตสัมประสิทธิ์ในชั้นถัดไปจะได้เป็นดังนี้

$$C_{-2,k} = \frac{1}{4}(f(4k) + f(4k+1) - f(4k+2) - f(4k+3)) \quad (3.13)$$

ในแต่ละชั้นสามารถคำนวณได้โดยวิธีการเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งจะมีจำนวนเทอมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุกๆชั้น และโดยการสรุป ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ในแต่ละชั้นที่เกี่ยวข้องกับชั้นก่อนหน้า (Previous Layer) เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$C_{j,k} = \frac{1}{2}(a_{j+1,2k} - a_{j+1,2k+1}) \quad (3.14)$$

$$a_{j,k} = \frac{1}{2}(a_{j+1,2k} + a_{j+1,2k+1})$$

โดยเหตุที่ f เป็นกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการสุ่มค่าของ $a_{0,k}$ ก็คือค่าของข้อมูล $f(k)$ นั้นเอง และเราสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ $C_{j,k}$ ต่างๆ ได้ โดยเริ่มต้นจาก $a_{0,k}$ แล้วค่าก็จะเปลี่ยนไปเป็น $a_{j,k}$ ในชั้นต่างๆ ของการแปลง

สมมติ f เป็นข้อมูลสุ่มจำนวน 16 ตัวมีค่าดังนี้

0 1 2 2 4 4 2 2 0 0 2 2 0 0 0 0

จากสมการที่ 3.14 นำมาทำการหาสัมประสิทธิ์ $C_{-1,k}$ ได้ดังนี้

-0.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

และสัมประสิทธิ์ $a_{-1,k}$ ที่เปลี่ยนไปคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.5 2.0 4.0 2.0 0.0 2.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

ชั้นที่เหลืออยู่ก็สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีการเช่นเดียวกันโดยจะได้ออกเป็นลำดับ โดยเซตของสัมประสิทธิ์ที่ได้มาที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์นั้นจะมีจำนวนลดลงเรื่อยๆ ซึ่งจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของชั้นก่อนหน้า ดังนั้นจากตัวอย่างที่มีข้อมูลสุ่ม 16 ตัว เมื่อคำนวณเพียงสี่ชั้นก็จะเหลือสัมประสิทธิ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์เพียงตัวเดียวดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลจากการแปลงเวฟเลตจำนวน 4 ชั้น

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Data	0	1	2	2	4	4	2	2	0	0	2	2	0	0	0	0
c_{-1}	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a_{-1}	0.5	2.0	4.0	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c_{-2}	-0.75	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a_{-2}	1.25	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c_{-3}	-0.875	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a_{-3}	2.12	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
c_{-4}	0.81	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a_{-4}	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

จากนั้นในกระบวนการสร้างข้อมูลกลับขึ้นมาใหม่โดยใช้ทุกสัมประสิทธิ์มาสร้างข้อมูลกลับขึ้นมาใหม่หรือการแปลงกลับเวฟเลตก็จะได้ข้อมูลที่เหมือนเดิมทุกประการ ซึ่งการคำนวณจะทำการย้อนกลับโดยเริ่มจากส่วนของความถี่ที่ต่ำที่สุดแล้วย้อนไปสู่ความถี่ที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ด้วยวิธีการนี้รูปร่างของข้อมูลจะค่อยปรากฏขึ้นมาและส่วนที่เป็นรายละเอียดต่างที่เป็นความถี่สูงก็จะออกมาในการคำนวณชั้นต่างๆ ตามลำดับ จากความถี่ต่ำสุดที่สัมประสิทธิ์ $C_{-1,k}$ ในการสร้างข้อมูลกลับขึ้นมาใหม่ หรือการแปลงกลับเวฟเลตทำได้ดังนี้

$$f_4(t) = \sum_{k=0}^0 C_{-1,k} \psi_{-4,k}(t) = C_{-4,0} \psi_{-4,0}(t) \quad (3.15)$$

และคำนวณในชั้นความถี่ถัดไป เขียนได้เป็น

$$f_3(t) = C_{-3,0} \psi_{-3,0}(t) + C_{-3,1} \psi_{-3,1}(t) \quad (3.16)$$

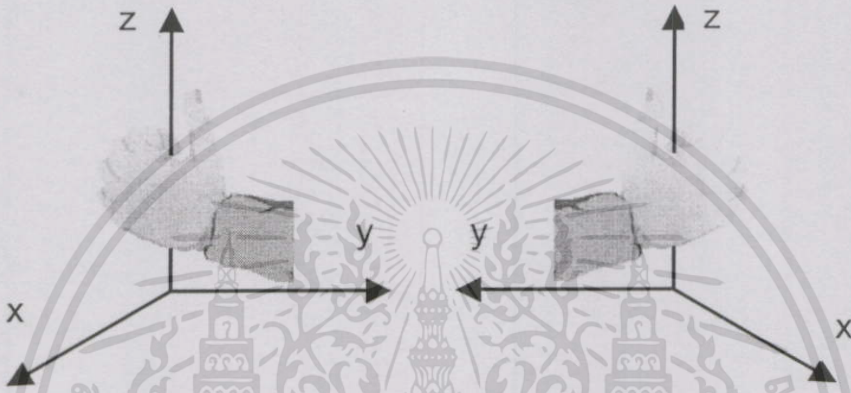
3.4 ระบบพิกัด (Coordinate System)

ระบบพิกัดเป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงถึงตำแหน่งของวัตถุต่างๆ ที่อยู่ภายในปริภูมิ

(Space) ในระบบสองพิกัดสองมิติใช้แกนหลักในการอ้างอิง 2 แกน นั่นคือแกน x และแกน y ซึ่งในเอกสารนี้เป็นเอกสารทศวงวินสำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบพิกัดสามมิติจะใช้ z ในการอ้างอิงเพิ่มเติมขึ้นมาอีกหนึ่งแกน การกำหนดทิศทางของแกน z มี 2 ระบบคือ ระบบพิกัดมือขวาและระบบพิกัดมือซ้ายดังรูปที่ 3.1

ระบบพิกัดมือขวามักนิยมใช้ในงานทางคณิตศาสตร์ ระบบภูมิศาสตร์ และการอ้างอิงตำแหน่งของวัตถุโดยทั่วไป ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ระบบมือขวาเป็นหลัก แต่สำหรับระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกแล้วมักนิยมใช้ระบบพิกัดมือซ้ายซึ่งกำหนดให้ระยะความลึกเข้าไปในจอภาพนั้นมีค่าพิกัด z เป็นบวก และจอภาพคือระนาบ xy



รูปที่ 3.1 ระบบพิกัด (ก) ระบบมือขวา (ข) ระบบมือซ้าย

3.5 การแปลงเรขาคณิตของข้อมูลภาพ

ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้นบ่อยครั้งอาจมีความจำเป็นที่จะเคลื่อนย้ายภาพไปยังตำแหน่งใหม่หรือในบางกรณีอาจต้องการหมุนภาพไปในทิศทางต่าง เพื่อให้ได้มุมมองของภาพที่ดีขึ้น การกระทำเหล่านี้สามารถทำได้โดยการใช้การแปลงเรขาคณิต (Geometric Transformation)

ในการพิจารณาการแปลงนั้นอาจพิจารณาได้ว่าเป็นการแปลงจุดในปริภูมิสามมิติโดยในที่นี้กำหนดให้เป็นจุด P มีพิกัดเป็น (x, y, z) ใดๆ เมื่อต้องการแปลงจุดนี้ไปยังตำแหน่งใหม่ซึ่งในที่นี้คือจุด P' ที่พิกัด (x', y', z') ก็ทำได้โดยนำพิกัด P ไปคูณกับเมตริกซ์การแปลง T ดังนี้

$$P' = PT = [x \ y \ z] \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

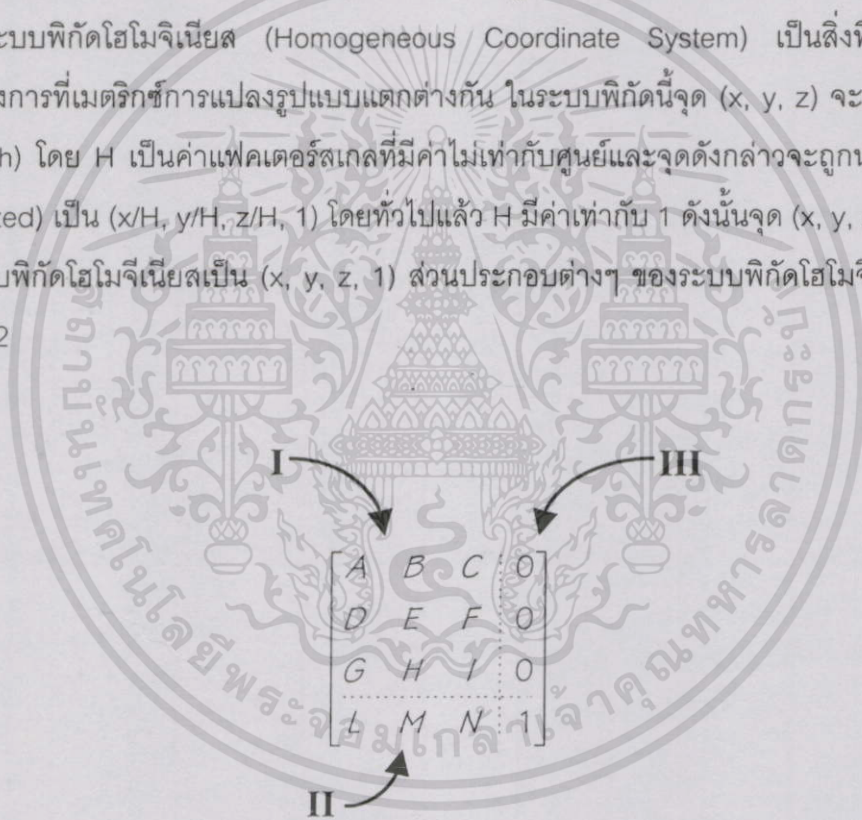
ซึ่งเมตริกซ์การแปลงดังกล่าวข้างต้นจะใช้กับการแปลงเรขาคณิตต่อไปนี้ คือ การสเกล การหมุน และการสะท้อน เป็นต้น โดยการเลือกว่าจะเป็นการแปลงชนิดใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของงานนั้นๆ อย่างไรก็ตาม การแปลงเรขาคณิตเหล่านี้มักจะขึ้นอยู่กับค่าพิกัดของจุดที่นำมาแปลงเสมอ แม้ว่าจะมีการอ้างอิงถึงจุดที่นำมาแปลงก็ตาม การแปลงเรขาคณิตใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งหมดภายในเมตริกซ์ของการแปลง แต่ในกรณีที่ต้องการย้ายตำแหน่งของจุด P ไปยังพิกัดใหม่คือ P' นั้นสามารถแสดงเมตริกซ์ของการแปลงได้ดังนี้

$$P' = P + T = [x \ y \ z] + [T_x \ T_y \ T_z] \quad (3.18)$$

ในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งนั้นจะแตกต่างจากการแปลงแบบอื่นๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว (การแปลงแบบอื่นๆ จะใช้การคูณ) และสำหรับการแปลงเรขาคณิตในทางคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้นโดยปกติแล้วจะประกอบไปด้วยการแปลงหลายๆ ชนิดประกอบกันซึ่งการคำนวณถ้าเมตริกซ์เหล่านั้นมีรูปแบบที่แตกต่างกัน และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติจะมีข้อจำกัดมากมาย

ระบบพิกัดโฮโมจีเนียส (Homogeneous Coordinate System) เป็นสิ่งที่นำมาใช้แก้ปัญหาของการที่เมตริกซ์การแปลงรูปแบบแตกต่างกัน ในระบบพิกัดนี้จุด (x, y, z) จะถูกแทนด้วย (x, y, z, h) โดย h เป็นค่าแฟคเตอร์สเกลที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์และจุดดังกล่าวจะถูกนอร์มอลไลซ์ (Normalized) เป็น $(x/h, y/h, z/h, 1)$ โดยทั่วไปแล้ว h มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจุด (x, y, z) ใดๆ จะมีค่าในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสเป็น $(x, y, z, 1)$ ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบพิกัดโฮโมจีเนียสแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

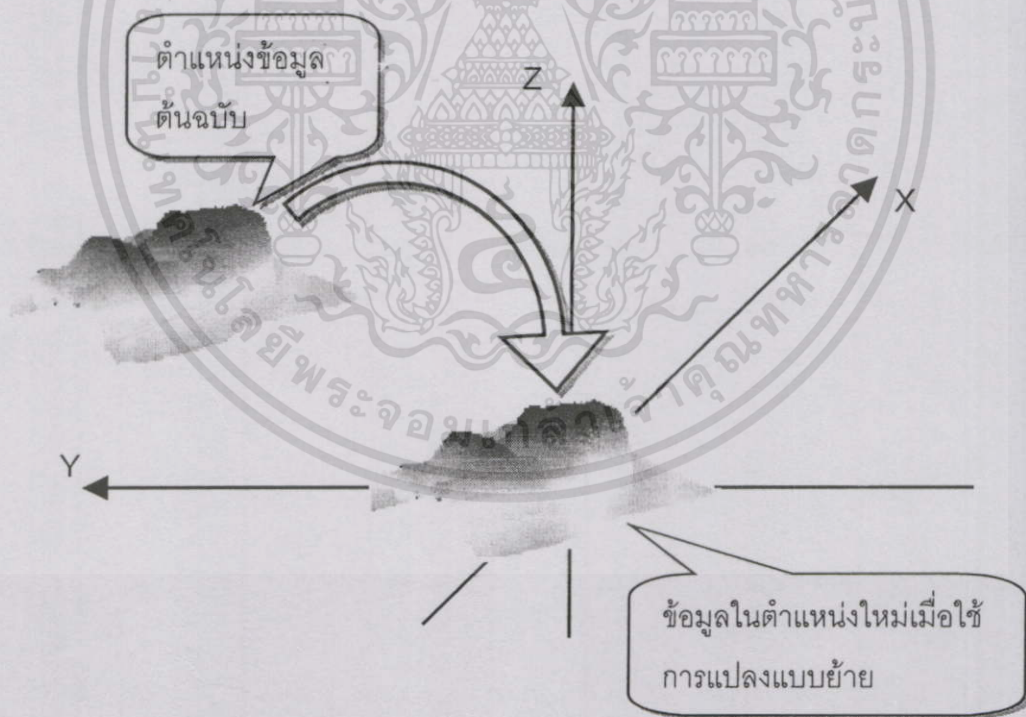
จากรูปที่ 3.2 เมตริกซ์ย่อย I เป็นส่วนที่ใช้กำหนดว่าเป็นการแปลงแบบใด เช่นการสเกล การหมุน หรือการสะท้อน เป็นต้น ส่วนเมตริกซ์ย่อย II ใช้ในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งแบบเชิงเส้น และเมตริกซ์ย่อย III เป็นส่วนที่ใช้ในการรวมระหว่างการเคลื่อนย้ายพิกัดและการแปลงแบบอื่นๆ ในรูปของการคูณ ซึ่งจะมีรายละเอียดของการแปลงแบบต่างๆ ดังนี้

3.5.1 การเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Translation)

การแปลงแบบย้ายตำแหน่งมีเมตริกซ์การแปลงแสดงดังสมการที่ (3.19)

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & T_z & 1 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

โดยที่ค่าของ T_x , T_y , และ T_z แสดงถึงระยะทางที่ต้องการเคลื่อนย้ายไป โดยเป็นระยะที่เทียบกับแกน x แกน y และแกน z ตามลำดับ การแปลงแบบย้ายตำแหน่งนี้มีความสำคัญในการสร้างภาพทางคอมพิวเตอร์กราฟิกมาก เนื่องจากข้อมูลภาพที่นำมาใช้จะมีตำแหน่งอยู่เพียงเฉพาะด้านบวก ดังนั้นในการสร้างภาพที่มุมมองต่างๆ จำเป็นต้องมีการย้ายพิกัดของจุดข้อมูลให้จุดกึ่งกลางมาอยู่ที่จุดกำเนิดก่อนดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การย้ายตำแหน่งจุดข้อมูลไปที่จุดกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การหมุนวัตถุ (Rotation)

สำหรับการหมุนวัตถุรอบแกนต่างๆ จะอ้างอิงจากการมองออกจากจุดกำเนิดไปตามแนวแกน ซึ่งเมตริกซ์การแปลงของการหมุนวัตถุมีดังนี้

การหมุนรอบแกน z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาคือ

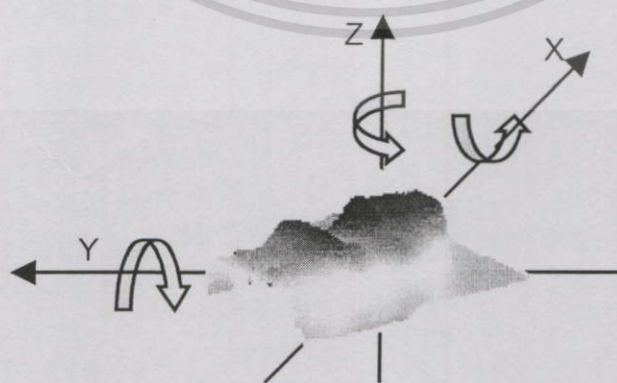
$$R_z = \begin{bmatrix} \cos\Phi & \sin\Phi & 0 & 0 \\ -\sin\Phi & \cos\Phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

สำหรับการหมุนรอบแกน x และ y ก็มีสมการคล้ายกับสมการ (3.20) ซึ่งเมตริกซ์การแปลงแบบหมุนรอบแกน x คือ

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\Theta & \sin\Theta & 0 \\ 0 & -\sin\Theta & \cos\Theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

เมตริกซ์การแปลงแบบหมุนรอบแกน y คือ

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\Psi & 0 & -\sin\Psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\Psi & 0 & \cos\Psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$



รูปที่ 3.4 การแปลงการหมุนรอบแกนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การสเกล (Scaling)

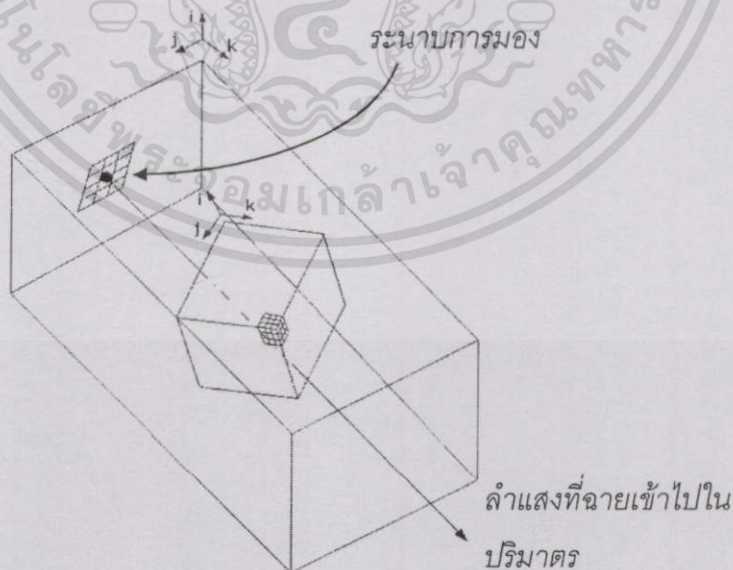
การสเกลเป็นการแปลงเพื่อปรับเปลี่ยนขนาดของวัตถุที่ต้องการ เมตริกซ์การแปลงแบบสเกลแสดงดังสมการที่ 3.23

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

โดยที่ S_x, S_y และ S_z คือแฟคเตอร์การสเกลสำหรับพิกัด x, y และ z ตามลำดับ

3.6 การฉายแสง (Ray Casting)

การแสดงผลภาพของวิวอกเซลซึ่งเป็นองค์ประกอบแบบสามมิติลงบนจอภาพนั้นจำเป็นต้องมีการแปลงและฉายวิวอกเซลเหล่านี้ลงบนฉากการมองเห็นสองมิติ แต่การกระทำเหล่านี้ตามปกติก่อให้เกิดปัญหาในการแสดงผลขึ้น นั่นคือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการกระทำทางคณิตศาสตร์ของการแปลงและการฉายนั้นมักมีค่าเป็นทศนิยม ซึ่งจะต้องมีการปัดค่าเหล่านี้ให้เป็นจำนวนเต็มก่อนเนื่องจากการอ้างอิงตำแหน่งเกิดการซ้อนทับกัน ดังนั้นภาพที่ฉายจากปริมาตรลงไปยังฉากของการมองเห็นจะเกิดจุดดำเนื่องจากข้อมูลบางตำแหน่งขาดหายไป



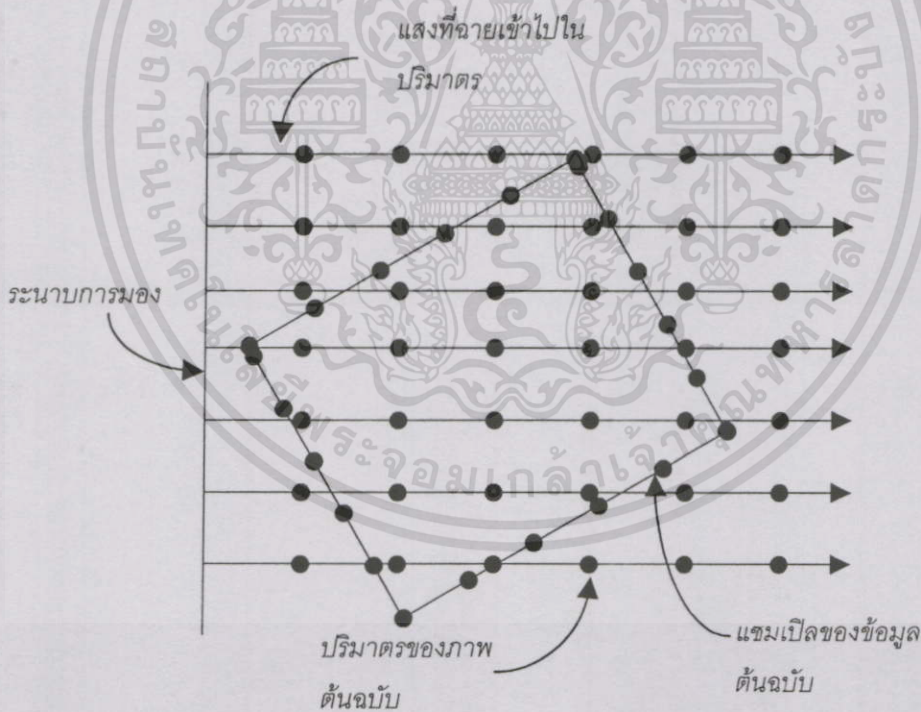
รูปที่ 3.5 การฉายแสงเข้าไปในปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การฉายแสงที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการพิจารณาจากกระบวนการมองย้อนกลับไปที่ปริมาตรภาพโดยใช้เมตริกซ์การแปลงผกผันดังรูปที่ ซึ่งการใช้เมตริกซ์ผกผันสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่ภาพผลลัพธ์มีจุดว่างเกิดขึ้นได้เนื่องจากทุกจุดบนระนาบการมองจะได้รับการพิจารณาทั้งหมด ซึ่งเมตริกซ์ผกผันที่ใช้ในที่นี้คือเมตริกซ์การแปลงแบบหมุนรอบแกน z และ x ดังนี้

$$(R_z R_x)^{-1} = R_x^{-1} R_z^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\Phi & -\sin\Phi & 0 & 0 \\ \cos\Theta \sin\Phi & \cos\Theta \cos\Phi & -\sin\Theta & 0 \\ \sin\Theta \sin\Phi & \sin\Theta \cos\Phi & \cos\Theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

แสงที่ฉายเข้าไปในปริมาตรจะถูกสุ่ม (Sampling) เป็นระยะทางเท่า ๆ กัน โดยในแต่ละระยะจะมีการแปลงโดยใช้เมตริกซ์การแปลงผกผันตามสมการที่ 3.24 ซึ่งลักษณะของการฉายแสงเข้าไปในปริมาตรเมื่อมองในรูปของจุดแซมเปิลจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะของแสงที่ฉายเข้าไปในปริมาตร

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าจุดแสงที่ถูกสุ่มหลายๆจุดมีตำแหน่งไม่ตรงกับตำแหน่งของว็อกเซลในปริมาตรต้นฉบับ ดังนั้นจึงต้องมีการแทรกค่าเข้าไประหว่างข้อมูลเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องขึ้น ซึ่งรายละเอียดของการแทรกค่าหรือการอินเทอร์โพละนั้นจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การส่องสว่างและการให้แสงเงา (Illumination and Shading)

การส่องสว่างและการให้แสงเงาเป็นเทคนิคที่รู้จักกันดีในคอมพิวเตอร์กราฟิกซึ่งใช้สำหรับการเน้นให้กราฟิกสามมิติที่สร้างขึ้นดูมีมิติสมจริง โดยที่การให้แสงเงาเป็นความพยายามที่จะจำลองผลของเงา การกระเจิงของแสง และการดูคลิ่นที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบไปยังวัตถุในโลกของความเป็นจริง

ส่วนแบบการจำลองการส่องสว่างนั้นเป็นสิ่งที่ใช้อธิบายถึงวิธีการกำหนดสีไปยังจะบนปริภูมิโดยมีพื้นฐานอยู่บนการที่แสงฉายลงไปยังจุด มุมระหว่างผู้สังเกตกับแสง คุณสมบัติของวัสดุและทิศทางการหันเหกับตำแหน่งในปริภูมิ แบบจำลองการให้แสงเงาจะเป็นกรอบล้อมให้แบบจำลองการส่องสว่าง โดยที่แบบจำลองการให้แสงเงาเป็นการพิจารณาว่าเมื่อใช้แบบจำลองการส่องสว่างกับจุดนั้นแล้วพาราเมเตอร์ใดที่จะได้ออกมาจากแบบจำลองการส่องสว่างหรือแม้กระทั่งพาราเมเตอร์ที่ได้ออกมาจากมัน ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองการส่องสว่างและแบบจำลองการให้แสงเงาเป็นสิ่งสำคัญซึ่งจะกล่าวถึงภายหลัง

เป้าหมายของคอมพิวเตอร์กราฟิกแบบดั้งเดิมคือ การสร้างภาพให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับภาพถ่าย แต่สำหรับการสร้างภาพเชิงปริมาตรแล้วการสร้างภาพให้มีลักษณะที่เหมือนภาพถ่ายนั้นไม่ใช่จุดมุ่งหมายประการแรก แต่เป้าหมายแรกของการให้แสงเงากลับเป็นการเน้นให้การแสดงชุดข้อมูลสามารถทำได้ดีขึ้น ชุดข้อมูลเชิงปริมาตรสามารถใช้แสดงวัตถุและสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ภายในตัวมัน เช่น อวัยวะของมนุษย์ ชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักร หรืออาจเป็นชั้นต่าง ๆ ของเปลือกโลก สิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ภายในปริมาตรเหล่านี้ไม่สามารถมองเห็นทะลุเข้าไปได้ในโลกของความเป็นจริง ดังนั้นมันจึงไม่จำเป็นที่จะทำแสงเงาของสิ่งที่อยู่ภายในเหล่านี้ให้เหมือนจริงเนื่องจากมันไม่สามารถอ้างอิงได้ว่าในโลกความเป็นจริงแล้วมันควรเป็นอย่างไร ต่อไปจะกล่าวถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งใช้ในการคำนวณแสงเงา

3.7.1 เกรเดียนต์ (The Gradient)

เกรเดียนต์เป็นการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงของวอกเซลในชุดข้อมูล นอกจากนี้มันยังบอกถึงทิศทางในการเปลี่ยนแปลงด้วย ข้อมูลนี้เป็นสิ่งสำคัญในการสร้างภาพเนื่องจากมันเป็นตัวที่ใช้บอกถึงบางสิ่งบางอย่างเกี่ยวกับโครงสร้างของชุดข้อมูล ตัวอย่างเช่น โลหะ 2 ชนิดที่อยู่ในชุดข้อมูลที่เป็นส่วนของเครื่องจักรซึ่งมีความเข้มแสงของวอกเซลแตกต่างกัน ดังนั้นเกรเดียนต์จะมีค่าสูงในส่วนที่เป็นขอบเขตนั้นด้วย

จะเห็นได้ว่าเกรเดียนต์คือเวกเตอร์สามมิติ ที่มีทิศทางชี้ไปยังจุดที่มีตำแหน่งแน่นอนในปริภูมิสามมิติ ซึ่งใช้บอกทิศทางการหันเหของโครงสร้างในชุดข้อมูลดังสมการที่ 3.25

$$\nabla f(x,y,z) = \left[\frac{\partial f(x,y,z)}{\partial x} \quad \frac{\partial f(x,y,z)}{\partial y} \quad \frac{\partial f(x,y,z)}{\partial z} \right]^T \quad (3.25)$$

เมื่อ ∇ เป็นสัญลักษณ์แทนเกรเดียนต์ และ f คือฟังก์ชันความเข้มแสง

$$|\nabla f(x,y,z)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x,y,z)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y,z)}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y,z)}{\partial z}\right)^2} \quad (3.26)$$

ส่วนขนาดของเกรเดียนต์นั้นจะใช้เป็นตัวบอกความเร็วในการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงภายในชุดข้อมูล ถ้าขนาดของเกรเดียนต์มีค่าเป็นศูนย์นั้นหมายความว่าค่าของว็อกเซลที่อยู่รอบข้างจุดที่สนใจไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสง และถ้าพิจารณาในแง่คณิตศาสตร์จะพบว่าเกรเดียนต์ก็คือการหาอนุพันธ์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้วัดถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน หรือก็คือฟังก์ชันค่าความเข้มแสงของว็อกเซลในชุดข้อมูลนั่นเอง

3.6.1.1 ตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์ (The Central Difference Gradient Estimator)

ในการคำนวณค่าเกรเดียนต์นั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์ ซึ่งเป็นตัวดำเนินการที่นิยมใช้กันทั่วไป แม้ว่ามันจะไม่ใช่วิธีการที่ดีที่สุดในแง่ของคุณภาพ แต่มันใช้เวลาในการคำนวณน้อยและใช้งานง่าย

ตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์มีนิยามดังนี้

$$D_x = f(x-1,y,z) - f(x+1,y,z) \quad (3.27)$$

$$D_y = f(x,y-1,z) - f(x,y+1,z) \quad (3.28)$$

$$D_z = f(x,y,z-1) - f(x,y,z+1) \quad (3.29)$$

เมื่อ $f(x,y,z)$ คือค่าของว็อกเซลที่ตำแหน่ง (x,y,z) ในชุดข้อมูล ส่วน D_x , D_y และ D_z คือองค์ประกอบของเวกเตอร์เกรเดียนต์สามมิติดังนี้

$$D_x = [D_x \quad D_y \quad D_z]^T \quad (3.30)$$

จากสมการที่ 3.27 ถึง 3.29 สังเกตได้ว่าตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์

เรนซ์ประกอบไปด้วยการลบเพียงอย่างเดียว ดังนั้นมันจึงง่ายแก่การเขียนซอฟต์แวร์และการสร้างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์ดแวร์ แต่อย่างไรก็ตามไม่ใช่ตัวดำเนินการที่ให้ความถูกต้องมากนัก บ่อยครั้งที่ตัวดำเนินการแบบนี้ถูกเรียกว่าตัวดำเนินการแบบหกจุด (Six-Point Operator) เนื่องจากมันใช้จุดอ็อกเซล 6 จุดมาทำการคำนวณ

วิธีที่ใช้เขียนตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์อีกวิธีหนึ่งคือการเขียนแบบเคอร์เนลการคอนโวลูชัน (Convolution Kernel) เนื่องจากตัวดำเนินการตัวนี้มีลักษณะที่เหมือนกันในแนวแกน x , y และ z ดังนั้นจึงสามารถเขียนมันในลักษณะเคอร์เนล 1 มิติได้ดังนี้

$$D_{x,y,z} = [-1 \ 0 \ 1]^T \quad (3.31)$$

3.6.1.2 เกรเดียนต์กับการสร้างภาพเชิงปริมาตร

ในคอมพิวเตอร์กราฟิกแบบดั้งเดิมนั้น เวกเตอร์ปกติของพื้นผิวเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการให้แสงเงาแก่พิกเซลของโพลิกอนที่ถูกสร้างภาพขึ้น และมันจะถูกใช้ในแบบจำลองการให้แสงเงาของ Gouraud และ Phong ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เช่น ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง สีและคุณสมบัติของวัสดุที่กำหนดให้แก่โพลิกอน จุดประสงค์ทั้งหมดนี้ก็เพื่อให้ภาพที่สร้างขึ้นมาที่มีลักษณะที่เหมือนจริงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่สำหรับการสร้างภาพเชิงปริมาตรแล้วการคำนวณหาเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากพื้นผิวในชุดข้อมูลมีตำแหน่งที่ไม่ชัดเจน ดังนั้นเกรเดียนต์จึงถูกนำมาใช้แทนเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวในแบบจำลองการส่องสว่าง

3.6.2 การให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong (Gouraud And Phong Shading)

ในเอกสารการอ้างอิงทางคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้น บ่อยครั้งมักมีการอ้างอิงถึงคำว่า การให้แสงเงาหรือการส่องสว่างของ Phong และ Gouraud ซึ่งทั้ง Henri Gouraud และ Bui Tuong Phong ในปี ค.ศ. 1975 การให้แสงเงาแบบ Phong และ Gouraud นั้นเป็นการอ้างอิงถึงแบบจำลอง 2 แบบที่แตกต่างกัน ซึ่งนำไปใช้กับโพลิกอนโดยที่แบบจำลองการให้แสงเงาทั้งสองนี้สามารถนำไปใช้กับแบบจำลองของการส่องสว่างและการให้แสงเงาในขณะที่ Gouraud มีเพียงแค่แบบจำลองการให้แสงเงา ซึ่งความแตกต่างของแบบจำลองการให้แสงเงาทั้งสองจะกล่าวถึงในภายหลัง

3.6.3 แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong (The Phong Illumination Model)

จุดมุ่งหมายของแบบจำลองการส่องสว่างคือการจำลองการสะท้อนแสงบนพื้นผิวและผลที่เกิดขึ้นกับสีของมัน เช่น ลักษณะการสะท้อนแสงบนพื้นผิวของลูกโบว์ลิ่งเมืองมีแสงสีขาวพุ่งไปตกกระทบซึ่งบริเวณที่แสงส่องถูกพื้นผิวสีของบริเวณนั้นก็จะเปลี่ยนไปจนเกือบเป็นสีขาวจุดมุ่งหมายอีกประการหนึ่งของการออกแบบจำลองการส่องสว่างคือการทำให้แบบจำลองนั้นอยู่ในรูปแบบที่ง่าย ซึ่งทำให้การคำนวณมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากอดีตเมื่อแบบจำลองการส่องสว่างถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนาขึ้นนั้น ความถูกต้องทางกายภาพจะถูกพิจารณาถึงน้อยมาก เนื่องจากสิ่งสำคัญคือประสิทธิภาพในการคำนวณ ไม่ใช่ความถูกต้องทางกายภาพและปรากฏการณ์ของแสงซึ่งอยู่เบื้องหลังแบบจำลอง เช่น การให้แสงเงา เงา และอื่น ๆ

แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong เป็นการอธิบายถึงผลของ แสงแวดล้อม (Ambient Light) รวมถึง การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) และการสะท้อนแบบกระจก (Specular Reflection) ของแสงซึ่งตกกระทบบนพื้นผิว แบบจำลองการส่องสว่างนี้มีพื้นฐานจากการพิจารณาจุดต่าง ๆ บนพื้นผิวซึ่งแสงตกกระทบบน

3.6.3.1 แสงแวดล้อม (Ambient Light)

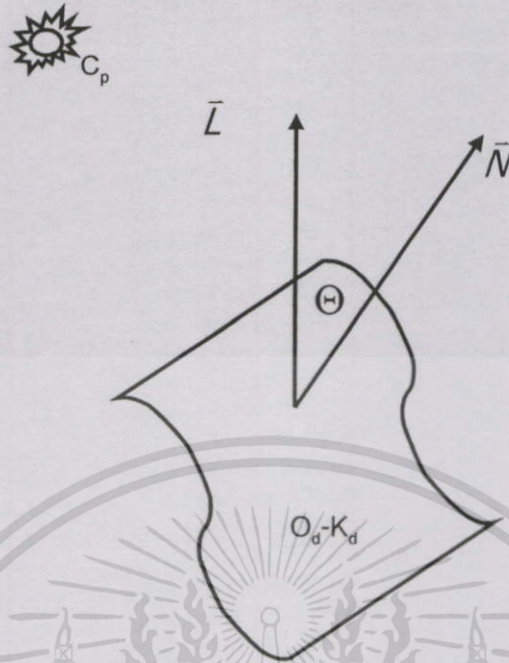
แหล่งกำเนิดแสงแวดล้อม คือแสงซึ่งมีค่าความเข้มแสงเท่ากันทุก ๆ ที่บนฉากที่สว่างขึ้น มันไม่ใช่แหล่งกำเนิดแสงโดยตรงและค่าของมันก็ไม่ขึ้นอยู่กับมุมของแสงซึ่งสัมพันธ์กับพื้นผิว สีของพื้นผิวเมื่อแสงแวดล้อมนี้ไปกระทบสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C_0 = C_a K_a O_a \quad (3.32)$$

เมื่อ C_0 คือค่าสีผลลัพธ์ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากแสงแวดล้อมที่มีสี C_a ส่องไปยังจุดบนวัตถุ k_a คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงแวดล้อม ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 และเป็นสิ่งที่ใช้แยกความแตกต่างของวัตถุที่อยู่ในภาพ เช่น วัสดุสีดำจะดูดกลืนแสงมากกว่า วัสดุสีขาว ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแวดล้อมของมันจึงมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ส่วน O_a คือ สีการกระจายของจุดบนวัตถุซึ่งสมการที่ 3.16 นี้จำเป็นต้องทำการคำนวณ 3 ครั้งสำหรับแต่ละองค์ประกอบนั่นคือ แดง เขียว และน้ำเงิน

3.6.3.2 การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection)

การสะท้อนแบบกระจายเกิดจากการที่แหล่งกำเนิดแสงแบบจุดในฉากแผ่รังสีออกมาแบบเอกรูป (Uniform) ในทุก ๆ ทิศทาง สีของจุดบนพื้นผิวจะแปรไปตามทิศทางการหันเหของพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสงและระยะทางจากจุดที่ทำการคำนวณไปยังแหล่งกำเนิดแสง ส่วนมากแล้วระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับพื้นผิวมักไม่นำมาพิจารณา ซึ่งกล่าวได้ว่าตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงอยู่ที่อนันต์ ดังนั้นการคำนวณจึงเหลือเพียงแค่มุมระหว่างพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดบวกกับผลจากแบบจำลองแสงแวดล้อมเท่านั้น



รูปที่ 3.7 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจาย

ทิศทางการหันเหของพื้นผิวสามารถอธิบายได้ด้วยเวกเตอร์ปกติ \vec{N} ที่จุดซึ่งต้องการให้แสงเงา สำหรับเวกเตอร์ของจุดบนพื้นผิวไปยังแหล่งกำเนิดแสงนั้นเขียนแทนด้วย \vec{L} ในกรณีที่แสงอยู่ที่ตำแหน่งอนันต์จะถือว่า \vec{L} มีค่าคงที่ แต่ก่อนที่จะนำเวกเตอร์ทั้งสองมาใช้ในแบบจำลองการให้แสงเงานั้นจำเป็นต้องทำการนอร์มอลไลซ์พวกมันก่อนซึ่งจะได้เป็น \vec{N} และ \vec{L} ส่วนมุมระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและเวกเตอร์ปกติคือ Θ (ดังรูปที่ 3.7) ดังนั้นแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ซึ่งมีการสะท้อนแบบกระจายรวมอยู่ด้วยจะเป็นดังสมการที่ 3.33

$$C_o = C_s k_s O_d + C_p k_p O_d \cos \Theta \quad (3.33)$$

เมื่อ C_p คือสีของแหล่งกำเนิดแสงแบบจุด k_d คือค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนแบบกระจาย และ Θ คือมุมระหว่างเวกเตอร์แหล่งกำเนิดแสงกับเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว พิจารณาพจน์ที่สองในสมการที่ 3.33 ถ้ามุม Θ มีค่าเท่ากับ 90 องศาจะทำให้ $\cos \Theta$ มีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือไม่มีผลของการสะท้อนแบบกระจายเกิดขึ้น ในขณะที่ถ้ามุม Θ เป็น 0 องศาจะเกิดผลของการสะท้อนแบบกระจายมากที่สุด เนื่องจากในขณะนี้ $\cos \Theta$ มีค่าเท่ากับ 1.0 แบบจำลองนี้จะให้ค่าที่ถูกต้องถ้ามุมระหว่าง \vec{N} และ \vec{L} อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 90 องศา และผลของการสะท้อนแบบกระจายจะหมดไปถ้ามุมเกิน 90 องศา ซึ่งเหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวนั้นเป็นส่วนที่อยู่ด้านหลังของวัตถุ

การหาระยะด้วยภาพสเตอริโอ

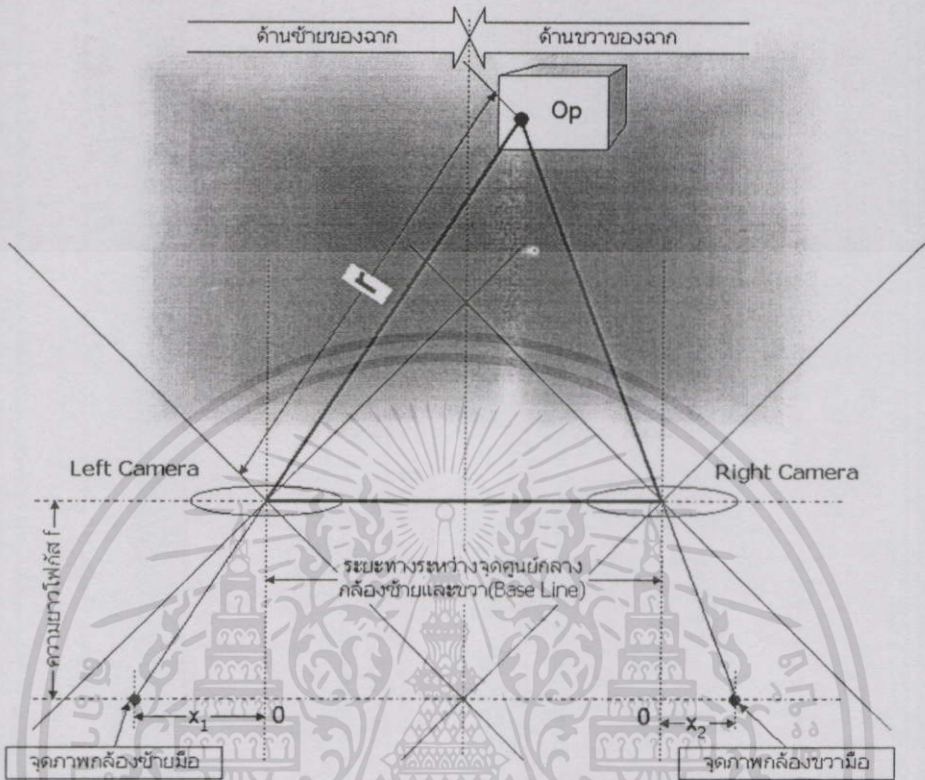
ในวิทยานิพนธ์นี้ จะแสดงการหาระยะทางของผิวน้ำมนุษย์ ได้นำแนวความคิดของการนำหลักการของการหาระยะทางด้วยภาพสเตอริโอที่จะใช้การอธิบายเช่นเดียวกันกับการใช้ตาของมนุษย์ในการรับรู้ระยะทาง ด้วยหลักการของรูปสามเหลี่ยม ที่แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี โดยวิธีการแรกเรียกว่าพาสซีฟ (Passive) จะใช้กล้องเก็บภาพ 2 ตัว คำนวณโดยการหาการแมชชิง (Matching) ของภาพอ้างอิงและอีกภาพที่ต้องการหาจุดภาพที่สอดคล้องกันกับภาพอ้างอิง (Correspondence) ซึ่งระยะห่างระหว่างสองจุดภาพนี้จะให้ผลต่างของทั้งสองจุดภาพ ผลลัพธ์ที่ได้เรียกว่าค่าความแตกต่าง (Disparity) วิธีที่สองคือแบบแอคทีฟ (Active) จะใช้กล้องเก็บภาพ 2 ตัว เช่นกันและมีจุดอ้างอิงของทั้งสองภาพที่สอดคล้องกัน โดยใช้เลเซอร์สแกนเป็นตัวชี้จะที่สอดคล้องกันทั้งสองจุดภาพ เพื่อแก้ปัญหาในการหาความสอดคล้องของภาพจากวิธีแบบพาสซีฟ ในวิทยานิพนธ์นี้จะเสนอการหาผิวน้ำของและวัตถุด้วยวิธีการทั้งสอง

4.1 หลักการของสเตอริโอแบบพาสซีฟ

วิธีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า สเตอริโอวิชัน (Stereo Vision) หรือ อธิบายได้เหมือนกับการใช้ตาทั้งสองของมนุษย์ในการรับรู้ระยะทาง ในวิธีพาสซีฟนี้จะใช้กล้องวิดีโอในการอธิบายแทนเครื่องมือที่ใช้เก็บภาพโดยกล้องวิดีโอทั้งสองตัววางห่างกันในระยะทางที่แน่นอนดังภาพที่ 4.1 กำหนดให้เป็นระยะทาง d และความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอกำหนดเป็น f ซึ่งจะใช้เป็นตัวคำนวณหาระยะทาง r จากกล้องวิดีโอไปยังจุด P บนวัตถุ โดยกล้องทั้งสองจะเก็บภาพวัตถุเดียวกันเข้ามาและหาจุดที่สอดคล้องกันหรือจุดเดียวกันจากภาพทั้งสองเช่น จุด P ซึ่งจะปรากฏที่กล้องด้านขวา l จุดภาพและปรากฏที่กล้องด้านซ้าย l' จุดภาพ ซึ่งก็คือจุดเดียวกัน แต่ละจุดภาพจะบอกตำแหน่งระยะห่างจากศูนย์กลางของภาพนั้น เช่น x_1 จะเป็นระยะห่างในกล้องด้านขวามือจากจุดภาพนั้นไปยังตำแหน่งศูนย์กลางของภาพนั้น เช่นเดียวกับ x_2 จะเป็นระยะห่างในกล้องด้านซ้ายมือจากจุดภาพนั้นไปยังตำแหน่งศูนย์กลางของภาพ ถ้าหากช้อนภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองตัว จุดของภาพทั้งสองคือ x_1 และ x_2 จะไม่อยู่ตำแหน่งเดียวกัน จะได้ระยะห่างระหว่างจุดขึ้นมา ซึ่งระยะห่างระหว่างจุดนี้สามารถคำนวณได้โดยใส่ค่าสัมบูรณ์ (Absolute) ให้กับผลต่างของทั้งสองจุด ผลลัพธ์ที่ได้เรียกว่าค่าความแตกต่าง (Disparity)

ระยะทาง r จากกล้องวิดีโอไปยังจุดบนวัตถุจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความแตกต่างระหว่าง x_1 และ x_2 เช่น ถ้าค่าความแตกต่างเข้าใกล้ศูนย์ ระยะทาง r จะมีค่าได้ไม่สิ้นสุด (Infinite)

หรือไม่เกิดระยะทางขึ้นระหว่างจุดภาพทั้งสองที่สอดคล้องกัน ในทางกลับกันถ้าระยะทาง r ลดลง ค่าความแตกต่างก็จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 แสดงการหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุโดยหลักการสเตอริโอ

ในรูปที่ 4.1 ระยะทางของจุดบนวัตถุสามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการที่ (4.1) ดังต่อไปนี้

$$r = \frac{d \times \sqrt{f^2 + x_1^2 + x_2^2}}{|x_1 - x_2|} \quad (4.1)$$

- เมื่อ d เป็นระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเลนส์ของกล้องแต่ละตัว
 R_r ระยะทางจากเลนส์กล้องด้านซ้ายมือ ถ้าจุดวัตถุอยู่ในด้านขวาของฉาก (Scene)
 R_l ระยะทางจากเลนส์กล้องด้านขวามือ ถ้าจุดวัตถุอยู่ในด้านซ้ายของฉาก (Scene)
 R_0 ระยะทางจากกล้องแต่ละตัวถ้าจุดวัตถุอยู่ตรงกับกึ่งกลางของฉาก (Scene)
 f ความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอ
 x_1 ระยะห่างของจุดภาพกับศูนย์กลางของเลนส์กล้องด้านซ้าย
 x_2 ระยะห่างของจุดภาพกับศูนย์กลางของเลนส์กล้องด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถสรุประยะทางในสมการ 4.1 ได้ว่า ระยะทาง r เป็นระยะทางจากกล้องด้านซ้ายมือหรือกล้องด้านขวามือนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดวัตถุว่าอยู่ตำแหน่งใดในฉาก เช่น ถ้าจุดวัตถุวางอยู่ที่ครึ่งด้านขวาของฉาก ระยะทาง r จะเป็นระยะทางจากเลนส์กล้องด้านซ้ายมือ ซึ่งครึ่งด้านซ้ายและครึ่งด้านขวาของฉากจะถูกแบ่งโดยเส้นแบ่งกึ่งกลางระหว่างกล้องทั้งสอง ค่าของ x_1 และ x_2 จะเป็นได้ทั้งบวกและลบขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพที่สอดคล้องกัน เช่น ถ้าจุดภาพอยู่ระหว่างกล้อง 2 กล้อง x_1 จะเป็นลบและ x_2 จะเป็นบวก อย่างไรก็ตามค่าความแตกต่างจะเป็นค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดเสมอ และจะให้เป็นตัวหารของสมการหาระยะทางในสมการที่ 4.1

จะเห็นว่าในระบบตรีโคมความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพที่ตรงกันหรือสอดคล้องกันและตำแหน่งของสองจุดภาพนี้ต้องคำนวณให้ถูกต้องด้วยซึ่งกลายเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นเสมอกับวิธีนี้ และปัญหาดังกล่าวนี้ได้ถูกเรียกว่า “Correspondence Problem”

ในทางอุดมคติมันเป็นไปได้ในการหาจุดภาพจากกล้องตัวที่หนึ่งซึ่งสอดคล้องกับจุดภาพจากกล้องตัวที่สอง แต่ในความเป็นจริงแล้วเราไม่สามารถรับประกันได้ว่า สองจุดภาพซึ่งมีระดับสีหรือระดับเกรย์ที่เหมือนกันจะเป็นจุดภาพบนวัตถุจุดเดียวกัน ในการหาจุดเดียวกันของภาพจากกล้องทั้งสองได้ไม่ยากนัก ถ้าหากภาพวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพทั้งสองมีลักษณะรูปร่างไม่เหมือนกัน ยิ่งไปกว่านั้นวัตถุในภาพแรกอาจจะดูมืดมัวไม่ชัดเจน หรือไม่ปรากฏรูปร่างวัตถุขึ้นในภาพทั้งสอง ในการแก้ไขเราสามารถลดระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสอง เพื่อช่วยลดปัญหา Correspondence แต่ยังคงมีปัญหา เนื่องจากการลดระยะนี้จะทำให้ลดความแม่นยำของระบบลงไปด้วย

4.1.1 การหาความสัมพันธ์ของคู่จุดภาพ

ในการค้นหาบริเวณที่ต้องการโดยเฉพาะบนหน้านั้นไม่สามารถหาขอบวงปิดของภาพ (Contour) ได้ ทำให้ไม่สามารถนำหลาย ๆ วิธีที่มีความเร็วสูงและมีประสิทธิภาพจากการรู้จำรูปร่างขอบวงปิดของภาพที่สนใจนั้นด้วยวิธีการทางการประมวลผลภาพวิธีอื่นๆ ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการเทียบภาพเพื่อหาความสัมพันธ์ของคู่จุดภาพบนใบหน้า ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการเก่าแก่และมีการทำงานค่อนข้างช้ามาปรับปรุงแนวความคิดใหม่และเพิ่มเทคนิคต่าง ๆ เข้าไปเพื่อให้เหมาะสมกับงานและเพื่อให้มีความเร็วสูงขึ้นจนสามารถใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติโดยเฉพาะกับการค้นหาความสัมพันธ์ของคู่จุดภาพพื้นที่บนใบหน้า ดังที่จะได้เสนอต่อไปนี้

การทำสหสัมพันธ์ (Correlation) นั้นเป็นการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลภาพใดๆ ของภาพสองภาพ ซึ่งทำให้ทราบได้ว่าข้อมูลหรือวัตถุของทั้งสองขึ้นนั้นเป็นชนิดเดียวกันหรือเป็นพื้นที่เดียวกันหรือไม่ ซึ่งสามารถนำมาใช้หาบริเวณที่ภาพทั้งสองซ้อนทับกันได้ดีที่สุดที่ภาพที่ 4.2 แสดง

ภาพสองภาพ ในที่นี้ภาพเล็ก 4.2(ข) เป็นบริเวณหรือวัตถุที่สนใจนั้นเรียกว่า "ภาพอ้างอิง" และอีกภาพหนึ่งที่เป็นภาพใหญ่กว่า 4.2(ค) นั้น เป็นภาพที่มีส่วนของภาพเล็กประกอบอยู่ภายในว่า "ภาพที่ต้องการค้นหา"

วิธีการทำสหสัมพันธ์ที่ใช้ในที่นี้ เป็นวิธีการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างจุดภาพของทั้งสอง ซึ่งเรียกว่า Mean normalized correlation ซึ่งขึ้นกับความแตกต่างของแสงของภาพทั้งสองที่ขึ้นกับลักษณะหรือโครงสร้างของภาพ โดยหาสหสัมพันธ์แบบนอร์มอลไลซ์ ดังสมการที่ 4.2

ขบวนการในการหาค่าความแตกต่างของภาพสเตอริโอหรือที่เรียกว่า "Disparity" นั้น มีกระบวนการ 3 ขั้นตอนดังนี้

- สร้างความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสัมพันธ์ของจุดภาพในการมองที่แตกต่างกันของกล้อง
- คำนวณหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งจุดระหว่างพิกัดในแต่ละภาพ
- กำหนดตำแหน่งสามมิติของตำแหน่งจุดที่สัมพันธ์กันที่มายังกล้อง โดยใช้ความรู้จากระบบพิกัดของกล้อง



(ค) ตัวอย่างภาพสเตอริโอ



(ข) ภาพจากกล้องทางด้านซ้ายมือ

(ค) ภาพจากกล้องทางด้านขวามือ

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการเปรียบเทียบจุดภาพสเตอริโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาดังรูปที่ 4.2 แสดงคู่ภาพจากกล้องที่วางขนานกันทางแนวนอน เราสามารถที่กำหนดจุด 2 จุดในภาพทั้งสองคือ A และ B โดยที่จุด A_{Left} ของภาพทางด้านซ้ายจะสัมพันธ์กับจุด A_{Right} ของภาพทางด้านขวา และเช่นเดียวกันจุด B_{Left} สัมพันธ์กับจุด B_{Right}

ถ้าเราทำการวัดโดยใช้ไม้บรรทัดวัดระยะทางทางด้านแนวนอนจากทางขอบทางด้านซ้ายของภาพไปยังจุด เราจะหาระยะทางในภาพทางด้านซ้ายได้มากกว่าระยะทางที่สัมพันธ์กับจุดในภาพทางด้านขวา ตัวอย่างเช่นระยะทางจากนัยตาต่ำจากขอบด้านซ้ายของภาพจะมากกว่าระยะทางนัยตาต่ำในภาพทางด้านขวา โดยระยะทางนี้เป็นไปได้ที่จะขึ้นอยู่กับการที่จะกำหนดระยะทางไปถึงถุนัยตาต่ำจากเกณฑ์การวัดของกล้อง

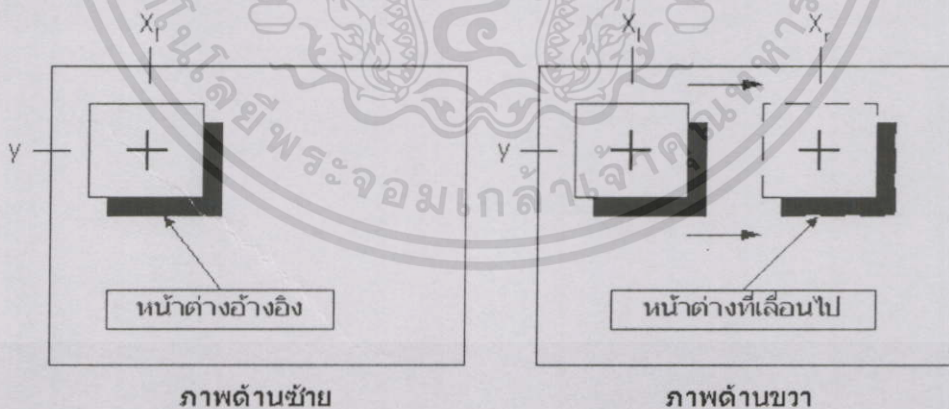
เราจะกำหนดค่าความแตกต่าง (Disparity) ที่ เป็นความแตกต่างระหว่างพิกัดจุดที่เหมือนกันในภาพซ้ายและขวา เราจะได้ค่าระยะจากด้านบนของภาพถึงจุดที่สัมพันธ์กันที่เหมือนกันทั้งสองภาพ ที่เป็นเช่นนี้เพราะเราติดตั้งกล้องขนานกันทางด้านแนวนอน ดังนั้นทางด้านแนวนอนเท่านั้นที่จะเป็นตำแหน่งที่จะสัมพันธ์

ค่าความแตกต่างของจุด A กำหนดให้เป็น $D(A) = x(A_{Left}) - x(A_{Right})$

ค่าความแตกต่างของจุด B กำหนดให้เป็น $D(B) = x(B_{Left}) - x(B_{Right})$

เมื่อ $x(A_{Left})$ เป็นระยะของค่า x ของจุด A_{Left}

ถ้าเราคำนวณ $D(A)$ และ $D(B)$ จะได้ค่า $D(B) > D(A)$ ที่จะเป็นตัวชี้ว่าจุด B ในภาพนั้นของใกล้กล้องมากกว่าจุด



รูปที่ 4.3 แสดงวิธีการหาตำแหน่งจุดพิกเซลภาพด้านขวาที่สัมพันธ์กับตำแหน่งจุดพิกเซลของภาพทางด้านซ้าย

ในรูปที่ 4.3 แสดงวิธีการหาตำแหน่งจุดพิกเซลภาพด้านขวาที่สัมพันธ์กับตำแหน่งจุดพิกเซลของภาพทางด้านซ้าย ในการที่จะได้มาของระยะข้อมูลที่ถูกต้อนั้นอาจจะต้องทำการกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าภาพหรือพิกเซลย่อยที่ถูกต้อง สมมติให้จุดพิกเซลภาพทางด้านซ้ายมีพิกัด x_1, y_1 เราจะกำหนดของหน้าต่างหรือหน้าภาพรอบพิกเซลนั้นให้พอดีที่ขนาดต่างๆ ซึ่งจะมีผลต่อความถูกต้องด้วยและกำหนดเช่นเดียวกันกับภาพทางด้านขวามือ จากนั้นทำการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพของทั้งสองหน้าต่าง (Windows) โดยในการคำนวณนี้จะใช้สหสัมพันธ์ที่ตัดกัน (Cross-Correlation) ซึ่งจะได้ผลรวมของหน้าต่างที่แตกต่างกัน หรือเทคนิคในการหาความเหมือนนั้น ในทุกๆกรณีภาพที่เหมือนกันควรที่จะวัดได้ค่าสูงสุดเมื่อทั้งสองหน้าต่าง (Windows) นั้นมีลักษณะที่เหมือนกัน

ทำการทำซ้ำโดยเลื่อนหน้าต่างในของภาพทางด้านขวาไปจนสุด ในบางจุดการเลื่อนหน้าต่างจะถูกเลื่อนไปอยู่ที่จุดกึ่งกลางที่จุด x_2, y_2 และจุดนั้นที่มีรายละเอียดเช่นเดียวกับจุดที่เรากำหนดหน้าต่างในภาพทางด้านซ้ายมือ เมื่อเป็นเช่นนี้ภาพที่อยู่ในสองหน้าต่างคือค่าประมาณที่เหมือนกัน และการวัดของความสัมพันธ์ของภาพที่สอดคล้องกันจะเป็นค่าสูงสุด

สัญญาณรบกวนในภาพที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อการวัดความเหมือน ในลักษณะเช่นนี้สามารถที่จะแก้ไขได้โดยการเพิ่มขนาดของหน้าต่าง แต่จะเป็นการลดความละเอียดของผลที่ได้จากการวัด อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนขนาดของหน้าต่างจะนำไปสู่ความผิดพลาดในการเปลี่ยนระยะอย่างทันที ดังนั้นขนาดของหน้าต่างควรที่จะมีขนาดเล็กเท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งจะทำให้ความน่าจะเป็นในที่คำนวณผิดพลาดในการเลื่อนพิกเซล ในการคำนวณการเลื่อนพิกเซลมีความสำคัญเป็นอย่างมากถ้าต้องการพิจารณาที่พื้นผิวของวัตถุหรือต้องการรายละเอียดของข้อมูลนั้นสูง จะมีความยากมากที่จะกำหนดระยะของผิววัตถุให้สม่ำเสมอ ในบางครั้งเราอาจต้องใช้การฉายส่องลงไปผิววัตถุเพื่อให้ได้ระยะที่ถูกต้อง

ในการหาความสัมพันธ์ของจุดภาพทั้งสองนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะวิธีการของผลของค่าสมบรูณ์สหสัมพันธ์ที่แตกต่าง โดยจะมีกระบวนการดังนี้

ทำทุกๆ พิกเซลในภาพ

- เลือกจุดและกำหนดขนาดของหน้าต่างภาพอ้างอิง
- เปรียบเทียบหน้าต่างอ้างอิงกับหน้าต่างของอีกภาพหนึ่งทางด้านแนวนอน
- เลือกที่หน้าต่างสัมพันธ์กันมากที่สุด

จบการทำงาน

ในการเปรียบเทียบนั้นจะได้ดังสมการที่ 4.2

$$\min_{d=d_{\min}}^{d_{\max}} \sum_{i=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} \sum_{j=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} |I_{Left}[x+i][y+j] - I_{Right}[x+i+d][y+j]| \quad (4.2)$$

กำหนดให้

d_{\max} คือค่าความแตกต่างสูงสุด

d_{\min} คือค่าความแตกต่างต่ำสุด

m คือขนาดของหน้าต่าง

I_{Left} คือภาพด้านซ้าย

I_{Right} คือภาพด้านขวา

ตัวอย่างเช่นกำหนดให้ค่าตัวแปรต่างๆ มีค่าดังนี้

$$d_{\max} = \max$$

$$d_{\min} = 1$$

$$m = 2$$

เมื่อค่าลงในสมการที่ 4.2 จะได้เป็น

$$\begin{aligned} &|I_{left}[x+(-1)][y+(-1)] - I_{right}[x+(-1)+(1)][y+(-1)]| + \\ &|I_{left}[x+(-1)][y+(0)] - I_{right}[x+(-1)+(1)][y+(0)]| + \\ &|I_{left}[x+(-1)][y+(1)] - I_{right}[x+(-1)+(1)][y+(1)]| + \\ &|I_{left}[x+(0)][y+(0)] - I_{right}[x+(0)+(1)][y+(-1)]| + \\ &|I_{left}[x+(0)][y+(0)] - I_{right}[x+(0)+(1)][y+(0)]| + \\ &|I_{left}[x+(0)][y+(0)] - I_{right}[x+(0)+(1)][y+(1)]| + \\ &|I_{left}[x+(1)][y+(0)] - I_{right}[x+(1)+(1)][y+(-1)]| + \\ &|I_{left}[x+(1)][y+(0)] - I_{right}[x+(1)+(1)][y+(0)]| + \\ &|I_{left}[x+(1)][y+(0)] - I_{right}[x+(1)+(1)][y+(1)]| \end{aligned}$$

...

...

...

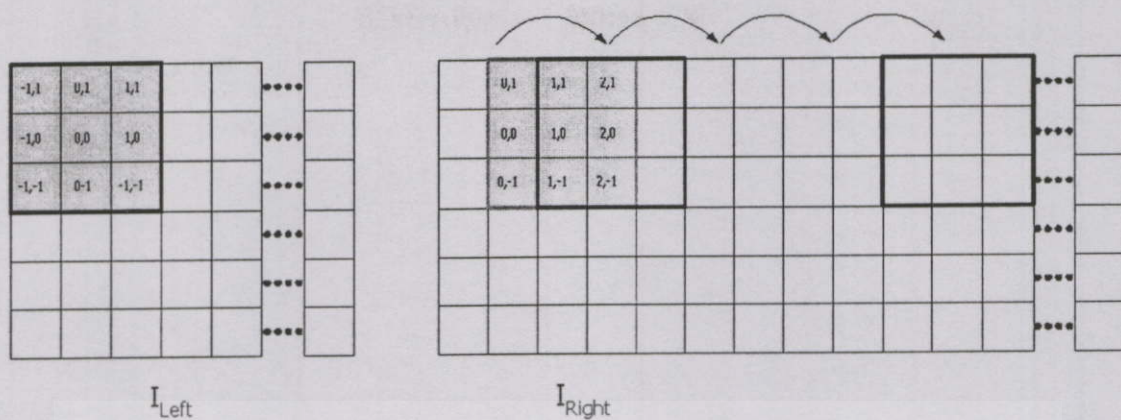
$$\begin{aligned} &|I_{left}[x+(-1)][y+(-1)] - I_{right}[x+(-1)+(d_{\max})][y+(-1)]| + \\ &|I_{left}[x+(-1)][y+(0)] - I_{right}[x+(-1)+(d_{\max})][y+(0)]| + \\ &|I_{left}[x+(-1)][y+(1)] - I_{right}[x+(-1)+(d_{\max})][y+(1)]| + \\ &|I_{left}[x+(0)][y+(0)] - I_{right}[x+(0)+(d_{\max})][y+(-1)]| + \\ &|I_{left}[x+(0)][y+(0)] - I_{right}[x+(0)+(d_{\max})][y+(0)]| + \\ &|I_{left}[x+(0)][y+(0)] - I_{right}[x+(0)+(d_{\max})][y+(1)]| + \\ &|I_{left}[x+(1)][y+(0)] - I_{right}[x+(1)+(d_{\max})][y+(-1)]| + \\ &|I_{left}[x+(1)][y+(0)] - I_{right}[x+(1)+(d_{\max})][y+(0)]| + \\ &|I_{left}[x+(1)][y+(0)] - I_{right}[x+(1)+(d_{\max})][y+(1)]| \end{aligned}$$

สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 หน้าต่างจะถูกเลื่อนไปเท่ากับค่า d_{\max} และจะเลือกผลที่ได้

จากค่าต่ำที่สุด เพื่อนำพิกัดที่ไปคำนวณหาค่าระยะทางต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการเลื่อนหน้าต่างในการหาความค่าสัมพันธ์ของจุดภาพ

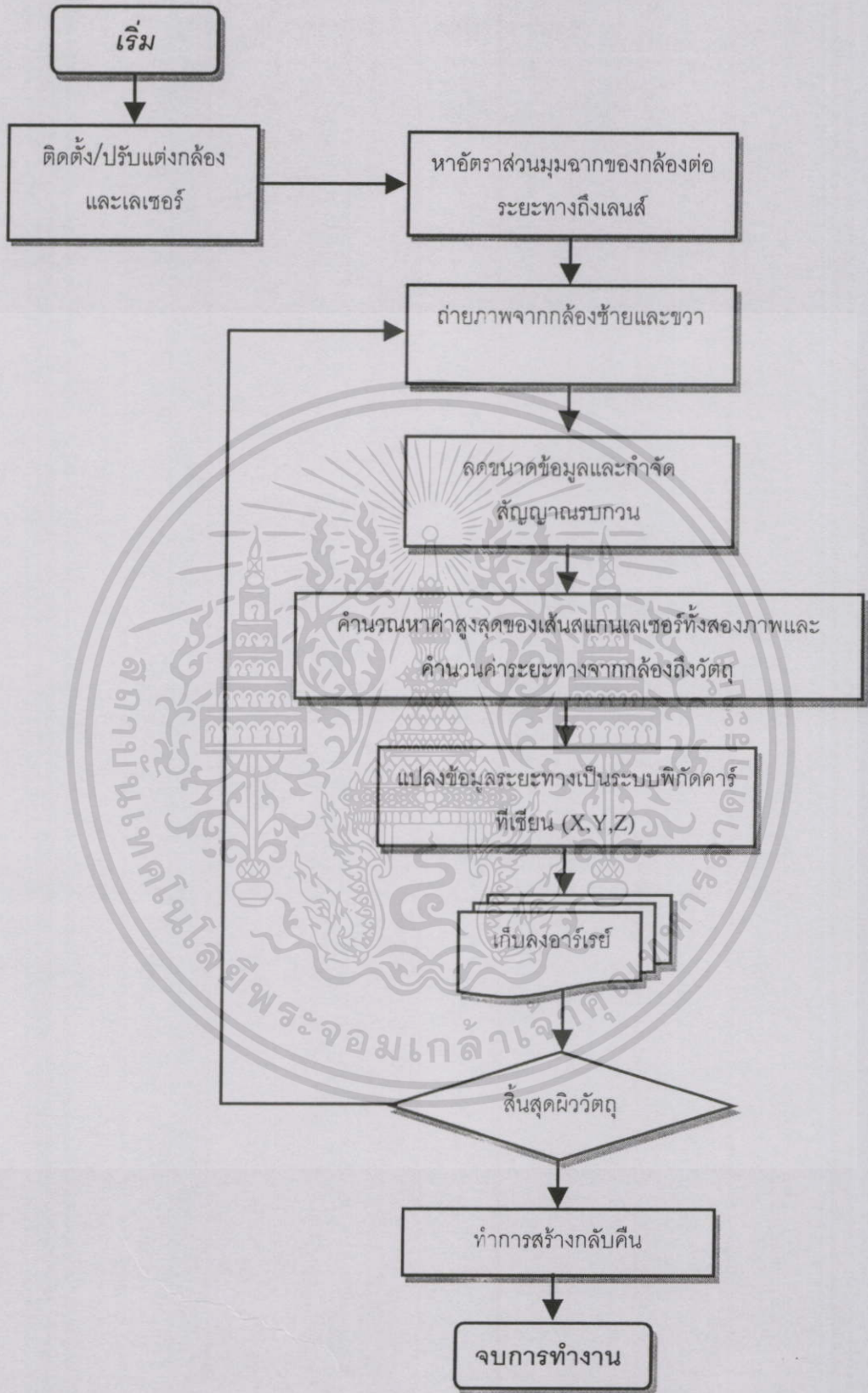
4.2 การหาระยะพิกัดผิวหน้ามนุษย์และวัตถุโดยภาพสเตอริโอแบบแอกทิฟโดยเลเซอร์สแกน

หลักการของการหาระยะทางโดยภาพสเตอริโอแบบแอกทิฟ จะใช้เครื่องกำเนิดแสงซึ่งจะใช้เป็นแบบจุด หรือแบบลายเส้นเดี่ยวก็ได้ โดยในวิทยานิพนธ์จะใช้แบบลายเส้น ที่กำเนิดโดยเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) ที่ให้พลังงานต่ำ สามารถปรับระยะโฟกัสให้เกิดความคมชัดได้เป็นอย่างดี และใช้กล้องวิดีโอ 2 ตัวในการเก็บภาพ ซึ่งจะได้ภาพแสงที่กระทบวัตถุมาคำนวณหาระยะทาง

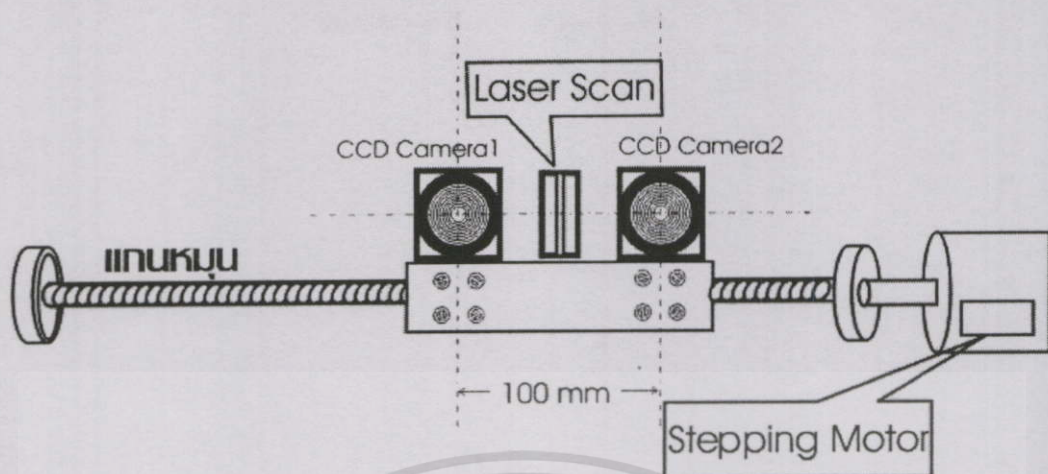
ขั้นตอนในการหาระยะพิกัดผิวหน้ามนุษย์และวัตถุแสดงดังรูปที่ 4.5 โดยเริ่มจากการติดตั้งกล้องรับภาพให้ขนานกันแสดงดังรูป 4.6 โดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต้องปรับแต่งให้ขนานกันมากที่สุด ซึ่งจะมีผลต่อความผิดพลาดต่อระยะทางที่รับเข้ามา ในการทดลองจะใช้ระยะห่างระหว่างกล้องเท่ากับ 100 mm ถ่ายภาพจุดวงกลมที่ติดบนผนังที่ได้จากแสดงดังรูปที่ 4.7 จากนั้นทำการปรับกล้องจนภาพจุดที่อยู่ในระนาบเดียวกัน

เมื่อทำการปรับแต่งกล้องแล้ว ทำการติดตั้งเลเซอร์สแกน โดยในวิทยานิพนธ์นี้การติดตั้งเลเซอร์จะระหว่างกึ่งกลางของกล้องทั้งสอง จากนั้นทำการปรับความคมชัดของเลเซอร์โดยการปรับโฟกัสเลนส์ของเลเซอร์ ให้มีความคมชัดที่โดยการถ่ายภาพทดสอบ

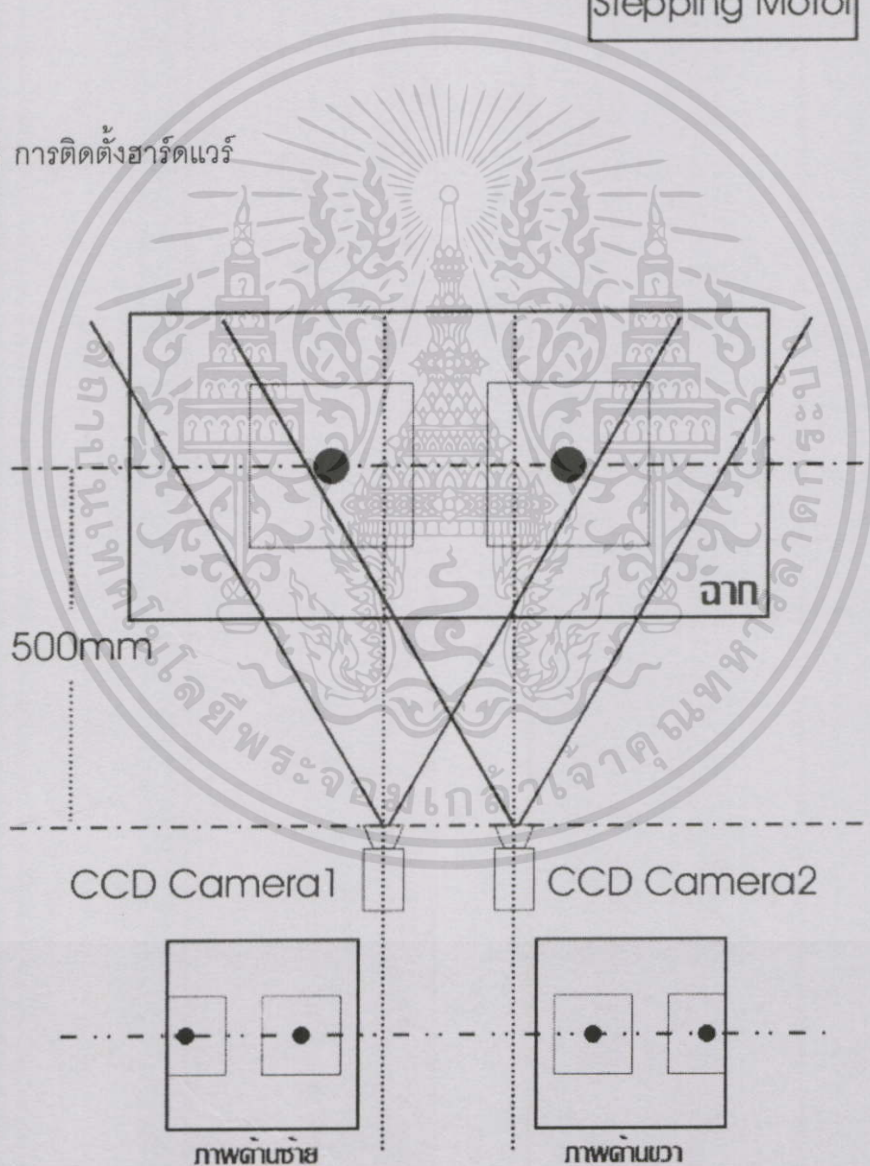
จากนั้นทำการถ่ายภาพเส้นสแกนเลเซอร์ที่กวาดไปบนผิวหน้าทั้งสองกล้อง ทั้งสองกล้องซ้ายและขวา จะได้ภาพเกรย์สเกลขนาด 640 x 480 พิกเซล ในฟอร์แมทของไฟล์ .PGM ที่มีขนาด 300 กิโลไบต์ (300 Kbyte)



รูปที่ 4.5 แสดงไดอะแกรมการหาระยะจากภาพสเตอริโอโดยใช้เลเซอร์สแกน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การติดตั้งฮาร์ดแวร์



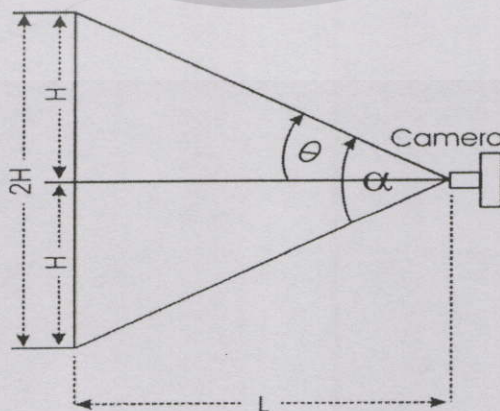
รูปที่ 4.7 การปรับแต่งกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการลดขนาดข้อมูลภาพและกำจัดสัญญาณรบกวนเนื่องจากการรบกวนจากแสงภาพนอกซึ่งในการหาระยะทางโดยวิธีเอกซิมิที่มีข้อจำกัดคือต้องทำในห้องมืด ซึ่งในทางปฏิบัติจากอาจมีแสงรบกวนเกิดขึ้นมาได้ ดังนั้นในการถ่ายภาพต้องพิถีพิถันและละเอียดเพื่อความถูกต้อง โดยหากเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นจะทำการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต ซึ่งยังให้คุณสมบัติของสัญญาณที่ไม่ผิดเพี้ยนไปมาก จากนั้นทำการลดข้อมูลภาพ เพื่อให้ข้อมูลภาพมีขนาดลดลง และรวดเร็วต่อการนำไปคำนวณต่อ ในการคำนวณหาค่าสูงสุดของเส้นสแกนเลเซอร์ทั้งสองภาพโดยการเก็บตำแหน่งพิกัดค่าสูงสุดที่ได้ของภาพทั้งภาพซ้ายและขวา และทำการคำนวณระยะทางจากกล้องถึงวัตถุโดยนำค่าสูงสุดที่ได้จากภาพซ้ายและภาพขวามาทำการคำนวณซึ่งจะให้ค่าระยะทางเป็นมิลลิเมตร จากนั้นทำการแปลงจากค่าระยะทางเป็นระบบพิกัดคาร์ทีเซียน เก็บข้อมูลลงหน่วยความจำ และตรวจสอบค่าที่ตั้งไว้ว่าสิ้นสุดพื้นผิววัตถุหรือไม่ ถ้าไม่ทำการถ่ายภาพและคำนวณตั้งขึ้นตอนที่ผ่านมา หากสิ้นสุดผิววัตถุและทำการสร้างกลับคืนในแบบ 3 มิติ โดยการใช้สร้างโครงข่ายร่างแห (Wire Frame)

4.2.1 การหาคุณลักษณะสมบัติของกล้องรับภาพและการหาระยะทางจากกล้องถึงผิววัตถุ

การหาระยะทางจากความแตกต่างของภาพที่ปรากฏจากกล้องรับภาพแบบสเตอริโอจำเป็นต้องทราบค่าประจำตัวที่เป็นคุณสมบัติของกล้อง ซึ่งมีความสำคัญต่อการวัดระยะให้มีความแม่นยำ ได้จากการทดลองหรือจากคุณสมบัติของกล้องที่ได้มาจากผู้ผลิต การหาค่ามุมฉายของกล้อง (Projection Angle) สามารถคำนวณได้จากการถ่ายภาพสเกลระยะที่ติดไว้ที่ฝาผนังโดยวางกล้องในมุมที่ตั้งฉากกับผนัง และเทียบสัดส่วนระหว่าง H:L เพื่อให้เป็นตัวแปรในการคำนวณ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การหามุมฉายของกล้อง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

α = ขนาดมุมฉายของกล้อง โดยวัดจากจุดซ้ายสุดถึงขวาสุดของภาพ

$\theta = \frac{\alpha}{2}$ ครึ่งหนึ่งของมุมฉาย วัดจากจุดกึ่งกลางถึงขอบภาพ

โดย

H คือ ระยะทางจากจุดกึ่งกลางภาพถึงขอบภาพ วัดจากแถบระยะสเกลที่วางไว้ที่ฉาก ได้จากกระบวนการหาคุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพ

L คือ ระยะทางจากกล้องถึงฉากที่วางแถบสเกล

(กล้องที่ใช้ในการทดลองวัดค่า H ได้ 300 มิลลิเมตร, L = 500 มิลลิเมตร)

H:L คือ สัดส่วนความกว้างของภาพต่อระยะจากกล้องถึงภาพ

กำหนดให้

Horpixel = รายละเอียดจุด pixel ทางแนวนอนของภาพ (640 จุด) และให้ Horpixel = 2 หน่วย (2H)

Verpixel = รายละเอียดจุด pixel ทางแนวตั้งของภาพ (480 จุด)

0.5Horpixel = 1 หน่วย (H) แทนระยะทางที่วัดจากจุดกึ่งกลางถึงขอบขวา หรือขอบซ้ายของภาพ



รูปที่ 4.9 แสดงการหาจุด Opn โดยการฉาย Op

ในการคำนวณหาระยะทางจากกล้องถึงผิววัตถุใช้หลักการของภาพสเตรโอ โดยกำหนดพารามิเตอร์ ดังนี้

Op = Object Position (เริ่มนับจากจุดซ้ายสุดของภาพ ไปทางขวาถึงจุดแสงเลเซอร์)

β_L = มุมจากระนาบของกล้องทางซ้ายมือถึงจุด Op

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\beta_R =$ มุมจากระนาบของกล้องทางขวามือถึงจุด Op

$\theta =$ มุมจากกึ่งกลางที่ทำกับฉากไปยังวัตถุ

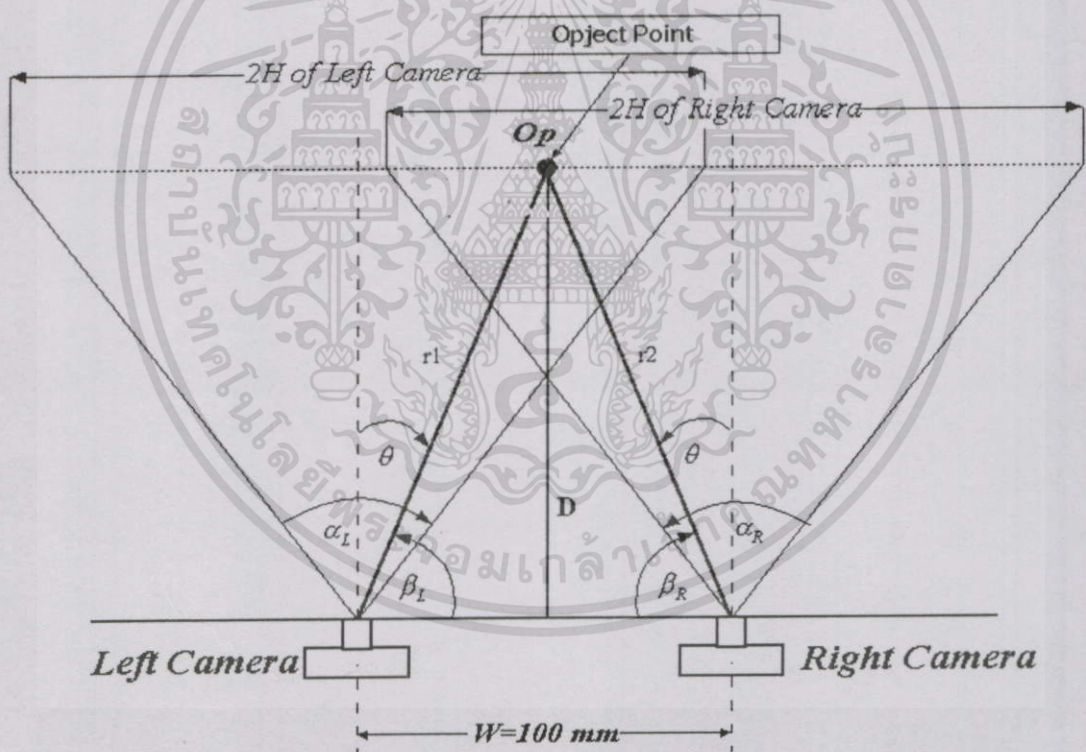
จากนั้นทำการหามุม θ จากการหาค่าสูงสุดของเส้นสแกนเลเซอร์นั้นคือจุด Op ทำการฉายจุด Op ลงบนพิกัดอัตราส่วนที่ได้หาไว้ก่อนหน้านี้คือ H:L

เนื่องจากการทดลองที่ทำให้ทราบค่า H:L จะได้ Opn ใหม่เป็น

$$0.5\text{Horpixel} = H \text{ mm} \quad (4.3)$$

$$Op - 0.5\text{Horpixel} = \frac{H \text{ mm} \cdot (Op \text{ pixel} - 0.5\text{Horpixel})}{0.5\text{Horpixel}} \quad (4.4)$$

$$Opn = \frac{H \cdot (Op - 0.5\text{Horpixel})}{0.5\text{Horpixel}} \quad (4.5)$$



รูปที่ 4.10 การหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ

จะได้ค่า θ เท่ากับ

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Opn \text{ mm}}{L \text{ mm}} \right) \quad (4.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Op - 0.5Horpixel}{0.5Horpixel} \times \frac{H}{L} \right) \quad (4.7)$$

จะหามุม β_L ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} \beta_L &= 90 - \theta \\ &= 90 - \tan^{-1} \left[\frac{(Opl - 0.5Horpixel)}{0.5Horpixel} \times \frac{H}{L} \right] \quad \text{เมื่อ } Opl \geq 0.5Horpixel \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} \beta_L &= 90 + \theta \\ &= 90 + \tan^{-1} \left[\frac{(0.5Horpixel - Opl)}{0.5Horpixel} \times \frac{H}{L} \right] \quad \text{เมื่อ } Opl \leq 0.5Horpixel \end{aligned} \quad (4.9)$$

จะหามุม β_R ได้จากขั้นตอนข้างต้นเช่นเดียวกันเท่ากับ

$$\begin{aligned} \beta_R &= 90 - \theta \\ &= 90 - \tan^{-1} \left[\frac{(Opr - 0.5Horpixel)}{0.5Horpixel} \times \frac{H}{L} \right] \quad \text{เมื่อ } Opr \geq 0.5Horpixel \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} \beta_R &= 90 + \theta \\ &= 90 + \tan^{-1} \left[\frac{(0.5Horpixel - Opr)}{0.5Horpixel} \times \frac{H}{L} \right] \quad \text{เมื่อ } Opr \leq 0.5Horpixel \end{aligned} \quad (4.11)$$

จะเห็นว่าในสมการที่ 4.8 และ 4.9 สามารถคำนวณหาค่า β_L ได้ทั้งสองสมการ เช่นกับสมการที่ 4.10 และ 4.11 ในค่าของ β_R และในสมการที่ 4.9 และ 4.11 ใช้สมการเดียวกันแต่ผลลัพธ์ที่ได้จากแตกต่างกัน เนื่องจากตำแหน่งของจุดลำแสงที่กล้องรับภาพได้แต่ละกล้องอยู่คนละจุดกัน จากค่ามุม β_L และ β_R สามารถนำมาคำนวณหาค่าระยะทางจากกล้องซ้ายคือ r_1 และกล้องทางขวาคือ r_2 ในสมการที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ และที่จุดกึ่งกลางของกล้องทั้งสอง คือ D ดังสมการที่ 4.14

$$r_1 = \frac{w \cdot \sin \beta_R}{\sin[180^\circ - (\beta_L + \beta_R)]} \quad (4.12)$$

$$r_2 = \frac{w \cdot \sin \beta_L}{\sin[180^\circ - (\beta_L + \beta_R)]} \quad (4.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = \sin \beta_L \frac{w \cdot \sin \beta_R}{\sin[180^\circ - (\beta_L + \beta_R)]} \quad (4.14)$$

โดยระยะ D ที่ได้นี้เป็นระยะจากกล้องถึงวัตถุ ถูกนำไปแปลงเป็นระบบพิกัดสามมิติ อีกครั้งดังที่ได้อธิบายในข้างต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดลองหาระยะด้วยภาพถ่ายสเตอริโอแบบพาสซีฟ

ในวิทยานิพนธ์วิจัยนี้ ในการหาระยะด้วยภาพถ่ายสเตอริโอแบบพาสซีฟจะใช้อุปกรณ์ที่เป็นกล้อง CCD 2 ตัวในการนำถ่ายภาพซึ่งเรียกว่ากล้องแบบสเตอริโอ วางขนานกันแสดงดังรูปที่ 5.1 และใช้เฟรมเก็บเบอร์ (Frame Grabber) ในการเก็บภาพในลักษณะต่อเนื่อง(Synchronize) ลงในบัพเฟอร์ โดยจะทำการเก็บภาพจากทั้งกล้องซ้ายและขวาขนาด 640 x 480 พิกเซล ระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสอง(Base line) เท่ากับ 100 mm ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของกล้องมีความสำคัญมากในการคำนวณ โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกล้องจะได้มาจากผู้ผลิตกล้อง ซึ่งแต่ละยี่ห้อแต่ละรุ่นก็จะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆกันออกไป ซึ่งดูได้จากคู่มือที่มีมากับตัวกล้อง โดยมีอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

กล้องสเตอริโอ

Triclops Stereo Vision (CCD)

ระยะห่างระหว่างกล้อง 100 mm

ขนาดของภาพเท่ากับ 640 x 480

เฟรมเก็บเบอร์

Matrox Meteor RGB Frame Grabber

เครื่องคอมพิวเตอร์

Pentium II 233MHz Processor

Ram 128Mbyte

ระบบปฏิบัติการ

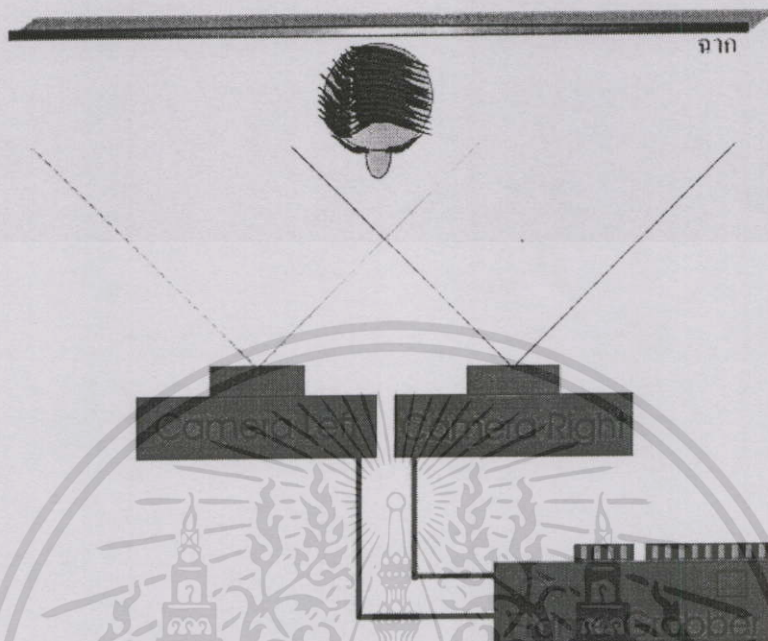
Microsoft Windows98

Visual C++ 6.0

Matlab V5.3

ในการถ่ายภาพสเตอริโอแบบพาสซีฟ ความเข้มของแสงในสภาวะภายนอกมีผลต่อการทดลองเป็นอย่างยิ่ง ในการถ่ายภาพเพื่อทำการทดลองจะใช้ไฟนีออน 2 ดวงเพื่อใช้เพิ่มความสว่างในการถ่ายภาพซ้ายและขวานั้น จะต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันและต้องไม่มีการเคลื่อนไหวของวัตถุ ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดลอง ในการติดตั้งกล้องมีความสำคัญอย่างยิ่ง ต้องติดตั้งให้กล้องมีลักษณะขนาน ซึ่งหาหากระนาบไม่ขนานกันจะทำให้เกิดความผิดในการวัด

ระยะทางได้ด้วยเช่นกัน และระยะห่างของวัตถุความอยู่ในระยะโฟกัสของเลนส์ซึ่งจะได้ความที่
แม่นยำมากที่สุด



รูปที่ 5.1 ไดอะแกรมระบบการทำงาน

ข้อมูลภาพที่ได้จากเฟรมแก็ปเบอร์ (Frame Grabber) จะเป็นข้อมูลภาพที่มีขนาด
640x480 ในรูปแบบของไฟล์ .PGM ที่มีขนาดไฟล์ภาพเท่ากับ 300 Kbyte ต่อหนึ่งไฟล์ภาพ ภาพ
ที่ได้มาจะเป็นภาพที่ยังเป็นข้อมูลดิบ (Raw data) ซึ่งยังมีความบิดเบือนของภาพที่เกิดจากความ
โค้งของเลนส์แสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ภาพข้อมูลอินพุตที่ไม่ผ่านการแปลงใดๆ (Raw Data)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการแปลงภาพข้อมูลที่ได้ซึ่งมีความผิดพลาดจากความโค้งงอของเลนส์กล้อง โดยใช้การสอบเทียบกล้อง [3] เพื่อลดความการบิดเบือนของเลนส์กล้อง และทำกล้องลดขนาดของภาพลงที่ 320x240 แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ภาพข้อมูลอินพุตที่ทำการสเกลลงขนาด 320x240

จากนั้นทำการกรองสัญญาณรบกวน โดยใช้ Median filter เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออก และลดความผิดพลาดในการหาค่าระยะทางด้วยวิธีหสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ภาพข้อมูลที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวน Median filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการหาขอบภาพเพื่อช่วยในการแมชชีงในการหาความสัมพันธ์ของภาพสเตอริโอ โดย กำหนดขนาดของหน้าต่างในการหาขอบที่ขนาดที่ต่าง ๆ กัน แสดงดังรูป 5.5



Edge mask 3



Edge mask 5



Edge mask 7



Edge mask 9



Edge mask 11

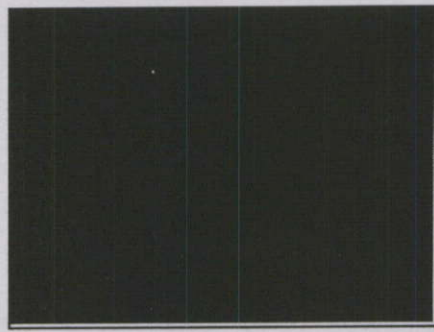
รูปที่ 5.5 แสดงการหาขอบภาพที่ขนาดหน้าต่างที่ต่าง ๆ กัน

แมชชีงภาพสเตอริโอโดยการเปลี่ยนค่าสูงสุดของความแตกต่าง (Disparity) และขนาดของหน้าต่างที่ใช้ในการแมชชีง จากการทดลองใช้ขนาดหน้าต่างต่าง 3x3 และค่าสูงสุดของความแตกต่างตั้ง 10-80 ดังรูปที่ 5.6 จะเห็นว่าโครงสร้างใบหน้าจะมีรายละเอียดที่ชัดเจนที่สุดที่ค่าสูงสุดของความแตกต่างที่ 35 โดยแทนค่าความแตกต่างด้วยระดับเกรย์ (0-255) ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ที่สิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 10



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 15



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 20



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 25



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 30



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 35



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 40



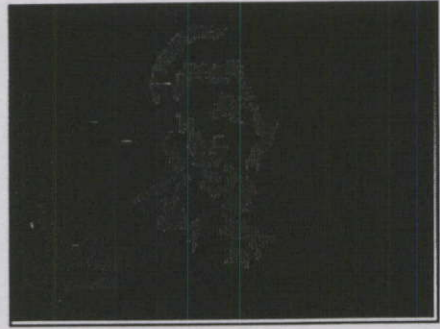
ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 45

รูปที่ 5.6 ภาพความแตกต่าง (Disparity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



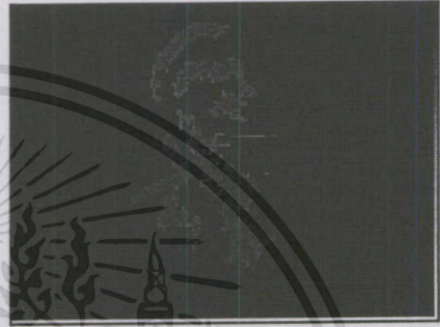
ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 50



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 55



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 60



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 65



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 70



ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 75

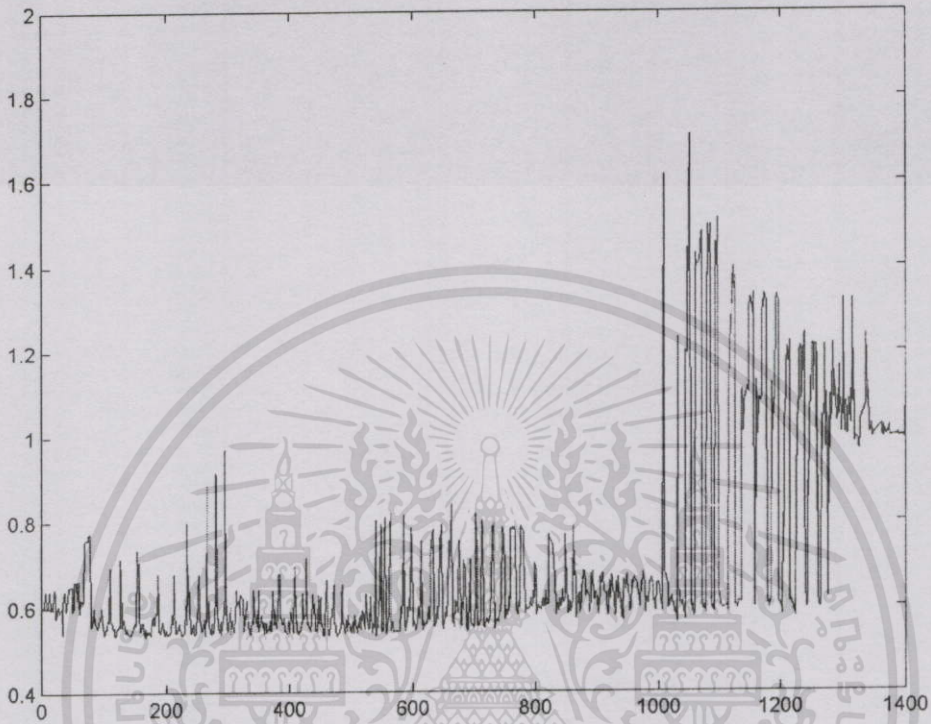


ค่าสูงสุดเท่ากับ (Dmax) 80

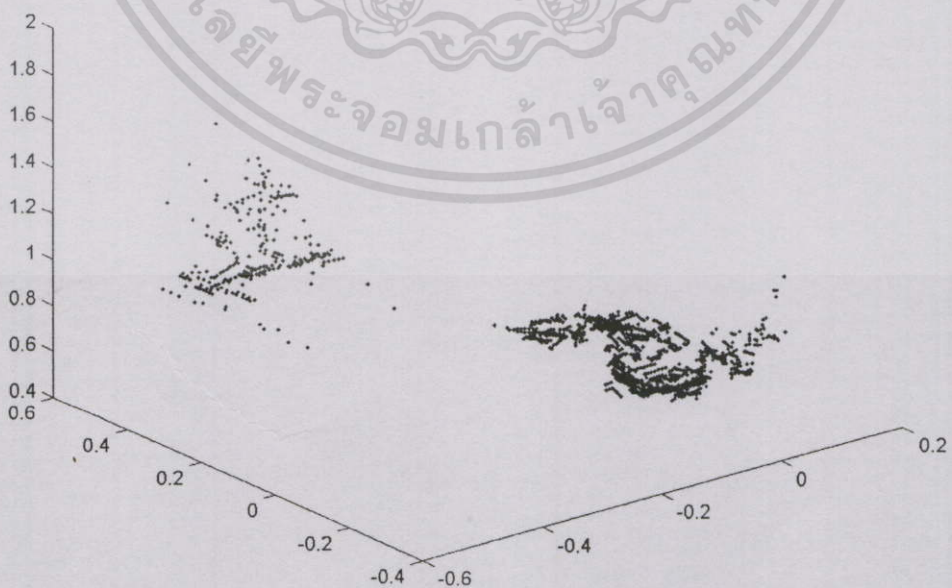
รูปที่ 5.6(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการหาคำนวนหาค่าระยะทาง จะเห็นว่าค่าความแตกต่างที่ให้รายละเอียดที่มากที่สุด ที่จากการทดลองจะได้ D_{max} 30 และนำพิกเซลที่แมชชีนได้ไปความหาค่า Z ระยะจากกล้องถึง วัตถุ แสดงกราฟรูปที่



รูปที่ 5.7 ค่าระยะทางที่ได้จากกล้องถึงวัตถุ(ใบหน้า)

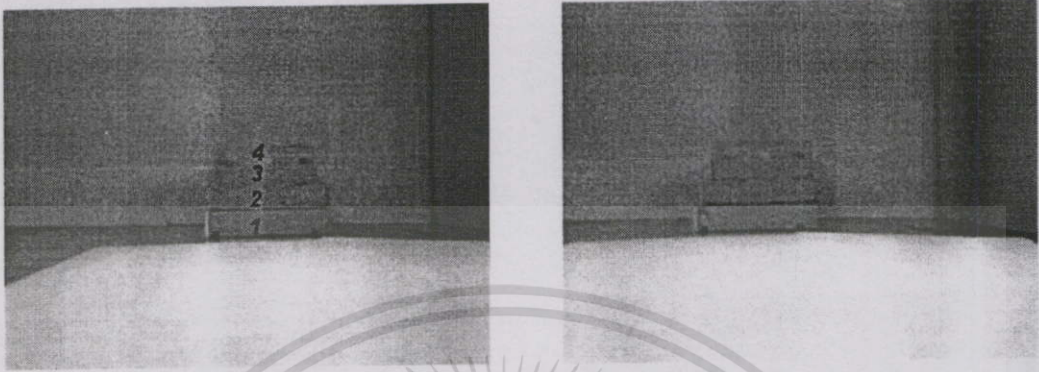


รูปที่ 5.8 แสดงระยะตามแกนพิกัด x,y,z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1 ผลการทดลองการคำนวณหาระยะทางแบบพาสซีฟ

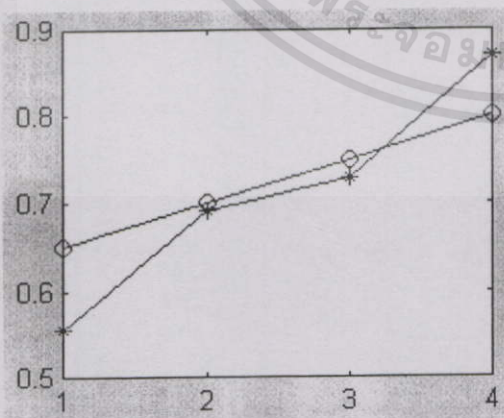
เราจะนำผลการคำนวณหาระยะทางแบบสเตริโอไปเปรียบเทียบกับระยะทางที่ทำการวัดได้จริงที่บางตำแหน่งบนวัตถุ ดังภาพที่ โดยแสดงตารางที่ 5.1 ที่ระยะต่างๆกัน



รูปที่ 5.9 ภาพในการทดลองหาระยะทางในการเปรียบเทียบ

ตาราง 5.1 แสดงค่าระยะทางที่วัดจริงและจากการคำนวณระยะทางแบบสเตริโอแบบพาสซีฟ

ลำดับ	X (ม.)	Y (ม.)	Z (ม.)	จากการคำนวณ (ม.)	ระยะทางจริง (ม.)	ค่าความผิดพลาด (ซม.)
1	0.006	0.061	0.553	0.556	0.65	9.40
2	0.008	0.034	0.691	0.691	0.70	0.90
3	0.047	0.014	0.727	0.728	0.75	2.20
4	0.095	-0.062	0.862	0.870	0.80	7.00



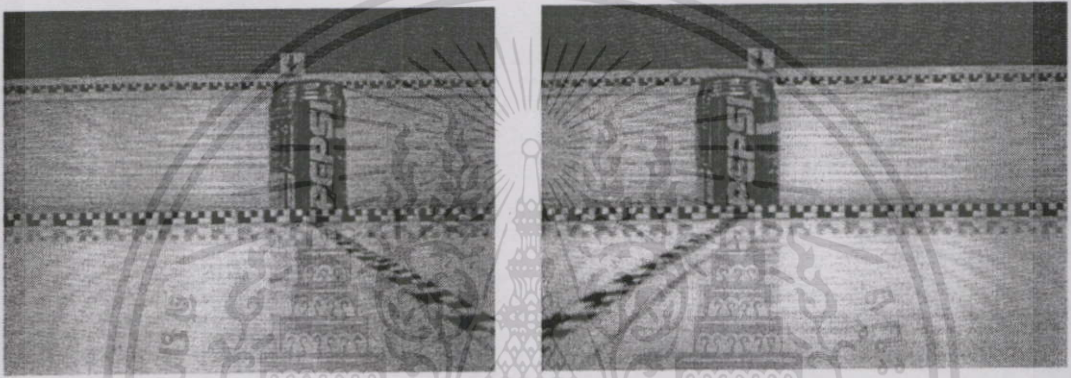
O = แสดงระยะทางจากการวัดจริง
* = แสดงระยะทางที่ได้จากการคำนวณหาระยะจากภาพสเตริโอ

รูปที่ 5.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่วัดจริงและจากการคำนวณระยะทางแบบสเตริโอแบบพาสซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองหาระยะด้วยภาพถ่ายสเตอริโอแบบแอกทีฟ

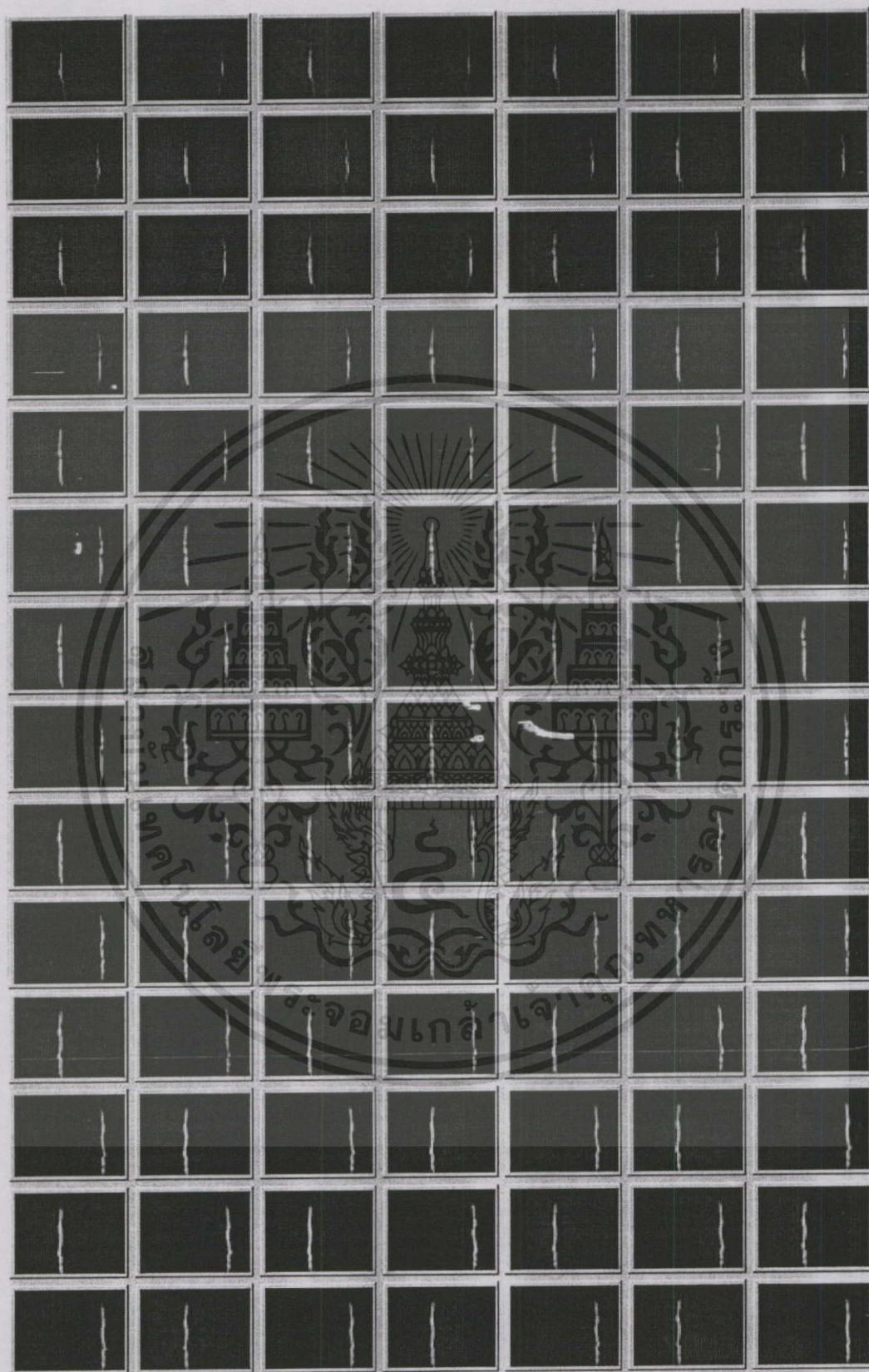
ในการหาระยะจากภาพถ่ายสเตอริโอแบบแอกทีฟด้วยเลเซอร์นั้น ในขั้นตอนแรกต้องทำการติดตั้งกล้องเช่นเดียวกันกับการถ่ายภาพสเตอริโอแบบพาสซีฟ จากนั้นทำการหาระยะทางจากความแตกต่างของภาพที่ปรากฏจากกล้องรับภาพในแบบสเตอริโอ นั้นจำเป็นต้องทราบค่าประจำตัวที่เป็นคุณสมบัติของกล้อง ซึ่งมีความสำคัญต่อการวัดระยะให้มีความแม่นยำ ได้จากการทดลองหรือจากคุณสมบัติของกล้องที่ได้มาจากผู้ผลิต การหาค่ามุมฉายของกล้อง (Projection Angle) สามารถคำนวณได้จากการถ่ายภาพสเกลระยะที่ติดไว้ที่ฝาผนังโดยวางกล้องในมุมที่ตั้งฉากกับผนัง และเทียบสัดส่วนระหว่าง H:L เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณ ดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 5.11 ภาพสเกลที่ถ่ายจากกล้องซ้ายและขวาเพื่อหาคัดส่วน H:L

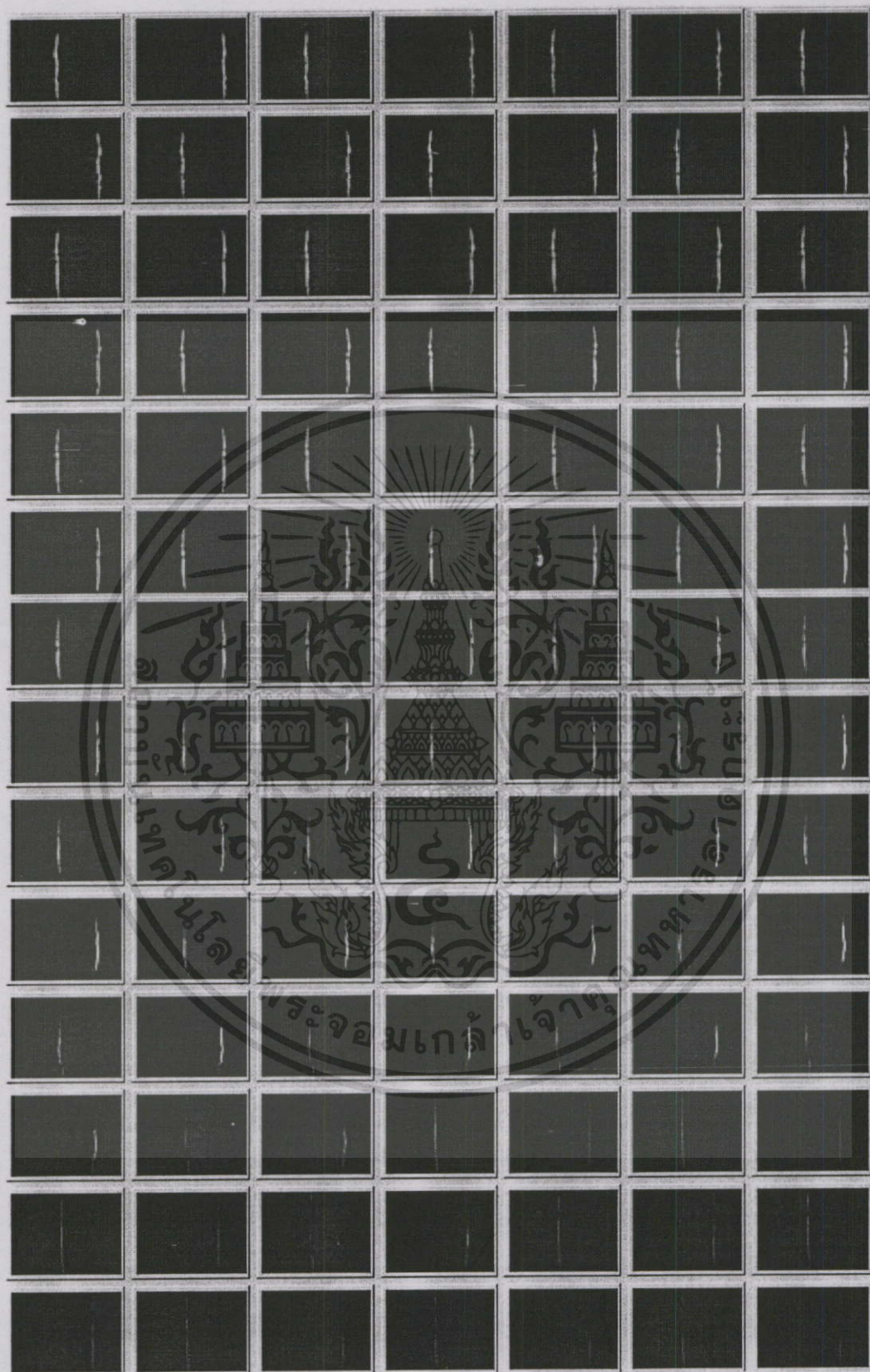
โดยผลที่ได้จากกล้องที่ใช้ทดลองวัด H ได้ 31 เซนติเมตร, $L = 50$ เซนติเมตร ซึ่งถูกนำไปแทนค่าในสมการที่ 4.3 เพื่อใช้ในการหาระยะจากกล้องถึงวัตถุต่อไป

จากนั้นตั้งค่าอุปกรณ์เล็องกล้อง ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้สเตอริโอโมเตอร์ขนาด 1.8 องศา และแกนหมุนเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว ดังนั้นทำการหมุนสเตอริโอโมเตอร์ 1 ครั้งเท่ากับ 1.8 องศา เท่ากับ 0.005 นิ้ว ในการทดลองจะใช้การสแกนทั้งหมด 7 นิ้วที่ความละเอียด 1/16 นิ้ว เท่ากับ 112 ภาพ ที่ความเร็ว 1.40 นาทีต่อ 1 โบหน้า จากนั้นเริ่มทำการสแกนกวาดจากทางซ้ายไปทางด้านขวา ทางการบันทึกภาพของโบหน้าจากกล้องทางด้านซ้ายและด้านขวาที่เกิดจากแสงเลเซอร์กระทบบนผิวหน้า ในแต่ละการหมุนสเตอริโอโมเตอร์ 1 รอบ ไปจนกระทั่งครบทั้งโบหน้า โดยในการทดลองนั้นจะต้องกระทำในที่มืด ซึ่งในการทดลองในใช้กล้องขนาดใหญ่บรรจุอุปกรณ์ในการสแกน โดยเจาะด้านใดด้านหนึ่งของกล้องเป็นรูวงรีคล้ายกับโบหน้ามนุษย์ ในการสแกนผู้ที่จะถูกสแกนจะนำโบหน้าใส่ในช่องวงรีที่สร้างขึ้นแล้วนำผ้ามาคลุมด้านนอกอีก 1 ชั้นเพื่อลดแสงสว่างจากภายนอกที่เกิดจากช่องวงรี ซึ่งไม่พอดีกับโบหน้าของมนุษย์ทุกคน โดยแสงที่ลอดเข้ามานี้เป็นแสงที่ไม่ต้องการ โดยแสดงเส้นที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 5.2



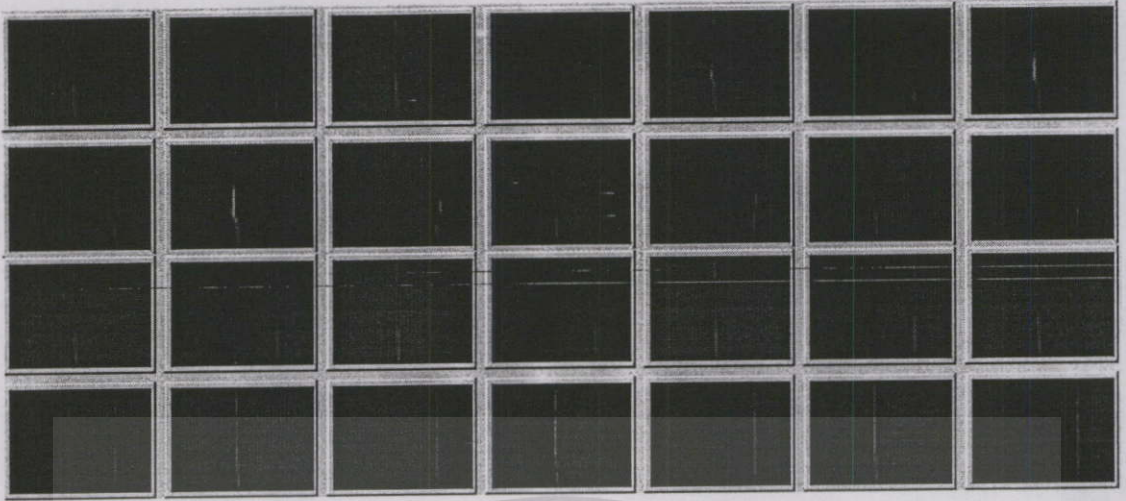
รูปที่ 5.2 ข้อมูลที่ได้จากการสแกนใบหน้าด้วยแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

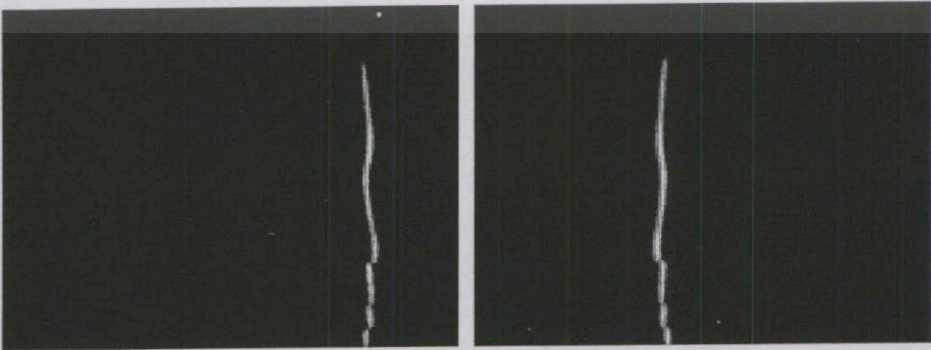


รูปที่ 5.12(ต่อ)

โดยภาพที่จะได้อาจจะมีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแสงภายนอก ซึ่งเป็นแสงที่ไม่ต้องการซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการนำไปคำนวณหาระยะทางดังรูปที่ 5.13 เราจึงต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนออกแสดงดังรูป 5.14



รูปที่ 5.13 ภาพก่อนการกำจัดสัญญาณรบกวน



รูปที่ 5.14 ภาพหลังจากการกำจัดสัญญาณรบกวน

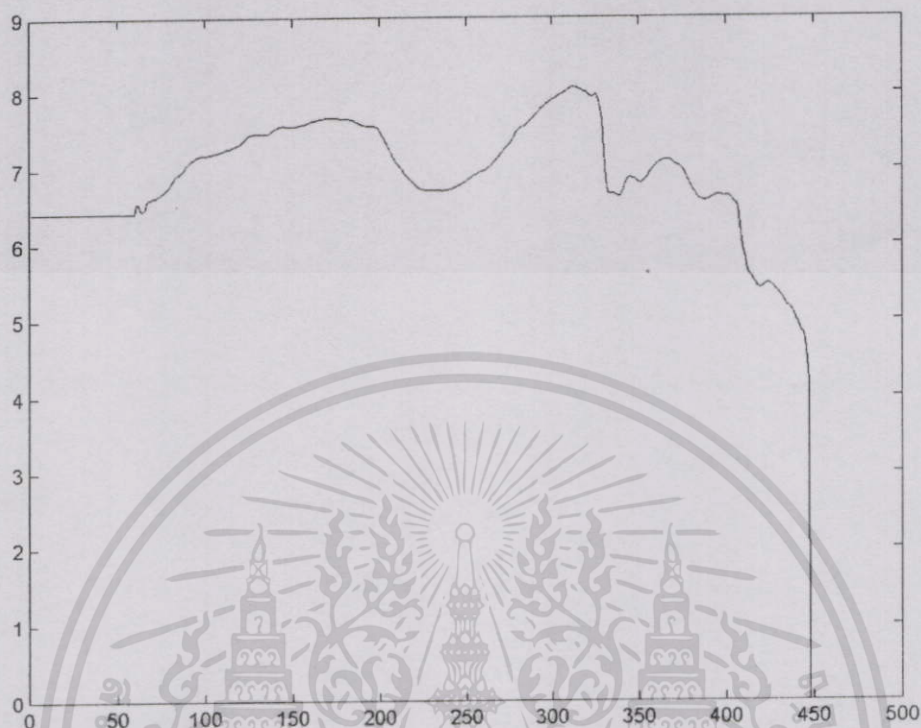
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการหาค่าสูงสุดของภาพซ้ายและภาพขวา เพื่อนำแต่ละจุดในระนาบที่ขนานกัน
ไปคำนวณหาค่าระยะทาง แสดงดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 กราฟค่าสูงสุดจากภาพจากกล้องทางด้าน (ก) ซ้ายมือและ (ข) ด้านขวามือ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

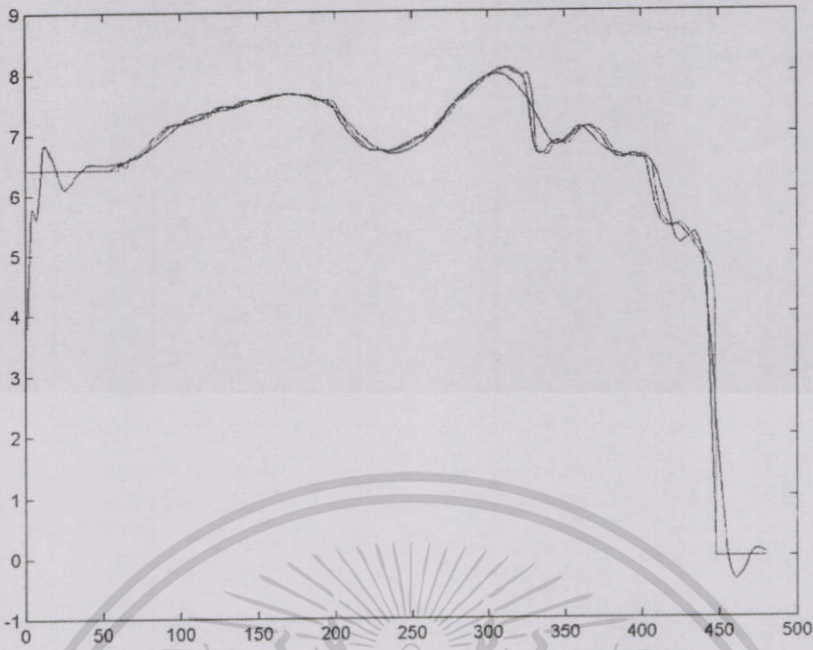
จากค่าข้อมูลที่ได้จากการคำนวณค่าสูงสุดของภาพ จะถูกนำไปคำนวณหาค่าระยะทาง จากกล้องถึงผิวหน้า จากสมการที่ 4.14 จะได้ค่าระยะทางแสดงดังรูปที่ 5.16



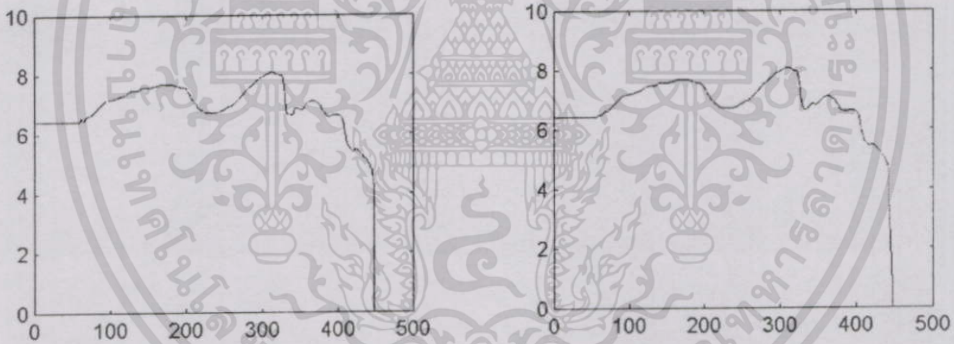
รูปที่ 5.16 ค่าระยะทางจากกล้องถึงผิวหน้าที่ได้

เนื่องจากลายเส้นที่ได้จากการรับแสงเลเซอร์ผ่านภาพกล้องยังมีสัญญาณรบกวนซึ่งก่อให้เกิดเป็นลายเส้นที่ไม่ราบเรียบ ดังนั้นจึงต้องทำลายเส้นให้เกิดความราบเรียบเพื่อลดความผิดพลาดจากแสงที่กระทบบนผิววัตถุ โดยในการทดลองได้ใช้การกรองสัญญาณ 3 วิธีในการเปรียบเทียบเพื่อหาความเหมาะสมกับที่ได้แก่การหาค่าเฉลี่ยกลาง การแปลงฟูเรียร์ และการแปลงเวฟเล็ต โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 5.17 และ 5.18 จากผลการทดลองโดยเทียบจากความผิดพลาดเฉลี่ย การแปลงเวฟเล็ตจะให้ค่าความผิดพลาดและการสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุดให้ลายเส้นที่มีความต่อเนื่อง จะมีผลทำให้การสร้างกลับคืนทำให้พื้นผิววัตถุนั้นมีพื้นผิวที่เรียบขึ้น โดยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบฮาร์เวฟเล็ต ที่ระดับความละเอียดต่างๆ กัน เพื่อเปรียบเทียบลายเส้นที่ได้และนำไปใช้ โดยการทดลองจะกระจายสัญญาณต้นแบบเป็น 14 ระดับ แสดงดังรูปที่ 5.19 ซึ่งระดับที่ให้ความราบเรียบของลายเส้น และมีความผิดพลาดน้อยที่สุดคือระดับที่ 4 ดังนั้นในวิทยานิพนธ์จะได้ใช้ ฮาร์เวฟเล็ตระดับที่ 4 เนื่องจากในระดับที่มีการกระจายมากนั้นรายละเอียดข้อมูลจะเกิดการสูญเสียอย่างมาก โดยจะใช้ฮาร์เวฟเล็ตในระดับที่ 4 นี้ในการแปลงลายเส้นสแกนทุกเส้น ก่อนการนำไปสร้างกลับในแบบสามมิติ

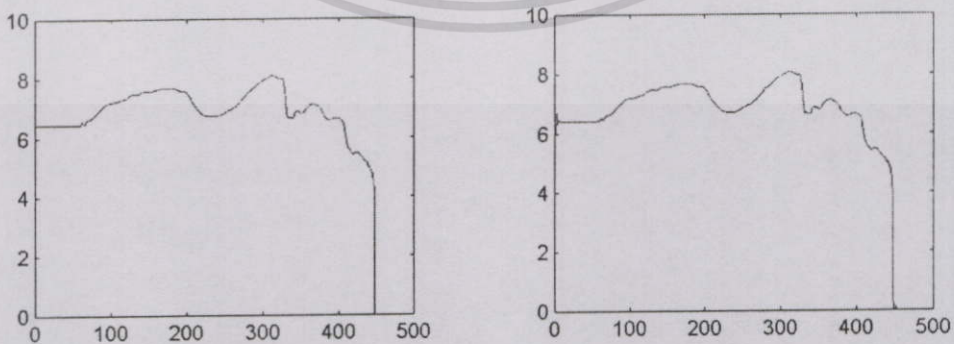
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพเดียวกัน



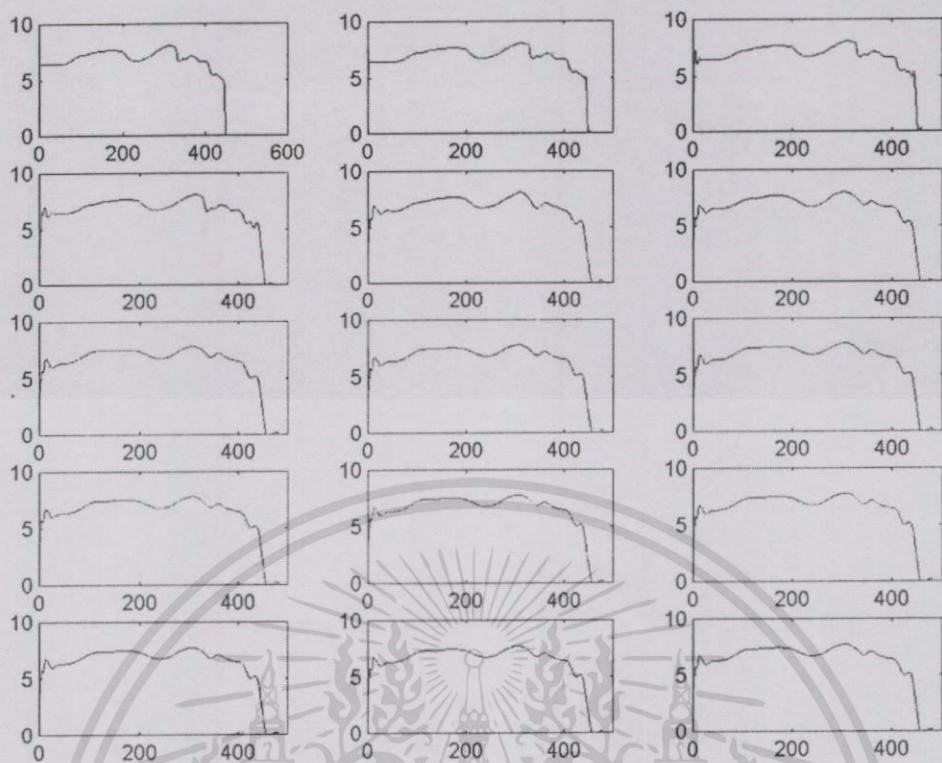
(ก) สัญญาณต้นแบบ (ข) โดยการหาค่าเฉลี่ย



(ค) โดยการแปลงฟูเรียร์ (ง) โดยการแปลงเวฟเล็ต

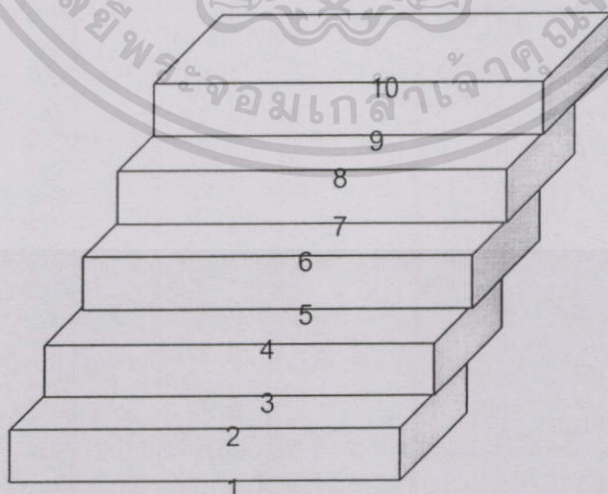
รูปที่ 5.18 ผลการกำจัดได้จากการจำกัดสัญญาณรบกวนในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 แสดงผลการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตตั้งแต่ระดับ 1-14 ตามลำดับจากซ้ายไปขวา

5.2.1 ผลการทดลองการคำนวณหาระยะทางแบบแยกทีฟ



รูปที่ 5.20 แสดงรูปวัตถุที่ใช้ในการวัดระยะทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.2 ระยะความผิดพลาดจากการวัดจริงและจากคำนวณ

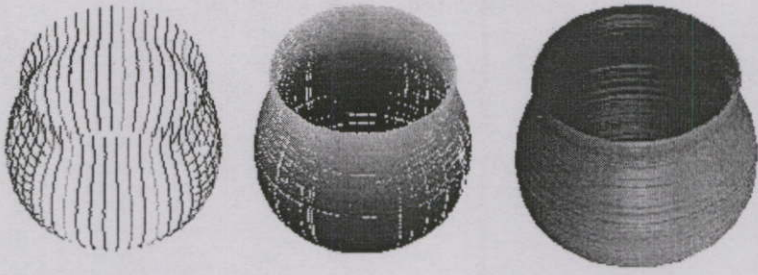
ลำดับที่	ระยะทางจริง (มม.)	ระยะทางที่ได้จากการคำนวณ (มม.)	ค่าความผิดพลาด (มม.)
1	200.00	200.46	0.46
2	200.00	199.52	0.48
3	250.00	250.54	0.54
4	250.00	250.46	0.46
5	300.00	299.37	0.63
6	300.00	299.57	0.43
7	350.00	350.68	0.68
8	350.00	349.43	0.57
9	400.00	400.89	0.89
10	400.00	400.67	0.67

5.3 การสแกนโครงสร้างใบหน้าและนำมาสร้างกลับแบบ 3 มิติ

ผลการทดลองสร้างใบหน้าแบบ 3 มิติ จากผลการคำนวณหาค่าระยะทางที่ได้จากภาพสเตอริโอด้วยการสแกนเลเซอร์ โดยความเข้มของสีจะแสดงระยะทางที่ต่างกัน โดยความเข้มของสีที่มีความเข้มมากจะแสดงระยะใกล้และความเข้มของสีที่จางลงไปจะแสดงระยะที่ห่างออกไป โดยในการทดลองจะให้เส้นสแกนเลเซอร์จำนวน 112 เส้น ซึ่งเมื่อนำมาสร้างกลับคืนจะเห็นว่ายังได้รายละเอียดของใบหน้าอย่างชัดเจน แต่เนื่องจากการทดลองได้ใช้ห้องมืดที่เป็นรูปกล่องและเจาะช่องด้านหน้าให้เท่ากับใบหน้ามนุษย์และให้ผู้ทดลองนำหน้าเข้าไปในช่องที่ได้เจาะเตรียมไว้และทำการสแกนและเก็บภาพ เนื่องจากการทดลองใบหน้าของแต่ละคนไม่เท่ากันดังนั้นจะมีแสงจากด้านข้างใบหน้าที่จะเข้ามามีผลกระทบในการคำนวณหาระยะทางในนั้น จึงเกิดเป็นสัญญาณรบกวนขึ้น ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการทำการตัดสัญญาณรบกวนนั้นออกไปจากข้างต้น ซึ่งจะไม่มีความกระทบต่อระยะทางที่คำนวณ เนื่องจากในบริเวณที่แสงเข้ามามีผลกระทบนั้นเป็นด้านข้างของใบหน้าสามารถตัดออกไปได้ และไม่ได้นำมาใช้งาน

5.3.1 ผลการทดลองสร้างกลับคืนวัตถุและใบหน้าแบบสามมิติ

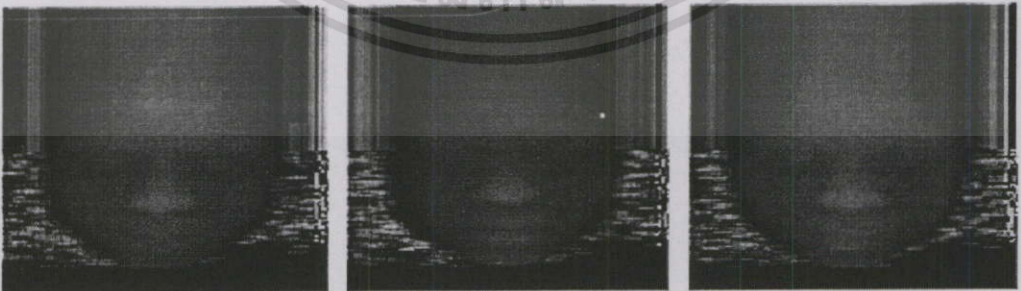
ผลการทดลองที่ได้จะเป็นระยะทางจากกล้องถึงวัตถุจากนั้นนำไปแปลงเป็นพิกัดสามมิติ และสร้างกลับคืนโดยใส่พื้นแสดงดังรูปที่ 5.21, 5.22



รูปที่ 5.21 แสดงการสร้างกลับคืนของวัตถุในแบบ 3 มิติ



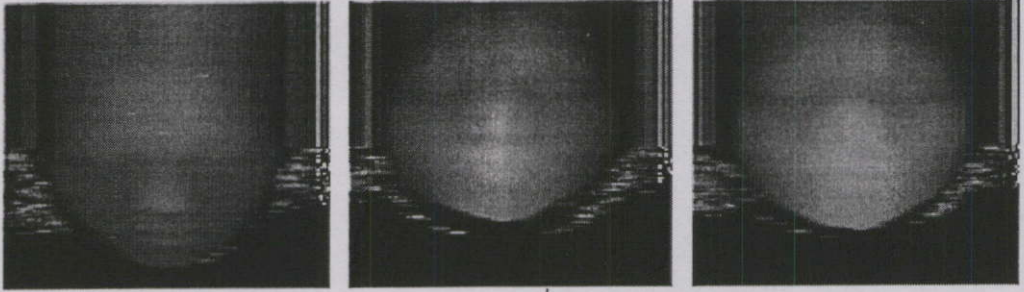
ใบหน้าที่ 1



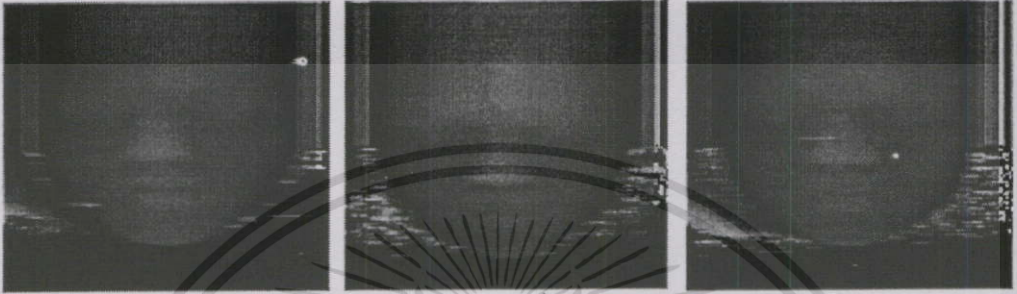
ใบหน้าที่ 2

รูปที่ 5.22 แสดงการสร้างกลับคืนผิวนามนุษย์ 1 ใบหน้า ในการถ่าย 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบหน้าที่ 4



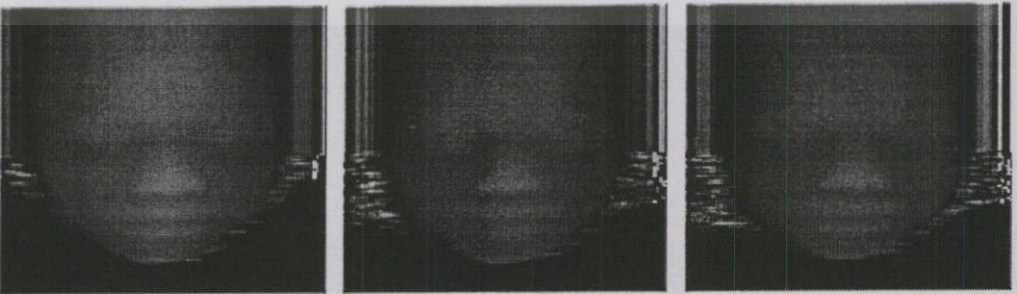
ใบหน้าที่ 5



ใบหน้าที่ 6



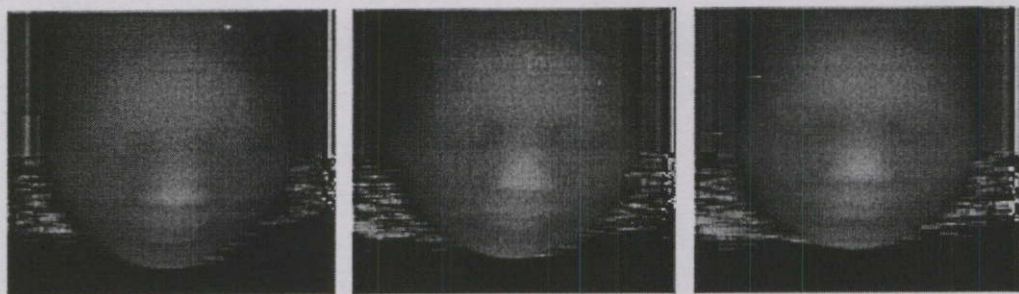
ใบหน้าที่ 7



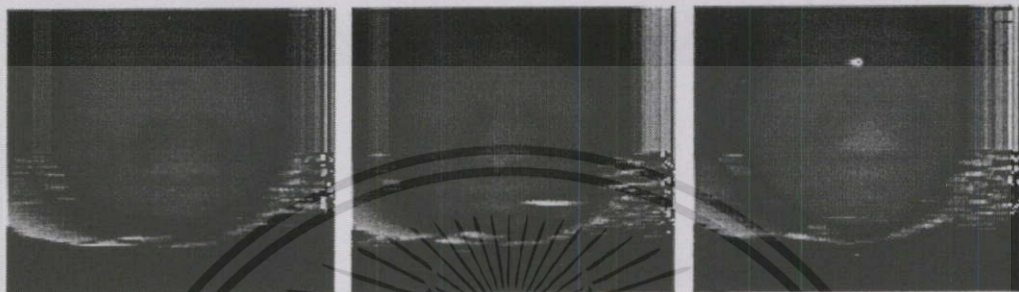
ใบหน้าที่ 8

รูปที่ 5.3(ต่อ)

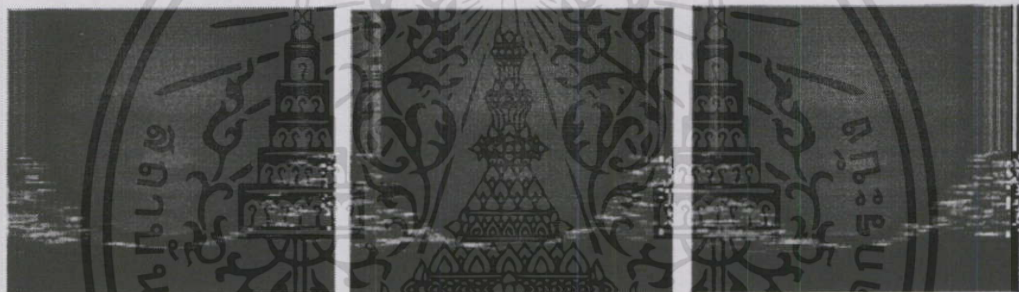
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบหน้าที่ 9



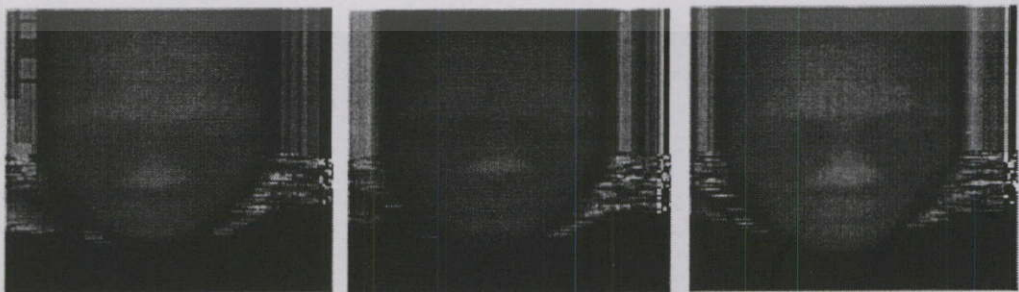
ใบหน้าที่ 10



ใบหน้าที่ 11



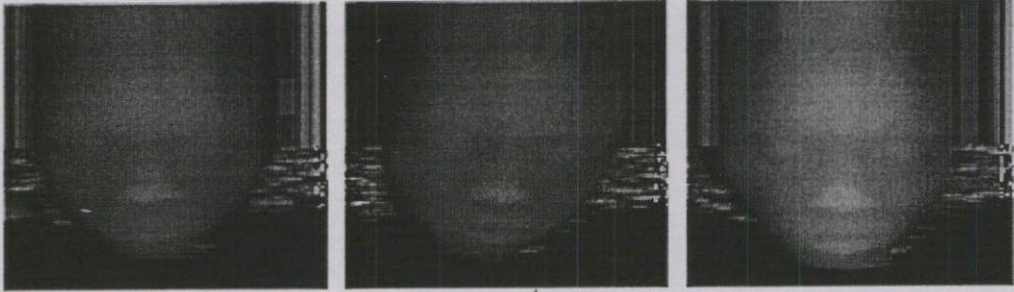
ใบหน้าที่ 12



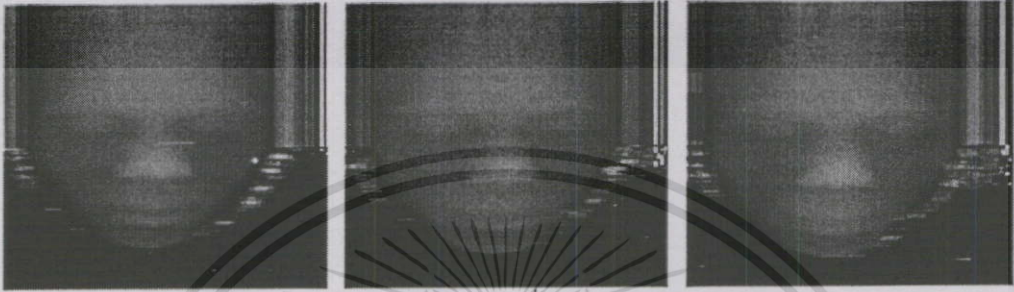
ใบหน้าที่ 13

รูปที่ 5.3(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบหน้าที่ 14



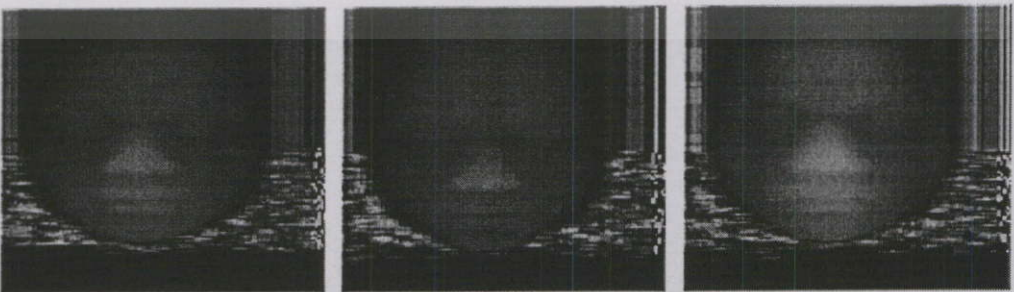
ใบหน้าที่ 15



ใบหน้าที่ 16



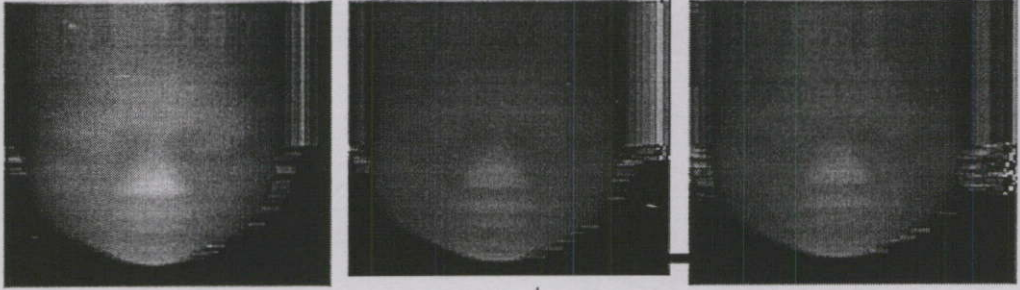
ใบหน้าที่ 17



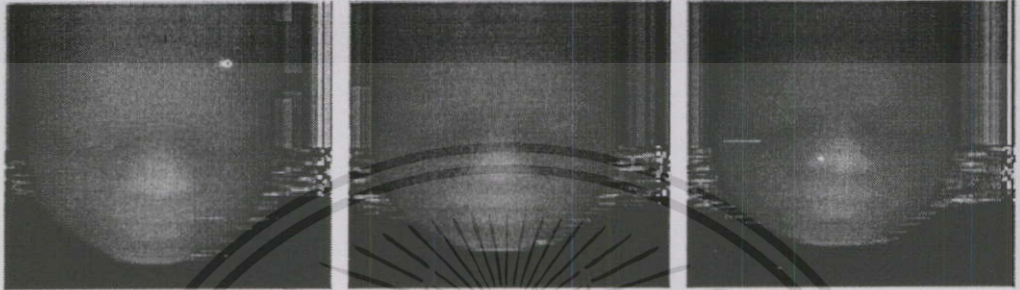
ใบหน้าที่ 18

รูปที่ 5.3(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบหน้าที่ 19



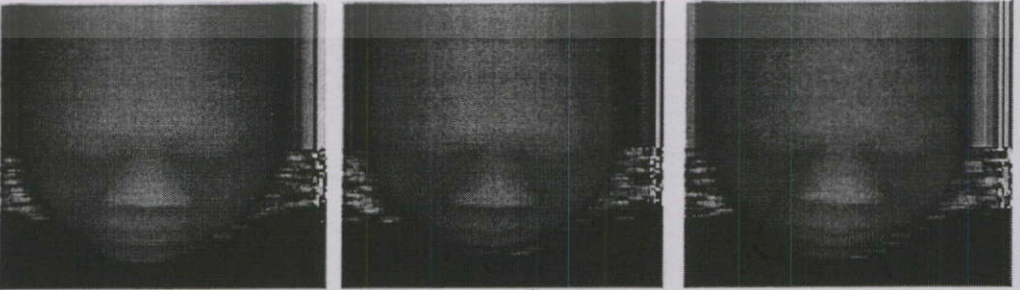
ใบหน้าที่ 20



ใบหน้าที่ 21



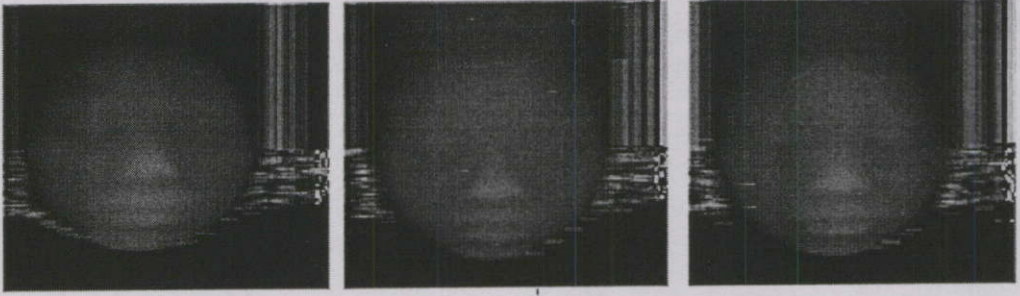
ใบหน้าที่ 22



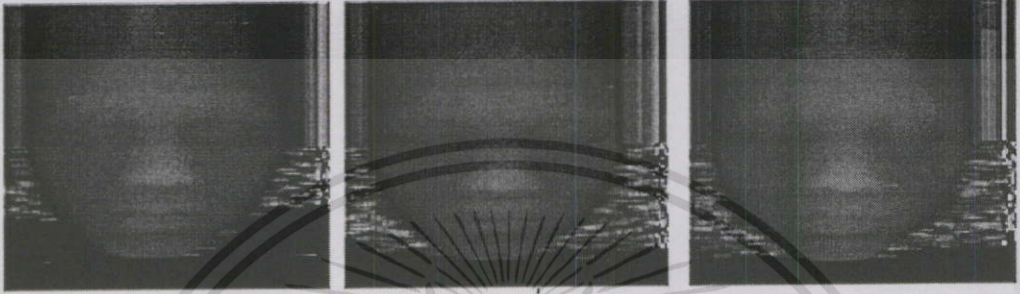
ใบหน้าที่ 23

รูปที่ 5.3(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบหน้าที่ 24



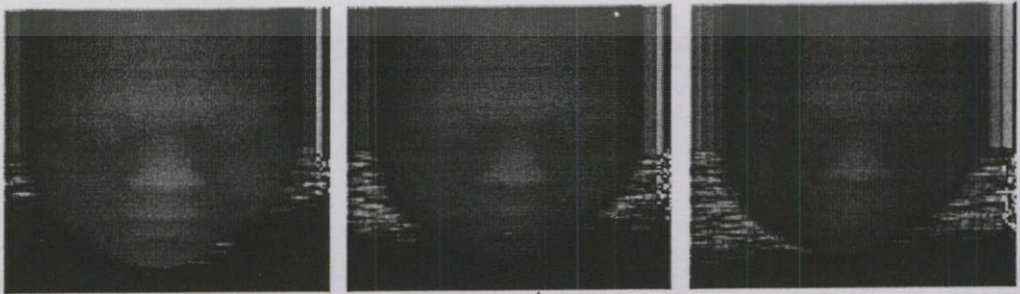
ใบหน้าที่ 25



ใบหน้าที่ 26



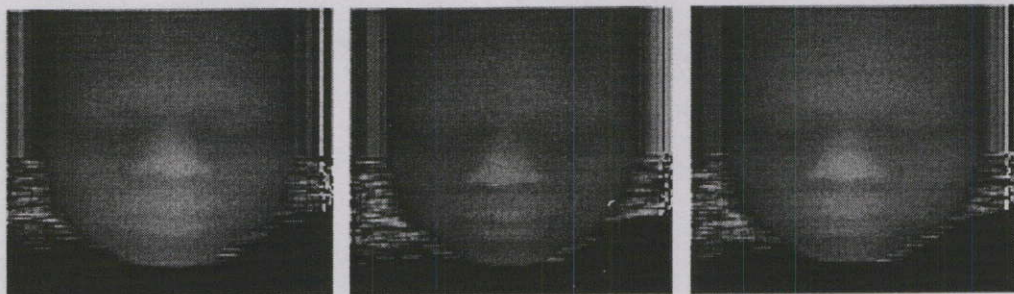
ใบหน้าที่ 27



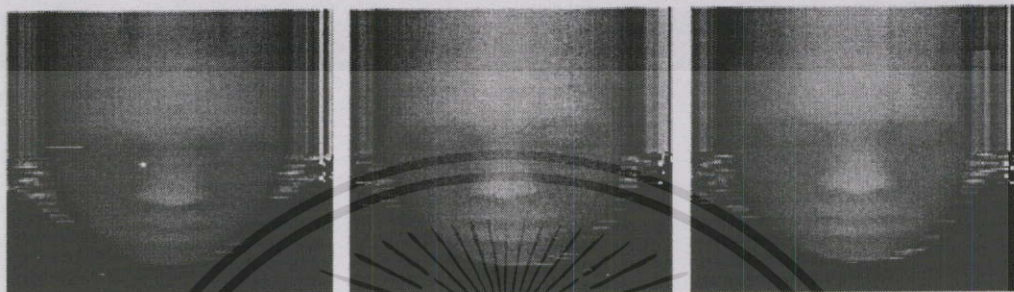
ใบหน้าที่ 28

รูปที่ 5.3(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบหน้าที่ 29



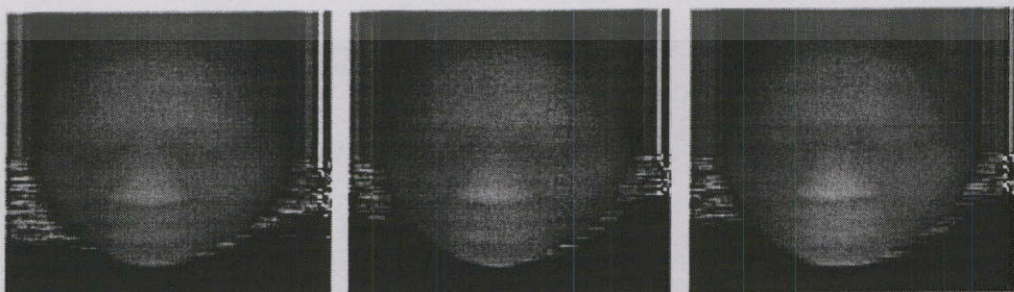
ใบหน้าที่ 30



ใบหน้าที่ 31



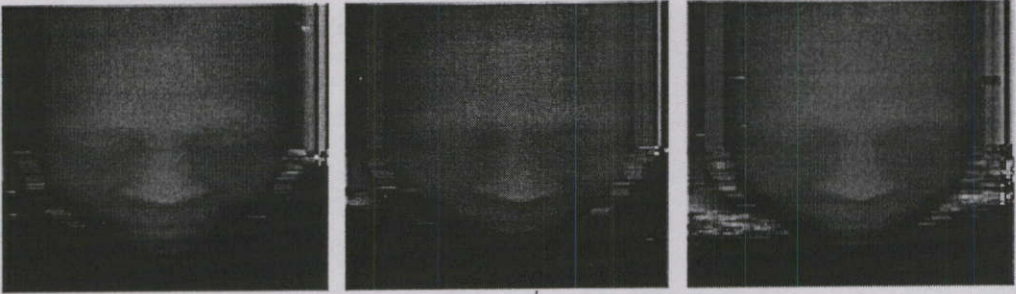
ใบหน้าที่ 32



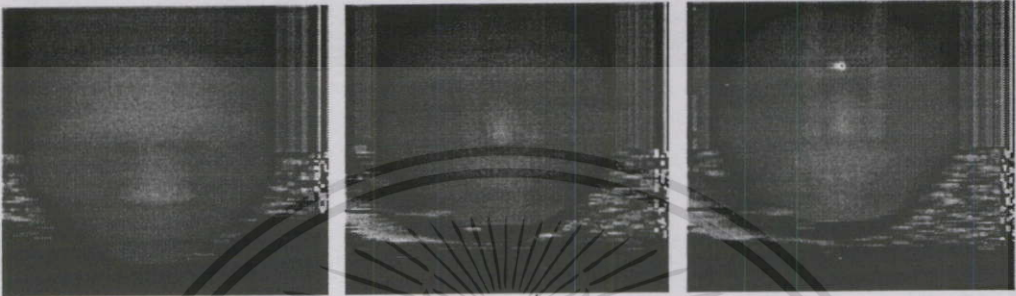
ใบหน้าที่ 33

รูปที่ 5.3(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบหน้าที่ 34



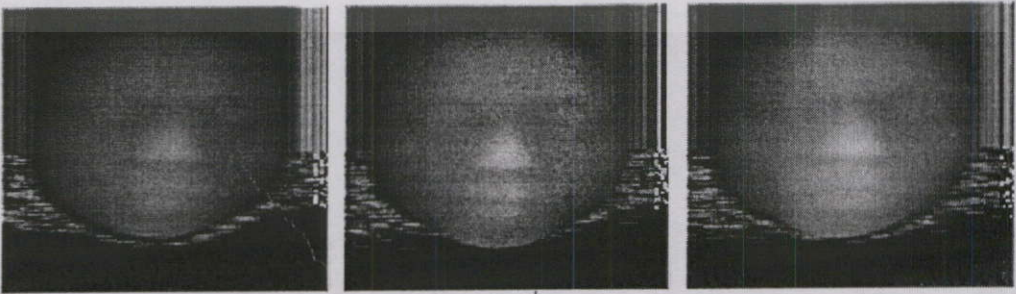
ใบหน้าที่ 35



ใบหน้าที่ 36



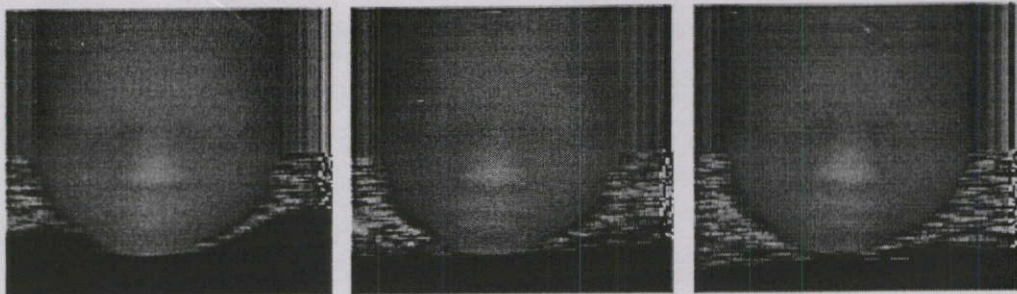
ใบหน้าที่ 37



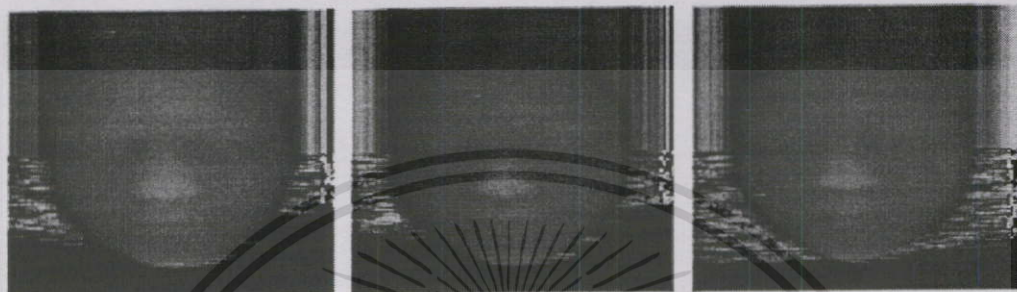
ใบหน้าที่ 38

รูปที่ 5.3(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบหน้าที่ 39



ใบหน้าที่ 40

รูปที่ 5.3(ต่อ)



บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์

จากการหาระยะด้วยภาพสเตอริโอทั้งแบบพาสซีฟและแบบแอกทีฟ สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า ในการหาระยะทางจากภาพสเตอริโอแบบพาสซีฟนั้นมีความยุ่งยากมากกว่าการหาระยะทางจากวิดีโอแบบแอกทีฟ เนื่องจากการหาระยะทางจากภาพสเตอริโอแบบพาสซีฟนั้น มีค่าพารามิเตอร์ที่จะเข้ามากำหนดในการหาระยะต่างๆ มากเช่นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดแสงที่ตกกระทบวัตถุ ในเรื่องการหาความสัมพันธ์ของจุดภาพซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการหาระยะทางจากภาพสเตอริโอ การกำหนดขนาดของวินโดว์ เนื่องจากจุดภาพที่ต้องการหาโดยเทียบจากภาพอ้างอิงนั้น อาจจะไม่พบทำให้ไม่สามารถแมชชิงภาพนั้นได้ เพื่อที่จะนำเข้าสู่การคำนวณหาระยะทางนั้นได้ อีกทั้งการกำหนดขนาดของระยะความห่างของกล้องก็ส่งผลต่อการหาระยะทางด้วยเช่นกัน

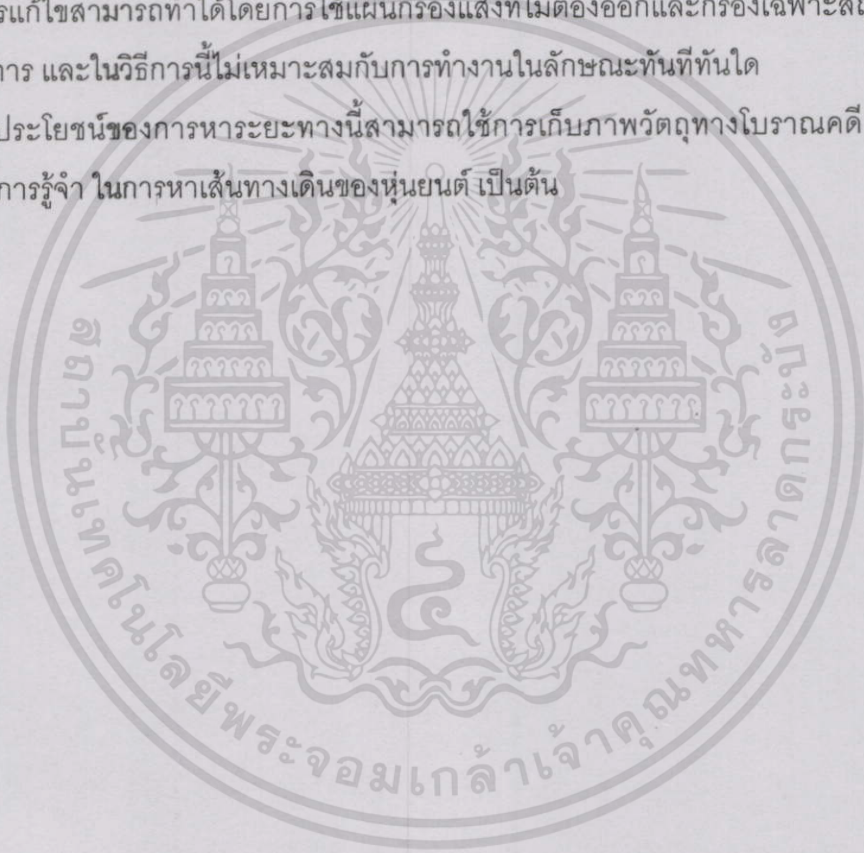
ดังนั้นรายละเอียดของภาพวัตถุที่ต้องการ นั้นจะมีรายละเอียดไม่ครบหรือไม่สามารถที่จะนำลักษณะนั้นไปใช้ได้ในการรู้จำหรือนำไปสร้างกลับคืนเพื่อที่จะเข้าใจวัตถุนั้นได้ โดยระยะค่าความผิดพลาดนั้นยังมีอยู่ค่อนข้างมาก แต่หากใช้วิธีในการพิจารณาเป็นจุดหรือในพื้นที่ที่มีขนาดไม่มาก จะใช้ในการนำทางให้หุ่นยนต์สามารถเดินได้หรือสามารถให้หลบอุปสรรคที่อยู่ภายหน้านั้นได้

ในการแก้ไขในการที่จะรายละเอียดระยะของวัตถุนั้นก็คือการที่สามารถที่จะหาคูแมชชิงได้ โดยมีปัจจัยต่างๆ ที่จะช่วยเพิ่มในการหาระยะสเตอริโอแบบพาสซีฟ นั้นก็คือการกำหนดระยะค่าความห่างของกล้อง ความละเอียดของกล้องที่ใช้ในการเก็บภาพซึ่งถ้ามีความละเอียดมากจะทำให้ได้รายละเอียดของภาพมากขึ้นแต่ข้อเสียนั้นก็คือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะมากขึ้นตามด้วยความเข้มของแสงจะมีส่วนเช่นเดียวกัน แนวทางในการแก้ไขก็คือทำภาพให้สว่างขึ้นเพื่อให้ได้รายละเอียดในการหาจุดภาพได้มากขึ้น ดังนั้นในการหาภาพสเตอริโอแบบพาสซีฟจะเหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการลักษณะของวัตถุมากนักและใช้ในการประมวลแบบทันทีทันใด (Real Time)

ในการที่ต้องการรายละเอียดของวัตถุนั้นมากๆ โดยที่จะนำไปใช้ในการรู้จำและการเข้าใจถึงลักษณะวัตถุที่ต้องการควรจะใช้วิธีการหาระยะสเตอริโอแบบแอกทีฟ ซึ่งสามารถที่จะให้รายละเอียดของวัตถุได้เป็นอย่างดี และสามารถนำไปหาคุณสมบัติสำคัญของวัตถุ (Feature Extraction) ได้เพื่อนำไปใช้ในการรู้จำ จากผลการทดลองค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากการหาระยะทางจากภาพสเตอริโอแบบแอกทีฟ นั้นมีความผิดพลาดเพียง 0.43 มิลลิเมตร โดยในการหาระยะทางข้อมูลด้วยวิธีนี้จะรวดเร็วว่าการหาระยะทางด้วยภาพสเตอริโอแบบแอกทีฟ เนื่องจากไม่ต้องมีวิธีการในการประมวล

ผลในการหาคู่จุดภาพ โดยใช้ฮาร์ดแวร์ในการช่วยหาคู่จุดภาพที่ต้องการแทนนั้นคือแสงเลเซอร์ โดยจะมีความละเอียดมากและสามารถปรับแต่งให้มีความคมชัดได้เป็นอย่างดี ช่วยในการลดข้อผิดพลาดในการหาคู่จุดภาพ และให้รายละเอียดของวัตถุได้เป็นอย่างดี ใช้เวลาในการประมวลผลต่ำ ข้อเสียของวิธีการนี้คือในการใช้สแกนภาพวัตถุที่ต้องการนั้น เนื่องจากจะต้องมีการเลื่อนกล้องเพื่อทำการถ่ายภาพ ดังนั้นจะมีข้อจำกัดในเรื่องของความเร็วในการสแกน โดยวัตถุหนึ่งนั้นอาจจะใช้เวลาถึง 2 นาที แต่หากฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการเลื่อนกล้องมีความเร็วลดลงซึ่งจะให้ผลที่ต่ำกว่า ในด้านของรายละเอียดของข้อมูลภาพที่ได้มา อีกทั้งในการหาระยะทางจากภาพสเตอริโอแบบแยกที่ฟจะต้องการทำให้สถานที่มืด ซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีนี้โดยไม่สามารถนำมาใช้งานในที่โล่งแจ้งได้ แต่แนวทางในการแก้ไขสามารถทำได้โดยการใช้แผ่นกรองแสงที่ไม่ต้องออกและกรองเฉพาะสัญญาณแสงที่เราต้องการ และในวิธีการนี้ไม่เหมาะสมกับการทำงานในลักษณะทันทีทันใด

ประโยชน์ของการหาระยะทางนี้สามารถใช้ในการเก็บภาพวัตถุทางโบราณคดี ในทางการแพทย์ ในการรู้จำ ในการหาเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ เป็นต้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] R. A. Javis, "A perspective on range finding techniques for computer vision", IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell., vol. 5, No. 2 , pp. 122-139, 1983.
- [2] Y. Yakimovsky and R. Cunningham, "A system for extraction 3D measurements from a stereo pair of TV cameras", Computer Graphics Image Processing, vol. 7 ,pp. 195-210, 1978.
- [3] S. Barnard and M. Fischler, "Computational stereo", ACM Computing Surveys, vol. 14, pp. 553-572, 1982.
- [4] Yan Xu; ChangSheng Xu; YingLi Tian; SongDe Ma; ManLi Luo, "3D face image acquisition and reconstruction system", Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1998. IMTC/98. Conference Proceedings. IEEE Volume:2, 1998, Page(s): 1121 -1126 vol.2
- [5] Hattori, K. ,Matsumori, S. ,Sato Y., "Estimating pose of human face based on symmetry plane using range and intensity images", Pattern Recognition, 1998. Proceedings. Fourteenth International Conference on Volume: 2 , Page(s): 1183-1187 vol.2, 1998
- [6] The MathWork , Inc. , "Using MATLAB Graphics" ,December 1996.

ประวัติผู้เขียน

นายยิ่งยศ ศรีบุญเรือง เกิดเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2518 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี ได้รับทุนโครงการพัฒนาอาจารย์วิทยาศาสตร์ระดับโท-เอก มหาวิทยาลัยบูรพา โดยเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโทที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2541 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเทคนิคคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ ปีการศึกษา 2538

