

การสร้างภาพจำลอง 3 มิติร่วมกับการแทนที่สีพื้นผิวจากสีจริง

3D MODELING WITH TRUE-COLOR MAPPING



ฉพ.
ด ๗๗๘ ก
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61037
วัน,เดือน,ปี.- 7.0.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

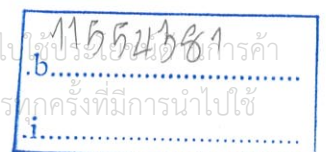
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1595-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
ใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3D MODELING WITH TRUE-COLOR MAPPING



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

2005

ISBN 974-15-1595-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสร้างภาพจำลอง 3 มิติร่วมกับการแทนที่สีพื้นผิว
จากสีจริง

นักศึกษา

นายสุทัศน์ เรือง

รหัสนักศึกษา

45060209

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

พ.ศ.

2548

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ผศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์

บทคัดย่อ

การสร้างภาพจำลองสามมิติจากวัตถุจริง ได้มีการประยุกต์ใช้จากการสร้างภาพตัดขวางกับ
ชุดข้อมูลจากภาพถ่าย โดยมีกระบวนการดังนี้คือ การถ่ายภาพรอบๆ วัตถุ การสร้างภาพตัดขวางของ
วัตถุด้วยวิธีโทโมกราฟี การนำชุดของภาพตัดขวางมาทำภาพจำลองสามมิติ และการใส่สีให้กับ
พื้นผิวของภาพจำลองสามมิติ ในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการใส่สีให้กับพื้นผิวของภาพจำลองสามมิติ
โดยการเทียบค่าสีของพื้นผิวของภาพจำลองสามมิติกับภาพถ่ายต้นฉบับโดยตรง ซึ่งจากผลการ
ทดลองจะเห็นได้ว่าภาพจำลองสามมิติที่มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น และยังสามารถลดกระบวนการ
ในการประมวลผลลดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	3D MODELING WITH TRUE-COLOR MAPPING
Student	Mr.Sutat Reruag
Student ID.	45060209
Degree	Master of Engineering
Programme	Electronics Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Surapan Airphaiboon
Thesis Co-advisor	Asst.Prof.Dr.Chuchart Pintavirooj

ABSTRACT

3D modeling of an object from the real world by applying topographic methods to a sequence of photographic images. In the process, a series of photographs taken around the object under the ambient light is served as the projections data for the process of tomography. The cross-section images are stacked to derive the volumetric data. Surface rendering is performed on the volumetric data yielding 3D model of the object. In this research we propose the new algorithm to perform a true-color mapping of the 3D model derived from the photographic tomography by projecting the true color of the object on the reconstructed 3D modeling. The result is a more realistic 3D model of the object and shorter time process.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.5 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 การสร้างภาพตัดขวางของวัตถุ.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 แนวคิดพื้นฐาน.....	3
2.3 ตัวอย่างหลักการสร้างภาพตัดขวาง.....	4
2.3.1 การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้รังสีเอ็กซ์.....	5
2.3.2 การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้หลักการเรโซแนนซ์แม่เหล็ก.....	7
2.3.3 การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้ความต้านทานไฟฟ้า.....	8
2.4 การสร้างภาพตัดขวางในกระบวนการทางอุตสาหกรรม.....	9
บทที่ 3 การสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่าย.....	12
3.1 บทนำ.....	12
3.2 แนวคิดพื้นฐาน.....	12
3.3 วิธีการสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่าย.....	12
3.3.1 การอินทิเกรตเชิงเส้น.....	12
3.3.2 การแปลงเรดอน.....	15
3.3.3 การตัดแปลงเรดอน.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 แเบ็กโปรเจกชัน	17
3.4 การหาโครงร่างของวัตถุ.....	18
3.4.1 เทคนิคการหาโครงร่าง	18
3.4.2 กระบวนการหาโครงร่างของวัตถุจากภาพถ่าย	20
บทที่ 4 ทฤษฎีพื้นฐานเบื้องต้นในการสร้างภาพสามมิติ.....	21
4.1 บทนำ.....	21
4.2 แนวคิดพื้นฐาน	21
4.3 ระบบพิกัด	22
4.4 การแปลงเรขาคณิต.....	22
4.4.1 การเคลื่อนย้ายตำแหน่ง	24
4.4.2 การสเกล	25
4.4.3 การหมุนวัตถุ.....	25
4.4.4 การแปลงแบบผสม	27
4.5 การโปรเจกชัน.....	28
4.5.1 การ โปรเจกชันแบบขนาน.....	28
4.5.2 การ โปรเจกชันแบบเพอร์สเปกทีฟ	30
บทที่ 5 ระบบการสร้างภาพจำลองสามมิติ	32
5.1 บทนำ.....	32
5.2 ระบบการเก็บข้อมูลภาพถ่าย.....	32
5.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	32
5.3 การประมวลผลภาพ	34
5.4 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวสามมิติ.....	36
5.4.1 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยวิธีมาร์ชชิงคิวบ์	36
บทที่ 6 การแทนที่สีให้กับภาพจำลองสามมิติ	39
6.1 บทนำ.....	39
6.2 การส่องสว่างและการให้แสงเงา.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.1 แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong	40
6.2.2 การให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong.....	43
6.2.3 ความแตกต่างของแบบจำลองการให้แสงเงาของ Gouraud และ Phong.....	44
6.3 การแทนที่สีให้กับภาพจำลองสามมิติ.....	45
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	49
7.1 บทนำ.....	49
7.2 การสร้างภาพสามมิติจากวัตถุจริง.....	49
7.2.1 การเก็บข้อมูลภาพ.....	49
7.2.2 วิธีการทดลองเก็บข้อมูลภาพจากวัตถุจริง.	51
7.2.3 การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากชุดข้อมูลภาพถ่าย	54
7.2.4 การทดลองสร้างภาพสามมิติร่วมกับการแทนค่าสีพื้นผิว	57
7.3 การทดลองเปรียบเทียบขนาดภาพสามมิติกับวัตถุจริง.....	60
7.3.1 การคำนวณอัตราส่วนของภาพ.....	60
7.3.2 จำนวนความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง	60
7.3.2.1 การหาขอบภาพ	60
7.3.2.2 การหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลวัตถุ	62
7.4 การทดลองเปรียบเทียบสีของภาพสามมิติ	63
7.4.1 การทดลองคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากค่าระดับสีของภาพสามมิติ	72
บทที่ 8 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	73
8.1 สรุปผลการทดลอง	73
8.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
เอกสารอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก ก	77
ประวัติผู้เขียน	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
7.1 ตารางแสดงอัตราส่วนความยาวของวัตถุ	60
7.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบขนาดของภาพสามมิติกับวัตถุจริง	62
7.3 ตารางแสดงค่าความผิดพลาดจากค่าระดับสีของภาพสามมิติ.....	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการของเทคนิคโทโมกราฟี	4
2.2 ตัวอย่างของการสร้างภาพตัดขวางตามวิธีการแบ็กโปรเจกชัน	7
(ก) โปรเจกชันของวัตถุในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน x และแกน y	7
(ข) การแบ็กโปรเจกชันข้อมูลโปรเจกชันไปยังระนาบของภาพ	7
2.3 องค์ประกอบโดยทั่วไปของเครื่องมือการสร้างภาพตัดขวางทางอุตสาหกรรม	11
3.1 แสดงวัตถุ $f(x, y)$ และโปรเจกชัน $P_\theta(t_1)$ ที่มุม θ	13
3.2 โปรเจกชันแบบขนาน	14
3.3 โปรเจกชันแบบพัด	15
3.4 เรขาคณิตของการแปลงเรดอน	16
3.5 การทำแบ็กโปรเจกชัน	18
3.6 แสดงวิธีเลเซอร์เรงไฟน์เคอร์และผลสามมิติ	19
3.7 แสดงผลของวิธีเชปฟอร์มเชดดิ้ง (shape from shading)	19
3.8 แสดงลำดับของวิธีการหาโครงร่างของวัตถุ	20
(ก) ลำดับของชุดข้อมูลภาพถ่าย	20
(ข) ลำดับชุดข้อมูลของภาพถ่ายที่ทำการเทรสโซลดิ้ง	20
(ค) ภาพตัดขวางเสมือน	20
3.9 ตัวอย่างภาพตัดขวางเสมือนเทียบกับวัตถุต้นแบบ	21
3.10 แสดงภาพเค้าโครงของวัตถุ	21
3.11 แสดงภาพภาพตัดขวางเสมือน	22
4.1 ลักษณะความแตกต่างระหว่างพิกเซลกับว็อกเซล	23
(ก) พิกเซล	23
(ข) ว็อกเซล	23
4.2 ระบบพิกัดสามมิติ	24
(ก) ระบบพิกัดมือขวา	24
(ข) ระบบพิกัดมือซ้าย	24
4.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส	25
4.4 การย้ายตำแหน่งจุดกึ่งกลางของปริมาตรต้นฉบับมาอยู่ที่จุดกำเนิด	26
4.5 การแปลงแบบหมุนรอบแกนทั้งสาม	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 การฉายแสงแบบขนานเข้าไปในปริมาตร	31
4.7 การโปรเจกชันแบบขนาน	31
4.8 ลักษณะของลำแสงที่ฉายเข้าไปในปริมาตร.....	32
4.9 การฉายแสงแบบเปอร์สเปกทีฟ.....	33
4.10 ลักษณะของลำแสงที่ฉายเข้าไปในปริมาตร.....	33
5.1 ระบบการเก็บข้อมูลภาพถ่ายสำหรับวัตถุที่มีขนาดเล็ก.....	35
5.2 ระบบการเก็บข้อมูลภาพถ่ายสำหรับวัตถุที่มีขนาดใหญ่.....	35
5.3 แสดงภาพถ่ายรอบวัตถุต้นฉบับ.....	36
5.4 แสดงภาพโครงร่างที่ผ่านกระบวนการทำเทรส โชลดิง.....	36
5.5 แสดงภาพตัดขวางเสมือน	37
5.6 ภาพสามมิติเชิงพื้นผิว.....	37
(ก) ภาพสามมิติเชิงพื้นผิวก่อนทำกระบวนการแทนค่าสี.....	37
(ข) ภาพสามมิติเชิงพื้นผิวหลังจากทำกระบวนการแทนค่าสี.....	37
5.7 ลูกบาศก์ที่สมมติขึ้นจากจุดข้อมูลของสไลซ์ที่อยู่ติดกัน 8 จุด.....	38
5.8 รูปแบบการจัดเรียงของสามเหลี่ยมภายในลูกบาศก์ที่เป็นไปได้.....	39
5.9 ลักษณะการเรียงลำดับมุมและขอบของลูกบาศก์ที่สมมติขึ้น.....	39
6.1 คอมพิวเตอร์กราฟฟิก.....	40
6.2 การสะท้อนแบบกระจาย.....	43
6.3 ตำแหน่งการสะท้อนแบบกระจาย ค่าสีของจุดบนพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับมุมระหว่างเวกเตอร์ การสะท้อนกับผู้สังเกต.....	44
6.4 โพลิกอนที่ประกอบด้วยเวกเตอร์ปกติที่มุมยอด.....	45
6.5 ก) การให้แสงเงาของ Gouraud.....	45
ข) การให้แสงเงาของ Phong.....	45
6.6 แสดงกระบวนการแทนที่สีให้กับสร้างภาพจำลอง 3 มิติ ด้วยวิธีการแบบเดิม.....	46
6.7 แสดงกระบวนการสร้างภาพจำลอง 3 มิติ ด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	47
6.8 แสดงการคำนวณหามุมในแนวแกนเส้นตั้งฉากพื้นผิว.....	48
6.9 แสดงการเลือกภาพต้นฉบับสี.....	48
7.1 ภาพรองเท่า.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.2 ภาพกระปุกออมสิน.....	50
7.3 ภาพขา.....	51
7.4 ภาพรองเท้า.....	52
(ก) ภาพลำดับที่ 1.....	52
(ข) ภาพลำดับที่ 17.....	52
(ค) ภาพลำดับที่ 69.....	52
(ค) ภาพลำดับที่ 160.....	52
7.5 ภาพกระปุกออมสิน.....	52
(ก) ภาพลำดับที่ 1.....	52
(ข) ภาพลำดับที่ 19.....	52
(ค) ภาพลำดับที่ 65.....	53
(ง) ภาพลำดับที่ 161.....	53
7.6 ภาพขา.....	53
(ก) ภาพลำดับที่ 1.....	53
(ข) ภาพลำดับที่ 14.....	53
(ค) ภาพลำดับที่ 42.....	54
(ง) ภาพลำดับที่ 100.....	54
7.7 ภาพตัดขวางเสมือนของวัตถุ.....	55
7.8 ภาพสามมิติที่สร้างขึ้นด้วยวิธีมาร์ชชิงคิวบ์.....	56
(ก) ภาพสามมิติรองเท้า.....	56
(ข) ภาพสามมิติกระปุกออมสิน.....	56
(ค) ภาพสามมิติขา.....	56
7.9 ภาพรองเท้า.....	57
(ก) ภาพวัตถุต้นฉบับ.....	57
(ข) ภาพสามมิติ.....	57
(ค) ภาพสามมิติสี่ด้วยวิธีการเดิม.....	57
(ง) ภาพสามมิติสี่ด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

7.10 ภาพกระปุกออมสิน.....	58
(ก) ภาพวัตถุต้นฉบับ.....	58
(ข) ภาพสามมิติ.....	58
(ค) ภาพสามมิติสี่ด้วยวิธีการเดิม.....	58
(ง) ภาพสามมิติสี่ด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	58
7.11 ภาพขา.....	59
(ก) ภาพวัตถุต้นฉบับ.....	59
(ข) ภาพสามมิติ.....	59
(ค) ภาพสามมิติสี่ด้วยวิธีการเดิม.....	59
(ง) ภาพสามมิติสี่ด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	59
7.12 การหาขอบของภาพตัดขวาง.....	61
(ก) ภาพตัดขวางรองเท้าสไลด์ที่ 42.....	61
(ข) ภาพขอบของภาพตัดขวางรองเท้าสไลด์ที่ 42.....	61
(ค) ภาพตัดขวางกระปุกออมสินสไลด์ที่ 64.....	61
(ง) ภาพขอบของภาพตัดขวางกระปุกออมสินสไลด์ที่ 64.....	61
(จ) ภาพตัดขวางขาสไลด์ที่ 4.....	61
(ฉ) ภาพขอบของภาพตัดขวางขาสไลด์ที่ 64.....	61
7.13 ซีสโทแกรมภาพรองเท้าหมวดสีแดง.....	63
(a) ภาพถ่ายรองเท้าต้นฉบับ.....	63
(b) ภาพรองเท้าสามมิติด้วยวิธีการเดิม.....	63
(c) ภาพรองเท้าสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	63
7.14 ซีสโทแกรมภาพรองเท้าหมวดสีเขียว.....	64
(a) ภาพถ่ายรองเท้าต้นฉบับ.....	64
(b) ภาพรองเท้าสามมิติด้วยวิธีการเดิม.....	64
(c) ภาพรองเท้าสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	64
7.15 ซีสโทแกรมภาพรองเท้าหมวดสีน้ำเงิน.....	65
(a) ภาพถ่ายรองเท้าต้นฉบับ.....	65
(b) ภาพรองเท้าสามมิติด้วยวิธีการเดิม.....	65
(c) ภาพรองเท้าสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

7.16 ซีสโทแกรมภาพขาหมวดสีแดง.....	66
(a) ภาพถ่ายขาต้นฉบับ	66
(b) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการเดิม	66
(c) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ.. ..	66
7.17 ซีสโทแกรมภาพขาหมวดสีเขียว.....	67
(a) ภาพถ่ายขาต้นฉบับ	67
(b) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการเดิม	67
(c) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ.. ..	67
7.18 ซีสโทแกรมภาพขาหมวดสีน้ำเงิน	68
(a) ภาพถ่ายขาต้นฉบับ	68
(b) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการเดิม	68
(c) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ.. ..	68
7.19 ซีสโทแกรมภาพกระดูกอมสินหมวดสีแดง	69
(a) ภาพถ่ายกระดูกอมสินต้นฉบับ	69
(b) ภาพกระดูกอมสินสามมิติด้วยวิธีการเดิม	69
(c) ภาพกระดูกอมสินสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ.. ..	69
7.20 ซีสโทแกรมภาพกระดูกอมสินหมวดสีเขียว	70
(a) ภาพถ่ายกระดูกอมสินต้นฉบับ	70
(b) ภาพกระดูกอมสินสามมิติด้วยวิธีการเดิม	70
(c) ภาพกระดูกอมสินสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ.. ..	70
7.21 ซีสโทแกรมภาพกระดูกอมสินหมวดสีน้ำเงิน.....	71
(a) ภาพถ่ายกระดูกอมสินต้นฉบับ	71
(b) ภาพกระดูกอมสินสามมิติด้วยวิธีการเดิม	71
(c) ภาพกระดูกอมสินสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ.. ..	71
1. การวัดขนาดของภาพกระดูกอมสิน.....	77
2 .การหาขอบของภาพตัดขวางอมสิน.....	78
(ก)ภาพตัดขวางกระดูกอมสินสไลด์ที่ 113.....	78
(ข)ภาพขอบของภาพตัดขวางกระดูกอมสินสไลด์ที่ 113	78
3 .ภาพแสดงการหาจุดศูนย์กลางมวลวัตถุ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันภาพจำลอง 3 มิติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานได้หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น การสร้างภาพยนตร์, สื่อการสอนแบบตอบโต้ หรือแม้แต่การแสดงผลข้อมูลในอินเทอร์เน็ต เป็นต้น แต่การแทนค่าสีให้กับภาพจำลอง 3 มิติ จะต้องใช้กระบวนการที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน อีกทั้งสีของภาพจำลอง 3 มิติที่ได้ไม่มีความสมจริง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอวิธีการแทนที่สีให้กับพื้นผิวของภาพจำลอง 3 มิติ โดยใช้การเทียบกับสีของภาพต้นฉบับจริงโดยตรง เพื่อให้ได้ภาพจำลอง 3 มิติ ที่มีความสมจริง และยังสามารถช่วยลดความซับซ้อนในการประมวลผล

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระบบ และหลักการหาโครงร่างของวัตถุจากภาพถ่ายด้วยวิธีโทโมกราฟฟี
2. เพื่อศึกษาวิธีการสร้างภาพสามมิติ และการแทนที่สีพื้นผิวให้กับภาพสามมิติ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากที่ได้ศึกษาถึงการสร้างภาพจำลอง 3 มิติ จากวัตถุจริง จึงทำให้เกิดแนวความคิดในส่วนของ การการแทนที่สีพื้นผิวให้กับภาพจำลอง 3 มิติ โดยทำการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าสีจาก ข้อมูลภาพต้นฉบับ แล้วนำค่าสีที่ได้มาใส่ลงบนพื้นผิวที่ต้องการ และเมื่อนำไปใช้ร่วมกับการสร้าง ภาพจำลอง 3 มิติ จะทำให้ได้การสร้างภาพจำลอง 3 มิติ ที่มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการการแทนค่าสีพื้นผิวให้กับภาพจำลอง 3 มิติ ที่ทำการจำลองขึ้นจาก วัตถุจริง โดยการสร้างภาพจำลอง 3 มิติ ได้มาจากการถ่ายภาพรอบๆ วัตถุ การสร้างภาพตัดขวางกับ ชุดข้อมูลจากภาพด้วยวิธีโทโมกราฟฟี และการนำชุดของภาพตัดขวางมาทำภาพเชิงพื้นผิว 3 มิติ

1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของปัญหา ตลอดจนวัตถุประสงค์และแนวคิดที่ทำให้มีงานวิจัยนี้ และกล่าวถึงหัวข้อเนื้อหาต่างๆ ที่จะกล่าวในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 ในบทนี้จะกล่าวถึงความหมายของการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุ ความเป็นมาของการสร้างภาพตัดขวาง และหลักการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งถูกนำไปใช้ทั้งในทางการแพทย์และทางอุตสาหกรรม

บทที่ 3 ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการสร้างภาพตัดขวางจากข้อมูลชุดภาพถ่าย แนวคิดพื้นฐาน และวิธีการสร้างภาพตัดขวางจากข้อมูลชุดภาพถ่าย และการหาโครงร่างของวัตถุซึ่งจะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

บทที่ 4 ในบทนี้เป็นกล่าวถึงองค์ประกอบและทฤษฎีพื้นฐานเบื้องต้นในการสร้างภาพสามมิติ

บทที่ 5 ในบทนี้เป็นกล่าวถึงระบบการเก็บข้อมูลภาพ การประมวลผลภาพ และการสร้างภาพสามมิติเชิงพื้นผิว

บทที่ 6 ในบทนี้เป็นกล่าวถึงเทคนิคการให้แสงเงา การแทนที่สีพื้นผิวให้กับภาพสามมิติ ตลอดจนวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้

บทที่ 7 แสดงขั้นตอนของการทดลองและผลการทดลองของการสร้างภาพสามมิติ

บทที่ 8 เป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง ตลอดจนปัญหาและแนวคิดที่น่าจะศึกษาต่อไป

บทที่ 2

การสร้างภาพตัดขวางของวัตถุ

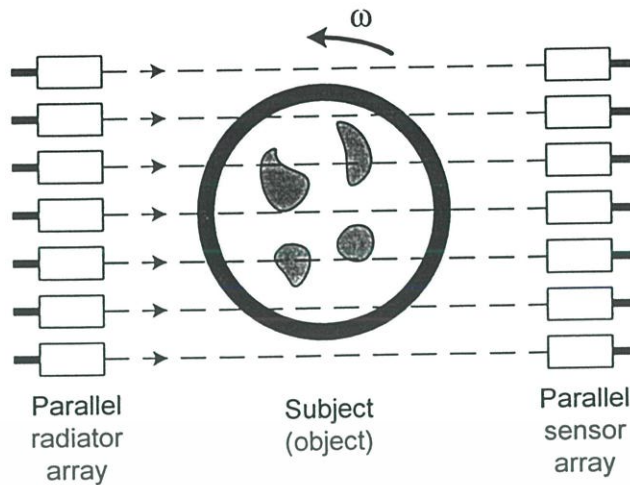
2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความหมายของการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุ ความเป็นมาของการสร้างภาพตัดขวาง และหลักการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งถูกนำไปใช้ทั้งในทางการแพทย์และทางอุตสาหกรรม เช่นเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ เครื่อง MRI และเครื่อง EIT รวมทั้งคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพตัดขวางเบื้องต้น

2.2 แนวคิดพื้นฐาน

ข้อมูลโครงสร้างภายใน และคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุ มีความสำคัญและมีประโยชน์อย่างมากในการตรวจสอบวัตถุนั้น วิธีการที่ง่ายที่สุดเพื่อที่จะได้ข้อมูลเหล่านั้น คือ การผ่าวัตถุตามแนวขวางให้ผ่านส่วนที่ต้องการตรวจสอบ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติในกรณีต่างๆ เช่น การวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ การสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ การทดสอบในทางอุตสาหกรรมแบบไม่ทำลาย เป็นต้น จะไม่สามารถใช้วิธีการนี้ได้ ดังนั้นจึงได้มีผู้เสนอเทคนิคที่เรียกว่า โทโมกราฟี (Tomography) [1] หรือการสร้างภาพตัดขวางภายในวัตถุเพื่อแก้ปัญหานี้ ซึ่งเทคนิคนี้จะทำให้เห็นถึงโครงสร้างภายในและลักษณะสมบัติบางอย่างของวัตถุโดยไม่ต้องทำลายวัตถุนั้น

หลักการของเทคนิคโทโมกราฟี คือการวัดข้อมูลของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับตัวกลางของการวัดโดยเซ็นเซอร์ที่อยู่ภายนอกวัตถุ ในมุมต่างๆ ของระนาบหนึ่ง ซึ่งทำได้โดยการหมุนชุดของเซ็นเซอร์ หรือหมุนวัตถุที่ต้องการวัด ข้อมูลนี้จะสัมพันธ์กับคุณสมบัติตามธรรมชาติที่แตกต่างกันของส่วนประกอบต่างๆ ที่ตอบสนองต่อตัวกลางหรือสื่อสัญญาณที่ส่งเข้าไป จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ในหลายๆ ทิศทางนี้มาประมวลผลด้วยคณิตศาสตร์ขั้นสูง ก็สามารถสร้างเป็นภาพตัดขวางแสดงการกระจายขององค์ประกอบต่างๆ ภายในวัตถุได้ ดังรูปที่ 2.1 การใช้สื่อสัญญาณแต่ละชนิดนั้นมีข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัด และขั้นตอนการประมวลผลที่แตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ ลักษณะของภาพที่ต้องการ และรูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน เป็นต้น



รูปที่ 2.1 หลักการของเทคนิคโทโมกราฟี

วิธีการสร้างภาพตัดขวางโดยไม่ทำลายวัตถุ แบ่งออกตามหลักการกว้างๆ ได้ 3 วิธี คือ การส่งผ่าน (Transmission) การแผ่ (Emission) และการสะท้อน (Reflection) ในการส่งผ่านจะใช้รังสีเอ็กซ์ ลำอเล็กตรอน ความร้อนหรือแสง หรือพลังงานใดๆ ก็ได้ที่มีพฤติกรรมตามกฎของการดูดซึม (Absorption law) โดยพลังงานที่ผ่านเข้าไปในวัตถุจะถูกดูดซับในส่วนต่างๆ ของวัตถุไม่เท่ากัน พลังงานส่วนที่ทะลุออกมา เรียกว่า โปรเจกชัน และภาพตัดขวางที่ได้จากวิธีนี้ คือ ภาพตัดขวางจากเครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ สำหรับวิธีการแผ่จะฉีดสารที่มีกัมมันตภาพรังสีเป็นส่วนประกอบ เมื่อสารนี้ไปยังอวัยวะที่สนใจก็จะแผ่รังสีแกมมาในทิศทางที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการเดินทางของรังสีแกมมาที่ผ่านตำแหน่งเดียวกัน จะสามารถนำไปประมวลผลหาตำแหน่งของจุดนั้นได้ ภาพตัดขวางที่ได้จากวิธีนี้ คือ ภาพตัดขวางจากเครื่องโพซิตรอนอิมิตชันโทโมกราฟี (Positron Emission Tomography หรือ P.E.T) และ เครื่องซิงเกิลโฟตอนอิมิตชันโทโมกราฟี (Single Photon Emission Computed Tomography หรือ S.P.E.C.T) ส่วนการสะท้อนจะใช้คุณสมบัติการสะท้อนของผิวหนังของวัตถุมาตรวจสอบหาลักษณะของวัตถุได้ตัวกลางที่ใช้ เช่น แสง ลำอเล็กตรอน เรดาร์ หรือ อัลตราโซนิค ภาพตัดขวางที่ได้จากวิธีนี้ คือ ภาพตัดขวางจากเครื่องอัลตราซาวด์

2.3 ตัวอย่างหลักการสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางนั้นมีอยู่หลายวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในที่นี้ขอสรุปหลักการสร้างภาพเพื่อเป็นตัวอย่างเพียง 3 ตัวอย่าง คือ การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้รังสีเอ็กซ์ การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้หลักการกำหนดแม่เหล็ก และหลักการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้ความต้านทานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้รังสีเอ็กซ์ [3]

มีการค้นพบรังสีเอ็กซ์ เมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน ค.ศ. 1895 โดยศาสตราจารย์วิลเฮล์ม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Konrad Roenigen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน รังสีที่เรินต์เกนค้นพบนี้ถูกเรียกว่า รังสีเอ็กซ์ หรือ เอ็กซ์เรย์

รังสีเอ็กซ์ เป็นพลังงานรูปหนึ่งเช่นเดียวกับแสงสว่าง แต่เป็นชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า รังสีเอ็กซ์พบได้น้อยตามธรรมชาติ แต่สามารถสร้างได้จากเครื่องมือชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เครื่องเอ็กซ์เรย์ โดยรังสีเอ็กซ์มีคุณสมบัติทางกายภาพหลายอย่างที่ทำให้มีลักษณะที่ทั้งเหมือนและแตกต่างจากรังสีอื่นๆ เรินต์เกนพบว่า รังสีเอ็กซ์สามารถฉายทะลุวัตถุทึบแสง เช่น ร่างกายมนุษย์ได้ เขาจึงลองเอารังสีเอ็กซ์มาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ โดยใช้รังสีเอ็กซ์ผ่านมือคน เนื้อ เอ็น และกระดูกในมือคน ซึ่งจะกั้นรังสีเอาไว้ ส่วนเนื้อและเอ็นกั้นรังสีได้น้อยมากก็มีรังสีออกมามาก กระดูกกั้นรังสีได้มากก็มีรังสีผ่านออกมาน้อย รังสีทั้งหมดที่ผ่านมือออกมาจะมีความเข้มต่อพื้นที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดเป็นรูปแบบ (Pattern) ของความเข้มของรังสีเป็นมือขึ้น เมื่อเอารังสีที่มีรูปแบบแล้วนี้ไปกระทบกับวัสดุที่ไวต่อแสง (Photographic material) เช่น ฟิล์มถ่ายรูปหรือกระดาษอัดรูป แล้วนำไปล้างด้วยน้ำยาล้างรูป ก็จะเกิดภาพของมือที่มีกระดูกซ่อนอยู่ในเนื้อ แพทย์จึงสามารถบอกได้ว่ากระดูกข้างในมือนั้นผิดปกติหรือไม่ โดยไม่จำเป็นต้องผ่าเอาเนื้อที่หุ้มกระดูกออกมา นั่นคือเป็นที่มาของภาพถ่ายรังสีเอ็กซ์

ปัญหาสำคัญของการวินิจฉัยโรคด้วยภาพถ่ายเอ็กซ์เรย์นี้คือ การซ้อนทับกันของเงาของอวัยวะใน 3 มิติบนฟิล์ม 2 มิติ, ไม่สามารถแยกความแตกต่างของซอฟต์แวร์ที่ซอฟท์ทิสซุ (Soft tissue) ได้ และไม่สามารถบอกความหนาแน่นที่แตกต่างกันของสารองค์ประกอบของโครงสร้างภายในร่างกายได้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1922 นายแพทย์ชาวฝรั่งเศสชื่อ โบกาจ (Bocage) ได้เสนอเทคนิคการถ่ายภาพที่เรียกว่า โทโมกราฟี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับการซ้อนทับกันของเงาของอวัยวะในแบบ 3 มิติบนฟิล์ม 2 มิติได้แต่ไม่สมบูรณ์นัก หลายสิบปีต่อมาได้มีการตั้งข้อสังเกตว่าถ้ายังรังสีเอ็กซ์ลำเล็กๆ ผ่านผู้ป่วยเลยไปยังหัววัดแล้วกวาดทั้งระบบไปในระนาบหนึ่งของผู้ป่วยที่ต้องการตรวจและทำซ้ำกันโดยบิดมุมของระบบไป ข้อมูลความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่บันทึกได้โดยหัววัดน่าจะสามารถนำไปใช้ศึกษาการจำแนกของสัมประสิทธิ์การลดลงภายในระนาบนั้นได้ นั่นหมายความว่า จะสามารถสร้างภาพของระนาบที่สนใจได้ เพราะความหนาแน่นของเนื้อเยื่อมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การลดลงและการคำนวณก็จะต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย ซึ่งต่อมาข้อสังเกตดังกล่าวก็ได้กลายเป็นจริง และถูกเรียกว่า เครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ (X-ray Computed Tomography ; X-ray CT) ซึ่งถูกสร้างขึ้นจริงในปี ค.ศ. 1972 โดยคือกเตอร์กอดเฟรย์ นิวโบลด์ เฮนส์ฟิลด์ (Dr. Godfrey Newbold Hounsfield) วิศวกรไฟฟ้าชาวอังกฤษ

ทฤษฎีการสร้างภาพของเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ จะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาการจำแนกของสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเอ็กซ์ที่ทะลุผ่านร่างกายผู้ป่วยขึ้นบางๆ ออกมาในทิศทางต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนมาก การจำแนกของสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเอ็กซ์สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ถ้าตัวกลางเป็นวัตถุชิ้นเดียว มีความหนา x เมื่อฉายรังสีเอ็กซ์ที่มีความเข้ม I_0 ผ่านเข้าไป รังสีที่ทะลุออกมาจะมีความเข้มลดลงเป็น I โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการต่อไปนี้

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

เมื่อ μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอ็กซ์ในตัวกลาง

กรณีที่ตัวกลางไม่ใช่สารเนื้อเดียว ความสัมพันธ์จะเป็นดังสมการที่ (2.2) และ (2.3)

$$I = I_0 e^{-\int \mu dx} \quad (2.2)$$

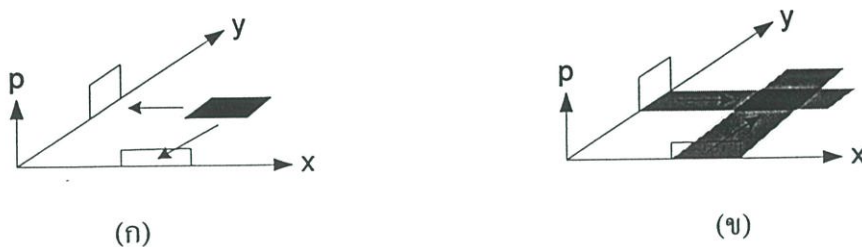
$$p(r, \phi) = -\ln \frac{I}{I_0} = \int_{r, \phi} \mu(x, y) ds \quad (2.3)$$

โดย ค่า $\mu(x, y)$ เป็นค่าคงที่ของตัวกลางหนึ่งๆ ตรงจุด (x, y) ถ้า $\mu(x, y)$ มีค่าสูงแสดงว่าตัวกลางนั้นมีความหนาแน่นสูงและดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ได้ดี ถ้ามีค่าต่ำแสดงว่าตัวกลางนั้นมีความหนาแน่นต่ำ และดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ได้น้อย ถ้าสามารถคำนวณหาค่า $\mu(x, y)$ บนทุกๆ จุดในระนาบได้ ก็จะสามารถสร้างภาพได้ด้วยการใช้ค่า $\mu(x, y)$ มาเรียงกันตามตำแหน่งบนระนาบจริงนั้น

$p(r, \phi)$ เรียกว่า เรย์ซัม หรือเรย์โปรเจกชัน (Ray-projection) หมายถึง การอินทิเกรต $\mu(x, y)$ ตามเส้นทางของรังสีเอ็กซ์ลำแคบที่มีโคออร์ดิเนต (r, ϕ) เมื่อ r คือ ระยะทางในแนวเคลื่อนตัด และ ϕ คือ มุมที่แนวรังสีเอ็กซ์ทำกับแกน y

หลักการสร้างภาพตัดขวางที่ง่ายที่สุด มีความยุ่งยากทางคณิตศาสตร์น้อย และเป็นพื้นฐานสำคัญในการสร้างภาพของเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ คือ วิธีแบ็กโปรเจกชัน (Backprojection) วิธีการนี้เป็นการนำเอาค่าโปรเจกชันทั้งหมดมารวมกันบนทุกๆ จุดตามเส้นทางของลำรังสีเอ็กซ์ ข้อมูลโปรเจกชันทั้งหมดหาได้โดย ให้ ϕ มีค่าคงที่ และให้รังสีเอ็กซ์เคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงไปในระนาบของร่างกายหรือตัวกลางใดๆ 1 ครั้ง จะได้เซตของเรย์ซัมหรือ $p(r, \phi)$ จำนวนหนึ่งสำหรับมุม ϕ นั้น เซตดังกล่าวนี้เรียกว่า โปรไฟล์ (Profile) หรือ โปรเจกชัน ทำการบิดแนวรังสีเอ็กซ์ไปจากแนวเดิมทีละ 1 องศา จนครบ 180 องศา จะได้ 180 โปรไฟล์

พิจารณารูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นตัวอย่างของการสร้างภาพตัดขวางตามวิธีการแบ็กโปรเจกชัน โดยใช้ข้อมูลเพียง 2 โปรไฟล์ (หรือ 2 โปรเจกชัน) ซึ่งตั้งฉากกับแกน x และแกน y เมื่อนำโปรไฟล์ทั้งสองมาซ้อนทับกัน หรือแบ็กโปรเจกไปยังระนาบของภาพ จะเห็นว่าตรงตำแหน่งที่สอดคล้องกับตำแหน่งของวัตถุที่มีค่าสูงมากจะรวมกันหรือเสริมกันทำให้เด่นเป็นภาพของวัตถุขึ้น



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของการสร้างภาพตัดขวางตามวิธีการแบ็กโปรเจกชัน

(ก) โปรเจกชันของวัตถุในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน x และแกน y

(ข) การแบ็กโปรเจกชันข้อมูลโปรเจกชันไปยังระนาบของภาพ

การสร้างภาพอีกวิธีหนึ่งคือ การสร้างภาพด้วยเทคนิคอิตเทอเรชัน (Iterative techniques) เทคนิคนี้ถูกนำไปใช้ในการแก้สมการเมทริกซ์ มาานแล้ว ต่อมาเฮานสฟิลด์ได้นำวิธีการนี้มาสร้างภาพตัดขวางของร่างกายผู้ป่วย หลักการของวิธีนี้เริ่มต้นด้วยการสมมุติค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเอ็กซ์ในตัวกลาง แล้วทำการคำนวณค่าโปรเจกชันทั้งหมด นำค่าโปรเจกชันที่คำนวณได้นี้มาเปรียบเทียบกับค่าข้อมูลโปรเจกชันที่วัดได้ ซึ่งค่าความแตกต่างของข้อมูล 2 ข้อมูลนี้จะถูกใช้เพื่อหาค่าแก้สำหรับค่าความหนาแน่นนั้นในการทำซ้ำครั้งต่อไป การคำนวณการสร้างภาพโดยอาศัยเทคนิคอิตเทอเรชันนี้ สิ่งที่สำคัญคือการคำนวณหาค่าแก้ดังกล่าว ซึ่งสามารถทำได้หลายแบบโดยมีชื่อเรียกต่างกัน เช่น Algebraic Reconstruction Technique (ART), Simultaneous Iterative Reconstruction Technique (SIRT) และ Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique (SART) เป็นต้น

2.3.2 การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้หลักการเรโซแนนซ์แม่เหล็ก [3]

หลักการเรโซแนนซ์แม่เหล็ก หรือ Magnetic Resonance Imaging (MRI) เป็นเทคนิคการเกิดภาพหรือการสร้างภาพภายในวัตถุโดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะของนิวเคลียสของอะตอมที่เรียกว่า กำทอนแม่เหล็กนิวเคลียส (Nuclear Magnetic Resonance ; NMR) ซึ่งถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1946 โดยนักฟิสิกส์ 2 กลุ่ม คือ เพอร์เชล (Purcell) และคณะ กับ บล็อกซ์ (Bloch) และคณะ ต่อมาในปี ค.ศ. 1973 เลาเตอร์เบอร์ (Lauterbur) เป็นบุคคลแรกที่สร้างภาพชิ้นบางๆ ของแฟนทอม (phantom) ที่ทำเป็นหลอดบรรจุน้ำขนาดเล็กโดยอาศัย NMR จนสำเร็จ หลังจากนั้น ค.ศ. 1976 แมนส์ฟิลด์ (Mansfield) และ โมดส์เลย์ (Maudsley) ใช้ NMR เพื่อสร้างภาพมนุษย์ที่มีชีวิตได้เป็นครั้งแรกและพัฒนาจนกระทั่งสามารถสร้างภาพได้ตลอดทั้งตัว

การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้หลักการเรโซแนนซ์แม่เหล็ก ใช้หลักการสร้างสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ (Gradient magnetic field) ซึ่งมีกำลังลดหลั่นตามแนวยาวของร่างกายจากศีรษะไปปลายเท้า (แนวแกน Z) โดยมีกำลังสูงสุดทางด้านศีรษะ ซึ่งโปรตอน (นิวเคลียสของไฮโดรเจน) ภายใต

สนามแม่เหล็กที่มีกำลังค่าหนึ่งก็จะมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ค่าหนึ่ง และความถี่เรโซแนนซ์จะสูงขึ้นเมื่อไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังของสนามแม่เหล็กสูงขึ้น ดังนั้นเราจึงสามารถเลือกแถบของเนื้อเยื่อที่ต้องการกระตุ้น โดยการ ใช้คลื่นวิทยุความถี่ที่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของแถบเนื้อเยื่อที่ต้องการได้ ซึ่งจะมีผลให้เกิดการ หมุนควงของนิวเคลียสของเนื้อเยื่อในแถบนั้น เช่น ความถี่ 42.6 MHz เป็นความถี่เรโซแนนซ์หรือ ความถี่ลามอร์ของนิวเคลียสของไฮโดรเจนที่อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กกำลัง 1 เทสลา และการเลือก กลุ่มเนื้อเยื่อที่ต้องการกระตุ้นนั้นอาจทำได้อีกวิธีหนึ่งคือโดยเลื่อนสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์

หลังจากการกระตุ้นด้วยคลื่นวิทยุแล้ว จะทำการปิดสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ในแนวแกน Z และคลื่นวิทยุ ซึ่งเนื้อเยื่อในแถบที่ถูกกระตุ้นจะเริ่มปล่อยสัญญาณออก พร้อมกันนั้นจะสร้าง สนามแม่เหล็กเกรเดียนต์สนามที่สองขึ้นในแนวขวาง (ระนาบ XY) ซึ่งนิวเคลียสของเนื้อเยื่อใน บริเวณที่เคยถูกกระตุ้นและหมุนควงด้วยความถี่เรโซแนนซ์ค่าเดียวกันจะปรับตัวตามสนามแม่เหล็ก เกรเดียนต์ใหม่ พร้อมทั้งปล่อยสัญญาณคลื่นวิทยุออกมาซึ่งประกอบด้วยหลายความถี่ แต่ละความถี่ หมายถึงค่าเรโซแนนซ์ของโปรตอนในสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ใหม่ และกำลังของคลื่นวิทยุในแต่ละ ความถี่ก็จะหมายถึงปริมาณของไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อแต่ละแถบภายใต้สนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ ใหม่ นั้น

เมื่อทำซ้ำใหม่ตั้งแต่การปล่อยสนามแม่เหล็กในแนวยาว ปล่อยคลื่นวิทยุ และเปลี่ยนทิศของ สนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ในแนวขวาง แล้ววัดค่าของคลื่นวิทยุความถี่ต่างๆ ก็จะได้ข้อมูลอีกแนว หนึ่ง ซึ่งถ้าทำไปเรื่อยๆ ก็จะได้ข้อมูลในแนวต่างๆ จำนวนหลายร้อยชุด เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมา ประมวลผลก็จะสามารถสร้างเป็นภาพตัดขวางแสดงการกระจายของไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อได้ ซึ่ง วิธีการประมวลผลนั้นก็คล้ายกับ X-ray CT มาก

2.3.3 การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้ความต้านทานไฟฟ้า [4]

การวัดความต้านทานหรือการนำไฟฟ้าได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบวัตถุต่างๆ ในทาง การแพทย์เช่น ใช้การวัดความต้านทานทางไฟฟ้าบริเวณทรวงอกแบบ 2 อิเล็กโทรดเพื่อวัดอัตราการ หายใจสำหรับเฝ้าระวังการหยุดหายใจของทารกในระหว่างหลับ และเครื่องมือแบบ 4 อิเล็กโทรด สำหรับวัดการย่อยอาหาร

หลักการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุโดยใช้ความต้านทานไฟฟ้า คือการคำนวณหาค่าการ กระจายของความต้านทานทางไฟฟ้าภายใน เพื่อนำข้อมูลที่คำนวณได้ไปสร้างเป็นภาพแสดงการ กระจายของความต้านทานภายในวัตถุนั้น โดยใช้สีหรือระดับความเข้มเป็นตัวแสดงความแตกต่าง

เนื่องจากวัตถุที่มีสารหรือเนื้อเยื่อต่างชนิดกัน จะมีค่าความต้านทานจำเพาะที่แตกต่างกัน ดังนั้น เมื่อทำการจ่ายกระแสที่แล้ววัดค่าศักดาไฟฟ้าในแต่ละจุดโดยรอบผิววัตถุ ค่าศักดาไฟฟ้านั้นจะ ให้ผลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่วัดและ โครงสร้างภายในของวัตถุนั้น ค่าศักดาไฟฟ้านี้คล้าย กับการดูชั้นของวัตถุแต่ละชนิดต่อรังสีเอ็กซ์ที่แตกต่างกัน นำค่าศักดาไฟฟ้านี้มาคำนวณหาค่าการ

กระจายของความต้านทานไฟฟ้าภายในวัตถุ และใช้ระดับความเข้มของสีในจอภาพคอมพิวเตอร์ ก็จะสามารถสร้างภาพตัดขวางแสดงโครงสร้างภายในวัตถุได้หรือร่างกายได้

เทคนิคการสร้างภาพของ EIT นี้มีอยู่หลายวิธี เช่น

- วิธี Perturbation วิธีการนี้ใช้หลักของการจ่ายศักดาไฟฟ้าคงที่ แล้ววัดค่ากระแส ทำการคำนวณหา perturbation matrix โดยการเปลี่ยนค่าความต้านจำเพาะของอิเล็กเมนต์ แล้วคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่จุดวัดด้วยวิธีไฟไนต์อิเล็กเมนต์ (FEM) จากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของกระแสจาก perturbation matrix ไปใช้คำนวณหาการกระจายของความต้านทานด้วยวิธีเบ็กโปรเจกชัน
- วิธี Double constraint วิธีการนี้แก้สมการของปัวซอง (Poisson) โดยใช้วิธีไฟไนต์อิเล็กเมนต์ ร่วมกับวิธีการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบเขต Neumann และ Dirichlet แล้วนำผลไปใช้ในการคำนวณปรับค่าความต้านทานจำเพาะ
- วิธี Backprojection between equipotential line มีหลักการคำนวณคล้ายกับวิธีเบ็กโปรเจกชันของ X-ray CT
- วิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson) วิธีการนี้ทำการคำนวณหาค่าศักดาไฟฟ้าที่ผิววัตถุด้วยวิธีไฟไนต์อิเล็กเมนต์ สลับกับการปรับค่าความต้านทานจำเพาะด้วยวิธีการนิวตัน-ราฟสัน

2.4 การสร้างภาพตัดขวางในกระบวนการทางอุตสาหกรรม (Industrial process tomography)

การประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างภาพตัดขวางมาใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม [1, 2, 5] เริ่มต้นและถูกเสนอขึ้นในปี 1970 โดยเริ่มต้นจากการใช้รังสีเอ็กซ์เป็นแหล่งกำเนิดของพลังงาน ซึ่งการใช้รังสีเอ็กซ์ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมนี้ยังไม่เหมาะสมกับการใช้งานจริง เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาสูงและความไม่ปลอดภัยต่อรังสีเอ็กซ์ นอกจากนี้วิธีการอื่นๆ ที่อาศัยหลักการแผ่รังสีหรือการกระจายคลื่น (Radiation) ยังไม่สามารถใช้ได้กับการตรวจสอบวัตถุที่มีลักษณะไม่คงที่ได้ ซึ่งหมายถึงไม่สามารถแสดงผลในลักษณะเวลาจริง (Real time) ได้ เนื่องจากคุณสมบัติของ exposure time

ต่อมา กลางปี 1980 มหาวิทยาลัย University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) ได้พัฒนาระบบการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้การวัดค่าความจุไฟฟ้าขึ้น ซึ่งใช้สำหรับการสร้างภาพตัดขวางการไหลของวัสดุ 2 ชนิดในท่อจากบ่อน้ำมัน เช่น ก๊าซ/น้ำมัน ซึ่งระบบนี้ได้เป็นจุดเริ่มต้นของระบบการสร้างภาพตัดขวางในทางอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ในเวลาเดียวกันกลุ่มของ Morgantown Energy Technology Center แห่งสหรัฐอเมริกาได้ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ ECT นี้สำหรับการวัดสัดส่วนการกระจายของ gas fluidized bed ระบบ ECT ของทั้งสองในขณะนั้นใช้ได้เฉพาะกับระบบที่ส่วนภายนอกไม่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าเท่านั้น

ในปัจจุบันได้มีผู้เสนอเทคนิคการสร้างภาพตัดขวางโดยใช้หลักการต่างๆ เพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรมที่มีความซับซ้อนของกระบวนการและคุณสมบัติของสิ่งที่ตรวจสอบ เช่น หลักการอินฟราเรด(Infrared), Optical, PET, MRI, อัลตราโซนิก (Ultrasonic) หรือการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Resistance, Capacitance และ Impedance) ซึ่งแต่ละหลักการเหล่านี้มีทั้งข้อได้เปรียบ ข้อเสียเปรียบ และข้อจำกัดต่างๆ กัน การเลือกหลักการต่างๆ ให้เหมาะกับการใช้งานจะขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย เช่น คุณสมบัติทางกายภาพของสิ่งที่ตรวจสอบ ความละเอียดของภาพที่ต้องการ ราคาของอุปกรณ์ ทรัพยากรบุคคลในการทำงาน หรืออันตรายที่เกิดจากคุณสมบัติของเครื่องมือ เป็นต้น

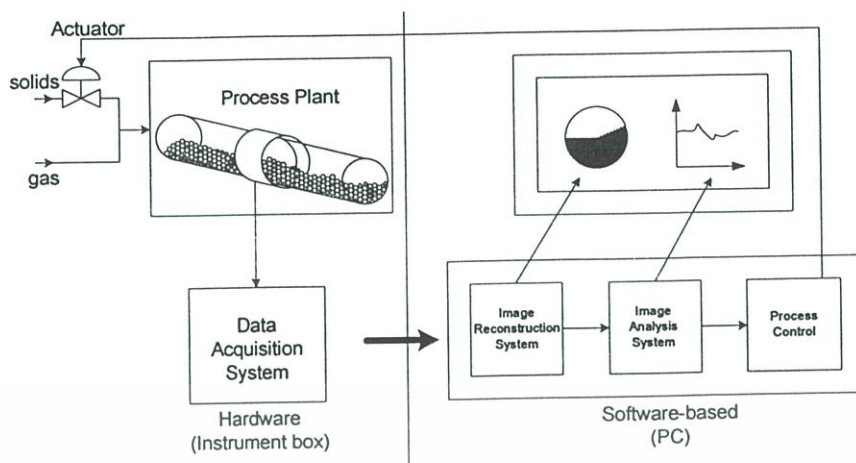
จุดประสงค์ของการสร้างภาพตัดขวางของกระบวนการ (Process Tomography) มีลักษณะคล้ายกับจุดประสงค์ของการสร้างภาพตัดขวางในทางการแพทย์ เช่น การตรวจสอบร่างกายมนุษย์ แต่การสร้างภาพตัดขวางของกระบวนการถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการทางอุตสาหกรรม (Industrial Process) เช่น การตรวจสอบวัตถุดิบในแท็งก์ (tank) หรือท่อ (pipe) โดยมีหลักการคือการใช้ชุดของเซ็นเซอร์ติดตั้งรอบๆ ภาชนะที่ภายในมีวัตถุที่ต้องการตรวจสอบอยู่ จะทำให้สามารถสร้างภาพการกระจายตัว ความเข้มข้นหรือการเคลื่อนตัวของวัตถุที่อยู่ภายในได้ ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกสร้างเป็นภาพ 2 มิติ หรือ 3 มิติ เพื่อใช้ในการสังเกต (monitoring) กระบวนการ, ตรวจสอบผลการผลิต, ตรวจสอบคุณภาพและประสิทธิภาพ หรือการส่งข้อมูลที่ถูกระมวลผลแล้วกลับไปควบคุมระบบ และยังสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการ และการออกแบบกระบวนการการทำงานให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

อย่างไรก็ตามเครื่องมือสร้างภาพตัดขวางในทางอุตสาหกรรมนี้จะต้องมีคุณลักษณะคือ ราคาถูก, การวัดมีความเร็วสูง, ระบบเซ็นเซอร์จะต้องไม่ทำให้เกิดรอยแตกหรือทำลายภาชนะหรือวัตถุที่กำลังตรวจสอบ (non-invasive) ซึ่งสามารถทำให้ใช้ได้กับกระบวนการที่มีการกัดกร่อนสูง และต้องไม่รบกวนหรือส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ (non-intrusive) เช่น การไหลของน้ำมันในท่อ เป็นต้น

กระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ถูกระมวลผลใช้เช่น การขนส่งภายในท่อ (น้ำมัน ก๊าซ ของแข็ง หรือของไหล) stirred reactor หรือ กระบวนการแยกและการผสม (mixer and separator) เป็นต้น ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือการสร้างภาพตัดขวางทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไป แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องมือวัด (hardware) และส่วนของการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดแล้วแสดงผล (software) ส่วนของเครื่องมือวัดนั้นจะประกอบด้วย เซ็นเซอร์และสัญญาณควบคุม ส่วนของการประมวลผลข้อมูลจะประกอบด้วย การสร้างกลับของสัญญาณ, การแสดงผล และส่วนกำเนิดสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบโดยทั่วไปของเครื่องมือการสร้างภาพตัดขวางทางอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่าย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการสร้างภาพตัดขวางจากข้อมูลชุดภาพถ่าย แนวคิดพื้นฐาน และวิธีการสร้างภาพตัดขวางจากข้อมูลชุดภาพถ่าย คณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพตัดขวาง การหาโครงร่างด้วยวิธีการต่างๆ และการหาโครงร่างของวัตถุซึ่งจะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

3.2 แนวคิดพื้นฐาน

โทโมกราฟีเป็นวิธีสร้างภาพตัดขวางของวัตถุโดยใช้ภาพที่มองจากหลายๆ มุมมอง และวิธีนี้ถูกประยุกต์ใช้ร่วมกับภาพที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (X-ray Computed Tomography: CT) โดยเครื่อง CT จะให้ภาพที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ ซึ่งแตกต่างกันในวัตถุแต่ละชนิด ทำให้แพทย์สามารถเห็นอวัยวะภายในได้ แต่ในงานวิจัยนี้แตกต่างจากวิธีที่ใช้ในการแพทย์ตรงที่ วัตถุที่จะใช้สร้างภาพตัดขวางนั้นถูกถ่ายแบบไม่ทะลุผ่านวัตถุ ข้อมูลที่ได้ของกระบวนการนี้ถูกเรียกว่าภาพโปรเจกชัน ซึ่งโดยปกติแล้วได้มาจากการแผ่คลื่นในย่านความถี่จำกัดทะลุผ่านวัตถุที่มุมต่างๆ กัน แล้วรับด้วยแผงของตัวรับคลื่นในด้านตรงข้าม ภาพโปรเจกชันจากคลื่นความถี่ได้ถูกแทนที่ด้วยภาพถ่ายของวัตถุภายใต้แสงปกติที่มุมต่างๆ เมื่อผ่านกระบวนการโทโมกราฟีแล้ว ข้อมูลที่ได้จะเป็นชุดของภาพตัดขวางเสมือน ซึ่งจะมีเพียงโครงร่างของวัตถุเท่านั้น

3.3 วิธีการสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่าย

3.3.1 การอินทิเกรตเชิงเส้น

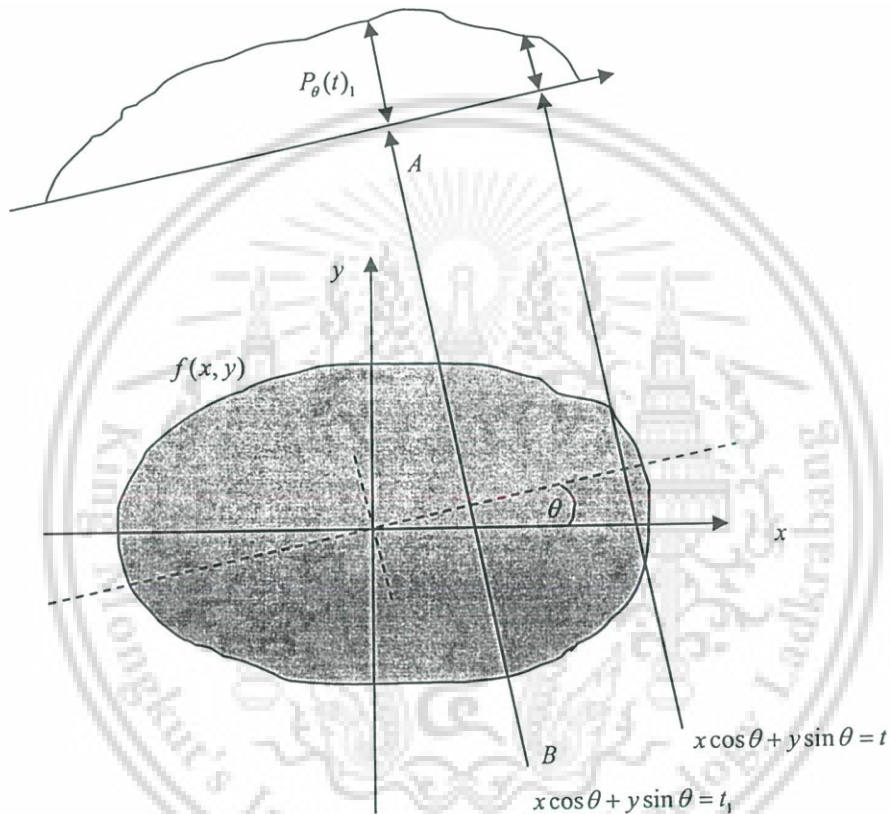
การอินทิเกรตเชิงเส้น หมายถึง การอินทิเกรตของพารามิเตอร์บางตัวของวัตถุไปตามเส้นทางใดๆ เส้นหนึ่ง โดยในที่นี้ยังไม่คำนึงถึงปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่นำมาซึ่งการอินทิเกรตมากนัก ตัวอย่างที่พบโดยทั่วไปเช่น การลดทอนรังสีเอกซ์ เมื่อรังสีเดินทางผ่านเนื้อเยื่อทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิต ในกรณีนี้วัตถุจะถูกแทนด้วย ฟังก์ชัน $f(x, y)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันการแจกแจงของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของเฟนทอมในสองมิติ และการอินทิเกรตเชิงเส้นแสดงการลดทอนสุทธิของคลื่นที่เดินทางผ่านวัตถุเป็นเส้นตรงใดๆ โดยมีระบบโคออร์ดิเนต ดังรูปที่ 3.1 เพื่ออธิบายการอินทิเกรตเชิงเส้นและการ โปรเจกชัน ในตัวอย่างนี้วัตถุถูกแทนด้วยฟังก์ชัน $f(x, y)$ และแต่ละเส้นของการอินทิเกรตแทนโดยพารามิเตอร์ (θ, t) ดังนั้นสมการของเส้นตรง AB คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x \cos \theta + y \sin \theta = t \quad (3.1)$$

และจากความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.1 นิยามการอินทิเกรตเชิงเส้น $P_\theta(t)$ เป็น

$$P_\theta(t) = \int_{(\theta,t)\text{line}} f(x,y) ds \quad (3.2)$$



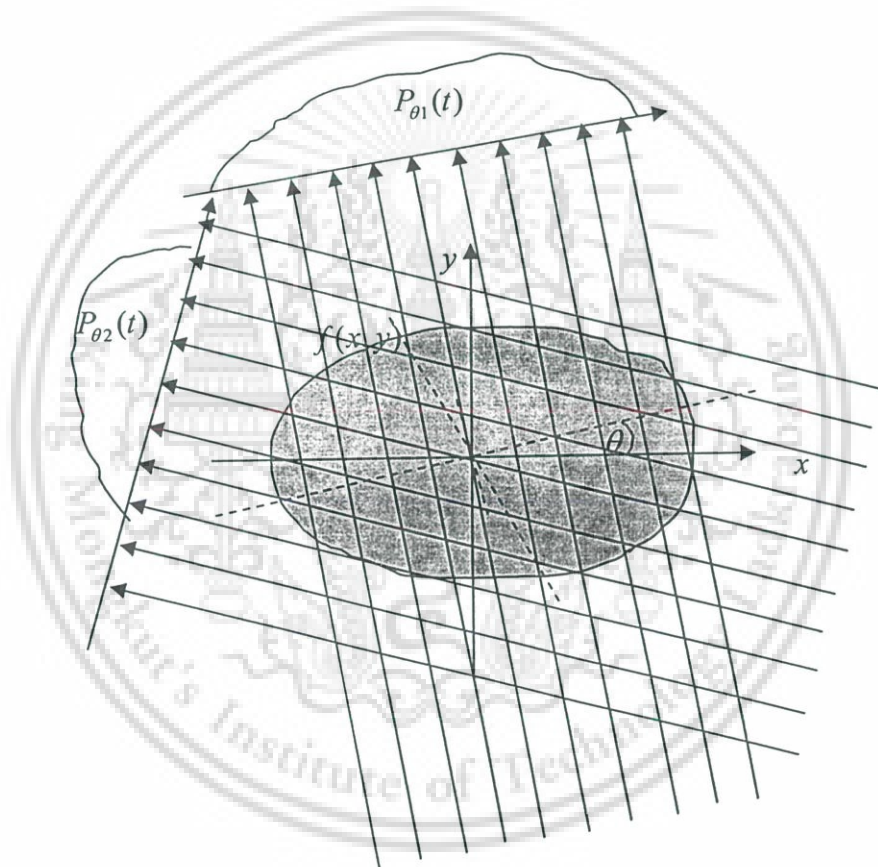
รูปที่ 3.1 แสดงวัตถุ $f(x,y)$ และโปรเจกชัน $P_\theta(t_1)$ ที่มุม θ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนใหม่โดยใช้นิยามของฟังก์ชันเดลตา (delta function) ได้เป็น

$$P_\theta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - t) dx dy \quad (3.3)$$

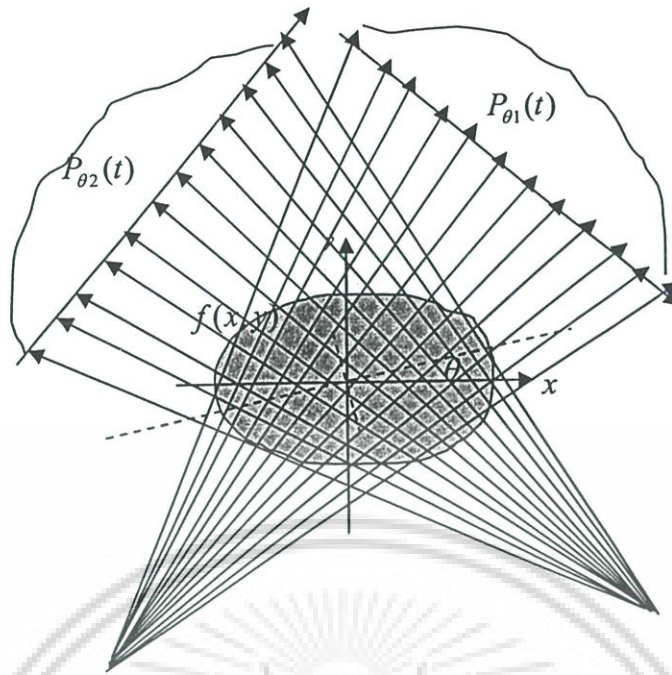
ฟังก์ชัน $P_\theta(t)$ รู้จักกันในชื่อของ การแปลงเรดอน (Radon Transform) ของฟังก์ชัน $f(x,y)$ ที่เรียกว่า “โปรเจกชัน” ซึ่งได้มาจากการรวมเซตของค่าการอินทิเกรตเชิงเส้นที่ค่า t ต่างๆ เข้าด้วยกัน โปรเจกชันที่ง่ายที่สุด คือ กลุ่มของรังสีขนานที่อินทิเกรตไปตามเส้นที่ให้ $P_\theta(t)$ สำหรับค่าคงที่ θ หนึ่งๆ ซึ่งเรียกว่า “การโปรเจกชันแบบขนาน” ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โปรเจกชันแบบขนาน

โปรเจกชันในลักษณะอื่นๆ ก็สามารทำได้ เช่น ถ้ามีการวางแหล่งกำเนิดเดี่ยว (single source) ใว้คงที่สัมพันธ์กับแนวเส้นของตัวตรวจจับซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.3 เราเรียกโปรเจกชันแบบนี้ว่า “การโปรเจกชันแบบพัด (fan beam projection)” เพราะว่าการอินทิเกรตเชิงเส้นถูกวัดไปตามแกนพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โปรเจกชันแบบพัด

3.3.2 การแปลงเรดอน (Radon Transform)

ในส่วนนี้เราจะกล่าวถึงการแปลงเรดอน ซึ่งเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์สำหรับการสร้างภาพโทโมกราฟฟีจากข้อมูลที่ได้จากการโปรเจกชัน [6]

การแปลงเรดอนของฟังก์ชัน $f(x, y)$ เขียนแทนด้วย $g(s, \theta)$ ซึ่งนิยามคือการอินทิเกรตเชิงเส้นตลอดเส้นที่มุม θ และระยะ s จากจุดกำเนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.3 สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ คือ

$$g(s, \theta) = Rf = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - s) dx dy, \quad (3.4)$$

$$-\infty < s < \infty, 0 \leq \theta < \pi$$

สัญลักษณ์ R คือ ตัวกระทำการแปลงเรดอน (Radon transform operator) การแปลงเรดอนของฟังก์ชัน $f(x, y)$ หรือ $g(s, \theta)$ สามารถเขียนสมการใหม่ให้อยู่ในระบบพิกัดการหมุน (s, u) (Rotating coordinate system) ซึ่ง

$$s = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3.5)$$

$$u = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

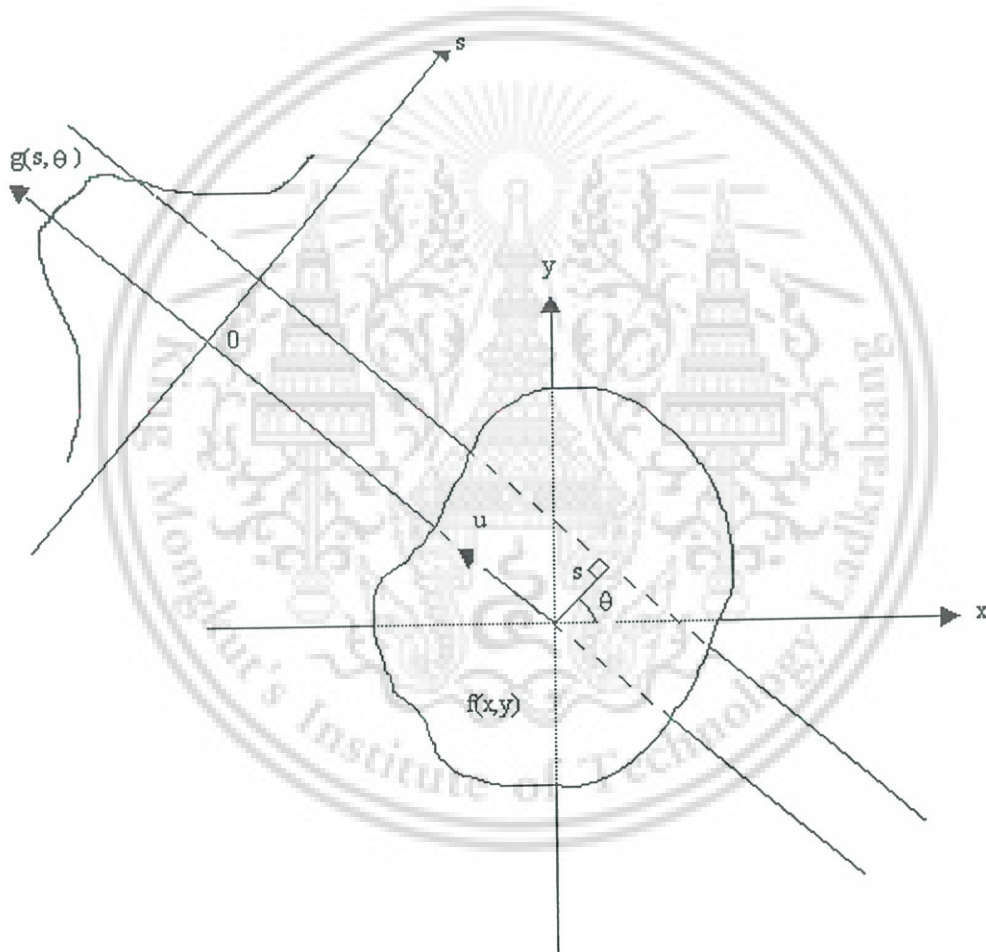
หรือ

$$\begin{aligned}x &= s \cos \theta - u \sin \theta \\y &= s \sin \theta + u \cos \theta\end{aligned}$$

จากสมการที่ (3.13) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$g(s, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(s \cos \theta - u \sin \theta, s \sin \theta + u \cos \theta) du \quad (3.6)$$

$$-\infty < s < \infty, 0 \leq \theta < \pi$$



รูปที่ 3.4 เรขาคณิตของการแปลงเรดอน

3.3.3 การตัดแปลงการแปลงเรดอน

ชุดของภาพที่ถ่ายรอบวัตถุถือว่ามาจากการแปลงเรดอน [7] ได้ แตกต่างตรงที่ไม่ได้ถ่ายทุกๆ มุมติดต่อกัน และทำกับวัตถุที่ทึบแสง แต่ละภาพเก็บที่มุม θ แต่ละแถวในภาพคือภาพฉายของวัตถุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผ่านแนวแกน แลวของภาพฉายถูกวางเป็นชั้นๆเนื่องจากการแปลงเรดอนสามมิติ แต่ละพิกเซลในแถวห่างจากจุดศูนย์กลางของเลนส์กล้องเป็นระยะ s

การทำอินทีเกรตตามแนวเส้นก็แตกต่างออกไป จากการแปลงเรดอนแบบเดิม เมื่อทำกับวัตถุที่รังสีจากแหล่งกำเนิดสามารถทะลุผ่านวัตถุไปยังตัวรับได้ ภาพที่เห็นประกอบด้วยสีและความแตกต่างของความทึบภายในวัตถุ แต่การถ่ายภาพวัตถุซึ่งทึบแสงนั้น ตัวรับหรือกล้องจะเห็นข้อมูลเฉพาะพื้นผิวของวัตถุจากแสงที่สะท้อนออกมาเท่านั้น

วิธีสร้างภาพตัดขวางจะประยุกต์ใช้ได้กับวัตถุที่มีแสงส่องรอบด้าน พื้นผิววัตถุแบบแลมเบอร์เทียน[8] จะสะท้อนแสงในลักษณะครึ่งทรงกลม โดยความสว่างของแสงสะท้อนจากวัตถุจะเป็นสัดส่วนกับค่าโคไซน์ของมุมที่สังเกตกับเส้นตั้งฉากพื้นผิว แต่เนื่องจากสภาวะของแสง ทำให้การมองวัตถุจากมุมมองต่างกันไปที่จุดหนึ่งๆ ได้ความสว่างเท่ากัน

การใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบกระจายจะทำให้เกิดความไม่สมจริงกับภาพสามมิติที่สร้างขึ้นได้ เนื่องจากเราหมุนวัตถุรอบแกนตั้งในขณะที่ถ่ายภาพ พื้นผิวบางส่วนที่อยู่ในตำแหน่งหันขึ้นหรือลงจะมองเห็นไม่ชัด ทำให้ภาพสามมิติที่สร้างขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายจะเห็นพื้นผิวส่วนนั้นมีคกว่าตำแหน่งอื่นๆ

สำหรับพื้นผิววัตถุที่เป็นมันเงาก็จะสร้างปัญหาเกี่ยวกับภาพได้เช่นกัน เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิด ตกกระทบแล้วสะท้อนออกมาจากวัตถุ หากมุมที่ถ่ายภาพตรงกับมุมสะท้อนพอดี จะทำให้เกิดจุดสว่างขึ้นในภาพต้นแบบ ภาพตัดขวางที่สร้างขึ้นก็จะติดส่วนที่สว่างนี้เข้าไปด้วย เมื่อนำไปทำภาพสามมิติ จะเกิดความไม่สมจริงขึ้น เนื่องจากไม่ว่าผู้สังเกตจะมองจากตำแหน่งไหนของภาพจำลองวัตถุ จุดสว่างนั้นก็ยังคงอยู่ที่เดิมไม่เปลี่ยนแปลง

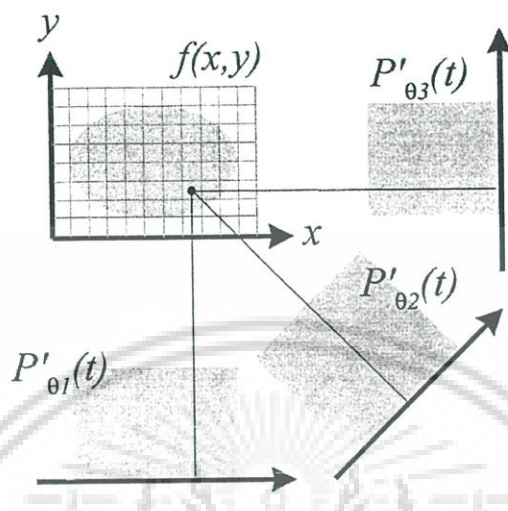
3.3.4 แแบ็กโพรเจกชัน (Back Projection)

การสร้างภาพตัดขวางนั้นเป็นขบวนการย้อนกลับของการแปลงเรดอน พิจารณารูปที่ 3.5 เราจะสามารถหาฟังก์ชัน $f(x, y)$ ได้ โดยที่นำค่าฟังก์ชัน $P'_\theta(t)$ ในแต่ละมุม ฉายกลับไปบนตาราง x, y จึงเรียกรูปนี้ว่าการทำแบ็กโพรเจกชัน ที่พิกเซล $x = 8, y = 3$ จะหาค่าได้ เริ่มจากหาค่า t ของภาพฉายในแต่ละมุม θ ที่สัมพันธ์กับจุด x, y จากสมการ

$$x \cos \theta + y \sin \theta = t \quad (3.7)$$

ค่า t ที่ได้จะใช้เพื่อหาค่าโพรเจกชัน $P(\theta, t)$ เพื่อใส่ลงในพิกเซล กระบวนการนี้จะทำงานครบทุกมุม ค่าที่ใส่ลงในพิกเซลจะถูกบวกกันเป็นค่าของพิกเซลนั้นๆ สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3.8

$$f(x,y) = \int_0^{\pi} P_{\theta}'(x \cos \theta + y \sin \theta) d\theta \quad (3.8)$$



รูปที่ 3.5 การทำแบ็กโปรเจกชัน

3.4 การหาโครงร่างของวัตถุ

การหาโครงร่างของวัตถุเป็นขั้นตอนแรกของการประยุกต์ใช้งานทางด้านภาพสามมิติ และเพื่อที่จะสนองต่อการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ก็จำเป็นต้องเลือกใช้วิธีการหาโครงร่างที่เหมาะสม ซึ่งในปัจจุบันก็มีหลายวิธีการที่ได้ถูกเสนอขึ้นมา แต่ละวิธีก็มีความเหมาะสมและขอบเขตที่จำกัดของการนำไปใช้งาน ได้แก่ สเตอริโอโคปี (stereoscopy), เลเซอร์เร인지เฟอร์ (laser rang finder), สตรักเจอร์ไลท์โปรเจกชัน (structured-light projection) และ เชปฟอร์มเชดดิ้ง (shape from shading) เป็นต้น

3.4.1 เทคนิคการหาโครงร่างของวัตถุ

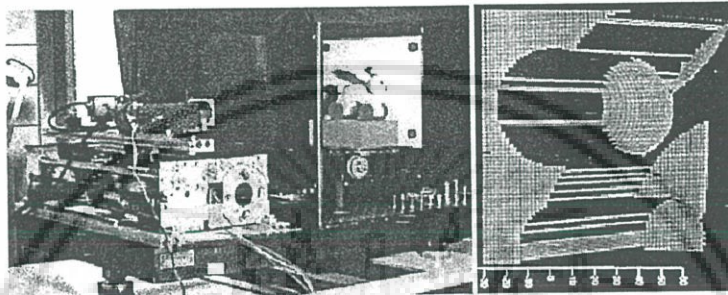
สเตอริโอโคปี (stereoscopy) [9] เป็นวิธีการแรกที่ใช้สร้างภาพสามมิติขึ้นมา ซึ่งแนวคิดของวิธีนี้ก็คือจะทำการจำลองจากระบบในการมองเห็นของมนุษย์ โดยการใช้มุมที่แตกต่างกันสองมุม เพื่อที่จะได้ความลึกของภาพ แต่วิธีการนี้มักจะพบปัญหาในการกำหนดตำแหน่งของแต่ละกล้อง และการตัดสินใจสำหรับจุดของเครื่องหมายบ่งชี้ตำแหน่งต้องเลือกตัดสินใจเอง

เลเซอร์เร인지เฟอร์ (laser rang finder) [10] เป็นการวัดระยะโดยตรงจากผู้ดูไปยังฉากโดยใช้การคำนวณของค่าแสงเลเซอร์ (time-of-flight) ซึ่งจะสามารถคำนวณความลึกของภาพที่มีความถูกต้อง แต่โดยปกติเครื่องมือจะเสียหยาบง่ายและมีราคาแพง

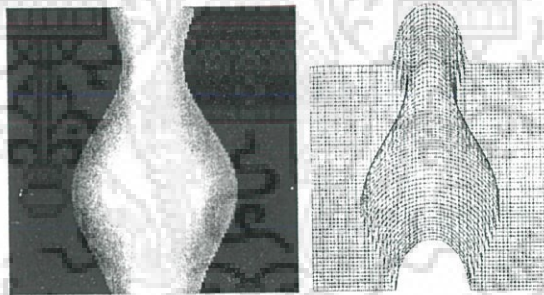
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สตรักเจอร์ไลท์โปรเจกชัน(structured-light projection) [11] เป็นวิธีการหาโครงร่างของวัตถุ โดยการฉายแสงที่เป็นรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น หน้าราบ หรือ ตะแกรง ลงไปบนพื้นผิวของวัตถุ และทำการจับภาพ จากนั้นคำนวณรูปร่างจากแสงที่บิดเบือนไป แต่วิธีการนี้มีข้อเสียที่เหมือนกับวิธีสเตอริโอโคปี(stereoscopy) คือการหาจุดสอดคล้องบนพื้นผิวของวัตถุ

เซปฟอร์มเชดดิ้ง(shape from shading) [12] ในการหาโครงร่างของวัตถุด้วยวิธีนี้ เราจำเป็นต้องรู้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิววัตถุ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วจะยากมาก และวัตถุที่ใช้ก็จะต้องมีเพียงสีเดียวเท่านั้น



รูปที่ 3.6 แสดงวิธีเลเซอร์แรงไฟน์เคอร์และผลสามมิติ

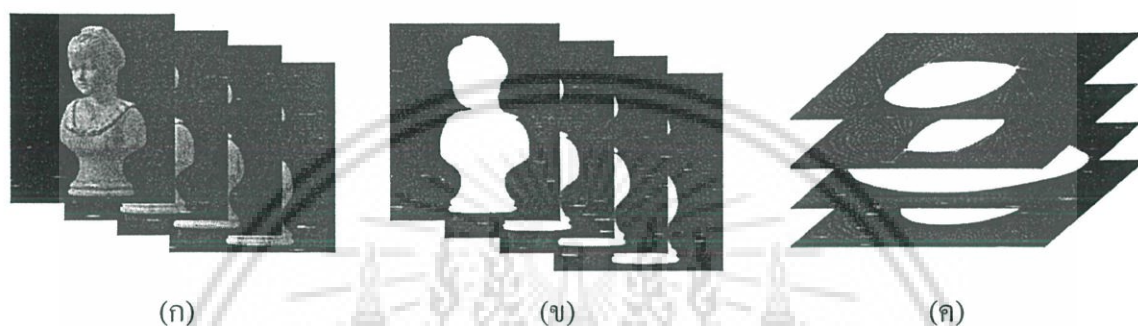


รูปที่ 3.7 แสดงผลของวิธีเซปฟอร์มเชดดิ้ง(shape from shading)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 กระบวนการหาโครงร่างของวัตถุจากภาพถ่าย

ในกระบวนการโทโมกราฟี โดยการแทนที่ข้อมูลโปรเจกชัน (projection data) ของวัตถุ โดยตรงด้วยภาพเค้าโครง(silhouetted photographs) จากมุมมองที่เพียงพอ และเมื่อนำมาทำภาพตัดขวาง (pseudo cross section) ซึ่งหมายความว่าไม่มีเพียงเค้าโครงร่างที่ถูกต้อง ไม่สนใจพื้นที่ภายใน ดังนั้นก็สามารถที่จะสรุปได้ว่าการสร้างภาพตัดขวางจากภาพถ่าย (photographic tomography) เป็นหนึ่งในระบบการหาโครงร่าง(shape extraction system)[13] ที่มีความสามารถในการสร้างข้อมูลทางปริมาตรของวัตถุจากลำดับของภาพที่ถ่ายรอบๆ วัตถุได้



รูปที่ 3.8 แสดงลำดับของวิธีการหาโครงร่างของวัตถุ

(ก) ลำดับของชุดข้อมูลภาพถ่าย

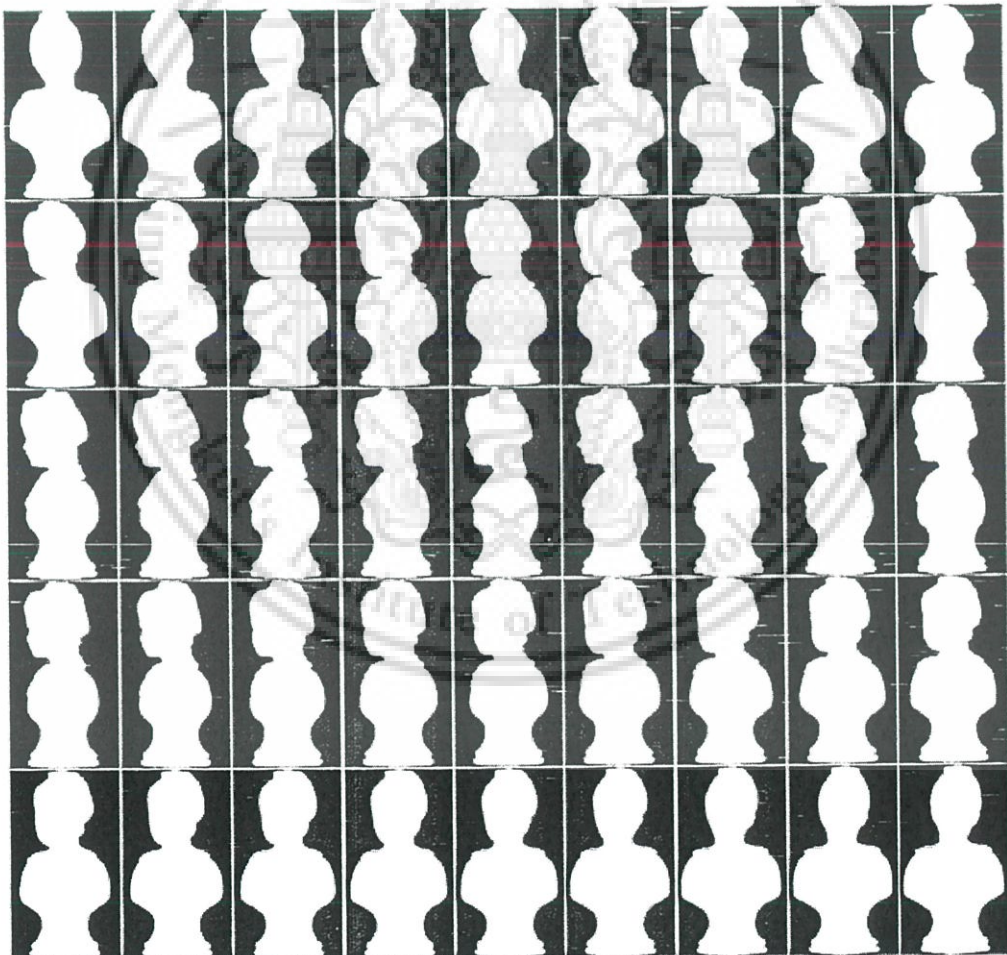
(ข) ลำดับชุดข้อมูลของภาพถ่ายที่ทำการเทรสโวลดิง

(ค) ภาพตัดขวางเสมือน

กระบวนการทั้งหมดของการหาโครงร่าง(shape extraction)[13] มาจากชุดของภาพถ่าย ซึ่งเริ่มต้นจากการถ่ายภาพรอบๆ วัตถุที่สังเกต มาจำนวนหนึ่ง จากนั้นทำการจำแนกส่วนของภาพที่เป็นวัตถุกับฉากหลังออกจากกันด้วยการทำเทรสโวลด(threshold) และนำข้อมูลภาพมาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบไบนารี(binary) ที่ฉากหลังมีค่าเป็นศูนย์และวัตถุมีค่าเป็นหนึ่ง เมื่อนำข้อมูลภาพไบนารี(binary image) ไปผ่านกระบวนการสร้างภาพตัดขวางซึ่งได้อธิบายก่อนหน้านี้ ก็จะได้ชุดข้อมูลที่เป็นภาพตัดขวางเสมือน และชุดของภาพตัดขวางเสมือนนี้จะสามารถนำไปใช้ได้หลายลักษณะอย่างเช่น การสร้างภาพสามมิติ การหาปริมาตร การหาพื้นที่ผิว เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำไปใช้สร้างภาพสามมิติเสมือนจริงร่วมกับการแทนสีพื้นผิวของภาพสามมิติ

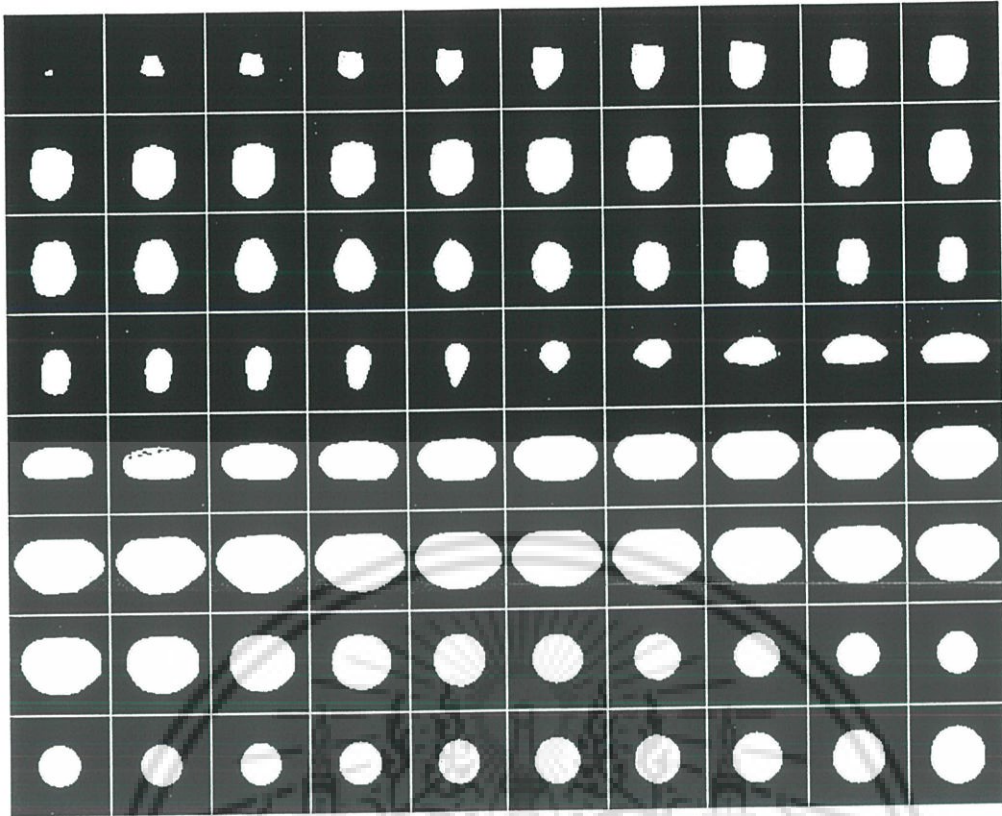


รูปที่ 3.9 ตัวอย่างภาพตัดขวางเสมือนเทียบกับวัตถุต้นแบบ



รูปที่ 3.10 แสดงภาพเค้าโครงของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงภาพภาพตัดขวางเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

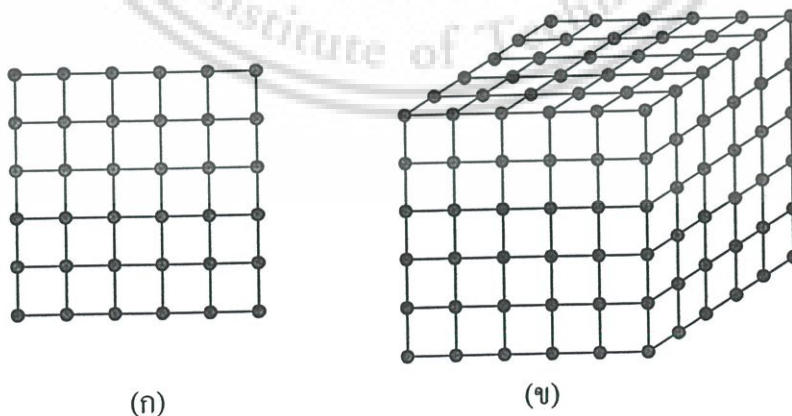
ทฤษฎีพื้นฐานเบื้องต้นในการสร้างภาพสามมิติ

4.1 บทนำ

การสร้างภาพสามมิติทั้งการสร้างภาพเชิงพื้นผิว (Surface Rendering) และการสร้างภาพเชิงปริมาตร (Volume Rendering) ล้วนต้องใช้ความรู้ขั้นพื้นฐานทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิกมาประยุกต์ใช้ทั้งสิ้น ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาทฤษฎีทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิกขั้นพื้นฐาน เช่น การอ้างอิงระบบพิกัด, การหมุน หรือการแปลงเขาคณิตให้แม่นยำ เพื่อที่จะสามารถนำไปช่วยในการทำงานได้อย่างถูกต้อง เนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวกับการสร้างภาพเพื่อมุ่งเน้นสำหรับเป็นความรู้เบื้องต้นก่อน ส่วนรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนของการสร้างภาพจะกล่าวถึงในบทต่อไป

4.2 แนวคิดพื้นฐาน

โดยทั่วไปภาพดิจิทัลจะประกอบไปด้วยอะเรย์สองมิติที่เป็นข้อมูลแสดงสีหรือความเข้มของแสง[14-16] ซึ่งองค์ประกอบของข้อมูลเหล่านี้จะถูกเรียกว่า "พิกเซล" (Pixel) หรือก็คือองค์ประกอบของภาพ ในทำนองเดียวกันกรณีการสร้างภาพสามมิติก็จะใช้อะเรย์สามมิติเป็นองค์ประกอบของภาพ ซึ่งองค์ประกอบของข้อมูลนี้เรียกว่า "ว็อกเซล" (voxel) นิยามของว็อกเซลคือจุดในปริภูมิสามมิติซึ่งไม่มีขนาด เปรียบได้กับรูปเรขาคณิตที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานในการสร้างภาพทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิก



รูปที่ 4.1 ลักษณะความแตกต่างระหว่างพิกเซลกับว็อกเซล

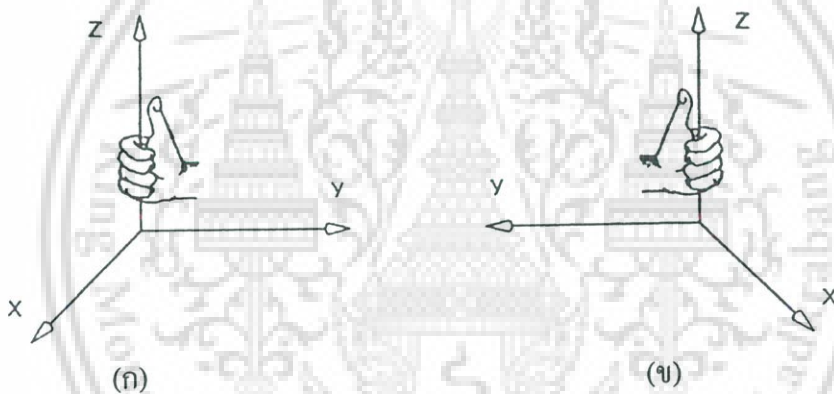
(ก) พิกเซล (ข) ว็อกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ระบบพิกัด (Coordinate System)

เนื่องจากการระบุตำแหน่งของสิ่งใดๆ ล้วนต้องมีจุดอ้างอิงเสมอ ในทางคอมพิวเตอร์ กราฟฟิกก็เช่นกัน ระบบพิกัดเป็นสิ่งที่ถูกใช้ในการอ้างอิงถึงตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในปริภูมิ (Space) ในระบบสองมิตินั้นระบบพิกัดจะประกอบด้วยแกนอ้างอิง 2 แกนคือ แกน X และแกน Y ส่วนในระบบสามมิตินั้นจะมีแกน Z เพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งแกน นั่นคือระบบพิกัดของระบบสามมิติจะมีแกนอ้างอิง 3 แกน คือ แกน X, แกน Y, แกน Z ระบบพิกัดสามมิติมี 2 ระบบตามที่ทิศทางของแกน Z ซึ่งได้แก่ ระบบพิกัดมือขวาและระบบพิกัดมือซ้าย

ระบบพิกัดมือขวามักนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทางคณิตศาสตร์, ภูมิศาสตร์, วิศวกรรมศาสตร์ และการอ้างอิงตำแหน่งของวัตถุทั่วไป ส่วนระบบพิกัดมือซ้ายมักนิยมใช้กับงานทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิกโดยจะกำหนดให้แกน Z เป็นแกนที่แสดงระยะความลึกที่เข้าไปในจอภาพและมีค่าเป็นบวก และระนาบของจอภาพเป็นระนาบ XY



รูปที่ 4.2 ระบบพิกัดสามมิติ (ก) ระบบพิกัดมือขวา (ข) ระบบพิกัดมือซ้าย

4.4 การแปลงเรขาคณิต

ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟฟิคนั้น บางครั้งจำเป็นต้องมีการเคลื่อนย้ายภาพไปยังตำแหน่งใหม่, ขยายภาพ หรือมีการหมุนภาพให้อยู่ในมุมมองที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้การแปลงเรขาคณิต (Geometric Transformation)

ในการพิจารณาการแปลงนั้นจะพิจารณาได้ว่าเป็นการแปลงจุดในปริภูมิสามมิติ และเพื่อความเข้าใจที่ง่ายจึงมักจะเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์ โดยกำหนดให้จุดที่ต้องการแปลงเป็นจุด P มีพิกัดเป็น (x, y, z) ใดๆ เมื่อต้องการย้ายตำแหน่งของจุด P นี้ไปยังพิกัดใหม่คือ P' ซึ่งมีพิกัด (x', y', z') ก็ทำได้โดยการนำพิกัดของจุด P ไปบวกกับเมตริกซ์การแปลงซึ่งก็คือ T สามารถแสดงเมตริกซ์ของการแปลงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

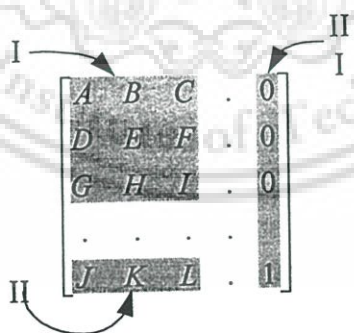
$$P' = P + T = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x & T_y & T_z \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

นอกจากนี้เมื่อนำพิกัดของจุด P มาคูณกับเมตริกซ์การแปลง T ให้ได้พิกัดใหม่คือ P' นั้น จะเป็นการสเกล, การหมุน, การสะท้อน หรืออื่นๆ ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ภายในเมตริกซ์การแปลงนั้น สามารถเขียนเป็นเมตริกซ์การแปลงได้ดังนี้

$$P' = PT = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

สำหรับการแปลงเรขาคณิตในทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิกนั้นโดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วย การแปลงหลายๆ ชนิดประกอบกัน และเนื่องจากการคำนวณในรูปของเมตริกซ์จึงทำให้ยากในการคำนวณเมตริกซ์ที่มีรูปแบบแตกต่างกัน จึงได้มีการนำระบบพิกัดโฮโมจีเนียส (Homogeneous Coordinate System) เข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหา

ในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส จุดในระบบสามมิติ (x, y, z) จะถูกแทนด้วยระบบสี่มิตินั้นคือ (x, y, z, h) โดยจะมี h เป็นค่าแฟกเตอร์ที่มีหน้าที่สเกลซึ่งจะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ จุด (x, y, z, H) จะถูกนอร์มอลไลซ์ (Normalize) เป็น $(x/H, y/H, z/H, 1)$ โดยทั่วไปแล้วค่า H จะมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจุด (x, y, z) ใดๆ จะมีค่าในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสเป็น $(x, y, z, 1)$ เพื่อความเข้าใจในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส รูปที่ 4.3 จะบอกถึงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบนี้



รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

จากรูปที่ 4.3 เมตริกซ์ย่อย I เป็นส่วนที่กำหนดว่าเป็นการแปลงแบบใด เช่น การหมุน, การสเกล หรือการสะท้อน เป็นต้น ส่วนเมตริกซ์ย่อย II เป็นส่วนของการย้ายตำแหน่งแบบเชิงเส้น และในส่วนสุดท้ายเมตริกซ์ย่อย III ใช้ในการรวมระหว่างการเคลื่อนย้ายพิกัดและการแปลงที่อยู่ในรูปการคูณ โดยมีรายละเอียดของการแปลงแบบต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 การเคลื่อนย้ายตำแหน่ง

เมตริกซ์การแปลงที่ใช้สำหรับการแปลงที่ต้องการเคลื่อนย้ายตำแหน่งมีลักษณะดังสมการที่

4.3 ดังนี้

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_X & T_Y & T_Z & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

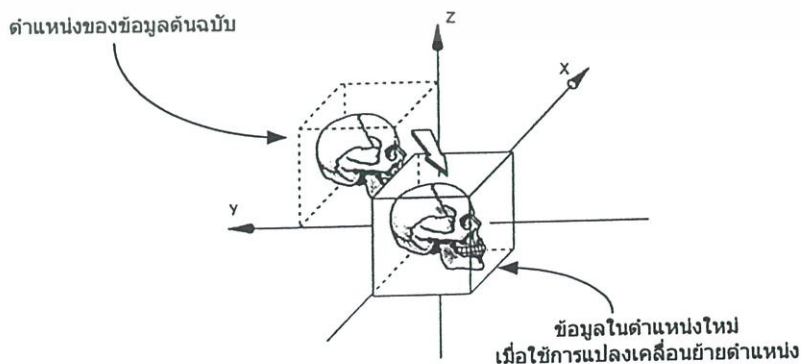
จะได้พิกัดของจุดในระบบโฮโมจีเนียส (x', y', z', h) ดังสมการที่ 4.4 ข้างล่างนี้

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_X & T_Y & T_Z & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

ได้ผลลัพธ์เป็นดังสมการที่ 4.5

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + T_X & y + T_Y & z + T_Z & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

โดยที่ค่า T_X , T_Y และ T_Z แสดงถึงระยะทางที่ต้องการเคลื่อนย้ายตำแหน่งไปในแนวแกน X, แกน Y และแกน Z ตามลำดับ เนื่องจากข้อมูลภาพต้นฉบับที่นำมาใช้จะมีตำแหน่งอยู่ในด้านบวกเท่านั้น ดังนั้นในการสร้างภาพทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิกจะต้องมีการย้ายตำแหน่งพิกัดกึ่งกลางของชุดข้อมูลต้นฉบับให้มาอยู่ที่จุดกำเนิด $(0, 0, 0)$ เสียก่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จึงถือได้ว่าการแปลงแบบเคลื่อนย้ายตำแหน่งนี้เป็นพื้นฐานสำคัญของการสร้างภาพทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิก



รูปที่ 4.4 การย้ายตำแหน่งจุดกึ่งกลางของปริมาตรต้นฉบับมาอยู่ที่จุดกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การสเกล (Scaling)

การสเกลเป็นการแปลงเพื่อปรับเปลี่ยนขนาดของวัตถุที่ต้องการ ซึ่งมีเมตริกซ์การแปลงดังนี้

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

จะได้พิกัดของจุดในระบบ โฮโมจีเนียส (x', y', z', h) ดังสมการที่ 4.7 ข้างล่างนี้

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

ได้ผลลัพธ์เป็นดังสมการที่ 4.8

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xS_x & yS_y & zS_z & 1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

โดยที่ S_x , S_y และ S_z เป็นสัมประสิทธิ์การสเกลสำหรับพิกัด X, Y และ Z ตามลำดับ ค่าของสัมประสิทธิ์ทั้งสามจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าการย่อหรือขยายรูป กล่าวคือถ้า S มีค่ามากกว่า 1 จะเป็นการขยายภาพ และถ้า S มีค่าน้อยกว่า 1 จะเป็นการย่อขนาดภาพ

4.4.3 การหมุนวัตถุ (Rotation)

การหมุนวัตถุจะเป็นการหมุนวัตถุรอบแกนต่างๆทั้งสามแกน ซึ่งได้แก่ แกน X, แกน Y และแกน Z โดยจะอ้างอิงการมองในลักษณะมองออกจากจุดกำเนิดไปตามแนวแกน เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกนต่างๆ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา มีดังนี้

4.4.3.1 เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกน X ไปเป็นมุม θ คือ

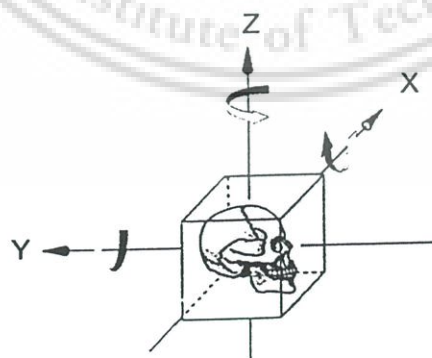
$$R_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

4.4.3.2 เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกน Y ไปเป็นมุม ϕ คือ

$$R_Y = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

4.4.3.3 เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกน Z ไปเป็นมุม φ คือ

$$R_Z = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$



รูปที่ 4.5 การแปลงแบบหมุนรอบแกนทั้งสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การแปลงแบบผสม (Multiple Transformations)

โดยทั่วไปในการใช้งานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟฟิก การหมุนภาพสามมิติมักจะใช้หลายๆ เมทริกซ์ร่วมกัน ซึ่งเป็นการแปลงหลายๆ ชนิดร่วมกันนั่นเอง สำหรับการหมุนในสองแกนก็สามารถหาเมทริกซ์การแปลงของการหมุนรอบสองแกนได้โดยการนำเมทริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกนเดียวมาคูณกัน แต่ต้องพึงระวังว่าการคูณเมทริกซ์นั้น ไม่มีคุณสมบัติการสลับที่ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

เมื่อกำหนดให้เมทริกซ์ (M) เป็นเมทริกซ์การแปลงแบบผสม

$$M = R_X \times R_Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi & 0 \\ \sin \theta \sin \phi & \cos \theta & \sin \theta \cos \phi & 0 \\ \cos \theta \sin \phi & -\sin \theta & \cos \theta \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$M' = R_Y \times R_X = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \theta \sin \phi & -\cos \theta \sin \phi & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ \sin \phi & -\sin \theta \cos \phi & \cos \theta \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

จะเห็นว่าเมทริกซ์ M เป็นการหมุนรอบแกน X ก่อน แล้วจึงหมุนรอบแกน Y ส่วนเมทริกซ์

M' จะเป็นการหมุนรอบแกน Y ก่อน แล้วค่อยหมุนรอบแกน X ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในกรณีที่มีการหมุนหลายแกนและมีการเคลื่อนย้ายพิกัดด้วย ก็สามารถหาเมตริกซ์การแปลงได้ดังตัวอย่างนี้ โดยมีลำดับการแปลงก็จะเคลื่อนย้ายจุดก่อนแล้วจึงหมุนในแนวแกน X และ Y ตามลำดับ ก็จะได้เป็น

$$M = [T][R_X][R_Y]$$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_X & T_Y & T_Z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

สำหรับกรณีที่มีการสเกลหรือหมุนรอบแนวแกนอื่น ก็สามารถหาเมตริกซ์การแปลงได้ในทำนองเดียวกันนี้

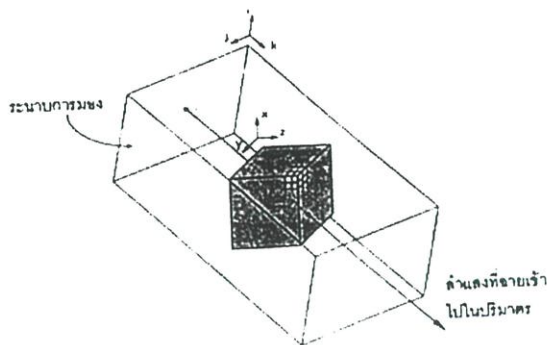
4.5 การโปรเจกชัน (Projections)

โดยทั่วไปการโปรเจกชันจะเป็นการแปลงจาก n มิติไปเป็น $n-1$ มิติ การโปรเจกชันนี้แบ่งเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Projections) และไม่เชิงเส้น (Nonlinear Projections) การโปรเจกชันแบบเชิงเส้นประกอบด้วย 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ การโปรเจกชันแบบขนาน (Parallel Projections) และแบบเปอร์สเปกทีฟ (Perspective Projections)

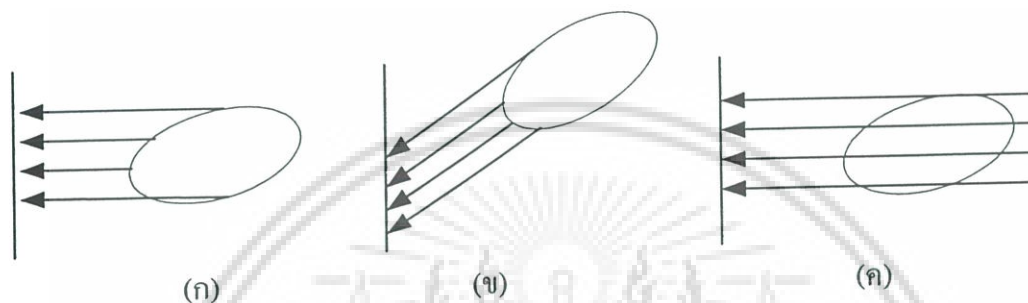
จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อสมมติให้มีวัตถุสามมิติที่จะถูกโปรเจก (projected) ลงบนระนาบการโปรเจก (projection plane) โดยมีผู้สังเกตลักษณะการโปรเจกของวัตถุ และเพื่อให้สามารถมองลักษณะการโปรเจกชันได้จึงต้องกำหนดให้วัตถุและผู้สังเกตอยู่คนละข้างกันของระนาบการโปรเจก และถ้าให้ระนาบการโปรเจก อยู่ในระดับตั้งฉากกับระดับสายตาของผู้สังเกต ก็จะทำให้สามารถมองเห็นภาพวัตถุในมุมมองที่แสดงบนฉากได้

4.5.1 การโปรเจกชันแบบขนาน (Parallel Projections)

หลักการของการโปรเจกชันแบบขนานทุกวิธีอธิบายอย่างคร่าวๆ คือจะเลือกทิศทางของแสง แล้วสร้างแนวลำแสงจากพิกัดของว็อกเซลในปริมาตรต้นฉบับซึ่งเป็นสามมิติ ฉายไปตามทิศทางที่กำหนดไว้ นั้นไปปรากฏเป็นจุดใหม่บนระนาบการโปรเจกซึ่งเป็นสองมิติ กระบวนการที่กล่าวนี้จะกระทำกับทุกๆ ว็อกเซลในปริมาตรต้นฉบับ นั่นคือจะกลายเป็นแนวลำแสงที่ขนานกัน ซึ่งเป็นที่มาของการเรียกว่า “การโปรเจกชันแบบขนาน” นั่นเอง ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การฉายแสงแบบขนานเข้าไปในปริมาตร



รูปที่ 4.7 การโปรเจกชันแบบขนาน

ในรูปที่ 4.7ก เป็นลักษณะการตั้งฉากกันระหว่างลำแสงที่ฉายกับระนาบการโปรเจกชัน และรูปที่ 4.7ข เป็นลำแสงที่มุมมองอื่นๆ เรียกว่าวิธีการโปรเจกชันแบบเอียง (Oblique Projections) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการโปรเจกชันแบบขนาน ส่วนรูปที่ 4.7ค แสดงถึงความแตกต่างของหลักการของการโปรเจกชันแบบขนาน เราสามารถจินตนาการให้จุดกำเนิดของทุกๆ ลำแสงอยู่ที่จุดศูนย์กลางของการโปรเจกชัน (Center of Projection) และสิ่งนี้เองที่เป็นตัวแยกว่าเป็นการโปรเจกชันแบบขนานหรือการโปรเจกชันแบบเพอร์สเปกทีฟ ซึ่งจะนำไปตามกฎของการโปรเจกชันดังนี้

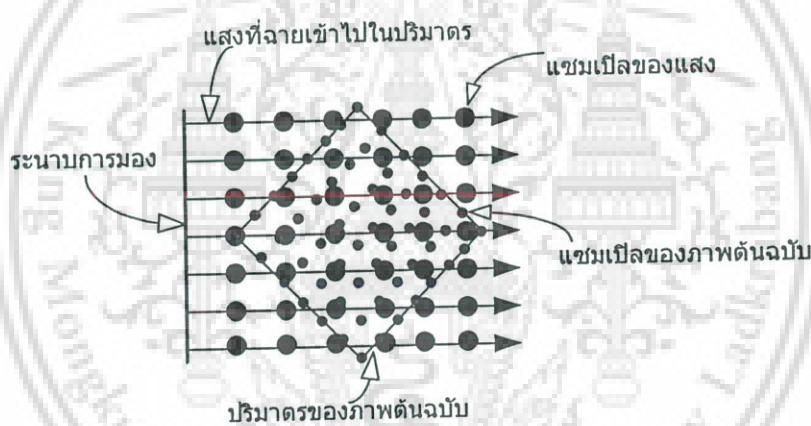
กฎของการโปรเจกชันคือ กำหนดระนาบการโปรเจกและให้วัตถุอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของมัน จากนั้นเลือกจุดศูนย์กลางของการโปรเจกชันที่บริเวณอีกด้านหนึ่งของระนาบการโปรเจก แล้วสร้างลำแสงให้ฉายออกจากจุดศูนย์กลางนี้ผ่านระนาบการโปรเจกไปยังพิกัดของว็อกเซลบนวัตถุให้ครบทุกๆว็อกเซลทั้งวัตถุ ถ้าจุดศูนย์กลางของการโปรเจกชันอยู่ที่จุดสังเกตุจุดหนึ่งจะเป็นการโปรเจกชันแบบเพอร์สเปกทีฟ

จากหลักการของการโปรเจกชันแบบขนานดังกล่าว เมื่อมีการแปลงและฉายแสงในลักษณะดังกล่าว ผลลัพธ์ที่ได้จากการกระทำทางกระบวนการคณิตศาสตร์ของการแปลงและการฉายมักมีค่าเป็นทศนิยม ซึ่งจำเป็นต้องปัดค่าเหล่านี้ให้เป็นจำนวนเต็มก่อน เพราะการอ้างอิงตำแหน่งของว็อกเซลเป็นเลขจำนวนเต็มหน่วย ทำให้การส่งจุดของว็อกเซลบางตำแหน่งมีการซ้อนทับกัน เกิดเป็นจุดดำขึ้นบนภาพบนฉากการมองเห็นเนื่องจากข้อมูลบางตำแหน่งขาดหายไป เพื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ไขปัญหานี้ จึงได้ใช้การพิจารณาจากระนาบการมองย้อนกลับไปที่ปริมาตรภาพ โดยใช้เมตริกซ์การแปลงผกผัน ซึ่งจะเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดจุดว่างได้เนื่องจากจุดทุกจุดบนระนาบการมองสองมิติจะถูกพิจารณาทั้งหมด ซึ่งเมตริกซ์ผกผันที่ใช้นั้นคือเมตริกซ์การแปลงแบบหมุนรอบแกน Y และแกน X ดังสมการที่ 4.15

$$(R_{YX})^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi \sin \theta & \cos \theta & \cos \phi \sin \theta & 0 \\ -\sin \phi \cos \theta & -\sin \theta & \cos \phi \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

ลักษณะของแสงที่ฉายเข้าไปในปริมาตรและถูกดุ่ม (sampling) ออกเป็นระยะทางเท่าๆ กัน นั้น เมื่อมองเทียบกับจุดแซมเปิลของปริมาตรต้นฉบับ จะเป็นดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ลักษณะของลำแสงที่ฉายเข้าไปในปริมาตร

4.5.2 การโปรเจกชันแบบเปอร์สเปกทีฟ (Perspective Projections)

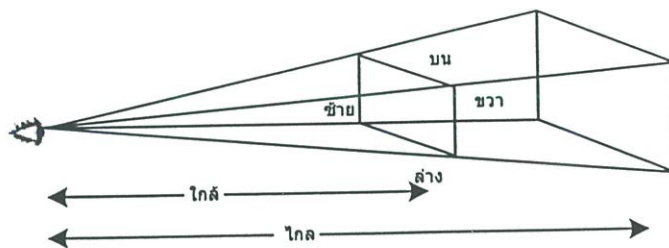
การโปรเจกชันแบบเปอร์สเปกทีฟมีความสำคัญยิ่งเพราะเป็นการมองเห็นวัตถุในลักษณะเดียวกับโลกของความจริง การโปรเจกชันวิธีนี้สามารถอธิบายได้ตามกฎของการโปรเจกชันที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว คือมีจุดศูนย์กลางของการโปรเจกชันอยู่ที่จุดๆ หนึ่งดังรูปที่ 4.9 แนวลำแสงที่ฉายจะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมเหมือนปิรามิด การโปรเจกชันแบบเปอร์สเปกทีฟนี้มีคุณสมบัติตามที่เราได้สัมผัสในชีวิตประจำวันอยู่ 3 ประการ คือ

ก.) ผู้สังเกตจะเห็นวัตถุที่อยู่ระยะไกลมีขนาดเล็กกว่าความเป็นจริง (ซึ่งเป็นสิ่งตรงข้ามกับการโปรเจกชันแบบขนานโดยสิ้นเชิง)

ข.) ทุกๆ เส้นขนานจากวัตถุที่ขนานกับสายตาของผู้สังเกตจะมุ่งเข้าหาจุดที่บรรจบกันของ

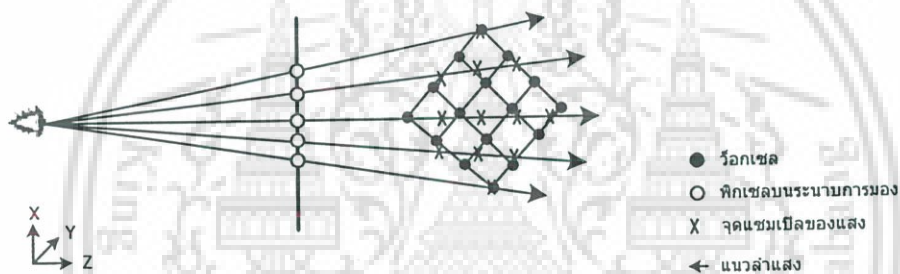
เอกสเส้นขนาน (Vanishing Point) รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.) การมองเห็นด้วยวิธีเปอร์สเปกทีฟจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างผู้สังเกตกับวัตถุ นั่นคือผู้สังเกตที่อยู่ใกล้วัตถุก็จะเห็นวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าผู้สังเกตที่อยู่ไกลวัตถุ



รูปที่ 4.9 การฉายแสงแบบเปอร์สเปกทีฟ

ลักษณะของลำแสงที่ฉายเข้าไปในปริมาตรและถูกส่งออกเป็นระยะทางเท่าๆ กัน เมื่อมองเทียบกับจุดชมเปิดของวัตถุ เป็นดังรูปที่ 4.10 นี้



รูปที่ 4.10 ลักษณะของลำแสงที่ฉายเข้าไปในปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ระบบการสร้างภาพจำลอง 3 มิติ

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบการสร้างภาพจำลองสามมิติ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ หัวข้อแรกเป็นระบบการเก็บข้อมูลภาพถ่ายวัตถุต้นแบบ หัวข้อที่สอง การนำข้อมูลภาพที่ได้ไปทำการประมวลผล หัวข้อที่สุดท้าย เป็นทฤษฎีเบื้องต้นในการสร้างภาพสามมิติเชิงพื้นผิว และการสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยวิธีมาร์ชชิงคิวบ์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้

5.2 ระบบการเก็บข้อมูลภาพถ่าย

ในงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบและสร้างระบบการทำงาน ของระบบการสร้างภาพจำลองสามมิติ ซึ่งจะประกอบด้วยฐานเหล็กที่ใช้ในการตั้งวัตถุต้นแบบ กล้องเก็บข้อมูลภาพ และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ใช้ในการประมวลผลภาพ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดดังต่อไปนี้

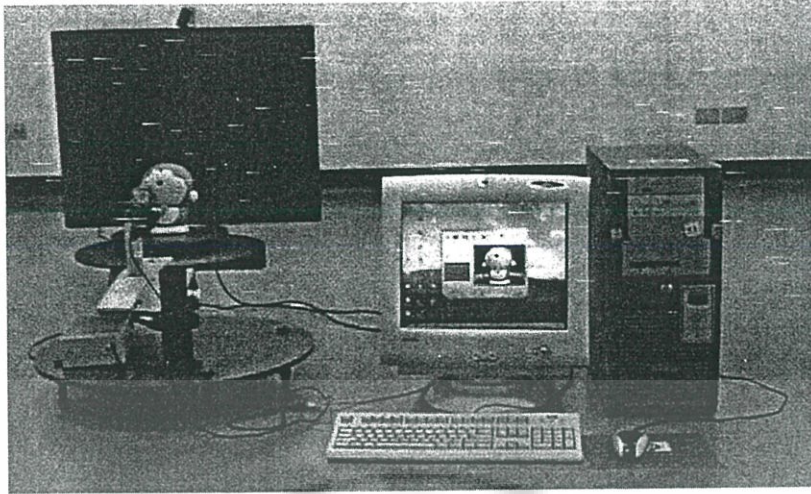
5.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการเก็บข้อมูลภาพถ่าย

5.2.1.1 ฐานเหล็กที่ใช้ในการตั้งวัตถุกล้องเก็บข้อมูลภาพ

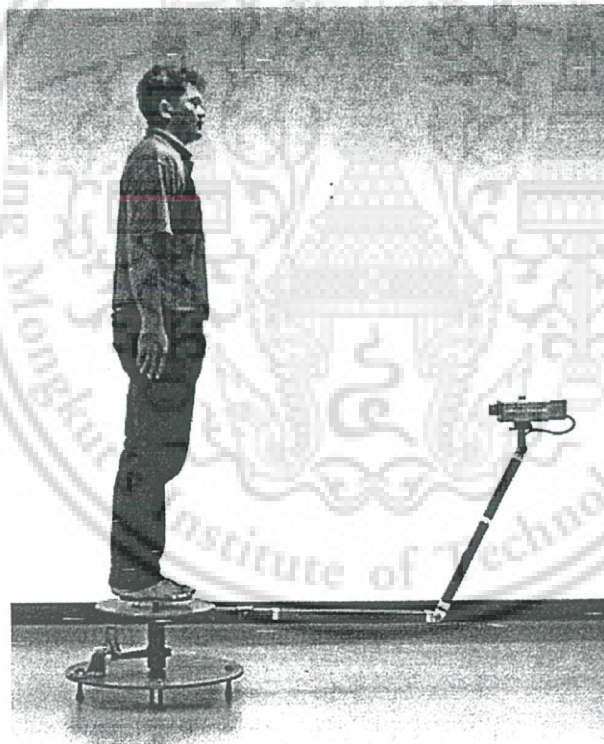
ฐานเหล็กที่ใช้ในการตั้งวัตถุเพื่อเก็บข้อมูลภาพ จะเป็นแผ่นกลมจำนวน 3 แผ่น เชื่อมต่อกันโดยให้แกเหล็ก แผ่นเหล็กแผ่นที่สองจะสามารถหมุนได้อย่างอิสระ เพื่อไว้ใช้ในการยึดแขนเหล็กที่เป็นฐานของตัวกล้องถ่ายรูป

5.2.1.2 กล้องเก็บข้อมูลภาพ

ในส่วนของกล้องเก็บข้อมูลภาพ ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้กล้อง 2 ชนิดคือ วีดีโอแคม (VideoCAM) ของบริษัทจีเนียส(Genius) สำหรับใช้เก็บข้อมูลภาพที่มีวัตถุขนาดเล็ก ซึ่งสามารถเชื่อมต่อข้อมูลภาพเขาคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อทำการประมวลผลได้ทันที และ ดิจิตอล วีดีโอ คาเมอรร่า เรกคอร์ดเดอร์(Digital Camera Recorder) ของบริษัทโซนี่(SONY) ใช้สำหรับเก็บข้อมูลภาพของวัตถุที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 5.1 ระบบการเก็บข้อมูลภาพถ่ายสำหรับวัตถุที่มีขนาดเล็ก

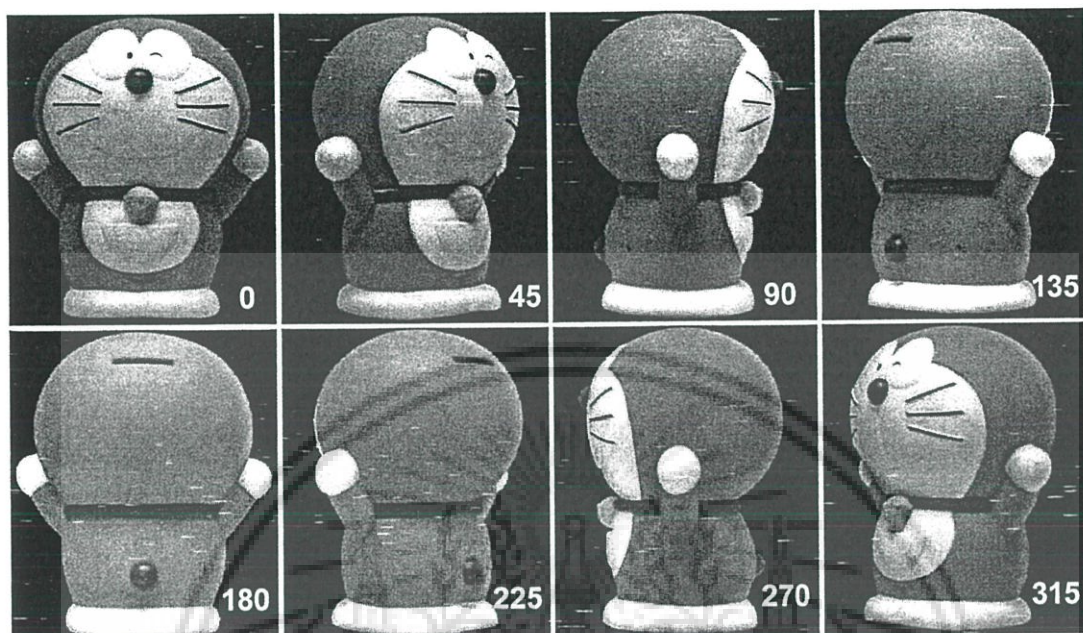


รูปที่ 5.2 ระบบการเก็บข้อมูลภาพถ่ายสำหรับวัตถุที่มีขนาดใหญ่

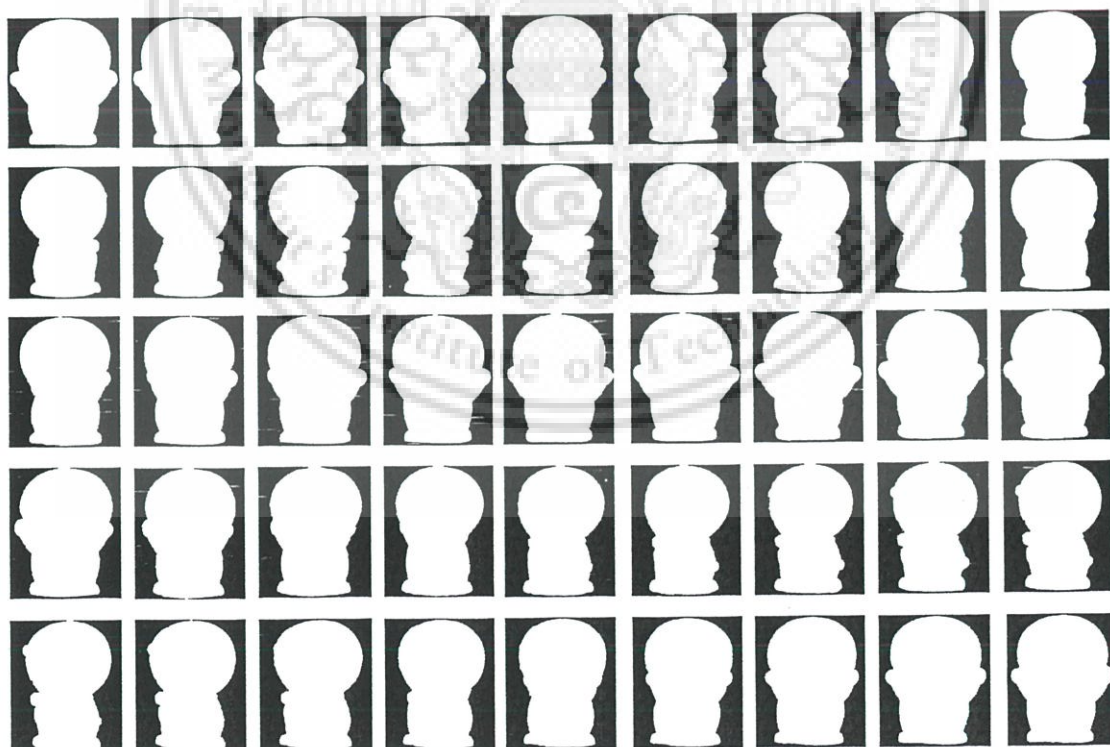
5.3 การประมวลผลภาพ

เมื่อทำการเก็บข้อมูลภาพถ่ายวัตถุได้แล้ว จะนำภาพที่ได้มาเข้ากระบวนการสร้างภาพตัดขวางเสมือน ซึ่งได้กล่าวมาในบทก่อนหน้า และนำภาพตัดขวางเสมือนที่ได้ไปทำการสร้างภาพสามมิติ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการประมวลผลภาพก็จะเป็นการแทนที่สีให้กับภาพสามมิติ เพื่อให้ภาพสามมิติที่ได้มีความเหมือนกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด ซึ่งวิธีการแทนที่สีพื้นผิวจะได้กล่าวในบทต่อไป

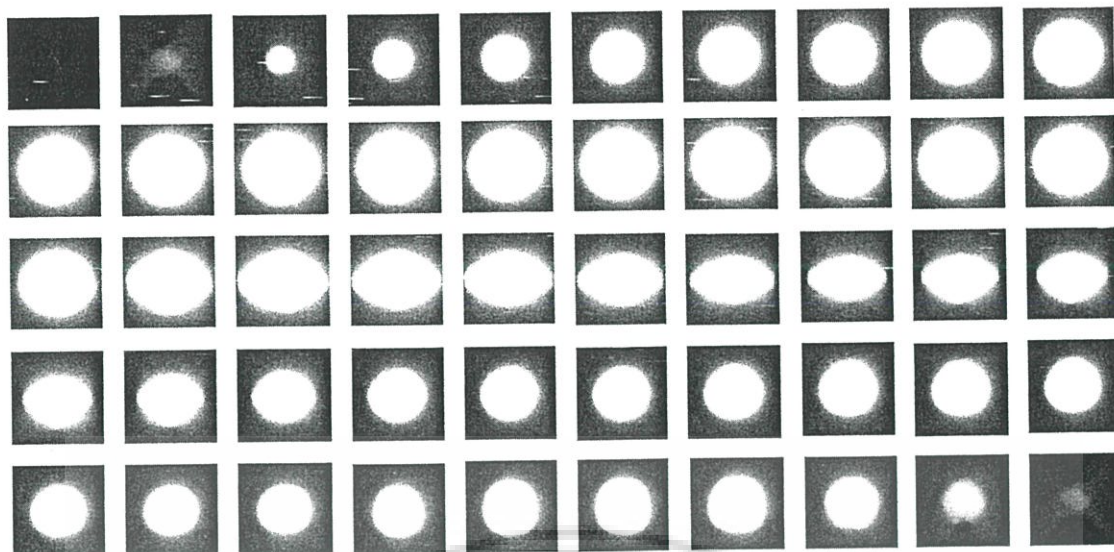


รูปที่ 5.3 แสดงภาพถ่ายรอบวัตถุต้นฉบับ

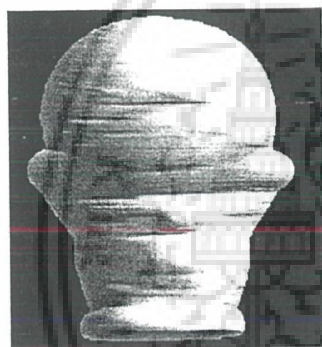


รูปที่ 5.4 แสดงภาพโครงร่างที่ผ่านกระบวนการทำเทรสโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงภาพตัดขวางเสมือน



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.6 ภาพสามมิติเชิงพื้นผิว

(ก) ภาพสามมิติเชิงพื้นผิวก่อนทำกระบวนการแทนค่าสี

(ข) ภาพสามมิติเชิงพื้นผิวหลังจากทำกระบวนการแทนค่าสี

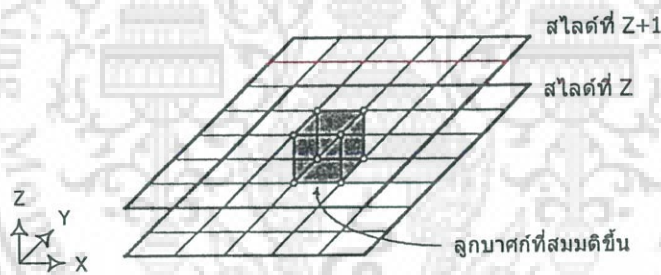
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวสามมิติ

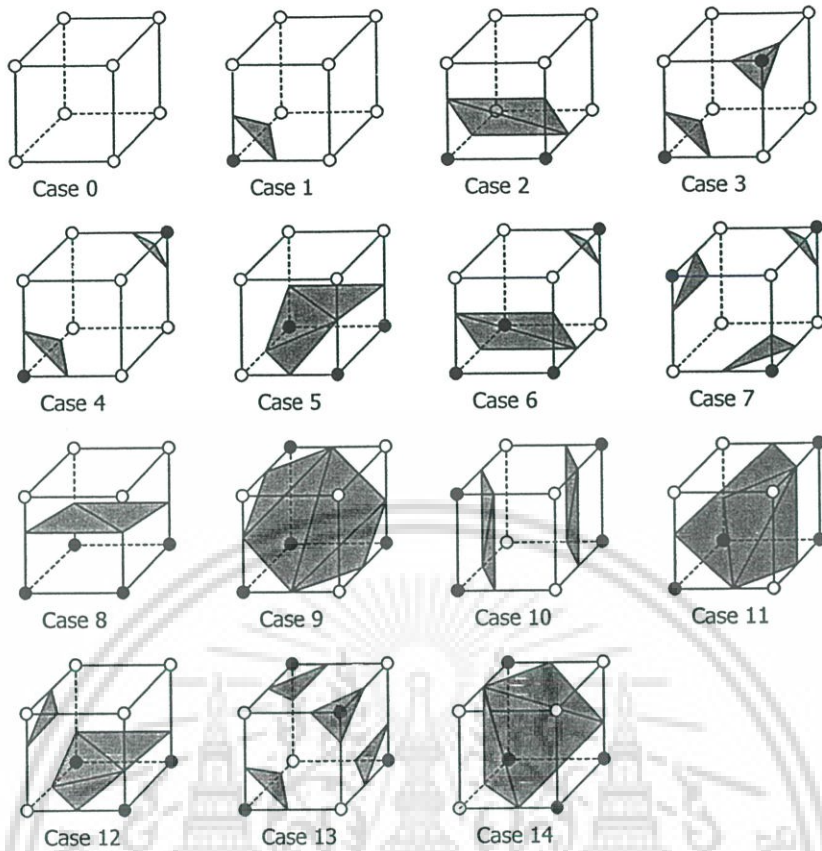
การสร้างภาพเชิงพื้นผิวนั้นมีอยู่ด้วยวิธี ตัวอย่าง การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยการใช้คอนทราสต์ของสามระนาบ การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยการฉายภาพตามทิศทางการมอง และการสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยวิธีมาร์ชชิงคิวบ์ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เลือกการสร้างภาพเชิงพื้นผิวสามมิติด้วยมาร์ชชิงคิวบ์ ซึ่งวิธีนี้สามารถเลือกความละเอียดของรูปทรง 3 มิติที่สร้างได้

5.4.1 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยวิธีมาร์ชชิงคิวบ์ (Marching Cubes Algorithm)[14]

การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยวิธีการนี้ได้มีการเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Lorensen, W. E. และ Cline, H. E. เมื่อปี ค.ศ. 1987 หลักการของวิธีนี้เป็นการนำลูกบาศก์ขนาดเล็กที่ถูกสมมติขึ้นมาจากจุดข้อมูลของสไลซ์ที่ติดกัน 8 จุด ดังแสดงในรูปที่ 5.7 โดยจะถือว่าแต่ละจุดเป็นมุมของลูกบาศก์แล้วนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดวางของสามเหลี่ยมเล็กๆ ในลูกบาศก์แบบต่างๆเท่าที่เป็นไปได้เพื่อสร้างเป็นพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งรูปแบบการจัดวางของสามเหลี่ยมภายในลูกบาศก์จะมีทั้งหมด $2^3 = 256$ รูปแบบ และสามารถลดรูปด้วยคุณสมบัติการสะท้อนและการหมุน เหลือเป็นรูปแบบหลักได้เพียง 15 รูปแบบ ดังรูปที่ 5.8

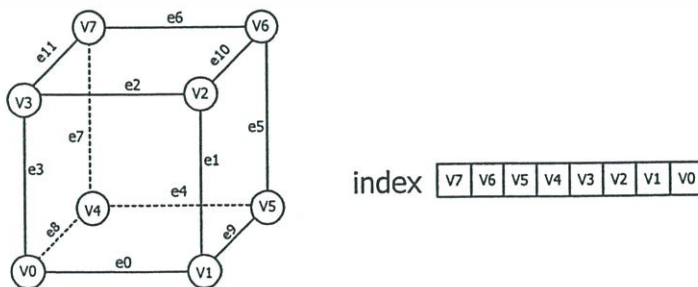


รูปที่ 5.7 ลูกบาศก์ที่สมมติขึ้นจากจุดข้อมูลของสไลซ์ที่อยู่ติดกัน 8 จุด



รูปที่ 5.8 รูปแบบการจัดเรียงของสามเหลี่ยมภายในลูกบาศก์ที่เป็นไปได้

ขั้นตอนการสร้างภาพด้วยวิธีนี้จะเริ่มจากการแยกกลุ่มวัตถุที่สนใจให้เป็นข้อมูลลักษณะแบบไบนารี โดยให้บริเวณวัตถุเป็น 1 และบริเวณฉากหลังหรือส่วนที่ไม่ต้องการเป็น 0 จากนั้นหารูปแบบของสามเหลี่ยมที่เหมาะสมเพื่อสร้างพื้นผิวของวัตถุ โดยเปรียบเทียบจากรูปแบบการจัดวางของสามเหลี่ยมภายในลูกบาศก์หลักทั้ง 15 รูปแบบ ซึ่งจะถูกรวบรวมเป็นตารางเก็บลำดับมุมของสามเหลี่ยม แล้วทำการสแกนต่อไปจนครบทั้งปริมาตร จะได้รูปสามเหลี่ยมเล็กๆ ต่อๆ กันเป็นพื้นผิว



รูปที่ 5.9 ลักษณะการเรียงลำดับมุมและขอบของลูกบาศก์ที่สมมติขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

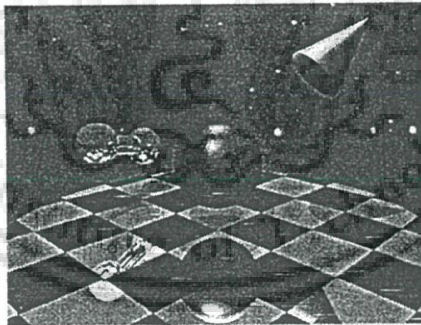
การแทนที่สีให้กับภาพจำลองสามมิติ

6.1 บทนำ

การสร้างภาพสามมิติโดยทั่วไปจะเป็นการสร้างจากโครงข่าย (Mesh) ของพื้นผิวระนาบหลายเหลี่ยม เมื่อเราต้องการให้ภาพสามมิติแสดงถึงความต่างและรายละเอียดพื้นผิว จำต้องมีการจำลองแสงเงาบนพื้นผิวของวัตถุ และการใส่สีให้กับภาพสามมิติ เพื่อให้ภาพสามมิติที่ได้มีความเหมือนวัตถุต้นแบบมากยิ่งขึ้น โดยจะใช้วิธีการเทียบค่าสีจากภาพต้นฉบับโดยตรง ซึ่งเป็นจุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยนี้

6.2 การส่องสว่างและการให้แสงเงา (Illumination and Shading)[14,16]

การส่องสว่างและการให้แสงเงาเป็นเทคนิคที่รู้จักกันดีในทางคอมพิวเตอร์กราฟิก ซึ่งนิยมใช้สำหรับการเน้นให้กราฟิกสามมิติดูสมจริงขึ้น การให้แสงเงาจะพยายามจำลองผลกระทบของเงา, การกระเจิงของแสง และการดูดกลืน ซึ่งจะปรากฏขึ้นในโลกจริงเมื่อแสงตกกระทบวัตถุ เป้าหมายทางคอมพิวเตอร์กราฟิกก็เพื่อที่จะสร้างภาพสามมิติให้ได้ภาพที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับภาพถ่ายที่ได้จากโลกจริงดังรูปที่ 6.1 เป็นตัวอย่างของภาพที่ได้จากโลกจริงถูกสร้างเป็นภาพสามมิติบนฉาก



รูปที่ 6.1 คอมพิวเตอร์กราฟิก

แบบจำลองการส่องสว่างจะอธิบายถึงการกำหนดสีไปยังจุดบนปริภูมิ โดยมีพื้นฐานอยู่บนการที่แสงฉายลงไปยังจุด, มุมระหว่างผู้สังเกตกับแสง, คุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ และทิศทางการหันเหกับตำแหน่งบนปริภูมิ แบบจำลองการให้แสงเงาจะเป็นโครงร่างให้แบบจำลองการส่องสว่าง โดยที่แบบจำลองการให้แสงเงาเป็นการพิจารณาว่าเมื่อใช้แบบจำลองการส่องสว่างกับจุดนั้นแล้ว พารามิเตอร์ใดที่จะได้ออกมาจากแบบจำลองการส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6.2 แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong[19]

เป้าหมายของแบบจำลองการส่องสว่างก็เพื่อจำลองการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสีของมันที่ผู้สังเกตเห็น ตัวอย่างเช่น ภาพลูกโบว์ลิ่งสีดำ เมื่อมีแสงสีขาวฉายไปบนผิวของมัน ก็จะมองเห็นการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวลูกโบว์ลิ่งกล่าวคือพื้นผิวที่แสงส่องลงไปนั้นจะมองเห็นเป็นสีที่ไม่ใช่สีดำและจะถูกเปลี่ยนไปจนเกือบเป็นสีขาว ซึ่งนี่เป็นผลกระทบที่สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการส่องสว่าง สำหรับจุดมุ่งหมายอื่นของการออกแบบแบบจำลองการส่องสว่างก็คือ การทำให้แบบจำลองนั้นมีรูปแบบที่ง่าย ซึ่งทำให้สามารถคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในอดีตเมื่อแบบจำลองการส่องสว่างถูกพัฒนาขึ้น ความถูกต้องทางกายภาพจะถูกสนใจน้อยลงเพราะความถูกต้องทางกายภาพและปรากฏการณ์ที่อยู่เบื้องหลังการส่องสว่างเช่น การให้แสงเงา, เงา และอื่น ๆ นั้น ไม่มีความสำคัญ แต่สิ่งที่สำคัญกว่าคือการคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพนั่นเอง

แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong อธิบายได้ด้วยผลกระทบจากแสงแวดล้อม(Ambient Light) รวมถึงการสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) และการสะท้อนแบบกระจก (Specular Reflection) ของแสงที่ส่องลงบนพื้นผิว แต่ละจุดบนพื้นผิวถูกให้ค่าด้วยแบบจำลองการส่องสว่าง ดังนั้นแบบจำลองการส่องสว่างจะมีพื้นฐานจากการพิจารณาจุดบนพื้นผิวที่แสงตกกระทบลงไป

6.6.2.1 แสงแวดล้อม (Ambient Light)

แหล่งกำเนิดแสงแวดล้อมคือแสงที่มีความเข้มแสงเท่ากันทุกๆจุดบนฉากที่สร้างขึ้น ค่าของมันไม่ได้ขึ้นอยู่กับมุมของแสงที่สัมผัสกับผิว และมันก็ได้เป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยตรงสำหรับสีของพื้นผิวที่ถูกกระทบด้วยแสงแวดล้อมนั้นสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ 6.25

$$C_o = C_a k_a O_d \quad (6.25)$$

โดยที่ C_o เป็นค่าผลลัพธ์ของสีที่ได้หลังถูกกระทบด้วยแสงแวดล้อมที่มีค่าสี C_d ส่องไปยังจุดบนวัตถุ ส่วน k_a เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงแวดล้อม ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และเป็นตัวแยกความแตกต่างของวัสดุที่ปรากฏบนฉากด้วย ตัวอย่างเช่น วัสดุสีดำจะดูดกลืนแสงได้ดีกว่าวัสดุสีขาว ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงแวดล้อมจึงมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และ O_d คือค่าสีการกระจายของจุดบนวัตถุ จึงต้องมีการคำนวณถึงสามครั้งสำหรับแต่ละองค์ประกอบสี ซึ่งได้แก่ สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน

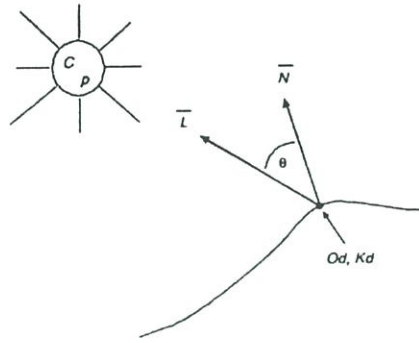
6.6.2.2 การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection)

การสะท้อนแบบกระจายเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแบบจุดที่แผ่รังสีออกมาเท่ากันทุกทิศทาง สีของจุดบนพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจุดนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง และทิศทางการหันเหของพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสง โดยทั่วไปจะไม่พิจารณาถึงระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับพื้นผิวซึ่งจะถือว่าแหล่งกำเนิดอยู่ที่อนันต์ ในกรณีนี้จะถือว่าแหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบจุด เรียกว่า Directional light ดังนั้นพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องพิจารณาจึงเป็นมุมระหว่างพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสงเท่านั้น

ทิศทางการหันเหของพื้นผิวสามารถอธิบายได้ด้วยเวกเตอร์ปกติ N ที่จุดที่ต้องการให้แสงเงา เวกเตอร์จากจุดบนพื้นผิวถึงแหล่งกำเนิดแสงแทนด้วย L สำหรับกรณีที่เป็น Directional light นั้น ค่า L จะเป็นค่าคงที่ ส่วนมุมระหว่าง L กับ N จะแทนด้วย θ ดังรูปที่ 6.14 สิ่งสำคัญคือจะต้องทำการนอร์มอลไลซ์ (Normalize) N และ L ก่อนที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองการส่องสว่าง ซึ่งจะได้เป็น \hat{N} และ \hat{L} ตามลำดับ แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ที่มีการสะท้อนแบบกระจายรวมอยู่ด้วยเป็นดังสมการที่ 6.26

$$C_o = C_a k_a O_d + C_p k_d O_d \cos \theta \quad (6.26)$$

จากสมการจะเห็นว่าเป็นการเพิ่มจากสมการของแสงเวกเตอร์เข้าอีกหนึ่งพจน์ โดยที่ C_p คือค่าสีของแหล่งกำเนิดแสงแบบจุด k_d คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนแบบกระจาย และ θ คือมุมระหว่างเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสงกับเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว พิจารณาพจน์ที่สองของสมการที่ 6.26 จะพบว่า ถ้ามุม θ เป็น 90 องศาจะได้ $\cos \theta$ เท่ากับ 0 นั่นคือจะไม่มีการสะท้อนแบบกระจายเกิดขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้ามุม θ เป็น 0 องศาจะเกิดผลของการสะท้อนแบบกระจายมากที่สุด เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าถ้ามุม θ มีค่ามากกว่า 90 องศา ผลของการสะท้อนแบบกระจายก็จะหมดไป ซึ่งเหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่พื้นผิวด้านหลังของวัตถุ



รูปที่ 6.2 การสะท้อนแบบกระจาย

เมื่อ \vec{L} และ \vec{N} ถูกนอร์มอลไลซ์ ในทางคณิตศาสตร์จะสามารถหาได้ว่าค่ามุม θ ที่อยู่ในรูปของเวกเตอร์สองเวกเตอร์เป็นอย่างไร นั่นคือการคูณกันแบบ Dot ของ \vec{L} และ \vec{N} จะเท่ากับ $\cos \theta$ จึงสามารถเขียนแบบจำลองการส่องสว่างในสมการที่ 6.26 ได้ใหม่เป็นดังสมการที่ 6.27

$$C_o = C_a k_a O_d + C_p k_d O_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) \quad (6.27)$$

สมการที่ 6.27 ที่ได้นี้จะต้องคำนวณสามครั้งสำหรับแต่ละองค์ประกอบสี ซึ่งได้แก่ สีแดง, สีเขียว และสีเงิน

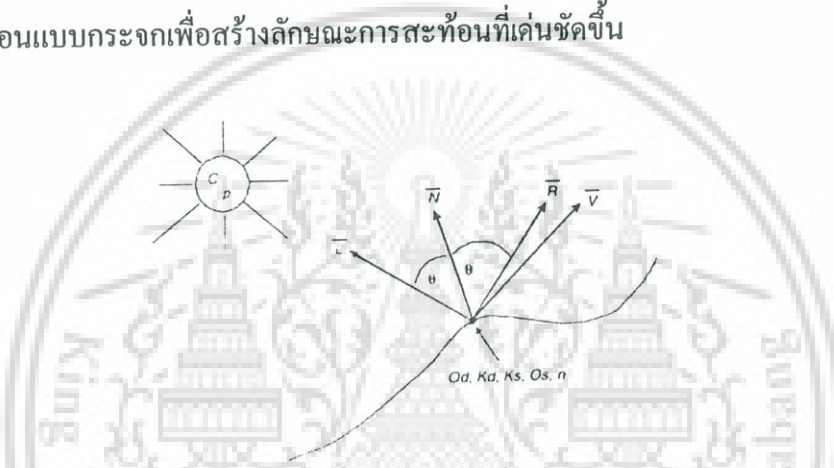
6.6.2.3 การสะท้อนแบบกระจก (Specular Reflection)

การสะท้อนแบบกระจกในแบบจำลองการส่องสว่างเกิดขึ้นจากการเน้นจุดสว่างในการฉายแสง (Shiny Highlight) ตัวอย่างของการสะท้อนแบบกระจกก็เช่น จุดสีขาวที่สว่างกว่าบริเวณอื่นบนลูกโบว์ลิ่งที่ได้เคยยกตัวอย่างไปหัวข้อก่อนหน้า ในความเป็นจริงตาคนเราสามารถมองเห็นลูกโบว์ลิ่งได้ทั้งลูกที่เกิดจากแสงแวดล้อมและลูกที่เกิดจากแบบจำลองการส่องสว่างของการสะท้อนแบบกระจาย การสะท้อนแบบกระจกนี้จะส่งผลไปยังตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งที่แน่นอน และความเข้มแสงที่ตกกระทบบก็จะมีลักษณะชัดเจนรอบจุดที่ตกกระทบ การสะท้อนแสงแบบนี้จะมีตัวแปร n เป็นเลขยกกำลังเป็นตัวควบคุมผลของการสะท้อนแสง สำหรับวัตถุที่มีการสะท้อนแสงอย่างสมบูรณ์ เช่น กระจก มีค่า n เป็นอนันต์ และถ้าตาของผู้สังเกตอยู่ในแนวเดียวกับแสงที่ถูกสะท้อน ผู้สังเกตก็จะเห็นเฉพาะผลของการสะท้อนแสงแบบกระจกเท่านั้น ส่วนใหญ่แล้วการสะท้อนแบบกระจกจะไม่ขึ้นอยู่กับสีของพื้นผิววัตถุ ดังนั้นจึงสมมติว่าสีของมันที่ผู้สังเกตเห็นนี้เป็นสีขาวเสมอ บางครั้งอาจพบว่าแบบจำลองการส่องสว่างที่แยกสี O_s ของกระจกออก จะได้เป็นแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ดังสมการข้างล่างนี้

$$C_o = C_a k_a O_d + C_p [k_d O_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) + k_s O_s (\vec{R} \cdot \vec{V})^n] \quad (6.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการจะเห็นว่าไม่มีการนำพจน์ของแหล่งกำเนิดแสงมารวมอยู่ในสมการด้วย แต่จะมีการนำพจน์บางพจน์มารวมเมื่อมีการส่องสว่างบนพื้นผิวจากแหล่งกำเนิดแสงแบบจุดดังรูปที่ 6.3 ค่า k_r คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนแบบกระจกและเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ \vec{R} เป็นเวกเตอร์การสะท้อน (Reflection Vector) ที่ถูกนอร์มอลไลซ์แล้วและมันยังเป็นตัวบอกทิศทางของแสงเมื่อมีการสะท้อนกลับจากวัตถุที่การสะท้อนแสงอย่างสมบูรณ์ หรือในอีกแง่หนึ่งมันก็คือเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง \vec{L} ที่สะท้อนออกมาจากเวกเตอร์ปกติ \vec{N} นั่นเอง ส่วน \vec{V} คือเวกเตอร์จากจุดที่ถูกทำให้แสงเงาไปยังตาของผู้สังเกต ผลคูณภายในระหว่าง \vec{R} กับ \vec{V} เกิดขึ้นเนื่องจากในความเป็นจริงแล้ว ผู้สังเกตไม่สามารถมองตรงจุดของการสะท้อนได้เสมอไป ซึ่งนั่นก็คือ \vec{R} และ \vec{V} ไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ผลของผลคูณภายในจะถูกทำให้มีน้ำหนักขึ้นด้วยการยกกำลัง n ซึ่ง n ก็คือเลขยกกำลังของการสะท้อนแบบกระจกเพื่อสร้างลักษณะการสะท้อนที่เด่นชัดขึ้น



รูปที่ 6.3 ตำแหน่งการสะท้อนแบบกระจก ค่าสีของจุดบนพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับมุมระหว่างเวกเตอร์การสะท้อนกับผู้สังเกต

6.6.3 การให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong (Gouraud and Phong Shading)[18-19]

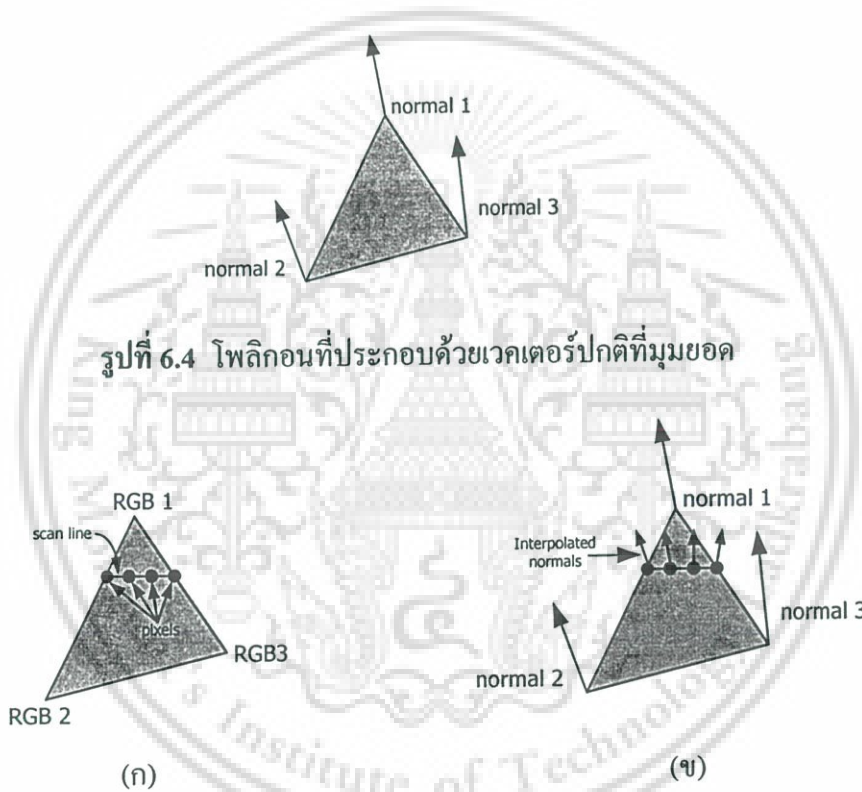
ในเอกสารอ้างอิงทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิกมักจะปรากฏคำว่า การให้แสงเงาหรือการส่องสว่างของ Phong และ Gouraud ซึ่ง Heri Gouraud ได้นำเสนอผลงานของเขาในปี 1971 และ Bui Tuong Phong นำเสนอในปี 1975 ทั้งสองได้เสนอเทคนิคการพัฒนาให้การสร้างภาพรูปทรงเรขาคณิตบนคอมพิวเตอร์มีลักษณะดูเหมือนจริง ในแบบจำลองการให้แสงเงาของ Gouraud และ Phong จะกล่าวถึงแบบจำลองการให้แสงเงาสองแบบที่ต่างกัน ซึ่งจะนำไปใช้กับโพลิกอน โดยแบบจำลองของ Gouraud จะเป็นพื้นฐานของแบบจำลองทั้งสอง และแบบจำลองการให้แสงเงาทั้งสองนี้ก็สามารถนำไปใช้ในแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ได้ด้วย จะเห็นว่าค่อนข้างสับสนเนื่องจาก Phong มีทั้งแบบจำลองการให้แสงเงาและการส่องสว่าง ส่วน Gouraud มีเพียงแบบจำลองการให้แสงเงาเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6.4 ความแตกต่างของแบบจำลองการให้แสงเงาของ Gouraud และ Phong

แบบจำลองการให้แสงเงาของ Gouraud และ Phong ล้วนเป็นตัวอย่างของการนำแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong มาใช้ ซึ่งมีความแตกต่างกันอยู่ที่ว่าจะนำแบบจำลองการส่องสว่างมาใช้เมื่อไหร่และที่ไหนเท่านั้น

เมื่อจะมีการจำลองการให้แสงเงาแก่โพลิกอน ซึ่งประกอบด้วยรูปทรงเรขาคณิตและเวกเตอร์ปกติที่มุมยอดของโพลิกอนดังรูปที่ 6.4 เวกเตอร์ปกติเหล่านี้จะผ่านแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ทุกมุม และได้ผลลัพธ์เป็นสีของแต่ละมุมออกมา หลังจากนั้นจะถูกนำไปผ่านกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งในสองกระบวนการที่ต่างกัน นั่นคือ การให้แสงเงาของ Gouraud และ การให้แสงเงาของ Phong



รูปที่ 6.5 ก) การให้แสงเงาของ Gouraud ข) การให้แสงเงาของ Phong

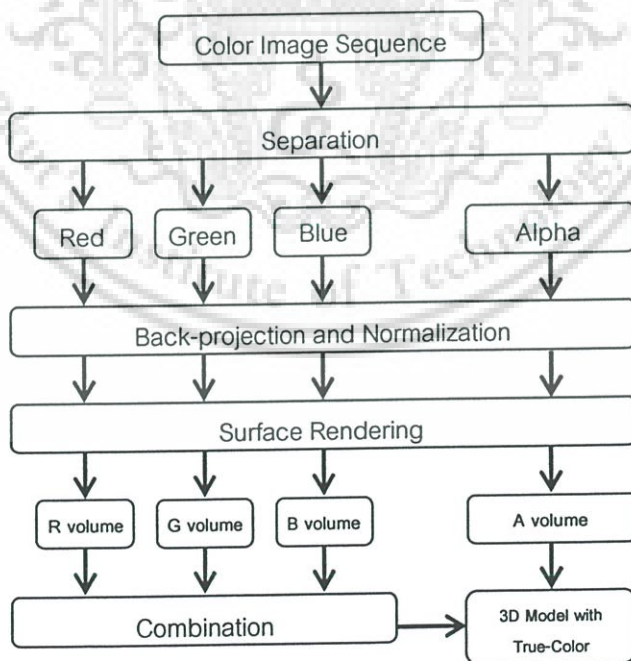
การให้แสงเงาของ Gouraud จะนำเอาสีที่มุมยอดของโพลิกอน ซึ่งได้จากการผ่านกระบวนการส่องสว่างนั้น มาทำการอินเทอร์โพลาค่าสีระหว่างขอบของโพลิกอนและระหว่างเส้นสแกน ดังแสดงในรูปที่ 6.5ก) โดยจะใช้การอินเทอร์โพลแบบลิเนียร์ (Linear Interpolation) แต่ก็สามารถใช้การอินเทอร์โพลแบบอื่นที่ดีกว่าก็ได้ ค่าสีที่จุด J ได้จากการอินเทอร์โพลค่าสีที่จุด RGB1 กับ RGB2 ค่าสีที่จุด K ได้จากการอินเทอร์โพลค่าสีที่จุด RGB1 กับ RGB3 ส่วนค่าสีที่พิกเซลต่างๆบนเส้นสแกนจะได้ออกมาจากการอินเทอร์โพลค่าสีที่จุด J กับ K หลังจากอินเทอร์โพลค่าสีบนเส้นสแกนเสร็จหนึ่งเส้น ก็จะกระทำกระบวนการนี้กับเส้นสแกนเส้นอื่นๆไปจนกระทั่งครบทุกเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้แสงเงาของ Phong จะนำเอาเวกเตอร์ปกติที่มุมยอดมาอินเทอร์โพลระหว่างขอบของโพลิกอนและระหว่างเส้นสแกนดังรูปที่ 6.5ข) เวกเตอร์ปกติที่ J และ K ได้จากการอินเทอร์โพลเวกเตอร์ปกติระหว่างมุม ส่วนเวกเตอร์ปกติที่อยู่บนเส้นสแกนก็ได้จากการอินเทอร์โพลเวกเตอร์ปกติระหว่างจุด J กับ K จากนั้นทุกๆพิกเซลบนเส้นสแกนจะถูกนำไปผ่านกระบวนการส่องสว่างของ Phong ทำให้ได้แสงเงาที่ถูกต้องเนื่องจากการให้การส่องสว่างทุกๆจุดบนโพลิกอนแทนการอินเทอร์โพลเวกเตอร์ปกติที่มุมยอด อย่างไรก็ตามแบบจำลองการให้แสงเงาของ Phong ก็มีข้อด้อยคือใช้การคำนวณที่มากกว่าแบบจำลองของ Gouraud ซึ่งสาเหตุไม่เพียงแต่เป็นเพราะการใช้แบบจำลองการส่องสว่างบ่อยๆเท่านั้น แต่เป็นเพราะจำเป็นต้องมีการนอร์มอลไลซ์เวกเตอร์ปกติที่ได้จากการอินเทอร์โพลด้วย

6.3 การแทนที่สีให้กับภาพจำลองสามมิติ

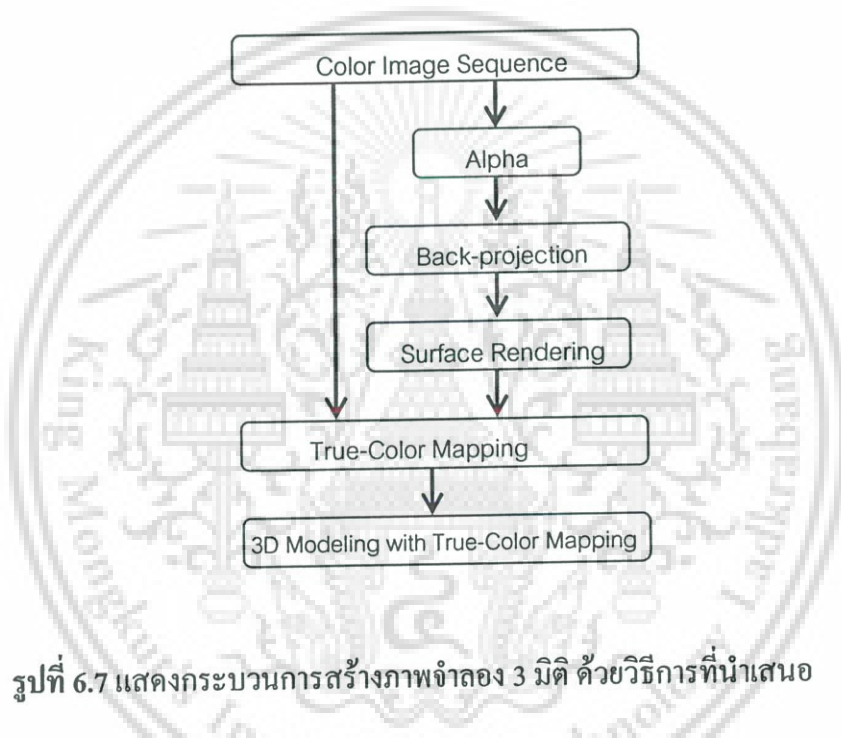
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่า การที่จะทำให้ภาพสามมิติดูมีความสมจริง หรือมีความเสมือนจริงมากที่สุด จะต้องมีการบวนการในการใส่สีให้กับภาพสามมิติที่ได้ ก่อนหน้านี้ได้มีงานวิจัยหลายเรื่องด้วยกัน ที่คิดค้นในกระบวนการใส่ค่าสีนี้ แต่วิธีการเหล่านั้นมีความยุ่งยากและค่อนข้างที่จะซับซ้อน ในงานวิจัยนี้จึงได้คิดวิธีที่จะลดความยุ่งยากและซับซ้อนลงได้ โดยใช้การแทนสีให้กับภาพสามมิติจากภาพต้นฉบับโดยตรง ซึ่งจะได้อธิบายในลำดับต่อไป



รูปที่ 6.6 แสดงกระบวนการแทนที่สีให้กับสร้างภาพจำลอง 3 มิติ ด้วยวิธีการแบบเดิม[20]

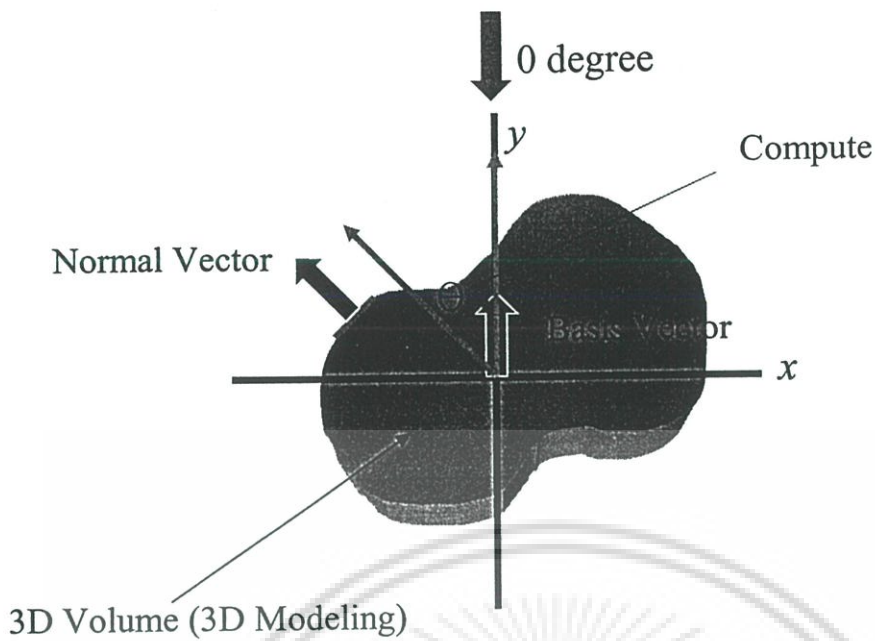
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.6 จะเห็นได้ว่ากระบวนการในการใส่สีให้กับภาพสามมิตินั้น จะต้องทำการแยกลำดับของภาพถ่ายสีออกเป็น 4 หมวดด้วยกันคือ หมวดภาพสีแดง หมวดภาพสีเขียว หมวดภาพสีน้ำเงิน และหมวดภาพที่เป็นเค้าโครงของวัตถุ หลังจากนั้น นำภาพทั้งสี่หมวดที่ได้มาผ่านกระบวนการสร้างภาพตัดขวางเสมือน และนำข้อมูลภาพตัดขวางเสมือนที่ได้มาทำการสร้างภาพสามมิติเชิงพื้นผิว ในขั้นตอนสุดท้ายคือการใส่สีให้กับภาพสามมิติ ซึ่งการใส่สีให้กับภาพสามมิติในบริเวณหนึ่งๆ ก็จะมีการไปดึงข้อมูลสีจากก่อนข้อมูลสีทั้งสามแม่สีในตำแหน่งเดียวกัน ใส่ลงไปบริเวณนั้นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนที่ยุ่งยากและซับซ้อน ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการเทียบค่าสีกับภาพถ่ายต้นฉบับโดยตรง ขั้นตอนในการประมวลผลแสดงดังรูปที่ 6.7



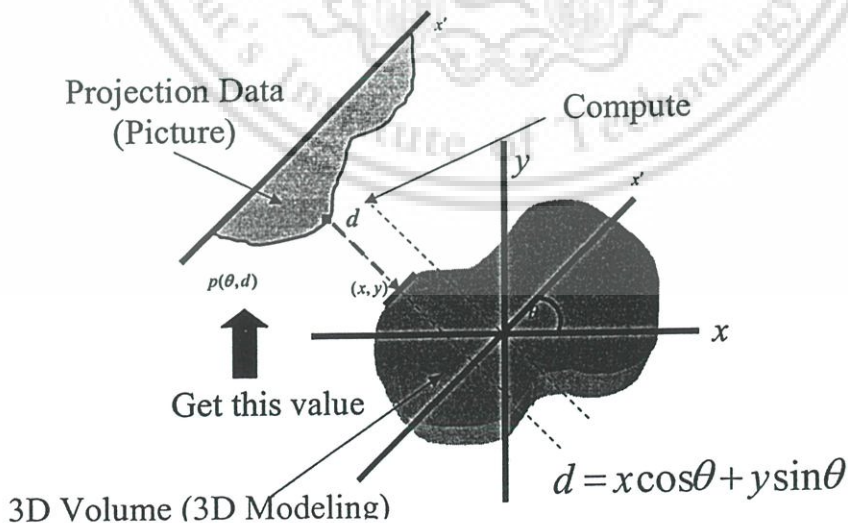
รูปที่ 6.7 แสดงกระบวนการสร้างภาพจำลอง 3 มิติ ด้วยวิธีการที่นำเสนอ

ลำดับข้อมูลภาพถ่ายสีจะถูกนำมาแยกส่วนที่เป็นวัตถุกับฉากหลัง จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการสร้างภาพตัดขวาง หลังจากได้ข้อมูลชุดของภาพตัดขวางเสมือนแล้ว ก็จะนำชุดข้อมูลภาพตัดขวางเสมือนที่ได้ไปสร้างเป็นภาพสามมิติเชิงพื้นผิวและในขั้นตอนสุดท้ายคือการใส่สีให้กับภาพสามมิตินั้น จะทำการคำนวณย้อนกลับเพื่อไปเลือกสีจากภาพถ่ายต้นฉบับ เพื่อมาใส่ลงในบริเวณที่ต้องการ ซึ่งขั้นตอนในการแทนที่สีสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 6.8 แสดงการคำนวณหามุมในแนวแกนเส้นตั้งฉากพื้นผิว

ขั้นตอนที่ 1 ทำการคำนวณหาค่ามุม θ ในแนวแกนของเส้นตั้งฉากพื้นผิวซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.8
 ขั้นตอนที่ 2 นำค่ามุม θ ที่คำนวณได้ ไปทำการเลือกภาพต้นฉบับสีที่มีมุม θ ใกล้เคียงกันมากที่สุด
 ขั้นตอนที่ 3 ทำการคำนวณหาค่าระยะ d จากสมการ $d = x \cos \theta + y \sin \theta$
 ขั้นตอนที่ 4 เมื่อได้ค่า θ และระยะ d เราจะสามารถเทียบสีจากภาพต้นฉบับที่จุด $P(\theta, d)$ มาใส่บริเวณพื้นผิวที่ต้องการได้ ซึ่งขั้นตอนที่ 2 - 4 สามารถแสดงดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 แสดงการเลือกภาพต้นฉบับสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

7.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง ซึ่งการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การทดลองที่ 1 การสร้างภาพสามมิติจากวัตถุจริง โดยจะมีขั้นตอนคือ การเก็บข้อมูลภาพ การสร้างภาพตัดขวางจากลำดับภาพถ่าย การสร้างภาพสามมิติโดยการใช้วิธีการแทนค่าสีพื้นผิวที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับวิธีการแทนค่าสีพื้นผิวแบบเก่า การทดลองที่ 2 เป็นการวัดขนาดเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของภาพสามมิติที่สร้างขึ้นเทียบกับขนาดของวัตถุจริง และการทดลองสุดท้ายจะเป็นการเปรียบเทียบหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสีของภาพสามมิติ ในการทดลองนี้กระทำการบนเครื่องคอมพิวเตอร์ Intel® Pentium4 1.8 GHz หน่วยความจำขนาด 256 MB ชนิด RDRAM และใช้โปรแกรมภาษา C++ ในการสร้างภาพตัดขวาง การสร้างภาพสามมิติเชิงพื้นผิว และการแทนที่สีพื้นผิวให้กับภาพสามมิติ

การหาค่าความผิดพลาดของขนาดภาพสามมิติเทียบกับวัตถุจริง โดยจะใช้วิธีการหารระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง(Diameter) ภาพตัดขวางของภาพสามมิติที่สร้างขึ้น เทียบกับระยะในอัตราส่วนจริงของวัตถุ ณ จุดเดียวกัน และจะเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Percent Error) โดยมีสมการดังสมการที่ 7.1

$$error(\%) = \frac{|d'-d|}{d} \times 100 \quad (7.1)$$

โดยที่ d เป็นระยะเส้นผ่านของวัตถุต้นฉบับ

d' เป็นระยะเส้นผ่านของภาพสามมิติที่สร้างกลับ

หาระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของภาพตัดขวางที่คำนวณได้จะต้องมีความผิดพลาดที่ต่ำ ซึ่งแสดงถึงขนาดของภาพสามมิติที่ถูกสร้างกลับมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุจริงมากที่สุด

7.2 การสร้างภาพสามมิติจากวัตถุจริง

7.2.1 การเก็บข้อมูลภาพ

ในการเก็บข้อมูลภาพนั้น จะนำเอาวัตถุที่ใช้เป็นวัตถุต้นแบบตั้งไว้บนระบบเก็บข้อมูลภาพซึ่งประกอบไปด้วย ฐานหลักสำหรับวางวัตถุ ฉากหลังซึ่งมีสีต่างจากสีของวัตถุที่จะนำมาถ่าย และมีกล้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกภาพซึ่งยึดติดอยู่กับแขนเหล็กที่หมุนได้รอบๆ วัตถุประสงค์เพื่อทำการเก็บภาพ ระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพนี้จะใช้ได้ทั้งวัตถุที่มีขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ เพียงแค่เปลี่ยนตำแหน่งและขนาดของฉาก เปลี่ยนตำแหน่งและขนาดของกล้องที่ใช้เก็บภาพเท่านั้น

วัตถุต้นแบบที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน 3 แบบ คือ รองเท้าขนาดความกว้าง 8.5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 15.5 เซนติเมตร กระปุกออมสินขนาดความสูง 14.8 เซนติเมตร และขาขนาดความสูง 42.1 เซนติเมตร

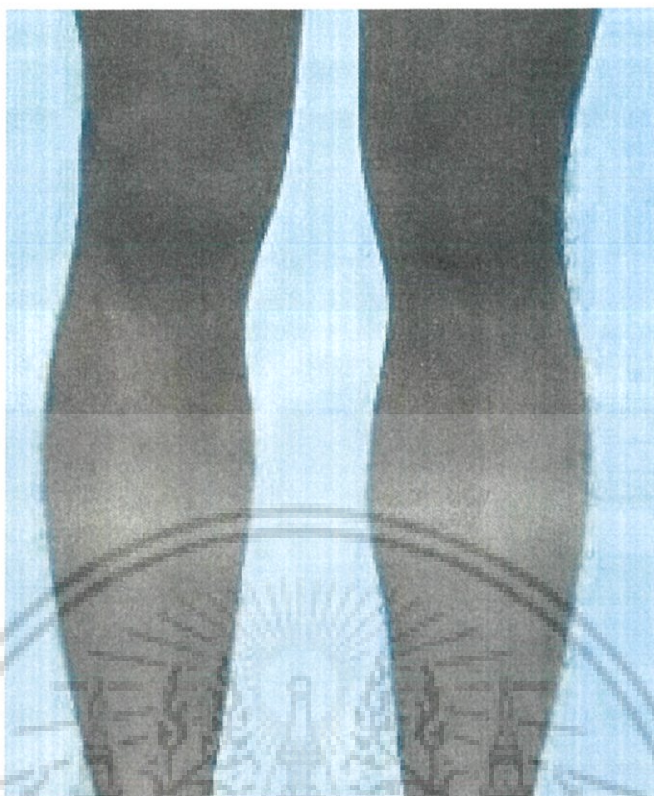


รูปที่ 7.1 ภาพรองเท้า



รูปที่ 7.2 ภาพกระปุกออมสิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 ภาพขา

7.2.2 วิธีการทดลองเก็บข้อมูลภาพ จากวัตถุจริง

การทดลองเก็บข้อมูลภาพนั้นจะต้องมีการกำหนดตำแหน่งของแสงที่สองมายังวัตถุ เพื่อให้เกิดแสงสะท้อนจากวัตถุเวลาเก็บภาพ อีกทั้งเพื่อให้ภาพสามมิติที่สร้างได้มีความสมจริงเพราะไม่มีแสงสะท้อนจากผิววัตถุเข้ามาเกี่ยวข้อง

ภาพของวัตถุที่จะใช้ในการทดลองนั้น หลังจากทำการเก็บภาพแล้วจะถูกนำมาปรับขนาด และตัดในส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป เพื่อเป็นการประหยัดหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ และลดระยะเวลาในการประมวลผลภาพ ภาพถ่ายจากวัตถุจริง จำนวน 3 แบบ มีจำนวนและขนาดของภาพดังนี้คือ ภาพรองเท้าจำนวน 183 รูป ขนาด 255x156 พิกเซล ภาพกระปุกออมสิน จำนวน 180 ภาพ ขนาด 204x239 พิกเซล และภาพขาจำนวน 182 ภาพ ขนาด 210x254 พิกเซล



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 7.4 ภาพรองเท้า

(ก) ภาพลำดับที่ 1

(ข) ภาพลำดับที่ 17

(ค) ภาพลำดับที่ 69

(ง) ภาพลำดับที่ 160



(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

รูปที่ 7.5 ภาพประกอบอมสิน

- (ก) ภาพลำดับที่ 1
- (ข) ภาพลำดับที่ 19
- (ค) ภาพลำดับที่ 65
- (ง) ภาพลำดับที่ 161

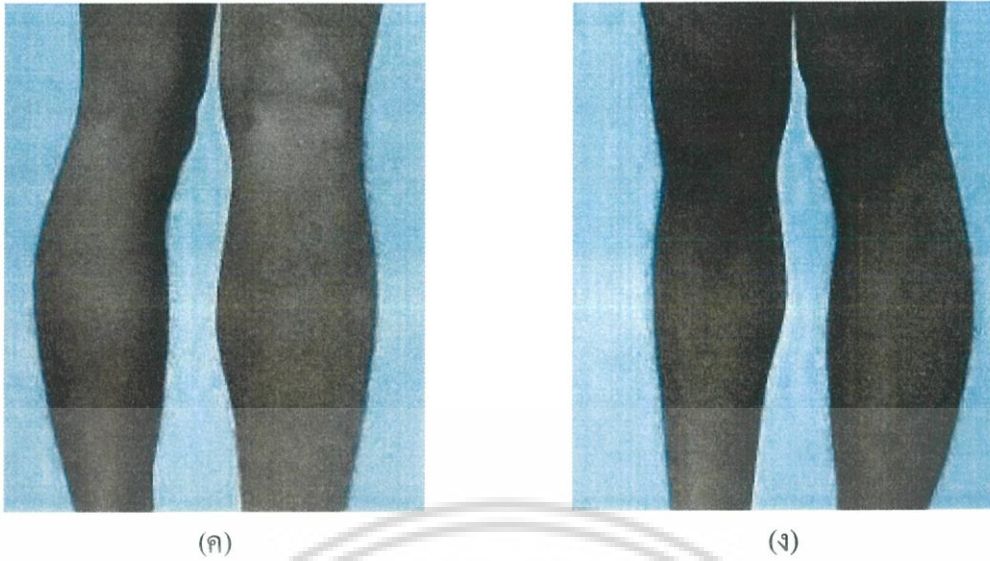


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 ภาพขา

(ก) ภาพลำดับที่ 1 (ข) ภาพลำดับที่ 14

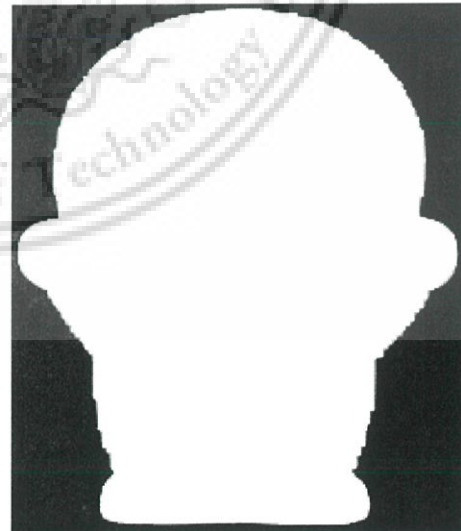
(ค) ภาพลำดับที่ 42 (ง) ภาพลำดับที่ 100

7.2.3 การทดลองสร้างภาพตัดขวางจากชุดข้อมูลภาพ

วิธีการสร้างภาพตัดขวางจะเลือกใช้วิธีเบ็ค โปรเจกชัน[7,20] เพราะเป็นวิธีการสร้างภาพตัดขวางที่ง่าย และรวดเร็ว ในกระบวนการแรกของการสร้างภาพตัดขวางเราจะต้องนำข้อมูลภาพที่ได้มาทำการแบ่งออกเป็นส่วนที่เป็นวัตถุ และส่วนที่เป็นฉากหลัง โดยใช้วิธีการทำเทรสโฮลด์



(ก)

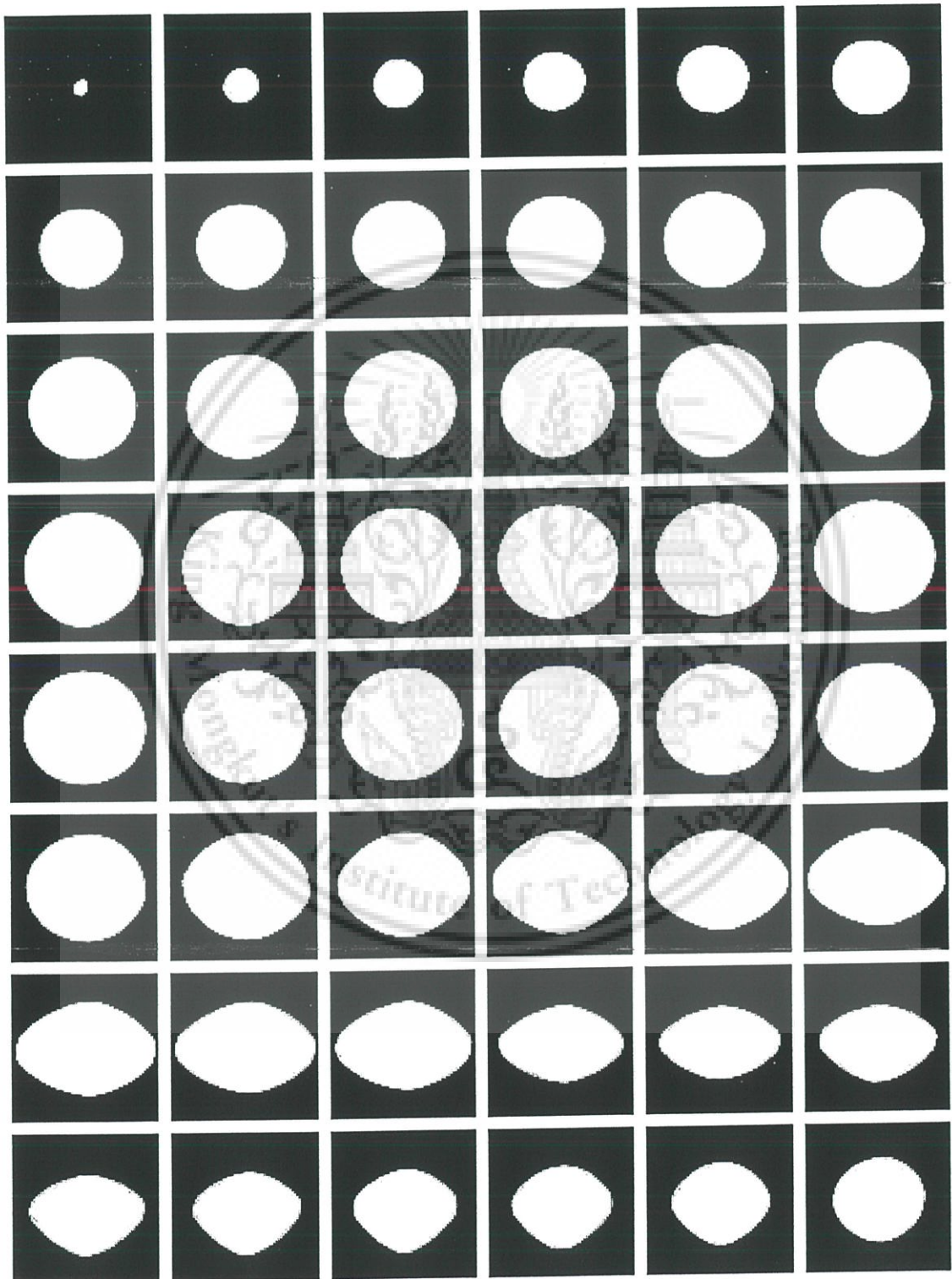


(ข)

รูปที่ 7.7 ภาพประกอบอมสิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (ก) ภาพก่อนทำเทรสโฮลด์ (ข) ภาพหลังทำเทรสโฮลด์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

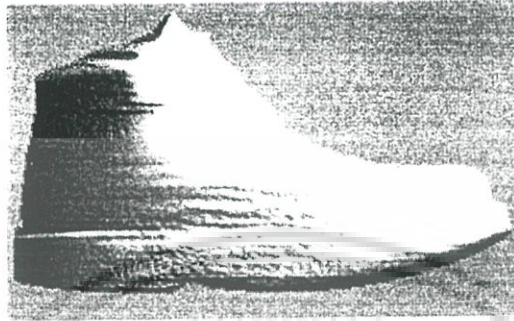
หลังจากทำเทรสโฮลด์กับภาพต้นฉบับหมดทุกลำดับภาพแล้ว ต่อมาจะเป็นกระบวนการสร้างภาพตัดขวาง โดยการสร้างภาพตัดขวางจะเริ่มทำที่ละสไลด์จากด้านบนของภาพลงสู่ด้านล่าง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการนี้ก็จะได้ภาพตัดขวางเสมือนของวัตถุในจำนวนที่เท่ากับความสูงของภาพ



รูปที่ 7.7 ภาพตัดขวางเสมือนของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

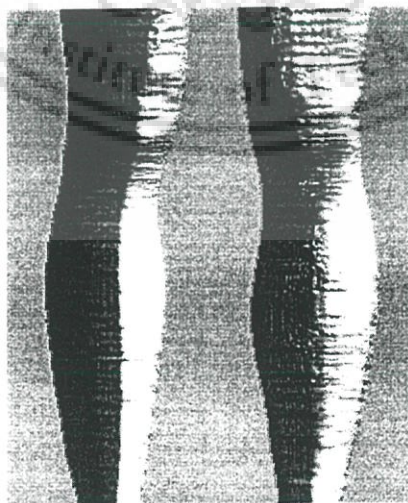
ภาพตัดขวางเสมือนของวัตถุสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ อาทิเช่น การหาปริมาตรของวัตถุ[20] การหาพื้นที่ผิว และการสร้างภาพสามมิติ ในการทดลองต่อไปจะเป็นการนำเอาภาพตัดขวางเสมือนของวัตถุไปทำการสร้างภาพสามมิติร่วมกับการแทนค่าสี ในการสร้างภาพสามมิติจะใช้วิธีการแบบมาร์ชชิงคิวบ์ซึ่งได้นำเสนอในบทก่อนนี้



(ก) ภาพสามมิติรองเท้า



(ข) ภาพสามมิติกระปุกอมสกิน



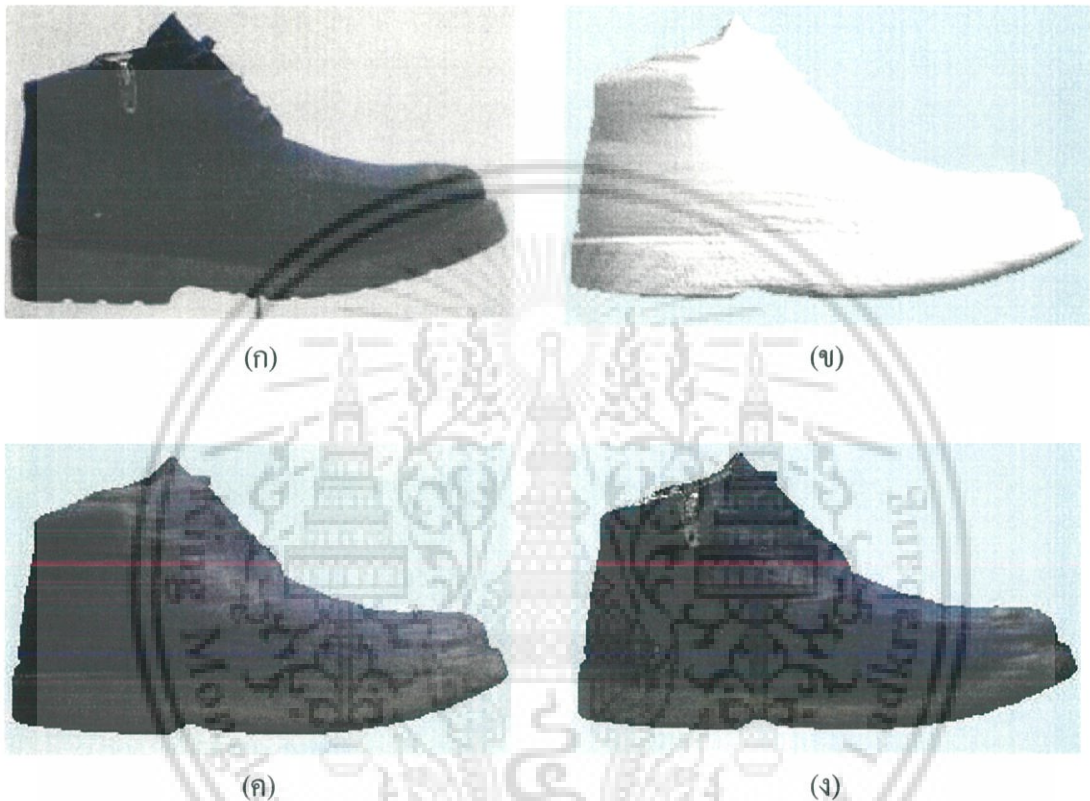
(ค) ภาพสามมิติขา

รูปที่ 7.8 ภาพสามมิติที่สร้างขึ้นด้วยวิธีมาร์ชชิงคิวบ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.4 การทดลองสร้างภาพสามมิติร่วมกับการแทนค่าสีพื้นผิว

ในการทดลองจะนำเอาภาพตัดขวางเสมือนของวัตถุที่ได้จากระบวนการก่อนหน้า มาทำการสร้างเป็นภาพสามมิติพร้อมทั้งใส่สีให้กับพื้นผิวของภาพสามมิติ โดยจะเปรียบเทียบผลของภาพสามมิติที่ได้จากระบวนการใส่สีในงานวิจัยที่ผ่านมา เทียบกับภาพสามมิติที่ได้จากวิธีการใส่สีที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



รูปที่ 7.9 ภาพรองเท้า

(ก) ภาพวัตถุต้นฉบับ

(ข) ภาพสามมิติ

(ค) ภาพสามมิติสีด้วยวิธีการเดิม

(ง) ภาพสามมิติสีด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 7.10 ภาพกระบอกอมสิน

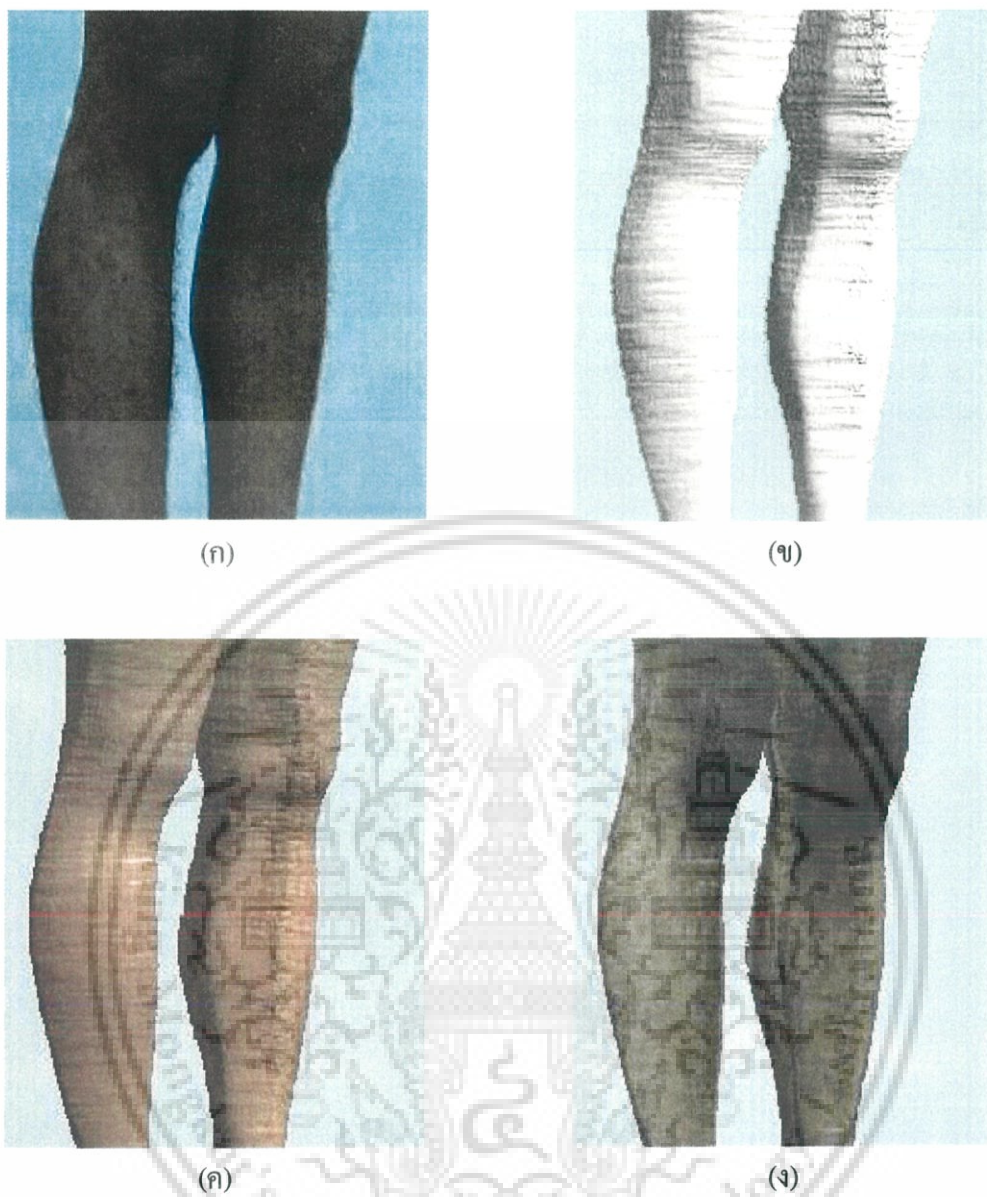
(ก) ภาพวัตถุต้นฉบับ

(ข) ภาพสามมิติ

(ค) ภาพสามมิติสีด้วยวิธีการเดิม

(ง) ภาพสามมิติสีด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.11 ภาพขา

(ก) ภาพวัตถุดำต้นฉบับ

(ข) ภาพสามมิติ

(ค) ภาพสามมิติสีด้วยวิธีการเดิม

(ง) ภาพสามมิติสีด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การทดลองเปรียบเทียบขนาดภาพสามมิติกับวัตถุจริง

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ในการทดลองเปรียบเทียบขนาดภาพสามมิติกับวัตถุจะใช้วิธีการหา ระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง(Diameter) ภาพตัดขวางของภาพสามมิติที่เทียบกับระยะในอัตราส่วนจริง ของวัตถุ ณ จุดเดียวกัน มีขั้นตอนดังนี้

7.3.1 คำนวณอัตราส่วนขนาดของภาพ

ในการคำนวณอัตราส่วนของภาพ จะคำนวณจากอัตราส่วนของวัตถุจริงเป็นหลัก ตัวอย่าง กระปุกออมสินจริงมีขนาดความกว้างที่สุดจากซ้ายไปขวา 12.7 เซนติเมตร และมีจำนวน จุดภาพ 197 Pixels ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนขนาดของความยาวได้ 0.064 เซนติเมตร/จุดภาพ

ตารางที่ 7.1 ตารางแสดงอัตราส่วนความยาวของวัตถุ

วัตถุต้นแบบ	ความยาว (เซนติเมตร)	จำนวนพิกเซล (พิกเซล)	อัตราส่วน (เซนติเมตร/พิกเซล)
รองเท้า	30	247	0.121
กระปุกออมสิน	12.7	197	0.064
ขา	40.8	210	0.194

7.3.2 คำนวณความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง(Diameter)

ในการคำนวณหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละภาพตัดขวางนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการหาตำแหน่งของภาพในการวัดที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของวัตถุ(Centroid) จากพิกัดขอบของภาพตัดขวาง โดยใช้สมการที่ 7.2

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (7.2)$$

โดยที่ C เป็นจุดศูนย์กลางถ่วงมวลวัตถุ(Centroid)

p_i เป็นพิกัดของวัตถุ

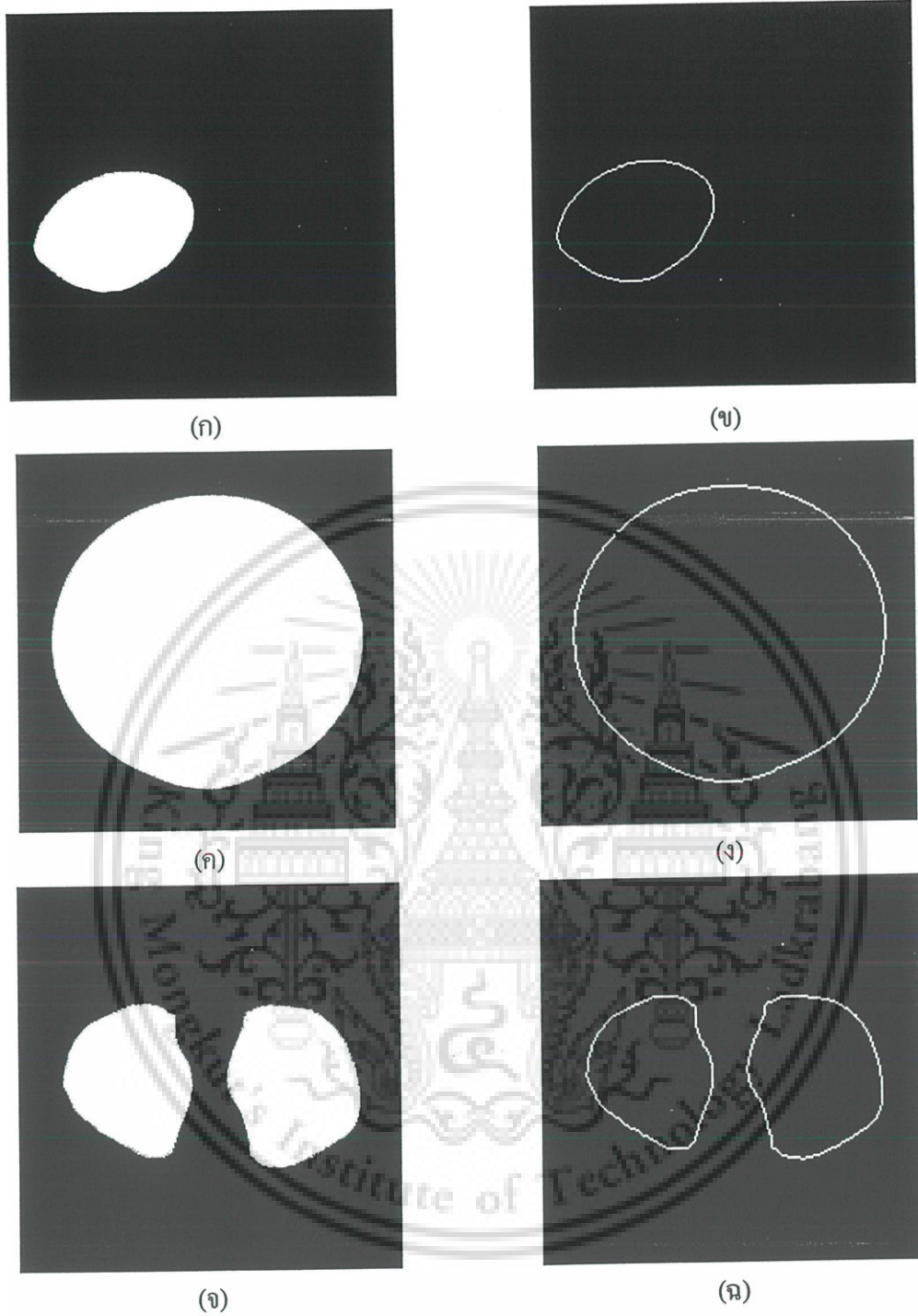
n เป็นจำนวนจุดของขอบวัตถุ

7.3.2.1 หาขอบภาพ

ก่อนที่จะนำภาพมาทำการหาพิกัดจุดศูนย์กลางถ่วงมวลวัตถุนั้น ต้องนำภาพไปทำการหาค้นหาขอบของวัตถุก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม MatLab 6.1 เป็นโปรแกรมช่วยคำนวณ

หาขอบของวัตถุให้ ดังรูปที่ 7-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.12 การหาขอบของภาพตัดขวาง

(ก) ภาพตัดขวางรอกแทสไลด์ที่ 42

(ข) ภาพขอบของภาพตัดขวางรอกแทสไลด์ที่ 42

(ค) ภาพตัดขวางกระปุกอมสินสไลด์ที่ 64

(ง) ภาพขอบของภาพตัดขวางกระปุกอมสินสไลด์ที่ 64

(จ) ภาพตัดขวางขาแทสไลด์ที่ 4

(ฉ) ภาพขอบของภาพตัดขวางขาแทสไลด์ที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.2.2 จุดศูนย์กลางมวลวัตถุ(Centroid)

หลังจากหาที่ได้ขอบของวัตถุบนภาพตัดขวางแล้ว นำภาพที่ได้มาหาจุดศูนย์กลางมวลวัตถุโดยใช้สมการที่ 7.2 แล้วใช้จุดศูนย์กลางมวลวัตถุเป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุบนภาพตัดขวาง

ตารางที่ 7.2 ตารางแสดงการขนาดของภาพสามมิติเทียบวัตถุจริง

วัตถุต้นแบบ	ลำดับสไลด์ที่	ภาพสามมิติ (เซนติเมตร)	วัตถุจริง (เซนติเมตร)	ค่าผิดพลาด (%)
รองเท้า	42	14.52	13.67	6.21
	67	17.56	16.69	5.21
	89	30.25	28.31	6.85
	113	31.46	29.65	6.10
	136	25.41	24.08	5.52
กระปุกอมสิน	64	11.20	10.75	4.19
	96	10.88	10.43	4.31
	110	13.44	12.74	5.49
	158	8.96	8.38	6.92
	210	7.58	7.10	6.76
	224	8.0	7.81	2.43
ขา	4	31.42	32.39	2.99
	41	30.65	30.65	3.45
	100	32.21	32.20	3.47
	156	32.95	34.14	3.49
	207	29.98	31.04	3.41
	240	27.74	28.32	2.05

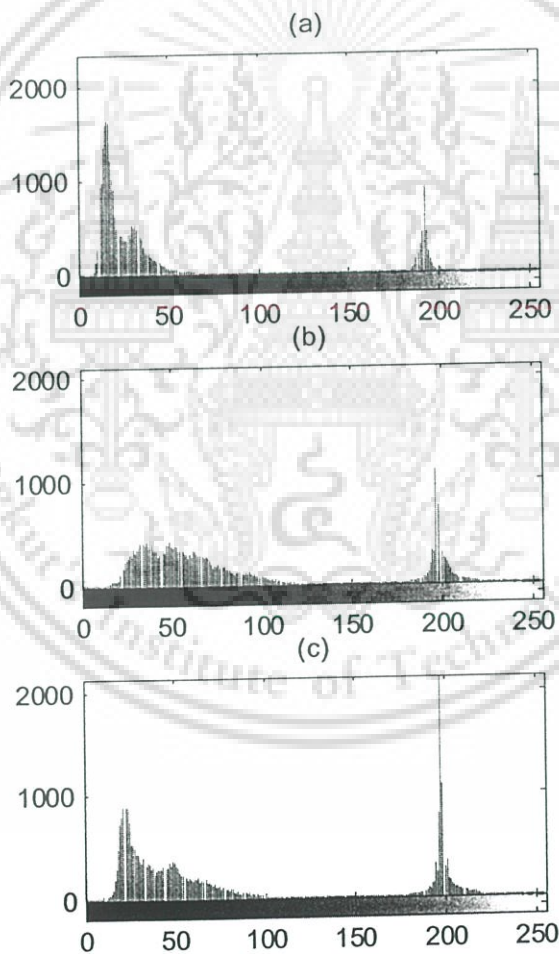
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 การทดลองเปรียบเทียบสีของภาพสามมิติ

ในการทดลองเปรียบเทียบสีของภาพสามมิตินั้น จะใช้วิธีการหาฮิสโทแกรม(Histogram) ในแต่ละหมวดสีทั้ง 3 สี (แดง, เขียว, น้ำเงิน) เพื่อดูการกระจายของกลุ่มข้อมูลสีว่าภาพสามมิติที่ได้ มีความเหมือนหรือแตกต่างจากภาพถ่ายต้นฉบับอย่างไร และในที่สุดท้ายจะเป็นการหาค่าความผิดพลาดจากค่าระดับสีของภาพสามมิติเทียบกับภาพถ่ายต้นฉบับ โดยใช้วิธี Mean Square Error (MSE) โดยมีสมการดังนี้

$$MSE(\%) = \frac{\iint [o(r) - o'(r)]^2 dr}{\iint [o(r)]^2 dr} \times 100 \quad (7.3)$$

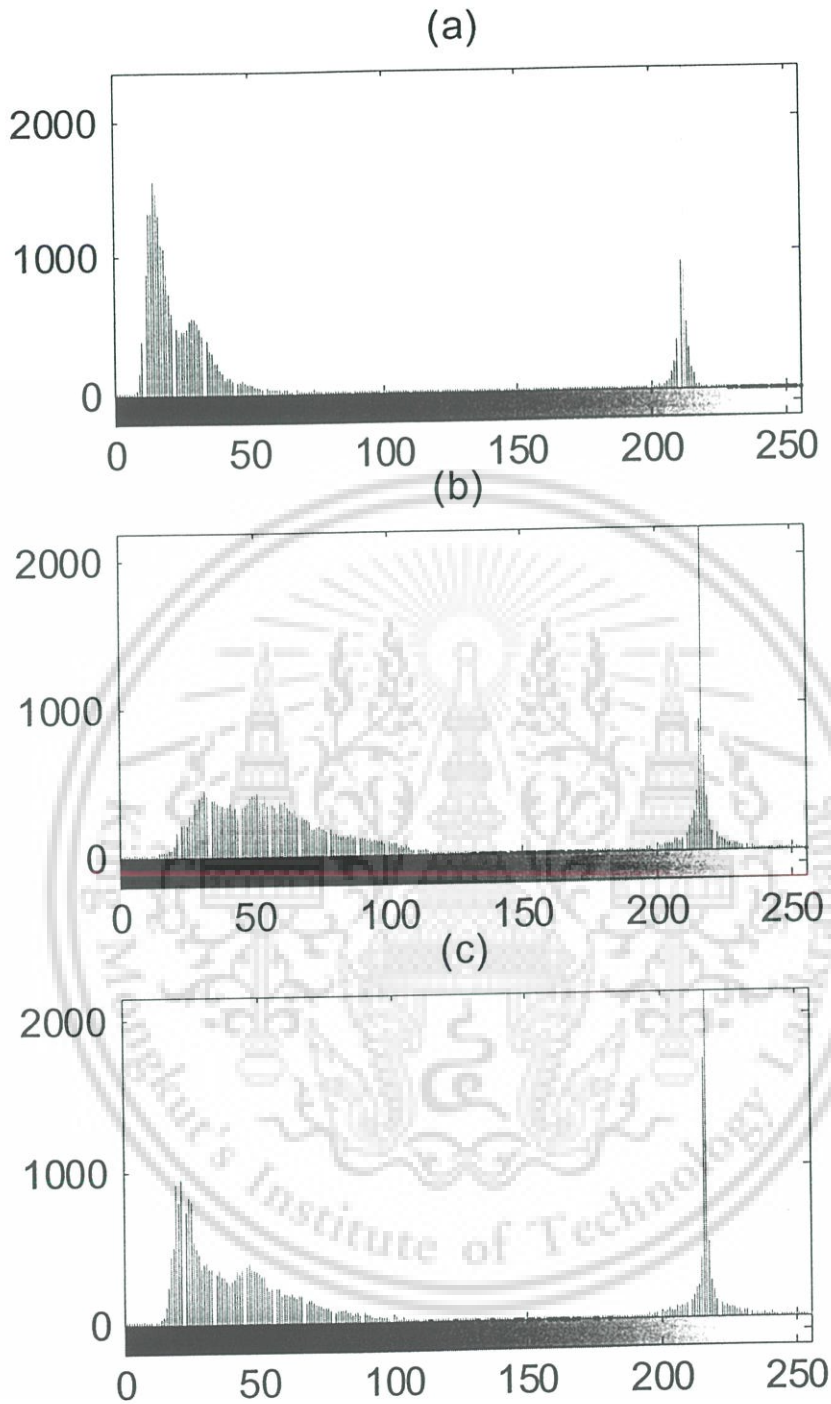
โดยที่ $o(r)$ เป็นภาพต้นฉบับ $o'(r)$ เป็นภาพสามมิติ และ r เป็นขอบเขตที่สนใจ



รูปที่ 7.13 ฮิสโทแกรมภาพรองทำหมวดสีแดง

- (a) ภาพถ่ายรองทำต้นฉบับ (b) ภาพรองทำสามมิติด้วยวิธีการเดิม
(c) ภาพรองทำสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

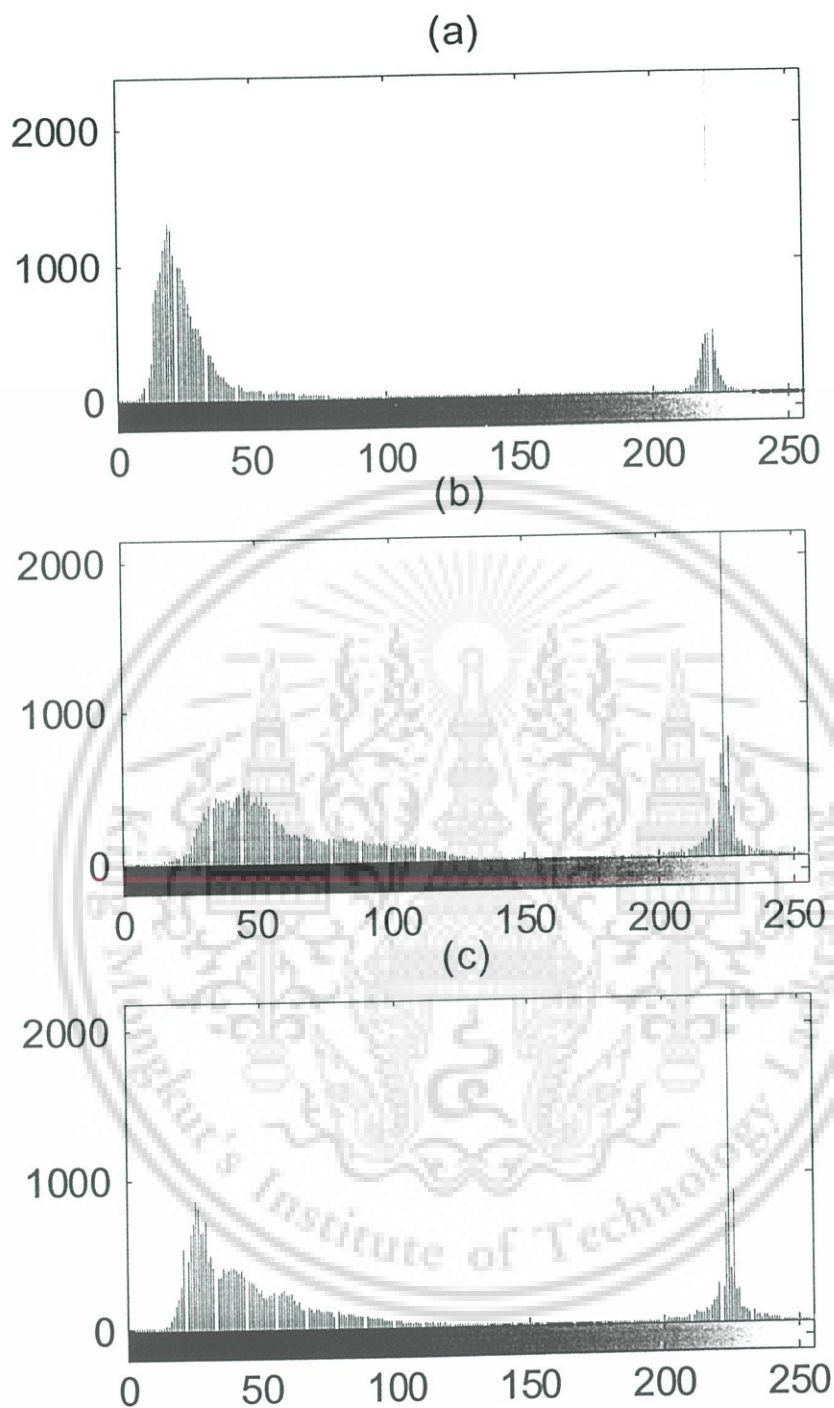


รูปที่ 7.14 ฮิสโทแกรมภาพรองเท่าหมวดสีเดียว

(a) ภาพถ่ายรองเท่าต้นฉบับ (b) ภาพรองเท่าสามมิติด้วยวิธีการเดิม

(c) ภาพรองเท่าสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

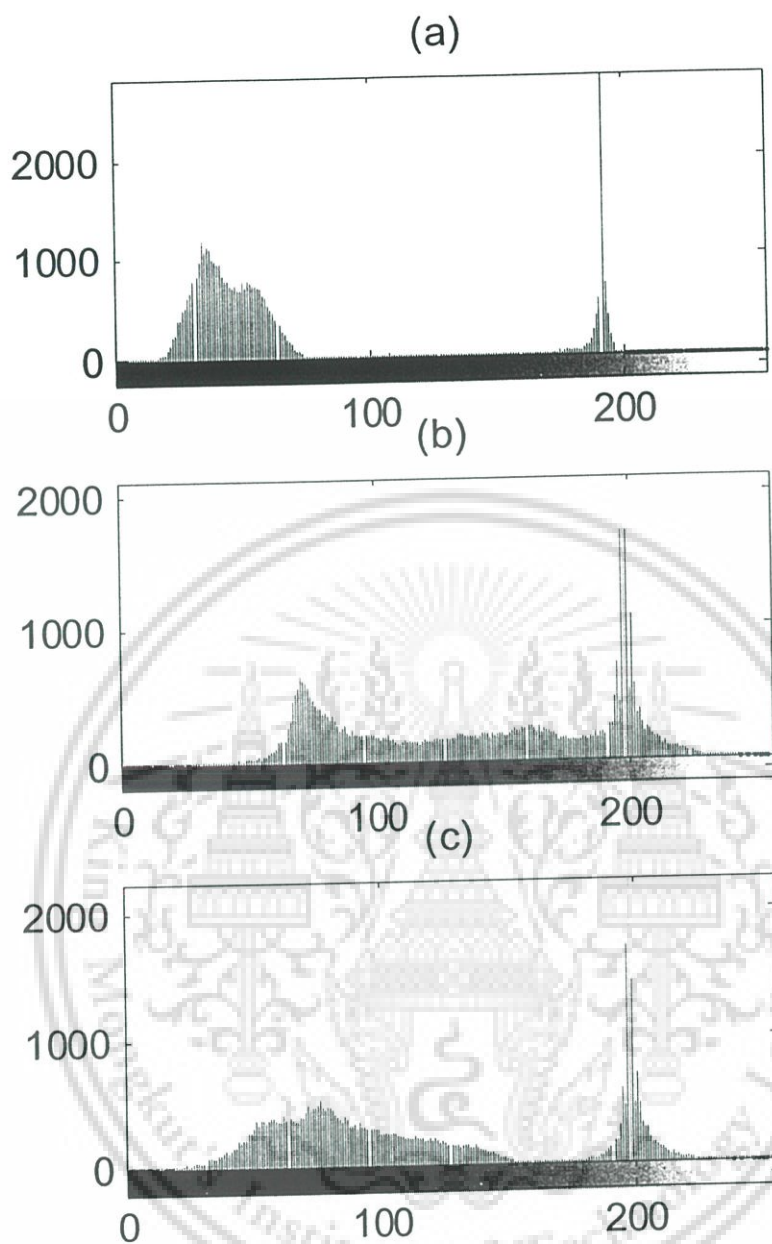


รูปที่ 7.15 ฮิสโทแกรมภาพรองเท้าหมวดสีน้ำเงิน

(a) ภาพถ่ายรองเท้าต้นฉบับ (b) ภาพรองเท้าสามมิติด้วยวิธีการเดิม

(c) ภาพรองเท้าสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

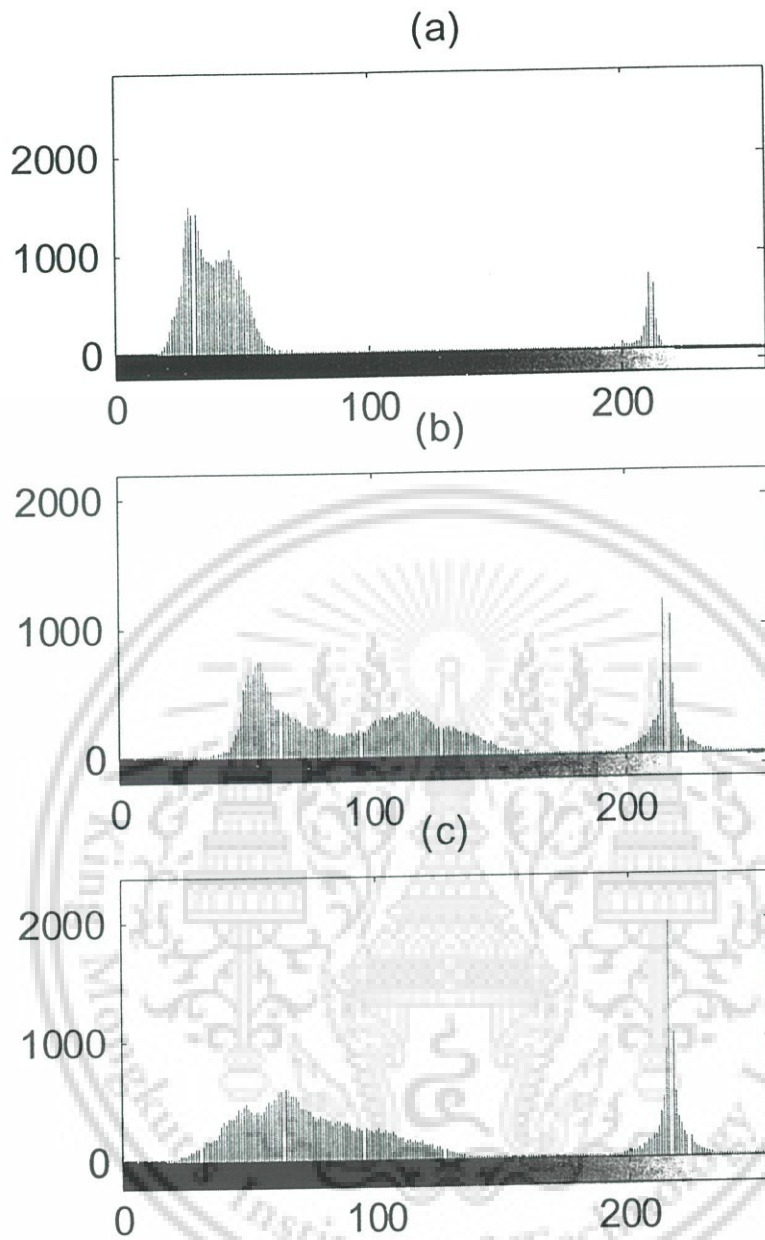


รูปที่ 7.16 ฮิสโทแกรมภาพขาวดำสีแดง

(a) ภาพถ่ายขาดันฉบับ (b) ภาพขาวสามมิติด้วยวิธีการเดิม

(c) ภาพขาวสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

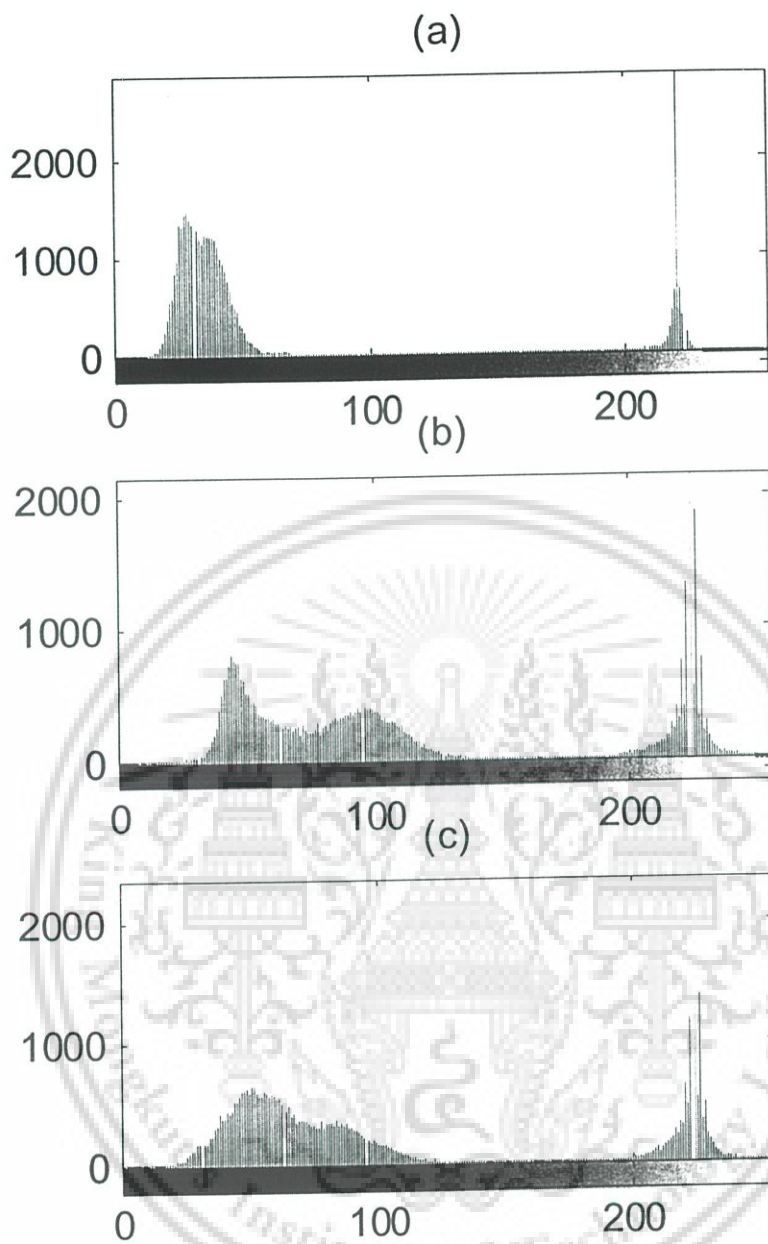


รูปที่ 7.17 ฮิสโทแกรมภาพขาวดำหวดสีเขียว

(a) ภาพถ่ายขาด้านฉบับ (b) ภาพขาวดำสามมิติด้วยวิธีการเดิม

(c) ภาพขาวดำสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

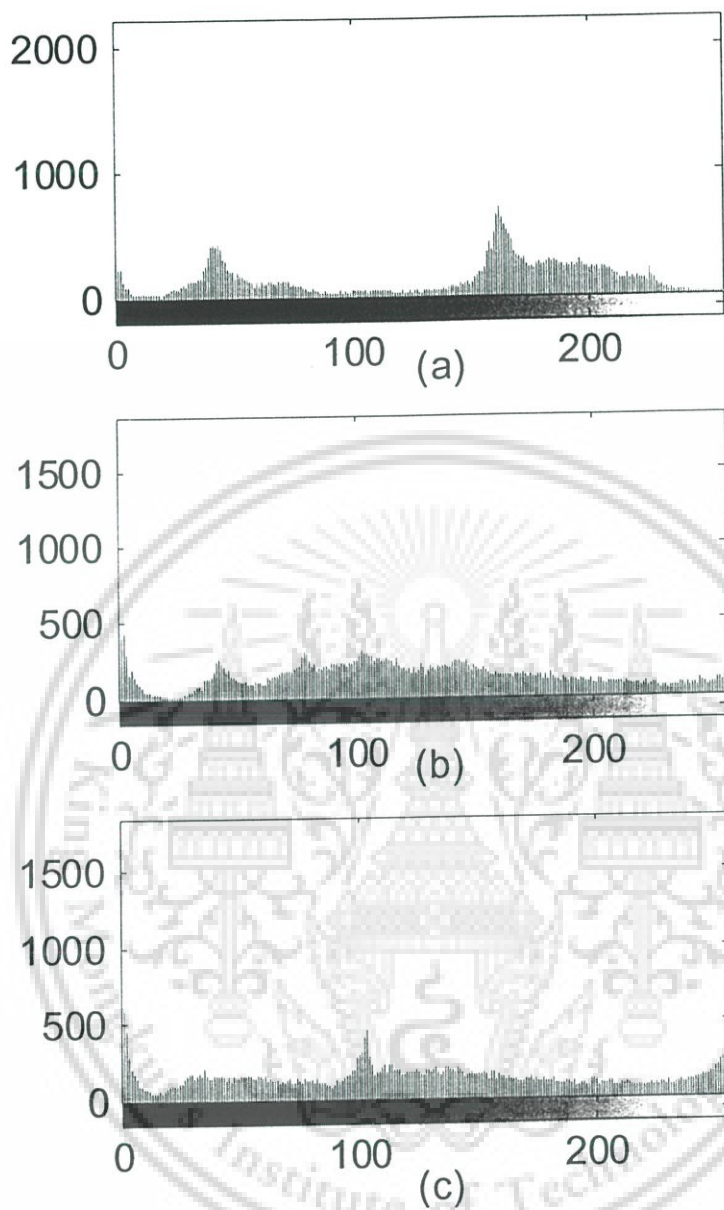


รูปที่ 7.18 ฮิสโทแกรมภาพขาวดำของค่าน้ำเงิน

(a) ภาพถ่ายขาด้านฉบับ (b) ภาพขาวดำสามมิติด้วยวิธีการเดิม

(c) ภาพขาวดำสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ

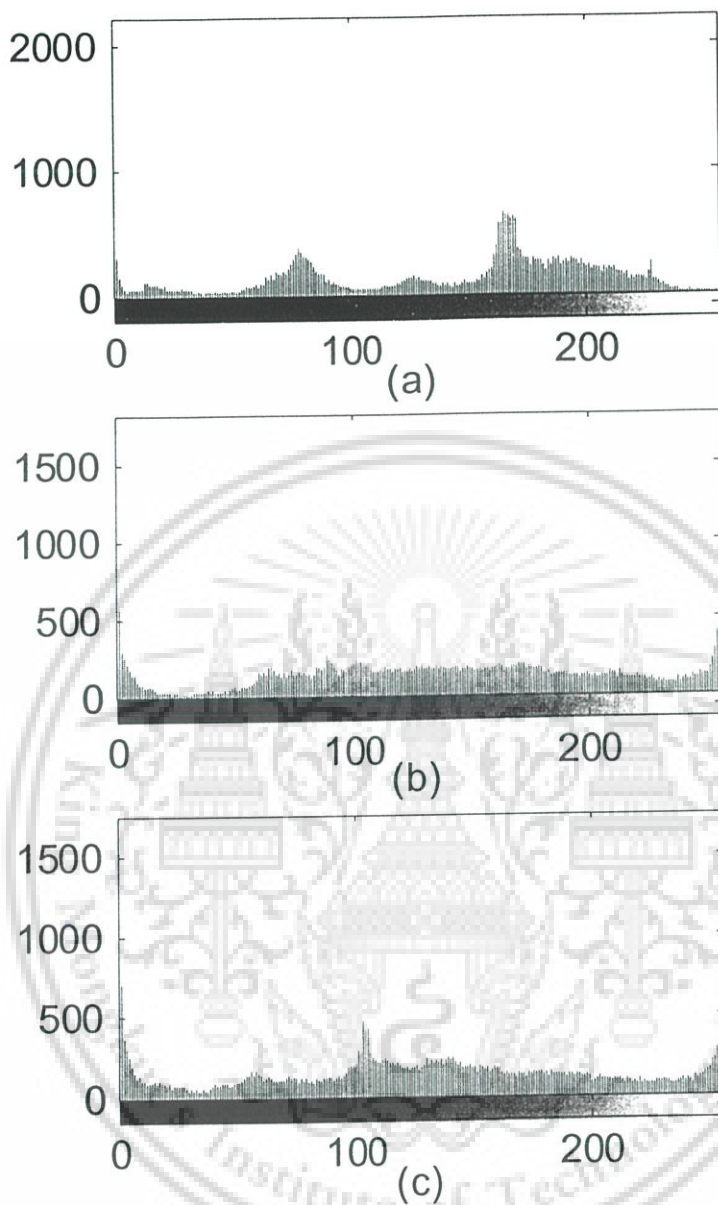
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.19 ฮีสโทแกรมภาพกระปุกออกมตินหวมวดสีแดง

- (a) ภาพถ่ายขาดันฉบับ (b) ภาพขาสวมมิติด้วยวิธีการเดิม
(c) ภาพขาสวมมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ

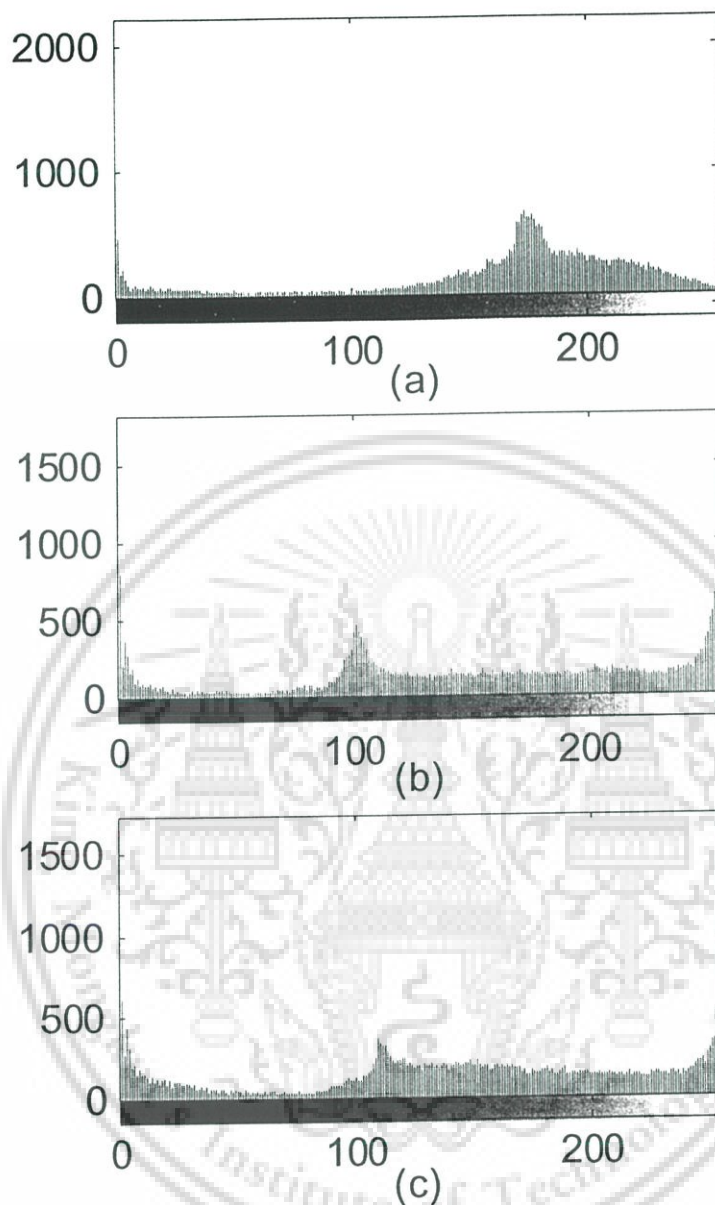
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.20 ฮิสโทแกรมภาพประกอบอสมติหนวดสีเขียว

- (a) ภาพถ่ายขาดันฉบับ (b) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการเดิม
(c) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.21 ฮิสโทแกรมภาพกระปุกออมสินหมวดสีน้ำเงิน

- (a) ภาพถ่ายขาดันฉบับ (b) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการเดิม
 (c) ภาพขาสามมิติด้วยวิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.1 การทดลองกำหนดความผิดพลาดจากค่าระดับสีของภาพสามมิติ

ในการหาความผิดพลาดจากค่าระดับสีของภาพสามมิติเทียบกับภาพถ่ายต้นฉบับ โดยใช้วิธี Mean Square Error (MSE) ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.3 ดังนี้

ตารางที่ 7.3 ตารางแสดงค่าความผิดพลาดจากค่าระดับสีของภาพสามมิติ

ภาพสามมิติ	หมวดสี	ค่าความผิดพลาดจากค่าระดับสีของภาพสามมิติ (%)	
		งานวิจัยก่อนหน้า	งานวิจัยที่นำเสนอ
รองเท้า	สีแดง	9.44	7.36
	สีเขียว	8.42	6.74
	สีน้ำเงิน	8.28	6.59
กระปุกอมสิน	สีแดง	16.10	11.06
	สีเขียว	17.13	11.07
	สีน้ำเงิน	13.01	9.26
ขา	สีแดง	35.09	18.26
	สีเขียว	20.79	15.19
	สีน้ำเงิน	17.86	14.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการวิจัย

การสร้างภาพจำลองสามมิติจากวัตถุจริงในปัจจุบันสามารถสร้างได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของตัววัตถุเองและเครื่องมือที่ใช้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกวิธีการสร้างภาพสามมิติจากการหาโครงร่างของวัตถุที่ได้มาจากการสร้างภาพตัดขวางของชุดข้อมูลภาพถ่าย เพราะเป็นวิธีหนึ่งที่ได้ภาพตัดขวาง โดยที่ไม่ทำให้วัตถุเสียหาย อุปกรณ์ที่ใช้มีราคาถูกหาซื้อง่าย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการหาโครงร่างด้วยวิธีอื่นที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่า กระบวนการที่ได้มาของภาพตัดขวางมีดังนี้คือ ทำการเก็บภาพรอบๆ วัตถุต้นแบบ นำชุดข้อมูลภาพมาทำการแยกส่วนของวัตถุและส่วนที่เป็นฉากหลัง หลังจากนั้นนำชุดข้อมูลภาพที่ได้ไปทำกระบวนการสร้างภาพตัดขวาง ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้วิธีแบ็คโปรเจกชัน เพราะเราต้องการเฉพาะส่วนที่เป็นโครงร่างของวัตถุเพียงอย่างเดียวไม่สนใจข้อมูลภายใน อีกทั้งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว หลังจากนั้นจะได้เป็นภาพตัดขวางเสมือนของวัตถุ ซึ่งภาพตัดขวางเสมือนนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายลักษณะ เช่น การหาปริมาตรของวัตถุ การหาพื้นที่ผิว การสร้างภาพสามมิติ เป็นต้น ในส่วนการสร้างภาพจำลองสามมิตินั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและปรับปรุงวิธีการแทนที่สีพื้นผิวให้กับภาพสามมิติ จากวิธีการเดิมที่ใช้ค่าสีที่ผ่านกระบวนการแบ็คโปรเจกชันมาแล้วนั้น จะทำให้ค่าสีที่ได้มีค่าผิดเพี้ยนไป โดยใช้การเทียบค่าสีของภาพต้นฉบับโดยตรง ซึ่งจากผลการทดลองโดยใช้วัตถุต้นแบบ 3 แบบ คือ รองเท้า กระปุกออมสิน และขา เมื่อทำการเปรียบเทียบด้วยสายตาแล้ว ก็จะเห็นได้ว่าภาพสามมิติที่สร้างด้วยวิธีการที่นำเสนอจะมีความสมจริงมากกว่าภาพสามมิติที่สร้างด้วยวิธีการเดิม การทดลองที่ 2 จะเป็นการเปรียบเทียบขนาดของภาพสามมิติที่สร้างขึ้นเทียบกับอัตราส่วนของวัตถุต้นแบบจริง โดยหาได้จากการวัดระยะของเส้นผ่านศูนย์กลางภาพตัดขวางของภาพสามมิติ ณ ที่ตำแหน่งเดียวกันกับวัตถุ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าขนาดของภาพสามมิติที่สร้างขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุจริง แต่ยังมีค่าผิดพลาดอยู่เกิดจากกระบวนการสร้างภาพตัดขวางและลักษณะของตัววัตถุเอง เพราะวิธีการสร้างภาพตัดขวางด้วยวิธีนี้จะมีปัญหาสำหรับพื้นผิวของวัตถุบางส่วนที่ถูบบัง เพราะพื้นผิวบริเวณนั้นจะไม่ปรากฏในภาพโครงร่างเลย การทดลองสุดท้าย จะเป็นการหาฮิสโทแกรมของภาพสามมิติที่สร้างขึ้นในแต่ละหมวดสี และการหาค่าความผิดพลาดจากค่าระดับสีของภาพสามมิติเทียบกับภาพถ่ายต้นฉบับ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าฮิสโทแกรมในแต่ละหมวดสีของภาพสามมิติที่สร้างขึ้นด้วยวิธีที่นำเสนอ จะแสดงคุณสมบัติของภาพที่มีความใกล้เคียงกับภาพถ่ายต้นฉบับมากกว่าสามมิติที่สร้างขึ้นด้วยวิธีก่อนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าความผิดพลาดจากค่าระดับสีของภาพสามมิติที่สร้างขึ้นด้วยวิธีที่นำเสนอจะน้อยกว่าสามมิติที่สร้างขึ้นด้วยวิธีก่อนหน้า

อย่างไรก็ตามภาพจำลองสามมิติร่วมกับการแทนที่สีพื้นผิวจากสีจริงที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ยังมีข้อจำกัดอยู่คือ จะต้องใช้ภาพถ่ายที่มีจำนวนมากพอสมควรจึงจะทำให้ได้ภาพสามมิติที่สร้างขึ้นมีความเหมือนกับวัตถุจริง

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. สีของวัตถุต้นแบบและฉากหลัง ควรมีความต่างกัน เพราะจะทำให้ง่ายในขั้นตอนการแยกวัตถุและพื้นหลัง
2. เลือกวิธีการสร้างภาพตัดขวางด้วยวิธีอื่น เช่น แบบอัลจีบราครีคอนสตรัคชันเทคนิค (Algebraic Reconstruction Techniques :ART) เพราะเป็นวิธีที่คำนวณช้าในขั้นตอนแบ็กโปรเจกชัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. A. Williams, M. S. Beck, Ed., **Process Tomography Principles, Techniques and Application**. Oxford : Butterworth-Heinemann, Ltd., 1995.
- [2] มานัส มงคลสุข. **พื้นฐานทางฟิสิกส์ของ CT และ MRI**. กรุงเทพฯ ฯ : ไพศาลศิลป์การพิมพ์. 2532.
- [3] A. C. Kak and M. Slaney, **Principles of Computerized Tomographic Imaging**. New York: IEEE Press, 1988.
- [4] A. Slaney, and A. C. Kak, **“Diffraction Tomography”**, Proc. S.P.I.E., vol. 413, Apr. 1983, pp. 2-19.
- [5] Molyneux, J. E. and Witten, A, **“Diffraction Tomographic Imaging in a Monostatic Measurement Environment,”** IEEE. Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 31, no. 2, pp. 507-511, 1993.
- [6] A. C. Kak and M. Slaney, **Principles of Computerized Tomographic Imaging**. New York: IEEE Press, 1988.
- [7] Gering, D.T., Wells, W.M., III. **“Object modeling using tomography and photography”**. Multi-View Modeling and Analysis of Visual Scenes,(MVIEW '99) Proceedings. IEEE Workshop on. pp.11-18, 1999.
- [8] Lambertian Surface, Lambert's Cosine Law. Lighting Design Knowledgebase. http://www.schorsch.com/kbase/glossary/lambertian_surface.html
- [9] Dhond U. R., Aggarwal J. **“Structure from Stereo A Review.”** IEEE Trans. on Syst. Man. And Cybern. vol. 19, pp. 1489-1510, 1989.
- [10] Bosch T. et. al. **“Three-Dimensional Object Construction Using a Self-mixing Type Scanning Laser Range Finder.”** IEEE Trans. Instrum. And Meas. vol. 45, pp. 1326-1329, 1998.
- [11] Center for Machine Perception (CMP). **“Laser Plane Range Finder.”** [Online]. Available: <http://cmp.felk.cvut.cz/>.
- [12] Meadows D. M. et. al. **“Generation of Surface Contours by Moiré Pattern.”** Appl. Opt. vol. 9, pp. 942-947, 1970.
- [13] C. Pintavirooj, W. Withayachumnankul, S.Tungjitkusolmun, and K. Chitsakul, **“3D Shape Recovery Based Radon Transform,”** Proc. ISCIT2001, Thailand, pp. 377-380, 2001.

- [14] W. Withayachumnankul, C. Pintavirooj, M. Sangworasil, and K. Hamamoto, "3D Shape Recovery Based on Tomography," *Proc. Int. Conf. on Signal Processing*, Beijing, China, Oct. 2002. pp. 784-787.
- [15] ธนาภรณ์ รัตนเมธาวิ. "การเพิ่มความเร็วในการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์ด้วยการแปลงระยะทางสองทิศทาง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [16] สมบัติ ฝอยทอง. "การรู้จำรูปทรงของวัตถุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยใช้ดิ้นสไปล์." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิต วิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [17] David F. R., J. Alan Adams. **Mathematical Elements for Computer Graphics**. 2nd ED. New York: McGraw-Hill Publishing company, Inc. 1989.
- [18] Gouraud, H., "Continuous Shading of the Curved Surface," *IEEE Trans. Computers*, vol. 20, pp. 623-629, 1971.
- [19] Phong, B.T., "Illumination for Computer Generated Pictures," *Communications of the ACM*, vol. 18, pp. 311-317, 1975.
- [20] วิทวัส วิทยชานาญกุล. "การหาโครงร่างของวัตถุโดยใช้หลักการโทโมกราฟฟีกับภาพถ่าย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการเปรียบเทียบขนาดของภาพสามมิติกับวัตถุต้นแบบ

ในการทดลองเปรียบเทียบขนาดภาพสามมิติกับวัตถุจะใช้วิธีการหาระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ภาพตัดขวางของภาพสามมิติที่เทียบกับระยะในอัตราส่วนจริงของวัตถุ ณ จุดเดียวกัน มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดอัตราส่วนขนาดของภาพ

ในการกำหนดอัตราส่วนของภาพ จะคำนวณจากอัตราส่วนของวัตถุจริงเป็นหลัก ตัวอย่าง กระปุกออมสินจริงมีขนาดความกว้างที่สุดจากซ้ายไปขวา 12.7 เซนติเมตร และมีจำนวนจุดภาพ 197 Pixels ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนขนาดของความยาวได้ 0.064 เซนติเมตร/จุดภาพ



รูปที่ 1 การวัดขนาดของภาพกระปุกออมสิน

2. กำหนดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง(Diameter)

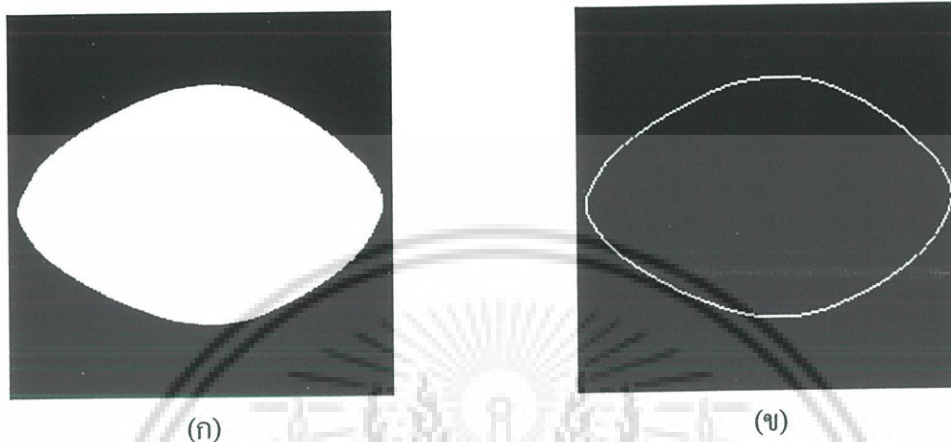
ในการคำนวณหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละภาพตัดขวางนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการอ้างอิงตำแหน่งของภาพในการวัดที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของวัตถุ(Centroid) จากพิกัดขอบของภาพตัดขวาง โดยใช้สมการที่ 1

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาขอบภาพ

ก่อนที่จะนำภาพมาทำการหาพิกัดจุดศูนย์กลางถ่วงมวลวัตถุนั้น ต้องนำภาพไปทำกระบวนการหาขอบของวัตถุก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม MatLab 6.1 เป็นโปรแกรมช่วยคำนวณ หาขอบของวัตถุให้ ดังรูปที่ 2



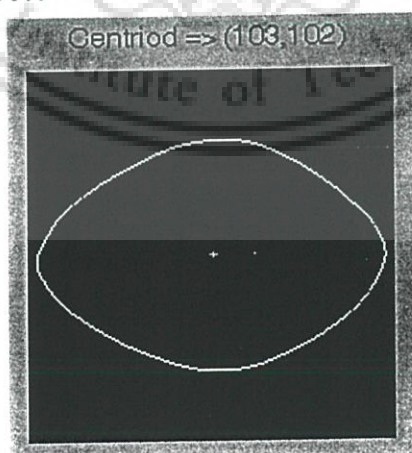
รูปที่ 2 การหาขอบของภาพตัดขวาง

(ก) ภาพตัดขวางกระดูกอมสินสไลด์ที่ 113

(ข) ภาพขอบของภาพตัดขวางกระดูกอมสินสไลด์ที่ 113

4. จุดศูนย์กลางถ่วงมวลวัตถุ(Centroid)

หลังจากหาที่ได้ขอบของวัตถุบนภาพตัดขวางแล้ว นำภาพที่ได้มาหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลวัตถุ โดยใช้สมการที่ 1 แล้วใช้จุดศูนย์กลางถ่วงมวลวัตถุเป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุบนภาพตัดขวาง



รูปที่ 3 ภาพแสดงการหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.การหาค่าความผิดพลาดของขนาดภาพสามมิติเทียบกับวัตถุจริง

การหาค่าความผิดพลาดของขนาดภาพสามมิติเทียบกับวัตถุจริง โดยจะใช้วิธีการหาระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง(Diameter) ภาพตัดขวางของภาพสามมิติที่สร้างขึ้น เทียบกับระยะในอัตราส่วนจริงของวัตถุ ณ จุดเดียวกัน และจะเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Percent Error) โดยมีสมการดังสมการที่ 2

$$error(\%) = \frac{|d'-d|}{d} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ d เป็นระยะเส้นผ่านของวัตถุต้นฉบับ

d' เป็นระยะเส้นผ่านของภาพสามมิติที่สร้างกลับ

หาระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของภาพตัดขวางที่คำนวณได้จะต้องมีความผิดพลาดที่ต่ำ ซึ่งแสดงถึงขนาดของภาพสามมิติที่ถูกสร้างกลับมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุจริงมากที่สุด



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายสุทัศน์ เรือง
 วัน เดือน ปีเกิด 30 มิถุนายน 2522
 ที่อยู่ 134 หมู่ 11 ต.ทุ่งใหญ่ อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร 66190
 โทร 05-0433342
 ประวัติการศึกษา 2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประสบการณ์ทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2545-2546 ตำแหน่งอาจารย์
 โรงเรียนเทคโนโลยีบริหารธุรกิจเปรมฤทัย

พ.ศ.2545

- Sookpotharom Supot ,Reruag Sutath ,Airphaihoon Surapan and Sangworasil Manas, **“Medical Image Compression Using Vector Quantization and Fuzzy C-Means”**. International Symposium on Communication and Information Technology (ISCIT 2002), Pattaya, Chonburi, Thailand. October 2002.

พ.ศ.2547

- S. Reruag, W. Withayachumnankul, C. Pintavirooj, S. Airphaiboon and P. Lertpasert, **“3D SHAPE EXTRACTION OF LARGE OBJECT USING PHOTOGRAPHIC TOMOGRAPHY”**, IEEE TENCON 2004 , Chiang Mai, Thailand, November 2004.