สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงคุณภาพของการสร้างภาพเชิงปริมาตรจากภาพตัดขวาง

IMPROVEMENT OF VOLUME RENDERING FROM CROSS – SECTION IMAGES

ชื่นกมล บุญเกียรติ
วิร์สุดา ครุฑกุล
สิริญา บุญใจ

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

ว.
ว 91 ก
2548
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 59403
วัน,เดือน,ปี 7 ส.ค. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPROVEMENT OF VOLUME RENDERING FROM CROSS – SECTION IMAGES

CHEUNKAMOL BUNKIATE

WISUDA KRUDGUN

SIRIYA BUNJAI

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การปรับปรุงคุณภาพของการสร้างภาพเชิงปริมาตรจากภาพตัดขวาง
	IMPROVEMENT OF VOLUME RENDERING FROM
	CROSS – SECTION IMAGES
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชื่นกมล บุญเกียรติ 45050010
	นางสาววิร์สุดา ครุฑกุล 45050054
	นางสาวสิริญา บุญใจ 45050062
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
สาขาวิชา	คณิตศาสตร์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์
	รศ.พัชรินทร์ เหมโชติ

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2548

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ. พรชัย ชัยสนิท	
กรรมการ อ.พีระศักดิ์ อินทรไพบูลย์	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.พัชรินทร์ เหมโชติ	

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ บุญจริง)
หัวหน้าภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ การปรับปรุงคุณภาพของการสร้างภาพเชิงปริมาตรจากภาพตัดขวาง
ชื่อนักศึกษา นางสาวชื่นกมล บุญเกียรติ 45050010
นางสาววิร์สุดา ครุฑกุล 45050054
นางสาวสิริญา บุญใจ 45050062
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
สาขาวิชา คณิตศาสตร์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2548
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์
รศ.พัชรินทร์ เหมโชติ

บทคัดย่อ

โครงงานปัญหาพิเศษนี้ เป็นการศึกษาการสร้างภาพเชิงปริมาตรจากภาพตัดขวางของร่างกายมนุษย์ที่ได้จากเครื่อง CT และใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ เรื่องเวกเตอร์ในการประมวลผลภาพ

ความเข้มของแสงที่สะท้อนออกจากวัตถุคำนวณได้จากปริมาณของค่าระดับเทาของภาพตัดขวาง โครงงานปัญหาพิเศษนี้นำเสนอวิธีการสร้างภาพเชิงปริมาตร 3 วิธีด้วยกัน คือ การเฉลี่ย การประกอบภาพจากหน้าไปหลัง การประกอบภาพจากหลังไปหน้า วิธีเหล่านี้ได้ถูกใช้ร่วมกับการแบ่งกลุ่มของชั้นเนื้อเยื่อ การพัฒนาโปรแกรมการสร้างภาพเชิงปริมาตรนี้ใช้ภาษา C++ Builder 6 บนระบบปฏิบัติการวินโดว์ XP จากผลการทดลองได้ข้อสรุปว่า ภาพผลลัพธ์ที่ได้เป็นภาพกึ่งโปร่งใสที่มองเห็นส่วนโครงกระดูกภายในร่างกายได้ชัดเจน แต่มองเห็นส่วนเนื้อเยื่อได้ไม่ชัดเจนนัก สืบเนื่องจากข้อจำกัดของภาพที่ได้จากเครื่อง CT และความละเอียดของค่าระดับเทาของภาพตัดขวางที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	IMPROVEMENT OF VOLUME RENDERING FROM CROSS – SECTION IMAGES
Students	Miss Cheunkamol Bunkiate 45050010
	Miss Wisuda Krutkul 45050054
	Miss Siriya Bunjai 45050062
Degree	Bachelor of Science
Department	Mathematics and Computer Science, Faculty of science
Programme	Applied Mathematics
Academic Year	2005
Special Project Advisor	Assoc.Prof. Praiboon Pantaragphong
	Assoc.Prof. Patcharin Hemchote

ABSTRACT

This special project is a study of 3D volume rendering techniques from 2D cross-sectional images of a human body obtained from CT (Computed Tomography). The study is made on three techniques: (1) Average of are Gray Point technique, (2) Front-to-Back rendering technique, and (3) Back-to-Front rendering technique. It combined these techniques with layer classification method. It then implemented these algorithms for experiments using C++ Builder 6.0 on Windows XP operating system. The result shows that resulting 3D image is semi-transparent of which the bone part can be seen clearly but the tissue and organ parts cannot be seen clearly due to limitation of 3D cross-sectional images from CT and the low number of this gray levels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของการสร้างภาพเชิงปริมาตรจากภาพตัดขวาง สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์ และรองศาสตราจารย์พัชรินทร์ เหมโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาต่างๆ ในปัญหาพิเศษฉบับนี้

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนพรัตน์ พันธ์เสนาที่คอยให้คำแนะนำช่วยเหลือตลอดมา ขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน จนข้าพเจ้าได้เจริญเติบโตทั้งด้านร่างกาย สติปัญญา ให้โอกาสทางการศึกษาและทุนทรัพย์ จนการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จด้วยดี รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆเกี่ยวกับปัญหาพิเศษไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

กุมภาพันธ์ 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญรูป.....VIII
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2
1.3 ขอบเขตของปัญหา.....2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....2
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นของภาพ.....3
2.1 บทนำ.....3
2.2 องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของข้อมูลภาพ.....3
2.2.1 ชนิดของภาพกราฟิก.....4
2.2.1.1 Vector Graphics.....4
2.2.1.2 Raster Graphics.....4
2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาพเชิงพื้นผิวและภาพเชิงปริมาตร.....4
2.3.1 ภาพเชิงพื้นผิว.....4
2.3.2 ภาพเชิงปริมาตร.....5
2.4 ที่มาหลักการเบื้องต้นในการสร้างภาพตัดขวาง.....6
2.4.1 การสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะโดยใช้หลักการของเครื่อง CT.....7
2.4.2 การสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะโดยใช้หลักการของเครื่องแม่เหล็กไฟฟ้า(MRI).....9
2.5 ขั้นตอนการสร้างภาพเชิงปริมาตร.....10
2.5.1 การแบ่งกลุ่มข้อมูล.....11
2.5.2 การกำหนดสี และค่าความทึบแสง.....11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.3 การฉายแสง 12
2.5.4 การส่องสว่างและการให้แสงเงา 12
2.5.5 การรวมองค์ประกอบภาพ 12

บทที่ 3 ทฤษฎีการสร้างภาพ 14
3.1 บทนำ 14
3.2 ระบบพิกัด 14
3.3 การแปลงเรขาคณิตของข้อมูลภาพ 15
3.3.1 การเคลื่อนย้ายตำแหน่ง 16
3.3.2 การ 17
3.3.3 การปรับมาตรา 18
3.3.4 การแปลงแบบผสม 18
3.4 ขั้นตอนการสร้างภาพเชิงปริมาตรจากภาพที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ 19
3.5 การสร้างภาพโดยวิธีการฉายแสง 20
3.6 การประมาณค่าในช่วง 22
3.6.1 การประมาณค่าในช่วงแบบเนียร์เรสเนเบอร์ 22
3.6.2 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น 23
3.7 การแบ่งกลุ่มข้อมูล 25
3.7.1 ฮีสโทแกรม 25
3.7.2 เกรเดียนต์ 26
3.7.3 นอร์มอลเวคเตอร์ 28
3.7.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสง 28
3.7.5 การให้ค่าสี 29
3.8 การส่องสว่างและการให้แสงเงา 29
3.8.1 การให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong 29
3.8.2 แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong 29
3.8.2.1 แสงแวดล้อม 30
3.8.2.2 การสะท้อนแบบกระจาย 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.8.2.3 การสะท้อนแบบกระจก 31
3.8.3 การให้แสงเงากับการสร้างภาพเชิงปริมาตร 32
3.9 การประกอบภาพ 33
3.9.1 การประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง 33
3.9.2 การประกอบภาพแบบหลังไปหน้า 35
สรุป 36

บทที่ 4 การออกแบบโครงสร้างข้อมูลและวิธีการ 37
4.1 บทนำ 37
4.2 เตรียมภาพข้อมูลต้นฉบับ 38
4.2.1 ขั้นตอนในการประมวลผลเพื่อสร้างภาพ 39
4.2.2 การออกแบบโปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูลภาพ 39
4.3 การนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำ 40
4.3.1 การจองหน่วยความจำ 40
4.3.2 การนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำ 40
4.4 การฉายแสง 42
4.5 การแบ่งกลุ่มข้อมูล 43
4.6 การกำหนดคุณสมบัติของแต่ละวอกเซล 43
4.6.1 ค่าความทึบแสง 43
4.6.1.1 แบ่งช่วงข้อมูล 43
4.6.1.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนค่าทึบแสง 44
4.7 การประกอบภาพ 46
4.7.1 การประกอบภาพแบบค่าเฉลี่ยทุกจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล 46
4.7.2 การประกอบภาพแบบค่าเฉลี่ยเฉพาะจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล 50
4.7.3 การประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง 54
4.7.4 การประกอบภาพแบบหลังไปหน้า 58
4.8 การกำหนดค่าสีและให้แสงเงา 62
4.8.1 การกำหนดค่าสี 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.8.2 การให้แสงเงา....68
4.9 การปรับปรุงภาพด้วยวิธียืดคอนทราสแบบเชิงเส้น....71

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา....73
5.1 สรุปผลการทดลอง....73
5.1.1 การประกอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล....73
5.1.2 การประกอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล....73
5.1.3 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง....73
5.1.4 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า
(คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง)....74
5.1.5 การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการคอนทราสแบบเชิงเส้น74
5.1.6 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังโดยใส่สี....74
5.1.7 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง
โดยใส่สีและเพิ่มแสงเงา....74
สรุปผลการทดลอง....74
5.2 แนวทางการพัฒนา....75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 พิกเซลและว็อกเซล 3
2.2 ภาพเชิงพื้นผิว 5
2.3 ภาพหลักการที่ทำให้มองเห็นภาพ 5
2.4 ภาพเชิงปริมาตร 6
2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลกับว็อกเซล 7
2.6 แสดงภาพ CT เนื้อเยื่อบริเวณปอด 8
2.7 แสดงหลักการของเครื่อง CT ซึ่งผลิตโดยบริษัท EMI 8
2.8 (a) แสดงการเลื่อนของหลอดรังสีและดีเทคเตอร์เพื่อทำการสแกนครั้งแรก 9
(b) แสดงการสแกนครั้งที่ 1 ครั้งที่ 60 และครั้งที่ 120 9
2.9 แสดงภาพ MRI เนื้อเยื่อบริเวณศีรษะ 9
2.10 ขั้นตอนพื้นฐานในการสร้างภาพเชิงปริมาตร 10
2.11 การแบ่งกลุ่มข้อมูลภาพ 11
2.12 การฉายแสงเข้าไปในปริมาตรข้อมูลภาพ 12
3.1 ระบบพิกัดในปริภูมิสามมิติ 14
3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส 16
3.3 การย้ายตำแหน่งให้จุดศูนย์กลางปริมาตรไปอยู่ที่จุดกำเนิด 16
3.4 การแปลงแบบหมุนรอบแกนต่างๆ 17
3.5 ขั้นตอนพื้นฐานในการสร้างภาพเชิงปริมาตร 19
3.6 การสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยวิธีการฉายแสง 20
3.7 การฉายแสงใน 2 มิติ โดยแปลงตำแหน่งของระนาบ 21
3.8 (ก) เคอร์เนลแบบเนียเรสเนเบอร์ 22
(ข) การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีเนียเรสเนเบอร์ 22
3.9 ภาพที่เกิดจากการประมาณค่าในช่วงแบบเนียเรสเนเบอร์ 23
3.10 ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของข้อมูล 23
3.11 การประมาณค่าในช่วงสามมิติ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.12 ภาพที่เกิดจากการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น 25
3.13 ฮีสโทแกรมที่ได้จากเครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์ 26
3.14 การแบ่งกลุ่มข้อมูลอวัยวะบริเวณช่องท้อง 26
3.15 แสดงการหาค่าเวกเตอร์ปกติจากเกรเดียนต์ของพื้นผิว 27
3.16 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจาย 31
3.17 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจก 32
3.18 การให้แสงเงาในการสร้างภาพเชิงปริมาตรแบบ Phong (ก) และ Gouraud (ข) 33
3.19 ลักษณะและทิศทางของการประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง 34
3.20 ลักษณะและทิศทางของการประกอบภาพแบบหลังไปหน้า 35
4.1 ขั้นตอนในการสร้างภาพเชิงปริมาตร 37
4.2 ตัวอย่างภาพตัดขวางส่วนหัวที่นำมาใช้ในการทดลอง 38
4.3 ขั้นตอนในการสร้างภาพ 39
4.4 โครงสร้างข้อมูลภาพแบบพอยน์เตอร์ 40
4.5 แสดงแนวลำแสงที่ตรงกันของภาพในการฉายแสงแบบหน้าไปหลัง 42
4.6 ฟังก์ชันถ่ายโอนค่าทึบแสง 44
4.7 ขั้นตอนการประกอบภาพแบบค่าเฉลี่ยทุกจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล 46
4.8 การประกอบภาพแบบค่าเฉลี่ยทุกจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล 48
(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุด
(ข) ภาพผลลัพธ์ด้านหลังโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุด
4.9 การประกอบภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล 49
(ค) ภาพผลลัพธ์ด้านขวาโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุด
(ง) ภาพผลลัพธ์ด้านซ้ายโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุด
4.10 ขั้นตอนการประกอบภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล 50
4.11 การประกอบภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล 52
(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุด
(ข) ภาพผลลัพธ์ด้านหลังโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.12 การประกอบภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล.....53

(ค) ภาพผลลัพธ์ด้านขวาโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุด

(ง) ภาพผลลัพธ์ด้านซ้ายโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุด

4.13 ขั้นตอนการประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง 54

4.14 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

(คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง).....56

(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

(ข) ภาพผลลัพธ์ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

4.15 ภาพผลลัพธ์ด้านข้างที่ประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

(คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง).....57

(ค) ภาพผลลัพธ์ด้านขวาโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

(ง) ภาพผลลัพธ์ด้านซ้ายโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

4.16 ขั้นตอนการประกอบภาพแบบหลังไปหน้า 58

4.17 ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าที่ประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

(คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง).....60

(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

(ข) ภาพผลลัพธ์ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

4.18 ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าที่ประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

(คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง).....61

(ค) ภาพผลลัพธ์ด้านขวาโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

(ง) ภาพผลลัพธ์ด้านซ้ายโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

4.19 ขั้นตอนในการสร้างภาพเชิงปริมาตรเมื่อกำหนดสีและให้แสงเงา 62

4.20 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังโดยการใส่สี.....66

(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

(ข) ภาพผลลัพธ์ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

(ค) ภาพผลลัพธ์ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.21 รูปการเปรียบเทียบการประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง
โดยทำการใส่สีและการกำหนดค่าช่วงที่ต่างกัน 67
(ง) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังค่าช่วงแบบปกติ
(จ) ภาพผลลัพธ์ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังเลื่อนการกำหนดค่าช่วง

4.22 ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังโดยเพิ่มแสงเงา 70
(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังโดยเพิ่มแสงเงา
(ข) ภาพผลลัพธ์ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังโดยเพิ่มแสงเงา
4.23 การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการคอนทราสแบบเชิงเส้น 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการแพทย์มีความก้าวหน้าไปอย่างมาก ภาพทางการแพทย์นั้นช่วยอำนวยความสะดวกในการวินิจฉัยโรคและวางแผนการผ่าตัดที่เกิดขึ้นกับอวัยวะภายใน โดยส่วนมากภาพทางการแพทย์นั้นเป็นภาพสองมิติ เช่น ภาพที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ให้รายละเอียดของภาพได้ค่อนข้างจำกัด แต่ปัจจุบันได้มีการคิดค้นเครื่องเอ็กซ์เรย์แบบ CT(Computer Tomography) และเครื่อง MRI(Magnetic Resonance Imaging) ไว้สำหรับถ่ายภาพตัดขวางของร่างกายมนุษย์ขึ้นก็ทำให้เทคโนโลยีทางการแพทย์ไปอย่างมาก ถึงอย่างไรก็ตามในการวินิจฉัยโรคของแพทย์ ยังต้องวิเคราะห์จากชุดภาพตัดขวางสองมิตินี้ ซึ่งหากข้อมูลภาพมีจำนวนมากและซับซ้อน ย่อมเป็นปัญหาในการวินิจฉัยโรค ด้วยเหตุนี้ จึงมีการนำชุดภาพตัดขวางที่ได้มาสร้างเป็นภาพสามมิติ เพื่อความสะดวกในการวินิจฉัยโรค

การสร้างภาพสามมิตินั้นแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ การสร้างภาพเชิงพื้นผิว (Surface Rendering) และการสร้างภาพเชิงปริมาตร(Volume Rendering) ซึ่งการสร้างภาพเชิงพื้นผิวนั้นเป็นการแสดงพื้นผิวของอวัยวะที่เราสนใจ ส่วนการสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นเป็นการแสดงภาพซึ่งมีลักษณะกึ่งโปร่งใส(Semi-transparent) ทำให้สามารถมองเห็นโครงสร้างที่เกี่ยวเนื่องกันของอวัยวะภายในที่เราสนใจ และอวัยวะบางส่วนที่ไม่สามารถระบุของเขตที่แน่นอนได้ เช่น เนื้อเยื่อต่างๆ โดยทั่วไปนั้นการสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นทำได้ค่อนข้างช้า เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่ต้องพิจารณาในการสร้างภาพแต่ละครั้งมีจำนวนมาก แต่เนื่องจากภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นให้รายละเอียดมากกว่าภาพเชิงพื้นผิว จึงทำให้การสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นถูกนำมาใช้ทางการแพทย์อย่างแพร่หลาย ซึ่งในการสร้างภาพเชิงปริมาตร ต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ในหลายๆ ด้าน เช่น เมทริกซ์ เวกเตอร์ การแปลงเรขาคณิต(Geometric Transformation) และการใช้คณิตศาสตร์ในเรื่องของคอมพิวเตอร์กราฟิก เช่น การเคลื่อนย้ายตำแหน่ง(Translation) การส่องสว่างและการให้แสงเงา (Illumination and Shading)

ดังนั้นโครงงานปัญหาพิเศษนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษากระบวนการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์จากภาพตัดขวาง ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างภาพเชิงปริมาตรสามมิติ

1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมการสร้างภาพเชิงปริมาตรจากภาพตัดขวางสองมิติ

1.2.3 เพื่อพัฒนาภาพเชิงปริมาตรสามมิติให้มีความคมชัดมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของปัญหา

ขอบเขตของปัญหาพิเศษ คือ การนำชุดภาพสองมิติที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ (Computer Tomography: CT) มาสร้างเป็นภาพเชิงปริมาตรสามมิติ โดยใช้กระบวนการสร้างภาพที่เรียกว่า วิธีการฉายแสง(Ray Casting) ได้ภาพผลลัพธ์เป็นภาพระดับเทา(Gray Scale) และพัฒนาโปรแกรมการสร้างภาพโดยใช้โปรแกรมภาษาC++ บนระบบปฏิบัติการวินโดว์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เข้าใจในกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่นำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างภาพเชิงปริมาตรสามมิติ

1.4.2 เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการสร้างภาพให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น การให้แสงเงา

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาสร้างภาพเชิงปริมาตรสามมิติ

1.5.2 ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการและขั้นตอนในการสร้างภาพเชิงปริมาตรสามมิติ

- เขียนโปรมแกรมสร้างภาพเชิงปริมาตรสามมิติ จากสมการทางคณิตศาสตร์
- ทดสอบและปรับปรุงค่าพารามิเตอร์
- เปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ
- ปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมจากผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

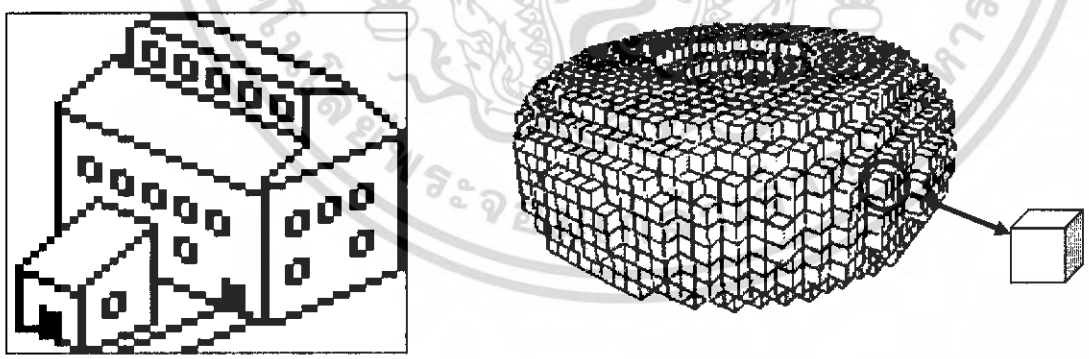
บทที่ 2
ความรู้เบื้องต้นของภาพ

2.1 บทนำ

การสร้างภาพเชิงพื้นผิว และการสร้างภาพเชิงปริมาตรต้องอาศัยพื้นฐานและทฤษฎีทางคอมพิวเตอร์กราฟิกบางประการมาประยุกต์ใช้ เช่น ลักษณะของไฟล์ภาพ การอ้างอิงระบบพิกัดฉาก การแบ่งระบบปริภูมิ และแบบจำลองการให้แสงเงา ซึ่งในบทนี้เราจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวกับภาพ และเกี่ยวกับการสร้างภาพ โดยอาศัยพื้นฐานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก ดังจะกล่าวต่อไป

2.2 องค์ประกอบขั้นพื้นฐานของข้อมูลภาพ

ภาพ 2 มิติในทางคอมพิวเตอร์กราฟิกประกอบด้วยข้อมูลที่เป็นอะเรย์สองมิติ ของค่าสี และความเข้มของแสง ข้อมูลแต่ละตัวเราเรียกว่า "พิกเซล"(Pixel) คือ จุดที่เป็นองค์ประกอบของภาพ โดยสีของพิกเซลมีส่วนประกอบเป็นสเปกตรัมของสี 3 ส่วน คือ แดง เขียว น้ำเงิน (RGB – Red Green Blue) โดยใช้ข้อมูลขนาด 3 ไบต์ในการกำหนดค่าสีของพิกเซล (สีละ 1 ไบต์) ระบบสีจริงจะใช้ทั้ง 3 ไบต์หรือ 24 บิต แต่ระบบแสดงภาพสีส่วนใหญ่จะใช้แค่ 8 บิตซึ่งแสดงสีได้แตกต่างกัน 256 สี ในทำนองเดียวกันภาพเชิงปริมาตรประกอบด้วยข้อมูลที่เป็นอะเรย์ 3 มิติ ของค่าสี และความเข้มของแสง ข้อมูลแต่ละตัวเราเรียกว่า " วี่อกเซล " (Voxel) คือจุดในปริภูมิสามมิติที่ไม่มีขนาด



พิกเซล วี่อกเซล

รูป 2.1 พิกเซลและวี่อกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ชนิดของภาพกราฟิก (Graphics Format)

ภาพกราฟิกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะถูกแบ่งตามวิธีการสร้างภาพเป็น 2 ชนิด คือ

2.2.1.1 Vector Graphics (กราฟิกแบบเวกเตอร์)

การสร้างภาพแบบเวกเตอร์ เป็นการสร้างภาพดิจิตอลด้วยคำสั่งในการวางเส้นสายและรูปทรงต่างๆทีละรูปเป็นลำดับลงไปในขอบเขต 2 หรือ 3 มิติที่กำหนด ในวิชาฟิสิกส์ เวกเตอร์จะแทนทั้งขนาดและทิศทางในเวลาเดียวกัน ในการสร้างภาพแบบเวกเตอร์ แฟ้มภาพจะถูกสร้างและเก็บบันทึกเป็นลำดับคำสั่งเวกเตอร์ ที่อธิบายลำดับของจุดที่เชื่อมโยงกันในภาพ จึงเก็บเป็นแฟ้มที่มีขนาดเล็ก

2.2.1.2 Raster Graphics (ภาพแบบราสเตอร์)

ภาพแบบราสเตอร์เป็นภาพดิจิตอลที่สร้างขึ้นหรือกวาดมาจากเครื่องสแกนเนอร์ ประกอบด้วยจุดภาพที่เรียงกันเป็นตาราง (raster) ตามแนวแกน X และ Y ในบริเวณที่แสดงกาพ แฟ้มที่เก็บภาพเช่นนี้จะระบุว่าจุดไหนมีสีอะไร อาจเรียกว่าภาพแบบบิตแมป (bitmap) เพราะเป็นการแสดงจุดภาพแต่ละจุดลงบนตารางแสดงภาพ แฟ้มที่เก็บภาพแบบราสเตอร์มักจะมีขนาดใหญ่กว่าแฟ้มภาพแบบเวกเตอร์ และยากที่จะแก้ไขโดยไม่สูญเสียข้อมูลภาพบางส่วนไป แม้ว่าจะมีโปรแกรมที่ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับแปลงภาพแบบราสเตอร์ ไปเป็นภาพแบบเวกเตอร์เพื่อทำการแก้ไขก็ตาม ตัวอย่างของแฟ้มภาพชนิดนี้คือ BMP, TIFF, GIF และ JPEG ข้อเสียแบบนี้ คือ ภาพจะไม่ชัดถ้าขยายเกินความละเอียดที่สร้างไว้ แต่ของแฟ้มภาพ TIFF, GIF และ JPEG เกิดการบีบอัดข้อมูลของไฟล์รูปภาพให้มีขนาดเล็กลง ขณะเดียวกันคุณภาพของภาพก็ลดลงด้วย

2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาพเชิงพื้นผิวและภาพเชิงปริมาตร

ในหัวข้อนี้ต้องการอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างภาพแบบเชิงปริมาตร ซึ่งจะเป็นไปทางภาพเชิงปริมาตรเป็นส่วนใหญ่

2.3.1 ภาพเชิงพื้นผิว

เป็นภาพทั่วไปที่เราสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จะมองเห็นแต่ส่วนที่เป็นผิวด้านนอกของวัตถุเท่านั้นไม่สามารถมองทะลุเข้าไปถึงรายละเอียดภายในของวัตถุได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ภาพเชิงพื้นผิว

การที่เรามองเห็นเป็นภาพได้นั้น เกิดจากแสงที่เดินทางไปตกกระทบวัตถุ แล้วสะท้อนกลับออกมาเข้าตาเรา การสะท้อนกลับนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพื้นผิววัตถุว่ามีการดูดกลืนแสงได้มากหรือน้อยเพียงใด มีบางสีที่จะถูกดูดกลืนเข้าไปในวัตถุ บางสีก็จะสะท้อนออกมาจากวัตถุเข้าตาเรา ทำให้เรามองเห็นวัตถุนั้นมีสีต่างๆ กัน

รูปที่ 2.3 หลักการที่ทำให้มองเห็นภาพ

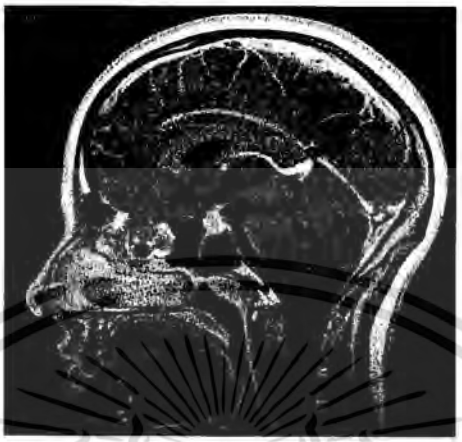
ส่วนใหญ่แล้วจะนิยมนำภาพเชิงพื้นผิวมาใช้ประโยชน์ทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก และในทางการแพทย์เพื่อนนำมาช่วยวิเคราะห์หารอยร้าวของกระดูกได้ เป็นต้น

2.3.2 ภาพเชิงปริมาตร

เป็นภาพที่สามารถมองเห็นรายละเอียดภายในวัตถุได้มากขึ้นจากพื้นผิวภายนอกของวัตถุ การที่จะมองเห็นรายละเอียดภายในวัตถุได้นั้นจะต้องเป็นวัตถุกึ่งโปร่งแสงหรือกึ่งโปร่งใส่ต่างๆ เช่น ก้อนเยลลี่ เพราะวัตถุประเภทนี้มีคุณสมบัติยอมให้แสงเดินทางผ่านเข้าไปในเนื้อวัตถุและทะลุออกมาในอีกทิศทางหนึ่งได้ ทำให้เราเห็นภาพนั้นมีความลึก เป็นสามมิติดูสมจริงมากขึ้น ซึ่งการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะสามารถมองเห็นรายละเอียดได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับสีและความทึบแสง ซึ่งส่วนนี้เป็นคุณสมบัติของแต่ละวัตถุว่าจะยอมให้แสงผ่านเข้าไปได้มากน้อยเพียงใด และจะดูดกลืนสีใดเอาไว้แล้วสะท้อนเอาสีใดออกมา



รูปที่ 2.4 ภาพเชิงปริมาตร

จากที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น วัตถุบางชนิดก็ยอมให้แสงเดินทางผ่านได้แต่เนื่องจากมีวัตถุบางชนิดที่ไม่ยอมให้แสงเดินทางผ่าน ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือมาช่วยทำให้สามารถแสดงข้อมูลภายในวัตถุออกมาได้ ตัวอย่างเครื่อง เช่น เครื่องถ่ายCT (Computer Tomography), เครื่องMRI (Magnetic Resonance Imaging), Ultra Sound และอื่นๆ เครื่องมือแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติต่างๆ กันไป

2.4 ที่มาและหลักการเบื้องต้นในการสร้างภาพตัดขวาง

ในการตรวจวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วยนั้นสิ่งที่แพทย์ต้องการทราบมากที่สุด คือ เกิดอะไรขึ้นภายในร่างกายของผู้ป่วยรายนั้น มีนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ วิลเฮล์ม คอนราด เรินท์เกน (Wilhelm Conrad Roentgen) ได้ค้นพบรังสีเอ็กซ์(X-ray) ขณะที่เขากำลังศึกษารังสีแคโทด(Cathod ray) ซึ่งเขาพบว่ารังสีเอ็กซ์มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงมากสามารถเดินทางผ่านกระดาษหนาหรือสารอื่นๆ ที่มีความหนาแน่นต่ำได้ และเมื่อลองให้รังสีเอ็กซ์เดินทางผ่านมือของภรรยาเขาแล้วนำฟิล์มถ่ายรูปไปรับที่ด้านตรงข้าม หลังจากล้างฟิล์มแล้วเขาเห็นมือของภรรยาปรากฏบนแผ่นฟิล์ม โดยบริเวณที่เป็นเนื้อหนังจะเห็นเป็นรอยเทาหรือดำ ส่วนบริเวณที่เป็นกระดูกจะเห็นเป็นสีขาว ซึ่งจากจุดนี้เองถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของวิชารังสีวิทยาและนับเป็นวิวัฒนาการครั้งสำคัญมากในวงการแพทย์

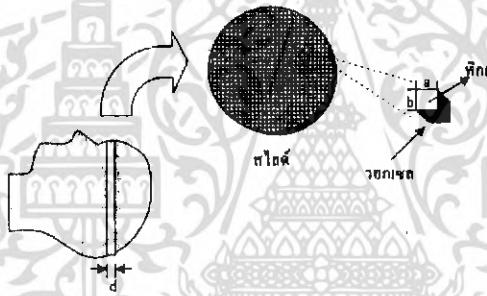
ในวงการแพทย์ได้นำรังสีเอ็กซ์มาใช้ฉายรังสีเพื่อตรวจดูความผิดปกติของอวัยวะภายในโดยอาศัยการเกิดภาพเช่นเดียวกับการเกิดภาพเงาดำของร่างกายเมื่อยืนกลางแสงแดด โดยปัญหาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปสรรคต่อการวินิจฉัยโรคด้วยการพิจารณาจากภาพถ่ายรังสีเอ็กซ์ที่ได้จะมีด้วยกัน 3 ประการ ประการแรกคือ การซ้อนทับกันของเงาของอวัยวะใน 3 มิติบนฟิล์ม 2 มิติ ทำให้ภาพดูยุ่งยากต่อการวินิจฉัย ประการที่สอง ภาพถ่ายรังสีเอ็กซ์โดยทั่วไปไม่สามารถแยกความแตกต่างของเนื้อเยื่อได้ และประการที่สาม อาศัยเทคนิคการถ่ายภาพรังสีเอ็กซ์ทั่วๆ ไป ไม่สามารถบอกความหนาแน่นที่ต่างกันของสารที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างภายในร่างกาย ภาพรังสีเอ็กซ์เหล่านั้นเป็นเพียงการบันทึกการดูดกลืนโดยเฉลี่ยของเนื้อเยื่อต่างๆ ที่รังสีเอ็กซ์ทะลุทะลวงผ่านออกมา

2.4.1 การสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะโดยใช้หลักการของเครื่อง CT (Computer Tomography)

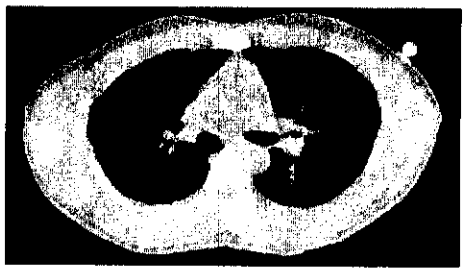
ภาพที่ได้เครื่อง CT นั้นจะมีลักษณะคล้ายกับการใช้เลื่อยมาตัดร่างกายตามขวางออกมาหนึ่งแผ่นโดยมีความหนาเท่ากับ d แล้วทำการแบ่งเนื้อเยื่อต่างๆ ภายในแผ่นนั้นออกเป็นแท่งปริมาตรสี่เหลี่ยมขนาดเล็กจำนวนมาก ดังแสดงในภาพที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลกับวอกเซล

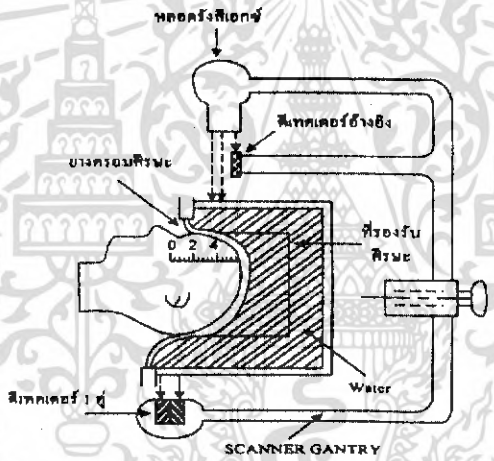
โดย a,b จะเป็นความกว้างและความยาวของแท่งปริมาตรตามลำดับ โดยจะเรียกแท่งปริมาตรสี่เหลี่ยมเล็กๆ นี้ว่า วอกเซล(Voxel,Volume element) จากนั้นก็จะนำเนื้อเยื่อแต่ละแท่งไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณดูดกลืนของรังสีเอ็กซ์ สุดท้ายก็จะนำข้อมูลการดูดกลืนรังสีของเนื้อเยื่อแต่ละแท่งซึ่งจะอยู่ในรูปของค่าตัวเลขมาทำการแปลงให้อยู่ในรูปของค่าความสว่างเพื่อที่จะนำไปแสดงผลยังจอภาพต่อไปดังแสดงในภาพที่ 2.6 ซึ่งภาพที่เราเห็นจะประกอบไปด้วยจุดเล็กๆ จำนวนมาก โดยจุดเล็กๆ เหล่านี้จะเรียกว่า " พิกเซล " (Pixel หรือ Picture element) ดังนั้นพิกเซลจึงเป็นพื้นที่หน้าตัดของหน่วยปริมาตรขนาดเล็กที่เรียกว่าวอกเซล โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลและวอกเซล ได้ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงภาพ CT เนื้อเยื่อบริเวณปอด

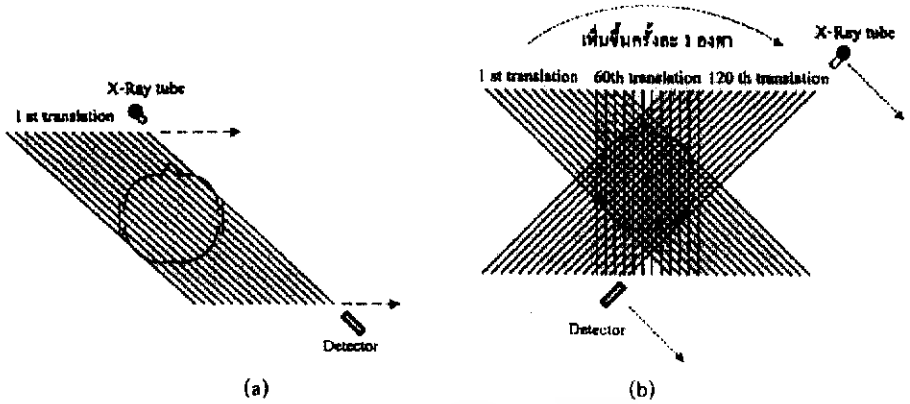
เครื่อง CT สามารถหาปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่ถูกดูดกลืนในแต่ละว็อกเซลหรือสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเอ็กซ์เชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) ได้ โดยไม่ต้องตัดร่างกายออกมาเป็นชิ้นๆ และเพื่อความเข้าใจวิธีการรวบรวมข้อมูลในเครื่อง CT ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลของเครื่อง CT รุ่นแรกของบริษัท EMI เพราะเนื่องจากเป็นหลักการที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายที่สุด



รูปที่ 2.7 แสดงหลักการของเครื่อง CT ซึ่งผลิตโดยบริษัท EMI

จากรูปที่ 2.7 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง CT รุ่นแรกของบริษัท EMI ในเครื่อง CTรุ่นนี้ ศีรษะของผู้ป่วยซึ่งอยู่ระหว่างหลอดรังสีกับดีเทคเตอร์ จะถูกห้อมล้อมด้วยถุงน้ำโดยที่ด้านล่างจะมีดีเทคเตอร์อยู่ 2 ตัวสำหรับวัดปริมาณรังสีที่ผ่านจากตัวผู้ป่วย ทางด้านบนจะมีดีเทคเตอร์อ้างอิงสำหรับวัดปริมาณรังสีก่อนที่จะผ่านตัวผู้ป่วย หลอดรังสีกับดีเทคเดอร์เป็นหน่วยเดียวกันซึ่งจะยึดติดกันด้วยแกนแข็ง โดยลำรังสีจะพุ่งตรงไปสู่เทคเตอร์ตลอดเวลาการสแกน หลอดรังสีกับดีเทคเตอร์จะเคลื่อนที่สองแบบ คือ เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงหรือเลื่อน(Translation) และเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotation) การเคลื่อนที่จะเริ่มโดยที่หลอดรังสีกับดีเทคเตอร์จะเลื่อนไปเรื่อยๆ ทีละขั้น(Step)จนสุดระยะ จากนั้นทั้งหลอดรังสีและดีเทคเตอร์ก็จะหมุนเปลี่ยนมุมหนึ่งองศาแล้วเลื่อนกลับ ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

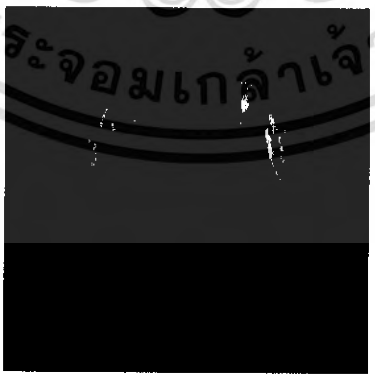


รูปที่ 2.8 **(a)** แสดงการเลื่อนของหลอดรังสีและดีเทคเตอร์เพื่อทำการสแกนครั้งแรก
(b) แสดงการสแกนครั้งที่ 1 ครั้งที่ 60 และครั้งที่ 120

โดยจะทำเช่นนี้ซ้ำแล้วซ้ำอีกจนครบ 180 ครั้ง การหมุนของหลอดรังสีและดีเทคเตอร์จะเป็นรูปครึ่งวงกลม โดยที่แกนของการหมุนผ่านจุดกึ่งกลางศีรษะผู้ป่วย การเคลื่อนที่ตามแนวเส้นตรงแต่ละครั้งเรียกว่าการสแกน

2.4.2 การสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะโดยใช้หลักการของเครื่องแม่เหล็กไฟฟ้า(Magnetic Resonance Imaging: MRI)

ในช่วงเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมา CT กลายเป็นเครื่องมือในการวินิจฉัยที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อวงการแพทย์ แต่ในช่วงเดียวกันกับที่ CT กำลังพัฒนาก็ได้มีการค้นพบเทคนิคการเกิดภาพแบบใหม่โดยไม่ใช้รังสีเอกซ์ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า MRI หรือการเกิดภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก โดยจะสามารถจำแนกคุณสมบัติของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจะให้ข้อมูลได้มากกว่าการใช้รังสีเอกซ์ และไม่เป็นอันตรายต่อผู้ป่วย เนื่องจากไม่ได้ใช้รังสีเอ็กซ์



รูปที่ 2.9 แสดงภาพ MRI เนื้อเยื่อบริเวณศีรษะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ขั้นตอนการสร้างภาพเชิงปริมาตร

การสร้างภาพเชิงปริมาตรเป็นเทคนิคการสร้างภาพ 3 มิติ ซึ่งเป็นภาพลักษณะกึ่งโปร่งใสทำให้สามารถมองเห็นโครงสร้างที่เกี่ยวเนื่องกับอวัยวะ ซึ่งภาพลักษณะนี้ทำให้เราสามารถสร้างภาพของอวัยวะในส่วนที่เราไม่สามารถจำแนกขอบเขตที่แน่นอนได้ เช่น เนื้อเยื่อต่างๆทำให้เห็นโครงสร้างที่เกี่ยวเนื่องกันได้ ในโครงงานปัญหาพิเศษนี้ ในการสร้างภาพเชิงปริมาตรทุกแบบ จะประกอบไปด้วยขั้นตอนพื้นฐานต่างๆ เริ่มจากนำปริมาตรข้อมูลดันฉบับมาทำการแบ่งกลุ่มความถี่ของค่าความสว่างหรือค่าระดับเทาอาจจะแบ่งเป็นเนื้อเยื่อ อากาศ ไขมัน และกระดูก เป็นต้น โดยการแบ่งข้อมูลภาพามารถทำให้ละเอียดมากน้อยขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน จากนั้นทำการกำหนดค่าสีและค่าความทึบแสงให้ข้อมูลแต่ละจุดในปริมาตร, ฉายแสง (Ray Casting) เข้าไปในปริมาตรหาส่วนที่มองเห็นได้, คำนวณค่าเกรเดียนต์เพื่อใช้คำนวณการให้แสงและเงาร่วมกับสีที่กำหนดไว้ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการรวมประกอบภาพและแสดงภาพผลลัพธ์ สรุปได้ดังรูป 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 ขั้นตอนพื้นฐานในการสร้างภาพเชิงปริมาตร

2.5.1 การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Classification)

การแบ่งกลุ่มข้อมูล คือ การแยกส่วนประกอบของภาพออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้เห็นความแตกต่างภายในวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ชัดเจนขึ้น ในขั้นตอนนี้จะมีการกำหนดคุณสมบัติใหม่ให้แก่ วอกเซลแต่ละตัวภายในกลุ่มข้อมูลเรียกว่า ค่าความทึบแสง (Opacity) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดย 0 จะเป็นจุดภาพที่มีความโปร่งใสมาก และจุดภาพที่มีการเข้าใกล้ 1 จะเป็นจุดภาพที่มีลักษณะทึบแสง และค่าความทึบแสงนี้ใช้สำหรับวัดความโปร่งแสง ของวอกเซล โดยเป็นการอธิบายถึงปริมาณแสงที่ถูกกลืนไว้โดยวอกเซลนั้น หรือก็คือการมองทะลุไปในวอกเซลนั้นเอง ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลในปัญหาพิเศษนี้เราจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ อากาศ เนื้อเยื่อและกระดูก ดังรูปที่ 2.10

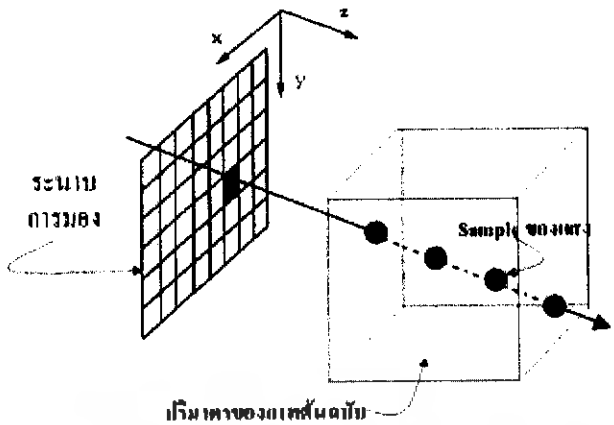
รูปที่ 2.11 การแบ่งกลุ่มข้อมูลภาพ

2.5.2 การกำหนดสี และค่าความทึบแสง

การให้สีแก่กลุ่มของข้อมูลทำให้สามารถแยกแยะกลุ่มของข้อมูลได้ง่ายขึ้น โดยข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มต่างกันจะถูกให้สีต่างกัน การกำหนดค่าความทึบแสงให้แก่วอกเซลเช่นเดียวกับค่าความเข้มแสงและขนาดของเกรเดียนต์ ในกรณีที่มีหลายวัตถุอยู่ในข้อมูลและขอบเขตของวัตถุบางอย่างอาจมีการผสมกันเช่น ไขมันกับเนื้อเยื่อโดยไม่สามารถกำหนดให้แน่นอนว่าวัตถุเหล่านั้นเป็นอวัยวะประเภทใด ในส่วนของวัตถุที่ผสมกันจะกำหนดค่าของความทึบแสงที่มีค่าน้อยกว่าค่าความทึบแสงของวัตถุนั้นเพียงอย่างเดียว ฟังก์ชันที่ใช้กำหนดค่าความทึบแสงให้กับจุดภาพนี้ เรียกว่า ฟังก์ชันการถ่ายโอนค่าความทึบแสง (Opacity Transfer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การฉายแสง



รูปที่ 2.12 การฉายแสงเข้าไปในปริมาตรข้อมูลภาพ

การสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยใช้วิธีการฉายแสงนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ ต้องการแสดงข้อมูลเชิงปริมาตรให้อยู่ในรูปข้อมูล 2 มิติ โดยที่จะทำการฉายแสงเข้าไปในปริมาตรต่างๆ เช่น เนื้อเยื่อ กระดูก ไขมันและคำนวณค่าสีและแสงเงาของข้อมูลแต่ละจุดแต่ละชนิด แล้วทำการรวมค่าเหล่านี้เป็นจุดภาพผลลัพธ์ 1 จุดทำการคำนวณทั้งภาพ แต่การกระทำแบบนี้ตามปกติก่อให้เกิดปัญหาในการแสดงภาพขึ้น นั่นคือผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงและฉายนั้นมักจะเป็นเลขทศนิยมซึ่งจะต้องมีการปัดเศษค่าเป็นจำนวนเต็มหน่วยทำให้การส่งจุดของวีอกเซลในบางตำแหน่งเกิดซ้อนทับกัน ดังนั้นภาพที่ฉายจากปริมาตรลงไปยังฉากจะเกิดจุดดำเนื่องจากข้อมูลบางตำแหน่งขาดหายไป

2.5.4 การส่องสว่างและการให้แสงเงา

การส่องสว่างและการให้แสงเงา เป็นเทคนิคในทางกราฟิกเพื่อเน้นให้ภาพสามมิติมีความสมจริงมากขึ้น โดยอาศัยกระบวนการางคณิตศาสตร์มาจำลองผลของแสงธรรมชาติที่มีต่อวัตถุ ประกอบด้วย การเกิดเงา การกระเจิงของแสง และการดูดกลืนของแสง เมื่อเกิดการตกกระทบวัตถุ ซึ่งในแต่ละวัตถุจะให้แสงเงาแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับทิศทางของแสง มุมของผู้สังเกต และคุณสมบัติของพื้นผิววัตถุ

เป้าหมายของการให้แสงเงาในการสร้างภาพเชิงปริมาตร คือเน้นให้สามารถแสดงชุดโครงสร้างของข้อมูลได้ดีขึ้น ทำให้ผู้สังเกตเข้าใจรายละเอียดภาพได้ดีขึ้น

2.5.5 การรวมองค์ประกอบภาพ

การรวมองค์ประกอบภาพเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการสร้างภาพเชิงปริมาตร เป็นการรวมคุณสมบัติของจุดภาพที่คำนวณมาแล้ว สร้างเป็นจุดภาพในระนาบการมอง โดยการสร้างภาพใช้ข้อมูลทั้งปริมาตรข้อมูลมาทำการคำนวณ โดยอาศัยสมมติฐานข้อมูลในปริมาตรมีสมบัติการกระเจิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Scatter) กีดขวาง (Occlude) สร้าง(Generate) และสะท้อน(Reflect)แสง ซึ่งภาพในแนวระนาบการมองจะเกิดจากแสงส่องในปริมาตรรวมกันในตลอดหนึ่งแนวลำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีพื้นฐานในการสร้างภาพเชิงปริมาตร

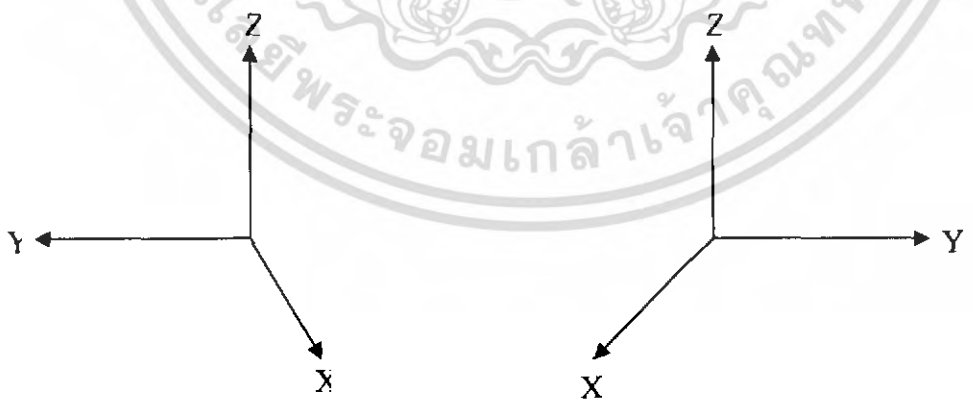
3.1 บทนำ

การสร้างภาพในทางการแพทย์จำเป็นจะต้องนำเอาพื้นฐานและทฤษฎีทางคอมพิวเตอร์กราฟิกบางประการมาประยุกต์ใช้ เช่น การอ้างอิงระบบพิกัด, การแปลงทางเรขาคณิต, ทฤษฎีสี และการให้แสงเงา ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นทางคอมพิวเตอร์กราฟิกที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพทางการแพทย์ โดยจะกล่าวถึงการอ้างระบบพิกัด การแปลงวัตถุในปริภูมิ และการให้แสงเงา

3.2 ระบบพิกัด (*Coordinate System*)

ระบบพิกัดเป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงถึงตำแหน่งของวัตถุต่างๆ ที่อยู่ภายในปริภูมิ(Space) ในระบบพิกัดสองมิติใช้แกนหลักในการอ้างอิง 2 แกน นั่นคือ X และ Y ส่วนในระบบพิกัดสามมิติจะใช้ Z ในการอ้างอิงเพิ่มเติมขึ้นมาอีกหนึ่งแกน การกำหนดทิศทางของแกน Z มี 2 ระบบ คือ ระบบพิกัดมือขวาและระบบพิกัดมือซ้าย

ระบบมือขวานิยมใช้ในหลายๆ ด้านไม่ว่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์ ทางภูมิศาสตร์ หรือทางวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งในที่นี้จะใช้ระบบมือขวาเป็นหลัก ส่วนระบบมือซ้ายนั้นมักจะใช้ทางคอมพิวเตอร์กราฟิก โดยกำหนดให้ระนาบของจอภาพเป็นระบบ XY แล้วแกน Z เป็นแกนที่พุ่งเข้าไปในจอภาพมีค่าเป็นบวก



ก) ระบบมือซ้าย ข) ระบบมือขวา

รูปที่ 3.1 ระบบพิกัดในปริภูมิสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การแปลงเรขาคณิตของข้อมูลภาพ

งานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้น การเคลื่อนย้ายตำแหน่งเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง การที่จะเคลื่อนย้ายภาพไปยังตำแหน่งใหม่ในบางกรณีอาจต้องการหมุนไปในทิศทางต่างๆ เพื่อให้ได้มุมมองของภาพที่ดีขึ้น การกระทำเหล่านี้สามารถทำได้โดยการใช้การแปลงเรขาคณิต(Geometric Transformation)

การพิจารณาการแปลงจุดในปริภูมิสามมิติ ในที่นี้กำหนดให้เป็นจุด P มีพิกัดเป็น (x, y, z) ใดๆ เมื่อต้องการแปลงจุดนี้ไปยังตำแหน่งใหม่ซึ่งในที่นี้ คือจุด P' ที่พิกัด (x, y, z) ก็ทำได้โดยนำพิกัด P ไปคูณกับเมตริกซ์การแปลง T ดังนี้

$$P' = PT = [x\ y\ z]\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

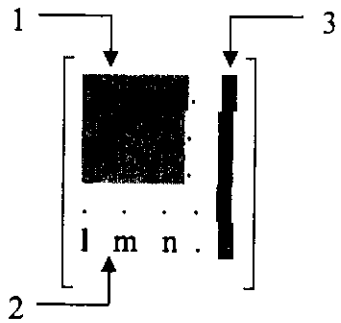
ซึ่งเมตริกซ์การแปลงข้างต้นจะใช้กับการแปลงเรขาคณิตต่อไปนี้ คือ การสเกล การหมุน และการสะท้อน เป็นต้น โดยเลือกว่าเป็นการแปลงชนิดใดนั้นจะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งหมดภายในเมตริกซ์ของการแปลง แต่ถ้าต้องการย้ายตำแหน่งของจุด P ไปยังพิกัดใหม่คือ P' นั้นสามารถแสดงเมตริกซ์ของการแปลงได้ดังนี้

$$P' = P + T = [x\ \ y\ \ z] + [T_x\ \ T_y\ \ T_z] \tag{3.2}$$

การเคลื่อนย้ายตำแหน่งนั้นจะแตกต่างจากการแปลงแบบอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว คือ การแปลงแบบอื่นจะใช้การคูณ และสำหรับการแปลงเรขาคณิตในคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้นโดยปกติแล้วจะประกอบไปด้วยการแปลงหลายๆ ชนิดประกอบกันซึ่งการคำนวณต่างๆ จะอยู่ในรูปของเมตริกซ์ ซึ่งเป็นการยากในการคำนวณถ้าเมตริกซ์เหล่านั้นมีรูปแบบที่แตกต่างกัน และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติจะมีข้อจำกัดมากมาย

ระบบพิกัดโฮโมจีเนียส(Homogeneous Coordinate System) เป็นสิ่งที่นำมาใช้แก้ปัญหาของการที่เมตริกซ์การแปลงที่แตกต่างกัน ในระบบพิกัดนี้จุด (x, y, z) จะถูกแทนด้วย (x, y, z, H) โดย H เป็นค่าแฟคเตอร์สเกลที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์และจุดดังกล่าวจะถูกนอร์มอลไลซ์(Normalized) เป็น (x/H, y/H, z/H, 1) โดยทั่วไปแล้ว H มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้น จุด (x, y, z) ใดๆ จะมีค่าในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสเป็น (x, y, z) ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบพิกัดโฮโมจีเนียสแสดงดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

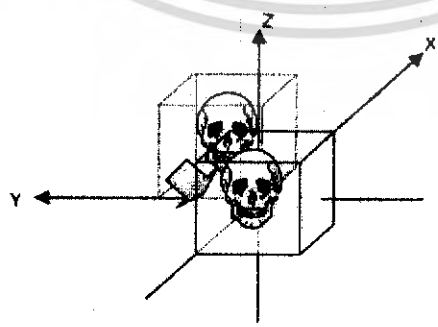
จากรูปเมตริกซ์ย่อย 1 เป็นส่วนที่ใช้กำหนดว่าเป็นการแปลงแบบใด เช่น การสเกล การหมุน หรือการสะท้อน เป็นต้น ส่วนเมตริกซ์ย่อย 2 ใช้ในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งแบบเชิงเส้น และเมตริกซ์ย่อย 3 เป็นส่วนที่ใช้ในการรวมระหว่างการเคลื่อนย้ายพิกัดและการแปลงแบบอื่นๆ ในรูปของการคูณ ซึ่งจะมีรายละเอียดของการแปลงแบบต่างๆ ดังนี้

3.3.1 การเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Translation)

การแปลงแบบย้ายตำแหน่งมีเมตริกซ์การแปลง ดังสมการที่ 3.3

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & T_z & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

โดยที่ค่าของ T_x, T_y, และ T_z แสดงถึงระยะทางที่ต้องการเคลื่อนย้ายไป โดยเป็นระยะที่เทียบกับแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ การแปลงแบบย้ายตำแหน่งนี้มีความสำคัญในการสร้างภาพทางคอมพิวเตอร์กราฟิกมาก เนื่องจากก่อนที่จะมีการหมุนภาพในมุมมองต่างๆ นั้นเราต้องมีการเลื่อนปริมาตรต้นฉบับให้จุดศูนย์กลางของปริมาตรอยู่ที่จุดกำเนิด (0, 0, 0) เสียก่อนดังรูปที่ 3.3



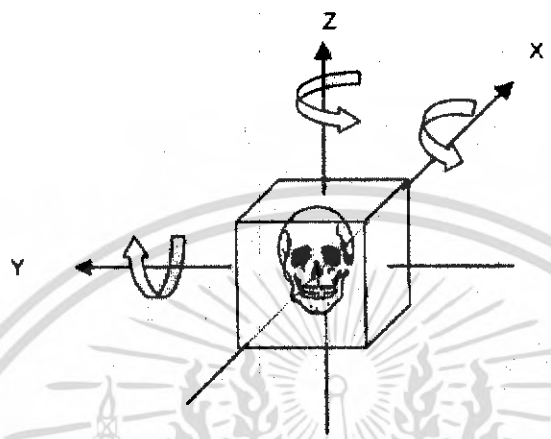
รูปที่ 3.3 การย้ายตำแหน่งให้จุดศูนย์กลางปริมาตรไปอยู่ที่จุดกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.3.2 การหมุน (Rotation)

สำหรับในการหมุนนั้นจะเป็นการหมุนปริมาตรรอบแกนต่างๆ ฉะนั้นก่อนที่จะทำการหมุนจึงจำเป็นต้องทำการย้ายจุดศูนย์กลางวัตถุมาอยู่ที่จุดกำเนิดก่อน และทำการย้ายกลับหลังจากหมุนเสร็จแล้ว ซึ่งการหมุนมีลักษณะดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การแปลงแบบหมุนรอบแกนต่างๆ

สำหรับการหมุนรอบแกน XและY ซึ่งเมตริกซ์การแปลงแบบหมุนรอบแกน X คือ

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\Theta & -\sin\Theta & 0 \\ 0 & \sin\Theta & \cos\Theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

เมตริกซ์การแปลงแบบหมุนรอบแกน Y คือ

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\Psi & 0 & \sin\Psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\Psi & 0 & \cos\Psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

และการหมุนรอบแกน Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา คือ

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos\Phi & \sin\Phi & 0 & 0 \\ -\sin\Phi & \cos\Phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
59403

3.3.3 การปรับมาตรา (Scaling)

การสเกลเป็นการแปลงเพื่อที่ทำการปรับเปลี่ยนขนาดของวัตถุที่ต้องการ เมตริกซ์การแปลงแบบสเกลแสดงดังสมการที่ 3.7

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

โดยที่ S_x, S_y และ S_z คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสเกลสำหรับพิกัด x, y และ z ตามลำดับ เมื่อ S_x, S_y, S_z มากกว่า 1 จะเป็นการขยาย ถ้าน้อยกว่า 1 จะเป็นการย่อส่วน

3.3.4 การแปลงแบบผสม

ในการแปลงแต่ละครั้งบางครั้งเราต้องทำการแปลงหลายๆ ชนิดติดต่อกันไป เช่นเราต้องการทำการแปลงแบบย้ายก่อนที่จะทำการแปลงแบบหมุนแล้วทำการย้ายกลับที่เดิม แต่เนื่องจากข้อดีของการใช้โฮโมจีเนียสเมตริกซ์ คือ เราสามารถทำการรวมการแปลงหลายๆ ขั้นตอนไว้ในเมตริกซ์เพียงตัวเดียวโดยการหาผลคูณของเมตริกซ์ ตัวอย่างถ้าเราต้องการหมุนรอบแกน Z จากนั้นทำการหมุนรอบแกน Y เราสามารถหาเมตริกซ์การแปลง M คือ

$$M = R_z \times R_y \tag{3.8}$$

$$M = \begin{bmatrix} \cos\Phi & \sin\Phi & 0 & 0 \\ -\sin\Phi & \cos\Phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\Psi & 0 & \sin\Psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\Psi & 0 & \cos\Psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

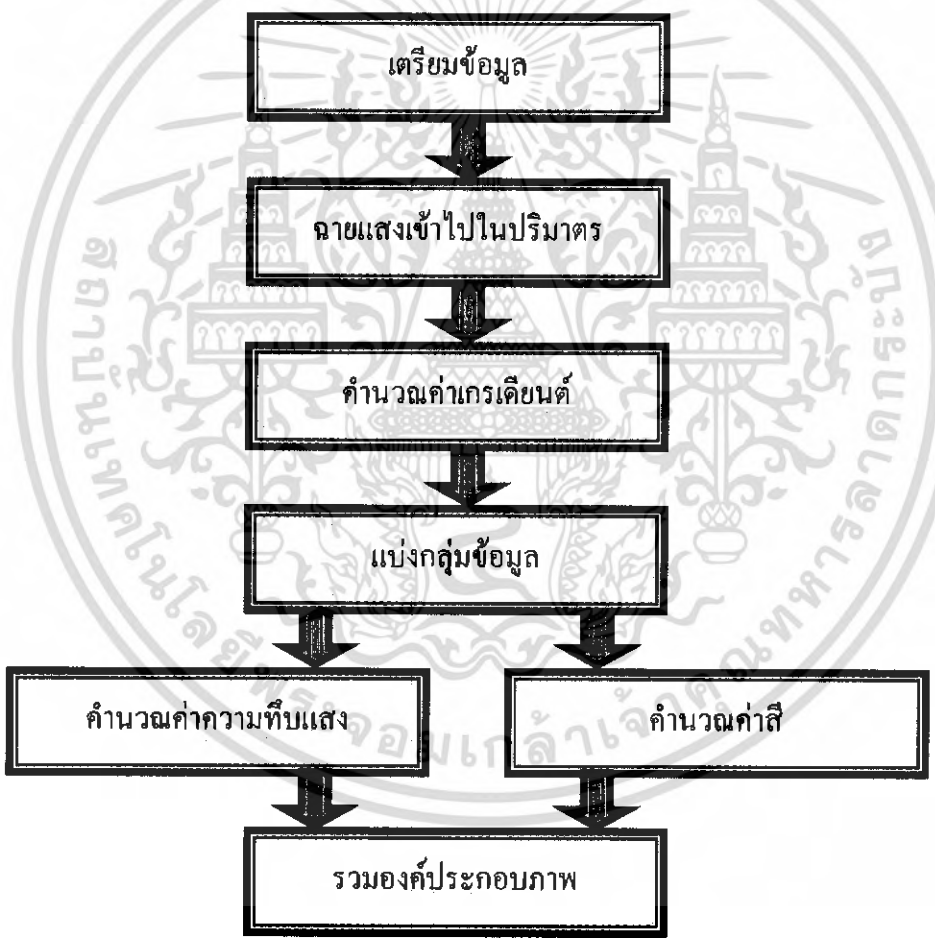
$$M = \begin{bmatrix} \cos\Phi\cos\Psi & -\sin\Phi & \cos\Phi\sin\Psi & 0 \\ \sin\Phi\cos\Psi & \cos\Phi & \sin\Phi\sin\Psi & 0 \\ -\sin\Psi & 0 & \cos\Psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการสร้างภาพเชิงปริมาตรจากภาพที่ได้จากเครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์

ภาพคอมพิวเตอร์กราฟิกที่เป็นภาพเชิงปริมาตร เป็นภาพที่เกิดจากการพยายามเลียนแบบภาพที่เกิดในธรรมชาติ เช่น การสร้างภาพเชิงปริมาตรในร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะทำให้เห็นส่วนประกอบของร่างกายมนุษย์โดยไม่ต้องผ่าตัด ซึ่งต้องมีเครื่องมือที่ช่วยทำให้สามารถแสดงข้อมูลภายในออกมาได้ เช่น การถ่าย X-RAY โดยเครื่องถ่ายแบบ CT เครื่องถ่ายแบบ MRI (Magnetic Resonance Imaging) ซึ่งภาพที่ได้จากการ X-RAY จะเป็นภาพเริ่มต้นทางการสร้างภาพเชิงปริมาตร

การสร้างภาพเชิงปริมาตรเป็นการสร้างภาพสามมิติโดยพิจารณาทุกจุดภายในปริมาตรนั้นๆ ทำให้เราสามารถเห็นชิ้นส่วนภายในวัตถุหลายๆ ส่วนที่จำแนกออกพร้อมกันได้ ซึ่งในโครงงานปัญหาพิเศษ เราจะทำการสร้างภาพกึ่งโปร่งใส ประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐานต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนพื้นฐานในการสร้างภาพเชิงปริมาตร

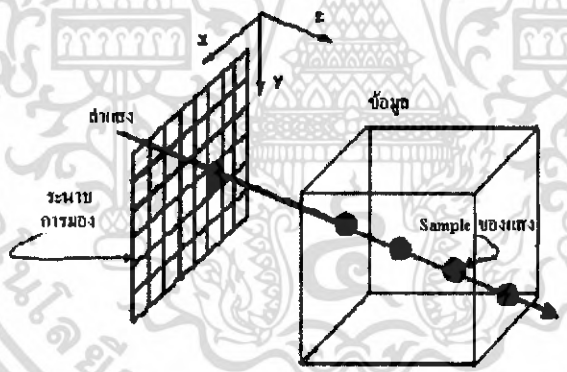
ขั้นตอนในการสร้างภาพเริ่มจากนำข้อมูลภาพต้นฉบับมาแบ่งกลุ่มตามค่าระดับเทา อาจจะแบ่งเป็นอากาศ เนื้อเยื่อ ไขมัน และกระดูก เป็นต้น เราอาจจะแบ่งข้อมูลภาพให้ละเอียดมากน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ก็ได้ ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน จากนั้นทำการกำหนดสีและค่าความทึบแสงให้แก่ข้อมูลแต่ละจุด ฉายแสงเข้าไปในปริมาตรหาส่วนที่มองเห็นได้ คำนวณค่าเกรเดียนต์เพื่อใช้คำนวณการให้แสงเงา ร่วมกับสีที่กำหนดไว้ ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการรวมองค์ประกอบภาพซึ่งจะอาศัยข้อมูลจากค่าเกรเดียนต์ ความเข้มแสงที่ผ่านการให้แสงเงามาแล้ว และค่าความทึบแสงมาคำนวณ

3.5 การสร้างภาพโดยวิธีการฉายแสง (Ray Casting)

การสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยวิธีการฉายแสงนี้เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ต้องการแสดงข้อมูลเชิงปริมาตรให้อยู่ในรูปของข้อมูลภาพสองมิติในมุมมองต่างๆ ที่กระทำกับปริมาตร โดยที่ทำการฉายแสงเข้าไปในปริมาตร แบ่งกลุ่มของข้อมูลชนิดต่างๆ เช่น เนื้อเยื่อ กระดูก ไขมัน แล้วคำนวณค่าสีและแสงเงาของข้อมูลแต่ละจุดแต่ละชนิด และทำการรวมค่าเหล่านั้นเป็นจุดภาพผลลัพธ์หนึ่งจุด หลังจากนั้นจึงทำตามวิธีการตลอดทั้งภาพผลลัพธ์ แต่ผลลัพธ์จากการฉายแสงนี้ค่าที่ได้มักเป็นค่าทศนิยม จึงมักต้องมีการปัดเศษค่าเหล่านี้ให้เป็นจำนวนเต็มก่อนเนื่องจากการอ้างอิงตำแหน่งจะอยู่ในลักษณะเลขจำนวนเต็ม จึงต้องทำการสุ่มบางตำแหน่งที่เกิดการซ้อนทับกัน ดังนั้นภาพที่ฉายไปในปริมาตรจะเกิดจุดดำเนื่องจากข้อมูลบางตำแหน่งขาดหายไป ขั้นตอนการทำงาน สามารถแสดงได้ดังนี้

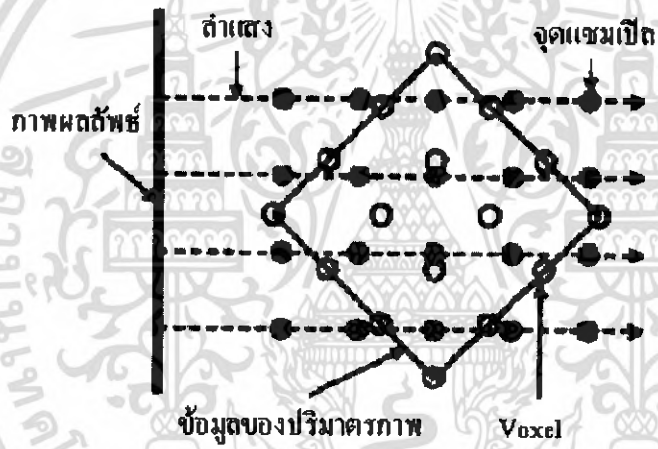


รูปที่ 3.6 การสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยวิธีการฉายแสง

1. การเตรียมข้อมูลภาพจะถูกทำเพื่อนำภาพจากข้อมูลต้นฉบับมาจัดเรียงเป็นปริมาตร
2. การฉายแสงเข้าไปในปริมาตรจะถูกทำเพื่อหาตำแหน่งในปริมาตรข้อมูลภาพเพื่อทำการประมวลผลต่อไป
3. คำนวณค่าเกรเดียนต์
4. การแบ่งกลุ่มข้อมูลจะทำเพื่อกำหนดค่าและความทึบแสงให้กับข้อมูล
5. การประกอบภาพจะทำเพื่อประกอบค่าสีและค่าความทึบแสงที่ได้เป็นจุดภาพในระนาบการมองเป็นขั้นตอนสุดท้ายแสดงดังรูป 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยภาพที่ปรากฏบนระนาบการมองจะประกอบไปด้วยจุดภาพหลายจุด จุดภาพเหล่านี้จะถูกให้ค่าสีด้วยกระบวนการฉายแสง ในกระบวนการนี้แสงจะถูกฉายจากจุดภาพในระนาบการมองไปสู่ปริมาตรข้อมูลภาพ และผ่านการประมวลผลเพื่อหาค่าสีมาแสดงในจุดภาพนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 แต่ก่อนที่แสงจะถูกฉายอาจต้องมีการหมุนปริมาตรข้อมูลภาพ เพื่อให้เห็นปริมาตรวัตถุในมุมมองที่ต้องการ ปกติปริมาตรข้อมูลภาพมักมีขนาดใหญ่ ซึ่งอาจประกอบไปด้วยข้อมูลภาพมากกว่า 1 ล้านข้อมูล การแปลงตำแหน่งของข้อมูลภาพโดยตรงอาจให้เวลานานมาก เนื่องจากต้องทำการแปลงตำแหน่งของข้อมูลภาพทุกจุด วิธีการแปลงตำแหน่งแบบนี้ เรียกว่า การแปลงตำแหน่งแบบหลังไปหน้า (Forward Transformation) ในทางกลับกันแทนที่จะแปลงตำแหน่งของข้อมูลภาพเพื่อให้เห็นวัตถุในมุมมองที่ต้องการ สามารถแปลงตำแหน่งของระนาบการมองในทิศทางตรงข้ามกับการแปลงตำแหน่งของข้อมูลภาพโดยการแปลงตำแหน่งของข้อมูลภาพยังคงเดิม เรียกวิธีการแปลงแบบนี้ว่า การแปลงตำแหน่งแบบย้อนกลับ (Inverse Transformation) แสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การฉายแสงใน 2 มิติโดยแปลงตำแหน่งของระนาบการมอง

ตำแหน่งของจุดภาพในระนาบการมอง (x, y, z) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นตำแหน่งที่แท้จริงของข้อมูลภาพในปริมาตร (x', y', z') โดยอาศัยเมตริกซ์การแปลงผกผัน (Inverse Transform Matrix) ดังสมการที่ 3.11

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.11}$$

M^{-1} คือเมตริกซ์การแปลงผกผันจากรูปที่ 3.7 ตำแหน่งของจุดแสงที่ถูกเลือก (Sample Point) อาจไม่ตรงกับตำแหน่งของข้อมูลปริมาตรที่มีอยู่จริง จึงทำให้จำเป็นต้องมีการคำนวณหาค่าจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่อยู่รอบๆ จุดนั้น ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่าการประมาณค่าในช่วง ซึ่งมีด้วยกันหลายแบบดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไปนี้

3.6 การประมาณค่าในช่วง (Interpolation)

การกระทำทางคณิตศาสตร์เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการสร้างภาพเชิงปริมาตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการฉายแสง (Ray Casting) การนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างภาพนั้นบางครั้งอาจมีการเข้าถึงข้อมูลในตำแหน่งที่ไม่มีข้อมูลอยู่ดังรูปที่ 3.7 ดังนั้น จึงต้องการคำนวณค่าทดแทนข้อมูลที่ขาดหายไปเหล่านี้ หรือเรียกว่าการประมาณค่าในช่วงเพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป การประมาณค่าในช่วงมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะถูกควบคุมโดยเคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วง (Interpolation Kernel) และรูปร่างของเคอร์เนลจะเป็นตัวกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สำหรับถ่วงน้ำหนักการบวกและคุณภาพของการประมาณค่าในช่วง

3.6.1 การประมาณค่าในช่วงแบบเนียร์เรสเนเบอร์ (Nearest Neighbor)

การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด แต่ให้ผลลัพธ์ที่มีค่าหยาบมาก ลักษณะทั่วไปนั้นจะเป็นการนำค่าที่อยู่ใกล้จุดที่ต้องการประมาณค่าในช่วงมาเป็นคำตอบซึ่งสมการการประมาณค่าในช่วงใน 1 มิติและ 2 มิติ แสดงด้วยสมการ 3.12และ 3.13 ตามลำดับ รูปร่างของเคอร์เนลสำหรับการประมาณค่าในช่วงชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่ามีเพียงค่าเดียวเท่านั้นที่ถูกประมวลผล ดังนั้นการคำนวณในแต่ละวงรอบจึงมีน้อยมาก

$$f(x) = g(round(x)) \tag{3.12}$$

$$f(x,y) = g(round(x), round(y)) \tag{3.13}$$

รูปที่ 3.8 (ก) เคอร์เนลแบบเนียเรสเนเบอร์ (ข) การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีเนียร์เรสเนเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของการประมาณค่าในช่วงแบบนี้คือผลกระทบจากอแลสซิง (Aliasing) ซึ่งสังเกตง่ายๆ จากสี่เหลี่ยมเล็กๆ ดังรูป 3.9

รูปที่ 3.9 ภาพที่เกิดจากการประมาณค่าในช่วงแบบเนียร์เรสเนเบอร์

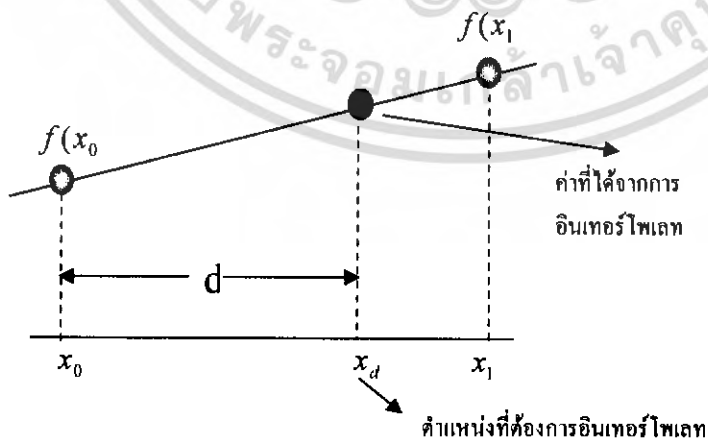
และข้อเสียอีกอย่างคือ การเลื่อนของภาพ ซึ่งการปัดค่าของเนียร์เรสเนเบอร์เป็นสาเหตุให้ภาพเลื่อนไป ½ ถึง 1 พิกเซลซึ่งมีผลอย่างมากในกรณีที่มีการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของวัตถุในภาพและข้อดีของการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีนี้คือความใช้เวลาในการประมวลผลน้อย

3.6.2 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation)

การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการประมาณค่าในช่วงแบบอื่นๆ โดยการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นนี้อาศัยสมการเชิงเส้นมาทำการคำนวณค่าที่ต้องการประมาณค่าในช่วงซึ่งแสดงดังสมการ 3.14

$$y = mx + c \tag{3.14}$$

สมมติว่าจุดสองจุด $f(x_0)$ และ $f(x_1)$ มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

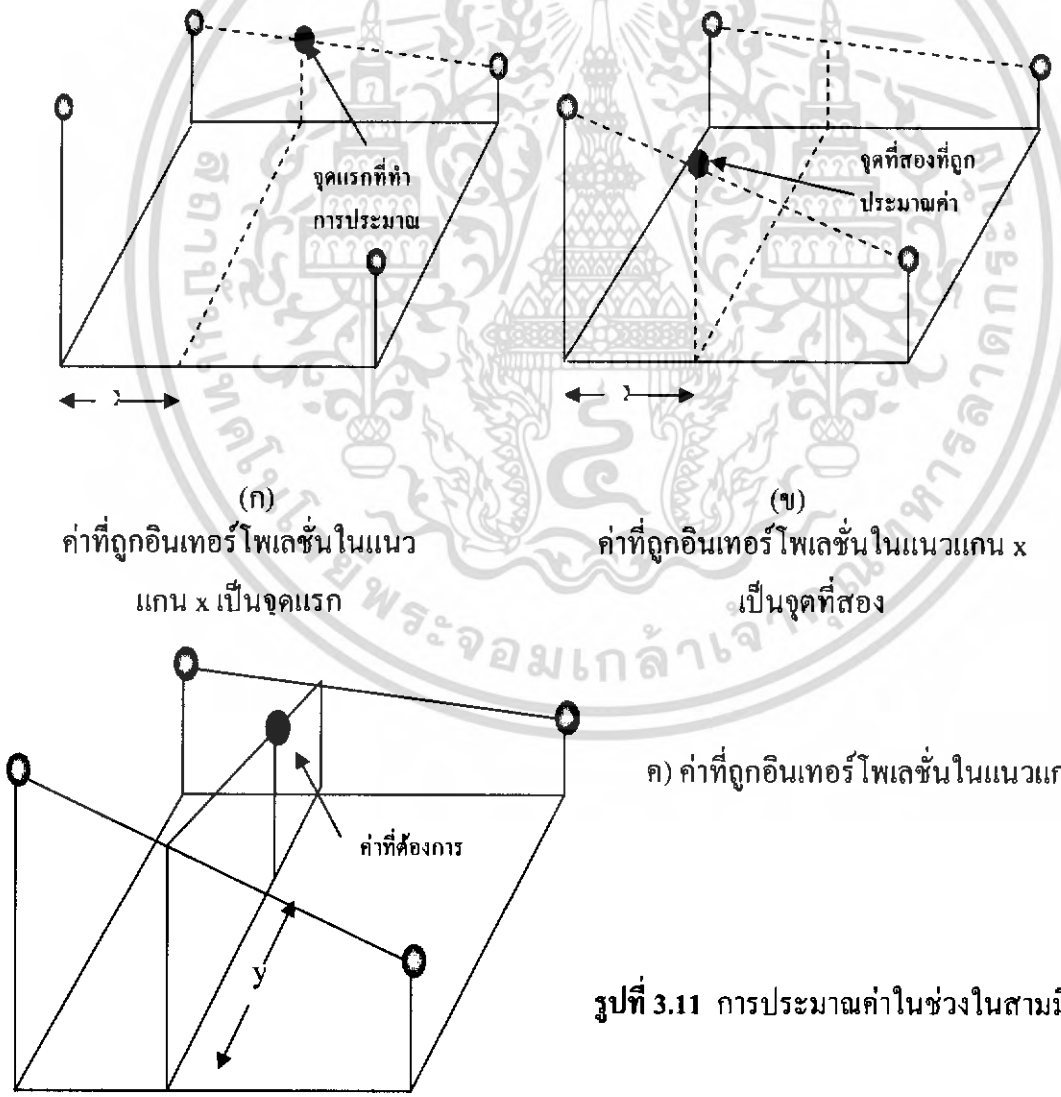
จากรูปที่ 3.10 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของข้อมูล $f(x_0)$ และ $f(x_1)$ ได้ดังสมการ 3.15

$$f(x_1) = \left(\frac{f(x_1) - f(x_2)}{x_1 - x_2}\right) x_1 + f(x_0) \tag{3.15}$$

ดังนั้นค่าของข้อมูลที่ตำแหน่ง x_d สามารถหาได้จาก สมการ 3.16

$$f(x_d) = \left(\frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}\right)(x_d - x_0) + f(x_0) \tag{3.16}$$

สำหรับข้อมูลในสามมิติ การประมาณค่าในช่วงจะต้องทำสามครั้งคือแกน x สองครั้งและในแนวแกน y หนึ่งครั้ง ซึ่งอาจเรียกการประมาณค่าในช่วงแบบนี้ว่า การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่ (Bilinear interpolation) ดังแสดงในรูปที่ 3.11



(ก) ค่าที่ถูกอินเทอร์โพเลชั่นในแนวแกน x เป็นจุดแรก

(ข) ค่าที่ถูกอินเทอร์โพเลชั่นในแนวแกน x เป็นจุดที่สอง

ค) ค่าที่ถูกอินเทอร์โพเลชั่นในแนวแกน

รูปที่ 3.11 การประมาณค่าในช่วงในสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ภาพที่เกิดจากการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น

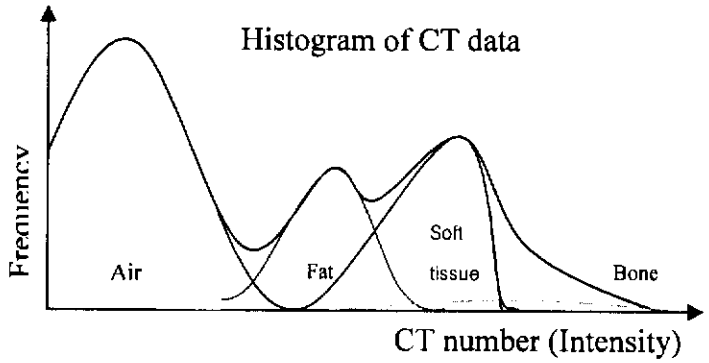
3.7 การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Classification)

การแบ่งกลุ่มข้อมูลจะถูกทำเพื่อให้สามารถเห็นโครงสร้างของอวัยวะได้โดยไม่จำเป็นต้องทราบโครงสร้างที่แน่นอนของอวัยวะ โดยโครงสร้างนี้จะมีลักษณะกึ่งโปร่งใสผู้สังเกตสามารถมองโครงสร้างภายในอวัยวะได้เกือบทั้งหมด ซึ่งต่างจากการสร้างภาพเชิงพื้นผิวที่ผู้สังเกตสามารถมองเห็นพื้นผิวภายนอกของอวัยวะเท่านั้น การแบ่งกลุ่มข้อมูลในการสร้างภาพเชิงปริมาตรจะทำโดยการกำหนดค่าความทึบแสง(Opacity) ให้กับแต่ละจุดภาพ(Voxel) ในปริมาตรของข้อมูลภาพ โดยค่าความทึบแสงจะบอกถึงความทึบหรือความสามารถในการดูดกลืนแสงของจุดภาพ ความทึบแสงในการสร้างภาพเชิงปริมาตรจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 จุดภาพที่มีค่าเข้าใกล้ 1 จะเป็นจุดภาพที่มีความโปร่งแสงมากโครงสร้างที่ต้องการเห็นจะถูกกำหนดให้มีค่าความทึบแสงมาก ส่วนโครงสร้างที่มีความสำคัญน้อยหรือไม่ต้องการเห็นจะถูกกำหนดความทึบแสงให้มีค่าน้อย การดูว่าข้อมูลที่นำมาสร้างภาพมีวัตถุอยู่ในภาพที่ความสว่างใดบ้าง สามารถดูได้จากฮีสโทแกรมของภาพตัดขวางของอวัยวะภายในร่างกาย

3.7.1 ฮีสโทแกรม (Histogram)

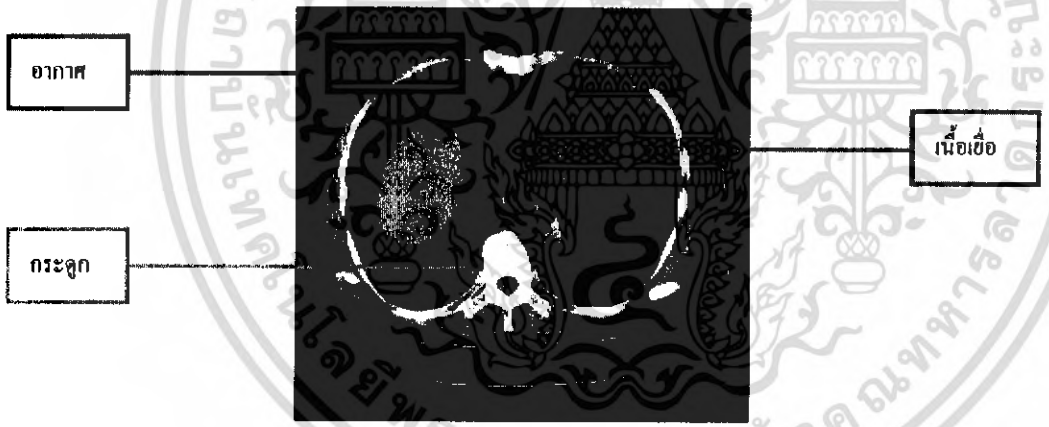
ฮีสโทแกรมบอกถึงความถี่ของค่าความสว่างหรือค่าระดับเทา(Gray Level) ที่พบในจุดภาพ ค่าฮีสโทแกรมจะถูกพล็อตเป็นกราฟสองมิติโดยข้อมูลในแนวแกน X จะเป็นค่าระดับเทา และข้อมูลในแนวแกน Y จะเป็นความถี่ (จำนวนจุด) ที่พบในภาพนั้นๆ แสดงในรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ฮีสโทแกรมที่ได้จากเครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์

การใช้ฮีสโทแกรมในการสร้างภาพเชิงปริมาตรจะทำให้กำหนดฟังก์ชันถ่ายโอนได้ง่ายขึ้น ข้อมูลที่อยู่จุดยอด (Peak) เดียวกันของฮีสโทแกรมมักจะเป็นวัตถุกลุ่มเดียวกันในข้อมูลภาพ เช่น ที่ระดับค่าเทามากที่สุดมักจะเป็นกระดูก ส่วนค่าที่ระดับเทาน้อยสุดมักจะเป็นอากาศ การแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นขั้นตอนที่ช่วยให้สามารถสร้างภาพของชุดข้อมูลที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลในโครงงานปัญหาพิเศษนี้ เราจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ อากาศ เนื้อเยื่อ และกระดูก ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การแบ่งกลุ่มข้อมูล อวัยวะบริเวณช่องท้อง

3.7.2 เกรเดียนต์(Gradient)

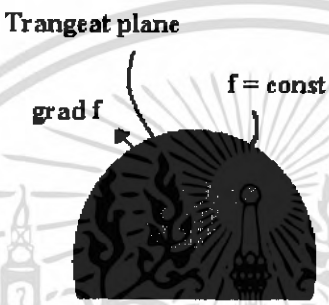
ในคอมพิวเตอร์กราฟิก การแบ่งกลุ่มข้อมูลและการให้แสงเงาจำเป็นที่จะต้องรู้เกรเดียนต์และค่าเวคเตอร์หรือนอร์มอลเวคเตอร์(Normal Vector) ของพื้นที่แสงส่องไปถึง การหาค่านอร์มอลเวคเตอร์สามารถทำได้โดยหาค่ากรเดียนต์ของพื้นผิว ซึ่งเกรเดียนต์เป็นตัวดำเนินการ(Operator) ทางคณิตศาสตร์ชนิดหนึ่ง มีรูปแบบดังสมการ 3.17โดยที่ $f(x, y, z)$ เป็นสเกลาร์ฟังก์ชันและสามารถหาอนุพันธ์(Differentiable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \quad \frac{\partial f}{\partial y} \quad \frac{\partial f}{\partial z} \right] \tag{3.17}$$

เกรเดียนต์จะบอกถึงทิศทางและอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน *f(x, y, z)* ในกรณีที่ฟังก์ชันเป็นพื้นผิว

จากรูปที่ 3.15 ถ้าเกรเดียนต์ของฟังก์ชัน f ที่จุด P ไม่เป็นศูนย์แล้ว จะทำให้สามารถหาค่านอร์มอลเวคเตอร์ที่จุด P นั้นๆ ได้ถ้าเกรเดียนต์เป็นศูนย์จะหมายความว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นผิวนั้นๆ



รูปที่ 3.15 แสดงการหาค่าเวกเตอร์ปกติจากเกรเดียนต์ของพื้นผิว

ในกรณีของข้อมูลเชิงปริมาตร เกรเดียนต์จะบอกถึงทิศทางและอัตราเร็วในการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในปริมาตร ถ้าขนาดของเกรเดียนต์มีค่าเป็นศูนย์หมายความว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในค่าของจุดภาพเทียบกับจุดภาพข้างเคียง การหาค่าเกรเดียนต์สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีความถูกต้องและความซับซ้อนของการคำนวณแตกต่างกันไป

แต่วิธีหนึ่งที่ง่ายและไม่ซับซ้อนคือการหาค่าเกรเดียนต์ด้วยตัวประมาณค่าแบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์(The Central Difference Gradient Estimator) การประมาณค่าเกรเดียนต์ด้วยวิธีนี้สามารถทำได้ง่าย และรวดเร็ว แต่ก็จะให้คุณภาพของภาพด้อยกว่าวิธีอื่น เนื่องจากว่าในการคำนวณหาค่าเกรเดียนต์ด้วยวิธีนี้ใช้ข้อมูลในปริมาตรข้อมูลภาพเพียงหกจุดมาทำการคำนวณ

ตัวประมาณเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์มีสมการดังนี้

$$\nabla f(x_i) = \nabla f(x_{i,} y_{j,} z_k) \approx \left(\frac{1}{2}\left(f(x_{i+1,} y_{j,} z_k) - f(x_{i-1,} y_{j,} z_k) \right), \right.$$

$$\frac{1}{2}\left(f(x_{i,} y_{j+1,} z_k) - f(x_{i,} y_{j-1,} z_k) \right), \tag{3.18}$$

$$\left. \frac{1}{2}\left(f(x_{i} y_{i,} z_{k+1}) - f(x_{i,} y_{j,} z_{k-1}) \right) \right)$$

d(x, y, z) คือ ค่าความสว่างของจุดภาพที่ตำแหน่ง (x, y, z) ในปริมาตรข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากสมการที่ (3.18) จะเห็นได้ว่าเกรเดียนต์เป็นเวคเตอร์แบบสามมิติ ที่มีทั้งขนาดและทิศทางในแกน X, Y และ Z

ค่าเกรเดียนต์จะถูกใช้ในสองขั้นตอนของการสร้างภาพเชิงปริมาตรคือ ขบวนการแยกแยะชนิดหรือแบ่งกลุ่มของข้อมูลภาพและขบวนการให้แสงเงา ซึ่งในขบวนการการแบ่งกลุ่มข้อมูลสามารถนำเอาค่าขนาดของเกรเดียนต์ไปใช้ได้เลย แต่ในขั้นตอนของการให้แสงเงาจะต้องคำนวณหาค่านอร์มอลเวคเตอร์ก่อน

3.7.3 นอร์มอลเวคเตอร์ (Normal Vector)

นอร์มอลเวคเตอร์ในภาพเชิงปริมาตรมีนิยาม คือ เวคเตอร์หนึ่งหน่วยที่ขนานไปกับเกรเดียนต์ที่คำนวณโดยใช้ข้อมูลระดับเทา ถ้ากำหนดให้ $\nabla f(x_i)$ แทนเกรเดียนต์ และ $N(x_i)$ แทนนอร์มอลเวคเตอร์ จะได้ว่า

$$N(x_i) = \frac{\nabla f(x_i)}{|\nabla f(x_i)|} \tag{3.19}$$

3.7.4 ฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสง (Opacity Transfer Function)

การแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นขั้นตอนการกำหนดค่าความทึบแสงให้แก่ว็อกเซล ค่าความทึบแสงนี้เป็นคุณสมบัติของว็อกเซลเช่นเดียวกับค่าความเข้มแสงและขนาดของเกรเดียนต์ โดยฟังก์ชันที่ใช้กำหนดค่าความทึบแสงให้กับจุดภาพนี้ เรียกว่า ฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสง (Opacity Transfer Function) ตัวแปรของฟังก์ชันอาจเป็นค่าความสว่างหรือขนาดของเกรเดียนต์ หรืออาจมีตัวแปรอื่นๆ เข้ามาร่วมด้วยก็ได้ ลักษณะฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นดังนี้

$$\alpha_i = O(I_i, |\nabla_i|, ..., ..., ...) \tag{3.20}$$

- O คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของค่าความทึบแสง
- I_i คือ ค่าความสว่างหรือค่าระดับเทาของจุดภาพ
- $|\nabla_i|$ คือ ขนาดของเกรเดียนต์ของจุดภาพ

กรณีของภาพที่ถ่ายจากเครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์(CT) ความสว่างของแต่ละจุดภาพมีความแตกต่างกันชัดเจนเพียงพอที่จะแยกแยะอวัยวะต่างๆ ออกจากกัน แต่ภาพถ่ายที่ได้จากเครื่องถ่ายโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(MRI) อวัยวะที่ต่างกันอาจมีค่าความสว่างเท่ากันได้ การใช้ค่าความสว่างอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ จึงต้องนำขนาดของเกรเดียนต์มาพิจารณาด้วย (ซึ่งเราจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป) เกรเดียนต์จะบอกถึงความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลบริเวณรอยต่อของอวัยวะสองชนิดจะมีความเร็วในการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างคงที่ จึงสามารถใช้หาขอบของอวัยวะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.5 การให้สี

การให้สีแก่กลุ่มของข้อมูลทำให้สามารถแยกแยะกลุ่มข้อมูลได้ง่ายขึ้นโดยข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มที่ต่างกันจะถูกให้สีต่างกัน ส่วนข้อมูลสองกลุ่มที่มีขอบเขตปนกันค่าสีจะของข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นของข้อมูลสองกลุ่มนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนของการให้สีจะถูกทำในแต่ละค่าสี แดง เขียว น้ำเงิน ดังสมการ 3.21, 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ

$$R_i = T_r(I_i, |\nabla_i|, ..) \tag{3.21}$$

$$G_i = T_g(I_i, |\nabla_i|, ..) \tag{3.22}$$

$$B_i = T_b(I_i, |\nabla_i|, ..) \tag{3.23}$$

T_r, T_g, T_b เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของค่าสี แดง เขียว และ น้ำเงินตามลำดับ
ค่าสีของจุดภาพนี้จะถูกนำไปให้แสงเงาอีกครั้งในกระบวนการให้แสงเงาเพื่อให้ได้สีที่สมจริง

3.8 การส่องสว่างและการให้แสงเงา (Illumination and Shading)

การส่องสว่างและการให้แสงเงาเป็นเทคนิคที่ใช้ในคอมพิวเตอร์กราฟิกซึ่งใช้สำหรับการเน้นให้กราฟิกสามมิติที่สร้างขึ้นดูมีมิติเกิดความสมจริงมากขึ้น โดยที่การให้แสงเงาเป็นความพยายามที่จะจำลองผลของเงา การกระเจิงของแสง และการดูดกลืนที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบไปยังวัตถุตามความเป็นจริง

3.8.1 การให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong (Gouraud And Phong Shading)

ส่วนใหญ่แล้วในเอกสารคอมพิวเตอร์กราฟิกจะอ้างอิงถึงคำว่าการให้แสงเงาหรือการส่องสว่างของ Phong และ Gouraud ซึ่งทั้ง Henri Gouraud และ Bui Tuong Phong ได้พัฒนาเทคนิคที่ทำให้รูปทรงทางเรขาคณิตต่างๆ ที่สร้างขึ้นบอนคอมพิวเตอร์มีลักษณะที่ดูสมจริง Phong มีทั้งแบบจำลองของการส่องสว่างและการให้แสงเงาในขณะที่ Gouraud มีเพียงแค่แบบจำลองการให้แสงเงา

3.8.2 แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong (The Phong Illumination Model)

แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong มีจุดมุ่งหมายที่จะจำลองการสะท้อนแสงบนพื้นผิวและผลที่เกิดขึ้นกับสีของมัน เช่นเมื่อแสงสีขาวตกกระทบไปบนพื้นผิวของลูกโบว์ลิ่ง พื้นผิวบริเวณที่ถูกแสงส่องนั้นก็จะเปลี่ยนไปจนเกือบเป็นสีขาว และจุดมุ่งหมายอีกอย่างหนึ่งของการออกแบบจำลองการส่องสว่างคือ การทำให้รูปแบบการจำลองนั้นอยู่ในรูปแบบที่ง่าย ซึ่งทำให้การคำนวณมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากอดีตเมื่อแบบจำลองการส่องสว่างถูกพัฒนาขึ้นนั้น ความถูกต้องทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กายภาพจะถูกพิจารณาถึงน้อยมาก เนื่องจากสิ่งสำคัญคือประสิทธิภาพในการคำนวณไม่ใช่ความถูกต้องทางกายภาพและปรากฏการณ์ของแสงซึ่งอยู่เบื้องหลังแบบจำลองเช่น การให้แสงเงา เงา และอื่นๆ

แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong เป็นการอธิบายถึงผลของแสงแวดล้อม(Ambient Light) และการสะท้อนแบบกระจาย(Diffuse Reflection) และการสะท้อนแบบกระจก(Specular Reflection) ของแสงซึ่งตกกระทบลงบนพื้นผิว

3.8.2.1 แสงแวดล้อม (Ambient Light)

แหล่งกำเนิดแสงแวดล้อม เป็นแสงที่มีความเข้มแสงเท่ากันทุกที่บนฉากที่สร้างขึ้น ซึ่งไม่ใช่แหล่งกำเนิดแสงโดยตรงและค่าของแสงแวดล้อมก็ไม่ขึ้นอยู่กับมุมของแสงที่ทำมุมตกกระทบกับพื้นผิว เมื่อแสงแวดล้อมไปตกกระทบพื้นผิวจะได้สีพื้นผิว ดังสมการต่อไปนี้

$$L_a = L_i k_a \tag{3.24}$$

เมื่อ L_a คือ ความเข้มของแสงที่ผ่านการให้แสงแวดล้อมแล้ว

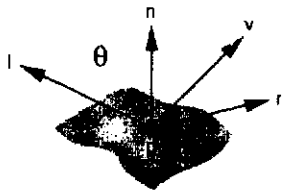
L_i คือ สีของแสงแวดล้อม ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 และใช้แยกความแตกต่างของวัตถุที่อยู่ในภาพ เช่น วัสดุสีดำจะดูดกลืนแสงมากกว่าวัตถุสีขาว ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแวดล้อมของมันจึงค่าเข้าใกล้ศูนย์

k_a คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแวดล้อมของวัตถุ

3.8.2.2 การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection)

การสะท้อนแบบกระจายเกิดจากการที่แหล่งกำเนิดแสงแบบจุดในฉากแผ่รังสีออกมาแบบเอกรูป(Uniform) ในทุกๆ ทิศทาง สีของจุดบนพื้นผิวจะแปรไปตามทิศทางการหันเหของพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสงและระยะทางจากจุดที่ทำการคำนวณไปยังแหล่งกำเนิดแสงส่วนมากแล้วระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับพื้นผิวมักไม่นำมาพิจารณา ซึ่งกล่าวได้ว่า ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงอยู่ที่อนันต์ ดังนั้นการคำนวณจึงเหลือเพียงแค่มุมระหว่างพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดบวกกับผลจากแบบจำลองแสงแวดล้อมเท่านั้นซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.16 และดังสมการ ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจาย

$$L_d = L_i k_d \cos\theta \tag{3.25}$$

$\cos\theta$ เท่ากับ $(\vec{l} \bullet \vec{n})$

L_d คือ ความเข้มของแสงสะท้อนแบบกระจาย

L_i คือ สีของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 และใช้แยกความแตกต่างของวัตถุที่อยู่ในภาพ เช่น วัสดุสีดำจะดูดกลืนแสงมากกว่าวัตถุสีขาว ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแวดล้อมของมันจึงค่าเข้าใกล้ศูนย์

k_d คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแบบกระจายของวัตถุ

θ คือ มุมที่แสงตกกระทบกับวัตถุ

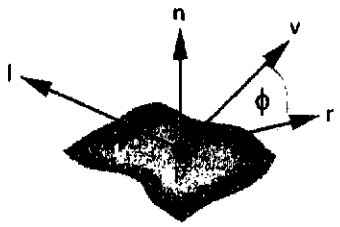
$\vec{l}$ คือ เวกเตอร์ที่ชี้มาจากแหล่งกำเนิด

$\vec{n}$ คือ เวกเตอร์ปกติ ที่ตั้งฉากกับผิวของวัตถุ

3.8.2.3 การสะท้อนแสงแบบกระจก (Specular Reflection)

การสะท้อนแสงแบบกระจก (Specular Reflection) มีลักษณะดังรูปที่ 3.17 ในแบบจำลองการส่องสว่างเกิดขึ้นเนื่องจากการเน้นจุดของการฉายแสง (Shiny Highlights) ตัวอย่างเช่น จุดสีขาวที่มีลักษณะสว่างกว่าบริเวณอื่นบนลูกโบว์ลิ่งได้ทั้งลูก เนื่องจากองค์ประกอบของแสงแวดล้อมและการสะท้อนแสงแบบกระจายในแบบจำลองการส่องสว่าง การสะท้อนแบบกระจกนี้จะส่งผลในบริเวณหนึ่งที่แน่นอน และความเข้มแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวก็จะมีลักษณะที่ชัดเจนรอบจุดที่ตกกระทบ การสะท้อนแสงแบบนี้จะมีตัวแปร n เป็นเลขยกกำลังที่ควบคุมผลการสะท้อนของแสง สำหรับวัตถุที่เป็นตัวสะท้อนอย่างสมบูรณ์ เช่น กระจก จะมีค่า n เป็นอนันต์ ถ้าตาของผู้สังเกตอยู่ในแนวเดียวกับแสงที่ถูกสะท้อนออกมา ผู้สังเกตจะเห็นเพียงแค่ผลของการสะท้อนแสงแบบกระจกเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจก

บ่อยครั้งที่การสะท้อนแสงแบบกระจกไม่ขึ้นอยู่กับสีบนพื้นผิวของวัตถุ แต่จะถูกสมมติว่าสีที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนแสงชนิดนี้เป็นสีขาวเสมอ แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ซึ่งมีการพิจารณาองค์ประกอบของการสะท้อนแสงแบบกระจกเป็นดังสมการที่ 3.13

$$L_s = L_l k_s O_s(\vec{v} \bullet \vec{r})^s \tag{3.26}$$

เมื่อ L_s คือ ความสว่างของที่เกิดจากการแสงสะท้อนแบบกระจก

L_l คือ สีของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 และใช้แยกความแตกต่างของวัตถุที่อยู่ในภาพ เช่น วัสดุสีดำจะดูดกลืนแสงมากกว่าวัตถุสีขาว ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแวดล้อมของมันจึงค่าเข้าใกล้ศูนย์

k_s คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแบบกระจกของวัตถุ

O_s คือ สีของแสงสะท้อน

$\vec{v}$ คือ เวคเตอร์ที่ชี้จากพื้นผิวไปที่ผู้สังเกต

$\vec{r}$ คือ เวคเตอร์ปกติของการสะท้อน

s คือ สัมประสิทธิ์ของการสะท้อนแสงของวัตถุ

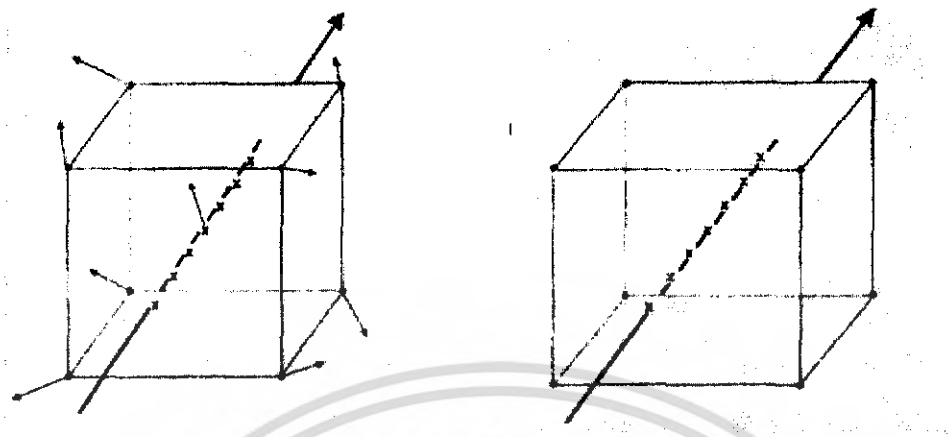
ยังมีทฤษฎีที่เกี่ยวเนื่องกับการส่องสว่างและการให้แสงเงาที่ไม่ได้กล่าวถึง เพราะไม่มีส่วนสำคัญในการสร้างภาพปริมาตร เช่น การลดทอนของแหล่งกำเนิดแสง พื้นฐานทางกายภาพของแบบจำลองการส่องสว่างและอื่นๆ

3.8.3 การให้แสงเงากับการสร้างภาพเชิงปริมาตร

ในการสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นสามารถแยกความแตกต่างระหว่างการใช้แสงเงาแบบ Phong และ Gouraud การให้แสงเงาแบบ Phong เป็นการอินเทอร์โพเลทค่าความเข้มแสงของว็อกเซล และค่าเวคเตอร์ปกติที่จุดแซมเปิล ใช้ค่าทั้งสองคำนวณหาค่าสีของจุดแซมเปิล ในแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ส่วนการให้แสงเงาแบบ Gouraud จะเป็นการคำนวณค่าแสงเงาของแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละวัตถุเซลออกมาก่อน จากนั้นจึงทำการอินเทอร์โพเลทค่าสีที่ได้จากการให้แสงเงาไปยังจุดแซมเปิลที่ต้องการดังรูปที่



(ก) (ข)

รูปที่ 3.18 การให้แสงเงาในการสร้างภาพเชิงปริมาตร แบบ Phong (ก) และแบบ Gouraud (ข)

สิ่งที่จำเป็นในการให้แสงเงาคือ องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจายและแหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่อนันต์เท่านั้น ส่วนองค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจกและแสงแวดล้อมเป็นเพียงสิ่งที่ทำให้ภาพที่สร้างขึ้นมาดูแปลกตาไปเท่านั้นเอง ไม่ต้องสนใจก็ได้

3.9 การประกอบภาพ (Image Compositing)

การประกอบภาพเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยจะเป็นการรวมคุณสมบัติของจุดแสงที่ได้ถูกคำนวณไว้ก่อนหน้านี้มาสร้างเป็นจุดภาพบนระนาบการมอง การฉายแสงจะสร้างภาพโดยการใช้ข้อมูลทั้งปริมาตรข้อมูลมาทำการคำนวณโดยอาศัยสมมติฐานที่ว่าข้อมูลในปริมาตรมีคุณสมบัติกระเจิง (Scatter) กีดขวาง (Occlude) สร้าง (Generate) และสะท้อนแสง (Reflect) ภาพในระนาบการมองจะเกิดจากผลของแสงที่ส่องลงบนข้อมูลในปริมาตรรวมกันตลอดหนึ่งแนวลำแสง การประกอบภาพสามารถทำได้สองวิธี คือ การประกอบภาพแสงแบบหน้าไปหลัง (Front-To-Back Compositing) และการการประกอบภาพแบบหลังไปหน้า (Back-To-Front Compositing) ซึ่งทั้งสองวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.9.1 การประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบภาพแบบหน้าไปหลังจะทำการสมมติสถานการณ์ว่า แสงได้เดินทางออกจากฉากหรือภาพผลลัพธ์ลึกเข้าไปในวัตถุ โดยในระหว่างที่แสงเดินทางเข้าไปในเนื้อวัตถุนั้นจะมีการสูญเสียพลังงานด้วย ทำให้แสงสามารถเดินทางเข้าไปได้ลึกเพียงแค่ระดับที่มีความทึบแสงสะสมเท่ากับ 1 เท่านั้น จากคุณสมบัติข้อนี้ทำให้มีการนำเอาเทคนิคการสิ้นสุดลำแสงก่อน (Early Ray Termination) มาช่วยทำให้ลดการคำนวณลงไปได้ เพราะถ้าค่าความทึบแสงสะสมในแนวลำแสงนั้นมีค่ามากกว่า 1 แล้วก็สามารถยกเลิกการคำนวณในแนวทางเดินแสงนั้นได้เลย เพราะถือว่าวัตถุหรือวอกเซลที่อยู่ในแนวลำแสงนั้นๆ ทึบแสงโดยสมบูรณ์แล้วนั่นเอง สมการการประกอบภาพแบบหน้าไปหลังนี้อธิบายได้ดังนี้

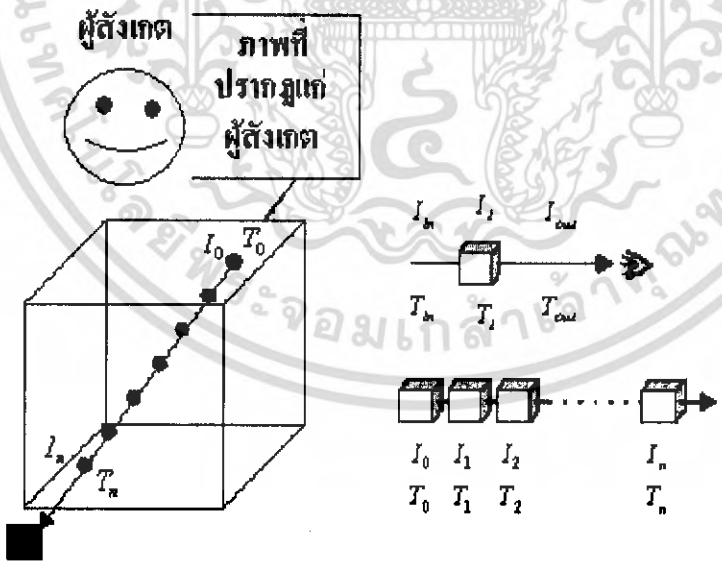
$$L(x) = \sum_{i=0}^{n} c_i \prod_{j=0}^{m} T_j \tag{3.27}$$

$$L(x) = \sum_{i=0}^{n-1} c_i \cdot \prod_{j=0}^{i-1} (1-\alpha_j)$$

$$= c_0 + c_1(1-\alpha_0) + c_2(1-\alpha_0)(1-\alpha_1) + \ldots + c_{n-1}(1-\alpha_0)\ldots(1-\alpha_{n-2})$$

จากสมการนี้ทำให้เราสามารถนิยามคุณสมบัติของวัตถุได้อีกอย่างหนึ่ง เพื่อทำให้เกิดความง่ายในการคำนวณ นั่นคือ ความโปร่งแสง มีนิยามตามสมการ

$$T_j = 1 - \alpha_j \tag{3.28}$$



รูปที่ 3.19 ลักษณะและทิศทางของการประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.19 สมการการประกอบแบบหน้าไปหลังที่ตำแหน่งใดๆในแนวลำแสงสามารถเขียนได้เป็น

$$T_{out} = T_{in}T_i$$
$$L_{out} = L_{in} + T_{in}c_i \quad (3.29)$$

L_{out} และ T_{out} เป็นความสว่างและความโปร่งแสงสะสมที่ทะลุผ่านจุดแสงในตำแหน่ง i

L_{in} และ T_{in} เป็นความสว่างและความโปร่งแสงสะสมที่เข้ามาสู่จุดแสงในตำแหน่ง i

c_i และ T_i เป็นความสว่างและความโปร่งแสงในจุดแสงที่กำลังพิจารณา

จากสมการ 3.32 สามารถเขียนวิธีการประกอบภาพแบบหน้าไปหลังได้ดังนี้

```
Trans = 1.0;
Inten = I[0];
For(i=1;i<=n; i++){
    Trans = Trans*T [i-1];
    Inten = Inten = Trans*c[i]; }
```

ในการประกอบภาพแบบหน้าไปหลังนี้จะต้องทำการคำนวณค่าของความโปร่งแสงสะสมก่อนจากนั้นทำค่าความโปร่งแสงสะสมไปคำนวณหาค่าความสว่างสะสมอีกครั้งหนึ่ง การที่ต้องคำนวณหาความโปร่งแสงสะสมก่อนเป็นข้อเสียของการประกอบภาพจากหน้าไปหลัง เพราะใช้การคำนวณมากกว่าการประกอบภาพแบบหลังไปหน้า แต่การประกอบภาพแบบหน้าไปหลังมีข้อดีคือ ใช้เทคนิคการสิ้นสุดลำแสงก่อนได้ โดยที่จุดแสงใดมีค่าของความโปร่งแสงสะสมเท่ากับศูนย์ก็สามารถหยุดการประกอบภาพในแนวลำแสงได้

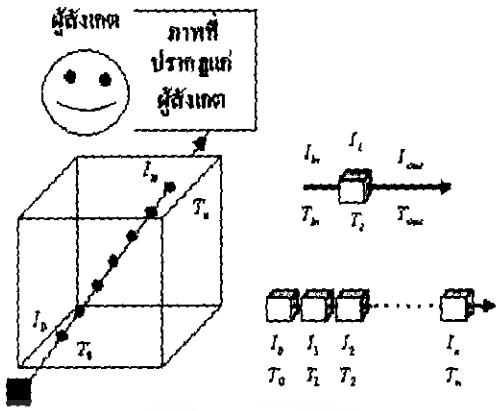
3.9.2 การประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

การประกอบภาพแบบหลังไปหน้านี้ เป็นการสมมติสถานการณ์ว่าแสงได้เดินทางจากด้านหลังของวัตถุแล้วมากระทบที่ฉากหรือภาพผลลัพธ์ทุกๆ ลำแสงโดยไม่มีการสูญเสียพลังงานระหว่างที่เดินทางผ่านวัตถุหรือปริมาตร สมการของการประกอบภาพแบบหลังไปหน้าคือ

$$L(a,b) = \sum_{i=0}^{n} c_i \cdot \prod_{j=i+1}^{n} (1-\alpha_j) \quad (3.29)$$

ลักษณะและทิศทางของการประกอบภาพแบบหลังไปหน้าแสดงดังรูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ลักษณะและทิศทางของการประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

สมการการประกอบภาพแบบหลังไปหน้าที่ตำแหน่งใดๆในแนวลำแสงสามารถเขียนได้เป็น

$$L_{out} = L_{in}T_i + c_i \tag{3.30}$$

L_{out} และ T_{out} เป็นความสว่างและความโปร่งแสงสะสมที่ทะลุผ่านจุดแสงในตำแหน่ง i

L_{in} และ T_{in} เป็นความสว่างและความโปร่งแสงสะสมที่เข้ามาสู่จุดแสงในตำแหน่ง i

c_i และ T_i เป็นความสว่างและความโปร่งแสงในจุดแสงที่กำลังพิจารณา

จากสมการ 3.34 สามารถเขียนวิธีการประกอบภาพแบบหลังไปหน้าได้ดังนี้

```
Inten = c[0];
For( i=1;i<=n; i++){
        Inten = Inten = Trans*T[i]+c[i];
}
```

สรุป

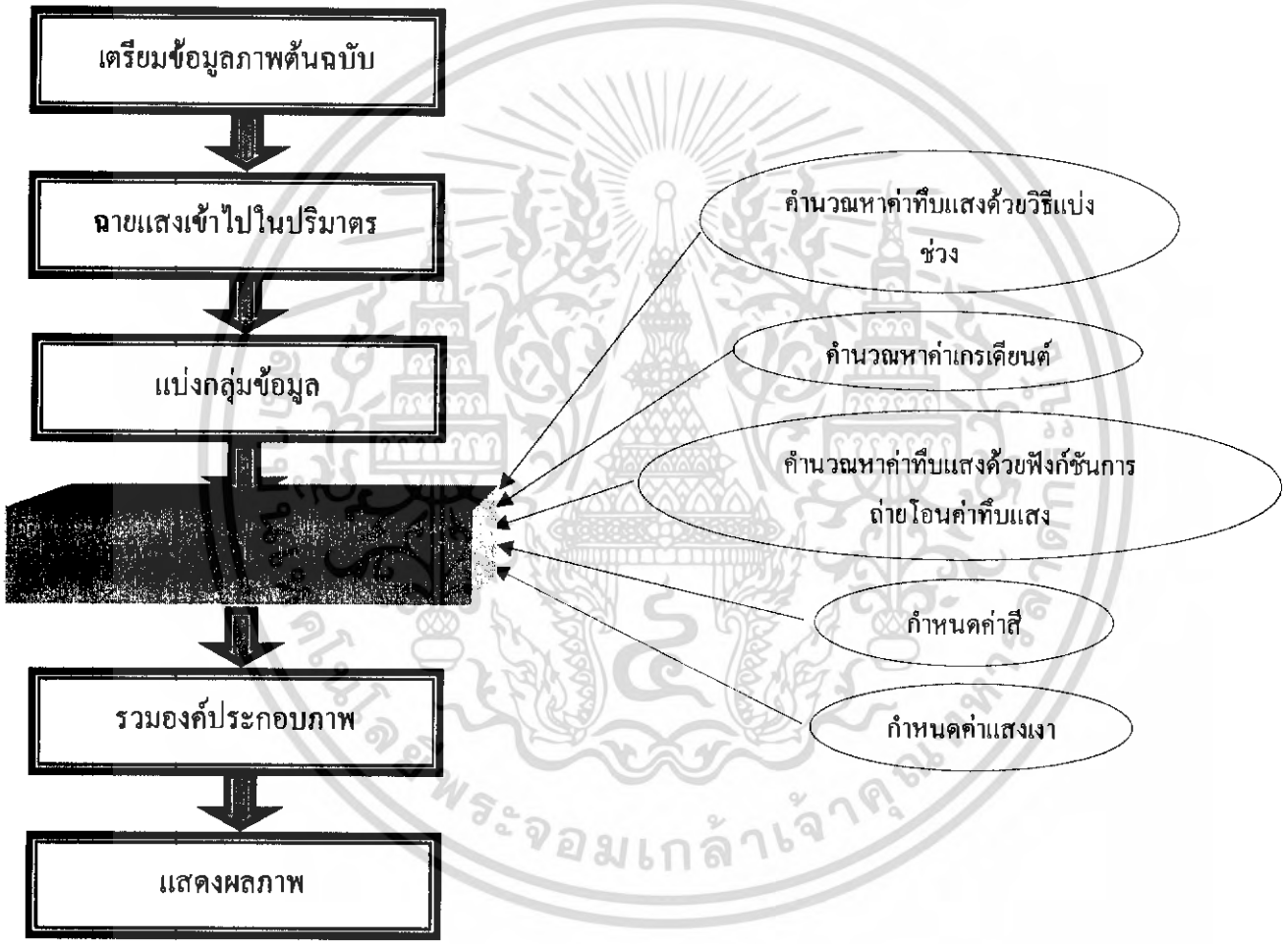
ในบทนี้เราได้ทราบถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวกับการสร้างภาพสามมิติเบื้องต้นตลอดจนการแปลงแบบต่างๆ และแบบจำลองการให้แสงเงา ซึ่งก็นับว่าเป็นส่วนสำคัญในการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์โดยได้แสดงให้เห็นวิธีการต่างๆ ที่สำคัญของการสร้างภาพโดยวิธีการฉายแสง ซึ่งเป็นการสร้างภาพเชิงปริมาตรแบบอีกแบบหนึ่งโดยขั้นตอนต่างๆนั้นประกอบไปด้วยการประมาณค่าในช่วง การแบ่งกลุ่มข้อมูล การส่องสว่างและการให้แสงเงา โดยประกอบไปด้วยแสงแวดล้อม (Ambient Light) การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) การสะท้อนแบบกระจก (Seculars Reflection) และสุดท้ายก็คือการประกอบภาพ ซึ่งอธิบายทั้งการประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง และการประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบโครงสร้างข้อมูลและวิธีการ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการสร้างภาพเชิงปริมาตร ซึ่งสามารถแบ่งง่ายๆ เป็นหกขั้นตอน โดยประกอบด้วยการเตรียมข้อมูลภาพ การฉายแสงเข้าในปริมาตร การแบ่งกลุ่มข้อมูล และการประกอบภาพดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนในการสร้างภาพเชิงปริมาตร

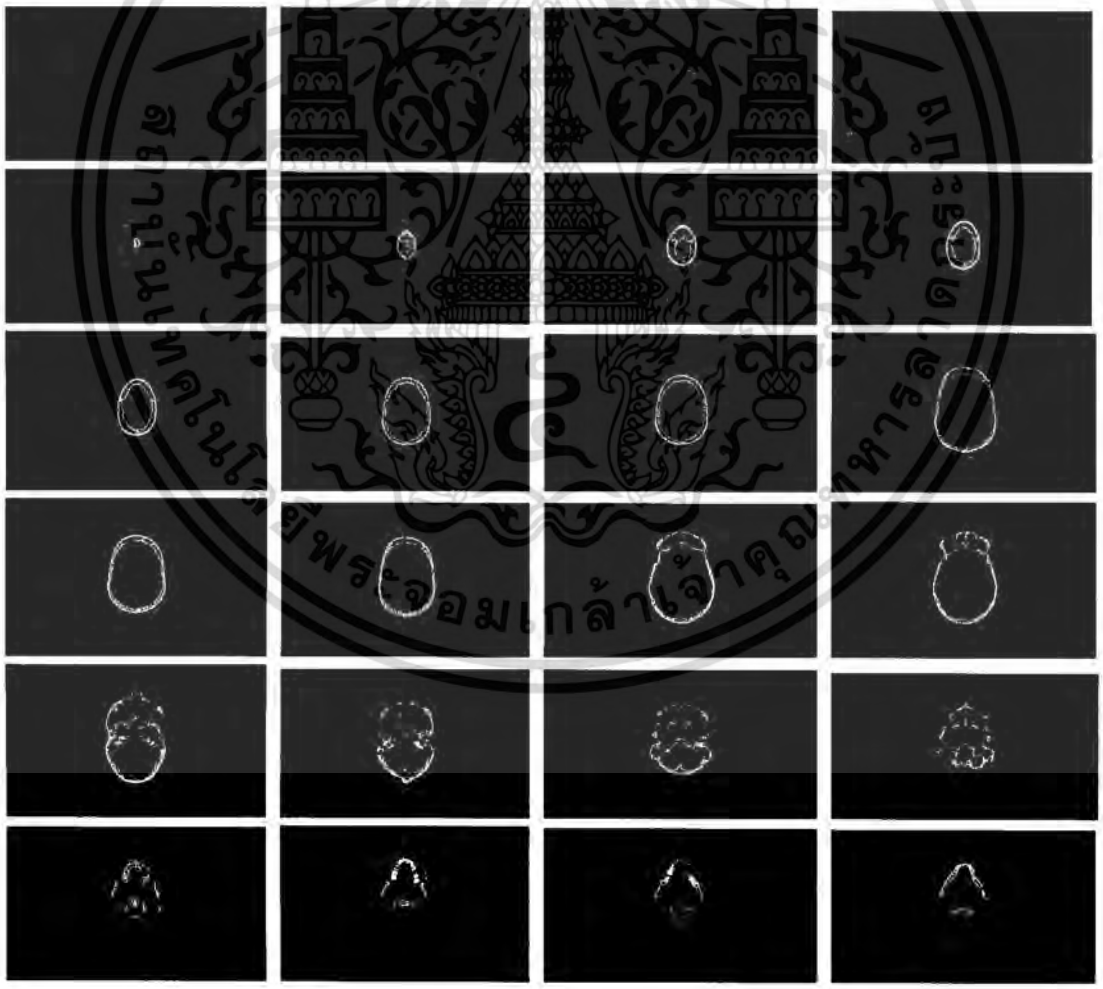
การเตรียมข้อมูลภาพจะถูกทำเพื่อนำภาพจากข้อมูลต้นฉบับมาจัดเรียงเป็นปริมาตร การฉายแสงจะถูกทำเพื่อหาตำแหน่งในปริมาตรข้อมูลภาพเพื่อทำการประมวลต่อไป การแบ่งกลุ่มข้อมูลจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำเพื่อกำหนดค่าสีและความทึบแสงให้กับข้อมูล และการประกอบภาพจะทำเพื่อประกอบค่าสีและค่าความทึบแสงที่ได้เป็นจุดภาพในระนาบการมองเป็นขั้นตอนสุดท้าย

4.2 เตรียมภาพข้อมูลต้นฉบับ

การเตรียมข้อมูลภาพเป็นขั้นตอนแรกเพื่อนำข้อมูลภาพจากไฟล์ภาพทางการแพทย์มาจัดเรียงเป็นปริมาตรของข้อมูลภาพ ดังรูปที่ 4.2 เช่น ภาพที่เรานำมาใช้ในโครงงานปัญหาพิเศษนี้เป็นภาพตัดขวางของร่างกายมนุษย์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์เรย์คอมพิวเตอร์ เป็นไฟล์ภาพประเภทบิตแมพ(bitmap) แต่ละภาพมีขนาด 587 x 341 pixel แต่ละพิกเซลเก็บข้อมูลภาพแบบ RGB 24 bit ภาพทั้งหมดมีจำนวน 1,878 รูปตัวอย่างภาพตัดขวางส่วนศีรษะที่นำมาสร้างภาพเชิงปริมาตรในโครงงานพิเศษนี้ ดังรูป 5.1



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพตัดขวางส่วนศีรษะที่นำมาใช้ในการทดลอง

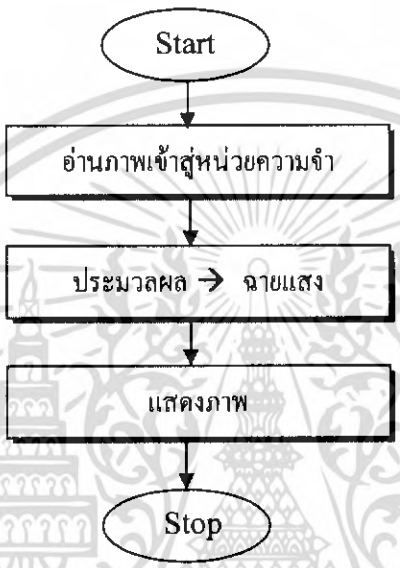
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้

ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C++ Builder 6.0 บนระบบปฏิบัติการ Windows XP ที่มีหน่วยความจำ 512 MB

4.2.1 ขั้นตอนในการประมวลผลเพื่อสร้างภาพ

ในการประมวลผลภาพจะต้องอ่านภาพตัดขวางทั้งหมดเข้าสู่หน่วยความจำ แล้วจึงทำการประมวลผลเพื่อสร้างภาพ โดยการฉายแสงตามวิธีการซึ่งจะกล่าวต่อไป และนำภาพที่ได้จากการฉายแสงไปแสดงผลต่อไป

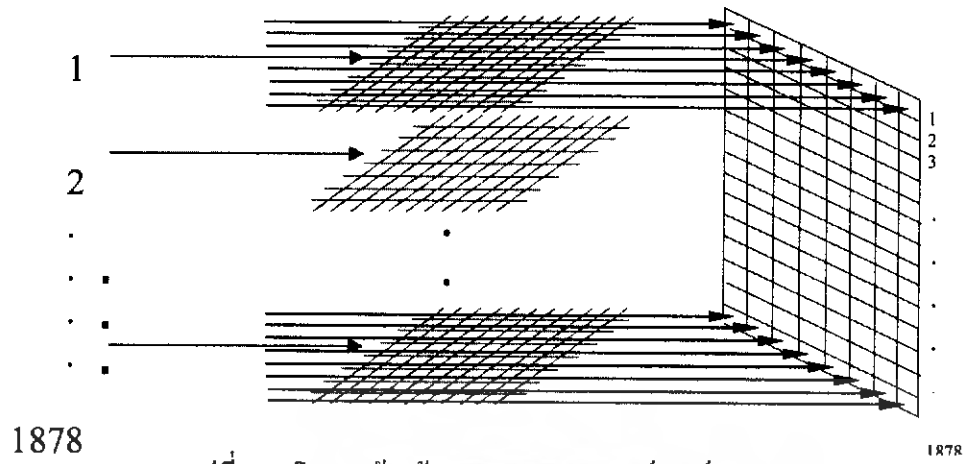


รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการสร้างภาพ

4.2.2 การออกแบบโปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูลภาพ

ภาพที่จะประมวลผลจะต้องถูกนำเข้าสู่หน่วยความจำทั้งหมด แต่เนื่องจากหน่วยความจำส่วนพื้นฐานมีจำนวนจำกัด และภาพทางการแพทย์มีจำนวนข้อมูลมากเป็นพิเศษ เพราะว่าในการเก็บค่าสีแต่ละพิกเซล ต้องใช้หน่วยความจำ 4 Byte ดังนั้น ภาพตัดขวาง 1 ภาพ จะใช้พื้นที่หน่วยความจำ 587 x 341 x 4 = 800,668 Byte และถ้าต้องการสร้างปริมาตรทั้งร่างกายต้องใช้หน่วยความจำมากถึง 587 x 341 x 4 x 1,878 = 1,503,654,504 Byte หรือ 1,433 MB ทำให้มีปัญหาในเรื่องหน่วยความจำไม่เพียงพอในการเก็บข้อมูลภาพทั้งหมด เราจึงทำการออกแบบให้มีการจองพื้นที่หน่วยความจำส่วนขยาย เพื่อใช้เก็บภาพเพิ่มในตอนต้นของการเขียนโปรแกรม โดยใช้พอยน์เตอร์ช่วย มีโครงสร้างดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 โครงสร้างข้อมูลภาพแบบพอยน์เตอร์

ภาพแต่ละภาพเหมือนอยู่บนระนาบ X, Y บนแกน Z และเมื่อนำภาพทั้งหมดมาซ้อนกัน ทั้งหมดจะซ้อนกันตาม แนวแกน Z และการประมวลโดยการฉายแสงของแต่ละภาพ จะทำให้เกิดภาพใหม่บนแนวเส้นตรงหนึ่งระดับภาพ และเมื่อฉายแสงมาทุกภาพจะได้ภาพที่เกิดจากการฉายแสงบนระนาบ

4.3 การนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำ

เมื่อเราเตรียมข้อมูลต่างๆ เรียบร้อยแล้วต่อไปเราก็จะทำการอ่านภาพมาไว้ในหน่วยความจำ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

4.3.1 การจองหน่วยความจำ

ก่อนนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำจะต้องทำการจองหน่วยความจำก่อนโดยใช้คำสั่งดังนี้

```
for(int i=0;i<maxpict;i++){                    วนลูปเท่าจำนวนรูป
        zAxis[i] = (Pixel*)malloc(sizeof(Pixel));  ให้พอยน์เตอร์ชื่อ zAxis ชี้ไปที่
}                                              หน่วยความจำที่จองไว้ขนาดเท่ากับตัวแปร Pixel
```

4.3.2 การนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำ

ส่วนของภาพที่จะประมวลผลจะนำเข้าสู่หน่วยความจำและเปลี่ยนภาพจาก RGB ให้เป็นภาพระดับเทา (Gray Scale) เนื่องจากในการเก็บค่าสีเราต้องการค่าสีของภาพที่เป็นภาพระดับเทา (ขาวดำ) ซึ่งแต่ละ pixel มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 เมื่อ 0 แทนสีดำ และ 255 แทนสีขาวแต่ค่าสีของภาพตัดขวางที่เรานำมาสร้างภาพเป็นภาพสีแบบ RGB (Red Green Blue) ซึ่งจะถูกเก็บเป็นเลขฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 จำนวน 8 บิต ตั้งแต่ 00 00 00 00 ถึง 00 FF FF FF ซึ่งไม่ใช่ค่าสีที่เราต้องการจึงต้องทำการหารด้วย 65793 เพื่อให้ได้ค่าระดับเทา เหตุที่ต้องหารด้วย 65793 ก็เพราะว่า

ค่าระดับเทาคือ 0 ภาพจะเก็บค่าสีเป็น 00 00 00 เป็นเลขฐานสิบเท่ากับ 0

ค่าระดับเทาคือ 1 ภาพจะเก็บค่าสีเป็น 01 01 01 เป็นเลขฐานสิบเท่ากับ 65793

ค่าระดับเทาคือ 2 ภาพจะเก็บค่าสีเป็น 02 02 02 เป็นเลขฐานสิบเท่ากับ 65793X2 = 131586

จะเห็นได้ว่าค่าสีระดับเทาหนึ่งระดับ จะมีค่าคิดเป็นเลขฐานสิบต่างกันเท่ากับ 65793 ดังนั้นในการหารค่าสีที่ถูกเก็บในไฟล์ภาพด้วย 65793 จะทำให้ได้ภาพที่เป็นค่าสีระดับเทา

Gray color = RGB color / 65793

การนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำจะมีอัลกอลิทึมดังนี้

```
For(จำนวนภาพ (Z) {
        อ่านค่าความกว้างของภาพ;
        อ่านค่าความยาวของภาพ;
        For( ความกว้างของภาพ (X) ){
                For(ความยาวของภาพ (Y) ){
                        อ่านค่าสีของภาพที่ Z ในแถวที่ X คอลัมน์ที่ Y เก็บไว้ในตัวแปร (C);
                        }
                }
        }
```

ในส่วนของการนำภาพเข้าสู่หน่วยความจำจะเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
if (allocflag==0) {
    for(int i=0;i<maxpict;i++){
        zAxis[i] = (Pixel*)malloc(sizeof(Pixel)); }
   allocflag=1;   }
```

ส่วนของการจองพื้นที่หน่วยความจำ

```
Path = Edit1->Text
nFrom = StrToInt(Edit2->Text);
nTo   = StrToInt(Edit3->Text);
maxgray = 0;
picno = 0;
```

ส่วนของการประกาศค่าเริ่มต้นให้ตัวแปร

```
for(int f =nFrom;f<=nTo;f++){
```

วนลูปเปิดภาพมาทีละภาพ

```
    t = IntToStr(f);
    st = path + t;
    st = st + ".bmp";
```

อ่านชื่อไฟล์เพื่อเปิดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Image1->Picture->LoadFromFile(st);                    เปิดภาพ
zAxis[picno]->Width  = Image1->Picture->Width;        อ่านค่าความกว้างของภาพ
zAxis[picno]->Height = Image1->Picture->Height;       อ่านค่าความยาวของภาพ
for (int i=0;i<zAxis[picno]->Width;i++){              วนลูปอ่านค่าทีละแถว
   for(int j=0;j<zAxis[picno]->Height;j++){           วนลูปอ่านค่าทีละคอลัมน์
   zAxis[picno]->xy[i][j] = Image1->Canvas->(Pixels[i][j])/65793;   เก็บค่าสีของภาพ
   }                                                  และหารด้วย 65793 เพื่อปรับค่าเป็นค่าสีขาวดำ
}
picno++;}                                             อ่านข้อมูลภาพถัดไป
```

เราจะวนลูปเก็บค่าสีของภาพแต่ละภาพทีละจุด จนครบทั้งแถว แล้วขึ้นแถวใหม่ ทำอย่างนี้จนครบทุกแถวจึงขึ้นภาพใหม่ ทำเช่นเดียวกันกับภาพอื่นๆ จนครบทุกภาพ เราก็จะได้ปริมาตรข้อมูลภาพที่ต้องการ

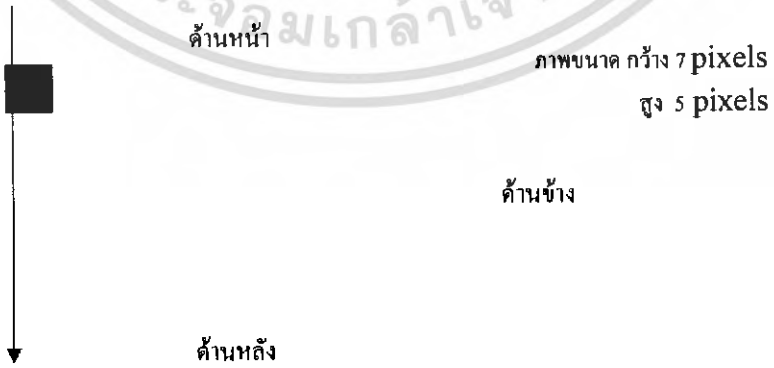
การคืนหน่วยความจำ

เมื่อประมวลผลภาพเสร็จจะต้องมีการคืนหน่วยความจำให้ระบบซึ่งมีคำสั่งดังนี้

```
if (allocflag==1) {                   ตรวจสถานะ การจองพื้นที่ว่าจองอยู่หรือไม่
                                      ถ้ามีการจองจะเท่ากับ 1 ถ้าไม่มีการจองแล้วจะเท่ากับ 0
    for(int i=0;i<maxpict;i++)        วนลูปเท่าจำนวนรูป
        free(zAxis[i]);               คืนพื้นที่หน่วยความจำ
    allocflag=0;     }                บอกว่าไม่มีการจองพื้นที่
```

4.4 การฉายแสง

การฉายแสงคือการหาตำแหน่งของภาพในแนวลำแสงที่ตรงกัน เช่น ถ้าเราต้องการจะแสดงภาพทางด้านหน้าเราจะต้องรวมคุณสมบัติของภาพตามแนวลำแสงดังรูป



รูปที่4.5 แสดงแนวลำแสงที่ตรงกันของภาพในการฉายแสงแบบหน้าไปหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปก็เหมือนกับแสงเดินทางจากตาของเราไปกระทบกับวัตถุ แล้วทะลุออกไปทางด้านหลัง เมื่อทราบตำแหน่งของจุดในแนวลำแสงที่ต้องการแล้ว เราก็จะทำการประมวลผลภาพต่อไป

4.5 การแบ่งกลุ่มข้อมูล

โดยธรรมชาติของเครื่อง CT สามารถแยกแยะความแตกต่างของข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่ม คือ อากาศ เนื้อเยื่อ และกระดูก

จากการพิจารณาข้อมูลด้วยฮีสโทแกรม จะทำให้เราสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลทั้ง 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 อากาศ ค่าค่าระดับเทาอยู่ระหว่าง 0-30

กลุ่มที่ 2 เนื้อเยื่อ ค่าค่าระดับเทาอยู่ระหว่าง 35-43

กลุ่มที่ 3 กระดูก ค่าค่าระดับเทาอยู่ระหว่าง 80-255

โดยในแต่ละกลุ่มข้อมูลจะมีวิธีการกำหนดคุณสมบัติของว็อกเซลที่แตกต่างกัน

4.6 การกำหนดคุณสมบัติของแต่ละว็อกเซล

หลังจากที่เราได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วงๆ แล้ว เราจะกำหนดค่าความทึบแสงให้แก่แต่ละว็อกเซล เมื่อทุกว็อกเซลมีคุณสมบัติครบตามที่กล่าวมาแล้วจะนำมาแสดผลภาพเป็นลำดับต่อไป

4.6.1 ค่าความทึบแสง

ด้วยสมมติฐานที่ว่า ถ้าคูณค่า k มากขึ้นจะให้สีที่เข้าใกล้สีขาวมากขึ้น อาจจะทำให้กลุ่มของข้อมูลแตกต่างกันชัดเจนมากขึ้น ซึ่งการกำหนดค่าความทึบแสงในโครงงานปัญหาพิเศษนี้มีด้วยกัน 2 วิธี ดังนี้

4.6.1.1 แบ่งช่วงข้อมูล

การหาค่าความทึบแสงด้วยวิธีการแบ่งช่วงข้อมูล จะใช้ค่าค่าระดับเทาที่ได้จากฮีสโทแกรม ดูว่ากลุ่มข้อมูลที่เราแบ่งไว้นั้นอยู่ในช่วงใดของค่าระดับเทา ซึ่งค่าระดับเทาจะมีค่าตั้งแต่ 0-255

กลุ่มที่ 1 อากาศ ค่าระดับเทาอยู่ระหว่าง 0-30 คูณค่าความทึบแสงด้วย 0.2 เพื่อให้ใกล้เคียงสีดำที่สุด

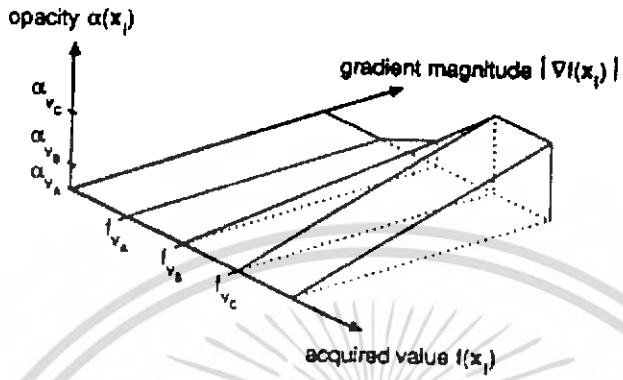
กลุ่มที่ 2 เนื้อเยื่อ ค่าระดับเทาอยู่ระหว่าง 35-43 คูณค่าความทึบแสงด้วย 1.0

กลุ่มที่ 3 กระดูก ค่าระดับเทาอยู่ระหว่าง 80-255 คูณค่าความทึบแสงด้วย 1.7 เพื่อให้ใกล้เคียงสีขาวที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนค่าทึบแสง

ฟังก์ชันถ่ายโอนมีไว้เพื่อกำหนดค่าความทึบแสงให้กับจุดภาพ โดย Levoy ได้นำเสนอฟังก์ชันการถ่ายโอนซึ่งสามารถใช้ในการสร้างภาพเชิงปริมาตรได้ดีโดยใช้ค่าความสว่าง (ค่าระดับเทา) และขนาดของเกรเดียนต์ ฟังก์ชันถ่ายโอนของ Levoy มีลักษณะดังสมการ(4.1)



รูปที่ 4.6 ฟังก์ชันถ่ายโอนของข้อมูลที่มีมากกว่าหนึ่งวัตถุ

จากการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วจะนำมาคำนวณด้วยสมการที่ (4.1) โดยกำหนดค่าข้อมูลต่างๆ ดังนี้ แบ่งข้อมูลเป็น 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1: $f_{v_1} < f_{v_A} < f_{v_2}\ assign \rightarrow \alpha_{v_a}$

กลุ่มที่ 2: $f_{v_2} < f_{v_b} < f_{v_3}\ assign \rightarrow \alpha_{v_b}$

กลุ่มที่ 3: $f_{v_3} < f_{v_c} < f_{v_4}\ assign \rightarrow \alpha_{v_c}$

$$\alpha_i(x_i) = \begin{cases} \dfrac{|\nabla f(x_i)|}{f_{v_{n+1}} - f_{v_n}} \left[\alpha_{n+1}(f(x_i) - f_{v_n}) + \alpha_n(f_{v_{n+1}} - f(x_i)\right] & \text{Altherwise} \\ \alpha_n |\nabla f(x_i)| & \text{n=0,1,2,3,.,.} \end{cases} \quad (4.1)$$

เมื่อ $f(x_i)$ คือ ค่าระดับเทาของแต่ละพิกเซล

กลุ่มที่ 0 กำหนดค่าความทึบแสงของกลุ่มนี้เป็น 0

กลุ่มที่ 1 กำหนดค่าความทึบแสงของกลุ่มนี้เป็น 0.2

กลุ่มที่ 2 กำหนดค่าความทึบแสงของกลุ่มนี้เป็น 0.6

กลุ่มที่ 3 กำหนดค่าความทึบแสงของกลุ่มนี้เป็น 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนโปรแกรมตามกระบวนการดังต่อไปนี้

```
void MultilevelOpacity( f1, f2, f3, th1, th2, th3, th4, alpha1, alpha2, alpha3)
{
   for(int i=0;i<100;i++){                  กำหนดค่าความทึบแสงตามขนาดของเกรดียนต์
      |∇f(x_i)| =i/100;                     คือ ขนาดของเกรเดียนต์(|∇f(x_i)|)
      for( f(x_i) =0 ถึง 100 ){             กำหนดค่าความทึบแสงตามค่าระดับเทา( f(x_i))
         if(( f(x_i)<0) && ( f(x_i)<f1)){        กลุ่มอากาศ ค่าความทึบแสง α_0 = 0
            opac[i][j]= α_0 |∇f(x_i)|;
            }
         else if(f1<= f(x_i) <th1){              กรณีอื่นๆ
            opac[i][j]= (|∇f(x_i)| / (f_2 − th_1)) [α_2 (f(x_i) − th_1) + α_1 (f_2 − f(x_i))];
            }
         else if((th1<= f(x_i) <f2)){      กลุ่มที่ 1 ค่าความทึบแสงของกลุ่มนี้ α_1 = alpha1
            opac[i][j]= α_1 |∇f(x_i)|;
            }
         else if(f2<= f(x_i) <th2){              กรณีอื่นๆ
            opac[i][j]= (|∇f(x_i)| / (f_3 − th_2)) [α_2 (f(x_i) − th_2) + α_1 (f_3 − f(x_i))];
            }
         }
      }
}
```

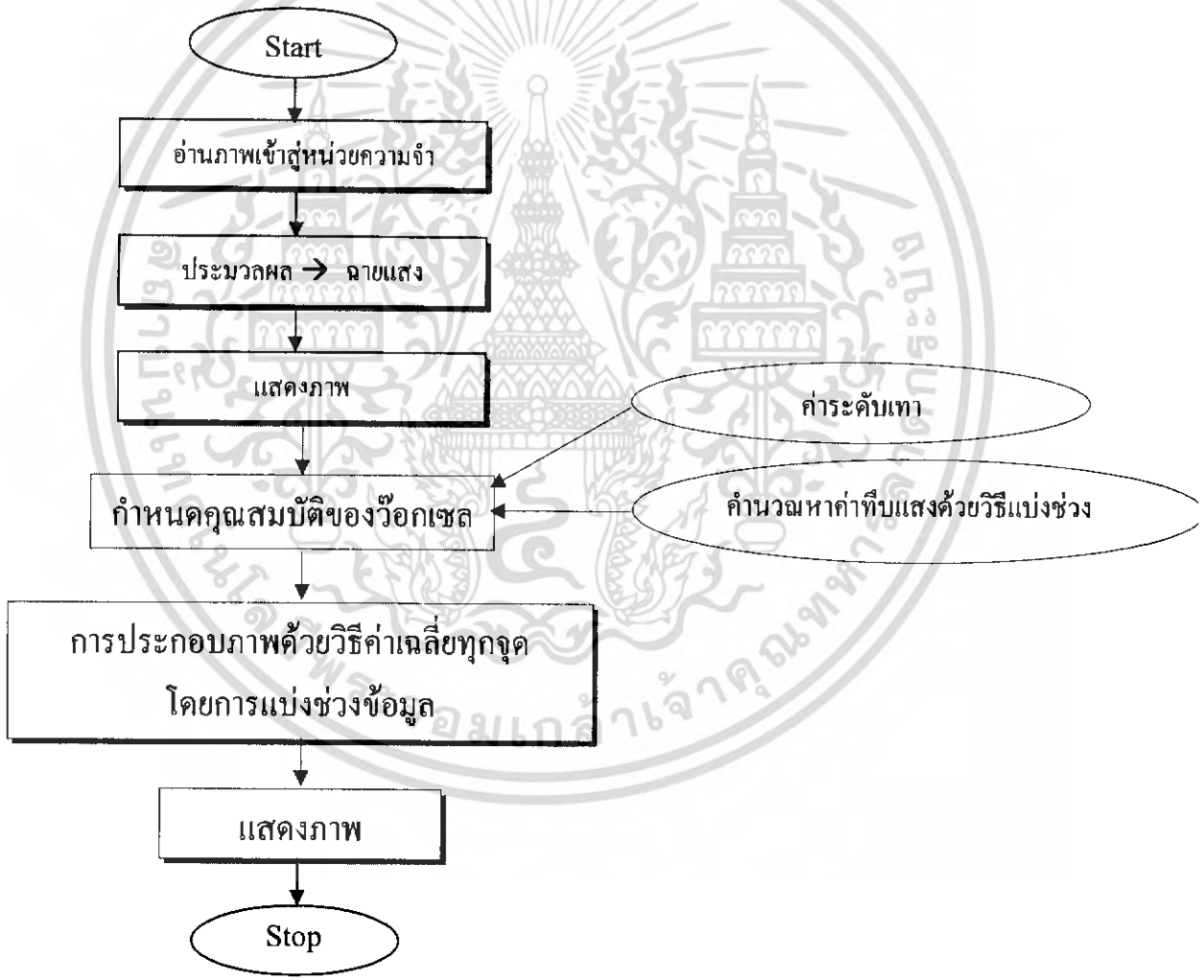
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การประกอบภาพ

ในขั้นตอนการประกอบภาพนี้ แต่ละว็อกเซลจะต้องถูกกำหนดคุณสมบัติมาเรียบร้อยแล้ว นั่นหมายความว่า ทุกว็อกเซลจะต้องมีทั้งค่าความทึบแสงและค่าสี แล้วเราจะนำว็อกเซลเหล่านี้มาทำการประกอบภาพด้วยวิธีต่างๆ เราจะนำทฤษฎีการประกอบภาพที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 มาใช้ ซึ่งวิธีที่ใช้ในการประกอบภาพนั้นมีด้วยกัน 3 วิธี ดังนี้

4.7.1 การประกอบภาพแบบค่าเฉลี่ยทุกจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล

เป็นการประกอบภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะนำทุกจุดของภาพมาคำนวณ จะกำหนดคุณสมบัติแต่ละว็อกเซล โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วง 3 ช่วง แล้วกำหนดค่าความทึบแสงที่มีค่าแตกต่างกันคูณกับค่าระดับเทาในช่วงที่แบ่งไว้



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการประกอบภาพแบบค่าเฉลี่ยทุกจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะทำการหาค่าระดับเทาคือ (0 + 25 +26 +18) / 5 = 17.8 แต่เราต้องการเก็บค่าสีเป็นเลขจำนวนเต็มจึงปัดค่าเป็น 18 แล้วเก็บค่าระดับเทาที่ได้ไว้ดังสมการที่ 4.2

$$P_j = \frac{\sum_{i=0}^{Height-1} Pixel[i, j]}{Height} \qquad (4.2)$$

เมื่อ P(j) คือ ค่าระดับเทาที่ทำการเฉลี่ยแล้วในคอลัมน์ที่ j

Pixel[i,j] คือ ค่าระดับเทาในแถวที่ i หลักที่ j

Height คือ ความสูงของภาพ

สามารถเขียนโปรแกรมได้ตามอัลกอลิทึมดังต่อไปนี้

```
for(จำนวนภาพตัดขวาง){
    for (i=0 ถึงความกว้างของภาพ (X=578 pixel)){
        totgray=0;
        for( j=0 ถึงความยาวของภาพ (Y=341 pixel)){
            g[i,j] ค่าระดับเทาของแต่ละพิกเซล
            if ((15< g[i,j] <=30)){          // กลุ่มที่ 1
                Pixel[i,j]=g[i,j]*0.2;}
            else if ((35< g[i,j]) <=43)){  // กลุ่มที่ 2
                Pixel[i,j]=g[i,j]*1; }
            else if((50< g[i,j]) <145)){    // กลุ่มที่ 3
                Pixel[i,j]=g[i,j]*1.7; }
            totgray= totgray+kgray;          // ผลรวมของค่าระดับเทาในคอลัมน์ที่ j
        } //end ด้าน y = 341
        L = totgray/ ความยาวของภาพ;    // ค่าระดับเทาที่ทำการเฉลี่ยในคอลัมน์ที่ j
    } //end ด้าน x = 587
}//end จำนวนภาพตัดขวาง
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข)

รูปที่ 4.8 การประกอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล
(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุด
(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านหลังโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) (ง)

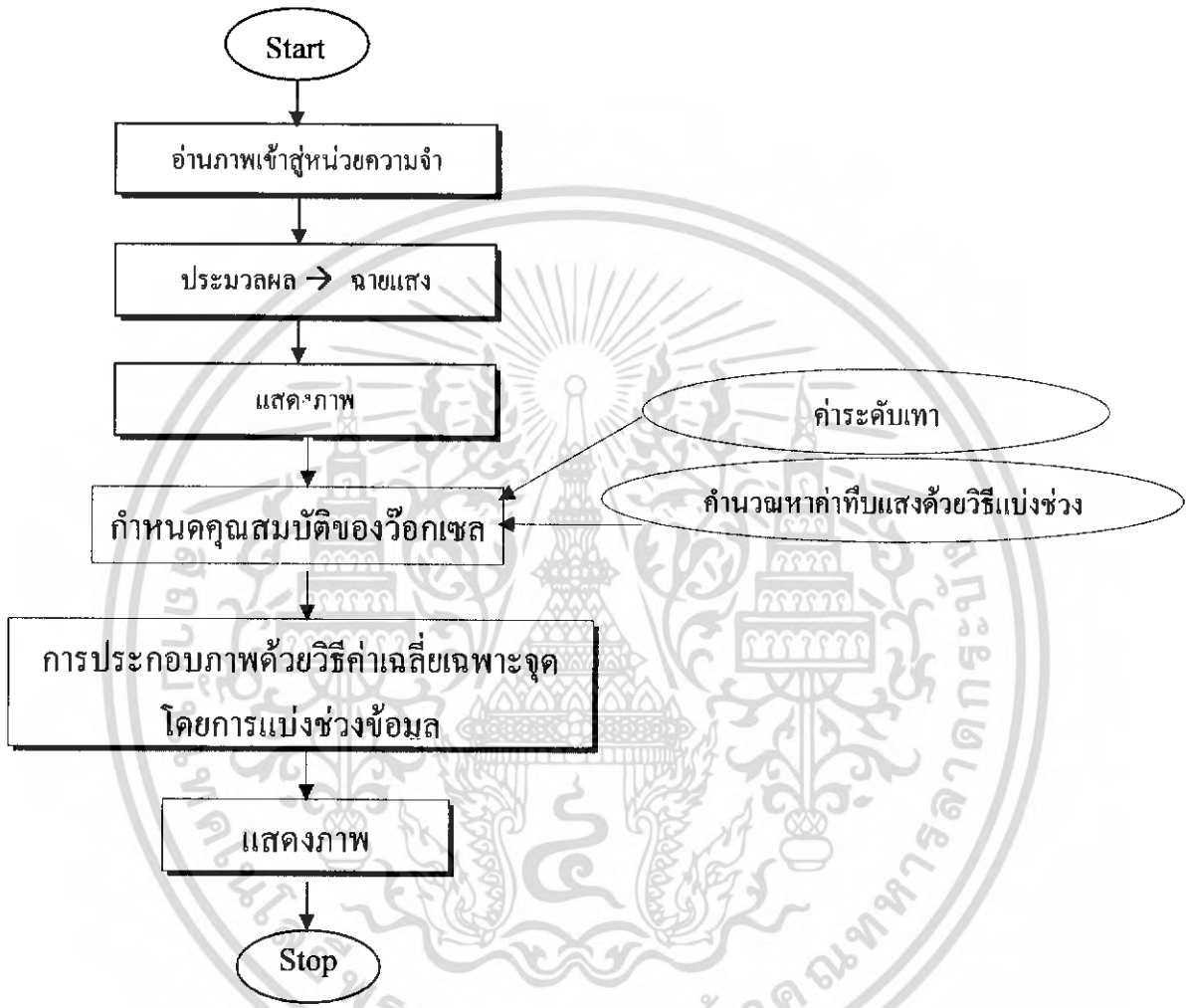
รูปที่ 4.9 การประกอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล
(ค) ภาพผลลัพธ์ด้านขวาโดยวิธีค่าเฉลี่ยทุกจุด
(ง) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านซ้ายโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุด

เนื่องจากการประกอบภาพวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุดนี้ ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีความสว่างค่อนข้างน้อย ต้องมาปรับค่าความสว่างที่หลัง จึงเกิดการตั้งสมมติฐานขึ้นว่า ที่ภาพตัดขวางต้นฉบับมีสีดำเป็นจำนวนมากที่ต้องนำมาคำนวณร่วมด้วย จึงคิดวิธีการประกอบภาพขึ้นใหม่ที่ไม่ต้องนำจุดที่เป็นสีดำ คือใช้การเฉลี่ยเฉพาะจุดที่มีค่าสี ได้ผลลัพธ์ดังหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 การประกอบภาพแบบค่าเฉลี่ยเฉพาะจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล

เป็นการประกอบภาพด้วยวิธีหาค่าเฉลี่ยเช่นเดียวกับวิธีการประกอบภาพแบบค่าเฉลี่ยทุกจุด โดยการแบ่งช่วงข้อมูล ต่างกันตรงที่วิธีนี้จะไม่นำจุดที่มีค่าระดับเทาเป็นศูนย์มาคำนวณด้วย จะกำหนดคุณสมบัติแต่ละว็อกเซล โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วง 3 ช่วง แล้วกำหนดค่าความทึบแสงที่มีค่าแตกต่างกันคูณกับค่าระดับเทาในช่วงที่แบ่งไว้



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการประกอบภาพแบบค่าเฉลี่ยเฉพาะจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล

เราจะทำการหาค่าระดับเทาคือ (25 +26 +18) / 5 = 22.25 แต่เราต้องการเก็บค่าระดับเทาเป็นเลขจำนวนเต็มจึงปัดค่าเป็น 22 แล้วเก็บค่าระดับเทาที่ได้ไว้ดังสมการที่ (4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_j = \frac{\sum_{i=0}^{Height-1} Pixel[i,j]}{n} \quad \text{เมื่อ} \quad Pixel[i,j] \neq 0 \qquad (4.3)$$

เมื่อ P(j) คือ ค่าระดับเทาที่ทำการเฉลี่ยแล้วในคอลัมน์ที่ j

Pixel[i,j] คือ ค่าระดับเทาในแถวที่ i หลักที่ j

Height คือ ความสูงของภาพ

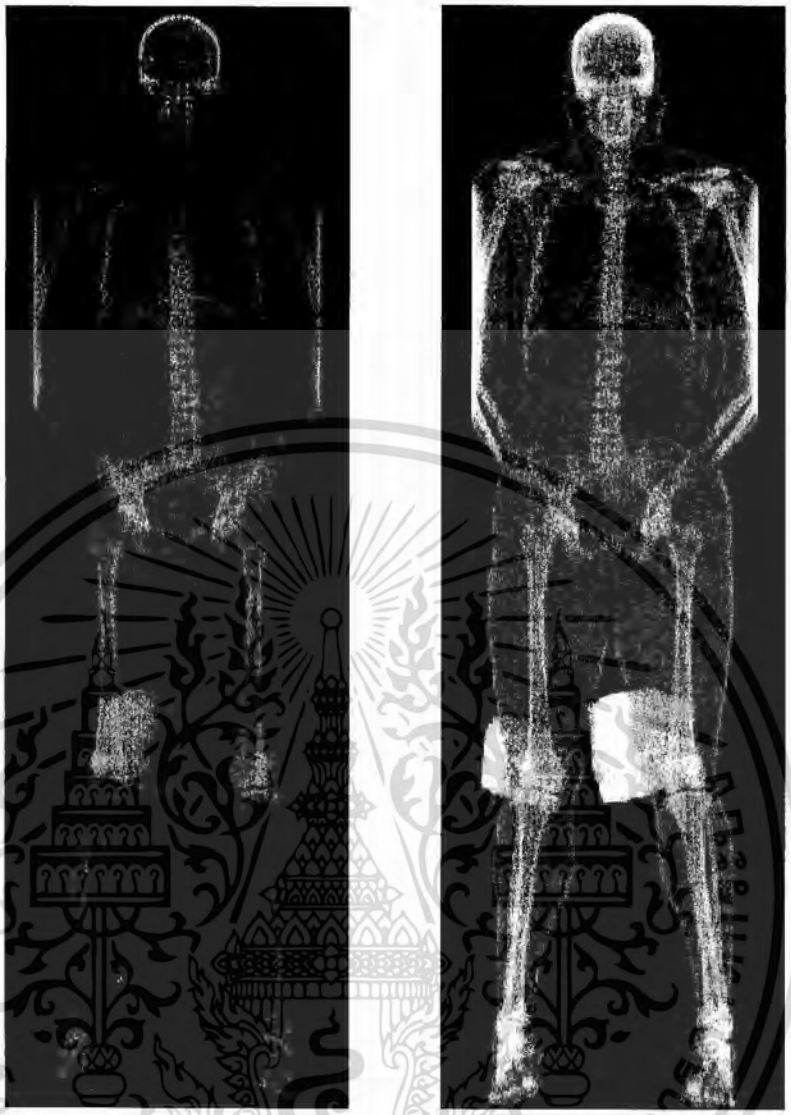
n คือ จำนวนจุดทั้งหมดที่คำนวณ

สามารถเขียนโปรแกรมได้ตามอัลกอลิทึมดังต่อไปนี้

```
for(จำนวนภาพตัดขวาง){
    for (i=0 ถึงความกว้างของภาพ (X=578 pixel)){
        totgray=0;
        for( j=0 ถึงความยาวของภาพ (Y=341 pixel)){
          g[i,j]  ค่าระดับเทาของแต่ละพิกเซล
          n=0;                                  // จำนวนจุดภาพที่ใช้คำนวณ
          if (g[i,j] ≠ 0){                      // เช็คพิกเซลที่ค่าระดับเทาไม่เป็น 0
              if  ((15< g[i,j] <=30)){          // กลุ่มที่ 1
                    Pixel[i,j]=g[i,j]*0.2;}
              else if  ((35< g[i,j]) <=43)){    // กลุ่มที่ 2
                    Pixel[i,j]=g[i,j]*1; }
              else if((50< g[i,j]) <145)){      // กลุ่มที่ 3
                    Pixel[i,j]=g[i,j]*1.7; }
               totgray= totgray+kgray; // ผลรวมของค่าระดับเทาในคอลัมน์ที่ j
              n++;
          }// end if
        } //end ด้าน y = 341
        L = totgray/ n;                         // ค่าระดับเทาที่ทำการเฉลี่ยในคอลัมน์ที่ j
    } //end  ด้าน x = 587
}//end จำนวนภาพตัดขวาง
```

ได้ภาพผลลัพธ์การประกอบภาพแบบเฉลี่ยเฉพาะจุดดังรูปที่ 4.11 และ 4.12

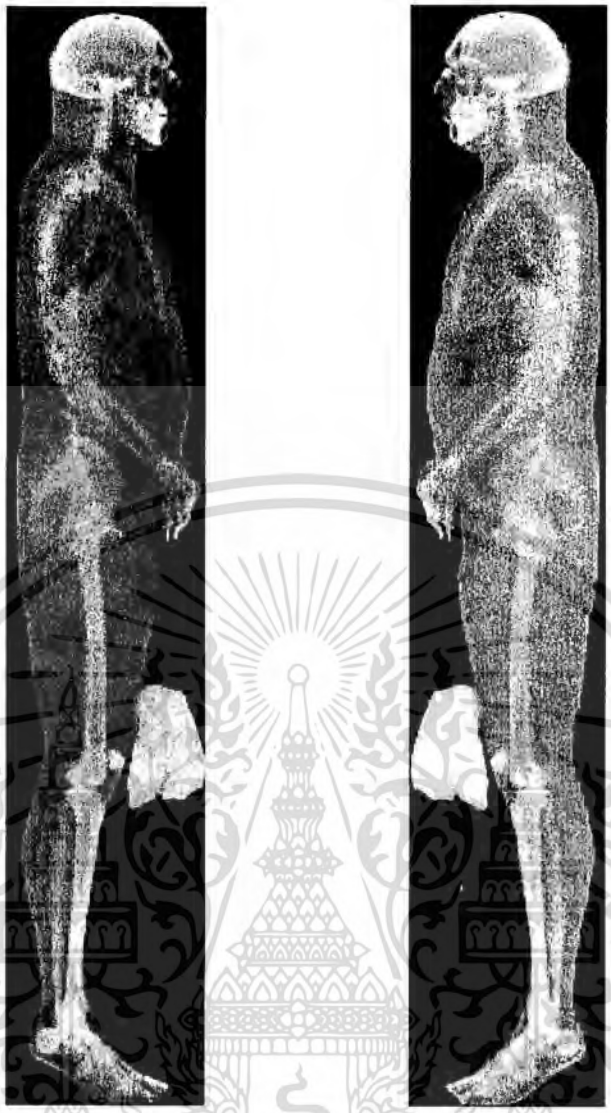
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.11 การประกอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล
(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุด
(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านหลังโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) (ง)

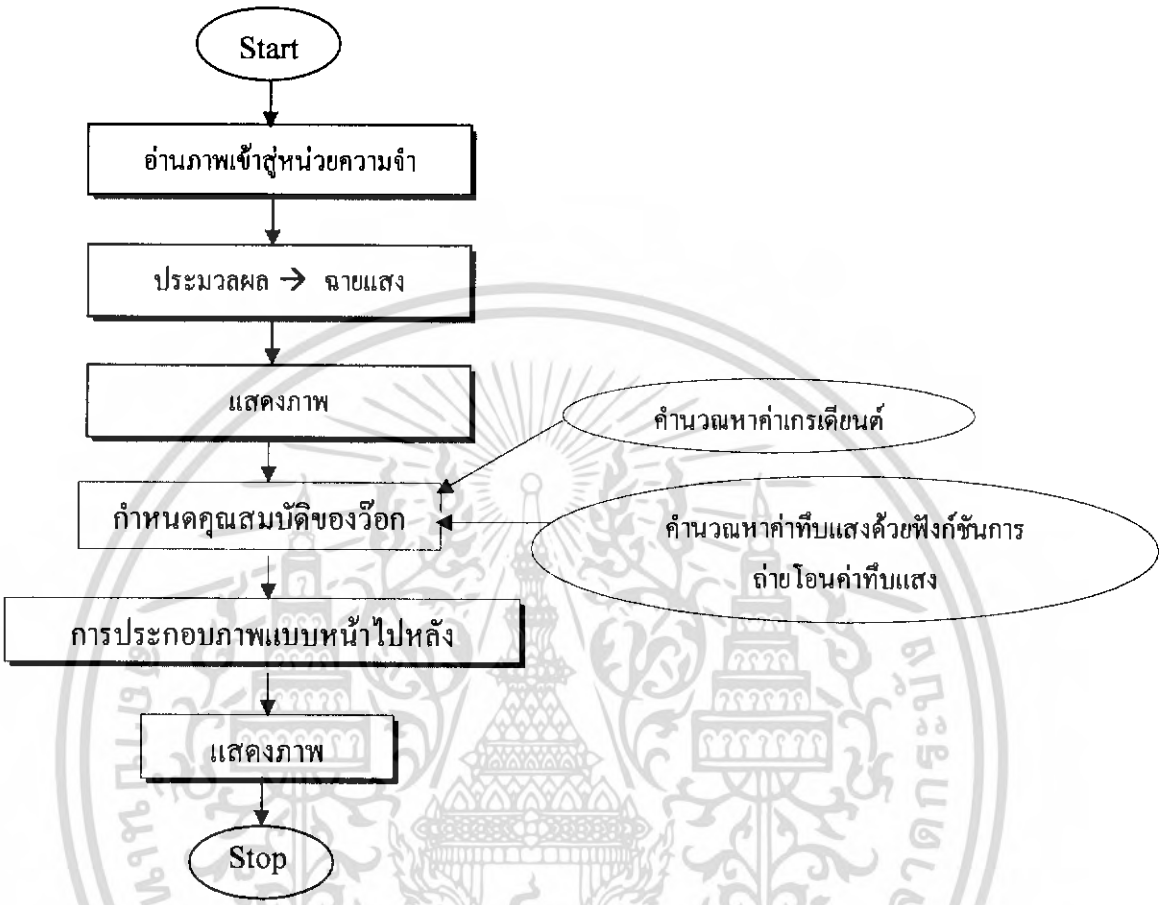
รูปที่ 4.12 การประกอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุดโดยการแบ่งช่วงข้อมูล
(ค) ภาพผลลัพธ์ด้านขวาโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุด
(ง) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านซ้ายโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุด

การประกอบภาพโดยใช้วิธีนี้ ได้ภาพผลลัพธ์ไม่ดีเท่ากับวิธีแรก อาจเป็นเพราะเรานำเฉพาะจุดที่มีค่าระดับเทาไม่เท่ากับศูนย์มาคำนวณจึงทำให้อัตราส่วนการเฉลี่ยในแต่ละแถวไม่แน่นอน ถึงภาพที่ได้จะมีความสว่างขึ้นแต่เมื่อเปรียบเทียบกับภาพในวิธีแรกที่ผ่านการให้แสงแวดล้อมแล้ว ภาพในวิธีแรกจะมองเห็นได้ชัดเจนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 การประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

วิธีการประกอบภาพแบบหน้าไปหลังนี้ จะกำหนดคุณสมบัติของแต่ละวีอกเซล โดยการกำหนดค่าความทึบแสงด้วยฟังก์ชันค่าความทึบแสง แล้วทำการแสดงผลภาพ ด้วยวิธีหน้าไปหลัง



รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

การประกอบภาพแบบหน้าไปหลังจะทำการสมมติสถานการณ์ว่า แสงได้เดินทางออกจากฉากหรือภาพผลลัพธ์ลึกเข้าไปในวัตถุ โดยในระหว่างที่แสงเดินทางเข้าไปในเนื้อวัตถุนั้นจะมีการสูญเสียพลังงานด้วย ทำให้แสงสามารถเดินทางเข้าไปได้ลึกเพียงแค่ระดับที่มีความทึบแสงสะสมเท่ากับ 1 เท่านั้น ซึ่งต้องมีการคำนวณค่าขนาดของเกรเดียนต์ดังฟังก์ชั่นต่อไปนี้

กำหนดให้ C คือ ค่าระดับเท่า

α คือ ค่าความทึบแสงขึ้นอยู่กับค่าระดับเทากับค่าเกรเดียนต์

α_i = opac[(int)grad][(int)gray]

$c_i = C_i \times \alpha_i$ คือ ค่าระดับเทาที่ถ่วงน้ำหนักด้วยความทึบแสง

$1-\alpha_j$ คือ ค่าความโปร่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการการประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง สามารถอธิบายได้ดังสมการ (4.4)

$$L = \sum_{i=0}^{n-1} c_i \cdot \prod_{j=0}^{i-1} (1-\alpha_j) \qquad (4.4)$$

$$= c_0 + c_1(1-\alpha_0) + c_2(1-\alpha_0)(1-\alpha_1) + \ldots + c_{n-1}(1-\alpha_0)\ldots(1-\alpha_{n-2})$$

เมื่อ L(x) ค่าสีของผลลัพธ์ที่ผ่านการประมวลแล้ว

เช่น ค่าสีเมื่อแสงเดินทางผ่านจุดที่ 1 คือ

$$L_0 = c_0$$

ค่าสีเมื่อแสงเดินทางผ่านจุดที่ 2 คือ

$$L_1 = c_1(1-\alpha_0)$$

ค่าสีเมื่อแสงเดินทางผ่านจุดที่ 3 คือ

$L_2 = c_2(1-\alpha_1)(1-\alpha_0)$ คือ ค่าความสว่างที่จุดนั้นคูณกับความโปร่งแสงสะสม

ดังนั้น ค่าสีของผลลัพธ์เมื่อแสงเดินทางผ่าน 3 จุด คือ

$$L = c_0 + c_1(1-\alpha_0) + c_2(1-\alpha_1)(1-\alpha_0)$$

สมามารถเขียนคำสั่งได้ดังต่อไปนี้

```
picno=0;
for(int f=nFrom+1;f<=nTo-1;f++){          วนลูปตั้งแต่ภาพที่ 2 จนถึงภาพรองสุดท้าย
    for(int i=(zAxis[picno]->Width)-1;i>=1;i--){ วนลูปเท่าความกว้างของภาพ-2
      L=0;
      Tran=1;                                 ค่าความสว่าง
      for(int j=1;j<=(zAxis[picno]->Height)-1;j++) {วนลูปเท่าความยาวของภาพ-2
        fx=zAxis[picno]->xy[i+1][j]-zAxis[picno]->xy[i-1][j];
        fy=zAxis[picno]->xy[i][j+1]-zAxis[picno]->xy[i][j-1];
        fz=zAxis[picno+1]->xy[i][j]-zAxis[picno-1]->xy[i][j];
        grad=sqrt((fx^2 + fy^2 + fz^2)/3) * 1/2.55;   } หาขนาดของเกรเดียนต์ |∇f(xi)| / (√3 • 2.55)
        gray=(zAxis[picno]->xy[i][j])/2.55; ปรับสเกลค่าระดับเทาให้อยู่ในช่วง 0-100
        Ai=opac[grad][gray];              กำหนดค่าความทึบแสงจากฟังก์ชั่น
        L=L+(gray*Ai*Tran);               หาค่าสีของผลลัพธ์ตามสมการด้านบน
        Tran=Tran*(1-Ai);                 คำนวณหาค่าความสว่าง
        } /// end for j=341
      Lint=L*2.55;                        เก็บค่าสีของพิกเซลผลลัพธ์เป็นจำนวนเต็ม
    }/// end for i=587
    picno++;                              อ่านภาพถัดไป
    } // end for
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง (คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง)

(ก) (ข)

รูปที่ 4.14 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง (คำนวณเกรเดียนต์) และค่าความทึบแสง)
(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง
(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์	กำหนดกลุ่มตามพารามิเตอร์	กำหนดค่าความทึบแสงของกลุ่ม
0-f1	0-0	0
th1-f2	35-43	0.2
th2-f3	80-145	0.6
th3-255	160-255	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข)

รูปที่ 4.15 ภาพผลลัพธ์ด้านข้างโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง (คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง)

(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านขวาโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

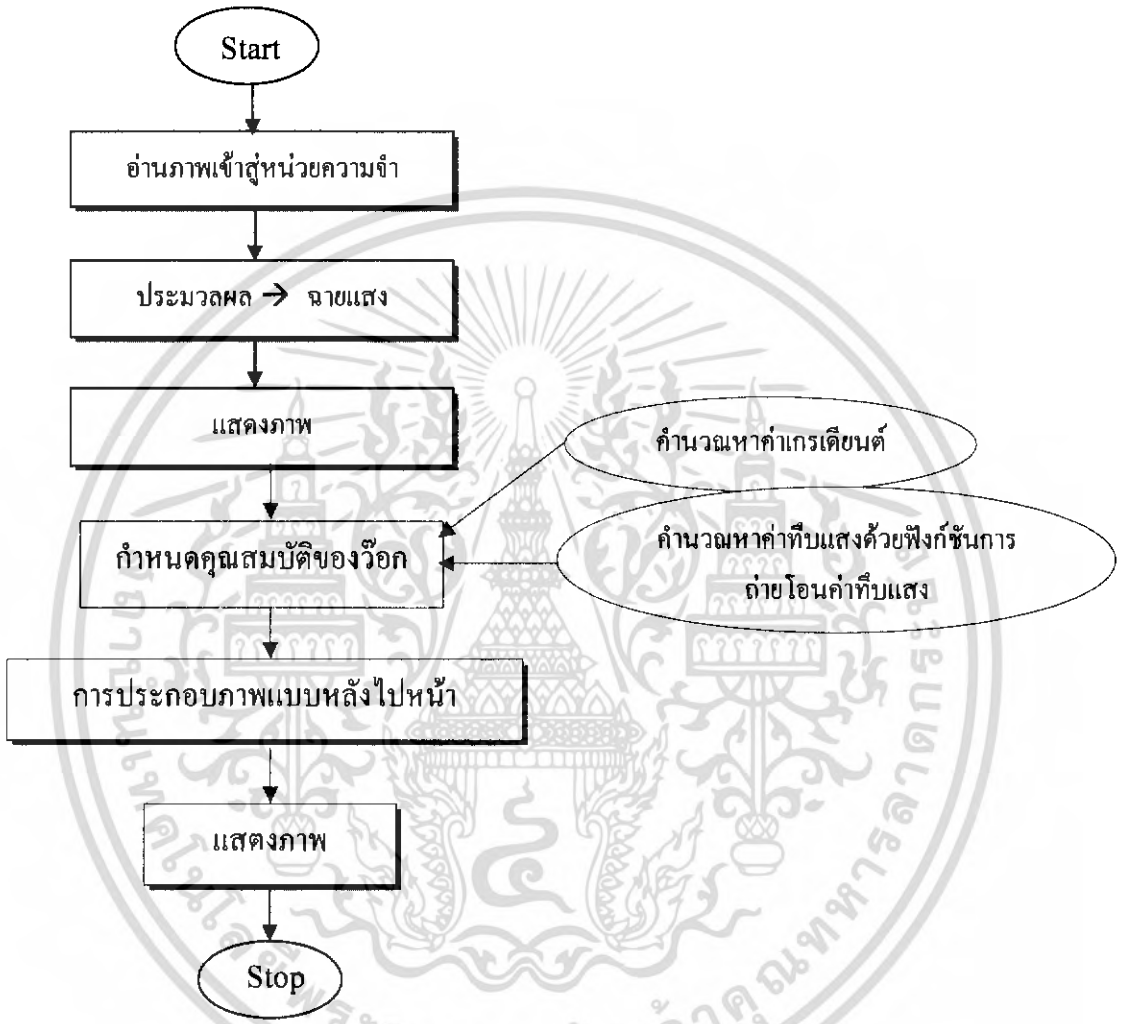
(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านซ้ายโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์เช่นเดียวกับรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.4 การประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

การประกอบภาพแบบหลังไปหน้านี้เป็นการสมมติสถานการณ์ ว่าแสงได้เดินทางจากด้านหลังของวัตถุแล้วมากระทบที่ฉากภาพผลลัพธ์ทุกๆลำแสง โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานระหว่างที่เดินทางผ่านวัตถุหรือปริมาตร



รูปที่4.16 ขั้นตอนการประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ C คือ ค่าระดับเท่า

α คือ ค่าความทึบแสงขึ้นอยู่กับค่าระดับเทากับค่าเกรเดียนต์

α_k = opac[(int)grad][(int)gray]

$c_k = C_k \times \alpha_k$ คือ ค่าระดับเทาที่ถ่วงน้ำหนักด้วยความทึบแสง

$1-\alpha_m$ คือ ค่าความโปร่งแสง

สมการการประกอบภาพแบบหลังไป หน้า สามารถอธิบายได้ดังสมการ(4.5)

$$L(a,b) = \sum_{k=0}^{K} c_k \prod_{m=k+1}^{K} (1-\alpha_m) \tag{4.5}$$

$$= c_0(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)..(1-\alpha_K) + c_1(1-\alpha_2)..(1-\alpha_K) + ... + c_{K-1}(1-\alpha_K) + c_k$$

หรือ $$= [..[[c_0(1-\alpha_1) + c_1](1-\alpha_2)] + ... + c_{K-1}](1-\alpha_K) + c_K$$

ซึ่งจะทำให้กระบวนการคิดเร็วขึ้นกว่าวิธีตรง ดังตัวอย่าง

```
for(int f=nFrom+1;f<=nTo-1;f++){                วนลูปตั้งแต่ภาพที่ 2 จนถึงภาพรองสุดท้าย
    for (int i=(zAxis[picno]->Width)-1;i>=1;i--){     วนลูปเท่าความกว้างของภาพ-2
        L = 1.0f;
        for(int j=(zAxis[picno]->Height)-1;j>=1;j--){ วนลูปเท่าความยาวของภาพ-2
            fx=zAxis[picno]->xy[i+1][j]-zAxis[picno]->xy[i-1][j];
            fy=zAxis[picno]->xy[i][j+1]-zAxis[picno]->xy[i][j-1];
            fz=zAxis[picno+1]->xy[i][j]-zAxis[picno-1]->xy[i][j];
            grad=sqrt((fx*fx + fy*fy + fz*fz)/3) * (1/2.55);
                                                  } หาขนาดของเกรเดียนต์ |∇f(xi)| / (√3 • 2.55)
            gray=(zAxis[picno]->xy[i][j]);        กำหนดค่าระดับเท (C_K)
            Ai=opac[grad][gray];                  กำหนดค่าความทึบแสง (α_K = Ai)
            L=L*(1.0-Ai)+(gray*Ai);               c_k = gray * Ai
            }
      Lint = L                                    ภาพผลลัทธ์ 1 พิกเซล
      } //end width i = 1 row.
    picno++;                                      อ่านภาพถัดไป
    }
```

การประกอบภาพแบบหลังไปหน้า(คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข)

รูปที่ 4.17 ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า
(คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง)
(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า
(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์	กำหนดกลุ่มตามพารามิเตอร์	กำหนดค่าความทึบแสงของกลุ่ม
0-f1	0-0	0
th1-f2	35-43	0.2
th2-f3	80-145	0.6
th3-255	160-255	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข)

รูปที่ 4.18 ภาพผลลัพธ์ด้านข้างที่ได้จากการประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า (คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง)

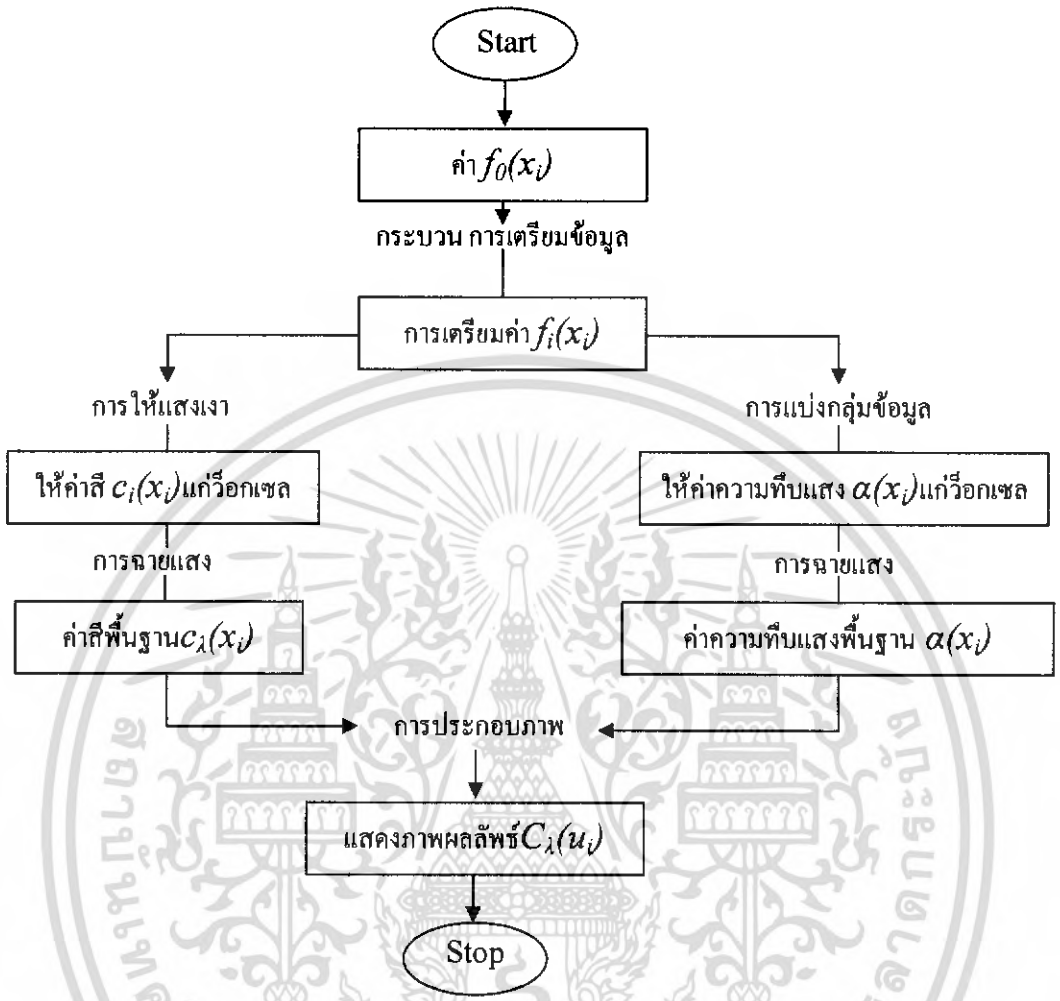
(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านขวาโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านซ้ายโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์เช่นเดียวกับรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การกำหนดสีและให้แสงเงา



รูปที่ 4.19 ขั้นตอนการสร้างภาพเชิงปริมาตรเมื่อกำหนดสีและให้แสงเงา

4.8.1 การกำหนดค่าสี

ภาพตัดขวางที่เรานำมาสร้างภาพเป็นภาพสีแบบ RGB (Red Green Blue) ซึ่งจะถูกเก็บเป็นเลขฐาน 16 จำนวน 8 บิต ตั้งแต่ 00 00 00 00 ถึง FF FF FF 00 ซึ่งในการคำนวณเบื้องต้นเราต้องการใช้ค่าดับเทาเพื่อที่เราจะนำค่าระดับเทาไปใช้ในการหาค่าความทึบแสง และกำหนดสีRGB จึงต้องทำการหารด้วย 65793 เพื่อให้ได้ค่าระดับเทา เหตุที่ต้องหารด้วย 65793 ก็เพราะว่า

Gray color = RGB color / 65793

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราต้องการแสดงผลภาพที่ได้เป็นภาพสี RGB เราจึงต้องกำหนดสีโดยสร้าง Structure ของสีขึ้นมาดังนี้

```
struct Color{
    unsigned char red;
    unsigned char green;
    unsigned char blue;
    unsigned char xxx;
    } ;
```

การสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของค่าสี จะแบ่งสีออกเป็นช่วงๆ ขึ้นอยู่กับข้อมูลค่าระดับเทาโดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 กำหนดค่าสีเป็น 0 ดังนี้ R = 0; G = 0; B = 0;

กลุ่มที่ 2 กำหนดค่าสีดังนี้ R = 237; G = 172 ; B = 102 ;

กลุ่มที่ 3 กำหนดค่าสีดังนี้ R = 230 ; G = 230 ; B = 230 ;

กลุ่มที่ 4 กำหนดค่าสีดังนี้ R = 240 ; G = 240 ; B = 240 ;

สามารถเขียนฟังก์ชันการคำนวณได้ดังนี้

```
void MultiLevelColorTable(f1,f2,f3,th1,th2,th3,th4){
  for(int i=0;i<100;i++){                    กำหนดสีตามค่าระดับเทา
    gry=i;                                   gry คือ ค่าระดับเทา
    if((gry>=0)&&(gry<(int)f1)) {
        CTable[i].red   =0;
        CTable[i].green =0;                  } กลุ่ม 1
        CTable[i].blue  =0; }
    if((gry>=(int)th1)&&(gry<(int)f2)){
        CTable[i].red  =237;
        CTable[i].green =172;                } กลุ่ม 2
        CTable[i].blue =102;}
    if((gry>=(int)th2)&&(gry<(int)f3)){
        CTable[i].red   =230;
        CTable[i].green =230;                } กลุ่ม 3
        CTable[i].blue  =230; }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if((gry>=(int)th3)&&(gry<100)){
        CTable[i].red   =240;
        CTable[i].green =240;          } กลุ่ม 4
        CTable[i].blue  =240;}
    CTable[i].xxx=1;
   }// end for i
}
```

ประกอบภาพด้วยวิธีแบบหน้าไปหลัง

กำหนดให้ C คือ ค่าสี RGB

α คือ ค่าความทึบแสงขึ้นอยู่กับค่าระดับเทากับค่าเกรเดียนต์

α_i = opac[grad][gray]

$c_i = C_i \times \alpha_i$ คือ ค่าสี RGB ที่ถ่วงน้ำหนักด้วยความทึบแสง

$1-\alpha_j$ คือ ค่าความโปร่งแสง

สมการการประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$L = \sum_{i=0}^{n-1} c_i \cdot \prod_{j=0}^{i-1}(1-\alpha_j)$$

สามารถเขียนคำสั่งได้ดังต่อไปนี้

```
picno=1;
    for(int f=nFrom+1;f<=nTo-1;f++){
      for(int i=1;i<=(zAxis[picno]->Width)-1;i++){      วนลูปเท่าความกว้างของภาพ-2
        Cin.red ,Cin.green, Cin.blue,Cin.xxx    = 0.0;  กำหนดค่าเริ่มต้นให้ค่าสีของผลลัพธ์
        Tran=1;          ค่าความโปร่งแสง
        for(int j=1;j<=(zAxis[picno]->Height)-1;j++) {  วนลูปเท่าความยาวของภาพ-2
            fx=zAxis[picno]->xy[i+1][j]-zAxis[picno]->xy[i-1][j];
            fy=zAxis[picno]->xy[i][j+1]-zAxis[picno]->xy[i][j-1];
            fz=zAxis[picno+1]->xy[i][j]-zAxis[picno-1]->xy[i][j];
            grad=sqrt((fx*fx+fy*fy+fz*fz)/3)*(1/2.55);
            gray=(zAxis[picno]->xy[i][j])/2.55;
            Ai=opac[g rad][gray];          กำหนดค่าความทึบแสง (αK = Ai)
```

หาขนาดของเกรเดียนต์ $\frac{|\nabla f(xi)|}{\sqrt{3} \bullet 2.55}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Ci.red  =CTable[gray].red;
            Ci.green=CTable[gray].green;
            Ci.blue =CTable[gray].blue;
            Ci.xxx  =CTable[gray].xxx;
            Cin.red   =Cin.red   +(Ci.red*Ai*Tran);
            Cin.green =Cin.green +(Ci.green*Ai*Tran);
            Cin.blue  =Cin.blue  +(Ci.blue*Ai*Tran);
            Cin.xxx   =Cin.xxx   +(Ci.xxx*Ai*Tran);
            Tran=Tran*(1-Ai);
        } /// end for j=341
        coPixel.cPixel.red    =  (int)Cin.red ;
        coPixel.cPixel.gree   = (int)Cin.green;
        coPixel.cPixel.blue   = (int) Cin.blue ;
        coPixel.cPixel.xxx=0;
    }/// end for i=587
picno++;
} // end for
```

กำหนดค่าสี RGB จากฟังก์ชั่นข้างต้น ให้กับพิกเซล

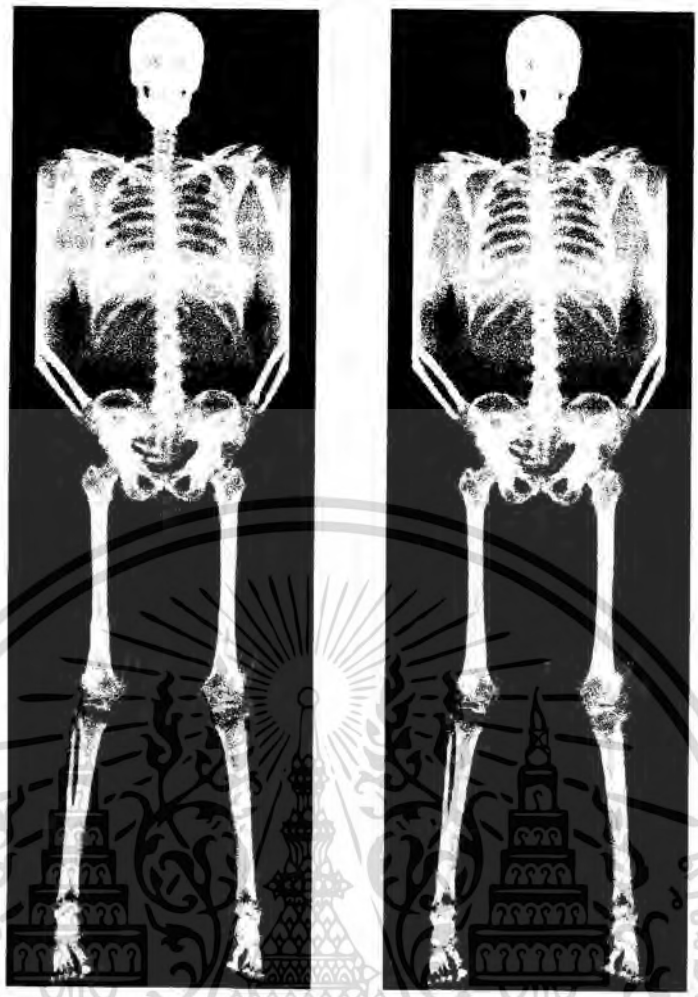
หาค่าสีผลลัพธ์ตามสมการด้านบน

ค่าสีผลลัพธ์ เป็นจำนวนเต็ม

อ่านภาพถัดไป

การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง โดยทำการให้สีดังรูปที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



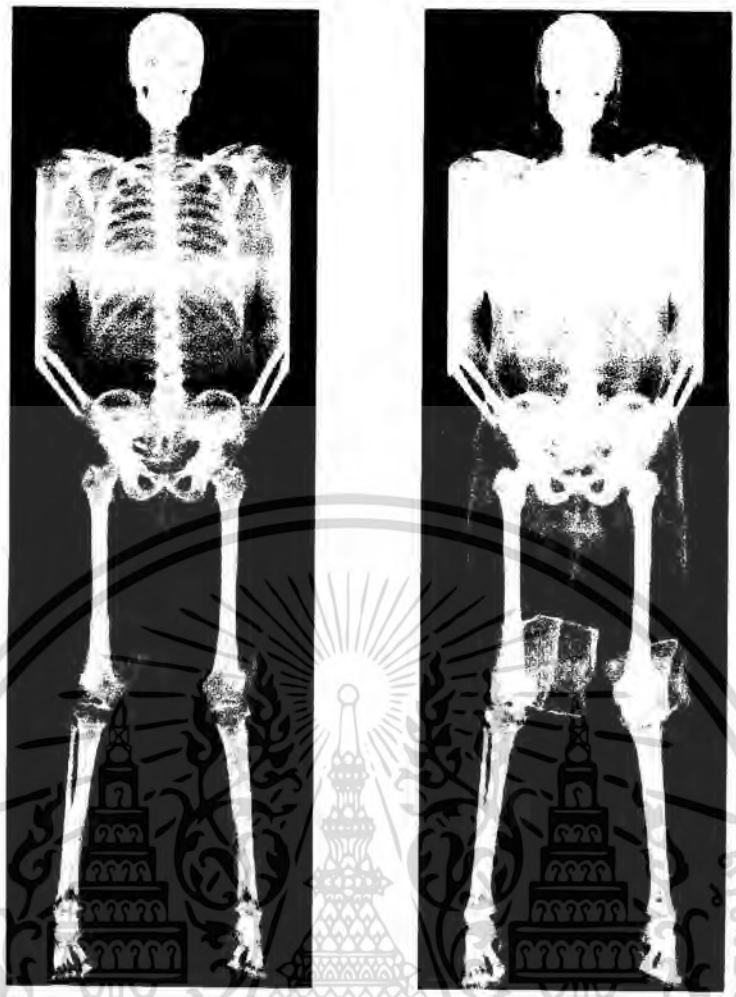
(ก) (ข)

รูปที่ 4.20 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง โดยทำการใส่สี
(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง
(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์	กำหนดกลุ่มตาม พารามิเตอร์	กำหนดค่าความทึบแสงของกลุ่ม	ค่าสีที่กำหนด
0-f1	0-0	0	R=0,G=0,B=0
th1-f2	35-43	0.2	R=237,G=172,B=102
th2-f3	80-145	0.6	R=230,G=230,B=230
th3-255	160-255	0.8	R=240,G=240,B=240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) (ง)

รูปที่ 4.21 รูปการเปรียบเทียบการประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง โดยทำการใส่สีและการกำหนดค่าช่วงที่ต่างกัน

(ค) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังค่าช่วงแบบปรกติ

(ค) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านหลังโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังเปลี่ยนการกำหนดค่าช่วง

เปรียบเทียบภาพ (ค) กับ (ง) จะเห็นว่าทั้งภาพ 2 ภาพ จะให้สีที่ต่างกัน ซึ่งภาพ (ง) จะเห็นเนื้อเยื่อภาพในร่างกายบางส่วนเพราะเกิดจากการซ้อนทับกันของช่วงทำให้ค่าสีที่ได้ละเอียดขึ้นด้วย ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์	ช่วงปกติ	ช่วงที่เปลี่ยนแปลง	ค่าความทึบแสงของกลุ่ม	ค่าสีที่กำหนด
0-f1	0-0	0-0	0	R=0,G=0,B=0
th1-f2	35-43	0-43	0.2	R=237,G=172,B=102
th2-f3	80-145	35-145	0.6	R=230,G=230,B=230
th3-255	160-255	80-255	0.8	R=240,G=240,B=240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2 การให้แสงเงา(Shading)

สิ่งที่จำเป็นในการให้แสงเงา คือ องค์ประกอบการสะท้อนแบบ สีของจุดบนพื้นผิวจะแปรไปตามทิศทางการหันเหของพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสง มุมระหว่างพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดจะใช้แสงและนอร์มอลเวกเตอร์ ในการพิจารณาทิศทางของแสงดังสมการ

$$L_d = L_i k_d cos\theta$$

เมื่อ $cos\theta$ เท่ากับ $(\vec{l} \bullet \vec{n})$

L_d คือ ความเข้มของแสงสะท้อนแบบกระจาย ในที่นี้คือ C_i

$\vec{l}$ คือ เวกเตอร์ที่ชี้มาจากแหล่งกำเนิด

$\vec{n}$ คือ เวกเตอร์ปกติที่ตั้งฉากกับผิวของวัตถุ

แล้วนำไปประกอบภาพด้วยวิธีแบบหน้าไปหลัง

$$L = \sum_{i=0}^{n-1} c_i \cdot \prod_{j=0}^{i-1} (1 - \alpha_j)$$

$c_i = C_i \times \alpha_i$ คือสี RGB ที่ถ่วงน้ำหนักด้วยความทึบแสง

สามารถเขียนคำสั่งได้ดังต่อไปนี้

```
light.x=zAxis[picno]->Height/2;
light.y=100.0;
light.z=20.0;
light.w=1.0;
picno=1;
    for(int f=nFrom+1;f<=nTo-1;f++){
      for(int i=1;i<=(zAxis[picno]->Width)-1;i++){
        Cin.red,Cin.green,Cin.blue, Cin.xxx    =0.0;
        Tran=1;
        for(int j=1;j<=(zAxis[picno]->Height)-1;j++) {
            fx=zAxis[picno]->xy[i+1][j]-zAxis[picno]->xy[i-1][j];
            fy=zAxis[picno]->xy[i][j+1]-zAxis[picno]->xy[i][j-1];
            fz=zAxis[picno+1]->xy[i][j]-zAxis[picno-1]->xy[i][j];
            grad=sqrt((fx*fx)+(fy*fy)+(fz*fz))/(sqrt(3)*2.55f);
            gray=sqrt((fx^2 + fy^2 + fz^2)/3) • 1/2.55
```

กำหนดค่าแหล่งกำเนิดแสง

วนลูปเท่าความกว้างของภาพ-2

กำหนดค่าเริ่มต้นให้ค่าสีของผลลัพธ์

ค่าความโปร่งแสง

วนลูปเท่าความยาวของภาพ-2

หาขนาดของเกรเดียนต์ $\frac{|\nabla f(xi)|}{\sqrt{3} \bullet 2.55}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

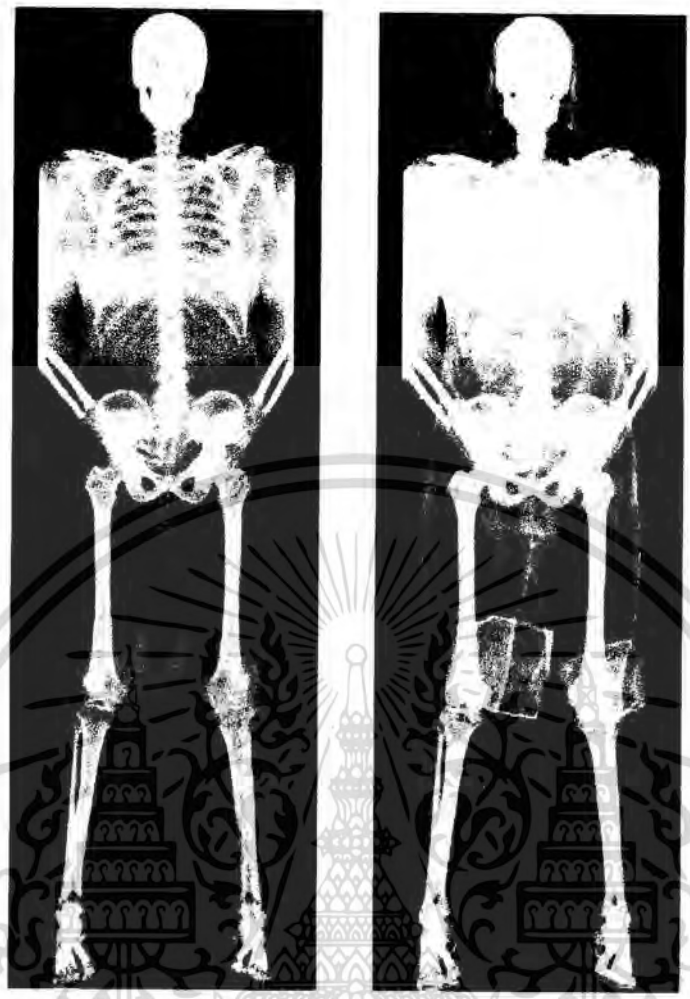
```
Ai=opac[g rad][gray];          กำหนดค่าความทึบแสง (α_K = Ai)
normalvec.x=fx;
normalvec.y=fy;                เวกเตอร์ปกติที่ตั้งฉาก
normalvec.z=fz;                กับผิวของวัตถุ
normalvec.w=1;
Shading(&cos_theta,normalvec,light);   การหาค่า cosθ

Ci.red  =CTable[(int)gray].red*cos_theta*ka;
Ci.green=CTable[(int)gray].green*cos_theta*ka;   กำหนดค่าสี RGB ดูณความเข้ม
Ci.blue =CTable[(int)gray].blue*cos_theta*ka;    ของแสงสะท้อนแบบกระจาย
Ci.xxx  =CTable[(int)gray].xxx;

Cin.red  =Cin.red  +(Ci.red*Ai*Tran);
Cin.green =Cin.green +(Ci.green*Ai*Tran);   หาค่าสีผลลัพธ์ตาม
Cin.blue  =Cin.blue  +(Ci.blue*Ai*Tran);    สมการด้านบน
Cin.xxx  =Cin.xxx  +(Ci.xxx*Ai*Tran);
Tran=Tran*(1-Ai);
} /// end for j=341
coPixel.cPixel.red    =  (int)Cin.red ;
coPixel.cPixel.gree   = (int)Cin.green;   ค่าสีผลลัพธ์ เป็น
coPixel.cPixel.blue   = (int) Cin.blue ;  จำนวนเต็ม
coPixel.cPixel.xxx=0;
}/// end for i=587
picno++;                       อ่านภาพถัดไป
} // end for
```

การประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง โดยเพิ่มแสงเงา แสดงได้ดังรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.22 ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าที่ได้การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง โดยเพิ่มแสงเงา

(ก) ภาพผลลัพธ์ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังโดยเพิ่มแสงเงา

(ข) ภาพผลลัพธ์ที่ด้านหน้าโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังโดยเพิ่มแสงเงาเปลี่ยนการกำหนดช่วงข้อมูลจะทำให้ภาพที่เชิงปริมาตรที่มี มิติมากขึ้น

ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้

พารามิเตอร์	กำหนดกลุ่มตามพารามิเตอร์	กำหนดค่าความทึบแสงของกลุ่ม	ค่าสีที่กำหนด
0-f1	0-0	0	R=0,G=0,B=0
th1-f2	35-43	0.2	R=237,G=172,B=102
th2-f3	80-145	0.6	R=230,G=230,B=230
th3-255	160-255	0.8	R=240,G=240,B=240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การปรับปรุงภาพด้วยวิธียืดคอนทราสแบบเชิงเส้น

ภาพ 3 มิติที่ได้อาจจะมีลักษณะการกระจายของค่าความสว่างบางจุดภายในภาพที่ไม่เท่ากัน หรืออาจจะมีบางส่วนภายในภาพที่มีลักษณะมืดไป ดังนั้นก่อนที่เราจะนำข้อมูลภาพเหล่านี้ไปแสดงผลเราจำเป็นต้องมีการปรับปรุงข้อมูลภาพให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการแสดงผลเสียก่อน จากนั้นจึงค่อยนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลต่อไป ซึ่งวิธีการคอนทราสแบบเชิงเส้นเป็นการแปลงค่าของข้อมูล มีการยืดค่าความสว่างของข้อมูลภาพออกเต็มย่านคือตั้งแต่ 0 ถึง 255 ซึ่งสามารถแสดงสมการที่ใช้ในการคำนวณได้ดังสมการที่ (4.6)

$$S(x,y) = \frac{(f(x,y) - r_{\min})}{r_{\max} - r_{\min}} * 255 \qquad (4.6)$$

โดย $S(x,y)$ = เมตริกซ์ของภาพผลลัพธ์ซึ่งจะมีค่าระดับเทาอยู่ระหว่าง 0-255

$f(x,y)$ = ข้อมูลภาพต้นฉบับ ณ ที่พิกัด x, y

r_{max} = เป็นค่าสูงสุดในเมตริกซ์ของภาพต้นฉบับ

r_{min} = เป็นค่าต่ำสุดในเมตริกซ์ของภาพต้นฉบับ

การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการคอนทราสแบบเชิงเส้น(Linear contrast stretching) ได้ภาพผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการคอนทราสแบบเชิงเส้น(Lincar contrast stretching)

จากรูปจะเห็นว่าจะเห็นโครงสร้างกระดูกดูทึบและมีความชัดเจนมากขึ้นเนื่องจากการประกอบภาพวิธีวิธีการคอนทราสแบบเชิงเส้น เป็นการกลับค่าสีจึงเห็นว่ากระดูกจึงกลายเป็นสีดำและดูชัดเจนมากขึ้น เพราะวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุดนี้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีความสว่างค่อนข้างน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การประกอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทุกจุด (โดยการแบ่งช่วงข้อมูล)

- ภาพที่ได้มองเห็นโครงสร้างภายใน
- โครงสร้างภายในยังไม่ชัดเจนนักเนื่องจากได้แบ่งช่วงของข้อมูลภาพแล้วกำหนดค่าความทึบแสงให้แต่ละช่วงข้อมูลภาพ
- ภาพด้านหน้าและด้านหลังให้ผลลัพธ์เหมือนกัน
- ภาพด้านซ้ายและด้านขวาให้ผลลัพธ์เหมือนกัน

5.1.2 การประกอบภาพโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยเฉพาะจุด (โดยการแบ่งช่วงข้อมูล)

- ภาพที่ได้มองเห็นโครงสร้างภายใน
- ภาพมีความสว่างกว่าวิธีเฉลี่ยทุกจุด
- โครงสร้างภายในยังไม่ชัดเจนนักเนื่องจากได้แบ่งช่วงของข้อมูลภาพแล้วกำหนดค่าความทึบแสงให้แต่ละช่วงข้อมูลภาพ
- ภาพด้านหน้าและด้านหลังให้ผลลัพธ์เหมือนกัน
- ภาพด้านซ้ายและด้านขวาให้ผลลัพธ์เหมือนกัน

5.1.3 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง (คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง)

- ภาพที่ได้ดูมีมิติมากกว่าวิธีการเฉลี่ยทั้งทุกจุดและเฉพาะจุด
- ภาพที่ได้เห็นเป็นโครงสร้างร่างกายชัดมากแต่ไม่สามารถมองเห็นเนื้อเยื่อภาพในได้เพราะภาพเป็นภาพ CT
- ภาพด้านหน้าและด้านหลังให้ผลลัพธ์เหมือนกัน
- ภาพด้านซ้ายและด้านขวาให้ผลลัพธ์เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหลังไปหน้า(คำนวณเกรเดียนต์และค่าความทึบแสง)

- ภาพที่ได้เหมือนกับวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง
- ภาพที่ได้เห็นเป็นโครงสร้างร่างกายชัดมากแต่ไม่สามารถมองเห็นเนื้อเยื่อภาพในได้เพราะภาพเป็นภาพ CT
- ภาพด้านหน้าและด้านหลังให้ผลลัพธ์เหมือนกัน
- ภาพด้านซ้ายและด้านขวาให้ผลลัพธ์เหมือนกัน

5.1.5 การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการคอนทราสแบบเชิงเส้น(Linear contrast stretching)

- ภาพที่ได้เหมือนกับวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลังและแบบหลังไปหน้าแต่ค่าสีจะทำการตรงกันข้าม
- ภาพที่ได้จะเห็นโครงสร้างคมชัดและทึบกว่าทุกวิธี
- ภาพด้านหน้าและด้านหลังให้ผลลัพธ์เหมือนกัน
- ภาพด้านซ้ายและด้านขวาให้ผลลัพธ์เหมือนกัน

5.1.6 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง โดยให้สี

- ภาพที่ได้จะเห็นเป็นสี
- ภาพที่ได้เห็นโครงสร้างร่างกายชัดและเห็นเนื้อเยื่อภาพในร่างกายบางส่วนเพราะเกิดจากการแบ่งช่วงที่ละเอียดขึ้นจึงทำให้ค่าสีที่ได้ละเอียดขึ้นด้วย
- ภาพด้านหน้าและด้านหลังให้ผลลัพธ์เหมือนกัน
- ภาพด้านซ้ายและด้านขวาให้ผลลัพธ์เหมือนกัน

5.1.7 การประกอบภาพโดยวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง โดยให้สีและเพิ่มแสงเงา

- ภาพที่ได้จะเห็นเป็นสี
- ภาพที่ได้เห็นโครงสร้างร่างกายชัดและเห็นเนื้อเยื่อภายในร่างกายบางส่วนแต่ภาพจะดูมีความทึบแสงมากกว่าวิธีประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง โดยให้สี และวิธีอื่นๆ
- ภาพด้านหน้าและด้านหลังให้ผลลัพธ์เหมือนกัน
- ภาพด้านซ้ายและด้านขวาให้ผลลัพธ์เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางสรุปผลการทดลอง

วิธีการประมวลผล	เฉลี่ยทุกจุด	เฉลี่ยเฉพาะจุด	หน้าไปหลัง	หลังไปหน้า	Contrast	หน้าไปหลัง (ให้สี)	หน้าไปหลัง (สีและแสงเงา)
มองเห็นโครงสร้างภายใน(เนื้อเยื่อ)	4	4	1	1	1	4	4
มองเห็นโครงสร้างกระดูก	2	2	5	5	5	5	5
ความสว่างของภาพ	4	3	5	5	5	5	5
ความทึบแสงของภาพ	3	3	3	3	5	3	5
ความเร็วในการประมวลผล	4	4	*5	5	5	5	5

ความหมายของค่าในระดับต่างๆ

5 มากที่สุด

4 มาก ต ต่าง

3 ปานกลาง * เพราะว่าสามารถสิ้นสุดลำแสงก่อนได้

2 น้อย

1 น้อยมาก

5.2 แนวทางการพัฒนา

- หาวิธีการในการโหลดภาพเข้าสู่หน่วยความจำให้เร็วขึ้น
- ปรับปรุงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลภาพให้เร็วขึ้น
- จากการศึกษาได้สามารถทำให้ภาพหมุนได้และสามารถดูได้รอบตัว
- การให้สีแยกชิ้นส่วนของเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น หัวใจควรจะมีสีแดง
- ทดลองสร้างภาพเชิงปริมาตรด้วยภาพต้นฉบับที่ได้จากเครื่อง MRI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

สุพจน์ จันทร์วิพัฒน์. "การสร้างภาพ 3 มิติจากลำดับของข้อมูลภาพตัดขวางโดยใช้วิธีพิจารณาจากเวคเตอร์ปกติของพื้นผิว" วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541

เกษมสุข เสพสิริสุข. "การสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์แบบเร็วโดยใช้การแปลงเฉือนและบิด" วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเลคทรอนิค บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

วรเทพ ไพบูลย์รัตนากร. "การเพิ่มความเร็วให้การสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์โดยใช้การแปลงระยะทาง" วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

นพรัตน์ พันธ์เสนา. "การสร้างภาพเชิงปริมาตรบนระบบคลัสเตอริ่งโดยวิธีการแปลงเฉือนและบิด" วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเลคทรอนิค บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.

Fletcher,P.A.&Robertson,P.K. 1993. "Interactive shading for surface and volume visualization on graphics workstations". Proceedings of Visualization'93. San Jose. pp. 291-298.

Levoy,M. 1988. "Display of surfaces from volume data". IEEE Computer Graphic&Applications. 8(3):29-37.

Levoy,M. 1990. "Efficient ray tracing of volume data". ACM Transactions on Graphics. 9(3):245-261.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้