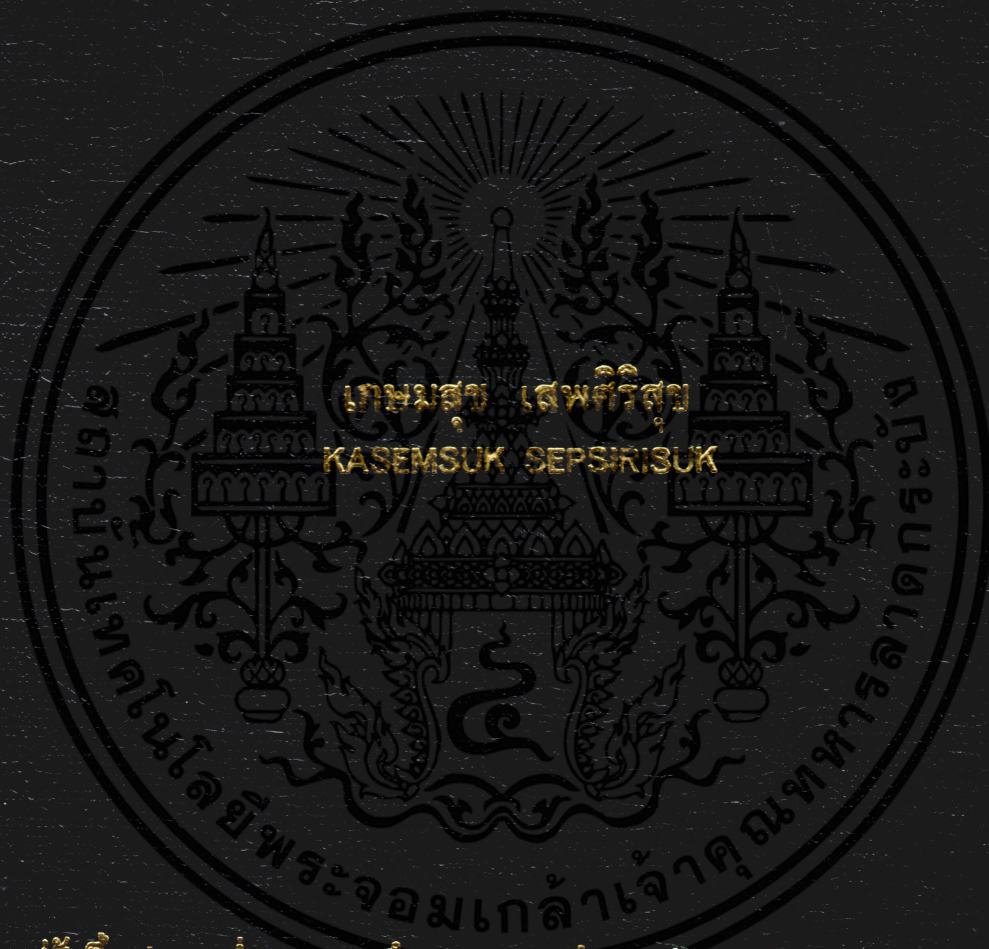


การสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์แบบเร็ว  
โดยใช้การแปลงเฉือนและบิด

FAST VOLUME RENDERING FOR MEDICAL IMAGE  
BY USING SHEAR-WARP TRANSFORMATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-048-512-1

การสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์แบบเร็ว  
โดยใช้การแปลงเฉือนและบิด

FAST VOLUME RENDERING FOR MEDICAL IMAGE  
BY USING SHEAR-WARP TRANSFORMATION



เลขที่.....  
เลขทะเบียน 41477  
เดือน, ปี 19 ก.พ. 2545

b.....  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-512-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAST VOLUME RENDERING FOR MEDICAL IMAGE  
BY USING SHEAR-WARP TRANSFORMATION



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

2001

ISBN 974-648-512-1



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์แบบเร็วโดยใช้การแปลงเฉือน  
และบิด  
FAST VOLUME RENDERING FOR MEDICAL IMAGE BY USING  
SHEAR-WARP TRANSFORMATION

ชื่อนักศึกษา นายเกษมสุข เสพศิริสุข  
รหัสประจำตัว 42061319  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบูรณ์
ดร.บุษนา	คิดใจเดียว
ผศ.พีชัย	คูศิริวานิชกร
ดร.กิตติพล	ชิตสกุล
รศ.ดร.มนัส	สังวรศิลป์

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 22 ตุลาคม 2544 เวลา 13.30-15.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว  
(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัครชู)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๓.....เดือน.....๒๕๔๔.....พ.ศ.....๒๕๔๔.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์แบบเร็วโดยใช้การแปลงเฉือนและบิด
นักศึกษา	นาย เกษมสุข เสพศิริสุข
รหัสประจำตัว	42061319
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์

### บทคัดย่อ

การสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นเป็นเทคนิคการสร้างภาพ 3 มิติที่ได้ภาพผลลัพธ์มีลักษณะเป็นภาพกึ่งโปร่งใส ซึ่งข้อดีของภาพชนิดนี้ทำให้สามารถมองเห็นโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับอวัยวะที่เราสนใจและอวัยวะที่ไม่สามารถแยกแยะได้อย่างชัดเจนจำพวกเนื้อเยื่อต่างๆได้ โดยวิธีการสร้างภาพเชิงปริมาตรที่ผ่านมาใช้วิธีฉายแสงซึ่งต้องใช้เวลาในการสร้างภาพนานมาก เนื่องจากทิศทางการมองเป็นไปได้หลากหลายทิศทาง ทำให้เสียเวลาในการคำนวณหาตำแหน่งของจุดที่ทำการสุ่มตัวอย่าง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยใช้การแปลงแบบเฉือนและบิด ซึ่งสัมประสิทธิ์ของการแปลงอาจไม่เป็นจำนวนเต็มทำให้ต้องมีการแทรกค่า ในระบบพิกัดเฉือนนั้นทิศทางของมุมมองจะตั้งฉากกับแนวแกนสไลซ์ ซึ่งทำให้สามารถฉายปริมาตรไปเป็นภาพ 2 มิติโดยง่ายและมีประสิทธิภาพ แต่ภาพยังเป็นภาพที่บิดเบือนอยู่ จากนั้นทำการแปลงภาพที่บิดเบือนไปเป็นภาพผลลัพธ์ด้วยการแปลงบิด ข้อดีของวิธีนี้คือทุก ๆ จุดข้อมูลบนสไลซ์เดียวกันในระบบพิกัดเฉือน จะมีน้ำหนักในการสุ่มตัวอย่างเท่ากัน ฉะนั้นค่าของน้ำหนักในการสุ่มตัวอย่างจะถูกคำนวณเพียงครั้งเดียวแล้วนำไปใช้ได้กับทุก ๆ จุดข้อมูล เพื่อลดเวลาในการคำนวณ

Thesis Title	Fast Volume Rendering for Medical Image by using Shear-Warp Transformation.
Student	Mr. Kasemsuk Sepsirisuk
Student ID.	42061319
Degree	Master of Engineering
Programme	Electronic Engineering
Year	2001
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Manas Sangworasil

## ABSTRACT

Volume Rendering is a 3D-reconstruction technique that the resultant image is a semitransparent image. The advantage of this image is the visualization of the structure that concerns with the interested organ and the fuzzy tissue. Early implementations of volume rendering using ray casting algorithms require more time to produce the image. Since viewing rays may traverse the volume in an arbitrary direction, ray casters take more time calculating the location of sample points. This thesis presents the volume rendering method using shear-warp transformation. The transformation coefficients are not necessarily integers so the coordinate must be interpolated. In sheared object space, the viewing rays are perpendicular to the volume slices, so the volume can be projected into a distorted 2D image simply and efficiently. Then the distorted 2D image is transformed to a final image by warping. The advantage of this technique is that every voxel of the same slice in sheared object space has the same resampling weight, so one set of resampling weights can be pre-computed and reused for every voxel to reduce the computation time.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ก็ด้วยความช่วยเหลือความอนุเคราะห์และการสนับสนุนจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยจะขอกล่าวต่อผู้มีพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ คุณย่าและคุณป้า ผู้ซึ่งให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน จนข้าพเจ้าได้เจริญเติบโตทั้งด้านร่างกาย สติปัญญาและโอกาสทางการศึกษาตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งนอกจากจะคอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางอันเป็นบ่อเกิดแห่งปัญญาแล้ว ท่านยังได้ให้ความอนุเคราะห์ในหลาย ๆ ด้าน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาของท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.กิติพล ชิตสกุล, ผศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ และดร.ยุทธนา คิดใจเดียว ที่ช่วยเหลือและให้คำชี้แนะในสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณวรเทพ ไพบูลย์รัตนากร ที่คอยให้คำตอบและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี และขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ถึงแม้จะไม่ได้กล่าวนาม ณ. ที่นี้ ผู้วิจัยซาบซึ้งในพระคุณของทุกท่าน

สุดท้ายขอขอบคุณมูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในระหว่างศึกษา ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการเสนอบทความอันเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เกษมสุข เสพศิริสุข

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัยและโครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวและการสร้างภาพเชิงปริมาตร.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 การสร้างภาพเชิงพื้นผิว.....	4
2.2.1 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยการฉายภาพตามทิศทางการมอง.....	4
2.2.1.1 การคำนวณค่าเวกเตอร์ปกติจากค่าเกรเดียนต์ของระดับเทา.....	5
2.2.1.2 การคำนวณค่าเวกเตอร์ปกติโดยใช้ค่าของพิกัดรอบข้าง.....	6
2.2.2 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากระนาบคอนทัวร์.....	7
2.2.3 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยวิธีมาร์ชชิงคิวบ์.....	7
2.3 การสร้างภาพเชิงปริมาตร.....	9
2.3.1 การฉายแสง.....	11
2.3.2 วิธีสแต็คติง.....	12
2.3.3 การฉายเซลล์.....	13
2.3.4 การสุ่มตัวอย่างแบบมัลติพาส.....	14
สรุป.....	14

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีเบื้องต้นในการสร้างภาพสามมิติ.....	15
3.1 บทนำ.....	15
3.2 องค์ประกอบพื้นฐานของภาพสามมิติ.....	15
3.3 ระบบพิกัด.....	16
3.4 การแปลงเรขาคณิต.....	16
3.4.1 การย้ายตำแหน่ง.....	17
3.4.2 การหมุน.....	18
3.4.3 การสเกล.....	19
3.4.4 การแปลงแบบผสม.....	19
3.5 ประเภทของภาพสามมิติ.....	20
3.5.1 ภาพสามมิติแบบนำสายตา.....	20
3.5.2 ภาพสามมิติแบบอ็อบบลิค.....	21
3.6 การส่องสว่างและการให้แสงเงา.....	22
3.6.1 เกรเดียนต์.....	23
3.6.1.1 ตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์.....	24
3.6.1.2 เกรเดียนต์กับการสร้างภาพเชิงปริมาตร.....	25
3.6.2 การให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong.....	25
3.6.3 แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong.....	26
3.6.3.1 แสงแวดล้อม.....	26
3.6.3.2 การสะท้อนแบบกระจาย.....	26
3.6.3.3 การสะท้อนแสงแบบกระจก.....	28
3.6.4 ความแตกต่างของแบบจำลองการให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong.....	29
3.6.5 การให้แสงเงากับการสร้างภาพเชิงปริมาตร.....	31
สรุป.....	31
บทที่ 4 การประมวลผลภาพของภาพเชิงปริมาตร.....	32
4.1 บทนำ.....	32

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 การแบ่งกลุ่มข้อมูล.....	32
4.2.1 ฮีสโทแกรม.....	33
4.2.2 ฟังก์ชันถ่ายโอน.....	33
4.3 การอินเทอร์พอล.....	36
4.3.1 การอินเทอร์พอลแบบเนียร์สเนเบอร์.....	37
4.3.2 การอินเทอร์พอลแบบลิเนียร์.....	38
4.4 การประกอบภาพ.....	39
4.4.1 สมการการสร้างภาพเชิงปริมาตร.....	39
4.4.2 การประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง.....	41
4.4.3 การประกอบภาพแบบหลังไปหน้า.....	43
4.4.4 ค่าความโปร่งแสงและค่าความทึบแสง.....	44
4.5 การพัฒนาการสร้างภาพเชิงปริมาตร.....	44
สรุป.....	45
บทที่ 5 การสร้างภาพเชิงปริมาตรแบบเร็ว.....	46
5.1 บทนำ.....	46
5.2 ระบบพิกัดที่เกี่ยวข้อง.....	46
5.3 หลักการในการแปลงแบบเฉือนและบิด.....	48
5.4 เมตริกซ์การแปลงที่เกี่ยวข้อง.....	50
5.4.1 การหาแกนมุมมองหลัก.....	50
5.4.2 การแปลงไปยังพิกัดวัดมาตรฐาน.....	52
5.4.3 เมตริกซ์การเฉือนและบิด.....	53
5.4.4 การฉายภาพไปยังระนาบภาพระหว่างกลาง.....	54
5.4.5 สรุปเมตริกซ์การแปลงที่สมบูรณ์แบบ.....	56
5.5 การลดวงรอบการทำงานที่ไม่จำเป็น.....	56
5.5.1 นิยาม.....	57
5.5.2 รหัสรัน-เลงท์.....	57

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.5.3 การประยุกต์ใช้งานรหัสสี-เลขที่.....	58
สรุป.....	58
บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง.....	59
6.1 บทนำ.....	59
6.2 ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	59
6.2.1 ข้อมูลที่ใช้ทดลอง.....	59
6.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	59
6.3 การทดลองกับภาพตัดขวางที่สร้างขึ้นเอง.....	59
6.4 การทดลองกับภาพตัดขวางทางการแพทย์.....	60
6.5 การเปรียบเทียบคุณภาพของภาพ.....	63
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	64
7.1 สรุปผลงานวิจัย.....	64
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	64
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	68

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างภาพ.....	62
6.2 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเข้ารหัส.....	62
6.3 เปรียบเทียบขนาดของเนื้อที่ที่ใช้งานของรหัส.....	62
6.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ของภาพที่เปลี่ยนไป.....	63



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบแนวคิดในการสร้างภาพ.....	2
2.1 การสแกนข้อมูลในทิศทางการมอง.....	4
2.2 การคำนวณแสงเงาตามกฎของแลมเบิร์ต.....	5
2.3 การคำนวณหาเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวจากพิกัดรอบข้าง.....	6
2.4 การเชื่อมต่อของคอนทัวร์ 2 ชั้นที่ติดกัน.....	7
2.5 ลูกบาศก์สามมิติที่ทาบอยู่ระหว่างสไลซ์ 2 ชั้นติดกัน.....	8
2.6 รูปแบบการวางตัวของสามเหลี่ยมที่เป็นไปได้ภายในลูกบาศก์.....	8
2.7 การเรียงลำดับของมุม, ขอบของลูกบาศก์และดัชนี.....	9
2.8 ภาพเชิงพื้นผิวที่ได้จากวิธีมาร์ชชิงควิบ.....	9
2.9 ขั้นตอนพื้นฐานในการสร้างภาพเชิงปริมาตร.....	10
2.10 ภาพเชิงปริมาตร.....	10
2.11 ลักษณะของการสร้างภาพด้วยวิธีฉายแสง.....	11
2.12 วิธีสแพ็ตติง.....	12
2.13 ลักษณะลำดับความลึกในวิธีการฉายเซลล์.....	13
3.1 องค์ประกอบในภาพสองมิติและสามมิติ.....	15
3.2 ระบบพิกัดในปริภูมิสามมิติ.....	16
3.3 โฮโมจีเนียสเมตริกซ์.....	16
3.4 การย้ายตำแหน่งให้จุดศูนย์กลางปริมาตรไปอยู่ที่จุดกำเนิด.....	17
3.5 การแปลงแบบหมุนรอบแกนต่างๆ.....	18
3.6 ภาพสามมิติทั้ง 2 รูปแบบ.....	20
3.7 การฉายภาพในแบบนำสายตา.....	20
3.8 ลักษณะของการเกิดภาพแบบนำสายตา.....	21
3.9 การเกิดภาพสามมิติแบบอ็อบบลิค.....	22
3.10 แสดงขอบของวัตถุต่างชนิดและทิศของเกรเดียนต์.....	23
3.11 ลักษณะและทิศทางของค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์.....	24
3.12 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจาย.....	27
3.13 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจก.....	28
3.14 เวกเตอร์ปกติที่แต่ละมุมของโพลิกอน.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 การให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong.....	30
3.16 การให้แสงเงาในการสร้างภาพเชิงปริมาตร.....	31
4.1 การแบ่งข้อมูลทั้ง 4 กลุ่ม.....	32
4.2 ฮีสโทแกรมของข้อมูลต้นฉบับ.....	33
4.3 ตัวอย่างฟังก์ชันการแบ่งกลุ่มข้อมูลสำหรับวัตถุเนื้อเดียว.....	35
4.4 ลักษณะโดยทั่วไปและการแบ่งแยกกลุ่มของว็อกเซลในชุดข้อมูล CT.....	35
4.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสง.....	36
4.6 (ก)เคอร์เนลแบบเนยเรสเนเบอร์ (ข)การอินเทอร์โพลेटด้วยวิธีเนยเรสเนเบอร์.....	37
4.7 การกำหนดความสัมพันธ์ของจุดแซมเปิลในการอินเทอร์โพลेटแบบลิเนียร์.....	38
4.8 (ก) เคอร์เนลของการอินเทอร์โพลेटแบบลิเนียร์ (ข)ลักษณะของการอินเทอร์โพลेट.....	38
4.9 แสงที่พุ่งเข้าไปในปริมาตร.....	40
4.10 การประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง.....	41
4.11 การประกอบภาพแบบหลังไปหน้า.....	43
4.12 การสร้างภาพเชิงปริมาตรด้วยวิธีการฉายแสง.....	45
4.13 การกระโดดข้ามส่วนฉากหลังในการแปลงระยะทาง.....	45
5.1 เปรียบเทียบแนวคิดในการสร้างภาพ (ก)แบบเดิม (ข)ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้.....	46
5.2 ระบบพิกัดต่างๆที่ใช้ในการแปลงแบบเฉือนและบิด.....	47
5.3 แสดงวิธีการสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยใช้การแปลงแบบเฉือนและบิด.....	49
5.4 การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการแปลงเฉือน.....	53
5.5 การแปลงระบบพิกัดภาพระหว่างกลางในกรณีต่างๆ.....	55
5.6 รหัสสี-เลขที่ของบริเวณข้อมูลไบนารี.....	57
5.7 การประยุกต์รหัสสี-เลขที่กับการหยุดประกอบภาพเข้าด้วยกัน.....	58
6.1 (ก)ภาพตัดขวางต้นฉบับ (ข)ภาพที่ได้จากวิธีการแปลงเฉือนและบิด.....	60
6.2 ภาพตัดขวางทางการแพทย์ที่นำมาทดลอง.....	60
6.3 แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการแปลงเฉือนและบิด.....	61
6.4 แสดงภาพผลลัพธ์ที่เปลี่ยนค่าความทึบแสงของชุดข้อมูล.....	61

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันวิทยาการทางการแพทย์นั้นรุดหน้าไปอย่างมาก ภาพทางการแพทย์นั้นอำนวยความสะดวกในการวินิจฉัยโรคและการวางแผนผ่าตัดที่เกิดขึ้นกับอวัยวะภายใน โดยส่วนมากภาพทางการแพทย์นั้นเป็นภาพสองมิติ เช่นภาพที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์, เครื่อง CT (Computer Tomography), เครื่อง MRI (Magnetic Resonance Imaging) และเครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound) ในการวินิจฉัยโรคของแพทย์นั้น แพทย์ต้องศึกษาและวิเคราะห์จากชุดภาพตัดขวางสองมิตินี้ ซึ่งหากข้อมูลภาพมีจำนวน มากและซับซ้อนย่อมเป็นปัญหาในการวินิจฉัยโรคจากภาพสองมิติ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำชุดภาพตัดขวางที่ได้มาสร้างเป็นภาพสามมิติ โดยการสร้างภาพสามมิตินั้นแบ่งออกเป็นสองจำพวกใหญ่ ๆ คือ การสร้างภาพเชิงพื้นผิว (Surface Rendering) และการสร้างภาพเชิงปริมาตร (Volume Rendering)

การสร้างภาพเชิงพื้นผิวนั้นเป็นการแสดงพื้นผิวของอวัยวะที่สนใจ ซึ่งภาพที่ได้นั้นเกิดจากการนำรูปเรขาคณิตรูปเล็กๆ เช่น เส้นตรง, สามเหลี่ยม หรือรูปหลายเหลี่ยม จำนวนมากนำมาเรียงต่อกันสร้างเป็นพื้นผิวของอวัยวะนั้น ๆ จากนั้นทำการให้แสงเงาแกผิวที่ได้ ซึ่งชุดข้อมูลภาพต้นฉบับนั้นต้องผ่านการกำหนดขอบเขตที่แน่นอนของอวัยวะเสียก่อนโดยการแยกแยะแบบไบนารี (Binary Segmentation) ส่วนการสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นเป็นการภาพจากค่าความทึบแสงของวัตถุเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพ โดยการสร้างภาพแบบนี้สามารถสร้างได้ทั้งภาพเชิงพื้นผิวและภาพกึ่งโปร่งใส (Semi-transparent) ภาพเชิงปริมาตรนั้นสามารถแสดงอวัยวะหลาย ๆ ส่วนพร้อมกันโดยไม่จำเป็นต้องกำหนดขอบเขตที่แน่นอนของอวัยวะนั้น ๆ ทำให้สามารถแสดงได้ทั้งอวัยวะที่สนใจและอวัยวะส่วนเกี่ยวเนื่องอื่น ๆ ได้ แต่เนื่องจากการสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นมีปริมาณของข้อมูลจำนวนมาก ทำให้การสร้างภาพในมุมมองต่าง ๆ นั้นใช้เวลานาน แต่ด้วยภาพผลลัพธ์ที่ได้นั้นให้รายละเอียดได้มากกว่าภาพเชิงพื้นผิว จึงทำให้การสร้างภาพเชิงปริมาตรเป็นวิธีที่นำมาใช้ทางการแพทย์อย่างแพร่หลาย

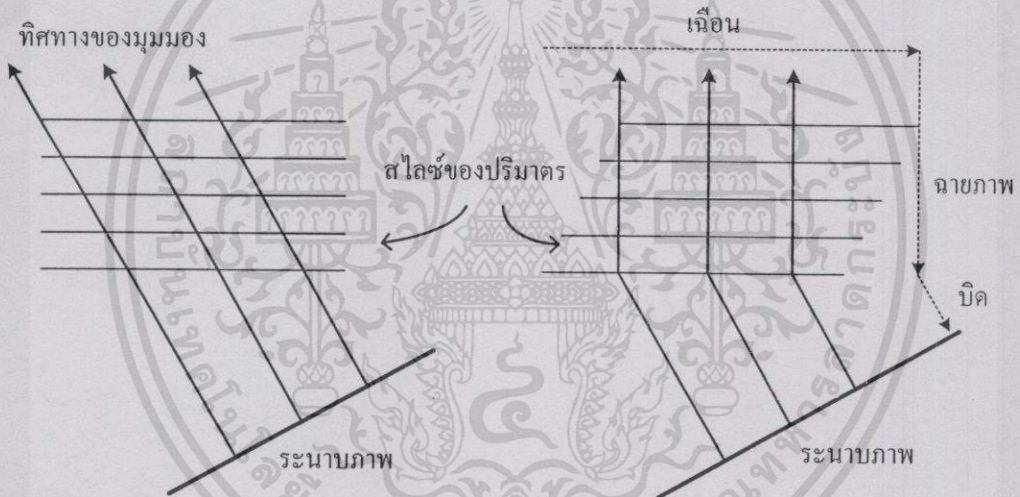
### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการสร้างภาพเชิงปริมาตรในแต่ละมุมมอง ให้สามารถทำได้เร็วขึ้น โดยคำนึงถึงความถูกต้องของภาพที่ได้เปรียบเทียบกับวิธีการสร้างแบบเดิมที่มีอยู่ด้วย

### 1.3 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

แต่เดิมการสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นจะใช้วิธีการฉายแสง (Ray casting) [1] ซึ่งวิธีการนี้จะใช้เวลาในการคำนวณการแปลงตำแหน่งในจุดภาพกลับไปยังตำแหน่งของข้อมูลต้นฉบับ ทำให้การสร้างภาพในมุมมองต่างๆนั้นใช้เวลานาน

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การแปลงเฉือนและบิด (Shear-Warp Transformation) โดยในส่วนการแปลงเฉือนจะเป็นการเลื่อนสไลซ์ของข้อมูลต้นฉบับเพื่อให้ทิศทางของมุมมองนั้นตั้งฉากกับสไลซ์แล้วทำการฉายภาพ (Image projection) ซึ่งจะทำให้ได้ง่าย ลดเวลาในการคำนวณ ภาพที่ได้จะเป็นภาพที่ยังไม่ถูกตัด ต้องทำการแปลงบิดอีกครั้งซึ่งการแปลงบิดนี้จะกระทำกับภาพ 2 มิติซึ่งใช้น้อย ดังเปรียบเทียบให้เห็นในรูปที่ 1.1 นอกจากนี้แล้ววิธีการนี้ยังเป็นการสร้างภาพแบบตามลำดับของวัตถุ (Object order) ทำให้ง่ายต่อการออกแบบโครงสร้างข้อมูลเพื่อลดการคำนวณในการสร้างภาพส่วนที่เป็นฉากหลังที่ไม่มีผลต่อภาพ เช่น อากาศและ ฉากหลัง



(ก) การฉายแสงแบบเดิม

(ข) การฉายแสงด้วยการแปลงเฉือนและบิด

รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบแนวคิดในการสร้างภาพ (ก) แบบเดิม และ (ข) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

หลักการที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้เริ่มจากนำชุดข้อมูลภาพทั้งหมดมาสร้างเป็นปริมาตร จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลภาพเพื่อที่จะกำหนดสีของแต่ละกลุ่มข้อมูล และสร้างตารางค่าความทึบแสงโดยให้ค่าความทึบแสงของอากาศหรือฉากหลังมีค่าน้อยที่สุดคือศูนย์ ในขณะที่เดียวกันข้อมูลปริมาตรจะถูกนำมาสร้างดัชนีเพื่อใช้ในการกระโดดข้ามข้อมูลที่เป็นอากาศ จากนั้นจะเลื่อนสไลซ์แต่ละชั้นด้วยค่าสัมประสิทธิ์เฉือน แล้วทำการฉายวัตถุลงบนฉาก ทำการประกอบภาพโดยใช้ค่าความทึบแสงและค่าเกรเดียนต์โดยกระทำที่ละชั้นจนครบทุกสไลซ์ ภาพที่ได้ออกมาจะเป็นภาพที่บิดเบือนไป ต้องทำการแปลงอีกครั้งหนึ่งด้วยการแปลงบิด ซึ่งจะได้ภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนจะกล่าวอีกในภายหลัง

## 1.4 ขอบเขตการวิจัยและโครงร่างของวิทยานิพนธ์

ขอบเขตของการวิจัยนี้มุ่งเน้นเสนอวิธีการสร้างภาพเชิงปริมาตรให้เร็วขึ้นโดยใช้การแปลงแบบเฉือนและบิด ซึ่งรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บท โดยในแต่ละบทจะมีเนื้อหาที่สำคัญดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา พร้อมทั้งกล่าวถึงวัตถุประสงค์และขอบเขต ของการวิจัยนี้

บทที่ 2 เนื้อหาบทนี้เป็นการแนะนำถึงหลักการเบื้องต้นของการสร้างภาพเชิงพื้นผิว และการสร้างภาพเชิงปริมาตร

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ในการสร้างภาพสามมิติ ซึ่งประกอบด้วย ระบบพิกัด การแปลงเรขาคณิตต่าง ๆ, การส่องสว่างและการให้แสงเงา

บทที่ 4 กล่าวถึงกระบวนการเบื้องต้นที่จำเป็นในการสร้างภาพเชิงปริมาตรอันได้แก่ การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Classification), การสร้างตารางค่าความทึบแสง, การแทรกค่า (Interpolation) และทฤษฎีการประกอบภาพ (Image Composition) พร้อมด้วยวิธีการเดิมที่ได้มีอยู่แล้ว

บทที่ 5 กล่าวถึงนิยามและหลักการของการแปลงเฉือนและบิด ตลอดจนการใช้การแปลงเฉือนและบิดนี้ในการสร้างภาพเชิงปริมาตร และเปรียบเทียบกับวิธีการฉายแสงซึ่งเป็นวิธีการเดิม

บทที่ 6 เป็นการแสดงผลการทดลองการสร้างภาพเชิงปริมาตรด้วยการแปลงเฉือนและบิด และเปรียบเทียบวงรอบการทำงานในการสร้างภาพกับวิธีการฉายแสง รวมทั้งผลการทดลองในเชิงคุณภาพของภาพสามมิติที่ได้

บทที่ 7 เป็นการสรุปผลการวิจัยและแนวทางการพัฒนาตลอดจนข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการทำวิจัยต่อไป

## บทที่ 2

# การสร้างภาพเชิงพื้นผิวและการสร้างภาพเชิงปริมาตร

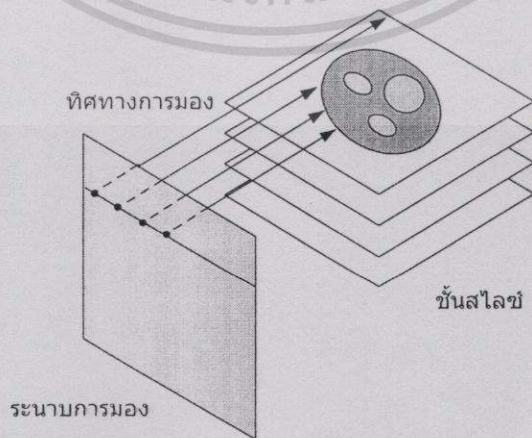
### 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นและวิธีการสร้างภาพสามมิติในแบบต่าง ๆ ซึ่งภาพสามมิติทางการแพทย์นั้นแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่แล้วนั้น โดยในครั้งแรกเป็นการสร้างภาพเชิงพื้นผิวแบบต่าง ๆ และในส่วนที่สองจะเป็นกล่าวถึงการสร้างภาพเชิงปริมาตร ซึ่งในบทนี้จะกล่าวอย่างคร่าว ๆ ส่วนรายละเอียดในการสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นจะกล่าวในบทถัดไป

### 2.2 การสร้างภาพเชิงพื้นผิว

#### 2.2.1 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยการฉายภาพตามทิศทางการมอง[1]

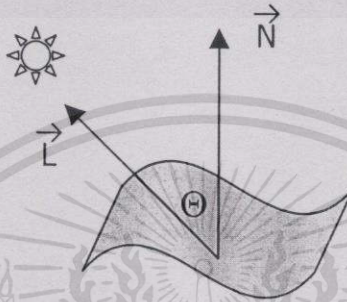
การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยวิธีนี้ เป็นการสร้างภาพที่ได้จากการฉายจุดข้อมูลในปริมาตรไปยังระนาบการมองหรือจากนั้นเองดังรูปที่ 2.1 โดยลำดับขั้นตอนเริ่มจากการหมุนปริมาตรไปยังทิศทางที่ต้องการ จากนั้นจะมีการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) เพื่อกำหนดขอบเขตของอวัยวะในส่วนที่ต้องการ แล้วทำการสแกน (Scan) เข้าไปในปริมาตรตามทิศทางการมองและทำการตรวจสอบค่าระดับเทาของจุดข้อมูลนั้น ๆ โดยในแต่ละเส้นสแกนหากพบข้อมูลจุดใดที่มีค่าระดับเทามากกว่าค่าเทรชโฮลด์เป็นจุดแรก ก็ให้ถือจุดนั้นเป็นขอบของอวัยวะ แล้วจึงหยุดการสแกนในเส้นสแกนนั้น หากสแกนจนตำแหน่งพื้นออกจากปริมาตรแล้ว แสดงว่าไม่มีข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่งเส้นสแกนนั้น



รูปที่ 2.1 การสแกนข้อมูลในทิศทางการมอง

เมื่อได้ขอบของอวัยวะแล้ว จากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าเวกเตอร์ปกติ (Normal Vector) ของพื้นผิว ซึ่งวิธีการในการคำนวณหาค่าเวกเตอร์ปกติที่เหมาะสมนั้นมีด้วยกัน 2 วิธี คือ การคำนวณจากเกรเดียนต์ของค่าระดับเทา และการคำนวณโดยอาศัยพิกัดรอบข้างซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

เมื่อได้ค่าเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวแล้วจะทำการคำนวณหาค่าแสงเงาให้กับพื้นผิวนั้น โดยใช้กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การคำนวณแสงเงาตามกฎของแลมเบิร์ต

ซึ่งสมการการคำนวณค่าแสงเงาเป็นดังต่อไปนี้

$$I = L \cos \Theta \quad (2.1)$$

เมื่อ  $I$  คือค่าความเข้มแสงบนพื้นผิว,  $L$  คือค่าความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสง และ  $\Theta$  คือมุมระหว่างเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวกับทิศทางของแสงซึ่งเราสามารถคำนวณได้จากผลคูณภายในของเวกเตอร์ ดังสมการ

$$\cos \Theta = \frac{\vec{I}_L \cdot \vec{N}}{|\vec{I}_L| |\vec{N}|} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\vec{I}_L$  คือเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง และ  $\vec{N}$  คือเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว

### 2.2.1.1 การคำนวณค่าเวกเตอร์ปกติจากค่าเกรเดียนต์ของระดับเทา[2]

เกรเดียนต์ของระดับเทานั้นบอกถึงขนาดและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาภายในปริมาตรข้อมูล ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาเป็นเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวได้ โดยใช้การคำนวณดังสมการที่ 2.3 ถึง สมการที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_x = S_{x+1,y,z} - S_{x-1,y,z} \quad (2.3)$$

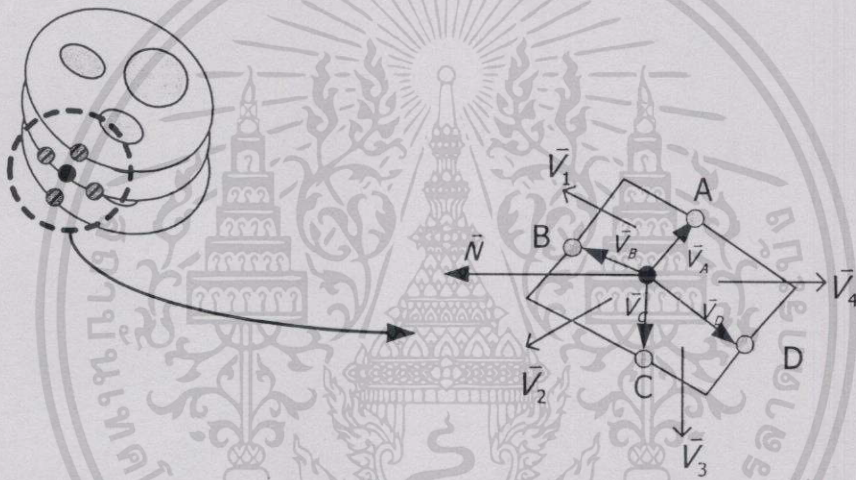
$$N_y = S_{x,y+1,z} - S_{x,y-1,z} \quad (2.4)$$

$$N_z = S_{x,y,z+1} - S_{x,y,z-1} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $N_x, N_y, N_z$  แทนองค์ประกอบของเวกเตอร์ปกติในแกนใด ๆ และ  $S_{x,y,z}$  แทนค่าระดับเทาของจุดข้อมูลใด ๆ ในปริมาตร

### 2.2.1.2 การคำนวณค่าเวกเตอร์ปกติโดยใช้ค่าของพิกัดรอบข้าง[1]

การคำนวณค่าเวกเตอร์ปกติโดยวิธีนี้เป็นการนำค่าพิกัดรอบข้างของขอบอวัยวะที่อยู่รอบจุดที่ต้องการมาคำนวณหาค่าเวกเตอร์ปกติ ดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การคำนวณหาเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวจากพิกัดรอบข้าง

จากรูปข้างต้น จุดรอบข้างทั้ง 4 จุดนั้นจะมีพื้นผิวที่อยู่ภายในจุดนั้นๆ เป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ซึ่งแต่ละพื้นผิวก็จะมีค่าเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวนั้น ๆ โดยหาได้จากผลคูณไขว้ของเวกเตอร์ (Cross Product) ดังนี้

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_A \times \vec{V}_B \quad (2.6)$$

$$\vec{V}_2 = \vec{V}_B \times \vec{V}_C \quad (2.7)$$

$$\vec{V}_3 = \vec{V}_C \times \vec{V}_D \quad (2.8)$$

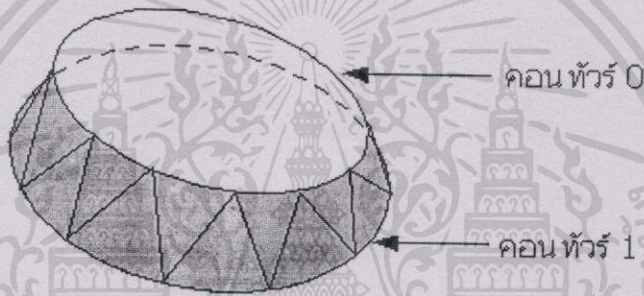
$$\vec{V}_4 = \vec{V}_D \times \vec{V}_A \quad (2.9)$$

และเวกเตอร์ปกติของจุดที่สนใจหาได้จากผลเฉลยของเวกเตอร์ทั้งหมด แต่เนื่องจากเราต้องการเพียงปริมาณทิศทาง ฉะนั้นจึงใช้ผลรวมของเวกเตอร์ทั้ง 4 ก็เพียงพอโดยไม่ต้องหาขนาดดังสมการต่อไปนี้

$$\vec{N} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 + \vec{V}_4 \quad (2.10)$$

### 2.2.2 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากระนาบคอนทัวร์[3]

การสร้างภาพเชิงพื้นผิวจากระนาบคอนทัวร์นั้น ทำได้โดยการนำข้อมูลแต่ละชั้นสไลซ์มาหาขอบของอวัยวะที่สนใจเพื่อให้ได้คอนทัวร์ของอวัยวะนั้น ๆ เมื่อได้คอนทัวร์แต่ละสไลซ์แล้วทำการเชื่อมต่อกอนทัวร์แต่ละชั้นโดยการสร้างพื้นผิวสามเหลี่ยมเล็ก ๆ วางเรียงกันดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะได้พื้นผิวด้านข้างของอวัยวะ

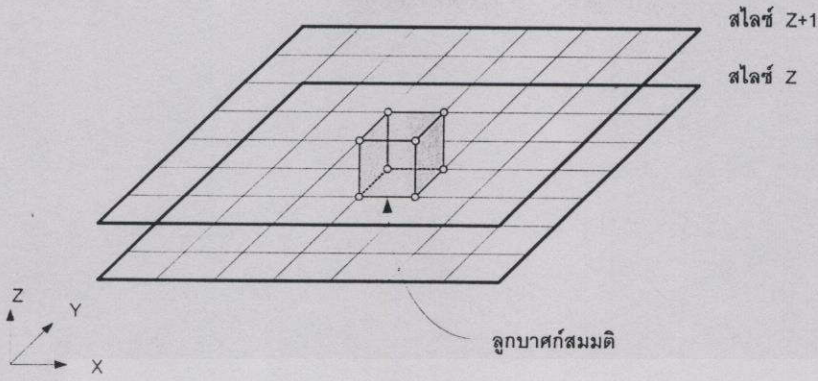


รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อของคอนทัวร์ 2 ชั้นที่ติดกัน

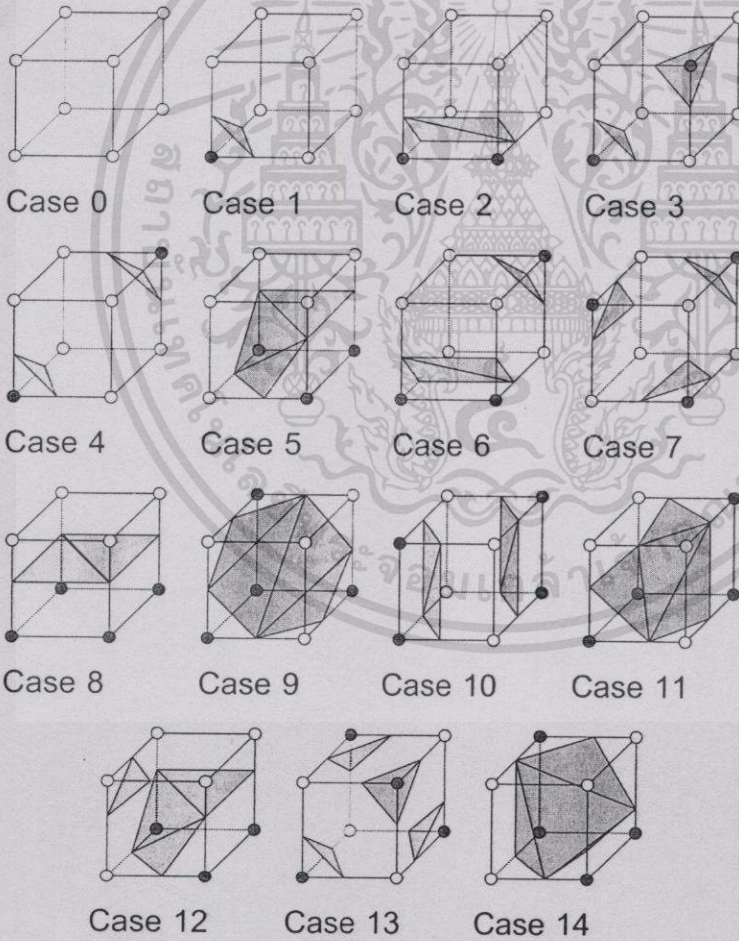
จะเห็นได้ว่าวิธีการนี้มีข้อเสียคือคอนทัวร์ชั้นบนสุดและล่างสุดจะไม่สามารถสร้างพื้นผิวขึ้นมาได้ แต่ใน [4] ได้มีการพัฒนาใช้ระนาบคอนทัวร์ 3 ระนาบเพื่อให้สามารถสร้างพื้นผิวได้ทั้งหมด

### 2.2.3 การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยวิธีมาร์ชชิงคิวบ์ (Marching Cubes Algorithm)[5]

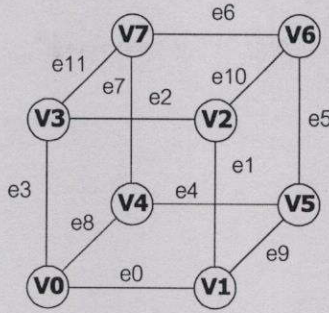
การสร้างภาพเชิงพื้นผิวด้วยวิธีการนี้ได้มีการเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1987 โดย W.E. Lorensen และ H.E. Cline วิธีการนี้จะสมมติลูกบาศก์ขนาดเล็กขึ้นมา โดยลูกบาศก์นั้นจะประกอบด้วยจุด 8 จุดที่แต่ละมุม นำลูกบาศก์ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพ 2 สไลซ์ที่ติดกันเพื่อหารูปแบบการจัดเรียงข้อมูลทั้ง 8 จุด ดังรูปที่ 2.5 โดยที่รูปแบบการจัดเรียงนี้จะแทนรูปแบบการจัดวางของสามเหลี่ยมเล็ก ๆ ในลูกบาศก์เพื่อให้แทนพื้นผิวของข้อมูล จะมีทั้งหมดได้  $2^8 = 256$  แบบ ซึ่งสามารถลดรูปลงเหลือเป็นรูปแบบหลักเพียง 15 รูปแบบเท่านั้น ดังรูปที่ 2.6 ส่วนรูปแบบที่เหลือจะเป็นส่วนกลับและการหมุนของรูปแบบหลักทั้ง 15 รูปนั้น การวางตัวของสามเหลี่ยมทั้ง 256 แบบนั้นจะถูกเก็บตามลำดับมุมของลูกบาศก์ในรูปแบบของดัชนี ซึ่งดัชนีนี้จะประกอบด้วยข้อมูล 8 บิต ดังรูปที่ 2.7 โดยแต่ละบิตของข้อมูลแทนค่าของข้อมูลของมุมนั้น ๆ



รูปที่ 2.5 ลูกบาศก์สมมติที่ทาบอยู่ระหว่างสไลซ์ 2 ชั้นติดกัน



รูปที่ 2.6 รูปแบบการวางตัวของสามเหลี่ยมที่เป็นไปได้ภายในลูกบาศก์

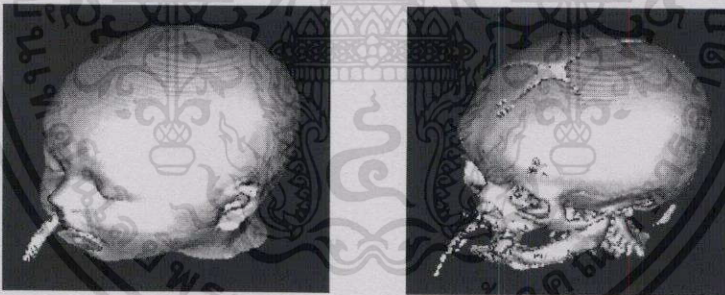


ดัชนี 

v7	v6	v5	v4	v3	v2	v1	v0
----	----	----	----	----	----	----	----

รูปที่ 2.7 การเรียงลำดับของมุม, ขอบของลูกบาศก์และดัชนี

ขั้นตอนในการสร้างภาพเริ่มจากนำข้อมูลภาพทั้งหมดมาทำการแยกกลุ่มของข้อมูลแบบไบนารี ซึ่งใช้ค่า 1 แสดงถึงอวัยวะที่ต้องการแสดง และ ค่า 0 สำหรับฉากหรือส่วนที่ไม่ต้องการแสดง จากนั้นนำลูกบาศก์สมมติเปรียบเทียบเพื่อหาการจัดเรียงของสามเหลี่ยม ทำการเก็บตำแหน่งของสามเหลี่ยม จนครบทั้งปริมาตรแล้วสร้างรูปสามเหลี่ยมแทนพื้นผิว เมื่อทำการให้แสงเงาจะได้ภาพผลลัพธ์ออกมาดังรูปที่ 2.8 โดย (ก) เป็นเลือกแสดงผิวหนึ่ง และ (ข) เป็นการแสดงส่วนที่เป็นกระโหลก



(ก) ภาพแสดงผิวหนึ่ง

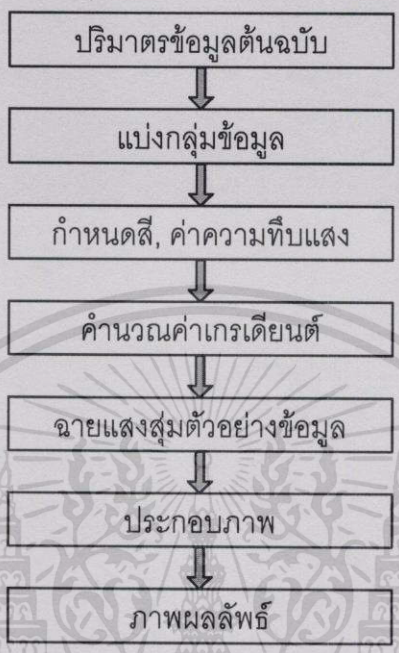
(ข) ภาพแสดงกระโหลก

รูปที่ 2.8 ภาพเชิงพื้นผิวที่ได้จากวิธีมาร์ชชิงคิวบ์

## 2.3 การสร้างภาพเชิงปริมาตร

การสร้างภาพเชิงปริมาตรเป็นวิธีการสร้างภาพสามมิติโดยพิจารณาข้อมูลทุกจุดภายในปริมาตรนั้น ทำให้เราสามารถเห็นอวัยวะหลาย ๆ ส่วนที่จำแนกออกพร้อมกันได้ และในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างภาพในลักษณะของภาพกึ่งโปร่งใส ซึ่งภาพลักษณะนี้ทำให้เราสามารถสร้างภาพของอวัยวะในส่วนที่ไม่สามารถจำแนกขอบเขตที่แน่นอนได้ ทำให้เห็นโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกันได้ ในการสร้างภาพเชิงปริมาตรทุกแบบ จะประกอบไปด้วยขั้นพื้นฐานตอนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.9 เริ่มจาก

นำข้อมูลในปริมาตรมาทำการแบ่งกลุ่ม, ทำการกำหนดค่าสีและค่าความทึบแสงให้ข้อมูลแต่ละจุดในปริมาตรตามกลุ่มของตน, คำนวณค่าเกรเดียนต์, ทำการซูมตัวอย่างข้อมูลโดยการฉายแสงแล้วจึงทำการประกอบภาพเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนพื้นฐานในการสร้างภาพเชิงปริมาตร

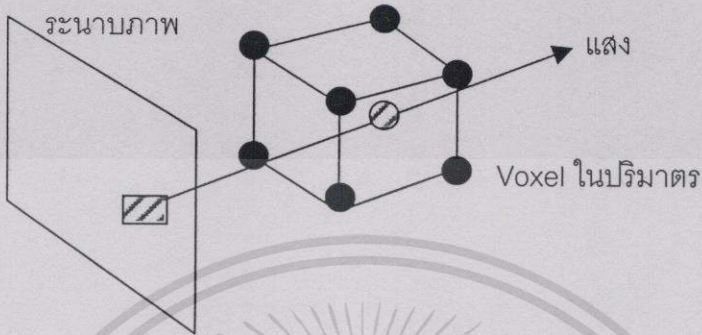


รูปที่ 2.10 ภาพเชิงปริมาตร

จากภาพข้างต้นนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับภาพเชิงพื้นผิว จะเห็นได้ว่าภาพเชิงปริมาตรนั้นเหมาะสมที่ใช่แสดงรายละเอียดของข้อมูลได้มากกว่า แต่ภาพเชิงปริมาตรนั้นมีข้อเสียคือต้องใช้ในการคำนวณจำนวนมากเนื่องจากต้องพิจารณาข้อมูลปริมาณมากซึ่งข้อมูลแต่ละจุดอาจมีปริมาณหลายเมกะไบต์ จึงได้มีงานวิจัยพัฒนาอัลกอริทึมในการสร้างภาพเชิงปริมาตรจำนวนมาก ซึ่งมีอัลกอริทึมหลัก ๆ อยู่ด้วยกัน 4 ชนิด คือ

### 2.3.1 การฉายแสง (Ray Casting)

อัลกอริทึมฉายแสง[6],[7],[8] นั้นสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยการฉายที่ละเส้นจากระนาบภาพไปทะลุผ่านปริมาตรสำหรับสร้างภาพหนึ่งจุด และทำการรวมค่าสีและค่าความทึบแสงตลอดเส้น ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะของการสร้างภาพด้วยวิธีฉายแสง

วิธีฉายแสงนี้ถูกเรียกเป็นอัลกอริทึมชนิดลำดับภาพ (Image order algorithm) เนื่องจากจะมีวงรอบนอกการทำซ้ำของพิกเซลในภาพ ดังอัลกอริทึมต่อไปนี้

```

for  $y_i = 1$  to ImageHeight
  for  $x_i = 1$  to ImageWidth
    for  $z_i = 1$  to RayLength
      for_each  $x_o$  in ResamplingFilter( $x_i, y_i, z_i$ )
        for_each  $y_o$  in ResamplingFilter( $x_i, y_i, z_i$ )
          for_each  $z_o$  in ResamplingFilter( $x_i, y_i, z_i$ )
            add contribution of Voxel[  $x_i, y_i, z_i$  ] to ImagePixel[  $x_i, y_i$  ]
  
```

} วงรอบทำซ้ำในภาพ  
} วงรอบทำซ้ำในปริมาตร

วงรอบการทำซ้ำข้างนอกด้านบน 2 วงทำซ้ำทุก ๆ พิกเซล ส่วนวงรอบต่อมาทำซ้ำทุกจุดบนทิศทางของมุมมองหรือแสงภายในมิติภาพ (Image space) ส่วนสุดท้ายเป็นสามวงรอบที่ทำซ้ำว็อกเซล (Voxel) ด้วยการใชตัวกรองสุ่มตัวอย่าง (Resampling filter) ค่าว็อกเซลจะถูกคูณด้วยสัมประสิทธิ์การกรองแล้วทำการรวมผลลัพธ์ไปเป็นภาพผลลัพธ์

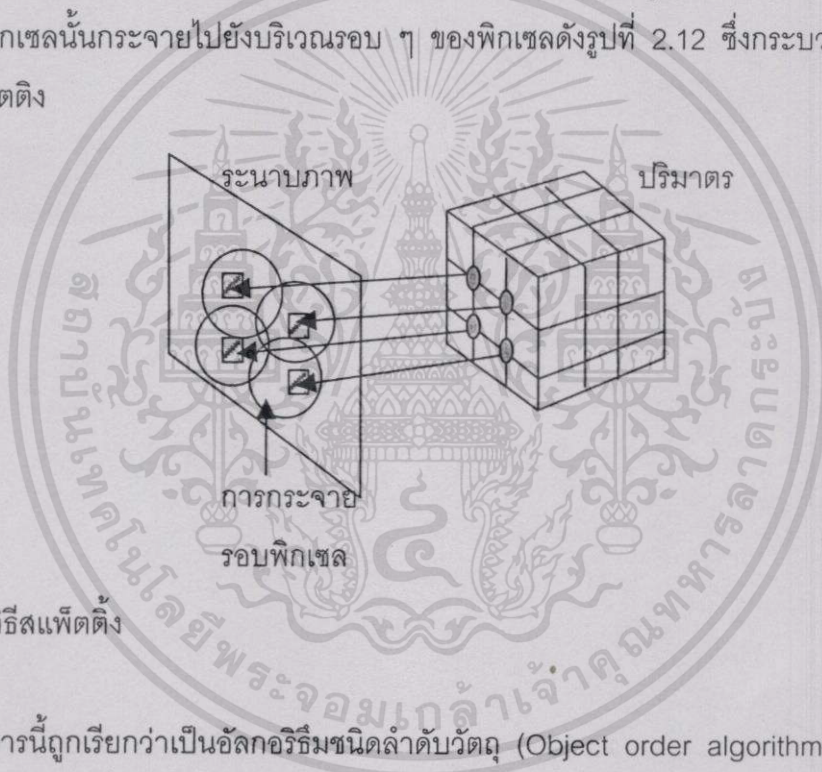
วิธีการฉายแสงอาจเรียกว่าเป็นอัลกอริทึมแบบฉายย้อนหลัง (backward projection) ก็ได้เนื่องจากวิธีนี้คำนวณความสัมพันธ์จากปริมาตรข้อมูลไปเป็นภาพโดยการฉายแต่ละพิกเซลของ

ภาพเข้าไปยังปริมาตร ทิศทางของแสงจะวิ่งจากวัตถุไปยังภาพแต่ทิศทางของมุมมองจะวิ่งจากภาพไปยังวัตถุ

ข้อเสียหลักของวิธีฉายแสงคือวิธีการนี้ไม่ได้เข้าถึงข้อมูลในระดับการจัดเก็บ (Storage order) เนื่องจากทิศทางการมองสามารถเป็นไปได้ในทิศทางต่าง ๆ ซึ่งวิธีการฉายแสงจะต้องเสียเวลาในการคำนวณหาตำแหน่งของจุดสัมผัสตัวอย่างทางเรขาคณิต และวิธีการฉายแสงนั้นใช้หน่วยความจำในการโหลดข้อมูลทั้งปริมาตรขึ้นมาเก็บไว้ก่อน เพราะไม่ได้เข้าถึงข้อมูลโดยตรง

### 2.3.2 วิธีสเปตติง (Spattig)[10]

หากเปรียบเทียบกับวิธีการฉายแสงแล้ว วิธีสเปตติงเป็นการทำงานโดยทำซ้ำบนว็อกเซล โดยอัลกอริทึมคำนวณความสัมพันธ์จากว็อกเซลไปยังภาพ โดยการคูณว็อกเซลด้วยตัวกรองที่ทำให้ค่าของว็อกเซลนั้นกระจายไปยังบริเวณรอบ ๆ ของพิกเซลดังรูปที่ 2.12 ซึ่งกระบวนการนี้เองที่เรียกว่าสเปตติง



รูปที่ 2.12 วิธีสเปตติง

วิธีการนี้ถูกเรียกว่าเป็นอัลกอริทึมชนิดลำดับวัตถุ (Object order algorithm) เพราะมีวงรอบทำซ้ำข้างนอกทำซ้ำอยู่บนว็อกเซลในปริมาตรดังอัลกอริทึมต่อไปนี้

```

for  $z_o = 1$  to VolumeDept
  for  $y_o = 1$  to VolumeHeight
    for  $x_o = 1$  to VolumeWidth
      for_each  $z_i$  in ResamplingFilter( $x_o, y_o, z_o$ )
        for_each  $y_i$  in ResamplingFilter( $x_o, y_o, z_o$ )
          for_each  $x_i$  in ResamplingFilter( $x_o, y_o, z_o$ )
            add contribution of Voxel[ $x_o, y_o, z_o$ ] to ImagePixel[ $x_i, y_i$ ]
  
```

} วงรอบทำซ้ำในปริมาตร

} วงรอบทำซ้ำในภาพ

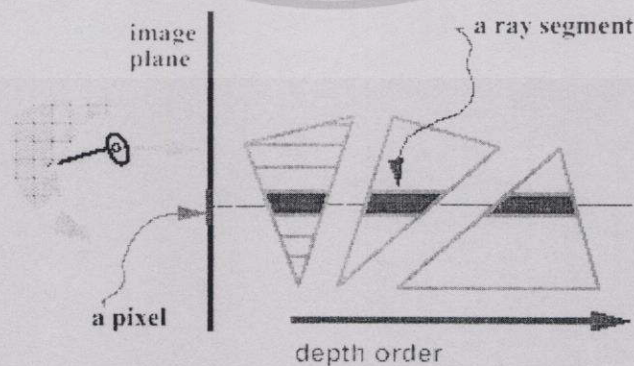
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับวิธีการฉายแสง จะเป็นวิธีการที่กลับกัน วงรอบทำซ้ำ 3 วงด้านนอกเป็นการทำซ้ำบนว็อกเซลในปริมาตร ส่วนวงรอบถัดมาเป็นการทำซ้ำของตัวกรองสุ่มตัวอย่างในแนวด้านลึกของมิติภาพ (Image space) และวงรอบสองวงที่เหลือเป็นการทำซ้ำบนพิกเซลที่ได้รับผลกระทบจากว็อกเซลที่ละว็อกเซล

วิธีสแตตติงมักถูกเรียกว่าเป็นอัลกอริธึมการฉายแบบเดินหน้า (Forward projection) เนื่องจากทำการฉายโดยตรงจากปริมาตรไปยังภาพ ทำให้ทิศทางของแสงและทิศทางของมุมมองมีทิศเดียวกัน และเนื่องจากเป็นอัลกอริธึมชนิดลำดับวัตถุทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยตรง แต่ในการคำนวณหารูปแบบของตัวกรองนั้นทำได้ยากเพราะตัวกรองในแต่ละมุมมองเป็นอิสระต่อกัน ตัวกรองนั้นต้องทำการปรับขนาด, ทำการหมุน และทำการแปลงในแต่ละทิศทางของมุมมอง และยังในการสร้างภาพแบบภาพนำสายตา (Perspective) ตัวกรองจะเปลี่ยนไปทุก ๆ ว็อกเซล ทำให้วิธีการนี้ยากที่จะปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้ดีทั้งทางด้านคุณภาพของภาพ และประสิทธิภาพทางด้านความเร็ว

### 2.3.3 การฉายเซลล์ (Cell Projection)[10]

อัลกอริธึมกลุ่มที่สามนี้เกิดจากเทคนิคการฉายเซลล์ วิธีการนี้มักใช้สำหรับการสร้างภาพเชิงปริมาตร ที่ปริมาตรถูกสุ่มออกไม่ได้อยู่บนกริด (Grid) ธรรมดาทั่วไป ขั้นตอนแรกจะเป็นการจำแนกปริมาตรให้อยู่ในรูปทรงหลายเหลี่ยม (polyhedra) โดยที่จุดยอดของรูปทรงหลายเหลี่ยมคือตำแหน่งสุ่มตัวอย่าง จากนั้นจะจัดเรียงรูปทรงหลายเหลี่ยมให้อยู่ในลำดับความลึกดังรูปที่ 2.13 แล้วทำการสแกนแปลงพื้นผิวของรูปหลายเหลี่ยมไปยังมิติภาพ ท้ายที่สุดทำการรวมค่าจากพื้นผิวด้านหน้าตลอดไปยังพื้นผิวด้านหลังของแต่ละรูปทรงหลายเหลี่ยมเพื่อคำนวณค่าสีและค่าความทึบแสงของแต่ละพิกเซล และค่านี้จะถูกนำไปประกอบเป็นภาพ



รูปที่ 2.13 ลักษณะลำดับความลึกในวิธีการฉายเซลล์

วิธีการฉายเซลล์นั้นคล้ายคลึงกับวิธีสแตดิง ยกเว้นที่วิธีนี้ทำการแปลงโดยใช้รูปหลายเหลี่ยมในการฉาย การนำอัลกอริทึมนี้ไปใช้งานนั้นใช้เวลาในการคำนวณนาน แต่การแปลงแบบรูปหลายเหลี่ยมหรือโพลิกอนนี้สามารถเร่งได้โดยใช้เครื่องมือทางด้านกราฟิกเฉพาะทาง

### 2.3.4 การสุ่มตัวอย่างแบบมัลติพาส (Multipass Resampling)

วิธีการนี้เป็นการดำเนินการสุ่มตัวอย่างในปริมาตรไปยังระบบพิกัดภาพ (Image coordinate system) ทำให้ว็อกเซลที่ผ่านการสุ่มตัวอย่างมาแล้วนั้นเรียงตัวต่อแถวกันในแกนทิศการมองของระบบพิกัดภาพ แต่ละว็อกเซลสามารถนำมาประกอบภาพคล้ายกับวิธีการฉายแสง เพียงแต่ว่าในวิธีนี้ว็อกเซลที่ถูกสุ่มตัวอย่างจะจัดเรียงตัวอยู่ในแนวแกนตลอด

อัลกอริทึมนี้การแปลงตามทิศการมองจะถูกแปลงให้เป็นลำดับการเฉือนหรือการสเกล เพื่อที่จะประยุกต์เข้ากับปริมาตรในแต่ละแนวแกน ซึ่งในแต่ละแนวแกนจะถูกเรียกเป็น "พาส" (Pass) การเฉือนหรือการสเกลแต่ละอันจะนำไปใช้สแกนร่วมกับตัวกรอง 1 มิติ ตัวอย่างเช่น ในการแปลงเรขาคณิต (Affine Transformation) จะใช้กับ 3 พาส โดยพาสแรกจะทำการสุ่มตัวอย่างในแนวแกน X ของปริมาตร ปริมาตรที่ได้ใหม่จะถูกนำไปทำการสุ่มตัวอย่างในแนวแกน Y จากนั้นผลที่ได้จะถูกนำไปเข้าพาสที่ 3 ในแนวแกน Z

อัลกอริทึมนี้เหมาะสมสำหรับเครื่องประมวลผลแบบขนานที่มีความสามารถในการใช้วิธี scanline-oriented algorithm เช่น เครื่อง Pixar Graphics Computer. ทำให้อัลกอริทึมนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานทั่วไป และคุณภาพของภาพจะลดลงเนื่องจากมีขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างหลายครั้ง

## สรุป

จากที่กล่าวมาในบทนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการสร้างภาพเชิงพื้นผิวกับการสร้างภาพเชิงปริมาตร ภาพเชิงพื้นผิวนั้นพิจารณาเฉพาะขอบของอวัยวะที่สนใจเท่านั้น แต่การสร้างภาพเชิงปริมาตรที่ให้ความละเอียดของข้อมูลมากกว่า ต้องพิจารณาข้อมูลของอวัยวะทุกส่วน ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณมาก และจุดประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์นี้คือการปรับปรุงความเร็วในการสร้างภาพเชิงปริมาตรให้เร็วขึ้น ก่อนที่จะกล่าวถึงหลักการในการปรับปรุงความเร็วนั้น ในเนื้อหาถัดไปจะกล่าวถึงทฤษฎีทางคอมพิวเตอร์กราฟิกและการประมวลผลที่จำเป็นในการสร้างภาพเชิงปริมาตรเพื่อเป็นการปูพื้นฐานในการสร้างภาพก่อน

## ทฤษฎีเบื้องต้นในการสร้างภาพสามมิติ

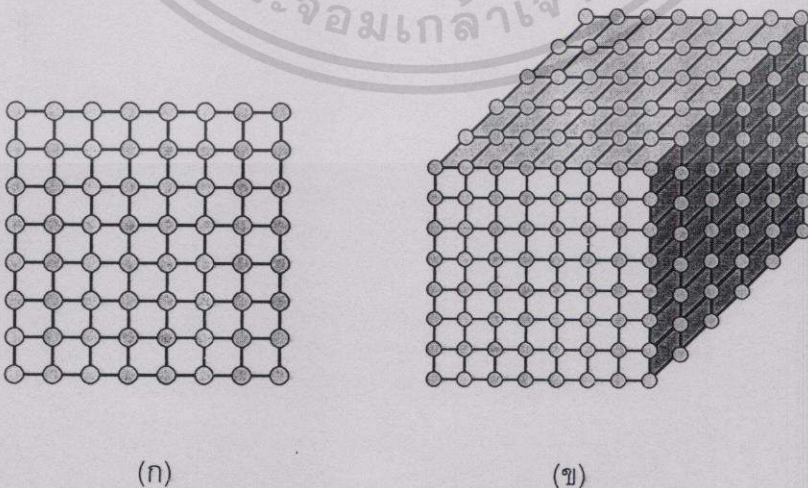
### 3.1 บทนำ

ในการสร้างภาพทางการแพทย์นั้นจำเป็นที่จะต้องนำเอาพื้นฐานและทฤษฎีของคอมพิวเตอร์กราฟิกมาประยุกต์ใช้ เริ่มตั้งแต่การอ้างอิงระบบพิกัด, การแปลงทางเรขาคณิต, ทฤษฎีสี่ ตลอดจนแบบจำลองการให้แสงเงา

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นทางคอมพิวเตอร์กราฟิก ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพทางการแพทย์ โดยจะกล่าวถึงองค์ประกอบพื้นฐานของภาพสามมิติ, การอ้างอิงระบบพิกัด และหลังจากนั้นเป็นหลักการในการสร้างภาพสามมิติต่าง ๆ เป็นลำดับ

### 3.2 องค์ประกอบพื้นฐานของภาพสามมิติ

รูปภาพในทางคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้นประกอบไปด้วยข้อมูลที่เป็นอะเรย์สองมิติ โดยข้อมูลนี้แสดงสีหรือความเข้มของแสง ซึ่งข้อมูลแต่ละตัวนั้นเราเรียกว่า "พิกเซล" (Pixel) ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบของรูปภาพนั่นเอง ในทำนองเดียวกันภาพสามมิตินั้นก็มีองค์ประกอบเป็นอะเรย์สามมิติ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบในสามมิตินั้นเราเรียกว่า "ว็อกเซล" (Voxel) โดยนิยามของว็อกเซลคือจุดในปริภูมิสามมิติซึ่งไม่มีขนาด ใช้แสดงตำแหน่งของข้อมูลปริมาตรซึ่งจะใช้เป็นนิยามในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดังรูปที่ 3.1 และในวิทยานิพนธ์เล่มนี้กำหนดให้เมื่อจุดข้อมูลภาพถูกทำการรีแซมปลิง (Resampling) หรือการสุ่มตัวอย่าง ว็อกเซลเหล่านี้จะถูกเรียกใหม่ว่าเป็นจุดแซมเปิล (Sample point)



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบในภาพสองมิติและสามมิติ (ก) พิกเซล (ข) ว็อกเซล



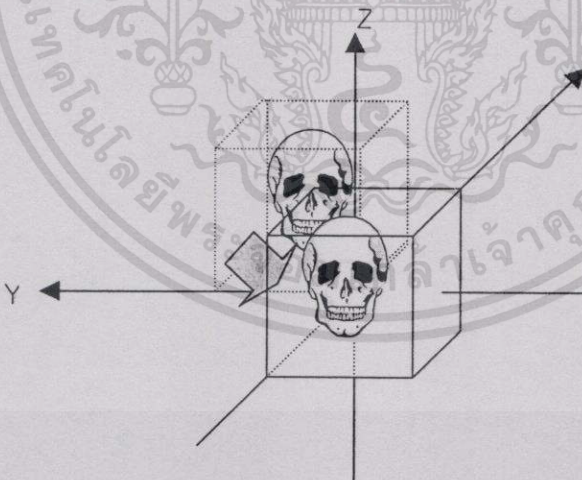
จากรูปเมตริกซ์ย่อย I เป็นส่วนที่แสดงถึงการแปลงของการสเกล, การหมุน หรือการสะท้อน ในส่วนที่ II นั้นเป็นการย้ายตำแหน่งแบบเชิงเส้น และในส่วนที่ III เป็นส่วนที่ใช้แสดงลักษณะของการฉายภาพสามมิติในแบบนำสายตา (Perspective) ซึ่งหากเป็นการฉายภาพแบบขนานส่วนนี้จะมีค่าเป็น 0 ดังรูปที่ได้กล่าวมา ซึ่งรายละเอียดของแต่ละอันแปลงมีดังนี้

### 3.4.1 การย้ายตำแหน่ง (Translation)

การแปลงแบบย้ายตำแหน่งนั้นมีเมตริกซ์ที่เป็นตัวกระทำในการย้ายตำแหน่งมีสมการดังสมการที่ 3.1

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

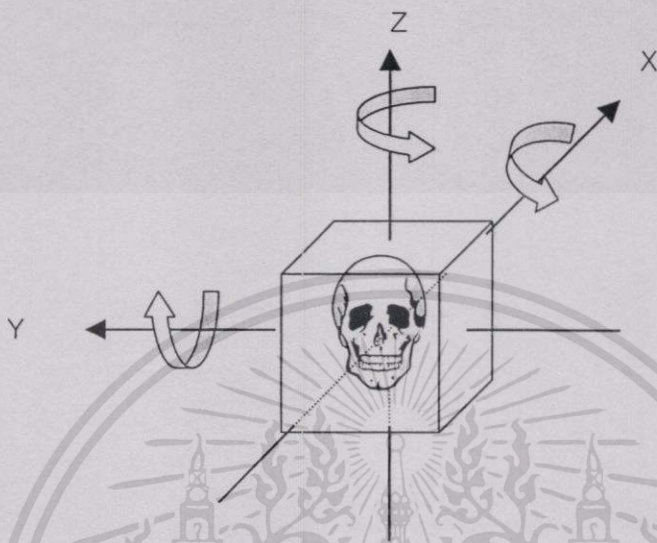
โดยที่ค่าของ  $T_x, T_y$  และ  $T_z$  แสดงถึงระยะทางที่ต้องการเคลื่อนย้ายไปเทียบกับจุดเดิม โดยเป็นระยะทางในแนวแกน x, แกน y และแกน z ตามลำดับ การแปลงแบบย้ายตำแหน่งนี้มีความสำคัญในการสร้างภาพทางการแพทย์มาก เนื่องจากก่อนที่จะมีการหมุนภาพในมุมมองต่าง ๆ นั้นเราต้องมีการเลื่อนปริมาตรต้นฉบับให้จุดศูนย์กลางของปริมาตรอยู่ที่จุดกำเนิด (0,0,0) เสียก่อนดังรูปที่ 3.4 มิฉะนั้นจะไม่ได้ภาพในแบบที่ต้องการ



รูปที่ 3.4 การย้ายตำแหน่งให้จุดศูนย์กลางปริมาตรไปอยู่ที่จุดกำเนิด

### 3.4.2 การหมุน (Rotation)

สำหรับการหมุนนั้นจะเป็นการหมุนปริมาตรรอบแกนต่าง ๆ ฉะนั้นก่อนที่จะทำการหมุนจึงจำเป็นต้องทำการย้ายจุดศูนย์กลางวัตถุมาอยู่ที่จุดกำเนิดก่อน และทำการย้ายกลับหลังจากหมุนเสร็จแล้ว ซึ่งการหมุนนั้นมีลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การแปลงแบบหมุนรอบแกนต่าง ๆ

จากภาพ เมตริกซ์ที่ใช้ในการการหมุนรอบแกน Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาคือ

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

สำหรับการหมุนรอบแกน X และแกน Y ก็มีลักษณะคล้ายกับสมการ (3.2) ซึ่งเมตริกซ์การแปลงแบบหมุนรอบแกน X คือ

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

และเมตริกซ์การแปลงแบบหมุนรอบแกน Y คือ

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

### 3.4.3 การสเกล (Scale)

การสเกลเป็นการแปลงเพื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดของวัตถุที่ต้องการ ซึ่งมีเมตริกซ์การแปลงดังสมการที่ 3.7

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

โดยที่  $S_x, S_y$  และ  $S_z$  คือค่าสัมประสิทธิ์การสเกลสำหรับพิกัด  $x, y$  และ  $z$  ตามลำดับ ซึ่งถ้า  $S_x, S_y, S_z$  มีค่ามากกว่า 1 จะเป็นการขยาย แต่ถ้าหากมีค่าน้อยกว่า 1 จะเป็นการย่อส่วน

### 3.4.4 การแปลงแบบผสม

ในการใช้งานในการแปลงมีบ่อยครั้งที่เราต้องทำการแปลงหลาย ๆ ชนิดติดต่อกันไป ดังตัวอย่างเช่นเราต้องทำการแปลงแบบย้ายก่อนที่จะทำการแปลงแบบหมุนแล้วทำการย้ายกลับที่เดิม แต่เนื่องจากข้อดีของการใช้โฮโมจีเนียสเมตริกซ์ คือเราสามารถทำการรวมการแปลงหลาย ๆ ขั้นตอนไว้ในเมตริกซ์เพียงตัวเดียวโดยการหาผลคูณของเมตริกซ์ ตัวอย่างหากต้องการหมุนรอบแกน  $Z$  จากนั้นทำการหมุนรอบแกน  $Y$  เราสามารถหาเมตริกซ์การแปลง  $M$  คือ

$$M = R_z \times R_y \quad (3.8)$$

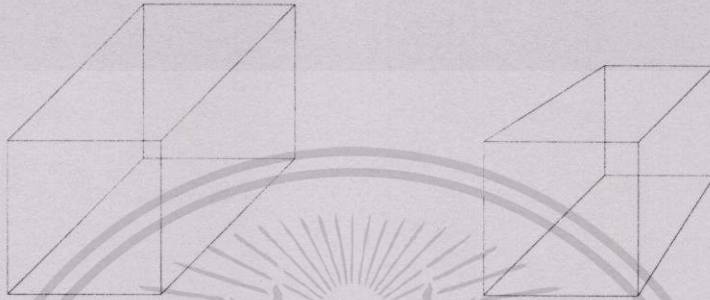
$$M = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$M = \begin{bmatrix} \cos\phi \cos\psi & -\sin\phi & \cos\phi \sin\psi & 0 \\ \sin\phi \cos\psi & \cos\phi & \sin\phi \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

และเนื่องจากเมตริกซ์ไม่มีคุณสมบัติของการสลับที่ในการคูณ ถ้าให้  $M = T \times R$  และ  $M' = R \times T$  จะได้ว่าในบางกรณีนั้น  $M \neq M'$

### 3.5 ประเภทของภาพสามมิติ

ภาพสามมิติที่สร้างขึ้นโดยคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้นจะมีด้วยกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ ภาพสามมิติแบบอ็อบบลิค (Oblique) และภาพสามมิติแบบนำสายตาหรือเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งภาพแบบอ็อบบลิคนั้นจะมีลักษณะสัดส่วนชัดเจน ส่วนในภาพแบบนำสายตาจะเป็นภาพเหมือนการมองในโลกความเป็นจริง ซึ่งสิ่งที่อยู่ไกลจะมองเห็นมีขนาดเล็กลง



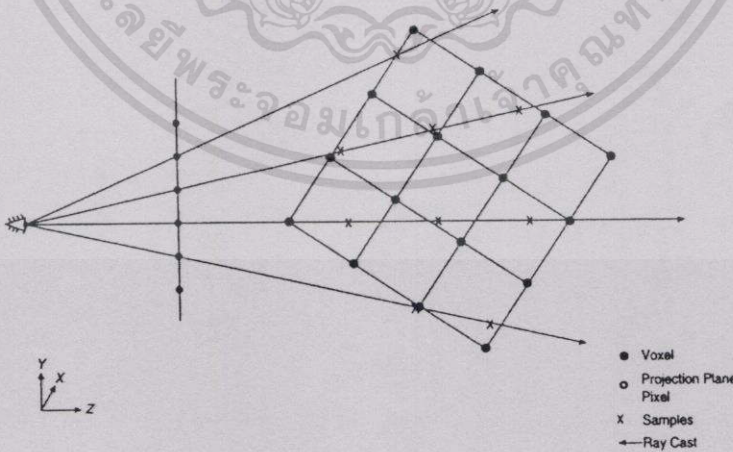
(ก) ภาพอ็อบบลิค

(ข) ภาพนำสายตา

รูปที่ 3.6 ภาพสามมิติทั้ง 2 รูปแบบ

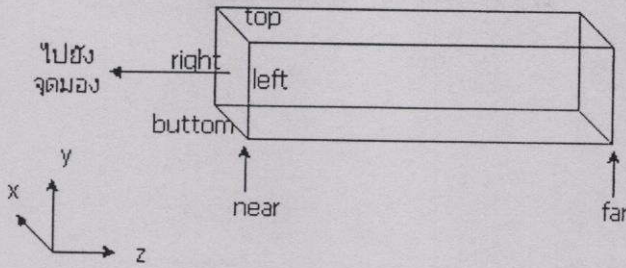
#### 3.5.1 ภาพสามมิติแบบนำสายตา

ภาพแบบนำสายตาหรือภาพเปอร์สเปกทีฟนั้นเป็นภาพแบบมองลึกเข้าไป โดยจะเห็นได้ว่าวัตถุที่อยู่ไกลออกไปจะมีขนาดเล็กกว่าวัตถุที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีลักษณะในการสร้างดังรูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 การฉายภาพในแบบนำสายตา





รูปที่ 3.9 การเกิดภาพสามมิติแบบอ็อบบลิค

เราสามารถเขียนเมตริกซ์การแปลงของการสร้างภาพแบบอ็อบบลิคได้เป็น

$$\begin{bmatrix} \frac{2}{\text{right} - \text{left}} & 0 & A & t_x \\ 0 & \frac{2}{\text{top} - \text{bottom}} & B & t_y \\ 0 & 0 & \frac{2}{\text{far} - \text{near}} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

โดยที่

$$t_x = \frac{\text{right} + \text{left}}{\text{right} - \text{left}}$$

$$t_y = \frac{\text{top} + \text{bottom}}{\text{top} - \text{bottom}}$$

$$t_z = -\frac{\text{far} + \text{near}}{\text{far} - \text{near}}$$

### 3.6 การส่องสว่างและการให้แสงเงา (Illumination and Shading)

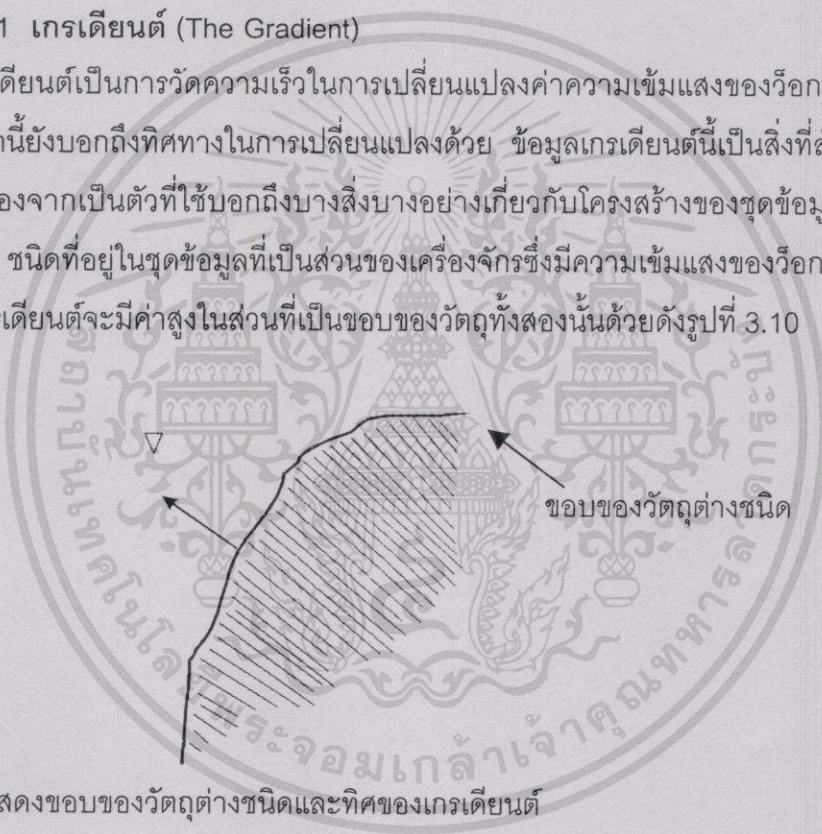
การส่องสว่างและการให้แสงเงาเป็นเทคนิคที่รู้จักกันดีในคอมพิวเตอร์กราฟิกซึ่งใช้สำหรับการเน้นให้กราฟิกสามมิติที่สร้างขึ้นดูมีมิติสมจริง โดยที่การให้แสงเงาเป็นความพยายามที่จะจำลองผลของเงา, การกระเจิงของแสง และการดูดกลืนที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบไปยังวัตถุในโลกของความเป็นจริง [11], [12], [13]

ส่วนแบบจำลองการส่องสว่างนั้นเป็นสิ่งที่ใช้อธิบายถึงวิธีการกำหนดสีไปยังจุดบนปริภูมิ โดยมีพื้นฐานอยู่บนการฉายแสงลงไปยังจุดบนพื้นผิว, มุมระหว่างผู้สังเกตกับแสง คุณสมบัติของวัตถุและทิศทางการหันเหกับตำแหน่งในปริภูมิ แบบจำลองการให้แสงเงาจะเป็นกรอบล้อมให้แบบจำลองการส่องสว่าง โดยที่แบบจำลองการให้แสงเงาเป็นการพิจารณาว่าเมื่อใช้แบบจำลองการส่องสว่างกับจุดใด ๆ แล้วจะได้ตัวแปร(Parameter)ใดที่ออกมาจากแบบจำลองการส่องสว่างหรือแม้กระทั่งตัวแปรที่ได้ออกมาจากแบบจำลองการให้แสงเงานั้นเองด้วย ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองการส่องสว่างและแบบจำลองการให้แสงเงาเป็นสิ่งสำคัญซึ่งจะกล่าวถึงภายหลัง

เป้าหมายของคอมพิวเตอร์กราฟิกแบบดั้งเดิมคือ การสร้างภาพให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับภาพถ่าย แต่สำหรับการสร้างภาพเชิงปริมาตรแล้วการสร้างภาพให้มีลักษณะที่เหมือนภาพถ่ายนั้นไม่ใช่จุดมุ่งหมายประการแรก แต่เป้าหมายแรกของการให้แสงเงาลับเป็นการเน้นให้การแสดงชุดข้อมูลสามารถทำได้ดีขึ้น ชุดข้อมูลเชิงปริมาตรสามารถใช้แสดงวัตถุและสิ่งต่างๆ ที่อยู่ภายในปริมาตรนั้น เช่นอวัยวะของมนุษย์, ชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักร หรืออาจเป็นชั้นต่างๆ ของเปลือกโลก สิ่งต่างๆ ที่อยู่ภายในปริมาตรเหล่านี้ไม่สามารถมองเห็นทะลุเข้าไปได้ในโลกของความเป็นจริง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะทำแสงเงาของสิ่งที่อยู่ภายในเหล่านี้ให้เหมือนจริงเนื่องจากเราไม่สามารถอ้างอิงได้ว่าในโลกความเป็นจริงแล้วสิ่งภายในนั้นควรเป็นอย่างไร

### 3.6.1 เกรเดียนต์ (The Gradient)

เกรเดียนต์เป็นการวัดความเร็วในการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงของว็อกเซลในชุดข้อมูล นอกจากนี้ยังบอกถึงทิศทางในการเปลี่ยนแปลงด้วย ข้อมูลเกรเดียนต์นี้เป็นสิ่งที่สำคัญในการสร้างภาพเนื่องจากเป็นตัวที่ใช้บอกถึงบางสิ่งบางอย่างเกี่ยวกับโครงสร้างของชุดข้อมูล ตัวอย่างเช่น โลหะ 2 ชนิดที่อยู่ในชุดข้อมูลที่เป็นส่วนของเครื่องจักรซึ่งมีความเข้มแสงของว็อกเซลแตกต่างกัน ดังนั้นเกรเดียนต์จะมีค่าสูงในส่วนที่เป็นขอบของวัตถุทั้งสองนั้นด้วยดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงขอบของวัตถุต่างชนิดและทิศของเกรเดียนต์

จะเห็นได้ว่าเกรเดียนต์คือเวกเตอร์สามมิติ ที่มีทิศทางชี้ไปยังจุดที่มีตำแหน่งแน่นอนในปริภูมิสามมิติ ซึ่งใช้บอกทิศทางการหันเหของโครงสร้างในชุดข้อมูลดังสมการที่ 3.13 และขนาดของเกรเดียนต์ในสมการที่ 3.14

$$\nabla = [x \ y \ z] \quad (3.13)$$

$$|\nabla| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (3.14)$$

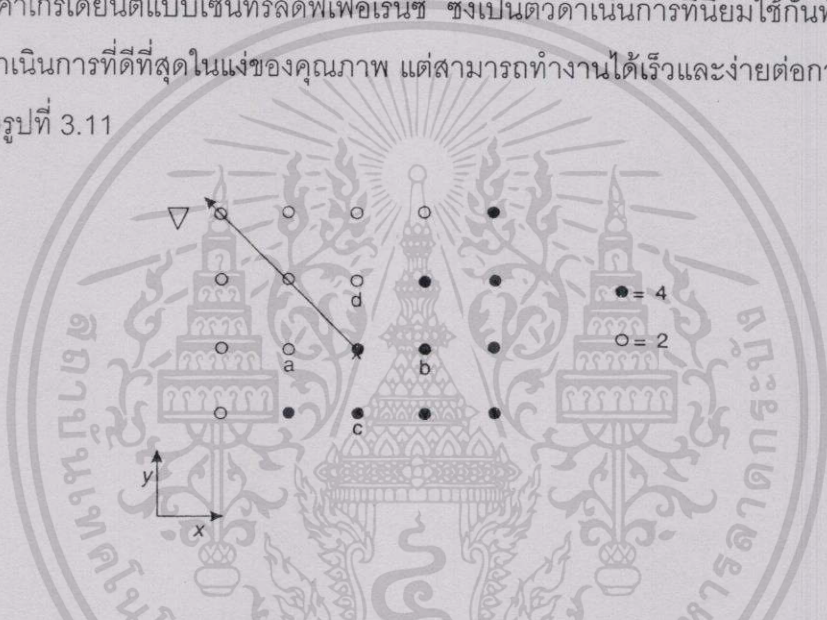
เมื่อ  $\nabla$  เป็นสัญลักษณ์แทนเกรเดียนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนขนาดของเกรเดียนต์นั้นจะใช้เป็นตัวบอกความเร็วในการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงภายในชุดข้อมูล ถ้าขนาดของเกรเดียนต์มีค่าเป็นศูนย์นั้นหมายความว่าค่าของว็อกเซลที่อยู่รอบข้างจุดที่สนใจไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสง และถ้าพิจารณาในแง่ทางคณิตศาสตร์จะพบว่าเกรเดียนต์ก็คือการหาอนุพันธ์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้วัดถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน ซึ่งก็คือฟังก์ชันค่าความเข้มแสงของว็อกเซลในชุดข้อมูลนั่นเอง

### 3.6.1.1 ตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์ (The Central Difference Gradient Estimator)

ในการคำนวณค่าเกรเดียนต์นั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์ ซึ่งเป็นตัวดำเนินการที่นิยมใช้กันทั่วไป แม้ว่าจะไม่ใช่ตัวดำเนินการที่ดีที่สุดในแง่ของคุณภาพ แต่สามารถทำงานได้เร็วและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ลักษณะและทิศทางของค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์

ตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์มีนิยามดังนี้

$$D_x = f(x-1, y, z) - f(x+1, y, z) \quad (3.15)$$

$$D_y = f(x, y-1, z) - f(x, y+1, z) \quad (3.16)$$

$$D_z = f(x, y, z-1) - f(x, y, z+1) \quad (3.17)$$

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

$$D = [D_x \ D_y \ D_z] \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.15 ถึง 3.17 สังเกตได้ว่าตัวประมาณค่าเกรเดียนต์แบบเซ็นทรัลดิฟเฟอเรนซ์ประกอบไปด้วยการลบอย่างเดียว ดังนั้นจึงง่ายแก่การเขียนโปรแกรมและการสร้างฮาร์ดแวร์ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่ใช่ตัวดำเนินการที่ให้ความถูกต้องมากนัก บ่อยครั้งตัวดำเนินการแบบนี้ถูกเรียกว่าตัวดำเนินการแบบหกจุด (Six-Point Operator) เนื่องนำว็อกเซล 6 จุด มาทำการคำนวณ

หากเขียนตัวดำเนินการตัวนี้ในลักษณะเคอร์เนลคอนโวลูชัน (Convolution Kernel) สามารถเขียนได้ในลักษณะที่เหมือนกันในแนวแกน  $x, y$  และ  $z$  ซึ่งสามารถเขียนมันในลักษณะเคอร์เนล 1 มิติได้ดังนี้

$$D_{x,y,x} = [-1 \ 0 \ 1] \quad (3.19)$$

### 3.6.1.2 เกรเดียนต์กับการสร้างภาพเชิงปริมาตร

ในคอมพิวเตอร์กราฟิกแบบดั้งเดิมนั้น เวกเตอร์ปกติของพื้นผิวเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการให้แสงเงาแก่พิกเซลของโพลิกอนที่ถูกสร้างขึ้น และเวกเตอร์ปกตินั้นจะถูกใช้ในแบบจำลองการให้แสงเงาของ Gouraud และ Phong ร่วมกับข้อมูลอื่นๆ เช่น ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง, สีและคุณสมบัติของวัสดุที่กำหนดให้แก่โพลิกอน จุดประสงค์ทั้งหมดนี้ก็เพื่อให้ภาพที่สร้างขึ้นมีลักษณะที่เหมือนจริงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่สำหรับการสร้างภาพเชิงปริมาตรแล้วการคำนวณหาเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากพื้นผิวในชุดข้อมูลมีตำแหน่งที่ไม่ชัดเจน ดังนั้นเกรเดียนต์จึงถูกนำมาใช้แทนเวกเตอร์ปกติของพื้นผิวในแบบจำลองการส่องสว่าง

### 3.6.2 การให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong (Gouraud And Phong Shading)

ในเอกสารอ้างอิงทางคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้นบ่อยครั้งมักมีการอ้างอิงถึงคำว่าให้การให้แสงเงาหรือการส่องสว่างของ Phong และ Gouraud [12] ซึ่งทั้ง Henri Gouraud และ Bui Tuong Phong ได้พัฒนาเทคนิคที่ทำให้รูปทรงทางเรขาคณิตต่างๆ ที่สร้างขึ้นบนคอมพิวเตอร์มีลักษณะที่ดูสมจริงโดย Henri Gouraud นำเสนอผลงานของเขาในปี ค.ศ. 1971 และ Bui Tuong Phong ในปี ค.ศ. 1975 การให้แสงเงาแบบ Phong และ Gouraud นั้นเป็นการอ้างอิงถึงแบบจำลอง 2 แบบที่แตกต่างกัน ซึ่งนำไปใช้กับโพลิกอนโดยที่แบบจำลองการให้แสงเงาทั้งสองนี้สามารถนำไปใช้กับแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ได้ แต่อาจจะทำให้เกิดการสับสนได้เนื่องจาก Phong นั้นมีแบบจำลองของการส่องสว่างและการให้แสงเงาในขณะที่ Gouraud มีเพียงแค่แบบจำลองการให้แสงเงา ซึ่งความแตกต่างของแบบจำลองการให้แสงเงาทั้งสองจะกล่าวถึงในภายหลัง

### 3.6.3 แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong (The Phong Illumination Model)

จุดมุ่งหมายของแบบจำลองการส่องสว่างคือการจำลองการสะท้อนแสงบนพื้นผิวและผลที่เกิดขึ้นกับสีของพื้นผิว เช่น ลักษณะการสะท้อนแสงบนพื้นผิวของลูกโบว์ลิ่ง (Bowling) เมื่อมีแสงสีขาวพุ่งไปตกกระทบ ซึ่งบริเวณที่แสงส่องถูกพื้นผิว สีของบริเวณนั้นก็จะเป็นสีขาว จุดมุ่งหมายอีกประการหนึ่งของการออกแบบแบบจำลองการส่องสว่างคือการทำให้แบบจำลองนั้นอยู่ในรูปแบบที่ง่าย ซึ่งจะทำให้การคำนวณมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากอดีตเมื่อแบบจำลองการส่องสว่างถูกพัฒนาขึ้นนั้น มีอยู่น้อยมากที่ความถูกต้องทางกายภาพจะถูกพิจารณาถึง เนื่องจากสิ่งสำคัญคือประสิทธิภาพในการคำนวณ ไม่ใช่ความถูกต้องทางกายภาพและปรากฏการณ์ของแสงซึ่งอยู่เบื้องหลังแบบจำลองเช่น การให้แสงเงา, เงา และอื่นๆ

แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong เป็นการอธิบายถึงผลของแสงแวดล้อม (Ambient Light) รวมถึงการสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) และการสะท้อนแบบกระจก (Specular Reflection) ของแสงซึ่งตกกระทบลงบนพื้นผิว แบบจำลองการส่องสว่างนี้มีพื้นฐานจากการพิจารณาจุดต่างๆ บนพื้นผิวซึ่งแสงตกกระทบลงไป

#### 3.6.3.1 แสงแวดล้อม (Ambient Light)

แหล่งกำเนิดแสงแวดล้อม คือแสงซึ่งมีค่าความเข้มแสงเท่ากันทุก ๆ ที่บนฉากที่สร้างขึ้น ซึ่งไม่ใช่แหล่งกำเนิดแสงโดยตรงและค่าของแสงแวดล้อมนี้ก็ไม่ขึ้นอยู่กับมุมของแสงที่ทำมุมตกกระทบกับพื้นผิว สีของพื้นผิวเมื่อแสงแวดล้อมนี้ไปกระทบสามารถอธิบายได้ดังนี้

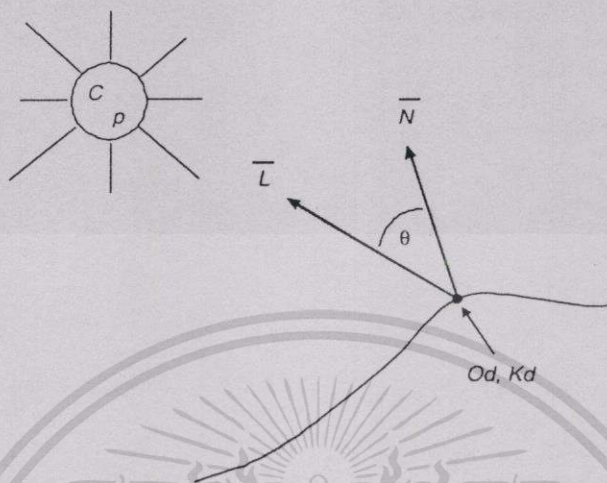
$$C_o = C_a k_a O_d \quad (3.20)$$

เมื่อ  $C_o$  คือค่าสีผลลัพธ์ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากแสงแวดล้อมที่มีสี  $C_a$  ส่องไปยังจุดบนวัตถุ,  $k_a$  คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสงแวดล้อม ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 และเป็นสิ่งที่ใช้แยกความแตกต่างของวัตถุที่อยู่ในภาพ เช่น วัสดุสีดำจะดูดกลืนแสงมากกว่าวัตถุสีขาว ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแวดล้อมของมันจึงมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ส่วน  $O_d$  คือ สีของการกระจายของจุดบนวัตถุ ซึ่งสมการที่ 3.20 นี้จำเป็นต้องทำการคำนวณ 3 ครั้งสำหรับแต่ละองค์ประกอบสี นั่นคือ แดง, เขียวและน้ำเงิน

#### 3.6.3.2 การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection)

การสะท้อนแบบกระจายเกิดจากการที่แหล่งกำเนิดแสงแบบจุดในฉากแผ่รังสีออกมาแบบเอกรูป (Uniform) ในทุกๆ ทิศทาง สีของจุดบนพื้นผิวจะแปรไปตามทิศทางการหันเหของพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสงและระยะทางจากจุดที่ทำการคำนวณไปยังแหล่งกำเนิดแสง ส่วนมากแล้วระยะ

ทางระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับพื้นผิวมักไม่นำมาพิจารณา ซึ่งกล่าวได้ว่าตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงอยู่ที่อนันต์ ดังนั้นการคำนวณจึงเหลือเพียงแค่มุมระหว่างพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดบวกกับผลจากแบบจำลองแสงเวดล้อมเท่านั้นซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจาย

ทิศทางการหันเหของพื้นผิวสามารถอธิบายได้ด้วยเวกเตอร์ปกติ  $N$  ที่จุดซึ่งต้องการให้แสงเงา สำหรับเวกเตอร์ของจุดบนพื้นผิวไปยังแหล่งกำเนิดแสงนั้นเขียนแทนด้วย  $L$  ในกรณีที่แสงอยู่ที่ตำแหน่งอนันต์จะถือว่า  $L$  มีค่าคงที่ แต่ก่อนที่จะนำเวกเตอร์ทั้งสองมาใช้ในแบบจำลองการให้แสงเงานั้นจำเป็นต้องทำการนอร์มอลไลซ์ (Normalize) ก่อนซึ่งจะได้เป็น  $\bar{N}$  และ  $\bar{L}$  ส่วนมุมระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและเวกเตอร์ปกติคือ  $\theta$  (ดังรูปที่ 3.12) ดังนั้นแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ซึ่งมีการสะท้อนแบบกระจายรวมอยู่ด้วยจะเป็นดังสมการที่ 3.21

$$C_o = C_a k_a O_d + C_p k_d O_d \cos \theta \quad (3.21)$$

เมื่อ  $C_p$  คือสีของแหล่งกำเนิดแสงแบบจุด,  $k_d$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนแบบกระจาย และ  $\theta$  คือมุมระหว่างเวกเตอร์แหล่งกำเนิดแสงกับเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว พิจารณาพจน์ที่สองในสมการที่ 3.21 ถ้ามุม  $\theta$  มีค่าเท่ากับ 90 องศาจะทำให้  $\cos \theta$  มีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือไม่มีผลของการสะท้อนแบบกระจายเกิดขึ้น ในขณะที่ถ้ามุม  $\theta$  เป็น 0 องศาจะเกิดผลของการสะท้อนแบบกระจายมากที่สุด เนื่องจากในขณะนี้  $\cos \theta$  มีค่าเท่ากับ 1.0 แบบจำลองนี้จะให้ค่าที่ถูกต้อง ถ้ามุมระหว่าง  $\bar{N}$  และ  $\bar{L}$  อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 90 องศา และผลของการสะท้อนแบบกระจายจะหมดไปถ้ามุมเกิน 90 องศา ซึ่งเหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวนั้นเป็นส่วนที่อยู่ด้านหลังของวัตถุ

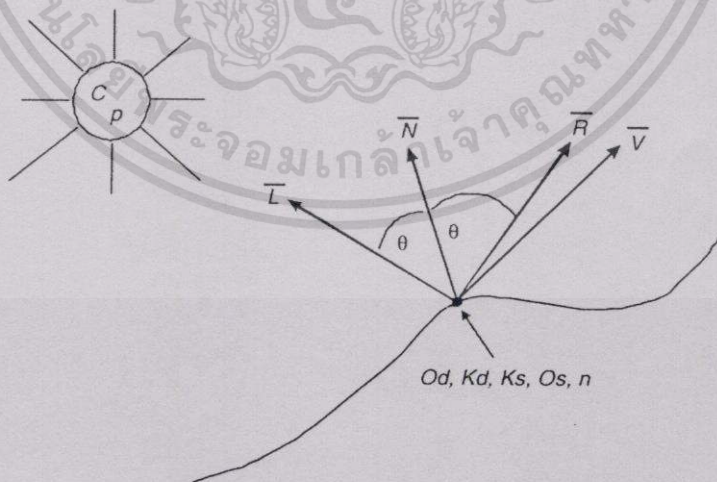
สมการ 3.21 นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ และ ได้ดังนี้

$$C_o = C_a k_a O_d + C_p k_d O_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) \quad (3.22)$$

สมการ 3.22 นี้จะถูกใช้ในการคำนวณ 3 ครั้งสำหรับแต่ละองค์ประกอบสี ซึ่งก็คือสีแดง, เขียว และน้ำเงิน เช่นเดียวกับสมการที่ 3.21

### 3.6.3.3 การสะท้อนแสงแบบกระจก (Specular Reflection)

การสะท้อนแสงแบบกระจก (Specular Reflection) มีลักษณะดังรูปที่ 3.13 ในแบบจำลองการส่องสว่างเกิดขึ้นเนื่องจากการเน้นจุดสว่างของการฉายแสง (Shiny Highlights) ตัวอย่างเช่น จุดสีขาวที่มีลักษณะสว่างกว่าบริเวณอื่นบนลูกโบว์ลิง ซึ่งเกิดเนื่องจากการฉายแสงสีขาวลงบนพื้นผิว ในความเป็นจริงนั้น ดวงตาของมนุษย์สามารถมองเห็นลูกโบว์ลิงได้ทั้งลูกเนื่องจากองค์ประกอบของแสงแวดล้อมและการสะท้อนแสงแบบกระจายในแบบจำลองการส่องสว่าง การสะท้อนแสงแบบกระจกนี้จะส่งผลในบริเวณใดบริเวณหนึ่งที่แน่นอน และความเข้มแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวก็จะมีลักษณะที่ชัดเจนรอบจุดที่ตกกระทบ การสะท้อนแสงแบบนี้จะมีตัวแปร  $n$  เป็นเลขยกกำลังที่ควบคุมผลการสะท้อนของแสงสำหรับวัตถุที่เป็นตัวสะท้อนอย่างสมบูรณ์ เช่น กระจก จะมีค่า  $n$  เป็นอนันต์ ถ้าตาของผู้สังเกตอยู่ในแนวเดียวกับแสงที่ถูกสะท้อนออกมา ผู้สังเกตจะเห็นเพียงแค่มวลของการสะท้อนแสงแบบกระจกเท่านั้น



รูปที่ 3.13 องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจก

บ่อยครั้งที่การสะท้อนแสงแบบกระจกไม่ขึ้นอยู่กับสีบนพื้นผิวของวัตถุเลย แต่จะถูกสมมติว่าสีที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนแสงชนิดนี้เป็นสีขาวเสมอ แบบจำลองการส่องสว่างของ Phong ซึ่งมีการพิจารณาองค์ประกอบของการสะท้อนแสงแบบกระจกเป็นดังสมการที่ 3.23

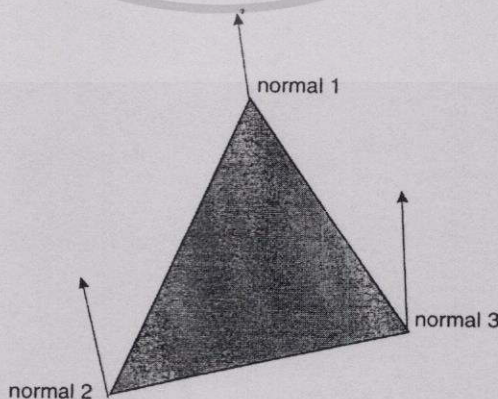
$$C_o = C_a k_a O_d + C_p [k_d O_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) + k_s O_s (\vec{R} \cdot \vec{V})^n] \quad (3.23)$$

เมื่อ  $k_s$  คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงแบบกระจกและเป็นคุณสมบัติของวัสดุด้วย,  $\vec{R}$  คือ เวกเตอร์การสะท้อน (Reflection Vector) ที่ถูกนอร์มอลไลซ์ (Normalize) แล้ว ซึ่ง  $\vec{R}$  นี้คือทิศทางของแสงซึ่งจะถูกสะท้อนในกรณีที่แสงตกกระทบกับวัตถุที่มีคุณสมบัติการสะท้อนแสงอย่างสมบูรณ์ หรือถ้าจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งมันก็คือเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งสะท้อนออกมาจากเวกเตอร์ปกติ  $\vec{N}$  นั้นเอง ส่วน  $\vec{V}$  คือเวกเตอร์จากจุดซึ่งจะถูกให้แสงเงาไปยังผู้สังเกต ผลคูณภายในระหว่างเวกเตอร์  $\vec{R}$  และ  $\vec{V}$  เกิดขึ้นเนื่องจากในความเป็นจริงแล้ว ผู้สังเกตอาจไม่สามารถมองตรงจุดของการสะท้อนได้เสมอไป ซึ่งนั่นก็คือ  $\vec{R}$  และ  $\vec{V}$  ไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ผลของผลคูณภายในจะถูกทำให้มีน้ำหนักขึ้นด้วยการยกกำลัง  $n$  ซึ่ง  $n$  ก็คือเลขยกกำลังของการสะท้อนแบบกระจกเพื่อสร้างลักษณะการสะท้อนที่เด่นชัดขึ้น

ยังมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการส่องสว่างและการให้แสงเงาที่จะไม่กล่าวถึง เนื่องจากไม่มีส่วนสำคัญในการสร้างภาพเชิงปริมาตร เช่นการลดทอนของแหล่งกำเนิดแสง พื้นฐานทางกายภาพของแบบจำลองการส่องสว่างและอื่นๆ

#### 3.6.4 ความแตกต่างของแบบจำลองการให้แสงเงาแบบ Gouraud และ Phong

ทั้งแบบจำลองการให้แสงเงาของ Gouraud และ Phong นั้นควรนำมาใช้ประกอบกับแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong (โดยใช้สมการที่ 3.23) ซึ่งความแตกต่างของแบบจำลองทั้งสองนั้น จะเห็นได้ชัดขึ้นเมื่อนำมาใช้กับแบบจำลองการส่องสว่าง ดังโพลิกอนตัวอย่างในรูปที่ 3.14

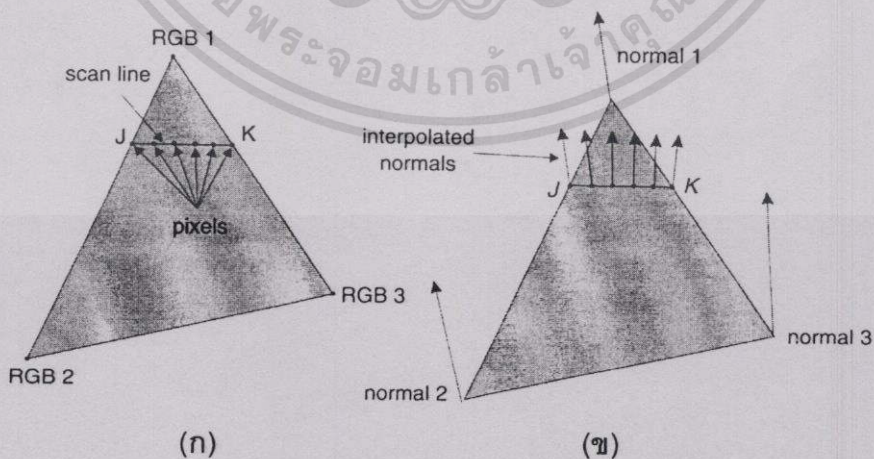


รูปที่ 3.14 ลักษณะของโพลิกอนและเวกเตอร์ปกติที่แต่ละมุม

ในการให้แสงเงาแก่แบบจำลองซึ่งประกอบขึ้นจากโพลิกอนนั้นจำเป็นต้องมีการคำนวณหาค่าเวกเตอร์ปกติที่มุมของโพลิกอนก่อนดังรูปที่ 3.14 ซึ่งเวกเตอร์ปกติเหล่านี้จะถูกใช้ร่วมกับแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong โดยจะส่งผลกับสีที่แต่ละมุม ขั้นตอนหลังจากนั้นจะมีการคำนวณสองวิธีที่แตกต่างกัน

การให้แสงเงาแบบ Gouraud จะเติมสีที่เกิดเนื่องจากการส่องสว่างเข้าไปที่มุมและทำการอินเทอร์โพลเลตสีเหล่านี้บนเส้นขอบและบนเส้นสแกนของโพลิกอนดังรูปที่ 3.15 (ก) ค่าสีที่จุด J จะถูกอินเทอร์โพลเลตจากสี RGB1 และ RGB2 ส่วนค่าสีที่จุด K จะถูกอินเทอร์โพลเลตจากจุด RGB1 และ RGB3 ค่าสีถัดไปที่พิกเซลบนเส้นสแกนจะถูกอินเทอร์โพลเลตจากค่าสีที่จุด J และ K หลังจากที่ได้คำนวณเส้นสแกนเสร็จแล้วก็จะคำนวณในเส้นสแกนถัดไปจนกระทั่งรูปสามเหลี่ยมถูกสแกนทั้งหมด

การให้แสงเงาแบบ Phong จะใส่เวกเตอร์ปกติเข้าไปที่จุดยอดและทำการอินเทอร์โพลเลตเวกเตอร์ปกติเหล่านี้บนเส้นขอบและบนเส้นสแกนของโพลิกอนดังรูปที่ 3.15 (ข) เวกเตอร์ปกติที่จุด J และ K จะถูกคำนวณโดยการอินเทอร์โพลเลตเวกเตอร์ปกติเหล่านี้จากมุมของโพลิกอน และหลังจากนั้นเวกเตอร์ปกติที่ได้นี้จะถูกอินเทอร์โพลเลตไปบนเส้นสแกนซึ่งแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong จะถูกใช้กับทุกพิกเซลบนเส้นสแกน วิธีการนี้จะเป็นวิธีการให้แสงเงาแก่โพลิกอนได้ถูกต้องมากกว่า เนื่องจากแบบจำลองการส่องสว่างจะถูกใช้กับทุกๆ จุดบนโพลิกอนแทนที่จะเป็นการอินเทอร์โพลเลตสีที่มุม อย่างไรก็ตามแบบจำลองการให้แสงเงาแบบ Phong จะมีการคำนวณที่มากกว่าแบบจำลองของ Gouraud ไม่ใช่แค่เพียงเพราะว่าแบบจำลองการส่องสว่างถูกใช้บ่อยกว่า แต่ยังเป็นเพราะการอินเทอร์โพลเลตนั้นจำเป็นต้องทำการนอร์มอลไลซ์เวกเตอร์ปกติด้วย



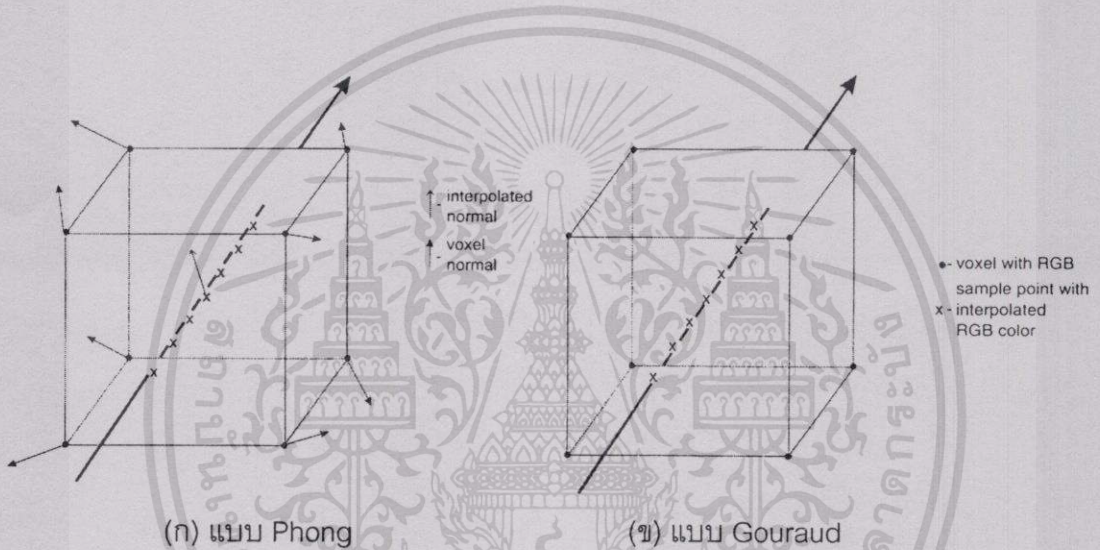
รูปที่ 3.15 (ก) การให้แสงเงาแบบ Gouraud

(ข) การให้แสงเงาแบบ Phong

### 3.6.5 การให้แสงเงากับการสร้างภาพเชิงปริมาตร

ในการสร้างภาพเชิงปริมาตรนั้นสามารถแยกความแตกต่างระหว่างการให้แสงเงาแบบ Phong และ Gouraud ได้เช่นเดียวกับการสร้างภาพของโพลิกอนในหัวข้อที่ผ่านมา โดยที่การให้แสงเงาแบบ Phong จะเป็นการอินเทอร์โพลค่าความเข้มแสงของว็อกเซล และค่าเวกเตอร์ปกติที่จุดแซมเปิล แล้วใช้ค่าทั้งสองในแบบจำลองการส่องสว่างของ Phong เพื่อคำนวณหาค่าสีของจุดแซมเปิลดังรูปที่ 3.16 ก

ส่วนการให้แสงเงาแบบ Gouraud จะเป็นการคำนวณค่าแสงเงาของแต่ละว็อกเซลออกมา ก่อน จากนั้นจึงทำการอินเทอร์โพลค่าสีที่ได้จากการให้แสงเงาไปยังจุดแซมเปิลที่ต้องการดังรูปที่ 3.16 ข



รูปที่ 3.16 การให้แสงเงาในการสร้างภาพเชิงปริมาตร (ก) แบบ Phong (ข) แบบ Gouraud

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าเป้าหมายหลักของการให้แสงเงาในการสร้างภาพเชิงปริมาตรคือ การช่วยให้เกิดความเข้าใจในการมองชุดข้อมูล ซึ่งการสร้างภาพให้มีลักษณะเหมือนภาพถ่ายนั้นไม่ใช่จุดประสงค์หลักของการสร้างภาพเชิงปริมาตร ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นในการให้แสงเงาคือ องค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจายและแหล่งกำเนิดแสงสีขาว 1-2 แหล่งซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่อนันต์เท่านั้น ส่วนองค์ประกอบการสะท้อนแสงแบบกระจกและแสงแวดล้อมเป็นเพียงสิ่งที่ทำให้ภาพที่สร้างขึ้นดูแปลกตาไป ดังนั้นจึงสามารถละทิ้งได้

### สรุป

ในบทนี้เราได้ทราบถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับภาพสามมิติเบื้องต้นตลอดจนการแปลงแบบต่าง ๆ และแบบจำลองการให้แสงเงา ซึ่งก็นับเป็นส่วนสำคัญในการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์

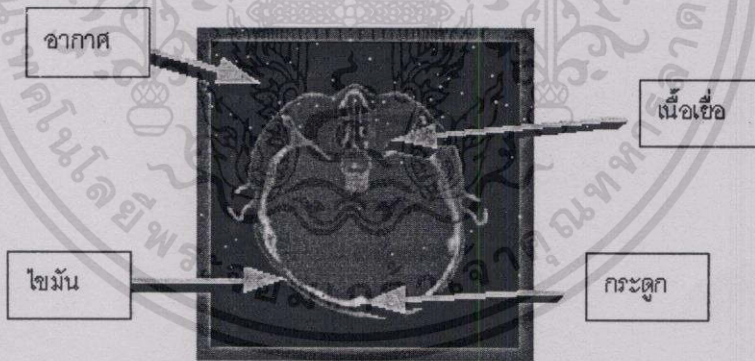
# การประมวลผลภาพและพัฒนาการของภาพเชิงปริมาตร

## 4.1 บทนำ

จากการที่ภาพเชิงปริมาตรนั้นสามารถแสดงลักษณะของอวัยวะหรือโครงสร้างภายในของวัตถุได้แทนที่จะเห็นเพียงพื้นผิวภายนอกเท่านั้น ซึ่งการจะได้มาซึ่งภาพเชิงปริมาตรนี้ข้อมูลต้นฉบับที่เข้ามาต้องผ่านกระบวนการหลายขั้นตอน เราต้องทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลพร้อมทั้งกำหนดสีและค่าความทึบแสงให้แก่แต่ละกลุ่ม เพื่อให้จะได้ภาพออกมาตามที่ต้องการแสดงอวัยวะในส่วนที่สนใจและส่วนที่เกี่ยวข้องกันอยู่ หรือในบางครั้งการแปลงต่าง ๆ ทำให้ข้อมูลที่ได้เป็นทศนิยมซึ่งเราต้องทำการอินเทอร์โพลเพื่อให้ความถูกต้องของภาพยังคงอยู่ ซึ่งในจะกล่าวรายละเอียดในบทนี้ และในตอนท้ายจะกล่าวถึงงานวิจัยและการพัฒนาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการสร้างภาพเชิงปริมาตร เพื่อที่จะเข้าใจถึงแนวคิดที่มีอยู่ก่อนและเปรียบเทียบกับแนวคิดที่ได้นำเสนอนี้

## 4.2 การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Classification)

ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลนั้นเราจะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มด้วยกันคือ อากาศ, เนื้อเยื่อ, ไขมัน และกระดูก ดังรูปที่ 4.1



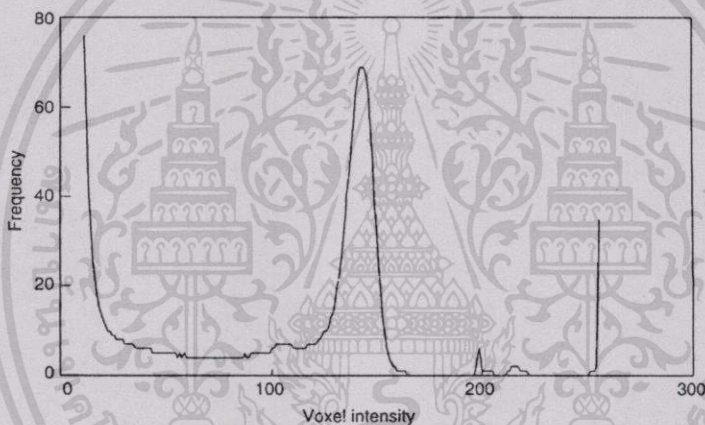
รูปที่ 4.1 การแบ่งข้อมูลทั้ง 4 กลุ่ม

การแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นขั้นตอนที่ช่วยให้สามารถสร้างภาพของชุดข้อมูลที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ ในขั้นตอนนี้จะมีการกำหนดคุณสมบัติใหม่ให้แก่ว็อกเซลแต่ละตัวภายในกลุ่มข้อมูลเรียกว่า ค่าความทึบแสง (Opacity) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง ค่าความทึบแสงนี้ใช้สำหรับวัดความโปร่งแสงของว็อกเซลโดยเป็นการอธิบายถึงปริมาณแสงที่ตกกระทบไปที่ว็อกเซลและถูกดูดกลืนไว้โดยว็อกเซลนั้น หรือก็คือการมองทะลิว็อกเซลไปนั่นเอง การกำหนดค่าความทึบแสงให้แก่ว็อกเซลนั้นจำเป็นต้องมีการสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสงเพื่อจัดความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ

ของว็อกเซลกับค่าความทึบแสงที่มันควรจะเป็น ซึ่งเครื่องมือสำคัญในการสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนนี้คือฮิสโทแกรม

#### 4.2.1 ฮิสโทแกรม (Histogram)

ฮิสโทแกรมเป็นตัวที่ใช้บอกถึงจำนวนของว็อกเซลหรือพิกเซล ซึ่งมีค่าที่ระดับใดๆ ภายในชุดข้อมูล โดยแสดงเป็นกราฟที่มีแกนนอนเป็นค่าของว็อกเซลหรือพิกเซลและจำนวนหรือความถี่ของว็อกเซลที่ปรากฏในแต่ละค่าในแกนตั้ง (รูปที่ 4.2) ฮิสโทแกรมนั้นให้ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายค่าของว็อกเซลหรือพิกเซลทั้งหมดที่เป็นไปได้ ทำให้สามารถมองเห็นการกระจายความเข้มแสงของว็อกเซล ซึ่งใช้ช่วยสำหรับพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนที่จะนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล



รูปที่ 4.2 ฮิสโทแกรมของข้อมูลต้นฉบับ

#### 4.2.2 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

การแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นขั้นตอนการกำหนดค่าความทึบแสงให้แก่ว็อกเซล ซึ่งค่าความทึบแสงนี้เป็นคุณสมบัติของว็อกเซลเช่นเดียวกับค่าความเข้มแสงและขนาดของเกรเดียนต์ โดยฟังก์ชันที่ใช้กำหนดค่าความทึบแสงนี้เรียกว่าฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสง (Opacity Transfer Function) ฟังก์ชันนี้สามารถนำคุณสมบัติหลายๆ อย่างของว็อกเซลมาเป็นอินพุตได้ แต่ส่วนมากแล้วนิยมใช้เพียงแค่ฟังก์ชันค่าความเข้มแสงของว็อกเซลเพียงอย่างเดียวเท่านั้น หรือบางครั้งอาจเป็นฟังก์ชันค่าความเข้มแสงของว็อกเซลและขนาดเกรเดียนต์ ซึ่งลักษณะของฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสงจะอยู่ในรูปของ

$$\alpha_1 = O(f_i, |\nabla f_i, \dots, \dots|) \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

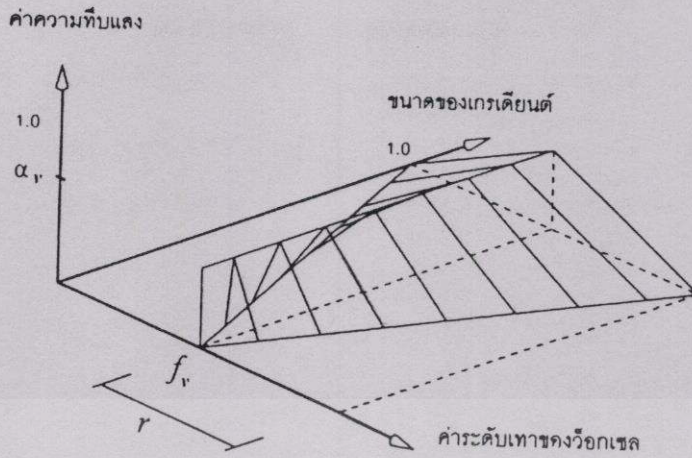
เมื่อ  $0$  คือฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสง,  $f_i$  เป็นฟังก์ชันความเข้มแสง และ  $|\nabla_i|$  คือขนาดของเกรเดียนต์ ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยใช้ค่าความเข้มแสงเพียงอย่างเดียวนั้นเหมาะกับชุดข้อมูลภาพจากเครื่อง CT ซึ่งสามารถแยกช่วงของว็อกเซลแต่ละค่าได้ง่าย แต่สำหรับชุดข้อมูลภาพที่ได้จากเครื่อง MRI นั้นค่าระดับเทาของว็อกเซลที่อวัยวะแตกต่างกันอาจเป็นค่าเดียวกันได้ ซึ่งกรณีนี้การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยการใช้ค่าความเข้มแสงของว็อกเซลเพียงอย่างเดียวไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องได้ ดังนั้นจึงต้องมีการนำข้อมูลส่วนอื่นมาพิจารณาร่วมด้วย ซึ่งข้อมูลเพิ่มเติมที่นำมาใช้คือขนาดของเกรเดียนต์ โดยที่เกรเดียนต์ คือการวัดความเร็วและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล ดังนั้นบริเวณที่มีค่าเกรเดียนต์สูงจึงหมายถึงการที่บริเวณนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอย่างรวดเร็ว จากคุณสมบัตินี้มันจึงเหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับหาขอบเขตระหว่างวัสดุ 2 อย่าง เช่น บริเวณระหว่างเนื้อเยื่อและกระดูกในชุดข้อมูลทางการแพทย์

ดังนั้นฟังก์ชันการแบ่งกลุ่มข้อมูลจึงเป็นการรวมเอาค่าขนาดของเกรเดียนต์กับค่าความเข้มแสงของว็อกเซลเข้าด้วยกัน เพื่อใช้กำหนดให้ว็อกเซลที่อยู่บนพื้นผิวหรืออยู่ใกล้กับจุดต่อของวัสดุสองชนิดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของเกรเดียนต์อย่างรวดเร็วให้มีค่าความทึบแสงมาก ๆ

รูปที่ 4.3 เป็นฟังก์ชันการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบหนึ่ง [12] ซึ่งใช้แสดงวัตถุเนื้อเดียว โดยกำหนดให้ค่าความเข้มแสงของว็อกเซลอยู่บนแกน  $x$  ส่วนแกน  $y$  เป็นขนาดของเกรเดียนต์ และแกน  $z$  เป็นค่าความทึบแสง ซึ่งลักษณะของมันจะคล้ายกับกระจิมดำใบ ในการใช้งานนั้นฟังก์ชันนี้จะถูกวางไปในว็อกเซลซึ่งมีค่าความเข้มแสงที่ต้องการ ( $f_v$ ) ว็อกเซลทั้งหมดที่มีค่าความเข้มแสงเท่ากับ  $f_v$  และว็อกเซลอื่นๆ รอบว็อกเซลนั้นที่มีขนาดของเกรเดียนต์ใกล้เคียงกันจะมีค่าความทึบแสงสูง สำหรับสมการของฟังก์ชันดังกล่าว สามารถเขียนได้ดังนี้

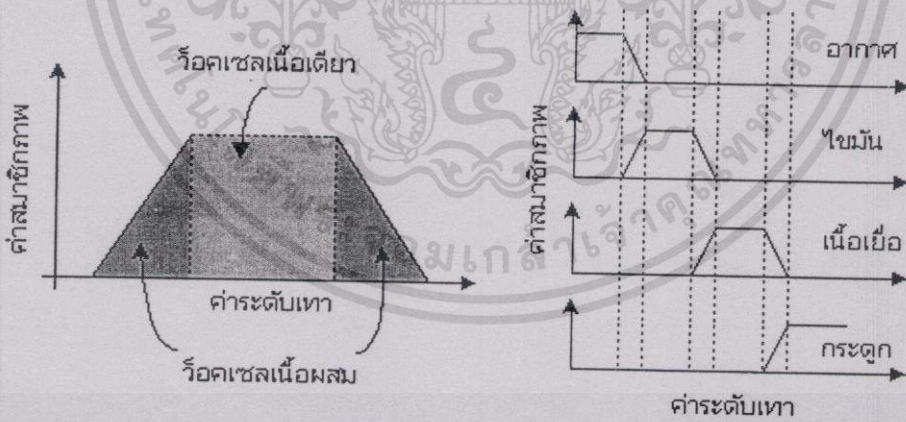
$$\alpha_i = \alpha_v \begin{cases} 1 & ; & |\nabla_i| = 0 \text{ \& } f_v = f_i \\ 1 - \frac{1}{r|\nabla_i|} |f_i - f_v| & ; & |\nabla_i| > 0 \text{ \& } f_i - r|\nabla_i| \leq f_v \leq f_i + r|\nabla_i| \\ 0 & ; & f_v > f_i + r|\nabla_i| \end{cases} \quad (4.2)$$

เมื่อ  $\alpha_i$  คือค่าความทึบแสงของว็อกเซล  $i$  ซึ่งอยู่บริเวณรอบๆ ว็อกเซลที่สนใจ,  $\alpha_v$  คือค่าความทึบแสงที่กำหนดให้ว็อกเซลที่มีค่าความเข้มแสงเท่ากับ  $f_v, f_i$  ค่าความเข้มแสงของว็อกเซล  $i$  ซึ่งอยู่บริเวณรอบว็อกเซลที่สนใจ,  $|\nabla_i|$  คือขนาดของเกรเดียนต์ที่ว็อกเซล  $i$  ซึ่งมีความเข้มแสง  $f_i$  และ  $r$  คือค่าความเข้มแสงสูงสุดที่กำหนดให้ป้ายเบนจาก  $f_v$  เมื่อค่าเกรเดียนต์เปลี่ยนแปลงไป



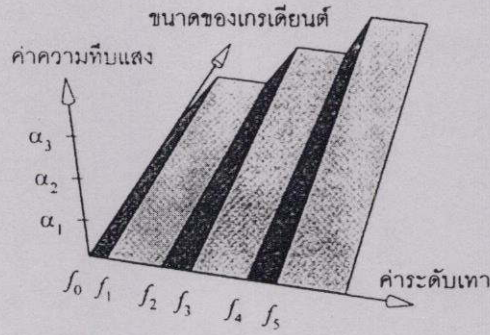
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างฟังก์ชันการแบ่งกลุ่มข้อมูลสำหรับวัตถุเนื้อเดียว

สำหรับฟังก์ชันการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบขึ้นจากขนาดของเกรเดียนต์และลักษณะโดยทั่วไปของว็อกเซลภายในชุดข้อมูล ซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะคือ ว็อกเซลเนื้อเดียวและว็อกเซลเนื้อผสม [14] ซึ่งว็อกเซลเนื้อเดียวนั้นจะมีวัสดุเพียงชนิดเดียวอยู่ในว็อกเซลนั้น ส่วนว็อกเซลเนื้อผสมเกิดจากการที่มีวัสดุ 2 ชนิดซึ่งมีกลุ่มข้อมูลติดกันประกอบอยู่ภายใน เช่น ไขมัน และเนื้อเยื่อ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ลักษณะโดยทั่วไปและการแบ่งแยกกลุ่มของว็อกเซลในชุดข้อมูล CT

ฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสงที่สร้างขึ้นจากขนาดของเกรเดียนต์และลักษณะของว็อกเซลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนค่าความทึบแสง

จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันถ่ายโอนเพียงแบบเดียวไม่สามารถนำไปใช้กับข้อมูลทุกรูปแบบได้ ซึ่งการเลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลที่ต้องการสร้างภาพ ในปัจจุบันวิธีการที่นิยมใช้กันอยู่คือการตรวจสอบชุดข้อมูลและทำการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ฟังก์ชันถ่ายโอนจะถูกปรับปรุงแบบซ้ำไปซ้ำมา แล้วเลือกภาพผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่สามารถแสดงถึงโครงสร้าง ซึ่งสนใจได้อย่างชัดเจน ในความเป็นจริงนั้นยังมีตัวแปรอีกหลายตัวซึ่งมีผลกับภาพผลลัพธ์ เช่น แบบจำลองการให้แสงเงา, ทิศทางการมองและตัวดำเนินการการประกอบภาพ ดังนั้นการปรับปรุงฟังก์ชันถ่ายโอนนั้น จึงเป็นสิ่งที่สร้างความยุ่งยากมาก แม้ว่าจะเป็นการคำนวณแบบง่ายๆ ก็ตาม

#### 4.3 การอินเทอร์โพลเลต (interpolation) [12]

การกระทำทางคณิตศาสตร์เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ในการสร้างภาพเชิงปริมาตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการฉายแสง (Ray Casting) เพื่อทำการสร้างภาพนั้นในบางครั้ง จำเป็นต้องมีการเข้าถึงข้อมูลในตำแหน่งที่อยู่ระหว่างจุดแซมเปิล ซึ่งเป็นบริเวณที่ข้อมูลขาดหายไป ดังนั้นจึงต้องมีการแทรกค่าหรือการอินเทอร์โพลเลตค่าของจุดแซมเปิลที่ขาดหายไปเหล่านี้ การอินเทอร์โพลเลตมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะถูกควบคุมโดยเคอร์เนลของการอินเทอร์โพลเลต (Interpolation Kernel) และรูปร่างของเคอร์เนลจะเป็นตัวกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สำหรับถ่วงน้ำหนักการบวกและคุณภาพของการอินเทอร์โพลเลต

การคำนวณค่าในตำแหน่งที่ต้องการอินเทอร์โพลเลตนั้นทำได้โดยนำเคอร์เนลการอินเทอร์โพลเลตไปคอนโวลูชันกันดังนี้

$$f_n(x) = \sum_{s=-\infty}^{\infty} g_s(\Delta x) h_n(x - \Delta x) \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $f_n(x)$  คือผลลัพธ์ที่ได้จากการอินเทอร์โพล และ  $h_n$  คือเคอร์เนลของการอินเทอร์โพล ส่วนกรณี 2 มิตินั้นการอินเทอร์โพลจะเป็นดังสมการที่ 4.5

$$f_n(x, y) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} g_s(l\Delta x, k\Delta y) h_n(x - l\Delta x, y - k\Delta y) \quad (4.5)$$

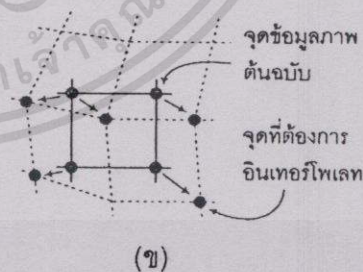
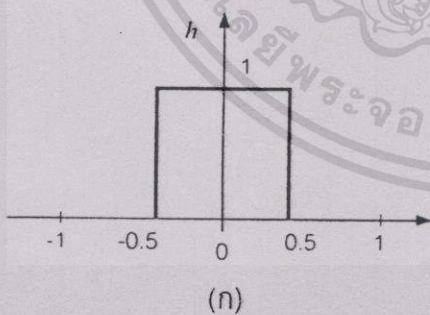
เคอร์เนลการอินเทอร์โพลแบบ 1 มิติ สามารถขยายไปใช้ใน 2 และ 3 มิติโดยเริ่มจากการอินเทอร์โพลแบบ 1 มิติในแนวแกน  $x, y$  และ  $z$

#### 4.3.1 การอินเทอร์โพลแบบเนียร์เนสเนเบอร์ (Nearest Neighbor)

การอินเทอร์โพลด้วยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด แต่ให้ผลลัพธ์ที่มีค่าหยาบมาก ลักษณะโดยทั่วไปนั้นจะเป็นการนำค่าที่อยู่ใกล้จุดที่ต้องการอินเทอร์โพลมากที่สุดมาเป็นคำตอบ ซึ่งสมการการอินเทอร์โพลในหนึ่งและสองมิติและแสดงดังสมการที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ รูปร่างของเคอร์เนลสำหรับการอินเทอร์โพลชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่ามีเพียงค่าเดียวเท่านั้นที่ถูกประมวลผล ดังนั้นการคำนวณในแต่ละวงรอบจึงมีน้อยมาก

$$f(x) = g(\text{round}(x)) \quad (4.6)$$

$$f(x, y) = g(\text{round}(x), \text{round}(y)) \quad (4.7)$$



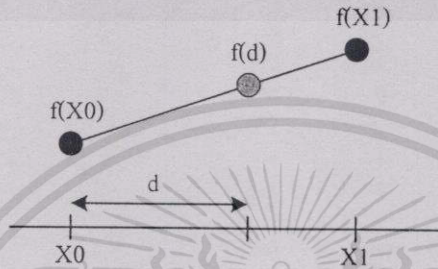
รูปที่ 4.6 (ก) เคอร์เนลแบบเนียร์เนสเนเบอร์ (ข) การอินเทอร์โพลด้วยวิธีเนียร์เนสเนเบอร์

ข้อเสียของการอินเทอร์โพลแบบนี้คือผลกระทบจากอแลสซิง (Aliasing) และข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของการอินเทอร์โพลแบบนี้คือการเลือนของภาพ ซึ่งการปิดค่าของเนียร์เนสเนเบอร์เป็นสาเหตุให้ภาพเลือนขึ้นไปครึ่งถึงหนึ่งพิกเซล ซึ่งมีผลอย่างมากในกรณีที่มีการประมวลผลภาพที่

เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของวัตถุภายในภาพ แต่ข้อดีของการอินเทอร์โพลेटด้วยวิธีการนี้คือความต้องการเวลาในการประมวลผลน้อย

#### 4.3.2 การอินเทอร์โพลेटแบบลิเนียร์ (Linear Interpolation)

การอินเทอร์โพลेटแบบลิเนียร์เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุด ซึ่งภาพผลลัพธ์มีคุณภาพที่ดีกว่าการอินเทอร์โพลेटแบบเนยเรสเนบอร์ วิธีการนี้จะสมมติให้จุดที่อยู่ล้อมรอบจุดที่ต้องการอินเทอร์โพลेटมีความสัมพันธ์แบบลิเนียร์ดังรูปที่ 4.7

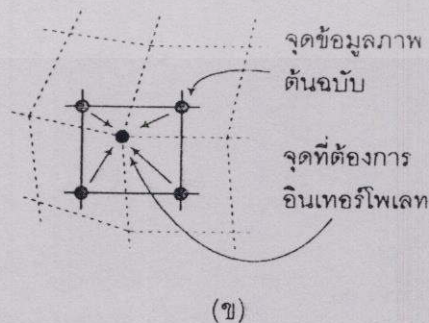
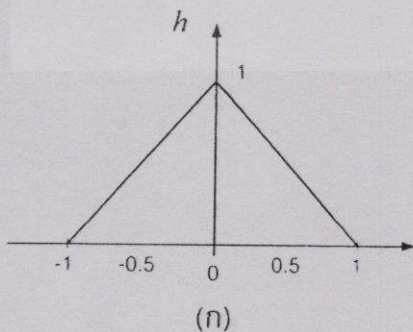


รูปที่ 4.7 การกำหนดความสัมพันธ์ของจุดแซมเปิลในการอินเทอร์โพลेटแบบลิเนียร์

สำหรับสมการการอินเทอร์โพลेटชนิดนี้แสดงดังสมการที่ 4.8

$$f(d) = \left( \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \right) \cdot d + f(x_0) \quad (4.8)$$

เมื่อ  $d$  คือระยะทางจากจุดแซมเปิลจุดแรกที่ตำแหน่ง  $x_0$  ส่วนใหญ่แล้วระยะห่างของการแซมเปิล จะกำหนดให้มีค่าคงที่และเท่ากันตลอด (ปกติมีค่าเท่ากับ 1) ซึ่งลักษณะของเคอร์เนลการอินเทอร์โพลेटเป็นดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 (ก) เคอร์เนลของการอินเทอร์โพลेटแบบลิเนียร์ (ข) ลักษณะของการอินเทอร์โพลेट

การอินเทอร์โพลแบบลิเนียร์สามารถนำไปใช้กับสัญญาณในมิติที่สูงขึ้นได้ โดยเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับสัญญาณสองมิติจะเรียกว่า การอินเทอร์โพลแบบไบลิเนียร์ (Bilinear Interpolation) และในกรณีสามมิติเรียกว่า การอินเทอร์โพลแบบไตรลิเนียร์ (Trilinear Interpolation) สำหรับการอินเทอร์โพลแบบไบลิเนียร์จะเริ่มจากการหาจุดที่ทราบค่า 4 จุด ซึ่งล้อมรอบจุดที่ต้องการอินเทอร์โพล จากนั้นทำการอินเทอร์โพลในแนวแกน x ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปใช้อินเทอร์โพลในแนวแกน y ต่อไป

#### 4.4 การประกอบภาพ (Image Composition)

การประกอบภาพ (Image Composition) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยจะเป็นการรวมจุดแซมเปิลต่างๆ ที่เกิดจากการเดินทางของแสงแต่ละชั้นและการอินเทอร์โพล เพื่อคำนวณหาค่าพิกเซลผลลัพธ์ของการสร้างภาพ โดยที่ภาพของวัตถุต่างชนิดซึ่งมีค่าความทึบแสงไม่เท่ากันภายในปริมาตรจะถูกแสดงออกมาพร้อมกัน การประกอบภาพเป็นการกระทำที่ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นการทำนายถึงสีของพิกเซลที่เกิดจากเซ็ทของจุดแซมเปิลเหล่านี้จึงเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก

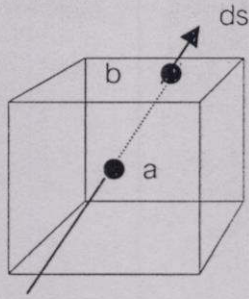
##### 4.4.1 สมการการสร้างภาพเชิงปริมาตร

การสร้างภาพด้วยการฉายแสง (Ray Casting) ตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้นเป็นการประมวลจุดข้อมูลทั้งหมดภายในปริมาตรที่บรรจุจุดข้อมูล โดยที่สมมติว่าพฤติกรรมภายในว็อกเซลมีลักษณะการกระเจิง, การปิดกั้น, การสะท้อน และการกำเนิดแสงที่แน่นอน

ผลของแสงที่ฉายไปกระทบกับแซมเปิลของชุดข้อมูลตามแนวแสงจะถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อคำนวณหาสีผลลัพธ์ของพิกเซลหนึ่งจุดดังสมการที่ 4.9 ซึ่งเป็นสมการของการสร้างภาพเชิงปริมาตร [12]

$$I(a, b) = \int_a^b e^{-\int_a^s \phi(x) dx} \epsilon(s) ds \tag{4.9}$$

สมการ 4.9 นี้มีพื้นฐานอยู่บนพฤติกรรมของแสงเมื่อกระทบกับชุดข้อมูลเชิงปริมาตร จากสมการ I(a,b) คือค่าความเข้มแสงของพิกเซลหนึ่งจุด ds คือทิศทางของแสง และสมมติให้แสงวิ่งจากจุด a ไปยังจุด b (รูปที่ 4.9) โดยที่  $\epsilon(s)$  เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของปริมาตรและ  $\phi(x)$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของการลดลงของแสงและเป็นตัวที่ใช้ทำนายอัตราของแสงที่ถูกกำบังต่อหน่วยความยาวเนื่องจากการกระเจิงหรือการลดลงของแสง



รูปที่ 4.9 แสงที่พุ่งเข้าไปในปริมาตร

สมการที่ 4.9 นี้สามารถคำนวณได้โดยใช้ผลรวมของโรมานน์ (Riemann Sum) ดังนี้

จาก 
$$\int_0^d h(x) dx \approx \sum_{i=0}^{n-1} h(x_i) \Delta x \quad (4.10)$$

เมื่อนำสมการที่ 4.10 ไปใช้กับสมการที่ 4.9 สมการการสร้างภาพเชิงปริมาตรในรูปดิฟเฟอเรนเชียล  
จะเป็น

$$I(a, b) = \sum_{i=0}^{n-1} \exp\left[-\sum_{j=0}^{i-1} \phi(x_j) \Delta x\right] \varepsilon(s_i) \Delta s \quad (4.11)$$

เมื่อกำหนด

$$\phi_j = \phi(x_j) \quad (4.12)$$

$$\varepsilon_i = \varepsilon(x_i) \quad (4.13)$$

แทน 4.12 และ 4.13 ลงใน 4.11

$$I(a, b) = \sum_{i=0}^{n-1} \exp\left[-\sum_{j=0}^{i-1} \phi_j \Delta x\right] \varepsilon_i \Delta s \quad (4.14)$$

ลดรูปสมการที่ 4.14 โดยใช้คุณสมบัติผลบวกของเลขยกกำลังจะได้

$$I(a, b) = \sum_{i=0}^{n-1} \varepsilon_i \Delta s \prod_{j=0}^{i-1} e^{-\phi_j \Delta x} \quad (4.15)$$

เมื่อกำหนดนิยามค่าความทึบแสง  $\alpha_j$  ความเข้มแสงที่สะท้อนจากพื้นผิว  $I_j$  และค่าสีของจุดแซมเปิลที่ผ่านการให้แสงเงามาแล้ว  $C_j$  ดังนี้

$$\alpha_j = 1 - e^{-\phi_j \Delta x} \quad (4.16)$$

$$I_j = \epsilon_j \Delta S \quad (4.17)$$

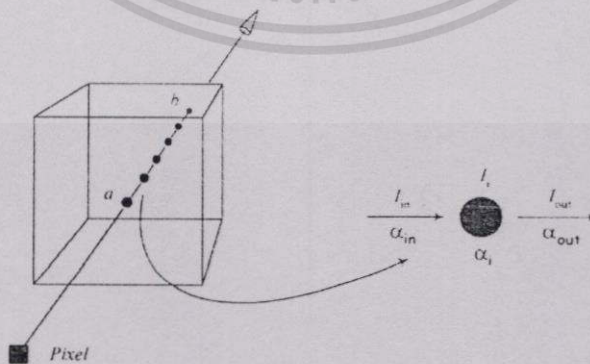
$$C_j = \frac{I_j}{\alpha_j} \quad (4.18)$$

แทนค่าจาก 4.16, 4.17 และ 4.18 ใน 4.15 จะได้สมการการประกอบภาพตามแนวลำแสงซึ่งประกอบขึ้นจากพจน์ของค่าความทึบแสงและค่าความเข้มแสงที่ผ่านการให้แสงเงามาแล้ว

$$I(a, b) = \sum_{i=0}^{n-1} I_i \prod_{j=0}^{i-1} (1 - \alpha_j) \quad (4.19)$$

#### 4.4.2 การประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง (Front – To – Back Composition) [14]

สมการ 4.25 ที่ผ่านมาเรียกอีกอย่างว่าสมการการประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง สมการนี้เป็นการอธิบายถึงความเข้มแสง  $I$  ทั้งหมดที่ถูกสะสมมาตามแนวลำแสงจนถึงจุดแซมเปิลซึ่งมีความเข้มแสงเป็น  $I_j$  คุณค่าความทึบแสงที่สะสมมาจนถึงปัจจุบันบนลำแสงนั้น จะเห็นได้ว่า  $I_j$  ถูกถ่วงน้ำหนักด้วยจุดแซมเปิลที่อยู่ก่อนหน้านั้นทั้งหมด ในรูปที่ 4.10 ทางด้านซ้ายเป็นตัวอย่างของการประกอบภาพแบบหน้าไปหลังบนลำแสงหนึ่งเส้น จุดแซมเปิลที่ถูกประกอบเข้าไปในภาพจะเริ่มจากจุด  $a$  ไปยังจุด  $b$  ส่วนรูปที่ 4.10 ทางด้านขวาเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนจุดแซมเปิล ค่าความเข้มแสง  $I_{in}$  และ  $\alpha_{in}$  จะถูกประกอบเข้าไปในจุดแซมเปิลนี้ ซึ่งการประกอบภาพแบบหน้าไปหลังของ  $I_j$  และ  $\alpha_j$  ด้วย  $I_{in}$  และ  $\alpha_{in}$  จำทำให้เกิด  $I_{out}$  และ  $\alpha_{out}$



รูปที่ 4.10 การประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง

ในการคำนวณหาค่า  $I(a, b)$  นั้นจำเป็นต้องทำการคำนวณสมการกระจายแสงแบบรีเคอร์ซีฟ (Recursive) ซึ่งการคำนวณนี้จะอยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น เมื่อกระจายสมการที่ 4.20 ออกมาดังนี้

$$\sum_{l=0}^{n-1} I_l \prod_{j=0}^{l-1} (1 - \alpha_j) = I_0 + I_1(1 - \alpha_0) + I_2(1 - \alpha_0)(1 - \alpha_1) + \dots + I_n(1 - \alpha_0) \dots (1 - \alpha_n) \quad (4.20)$$

จากสมการที่ 4.20 นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปที่ง่ายได้อีกโดยใช้ตัวดำเนินการ over ซึ่งตัวดำเนินการนี้จะถูกนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกโดย T.Porter และ T.Duff [12] นิยามของตัวดำเนินการนี้คือ

$$C \text{ over } I = C + (1 - \alpha)I \quad (4.21)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการที่ 4.21 จะเป็นค่าความเข้มแสงซึ่งทะลุผ่านพื้นผิวออกมา นั่นคือถ้ามีแสง  $I$  พุ่งเข้ามาทางหลังของพื้นผิวซึ่งมีความทึบแสงคือ  $\alpha$  และมีสีเนื่องจากการสะท้อนเป็น  $C$  ดังนั้นความเข้มแสงที่ทะลุผ่านพื้นผิว  $I'$  (รูปที่ 4.12) จะมีค่าเป็น

$$I' = C + (1 - \alpha)I \quad (4.22)$$

เมื่อนำตัวดำเนินการ over นี้ไปใช้กับสมการที่ 4.20 จะได้

$$\sum_{l=0}^{n-1} I_l \prod_{j=0}^{l-1} (1 - \alpha_j) = I_0 \text{ over } I_1 \text{ over } I_2 \dots \text{ over } I_n \quad (4.23)$$

นอกจากนี้สมการ 4.30 ยังสามารถเขียนแบบรีเคอร์ซีฟได้อีกคือ

$$I_{out} = I_{in} + (1 - \alpha_{in})I_j \quad (4.24)$$

$$\alpha_{out} = \alpha_{in} + \alpha_j(1 - \alpha_{in}) \quad (4.25)$$

โดยที่  $I_{out}$  และ  $\alpha_{out}$  คือค่าความเข้มแสงที่ถูกสะสมและค่าความทึบแสงที่เพิ่งออกมาจากจุดแซมเปิลปัจจุบัน  $I_{in}$  และค่า  $\alpha_{in}$  คือค่าความเข้มแสงและค่าความทึบแสงสะสมก่อนที่แสงจะเข้าไปกระทบจุดแซมเปิล ค่า  $I_j$  และ  $\alpha_j$  คือความเข้มแสงและค่าความทึบแสงของจุดแซมเปิลปัจจุบัน

จะเห็นได้ว่าในการประกอบภาพแบบนี้จำเป็นต้องติดตามและสะสมค่าความทึบแสงเอาไว้ ซึ่งการทำเช่นนี้มีทั้งข้อดีและเสีย ข้อเสียคือการสร้างภาพใช้เวลานานขึ้นเนื่องจากโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องคำนวณสมการค่าความทึบแสงที่จุดแซมเปิลทุกๆ จุด แต่ข้อดีก็คือในการเขียนโปรแกรม นั้น สามารถหยุดการคำนวณได้เมื่อค่าความทึบแสงสะสมมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1.0 ซึ่งผลของปรากฏการณ์นี้มาจากหลักความจริงที่ว่า ถ้ามีวัตถุวางเรียงกันอยู่โดยที่แต่ละชั้นมีค่าความทึบแสงไม่เท่ากัน ตาของมนุษย์จะสามารถมองเห็นได้ถึงวัตถุชั้นหนึ่ง นั่นคือความทึบแสงที่สะสมมาในแต่ละชั้นเมื่อรวมกันทำให้ความทึบแสงมีค่ามากขึ้นจนสามารถตีความได้ว่าวัตถุในชั้นนั้นทึบแสงโดยสมบูรณ์แล้ว ดังนั้นการคำนวณบนลำแสงเส้นนั้นต่อไป จึงเป็นการคำนวณที่ไร้ประโยชน์ซึ่งวิธีการนี้ถูกเรียกว่า การสิ้นสุดลำแสงก่อน (Early Ray Termination)

#### 4.4.3 การประกอบภาพแบบหลังไปหน้า (Back – To – Front Composition)[8]

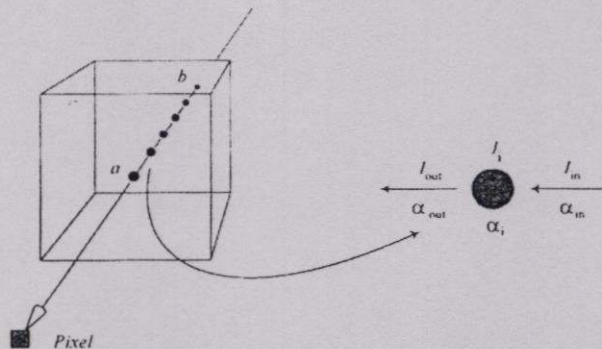
การประกอบภาพแบบหลังไปหน้าแสดงดังรูปที่ 4.11 การประกอบภาพแบบนี้มีลักษณะคล้ายกับวิธีการในหัวข้อที่ผ่านมา จากรูปจะเห็นได้ว่าระนาบภาพนั้นอยู่ในตำแหน่งเดียวกับในรูปที่ 4.10 แต่ต่างกันที่ลำดับของจุดแซมเปิลซึ่งจะถูกประมวล สมการการประกอบภาพแบบหลังไปหน้าแสดงดังสมการที่ 4.26

$$I(a, b) = \sum_{i=0}^{n-1} I_i \prod_{j=0}^{i-1} (1 - \alpha_j) \quad (4.26)$$

หรือเขียนเป็นสมการแบรีโคเซฟดังนี้

$$I_{out} = I_{in}(1 - \alpha_i) + I_i \quad (4.27)$$

เมื่อ  $I_{out}$  และ  $\alpha_{out}$  คือค่าความเข้มแสงที่ถูกสะสมและค่าความทึบแสงทั้งหมดหลังจากที่แสงกระทบกับจุดแซมเปิลปัจจุบัน ค่า  $I_{in}$  และ  $\alpha_{in}$  คือค่าความเข้มแสงและค่าความทึบแสงสะสมก่อนที่แสงจะเข้าไปกระทบจุดแซมเปิล ค่า  $I_i$  และ  $\alpha_i$  คือความเข้มแสงและค่าความทึบแสงของจุดแซมเปิลปัจจุบัน



รูปที่ 4.11 การประกอบภาพแบบหลังไปหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธีการนี้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่ความแตกต่างของทั้งสองวิธีนั้นเห็นได้ชัดจากอัลกอริทึม โดยที่การประกอบภาพแบบหน้าไปหลังนั้นจำเป็นต้องมีการสะสมค่าความโปร่งแสงทุกครั้งที่ทำให้การประกอบภาพในขณะที่การประกอบภาพแบบหลังไปหน้านั้นไม่จำเป็น แต่อย่างไรก็ดีวิธีการนี้ไม่สามารถนำการสิ้นสุดค่าแสงก่อนมาใช้ได้

#### 4.4.4 ค่าความโปร่งแสงและค่าความทึบแสง

จากสมการการประกอบภาพที่ผ่านมาเป็นการใช้ค่าความทึบแสงในการอธิบายการทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากความทึบแสงนิยมใช้บรรยายลักษณะการดูดกลืนแสงของวัตถุ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้อธิบายลักษณะการดูดกลืนแสงของวัตถุอีกตัวหนึ่งคือค่าความโปร่งแสง โดยที่ค่าความโปร่งแสงนั้นเป็นส่วนเติมเต็มของค่าความทึบแสงดังนี้

ดังนั้นสมการการประกอบภาพแบบหน้าไปหลังสามารถเขียนในรูปของค่าความโปร่งแสงได้ดังนี้

$$T = 1 - \alpha \quad (4.28)$$

ดังนั้นสมการการประกอบภาพแบบหน้าไปหลัง สามารถเขียนในรูปของค่าความโปร่งแสงได้ดังนี้

$$I_{out} = I_{in} + T_{in} I_i \quad (4.29)$$

$$T_{out} = T_{in} T_i \quad (4.30)$$

ในทำนองเดียวกันสมการการประกอบภาพแบบหลังไปหน้าในรูปค่าความโปร่งแสงคือ

$$I_{out} = I_{in} T_i + I_i \quad (4.31)$$

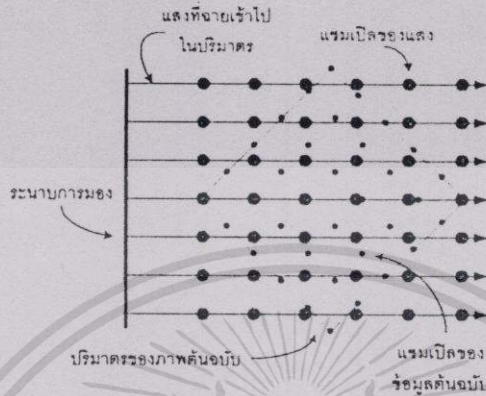
จะเห็นได้ว่าการใช้ค่าความโปร่งแสงในสมการการประกอบภาพนั้นมีการคำนวณที่น้อยกว่าการใช้ค่าความทึบแสงอยู่ 1 ขั้นตอน

## 4.5 การพัฒนาการสร้างภาพเชิงปริมาตร

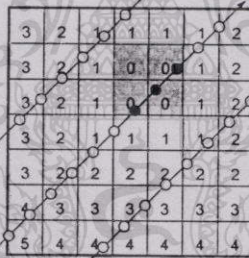
จากการที่ภาพเชิงปริมาตรนั้นมีความสำคัญต่อทั้งวงการแพทย์และแขนงอื่น ๆ ทำให้ได้มีการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาทางด้านนี้อย่างต่อเนื่อง แต่การพัฒนาส่วนใหญ่เป็นแบบการฉายแสง (รูปที่ 4.12) เช่น การหยุดคำนวณเมื่อค่าความทึบแสงเข้าใกล้ 1 [14] และที่น่าสนใจคือ การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเอาข้อมูลระยะทาง (Distance Transform) [15][16][17] มาช่วยในการกระโดดข้ามการคำนวณส่วนที่เป็นฉากหลัง (รูปที่ 4.13) ทำให้ลดเวลาที่เสียกับส่วนที่ไม่มีผลต่อภาพลงได้จำนวนหนึ่ง โดยก่อนที่จะทำการแปลงว็อกเซลนั้นจะทำการตรวจสอบค่าระยะทางก่อน หากมีค่ามากกว่า 0 ก็จะกระโดดข้ามไปตามค่านั้น ๆ ในแนวที่ฉายแสง



รูปที่ 4.12 การสร้างภาพเชิงปริมาตรด้วยวิธีการฉายแสง



รูปที่ 4.13 การกระโดดข้ามส่วนฉากหลังในการแปลงระยะทาง

## สรุป

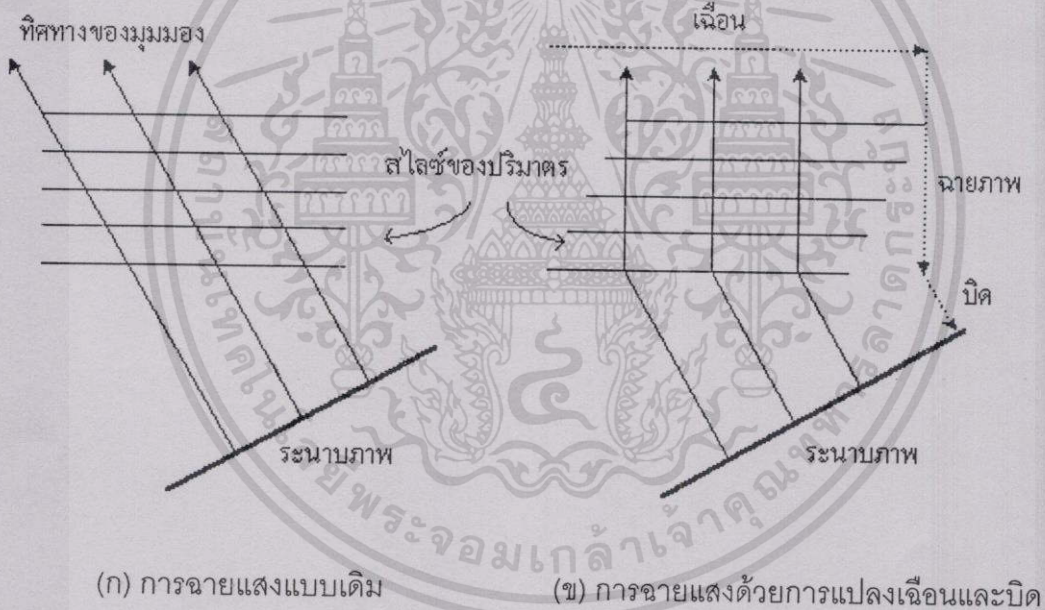
ในบทนี้ได้เราทราบถึงการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพเชิงปริมาตรเช่น การแบ่งกลุ่ม, การอินเทอร์โพเลท และการประกอบภาพ นอกจากนี้ยังได้ทราบถึงแนวคิดที่ได้มีอยู่ก่อนแล้ว แต่แนวคิดนั้นยังอยู่บนข้อจำกัดของการฉายแสงซึ่งต้องเสียเวลาในการรีแซมปลิง ซึ่งในบทต่อไปจะกล่าวถึงรายละเอียดและข้อดีของแนวคิดที่ได้นำเสนอนี้

## บทที่ 5

# การสร้างภาพเชิงปริมาตรแบบเร็ว

### 5.1 บทนำ

จากบทที่ผ่านมาเราได้ทราบถึงหลักการสร้างภาพเชิงปริมาตรและข้อจำกัดของวิธีการเดิม ในบทนี้จะนำเสนอแนวคิดใหม่ในการสร้างภาพเชิงปริมาตร โดยจะกล่าวเฉพาะในส่วนของการฉายภาพแบบขนานเท่านั้น เนื่องจากภาพที่ได้มีสัดส่วนที่สมจริง โดยจะกล่าวถึงการสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยใช้การแปลงเฉือนและบิด[19],[20] ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งเราทำการเฉือนหรือเลื่อนสไลซ์ออกไปด้วยสัมประสิทธิ์ค่าหนึ่ง ทำให้ทิศทางของมุมมองตั้งฉากกับระนาบสไลซ์ ทำให้ง่ายในทั้งการรีแซมปลิง, การฉาย และการประกอบภาพ จากนั้นจะทำการแปลงบิดอีกครั้งเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ ซึ่งเราจะกล่าวถึงขั้นตอนและรายละเอียดต่อไป

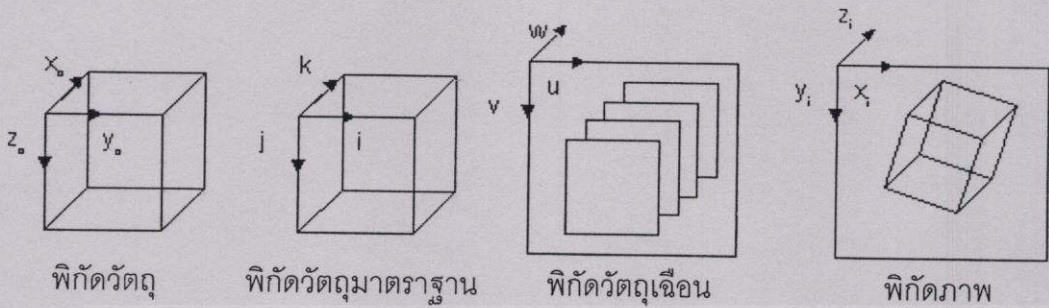


รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบแนวคิดในการสร้างภาพ (ก) แบบเดิม และ (ข) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

### 5.2 ระบบพิกัดที่เกี่ยวข้อง

วิธีการสร้างภาพเชิงปริมาตรแบบเร็วที่จะนำเสนอต่อไปในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบไปด้วยระบบพิกัด 4 ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งประกอบไปด้วย พิกัดวัตถุ (Object Space), พิกัดวัตถุมาตรฐาน (Standard Object Coordinate), พิกัดวัตถุเฉือน (Sheared Object

Coordinate) หรือบางครั้งเรียกว่าพิกัดระหว่างกลาง (Intermediate Coordinate) และพิกัดภาพ (Image Coordinate) ซึ่งทั้งหมดเป็นระบบมือขวา



รูปที่ 5.2 ระบบพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการแปลงแบบเฉือนและบิด

ระบบพิกัดวัตถุนั้นก็คือระบบพิกัดของปริมาตรนั่นเอง ซึ่งมีจุดกำเนิดของที่มุมของปริมาตร ระยะทางหนึ่งหน่วยในแต่ละแกนมีค่าเท่ากับความยาวของว็อกเซลนั่นเอง โดยชื่อของแต่ละแกน ถูกกำหนดเป็น  $x_0, y_0$  และ  $z_0$

เรากำหนดพิกัดวัตถุมาตรฐานโดยการหมุนแกนของระบบพิกัดวัตถุให้แกนมุมมองหลัก (Principal Viewing Axis) เป็นแกนที่สาม ซึ่งแกนหลักนี้ก็คือแกนในระบบพิกัดวัตถุที่ทำมุมขนานกับทิศทางของมุมมองมากที่สุด โดยแกนของระบบพิกัดวัตถุมาตรฐานจะประกอบไปด้วยแกน  $i, j$  และ  $k$  โดยที่ แกน  $k$  คือแกนมุมมองหลัก

พิกัดวัตถุเฉือนหรือพิกัดระหว่างกลางนั้นกำหนดได้โดยการเลื่อนสไลซ์ในพิกัดวัตถุมาตรฐานด้วยเมตริกซ์การเฉือนจากการแปลงเฉือนและบิด ภาพในระบบพิกัดนี้ยังเป็นภาพระหว่างกลาง (Intermediate Image) ซึ่งจะเป็นภาพที่บิดเบี้ยวยังไม่ใช่ภาพผลลัพธ์ที่สมบูรณ์ จุดกำเนิดของระบบพิกัดนี้อยู่ที่มุมขอบซ้ายบนของภาพระหว่างกลาง มีชื่อประจำแกนคือ  $u, v$  และ  $w$

ระบบพิกัดสุดท้ายเป็นระบบพิกัดของภาพผลลัพธ์ โดยการแปลงระบบพิกัดวัตถุเฉือนด้วยเมตริกซ์การบิด ของการแปลงแบบเฉือนและบิดซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป ซึ่งจุดกำเนิดของพิกัดนี้อยู่ที่มุมซ้ายบนของภาพ มีชื่อแกนทั้งสาม เป็น  $x_i, y_i$  และ  $z_i$

หากเรากำหนดให้  $\vec{v}$  เป็นเวกเตอร์ และให้  $v_x$  เป็นองค์ประกอบในแนวแกน  $x$  ของ และให้ไฮเมจิสเมตริกซ์ของการแปลงตามมุมมองต่าง ๆ จากพิกัดวัตถุไปยังพิกัดภาพเป็น  $M_{view}$  โดยที่เมตริกซ์นี้เป็นเมตริกซ์ขนาด  $4 \times 4$  เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของทั้งสองพิกัดได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ w_i \end{bmatrix} = M_{view} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ w_0 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

โดยที่เวกเตอร์ทั้งสองตัวนั้นเป็นเวกเตอร์หลัก(Column Vector)

### 5.3 หลักการในการแปลงแบบเงื่อนและบิด

จากที่วิธีการแปลงเงื่อนและบิดนี้เป็นการนำเอาจุดเด่นของตัวทรงที่มีคุณภาพในการสร้างภาพแบบลำดับวัตถุ (Object Order) กับการฉายภาพในแบบลำดับภาพ (Image Order) มารวมกันทำให้มีความซับซ้อนในเรื่องของการระบุตำแหน่ง ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยการแปลงปริมาตรนั้นไปอยู่ในระบบพิกัดวัตถุเงื่อน ซึ่งระบบนี้จะง่ายต่อการจัดคู่ความสัมพันธ์(Mapping) ของปริมาตร และมีประสิทธิภาพในการฉายภาพไปยังระนาบสองมิติ ซึ่งพิกัดวัตถุเงื่อนมีนิยามคือ

นิยามที่ 1: ในสเปซของวัตถุเงื่อนนั้นทิศทางของมุมมองทุกเส้นจะขนานกับแกนพิกัดที่สาม

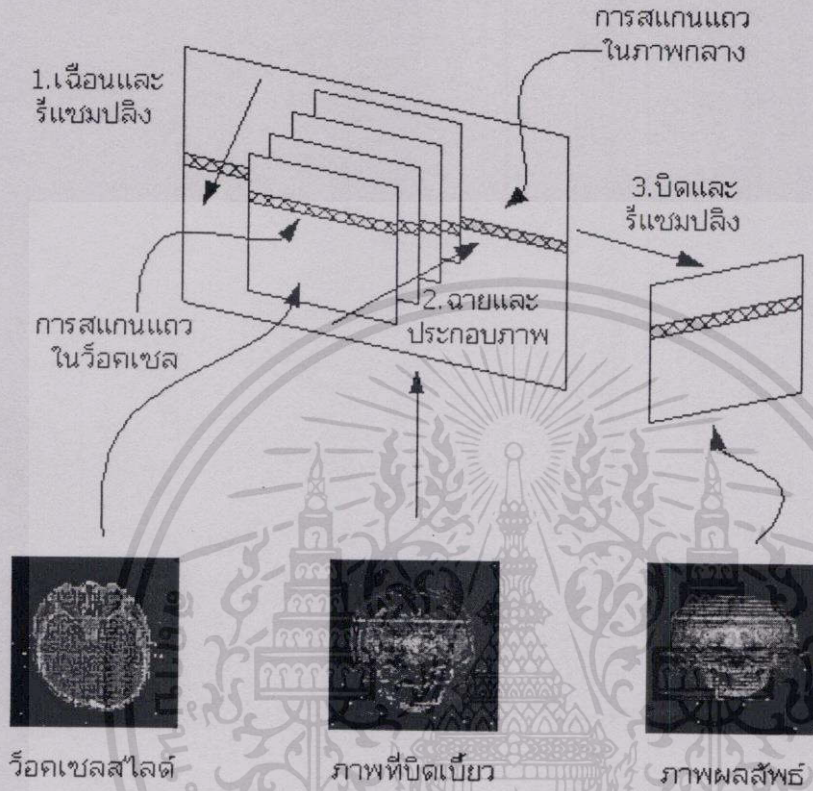
ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5.1 (ข) ที่ได้ทำการแปลงพิกัดวัตถุไปเป็นพิกัดวัตถุเงื่อน เส้นขวางในภาพแสดงถึงสไลซ์ของปริมาตรที่มองเป็นภาพตัดขวาง หลังจากทำการแปลงแล้วทุกสไลซ์จะถูกเงื่อนให้ขนานกันและตั้งฉากกับทิศของมุมมอง เมื่อการเงื่อนนั้นขนานไปกับแผ่นสไลซ์ทำให้เราสามารถทำการแปลงที่ละสไลซ์ได้ นี่เป็นจุดเด่นอย่างหนึ่งของแนวคิดนี้ที่ทำให้ไม่จำเป็นต้องโหลดข้อมูลทั้งหมดขึ้นมาแต่จะโหลดทีละสไลซ์เพื่อลดการสิ้นเปลืองหน่วยความจำ

ขั้นตอนในการสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยใช้การแปลงเงื่อนและบิดนั้นประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้ (ดูภาพประกอบในรูปที่ 5.3)

1. ทำการแปลงข้อมูลปริมาตรไปยังพิกัดวัตถุเงื่อนโดยการเลื่อนแต่ละสไลซ์ออกไป มีทิศทางการเลื่อนที่เป็นไปได้อยู่ 3 ทาง ให้เลือกเลื่อนสไลซ์ในแนวที่ตั้งฉากกับทิศทางมุมมองมากที่สุด ซึ่งในการเลื่อนนั้นอาจเลื่อนไปเป็นระยะทางที่ไม่ใช่จำนวนเต็ม ทำให้บางว็อกเซลต้องมีการรีแซมปลิง
2. ทำการประกอบแต่ละสไลซ์ที่ถูกแซมปลิงเข้าด้วยกัน ทำการประกอบแบบหน้าไปหลังด้วยตัวกระทำ "โอเวอร์" (Over Operator) ขั้นตอนนี้เป็น การฉายปริมาตรในพิกัดวัตถุเงื่อนไปเป็นภาพสองมิติที่บิดเบี้ยว
3. แปลงภาพที่บิดเบี้ยวไปยังพิกัดภาพ โดยใช้การแปลงบิด ขั้นตอนนี้เป็น การรีแซมปลิงครั้งที่ 2 เพื่อสร้างภาพที่ถูกต้อง

จะเห็นได้ว่าการคำนวณหาภาพที่บิดเบี้ยวในพิกัดภาพระหว่างกลางนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการรีแซมปลิงและการประกอบภาพ เนื่องจากแนวการสแกนของว็อกเซลในปริมาตรจะขนานไปกับแนวการสแกนการฉายภาพในพิกัดภาพระหว่างกลางซึ่งง่ายต่อการแปลงจากพิกัดวัตถุ หลัง

จากนั้นต้องทำการแปลงบิตก่อนที่จะได้ภาพผลลัพธ์ แต่ในการแปลงแบบบิตนี้เป็นการกระทำในระบบสองมิติ ซึ่งใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าในระบบสามมิติอยู่มาก



รูปที่ 5.3 แสดงวิธีการสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยใช้การแปลงแบบเขียนและบิต

เราสามารถเขียนอัลกอริทึมของวิธีการแปลงแบบเขียนและบิตนี้ได้ดังนี้

```

for  $z_o = 1$  to VolumeDepth } Loop 1
  for  $y_i = 1$  to ImageHeight } Loop 2
    for  $x_i = 1$  to ImageWidth
      for_each  $y_o$  in ResamplingFilter( $x_i, y_i$ )
      for_each  $x_o$  in ResamplingFilter( $x_i, y_i$ ) } Loop 3
        add contribution of Voxel[ $x_o, y_o, z_o$ ] to ImagePixel[ $x_i, y_i$ ]
  
```

จากอัลกอริทึมด้านบนเทียบกับที่เคยกล่าวไว้ในบทที่ 2 จะเห็นได้ว่าการแปลงแบบเขียนและบิตนั้นเป็นการผสมกันระหว่างวิธีลำดับภาพ (loop2) และวิธีลำดับวัตถุ (loop3) โดยวงรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานนอกสุด (loop1) เป็นการทำซ้ำของชั้นสไลซ์ของปริมาตร และสองวงรอบต่อมาเป็นการทำซ้ำบนพิกเซลของสไลซ์นั้น ๆ ส่วนในสองวงรอบทำซ้ำในสุดจะเป็นแค่การกรองในสองมิติ

จากการนำเอาจุดเด่นของวิธีการฉายภาพทั้งสองแบบมีผสมกันทำให้วิธีที่นำเสนอนี้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยตรงในขณะเดียวกันก็สามารถใช้ตัวกรองที่ออกแบบได้ง่ายคล้ายคลึงกับวิธีลำดับภาพ ต่างกันตรงที่ในวิธีลำดับภาพนั้นจะใช้ตัวกรองสามมิติ ซึ่งตัวกรองที่ต่างกันนี้มีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพผลลัพธ์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งจะแสดงให้เห็นในบทต่อไป ส่วนหัวข้อต่อไปที่จะกล่าวถึงคือรายละเอียดของขั้นตอนและเมตริกซ์ที่ใช้

#### 5.4 เมตริกซ์การแปลงที่เกี่ยวข้อง[19]

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเมตริกซ์ที่เกี่ยวข้องกับการแปลงมุมมอง โดยการแปลงที่เกี่ยวข้องนั้นจะประกอบไปด้วยการสเกลทั้งแบบเอกกรุป (Uniform) และแบบไม่เป็นเอกกรุป (non-uniform), การแปลงย้าย และการเฉือนในการฉายภาพแบบขนาน โดยเป้าหมายของหัวข้อนี้คือแสดงให้เห็นถึงความเป็นมาของ  $M_{view}$  ซึ่งเป็นเมตริกซ์การแปลงตามมุมมองต่าง ๆ โดยที่

$$M_{view} = M_{warp} \cdot M_{shear} \quad (5.2)$$

เมื่อ  $M_{shear}$  เป็นเมตริกซ์ในการเฉือน และ  $M_{warp}$  เป็นเมตริกซ์ในการบิด ซึ่งเมตริกซ์ที่ทำการเลือกมาใช้งานนี้จะต้องสามารถแปลงข้อมูลสามมิติไปเป็นภาพสองมิติโดยที่ภาพผลลัพธ์ยังคงความถูกต้องอยู่

##### 5.4.1 การหาแกนมุมมองหลัก

เรานิยามแกนมุมมองหลักคือแกนในพิกัดวัตถุที่วางตัวทำมุมน้อยที่สุดกับเวกเตอร์ของทิศทางการมอง ซึ่งในพิกัดภาพ เวกเตอร์ของมุมมองมีทิศทางพุ่งเข้า นั่นคือ

$$\vec{v}_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

กำหนดให้  $\vec{v}_o$  เป็นเวกเตอร์ทิศทางของมุมมองที่แปลงกลับมาในพิกัดวัตถุ จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{o,x} \\ v_{o,y} \\ v_{o,z} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

เมื่อ  $m_{ij}$  เป็นสมาชิกของเมตริกซ์การแปลงมุมมอง  $M_{view}$  ซึ่งจะมีเฉพาะตำแหน่ง  $3 \times 3$  ของมุมมองบนเพราะ  $\vec{v}$ , และ  $\vec{v}_o$  เป็นเวกเตอร์ เพื่อป้องกันการสับสนเราจะเขียนเป็น  $M_{view,3 \times 3}$  ซึ่งเป็นเมตริกซ์ย่อยขนาด  $3 \times 3$  และจากกฎของคาร์เมอร์ (Cramer's Rule) เราสามารถแก้สมการเชิงเส้นได้คือ

$$v_{o,x} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} \\ 0 & m_{22} & m_{23} \\ 1 & m_{32} & m_{33} \end{vmatrix}}{|M_{view,3 \times 3}|} = \frac{m_{12}m_{23} - m_{22}m_{13}}{|M_{view,3 \times 3}|} \quad (5.6)$$

$$v_{o,y} = \frac{\begin{vmatrix} m_{11} & 0 & m_{13} \\ m_{21} & 0 & m_{23} \\ m_{31} & 1 & m_{33} \end{vmatrix}}{|M_{view,3 \times 3}|} = \frac{m_{21}m_{13} - m_{11}m_{23}}{|M_{view,3 \times 3}|} \quad (5.7)$$

$$v_{o,z} = \frac{\begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & 0 \\ m_{21} & m_{22} & 0 \\ m_{31} & m_{32} & 1 \end{vmatrix}}{|M_{view,3 \times 3}|} = \frac{m_{11}m_{22} - m_{21}m_{12}}{|M_{view,3 \times 3}|} \quad (5.8)$$

จากที่ตัวหารของทั้ง 3 สมการมีค่าเท่ากันเราสามารถตัดตัวหารทิ้งได้ ทำให้ได้

$$\vec{v}_o = \begin{bmatrix} m_{12}m_{23} - m_{22}m_{13} \\ m_{21}m_{13} - m_{11}m_{23} \\ m_{11}m_{22} - m_{21}m_{12} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

พิจารณาค่าโคไซน์ (Cosine) ของมุมระหว่างเวกเตอร์ของมุมมองกับแต่ละแกนในพิกัดวัตถุนั้นขึ้นอยู่กับค่าดอทโปรดัก (Dot Product) ของ  $\vec{v}_o$  กับเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของแต่ละแกน ค่าดอทโปรดักที่มีค่าสูงสุดเกิดจากมุมมองนั้น ๆ มีค่าน้อยที่สุด ฉะนั้นเราสามารถหาทิศทางมุมมองหลักได้จาก

$$c = \max(|v_{o,x}|, |v_{o,y}|, |v_{o,z}|) \quad (5.10)$$

ถ้า  $c = |v_{o,x}|$  แล้วจะได้ว่าแกนมุมมองหลักคือ  $x_o$  ถ้า  $c = |v_{o,y}|$  แล้วจะได้ว่าแกนมุมมองหลักคือ  $y_o$  ส่วนกรณีอื่น ๆ แกนมุมมองหลักคือแกน  $z_o$

#### 5.4.2 การแปลงไปยังพิกัดวัตถุมาตรฐาน

อัลกอริธึมการสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยการแปลงเฉือนและบิดทำงานโดยการรีแซมปลิงและการประกอบเซตของว็อกเซลส์ที่ตั้งฉากกับแกนมุมมองหลัก เพื่อแก้ปัญหาความเป็นไปได้ของแกนมุมมองหลักที่อาจเป็นได้ทั้ง 3 แกน เราจึงต้องแปลงว็อกเซลให้อยู่ในพิกัดวัตถุมาตรฐานซึ่งเมตริกซ์ที่ใช้แปลงมีดังนี้

กรณีแกน  $x_o$  เป็นแกนมุมมองหลัก  $P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

กรณีแกน  $y_o$  เป็นแกนมุมมองหลัก  $P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

กรณีแกน  $z_o$  เป็นแกนมุมมองหลัก  $P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

การแปลงจากพิกัดวัตถุไปยังพิกัดวัตถุมาตรฐาน คือ

$$\begin{bmatrix} j \\ j \\ k \\ 0 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

กำหนดให้  $M'_{view}$  เป็นเมตริกซ์ที่ถูกแปลงมุมมอง

$$M'_{view} = M_{view} P^{-1} \quad (5.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

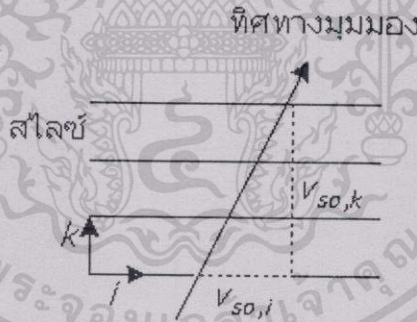
เมตริกซ์นี้ทำการแปลงตำแหน่งจากพิกัดวัตถุไปยังพิกัดวัตถุมาตรฐาน ซึ่งในพิกัดวัตถุมาตรฐานนี้แกน  $k$  จะเป็นแกนมุมมองหลักเสมอ

### 5.4.3 เมตริกซ์การเฉือนและบิด

ในขั้นต่อไปหลังจากที่ทำการแปลงมุมมองด้วยเมตริกซ์  $M'_{view}$  แล้วคือการเฉือนในทิศทางแนวแกน  $i$  และ  $j$  ด้วย  $M'_{shear}$  แล้วกระทำต่อด้วยเมตริกซ์ผูกพันในการบิด  $M'_{warp}$  ในการแปลงนั้นต้องคำนึงถึงเงื่อนไขที่ว่า หลังจากแปลงเฉือนแล้วนั้นทิศทางของมุมมองต้องตั้งฉากกับระนาบ  $(i, j)$  ในระบบพิกัดวัตถุมาตรฐาน เวกเตอร์ทิศทางมุมมองคือ

$$\vec{v}_{so} = P \cdot \vec{v}_o = \begin{bmatrix} m'_{12}m'_{23} - m'_{22}m'_{13} \\ m'_{21}m'_{13} - m'_{11}m'_{23} \\ m'_{11}m'_{22} - m'_{21}m'_{12} \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

เมื่อ  $m'_{ij}$  เป็นสมาชิกของเมตริกซ์ที่ผ่านการแปลงมุมมอง  $M'_{view}$  เราทำการฉายเวกเตอร์ลงบนระนาบ  $(i, j)$  จะมีค่าความชัน (Slope) เท่ากับ  $v_{so,i}/v_{so,k}$  ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งเราจำเป็นต้องเลื่อนสไลซ์ในแนวแกน  $i$  เพื่อที่จะทำให้ทิศทางของมุมมองตั้งฉากกับระนาบที่  $k$  ใด ๆ โดยเพิ่มความชันเป็นลบเข้าไป



รูปที่ 5.4 การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการแปลงเฉือน

เราจะได้ว่า

$$s_i = \frac{-v_{so,i}}{v_{so,k}} = \frac{m'_{22}m'_{13} - m'_{12}m'_{23}}{m'_{11}m'_{22} - m'_{21}m'_{12}} \quad (5.14)$$

และทำนองเดียวกัน

$$s_j = \frac{-v_{so,j}}{v_{so,k}} = \frac{m'_{11}m'_{23} - m'_{21}m'_{13}}{m'_{11}m'_{22} - m'_{21}m'_{12}} \quad (5.15)$$

เราสามารถเขียนสัมประสิทธิ์ของการแปลงแบบเฉือนและบิดในรูปของเมตริกซ์ที่ถูกแปลงแปลงมุมมองได้เป็น

$$M'_{view} = M'_{view} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -s_i & 0 \\ 0 & 1 & -s_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & s_i & 0 \\ 0 & 1 & s_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

$$M'_{view} = \begin{bmatrix} m'_{11} & m'_{12} & (m'_{13} - s_i m'_{11} - s_j m'_{12}) & m'_{14} \\ m'_{21} & m'_{22} & (m'_{23} - s_i m'_{21} - s_j m'_{22}) & m'_{24} \\ m'_{31} & m'_{32} & (m'_{33} - s_i m'_{31} - s_j m'_{32}) & m'_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & s_i & 0 \\ 0 & 1 & s_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

จากสมการที่ 5.17 เมตริกซ์ด้านซ้ายคือเมตริกซ์ผูกพันการบิดและด้านขวาคือเมตริกซ์การเฉือน ถึงจุดนี้เราสามารถกระจายเมตริกซ์ในการแปลงมุมมองออกมาเป็น 2 เมตริกซ์ โดยในการทำงานเราจะนำเมตริกซ์การเฉือนเข้าไปคูณปริมาตร จากนั้นทำการคำนวณการฉายภาพและประกอบวิวจากชั้นสไลซ์ที่  $k$  เป็นค่าคงที่ใด ๆ มาปรากฏบนสไลซ์ที่  $k=0$  จากนั้นทำการแปลงบิดไปยังพิกัดภาพในสองมิติ

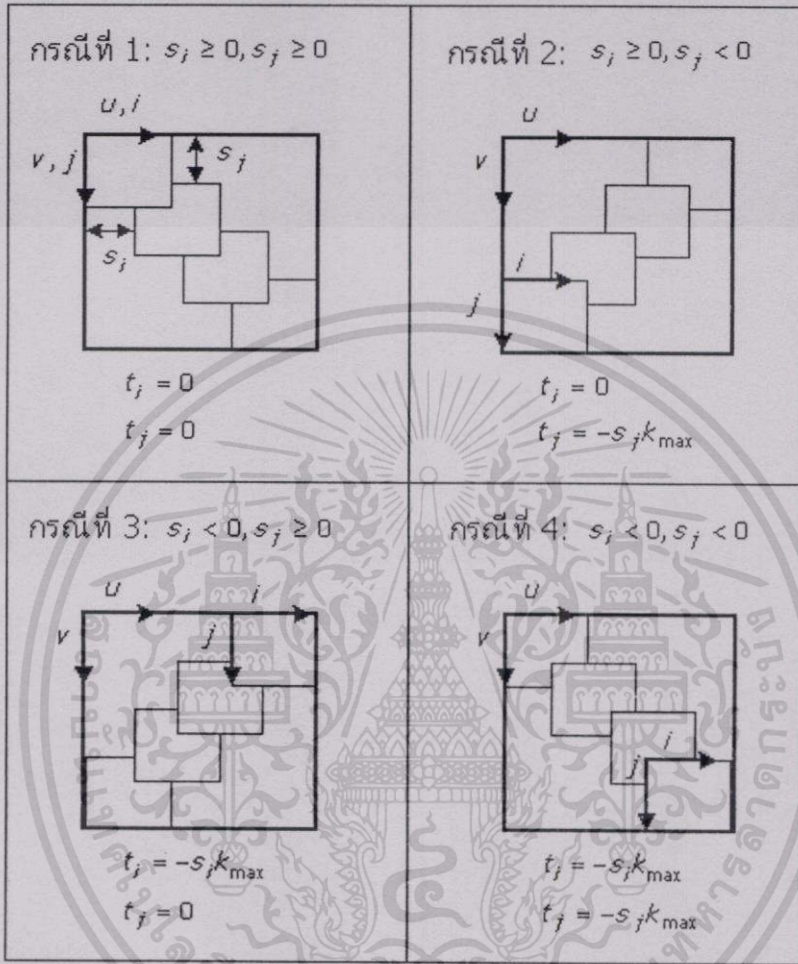
#### 5.4.4 การฉายภาพไปยังระนาบภาพระหว่างกลาง

ในท้ายที่สุดนี้เราต้องนิยามระบบพิกัดสำหรับภาพระหว่างกลาง (Intermediate Image) เพราะหลังจากที่เราทำการแปลงเฉือนไปยังพิกัดวัตถุเฉือนแล้ว แต่พิกัดนี้ไม่เหมาะสมกับข้อมูลภาพระหว่างกลาง (ภาพที่บิดเบี้ยว) เพราะจุดกำเนิดของพิกัดวัตถุเฉือนไม่ได้อยู่ที่มุมซ้ายบนของภาพระหว่างกลาง เราจึงต้องทำการแปลงย้ายพิกัดวัตถุเฉือนเพื่อให้จุดกำเนิดไปอยู่ที่มุมซ้ายบนของภาพระหว่างกลาง ซึ่งจะเกิดพิกัดของภาพระหว่างกลางขึ้นมา

ดูจากรูปที่ 5.5 แสดงถึงกรณีที่เป็นไปได้ในการแปลงย้ายทั้งหมด 4 วิธีที่อาจเกิดขึ้นในการแปลงย้าย โดยแต่ละกรณีขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ในการเฉือนทั้งสองตัว ( $s_i, s_j$ ) อัลกอริทึมในการสร้างภาพนี้จำเป็นต้องทราบข้อมูลเพิ่มเติมอีก 1 อย่าง นั่นก็คือลำดับของสไลซ์ในพิกัดภาพระหว่างกลาง ซึ่งก็คือลำดับในการฉายภาพในแนวแกน  $k$  ของพิกัดวัตถุมาตรฐานนั่นเอง เพราะเราใช้การประกอบภาพแบบหน้าไปหลังทำให้ลำดับในการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของ  $k$  เวลาทำการฉายขึ้นอยู่กับทิศทางของมุมมองนั่นเอง โดยการพิจารณาเวกเตอร์ทิศทางของมุมมอง หาก  $v_{so,k} > 0$  เราจะได้ว่าที่ระนาบ  $k=0$  นั้นเป็นสไลซ์ด้านหน้า ส่วนในกรณีอื่นเราจะได้ว่า  $k = k_{max}$  เป็นสไลซ์ด้านหน้า

เมื่อเราได้ทำการเลือกเมตริกซ์การแปลงย้ายที่เหมาะสมได้แล้ว เราสามารถเขียนเมตริกซ์ในการแปลงเฉือนใหม่ได้เป็น

$$M_{shear} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_i \\ 0 & 1 & 0 & t_j \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & s_i & 0 \\ 0 & 1 & s_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & s_i & t_i \\ 0 & 1 & s_j & t_j \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.18)$$



รูปที่ 5.5 การแปลงพิกัดภาพระหว่างกลางในกรณีต่าง ๆ

จากสมการที่ 5.17 และสมการที่ 5.18 เราจึงต้องทำการแปลงเมตริกซ์ผูกพันการบิดเป็น

$$M_{warp} = \begin{bmatrix} m'_{11} & m'_{12} & (m'_{13} - s_i m'_{11} - s_j m'_{12}) & m'_{14} \\ m'_{21} & m'_{22} & (m'_{23} - s_i m'_{21} - s_j m'_{22}) & m'_{24} \\ m'_{31} & m'_{32} & (m'_{33} - s_i m'_{31} - s_j m'_{32}) & m'_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -t_i \\ 0 & 1 & 0 & -t_j \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

แต่เนื่องจาก เราทำการแปลงบิดในระบบสองมิติเราจึงสามารถลบในแถวที่ 3 และ หลักที่ 3 ของสมการที่ 5.19 ออกได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_{warp2D} = \begin{bmatrix} m'_{11} & m'_{12} & (m'_{14} - t_i m'_{11} - t_j m'_{12}) \\ m'_{21} & m'_{22} & (m'_{23} - t_i m'_{21} - t_j m'_{22}) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

ในการแปลงภาพที่บิดเบี้ยวไปเป็นภาพผลลัพธ์เราใช้ เมตริกซ์การแปลงบิดกระทำในสองมิติซึ่งมีสมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = M_{warp2D} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

#### 5.4.5 สรุปรูปเมตริกซ์การแปลงที่สมบูรณ์แบบ

โดยสรุปการสร้างภาพเชิงปริมาตรโดยการแปลงเฉือนและบิดนั้น มีกระบวนการในการแปลงประกอบด้วย การเฉือนในสามมิติ และการบิดในสองมิติ คือ

$$M_{view} = M_{warp} M_{shear} P \quad (5.22)$$

กระบวนการทำงานโดยสรุปตามลำดับมีการทำงานตามลำดับดังนี้

1. หาแกนมุมมองหลัก (สมการที่ 5.9 และ 5.10) จากนั้นทำการเลือกเมตริกซ์  $P$
2. คำนวณหาเมตริกซ์ที่ถูกแปลงมุมมอง จาก  $M_{view}$  และ  $P$  (สมการที่ 5.12)
3. คำนวณหาสัมประสิทธิ์การเฉือน (สมการที่ 5.14 และ 5.15) จากเมตริกซ์ที่ถูกแปลงมุมมอง  $M'_{view}$
4. ทำการคำนวณการย้ายตำแหน่งจากพิกัดวัตถุมาตรฐานไปยังพิกัดภาพระหว่างกลาง (รูปที่ 5.5)
5. คำนวณเมตริกซ์การเฉือน (สมการที่ 5.18) และเมตริกซ์การแปลงบิด (สมการที่ 5.20)

ที่กล่าวมาทั้งหมดทำให้เราทราบถึงเมตริกซ์การแปลงที่จำเป็นต้องใช้ในวิธีการตามแนวคิดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงการจัดเตรียมข้อมูลต้นฉบับเพื่อให้การทำงานของอัลกอริทึมที่กล่าวมาแล้วนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 5.5 การลดวงรอบการทำงานที่ไม่จำเป็น

เนื่องจากในภาพตัดขวางสองมิติในปริมาตรนั้น จะมีปริมาณพื้นที่ในส่วนที่เป็นพื้นจากหลังหรืออากาศเป็นจำนวนมากประมาณ  $1/3$  ถึง  $1/2$  ของข้อมูลทั้งหมด จึงได้มีการค้นคว้าใน

การข้ามการทำงานในส่วนเหล่านี้ดังเช่น [13] ได้มีการนำเอาการแปลงระยะทางเข้ามาช่วย แต่เนื่องจากอัลกอริทึมของแนวคิดที่นำเสนอนี้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยตรงทำให้เราสามารถออกแบบการข้ามข้อมูลในส่วนที่ไม่จำเป็นได้ง่ายและมีประสิทธิภาพเรื่องเวลาที่ดีกว่า ซึ่งเราจะมาดูวิธีการที่ว่ามันก็คือการเข้ารหัสรัน-เลงท์ (Run-length Coding)

### 5.5.1 นิยาม

ในข้อมูลภาพตัดขวางสองมิติ รูปร่างของวัตถุใด ๆ ก็ตามสามารถแสดงได้ในรูปแบบของขอบเขตบริเวณที่วัตถุนั้นครอบคลุมอยู่ ตัวอย่างเช่น ในภาพไบนารีนั้นสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$u(m, n) = \begin{cases} 1, & \text{if } (m, n) \in R \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

ซึ่งสมการนี้แสดงถึงบริเวณ R ขอบเขตนี้ได้บ่งบอกถึงบริเวณ R ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลทั้งหมดแต่จะเก็บเพียงข้อมูล กลุ่มย่อยของ  $u(m, n)$  กลุ่มเดียวเท่านั้น

### 5.5.2 รหัสรัน-เลงท์ (Run-length Codes)

บริเวณใด ๆ หรือภาพไบนารีนั้นสามารถมองได้ในรูปของลำดับของการสลับกันระหว่างบิต "0s" และ "1s" ซึ่งรหัสรัน-เลงท์นี้จะใช้แสดงแทนลำดับของข้อมูลไบนารีนี้เอง ในงานวิจัยนี้ข้อมูลภาพตัดขวางในแต่ละสไลซ์ถูกมองในรูปของภาพไบนารี คือประกอบด้วยส่วนที่โปร่งแสงและส่วนที่ทึบแสง ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างภาพทางการแพทย์คือส่วนที่ทึบแสง รูปแบบของรหัสรัน-เลงท์นั้นมีได้หลากหลายแต่มีวัตถุประสงค์ที่จะลดขนาดของข้อมูลให้น้อยที่สุดโดยคุณภาพของข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลง ข้อดีหลักของรหัสรัน-เลงท์นี้คือจะไม่พิจารณาถึงความซับซ้อนของบริเวณแต่จะแสดงในรูปแบบข้อมูลแถวเดียว ในส่วนของข้อเสียของรหัสนี้คือรหัสนี้ไม่สามารถระบุถึงเส้นขอบของบริเวณได้ ทำให้ไม่สามารถแบ่งแยกบริเวณหลาย ๆ บริเวณในรูปเดียวกันได้

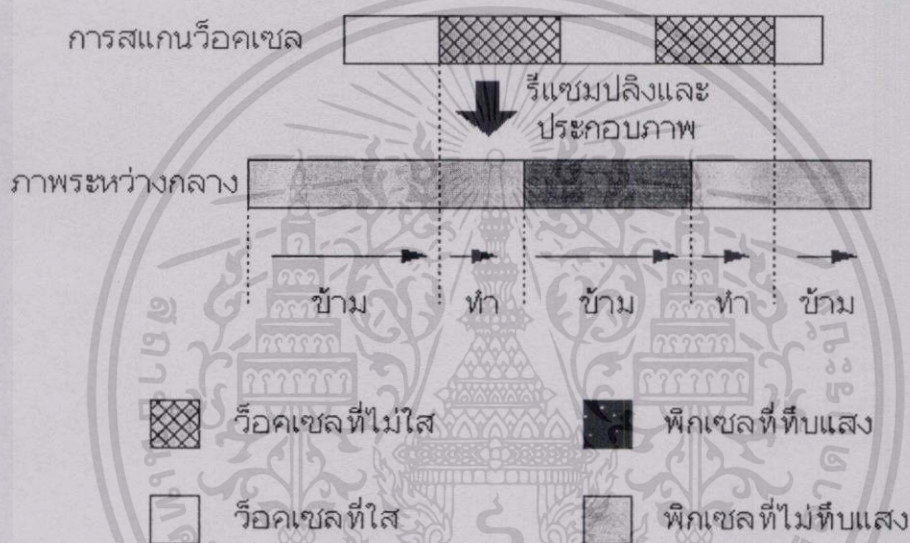
	0	1	2	3	4	รหัสระยะวิ่ง	หมายเลข
0							
1		▨		▨	▨	(1,1)1,(1,3)2	1,2
2	▨	▨		▨		(2,0)4	3
3		▨	▨			(3,1)2	4
4						.	.
						.	.
						.	.

รูปที่ 5.6 รหัสรัน-เลงท์ของบริเวณข้อมูลไบนารี

จากรูปที่ 5.6 ข้อมูลขนาด  $5 \times 5$  จะถูกแทนด้วยรหัสรัน-เลขที่ โดยทำการเก็บตำแหน่งเริ่มต้นของข้อมูลแล้วตามด้วยจำนวนบิตข้อมูลที่ติดกัน ตัวอย่างเช่น  $(2,0)_4$  คือจากตำแหน่งที่  $(2,0)$  มีข้อมูลติดกันในแนวนอน 4 ตัว เป็นต้น

### 5.5.3 การประยุกต์ใช้งานรหัสรัน-เลขที่

เนื่องจากแถวของการสแกนว็อกเซลขนานไปกับแถวการสแกนฉายภาพ ทำให้เราสามารถนำเอารหัสรัน-เลขที่ และการหยุดประกอบภาพเมื่อพิกเซลมีค่าทึบแสงเข้าใกล้ 1 มาประยุกต์รวมกัน จะได้ผลออกมาดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 การประยุกต์รหัสรัน-เลขที่กับการหยุดประกอบภาพเข้าด้วยกัน

การทำงานในรูปที่ 5.7 นั้นจะเริ่มทำงานไปตามรหัสวิ่งโดยจะทำเฉพาะว็อกเซลที่ไม่ใส (ส่วนที่ใสคือพื้นหลังและอากาศ) จากนั้นจะพิจารณาอีกทีว่าภาพที่จะทำการประกอบนั้นทึบแสงหรือไม่ หากทึบแสงก็จะทำการข้ามส่วนนั้นอีก ทำให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพสูงเพราะจะใช้เวลาการคำนวณเฉพาะในส่วนที่มีผลต่อภาพผลลัพธ์เท่านั้น

## สรุป

ที่กล่าวมาในบทนี้ทั้งหมดเป็นหลักการและประยุกต์ใช้แนวคิดในการสร้างภาพเชิงปริมาตรแบบเร็วโดยการแปลงเฉือนและบิด ซึ่งในบทต่อไปเราจะกล่าวถึงผลที่ได้จากอัลกอริทึมนี้ พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพและคุณภาพของภาพกับแนวคิดเดิมในบทถัดไป

## บทที่ 6

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 6.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการเสนอวิธีการในการทดลองและผลการทดลองที่ได้ โดยทำการเปรียบเทียบกับแนวคิดเดิมที่มีอยู่ ในการเปรียบเทียบนั้นจะประกอบไปด้วยทั้งทางด้านความเร็วและทางด้านคุณภาพของภาพผลลัพธ์

#### 6.2 ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

##### 6.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้เราได้มีข้อมูลในการทดลองประกอบด้วยข้อมูล 2 ชนิด คือ ข้อมูลที่ได้ทำการสร้างขึ้นเอง และ ข้อมูลที่ได้จากภาพตัดขวางทางการแพทย์ (ภาพจากเครื่อง CT, MRI) ซึ่งเป็นภาพเทาชนิด 8 บิต 256 ระดับเทา มีขนาด 256x256 พิกเซล ซึ่งมีจำนวนสไลด์ดังนี้

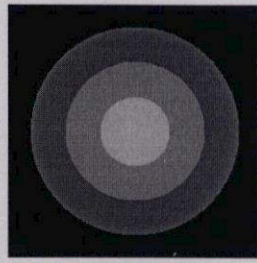
- ภาพศีรษะเด็ก มีจำนวน 80 สไลด์
- ภาพศีรษะผู้ใหญ่ มีจำนวน 113 สไลด์
- ภาพบริเวณคอ มีจำนวน 83 สไลด์

##### 6.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

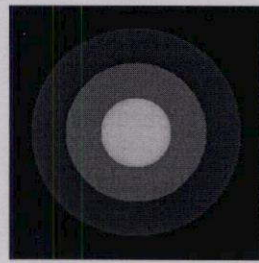
โปรแกรมที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาด้วยภาษา C++ โดยใช้ Microsoft Visual C++ 6.0 เป็นคอมไพเลอร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows 98 ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง AMD 700 MHz และมีหน่วยความจำหลัก 128 MB

#### 6.3 การทดลองกับภาพตัดขวางที่สร้างขึ้นเอง

ทำการสร้างภาพตัดขวางของทรงกลมซึ่งจะเห็นได้ในรูปที่ 6.1 (ก) โดยในรูปแบบเป็นสไลด์ชั้นที่อยู่ตรงกลางในปริมาตรเมื่อทำการสร้างภาพเชิงปริมาตรจะได้ภาพผลลัพธ์ดังรูปที่ 6.1 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.1 (ก) ภาพตัดขวางต้นฉบับ (ข) ภาพที่ได้จากวิธีการแปลงเฉือนและบิด

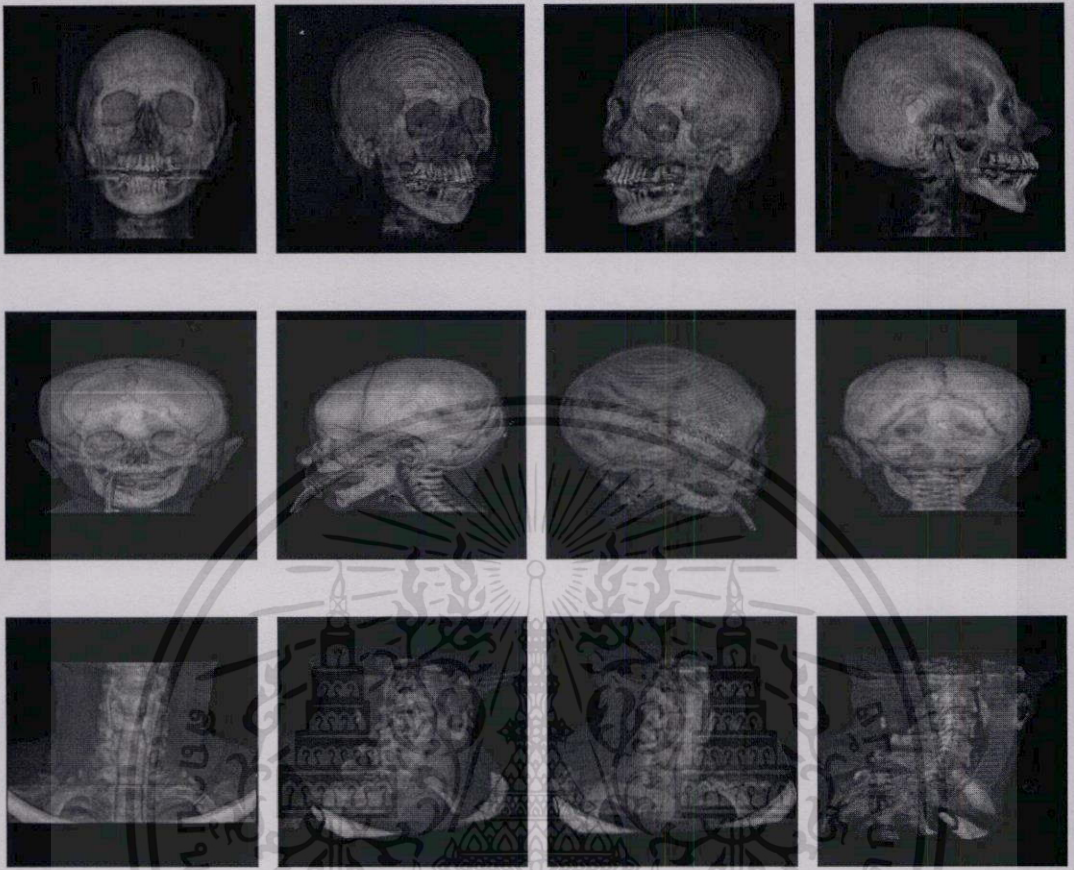
#### 6.4 การทดลองกับภาพตัดขวางทางการแพทย์

ภาพที่ได้นำมาทดลองนั้นมียู่ด้วยกัน 3 ชุด ดังรูปที่ 6.2 โดยชุดซ้ายบนคือ ศรีษะเด็ก, ชุดขวาบนคือศรีษะผู้ใหญ่ และชุดด้านล่างคือบริเวณช่องคอ

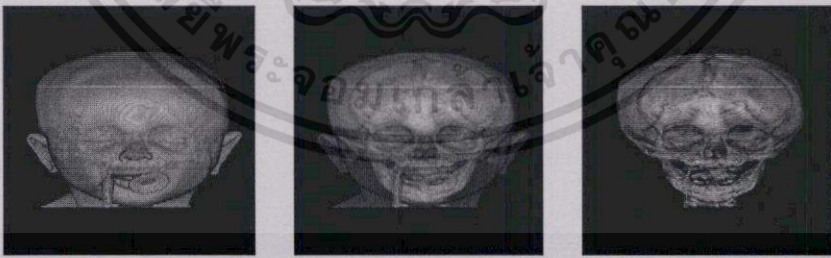


รูปที่ 6.2 ภาพตัดขวางทางการแพทย์ที่นำมาทดลอง

จากการทดลองสร้างภาพเชิงปริมาตรของข้อมูลทั้ง 3 ชุด ซึ่งได้ภาพผลลัพธ์ในมุมต่าง ๆ ออกมาดังรูปที่ 6.3 และได้ทำทดลองปรับค่าความทึบแสงเพื่อเลือกแสดงส่วนที่เป็นผิวหนัง, ภาพกิ่งโปร่งใสและส่วนที่เป็นกระดูก ได้ผลดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.3 แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการแปลงเน็อนและบิด



รูปที่ 6.4 แสดงภาพผลลัพธ์ที่เปลี่ยนค่าความทึบแสงของชุดข้อมูล

ทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างภาพเชิงปริมาตรและเวลาที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลต้นฉบับจากข้อมูลชุดเดียวกันภายใต้สภาวะเดียวกันได้ผลเป็นดังนี้

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างภาพ

วิธี/เวลา (วินาที)	ศัรษะเด็ก	ศัรษะผู้ใหญ่	ลำคอ
วิธีฉายแสงธรรมดา	26.93	28.96	29.43
วิธีฉายแสง+แปลงระยะทาง	6.96	8.35	8.64
การแปลงเงื่อนและบิด	10.87	13.36	12.99
การแปลงเงื่อนและบิด+เข้ารหัส	6.01	7.56	7.76

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเข้ารหัส

วิธี/เวลาเข้ารหัส (วินาที)	ศัรษะเด็ก	ศัรษะผู้ใหญ่	ลำคอ
เข้ารหัส รัน-เลงท์	9	9	24
การแปลงระยะทาง	419	420	419

จากตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าการสร้างภาพเชิงปริมาตรด้วยวิธีการแปลงเงื่อนและบิดนั้นใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่า และหากเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเข้ารหัสตามตารางที่ 6.2 จะเห็นได้ว่าการแปลงระยะทางนั้นใช้เวลาค่อนข้างนานเนื่องจากต้องทำการแปลงระยะทางทั้ง 3 มิติ แต่การแปลงเป็นรหัสรัน-เลงท์นั้นจะมองข้อมูลที่เข้ามาเป็น 1 มิติ ซึ่งเวลาที่ใช้จะแปรตามความซับซ้อนของภาพ แต่ในการแปลงระยะทางนั้นจะคงที่ตามขนาดของปริมาตรทั้งหมด

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบขนาดของเนื้อที่ใช้งานของรหัส

วิธี/ขนาด	ศัรษะเด็ก	ศัรษะผู้ใหญ่	ลำคอ
เข้ารหัส รัน-เลงท์	0.43MB	0.34MB	2.3MB
การแปลงระยะทาง	16MB	16MB	16MB

ตารางที่ 6.3 แสดงให้เห็นว่าการแปลงระยะทางนั้นสิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บอย่างมาก เนื่องจากต้องเก็บค่าระยะทางของทุก ๆ วิวเซลล์ ซึ่งต้องเก็บทั้งปริมาตรบางครั้งจะทำให้ขนาดของค่าตารางระยะทางนั้นมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของข้อมูลต้นฉบับ แต่ในการเข้ารหัสรัน-เลงท์จะเก็บเฉพาะจุดเริ่มต้นและจำนวนข้อมูลที่ไม่ใช่พื้นหลังเท่านั้น

## 6.5 การเปรียบเทียบคุณภาพของภาพ

ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพโดยทำการวัดเทียบกับการสร้างภาพเชิงปริมาตรด้วยวิธีการฉายแสงแบบดั้งเดิมหาใช้การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error : %RMS) ดังสมการ

$$\%RMS = \sqrt{\frac{1}{3MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [r'(x,y) - r(x,y)]^2 + [g'(x,y) - g(x,y)]^2 + [b'(x,y) - b(x,y)]^2} \times 100 \quad (6.1)$$

เมื่อ  $M$  และ  $N$  คือความกว้างและความสูงของภาพ  $r(x,y)$ ,  $g(x,y)$  และ  $b(x,y)$  คือค่าองค์ประกอบสีแดง, สีเขียวและสีน้ำเงินของภาพต้นฉบับ ส่วน  $r'(x,y)$ ,  $g'(x,y)$  และ  $b'(x,y)$  คือค่าองค์ประกอบสีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงินของภาพที่นำมาเปรียบเทียบ

เราได้ทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้และวิธีที่ใช้การแปลงระยะทาง [16] ผลที่ได้เป็น

ตารางที่ 6.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ของภาพที่เปลี่ยนไป

วิธี	%RMS
การแปลงเฉือนและบิด	3.0
การแปลงระยะทาง	0 - 1.1

ค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของการแปลงระยะทางที่ใช้[16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 7.1 สรุปผลงานวิจัย

การวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการแก้ปัญหาในเรื่องการใช้เวลานานในการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการแปลงเงื่อนไขและบิด พร้อมประยุกต์การเข้ารหัสรัน-เลงท์ข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับกรายแสงซึ่งเป็นแนวคิดเดิมทำให้ได้ผลดังนี้

1. การสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์นั้นสามารถสร้างได้เร็วขึ้น
2. การเข้ารหัสรัน-เลงท์นั้นมีอัลกอริทึมที่ไม่ซับซ้อนและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บน้อยกว่า (ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของภาพ สำหรับภาพ CT หัวเด็ก ใช้เนื้อที่ประมาณ 0.40 Megabytes) การแปลงระยะทาง ซึ่งใช้เนื้อที่จัดเก็บคงที่เท่ากับขนาดของปริมาตร (สำหรับปริมาตรขนาด  $256 \times 256 \times 256$  ใช้เนื้อที่ประมาณ 16 Megabytes )
3. การเข้ารหัสรัน-เลงท์และการไหลดข้อมูลของรหัสสั้นใช้เวลาน้อยกว่าการแปลงระยะทาง
4. เนื่องจากผ่านการรีแซมเปิล 2 ครั้งอาจทำให้มีคุณภาพของภาพลดลง แต่เนื่องจากภาพทางการแพทย์นั้นมีความละเอียดของข้อมูลสูงมาก ทำให้ผลกระทบนั้นมีน้อยมาก

### 7.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเราเน้นที่ความเร็วในการสร้างภาพในการแบ่งกลุ่มข้อมูลนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การแบ่งเทรซโฮล ซึ่งเป็นแบบลองผิดลองถูกซึ่งอาจทำให้เกิดการแบ่งกลุ่มที่คลาดเคลื่อนได้
2. หากเราทำการปรับเปลี่ยนค่าตารางความทึบแสง เราต้องทำการสร้างภาพใหม่ จึงเป็นแนวคิดที่ดีหากสามารถเปลี่ยนแปลงค่าความทึบแสงได้ เพื่อที่จะเน้นดูอวัยวะต่าง ๆ โดยไม่ต้องทำการสร้างภาพใหม่ทั้งหมด

ที่กล่าวมาทั้งหมดในหัวข้อสรุปผลการวิจัยและหัวข้อข้อเสนอแนะคือแนวคิดที่ได้ทำมาและแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต ซึ่งคาดว่าจะมีแนวคิดและการพัฒนาใหม่ ๆ เพื่อรองรับกับความต้องการในการใช้งานภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์ต่อไป อย่างไรก็ตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็ได้อธิบายพื้นฐานและสรุปแนวคิดที่เป็นส่วนสำคัญต่องานวิจัยด้านนี้ไว้ ซึ่งหวังว่าคงจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจทั่วไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุพจน์ จันทรวิวัฒน์, สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์, กิตติพล ชิตสกุล และมนัส สังวรศิลป์. "การสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้วิธีพิจารณาจากเวกเตอร์ปกติของพื้นผิว" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 20 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 1997.
- [2] U. Tiede, K. H. Hoehne, M. Bomans, A. Pommert, M. Riemer and G. Wiebecke. "Investigation of medical 3D-rendering algorithms." IEEE Computer Graphics & Applications, Vol. 10, No. 2, March 1990. pp. 41-53.
- [3] Gebriele Lohmann. Volumetric Image Analysis. UK. : John Wiley & Sons. 1998.
- [4] W. Paiboonrattanakorn, N. Banditwong, M. Sangworasil, P. Kusirivanitchakorn, " Three Planes Contour Technique for 3-D Medical Image Rendering", IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems", Phuket, Thailand, Dec 1999, pp.681 – 684.
- [5] W. E. Lorensen and H. E. Cline. "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm." Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH), Vol. 21, No. 3, July 1987. pp. 163-169.
- [6] R. A. Drebin, L. Carpenter and P. Hanrahan. "Volume Rendering." Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH), Vol. 22, No. 3, July 1987. pp. 65-74.
- [7] D. R. Ney, E. K. Fishman, D. Magid and R. A. Drebin, "Volumetric Rendering" IEEE Computer Graphics & Applications, Vol. 10, No. 2, March 1990. pp. 24-32
- [8] M. Levoy. "Display of Surface from Volume Data." CG&A, Vol.8, No.3, May 1988. pp.29-37.
- [9] L. Westover. Interactive volume rendering, Chapel Hill Workshop on Volume Visualization. NC. : Chapel Hill. 1990.
- [10] J. Wilhelms and A. Van Gelder. "Octree for faster isosurface generation." ACM Transaction on Graphics 11, Vol. 3. pp. 270-274.
- [11] A. K. Jain. Fundamental of Digital Image Processing. International Editions. N. J. : Prentice-Hall. 1989.
- [12] B. Lichtenbelt, R. Crane and S. Naqvi. Introduction To Volume Rendering. New Jersey. : Prentice-Hall. 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] David F. Rogers. *Procedural Elements For Computer Graphics*. International Student Editions. Singapore : McGraw-Hill. 1985.
- [14] วรเทพ ไพบูลย์รัตนากร, เกษมสุข เสพศิริสุข, สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์ และมนัส สังวรศิลป์. "อัลกอริธึมสำหรับสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 1999.
- [15] วรเทพ ไพบูลย์รัตนากร, นนท์ บัณฑิตวงษ์, สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์, มนัส สังวรศิลป์. "การเพิ่มความเร็วยังการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์โดยใช้การแปลงระยะทาง" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 23 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2000.
- [16] วรเทพ ไพบูลย์รัตนากร. "การเพิ่มความเร็วยังการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์โดยใช้การแปลงระยะทาง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [17] W. Paiboonrattanakorn , T. Rattanametawee, K. Chitsakul and M. Sangworasil. "Speed-Up Volume Rendering In Medical Image by Using Distance Transform." *Proceeding of First International Conference On Mechatronics' 01*. Vol. II, 2001. pp. 468-475.
- [18] วรเทพ ไพบูลย์รัตนากร, ประเสริฐ อัครรุ่งสกุล, กิติพล ชิตสกุล และมนัส สังวรศิลป์. "การแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูลภาพดิจิทัลที่ได้จากการหมุนภาพ" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 21 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 1998.
- [19] K. Sepsirisuk, T. Rungsawang and M. Sangworasil. "Fast Volume Rendering for Medical Image by using Shear-Warp Transformation." *Proceeding of First International Conference On Mechatronics' 01*. Vol. II, 2001. pp. 427-433.
- [20] K. Sepsirisuk and M. Sangworasil. "Fast Volume Rendering for Medical Image Using Shear-Warp Factorization." *The Third Bio-Systems Symposium and Workshop*. 2001. pp.118.

## ภาคผนวก

### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. วรเทพ ไพบูลย์รัตนากร, เกษมสุข เสพศิริสุข, สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์ และ มนัส สังวรศิลป์. "อัลกอริธึมสำหรับสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พ.ศ.2542. หน้า 396-372.
2. ธนาภรณ์ รัตนเมธาวิ, เกษมสุข เสพศิริสุข, ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ และ มนัส สังวรศิลป์. "การเพิ่มความเร็วในการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์ด้วยการแปลงระยะทางสองทิศทาง" การประชุมวิชาการไฟฟ้าครั้งที่ 24 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. พ.ศ.2544. หน้า 1296-1300.
3. K. Sepsirisuk, T. Rungsawang and M. Sangworasil. "Fast Volume Rendering for Medical Image by using Shear-Warp Transformation." Proceeding of First International Conference On Mechatronics'01. Vol.II, Kuala Lumpur, Malaysia, 2001. pp. 427-433.
4. K. Sepsirisuk and M. Sangworasil. "Fast Volume Rendering for Medical Image Using Shear-Warp Factorization." The Third Bio-Systems Symposium and Workshop. Chiang Mai University, 2001. pp. 118.

## ประวัติผู้เขียน

นายเกษมสุข เสพศิริสุข เกิดเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม 2519 เป็นชาวจังหวัดอุทัยธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541

ปี พ.ศ. 2535 ได้รับรางวัลพระราชทาน ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

