



๒ ๖ ๖ ๖

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2532

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง

ผู้จัดทำ

1. นายพชรพร แสงรัตนเดช 291132
2. นายไพโรจน์ เจตนาชัย 291137
3. นายอภิสิทธิ์ ศักดิ์สมบูรณ์ 291300



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ศจ.ดร.ไพรัช รัชชพงษ์ )

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( กวิน สันธิเพิ่มพูน )

026875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. พ.ย. 2533

การสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง  
3-D IMAGE CONSTRUCTION FROM CT CROSSSECTIONS

พุทธร แสงรัตนเดช  
ไพโรจน์ เจตนชัย  
อภิสิทธิ์ ศักดิ์สมบูรณ์

Puttaporn Saengratanadej

Piroj Jetanachai

Apsit Saksomboon

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.ไพรัช ทัชชยพงษ์

อาจารย์กวิน สนิธิเพิ่มพูน

Advisor

Prof. Dr. Pairash Tachayapong

Kawin Sonthipaumpoon

ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2532

## การสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง

พุทธพร แสงรัตนเดช

ไพโรจน์ เจตนชัย

อภิสิทธิ์ ศักดิ์สมบูรณ์

อ.กวิน สันธิ เพิ่มพูน อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ.ดร.ไพรัช รัชพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

### บทคัดย่อ

ปริกฤษณานิพนธ์นี้เสนอวิธีการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง โดยภาพตัดขวางที่ใช้ในที่นี้เป็นภาพสองมิติที่ได้จากการถ่ายเอกซเรย์ (CT: Computerized Tomography) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นภาพของอวัยวะต่างๆ เมื่อต้องการแสดงภาพสามมิติของอวัยวะใด จะเริ่มต้นด้วยการเก็บภาพถ่ายเอกซเรย์ของอวัยวะนั้นไว้หลายภาพเป็นลำดับกัน ภาพที่ได้นี้จะเป็ภาพสองมิติหลายภาพซ้อนกัน ซึ่งความสูงของการซ้อนกันจะเป็นมิติที่สามนั่นเอง จากนั้นจะนำข้อมูลนี้มาผ่านขั้นตอนการแยกแยะวัตถุ (Classification) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำหรับแยกแยะว่าวัตถุส่วนใดที่ผู้สังเกตต้องการพิจารณา โดยในที่นี้จะใช้ระดับความเข้ม (Threshold level) เป็นเกณฑ์ในการแยกแยะ , การหมุน (Rotation) เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการหมุนวัตถุที่สนใจ เพื่อหามุมหรือทิศทางที่ต้องการพิจารณา , การหาพื้นผิวที่โอบตามผู้สังเกต เป็นการพิจารณาว่าพื้นผิวส่วนใดที่ผู้สังเกตจะมองเห็นและส่วนใดที่มองไม่เห็น เพื่อที่จะแสดงผลเฉพาะบริเวณที่มองเห็นเท่านั้น และในที่นี้จะใช้วิธีการที่เรียกว่า แบคทูฟรอนต์ (Back to front) , การให้ความสว่าง (Shading) เป็นขั้นตอนในการให้ค่าความสว่างของจุดแต่ละจุดที่จะต้องนำแสดงออกสู่จอภาพก่อนที่จะแสดงภาพออกสู่หน้าจอ โดยรายละเอียดของขั้นตอนแต่ละขั้นตอนได้แสดงไว้ภายในวิทยานิพนธ์เล่มนี้แล้ว

## 3-D Image Construction from CT Crosssection

Puttaporn Saengratanadej

Piroj Jetanachai

Apisit Saksomboon

Prof. Dr. Pairash Tachayapong Advisor

Kawin Sonthipaumpoon Advisor

1989

### Abstract

This thesis presents a technique of constructing 3-dimension image from a series of cross-sectional images. The cross-sectional images, composed of tissues in different density.

The method in this thesis has several processes. First, we define the tissue interested by two threshold values, then the point in range within the thresholds will be rotated to the viewing angle desired, exploit BACK TO FRONT method for hidden surface removal and then shade all those visible points to form the illuminating pixels on display device.

This technique is simple, fast and use small amount of memory. We implement the technique on IBM AT compatible with math coprocessor and the result is quite appreciated.

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมแสดงการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง	4
รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงภาพตัดขวางของวัตถุทรงกลม	6
รูปที่ 2.3	6
รูปบน: สไลด์แสดงบริเวณครีษณะขนาด 180 x 128 เป็นสไลด์หนึ่งจากสไลด์จำนวน 52 สไลด์	
รูปล่าง : เป็นภาพแสดงผลลัพธ์จากการนำภาพบนไปผ่านขั้นตอนการแยกแยะวัตถุแล้ว	
รูปที่ 2.4 แสดงภาพของการเลื่อนจุดรอบแกนมาตรฐาน $X, Y, Z$	8
รูปที่ 2.5 เป็นรูปที่แสดงถึงวอกเซลที่จะต้องทำการพิจารณาในการทำกลาง	11
รูปที่ 2.6 แสดงหน้าทั้ง 6 หน้าของวอกเซลหนึ่งวอกเซล	13
รูปที่ 2.7 แสดงไดโกราฟของวอกเซลในรูปที่ 2.6	13
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างวัตถุที่ประกอบด้วยวอกเซล 3 วอกเซล	14
รูปที่ 2.9 แสดงไดโกราฟของวัตถุในรูปที่ 2.8	15
รูปที่ 2.10 แสดงแผนภาพต้นไม้ที่สร้างจากไดโกราฟในรูปที่ 2.9	16
รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนในการสร้างแผนภาพต้นไม้	16
รูปที่ 2.12 ภาพประกอบการแสดงวิธีการหาวอกเซลที่ผู้สังเกตมองเห็น	17
รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงข้อแตกต่างระหว่างขอบจริงและขอบเทียม	18
รูปที่ 2.14 แสดงการหาเวกเตอร์ตั้งฉากที่จุด $P$ ใดๆ	21
รูปที่ 2.15 แสดงถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความสว่าง	25
รูปที่ 2.16 แสดงการหาค่าเวกเตอร์ในแนวแกน $U$ และ $V$	26
รูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อความสว่าง	28
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง	29
รูปที่ 3.2 แสดงลำดับการเก็บข้อมูลในไฟล์ข้อมูลก่อนที่จะนำมาสร้างภาพสามมิติ	31
รูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นถึงทิศของแกนมาตรฐาน $X, Y, Z$ ที่ใช้	34
รูปที่ 3.4 แสดงภาพของการเลื่อนจุดรอบแกนมาตรฐาน $X, Y, Z$	36
รูปที่ 3.5 ภาพประกอบการแสดงหาจุดที่ต้องแสดง	39
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $f(Z)$ กับ $Z$	43
รูปที่ 3.7 แสดงการหาค่าเวกเตอร์ $u, v$ และ $w$	45
รูปที่ 4.1 ผลการทดลองที่ 4.1.1	48
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองที่ 4.1.2	49
รูปที่ 4.3 ผลการทดลองที่ 4.1.3	49
รูปที่ 4.4 ผลการทดลองที่ 4.2.1	50

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วัตถุประสงค์ทฤษฎีและหลักการทั่วไปในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง	3
2.1) วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
2.2 หลักการทั่วไปในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง	3
2.3 ทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง	5
บทที่ 3 วิธีการที่ใช้ในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง	30
3.1) การแยกแยะวัตถุเพื่อหาส่วนที่ต้องการพิจารณาโดยใช้ค่าความหนาแน่น	30
3.2) การทำกลาง	32
3.3) การหมุนวัตถุ	34
3.4) การหาจุดที่ต้องนำแสดงจากหลังไปหน้า	39
3.5) การให้แสงก่อนที่จะนำภาพของวัตถุแสดงบนหน้าจอ	42
3.6) โครงสร้างการทำงานทั้งหมด	46
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	48
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอนี้	55
ภาคผนวก	58

	หน้า
รูปที่ 4.5 ผลการทดลองที่ 4.2.2	50
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองที่ 4.2.3	51
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองที่ 4.3.1	51
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองที่ 4.3.2	52
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองที่ 4.3.3	52
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองที่ 4.4.1	53
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองที่ 4.4.2	54
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองที่ 4.4.3	54
รูปที่ 5.1 แสดงขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง	56
รูปที่ 5.2 รูปแสดงการพิมพ์จุดต่างๆ ออกทางเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (ภาคผนวก)	



## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้าไปมีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์เราหลายด้าน ซึ่งรวมถึงงานต่าง ๆ รวมทั้งงานทางด้านการแพทย์ด้วย ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจโรค เครื่องมือที่ใช้สำหรับรักษา และเครื่องมืออื่น ๆ ในด้านการตรวจวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับอวัยวะภายในของร่างกายคนเรา สิ่งที่สำคัญก็คือจะต้องทำให้แพทย์ผู้วินิจฉัยสามารถเห็นหรือทราบถึงลักษณะของ อวัยวะภายในนั้นๆ แต่เดิมการวินิจฉัยโรคต่างๆ ที่เกี่ยวกับอวัยวะภายในร่างกายจะใช้วิธีการฉายรังสีเอกซ์ผ่านอวัยวะเพื่อให้เกิดภาพบนแผ่นฟิล์ม ( เรียกว่า Convent ion X-ray photography ) ภาพที่ได้จะประกอบด้วยภาพชั้นต่างๆ ของอวัยวะซ้อนกัน ดังนั้น แพทย์ผู้ทำการวินิจฉัยจะต้องจินตนาการภาพของอวัยวะเหล่านั้นให้เป็นภาพสามมิติ โดยอาศัยภาพบนแผ่นฟิล์มดังกล่าวด้วยตนเอง ผลการวิเคราะห์จึงขึ้นอยู่กับความสามารถของแพทย์แต่ละบุคคล

ต่อมาในระยะหลังได้มีการสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะโดยใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วย ( CT : Computerized Tomography ) ภาพที่ได้จากการทำงานด้วยวิธีนี้จะสามารถช่วยให้แพทย์ผู้ทำการวินิจฉัยได้รับความสะดวกและความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในปัจจุบันการพัฒนางานทางด้านนี้มิได้หยุดยั้งเพียงเท่านั้นแต่ได้พยายามที่จะแสดงภาพสามมิติของอวัยวะภายใน เพื่อให้การวิเคราะห์หรือการวินิจฉัยโรคถูกต้องมากยิ่งขึ้นไปอีก การสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวางนี้เป็นโครงการหนึ่งที่น่าสนใจแนวความคิดดังกล่าว โดยการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวางนี้เป็นการพัฒนาภาพจากภาพที่ปรากฏในลักษณะสองมิติ ดังนั้นในการที่จะทำการสร้างภาพสามมิติของวัตถุหรืออวัยวะใดๆ เริ่มแรกจะต้องทำการสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะหรือวัตถุนั้นๆ เสียก่อน ตั้งแต่ส่วนบนสุดจนถึงส่วนล่างสุดของอวัยวะนั้นๆ และนำภาพ ( ลำดับภาพ ) เหล่านี้มาสร้างเป็นภาพสามมิติ

ในปัจจุบันการแสดงภาพของอวัยวะภายในร่างกายเป็นภาพสามมิติ ยังมีการใช้งาน ( ภายในประเทศ ) ไม่แพร่หลาย เนื่องจากราคาของเทคโนโลยีที่ใช้ประกอบในแต่ละขั้นตอนมีราคาสูง และอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษายังไม่สมบูรณ์พอ จึงทำให้การวินิจฉัยโรคต่างๆ ไม่สามารถกระทำได้ดีเท่าที่ควร งานวิจัยการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวางที่ได้จัดทำขึ้นนี้เป็นการศึกษาต่อจากการวิจัยการสร้างภาพตัดขวาง ( จัดทำโดย อาจารย์ถวิล สนธิเพิ่มพูน ) ซึ่งการพัฒนาในครั้งนี้ถือได้ว่าเป็นการพัฒนาครั้งแรกในเมืองไทย

### เนื้อหาของปริกฏยานิพนธ์

ภายในปริกฏยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสรุปเนื้อหาต่างๆ ได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทั่วๆ ไปที่ใช้ในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของเทคนิคและวิธีการที่ใช้ในการจัดทำโครงการนี้

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลองทั้งของข้อมูลจำลองและข้อมูลจริง

บทที่ 5 เป็นบทสุดท้ายซึ่งจะเป็นบทสรุปและวิจารณ์ รวมทั้งข้อเสนอนแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาขั้นต่อไป

ภาคผนวก กล่าวถึงการค้นคว้าของเมตริกซ์ , การจำลองข้อมูล และหลักกวีในการแสดงผลออกทาง เครื่องพิมพ์เลเซอร์



## บทที่ 2

### วัตถุประสงค์ ทฤษฎีและหลักการทั่วไปในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง

#### 2.1 วัตถุประสงค์ของโครงการมีดังต่อไปนี้

- (1) เพื่อศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างภาพสามมิติ
- (2) เพื่อศึกษาวิธีการและขั้นตอนในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง
- (3) เพื่อส่งเสริมการพัฒนาการสร้างภาพของอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายให้เหมาะสมกับการวินิจฉัยโรคต่างๆ
- (4) สนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีด้วยบุคลากรของประเทศเอง
- (5) พัฒนาขั้นตอนการสร้างภาพสามมิติ เพื่อที่จะใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาขั้นต่อไป

#### 2.2 หลักการทั่วไปในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง

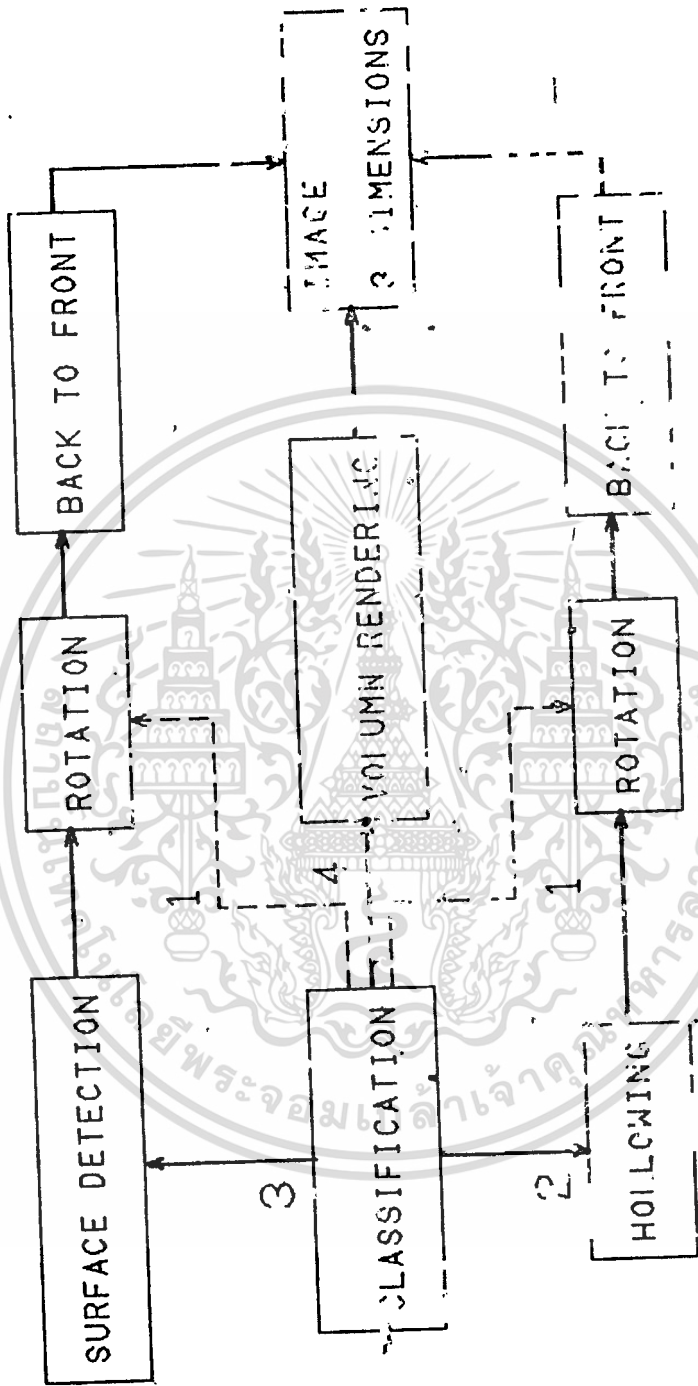
หลักการหรือบล็อกไดอะแกรม (Block diagram) ในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวางแสดงดังรูปที่ 2.1 จากบล็อกไดอะแกรม จะเห็นว่าในขั้นแรกจะต้องทำการสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะหรือวัตถุที่ต้องการจะสร้างภาพสามมิติก่อน ซึ่งในโครงการนี้ภาพตัดขวางดังกล่าวได้มาจากการสร้างภาพตัดขวางของอวัยวะ โดยใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วย [1] โดยหากต้องการแสดงภาพสามมิติของวัตถุใดก็จะต้องทำการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุนั้น ตั้งแต่ส่วนบนสุดไปจนถึงส่วนล่างสุดของวัตถุนั้น โดยภาพแต่ละสไลซ์ (Slice) จะเป็นภาพสองมิติเมื่อนำมาสร้างเป็นภาพสามมิติ มิติที่เพิ่มขึ้นมาก็คือความสูงของการซ้อนกันของสไลซ์เหล่านั้นนั่นเอง ซึ่งจะมีสไลซ์กี่ชิ้นขึ้นอยู่กับความละเอียดของอุปกรณ์และความต้องการของผู้จัดทำ เมื่อได้ภาพตัดขวางของวัตถุที่ต้องการพิจารณาแล้วจะนำข้อมูลเหล่านั้นมาแยกแยะเพื่อหาส่วนของอวัยวะหรือวัตถุที่ต้องการพิจารณาโดยขั้นตอนการแยกแยะวัตถุ (Classification) [5] ซึ่งอาจทำได้โดยใช้ค่าระดับเทา (gray level) เป็นเกณฑ์ในการแยกแยะเช่น เมื่อต้องการแสดงเฉพาะส่วนกระดูกก็สามารถทำได้โดยเลือกค่าระดับเทาที่มีค่าเหมาะสมหรือใกล้เคียงกับค่าระดับเทาของกระดูก โดยจะทำการแทนส่วนที่ต้องการด้วยเลขฐานสองที่มีค่าเท่ากับ 1 นอกนั้นแทนด้วย 0 ซึ่งเมื่อทำการแยกแยะวัตถุกับข้อมูลทุกๆ สไลซ์เรียบร้อยแล้วจากนั้น จะนำไปผ่านขั้นตอนต่างๆ ต่อไปซึ่งทำได้ 4 วิธีด้วยกัน (แสดงในรูปที่ 2.1)

(1) นำข้อมูลที่ผ่านการแยกแยะแล้ว มาผ่านขั้นตอนในการหมุน (Rotation) [6] เพื่อหามุมหรือทิศทางที่ทำการสังเกตหรือหาทิศทางในการมองว่าต้องการมองวัตถุในทิศทางใดนั่นเอง จากนั้นจะทำการหาว่าพื้นผิวบริเวณใดที่ถูกเห็นและบริเวณใดที่มองไม่เห็น โดยจะใช้วิธีการของทฤษฎีจากหลังไปหน้า (Back to front) [2] ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการให้แสง (Shading) คือ เป็นการให้แสงแก่จุดต่างๆ ที่ถูกมองเพื่อที่จะนำไปแสดงเป็นภาพสามมิติ

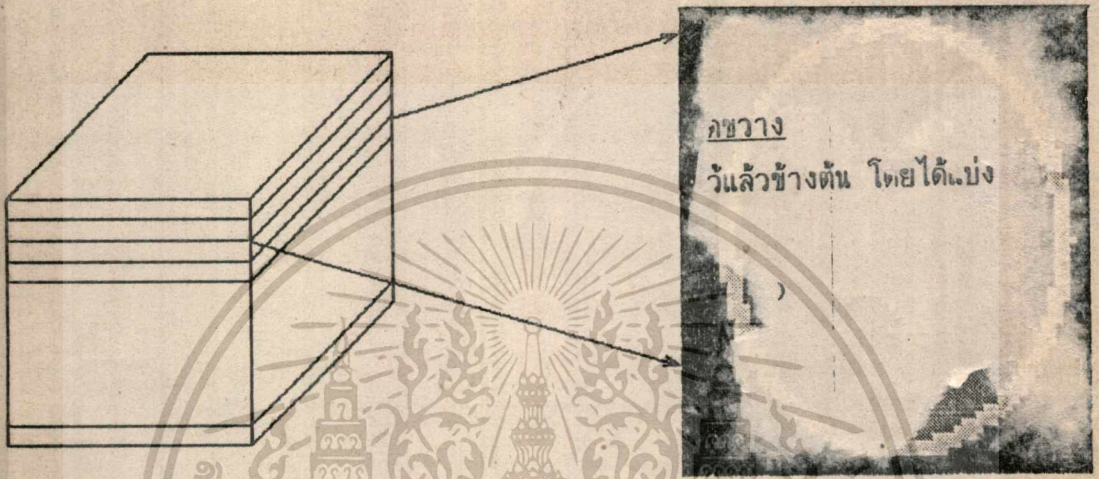
(2) เป็นการเพิ่มขั้นตอน การทำให้ภาพของวัตถุนั้นกลวง (Hollowing) ก่อนที่จะนำไปทำการหมุน และขั้นตอนต่างๆดังเช่นวิธีที่ (1) วิธีนี้จะทำให้การคำนวณในการหมุนใช้เวลา

น้อยลง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

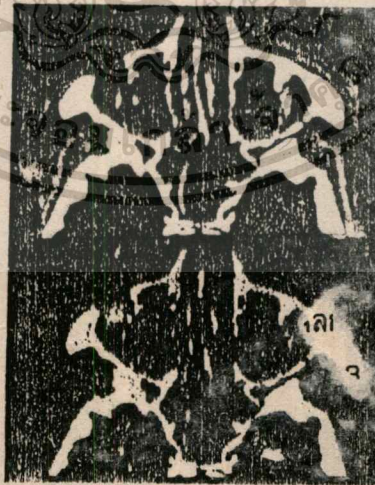


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการแสดงผลการสร้างสามมิติจากภาพตัดขวาง



SLICES OF CT

รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงภาพตัดขวางของวัตถุ



รูปที่ 2.3

รูปบน : สไลด์แสดงบริเวณศีรษะขนาด 180 \* 128 เป็นสไลด์หนึ่งจากสไลด์จำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 52 สไลด์ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปล่าง : เป็นภาพแสดงผลจากการนำภาพไปผ่านขั้นตอนการแยกแยะวัตถุแล้ว

## (2) ทฤษฎีการหมุน

การหมุนวัตถุเป็นการอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ที่ทำการพิจารณาวัตถุหรือวัตถุหนึ่ง ๆ เพราะจะทำให้ผู้สังเกตสามารถมองวัตถุได้ทุกทิศทาง ก่อนที่จะกล่าวถึงทฤษฎีในการหมุนวัตถุ รอบแกนมาตรฐาน  $X, Y, Z$  จะขอกล่าวถึงการหมุนจุดรอบแกนมาตรฐาน  $X, Y, Z$  ก่อน ในการหมุนจุด  $P(x, y, z)$  โดยรอบแกน  $Z$  เป็นมุม  $A$  ในทิศทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้ได้จุดใหม่  $P'(x', y', z')$  สามารถทำได้โดยการใช้ ทรานสฟอร์มเมตริกซ์ (Transform matrix) ในระบบพิกัดแบบโฮโมจีเนียส (Homogeneous coordinate system) [6] คือ

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

เขียนเป็นสมการเมตริกซ์จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos A & \sin A & 0 & 0 \\ -\sin A & \cos A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

หากเป็นการหมุนจุด  $P(x, y, z)$  โดยรอบแกน  $X$  เป็นมุม  $A$  ในทิศทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้ได้จุด  $P'(x', y', z')$  การหาค่าพิกัด  $(x', y', z')$  ก็ทำได้เช่นกันโดยใช้ ทรานสฟอร์มเมตริกซ์ (Transform matrix) ในระบบพิกัดแบบโฮโมจีเนียส (Homogeneous coordinate system) คือ

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

เขียนเป็นสมการเมตริกซ์จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos A & \sin A & 0 \\ 0 & -\sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

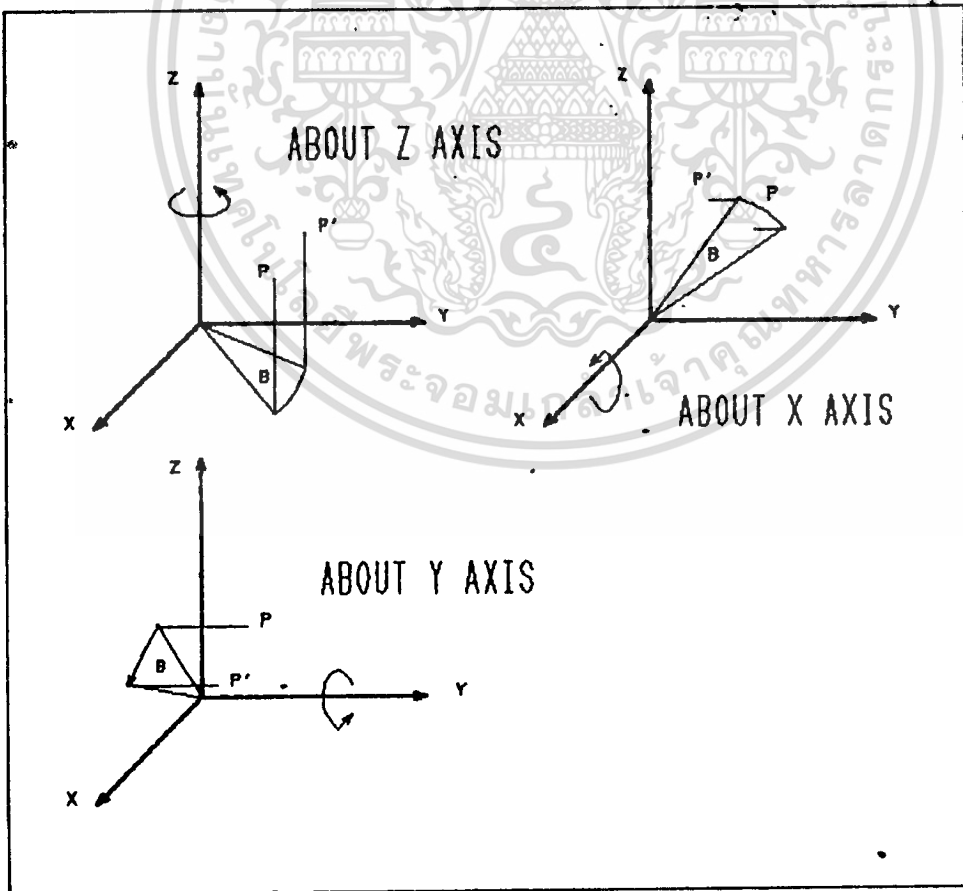
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในสถาบันการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอาไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2562-0100 หรือ 0-2562-0101

กันโดยใช้ ทรานสฟอร์มเมตริกซ์ (Transform matrix) ในระบบพิกัดแบบโฮโมจีเนียส (Homogeneous coordinate system) คือ

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

เขียนเป็นสมการเมตริกซ์จะได้ว่า

$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} \cos A & 0 & -\sin A & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin A & 0 & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ **รูปที่ 2.4 แสดงภาพของการเลื่อนจุดรอบแกนพิกัด X, Y, Z** สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในการหมุนรอบแกนมาตรฐานดังกล่าวการวัดค่ามุมในทิศทวนเข็มนาฬิกาจะให้ค่ามุมเป็นบวก หากเป็นการหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาจะให้มุมนั้นมีเครื่องหมายเป็นลบ เช่นหากทำการหมุนจุด  $P(x, y, z)$  รอบแกน  $Z$  เป็นมุม  $30$  องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา จะได้ผลลัพธ์คือจุด  $P'(x', y', z')$  ดังนี้

$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} \cos 30 & \sin 30 & 0 & 0 \\ -\sin 30 & \cos 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

แต่หากทำการหมุนจุด  $P(x, y, z)$  รอบแกน  $Z$  เป็นมุม  $30$  องศาในทิศตามเข็มนาฬิกา จะได้ผลลัพธ์คือจุด  $P'(x', y', z')$  ดังนี้

$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} \cos(-30) & \sin(-30) & 0 & 0 \\ -\sin(-30) & \cos(-30) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงการหมุนจุด  $P(x, y, z)$  ใด ๆ รอบแกนมาตรฐานต่าง ๆ จากที่กล่าวมาแล้วนี้เป็นการหมุนจุดใด ๆ รอบแกนมาตรฐาน หากเป็นการหมุนวัตถุรอบแกนมาตรฐานก็ทำได้โดยการหมุนจุดแต่ละจุดบนวัตถุนั้นรอบแกนมาตรฐานนั้นๆ เอง ในการหมุนดังกล่าวนี้จะเห็นได้ว่าเป็นการหมุนรอบจุดกำเนิด (origin) ที่ตั้ง หรือต้องมีการที่จะทำการหมุนรอบจุดกึ่งกลางของวัตถุ สิ่งที่จะต้องกระทำก่อนการหมุนก็คือจะต้องทำการเลื่อนวัตถุ (translation) ให้จุดกึ่งกลางของวัตถุอยู่ที่จุดกำเนิดก่อน จากนั้นจึงทำการหมุนในทิศทางต่างๆตามที่ต้องการ เมื่อทำการหมุนเรียบร้อยแล้วจึงทำการเลื่อนวัตถุไปยังตำแหน่งที่ทำให้จุดกึ่งกลางกลับสู่ตำแหน่งเดิมก่อนที่จะทำการหมุน และ เมตริกซ์ที่ใช้ในการเลื่อนจุด (ในการเลื่อนวัตถุก็ได้) โดยการเลื่อนจุดทุก ๆ จุดบนวัตถุนั้น ในระบบพิกัดโอโมจิเนียน [3] คือ

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ L & M & N & 1 \end{bmatrix}$$

ความหมายของเมตริกซ์นี้คือ เลื่อนจุดไปในแนวแกน  $X$  ทิศทางบวกเป็นระยะ  $L$   
 เลื่อนจุดไปในแนวแกน  $Y$  ทิศทางบวกเป็นระยะ  $M$   
 เลื่อนจุดไปในแนวแกน  $Z$  ทิศทางบวกเป็นระยะ  $N$

เช่นหากต้องการที่จะเลื่อนจุด  $P(x, y, z)$  ใด ๆ

เป็นระยะทาง 2 หน่วยตามแนวแกน Z ทิศทางบวก  
จะได้ตำแหน่งหลังการเลื่อนจุดเป็นจุด  $P' (x', y', z')$  โดย

$$[ x', y', z', 1 ] = [ x, y, z, 1 ] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 5 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นหากต้องการที่จะหมุนวัตถุ โดยอ้างอิงกับจุดศูนย์กลางวัตถุรอบแกน X เป็นมุม A องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา จากนั้นหมุนรอบแกน Y เป็นมุม B องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา และหมุนรอบแกน Z เป็นมุม C องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา เมตริกซ์ที่ใช้ในการกระทำดังกล่าวจะต้องประกอบด้วย 5 เมตริกซ์ด้วยกันคือ

- เมตริกซ์ที่ใช้ในการเลื่อนวัตถุให้จุดกึ่งกลางของวัตถุไปอยู่ที่จุดกำเนิด สมมติให้วัตถุมีจุดกึ่งกลางอยู่ที่จุด  $(x_0, y_0, z_0)$  เมตริกซ์ที่ใช้ในการเลื่อนวัตถุคือ

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & -z_0 & 1 \end{bmatrix}$$

- เมตริกซ์ที่ใช้ในการหมุนวัตถุรอบแกน X เป็นมุม A องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา  $R_x(A)$

- เมตริกซ์ที่ใช้ในการหมุนวัตถุรอบแกน Y เป็นมุม B องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา  $R_y(B)$

- เมตริกซ์ที่ใช้ในการหมุนวัตถุรอบแกน Z เป็นมุม C องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา  $R_z(C)$

- เมตริกซ์ที่ใช้ในการเลื่อนวัตถุกลับให้จุดกึ่งกลางวัตถุไปอยู่ที่เดิมที่จุด  $(x_0, y_0, z_0)$   
เมตริกซ์ที่ใช้ในการเลื่อนวัตถุกลับคือ

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & z_0 & 1 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นในการกระทำดังกล่าวจะต้องใช้เมตริกซ์หลาย ๆ เมตริกซ์ประกอบกัน ในกรณีนี้เมตริกซ์รวมที่จะใช้ในการแปลง (Transform) ดังกล่าวคือ

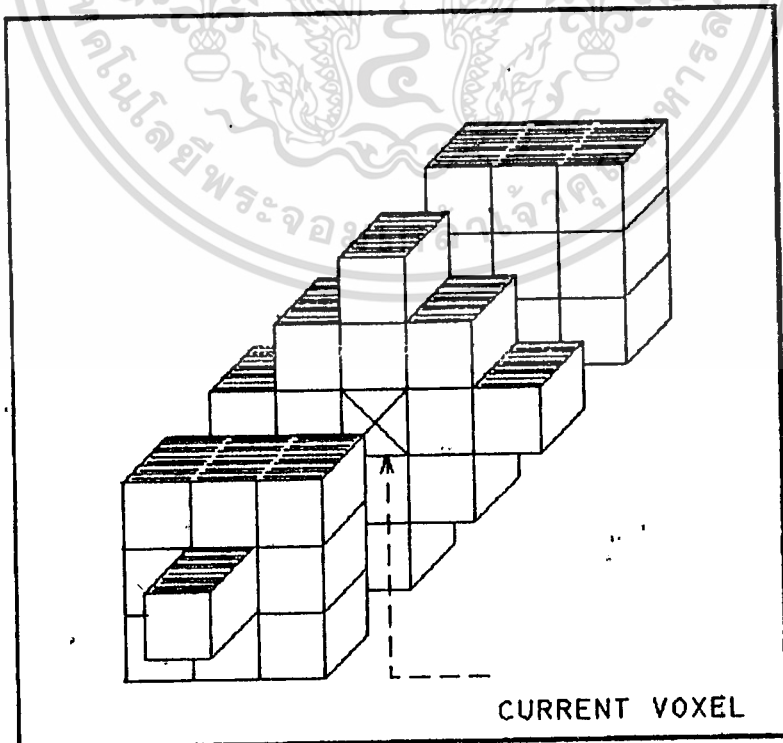
$$T * R_x(A) * R_y(B) * R_z(C) * T^{-1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๓) ทฤษฎีในการทำวัตถุให้กลวง

การทำวัตถุให้กลวงนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อขั้นตอนการหมุนเพราะเมื่อทำกลวงแล้วจะเหลือแต่เนื้อวัตถุเฉพาะส่วนที่อยู่บริเวณรอบนอกของวัตถุเท่านั้น เนื้อวัตถุภายในจะกลวง เมื่อทำการหมุนจะทำให้จำนวนจุดที่ต้องคำนวณหาตำแหน่งใหม่มีจำนวนน้อยลงทำให้ช่วยประหยัดเวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณเพื่อทำการหมุน และเนื่องจากบริเวณที่อยู่ภายในวัตถุเป็นบริเวณที่ผู้สังเกตมองไม่เห็นอยู่แล้วเมื่อทำกลวงวัตถุแล้วก็จะมีผลอะไรต่อภาพที่จะแสดง การทำกลวงมีวิธีการทำง่าย ๆ คือ เมื่อต้องการทำจุด  $P(x, y, z)$  ใดๆ ให้กลวง จุด  $P$  นี้จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขข้างล่างนี้คือ

- จุด  $(x-1, y-1, z), (x, y-1, z), (x+1, y-1, z), (x-1, y, z), (x+1, y, z),$
  - $(x-1, y+1, z), (x, y+1, z), (x+1, y+1, z), (x, y+2, z), (x, y-2, z),$
  - $(x-2, y, z), (x+2, y, z), (x, y+2, z), (x, y-2, z), (x, y, z-2), (x, y, z+2),$
  - $(x-1, y-1, z-1), (x, y-1, z-1), (x+1, y-1, z-1), (x-1, y, z-1), (x, y, z-1),$
  - $(x+1, y, z-1), (x-1, y+1, z-1), (x, y+1, z-1), (x+1, y+1, z-1),$
  - $(x-1, y-1, z+1), (x, y-1, z+1), (x+1, y-1, z+1), (x-1, y, z+1), (x, y, z+1),$
  - $(x+1, y, z+1), (x-1, y+1, z+1), (x, y+1, z+1), (x+1, y+1, z+1)$
- จะต้องเป็นจุดในวัตถุนั้นด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด **รูปที่ 2.5 เป็นรูปที่แสดงถึงวอกเนลที่จะต้องทำการพิจารณาในการทำกลวง**

นั่นคือจุด  $P(x, y, z)$  ใดๆจะทำกลางได้ก็ต่อเมื่อ

- จุดที่ติดกับจุดนั้นทุกจุดทุกทิศทางต้องเป็นจุดของวัตถุนั้น (จุดที่อยู่ติดกับจุดใดๆทุกทิศทางจะมี 26 จุด)

และ

- จุด  $(x-2, y, z), (x+2, y, z), (x, y+2, z), (x, y-2, z), (x, y, z-2),$

$(x, y, z+2)$  จะต้องเป็นจุดในวัตถุนั้นด้วย

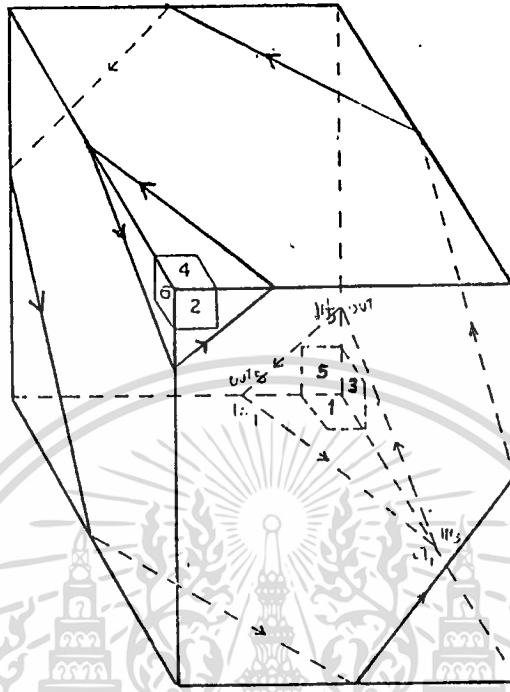
หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างบนจุดนั้นจะต้องรักษาไว้ และต้องถูกใช้ในการคำนวณเมื่อต้องการหมุนวัตถุเพื่อเปลี่ยนมุมมองในการพิจารณา

#### (4) ทฤษฎีการตรวจและเก็บข้อมูลพื้นผิว

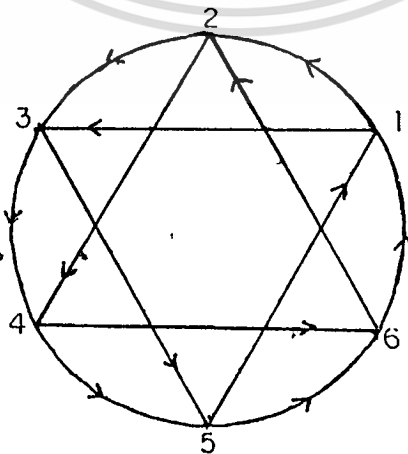
การตรวจและเก็บข้อมูลพื้นผิว เป็นขั้นตอนการเก็บข้อมูลเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการพิจารณาจริงๆเท่านั้นลงในแผนภาพต้นไม้ (tree) เช่นหากต้องการที่จะดูส่วนของกระโหลกศีรษะ ก็จะทำการเก็บข้อมูลเฉพาะผิวของกระโหลกศีรษะลงในแผนภาพต้นไม้ ส่วนอื่นๆ เช่น ผิวด้านในของกระโหลกที่ถูกผิวชั้นนอกบังอยู่จะละไว้ไม่เก็บลงในแผนภาพต้นไม้ จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในขั้นตอนการหมุนและขั้นตอนต่างๆ ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1

เมื่อต้องการพิจารณาอวัยวะหรือวัตถุใด จะต้องทำการแยกแยะเอาเฉพาะวัตถุนั้นออกมาก่อนด้วยวิธีการแยกแยะวัตถุ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ผ่านการแยกแยะวัตถุแล้ว มาทำการตรวจและเก็บข้อมูลพื้นผิว

เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลในลักษณะสามมิติคือประกอบด้วยวอกเซลหลาย ๆ วอกเซล จึงอาจที่จะพิจารณาว่าแต่ละวอกเซลมีลักษณะเป็นลูกบาศก์ ซึ่งแต่ละวอกเซลจะประกอบด้วยหน้าทั้งหมด 6 หน้า (เหมือนลูกเต๋าที่มี 6 หน้า) และแต่ละหน้าจะประกอบด้วยขอบ 4 ขอบดังรูปที่ 2.6 ในการตรวจพื้นผิวจะเริ่มด้วยการเลือกขอบของหน้าแต่ละหน้ามา 2 ขอบโดยกำหนดให้เป็น ขอบที่ออก (outgoing edge) และขอบที่ไม่ได้เลือกอีก 2 ขอบจะเรียกว่า ขอบพุ่งเข้า (incoming edge) หากทำการเลือกขอบให้เหมาะสม พอทำการเลือกให้กับทุก ๆ หน้าเรียบร้อยแล้ว ขอบที่ออกทั้งหมดซึ่งมี 12 ขอบ (หน้าละ 2 ขอบ 6 หน้า) จะเป็นขอบทั้งหมดของวอกเซลนั้น ๆ ซึ่งหนึ่งวอกเซลก็มีจำนวนขอบทั้งหมด 12 ขอบเช่นกัน ในรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นไดโกราฟของการเลือกขอบของวอกเซลในรูปที่ 2.6 ความหมายของไดโกราฟคือ หากพิจารณาดูที่ไดโกราฟจะเห็นว่า มีตัวเลขกำกับอยู่ ตัวเลขดังกล่าวคือตัวเลขที่แสดงหมายเลขหน้าของวอกเซลในรูปที่ 2.6 และจะมีลูกศรที่พุ่งออกจากหมายเลขหนึ่งไปยังอีกหมายเลขหนึ่ง ลูกศรนี้แสดงถึงขอบของหน้าต่าง ๆ เช่นลูกศรที่พุ่งจากเลข 2 ไปยังหมายเลข 4 ก็เป็นการแสดงถึงขอบซึ่งเป็นขอบของทั้งหน้าหมายเลข 2 และหน้าหมายเลข 4 ส่วนความหมายในการพิจารณาว่าขอบใดเป็นขอบที่ออกหรือขอบที่เข้าทำได้ดังนี้ เช่น ที่หมายเลข 2 จะมีลูกศรพุ่งออกไปยังหมายเลข 3 และ 4 และมีลูกศรพุ่งเข้าหาซึ่งเป็นลูกศรจากหมายเลข 1 และ 6 ซึ่งหมายความว่า ได้ทำการเลือกขอบของหน้าหมายเลข 2 ซึ่งเป็นขอบของหน้าหมายเลข 3 และ 4 ด้วยให้เป็นขอบที่ออก และขอบของหน้าหมายเลข 2 ที่เหลือซึ่งก็คือ ขอบของหน้าหมายเลข



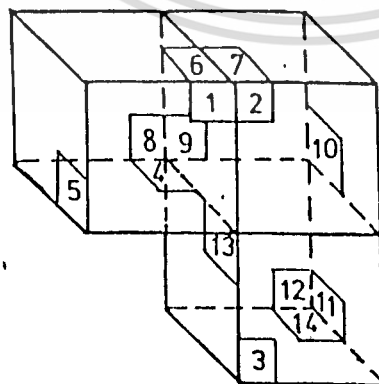
**รูปที่ 2.6 รูปของวอกเรลที่แต่ละหน้ามีเลข 1-6 กำกับอยู่ จะเห็นว่ามีลูกศร 12 ลูกศรแสดงทิศทางของรอบที่ออกและรอบที่เข้า**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด **รูปที่ 2.7 แสดงไคกราของวอกเรลใหญ่ที่ 2.6** จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลข 2 ที่เป็นขอบของหน้าหมายเลข 1 และ 6 ด้วยนั่นเอง ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาในไดโกราฟ จะเห็นว่าทุกๆ หมายเลขจะมีลูกศรที่ออกและลูกศรที่เข้าอย่างละ 2 ซึ่งก็หมายถึง ขอบที่ออกและขอบที่เข้านั่นเอง หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นไดโกราฟในรูปที่ 2.7 นี้แสดงให้เห็นถึงวิธีการเลือกขอบที่ออกและขอบที่เข้าของแต่ละหน้าของวอกเซลหนึ่งวอกเซล

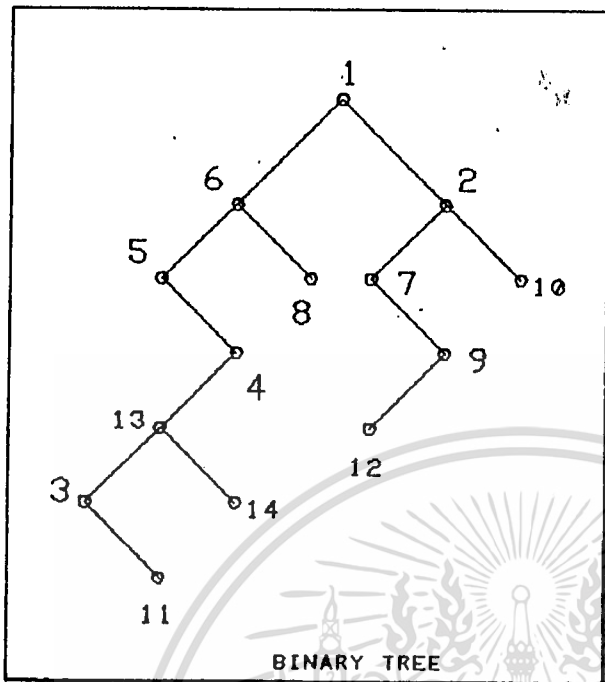
เมื่อทราบถึงวิธีการในการกำหนดขอบที่ออกแล้ว ต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการในการเก็บข้อมูลพื้นผิว ในการเก็บข้อมูลพื้นผิวจะใช้การเก็บข้อมูลในลักษณะแผนภาพต้นไม้ โดยแต่ละโหนด (node) ของแผนภาพต้นไม้จะแทนหน้าต่างๆ ของวอกเซล ตัวอย่างการเก็บข้อมูล หากพิจารณาวัตถุที่ประกอบด้วยวอกเซล 3 วอกเซลซึ่งแสดงในรูปที่ 2.8 จากในรูปจะเห็นได้ว่าพื้นผิวของวัตถุจะประกอบขึ้นมาจากพื้นผิวหรือหน้าของแต่ละวอกเซลนั่นเอง ในรูปจะมีหมายเลขแสดงถึงหมายเลขหน้าของแต่ละวอกเซลที่ประกอบกันเป็นพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งมีทั้งหมด 14 หมายเลข เมื่อทำการกำหนดหมายเลขของหน้าต่างๆ เรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นการพิจารณาเพื่อกำหนดขอบที่ออกของแต่ละหน้า ในกรณีนี้สามารถเขียนไดโกราฟเพื่อแสดงการกำหนดขอบที่ออกได้ดังรูปที่ 2.9 หลักการในการเลือกขอบที่ออกก็ทำได้โดยใช้หลักการเดียวกับการเลือกขอบที่ออกให้กับหน้าต่างๆ ในหนึ่งวอกเซลนั่นเอง ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 2.6 และ 2.7 จะเห็นว่าหน้าที่ 2 ซึ่งเป็นหน้าที่ชนานกับหน้าหนังสือ การเลือกขอบที่ออกทำโดยการเลือกขอบที่อยู่ข้างบนและข้างขวา คือขอบที่ติดกับหน้าหมายเลข 4 และเมื่อพิจารณาในรูปที่ 2.8 การเลือกขอบที่ออกของหน้าหมายเลข 2 ซึ่งเป็นหน้าที่ชนานกับหน้าหนังสือก็ทำเช่นเดียวกันคือเลือกขอบที่อยู่ข้างบนและขอบที่อยู่ข้างขวาซึ่งก็คือขอบที่ติดกับหน้าหมายเลข 7 และ 10 นั่นเองในดังนั้นในไดโกราฟจะเห็นว่าที่หมายเลข 2 จะมีลูกศรชี้ไปที่หมายเลข 7 และ 10



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างวัตถุที่ประกอบด้วยวอกเซล 3 วอกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



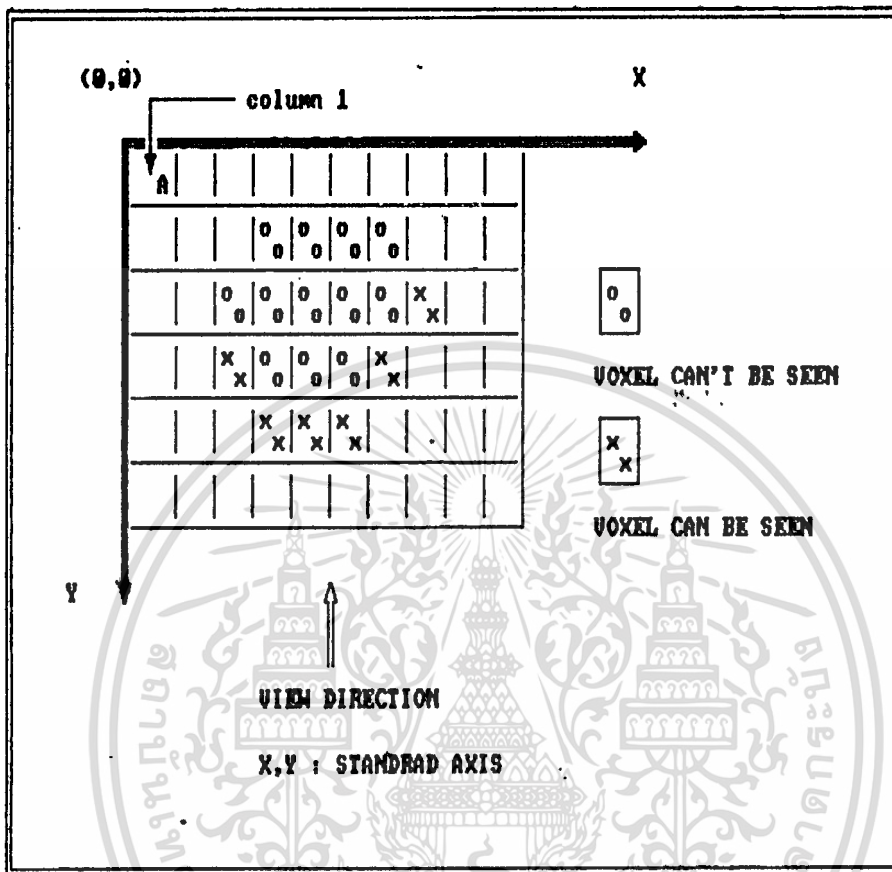


รูปที่ 2.10 แสดงแผนภาพต้นไม้ที่สร้างจากไดรแกรมในรูปที่ 2.9

Node considered	Queue of nodes to be considered	List of marked nodes	Output list
	{1}	{1,1}	{1}
1	{6,2}	{1,1,6,2}	{1,6,2}
6	{2,5,8}	{1,1,6,2,5,8}	{1,6,2,5,8}
2	{5,8,7,10}	{1,1,6,2,5,8,7,10}	{1,6,2,5,8,7,10}
5	{8,7,10,4}	{1,6,2,5,8,7,10,4}	{1,6,2,5,8,7,10,4}
8	{7,10,4}	{1,6,2,8,7,10}	{1,6,2,5,8,7,10,4}
7	{10,4,9}	{1,2,8,7,10,9}	{1,6,2,5,8,7,10,4,9}
10	{4,9}	{1,2,8,10}	{1,6,2,5,8,7,10,4,9}
4	{9,13}	{2,8,10,13}	{1,6,2,5,8,7,10,4,9,13}
9	{13,12}	{2,10,13,12}	{1,6,2,5,8,7,10,4,9,13,12}
13	{12,3,14}	{2,10,13,12,3,14}	{1,6,2,5,8,7,10,4,9,13,12,3,14}
12	{3,14}	{2,10,13,12,3}	{1,6,2,5,8,7,10,4,9,13,12,3,14}
3	{14,11}	{10,12,3,11}	{1,6,2,5,8,7,10,4,9,13,12,3,14,11}
14	{11}	{10,12}	{1,6,2,5,8,7,10,4,9,13,12,3,14,11}
11	$\phi$	$\phi$	{1,6,2,5,8,7,10,4,9,13,12,3,14,11}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนในการสร้างแผนภาพต้นไม้



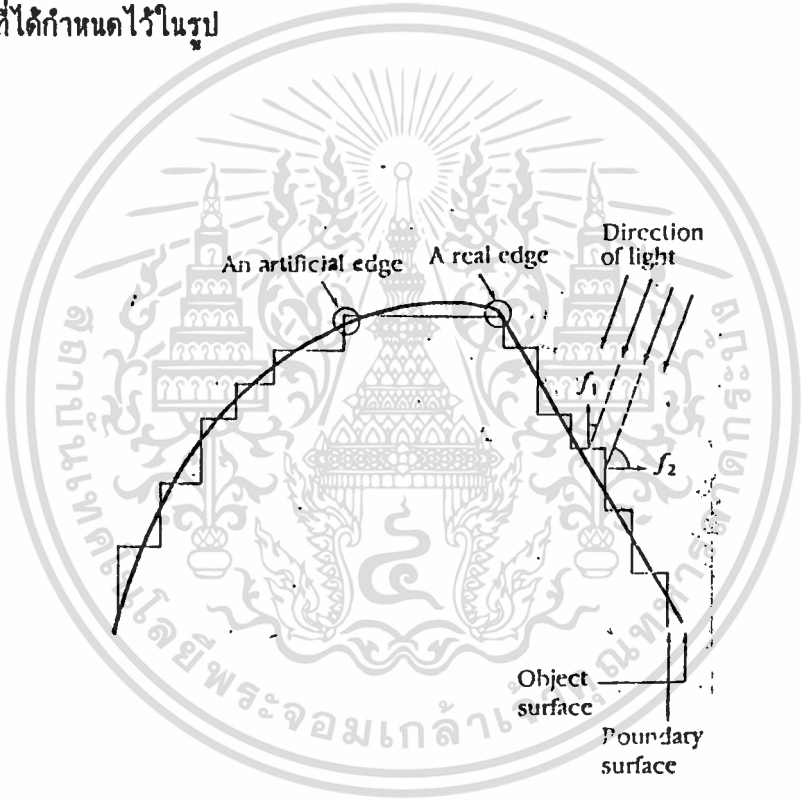
รูปที่ 2.12 ภาพประกอบการแสดงวิธีการหาออกเซลที่ผู้สังเกตมองเห็น

(5) ทฤษฎีในการหาจุดที่ต้องนำแสดงจากหลังไปหน้า

การหาจุดที่ต้องนำแสดงจากหลังไปหน้า เป็นวิธีการหาบริเวณพื้นผิวที่จะต้องนำมาแสดง หรือเป็นการหาพื้นผิวที่ผู้สังเกตมองเห็นจริงๆ เช่น หากมองลูกเต๋าในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ผู้สังเกตจะสามารถเห็นหน้าของลูกเต๋ามากที่สุดเพียง 3 หน้าเท่านั้น หน้าอื่นๆจะถูกบังอยู่ หรือหากสังเกตรูปหัวกระโหลกทางด้านหลังของกระโหลก ก็จะมองเห็นแต่กระโหลกเฉพาะบริเวณที่อยู่ด้านหลัง ส่วนบริเวณกระโหลกด้านหน้าจะมองไม่เห็น ในกรณีนี้เมื่อทำขั้นตอนการหาจุดที่ต้องนำแสดงหรือหาบริเวณพื้นผิวที่ถูกมองเห็น ผลลัพธ์ก็คือพื้นผิวบริเวณกระโหลกด้าน

วิธีการในการหาจุดที่ต้องแสดงด้วยวิธีการจากหลังไปหน้าสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นรูปของสไลซ์ที่แสดงถึงอวัยวะหรือวัตถุที่ผู้สังเกตสนใจ (เป็นข้อ 3 ที่ไม่ได้ผ่านขั้นตอนการทำลวง) หลังจากที่ทำกรหมุ่นเพื่อหาทิศที่ต้องการสังเกตแล้ว เมื่อทำการหาจุดที่ต้องแสดงจะทำการไล่ดูทีละออกเซลจากข้างหลังไปข้างหน้า โดยให้เริ่มต้นจาก  $(0,0) = (0,0)$  ซึ่งก็คือออกเซล A นั้นเองจากนั้นจึงค่อยๆ เพิ่มค่า  $y$  ทีละ 1 เมื่อสุดขอบแล้วให้  $y$  กลับเป็น 0

ใหม่แล้วเพิ่มค่า  $x$  ขึ้นอีก 1 เพื่อทำการพิจารณาข้อมูลในหลักใหม่ (column) ทำเช่นนี้จนสุดขอบของ  $x$  และ  $y$  ในขณะที่ทำการไล่ดูвокเซลในแต่ละหลักเมื่อพบวอกเซลแรกที่อยู่ในวัตถุก็จะเก็บค่าตำแหน่ง  $y$  นั้นไว้จากนั้นจะทำการไล่ดูวอกเซลต่อไปในหลักนั้นหากพบวอกเซลที่อยู่ในวัตถุอีกก็จะทำการเก็บค่า  $y$  ใหม่ที่แทน  $y$  เก่า เมื่อพิจารณาวอกเซลจนหมดหลักนั้นก็จะได้ค่า  $y$  ของหลักนั้นที่แสดงถึงตำแหน่งของวอกเซลที่มีค่าข้อมูลเป็นหนึ่งและอยู่ใกล้กับผู้สังเกตมากที่สุด และเมื่อทำเช่นนี้กับทุกๆ สไลซ์ก็จะได้วอกเซลที่ประกอบกันเป็นพื้นผิวด้านหน้าของวัตถุนั้นเอง ในรูปที่ 2.12 วอกเซลส่วนที่เป็นจุดๆ แสดงให้เห็นถึงอวัยวะหรือส่วนของวัตถุที่ต้องการสังเกต วอกเซลที่ถูกกากบาทคือวอกเซลที่อยู่ใกล้ผู้สังเกตมากที่สุดหรือเป็นส่วนของวอกเซลที่มองเห็นเมื่อมองตามทิศที่ได้กำหนดไว้ในรูป



**รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงข้อแตกต่างระหว่างขอบจริงและขอบเทียม**

**(6) ทฤษฎีในการให้แสง (Shading)**

จากที่ทราบแล้วว่าในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวางนี้ วัตถุที่ทำการพิจารณา นี้จะประกอบขึ้นจากวอกเซลหลายๆ วอกเซล และพื้นผิวของวัตถุเกิดจากการประกอบกันของพื้นผิวของแต่ละวอกเซล แต่เนื่องจากพื้นผิวของแต่ละวอกเซลจะมีลักษณะที่เป็นเหลี่ยมอย่างชัดเจน ซึ่งต่างจากพื้นผิวจริงของวัตถุ พื้นผิวของวัตถุที่เกิดจากการประกอบกันของวอกเซลนี้เรียกว่า **บาวเดอร์รีเซอเฟซ (boundary surface)** และพื้นผิวจริงของวัตถุเรียกว่า **พื้นผิววัตถุ (object surface)** เนื่องจากขอบของวอกเซลเป็นขอบที่คมมาก ดังนั้นขอบเหล่านี้จะก่อให้เกิด

เกิดขอบเทียมขึ้น (artificial edge) ดังนั้นก่อนที่จะนำภาพออกแสดงควรที่จะทำการใส่ค่าอะไรบางอย่างที่แสดงให้เห็นว่าจุดใดเป็นจุดที่อยู่ใกล้จุดใดเป็นจุดที่อยู่ไกล และแสดงให้เห็นถึงความลาดของพื้นผิวให้เหมือนพื้นผิวของวัตถุจริงให้มากที่สุด ซึ่งในส่วนนี้ก็คือส่วนของการให้แสงนั่นเอง ในรูปที่ 2.13 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างขอบจริงของวัตถุและขอบของวัตถุที่เกิดจากการประกอบกันของวอกเซล

การให้แสงหรือที่เรียกว่า เซดดิ้ง (shading) นี้สามารถทำได้หลายวิธี แต่หลักการโดยทั่วไปก็คือก่อนที่จะทำการให้แสงจะต้องทราบก่อนว่าพื้นผิวใดที่ผู้สังเกตสามารถมองเห็นได้ซึ่งพื้นผิวเหล่านี้จะประกอบขึ้นจากจุดหลายๆจุด และจะต้องทราบระยะห่างระหว่างจุดเหล่านั้นกับตาของผู้สังเกตหรือจุดสังเกต เมื่อทราบข้อมูลเหล่านี้แล้วขั้นตอนต่อไปคือจะต้องทำการหาเวกเตอร์ตั้งฉากกับพื้นผิว (normal direction) ที่จุดต่างๆบนพื้นผิว พื้นผิวในที่นี้หมายถึงพื้นผิวของวัตถุที่ประกอบขึ้นจากวอกเซลหลายๆวอกเซล (boundary surface) ในการให้แสงวิธีต่างกันจะมีวิธีในการหาเวกเตอร์ตั้งฉากที่ต่างกันไป แต่ทุกวิธีก็มีสูตรพื้นฐานที่เหมือนกัน [4] คือ

$$S(P) = \left[ \frac{M - L}{2R} (R - d) N(B) + L \right]^M \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่

$$\begin{bmatrix} V \\ L \end{bmatrix}^M = \begin{bmatrix} L ; V < L \\ V ; L \leq V \leq M \\ M ; M < V \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2)$$

ในสูตรที่ (1) และ (2)  
 d คือ ระยะระหว่างจุด P ไปยังต้นกำเนิดแสง  
 B คือ มุมระหว่างรังสีของแสงกับเวกเตอร์ตั้งฉากที่จุด P  
 N(B) คือ ฟังก์ชันของ B ที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองการแพร่กระจายและการสะท้อนแสงของพื้นผิว

ในการให้แสงวิธีที่ต่างกันไปวิธีในการหาเวกเตอร์ตั้งฉากและ N(B) ก็จะแตกต่างกันไปด้วย เพื่อความสะดวกจึงให้ทิศทางของแสงตั้งฉากกับจอภาพที่แสดง ในภาพจึงไม่มีเงาเกิดขึ้น ส่วนตัวแปรอื่นๆ เช่น M, L, R เป็นค่าคงที่ (constant) ซึ่งกำหนดโดยผู้ใช้ ส่วนมากมักให้ค่า M = 255 และให้ค่า L = 30 ส่วน R คือระยะจากจุดศูนย์กลางของกล้องสี่เหลี่ยมที่เล็กที่สุดที่สามารถครอบวัตถุทั้งหมดได้ ไปยังมุมกล้อง (กล้องสี่เหลี่ยมผืนผ้านี้จะต้องมีผิวหน้าที่ขนานกับหน้าจอตัว) ค่า M, L คือค่าความสว่างหรือค่าระดับเทา (gray level) สูงสุดและต่ำสุดที่สามารถแสดงได้ ซึ่งแตกต่างกันไปตามฮาร์ดแวร์

จากที่กล่าวแล้วว่าวิธีในการให้แสงสามารถทำได้หลายวิธี ในที่นี้จะนำมาเสนอด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากล่าวถึงผู้แต่งสิ่งอื่นอีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1) การให้แสงโดยใช้ระยะทางเพียงอย่างเดียวในการวิเคราะห์ [4] (Distance only shading)

การให้แสงวิธีนี้เป็นวิธีการให้แสงที่ง่ายที่สุด โดยการหลีกเลี่ยงการหาเวกเตอร์ตั้งฉากกับพื้นผิวเพื่อหา  $N(B)$  โดยให้  $N(B) = 1$  จากนั้นก็แทนค่าลงในสูตรที่ (1) และ (2) ซึ่งจะได้สูตรใหม่ดังนี้

$$S(P) = \left[ \frac{M - L}{2R} (R - d) + L \right]^M_L$$

จากในสูตรจะเห็นว่าตัวแปรในสูตรที่ไม่ใช่ค่าคงที่จะมีเพียงตัวเดียวเท่านั้นคือ  $d$  นั่นก็คือการให้แสงด้วยวิธีนี้จะใช้ระยะระหว่างจุด  $P$  ไปยังต้นกำเนิดแสง เป็นปัจจัยที่กำหนดการให้แสงเพียงตัวเดียว

การให้แสงโดยใช้ระยะทางเพียงอย่างเดียวในการวิเคราะห์ จะให้ภาพผลลัพธ์ที่ต่อเนื่อง (smooth) เนื่องจากค่า  $d$  ของจุดที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกันมักจะมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ส่วนที่มีโครงสร้างขนาดเล็กจะมองไม่เห็น และขอบจะสูญหายเนื่องจากพื้นผิวที่อยู่คนละข้างของขอบจะไม่เน้นขอบให้เห็นในกรณีที่ระยะห่างของด้านทั้งสองเท่ากัน แต่วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและสามารถคำนวณได้รวดเร็ว

6.2) การให้แสงแบบคอนสแตนต์ [4] (constant shading)

การให้แสงวิธีนี้ก็ใช่อีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ง่าย การให้แสงวิธีนี้จะใช้เวกเตอร์ตั้งฉากของพื้นผิวที่เกิดจากการประกอบกันของวอกเซล (boundary surface) โดยตรง ซึ่งเป็นวิธีเดียวกับที่ใช้ในคอมพิวเตอร์กราฟิกทั่วๆ ไปที่ใช้ในการให้แสงสำหรับโพลีกอนเมช (polygon mesh) แต่ส่วนมากแล้วจะใช้โพลีกอนเมชแทนพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบได้ดีกว่าพื้นผิวหน้าโค้ง คอนสแตนต์เซดดิ้งนี้จะใช้ได้เหมาะสมเมื่อนั้นผิวของวัตถุที่เกิดจากการประกอบกันของวอกเซลมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับพื้นผิวจริงของวัตถุ ซึ่งส่วนมากจะใช้ได้ดีสำหรับวัตถุที่เกิดจากการสร้างขึ้นเองมิใช่วัตถุทางการแพทย์ การให้แสงวิธีนี้จะคำนวณหาค่า  $N(B)$  จาก

$$N(B) = \left[ \cos (B/\eta) \right]^p \dots\dots\dots (3)$$

จากที่เคยมีผู้ทำการทดลองจะใช้ค่า  $\eta = 2$  และค่า  $p = 0.6$

ปัญหาสำคัญของ คอนสแตนต์เซดดิ้ง คือจะมีขอบเทียมที่ชัดเจนในการหมุนบางทิศทาง ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้รูปที่ 2.13 ในรูปพื้นผิว  $f_1$  จะได้แสงที่สว่างกว่าพื้นผิว  $f_2$  มาก โดยพื้นผิวจริงๆ ของวัตถุเป็นพื้นผิวที่เรียบ การปรับแต่งค่า  $\eta$  และ  $p$  จะสามารถลดขอบเทียม

ได้ ถ้า  $p = 1$  และ  $\eta = 1$  (เหมือนกับ cosine shading) จะได้ขอบเทียมที่ชัดเจนมาก แต่ถ้าวัดค่า  $p$  มีค่าน้อยมากๆ ผลลัพธ์ที่ได้จะออกมาต่อเนื่อง (smooth) เหมือนการให้แสงโดยใช้

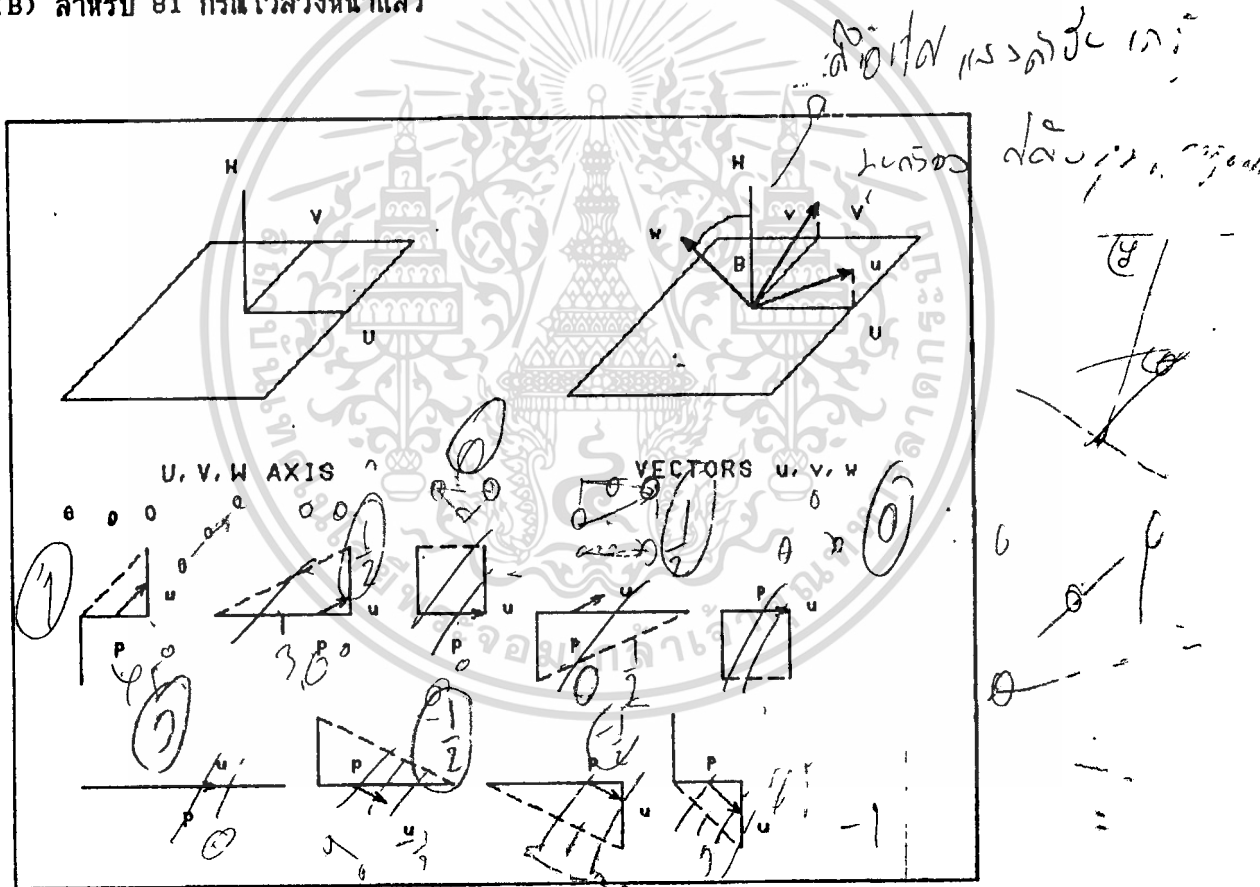
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักพิมพ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางเพียงอย่างเดียวในการวิเคราะห์

6.3) การให้แสงโดยใช้วิธีอิมเมจเบสด์คอนเท็กซ์ตวลชาดิง [4] (Image based contextual shading)

ก่อนที่จะกล่าวถึงการให้แสงด้วยวิธีนี้จะขอกล่าวถึงวิธีในการหาเวกเตอร์ตั้งฉากกับพื้นผิวและ  $N(B)$  ก่อนซึ่งมีวิธีในการหาดังต่อไปนี้

ในการพิจารณาจะให้แต่ละวอกเซลมีลักษณะที่เป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ผิวหน้าของวัตถุจะมีรูปแบบการเรียงตัวกันของผิวหน้าของวอกเซลที่อยู่ติดกัน 5 วอกเซลในแนวกากบาทได้ 81 รูปแบบเท่านั้น ซึ่งค่านี้จะเก็บเป็น รหัสข้างเคียง (neighbor code) ขนาดหนึ่งไบต์ เพื่อนำไปใช้ในการหาค่า  $N(B)$  โดยใช้วิธีการเปิดตารางรหัสข้างเคียงนี้ ซึ่งจะต้องทำการคำนวณหาค่า  $N(B)$  สำหรับ 81 กรณีไว้ล่วงหน้าแล้ว



รูปที่ 2.14 แสดงการหาเวกเตอร์ตั้งฉากที่จุด P โดย

ในรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงการหาเวกเตอร์ตั้งฉากที่จุด P โดย ในรูปจะสมมติแกนในระบบพิกัดฉากขึ้นมาคือ แกน  $U, V, W$  โดยให้แกน  $W$  เป็นแกนที่ชี้ออกจากพื้นผิวที่จุด  $P$  และ  $U, V$  เป็นแกนที่มีทิศทางขนานกับผิวหน้าของพื้นผิว โดยค่าเวกเตอร์ตั้งฉากกับพื้นผิว ( $w$ ) ที่จุด  $P$  ใด ๆ นี้ จะเป็นเวกเตอร์ที่เป็นผลลัพธ์ของการครอสเวกเตอร์ (cross production) ระหว่าง

เวกเตอร์  $u$  กับ  $v$  โดย  $u$  อยู่ในระนาบ  $U-W$  และเวกเตอร์  $v$  อยู่ในระนาบ  $V-W$  การหาค่าเวกเตอร์  $u$  และเวกเตอร์  $v$  จะคล้ายคลึงกัน โดยค่าเวกเตอร์  $u$  และ  $v$  จะขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวกันของวอกเซลที่อยู่ติดกัน ซึ่งหากทำการพิจารณาการเรียงตัวกันของวอกเซล 3 วอกเซลที่อยู่ในแนวเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ในรูปวอกเซลสามวอกเซลอยู่ติดกันตามแนวแกน  $U$ ) จะเห็นว่า การเรียงตัวกันของวอกเซลทั้งสามเป็นไปได้ 9 แบบ นั่นคือการเรียงตัวกันในหนึ่งแนว (ตามแนวแกน  $U$  กับ  $V$ ) เป็นไปได้ 9 แบบ ดังนั้นการเรียงตัวกันของวอกเซล 3 วอกเซลใน 2 แนวที่มีวอกเซลกลางเป็นวอกเซลเดียวกันจะเป็นไปได้ 81 ( $9 \times 9$ ) รูปแบบอย่างแรกที่กล่าวไว้ตั้งแต่แรก จากที่กล่าวข้างต้นว่าวอกเซล 3 วอกเซลที่อยู่ในแนวเดียวกันสามารถเรียงตัวได้ 9 แบบดังแสดงในรูปที่ 2.14 การหาเวกเตอร์  $u$  หรือเวกเตอร์  $v$  ของการเรียงตัวกันทั้ง 9 รูปแบบสามารถทำได้ดังที่แสดงในรูปที่ 2.14 คือเมื่อต้องการทำการหาเวกเตอร์  $u$  ที่จุดใด ก็จะต้องทำการพิจารณาผิวหน้าของวอกเซลทั้งสองข้างที่อยู่ในแนวแกน  $U$  เช่นในรูปแรกของรูปที่ 2.14 C ผิวหน้าที่ทางซ้ายต่ำกว่าผิวหน้าที่จุด  $P$  และผิวหน้าที่ทางขวาสูงกว่าจะได้ค่าเวกเตอร์  $u$  ทำมุม 45 องศา ส่วนในรูปถัดมาผิวหน้าที่ทางซ้ายสูงกว่าผิวหน้าที่จุด  $P$  และผิวหน้าที่ทางขวาสูงกว่าผิวหน้าที่จุด  $P$  จะได้ว่าเวกเตอร์  $u$  ทำมุม  $\tan^{-1} 0.5$  ส่วนในกรณีอื่นๆ ก็หาได้ด้วยวิธีดังกล่าวซึ่งทั้ง 9 กรณีนี้จะก่อให้เกิดเวกเตอร์  $u$  5 ค่าเท่านั้นดังแสดงในรูป

การหาค่าเวกเตอร์  $v$  ก็ทำในลักษณะเดียวกัน เพียงแต่ทำการพิจารณาวอกเซลในแนวแกน  $V$  เท่านั้นซึ่งเวกเตอร์  $v$  ก็จะมีค่าที่เป็นไปได้ 5 ค่าเช่นกัน เมื่อพิจารณาแล้วคือพิจารณาเวกเตอร์ผลลัพธ์จากการคอรอสเวกเตอร์ระหว่างเวกเตอร์  $u$  กับ  $v$  จะก่อให้เกิดเวกเตอร์  $w$  ทั้งหมด 25 แบบซึ่งจะเก็บค่าเหล่านี้ไว้ในตารางรหัสข้างเคียง เพื่อสามารถให้เปิดใช้ได้เมื่อต้องการ

เมื่อทราบถึงวิธีในการหาค่าเวกเตอร์ตั้งฉากแล้วต่อไปจะกล่าวถึงการให้แสงโดยใช้วิธีอิมเมจเบสคอนเท็กทั่วเซตติง การให้แสงวิธีนี้ออกแบบมาเพื่อกำจัดปัญหาขอบเทียมที่เกิดขึ้นในวิธีคอนสแตนต์เซตติง จากในสูตรที่ 3 หากผิวหน้าใดมีค่ามุม  $B$  น้อยๆ (น้อยกว่า 45 องศา) จะเรียกว่า ผิวหน้าวิกฤต (critical face) ถ้าหากผิวหน้าที่ติดกันไม่ได้เป็นผิวหน้าวิกฤตด้วย จะเกิดขอบเทียมระหว่างผิวหน้าที่วิกฤตกับผิวหน้าที่ไม่วิกฤต ซึ่งจะสามารถกำจัดปัญหานี้ไปได้ด้วยการหาค่าเฉลี่ย

ให้  $B$  เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวที่จุด  $P$  กับทิศทางของแสง  $\vec{s}$  และ  $B_1, B_2, B_3$  และ  $B_4$  เป็นมุมของผิวหน้าที่ติดกันกับจุด  $P$  ทั้ง 4 ในการให้แสงที่จุด  $P$  จะหาค่า  $N(B)$  ได้จาก

$$N(B) = \sum_{i=0}^4 W_i \left[ \cos (B_i / \eta) \right] ; \sum_{i=0}^4 W_i = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $w_i$  คือน้ำหนัก (weight) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับเท่าไรจะขึ้นอยู่กับว่าจุดนั้นและบริเวณข้างเคียงเป็นผิวหน้าวิกฤตหรือไม่ โดย  $w_0$  คือน้ำหนักของจุดที่กำลังพิจารณา และ  $w_1 - w_4$  คือน้ำหนักของจุดที่ล้อมรอบ

ถ้าผิวหน้าของจุดที่กำลังพิจารณาและผิวหน้าของจุดข้างเคียงที่ล้อมรอบไม่เป็นผิวหน้าวิกฤต ก็จะทำให้ค่า  $w_1 - w_4$  เป็น 0 ทั้งหมดซึ่งก็จะเหมือนกับในกรณี คอนสแตนต์เซตติง

ถ้าผิวหน้านั้นเป็นผิวหน้าวิกฤตหรือไม่ก็ตามแต่ถูกล้อมรอบด้วยผิวหน้าที่เป็นผิวหน้าวิกฤตอย่างน้อยหนึ่งแล้วละก็ ค่าน้ำหนัก (weight factor) ของจุด จะขึ้นอยู่กับจำนวนผิวหน้าวิกฤต โดยให้ค่าดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 1

จำนวนผิวหน้า วิกฤต ( $n_c$ )	0	1	2	3	4
ผิวหน้าวิกฤต	1/16	1/8	1/4	1/2	1
ผิวหน้าไม่วิกฤต	1	15/16	7/8	3/4	1/2

ตารางที่ 1 แสดงการกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่จุดที่กำลังพิจารณา

การพิจารณาค่า  $w_0$  จากตารางที่ 1 ทำได้โดยการพิจารณาว่าจุดที่ล้อมรอบจุดที่กำลังพิจารณานั้นมีลักษณะอย่างไร หากทุกจุดเป็นผิวหน้าที่ไม่วิกฤตหรือจำนวนผิวหน้าวิกฤตมีค่าเท่ากับ 0 ( $n_c = 0$ ) ก็จะทำให้ค่า  $w_0 = 1$  ไป ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

เมื่อได้ค่า  $w_0$  แล้วการคำนวณหาค่า  $w_1$  ถึง  $w_4$  หาค่าได้จาก

$$w_i = (1 - w_0) / (4 - n_c)$$

วิธีนี้มีข้อดีคือคำนวณได้รวดเร็วง่ายใกล้เคียงกับคอนสแตนต์เซตติง แต่ผลลัพธ์ของภาพจะขึ้นอยู่กับทิศทางของแสง เช่นในรูปที่ 2.13 แสงมาจากทางขวาบน ลักษณะภาพทางด้านซ้ายของขอบจริงจะมีลักษณะของความสว่างที่ต่อเนื่อง ขาดรายละเอียด ส่วนทางด้านขวาจะมีลักษณะที่ชัดเจนเหมือนคอนสแตนต์เซตติง แต่ถ้าแสงมาจากทางซ้ายบนแทน จะได้ผลลัพธ์ในทางกลับกันคือ ทางด้านขวาจะมีความสว่างที่ต่อเนื่องแทน ซึ่งถ้าเป็นวัตถุที่กำลังหมุนลักษณะของมันของวัตถุจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

#### 6.4) แกรเดียนต์เซตติง [4] (Gradient shading)

การให้แสงวิธีนี้ใช้ข้อมูลเพียงข้อมูลขั้นต้นเท่านั้น ไม่ต้องใช้รหัสข้างเคียง ซึ่งข้อมูลขั้น

ต้นมีเพียงระยะห่างของแต่ละจุดกับจุดสังเกตการณ์เท่านั้น ซึ่งระยะนี้สามารถแทนได้ด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น  $z = z(x, y)$  ที่ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นก็ประมาณค่า เวกเตอร์ตั้งฉาก ( $w$ ) ที่จุด  $(x,y)$  โดยการหาเกรเดียนเวกเตอร์ (gradient vector) ที่จุดนั้นๆ จากนั้นให้แสงโดยแทนในสมการที่ (1) และ (3) ดังนั้นจึงเหลือเพียงการหาเกรเดียนเวกเตอร์เท่านั้น ซึ่งจะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์แบบไม่ต่อเนื่อง เพราะข้อมูลเป็นข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง

จากสมการพื้นผิว  $z = z(x,y)$  ค่า  $w$  จากจุดใดๆ หาได้จากเวกเตอร์  $(\partial z / \partial x, \partial z / \partial y, -1)$

การหา  $\partial z / \partial x$  ,  $\partial z / \partial y$  ด้วยวิธีการของคณิตศาสตร์ไม่ต่อเนื่องทำได้โดยใช้วิธีการประมาณจากผลต่างข้างหน้า (forward different:f) และ ผลต่างข้างหลัง (backward different:b) ซึ่งจะมีการให้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยด้วย

$$\partial z / \partial x = [w*(|b|)*b + w*(|f|)*f] / [w*(|b|) + w*(|f|)]$$

เมื่อ  $d \geq 0$

$$w(d) = \begin{cases} 1 & ; d \leq a \\ e & ; d \geq b \\ ((1+e)/2) + ((1-e)/2 * \cos((d-a)/(b-a))) & ; \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

จากที่ได้มีผู้ทำการทดลองมาแล้วค่าของ  $a, b$  และ  $e$  ควรมีค่าดังนี้  $a = 2, b=5, e = 10^{-5}$

ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือไม่ต้องเก็บข้อมูลเพิ่มในพื้นที่ผิวแต่ละจุด และค่าน้ำหนักเฉลี่ยจะทำให้ขอบเทียมถูกเฉลี่ยทิ้งไป

### 6.5) การให้แสงโดยการเฉลี่ยความชัน (Average slop shading)

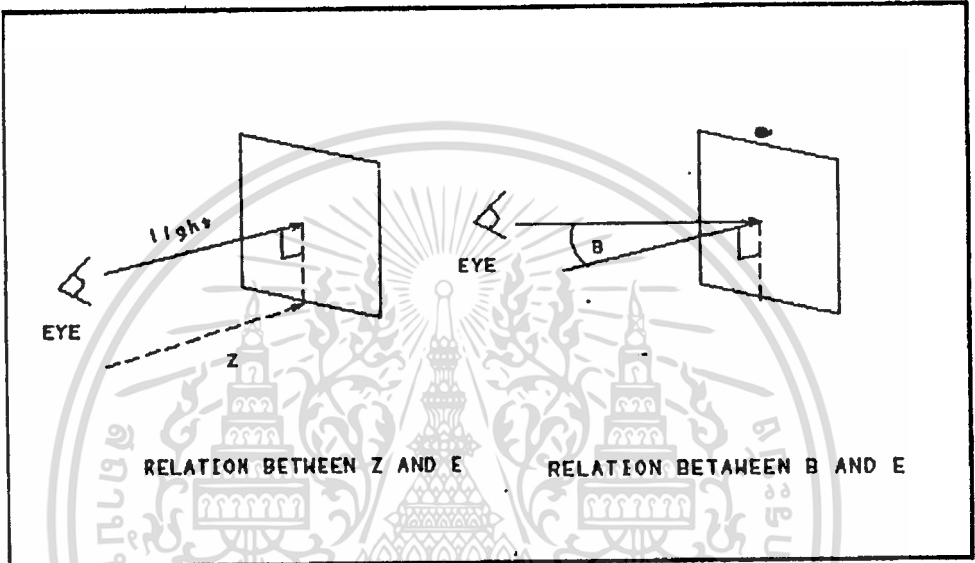
วิธีการนี้เป็นการให้แสงโดยใช้หลักการที่ว่า ระยะทางระหว่างจุดสังเกตกับจุดที่มองยิ่งมากความสว่างของจุดที่มองจะยิ่งมีค่าน้อย (เมื่อคิดว่าแสงที่ส่องไปยังวัตถุเป็นแสงที่พุ่งออกจากจุดสังเกต) นั่นคือความสว่างของแต่ละจุดที่ถูกมองจะแปรผกผันตามระยะทางระหว่างจุดสังเกตกับจุดที่ถูกมอง และความสว่างจะขึ้นอยู่กับมุมระหว่างรังสีของแสงที่ทำกับเวกเตอร์ตั้งฉากของพื้นผิวของจุดที่ถูกมองด้วย คือหากค่ามุมมีค่าน้อยความสว่างที่จุดนั้นจะมีค่ามาก หากมุมมีค่ามากค่าความสว่างจะมีค่าน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ในการให้แสง วิธีนี้จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ (parameter) เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวคือสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงโดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงโดยจะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงนี้มีค่ามาหากมุมระหว่างรังสีของแสงกับเวกเตอร์ตั้งฉากพื้นผิวที่จุดนั้นมีค่าน้อยและสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจะมีค่าน้อยเมื่อมุมระหว่างรังสีของแสงกับเวกเตอร์ตั้งฉากพื้นผิวที่จุดนั้นมีค่ามาก นั่นคือ

$E$  แปรผกผันกับ  $z$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แปรผันตรงกับ  $N(B)$  งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น เมื่อ  $E$  คือความสว่าง

$z$  คือระยะระหว่างจุดสังเกตกับจุดที่ถูกมอง  
 $N(B)$  คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง



รูปที่ 2.15 แสดงถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความสว่าง

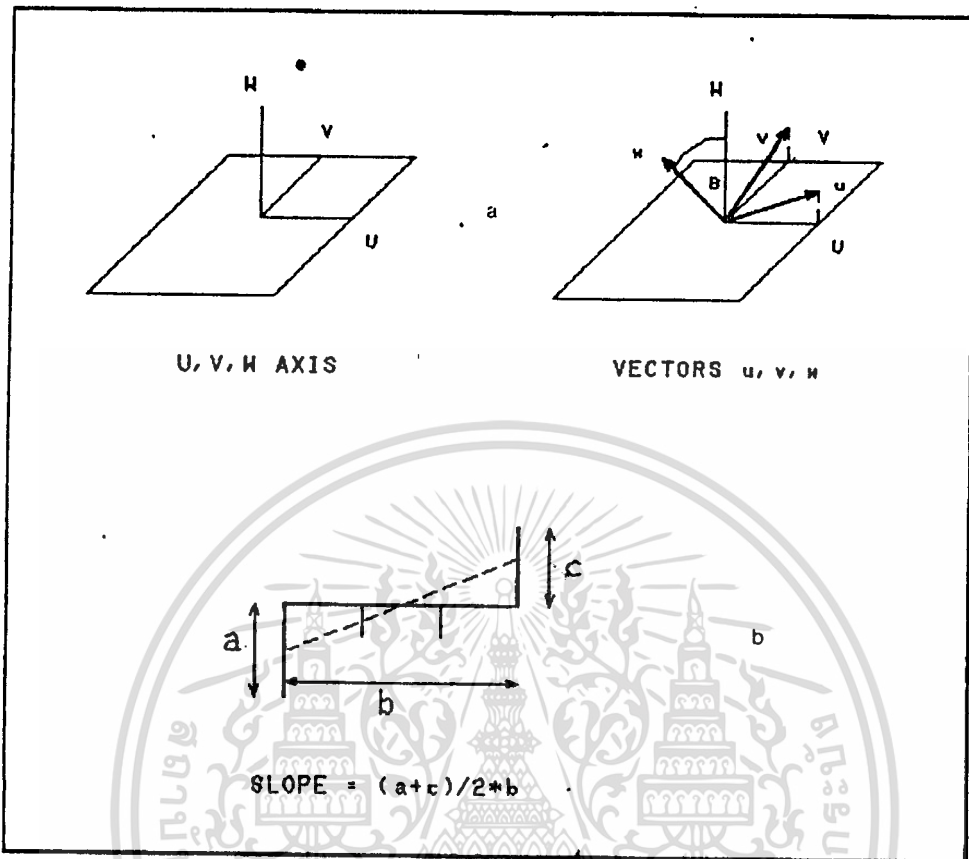
- 2.15 a) ค่าความสว่างจะแปรผกผันกับระยะห่างจุดสังเกตกับจุดที่ถูกมอง
- 2.15 b) ค่าความสว่างจะแปรผกผันกับมุมระหว่างรังสีกับเวกเตอร์ตั้งฉาก

หาก  $z$  มีค่าที่เป็นไปได้อยู่ในช่วง ๑ ถึง 255 (ค่านี้ขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลที่ใช้ประกอบกันเพื่อสร้างภาพสามมิติ) อาจกล่าวได้ว่า

$$E = (255 - z) * N(B) \dots\dots\dots (4)$$

ในการหาค่า  $N(B)$  ในวิธีนี้จะคล้ายกับการหาค่า  $N(B)$  ในวิธีอิมเมจเบสค์คอนเท็กทั่วเขตติง คือ ค่า  $N(B)$  จะเป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ในแนวแกน  $U$  และแกน  $V$  แต่ในวิธีนี้การหาค่าเวกเตอร์ในแนวแกน  $U$  และ  $V$  จะต่างกันออกไปคือแทนที่จะทำการหาค่าเวกเตอร์โดยพิจารณาออกเซลที่วอกเซลและวอกเซลที่อยู่ติดกันอีก 2 วอกเซล จะหาค่าเวกเตอร์โดยพิจารณาออกเซลเป็นกลุ่มดังแสดงในรูปที่ 2.16 คือในการหาค่าเวกเตอร์จะหาค่าความชันของเวกเตอร์

เอกสของกลุ่มวอกเซลที่มีระดับเดียวกัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยของวอกเซลทั้งกลุ่ม: ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใด ความชันจะมีค่าเท่ากับ  $(a + b) / (2 * b)$  อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงการหาค่าเวกเตอร์ในแนวแกน U และ V

เมื่อทำการหาค่าความชันของเวกเตอร์ทั้ง 2 แนวแล้วจากนั้นจะนำค่าความชันของเวกเตอร์ทั้งสองมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง โดยหาค่าความชันของเวกเตอร์ทั้งสองมีค่ามาก ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจะมีค่าน้อย และหากค่าความชันของเวกเตอร์ทั้งสองมีค่าน้อย ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจะมีค่ามาก เมื่อได้ค่าความชันออกมาค่าความชันนี้จะเป็นค่าความชันของเวกเตอร์ของวอกเซลทั้งกลุ่ม ในรูปที่ 2.16 จะได้ว่าค่าความชันที่ได้เป็นค่าความชันของวอกเซลที่อยู่ตรงบริเวณ b จากวิธีนี้จะเห็นได้ว่าค่าความชันเหล่านี้ได้จากการเฉลี่ยค่าของความชันของวอกเซลที่มีระดับเดียวกัน ซึ่งต่างจากการหาค่าความชันของเวกเตอร์ในวิธีอิมเมจเบสส์ คอนเท็กทัวเชดดิ้งที่หาค่าความชันโดยใช้วอกเซลที่อยู่ติดกันเพียง 3 วอกเซลเท่านั้น ดังนั้นในวิธีนี้การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (เนื่องจากมุมระหว่างรังสีของแสงกับเวกเตอร์ตั้งฉาก) ของวอกเซลที่อยู่ติดกันจะมีค่าไม่มากนักทำให้ภาพที่แสดงออกมาจะมีค่าความสว่างที่ค่อนข้างต่อเนื่อง (smooth)

เมื่อได้ค่า(ความชันของ)เวกเตอร์ในแนวแกน U และ V แล้วจะต้องนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า  $N(B)$  โดยอาจใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ หาก  $\theta$  เป็นค่าความชันของเวกเตอร์ในแนวแกน U และ  $\alpha$  คือค่าความชันของเวกเตอร์ในแนวแกน V จะได้ค่า

$$N(B) = 1/(\text{sqr}(1 + p^2 + q^2))$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า

$$N(B) \text{ แปรผกผันกับ } \text{sqr}(p^2 + q^2) \text{ นั่นเอง}$$

เมื่อได้ค่า  $N(B)$  จากนั้นนำไปแทนลงในสมการที่ 4 ก็จะได้ค่าความสว่างของแต่ละจุดที่ต้องการนำเสนอ

6.6) การให้แสงโดยใช้หลักการของแสงกายภาพ

วิธีการให้แสงวิธีนี้เป็นวิธีการให้แสงตามหลักการของแสงกายภาพ ซึ่งมีหลักการว่า

" ความสว่างบนฉาก (E) มีหน่วยเป็น ลักซ์ โดย 1 ลักซ์มีค่าเท่ากับปริมาณแสงที่ปล่อยจากแหล่งกำเนิดที่มีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง(I) 1 แคนเดลา ไปตกลงบนพื้นผิวทรงกลมรัศมี 1 เมตร "

ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งจะเห็นว่าค่าความสว่างจะแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง หรือหากเขียนเป็นสูตรจะได้ว่า

$$E = I / R^2$$

โดย E คือ ค่าความสว่าง

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่าง

R คือ ระยะทางระหว่างต้นกำเนิดแสงไปยังฉากทรงกลมที่รับแสง

แต่ในการให้แสงในที่นี้ ฉาก(หน้าของวอกเซล)ที่ไว้รับแสงจะไม่ตั้งฉากกับรังสีของแสงเสมอไป นั่นคือมุมระหว่างรังสีของแสงและเวกเตอร์ตั้งฉากพื้นผิวไม่จำเป็นต้องมีค่าเป็นศูนย์เสมอไป โดยค่าความสว่างจะแปรผันตามค่าโคไซน์ของมุมระหว่างรังสีของแสงและเวกเตอร์ตั้งฉากพื้นผิว หรืออาจกล่าวได้ว่า

$$E = (I/R^2) * (\text{COS } B)^n$$

โดย E คือ ค่าความสว่าง

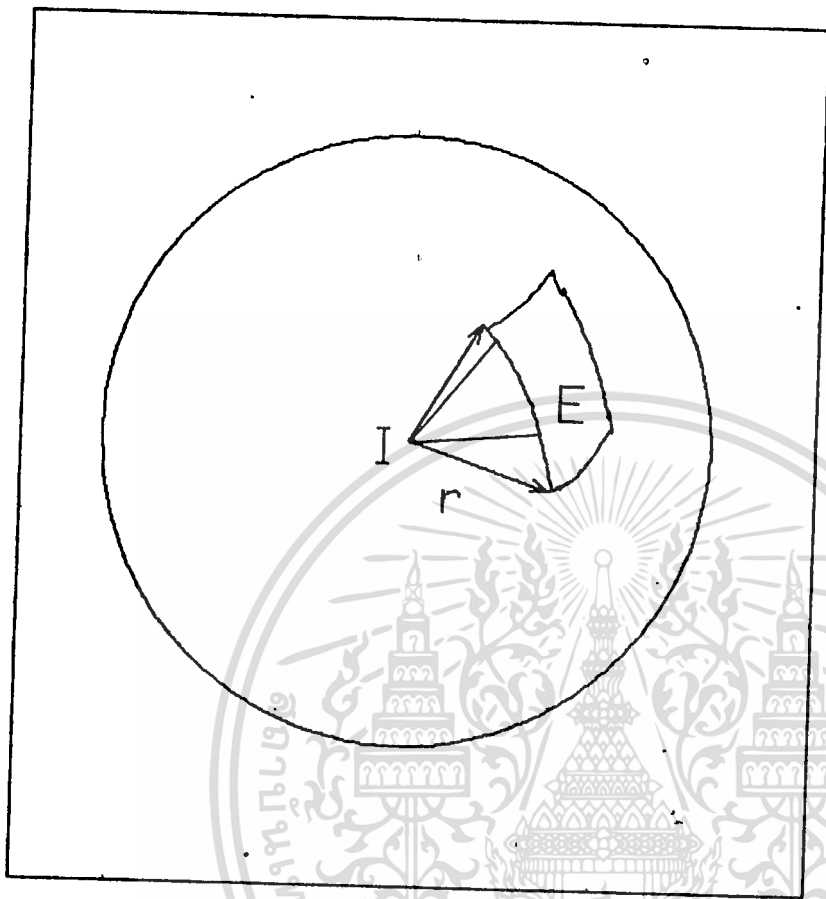
I คือ ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง

R คือ ระยะทางระหว่างต้นกำเนิดแสงไปยังฉากทรงกลมที่รับแสง

B คือ มุมระหว่างรังสีของแสงและเวกเตอร์ตั้งฉากพื้นผิว

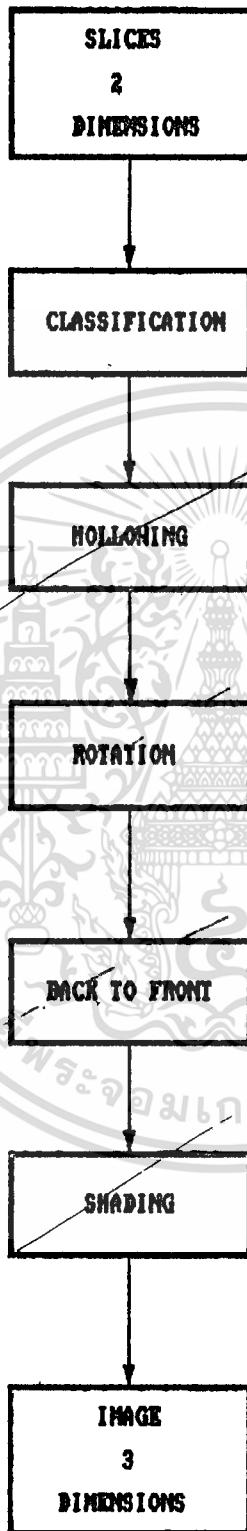
P คือ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่าความต่อเนื่อง (smooth)

(ซึ่ง P จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1)



**รูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นถึงความสั้นที่สุดของพหุหามิเตอร์ต่างๆ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ **รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง** เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### วิธีการที่ใช้ในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับโครงงานนี้ จะมีขั้นตอนในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวางดังแสดงในรูปที่ 3.1

ขั้นตอนต่าง ๆ มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- การแยกแยะวัตถุ เพื่อหาส่วนที่ต้องการพิจารณา โดยใช้ค่าความหนาแน่น
- การทำกลวง เพื่อให้เนื้อวัตถุภายในกลวง
- การหมุนวัตถุ เพื่อหาทิศในการสังเกต
- การหาจุดที่ต้องนำแสดงจากหลังไปหน้า
- การให้แสงก่อนที่จะนำภาพแสดงออก

รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนอธิบายได้ดังนี้

#### 3.1) การแยกแยะวัตถุเพื่อหาส่วนที่ต้องการพิจารณา โดยใช้ค่าความหนาแน่น

การแยกแยะวัตถุ โดยใช้ค่าความหนาแน่น เป็นขั้นตอนในการแยกแยะวัตถุ เพื่อหาส่วนของวัตถุที่ต้องการพิจารณา โดยใช้ค่าความหนาแน่น (threshold) เป็นปัจจัยที่ใช้ในการแยกแยะวัตถุ เริ่มแรกจะต้องทำการกำหนดช่วงค่าความหนาแน่นไว้ให้เป็นช่วงค่าความหนาแน่นของข้อมูลที่ต้องการพิจารณาและทำการอ่านข้อมูล (ข้อมูลดิบ) จากไฟล์ข้อมูลมาทำการตรวจสอบ โดยหากข้อมูลที่จุดใดมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วงของค่าความหนาแน่นที่กำหนดไว้ ก็แสดงว่าจุดนั้นเป็นจุดที่ต้องการพิจารณาจึงต้องเก็บข้อมูลจุดนั้นไว้ ในการเก็บข้อมูลว่าจุดใดเป็นจุดที่สนใจจะใช้อาร์เรย์ของข้อมูลขนาดหนึ่งบิตในการเก็บข้อมูล โดยในการจองขนาดของอาร์เรย์จะให้อาร์เรย์มีขนาดเท่ากับขนาดของข้อมูลทั้งหมดของภาพและเมื่อจุดใดเป็นจุดที่มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ จะให้ข้อมูลของอาร์เรย์ที่จุดนั้นมีค่าเป็น 1 มิฉะนั้นจะให้ค่าเป็น 0 จากนั้นจึงใช้ข้อมูลในอาร์เรย์ดังกล่าวในขั้นตอนต่อไป ในการเก็บข้อมูลในไฟล์ข้อมูลก่อนที่จะนำมาผ่านขั้นตอนการแยกแยะวัตถุ ข้อมูลของจุดจุดหนึ่งจะมีขนาดหนึ่ง บิต โดยค่าของข้อมูลจะแสดงถึงค่าความหนาแน่นของจุด (วอกเซล) ต่างๆ ในแต่ละสไลซ์ของภาพตัดขวางที่นำมาใช้ในการสร้างภาพสามมิติดังแสดงในรูปที่ 3.2

สามารถเขียนหลักการ (Algorithm) ในการแยกแยะวัตถุได้ดังแสดงข้างล่าง โดยตัวแปรต่างๆ ในอัลกอริทึมมีความหมายดังนี้คือ

SIZE : เป็นตัวแปรที่บอกขนาดของข้อมูลแต่ละมิติ (ซึ่งมีสามมิติ)

THL : ค่าความหนาแน่นต่ำสุดที่ใช้ในการแยกแยะวัตถุ

THH : ค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ใช้ในการแยกแยะวัตถุ

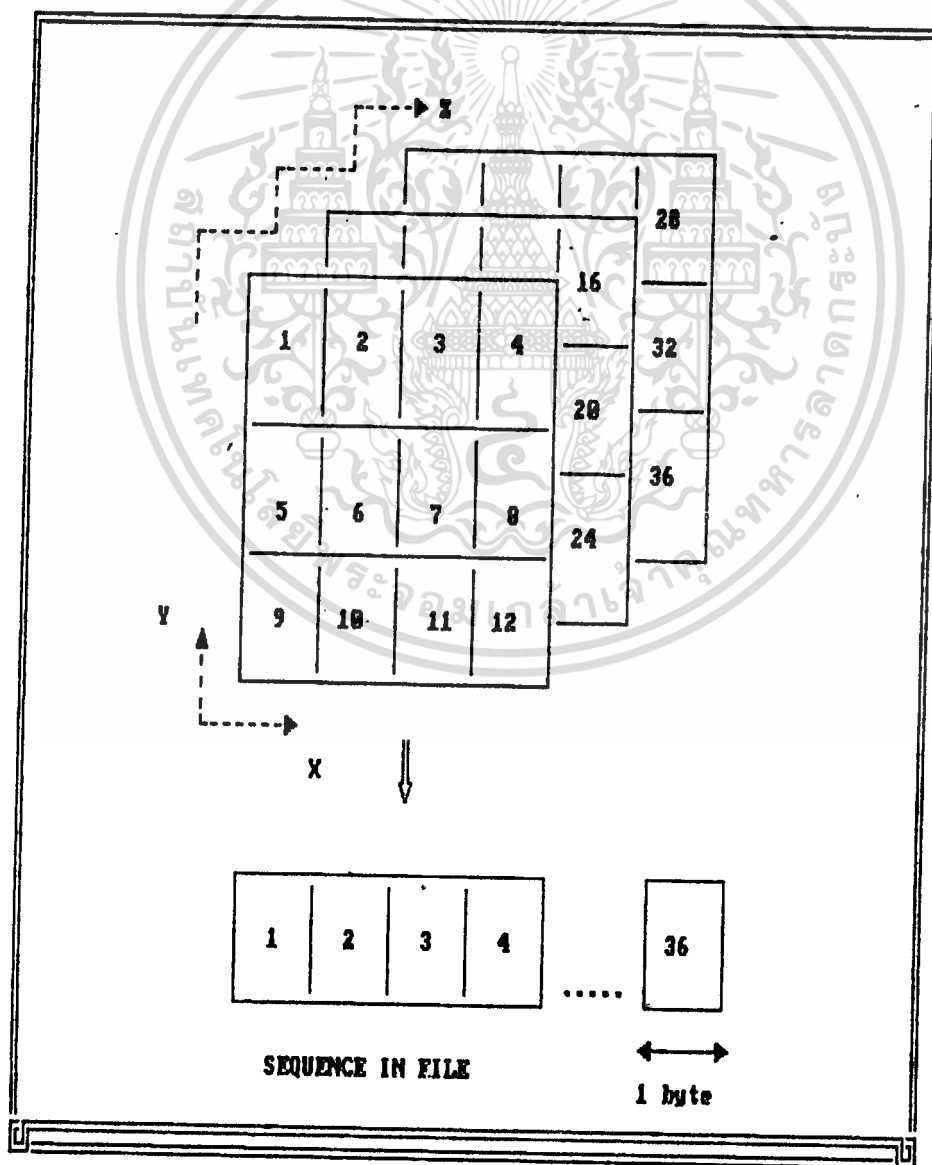
XL, YL, ZL : เป็นตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตล่างของข้อมูลที่ต้องการพิจารณา โดยกำหนดค่าเป็นพิกัดตามแนวแกน X, Y และ Z

XH, YH, ZH : เป็นตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตบนของข้อมูลที่ต้องการพิจารณา

โดยกำหนดค่าเป็นพิกัดตามแนวแกน X, Y และ Z

DENSITY(x,y,z) : เป็นค่าความหนาแน่นของข้อมูลของแต่ละจุด โดยใช้ตัวแปร x , y และ z กำหนดตำแหน่งของจุด x:ตำแหน่งตามแกน X , y:กำหนดตำแหน่งตามแกน Y และ z:กำหนดตำแหน่งตามแกน Z

POINT(x,y,z) : เป็นอาร์เรย์ของข้อมูลโดยแต่ละคอมโพเนนต์จะมีขนาดหนึ่งบิต อาร์เรย์นี้จะบอกว่าจุดใดเป็นจุดที่ต้องการพิจารณาและจุดใดไม่ต้องการพิจารณา หากจุดใดเป็นจุดที่ต้องการพิจารณาจะมีค่าข้อมูลเป็น 1 มิฉะนั้นจะมีค้เป็น 0 ตัวแปร x ,y และ z จะกำหนดตำแหน่งของจุดโดย x:ตำแหน่งตามแกน X , y:กำหนดตำแหน่งตามแกน Y และ z:กำหนดตำแหน่งตามแกน Z



## อัลกอริทึมของการแยกแยะวัตถุ (Algorithm of classification)

### Classification

FOR  $z = 0$  TO SIZE DO

FOR  $y = 0$  TO SIZE DO

FOR  $x = 0$  TO SIZE DO

IF  $(XL < x < XH)$  AND  $(YL < y < YH)$  AND

$(ZL < z < ZH)$  AND  $(THL < DENSITY(x,y,z) < THH)$

THEN POINT( $x,y,z$ ) := 1

ELSE POINT( $x,y,z$ ) := 0 ;

เมื่อทำการแยกแยะวัตถุแล้วจะนำอาร์เรย์ของข้อมูลไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

### 3.2) การทำกลาง

การทำกลางเป็นขั้นตอนในการทำให้ส่วนของวัตถุที่ต้องการพิจารณาเหลือเฉพาะส่วนที่จำเป็นที่จะต้องใช้ในขั้นตอนต่อไปเท่านั้น ซึ่งส่วนที่จำเป็นดังกล่าวก็คือจุด(วอกเซล)บริเวณรอบนอกของวัตถุนั้นเอง เช่นเมื่อนำข้อมูลดิบผ่านขั้นตอนของการแยกแยะวัตถุแล้วได้ว่าวัตถุที่ต้องการพิจารณาเป็นทรงกลมตัน เมื่อนำมาผ่านขั้นตอนในการทำกลาง ข้อมูลที่ต้องการพิจารณาจะเหลือเพียงส่วนผิวรอบนอกของทรงกลมเท่านั้น เพราะในการนำข้อมูลมาแสดงเป็นภาพสามมิติบริเวณที่ผู้สังเกตจะเห็นได้ก็คือบริเวณส่วนผิวรอบนอกเท่านั้น โดยจะไม่เห็นบริเวณของข้อมูลที่เป็นเนื้อภายในของวัตถุ ขั้นตอนนี้จะทำให้จำนวนของจุดหรือข้อมูลที่ต้องการพิจารณามีจำนวนลดลงเป็นมีจำนวนเท่ากับจำนวนจุดที่จำเป็นต่อการพิจารณาเท่านั้น เมื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปผ่านขั้นตอนการหมุนจะช่วยลดเวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณให้น้อยลง หลักการในการทำกลางมีหลักการง่าย ๆ คือ หากจุดที่ต้องการทำกลางคือ จุด  $P(x,y,z)$  ใดๆ จะทำกลางได้ก็ต่อเมื่อ

- จุดที่ติดกับจุดนั้นทุกจุดทุกทิศทางต้องเป็นจุดของวัตถุนั้น (จุดที่อยู่ติดกับจุดใดๆทุกทิศทางจะมี 26 จุด โดยคิดเหมือนกับว่าจุดที่กำลังพิจารณาอยู่นี้เป็นวอกเซลกึ่งกลางของลูกบาศก์ของวอกเซลขนาด  $3 \times 3 \times 3$  หน่วย โดยจุดนี้จะทำกลางได้ก็ต่อเมื่อวอกเซลทุกวอกเซลในลูกบาศก์นี้เป็นส่วนของวัตถุ) และ

- จุด  $(x-2,y,z), (x+2,y,z), (x,y+2,z), (x,y-2,z), (x,y,z-2), (x,y,z+2)$  จะต้องเป็นจุดในวัตถุนั้นด้วย

หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างบนจุดนั้นจะต้องรักษาไว้ และต้องเก็บไว้ใช้งานในขั้นตอนต่อไป

ซึ่งสามารถเขียนอัลกอริทึมสำหรับการทำกลางได้ดังข้างล่าง โดยความหมายของตัวแปรต่างๆมีความหมายดังนี้คือ

POINT( $x,y,z$ ) : เป็นอาร์เรย์ของข้อมูล โดยแต่ละคอมโพเนนต์จะมีขนาดหนึ่งบิต อาร์เรย์

เรย์นี้จะบอกว่าจุดใดเป็นจุดที่ต้องการพิจารณาและจุดใดไม่ต้องการพิจารณา หากจุดใดเป็นจุดที่ต้องการพิจารณาจะมีค่าข้อมูลเป็น 1 มิฉะนั้นจะมีค่าเป็น 0 ตัวแปร  $x$ ,  $y$  และ  $z$  จะกำหนดตำแหน่งของจุดโดย  $x$ : ตำแหน่งตามแกน  $X$ ,  $y$ : กำหนดตำแหน่งตามแกน  $Y$  และ  $z$ : กำหนดตำแหน่งตามแกน  $Z$

VOXEL( $x, y, z$ ) : เป็นอาร์เรย์ของข้อมูลโดยแต่ละคอมพิวเตอร์จะมีขนาดหนึ่งบิต อาร์เรย์นี้จะบอกว่าวอกเซลใดเป็นวอกเซลที่จำเป็นต้องใช้ในการพิจารณาขั้นตอนต่อไปและวอกเซลใดไม่จำเป็นต้องใช้ในการพิจารณา หากวอกเซลใดเป็นวอกเซลที่จำเป็นต้องใช้ในการพิจารณาจะมีค่าข้อมูลเป็น 1 มิฉะนั้นจะมีค่าเป็น 0 ตัวแปร  $x$ ,  $y$  และ  $z$  จะกำหนดตำแหน่งของวอกเซลโดย  $x$ : กำหนดตำแหน่งตามแกน  $X$ ,  $y$ : กำหนดตำแหน่งตามแกน  $Y$  และ  $z$ : กำหนดตำแหน่งตามแกน  $Z$

เครื่องหมาย \* แสดงถึงการ AND ของตรรกศาสตร์

### อัลกอริทึมของการทำกลวง

#### Hollowing

{initial variable VOXEL( $x, y, z$ )}

1 FOR Z = 0 TO SIZE DO

FOR Y = 0 TO SIZE DO

FOR X = 0 TO SIZE DO

VOXEL( $x, y, z$ ) := 0;

2 FOR Z = 2 TO SIZE-2 DO

FOR Y = 2 TO SIZE-2 DO

FOR X = 2 TO SIZE-2 DO

IF POINT( $x, y, z$ ) = 1 THEN

IF POINT( $x-1, y-1, z$ )\*POINT( $x, y-1, z$ )\*POINT( $x+1, y-1, z$ )\*

POINT( $x-1, y, z$ )\*POINT( $x+1, y, z$ )\*POINT( $x-1, y+1, z$ )\*

POINT( $x, y+1, z$ )\*POINT( $x+1, y+1, z$ )\*POINT( $x, y+2, z$ )\*

POINT( $x, y-2, z$ )\*POINT( $x-2, y, z$ )\*POINT( $x+2, y, z$ )\*

POINT( $x, y+2, z$ )\*POINT( $x, y-2, z$ )\*POINT( $x, y, z-2$ )\*

POINT( $x, y, z+2$ )\*POINT( $x-1, y-1, z-1$ )\*POINT( $x, y-1, z-1$ )\*

POINT( $x+1, y-1, z-1$ )\*POINT( $x-1, y, z-1$ )\*POINT( $x, y, z-1$ )\*

POINT( $x+1, y, z-1$ )\*POINT( $x-1, y+1, z-1$ )\*POINT( $x, y+1, z-1$ )\*

POINT( $x+1, y+1, z-1$ )\*POINT( $x-1, y-1, z+1$ )\*POINT( $x, y-1, z+1$ )\*

```

POINT(x+1,y-1,z+1)*POINT(x-1,y,z+1)*POINT(x,y,z+1)*
POINT(x+1,y,z+1)*POINT(x-1,y+1,z+1)*POINT(x,y+1,z+1)*
POINT(x+1,y+1,z+1) = 1
THEN VOXEL(x,y,z) := 1;

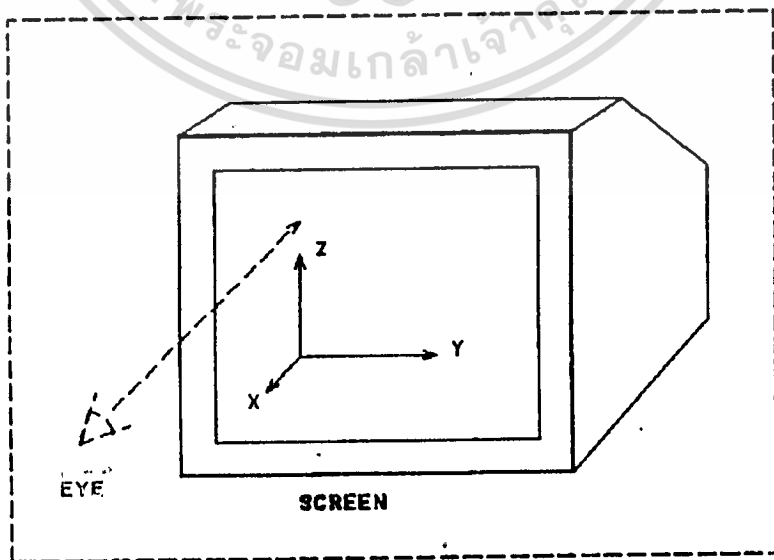
```

### 3.3) การหมุนวัตถุ

การหมุนวัตถุในที่นี้จะเป็นการหมุนวัตถุรอบจุดกึ่งกลางของวัตถุ และเนื่องจากวัตถุเกิดขึ้นจากการประกอบกันของจุดหลายๆจุด ดังนั้นเมื่อต้องการที่จะหมุนวัตถุรอบจุดกึ่งกลางของวัตถุนั้นก็สามารถทำได้โดยการหมุนจุดต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นวัตถุรอบจุดกึ่งกลางดังกล่าว สำหรับวิธีการในการหมุนวัตถุนั้นจะใช้วิธีการตามหลักการของคอมพิวเตอร์กราฟฟิก คือจะใช้ทรานสฟอร์มเมตริกซ์ในการคำนวณหาตำแหน่งใหม่ของจุดหลังจากที่ทำการหมุนไปแล้ว ดังนั้นพอสรุปได้ว่าหากหมุนวัตถุรอบจุดกึ่งกลางของวัตถุจะต้อง

- หาจุดกึ่งกลางของวัตถุนั้น
- ย้ายวัตถุให้จุดกึ่งกลางของวัตถุไปอยู่ที่จุดกำเนิด
- ทำการหมุนวัตถุตามมุมและทิศทางต่างๆตามที่กำหนด
- ย้ายจุดกึ่งกลางของวัตถุกลับที่เดิม

เมื่อผ่านขั้นตอนดังกล่าวข้างบน จะได้วัตถุเดิมแต่มีทิศในการมองที่แตกต่างออกไปจากเดิม สำหรับโครงงานนี้ ระบบแกนที่ใช้เป็นระบบที่เป็นไปตามกฎมือขวา โดยหากสังเกตจากจอภาพ แกน X จะเป็นแกนที่มีทิศพุ่งออกจากจอภาพ แกน Y จะเป็นแกนที่มีทิศชี้ไปทางขวาของผู้สังเกต และแกน Z จะมีทิศชี้ขึ้นข้างบน ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นถึงทิศทางแกนมาตรฐาน X, Y, Z ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การย้าย(translation) วัตถุให้จุดกึ่งกลางของวัตถุไปอยู่ที่จุดกำเนิด สามารถทำได้โดยการลบค่าพิกัดของจุดต่างๆที่ประกอบกันเป็นวัตถุด้วยค่าพิกัดของจุดกึ่งกลางของวัตถุนั้น หากกำหนดให้

$$(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2) \dots (x_n, y_n, z_n)$$

เป็นจุดที่ประกอบกันเป็นวัตถุ และจุดกึ่งกลางของวัตถุอยู่ที่  $(x_0, y_0, z_0)$  เมื่อทำการย้ายวัตถุให้จุดกึ่งกลางของวัตถุมาอยู่ที่จุดกำเนิดจะได้พิกัดของจุดที่ประกอบกันเป็นวัตถุใหม่เป็น

$$(x_1 - x_0, y_1 - y_0, z_1 - z_0), (x_2 - x_0, y_2 - y_0, z_2 - z_0) \dots (x_n - x_0, y_n - y_0, z_n - z_0)$$

- การหมุนวัตถุ ก่อนที่จะกล่าวถึงการหมุนวัตถุรอบแกนมาตรฐาน X, Y, Z จะขอกล่าวถึงการหมุนจุดรอบแกนมาตรฐาน X, Y, Z ก่อน ในการหมุนจุด P  $(x, y, z)$  ใดๆ รอบแกน Z เป็นมุม A ในทิศทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้ได้จุดใหม่ P'  $(x', y', z')$  สามารถทำได้โดยการใช้ทรานสฟอร์มเมตริกซ์ (Transform matrix)

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

เขียนเป็นสมการเมตริกซ์จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos A & \sin A & 0 \\ -\sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

หากเป็นการหมุนจุด P  $(x, y, z)$  ใดๆ รอบแกน X เป็นมุม A ในทิศทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้ได้จุด P'  $(x', y', z')$  การหาค่าพิกัด  $(x', y', z')$  ก็ทำได้เช่นกันโดยใช้ ทรานสฟอร์มเมตริกซ์ (Transform matrix)

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

เขียนเป็นสมการเมตริกซ์จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos A & \sin A \\ 0 & -\sin A & \cos A \end{bmatrix}$$

และในทำนองเดียวกันหากเป็นการหมุนจุด P  $(x, y, z)$  ใดๆ รอบแกน Y เป็นมุม A ในทิศทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้ได้จุด P'  $(x', y', z')$  การหาค่าพิกัด  $(x', y', z')$  ก็ทำได้

เช่นกันโดยใช้ ทรานสฟอร์มเมตริกซ์ (Transform matrix) ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

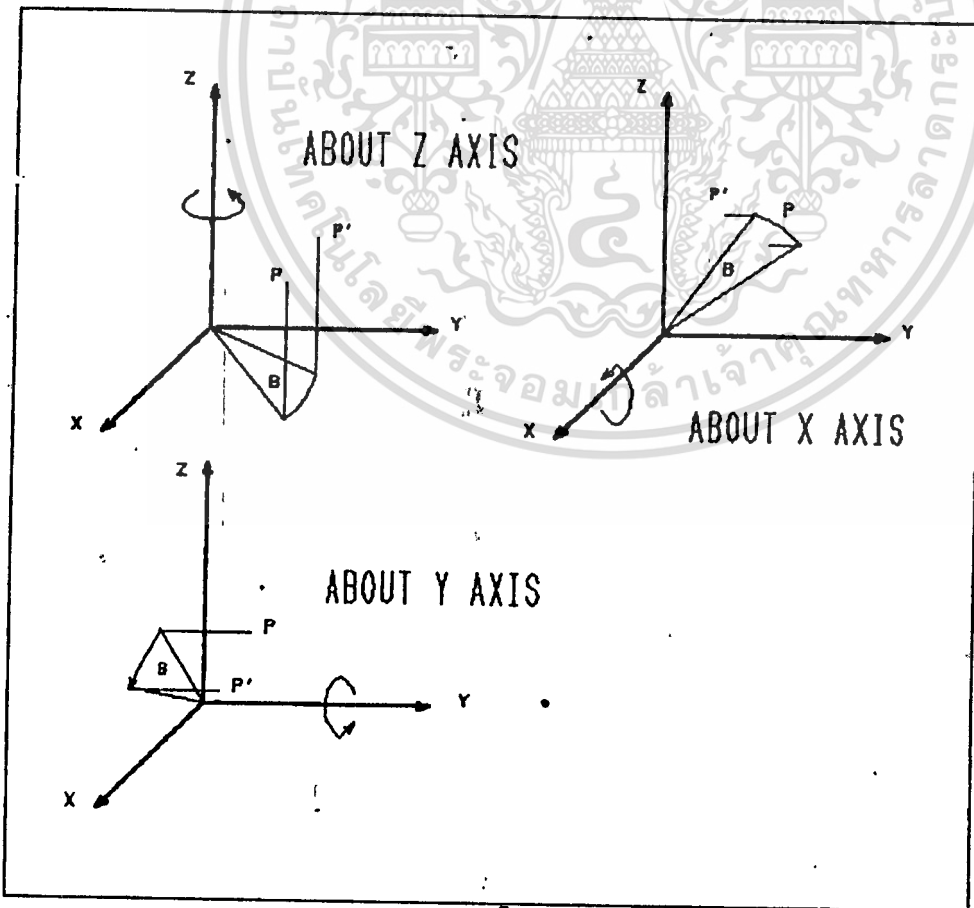
$$R_y(A) = \begin{bmatrix} \cos A & 0 & -\sin A \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin A & 0 & \cos A \end{bmatrix}$$

เขียนเป็นสมการเมตริกซ์จะได้ว่า

$$[x' \ y' \ z'] = [x \ y \ z] \begin{bmatrix} \cos A & 0 & -\sin A \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin A & 0 & \cos A \end{bmatrix}$$

ในการหมุนรอบแกนมาตรฐานดังกล่าวการวัดค่ามุมในทิศทวนเข็มนาฬิกาจะให้ค่ามุมเป็นบวก หากเป็นการหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกาจะให้มุมนั้นมีเครื่องหมายเป็นลบ เช่นหากทำการหมุนจุด P (x,y,z) รอบแกน Z เป็นมุม 30 องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา จะได้ผลลัพธ์คือจุด P' (x',y',z') ดังนี้

$$[x' \ y' \ z'] = [x \ y \ z] \begin{bmatrix} \cos 30 & \sin 30 & 0 \\ -\sin 30 & \cos 30 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



รูปที่ 3.4 แสดงภาพของการเลื่อนจุดรอบแกนมาตรฐาน X, Y, Z

แต่หากทำการหมุนจุด P (x,y,z) รอบแกน Z เป็นมุม 30 องศาในทิศตามเข็มนาฬิกา จะได้ผลลัพธ์คือจุด P' (x',y',z') ดังนี้

$$[ x' \ y' \ z' ] = [ x \ y \ z ] \begin{bmatrix} \cos (-30) & \sin (-30) & 0 \\ -\sin (-30) & \cos (-30) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงการหมุนจุด P (x,y,z) ใด ๆ รอบแกนมาตรฐานต่าง ๆ จากที่กล่าวมาแล้วนี้เป็น การหมุนจุดใด ๆ รอบแกนมาตรฐาน หากเป็นการหมุนวัตถุรอบแกนมาตรฐานก็ทำได้โดยการหมุนจุดแต่ละจุดบนวัตถุนั้นรอบแกนมาตรฐานนั้นนั่นเอง (ในการหมุนดังกล่าวนี้จะเห็นได้ว่าเป็นการหมุนรอบจุดกำเนิด (origin) ทั้งสิ้น) สำหรับขั้นตอนในการหมุนนี้ ลำดับของการหมุนมีความสำคัญต่อผลของการหมุนด้วยคือหากหมุนวัตถุรอบแกน X เป็นมุม A ในทิศทวนเข็มนาฬิกา แล้วค่อยหมุนรอบแกน Z เป็นมุม B ในทิศทวนเข็มนาฬิกา จะให้ผลที่ต่างจากการหมุนวัตถุรอบแกน Z เป็นมุม B ในทิศทวนเข็มนาฬิกา แล้วค่อยหมุนรอบแกน X เป็นมุม A ในทิศทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นเมื่อทำการหมุนวัตถุจะต้องทำการคำนึงถึงลำดับของการหมุนด้วย ในการหาทรานสฟอร์มเมตริกซ์สำหรับการคำนวณตำแหน่งหลังการหมุน เมื่อทราบลำดับของการหมุนแล้วจะทำการหาทรานสฟอร์มเมตริกซ์ผลลัพธ์ซึ่งเป็นทรานสฟอร์มเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณจะทำได้โดยการนำทรานสฟอร์มเมตริกซ์ของการหมุนรอบแต่ละแกนมาคูณกัน ตัวอย่างเช่นหากต้องการหมุนวัตถุรอบแกน X เป็นมุม A ในทิศทวนเข็มนาฬิกา ต่อจากนั้นหมุนวัตถุรอบแกน Z เป็นมุม B ในทิศทวนเข็มนาฬิกา แล้วหมุนวัตถุรอบแกน X เป็นมุม C ในทิศตามเข็มนาฬิกาอีกครั้ง จะได้ทรานสฟอร์มเมตริกซ์สำหรับการหมุนตามทิศทางข้างบนเป็น

$$T = R_x (A) * R_z (B) * R_x (-C)$$

- การย้าย (translation) วัตถุให้จุดกึ่งกลางของวัตถุกลับที่เดิม สามารถทำได้โดยการบวกค่าพิกัดของจุดต่างๆที่ประกอบกันเป็นวัตถุด้วยค่าพิกัดของจุดกึ่งกลางของวัตถุนั้น หากกำหนดให้

$$(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2) \dots (x_n, y_n, z_n)$$

เป็นจุดที่ประกอบกันเป็นวัตถุหลังจากที่ทำการหมุนเรียบร้อยแล้ว และจุดกึ่งกลางของวัตถุอยู่ที่  $(x_0, y_0, z_0)$  เมื่อทำการย้ายวัตถุให้จุดกึ่งกลางของวัตถุกลับที่เดิม จะได้ค่าพิกัดของจุดต่างๆเป็น

$$(x_1+x_0, y_1+y_0, z_1+z_0), (x_2+x_0, y_2+y_0, z_2+z_0) \dots (x_n+x_0, y_n+y_0, z_n+z_0)$$

ดังนั้นหากต้องการที่จะหมุนวัตถุ โดยอ้างอิงกับจุดศูนย์กลางวัตถุรอบแกน X เป็นมุม A องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา จากนั้นหมุนรอบแกน Y เป็นมุม B องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา และหมุนรอบแกน Z เป็นมุม C องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา โดยให้วัตถุมียุคกึ่งกลางอยู่ที่  $(x_0, y_0, z_0)$  จะทำได้โดย

- คำนวณหาทรานสฟอร์มเมตริกซ์ที่ใช้ในการหมุนในทิศทางที่กำหนด ซึ่งจะได้

$$T = R_x (A) * R_y (B) * R_z (C)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับทุกจุด  $(x, y, z)$  ที่เป็นส่วนของวัตถุ ให้ทำตามขั้นตอนที่ (1) ถึง (3)

$$(1) (x_1, y_1, z_1) = (x - x_0, y - y_0, z - z_0)$$

$$(2) (x_2, y_2, z_2) = (x_1, y_1, z_1) * T$$

$$(3) (x_n, y_n, z_n) = (x_2 + x_0, y_2 + y_0, z_2 + z_0)$$

$(x_n, y_n, z_n)$  เป็นตำแหน่งใหม่ของจุดต่างๆที่ประกอบกันเป็นวัตถุหลังจากที่ทำการหมุนแล้ว สำหรับขั้นตอนในการหมุนวัตถุรอบจุดกึ่งกลางของวัตถุสามารถเขียนอัลกอริทึมได้ดังข้างล่าง โดยตัวแปรต่าง ๆ มีความหมายดังนี้คือ

VOXEL  $(x, y, z)$  : เป็นอาร์เรย์ของข้อมูลโดยแต่ละคอมพิวเตอร์ไบต์จะมีขนาดหนึ่งบิต อาร์เรย์นี้จะบอกว่าวอกเซลใดเป็นวอกเซลที่จำเป็นต้องใช้ในการพิจารณาขั้นตอนต่อไปและวอกเซลใดไม่จำเป็นต้องใช้ในการพิจารณา หากวอกเซลใดเป็นวอกเซลที่จำเป็นต้องใช้ในการพิจารณาจะมีค่าข้อมูลเป็น 1 มิฉะนั้นจะมีค่าเป็น 0 ตัวแปร  $x, y$  และ  $z$  จะกำหนดตำแหน่งของวอกเซลโดย  $x$ : กำหนดตำแหน่งตามแกน  $X$ ,  $y$ : กำหนดตำแหน่งตามแกน  $Y$  และ  $z$ : กำหนดตำแหน่งตามแกน  $Z$

DATA  $(x, y, z)$  : เป็นอาร์เรย์ของข้อมูลที่บอกให้ทราบถึงตำแหน่งของจุดต่างๆที่ประกอบกันเป็นวัตถุหลังจากที่ทำการหมุนไปแล้ว โดยหากตำแหน่งใดเป็นตำแหน่งของจุดที่ประกอบกันเป็นวัตถุหลังจากที่ทำการหมุนไปแล้วข้อมูลภายในจะมีค่าเป็น 1 มิฉะนั้นจะมีค่าเป็น 0

T : ทรานส์ฟอร์มเมตริกซ์ของการหมุน

อัลกอริทึมของการหมุนวัตถุรอบจุดกึ่งกลางของวัตถุ

Rotation

{ Initial DATA  $(x, y, z)$  }

1 FOR  $x = 0$  TO SIZE DO

FOR  $y = 0$  TO SIZE DO

FOR  $z = 0$  TO SIZE DO

DATA  $(x, y, z) := 0$ ;

2 ทำการอ่านค่าและลำดับของการหมุนว่าผู้ใช้ต้องการหมุนวัตถุรอบแกนใด, เป็นมุมเท่าไร ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา

3 ทำการคำนวณหาค่าทรานส์ฟอร์มเมตริกซ์ (T) โดยหาค่าได้จากการคูณกันของเมตริกซ์ที่ใช้ในการหมุนในแต่ละแกนแต่ละมุมตามที่กำหนดไว้ในข้อ 1

4 สำหรับทุกจุด  $(x, y, z)$  ที่เป็นส่วนประกอบของวัตถุ คือ VOXEL  $(x, y, z)$  ให้ทำตามข้อ 5 ถึง 8

$$5 (x_1, y_1, z_1) = (x - x_0, y - y_0, z - z_0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

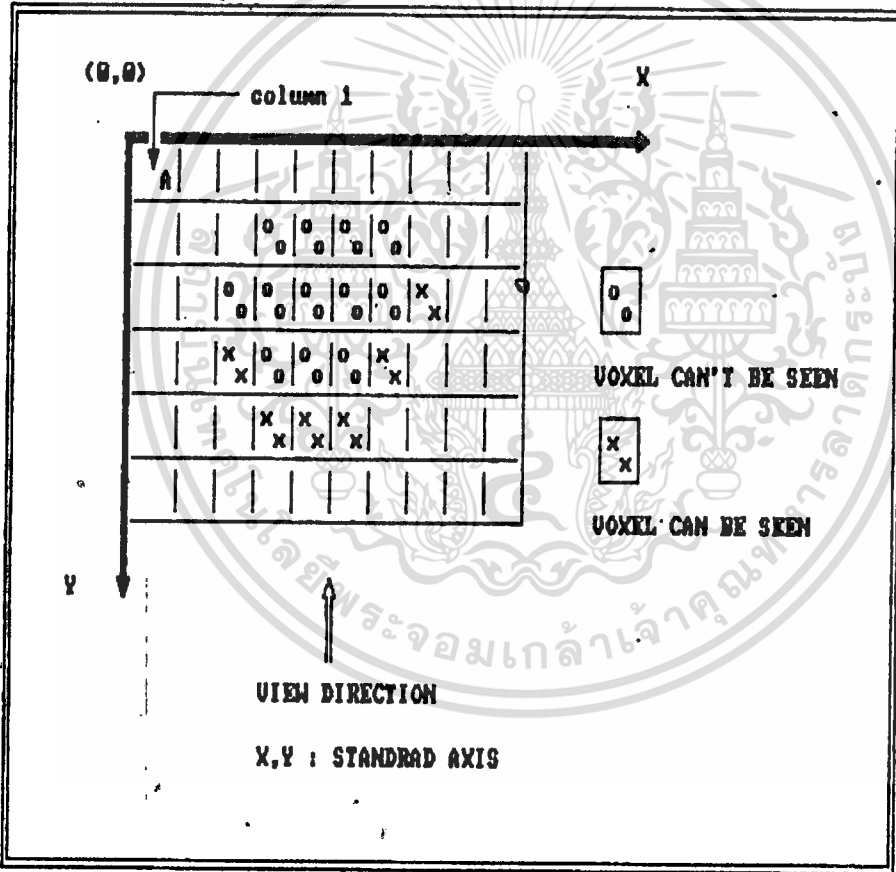
$$6 (x_2, y_2, z_2) = (x_1, y_1, z_1) * T$$

$$7 (x_n, y_n, z_n) = (x_2 + x_0, y_2 + y_0, z_2 + z_0)$$

$$8 \text{ DATA}(x_n, y_n, z_n) := 1;$$

### 3.4) การหาจุดที่ต้องนำแสดงจากหลังไปหน้า

ขั้นตอนในการหาจุดที่ต้องนำแสดงเป็นขั้นตอนในการหาบริเวณของวัตถุที่ผู้สังเกตสามารถมองเห็นได้ว่าเป็นบริเวณใดของวัตถุ เช่น หากผู้สังเกตมองลูกเต๋าผู้สังเกตจะสามารถมองเห็นหน้าของลูกเต๋ามากที่สุด 3 หน้า ส่วนหน้าที่มองไม่เห็นจะเป็นหน้าที่อยู่ด้านหลังหรือเป็นหน้าที่ถูกตัวลูกเต๋ายังอยู่ หรืออาจกล่าวได้ว่าหน้าของลูกเต๋าที่ผู้สังเกตสามารถมองเห็นคือหน้าของลูกเต๋าคือหน้าหน้าเข้าหาผู้สังเกตนั่นเอง



รูปที่ 3.5 ภาพประกอบการแสดงหาจุดที่ต้องแสดง

หลักการในการหาจุดที่ต้องนำแสดง มีหลักการง่ายๆ คือ หากมีวัตถุอยู่ในระบบพิกัดฉาก 3 มิติโดยผู้ที่ทำการสังเกตมีทิศในการมองตั้งฉากกับระนาบ YZ ของระบบพิกัดฉาก ดังรูปที่ 3.5 ในรูปจะเห็นแกน X และแกน Y ส่วนแกน Z จะเป็นแกนที่มีทิศทางเข้าหาเรา เมื่อทำการหาจุดที่ต้องนำแสดงก็ทำได้โดยการพิจารณาหาจุดที่เป็นส่วนประกอบของวัตถุผู้สังเกตไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถมองเห็นได้ในแต่ละสไลซ์ ในรูปที่ 3.5 อาจพิจารณาได้ว่าเป็นสไลซ์หนึ่ง เมื่อต้องการหาจุดที่ต้องการนำเสนอในแต่ละสไลซ์ก็ทำได้โดยตรวจสอบทีละคอลัมน์ เช่นในรูปที่ 3.5 เริ่มแรกจะเริ่มตรวจสอบในคอลัมน์ที่ 1 ซึ่งเป็นคอลัมน์ซ้ายสุดโดยไล่ตามทิศการสังเกต (view direction) ของผู้สังเกต จากในรูปจะเห็นว่าในคอลัมน์แรกจะไม่พบจุดที่เป็นส่วนของวัตถุตั้งนั้น จะให้ค่าความลึกของจุดนั้นมีค่าเท่ากับค่าความลึกของฉากหลัง (back ground) จากนั้นจึงเริ่มทำการตรวจใน คอลัมน์ที่ 2 ต่อไปจนครบทุกๆ คอลัมน์ ซึ่งผลสุดท้ายจะได้ว่าจุดที่มองเห็นก็คือจุดที่มีภาพบาทกำกับอยู่ ผลของการหาจุดที่ต้องการนำเสนอนี้ก็คือ อาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าของแต่ละคอมพิวเตอร์ในอาร์เรย์ก็คือค่าความลึกของจุดที่ผู้สังเกตมองเห็นได้นั่นเอง เช่นในระบบพิกัดฉากที่มีแกน X เป็นแกนที่ชี้ไปทางขวามือของผู้สังเกต แกน Y เป็นแกนที่ชี้ขึ้นข้างบน และ แกน Z เป็นแกนที่พุ่งออกจากผู้สังเกต ค่าความลึกของจุดที่สามารถมองเห็นได้โดยผู้สังเกตก็คือค่า Z ของจุดที่เป็นส่วนประกอบของวัตถุที่อยู่ใกล้ผู้สังเกตมากที่สุดในแต่ละคอลัมน์ (x,y) และจะเก็บค่า Z ไว้ในอาร์เรย์ Z(x,y) ซึ่งการหาค่าดังกล่าวสามารถทำได้โดยการตรวจสอบทีละคอลัมน์ แต่ละคอลัมน์กำหนดโดยการชี้พิกัด (x,y) การตรวจสอบก็ทำโดยการเริ่มจากการตรวจสอบว่า (x,y,0) เป็นจุดที่เป็นส่วนของวัตถุหรือไม่ หากไม่ก็ทำการไล่จุดต่อไป (x,y,1) ทำเช่นนี้จนพบจุดที่ใช้สมมติเป็นจุด (x,y,z") ก็จะได้เก็บค่า z" ไว้ในอาร์เรย์ Z(x,y) และทำจนครบทุกพิกัด (x,y) ก็จะได้ค่าความลึกของจุดทั้งหมดที่ต้องการนำเสนอบนจอภาพ ในขั้นตอนนี้สามารถเขียนอัลกอริทึมเพื่ออธิบายการหาจุดที่ต้องการนำเสนอได้ดังข้างล่าง โดยตัวแปรต่าง ๆ มีความหมายดังนี้คือ

DATA (x,y,z) : เป็นอาร์เรย์ของข้อมูลที่บอกให้ทราบถึงตำแหน่งของจุดต่างๆที่ประกอบกันเป็นวัตถุหลังจากที่ทำการหมุนไปแล้ว โดยหากตำแหน่งใดเป็นตำแหน่งของจุดหลังจากที่ทำการหมุนไปแล้วข้อมูลภายในจะมีค่าเป็น 1 มิฉะนั้นจะมีค่าเป็น 0

Z(x,y) : เป็นอาร์เรย์ 2 มิติที่ใช้เก็บค่าความลึกของจุดที่ผู้สังเกตสามารถมองเห็นได้ในอัลกอริทึมนี้จะใช้ระบบพิกัดฉากที่มีแกน X เป็นแกนที่ชี้ไปทางขวามือของผู้สังเกต แกน Y เป็นแกนที่ชี้ขึ้นข้างบน และ แกน Z เป็นแกนที่พุ่งออกจากผู้สังเกตเท่านั้น

### อัลกอริทึมในการหาจุดที่ต้องการนำเสนอ

#### Back-To-Front

FOR x = 0 TO SIZE DO

FOR y = 0 TO SIZE DO

BEGIN

z = 0;

WHILE ((z < SIZE) AND (DATA(x,y,z) <> 1)) DO

z := z + 1;

IF DATA(x,y,z) <> 1 THEN Z(x,y) := SIZE

ELSE  $Z(x,y) := z;$

END;

ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้เป็น  $Z(x,y)$  จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการให้แสง แต่ในการทำงานจริง อาจเกิดข้อผิดพลาดขึ้นจากการที่ทำการหมุนแล้ว คือตำแหน่งใหม่ของจุดที่คำนวณออกมาได้อาจมีค่าเป็นเลขทศนิยม แต่ตำแหน่งของจุดจะต้องเป็นเลขจำนวนเต็มจึงต้องทำการปัดเศษทิ้ง ผลจากการที่ปัดเศษทิ้งนี้จะทำให้จุดบางจุดที่ต้องนำเสนอออกจอภาพ ขาดหายไป เช่น สมมติว่าสิ่งที่ทำการพิจารณาอยู่มีลักษณะเป็นแผ่นวัตถุบางๆ โดยที่วัตถุหันด้านข้าง(ด้านสั้น) เข้าหาผู้สังเกต ดังนั้นผู้สังเกตจะมองไม่เห็นผิวหน้าของวัตถุนี้ เมื่อทำการหมุนรอบแกน  $Z$  90 องศา จะทำให้ผิวหน้าของวัตถุหันเข้าหาผู้สังเกต จากการคำนวณนี้เมื่อทำการหมุนแล้วภาพที่ปรากฏอาจจะมีจุดค่าปรากฏจุดค่านี้จะ เป็นจุดที่เกิดจากการคำนวณแล้วทำการปัดเศษทิ้งคือเมื่อปัดเศษแล้วจะทำให้ตำแหน่งใหม่  $(x,y)$  ของจุดบางจุดมีค่าเท่ากัน จึงทำให้จุดบางจุดที่ความจริงแล้วควรปรากฏบนจอภาพขาดหายไป เมื่อทำขั้นตอนการหาจุดที่ต้องนำเสนอ (แบคทูนรอนต์) จะทำให้จุดที่หายไปมีความสว่างเท่ากับฉากหลัง (Background) ซึ่งจะเป็นสีดำ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการนี้จุดที่เกิดข้อผิดพลาดมิได้มีค่าความสว่างเท่ากับค่าความสว่างของฉากหลัง แต่มีค่าความสว่างเท่ากับค่าความสว่างของผิววัตถุที่อยู่อีกด้านหนึ่ง เพราะในโครงการนี้ก่อนที่จะทำขั้นตอนการหมุน ได้นำข้อมูลไปผ่านขั้นตอนการทากลางจึงทำให้ข้อมูลของวัตถุเหลือเพียงข้อมูลบริเวณส่วนที่เป็นผิวของวัตถุเท่านั้น เมื่อทำการหาจุดที่จะต้องนำเสนอตรงจุดที่มีปัญหาดังกล่าวแทนที่จะได้ค่า  $Z$  ของจุดของผิวที่อยู่ใกล้ผู้สังเกตกลับได้ค่า  $Z$  ของจุดของผิวอีกผิวหนึ่งที่อยู่ด้านหลัง ในโครงการนี้ได้ทำการแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวด้วยวิธีการเติมให้เต็ม ( $f_{111}-f_{n11}$ ) หลักการของการเติมให้เต็มคือ

หลังจากที่ทำการหาจุดที่ต้องนำเสนอออกจอภาพ(แบคทูนรอนต์)แล้ว จะทำการตรวจสอบจุดทุกจุดที่จะต้องนำเสนอบนจอภาพ(ทุกๆ  $x,y$ ) ว่าค่าความลึกของแต่ละจุดผิดปกติหรือไม่

โดยเริ่มแรกจะต้องตรวจสอบดูว่าจุดที่กำลังพิจารณาอยู่นี้เป็นจุดที่มีค่า  $Z$  เท่ากับค่า  $Z$  ของฉากหลังหรือไม่ หากมีค่า  $Z$  เท่ากับค่า  $Z$  ของฉากหลังจะต้องทำการพิจารณาจุดที่อยู่ล้อมรอบจุดที่กำลังพิจารณาอยู่อีก 8 จุดคือ จุด  $(x-1,y+1), (x,y+1), (x+1,y+1), (x-1,y), (x+1,y), (x-1,y-1), (x,y-1)$  และจุด  $(x+1,y-1)$

-หากจุดต่างๆในกลุ่มนี้ มีจำนวนจุดที่ไม่ใช่จุดที่เป็นฉากหลังอยู่อย่างน้อย 6 จุด แสดงว่าจุดที่กำลังพิจารณาอยู่นี้เป็นจุดที่ผิดปกติ จะต้องนำค่าความลึกของจุดที่ล้อมรอบที่ไม่ใช่จุดของฉากหลังมาหาค่าเฉลี่ยแล้วกำหนดให้เป็นค่าความลึกของจุดที่กำลังพิจารณา

-มิฉะนั้นจะถือว่าจุดนั้นเป็นจุดของฉากหลัง

หากจุดที่กำลังพิจารณาอยู่เป็นจุดที่มีค่าความลึกไม่เท่ากับค่าความลึกของฉากหลัง จะต้องทำการตรวจสอบค่า  $Z$  ของจุดนั้นและจุดข้างเคียงอีก 4 จุด คือจุด  $(x-1,y), (x+1,y),$

$(x,y-1)$  และ  $(x,y+1)$  ว่ามีค่า  $Z$  เป็นอย่างไร โดยเริ่มแรกจะตรวจสอบดูก่อนว่าจุด 4 จุด

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสี่ อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้มีจุดใดเป็นจุดของฉากหลังหรือไม่ (ตรวจสอบจากค่า  $Z$  ว่ามีค่าเท่ากับ SIZE หรือไม่)  
 หากมีจะเข้าไปทำการตรวจสอบจุดอื่นๆที่อยู่ข้างเคียง หากจุดทุกจุดไม่ได้เป็นจุดของฉากหลังจะ  
 ้องทำการเปรียบเทียบค่า  $Z$  ของจุดที่กำลังพิจารณา  $(x,y)$  กับจุดข้างเคียงทีละจุดว่ามีค่าต่าง  
 จากจุดข้างเคียงทั้ง 4 แบบผิดปกติหรือไม่ หากจุดที่ทำการพิจารณาที่มีค่า  $Z$  ที่ต่างจากจุดข้างเคียง  
 ทุกจุดมากๆ ก็แสดงว่าจุดที่กำลังพิจารณาอยู่นี้เป็นจุดที่ผิดปกติ (กรณีที่มีจุดยิ่งใกล้ผู้สังเกตเท่าใด  
 จะยิ่งมีค่า  $Z$  มากขึ้น) จะต้องนำค่า  $Z$  ของจุดข้างเคียงทั้ง 4 มาหาค่าเฉลี่ยแล้วกำหนดค่า  
 เฉลี่ยนี้ให้เป็นค่าความลึกของจุดนั้น

เมื่อหลังจากที่นำข้อมูลผ่านขั้นตอนการเติมให้เต็มแล้วจะต้องนำผลที่ได้ไปผ่านขั้นตอน  
 การให้แสงก่อนที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปแสดงผลบนจอภาพ

### 3.5) การให้แสงก่อนที่จะนำภาพของวัตถุแสดงบนหน้าจอ

การให้แสงเป็นขั้นตอนสุดท้ายสำหรับโครงการนี้ จุดประสงค์ของการให้แสงก็เพื่อที่จะ  
 ให้ภาพของวัตถุที่จะนำแสดงออกนี้มีลักษณะที่เหมือนวัตถุจริงให้มากที่สุด โดยในโครงการนี้ได้ถือ  
 ว่าแสงที่ฉายไปยังวัตถุเป็นแสงที่มีทิศทางเดียวกับทิศทางการสังเกตของผู้สังเกต คือหากวางวัตถุ  
 ในระบบพิกัดฉากที่มีแกน  $X$  เป็นแกนที่ชี้ไปทางขวามือของผู้สังเกต แกน  $Y$  เป็นแกนที่ชี้ขึ้นข้างบน  
 และ แกน  $Z$  เป็นแกนที่พุ่งออกจากผู้สังเกต ทิศทางของแสงก็จะมีทิศทางเดียวกับแกน  $Z$  และ  
 จากหลักความเป็นจริงที่ว่าจุดที่อยู่ไกลจากผู้สังเกตเท่าใด ความสว่างของจุดนั้นที่ผู้สังเกตมอง  
 เห็นจะยิ่งมีค่าน้อยลง ในทางกลับกันจุดที่อยู่ใกล้ผู้สังเกตมากเท่าใด ความสว่างของจุดนั้นก็ยิ่ง  
 มีค่ามากขึ้นลง และในโครงการนี้จะถือว่าแต่ละวอกเซลจะมีหน้าสำหรับรับแสงเป็นแผ่นเรียบ  
 โดยทิศทางของหน้ารับแสงนี้จะมีทิศทางอย่างไรจะขึ้นอยู่กับวอกเซลข้างเคียงว่ามีการจัดเรียงตัว  
 กันอย่างไร นอกจากระยะทางจะมีผลต่อความสว่างแล้วทิศของหน้ารับแสงของแต่ละวอกเซลก็  
 จะมีผลต่อค่าความสว่างด้วย คือ ถ้าแสงมีทิศทางที่พุ่งตกตั้งฉากกับหน้ารับแสงพอดีก็จะมีค่าความ  
 สว่างที่วอกเซลนั้นมาก แต่หากทิศทางของแสงมีทิศที่ขนานกับหน้ารับแสงของวอกเซลนั้น ก็จะไม่  
 มีความสว่างที่วอกเซลนั้นเลย (เพราะจะถือว่าวอกเซลนั้นไม่สามารถที่จะสะท้อนแสงกลับมาได้)  
 นั่นคือหากทำการวัดมุมระหว่างทิศทางของแสงกับหน้ารับแสงของวอกเซลแล้ว (ค่ามุมดังกล่าวจะ  
 มีค่าระหว่าง  $0$  ถึง  $90$  องศา) ค่ามุมมีค่ามากแสดงว่าวอกเซลนั้นจะสะท้อนแสงได้ดีทำให้วอก  
 เซลนั้นจะสว่างมาก แต่ถ้ามุมดังกล่าวมีค่าน้อยแสดงว่าวอกเซลนั้นจะสะท้อนแสงได้น้อยทำให้วอก  
 เซลนั้นสว่างน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่า

- $E$  แปรผกผันกับ ระยะทางระหว่างผู้สังเกตกับจุดที่ถูกพิจารณา ( $Z$ )
  - $E$  แปรผันกับ มุมระหว่างทิศทางของแสงกับหน้ารับแสงของวอกเซลนั้นๆ หรือ
  - $E$  แปรผกผันกับ มุมระหว่างทิศทางของแสงกับเวกเตอร์ตั้งฉากของหน้ารับแสง ( $B$ )
- ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย E คือค่าความสว่าง

$f(Z)$  คือฟังก์ชันที่มีค่าของฟังก์ชันแปรผกผันกับค่า Z

$N(B)$  คือฟังก์ชันที่แทนความสามารถ(สัมประสิทธิ์)ในการสะท้อนแสง : จะมีค่าแปรผกผันกับ B โดย  $N(B)$  จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

ในการหาค่า  $f(Z)$  นี้สามารถทำได้โดยการให้ค่า

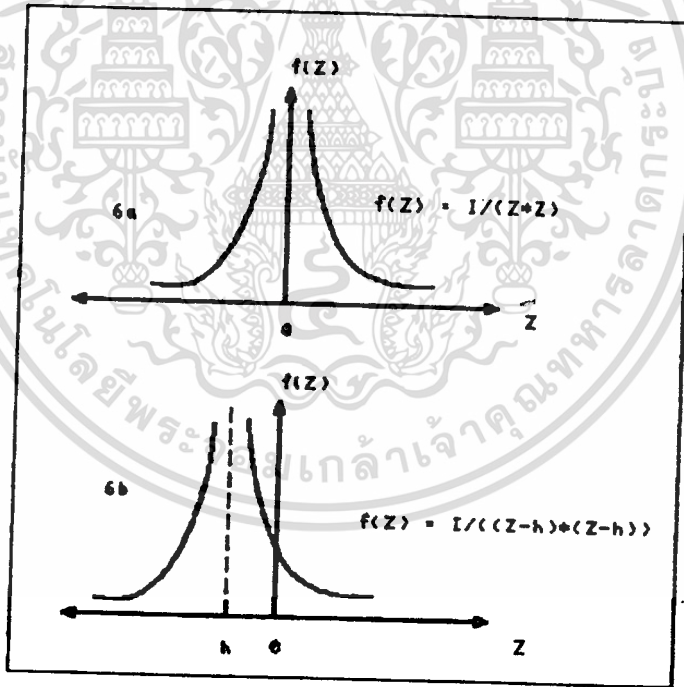
$f(Z) = \text{SIZE} - Z$  (สูตรที่ 1) ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันลดแบบเชิงเส้น (เป็นความสัมพันธ์ที่ใช้ใน Depth Shading ,Depth shading เป็นการให้แสงโดยใช้ค่า Z เป็นปัจจัยในการให้แสงโดยไม่คำนึงถึงค่า  $N(B)$  คือ  $E = f(Z)$  ของสูตรที่ 1)

หรือ

$$f(Z) = 1 / Z^2 \text{ (สูตรที่ 2)}$$

ซึ่งเป็นฟังก์ชันลดกำลังสอง : หลักการนี้เป็นหลักการที่ใช้ในแสงกายภาพ

โดย I จะเป็นค่าคงที่ ( ค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง )



### รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $f(Z)$ กับ $Z$

สำหรับโครงการนี้ ได้กำหนดให้ค่าความสว่างมีค่ามากที่สุด 255 (สว่างสุด) และมีค่าความสว่างน้อยสุดเท่ากับ 30 (เพื่อไม่ให้ภาพวัตถุมืดเกินไป) นั่นคือหากใช้  $f(Z)$  ตามสูตรที่ 2 กราฟของสมการของสูตรที่ 2 เป็นไปดังรูปที่ 3.6 a จากในรูปจะเห็นว่าเมื่อค่าความลึก( $Z$ ) มีค่าเท่ากับ 0 ค่า  $f(Z)$  จะมีค่ามากเป็นอนันต์โดยมิได้มีค่าเท่ากับ 255 ดังนั้นจึงต้องนำสมการ  $f(Z)$  มาเปลี่ยนแปลงเพื่อให้มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด หากพิจารณาเป็นกราฟก็จะเป็นการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลื่อนแกนนั่นเอง นั่นคือแกนที่จะใช้

สมการ  $f(Z) = 1 / Z^2$  จะใช้

สมการ  $f(Z) = 1 / (Z - h)^2$  แทน

กราฟแสดงสมการหลังจากเลื่อนแกนแล้วแสดงในรูปที่ 3.6 b ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการหลังจากเลื่อนแกนแล้วจะต้องมีค่าของสมการอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 เขียนเป็นสมการจะได้ว่า

$$255 = 1 / (0 - h)^2 \dots\dots (3.1)$$

$$30 = 1 / (255 - h)^2 \dots\dots (3.2)$$

จากสมการทั้งสองจะได้ค่า  $1 = 4519258$  และ  $h = -133.126$  ดังนั้น

$$f(Z) = 4519258 / (Z + 133.126)^2$$

ส่วน  $N(B)$  ที่ต้องมีค่าแปรผกผันกับค่ามุม  $B$  ซึ่งก็คือฟังก์ชัน  $\text{Cos}(B)$  นั่นเอง หรืออาจกล่าวได้ว่า

$$N(B) = [ \text{Cos}(B) ]^p$$

•  $p$  เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่าความต่อเนื่อง (smooth) จะได้ว่า

$$E = (\text{SIZE} - Z) * [ \text{Cos}(B) ]^p$$

• ในกรณีนี้ที่คิดว่าค่าความสว่างแปรผกผันแบบเชิงเส้นกับระยะทาง หรือ

$$E = (4519258 / (Z + 133.126)^2) * [ \text{Cos}(B) ]^p$$

• เป็นการหาค่าความสว่างตามหลักการของแสงกายภาพ

ส่วนการหาค่า มุม  $B$  ซึ่งเป็นมุมที่วัดระหว่างรังสีของแสงกับเวกเตอร์ตั้งฉากของหน้ารับแสงของแต่ละวอกเซล นั้นจะต้องพิจารณาจากการเรียงตัวกันของวอกเซลที่อยู่ข้างเคียง หลักการในการหาค่ามุมนี้ได้แสดงในรูปที่ 3.7 ในรูปจะเห็นได้ว่าเวกเตอร์ตั้งฉากของหน้ารับแสงของวอกเซล ( $w$ ) จะประกอบด้วยเวกเตอร์ย่อย  $u$  และ  $v$  นั่นเอง โดยเวกเตอร์  $u$  จะเป็นเวกเตอร์ที่อยู่ในระนาบ  $uw$  และเวกเตอร์  $v$  จะเป็นเวกเตอร์ในระนาบ  $vw$  ในการหาค่าเวกเตอร์  $u$  และ  $v$  จะมีวิธีการที่คล้ายกันคือ ในการหาเวกเตอร์  $u$  ก็จะทำการนิยามวอกเซลที่อยู่ติดกันในแนวแกน  $U$  ซึ่งมีค่าความลึก(ค่า  $Z$ ) เท่ากันดังแสดงในรูปที่ 3.7 a จากนั้นจะนิยามวอกเซลที่อยู่ติดกับวอกเซลที่อยู่ในแนวแกน  $U$  และอยู่ติดกับวอกเซลกลุ่มดังกล่าว(ซึ่งจะมีสองวอก)เซลว่าสูงหรือต่ำกว่ากลุ่มของวอกเซลที่กำลังพิจารณาเท่าไร จากในรูปกลุ่มวอกเซลที่อยู่ติดกันในแนวแกน  $U$  และมีค่า  $Z$  เท่ากันคือวอกเซลที่อยู่ตรงบริเวณ  $b$  และวอกเซลที่อยู่ติดกับวอกเซลกลุ่มดังกล่าวทางด้านซ้ายจะมีอยู่ต่ำกว่าวอกเซลตรงบริเวณ  $b$  อยู่  $a$  -และวอกเซลที่อยู่ติดกับวอกเซลกลุ่มดังกล่าวทางด้านขวาอยู่สูงกว่าวอกเซลตรงบริเวณ  $b$  อยู่  $c$  การคำนวณหาค่าความชันของเวกเตอร์  $u$  ( $t_u$ ) จะมีค่าเท่ากับ  $(a + c) / 2+b$  ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะเปรียบ

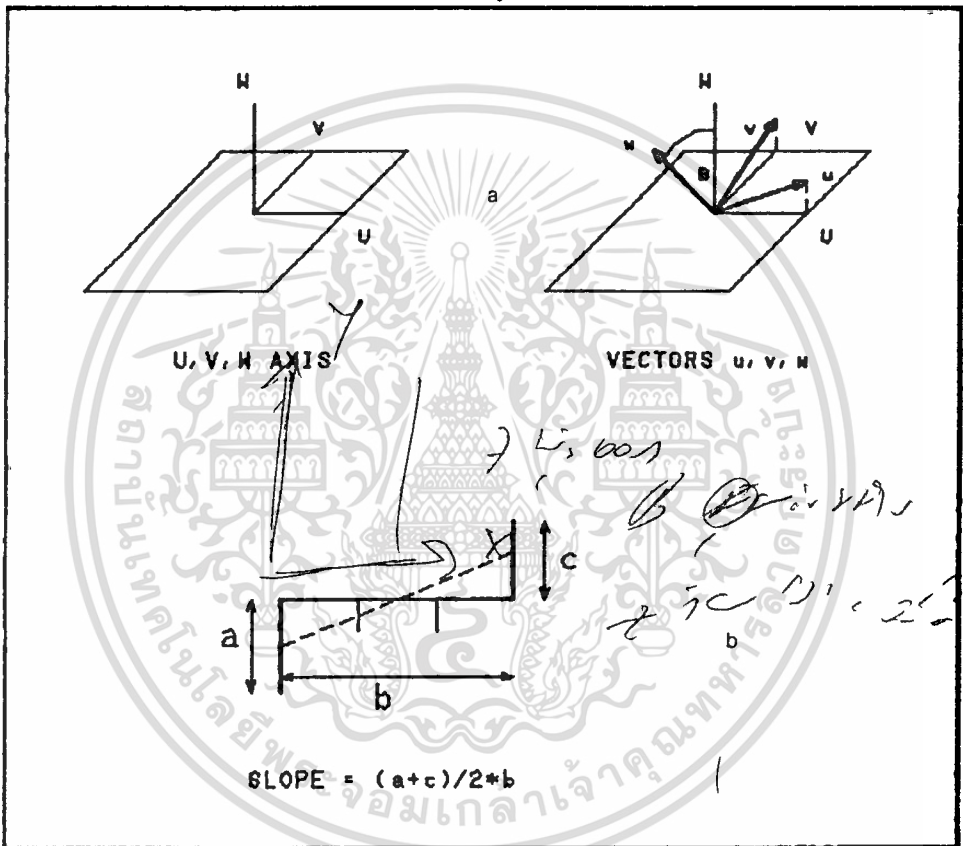
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสมือนเป็นค่าแทนเจนต์ (tangent) ของมุมที่เวกเตอร์  $u$  ทำกับแกน  $U$  (ค่าเวกเตอร์  $u$  นี้ จะถือว่าเป็นค่าเวกเตอร์ของวอกเซลทุกวอกเซลที่อยู่ตรงปริมาตร  $b$ ) และวิธีการเดียวกันนี้จะช่วยให้สามารถหาค่าความชันของเวกเตอร์  $v$  ( $t_v$ ) ได้ จากวิชาตรีโกณมิติเมื่อทราบค่าแทนเจนต์ของเวกเตอร์  $u$  และเวกเตอร์  $v$  แล้วค่าโคไซน์ของมุมที่เวกเตอร์  $w$  ทำกับแกน  $W$  (ซึ่งก็คือมุม  $B$ ) จะมีค่าเท่ากับ  $1 / \text{SQRT}(1 + t_u^2 + t_v^2)$

คือ  $\text{Cos}(B) = 1 / \text{SQRT}(1 + t_u^2 + t_v^2)$

SQRT : SQUARE ROOT

*คิด ๑ - ๖ ๘*



**รูปที่ 3.7 แสดงการหาค่าเวกเตอร์  $u$ ,  $v$  และ  $w$**

ในทางปฏิบัติการหาค่าความชันของเวกเตอร์  $u$  กับ  $v$  แล้วนำมาคำนวณหาค่า  $\text{Cos}(B)$  โดยตรงจะเป็นวิธีการที่ยุ่งยาก ซึ่งสำหรับโครงการนี้จะใช้การประมาณค่าของค่าความชัน โดยได้แบ่งค่าความชันออกเป็น 7 ระดับ คือ  $-2$ ,  $-1$ ,  $-0.5$ ,  $0$ ,  $0.5$ ,  $1$  และ  $2$  และให้รหัส(CODE)แก่ความชันเหล่านี้คือ

- 1: ค่าความชันที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า  $-1.4$  จะถือว่ามีค่าความชันเท่ากับ  $-2$
- 2: ค่าความชันที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง  $-1.4$  กับ  $-0.72$  จะถือว่ามีค่าความชันเท่ากับ  $-1$
- 3: ค่าความชันที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง  $-0.72$  กับ  $-0.23$  จะถือว่ามีค่าความชันเท่ากับ  $-0.5$
- 4: ค่าความชันที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง  $-0.23$  กับ  $0.23$  จะถือว่ามีค่าความชันเท่ากับ  $0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5: ค่าความชันที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.23 กับ 0.72 จะถือว่ามีความชันเท่ากับ 0.5
- 6: ค่าความชันที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.72 กับ 1.4 จะถือว่ามีความชันเท่ากับ 1
- 7: ค่าความชันที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1.4 จะถือว่ามีความชันเท่ากับ 2

เมื่อทำการคำนวณหาค่าความชันของเวกเตอร์  $u$  หรือ  $v$  ได้ค่าเท่าไร ก็นำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับค่าเก็บเป็นค่ารหัสเอาไว้ (CODE $u$  : รหัสของเวกเตอร์  $u$ , CODE $v$  : รหัสของเวกเตอร์  $v$  ดังนั้นวอกเซลหนึ่งจะมีค่าคู่ลำดับของรหัสหนึ่งคู่) เมื่อต้องการนำไปคำนวณหาค่า  $N(B)$  ก็จะนำคู่ลำดับของรหัสนี้ไปเปิดตารางที่ได้ทำการคำนวณหาค่า  $N(B)$  สำหรับทุก ๆ กรณีของค่าความชันที่เป็นไปได้ไว้แล้ว (ในที่นี้มี 49 กรณี) ไว้แล้ว

เมื่อสามารถหาค่า  $f(Z)$  ,  $N(B)$  ของแต่ละวอกเซลที่ผู้สังเกตมองเห็นได้ก็จะทำให้สามารถหาค่าความสว่างของวอกเซลเหล่านี้เพื่อใช้ในการแสดงผลได้

สำหรับอัลกอริทึมในการให้แสงสามารถเขียนแสดงได้ดังข้างล่าง โดยตัวแปรต่าง ๆ มีความหมายดังนี้คือ

- $Z(x,y)$  : เป็นอาร์เรย์ 2 มิติที่ใช้เก็บค่าความลึกของจุด(วอกเซล)ต่างๆที่ผู้สังเกตสามารถมองเห็นได้
- CODE $u$ , CODE $v$  : เป็นค่ารหัสที่ใช้แทนค่าความชันของเวกเตอร์ในแนวแกน  $u$  และ  $v$  เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาค่า  $\text{Cos}(B)$  จากตาราง
- TABLE(CODE $u$ , CODE $v$ ) : เป็นค่า  $\text{Cos}(B)$  ของกรณีต่างๆ 49 กรณี (เพราะเวกเตอร์  $u$  และ  $v$  ต่างก็มีรูปแบบที่เป็นไปได้ 7 กรณี)
- PIC( $x,y$ ) : เป็นอาร์เรย์ที่ใช้เก็บค่าความสว่างของแต่ละจุด(วอกเซล)ที่จะนำเสนอบนจอภาพ

### อัลกอริทึมในการให้แสง

#### Shading

```
FOR x = 0 TO SIZE DO
  FOR y = 0 TO SIZE DO
    BEGIN
      Z := Z(x,y);
      Calculate CODEu and Calculate CODEv;
      PIC(x,y) := f(Z)* TABLE(CODEu, CODEv);
    END;
```

### 3.6) โครงสร้างการทำงานทั้งหมด

ในการทำงานจริงของโปรแกรม ส่วนแรกที่ติดต่อกับผู้ใช้ก็คือส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้ใส่ชื่อของไฟล์ที่ใช้เก็บข้อมูลที่ต้องการนำเสนอ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นให้ผู้ใช้กำหนดช่วงของข้อมูลที่ต้องการพิจารณา (กำหนดเป็นขอบเขตของแกน X, Y, Z คือให้ใส่ค่าให้กับตัวแปร XL, XH, YL, YH, ZL และ ZH) เมื่อทำการกำหนดช่วงของข้อมูลที่ต้องการนำเสนอแล้วต่อไปให้กำหนดค่าความหนาแน่น (threshold) ที่ใช้ในการแยกแยะข้อมูล (classification) , ให้กำหนดค่ามุมหรือทิศทางที่ต้องการพิจารณาวัตถุเพื่อใช้ในการคำนวณหาทรานสฟอร์มเมตริกซ์ที่จะใช้ในขั้นตอนการหมุน จากนั้นจึงเริ่มทำขั้นตอนการแยกแยะวัตถุ , การทำกลาง , การหมุน , การหาจุดที่ต้องการนำเสนอ และการให้แสงแก่จุดต่างๆที่ต้องการนำเสนอ จึงเป็นการเสร็จสำหรับขั้นตอนในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง ซึ่งสามารถเขียนอัลกอริทึมของโปรแกรมหลักได้ดังนี้

### อัลกอริทึมของโปรแกรมหลัก

- 1 READ (COMMAND)
  - CASE COMMAND = FILE : READ (DATA-FILE);
  - CASE COMMAND = RANGE : READ (XL, XH, YL, YH, ZL, ZH);
  - CASE COMMAND = THRESHOLD : READ (THRESHOLD);
  - CASE COMMAND = ROTATION : READ (ANGLE ABOUT X AXIS)
    - OR READ (ANGLE ABOUT Y AXIS)
    - OR READ (ANGLE ABOUT Z AXIS);
  - CACULATE TRANSFORM MATRIX;
  - CASE COMMAND = EXIT : EXIT FORM PROGRAM;
- 2 CLASSIFICATION;
- 3 HOLLOWING;
- 4 BACK TO FRONT;
- 5 SHADING;
- 6 REPEAT STEP 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### วิธีในการทดลอง

1. ผู้ทำการทดลองเตรียมข้อมูลซึ่งเป็นภาพตัดขวางของวัตถุที่ต้องการพิจารณา
2. อ่านไฟล์ข้อมูลเข้ามาและทำการเลือกค่าระดับความเข้มเพื่อใช้ในการแยกแยะวัตถุที่ต้องการพิจารณา

3. เลือกค่ามุมที่ต้องการเพื่อใช้ในการหมุนวัตถุและแสดงผลออกทางจอภาพ

#### การทดลองที่ 4.1.1

ทดลองกับข้อมูลจำลองรูปปิรามิด ซึ่งได้กำหนดค่าของข้อมูลแต่ละจุดภายในให้มีค่าเท่ากับ 100

4.1.1 เริ่มแรกให้กำหนดค่าระดับความเข้มที่ใช้ในการแยกแยะวัตถุให้อยู่ในช่วง 80 - 100 แสดงผลภาพที่ได้

4.1.2 กำหนดค่ามุมในการหมุนวัตถุรอบแกน Y เป็นมุม 40 องศา , หมุนรอบแกน Z เป็นมุม 30 องศา แสดงผลที่ได้

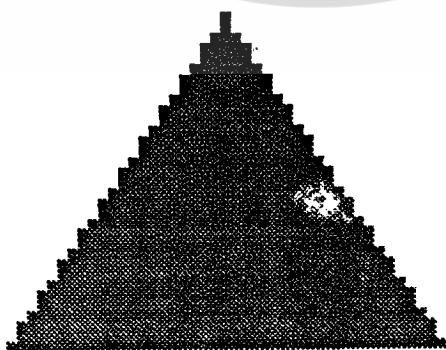
4.1.3 กำหนดค่ามุมในการหมุนวัตถุต่อจากลำดับการหมุนข้างบนอีก 2 ลำดับคือให้หมุนวัตถุรอบแกน X 60 องศา ต่อจากนั้นให้หมุนรอบแกน Y 60 องศา แสดงผลที่ได้

#### ผลการทดลองจากการทดลองที่ 4.1

ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.1.1 แสดงในรูปที่ 4.1

ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.1.2 แสดงในรูปที่ 4.2

ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.1.3 แสดงในรูปที่ 4.3

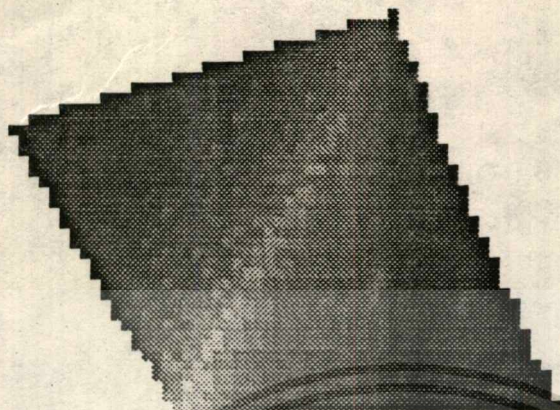


#### รูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ไปเผยแพร่ด้านการค้า

#### ผลการทดลองที่ 4.1.1

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.2**  
**ผลการทดลองที่ 4.1.2**



**รูปที่ 4.3**  
**ผลการทดลองที่ 4.1.3**

**การทดลองที่ 4.2**

ทดลองกับข้อมูลจำลองรูปทรงไข่ ซึ่งได้กำหนดค่าของข้อมูลแต่ละจุดภายในให้มีค่าเท่ากับ

100

4.2.1 เริ่มแรกให้กำหนดค่าระดับความเข้มที่ใช้ในการแยกแยะวัตถุให้อยู่ในช่วง 80 - 100 แสดงผลภาพที่ได้

4.2.2 กำหนดค่ามุมในการหมุนวัตถุรอบแกน Y เป็นมุม 40 องศา , หมุนรอบแกน Z เป็นมุม 30 องศา แสดงผลที่ได้

4.2.3 กำหนดค่ามุมในการหมุนวัตถุต่อจากลำดับการหมุนข้างบนอีก 2 ลำดับคือให้หมุนวัตถุรอบแกน X 60 องศา ต่อจากนั้นให้หมุนรอบแกน Z 50 องศา แสดงผลที่ได้

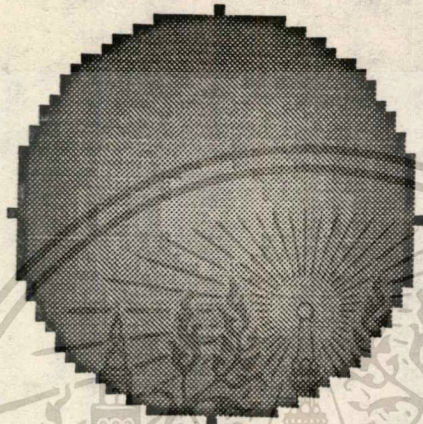
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองจากการทดลองที่ 4.2

ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.2.1 แสดงในรูปที่ 4.4

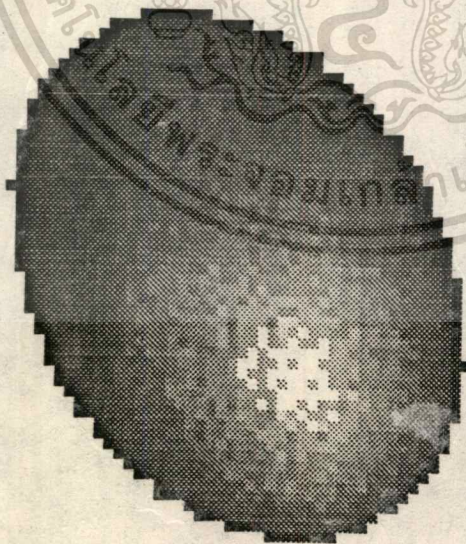
ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.2.2 แสดงในรูปที่ 4.5

ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.2.3 แสดงในรูปที่ 4.6



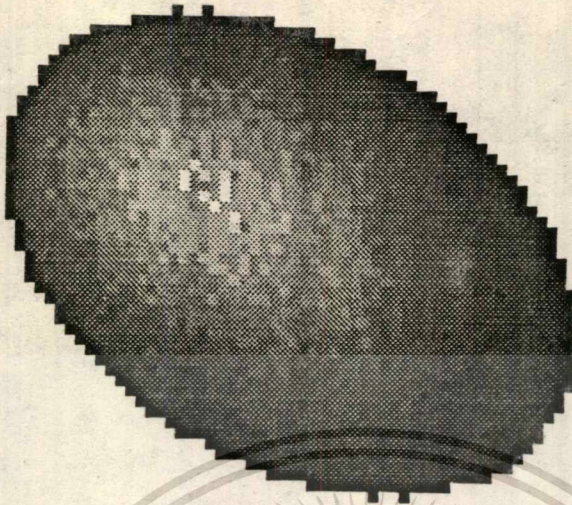
รูปที่ 4.4

ผลการทดลองที่ 4.2.1



รูปที่ 4.5

ผลการทดลองที่ 4.2.2



**รูปที่ 4.6**  
**ผลการทดลองที่ 4.2.3**

**การทดลองที่ 4.3**

ทดลองข้อมูลจำลองรูปโดนัท ซึ่งได้กำหนดค่าของข้อมูลแต่ละจุดภายในให้มีค่าเท่ากับ 100

4.3.1 เริ่มแรกให้กำหนดค่าระดับความเข้มที่ใช้ในการแยกแยะวัตถุให้อยู่ในช่วง 80 - 100 แสดงผลภาพที่ได้

4.3.2 กำหนดค่ามุมในการหมุนวัตถุรอบแกน Y เป็นมุม 40 องศา, หมุนรอบแกน Z เป็นมุม 30 องศา แสดงผลที่ได้

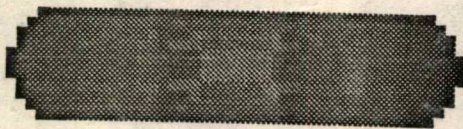
4.3.3 กำหนดค่ามุมในการหมุนวัตถุต่อจากลำดับการหมุนข้างบนอีก 1 ลำดับคือให้หมุนวัตถุรอบแกน Y 20 องศา

**ผลการทดลองจากการทดลองที่ 4.3**

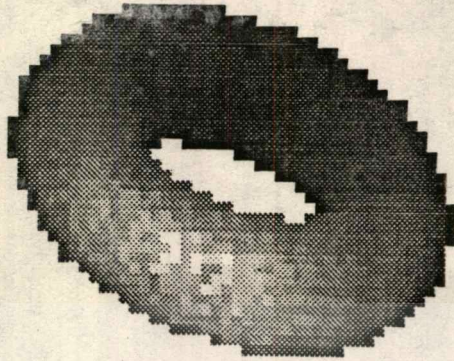
ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.3.1 แสดงในรูปที่ 4.7

ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.3.2 แสดงในรูปที่ 4.8

ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.3.3 แสดงในรูปที่ 4.9



**รูปที่ 4.7**  
**ผลการทดลองที่ 4.3.1**



รูปที่ 4.8  
ผลการทดลองที่ 4.3.2



รูปที่ 4.9  
ผลการทดลองที่ 4.3.3

#### การทดลองที่ 4.4

จำลองข้อมูลจำลองรูปร่างรีที่มีค่าระดับความเข้มต่างๆกันขึ้นมาหนึ่งสไลซ์ จากนั้นจำลอง สไลซ์รูปเดียวกันนี้ขึ้นมาอีกหลายๆ สไลซ์จากนั้นนำสไลซ์มาใช้ในการทดลอง

4.4.1 เริ่มแรกให้กำหนดค่าระดับความเข้มที่ใช้ในการแยกแยะวัตถุให้อยู่ในช่วง 150 - 200 แสดงผลภาพสไลซ์ที่ได้จากการแยกแยะวัตถุ

4.4.2 แสดงภาพวัตถุเป็นภาพสามมิติ

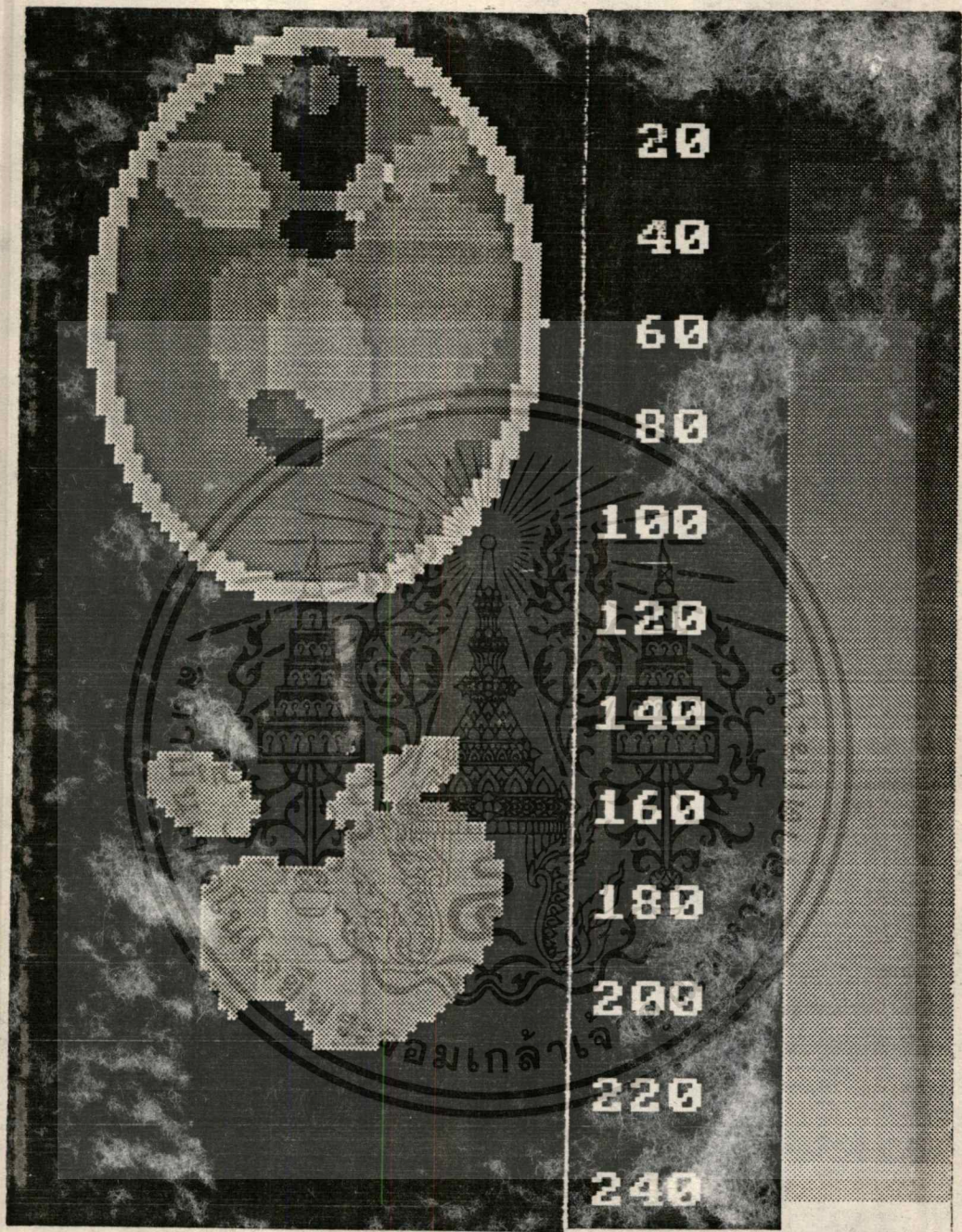
4.4.3 กำหนดค่ามุมในการหมุนวัตถุรอบแกน Y เป็นมุม 50 องศา แสดงผลที่ได้

#### ผลการทดลองจากการทดลองที่ 4.4

ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.4.1 แสดงในรูปที่ 4.10

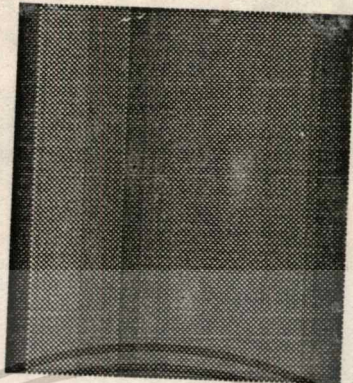
ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.4.2 แสดงในรูปที่ 4.11

ผลการทดลองของการทดลองที่ 4.4.3 แสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองที่ 4.4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลการทดลองที่ 4.4.2



รูปที่ 4.12 ผลการทดลองที่ 4.4.3

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### สรุป

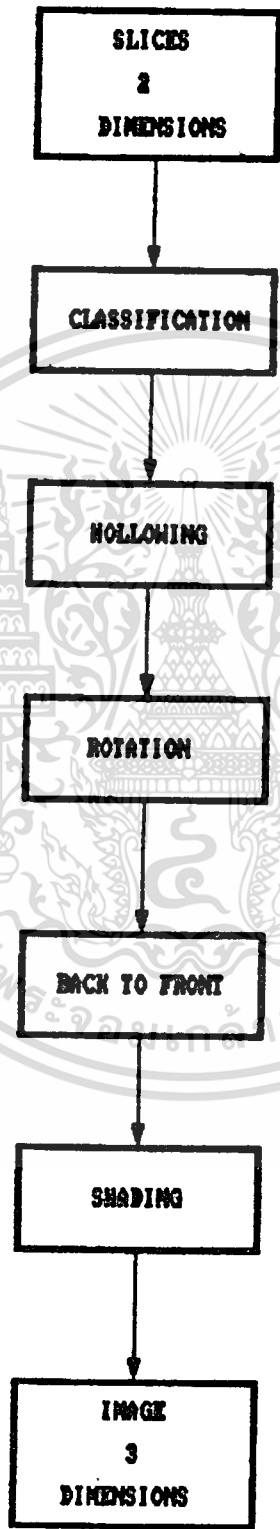
การสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวางสำหรับโครงการนี้ เป็นการสร้างภาพสามมิติของวัตถุที่สนใจ โดยใช้ภาพตัดขวางของวัตถุนั้นเป็นข้อมูลป้อนเข้า (Input) เพื่อที่จะนำไปผ่านขั้นตอนต่างๆ ให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายออกมาเป็นภาพสามมิติ ซึ่งขั้นตอนต่างๆมีลำดับดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนการแยกแยะวัตถุ เป็นขั้นตอนในการแยกแยะวัตถุที่สนใจหรือต้องการพิจารณาออกจากวัตถุอื่นๆ ในสไลซ์
- ขั้นตอนการทำกลาง เป็นขั้นตอนในการลดข้อมูลของวัตถุ ให้เหลือแต่ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในขั้นตอนต่อไปเท่านั้น ซึ่งก็คือข้อมูลตรงส่วนบริเวณพื้นผิวของวัตถุนั้นเอง
- ขั้นตอนการหมุน เป็นขั้นตอนในการหมุนวัตถุที่ต้องการพิจารณาเพื่อให้ทัศนทางที่ต้องการสังเกตเข้าหาผู้สังเกต
- ขั้นตอนการหาจุดที่ต้องนำเสนอ (ด้วยวิธีการจากหลัง ไปหน้า) เป็นการหาจุดที่ผู้สังเกตสามารถมองเห็น
- ขั้นตอนการให้แสง เป็นขั้นตอนในการให้แสงหรือความสว่างแก่จุดแต่ละจุดที่ผู้สังเกตสามารถมองเห็นเพื่อให้ได้ภาพของวัตถุที่เหมือนจริงมากที่สุด

แต่ในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง มิได้มีเพียงวิธีนี้เพียงวิธีเดียววิธีการต่างๆมีมากมาย ตัวอย่างของวิธีเหล่านี้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 จากในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าวิธีการที่ใช้ในโครงการนี้เป็นวิธีการที่ 2 ซึ่งต่างจากวิธีการที่ 1 ตรงที่ได้เพิ่มขั้นตอนการทำกลางเข้ามาเพื่อที่จะเพิ่มความเร็วในขั้นตอนการหมุน ส่วนวิธีการที่ 3 เป็นวิธีการที่ผ่านการตรวจสอบและเก็บข้อมูลพื้นผิวเพื่อที่จะเพิ่มความเร็วในขั้นตอนการหมุนเช่นกัน แต่ขั้นตอนการตรวจสอบพื้นผิวและเก็บข้อมูลจะได้ข้อมูลเฉพาะส่วนบริเวณพื้นผิวเหมือนกับการทำกลาง แต่ความหนาดังกล่าวจะหนาเพียง 1 วอกเซลเท่านั้น เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบและเก็บข้อมูลพื้นผิวแล้ว ไปผ่านขั้นตอนการหมุนและขั้นตอนต่างๆ ภาพที่ได้จะมีโอกาสที่จะเกิดจุดที่ผิดปกติได้มากกว่าวิธีการเก็บข้อมูลพื้นผิวด้วยวิธีการทำกลาง ส่วนวิธีที่ 4 นี้เป็นวิธีการที่จะต้องใช้การคำนวณและหน่วยความจำจำนวนมาก จากที่มีผู้ทำการทดลองการสร้างภาพสามมิติด้วยวิธีการนี้โดยใช้เครื่อง SUN 4/280 ( SUN 4/280 ) ซึ่งมีหน่วยความจำหลักถึง 32 เมกกะไบต์ในการประมวลผล โดยมีข้อมูลป้อนเข้าเป็นสไลซ์ขนาด 113 x 113 จำนวน 113 สไลซ์ จะต้องใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 5 นาที แต่วิธีการที่ใช้ในโครงการนี้ใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูลป้อนเข้าซึ่งมีขนาด 128 x 128 x 128 วอกเซล ด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์รุ่น 286 ความเร็ว 12 เมกกะเฮิร์ต หน่วยความจำหลักขนาด 640 กิโลไบต์ ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 2 นาที ด้วยเหตุผลดังกล่าวในโครงการนี้จึงได้ใช้วิธีการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 5.1 แสดงขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อเสนอแนะ

- จากการทดลองในโรงงานนี้เครื่องที่ใช้งานเป็นเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำขนาด 640 กิโลไบต์ ความเร็ว 12 เมกกะเฮิร์ต. ดังนั้นจึงทำให้ไม่สามารถทำการทดลองกับข้อมูลที่มีขนาด 256 x 256 x 256 วอกเซลได้ ดังนั้นสำหรับในการศึกษาและพัฒนาขั้นต่อไปควรที่จะทดลองกับเครื่องที่มีขนาดใหญ่และความเร็วมากกว่านี้

- สำหรับการพัฒนาขั้นต่อไปผู้ที่ทำการพัฒนาควรที่จะค้นคว้ารายละเอียดทั้งทางด้านหนังสือและเอกสารต่าง ๆ จากภายนอกประเทศด้วย เพราะเท่าที่คณะผู้จัดทำได้ศึกษามานพบว่า เอกสารที่มีในเมืองไทยเกี่ยวกับงานทางด้านนี้มีจำนวนไม่มากเท่าที่ควร

- ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเขียนโปรแกรมในโรงงานนี้คือปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการหมุน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการหมุนนี้จะเป็นเลขทศนิยม แต่ตัวเลขที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของข้อมูลใน 3 มิติจะเป็นเลขจำนวนเต็ม ดังนั้นหลังจากการคำนวณแล้วจึงต้องปัดจุดทศนิยมเหล่านี้ทิ้งไป ซึ่งจะส่งผลทำให้จุดที่ต้องนำเสนอจุดขาดหายไป สำหรับโรงงานนี้ได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยเพิ่มขั้นตอนการเติมให้เต็มเข้าไปหลังจากที่ทำการหาจุดที่ต้องนำเสนอแล้ว ( รายละเอียดของขั้นตอนเติมให้เต็มแสดงอยู่ในหัวข้อที่ 3.5 )

- เนื่องจากการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวางจะต้องใช้ข้อมูลป้อนเข้าเป็นภาพตัดขวางของวัตถุที่สนใจ ดังนั้นก่อนที่จะนำภาพตัดขวางของวัตถุมาประมวลผล ควรที่จะทำการปรับปรุงภาพตัดขวางเหล่านั้นก่อนเพื่อลดสัญญาณรบกวน (noise) จากนั้นจึงนำมาประมวลผล ผลจากการปรับปรุงภาพจะทำให้การแยกแยะวัตถุสามารถแยกแยะได้ดีกว่าการแยกแยะวัตถุโดยใช้ภาพตัดขวางที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง ดังนั้นผู้ที่ทำการพัฒนาขั้นต่อไปควรเพิ่มขั้นตอนการปรับปรุงภาพให้มีค่าระดับความเข้มของภาพที่เหมาะสมแก่การสร้างภาพสามมิติของอวัยวะที่ต้องการพิจารณา

- วิธีการที่ใช้ในโรงงานนี้ เป็นวิธีการแสดงภาพพื้นผิวของวัตถุหรืออวัยวะเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าหากต้องการที่จะพิจารณาวัตถุใด ผู้ใช้จะต้องเลือกระดับความเข้มสำหรับแยกแยะวัตถุให้เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามภาพที่ได้จากการถ่ายภาพเอกซเรย์ของอวัยวะภายในร่างกายของคน เช่น ตับ , หัวใจ ภาพที่ได้จะมีค่าระดับความเข้มที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ( นอกจากภาพถ่ายเอกซเรย์ของกระดูก ซึ่งจะมีค่าระดับความเข้มที่แตกต่างจากอวัยวะอื่น ๆ ค่อนข้างมาก ) ดังนั้นผู้ที่ทำการพัฒนาขั้นต่อไปควรที่จะคำนึงถึงปัญหาในเรื่องนี้ด้วย ซึ่งการแก้ปัญหาเรื่องนี้ทำได้โดยการประมวลผลภาพของภาพตัดขวางเพื่อให้ปรับปรุงให้อวัยวะที่สนใจมีค่าระดับความเข้มที่เหมาะสมมากกว่าภาพที่ได้จากการถ่ายเอกซเรย์โดยตรง

## ภาคผนวก

ในภาคผนวกนี้จะกล่าวถึงการคูณกันของเมตริกซ์ การจำลองข้อมูลของวัตถุรูปไข่ (ellipsoid) การจำลองข้อมูลของวัตถุรูปทรงโดนัทหรือที่เรียกว่าทอรอยด์ (toroid) และหลักการในการนำข้อมูลแสดงผลออกทางเครื่องพิมพ์เลเซอร์ (laser printer) ให้มีความละเอียดได้ 64 ระดับ

### การคูณกันของเมตริกซ์

เมตริกซ์จะประกอบด้วยสมาชิกหลาย ๆ สมาชิก และมักใช้อักษรตัวพิมพ์ภาษาอังกฤษเป็นสัญลักษณ์แทนเมตริกซ์ เช่น เมตริกซ์ A, B เป็นต้น และจะใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแทนสมาชิกแทนสมาชิกภายในเมตริกซ์ เช่น a, b เป็นต้น ตัวอย่างของเมตริกซ์เช่น

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

จากในรูปเมตริกซ์ A เป็นเมตริกซ์ขนาด m คูณ n คือเป็นเมตริกซ์ที่มีสมาชิกในแนวตั้ง m ตัว หรือเรียกว่ามีสมาชิกหลักละ m ตัว และมีสมาชิกในแต่ละแถว n ตัว หรืออาจจะใช้สัญลักษณ์

$$A = [ a_{ij} ]_{m \times n}$$

แทนเมตริกซ์ขนาด m คูณ n ก็ได้

และหากมีเมตริกซ์ 2 เมตริกซ์คือเมตริกซ์ A: [ a<sub>ij</sub> ]<sub>m × n</sub> และ B: [ b<sub>ij</sub> ]<sub>n × p</sub> คูณกันให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเมตริกซ์ C: [ c<sub>ij</sub> ]<sub>m × p</sub> เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$C = A \times B$$

โดย

$$[ c_{ij} ] = [ \sum_{k=1}^n a_{ik} * b_{kj} ]_{m \times p}$$

ซึ่งหากเขียนเป็นอัลกอริทึมในการคูณกันของเมตริกซ์ A: [ a<sub>ij</sub> ]<sub>m × n</sub> และ B: [ b<sub>ij</sub> ]<sub>n × p</sub> โดยให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเมตริกซ์ C: [ c<sub>ij</sub> ]<sub>m × p</sub> ที่ใช้อาร์เรย์สองมิติแทนสมาชิกของเมตริกซ์แต่ละตัว สามารถเขียนได้ดังแสดงข้างล่าง ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังต่อไปนี้

a[i, j] : เป็นอาร์เรย์สองมิติแทนสมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์ A

b[i, j] : เป็นอาร์เรย์สองมิติแทนสมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์ B

c[i, j] : เป็นอาร์เรย์สองมิติแทนสมาชิกแต่ละตัวของเมตริกซ์ C

### อัลกอริทึมของการคูณเมตริกซ์

FOR i = 1 TO m DO

FOR j = 1 TO p DO

FOR k = 1 TO n DO

c[i, j] := a[i, k] \* b[k, j];

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การจำลองข้อมูลรูปทรงไข่

สมการพื้นฐานของวัตถุรูปทรงไข่ ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิดของระบบแกนพิกัดฉากสามมิติ  $X, Y$  และ  $Z$  คือ  $x^2/a^2 + y^2/b^2 + z^2/c^2 < 1$  และสมการของวัตถุรูปทรงไข่ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด  $(x_0, y_0, z_0)$  คือ

$$(x - x_0)^2/a^2 + (y - y_0)^2/b^2 + (z - z_0)^2/c^2 < 1$$

สามารถเขียนอัลกอริทึมในการสร้างวัตถุรูปทรงไข่ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด  $(x_0, y_0, z_0)$  โดยหากจุดใดเป็นจุดที่อยู่ในวัตถุรูปทรงไข่จะให้ค่า  $pic(x,y,z)$  มีค่าเท่ากับ 100 หากจุดใดเป็นจุดที่อยู่นอกวัตถุจะให้  $pic(x,y,z)$  มีค่าเท่ากับ 0 โดย  $(x,y,z)$  เป็นตัวแปรที่บอกตำแหน่งของจุด และมีขอบเขตของข้อมูลในแต่ละพิกัดเท่ากับ SIZE

### อัลกอริทึมในการจำลองข้อมูลรูปทรงไข่

```
FOR x = 1 TO SIZE DO
  FOR y = 1 TO SIZE DO
    FOR z = 1 TO SIZE DO
      IF  $(x - x_0)^2/a^2 + (y - y_0)^2/b^2 + (z - z_0)^2/c^2 < 1$ 
        THEN  $pic(x,y,z) = 100$  ELSE  $pic(x,y,z) = 0$ ;
```

### การจำลองข้อมูลรูปทรงโดนัท

ในการจำลองข้อมูลรูปทรงโดนัทซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่  $(x_0, y_0, z_0)$  , มีระยะจากจุด  $(x_0, y_0, z_0)$  ไปยังจุดศูนย์กลางของเนื้อโดนัทเป็นระยะเท่ากับ  $d$  และมีจุดรัศมีของวงกลมตรงเนื้อโดนัทเท่ากับ  $a$  โดยหากจุดใดเป็นจุดที่อยู่ในวัตถุรูปทรงไข่จะให้ค่า  $pic(x,y,z)$  มีค่าเท่ากับ 100 หากจุดใดเป็นจุดที่อยู่นอกวัตถุจะให้  $pic(x,y,z)$  มีค่าเท่ากับ 0 โดย  $(x,y,z)$  เป็นตัวแปรที่บอกตำแหน่งของจุด และมีขอบเขตของข้อมูลในแต่ละพิกัดเท่ากับ SIZE สามารถเขียนเป็นอัลกอริทึมได้ดังนี้คือ

```
FOR z = 1 TO SIZE DO
  FOR y = 1 TO SIZE DO
    FOR x = 1 TO SIZE DO
      IF  $(z > (SIZE - a))$  AND  $(z < (SIZE + a))$  THEN
        BEGIN
           $r := \text{SQRT}(a^2 - (z - z_0)^2)$ ;
          IF  $(\text{SQRT}((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2) > (d-r))$  AND
               $\text{SQRT}((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2) < (d+r)$ 
            THEN  $pic(x,y,z) = 100$  ELSE  $pic(x,y,z) = 0$ ;
```

END;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ELSE  $pic(x,y,z) = 0$ ;

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงผลข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์เลเซอร์ให้มีความละเอียด 64 ระดับ

13	10	6	14
5	1	2	11
9	4	3	7
16	8	12	15

16 point replace 1 point of data

รูปที่ 5.2 รูปแสดงการพิมพ์จุดต่างๆ ออกทางเครื่องพิมพ์เลเซอร์

เนื่องจากในการแสดงผลตามปกติของเครื่องพิมพ์เลเซอร์จะสามารถแสดงผลได้เพียง 2 ระดับ แต่เนื่องจากในการแสดงผลทางเครื่องพิมพ์เลเซอร์นี้แต่ละจุดของการแสดงผลจะอยู่ใกล้กันมาก(แต่ละจุดมีขนาดเล็ก) ดังนั้นจึงสามารถแสดงผลของข้อมูลหนึ่งจุดโดยแทนข้อมูลหนึ่งจุดด้วยจำนวนจุดที่แสดงออกทางเครื่องพิมพ์เลเซอร์ 64 จุด แต่ในที่นี้จะแสดงถึงหลักการในการแสดงข้อมูลหนึ่งจุดให้มีระดับความเข้ม 16 ระดับ ซึ่งจะแสดงผลของข้อมูลหนึ่งจุดโดยแทนข้อมูลหนึ่งจุดด้วยจำนวนจุดที่แสดงออกทางเครื่องพิมพ์เลเซอร์ 16 จุด

เช่น หากข้อมูลมีระดับความเข้มเท่ากับ 0 แสดงถึงข้อมูลของจุดที่สว่างสุด

หากข้อมูลมีระดับความเข้มเท่ากับ 16 แสดงถึงข้อมูลของจุดที่มืดที่สุด

สามารถเขียนหลักการในการแสดงผลได้ดังนี้

- หากข้อมูลเป็นจุดที่มีค่าข้อมูลเท่ากับ 0 ก็ไม่ต้องแสดงจุดใดบนกระดาษ

- หากข้อมูลเป็นจุดที่มีค่าข้อมูลเท่ากับ 1 ก็แสดงจุดออกไปหนึ่งจุดคือจุดหมายเลข 1 ใน

ดังแสดงรูปที่ 5.2

- หากข้อมูลเป็นจุดที่มีค่าข้อมูลเท่ากับ 2 ก็แสดงจุดออกไปสองจุดคือจุดหมายเลข 1 และ

2 ดังแสดงในรูปที่ 5.2

- หากข้อมูลเป็นจุดที่มีค่าข้อมูลเท่ากับ 3 ก็แสดงจุดออกไปสามจุดคือจุดหมายเลข 1 , 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 5.2

- หากข้อมูลเป็นจุดที่มีค่าข้อมูลเท่ากับ 4 ก็แสดงจุดออกไปสี่จุดคือจุดหมายเลข 1 , 2 , 3 และ 4 ดังแสดงในรูปที่ 5.2

กระทำในทำนองนี้จนที่สุด หากข้อมูลเป็นจุดที่มีค่าข้อมูลเท่ากับ 16 ก็แสดงจุดออกไปทั้งหมด 16 จุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## พิธีกรรมประกาศ

ในการทำวิจัยโครงการการสร้างภาพสามมิติจากภาพตัดขวาง ตลอดจนการทำปริภูมิ  
นิพจน์ฉบับนี้ ได้รับความสำเร็จจุล่งมาด้วยดี ส่วนหนึ่งได้รับความอนุเคราะห์ ทั้งทางด้าน  
คำแนะนำ การจัดหาอุปกรณ์ ตำรา และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทดลอง ตลอดจนการช่วย  
แก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จากบุคคลเหล่านี้

ศจ.ดร. ไพบรุษ รัชยพงษ์

อ. กวิน สนิธิโณภน

คุณ อัครินทร์ คุณกิตติ

จึงกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักวิจัยและเพื่อน ๆ ทุกท่านซึ่งได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำใน  
ด้านต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยในครั้งนี้



### เอกสารอ้างอิง

1. กวิน สตรีเพิ่มพูน, " การสร้างภาพตัดขวางโดยใช้หลอดขยายความสว่างของภาพรังสีเอ็กซ์ " , วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิต วิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. Dan Gordon, Gideon Frieder and Gabor T. Herman , " Back-to-Front Display of Voxel-Based Objects " , IEEE Computer Graphics & Applications , January 1985 , pp. 52-60. \*
3. Ehud Artzy , Gideon Frieder and Gabor T. Herman, " The Theory , Design , Implementation and Evaluation of a Three-Dimensional Surface Detection Algorithm " , ACM , April 1980, pp.2-9.
4. Gabor T.Herman , Jayaram K.Udupa , Lih-Shyang Chan and R.Anthony Reynolds , " Surface Shading in the Cuberille Environment " , IEEE Computer Graphics & Applications , December 1985, pp.33-42.
5. Marc Levoy , " Volumn Rendering " , IEEE Computer Graphics & Applications , May 1988 , pp.29-37.
6. Chan S. Park, " Interactive Microcomputer Graphics " , ADDISON WESLEY , 458 p. , 1985.