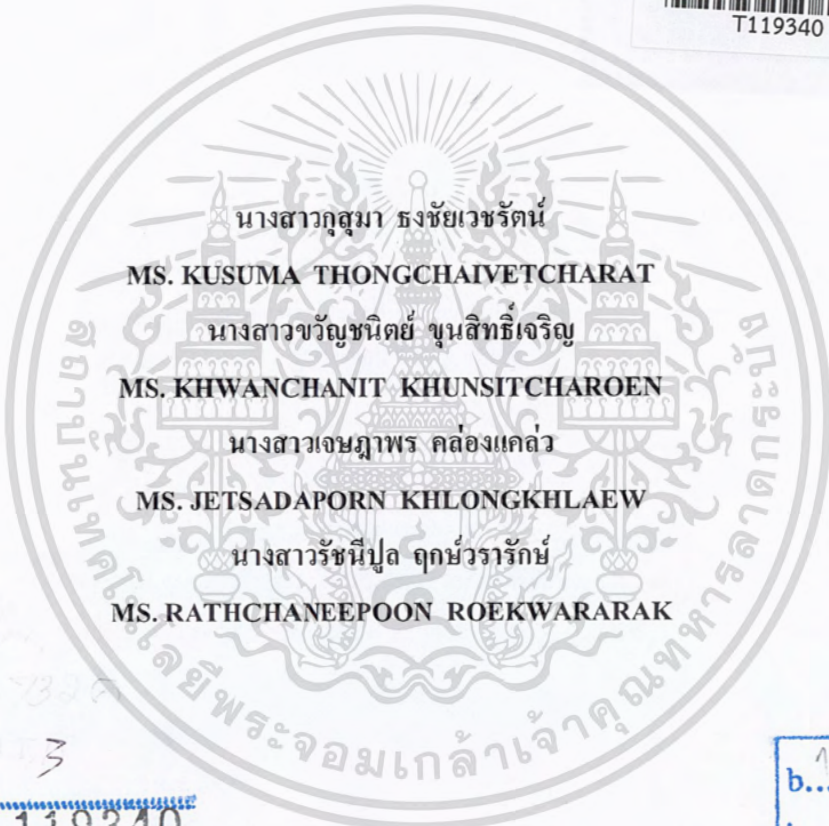


เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์
3D LASER SCANNER



T119340



นางสาวกุสุมา ธงชัยเวชรัตน์

MS. KUSUMA THONGCHAIVETCHARAT

นางสาวขวัญชนิตย์ ขุนสิทธิ์เจริญ

MS. KHWANCHANIT KHUNSITCHAROEN

นางสาวเจนภาพร คล่องแคล่ว

MS. JETSADAPORN KHLONGKHLAEW

นางสาวรัชนีปูล ฤกษ์วรารักษ์

MS. RATHCHANEIPOON ROEKWARARAK

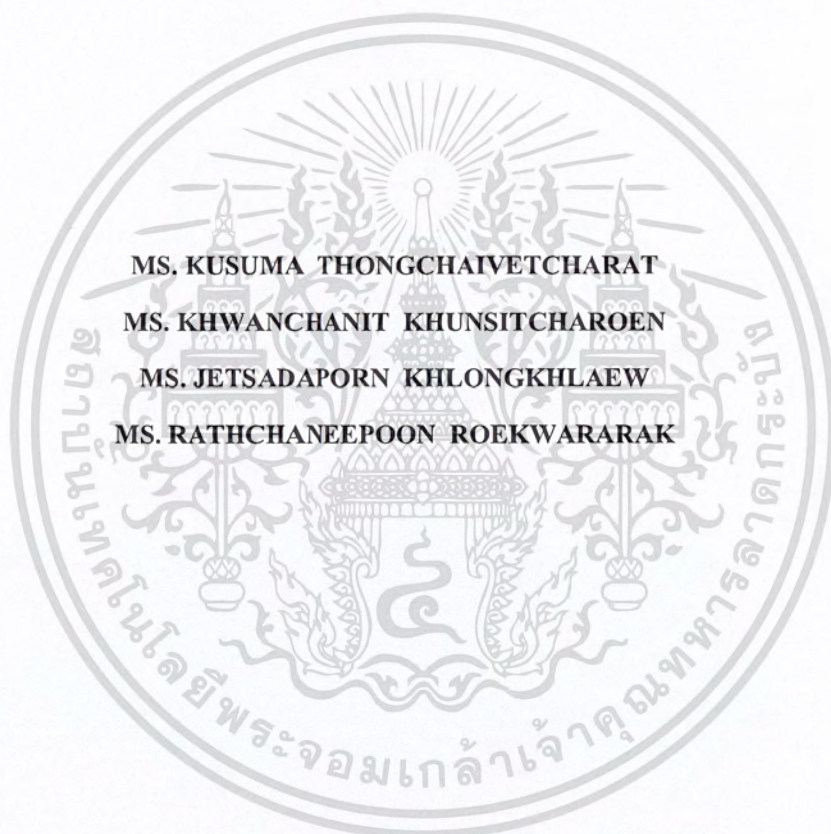
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 119340
วันเดือนปี..... - 7 S.ค. 2554

b. 10361485
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3D LASER SCANNER



MS. KUSUMA THONGCHAIVETCHARAT
MS. KHWANCHANIT KHUNSITCHAROEN
MS. JETSADAPORN KHLONGKHLAEW
MS. RATHCHANEETPOON ROEKWARARAK

**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องกราฟิก 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์
3D Laser Scanner


นักศึกษา

นางสาวกุสุมา	ธงชัยเวชรัตน์	รหัสประจำตัว	50010140
นางสาววิญญูชนิตย์	ขุนสิทธิ์เจริญ	รหัสประจำตัว	50010159
นางสาวเจษฎาพร	คลองแก้ว	รหัสประจำตัว	50010270
นางสาวรัชนีปูล	ฤกษ์วารักษ์	รหัสประจำตัว	50011284

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท


(ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติ ด้วยแสงเลเซอร์
นักศึกษา	นางสาวกุสุมา ธงชัยเวชรรัตน์ นางสาวขวัญชนิตย์ ขุนสิทธิ์เจริญ นางสาวเจษฎาพร คล่องแคล่ว นางสาวรัชนีปูล ฤกษ์วารักษ์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหลักการออกแบบและสร้างเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการสแกนวัตถุ 3 มิติแบบไม่สัมผัส โดยการฉายเส้นเลเซอร์ลงบนวัตถุ แล้วทำการถ่ายภาพของวัตถุด้วยกล้องถ่ายภาพ CCD ที่มีความละเอียดสูง จากนั้นจึงนำภาพที่ได้ไปประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งพื้นผิวของวัตถุตามระนาบในแนวตั้ง การหาพิกัด 2 มิติของเส้นเลเซอร์บนภาพถ่ายสามารถทำได้โดยใช้หลักการทรงแบบสามเหลี่ยม จากนั้นนำพิกัด 2 มิติที่ได้มาแปลงเป็นพิกัด 3 มิติของจุดบนตัวรับภาพ และแปลงพิกัดนั้นให้เป็นพิกัด 3 มิติของจุดบนวัตถุ เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติโดยใช้หลักการสร้างโครงตาข่ายพอลิกอนแบบสามเหลี่ยม จากการทดลองเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ โดยสแกนวัตถุที่มีรูปร่างและรูปทรงที่ต่างกัน ได้แก่ วัตถุทรงกระบอก วัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อน พบว่าวัตถุที่สแกนได้มีความเสมือนจริงกับวัตถุต้นแบบ และแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุทรงกระบอกที่ได้จากการสแกนมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากขนาดของวัตถุจริงเท่ากับ 1.65 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อการสแกนของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติ เช่น ความแตกต่างของสี ลักษณะของวัตถุตัวกลาง และรูปร่างของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	3D Laser Scanner
Student	Ms. Kusuma Thongchaivetcharat Ms. Khwanchanit Khunsitcharoen Ms. Jetsadaporn Khlongkhlaew Ms. Rathchaneepoon Rockwararak
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
Academic Year	2011
Thesis Advisor	Dr. Udom Janjarassuk

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study the principle of how to design and build a 3D laser scanner, which uses 3D contactless scanning technique. First, laser line will be projected on the object and photos of the object will be taken by using a high resolution CCD camera. Then, the photos will be processed to identify the plane surface of the vertical line. The principle of Triangle Filter will be used to find the 2D coordinate of the laser line on the photo. The 2D coordinate will then transformed into 3D coordinate of points on the sensor and further transformed into 3D coordinate of points on the object in order to build the 3D model by using the principle of Polygon Mesh. According to the experiment of 3D laser scanner on all different shape of objects such as cylinder object or irregular shaped object. The results showed the similarity of the scanned object and the original object. From the result of the cylinder model, the percentage of size difference to the measured object is 1.65%. Furthermore, the experiment showed that the results can be affected by other factors such as color difference, specific median object and object shape.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรเรื่อง เครื่องราชวัลลภ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการให้ความรู้และความช่วยเหลือต่างๆ ที่ส่งผลให้ปริญญาบัตรฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญาบัตรฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ คำสั่งใจในการทำงาน ความเอาใจใส่และความช่วยเหลือทุกๆ ด้านของการจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้

คุณพ่อ คุณแม่และญาติพี่น้อง รวมทั้งเพื่อนในกลุ่มทุกคนสำหรับกำลังใจ การสนับสนุนและความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ทั้งเรื่องการเรียน การเงินและเรื่องส่วนตัว จนทำให้ปริญญาบัตรสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

นางสาวกุสุมา ธงชัยเวชรัตน์

นางสาวขวัญชนิตย์ ขุนสิทธิ์เจริญ

นางสาวเจษฎาพร คล่องแคล่ว

นางสาวรัชนิภา ฤกษ์วารักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ก	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข	ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค	ค
สารบัญ.....ง	ง
สารบัญตาราง.....ฉ	ฉ
สารบัญรูป.....ช	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....2	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....2	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เครื่องวัดพิกัดโดยจำแนกตามวิธีการวัด.....3	3
2.1.1 วิธีแบบพาสซีฟ (Passive).....3	3
2.1.2 วิธีแบบแอคทีฟ (Active).....3	3
2.2 หลักการวัดจากการสะท้อน.....3	3
2.2.1 วิธีการฉายแสงเป็นคาบ (Interferometric).....4	4
2.2.2 วิธีเลื่อนภาพของวัตถุเพื่อหาโฟกัส (Active Depth from Defocus).....4	4
2.2.3 วิธีการถ่ายภาพเพื่อหาพิกัด (Active Stereo Vision หรือ Active Stereo)4	4
2.2.4 วิธีการใช้คลื่นแสงเรดาร์ (Imaging Radar)5	5
2.2.5 วิธีการฉายแสงแบบเส้นหรือจุด (Optical Triangulation)5	5
2.3 ลักษณะของข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ.....6	6
2.3.1 ข้อมูลพิกัดเฉพาะส่วน.....6	6
2.3.2 ข้อมูลพิกัดพื้นผิวทั้งหมดของชิ้นงาน.....6	6
2.4 การควบคุมงานหมุนชิ้นงาน.....6	6
2.4.1 สเต็ปมอเตอร์ (Step Motor).....6	6
2.4.2 ชนิดของสเต็ปมอเตอร์.....7	7
2.4.2.1 แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)7	7
2.4.2.2 แบบเปลี่ยนแปลงค่ารีลักแทนต์ (Variable Reluctance)7	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.4.2.3 แบบผสม (Hybrid).....	7
2.4.3 การพันขดลวดของสเต็ปมอเตอร์.....	7
2.4.3.1 แบบไบโพลาร์ (Bipolar).....	7
2.4.3.2 แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar).....	8
2.4.4 การควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์.....	8
2.4.4.1 แบบเต็มสเต็ปหนึ่งเฟส (Full - Step 1 Phase).....	8
2.4.4.2 แบบเต็มสเต็ปสองเฟส (Full - Step 2 Phase).....	9
2.4.4.3 แบบครึ่งสเต็ป (Half Step).....	10
2.5 การแปลงเชิงเรขาคณิต (Geometric Transformation).....	11
2.5.1 การเลื่อนภาพ (Translation).....	12
2.5.2 การย่อและการขยายภาพ (Scaling).....	13
2.5.3 การหมุนภาพ (Rotation).....	14
2.5.4 การบิดภาพ (Shearing).....	15
2.5.5 การสะท้อน (Reflection).....	16
2.5.5.1 การสะท้อนตามแกน X.....	16
2.5.5.2 การสะท้อนตามแกน Y.....	17
2.5.5.3 การสะท้อนรอบเส้นตรงใดๆ.....	18
2.6 โปรเจกชัน (Projections).....	19
2.6.1 โปรเจกชันแบบขนาน (Parallel Projections).....	20
2.6.2 โปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ (Perspective Projections).....	20
2.7 การประมวลผลภาพ (Image Processing).....	21
2.7.1 การประมวลผลภาพในระดับต่ำ.....	22
2.7.2 การประมวลผลภาพในระดับสูง.....	22
2.8 การตรวจจับเส้น (Line Detection).....	22
2.8.1 ตัวกรองแบบสามเหลี่ยม (Triangle Filter).....	22
2.8.2 ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter).....	23
2.8.3 ตัวกรองแบบแลนซ์ซอส (Lanczos Filter).....	23
2.8.4 ตัวกรองแบบบีสไปไลน์ (B-Spline Filter).....	23
2.9 รูปร่างของภาพ (Image Shape).....	24
2.9.1 หลักการใช้สีและแสงในคอมพิวเตอร์.....	25
2.9.1.1 ระบบสี แดง เขียว น้ำเงิน (Red Green Blue : RGB) หรือ ระบบสี Additive.....	25
2.9.1.2 ระบบสี ฟ้า ม่วงแดง เหลือง ดำ (Cyan Magenta Yellow Black: CMYB).....	25
2.9.1.3 ระบบสีแบบ HSB.....	26
2.9.1.4 ระบบสีแบบ LAB.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การสร้างวัตถุ 3 มิติ (3D Modeling).....	27
2.10.1 การสร้างโครงตาข่าย (Mesh)	27
2.10.2 โครงตาข่ายรูปหลายเหลี่ยม (Polygon Mesh).....	27
2.10.3 แบบจำลองโครงลวด (Wire Frame Model)	28
2.11 เรขาคณิตสำหรับการเห็นใน 3 มิติ (Geometry for 3D Vision).....	28
2.11.1 การเกิดภาพในกรณีที่พิกัดโลกซ้อนทับพิกัดกล้อง.....	28
2.11.2 การแปลงจากหน่วยความยาวเป็นพิกเซล (Pixel).....	30
2.11.3 กรณีที่พิกัดของโลกไม่ซ้อนทับพิกัดของกล้อง.....	31
2.11.4 การแปลงภาพจากระนาบ 2 มิติมายังระนาบ 3 มิติ.....	33
2.11.5 การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration)	34
2.11.6 การปรับเทียบการบิดเบือนของเลนส์ (Lens Distortion Calibration).....	35

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware)	40
3.1.1 ส่วนชุดขับเคลื่อนโต๊ะวางชิ้นงาน.....	41
3.1.2 ส่วนสแกนวัตถุ.....	45
3.1.2.1 กล้องถ่ายภาพ.....	45
3.1.2.2 ชุดเลเซอร์.....	46
3.1.3 การออกแบบวงจรรีเลย์ทรอนิกส์.....	47
3.2 การออกแบบด้านซอฟต์แวร์ (Software).....	49
3.2.1 ส่วนควบคุมชุดขับเคลื่อนโต๊ะหมุนชิ้นงาน.....	49
3.2.2 ส่วนของการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน.....	51
3.2.2.1 ส่วนของการสั่งให้เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ทำงาน.....	52
3.2.2.2 ส่วนของการประมวลผลภาพ.....	53
3.2.2.3 ส่วนของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ.....	53
3.3 การทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์.....	55
3.3.1 ขั้นตอนการสแกนวัตถุชิ้นงาน 1 ชิ้น.....	56

บทที่ 4 ผลการดำเนินการ

4.1 การหาพิกัดของวัตถุที่นำมาสแกน.....	58
4.1.1 การหาพิกัด 2 มิติของจุดบนภาพถ่าย.....	58
4.1.2 การหาพิกัด 3 มิติของจุดบนภาพถ่าย.....	59
4.1.3 การหาพิกัด 3 มิติของจุดบนวัตถุ ณ ตำแหน่งที่ถ่ายภาพ.....	60
4.1.4 การหาพิกัด 3 มิติของวัตถุจริง.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.3 การทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของขนาดระหว่างแบบจำลอง 3 มิติ กับวัตถุจริง.....	63
4.4 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ในการทำงานของเครื่องกราฟวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์.....	65
4.4.1 สีของวัตถุ.....	65
4.4.2 ลักษณะของวัตถุตัวกลาง.....	66
4.4.3 รูปร่างของวัตถุ.....	66
4.5 การทดลองวัตถุรูปร่างและรูปทรงอื่นๆ.....	67
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการดำเนินการ	
5.1 สรุปผลการดำเนินการ.....	68
5.1.1 การทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของขนาดระหว่างแบบจำลอง 3 มิติ กับวัตถุจริง.....	68
5.1.2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ในการทำงานของเครื่องกราฟวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์.....	68
5.1.2.1 สีของวัตถุ.....	68
5.1.2.2 ลักษณะของวัตถุตัวกลาง.....	69
5.1.2.3 รูปร่างของวัตถุ.....	69
5.1.3 การทดลองวัตถุรูปร่างและรูปทรงอื่นๆ.....	69
5.1.4 เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการสแกนวัตถุ 1 ชิ้น.....	69
5.2 อภิปรายผลการดำเนินการ.....	70
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	70
หนังสืออ้างอิง.....	71
ภาคผนวก ก.....	ก1
ภาคผนวก ข.....	ข1
ภาคผนวก ค.....	ค1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การทำงานของสตีปมอเตอร์แบบเต็มสตีปหนึ่งเฟส.....	9
ตารางที่ 2.2 ตารางที่ 2.2 การทำงานของสตีปมอเตอร์แบบเต็มสตีปสองเฟส.....	9
ตารางที่ 2.3 การทำงานของสตีปมอเตอร์แบบครึ่งสตีป.....	10
ตารางที่ 3.1 ลอจิก (Logic) การทำงานของวงจรของชุดขับเคลื่อน โตะหมุนขึ้นงาน.....	51
ตารางที่ 4.1 ความแตกต่างของขนาดที่เกิดขึ้นในแนวระนาบ.....	64
ตารางที่ 4.2 ความแตกต่างของขนาดที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง.....	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

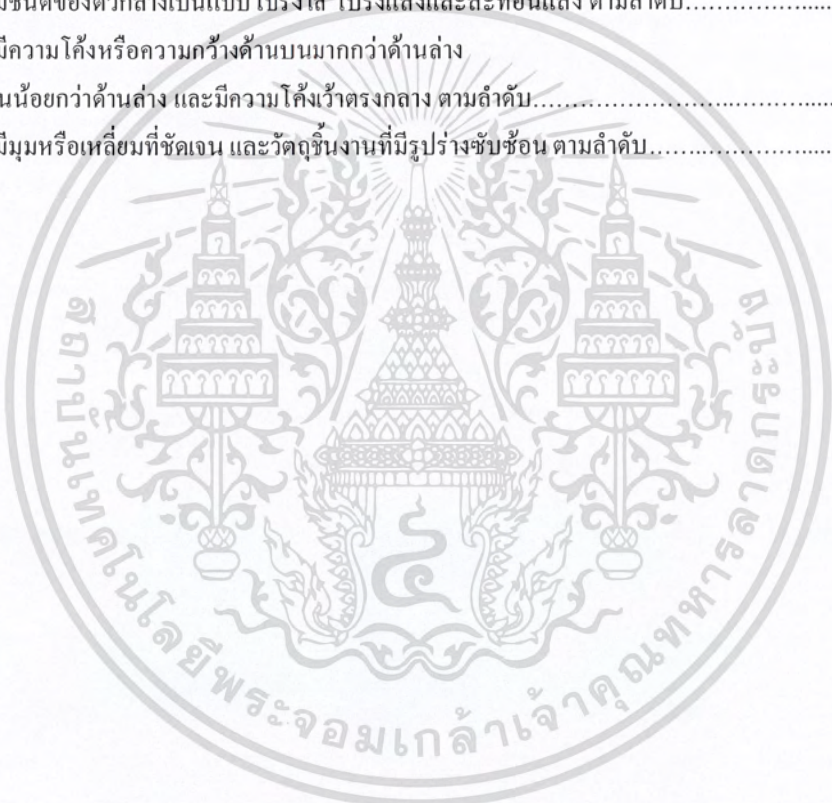
	หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการของวิธีฉายแสงแบบเป็นคาบ.....	4
รูปที่ 2.2 หลักการของวิธีเลือนภาพของวัตถุเพื่อหาโฟกัส.....	4
รูปที่ 2.3 วิธีการถ่ายภาพเพื่อหาพิกัด.....	5
รูปที่ 2.4 หลักการของวิธีการฉายแสงแบบเส้นหรือจุด.....	5
รูปที่ 2.5 การพันขดลวดและวงจรมอเตอร์ซึ่งแบบใบโพลาร์.....	8
รูปที่ 2.6 การพันขดลวดและการควบคุมวงจรมอเตอร์ซึ่งแบบยูนิโพลาร์.....	8
รูปที่ 2.7 การทำงานสัญญาณพัลส์ของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปหนึ่งเฟส.....	9
รูปที่ 2.8 การทำงานสัญญาณพัลส์ของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปสองเฟส.....	10
รูปที่ 2.9 การทำงานสัญญาณพัลส์ของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป.....	11
รูปที่ 2.10 ระบบพิกัด.....	11
รูปที่ 2.11 การเลื่อนพิกัดของภาพ.....	12
รูปที่ 2.12 การขยายขนาดของภาพ.....	13
รูปที่ 2.13 ระบบพิกัดโพลาร์การบอกตำแหน่งจุดโดยใช้เวกเตอร์.....	14
รูปที่ 2.14 การหมุนของภาพ.....	15
รูปที่ 2.15 การบิดของภาพ.....	16
รูปที่ 2.16 การสะท้อนตามแกน x.....	17
รูปที่ 2.17 การสะท้อนตามแกน y.....	17
รูปที่ 2.18 การสะท้อนรอบเส้นตรง $y = x$	18
รูปที่ 2.19 หลักการของการโปรเจกชัน.....	19
รูปที่ 2.20 การโปรเจกชันแบบขนาน.....	20
รูปที่ 2.21 การโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ.....	20
รูปที่ 2.22 คุณสมบัติของสามเหลี่ยมคล้ายจากการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ.....	21
รูปที่ 2.23 ตัวกรองแบบสามเหลี่ยม.....	22
รูปที่ 2.24 ตัวกรองแบบแลนซ์ซอส.....	23
รูปที่ 2.25 ตัวกรองแบบบิสไปลัน.....	23
รูปที่ 2.26 แบบจำลองสี RGB.....	25
รูปที่ 2.27 แบบจำลองสี HSB.....	26
รูปที่ 2.28 แบบจำลององค์ประกอบโครงตาข่าย.....	27
รูปที่ 2.29 ลักษณะรูปหลายเหลี่ยม.....	28
รูปที่ 2.30 รูปแบบจำลองโครงลวด.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.31 แบบจำลองของระบบสร้างภาพของกล้อง.....	29
รูปที่ 2.32 พิกัดบนระนาบของภาพ.....	30
รูปที่ 2.33 แบบจำลองการสร้างภาพกรณีพิกัดของโลกไม่ซ้อนทับพิกัดของกล้อง.....	31
รูปที่ 2.34 การแปลงแบบโปรเจกทีฟของระนาบ 2 มิติของกล้อง.....	33
รูปที่ 2.35 การแปลงภาพของวัตถุจากระนาบ 2 มิติมายังระนาบของกล้องที่เป็นระนาบ 3 มิติ.....	34
รูปที่ 2.36 การบิดเบือนของภาพ.....	36
รูปที่ 2.37 ที่มาของการบิดเบือนรัศมีเลนส์.....	36
รูปที่ 2.38 ตัวแปร K_3 ที่มีอิทธิพลโดดเด่นในประเภทการบิดเบือนของรัศมีเลนส์หาก $k_3 > 0$ เป็นการบิดเบือนทรงกลมและถ้า $k_3 < 0$ เป็นการบิดเบือนแบบห่อตัวของภาพ.....	37
รูปที่ 2.39 การตรวจหาจุด p_u บนส่วนเส้นโค้งด้วยตัวตรวจจับเส้นตรง.....	37
รูปที่ 2.40 การเชื่อมโยงของเส้นตรงซึ่งแสดงถึงส่วนของเส้นโค้ง การเชื่อมต่อของเส้นตรงที่ 2 และเส้นตรงที่ 1 จุดสิ้นสุดของเส้นตรงที่ 3 ไม่ได้อยู่ในพื้นที่สี่เหลี่ยม ดังนั้นจึงไม่มีการเชื่อมโยง.....	38
รูปที่ 2.41 จุด p_u บนเส้นโค้งถูกแมปบนจุด p_u บนเส้นตรงที่เชื่อมโยง Λ_{uu} ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ K_3 , K_3 และจุด p_u	39
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010.....	40
รูปที่ 3.2 เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์.....	41
รูปที่ 3.3 ชุดขับเคลื่อนโต๊ะหมุนวัตถุชิ้นงานที่ออกแบบ.....	44
รูปที่ 3.4 โต๊ะวางชิ้นงานและชุดขับเคลื่อนที่สร้างขึ้น.....	45
รูปที่ 3.5 โครงสร้างภายในเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ที่ยึดกล้องถ่ายภาพติดกับเสา.....	46
รูปที่ 3.6 โครงสร้างเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ที่ยึดเลเซอร์ติดกับรางเลื่อนเลเซอร์.....	46
รูปที่ 3.7 บล็อกโคอะแกรมอธิบายการทำงานของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์.....	47
รูปที่ 3.8 วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่ออกแบบเพื่อควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ การปิดและการเปิดเลเซอร์ การกดชัตเตอร์ของกล้องถ่ายภาพ.....	48
รูปที่ 3.9 วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ การปิดและการเปิดเลเซอร์ การกดชัตเตอร์ของกล้องถ่ายภาพ.....	48
รูปที่ 3.10 Flow Chart โปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดขับเคลื่อนโต๊ะหมุนวัตถุชิ้นงาน.....	50
รูปที่ 3.11 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์.....	52
รูปที่ 3.12 รูปแบบไฟล์นามสกุล .ply.....	53
รูปที่ 3.13 รูปแบบไฟล์นามสกุล .ply (ต่อ).....	53
รูปที่ 3.14 Flow Chart หลักการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์.....	55
รูปที่ 3.15 ขั้นตอนในการสแกนวัตถุชิ้นงาน 1 ชิ้น.....	56
รูปที่ 3.16 หน้าต่างโปรแกรมเมื่อคลิกปุ่ม Create 3D Model.....	57
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากการสแกนของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์.....	58
รูปที่ 4.2 พิกัด 2 มิติของจุดที่ได้จากภาพถ่าย.....	59
รูปที่ 4.3 พิกัด 3 มิติของจุดภาพบนภาพถ่าย.....	59
รูปที่ 4.4 พิกัด 3 มิติของจุดบนวัตถุ ณ ตำแหน่งที่ถ่ายภาพ.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ทิศ 3 มิติของวัตถุจริง.....	60
รูปที่ 4.6 วิธีการเลือกจุดแบบกำหนดจุด.....	61
รูปที่ 4.7 ข้อมูลจุดและพื้นผิวของไฟล์นามสกุล .ply.....	62
รูปที่ 4.8 แบบจำลอง 3 มิติในรูปแบบจุดทศนิยม.....	62
รูปที่ 4.9 แบบจำลอง 3 มิติในรูปแบบโครงตาข่าย.....	63
รูปที่ 4.10 แบบจำลอง 3 มิติในรูปแบบพื้นผิว.....	63
รูปที่ 4.11 ภาพของวัตถุทรงกระบอกที่นำมาทดลอง.....	63
รูปที่ 4.12 วัตถุที่มีความเข้มสีสูง ความเข้มสีต่ำและวัตถุที่มีสีเดียวกับแสงเลเซอร์ ตามลำดับ.....	65
รูปที่ 4.13 วัตถุที่มีชนิดของตัวกลางเป็นแบบโปร่งใส โปร่งแสงและสะท้อนแสง ตามลำดับ.....	66
รูปที่ 4.14 วัตถุที่มีความโค้งหรือความกว้างด้านบนมากกว่าด้านล่าง ด้านบนน้อยกว่าด้านล่าง และมีความโค้งเว้าตรงกลาง ตามลำดับ.....	67
รูปที่ 4.15 วัตถุที่มีมุมหรือเหลี่ยมที่ชัดเจน และวัตถุชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน ตามลำดับ.....	67



บทที่ 1

บทนำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาถึงภาพรวมทั้งหมดของการสร้างเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ โดยเริ่มจากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต จนถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการสร้างเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมักประสบปัญหาในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติทางคอมพิวเตอร์จากชิ้นงานหรือต้นแบบที่ทำขึ้นด้วยวัสดุต่างๆ เช่น ดินเหนียว ไม้ ปูนปลาสเตอร์ หรือ โฟเบอร์กลาส เนื่องจากความซับซ้อนของพื้นผิวต้นแบบที่ไม่สามารถวัดขนาดได้อย่างถูกต้องด้วยเครื่องมือวัดทั่วไป ทำให้เสียเวลาในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติทางคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ได้มักจะมีขนาดคลาดเคลื่อนจากคนหรือความละเอียดของเครื่องมือวัด เมื่อนำไปผลิตแม่พิมพ์จะทำให้ได้แม่พิมพ์ที่ไม่ถูกต้อง ส่งผลให้เสียเวลาในการแก้ไขแม่พิมพ์ ปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีที่สามารถช่วยในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ จากชิ้นงานหรือต้นแบบจริงได้รวดเร็วและแม่นยำ นั่นคือ เทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ (3D Scanner Technology)

เทคโนโลยีสแกนเนอร์แบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบสัมผัสและแบบไม่สัมผัส แบบสัมผัส ได้แก่ เครื่อง CMM (Coordinate Measuring Machine) ซึ่งมีหัววัด (Probe) สัมผัสชิ้นงานเพื่อวัดจุดพิกัดตำแหน่งต่างๆ ของชิ้นงาน วิธีนี้ค่อนข้างช้าและใช้เวลาในการวัดนาน แบบไม่สัมผัสจะใช้เทคโนโลยีของแสงเลเซอร์หรือแสงที่มีรูปแบบ (Structured Light) เช่น แสงที่มีรูปแบบของแถบสว่างสลับกันหลายๆ แถบ โดยมีหลักการทำงานร่วมกับกล้อง CCD (Charged Coupling Device) เพื่อวัดตำแหน่งของผิวชิ้นงาน โดยอาศัยหลักการคำนวณแบบสามเหลี่ยม (Triangulation)

เทคโนโลยีสแกนเนอร์แบบไม่สัมผัสได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนทดแทน โดยการช่วยให้การสร้างแบบ 3 มิติทางคอมพิวเตอร์มีความรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของการใช้เทคโนโลยีสแกนเนอร์ที่เห็นได้ชัดทางด้านอุตสาหกรรม คือ การนำแม่พิมพ์ที่ซื้อมาหรือแม่พิมพ์ที่ผ่านการตกแต่งและทดสอบเรียบร้อยแล้วมาสแกนเก็บพื้นผิวแม่พิมพ์ไว้ก่อน ถ้าแม่พิมพ์เกิดการแตกหักจนซ่อมแซมไม่ได้ระหว่างผลิตชิ้นงานจะสามารถนำไฟล์สแกนมาสร้างแม่พิมพ์ใหม่ที่มีรูปร่างเหมือนแม่พิมพ์เก่าได้ทันที วิธีนี้จึงเหมาะสมกับการผลิตจำนวนมาก ซึ่งมีโอกาสสูงที่แม่พิมพ์จะสึกหรอหรือเสียหายจนซ่อมแซมไม่ได้

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าเทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ กำลังเป็นที่สนใจ เนื่องจากมีลักษณะเด่นในเรื่องของความรวดเร็ว ความแม่นยำ และประโยชน์ใช้สอยที่มีหลากหลายด้าน ไม่จำกัดแต่เพียงด้านอุตสาหกรรมเท่านั้น เช่น ใช้สแกนวัตถุโบราณ ฯลฯ อีกทั้งยังมีการสั่งซื้อเครื่องจักรจากต่างประเทศเพื่อนำมาใช้ในการสแกนชิ้นงานที่มีราคาสูง จึงทำให้นักวิชาการและนักวิจัยในประเทศมีความสนใจในการพัฒนา และสร้างเครื่องจักรโดยผลิตและใช้ภายในประเทศซึ่งมีต้นทุนต่ำและเป็นการส่งเสริมให้เทคโนโลยีมีความก้าวหน้าทัดเทียมกับต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทฉบับนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาหลักการที่เกี่ยวข้องกับการสแกนเนอร์ 3 มิติ และสร้างต้นแบบของเครื่องสร้างแบบ 3 มิติ โดยใช้เลเซอร์และกล้องถ่ายภาพเป็นอุปกรณ์หลักในการสแกนชิ้นงาน ข้อมูลที่ได้จากการสแกนคือ กลุ่มของจุด (Point Cloud) จากนั้นเปลี่ยนจุดเหล่านี้ให้เป็นพื้นผิว แปลงเป็นโครงข่าย 3 มิติ ซึ่งสามารถบันทึกลงในไฟล์มาตรฐาน เช่น IGES (Initial Graphics Exchange Specification) STEP (Standard for The Exchange of Product Data) DXF (Drawing Exchange Format) หรือ PLY (Polygon File Format) ที่สามารถใช้งานได้กับโปรแกรม CAD ทั่วไป เช่น Unigraphics และ Pro Engineer เป็นต้น ข้อมูลที่ได้นี้จะถูกบันทึกไว้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการผลิตต่อไป เช่น สามารถนำข้อมูลดังกล่าวซึ่งอยู่ในรูปของแบบจำลอง 3 มิติทางคอมพิวเตอร์ไปใช้ออกแบบแม่พิมพ์จำลองการเคลื่อนที่ของหัวกัดและผลิตรหัส G ของเครื่องกัดซีเอ็นซีด้วยโปรแกรม CAM ต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ
2. เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์
3. เพื่อนำหลักการและวิธีการของเทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ มาประยุกต์ใช้กับเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ เพื่อให้สามารถวัดขนาดชิ้นงานที่มีลักษณะซับซ้อนได้
4. เพื่อศึกษาขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพและนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างแบบจำลอง 3 มิติทางคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ใช้เลเซอร์และกล้องเป็นอุปกรณ์หลักในการสแกนวัตถุเพื่อนำข้อมูลพิกัดของพื้นผิวที่ได้จากการสแกนไปสร้างแบบจำลอง 3 มิติทางคอมพิวเตอร์
2. ข้อมูลที่สแกนถูกจัดเก็บเป็นนามสกุล .PLY ซึ่งแสดงภาพเป็นรูปร่างและพื้นผิวของข้อมูลนั้น สามารถนำไปใช้งานต่อกับโปรแกรม CAD แต่ข้อมูลสุดท้ายไม่สามารถบ่งบอกถึงชนิดวัสดุของวัตถุนั้นได้
3. สามารถสแกนวัตถุที่มีน้ำหนักไม่เกิน 1 กิโลกรัมและขนาดไม่เกิน 25 ซม. × 25 ซม. × 25 ซม. ได้
4. ใช้ภาษา C ในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อควบคุมการทำงานของโต๊ะวางชิ้นงาน การเปิด-ปิดของเลเซอร์ และการถ่ายภาพของกล้อง
5. ใช้ภาษา C# ที่เขียนขึ้นในโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008 เพื่อสั่งการควบคุมระบบปฏิบัติการทั้งหมดของเครื่อง เช่น การประมวลผลภาพทั้งหมด ตั้งแต่การรับภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ การนำภาพมาแปลงเป็นพิกัด 2 มิติจนถึงการแปลงเป็นพิกัด 3 มิติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติทางคอมพิวเตอร์ ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ
2. สามารถใช้ในการสร้างชิ้นส่วนใหม่เพื่อทดแทนชิ้นส่วนที่เก่าหรือชำรุดหรือสร้างชิ้นส่วนที่หาได้ยากหรือไม่มีการผลิตแล้ว
3. สามารถสร้างต้นแบบจำลองของวัตถุในรูปร่างและรูปทรงต่างๆ ได้
4. สามารถใช้เป็นเครื่องมือเพื่อรวบรวมข้อมูลผลงานที่หาได้ยาก เช่น ข้อมูลทางศิลปะหรือข้อมูลทางโบราณคดีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาเรื่อง การสร้างเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ พบว่ามีหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ อันได้แก่ หลักการของวิธีการฉายแสงแบบเส้นหรือจุด (Optical Triangulation) การทำงานของสเต็ปมอเตอร์ การแปลงเชิงเรขาคณิต (Geometric Transformation) การโปรเจกชัน (Projection) การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration) การประมวลผลภาพ หลักการตรวจจับเส้น รวมไปถึงหลักการใช้แสงและสีในคอมพิวเตอร์ และอื่นๆ อีกมากมาย ตามที่กล่าวไว้ในบทนี้

2.1 เครื่องวัดพิกัดโดยจำแนกตามวิธีการวัด

การจำแนกตามวิธีการวัดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ วิธีแบบพาสซีฟ (Passive) และวิธีแบบแอคทีฟ (Active) ได้ดังนี้

2.1.1 วิธีแบบพาสซีฟ (Passive)

วิธีแบบพาสซีฟเป็นวิธีที่ไม่มีการถ่ายทอดพลังงานในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งให้กับวัตถุ เช่น การใช้กล้องโทรทรรศน์รับภาพของวัตถุ ซึ่งพลังงานที่กล้องโทรทรรศน์รับเข้ามานั้นเป็นพลังงานที่วัตถุสะท้อนมาจากแสงสว่างที่อยู่โดยรอบไม่ได้เป็นพลังงานที่อุปกรณ์หรือผู้วัดส่งออกไปยังวัตถุเพื่อให้สะท้อนกลับมา

2.1.2 วิธีแบบแอคทีฟ (Active)

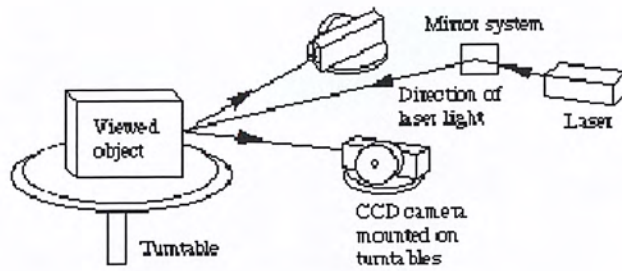
วิธีแบบแอคทีฟจะตรงกันข้ามกับวิธีแบบพาสซีฟ คือ จะมีการถ่ายทอดพลังงานในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งให้กับวัตถุเพื่อประโยชน์ในการวัดพื้นผิวชิ้นงานหรือเพื่อเพิ่มพลังงานที่สะท้อนกลับมาให้มีค่ามากขึ้น ในการวัดแบบนี้จำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ เครื่องวัดพิกัดแบบสัมผัส (Contact Coordinate Measuring Machine) ซึ่งใช้หัววัดแบบสัมผัสหรือลูกกลิ้งสัมผัสไปตามตำแหน่งที่ต้องการ และเครื่องวัดพิกัดแบบไม่สัมผัสกับชิ้นงาน (Non-Contact Coordinate Measuring Machine) ที่มีกรวัดแบบไม่ต้องสัมผัสกับพื้นผิวชิ้นงานแต่ใช้การส่งผ่านคลื่นหรือรังสีในตัวเองกลาง หรือใช้หลักการสะท้อน

2.2 หลักการวัดจากการสะท้อน (Reflective)

หลักการนี้อาศัยหลักการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสงเป็นตัววัดพิกัดแทนการสัมผัสจุดโดยตรง วิธีนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องวัดพิกัดแบบไม่ใช้แสง (Non-Optical Coordinate Measuring Machine) เป็นเครื่องวัดพิกัดที่ใช้คลื่นเสียงและคลื่นไมโครเวฟเป็นหลัก และเครื่องวัดพิกัดแบบใช้แสง (Optical Coordinate Measuring Machine) เป็นเครื่องวัดพิกัดที่ใช้แสงฉายไปบนวัตถุ และเกิดการสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ

ในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้กล่าวถึงเฉพาะหลักการวัดพิกัดแบบใช้แสง ซึ่งมีหลากหลายวิธี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



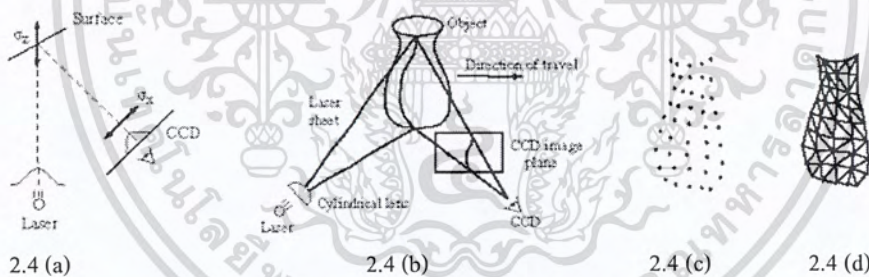
รูปที่ 2.3 วิธีการถ่ายภาพเพื่อหาพิกัด

2.2.4 วิธีการใช้คลื่นแสงเรดาร์ (Imaging Radar)

วิธีนี้ใช้หลักการวัดการสะท้อนของวัตถุ ลักษณะเหมือนกับการใช้คลื่นไมโครเวฟ แต่ใช้คลื่นช่วงความถี่แสงเหมาะสำหรับวัตถุที่มีขนาดใหญ่

2.2.5 วิธีการฉายแสงแบบเส้นหรือจุด (Optical Triangulation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ในปริภูมิพิกัดขั้วขั้วนี้ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก มีหลักการ คือ เมื่อฉายแสงที่เป็นจุดหรือเป็นเส้นลงบนพื้นผิววัตถุ เกิดการสะท้อนกลับมายังตัวรับ ซึ่งแสงสะท้อนกลับนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวของวัตถุ เมื่อลักษณะของแสงสะท้อนเปลี่ยนไปจะสามารถหาระยะที่เปลี่ยนไปของพื้นผิวได้ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 หลักการของวิธีการฉายแสงแบบเส้นหรือจุด

จากรูปที่ 2.4 (a) เป็นกรณี 2 มิติ แสงจากเลเซอร์ส่องไปยังผิวของวัตถุแล้วจึงสะท้อนไปยังตัวรับซึ่งจุดศูนย์กลางของแสงที่ตกบนตัวรับจะเป็นตัวบอกข้อมูลระยะห่างของผิววัตถุ รูปที่ 2.4 (b) เป็นกรณี 3 มิติซึ่งอาจใช้แสงเลเซอร์ที่เป็นแถบกวาดผ่านวัตถุ หรือหมุนวัตถุผ่านแถบของแสงเลเซอร์ กล้อง CCD (Charged Coupling Device) จะรับแถบแสงที่สะท้อนกลับจากวัตถุแล้วนำมาคำนวณระยะห่าง รูปที่ 2.4 (c) เป็นข้อมูลที่ได้จากรูป (b) มีลักษณะเป็นกลุ่มของข้อมูลจุดที่เป็นระเบียบ รูปที่ 2.4 (d) เป็นพื้นผิวเชิงเส้นซึ่งเกิดจากเชื่อมโยงจุดที่ใกล้กันให้เป็นรูปสามเหลี่ยมเพื่อให้ได้รูปที่ใกล้เคียงกับวัตถุจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ลักษณะของข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องวัดพิคค 3 มิติ

ลักษณะของข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องวัดพิคค 3 มิติมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบขึ้นอยู่กับงานที่จะนำไปใช้ คือ

2.3.1 ข้อมูลพิคคเฉพาะส่วน

ข้อมูลพิคคแบบนี้มีปริมาณไม่มากนัก แต่เพียงพอที่จะทำให้ทราบถึงลักษณะบางประการของชิ้นงาน เช่น การวัดพิคคในส่วนหัวและส่วนท้ายของชิ้นงานเพื่อหาความยาวของชิ้นงาน การวัดพื้นผิวภายในของทรงกระบอกเพื่อหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ เป็นต้น ซึ่งพิคคที่วัดได้ไม่ถูกนำไปใช้โดยตรงแต่นำไปใช้ในการคำนวณหาพารามิเตอร์ที่ต้องการ ข้อมูลลักษณะนี้มักใช้ในงานทางด้าน การตรวจสอบคุณภาพซึ่งนิยมใช้เครื่องวัดพิคคแบบสัมผัส เนื่องจากมีความถูกต้องในการวัดสูงและ โปรแกรมของเครื่องจะมีฟังก์ชันสำหรับวัดค่าเหล่านี้ให้แล้ว

2.3.2 ข้อมูลพิคคพื้นผิวทั้งหมดของชิ้นงาน

ข้อมูลพิคคที่วัดในลักษณะนี้จะมีปริมาณมากซึ่งแสดงถึงรูปร่างพื้นผิวของวัตถุที่ทำการวัด ลักษณะข้อมูลชนิดนี้เรียกว่า กลุ่มข้อมูลจุด (Point Cloud) ซึ่งจะใช้งานทางด้านวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse Engineering) โดยข้อมูลพิคคของชิ้นงานจะถูกนำไปสร้างเป็นแบบของชิ้นงานอีกครั้งเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ทำซ้ำ หรือปรับปรุงชิ้นงานให้ดีขึ้น

2.4 การควบคุมงานหมุนชิ้นงาน

การควบคุมงานหมุนชิ้นงานใช้สเต็ปมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนให้งานหมุนชิ้นงานหมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

2.4.1 สเต็ปมอเตอร์ (Step Motor)

สเต็ปมอเตอร์ (Step Motor) หรือ สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) คือ อุปกรณ์ที่เคลื่อนที่เป็นจังหวะโดยการกระตุ้นด้วยวิธีทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเปลี่ยนเอาท์พุทจากสัญญาณดิจิทัลที่เป็นพัลส์ (Pulse) ไปเป็นการเคลื่อนที่เชิงกล สเต็ปมอเตอร์จะเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น 1 สเต็ป เมื่อถูกกระตุ้นโดยโวลท์เตจ (Voltage) ซึ่งส่วนมากเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และเนื่องจากสเต็ปมอเตอร์สามารถควบคุมตำแหน่งได้ จึงไม่จำเป็นต้องใช้ตัววัดตำแหน่ง (Encoder) ในการป้อนกลับ สำหรับเอาท์พุทของสเต็ปมอเตอร์จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนคำสั่งอินพุทซึ่งมีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse) ลักษณะการขับเคลื่อนจะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1, 1.5, 1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่ลักษณะของมอเตอร์ที่นำไปใช้

ข้อเสียที่สำคัญของสเต็ปมอเตอร์ คือ มีข้อจำกัดด้านความเร็วและมีการสั่นสะเทือนสูง ทำให้การเคลื่อนที่เป็นไปอย่างไม่ราบเรียบ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการสั่นด้วยวิธีการแคมป์ ตามลักษณะเฉพาะของมอเตอร์แต่ละตัว

2.4.2 ชนิดของสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์ (Step Motor) ที่ใช้ขั้วทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.4.2.1 แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)

สเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรชนิดนี้ ตัวโรเตอร์ (Rotor) ทำด้วยแม่เหล็กถาวร และสเตเตอร์ (Stator) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของขดลวด เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดแรงผลักที่โรเตอร์จึงเกิดการหมุนไปที่ละสเต็ปโดยแต่ละสเต็ปจะมีการหมุนที่เป็นองศาเท่าๆ กัน

สเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้จะไม่นิยมนำไปใช้งานอุตสาหกรรมแต่จะถูกนำไปใช้กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เช่น ตัวขับเคลื่อนที่ใช้หมุนเพื่อเลื่อนกระดาษของเครื่องพิมพ์ เพราะมีข้อเสีย คือ มีขนาดมมสเต็ปใหญ่ทำให้ความละเอียดของสเต็ปต่อรอบน้อย การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีหลายขั้วทำได้ยาก มีโครงสร้างขนาดเล็ก ทำให้แรงบิด (Torque) ที่ได้ต่อหน่วยปริมาตรมีค่าต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของแรงบิด แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสูง

2.4.2.2 แบบเปลี่ยนแปรค่ารีลัคแทนซ์ (Variable Reluctance)

สเต็ปมอเตอร์แบบเปลี่ยนแปรค่ารีลัคแทนซ์เป็นสเต็ปมอเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในวงจรแม่เหล็ก ส่วนโรเตอร์จะหมุนได้อย่างอิสระแม้ไม่ได้ทำการจ่ายไฟ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะหมุนโรเตอร์ไปในเส้นทางของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลัคแทนซ์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่เกิดแรงบิดจะมีความแน่นอนและมีเสถียรภาพ ดังนั้นเมื่อป้อนไฟขนาดต่างๆ เข้าขดลวดในมอเตอร์จะทำให้มอเตอร์หมุนไปในตำแหน่งที่แตกต่างกัน โรเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์แบบปรับค่ารีลัคแทนซ์จะมีความเฉื่อยของโรเตอร์น้อยจึงมีความเร็วรอบสูงกว่าสเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

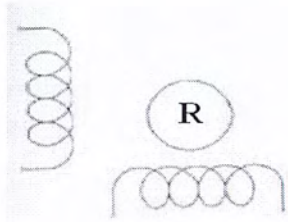
2.4.2.3 แบบผสม (Hybrid)

สเต็ปมอเตอร์แบบผสมเป็นการผสมกันระหว่างสเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรกับแบบปรับค่ารีลัคแทนซ์ นิยมใช้งานอุตสาหกรรมเพราะให้แรงบิดสูง ความละเอียดของสเต็ปในการหมุนสูง ความเร็วสูงกว่าสเต็ปมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและสเต็ปมอเตอร์แบบปรับค่ารีลัคแทนซ์ โดยปกติสเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้จะมีขนาด 2 เฟส ถึง 5 เฟส

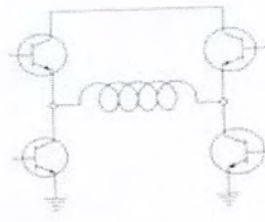
2.4.3 การพันขดลวดของสเต็ปมอเตอร์

2.4.3.1 แบบไบโพลาร์ (Bipolar)

สเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้มีการพันขดลวด 1 ขด บนขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ถูกกำหนดด้วยทิศทางกระแสไฟฟ้ซึ่งการทำให้ขั้วแม่เหล็กเกิดทิศทางตรงกันข้าม โดยการกลับทิศทางกระแสไฟฟ้ โดยทั่วไปแล้วสเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์ (Bipolar) จะทำให้เกิดแรงบิดมากกว่าสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) แสดงดังรูปที่ 2.5



2.5 (a) แบบไบโพลาร์

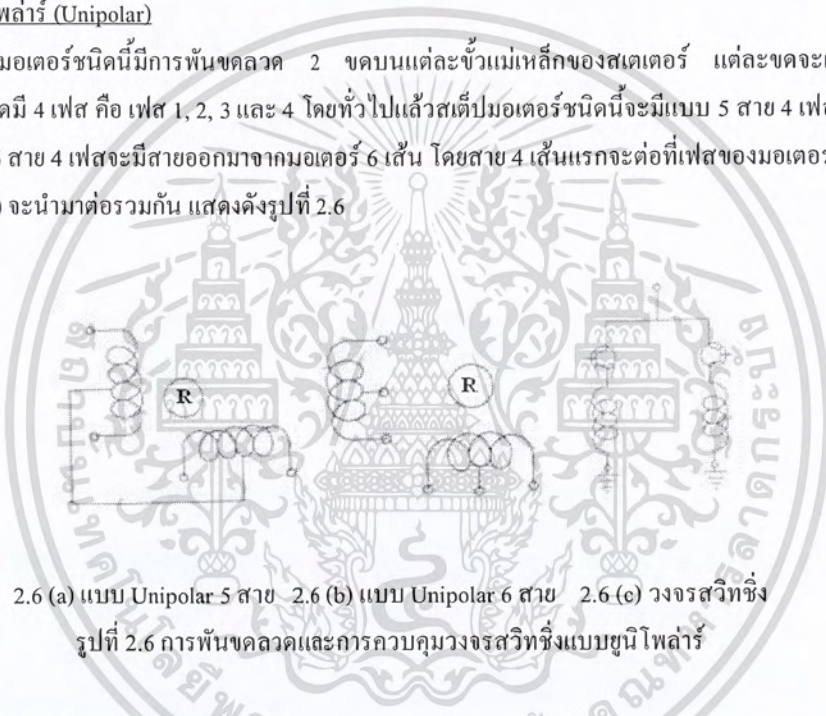


2.5 (b) วงจรสวิตชิง

รูปที่ 2.5 การพันขดลวดและวงจรสวิตชิงแบบไบโพลาร์

2.4.3.2 แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar)

สเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดจะแบ่งออกเป็น 2 เฟส รวมทั้งหมคมมี 4 เฟส คือ เฟส 1, 2, 3 และ 4 โดยทั่วไปแล้วสเต็ปมอเตอร์ชนิดนี้จะมีแบบ 5 สาย 4 เฟส และ 6 สาย 4 เฟส โดยแบบ 6 สาย 4 เฟสจะมีสายออกมาจากมอเตอร์ 6 เส้น โดยสาย 4 เส้นแรกจะต่อที่เฟสของมอเตอร์ และสายอีก 2 เส้น (Common) จะนำมาต่อรวมกัน แสดงดังรูปที่ 2.6



2.6 (a) แบบ Unipolar 5 สาย 2.6 (b) แบบ Unipolar 6 สาย 2.6 (c) วงจรสวิตชิง
รูปที่ 2.6 การพันขดลวดและการควบคุมวงจรสวิตชิงแบบยูนิโพลาร์

2.4.4 การควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์

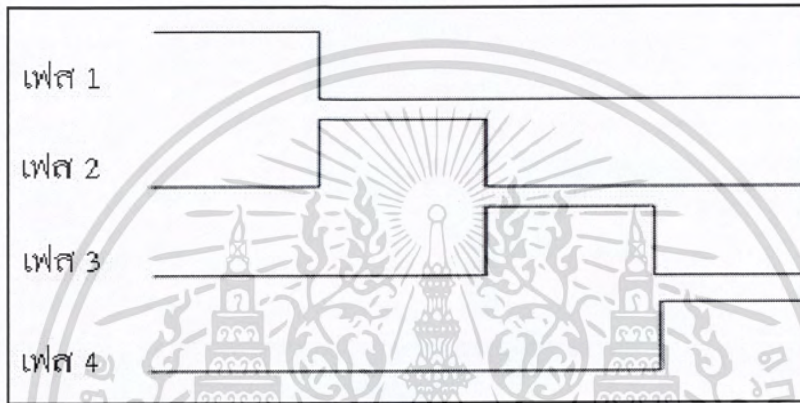
การที่จะทำให้สเต็ปมอเตอร์หมุนต้องมีการป้อนสัญญาณพัลส์ที่ขดลวดแต่ละเฟสของสเต็ปมอเตอร์ให้ไปในทิศทางเดียวกัน หรือเรียงลำดับ (Sequence) และถ้าต้องการให้สเต็ปมอเตอร์หมุนกลับทิศทางก็จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ในทิศทางตรงกันข้ามกัน ซึ่งการควบคุมนี้แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

2.4.4.1 แบบเต็มสเต็ปหนึ่งเฟส (Full - Step 1 Phase)

การควบคุมลักษณะนี้เป็นการกระตุ้นขดลวดทีละขดเรียงตามลำดับ 1, 2, 3, 4 การกระตุ้นจะมีขดลวดขดเดียวที่ถูกกระตุ้นในเวลาหนึ่งเท่านั้น เช่น ขดลวดที่ 1, 2, 3, 4 หรือถ้าต้องการให้หมุนสวนทิศทางกันจะกระตุ้นขดลวดที่ 4, 3, 2, 1 เป็นต้น การกระตุ้นแบบนี้จะทำงานง่ายที่สุดและกินกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุดด้วย แสดงดังตารางที่ 2.1 และดังรูปที่ 2.7

ตารางที่ 2.1 การทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปหนึ่งเฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน



รูปที่ 2.7 การทำงานสัญญาณพัลส์ของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปหนึ่งเฟส

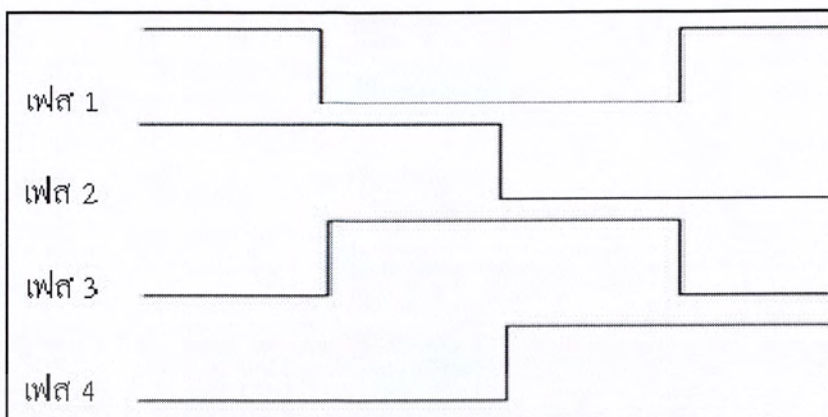
2.4.4.2 แบบเต็มสเต็ปสองเฟส (Full - Step 2 Phase)

การควบคุมลักษณะนี้เป็นการกระตุ้นขดลวดที่ละ 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันให้ทำงานพร้อมกัน และเรียงลำดับกัน เช่น ขดที่ 12, 23, 34, 41 หรือถ้าต้องการให้หมุนสวนทิศทางต้องกระตุ้นขดลวดที่ 14, 43, 32, 21 ข้อดีของการกระตุ้นแบบนี้ คือ สเต็ปมอเตอร์จะมีแรงบิดมากกว่าแบบ 1 เฟส ส่วนข้อเสียของการกระตุ้นแบบนี้จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบ 1 เฟส เพราะต้องกระตุ้นขดลวด 2 ขดลวดพร้อมกัน แสดงดังตารางที่ 2.2 และดังรูปที่ 2.8

ตารางที่ 2.2 การทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปสองเฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



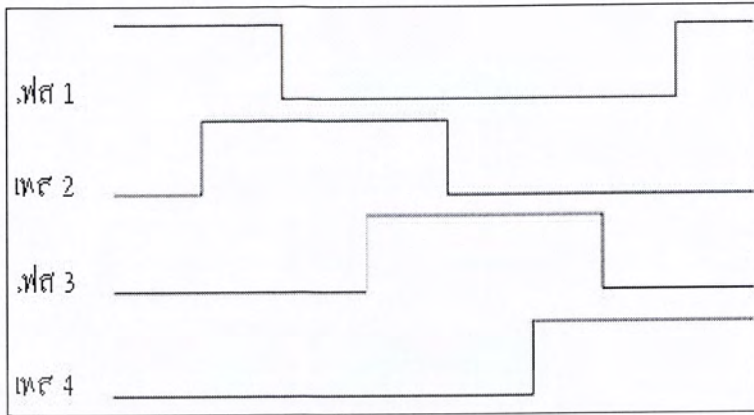
รูปที่ 2.8 การทำงานสัญญาณพัลส์ของสเต็ปมอเตอร์แบบเต็มสเต็ปสองเฟส

2.4.4.3 แบบครึ่งสเต็ป (Half Step)

การควบคุมลักษณะนี้เป็นการกระตุ้นแบบ 1 เฟส กับ 2 เฟส มารวมกัน โดยการกระตุ้นจะเรียงลำดับกันไป เช่น ชุดที่ 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41 หรือถ้าต้องการให้หมุนสวนทิศทางการกระตุ้นชุดถัดที่ 1, 41, 4, 43, 3, 32, 2, 21 เป็นต้น ข้อดีของการกระตุ้นแบบนี้ สเต็ปมอเตอร์จะมีแรงบิดเพิ่มขึ้น ละเอียดขึ้นและการควบคุมตำแหน่งถูกต้องมากยิ่งขึ้น ส่วนข้อเสียการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เหมือนกับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส แสดงดังตารางที่ 2.3 และผังรูปที่ 2.9

ตารางที่ 2.3 การทำงานของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป

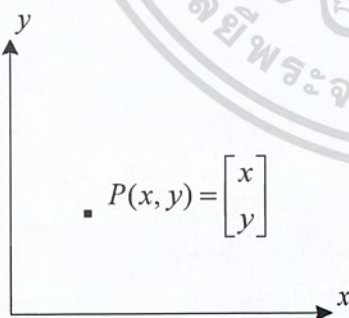
สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน



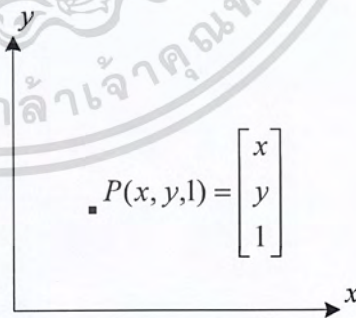
รูปที่ 2.9 การทำงานสัญญาณพัลส์ของสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป

2.5 การแปลงเชิงเรขาคณิต (Geometric Transformation)

ในการประมวลผลรูปภาพจำเป็นต้องมีการเคลื่อนย้ายภาพ การย่อภาพ การขยายภาพ หรือมีการหมุนภาพให้อยู่ในมุมมองที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้การแปลงเชิงเรขาคณิต การพิจารณาการแปลงนั้นเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายจึงมักจะเขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์ สำหรับการแปลงเชิงเรขาคณิตโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยการแปลงหลายๆ ชนิดประกอบกัน เนื่องจากการเป็นค่าตัวเลขในรูปแบบของเมทริกซ์ทำให้ยากในการคำนวณเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน จึงได้นำระบบพิกัดโฮโมจีเนียส (Homogeneous Coordinate) เข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหา โดยทำการจัดรูปแบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate) จาก (x, y) เพื่อให้อยู่ในแบบของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส คือ (x_w, y_w, w) โดยจะมี w เป็นค่าแอสเคอร์สเกลที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ จุด (x_w, y_w, w) จะถูกนอร์มอลไลซ์ (Normalize) โดยทั่วไปสามารถเลือกค่า w เป็นจำนวนจริงบวกใดๆ แต่เพื่อความสะดวกในการหาผลลัพธ์ในทางคณิตศาสตร์มักจะกำหนดให้ค่าของ $w = 1$ ดังนั้นพิกัดโฮโมจีเนียส คือ $(x, y, 1)$ แสดงดังรูปที่ 2.10



2.10 (a) Cartesian Coordinate



2.10 (b) Homogeneous Coordinate

รูปที่ 2.10 ระบบพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การเลื่อนภาพ (Translation)

การเลื่อนภาพเป็นการเลื่อนตำแหน่งของภาพตามระยะการขจัดทางแนวแกน X (T_x) และตามแนวแกน Y (T_y) เมื่อกำหนดให้พิกัดเดิม คือ (x, y) และพิกัดใหม่ คือ (x', y') จะได้สมการของการเลื่อนภาพดังนี้

$$x' = x + T_x \quad (2.1)$$

$$y' = y + T_y \quad (2.2)$$

ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ได้ มีลักษณะดังนี้

$$P' = P + T \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

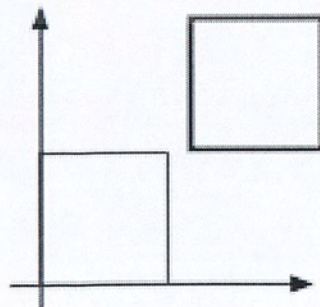
$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

ดังนั้นการเลื่อนภาพสามารถจัดอยู่ในรูปของโฮโมจีเนียสมทริกซ์ ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

การเลื่อนภาพเป็นการแปลงที่มีประโยชน์มากในการประมวลผลภาพ ตัวอย่างเช่น การเลื่อนพิกัดของภาพมายังจุดกำเนิด $(0, 0)$ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเลื่อนพิกัดของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การย่อและการขยายภาพ (Scaling)

การย่อและการขยายภาพสามารถทำได้โดยใช้สเกลแฟคเตอร์ (Scaling factor) ได้แก่ S_x และ S_y ซึ่งใช้สำหรับการย่อและการขยายภาพในทางแกน X และ Y ตามลำดับ โดยถ้า $(0 < S_x, S_y < 1)$ แสดงว่าเป็นการย่อภาพและ $(S_x, S_y > 1)$ แสดงว่าเป็นการขยายภาพ โดยที่สมการของการย่อและขยายภาพ มีลักษณะดังนี้

$$x' = x \cdot S_x \tag{2.8}$$

$$y' = y \cdot S_y \tag{2.9}$$

$$P' = S \cdot P \tag{2.10}$$

เมื่อ

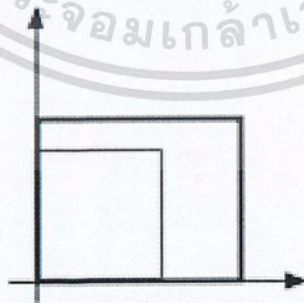
$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \tag{2.12}$$

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

ดังนั้นการย่อและการขยายภาพจึงสามารถอยู่ในรูปของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

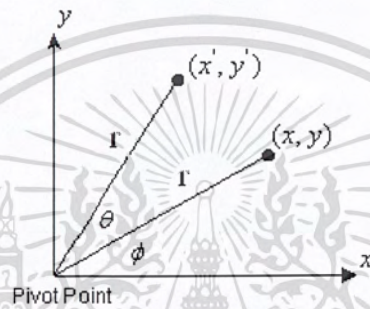


รูปที่ 2.12 การขยายขนาดของภาพ

2.5.3 การหมุนภาพ (Rotation)

การหมุนภาพเป็นการแปลงรูปแบบของภาพที่จะต้องกำหนดว่าจุดใดจุดหนึ่งเป็นจุดหมุน (Pivot Point) เสมอ หลังจากหมุนภาพไปแล้วระยะห่างระหว่างจุดหมุนกับภาพยังคงมีค่าเท่าเดิม รูปร่างและลักษณะของภาพยังคงเดิม แต่ภาพมีการจัดวางที่ต่างไปจากเดิมเนื่องมาจากการหมุนภาพ ซึ่งการหมุนภาพอาจจะหมุนทีละหลายๆ ภาพ ถ้าหมุนทวนเข็มนาฬิกา ค่ามุมเป็นบวก หรือหมุนตามเข็มนาฬิกา ค่ามุมเป็นลบ และจุดหมุนที่ใช้ อาจจะอยู่ภายในหรือภายนอกภาพ

การอ้างอิงจุดพิกัด (x, y) นั้น นอกจากจะใช้ระบบพิกัดฉากแล้ว อาจใช้ระบบพิกัดโพลาร์ (การบอกตำแหน่งจุดโดยใช้ Vector) ก็ได้ ซึ่งทั้งสองระบบมีความสัมพันธ์กันดังนี้ แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ระบบพิกัดโพลาร์การบอกตำแหน่งจุดโดยใช้เวกเตอร์

r = ระยะจากจุดหมุน (Pivot Point) ถึง (x, y) , (x', y')

จากรูปที่ 2.13 จะได้ว่า

$$x = r \cos(\phi) \tag{2.15}$$

$$y = r \sin(\phi) \tag{2.16}$$

$$x' = r \cos(\phi + \theta) = r(\cos\phi \cos\theta - \sin\phi \sin\theta) \tag{2.17}$$

$$y' = r \sin(\phi + \theta) = r(\sin\phi \cos\theta + \cos\phi \sin\theta) \tag{2.18}$$

จากสมการ 2.15 และ สมการ 2.16 จะได้สมการของการหมุนรอบจุด Pivot Point ดังนี้

$$x' = x \cos(\theta) - y \sin(\theta) \tag{2.19}$$

$$y' = x \sin(\theta) + y \cos(\theta) \tag{2.20}$$

ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ได้ มีลักษณะดังนี้

$$P' = R \cdot P \tag{2.21}$$

เมื่อ

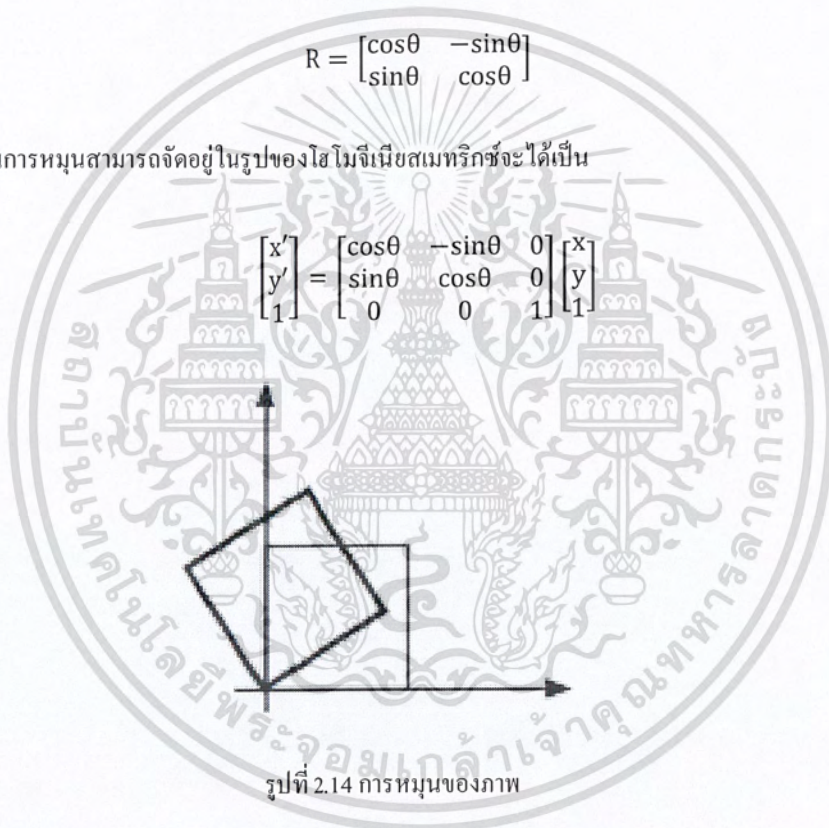
$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \tag{2.22}$$

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \tag{2.23}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \tag{2.24}$$

ดังนั้นการหมุนสามารถจัดอยู่ในรูปของโฮโมจีเนียสเมทริกซ์จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.25}$$



รูปที่ 2.14 การหมุนของภาพ

2.5.4 การบิดภาพ (Shearing)

การบิดภาพจะทำให้บางส่วนของภาพหรือภาพทั้งหมดเกิดการบิดเบือนขึ้น ซึ่งจะพิจารณาเพียง 2 แบบ คือ การบิดภาพทางแกน X และการบิดภาพทางแกน Y การบิดภาพทางแกน Y จะทำให้เกิดการย้ายจุด (x, y) ไปยังจุด (x', y) โดยที่

$$x' = x, \quad y' = y + x \cdot \text{sh}Y \tag{2.26}$$

การบิดภาพทางแกน Y จะทำให้จุดต่างๆ ในแกน Y เคลื่อนขึ้นหรือลงขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ Shy Factor (shY) จากสมการการบิดภาพดังกล่าว สามารถเขียนในรูปแบบของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้ดังนี้

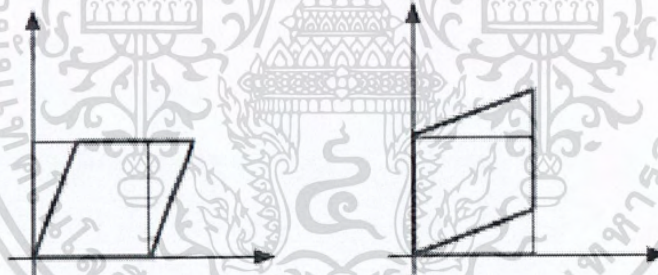
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & shY & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

สำหรับการบิดภาพทางแกน X จะให้ผลตรงกันข้ามกับการบิดภาพทางแกน Y กล่าวคือ จุด (x, y) ของภาพจะถูกแปลงไปเป็นจุด (x', y') โดยที่

$$y' = y, \quad x' = x + y \cdot shX \quad (2.28)$$

การบิดภาพทางแกน X ทำให้จุดต่างๆ ในแกน X เคลื่อนขึ้นหรือลงขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ Shy Factor (shX) จากสมการการบิดภาพดังกล่าว สามารถเขียนในรูปแบบของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ shX & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$



2.15 (a) การบิดภาพทางแกน x 2.15 (b) การบิดภาพทางแกน y

รูปที่ 2.15 การบิดของภาพ

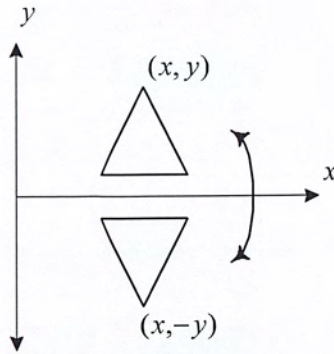
2.5.5 การสะท้อน (Reflection)

การสะท้อนเป็นการแปลงภาพของวัตถุในลักษณะของกระจก โดยจะทำการหมุนภาพต้นแบบไป 180 องศา รอบแกนการสะท้อน ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาการสะท้อน 3 แบบดังนี้

2.5.5.1 การสะท้อนตามแกน X

การสะท้อนตามแกน X ทำได้โดยการคูณจุดทุกจุดที่ใช้นิยามภาพกับเมทริกซ์การแปลงสำหรับการสะท้อนกับแกน X ทำให้จุด (x, y) กลายเป็นจุด (x', y) แสดงดังรูปที่ 2.16

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.16 การสะท้อนตามแกน x

การสะท้อนตามแกน X สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบสมการ ได้ดังนี้

$$x' = x \tag{2.30}$$

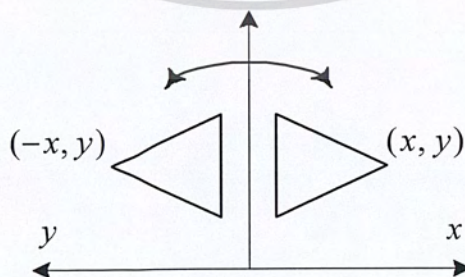
$$y' = -y \tag{2.31}$$

และสามารถเขียนในรูปแบบของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.32}$$

2.5.5.2 การสะท้อนตามแกน Y

การสะท้อนตามแกน Y ทำได้โดยการคูณจุดทุกจุดที่ใช้นิยามภาพกับเมทริกซ์การแปลงสำหรับการสะท้อนกับแกน Y จะทำให้จุด (x, y) กลายเป็นจุด (x', y') แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การสะท้อนตามแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสะท้อนกับแกน Y สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$x' = -x \tag{2.33}$$

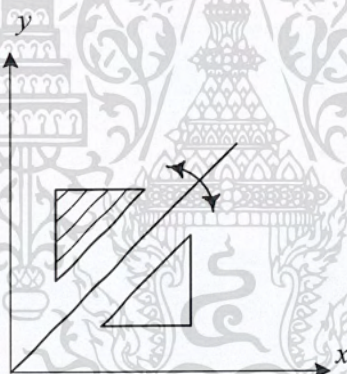
$$y' = y \tag{2.34}$$

และสามารถเขียนในรูปแบบของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.35}$$

2.5.5.3 การสะท้อนรอบเส้นตรงใดๆ

สำหรับการสะท้อนรอบแกนใดๆ สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งแกน $Y = X$ หรือ $Y = -X$ ก็ได้ กรณีที่เป็นการสะท้อนรอบแกน $Y = X$ แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การสะท้อนรอบเส้นตรง $Y = X$

สำหรับการสะท้อนกับเส้นตรง $Y = X$ จะทำให้จุด (x, y) กลายไปเป็นจุด (x', y') สามารถเขียนในรูปแบบของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.36}$$

กรณีที่เป็นการสะท้อนรอบแกน $Y = -X$ การสะท้อนกับเส้นตรง $Y = -X$ จะทำให้จุด (x, y) กลายไปเป็นจุด (x', y') สามารถเขียนในรูปแบบของโฮโมจีเนียสมเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

โดยทั่วไปการประมวลผลภาพเป็นการแปลงเชิงเรขาคณิตของภาพเป็นการแปลงหลายๆชนิดร่วมกันหรือเรียกว่า การแปลงแบบผสม (Multiple Transformations) เช่น ในระบบ 3 มิติ การหมุนในสองแกนก็สามารถหาเมทริกซ์การแปลงของการหมุนได้โดยการนำเมทริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกนในแต่ละแกนมาคูณกัน แต่หากมีการสลับตำแหน่งของการคูณกันแล้วจะให้ผลลัพธ์ที่ไม่เท่ากัน

ส่วนในกรณีที่มีการหมุนและการเคลื่อนย้ายที่ติดด้วย กรณีที่เป็น 2 มิติ โดยมีลำดับการแปลง คือ เคลื่อนย้ายจุดก่อนแล้วจึงหมุนตามลำดับ จะได้เป็นดังนี้

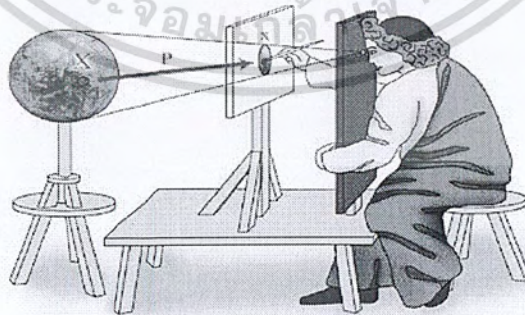
$$M = [T][R] \quad (2.38)$$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

สำหรับการแปลงเชิงเรขาคณิตแบบอื่นๆ ที่มีรวมกันของการแปลงแบบต่างๆ สามารถหาเมทริกซ์การแปลงได้ในทำนองเดียวกันนี้

2.6 โปรเจกชัน (Projections)

โดยทั่วไปการโปรเจกชันจะเป็นการแปลงจาก n มิติ ไปเป็น $n-1$ มิติ เมื่อสมมติให้มีวัตถุ 3 มิติที่ถูกโปรเจก (Projected) ลงบนระนาบโปรเจกชัน (Projection Plane) โดยมีผู้สังเกตลักษณะการโปรเจกของวัตถุ และเพื่อให้สามารถมองลักษณะการ โปรเจกได้จึงต้องกำหนดให้วัตถุและผู้สังเกตอยู่คนละข้างกันของระนาบโปรเจกชัน แสดงดังรูปที่ 2.19

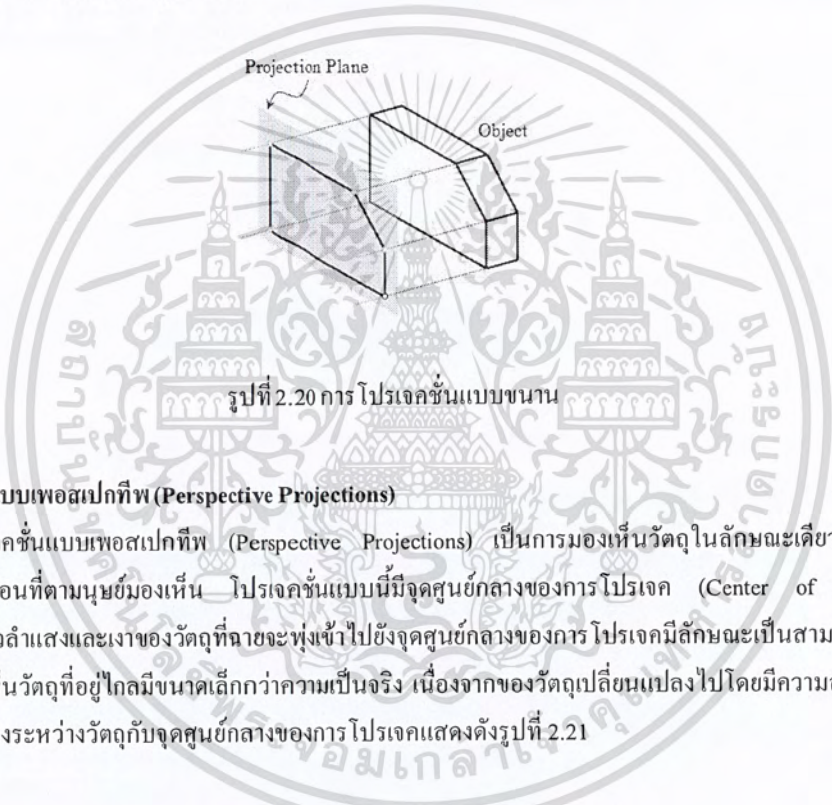


รูปที่ 2.19 หลักการของ โปรเจกชัน

โปรเจกชันสามารถแบ่งได้เป็นแบบเชิงเส้น (Linear Projections) และแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Projections) โดยที่โปรเจกชันแบบเชิงเส้นจะประกอบด้วย 2 ชนิด คือโปรเจกชันแบบขนาน (Parallel Projections) และโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ (Perspective Projections)

2.6.1 โปรเจกชันแบบขนาน (Parallel Projections)

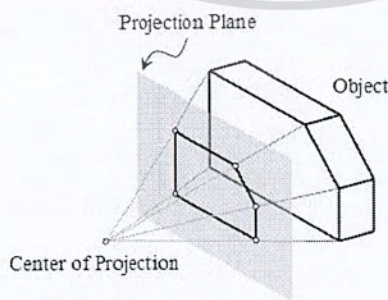
หลักการของโปรเจกชันแบบขนาน คือ การฉายแสงไปตามทิศทางที่กำหนดไว้ให้ปรากฏเป็นจุดใหม่บนระนาบโปรเจกชันซึ่งเป็น 2 มิติ โดยที่แสงและเงาของวัตถุที่ฉายจะพุ่งขนานกันไปกระทบกับระนาบของการโปรเจก และขนาดของรูปที่ได้จากการโปรเจกแบบนี้จะมีขนาดเท่ากับขนาดของวัตถุ ส่วนใหญ่โปรเจกชันแบบขนานนี้ถูกใช้ในการวาดภาพทางวิศวกรรม แสดงดังรูปที่ 2.20



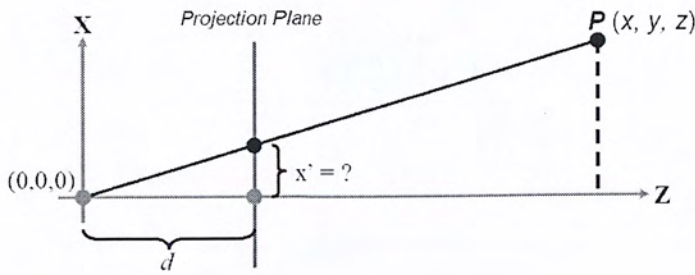
รูปที่ 2.20 การ โปรเจกชันแบบขนาน

2.6.2 โปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ (Perspective Projections)

โปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ (Perspective Projections) เป็นการมองเห็นวัตถุในลักษณะเดียวกับโลกของความเป็นจริงเหมือนที่ตามนุษย์มองเห็น โปรเจกชันแบบนี้มีจุดศูนย์กลางของการโปรเจก (Center of Projection) อยู่ที่จุดๆหนึ่งแนวลำแสงและเงาของวัตถุที่ฉายจะพุ่งเข้าไปยังจุดศูนย์กลางของการ โปรเจกมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม คือ ผู้สังเกตจะเห็นวัตถุที่อยู่ไกลมีขนาดเล็กกว่าความเป็นจริง เนื่องจากของวัตถุเปลี่ยนแปลงไปโดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของการ โปรเจกแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การ โปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ



รูปที่ 2.22 คุณสมบัติของสามเหลี่ยมคล้ายจากการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟ

พิจารณารูปที่ 2.22 เป็นคุณสมบัติของสามเหลี่ยมคล้ายจากการโปรเจกชันแบบเพอสเปกทีฟที่ทำการโปรเจกภาพจากจุด $P(x, y, z)$ ไปยังจุดบนระนาบของการโปรเจก โดยที่ระยะห่างระหว่างระนาบของการโปรเจกกับจุดศูนย์กลางของการโปรเจกเป็นระยะเท่ากับ d และจากคุณสมบัติของสามเหลี่ยมคล้าย จะได้

$$\frac{x'}{d} = \frac{x}{z} \quad (2.40)$$

$$\frac{y'}{d} = \frac{y}{z} \quad (2.41)$$

จากสมการ 2.40 และสมการ 2.41 นำ d คูณตลอดจะได้เป็น

$$x' = \frac{d \cdot x}{z} \quad (2.42)$$

$$y' = \frac{d \cdot y}{z} \quad (2.43)$$

ดังนั้นการโปรเจกภาพจากจุด $P(x, y, z)$ ไปยังจุดบนระนาบของการโปรเจก $P'(x', y', z')$ จะได้เป็น

$$P' = \left(\frac{d \cdot x}{z}, \frac{d \cdot y}{z}, d \right) \quad (2.44)$$

2.7 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือ การเอาภาพมาประมวลผล โดยการคิดคำนวณทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งการคำนวณนั้นมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีประโยชน์แตกต่างกันไป เช่น การนำเอาสีแต่ละจุดพิกเซลมาคิด (Color) การคิดคำนวณเป็นบริเวณหลายๆจุดรวมๆกัน (Area) เช่น การดูสวดลาย (Pattern) การวิเคราะห์หารูปร่าง (Shape) และการวิเคราะห์แบบอื่นๆ

แหล่งของรูปภาพอาจมาจากกล้องถ่ายภาพที่สแกนหรือจากสื่อดิจิทัลต่างๆแล้วนำไปผ่านกระบวนการบางอย่างเพื่อให้เกิดเป็นภาพใหม่ เช่น การทำภาพเบล (Blur Image) การทำภาพนูน (Emboss Image) การตรวจหา

ขอบภาพ (Edge Detector) ซึ่งศาสตร์ด้านนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายด้าน เช่น ทางด้านการแพทย์ การรักษาความปลอดภัย ตรวจสอบจำนวนคน หรือตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ ภายในภาพ

รูปแบบในการประมวลผลภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ คือ การประมวลผลภาพในระดับต่ำ (Low-Level Image Processing) และการประมวลผลภาพในระดับสูง (High-Level Image Processing) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.1 การประมวลผลภาพในระดับต่ำ

การประมวลผลภาพในระดับต่ำเป็นการประมวลผลภาพเชิงตัวเลขเพื่อหาตัวแปรต่างๆ มาอธิบายข้อมูลภาพ โดยทั่วไปแล้วการประมวลผลภาพในระดับต่ำ คือ การประมวลผลภาพก่อน (Image Preprocessing) เช่น การกำจัดสัญญาณรบกวน การจำแนกภาพ การหาขอบภาพ การเปลี่ยนแปลงภาพ และการทำให้ภาพคมชัด เป็นต้น โดยการประมวลผลในระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่างหรือระดับความเข้มของจุดภาพโดยตรง ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการเบื้องต้นที่มีความสำคัญมาก เพื่อจะนำตัวแปรที่ได้ไปใช้ในการประมวลผลภาพในระดับสูงต่อไป

2.7.2 การประมวลผลภาพในระดับสูง

การประมวลผลภาพในระดับสูงเป็นการนำตัวแปรที่ได้จากการประมวลระดับต่ำมาตีความ ประมวลผลและแสดงให้อยู่ในรูปของสัญลักษณ์ โดยสัญลักษณ์เหล่านี้จะแสดงถึงสิ่งต่างๆ ในภาพเพื่อให้คอมพิวเตอร์เข้าใจภาพได้ เช่น การรู้จำรูปแบบของตัวอักษร ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุในภาพ ขนาด หรือรูปร่างของวัตถุ เป็นต้น

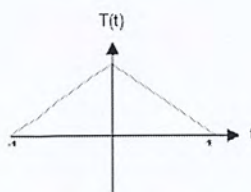
2.8 การตรวจจับเส้น (Line Detection)

การตรวจจับเส้นเป็นวิธีการเพื่อเพิ่มความคมชัดให้กับเส้นและยังสามารถกำหนดขนาดของเส้นที่ตรวจจับได้ให้มีขนาดเล็กหรือใหญ่ได้ โดยมีวิธีการที่ใช้ดังต่อไปนี้

2.8.1 ตัวกรองแบบสามเหลี่ยม (Triangle Filter)

ตัวกรองแบบสามเหลี่ยมเป็นวิธีที่ใช้เพื่อเพิ่มความคมชัดของจุดบริเวณที่สูงที่สุด โดยการให้นำน้ำหนักกับจุดกึ่งกลางของเส้นมากกว่าจุดที่อยู่รอบข้าง ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและเร็ว สามารถหาได้จากสมการ 2.45

$$T(t) = \begin{cases} 1 - |t|, & |t| < 1 \\ 0, & \text{และอื่นๆ} \end{cases} \quad (2.45)$$



รูปที่ 2.23 ตัวกรองแบบสามเหลี่ยม

2.8.2 ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter)

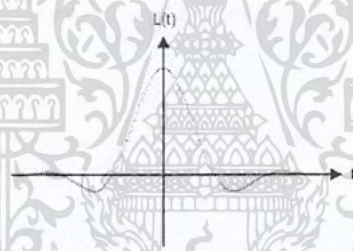
เกาส์เซียนเป็นตัวกรองแบบสามเหลี่ยม (Triangle Filter) ชนิดหนึ่งที่มีความเรียบกว่าตัวกรองแบบสามเหลี่ยม (Triangle Filter) แต่จะใช้เวลาในการทำมากกว่าและคุณภาพที่ได้ค่อนข้างสูง สามารถหาได้จากสมการ 2.46

$$\frac{1}{273} = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 7 & 26 & 41 & 26 & 7 \\ 4 & 16 & 26 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 7 & 4 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.46)$$

2.8.3 ตัวกรองแบบแลนซ์ซอส (Lanczos Filter)

ตัวกรองแลนซ์ซอสเป็นวิธีที่ใช้ในการทำสเกลของรูปเพราะมีค่าความถี่สูง ดังนั้นรูปที่ได้จะมีคุณภาพมาก สามารถหาได้จากสมการ 2.47

$$L(t) = \begin{cases} \sin c(t) * \sin c\left(\frac{t}{a}\right), & -a < t < a \\ 0, \text{ และอื่นๆ} \end{cases} \quad (2.47)$$

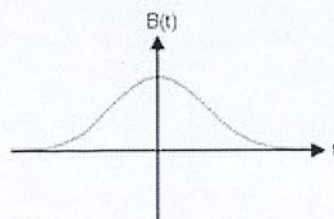


รูปที่ 2.24 ตัวกรองแบบแลนซ์ซอส

2.8.4 ตัวกรองแบบบีสไปไลน์ (B-Spline Filter)

บีสไปไลน์เป็นตัวกรองปรับความเรียบทั่วไป วิธีนี้ให้น้ำหนักที่มากกว่าไปยังตรงกลางขององค์ประกอบ ดังนั้นวิธีนี้จึงมีประโยชน์ที่จะนำไปใช้กับรูปที่มีความโค้งสูงหรือจุดที่สูงที่สุด สามารถหาได้จากสมการ 2.48

$$B(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}t^3 - t^2 + \frac{2}{3}, & |t| < 1 \\ \frac{1}{6} * (2 - t)^3, & 1 < |t| < 2 \end{cases} \quad (2.48)$$



รูปที่ 2.25 ตัวกรองแบบบีสไปไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 รูปร่างของภาพ (Image Shape)

วัตถุที่มีอยู่ตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างที่แตกต่างกันไป ทั้งที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตและไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ในการประมวลผลภาพการกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Image Model) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากทำให้การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ และการแสดงภาพออกทางอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปได้โดยมีประสิทธิภาพ

การเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรอะเรย์ (Array) โดยค่าในแต่ละช่องของอะเรย์แสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ (Pixel) และตำแหน่งของช่องอะเรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ

สมมติให้ภาพเป็นตัวแปรแบบอะเรย์ขนาด $M \times N$ (M แถว และ N คอลัมน์) ที่ใช้เก็บภาพขนาด $M \times N$ จุด (M จุดในแนวนอน และ N จุดในแนวตั้ง) ค่าสี (หรือ ความสว่าง ในกรณีที่เป็นภาพระดับสีเทา) ของจุดภาพในแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 4 จะตรงกับค่าของภาพ จะเห็นว่าใช้ตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนเป็นตัวชี้ค่าข้อมูลในอะเรย์

จากการใช้หน่วยความจำเพื่อเก็บภาพในลักษณะที่กล่าวมานี้ทำให้ในการเก็บภาพสามารถคำนวณได้จาก $M \times N \times g$ เมื่อ g เป็นจำนวนเต็มแทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ ตัวอย่างถ้า g มีค่าเท่ากับ 8 บิต สามารถเก็บความแตกต่างของระดับสีที่เป็นไปสูงสุด 256 ระดับ ค่า M และ N เป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพ สำหรับคอมพิวเตอร์ทั่วไปในระบบ VGA (Video Graphic Array) จะมีขนาด 640×480 , 800×600 และ 1024×768 จุด เป็นต้น การกำหนดความละเอียดขึ้นอยู่กับงานที่ใช้ในงานบางอย่างใช้ความละเอียดแค่ 30×50 จุด ก็พอ แต่ในงานบางชนิดอาจต้องใช้ความละเอียดมากกว่า 1000×1000 จุด

ปกติการเก็บข้อมูลภาพโดยเครื่องมือต่างๆ เก็บตามมาตรฐานของโทรทัศน์ซึ่งมีอัตราส่วน $x : y$ เท่ากับ $4 : 3$ สำหรับเครื่องมือเก็บข้อมูลภาพที่ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน $4 : 3$ เมื่อนำภาพนี้ไปแสดงในจอภาพมาตรฐานทำให้ภาพที่แสดงนั้นมีขนาดของจุดภาพไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่น ในบางระบบอาจใช้ความละเอียดในการแสดงเท่ากับ 640×512 ซึ่งทำให้ขนาดของจุดภาพที่ได้มีขนาดของด้านกว้างมีความยาวมากกว่าด้านสูง ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นหัวข้อที่ต้องสนใจสำหรับการเขียน โปรแกรมทางด้านกราฟิกและการจัดการข้อมูล

จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละจุดภาพขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุดมากขึ้นจะทำให้จำนวนของสีมากขึ้นด้วย เช่น 1 บิต = $2^1=2$ สี 2 บิต = $2^2=4$ สี 4 บิต = $2^4=16$ สี 8 บิต = $2^8=256$ สี และ 16 บิต = $2^{16}=65536$ สี เป็นต้น

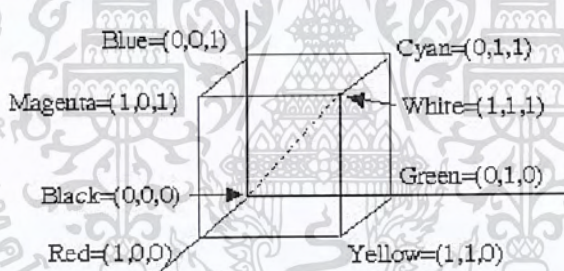
สำหรับการแสดงข้อมูลภาพที่มีขนาด 1 บิตและ 8 บิตมีการทำงานที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากหน่วยประมวลผลไม่สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นบิตเดียวๆ ดังนั้นการแสดงข้อมูลออกทางจอภาพตัวประมวลผลทำการคัดลอกข้อมูลทั้ง 8 บิต (1 ไบต์) ส่งให้กับจอภาพซึ่งในกรณีที่จุดภาพมีขนาด 1 บิต เมื่อตัวประมวลผลทำงานกับบิตแรกที่ต้องการแล้ว จะทำการคัดลอกข้อมูลชุดใหม่ทันทีโดยที่ไม่เกี่ยวกับข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือ ส่วนในกรณีจุด ภาพที่มีขนาด 8 บิต ตัวประมวลผลจะทำการคัดลอกข้อมูลจุดใหม่ก็ต่อเมื่อตัวประมวลผลทำงานกับทุกบิตแล้ว

2.9.1 หลักการใช้สีและแสงในคอมพิวเตอร์

สีเป็นคุณสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งของวัตถุเกิดจากการรับรู้สัญญาณในรูปของคลื่นแสงที่ตกกระทบตามนุษย์และส่งสัญญาณผ่านประสาทตาไปยังสมอง จากนั้นจึงแปลงค่าเป็นค่าสีต่างๆ ในระบบสีมีแบบจำลองสีหลายรูปแบบให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม ซึ่งสีเป็นพื้นฐานสำคัญในการสร้างกราฟิก สีที่ใช้ในงานด้านกราฟิกทั่วไปมี 4 ระบบ คือ

2.9.1.1 ระบบสี แดง เขียว น้ำเงิน (Red Green Blue : RGB) หรือ ระบบสี Additive

ระบบสี Additive คือ ระบบสีที่ได้รับการผสมแสงหลายสีเข้าด้วยกัน ถ้าไม่มีสีปรากฏเลยจะมองเห็นเป็นสีดำ แต่ถ้าทุกสีปรากฏจะเป็นสีขาว ระบบสีนี้ใช้งานกับต้นกำเนิดแสง เช่น แสงที่ออกจากคอมพิวเตอร์ เป็นต้น มี 3 สีที่ใช้ คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) สีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งรวมเรียกว่า ระบบสี RGB แม้สีทั้ง 3 สีนี้จะรวมกันกลายเป็นสีขาวถ้าผสมกันในปริมาณที่เท่าๆ กัน และเมื่อผสมในอัตราส่วนที่ต่างกันจะรวมกลายเป็นสีต่างๆ ซึ่งแต่ละแม่สีจะมีขนาดเป็น 8 บิต ดังนั้นในความลึกของแต่ละจุดภาพมีขนาดเป็น 24 บิต ซึ่งในแต่ละแม่สีจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ดังนั้นสามารถนำมาสร้างสีได้ถึง $256 \times 256 \times 256$ เท่ากับ 16,777,216 สี ระบบสี RGB สามารถนำมาแสดงในระบบพิกัดปริภูมิสี (Color Space) ในแบบลูกบาศก์ได้ แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แบบจำลองสี RGB

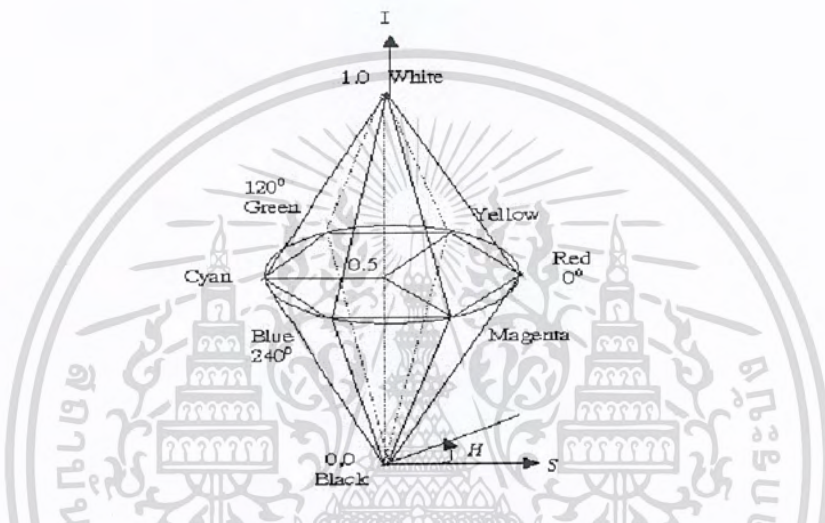
2.9.1.2 ระบบสี ฟ้า ม่วงแดง เหลือง ดำ (Cyan Magenta Yellow Black: CMYB)

ระบบสี CMYB เป็นระบบสีที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ ซึ่งประกอบด้วย สีหลัก 4 สี คือ สีฟ้า (Cyan), สีม่วงแดง (Magenta), สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black) โดยสีแต่ละสีจะได้รับการลบสีต่างๆ ออกไปจากระบบ ดังนั้นหากไม่มีการแสดงสีใดๆ จะแสดงผลเป็นสีขาว ขณะที่มีการแสดงสีทุกสี จะปรากฏเป็นสีดำ แต่ไม่ดำสนิท เนื่องจากหมึกพิมพ์มีความไม่บริสุทธิ์ จึงเป็นการผสมสีแบบลบ (Subtractive)

หลักการเกิดสีของระบบนี้ คือ หมึกสีหนึ่งดูดกลืนแสงจากสีหนึ่งแล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่างๆ เช่น สีฟ้าดูดกลืนแสงของสีม่วงแล้วสะท้อนออกมาเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งสังเกตได้ว่าสีที่สะท้อนออกมาเป็นสีหลักของระบบ RGB การเกิดสีในระบบนี้จึงตรงข้ามกับการเกิดสีในระบบ RGB

2.9.1.3 ระบบสีแบบ HSB

ระบบสีแบบ HSB เป็นระบบสีแบบการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Hue เป็นสีที่สะท้อนออกมาจากวัตถุแล้วเข้าสู่สายตา ซึ่งมักเรียกสีตามชื่อสี เช่น สีเขียว สีเหลือง สีแดง Saturation คือ ความสดของสี โดยค่าความสดของสีเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนด Saturation ที่ 0 สีจะมีความสดน้อย แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสดมาก Brightness คือ ระดับความสว่างของสี โดยค่าความสว่างของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 ความสว่างจะน้อยซึ่งเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสว่างมากที่สุด แบบจำลองสี HSB สามารถนำมาแสดงในระบบพิกัดปริภูมิสีด้วยพิกัดทรงกรวยได้แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แบบจำลองสี HSB

จากรูปที่ 2.27 สามารถอธิบายได้ดังนี้ H ใช้แสดงสี ซึ่งสีต่างๆ ถูกนำมาจัดด้วยการสร้างเป็นวงล้อสีโดยกำหนดค่าสีด้วยค่ามุม ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา โดยที่ $H = 0$ คือ ค่าสีแดง $H = 120$ คือค่าสีเขียว $H = 240$ คือค่าสีน้ำเงิน เป็นต้น S ใช้กำหนดความอิ่มสีเป็นระดับความสดหรือความหมองที่เกิดขึ้นจากการผสมกันระหว่างสีที่อยู่ตรงข้ามในวงล้อสี โดยระดับสีที่สดที่สุดคือสีที่ไม่ถูกนำมาผสมเลย $S = 1$ และระดับสีที่หมองที่สุดคือสีที่ผสมกันในอัตราส่วนครึ่งต่อครึ่งระหว่างสีที่อยู่ตรงข้ามกัน ในวงล้อสี $S = 0$ I ใช้กำหนดความมืดหรือความสว่างของสี โดยระดับที่สว่างที่สุดของทุกสีคือสีขาว $I = 1$ และระดับที่มืดที่สุดของทุกสีคือสีดำ $I = 0$

2.9.1.4 ระบบสีแบบ LAB

ระบบสีแบบ LAB เป็นระบบสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ใดๆ (Device independent) โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ L (Luminance) การกำหนดความสว่าง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 จะกลายเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 จะเป็นสีขาว A คือ ค่าของสีที่ไล่จากสีเขียวไปสีแดง และ B คือ ค่าของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปเหลือง

2.10 การสร้างวัตถุ 3 มิติ (3D Modeling)

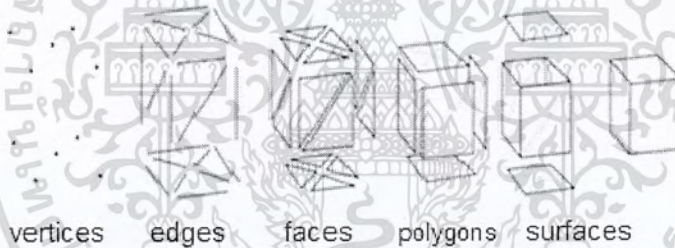
พื้นฐานของรูป 3 มิติ เป็นรูปแบบวัตถุที่เชื่อมโยงกัน (Mesh Object) คือ โครงสร้าง 3 มิติลายเส้น วัตถุ 3 มิติที่ถูกเขียนขึ้นทั้งหมด เกิดจากการประกอบกันของแผ่นสี่เหลี่ยมเล็กๆ หรือแผ่นสามเหลี่ยมเล็กๆ ประกอบกันเป็นวัตถุที่ซับซ้อนมากขึ้น

รูปที่แสดงออกเป็นสามมิติมีความละเอียดมากขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นสี่เหลี่ยม หรือแผ่นสามเหลี่ยม ถ้าต้องการให้รูปที่แสดงออกมามีความโค้งมนความละเอียดมากขึ้น แผ่นสี่เหลี่ยมและแผ่นสามเหลี่ยมที่ประกอบขึ้นต้องมีขนาดเล็กลง แต่มีข้อเสีย คือ มีการคำนวณพื้นผิวในจำนวนมากขึ้น ดังนั้นจึงเสียเวลาในการประมวลผลมาก

2.10.1 การสร้างโครงตาข่าย (Mesh)

โครงตาข่าย (Mesh) คือ แบบจำลอง 3 มิติประเภทหนึ่งซึ่งสร้างขึ้นโดยใช้รูปหลายเหลี่ยม (Polygon) ประกอบขึ้นจากจุดและเส้น สามารถทำการปรับค่าความละเอียดของโครงตาข่ายเพื่อให้รายละเอียดของแบบจำลองมีความสมบูรณ์และใกล้เคียงกับวัตถุจริงมากยิ่งขึ้น

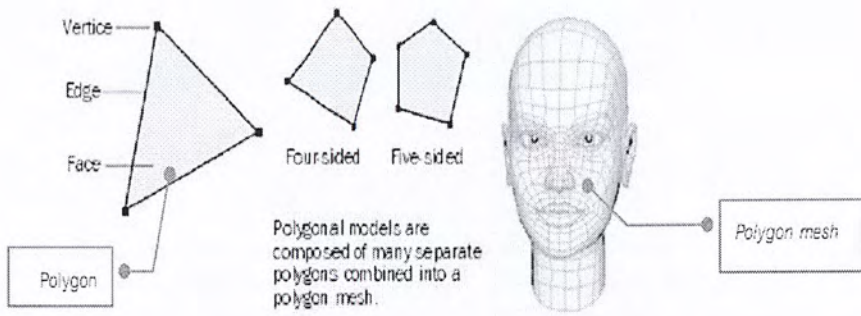
วัตถุที่สร้างด้วยโครงตาข่ายรูปเหลี่ยมต่างๆ จะต้องทำการเก็บประเภทขององค์ประกอบเหล่านี้ คือ จุดยอด (Vertices) ขอบ (Edges) ผิวหน้า (Faces) และพื้นผิว (Surfaces)



รูปที่ 2.28 แบบจำลององค์ประกอบโครงตาข่าย

2.10.2 โครงตาข่ายรูปหลายเหลี่ยม (Polygon Mesh)

รูปหลายเหลี่ยม (Polygon) คือ แผ่นขอบเรียบที่มี 3 ด้านขึ้นไป และเป็นแผ่นที่เกิดจากการลากเส้นตรงเชื่อมจุดแบบ 3 มิติเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดพื้นที่ด้านในขึ้น จุด เส้น และผิวหน้า ถือว่าเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของรูปหลายเหลี่ยมที่จะใช้เลือกเพื่อการทำงานขั้นตอนการสร้างรูปสามมิติ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่าย มีการใช้งานมาก ข้อได้เปรียบของแบบจำลองโครงตาข่าย คือ ความง่ายในโครงสร้าง ดังนั้นจึงไม่ต้องการหน่วยความจำมาก แต่ผู้ใช้งานต้องใช้เวลามากในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้ความซับซ้อนของรูปร่างวัตถุทำให้การแสดงผลแบบจำลองโครงตาข่ายไม่สามารถแสดงรายละเอียดได้ชัดเจนและทำให้เกิดความสับสนในการมองรูปร่างของวัตถุได้

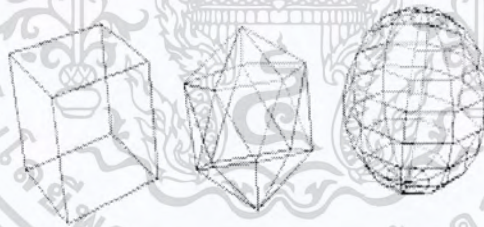


รูปที่ 2.29 ลักษณะรูปหลายเหลี่ยม

2.10.3 แบบจำลองโครงลวด (Wire Frame Model)

โครงลวด (Wire Frame) หรือ แบบจำลองโครงลวด (Wire Frame Model) เป็นลักษณะการแสดงผลของแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุ หรือสิ่งของที่สร้างในคอมพิวเตอร์โดยการแสดงเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ซึ่งเป็นเส้นของขอบวัตถุที่เกิดจากคำนวณทางคณิตศาสตร์ของพื้นผิวที่ไม่ต่อเนื่องของวัตถุ

การใช้งานแบบจำลองโครงลวดนอกจากช่วยให้มองเห็นสิ่งที่อยู่ภายในวัตถุ 3 มิติแล้ว การแสดงผลแบบนี้จะแสดงผลได้เร็วกว่าการแสดงผลแบบจำลอง 3 มิติทั่วไป นิยมใช้ในโครงสร้างวัตถุสามมิติที่ซับซ้อน เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยน ตรวจสอบ และแก้ไขได้ง่ายและสะดวกกว่า โดยเมื่อสร้างและแก้ไขเสร็จแล้ว แบบจำลอง 3 มิติจะถูกนำไปสร้างเป็นแบบจำลองเสมือนจริงผ่านกระบวนการให้แสงและเงา



รูปที่ 2.30 รูปแบบจำลองโครงลวด

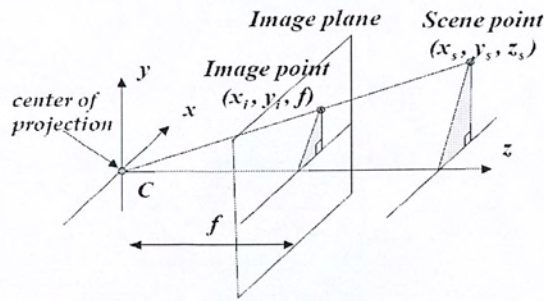
2.11 เรขาคณิตสำหรับการเห็นใน 3 มิติ (Geometry for 3D Vision)

2.11.1 การเกิดภาพในกรณีที่พิกัดโลกซ้อนทับพิกัดกล้อง

ในระบบภาพ 2 มิติส่วนใหญ่ได้มาจากการมองวัตถุ 3 มิติผ่านเลนส์ของตา หรือเลนส์ของกล้อง ขบวนการเกิดภาพสามารถถูกจำลองได้เป็นการโปรเจกชันแบบเพอร์สเปกทีฟ (Perspective Projection) แทนแกนระบบพิกัดโลก (World Coordinate System) ด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ (X, Y, Z) และแทนแกนของระบบพิกัดของกล้องด้วยตัวอักษรตัวเล็ก (x, y, z) ในกรณีนี้สมมุติให้พิกัดของโลกซ้อนทับกับระบบพิกัดของกล้อง แสงจากวัตถุ 3 มิติส่องผ่านศูนย์กลางการโปรเจกชันแล้วโปรเจกต์ลงบนระนาบของภาพ (Image Plane) ที่เป็น 2 มิติ โดยให้จุด (x_p, y_p, z_p) แทนจุดบนพิกัดของวัตถุ 3 มิติและให้ (x_i, y_i) แทนจุดของวัตถุที่ถูกฉายลงในระนาบของภาพ โดยระนาบของภาพจะอยู่ห่างไปทางขวาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 28 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดกำเนิดของพิกัดของกล้องเป็นระยะเท่ากับ f ซึ่ง f คือ ความยาวโฟกัสที่เกิดจากผลของเลนส์กล้อง



รูปที่ 2.31 แบบจำลองของระบบสร้างภาพของกล้อง

จากรูปที่ 2.3.1 โดยการใช้กฎสามเหลี่ยมคล้ายจะได้ว่า

$$\frac{x_i}{f} = \frac{x_s}{z_s} \tag{2.49}$$

$$\frac{y_i}{f} = \frac{y_s}{z_s} \tag{2.50}$$

นำค่า f คูณในสมการ 2.49 และสมการ 2.50 จะได้

$$x_i = \frac{fx_s}{z_s} \tag{2.51}$$

$$y_i = \frac{fy_s}{z_s} \tag{2.52}$$

ดังนั้นจุดที่ถูกโปรเจกต์ลงบนระนาบภาพ (x, y) จะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นกับจุดของวัตถุ 3 มิติ (x_s, y_s, z_s) จากความสัมพันธ์นี้สามารถทำให้มองเห็นได้ง่ายโดยการใช้ระบบพิกัดแบบโฮโมจีเนียส (Homogeneous Coordinate) กำหนดให้

$$v = \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} \tag{2.53}$$

ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยจุดพิกัดของวัตถุ โดยที่เวกเตอร์ในระบบพิกัดแบบโฮโมจีเนียส \tilde{v} ของ v คือ

$$\tilde{v} = \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.54}$$

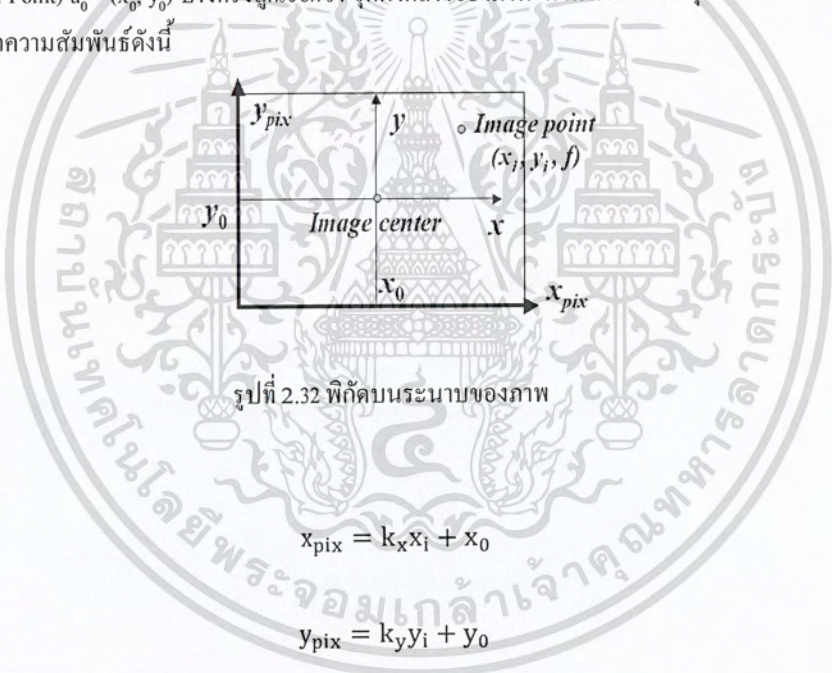
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.51 และสมการ 2.52 พิจารณาเป็นเมทริกซ์ของการแปลงแบบเพอสเปกทีฟ (Perspective Transformation) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดโลกกับระบบพิกัดของกล้องได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f/z_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f/z_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

2.11.2 การแปลงจากหน่วยความยาวเป็นพิกเซล (Pixel)

การแปลงหน่วยความยาวเป็นพิกเซล (Pixel) เริ่มจากการกำหนดให้พิกัดของภาพมีจุดกำเนิดอยู่ที่มุมล่างซ้าย การแปลงจากความยาวเป็นพิกเซลจำเป็นต้องรู้ค่าการปรับสเกล (Aspect Ratio) ของแต่ละแกนของระบบพิกัดภาพ ค่าการปรับสเกลเป็นค่าที่ระบุจำนวนพิกเซลต่อหนึ่งหน่วยความยาว ในระบบภาพบางระบบพิกเซลในแถวถัดไปอาจเกิดการเอียงกัน จึงจำเป็นต้องรู้ค่าที่เรียกว่า พารามิเตอร์ของการเอียง (Skew Parameter) นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องรู้จุดหลัก (Principal Point) $u_0 = (x_0, y_0)$ บางครั้งถูกเรียกว่า จุดกึ่งกลางของภาพ ดังนั้นพิกัดของจุดในหน่วยพิกเซลของภาพ (x_p, y_p, f) หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 2.32 พิกัดบนระนาบของภาพ

จะได้

$$x_{pix} = k_x x_i + x_0 \quad (2.56)$$

$$y_{pix} = k_y y_i + y_0 \quad (2.57)$$

จากสมการ 2.56 และสมการ 2.57 จะได้

$$x_{pix} = k_x f \frac{x_s}{z_s} + x_0 \quad (2.58)$$

$$y_{pix} = k_y f \frac{y_s}{z_s} + y_0 \quad (2.59)$$

โดยที่ k_x คือ ค่าการปรับสเกลในทิศทางแกน x

k_y คือ ค่าการปรับสเกลในทิศทางแกน y

และ s คือ ค่าพารามิเตอร์ของการเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 2.58 และสมการ 2.59 สามารถทำให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.60)$$

โดยที่ $\alpha_x = k_x f$ คือ ค่าความยาวโฟกัสในทิศทางแกน x ในหน่วยของพิกเซล

และ $\alpha_y = k_y f$ คือ ค่าความยาวโฟกัสในทิศทางแกน y ในหน่วยของพิกเซล

จากสมการ 2.65 สามารถจัดรูปแบบใหม่ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} \alpha_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_x & 0 & u_0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = K[I_3|O_3] \quad (2.61)$$

โดยเมทริกซ์ K มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมข้างบน (Upper Triangle) ขนาด 3×3 เรียกว่า เมทริกซ์การปรับเทียบ (Calibration Matrix) เป็นเมทริกซ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ภายใน (Internal Parameter or Intrinsic Parameter) ที่สำคัญของกล้อง

2.11.3 กรณีที่พิกัดของโลกไม่ซ้อนทับพิกัดของกล้อง

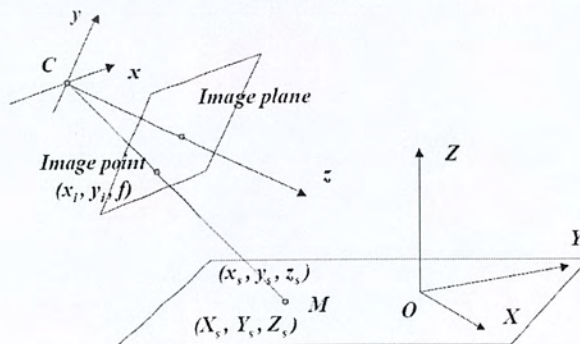
ในกรณีที่พิกัดของโลกไม่ซ้อนทับพิกัดของกล้องนั้นพิจารณาจากรูปที่ 2.33 จุดกึ่งกลางของการโปรเจกชันของกล้องดูควาวไว้ที่จุดกึ่งกลางของระบบพิกัดอ้างอิงของโลก ไม่มีการส่ายหรือเอียงท่ามกลางแกนอ้างอิง ในกรณีนี้แบบจำลองการเกิดภาพ (Imaging Model) คือ

$$x = M_i X \quad (2.62)$$

โดยที่ x คือ เวกเตอร์ของจุดบนวัตถุในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

X คือ เวกเตอร์ของจุดบนระนาบภาพในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

และ M_i คือ เมทริกซ์การโปรเจกชันของกล้องที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ภายในของกล้อง



รูปที่ 2.33 แบบจำลองการสร้างภาพกรณีพิกัดของโลกไม่ซ้อนทับกับพิกัดของกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่การเกิดภาพที่จุดกึ่งกลางของการโปรเจกชันของกล้องไม่ได้อยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดกึ่งกลางของระบบพิกัดอ้างอิงของโลก กล่าวคือ ระบบพิกัดโลกเกิดมุมซ้าย (Pan) และเอียง (Tilt) รวมทั้งระยะห่างของระนาบของกล้องและระนาบของพิกัดโลก ดังนั้นจึงทำให้เกิดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการหมุนและการย้ายจุดอ้างอิง โดยพารามิเตอร์นี้เป็นพารามิเตอร์ภายนอกของกล้อง (External Parameter or Extrinsic Parameter) ที่ประกอบด้วยเมทริกซ์การหมุนและเวกเตอร์การย้ายที่อ้างอิงกับระบบพิกัด คือ

$$M_e = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & T_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & T_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & T_z \end{bmatrix} \quad (2.63)$$

ดังนั้นแบบจำลองการเกิดภาพ (Imaging Model) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$x = PX \quad (2.64)$$

โดยที่ $P = M_e M_c$ คือ Camera Projection Matrix ที่รวมทั้งพารามิเตอร์ภายในและภายนอกของกล้องซึ่งเมทริกซ์ M สามารถกระจายได้ดังนี้

$$P = X \begin{bmatrix} I_3 & O_3 \\ O_3^T & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & -T \\ & I \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

นำสมการ 2.64 แทนในสมการ 2.65 จะได้ว่า

$$x = K \begin{bmatrix} I_3 & O_3 \\ O_3^T & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & -T \\ & I \end{bmatrix} X \quad (2.66)$$

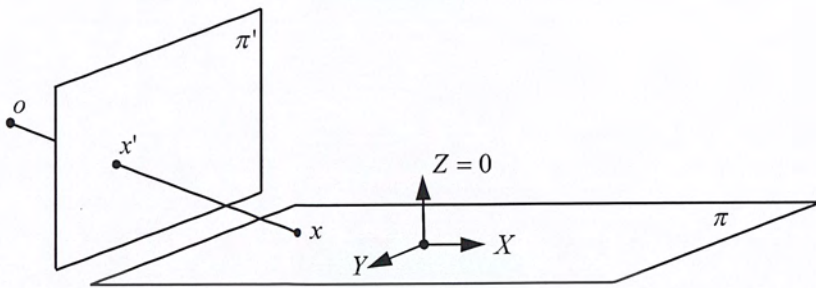
จัดให้อยู่ในรูปแบบเมทริกซ์โฮโมจีเนียสได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.67)$$

ซึ่งเมทริกซ์ P เป็นเมทริกซ์การแปลงของกล้องมีขนาด 3×4 ที่รวมทั้งพารามิเตอร์ภายในและพารามิเตอร์ภายนอกเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นการแปลงภาพของวัตถุต่างๆ จากระนาบ 3 มิติมายังระนาบของกล้องที่เป็นระนาบ 2 มิติ ดังนั้นหากเป็นการแปลงจากระนาบ 2 มิติ มายังระนาบของกล้อง 2 มิติ ซึ่งก็คือ $Z = 0$ และจากเมทริกซ์การแปลงของกล้องมีขนาด 3×4 สามารถเขียนได้ใหม่เป็นเมทริกซ์การแปลงขนาด 3×3

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.68)$$

โดยจะเป็นการแปลงแบบโปรเจกทีฟของระนาบ (Plane Projective Transformations)



รูปที่ 2.34 การแปลงแบบโปรเจกทีฟของระนาบ 2 มิติของกล้อง

2.11.4 การแปลงภาพจากระนาบ 2 มิติมายังระนาบ 3 มิติ

การแปลงภาพของวัตถุต่างๆจากระนาบ 2 มิติมายังระนาบของกล้องที่เป็นระนาบ 3 มิติ โดยการหาจุดพิกัดบนระนาบเป็นการหาพิกัดของจุด X บนระนาบที่ตัดกับเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างจุดโฟกัสกับจุดบนภาพถ่าย แสดงสมการที่ใช้ดังนี้

$$N \cdot (X - Y) = 0 \tag{2.69}$$

$$N \cdot X = N \cdot Y \tag{2.70}$$

เนื่องจาก X อยู่บนเส้นตรงที่เชื่อมระหว่าง F กับ P ดังนั้น

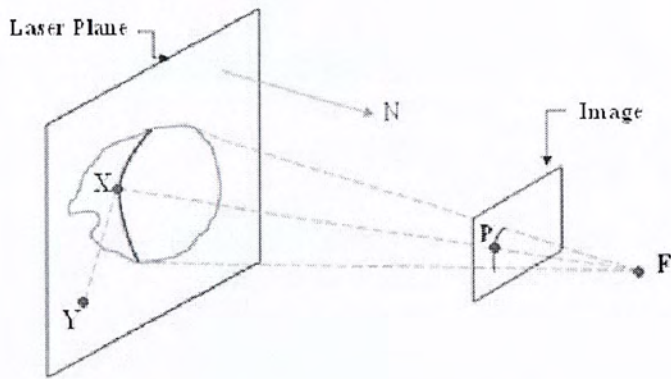
$$X = F + u(P - F) \tag{2.71}$$

แทนสมการ 2.71 ในสมการ 2.70 จะได้

$$N \cdot (F + u(P - F)) = N \cdot Y \tag{2.72}$$

$$u = \frac{N \cdot (Y - F)}{N \cdot (P - F)} \tag{2.73}$$

จากนั้นแทนค่า u เพื่อหา X



รูปที่ 2.35 การแปลงภาพของวัตถุจากระนาบ 3 มิติมายังระนาบของกล้องที่เป็นระนาบ 2 มิติ

โดยที่ F คือ ตำแหน่งของจุดโฟกัส

P คือ ตำแหน่งภาพบนพิกัด 2 มิติ

Y คือ ตำแหน่งของจุดที่รู้พิกัดบนระนาบที่เส้น laser ตัดผ่าน

N คือ normal vector ของระนาบที่เส้น laser ตัดผ่าน

2.11.5 การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration)

การปรับเทียบกล้องเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงของกล้อง จากการรับภาพเข้ามาประมวลผล โดยที่พารามิเตอร์จะมีทั้งหมด 2 แบบ คือ Intrinsic Parameter ได้แก่ ระยะโฟกัส ขนาดของแต่ละพิกเซล (Pixel) ในการรับภาพ และจุดกึ่งกลางภาพ และ Extrinsic Parameter ได้แก่ ตำแหน่งและการหมุนของวัตถุ

การปรับเทียบกล้องจะทำการประมาณหาค่าเมทริกซ์ M จากจุดในฉาก 3 มิติที่รู้ตำแหน่งและภาพที่เกิดขึ้นของจุด โดยทำการถ่ายภาพแผ่นตารางที่มีลักษณะเหมือนกับตารางหมากรุก ซึ่งทราบระยะจุดตัดของตาราง จากนั้นถ่ายภาพวัตถุที่ถูกสแกนซึ่งอยู่บนแผ่นตาราง แล้วนำข้อมูลภาพที่ทราบตำแหน่งของจุดตัดบนแผ่นตารางมาประมวลผลทางคณิตศาสตร์ จะทำให้ได้ค่า Intrinsic และ Extrinsic Parameter และได้ตำแหน่งจุดตัดของแผ่นตารางบนรูปภาพที่กล้องรับมาได้ แล้วนำมาเทียบกับรูปภาพที่ได้จริง

ในการหาเมทริกซ์ M ทำการจุดในฉากที่ทราบพิกัด $X = [x, y, z]^T$ และจุดในภาพ 2 มิติที่สอดคล้องกัน $[u, v]^T$ ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} \alpha u \\ \alpha v \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.74)$$

$$\begin{bmatrix} \alpha u \\ \alpha v \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \\ m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z + m_{24} \\ m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34} \end{bmatrix} \quad (2.75)$$

ทำการนอร์มอลไลซ์ให้สมาชิกที่ 3 เป็น 1 จะได้สมการเป็น

$$u(m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34}) = m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \quad (2.76)$$

$$v(m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34}) = m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \quad (2.77)$$

ดังนั้นจะได้สมการเชิงเส้น 2 สมการสำหรับจุดในฉาก 3 มิติหนึ่งจุดและจุดในภาพ 2 มิติที่สอดคล้องกัน
ทำการเขียนสมการ 2.77 ใหม่ในรูปของเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy & -uz & -u \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -vx & -vy & -vz & -v \\ & & & & & & & & & & & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ \vdots \\ m_{34} \end{bmatrix} = 0 \quad (2.78)$$

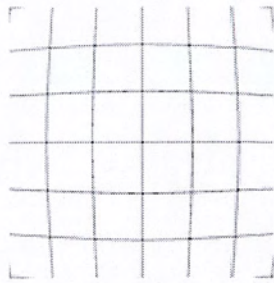
จากสมการจะเห็นว่ามิตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 11 ตัวแปร แทนที่จะเป็น 12 ตัวแปรเนื่องจากแฟกเตอร์การย่อและการขยายภาพที่ไม่สามารถทราบค่าได้ ในการแก้สมการโฮโมจีเนียสจึงต้องใช้อย่างน้อย 6 จุด ถ้ามีมากกว่า 6 จุดจะได้สมการ Over-Determined ซึ่งสามารถแก้ได้โดยใช้วิธี Least Square หรือใช้การหา Singular Value Decomposition (SVD) ของ A เมทริกซ์ M คือ แถวสุดท้ายของ V เมื่อได้เมทริกซ์ M แล้วขั้นตอนต่อไปทำการแยกพารามิเตอร์ภายใน (Intrinsic Parameter) เนื่องจาก

$$M = [KR|-KRT] = [A|B] \quad (2.79)$$

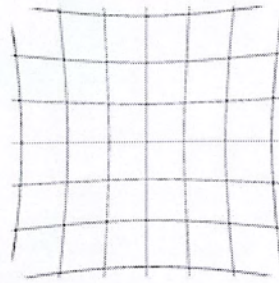
ดังนั้นเมทริกซ์ย่อย 3x3 แทนด้วย A เวกเตอร์คอลัมน์ขวามือสุดแทนด้วย b เวกเตอร์ที่มีพารามิเตอร์ระยะเคลื่อนที่สามารถแยกออกมาได้ง่ายโดย $t = -A^{-1}b$ เวกเตอร์ t ให้ข้อมูลที่บอกถึงตำแหน่งกึ่งกลางของ Image Plan จากนั้นพิจารณา $A = KR$ โดยที่ K เป็นเมทริกซ์สามเหลี่ยมบน (Upper Triangle) และเมทริกซ์ R เป็นเมทริกซ์อโรทอนอล การแยกเมทริกซ์ K และ R สามารถทำได้โดยใช้เทคนิค QR Decomposition

2.11.6 การปรับเทียบการบิดเบือนของเลนส์ (Lens Distortion Calibration)

ปัญหาการบิดเบือนของภาพมักจะเกิดกับภาพที่ใช้เลนส์มุมกว้าง โดยการบิดเบือนของภาพจะมีลักษณะคือ ออกเป็นทรงกลม (Barrel Distortion) ส่วนเลนส์เทเลหรือเลนส์ระยะไกล จะมีการบิดเบือนของภาพในลักษณะที่ตรงข้ามกัน คือ จะมีการห่อตัวของภาพ (Pincushion Distortion) แสดงดังรูปที่ 2.36

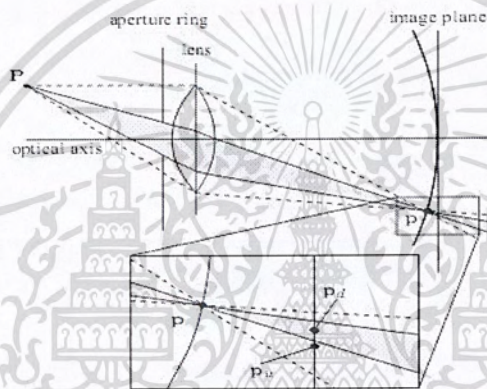


2.36 (a) แบบทรงกลม



2.36 (b) แบบห่อตัวของภาพ

รูปที่ 2.36 การบิดเบือนของภาพ



รูปที่ 2.37 ที่มาของการบิดเบือนรัศมีเลนส์

ฟังก์ชันการบิดเบือนรัศมีผกผัน $f(r_d)$ จะสามารถประมาณการและหาค่าตัวแปรได้โดยใช้สมการการขยายตัวเทย์เลอร์

$$r_u = f(r_d) = r_d + r_d \sum_{i=0}^{\infty} k_i r_d^{i-1} \quad (2.80)$$

$$r_u = \sqrt{x_u^2 + y_u^2} \quad (2.81)$$

$$r_d = \sqrt{x_d^2 + y_d^2} \quad (2.82)$$

จะได้สมการตามนี้

$$x_u = x_d + x_d \sum_{i=0}^{\infty} k_i r_d^{i-1} \quad (2.83)$$

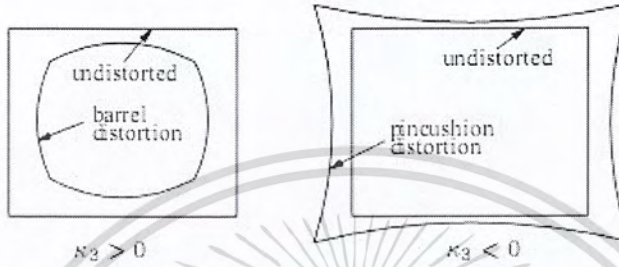
$$y_u = y_d + y_d \sum_{i=0}^{\infty} k_i r_d^{i-1} \quad (2.84)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถลดความซับซ้อนของสมการ 2.83 และสมการ 2.84 ได้ดังนี้

$$x_u = x_d + x_d(k_3 r_d^2 + k_5 r_d^4) \quad (2.85)$$

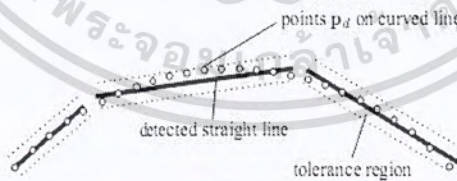
$$y_u = y_d + y_d(k_3 r_d^2 + k_5 r_d^4) \quad (2.86)$$



รูปที่ 2.38 ตัวแปร K_3 ที่มีอิทธิพลโดดเด่นในประเภทการบิดเบือนของรัศมีเลนส์หาก $k_3 > 0$ เป็นการบิดเบือนทรงกลมและถ้า $k_3 < 0$ เป็นการบิดเบือนแบบห่อตัวของภาพ

เนื่องจากรัศมีเลนส์เกิดการบิดเบือนขึ้นสามารถทำการสอบเทียบโดยใช้ขั้นตอนการสอบเทียบ 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การตรวจหาจุดบนส่วนโค้ง (Detection of Points on Curved Line Segment) เป็นวิธีที่อาศัยข้อจำกัดที่เส้นตรงในภาพ 3 มิติ ที่ต้องฉายภาพให้เป็นเส้นตรงในระนาบภาพ 2 มิติ ถ้าจะทำให้รัศมีการบิดเบือนมีความเท่ากัน ดังนั้นรัศมีของเลนส์จึงมีความบิดเบือนที่จุด P บนเส้นตรง ในภาพ 3 มิติที่ฉายความบิดเบือนที่จุด p_d บนเส้นโค้ง เพราะฉะนั้นจึงทำการหาฟังก์ชันการบิดเบือนรัศมีผกผัน $f(r_d)$ ที่จุดทุกจุดของ p_d บนเส้นโค้งที่ไปยังจุด p_d ที่อยู่บนเส้นตรง ดังนั้นในขั้นตอนแรกจุด p_d บนเส้นโค้งนี้จะเป็นจุดที่ตรวจพบการบิดเบือน



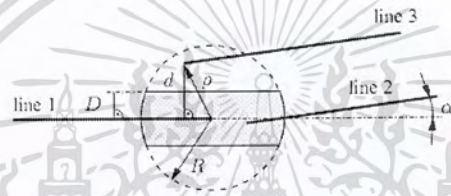
รูปที่ 2.39 การตรวจหาจุด p_d บนส่วนเส้นโค้งด้วยตัวตรวจจับเส้นตรง

ขั้นตอนที่ 2 การเชื่อมโยงของส่วนเส้นโค้ง (Linkage of Curved Line Segments) ฟังก์ชันการบิดเบือนรัศมีผกผัน $f(r_d)$ ทำการประมาณจากเส้นตรงเส้นเดียวเท่านั้น ในขั้นตอนการกำจัดโดยการตรวจสอบค่าความแตกต่างระหว่างเส้นตรงและเส้นโค้ง ถ้าเส้นโค้งสั้นแสดงว่าความแตกต่างนี้มีขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 2.39 และการประมาณค่ามีความไวต่อเสียงที่ดังอย่างมาก ดังนั้นการใช้เส้นตรงยาวเป็นการเพิ่มความทนทานของการประมาณ เพื่อให้เส้นโค้งที่ตรวจพบส่วนเส้นตรงจากขั้นตอนก่อนหน้านั้นต้องมีการเชื่อมโยง ถ้าเกือบมีทิศทางเดียวกันและจุดสุดท้ายใกล้กันก็จะ

ถือว่าส่วนของเส้นตรงสองเส้นนั้นเชื่อมโยงกัน การค้นหาขั้นตอนวิธีการเชื่อมโยงภายในรัศมี R รอบจุดสิ้นสุดของแต่ละจุดสำหรับของแต่ละเส้นตรง แสดงได้ดังรูปที่ 2.40 จุดสิ้นสุดของเส้นตรงที่ 2 และ 3 มีความสมเหตุสมผลกันเพราะระยะทาง ρ ไปยังจุดสิ้นสุดของเส้นตรง 1 มีขนาดเล็กกว่า R จากนั้นจะทำการตรวจสอบเส้นตรง โดยการตรวจสอบด้วยค่าสัมบูรณ์ของมุม α ว่ามีขนาดเล็กกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ในการเชื่อมโยงของเส้นคู่ขนาน สุดท้ายจะดำเนินการตรวจสอบตามความต้องการที่จุดสิ้นสุดของเส้นตรงที่เชื่อมโยง ว่าตั้งฉากกับระยะทาง d ไปยังเส้นตรงอื่นๆ ที่มีขนาดเล็กกว่าเกณฑ์ ดังนั้นจุดสิ้นสุดของเส้นที่เชื่อมโยงสามารถทำให้อยู่ในพื้นที่สี่เหลี่ยมที่แสดงดังรูปที่ 2.40

สุดท้ายทั้งเส้นตรงที่สั้นและเส้นตรงทั้งหมดในทิศทางแนวรัศมีจะถูกเอาออกเพราะมีข้อมูลที่เชื่อถือได้เกี่ยวกับรัศมีการบิดเบือนเลนส์ ผลที่ได้คือชุดของ M ความยาวเส้นโค้ง L_m โดยที่ $m = 1, \dots, M$ ทุกๆ เส้นตรงประกอบ N_m จุดที่บิดเบือน $p_{d,n}$ โดยที่ $n = 1, \dots, N_m$



รูปที่ 2.40 การเชื่อมโยงของเส้นตรงซึ่งแสดงถึงส่วนของเส้นโค้ง การเชื่อมต่อของเส้นตรงที่ 2 และเส้นตรงที่ 1 จุดสิ้นสุดของเส้นตรงที่ 3 ไม่ได้อยู่ในพื้นที่สี่เหลี่ยม ดังนั้นจึงไม่มีการเชื่อมโยง

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบค่าการขจัด (Outlier Elimination) เป็นแนวทางการประเมินประสิทธิภาพเส้นตรงในโลก 3 มิติ ควรจะใช้สำหรับการประมาณค่าของฟังก์ชันการบิดเบือนรัศมีผกผัน $f(r_d)$ ดังนั้นเส้นโค้งในโลก 3 มิติจะต้องถูกตรวจสอบ และตัดออกจากชุดของความยาวเส้นโค้ง

การกำจัดตรวจหาค่านี้ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง Consensus (RANSAC) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับการอนุมัติสำหรับการกำจัดและตรวจหาค่าที่ใช้สำหรับการประยุกต์ในด้านการเห็นภาพในคอมพิวเตอร์ ประโยชน์จากเทคนิคนี้คือ สามารถรับมือกับตัวเลขขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นๆ

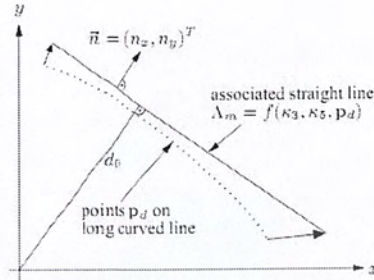
การประยุกต์ใช้ RANSAC เริ่มต้นด้วยการสุ่มเลือกเส้นโค้งที่ขยวมหาหนึ่งอัน (L_m) ออกมาจากชุดฟังก์ชันการบิดเบือนรัศมีผกผัน $f(r_d)$ ที่ประมาณค่าจากเส้นโค้งนี้ ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปเป็นฟังก์ชันแรกสำหรับการประมาณค่าตัวแปร K_3 และ K_5 ของฟังก์ชันการบิดเบือนรัศมีผกผันจากเส้นโค้งยาวที่ได้รับมา

จากสมการ 2.84 และสมการ 2.85 N_m ทั้งหมดจุดที่บิดเบือน $p_{d,n} = (x_{d,n}, y_{d,n})^T$ ของเส้นโค้งที่มีความยาวที่เลือกแมไปยังจุดบิดเบือน $p_{u,n} = (x_{u,n}, y_{u,n})^T$ โดยเป็นไปตามสมการดังนี้

$$x_{u,n} = x_{d,n} + x_{d,n}(k_3 r_{d,n}^2 + k_5 r_{d,n}^4) \tag{2.87}$$

$$y_{u,n} = y_{d,n} + y_{d,n}(k_3 r_{d,n}^2 + k_5 r_{d,n}^4) \tag{2.88}$$

$$\varepsilon_n = \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} x_{u,n} \\ y_{u,n} \end{pmatrix} - d_0 \quad (2.89)$$



รูปที่ 2.41 จุด p_d บนเส้นโค้งถูกแมปบนจุด p_u บนเส้นตรงที่เชื่อมโยง Λ_m ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ K_3, K_5 และจุด p_d

วิธี RANSAC เป็นการประมาณตัวแปร K_3 ที่เกิดขึ้นจริงและ K_5 จากเส้นโค้ง L_m ที่สุ่มเลือกออกจากชุด จากนั้นก็จะพยายามที่จะหาค่าความบิดเบือนของรัศมีกับตัวแปรที่เกิดขึ้นจริงเหล่านี้ และประเมินร้อยละของค่าผิดปกติ เส้นตรง L_m ถือเป็น การตรวจหาค่า ถ้ามีค่ามากกว่าอัตราร้อยละของจุดที่ไม่บิดเบือน $p_{u,n}$ ส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ขนาดใหญ่ที่ δ_{max} จากเส้นตรงที่เกี่ยวข้อง ส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ 2.86 โดยใช้ตัวแปรที่เกิดขึ้นจริง K_3 และ K_5

ขั้นตอนที่ 4 การประมาณค่าพารามิเตอร์สุดท้ายของฟังก์ชันการบิดเบือนผกผันรัศมี (Final Parameter Estimation of The Inverse Radial Distortion Function) การประมาณค่าตัวแปรสุดท้ายของฟังก์ชันการบิดเบือนรัศมี ผกผัน $f(r_d)$ ช่วยลดความยาวของฟังก์ชันลง โดยเป็นดังสมการนี้

$$\sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^{N_m} (\varepsilon_n)^2 \rightarrow \min \quad (2.90)$$

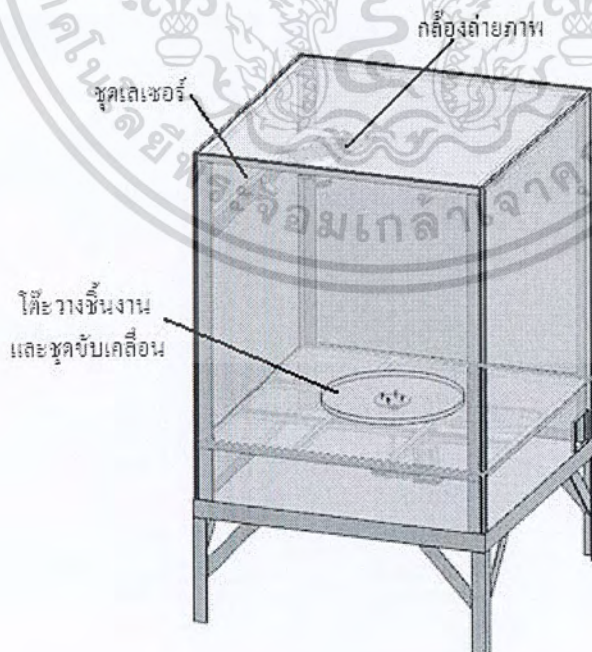
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการดำเนินงานขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ โดยเริ่มจากการออกแบบเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010 และดำเนินการสร้างเครื่องในส่วนต่างๆ จากนั้นทำการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง รวมทั้งการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการสั่งให้เครื่องทำงาน และคอมพิวเตอร์ซึ่งประมวลผลที่ได้จากการสแกนวัตถุ ซึ่งรายละเอียดการดำเนินการต่างๆ มีดังต่อไปนี้

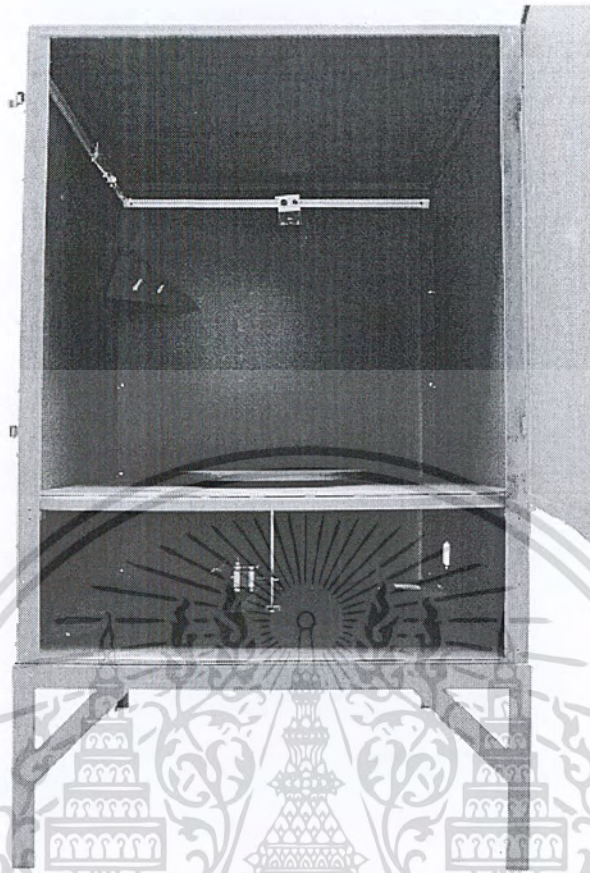
3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware)

ในการออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) เป็นการออกแบบโครงสร้างของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ประกอบไปด้วยโต๊ะวางชิ้นงาน ชุดเลเซอร์ กล้องถ่ายภาพ เป็นต้น จากการศึกษาหลักการทํางานทั้งหมดของการสแกนวัตถุทำให้ออกแบบโครงสร้างของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ได้แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นรูปโครงสร้างของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์จากการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010 และรูปที่ 3.2 เป็นรูปโครงสร้างของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ที่ได้จากการสร้างจริง



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 ส่วนชุดขับเคลื่อนและโต๊ะวางชิ้นงาน

ส่วนชุดขับเคลื่อนโต๊ะวางชิ้นงานเป็นส่วนที่ทำให้โต๊ะวางชิ้นงานหมุน โดยผู้ใช้งานป้อนคำสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วจึงส่งกำลังขับเคลื่อนจากเพลาไปยังโต๊ะวางชิ้นงาน ส่วนชุดขับเคลื่อนโต๊ะวางชิ้นงานประกอบด้วยโต๊ะวางชิ้นงานมีลักษณะพื้นหน้าตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร ทำจากอะคริลิกพันด้วยสีดำด้าน หมุนได้ครบ 360 องศา เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รองรับชิ้นทดสอบที่นำมาสแกน ซึ่งออกแบบให้สามารถรองรับน้ำหนักของชิ้นงานได้ไม่เกิน 1 กิโลกรัม ขนาดของชิ้นงานมีความสูง ความกว้างและความยาวไม่เกิน 25 เซนติเมตร งานหมุนโต๊ะกลมซึ่งเป็นตัวประกอบให้โต๊ะวางชิ้นงานมีความสมดุล ตลับลูกปืน (Bearing) ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลม (Thrust Bearing) ซึ่งใช้รองรับภาระในแนวแกนของเพลาที่หมุน เพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร แหวนล็อกเพลา และสตีปมอเตอร์ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองดอกจอกที่มีอัตราทด 1:2 เพื่อทำการแบ่งมุมที่สแกนได้ละเอียดสูงสุด 800 ครั้ง โดยแต่ละครั้งมีความละเอียดของมุมเท่ากับ 0.45 องศา ทำให้แบบจำลอง 3 มิติที่ได้เสมือนกับวัตถุจริงมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4

ในการเลือกขนาดหรือสเปก (Spec) ของสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้จำเป็นต้องมีการคำนวณหาค่าแรงบิด (Torque) เพื่อใช้ขับเคลื่อนโตะวางชิ้นงาน โดยมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาขนาดมุมของโตะวางชิ้นงานที่สเต็ปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปใน 1 สเต็ป จากสเต็ปมอเตอร์ที่มีมุมในการหมุน 1.8 องศาต่อ 1 สเต็ป โดยทำการแปลงหน่วย องศา ให้เป็น เรเดียน ดังนี้

$$1.8 \text{ องศาต่อ } 1 \text{ สเต็ป} = \frac{1.8 \times \pi}{180} = 0.0314 \text{ เรเดียน}$$

เนื่องจากอัตราทดของเฟืองดอกจอกที่ใช้มีอัตราทด 1:2 ฉะนั้นขนาดมุมของโตะวางชิ้นงานที่สเต็ปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปใน 1 สเต็ป มีดังนี้

$$\text{ขนาดมุมของโตะวางชิ้นงาน} = \frac{0.0314}{2} = 0.0157 \text{ เรเดียน}$$

ขั้นตอนที่ 2 หามวลของโตะวางชิ้นงาน ซึ่งเป็นแผ่นอะคริลิก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตรหนา 1 เซนติเมตร

จากสูตร

$$m = \rho V \tag{3.1}$$

$$m = \rho(\pi r^2 h) \tag{3.2}$$

$$= (1.17 \times 10^3) \times (\pi \times 0.2^2 \times 0.01)$$

$$= 1.4702 \text{ กิโลกรัม}$$

โดยที่ m คือ มวลของโตะวางชิ้นงาน หน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

ρ คือ ความหนาแน่นของแผ่นอะคริลิก 1.17 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

r คือ รัศมีของโตะวางชิ้นงาน หน่วยเป็นเมตร (m)

h คือ ความสูงหรือความหนาของโตะวางชิ้นงาน หน่วยเป็นเมตร (m)

ขั้นตอนที่ 3 หาโมเมนต์รวมทั้งหมด โดยการคำนวณโมเมนต์ของโตะวางชิ้นงานซึ่งเป็นรูปทรงจานกลม (Solid Cylinder หรือ Disk)

จากสูตร

$$I = \frac{1}{2} m r^2 \tag{3.3}$$

โดยที่ I คือ โมเมนต์ หน่วยเป็นกิโลกรัม.เมตร² (kg.m²)

m คือ มวลของโตะวางชิ้นงาน หน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

r คือ รัศมีของโตะวางชิ้นงาน หน่วยเป็นเมตร (m)

จะได้

$$I = \frac{1}{2} \times 1.4702 \times 0.2^2$$

$$= 0.0294 \text{ กิโลกรัม.เมตร}^2$$

จากนั้นคำนวณโมเมนต์ของวัตถุซึ่งคำนวณจากโมเมนต์ของวัตถุที่มีค่าสูงสุด เนื่องจากวัตถุที่นำมาสแกนมีหลายลักษณะรูปร่างด้วยกันยกตัวอย่างเช่น ทรงกลม ทรงกระบอก ทรงลูกบาศก์ แผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า วงแหวน กรวย พีระมิด เป็นต้น และจากการคำนวณค่าโมเมนต์ของวัตถุในรูปร่างต่างๆ ข้างต้น พบว่าวัตถุทรง กระบอกมีค่ามากที่สุด คือ 0.00911 กิโลกรัม.เมตร² จึงเลือกค่านี้มาใช้ในการคำนวณหาโมเมนต์รวมทั้งหมด ดังนี้

$$I_{\text{รวม}} = I_{\text{โต๊ะวางชิ้นงาน}} + I_{\text{วัตถุ}} \quad (3.4)$$

จะได้

$$I_{\text{รวม}} = 0.0294 + 0.00911$$

$$= 0.0385 \text{ กิโลกรัม.เมตร}^2$$

ขั้นตอนที่ 4 หาความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงมุมของโต๊ะวางชิ้นงาน

จากสูตร

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{2\pi}{t}$$

(3.5)

โดยที่ ω คือ ความเร็วเชิงมุม หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (rad/s)

t คือ เวลาที่โต๊ะวางชิ้นงานหมุน 1 รอบ หน่วยเป็นวินาที (s)

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0)$$

(3.6)

โดยที่ ω_0 คือ ความเร็วเชิงมุม หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (rad/s)

α คือ ความเร่งเชิงมุม หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที² (rad/s²)

θ คือ มุมของโต๊ะวางชิ้นงานที่สแต็ปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปใน 1 สเต็ป หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

จะได้

$$\omega = \frac{2 \times \pi}{40} = 0.1571 \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

แทนค่า ω ในสมการที่ 3.6

$$\omega^2 = 0 + 2\alpha(\theta - 0)$$

$$= 2\alpha\theta$$

ดังนั้น

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\theta} \quad (3.7)$$

$$= \frac{0.1571^2}{2 \times 0.0157}$$

$$= 0.7860 \text{ เรเดียนต่อวินาที}^2$$

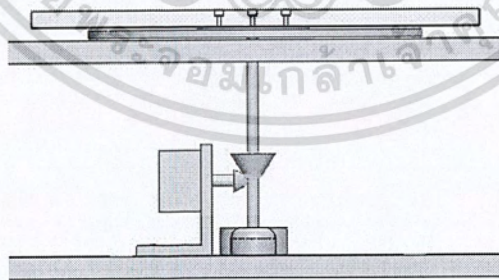
ขั้นตอนที่ 5 หาค่าแรงบิด (Torque) ของสเต็ปมอเตอร์ แต่เนื่องจาก $\alpha_{\text{โต๊ะ}} = \alpha_{\text{เพลลา}}$ ดังนั้น

$$\tau_{\text{โต๊ะ}} = I\alpha_{\text{โต๊ะ}} \quad (3.8)$$

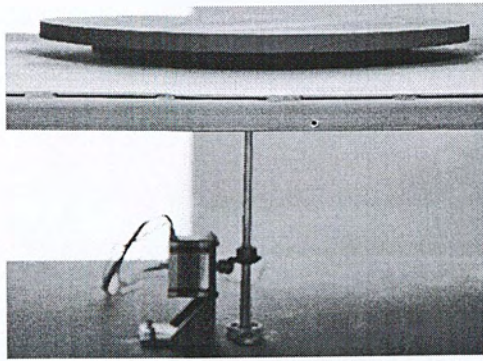
$$= 0.0385 \times 0.7860$$

$$= 0.03026 \text{ กิโลกรัม.เมตร}^2$$

จากการคำนวณจะได้ค่าแรงบิดของสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ คือ 0.03026 กิโลกรัม.เมตร² หรือคิดเป็น 29.6749 นิวตัน.เซนติเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้สเต็ปมอเตอร์ที่มีค่าแรงบิดเท่ากับ 85 นิวตัน.เซนติเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงบิดที่คำนวณได้ เนื่องจากไม่ต้องการให้สเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ทำงานหนักมากเกินไป จึงมีการเผื่อค่าแรงบิดไว้ ซึ่งสเต็ปมอเตอร์ที่เลือกใช้ คือ สเต็ปมอเตอร์ ยี่ห้อ SANYO DENKI เป็นสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ 6 สาย 4 เฟส กระแสไฟฟ้าตรง 2 แอมแปร์ ซึ่งเพียงพอต่อการควบคุมการขับเคลื่อนของโต๊ะวางชิ้นงาน



รูปที่ 3.3 ชุดขับเคลื่อนโต๊ะหมุนวัตถุชิ้นงานที่ออกแบบ



รูปที่ 3.4 โต้ะวางชิ้นงานและชุดขับเคลื่อนที่สร้างขึ้น

3.1.2 ส่วนสแกนวัตถุ

ส่วนสแกนวัตถุประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพและชุดเลเซอร์ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะทำงานสัมพันธ์กันตลอดในช่วงเวลาที่เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ทำงาน

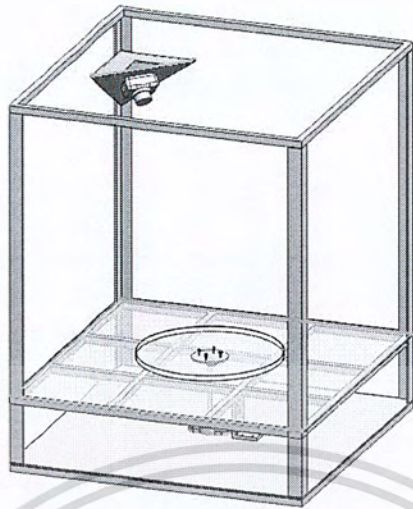
3.1.2.1 กล้องถ่ายภาพ

กล้องถ่ายภาพที่ใช้มีความละเอียด 6 เมกะพิกเซล หรือ 6 ล้านพิกเซล ซึ่งสามารถสแกนวัตถุได้ละเอียดถึง 0.125 มิลลิเมตร แสดงดังสมการที่ 3.1 ส่วนตัวกล้องถ่ายภาพจะถูกยึดบน โครงเหล็กที่เอียงทำมุม 45 องศาที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นฐานกล้อง และนำฐานกล้องนั้นไปยึดติดกับเสา กล้องถ่ายภาพอยู่สูงจากโต้ะวางชิ้นงาน 50 เซนติเมตร ซึ่งกล้องถ่ายภาพมีหน้าที่ในการถ่ายภาพวัตถุชิ้นงานที่ถูกสแกนด้วยแสงเลเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3.5

$$\frac{\text{Object Height Maximum}}{\text{Image Height}} = \text{Resolution of the object} \quad (3.12)$$

$$\frac{250}{2000} = 0.125 \text{ มิลลิเมตร}$$

โดยที่ Object Height Maximum คือ ความสูงของวัตถุที่สามารถสแกนได้ หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
 Image Height คือ จำนวนจุดภาพในแนวตั้ง หน่วยเป็นพิกเซล (Pixel)
 Resolution of the object คือ ค่าความละเอียดของวัตถุที่สามารถสแกนได้ หน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

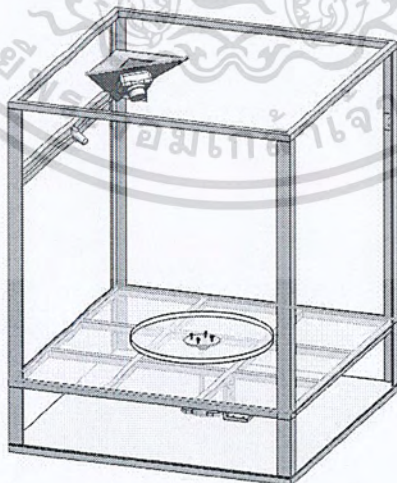


รูปที่ 3.5 โครงสร้างภายในเครื่องกราดวัด 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ที่ยึดกล้องถ่ายภาพติดกับเสา

3.1.2.2 ชุดเลเซอร์

ชุดเลเซอร์ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงเป็นเส้นเพื่อฉายลงบนวัตถุชิ้นงาน เลเซอร์ที่ใช้เป็นเลเซอร์สีแดง จำนวน 1 ตัว และเส้นเลเซอร์มีขนาดความกว้าง 2 มิลลิเมตร โดยเลเซอร์ถูกยึดไว้กับรางเลื่อนเลเซอร์ด้วยตัวจับยึดเลเซอร์ในระดับเดียวกับกล้องและยังสามารถปรับเลเซอร์ในระนาบซ้ายและขวาได้ ส่วนรางเลเซอร์ถูกยึดติดไว้กับผนังของเครื่องกราดวัด 3 มิติเพื่อไม่ให้รางเลเซอร์เคลื่อนที่ แสดงดังรูปที่ 3.6

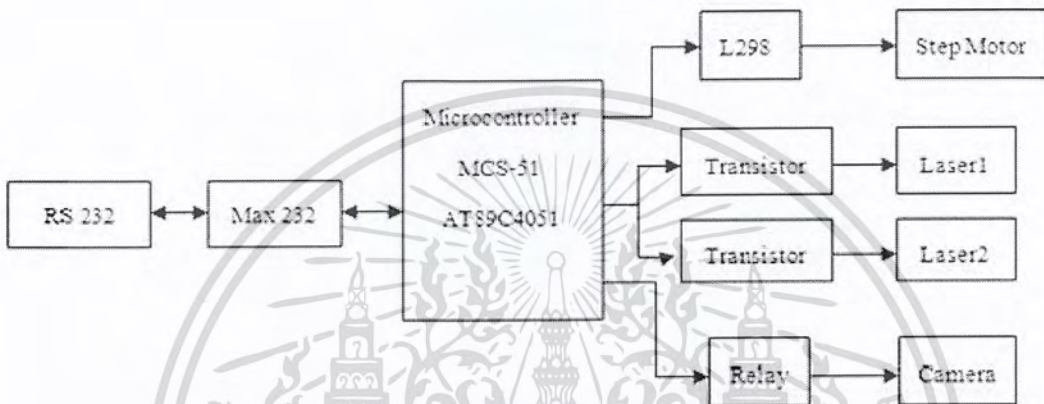
เนื่องจากความกว้างของเส้นเลเซอร์มีขนาดใหญ่กว่าความละเอียดที่ต้องการ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องทำการแก้ไขโดยการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งตรงกลางที่แสงเลเซอร์มีความเข้มสูงสุดเพื่อให้ได้ตำแหน่งพิกัดที่แน่นอน



รูปที่ 3.6 โครงสร้างเครื่องกราดวัด 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ที่ยึดเลเซอร์ติดกับรางเลื่อนเลเซอร์

3.1.3 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมชุดขับเคลื่อนโต๊ะวางชิ้นงาน ต้องมีการศึกษาหลักการ ทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติ เพื่อให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์มีความถูกต้อง ซึ่งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบจะใช้ MCS-51 ในการควบคุมการทำงาน โดยอุปกรณ์ RS232 ด้านหนึ่งติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน ส่วน อีกด้านหนึ่งจะติดต่อกับ MAX232 เพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ การปิดและเปิดเลเซอร์ การกดชัต เตอร์ของกล้องถ่ายภาพ สามารถอธิบายด้วยบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อธิบายดังรูปที่ 3.7

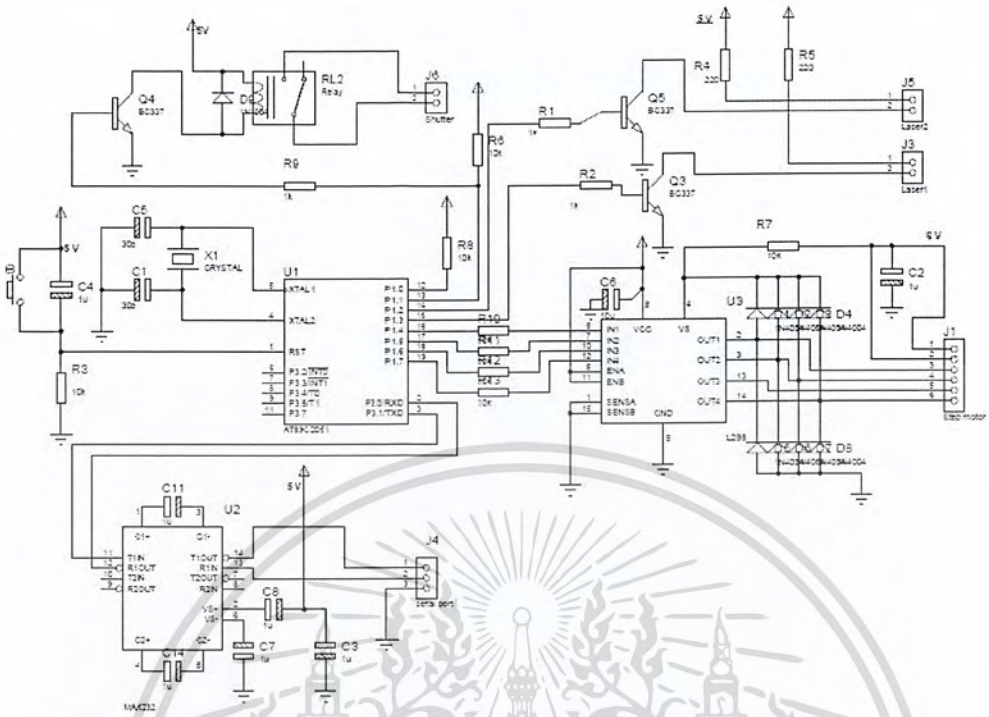


รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมอธิบายการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

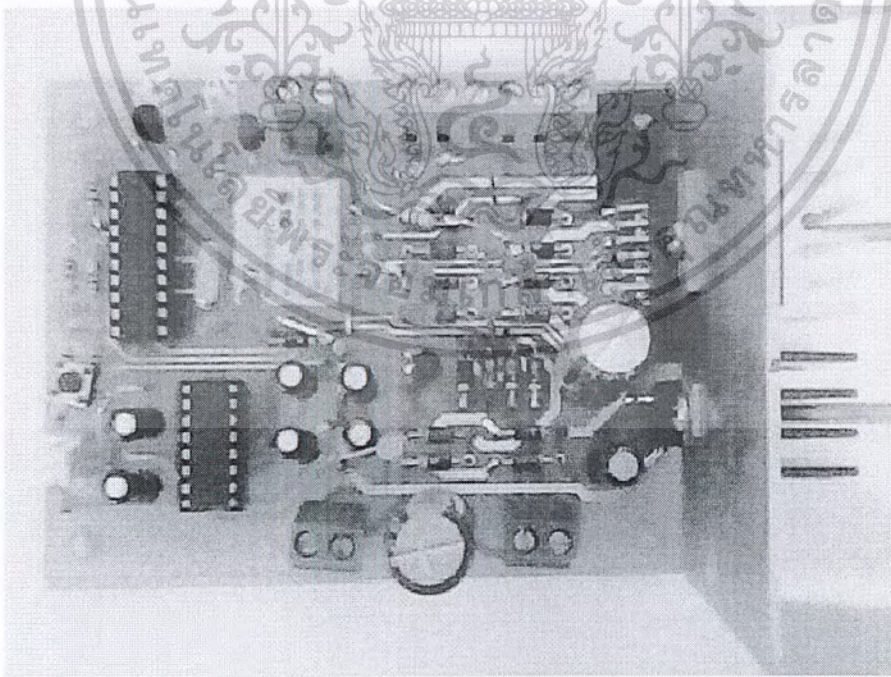
จากบล็อกไดอะแกรมเริ่มต้นด้วยคอมพิวเตอร์สั่งงานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทำงานโดยใช้ RS232 เป็นตัวรับและส่งข้อมูลเพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูลแบบ Serial ให้สามารถส่งได้ระยะทางที่มากขึ้น เนื่องจาก Serial Port ของคอมพิวเตอร์เป็นมาตรฐาน RS232 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็น TTL (Transistor-Transistor Logic) จึงต้องใช้ MAX232 เป็นตัวปรับระดับแรงดันให้อยู่ในระดับเดียวกันเพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เกิดความเสียหาย

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ เพื่อสั่งงานให้สเต็ปมอเตอร์หมุน การปิด และการเปิดเลเซอร์ การกดชัตเตอร์ของกล้องถ่ายภาพ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ที่ใช้เป็นเบอร์ AT89C4051 โดยมีหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือควบคุมการทำงานต่างๆ จากนั้นสั่งงานให้สเต็ปมอเตอร์หมุน และเนื่องจากสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้มีกระแสไม่น้อยกว่า 3 แอมแปร์ ฉะนั้นจึงใช้ไอซีเบอร์ L298 ในการขยายกระแสเพื่อเป็นตัวขับสเต็ปมอเตอร์ จากนั้นจึงสั่งงานให้เลเซอร์ทำการปิดและเปิด โดยผ่านทรานซิสเตอร์ (Transistor) เพื่อลดค่า ความต่างศักย์ป้องกันไม่ให้เลเซอร์เกิดความเสียหาย จากบล็อกไดอะแกรมอธิบายการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะ เห็นว่ามีเลเซอร์สองตัวเนื่องจากได้ทำการออกแบบเพื่อไว้สำหรับใช้ประโยชน์ในการสแกนวัตถุ เมื่อเลเซอร์ทำงาน กล้องถ่ายภาพจึงทำงาน โดยมีรีเลย์ (Relay) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์ควบคุมการปิดและการเปิดของกล้องถ่ายภาพ

ในการออกแบบและเขียนลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใช้โปรแกรม Proteus โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 3.8 และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบเพื่อควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ การปิดและเปิดเลเซอร์ การกดชัตเตอร์ของกล้องถ่ายภาพ



รูปที่ 3.9 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ การปิดและเปิดเลเซอร์ การกดชัตเตอร์ของกล้องถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 48 ศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

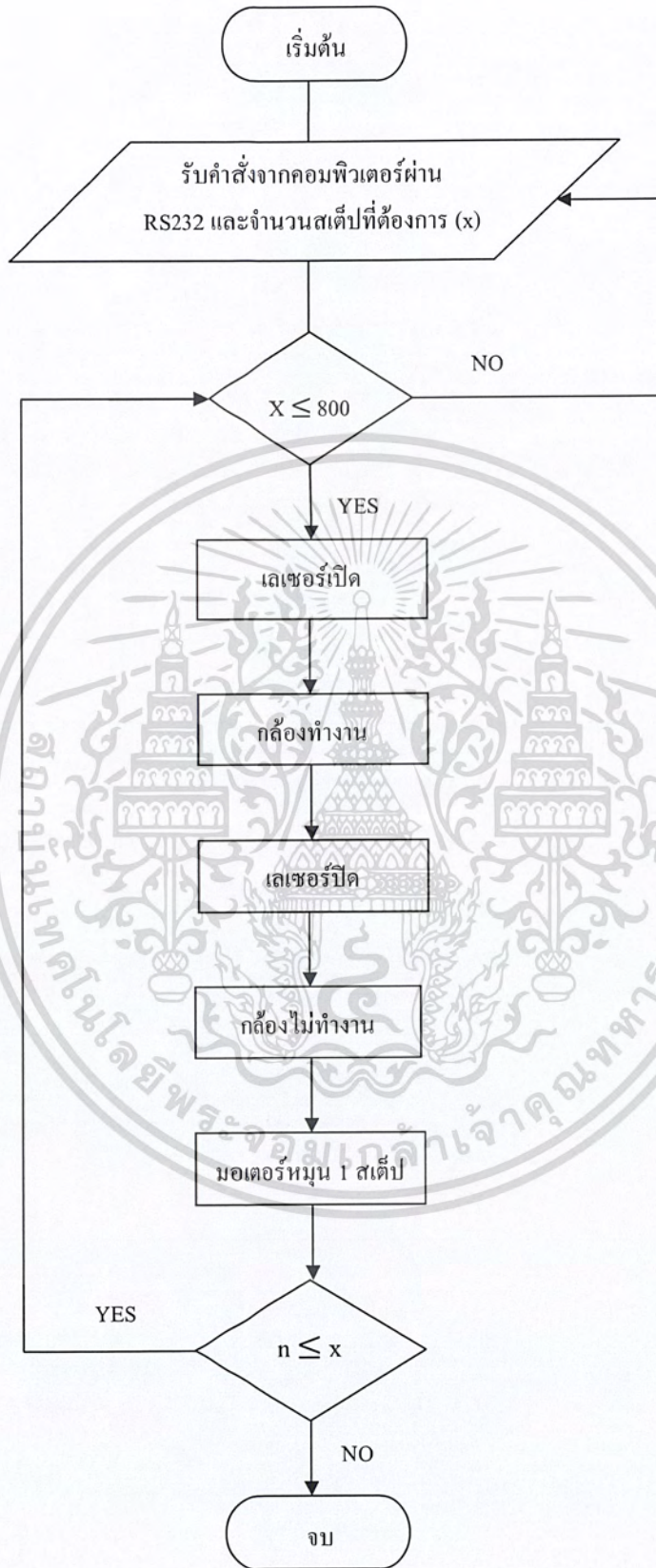
3.2 การออกแบบด้านซอฟต์แวร์ (Software)

การออกแบบด้านซอฟต์แวร์เป็นการออกแบบในส่วนของโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1 ส่วนควบคุมชุดขับเคลื่อนโต๊ะหมุนชิ้นงาน

ในส่วนควบคุมชุดขับเคลื่อนโต๊ะหมุนชิ้นงาน ใช้ภาษา C ในการควบคุมทั้งหมด ซึ่งมีโปรแกรม Keil C ในการแปลงภาษา C เป็นเฮกซ์ไฟล์ (Hex File) แล้วนำเฮกซ์ไฟล์ไปใส่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อสั่งงานให้สเต็ปมอเตอร์ ชุดเลเซอร์ และกล้องถ่ายภาพทำงาน โดยการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดขับเคลื่อนโต๊ะหมุนชิ้นงาน มีลักษณะ Flow Chart แสดงดังรูปที่ 3.10





รูปที่ 3.10 Flow Chart โปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดขับเคลื่อน โต้ะหมุนวัตถุชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 50
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ลอจิก (Logic) การทำงานของวงจรของชุดขับเคลื่อน โต้ะหมุนชิ้นงาน

SM	L	C
0	0	0
0	1	0
0	1	1
0	0	1
1	0	0

กำหนดให้ 0 คือ ไม่มีการทำงาน

1 คือ มีการทำงาน

โดยที่ SM คือ สเต็ปมอเตอร์ (Step Motor)

L คือ เลเซอร์ (Laser)

C คือ กล้องถ่ายภาพ (Camera)

จากตารางที่ 3.1 ลอจิก (Logic) การทำงานของวงจรของชุดขับเคลื่อน โต้ะหมุนชิ้นงาน สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1. เริ่มต้นของการทำงาน ยังไม่มีการสั่งให้วงจรชุดขับเคลื่อน โต้ะหมุนชิ้นงานทำงาน สเต็ปมอเตอร์ เลเซอร์ และกล้องถ่ายภาพยังไม่ทำงาน
2. สั่งให้วงจรชุดขับเคลื่อน โต้ะหมุนชิ้นงานทำงาน สเต็ปมอเตอร์จะยังไม่ทำงาน เลเซอร์มีการทำงานเพื่อฉายเส้นเลเซอร์ไปยังวัตถุ และกล้องถ่ายภาพยังไม่มีการทำงาน
3. สเต็ปมอเตอร์จะยังไม่ทำงาน เลเซอร์ยังคงทำงานเพื่อฉายเส้นเลเซอร์ และกล้องถ่ายภาพทำงานเพื่อกดชัตเตอร์
4. เลเซอร์หยุดการทำงาน กล้องถ่ายภาพยังคงทำงานอยู่แต่ไม่มีการกดชัตเตอร์
5. สเต็ปมอเตอร์หมุนไป 1 สเต็ปเพื่อขับเคลื่อน โต้ะหมุนชิ้นงาน ส่วนเลเซอร์และกล้องถ่ายภาพหยุดการทำงาน

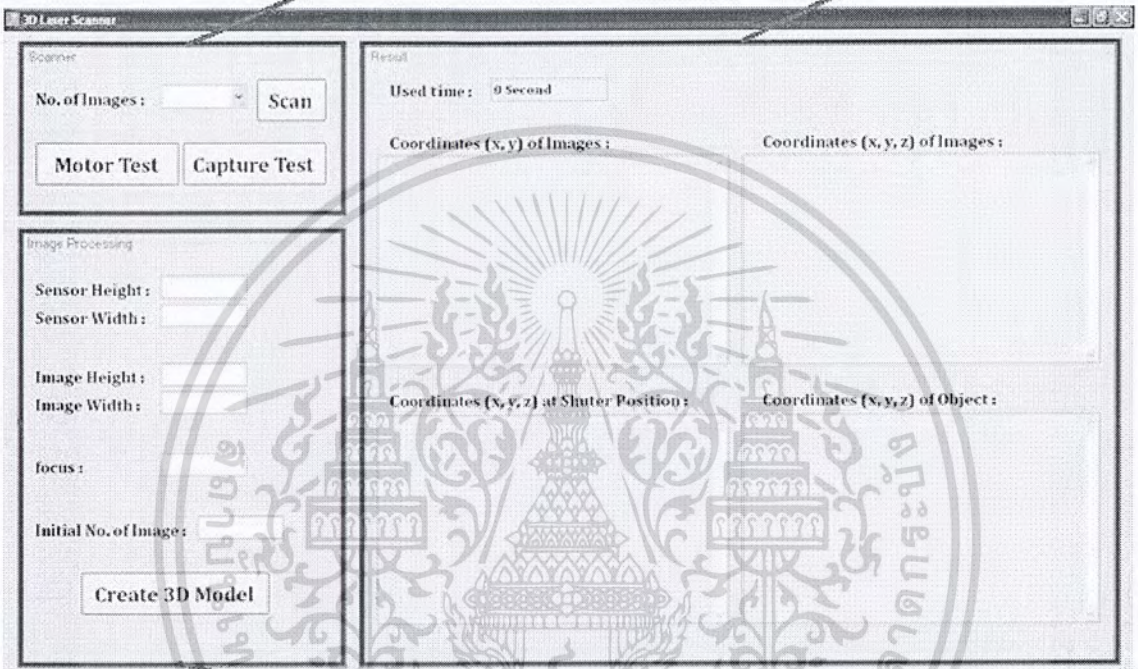
หมายเหตุ ช่วงเวลาระหว่างที่เลเซอร์ทำงานเพื่อฉายเส้นเลเซอร์และกล้องถ่ายภาพยังคงไม่ทำงานนั้นเป็นช่วงเวลาเพียงสั้นๆ หลังจากที่เลเซอร์ฉายแสงแล้วประมาณ 2 วินาที กล้องถ่ายภาพจะทำงานเพื่อกดชัตเตอร์ทันที

3.2.2 ส่วนของการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน

การควบคุมการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ สามารถทำได้ผ่านหน้าต่างโปรแกรมควบคุม โดยการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) โดยผู้ใช้งานป้อนคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ เพื่อส่งคำสั่งที่ป้อนไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำงานและชุดขับเคลื่อน โต้ะหมุนวัตถุชิ้นงาน ชุดเลเซอร์ และกล้องถ่ายภาพทำงาน ซึ่งในการรับและส่งข้อมูลใช้ภาษา C# ที่เขียนขึ้นใน โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2008 เชื่อมต่อกับภาษา C ที่ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งได้ออกแบบหน้าต่าง

โปรแกรมให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์และครอบคลุมไปถึงการประมวลผลภาพ โดยที่หน้าต่างโปรแกรมนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนของการสั่งให้เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ทำงาน ส่วนของการประมวลผลภาพ และส่วนของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ แสดงดังรูปที่ 3.11 ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ส่วนของการสั่งให้เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ทำงาน ส่วนของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ



ส่วนของการประมวลผลภาพ

รูปที่ 3.11 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

3.2.2.1 ส่วนของการสั่งให้เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ทำงาน

ในส่วนนี้เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับภาษา C ที่ใช้ควบคุมชุดขับเคลื่อนโต๊ะหมุนชิ้นงาน โดยที่ส่วนนี้จะอยู่ทางด้านบนซ้ายของหน้าต่างโปรแกรมใน ซึ่งในส่วนนี้มีช่องและปุ่มที่ทำงานแตกต่างกันไป ได้แก่

- No. of Images คือ จำนวนภาพที่ต้องการ ซึ่งเป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้งานเลือกจำนวนภาพที่มีในรายการ ได้แก่ 10 50 100 200 400 และ 800 ภาพ
- ปุ่ม Scan คือ ปุ่มที่ใช้กดเมื่อมีการเลือกจำนวนภาพที่ต้องการ เมื่อกดปุ่มนี้แล้วเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ จะทำงานตามจำนวนรูปภาพที่เลือกไว้ เช่น ถ้าเลือกจำนวนภาพ 10 ภาพ เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์จะสั่งให้โต๊ะวางชิ้นงานหมุน 80 สเต็ป จึงถ่ายภาพ 1 ภาพ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนได้ภาพครบ 10 ภาพ เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์จึงหยุดทำงาน

- ปุ่ม Motor Test คือ ปุ่มทดสอบการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ โดยถ้ากดปุ่มนี้จะทำให้โต๊ะวางชิ้นงานหมุนไปทั้งหมด 400 สเต็ป ซึ่งถ้าโต๊ะวางชิ้นงานมีการหมุน แสดงว่าสเต็ปมอเตอร์สามารถทำงานได้
- ปุ่ม Capture Test คือ ปุ่มทดสอบการทำงานของชุดเลเซอร์และกล้องถ่ายภาพ เมื่อกดปุ่มนี้เลเซอร์จะฉายแสงและกล้องจะถ่ายภาพวัตถุ 1 ครั้ง

3.2.2.2 ส่วนของการประมวลผลภาพ

ในส่วนนี้เป็นส่วนของการตั้งค่าการถ่ายภาพ โดยที่แต่ละส่วนผู้ใช้งานจะเป็นผู้ป้อนค่าต่างๆ เองเพื่อความสะดวกและความเหมาะสมของการใช้งาน

- ค่าของขนาดตัวรับภาพ หรือ Sensor Height และ Sensor Width คือ ขนาดของฉากรับภาพ
- ค่าความละเอียดของภาพที่นำมาประมวลผล หรือ Image Height และ Image Width คือ ความสูงและความกว้างของภาพ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าขนาดพิกเซลของภาพ
- ค่าระยะโฟกัสของเลนส์กล้อง (Focus) ค่านี้ขึ้นอยู่กับกล้องที่นำมาใช้ ซึ่งกล้องแต่ละตัวจะมีโฟกัสเลนส์ที่แตกต่างกัน
- หมายเลขแรกของภาพที่ใช้ในการประมวลผล (Initial No. of Image) คือ หมายเลขภาพเริ่มต้นที่ใช้ในการประมวลผลภาพ ซึ่งผู้ใช้งานต้องป้อนหมายเลขของภาพจำนวน 4 หลักเข้าไป เพื่อให้โปรแกรมทราบว่าควรประมวลผลในภาพใดบ้าง
- ปุ่ม Create 3D Model คือ ปุ่มที่โปรแกรมสั่งให้ทำการประมวลผลภาพตามจำนวนที่เลือกไว้ เมื่อกดปุ่มนี้จะต้องรอคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพก่อน แล้วจึงปรากฏผลลัพธ์ซึ่งจะอธิบายให้หัวข้อต่อไป

3.2.2.3 ส่วนของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ

ส่วนนี้เป็นส่วนที่แสดงผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จากการประมวลผลภาพในรูปแบบของพิกัด โดยแบ่งเป็นพิกัด 4 ชนิด ตามลำดับของการประมวลผลภาพ โดยที่พิกัดแต่ละชนิดมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- ตำแหน่งพิกัด (X, Y) ของภาพ หรือ Coordinates (X, Y) of Image เป็นพิกัด 2 มิติของภาพถ่ายที่ถ่ายมาจากกล้องถ่ายภาพในเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ โดยทำการหาพิกัดนี้มาจากการใช้ตัวกรองแบบสามเหลี่ยมเพื่อตรวจจับความเข้มของแสงเลเซอร์
- ตำแหน่งพิกัด (X, Y, Z) ของภาพ หรือ Coordinates (X, Y, Z) of Image เป็นพิกัด 3 มิติที่แปลงมาจากพิกัด 2 มิติ ซึ่งพิกัดเหล่านี้สามารถหาได้จากการคำนวณ โดยใช้เวกเตอร์
- ตำแหน่งพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุ ณ ตำแหน่งที่ถ่ายหรือ Coordinates (X, Y, Z) of Image at Shutter Position เป็นพิกัด 3 มิติของภาพถ่ายที่ได้เมื่อมีการวางกล้องถ่ายภาพเอียงทำมุม 45 องศา
- ตำแหน่งพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุจริง หรือ Coordinates (X, Y, Z) of Object at Shutter Position เป็นพิกัด 3 มิติของวัตถุจริงในระนาบเรียบ ซึ่งจะนำค่าพิกัดนี้ไปใช้ต่อไปในการสร้างโครงตาข่าย (Polygon)
- เวลาที่ใช้ในการประมวลผลภาพ หรือ ช่อง Used time เป็นช่องที่แสดงเวลาที่ใช้ไปในการประมวลผลภาพ มีหน่วยเป็นวินาที

การสร้างโครงตาข่าย (Polygon) ให้เหมือนกับวัตถุจริง โดยการนำตำแหน่งพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุจริง มาสร้างเป็นไฟล์นามสกุล .ply ซึ่งเป็นเท็กซ์ไฟล์ (Text File) ที่มีรูปแบบในการเขียนที่เฉพาะเจาะจง โดยสามารถแบ่ง รูปแบบไฟล์ออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนหัวของไฟล์ ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งข้อมูลหลัก ที่จะต้องระบุได้ คือ จำนวนจุดทั้งหมดที่มี และจำนวนพื้นผิวทั้งหมดที่จะสร้าง ส่วนที่สอง คือ ส่วนตัวของไฟล์ ประกอบด้วย จุดทั้งหมดที่มีหรือตำแหน่งพิกัด (X, Y, Z) ของวัตถุจริงเรียงต่อกัน และพื้นผิวทั้งหมดที่จะสร้าง ดังแสดง ในรูปที่ 3.13 โดยจะต้องระบุว่าพื้นผิวที่สร้างเป็นรูปอะไรจากนั้นกำหนดว่าจุดใดบ้างที่ต้องนำมาต่อกันเพื่อนำมาสร้าง โครงตาข่าย (Polygon)

```

ply
format ascii 1.0
comment made by Greg Turk
comment this file is a DATASCAN
element vertex 73074
property float x
property float y
property float z
element face 24358
property list uchar int vertex_index
end_header
1.05551068005871 185.211588439755 1.05551068005866
1.49184506696769 185.401733020514 1.31523834796402
3.6832138846431 184.703202769088 3.68321388464307
3.6832138846431 184.703202769088 3.68321388464307
1.49184506696769 185.401733020514 1.31523834796402
4.27620766686253 184.893149069525 3.76998418391208
3.6832138846431 184.703202769088 3.68321388464307
4.27620766686253 184.893149069525 3.76998418391208
5.60390950924972 183.817531019676 5.60390950924972
  
```

รูปที่ 3.12 รูปแบบไฟล์นามสกุล .ply

```

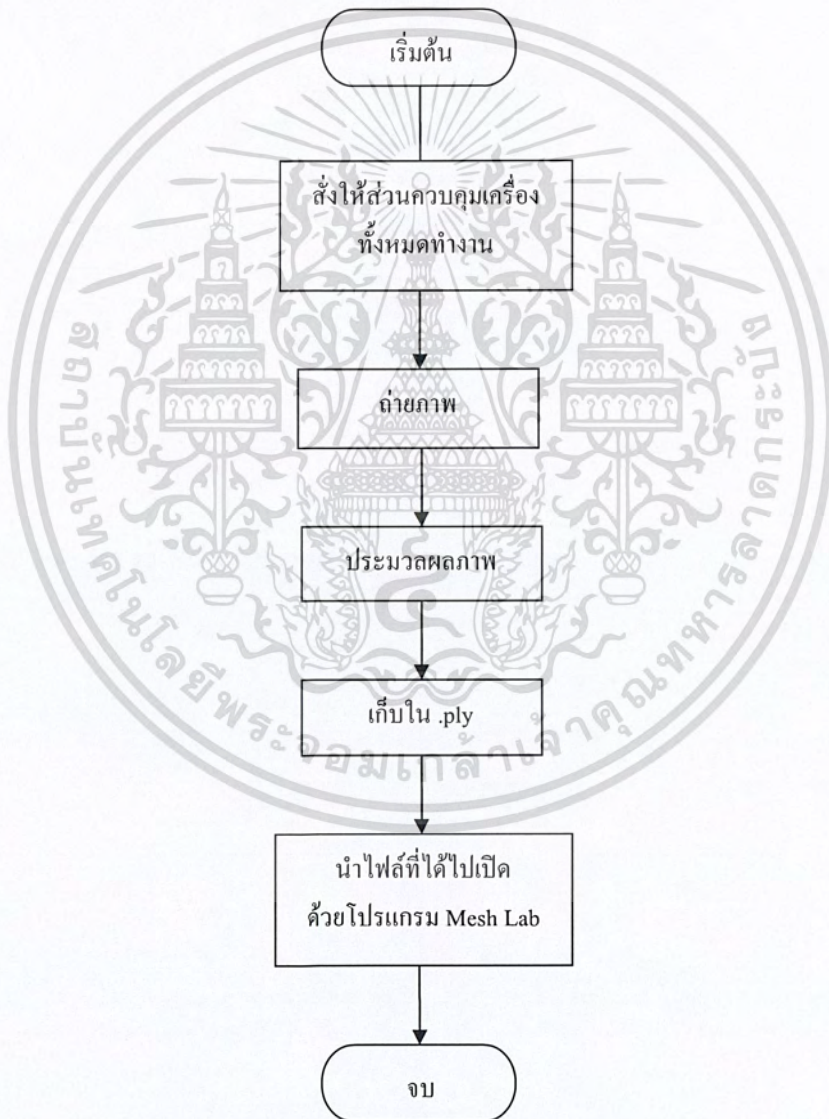
141.700640552839 -16.2451654134247 160.727826954066
159.841109341122 -16.9009524476596 159.841109341122
161.71512388119 -17.3262555485234 161.71512388119
141.700640552839 -16.2451654134247 160.727826954066
161.71512388119 -17.3262555485234 161.71512388119
143.604201007616 -16.4989381355182 162.886992460858
143.604201007616 -16.4989381355182 162.886992460858
161.71512388119 -17.3262555485234 161.71512388119
163.941574342177 -17.223846832165 163.941574342177
3 0 1 2
3 3 4 5
3 6 7 8
3 9 10 11
3 12 13 14
3 15 16 17
3 18 19 20
3 21 22 23
3 24 25 26
3 27 28 29
3 30 31 32
  
```

รูปที่ 3.13 รูปแบบไฟล์นามสกุล .ply (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 54
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

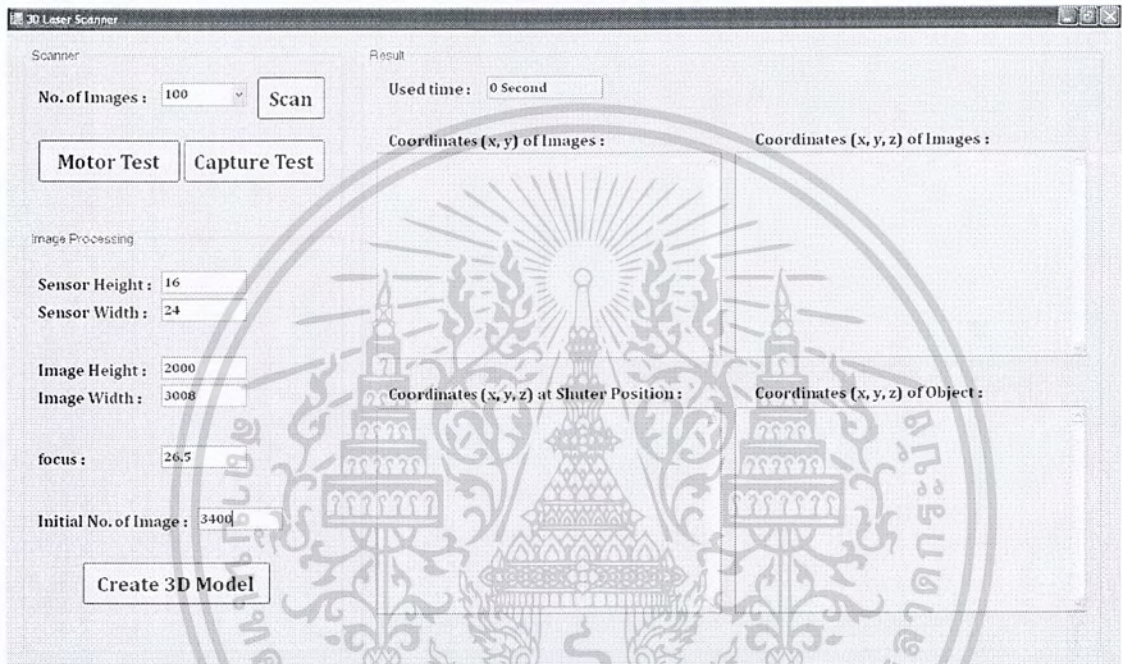
หลักการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ เริ่มจากการที่คอมพิวเตอร์สั่งการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์บนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำงานเพื่อให้ชุดเลเซอร์ทำงานและฉายแสงลงบนวัตถุชิ้นงาน กล้องถ่ายภาพกคชต์เตอร์เพื่อถ่ายภาพวัตถุชิ้นงาน จากนั้นได้ะวางวัตถุชิ้นงานจะหมุน เพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการสแกน ภาพถ่ายที่ได้จะถูกนำมาเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลภาพ โดยข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายเป็นไฟล์นามสกุล .ply แล้วนำไฟล์ที่ได้ไปเปิดด้วยโปรแกรม Mesh Lab เพื่อแสดงภาพโครงข่าย 3 มิติซึ่งมีลักษณะเสมือนกับวัตถุชิ้นงานจริง หลักการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์สามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 Flow Chart หลักการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

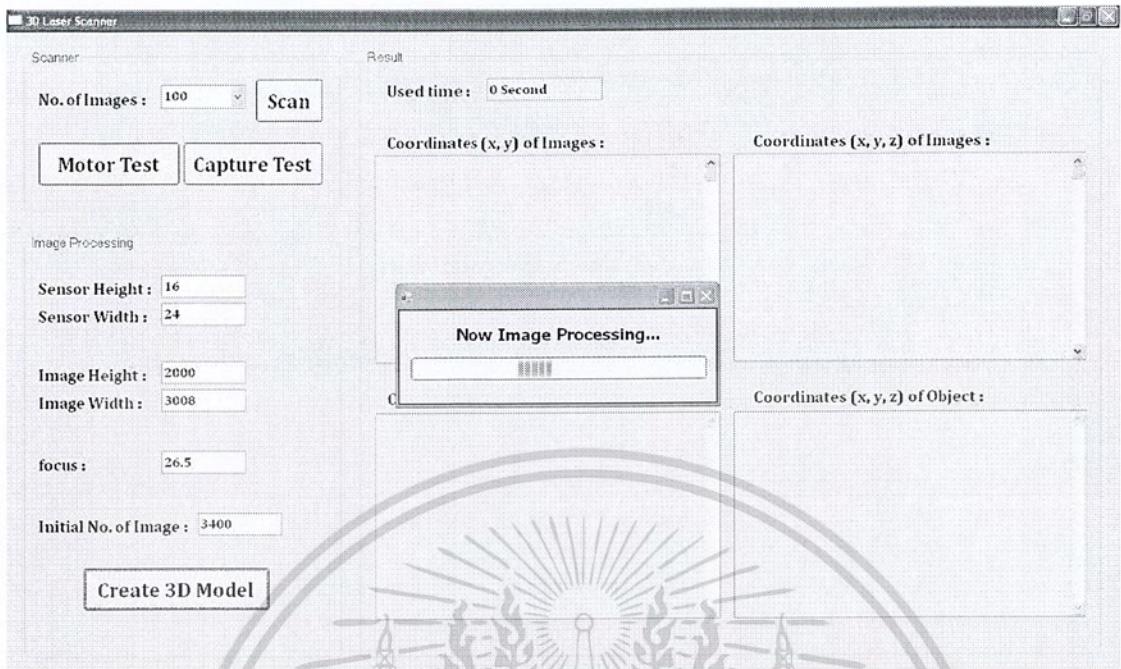
3.3.1 ขั้นตอนการสแกนวัตถุชิ้นงาน 1 ชิ้น

ในการสแกนวัตถุชิ้นงาน 1 ชิ้นสามารถทำได้ง่าย รวดเร็วและสะดวกต่อผู้ใช้งาน โดยการสแกนเริ่มจากการนำวัตถุชิ้นงานที่ต้องการมาวางลงบนโต๊ะวางชิ้นงาน (ควรวางวัตถุชิ้นงานให้กึ่งกลางพอดี เพื่อความรวดเร็วและง่ายต่อการประมวลผลภาพ) จากนั้นปิดประตูเครื่องเพื่อไม่ให้แสงจากภายนอกเข้าภายในเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ แล้วสั่งให้เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ทำงานจากหน้าต่างของโปรแกรมที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะอธิบายเป็นขั้นตอน ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนในการสแกนวัตถุชิ้นงาน 1 ชิ้น

1. เลือกจำนวนภาพที่ต้องการในช่อง No. of Images ในที่นี้ เลือกเป็น 100 ภาพ แล้วกดปุ่ม Scan เพื่อสั่งให้เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ทำงาน
2. ป้อนค่าในส่วนของ Image Processing ให้ครบทุกช่อง ซึ่งค่าที่ป้อนจะขึ้นอยู่กับกล้องถ่ายภาพที่ใช้ ในที่นี้ คือ 6 ล้านพิกเซล ดังนั้น Sensor Height Sensor Width Image Height และ Image Width จึงเป็น 16, 24, 2000 และ 3008 ตามลำดับ ส่วนระยะโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ (Focus) คือ 26.5 มิลลิเมตร และหมายเลขภาพเริ่มต้นที่ใช้ในการประมวลผล (Initial No. of Image) คือ 3400
3. กดปุ่ม Create 3D Model คอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผล เพื่อให้ได้พิกัด 3 มิติของวัตถุ แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 หน้าต่างโปรแกรมเมื่อกดปุ่ม Create 3D Model

4. ได้ผลลัพธ์แสดงออกในส่วนของ Result ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 4 ผลของการดำเนินการต่อไป

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

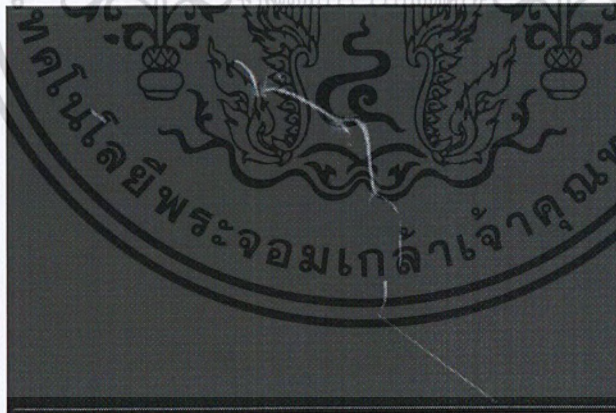
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานจากการออกแบบและสร้างเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ โดยทดลองสแกนวัตถุที่มีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เช่น วัตถุทรงกระบอก วัตถุทรงลูกบาศก์ วัตถุที่มีความเข้มสีที่แตกต่างกัน เป็นต้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ ซึ่งผลการดำเนินการที่ได้มีดังต่อไปนี้

4.1 การหาพิกัดของวัตถุที่นำมาสแกน

การหาพิกัดของวัตถุที่นำมาสแกน คือ การหาพิกัดของจุดที่จะมาเรียงต่อกันแล้วแสดงให้เห็นถึงรูปร่างลักษณะพื้นผิวของวัตถุที่นำมาสแกน โดยมีขั้นตอนในการหาพิกัดดังต่อไปนี้

4.1.1 การหาพิกัด 2 มิติของจุดบนภาพถ่าย

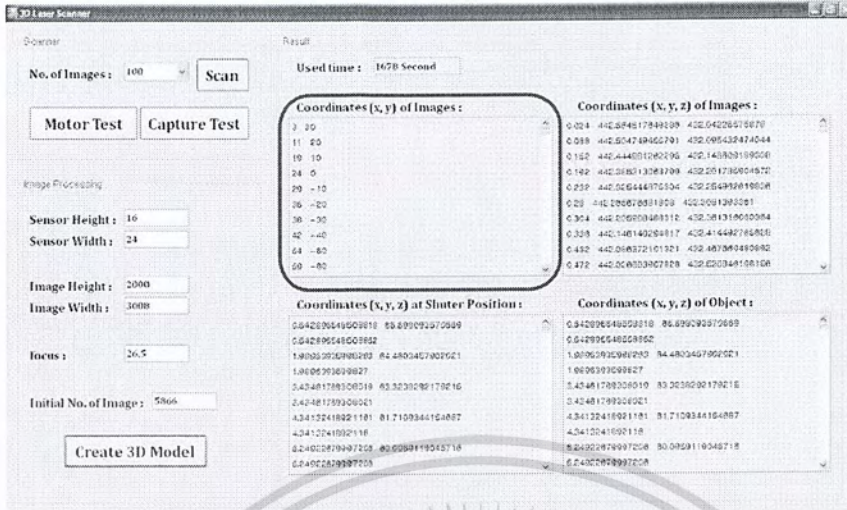
ภาพถ่ายที่ได้จากการสแกนมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นภาพที่มีพื้นหลังสีดำและมีเส้นเลเซอร์สีแดงแสดงถึงรูปร่างลักษณะของวัตถุที่นำมาสแกน



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างภาพถ่ายที่ได้จากการสแกนของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

ภาพถ่ายที่ได้จากการสแกนถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนแรกของการประมวลผลภาพ ซึ่งคือการตรวจจับเส้นเลเซอร์ (Line Detection) โดยใช้หลักการของตัวกรองแบบสามเหลี่ยม (Triangle Filter) ในการถ่วงน้ำหนักเพื่อหาจุดของเส้นเลเซอร์ที่มีความเข้มของแสงเลเซอร์สูงสุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้คือพิกัดของจุดต่างๆ ที่อยู่บนเส้นเลเซอร์ในภาพ โดยแทนจุดเหล่านี้ด้วยพิกัด (x, y) ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

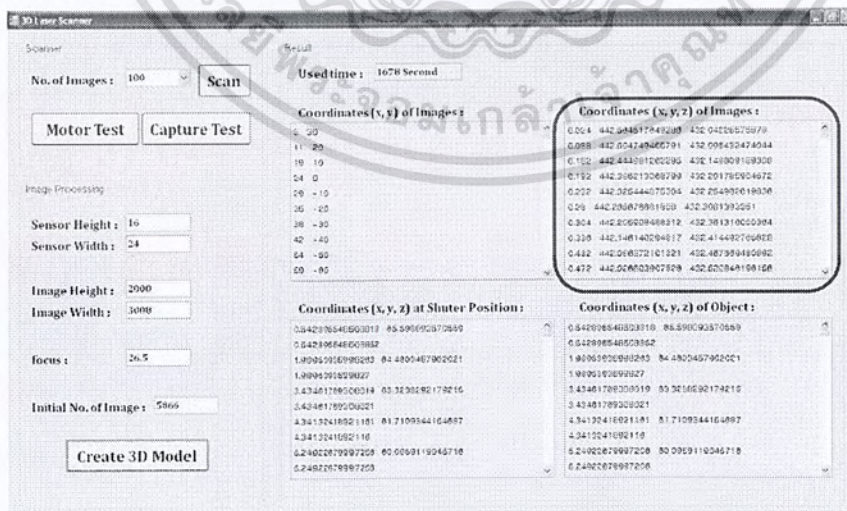


รูปที่ 4.2 พิกัด 2 มิติของจุดที่ได้จากภาพถ่าย

พิกัด 2 มิติของจุดที่ได้จากภาพถ่ายจะมีทั้งค่าที่เป็นบวกและลบ เนื่องจากการเลื่อนพิกัดของภาพ (Translation) โดยเลื่อนพิกัด (0, 0) ให้อยู่ที่กึ่งกลางของภาพ

4.1.2 การหาพิกัด 3 มิติของจุดบนภาพถ่าย

หลังจากที่ได้พิกัด 2 มิติของภาพถ่าย จากนั้นนำหลักการของตรีโกณมิติเข้ามาช่วยในการแปลงพิกัด 2 มิติ ให้กลายเป็นพิกัด 3 มิติ โดยใช้วิธีการบวก ลบพิกัดที่ได้กับระยะและตำแหน่งโหนดของกล้อง ผลลัพธ์ที่ได้คือพิกัด 3 มิติของจุดภาพบนภาพถ่ายเมื่อเทียบกับพิกัดอ้างอิง (0, 0, 0) ซึ่งกำหนดไว้ที่จุดศูนย์กลางของโต๊ะวางชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.3

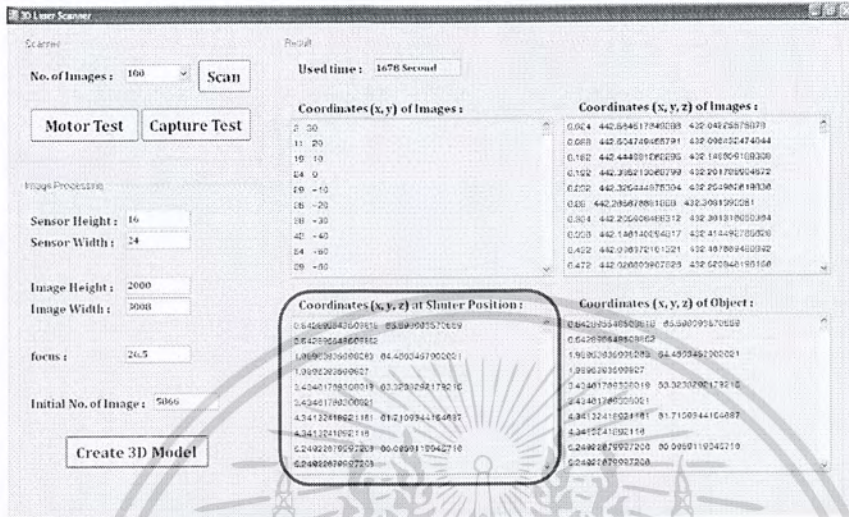


รูปที่ 4.3 พิกัด 3 มิติของจุดภาพบนภาพถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
59
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การหาพิกัด 3 มิติของจุดบนวัตถุ ณ ตำแหน่งที่ถ่ายภาพ

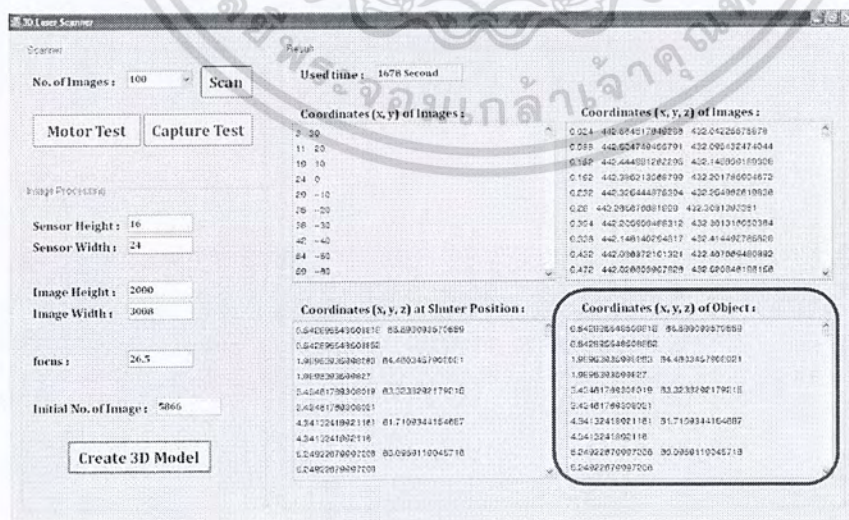
ในขั้นตอนนี้จะนำพิกัด 3 มิติของจุดภาพบนภาพถ่ายที่ได้มาคำนวณโดยใช้หลักการของเวกเตอร์ตามหัวข้อ 2.11.4 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นพิกัด 3 มิติของจุดบนวัตถุ ณ ตำแหน่งที่ถ่ายภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 พิกัด 3 มิติของจุดบนวัตถุ ณ ตำแหน่งที่ถ่ายภาพ

4.1.4 การหาพิกัด 3 มิติของวัตถุจริง

การหาพิกัด 3 มิติของวัตถุจริง หรือพิกัดของจุดที่จะมาเรียงต่อกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงรูปร่างลักษณะพื้นผิวของวัตถุที่นำมาสแกน สามารถหาได้โดยนำพิกัด 3 มิติของจุดบนวัตถุ ณ ตำแหน่งที่ถ่ายภาพมาคูณกับเมทริกซ์ที่ใช้ในการแปลงแบบหมุน (Rotating Transformation Matrix) ในหัวข้อที่ 2.5.3 สิ่งที่ได้คือพิกัด 3 มิติของวัตถุจริง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งจะนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุที่นำมาสแกนต่อไป



รูปที่ 4.5 พิกัด 3 มิติของวัตถุจริง

4.2 การสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุ

การสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุเป็นการนำข้อมูลพิกัด 3 มิติของวัตถุจริงมาสร้างไฟล์นามสกุล .ply ซึ่งเป็นเท็กซ์ไฟล์ (Text File) ที่มีรูปแบบในการเขียนที่เฉพาะเจาะจง โดยมีวิธีการนำจุดมาเชื่อมต่อกันเพื่อให้ได้เป็นโครงข่าย 3 มิติดังต่อไปนี้

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ว่าส่วนตัวของไฟล์นามสกุล .ply จะประกอบไปด้วยข้อมูลหลัก 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือ จุดทั้งหมดที่มี โดยในที่นี้จะนำพิกัด 3 มิติของวัตถุจริงที่หามาได้จากหัวข้อที่ 4.1.4 มาเขียนโดยมีวิธีการเลือกจุดแบบกำหนดจุดที่จะมาเขียน เพื่อให้ง่ายในขั้นตอนของการสร้างพื้นผิวดังนี้



รูปที่ 4.6 วิธีการเลือกจุดแบบกำหนดจุด

จากรูปสมมติให้ จุดสีแดงแทนจุดที่อยู่บนเส้นที่ 1
จุดสีเขียวแทนจุดที่อยู่บนเส้นที่ 2

ในขั้นตอนของการเขียนจุดจะมีการเขียนจุดซ้ำ เพื่อที่ว่าเมื่อนำจุดเหล่านี้มาสร้างเป็นพื้นผิวจะสามารถทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยที่จุดหนึ่งๆ ที่อยู่ในรูปเมื่อนำไปเขียนจะแทนด้วยพิกัดในแนวแกน x, y และ z ของจุดนั้นๆ เขียนแยกบรรทัดกัน โดยจุดที่อยู่ในบรรทัดที่ 1 จะมีลำดับของจุดเป็นลำดับที่ 0 และจุดที่อยู่ในบรรทัดที่ 2 จะมีลำดับของจุดเป็นลำดับที่ 1 เป็นต้น ในการเขียนลำดับของจุดที่จะนำไปเชื่อมต่อกันในขั้นตอนของการสร้างพื้นผิวนั้นเอง ลำดับของจุดที่นำมาเขียนเรียงต่อกันมีลำดับดังนี้

```
0 0 1 1 0 1
1 1 2 2 1 2
2 2 3 3 2 3
3 3 4 4 3 4
4 4 5 5 4 5
```

จากจุดที่เขียนจะสังเกตเห็นได้ว่าทั้งในเรื่องของสี และลำดับจะซ้ำกันทุกๆ 6 จุด คือในเรื่องของสีจะได้เป็น แดง เขียว แดง แดง เขียว เขียว แทนลำดับของเส้นที่ 1 2 1 1 2 2 ส่วนลำดับของจุดก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นดังในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนต่อมา คือ พื้นผิวทั้งหมดที่จะสร้าง จะต้องระบุว่าเป็นรูปอะไรก่อน เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ห้าเหลี่ยม เป็นต้น จากนั้นกำหนดว่าจุดใดบ้างที่ต้องนำมาเชื่อมต่อกันเพื่อสร้างเป็นรูปที่กำหนดไว้ ซึ่งในที่นี้สร้างเป็นพื้นผิวรูป 3 เหลี่ยม โดยกำหนดจุดที่จะเชื่อมต่อกันเรียงตามลำดับดังรูปที่ 4.7

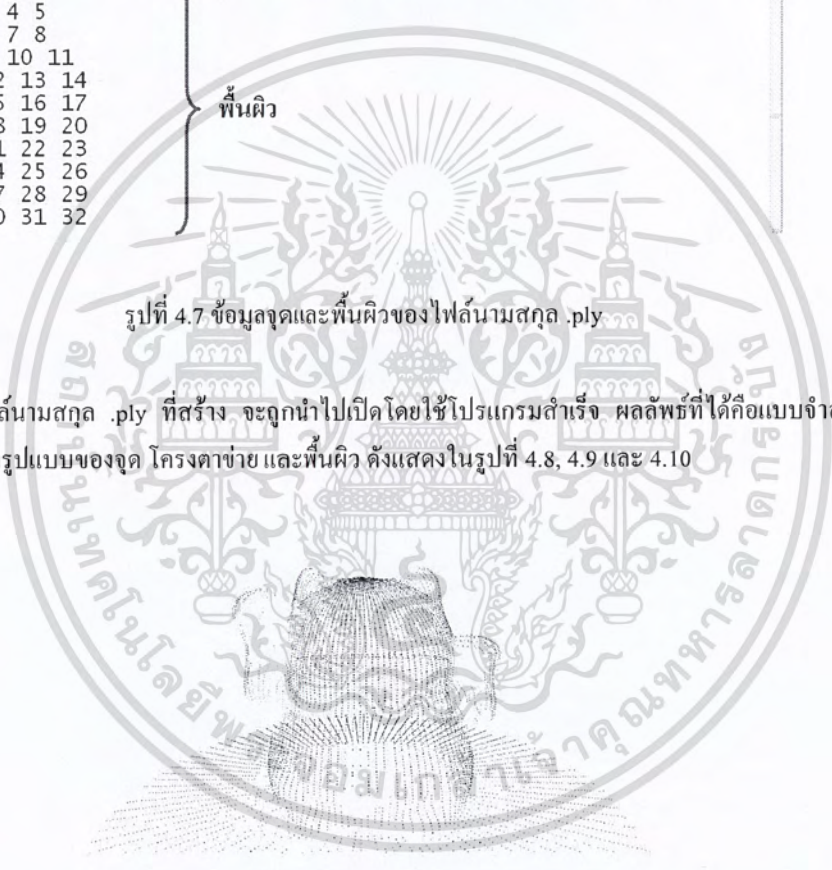
```

141.700640552839 -16.2451654134247 160.727826954066
159.841109341122 -16.9009524476596 159.841109341122
161.71512388119 -17.3262555485234 161.71512388119
141.700640552839 -16.2451654134247 160.727826954066
161.71512388119 -17.3262555485234 161.71512388119
143.604201007616 -16.4989381355182 162.886992460858
143.604201007616 -16.4989381355182 162.886992460858
161.71512388119 -17.3262555485234 161.71512388119
163.941574342177 -17.223846832165 163.941574342177
} จุด
3 0 1 2
3 3 4 5
3 6 7 8
3 9 10 11
3 12 13 14
3 15 16 17
3 18 19 20
3 21 22 23
3 24 25 26
3 27 28 29
3 30 31 32
} พื้นผิว

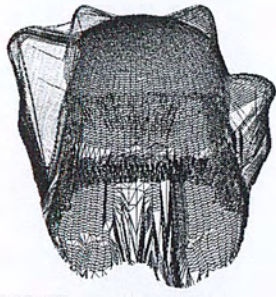
```

รูปที่ 4.7 ข้อมูลจุดและพื้นผิวของไฟล์นามสกุล .ply

จากนั้นไฟล์นามสกุล .ply ที่สร้าง จะถูกนำไปเปิดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จ ผลลัพธ์ที่ได้คือแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งสามารถแสดงได้ทั้งรูปแบบของจุด โครงตาข่าย และพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.8 แบบจำลอง 3 มิติในรูปแบบจุดพิกัด



รูปที่ 4.9 แบบจำลอง 3 มิติในรูปแบบโครงตาข่าย



รูปที่ 4.10 แบบจำลอง 3 มิติในรูปแบบพื้นผิว

4.3 การทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของขนาดระหว่างแบบจำลอง 3 มิติ กับวัตถุจริง

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาว่าแบบจำลอง 3 มิติที่ได้จากการสแกนมีขนาดและรูปร่างเหมือนหรือต่างจากวัตถุจริงที่นำมาสแกนมากน้อยเพียงใด โดยวัตถุที่นำมาวิเคราะห์ คือ วัตถุทรงกระบอกที่มีขนาดแตกต่างกัน 5 ชั้น ดังรูปที่ 4.11 โดยวัตถุแต่ละชิ้นถูกนำมาสแกนด้วยความละเอียดของสเต็มที่เท่ากัน หรือกล่าวได้ว่าสแกนเพื่อให้ได้จำนวนภาพที่เท่ากัน คือ 100 ภาพ



รูปที่ 4.11 ภาพของวัตถุทรงกระบอกที่นำมาทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ทำการประมวลผลภาพจนได้แบบจำลอง 3 มิติของวัตถุแต่ละชิ้น พบว่าแบบจำลอง 3 มิติที่ได้มีความเสมือนจริงกับวัตถุต้นแบบมาก เมื่อวัดจากสาขาตาพบว่าขนาดมีความใกล้เคียงกับวัตถุจริง แต่เมื่อนำแบบจำลอง 3 มิติที่ได้มาวัดด้วยโปรแกรม SolidWorks เพื่อนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของขนาดระหว่างแบบจำลอง 3 มิติที่ได้กับวัตถุจริง โดยใช้สูตรดังสมการที่ 4.1 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{\text{ขนาดของวัตถุจริง} - \text{ขนาดของแบบจำลอง 3 มิติ}}{\text{ขนาดของวัตถุจริง}} \times 100\% \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.1 ความแตกต่างของขนาดที่เกิดขึ้นในแนวระนาบ

ชิ้นงาน	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)			ค่าความแตกต่าง	% ความแตกต่าง
		ค่าจากการวัด	ค่าจากการสแกน		
ท่อนีเหลี่ยม	บน	102.28	104.70	2.42	2.37
	ล่าง	102.25	105.99	3.74	3.66
กระปุกครีม	บน	89.41	91.43	2.02	2.26
	ล่าง	89.71	91.88	2.17	2.42
ฝาขวด	บน	33.30	35.40	2.10	6.31
	ล่าง	34.25	37.16	2.91	8.50
สตาร์ทเตอร์	บน	21.25	23.13	1.88	8.85
	ล่าง	20.50	22.93	2.43	11.85
ท่อนีฟ้า	บน	38.05	39.88	1.83	4.81
	ล่าง	37.90	40.55	2.65	6.99

ตารางที่ 4.2 ความแตกต่างของขนาดที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง

ชิ้นงาน	ความสูง (มิลลิเมตร)		ค่าความแตกต่าง	% ความแตกต่าง
	ค่าจากการวัด	ค่าจากการสแกน		
ท่อนีเหลี่ยม	156.70	155.66	1.04	0.66
กระปุกครีม	66.52	60.96	5.56	8.36
ฝาขวด	13.75	11.86	1.89	13.75
สตาร์ทเตอร์	34.55	33.15	1.40	4.05
ท่อนีฟ้า	200.65	173.19	27.46	13.69

4.4 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ในการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

การทดลองนี้ได้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ โดยปัจจัยที่ได้นำมาวิเคราะห์มี 3 ปัจจัย คือ

4.4.1 สีของวัตถุ

การทดลองปัจจัยนี้เป็นการทดสอบว่าสีของวัตถุแบบใดที่ไม่สามารถนำมาสแกน หรือสแกนแล้วทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดี ซึ่งสีของวัตถุที่นำมาทดลองจะแบ่งเป็น 3 กลุ่มตามความเข้มสีของวัตถุ คือ

- วัตถุที่มีความเข้มสีสูง เช่น วัตถุสีดำ หรือสีน้ำเงินเข้ม
- วัตถุที่มีความเข้มสีต่ำ เช่น วัตถุสีขาว หรือสีเหลืองอ่อน
- วัตถุที่มีสีเดียวกับแสงเลเซอร์ คือ วัตถุสีแดง

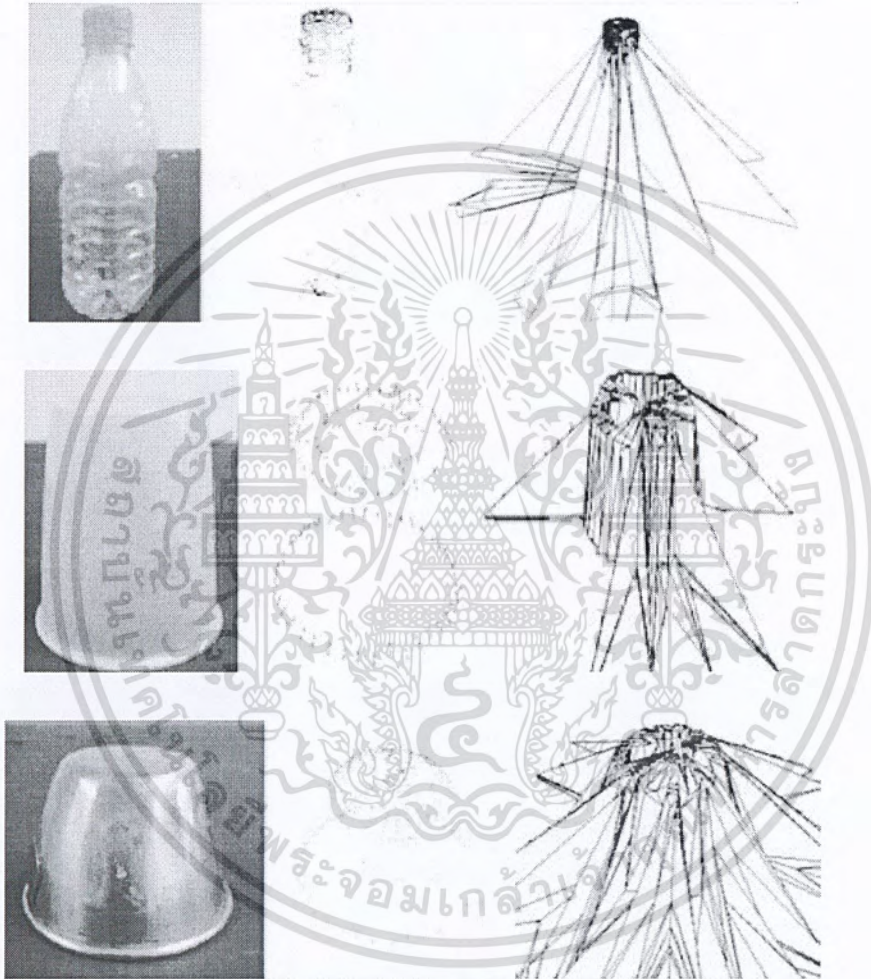


รูปที่ 4.12 วัตถุที่มีความเข้มสีสูง ความเข้มสีต่ำและวัตถุที่มีสีเดียวกับแสงเลเซอร์ ตามลำดับ

4.4.2 ลักษณะของวัตถุตัวกลาง

เนื่องจากวัตถุที่นำมาสแกนอาจจะมีลักษณะของชนิดตัวกลางที่ต่างกัน จึงต้องมีการทดลองก่อนว่าวัตถุใดที่ไม่สามารถนำมาสแกนได้ ซึ่งลักษณะของวัตถุตัวกลางที่นำมาทดลอง มีดังนี้

- วัตถุที่มีลักษณะตัวกลางโปร่งใส เช่น แก้ว ขวดน้ำ
- วัตถุที่มีลักษณะตัวกลางโปร่งแสง เช่น ถ้วยตวง
- วัตถุที่มีลักษณะตัวกลางสะท้อนแสง เช่น วัตถุที่ทำจากเหล็ก สแตนเลส



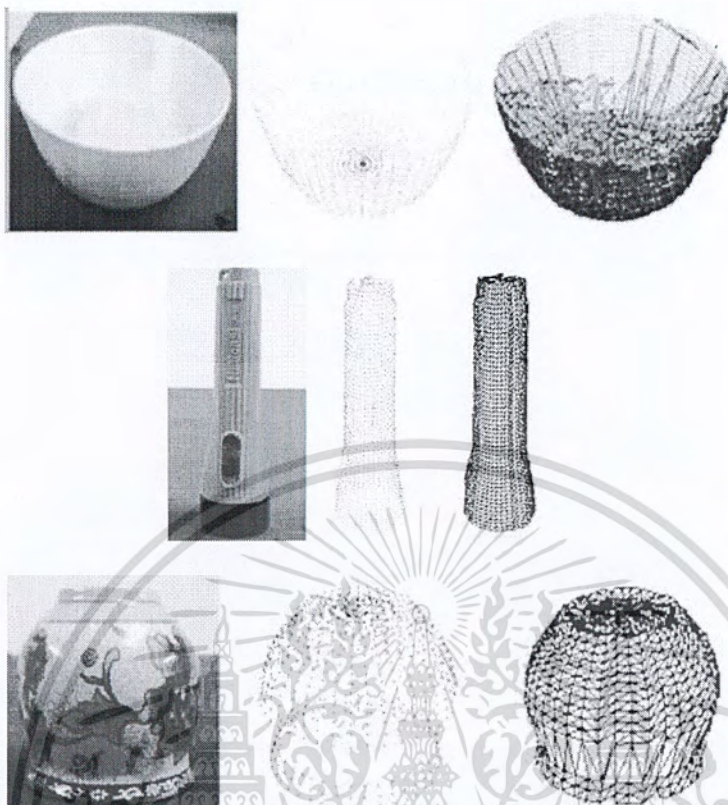
รูปที่ 4.13 วัตถุที่มีชนิดของตัวกลางเป็นแบบโปร่งใส โปร่งแสงและสะท้อนแสง ตามลำดับ

4.4.3 รูปร่างของวัตถุ

เครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์เป็นเครื่องที่ใช้แสงเลเซอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักในการสแกน ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าวัตถุใดที่สามารถและไม่สามารถสแกนได้ โดยวัตถุที่ถูกนำมาทดลอง มีดังนี้

- วัตถุที่มีความโค้งหรือความกว้างด้านบนมากกว่าด้านล่าง เช่น ถ้วย ชาม
- วัตถุที่มีความโค้งหรือความกว้างด้านบนน้อยกว่าด้านล่าง เช่น ไฟฉาย กรวยกรอง
- วัตถุที่มีความโค้งหรือความกว้างด้านบนและด้านล่าง (มีส่วนเว้าตรงกลาง) เช่น โถงเซรามิกส์

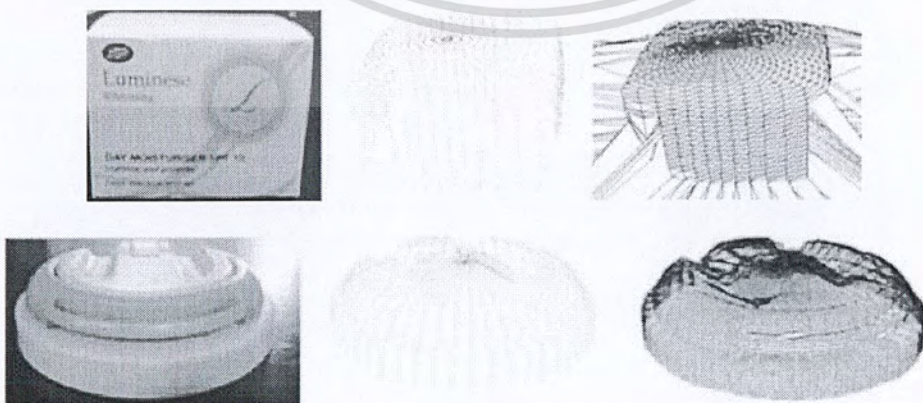
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 วัสดุที่มีความโค้งหรือความกว้างด้านบนมากกว่าด้านล่าง
ด้านบนน้อยกว่าด้านล่าง และมีความโค้งเว้าตรงกลาง ตามลำดับ

4.5 การทดลองวัสดุรูปร่างและรูปทรงอื่นๆ

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าวัสดุรูปร่างและรูปทรงอื่นๆ ที่เรานำมาทดสอบจะสามารถที่จะสร้างแบบจำลอง 3 มิติได้สมบูรณ์หรือไม่ โดยการทดลองจะเลือกวัสดุที่มีมุมหรือเหลี่ยมที่ชัดเจน คือ กด่องสี่เหลี่ยม และวัสดุที่มีรูปร่างซับซ้อน เช่น ฟากระดิกน้ำ ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.15 วัสดุที่มีมุมหรือเหลี่ยมที่ชัดเจน และวัสดุชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการดำเนินการ

จากผลการดำเนินการในบทที่ 4 สามารถสรุปและอภิปรายผลการดำเนินการที่เกิดขึ้นจริงได้ทั้งเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของขนาดแบบจำลองวัตถุ 3 มิติที่ได้กับขนาดวัตถุจริง วัตถุที่ไม่เหมาะสมกับเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ เวลารวมทั้งหมดที่ใช้ในการสแกนวัตถุ 1 ชิ้น รวมถึงข้อเสนอแนะเพื่อทำให้การทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะกล่าวอย่างละเอียดต่อไปในบทนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

จากการทดลองนำวัตถุที่มีรูปร่างและรูปทรงที่แตกต่างกันมาสแกนเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยการทดลองจะมีความแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

5.1.1 การทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของขนาดระหว่างแบบจำลอง 3 มิติ กับวัตถุจริง

การทดลองนี้ได้ทำการเลือกวัตถุทรงกระบอกที่มีขนาดแตกต่างกัน 5 ชิ้นงาน โดยวัตถุแต่ละชิ้นถูกนำมาสแกนด้วยความละเอียดของสตีปที่เท่ากัน หรือกล่าวได้ว่าสแกนเพื่อให้ได้จำนวนภาพที่เท่ากัน คือ 100 ภาพ จากนั้นนำมาประมวลผลภาพจะได้แบบจำลอง 3 มิติที่เหมือนกับวัตถุจริง แล้วจึงนำแบบจำลอง 3 มิติมาวัดขนาดทั้ง 2 แนว คือ แนวระนาบและแนวตั้ง พบว่าจากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 เปอร์เซนต์ความแตกต่างของขนาดในแนวระนาบมีค่าประมาณ 3 ถึง 12 เปอร์เซนต์ ส่วนเปอร์เซนต์ความแตกต่างของขนาดในแนวตั้งมีค่าประมาณ 0.7 ถึง 14 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัตถุที่มีขนาดเล็กจะมีเปอร์เซนต์ความแตกต่างของขนาดมากกว่า เนื่องจากเมื่อนำวัตถุที่มีขนาดเล็กมาสแกน ภาพของวัตถุที่ได้จากการสแกนจึงมีขนาดเล็กตามไปด้วย จึงยากต่อการเห็นรายละเอียดของวัตถุ และยากต่อการวัดวัตถุชิ้นนั้นในคอมพิวเตอร์

5.1.2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ในการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

การทดลองนี้ได้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ โดยปัจจัยที่เลือกนำมาวิเคราะห์มี 3 ปัจจัย คือ

5.1.2.1 สีของวัตถุ

ผลที่ได้จากการสแกนวัตถุ 3 ชนิด ได้แก่ วัตถุที่มีความเข้มสีต่ำ วัตถุที่มีความเข้มสีสูง และวัตถุที่มีสีเดียวกับเลเซอร์ พบว่าวัตถุที่มีความเข้มสีต่ำหรือมีสีเดียวกับเลเซอร์ ทำให้ได้แบบจำลอง 3 มิติที่มีความเสมือนจริงกับวัตถุ แต่วัตถุที่มีความเข้มสีสูงไม่สามารถสแกนได้ เนื่องจากแบบจำลอง 3 มิติที่ได้มีความไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่วัตถุมีความสามารถในการดูดกลืนแสงสูงทำให้แสงเลเซอร์ที่ได้จากการถ่ายภาพไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.2 ลักษณะของวัตถุตัวกลาง

ผลที่ได้จากการสแกนวัตถุ 3 ชนิด ได้แก่ วัตถุที่มีลักษณะโปร่งใส โปร่งแสง และสะท้อนแสงพบว่าวัตถุทั้ง 3 ชนิด ไม่สามารถนำมาเป็นวัตถุที่ใช้ในการสแกนด้วยเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ได้ เนื่องจากแสงเลเซอร์ทะลุผ่านวัตถุโปร่งแสงและวัตถุโปร่งใส แล้วไปตกกระทบกับโต๊ะวางวัตถุชิ้นงานหรือส่วนอื่นๆของเครื่อง เมื่อนำรูปถ่ายที่ได้มาประมวลผลทำให้แบบจำลอง 3 มิติที่ได้มีความผิดเพี้ยนไปจากวัตถุจริงเป็นอย่างมาก สำหรับวัตถุที่มีความสะท้อนแสงแสงเลเซอร์ที่ถูกฉายมาบนวัตถุชิ้นงานเกิดการสะท้อนไปในทิศทางต่างๆ แล้วตกกระทบกับโต๊ะวางวัตถุชิ้นงานหรือส่วนอื่นๆของเครื่องเช่นกัน ทำให้แบบจำลอง 3 มิติที่ได้มีลักษณะเหมือนกับวัตถุชิ้นงานทั้ง 2 ลักษณะข้างต้น

5.1.2.3 รูปร่างของวัตถุ

ผลที่ได้จากการสแกนวัตถุ 3 ชนิด ได้แก่ วัตถุที่มีความโค้งหรือความกว้างด้านล่างมากกว่าด้านบน วัตถุที่มีความโค้งหรือความกว้างด้านบนมากกว่าด้านล่าง และวัตถุที่มีส่วนเว้าตรงกลาง พบว่าวัตถุที่มีความโค้งหรือความกว้างด้านล่างมากกว่าด้านบนสามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่สมบูรณ์ได้ ซึ่งแตกต่างกับวัตถุอีก 2 ลักษณะที่ไม่สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติได้สมบูรณ์ เนื่องจากความโค้งหรือความกว้างด้านบนที่มีค่ามากกว่าด้านล่าง ทำให้แสงเลเซอร์ไม่สามารถที่จะฉายเข้าไปถึง เมื่อประมวลผลภาพออกมา แบบจำลอง 3 มิติจะไม่มีข้อมูลจุดในบางส่วนของวัตถุ

5.1.3 การทดลองวัตถุรูปร่างและรูปทรงอื่นๆ

ผลที่ได้จากการสแกนวัตถุที่มีมุมหรือเหลี่ยมที่ชัดเจน และวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อน พบว่าวัตถุที่มีมุมหรือเหลี่ยมที่ชัดเจน เช่น วัตถุที่เป็นกล่องสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และอื่นๆ ไม่สามารถที่จะนำมาสแกนได้ เนื่องจากแสงเลเซอร์ไม่สามารถฉายไปยังมุมหรือเหลี่ยมได้พอดี หรือกล้องถ่ายภาพไม่สามารถถ่ายแสงเลเซอร์ที่ฉายลงไปได้ เนื่องจากมีการบังเกิดขึ้นสำหรับวัตถุที่มีความซับซ้อน สามารถนำมาสแกนได้เนื่องจากแบบจำลอง 3 มิติที่ได้มีความสมบูรณ์ และเสมือนจริงกับวัตถุต้นแบบ

5.1.4 เวลารวมทั้งหมดที่ใช้ในการสแกนวัตถุ 1 ชิ้น

เวลารวมทั้งหมดที่ใช้ในการสแกนวัตถุ 1 ชิ้น สามารถหาได้จากเวลาที่เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ทำงาน คือ เวลาที่ใช้ในการสแกน รวมกับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลภาพ ซึ่งเวลาทั้ง 2 อย่างสามารถหาได้ดังนี้

เวลาที่เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ทำงาน หรือ เวลาที่ใช้ในการสแกน เป็นเวลาที่คงที่ มีหน่วยเป็นวินาที และจะเพิ่มขึ้นเมื่อต้องการจำนวนภาพถ่ายที่มากขึ้น สามารถเขียนสมการได้ คือ

$$\text{เวลาที่ใช้ในการสแกน} = 2.2 (\text{จำนวนภาพ}) + 40 \quad (5.1)$$

จากสมการที่ 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ คือ 2.2 มาจากการหน่วงเวลาในการถ่ายภาพแต่ละภาพ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 2 วินาที มาจากการหน่วงเวลาของเลเซอร์และกล้องถ่ายภาพอย่างละ 1 วินาที ส่วน 0.2 วินาทีมาจากการหน่วงเวลาในการหมุนโต๊ะวางชิ้นงาน เพื่อให้โต๊ะวางชิ้นงานหยุดนิ่งก่อนที่จะทำการฉายเลเซอร์หรือมีการถ่ายภาพ สำหรับค่าคงที่ 40 วินาที คือ เวลาที่โต๊ะวางชิ้นงานใช้ในการหมุนครบ 1 รอบ

เวลาที่ใช้ในการประมวลผลภาพ ไม่สามารถที่จะเขียนเป็นสมการได้ เนื่องจากเวลาไม่คงที่ ซึ่งเวลานี้ขึ้นอยู่กับจำนวนภาพถ่ายและความซับซ้อนของรูปร่างวัตถุ ยกตัวอย่างเช่น ในการสแกนวัตถุทรงกระบอกที่มีความสูง 13 และ 60

มิลลิเมตร จำนวน 50 ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลภาพทั้งหมด 248 และ 734 วินาที ตามลำดับ สำหรับวัตถุที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ถ้วย ที่มีจำนวนภาพ 50 ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลภาพทั้งหมด 1316 วินาที เป็นต้น

5.2 อภิปรายผลการดำเนินการ

จากการทดลองทั้งหมดข้างต้น เห็นได้ว่ามีวัตถุหลายชนิดที่ไม่สามารถนำมาสแกนด้วยเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ได้ เนื่องจากแบบจำลอง 3 มิติที่ได้จากการประมวลผลภาพ มีความไม่สมบูรณ์ เกิดความผิดเพี้ยนหรือผิดเพี้ยนไปจากวัตถุจริง เนื่องจากสาเหตุ ดังนี้

1. เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์มีเลเซอร์ที่ใช้ในการสแกนวัตถุเพียงตัวเดียว ซึ่งไม่สามารถสแกนได้ทุกมุมของวัตถุ อีกทั้งมีการวางตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพและเลเซอร์ที่ตายตัว ทำให้เส้นเลเซอร์บนวัตถุในบางส่วนถูกบดบัง ถึงแม้ว่าจะเลือกจำนวนภาพถ่ายที่ละเอียดที่สุด เช่น วัตถุที่มีมุมหรือเหลี่ยมที่ชัดเจน
2. โปรแกรมที่สร้างขึ้นไม่สามารถตัดแสงเลเซอร์ที่กระจายอยู่รอบนอกได้ ทำให้แสงเลเซอร์ที่ตกกระทบลงบนผิวของเครื่องกราดวัตถุด้วยแสงเลเซอร์ซึ่งถูกถ่ายติดมากับภาพถ่าย ถูกประมวลผลไปด้วย แบบจำลอง 3 มิติที่ได้จึงมีความผิดเพี้ยนไปจากวัตถุจริงเป็นอย่างมาก
3. โปรแกรมที่สร้างขึ้นไม่สามารถเพิ่มหรือลดความเข้มของแสงเลเซอร์ได้ ทำให้ไม่สามารถประมวลผลภาพที่ถ่ายจากวัตถุที่มีการดูดกลืนแสงสูง

5.3 ข้อเสนอแนะ

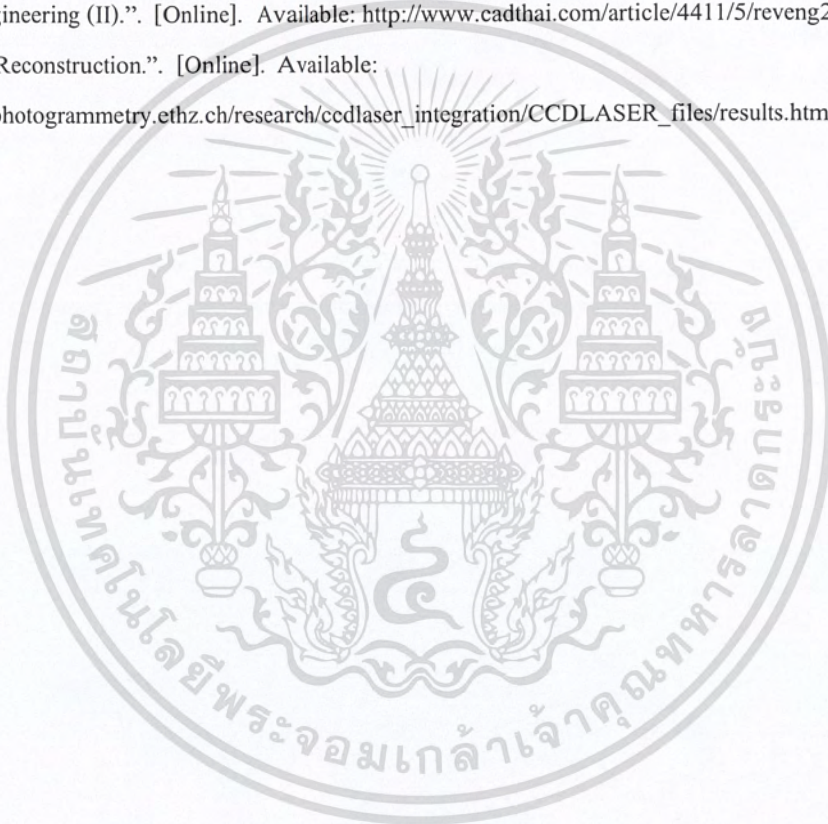
1. เครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์ควรใช้เลเซอร์ 2 ตัวในการสแกน เพื่อให้แสงเลเซอร์สามารถเข้าถึงมุมของวัตถุได้มากขึ้น แบบจำลอง 3 มิติที่ได้จึงมีความสมบูรณ์มากขึ้น
2. ควรมีการปรับตั้งค่ากล้อง (Camera Calibration) เพื่อให้แบบจำลอง 3 มิติที่ได้มีขนาดที่ใกล้เคียงกับวัตถุจริงมากขึ้น ลดความแตกต่างของขนาดระหว่างแบบจำลอง 3 มิติที่ได้กับวัตถุจริง
3. ควรออกแบบให้โปรแกรมมีส่วนปรับความเข้มของแสงเลเซอร์ที่ตรวจจับให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ตามความเหมาะสม ซึ่งช่วยให้สามารถประมวลผลภาพวัตถุที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่สูงได้
4. ควรออกแบบการเชื่อมโยงจุดแบบใหม่ เนื่องจากปัจจุบันใช้การเชื่อมโยงจุดแบบนำจุดที่ใกล้กันที่สุดมาเชื่อมโยงถึงกัน บางกรณีจึงอาจทำให้แบบจำลอง 3 มิติที่ได้ไม่สมบูรณ์หรือผิดเพี้ยนไปจากวัตถุชิ้นงานจริง
5. ในกรณีของวัตถุที่มีความโปร่งแสง โปร่งใสหรือสะท้อนแสง ควรทำการพ่นสีหรือเคลือบสีด้าน เพื่อให้แบบจำลอง 3 มิติที่ได้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

หนังสืออ้างอิง

- [1] “การแปลงข้อมูลรูปภาพ (Image Transformation).” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<http://fivedots.coe.psu.ac.th/~montri/Teaching/image/transform.DOC>
- [2] ชันชัย กิ่งกั้งวาลย์, คู่มือเขียนโปรแกรมกราฟิกด้วย C# และ GDI+ (.NET Framework). กรุงเทพมหานคร : โปรวิชั่น, 2551.
- [3] “งานกราฟิก 3 มิติ.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.vcharkam.com/vblog/33026/4>
- [4] จักรภพ ตระกูลวงศา, นายชินวัตร ตันติไชยบริบูรณ์ และ นายประสิทธิ์ เด่นนินนาท, 2540. การจำลองภาพ 3 มิติ จากวัตถุจริง. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. โครงการพัฒนาเครื่องสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้เทคนิคโทโมกราฟฟี ที่วางตำแหน่งกล้องอิสระ. ใน รายงานฉบับสมบูรณ์, 39-45.
- [6] เศรษฐี มณีธรรม และสำเร็จ เต็มราม, 2549. ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.
- [7] “ทฤษฎีการประมวลผลภาพและคอมพิวเตอร์วิชัน.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:8ZRsjDuHneYJ:fivedots.coe.psu.ac.th/~montri/Teaching/image/chap1.pdf>
- [8] นันทินี ตุลยานนท์, 2552. การสร้างโมเดลสามมิติของวัตถุโดยอัตโนมัติด้วยกล้องและแขนกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุณวุฒิปริญญาตรี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] “แบบจำลองโครงลวด.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://th.wikipedia.org/wiki/>
- [10] ปัญญาดี ประเสริฐกุล, 2541. อุปกรณ์วัดพิคัด 3 มิติที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีพื้นผิวค่อเนื่องและโปรแกรมเชื่อมโยงกับโปรแกรม CATIA. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุณวุฒิปริญญาตรี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [11] เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยภาษา C พร้อมโครงงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาร์ท เลิร์นนิ่ง, 2552.
- [12] ศราวุธ อินทุเศรษฐ, 2553. การวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยการใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุณวุฒิปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [13] สัจจะ จรัสรุ่งรวี, เริ่มต้น Visual C# 2008 ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์, 2552.
- [14] ออกแบบและจำลองการทำงานของวงจรด้วย Proteus. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2552.
- [15] “A Volumetric Method for Building Complex Models from Range Images.” [Online]. Available:
http://graphics.stanford.edu/papers/volrange/paper_1_level/gamma-corrected/paper.html
- [16] Boiangiu, and Raducanu. “Line Detection Techniques for Automatic Content Conversion Systems”. WSEAS Transactions on Information Science & Applications, Issue 7, Vol. 5, 2008.

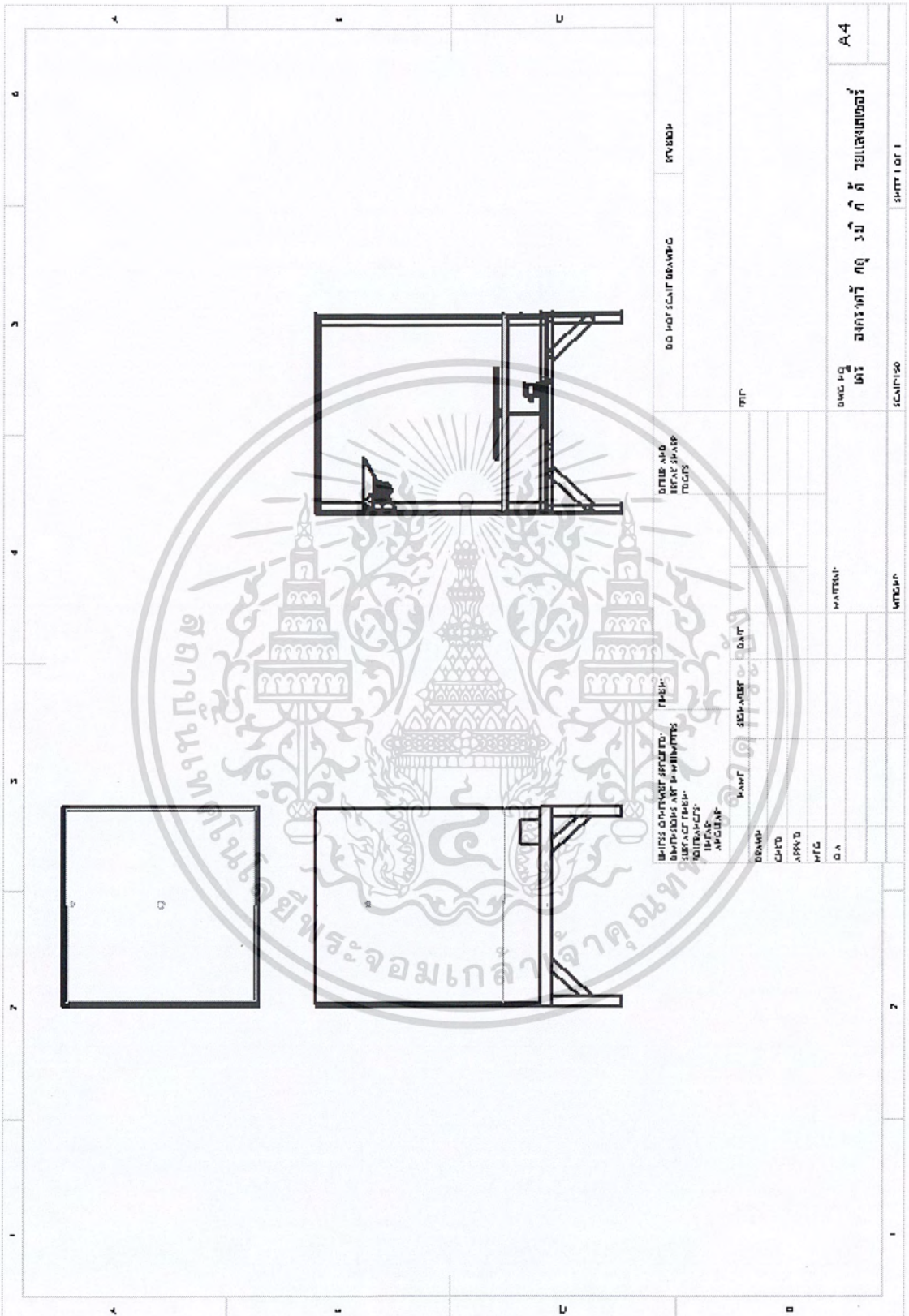
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 71 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] "Depth from defocus vs. Stereo." [Online]. Available:
<http://webee.technion.ac.il/~yoav/research/depth-defocus.html>
- [18] "Interferometric microscopy." [Online]. Available:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interferometric_Microscopy.png
- [19] Jean-Yves Bouguet and Pietro Perona. 3D photography using shadows in dual-space geometr. International Journal of Computer Vision, 129-149, 1999.
- [20] "Our Active Stereo Vision System." [Online]. Available:
http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MARSHALL/node13.html
- [21] "Polygon mesh." [Online]. Available:
http://translate.google.co.th/translate?hl=th&sl=en&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mes
- [22] "Reverse Engineering (II)." [Online]. Available: <http://www.cadthai.com/article/4411/5/reveng20.htm>
- [23] "3D Surface Reconstruction." [Online]. Available:
http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/ccdlaser_integration/CCDLASER_files/results.html



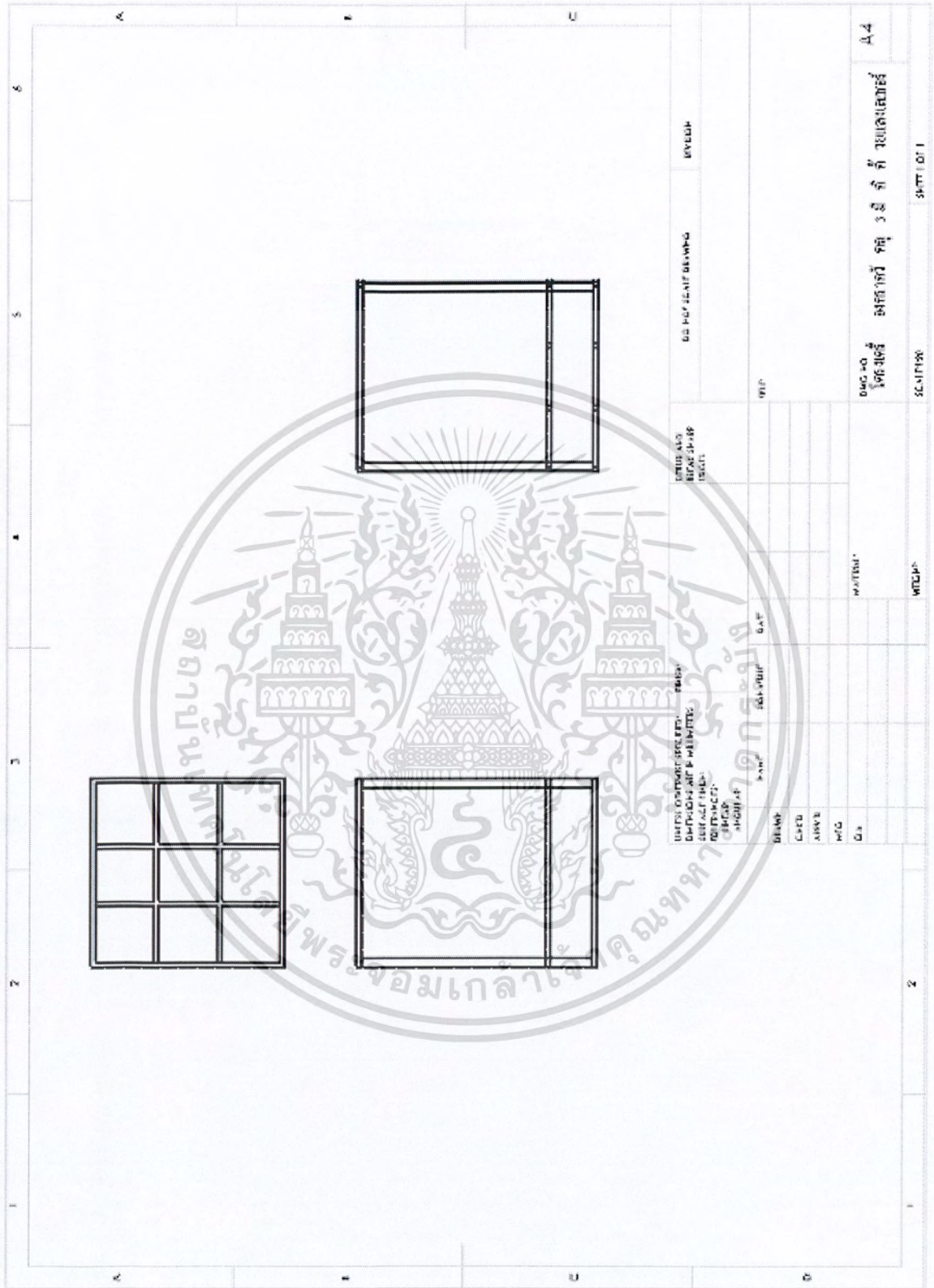


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



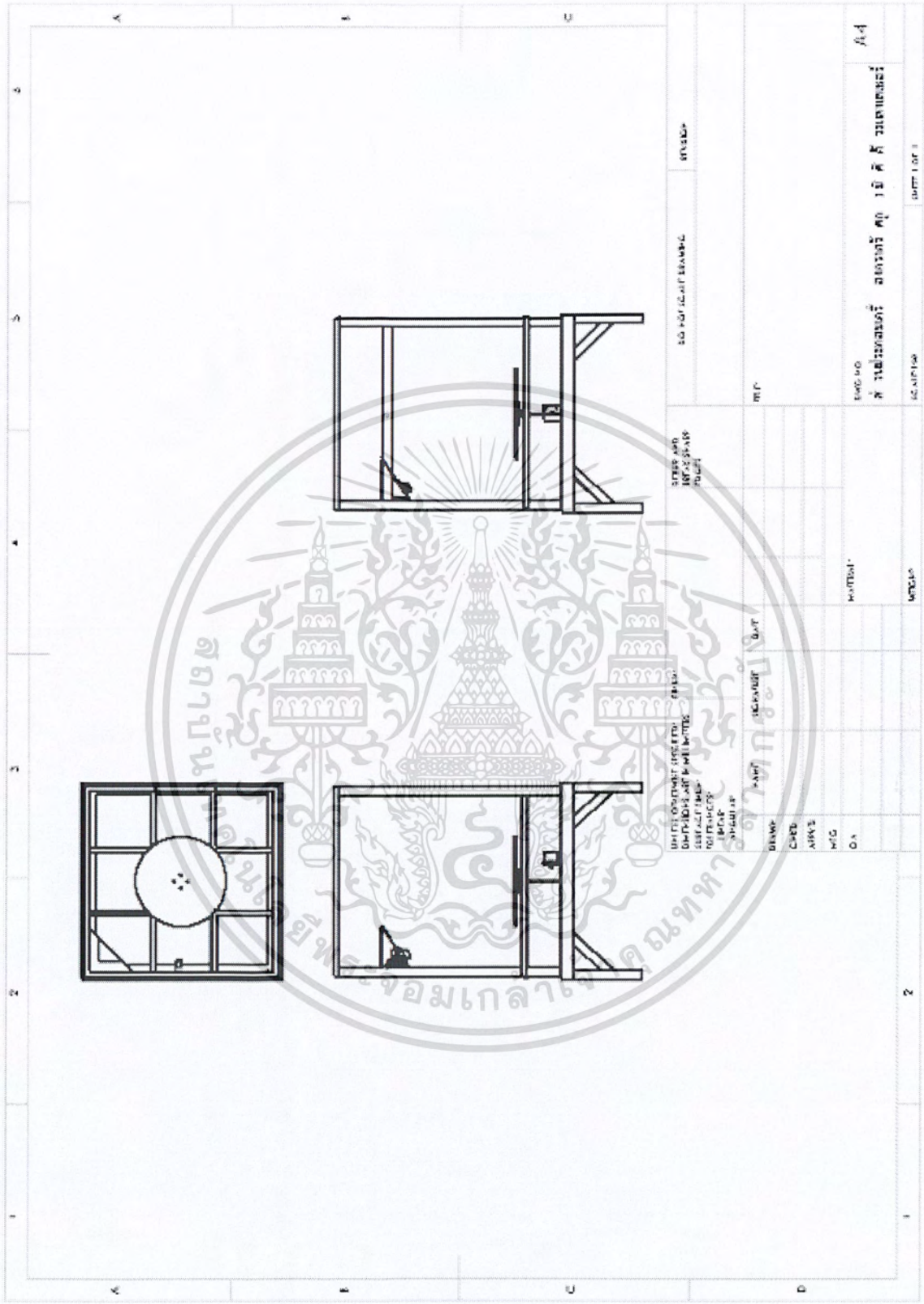
รูปที่ ผก 1 แบบเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก 2 แบบ โครงเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

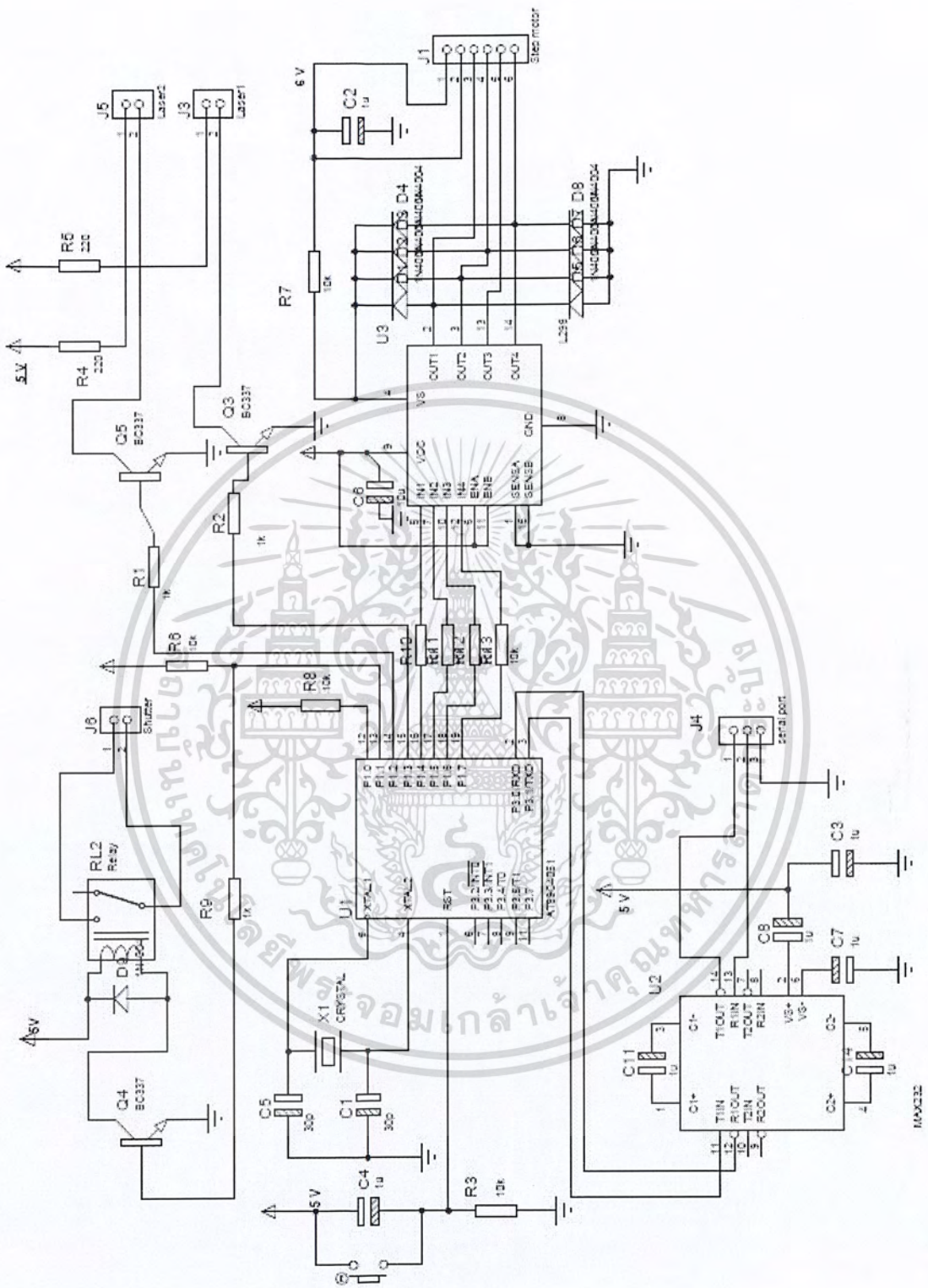


รูปที่ ผก 3 แบบส่วนประกอบเครื่องกรวดวัสดุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน^{ก3}การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

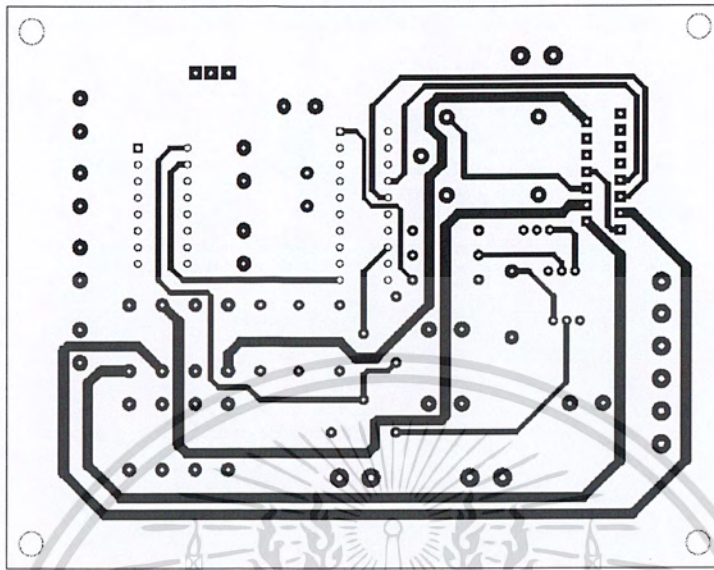


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

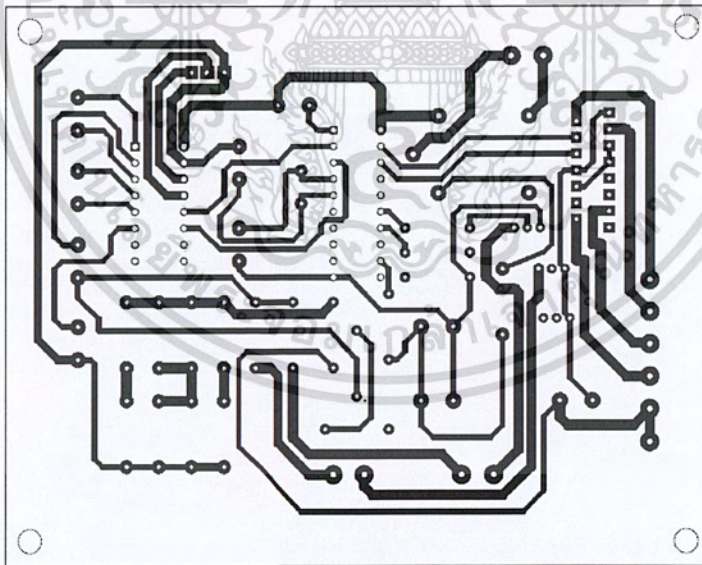


รูปที่ ผข 1 Schematic ของวงจรที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ ผข 2 ลายวงจรด้านบน (a) และด้านล่าง (b) ของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
ที่ใช้ในการควบคุมการของเครื่องกราคัด 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CODE ภาษา C สำหรับ MCS-51 ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องรูดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์

```
#include<REG4051.H>
#include<stdio.h>
sbit shutter=P1^1;
sbit laser1 =P1^3;
sbit IN1 =P1^4;
sbit IN2 =P1^5;
sbit IN3 =P1^6;
sbit IN4 =P1^7;

void cleardrive()
{
    IN4=0;
    IN3=0;
    IN2=0;
    IN1=0;
}

void decodestep(unsigned int st)
{
    if(st==0) {IN4=1;IN3=0;IN2=0;IN1=0;}
    else if(st==1) {IN4=1;IN3=1;IN2=0;IN1=0;}
    else if(st==2) {IN4=0;IN3=1;IN2=0;IN1=0;}
    else if(st==3) {IN4=0;IN3=1;IN2=1;IN1=0;}
    else if(st==4) {IN4=0;IN3=0;IN2=1;IN1=0;}
    else if(st==5) {IN4=0;IN3=0;IN2=1;IN1=1;}
    else if(st==6) {IN4=0;IN3=0;IN2=0;IN1=1;}
    else if(st==7) {IN4=1;IN3=0;IN2=0;IN1=1;}
}

void initserial()
{
    SCON=0x50;
    TMOD=0x22;
    TH1 =0xfd;
    TH0 =55;
    TL0 =55;
    TI =1;
    TR1 =1;
}

void initIO()
{
    shutter=0;
    laser1=0;
    cleardrive();
}

void delay(unsigned int count)
{
    unsigned int i;
    while(count)
    {
        for(i=0;i<=113;i++);
        count--;
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void capture()
{
    laser1=1;
    delay(1000);
    shutter=1;
    delay(1000);
    shutter=0;
    laser1=0;
}

void drivestep(unsigned int max)
{
    unsigned int i;
    for(i=0;i<max;i++)
    {
        decodestep(i%8);
        delay(50);
    }
    cleardrive();
}

void drivestepcapture(unsigned int max)
{
    unsigned int i;
    for(i=0;i<800;i++)
    {
        decodestep(i%8);
        if(i%(800/max)==0)
        {
            capture();
        }
        delay(200);
    }
    cleardrive();
}

void command(unsigned char cm)
{
    if(cm=='a')
    {
        drivestepcapture(10);
        printf("\nFINISH\n");
    }
    else if(cm=='b')
    {
        drivestepcapture(50);
        printf("\nFINISH\n");
    }
    else if(cm=='c')
    {
        drivestepcapture(100);
        printf("\nFINISH\n");
    }
    else if(cm=='d')
    {
        drivestepcapture(200);
        printf("\nFINISH\n");
    }
}

```

```

else if(cm=='e')
{
    drivestepcapture(400);
    printf("\nFINISH\n");
}
else if(cm=='f')
{
    drivestepcapture(800);
    printf("\nFINISH\n");
}

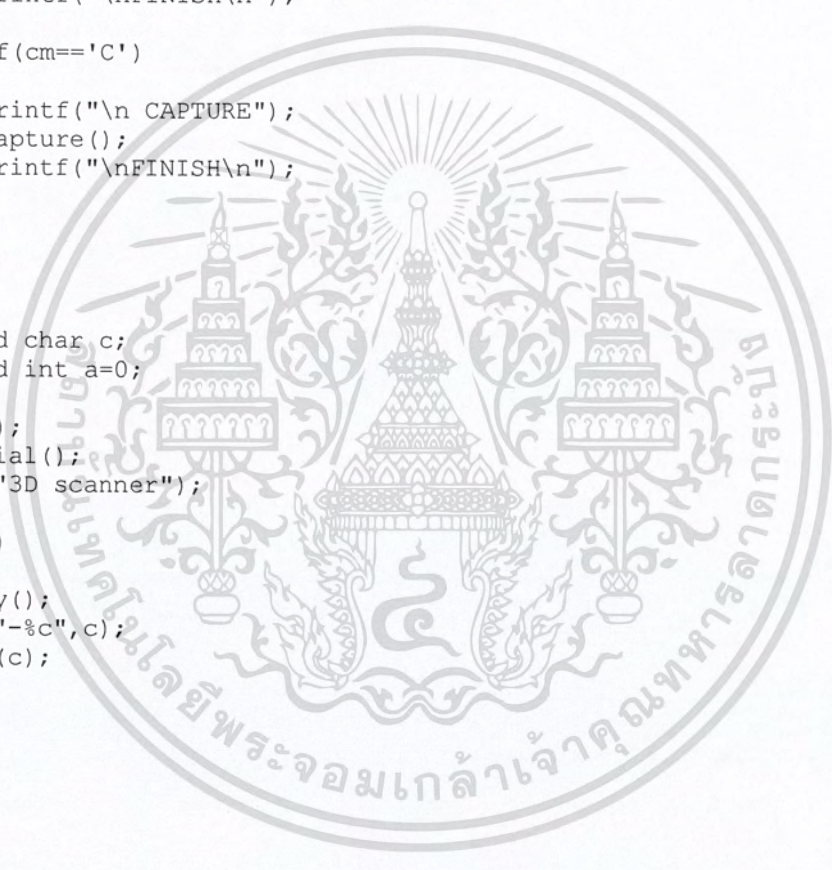
else if(cm=='M')
{
    printf("\n TEST ");
    drivestep(400);
    printf("\nFINISH\n");
}
else if(cm=='C')
{
    printf("\n CAPTURE");
    capture();
    printf("\nFINISH\n");
}
}

void main()
{
    unsigned char c;
    unsigned int a=0;

    initIO();
    initserial();
    printf("3D scanner");

    while(1)
    {
        c=getkey();
        printf("-%c",c);
        command(c);
    }
}

```



CODE ภาษา C# ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกราดวัตถุ 3 มิติด้วยแสงเลเซอร์และการประมวลผลภาพ

```
namespace _3D_Laser_Scanner
{
    partial class Form1
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;

        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should be
disposed; otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)
        {
            if (disposing && (components != null))
            {
                components.Dispose();
            }
            base.Dispose(disposing);
        }

        #region Windows Form Designer generated code

        /// <summary>
        /// Required method for Designer support - do not modify
        /// the contents of this method with the code editor.
        /// </summary>
        private void InitializeComponent()
        {
            this.components = new System.ComponentModel.Container();
            this.label1 = new System.Windows.Forms.Label();
            this.btnStart = new System.Windows.Forms.Button();
            this.txt1 = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.serialPort1 = new
System.IO.Ports.SerialPort(this.components);
            this.txt2 = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.txt3 = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.sensorH = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.label3 = new System.Windows.Forms.Label();
            this.label4 = new System.Windows.Forms.Label();
            this.label5 = new System.Windows.Forms.Label();
            this.label6 = new System.Windows.Forms.Label();
            this.sensorW = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.imageH = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.imageW = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.txt4 = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.btnTestM = new System.Windows.Forms.Button();
            this.btnTestC = new System.Windows.Forms.Button();
            this.label7 = new System.Windows.Forms.Label();
            this.focus = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.txtFirst = new System.Windows.Forms.TextBox();
            this.btnScan = new System.Windows.Forms.Button();
            this.label8 = new System.Windows.Forms.Label();
            this.label9 = new System.Windows.Forms.Label();
            this.usedT = new System.Windows.Forms.TextBox();
        }
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

this.groupBox1 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
this.cmbImages = new System.Windows.Forms.ComboBox();
this.groupBox2 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
this.groupBox3 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
this.label12 = new System.Windows.Forms.Label();
this.label11 = new System.Windows.Forms.Label();
this.label10 = new System.Windows.Forms.Label();
this.label13 = new System.Windows.Forms.Label();
this.groupBox1.SuspendLayout();
this.groupBox2.SuspendLayout();
this.groupBox3.SuspendLayout();
this.SuspendLayout();
//
// label1
//
this.label1.AutoSize = true;
this.label1.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.label1.Location = new System.Drawing.Point(13, 46);
this.label1.Name = "label1";
this.label1.Size = new System.Drawing.Size(135, 22);
this.label1.TabIndex = 0;
this.label1.Text = "No. of Images :";
//
// btnStart
//
this.btnStart.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 18F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.btnStart.Location = new System.Drawing.Point(69, 383);
this.btnStart.Name = "btnStart";
this.btnStart.Size = new System.Drawing.Size(217, 50);
this.btnStart.TabIndex = 2;
this.btnStart.Text = "Create 3D Model";
this.btnStart.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnStart.Click += new
System.EventHandler(this.btnStart_Click);
//
// txt1
//
this.txt1.Font = new System.Drawing.Font("FreesiaUPC", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)222));
this.txt1.Location = new System.Drawing.Point(17, 122);
this.txt1.Multiline = true;
this.txt1.Name = "txt1";
this.txt1.ReadOnly = true;
this.txt1.ScrollBars = System.Windows.Forms.ScrollBars.Both;
this.txt1.Size = new System.Drawing.Size(400, 238);
this.txt1.TabIndex = 3;
//
// txt2
//
this.txt2.Font = new System.Drawing.Font("FreesiaUPC", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)222));
this.txt2.Location = new System.Drawing.Point(432, 122);
this.txt2.Multiline = true;
this.txt2.Name = "txt2";
this.txt2.ReadOnly = true;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

this.txt2.ScrollBars = System.Windows.Forms.ScrollBars.Both;
this.txt2.Size = new System.Drawing.Size(400, 238);
this.txt2.TabIndex = 5;
//
// txt3
//
this.txt3.Font = new System.Drawing.Font("FreesiaUPC", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) (222));
this.txt3.Location = new System.Drawing.Point(17, 417);
this.txt3.Multiline = true;
this.txt3.Name = "txt3";
this.txt3.ReadOnly = true;
this.txt3.ScrollBars = System.Windows.Forms.ScrollBars.Both;
this.txt3.Size = new System.Drawing.Size(400, 238);
this.txt3.TabIndex = 6;
//
// sensorH
//
this.sensorH.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) (0));
this.sensorH.Location = new System.Drawing.Point(160, 47);
this.sensorH.Name = "sensorH";
this.sensorH.Size = new System.Drawing.Size(99, 26);
this.sensorH.TabIndex = 7;
this.sensorH.Text = "16";
//
// label3
//
this.label3.AutoSize = true;
this.label3.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) (0));
this.label3.Location = new System.Drawing.Point(13, 51);
this.label3.Name = "label3";
this.label3.Size = new System.Drawing.Size(141, 22);
this.label3.TabIndex = 8;
this.label3.Text = "Sensor Height :";
//
// label4
//
this.label4.AutoSize = true;
this.label4.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) (0));
this.label4.Location = new System.Drawing.Point(13, 83);
this.label4.Name = "label4";
this.label4.Size = new System.Drawing.Size(136, 22);
this.label4.TabIndex = 9;
this.label4.Text = "Sensor Width :";
//
// label5
//
this.label5.AutoSize = true;
this.label5.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) (0));
this.label5.Location = new System.Drawing.Point(13, 150);
this.label5.Name = "label5";
this.label5.Size = new System.Drawing.Size(135, 22);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

this.label5.TabIndex = 10;
this.label5.Text = "Image Height :";
//
// label6
//
this.label6.AutoSize = true;
this.label6.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.label6.Location = new System.Drawing.Point(13, 182);
this.label6.Name = "label6";
this.label6.Size = new System.Drawing.Size(130, 22);
this.label6.TabIndex = 11;
this.label6.Text = "Image Width :";
//
// sensorW
//
this.sensorW.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.sensorW.Location = new System.Drawing.Point(160, 79);
this.sensorW.Name = "sensorW";
this.sensorW.Size = new System.Drawing.Size(99, 26);
this.sensorW.TabIndex = 12;
this.sensorW.Text = "24";
//
// imageH
//
this.imageH.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.imageH.Location = new System.Drawing.Point(160, 146);
this.imageH.Name = "imageH";
this.imageH.Size = new System.Drawing.Size(99, 26);
this.imageH.TabIndex = 13;
this.imageH.Text = "2000";
//
// imageW
//
this.imageW.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.imageW.Location = new System.Drawing.Point(160, 178);
this.imageW.Name = "imageW";
this.imageW.Size = new System.Drawing.Size(99, 26);
this.imageW.TabIndex = 14;
this.imageW.Text = "3008";
//
// txt4
//
this.txt4.Font = new System.Drawing.Font("FreesiaUPC", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Regular, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)222));
this.txt4.Location = new System.Drawing.Point(432, 417);
this.txt4.Multiline = true;
this.txt4.Name = "txt4";
this.txt4.ReadOnly = true;
this.txt4.ScrollBars = System.Windows.Forms.ScrollBars.Both;
this.txt4.Size = new System.Drawing.Size(400, 238);
this.txt4.TabIndex = 15;
//

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// btnTestM
//
this.btnTestM.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 18F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) 0));
this.btnTestM.Location = new System.Drawing.Point(17, 106);
this.btnTestM.Name = "btnTestM";
this.btnTestM.Size = new System.Drawing.Size(165, 50);
this.btnTestM.TabIndex = 16;
this.btnTestM.Text = "Motor Test";
this.btnTestM.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnTestM.Click += new
System.EventHandler(this.btnTestM_Click);
//
// btnTestC
//
this.btnTestC.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 18F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) 0));
this.btnTestC.Location = new System.Drawing.Point(185, 106);
this.btnTestC.Name = "btnTestC";
this.btnTestC.Size = new System.Drawing.Size(165, 50);
this.btnTestC.TabIndex = 17;
this.btnTestC.Text = "Capture Test";
this.btnTestC.UseVisualStyleBackColor = true;
this.btnTestC.Click += new
System.EventHandler(this.btnTestC_Click);
//
// label7
//
this.label7.AutoSize = true;
this.label7.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) 0));
this.label7.Location = new System.Drawing.Point(13, 253);
this.label7.Name = "label7";
this.label7.Size = new System.Drawing.Size(65, 22);
this.label7.TabIndex = 18;
this.label7.Text = "focus :";
//
// focus
//
this.focus.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) 0));
this.focus.Location = new System.Drawing.Point(160, 249);
this.focus.Name = "focus";
this.focus.Size = new System.Drawing.Size(99, 26);
this.focus.TabIndex = 19;
this.focus.Text = "26.5";
//
// txtFirst
//
this.txtFirst.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte) 0));
this.txtFirst.Location = new System.Drawing.Point(202, 320);
this.txtFirst.Name = "txtFirst";
this.txtFirst.Size = new System.Drawing.Size(99, 26);
this.txtFirst.TabIndex = 20;
//

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        // btnScan
        //
        this.btnScan.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 18F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
        this.btnScan.Location = new System.Drawing.Point(270, 34);
        this.btnScan.Name = "btnScan";
        this.btnScan.Size = new System.Drawing.Size(80, 50);
        this.btnScan.TabIndex = 21;
        this.btnScan.Text = "Scan";
        this.btnScan.UseVisualStyleBackColor = true;
        this.btnScan.Click += new
System.EventHandler(this.btnScan_Click);
        //
        // label8
        //
        this.label8.AutoSize = true;
        this.label8.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
        this.label8.Location = new System.Drawing.Point(13, 324);
        this.label8.Name = "label8";
        this.label8.Size = new System.Drawing.Size(183, 22);
        this.label8.TabIndex = 22;
        this.label8.Text = "Initial No. of Image :";
        //
        // label9
        //
        this.label9.AutoSize = true;
        this.label9.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
        this.label9.Location = new System.Drawing.Point(27, 37);
        this.label9.Name = "label9";
        this.label9.Size = new System.Drawing.Size(106, 22);
        this.label9.TabIndex = 23;
        this.label9.Text = "Used time :";
        //
        // usedT
        //
        this.usedT.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
        this.usedT.Location = new System.Drawing.Point(148, 34);
        this.usedT.Name = "usedT";
        this.usedT.ReadOnly = true;
        this.usedT.Size = new System.Drawing.Size(132, 26);
        this.usedT.TabIndex = 24;
        this.usedT.Text = "0 Second";
        //
        // groupBox1
        //
        this.groupBox1.Controls.Add(this.cmbImages);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.btnScan);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.btnTestC);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.btnTestM);
        this.groupBox1.Controls.Add(this.label1);
        this.groupBox1.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans
Serif", 11.25F, System.Drawing.FontStyle.Regular,
System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)222));
        this.groupBox1.Location = new System.Drawing.Point(19, 19);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

this.groupBox1.Name = "groupBox1";
this.groupBox1.Size = new System.Drawing.Size(369, 185);
this.groupBox1.TabIndex = 25;
this.groupBox1.TabStop = false;
this.groupBox1.Text = "Scanner";
//
// cmbImages
//
this.cmbImages.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 12F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.cmbImages.FormattingEnabled = true;
this.cmbImages.Location = new System.Drawing.Point(160, 41);
this.cmbImages.Name = "cmbImages";
this.cmbImages.Size = new System.Drawing.Size(99, 27);
this.cmbImages.TabIndex = 22;
//
// groupBox2
//
this.groupBox2.Controls.Add(this.imageW);
this.groupBox2.Controls.Add(this.imageH);
this.groupBox2.Controls.Add(this.sensorW);
this.groupBox2.Controls.Add(this.label6);
this.groupBox2.Controls.Add(this.txtFirst);
this.groupBox2.Controls.Add(this.label8);
this.groupBox2.Controls.Add(this.label5);
this.groupBox2.Controls.Add(this.label4);
this.groupBox2.Controls.Add(this.label7);
this.groupBox2.Controls.Add(this.btnStart);
this.groupBox2.Controls.Add(this.focus);
this.groupBox2.Controls.Add(this.label3);
this.groupBox2.Controls.Add(this.sensorH);
this.groupBox2.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans
Serif", 11.25F, System.Drawing.FontStyle.Regular,
System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)222));
this.groupBox2.Location = new System.Drawing.Point(19, 230);
this.groupBox2.Name = "groupBox2";
this.groupBox2.Size = new System.Drawing.Size(369, 487);
this.groupBox2.TabIndex = 26;
this.groupBox2.TabStop = false;
this.groupBox2.Text = "Image Processing";
//
// groupBox3
//
this.groupBox3.Controls.Add(this.label12);
this.groupBox3.Controls.Add(this.label11);
this.groupBox3.Controls.Add(this.label10);
this.groupBox3.Controls.Add(this.label13);
this.groupBox3.Controls.Add(this.txt1);
this.groupBox3.Controls.Add(this.usedT);
this.groupBox3.Controls.Add(this.label9);
this.groupBox3.Controls.Add(this.txt4);
this.groupBox3.Controls.Add(this.txt2);
this.groupBox3.Controls.Add(this.txt3);
this.groupBox3.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans
Serif", 11.25F, System.Drawing.FontStyle.Regular,
System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)222));
this.groupBox3.Location = new System.Drawing.Point(411, 19);
this.groupBox3.Name = "groupBox3";
this.groupBox3.Size = new System.Drawing.Size(849, 698);
this.groupBox3.TabIndex = 27;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

this.groupBox3.TabStop = false;

this.groupBox3.Text = "Result";
//
// label12
//
this.label12.AutoSize = true;
this.label12.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.label12.Location = new System.Drawing.Point(27, 389);
this.label12.Name = "label12";
this.label12.Size = new System.Drawing.Size(350, 22);
this.label12.TabIndex = 28;
this.label12.Text = "Coordinates (x, y, z) at Shuter Position
:";

//
// label11
//
this.label11.AutoSize = true;
this.label11.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.label11.Location = new System.Drawing.Point(451, 96);
this.label11.Name = "label11";
this.label11.Size = new System.Drawing.Size(278, 22);
this.label11.TabIndex = 27;
this.label11.Text = "Coordinates (x, y, z) of Images :";
//
// label10
//
this.label10.AutoSize = true;
this.label10.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.label10.Location = new System.Drawing.Point(27, 96);
this.label10.Name = "label10";
this.label10.Size = new System.Drawing.Size(261, 22);
this.label10.TabIndex = 26;
this.label10.Text = "Coordinates (x, y) of Images :";
//
// label13
//
this.label13.AutoSize = true;
this.label13.Font = new System.Drawing.Font("Cambria", 14.25F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point,
(byte)0));
this.label13.Location = new System.Drawing.Point(451, 389);
this.label13.Name = "label13";
this.label13.Size = new System.Drawing.Size(271, 22);
this.label13.TabIndex = 25;
this.label13.Text = "Coordinates (x, y, z) of Object :";
//
// Form1
//
this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(6F, 13F);
this.AutoScaleMode = System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
this.BackColor =
System.Drawing.SystemColors.InactiveCaptionText;
this.ClientSize = new System.Drawing.Size(1272, 746);
this.Controls.Add(this.groupBox3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        this.Controls.Add(this.groupBox2);
        this.Controls.Add(this.groupBox1);
        this.Name = "Form1";
        this.StartPosition =
System.Windows.Forms.FormStartPosition.CenterScreen;
        this.Text = "3D Laser Scanner";
        this.Load += new System.EventHandler(this.Form1_Load);
        this.groupBox1.ResumeLayout(false);
        this.groupBox1.PerformLayout();
        this.groupBox2.ResumeLayout(false);
        this.groupBox2.PerformLayout();
        this.groupBox3.ResumeLayout(false);
        this.groupBox3.PerformLayout();
        this.ResumeLayout(false);
    }

#endregion

private System.Windows.Forms.Label label1;
private System.Windows.Forms.Button btnStart;
private System.Windows.Forms.TextBox txt1;
private System.IO.Ports.SerialPort serialPort1;
private System.Windows.Forms.TextBox txt2;
private System.Windows.Forms.TextBox txt3;
private System.Windows.Forms.TextBox sensorH;
private System.Windows.Forms.Label label3;
private System.Windows.Forms.Label label4;
private System.Windows.Forms.Label label5;
private System.Windows.Forms.Label label6;
private System.Windows.Forms.TextBox sensorW;
private System.Windows.Forms.TextBox imageH;
private System.Windows.Forms.TextBox imageW;
private System.Windows.Forms.TextBox txt4;
private System.Windows.Forms.Button btnTestM;
private System.Windows.Forms.Button btnTestC;
private System.Windows.Forms.Label label7;
private System.Windows.Forms.TextBox focus;
private System.Windows.Forms.TextBox txtFirst;
private System.Windows.Forms.Button btnScan;
private System.Windows.Forms.Label label8;
private System.Windows.Forms.Label label9;
private System.Windows.Forms.TextBox usedT;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox1;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox2;
private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox3;
private System.Windows.Forms.Label label12;
private System.Windows.Forms.Label label11;
private System.Windows.Forms.Label label10;
private System.Windows.Forms.Label label13;
private System.Windows.Forms.ComboBox cmbImages;
}
}

```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Threading;
using System.IO;
using System.IO.Ports;
using System.Drawing.Imaging;
using System.Diagnostics;

namespace _3D_Laser_Scanner
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        Bitmap myBitmap;

        static public Bitmap BitmapFromBitmapData(byte[] BitmapData)
        {
            MemoryStream ms = new MemoryStream(BitmapData);
            return (new Bitmap(ms));
        }

        static public byte[] BitmapDataFromBitmap(Bitmap objBitmap)
        {
            MemoryStream ms = new MemoryStream();
            objBitmap.Save(ms, ImageFormat.Bmp);
            return (ms.GetBuffer());
        }

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private string PicName(int p)
        {
            string pname;
            int initial = System.Convert.ToInt32(txtFirst.Text) + p;
            if (initial < 10) pname = "_IGP000" + initial + ".JPG";
            else if (initial < 100) pname = "_IGP00" + initial + ".JPG";
            else if (initial < 1000) pname = "_IGP0" + initial + ".JPG";
            else pname = "_IGP" + initial + ".JPG";
            return pname;
        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            cmbImages.Items.Add(10);
            cmbImages.Items.Add(50);
            cmbImages.Items.Add(100);
            cmbImages.Items.Add(200);
            cmbImages.Items.Add(400);
            cmbImages.Items.Add(800);
        }

        private void btnStart_Click(object sender, EventArgs e)
        {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Stopwatch objStopWatchAuto = new Stopwatch();
objStopWatchAuto.Start();

Thread progressThread = new Thread(delegate()
{
    ProgressForm progress = new ProgressForm();
    progress.ShowDialog();
});
progressThread.Start();

int allImages = System.Convert.ToInt32(cmbImages.SelectedItem);
int[] Point = new int[allImages];
double[,] P = new double[allImages][,];
double[,] F = new double[1, 3] { { 0, 460, 452 } };
int p, pl;
int vertex = 0;
int face = 0;
int sum1 = 0, sum2 = 0;
for (p = 0; p < allImages; p++)
{
    Graphics g = this.CreateGraphics();
    myBitmap = new Bitmap("D:\\Project\\113_0115\\New Folder\\"
+ PicName(p));
    byte[] redV = new byte[myBitmap.Width];
    pl = 0;
    for (int y = 0; y < myBitmap.Size.Height; y += 10)
    {
        for (int x = 0; x < myBitmap.Size.Width; x++)
        {
            redV[x] = myBitmap.GetPixel(x, y).R;
        }
        int maxr = 0;
        int maxx = 0;
        for (int x = 0; x < myBitmap.Width; x++)
        {
            int val = 0;
            for (int j = -5; j <= 5; j++)
            {
                int weight = 6 - Math.Abs(j);
                int idx = x + j;
                if (idx < 0) idx = 0;
                if (idx >= myBitmap.Width) idx = myBitmap.Width
- 1;
                val += redV[idx] * weight;
            }
            if (val > maxr)
            {
                maxr = val;
                maxx = x;
            }
        }
        int centerX = 1500;
        int centerY = 1000;
        if (maxr > 2000 && maxx >= centerX)
        {
            txt1.Text += (maxx - centerX).ToString() + " " +
(centerY - y).ToString() + "\r\n";
            if (P[p] == null)
                P[p] = new double[2000, 3];
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        double focus_y =
System.Convert.ToDouble(focus.Text) * Math.Sin(41.66 * Math.PI / 180);
        double focus_z =
System.Convert.ToDouble(focus.Text) * Math.Cos(41.66 * Math.PI / 180);
        double temp2 =
System.Convert.ToDouble(sensorH.Text) /
System.Convert.ToDouble(imageH.Text);
        double yy = temp2 * (centerY - y) * Math.Sin(48.34
* Math.PI / 180);
        double zz = temp2 * (centerY - y) * Math.Cos(48.34
* Math.PI / 180);
        P[p][pl, 0] = temp2 * (maxx - centerX);
        P[p][pl, 1] = F[0, 1] - focus_y + yy;
        P[p][pl, 2] = F[0, 2] - focus_z - zz;
        txt2.Text += P[p][pl, 0].ToString() + " " +
P[p][pl, 1].ToString() + " " + P[p][pl, 2].ToString() + "\r\n";
        pl++;
    }
}

Point[p] = pl;
vertex += (Point[p] - 1) * 6;
}
for (p = 0; p < allImages; p++)
{
    if ((p == allImages - 1) && (Point[allImages - 1] >
Point[0]))
        sum1 = (Point[p] - Point[0]) * 6;
    else if ((p < allImages - 1) && (Point[p] > Point[p + 1]))
        sum2 += (Point[p] - Point[p + 1]) * 6;
}
int netvertex = vertex - sum1 - sum2;
face = netvertex / 3;

////////////////////////////////////

double[,] N = new double[1, 3] { { -1, 0, 1 } };
double[,] Y = new double[1, 3] { { 0, 0, 0 } };
double[,] X = new double[allImages][,];
for (p = 0; p < allImages; p++)
{
    if (X[p] == null)
        X[p] = new double[2000, 3];
    for (int m = 0; m < Point[p]; m++)
    {
        for (int n = 0; n < 3; n++)
        {
            double u = ((N[0, 0] * (Y[0, 0] - F[0, 0])) + (N[0,
1] * (Y[0, 1] - F[0, 1])) + (N[0, 2] * (Y[0, 2] - F[0, 2]))) / ((N[0, 0] *
(P[p][m, 0] - F[0, 0])) + (N[0, 1] * (P[p][m, 1] - F[0, 1])) + (N[0, 2] *
(P[p][m, 2] - F[0, 2])));
            X[p][m, n] = F[0, n] + u * (P[p][m, n] - F[0, n]);
        }
        txt3.Text += X[p][m, 0].ToString() + " " + X[p][m,
1].ToString() + " " + X[p][m, 2].ToString() + "\r\n";
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```
} while (p < allImages && theta < 360);
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
for (p = 0; p <= allImages - 1; p++)
{
    if (p == allImages - 1)
    {
        if (Point[p] > Point[0])
        {
            for (int l = 0; l < Point[0] - 1; l++)
            {
                stWriter.Write(Coordinates[p][l, 0] + " " +
Coordinates[p][l, 1] + " " + Coordinates[p][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[0][l, 0] + " " +
Coordinates[0][l, 1] + " " + Coordinates[0][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[p][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p][l + 1, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[p][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p][l + 1, 2] + "\r\n" +
Coordinates[0][l, 0] + " " +
Coordinates[0][l, 1] + " " + Coordinates[0][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[0][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[0][l + 1, 1] + " " + Coordinates[0][l + 1, 2] + "\r\n");
            }
        }
        else
        for (int l = 0; l < Point[p] - 1; l++)
        {
            stWriter.Write(Coordinates[p][l, 0] + " " +
Coordinates[p][l, 1] + " " + Coordinates[p][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[0][l, 0] + " " +
Coordinates[0][l, 1] + " " + Coordinates[0][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[p][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p][l + 1, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[p][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p][l + 1, 2] + "\r\n" +
Coordinates[0][l, 0] + " " +
Coordinates[0][l, 1] + " " + Coordinates[0][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[0][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[0][l + 1, 1] + " " + Coordinates[0][l + 1, 2] + "\r\n");
        }
    }
    else
        if (Point[p] > Point[p + 1])
        {
            for (int l = 0; l < Point[p + 1] - 1; l++)
            {
                stWriter.Write(Coordinates[p][l, 0] + " " +
Coordinates[p][l, 1] + " " + Coordinates[p][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p + 1][l, 0] + " " +
Coordinates[p + 1][l, 1] + " " + Coordinates[p + 1][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[p][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p][l + 1, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[p][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p][l + 1, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p + 1][l, 0] + " " +
Coordinates[p + 1][l, 1] + " " + Coordinates[p + 1][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p + 1][l, 0] + " " +
Coordinates[p + 1][l, 1] + " " + Coordinates[p + 1][l, 2] + "\r\n");
            }
        }
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Coordinates[p + 1][l + 1, 0] + "
" + Coordinates[p + 1][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p + 1][l + 1, 2] +
"\r\n");
    }
    }
    else
        for (int l = 0; l < Point[p] - 1; l++)
        {
            stWriter.Write(Coordinates[p][l, 0] + " " +
Coordinates[p][l, 1] + " " + Coordinates[p][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p + 1][l, 0] + " " +
Coordinates[p + 1][l, 1] + " " + Coordinates[p + 1][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[p][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p][l + 1, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p][l + 1, 0] + " " +
Coordinates[p][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p][l + 1, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p + 1][l, 0] + " " +
Coordinates[p + 1][l, 1] + " " + Coordinates[p + 1][l, 2] + "\r\n" +
Coordinates[p + 1][l + 1, 0] + "
" + Coordinates[p + 1][l + 1, 1] + " " + Coordinates[p + 1][l + 1, 2] +
"\r\n");
        }
    }
    for (int s = 0; s < face * 3; s += 3)
    {
        stWriter.Write("3" + " " + s + " " + (s + 1).ToString() + "
" + (s + 2).ToString() + "\r\n");
    }

    stWriter.Flush();
    stWriter.Close();
    progressDialog.Abort();
    objStopWatchAuto.Stop();
    usedT.Text =
((objStopWatchAuto.ElapsedMilliseconds/1000).ToString() + " Second");
}

private void btnTestM_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.PortName = "COM1";
    serialPort1.Open();
    serialPort1.Write("M");
    serialPort1.Close();
}

private void btnTestC_Click(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.PortName = "COM1";
    serialPort1.Open();
    serialPort1.Write("C");
    serialPort1.Close();
}

private void btnScan_Click(object sender, EventArgs e)
{
    int Index = cmbImages.SelectedIndex;
    serialPort1.PortName = "COM1";
    serialPort1.Open();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ 18 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (Index == 0)
    serialPort1.Write("a");
else if (Index == 1)
    serialPort1.Write("b");
else if (Index == 2)
    serialPort1.Write("c");
else if (Index == 3)
    serialPort1.Write("d");
else if (Index == 4)
    serialPort1.Write("e");
else serialPort1.Write("f");
serialPort1.Write("\r\n");
serialPort1.Close();
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ ๑๙ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้