

เครื่องวัดฟักัด 3 มิติ แบบใช้แถบแสงเลเซอร์และกล้องตัวเดียว



นายนพศักดิ์ ณรงค์ฤกษ์นาวัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

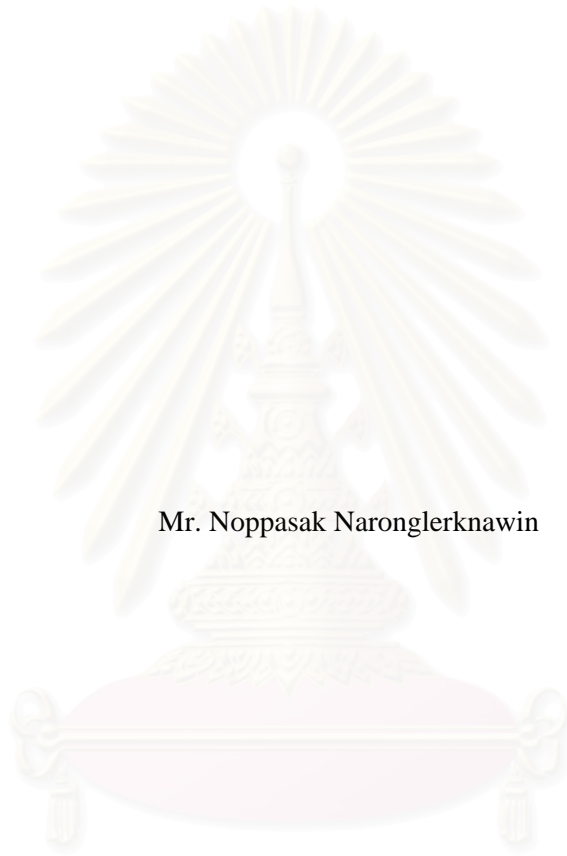
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1167-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A 3D COORDINATE MEASURING MACHINE WITH ONE CAMERA AND LASER
STRIPE TECHNIQUE



Mr. Noppasak Naronglerknawin

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2001
ISBN 974-03-1167-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบใช้แถบแสงเลเซอร์และกล้องตัวเดียว
โดย นายนพศักดิ์ ณรงค์ฤกษ์นาวัน
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทร์เจริญ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วิทยา วัฒนสุโขประสิทธิ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นพศักดิ์ ณรงค์ฤกษ์นาวิน: เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบใช้แถบแสงเลเซอร์และกล้องตัวเดียว. (A 3D COORDINATE MEASURING MACHINE WITH ONE CAMERA AND LASER STRIPE TECHNIQUE) อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 91 หน้า. ISBN 947-03-1167-9

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการสร้างเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบใช้แถบแสงเลเซอร์ส่องลงบนพื้นผิววัตถุและเก็บข้อมูลด้วยกล้อง CCD (Charge Coupled Device) ตัวเดียว โดยอาศัยหลักการสะท้อนของแสงเกิดเป็นภาพขึ้น แล้วนำภาพที่ได้นั้นมาคำนวณหาพิกัดของพื้นผิว ข้อมูลที่ได้จะถูกแปลงเพื่อส่งเข้าไปใช้ในการสร้างพื้นผิวในโปรแกรมช่วยออกแบบ (CAD) ทั่วๆ ไปได้ ซึ่งขนาดของปริมาตรการทำงานของเครื่องมีขนาดไม่เกิน 200 x 200 x 100 มิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x สูง)

จากการทดสอบเครื่องวัดพิกัด ความละเอียด (Resolution) ของเครื่องวัดพิกัดจะมีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกล้อง CCD และความละเอียดของของการ์ดประมวลผลภาพ ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการวัดจะเห็นว่าใช้เวลาน้อยกว่าการวัดแบบที่ละจุดมาก เช่น เมื่อทำการวัดโดยต้องการขนาดของข้อมูล 2500 จุด (50 x 50 จุด) จะใช้เวลาเพียง 4 นาที 47 วินาที แต่เมื่อใช้เครื่องวัดพิกัดแบบวัดทีละจุด วัดข้อมูลขนาด 2100 จุด จะต้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งใช้เวลาต่างกันเกือบ 25 เท่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล.....
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล.....
ปีการศึกษา2544.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4170354921 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEYWORD : 3DSCANNER / SCANNER / CMM / COORDINATE MEASURING
MACHINE / LASER STRIPE TECHNIQUE

NOPPASAK NARONGLERKNAWIN : A 3D COORDINATE MEASURING
MACHINE WITH ONE CAMERA AND LASER STRIPE TECHNIQUE. THESIS
ADVISOR : ASSO. PROF. VIBOON SANGVERAPHUNSIRI, Ph.D. 91 pp. ISBN
974-03-1167-9.

A 3D Coordinate Measuring Machine (CMM) with one camera and laser stripe technique was built in this research. The CCD (Charge Coupled Device) camera is used for taking picture images of laser stripes projected on a target surface. With the image processing techniques, the 3D coordinates of the surface can be constructed from those pictures. Then, the 3D coordinates are transformed to neutral file formats, such as DXF format, for exporting to CAD programs. Working-space of the machine is inside the 200 x 200 x 100 millimeters (width x length x height).

The resolution of the machine is better than 0.5 millimeters. This resolution depends on 2 variables; 1) the angle between the camera and the laser projection plane, 2) the resolution of image processing system (CCD camera and image capture card). However, this measurement technique takes less operating time than the conventional point-to-point measurement technique. For example, the 2500 point data (25 points per profile), it takes only 4 minutes and 47 seconds for this technique instead of 1 hour and 45 minutes for the conventional point-to-point or the point measurement technique under the same positioning system, which is 25 times faster as expected.



Department.....Mechanical Engineering
Field of study...Mechanical Engineering
Academic year...2001.....

Student's signature.....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าของท่าน ให้คำแนะนำปรึกษาและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งจัดหาทุนและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทำวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย และขอบคุณเพื่อนนิสิต รุ่นพี่ รุ่นน้อง ทั้งปริญญาเอก ปริญญาโท และปริญญาตรี ที่ได้ร่วมเสนอข้อคิดเห็นต่างๆ และให้กำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งท่านได้สนับสนุนการทำวิจัยในทุกๆ ด้าน ทั้งทางด้านทุนทรัพย์ การร่วมแสดงความคิดเห็น รวมทั้งกำลังใจที่ให้แก่ผู้เขียนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฌ |
| สารบัญภาพ..... | ญ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์..... | 2 |
| 2. หลักการของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ..... | 3 |
| 2.1 การจำแนกประเภทของ CMM โดยวิธีการวัด..... | 3 |
| 2.2 ข้อจำกัดบางประการของอุปกรณ์วัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์..... | 7 |
| 3. กล้อง CCD และการวัดประมวลผลภาพ..... | 11 |
| 3.1 กล้อง CCD (Charge Coupled Device)..... | 11 |
| 3.2 การวัดประมวลผลภาพ..... | 17 |
| 4. วิธีและโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเครื่องวัดพิกัด..... | 19 |
| 4.1 การควบคุมแกนเคลื่อนที่ของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ..... | 19 |
| 4.2 โปรแกรมควบคุมการทำงาน..... | 20 |
| 4.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ..... | 24 |
| 5. การสอบเทียบและความแม่นยำของเครื่องวัดพิกัด..... | 36 |
| 5.1 การสอบเทียบ..... | 36 |
| 5.2 ความแม่นยำของเครื่องวัดพิกัด..... | 39 |
| 6. การทดลอง..... | 44 |
| 6.1 การทดลองที่ 1..... | 45 |
| 6.2 การทดลองที่ 2..... | 51 |
| 6.3 การทดลองที่ 3..... | 56 |
| 6.4 การทดลองที่ 4..... | 61 |
| 6.5 การทดลองที่ 5..... | 66 |
| 6.6 ตัวอย่างพื้นผิวที่ได้ทำการวัด..... | 69 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... | 71 |
| 7.1 สรุปผลวิทยานิพนธ์..... | 71 |
| 7.2 ข้อเสนอแนะ..... | 72 |
| รายการอ้างอิง..... | 74 |
| ภาคผนวก..... | 75 |
| ภาคผนวก ก อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์..... | 76 |
| ภาคผนวก ข การควบคุมระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต..... | 86 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 91 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.1 แสดงสูตรการหาพื้นที่การมองเห็น..... | 17 |
| 5.1 แสดงผลที่ได้จากการบันทึกภาพที่ความสูงต่างๆ..... | 37 |
| 5.2 แสดงค่าผิดพลาดทางแกน Z ที่ได้จาการวัด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่ง X, Y เดียวกัน..... | 41 |
| 5.3 แสดงจำนวนจุดที่มีค่าผิดพลาดอยู่ในช่วงต่างๆ..... | 42 |
| 6.1 แสดงผลการวัดพื้นผิวทรงกลมสีดำที่มุมกล้องต่างๆ..... | 49 |
| 6.2 แสดงผลที่ได้จากการวัดพื้นผิวทรงกลมสีดำที่จำนวนจุดต่างๆ..... | 55 |
| 6.3 แสดงเวลาที่ใช้ในการวัดพื้นผิวทรงกลมสีดำที่จำนวนจุดต่างๆ..... | 55 |
| 6.4 แสดงข้อมูลจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวทรงกลมสีดำและพื้นผิวพินแกรมสีขาว..... | 59 |
| 6.5 แสดงข้อมูลจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวทรงกลมสีดำและพื้นผิวใบหน้าคนสีดำ..... | 64 |
| 6.6 แสดงข้อมูลจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวหุโทรศัพท์..... | 69 |
| ก.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กับพอร์ตสื่อสาร RS232C..... | 82 |
| ก.2 แสดงตัวอย่างคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ควบคุมตัวควบคุม 6250..... | 84 |
| ก.3 แสดงตัวอย่างคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ควบคุมตัวควบคุม BLX30..... | 85 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|---------|
| 2.1 เครื่องวัดพิกัดแบบ 3 แกน..... | 3 |
| 2.2 แสดงวิธี Imaging Radar..... | 4 |
| 2.3 แสดงวิธี Active Stereo..... | 4 |
| 2.4 แสดงวิธี Optical Triangulation..... | 5 |
| 2.5 แสดงวิธี Optical Triangulation ที่ดัดแปลงมาใช้..... | 7 |
| 2.6 แสดงการสะท้อนที่เป็นไปอย่างสมบูรณ์ มีการกระจายแบบ Gaussian..... | 8 |
| 2.7 แสดงการสะท้อนเมื่อพื้นผิวมีคุณสมบัติการสะท้อน (Reflectance) ต่างกัน..... | 8 |
| 2.8 a) การสะท้อนเมื่อพื้นผิวมีรูปทรงที่ต่างจากระนาบมาก..... | 9 |
| 2.8 b) การสะท้อนเมื่อพื้นผิวถูกบัง..... | 9 |
| 2.9 แสดงแสงที่สะท้อนกลับมาถูกบังไปบางส่วน..... | 10 |
| 2.10 การสะท้อนเมื่อพื้นผิวมีความขรุขระมาก..... | 10 |
| 3.1 แสดงส่วนประกอบของกล้อง CCD..... | 11 |
| 3.2 แสดงการเรียงตัวของไดโอดเป็นแถวลำดับ..... | 12 |
| 3.3 แสดงวิธี Interline Transfer..... | 12 |
| 3.4 แสดงวิธี Frame Transfer..... | 13 |
| 3.5 แสดงการกำหนดขนาดของแถวลำดับ..... | 13 |
| 3.6 แสดงวิธีสแกนภาพแบบ Interlace..... | 14 |
| 3.7 แสดงคาบการทำงานของกล้อง CCD ในระบบ RS-170..... | 15 |
| 3.8 แสดงพื้นที่การมองเห็นของกล้อง CCD..... | 16 |
| 3.9 แสดงการ์ดประมวลผลภาพรุ่น DT3155 ของบริษัท Data Translation จำกัด..... | 17 |
| 4.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดพิกัด..... | 19 |
| 4.2 แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์..... | 20 |
| 4.3 แสดงโปรแกรม 3dscanner ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ..... | 21 |
| 4.4 แสดงแกนเคลื่อนที่บนโครงสร้างของเครื่องวัดพิกัด..... | 25 |
| 4.5 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 3dscanner..... | 25 |
| 4.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชัน Scan..... | 27 – 28 |
| 4.7 แสดงตัวอย่างพื้นผิวที่ใช้ในการวัด..... | 29 |
| 4.8 แสดงตัวอย่างรูปที่ได้จากการใช้ฟังก์ชัน Scan..... | 29 |
| 4.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชัน Make Line..... | 30 – 31 |
| 4.10 แสดงรูปที่ได้จากการใช้ฟังก์ชัน Make Lines..... | 32 |
| 4.11 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชัน Make DXF..... | 33 – 34 |
| 4.12 แสดงข้อมูลที่ได้บางส่วนหลังจากการใช้ฟังก์ชัน Make DXF..... | 34 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.13 แสดงรูปที่ได้เมื่อนำผลการวัดพิกัดจำนวนจุด 50x50 จุดมุมกล้อง 30 องศา ไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 35 |
| 5.1 แสดงแกน X, Y, Z บนวัตถุที่ทราบขนาดทางแกน Y..... | 36 |
| 5.2 แสดงการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากการบันทึกที่ความสูง 80 มิลลิเมตร จากตำแหน่งสูงสุด..... | 37 |
| 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของกล้องวัดจาก ตำแหน่งสูงสุดกับอัตราส่วนแกน Y..... | 38 |
| 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนของแกน Y กับอัตราส่วนของแกน X และอัตราส่วนของแกน Z..... | 39 |
| 5.5 แสดงลักษณะภาพที่ใช้ในการคำนวณค่าความละเอียด..... | 40 |
| 5.6 แสดงพื้นผิวทรงกลมที่ใช้..... | 41 |
| 5.7 แสดงค่าผิดพลาดที่เกิดจากการวัด..... | 42 |
| 6.1 พื้นผิวทรงกลมสีดำ..... | 44 |
| 6.2 พื้นผิวรูปไบหน้าคนสีดำ..... | 44 |
| 6.3 พื้นผิวพื้นกรามสีขาว..... | 45 |
| 6.4 พื้นผิวที่มีความมันวาว..... | 45 |
| 6.5 พื้นผิวทรงกลมสีดำ..... | 45 |
| 6.6 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุมกล้อง 10 องศา..... | 46 |
| 6.7 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์..... | 46 |
| 6.8 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง..... | 47 |
| 6.9 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 10 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 47 |
| 6.10 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 20 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 48 |
| 6.11 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 30 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 48 |
| 6.12 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 40 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 49 |
| 6.13 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 50 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 49 |
| 6.14 แสดงส่วนด้านหลังทรงกลมที่ไม่สามารถวัดได้เมื่อทำการวัดที่มุม 50 องศา..... | 50 |
| 6.15 พื้นผิวรูปไบหน้าคนสีดำ..... | 51 |
| 6.16 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุม 30 องศา..... | 52 |
| 6.17 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์..... | 52 |
| 6.18 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง..... | 53 |
| 6.19 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 10x10 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 53 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 6.20 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 10x10 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว..... | 53 |
| 6.21 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 25x25 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 54 |
| 6.22 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 25x25 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว..... | 54 |
| 6.23 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 50x50 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 54 |
| 6.24 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 50x50 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว..... | 54 |
| 6.25 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 75x75 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 54 |
| 6.26 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 75x75 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว..... | 54 |
| 6.27 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 100x100 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 54 |
| 6.28 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 100x100 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว..... | 54 |
| 6.29 พื้นผิวทรงกลมสีดำ..... | 57 |
| 6.30 พื้นผิวพื้นกรามสีขาว..... | 57 |
| 6.31 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุม 30 องศา..... | 57 |
| 6.32 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์..... | 58 |
| 6.33 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง..... | 58 |
| 6.34 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวทรงกลมสีดำเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 59 |
| 6.35 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวพื้นกรามสีขาวเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 59 |
| 6.36 แสดงส่วนหลังของทรงกลมที่มีจุดที่หายไปมากกว่าบริเวณอื่น..... | 60 |
| 6.37 แสดงส่วนของพื้นผิวพื้นกรามที่มีความไม่ต่อเนื่อง..... | 61 |
| 6.38 พื้นผิวทรงกลมสีดำ..... | 61 |
| 6.39 พื้นผิวรูปใบหน้าคนสีดำ..... | 61 |
| 6.40 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุม 30 องศา..... | 62 |
| 6.41 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์..... | 63 |
| 6.42 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง..... | 63 |
| 6.43 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวทรงกลมสีดำเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 64 |
| 6.44 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวใบหน้าคนสีดำเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 64 |
| 6.45 แสดงส่วนที่เป็นจุกและตา ซึ่งเป็นบริเวณที่เครื่องวัดพิกัดไม่สามารถวัดพิกัดบริเวณนี้ได้..... | 65 |
| 6.46 พื้นผิวหุโทรัศพ์ที่มีความมันวาว..... | 66 |
| 6.47 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุม 30 องศา..... | 67 |
| 6.48 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์..... | 67 |
| 6.49 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง..... | 68 |
| 6.50 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวใบหน้าคนสีดำเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD..... | 68 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 6.51 แสดงส่วนของพื้นผิวหุโตร์ศัพท์ที่มีความชันสูง..... | 69 |
| 6.52 แสดงพื้นผิวทรงกลมสีดํา ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว..... | 70 |
| 6.53 แสดงพื้นผิวหน้าคนสีดํา ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว..... | 70 |
| 6.54 แสดงพื้นผิวพื้นกรามสีขาว ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว..... | 70 |
| 6.55 แสดงพื้นผิวหุโตร์ศัพท์ ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว..... | 70 |
| 6.56 แสดงพื้นผิวสีเหลี่ยมคางหมู ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว..... | 70 |
| ก.1 แสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง..... | 77 |
| ก.2 แสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับ..... | 77 |
| ก.3 แสดงการทำงานของมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน..... | 78 |
| ก.4 แสดงการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน เมื่อมีขดลวด เหนี่ยวนำ 3 เฟส..... | 79 |
| ก.5 แสดงระบบสำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน..... | 80 |
| ก.6 แสดงการแปลงสัญญาณจากคลื่นรูปไซน์ไปเป็นพัลส์..... | 81 |
| ก.7 แสดงวิธีการควบคุมแบบ PIV&F..... | 82 |
| ก.8 แสดงการเกิด Integrator windup..... | 83 |
| ข.1 แสดงการเชื่อมต่อของระบบควบคุมการทำงานระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต..... | 88 |
| ข.2 แสดง Web page บนเครื่องลูกข่าย..... | 89 |
| ข.3 โปรแกรม CMMPlant บนเครื่องวัดพิกัด..... | 90 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะพัฒนาในด้านเทคโนโลยีการผลิตเพื่อที่จะสามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพด้วยเวลาอันสั้น โดยใช้ต้นทุนต่ำ เพื่อให้สินค้าที่ผลิตสามารถแข่งขันกับสินค้าในตลาดโลกได้ในราคาที่ต่ำกว่า ดังนั้นเทคโนโลยีการผลิตจึงมีแนวโน้มว่าจะมีบทบาทสำคัญในอนาคตอันใกล้นี้ การใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมและออกแบบผลิตภัณฑ์ (CAD/CAM) ก็เป็นเทคโนโลยีอันหนึ่งที่ได้รับการสนใจจากอุตสาหกรรมมาก

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) จะเริ่มจากการสร้างรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานในส่วนต่าง ๆ จนได้รูปทรงที่พอใจ จากรูปทรงที่สร้างขึ้นจะเป็นฐานข้อมูลที่ผู้ออกแบบสามารถแปลงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตามที่ต้องการ ส่วนการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) จะอาศัยข้อมูลจากสิ่งที่ช่วยในการผลิตในการออกแบบ (CAD) มาทำการผลิต ซึ่งจะเห็นว่าการใช้เทคโนโลยีนี้มาช่วย ทำให้การผลิตสามารถทำได้สะดวก และรวดเร็วมากขึ้น

แต่จากที่กล่าวมาในตอนต้น จะเห็นว่าการออกแบบนั้นจะต้องเริ่มจากการสร้างต้นแบบบนคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับทักษะและความสามารถของผู้ออกแบบ ในกรณีที่ต้องการสร้างต้นแบบให้ได้เหมือนหรือใกล้เคียงกับต้นแบบจริง ๆ นั้น การสร้างต้นแบบบนคอมพิวเตอร์อาจทำได้ยากและใช้เวลานาน อีกทั้งยังมีความผิดพลาดสูง วิธีการหนึ่งที่จะช่วยในการสร้างต้นแบบ คือ การวัดขนาดของชิ้นงานต้นแบบโดยตรงเพื่อนำข้อมูลนั้นไปสร้างต้นแบบบนคอมพิวเตอร์ โดยใช้เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ซึ่งจะช่วยให้การสร้างต้นแบบบนคอมพิวเตอร์ทำได้สะดวกรวดเร็วขึ้น ลดความผิดพลาด และยังช่วยสร้างข้อมูลของต้นแบบที่สูญหายไปด้วย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการพัฒนาและสร้างเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine) แบบใช้แถบแสงเลเซอร์ส่องลงบนผิววัตถุและเก็บข้อมูลด้วยกล้อง CCD (Charge Coupled Device) โดยอาศัยหลักการสะท้อนของแสงเกิดเป็นภาพ แล้วนำภาพที่ได้มาคำนวณหาพิกัดของพื้นผิว พื้นผิวที่จะทำการวัดจะต้องมีขนาดไม่เกิน 200x200x100 มิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) และพิกัดที่ได้จะต้องสามารถนำไปใช้ในโปรแกรม CAD ทั่วไปได้ โดยโปรแกรม CAD จะทำหน้าที่สร้างและปรับแต่งพื้นผิวให้มีความเรียบและต่อเนื่อง หลังจากนั้นจึงใช้โปรแกรม CAM ในการสร้างไฟล์สำหรับการผลิต และนำไปกัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง CNC ต่อไป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีทั้งสิ้น 7 บท บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงความสำคัญและที่มา รวมทั้งภาพรวมของของวิทยานิพนธ์อย่างกว้างๆ ส่วนในบทที่ 2 กล่าวถึงเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ชนิดต่างๆ รวมทั้งข้อดีข้อเสีย บทที่ 3 กล่าวถึงการวัดประมวลผลภาพกล้อง CCD บทที่ 4 จะเกี่ยวกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิกัด บทที่ 5 จะเกี่ยวกับวิธีการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องวัดพิกัด บทที่ 6 เป็นบทที่กล่าวถึงการทดลองใช้เครื่องวัดพิกัดในแบบต่างๆ บทที่ 7 เป็นการสรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีเกี่ยวกับการวัดพิกัด 3 มิติ
2. เพื่อพัฒนาความสามารถของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบใช้แถบแสงเลเซอร์และกล้องตัวเดียว

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบใช้แถบแสงเลเซอร์และกล้องตัวเดียว ใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดไม่เกิน 200x200x100 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxสูง)
2. พัฒนาโปรแกรมที่ใช้งานสำหรับการเก็บข้อมูลระหว่างเครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้น กับโปรแกรม CAD/CAM เพื่อที่จะสามารถนำไปสร้างชิ้นงานได้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์

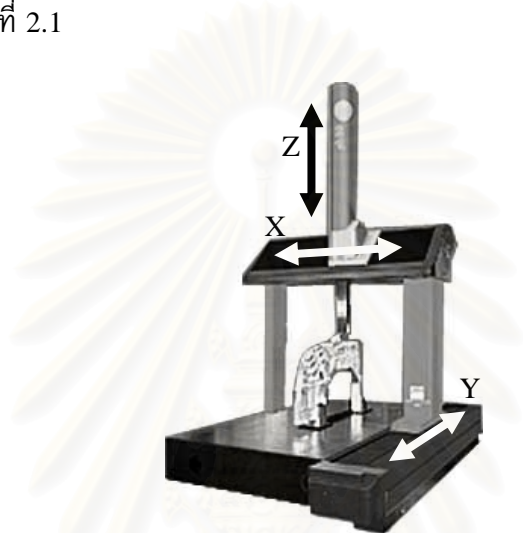
ได้เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ และโปรแกรมควบคุมการทำงาน เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลพื้นผิวของชิ้นงานจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ มีลักษณะต่างๆกันมากมาย ที่รู้จักกันโดยทั่วไปได้แก่ เครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM) ซึ่งเป็นเครื่องวัดพิกัดในระบบพิกัดฉาก กล่าวคือในการวัดพิกัดของเครื่องวัดพิกัดในระบบพิกัดฉากจะอาศัยการอ่านตำแหน่งของตัวเครื่องเอง ซึ่งอาจจะมีหลายแกน แต่ละแกนก็จะตั้งฉากซึ่งกันและกัน เช่นเครื่องวัดพิกัดแบบ 3 แกน ก็จะมีแกน X, Y, Z ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องวัดพิกัดแบบ 3 แกน

CMM ประกอบด้วยส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Hardware) และส่วนที่เป็นโปรแกรมทำงาน (Software) ส่วนที่เป็นโปรแกรมทำงานจะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ เช่น รับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ การตรวจสอบสถานะของโครงสร้าง ทำการคำนวณหาพิกัด เป็นต้น

2.1 การจำแนกประเภทของ CMM โดยวิธีการวัด

ในการวัดชิ้นงานเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นผิวมีวิธีที่ใช้ต่างๆ กันหลายวิธี ในที่นี้จะแบ่งตามวิธีการวัดที่ใช้กันอยู่ สามารถแบ่งเป็นวิธีแบบ Passive และวิธีแบบ Active ซึ่งวิธีแบบ Passive จะไม่มีการถ่ายทอดพลังงานในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งให้กับวัตถุ ส่วนแบบ Active จะตรงกันข้ามคือจะมีการสัมผัสหรือมีการถ่ายทอดพลังงานในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งไปบนวัตถุ ซึ่งการวัดแบบ Active นี้ยังสามารถจำแนกออกเป็น 2 แบบคือ

2.1.1 Contact CMM เป็น CMM ที่ขณะทำการวัดจะต้องมีการสัมผัสกับพื้นผิวชิ้นงาน โดยใช้ Probe หรือลูกกลิ้งสัมผัสตามตำแหน่งที่ต้องการโดยตรง และจะทำการวัดพิกัดจากตำแหน่งของโครงสร้างของเครื่องวัดพิกัดเอง

2.1.2 Non-Contact CMM เป็น CMM ที่ไม่มีส่วนสัมผัสกับพื้นผิวชิ้นงาน แต่จะอาศัยหลักการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ แสง เป็นตัววัดพิกัดแทนการสัมผัสจุดนั้นโดยตรง ซึ่งวิธีนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อยๆ อีกคือ

2.1.2.1 Non-Optical CMM จะใช้คลื่นเสียงและคลื่นไมโครเวฟเป็นหลัก โดยจะวัดระยะห่างจากการคำนวณเวลาที่ส่ง Pulse ของเสียงหรือไมโครเวฟสะท้อนกลับจากวัตถุ

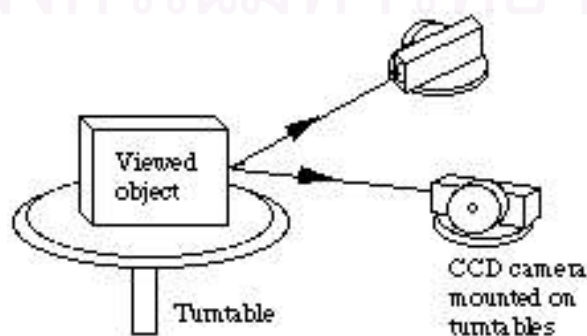
2.1.2.2 Optical CMM จะใช้แสงฉายไปบนวัตถุและสะท้อนกลับ มีหลายวิธีเช่น

Image Radar ลักษณะเหมือนกับการใช้คลื่นไมโครเวฟ แต่ใช้ในช่วงความถี่แสงเหมาะสำหรับวัตถุที่มีขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงวิธี Imaging Radar

Active Stereo ใช้กล้อง 2 ตัวขึ้นไปในการดูวัตถุ ซึ่งกล้องแต่ละตัวจะมีเส้นทางการมอง (Line of Sight) ต่างกัน ถ้ากำหนดเส้นทางการมองของกล้องมาตัดกันที่จุดๆเดียวบนพื้นผิวของวัตถุ ก็จะสามารถนำมาคำนวณเป็นพิกัดของจุดนั้นได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงวิธี Active Stereo

ในตัวอย่างดังรูปที่ 2.4 กำหนดให้แสงเลเซอร์ ระบายของเลนส์ และ ระบายของตัว Sensor ตัดกันที่จุด p จุดเดียว และกำหนดให้ระบายของเลนส์ตั้งฉากกับแกนของแสงที่สะท้อนมาจากพื้นผิว ดังนั้นมุมระหว่างแกนของแสงที่สะท้อนกับแสงเลเซอร์ (θ) และมุมระหว่างแกนของแสงสะท้อนกับตัวรับแสง (ϕ) จะสัมพันธ์กับระยะทาง O และ i ดังนี้

$$l = i \cdot \tan(\phi) = O \cdot \tan(\theta) \quad (2.1)$$

โดยที่ l คือระยะจากจุด p ไปยังจุดศูนย์กลางของเลนส์

i คือระยะจากเลนส์ถึง Sensor

O คือระยะจากเลนส์ถึงแนวตักกระทบแสงเลเซอร์

มุม ϕ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\tan(\phi) = \frac{1}{|m|} \tan(\theta) \quad (2.2)$$

โดยที่ m คืออัตราส่วนการขยาย

$$m = \frac{i}{O} = \frac{\Delta b}{\Delta a} \quad (2.3)$$

ในการพิจารณาจะสมมุติว่าการเคลื่อนที่ Δz ที่ขนานกับแสงเลเซอร์มีขนาดเล็กเทียบกับระยะทาง O ด้วยการสมมติดังกล่าว จะได้ว่า

$$\Delta a = \Delta z \cdot \sin(\theta) \quad (2.4)$$

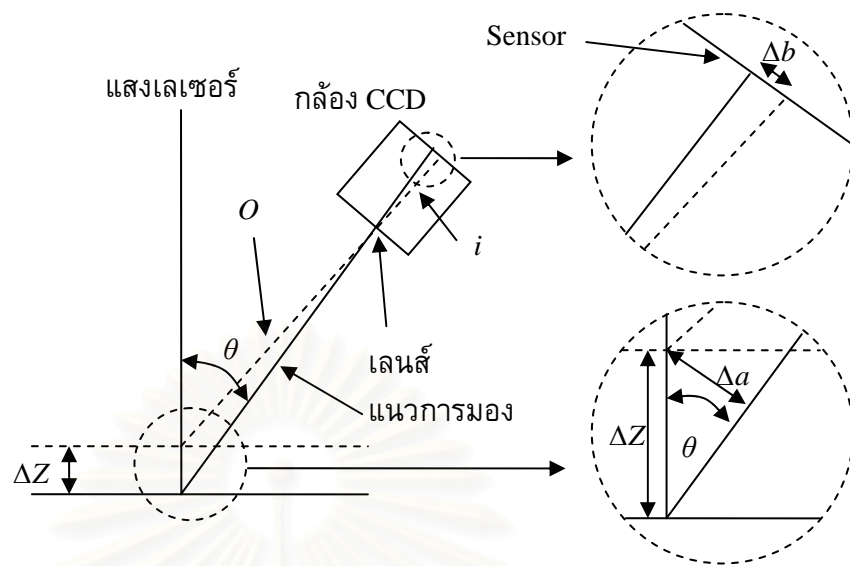
$$\Delta b = \Delta z \cdot \sin(\phi) \quad (2.5)$$

โดยที่ Δa คือระยะที่เปลี่ยนไปจริงตามแนวตั้งฉากกับแนวการมอง

Δb คือระยะที่เปลี่ยนไปบน Sensor ตามแนวตั้งฉากกับแนวการมอง

ด้วยสมการดังกล่าวสามารถหาการเคลื่อนที่ของภาพหรือการเคลื่อนที่ของพื้นผิวได้

วิธี Optical Triangulation นั้นจะต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการจับยึดตัวเลนส์และ Sensor อุปกรณ์พิเศษชนิดนี้จะสามารถปรับมุมของเลนส์และตัว Sensor ให้สัมพันธ์กันได้ แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้นำวิธี Optical Triangulation มาใช้โดยตรง แต่ได้ดัดแปลงในส่วนของตำแหน่งของเลนส์และกล้อง ทั้งนี้เนื่องจาก Sensor ที่ใช้คือกล้อง CCD ซึ่งมีเลนส์ติดตั้งอยู่ในตัว ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการจับยึด ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงวิธี Optical Triangulation ที่ดัดแปลงมาใช้

อัตราส่วนการขยาย สามารถหาได้จาก

$$m = \frac{i}{O} = \frac{\Delta b}{\Delta a} \quad (2.6)$$

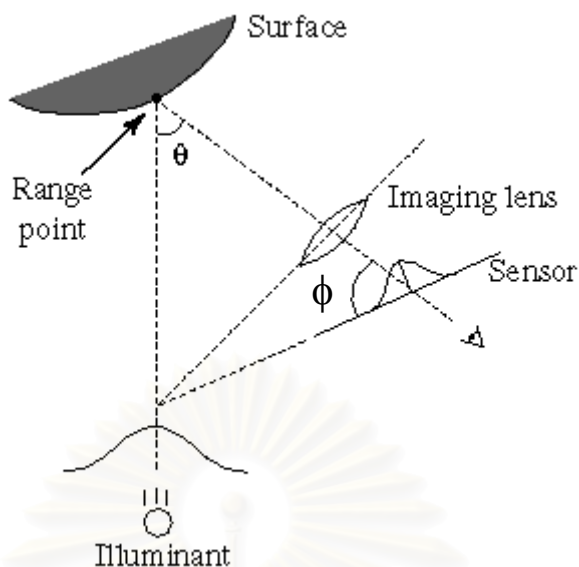
สมมติให้ θ มีขนาดเล็ก จะได้ว่า

$$\Delta a = \Delta z \cdot \sin(\theta) \quad (2.7)$$

$$\Delta b = \Delta z \cdot m \cdot \sin(\theta) \quad (2.8)$$

2.2 ข้อจำกัดบางประการของอุปกรณ์วัดระยะทางด้วยแสงเลเซอร์

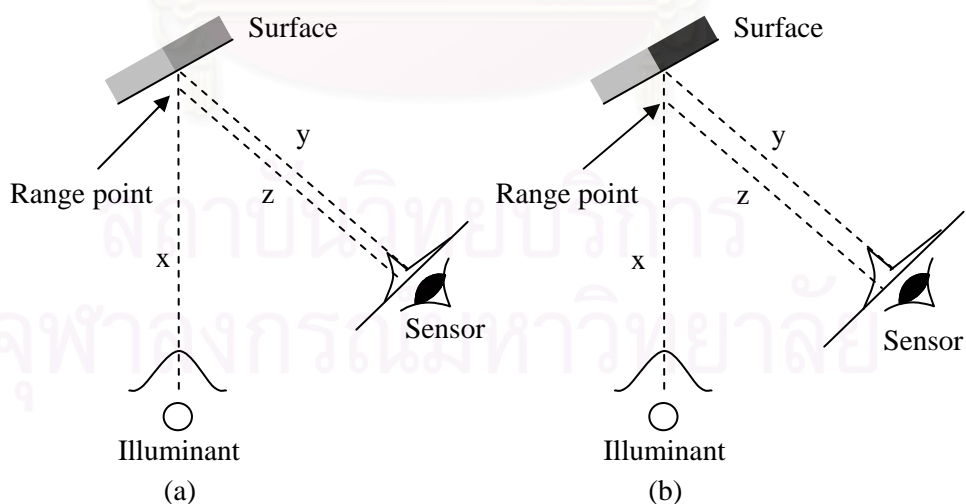
ข้อจำกัดของเครื่องวัดพิกัดที่ใช้หลักการ Optical Triangulation คือ การตีความหรือการถอดสัญญาณแสงที่สะท้อนกลับมา ซึ่งก็คือคุณภาพของแสงสะท้อนนั่นเอง คุณภาพของแสงสะท้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิววัตถุ ถ้าหากการสะท้อนของแสงเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ โดยสมมติหน้าตัดการกระจายของแสงเป็นแบบ Gaussian และใช้ตำแหน่งที่ความเข้มแสงสูงสุดเป็นตัวบอกจุดศูนย์กลางของลำแสง ดังรูปที่ 2.6 [6]



รูปที่ 2.6 แสดงการสะท้อนที่เป็นไปอย่างสมบูรณ์ มีการกระจายแบบ Gaussian

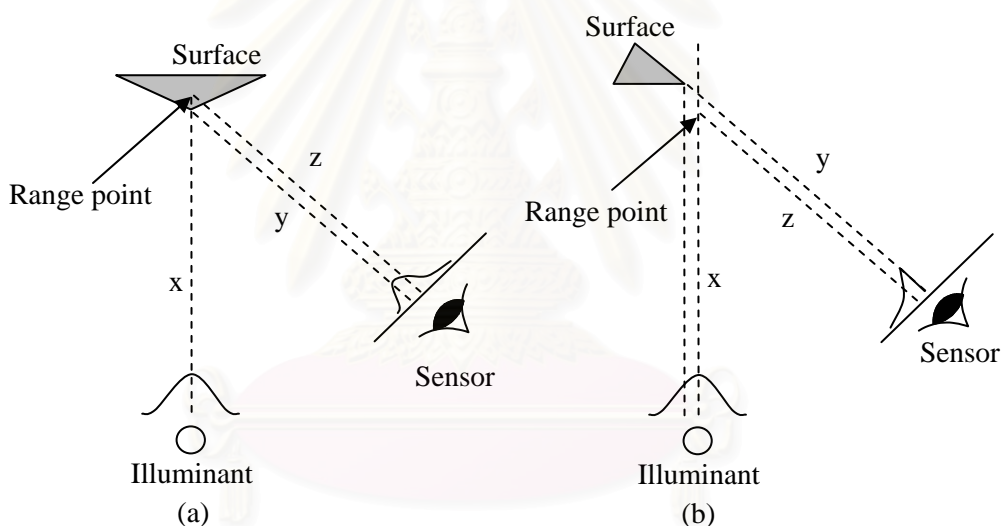
แต่ถ้าหากคุณภาพของแสงสะท้อนไม่เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากลักษณะของพื้นผิว กล่าวคือพื้นผิวมีลักษณะดังต่อไปนี้

- พื้นผิวมีการสะท้อน (Reflectance) ในส่วนต่างๆ ไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.7a และ 2.7b ซึ่งเปรียบเทียบให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดจะยิ่งมากขึ้นเมื่อค่าการสะท้อนแสงมีความแตกต่างกันมากขึ้น



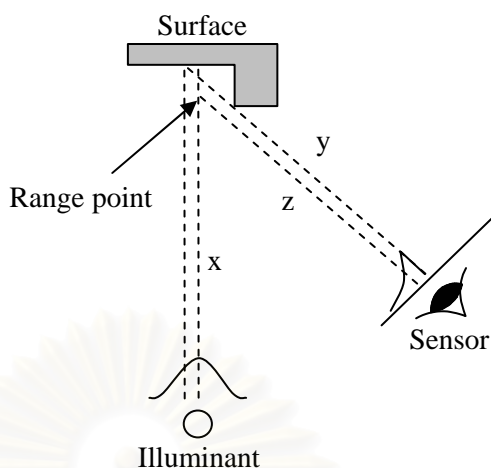
รูปที่ 2.7 แสดงการสะท้อนเมื่อพื้นผิวมีคุณสมบัติการสะท้อน (Reflectance) ต่างกัน

- เส้น x คือเส้นที่ลากจากตำแหน่งที่ความเข้มแสงสูงสุดจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังพื้นผิว
 - เส้น y คือเส้นที่ลากจากตำแหน่งที่ความเข้มแสงสูงสุดบน Sensor ไปยังจุดที่แสงตกกระทบกับพื้นผิววัตถุ
 - เส้น z คือเส้นที่ลากจากค่ามัธยฐานของการกระจายของแสงบน Sensor โดยลากขนานกับเส้น y ไปจนตัดกับเส้น x
 - Range Point คือจุดตัดของเส้น x กับเส้น z หมายถึง ตำแหน่งที่ Sensor มองเห็นว่าเป็นตำแหน่งที่แสงตกกระทบกับพื้นผิววัตถุ
- พื้นผิวมีรูปทรงที่ต่างไปจากระนาบมาก รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่าง 2 ตัวอย่างของผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุ สังเกตว่าในรูปที่ 2.8b จุดศูนย์กลางของลำแสงที่ตกบนตัวรับไม่ติดกับผิววัตถุ



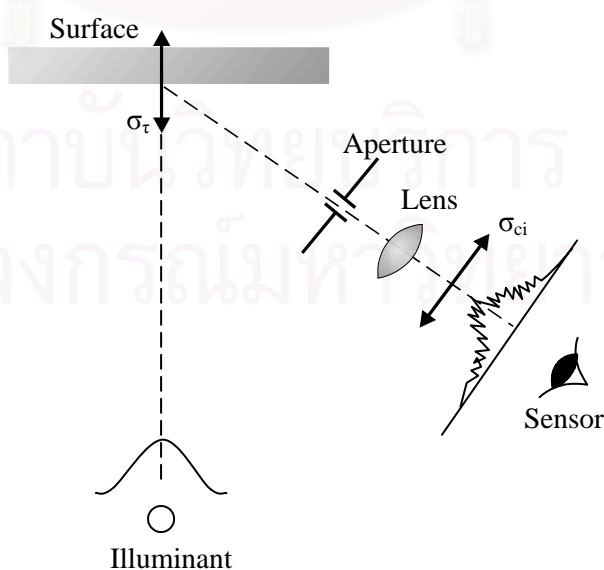
รูปที่ 2.8 a) การสะท้อนเมื่อพื้นผิวมีรูปทรงที่ต่างจากระนาบมาก b) การสะท้อนเมื่อพื้นผิวถูกบัง

- แสงที่สะท้อนกลับมาถูกบังไปบางส่วน ดังรูปที่ 2.9 แสดงผลเนื่องจากแสงบางส่วนถูกบังไปโดยสิ่งกีดขวางระหว่างพื้นผิวกับตัวรับ



รูปที่ 2.9 แสดงแสงที่สะท้อนกลับมากถูกบังไปบางส่วน

- พื้นผิวมีความขรุขระมากจนแสงเกิดการสะท้อนแบบไม่เป็นระเบียบ (Laser speckle) รูปที่ 2.10 แสดงถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากพื้นผิวของวัตถุที่มีความขรุขระเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น ผลก็คือรูปแบบของแสงสะท้อนที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังแสดงในรูปคือค่า σ_{ci} ซึ่งทำให้เกิดความไม่แน่นอนในแนวความลึก σ_r การที่แสงเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นั้นเนื่องมาจากการรบกวนกันของแสงซึ่งสะท้อนจากพื้นผิวที่ขรุขระทำให้ได้รูปแบบผสมของแสงที่ไม่แน่นอน



รูปที่ 2.10 การสะท้อนเมื่อพื้นผิวมีความขรุขระมาก

บทที่ 3

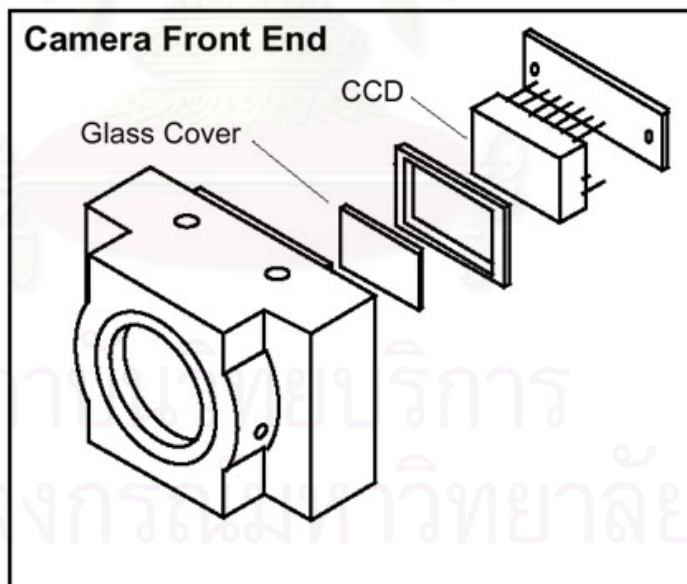
กล้อง CCD และการ์ดประมวลผลภาพ

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่สำคัญที่จะต้องศึกษาและทำความเข้าใจในหลักการทำงาน ก็คือส่วนของกล้อง CCD (Charge Coupled Device) และการ์ดประมวลผลภาพ (Image Processing Card) ซึ่งมีหน้าที่หลักคือเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกภาพ แล้วทำการสังเคราะห์ภาพนั้นให้อยู่ในลักษณะที่จะสามารถนำไปคำนวณหาพิกัดได้ง่าย

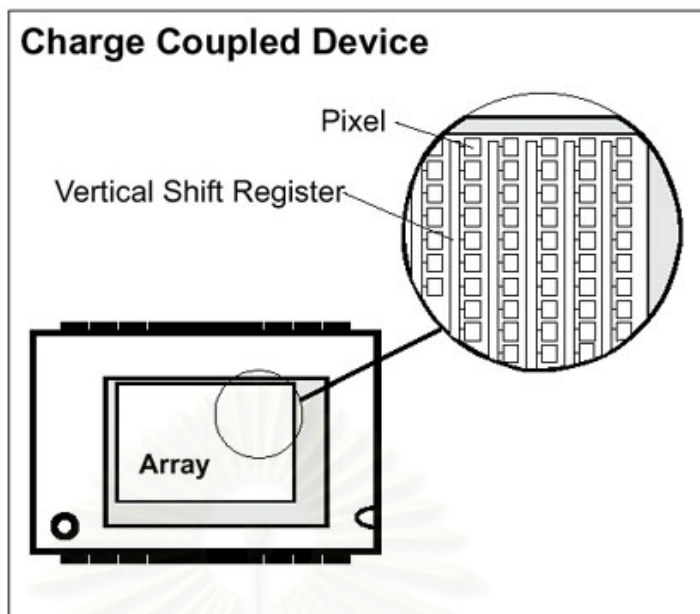
3.1 กล้อง CCD (Charge Coupled Device)

3.1.1 หลักการทำงานของกล้อง CCD

กล้อง CCD ทำงานโดยการเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่ออนุภาคของแสง (Photon) ตกกระทบไดโอด (Diode) ไดโอดก็จะเกิดการสะสมพลังงานแล้วแปรเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยปกติกล้อง CCD ทั่วไปจะมีไดโอดจำนวนมากเรียงกันอยู่เป็นแถวลำดับ (Array) ด้านหลังเลนส์ ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งความละเอียดของภาพที่ได้ก็จะขึ้นอยู่กับจำนวนไดโอดในแถวลำดับ ไดโอดเหล่านี้จะส่งสัญญาณไฟฟ้าได้ 2 วิธีคือ [9]

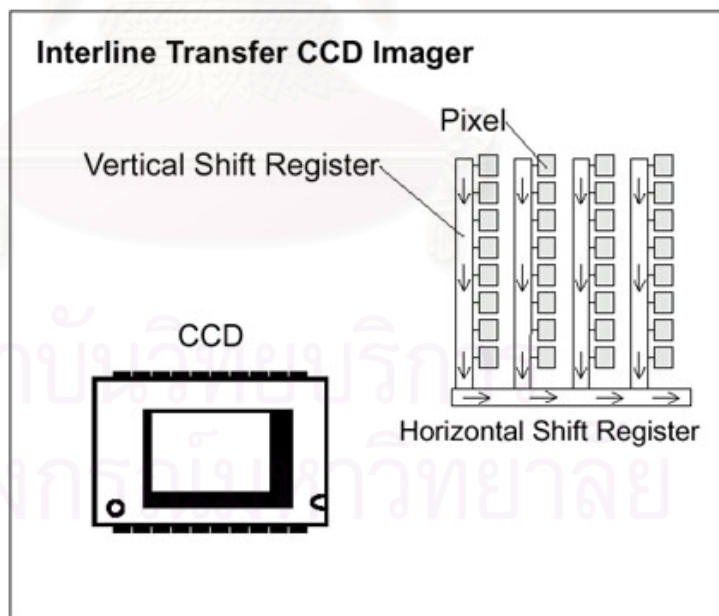


รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของกล้อง CCD



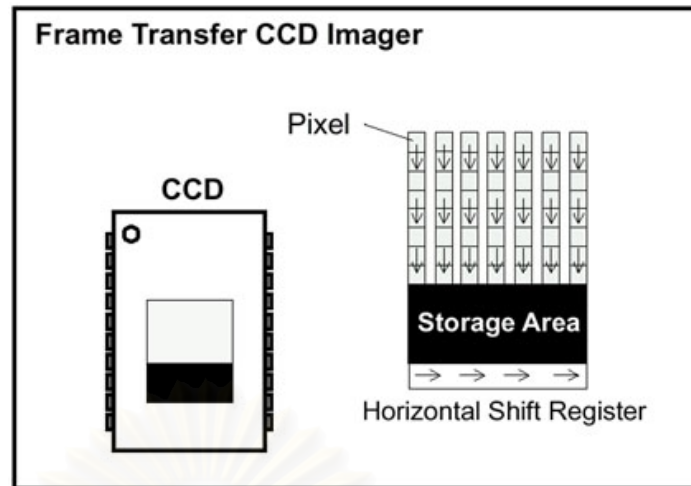
รูปที่ 3.2 แสดงการเรียงตัวของไดโอดเป็นแถวลำดับ

3.1.1.1 Interline Transfer วิธีนี้ไดโอดจะส่งสัญญาณผ่าน Vertical Shift Register ภายในแถวของมันเองก่อน หลังจากนั้น Vertical Shift Register จึงจะส่งสัญญาณต่อไปให้ Horizontal Shift Register ซึ่งจะส่งสัญญาณต่อออกไปยังวงจรที่ใช้ควบคุมต่อไป ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวิธี Interline Transfer

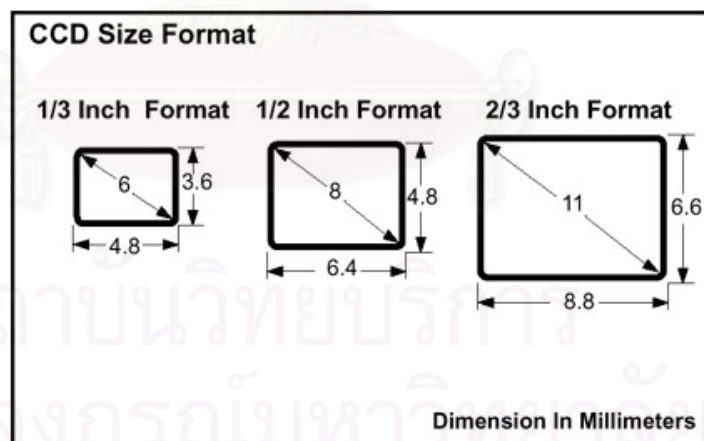
3.1.1.2 Frame Transfer วิธีนี้ไดโอดจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณภายในแถวด้วยตัวมันเอง โดยจะส่งไปยัง Storage Area แล้วจึงส่งผ่านต่อไปยัง Horizontal Shift Register ซึ่งจะส่งสัญญาณต่อออกไปยังวงจรมานอก ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงวิธี Frame Transfer

3.1.2 การกำหนดขนาดของกล้อง CCD

การกำหนดขนาดของกล้อง CCD จะมีลักษณะคล้ายกับการกำหนดขนาดของโทรทัศน์ กล่าวคือจะใช้การวัดขนาดตามแนวทแยงมุมของแถวลำดับของไดโอด ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งแสดงขนาดของแถวลำดับ 3 ขนาด จะเห็นได้ว่า แถวลำดับที่กำหนดขนาด 1/3 (0.333) นิ้ว จะมีขนาดจริงเล็กกว่าเล็กน้อย คือมีขนาดประมาณ 0.236 นิ้ว (6 มิลลิเมตร) เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการกำหนดขนาดตามมาตรฐานเดิมของการกำหนดขนาดหลอดภาพของโทรทัศน์



รูปที่ 3.5 แสดงการกำหนดขนาดของแถวลำดับ

ขนาดของแถวลำดับที่เล็ก ก็จะทำให้กล้องมีขนาดเล็กลงไปด้วย แต่ก็ทำให้พื้นที่ที่กล้องมองเห็น (Field of View) เล็กลงไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องเลือกขนาดของกล้องให้เหมาะสมกับงานที่จะต้องใส่

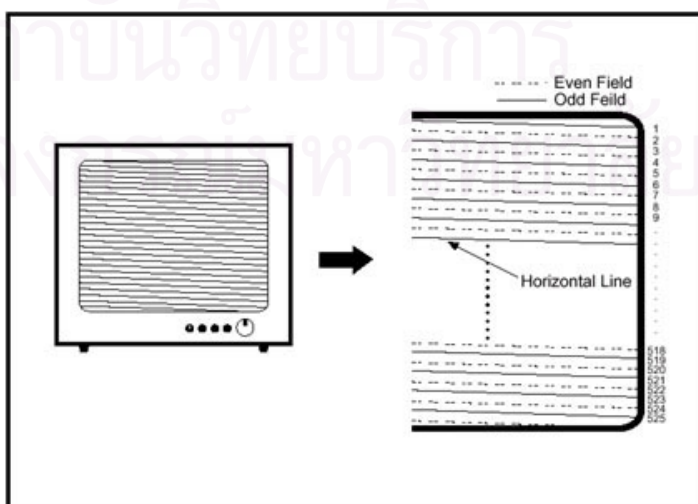
3.1.3 ระบบภาพ

ระบบภาพที่ใช้กันในปัจจุบันจะมีอยู่ 4 ระบบคือ RS-170 และ NTSC (National Television System Committee) ซึ่งใช้กันในแถบอเมริกาเหนือ ส่วนระบบ CCIR (International Radio Consultative Committee) และ PAL (Phase Alternation Line) จะใช้กันในทวีปยุโรป โดยทั่วไประบบ RS-170 และ CCIR จะใช้กับกล้องข่าวดำ ระบบ NTSC กับ PAL จะใช้กับกล้องสี ในการเลือกใช้ระบบใดนั้นจะต้องดูอุปกรณ์โดยรวมด้วย เช่น การ์ดประมวลผลภาพใช้ระบบ CCIR กล้องที่จะเลือกใช้ก็ต้องเป็นระบบ CCIR ด้วยเช่นกัน

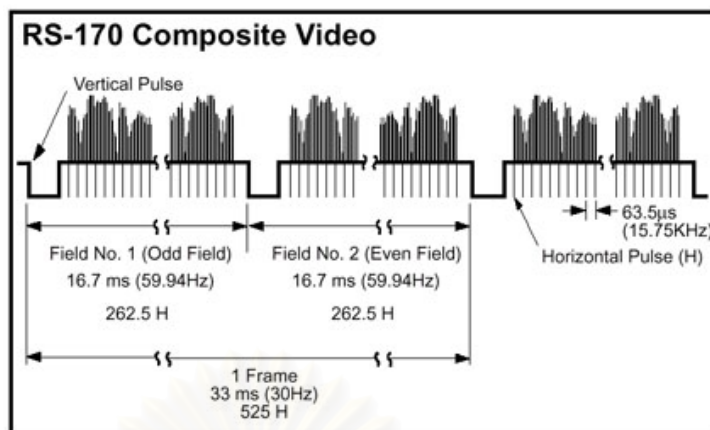
3.1.4 ความถี่ในการทำงานของกล้อง CCD

ในการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การ์ดประมวลผลภาพ สัญญาณที่กล้องส่งออกมาจะต้องมีจังหวะ (Timing) สอดคล้องกับการ์ดประมวลผลภาพ ซึ่งก็คือความถี่ในการทำงานของกล้องนั่นเอง แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงความถี่ของกล้อง จะขออธิบายถึงระบบการสแกนภาพของกล้องก่อน

การสแกนภาพของกล้องนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ แบบ Interlace กับแบบ Non-Interlace แบบ Interlace จะใช้วิธีสแกนภาพทีละเส้น (Horizontal Line) โดยเริ่มจากเส้นคู่ (หมายถึงเส้นที่ 0, 2, 4, ...) เมื่อสแกนจนจบเส้นก็จะสแกนคู่เส้นถัดไป จนเมื่อสแกนเส้นคู่จนหมด จะได้ภาพย่อย 1 ภาพ หลังจากนั้นก็จะเริ่มสแกนเส้นคี่ (เส้นที่ 1, 3, 5, ...) ไปเรื่อยๆ จนหมด ได้ภาพย่อยอีก 1 ภาพ แล้วนำภาพย่อยจากการสแกนเส้นคู่กับเส้นคี่มารวมกัน ก็จะได้ภาพสมบูรณ์ 1 ภาพ ดังรูปที่ 3.6 ช่วงเวลาในการสแกนเส้นแต่ละเส้นจะมีค่าเท่ากับคาบของ Horizontal Pulse ส่วนช่วงเวลาในการสแกนกลุ่มเส้นคู่ (เท่ากับช่วงเวลาที่ใช้สแกนกลุ่มเส้นคี่) จะมีค่าเท่ากับคาบของ Vertical Pulse ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 แสดงวิธีสแกนภาพแบบ Interlace



รูปที่ 3.7 แสดงคาบการทำงานของกล้อง CCD ในระบบ RS-170

ส่วนแบบ Non-Interlace นั้นจะทำการสแกนเส้นทุกๆ เส้น ไปเรื่อยๆ โดยไม่แบ่งแยกเส้นคู่หรือเส้นคี่แต่อย่างใด

ความถี่ในการทำงานของกล้องระบบ RS-170 กับ NTSC ที่สแกนภาพแบบ Interlace จะส่งภาพย่อย 2 ภาพออกมาทุกๆ $1/30$ วินาที (ภาพย่อย 2 ภาพจะรวมเป็นภาพสมบูรณ์ 1 ภาพ) นั่นคือภาพย่อย 1 ภาพจะถูกส่งออกมาทุกๆ $1/60$ วินาที ซึ่งจะตรงกับ 1 คาบของ Vertical Pulse และ 1 คาบของ Vertical Pulse ประกอบด้วย Horizontal Pulse 262.5 ลูก หรือคิดเป็น Horizontal Line จำนวน 262.5 เส้น กล่าวโดยสรุปคือ ในทุกๆ $1/30$ วินาทีจะมีภาพย่อย 2 ภาพถูกส่งออกมารวมเป็นภาพสมบูรณ์ 1 ภาพซึ่งมีจำนวน Horizontal Line 525 เส้นนั่นเอง

ในระบบ RS-170 กับ NTSC คาบของ Vertical Pulse จะยาวประมาณ $1/60$ วินาที (ความถี่ 60 Hz) ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาที่กล้องใช้ในการสแกนเส้นภาพในแต่ละกลุ่มเส้น (Horizontal Line) ซึ่งจะมี 2 กลุ่มคือกลุ่มเส้นคี่ และกลุ่มเส้นคู่ ในแต่ละกลุ่มเส้นจะประกอบด้วยเส้นภาพจำนวน 262.5 เส้น ส่วน Horizontal Pulse จะมีคาบประมาณ $1/15750$ วินาที (ความถี่ 15.75 kHz) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่กล้องใช้ในการสแกนเส้นภาพ 1 เส้น

ส่วนในระบบ CCIR กับ PAL นั้น Vertical Pulse จะมีคาบ $1/50$ วินาที (ความถี่ 50 Hz) ประกอบด้วย Horizontal Line จำนวน 312.5 เส้น นั่นคือ ในทุกๆ $1/25$ วินาทีจะมีภาพย่อย 2 ภาพถูกส่งออกมารวมเป็นภาพสมบูรณ์ 1 ภาพซึ่งมีจำนวน Horizontal Line 625 เส้น

3.1.5 ขนาดรูรับแสงและความเร็วชัตเตอร์

ในการรับแสงของไดโอดในกล้อง CCD นั้น จะมีปัจจัยที่สำคัญดังนี้ คือ ขนาดของรูรับแสง และความเร็วชัตเตอร์ โดยจะขออธิบายความหมายดังนี้

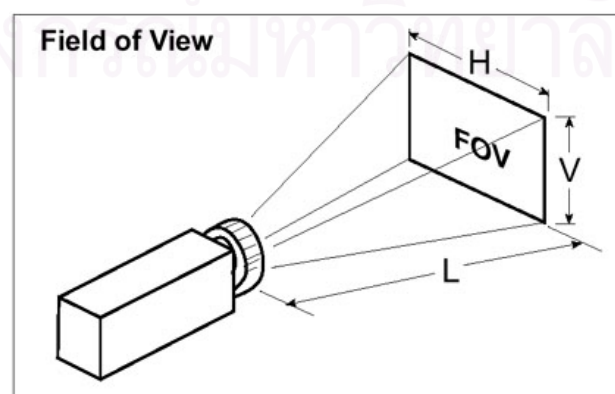
ขนาดรูรับแสงของกล้อง CCD โดยปกติจะหมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ ซึ่งจะหมายความว่าปริมาณแสงที่ไดโอดจะได้รับ ถ้าขนาดของรูรับแสงมาก แสงก็จะผ่านเลนส์ไปได้มาก และไดโอดก็จะได้รับแสงมากเช่นกัน อันจะมีผลให้ภาพที่ได้มีความสว่าง แต่ถ้ารูรับแสงมีขนาดเล็ก แสงจะผ่านเลนส์ไปถึงไดโอดได้น้อย ภาพที่ได้ก็จะค่อนข้างมืด

ความเร็วชัตเตอร์ของกล้อง CCD จะหมายถึงช่วงเวลาที่ได้โอดถูกอนุภาคแสง (Photon) และทำการสะสมประจุ แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าส่งออกไปยังวงจรควบคุม ถ้าความเร็วชัตเตอร์มีค่าต่ำ หมายถึง เวลาที่ไดโอดสะสมประจุจะมาก ก็จะทำให้ภาพสว่างมาก แต่ถ้าความเร็วชัตเตอร์มีค่าสูง เวลาที่ไดโอดสะสมประจุก็จะน้อย ภาพก็จะค่อนข้างมืด

ทั้งขนาดรูรับแสงและความเร็วชัตเตอร์จะต้องมีความสัมพันธ์กัน เพื่อให้ได้ภาพที่ได้มีความสว่างที่เหมาะสม เช่น เมื่อรูรับแสงของกล้อง (ขนาดของเลนส์) มีขนาดใหญ่ ไดโอดจะสะสมประจุได้มาก ความเร็วชัตเตอร์ก็ต้องสูงเพื่อไม่ให้ไดโอดสะสมประจุมากเกินไป แต่ถ้ารูรับแสงของกล้องมีขนาดเล็ก ความเร็วชัตเตอร์ก็ต้องต่ำ เพื่อให้ไดโอดได้สะสมประจุได้นานขึ้นนั่นเอง

3.1.6 พื้นที่การมองเห็น

พื้นที่การมองเห็นของกล้อง CCD (Field of View) จะมีพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง H และความสูง V โดยวัดห่างจากกล้องเป็นระยะทาง L ดังรูปที่ 3.8 จะสามารถคำนวณได้จากสูตรในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.8 แสดงพื้นที่การมองเห็นของกล้อง CCD

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรการหาพื้นที่การมองเห็น

| ขนาด กล้อง | 1 นิ้ว | 2/3 นิ้ว | 1/2 นิ้ว |
|---------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| H | $\frac{12.8 \times L}{f}$ | $\frac{8.8 \times L}{f}$ | $\frac{6.4 \times L}{f}$ |
| V | $\frac{9.6 \times L}{f}$ | $\frac{6.6 \times L}{f}$ | $\frac{4.8 \times L}{f}$ |

โดยที่ f = ความยาวโฟกัสของเลนส์
 H = ความกว้างของพื้นที่การมองเห็น
 V = ความสูงของพื้นที่การมองเห็น
 L = ระยะห่างจากกล้อง

3.2 การ์ดประมวลผลภาพ

การ์ดประมวลผลภาพ (Image Processing Card) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับกล้อง CCD กับคอมพิวเตอร์ มีหน้าที่รับสัญญาณภาพมาจากกล้อง CCD แล้วนำสัญญาณนั้นมาประมวลผลในลักษณะต่างๆ ที่ผู้ใช้งานต้องการ เช่น ปรับแสง ปรับความคมชัด บันทึกภาพ ฯลฯ ดังรูปที่ 3.9 แสดงการ์ดประมวลผลภาพที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้คือรุ่น DT3155 ของบริษัท Data Translation จำกัด



รูปที่ 3.9 แสดงการ์ดประมวลผลภาพรุ่น DT3155 ของบริษัท Data Translation จำกัด

3.2.1 การ์ด DT3155

การ์ด DT3155 นี้ เป็นการ์ดประมวลผลภาพขาวดำแบบดิจิทัล ใช้พอร์ต PCI ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ สามารถรับสัญญาณ Input จากกล้อง CCD ได้ 4 ช่องสัญญาณ และรับรูปแบบของสัญญาณได้ 4 แบบคือ แบบ RS-170, NTSC, CCIR

และ PAL ลักษณะภาพขาวดำจะเป็นแบบ 8 บิต (256 ระดับสีเทา) ตั้งความละเอียดได้ 2 ระดับคือ 640x480 จุด (กว้างxสูง) สำหรับระบบ RS-170 และ NTSC และ 768x576 จุด (กว้างxสูง) สำหรับระบบ CCIR และ PAL

3.2.2 การใช้งานการ์ด DT3155

ในการใช้งานการ์ด DT3155 นี้สามารถควบคุมการทำงานโดยใช้ภาษาซี โดยเรียกฟังก์ชันที่ทางบริษัทได้พัฒนาขึ้น ตัวอย่างฟังก์ชันที่สามารถเรียกใช้งานได้ เช่น

3.2.2.1 ฟังก์ชัน InitBoard เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชันนี้ การ์ด DT3155 จะทำการตรวจสอบตัวเองว่าพร้อมใช้งานหรือไม่ เป็นฟังก์ชันที่ต้องเรียกใช้ก่อนฟังก์ชันอื่น

3.2.2.2 ฟังก์ชัน TakePicture ใช้สำหรับถ่ายภาพที่ได้จากกล้อง CCD แล้วเก็บไว้ในหน่วยความจำ

3.2.2.3 ฟังก์ชัน SetWBCurrentLevels เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับปรับระดับความขาวและดำของภาพ ระดับความขาวจะอยู่ในช่วง 351100 μ Volt (ขาวน้อย) ถึง 1009000 μ Volt (ขาวมาก) และระดับความดำจะอยู่ในช่วง 1275 μ Volt (ดำมาก) ถึง 306000 μ Volt (ดำน้อย)

3.2.2.4 ฟังก์ชัน StartLiveVideo เป็นฟังก์ชันที่ใช้เปิดการส่งภาพอย่างต่อเนื่อง (ถ่ายทอดสด)

3.2.2.5 ฟังก์ชัน OpenBMPFile เป็นฟังก์ชันที่ใช้เปิดไฟล์ภาพที่มีรูปแบบเป็น Bitmap (นามสกุล BMP) แล้วเก็บไว้ในหน่วยความจำ

3.2.2.6 ฟังก์ชัน SaveBMPFile เป็นฟังก์ชันที่จับบันทึกภาพในหน่วยความจำเป็นไฟล์ที่มีรูปแบบเป็น Bitmap

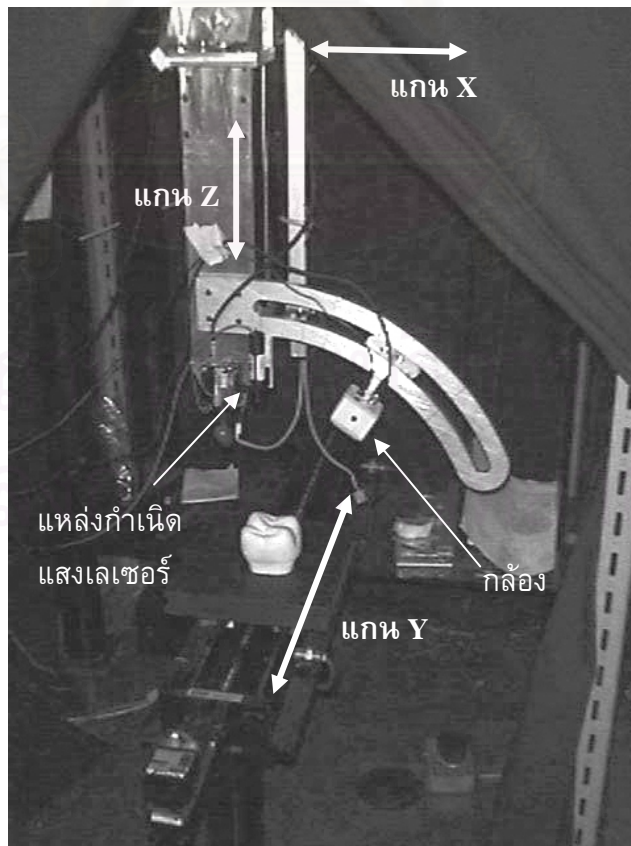
บทที่ 4

วิธีและโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเครื่องวัดพิกัด

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทำงานและโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ซึ่งทำหน้าที่ออกคำสั่งและตรวจสอบการทำงานของแกนเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน ควบคุมการทำงานของการ์ดประมวลผลภาพ และควบคุมลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม รวมถึงอธิบายการทำงานของระบบทั้งหมดว่ามีส่วนเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันอย่างไร แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงการทำงานของเครื่องวัดพิกัด จะขอกล่าวถึงโครงสร้างของเครื่องวัดพิกัดก่อน

4.1 โครงสร้างของเครื่องวัดพิกัดและการควบคุมการเคลื่อนที่

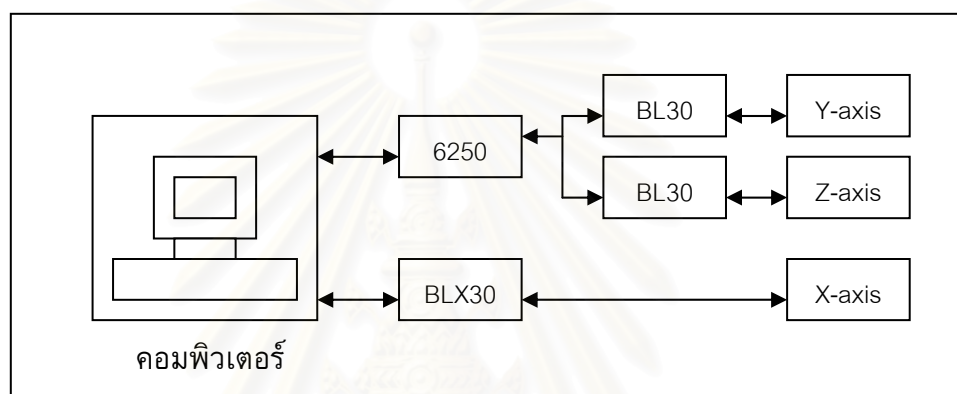
เครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้นในการวิจัยนี้ จะอาศัยโครงสร้างเดิมที่มีอยู่ก่อนแล้ว ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นโครงสร้างเดิมที่มีแกนเคลื่อนที่ 3 แกน คือแกน X แกน Y และแกน Z โดยแกนเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนนี้จะถูกควบคุมโดยตัวควบคุม 2 ตัวคือ ตัวควบคุม 6250 ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน Y และแกน Z ส่วนตัวควบคุม BLX30 จะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน X



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดพิกัด

บนแกน Z จะมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแขนโค้งยื่นออกมา ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นแขนวางตำแหน่งของกล้อง CCD และใช้ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกมุมของกล้อง CCD ได้โดยสะดวก

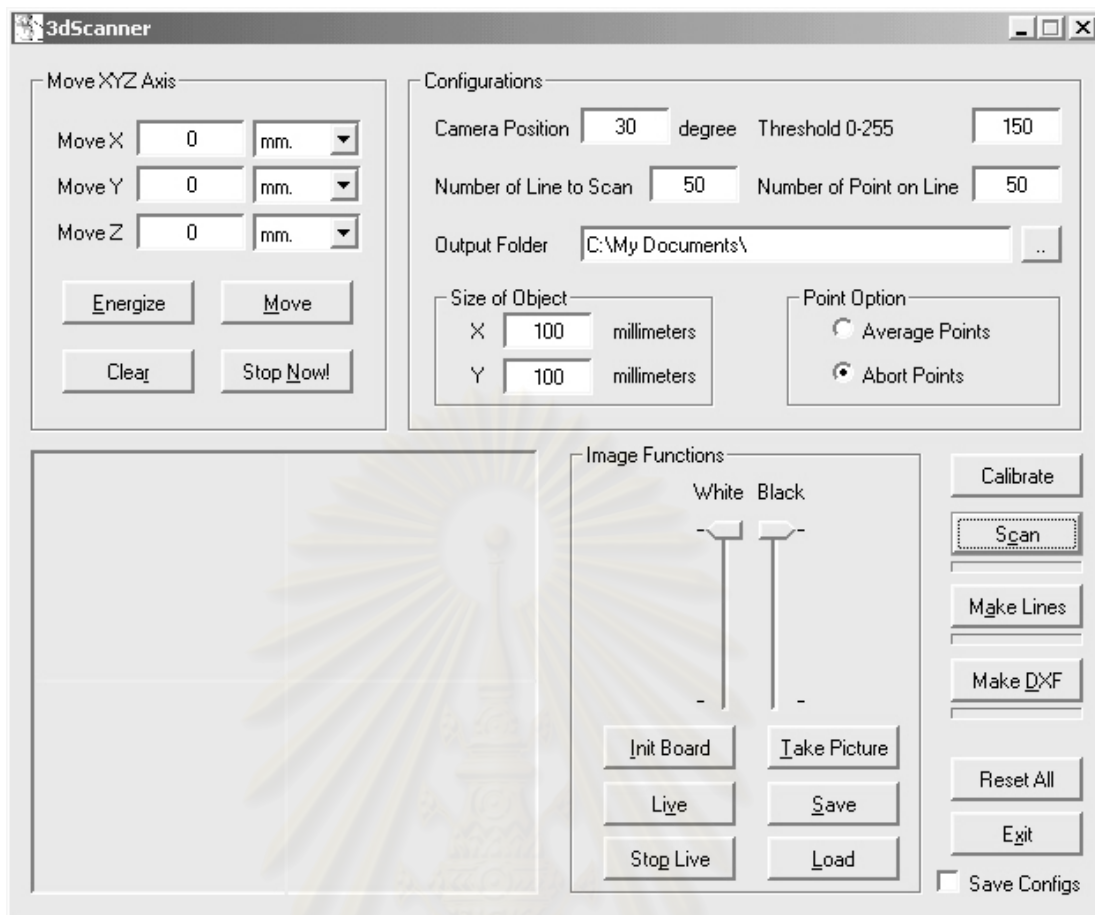
การควบคุมแกนเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนนั้น จะใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS232) 2 พอร์ต เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวคือ อุปกรณ์ควบคุม 6250 และอุปกรณ์ควบคุม BLX30 ดังรูปที่ 4.2 แสดงระบบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ [1] สำหรับการควบคุมแกนเคลื่อนที่จะขออธิบายไว้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 4.2 แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์

4.2 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

ในการควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิกัต 3 มิติ นั้น จำเป็นจะต้องพัฒนาโปรแกรมขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้สอดคล้องกัน อุปกรณ์ที่จะต้องควบคุมได้แก่ ตัวควบคุมมอเตอร์ 6250 ตัวควบคุมมอเตอร์ BLX30 และการ์ดประมวลผลภาพ DT3155 โดยจะควบคุมตัวควบคุมมอเตอร์ทั้งสองตัวผ่านทางพอร์ตอนุกรม และควบคุมการ์ดประมวลผลภาพผ่านทางพอร์ต PCI และนอกจากจะใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แล้ว โปรแกรมควบคุมการทำงานจะมีหน้าที่ควบคุมขั้นตอนการเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูล การแปลงข้อมูล และการแสดงผลอีกด้วย ซึ่งโปรแกรมควบคุมการทำงานที่ได้พัฒนาขึ้นมีชื่อว่า โปรแกรม 3dscanner นั้น ผู้ใช้จำเป็นต้องป้อนข้อมูลของพื้นผิวที่จะทำการวัดก่อน คือ ความกว้าง ความยาว ตำแหน่งของกล้อง จำนวนข้อมูล(จุด)ที่ต้องการ และ ชื่อไดเรกทอรีที่จะเก็บบันทึกไฟล์ข้อมูล ซึ่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการทำงานมีลักษณะดังรูปที่ 4.3 สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อยได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 แสดงโปรแกรม 3dscanner ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิคัด 3 มิติ

4.2.1 กลุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน X, Y, Z เป็นกลุ่มฟังก์ชันที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ทั้ง 3 แกน มีฟังก์ชันย่อยๆ ดังนี้

4.2.1.1 Energize เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับเปิดการทำงานของมอเตอร์ เนื่องจากอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ 6250 และ BLX30 จะรอคำสั่งเปิดการทำงานก่อนที่จะเริ่มเคลื่อนที่เสมอ ซึ่งปุ่ม Energize เป็นปุ่มแบบเปิด-ปิด (Toggle) ดังนั้นเมื่อต้องการปิดการทำงาน ก็สามารถที่จะกดปุ่ม Energize ซ้ำได้

4.2.1.2 Move เป็นฟังก์ชันที่ใช้ออกคำสั่งให้แกนเคลื่อนที่ ซึ่งฟังก์ชันนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อได้กดปุ่ม Energize และได้ใส่ระยะทางที่จะให้แกนต่างๆ เคลื่อนที่แล้ว

4.2.1.3 Clear เป็นฟังก์ชันที่ใช้ลบข้อมูลในช่องที่ใส่ระยะการเคลื่อนที่ของแกนทั้ง 3 แกน

4.2.1.4 Stop now! เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการหยุดการเคลื่อนที่ของทั้ง 3 แกนโดยฉับพลัน ไม่ว่าแกนนั้นจะเคลื่อนที่ไม่ถึงตำแหน่งที่ต้องการ ปุ่มนี้จะถูกใช้เพื่อ

ป้องกันการเสียหายของตัวโครงสร้าง อันเกิดจากการใส่ข้อมูลระยะทางที่มากเกินไป

4.2.2 กลุ่มควบคุมการประมวลผลภาพ เป็นกลุ่มที่ใช้ควบคุมการทำงานของการ์ดประมวลผลภาพ ซึ่งมีฟังก์ชันย่อยต่างๆ ดังนี้

4.2.2.1 Init Board เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับเปิดการทำงานของการ์ดประมวลผลภาพ ซึ่งจะต้องทำการเปิดทุกครั้งเมื่อเริ่มต้นใช้งาน

4.2.2.2 White Slider เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดระดับสีขาวของภาพที่ได้จากกล้อง CCD ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 351100 μV (ขาวมาก) ถึง 1009000 μV (ขาวน้อย)

4.2.2.3 Black Slider เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดระดับสีดำของภาพที่ได้จากกล้อง CCD ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1275 μV (ดำน้อย) ถึง 306000 μV (ดำมาก)

4.2.2.4 Take Picture เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับถ่ายภาพหนึ่งจากกล้อง CCD มาเก็บไว้ในหน่วยความจำ และภาพนี้จะถูกแสดงให้เห็นในกรอบแสดงภาพ

4.2.2.5 Live เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการถ่ายภาพต่อเนื่องจากกล้อง CCD มาแสดงในกรอบแสดงภาพ

4.2.2.6 Stop Live เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการหยุดการถ่ายภาพต่อเนื่อง ซึ่งฟังก์ชันนี้จะทำงานในลักษณะกลับกันกับฟังก์ชัน Live

4.2.2.7 Save เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับบันทึกภาพที่แสดงในกรอบแสดงภาพเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล BMP

4.2.2.8 Load เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับเปิดไฟล์ภาพที่มีนามสกุล BMP มาแสดงในกรอบแสดงภาพ

4.2.3 กลุ่มข้อมูลเบื้องต้นของพื้นผิว เป็นกลุ่มช่องข้อความที่ผู้ใช้จะต้องป้อนให้กับโปรแกรมก่อนการทำงาน ซึ่งจะมีช่องข้อความต่างๆ ดังนี้

4.2.3.1 Camera Position เป็นช่องข้อความที่ผู้ใช้จะต้องใส่ตำแหน่งของกล้อง โดยที่ตำแหน่งของกล้องก็คือมุมระหว่างระนาบของแสงเลเซอร์กับทิศทางการมองเห็นของกล้อง (Line of Sight) มีหน่วยเป็นองศา

4.2.3.2 Threshold จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 หมายถึงค่าของสีที่อยู่ระหว่างขาวถึงดำ จะเป็นค่าของสีที่โปรแกรมจะใช้ในการประมวลผลภาพ เช่นถ้าใส่ค่า 150 หลังจากที่ถูกกรองได้ทำการบันทึกภาพแล้ว ภาพนั้นจะถูกอ่านค่าสีที่ตำแหน่งต่างๆ ค่าสีใดมีค่าน้อยกว่า 150 ก็จะถูกเปลี่ยนเป็น 0 (สีดำ) และค่าสีใดที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 150 ก็จะถูกแปลงเป็น 255 (สีขาว) ค่า Threshold นี้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของภาพที่ได้ด้วย

4.2.3.4 Number of Line to Scan เป็นค่าความละเอียดตามแกน X ที่ผู้ใช้ต้องการ หรืออาจหมายถึงจำนวนจุดตามแกน X โดยควรมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 100

4.2.3.5 Number of Point on Line เป็นค่าความละเอียดตามแกน Y ที่ผู้ใช้ต้องการ หรืออาจหมายถึงจำนวนจุดตามแกน Y โดยควรมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 100

4.2.3.6 Size of Object มี 2 ช่องข้อความย่อยคือ

4.2.3.6.1 X เป็นช่องข้อความที่ผู้ใช้จะต้องใส่ขนาดของพื้นผิวตามแกน X มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

4.2.3.6.2 Y เป็นช่องข้อความที่ผู้ใช้จะต้องใส่ขนาดของพื้นผิวตามแกน Y มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

4.2.3.7 Point Option เป็นปุ่มตัวเลือกที่ใช้กำหนดวิธีการเลือกจุดที่มีปัญหาการซ้อนกันของจุด 2 จุดขึ้นไป คือที่ตำแหน่ง X, Y เดียวกัน แต่วัดค่า Z ได้หลายค่า ซึ่งอาจเกิดจากการสะท้อนของแสงที่ผิดพลาด มี 2 ตัวเลือกคือ

4.2.3.7.1 Average Points เป็นการเฉลี่ยค่าพิกัดของตำแหน่งนั้น

4.2.3.7.2 Abort Points เป็นการยกเลิกค่าพิกัดที่ตำแหน่งนั้นเลย

4.2.4 กลุ่มวัตถุพิกัด เป็นกลุ่มฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ในการวัดพิกัด มีฟังก์ชันย่อยต่างๆ ดังนี้

4.2.4.1 Scan เป็นฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ถ่ายภาพของเส้นที่เกิดจากระนาบแสงเลเซอร์ตกกระทบพื้นผิว ที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งจะได้อธิบายขั้นตอนการทำงานในหัวข้อ 4.3.1

4.2.4.2 Make Lines เป็นฟังก์ชันที่ทำการประมวลผลภาพที่ได้จากฟังก์ชัน Scan โดยจะทำการแปลงภาพที่ได้ให้มีลักษณะเป็นเส้นเดี่ยวกว้าง 1 พิกเซล (pixel) ซึ่งจะได้อธิบายขั้นตอนการทำงานในหัวข้อ 4.3.2

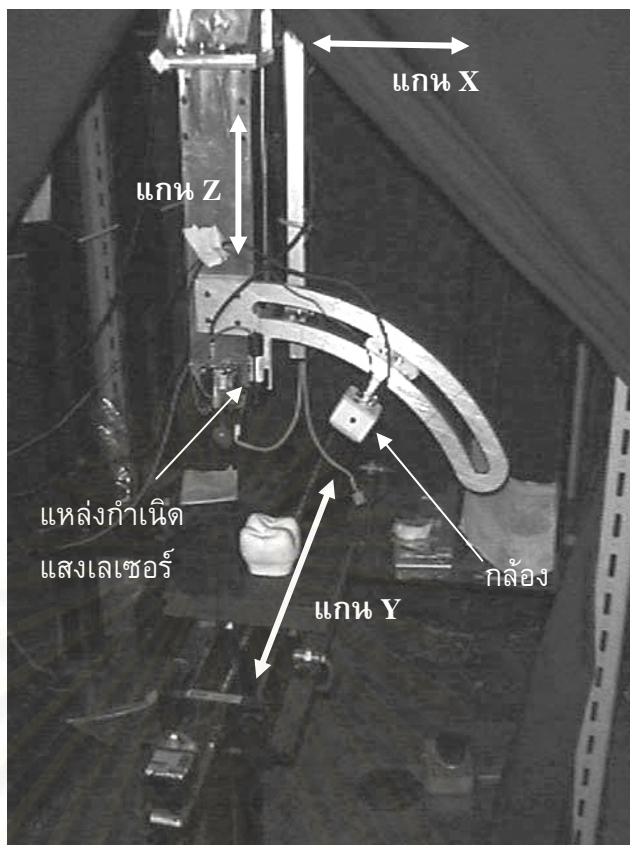
4.2.4.3 Make DXF เป็นฟังก์ชันที่ทำการหาพิกัดของพื้นผิว โดยใช้ภาพที่ได้จากฟังก์ชัน Make Lines พิกัดของพื้นผิวที่ได้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของไฟล์ DXF เพื่อสามารถนำไปเปิดบนโปรแกรม CAD ทั่วๆไปได้ ซึ่งจะได้อธิบายขั้นตอนการทำงานในหัวข้อ 4.3.3

4.2.4.5 Reset All เป็นฟังก์ชันที่ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าต่างๆ ให้กลับไปเป็นค่าเดิมเหมือนตอนเปิดโปรแกรม

4.2.4.6 Exit เป็นฟังก์ชันที่ใช้ออกจากโปรแกรม

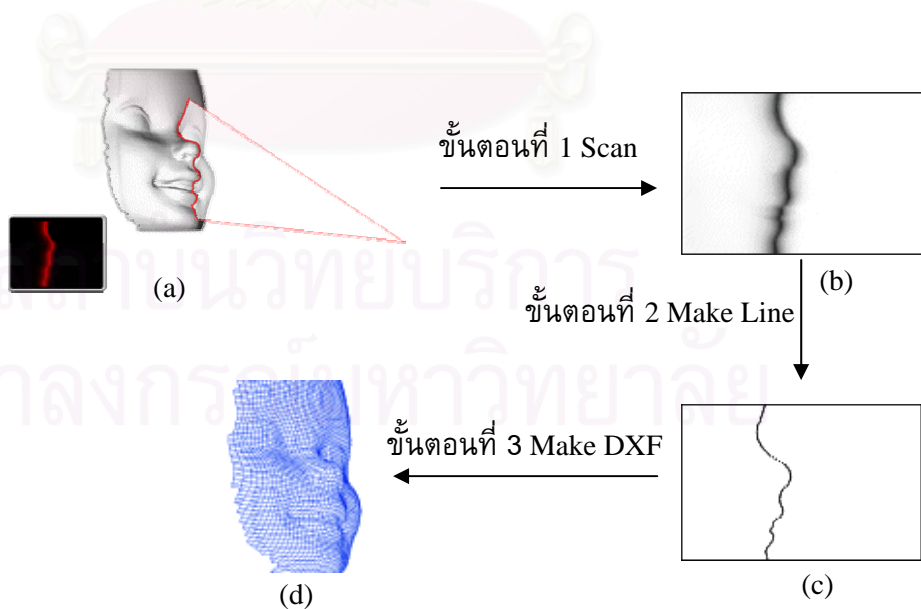
4.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ

ในการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ จะใช้แกนเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนในตอนเริ่ม ดังรูปที่ 4.4 เพื่อจัดชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับการเห็นของกล้อง CCD เมื่อวางชิ้นงานได้ตำแหน่งที่เหมาะสมแล้ว จะใช้แกนเคลื่อนที่เพียง 1 แกน ซึ่งก็คือแกน X เป็นแกนที่ใช้สำหรับเลื่อนระนาบแสงเลเซอร์ไปยังตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการจะวัด ทำการเก็บบันทึกภาพ แล้วนำภาพเหล่านั้นมาประมวลผลเพื่อหาพิกัดต่อไป



รูปที่ 4.4 แสดงแกนเคลื่อนที่บนโครงสร้างของเครื่องวัดพิกัด

ในขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 3dscanner นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 4.5



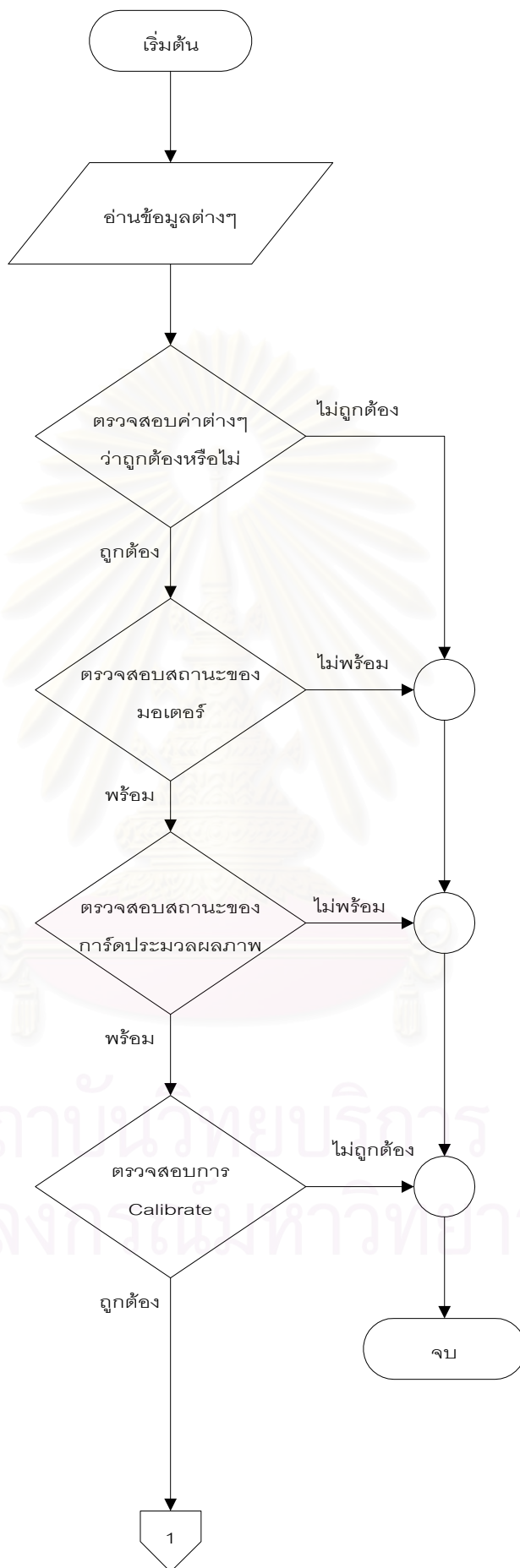
รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 3dscanner

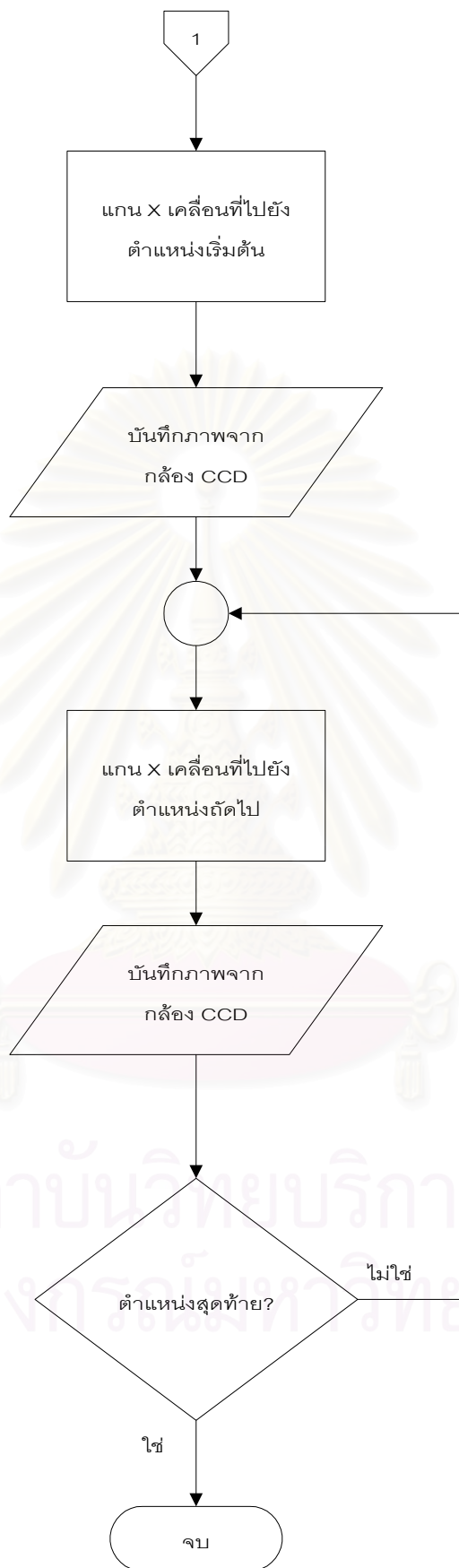
จากรูปที่ 4.5 ขั้นตอนที่ 1 คือส่วนของฟังก์ชัน Scan ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลพื้นผิว จากนั้นขั้นตอนที่ 2 คือฟังก์ชัน Make Line จะทำการแปลงภาพให้มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการคำนวณหาพิกัด ขั้นตอนที่ 3 ฟังก์ชัน Make DXF จะทำการคำนวณหาพิกัดแล้วส่งออกมาในรูปแบบของไฟล์ DXF ซึ่งจะขออธิบายขั้นตอนการทำงานทั้ง 3 ขั้นตอนอย่างละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 Scan เป็นขั้นตอนที่เครื่องวัดพิกัดจะทำการเก็บข้อมูลพื้นผิว โดยกล้อง CCD จะถ่ายภาพตำแหน่งต่างๆ ของพื้นผิวแล้วบันทึกเป็นไฟล์ภาพเก็บไว้ ซึ่งตำแหน่งของพื้นผิวที่จะเก็บข้อมูลนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนจุดตามแกน X ที่ต้องการ เช่น ต้องการจำนวนจุดตามแกน X 10 จุด เครื่องก็จะทำการบันทึกภาพของพื้นผิวไว้ 10 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 1 ภาพ รวมเป็น 10 ภาพ แต่ละภาพจะถูกบันทึกไว้ในรูปแบบ Bitmap ซึ่งมีจำนวนพิกเซลทั้งสิ้น 576 พิกเซลตามแกนตั้งของภาพ และ 768 พิกเซลตามแกนนอนของภาพ รูปที่ 4.6 แสดงถึงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชัน Scan ดังนี้



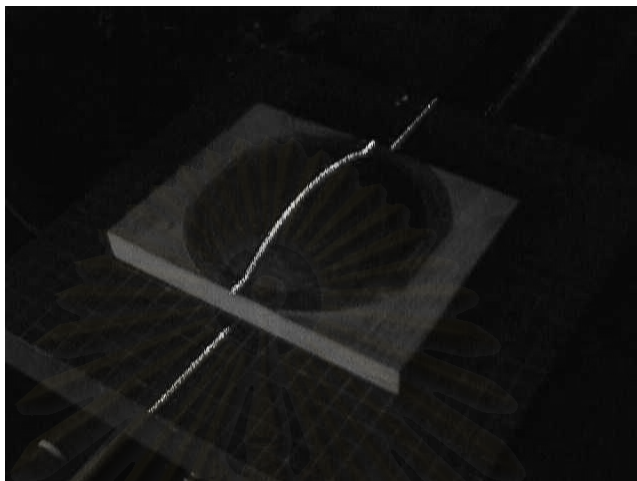
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



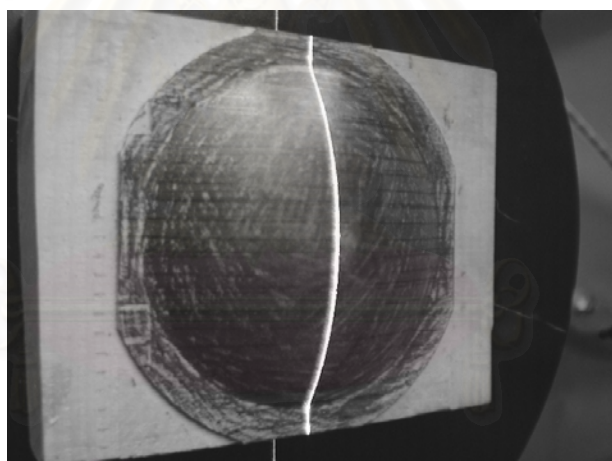


รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชัน Scan

ภาพที่เก็บบันทึกไว้จะเป็นภาพที่ได้จากกล้อง CCD โดยตรง จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นว่าเส้นสีขาวตรงกลางที่เป็นส่วนที่จะต้องนำไปคำนวณหาพิกัดนั้นมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ดังนั้นจึงต้องนำภาพที่ได้นี้ไปทำการแปลงให้เส้นสีขาวมีขนาดเล็กลงก่อนที่จะทำการคำนวณ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

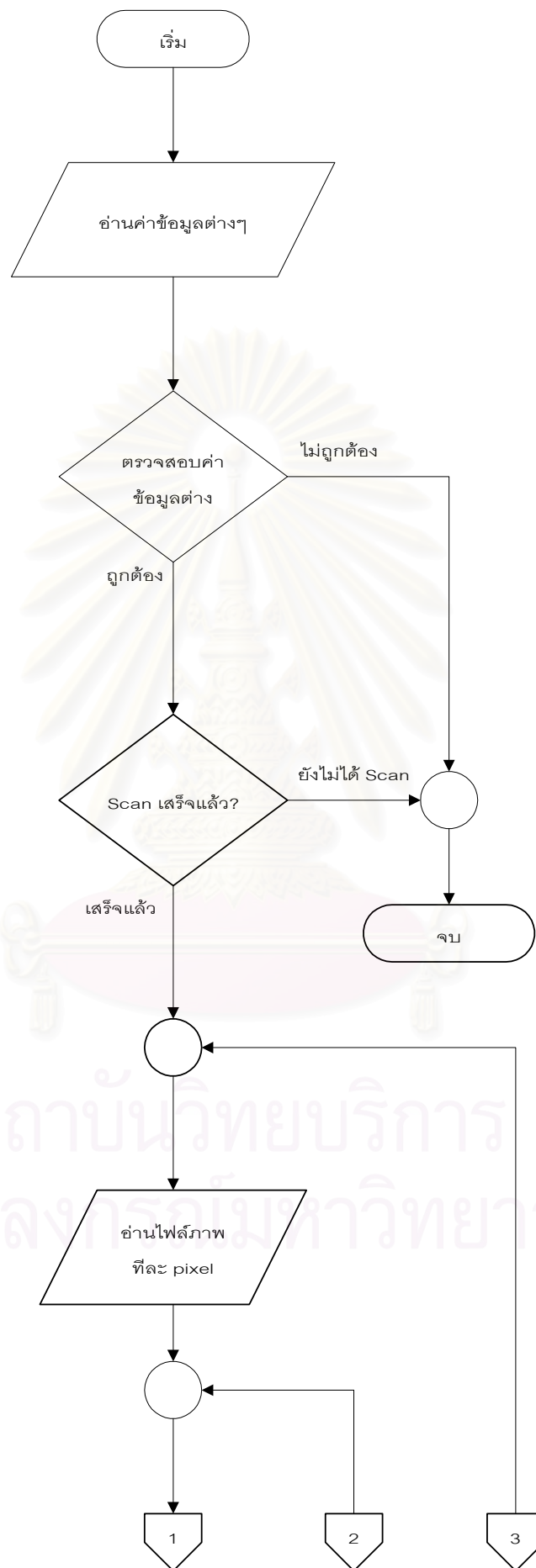


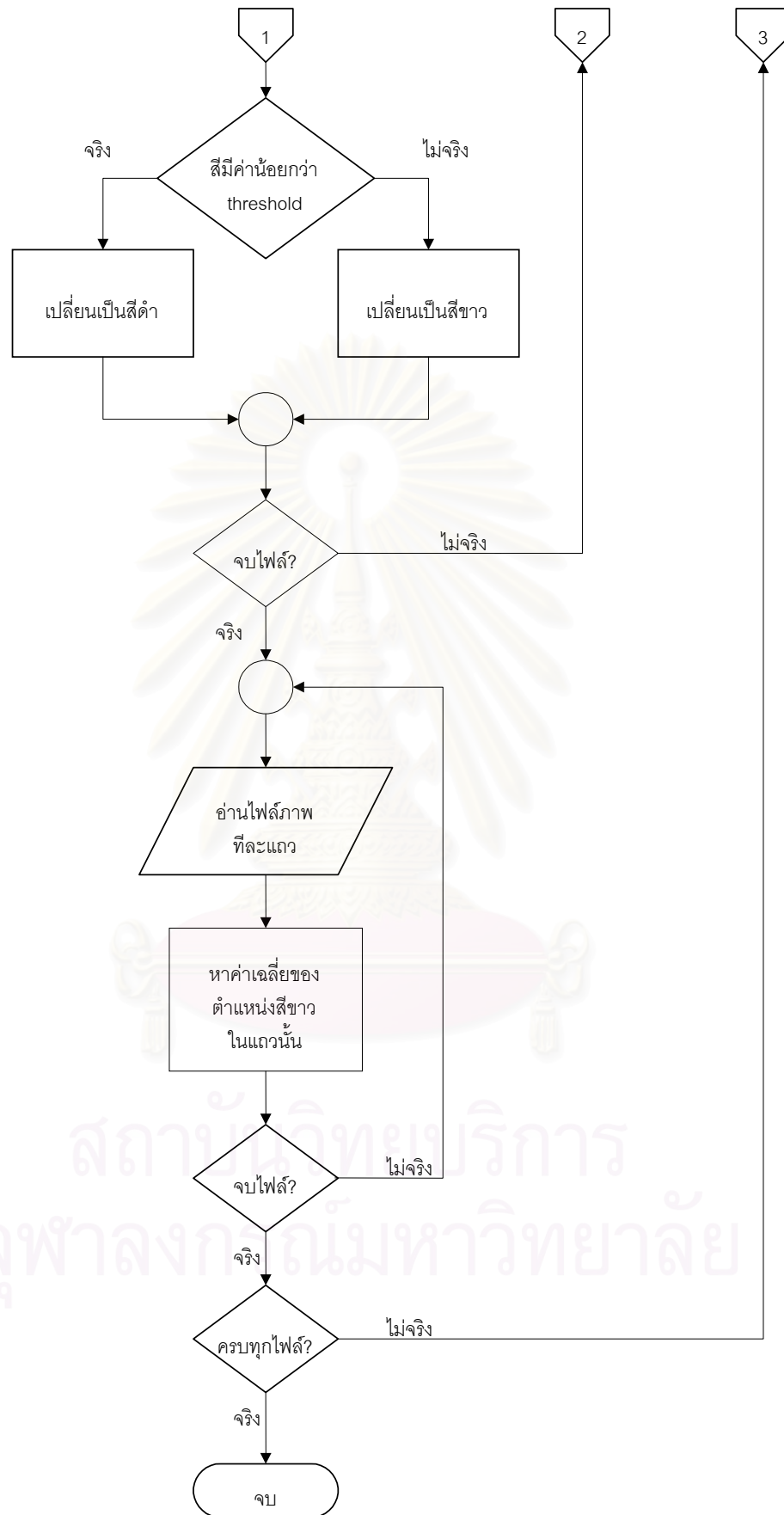
รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างพื้นผิวที่ใช้ในการวัด



รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างรูปที่ได้จากการใช้ฟังก์ชัน Scan

4.3.2 Make Line เป็นขั้นตอนที่เครื่องวัดพิกัดจะทำการแปลงข้อมูลภาพที่ได้ ให้อยู่ในรูปแบบภาพที่สามารถนำไปคำนวณหาพิกัดได้โดยง่าย และถูกต้อง ซึ่งจากรูปที่ 4.8 เป็นภาพที่ได้จากกล้อง CCD เส้นสีขาวตรงกลางจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งถ้านำไปคำนวณก็อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงให้เส้นสีขาวตรงกลางมีขนาดเล็กที่สุด โดยให้มีความกว้างไม่เกิน 1 พิกเซล รวมทั้งตัดส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกทั้งหมด ซึ่งก็คือพื้นที่ด้านข้างเส้นสีขาว โดยจะเปลี่ยนพื้นที่เหล่านี้ให้กลายเป็นสีดำ สุดท้ายก็จะได้ภาพที่มีแต่เส้นสีขาวตรงกลาง มีความกว้างไม่เกิน 1 พิกเซล ในส่วนอื่นจะเป็นสีดำทั้งหมด รูปที่ 4.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชัน Make Line ดังนี้





รูปที่ 4.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชัน Make Line

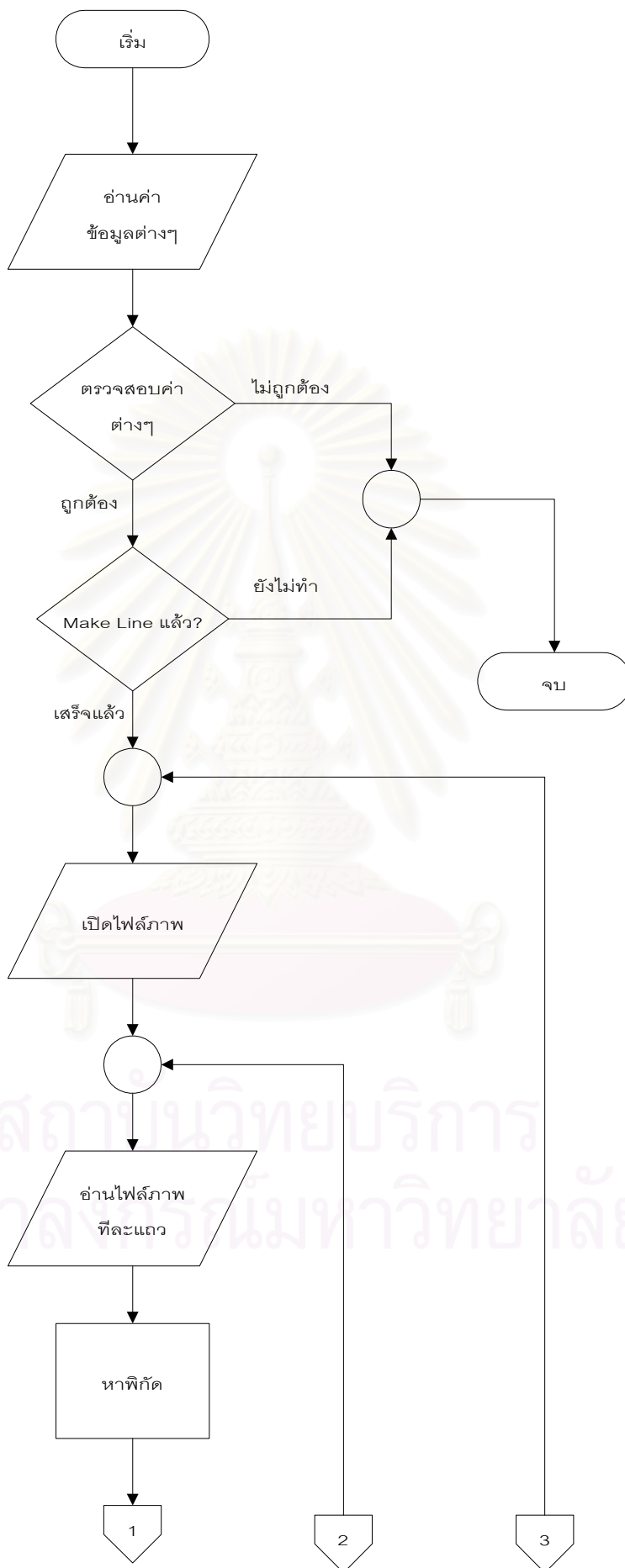
ภาพที่ได้หลังจากการแปลงจากรูปที่ 4.8 แสดงในรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเส้นสีขาวถูกแปลงให้มีความกว้าง 1 พิกเซล และในส่วนอื่นๆ กลายเป็นสีดำทั้งหมด ภาพที่ได้จากการแปลงจะถูกบันทึกทับลงในไฟล์เดิม เพื่อรอการนำไปคำนวณหาพิกัด ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

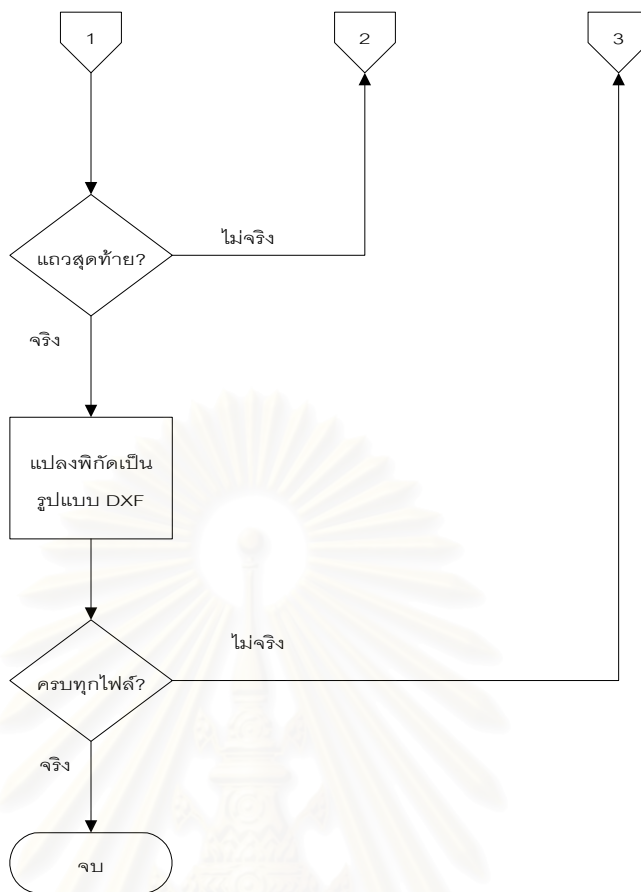


รูปที่ 4.10 แสดงรูปที่ได้จากการใช้ฟังก์ชัน Make Lines

4.3.3 Make DXF เป็นขั้นตอนที่จะนำภาพที่ได้หลังจากถูกแปลงโดยฟังก์ชัน Make Line แล้ว มาคำนวณเพื่อหาพิกัด และพิกัดที่คำนวณได้จะถูกบันทึกเป็นไฟล์รูปแบบ DXF ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับโปรแกรม CAD ทั่วๆ ไป รูปที่ 4.11 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชัน Make DXF รูปที่ 4.12 แสดงบางส่วนของไฟล์ DXF ที่ได้ และรูปที่ 4.13 แสดงพิกัดที่ได้จากการคำนวณเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม CAD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



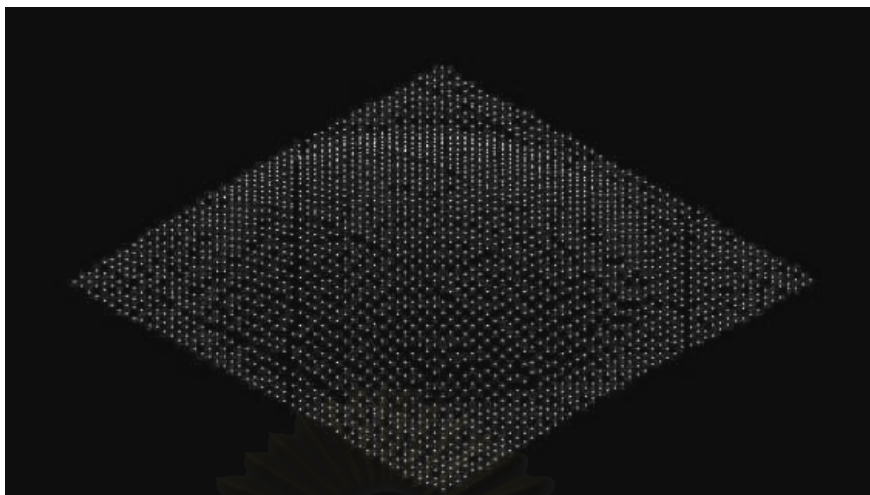


รูปที่ 4.11 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชัน Make DXF

```

POINT
5
22
330
1E
100
AcDbEntity
8
0
100
AcDbPoint
10
0.0
20
110.0
30
15.916199999999999
0
  
```

รูปที่ 4.12 แสดงข้อมูลที่ได้อ่านส่วนหลังจากการใช้ฟังก์ชัน Make DXF



รูปที่ 4.13 แสดงรูปที่ได้เมื่อนำผลการวัดพิกัดจำนวนจุด 50x50 จุด
มูมกล้อง 30 องศา ไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD



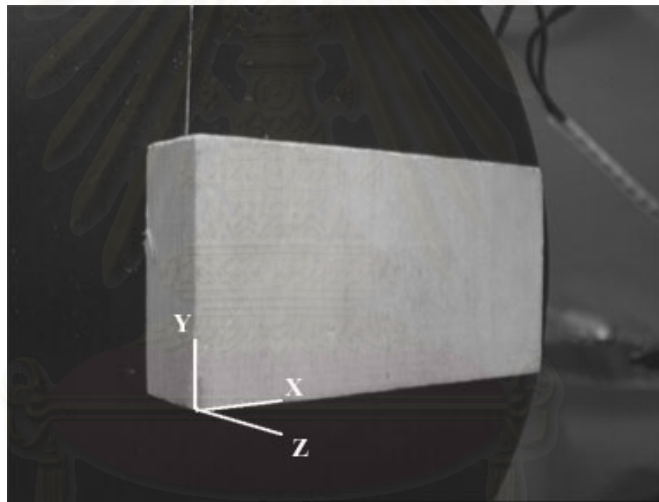
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การสอบเทียบและความแม่นยำของเครื่องวัดพิกัด

5.1 การสอบเทียบ

การใช้งานเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดชนิดหนึ่ง จำเป็นที่จะต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือให้มีความถูกต้องมากที่สุดก่อนการใช้งานเสมอ เพื่อลดค่าความผิดพลาดที่อาจเกิดจากตัวเครื่องวัดพิกัดเอง ซึ่งในการสอบเทียบเครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้น จะแบ่งเป็นการสอบเทียบแกนทั้ง 3 แกน โดยจะหาอัตราส่วนขนาดของภาพที่บันทึกจากกล้อง CCD กับขนาดจริง ๆ ของวัตถุ ซึ่งอัตราส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและความสูงของกล้อง ดังรูปที่ 5.1 โดยจะเริ่มหาอัตราส่วนของแกน Y ก่อน แล้วจึงจะหาอัตราส่วนของแกน X และ Z ต่อไป เนื่องจากอัตราส่วนของแกน Y จะขึ้นอยู่กับความสูงของกล้องเพียงตัวแปรเดียวเท่านั้น และอัตราส่วนของแกน X และ Z สามารถคำนวณหาได้จากอัตราส่วนของแกน Y

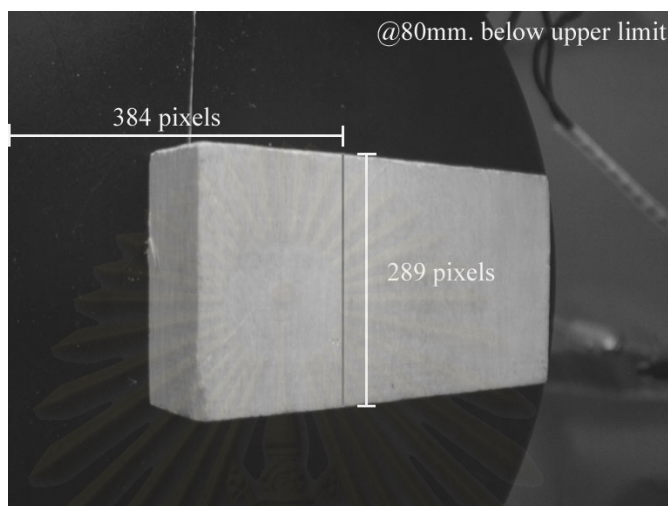


รูปที่ 5.1 แสดงแกน X, Y, Z บนวัตถุที่ทราบขนาดทางแกน Y

5.1.1 การสอบเทียบแกน Y ในการสอบเทียบแกน Y จะเริ่มจากการหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อขนาดของภาพที่จะบันทึกได้ ซึ่งในที่นี้มีเพียงตัวแปรเดียวก็คือความสูงของกล้อง เมื่อกำลังเคลื่อนที่สูงขึ้นหรือต่ำลง ก็จะทำให้ภาพที่ได้จากกล้องมีขนาดเล็กลงหรือใหญ่ขึ้นตามลำดับ ดังนั้นในการหาอัตราส่วนของแกน Y จะต้องทำการบันทึกภาพวัตถุที่ทราบขนาดทางแกน Y ที่ความสูงของกล้องต่างๆ กัน แล้วนำภาพเหล่านั้นมาวิเคราะห์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นขั้นตอนดังนี้

1. เลื่อนแกน Z ให้สูงขึ้นไปจนสุด (ตำแหน่ง home)
2. วางวัตถุที่ทราบขนาดทางแกน Y ให้อยู่ตรงกลางแนวการมองเห็นของกล้อง โดยการถ่ายภาพแล้วเทียบกับแนวเส้นเหลืองในโปรแกรม 3dscanner เลื่อนแกนต่างๆ จนวัตถุอยู่กลางกล้อง

3. เลื่อนแกน Z ไปที่ความสูงต่างๆ และบันทึกภาพที่ความสูงนั้นไว้
4. นำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ โดยจะต้องทำการนับจำนวนจุดภาพที่อยู่แนวกึ่งกลางภาพ (pixel ที่ 384 ตามแนวนอน) ดังรูปที่ 5.2 แล้วมาบันทึกไว้ในตารางดังตารางที่ 5.1 โดยที่ อัตราส่วนแกน Y = จำนวนจุดภาพที่นับได้ / ขนาดจริงทางแกน Y

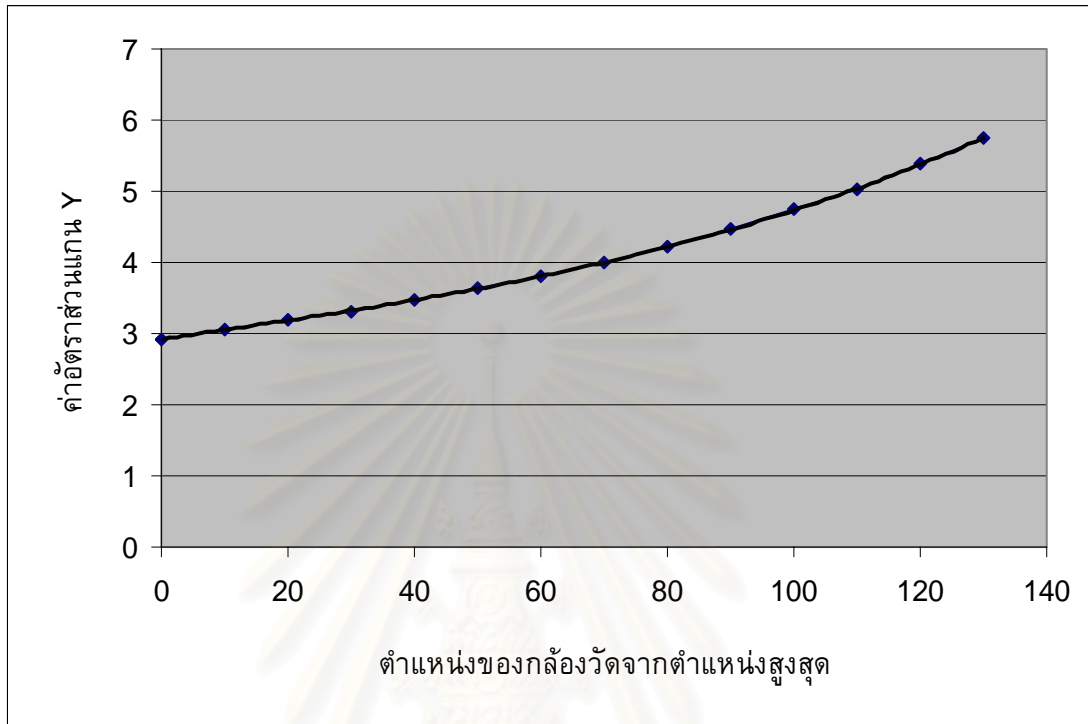


รูปที่ 5.2 แสดงการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากการบันทึกที่ความสูง 80 มิลลิเมตร จากตำแหน่งสูงสุด

ตารางที่ 5.1 แสดงผลที่ได้จากการบันทึกภาพที่ความสูงต่างๆ

| ตำแหน่งของกล้องจาก ตำแหน่งสูงสุด (มิลลิเมตร) | ขนาดจริงทางแกน Y ของวัตถุ (มิลลิเมตร) | จำนวนจุดภาพ (pixel) ที่นับได้ | อัตราส่วนของแกน Y (pixel/mm.) |
|--|--|----------------------------------|----------------------------------|
| 0 | 68.4 | 200 | 2.923977 |
| 10 | 68.4 | 209 | 3.055556 |
| 20 | 68.4 | 218 | 3.187135 |
| 30 | 68.4 | 227 | 3.318713 |
| 40 | 68.4 | 237 | 3.464912 |
| 50 | 68.4 | 248 | 3.625731 |
| 60 | 68.4 | 261 | 3.815789 |
| 70 | 68.4 | 274 | 4.005848 |
| 80 | 68.4 | 289 | 4.225146 |
| 90 | 68.4 | 305 | 4.459064 |
| 100 | 68.4 | 324 | 4.736842 |
| 110 | 68.4 | 343 | 5.01462 |
| 120 | 68.4 | 368 | 5.380117 |
| 130 | 68.4 | 394 | 5.760234 |

5. วิเคราะห์ผลที่ได้ นำไปหาอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งความสูงของกล้องกับจำนวนจุดภาพ (pixel) ที่ได้ ซึ่งสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของกล้องวัดจากตำแหน่งสูงสุดกับอัตราส่วนแกน Y

วิเคราะห์ความถดถอยโดยใช้สมการอันดับสามจะได้สมการดังนี้

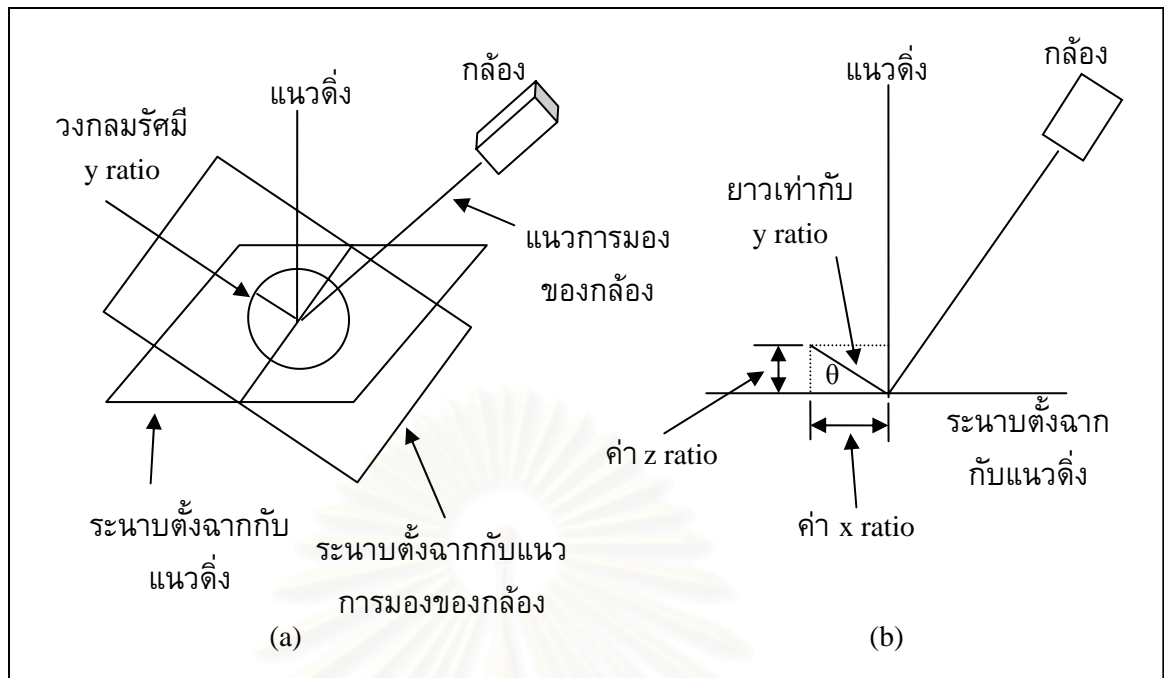
$$y \text{ ratio} = 6 \times 10^{-7} h^3 - 5 \times 10^{-6} h^2 + 0.013h + 2.9231 \quad (5.1)$$

$$R^2 = 0.9999$$

โดยที่ y ratio คือ อัตราส่วนของแกน Y

h คือ ตำแหน่งของกล้องวัดจากตำแหน่งสูงสุด

5.1.2 การสอบเทียบแกน X การหาอัตราส่วนของแกน X จะขึ้นอยู่กับตัวแปรสองตัวคือ ความสูงของกล้องและมุมของกล้อง แต่อาจจะใช้อัตราส่วนของแกน Y มาใช้แทนความสูงของกล้องได้ เพราะอัตราส่วนของแกน Y เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความสูงของกล้อง และได้มาจากการทดลองข้างต้นนั่นเอง ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4(a) แสดงวิธีการหาค่าอัตราส่วนของแกน X และ Z โดยอาศัยความสัมพันธ์กับอัตราส่วนแกน Y รูปที่ 5.4(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนของแกน Y กับอัตราส่วนของแกน X และอัตราส่วนของแกน Z

จากรูปที่ 5.4(b) ค่าอัตราส่วนของแกน X จะมีค่าเท่ากับค่าอัตราส่วนของแกน Y คูณกับค่าโคไซน์ของมุมกล้อง ดังสมการที่ 5.2

$$x \text{ ratio} = y \text{ ratio} \times \cos(\text{camera angle}) \quad (5.2)$$

โดยที่ $x \text{ ratio}$ คือ อัตราส่วนของแกน X

$y \text{ ratio}$ คือ อัตราส่วนของแกน Y

5.1.3 การสอบเทียบแกน Z การหาอัตราส่วนของแกน Z ก็มีลักษณะคล้ายกับการหาอัตราส่วนของแกน X คือขึ้นอยู่กับตัวแปรสองตัว ซึ่งก็คือความสูงของกล้องและมุมกล้องเช่นเดียวกัน จากรูปที่ 5.4(b) จะได้ว่าค่าอัตราส่วนของแกน Z นั้นสามารถที่จะเขียนอยู่ในรูปของอัตราส่วนของแกน Y ได้ดังนี้

$$z \text{ ratio} = y \text{ ratio} \times \sin(\text{camera angle}) \quad (5.3)$$

โดยที่ $z \text{ ratio}$ คือ อัตราส่วนของแกน Z

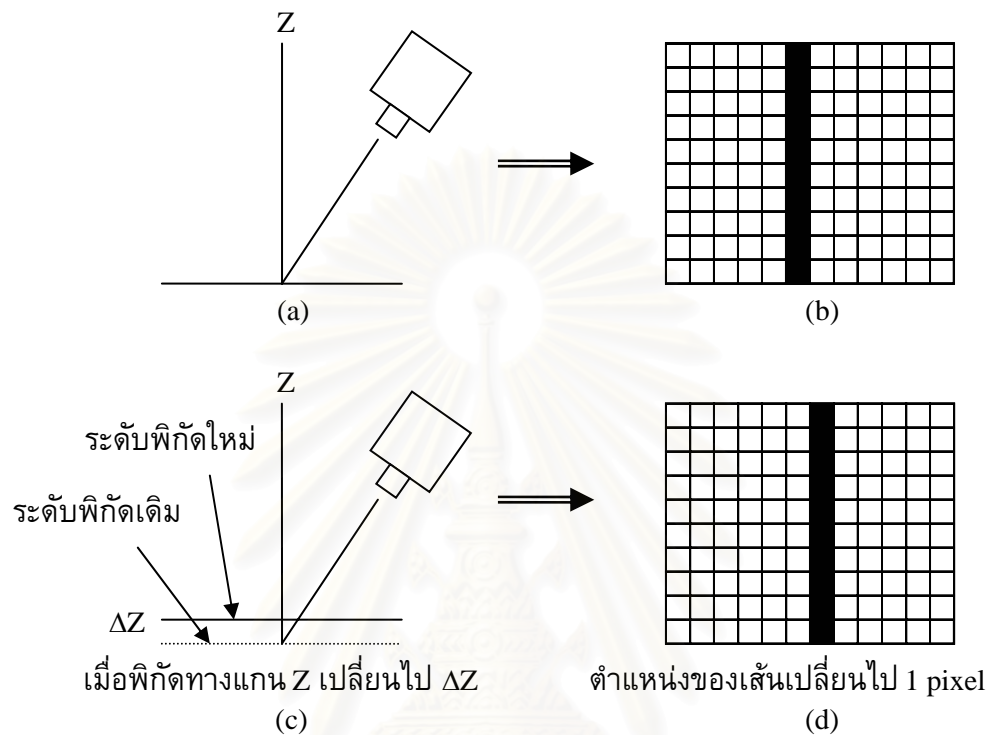
5.2 ความแม่นยำ (Accuracy) ของเครื่องวัดพิกัด

ค่าความถูกต้องของเครื่องวัดพิกัด จะเป็นค่าที่ใช้บอกความสามารถของเครื่อง การหาค่าความถูกต้องจะสามารถหาได้จาก [11]

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{Resolution}}{2} + \text{Error} \quad (5.4)$$

โดยที่ Error คือ ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้งหมด

Resolution คือ ค่าความละเอียดของเครื่องวัดพิกัดจะขึ้นอยู่กับมุมและระดับความสูงของกล้อง สามารถคำนวณได้โดยสมมติว่าเมื่อภาพของเส้นที่ปรากฏบนกล้องเคลื่อนไปจากเดิม 1 pixel จะทำให้พิกัดทางแกน Z ของพื้นผิวเปลี่ยนไปเท่าไร ดังรูปที่ 5.5

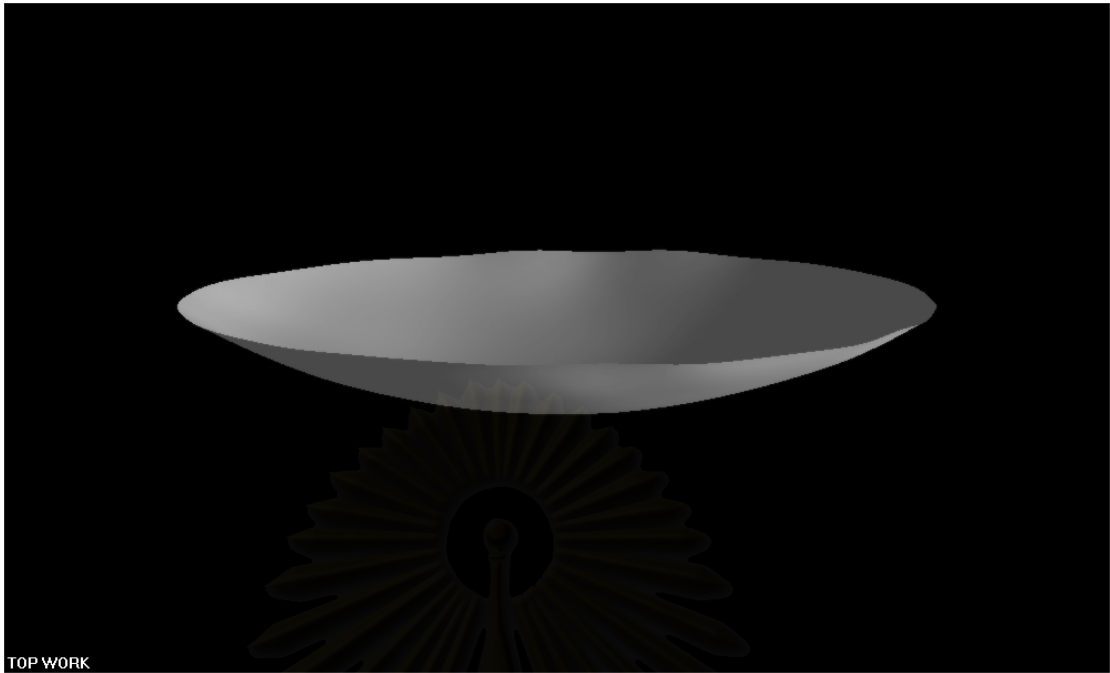


รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะภาพที่ใช้ในการคำนวณค่าความละเอียด

รูปที่ 5.5(a) แสดงตำแหน่งการวัดเมื่อพื้นผิวอยู่ที่ระดับพิกัดทางแกน Z ใดๆ ซึ่งเมื่อบันทึกภาพที่ได้จากกล้อง CCD จะได้ดังรูปที่ 5.5(b) และเมื่อระดับพิกัดทางแกน Z มีค่าเปลี่ยนไป ΔZ จะทำให้เส้นที่บันทึกได้เปลี่ยนตำแหน่งไป 1 pixel ซึ่งค่า ΔZ นี้ก็คือค่าความละเอียดของเครื่องวัดพิกัดนั่นเอง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับมุมและระดับความสูงของกล้องหรืออาจจะคิดมาจากค่าอัตราส่วนแกน Z (z ratio) ก็ได้ ดังสมการที่ 5.5

$$\text{resolution} = \frac{1}{z \text{ ratio}} \quad (5.5)$$

ทดลองวัดพิกัดพื้นผิวทรงกลมที่มีลักษณะดังรูปที่ 5.6 โดยวัดเป็น grid ขนาด 13x13 จุด (169 จุด) ทำการวัดที่มุมกล้อง 30 องศา หลังจากสอบเทียบเครื่องวัดพิกัดแล้วจะได้ค่าอัตราส่วนแกน X เท่ากับ 4.133 pixel/mm. อัตราส่วนแกน Y เท่ากับ 4.333 pixel/mm. และอัตราส่วนแกน Z เท่ากับ 2.165 pixel/mm. นำผลที่ได้ไปเทียบกับพื้นผิวด้านแบบในโปรแกรม CAD แล้วหาค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยการวัดระยะห่างทางแกน Z ระหว่างพื้นผิวด้านแบบ กับจุดที่วัดได้ ได้ผลดังตารางที่ 5.2 แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับพื้นผิวด้านแบบดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 แสดงพื้นผิวทรงกลมที่ใช้

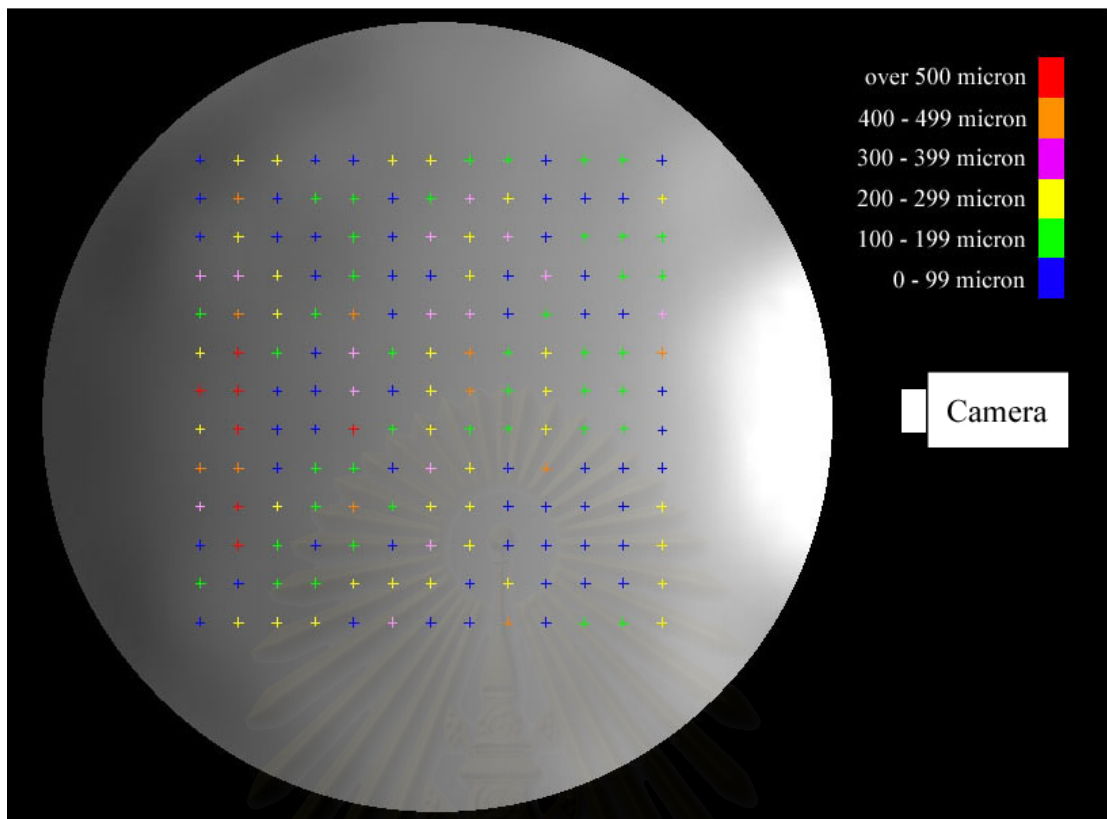
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าผิดพลาดทางแกน Z ที่ได้จากการวัด (ไมครอน)

เมื่อนำมาเทียบกับตำแหน่ง X, Y เดียวกัน

แนวนอน
→แนวตั้ง
↓

| ตำแหน่ง | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 13 | 267 | 219 | 78 | 28 | 262 | 202 | 169 | 137 | 88 | 174 | 122 | 63 |
| 2 | 33 | 470 | 12 | 102 | 171 | 36 | 114 | 320 | 284 | 60 | 20 | 2 | 245 |
| 3 | 69 | 276 | 54 | 50 | 156 | 21 | 381 | 256 | 357 | 1 | 113 | 141 | 129 |
| 4 | 368 | 300 | 203 | 65 | 153 | 40 | 69 | 242 | 67 | 306 | 94 | 128 | 161 |
| 5 | 135 | 449 | 267 | 192 | 493 | 29 | 391 | 302 | 12 | 112 | 17 | 3 | 300 |
| 6 | 279 | 630 | 172 | 74 | 345 | 105 | 241 | 461 | 177 | 280 | 109 | 161 | 463 |
| 7 | 532 | 843 | 79 | 3 | 307 | 80 | 212 | 424 | 137 | 235 | 117 | 156 | 82 |
| 8 | 299 | 577 | 92 | 32 | 652 | 137 | 263 | 174 | 108 | 285 | 137 | 123 | 23 |
| 9 | 415 | 445 | 27 | 185 | 188 | 48 | 375 | 297 | 29 | 466 | 21 | 87 | 54 |
| 10 | 325 | 674 | 216 | 124 | 400 | 136 | 289 | 217 | 47 | 69 | 37 | 23 | 200 |
| 11 | 45 | 624 | 133 | 95 | 126 | 83 | 344 | 251 | 49 | 35 | 69 | 23 | 216 |
| 12 | 119 | 60 | 150 | 164 | 225 | 226 | 204 | 84 | 268 | 59 | 44 | 46 | 293 |
| 13 | 49 | 216 | 265 | 292 | 78 | 359 | 83 | 31 | 403 | 98 | 178 | 107 | 201 |

กล่อง



รูปที่ 5.7 แสดงค่าผิดพลาดที่เกิดจากการวัด

ตารางที่ 5.3 แสดงจำนวนจุดที่มีค่าผิดพลาดอยู่ในช่วงต่างๆ

| ช่วงของค่าผิดพลาด (ไมครอน) | จำนวนจุด | ร้อยละ |
|----------------------------|----------|--------|
| 0 – 99 | 60 | 35.50 |
| 100 – 199 | 41 | 24.26 |
| 200 – 299 | 35 | 20.71 |
| 300 – 399 | 15 | 8.88 |
| 400 – 499 | 11 | 6.51 |
| มากกว่า 500 | 7 | 4.14 |

จากรูปที่ 5.7 การวัดข้อมูลทั้ง 169 จุดเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับพื้นผิวดนแบบ จะเห็นได้ว่าค่าผิดพลาดที่อยู่ในช่วงเกิน 500 ไมครอนส่วนใหญ่จะอยู่ในแถบด้านนอกของพื้นที่ที่ทำการวัด ส่วนจุดอื่นๆที่ผิดพลาดไม่เกิน 500 ไมครอน จะกระจายอยู่ทั่วไปบนพื้นผิว ซึ่งจะหาค่าความถูกต้องได้โดยการหาค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดทั้ง 169 จุด ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 189.3 ไมครอน (0.1893 มิลลิเมตร)

จากสมการที่ 5.5 จะได้ว่า

$$\text{resolution} = \frac{1}{z \text{ ratio}} = \frac{1}{2.165} = 0.462 \text{ มิลลิเมตร}$$

และจากสมการที่ 5.4 จะได้ว่า

$$\text{Accuracy} = \frac{0.462}{2} + 0.1893 = 0.4203 \text{ มิลลิเมตร}$$

นั่นคือสามารถสรุปได้ดังนี้

ค่าความผิดพลาดโดยรวมที่เกิดขึ้นมีค่า 189.3 ไมครอน (0.1893 มิลลิเมตร)

ค่าความแม่นยำ (Accuracy) เท่ากับ 420.3 ไมครอน (0.4203 มิลลิเมตร)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การทดลอง

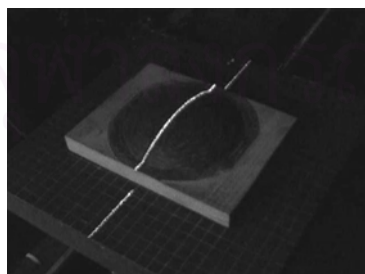
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองใช้เครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้น โดยทดลองวัดกับพื้นผิวชนิดต่างๆ เพื่อทดสอบว่าเครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้นนั้นสามารถใช้ได้กับพื้นผิวที่มีลักษณะต่างๆ เช่น พื้นผิวสีดำ สีขาว พื้นผิวที่มันวาว และพื้นผิวที่มีหลุม ขอบ มีความชันสูง รวมทั้งทดลองวัดที่มุมกล้องและจำนวนจุดข้อมูลต่างๆ กันด้วย

การทดลองจะทำการเปลี่ยนลักษณะของพื้นผิวชิ้นงานเช่น สี ความมันวาว ความชันของผิวชิ้นงาน เปลี่ยนมุมกล้องที่ใช้วัดแสงเลเซอร์ และเปลี่ยนจำนวนจุดข้อมูล โดยจะแบ่งออกเป็น 5 การทดลองดังนี้

1. ทดลองวัดที่มุมกล้องต่างๆ กับพื้นผิวทรงกลมสีดำ
2. ทดลองวัดที่จำนวนจุดต่างๆ กับพื้นผิวทรงกลมสีดำ
3. ทดลองวัดพื้นผิวทรงกลมสีดำเทียบกับพื้นผิวพื้นกรามสีขาวที่มุมกล้อง 30 องศา กับระนาบแสงเลเซอร์
4. ทดลองวัดพื้นผิวทรงกลมสีดำเทียบกับพื้นผิวรูปไบหน้าคนสีดำที่มุมกล้อง 30 องศา กับระนาบแสงเลเซอร์
5. ทดลองวัดพื้นผิวที่มันวาวที่มุมกล้อง 30 องศา กับระนาบแสงเลเซอร์

ซึ่งในการทดลองที่ 1 จะเป็นการทดลองกับพื้นผิวที่เป็นทรงกลมสีดำโดยจะทำการวัดพิกัดที่มุมกล้องต่างๆ กันคือที่ 10 องศา 20 องศา 30 องศา 40 องศา และ 50 องศา ส่วนในการทดลองที่ 2 จะทดลองวัดเมื่อต้องการจำนวนจุดต่างๆ กัน คือที่ 10x10 จุด 25x25 จุด 50x50 จุด 75x75 จุด 100x100 จุด ในการทดลองที่ 3 – 5 จะเป็นการทดลองวัดโดยมุมกล้องที่ทำกับแนวตั้งมีค่าเท่ากับ 30 องศา กับพื้นผิวแบบต่างๆ ได้แก่ พื้นผิวที่เป็นทรงกลมสีดำ พื้นผิวรูปไบหน้าคนสีดำ พื้นผิวพื้นกรามสีขาว พื้นผิวที่มีความมันวาว

พื้นผิวที่จะใช้ในการทดลอง แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 – 6.4



รูปที่ 6.1 พื้นผิวทรงกลมสีดำ



รูปที่ 6.2 พื้นผิวรูปไบหน้าคนสีดำ



รูปที่ 6.3 ชิ้นผิวฟีนกรามสีขาว



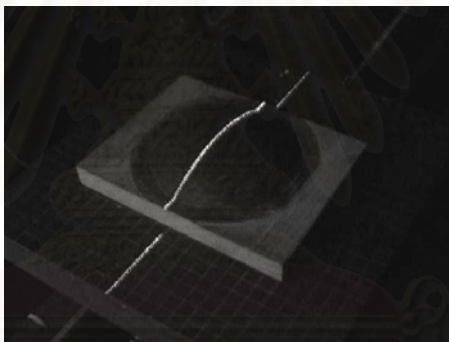
รูปที่ 6.4 ชิ้นผิวที่มีความมันวาว

6.1 การทดลองที่ 1

ทดลองวัดที่มุมกล้องต่างๆ กับพื้นผิวทรงกลมสีดำ

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดลองวัดพื้นผิวในมุมต่างๆ กัน คือ 10 องศา 20 องศา 30 องศา 40 องศา และ 50 องศา และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองว่าในการวัดมุมที่ต่างๆ กัน จะมีผลต่อค่าพิกัดที่วัดได้หรือไม่ และมีสาเหตุใดที่ทำให้ค่าที่วัดได้ผิดไป ชิ้นงานที่จะใช้ในการทดลองดังรูปที่ 6.5



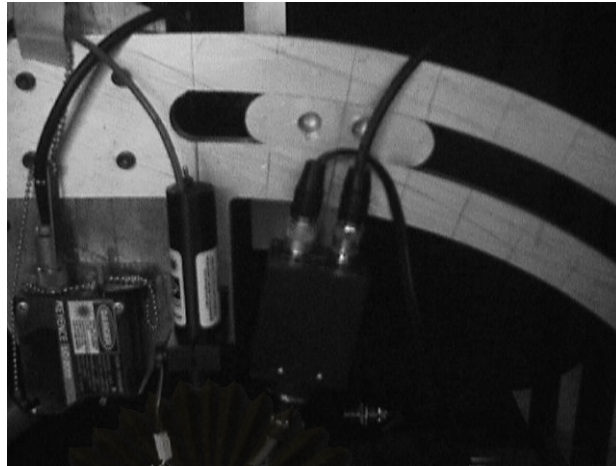
รูปที่ 6.5 พื้นผิวทรงกลมสีดำ

สมมติฐานการทดลอง

ในการเปลี่ยนมุมที่ใช้วัดพิกัด ไม่น่าจะเกิดผลที่แตกต่างกันมากนัก ถ้าพื้นผิวที่ใช้เป็นพื้นผิวที่มีความชันไม่มากนักอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้ แต่หากเป็นพื้นผิวที่มีความชันมาก ก็อาจจะเกิดการบิดบังขึ้นได้ ซึ่งเป็นเหตุให้ผลการวัดผิดพลาด อีกสาเหตุหนึ่งก็เนื่องมาจากค่าความละเอียดของการ์ดประมวลผลภาพที่ใช้ ซึ่งความละเอียดจะเปลี่ยนไปตามมุมที่วัด

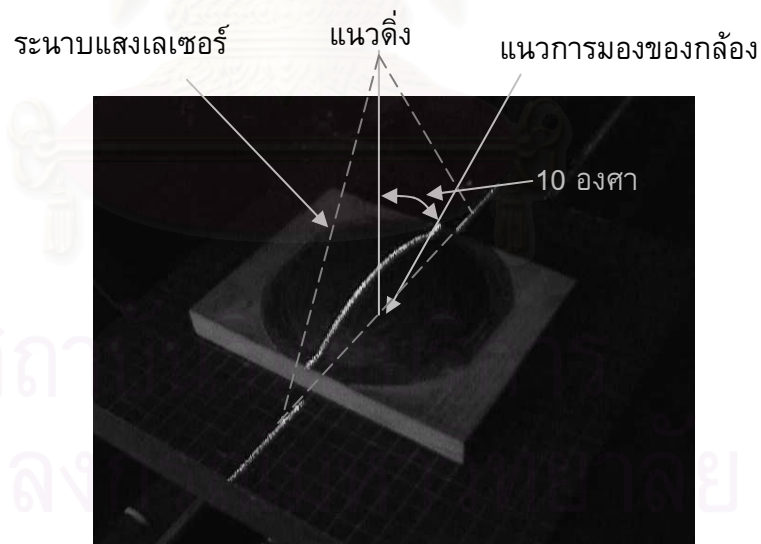
ขั้นตอนการทดลอง

1. ตั้งตำแหน่งของกล้องในมุม 10 องศา ดังรูปที่ 6.6



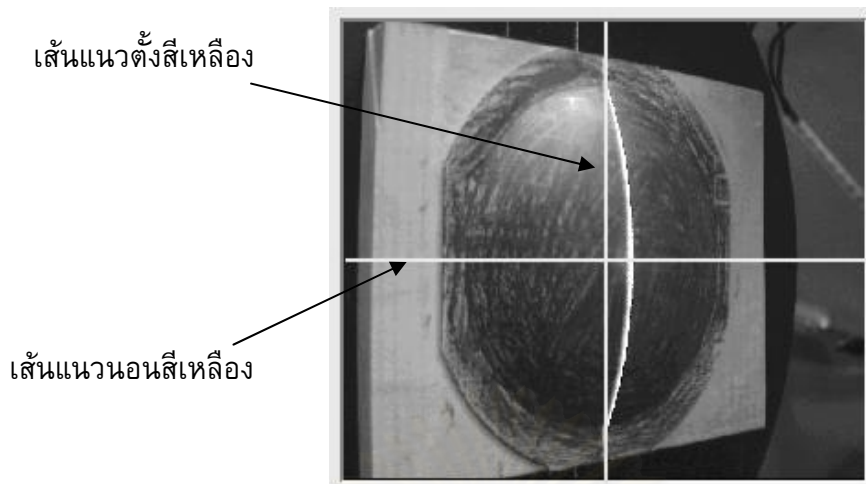
รูปที่ 6.6 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุมกล้อง 10 องศา

2. เปิดเครื่องวัดพิกัด และโปรแกรมควบคุมการทำงาน 3dscanner (เปิดการควบคุมมอเตอร์โดยกดปุ่ม Energize และเปิดการควบคุมการ์ดประมวลผลภาพโดยกดปุ่ม Init Board)
3. เคลื่อนแกน Z ของเครื่องวัดพิกัด ให้ขึ้นสูงสุด (ยังไม่วางชิ้นงาน)
4. กดปุ่ม Calibrate เพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (Home position)
5. วางชิ้นงานพื้นผิวทรงกลมสีดำลงบนเครื่อง และเคลื่อนแกน X ให้แนวของแสงเลเซอร์อยู่กลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์

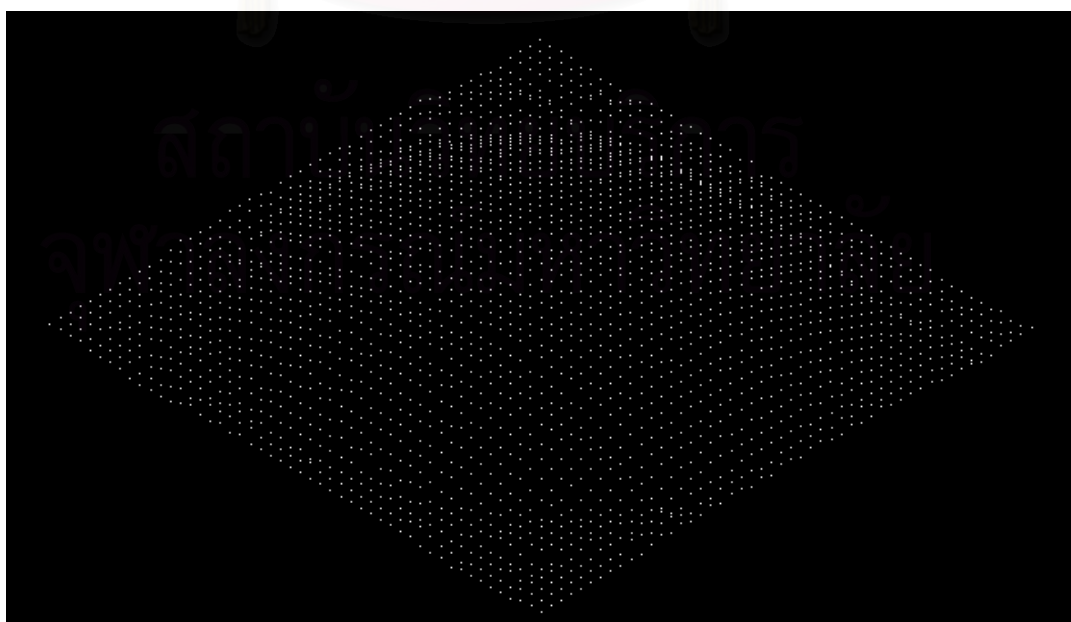
6. เคลื่อนแกน Z ให้แนวแสงเลเซอร์อยู่ทับกับเส้นแนวตั้งสีเหลืองในโปรแกรม 3dscanner (กดปุ่ม Take Picture เพื่อถ่ายรูปสลับกับการเคลื่อนแกน และควรเคลื่อนเพียงทีละน้อย)
7. เคลื่อนแกน Y ให้เส้นแนวนอนสีเหลืองอยู่กึ่งกลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.8



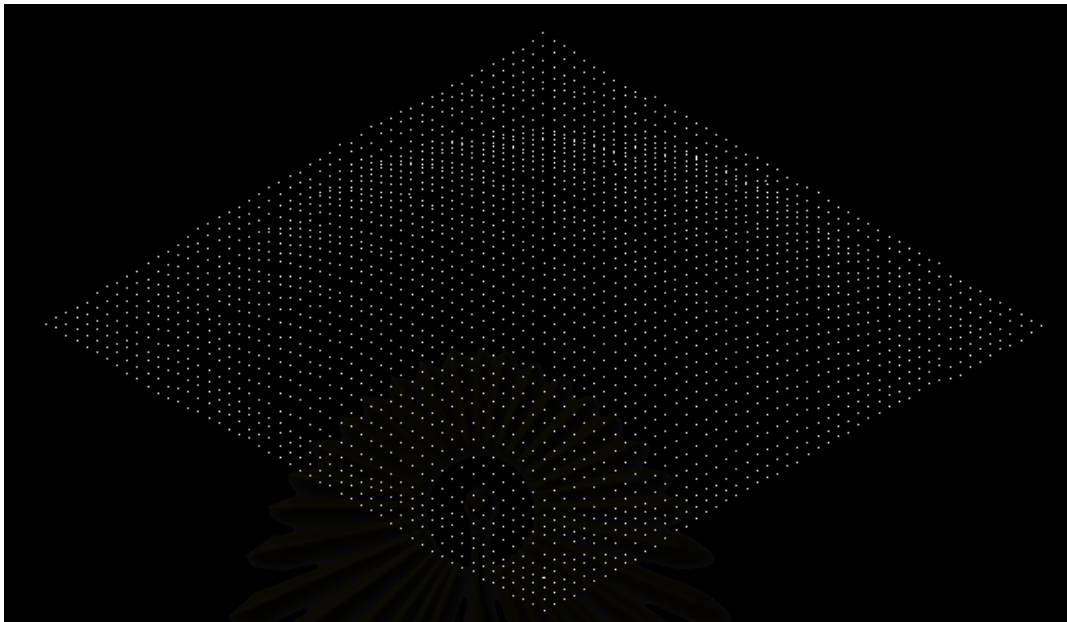
รูปที่ 6.8 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง

8. ใส่ค่าเริ่มต้น ให้ใส่ค่า Threshold = 150 จำนวนเส้น 50 เส้น จำนวนจุด 50 จุด ขนาดชิ้นงาน X = 110 มิลลิเมตร Y = 110 มิลลิเมตร
9. ปิด màn
10. กดปุ่ม Scan เพื่อเริ่มทำการวัด
11. กดปุ่ม Make Line หลังจากเสร็จสิ้นการ Scan
12. กดปุ่ม Make DXF หลังจากเสร็จสิ้นการ Make Line
13. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนมุมกล้องเป็น 20 องศา 30 องศา 40 องศา และ 50 องศาตามลำดับ
14. นำผลไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AutoCAD แล้วเปรียบเทียบผล

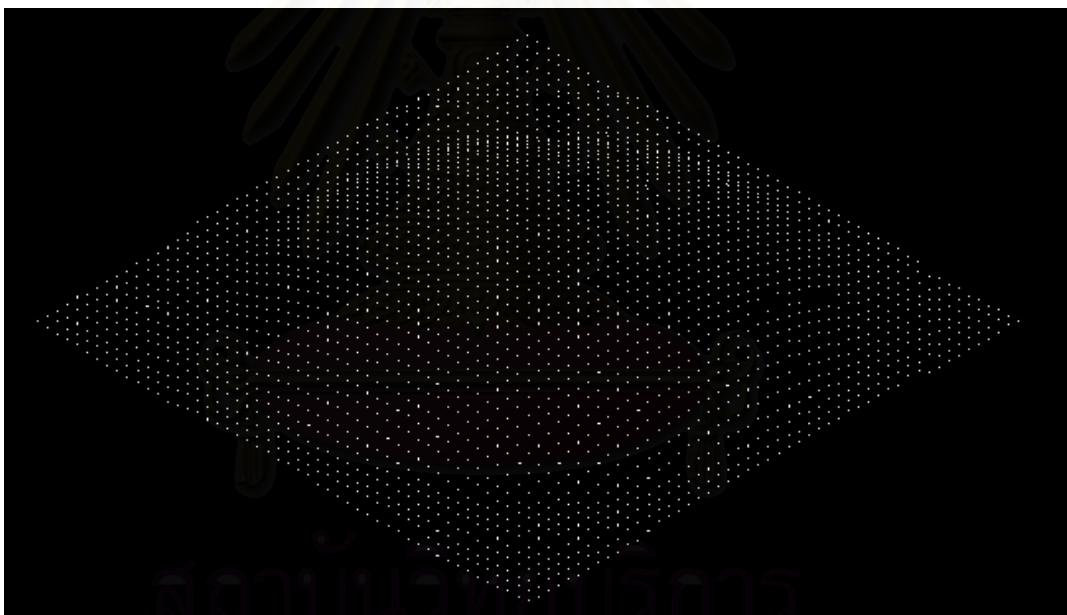
ผลการทดลอง



รูปที่ 6.9 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 10 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD

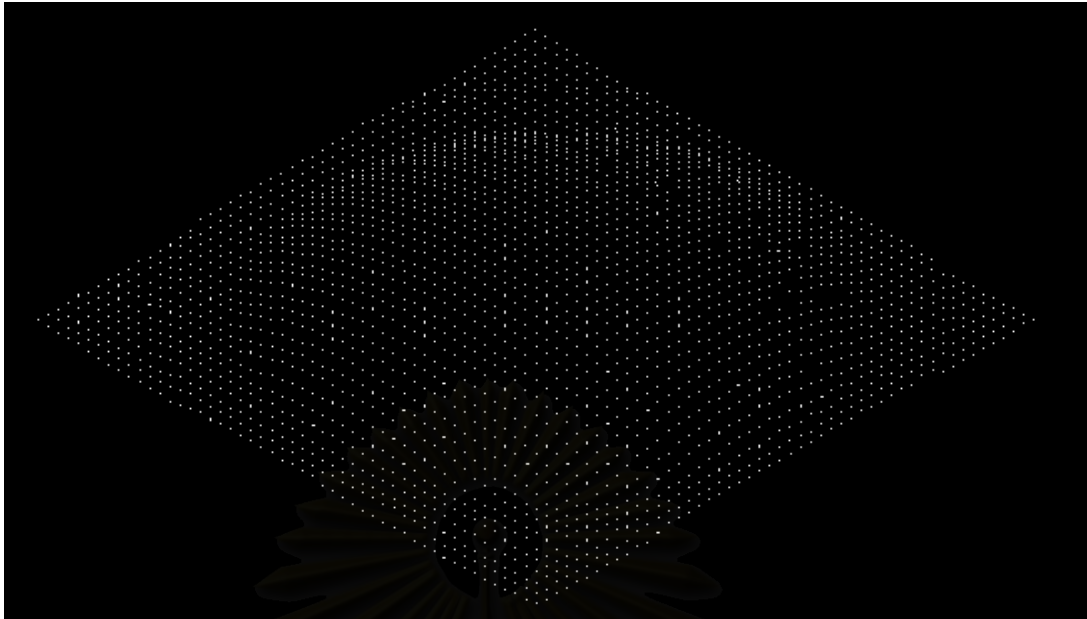


รูปที่ 6.10 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 20 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD

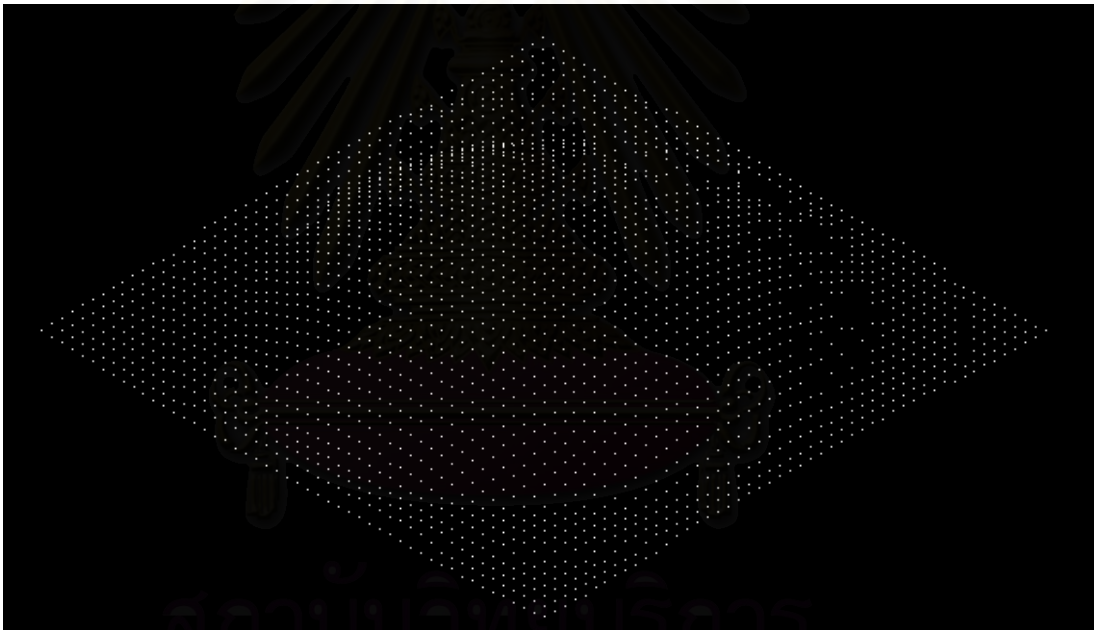


รูปที่ 6.11 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 30 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.12 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 40 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD



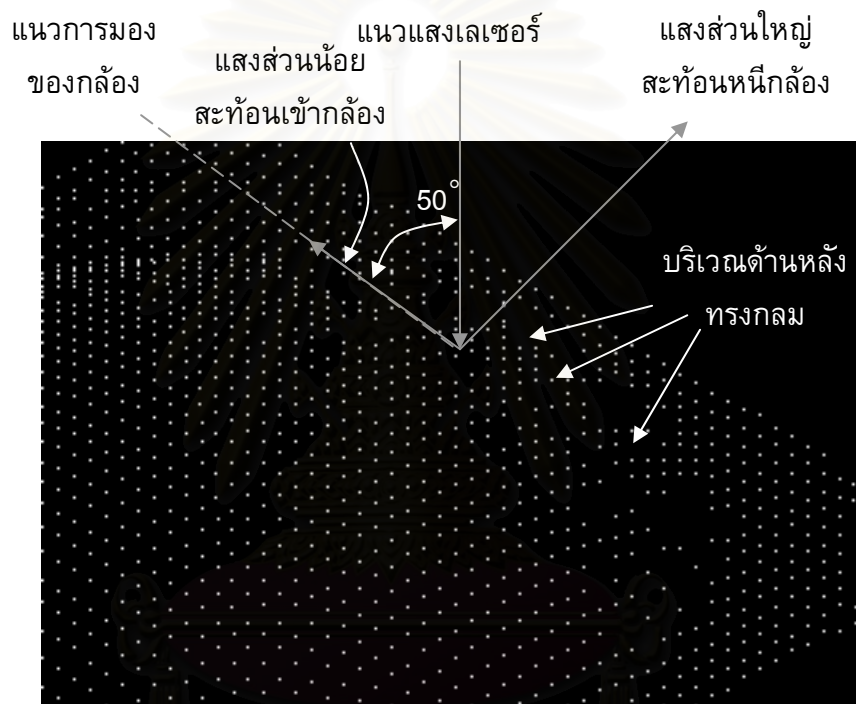
รูปที่ 6.13 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่มุม 50 องศา เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการวัดพื้นผิวทรงกลมสีดำที่มุมกล้องต่างๆ

| มุมกล้อง | จำนวนจุดที่ต้องการ | จำนวนจุดที่วัดได้ | ร้อยละ |
|----------|--------------------|-------------------|--------|
| 10 องศา | 2500 | 2499 | 99.96% |
| 20 องศา | 2500 | 2499 | 99.96% |
| 30 องศา | 2500 | 2466 | 98.64% |
| 40 องศา | 2500 | 2444 | 97.76% |
| 50 องศา | 2500 | 2281 | 91.24% |

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อทำการวัดที่มุม 10 องศา จำนวนจุดที่วัดได้ 2499 จุด คิดเป็นร้อยละ 99.96 หรือหายไปเพียง 1 จุดเท่านั้น แต่เมื่อทำการวัดที่มุม 50 องศา จำนวนจุดที่วัดได้จะเหลือเพียง 2281 จุด คิดเป็นร้อยละ 91.24 เท่านั้น ซึ่งจุดที่หายไปส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณด้านหลังทรงกลมดังรูปที่ 6.14 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่แสงสะท้อนส่วนใหญ่จะสะท้อนหนีกล้อง แสงสะท้อนส่วนน้อยที่สะท้อนเข้ากล้องก็มีปริมาณความเข้มแสงไม่เพียงพอหรือถูกบังโดยพื้นที่ยึดขาบน จึงทำให้กล้องไม่สามารถเก็บข้อมูลพื้นผิวในตำแหน่งนั้นได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 6.14 แสดงส่วนด้านหลังทรงกลมที่ไม่สามารถวัดได้เมื่อทำการวัดที่มุม 50 องศา

จากรูปที่ 6.9 เมื่อทำการวัดที่มุม 10 องศา จะสังเกตเห็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน นั่นคือพิกัดที่วัดได้มีลักษณะที่ไม่ราบเรียบต่อเนื่อง แต่เมื่อวัดที่มุม 50 องศา ดังรูปที่ 6.13 พิกัดที่วัดได้จะมีลักษณะที่ราบเรียบเป็นพื้นผิวที่ต่อเนื่องกว่า ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากค่าความละเอียด (Resolution) ของเครื่องวัดพิกัด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับมุมกล้องที่ทำการวัด ในการวัดพิกัดที่มุมกล้องน้อยๆ ค่าความละเอียดจะมีค่ามาก (หยาบ) แต่ถ้าวัดพิกัดที่มุมกล้องมากๆ ค่าความละเอียดก็จะมีค่าน้อย (ละเอียด)

สรุปผลการทดลอง

ในการวัดพิกัดที่มุมน้อยๆ เช่น 10 องศา จะทำให้สามารถเก็บข้อมูลพื้นผิวได้ดีมากกว่าการวัดพิกัดที่มุมมากๆ ทั้งนี้เนื่องจากการวัดที่มุมน้อยๆ กล้องจะได้รับแสงสะท้อนได้เต็มที่

มากกว่า อีกทั้งยังเป็นการลดโอกาสที่แสงสะท้อนจะถูกบดบัง ดังนั้นกล้องจะสามารถเก็บบันทึกภาพได้อย่างครบถ้วน

แต่อย่างไรก็ตามการวัดพิภักที่มุมน้อยๆ ก็จะทำให้ความละเอียดในการวัดของเครื่องวัดพิภักทยายขึ้นไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้อาจมีความผิดพลาดสูง แต่หากทำการวัดพิภักที่มุมมากๆ จะให้ความละเอียดในการวัดที่ละเอียดมากขึ้น ค่าผิดพลาดต่างๆ จะลดลง ค่าความละเอียดในการวัดของเครื่องวัดพิภักจะเปลี่ยนไปตามมุมและความสูงของกล้องซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.5 ดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 5

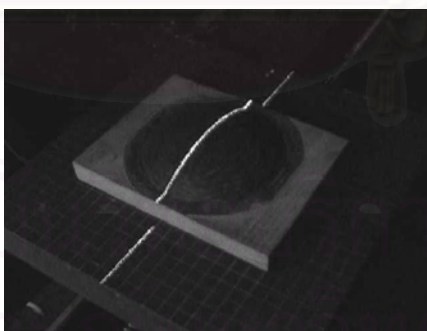
กล่าวโดยสรุปคือ ถ้าทำการวัดที่มุมน้อยๆ จะส่งผลให้วัดพื้นผิวได้เต็มที่ยิ่งขึ้น เพราะกล้องสามารถที่จะมองเห็นพื้นผิวได้ทุกจุด แต่ก็ทำให้ผลที่ได้หยาบขึ้น ถ้าทำการวัดที่มุมมากๆ ก็จะทำให้ผลที่ได้ละเอียดขึ้น แต่ก็อาจจะไม่สามารถวัดได้ทุกจุดทั่วทั้งพื้นผิว เพราะพื้นผิวบางส่วนอาจจะถูกบดบัง ดังนั้นในการเลือกมุมที่จะวัด ผู้ใช้จะต้องคำนึงถึงผลกระทบเหล่านี้ด้วย

6.2 การทดลองที่ 2

ทดลองวัดที่จำนวนจุดต่างๆ กับพื้นผิวทรงกลมสีดำ

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดลองวัดพิภักที่จำนวนจุดต่างๆ กัน นำจุดเหล่านั้นไปสร้างเป็นพื้นผิว แล้วสังเกตพื้นผิวที่สร้างขึ้นว่า จำนวนจุดที่ต่างกันจะมีผลอย่างไรต่อพื้นผิวที่สร้างขึ้น รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการวัดด้วย ชิ้นงานที่จะใช้ในการทดลองดังรูปที่ 6.15



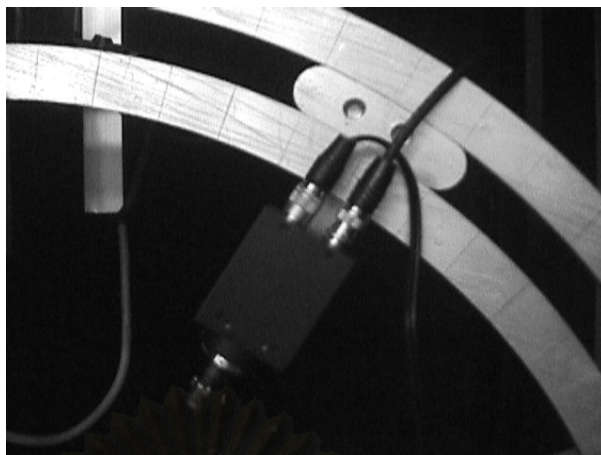
รูปที่ 6.15 พื้นผิวทรงกลมสีดำ

สมมติฐานการทดลอง

จำนวนจุดที่วัดได้ เมื่อนำไปสร้างเป็นพื้นผิว จำนวนจุดที่มากกว่าก็น่าจะสร้างพื้นผิวได้ถูกต้องมากกว่า เพราะสามารถเก็บข้อมูลรายละเอียดได้มากกว่า แต่ก็ใช้เวลามากกว่าด้วย

ขั้นตอนการทดลอง

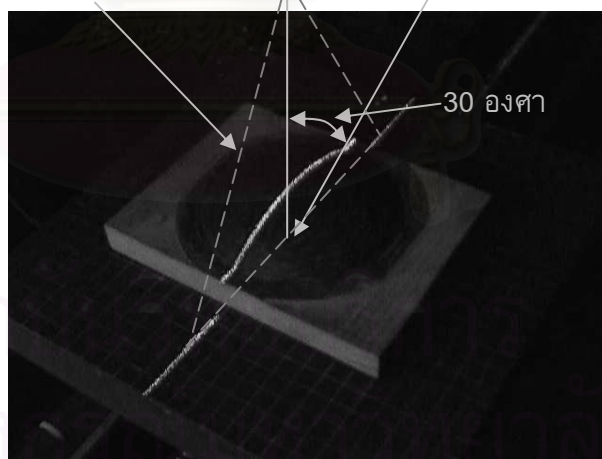
1. ตั้งตำแหน่งของกล้องในมุม 30 องศา ดังรูปที่ 6.16



รูปที่ 6.16 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุม 30 องศา

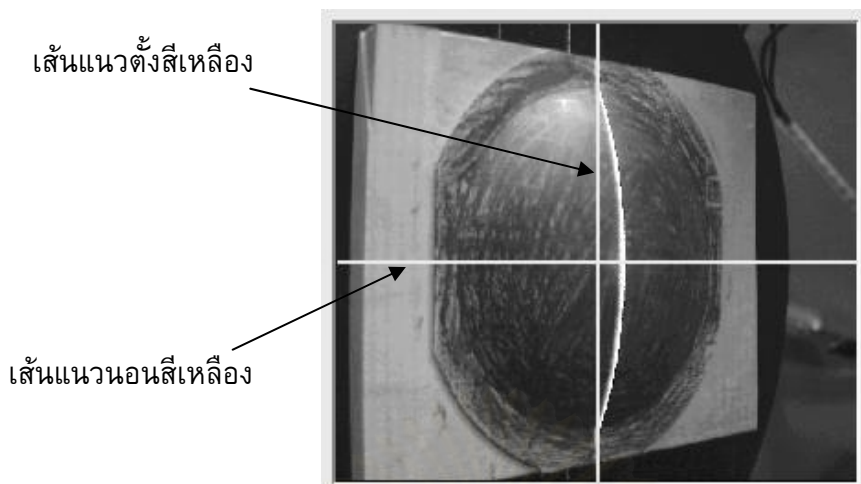
2. เปิดเครื่องวัดพิกัด และโปรแกรมควบคุมการทำงาน 3dscanner (เปิดการควบคุมมอเตอร์โดยกดปุ่ม Energize และเปิดการควบคุมการ์ดประมวลผลภาพโดยกดปุ่ม Init Board)
3. เคลื่อนแกน Z ของเครื่องวัดพิกัด ให้ขึ้นสูงสุด (ยังไม่วางชิ้นงาน)
4. กดปุ่ม Calibrate เพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (Home position)
5. วางชิ้นงานพื้นผิวทรงกลมสีดำลงบนเครื่อง และเคลื่อนแกน X ให้แนวของแสงเลเซอร์อยู่กลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.17

ระนาบแสงเลเซอร์ แนวตั้ง แนวการมองของกล้อง



รูปที่ 6.17 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์

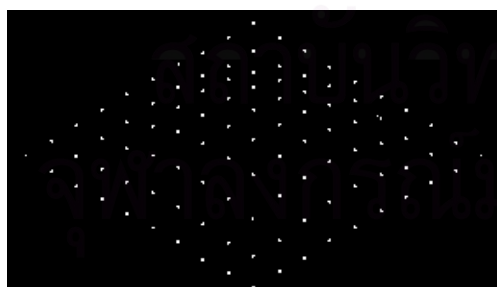
6. เคลื่อนแกน Z ให้แนวแสงเลเซอร์อยู่ทับกับแนวเส้นตั้งสี่เหลี่ยม (กดปุ่ม Take Picture เพื่อถ่ายรูปสลับกับการเคลื่อนแกน และควรเคลื่อนเพียงทีละน้อย)
7. เคลื่อนแกน Y ให้แนวเส้นนอนสี่เหลี่ยมอยู่กึ่งกลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.18



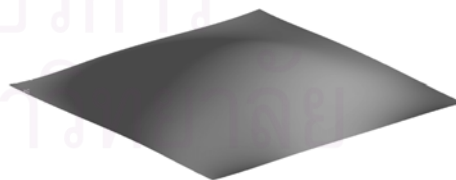
รูปที่ 6.18 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง

8. ใส่ค่าเริ่มต้น ให้ใส่ค่า Threshold = 150 จำนวนเส้น 50 เส้น จำนวนจุด 50 จุด ขนาดชิ้นงาน X = 110 มิลลิเมตร Y = 110 มิลลิเมตร
9. ปิด màn
10. กดปุ่ม Scan เพื่อเริ่มทำการวัด
11. กดปุ่ม Make Line หลังจากเสร็จสิ้นการ Scan
12. กดปุ่ม Make DXF หลังจากเสร็จสิ้นการ Make Line
13. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนจำนวนเส้นและจุดเป็น 10x10 จุด 25x25 จุด 50x50 จุด 75x75 จุด 100x100 จุด ตามลำดับ
14. นำผลไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AutoCAD และสร้างพื้นผิวโดยโปรแกรม Unigraphics แล้วเปรียบเทียบผล

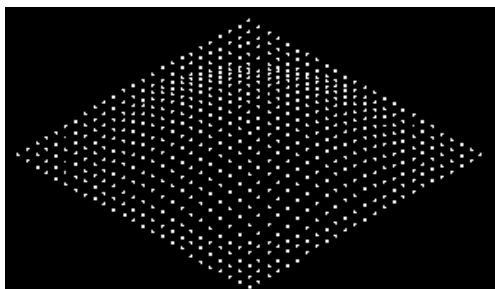
ผลการทดลอง



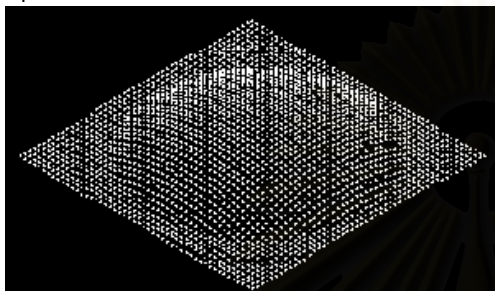
รูปที่ 6.19 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 10x10 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD



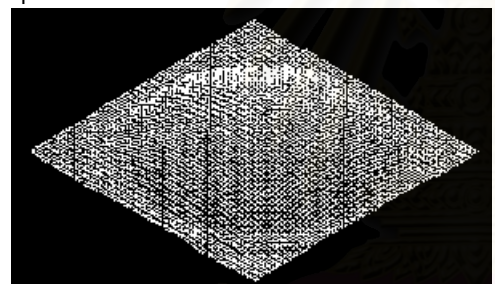
รูปที่ 6.20 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 10x10 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว



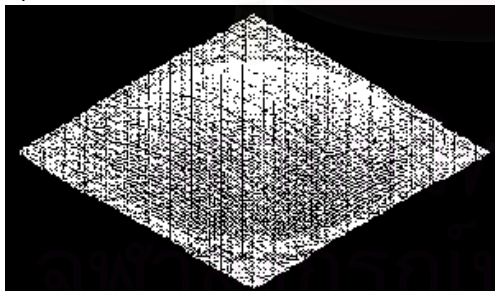
รูปที่ 6.21 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 25x25 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD



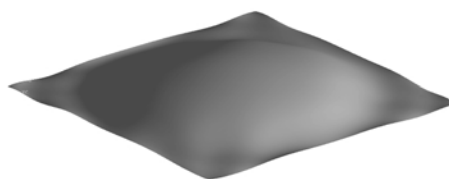
รูปที่ 6.23 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 50x50 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD



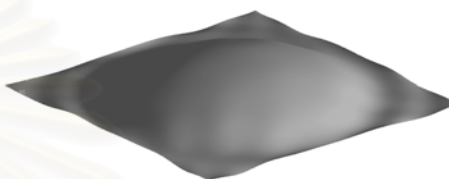
รูปที่ 6.25 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 75x75 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD



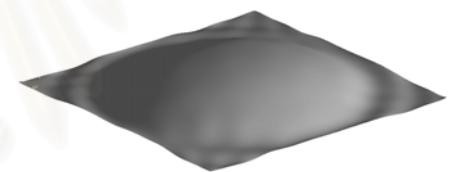
รูปที่ 6.27 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 100x100 จุด เมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD



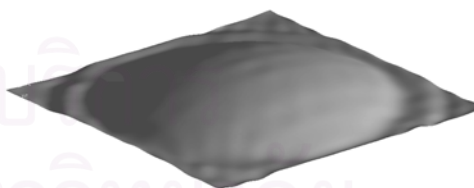
รูปที่ 6.22 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 25x25 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว



รูปที่ 6.24 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 50x50 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว



รูปที่ 6.26 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 75x75 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว



รูปที่ 6.28 แสดงผลที่ได้จากการวัดที่ 100x100 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิว

ตารางที่ 6.2 แสดงผลที่ได้จากการวัดพื้นผิวทรงกลมสีดำที่จำนวนจุดต่างๆ

| จำนวนจุดที่ต้องการ | จำนวนจุดที่ได้ | ร้อยละ |
|---------------------|----------------|--------|
| 10x10 = 100 จุด | 100 | 100% |
| 25x25 = 625 จุด | 624 | 99.84% |
| 50x50 = 2500 จุด | 2466 | 98.64% |
| 75x75 = 5625 จุด | 5605 | 99.64% |
| 100x100 = 10000 จุด | 9964 | 99.64% |

ตารางที่ 6.3 แสดงเวลาที่ใช้ในการวัดพื้นผิวทรงกลมสีดำที่จำนวนจุดต่างๆ

| จำนวนจุดที่ต้องการ | เวลาที่ใช้ (วินาที) |
|---------------------|---------------------|
| 10x10 = 100 จุด | 70 |
| 25x25 = 625 จุด | 157 |
| 50x50 = 2500 จุด | 287 |
| 75x75 = 5625 จุด | 415 |
| 100x100 = 10000 จุด | 632 |

หมายเหตุ การทดลองนี้กระทำบนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ตัวประมวลผล Intel Pentium 166 MHz หน่วยความจำ 64 Mbytes บน Microsoft Windows 98

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 6.19 – 6.28 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการวัดพิกัดโดยให้มีจำนวนจุดมากขึ้น ก็สามารถนำไปสร้างพื้นผิวได้ถูกต้องมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการที่สามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น เช่นในรูปที่ 6.42 ทำการวัดที่ 10x10 จุด เมื่อนำไปสร้างพื้นผิวด้วยโปรแกรม Unigraphics จะได้ดังรูป 6.43 จะเห็นว่ารายละเอียดของพื้นผิวหายไปค่อนข้างมาก โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นขอบของทรงกลม ซึ่งแทบไม่ปรากฏให้เห็นเลย แต่เมื่อทำการวัดที่ 100x100 จุด สามารถนำไปสร้างเป็นพื้นผิวได้ดังรูปที่ 6.51 จะเห็นว่าเก็บรายละเอียดได้มาก และปรากฏขอบของพื้นผิวทรงกลมให้เห็นอย่างเด่นชัด

อย่างไรก็ตาม ในการสร้างพื้นผิวนั้น จะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายๆ อย่างบนโปรแกรม CAD ซึ่งแม้แต่ให้ข้อมูลจำนวนเท่าๆ กัน แต่ตัวแปรบนโปรแกรม CAD ต่างกัน พื้นผิวที่สร้างได้ก็จะต่างกันไปด้วย

จากตารางที่ 6.6 จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการวัดเพิ่มขึ้น เมื่อต้องการเก็บข้อมูลมากขึ้น โดยที่เมื่อต้องการจำนวนจุด 10x10 จุด จะใช้เวลา 70 วินาที หรือประมาณ 1 นาทีเศษ และจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนจุดที่ต้องการมากขึ้น หากต้องการจำนวนจุด 100x100 จุด ก็จะใช้เวลา 632 วินาที หรือประมาณ 10 นาทีครึ่ง เวลาที่ใช้ในการวัดพิกัดในแต่ละครั้ง เป็นเวลาที่รวมเอาขั้นตอนตั้งแต่การเริ่มต้นเก็บบันทึกภาพ (ขั้นตอนทำการทดลองขั้นที่ 10 กดปุ่ม Scan เพื่อ

เริ่มทำการวัด) จนกระทั่งโปรแกรมส่งผลออกมา (สิ้นสุดการทำงานทั้งหมด) แต่ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการกำหนดค่าตัวเลือกต่าง ๆ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการวัด จะไม่ขึ้นอยู่กับทักษะของผู้ใช้แต่อย่างใด หากนำเวลาที่ใช้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องวัดพิคตแบบวัดที่ละจุด ซึ่งวัดจำนวนจุด 2100 จุด ต้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 45 นาที [1] (จับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นวัด จนโปรแกรมทำงานเสร็จ และส่งผลออกมา ไม่นับเวลาในการกำหนดค่าตัวเลือกต่าง ๆ ซึ่งผู้ใช้จะต้องกำหนดไปก่อนที่จะทำการเริ่มวัด) ก็จะเห็นได้ว่า เครื่องวัดพิคตที่สร้างขึ้นนี้สามารถวัดได้เร็วกว่ามาก แต่ความแม่นยำจะด้อยกว่าคือ ค่าความแม่นยำของเครื่องวัดพิคตที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.4203 มิลลิเมตร แต่ค่าความแม่นยำของเครื่องวัดพิคตแบบวัดที่ละจุดมีค่าเท่ากับ 0.050 มิลลิเมตร นั่นคือเครื่องวัดพิคตที่สร้างขึ้นสามารถวัดได้รวดเร็วกว่าแต่ความแม่นยำจะด้อยกว่า จึงเหมาะกับการวัดพื้นผิวที่ไม่ต้องการความแม่นยำมาก ๆ

เวลาที่ใช้ในการวัดจะขึ้นอยู่กับความเร็วของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ด้วย ในการทดลองนี้ใช้คอมพิวเตอร์ที่ใช้ตัวประมวลผลรุ่น Intel Pentium 166 MHz และใช้หน่วยความจำ 64 Mbytes ทำงานบน Microsoft Windows 98 หากใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วมากกว่า หรือมีหน่วยความจำมากกว่า โปรแกรมก็จะสามารถทำงานได้เร็วยิ่งขึ้น

สรุปผลการทดลอง

การวัดพิคตจำนวนมากๆ จะให้ผลดีต่อการนำไปสร้างพื้นผิวโดยโปรแกรม CAD ทั่วไป ถึงแม้ว่าโปรแกรม CAD แต่ละยี่ห้อจะมีการใช้งานที่ไม่เหมือนกัน และให้ผลที่แตกต่างกันบ้าง แต่การสร้างพื้นผิวโดยที่มีจำนวนข้อมูลที่น้อยเกินไป จะทำให้รายละเอียดของพื้นผิวหายไปมากไม่ว่าจะใช้โปรแกรม CAD ใดก็ตาม ก็ไม่สามารถที่จะสร้างข้อมูลรายละเอียดที่หายไปได้โดยง่าย แต่หากเก็บข้อมูลมากเกินไปก็อาจจะเสียเวลานานเกินความจำเป็น ดังนั้นผู้ใช้จึงควรที่จะเก็บข้อมูลให้ได้พอเพียงต่อการสร้างพื้นผิวนั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวด้วย หากพื้นผิวเป็นรูปทรงเรขาคณิต ก็อาจจะเก็บข้อมูลน้อยได้ แต่หากพื้นผิวเป็นลักษณะที่ความชันไม่คงที่ หรือมีขอบหลุม ก็ควรจะเก็บข้อมูลให้มาก เพื่อที่จะนำไปสร้างพื้นผิวได้ถูกต้องมากขึ้นด้วย

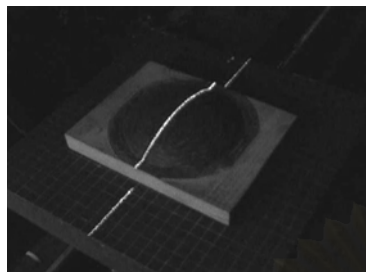
6.3 การทดลองที่ 3

ทดลองวัดที่มุมกล้องเท่ากับ 30 องศาที่ระนาบแสงเลเซอร์ โดยวัดชิ้นงานที่มีลักษณะพื้นผิวทรงกลมสีดำเทียบกับชิ้นงานที่มีลักษณะพื้นผิวพินกรามสีขาว

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาความสามารถในการวัดพิคตของพื้นผิวที่มีความสลับซับซ้อนอันเนื่องมาจากสีของชิ้นงาน และการควบคุมแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นเมื่อสีผิวชิ้นงานมีลักษณะต่างกัน โดยทดลองวัดและเปรียบเทียบผลระหว่างพื้นผิวที่มีสีดำ กับพื้นผิวที่มีขาว เพื่อนำมาวิเคราะห์

ว่าสีของวัตถุจะมีผลต่อการวัดของเครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้นหรือไม่ โดยในที่นี้เลือกการเปรียบเทียบระหว่างสีดำกับสีขาวเนื่องจากสีดำเป็นสีที่สามารถลดการสะท้อนได้ดีที่สุด ส่วนสีขาวเป็นสีที่มีการสะท้อนสูงสุด ชิ้นงานที่จะใช้ในการทดลองดังรูปที่ 6.29 – 6.30



รูปที่ 6.29 พื้นผิวทรงกลมสีดำ



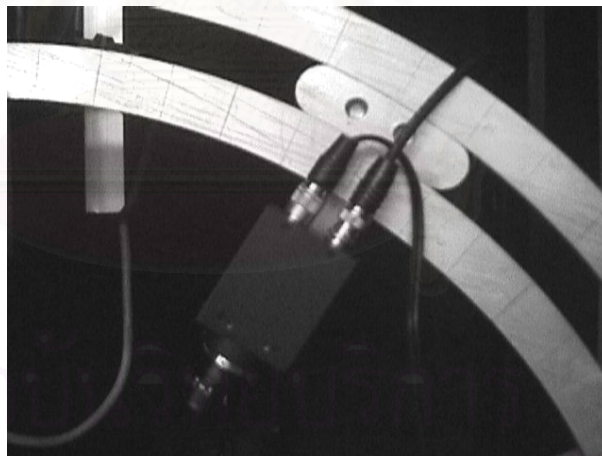
รูปที่ 6.30 พื้นผิวพื้นกรามสีขาว

สมมติฐานการทดลอง

พื้นผิวสีดำลดแสงสะท้อนทั้งที่มาจากแถบแสงเลเซอร์และแหล่งกำเนิดแสงอื่น ซึ่งจะทำให้กล้อง CCD สามารถบันทึกภาพที่ต้องการได้ถูกต้องยิ่งขึ้น ซึ่งในที่นี้ภาพที่ต้องการคือแนวแสงเลเซอร์ที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิววัตถุนั่นเอง

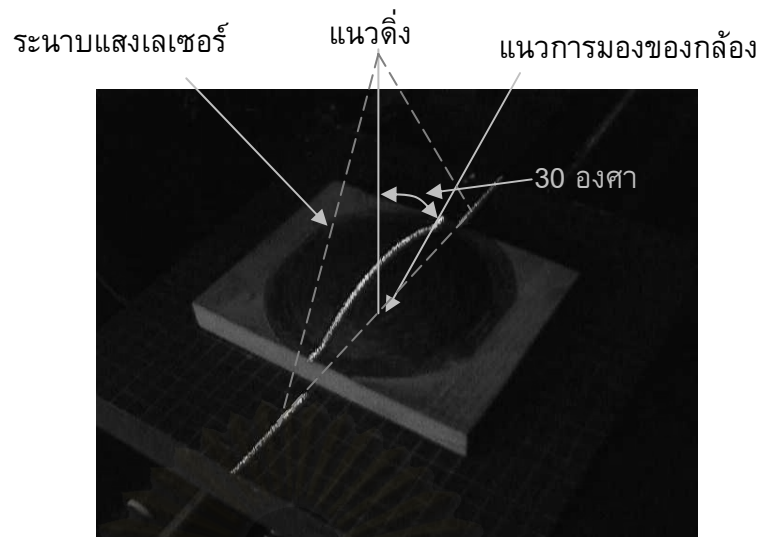
ขั้นตอนการทดลอง

1. ตั้งตำแหน่งของกล้องในมุม 30 องศา ดังรูปที่ 6.31



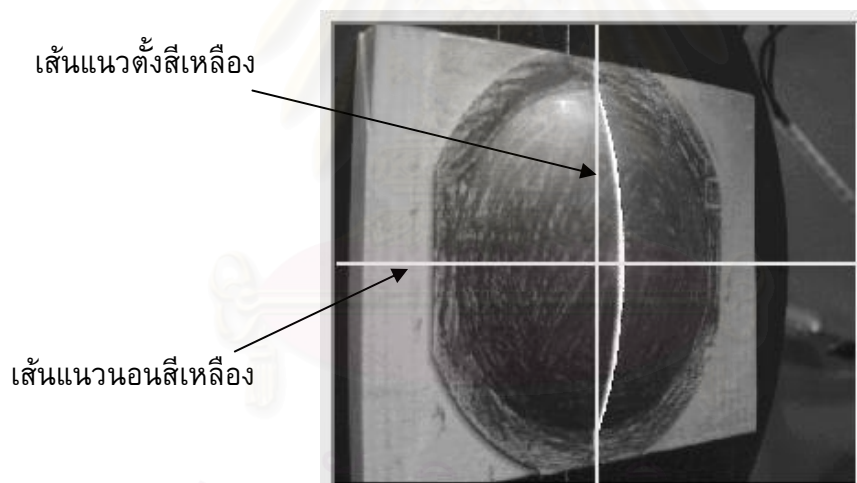
รูปที่ 6.31 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุม 30 องศา

2. เปิดเครื่องวัดพิกัด และโปรแกรมควบคุมการทำงาน 3dscanner (เปิดการควบคุมมอเตอร์โดยกดปุ่ม Energize และเปิดการควบคุมการ์ดประมวลผลภาพโดยกดปุ่ม Init Board)
3. เคลื่อนแกน Z ของเครื่องวัดพิกัด ให้ขึ้นสูงสุด (ยังไม่วางชิ้นงาน)
4. กดปุ่ม Calibrate เพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (Home position)
5. วางชิ้นงานพื้นผิวทรงกลมสีดำลงบนเครื่อง และเคลื่อนแกน X ให้แนวของแสงเลเซอร์อยู่กลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.32



รูปที่ 6.32 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์

6. เคลื่อนแกน Z ให้แนวแสงเลเซอร์อยู่ทับกับเส้นแนวตั้งสีเหลือง (กดปุ่ม Take Picture เพื่อถ่ายรูปสลับกับการเคลื่อนแกน และควรเคลื่อนเพียงทีละน้อย)
7. เคลื่อนแกน Y ให้เส้นแนวนอนสีเหลืองอยู่กึ่งกลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.33

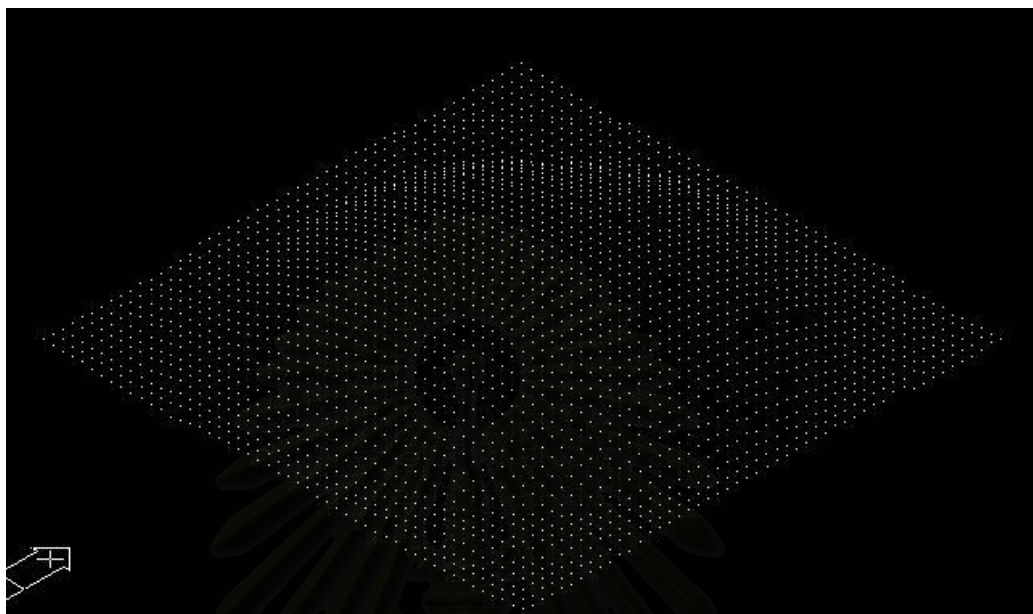


รูปที่ 6.33 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง

8. ใส่ค่าเริ่มต้น ให้ใส่ค่า Threshold = 150 จำนวนเส้น 50 เส้น จำนวนจุด 50 จุด ขนาดชิ้นงาน X = 110 มิลลิเมตร Y = 110 มิลลิเมตร
9. ปิดม่าน
10. กดปุ่ม Scan เพื่อเริ่มทำการวัด
11. กดปุ่ม Make Line หลังจากเสร็จสิ้นการ Scan
12. กดปุ่ม Make DXF หลังจากเสร็จสิ้นการ Make Line
13. ทำการทดลองซ้ำกับพื้นผิวพินแกรมสีขาว และเปลี่ยนจำนวนเส้นเป็น 25 เส้น จำนวนจุด 25 จุด และขนาดชิ้นงาน X = 50 มิลลิเมตร Y = 50 มิลลิเมตร

14. นำผลไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AutoCAD แล้วเปรียบเทียบผล

ผลการทดลอง



รูปที่ 6.34 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวทรงกลมสีดำเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD



รูปที่ 6.35 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวพื้นครามสีขาวเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD

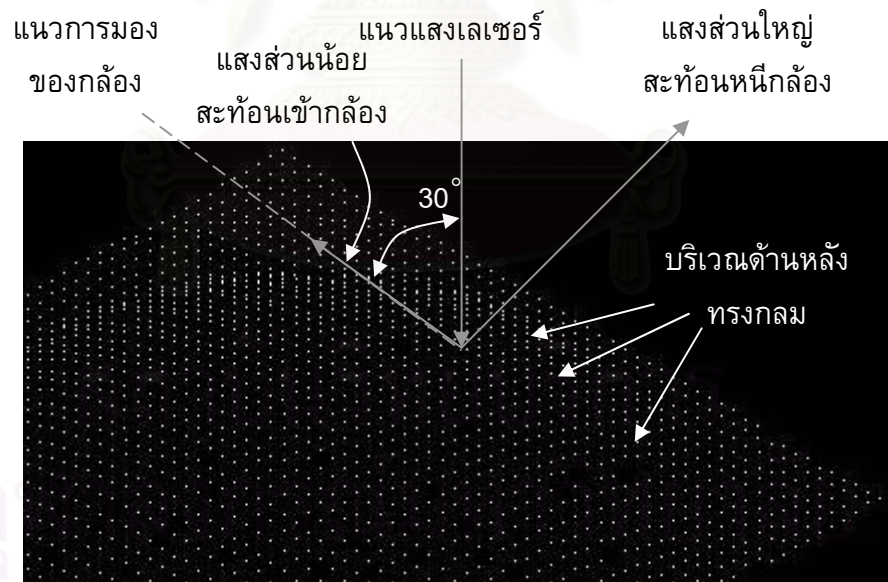
ตารางที่ 6.4 แสดงข้อมูลจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวทรงกลมสีดำและพื้นผิวพื้นครามสีขาว

| พื้นผิว | จำนวนจุดที่ต้องการ | จำนวนจุดที่วัดได้ | ร้อยละ |
|---------------|--------------------|-------------------|--------|
| ทรงกลมสีดำ | 2500 | 2466 | 98.64% |
| พื้นครามสีขาว | 625 | 615 | 98.4% |

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวทรงกลมสีดำคือ 2466 จุด จากจำนวนจุดที่ต้องการคือ 2500 จุด คิดเป็นร้อยละ 98.64 ส่วนจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวพื้นกรามสีขาวคือ 615 จุด จากจำนวนจุดที่ต้องการ 625 จุด คิดเป็นร้อยละ 98.4 เมื่อพิจารณาถึงจุดที่หายไปสำหรับพื้นผิวทรงกลมสีดำนั้น จะหายไปมากบริเวณขอบของรูปทรงกลม และบริเวณที่มีความชันสูง ส่วนพื้นผิวพื้นกรามสีขาวนั้น บริเวณที่จุดหายไปจะพบมากแถบร่องพื้นตรงกลาง และบริเวณขอบของพื้นผิวที่มีความชันสูง

พื้นผิวทรงกลมสีดำเป็นพื้นผิวที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชันคงที่ ในบริเวณที่ความชันต่ำ คือช่วงกลางของพื้นผิวและขอบด้านข้าง จะเป็นช่วงที่เครื่องวัดพิกัดสามารถวัดพิกัดได้อย่างถูกต้อง ไม่มีปัญหาของแสงสะท้อนแต่อย่างใด ส่วนในบริเวณที่มีความชันสูงคือ ช่วงใกล้ๆ ขอบรูปทรงกลม จะเกิดปัญหาของแสงสะท้อนเพิ่มขึ้นตามความชันที่มากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นส่วนหลังของรูปทรงกลม ตามรูปที่ 6.36 ซึ่งจะพบว่ามีจุดที่หายไปค่อนข้างมากกว่าในบริเวณอื่น ซึ่งเป็นเพราะในบริเวณนี้ แสงเลเซอร์ส่วนใหญ่จะสะท้อนออกจากกล้อง ทำให้ปริมาณแสงสะท้อนที่กล้องบันทึกไว้นั้น มีความเข้มแสงค่อนข้างต่ำ และอาจจะถูกตัดทิ้งไปโดยโปรแกรม 3dscanner ได้ วิธีการแก้ไขปัญหานี้คือ ลดค่า Threshold ลง แต่หากลดค่า Threshold ลงแล้วก็จะทำให้เกิดปัญหาต่อส่วนอื่นๆ ของพื้นผิวก็เป็นได้



รูปที่ 6.36 แสดงส่วนหลังของทรงกลมที่มีจุดที่หายไปมากกว่าบริเวณอื่น

พื้นผิวพื้นกรามสีขาวเป็นพื้นผิวที่มีความชันไม่คงที่ และมีบางบริเวณที่มีลักษณะเป็นขอบ เป็นร่อง หรืออาจเรียกว่ามีความไม่ต่อเนื่องของความชัน ตามรูปที่ 6.37 ซึ่งในบริเวณนี้จะเกิดปัญหาต่อการสะท้อนมาก กล่าวคือแสงเลเซอร์เมื่อตกกระทบพื้นผิวบริเวณนี้แล้ว ส่วนหนึ่งจะสะท้อนไปยังพื้นผิวที่อยู่ใกล้เคียง แล้วสะท้อนกลับขึ้นมา ทำให้กล้องรับแสงสะท้อนที่ไม่

ถูกต้อง จึงทำให้ไม่สามารถวัดพิกัดในบริเวณเหล่านี้ได้ ซึ่งพื้นผิวสีขาวก็อาจจะเป็นส่วนที่เสริมให้เกิดการสะท้อนกลับไปได้มากขึ้น



รูปที่ 6.37 แสดงส่วนของพื้นผิวพื้นกรามที่มีความไม่ต่อเนื่อง

สรุปผลการทดลอง

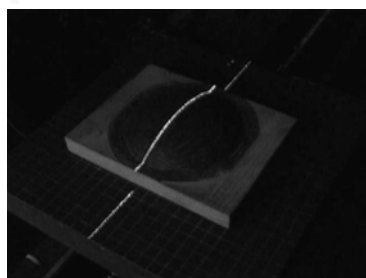
จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าปัญหาที่พบในการวัดพื้นผิวส่วนใหญ่ นั้นจะ มาจากการสะท้อนของแสงเลเซอร์ ซึ่งอาจจะเกิดจากลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเอง เช่น พื้นผิวไม่ต่อเนื่อง เป็นขอบหรือร่อง หรือมีความชันสูง เป็นต้น ส่วนสีของพื้นผิวนั้นแทบจะไม่มี ผลต่อการวัดเลย เนื่องจากในขณะที่ทำการวัดจะปิดม่านเพื่อลดแสงสะท้อนจากภายนอก พื้นผิว สีขาวจะมีผลก็เพียงในกรณีที่พื้นผิวเป็นร่อง ซึ่งจะช่วยเสริมให้เกิดแสงสะท้อนกลับไปได้มากขึ้น แต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

6.4 การทดลองที่ 4

ทดลองวัดที่มุมกล้อง 30 องศากระนาบแสงเลเซอร์ โดยวัดพื้นผิวทรงกลมสีดำเทียบกับพื้นผิวรูปใบหน้าคนสีดำ

วัตถุประสงค์

การทดลองนี้จะเปรียบเทียบผลระหว่างพื้นผิวสีเดียวกันคือสีดำ แต่มีลักษณะความชันของพื้นผิว (Terrain) ต่างกัน โดยพื้นผิวทรงกลมจะเป็นพื้นผิวที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชันคงที่ แต่พื้นผิวรูปหน้าคนจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชันไม่คงที่ เพื่อสังเกตลักษณะของผลที่ได้ว่าจะเกี่ยวข้องกับลักษณะความชันของพื้นผิวหรือไม่ ซึ่งงานที่จะใช้ในการทดลองดังรูปที่ 6.38 – 6.39



รูปที่ 6.38 พื้นผิวทรงกลมสีดำ



รูปที่ 6.39 พื้นผิวรูปใบหน้าคนสีดำ

สมมติฐานการทดลอง

พื้นผิวที่มีความชันมากอาจจะทำให้เกิดปัญหาในการวัดของเครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้น กล่าวคือพื้นผิวที่ชันมาก ก็อาจจะถูกบดบังโดยพื้นผิวส่วนอื่นๆ ทำให้กล้อง CCD ไม่สามารถบันทึกแนวเลเซอร์ที่พาดผ่านบริเวณพื้นผิวนั้นได้ และจะส่งผลไปถึงการสร้างพื้นผิวในบริเวณนั้นด้วย

ขั้นตอนการทดลอง

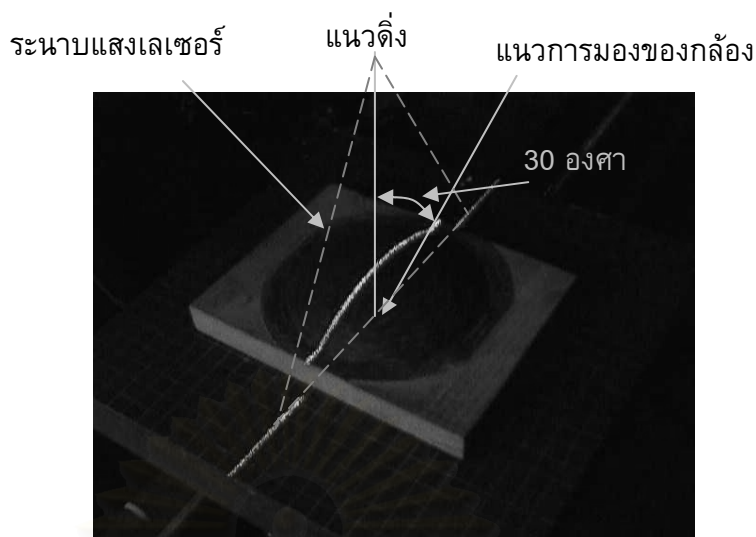
1. ตั้งตำแหน่งของกล้องในมุม 30 องศา ดังรูปที่ 6.40



รูปที่ 6.40 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุม 30 องศา

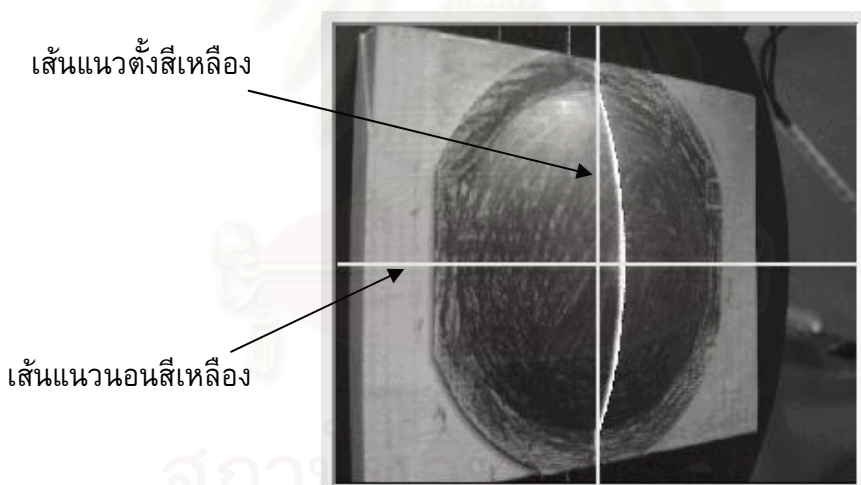
2. เปิดเครื่องวัดพิกัด และโปรแกรมควบคุมการทำงาน 3dscanner (เปิดการควบคุมมอเตอร์โดยกดปุ่ม Energize และเปิดการควบคุมการ์ดประมวลผลภาพโดยกดปุ่ม Init Board)
3. เคลื่อนแกน Z ของเครื่องวัดพิกัด ให้ขึ้นสูงสุด (ยังไม่วางชิ้นงาน)
4. กดปุ่ม Calibrate เพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (Home position)
5. วางชิ้นงานพื้นผิวทรงกลมสีดำลงบนเครื่อง และเคลื่อนแกน X ให้แนวของแสงเลเซอร์อยู่กลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.41 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์

6. เคลื่อนแกน Z ให้แนวแสงเลเซอร์อยู่ทับกับแนวเส้นตั้งสีเหลือง (กดปุ่ม Take Picture เพื่อถ่ายรูปสลับกับการเคลื่อนแกน และควรเคลื่อนเพียงทีละน้อย)
7. เคลื่อนแกน Y ให้แนวเส้นนอนสีเหลืองอยู่กึ่งกลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.42

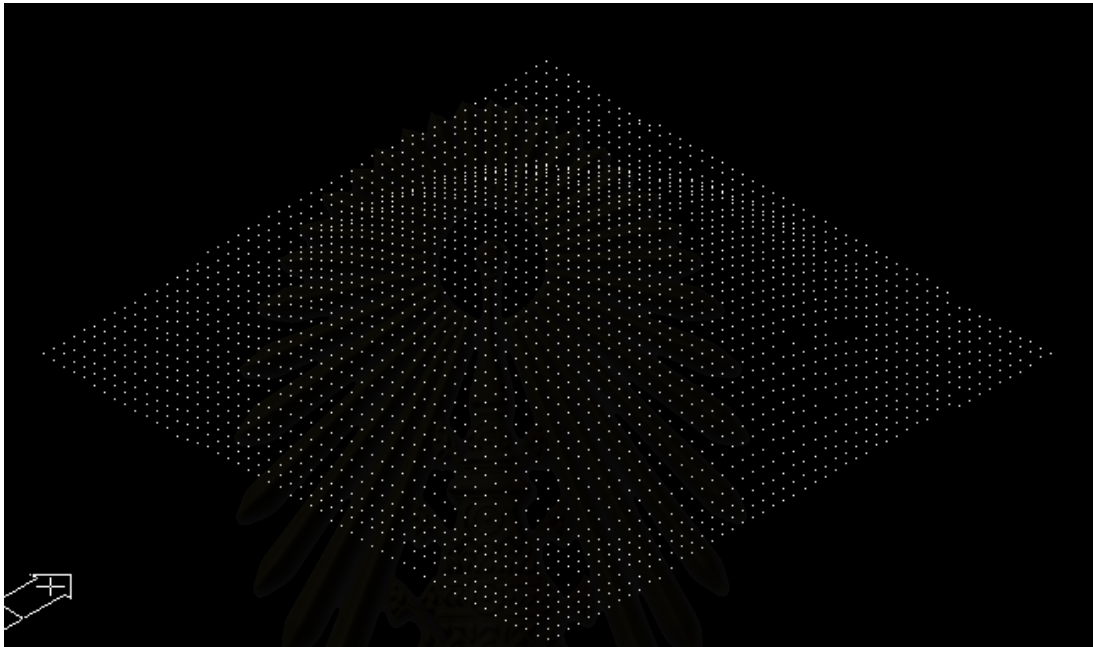


รูปที่ 6.42 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง

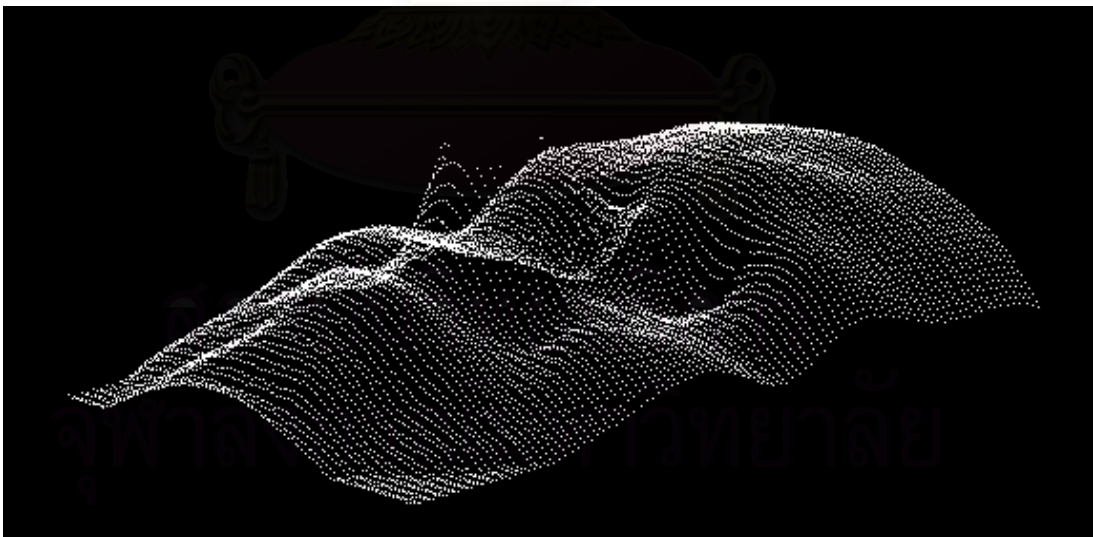
8. ใส่ค่าเริ่มต้น ให้ใส่ค่า Threshold = 150 จำนวนเส้น 50 เส้น จำนวนจุด 50 จุด ขนาดชิ้นงาน X = 110 มิลลิเมตร Y = 110 มิลลิเมตร
9. ปิดม่าน
10. กดปุ่ม Scan เพื่อเริ่มทำการวัด
11. กดปุ่ม Make Line หลังจากเสร็จสิ้นการ Scan
12. กดปุ่ม Make DXF หลังจากเสร็จสิ้นการ Make Line

13. ทำการทดลองซ้ำกับพื้นผิวรูปไบหน้าคนสีดำ และเปลี่ยนจำนวนเส้นเป็น 100 เส้น จำนวนจุด 100 จุด และขนาดชิ้นงาน X = 160 มิลลิเมตร Y = 100 มิลลิเมตร
14. นำผลไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AutoCAD แล้วเปรียบเทียบผล

ผลการทดลอง



รูปที่ 6.43 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวทรงกลมสีดำเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD



รูปที่ 6.44 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวไบหน้าคนสีดำเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD

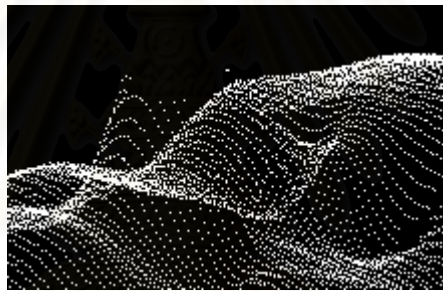
ตารางที่ 6.5 แสดงข้อมูลจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวทรงกลมสีดำและพื้นผิวไบหน้าคนสีดำ

| พื้นผิว | จำนวนจุดที่ต้องการ | จำนวนจุดที่วัดได้ | ร้อยละ |
|--------------|--------------------|-------------------|--------|
| ทรงกลมสีดำ | 2500 | 2466 | 98.64% |
| ไบหน้าคนสีดำ | 10000 | 9397 | 93.97% |

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวทรงกลมสีดำคือ 2466 จุด จากจำนวนจุดที่ต้องการคือ 2500 จุด คิดเป็นร้อยละ 98.64 ส่วนจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวไบหน้าคนสีดำคือ 9397 จุด จากจำนวนจุดที่ต้องการ 10000 จุด คิดเป็นร้อยละ 93.97 เมื่อพิจารณาถึงจุดที่หายไปสำหรับพื้นผิวทรงกลมสีดำนั้น จะหายไปมากบริเวณขอบของรูปทรงกลม และบริเวณที่ความชันสูง ส่วนพื้นผิวพื้นไบหน้าคนสีดำนั้น บริเวณที่จุดหายไปจะพบมากแถบจุกและตา

พื้นผิวไบหน้าคนสีดำเป็นพื้นผิวที่มีความชันไม่คงที่ แต่มีความต่อเนื่องตลอดทั้งพื้นผิว ในบริเวณที่มีความชันต่ำ เครื่องวัดพิกัดสามารถวัดพิกัดได้อย่างถูกต้อง แต่ในส่วนที่มีความชันสูง เช่นบริเวณจุก ดังรูปที่ 6.45 จะเห็นได้ว่าเกิดปัญหาเกี่ยวกับการวัดพิกัดบริเวณนั้นอย่างมาก เหตุเนื่องมาจากเป็นบริเวณที่มีความชันสูง ผนวกกับเป็นบริเวณที่แสงเลเซอร์ส่วนใหญ่จะสะท้อนออกจากกล้อง จึงทำให้กล้องไม่สามารถบันทึกภาพของแนวแสงเลเซอร์ได้อย่างชัดเจนเพียงพอ



รูปที่ 6.45 แสดงส่วนที่เป็นจุกและตา ซึ่งเป็นบริเวณที่เครื่องวัดพิกัดไม่สามารถวัดพิกัดบริเวณนี้ได้

อีกส่วนหนึ่งของพื้นผิวไบหน้าคนที่เกิดปัญหาก็คือ ส่วนของตาที่มีลักษณะเป็นหลุมลึก ซึ่งก็จะเกิดปัญหาอย่างเช่นเดียวกับที่พบในการวัดพิกัดในการทดลองที่ 3 คือแสงเลเซอร์จะสะท้อนกลับไปกลับมาในหลุมนั้น ทำให้แสงสะท้อนสุดท้ายที่กล้องรับได้เป็นแสงสะท้อนที่ไม่ถูกต้อง อีกทั้งยังอาจจะเกิดการบดบังจากพื้นผิวบริเวณของหลุม จึงทำให้เครื่องวัดพิกัดไม่สามารถวัดพิกัดพื้นผิวบริเวณนี้ได้

ในส่วนของพื้นผิวทรงกลมสีดำ ก็จะเกิดลักษณะเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ใน การทดลองที่ 3 คือบริเวณที่เกิดปัญหาส่วนใหญ่จะอยู่ในแถบที่มีความชันสูง โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นด้านหลังของทรงกลม

สรุปผลการทดลอง

ส่วนของพื้นผิวที่มีความชันสูง จะเกิดปัญหาต่อการวัดพิกัดใน 2 แบบ คือ

1. ในลักษณะที่ปริมาณแสงเลเซอร์ที่สะท้อนเข้าหากล้องมีปริมาณไม่เพียงพอ ทำให้ถูกโปรแกรม 3dscanner ตัดแสงสะท้อนส่วนนี้ทิ้งไปเพราะคิดว่าเป็นส่วนที่สะท้อนไม่ถูกต้องหรือสะท้อนมาจากแหล่งกำเนิดแสงอื่น ซึ่งในกรณีนี้อาจจะแก้ไขได้โดยการลดค่า Threshold ลง จะทำให้แสงสะท้อนเหล่านี้อยู่ในช่วงที่โปรแกรมจะนำไปคำนวณหาพิกัด แต่ก็ยังมีข้อควรระวังคือหากลดค่า Threshold ลง อาจจะทำให้เกิดปัญหาต่อพื้นผิวส่วนอื่นๆ ได้ เช่นพื้นผิวที่เป็นร่อง แสงสะท้อนที่มาจากพื้นผิวเหล่านี้ซึ่งเป็นแสงสะท้อนที่ไม่ถูกต้องอาจจะถูกนำไปคำนวณหาพิกัดได้ ดังนั้นในการปรับค่า Threshold ควรกระทำด้วยความระมัดระวัง
2. แสงเลเซอร์ที่สะท้อนมานั้นถูกบดบังโดยพื้นผิวใกล้เคียง ทำให้กล้องไม่สามารถรับแสงสะท้อนบริเวณนั้นได้ ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนมุมของกล้องให้มีค่าน้อยลง เพื่อลดโอกาสในการถูกบัง

6.5 การทดลองที่ 5

ทดลองวัดที่มุมกล้อง 30 องศาที่ระนาบแสงเลเซอร์ โดยวัดพื้นผิวที่มันวาว

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดลองวัดพิกัดกับพื้นผิวที่มีการสะท้อนอย่างมาก เช่นพื้นผิวที่มันวาว และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองว่าความมันวาวของพื้นผิวจะมีผลต่อการวัดพิกัดอย่างไร ซึ่งงานที่จะใช้ในการทดลองดังรูปที่ 6.46



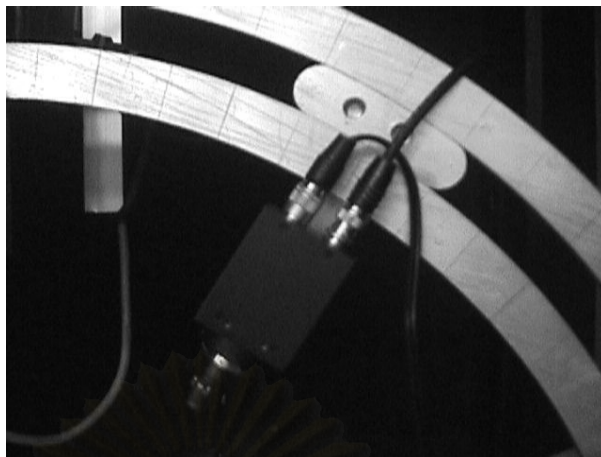
รูปที่ 6.46 พื้นผิวหุโตร์ศัพท์ที่มีความมันวาว

สมมติฐานการทดลอง

วัตถุที่มีพื้นผิวมันวาวอย่างเช่นหุโตร์ศัพท์ที่จะใช้ในการทดลองนี้ น่าจะมีการสะท้อนแสงมากกว่าพื้นผิวพ่นกรามสีขาวที่ได้ทดลองไปก่อนหน้านี้แล้ว ซึ่งการสะท้อนที่มากเกินไปนั้นอาจจะส่งผลต่อการเก็บบันทึกภาพของกล้อง CCD ได้ และจะทำให้ผลที่ได้มีความผิดพลาดมากขึ้น

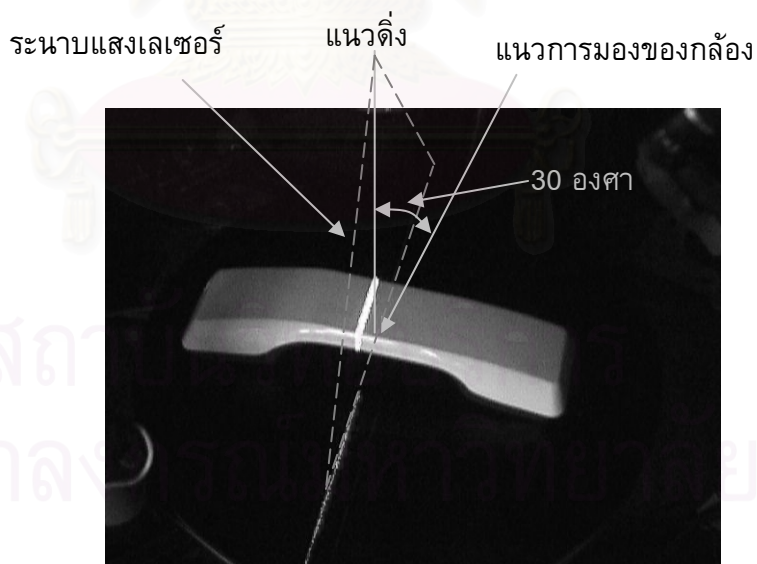
ขั้นตอนการทดลอง

1. ตั้งตำแหน่งของกล้องในมุม 30 องศา ดังรูปที่ 6.47



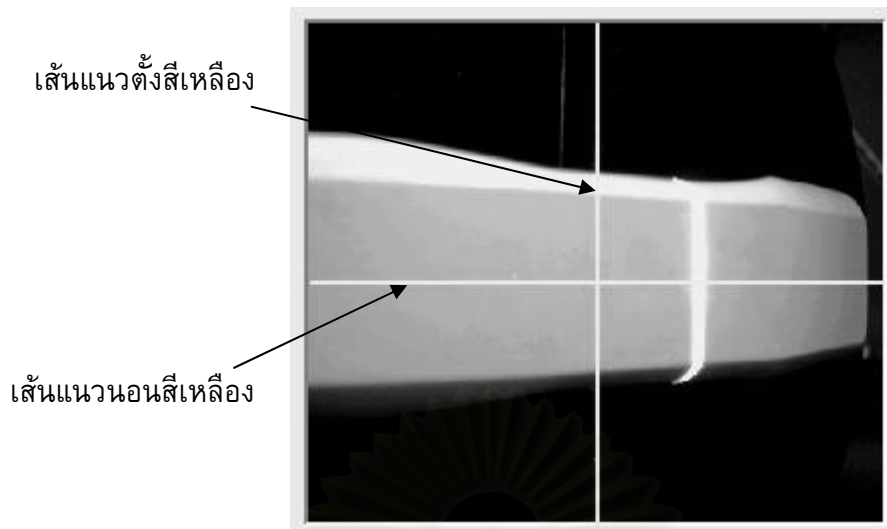
รูปที่ 6.47 แสดงตำแหน่งของกล้อง CCD ที่มุม 30 องศา

2. เปิดเครื่องวัดพิกัด และโปรแกรมควบคุมการทำงาน 3dscanner (เปิดการควบคุมมอเตอร์โดยกดปุ่ม Energize และเปิดการควบคุมการ์ดประมวลผลภาพโดยกดปุ่ม Init Board)
3. เคลื่อนแกน Z ของเครื่องวัดพิกัด ให้ขึ้นสูงสุด (ยังไม่วางชิ้นงาน)
4. กดปุ่ม Calibrate เพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (Home position)
5. วางชิ้นงานพื้นผิวทรงกลมสีดำลงบนเครื่อง และเคลื่อนแกน X ให้แนวของแสงเลเซอร์อยู่กลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.48



รูปที่ 6.48 แสดงตำแหน่งของแสงเลเซอร์

6. เคลื่อนแกน Z ให้แนวแสงเลเซอร์อยู่ทับกับแนวเส้นตั้งสี่เหลี่ยม (กดปุ่ม Take Picture เพื่อถ่ายรูปสลับกับการเคลื่อนแกน และควรเคลื่อนเพียงทีละน้อย)
7. เคลื่อนแกน Y ให้แนวเส้นนอนสี่เหลี่ยมอยู่กึ่งกลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 6.49



รูปที่ 6.49 แสดงตำแหน่งของวัตถุ เมื่อวัตถุอยู่กลางแนวการมองเห็นของกล้อง

8. ใส่ค่าเริ่มต้น ให้ใส่ค่า Threshold = 170 จำนวนเส้น 10 เส้น จำนวนจุด 10 จุด ขนาด
ชิ้นงาน X = 180 มิลลิเมตร Y = 50 มิลลิเมตร
9. ปิด màn
10. กดปุ่ม Scan เพื่อเริ่มทำการวัด
11. กดปุ่ม Make Line หลังจากเสร็จสิ้นการ Scan
12. กดปุ่ม Make DXF หลังจากเสร็จสิ้นการ Make Line
13. นำผลไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม AutoCAD แล้วเปรียบเทียบผล

ผลการทดลอง



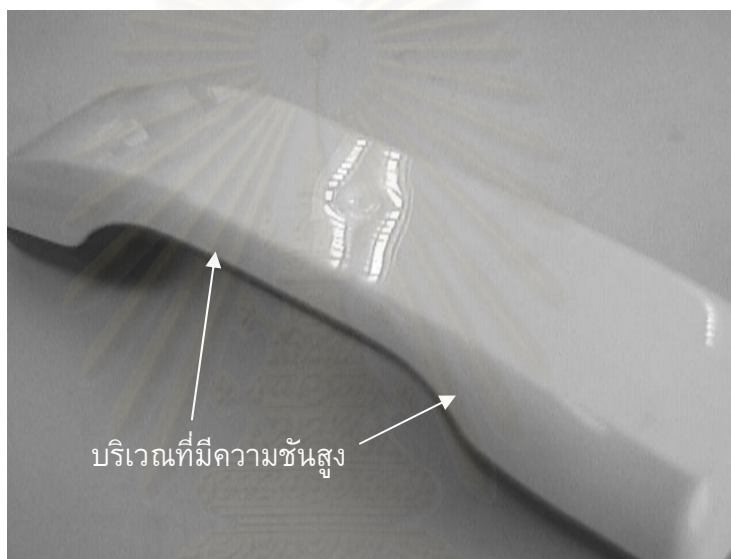
รูปที่ 6.50 แสดงผลที่วัดได้จากพื้นผิวใบหน้าคนสีดำเมื่อนำไปเปิดบนโปรแกรม AutoCAD

ตารางที่ 6.6 แสดงข้อมูลจำนวนจุดที่วัดได้ของพื้นผิวหุโตร์ศัพท์

| พื้นผิว | จำนวนจุดที่ต้องการ | จำนวนจุดที่วัดได้ | ร้อยละ |
|-------------|--------------------|-------------------|--------|
| หุโตร์ศัพท์ | 100 | 95 | 95% |

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าจำนวนจุดที่วัดได้คือ 95 จุด จากจำนวนจุดที่ต้องการ 100 จุด คิดเป็นร้อยละ 95 จุดที่หายไปนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณที่เป็นขอบ มีความชันสูง ดังรูปที่ 6.51 ซึ่งก็เป็นบริเวณที่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการวัดมาตลอดทุกการทดลอง แต่สำหรับในส่วนอื่นๆ เครื่องวัดพิกัดสามารถวัดพิกัดได้อย่างถูกต้อง



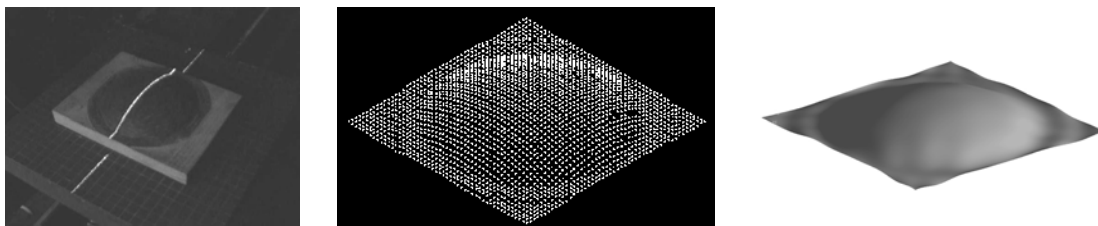
รูปที่ 6.51 แสดงส่วนของพื้นผิวหุโตร์ศัพท์ที่มีความชันสูง

สรุปผลการทดลอง

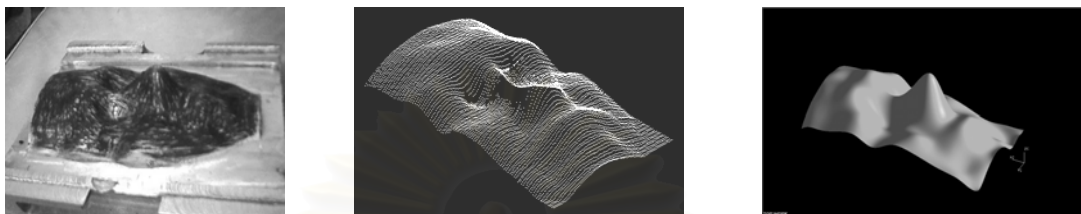
พื้นผิวที่มันวาวซึ่งในการทดลองนี้คือหุโตร์ศัพท์ ไม่เป็นอุปสรรคต่อการวัดพิกัดโดยเครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้นแต่อย่างใด จะมีปัญหาที่เพียงบริเวณที่เป็นขอบหรือบริเวณที่มีความชันสูง ซึ่งก็เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับทุกๆ พื้นผิวอยู่แล้ว

6.6 ตัวอย่างพื้นผิวที่ได้ทำการวัด

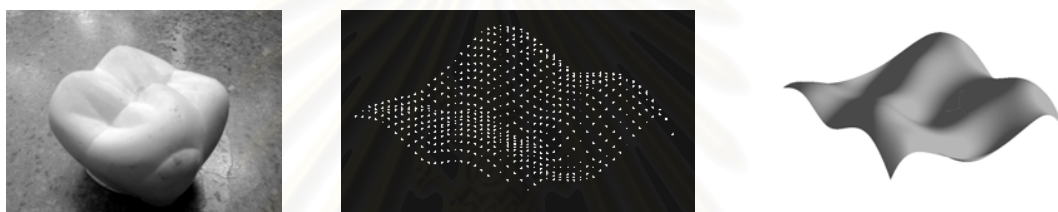
ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างพื้นผิวแบบต่างๆ ที่ได้ทำการวัด ผลที่ได้จากการวัด รวมทั้งพื้นผิวที่สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Unigraphics



รูปที่ 6.52 แสดงพื้นผิวทรงกลมสีดำ ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว



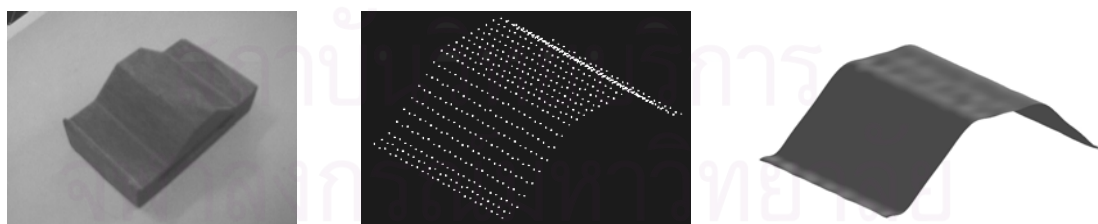
รูปที่ 6.53 แสดงพื้นผิวหน้าคนสีดำ ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว



รูปที่ 6.54 แสดงพื้นผิวพื้นกรามสีขาว ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว



รูปที่ 6.55 แสดงพื้นผิวหูโทรศัพท์ ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว



รูปที่ 6.56 แสดงพื้นผิวสี่เหลี่ยมคางหมู ผลของการวัดและการสร้างพื้นผิว

บทที่ 7

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการสร้างเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบใช้แถบแสงเลเซอร์และกล้องตัวเดียว โดยจะเป็นการกล่าวรวบรวมสาระสำคัญตั้งแต่บทที่ 2 ถึงบทที่ 6 รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

7.1 สรุปผลวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาและสร้างเครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แบบใช้แถบแสงเลเซอร์ส่องลงบนพื้นผิววัตถุและเก็บข้อมูลภาพด้วยกล้อง CCD โดยอาศัยหลักการสะท้อนของแสงเกิดเป็นภาพ แล้วนำภาพที่ได้มาคำนวณหาพิกัดของพื้นผิว พื้นผิวที่จะทำการวัดจะต้องมีขนาดไม่เกิน 200x200x100 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxสูง) และพิกัดที่ได้จะต้องสามารถนำไปใช้ในโปรแกรม CAD ทั่วไปได้ โดยโปรแกรม CAD จะทำหน้าที่สร้างและปรับแต่งพื้นผิวให้มีความเรียบและต่อเนื่อง ซึ่งจากผลการทดลองวัดพิกัดพื้นผิวที่มีลักษณะต่างๆ คือ ทดลองวัดพื้นผิวที่มีสีต่างๆ กัน พื้นผิวที่มีความชันสูง พื้นผิวที่มีความมันวาว รวมทั้งการทดลองวัดพิกัดที่มุมกล้องต่างๆ กัน และวัดพิกัดโดยจำนวนจุดข้อมูลต่างๆ กัน โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

- 7.1.1 สีของพื้นผิวไม่มีผลต่อการวัดพิกัด เนื่องจากในขณะที่ทำการวัดจะปิดม่านเพื่อลดแสงที่รบกวนจากภายนอก เหลือเพียงแสงเลเซอร์เท่านั้น สีของพื้นผิวจะมีผลก็เพียงการสะท้อนของแสงเลเซอร์เท่านั้น แต่ก็เป็นผลเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับผลที่เกิดจากลักษณะของพื้นผิวอย่างอื่น เช่น ความชัน ขอบ หรือ หลุม เป็นต้น อีกทั้งในการวัด ผู้ใช้สามารถปรับค่า Threshold ให้เหมาะสมกับพื้นผิว เพื่อเป็นการกำหนดค่าความเข้มของแสงขั้นต่ำที่โปรแกรม 3dscanner จะนำไปคำนวณหาพิกัด
- 7.1.2 พื้นผิวที่เป็นอุปสรรคต่อการวัดจะมีลักษณะเป็นพื้นผิวที่มีความชันสูง เป็นขอบร่อง หรือเป็นหลุมลึก โดยในกรณีพื้นผิวเหล่านี้ จะทำให้เกิดสภาพการสะท้อนที่ไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ข้อผิดพลาดเหล่านี้จะสามารถลดได้โดยการทำการวัดพิกัดที่มุมกล้องน้อยๆ เพื่อลดโอกาสการถูกบดบัง แต่การวัดพิกัดที่มุมกล้องน้อยๆ ก็จะมีผลให้ Resolution ของเครื่องหยาบมากขึ้น
- 7.1.3 เครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้นใช้วิธีการวัดเป็นแบบวัดที่ละแนวเส้น เวลาที่ใช้ในการวัดเมื่อทำการวัดที่ 100x100 จุด (10000 จุด) จะใช้เวลาเพียง 10 นาทีครั้ง ซึ่งถือได้

ว่าเร็วกว่ามากเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องวัดพิกัดแบบวัดทีละจุด โดยวัดเพียง 2100 จุด แต่ใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง 45 นาที

- 7.1.4 Resolution ของเครื่องวัดพิกัดจะขึ้นอยู่กับมุมและความสูงของกล้อง โดยที่มุมกล้องน้อยๆ Resolution จะมีค่ามาก (หยาบ) แต่ที่มุมกล้องมากๆ Resolution จะมีค่าน้อย (ละเอียด) แต่การวัดที่มุมกล้องมากๆ อาจจะทำให้เกิดการบิดเบือนโดยพื้นผิวที่มีความชันมากได้ ดังนั้นการที่จะเลือกวัดพื้นผิวที่มุมกล้องใดนั้น ก็ต้องขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวที่จะวัดด้วย
- 7.1.5 ความแม่นยำ (Accuracy) ของเครื่องวัดพิกัดมีค่าประมาณ 0.4203 มิลลิเมตร (420.3 ไมครอน) เมื่อทำการวัดพื้นผิวทรงกลมที่มุมกล้อง 30 องศาที่ระนาบแสงเลเซอร์
- 7.1.6 โปรแกรม 3dscanner ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิกัด เป็นโปรแกรมที่พัฒนาบนภาษา Visual C++ และทำงานบน Microsoft Windows 98 โดยออกแบบให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน กล่าวคือสามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าที่จะเป็นในการวัด เช่น ค่า Threshold จำนวนจุดที่ต้องการ อีกทั้งยังสามารถเก็บบันทึกภาพจากกล้อง CCD ได้ในขณะที่ต้องการ (ขณะที่ไม่ได้ทำการวัด) สามารถกำหนดระดับของสีขาวและสีดำของภาพที่บันทึก เป็นต้น

7.2 ข้อเสนอแนะ

- 7.2.1 ความละเอียดของการ์ดประมวลผลภาพที่ใช้คือ 768x576 จุด (กว้างxยาว) ซึ่งไม่เพียงพอต่อการวัดพิกัดให้มี Resolution สูงกว่านี้ หากต้องการให้เครื่องวัดพิกัดมี Resolution สูงในระดับ 100 ไมครอน ก็ควรจะใช้การ์ดประมวลผลภาพที่รับภาพได้ 1000x1000 จุดขึ้นไป แต่การ์ดดังกล่าวมีราคาแพงมาก อีกทางออกหนึ่งก็คือพัฒนาโปรแกรมให้สามารถทำการวัดเฉพาะช่วงของพื้นผิวที่ต้องการ
- 7.2.2 เนื่องจากมีพื้นผิวบางประเภทที่เครื่องวัดพิกัดไม่สามารถวัดได้ เช่น พื้นผิวที่มีความชันมากๆ หรือสูงโด่งมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการบิดเบือนการสะท้อนของแสงเลเซอร์ไปยังกล้อง ดังนั้นหากพัฒนาให้เครื่องวัดพิกัดสามารถหมุนกล้องหรือหมุนพื้นผิวรอบแกน Z ได้ ก็จะทำให้สามารถวัดพื้นผิวที่เคยถูกบิดเบือนได้ แต่การหมุนกล้องหรือหมุนพื้นผิวรอบแกน Z อาจจะทำให้ความถูกต้องลดลงได้ หากออกแบบโปรแกรมควบคุมไม่ดี
- 7.2.3 เครื่องวัดพิกัดที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นเครื่องวัดพิกัดแบบวัดทีละแนวเส้น ซึ่งอยู่บนโครงสร้างเดียวกับเครื่องวัดพิกัดแบบวัดทีละจุด ดังนั้นหากสามารถออกแบบ

โปรแกรมควบคุมได้ดี ก็จะสามารถที่จะใช้งานไปพร้อมๆกันได้ โดยอาจจะเริ่มต้นวัดเป็นแนวเส้นก่อน หากบริเวณใดไม่สามารถวัดได้ ก็ใช้การวัดที่ละจุดในบริเวณนั้น เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลพื้นผิวให้มากที่สุด และยังเป็นการลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นอีกด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

1. จิตติพล ศรีทศพร, การพัฒนาสภาวะการทำงานบนเครือข่ายสำหรับระบบปฏิบัติการระยะไกลบนอินเทอร์เน็ตเพื่อระบบการผลิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
2. ทรงเกียรติ ภาวดี, ครบเครื่อง CGI เพื่อจัดระบบเก็บข้อมูล 3 แบบ 3 สไตล์, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ, 2543.
3. นิรุช อำนวยศิลป์, คู่มือการเขียนโปรแกรม Microsoft Visual C++ Version 6.0 ฉบับเพื่อการใช้งานจริง, บริษัท ซัคเซสมิเดีย จำกัด, กรุงเทพฯ, 2544.
4. ปัญญา ดีประเสริฐกุล, อุปกรณ์วัดพิกัด 3 มิติที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีพื้นผิวต่อเนื่องและโปรแกรมเชื่อมโยงกับ CATIA, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
5. วรุณี เทียงธรรม รุ่งโรจน์ วนพฤษยาศิลป์, เรียนลัด Visual C++ 6.0 สไตล์ Visual Guide, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ, 2542.

ภาษาอังกฤษ

6. A. Goshtasby and O. Garcia, Recovering Non-Rigid 3-D Structures from Stereo and Structured Light, National Science Foundation, USA.
7. Brian Curless and Marc Levoy, Better Optical Triangulation through Spacetime Analysis, Stanford University, USA, 1996.
8. David J. Kruglinski, George Shepherd, Scott Wingo, Programming Microsoft Visual C++ Fifth Edition, Microsoft Press, USA.
9. Gregory J. Power and Kefu Xue, A Non-Linear Transform Technique for A Camera and Laser 3-D Scanner, Wright State University, USA.
10. K. MacDonald, Introduction to "Video 101", Industrial Product Division, Pulnix America Inc., USA.
11. W. Trylinski, A. Voellnagel, Fine mechanisms and precision instruments, Pergamon Press, Oxford, 1971.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์และการควบคุมมอเตอร์ทั้ง 3 แกน ซึ่งเป็นมอเตอร์แบบ Brushless DC Motor และส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนทั้ง 3 แกนของเครื่องวัดพิทช์ 3 มิติ คือ ตัวควบคุมมอเตอร์ ซึ่งได้ถูกประยุกต์ใช้อยู่ในอุปกรณ์ควบคุม 2 ตัวคือ ตัวควบคุม 6250 และตัวควบคุม BLX30 ซึ่งตัวแรกจะใช้ควบคุม 2 แกน คือแกน Y และ Z ส่วนตัวหลังจะใช้ควบคุมแกน X

ก่อนที่จะกล่าวถึงอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ จะขอกล่าวถึงตัวมอเตอร์ก่อน โดยมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมตำแหน่งแกนทั้ง 3 แกน เป็นมอเตอร์แบบ Brushless DC Servomotor หลังจากนั้นจะกล่าวถึงอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ 6250 และ BLX30 [1]

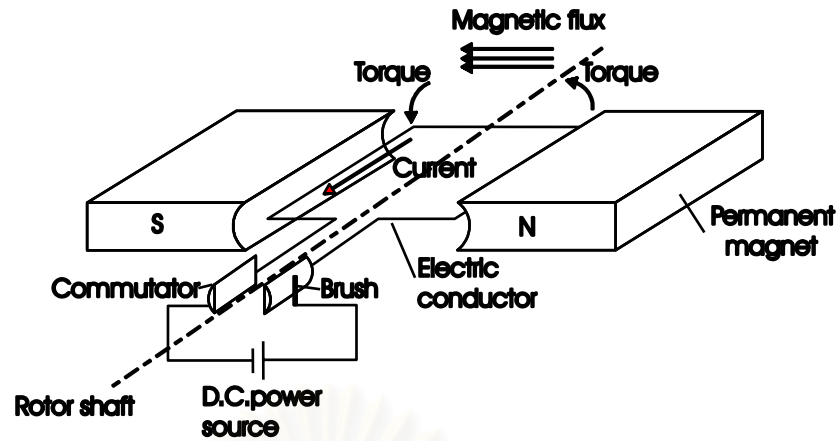
1. หลักการทำงานของมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์มีการใช้งานกันในระบบควบคุมอัตโนมัติอย่างกว้างขวาง เพราะสามารถควบคุมตำแหน่งและความเร็วได้ง่าย มีความแม่นยำสูง และควบคุมแรงได้ดี โดยทั่วไปจะสามารถแบ่งประเภทของเซอร์โวมอเตอร์ได้เป็น DC Servomotor และ AC Servomotor มอเตอร์ทั้งสองแบบจะมีส่วนประกอบชิ้นหนึ่งคือแปรงถ่าน ซึ่งจะเป็เป็นตัวที่ทำหน้าที่ป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ ที่แปรงถ่านนี้เองจะเกิดการเสียดสีซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าไปส่วนหนึ่ง ทำให้เกิดความร้อนและความไม่เชิงเส้น (Non-linear) อันเนื่องมาจากแรงเสียดทาน ซึ่งผลเสียเหล่านี้เป็นข้อจำกัดในการใช้งานมอเตอร์มาโดยตลอด ในเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless) จะไม่มีปัญหาเหล่านี้ ทำให้สามารถควบคุมได้ถูกต้องและแม่นยำมากกว่ามอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน

เซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านจัดอยู่ในกลุ่ม AC Servomotor แต่กลับมีคุณลักษณะคล้ายกับ DC Servomotor ดังนั้นในบางครั้งจึงถูกเรียกว่าเป็น Brushless DC Servomotor นั่นเอง เพื่อให้เข้าใจในหลักการทำงานของ Servomotor ดังนั้นจะขออธิบายถึงหลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับดังนี้

1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

อาศัยหลักการเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแปรงถ่าน (Brush) และตัวเหนี่ยวนำ (Commutator) ไปยังขดลวดเหนี่ยวนำที่อยู่ท่ามกลางสนามแม่เหล็กที่สร้างจากแม่เหล็กถาวร ก็จะก่อให้เกิดแรงบิด (Torque) ในทิศทางกฎมือซ้าย ดังรูปที่ ก.1 แรงบิดที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงสุดเมื่อแกนหมุนทำมุม 0 องศากับระนาบสนามแม่เหล็ก และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนน้อยที่สุดที่ตำแหน่ง 90 องศา

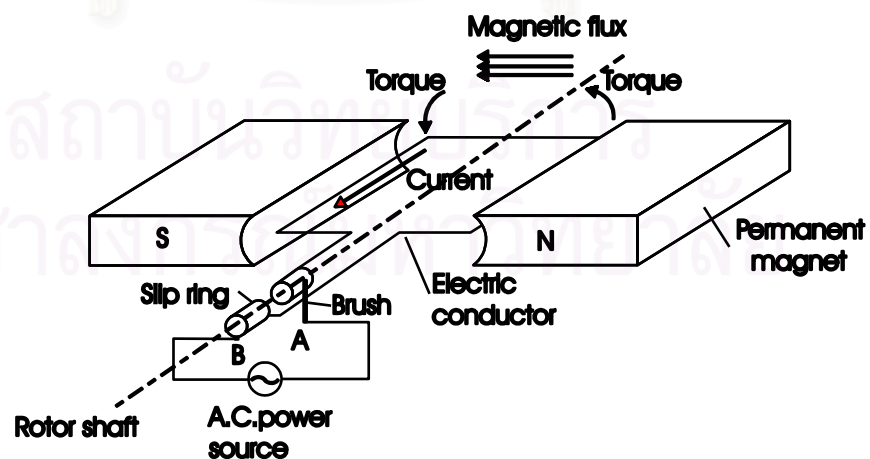


รูปที่ ก.1 แสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

ในมอเตอร์กระแสตรงทั่วๆ ไปที่ใช้ในงานจริง จะมีตัวเหนี่ยวนำหลายตัว ซึ่งจะทำให้แรงบิดที่ได้มีค่าราบเรียบมากขึ้น ซึ่งค่าแรงบิดนี้จะแปรผันตรงกับกระแสที่ตนเอง

1.2 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับ

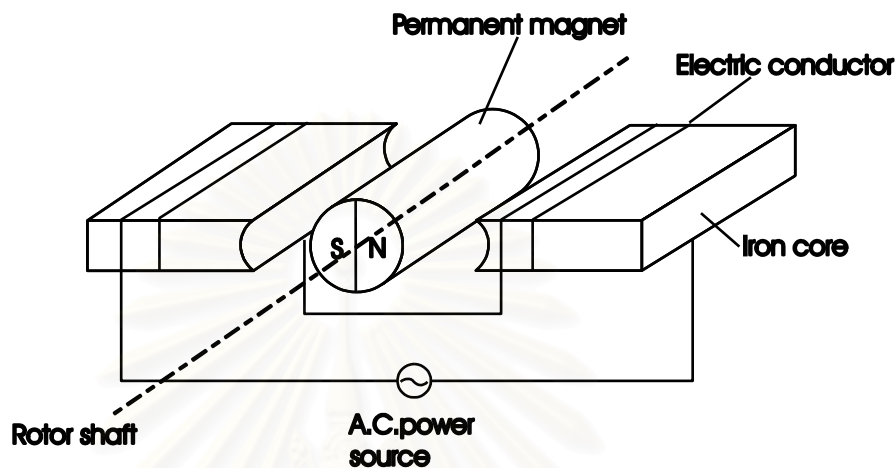
มอเตอร์กระแสสลับนั้นจะต่างจากมอเตอร์กระแสตรง โดยตัวเหนี่ยวนำจะถูกแทนที่ด้วย Slip Ring เมื่อมอเตอร์เริ่มทำงาน ที่แปรงถ่าน A จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ที่แปรงถ่าน B จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ จะเกิดแรงบิดหมุนขดลวดจากตำแหน่ง 0 องศาไปที่ตำแหน่ง 90 องศา ที่ตำแหน่งนี้แรงบิดจะเป็นศูนย์ แต่แรงเฉื่อยของขดลวดจะทำให้ขดลวดหมุนต่อไปอีก เมื่อเลยตำแหน่ง 90 องศา ศักย์ไฟฟ้าที่แปรงถ่าน A และ B จะเปลี่ยนขั้วกัน ซึ่งก็จะทำให้เกิดแรงบิดหมุนขดลวดไปถึงตำแหน่ง 270 องศา ศักย์ไฟฟ้าก็จะสลับอีกครั้ง และเกิดแรงบิดหมุนขดลวดไปเรื่อยๆ ซึ่งความเร็วของขดลวดจะขึ้นอยู่กับความถี่ของกระแสสลับที่แหล่งกำเนิดป้อนให้



รูปที่ ก.2 แสดงการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับ

1.3 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless)

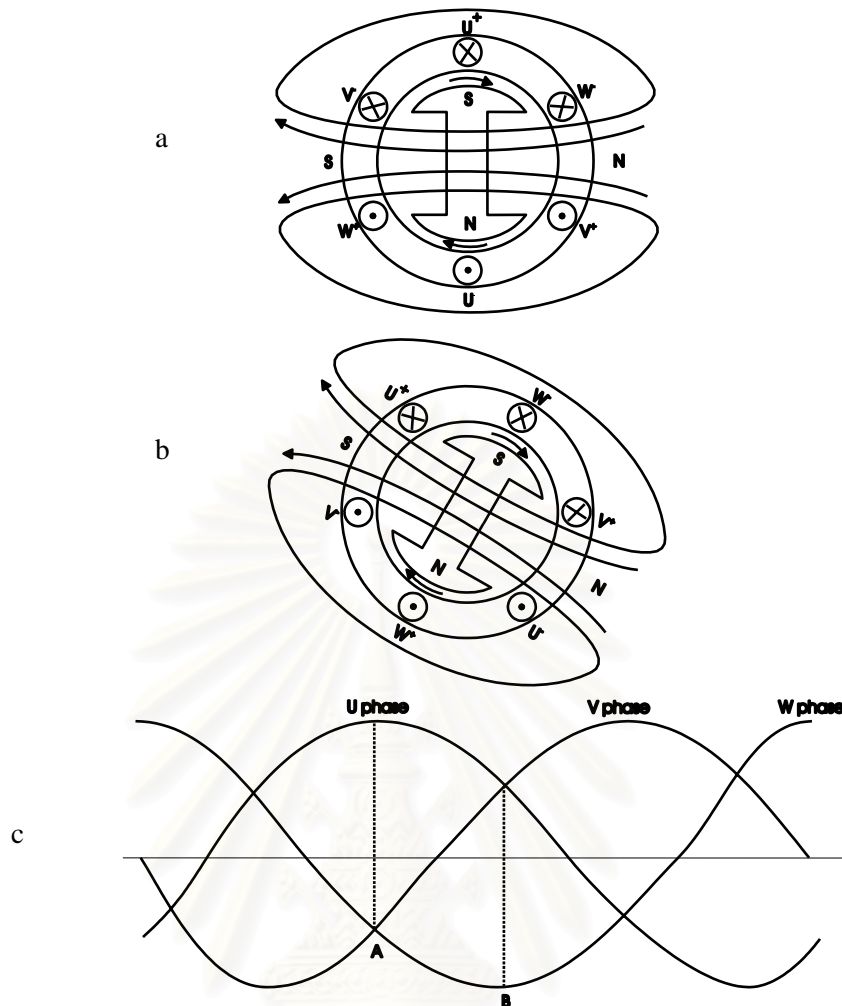
ในส่วนมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless) ก็จะกลับกับกับมอเตอร์กระแสสลับตรงที่ขดลวดอาร์เมเจอร์จะอยู่นิ่ง และขดลวดสนามจะเป็นตัวหมุนแทน ดังรูปที่ ก.3 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าไม่มีแปรงถ่านและ Slip Ring



รูปที่ ก.3 แสดงการทำงานของมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน

เนื่องจากไม่มีแปรงถ่าน ดังนั้นจึงต้องอาศัยอุปกรณ์ในการควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าให้มีเฟสและขนาดสัมพันธ์กับตำแหน่งของแกนหมุน คุณลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือความราบเรียบของแรงบิดที่ถูกเหนี่ยวนำในกรณีของมอเตอร์กระแสตรง หากเราเพิ่มจำนวนของตัวเหนี่ยวนำ (Commutator) จะทำให้แรงบิดที่ได้ราบเรียบขึ้น ส่วนกรณีของเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน แรงบิดที่ได้จะราบเรียบขึ้นเมื่อแบ่งขดลวดเหนี่ยวนำเป็น 3 เฟสและแปลงกระแสของแต่ละเฟสให้เป็นรูปคลื่นไซน์ (Sine Curve) ดังในรูปที่ ก.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.4 แสดงการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน เมื่อมีขดลวดเหนี่ยวนำ 3 เฟส

รูปที่ ก.4a และ ก.4b เป็นภาพหน้าตัดของมอเตอร์แบบ 3 เฟสซึ่งโครนัส มี U^+ , U^- , V^+ , V^- , W^+ และ W^- แสดงจุดเริ่ม (จุด) และปลาย (กากบาท) ของขดลวด เมื่อมอเตอร์ได้รับกระแสไฟ 3 เฟส ดังในรูป ก.4c ที่จุด A มีเพียงเฟส U เท่านั้นที่เป็นบวก ในขณะที่เฟส V และ W เป็นลบ ทั้งคู่ ดังนั้นทิศทางของกระแสในขดลวดจะเป็นดังรูป ก.4a และเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็กที่ถูกเหนี่ยวนำมีทิศทางจากขั้วเหนือ (N) ไปยังขั้วใต้ (S) ตามหัวลูกศร เมื่อสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแกนหมุนตัดกับฟลักซ์แม่เหล็กที่ได้จากการเหนี่ยวนำโดยทำมุมกันเป็นมุมฉากก็จะเกิดแรงบิดในการหมุนขึ้น ทำให้แกนหมุนหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่ตำแหน่ง B ฟลักซ์แม่เหล็กจะทำมุม 60 องศา กับตำแหน่ง A

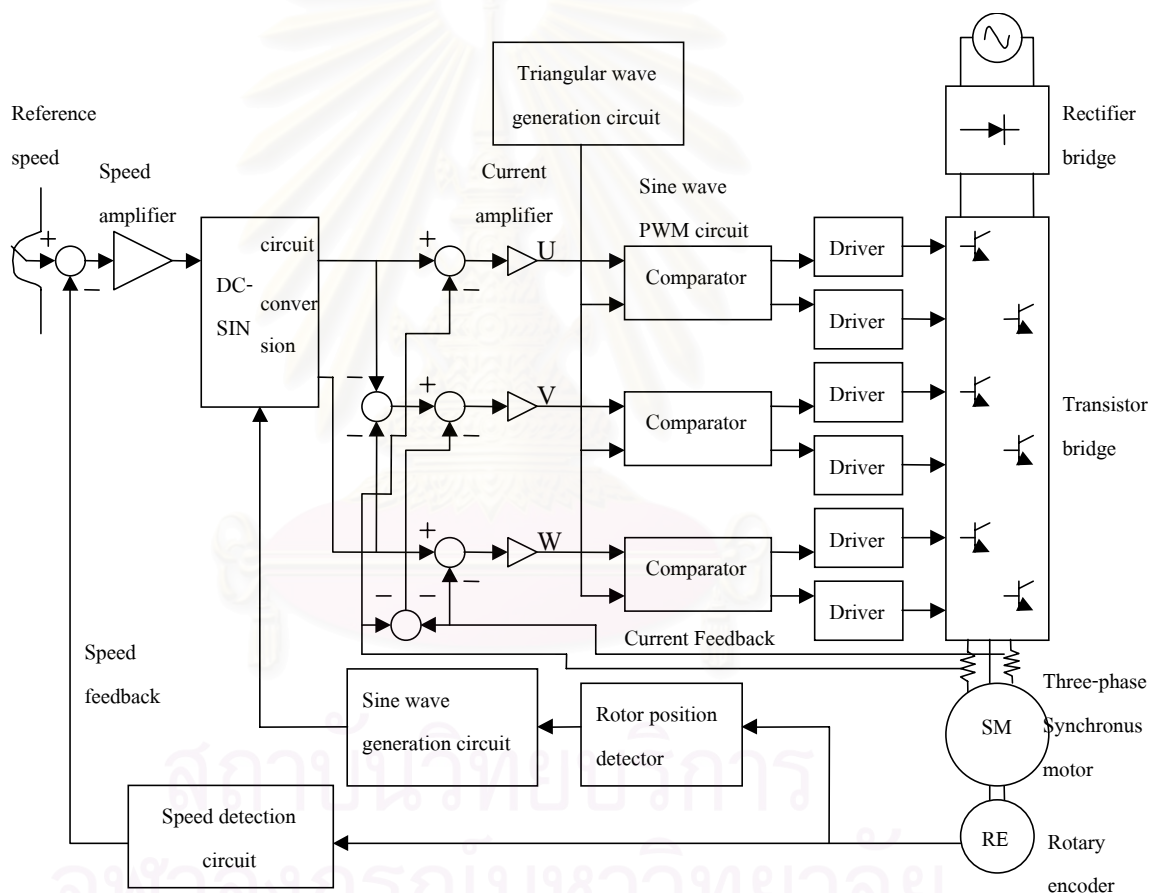
จะเห็นได้ว่าถ้าเราป้อนกระแส 3 เฟสให้ไหลผ่านขดลวดทั้ง 3 จะทำให้ได้สนามแม่เหล็กที่หมุนอย่างต่อเนื่อง ถ้าเฟสของคลื่นไซน์และตำแหน่งของการหมุนทำมุม

กันอย่างถูกต้องตลอด จะทำให้ได้แรงบิดที่ราบเรียบมากขึ้นและมอเตอร์จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นหลักการทำงานของมอเตอร์แบบต่างๆ ต่อไปจะกล่าวถึงวงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ หรือทำหน้าที่สร้างกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดและเฟสเพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งของแกนหมุนตามต้องการ

1.4 วงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน

ในการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน จุดมุ่งหมายหลักก็คือเพื่อให้พัลส์แม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับกระแส ดังแสดงในรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 แสดงระบบสำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน

1.4.1 Rotor position detector เป็นวงจรที่รับสัญญาณจากตัววัดตำแหน่งของมอเตอร์ ได้แก่ Encoder แล้วแปลงสัญญาณดังกล่าวให้อยู่ในรูปที่วงจรสร้างคลื่นไซน์ (Sine wave generation circuit) สามารถรับได้

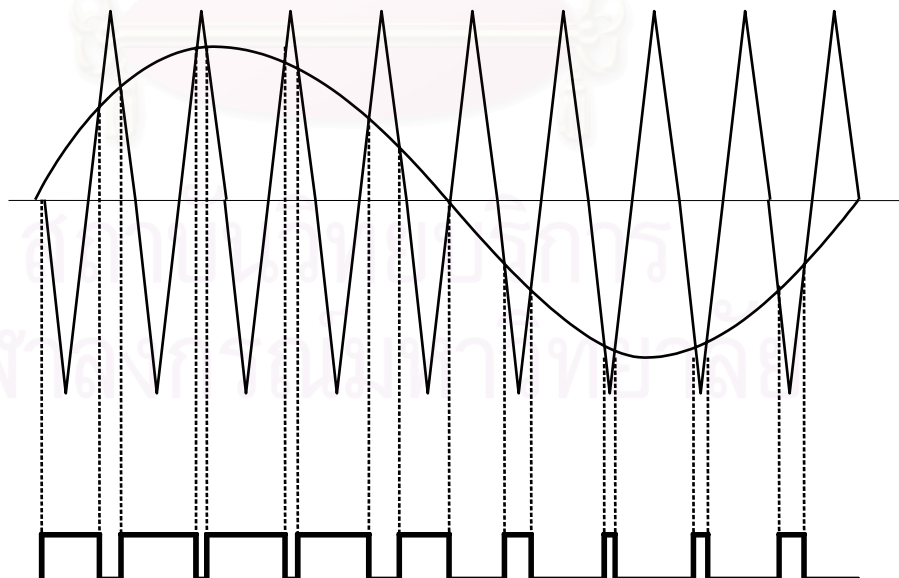
1.4.2 Sine wave generation circuit เป็นวงจรที่สร้างแบบของคลื่นรูปไซน์จากข้อมูลที่ได้จาก Rotor Position detector เนื่องจากใช้ไฟ 3 เฟส ดังนั้นจึงต้อง

สร้างแบบของคลื่นรูปไซน์ 2 แบบสำหรับไฟ 2 เฟสคือเฟส U และเฟส W ส่วนไฟเฟสที่ 3 (เฟส V) สามารถคำนวณแบบได้จาก $V = -(U+W)$

1.4.3 DC-SIN conversion circuit ข้อมูลที่ได้จากวงจรก่อนหน้าจะเป็นแบบของคลื่นไซน์ที่ไม่ได้เป็นขนาดจริง วงจรนี้ทำหน้าที่ในการแปลงแบบดังกล่าวให้เป็นคลื่นไซน์ที่แท้จริง หลักการแปลงสัญญาณจะอาศัยผลคูณของ Output จากตัวขยายสัญญาณความเร็ว (Speed amplifier) กับสัญญาณของกระแสจากวงจร Sine wave generation

1.4.4 Triangular wave generator circuit เป็นวงจรสร้างกระแสคลื่นรูปฟันเลื่อยที่ใช้สำหรับวงจร Sine wave PWM circuit เพื่อทำการแปลงคลื่นไซน์ไปเป็นพัลส์หลายๆ ลูก

1.4.5 Sine wave PWM circuit เมื่อเราได้กระแสคลื่นรูปไซน์ หากเราขยายขนาดของกระแสแล้วป้อนเข้ามอเตอร์โดยตรงจะเกิดปัญหาเมื่ออุณหภูมิของอุปกรณ์สูงขึ้น วิธีแก้ไขวิธีการหนึ่งคือการแปลงสัญญาณรูปไซน์เป็นพัลส์หลายๆ ลูกที่มีความกว้างแปรผันกับขนาดของคลื่นไซน์ ดังรูป ก.6 คลื่นรูปฟันเลื่อยเป็นคลื่นที่สร้างขึ้นมีความถี่เดียวหรือใกล้เคียงกับความถี่ในการสวิทช์ของทรานซิสเตอร์ ผลของความถี่ดังกล่าวที่มีต่อระบบคือหากความถี่ดังกล่าวมีค่าต่ำจะทำให้การตอบสนองของระบบช้า หากมีค่าสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟมาก



รูปที่ ก.6 แสดงการแปลงสัญญาณจากคลื่นรูปไซน์ไปเป็นพัลส์

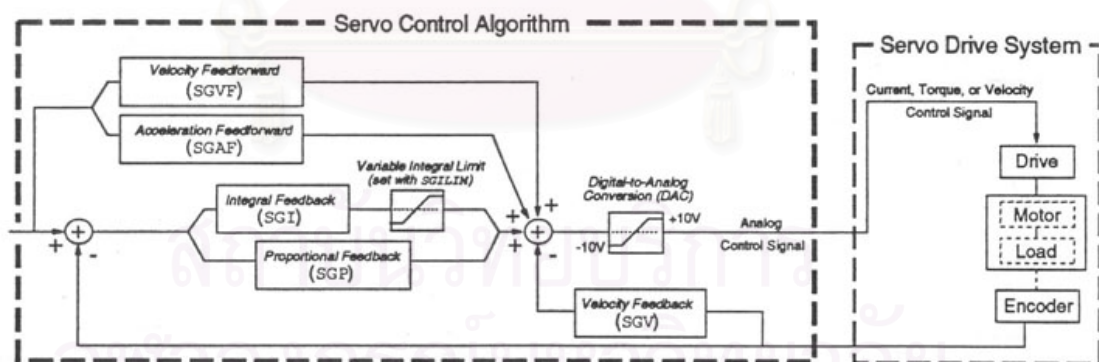
2. อุปกรณ์ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ 2 แกน 6250

เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ขับเคลื่อนระบบที่ให้สัญญาณ Output แบบ Analog ขนาด ± 10 Volt ตัวควบคุม 6250 ใช้ตัวประมวลผล 2 ตัว ตัวที่หนึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ใช้ประมวลผลโปรแกรมการเคลื่อนที่ระดับสูงและอีกตัวเป็นตัวประมวลผลดิจิทัล (Digital signal processing, DSP) สำหรับการควบคุมที่ซับซ้อนและใช้ความเร็วสูง การใช้ตัวประมวลผล 2 ตัว ช่วยให้ปฏิบัติตามคำสั่งได้เร็วขึ้น การโปรแกรม 6250 สามารถทำได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ตสื่อสาร RS232C หรือผ่านทางตัวเชื่อมต่อเฉพาะสำหรับ 6250 แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การเชื่อมต่อโดย RS232C โดยเซตค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กับพอร์ตสื่อสาร RS232C

| Baud Rate | Data Bits | Parity | Stop Bits | Full Duplex | XON/XOFF |
|-----------|-----------|--------|-----------|-------------|----------|
| 9600 | 8 | None | 1 | / | Enabled |

ตัวควบคุม 6250 ใช้วิธีการควบคุมแบบดิจิทัลในการควบคุมตำแหน่งและความเร็ว การควบคุมใช้สมการในการคำนวณสัญญาณควบคุม ในสมการจะประกอบด้วยตัวแปรของคำสั่ง, ตำแหน่งปัจจุบัน, ตำแหน่งในอดีต, และค่าเกณฑ์ต่างๆ สำหรับวิธีการควบคุมที่ใช้คือวิธี PIV&F พิจารณารูปที่ ก.7 แสดงวิธีการควบคุมดังกล่าว ในรูปส่วนที่เป็นการควบคุมจะมีบล็อกที่เป็นพารามิเตอร์ของตัวควบคุมคือ Velocity Feedforward (SGVF), Acceleration Feedforward (SGAF), Integral Feedback (SGI), Proportional Feedback (SGP), Velocity Feedback (SGV) ในรูปแบบบล็อก Drive คือตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ได้กล่าวถึงในตอนที่ผ่านมา

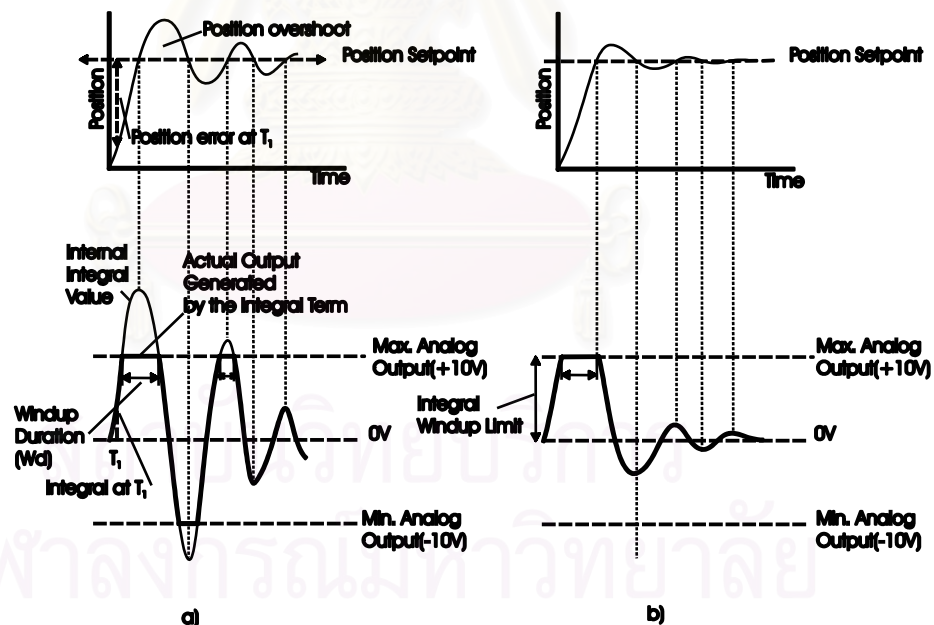


รูปที่ ก.7 แสดงวิธีการควบคุมแบบ PIV&F

2.1 Proportional Feedback Control (SGP) ใช้ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งกับคำสั่งในการคำนวณสัญญาณควบคุม ค่าเกณฑ์ที่ใช้คือ SGP หน้าที่ของการควบคุมแบบนี้อย่างหนึ่งคือการกำจัดสัญญาณรบกวนเพราะเมื่อมีสิ่งรบกวนระบบทำให้เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งขึ้น ระบบก็จะทำการปรับตัวเพื่อลดความผิดพลาดที่เกิด แต่ค่าเกณฑ์ที่ใช้หากปรับให้มีค่ามากเกินไป จะทำให้ระบบเกิดการสั่นและไม่เสถียรได้

2.2 Integral Feedback Control(SGI) สัญญาณควบคุมได้จากการอินทิเกรตค่าความผิดพลาดของตำแหน่งอัตราเร็วของการอินทิเกรตกำหนดได้จากค่า SGI หน้าที่หลักของการควบคุมแบบอินทิกรัลคือการเอาชนะความเสียดทานหรือแรงโน้มถ่วงเพื่อลดความผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Steady State Error) ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลย การทำงานของการควบคุมแบบนี้จะต่างจากแบบ Proportional คือเมื่อมีความผิดพลาดเกิดขึ้นระบบจะเพิ่มสัญญาณควบคุมตามการสะสมของความผิดพลาดเมื่อค่าสัญญาณควบคุมมีค่ามากพอที่จะขับเคลื่อนระบบให้ลดค่าความผิดพลาดลง หลักการดังกล่าวสามารถใช้ได้กับการติดตามเส้นทาง (tracking) ด้วยอัตราเร็วคงที่ได้

แต่การควบคุมแบบอินทิกรัลนี้มีข้อควรระวังคือเมื่อความผิดพลาดสะสมจนเกินความสามารถที่อุปกรณ์ควบคุมสามารถให้ได้สัญญาณควบคุมก็จะมีค่าอิมพัลส์ที่ระดับใดระดับหนึ่ง ซึ่งเราเรียกว่า Integrator windup เมื่อเกิด Integrator windup จะต้องใช้เวลาชั่วขณะกว่าที่ค่าสัญญาณควบคุมจะลดลงมาอยู่ในช่วงที่ตัวควบคุมสามารถทำได้ แต่ในขณะที่เกิดการอิมพัลส์นี้ก็จะเกิด Overshoot และมีการสั่นสะเทือนมาก ดังนั้นเมื่อค่าสัญญาณควบคุมถึงขีดจำกัดแล้วจึงควรหยุดการอินทิเกรตความผิดพลาด จนกระทั่งค่าสัญญาณควบคุมจะกลับเข้าสู่ช่วงที่ทำงานได้ รูปที่ ก.8 แสดงการเกิด Integrator windup และการแก้ไขดังที่ได้กล่าวมา



รูปที่ ก.8 แสดงการเกิด Integrator windup

2.3 Velocity Feedback Control (SGV) สัญญาณควบคุมจะแปรตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง ค่าเกณฑ์ที่ใช้คือ SGV การควบคุมแบบนี้ทำหน้าที่ปรับความผิดพลาดของตำแหน่งก่อนที่มันจะมีค่ามาก มันจะช่วยเพิ่มค่าความหน่วง (Damping) และเพิ่มเสถียรภาพของระบบด้วย ค่าเกณฑ์ SGV เมื่อมีค่ามากจะทำให้ความผิดพลาดของ

การติดตามเส้นทาง (tracking) ด้วยความเร็วคงที่มากเกินไปด้วย นอกจากนี้ยังทำให้ระบบช้าลงด้วย

2.4 Velocity Feedforward Control (SGVF) วัตถุประสงค์ของการควบคุมแบบ Velocity Feedforward Control คือเพื่อลดความผิดพลาดของตำแหน่งเมื่อระบบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจาก แรงเสียดทาน, ภาระแรงบิด, และการควบคุม Velocity feedback control สัญญาณควบคุมจะได้จากผลคูณของความเร็วของคำสั่งกับค่าเกน SGVF ในกรณีที่ใช้งานแบบติดตาม (tracking) การควบคุมแบบนี้มีประโยชน์มากแต่ถ้าเป็นการทำงานแบบ Point-to-point ก็ไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบนี้ การควบคุมแบบนี้จะไม่มีผลกระทบกับเสถียรภาพของระบบเลย

2.5 Acceleration Feedforward Control (SGAF) การควบคุมแบบนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามตำแหน่ง เมื่อมีการเพิ่มหรือลดความเร็ว แต่เช่นเดียวกับการควบคุมแบบ SGVF ในงานที่เป็นแบบ Point-to-point ไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้การควบคุมแบบนี้

คำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้ควบคุม 6250 เป็นคำสั่งภาษา 6000 Series ของบริษัท Compumotor เป็นภาษาระดับสูง ประกอบด้วยรหัสที่เป็น ASCII ดังเช่นในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 แสดงตัวอย่างคำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้ควบคุมตัวควบคุม 6250

| คำสั่ง | คำอธิบาย |
|--------|---------------------------------|
| Dx,x | ใช้กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่ |
| Vx,x | ใช้กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ |
| Ax,x | ใช้กำหนดความเร่งในการเคลื่อนที่ |
| GOxx | คำสั่งให้เริ่มเคลื่อนที่ |

3. อุปกรณ์ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ BLX30

มีลักษณะเช่นเดียวกับตัวควบคุม 6250 กล่าวคือเป็นตัวควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ สามารถติดต่อสื่อสารและโปรแกรมได้โดยคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS232C แตกต่างกันเพียงการใช้คำสั่งที่เป็นภาษา X-code ดังเช่นในตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 แสดงตัวอย่างคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ควบคุมตัวควบคุม BLX30

| คำสั่ง | คำอธิบาย |
|--------|---------------------------------|
| 1Dx | ใช้กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่ |
| 1Vx | ใช้กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ |
| 1Ax | ใช้กำหนดความเร่งในการเคลื่อนที่ |
| G | คำสั่งให้เริ่มเคลื่อนที่ |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การควบคุมระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

ในบทนี้จะกล่าวถึงการควบคุมเครื่องวัดพิกัด 3 มิติโดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจะเริ่มอธิบายเกี่ยวกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและการรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตก่อน แล้วจึงอธิบายโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมเครื่องวัดพิกัดผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตต่อไป

1. ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและการรับส่งข้อมูล

1.1 ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

แต่เดิมนั้นคอมพิวเตอร์ยังไม่เป็นที่แพร่หลายและแต่ละหน่วยงานก็มีคอมพิวเตอร์ใช้ไม่มากนักในเวลาต่อมาเมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์มีราคาถูกลงและมีความสามารถมากขึ้นทำให้มีผู้ใช้คอมพิวเตอร์มากขึ้น และทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องแลกเปลี่ยนข้อมูลและแบ่งปันทรัพยากรกันมากขึ้น (เช่นเครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง เครื่องพิมพ์ ฐานข้อมูล หรือ ซอฟต์แวร์ราคาแพง) การเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ทำให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลและการแบ่งปันทรัพยากรเป็นไปได้สะดวกขึ้น หลักการเบื้องต้นของการสร้างระบบเครือข่ายก็คือการนำระบบสื่อสารข้อมูลมาเชื่อมระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องขึ้นไปเพื่อให้ส่งผ่านข้อมูลให้แกกันและกันได้ พิจารณาการใช้งานระบบสื่อสาร เครือข่ายการสื่อสารโดยทั่วไปนั้นแบ่งเป็น 2 แบบได้แก่ circuit switched และ packet switched

ในแบบ circuit switched นั้นอุปกรณ์เครือข่ายจะทำการต่อวงจรผู้ส่งข้อมูลและผู้รับข้อมูลเป็นวงจรเดียวกันทำให้มีเพียงข้อมูลของทั้งสองฝ่ายเท่านั้นที่ใช้งานสื่อสาร แต่ถ้าวงจรไม่ว่างก็ไม่สามารถสื่อสารได้เลย ตัวอย่างระบบ circuit switched ก็คือการต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องเข้าหากันเพื่อส่งข้อมูลผ่านสายแบบอนุกรมหรือการใช้โมเด็มกับระบบโทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ที่ใช้โมเด็มต้องต่อวงจรเข้าหากันโดยผ่านชุมสายโทรศัพท์ก่อนที่จะสื่อสารกันได้ ระบบ circuit switched นั้นสร้างง่ายแต่ก็ไม่สามารถสร้างเป็นระบบใหญ่และซับซ้อนได้

ส่วนแบบ packet switched นั้นจะผู้ใช้ต่าง ๆ จะแบ่งกันใช้งานวงจรที่มีอยู่จำกัดในการสื่อสารซึ่งในการส่งข้อมูลแบบนี้จะทำการตัดข้อมูลทั้งหมดเป็นชิ้นเล็ก ๆ เรียกว่าเป็น Packet แล้วทยอยส่งไปยังผู้รับ วิธีนี้ทำให้ข้อมูลสามารถใช้งานสื่อสารร่วมกัน ทำให้ประหยัดกว่า

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วเครือข่ายคอมพิวเตอร์เกิดขึ้นเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลและแบ่งปันทรัพยากร ในเครือข่ายหนึ่ง ๆ อาจจะมีอุปกรณ์หลาย ๆ ชนิด มีคอมพิวเตอร์

หลากหลายประเภทเชื่อมต่อกันอยู่เพราะว่าสิ่งที่อยู่บนเครือข่ายมีลักษณะที่ต่างกัน จึงต้องมีการสร้างข้อกำหนดของแนวทาง กรรมวิธีและกฎเกณฑ์ ที่ทำให้คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ สื่อสารกันได้ ข้อกำหนดของแนวทาง กรรมวิธี และกฎเกณฑ์ในการสื่อสารข้อมูลเรียกว่า โพรโตคอล ซึ่งอาจหมายถึงข้อกำหนดทางกายภาพเช่น แรงดันไฟฟ้าที่ใช้บนสายสัญญาณ หรือเป็นข้อกำหนดทางตรรกะ เช่นภาษาหรือรหัสคำสั่งก็ได้

1.2 การรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

อินเทอร์เน็ตเป็นระบบเครือข่ายระดับนานาชาติที่เกิดจากการเชื่อมต่อเครือข่ายระดับประเทศเข้าหากัน โดยการเชื่อมเครือข่ายนั้นเริ่มในเครือข่ายทหารของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นแห่งแรก รูปแบบการส่งข้อมูลของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะใช้ระบบ packet switched เป็นหลัก โพรโตคอลสำหรับอินเทอร์เน็ตนั้นใช้กลุ่มโปรโตคอลที่เรียกว่า TCP/IP ซึ่งไม่ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์สื่อสาร ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทุกแบบสามารถเชื่อมต่อเข้าสู่อินเทอร์เน็ตได้ถ้ามีซอฟต์แวร์ที่รองรับโปรโตคอล TCP/IP

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) เป็นโปรโตคอลที่ทำการส่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ และรับประกันว่าข้อมูลจะถูกส่งไปยังผู้รับครบถ้วน โปรโตคอล TCP ทำงานอยู่บนโปรโตคอล IP ซึ่งจะทำหน้าที่ส่ง packet ให้กับ TCP ซึ่งรายละเอียดของโปรโตคอลจะไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้ [2]

ขั้นตอนในการเรียกติดต่อในอินเทอร์เน็ตนั้น จะใช้โมเดลแม่ข่ายและลูกข่ายเป็นโมเดลการสื่อสารหลักในอินเทอร์เน็ต เราจะเห็นโมเดลนี้ในการทำงานของโปรโตคอลระดับประยุกต์ที่ทำงานบน TCP เกือบทุกโปรโตคอล เช่น HTTP หรือ SMTP ในโมเดลนี้ประกอบด้วย องค์ประกอบ สองส่วนคือ แม่ข่ายและลูกข่าย การทำงานของแม่ข่ายจะเป็นผู้เริ่มก่อนและมีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มเปิดการสื่อสาร โดยจองพอร์ตบนเครื่องแม่ข่าย
2. รอลูกข่ายติดต่อเข้ามาตามพอร์ตที่กำหนด
3. เมื่อมีลูกข่ายติดต่อเข้ามาก็ทำการอ่านคำสั่ง และตอบข้อมูลโต้ตอบกันตามลักษณะของโปรโตคอล
4. เมื่อตัดการติดต่อ กลับไปยังข้อ 2.

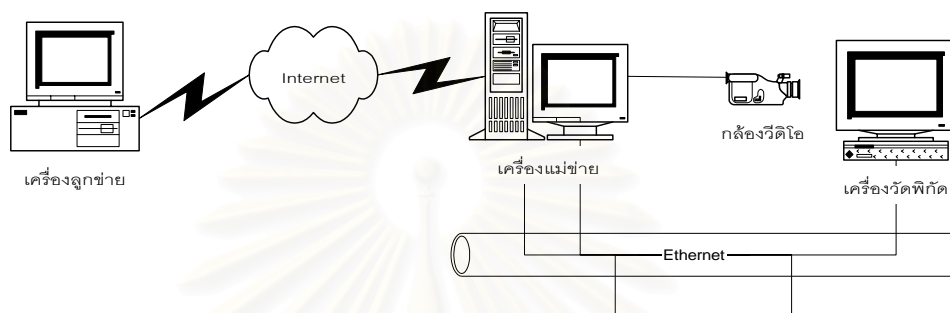
ส่วนการทำงานของลูกข่ายเป็นดังนี้

1. เปิดการสื่อสาร ติดต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายตามพอร์ตที่กำหนด
2. ส่งคำสั่งและตอบข้อมูล โต้ตอบกับแม่ข่ายตามลักษณะของโปรโตคอล

3. เมื่อเสร็จสิ้นการทำงาน ปิดการสื่อสาร

2. โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

ในการทำงานของระบบควบคุมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จะแบ่งส่วนการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ การทำงานบนเครื่องแม่ข่าย (Server) การทำงานบนเครื่องลูกข่าย (Client) และการทำงานบนเครื่องวัดพิกัด (Plant) ตามรูปที่ ข.1



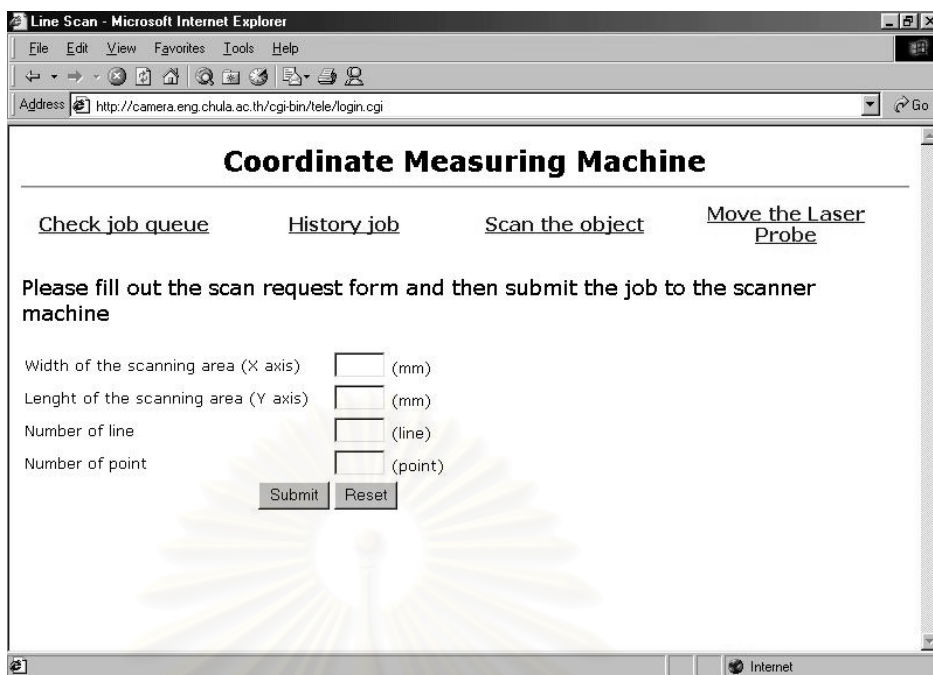
รูปที่ ข.1 แสดงการเชื่อมต่อของระบบควบคุมการทำงานระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

บนเครื่องแม่ข่ายจะมีโปรแกรม Web Server และโปรแกรมรับส่งข้อมูลกับเครื่องวัดพิกัดทำงานอยู่ หลังจากที่เครื่องลูกข่ายติดต่อเข้ามาและมีความประสงค์ที่จะใช้เครื่องวัดพิกัด เครื่องแม่ข่ายจะทำการติดต่อกับเครื่องวัดพิกัดเพื่อส่งคำสั่งต่อไป ซึ่งจะได้อธิบายในรายละเอียดต่อไป

2.1 โปรแกรมและการทำงานบนเครื่องลูกข่าย

เครื่องลูกข่ายจะทำการติดต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายโดยใช้โปรแกรม Web Browser ทั่วๆ ไป เช่น Internet Explorer ติดต่อเข้าไปที่ <http://camera.eng.chula.ac.th/tele> หลังจากนั้นผู้ใช้จะต้อง Login เพื่อให้เครื่องแม่ข่ายทราบว่าผู้ใช้เป็นใครและจะต้องส่งผลไปที่อีเมลล์ของผู้ใช้คนนั้น หลังจากนั้นผู้ใช้จะต้องใส่ข้อมูลต่างๆ เช่น จำนวนจุดที่ต้องการ ขนาดของพื้นผิว ดังรูปที่ ข.2 เพื่อส่งค่าไปยัง Web Server แล้ว Web Server จะแปลงข้อมูลส่งไปยังเครื่องวัดพิกัดต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



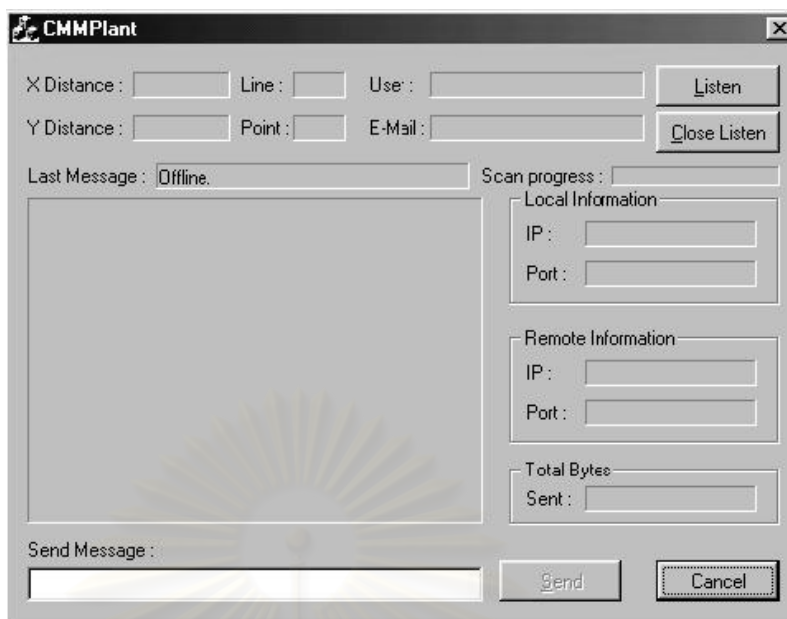
รูปที่ ข.2 แสดง Web page บนเครื่องลูกข่าย

2.2 โปรแกรมและการทำงานบนเครื่องแม่ข่าย

เครื่องแม่ข่ายจะมีโปรแกรม Web Server ทำงานอยู่เพื่อรอเครื่องลูกข่ายติดต่อเข้ามา เครื่องแม่ข่ายจะรับข้อมูลต่างๆ จากเครื่องลูกข่ายแล้วทำการแปลงข้อมูลนั้นส่งไปยังเครื่องวัดพิกัดโดยโปรแกรม CMMServer ซึ่งใช้ในการติดต่อกับเครื่องวัดพิกัด โดยเฉพาะ โปรแกรม CMMServer จะมีหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของเครื่องวัดพิกัดรวมทั้งส่งคำสั่งต่างๆ จากเครื่องแม่ข่ายไปยังเครื่องวัดพิกัดด้วย โดยจะทำงานร่วมกับโปรแกรม CMMPlant บนเครื่องวัดพิกัด และติดต่อกันด้วยโปรโตคอล TCP/IP

2.3 โปรแกรมและการทำงานบนเครื่องวัดพิกัด (Plant)

บนเครื่องวัดพิกัดจะมีโปรแกรม CMMPlant ทำงานอยู่ร่วมกับโปรแกรม CMMServer บนเครื่องแม่ข่าย หลังจากที่โปรแกรม CMMServer ส่งข้อมูลมาให้โปรแกรม CMMPlant แล้ว โปรแกรม CMMPlant จะนำคำสั่งไปปฏิบัติ โดยถ้าเป็นคำสั่ง Scan เครื่องวัดพิกัดก็จะทำการวัดพิกัดตามข้อมูลที่ผู้ใช้ส่งมา หรืออาจเป็นคำสั่ง move เครื่องวัดพิกัดก็จะเคลื่อนแกนตามที่ผู้ใช้ต้องการ หลังจากเครื่องวัดพิกัดทำงานเสร็จโปรแกรม CMMPlant ก็จะส่งผลไปทางอีเมลล์ของผู้ใช้ และส่งสถานะพร้อมทำงานไปยังเครื่องแม่ข่ายด้วย รูปที่ ข.3 แสดงโปรแกรม CMMPlant บนเครื่องวัดพิกัด



รูปที่ ข.3 โปรแกรม CMMPlant บนเครื่องวัดพิกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนพศักดิ์ ณรงค์ฤกษ์นาวิน เกิดเมื่อวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2518 ที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมที่โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2535 ระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย