

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายงานวิจัย

เลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ

3D Laser Scanner

มกุฎกิติ จานทอง

นิติ วิทยาวิโรจน์

วรพันธ์ สาระสุรีย์ภรณ์

ส่วนที่ 1 รายละเอียดโครงการ

1. ชื่อโครงการวิจัย เลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ
(3D Laser Scanner)

2. หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานวิจัย และสถานที่ตั้งพร้อมทั้งชื่อหน่วยงาน และลักษณะของการร่วมงานวิจัยกับหน่วยงานอื่น (ถ้ามี)

หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร. 0-2549-3430-5 โทรสาร 0-2549-3432

3. คณะผู้วิจัย บทบาทของนักวิจัยแต่ละคนในการทำวิจัย และสัดส่วนที่ทำการวิจัย (%)

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	บทบาทนักวิจัย	สัดส่วนการทำวิจัย
1	นายมนุศักดิ์ จานทอง Mr. ManusakJanthong	หัวหน้าโครงการและ ผู้วิจัยหลัก	50%
2	นายนิติ วิทยาวิโรจน์ Mr.NitiSripanom	ผู้ร่วมวิจัย	30%
3	นายวรพันธ์ สาระสุรีย์ภรณ์ Mr.WaraphanSarasureeporn	ผู้ร่วมวิจัย	20%

4. ประเภทของการวิจัย การพัฒนาทดลอง

5. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

ส่วนที่ 2 เนื้อหาโครงการ

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการออกแบบสร้างระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติและขั้นตอนการสแกนวัตถุด้วยระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ที่ได้ออกแบบได้นำเอาหัวยิงเลเซอร์แบบเส้นเดี่ยวและให้แสงสีแดงมาเป็นตัวกำเนิดแสง เพื่อที่จะยิงเส้นเลเซอร์นี้ลงบนวัตถุที่ต้องการสแกน โดยที่วัตถุที่ถูกสแกนนี้จะต้องเป็นวัตถุทึบแสงและวางบนแผ่นเพลทของโตะหมุม ซึ่งโตะหมุมนี้ได้ถูกออกแบบสร้างโดยใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวต้นกำลัง และใช้อัลกอริทึมในการควบคุมตำแหน่งการหมุนของแผ่นเพลทบนโตะหมุมคือ พีไอดี สำหรับการเก็บข้อมูลการสแกนได้ใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาช่วย และได้พัฒนาโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEWร่วมกับ MATLAB ใช้ในการสแกน การประมวลผลภาพและคำนวณตำแหน่งเส้นเลเซอร์บนผิววัตถุที่ได้จากการข้อมูลภาพจากกล้อง

การทดลองสแกนได้ใช้วัตถุสองประเภทคือ 1. วัตถุที่สมมาตร ได้แก่ กระจ่างสี่สเปร์ย์และขวดนมยูเอชที 2. วัตถุที่ไม่สมมาตร ได้แก่ เมาส์คอมพิวเตอร์และขวดน้ำยาคำความสะอาดพื้น จากผลการทดลองพบว่าเลเซอร์สแกนเนอร์ที่ได้ออกแบบนี้สามารถใช้กับวัตถุที่สมมาตรได้ดี โดยที่ให้รูปทรงใกล้เคียงของจริงแต่ขนาดจะโตกว่า ส่วนวัตถุที่ไม่สมมาตรเลเซอร์สแกนเนอร์ให้ผลไม่ค่อยดี โดยรูปทรงที่ได้ผิดเพี้ยนไปจากของจริงค่อนข้างมากรวมไปถึงขนาดด้วย

Abstract

This research was to study a design of 3D laser scanner and procedure of scanning a object. In the designed system of 3D laser scanner, a red line laser probe was used to be a light source for drawing a line on the desired object, which is opaque and placed on a turn plate. And the turn plate on a table was rotated by a DC servo motor and PID controller was designed to control the angle position of the turn plate. To capture the scanning data and calculate the position of a line on the object in the world coordinate system, a digital camera was used to be a sensor and a program with LabVIEW and MATLAB were implemented.

The symmetric and asymmetric objects were used for obtaining the performance of 3D laser scanner. The experimental results were found that it worked well with the symmetric object and for the asymmetric object, it had poor performance.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) อย่างสูงที่ได้มอบทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่อำนวยความสะดวกพร้อมทั้งสนับสนุนในด้านต่างๆ เพื่อดำเนินการโครงการวิจัย และท้ายที่สุดขอกล่าวคำขอบพระคุณไปยังคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกๆ ท่านที่ได้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ทุกๆ ด้านแก่คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	iii
Abstract.....	iv
กิตติกรรมประกาศ.....	v
สารบัญ.....	vi
สารบัญรูปภาพ.....	vii
สารบัญตาราง.....	x
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
3. โครงสร้างของระบบ.....	27
4. การทดลองและผลลัพธ์.....	41
5. บทสรุป.....	61
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก ก โปรแกรมที่พัฒนา.....	65
ภาคผนวก ข โค้ด M-File ในการคำนวณตำแหน่ง.....	69

สารบัญรูปภาพ

1.1	เครื่องสแกนเท้า (foot scanner).....	2
2.1	real-time 3D structured light system.....	4
2.2	real-time 3D structured light system.....	5
2.3	experimental setup of the laser-triangulation system without PC.....	5
2.4	laser triangulation system hardware.....	6
2.5	เครื่องสแกนเนอร์ของ [11]	6
2.6	geometry of triangulation technique.....	7
2.7	เครื่อง CMM และ หัว probe.....	7
2.8	ตัวอย่างของสแกนเนอร์แบบไม่สัมผัส.....	8
2.9	diffused triangulation sensor projects a beam of light onto a target, and the reflected light is captured by a detector.....	9
2.10	CCD และ CMOS เซ็นเซอร์.....	10
2.11	โครงสร้างของ CMOS เซ็นเซอร์.....	11
2.12	โครงสร้างของ CCD เซ็นเซอร์.....	11
3.1	กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม.....	28
3.2	มอเตอร์ไดรฟ์.....	28
3.3	ดีซีมอเตอร์พร้อมเอ็นโคเดอร์และหัวเกียร์.....	29
3.4	หัวเลเซอร์แบบเส้นตรง (line laser).....	30
3.5	หัวเลเซอร์เมื่อติดตั้งพร้อมจะใช้งาน.....	30

3.6	โต๊ะหมุนและอุปกรณ์ต่างๆ ในการสแกน.....	31
3.7	อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม.....	31
3.8	ตำแหน่งของตู้ควบคุม.....	32
3.9	การวางตำแหน่งของกล้องและหัวยิงเลเซอร์.....	32
3.10	แผนผังการควบคุมการหมุนของแผ่นแพลท.....	33
3.11	แผนภาพลำดับการทำงานของโปรแกรม.....	34
3.12	การแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาวกับดำ.....	35
3.13	แผนผังการทำไบนารีไรซ์.....	36
3.14	แผนภาพการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมระยะและมุมบนโต๊ะ.....	37
3.15	ระบบพิกัดในการคำนวณหาตำแหน่งของเส้นเลเซอร์บนวัตถุ.....	38
3.16	ภาพถ่ายด้านบนของระบบพิกัด.....	39
3.17	ระบบพิกัดบนโต๊ะหมุน.....	40
4.1	แผนผังการควบคุมการหมุนของมอเตอร์.....	42
4.2	ผลตอบสนองของมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทแบบพลัส.....	43
4.3	ผลค่าความผิดพลาดในการควบคุมมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทแบบพลัส.....	43
4.4	ผลตอบสนองของมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทแบบชายน์.....	44
4.5	ผลค่าความผิดพลาดในการควบคุมมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทแบบชายน์.....	44
4.6	วัตถุที่ใช้ทดลองการปรับค่า threshold.....	45
4.7	ผลการทดลองการปรับค่า threshold.....	46
4.8	ผลการทดลองการปรับค่า threshold (ต่อ).....	47
4.9	ผลการทดลองการปรับค่า threshold (ต่อ).....	48
4.10	ผลการทดลองการปรับค่า threshold (ต่อ).....	49
4.11	การทำงานขณะเก็บข้อมูลภาพกระป๋องสเปรย์.....	50
4.12	กระป๋องสเปรย์ก่อนและหลังแปลงเป็นภาพขาวกับเทา.....	50
4.13	จำลองกระป๋องสเปรย์ที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ.....	51
4.14	เปรียบเทียบระหว่างกระป๋องสเปรย์จริงกับแบบจำลองกระป๋องสเปรย์ ที่ได้จากการสแกนในมุมมองด้านข้าง.....	52
4.15	จำลองกระป๋องสเปรย์ที่ได้จากการสแกนในมุมมองด้านบน.....	53
4.16	การทำงานขณะเก็บข้อมูลภาพขวดนมยูเอชที.....	53
4.17	ขวดนมยูเอชทีก่อนและหลังแปลงเป็นภาพขาวกับเทา.....	54
4.18	เปรียบเทียบระหว่างกระป๋องสเปรย์จริงกับแบบจำลองขวดนมยูเอชที ที่ได้จากการสแกนในมุมมองด้านข้าง.....	54
4.19	จำลองขวดนมยูเอชทีที่ได้จากการสแกนในมุมมองด้านบน.....	55
4.20	จำลองขวดนมยูเอชทีที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ.....	55

4.21	การทำงานขณะเก็บข้อมูลภาพเมสส์คอมพิวเตอร์.....	56
4.22	กระป๋องสเปรย์ก่อนและหลังแปลงเป็นภาพขาวกับเทา.....	57
4.23	แบบจำลองเมสส์ที่ได้จากการสแกนในมุมมองด้านข้าง.....	57
4.24	เปรียบเทียบระหว่างเมสส์จริงกับแบบจำลองเมสส์.....	57
4.25	แบบจำลองเมสส์แบบ 3 มิติที่ได้จากการสแกนในมุมมองต่างๆ.....	58
4.26	การทำงานขณะเก็บข้อมูลภาพขวดน้ำยาทำความสะอาดพื้น.....	59
4.27	ขวดน้ำยาทำความสะอาดพื้นก่อนและหลังแปลงเป็นภาพขาวกับเทา.....	59
4.28	เปรียบเทียบระหว่างขวดน้ำยาทำความสะอาดพื้นจริงกับแบบจำลอง.....	59
4.29	แบบจำลองขวดน้ำยาทำความสะอาดพื้นแบบ 3 มิติที่ได้จากการสแกน ในมุมมองต่างๆ.....	60

สารบัญตาราง

4.1ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณจุดให้อยู่ในระบบพิกัดของโลก.....	49
--	----

บทที่ 1

บทนำ

สแกนเนอร์ (scanner) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและที่พบเห็นกันมากที่สุดคือเครื่องสแกนเนอร์ที่ใช้กันตามที่ทำงานหรือที่บ้าน แต่นั่นเป็นเพียงหนึ่งในหลากหลายชนิดของสแกนเนอร์ ซึ่งสแกนเนอร์ก็มีใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม อาทิเช่น เครื่องซีเอ็มเอ็ม (CMM, coordinate measuring machine) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดของวัตถุและยังสามารถใช้ในการเก็บข้อมูลตำแหน่งของจุดที่อยู่บนผิวของวัตถุ เพื่อใช้ในการสร้างชิ้นวัตถุในคอมพิวเตอร์เครื่องสแกนเท้า (foot scanner) เป็นสแกนเนอร์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรมรองเท้า ซึ่งใช้ในการสแกนเท้าของผู้ที่ต้องการสั่งทำรองเท้าให้เข้ารูปทรงหรือพอดีกับเท้า จะเห็นได้ว่าสแกนเนอร์มีคุณสมบัติและความหลากหลายในเรื่องของการนำไปใช้งาน

ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของเทคโนโลยีสแกนเนอร์แบบไม่สัมผัส อย่างเช่น เครื่องสแกนเท้า ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาขึ้นใช้เองภายในประเทศได้ และยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิศวกรรมได้เป็นอย่างดี อาทิเช่นงานวิศวกรรมย้อนกลับ (reverse engineering) สามารถใช้สแกนเนอร์ในการสแกนวัตถุหรือรูปทรงต่างๆ แล้วนำข้อมูลที่ได้อาจจากการสแกนไปสร้างแบบจำลองวัตถุนั้นขึ้นมาใหม่บนคอมพิวเตอร์ จากนั้นก็นำแบบจำลองนี้ไปผลิตชิ้นวัตถุนั้นต่อไปได้ ในแบบนำเสนอโครงงานวิจัยฉบับนี้คณะผู้วิจัยนำเสนอ

การวิจัยถึงการออกแบบสร้างเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติโดยใช้เลเซอร์และกล้องดิจิตอลเป็นอุปกรณ์ในการสแกน



รูปที่ 1.1 เครื่องสแกนเท้า (foot scanner) [8]

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ
2. เพื่อศึกษาขั้นตอนการสแกนวัตถุด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ
3. เพื่อศึกษาการใช้กล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมและกระบวนการทางภาพที่ใช้ในการงานวัด

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ใช้เลเซอร์เป็นตัวฉายแสงเพื่อวาดโปรไฟล์บนตัวของวัตถุและใช้ดิจิตอลอุตสาหกรรมเป็นตัวเก็บข้อมูลของเส้นโปรไฟล์
2. ข้อมูลของเส้นโปรไฟล์บนตัวของวัตถุจะถูกประมวลผลออกมาเป็นค่าตำแหน่ง 3 มิติของจุดบนเส้นโปรไฟล์
3. วัตถุที่ถูกสแกนมีขนาดไม่เกิน 0.3 m. x 0.3 m. x 0.3 m. (กxยxส)
4. สามารถสแกนเฉพาะวัตถุทึบแสง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการทำงานของระบบที่ออกแบบสามารถถูกนำไปใช้เป็นฐานความรู้ เพื่อที่จะช่วยในการออกแบบและสร้างเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต พร้อมกันนั้นยังช่วยพัฒนาศักยภาพเทคโนโลยีในการผลิตเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมของประเทศ ซึ่งผู้ประกอบการผลิตเครื่องมือและเครื่องจักรสามารถนำไปประยุกต์หรือพัฒนาต่อยอดในการผลิตเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติได้
2. รู้ถึงระบบ โครงสร้าง ขั้นตอนการออกแบบและการทำงานของเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติซึ่งสามารถนำมาถ่ายทอดความรู้ให้แก่นิสิต นักศึกษา และบุคคลทั่วไปที่สนใจได้

3. พัฒนาทักษะในการออกแบบตัวควบคุมมอเตอร์และการเชื่อมโยงอุปกรณ์ในการควบคุม
4. เป็นชุดทดลองประกอบการสอนในวิชาการควบคุมอัตโนมัติ ทำให้นักศึกษาได้รู้หลักการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
4. ศูนย์พัฒนาบุคลากรเพื่ออุตสาหกรรมและปิโตรเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
5. หน่วยงานของรัฐและเอกชนที่มีความสนใจ
6. นักวิจัย นักประดิษฐ์ ของสถาบันการศึกษาต่าง ๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

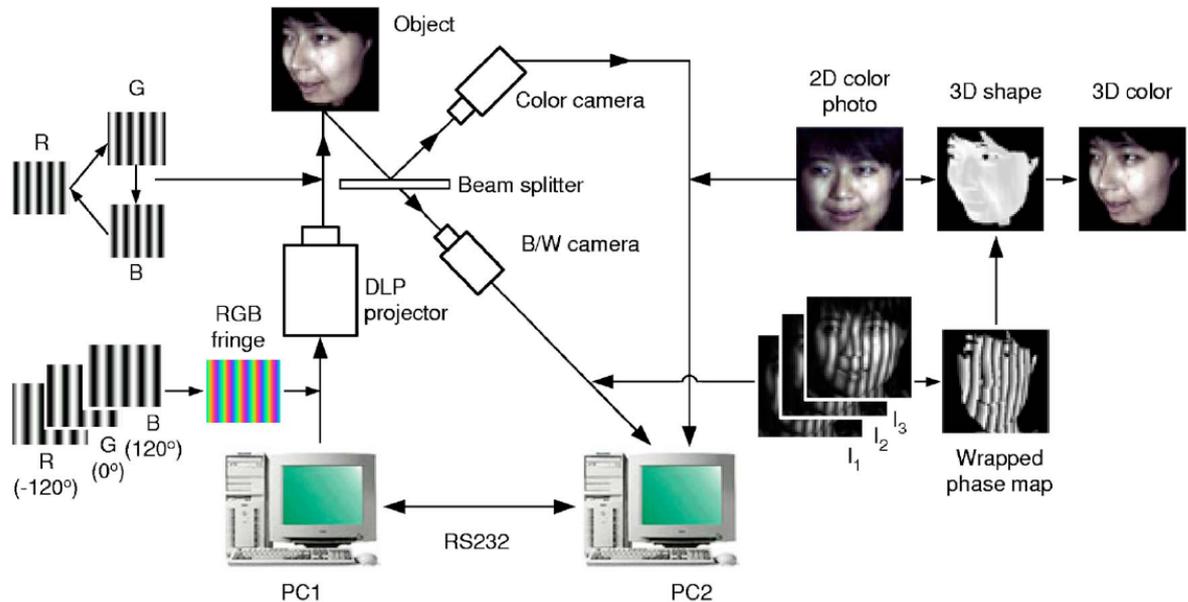
ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการสแกน คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำวิจัย โดยรวบรวมและเรียบเรียงสาระสำคัญไว้ดังต่อไปนี้

[4] ได้ออกแบบและสร้าง real-time 3D structured light system ระบบนี้เป็นการสร้างแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์แบบเวลาจริง ซึ่งใช้กล้องดิจิทัลที่มีความเร็วในการเก็บข้อมูลรูปที่ 2.1 20fps และขนาด 640x480 pixels และใช้เครื่องฉายแสงฉายfringe patternลงบนวัตถุที่ต้องการ



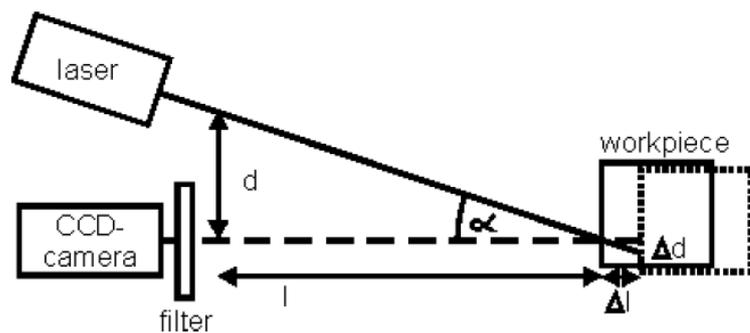
รูปที่ 2.1 real-time 3D structured light system[4]

[5] ได้ออกแบบระบบ real-time 3D shape measurement system ซึ่งใช้ PC1 (รูปที่ 2.2) สร้าง fringe pattern สื่อกไปฉายด้วยโปรเจคเตอร์ลงบนวัตถุและใช้กล้องความเร็วสูงในการเก็บข้อมูลรูปภาพ 2 ตัว ตัวแรกเก็บข้อมูลภาพสี ส่วนอีกตัวเก็บข้อมูลภาพขาวดำ และ sinusoidal phase-shifting method ซึ่งเป็นทางกระบวนการทางภาพถูกนำมาช่วยสร้างโมเดล 3 มิติบน PC2



รูปที่ 2.2 real-time 3D structured light system [5]

[9] ได้พัฒนาระบบ laser-triangulation system ที่สามารถใช้ในสภาวะสิ่งแวดลอมที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส โดยการใช้เลเซอร์และกล้อง CCD และฟิลเตอร์เข้ามาช่วย



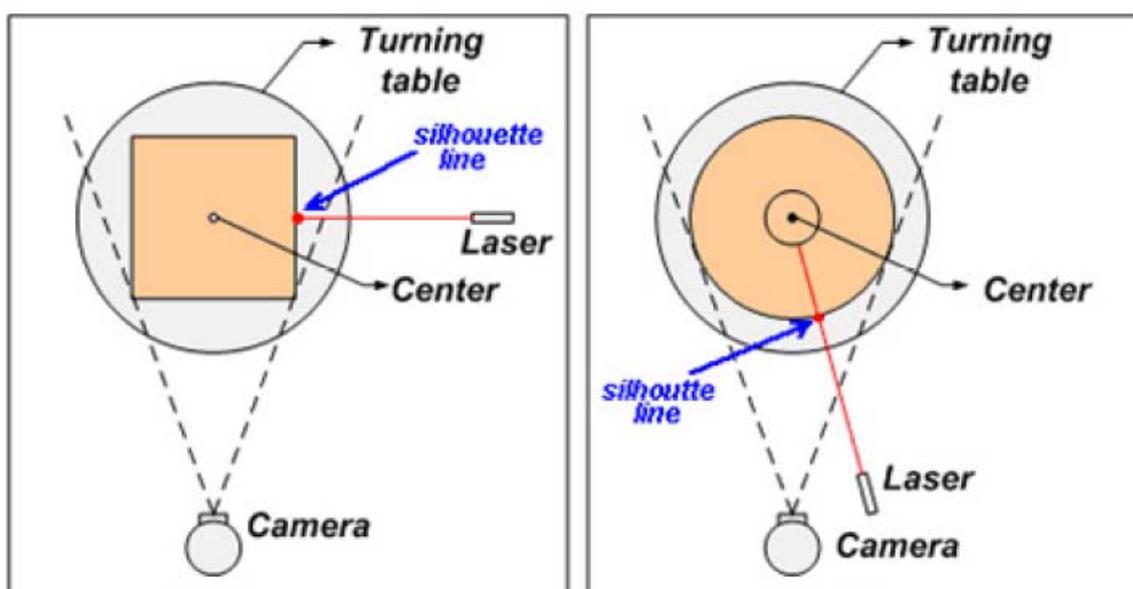
รูปที่ 2.3 experimental setup of the laser-triangulation system without PC [9]

[10] ได้ใช้ระบบเลเซอร์ triangulation แบบอย่างง่ายในการสร้างภาพ 2 มิติ และ 3 มิติ เพื่อที่จะตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่อยู่ระหว่างเส้นเขตแดนของประเทศ โดยที่ระบบนี้ถูกพัฒนาบนซอฟต์แวร์ MATLAB และ [11] ได้ใช้ระบบที่คล้ายคลึงกันกับ [10] ในการสแกนวัตถุที่ถูกลำแสง

แทนหมุน และใช้หลักการtriangulation ในการแปลงจุดในข้อมูลรูปภาพให้เป็นข้อมูลจุดบนระบบพิกัดฉากของโลก

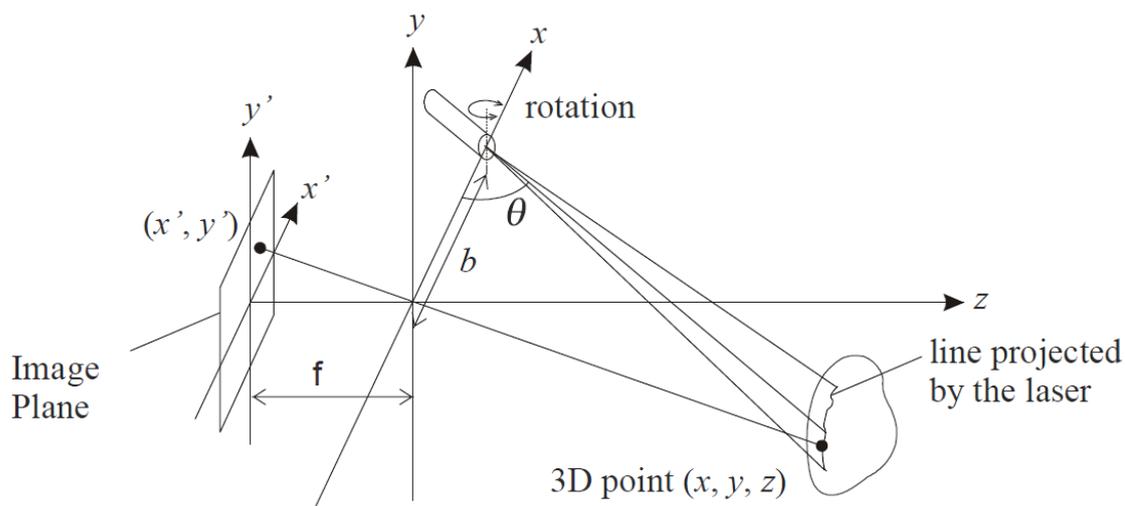


รูปที่ 2.4 laser triangulation system hardware [10]



รูปที่ 2.5 เครื่องสแกนเนอร์ของ [11]

Franca [17] และคณะ ได้นำเสนอระบบสแกน 3 มิติ ซึ่งใช้หลักการของ laser triangulation และได้พัฒนามาใช้ในลักษณะรูปแบบที่มี field of view เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นได้ทำให้ระบบสแกนมีความถูกต้องมากขึ้นและระยะเวลาการทำงานกว้างมากขึ้น



รูปที่ 2.6 geometry of triangulation technique [17]

2.2 สแกนเนอร์ 3 มิติ (3D scanner)

สแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดหรือเก็บข้อมูลจุดบนผิวของสิ่งของต่างๆ โดยข้อมูลจุดเหล่านี้สามารถนำกลับมาสร้างเป็นโมเดลด้วยซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ ซึ่งสแกนเนอร์ 3 มิติ สามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. แบบสัมผัส (contact)

สแกนเนอร์แบบสัมผัสจะมีหัว probe ไปสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการจะวัด ตัวอย่างของสแกนเนอร์แบบนี้ที่พบบ่อยในวงการอุตสาหกรรมก็คือ เครื่องซีเอ็มเอ็ม



รูปที่ 2.7 เครื่อง CMM และ หัว probe [4]

2. แบบไม่สัมผัส (non-contact)

สแกนเนอร์แบบไม่สัมผัสใช้เทคนิคการสแกนที่ไม่มีการสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการ ซึ่งสแกนเนอร์ชนิดนี้ยังสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

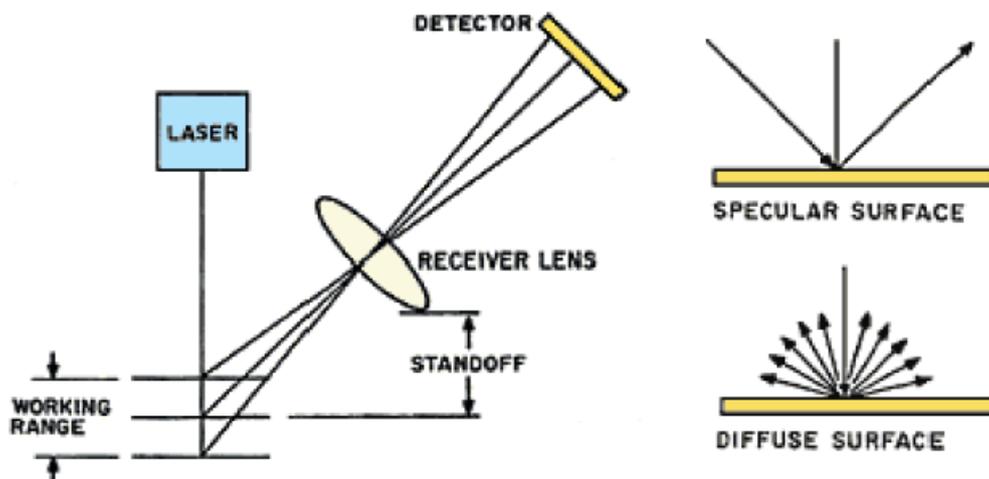
1. active scanner จะใช้เทคนิคของการฉายแสงหรือรังสีลงบนวัตถุที่ต้องการสแกน จากนั้นใช้อุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อนของแสงที่ฉายลงบนวัตถุ เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้อุปกรณ์ตรวจจับมาประมวลผลหาตำแหน่งของจุดต่างๆบนวัตถุ
2. passive scanner จะไม่ได้ใช้เทคนิคของการฉายแสงหรือรังสีลงบนวัตถุที่ต้องการสแกน แต่จะใช้การตรวจจับรังสีรอบๆ ที่สะท้อนไปยังวัตถุ ซึ่งสแกนเนอร์ประเภทนี้ส่วนใหญ่จะตรวจจับแสงที่มีช่วงความถี่ที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นได้ อาทิเช่น stereoscopic, photometric และ silhouette เป็นต้น



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างของสแกนเนอร์แบบไม่สัมผัส [6] [7]

2.3 Laser triangulation system

ระบบ laser triangulation ประกอบไปด้วย หัวฉายแสงเลเซอร์ (laser) เลนส์ (lens) และตัวตรวจจับแสงสะท้อน (detector) โดยที่หัวเลเซอร์จะฉายแสงลงบนวัตถุ จากนั้นเลนส์จะโปรเจกต์รูปภาพของแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุลงบนตัวตรวจจับแสงสะท้อน ส่วนในการคำนวณหาตำแหน่งของเส้นแสงที่สะท้อนลงบนตัวตรวจจับแสงสะท้อนโดยใช้มุมระหว่างหัวเลเซอร์กับตัวตรวจจับแสงสะท้อนมาช่วยในการคำนวณโดยใช้หลักการ triangulation



รูปที่ 2.9A diffused triangulation sensor projects a beam of light onto a target, and the reflected light is captured by a detector.

สิ่งที่จำเป็นของระบบ

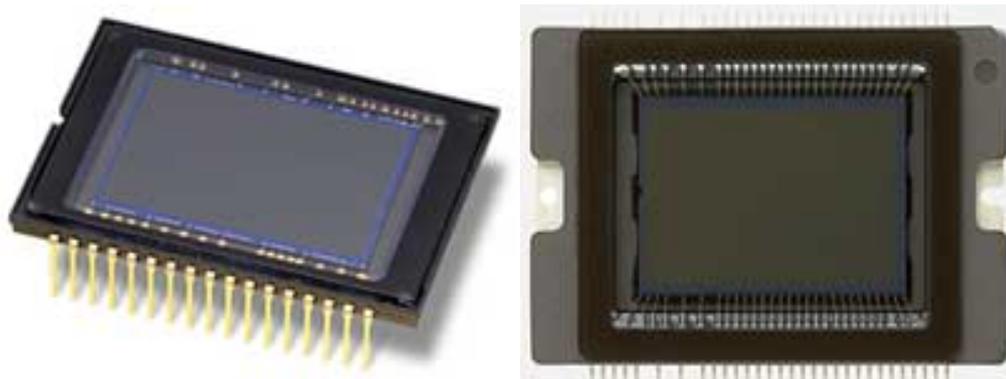
1. spot size คือขนาดของลำแสงที่ถูกฉายโดยเลเซอร์บนลงผิวของวัตถุ โดยทั่วไปแล้ว spot size ควรจะมีขนาดเล็ก ซึ่งควรจะมีขนาด $< 1/10$ เท่าของขนาดของคุณลักษณะที่จะวัด
2. standoff distance คือระยะทางระหว่างเลนส์กับวัตถุที่ต้องการวัด โดยทั่วไปก็จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.4m.
3. beam angle เป็นมุมระหว่างลำแสงที่ถูกฉายโดยเลเซอร์กับผิวของวัตถุ มุมนี้ถ้าเป็นไปได้ควรมีค่า 90 องศาหรือเข้าใกล้ 90 องศามากที่สุด
4. ชนิดของ detector ส่วนใหญ่แล้วจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ 1) position-sensing detectors (PSDs) 2) charged-coupled devices (CCDs)

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับกล้อง [13]

กล้องดิจิทัล (digital camera) คือ อุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพผ่านเลนส์และเก็บข้อมูลที่ได้ในรูปแบบดิจิทัล การทำงานของกล้องดิจิทัล เมื่อแสงส่องกระทบวัตถุและสะท้อนมายังกล้อง เลนส์ของกล้องจะรวมแสงและส่งผ่านไปยังเซนเซอร์รับภาพซึ่งในตัวกล้องจะประกอบด้วยอุปกรณ์โฟโต้เซนเซอร์จำนวนนับล้านตัวโดยสามารถจะจับข้อมูลภาพที่เป็นจุดแสง ข้อมูลของแสงจะถูกอ่านทีละแถว ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณที่ได้มาจากแสงหรือสัญญาณความสว่าง ซึ่งสัญญาณความสว่างนี้ก็คือแสงสีขาวนั่นเอง สัญญาณภาพนั้นเกิดจากแสงสีขาวสะท้อนกับวัตถุเกิดเป็นภาพ สัญญาณความสว่างก็คือภาพขาวดำ เนื่องจากภาพขาวดำนั้นจะประกอบจากจุดสีต่างๆ ที่มีความสว่างมากน้อยต่างกัน จุดสีดำคือจุดที่มีความสว่างน้อย จุดสีขาวคือจุดที่มีความ

สว่างมาก เมื่อนำจุดที่ได้กล่าวนั้นมาต่อกันแล้วก็จะได้ภาพขาวดำออกมา สำหรับภาพสีนั้นต้องเข้าใจกับหลักการผสมสีก่อน การผสมสีนั้นจะมีทั้งการผสมสีทางลบและการผสมสีทางบวก การผสมสีทางลบ จะใช้ในการสร้างภาพสีที่ต้องใช้แสงสะท้อนตกระทบจึงจะเห็นเป็นสีที่เกิดจากแม่สีสามสีประกอบกัน คือ สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน สีทั้งสามสีนี้เมื่อผสมกันหมดจะได้สีดำและเมื่อลดความเข้มของสีลงก็จะเกิดเฉดสีมากมาย การผสมสีทางบวกนั้นไม่ต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงจากภายนอก เนื่องจากสีต่างๆ นั้นจะต้องเกิดจากแสง โดยมีแม่สีหลักคือ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน แสงทั้งสามนั้นหากผสมกันแล้วจะได้สีขาว หากแสงนี้มีค่าความสว่างต่ำสุดก็จะได้สีดำ ซึ่งเมื่อผสมกันในสัดส่วนความสว่างที่ต่างกันก็จะเกิดเฉดสีต่างๆ มากมายเช่นกัน การผสมสีและการหาค่าสีจากที่ได้กล่าวมาจากการผสมสีทางบวก เมื่อผสมกันแล้วจะได้แสงสีขาวออกมาซึ่งก็คือสัญญาณความสว่าง ในการใช้งานกล้องจะมีลักษณะการทำงานที่ให้ข้อมูลออกมาในหลายรูปแบบ เช่น แบบ RGB นั่นคือให้สัญญาณข้อมูลในรูปค่าความสว่างของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน แบบ YUV จะให้สัญญาณข้อมูลในรูปค่าความสว่างของแสงสีขาว ข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีน้ำเงิน ลบกับแสงสีขาวและข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีแดงลบกับแสงสีขาว แบบ YCbCr โดยจะให้สัญญาณข้อมูลในรูปค่าความสว่างของแสงสีขาว ข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีน้ำเงิน ข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีแดงเป็นต้น

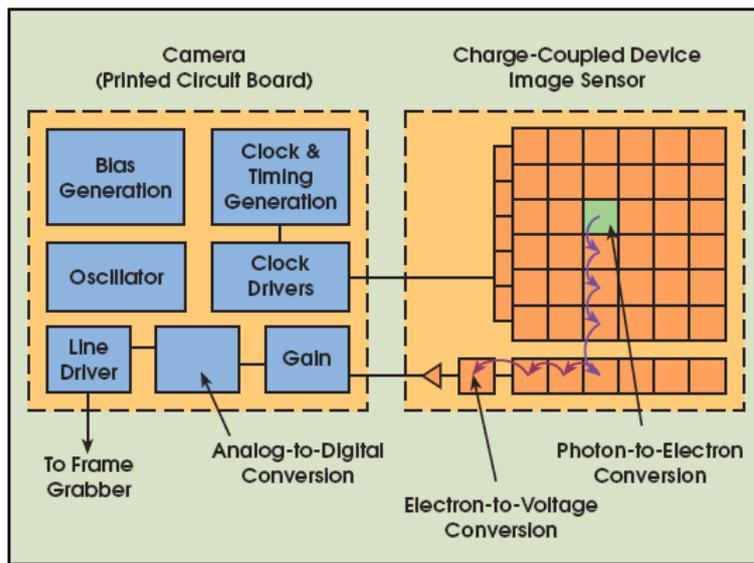
อุปกรณ์รับสัญญาณภาพแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ แบบอนาล็อก และแบบดิจิทัล ซึ่งทั้งสองชนิดนั้นมีหลักการทำงานมาจากโฟโตเซนเซอร์เช่นเดียวกัน แต่ต่างกันตรงที่ในระบบดิจิทัลจะต้องนำสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นอนาล็อกไปทำการแปลงสัญญาณเป็นข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลเสียก่อนจึงจะนำไปใช้งานได้ ซึ่งโฟโตเซนเซอร์ที่นำมาประกอบเป็นตัวกล้องนั้นจะแบ่งออกเป็นสองประเภทหลักๆ ประเภทแรกคือ CMOS (complementary metal oxide semiconductor) และประเภทที่สองคือ CCD (charge – couply device)



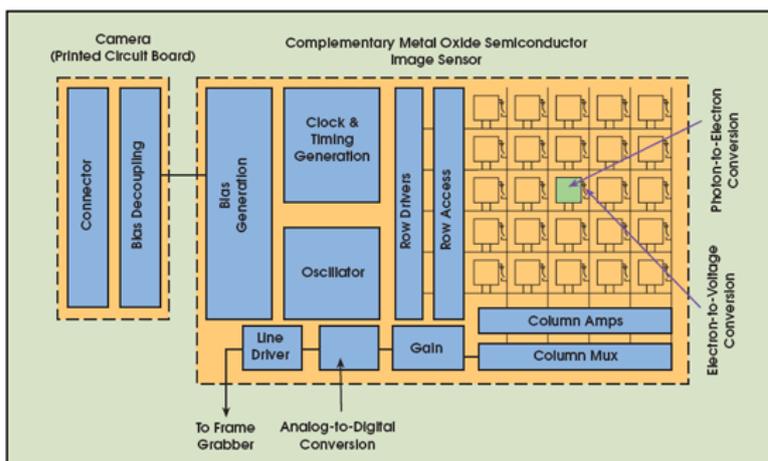
รูปที่ 2.10 CCD และ CMOS เซ็นเซอร์ [13]

CMOS และ CCD มีหลักการโดยอาศัยโฟโตไซต์(photo site) ให้เปลี่ยนแสงที่ตกกระทบให้กลายเป็นอิเล็กตรอนเพื่อบ่งบอกค่าของแสงสีนั้นๆ ภายในตัวเซนเซอร์ ทั้งสองชนิดนี้ประกอบไป

ด้วยโฟโตไดโอดขนาดเล็กๆ จำนวนมากเพื่อรับแสง ความแตกต่างระหว่าง CMOS และ CCD คือขั้นตอนของการคำนวณค่าของแสงนั้นๆ จากแต่ละโฟโตไดโอด CCD จะประมวลค่านั้นๆ โดยตรงในแต่ละโฟโตไดโอด จากนั้นจะแปลงค่าอนาล็อกของแสงที่ตกกระทบให้เป็นค่าดิจิทัลกระบวนการทั้งหมดนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วน CMOS ถึงแม้ว่าแต่ละโฟโตไดโอดจะสามารถประมวลค่าได้โดยตรงเช่นเดียวกัน แต่กระบวนการในการส่งผ่านข้อมูลจะต้องอาศัยสายขนาดเล็กมากๆ เพื่อที่จะส่งข้อมูลทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลมากกว่าแบบ CCD



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ CMOS เซนเซอร์ [13]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของ CCD เซนเซอร์ [13]

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของรูปที่ได้จากกล้องดิจิทัล

ก. resolution คือ ส่วนที่เล็กที่สุดของวัตถุที่กล้องสามารถแยกได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น ส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

- field of view (FOV) คือ บริเวณทั้งหมดที่กล้องสามารถถ่ายภาพได้
- working distance (WD) คือ ระยะห่างระหว่างปลายสุดของเลนส์กับพื้นที่ผิว

ด้านบนของวัตถุ

- sensor size คือ ขนาดของเซนเซอร์ของกล้อง
- pixel (Pix) คือ จำนวนจุดของตัวรับแสงที่ประกอบขึ้นเป็นภาพ
- pixel resolution คือ จำนวนที่น้อยที่สุดของพิกเซลที่กล้องต้องการในการนำมา

สร้างรูป

- focal length คือ เลนส์โฟกัส

ข. contrast คือ ความแตกต่างของระดับความเข้มของวัตถุกับพื้นหลัง ดังนั้นรูปภาพทุกรูป ควรที่จะมีค่า contrast ที่มากพอเพื่อจะแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง

ค. depth of field (DOF) คือ ความสามารถในการรักษาคุณภาพของรูปให้ชัดเจนเมื่อวัตถุมีการขยับออกจากจุดโฟกัสที่ดีที่สุด

ง. perspective คือ แนวแกนของกล้องที่ไม่ได้ตั้งฉากกับวัตถุ ซึ่งจะส่งผลทำให้การเปลี่ยนแปลงกำลังขยายของวัตถุจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเลนส์กับวัตถุ

จ. distortion เกิดจากความผิดพลาดทางเรขาคณิตของส่วนที่จับภาพของเลนส์ ซึ่งเลนส์ โดยทั่วไปจะเกิดการบิดรูปแบบโค้ง (radial distortion) ซึ่งทำให้รูปภาพที่กล้องถ่ายได้อยู่ไกลกว่าความเป็นจริง

2.5 การประมวลผลภาพดิจิทัล[18]

การมองเห็นของมนุษย์เป็นสิ่งที่สำคัญและเป็นกลไกการรับภาพที่ซับซ้อนอย่างหนึ่งซึ่งจะให้ ข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับใช้ในางานง่าย ๆ (ตัวอย่างเช่นการจดจำวัตถุ)และสำหรับงานที่มีความ ซับซ้อน(ได้แก่การวางแผนการตัดสินใจการค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์การพัฒนากทางด้านความคิด) ดังคำสุภาษิตของจีนกล่าวไว้ว่า"รูปภาพสามารถแทนคำได้เป็นพัน ๆ คำ " รูปภาพมีบทบาทมาก สำหรับองค์กรต่างๆเช่นหนังสือพิมพ์โทรทัศน์ภาพยนตร์ซึ่งได้ใช้ภาพ(ภาพนิ่งภาพเคลื่อนที่)เป็นสื่อ นำเสนอข้อมูลข่าวสารต่างๆสิ่งที่น่าสนใจของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นหรือข้อมูลภาพนั้นก็คือ กระบวนการประมวลผลภาพ (image processing) โดยใช้ดิจิทัลคอมพิวเตอร์ความพยายาม ทางด้านการประมวลผลภาพได้เริ่มขึ้นในปี 1964 ณห้องเลป Jet Propulsion (Pasadena California)ซึ่งได้นำการบวนการประมวลผลภาพมาใช้ในการพิจารณาภาพถ่าย ดาวเทียมของดวงจันทร์ต่อมาได้มีการตั้งสาขาทางวิทยาศาสตร์สาขาใหม่มีชื่อว่า digital image processing หลังจากนั้นงานทางด้านกระบวนการประมวลผลภาพก็พัฒนาขึ้นเรื่อยๆและใช้กันอย่าง

กว้างขวางสำหรับงานในหลายๆด้านตัวอย่างเช่นทางได้สื่อสารโทรคมนาคมการสื่อสารทางโทรศัพท์ ทางด้านการพิมพ์ทางด้านกราฟิกการแพทย์และการค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ digital image processing จะเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล (digital format) ซึ่งสามารถที่จะนำเอาข้อมูลนี้จัดผ่านกระบวนการต่างๆด้วยดิจิทัลคอมพิวเตอร์ได้ในระบบของดิจิทัล อินพุตและเอาพุตของระบบจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลเท่านั้น digital image analysis จะเกี่ยวกับวิธีการอธิบายและการจดจำข้อมูลภาพดิจิทัลซึ่งอินพุตของระบบจะเป็นข้อมูลภาพดิจิทัลและเอาพุตจะเป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนข้อมูลภาพดิจิทัลเหล่านั้นในการวิเคราะห์ภาพมีอยู่หลายวิธีด้วยกันที่ได้นำมาจากการทำงานของตามมนุษย์ (human vision) นั่นก็คืองานทางด้าน computer vision เป็นลักษณะเดียวกับ digital image analysis นั่นเองการมองเห็นของมนุษย์นับว่าเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งลักษณะเทคนิคโดยทั่วไปในกระบวนการ digital image analysis และ computer vision จะค่อนข้างซับซ้อนเช่นกัน

2.5.1 รูปร่างของภาพ (Image shape)

วัตถุที่มีอยู่ตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างที่แตกต่างกันไปทั้งที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตและไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิตในศาสตร์ของการประมวลผลภาพนั้นการกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (rectangular image model) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากทำให้การอ่านภาพการจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำและการแสดงภาพออกทางอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปได้โดยมีประสิทธิภาพ

การเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรอะเรย์ (array) โดยค่าในแต่ละช่องของอะเรย์แสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ (pixel) และตำแหน่งของช่องอะเรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ

สมมติให้ Image เป็นตัวแปรแบบอะเรย์ขนาด $M \times N$ (M แถวและ N คอลัมน์) ที่ใช้เก็บภาพขนาด $M \times N$ จุด (M จุดในแนวนอนและ N จุดในแนวตั้ง) ค่าสี (หรือความสว่างในกรณีที่เป็นภาพ grey level) ของจุดภาพในแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 4 จะตรงกับค่าของ Image(5,4) จะเห็นว่าเราใช้ตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนเป็นตัวชี้ค่าข้อมูลในอะเรย์

จากการใช้หน่วยความจำเพื่อการเก็บภาพในลักษณะที่กล่าวมานี้เนื้อที่ในการเก็บภาพสามารถคำนวณได้จาก $M \times N \times g$ เมื่อ g เป็นจำนวนเต็มแทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพตัวอย่างถ้า g มีค่าเท่ากับ 8 บิตเราจะสามารถเก็บความแตกต่างของระดับสีที่เป็นไปสูงสุด 256 ระดับค่า M และ N จะเป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพสำหรับคอมพิวเตอร์ทั่วไปในระบบ VGA (Video Graphic Array) จะมีขนาด 640x480, 800x600 และ 1024x768 จุดเป็นต้นการกำหนดความละเอียดจะขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้ในงานบางอย่างใช้ความละเอียดแค่ 30 x 50 จุดก็พอแล้วแต่ในงานบางชนิดใช้ความละเอียดถึง 1000 x 1000 จุดก็ยังไม่พอ

ปกติแล้วในการเก็บข้อมูลภาพโดยเครื่องมือต่างๆจะเก็บตามมาตรฐานของโทรทัศน์ซึ่งมีอัตราส่วน x ต่อ y เท่ากับ 4:3 สำหรับเครื่องมือเก็บข้อมูลภาพที่ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน 4:3 เมื่อนำภาพนี้ไปแสดงในจอภาพมาตรฐานจะทำให้ภาพที่แสดงนั้นมีขนาดของจุดภาพไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่นในบางระบบอาจจะใช้ความละเอียดในการแสดงเท่ากับ 640×512 ซึ่งจะทำให้ขนาดของจุดภาพที่ได้มีขนาดของด้านกว้างมีความยาวมากกว่าด้านสูงซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นหัวข้อที่ต้องสนใจสำหรับการเขียนโปรแกรมทางด้านกราฟิกและการจัดการข้อมูล

จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละจุดภาพขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุดมากขึ้นจะทำให้จำนวนของสีมากขึ้นด้วยตัวอย่างเช่น

$$1 \text{ บิต} = 2^1 = 2 \text{ สี}$$

$$2 \text{ บิต} = 2^2 = 4 \text{ สี}$$

$$4 \text{ บิต} = 2^4 = 16 \text{ สี}$$

$$8 \text{ บิต} = 2^8 = 256 \text{ สี}$$

$$16 \text{ บิต} = 2^{16} = 65536 \text{ สีเป็นต้น}$$

สำหรับการแสดงข้อมูลภาพที่มีขนาด 1 บิตและ 8 บิตนั้นจะมีการทำงานที่จะใกล้เคียงกันเนื่องจากหน่วยประมวลผลจะไม่สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นบิตเดี่ยวๆได้ดังนั้นในการแสดงข้อมูลออกจากจอภาพตัวโปรเซสเซอร์จะทำการก๊อปปี้ข้อมูลทั้ง 8 บิต (1 Byte) ส่งให้กับจอภาพซึ่งในกรณีที่ Pixel มีขนาด 1 บิตเมื่อโปรเซสเซอร์จะทำงานกับบิตแรกที่ต้องการแล้วก็จะทำการก๊อปปี้ข้อมูลชุดใหม่ทันทีโดยที่ไม่เกี่ยวกับข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือส่วนในกรณี Pixel ที่มีขนาด 8 บิตโปรเซสเซอร์จะทำการก๊อปปี้ข้อมูลชุดใหม่ก็ต่อเมื่อโปรเซสเซอร์ทำงานกับทุกบิตแล้วตัวอย่างสำหรับระบบที่มีความละเอียดเท่ากับ 800×600 และมีขนาด 16 บิตต่อ Pixel จะสามารถแสดงสีได้ทั้งหมด 65536 ระดับและต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บเท่ากับ $800 \times 600 \times 16$ บิต

2.5.2 มาตรฐานของสี

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกันทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือการแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส 3 มิติโดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปสซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกันตัวอย่างเช่นในระบบ RGB จะมีแกนสีคือแกนสีแดงเขียวและน้ำเงินในระบบ HLS จะมีแกนเป็นค่าสี (hue) ความสว่าง (lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (saturation) ตัวอย่างระบบสีที่นิยมใช้กันได้แก่ระบบ RGB HSV (hue saturation value) และ HLS (hue lightness saturation)

2.5.2.1 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดงเขียวและน้ำเงินโดยมีการรวมกันแบบ additive ซึ่งโดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพแบบ CRT (cathode ray tube) ในการใช้งาน

ระบบสีRGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งานได้แต่ RGBCIE และ RGBNTSC

ระบบสีแบบ RGB ของ CIE

เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นโดย CIE (Commission International l 'Eclairage) ซึ่งอ้างอิงสีด้วยสีแดงที่ 700nm สีเขียวเท่ากับ 546.1 nm และสีน้ำเงิน 435.8 nm

ระบบสีแบบ RGB ของ NTSC

เป็นระบบที่พัฒนาโดย NTSC (National Television System Committee) เพื่อใช้สำหรับการแสดงภาพของจอภาพแบบ CRT เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตแบบ CRT ให้มีลักษณะเดียวกัน

2.5.2.2 ระบบสี HSV

ระบบสีHSV (hue saturation value) เป็นการพิจารณาสีโดยใช้ Hue Saturation และ Value ซึ่ง Hue คือค่าสีของสีหลัก(แดงเขียวและน้ำเงิน)ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดงและเมื่อ hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆสีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้งซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ดังนี้คือสีแดง = 0 องศาสีเขียวเท่ากับ 120 องศาสีน้ำเงินเท่ากับ 240องศา hueสามารถคำนวณได้จากระบบสี RGB ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} red_h &= red - \min(red, green, blue) \\ green_h &= green - \min(red, green, blue) \\ blue_h &= blue - \min(red, green, blue) \end{aligned} \quad (2.1)$$

จากลักษณะโมเดลของระบบ hue พบว่าจะมีค่าน้อยหนึ่งค่าที่จะเท่ากับ 0 แต่ถ้ามีสองค่าเท่ากับ 0 แล้ว hue จะเป็นมุมของสี(ค่าสี)มีค่าเป็นไปตามสีที่สามและถ้าทั้งสามสีมีค่าเท่ากับ 0 แล้วจะทำให้ไม่มีค่าของ hueหรือสีที่ได้จะมีค่าเท่ากับสีขาวนั่นเองตัวอย่างเช่นจอภาพขาว-ดำถ้าเกิดมีสีใดสีหนึ่งมีค่าเท่ากับ 0 จะทำให้ค่าสีที่ได้เป็นไปตามสีที่เหลือการให้นำหนักในการพิจารณาเมื่อสีแดงมีค่าเท่ากับ 0

$$\frac{(240 \times blue_h) + (120 \times green_h)}{blue_h + green_h} \quad (2.2)$$

saturationคือความบริสุทธิ์ของสีซึ่งถ้า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 แล้วสีที่ได้จะไม่มี hue ซึ่งจะเป็นสีขาวล้วนแต่ถ้า saturation มีค่าเท่ากับ 255 แสดงว่าจะไม่มีแสงสีขาวผสมอยู่เลย saturationสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Saturation = \frac{\max(red, green, blue) - \min(red, green, blue)}{\max(red, green, blue)} \quad (2.3)$$

value คือความสว่างของสีซึ่งสามารถวัดได้โดยค่าความเข้มของความสว่างของแต่ละสีที่ประกอบกันสามารถคำนวณได้จาก

$$value = \max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) \quad (2.4)$$

2.5.2.3 ระบบสีแบบ HLS

ระบบสีแบบHLS (hue lightness saturation) พัฒนาโดยTeletromix Incorporated จะมีลักษณะคล้ายกับ HSV ดังนั้นชื่อของระบบจะขึ้นอยู่กับ hue lightness และ saturation

hueคือค่าของสีหลักซึ่งมีสีน้ำเงินอยู่ที่ 0 องศาสีเขียวอยู่ที่ 120 องศาและสีแดงอยู่ที่ 240 องศา

lightnessคือค่าความสว่างซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน L โดยที่ L = 0 จะเป็นสีดำ L = 1 จะเป็นสีขาวสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$lightness = \frac{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})}{2} \quad (2.5)$$

saturationคือความบริสุทธิ์ของสีสามารถหาได้ดังนี้คือ

$$Saturation = \begin{cases} \frac{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) + \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})}{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})} & \text{if } L \leq 0.5 \\ \frac{\max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) + \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})}{2 - \max(\text{red}, \text{green}, \text{blue}) - \min(\text{red}, \text{green}, \text{blue})} & \text{if otherwise} \end{cases} \quad (2.6)$$

2.5.2.4 ระบบสีแบบ CMY

CMY (cyan magenta yellow) เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับการพิมพ์ภาพสีโดยมีสีหลักคือสี cyan magenta และyellow ซึ่งเรียกว่าsubtractive primaries color (สีแดงเขียวและน้ำเงินเรียกว่า additive primaries color) ระบบสีแบบ CMY สามารถหาได้โดยการนำเอาสีในระบบ RGB ลบกับสีขาวดังนี้คือ

$$\begin{aligned} C &= 1 - R \\ M &= 1 - G \\ Y &= 1 - B \end{aligned} \quad (2.7)$$

ระบบสี CMY จะนำไปใช้สำหรับการพิมพ์ภาพสีแต่ยังไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากไม่ยังไม่สามารถสร้างสีดำได้อย่างถูกต้องดังนั้นจึงมีการใช้ระบบCMYKแทนโดย

$$\begin{aligned}
 K &= \min(C, M, Y) \quad K \text{ เป็นสีที่ } 4 \text{ แทนสีดำ} \\
 C &= C - K \\
 M &= M - K \\
 Y &= Y - K
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

2.5.2.5 ระบบสีแบบ YUV

ระบบสีแบบ YUV ใช้สำหรับโทรทัศน์แบบ PAL และ SECAM ซึ่งยังมีใช้อยู่ในหลายๆ ประเทศโดย Y คือค่าความสว่างของภาพส่วนสัญญาณ U และ V เป็นสัญญาณที่เก็บค่าสีของภาพ ต่อมาได้มีระบบ YIQ มาใช้แทนเนื่องจากพบว่าสัญญาณ I และ Q สามารถลด Bandwidth ได้มากกว่าสัญญาณ U และ V ในขณะที่ได้ภาพที่มีคุณภาพเท่ากัน

2.5.2.6 ระบบสีแบบ YIQ

เป็นระบบที่ใช้ใน TV Broadcasting สำหรับ NTSC ประโยชน์หลักก็เพื่อให้ใช้งานได้ด้วยโทรทัศน์แบบขาว-ดำโดยที่ y คือความสว่างของภาพส่วน I และ Q จะเป็นสัญญาณที่เข้ารหัสสีของภาพไว้ดังนั้นสำหรับโทรทัศน์ขาว-ดำนั้นสามารถใช้ค่า Y ค่าเดียวก็สามารถได้ภาพที่สมบูรณ์

2.5.2.7 ระบบสีแบบ XYZ

เป็นระบบสีที่ CIE ได้กำหนดให้มีขึ้นเป็นมาตรฐานเนื่องจากในระบบสี RGB ยังไม่สามารถสร้างสีที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังนั้นจึงได้มีตั้งระบบสี XYZ ซึ่งเป็นระบบสีที่สมมุติขึ้น

2.5.3 การกรองข้อมูลภาพ (Image filtering)

การกรองข้อมูลภาพ คือการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพ คือการเน้น (enhance) หรือลดทอน (attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

การกรองข้อมูลภาพคือการประมวลผลภาพอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นมาก เนื่องจากการใช้งานจริง ภาพที่ได้มามักมีสัญญาณรบกวน หรือสัญญาณไม่พึงประสงค์อื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย การกรองข้อมูลภาพสามารถปรับปรุงให้ภาพมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เหมาะแก่การประมวลผลในขั้นต่อไป

องค์ประกอบสำคัญของการกรองข้อมูลภาพคือตัวกรอง หากเปรียบภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ต่างๆ ผสมกันอยู่ ตัวกรองก็คือวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เลือกหรือกรองให้สัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ในช่วงที่ต้องการผ่านออกไปได้ คุณสมบัติของตัวกรองคือตัวกำหนดคุณสมบัติของภาพผลลัพธ์

เราอาจมองข้อมูลของภาพๆ หนึ่งให้เป็นสัญญาณๆ หนึ่งได้ ด้วยการกำหนดให้ระดับความเข้มแสงของแต่ละจุดคือขนาด (amplitude) ของสัญญาณ ณ ตำแหน่งนั้นๆ ข้อแตกต่างระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากับภาพคือ

1. ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าคือค่าแรงดันหรือกระแส แต่ขนาดของข้อมูลภาพคือระดับความเข้มแสงของจุดภาพ
2. การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าถูกกำหนดโดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดของสัญญาณในหนึ่งช่วงเวลา แต่การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับตำแหน่งของจุดภาพ ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนระดับความเข้มแสงของจุดที่อยู่ติดกันไป
3. สัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณมิติเดียว (amplitude vs time) แต่ภาพเป็นสัญญาณ 2 มิติ (intensity vs X & Y)

ตัวกรองคือระบบ ๆ หนึ่งซึ่งรับสัญญาณเข้า (input) ประมวลผลสัญญาณและส่งสัญญาณออก (output) โดยทั่วไปตัวกรองจะถูกสร้างให้เป็นระบบเชิงเส้น (linear system) เนื่องจากออกแบบได้ง่าย และมีประสิทธิภาพดี ปัจจุบันมีทฤษฎี และเทคนิคมากมายเกี่ยวกับการออกแบบตัวกรองสัญญาณแบบเชิงเส้น

ในการกรองข้อมูลภาพ เรามักพิจารณาว่าภาพคือสัญญาณ 2 มิติที่ประกอบขึ้นจากสัญญาณความถี่ต่างๆ ผสมกันอยู่ในสัดส่วนที่ต่างกัน การออกแบบตัวกรองจึงเป็นการกำหนดว่าเราต้องการกำจัดสัญญาณความถี่ใดออกไป (หรือต้องการเลือกสัญญาณความถี่ใดบ้าง) หากผู้อ่านมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการกรองสัญญาณไฟฟ้า ก็จะสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับการกรองข้อมูลภาพได้ไม่ยาก เพราะการกรองข้อมูลภาพคือส่วนขยายของความรู้เดิมให้รองรับการประมวลผลสัญญาณ 2 มิติ

ตัวกรองแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทตามลักษณะการเลือกความถี่คือ

1. ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter)
2. ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High-pass Filter)
3. ตัวกรองแถบความถี่ผ่าน (Band-pass Filter)
4. ตัวกรองหยุดแถบความถี่ (Band-stop Filter)

ค่าพารามิเตอร์หลักในการกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองคือ ค่าความถี่คัตออฟ (cut-off frequency) ความถี่คัตออฟคือความถี่ที่ระบุจุดตัดของสัญญาณว่าจะให้ผ่าน หรือไม่ผ่าน ตัวอย่างเช่น ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีค่าความถี่คัตออฟเท่ากับ 1,000 เฮิรตซ์จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 1,000 เฮิรตซ์ผ่านไปได้ แต่จะไม่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 1,000 เฮิรตซ์ผ่าน

สำหรับตัวกรองความถี่สูงผ่านจะทำงานตรงข้ามกับตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน คือไม่ยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่คัตออฟผ่านไปได้ แต่จะยอมให้ความถี่ที่สูงกว่าความถี่คัตออฟผ่านได้

วงจรรองแถบความถี่ผ่านยอมให้สัญญาณในช่วงความถี่หนึ่งผ่านไปได้ หากสัญญาณมีความถี่อยู่นอกช่วงจะถูกลดทอนหรือไม่ยอมให้ผ่านไปได้ สำหรับวงจรมอดูแถบความถี่จะมีลักษณะการทำงานที่ตรงข้ามกันคือจะลดทอนสัญญาณที่มีความถี่ในช่วงที่กำหนดลง และจะผ่านความถี่ที่อยู่นอกช่วง

ในการกรองสัญญาณใดๆ เราจะต้องทราบความถี่ หรือช่วงความถี่ของสัญญาณที่เราต้องการและสัญญาณที่เราไม่ต้องการ จากนั้นเราจะเลือกตัวกรองที่เหมาะสมมาใช้เพื่อกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออก และ/หรือเน้นสัญญาณที่ต้องการให้เด่นชัดยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่นสัญญาณรบกวน

2.5.3.1 การกรองโดยการเฉลี่ยจากหลายภาพ

หากเรามีชุดของภาพคุณภาพต่ำหลาย ๆ ภาพซึ่งถ่ายจากมุมกล้องเดียวกัน เราสามารถสร้างภาพใหม่ที่มีคุณภาพสูงกว่าจากชุดภาพนั้นได้ หากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นแบบสุ่ม ภาพที่เก็บแต่ละครั้งย่อมมีลักษณะแตกต่างกัน หากความเข้มแสงของจุดในภาพหนึ่งถูกรบกวน เราสามารถนำข้อมูลความเข้มแสงของจุด จากภาพอื่น ณ ตำแหน่งเดียวกันมาแทน แต่ละจุดในภาพผลลัพธ์ที่ได้จะเกิดจากการเฉลี่ย (หรือเลือก) จากจุดที่ตรงกันของภาพต่าง ๆ ในชุดภาพ

1. การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ (mean filtering)

วิธีการนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ของจุดทั้งหมด หากมีภาพขนาด $N \times M$ ทั้งหมด K ภาพ เราสามารถคำนวณหาภาพใหม่ได้ดังนี้

$$(2.9) \quad \hat{I}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K I_j(x, y)$$

$\hat{I}(x, y)$ คือความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง (x, y) ในภาพผลลัพธ์

$I_j(x, y)$ คือความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง (x, y) ในภาพที่ j

วิธีนี้เป็นกรลดทอนสัญญาณรบกวน ภาพที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนลดลง

2. การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน (median filtering)

วิธีการนี้จะนำเอาความเข้มแสงของจุดที่ตรงกันในภาพต่างๆ มาเรียงลำดับ (sort) จากน้อยไปหามาก จากนั้นจะเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางไปใช้ หากจำนวนภาพทั้งหมดเป็นจำนวนคู่ ค่าทั้งสอง

ที่อยู่ตรงกลางจะนำมาหาค่าเฉลี่ย วิธีการนี้จะต้องใช้การเรียงลำดับซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการคำนวณสูง แต่ข้อดีคือไม่สูญเสียความคมชัด

ตัวอย่าง

ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ผลลัพธ์
1 2 1 3	2 3 4 3	3 2 1 4	2 2 1 3
4 2 2 1	5 3 4 1	2 1 4 0	4 2 4 1
0 1 1 3	3 2 4 2	1 4 2 0	1 2 2 2
2 2 1 1	1 3 1 2	2 4 0 2	2 3 1 2

3. การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าฐานนิยม (modal filtering)

วิธีการนี้คล้ายกับวิธีใช้ค่ามัธยฐาน แต่ไม่ใช้การเรียงลำดับข้อมูล ระดับความเข้มแสงที่ใช้บ่อยที่สุดจะถูกเลือกไปใช้ วิธีนี้เสมือนการโหวตลงคะแนนเสียง ผู้ที่ได้คะแนนเสียงสูงที่สุดคือผู้ชนะ วิธีนี้เหมาะสำหรับการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นไม่บ่อย

ตัวอย่าง

ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ผลลัพธ์
1 2 1 3	2 3 4 3	3 2 1 4	2 2 1 3
4 2 2 1	5 3 4 1	2 1 4 0	4 2 4 1
0 1 1 3	3 2 4 2	1 4 2 0	1 2 2 2
2 2 1 1	1 3 1 2	2 4 0 2	2 3 1 2

2.5.3.2 การกรองโดยใช้หน้าต่าง

การกรองข้อมูลภาพวิธีนี้จะใช้หน้าต่างในการกำหนดขอบเขตของการพิจารณาเพื่อหาระดับความเข้มแสงของจุดต่างๆ ในภาพผลลัพธ์ ความเข้มแสงของจุดที่อยู่รอบๆ จุดกึ่งกลางของหน้าต่างจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้คือค่าความเข้มแสงของจุดในภาพผลลัพธ์ หน้าต่างจะถูกเลื่อนไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในภาพจนครบทุกจุด

ตัวอย่าง

ภาพเริ่มต้น	ภาพผลลัพธ์
0 0 0 0	0 0
0 1 2 1	2 0
0 2 3 9	1 0
0 1 3 2	1 0
0 0 0 0	0 0

(A) B C D
E F G H
I J K L

จากตัวอย่างด้านบนจะเห็นว่า มีหน้าตาต่างขนาด 3x3 ครอบอยู่ที่มุมบนด้านซ้ายของภาพ เริ่มต้น ความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางของหน้าต่ามีค่าเท่ากับ 1 ความเข้มแสงของจุดภาพในภาพผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งที่ตรงกับกึ่งกลางของหน้าต่าที่ครอบอยู่บนภาพเริ่มต้น (จุด A) สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของทุกจุดในหน้าต่า การหาค่าเฉลี่ยสามารถทำได้ 3 แบบคือ การหาค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ การหาค่าเฉลี่ยแบบมัธยฐาน และการหาค่าเฉลี่ยแบบฐานนิยม

การหาค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ทำได้โดยการหาผลรวมของค่าความเข้มแสงของจุดทุกจุดในหน้าต่า แล้วหารด้วยจำนวนจุดทั้งหมดในหน้าต่า จากตัวอย่างในรูปที่ 5.5 ความเข้มแสงที่จุด A มีค่าเท่ากับ $(0+0+0+0+1+2+0+2+3) / 9 = 8/9$ ค่าความเข้มแสงที่จุดอื่นๆ สามารถคำนวณได้โดยการเลื่อนหน้าต่าให้จุดกึ่งกลางตรงกับจุดที่ต้องการหาค่า

การหาค่าเฉลี่ยแบบมัธยฐานทำได้โดยการนำค่าทั้งหมดในตารางมาเรียงลำดับ (sort) จากน้อยไปหามาก (หรือจากมากไปหาน้อยก็ได้) จากนั้นจะเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางของลำดับเป็นค่าความเข้มแสงของจุดในภาพผลลัพธ์ หากจำนวนจุดในหน้าต่าเป็นจำนวนคู่ ผลลัพธ์จะคำนวณได้จากการเฉลี่ยค่าระหว่างจุดกึ่งกลางทั้งสอง จากตัวอย่างในรูปที่ 5.5 เมื่อเรียงลำดับความเข้มแสงจะได้ลำดับดังนี้ (0 0 0 0 0 1 2 2 3) ค่าที่อยู่ตรงกลางคือ 0 ดังนั้นความเข้มแสงที่จุด A มีค่าเท่ากับ 0

การหาค่าเฉลี่ยแบบฐานนิยมทำได้โดยการเลือกระดับความเข้มแสงที่ใช้น้อยที่สุดในหน้าต่ามาเป็นคำตอบ ปัญหาที่อาจเกิดจากการใช้วิธีนี้คือ มีระดับความเข้มแสงที่ใช้น้อยที่สุดมากกว่า (มีหลายคำตอบ) วิธีการแก้ไขคือการหาค่าเฉลี่ย หรือเปลี่ยนไปใช้การหาค่าเฉลี่ยแบบมัธยฐาน จากตัวอย่างในรูป 5.5 ค่าความเข้มแสงที่ใช้น้อยที่สุดคือ 0 ดังนั้นความเข้มแสงที่จุด A มีค่าเท่ากับ 0

นอกจากการหาค่าผลลัพธ์โดยวิธีหาค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีวิธีการหาผลลัพธ์อีกวิธีหนึ่งคือการหาค่าเฉลี่ยจากจุด k จุดที่มีค่าความเข้มใกล้เคียงกับค่าความเข้มแสงของจุดกึ่งกลางของหน้าต่า วิธีนี้เรียกว่า k-closest averaging การคำนวณหาผลลัพธ์เริ่มจากการนำค่าความเข้มแสงของทุกจุดในหน้าต่ามาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก จากนั้นค่าที่อยู่รอบๆ ค่าของจุดกึ่งกลางหน้าต่าจำนวน k ค่าจะถูกเลือกมาเพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยนี้คือความเข้มแสงของจุดในภาพผลลัพธ์ ในการหาค่าเฉลี่ย อาจนำค่าของความเข้มที่จุดกึ่งกลางมาคิดด้วยก็ได้ จากตัวอย่างในรูปที่ 5.5 เมื่อเรียงลำดับความเข้มแสงจะได้ลำดับดังนี้ (0 0 0 0 0 1 2 2 3) หากกำหนดให้ $k = 4$ และไม่นำค่าที่จุดกึ่งกลาง (1) มาคิด ค่าความเข้มแสงที่จุด A มีค่าเท่ากับ $(0+0+2+2)/4 = 1$ หากนำค่าที่จุดกึ่งกลางมาคิด ค่าความเข้มแสงที่จุด A จะมีค่าเท่ากับ $(0+0+1+2+2)/5 = 1$

1 2 2 1	0 1 1 0	0 0 0 0	1 2 1 3
1 2 2 2	1 2 2 1	0 2 2 1	2 2 3 1
1 2 2 1	0 2 1 0	0 0 0 0	1 4 2 1
(ก)	(ข)	(ค)	(ง)

การกรองข้อมูลภาพโดยใช้หน้าต่าง (ก) ใช้การเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ (แสดงผลลัพธ์หลังการปิดเศษ) (ข) ใช้มัธยฐาน (ค) ใช้ฐานนิยม (ใช้มัธยฐานแทนสำหรับจุดที่มีปัญหา) (ง) ใช้ k-closest averaging (แสดงผลลัพธ์หลังการปิดเศษ)

2.5.3.3 การกรองโดยวิธีคอนโวลูชัน

วิธีการกรองข้อมูลภาพที่กล่าวมาส่วนใหญ่อาศัยหลักของการหาค่าเฉลี่ย โดยอาจเป็นการหาค่าเฉลี่ยของจุดเดียวกันจากภาพหลายๆ ภาพ หรืออาจเป็นการหาค่าเฉลี่ยจากจุดต่างๆ ที่อยู่รอบๆ จุดที่เราสนใจ เนื่องจากการหาค่าเฉลี่ยเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล วิธีการที่ผ่านมามีใช้ได้ดีกับการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นสัญญาณความถี่สูง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การกรองสัญญาณมีวัตถุประสงค์เพื่อเน้นคุณสมบัติบางอย่างที่ต้องการในภาพให้เด่นชัดขึ้น ในขณะที่ลดทอนคุณสมบัติที่ไม่ต้องการลง หากเราต้องการเน้นการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มของจุดต่างๆ ภายในภาพให้เด่นชัดขึ้น ในที่นี้จะเสมือนกับการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน เราจะไม่สามารถใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยได้ วิธีที่สามารถนำมาใช้ได้คือการคอนโวลูชัน (convolution)

1. การคอนโวลูชัน

ในการประมวลผลภาพ การคอนโวลูชันคือการกระทำกันระหว่างเทมเพลต(template) กับภาพ (image) เทมเพลตคือเมตริกซ์ขนาด $n \times m$ ของชุดตัวเลขที่จะนำไปซ้อนทับภาพที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาผลลัพธ์ของการคอนโวลูชัน ถ้ากำหนดให้เทมเพลต $T(x,y)$ เป็นเทมเพลตขนาด $n \times m$ และภาพ $I(X,Y)$ มีขนาด $N \times M$ การคอนโวลูชันระหว่างเทมเพลตกับภาพสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$I'(X,Y) = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} T(i,j) I(X-i,Y-j) \quad (2.10)$$

โดย $I'(X,Y)$ คือภาพผลลัพธ์จากการคอนโวลูชัน

จากสมการที่ 2.10 จะเห็นว่าระดับความเข้มแสง ณ จุด (X,Y) ในภาพผลลัพธ์ได้จากการหาผลรวมของผลคูณของระหว่างค่าในเทมเพลตกับค่าระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณที่เทมเพลตซ้อนทับอยู่ จากสมการ ตัวชี้ตำแหน่งจุดในภาพ $(X-i,Y-j)$ แสดงให้เห็นว่ามีการพลิกเทมเพลตทางแกนนอน และแกนตั้ง สมการที่ 2.11 แสดงการคอนโวลูชันที่ไม่ต้องมีการพลิกเทมเพลต ซึ่งวิธีการนี้มีชื่อที่แท้จริงว่า cross-correlation และเป็นที่ยอมรับในด้านการประมวลผลภาพ

$$I(X,Y) = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} T(i,j) I(X+i,Y+j) \quad (2.11)$$

ขั้นตอนของการคอนโวลูชันประกอบด้วย การเลื่อน บวก และคูณ เราสามารถใช้การคอนโวลูชันในการประมวลผลภาพได้ในหลายลักษณะ เช่น กรองสัญญาณภาพ การหาขอบภาพ (edge detection) หรือการหารูปร่างของวัตถุในภาพ เป็นต้น

โดยทั่วไป ในการคอนโวลูชัน เราจะไม่ยอมให้มีการเลื่อนเทมเพลตออกนอกขอบเขตของภาพ ดังนั้นถ้าเทมเพลตมีขนาดใหญ่กว่า 1x1 ภาพผลลัพธ์จะมีขนาดเล็กกว่าภาพเริ่มต้นเสมอ ตัวอย่างเช่น การคอนโวลูชันระหว่างภาพขนาด 4 x 5 กับ เทมเพลตขนาด 2 x 2 ต่อไปนี้

เทมเพลต	ภาพเริ่มต้น	ภาพผลลัพธ์
	1 1 3 3 4	2 5 7 6 *
1 0	1 1 4 4 3	2 4 7 7 *
0 1	2 1 3 3 3	3 2 7 7 *
	1 1 1 4 4	* * * * *

จะให้ภาพผลลัพธ์ที่มีขนาด 3 x 4 จากตัวอย่างข้างต้น ค่าความเข้มสี 3 ในภาพผลลัพธ์ ได้จากการหาผลรวมของผลคูณระหว่างเทมเพลตกับภาพในบริเวณที่แรเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(1 \times 2) + (0 \times 1) + (0 \times 1) + (1 \times 1) = 3$

จากตัวอย่างพบว่าจุดมุมบนซ้ายของเทมเพลตคือจุดอ้างอิงในการกำหนดจุดในภาพผลลัพธ์ ในความเป็นจริงแล้ว เราสามารถเลือกจุดใดๆ ในเทมเพลตให้เป็นจุดอ้างอิงก็ได้ การเลือกเอาจุดกึ่งกลางของเทมเพลตที่มีความกว้างและสูงเป็นจำนวนคี่ (เช่น เทมเพลตขนาด 3x3 3x5 5x5 และ 7x7 เป็นต้น) เป็นจุดอ้างอิงนับว่ามีความเหมาะสมยิ่ง อย่างไรก็ตาม ในแง่ของการเขียนโปรแกรมแล้ว การใช้จุดมุมเป็นจุดอ้างอิงจะลดความซับซ้อนในการเขียนโปรแกรมลง เนื่องจากไม่มีปัญหาสำหรับการคอนโวลูชันโดยใช้เทมเพลตที่มีขนาดไม่คงที่ ดังนั้นในหนังสือนี้จะใช้จุดมุมบนซ้ายเป็นจุดอ้างอิงในการทำคอนโวลูชันทุกครั้ง เว้นแต่มีการกำหนดให้เป็นอย่างอื่น

การคอนโวลูชันที่ไม่ยอมให้เทมเพลตเลื่อนออกนอกบริเวณขอบภาพเรียกว่าการคอนโวลูชันแบบไม่เป็นรายคาบ (aperiodic convolution) วิธีการนี้จะได้ภาพที่มีขนาดเล็กลง หากต้องการคงขนาดภาพไว้ จะต้องใช้การคอนโวลูชันแบบเป็นรายคาบ (periodic convolution) การคอนโวลูชันแบบนี้เปรียบเสมือนการม้วนภาพให้ขอบซ้ายมาชนกับขอบขวา และม้วนให้ขอบบนมาชนกับขอบล่าง เมื่อเทมเพลตเลื่อนตกขอบข้างใดข้างหนึ่งๆ ส่วนของเทมเพลตที่เลยขอบก็จะไปทับกับขอบภาพอีกด้านหนึ่ง

วิธีการอย่างง่ายที่ทำให้ภาพผลลัพธ์มีขนาดเท่ากับภาพเริ่มต้นคือการเติมค่าศูนย์บริเวณรอบๆ ภาพเริ่มต้น เพื่อให้ภาพเริ่มต้นมีขนาดใหญ่ขึ้น หลังจากการคอนโวลูชันจะได้ภาพผลลัพธ์ที่มีขนาดเท่ากับภาพเริ่มต้นก่อนมีการชดเชย ตัวอย่างด้านล่างแสดงการคอนโวลูชันที่มีการเติมค่าศูนย์ให้กับภาพเริ่มต้น

ภาพเริ่มต้น	ภาพเริ่มต้นหลังจาก						ภาพผลลัพธ์	
	เติมศูนย์			เทมเพลต				
	0	0	0	0	0	0		
1 2 3	0	1	2	3	0	*	1 0 0	6 8 3
4 5 6	0	4	5	6	0	*	0 1 0	12 15 8
7 8 9	0	7	8	9	0	*	0 0 1	7 12 14
	0	0	0	0	0	0		

แม้เป็นกระบวนการประมวลผลภาพที่ง่าย แต่การคอนโวลูชันต้องใช้เวลาในการคำนวณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคอนโวลูชันระหว่างภาพและเทมเพลตที่มีขนาดใหญ่ หากภาพมีขนาด $M \times M$ และเทมเพลตมีขนาด $n \times n$ จะต้องมีการคูณถึง $M^2 n^2$ ครั้ง ถ้า $M=512$ และ $n=16$ จะต้องมีการคูณประมาณ 32 ล้านครั้ง การคำนวณที่มากขนาดนี้ทำให้ไม่สามารถประมวลผลภาพเคลื่อนไหวในเวลาจริง (real-time) ได้เว้นแต่จะมีฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบมาเฉพาะ สำหรับภาพและเทมเพลตที่มีขนาดใหญ่ ($M \geq 512$ และ $N \geq 32$) การแปลงภาพและเทมเพลตให้อยู่ในรูปของข้อมูลในโดเมนความถี่ (frequency domain) จะช่วยลดการคำนวณลงได้อย่างมาก จากตัวอย่างข้างต้น การคอนโวลูชันในโดเมนความถี่จะลดจำนวนครั้งของการคูณลงเหลือเพียง 256,000 ครั้งเท่านั้น การคอนโวลูชันในโดเมนความถี่จะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2. เทมเพลตสำหรับกรองความถี่ต่ำผ่าน

เทมเพลตขนาด 3×3 ต่อไปนี้สามารถใช้เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของค่าความเข้มแสงในภาพ

1	1	1
1	1	1
1	1	1

ผลของการคอนโวลูชันกับเทมเพลตนี้จะเหมือนกับการหาผลรวมของจุดภาพทั้ง 9 จุดที่เทมเพลตซ้อนทับอยู่ การเปลี่ยนแปลงใดๆ ในบริเวณดังกล่าวจะถูกเฉลี่ยให้มีความราบเรียบ ผลที่ได้คือสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลง (เช่นสัญญาณรบกวนความถี่สูง) จะถูกลดทอน ภาพที่ได้จะมีความคมลดลง คุณสมบัติเช่นนี้เปรียบได้กับการกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

เทมเพลตการกรองความถี่ต่ำผ่านที่นิยมใช้อีกแบบหนึ่งคือ

1 3 1
 3 16 3
 1 3 1

เทมเพลตนี้จะเน้นความสำคัญของจุดที่อยู่ตรงกลางเทมเพลตเป็นพิเศษ โดยจะให้จุดกลางมีน้ำหนัก 50% ของทั้งหมด และให้น้ำหนักรวมของจุดทั้ง 4 ที่อยู่ด้านบน ด้านล่าง ด้านซ้าย และด้านขวาของจุดกลางมีค่าเท่ากับ 40% ส่วนจุดมุมทั้ง 4 มีน้ำหนักเพียง 10% โดยจุดที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางจะมีน้ำหนักมากกว่าจุดที่อยู่ห่างออกไป

3.เทมเพลตสำหรับกรองความถี่สูงผ่าน

สัญญาณความถี่สูงคือสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าไปมาอย่างรวดเร็ว ต่างกับสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งมีการเปลี่ยนค่าอย่างช้าๆ หรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย การกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter) ก็คือการกรองสัญญาณที่เพิ่มความแรงของสัญญาณที่มีความถี่สูงและลดความแรงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ เทมเพลตต่อไปนี้ใช้สำหรับการกรองความถี่สูงผ่าน

0 -1 0
 -1 4 -1
 0 -1 0

จะเห็นว่าผลรวมของทุกค่าในเทมเพลตมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายความว่า ถ้าวางเทมเพลตนี้ลงบนบริเวณของภาพที่มีค่าความเข้มแสงคงที่ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม ถ้าค่าที่บริเวณตรงกลางแตกต่างกับค่ารอบๆ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงค่าความแตกต่างยิ่งขึ้นตัวอย่าง การกรองภาพด้วยเทมเพลตกรองความถี่สูง และความถี่ต่ำ

ภาพ หลังจากการกรองความถี่สูงผ่าน หลังจากการกรองความถี่ต่ำผ่าน

0 0 0 0 0		
0 1 1 1 0	2 1 2	4 6 4
0 1 1 1 0	1 0 1	6 9 6
0 1 1 1 0	1 0 1	6 9 6
0 1 1 1 0	1 -5 1	11 14 11
0 1 6 1 0	-4 20 -4	11 14 11
0 1 1 1 0	2 -4 2	9 11 9
0 0 0 0 0		

ตัวอย่างด้านบนจะเห็นว่าหลังการกรองความถี่สูงผ่านขอบภาพจะเด่นชัด ส่วนที่เป็นค่าคงที่จะกลายเป็นศูนย์ และส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 เป็น 6 ถูกขยายเป็นจาก -4 ไป 20 สำหรับการกรองความถี่ต่ำผ่าน การเปลี่ยนถูกลดทอนลง ภาพผลลัพธ์มีความราบเรียบขึ้น

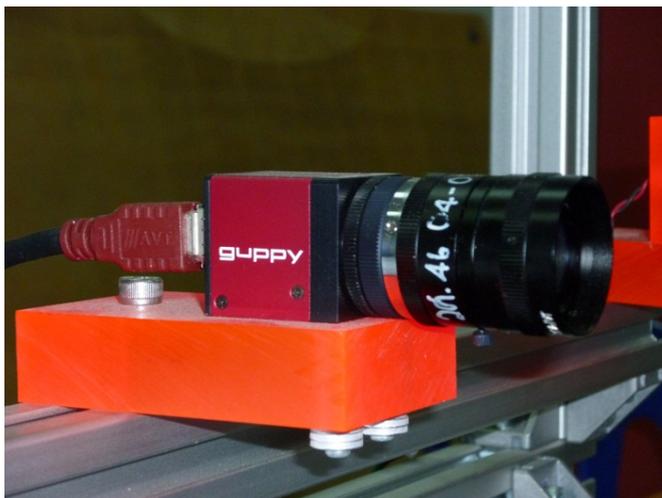
บทที่ 3

โครงสร้างของระบบ

บทนี้จะเป็นการอธิบายถึงโครงสร้างของตัวเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์แบบ 3 มิติที่ใช้ในการทดลองและอุปกรณ์ต่างในการควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบพร้อมทั้งอธิบายระบบควบคุมที่ใช้

3.1 กล้องดิจิตอลอุตสาหกรรม

กล้องดิจิตอลอุตสาหกรรม ผลิตโดยบริษัท AVT รุ่น Guppy F-503C (ดังรูปที่ 3.1) ใช้ในการรับภาพเส้นโพรไฟล์บนตัวของวัตถุโดยตัวกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมติดตั้งอยู่บนโต๊ะและถูกยึดหนึ่ง ดังรูปที่ 3.2 โดยที่กล้องมีกรอบรับภาพขนาด 2592x1944 พิกเซล อัตราการเก็บภาพ 6.5fps. รับข้อมูลภาพเป็นภาพขาวเทา (gray scale) ดังรูปที่ 3.3 จากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลภาพที่ได้ให้เป็นภาพสีขาวกับดำโดยกระบวนการเทรชโฮลด์ (threshold) เพื่อแยกภาพเส้นโพรไฟล์บนตัวของวัตถุออกจากสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 3.4 กล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมนี้จะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แบบ IEEE1394a และหน้ากล้องได้ติดตั้งเลนส์ที่มีขนาด



รูปที่ 3.1 กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม

3.2 มอเตอร์และไดรฟ์

มอเตอร์ไดรฟ์ผลิตโดย Copley controls corp. รุ่น ASP – 090 – 09 ดังรูปที่ 3.2 ใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยจะรับสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์และรับสัญญาณดิจิทัลเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนมาจากคอมพิวเตอร์ และมอเตอร์ไดรฟ์จะควบคุมการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ พร้อมทั้งรับสัญญาณเอ็นโคเดอร์ที่ต่อกับตัวมอเตอร์



รูปที่ 3.2 มอเตอร์ไดรฟ์

และมอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์นี้ใช้มอเตอร์แบบไฟกระแสตรงยี่ห้อ Dunkermotoren รุ่น GR 53x58 รองรับแรงดันไฟฟ้าได้ 60 โวลต์ ความเร็ว 3450 รอบต่อนาที (ในรูปที่ 3.3) แต่สำหรับโครงการวิจัยนี้จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเพียง 2.4 โวลต์เท่านั้น เนื่องจากโครงการวิจัยนี้เป็นระบบที่ไม่ได้ใช้ความเร็ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเต็มที่ และที่ด้านท้ายของมอเตอร์ติดตั้งเอ็นโคเดอร์ที่มีสัญญาณเป็นแบบ Square โดยมีจำนวนพัลส์ต่อรอบเท่ากับ 720 ส่วนด้านเพลามอเตอร์ได้มีการติดตั้งหัวเกียร์ทดรอบการหมุนของมอเตอร์อีกเพื่อที่ต้องการเพิ่มกำลังให้กับระบบหรือตัวโต๊ะหมุน (turn table) โดยที่อัตราทดรอบอยู่ที่ 21:1



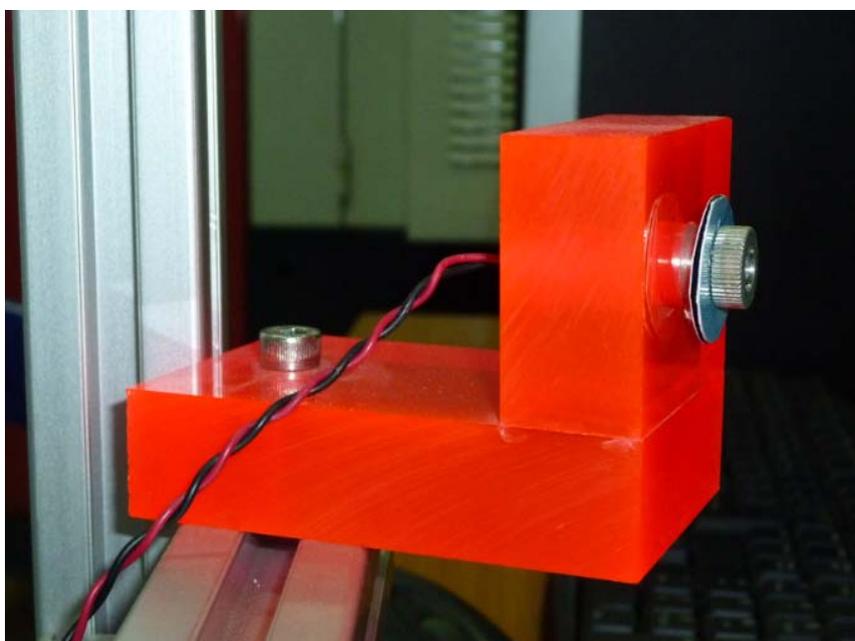
รูปที่ 3.3 มอเตอร์พร้อมเอ็นโคเดอร์และหัวเกียร์

3.3 หัวเลเซอร์แบบเส้นตรง (line laser)

หัวยิงเลเซอร์เป็นอุปกรณ์สำคัญมากในโครงการวิจัยนี้ (ดังรูปที่ 3.4) โดยที่หัวเลเซอร์ที่ใช้เป็นหัวเลเซอร์ที่ยิงออกมาแล้วได้เป็นเส้นตรง 1 เส้น และให้สีแดง โดยให้ Output power อยู่ในช่วง 2.5 -5.0mW และมี Wavelength เท่ากับ 650nm และยังให้ Focused dot width น้อยกว่า 2mm ที่ไกลออกไป 3 meter หัวเลเซอร์ตัวนี้ใช้ไฟกระแสตรงขนาดแรงดันที่ 5 โวลต์ และกินกระแสไฟฟ้าประมาณ 20mA



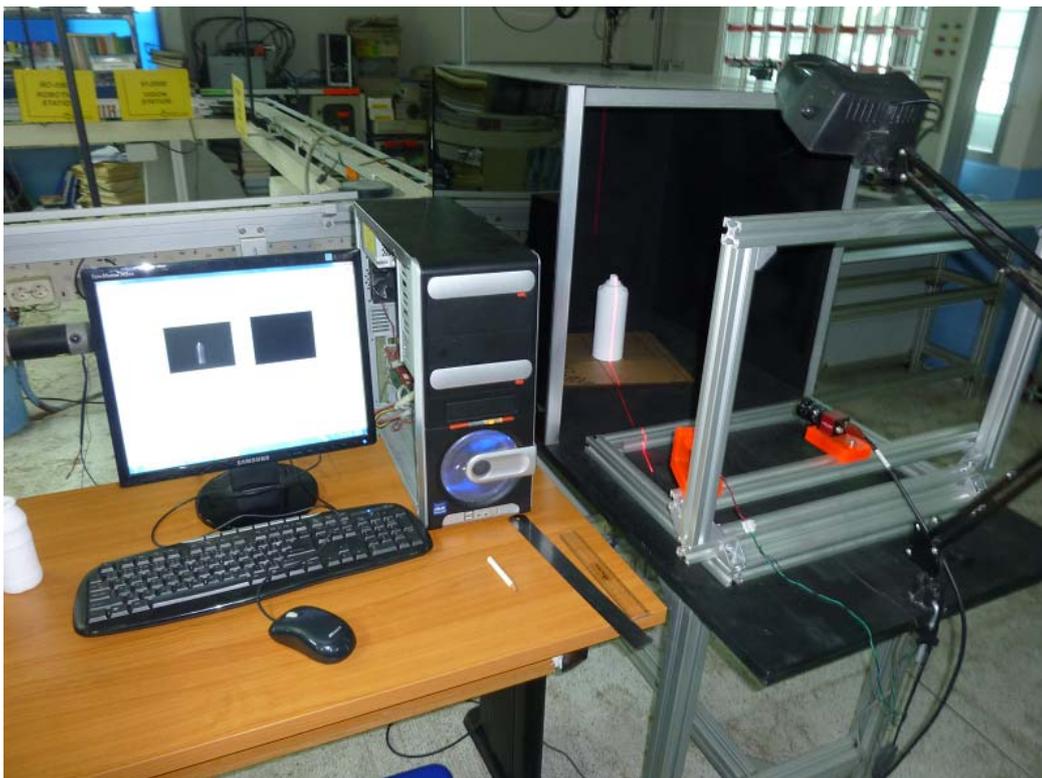
รูปที่ 3.4 หัวเลเซอร์แบบเส้นตรง (line laser)



รูปที่ 3.5 หัวเลเซอร์เมื่อติดตั้งพร้อมจะใช้งาน

3.4 โต๊ะหมุนและระบบควบคุม

ตัวโต๊ะหมุนที่ได้ออกแบบสร้างนั้นเป็นทีสำหรับวางชิ้นงานที่ต้องการสแกนแสดงในรูปที่ 3.6 โดยชิ้นงานจะต้องวางตรงกลางบนแผ่นแพลท แผ่นแพลทนี้สามารถหมุนได้ซึ่งต่อกับดีซีมอเตอร์ในหัวข้อ 3.2 เป็นตัวต้นกำลังในการหมุน แผ่นแพลทมีขนาด 30x 30 ซม. และบริเวณแผ่นแพลทหมุนนี้ ได้สร้างกรอบแผ่นอะคลิลิคสี่ตัวครอบบริเวณแผ่นแพลทหมุน เพื่อควบคุมและลดแสงจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่จะเข้ามากระทบกับวัตถุที่ต้องการสแกนส่วนอีกด้านหนึ่งของโต๊ะจะเป็นที่วางของกล่องและหัวยิงเลเซอร์แบบเส้น ซึ่งสามารถปรับระยะใกล้ไกลจากแผ่นแพลทหมุนได้ และยังสามารถปรับระดับความสูงของระดับตัวกล่องและหัวเลเซอร์ได้



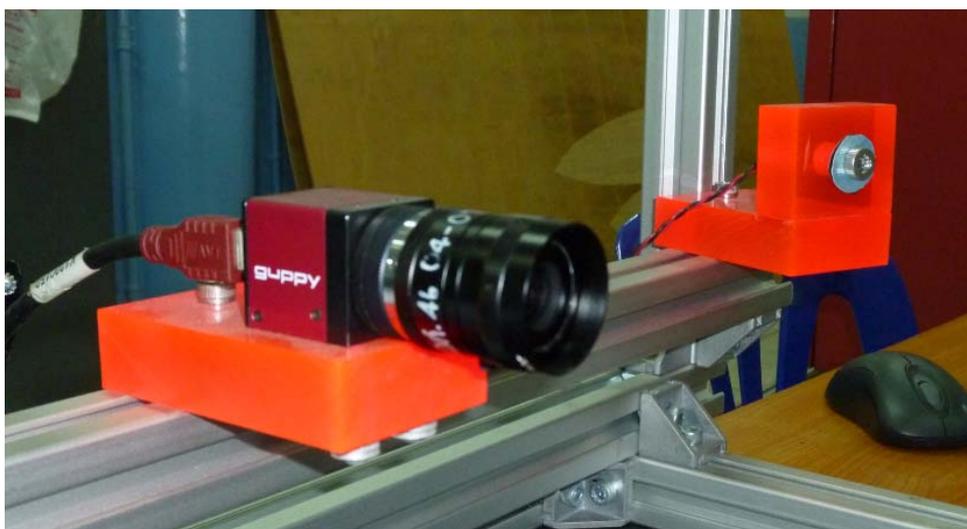
รูปที่ 3.6 โต๊ะหมუნและอุปกรณ์ต่างๆ ในการสแกน



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุม

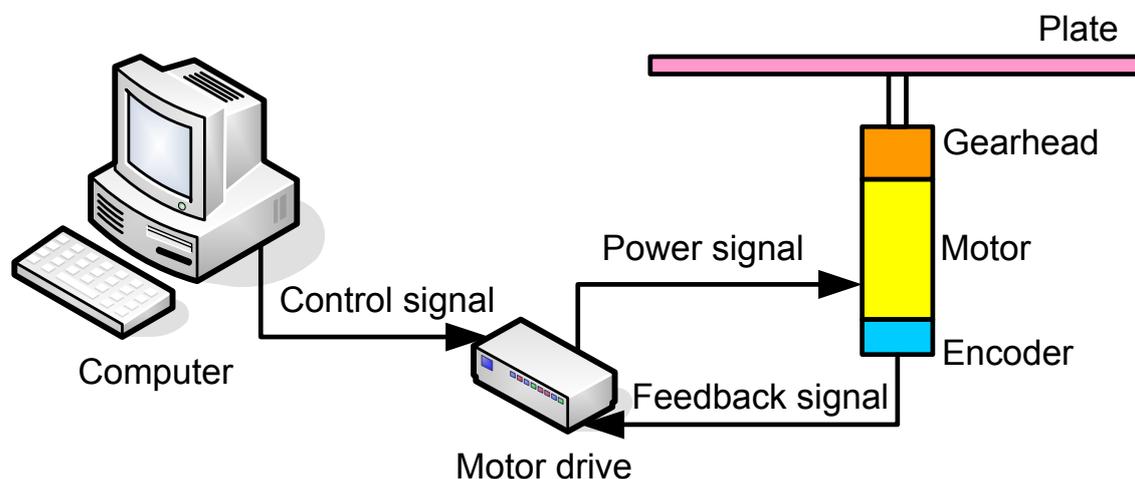


รูปที่ 3.8 ตำแหน่งของตู้ควบคุม



รูปที่ 3.9 การวางตำแหน่งของกล้องและหัวยิงเลเซอร์

สำหรับการควบคุมการหมุนของแผ่นแพลทนั้น ได้ใช้การควบคุมบนพื้นฐานคอมพิวเตอร์ ซึ่งในคอมพิวเตอร์จะติดตั้ง DAQ การ์ด ของ NI รุ่น NI-PCI6221 ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุม ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ไปยังมอเตอร์ไดรฟ์ที่ผลิตโดย Copley controls สัญญาณที่ส่งไปนั้นจะมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์(pulse) โดยที่ส่งไป 1 พัลส์ มอเตอร์ก็จะหมุนไปได้ 1/4พัลส์ของเอ็นโคเดอร์ นั่นหมายความว่าถ้าต้องการให้แผ่นแพลทหมุนได้ 1 รอบ จะต้องส่งสัญญาณพัลส์เป็นจำนวน $720 \times 9 \times 4 = 25920$ พัลส์สำหรับทิศทางการหมุนของมอเตอร์นั้นได้สัญญาณดิจิตอลออกจาก DAQ การ์ดเป็นสัญญาณควบคุม โดยที่ถ้าสัญญาณดิจิตอลขาออกเป็น 5 โวลต์ มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าออกเป็น 0 โวลต์มอเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา สำหรับในโครงการวิจัยนี้ได้กำหนดให้แผ่นแพลทหมุนครั้งละ 1 องศาแล้วทำการเก็บข้อมูลภาพด้วยกล้องตั้งนั้นคำสั่งในการสร้างพัลส์ในแต่ละครั้งจะต้องสร้างพัลส์จำนวน 72พัลส์ ส่วนทิศทางในการหมุนกำหนดหมุนทิศทางเดียวคือ ตามเข็มนาฬิกา เท่านั้น



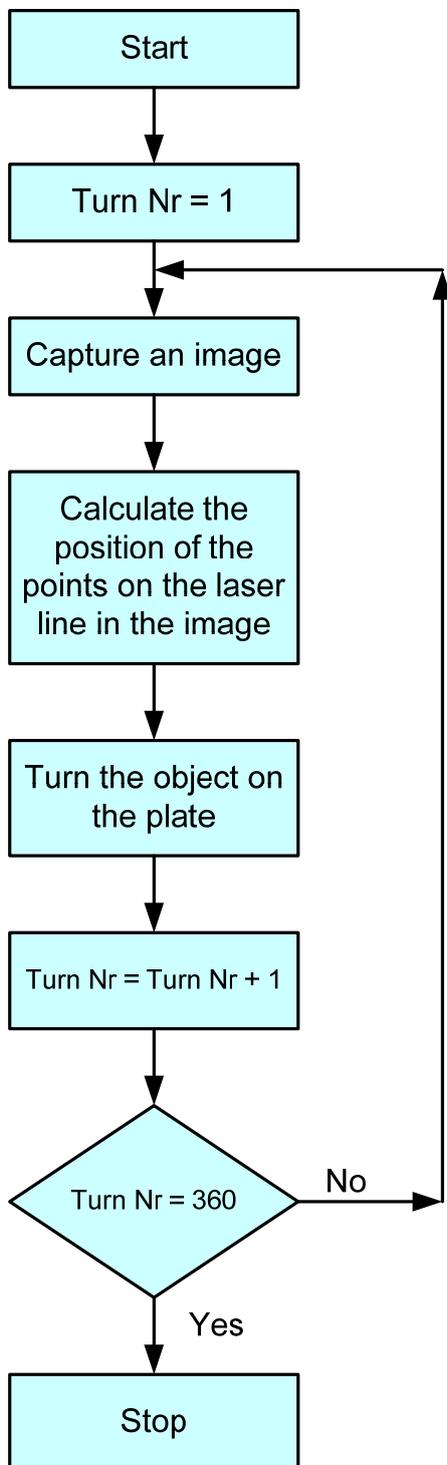
รูปที่ 3.10 แผนผังการควบคุมการหมุนของแผ่นแพลท

3.5 โปรแกรมและการประมวลผล

ในส่วนของโปรแกรมควบคุมผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEWเข้ามาช่วยในการพัฒนา โดยที่โปรแกรมที่พัฒนานี้ใช้ทั้งในการควบคุมการหมุนของแผ่นแพลทและการเก็บข้อมูลรูปภาพและยังรวมไปถึงการคำนวณหาตำแหน่งจุดบนเส้นของเลเซอร์ที่อยู่บนวัตถุที่ต้องการสแกน โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีลำดับการทำงานอยู่คือ

1. เก็บข้อมูลรูปภาพจากกล้อง
2. ประมวลผลรูปภาพและคำนวณหาตำแหน่งจุดบนเส้นของเลเซอร์
3. ควบคุมการหมุนของแผ่นแพลท ให้หมุนไปอีก 1 องศา
4. ตรวจสอบว่าการหมุนของแผ่นแพลท ถ้าหมุนครบ 360 องศา หยุดการทำงาน ถ้ายังไม่ครบ ให้ไปเริ่มทำงานตามข้อ 1

จากลำดับการทำงานของโปรแกรมข้างต้นสามารถเขียนเป็นแผนภาพลำดับการทำงานของโปรแกรมได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนภาพลำดับการทำงานของโปรแกรม

จากลำดับการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้น มีลำดับที่สำคัญที่สุดนั่นก็คือ ลำดับที่ 2 ประมวลผลรูปภาพและคำนวณหาตำแหน่งจุดบนเส้นของเลเซอร์ ซึ่งในลำดับนี้สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อย คือ

1. การประมวลผลภาพ
2. การคำนวณหาตำแหน่งจุดบนเส้นของเลเซอร์

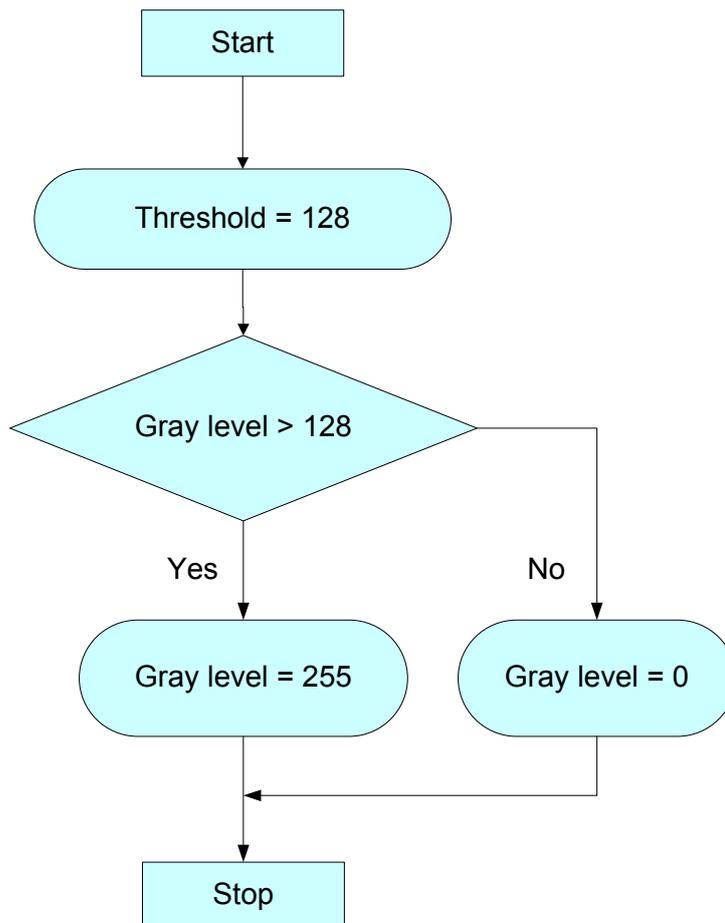
ขั้นตอนแรก การประมวลผลภาพ ขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนคือ

1. การแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาวกับดำ

ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องเริ่มจากการรับข้อมูลรูปภาพจากกล้องซึ่งเป็นภาพสี จากนั้นทำการแปลงภาพที่ได้ให้เป็นภาพขาวเทา (gray scale) จากนั้นทำการแปลงภาพขาวเทาให้เป็นภาพขาวกับดำ ผ่านขบวนการที่เรียกว่า การทำไบนารีไรซ์(binarization) ซึ่งการทำไบนารีไรซ์เป็นการนำค่าสีในระดับภาพขาวเทาของพิกเซล(pixel) ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับค่าเทรสโฮลด์ (threshold) ที่ตั้งไว้และเก็บค่าพิกเซลใหม่ทุกพิกเซล ซึ่งสำหรับโครงการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองจนได้ค่าค่าเทรสโฮลด์อยู่ที่ 70เป็นค่าที่ดีที่สุดในการแปลงภาพ ดังนั้น ถ้าค่าสีในภาพขาวเทา มีค่าระหว่าง 0 - 70จะได้ค่าสีใหม่เป็น 0(สีดำ) และถ้าค่าสีในภาพขาวเทามีค่าระหว่าง 71 - 255จะได้ค่าสีใหม่เป็น 255 (สีขาว) ดังนั้นเมื่อทำไบนารีไรซ์แล้วค่าสีในภาพขาวเทา ที่ได้จะมีค่าเป็น 0หรือ 255เท่านั้นดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12การแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาวกับดำ

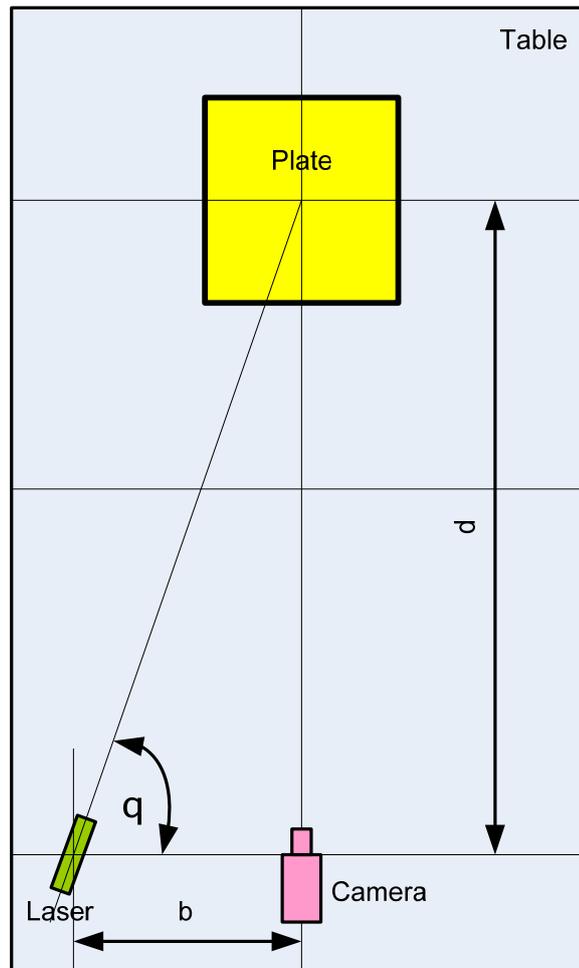


รูปที่ 3.13 แผนผังการทำไบนารีไรซ์

2. การหาจุดบนเส้นเลเซอร์ในข้อมูลรูปภาพ

เมื่อได้ภาพขาวกับดำจากขั้นตอนที่ผ่านมา จากนั้นก็นำมาหาขอบเส้นเลเซอร์บนข้อมูลรูปภาพพร้อมทั้งหาจุดตรงกลางของเส้นเลเซอร์ในระบบพิกัดของภาพ (image coordinate system) คือ (u, v) หรือ (x', y') ซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้เทคนิค line scan เข้ามาช่วย โดยจะทำการสแกนหาตำแหน่งจุดสีขาวในแต่ละแถว แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของตำแหน่งจุดสีขาวในแต่ละแถว ค่าที่ได้ก็คือจุดบนเส้นเลเซอร์ที่อยู่บนพิกัดภาพ

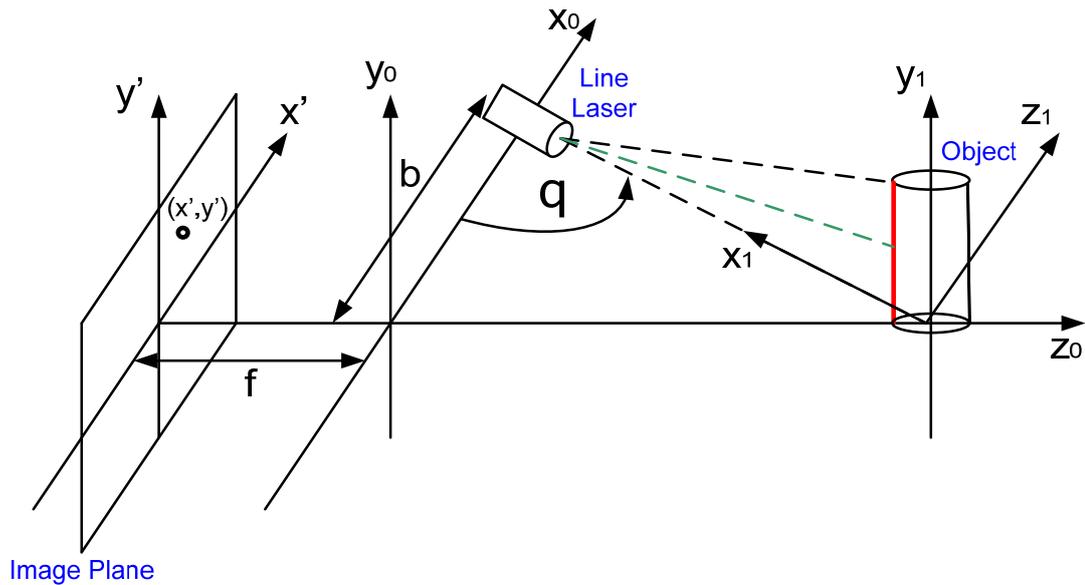
ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณหาตำแหน่งจุดบนเส้นของเลเซอร์ ในขั้นตอนนี้จะรับข้อมูลจุดบนเส้นเลเซอร์ที่อยู่บนพิกัดภาพในขั้นตอนแรกมาคำนวณต่อ โดยแปลงข้อมูลจุดที่ได้ให้เป็นข้อมูลจุดที่อยู่ในระบบพิกัดของโลก (world coordinate system) ซึ่งในการคำนวณนั้นจำเป็นต้องรู้ระยะทางและมุมที่จำเป็นดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนภาพการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมระยะและมุมบนโต๊ะ

สำหรับโครงการวิจัยนี้วัตถุจะถูกวางไว้บนโต๊ะหมุน และมีเลเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดแสงสีแดงไปโปรเจกบนวัตถุ และมีกล้องดิจิตอลมาเก็บภาพเส้นสีแดงที่ตกกระทบบนวัตถุ เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาตำแหน่งหรือพิกัดของเส้นที่ตกกระทบบนวัตถุ ซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งหรือพิกัดของเส้นที่ตกกระทบบนนั้น จะมีกระบวนการคำนวณอยู่หลายขั้นตอนด้วยกัน คือ

1. การคำนวณหาตำแหน่งของเส้นเลเซอร์ตกกระทบบนจากเฟรมของรูปภาพ ($x'y'$) ให้อยู่ในเฟรมของโลกเมื่อจุดกำเนิดอยู่ที่เลนซ์ ($x_0y_0z_0$)



รูปที่ 3.15 ระบบพิกัดในการคำนวณหาตำแหน่งของเส้นเลเซอร์บนวัตถุ

สมการการหาตำแหน่งเส้นจาก Laser บนวัตถุเมื่อเทียบกับ Frame xyz คือ

$$x = \frac{bd_x x'}{f \cot(\theta) - d_x x'} \quad (3.1)$$

$$y = \frac{bd_y y'}{f \cot(\theta) - d_x x'} \quad (3.2)$$

$$z = \frac{bf}{f \cot(\theta) - d_x x'} \quad (3.3)$$

โดยที่ f คือ focal length of the lens

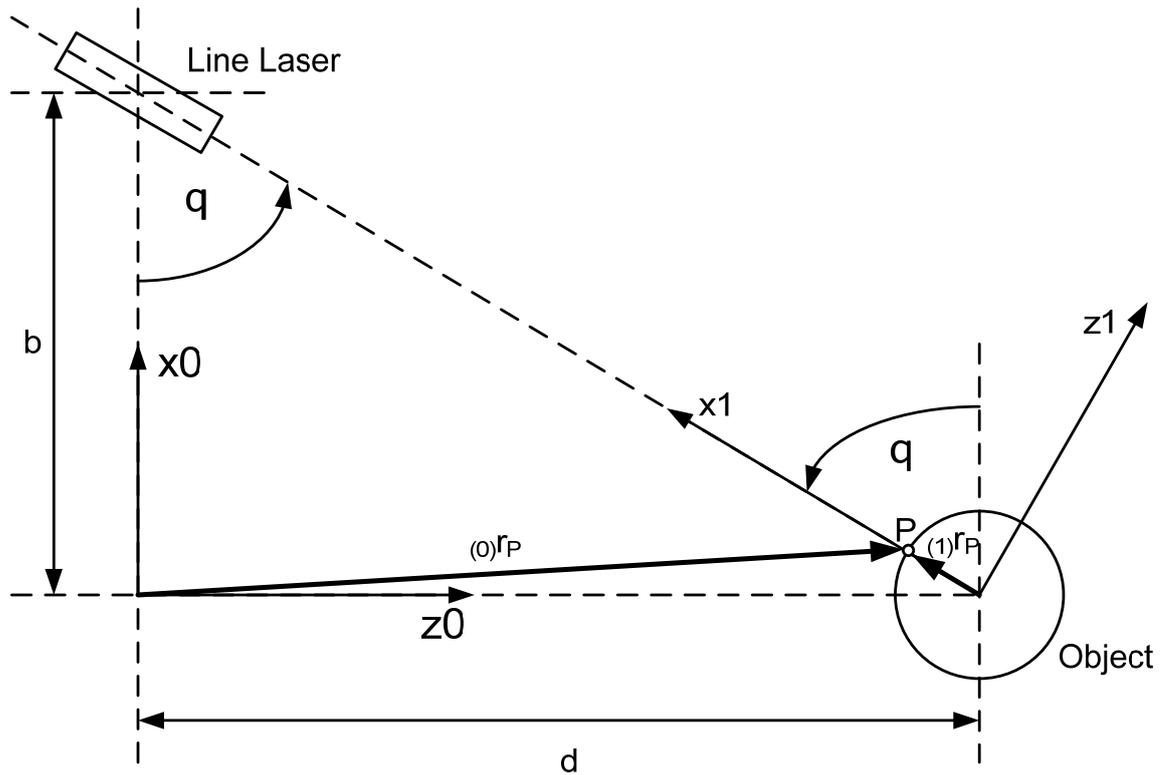
คือ มุมระหว่าง Base line กับแนวของเส้น Laser

b คือ ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางกล้องหรือเลนส์ไปถึงจุดศูนย์กลางของหัว Laser

x', y' คือ ค่าตำแหน่งของเส้นเลเซอร์บนข้อมูลรูปภาพ

d_x, d_y คือ ขนาดของพิกเซลในเซนเซอร์กล้องในแนวแกน x และ y

- เมื่อได้ค่าตำแหน่งเส้นเลเซอร์เมื่ออยู่ในแฟรมของโลกเมื่อจุดกำเนิดอยู่ที่เลนส์ $(x_0 y_0 z_0)$ แล้ว จะทำการ transform ไปอยู่ที่จุดศูนย์กลางของ turn table หรือแฟรม $(x_1 y_1 z_1)$ ดังรูปที่ 3.16 ด้านล่าง



รูปที่ 3.16 ภาพฉายด้านบนของระบบพิกัด

ในการ transform มีสมการคำนวณดังนี้

$${}_{(1)}\mathbf{r}_P = T_0^1 {}_{(0)}\mathbf{r}_P \quad (3.4)$$

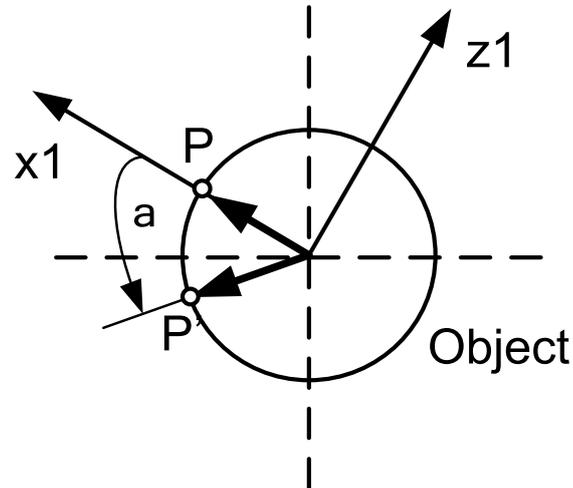
โดยที่ ${}_{(0)}\mathbf{r}_P = [x \ y \ z]^T$ คือตำแหน่งบนเส้น laser ที่วัดเทียบกับ frame กล้อง หรือ $x_0y_0z_0$ ส่วน transformation matrix T_0^1 สามารถคำนวณหาได้จาก

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} {}^{01}R' & -{}^{10}R' {}_{(0)}\mathbf{r}_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

โดยที่ ${}^{01}R$ คือ rotation matrix จากรูปที่ 3.16 ก็จะได้ว่าเป็นการหมุนรอบแกน Y เท่านั้น ดังนั้น ${}^{01}R$ สามารถหาได้ดังนี้

$${}^{01}R = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

สำหรับ ${}_{(0)}\mathbf{r}_1$ คือเวกเตอร์ตำแหน่งของจุดกำเนิด Frame $x_1y_1z_1$ เมื่อเทียบกับ frame $x_0y_0z_0$ จากรูปที่ 3.16 ทำให้ทราบว่าค่าของ ${}_{(0)}\mathbf{r}_1 = [0 \ 0 \ d]^T$



รูปที่ 3.17 ระบบพิกัดบนโต๊ะหมุน

3. โดยที่ค่า ${}_{(1)}\mathbf{r}_P$ ที่ได้จะอยู่ในเทอมดังนี้ ${}_{(1)}\mathbf{r}_P = [x_P \ y_P \ 0]^T$ เมื่อได้ ${}_{(1)}\mathbf{r}_P$ แล้วจากนั้นต้องทำการแปลงตำแหน่งนี้ เมื่อ turn table หมุนทำมุม α รอบแกน y_1 เมื่อวัดจากแกน x_1 ดังนั้นค่าตำแหน่งที่แท้จริงของเส้นที่อยู่วัตถุก็คือ

$$X = x_P \cos(\alpha) \quad (3.7)$$

$$Y = y_P \quad (3.8)$$

$$Z = x_P \sin(\alpha) \quad (3.9)$$

บทที่ 4

การทดลองและผลลัพธ์

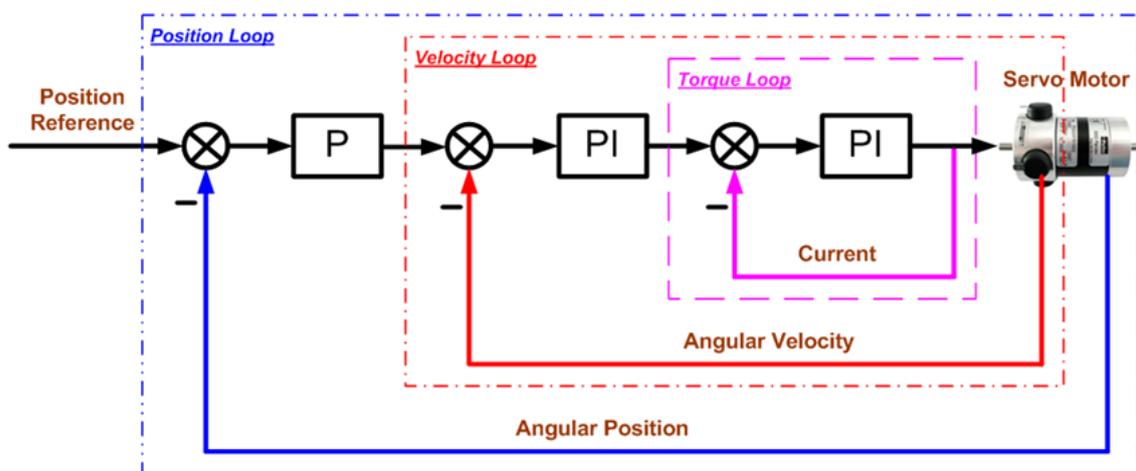
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการทำงานของเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ โดยการทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การทดลองการควบคุมการหมุนของแผ่นแพลตหรือมอเตอร์ การทดลองนี้จะเป็นการพิสูจน์ถึงการหมุนของแผ่นแพลตว่าหมุนได้ถูกต้องหรือไม่ 2. การทดลองหาค่า threshold ที่เหมาะสมกับเครื่อง 3. การทดสอบการหาจุดบนเส้นเลเซอร์บนวัตถุ

4.1 การทดลองการควบคุมการหมุนของแผ่นแพลตหรือมอเตอร์

การทดลองนี้ถูกออกแบบมาเพื่อที่จะใช้ในการออกแบบระบบควบคุมการหมุนของแผ่นแพลตหรือมอเตอร์ให้หมุนไปตามตำแหน่งที่ต้องการ ถ้ามอเตอร์หมุนผิดพลาดมากจะสามารถทำให้ผลการแปลงค่าจากเส้นเลเซอร์ในรูปภาพให้เป็นตำแหน่งจริงผิดพลาดตามไปด้วย ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่จำเป็นที่จะต้องออกแบบตัวควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุดเพื่อที่จะได้ลดความผิดพลาดลง โดยที่แผนผังการควบคุมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

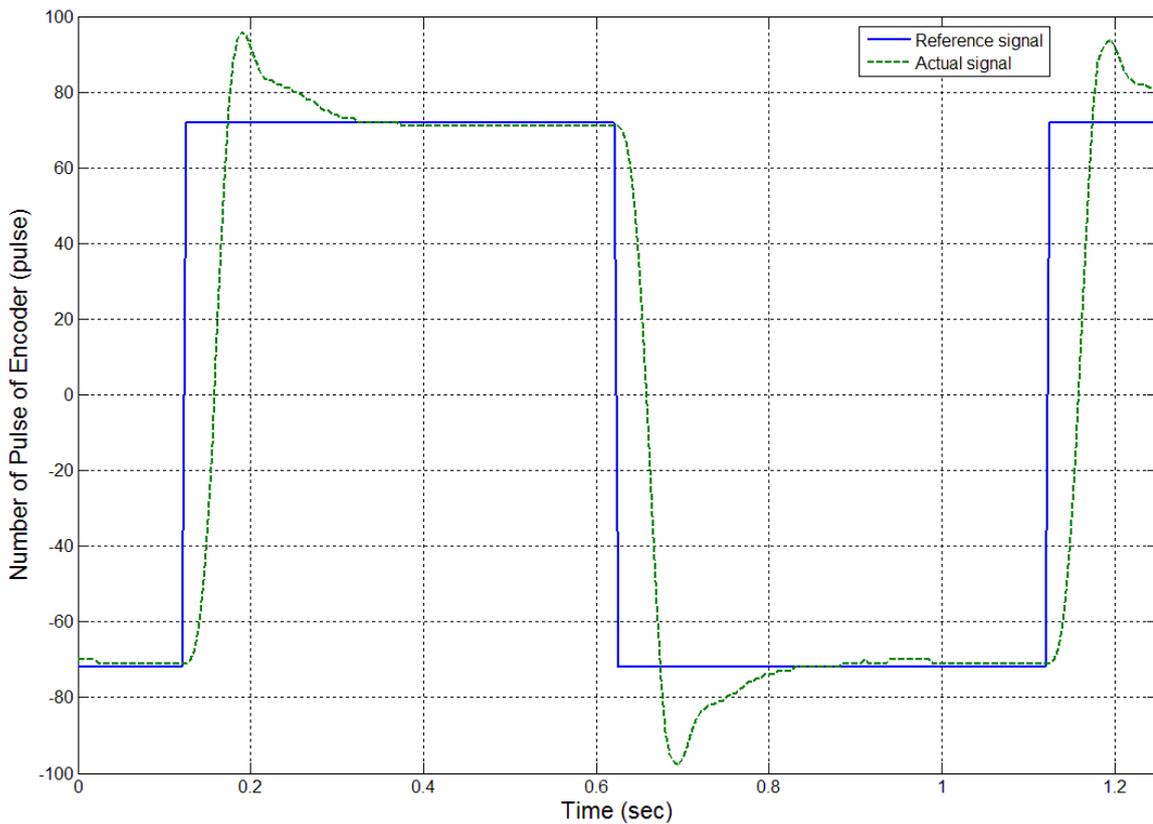
ซึ่งรูปในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์แบ่งออกได้เป็น 3 รูปด้วยกัน คือ

1. ลูปควบคุมกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ ซึ่งลูปนี้ก็คือการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์นั่นเอง ในลูปนี้ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI controller) โดยที่ค่าเกณฑ์ในการควบคุมก็คือ $C_P = 2582$ และ $C_I = 670$
2. ลูปควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ สำหรับลูปนี้ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ (PI controller) โดยที่ค่าเกณฑ์ในการควบคุมก็คือ $V_P = 1000$ และ $V_I = 1011$
3. ลูปควบคุมตำแหน่งในการหมุนของมอเตอร์ สำหรับลูปนี้ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพี (P controller) โดยที่ค่าเกณฑ์ในการควบคุมก็คือ $P_P = 1000$

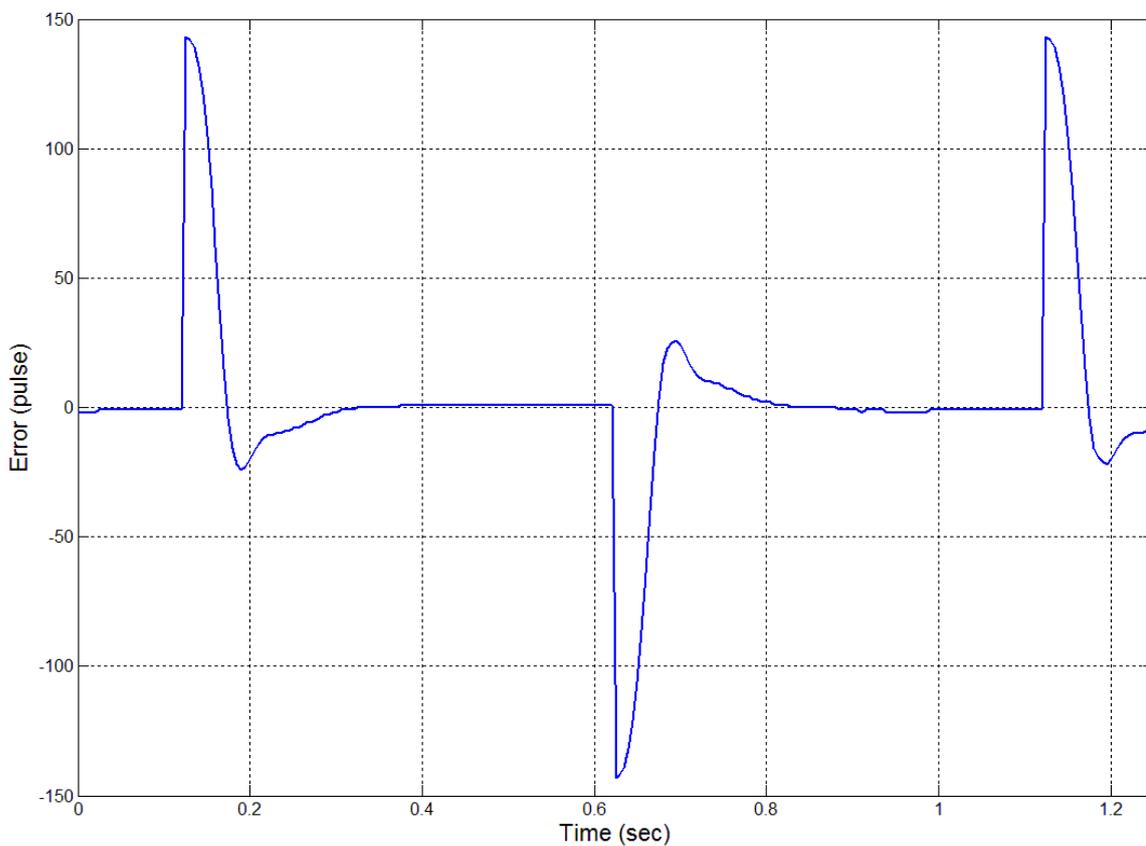


รูปที่ 4.1 แผนผังการควบคุมการหมุนของมอเตอร์

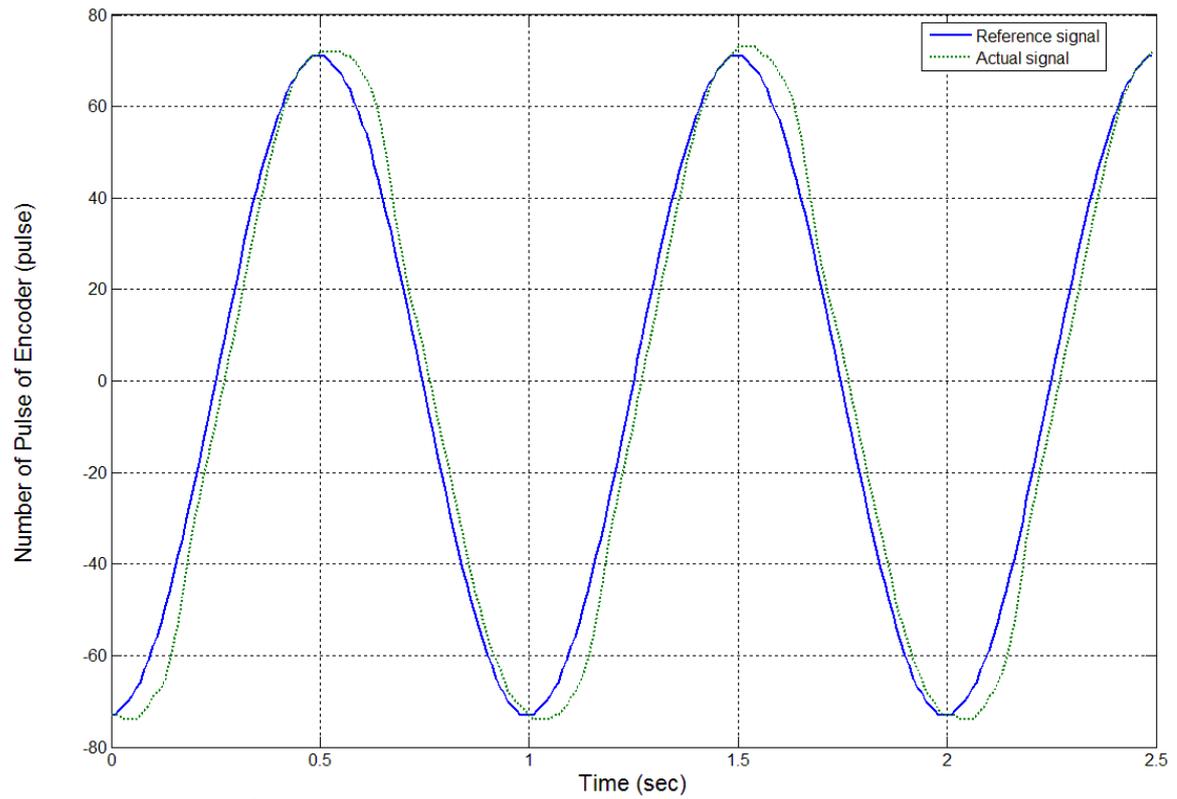
ในการทดลองควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้ทดสอบโดยใช้ค่าอินพุตเป็น 2 รูปแบบสัญญาณ คือ 1.สัญญาณพลัส ที่มีค่าแอมป์ริจูดที่ 72พลัสของสัญญาณเอ็นโคเดอร์และมีความถี่เท่ากับ 1Hz ส่วนสัญญาณที่ 2 เป็นสัญญาณซายน์ที่มีค่าแอมป์ริจูดที่ 72พลัสของสัญญาณเอ็นโคเดอร์และมีความถี่เท่ากับ 1Hz เช่นเดียวกับสัญญาณแรก ซึ่งผลการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ถึง 4.5



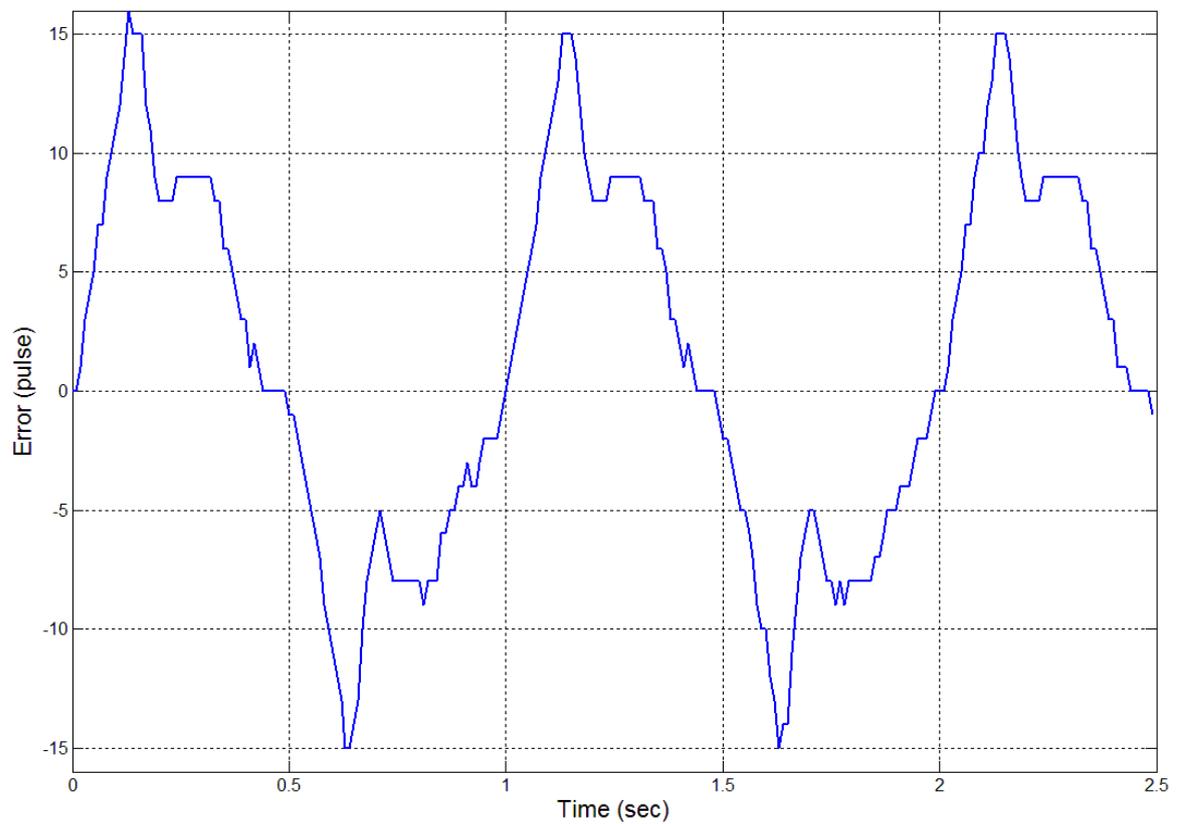
รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองของมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทแบบพัลส์



รูปที่ 4.3 ผลค่าความผิดพลาดในการควบคุมมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทแบบพัลส์



รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทแบบซายน์



รูปที่ 4.5 ผลค่าความผิดพลาดในการควบคุมมอเตอร์เมื่อมีสัญญาณอินพุทแบบซายน์

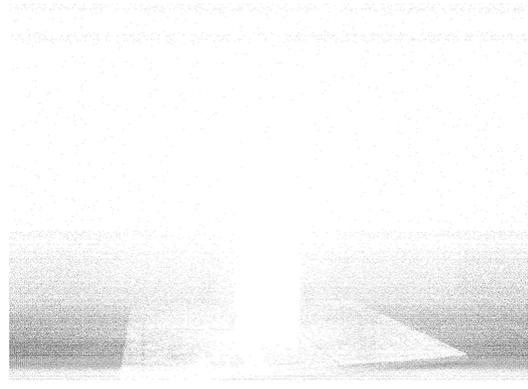
จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.2 ถึง 4.5) แสดงให้เห็นได้ว่าระบบควบคุมสามารถควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งเมื่อพิจารณาในกรณีที่มีสัญญาณอินพุทเป็นอิมพัลส์ ผลตอบสนองของมอเตอร์จะมีเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูทอยู่ที่ 30% และมีค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวอยู่ที่ ± 1 พัลส์ของเอ็นโคเดอร์ ซึ่งถือว่าน้อยมาก ส่วนกรณีที่มีสัญญาณอินพุทเป็นชาน์ ผลตอบสนองของมอเตอร์สามารถติดตามสัญญาณอ้างอิงได้เป็นอย่างดี และมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ ± 15 พัลส์ของเอ็นโคเดอร์จากทั้งสองรูปแบบของสัญญาณอินพุทจะเห็นได้ว่า เมื่อสัญญาณอินพุทแบบอิมพัลส์มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า ดังนั้นในการควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ในโครงการวิจัยนี้จะเลือกใช้สัญญาณอินพุทที่จะป้อนเข้าสู่ระบบควบคุมมอเตอร์เป็นแบบอิมพัลส์

4.2 การทดลองหาค่า threshold ที่เหมาะสมกับเครื่อง

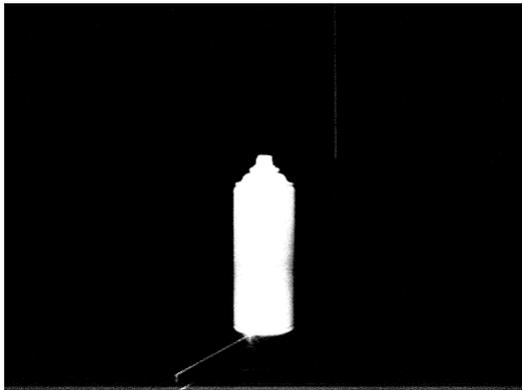
การทดลองนี้เป็นการทดลองเกี่ยวกับการทำงานกับกล้อง โดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เข้ามาช่วยในการพัฒนาโปรแกรมในการทดลอง ซึ่งการทดลองนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบค่า threshold ที่ใช้ในการแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาวกับดำที่จะทำให้ได้ภาพขาวและดำที่แสดงเส้นเลเซอร์บนผิววัตถุที่ชัดเจนมากที่สุดและลดภาพอื่นที่ไม่ต้องการออกไปให้ได้มากที่สุดเช่นกัน ในการทดลองนี้ได้ทำการปรับค่า threshold ตั้งแต่ค่า 0 ถึง 250 โดยเพิ่มขึ้นครั้ง 10 และสภาวะในการทดลองอยู่ในสภาวะควบคุมแสงซึ่งอยู่ภายในห้องทดลองเท่านั้น ซึ่งผลการทดลองก็คือรูปเส้นเลเซอร์บนผิววัตถุในภาพขาวกับดำได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 วัตถุที่ใช้ทดลองการปรับค่า threshold



threshold =0



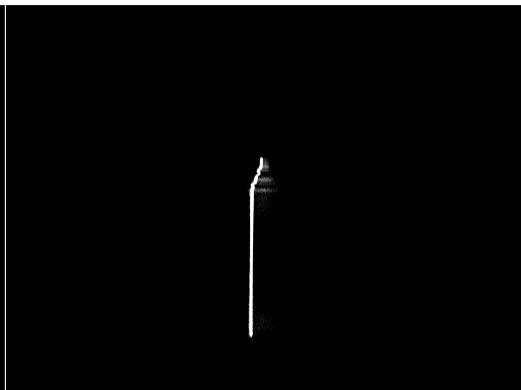
threshold =10



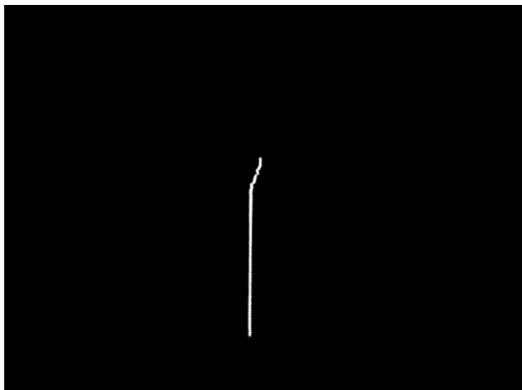
threshold =20



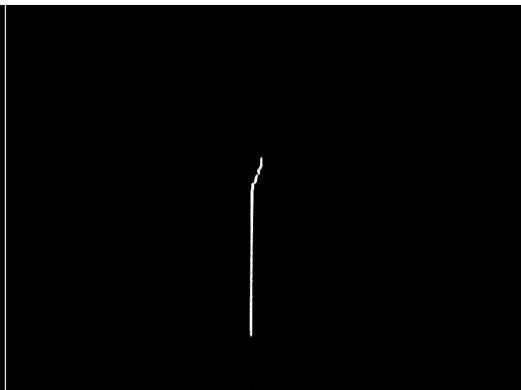
threshold =30



threshold =40



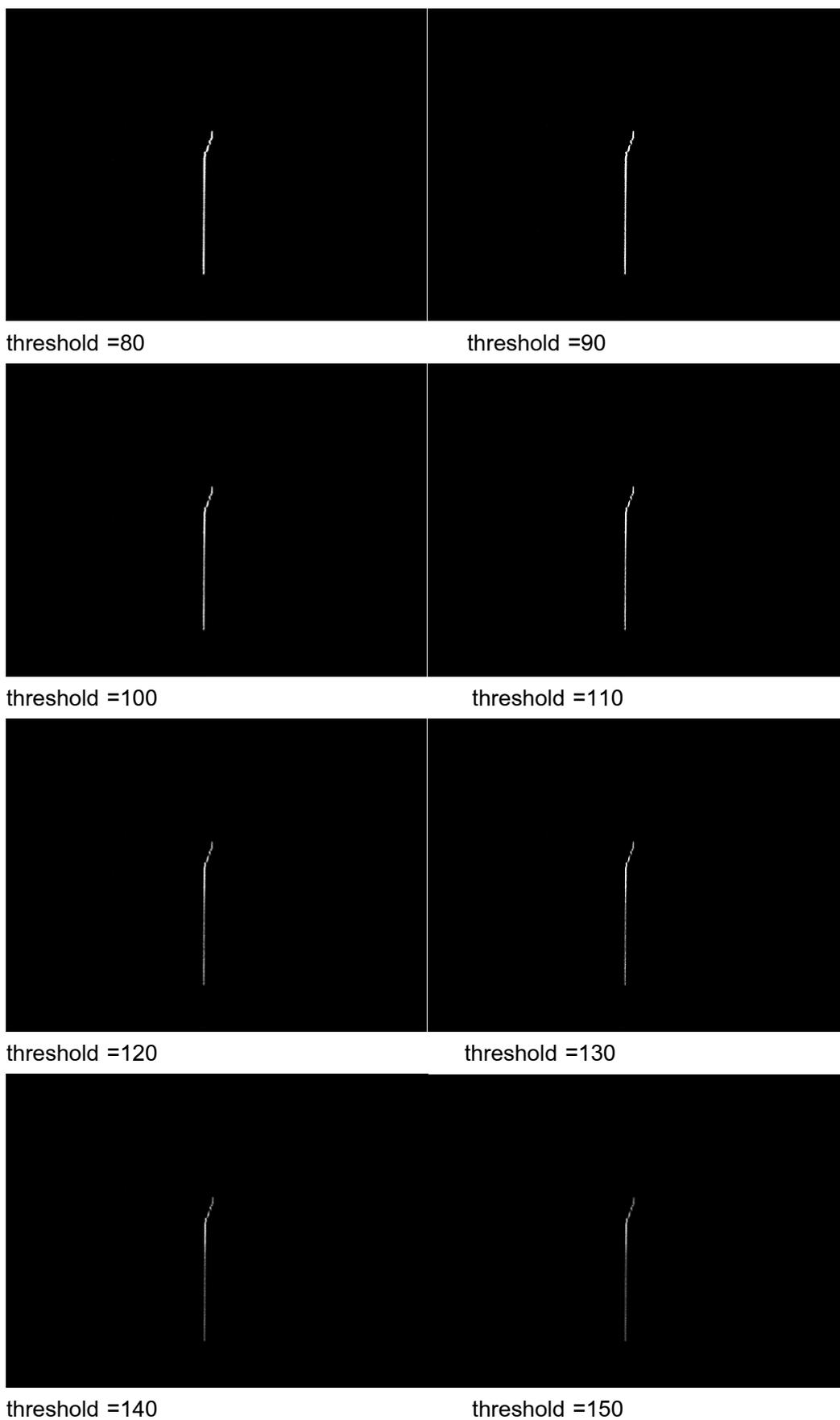
threshold =50



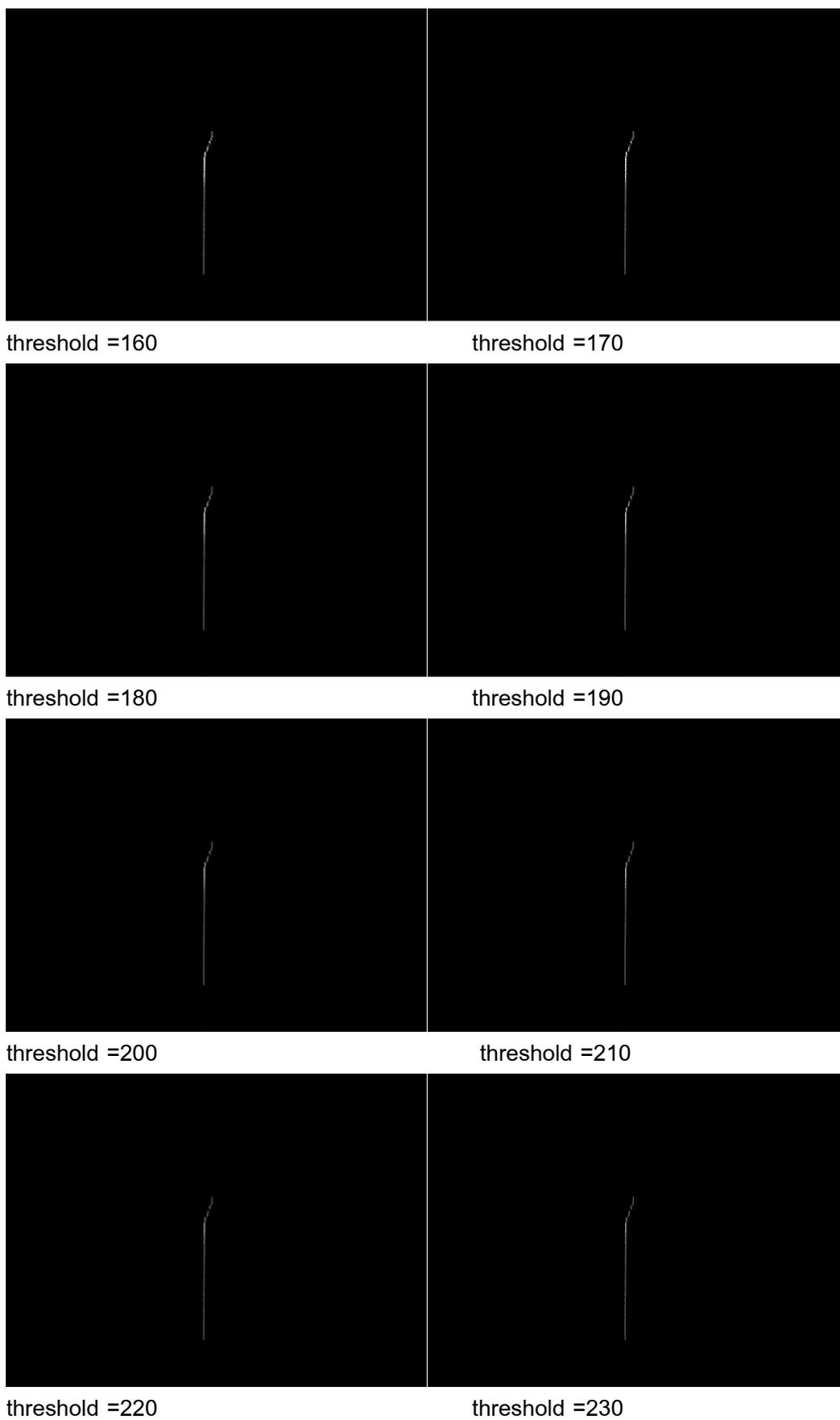
threshold =60

threshold =70

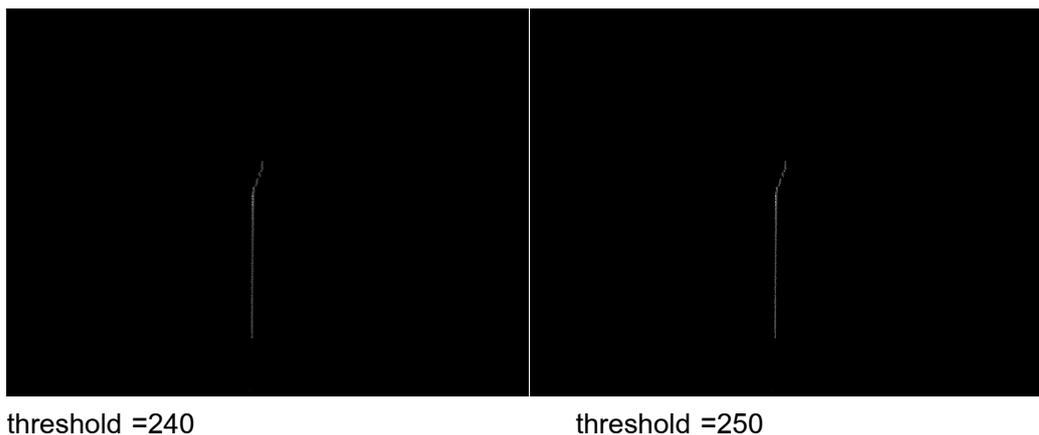
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองการปรับค่า threshold



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองการปรับค่า threshold (ต่อ)



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองการปรับค่า threshold (ต่อ)



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองการปรับค่า threshold (ต่อ)

จากภาพผลการทดลองทั้ง 26 ภาพ พบว่าเมื่อค่า threshold ต่ำ ภาพจะแสดงสิ่งที่ไม่ต้องการมาก และเมื่อมีค่า threshold สูง ภาพจะแสดงเส้นเลเซอร์บนวัตถุไม่ชัดเจน ดังนั้นในการเลือกค่าที่เหมาะสมนั้น ผู้วิจัยใช้วิธีการเปรียบเทียบภาพที่ได้จากการทดลองด้วยการสังเกตว่าภาพไหนที่แสดงเส้นเลเซอร์บนวัตถุชัดเจนและแสดงสิ่งที่ไม่ต้องการมากที่สุด ซึ่งจากการสังเกตของผู้วิจัย ผู้วิจัยได้เลือกค่า threshold เท่ากับ 70 เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับโครงการวิจัยนี้

4.3 การทดสอบการหาจุดบนเส้นเลเซอร์บนวัตถุ

สำหรับการทดลองนี้เป็นการทดสอบการทำงานของระบบการทำงานของเครื่อง โดยผลที่ได้ก็คือจุดบนวัตถุที่อยู่บนเส้นเลเซอร์ที่คำนวณมาได้และจะแสดงออกมาบนซอฟต์แวร์ MATLAB ซึ่งจะมีวัตถุที่จะมาทำการทดสอบทั้งหมด 5 ชิ้นงานด้วยกัน

ในการคำนวณจะใช้สมการการคำนวณตามหัวข้อที่ 3.5 ที่ได้แสดงไว้ ดังนั้นค่าตัวแปรที่จะต้องแทนลงไปในสมการในหัวข้อที่ 3.5 นั้นมีค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณจุดให้อยู่ในระบบพิกัดของโลก

ลำดับ	ตัวแปร	ค่าและหน่วย
1	ระยะทางจากกล้องถึงจุดศูนย์กลางของแผ่นแพลท, d	0.636 เมตร
2	ระยะทางจากกล้องถึงหัวเลเซอร์, b	0.248 เมตร
3	ระยะความยาวโฟกัส, f	0.006 เมตร
4	ความกว้างของ pixel, d_x, d_y	0.000022 เมตร
5	มุม	1.199เรเดียน

เมื่อได้ค่าตัวแปรต่างๆเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นนำไปแทนค่าในสมการที่ (3.1) ถึง (3.3) ได้สมการใหม่เป็น

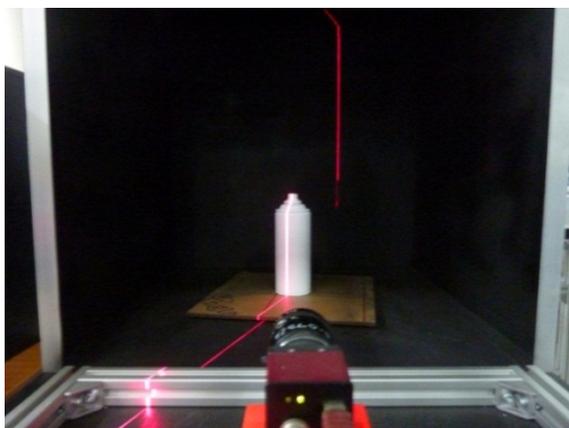
$$x = \frac{(5.456 \times 10^{-7})x'}{0.0023 - (2.2 \times 10^{-6})x'} \quad (4.1)$$

$$y = \frac{(5.456 \times 10^{-7})y'}{0.0023 - (2.2 \times 10^{-6})x'} \quad (4.2)$$

$$z = \frac{1.488 \times 10^{-3}}{0.0023 - (2.2 \times 10^{-6})x'} \quad (4.3)$$

4.3.1 การทดลองสแกนวัตถุที่สมมาตร

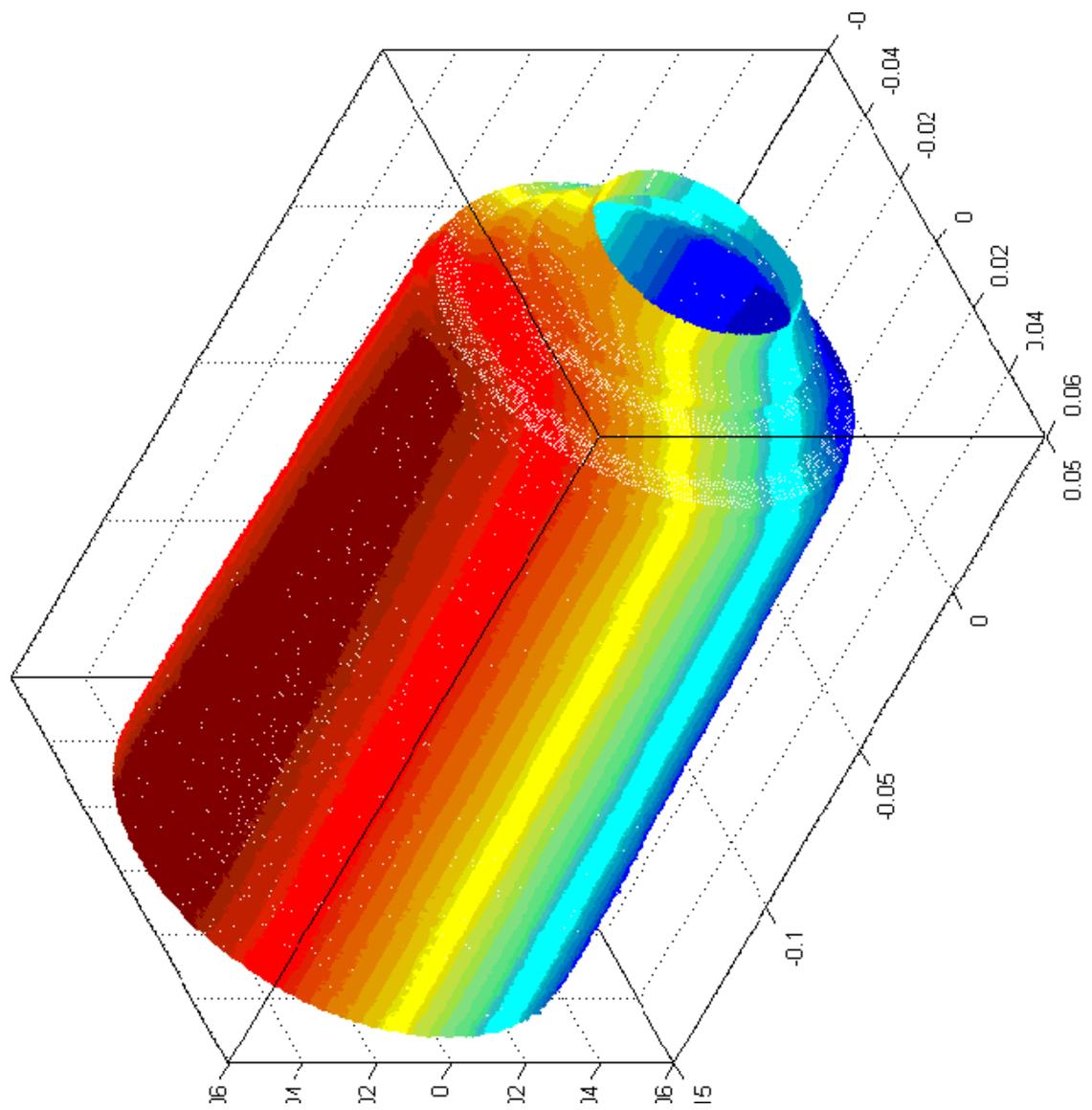
วัตถุที่ทดลองครั้งแรกนี้เป็นวัตถุที่มีรูปทรงสมมาตร คือ กระจ่างสเปรย์ และพ่นสีขาวด้าน ทั้งกระจ่างเพื่อที่เน้นเส้นเลเซอร์บนวัตถุ การวางกระจ่างสเปรย์จะวางไว้ตรงกลางของแท่นโต๊ะหมุน



รูปที่ 4.11 แสดงการทำงานขณะเก็บข้อมูลภาพกระจ่างสเปรย์



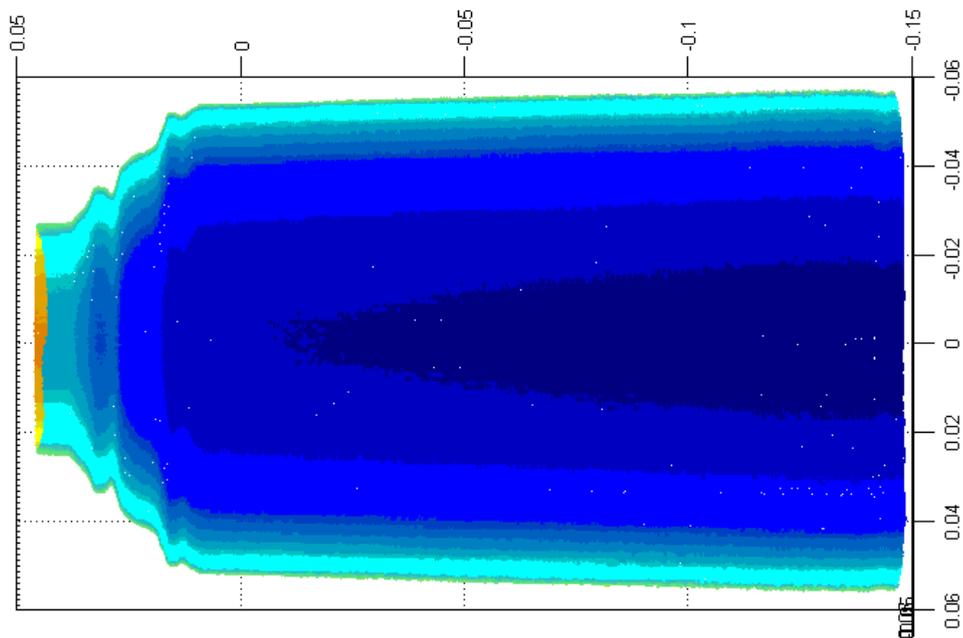
รูปที่ 4.12 กระจ่างสเปรย์ก่อนและหลังแปลงเป็นภาพขาวกับเทา



รูปที่ 4.13 จำลองกระป๋องสเปรย์ที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ

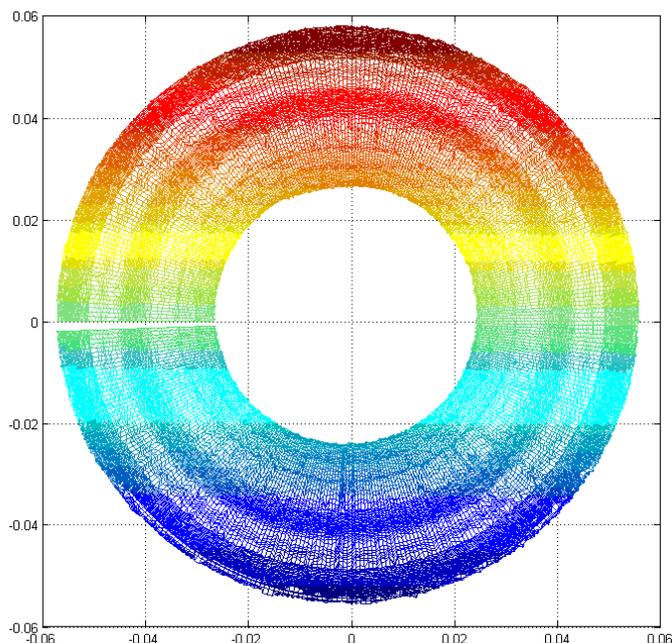


ก. กระจ็องจรัจ



ข. แบนจาลอง

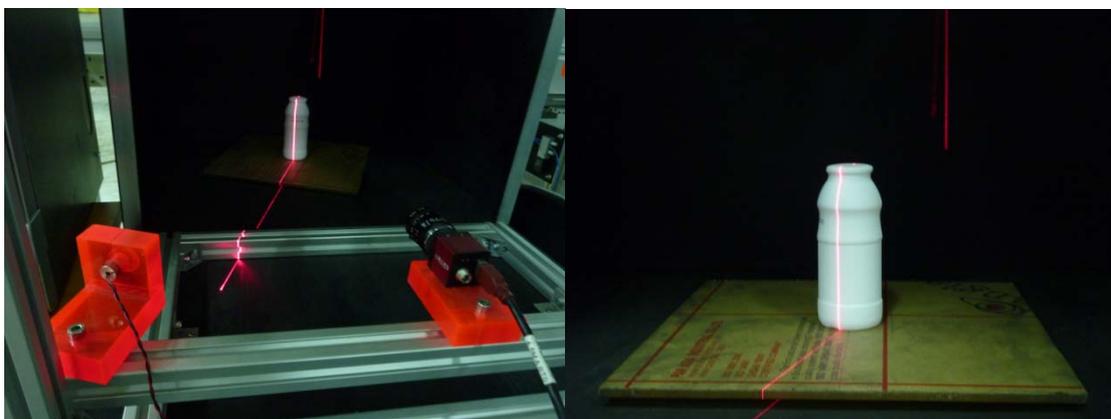
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบระหว่างกระจ็องสเปรย์จรัจกับแบนจาลองกระจ็องสเปรย์
ที่ไ้จากการสแกนในมุมมองด้านข้าง



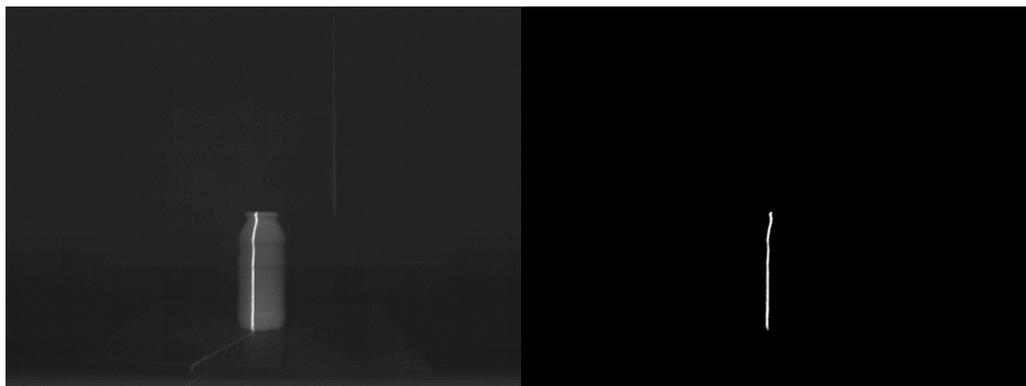
รูปที่ 4.15 จำลองกระป๋องสเปรย์ที่ได้จากการสแกนในมุมมองด้านบน

จากผลการคำนวณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและได้นำมาแสดงผลบนโปรแกรม MATLAB จะเห็นได้รูปทรงรูปร่างของผลที่แสดงมีลักษณะค่อนข้างใกล้เคียงกันกับกระป๋องสเปรย์จริง แต่ในเรื่องของขนาดค่อนข้างเกือบจะเท่ากับของจริงเช่น โดยที่ผลที่ได้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าเล็กน้อยประมาณ 5% แต่ไม่สามารถเก็บรายละเอียดบริเวณด้านบนของกระป๋องสเปรย์หมด เพราะว่าด้านบนของกระป๋องสเปรย์มีลักษณะที่หักมุมมากจนทำให้เส้นแสงเลเซอร์เข้าไปไม่ถึง จึงทำให้กล้องไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ถูกต้องในบริเวณที่แสงเลเซอร์เข้าไปไม่ถึง

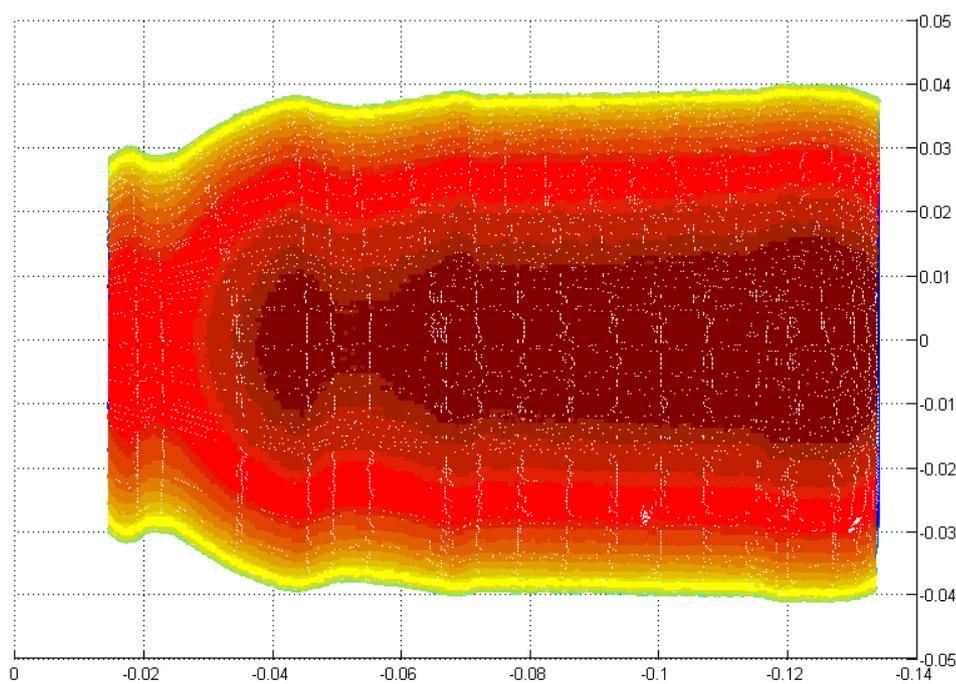
วัตถุชิ้นที่ 2 ที่มีรูปร่างสมมาตรที่นำมาทดลองสแกนคือ ขวดนมยูเอชที ก่อนนำมาสแกนทำการฟืนสีขาวด้านก่อนเพื่อที่จะได้เห็นเส้นเลเซอร์ชัดเจนยิ่งขึ้น



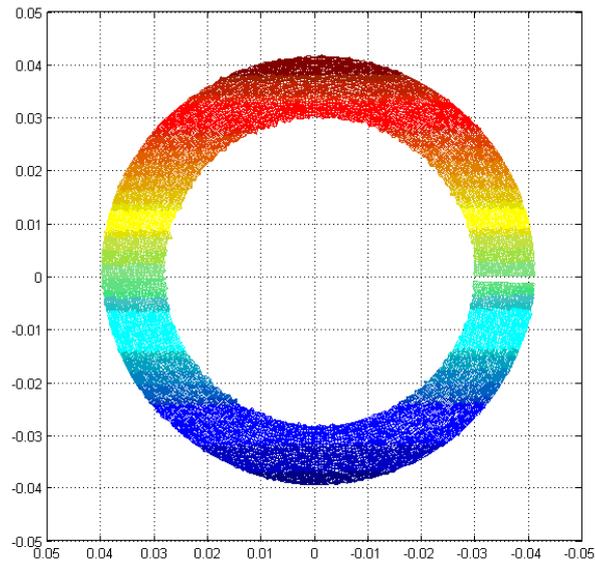
รูปที่ 4.16 การทำงานขณะเก็บข้อมูลภาพขวดนมยูเอชที



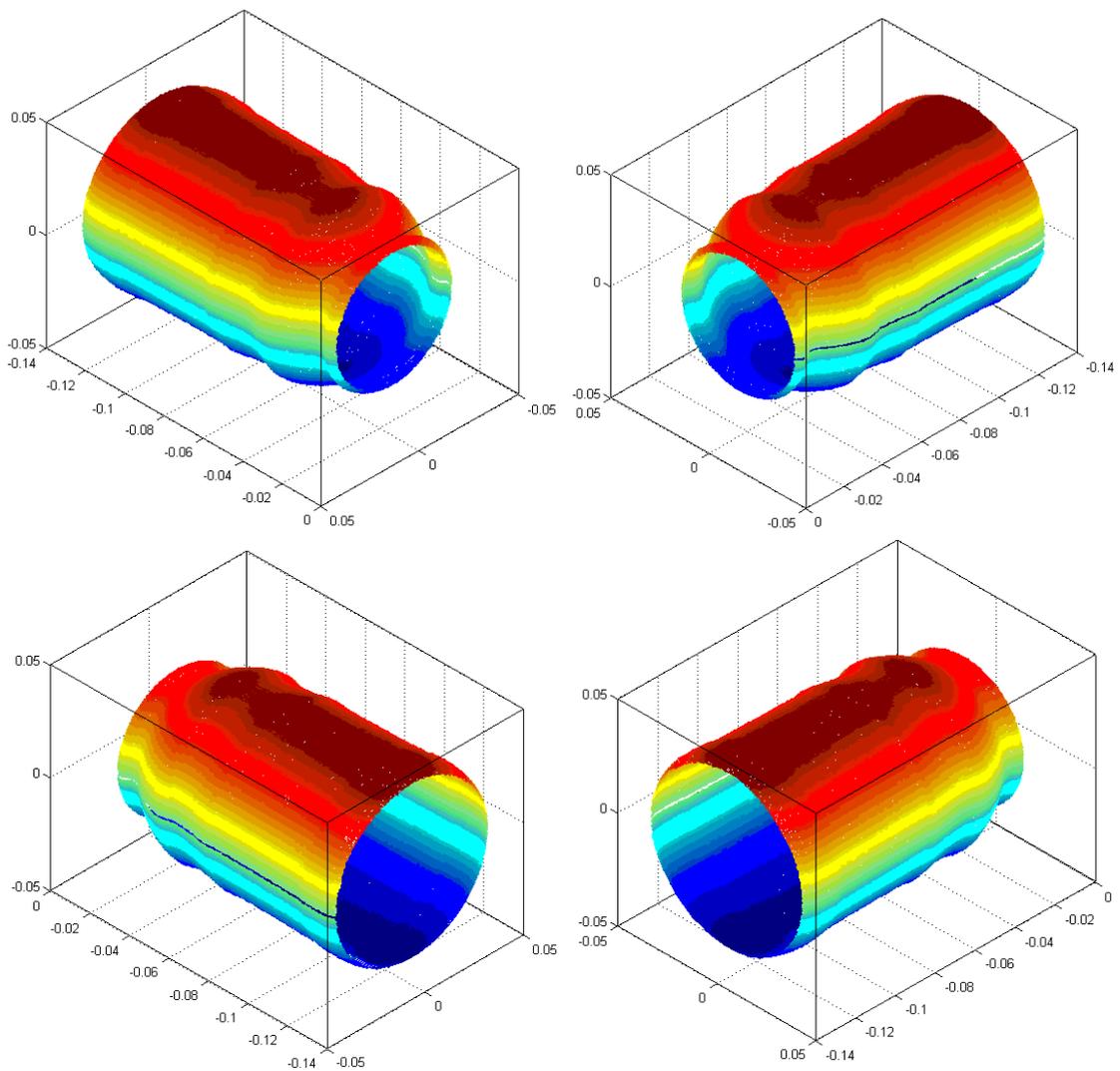
รูปที่ 4.17 ขวดนมยูเอชที ก่อนและหลังแปลงเป็นภาพขาวกับเทา



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบระหว่างกระป๋องสเปรย์จริงกับแบบจำลองขวดนมยูเอชที
ที่ได้จากการสแกนในมุมมองด้านข้าง



รูปที่ 4.19 จำลองขบวนการมยูเอชทีที่ได้จากการสแกนในมุมมองด้านบน



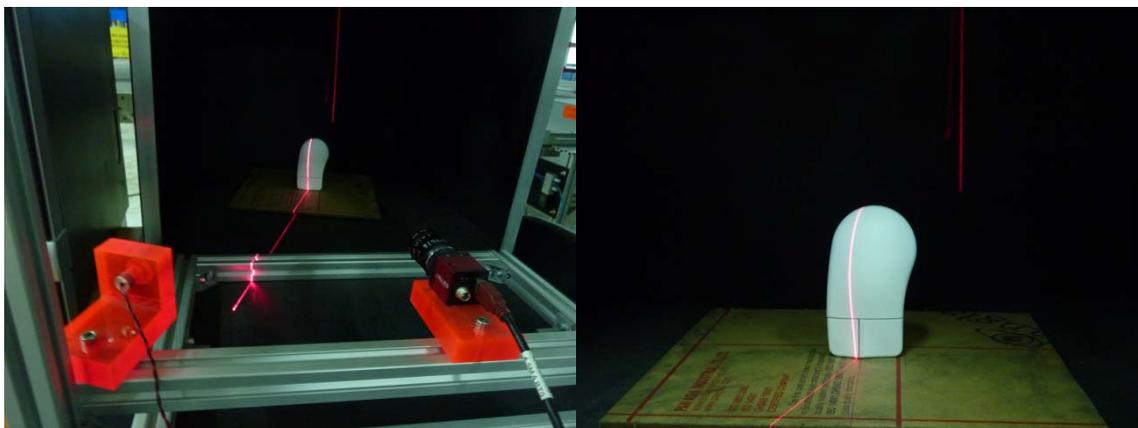
รูปที่ 4.20 จำลองขบวนการมยูเอชทีที่ได้จากการสแกนในลักษณะ 3 มิติ

จากภาพจำลองกล่องนมยูเอชทีที่ได้จากการสแกนจะเห็นได้ว่ารูปทรงที่ได้มีลักษณะเหมือนกันกับตัวกล่องนมจริง แต่ทว่าเมื่อพิจารณาเรื่องขนาดแล้วจะพบว่าขนาดที่ได้มีความแตกต่างกับกล่องนมจริงค่อนข้างมาก โดยพิจารณาเรื่องความสูงของกล่องนม กล่องนมจริงจะมีความสูงอยู่ที่ 13 ซม. ส่วนแบบจำลองมีความสูงที่ 12 ซม. ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของกล่องนมจริงมีค่า 5 ซม. ส่วนแบบจำลองมีขนาดที่ 8 ซม.

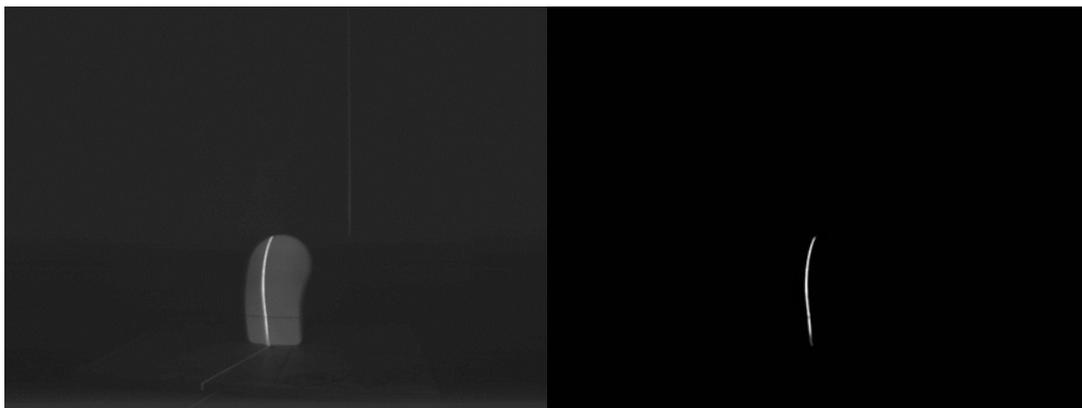
จากผลการทดลองทั้งสองแสดงให้เห็นได้ชัดว่าระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติสามารถสแกนวัตถุได้จริง โดยที่เมื่อสแกนวัตถุที่สมมาตรในแนวแกนหมุนของแผ่นแพลทจะทำให้รูปร่างลักษณะคล้ายกับของจริง แต่เรื่องของขนาดนั้นจะเห็นได้ชัดเช่นกันว่ามีขนาดที่ใหญ่โตกว่าความเป็นจริงในแนวรัศมีของวัตถุ สิ่งที่เป็นเช่นนี้อาจจะเกิดจากค่าพารามิเตอร์ของกล้องอาทิเช่น ความยาวโฟกัสไม่ถูกต้องนัก ดังนั้นควรที่จะทดลองที่จะทำ camera calibration เพื่อที่จะคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของกล้องที่ถูกต้องนำมาแทนค่าใส่ในสมการให้การคำนวณหาตำแหน่งใหม่ แล้วลองเปรียบเทียบกัน

4.3.2 การทดลองสแกนวัตถุที่ไม่สมมาตร

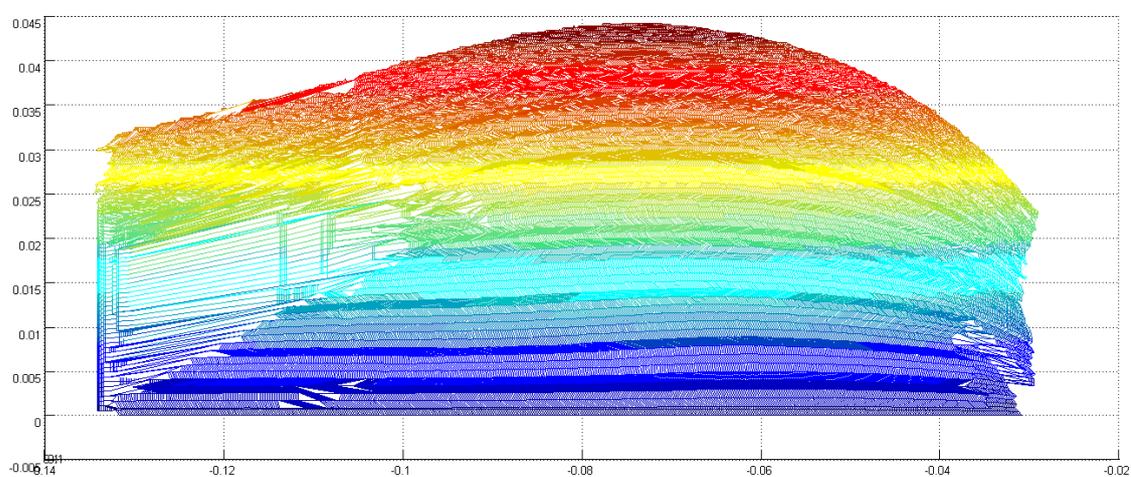
เมาส์คอมพิวเตอร์เป็นวัตถุทดลองการสแกนที่มีรูปทรงที่ไม่สมมาตร เพื่อจะได้ทดสอบการคำนวณว่าเมื่อเป็นวัตถุไม่สมมาตรจะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่ โดยที่เมาส์ที่ใช้จะต้องถูกพันสีขาวด้านเช่นกันเพื่อที่จะทำได้เห็นเส้นเลเซอร์ชัดยิ่งขึ้น สำหรับการสแกนเมาส์จะสแกนเฉพาะด้านบนของเมาส์ คือเริ่มสแกนตั้งแต่มุมของแพทเป็น 0 ถึง 180 องศา



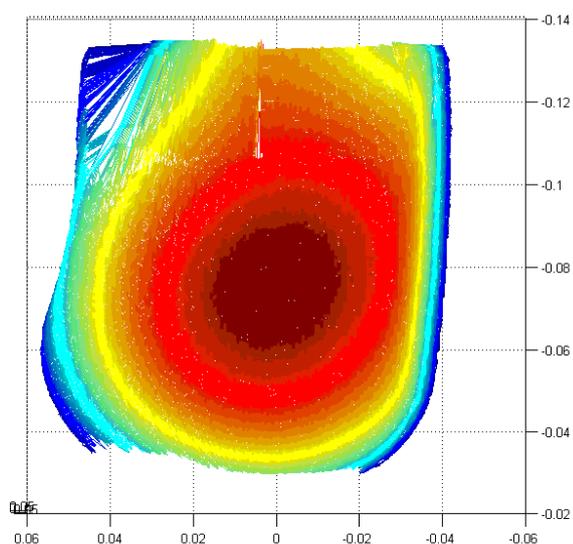
รูปที่ 4.21การทำงานขณะเก็บข้อมูลภาพเมาส์คอมพิวเตอร์



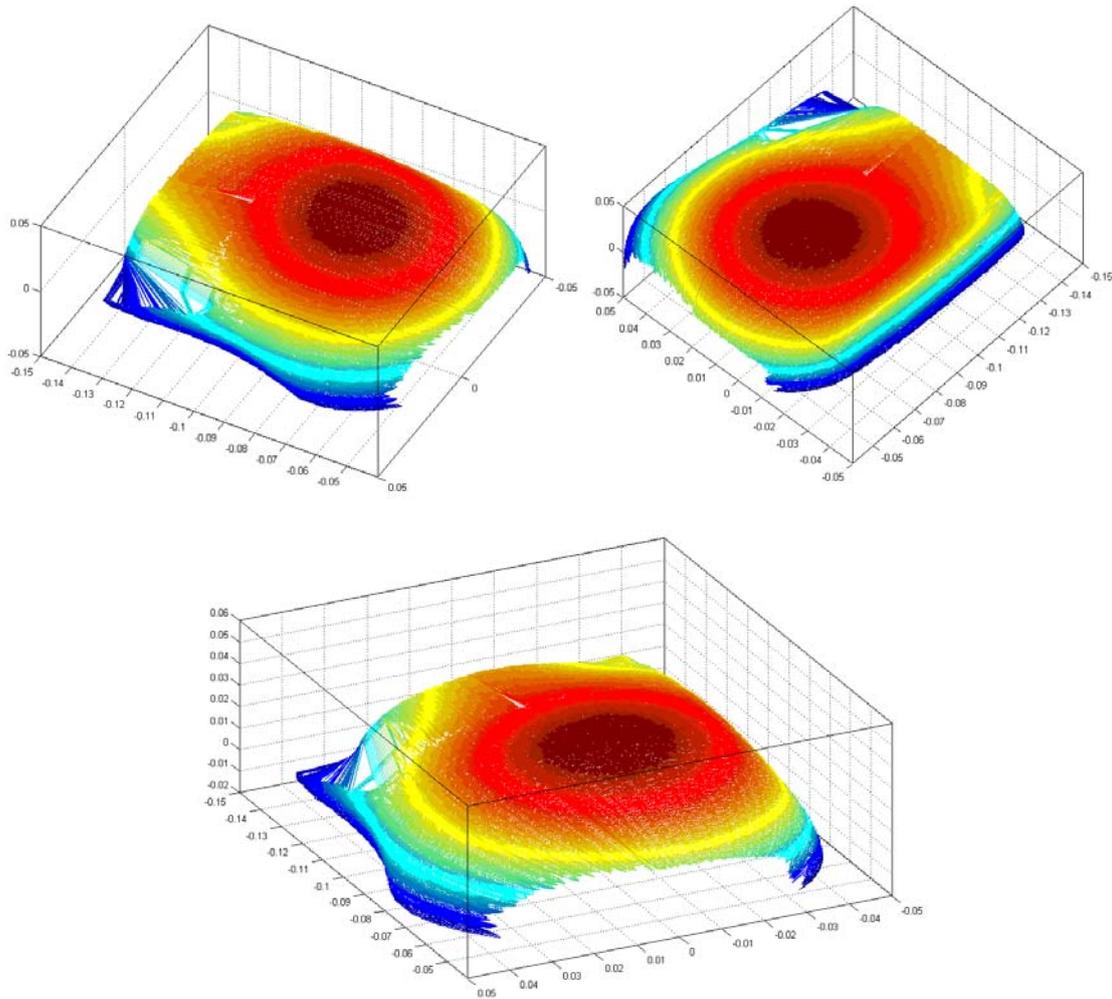
รูปที่ 4.22 กระจ่างสปเรย์ก่อนและหลังแปลงเป็นภาพขาวกับเทา



รูปที่ 4.23 แบบจำลองเมสส์ที่ได้จากการสแกนในมุมมองด้านข้าง



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบระหว่างเมสส์จริงกับแบบจำลองเมสส์



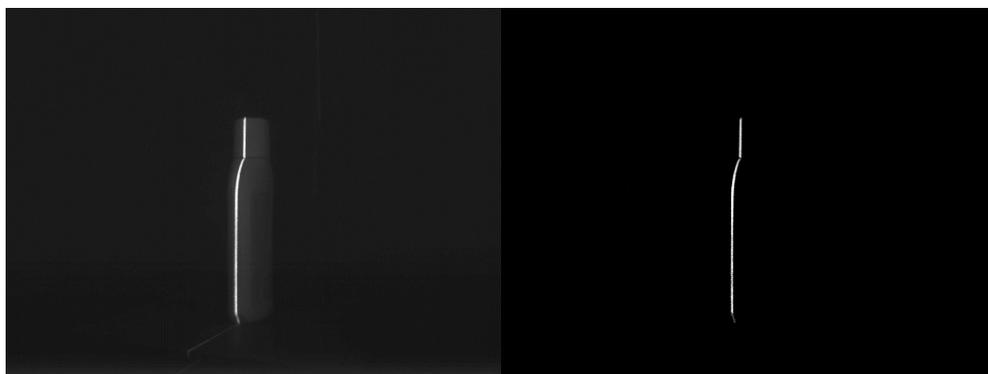
รูปที่ 4.25 แบบจำลองเมอส์แบบ 3 มิติที่ได้จากการสแกนในมุมมองต่างๆ

จากผลการสแกนเมอส์คอมพิวเตอร์ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.23 - 4.25 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของเมอส์มีรูปทรงที่ค่อนข้างแตกต่างไปจากของจริง โดยเฉพาะด้านข้างของเมอส์ที่มีความชันกับพื้นดินค่อนข้างสูงหรือตั้งฉาก บริเวณนี้ผลที่ได้จากแบบจำลองจะเห็นได้ว่าจะมีความชันเช่นกันแต่น้อยกว่าของจริงมาก และบริเวณด้านบนของเมอส์จะมีร่องเมอส์อยู่แต่ในแบบจำลองที่ได้แทบจะไม่ได้แสดงให้เห็นเลยว่ามีร่องอยู่ แต่เมื่อสังเกตด้านบนของแบบจำลองก็มีรูปร่างคล้ายของจริงอยู่บ้าง ส่วนในเรื่องของขนาดจะเห็นได้ชัดเจนว่าความกว้างของเมอส์ในแบบจำลองจะใหญ่กว่าค่อนข้างมากประมาณ ๕ ซม. ในความยาวของเมอส์ไม่สามารถให้ข้อมูลได้ถูกต้อง เพราะเนื่องจากแบบจำลองเมอส์มีข้อมูลไม่ครบ คือเลเซอร์สแกนเนอร์ไม่สามารถสแกนบริเวณด้านท้ายของเมอส์แสดงในรูปที่ 4.2 เพราะเนื่องจากแสงเลเซอร์ตกกระทบบนผิวเมอส์ไม่ถึงจึงทำให้กล้องจับภาพเส้นเลเซอร์บริเวณด้านท้ายไม่ได้

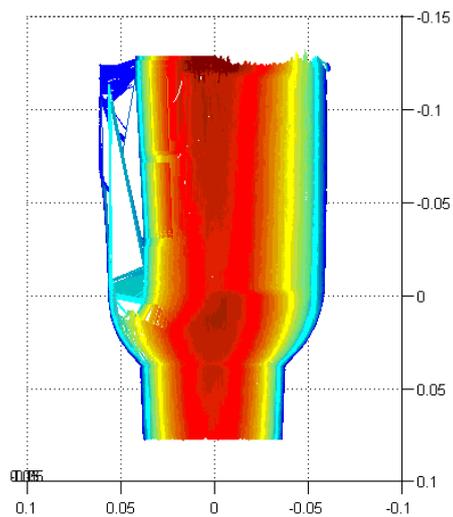
วัตถุที่นำมาทดลองอีกชิ้นหนึ่งก็คือ ขวดน้ำยาทำความสะอาดพื้น ซึ่งมีลักษณะไม่สมมาตร ซึ่งผลการสแกนได้แสดงดังรูปด้านล่างนี้



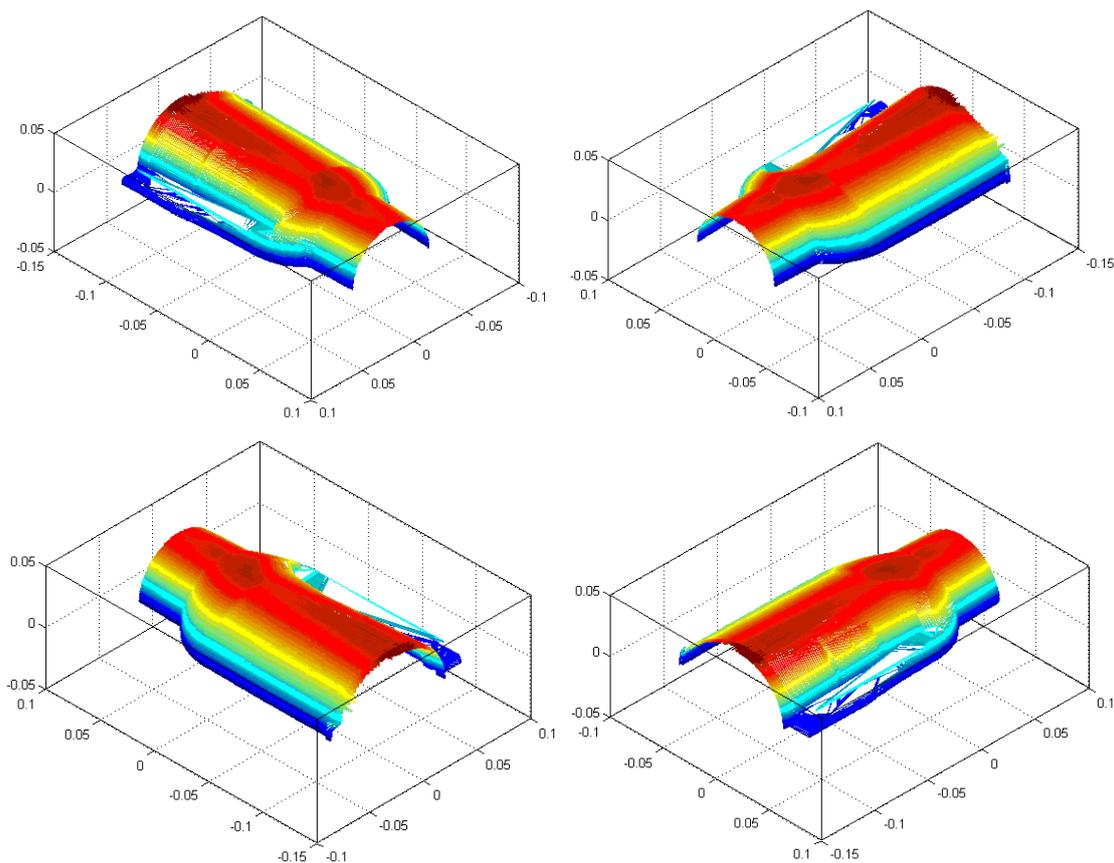
รูปที่ 4.26 การทำงานขณะเก็บข้อมูลภาพขดน้ำยาทำความสะอาดพื้น



รูปที่ 4.27 ขดน้ำยาทำความสะอาดพื้นก่อนและหลังแปลงเป็นภาพขาวกับเทา



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบระหว่างขดน้ำยาทำความสะอาดพื้นจริงกับแบบจำลอง



รูปที่ 4.29 แบบจำลองขวดน้ำยาทำความสะอาดพื้นแบบ 3 มิติที่ได้จากการสแกนในมุมมองต่างๆ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าลักษณะรูปร่างของแบบจำลองที่ได้มีลักษณะเปลี่ยนไปจากของจริงค่อนข้างมาก โดยเฉพาะที่บริเวณฝาขวดมีขนาดที่โตกว่ามากและไม่สามารถแสดงร่องขีดแนวตั้งได้ ส่วนบริเวณตัวขวดเช่นเดียวกันกับฝาขวดแทบจะไม่สามารถเก็บรายละเอียดบนผิวตัวขวดได้เลย ลักษณะขวดจากแบบจำลองจะเป็นแบบคล้ายครึ่งวงกลม ส่วนของจริงจะมีลักษณะแบน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นทราบว่าบริเวณที่มีปัญหามากในการสแกนก็คือ บริเวณที่ผิวของวัตถุมีความไม่ต่อเนื่องกัน คือความชันของผิววัตถุเปลี่ยนไปมากอย่างกะทันหัน เช่นบริเวณเหลี่ยมมุมของขวด

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผล

โครงการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์นำเอาเลเซอร์แบบฉายแสงเป็นเส้นมาประยุกต์รวมเข้ากับกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาทำเป็นระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ โดยที่ระบบที่พัฒนานี้สามารถรองรับวัตถุที่ทึบแสงมีขนาดไม่เกิน 30x30x30 ซม. โดยที่วัตถุที่จะสแกนจะต้องถูกพ่นสีขาวด้านเพื่อที่จะได้แสดงเส้นเลเซอร์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้นและลดการสะท้อนแสงลงด้วย ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะประกอบไปด้วยโต๊ะที่มีแผ่นเพลทหมุนอยู่ด้านบน แผ่นแพลทนี้เป็นที่วางของวัตถุที่ต้องการสแกน แผ่นเพลทจะหมุนครั้งละ 1 องศา การสแกนหนึ่งครั้งของวัตถุ แผ่นเพลทจะหมุน 360 องศา หรือ 360 ครั้ง สำหรับการหมุนของแผ่นแพลทนี้ใช้ดีซีเซอร์โวเป็นตัวต้นกำลังและใช้การควบคุมทั้งหมด 3 ลูป คือ ลูปแรกควบคุมกระแส ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ลูปที่สองควบคุมความเร็วในการหมุน ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ลูปสุดท้ายควบคุมตำแหน่งการหมุน ใช้ตัวควบคุมแบบพี โดยคำสั่งในการหมุนเป็นแบบสัญญาณพัลส์ ซึ่งได้ผลมาจากการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 ในการควบคุมการหมุนและติดต่อกับกล้องดิจิทัลนั้นได้ทำการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการสแกนขึ้นโดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW ส่วนในการคำนวณหาค่าตำแหน่งของเส้นเลเซอร์บนผิวของวัตถุ ใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB โดยเขียน M-file ที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

1. เก็บข้อมูลรูปภาพเส้นเลเซอร์บนผิววัตถุ
2. แปลงเป็นรูปขาวและดำ โดยใช้ค่า threshold ที่ 70 ได้มาจากการทดลองที่ 4.2 ตอนนี เส้นเลเซอร์จะเป็นสีขาว
3. กรองรูปภาพโดยใช้ตัวกรองแบบ Median
4. คำนวณหาตำแหน่งเส้นเลเซอร์บนผิววัตถุบนระบบพิกัดรูปภาพ
5. ทำการ transform ตำแหน่งเส้นเลเซอร์บนผิววัตถุบนจากระบบพิกัดรูปภาพ เป็นระบบพิกัดโลกที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกึ่งกลางของแผ่นเพลท
6. ทำข้อ 1. ซ้ำจนครบ 360 ครั้ง

สำหรับการทดลองทดสอบการทำงานของเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ ได้ทำการแบ่งการทดลองเป็น 2 รูปแบบตามลักษณะของวัตถุที่ทดสอบ คือ 1. วัตถุที่สมมาตร 2. วัตถุที่ไม่สมมาตร ผลการทดลองในกรณีแรกจะเห็นได้ว่า เลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติที่ได้ออกแบบมานี้สามารถสแกนได้เป็นอย่างดีโดยมีรูปร่างเหมือนของจริง แต่ยังมีข้อผิดพลาดในเรื่องขนาด คือมีขนาดใหญ่กว่าของจริง ส่วนการทดลองที่สอง เลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ค่อยดีเท่าที่ควร คือรูปร่างค่อนข้างแตกต่างไปจากของจริงรวมไปถึงขนาดด้วย จากการทดลองทั้งสองสรุปได้ว่าเทคนิคการสแกนแบบวางวัตถุบนแผ่นเพลทหมุนเหมาะสำหรับวัตถุที่ค่อนข้างสมมาตร ถึงจะให้ผลลัพธ์ที่ดี ส่วนเรื่องขนาดที่ผิดไปจากของจริงนั้นอาจจะเกิดขึ้นจากการคำนวณจำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์ของกล้องด้วย ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ได้มาจากผู้ผลิต ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นควรที่จะทำ camera calibration

5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

5.2.1 ระบบสแกนเนอร์ที่ได้ออกแบบนี้จะต้องอยู่ในสภาวะที่ควบคุมแสง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหรือที่ตั้งจำเป็นต้องทำการหาค่า threshold ที่เหมาะสมใหม่

5.2.2 หัวเลเซอร์ให้เส้นตรงที่มีขนาดใหญ่และไม่ค่อยสม่ำเสมอ ควรที่จะทดลองเปลี่ยนหัวเลเซอร์ที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น เพื่อที่จะได้คุณภาพเส้นเลเซอร์ที่เล็กและสม่ำเสมอ

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.3.1 เพื่อที่ได้ค่าถูกต้องมากยิ่งขึ้นควรที่จะทำการ camera calibration เพื่อที่จะคำนวณหาค่า focal length, pixel size และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ อีก ที่เกี่ยวกับกล้องที่ถูกต้องใหม่

5.3.2 ในการคำนวณหาตำแหน่งของเส้นเลเซอร์นั้นควรที่จะทำการหาสมการ polynomial หรือ spline แทนข้อมูลตำแหน่งที่ได้ เพื่อที่จะได้ค่าตำแหน่งที่ราบเรียบยิ่งขึ้น

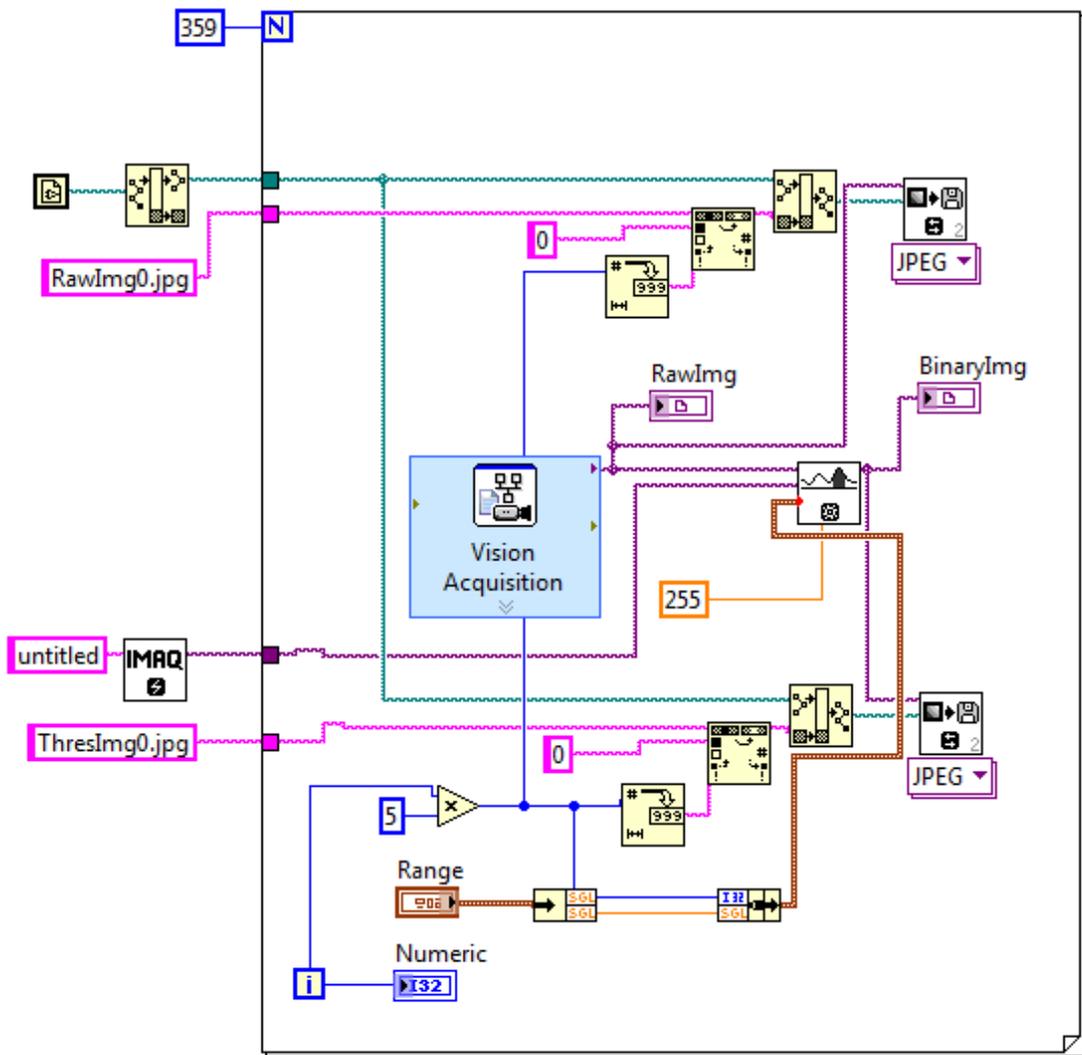
5.3.3 ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์ในโครงการวิจัยนี้ใช้วิธีให้วัตถุหมุนรอบตัวแล้วสแกน ควรที่จะศึกษาวิธีที่ให้วัตถุอยู่นิ่งแล้วให้หัวยิงเลเซอร์เคลื่อนที่

บรรณานุกรม

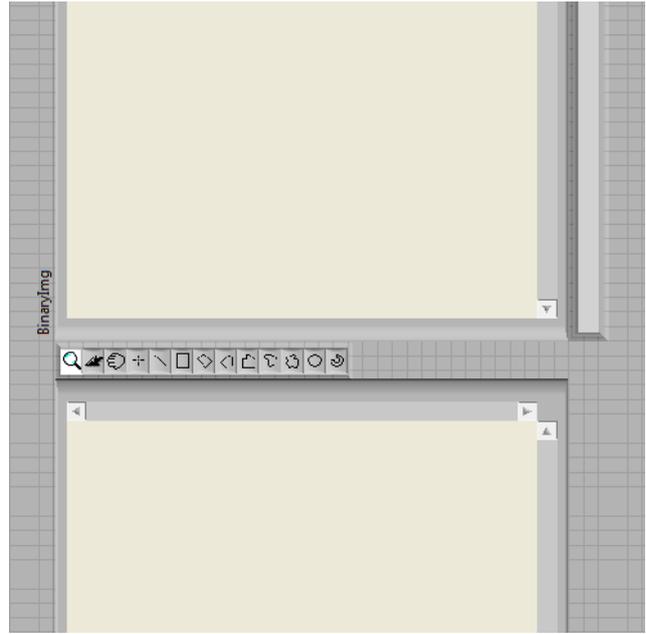
- [1] Fraden, J. A., *Handbook of Modern Sensors - Physics, Designs and Applications*, Springer-Verlag New York, 3rd, 2005.
- [2] Franklin, G. F., Powell, J. D. & Emami-Naeini, A., *Feedback Control of Dynamic Systems*, Addison Wesley, 2nd, 1991.
- [3] Brochure: PHOENIX CMM, PH-Series, Helmel Engineering Products, Inc.
- [4] Website: <http://www.vis.uky.edu/~realtime3d/>, 12/08/2009.
- [5] Zhang, S. & Huang, P.S., "High-Resolution, Real-time Three-Dimensional Shape Measurement", *Optical Engineering*, December, 2006.
- [6] Website: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner, 12/08/2009.
- [7] Website: <http://www.directindustry.com/prod/vision-engineering/3d-non-contact-measurement-solution-5580-54001.html>, 12/08/2009.
- [8] Brochure: Photo Scan 3D Foot Scanner, Precision 3D Limited.
- [9] Dijkman, M., Kruse, D., Surm, H., Kessler, O. Mayr, P. & Goch, G., "Distance Measurements with Laser-Triangulation in Hot Environments", *XVII IMEKO World Congress Metrology in the 3rd Millennium*, Dubrovnik, Croatia, June, 2003.
- [10] Layton, T., Jacobs, E.L. & Griffin, S.T., "3D laser scanner and profiler for application to border security", *IEEE Sensor Application Symposium*, New Orleans, LA, USA, February, 2009.

- [11] Artthaya, B., Gunawan, I. & Gunawan, H., "Point Clouds Construction Algorithm from a Home-made Laser Scanner", *8th Int. Conf. on Intelligent Systems Design and Applications*, Kaohsiung, Taiwan, November, 2008.
- [12] Website: <http://archives.sensormag.com/articles/0302/tire/main.shtml/>, 12/08/2009.
- [13] Website: CCD vs. CMOS ใครคือผู้ชนะ, <http://www.klongdigital.com/news2/column5>, 22/02/2011.
- [14] Manual: AVT Guppy Technical Manual, Allied Vision technologies GmbH.
- [15] Manual: AccelusTM Panel, Copley Controls Corp.
- [16] Manual: NI PCI - 6232, National Instruments.
- [17] Franca, J.G.D.M., Gazziro, M.A., Ide, A.N. & Saito, J.H., "A 3D Scanning System Based on Laser Triangulation and Variable Field of View",
- [18] Website: <http://fivedots.coe.psu.ac.th/~montri/Teaching/image/>, 12/05/2012.

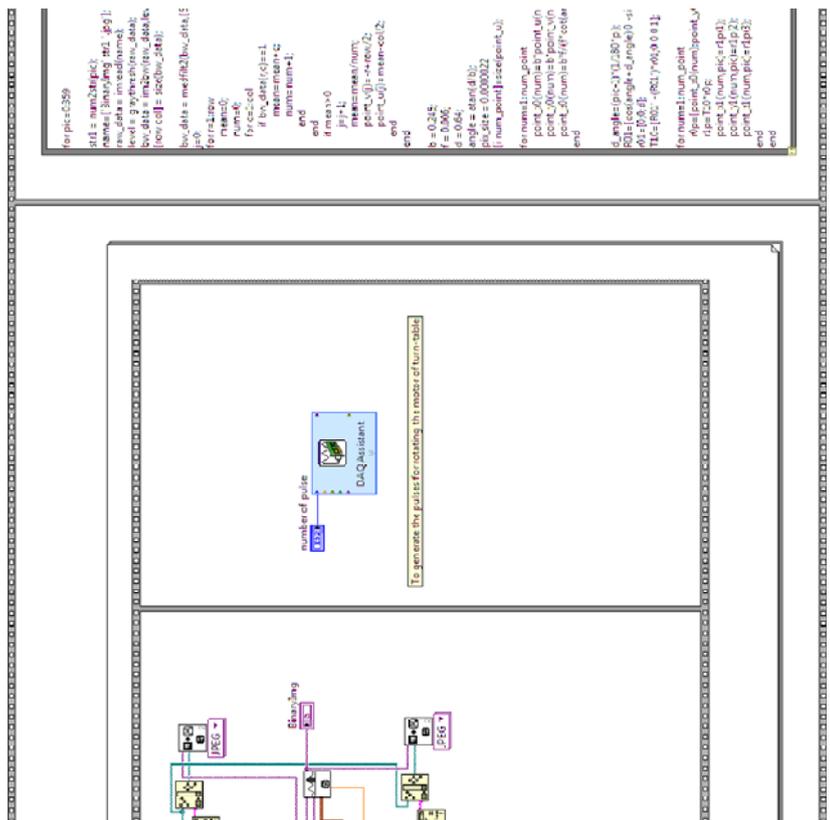
ภาคผนวกก.
โปรแกรมที่พัฒนา



รูปที่ ก.1บล็อกไดอะแกรมโปรแกรมการทดลองหาค่า threshold ที่เหมาะสมกับเครื่อง



รูปที่ ก.2 Front Panel โปรแกรมการทดลองหาค่า threshold ที่เหมาะสมกับเครื่อง



รูปที่ ก.3 บล็อกไดอะแกรมโปรแกรมการทดสอบการหาจุดบนเส้นเลเซอร์บนวัตถุ

ภาคผนวก ข.
โค้ดM-File ในการ
คำนวณตำแหน่ง

```
%define variables  
%baseline distance: baseline = 0.245 m;
```

```

%focal length: focal = 0.006 m (6 mm)
%distance between lense and center of turn table : d = 0.64 m
%angle between baseline and laser line: angle = 69*pi/180 rad (69
degree)

for pic=1:359

str1 = num2str(pic);
name=['BinaryImg' str1 '.jpg'];
raw_data = imread(name); %read image data from a picture to matlab
level = graythresh(raw_data); %find the threshold value
bw_data = im2bw(raw_data,level); %convert the color image to
%black-white image
[row col] = size(bw_data); %get size of the black-white image

%To find the position of the projection line on the object in the image
coordinate
bw_data = medfilt2(bw_data,[5,5]);
j=0;
for r=1:row
    mean=0;
num=0;
for c=1:col
ifbw_data(r,c)==1
    mean=mean+c;
num=num+1;
end
end
if mean>0
    j=j+1;
    mean=mean/num;
point_v(j)=-r+row/2;
point_u(j)=mean-col/2;
end
end

%To transform the position of the projection line in the image
%coordinateto in the world coordinate (frame of the lense, frame 0)

b = 0.245; %baseline distance :unit meter
f = 0.006; %focal length :unit meter
d = 0.64; %distance between lense and center of turn table
%:unit meter
angle = atan(d/b); %angle between baseline and laser line: (69 degree)
pix_size = 0.0000022%pixel size :unit meter
[i num_point]=size(point_u);

for num=1:num_point
    point_x0(num)=b*point_u(num)*pix_size/(f*cot(angle)-
point_u(num)*pix_size);
    point_y0(num)=b*point_v(num)*pix_size/(f*cot(angle)-
point_u(num)*pix_size);
    point_z0(num)=b*f/(f*cot(angle)-point_u(num)*pix_size);
end

%to transform the position in frame 0 into frame 1 (frame of the turn
table)
d_angle=(pic-1)*(1/180*pi);
R01=[cos(angle+d_angle) 0 -sin(angle+d_angle);0 1 0;
sin(angle+d_angle) 0 cos(angle+d_angle)];

```

```
r01=[0;0;d];
T10=[R01' -(R01')*r01;0 0 0 1];

for num=1:num_point
    r0p=[point_x0(num);point_y0(num);point_z0(num);1];
    r1p=T10*r0p;
    point_x1(num,pic)=r1p(1);
    point_y1(num,pic)=r1p(2);
    point_z1(num,pic)=r1p(3);
end

end
```