

การตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ

SURFACE INSPECTION OF 3D IMAGE USING PHOTOMETRIC STEREO



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-060-080

การตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ

SURFACE INSPECTION OF 3D IMAGE USING PHOTOMETRIC STEREO



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2015-EN-M-060-080

SURFACE INSPECTION OF 3D IMAGE USING PHOTOMETRIC STEREO



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

KMITL-2015-EN-M-060-080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKARABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอ
นักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ กาญจนเลขา
รหัสประจำตัว	55611754
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสตัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบความผิดปกติบนพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอเพื่อควบคุมคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน เช่น พื้นผิวกระเบื้อง พื้นผิวโลหะ ตรวจสอบรอยแตกของพื้นผิวชิ้นงาน โดยปกติแล้วการตรวจสอบชิ้นงานด้วยทัศนจักรกลจะทำได้เพียงมุมมอง 2 มิติ ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบความผิดปกติด้านความลึกหรือความนูนของพื้นผิวได้ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบพื้นผิววัตถุตัวอย่าง จากภาพถ่ายที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพ 3 มิติ โดยใช้ทฤษฎีโพโตเมตริกสเตอริโอ จากนั้นทำการตรวจสอบความลึก ความแบนราบและความผิดปกติของพื้นผิว ในการทดลองจะใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล จับภาพในแนวตั้ง แล่งกาเน็ดแสงติดตั้งอยู่ระนาบเดียวกันกับกล้องซึ่งทำหน้าที่ฉายแสงลงบนพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบ จุดเด่นของการใช้วิธีโพโตเมตริกสเตอริโอนี้ สามารถตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุที่มีการสะท้อนได้ ผลลัพธ์จากการประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพสามมิติทำให้เห็นความผิดปกติของพื้นผิวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

คำหลัก: โพโตเมตริกสเตอริโอ; การตรวจสอบพื้นผิว; การสร้างภาพ 3 มิติ

Title	Surface Inspection of 3D Image Using Photometric Stereo
Student	Miss Kanokwan Kanjanalekha
Student ID.	55611754
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Taweepol Suesut

ABSTRACT

This thesis presents a method to inspection surface of object by Photometric stereo for control the quality of the surface such as metallic surface, tile surface and inspection of cracks on the surface. Generally, the surface inspection with 2D machine vision cannot determine the depth or abnormal bulging of the surface. This research focuses on the 3D surface inspection using a photometric stereo theory to define characteristic of the surface such as the depth, flat and irregular surfaces. The experiment setup consists of the 4 vertical light source mounted in the same plane with the digital camera. The advantage of photometric stereo technique is able to inspect the polished surface. The experimental results is illustrated the 3D image of the surface irregularities clearly.

Keywords: Photometric stereo; Surface Inspection; Three-dimensional construction

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุมที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ในการศึกษา และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมและของบัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกๆท่าน

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ และญาติพี่น้อง รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่น่ารักทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกๆ ด้านทั้งเรื่องการเรียนรู้ การเงิน และเรื่องส่วนตัวจนทำให้ผู้เขียนผ่านทุกอย่างอย่างจนมาถึงวันนี้ได้

สุดท้ายนี้คุณประโยชน์อันที่พึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกๆท่าน และขอให้ทุกๆท่านจงมีแต่ความสุขตลอดไป

กนกวรรณ กาญจนเลขา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การประมวลผลภาพ.....	4
2.1.1 ลักษณะและความหมายของพิกเซล.....	4
2.1.2 ภาพบิตแมท (Bitmap).....	5
2.1.3 รูปร่างของภาพ (Image Shape).....	5
2.1.4 ความหมายของการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	6
2.1.5 ภาพดิจิทัล (Digital Image).....	7
2.1.6 ฮิสโตแกรม (Histogram).....	8
2.1.7 กระบวนการทำเทรชโฮลด์ (Threshold).....	9
2.2 เทคโนโลยีการแสดงผลภาพสามมิติในปัจจุบัน.....	9
2.2.1 ภาพคู่ (Stereo pairs).....	9
2.2.2 ภาพเหลื่อม (Anaglyph Image).....	10
2.2.3 Shutter Glasses.....	11
2.2.4 Pulfrich Images (3D Effect สำหรับวีดีโอ).....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 การเก็บข้อมูลสามมิติ (3D Range Acquisition).....	11
2.3.1 หลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไป (Time of Flight).....	12
2.3.2 หลักการของรูปสามเหลี่ยม (Triangulation).....	13
2.3.3 หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ (Passive Triangulation).....	14
2.3.4 หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ (Active Triangular).....	15
2.3.5 เทคนิคการฉายแสงด้วยรหัสไบนารี (Binary Code Pattern).....	17
2.3.6 เทคนิคการฉายแสงด้วยรหัสเกรย์ (Gray Code Pattern).....	17
2.4 ประเภทแหล่งกำเนิดแสง.....	18
2.4.1 แบล็คไลท์ (Backlights).....	18
2.4.2 แอเรียไลท์ (Area lights).....	19
2.4.3 ริงไลท์ (Ring light).....	20
2.4.4 โลว์แองเจิลไลท์ (Low-angle light).....	20
2.4.5 ดิฟฟิวส์ไลท์ (Highly-diffused light).....	21
2.4.6 ออนเอ็กซ์ซิสไลท์ (On-axis light).....	21
2.5 ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง.....	22
2.6 วิธีการเลือกขนาดกล้อง.....	22
2.7 การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย.....	23
2.7.1 วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย.....	24
2.7.2 วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย.....	25
2.8 หลักการโฟโตเมตริกสเตอริโอ (Photometric stereo).....	27
2.8.1 การติดตั้งวิธีการโฟโตเมตริกสเตอริโอ.....	28
2.8.2 การเก็บผลการทดลอง.....	28
2.8.3 สมการของโฟโตเมตริกสเตอริโอ.....	28
2.8.4 การประมวลผลเป็นภาพสามมิติ.....	30
2.8.5 งานวิจัยที่นำวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอมาประยุกต์ใช้.....	31
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง.....	32
3.1 การออกแบบระบบที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.1.1 การเลือกวัตถุตัวอย่าง.....	32
3.1.2 การเลือกประเภทของแหล่งกำเนิดแสง.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.3 การคำนวณหาขนาดของกล้องและเลนส์.....	33
3.2 การติดตั้งการทดลอง.....	34
3.3 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ.....	35
3.3.1 กระบวนการแปลงภาพต้นแบบเป็นภาพเทาด้วยโปรแกรม MATLAB.....	35
3.3.2 การสะท้อนกลับ (Surface Albedo).....	36
3.3.3 Normal Vector.....	37
3.3.4 การแสดงผลเป็นภาพสามมิติ.....	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	39
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และวัตถุที่ใช้ในการทดสอบ.....	40
4.2 ผลการทดลองและการประมวลผล โดยการตรวจสอบความลึก.....	42
4.3 ผลการทดลองและการประมวลผล โดยการตรวจสอบความแบนราบ.....	42
4.4 ผลการทดลองและการประมวลผล โดยการตรวจสอบความผิดปกติบนพื้นผิว.....	44
4.5 การตรวจวัดความลึกด้วยวิธีทางเลเซอร์.....	48
4.6 การตรวจวัดความลึกด้วยเวอร์เนียร์.....	49
4.7 การสอบเทียบความลึก.....	50
4.8 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	51
4.9 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	52
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	53
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อ.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	56
ประวัติผู้เขียน.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการตรวจวัดความลึกด้วยวิธีเลเซอร์.....	49
4.2 แสดงผลการตรวจวัดความลึกด้วยเวอร์เนียร์.....	50
4.3 แสดงผลการทดลองการสอบเทียบระบบวัดความลึก.....	50
4.4 เปรียบเทียบผลการตรวจวัดระยะลึกของกระดาดขลังโดยวิธีการวัดด้วยเวอร์เนียร์ วิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ และวิธีเลเซอร์.....	51
4.5 เปรียบเทียบความผิดพลาดความลึกที่วัดโดยวิธีเลเซอร์และโฟโตเมตริกสเตอริโอ.....	51
4.6 เปรียบเทียบผลการวัดระยะลึกโดยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอและวิธีเลเซอร์.....	52
4.7 แสดงผลการตรวจสอบพื้นผิวลักษณะต่างๆ โดยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างภาพดิจิทัล.....	7
2.2 การดูภาพแบบ Cross-Eye View	9
2.3 การดูภาพแบบ Parallel View	9
2.4 กล้องดูสเตอริโอสามมิติ.....	10
2.5 ภาพเหลื่อม.....	10
2.6 Shutter Glasses	11
2.7 หลักการวัดระยะทางโดยใช้คลื่นแสง.....	12
2.8 ความต่างของมุมเฟสที่สะท้อนกลับมาเมื่อกระทบวัตถุ.....	12
2.9 การวัดระยะทางโดยหลักการของรูปสามเหลี่ยม.....	13
2.10 หลักการของระบบสเตอริโอวิชัน (Stereo Vision).....	14
2.11 การวัดระยะทางในระบบสเตอริโอวิชัน.....	14
2.12 หลักการวัดระยะทางโดยวิธีรูปสามเหลี่ยมร่วมกับแสงเลเซอร์แบบจุด.....	15
2.13 หลักการวัดระยะทางโดยวิธีรูปสามเหลี่ยมร่วมกับแสงเลเซอร์แบบเส้น.....	16
2.14 ฉากรหัสไบนารี (Binary Code Pattern).....	16
2.15 ฉากรหัสเกรย์ (Gray Code Pattern).....	17
2.16 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบส่องด้านหลัง	18
2.17 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบพื้นที่	19
2.18 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวน	19
2.19 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบมุมต่ำ	20
2.20 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบกระจาย.....	20
2.21 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบแนวแกน	21
2.22 พื้นฐานโครงสร้างของกล้อง	22
2.23 แสดงวิธีการตรวจสอบแบบ Penetrate testing	25
2.24 แสดงวิธีการตรวจสอบแบบ Magnetic testing	25
2.25 แสดงวิธีการตรวจสอบแบบ Ultrasonic testing	26
2.26 แสดงวิธีการตรวจสอบแบบ Radiation Testing	26
2.27 การติดตั้งการทดลองโดยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอ	27
2.28 ตัวอย่างภาพถ่ายจากแหล่งกำเนิดแต่ละตำแหน่ง.....	28
2.29 การติดตั้งกล้องและกำหนดค่าการฉายแสง.....	28
2.30 บริเวณที่เกิดพื้นที่ที่มีแสงสว่างตามหลักของ Gaussian sphere	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงขั้นตอนของระบบการตรวจสอบพื้นผิว.....	32
3.2 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบลำแสง.....	32
3.3 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บภาพ.....	33
3.4 กล้อง Canon EOS 1000D.....	33
3.5 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจสอบพื้นผิว.....	34
3.6 กำหนดระยะทางของแหล่งกำเนิดแสง.....	34
3.7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพสามมิติ.....	35
3.8 แสดงภาพต้นแบบเปลี่ยนเป็นภาพเทา.....	36
3.9 แสดงโปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลภาพ Gray Image	36
3.10 แสดงโปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลภาพ Surface Albedo	36
3.11 Surface Albedo	37
3.12 แสดงโปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลภาพ Normal Vector	37
3.13 Normal Vector	37
3.14 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ.....	38
4.1 ไตอะแกรมการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	39
4.2 กล้อง Canon EOS 1000D	39
4.3 ระบบการตรวจสอบพื้นผิวด้วยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอ.....	40
4.4 Original Image by light source1.....	40
4.5 Gray Image by light source1.....	40
4.6 Original Image by light source2.....	40
4.7 Gray Image by light source2.....	40
4.8 Original Image by light source3.....	41
4.9 Gray Image by light source3.....	41
4.10 Surface albedo	41
4.11 แสดง normal vector N1,N2 และ N3.....	41
4.12 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ.....	42
4.13 Original Image by light source1.....	42
4.14 Gray Image by light source1.....	42
4.15 Original Image by light source2.....	42
4.16 Gray Image by light source2.....	42
4.17 Original Image by light source3.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 Gray Image by light source3.....	43
4.19 Surface albedo	43
4.20 แสดง normal vector N_1, N_2 และ N_3	43
4.21 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ.....	44
4.22 Original Image by light source1.....	44
4.23 Gray Image by light source1.....	44
4.24 Original Image by light source2.....	44
4.25 Gray Image by light source2.....	44
4.26 Original Image by light source3.....	45
4.27 Gray Image by light source3.....	45
4.28 Surface albedo	45
4.29 แสดง normal vector N_1, N_2 และ N_3	45
4.30 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ.....	46
4.31 Original Image by light source1.....	46
4.32 Gray Image by light source1.....	46
4.33 Original Image by light source2.....	46
4.34 Gray Image by light source2.....	46
4.35 Original Image by light source3.....	47
4.36 Gray Image by light source3.....	47
4.37 Surface albedo	47
4.38 แสดง normal vector N_1, N_2 และ N_3	47
4.39 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ.....	48
4.40 การติดตั้งการทดลองด้วยวิธีเลเซอร์.....	48
4.41 การตรวจวัดแต่ละร่องลึกด้วยวิธีเลเซอร์.....	48
4.42 การติดตั้งการทดลองการตรวจวัดความลึกด้วยเวอร์เนียร์.....	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การควบคุมคุณภาพได้กลายเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมการขึ้นรูปต่างๆ ซึ่งอาจจะมีวิธีการตรวจสอบพื้นผิวหลากหลายวิธี กระบวนการการตรวจสอบอาจจะเกิดขึ้นระหว่างการผลิตหรือหลังการผลิต วิธีการตรวจสอบพื้นผิวอาจจะนำวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายและใช้คอมพิวเตอร์วิชันเข้ามาเป็นวิธีในการตรวจสอบ ซึ่งจะมีจุดเด่นคือเป็นการตรวจสอบโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน สามารถตรวจสอบปริมาณชิ้นงานมากๆได้ในเวลาที่กำหนด ระบบวิชันสามารถระบุตำแหน่งและทิศทางที่เราต้องการตรวจสอบ และสามารถตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็กได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะแสดงผลออกมาเป็นภาพ 2 มิติ ทำให้การแสดงผลภาพยังไม่ชัดเจนหรือการตรวจสอบโดยใช้แสงเลเซอร์นั้นยังไม่สามารถตรวจสอบบนพื้นผิวที่เกิดการสะท้อนได้ รวมทั้งถ้าเกิดรอยแตกหรือร้าว ก็ไม่อาจมองเห็นระยะร่องลึกนั้นได้

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพ 3 มิติด้วยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอ เพื่อควบคุมคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน เช่น พื้นผิวกระเบื้อง พื้นผิวโลหะ ตรวจสอบรอยแตกของพื้นผิวชิ้นงาน โดยปกติแล้วการตรวจสอบชิ้นงานด้วยวิธีทัศนจักรกลจะทำได้เพียงมุมมอง 2 มิติ ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบความผิดปกติด้านความลึกหรือความนูนของพื้นผิวได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบพื้นผิววัตถุตัวอย่าง จากภาพถ่ายที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพ 3 มิติโดยใช้ทฤษฎีโพโตเมตริกสเตอริโอ จากนั้นทำการตรวจสอบความลึก ความแบนราบและความผิดปกติของพื้นผิว ในการทดลองจะใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล จับภาพในแนวตั้ง แผล่งกำเนิดแสงติดตั้งอยู่ระนาบเดียวกันกับกล้องซึ่งทำหน้าที่ฉายแสงลงบนพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบ จุดเด่นของการใช้วิธีโพโตเมตริกสเตอริโอนี้ สามารถตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุที่มีการสะท้อนได้ ผลลัพธ์จากการประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพสามมิติทำให้เห็นความผิดปกติของพื้นผิวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการพัฒนาและค้นคว้าวิธีการตรวจสอบพื้นผิวชิ้นงาน รอยแตกของพื้นผิวชิ้นงาน เช่น พื้นผิวกระเบื้อง พื้นผิวโลหะ พื้นผิวที่ความสะท้อน เป็นต้น ด้วยการนำภาพถ่ายมาประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพ 3 มิติ โดยใช้ทฤษฎีโพโตเมตริกสเตอริโอ จากนั้นทำการตรวจสอบความลึก ความแบนราบและความผิดปกติของพื้นผิว เพื่อควบคุมคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน และตรวจสอบความลึกของรอยแตกซึ่งอาจมองไม่เห็นได้ด้วยตาเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวชิ้นงานด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ สามารถแสดงผลออกมาเป็นภาพสามมิติ ทำให้เราสามารถวิเคราะห์ผลภาพได้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือบางครั้งสายตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ เพื่อการตรวจสอบที่ลดต้นทุน อุปกรณ์ที่ใช้ หาได้โดยทั่วไป เหมาะกับงานตรวจสอบที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก โดยวิธีนี้เป็นกรนำภาพถ่ายสองมิติแต่ละภาพมาผสมผสานกัน และประมวลผลออกมาเป็นรูปภาพสามมิติ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในปี ค.ศ. 2002, H. Zheng, L.X. Kong, ทำการวิจัยการตรวจสอบพื้นผิวโลหะด้วยวิธี จิน นีติก(genetic) อัลกอริทึม [1] และในปี 2012, Dieter Schneider ได้ทำการวิจัยการตรวจสอบพื้นผิวเหล็กกล้าด้วยเลเซอร์ [2] , ซึ่งวิธีการสแกนโดยใช้แสงแบ่งส่วนของวัตถุ (Light sectioning) เป็นวิธีที่ใช้ในการวัดรูปทรงแบบตัดขวาง เปรียบเสมือนการแบ่งวัตถุ 3 มิติออกเป็นส่วนย่อยๆ (2 มิติ) ตามแนวความยาวของวัตถุ โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเส้นเลเซอร์สีแดง เนื่องจากการนำมาวิเคราะห์และประมวลผลทำได้ง่ายและช่วยลดขั้นตอนการปรับแต่งคุณภาพของรูปภาพ[5][6][7]

อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะแสดงผลออกมาเป็นภาพ 2 มิติ ทำให้การแสดงผลภาพยังไม่ชัดเจน หรือการตรวจสอบโดยใช้แสงเลเซอร์นั้นยังไม่สามารถตรวจสอบบนพื้นผิวที่เกิดการสะท้อนได้ รวมทั้งถ้าเกิดรอยแตกหรือร้าว ก็ไม่อาจมองเห็นระยะร่องลึกนั้นได้

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุ จากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริก สเตอริโอ[3][4] เพื่อควบคุมคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน เช่น พื้นผิวกระเบื้อง พื้นผิวโลหะ หรือ ตรวจสอบรอยแตกของพื้นผิวชิ้นงาน เนื่องด้วยอุตสาหกรรมการขึ้นรูป และอุตสาหกรรมโลหะ มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการตรวจหาจุดบกพร่องบนพื้นผิววัตถุที่สายตาของ มนุษย์ไม่อาจตรวจสอบได้ หรือพื้นผิวที่มีรายละเอียดซับซ้อนมาก รวมทั้งยังเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ในการติดตั้งการทดลองประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพ, แหล่งกำเนิดแสง จากภาพถ่ายที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพ 3 มิติ โดยใช้ทฤษฎีโฟโตเมตริกสเตอริโอ จากนั้นทำการตรวจสอบความลึก ความแบนราบและความผิดปกติของพื้นผิว

จุดเด่นของการใช้วิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอนี้ สามารถตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุที่มีการสะท้อนได้ ผลลัพธ์จากการประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพสามมิติทำให้เห็นความผิดปกติของพื้นผิวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา เพื่อนำเสนอวิธีการตรวจสอบลักษณะพื้นผิว พื้นผิวที่มีการสะท้อน หรือความผิดปกติบนพื้นผิว เพื่อลดต้นทุนในการปฏิบัติงาน โดยจะทดลองกับพื้นผิววัตถุต่างๆเช่น ดินน้ำมัน แผ่นไม้ แผ่นกระเบื้อง และอื่นๆ

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาทั้งหมดออกเป็น 5 บทด้วยกัน โดยเนื้อหาแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 ความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัยและรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของระบบวิชั่นที่ใช้ในการวิจัย เทคโนโลยีการแสดงผลภาพสามมิติในปัจจุบัน พื้นฐานของอุปกรณ์ที่นำมาทำการออกแบบ การเก็บข้อมูลสามมิติ ปัจจัยสำคัญในการเลือกแหล่งกำเนิดแสง และหลักการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอ

บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ การออกแบบระบบ การติดตั้งการทดลอง ขั้นตอนการประมวลผลภาพและการแสดงผลเป็นภาพสามมิติ

บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง ผลการทดลองและการประมวลผลการตรวจสอบความลึก ความแบนราบและความผิดปกติบนพื้นผิวด้วยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอ โดยเปรียบเทียบกับวิธีตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ดิจิตอลเวอร์เนียร์ วิธีการตรวจวัดด้วยเลเซอร์

บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือ การนำภาพมาประมวลผลโดยการแยกแยะส่วนที่ต้องการหรือสนใจออกจากพื้นหลังหรือสิ่งรบกวนต่างๆ การเปลี่ยนแปลงค่าสีของภาพ การหาขอบภาพ การกรอง (Filter) การประมวลผลเชิงตัวเลข ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้จะถูกนำมาคิดคำนวณและประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ การคิดคำนวณนั้นมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีประโยชน์แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นการคิดคำนวณในแต่ละพิกเซล (Pixel) หรือการคิดคำนวณเป็นบริเวณหลายๆจุดรวมกัน (Area) เช่นการดูสวดลาย (Pattern) การวิเคราะห์หารูปร่าง (Shape) และการวิเคราะห์แบบอื่นๆ

การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล (Digital format) ซึ่งสามารถที่จะนำเอาข้อมูลนี้จัดการผ่านกระบวนการต่างๆด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ ภาพดิจิทัลเป็นภาพที่ประกอบด้วยจุดภาพเล็กๆจำนวนมากเรียกว่า พิกเซล (pixel) โดยใช้ตัวเลขแทนค่าของระดับสีหรือระดับความสว่างของแต่ละพิกเซล ซึ่งสามารถปรับแต่งเพื่อแสดงผลภาพตามต้องการได้ ดังนั้นภาพดิจิทัลจึงมีข้อดีคือสามารถนำมาประมวลผลปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลด้วยกระบวนการต่างๆด้วยคอมพิวเตอร์ได้

2.1.1 ลักษณะและความหมายของพิกเซล

พิกเซลถือเป็นหน่วยเล็กที่สุดของรูปภาพเป็นจุดเล็กๆที่รวมกันทำให้เกิดภาพขึ้น ภาพหนึ่งจะประกอบด้วยพิกเซลหรือจุดมากมาย ซึ่งแต่ละภาพที่สร้างขึ้นจะมีความหนาแน่นของจุดหรือพิกเซลเหล่านี้แตกต่างกันไป ความหนาแน่นของจุดนี้เป็นตัวบอกลถึงความละเอียดของภาพ โดยมีหน่วยเป็นพีพีไอ (Pixel Per Inch : ppi) คือจำนวนจุดต่อนิ้ว พิกเซลมีความสำคัญต่อการสร้างภาพของคอมพิวเตอร์มาก เพราะทุกส่วนของกราฟิก เช่น จุด เส้น แบบลายและสีของภาพนั้นเริ่มจากพิกเซลทั้งสิ้น เมื่อขยายภาพจะเห็นเป็นภาพจุด โดยปกติแล้วภาพที่มีความละเอียดสูงหรือคุณภาพดีควรมีค่าความละเอียด 300 x 300 ppi ขึ้นไป ยิ่งค่าพีพีไอสูงขึ้นเท่าไร ภาพก็จะมีความละเอียดคมชัดมากขึ้นเท่านั้น

ขณะเดียวกันจุดหรือพิกเซล แต่ละจุดก็จะแสดงคุณสมบัติทางสีให้แก่ภาพด้วย โดยแต่ละจุดจะเป็นตัวสร้างสีประกอบกันเป็นภาพรวม ซึ่งอาจมีขนาดความเข้มและสีแตกต่างกันได้ ทำให้เกิดเป็นภาพที่มีสีสันต่างๆ การแสดงผลของอุปกรณ์แสดงผล (Output Devices) ไม่ว่าจะเป็นเครื่องพิมพ์แบ

บดอทเมตริกหรือแบบเลเซอร์รวมทั้งจอภาพ จะเป็นการแสดงผลแบบอาศัยการรวมกันของพิกเซลออกมาเป็นรูปภาพ (Raster Devices)

2.1.2 ภาพบิตแมท (Bitmap)

บิตแมทเป็นภาพแปรผันตามความละเอียดแบบรีโซลันดิเพนเดนท (Resolution Dependent) ประกอบขึ้นด้วยจุดสีต่างๆ ที่มีจำนวนคงที่ตายตัวตามการสร้างภาพที่มีความละเอียดของภาพต่างกันไป หากขยายภาพบิตแมท ก็จะมีลักษณะเป็นตารางเล็กๆ ซึ่งแต่ละบิตคือ ส่วนหนึ่งของข้อมูลคอมพิวเตอร์ เนื่องจากบิตแมทมีค่าพิกเซลจำนวนคงที่จึงทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องการขยายขนาดภาพ การเปลี่ยนขนาดภาพทำได้โดยเพิ่มหรือลดจำนวนพิกเซลจากที่มีอยู่เดิม เมื่อขยายภาพให้ใหญ่ขึ้น ความละเอียดของภาพจึงลดลง และถ้าเพิ่มความละเอียดมากขึ้นก็จะทำให้ไฟล์มีขนาดใหญ่ขึ้น ความละเอียดของภาพจึงลดลง และเปลืองเนื้อที่หน่วยความจำมากขึ้นตามไปด้วย ภาพที่ขยายโตขึ้นจะมองเห็นเป็นตารางสีเหลี่ยมเรียงต่อกัน ไฟล์ภาพแบบบิตแมทในระบบวินโดวส์คือ ไฟล์ที่มีนามสกุล .bmp, .pcx, .tif, .jpg เป็นต้น

2.1.3 รูปร่างของภาพ (Image Shape)

ในศาสตร์ของการประมวลผลภาพนั้น การกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular image model) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากทำให้การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำ และการแสดงผลภาพออกทางอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรแถวลำดับ (Array) โดยค่าในแต่ละช่องของตัวแปรแถวลำดับแสดงถึงคุณสมบัติของพิกเซลและตำแหน่งของช่องแถวลำดับเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ ปกติแล้วในการเก็บข้อมูลภาพโดยเครื่องมือต่างๆจะเก็บตามมาตรฐานของโทรทัศน์ซึ่งมีอัตราส่วน x ต่อ y เท่ากับ 4:3 สำหรับเครื่องมือเก็บข้อมูลภาพที่ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน 4:3 เมื่อนำภาพนี้ไปแสดงในจอภาพมาตรฐานจะทำให้ภาพที่แสดงนั้นมีขนาดของจุดภาพไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของและจุดภาพขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุดมากขึ้นจะทำให้จำนวนของสีมากขึ้นด้วย สำหรับการแสดงผลภาพที่มีขนาด 1 บิต และ 8 บิตนั้นจะมีการทำงานที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากหน่วยประมวลผลจะไม่สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นบิตเดียวๆได้ดังนั้นในการแสดงผลข้อมูลออกทางจอภาพตัวโปรเซสเซอร์จะทำการก๊อปปี้ข้อมูลทั้ง 8 บิต (1 ไบต์) ส่งให้กับจอภาพซึ่งในกรณีที่พิกเซลมีขนาด 1 บิต เมื่อโปรเซสเซอร์จะทำงานกับบิตแรกที่ต้องการแล้วก็จะทำสำเนาข้อมูลชุดใหม่ทันทีโดยที่ไม่เกี่ยวกับข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือ ส่วนในกรณีพิกเซลที่มีขนาด 8 บิต โปรเซสเซอร์จะทำการก๊อปปี้ข้อมูลชุดใหม่ก็ต่อเมื่อโปรเซสเซอร์ทำงานกับทุกบิตแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ความหมายของการประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพ หมายถึง การเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใดๆ มากระทำกับภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ ให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ความคมชัด หรือการประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หรือใช้สำหรับการประมวลผลในระดับสูง เช่น การจดจำรูปร่างลักษณะได้อย่างแม่นยำ โดยทั่วไปแล้ววัตถุประสงค์ของการประมวลผลภาพคือ

- การประมวลผลภาพ : นำเข้ารูปภาพ ส่งรูปภาพออก วิธีนี้จะใช้กระบวนการประมวลผลภาพ เพื่อให้ได้ภาพออกมา เช่น การตกแต่งภาพด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop เป็นต้น
- การวิเคราะห์รูปภาพ (Image Analysis) : นำเข้ารูปภาพ ส่งค่าที่วัดได้ออก วิธีนี้จะใช้กระบวนการประมวลผลภาพ เพื่อให้ได้ค่าการวัดออกมา เช่น การวัดขนาดในงานอุตสาหกรรม เป็นต้น
- การตีความรูปภาพ (High-Level Description) : นำเข้ารูปภาพ ส่งออกคำบรรยายภาพระดับสูง วิธีนี้จะใช้กระบวนการประมวลผลภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความหมายตัวอย่างการตีความรูปภาพ เช่น การจดจำตัวอักษร (Optical Character Recognition : OCR) เป็นต้น

การประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยนำภาพที่ได้มาจากกล้องหรือจากหน่วยความจำในเครื่องต่างๆ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก แล้วนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีลักษณะเป็นรหัสเชิงตัวเลข 0,1 ที่สามารถใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณและการประมวลผลข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ได้ต่อไป

การประมวลผลภาพแบ่งเป็น 2 ระดับคือ

- การประมวลผลภาพระดับต่ำ (Low Level Image Processing)

เป็นการประมวลผลภาพขั้นแรกสุดก่อนที่จะนำไปสู่การประมวลผลภาพระดับสูงต่อไป นั่นคือหลังจากที่ได้ภาพมา ภาพที่ได้ก็จะประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆมากมาย รวมถึงสิ่งที่ไม่ต้องการด้วย ในที่นี้จะเรียกว่าสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ยังไม่สามารถที่จะนำไปใช้ประมวลผลได้ ดังนั้นการประมวลผลภาพในระดับต่ำจึงประกอบไปด้วยการกำจัดสัญญาณการทำภาพให้ชัด (High Pass Filter) การหาขอบภาพ (Edge Detection) การแปลงรูปภาพไบนารี การแบ่งแยกรูปร่างวัตถุ (Image Segmentation) เป็นต้น เพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆมาอธิบายข้อมูลภาพ และมีวัตถุประสงค์ที่จะนำตัวแปรเหล่านี้มาใช้ในการประมวลผลภาพในระดับสูงต่อไป

- การประมวลผลภาพระดับสูง (High Level Image Processing)

เป็นการทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักและเข้าใจภาพนั้นได้ เช่น การจดจำใบหน้าคนหรืออาจจะเป็นการจดจำตัวอักษร เป็นต้น ความแตกต่างของการประมวลผลภาพระดับต่ำและระดับสูง คือข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผลระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่าง หรือความเข้มของแสงโดยตรง ส่วนการประมวลผลภาพระดับสูง ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผลจะถูกแสดงในรูปแบบสัญลักษณ์ โดยสัญลักษณ์เหล่านี้จะแสดงถึงสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในภาพ การประมวลผลภาพระดับสูงนั้นส่วนใหญ่มักใช้

ทฤษฎีต่างๆเข้ามาใช้เป็นตัวช่วยในการทำงาน หรือเป็นหัวใจของโปรแกรม เช่น ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic) ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

2.1.5 ภาพดิจิทัล (Digital Image)

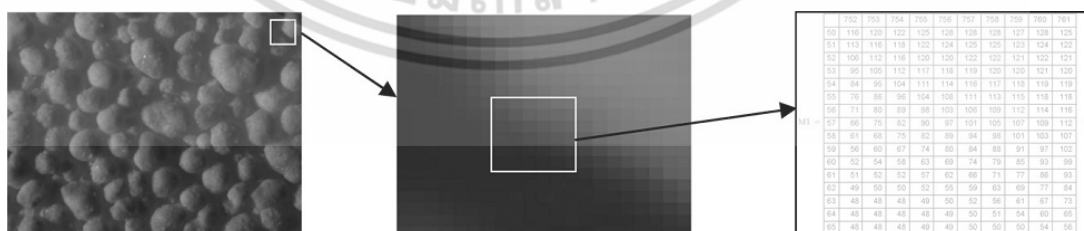
ภาพดิจิทัลเป็นฟังก์ชันของข้อมูล 2 มิติ ซึ่งมีการอ้างอิงค่าตามตำแหน่งของพิกเซล โดยค่าที่อ้างอิงในแต่ละตำแหน่งของพิกเซลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของค่าความเข้มแสง และสี ซึ่งค่าของพิกเซลสามารถแทนได้ในหลายรูปแบบตามประเภทของภาพ

- องค์ประกอบของภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัลสามารถนิยามเป็นฟังก์ชันสองมิติ $f(x,y)$ โดยที่ x และ y เป็นพิกัดของภาพ และแอมพลิจูดของ f ที่พิกัด (x,y) ใดๆภายในภาพคือค่าความเข้มแสงของภาพ (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้นๆ และเมื่อ (x,y) และแอมพลิจูดของ f เป็นค่าจำกัด (Finite value) จึงเรียกรูปภาพนี้ว่าเป็นภาพดิจิทัล (Digital Image) และถ้ากำหนดให้ภาพ $f(x,y)$ มีขนาด M แถวและ N คอลัมน์ และพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ของภาพคือที่ตำแหน่ง $(x,y) = (0,0)$ แล้ว จะสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปแบบเมตริก (Matrix) ได้ดังสมการที่ 2.1

$$f(x,y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

ค่าในเมตริกแต่ละค่าจะเรียกว่า “องค์ประกอบภาพ” หรือพิกเซล (Pixel) โดยตำแหน่ง $(0,0)$ จะอยู่ทางด้านซ้ายมือสุดด้านบนของภาพ การจัดลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละเส้นจุดและจัดลำดับของเส้นจุดจะเรียงจากบนลงล่าง แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัลดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างภาพดิจิทัล

องค์ประกอบของภาพดิจิทัล มีดังนี้

- พิกเซล (Pixel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกเซลหรือ (x,y) ซึ่งเป็นพิกัดของภาพ เป็นส่วนที่เล็กที่สุดของภาพดิจิทัล ถ้านำพิกเซลหลายๆพิกเซลมาเรียงต่อกัน จะกลายเป็นภาพที่มีขนาดเท่ากับ จำนวนพิกเซลด้านกว้างคูณจำนวนพิกเซลด้านสูง เช่นรูปขนาด 600×900 พิกเซล หมายความว่ารูปนี้มีขนาดกว้าง 600 พิกเซลและสูง 900 พิกเซล

- ค่าความเข้มแสงของภาพ

ค่าความเข้มแสงของภาพ $f(x,y)$ ในแต่ละจุดพิกเซลนั้นจะมีค่าตัวเลขกำกับไว้เพื่อบอกค่าระดับความเข้มแสงโดยใน 1 พิกเซลจะเป็นสีใดเพียงสีหนึ่งเท่านั้นจะมีอื่นไม่ได้ ค่าความเข้มแสงของภาพดิจิทัลนั้นจะมีความแตกต่างกันไปตามประเภทของภาพดิจิทัล

- ประเภทของภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัลมีอยู่หลากหลายประเภท เช่นภาพไบนารี ภาพระดับสีเทา ภาพดัชนีและภาพสี โดยภาพแต่ละประเภทนั้นจะมีค่าความเข้มแสงของภาพที่แตกต่างกัน

- ภาพขาวดำหรือภาพไบนารี (Binary Image or Black and White Image) ค่าในแต่ละพิกเซลของภาพขาวดำหรือภาพไบนารี จะใช้แค่ 1 บิต ซึ่งจะมีค่าที่เป็นไปได้คือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) เท่านั้น

- ภาพสีเทา (Intensity Image or Gray Image) ภาพระดับสีเทาเป็นภาพที่แสดงค่าความเข้มแสง ณ ตำแหน่งของจุดภาพภายในภาพ ซึ่งภาพจะมีลักษณะเป็นโทนสีเทา (Gray Scale) โดยค่าความเข้มแสงที่สามารถแสดงได้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้แทนภาพในแต่ละภาพแสดงดังสมการ (2.2)

$$L=2^k \quad (2.2)$$

โดยที่ L คือ ระดับสีเทา และ K คือค่าจำนวนบิตที่ไม่ซ้ำแทนภาพ เช่น ภาพระดับสีเทาขนาด 8 บิต สามารถแสดงค่าระดับสีเทาได้ทั้งหมด 256 ระดับ และค่าที่เป็นไปได้คือ 0 ถึง 255

ภาพระดับสีเทา หมายถึง ภาพที่มีค่าความสว่างของแต่ละจุดภาพอยู่ในช่วงสีดำสีเทา เรื่อยไปจนถึงสีขาวซึ่งเป็นค่าความสว่างที่มากที่สุด สำหรับค่าของระดับสีเทานั้น ปกติแล้วจะเป็นกำลังของ 2 ซึ่งโดยทั่วไปที่ใช้จะเป็น 8 บิต (256 ระดับ) หรืออาจใช้จำนวนบิตมากหรือน้อยกว่านี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพที่ความต้องการว่ามากหรือน้อยเพียงใด

2.1.6 ฮิสโตแกรม

ฮิสโตแกรม (Histogram) คือมาตรวัดที่ใช้ในการบอกการกระจายของค่าระดับเทาในภาพทั้งภาพ โดยการนำภาพสีที่มีอยู่มาทำการแปลงค่าของสีภาพเป็นระดับเทา เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ซึ่งการวิเคราะห์จากฮิสโตแกรมนี้ จะได้ผลออกมาเป็นกราฟแท่งที่บอกความสว่างในแต่ละช่วงของภาพ

2.1.7 กระบวนการทำเทรชโฮลด์ (Threshold)

วิธีการทำเทรชโฮลด์เป็นการลดสิ่งรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นกับภาพและกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการก่อนการนำไปประมวลผลภาพโดยจะทำการตั้งค่าหนึ่งๆ เพื่อใช้ในการปรับค่าของระดับสีในภาพ ซึ่งโดยทั่วไปภาพขาวดำ จะมีค่าเกรย์เลเวล (Gray-level) ตั้งแต่ 0-255 การกำหนดค่าคงที่จะใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าของเกรย์เลเวลในแต่ละพิกเซล ถ้าน้อยกว่าจะปรับให้เป็น 0 ถ้ามากกว่าจะปรับให้เป็น 255 เทรชโฮลด์มี 2 ลักษณะคือ

- การกำหนดค่าล่วงหน้า (Preassigned Threshold Value) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดยจะเลือกค่าคงที่ขึ้นมาค่าหนึ่งโดยทั่วไปมักเป็นค่ากลางของภาพ
- การเทรชโฮลด์จากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value) แตกต่างจากวิธีแรกตรงที่จะคำนวณอัตโนมัติโดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องกำหนด โดยทั่วไปจะคำนวณโดยการหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย

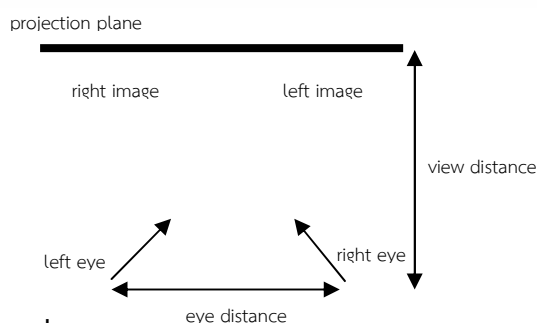
2.2 เทคโนโลยีการแสดงผลภาพสามมิติในปัจจุบัน

ระบบภาพสามมิติ คือการเก็บภาพหรือวิธีการมองภาพเสมือนว่าภาพนั้นมีความลึกเสมือนระบบภาพสามมิตินั้นมีการสร้างและดูภาพได้หลายวิธี แต่ละวิธีแตกต่างกันเนื่องจากหลักการของการบันทึก การดูภาพและค่าใช้จ่ายของแต่ละวิธีก็มีความแตกต่างกัน รวมทั้งความสมจริงในการแสดงผลภาพสามมิติของแต่ละวิธีก็มีความแตกต่างกันด้วย

2.2.1 ภาพคู่ (Stereo pairs)

Stereo Pairs คือการถ่ายภาพ 2 ภาพที่มีความห่างที่พอเหมาะ หลังจากการพิมพ์ภาพนั้นเราสามารถดูภาพสามมิติได้หลายวิธี ดังนี้

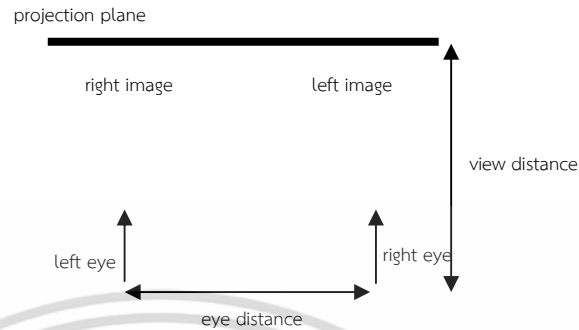
- การดูแบบสลับตาด้วยตาเปล่า (Cross-Eye View) การดูภาพ Stereo Pair นั้นสามารถดูได้โดยการวางภาพขวาไว้ด้านซ้าย และวางภาพซ้ายไว้ด้านขวาจากนั้นใช้ตาขวาดูภาพด้านซ้ายและใช้ตาซ้ายดูภาพด้านขวา เมื่อเริ่มดูภาพจะพบว่าภาพทั้งสองจะค่อยๆ เคลื่อนเข้าหากันจนเกิดการรวม (Fused) ของภาพและเกิดเป็นภาพสามมิติ



รูปที่ 2.2 การดูภาพแบบ Cross-Eye View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

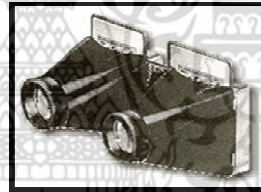
- การดูแบบขนานด้วยตาเปล่า (Parallel View) การดูแบบขนานนี้เป็นการดูภาพในลักษณะปกติ กล่าวคือภาพด้านซ้ายจะอยู่ทางซ้ายและดูด้วยตาซ้าย ส่วนภาพด้านขวาจะอยู่ทางขวาและดูด้วยตาขวา



รูปที่ 2.3 การดูภาพแบบ Parallel View

- การดูแบบขนานด้วย Stereo Viewer

หลักการของ Viewer หรืออุปกรณ์ดูภาพสามมิติ คือการแยกการมองของตาแต่ละข้างให้สามารถเห็นและโฟกัสรูปซ้าย-ขวาที่เหมาะสม โดยใช้กล่องดูสเตอริโอสามมิติ ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นกล่องที่มีความสะดวกในการดูภาพมากที่สุดแบบหนึ่ง เนื่องจากผู้ดูไม่ต้องกังวลกับระยะห่างระหว่างภาพ



รูปที่ 2.4 กล่องดูสเตอริโอสามมิติ

2.2.2 ภาพเหลื่อม (Anaglyph Image)

การสร้างภาพ Anaglyph คือการปรับสีภาพ Stereo 2 ภาพแล้วนำมาซ้อนเหลื่อมกัน การดูภาพ Anaglyph นี้ต้องอาศัยแว่นตาพิเศษ ที่มีสองสีมาตรฐาน มักใช้สีน้ำเงินสำหรับตาขวา และสีแดงสำหรับตาซ้าย ภาพที่เป็น Anaglyph แท้ นั้น ต้นแบบจะทำจากภาพขาว-ดำ 2 ภาพปรับสีให้เป็นสีแดงและน้ำเงิน ภาพสีก็สามารถนำมาใช้ทำภาพ Anaglyph ได้ แต่ผลออกมาไม่ดีเนื่องจากสีจะเพี้ยน



รูปที่ 2.5 ภาพเหลื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 Shutter Glasses

การใช้ Shutter Glasses ในการดูภาพสามมิติได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น แว่นตาดังกล่าวมี Electronic Shutter ที่จะเปิดและปิด ในความถี่เดียวกันกับภาพที่แสดงบนจอ Monitor การเปิด/ปิด นี้จะใช้สัญญาณไฟฟ้า ในการทำให้ Liquid Crystals เปลี่ยนคุณสมบัติจากโปร่งแสงเป็นทึบแสงเพื่อ อนุญาตให้ตาเพียงข้างเดียวมองเห็นภาพที่ถูกต้องบนจอ Monitor เช่น Shutter ด้านซ้ายของแว่นจะ เปิด แต่ด้านขวาจะปิดในเวลาเดียวกันกับที่ภาพสำหรับตาซ้ายแสดงบนจอภาพและจากนั้น Shutter ด้านขวาของแว่นจะเปิดแต่ด้านซ้ายจะปิดในเวลาเดียวกันกับที่ภาพสำหรับตาขวาแสดงบนจอภาพ (Shutter ด้านซ้ายจะปิด) ความถี่ของการสลับภาพต้องสูงพอที่จะหลอกประสาทตา ให้มองเห็นภาพ ทั้งสองในเวลาเดียวกันและเห็นเป็นภาพสามมิติ ในกรณีที่ความถี่ต่ำเกินไปเราจะเห็นการกระพริบ (flickering) ของภาพแทน



รูปที่ 2.6 Shutter Glasses

2.2.4 Pulfrich Images (3D Effect สำหรับวิดีโอ)

ถ้ามีการถ่ายวิดีโอของวัตถุ โดยที่กล้องวิดีโอมีการเคลื่อนที่ไปด้านข้างไม่ว่าทางซ้ายหรือขวา รวมทั้งในกรณีที่วัตถุที่ถ่ายกำลังหมุน (ในขณะที่กล้องอยู่กับที่) เราสามารถดูวัตถุนั้นเป็นสามมิติได้ โดยการใช้แว่นตาที่ด้านหนึ่งเป็นฟิลเตอร์มืด ส่วนอีกด้านไม่มีฟิลเตอร์

Effect นี้มีชื่อเรียกว่า Pulfrich Effect มีการกล่าวถึงและวิเคราะห์ครั้งแรกในปี ค.ศ.1992 การที่เราสามารถเห็นภาพสามมิติจากวิดีโอสองมิติได้นั้น เนื่องจากสมองจะแปลภาพที่มีแสงน้อยได้ช้า กว่าภาพปกติ ดังนั้นกว่าที่สมองจะแปลภาพที่มองเห็นผ่าน Filter ได้สมองก็ได้รับภาพใหม่จากตาอีก ข้างที่ไม่มี Filter แล้วเมื่อสมองเห็นภาพต่างกันระหว่างตาซ้ายกับตาขวา ก็จะทำให้การรวมภาพเข้าด้วยกัน และแปลผลออกมาเป็นภาพสามมิติ

2.3 การเก็บข้อมูลสามมิติ (3D Range Acquisition)

ในการเก็บข้อมูลสามมิติจะใช้ตัวตรวจจับชนิดต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับยังไม่ใช้เป็น ระยะเวลาจริงจะต้องนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการคำนวณใหม่เสียก่อนซึ่งเรียกข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับ

นี้ว่าข้อมูลระยะเวลา (Range data) โดยที่ข้อมูลระยะเวลาที่ได้จะมีประโยชน์มากในการนำไปประยุกต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานด้านต่างๆ เช่น การมองเห็นของหุ่นยนต์ การวินิจฉัยโรคในด้านการแพทย์ กระบวนการผลิตในงานด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น การเก็บข้อมูลสามมิติเป็นการตรวจจับหรือตรวจวัดข้อมูลของวัตถุที่ต้องการในลักษณะทั้งความกว้าง ความยาว รวมทั้งความสูง หรือความหนาของวัตถุ

2.3.1 หลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญหายไป (Time of Flight)

การวัดระยะทางวิธีนี้จะใช้การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปยังวัตถุที่ต้องการเมื่อสัญญาณนี้กระทบกับวัตถุมันก็จะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับซึ่งรูปแบบของสัญญาณมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน และระยะทางหาได้จากผลคูณระหว่างความเร็วกับเวลา โดยสมการที่จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$d = (v \cdot t) / 2 \quad (2.3)$$

เมื่อ

d คือระยะทางจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไปยังวัตถุ (เมตร)

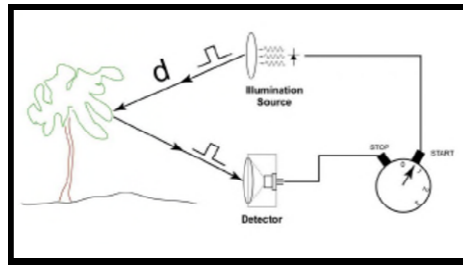
v คือความเร็วขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณที่ใช้ (เมตร/วินาที)

t คือเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปและสะท้อนกลับมา (วินาที)

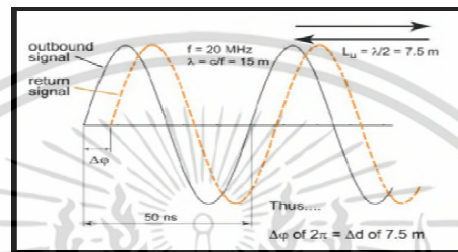
โดยคุณสมบัติของสัญญาณโดยทั่วไปที่ต้องคำนึงถึงที่นำมาใช้ในหลักการของเวลาที่สูญหายไปนี้แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือมุมเบี่ยงเบนของสัญญาณ และความเร็วของสัญญาณซึ่งมุมเบี่ยงเบนของสัญญาณที่ส่งออกไปมีมุมกว้างแต่วัตถุมีขนาดเล็กจะทำให้ระยะทางที่คำนวณได้มีความแม่นยำลดลง เพราะสัญญาณจะครอบคลุมบริเวณได้กว้างกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่มีมุมแคบกว่าซึ่งทำให้มีความแม่นยำมากกว่า

ซึ่งทั่วไปแล้วมีสัญญาณอยู่ 3 ชนิดที่นำมาใช้ในหลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญหายไปซึ่งได้แก่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นแสง และคลื่นเสียงซึ่งวิธีในการคำนวณหาระยะทางจะมีลักษณะเหมือนกัน อย่างไรก็ตามสัญญาณแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวของมันและจะมีผลต่อความแม่นยำของระยะทางที่คำนวณได้ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะสัญญาณที่เป็นคลื่นแสงเท่านั้นโดยการใช้คลื่นแสงมาใช้

ในหลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญหายไปวิธีนี้ถูกเรียกว่า LIDAR (Light Detection and Ranging) ซึ่งจะกำเนิดคลื่นแสงสั้น ๆ ออกไปและรอคลื่นสะท้อนกลับมานำเวลาที่สูญหายไปมาคำนวณหาระยะทาง ในวิธีนี้จะนิยมใช้แสงเลเซอร์ (Laser) เพราะว่ามีมุมเบี่ยงเบนของคลื่นจะแคบมากเป็นผลให้ ระยะทางที่คำนวณได้มีความถูกต้องสูงซึ่งจะดีกว่าคลื่นแสงทั่วไปนอกเหนือจากเวลาที่นำไปใช้คำนวณแล้วความเข้มแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นความเข้มในระดับเกรย์ได้อีกด้วย ความเข้มแสงที่สะท้อนกลับมาจะเปลี่ยนไปตามสัดส่วนกับจำนวนแสงที่ถูกดูดซึมด้วยวัตถุที่แตกต่างกัน ดังนั้นความเข้มแสงที่ได้รับมาในแต่ละจุดสามารถนำมาแสดงรวมกันได้ภาพสามมิติอีกด้วย



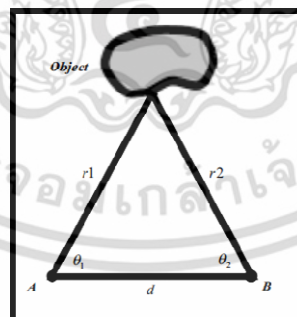
รูปที่ 2.7 หลักการวัดระยะทางโดยใช้คลื่นแสง



รูปที่ 2.8 ความต่างของมุมเฟสที่สะท้อนกลับมาเมื่อกระทบวัตถุ

2.3.2 หลักการของรูปสามเหลี่ยม (Triangulation)

เราอาจจะคุ้นเคยกับแนวความคิดของการนำหลักการของรูปสามเหลี่ยมมาวัดระยะทาง สมมติว่ามีเครื่องมืออยู่สองตัวซึ่งวางห่างกันเป็นระยะทางที่แน่นอน (d) อุปกรณ์ A และ B จะเก็บตำแหน่งบนวัตถุที่ตำแหน่งเดียวกันดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การวัดระยะทางโดยหลักการของรูปสามเหลี่ยม

จะเห็นว่าอุปกรณ์ทั้งสอง (A, B) และวัตถุวางในลักษณะรูปสามเหลี่ยมมีด้านหนึ่งด้านและมุมสองมุมที่เราทราบอยู่ก่อนแล้วคือด้าน d กำหนดให้มุมที่เกิดขึ้นระหว่าง d และ r_1 คือมุม θ_1 ส่วนมุมที่เกิดขึ้นระหว่าง d และ r_2 คือมุม θ_2 ส่วนมุมที่สามสามารถหาได้โดยใช้มุมสองมุมที่เราทราบค่าลบบอกจาก 180 องศา ซึ่งระยะทางระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวไปยังวัตถุสามารถหาได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

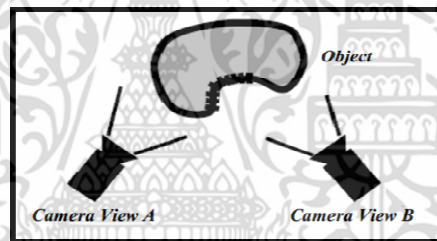
$$r1 = \frac{d \sin \theta 2}{\sin(180 - (\theta 1 + \theta 2))} \quad (2.4)$$

$$r2 = \frac{d \sin \theta 1}{\sin(180 - (\theta 1 + \theta 2))} \quad (2.5)$$

ในการวัดระยะทางโดยใช้หลักการรูปสามเหลี่ยมจะเป็นพื้นฐานในการวัดระยะทางแบบต่างๆ ซึ่งหลักการรูปสามเหลี่ยมจะแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ซึ่งวิธีแรกเรียกว่า แบบแอคทีฟ (Active) จะใช้เครื่องมือเก็บภาพ 1 ตัวร่วมกับเครื่องกำเนิดแสงอีก 1 ตัว อีกวิธีเรียกว่าแบบพาสซีฟ (Passive) จะใช้เครื่องมือเก็บภาพ 2 ตัว เช่นกล้องวิดีโอเป็นต้น

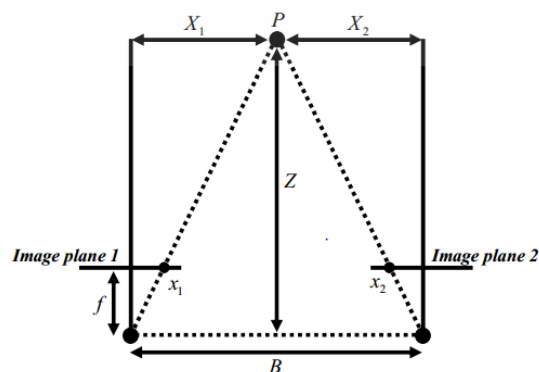
2.3.3 หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ (Passive Triangulation)

วิธีนี้บางครั้งถูกเรียกว่าสเตอริโอวิชัน (Stereo Vision) อธิบายได้เหมือนกับการใช้ตาทั้งสองของมนุษย์ในการวัดระยะทาง ในวิธีนี้ใช้กล้องวิดีโอเป็นเครื่องมือที่ใช้เก็บภาพโดยใช้กล้องวิดีโอทั้งสองตัววางห่างกันในระยะทางที่แน่นอนดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลักการของระบบสเตอริโอวิชัน (Stereo Vision)

หลักการของสเตอริโอวิชันหรือรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟเป็นการหาระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุ โดยอาศัยความแตกต่าง (Disparity) ของจุดภาพที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพของกล้องทั้งสองซึ่งในการคำนวณหาระยะทางโดยวิธีนี้สามารถอธิบายได้ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การวัดระยะทางในระบบสเตอริโอวิชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่สำหรับผู้ที่ไม่ใช่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 นั้นสามารถนำมาเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกล้องทั้งสองได้โดยกำหนดให้ P เป็นจุดของวัตถุในระบบพิกัดกล้องโดย X_1 และ X_2 เป็นขนาดของวัตถุเมื่อเปรียบเทียบกับแนวแกน Z ของระบบพิกัดกล้อง และ x_1, x_2 เป็นขนาดของวัตถุที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพตั้งกล้องที่ 1

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X_1}{Z} \quad (2.6)$$

กล้องที่ 2

$$\frac{x_2}{f} = \frac{X_2}{Z} \quad (2.7)$$

และ

$$X_2 = X_1 + B \quad (2.8)$$

นำสมการที่ 2.8 แทนลงในสมการที่ 2.7 เขียนใหม่ได้เป็น

$$B + X_1 = \frac{Z \cdot x_2}{f} \quad (2.9)$$

นำสมการที่ 2.9 ลบสมการที่ 2.6 ดังนั้นระยะทาง Z จะหาได้ตั้งสมการที่ 2.10

$$Z = \frac{B \cdot f}{x_2 - x_1} \quad (2.10)$$

เมื่อ

Z คือ ระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุ P

B คือ ระยะทางระหว่างกล้องทั้งสองตัว

f คือ ความยาวโฟกัสของกล้องทั้งสองตัว

x_1, x_2 คือ ระยะจุดภาพที่เกิดขึ้นบนระนาบภาพ

จุดของภาพทั้งสองคือ x_1 และ x_2 จะไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันจะได้ระยะห่างระหว่างจุดเรียกว่าค่าความแตกต่าง ระยะทาง Z จากกล้องวิดีโอไปยังจุดบนวัตถุจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความแตกต่างระหว่าง x_1 และ x_2 เช่นถ้าค่าความแตกต่างเข้าใกล้ศูนย์ระยะทาง Z จะมีค่าได้ไม่สิ้นสุด (Infinite) ซึ่งจะไม่เกิดระยะทางขึ้นระหว่างจุดภาพทั้งสองที่สอดคล้องกันในทางกลับกันถ้า ระยะทาง Z ลดลงค่าความแตกต่างก็จะเพิ่มขึ้น

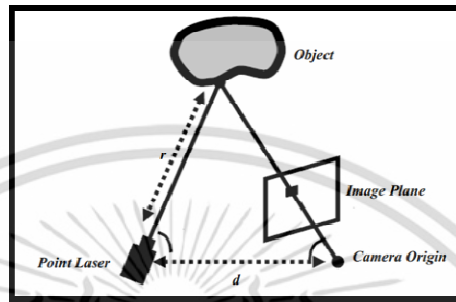
2.3.4 หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ (Active Triangulation)

หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟจะแตกต่างกับวิธีแบบพาสซีฟ คือการใช้เครื่องกำเนิดแสงร่วมกับกล้องวิดีโอเพียง 1 ตัวโดยเครื่องกำเนิดแสงจะเป็นแบบจุด แบบลายเส้น ซึ่งภาพที่ได้เราจะนำจุดภาพที่ถูกแสงกระทบหรือถูกฉายมาคำนวณหาระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธีฉายแสงแบบจุด (Light Spot Triangulation)

สมมติว่าเราฉายลำแสงไปบนวัตถุ ดังรูปที่ 2.12 ลำแสงดังกล่าวจะสร้างจุดแสงบนวัตถุและจะสะท้อนไปยังกล้องวิดีโอ โดยระยะห่างระหว่างกล้องวิดีโอกับเครื่องกำเนิดแสงเป็นระยะ d จะเห็นว่าเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมขึ้นระหว่างเครื่องกำเนิดแสง วัตถุ และกล้องวิดีโอ ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาระยะทาง r จากกล้องวิดีโอไปยังจุดบนวัตถุได้

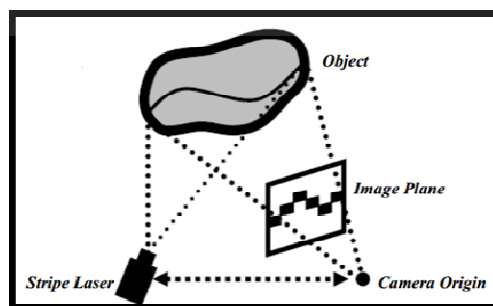


รูปที่ 2.12 หลักการวัดระยะทางโดยวิธีรูปสามเหลี่ยมร่วมกับแสงเลเซอร์แบบจุด

- วิธีฉายแสงแบบลายเส้น (Light Stripe Triangulation)

หลักการฉายแสงแบบลายเส้นเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีฉายแสงแบบจุดโดยลายเส้นของแสงจะได้จากการฉายแสงผ่านร่องแสงหรือจากเครื่องกำเนิดแสงแบบจุดผ่านเลนส์ที่มีลักษณะกลมซึ่งทำให้แสงที่ได้กลายเป็นเส้นแสงโดยทำการฉายแสงที่เดินไปยังวัตถุ และใช้กล้องเก็บลายเส้นที่เกิดขึ้นบนวัตถุ ดังรูปที่ 2.13 โดยลายเส้นจะถูกแบ่งออกเป็นจุดภาพย่อยๆ และระยะทางจะคำนวณที่แต่ละจุดตามลายเส้น ส่วนวิธีการคำนวณหาระยะทางจะเหมือนกับวิธีการฉายแสงแบบจุดทุกประการรวมทั้งการวางและติดตั้งอุปกรณ์ก็มีความเหมือนกัน

ข้อดีของวิธีการฉายแสงแบบลายเส้นเดียว คือง่ายและรวดเร็วกว่าวิธีการฉายแสงแบบจุด นอกจากนั้นขอบเขตและพื้นที่ของวัตถุ สามารถหาได้โดยการต่อที่จุดปลายของแต่ละลายเส้นเข้าด้วยกัน ดังนั้นวิธีการใช้แสงแบบลายเส้นนี้สามารถใช้ในการแบ่งย่านภาพวัตถุ (Image Segmentation) ได้อีกด้วย

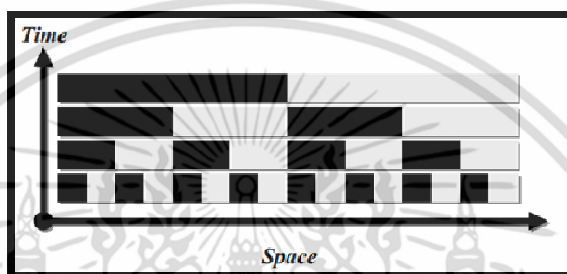


รูปที่ 2.13 หลักการวัดระยะทางโดยวิธีรูปสามเหลี่ยมร่วมกับแสงเลเซอร์แบบเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 เทคนิคการฉายแสงด้วยรหัสไบนารี (Binary Code Pattern)

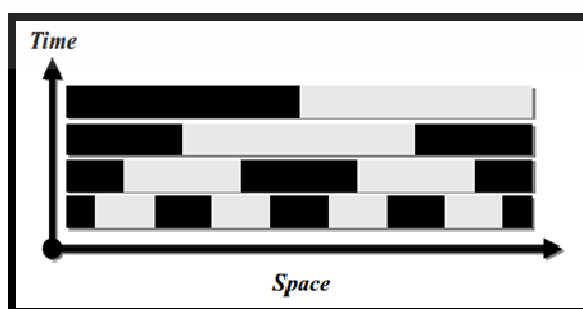
วิธีนี้จะใช้เครื่องกำเนิดแสงร่วมกับกล้องวิดีโอซึ่งส่วนมากนิยมใช้โปรเจกเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการฉายแสงโดยแสงที่ฉายไปยังวัตถุจะเป็นรหัสไบนารี (Binary Code) [10] และใช้กล้องวิดีโอเก็บภาพแสงที่กระทบกับวัตถุ ซึ่งข้อมูลภาพที่ได้นี้จะเป็นข้อมูลของระยะทางบนตำแหน่งของวัตถุซึ่งจะถูกเข้ารหัสเป็นระดับความสว่างและความมืดของแสง โดยจุดของภาพที่มีความสว่างจะเป็น “1” และจุดของภาพที่มีความสว่างน้อยหรือมืดจะเป็น “0” จึงจำเป็นต้องนำรหัสบนจุดภาพดังกล่าวไปถอดรหัสและคำนวณเพื่อทำการหาระยะทางจริงบนวัตถุ



รูปที่ 2.14 ฉากรหัสไบนารี (Binary Code Pattern) [15]

2.3.6 เทคนิคการฉายแสงด้วยรหัสเกรย์ (Gray Code Pattern)

เนื่องจากเทคนิคการฉายแสงด้วยรหัสไบนารีจะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นที่บางตำแหน่งบนวัตถุ โดยเฉพาะบริเวณร่องแสงที่ติดกัน เพื่อลดความผิดพลาดดังกล่าวจึงเปลี่ยนการเข้ารหัสระยะจากการใช้รหัสไบนารีด้วยการใช้รหัสเกรย์ [10] [11] [12] เนื่องจากทั้งรหัสไบนารี และรหัสเกรย์ต่างก็เป็นเลขฐานสองจึงสามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ ลักษณะการฉายแสงและการวางตำแหน่งของอุปกรณ์สามารถใช้วิธีการเดียวกับการใช้รหัสไบนารี เพียงแต่รหัสเกรย์มีขั้นตอนในการแปลงข้อมูลที่ซับซ้อนกว่า ส่วนในการคำนวณหาระยะทางจะเหมือนกันทุกประการ



รูปที่ 2.15 ฉากรหัสเกรย์ (Gray Code Pattern)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ประเภทแหล่งกำเนิดแสง

การที่จะมองเห็นภาพชัดเจนหรือไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแสงเป็นส่วนสำคัญแสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ไปยังวัตถุ (Object) เมื่อแสงกระทบกับวัตถุจะมีการสะท้อนกลับมาที่ตาของเราหรือในที่นี้คือตัวกล้องจักรกลวิทัศน์นั่นเอง ความคมชัดของภาพที่เห็นขึ้นอยู่กับว่าวัตถุนั้นๆ ดูชัดหรือสะท้อนแสงกลับได้เท่าไรซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพรูปร่าง และสีของวัตถุ เพราะฉะนั้นการเลือกแหล่งกำเนิดแสงในงานวิชันเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในระบบการบันทึกภาพตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพไว้ในตัวกล้อง ซึ่งเป็นการสอนให้จำภาพได้ ทำโดยอาศัยภาพต้นแบบ (Template) ซึ่งได้จากการคัดเลือกภาพที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจาก ความคมชัด , ความสมบูรณ์ และ ความสว่างของภาพ มาเป็นตัวเปรียบเทียบกับภาพปัจจุบัน โดยในการประมวลผลข้อมูลภาพเป็นเครื่องมือตัดสินใจ ซึ่งภาพต้นแบบจะต้องสามารถเป็นตัวแทนของภาพทั้งหมดได้ เพราะฉะนั้นการที่เราเลือกใช้แสงให้ถูกต้องและควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้คงที่ในขณะที่บันทึกภาพต้นแบบและในขณะที่เดินเครื่องการผลิตจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมคุณภาพการผลิต[5]

ในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงนั้นเราสามารถแบ่งประเภทของแหล่งกำเนิดแสงได้เป็น 2 แบบ คือ OPPOSED MODE และ PROXIMITY MODE ซึ่งแต่ละแบบก็จะใช้กับชิ้นงานแต่ละประเภทแตกต่างกันไปแล้วแต่ความเหมาะสมของชิ้นงาน ไม่ว่าจะเป็น รูปร่าง พื้นผิว พื้นผิวสี และ เงา ร่วมไปถึงการสะท้อนของชิ้นงาน

โดยแหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งได้ 6 ประเภทดังนี้ แบล็คไลท์ (Backlights) แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ ติดตั้งไว้ด้านหลังของวัตถุ แอเรียไลท์ (Area lights) แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของแสงสูงจะทำให้เห็นเงาและพื้นผิวของวัตถุได้ชัดเจน ริงไลท์ (Ring light) แหล่งกำเนิดแสงให้แสงสว่างในพื้นที่ขนาดจำกัด สำหรับติดกับตัววิชันเซ็นเซอร์ โลว์แองเจิลไลท์ (Low-angle light) แหล่งกำเนิดแสงมุมต่ำช่วยเพิ่มความคมชัดของคุณลักษณะพื้นผิว ดิฟฟิวส์ไลท์ (Highly-diffused light) แหล่งกำเนิดแสงแบบโดม จะให้แสงแบบรอบทิศทาง ออนเอ็กซ์ซิสไลท์ (On-axis light) แหล่งกำเนิดแสงที่จะช่วยลดการสะท้อนของพื้นผิววัตถุได้เป็นอย่างดี[5] การเลือกแสงให้ถูกต้องเป็นส่วนสำคัญในการนำอุปกรณ์วิชันไปประยุกต์ใช้งานจริงในกระบวนการตรวจสอบถึงแม้ว่าอุปกรณ์กล้องวิชันจะมีประสิทธิภาพสูง หากใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ผลการตรวจสอบผิดพลาดได้ ดังนั้นหากเราเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมแล้วถึงแม้ว่าตัวอุปกรณ์จะสเปคไม่สูงมากก็สามารถให้ผลลัพธ์ในการตรวจสอบที่ดีได้ ซึ่งเป็นการประหยัดเงินได้ทางหนึ่งเพราะไม่ต้องซื้อกล้องวิชันที่มีสเปคสูงเกินไป

2.4.1 แบล็คไลท์ (Backlights)

แสงแบบส่องด้านหลัง คือ แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ ส่วนใหญ่จะติดตั้งไว้ด้านหลังของวัตถุด้วยจุดประสงค์ในการให้เกิดเงาของวัตถุขึ้นเพื่อที่จะให้วัตถุนั้นมีขนาดและรูปร่างสำหรับให้เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ในทรัพย์สินทางปัญญาของผู้จัดทำเอกสารนี้ไว้เพื่อคุ้มครองสิทธิของตนเอง ไม่ให้นำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารที่เบอร์โทรศัพท์ 08-1234-5678 หรืออีเมล contact@copyright.com

อุปกรณ์วิชันเซ็นเซอร์ตรวจจับ เหมาะสำหรับการใช้งานในการตรวจสอบในอุตสาหกรรมเช่น ตรวจสอบขนาดของขวด, ตรวจสอบชิ้นงานตามขนาดและรูปร่าง, ตรวจสอบรอยแตกหรือรอยร้าวของวัตถุ เป็นต้น แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.16

- ข้อดี**
- ตัวระบบวิชันเซ็นเซอร์จะไม่เห็นพื้นผิวของวัตถุ
 - เซ็นเซอร์จะเห็นเพียงแต่เงาของวัตถุเพื่อตรวจสอบชิ้นงาน
 - ทำให้เห็นรูปทรงและขนาดของวัตถุได้เด่นชัดมากขึ้น
- ข้อเสีย** - กล้องจะไม่เห็นพื้นผิวของชิ้นงาน



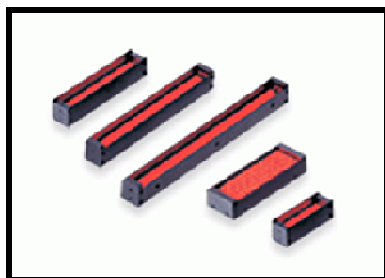
รูปที่ 2.16 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบส่องด้านหลัง [8]

2.4.2 แอเรียไลท์ (Area lights)

การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบพื้นที่ แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของแสงมากจะทำให้เกิดแสงจ้าทำให้เห็นเงาและพื้นผิวของวัตถุได้ชัดเจนขึ้น เหมาะกับการตรวจสอบรอยหยัก, การพิมพ์บนพื้นผิวสะท้อน เป็นต้น แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.17

- ข้อดี**
- แสงสว่างจะสร้างเงาเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในเชิงลึก
 - สามารถเจาะจงพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ
 - หลีกเลียงแสงจ้าของพื้นผิวสะท้อนเมื่อทำมุมเอียงจากเลนส์

ข้อเสีย - แสงที่ออกมาขึ้นนี้อาจจะทำให้เกิดเงาที่ไม่ต้องการได้ และเกิดแสงสะท้อนค่อนข้างสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 2.17** แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบพื้นที่ [8] ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ริงไลท์ (Ring light)

การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวน แหล่งกำเนิดแสงให้แสงสว่างในพื้นที่ขนาดจำกัดตรงกลางเปิดเป็นรูเพื่อเอาไว้สำหรับติดกับตัววิชันเซ็นเซอร์ เหมาะกับการตรวจสอบวันที่และงานจับการยิงจากสัญลักษณ์จากเครื่องพิมพ์ การซ้อนของแผ่นวัตถุเป็นต้น แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.18

- ข้อดี**
- ให้แสงสว่างถึงแม้วัตถุมีขนาดเล็ก
 - ช่วยลดเงาบนภาพในส่วนที่ยื่นออกมา
 - แสงจะอยู่ตรงกลางของวัตถุที่จะจับภาพ

- ข้อเสีย**
- เมื่อวัตถุมีขนาดใหญ่ด้านมุมของภาพอาจมองไม่เห็น
 - แสงสะท้อนสูง ภาพที่ถ่ายออกมาอาจจะเห็นแสงสะท้อนของแหล่งกำเนิดแสงเป็นทรงกลม



รูปที่ 2.18 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบวงแหวน [8]

2.4.4 โลว์แองเจิลไลท์ (Low-angle light)

การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบมุมต่ำ แหล่งกำเนิดแสงมุมต่ำช่วยเพิ่มความคมชัดของคุณลักษณะพื้นผิวมากยิ่งขึ้นด้วยการติดตั้งในแนวตั้งฉากกับตัวกล้องโดยใช้มุมเอียงเล็กน้อยของแหล่งกำเนิดแสง เหมาะสำหรับงานเช็คลูกสูบ, หาพื้นผิวที่หายไป เป็นต้น แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.19

- ข้อดี**
- ตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวจุดเด่น เช่น ฟูน, รอยบุบ, รอยขีดข่วน เป็นต้น
 - ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวของชิ้นงานที่นูนขึ้นมา เช่น ลายนูนบนPCB

- ข้อเสีย**
- จะต้องติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงอยู่ใกล้กับวัตถุ
 - แสงทำให้เกิดจุดร้อนและแสงเงา



รูปที่ 2.19 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบมุมต่ำ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ดิฟฟิวส์ไลท์ (Highly-diffused light)

การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบกระจาย แหล่งกำเนิดแสงแบบโคมนี้จะให้แสงแบบรอบทิศทาง และ โคมนี้จะช่วยลดการเกิดแสงจ้าและเงาได้ดี เหมาะสำหรับการพิมพ์วันที่ที่กันกระเบื้อง เช่น COKE โซดา, การพิมพ์บนพลาสติก, การพิมพ์บนขวดใส เป็นต้น แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.20

- ข้อดี**
- ช่วยลดแสงสะท้อนและเงาได้ดี
 - แสงสว่างที่ออกมาจากโคมจะนุ่มนวล

- ข้อเสีย**
- ใช้พื้นที่เป็น 3 เท่าในการส่องสว่างของวัตถุ
 - พื้นผิวที่สัมผัสแสงจะไม่ค่อยชัดเจนเหมือนกับแบบที่สัมผัส แสงโดยตรง



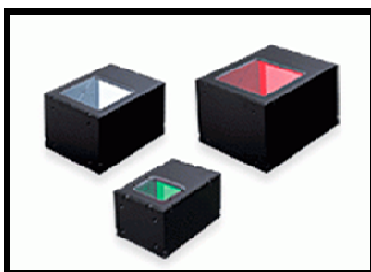
รูปที่ 2.20 แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบกระจาย[8]

2.4.6 ออนเอ็กซ์ซิสไลท์ (On-axis light)

การประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบแนวแกน แหล่งกำเนิดแสงแบบนี้จะช่วยลดในการสะท้อนของพื้นผิว วัตถุได้เป็นอย่างดี เหมาะสำหรับการพิมพ์วันที่ที่กันกระเบื้อง เช่น COKE PEPSI โซดา, การพิมพ์บนพลาสติก, การพิมพ์บนขวดใส เป็นต้น แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.21

- ข้อดี**
- ให้แสงสว่างมากกว่าแบบวงแหวน
 - ให้แสงได้ดีแม้มีการสะท้อนของวัตถุ

- ข้อเสีย**
- ตัวของแหล่งกำเนิดแสงจะต้องใกล้กับวัตถุ
 - ตัวของแหล่งกำเนิดแสงจะต้องใหญ่กว่าวัตถุที่จะตรวจสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร **รูปที่ 2.21** แสดงแหล่งกำเนิดแสงแบบแนวแกน [8] ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง

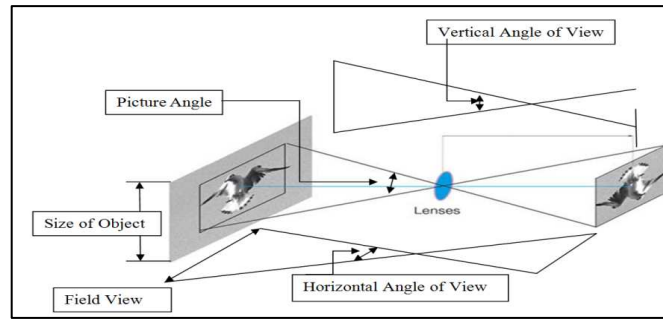
ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงสำหรับวิชัน นั้นมีอยู่หลายแบบมากในงานวิจัยนี้ขอแบ่งเป็น 3 ข้อหลักที่จะต้องใช้ในระบวิชันรูปทรงและรูปร่างของแหล่งกำเนิดแสง รูปทรงและรูปร่างของแหล่งกำเนิดแสงสำคัญมากในระบวิชัน ควรเลือกให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่จะตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบใด ไม่ว่าจะเป็นด้านบนด้านข้างหรือด้านหลัง เพราะจะช่วยเรื่องเพิ่มความคมชัดของชิ้นงานให้มากขึ้นลดแสงสะท้อนของวัตถุลดการเกิดจุดสะท้อน

เทคนิคการจัดแสงในระบบวิชันเทคนิคการจัดแสงในระบบวิชัน นั้นควรดูที่เป้าหมายของผลิตภัณฑ์ ของสินค้าที่จะถ่ายว่าจะดูที่ พื้นที่ รูปร่าง ขนาด หรือ เงา และเรื่องการเอียงของแหล่งกำเนิดแสง

- **Dark-Field** การให้แหล่งกำเนิดแสงทางด้านข้าง เกิดแสงสะท้อนจากชิ้นงานสูงมากและพื้นผิวที่ให้แสงจะสว่างมากขึ้น
- **Bright-Field** การให้แหล่งกำเนิดแสงโดยตรง ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีและรูปร่างและพื้นผิวของชิ้นงานจะละเอียดขึ้น
- **Backlight** การให้แหล่งกำเนิดแสงทางด้านหลังตรวจสอบโดยใช้เงาของชิ้นงาน และมีความคมชัดของชิ้นงานสูงมาก

2.6 วิธีการเลือกขนาดกล้อง

การคัดเลือกกล้องเป็นส่วนสำคัญมาก เพราะการถ้าคัดเลือกกล้องได้เหมาะสมก็จะทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพดีและต้นทุนที่ไม่สูง สมการที่ (2.11) เป็นสมการหาความยาวโฟกัสของเลนส์ (Focal length) ของกล้องแบบซีซีดี (CCD) ซึ่งเป็นการคำนวณหาระยะของเลนส์ ถึงระยะของวัตถุที่ตกอยู่บนเซ็นเซอร์ โดยปกติจะมีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาย้อนกลับไป เพื่อหาระยะการทำงานของกล้อง (Working Distance) ซึ่งเป็นระยะของวัตถุจริงถึงตำแหน่งเลนส์ของกล้อง กับการเลือกชนิดของความยาวโฟกัสเลนส์ ว่ามีความเหมาะสมตามที่ผู้ออกแบบต้องการ ค่าของความยาวโฟกัสเลนส์ในแต่ละช่วงโดยปกติจะถูกกำหนดเป็นมาตรฐานขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ค่าตัวแปรขนาดของรูปภาพ (Size of Image) คือขนาดของรูปภาพที่ตกกระทบบนระนาบเซ็นเซอร์กล้อง Size of Object คือ ขนาดของวัตถุจริง โดยสามารถอ้างอิงรายละเอียดของตำแหน่งได้จากรูปที่ 2.22 สำหรับการคำนวณหาความยาวโฟกัสด้านกว้าง (Focal length of width) และความยาวโฟกัสด้านความสูง (Focal length of height) เป็นการคำนวณหาเพื่อเลือกชนิดของกล้องและขนาดของเซ็นเซอร์กล้องให้เหมาะสมกับขนาดของวัตถุจริง ที่ต้องการบันทึกภาพ โดยทำการแทนค่าของตัวแปรความกว้างของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ (Object Width) และความสูงของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ (Object Height) ขนาดความกว้างของเซ็นเซอร์ที่ต้องการ (CCD width) และขนาดความสูงของเซ็นเซอร์ที่ต้องการ (CCD Height) ในสมการที่ (2.12) และ (2.13) ตามลำดับ



รูปที่ 2.22 พื้นฐานโครงสร้างของกล้อง

$$\text{Focal length} = (\text{Work Distance}) * (\text{Size of Image}) / (\text{Size of Object} + \text{Size of Image}) \quad (2.11)$$

$$\text{Focal length} = (\text{Work Distance}) * (\text{CCD Width}) / (\text{Object Width}) + (\text{CCD Width}) \quad (2.12)$$

$$\text{Focal length of height} = (\text{Work Distance}) * (\text{CCD Height}) / (\text{Object Height}) + (\text{CCD Height}) \quad (2.13)$$

- การคำนวณหาความยาวโฟกัสของกล้อง

การเลือกที่จะคำนวณระหว่าง ความยาวโฟกัสด้านกว้าง (Focal length of width) และ ความยาวโฟกัสด้านสูง (Focal length of height) นั้น จะพิจารณาจากลักษณะของภาพที่สนใจ

- การคัดเลือกเลนส์

การคำนวณหาความยาวโฟกัส (Focus Length) เป็นพื้นฐานที่สำคัญ ที่จะทำให้สามารถเลือกใช้ชนิดของเลนส์ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยไม่จำเป็นต้องซื้อเลนส์หลายขนาดเพื่อทำการทดสอบ

- ขั้นตอนการลดระยะการทำงาน (Working Distance)

สามารถประยุกต์ใช้ในกรณีวัตถุที่มีขนาดเล็ก ซึ่งอาจมีระยะการทำงาน (Working Distance) น้อยกว่าเลนส์ที่ทำการเลือก ดังนั้นเราสามารถลดระยะเวลาการทำงานโดยเลือกแหวนรอง (Extension Ring) ใส่ระหว่างเลนส์และตัวกล้อง แล้วค่อยทำการปรับความคมชัด

2.7 การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย หมายถึงวิธีที่การตรวจสอบหารอยบกพร่องหรือความผิดปกติ ที่มีอยู่ในชิ้นงานโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานนั้นๆ การตรวจสอบด้วยสายตาเป็นการตรวจสอบโดยไม่ทำลายที่สะดวก รวดเร็วและประหยัดที่สุด แต่อย่างไรก็ตามความผิดปกติอาจเกิดในตำแหน่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายวิธีต่างๆ ขึ้น เพื่อช่วยให้ตรวจสอบความผิดปกตินั้นได้ ในการออกแบบชิ้นงานทางด้านวิศวกรรม นอกจากต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบองค์ประกอบของการทำงานของชิ้นงานนั้นแล้ว ยังต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงและอายุการใช้งานเหมาะสมตามความต้องการของการใช้งานชิ้นนั้น การเสียหายของชิ้นงานก่อนเวลาอันสมควรไม่ควรเกิดขึ้นจากการใช้งานตามปกติ ในกรณีที่ชิ้นงานนั้นมีความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้น ความไม่ต่อเนื่องนี้ทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งก็มีวิธีการแก้ไขโดยการใช้ตัวประกอบความปลอดภัยที่สูงขึ้น เพื่อชดเชยไว้หากเกิดความไม่ต่อเนื่องดังกล่าว วิธีการนี้มีข้อเสียคือ ชิ้นงานต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงสิ้นเปลืองวัสดุและทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้การตรวจสอบโดยไม่ทำลายจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ ในการค้นหาความไม่ต่อเนื่องก่อนการนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงสามารถลดตัวประกอบความปลอดภัยในส่วนเผื่อของการเกิดความไม่ต่อเนื่องลงได้

2.7.1 วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

- เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์และโครงสร้างต่างๆ นั้น จะต้องมีความปลอดภัยในขณะที่ใช้งาน ถ้าไม่มีรอย บกพร่องอยู่เลยก็จะมี ความแข็งแรงทางกลเท่าเทียมกับวัสดุที่ไม่มีรอยบกพร่อง ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วการที่จะให้มีวัสดุที่ไม่มีรอยบกพร่องเลยย่อมเป็นไปได้ ทำนองเดียวกันวิธีการผลิตที่จะไม่ก่อให้เกิดรอยบกพร่องเลยก็เป็นไปไม่ได้ ดังนั้น ที่ตัวชิ้นส่วนหรือบริเวณรอยเชื่อมนั้นไม่มีรอยบกพร่องอยู่เท่าใดจะประเมินได้โดย การตรวจสอบอุปกรณ์หรือโครงสร้างจริงที่จะใช้งาน แล้วตัดสินว่ารอยบกพร่องที่มีนั้นมีความปลอดภัยเพียงพอ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการใช้งานหรือไม่ ข้อมูลที่จะใช้ในการตัดสินใจดังกล่าวจะ ได้จากการทดสอบโดยไม่ทำลายนั่นเอง โดยการใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายอย่างเหมาะสม จะสามารถตรวจสอบให้แน่ใจ ถึงความปลอดภัยและเพิ่มความเชื่อมั่นขึ้นได้ ซึ่งก็เป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญประการหนึ่ง ของการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

- เพื่อปรับปรุงเทคนิคการผลิต ปัจจุบันนี้การทดสอบแบบไม่ทำลายได้มีส่วนช่วยในการปรับปรุงเทคนิคการผลิตต่างๆ เป็นอย่างมากเริ่มจากเทคนิคในการเชื่อมเป็นประการแรก ตัวอย่างเช่น เพื่อกำหนดวิธีการเชื่อมที่เหมาะสม จะทำการวางแผนการเชื่อมต่างๆ แล้ว สร้างแผนทดสอบโดยเชื่อมตามแผนที่วางไว้ จากนั้นก็ทำการทดสอบโดยไม่ทำลายโดยวิธีการต่างๆ เริ่มตั้งแต่การทดสอบด้วยรังสีจากผลการทดสอบก็จะนำมาแก้ไขปรับปรุงวิธีการเชื่อม แล้วตัดสินใจเลือกวิธีการเชื่อมที่จะได้ รอยเชื่อมที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายก็มีส่วนช่วยในการปรับปรุงเทคนิคในการเชื่อมได้ต่อไปในอนาคตการทดสอบโดยไม่ทำลายก็จะมีบทบาทสำคัญ โดยขาดเสียมิได้ในการช่วยพัฒนาปรับปรุงเทคนิคการผลิตต่างๆ มากยิ่งขึ้น

- เพื่อลดต้นทุนการผลิต ในการทำการทดสอบแบบไม่ทำลายนั้น จะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทดสอบขึ้น และอาจคิดว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าทำการทดสอบโดยไม่ทำลายในระหว่างกระบวนการผลิตอย่างเคร่งครัด จะทำให้ไม่มีการส่งผ่านผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียไปยังกระบวนการต่อไปโดยไม่รู้ล่วงหน้า ลดการสูญเสียในขั้นตอนต่อไปได้ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตโดยรวมลงได้

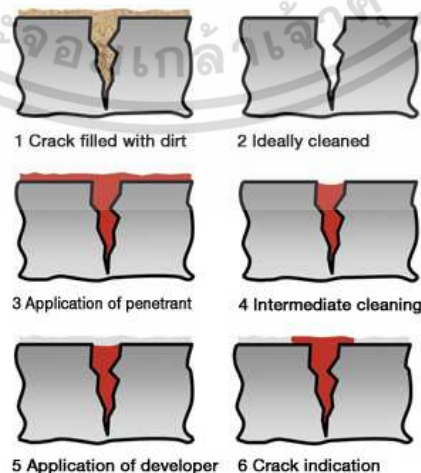
เอกสารนี้ผลิตโดยรวมลงไปไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อได้เปรียบของการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย สามารถทำการตรวจสอบได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายใดๆกับชิ้นงาน ดังนั้นหลังการ ตรวจสอบจึงสามารถนำชิ้นงานกลับมาใช้ได้อีก สามารถทำการตรวจสอบทุกชิ้นงานและแบบสุ่มตัวอย่าง ใช้ในการตรวจสอบหลายชนิดกับงานชิ้นเดียวกันได้ เพื่อความถูกต้องของการตรวจสอบ สามารถทำการตรวจสอบซ้ำกับชิ้นงานเดิมได้ สามารถตรวจสอบชิ้นงานขณะใช้งานได้ (บางวิธี) สามารถตรวจสอบชิ้นงานตามระยะเวลาการใช้งานได้ จึงทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงสภาพของชิ้นงานหลังผ่านการใช้งานแล้ว มีอุปกรณ์ที่ใช้งานภาคสนามได้สะดวก ในการตรวจสอบชิ้นงานที่เหมือนกัน อาจออกแบบการตรวจสอบให้เป็นระบบอัตโนมัติได้ และไม่ต้องเตรียมชิ้นงานเพื่อการตรวจสอบหรือบางครั้งอาจทำเพียงเล็กน้อย

- ข้อจำกัดของการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย การตรวจสอบโดยไม่ทำลายเป็นการตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องที่ซ่อนอยู่ เปรียบเทียบได้กับการคลำวัตถุในที่มีดจึงอาจทำให้เกิดการแปดผลการตรวจสอบที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ผู้ตรวจสอบที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ นอกจากนั้นการแปดผลการตรวจสอบมักต้องกระทำผ่านสื่อกลางจึงทำให้ความไว (Sensitivity) ในการตรวจสอบต่ำลง และอาจเกิดการแปดผลที่แตกต่างกันระหว่างผู้ทำการตรวจสอบแต่ละราย ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือผลการตรวจสอบที่ได้มักเกิดจากการเปรียบเทียบกับสิ่งที่ทราบค่ามาก่อนหน้าที่แล้ว ดังนั้นจึงมักต้องมีการเตรียมชิ้นงานจำลองที่มีความไม่ต่อเนื่องที่ทราบค่า เช่น ขนาด ตำแหน่งที่แน่นอนเพื่อผลการตรวจสอบที่ถูกต้อง จึงเป็นการเสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น

2.7.2 วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่นิยมใช้ทั่วไป มีดังนี้

- Penetrate testing (PT) คือการใช้น้ำยาเคมี ทาลงไป ในแนวเชื่อม เพื่อให้แทรกซึมลงไปในแนวเชื่อม นิยมใช้เพื่อตรวจสอบหารอยร้าว หรือรอยร้าว บริเวณพื้นผิวของแนวเชื่อม และนิยมใช้ในกรณีที่ชิ้นงานไม่ใช่เหล็ก



รูปที่ 2.23 แสดงวิธีการตรวจสอบแบบ Penetrate testing [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเด่น – ชิ้นงานไม่ถูกทำลาย

- ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว ประหยัด สามารถทำให้มองเห็นด้วยตาเปล่า

จุดด้อย - ไม่สามารถทราบรอยลึกของรอยร้าว และบริเวณที่เข้าถึงไม่ได้

- สารเคมีอาจเสื่อมประสิทธิภาพได้

- **Magnetic testing (MT)** เป็นวิธีการตรวจสอบข้อบกพร่องของแนวเชื่อม ด้วยหลักการเหนี่ยวนำกระแสแม่เหล็ก โดยใช้ขดแม่เหล็กในการค้นหาข้อบกพร่องของ แนวเชื่อม ซึ่งวิธีสามารถทำได้เฉพาะชิ้นงานที่มีความหนาไม่มาก เพราะ ถ้าชิ้นงานหนาเกินไป จะทำให้ กระแสแม่เหล็กเหนี่ยวนำไม่ถึง และตรวจข้อบกพร่องนั้นไม่ครบ



รูปที่ 2.24 แสดงวิธีการตรวจสอบแบบ Magnetic testing [9]

- **Ultrasonic Testing (UT)** เป็นวิธีการตรวจสอบด้วยคลื่นเสียง Ultrasonic ในการตรวจสอบข้อบกพร่อง เป็นวิธีที่นิยมในการตรวจสอบชิ้นงานเพราะตรวจสอบได้ค่อนข้างละเอียดแม่นยำ แต่มีราคาค่อนข้างแพง และมีข้อจำกัด เรื่องการสะท้อนของคลื่นเสียง ดังนั้นชิ้นงานจะต้องหนากว่า 10 มม. ขึ้นไป

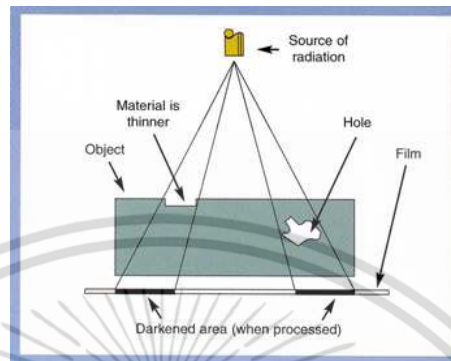


รูปที่ 2.25 แสดงวิธีการตรวจสอบแบบ Ultrasonic testing [9]

- **Radiation Testing (RT)** เป็นวิธีการตรวจสอบโดยการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงจากแหล่งกำเนิดรังสีผ่านชิ้นงานซึ่งอาจทำจากวัสดุชนิดต่างๆ อาศัยหลักการดูดซับพลังงานที่ไม่เท่ากันของวัสดุหรือการที่วัสดุมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เช่นมีโพรงอากาศอยู่ภายในทำให้พลังงานของรังสีผ่านชิ้นงานตรงบริเวณที่เป็นโพรงได้มากกว่า และทำปฏิกิริยากับสารไวแสงที่เคลือบอยู่บนผิวฟิล์มได้มากกว่าส่วนอื่น เมื่อล้างฟิล์มออกมาแล้วก็มีสีคล้ำกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นการถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์อันใดแก่สาธารณชนโดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยรังสีจึงเป็นการแปรผลจากเงาของภาพชิ้นงานที่ปรากฏอยู่บนฟิล์มนั่นเอง ส่วนประกอบหลัก คือ 1) ต้นกำเนิดรังสี ใช้รังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์ 2) ชิ้นงานทดสอบ 3) ฟิล์ม วิธีนี้ตรวจสอบได้ละเอียด และมีราคาถูกกว่าวิธี UT แต่ใช้เวลาการเตรียมการนาน เนื่องจากต้องมีการกั้นพื้นที่สำหรับตรวจสอบ เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับคนที่อยู่ในบริเวณ และใช้เวลาตรวจสอบผลค่อนข้างนาน



รูปที่ 2.26 แสดงวิธีการตรวจสอบแบบ Radiation Testing [9]

- จุดเด่น** - สามารถแปรผลจากฟิล์ม ทำให้ง่ายกว่าการแปรผลจากสัญญาณทดสอบบางวิธี
- มีภาพจากฟิล์มเก็บไว้เป็นหลักฐาน สามารถตรวจสอบผลย้อนหลังได้
 - สามารถทดสอบได้กับวัตถุที่เป็นโลหะและอโลหะ
- จุดด้อย** - ต้องมีวิธีการป้องกันอันตรายรังสีที่ใช้ทดสอบ
- ต้องเข้าถึงชิ้นงานทั้งสองด้าน (ด้านหนึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสี อีกด้านหนึ่งติดฟิล์ม) อาจไม่สะดวกต่อการทำงานในบางสภาวะ
 - ในกรณีที่ชิ้นงานมีความหนาแน่นมาก รังสีไม่สามารถส่งผ่านทะลุถึงฟิล์มได้
 - ค่าใช้จ่ายตั้งต้นของเครื่องมือมีราคาสูง ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน

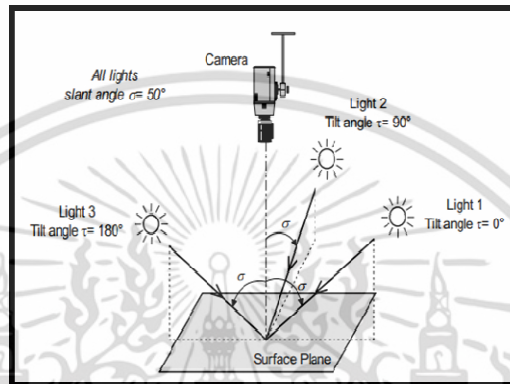
2.8 หลักการโฟโตเมตริกสเตอริโอ (Photometric stereo)

การตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน เช่น พื้นผิวกระเบื้อง พื้นผิวโลหะ หรือตรวจสอบรอยแตกของพื้นผิวชิ้นงาน เนื่องด้วยอุตสาหกรรมการขึ้นรูป และอุตสาหกรรมโลหะ มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการตรวจหาจุดบกพร่องบนพื้นผิววัตถุที่สายตาของมนุษย์ไม่อาจตรวจสอบได้ หรือพื้นผิวที่มีรายละเอียดซับซ้อนมาก รวมทั้งยังเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ในการติดตั้งการทดลองประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพ, แหล่งกำเนิดแสง จากภาพถ่ายที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพ 3 มิติ โดยใช้ทฤษฎีโฟโตเมตริกสเตอริโอ จากนั้นทำการตรวจสอบความลึก ความแบนราบและความผิดปกติของพื้นผิว จุดเด่นของการใช้วิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอนี้สามารถตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุที่มีการสะท้อนได้ ผลลัพธ์จากการประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพสามมิติทำให้เห็นความผิดปกติของพื้นผิวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 การติดตั้งวิธีการโฟโตเมตริกสเตอริโอ

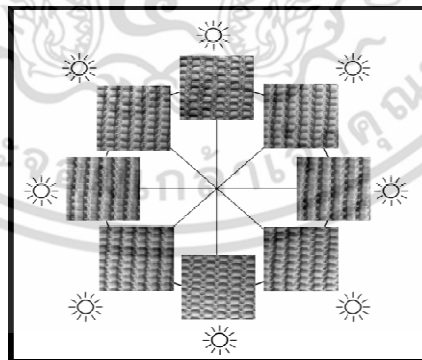
ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทั้งหมด 4 อย่างดังนี้ วัตถุตัวอย่างที่ต้องการทดสอบพื้นผิว แหล่งกำเนิดแสง กล้อง และคอมพิวเตอร์ ทำการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงตามทิศทางพิกัด (x,y) ที่ $0,90$ และ 180 องศา โดยกำหนดความสูงจากแหล่งกำเนิดแสงถึงพื้นผิวตัวอย่างให้เท่ากันทุกแหล่งกำเนิดแสง และปรับมุมฉายแสงลงบนพื้นผิวประมาณ 45 องศา ติดตั้งกล้องให้อยู่ในแนวตั้ง แต่ยังคงอยู่บนระนาบเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสง ระยะห่างระหว่างกล้องและแหล่งกำเนิดแสงแต่ละแหล่งในแนวแกน x,y ต้องเท่ากัน แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 การติดตั้งการทดลองโดยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ [4]

2.8.2 การเก็บผลการทดลอง

นำภาพถ่ายที่ได้จากการทดลองจากแต่ละแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.28 แปลงเป็นภาพเทา เพื่อเตรียมประมวลผลบนโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างภาพถ่ายจากแหล่งกำเนิดแต่ละตำแหน่ง [4]

2.8.3 สมการของโฟโตเมตริกสเตอริโอ

วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความเกี่ยวข้องในการกู้คืนรูปภาพให้เป็นภาพสามมิติจากภาพถ่ายหลายภาพ โดยการเก็บภาพแต่ละภาพนั้นจะอยู่ภายใต้การควบคุมแสงสว่าง ความหนาแน่นของพื้นผิว เอกสารนี้ เวกเตอร์ปกติ การเก็บภาพ ทิศทางของแหล่งกำเนิดแสง การส่องสว่างและการสะท้อนของพื้นผิว โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงเป็นค่าความเข้มของแสง (I) ณ ตำแหน่ง (x,y) ดังสมการที่ 2.14

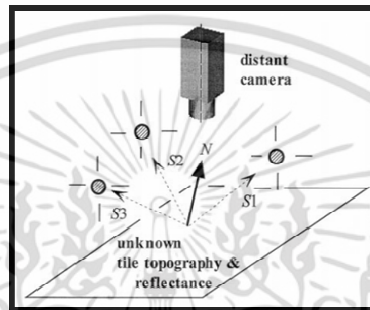
$$I = P(S \cdot N / |S||N|) = P(S \cdot N) \quad (2.14)$$

เมื่อ

P คือแฟคเตอร์ของการสะท้อนของพื้นผิวหรือ surface albedo

S คือระยะทางของแหล่งกำเนิดแสง

N คือเวกเตอร์ปกติ



รูปที่ 2.29 การติดตั้งกล้องและกำหนดค่าการฉายแสงเพื่อแสดงถึงพื้นผิวปกติ (N) และระยะทางของแหล่งกำเนิดแสงทั้งสามแหล่ง (S_1, S_2, S_3) [13]

ซึ่งทั้งสามแหล่งกำเนิดแสงสามารถบอกถึงเวกเตอร์ได้ (S_1, S_2, S_3) และเวกเตอร์ปกติ (N) โดยภาพถ่ายทั้งสามภาพที่ได้สามารถเขียนเป็น (I_1, I_2, I_3) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.15

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} S_{1x} & S_{1y} & S_{1z} \\ S_{2x} & S_{2y} & S_{2z} \\ S_{3x} & S_{3y} & S_{3z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

เมื่อ

(I_1, I_2, I_3) คือค่าความเข้มของภาพทั้งสามภาพ ณ ตำแหน่ง (x,y)

P คือพื้นผิวจากการสะท้อน surface albedo

(N_x, N_y, N_z) คือ normal vector

จากสมการที่ 2.15 อาจเขียนให้กระชับขึ้นได้เป็นสมการที่ 2.16 ดังนี้

$$I = P[S] N \quad (2.16)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร | คือเวกเตอร์ความเข้มภาพ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S คือเมทริกซ์ของแหล่งกำเนิดแสง

N คือ normal vector

จากสมการที่ 2.8 สามารถหาเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับ หรือค่า P ได้ดังสมการที่ 2.17

$$P = |[S]^{-1}| \quad (2.17)$$

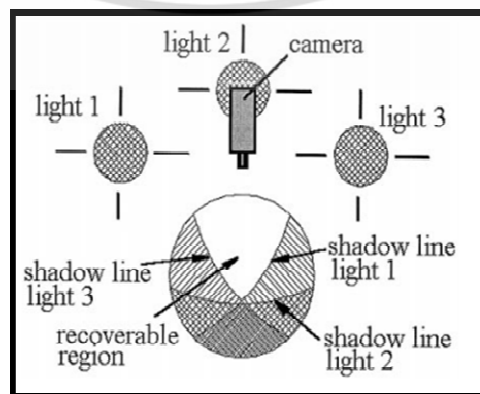
และค่า normal vector หาได้ดังสมการที่ 2.18

$$N = (1/P) [S]^{-1} \quad (2.18)$$

ดังนั้น จากสมการที่ 2.17 และ 2.18 นั้นสามารถบอกถึงผลลัพธ์ที่สำคัญได้ 2 อย่างคือ เปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับของพื้นผิว (The local surface albedo) และทิศทางของพื้นผิวภาพเดิม (The local surface orientation)

2.8.4 การประมวลผลเป็นภาพสามมิติ

ในการประเมินพื้นผิวของวัตถุให้แสดงออกมาเป็นภาพสามมิติ โดยใช้ภาพถ่ายหลายๆภาพที่เกิดจากทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงหลายตำแหน่ง และตำแหน่งของกล้องจับภาพต้องอยู่ในแนวตั้ง ความเข้มแสงของภาพถ่ายที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิว ทิศทางการส่องแสงจากแหล่งกำเนิดแสง จากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้มาประมวลผลบนโปรแกรม MATLAB โดยอ้างอิงจากสมการโพโตเมตริกสเตอริโอดังกล่าว จากสมการสามตัวแปรดังแสดงในสมการที่ 2.15 นั้นจะมีตำแหน่งของแสงสว่างที่สามารถฟื้นฟูพื้นผิวให้เป็นภาพสามมิติได้ ซึ่งจะพิจารณาการมองเห็นด้วยหลักการ Gaussian sphere ดังรูปที่ 2.30 เมื่อนำภาพทั้งสามภาพมาผสมกันจะเกิดบริเวณพื้นผิวที่มองเห็นได้เป็นสามมิติ อย่างไรก็ตามภาพทั้งสามที่ได้นั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของพื้นผิวที่มีการสะท้อนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 2.30** บริเวณที่เกิดพื้นที่ที่มีแสงสว่างตามหลักของ Gaussian sphere [13] ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 งานวิจัยที่นำวิธีโฟโตเมตริกสแตริโอมาประยุกต์ใช้

ในปี ค.ศ. 2000 Melyn L.Smith , Richard J. Stamp ได้ทำการวิจัยการตรวจสอบความผิดปกติบนพื้นผิวของแผ่นกระเบื้องโดยวิธีโฟโตเมตริกสแตริโอ [13] ซึ่งจากการประมวลผลภาพออกมาเป็นภาพสามมิตินี้ ทำให้สามารถมองเห็นความผิดปกติบนพื้นผิวกระเบื้องได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เป็นระบบการตรวจวัดที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการขึ้นรูปต่างๆ เหมาะกับการตรวจวัดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ระบุถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองการตรวจวัดระยะร่องลึก



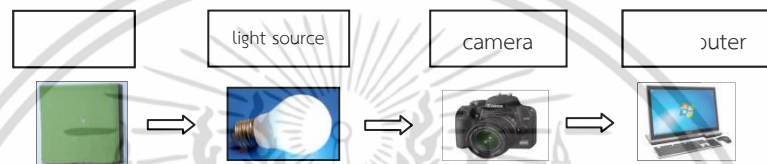
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาวิจัยและขั้นตอนการออกแบบการตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิววัตถุ โดยใช้ทฤษฎีโฟโตเมตริกสเตอริโอ และประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพสามมิติด้วยโปรแกรม MATLAB

3.1 การออกแบบระบบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนของระบบการตรวจสอบพื้นผิว

3.1.1 การเลือกวัตถุตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ได้มีการสุ่มเลือกตัวอย่างที่มีลักษณะพื้นผิวแบบแบนราบ พื้นผิวร่องลึก พื้นผิวที่มีการสะท้อน พื้นผิวที่มีความผิดปกติ โดยวัสดุที่เลือกใช้เป็น แผ่นไม้เรียบ แผ่นไม้ที่มีความผิดปกติ ดินน้ำมัน แผ่นกระเบื้อง แผ่นกระดาษลัง

3.1.2 การเลือกประเภทของแหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

การที่จะมองเห็นภาพชัดเจนนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแสงเป็นส่วนสำคัญแสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังวัตถุเมื่อแสงกระทบกับวัตถุจะมีการสะท้อนกลับมาที่ตาของเรา หรือในที่นี้คือตัวกล้องแมชชีนวิชั่นนั่นเอง ความคมชัดของภาพที่เห็นขึ้นอยู่กับว่าวัตถุนั้นๆ ดูซับหรือสะท้อนแสงกลับได้เท่าไรซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพรูปร่าง และสีของวัตถุ ดังนั้นเราควรเลือกใช้แสงให้ถูกต้องและควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้คงที่ ในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบลำแสง แสดงดังรูปที่ 3.2 ที่มีลักซ์การส่องสว่าง 160 ลูเมนส์

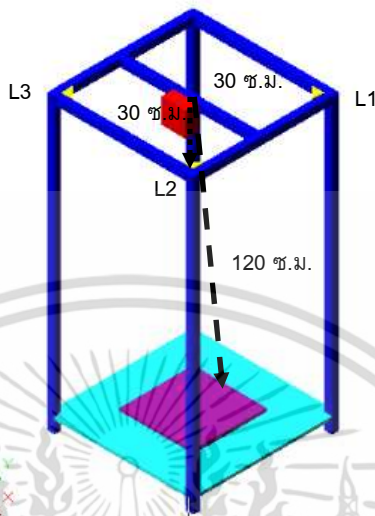


รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงแบบลำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การคำนวณหาขนาดของกล้องและเลนส์

งานวิจัยนี้จะใช้ตัวอย่างวัตถุที่มีขนาดประมาณ 80 มม. x 80 มม. และกล้องมีความสูงจากผิวด้านบนของวัตถุจนถึงหน้าเลนส์ 1200 มม. แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บภาพ

- การคำนวณหาความยาวโฟกัส (Focal Length) ของกล้อง

$$\text{Focal length of width} = \frac{1200 * 22.2}{100 + 22.2} = 218.003 \text{ mm}$$

$$\text{Focal length of height} = \frac{1200 * 14.8}{100 + 14.8} = 154.704 \text{ mm}$$

- การเลือกเลนส์

จากการคำนวณทำให้ทราบว่าต้องเลือกใช้เลนส์ที่มีขนาดความยาวโฟกัส อยู่ในช่วง 154.704 มม. – 218.003 มม. ซึ่งเลนส์ที่มีอยู่คือช่วง 50 มม. – 250 มม. ดังนั้นจึงเลือกใช้กล้อง Canon EOS 1000D ด้วยเลนส์ 50 มม. – 250 มม. แสดงดังรูปที่ 3.4

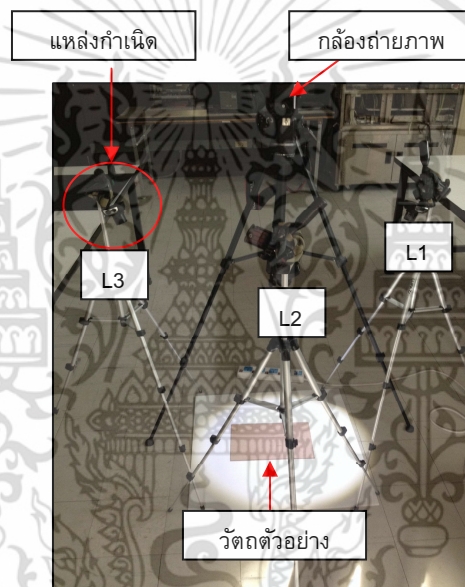


รูปที่ 3.4 กล้อง Canon EOS 1000D

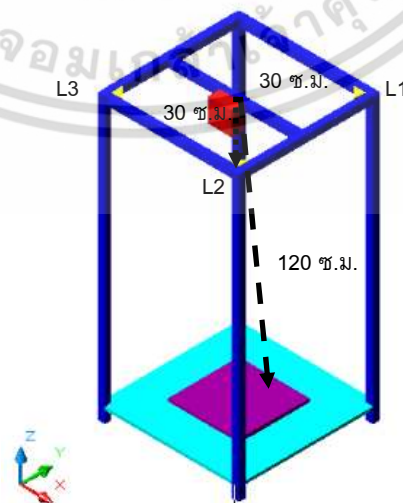
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การติดตั้งการทดลอง

การติดตั้งการทดลองจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง 3 อัน กล้องถ่ายภาพ 1 ตัว และวัตถุตัวอย่าง โดยติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงที่ 1,3 ในแนวแกน x และติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 ตามแนวแกน y โดยจัดวางให้อยู่ในระนาบเดียวกับกล้อง สำหรับระยะของ แกน z จะวัดจากเลนส์ของกล้องถึงพื้นผิวตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ การติดตั้งกล้องต้องอยู่ระนาบเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสง ระยะห่างเท่ากัน และเลนส์กล้องต้องตั้งฉากกับพื้นผิวตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 3.5 จากนั้นทำการปรับกล้อง โดยทำการปรับรูรับแสง F4.0 กล้องอยู่ตรงกลางและตั้งฉากกับวัตถุตัวอย่าง และตั้งเวลาการถ่ายภาพ (long exposure time) เท่ากับ 1/40 รวมทั้งหลังจากถ่ายภาพจะใช้ฟังก์ชัน ในโปรแกรม MATLAB เพื่อแก้ปัญหาระยะที่คลาดเคลื่อนตามบริเวณขอบภาพ 2 มิติ



รูปที่ 3.5 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจสอบพื้นผิว



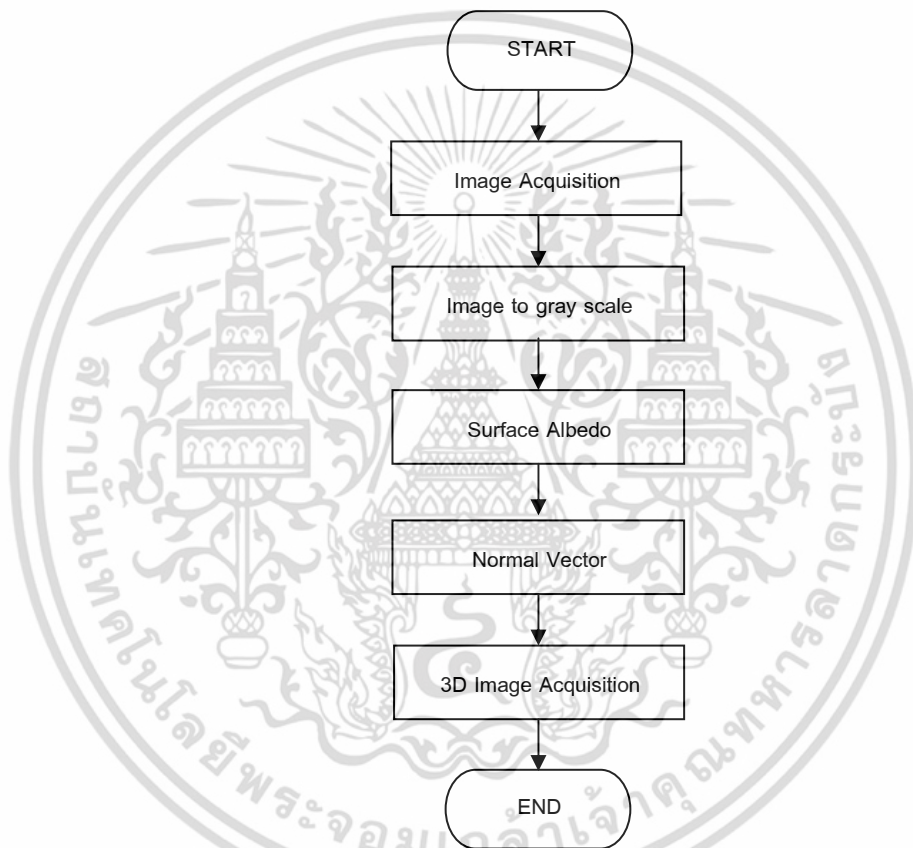
รูปที่ 3.6 กำหนดระยะทางของแหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าระยะจากกล้องห่างจากแหล่งกำเนิดแสง 30 ซม. โดยให้แหล่งกำเนิดแสงแต่ละตัวอยู่บนระนาบเดียวกัน และกำหนดระยะของกล้องห่างจากวัตถุในแนวตั้งฉาก 120 ซม. จากระยะการติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.6 นำมาแทนค่าลงในสมการที่ 2.15 ดังนี้

$$\begin{pmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} 30 & 0 & 120 \\ 0 & -30 & 120 \\ -30 & 0 & 120 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Nx \\ Ny \\ Nz \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

3.3 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ



รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพ 3 มิติ

3.3.1 กระบวนการแปลงภาพต้นแบบเป็นภาพเทาด้วยโปรแกรม MATLAB



(pic1)

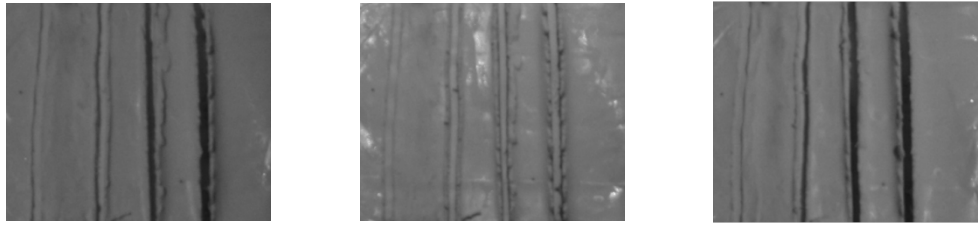


(pic2)



(pic3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(gray1)

(gray2)

(gray3)

รูปที่ 3.8 แสดงภาพต้นแบบเปลี่ยนเป็นภาพเทา

จากภาพถ่ายที่ได้ทั้งหมด 3 ภาพ ซึ่งอ้างอิงจากแหล่งกำเนิดแสง 3 ทิศทาง ทำการแปลงภาพต้นแบบเป็นภาพเทา(gray image) บนโปรแกรม MATLAB ด้วยคำสั่ง imcrop และ rgb2gray แสดงดังรูปที่ 3.9

```

11 % crop
12 - Ia = imcrop(pic1,[1135 750 392 324]);
13 - figure(5), imshow(Ia)
14 - Ib = imcrop(pic2,[1135 750 392 324]);
15 - figure(6), imshow(Ib)
16 - Ic = imcrop(pic3,[1135 750 392 324]);
17 - figure(7), imshow(Ic)
18
19 %Read Input gray Image
20 - GIa=rgb2gray(Ia);
21 - figure(8), imshow(GIa)
22 - GIb=rgb2gray(Ib);
23 - figure(9), imshow(GIb)
24 - GIc=rgb2gray(Ic);
25 - figure(10), imshow(GIc)

```

รูปที่ 3.9 แสดงโปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลภาพ Gray Image

3.3.2 การสะท้อนกลับ (Surface Albedo)

เป็นกระบวนการ set up ภาพโดยการทำ im2double ภาพทั้ง 3 แล้วเก็บไว้ที่ data1,data2 และ data3 ตามลำดับ ทำการ scaling data1, data2 และ data3 และระบุค่าระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับพื้นผิวตัวอย่าง ดังสมการที่ 3.1 จากนั้นทำการประมวลผลภาพบนโปรแกรม MATLAB

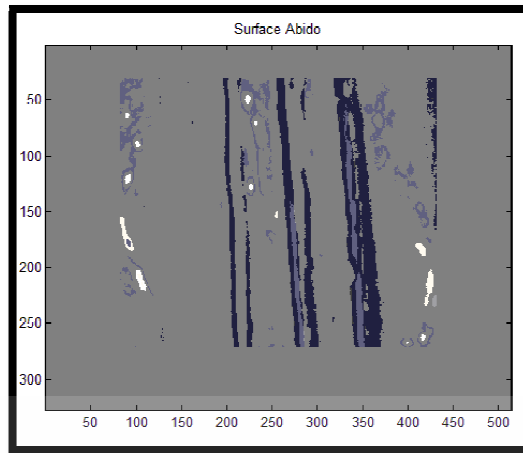
```

50 % calculate the albedo
51 %
52 - p1=Sinv(1,1)*data1+Sinv(1,2)*data2+Sinv(1,3)*data3;
53 - p2=Sinv(2,1)*data1+Sinv(2,2)*data2+Sinv(2,3)*data3;
54 - p3=Sinv(3,1)*data1+Sinv(3,2)*data2+Sinv(3,3)*data3;
55 %
56 - p=(p1.^2 + p2.^2 + p3.^2).^0.5;
57 %
58 - albedo=figure;
59 - imagesc(p);
60 - colormap(gray);
61 - title('Surface Abido');

```

รูปที่ 3.10 แสดงโปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลภาพ Surface Albedo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 Surface Albedo

3.3.3 Normal Vector

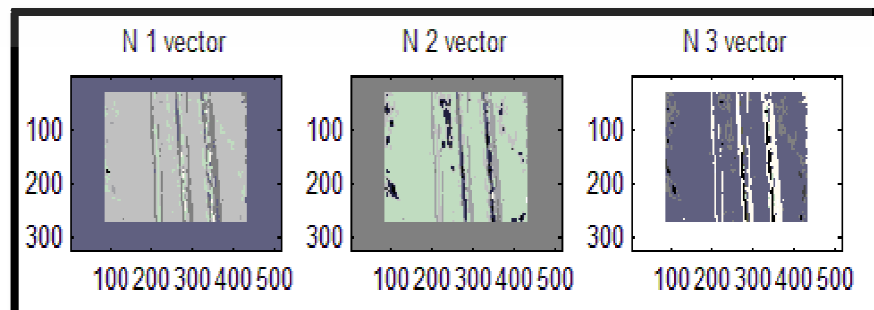
จากสมการที่ 2.18 สามารถประมวลผลภาพเป็น Normal vector ได้ดังรูปที่ 3.13

```

62 %
63 - n1=p1./p;
64 - n2=p2./p;
65 - n3=p3./p;
66 %
67 - Nfig=figure;
68 - subplot(1,3,1);
69 - imagesc(n1);
70 - colormap(gray);
71 - axis image;
72 - title('N 1 vector');
73 %
74 - subplot(1,3,2);
75 - imagesc(n2);
76 - colormap(gray);|
77 - axis image;
78 - title('N 2 vector');
79 %
80 - subplot(1,3,3);
81 - imagesc(n3);
82 - colormap(gray);
83 - axis image;
84 - title('N 3 vector');

```

รูปที่ 3.12 แสดงโปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลภาพ Normal Vector



รูปที่ 3.13 Normal Vector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การแสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

จากการประมวลผลหาเวกเตอร์ความเข้มของภาพ ดังสมการที่ 2.15 หาเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับ ดังสมการที่ 2.17 ซึ่งมาจากผลคูณของอินเวอร์สเมตริกซ์ S กับ เวกเตอร์ความเข้มภาพ แสดงผลดังรูปที่ 3.11 จะทำให้เห็นเงาชัดเจนยิ่งขึ้น และหา normal vector (N) ตามลำดับ จากนั้นนำรูปมาผสมกันจะมีตำแหน่งของแสงสว่างที่สามารถฟื้นฟูพื้นผิวให้เกิดขึ้นเป็นรูปสามมิติ แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

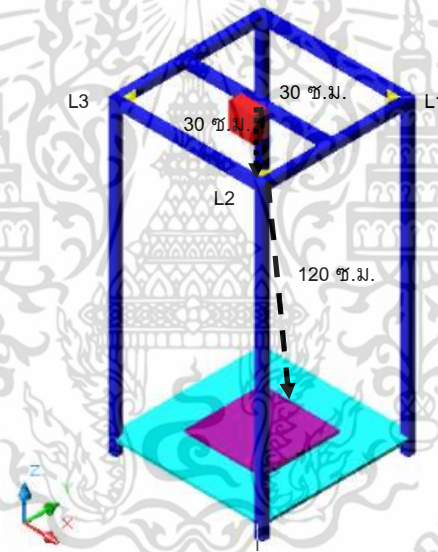
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการทดลองการตรวจสอบความผิดปกติบนพื้นผิวของวัตถุประเภทต่างๆ เช่น แผ่นไม้ ดินน้ำมัน แผ่นกระเบื้อง ซึ่งจะทำให้การตรวจสอบความลึก ความแบนราบ และความผิดปกติบนพื้นผิว โดยใช้วิธีโพโตเมตริกสเตอริโอมาทำการตรวจสอบ

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และวัตถุที่ใช้ในการทดสอบ

แหล่งกำเนิดแสงใช้หลอด LED ที่มีฟลักซ์การส่องสว่าง 160 ลูเมนส์, กล้อง Canon EOS 1000D ด้วยเลนส์ 50 มม. – 250 มม. และคอมพิวเตอร์ วัตถุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ดินน้ำมัน แผ่นไม้เรียบ แผ่นกระเบื้อง แผ่นไม้ที่มีความผิดปกติ

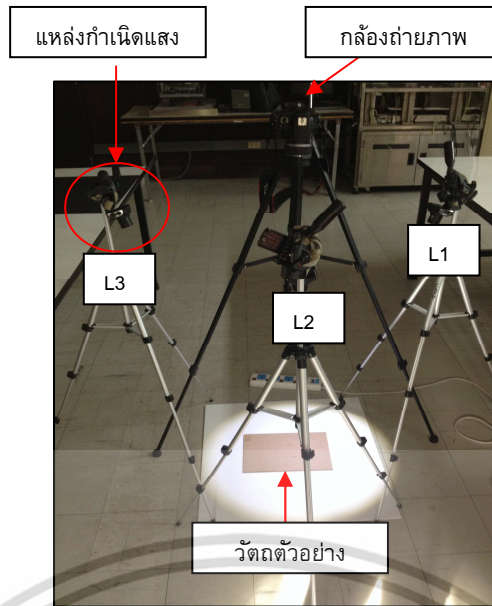


รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 กล้อง Canon EOS 1000D

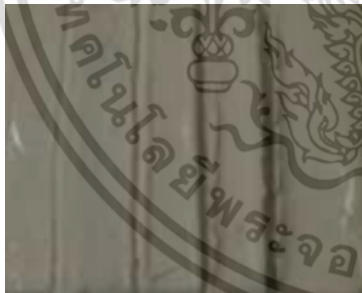
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ระบบการตรวจสอบพื้นผิวด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ

4.2 ผลการทดลองและการประมวลผล โดยการตรวจสอบความลึก

วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบ คือ ดินน้ำมัน จากการทดลองโดยภาพถ่ายจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1, 2 และ 3 แสดงดังรูปที่ 4.4, 4.6 และ 4.8 ตามลำดับ จากภาพถ่ายที่ได้ประมวลผลเป็นภาพเทาด้วยโปรแกรม MATLAB ตามแหล่งกำเนิดแสงที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.5, 4.7 และ 4.9 ตามลำดับ



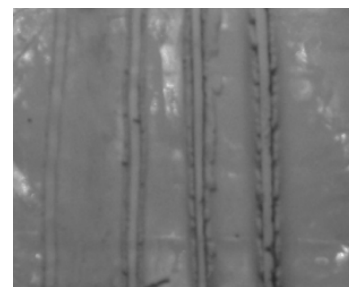
รูปที่ 4.4 Original Image by light source1



รูปที่ 4.5 Gray Image by light source1



รูปที่ 4.6 Original Image by light source2

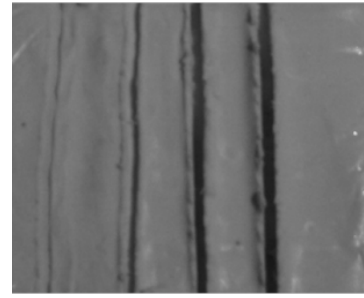


รูปที่ 4.7 Gray Image by light source2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

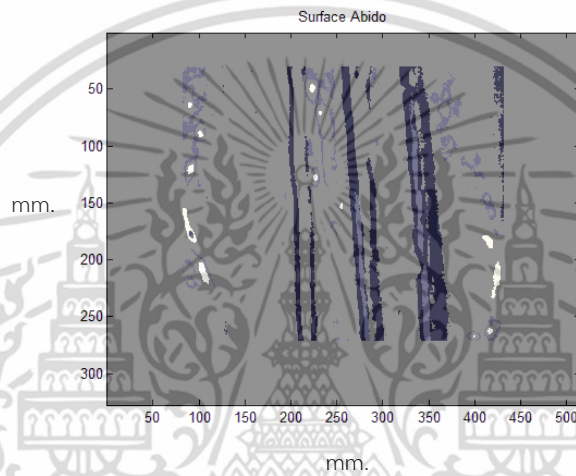


รูปที่ 4.8 Original Image by light source3



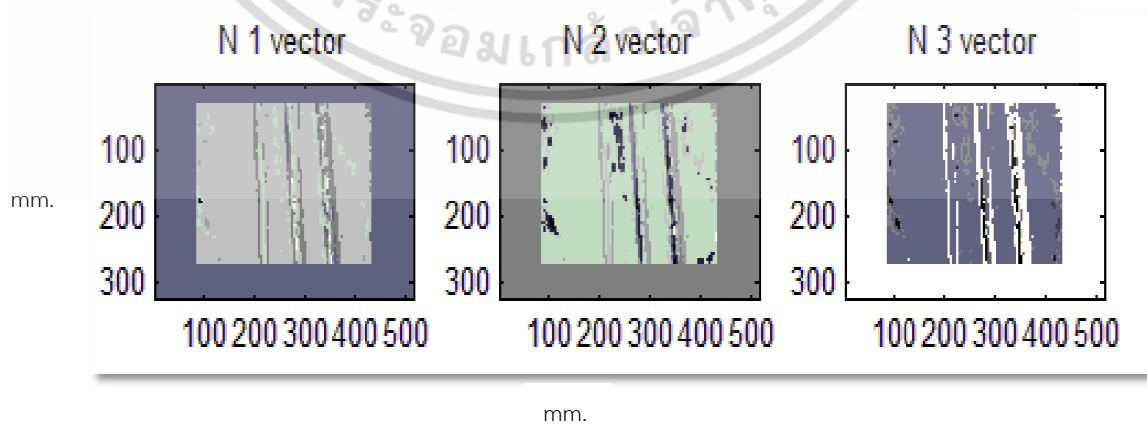
รูปที่ 4.9 Gray Image by light source3

จากภาพเทานำมาประมวลผลภาพ Surface albedo จากสมการ $P = ||[S]^1||$ แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 Surface albedo

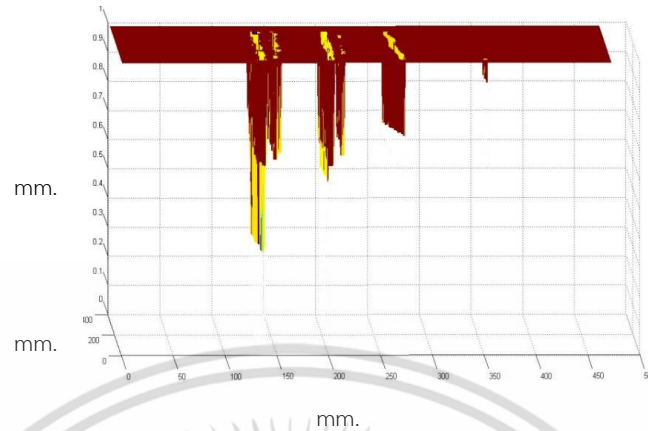
จากสมการ $N = (1/P) [S]^1$ เพื่อประมวลผล Normal Vector แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดง normal vector N1,N2 และ N3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำภาพทั้งสาม มาผสมกันด้วยโปรแกรม MATLAB เป็นภาพสามมิติแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

4.3 ผลการทดลองและการประมวลผล โดยการตรวจสอบความแบนราบ

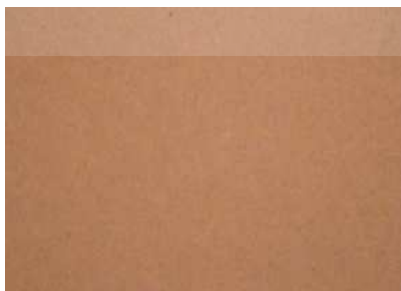
วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบ คือ แผ่นไม้ จากการทดลองโดยภาพถ่ายจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1,2 และ 3 แสดงดังรูปที่ 4.13,4.15 และ 4.17 ตามลำดับ จากภาพถ่ายที่ได้ประมวลผลเป็นภาพเทาด้วยโปรแกรม MATLAB ตามแหล่งกำเนิดแสงที่ 1,2 และ 3 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.14,4.16 และ 4.18 ตามลำดับ



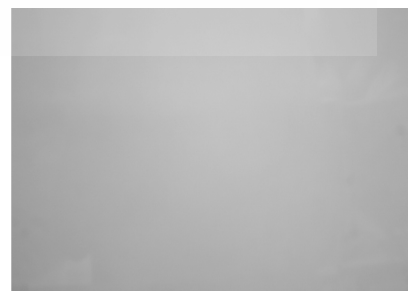
รูปที่ 4.13 Original Image by light source1



รูปที่ 4.14 Gray Image by light source1



รูปที่ 4.15 Original Image by light source2



รูปที่ 4.16 Gray Image by light source2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

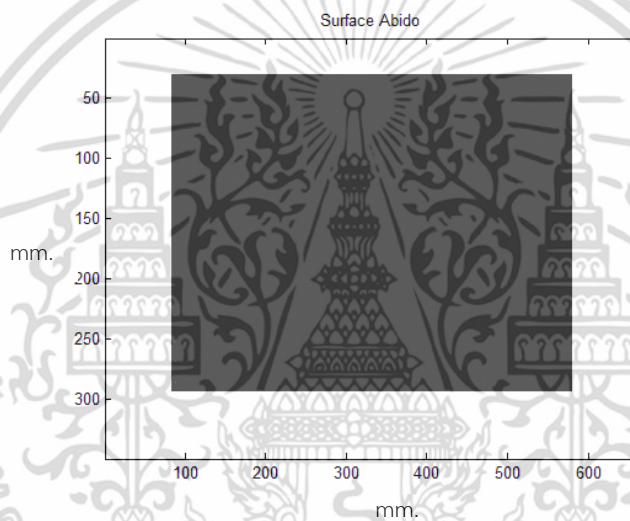


รูปที่ 4.17 Original Image by light source3



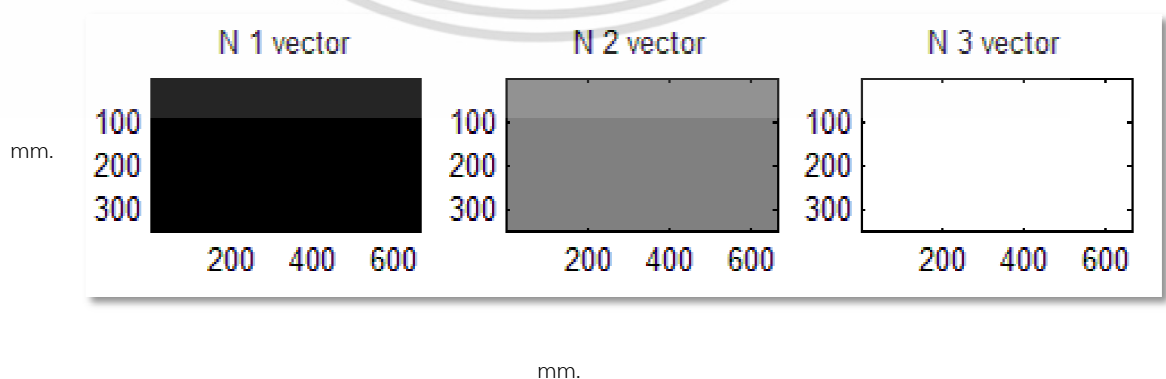
รูปที่ 4.18 Gray Image by light source3

จากภาพเทานำมาประมวลผลภาพ Surface albedo จากสมการ $P = \|[S]^{-1}\|$ แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 Surface albedo

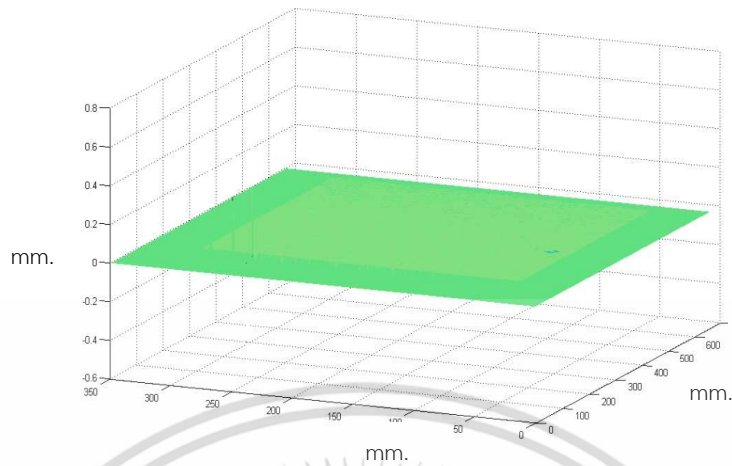
จากสมการ $N = (1/P) [S]^{-1}$ เพื่อประมวลผล Normal Vector แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดง normal vector N1, N2 และ N3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

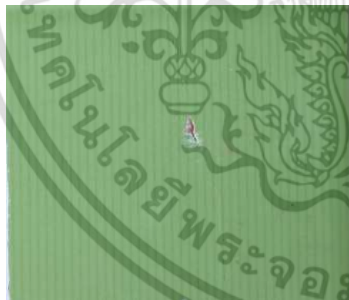
จากนั้นนำภาพทั้งสาม มาผสมกันด้วยโปรแกรม MATLAB เป็นภาพสามมิติแสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

4.4 ผลการทดลองและการประมวลผล โดยการตรวจสอบความผิดปกติบนพื้นผิว

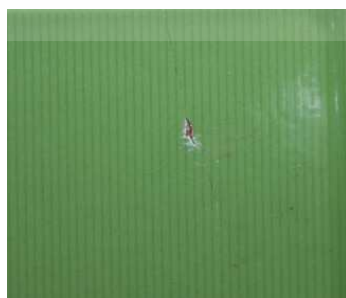
4.4.1 วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบ คือ แผ่นกระเบื้อง จากการทดลองโดยภาพถ่ายจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1,2 และ 3 แสดงดังรูปที่ 4.22,4.24 และ 4.26 ตามลำดับ จากภาพถ่ายที่ได้ประมวลผลเป็นภาพเทาด้วยโปรแกรม MATLAB ตามแหล่งกำเนิดแสงที่ 1,2 และ 3 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.23,4.25 และ 4.27 ตามลำดับ



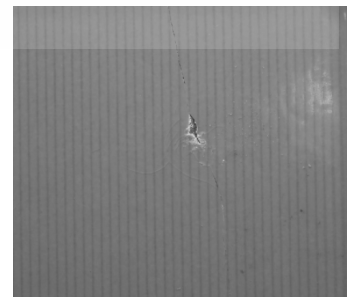
รูปที่ 4.22 Original Image by light source1



รูปที่ 4.23 Gray Image by light source1

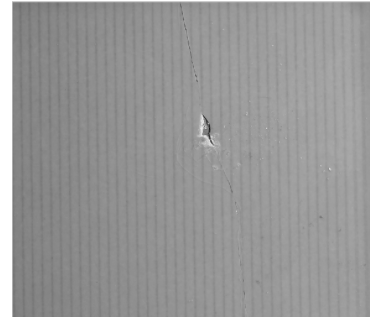


รูปที่ 4.24 Original Image by light source2



รูปที่ 4.25 Gray Image by light source2

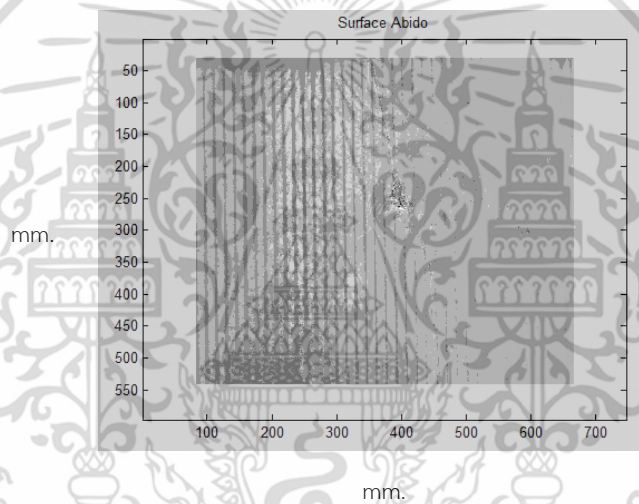
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 Original Image by light source3

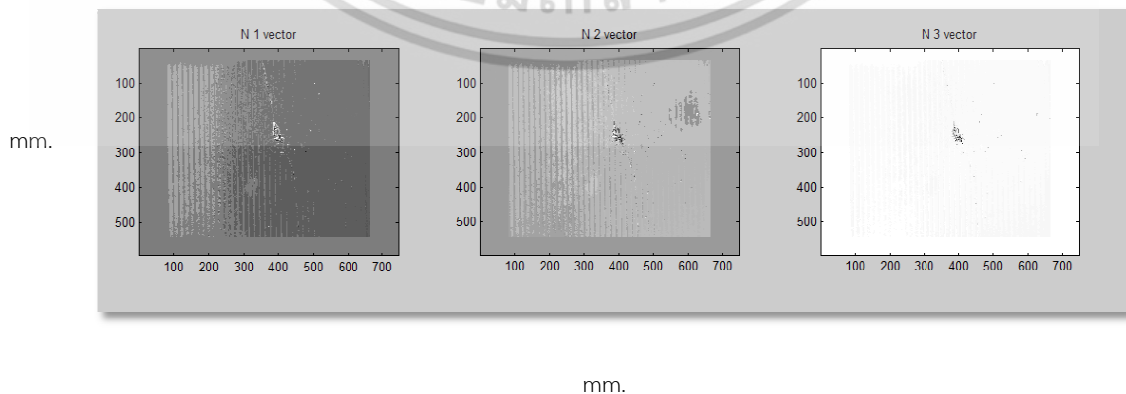
รูปที่ 4.27 Gray Image by light source3

จากภาพเทานำมาประมวลผลภาพ Surface albedo จากสมการ $P = \|[S]^1\|$ แสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 Surface albedo

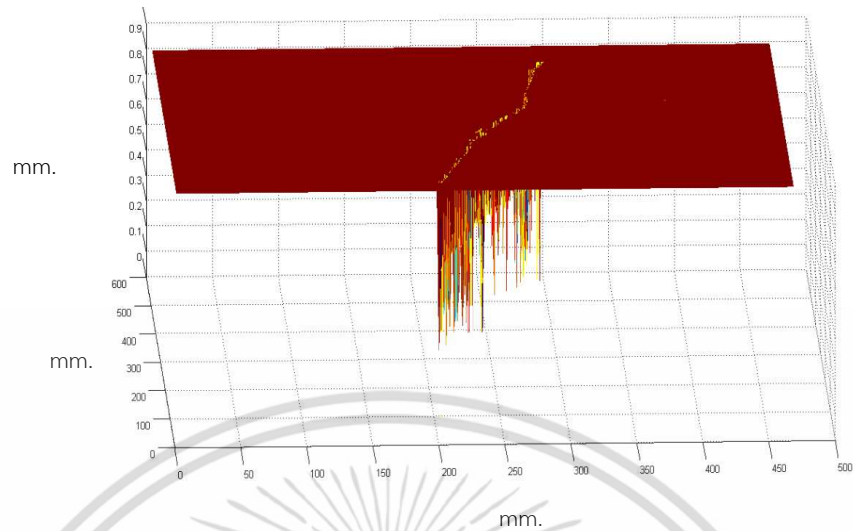
จากสมการ $N = (1/P) [S]^1$ เพื่อประมวลผล Normal Vector แสดงดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 แสดง normal vector N1,N2 และ N3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำภาพทั้งสาม มาพาสานกันด้วยโปรแกรม MATLAB เป็นภาพสามมิติแสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.30 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

4.4.2 วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบ คือ แผ่นไม้ จากการทดลองโดยภาพถ่ายจากแหล่งกำเนิดแสงที่ 1,2 และ 3 แสดงดังรูปที่ 4.31,4.33 และ 4.34 ตามลำดับ จากภาพถ่ายที่ได้ประมวลผลเป็นภาพเทาด้วยโปรแกรม MATLAB ตามแหล่งกำเนิดแสงที่ 1,2 และ 3 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.32,4.34 และ 4.36 ตามลำดับ



รูปที่ 4.31 Original Image by light source1



รูปที่ 4.32 Gray Image by light source1

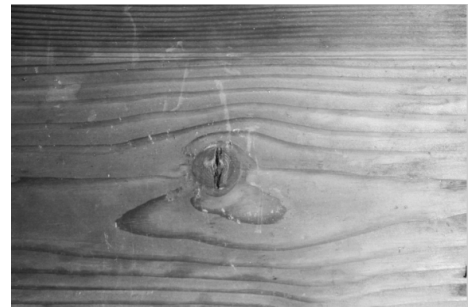


รูปที่ 4.33 Original Image by light source2



รูปที่ 4.34 Gray Image by light source2

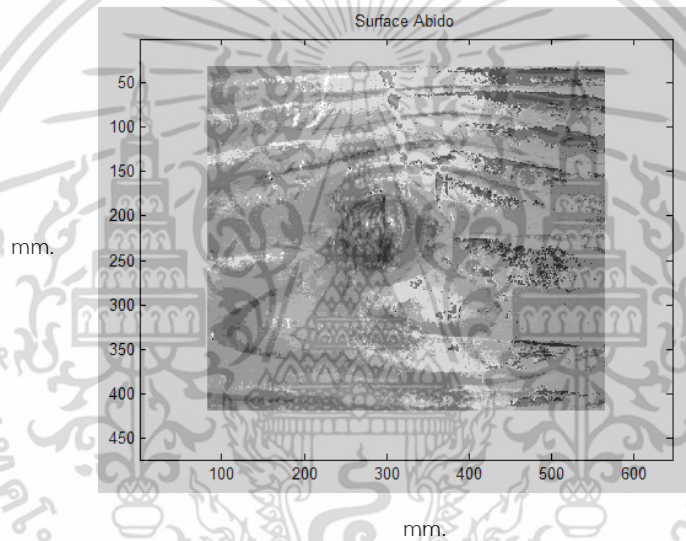
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 Original Image by light source3

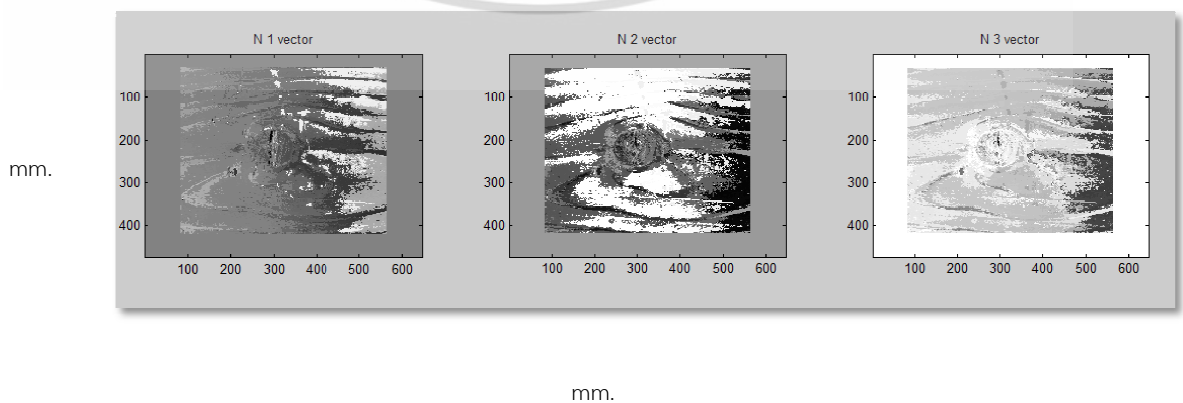
รูปที่ 4.36 Gray Image by light source3

จากภาพเทานำมาประมวลผลภาพ Surface albedo จากสมการ $P = ||[S]^1||$ แสดงดังรูปที่ 4.37



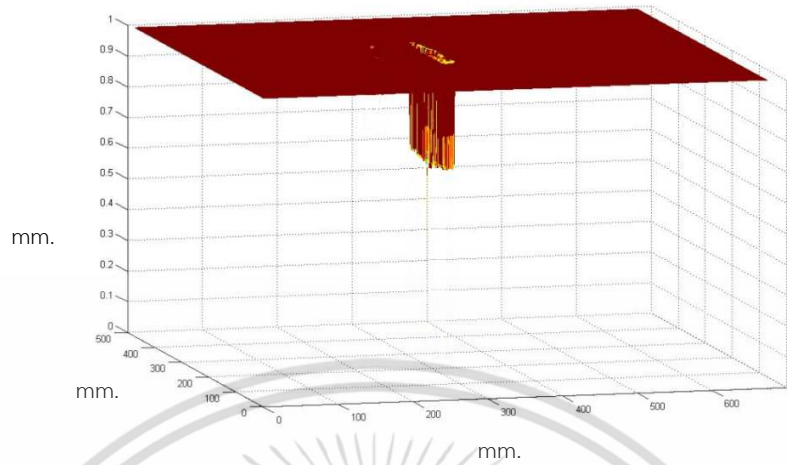
รูปที่ 4.37 Surface albedo

จากสมการ $N = (1/P) [S]^1$ เพื่อประมวลผล Normal Vector แสดงดังรูปที่ 4.38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.38 แสดง normal vector N1, N2 และ N3 ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำภาพทั้งสาม มาผสานกันด้วยโปรแกรม MATLAB เป็นภาพสามมิติแสดงดังรูปที่ 4.39



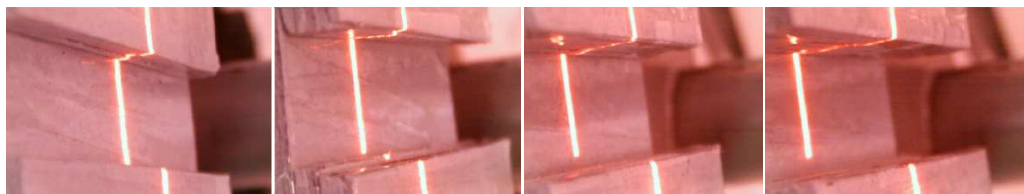
รูปที่ 4.39 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

4.5 การตรวจวัดความลึกด้วยวิธีทางเลเซอร์ (Laser light sectioning)

ในการทดลองดังกล่าว ได้ทำการเปรียบเทียบระบบการวัดความลึก เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวัตถุ แสดงวิธีการติดตั้งการทดลองดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 การติดตั้งการทดลองด้วยวิธีเลเซอร์



รูปที่ 4.41 การตรวจวัดแต่ละร่องลึกด้วยวิธีเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตรวจวัดความลึกด้วยวิธีเลเซอร์

ร่องที่	ค่าความลึกที่วัดด้วยวิธีเลเซอร์ (mm)
1	4.85
2	7.64
3	10.33
4	13.09

4.6 การตรวจวัดความลึกด้วยเวอร์เนีย

ในการทดลองดังกล่าว ได้ทำการเปรียบเทียบระบบการวัดความลึก เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวัตถุ แสดงวิธีการติดตั้งการทดลองดังรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.42 การติดตั้งการทดลองการตรวจวัดความลึกด้วยเวอร์เนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดความลึกด้วยเวอร์เนีย

ร่องที่	ค่าเฉลี่ยความลึกที่วัด 10 ครั้ง (mm)
1	4.76
2	7.52
3	10.47
4	13.25

4.7 การสอบเทียบความลึก

ในการทดลองดังกล่าว ได้ทำการสอบเทียบระบบการวัดความลึก เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวัตถุ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการสอบเทียบระบบวัดความลึก

ร่องที่	ค่าเฉลี่ยความลึกที่วัดด้วยเวอร์เนีย (mm)	ค่าความลึกที่วัดด้วยวิธีเลเซอร์ (mm)	ความผิดพลาดความลึกที่วัดได้ (%)
1	4.76	4.85	1.89
2	7.52	7.64	1.59
3	10.47	10.33	1.34
4	13.25	13.09	1.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการทดลองและการวิจารณ์

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการตรวจวัดระยะลึกของกระดาษลึงโดยวิธีการวัดด้วยเวอร์เนียร์

วิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ และวิธีเลเซอร์

ร่องที่	ค่าเฉลี่ยความลึกที่วัดด้วยเวอร์เนียร์ (mm)	ค่าความลึกที่วัดด้วยวิธีเลเซอร์ (mm)	ค่าความลึกที่วัดด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ (mm)
1	4.76	4.85	4.88
2	7.52	7.64	7.70
3	10.47	10.33	10.68
4	13.25	13.09	13.51

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความผิดพลาดความลึกที่วัดโดยวิธีเลเซอร์และโฟโตเมตริกสเตอริโอ

ร่องที่	ความผิดพลาดความลึกที่วัดได้โดยวิธีเลเซอร์ (%)	ความผิดพลาดความลึกที่วัดได้โดยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ (%)
1	1.89	2.52
2	1.59	2.39
3	1.34	2.01
4	1.21	1.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการวัดระยะลึกโดยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอและวิธีเลเซอร์

ดินน้ำมัน	ความลึกโดยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอ (mm)	ค่าความลึกโดยวิธีเลเซอร์ (mm)	ความผิดพลาด (%)
ร่องที่ 1	0.81	0.79	2.53
ร่องที่ 2	2.43	2.39	1.67
ร่องที่ 3	4.65	4.58	1.53
ร่องที่ 4	6.39	6.30	1.43

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการตรวจสอบพื้นผิวลักษณะต่างๆ โดยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอ

รูปแบบการตรวจสอบ	ระยะลึกเฉลี่ย (mm.)
ความแบนราบของแผ่นไม้	0
ความผิดปกติของกระเบื้อง	0.85
ความผิดปกติของแผ่นไม้	15.7

4.9 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการตรวจสอบความผิดปกติบนพื้นผิว และความลึกของวัตถุโดยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอ เปรียบเทียบกับการตรวจสอบด้วยเลเซอร์และเวอร์เนียร์ พบว่าค่าที่วัดได้จากทั้ง 3 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการเก็บผลการทดลองด้วยวิธีโพโตเมตริกสเตอริโอนั้น ยังไม่ละเอียดเท่ากับวิธีการตรวจวัดด้วยเลเซอร์ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเกิดขึ้น แต่ทั้งนี้การตรวจสอบด้วยวิธีนี้มีข้อดีคืออุปกรณ์ในการตรวจวัดเป็นอุปกรณ์ทั่วไป หาได้ง่าย สามารถตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวที่มีการสะท้อน ซึ่งความผิดปกติของพื้นผิวนี้อาจไม่ต้องการความละเอียดมากเท่ากับการตรวจสอบด้วยเลเซอร์ และในบางครั้งสายตาของมนุษย์ไม่อาจตรวจสอบระยะร่องลึกของรอยแตกร้าวได้ ซึ่งเหมาะกับอุตสาหกรรมกระเบื้อง แผ่นไม้บอร์ด เป็นต้น

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ จากการทดลองได้ใช้แหล่งกำเนิดแสง 3 อัน วางอยู่ในตำแหน่งและระยะที่กำหนด พร้อมกับกล้องดิจิทัลจับภาพในแนวตั้งแล้วนำภาพถ่ายทั้ง 3 ภาพที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแต่ละอันมาผสานกัน แสดงผลให้เห็นเป็นภาพ 3 มิติ ซึ่งทำให้เห็นความผิดปกติของพื้นผิวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น รวมทั้งหลักการนี้สามารถตรวจสอบพื้นผิวตัวอย่างที่เกิดเงา หรือมีแสงสะท้อนได้

การตรวจสอบพื้นผิวที่แสดงผลเป็นภาพสามมิติด้วยวิธี Triangulation for Multi-view Scene Reconstruction หรือ Laser 3D Scanning จะให้ผลภาพที่มีความละเอียด และแม่นยำมากกว่าวิธี Photometric stereo แต่วิธีดังกล่าวยังไม่สามารถตรวจวัดพื้นผิวที่เกิดการสะท้อนได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นถึงการตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวที่มีการสะท้อน และตรวจสอบระยะร่องเพื่อนำมาคัดเกรดสินค้าที่ไม่ต้องการความละเอียดเท่ากับวิธี Laser scanning รวมทั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัด เป็นอุปกรณ์ทั่วไป หาได้ง่าย ซึ่งทำให้ลดต้นทุนลงได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมการผลิตกระเบื้องหรือการขึ้นรูปต่างๆ เนื่องด้วยในบางครั้งสายตาของมนุษย์ไม่อาจมองเห็นและตรวจสอบถึงความลึกของรอยแตก หรือรอยร้าวได้ รวมทั้งการตรวจสอบพร่องลึกยังสามารถนำผลที่ได้ไปคัดแยกเกรดของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น พื้นผิวของไม้บอร์ด

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

จากการวิจัยพบปัญหาในด้านของความละเอียด ในการตรวจสอบพร่องลึกซึ่งยังไม่ละเอียด และแม่นยำเทียบเท่ากับวิธีการตรวจสอบด้วยเลเซอร์ ซึ่งอาจแก้ไขโดยการใช้อุปกรณ์และเลนส์ที่มีความละเอียดสูงขึ้น เพื่อเพิ่มความละเอียดในการตรวจสอบพร่องลึก

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Zheng, L.X. Kong, S. Nahavandi, **Automatic inspection of metallic surface defects using genetic algorithms**, Journal of Materials Processing Technology 125–126 (2002) 427–433, February.
- [2] Dieter Schneider, Rainer Hofmann, Thomas Schwarz, Thomas Grosser, Eckehard Hensel, **Evaluating surface hardened steels by laser-acoustics**, Surface & Coatings Technology 206 (2012) 2079–2088, September.
- [3] Rafael F.V. Saracchini, Jorge Stolfi, Helena C.G. Leita, Gary A. Atkinson, Melvyn L. Smith, **Robust 3D face capture using example-based photometric stereo**, Computers in Industry 64 (2013) 1399–1410, May
- [4] R.J. Woodham, **Photometric methods for determining surface orientation from multiple images**, Opt. Eng. 19 (1) (1980) January/February.
- [5] Kuntal Maji, D.K. Pratihari, A.K. Nath, **Laser forming of a dome shaped surface: Experimental investigations, statistical analysis and neural network modeling**, Optics and Lasers in Engineering 53 (2014) 31–42, September.
- [6] Lai Kang, Lingda Wu, Yee-Hong Yang, **Robust multi-view L2 triangulation via optimal inlier selection and 3D structure refinement**, Pattern Recognition 47 (2014) 2974–2992, April.
- [7] Hugo Álvarez, Diego Borro, **Junction assisted 3D pose retrieval of untextured 3D models in monocular images**, Computer Vision and Image Understanding 117 (2013) 1204–1214, November.
- [8] Solimac, 2014. **Category of Light source**. [Online].
Available: http://www.solimacautomation.com/product_catelist.php?category
- [9] PB All, 2015. **Non-destructive testing**. [Online]
Available: <http://www.pballtechno.com/category/60/non-destructive-tester-ndt>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

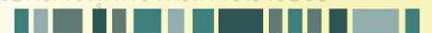
- [10] Beverly D. Bradley, Adrian D.C. Chan, M. John D. Hayes, “**Calibration of a Simple,Low Cost, 3D Laser Light-Sectioning Scanner System for Biomedical Purposes**”, Systems and Computer Engineering, Carleton University
- [11] R. Hartley and A. Zisserman. “**Multiple View Geomerty in ComputerVision**”. Cambridge University Press, second edition, 2003.
- [12] TzuYen Wong, Peter Kovesi, Amitava Datta, “**Projective Transformations for Image Transition Animations**”, The University of Western Australia, School of Computer Science & Software Engineering, 35 Stirling Highway, Crawley, W.A. 6009, Australia
- [13] Melvyn L.Smith,Richard J. Stamp “**Automated inspection of texture ceramic tiles**”, Faculty of Engineering,University of the West of England, Computers in Industry 43(2000) 73-82,January

The 28th Conference of
Mechanical Engineering Network of Thailand
**การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28**
วันที่ 15-17 ตุลาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น



"Driving ME
Research
Education
and Innovation
Towards Creative
Economy"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิชาการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ Surface Inspection of 3D Image Using Photometric Stereo

นางสาวกนกวรรณ กาญจนเลขา¹, และ รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์^{1*}

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
*Email: jan_know@hotmail.com, 0867985810, *Email: taweepol.suesut@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ เพื่อควบคุมคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน เช่น พื้นผิวกระเบื้อง พื้นผิวโลหะ ตรวจสอบรอยแตกของพื้นผิวชิ้นงาน โดยปกติแล้วการตรวจสอบชิ้นงานด้วยวิทัศน์จักรกลจะทำได้เพียงมุมมอง 2 มิติ ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบความผิดปกติด้านความลึกหรือความนูนของพื้นผิวได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบพื้นผิววัตถุตัวอย่าง จากภาพถ่ายที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพ 3 มิติ โดยใช้ทฤษฎีโฟโตเมตริกสเตอริโอ จากนั้นทำการตรวจสอบความลึก ความแบนราบและความผิดปกติของพื้นผิว ในการทดลองจะใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล จับภาพในแนวตั้ง แห่่งกำเนิดแสงติดตั้งอยู่ระนาบเดียวกันกับกล้องซึ่งทำหน้าที่ฉายแสงลงบนพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบ จุดเด่นของการใช้วิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอนี้ สามารถตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุที่มีการสะท้อนได้ ผลลัพธ์จากการประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพสามมิติทำให้เห็นความผิดปกติของพื้นผิวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

คำหลัก: โฟโตเมตริกสเตอริโอ; การตรวจสอบพื้นผิว; การสร้างภาพ 3 มิติ

Abstract

This research presents a method to inspection surface of object by Photometric stereo for control the quality of the surface such as metallic surface, tile surface and inspection of cracks on the surface. Generally, the surface inspection with 2D machine vision cannot determine the depth or abnormal bulging of the surface. This research focuses on the 3D surface inspection using a photometric stereo theory to define characteristic of the surface such as the depth, flat and irregular surfaces. The experiment setup consists of the 4 vertical light source mounted in the same plane with the digital camera. The advantage of photometric stereo technique is able to inspect the polished surface. The experimental results is illustrated the 3D image of the surface irregularities clearly.

Keywords: Photometric stereo; Surface Inspection; Three-dimensional construction

AMM-166

1. บทนำ

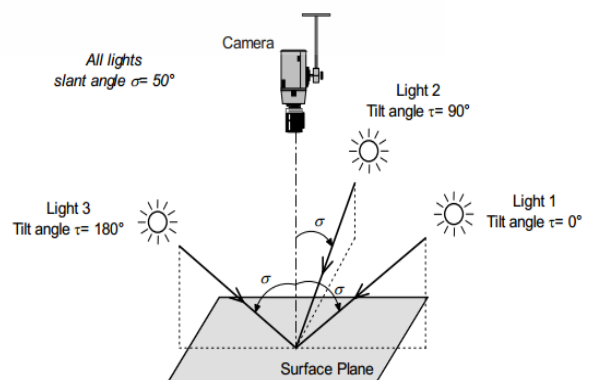
การควบคุมคุณภาพได้กลายเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมการขึ้นรูปต่างๆ ซึ่งอาจจะมีวิธีการตรวจสอบพื้นผิวหลากหลายวิธี กระบวนการการตรวจสอบอาจจะเกิดขึ้นระหว่างการผลิตหรือหลังการผลิต วิธีการตรวจสอบพื้นผิวอาจจะนำวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และใช้คอมพิวเตอร์วิชั่นเข้ามาเป็นวิธีในการตรวจสอบ ซึ่งจะมีจุดเด่นคือเป็นการตรวจสอบโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน สามารถตรวจสอบปริมาณชิ้นงานมาก ๆ ได้ในเวลาที่กำหนด ระบบวิชั่นสามารถระบุตำแหน่งและทิศทางที่เราต้องการตรวจสอบ และสามารถตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็กได้ เช่นในปี ค.ศ. 2002, H. Zheng, L.X. Kong, ทำการวิจัยการตรวจสอบพื้นผิวโลหะด้วยวิธี จินนี่ติก(genetic) อัลกอริทึม [1] และในปี 2012, Dieter Schneider ได้ทำการวิจัยการตรวจสอบพื้นผิวเหล็กกล้าด้วยเลเซอร์ [2] , ซึ่งวิธีการสแกนโดยการฉายแสงแบ่งส่วนของวัตถุ (Light sectioning) เป็นวิธีที่ใช้ในการวัดรูปทรงแบบตัดขวาง เปรียบเสมือนการแบ่งวัตถุ 3 มิติออกเป็นส่วนย่อยๆ (2 มิติ) ตามแนวความยาวของวัตถุ โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเส้นเลเซอร์สีแดง เนื่องจากการนำมาวิเคราะห์และประมวลผลทำได้ง่ายและช่วยลดขั้นตอนการปรับแต่งคุณภาพของรูปภาพ[5][6][7] อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะแสดงผลออกมาเป็นภาพ 2 มิติ ทำให้การแสดงผลภาพยังไม่ชัดเจน หรือการตรวจสอบโดยใช้แสงเลเซอร์นั้นยังไม่สามารถตรวจสอบบนพื้นผิวที่เกิดการสะท้อนได้ รวมทั้งถ้าเกิดรอยแตกหรือร้าว ก็ไม่อาจมองเห็นระยะร่องลึกนั้นได้

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุ จากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริก สเตอริโอ[3][4] เพื่อควบคุมคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงาน เช่น พื้นผิวกระเบื้อง พื้นผิวโลหะ หรือตรวจสอบรอยแตกของพื้นผิวชิ้นงาน เนื่องด้วยอุตสาหกรรมการขึ้นรูป และอุตสาหกรรมโลหะ มีความจำเป็นอย่างยิ่งใน

การตรวจหาจุดบกพร่องบนพื้นผิววัตถุที่สายตาของมนุษย์ไม่อาจตรวจสอบได้ หรือพื้นผิวที่มีรายละเอียดซับซ้อนมาก รวมทั้งยังเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ในการติดตั้งการทดลองประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพ, แหล่งกำเนิดแสง จากภาพถ่ายที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพ 3 มิติ โดยใช้ทฤษฎีโฟโตเมตริกสเตอริโอ จากนั้นทำการตรวจสอบความลึก ความแบนราบและความผิดปกติของพื้นผิว จุดเด่นของการใช้วิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอนี้ สามารถตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุที่มีการสะท้อนได้ ผลลัพธ์จากการประมวลผลแสดงออกมาเป็นภาพสามมิติทำให้เห็นความผิดปกติของพื้นผิวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

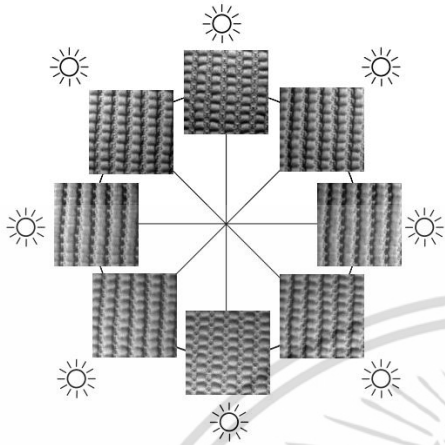
2. หลักการโฟโตเมตริกสเตอริโอ (Photometric stereo)

วิธีนี้สามารถประเมินพื้นผิวของวัตถุให้แสดงออกมาเป็นภาพสามมิติ โดยใช้ภาพถ่ายหลายๆภาพที่เกิดจากทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงหลายตำแหน่ง และตำแหน่งของกล้องจับภาพต้องอยู่ในแนวตั้ง แสดงดังรูปที่ 2.1 ความเข้มแสงของภาพถ่ายที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิว ทิศทางการส่องแสงจากแหล่งกำเนิดแสง จากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลแสดงเป็นภาพ 3 มิติ ภาพตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2.2 วิธีการนี้จะช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของพื้นผิวที่มีการสะท้อนได้



AMM-166

รูปที่ 1 การติดตั้งการทดลองโดยวิธี
โพโตเมตริกสเตอริโอ[4]



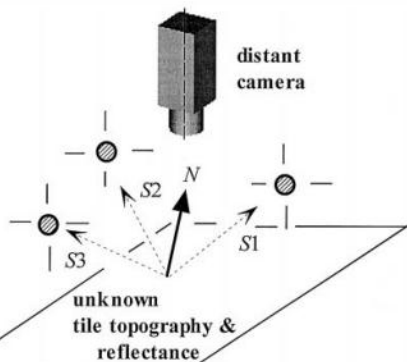
รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพถ่ายจากแหล่งกำเนิดแต่ละ
ตำแหน่ง[4]

2.1 สมการของโพโตเมตริกสเตอริโอ

วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความเกี่ยวข้องในการกู้คืนรูปภาพให้เป็นภาพสามมิติจากภาพถ่ายหลายภาพ โดยการเก็บภาพแต่ละภาพนั้นจะอยู่ภายใต้การควบคุมแสงสว่าง ความหนาแน่นของพื้นผิวเวกเตอร์ปกติ การเก็บภาพ ทิศทางของแหล่งกำเนิดแสง การส่องสว่างและการสะท้อนของพื้นผิว โดยกำหนดให้ทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงเป็นค่าความเข้มของแสง (I) ณ ตำแหน่ง (x,y) ดังสมการที่ 1

$$I = P(S \cdot N / |S||N|) = P(S \cdot N) \quad (1)$$

โดยให้ P เป็นแฟลคเตอร์ของการสะท้อนของพื้นผิว หรือ surface albedo S และ N เป็นระยะทางของแหล่งกำเนิดแสง และเวกเตอร์ปกติตามลำดับ



รูปที่ 3 การติดตั้งกล้องและกำหนดค่าการฉายแสงเพื่อแสดงถึงพื้นผิวปกติ (N) และระยะทางของแหล่งกำเนิดแสงทั้งสามแหล่ง (S1, S2, S3) [4]

ซึ่งทั้งสามแหล่งกำเนิดแสงสามารถบอกถึงเวกเตอร์ได้ (S1,S2,S3) และเวกเตอร์ปกติ (N) โดยภาพถ่ายทั้งสามภาพที่ได้สามารถเขียนเป็น (I1,I2, I3) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2

$$\begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} S1x & S1y & S1z \\ S2x & S2y & S2z \\ S3x & S3y & S3z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Nx \\ Ny \\ Nz \end{bmatrix} \quad (2)$$

โดยให้ (I1, I2, I3) คือค่าความเข้มของภาพทั้งสามภาพ ณ ตำแหน่ง (x,y) , P คือพื้นผิวจากการสะท้อน surface albedo , (Nx, Ny, Nz) คือ normal vector

จากสมการที่ 2 อาจเขียนให้กระชับขึ้นได้เป็นสมการที่ 3 ดังนี้

$$I = P[S] N \quad (3)$$

โดยให้ I คือเวกเตอร์ความเข้มภาพ, S คือเมทริกซ์ของแหล่งกำเนิดแสง , N คือ normal vector

จากสมการที่ 3 สามารถหาเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับหรือค่า P ได้ดังสมการที่ 4

$$P = ||[S]^{-1} I|| \quad (4)$$

และค่า normal vector หาได้ดังสมการที่ 5

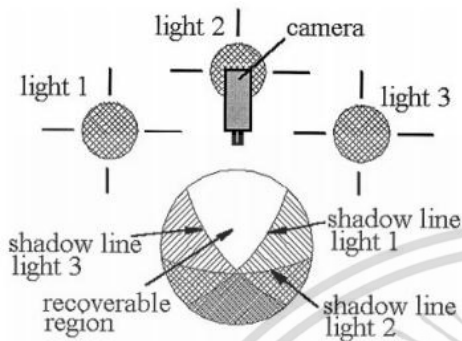
$$N = (1/P) [S]^{-1} I \quad (5)$$

ดังนั้น จากสมการที่ 4 และ 5 นั้นสามารถบอกถึงผลลัพธ์ที่สำคัญได้ 2 อย่างคือ เปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับของพื้นผิว (The local surface albedo) และทิศทางของพื้นผิวภาพเดิม (The local surface orientation)

สมการสามตัวแปรดังแสดงในสมการที่ 2 นั้นจะมีตำแหน่งของแสงสว่างที่สามารถฟื้นฟูพื้นผิวให้เป็นภาพสามมิติได้ ซึ่งจะพิจารณาการมองเห็นด้วย

AMM-166

หลักการ Gaussian sphere ดังรูปที่ 4 เมื่อนำภาพทั้งสามภาพมาผสมกันจะเกิดบริเวณพื้นผิวที่มองเห็นได้เป็นสามมิติ อย่างไรก็ตามภาพทั้งสามที่ได้นั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 4 บริเวณที่เกิดพื้นที่ที่มีแสงสว่างตามหลักของ Gaussian sphere[4]

3. การดำเนินการทดลอง

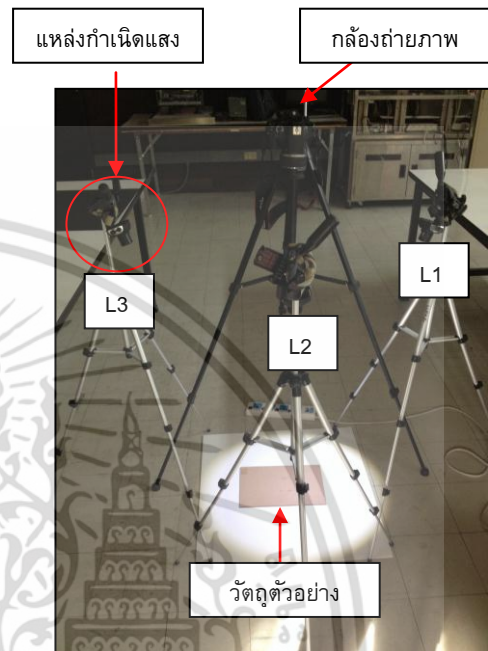
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้

ประกอบด้วย กล้อง Canon EOS 1000D ด้วยเลนส์ 18 mm – 35 mm ความละเอียดภาพ 3888 x 2592 พิกเซล , หลอด LED มีความเข้มแสง 160 ลูเมน และตัวอย่างเพื่อทดสอบ

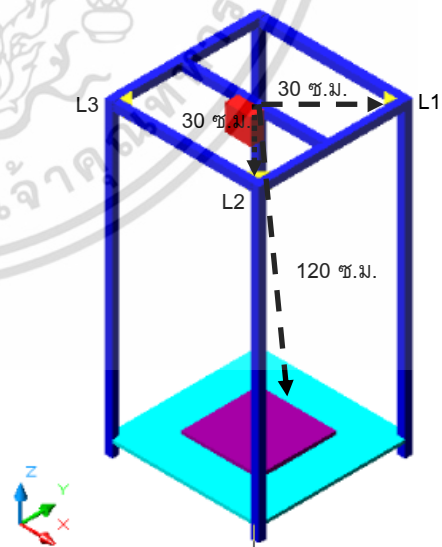
3.2 การติดตั้งการทดลอง

การติดตั้งการทดลองจะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง 3 อัน, กล้องถ่ายภาพ 1 ตัว และวัตถุตัวอย่าง โดยติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงที่ 1,3 ในแนวแกน x และติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 ตามแนวแกน y โดยจัดวางให้อยู่ในระนาบเดียวกับกล้อง สำหรับระยะของแกน z จะวัดจากเลนส์ของกล้องถึงพื้นผิวตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ การติดตั้งกล้องต้องอยู่ระนาบเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง ระยะห่างเท่ากัน และเลนส์กล้องต้องตั้งฉากกับพื้นผิวตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 5 และ 6 จากนั้นทำการปรับกล้อง โดยทำการปรับรูรับแสง F4.0 กล้องอยู่ตรงกลางและตั้งฉากกับวัตถุตัวอย่าง และตั้งเวลาการถ่ายภาพ (long exposure time) เท่ากับ 1/40 รวมทั้งหลังจากถ่ายภาพจะใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 363 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชัน ในโปรแกรม MATLAB เพื่อแก้ปัญหาระยะที่คลาดเคลื่อนตามบริเวณขอบภาพ 2 มิติ



รูปที่ 5 การติดตั้งการทดลอง



รูปที่ 6 กำหนดระยะทางของแหล่งกำเนิดแสงจากระยะการติดตั้งการทดลอง สามารถแทนค่าลงในสมการที่ 2 ดังนี้

AMM-166

$$\begin{pmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} 30 & 0 & 120 \\ 0 & -30 & 120 \\ -30 & 0 & 120 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Nx \\ Ny \\ Nz \end{pmatrix} \quad (6)$$

รูปที่ 9 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L3

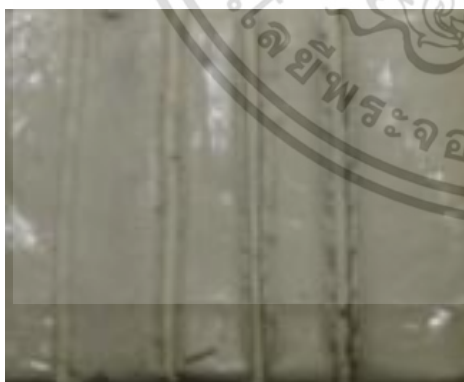
4. ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการตรวจสอบพื้นผิวต่างๆ เช่น ดินน้ำมัน ไม้ กระเบื้อง โลหะ เป็นต้น ซึ่งทำการตรวจสอบตามลักษณะดังนี้

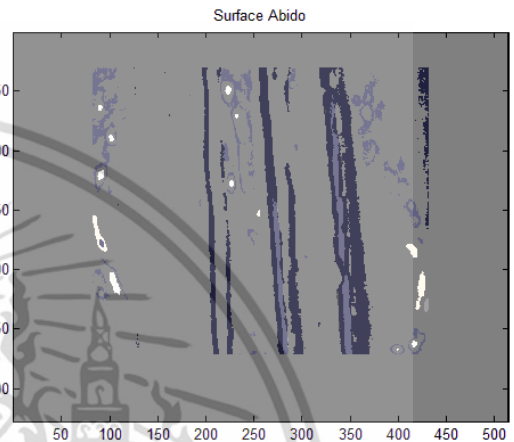
4.1 การตรวจสอบความลึก



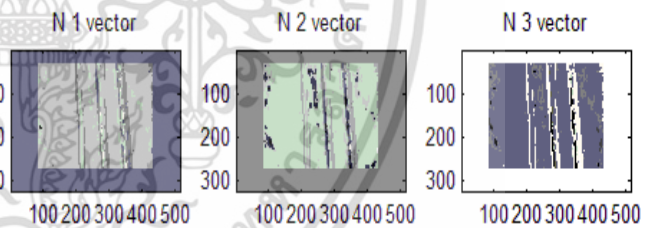
รูปที่ 7 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L1



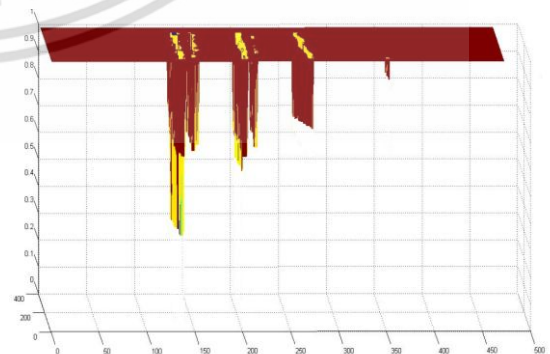
รูปที่ 8 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L2



รูปที่ 10 Surface albedo



รูปที่ 11 แสดง normal vector N1,N2 และ N3

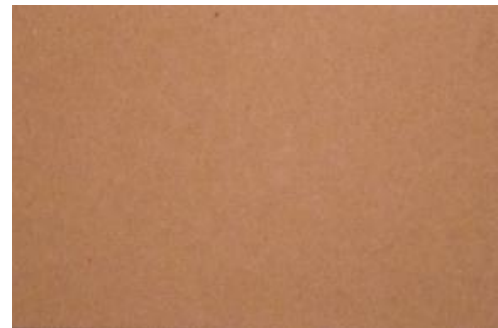


รูปที่ 12 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

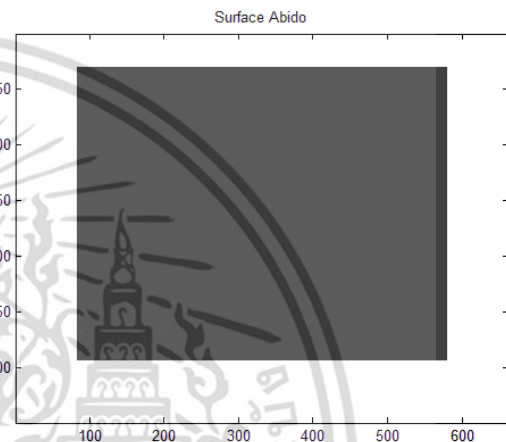
จากผลการทดลองจะแสดงรูปต้นแบบ 2 มิติ ซึ่งเป็นพื้นผิวดินน้ำมัน มีลักษณะทางกายภาพเป็น

AMM-166

ร่องลึกทั้ง 3 ร่อง ที่ยังไม่สามารถทราบถึงระยะลึก แสดงดังรูปที่ 7,8,9 โดยเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่ ทิศทางแตกต่างกัน ตามรูปที่ 6 จากนั้นนำรูปทั้ง 3 นี้ มาประมวลผลบน MATLAB โดยอ้างอิงจากสมการที่ 6 เพื่อหาเวกเตอร์ความเข้มของภาพ ดังสมการที่ 3 , หาเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับ ดังสมการที่ 4 ซึ่งมา จากผลคูณของอินเวอร์สเมตริกซ์ S กับ เวกเตอร์ ความเข้มภาพ แสดงผลดังรูปที่ 11 จะทำให้เห็นเงา ชัดเจนยิ่งขึ้น และหา normal vector (N) ตามลำดับ จากนั้นนำรูปมาผานกันจะมีตำแหน่งของแสงสว่างที่ สามารถฟื้นฟูพื้นผิวให้เกิดขึ้นเป็นรูปสามมิติ แสดงดัง รูปที่ 12 โดยวิเคราะห์จากภาพจะเห็นได้ว่า หลังจาก ผสานภาพเป็น 3 มิติแล้ว บริเวณภาพที่ไม่เกิดเงาจะ แสดงเป็นพื้นผิวเรียบ แต่บริเวณที่เกิดเป็นเงา จะ แสดงให้เห็นถึงระยะร่องลึกที่ 0.7,0.5,0.3 และ 0.1 ซม. ตามลำดับจากซ้ายไปขวา แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 15 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L3

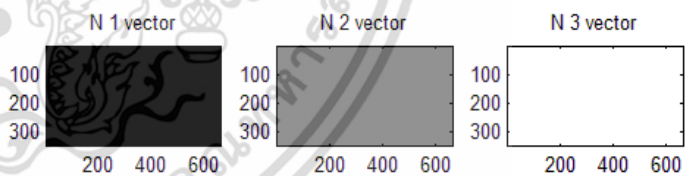


รูปที่ 16 Surface albedo

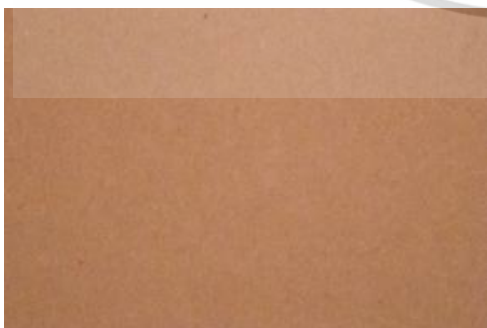
4.2 การตรวจสอบความแบนราบ



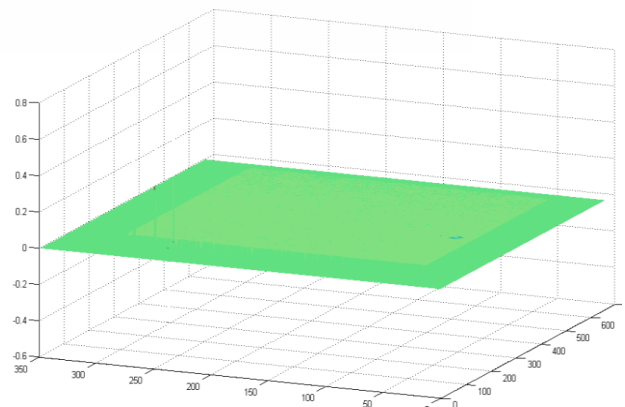
รูปที่ 13 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L1



รูปที่ 17 แสดง normal vector N1,N2 และ N3



รูปที่ 14 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L2



AMM-166

รูปที่ 18 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

เมื่อนำวัตถุที่พื้นผิวมีความราบเรียบมาทำการทดสอบจะพบว่า ในการทดลองนี้ใช้แผ่นไม้ เมื่อผลานภาพเป็นภาพสามมิติขึ้น จะพบว่าที่แกน z ระดับความสูงเท่ากับศูนย์ทั่วทั้งบริเวณของพื้นผิววัตถุ ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าพื้นผิวตัวอย่างนี้มีความแบนราบทั้งแผ่น แสดงดังรูปที่ 18

4.3 การตรวจสอบความผิดปกติบนพื้นผิว

4.3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ แผ่นกระเบื้อง



รูปที่ 19 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L1



รูปที่ 20 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L2



รูปที่ 21 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L3

รูปที่ 22 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

4.3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ แผ่นไม้



รูปที่ 23 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L1

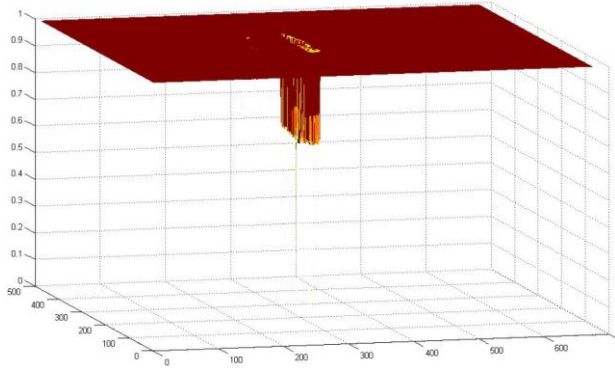


รูปที่ 24 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L2



รูปที่ 25 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L3

AMM-166



รูปที่ 26 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

จากรูปที่ 22 และ 26 เป็นตัวอย่างของพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบความผิดปกติ พบว่าถ้ามองจากภาพถ่าย 2 มิติจะเห็นรอยร้าว หลุมบนพื้นผิว แต่ไม่สามารถทราบถึงระยะลึกได้ หลังจากที่มีสนามภาพเป็นภาพ 3 มิติแล้ว จะเห็นระยะลึกเมื่อเทียบกับแกน z ของทั้งสองภาพ ระยะที่แกน z ของแผ่นกระเบื้อง และแผ่นไม้เท่ากับ 0.7, 0.5 ซม. ตามลำดับ

7. สรุป

การตรวจสอบพื้นผิวที่แสดงผลเป็นภาพสามมิติด้วยวิธี Triangulation for Multi-view Scene Reconstruction หรือ Laser 3D Scanning จะให้ผลภาพที่มีความละเอียด และแม่นยำมากกว่าวิธี Photometric stereo แต่วิธีดังกล่าวยังไม่สามารถตรวจวัดพื้นผิวที่เกิดการสะท้อนได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นถึงการตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวที่มีการสะท้อน และตรวจสอบระยะร่องเพื่อนำมาคัดเกรดสินค้าที่ไม่ต้องการความละเอียดเท่ากับวิธี Laser scanning รวมทั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัด เป็นอุปกรณ์ทั่วไป หาได้ง่าย ซึ่งทำให้ลดต้นทุนลงได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมการผลิตกระเบื้องหรือการขึ้นรูปต่างๆ เนื่องด้วยในบางครั้งสายตาของมนุษย์ไม่อาจมองเห็นและตรวจสอบถึงความลึกของรอยแตก หรือรอยร้าวได้ รวมทั้งการตรวจสอบพบร่องลึกยังสามารถนำผลที่ได้ไปคัดแยกเกรดของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น พื้นผิวของไม้บอร์ต

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอจากการทดลองได้ใช้แหล่งกำเนิดแสง 3 อัน วางอยู่ในตำแหน่งและระยะที่กำหนด พร้อมกับกล้องดิจิทัลสองภาพในแนวตั้งแล้วนำภาพถ่ายทั้ง 3 ภาพที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแต่ละอันมาผสานกัน แสดงผลให้เห็นเป็นภาพ 3 มิติ ซึ่งทำให้เห็นความผิดปกติของพื้นผิวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น รวมทั้งหลักการนี้สามารถตรวจสอบพื้นผิวตัวอย่างที่เกิดเงา หรือมีแสงสะท้อนได้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Zheng, L.X. Kong, S. Nahavandi, Automatic inspection of metallic surface defects using genetic algorithms, *Journal of Materials Processing Technology* 125–126 (2002) 427–433, February.
- [2] Dieter Schneider, Rainer Hofmann, Thomas Schwarz, Thomas Grosser, Eckehard Hensel, Evaluating surface hardened steels by laser-acoustics, *Surface & Coatings Technology* 206 (2012) 2079–2088, September.
- [3] Rafael F.V. Saracchini, Jorge Stolfi, Helena C.G. Leita, Gary A. Atkinson, Melvyn L. Smith, Robust 3D face capture using example-based photometric stereo, *Computers in Industry* 64 (2013) 1399–1410, May
- [4] R.J. Woodham, Photometric methods for determining surface orientation from multiple images, *Opt. Eng.* 19 (1) (1980) January/February.
- [5] Kuntal Maji, D.K. Pratihari, A.K. Nath, Laser forming of a dome shaped surface: Experimental investigations, statistical analysis and neural network modeling, *Optics and Lasers in Engineering* 53 (2014) 31–42, September.
- [6] Lai Kang, Lingda Wu, Yee-Hong Yang, Robust multi-view L2 triangulation via optimal inlier

AMM-166

selection and 3D structure refinement, Pattern Recognition 47 (2014) 2974–2992, April.

[7] Hugo Álvarez, Diego Borro, Junction assisted 3D pose retrieval of untextured 3D models in monocular images, Computer Vision and Image Understanding 117 (2013) 1204–1214, November.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 368 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
clear all;
```

```
pic1 = imread('C:\Users\Desktop\pic test\IMG_1.jpg');
```

```
figure(1), imshow(pic1)
```

```
pic2 = imread('C:\Users\Desktop\pic test\IMG_2.jpg');
```

```
figure(2), imshow(pic2)
```

```
pic3 = imread('C:\Users\Desktop\pic test\IMG_3.jpg');
```

```
figure(3), imshow(pic3)
```

```
% crop image
```

```
la = imcrop(pic1,[2392 1101 336 372]);
```

```
figure(5), imshow(la)
```

```
lb = imcrop(pic2,[2392 1101 336 372]);
```

```
figure(6), imshow(lb)
```

```
lc = imcrop(pic3,[2392 1101 336 372]);
```

```
figure(7), imshow(lc)
```

```
%Read Input to gray Image
```

```
Gla=rgb2gray(la);
```

```
figure(8), imshow(Gla)
```

```
Glb=rgb2gray(lb);
```

```
figure(9), imshow(Glb)
```

```
Glc=rgb2gray(lc);
```

```
figure(10), imshow(Glc)
```

```
% setup the file names and paths
```

```
S=[40 0 35; 0 -40 35; -40 0 35];
```

```
Sinv = inv(S);
```

```
[imagefilename, imagepathname]=uigetfile('*.bmp','Select 1. image file');
```

```
fileName1=[imagepathname,imagefilename];
```

```
[imagefilename, imagepathname]=uigetfile('*.bmp','Select 2. image file');
```

```
fileName2=[imagepathname,imagefilename];
```

```
[imagefilename, imagepathname]=uigetfile('*.bmp','Select 3. image file');
```

```
fileName3=[imagepathname,imagefilename];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

[pic1, map1]=imread(fileName1);
data1=im2double(pic1);
[pic2, map2]=imread(fileName2);
data2=im2double(pic2);
[pic3, map3]=imread(fileName3);
data3=im2double(pic3);

save test3 data1 data2 data3 map1 map2 map3 S Sinv;

% Test of photo-metric stereo on window profiles
%
selection = menu('Select test','Defects 1','Defects 2','Gass');
switch selection
case {1} % geometry 1
    Comment='Geometry 200, 200, 130';
    load test1;
case {2} % geometry 2
    Comment='Geometry 100, 100, 130';
    load test2;
case {3} % entgassung
    Comment='Entgassung 100, 100, 130';
    load test3;
otherwise
    error('Incorrect selection');
end;
%
originals=figure;
%
subplot(1,3,1);
imagesc(data1);
colormap(map1);
axis image;
title('Image 1');
%
subplot(1,3,2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

imagesc(data2);
colormap(map2);
axis image;
title('Image 2');
%
subplot(1,3,3);
imagesc(data3);
colormap(map3);
axis image;
title('Image 3');

% calculate the albedo

p1=SinV(1,1)*data1+SinV(1,2)*data2+SinV(1,3)*data3;
p2=SinV(2,1)*data1+SinV(2,2)*data2+SinV(2,3)*data3;
p3=SinV(3,1)*data1+SinV(3,2)*data2+SinV(3,3)*data3;

p=(p1.^2 + p2.^2 + p3.^2).^0.5;

albido=figure;
imagesc(p);
colormap(gray);
title('Surface Abido');
%
n1=p1./p;
n2=p2./p;
n3=p3./p;
%
Nfig=figure;
subplot(1,3,1);
imagesc(n1);
colormap(gray);
axis image;
title('N 1 vector');
%

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

subplot(1,3,2);
imagesc(n2);
colormap(gray);
axis image;
title('N 2 vector');
%
subplot(1,3,3);
imagesc(n3);
colormap(gray);
axis image;
title('N 3 vector');
%

figure();
surf(n1,'EdgeColor','none');

figure();
surf(n2,'EdgeColor','none');

figure();
surf(n3,'EdgeColor','none');

PL=-n1/n3;
QL=-n2/n3;
%gradient;
lx=PL;
ly=-QL;

[ny,nx]=size(lx);cut=370;
startx=round((nx-cut)/2);
starty=round((ny-cut)/2);
%
lx=lx(starty:starty+cut-1,startx+cut-1);
ly=ly(starty:starty+cut-1,startx+cut-1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
[m,n]=size(Ix);
```

```
x=(1:n)';
```

```
y=(1:m)';
```

```
%Evaluating the integration range of the Legendre Polynomial P(x) in the limit[-1,1]%
```

```
x=2*(x-min(x))/(max(x)-min(x))-1;
```

```
y=2*(y-min(y))/(max(y)-min(y))-1;
```

```
d=450;
```

```
XV=ones(size(x));
```

```
YV=ones(size(y));
```

```
XVI=x;
```

```
YVI=y;
```

```
XVD=zeros(size(x));
```

```
YVD=zeros(size(y));
```

```
for k=1:d
```

```
XV=[XV,x.^k];
```

```
YV=[YV,y.^k];
```

```
XVD=[XVD,k*x^(k-1)];
```

```
YVD=[YVD,k*y^(k-1)];
```

```
end
```

```
XV(:,1:2)=[ones(size(x)),x];
```

```
YV(:,1:2)=[ones(size(y)),y];
```

```
%
```

```
XVD(:,1:2)=[zeros(size(x)),ones(size(x))];
```

```
YVD(:,1:2)=[zeros(size(y)),ones(size(y))];
```

```
%
```

```
[Qx,Rx]=qr(XV,0);
```

```
[Qy,Ry]=qr(YV,0);
```

```
%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

XV=Qx;YV=Qy;
%
[qXVx,dXVy]=gradient(XV);
XVD=dXVy;
%
[dYVx,dYVy]=gradient(YV);
YVD=dYVy;
%
%
A=YVD'*YVD;
B=XVD'*XVD;
C=-YV'*Ix*XVD-YVD'*Iy*XV;
%
As=A(2:end,2:end);
%
Bs=B(2:end,2:end);
Cs=C(2:end,2:end);
%
c0=C(1,1);c1=C(1,2:end)';c2=C(2:end,1);cs=C(2:end,2:end);
Ms=lyap(As,Bs,Cs);
%
%Partition the matrix M
x1=-Bs1;x2=-As2;
%
M=[0,x1';x2,Ms]
t=88;
%
MT=M-fliplr(triu(fliplr(M),d+1-t));
ML=fliplr(tri(fliplr(M),d+1-t));
%
px=YV*M*XVD';
py=YVD*M*XV';
IIL=YV*M*XV';
Sp=YV*ML*XV';
Sr=YV*MT*XV';

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%Result output
figure

subplot(1,2,1);
imagesc(Ix);
colormap(gray);
axis image;
title('Estimated Gradient in x-direction');
%
subplot(1,2,2);
imagesc(Iy);
colormap(gray);
axis image;
title('Estimated Gradient in y-direction');
%
figure

subplot(1,2,1);
imagesc(px);
colormap(gray);
axis image;
title('Approximated Gradient in x-direction');
%
subplot(1,2,2);
imagesc(py);
colormap(gray);
axis image;
title('Approximated Gradient in y-direction');
%
fig=figure;
imagesc(IIL);
colormap(gray);
axis image;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

title('Reconstructed surface from Gradients');
%
figure
%
subplot(1,3,1);
imagesc(IIL);
colormap(gray);
axis image;
title('Reconstructed surface from Gradients');
%
figure
%
subplot(1,3,2);
imagesc(Sp);
colormap(gray);
axis image;
title('Surface without Irregularities');
%
figure
%
subplot(1,3,3);
imagesc(Sr);
colormap(gray);
axis image;
title('Surface Irregularities');
%
figure
surf(IIL,'linestyle','none');
axis image;
axis ij colormap('gray');
title('Contour Diagram of the Surface');
%
figure surf(YV*MT*XV,'linestyle','none');
title('Surface Heights')
%

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
figure
%
contour(Sr);
axis image;
axis ij
colormap('gray');
title('Contour Diagram of the Surface');
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวกนกรรณ กาญจนเลขา
วัน เดือน ปี เกิด	13 มกราคม 2529
ที่อยู่	42/8 ถ. พหลโยธิน แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220
ประวัติการศึกษา	2550 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2550 – พ.ศ.2552	Advance Agro Co.,Ltd พนักงานควบคุมคุณภาพ
พ.ศ.2552 – พ.ศ.2555	โรงเรียนไผทอุดมศึกษา อาจารย์สอนวิชาคณิตศาสตร์ (หลักสูตรภาษาอังกฤษ)
พ.ศ.2555 – ปัจจุบัน	The Value Systems Co.,Ltd Technical Service Officer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้