

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 แล่งกำเนิดแสงติดตั้งอยู่ระนาบเดียวกันกับกล้องซึ่งทำหน้าที่ฉายแสงลงบนพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบ 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

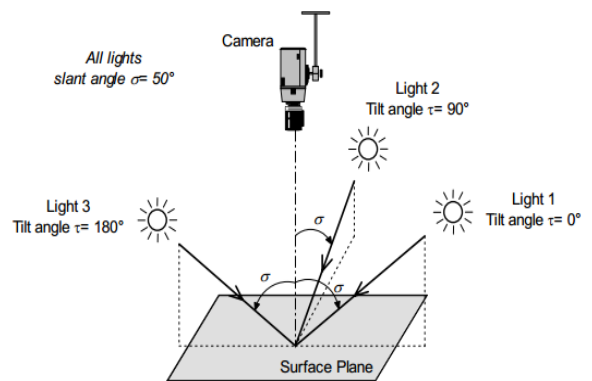
การควบคุมคุณภาพได้กลายเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมการขึ้นรูปต่างๆ ซึ่งอาจจะมีวิธีการตรวจสอบพื้นผิวหลากหลายวิธี กระบวนการตรวจสอบอาจจะเกิดขึ้นระหว่างการผลิตหรือหลังการผลิต วิธีการตรวจสอบพื้นผิวอาจจะนำวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และใช้คอมพิวเตอร์วิชันเข้ามาเป็นวิธีในการตรวจสอบ ซึ่งจะมีจุดเด่นคือเป็นการตรวจสอบโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน สามารถตรวจสอบปริมาณชิ้นงานมากๆ ได้ในเวลาที่กำหนด ระบบวิชันสามารถระบุตำแหน่งและทิศทางที่เราต้องการตรวจสอบ และสามารถตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็กได้ เช่นในปี ค.ศ. 2002, H. Zheng, L.X. Kong, ทำการวิจัยการตรวจสอบพื้นผิวโลหะด้วยวิธี จินนิติก(genetic) อัลกอริทึม [1] และในปี 2012, Dieter Schneider ได้ทำการวิจัยการตรวจสอบพื้นผิวเหล็กกล้าด้วยเลเซอร์ [2] , ซึ่งวิธีการสแกนโดยการใช้แสงแบ่งส่วนของวัตถุ (Light sectioning) เป็นวิธีที่ใช้ในการวัดรูปทรงแบบตัดขวาง เปรียบเสมือนการแบ่งวัตถุ 3 มิติออกเป็นสไลด์ย่อยๆ (2 มิติ) ตามแนวความยาวของวัตถุ โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเส้นเลเซอร์สีแดง เนื่องจากการนำมาวิเคราะห์และประมวลผลทำได้ง่ายและช่วยลดขั้นตอนการปรับแต่งคุณภาพของรูปภาพ[5][6][7] อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะแสดงผลออกมาเป็นภาพ 2 มิติ ทำให้การแสดงผลภาพยังไม่ชัดเจน หรือการตรวจสอบโดยใช้แสงเลเซอร์นั้นยังไม่สามารถตรวจสอบบนพื้นผิวที่เกิดการสะท้อนได้ รวมทั้งถ้าเกิดรอยแตกหรือร้าว ก็ไม่อาจมองเห็นระยะร่องลึกนั้นได้

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

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

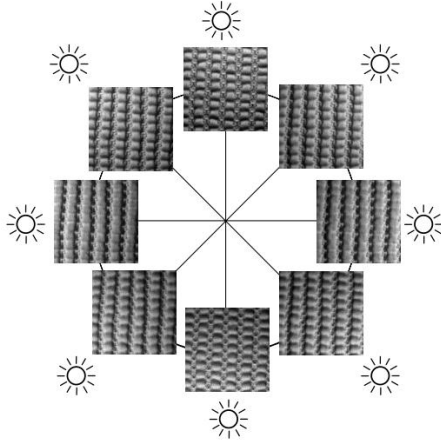
2. หลักการโฟโตเมตริกสเตอริโอ (Photometric stereo)

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



AMM-166

รูปที่ 1 การติดตั้งการทดลองโดยวิธี
โฟโตเมตริกสเตอริโอ[4]



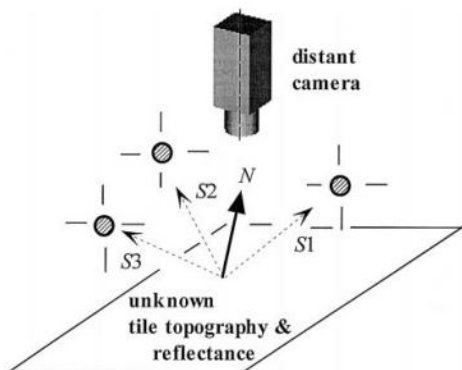
รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพถ่ายจากแหล่งกำเนิดแต่ละ
ตำแหน่ง[4]

2.1 สมการของโฟโตเมตริกสเตอริโอ

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 เป็นแฟคเตอร์ของการสะท้อนของพื้นผิว 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

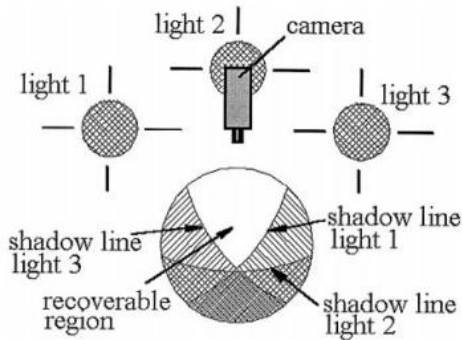
$$N = (1/P) [S]^{-1} I \quad (5)$$

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

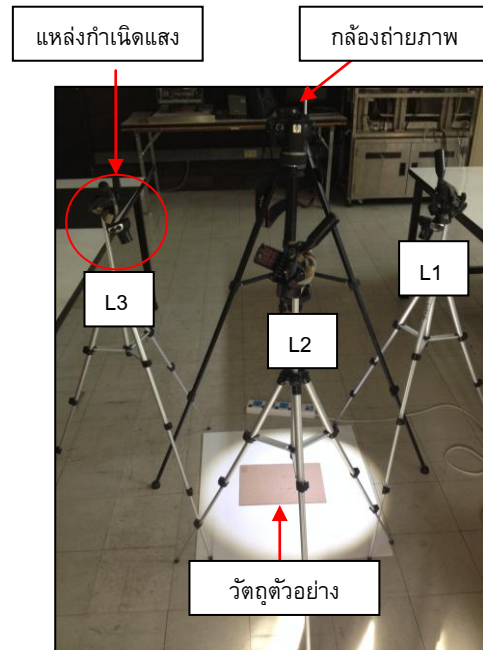
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้

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

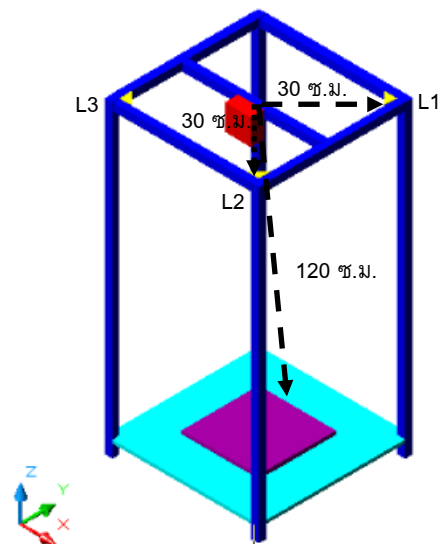
3.2 การติดตั้งการทดลอง

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

ฟังก์ชัน ในโปรแกรม MATLAB เพื่อแก้ปัญหาระยะที่คลาดเคลื่อนตามบริเวณขอบภาพ 2 มิติ



รูปที่ 5 การติดตั้งการทดลอง



รูปที่ 6 กำหนดระยะทางของแหล่งกำเนิดแสงจากระยะการติดตั้งการทดลอง สามารถแทนค่าลงในสมการที่ 2 ดังนี้

AMM-166

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

4. ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการตรวจสอบพื้นผิวต่างๆ เช่น ดินน้ำมัน ไม้ กระเบื้อง โลหะ เป็นต้น ซึ่งทำการตรวจสอบตามลักษณะดังนี้

4.1 การตรวจสอบความลึก



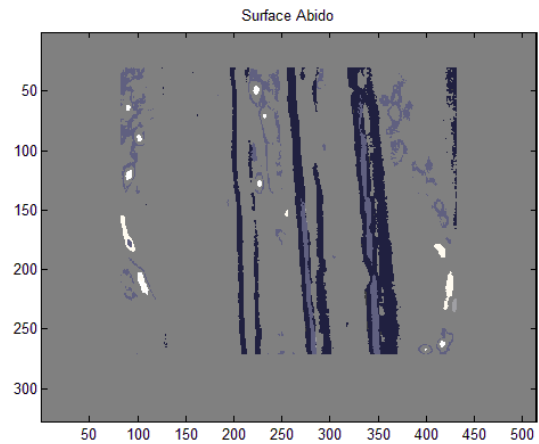
รูปที่ 7 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L1



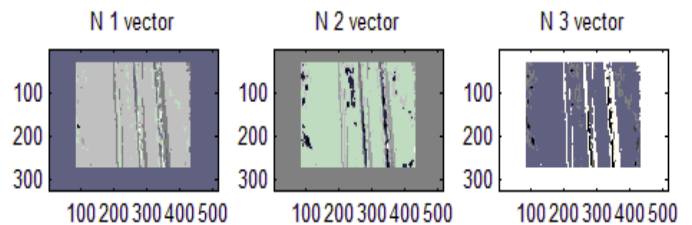
รูปที่ 8 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L2



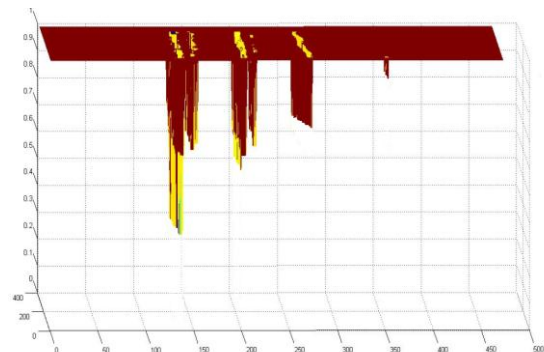
รูปที่ 9 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L3



รูปที่ 10 Surface albedo



รูปที่ 11 แสดง normal vector N1, N2 และ N3



รูปที่ 12 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

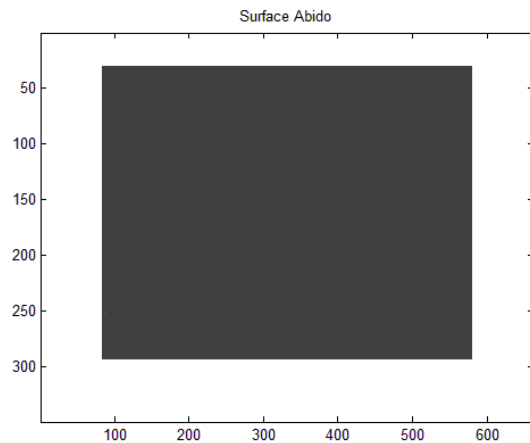
จากผลการทดลองจะแสดงรูปต้นแบบ 2 มิติ ซึ่งเป็นพื้นผิวดินน้ำมัน มีลักษณะทางกายภาพเป็น

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 จากนั้นนำรูปมาผสานกันจะมีตำแหน่งของแสงสว่างที่ 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



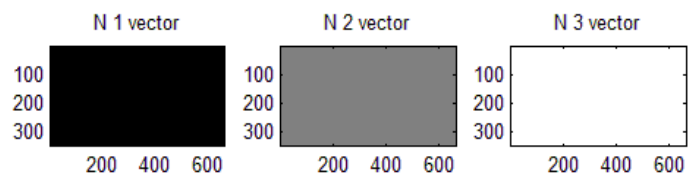
รูปที่ 15 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L3



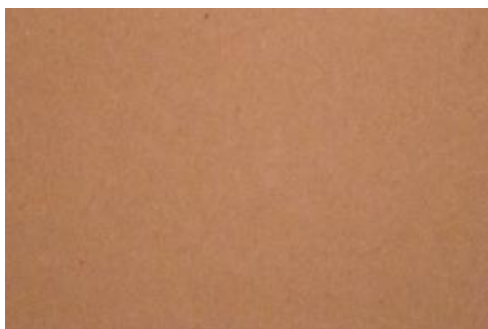
รูปที่ 16 Surface albedo



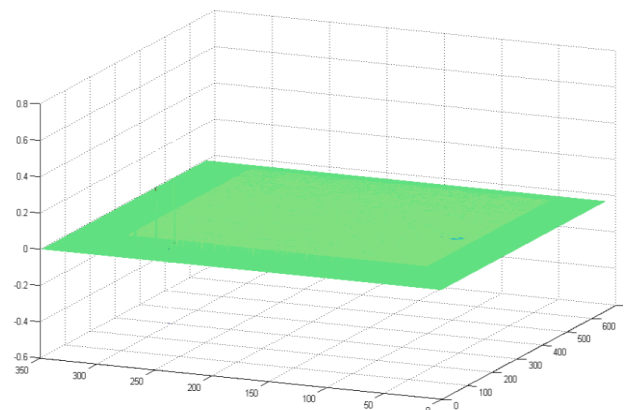
รูปที่ 13 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L1



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



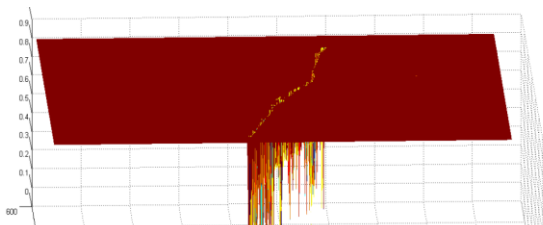
รูปที่ 23 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L1



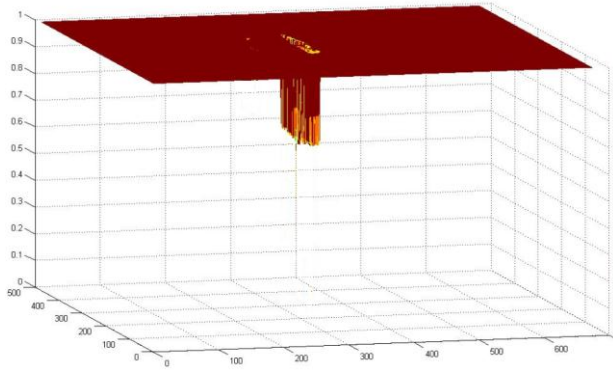
รูปที่ 24 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L2



รูปที่ 25 ภาพต้นแบบจากแหล่งกำเนิด L3



AMM-166



รูปที่ 26 แสดงผลเป็นภาพ 3 มิติ

จากรูปที่ 22 และ 26 เป็นตัวอย่างของพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบความผิดปกติ พบว่าถ้ามองจากภาพถ่าย 2 มิติจะเห็นรอยร้าว หลุมบนพื้นผิว แต่ไม่สามารถทราบถึงระยะลึกได้ หลังจากที่มีสถานภาพเป็นภาพ 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 พื้นผิวของไม้บอร์ด

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบพื้นผิวของวัตถุจากภาพสามมิติด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอจากการทดลองได้ใช้แหล่งกำเนิดแสง 3 อัน วางอยู่ในตำแหน่งและระยะที่กำหนด พร้อมกับกล้องดิจิทัลจับภาพในแนวตั้งแล้วนำภาพถ่ายทั้ง 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.