การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19
19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต

เครื่องวัดพิกัด 3 มิติโดยใช้ภาพสเตอริโอ

A 3D Coordinate Measuring Machine Using Stereo Vision

วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ และ พงศกร เพชรพันธ์ศรี
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 โทร 0-2218-6610-1 โทรสาร 0-2252-8889
E-Mail: Viboon.S@eng.chula.ac.th , pedpunsri@yahoo.com

Viboon Sangveraphunsiri and Pongsakon Pedpunsri
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Phyathai Road, Patumwan, Bangkok 10330
E-Mail: Viboon.S@eng.chula.ac.th , pedpunsri@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาเครื่องวัดพิกัด 3 มิติโดยใช้ระบบสเตอริโอวิชั่นร่วมกับแถบแสงเลเซอร์เพื่อใช้วัดพิกัดพื้นผิวของชิ้นงานที่ต้องการ พิกัดที่ได้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) เช่นโปรแกรม CATIA เพื่อนำมาสร้างพื้นผิวและสร้างเป็นแบบของชิ้นงานในคอมพิวเตอร์ ในส่วนของการคำนวณพิกัดใช้หลักการของระบบสเตอริโอวิชั่น ซึ่งเป็นเทคนิคการวัดพิกัด 3 มิติโดยใช้กล้องตั้งแต่สองตัวขึ้นไปถ่ายภาพจากมุมมองที่แตกต่างกัน การฉายแถบแสงเลเซอร์ลงบนพื้นผิวที่ต้องการวัดช่วยให้การคำนวณพิกัดทำได้ง่ายขึ้น โดยชิ้นงานที่ทำการวัดจะต้องมีขนาดไม่เกิน $200 \times 150 \times 120$ มิลลิเมตร (กว้าง × ยาว × สูง) จากการทดลองวัดพื้นผิวที่มีความต่อเนื่องและพื้นผิวที่มีความซับซ้อนในลักษณะต่าง ๆ พบว่าเครื่องวัดพิกัดที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลการวัดที่ดี โดยมีความแม่นยำในการวัด (Accuracy) อยู่ในระดับ 350 ไมครอน (0.35 มิลลิเมตร) เมื่อทำการวัดที่ตำแหน่ง 100 มิลลิเมตรจากตำแหน่งบนสุดของแกน Z โดยสามารถเพิ่มความแม่นยำในการวัดได้ หากใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีคุณภาพดีขึ้น

คำหลัก เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ, เครื่องสแกน 3 มิติ, สเตอริโอวิชั่น

Abstract

The development of a 3D Coordinate Measuring Machine (CMM) using stereo vision with line laser is described in this paper. The purpose of the machine is to measure surface coordinates of target object. The point cloud can be exported to CAD application software such as CATIA and used to create surface to obtain CAD model. Stereo vision, a technique of calculating 3D coordinates from two or more cameras in different viewpoints, is used for 3D reconstruction which is simplified by projecting line laser on the target surface. Working-space of the machine is inside the $200 \times 150 \times 120$ millimeters (width × length × height). Tested with continuous and complex surfaces, the machine has shown its performance to achieve good result. The accuracy of this machine is about 350 microns (0.35 millimeters) when measured at 100 millimeters from the top of Z axis. The accuracy can be improved with better quality of the line laser.

Keywords: Stereo Vision, 3DScanner, Coordinate Measuring Machine, CMM

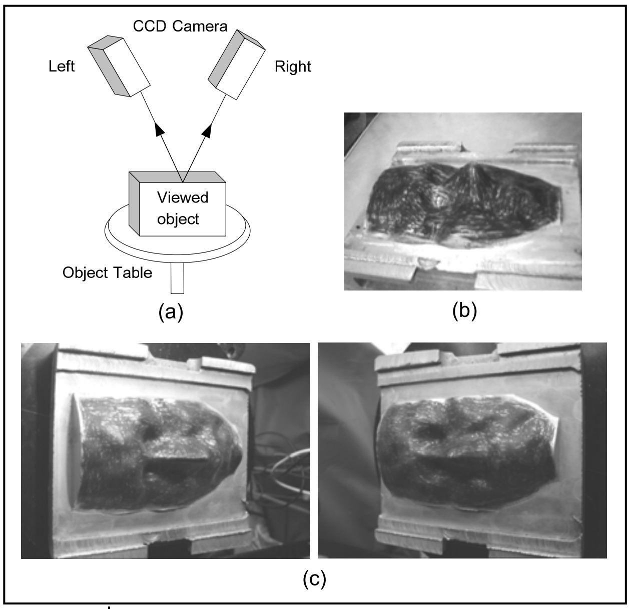
1. บทนำ

เนื่องจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมต้องใช้แบบในการสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ในกรณีที่ต้องการผลิตชิ้นงานจากต้นแบบที่ไม่มีแบบหรือข้อมูลการออกแบบสูญหาย ผู้ผลิตจำเป็นต้องสร้างแบบของชิ้นงานนั้นขึ้นใหม่ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) ซึ่งการสร้างแบบอาจทำได้ยากหากชิ้นงานมีความซับซ้อนหรือหากต้องการแบบที่มีความถูกต้องสูง วิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การวัดขนาดของชิ้นงานต้นแบบโดยตรงโดยใช้เครื่องวัดพิกัด 3 มิติ แล้วนำพิกัดของชิ้นงานนั้นไปสร้างแบบในคอมพิวเตอร์ วิธีการนี้ช่วยให้การสร้างแบบในคอมพิวเตอร์ทำได้รวดเร็ว ลดความผิดพลาด และช่วยให้การสร้างแบบของชิ้นงานที่มีความซับซ้อนทำได้ง่ายขึ้น จากความสำคัญของเครื่องวัดพิกัด 3 มิติในอุตสาหกรรมการผลิต จึงได้มีการพัฒนาเครื่องวัดพิกัดขึ้น โดยในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต่อจากโครงสร้างเดิมที่มีอยู่แล้ว [1] ซึ่งใช้เทคนิคการวัดแบบ Optical Triangulation [2] โดยได้ทำการติดตั้งกล้องซีซีดีที่โครงสร้างเพิ่มอีกหนึ่งตัว และใช้หลักการของระบบสเตอริโอวิชั่นในการคำนวณพิกัด เพื่อปรับปรุงให้เครื่องมีความยืดหยุ่นในการใช้งานและมีความแม่นยำในการวัดมากขึ้น

2. ระบบสเตอริโอวิชั่น (Stereo Vision System)

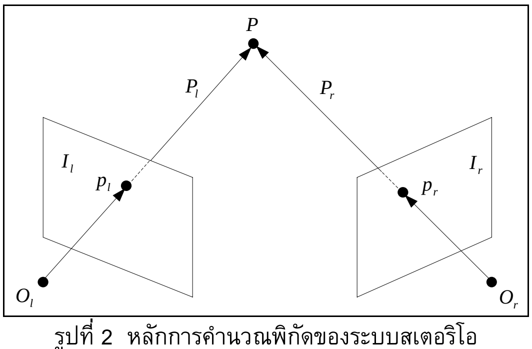
2.1 หลักการพื้นฐาน

ระบบสเตอริโอวิชั่น (Stereo Vision System) หรือระบบสเตอริโอ (Stereo System) เป็นเทคนิคการวัดโดยการใช้กล้องตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปถ่ายภาพวัตถุจากมุมมองที่แตกต่างกัน ตัวอย่างของระบบสเตอริโอแสดงในรูปที่ 1 โดยรูปที่ 1(a) แสดงแผนภาพของระบบสเตอริโอแบบใช้กล้อง 2 ตัวที่วางตัวในแนวดิ่ง เมื่อถ่ายภาพชิ้นงานตัวอย่างในรูปที่ 1(b) จะได้ภาพที่ถ่ายจากกล้องแต่ละตัวแสดงดังรูปที่ 1(c)



รูปที่ 1 แผนภาพของระบบสเตอริโอแบบใช้กล้อง 2 ตัว และภาพที่ถ่ายจากกล้อง

ระบบสเตอริโอคำนวณพิกัดพื้นผิวของชิ้นงานโดยการนำภาพถ่ายจากกล้องแต่ละตัวมาค้นหาตำแหน่งของภาพที่เป็นจุดเดียวกันบนวัตถุ เช่นบริเวณดวงตาของชิ้นงานในรูปที่ 1(c) เพื่อนำมาคำนวณหาค่าพิกัดของชิ้นงานที่ตำแหน่งนั้น หลักการในการหาค่าพิกัดแสดงในรูปที่ 2



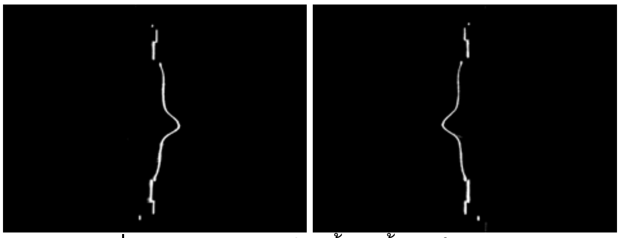
รูปที่ 2 หลักการคำนวณพิกัดของระบบสเตอริโอ

รูปที่ 2 เป็นแผนภาพของระบบสเตอริโอแบบ 2 กล้องที่แนวการมองของกล้องทั้งสองตัวไม่ขนานกัน โดยที่ I_l และ I_r เป็นระนาบที่เกิดภาพของกล้องซ้ายและขวาตามลำดับ กำหนดให้จุด p_l และ p_r เป็นจุดที่มาจากตำแหน่งเดียวกันบนวัตถุ เมื่อทำการสร้างรังสีจากจุดกึ่งกลางเลนส์ของกล้องทั้งสองหรือจุด O_l และจุด O_r ไปยังจุด p_l และ p_r ตามลำดับ จะได้รังสีสองเส้นตัดกันที่จุดๆหนึ่งใน 3 มิติซึ่งจุดดังกล่าวคือจุด P ซึ่งเป็นตำแหน่งของชิ้นงาน ณ ตำแหน่งนั้น

2.2 การใช้แถบแสงเลเซอร์ในระบบสเตอริโอวิชั่น

การค้นหาตำแหน่งในภาพที่มาจากจุดเดียวกันบนวัตถุเพื่อใช้ในการคำนวณพิกัด อาจทำได้โดยการหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ของค่าความเข้มของภาพที่ตำแหน่งต่างๆ [3] แต่วิธีการดังกล่าวมีความซับซ้อน และอาจมีข้อจำกัดในกรณีที่ความเข้มของภาพจากกล้องแต่ละตัวไม่เท่ากัน หรือมุมมองของกล้องแตกต่างกันมาก

การฉายแสงเลเซอร์ชนิดแถบเส้น (Line Laser) ลงบนพื้นผิวที่ทำการวัด [4] เป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อช่วยให้การคำนวณพิกัดทำได้ง่ายขึ้น เมื่อทำการฉายแถบแสงเลเซอร์ลงบนพื้นผิวชิ้นงานรูปใบหน้าคนในรูปที่ 1(b) จะได้ภาพจากกล้องตัวซ้ายและขวาเป็นเส้นเลเซอร์ที่มีความโค้งตามลักษณะของพื้นผิวที่ทำการวัดดังรูปที่ 3 ซึ่งเมื่อเทียบกับรูปที่ 1 (c) จะเห็นว่าแนวของเส้นเลเซอร์ช่วยให้เห็นส่วนที่เป็นพื้นผิวเดียวกันได้ง่ายขึ้น แต่การคำนวณพิกัดด้วยเทคนิคนี้จะได้พิกัดของชิ้นงานที่ภาคตัด (Section) เดียวเท่านั้น หากต้องการพิกัดทั้งหมดจะต้องมีอุปกรณ์ขับเคลื่อน เพื่อเคลื่อนที่ไปทำการวัดในตำแหน่งอื่นๆ

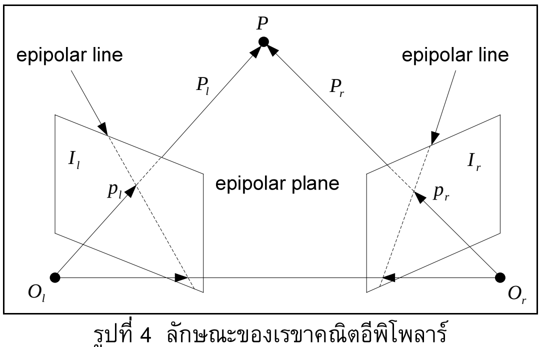


รูปที่ 3 แนวเส้นเลเซอร์บนพื้นผิวชิ้นงานใบหน้าคน จากกล้องตัวซ้ายและขวา

การค้นหาตำแหน่งของภาพที่ตรงกันในกรณีนี้ ไม่สามารถใช้การคำนวณค่าความเข้มของภาพได้ เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพจะถูกกรองออกไปเพื่อให้เห็นแต่แนวของเส้นเลเซอร์ วิธีการที่ช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การใช้เรขาคณิตอีพิโพลาร์ (Epipolar Geometry)

2.3 เรขาคณิตอีพิโพลาร์ (Epipolar Geometry)

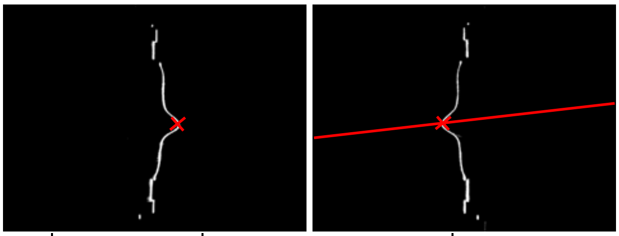
เรขาคณิตอีพิโพลาร์ (Epipolar Geometry) เป็นหลักการที่ช่วยให้การค้นหาตำแหน่งของภาพที่มาจากจุดเดียวกันบนวัตถุอยู่ในแนวของเส้นตรงเส้นหนึ่งที่เรียกว่าเส้นอีพิโพลาร์ (Epipolar Line)



รูปที่ 4 ลักษณะของเรขาคณิตอีพิโพลาร์

พิจารณาแผนภาพของระบบสเตอริโอในรูปที่ 4 กำหนดให้ระนาบที่เกิดจากจุดศูนย์กลางของกล้องทั้งสองและจุดบนวัตถุเรียกว่า ระนาบอีพิโพลาร์ (Epipolar Plane) และตำแหน่งที่ระนาบอีพิโพลาร์ตัดกับระนาบของภาพเกิดเป็นเส้นตรงมีชื่อว่า เส้นอีพิโพลาร์ (Epipolar Line)

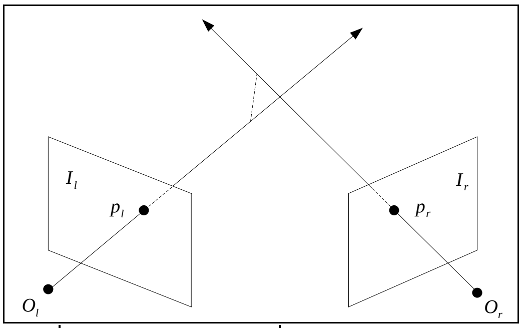
สมมติให้จุด P คือตำแหน่งของชิ้นงานใน 3 มิติ, เวคเตอร์ $p_l = [x_l, y_l, z_l]^T$ และ $p_r = [x_r, y_r, z_r]^T$ เป็นเวคเตอร์ที่ชี้ไปยังจุดที่ได้จากการฉายจุด P บนระนาบภาพของกล้องซ้ายและขวาตามลำดับ เมื่อกำหนด p_l ในภาพทางซ้ายเพื่อเริ่มทำการค้นหาจุดที่ตรงกันในภาพทางขวาจะพบว่าจุดที่ตรงกันหรือจุด p_r จะอยู่บนเส้นอีพิโพลาร์เสมอ ดังนั้นในระบบมีการฉายเส้นเลเซอร์ลงบนชิ้นงาน เมื่อสร้างเส้นอีพิโพลาร์แล้วทำการค้นหาจุดตัดของเส้นเลเซอร์กับเส้นอีพิโพลาร์ จะได้จุดของภาพที่ตรงกันดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 จุดของภาพที่ตรงกันในภาพซ้ายและขวาที่ได้จากจุดตัดของเส้นเลเซอร์และเส้นอีพิโพลาร์

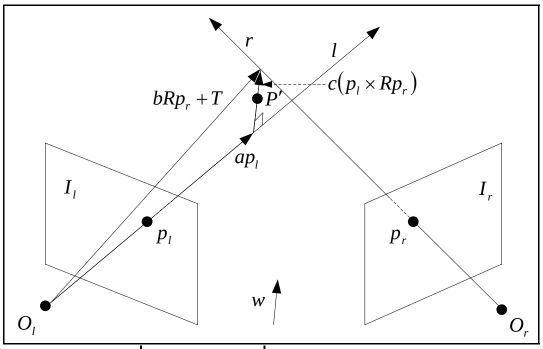
2.4 การคำนวณพิกัด 3 มิติ

ในทางปฏิบัติ การคำนวณพิกัด 3 มิติโดยใช้หลักการในรูปที่ 2 ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากความผิดพลาดในการหาจุดของภาพที่ตรงกัน และความผิดพลาดของค่าพารามิเตอร์ของกล้องที่ได้จากการสอบเทียบกล้องซึ่งใช้ในการแปลงพิกัดระหว่างระบบพิกัดต่างๆ [3] ทำให้รังสีที่เกิดขึ้นไม่ตัดกันจริงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 รังสีจากจุดของภาพที่ตรงกันไม่ตัดกันใน 3 มิติ

ดังนั้นการหาค่าพิกัด 3 มิติโดยใช้ระบบสเตอริโอจึงเป็นการหาตำแหน่งพิกัดใน 3 มิติของจุดที่มีระยะห่างจากรังสีทั้งสองน้อยที่สุด พิจารณารูปที่ 7 กำหนดให้ p_l และ p_r เป็นคู่จุดของภาพที่ตรงกันที่อยู่ในระบบพิกัดกล้องของกล้องตัวซ้ายและขวาตามลำดับ, ap_l โดย $a \in R$ เป็นรังสี l ที่ผ่านจุด O_l *(a=0)* และ p_l *(a=1)* และให้ $T + bRp_r$ โดย $b \in R$ เป็นรังสี r ที่ผ่านจุด O_r *(b=0)* และ p_r *(b=1)* อยู่ในระบบพิกัดกล้องของกล้องตัวซ้าย, กำหนดให้ $w = p_l \times Rp_r$ เป็นเวคเตอร์ที่ตั้งฉากกับทั้งรังสี l และ r ส่วน c เป็นความยาวของเวคเตอร์ w ที่สั้นที่สุดโดย $c \in R$



รูปที่ 7 เวคเตอร์ที่ใช้ในการหาค่าพิกัด

จากเวคเตอร์ในรูปที่ 7 จะได้สมการ

$$ap_l + c(p_l \times Rp_r) = bRp_r + T \quad (1)$$

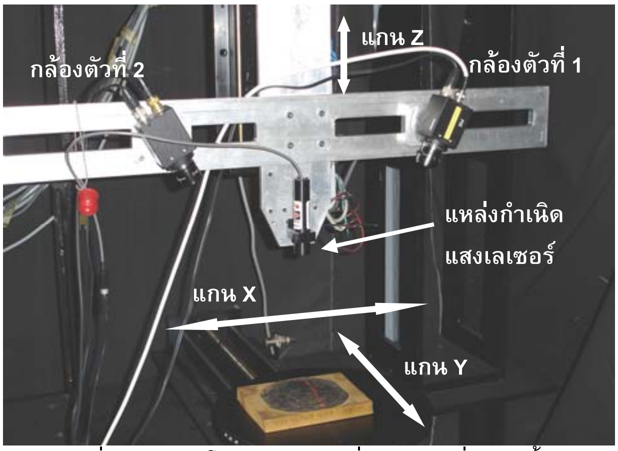
$$ap_l - bRp_r + c(p_l \times Rp_r) = T \quad (2)$$

เมื่อทำการแก้สมการ (2) เพื่อหาค่าคงที่ a, b และ c จะสามารถหาค่าพิกัดของจุด P' ได้จาก

$$P' = ap_l + \frac{c}{2}(p_l \times Rp_r) \quad (3)$$

3. ลักษณะโครงสร้างของเครื่องวัดพิกัด

เครื่องวัดพิกัดที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นแกนเคลื่อนที่ 3 แกนคือ แกน X, แกน Y และแกน Z ที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Servomotor) และติดตั้งชุดบอลสกรูระหว่างมอเตอร์กับภาระ บนแกน Z มีโครงสร้างสำหรับติดตั้งกล้องซีซีดี 2 ตัวสำหรับถ่ายภาพแถบแสงเลเซอร์ (Line Laser) ที่ถูกฉายลงบนพื้นผิวชิ้นงาน โดยสามารถเลื่อนปรับระยะห่างระหว่างกล้องและปรับมุมกล้องได้ ชิ้นงานที่ทำการวัดจะถูกตั้งอยู่บนโต๊ะวางชิ้นงานที่ติดตั้งเข้ากับแกนเคลื่อนที่แกน Y ลักษณะของเครื่องแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องวัดพิกัดที่พัฒนาขึ้น

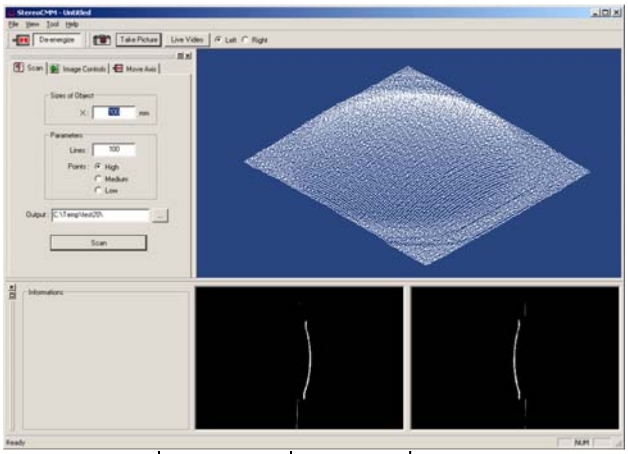
แกนเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนของเครื่องถูกควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านพอร์ตอนุกรม (RS232) จำนวน 2 พอร์ต โดยเชื่อมต่อกับตัวควบคุม 2 ตัวคือ ตัวควบคุม 6250 ของบริษัท Parker Compumotor ซึ่งจะส่งคำสั่งต่อไปยังอุปกรณ์ขับเคลื่อน BL30 เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน Y และแกน Z และตัวควบคุม BLX30 ของบริษัท Parker Digiplan สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน X โดยภายในตัวควบคุม BLX30 จะมีตัวขับเคลื่อนอยู่แล้ว

กล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเป็นกล้องซีซีดีแบบขาวดำจำนวน 2 ตัว ยี่ห้อ PULNIX รุ่น TM300 ความละเอียด 752×582 พิกเซล การรับภาพจากกล้องเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ใช้การ์ดรับข้อมูลภาพ (Image Frame Grabber) รุ่น DT3155 ของบริษัท Data Translation โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต PCI เมื่อรับภาพจากกล้องเข้าสู่คอมพิวเตอร์จะให้ภาพขนาด 768×576 พิกเซล ซึ่งเป็นขนาดของภาพที่ใช้ในการประมวลผลหาค่าพิกัด

แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ เป็นเลเซอร์ชนิดแถบเส้น (Line Laser) รุ่น LAS 200-635-5 ของบริษัท LaserMax มีความยาวคลื่น 635 nm, กำลังขาออก (Power Output) 4.25 mW, ความกว้างของเลเซอร์ 0.8 มิลลิเมตร อัตราการกระจายออก (Divergence) 0.6 mrad half angle โดยแสงเลเซอร์จะอยู่ห่างจากชิ้นงานที่ทำการวัดในระยะ 120 – 250 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแกน Z และความสูงของชิ้นงาน

4. โปรแกรมที่ใช้ควบคุมเครื่องวัดพิกัด

โปรแกรมของเครื่องวัดพิกัด มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดพิกัด โดยควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ควบคุมขั้นตอนการเก็บและบันทึกข้อมูล คำนวณค่าพิกัด รวมถึงการแสดงผลต่อผู้ใช้ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีชื่อว่า StereoCMM เขียนด้วยภาษาซีพลัสพลัส โดยใช้ Microsoft Visual C++ 6.0 เป็นคอมไพเลอร์ ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 2000 หน้าจอของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 9

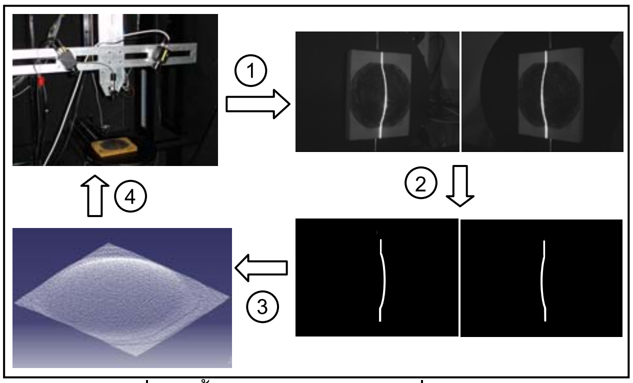


รูปที่ 9 โปรแกรมที่ใช้ควบคุมเครื่องวัดพิกัด

5. การทำงานของเครื่องวัดพิกัด

ในการถ่ายภาพแต่ละครั้ง ลักษณะของเส้นเลเซอร์ที่ปรากฏในภาพจะแปรผันตามระยะความสูงและความกว้างของชิ้นงานนั้นๆ ดังนั้นจากภาพถ่ายจะได้ค่าพิกัดของชิ้นงานในแนวแกน Y และ Z เท่านั้น ส่วนค่าพิกัดในแกน X จะได้มาจากตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ ขั้นตอนการทำงานของเครื่องวัดพิกัดดังแสดงในรูปที่ 10 มีดังนี้

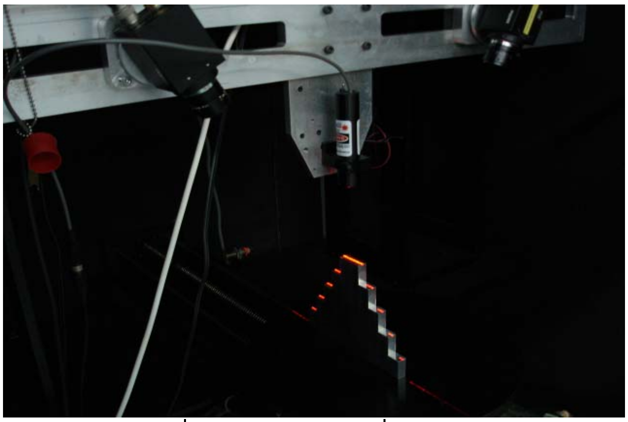
0 เคลื่อนที่แกน X ไปยังเริ่มต้นของการวัด
1. ถ่ายภาพแสงเลเซอร์บนพื้นผิวชิ้นงาน
2. ค้นหาตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นเลเซอร์ เนื่องจากภาพของแสงเลเซอร์ที่ปรากฏบนภาพมีความหนามากกว่า 1 พิกเซล
3. คำนวณพิกัดตามหลักการของระบบสเตอริโอวิชั่น
4. เคลื่อนที่แกน X ไปยังตำแหน่งถัดไป
5. ทำซ้ำข้อ 1-4 จนครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของชิ้นงาน



รูปที่ 10 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องวัดพิกัด

6. การสอบเทียบเครื่องวัดพิกัด

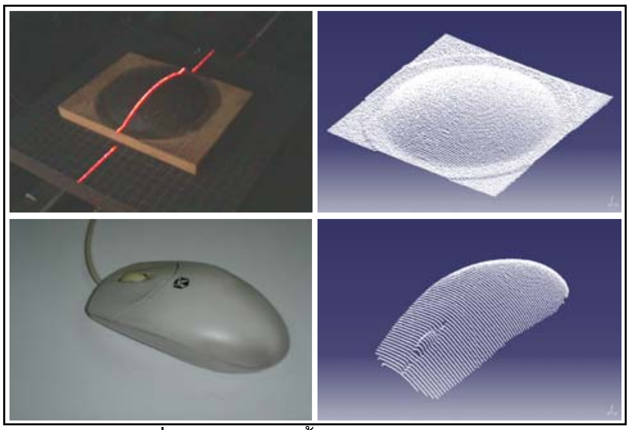
ก่อนทำการวัดในแต่ละครั้งเครื่องวัดพิกัดจะต้องได้รับการสอบเทียบ (Calibration) กับชิ้นงานอ้างอิงก่อนเสมอ โดยการสอบเทียบเครื่องเป็นการสอบเทียบกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของกล้องแต่ละตัว รวมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ของระบบสเตอริโอ [3] หลังจากการสอบเทียบหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของการจัดวางกล้องก็สามารถใช้งานเครื่องได้ทันที การสอบเทียบมีลักษณะดังรูปที่ 11 โดยทำการถ่ายภาพชิ้นงานขั้นบันได (Steps) ที่มีความสูงและความกว้างในแต่ละขั้นเป็นระยะที่แน่นอน จากนั้นนำภาพที่ได้มาค้นหาตำแหน่งปลายของขั้นบันไดแต่ละขั้น แล้วนำตำแหน่งดังกล่าวกับขนาดจริงของวัตถุมาเป็นข้อมูลในการสอบเทียบโดยได้ใช้วิธีการของ Tsai [5] ในการหาค่าพารามิเตอร์ของกล้อง



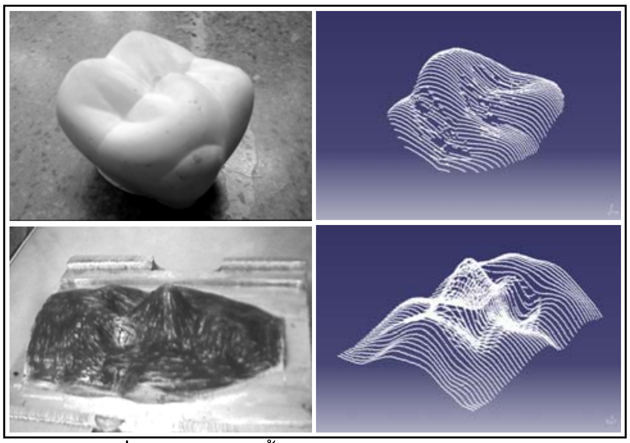
รูปที่ 11 การสอบเทียบเครื่องวัดพิกัด

7. ผลการทดลองและการหาค่าความแม่นยำของเครื่อง

ในการทดสอบความสามารถของเครื่องวัดพิกัดที่ได้พัฒนาขึ้น ได้ใช้เครื่องวัดพิกัดวัดชิ้นงานที่มีพื้นผิวลักษณะต่างๆ เช่น พื้นผิวที่มีความโค้งต่อเนื่อง พื้นผิวที่มีความชันสูง และพื้นผิวที่มีความสลับซับซ้อน ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 12 และ 13 ซึ่งแสดงชิ้นงานต้นแบบและผลการวัดเมื่อนำเข้าโปรแกรม CATIA

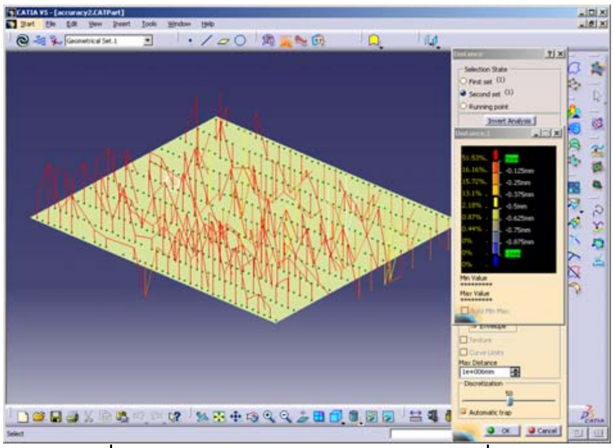


รูปที่ 12 ผลการวัดพื้นผิวโค้งสีดำและเมาส์



รูปที่ 13 ผลการวัดชิ้นงานแบบจำลองฟันกรามและชิ้นงานรูปใบหน้าคน

การหาค่าความแม่นยำของเครื่องทำโดยการวัดชิ้นงานที่เป็นระนาบ แล้วนำค่าพิกัดที่ได้มาสร้างระนาบจากกลุ่มข้อมูลจุดด้วยโปรแกรม CATIA จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างตำแหน่งต่างๆของพิกัดที่ได้กับระนาบที่สร้างขึ้นดังรูปที่ 14 พบว่ามีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ 0.2087 มิลลิเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.1381 มิลลิเมตร เมื่อทำการวัดที่ระยะ 100 มิลลิเมตรจากตำแหน่งบนสุดของแกน Z จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของเครื่องอยู่ที่ประมาณ 0.35 มิลลิเมตรหรือ 350 ไมครอน



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดที่วัดได้กับระนาบที่สร้างขึ้น

8. สรุป

เครื่องวัดพิกัด 3 มิติที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นแบบที่ใช้กล้องซีซีดี 2 ตัวร่วมกับแสงเลเซอร์ชนิดแถบเส้นทำงานในระบบสเตอริโอวิชั่นสำหรับวัดพิกัดพื้นผิวของชิ้นงานที่ต้องการ เมื่อทำการทดสอบวัดพื้นผิวในลักษณะต่างๆ เช่น พื้นผิวที่มีความโค้งต่อเนื่อง พื้นผิวที่มีความชันสูง และพื้นผิวที่มีความสลับซับซ้อน พบว่าเครื่องสามารถให้ผลการวัดที่ดี โดยความแม่นยำของเครื่องอยู่ในระดับ 350 ไมครอน (0.35 มิลลิเมตร) เมื่อทำการวัดชิ้นงานที่เป็นระนาบที่ระยะ 100 มิลลิเมตรจากตำแหน่งบนสุดของแกน Z ซึ่งหากใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีคุณภาพดีขึ้นจะทำให้ความแม่นยำของเครื่องดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ และ นพศักดิ์ ณรงค์ฤกษ์นาวิน "เครื่องวัดพิกัด 3 มิติแบบใช้แถบแสงเลเซอร์และกล้องตัวเดียว" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15 กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 28-30 พฤศจิกายน 2544 หน้า MC 60-64.

[2] J.A. Bosch, Coordinate Measuring Machines and Systems, Marcel Dekker, New York, 1995.

[3] E. Trucco, and A. Verri, Introductory Techniques for 3-D Computer Vision, Prentice Hall, 1998.

[4] R. Jain, R. Kasturi, and B. Schunck, Machine Vision, McGraw-Hill, 1995.

[5] R. Y. Tsai, A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf tv cameras and lenses, IEEE Journal of Robotics and Automation, 3,4(Aug,1987): 323–344.