บทที่ 3

เครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติบนผิววัตถุ

เครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ บนผิวของวัตถุซึ่งการทำงานจะต้องประกอบไปด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นโครงสร้าง (Hardware) ที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นสำหรับใช้ในการวัด เช่น อุปกรณ์ขับเคลื่อน อุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor) และอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ และมีกลไกในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมสำหรับเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวัดได้สะดวก และส่วนที่เป็นโปรแกรมควบคุม (Software) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานกลไกการเคลื่อนที่โดยตรวจสอบสถานะและควบคุมลำดับขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ จากนั้นนำค่าต่างๆที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้และตรวจวัดต่างๆ มาประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่าตำแหน่งของจุดพิกัด 3 มิติ และทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ (User Interface) เพื่อรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาประมวลผล และแสดงผลข้อมูลจุดของผิววัตถุที่ได้จากเครื่องมือวัดนั้น

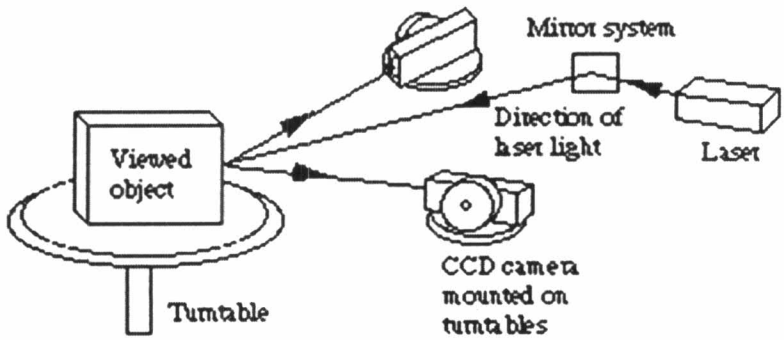
เครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้คิดค้นและพัฒนาขึ้นเพื่อสร้างแบบจำลอง STL จากข้อมูลจุดของผิววัตถุซึ่งมีลักษณะคล้ายกับกลุ่มเมฆ (Point Cloud) ที่ได้จากเครื่องมือวัดที่หลากหลายระบบ ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้มีทั้งได้พัฒนาขึ้นใช้งานเองจากห้องปฏิบัติการวิจัยและเครื่องมือที่ได้จากบริษัทผู้ผลิต เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบนี้มีทั้งเครื่องมือวัดพิกัดแบบไม่สัมผัส (Non-Contact CMM) และแบบสัมผัสผิววัตถุ (Contact CMM)

3.1. เครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการวิจัย

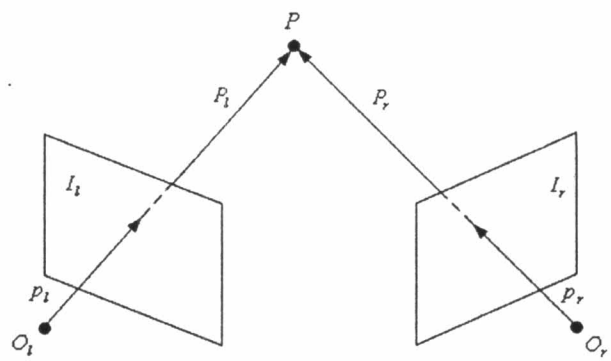
3.1.1. หลักการของระบบสเตอรีโอวิชั่น (Stereo Vision System)

เป็นเครื่องมือวัดพิกัดแบบไม่สัมผัส (Non-Contact CMM) [31] ที่ไม่มีส่วนใดของอุปกรณ์สัมผัสกับพื้นผิววัตถุโดยตรงโดยใช้หลักการสะท้อน (Reflective) ของแสง ซึ่งเครื่องมือวัดพิกัดที่ใช้แสง (Optical CMM) นี้จะฉายแสงไปบนวัตถุและสะท้อนกลับมาที่ตัวรับผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้หลักการนี้สามารถให้ข้อมูลจุดที่มีความหนาแน่นมากได้อย่างรวดเร็ว ปลอดภัยและมีความถูกต้องสูง และในการคำนวณหาจุดพิกัดบนผิววัตถุที่เกิดจากการสะท้อนของแสงจะใช้หลักการของระบบสเตอรีโอวิชั่น (Stereo Vision) โดยการฉายแสงซึ่งเป็นแถบแสงเลเซอร์ลงบนพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการวัด แถบแสงเลเซอร์ที่ปรากฏบนผิววัตถุนั้นจะมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะรูปร่างของผิวของวัตถุและใช้กล้อง 2 ตัวในการถ่ายภาพแถบแสงเลเซอร์ที่ปรากฏบนผิววัตถุจากมุมที่แตกต่างกันนั้น เพื่อนำภาพแถบเลเซอร์นั้นมาคำนวณหา

ตำแหน่งของภาพที่ตรงกันของกล้องแต่ละตัวที่เกิดจากจุดเดียวกันบนผิววัตถุโดยเส้นทางการมองเห็น (Line of Sight) ของกล้องตัดกันที่จุดเดียวบนผิววัตถุตามรูปที่ 3.2 เพื่อสามารถนำมาคำนวณเป็นพิกัดของจุดบนผิวของวัตถุได้ โดยลักษณะของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1



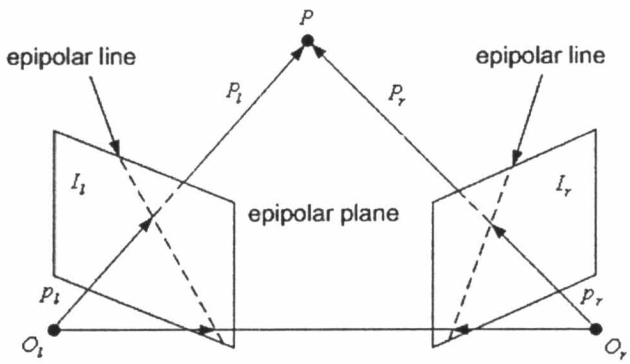
รูปที่ 3.1 ระบบสเตอรีโอวิชั่น (Stereo Vision System)



รูปที่ 3.2 แบบจำลองเส้นทางการมองเห็น (Line of Sight) ของ 2 กล้อง

ในรูปที่ 3.2 ถ้ากำหนดให้ P เป็นจุดบนวัตถุ, I_l และ I_r แทนระนาบของภาพบนกล้องตัวซ้ายและขวาตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถหาตำแหน่งพิกัดของจุด P ใน 3 มิติได้ หากรู้ตำแหน่งที่จุด P ฉายลงบนระนาบของภาพซ้ายและขวา ซึ่งเมื่อนำมาสร้างรังสีจากจุดกึ่งกลางเลนส์ของกล้องแต่ละตัว ก็จะได้จุดตัดใน 3 มิติ ซึ่งเป็นค่าพิกัด 3 มิติของวัตถุ ดังนั้นการค้นหาตำแหน่งของภาพในกล้องแต่ละตัวที่เป็นจุดเดียวกันบนผิววัตถุเป็นสิ่งสำคัญเพื่อการคำนวณหาจุดพิกัด 3 มิติจากตำแหน่งภาพถ่าย แต่จุดพิกัด 3 มิติที่ต้องการสำหรับนำไปใช้งานจริงนั้นเป็นต้องเป็นจุดพิกัดที่เกิดจากแกนอ้างอิงของระบบพิกัดโลก (3D World Coordinate System) ที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นซึ่งเป็นแกนอ้างอิงของวัตถุ ดังนั้นจุดพิกัด 3 มิติที่วัดมาได้นั้นจำเป็นที่จะต้องสามารถแปลงจุดพิกัดไปสู่แกนอ้างอิงใดๆได้ระหว่างระบบพิกัดภาพถ่าย (3D Camera Coordinate System) และ

ระบบพิกัดโลก (3D World Coordinate System) และค่าพารามิเตอร์ความสัมพันธ์ของระบบทั้งสองนั้นหาได้จากการสอบเทียบกล้อง (Calibration) [32] ในปัญหาของการค้นหาตำแหน่งของภาพที่มาจากจุดเดียวกัน (Correspondence Problem) บนผิววัตถุนั้น มีแนวทางการค้นหาได้ 2 วิธี คือ การใช้ค่าความเข้มของภาพ (Intensity Value) และ การใช้ลักษณะเด่นบนผิววัตถุ (Feature) ของสองภาพที่ถ่ายได้จากทั้งสองกล้องโดยการคำนวณหาค่าความสอดคล้องกัน (Correlation) โดยการกำหนดข้อมูลของภาพทางซ้ายขึ้นก่อนและค้นหาความสอดคล้องกันของภาพทางขวา และวิธีที่ช่วยในการค้นหาความสอดคล้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วจะใช้วิธีเรขาคณิตอีพิโพล่าร์ (Epipolar Geometry) ซึ่งแนวในการค้นหาความสอดคล้องนั้นจะอยู่บนเฉพาะบนแนวเส้นตรงที่เรียกว่า เส้นอีพิโพล่าร์ (Epipolar Line) ตามรูปที่ 3.3 โดยการพิจารณาระบบสเตอรีโอวิชั่นแบบ 2 กล้องที่แนวการมองของกล้องทั้งสองตัวไม่ขนานกันซึ่งกำหนดให้ระนาบที่เกิดขึ้นจากจุดศูนย์กลางของกล้องทั้งสองและจุดบนผิววัตถุเรียกว่า ระนาบอีพิโพล่าร์ (Epipolar Plane) และตำแหน่งที่ระนาบตัดกับระนาบภาพจะเกิดเป็นเส้นตรงซึ่ง ก็คือ เส้นอีพิโพล่าร์ [33] เมื่อได้คู่ข้อมูลจุดของทั้งสองภาพที่ตรงกัน ดังนั้นจะคำนวณหาค่าจุดพิกัด 3 มิติ (3D Reconstruction) [33-35]

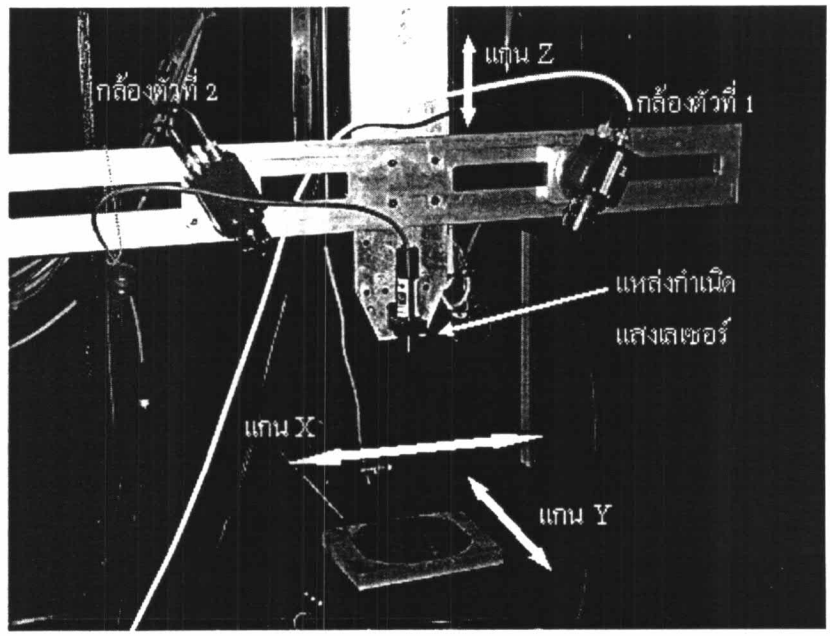


รูปที่ 3.3 ลักษณะของเรขาคณิตอีพิโพล่าร์ (Epipolar Geometry)

3.1.2. โครงสร้างของเครื่องมือวัดพิกัดและการควบคุมการเคลื่อนที่

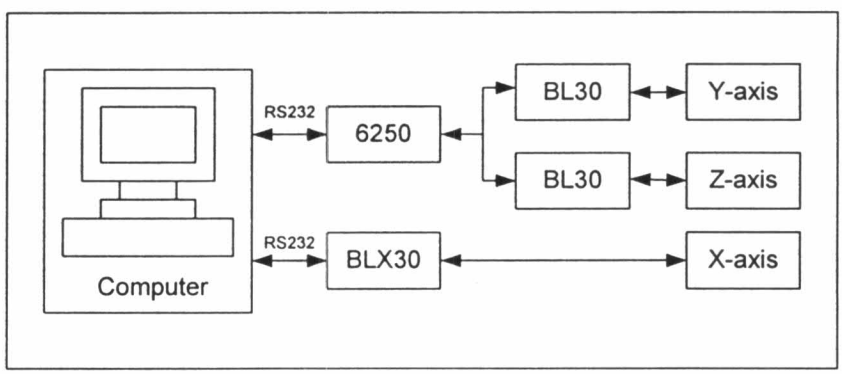
จากรูปที่ 3.4 โครงสร้างมีลักษณะเป็นแกนเคลื่อนที่ 3 แกน คือ แกน X, แกน Y และแกน Z ในลักษณะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบ Brushless DC Servomotor ผ่านชุดบอลสกรู บนแกน Z จะมีโครงสร้างสำหรับติดตั้งกล้อง CCD สองตัว มีลักษณะเป็นรางสำหรับเลื่อนปรับระยะความห่างของกล้อง รวมทั้งสามารถปรับมุมกล้องได้ และใช้ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิดเส้น (Line Laser) โดยโครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างที่ปรับปรุงเพิ่มเติมจากโครงสร้างเดิมที่มีอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งเป็นแบบใช้กล้องตัวเดียว [24-27]

แกนเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนของเครื่องจะถูกควบคุมโดยตัวควบคุม 2 ตัว คือ ตัวควบคุม 6250 ของบริษัท Parker Compumotor ซึ่งจะส่งคำสั่งไปที่อุปกรณ์ขับเคลื่อน BL30 อีกทีเพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน Y และแกน Z ส่วนตัวควบคุม BLX30 ของบริษัท Parker Digiplan ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน X ได้เนื่องจากมีตัวขับเคลื่อนอยู่ในตัวแล้ว



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ ที่ได้พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการวิจัย

การควบคุมแกนเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนนั้น จะใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS232) 2 พอร์ต เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวคือ อุปกรณ์ควบคุม 6250 และอุปกรณ์ควบคุม BLX30 รูปที่ 3.5 แสดงระบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์กับคอมพิวเตอร์

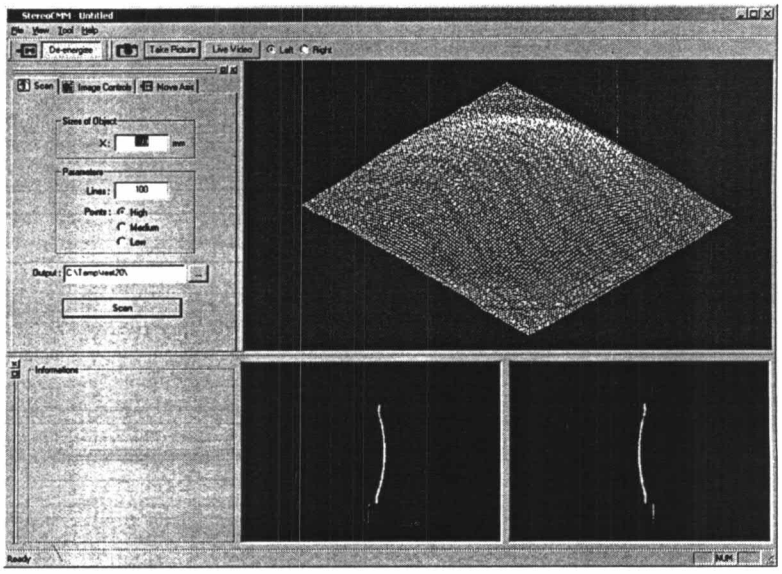


รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์กับคอมพิวเตอร์

กล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพทั้งสองตัวเป็นกล้อง CCD แบบขาวดำยี่ห้อ PULNIX รุ่น TM300 การรับภาพที่ถ่ายจากกล้องใช้การ์ดรับข้อมูลภาพ (Image Frame Grabber) รุ่น DT3155 ของบริษัท Data Translation โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต PCI

แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ เป็นเลเซอร์แบบแถบเส้น (Line Laser) รุ่น LAS 200-635-5 ของบริษัท LaserMax มีความยาวคลื่น 635 nm Power output 4.25 mW

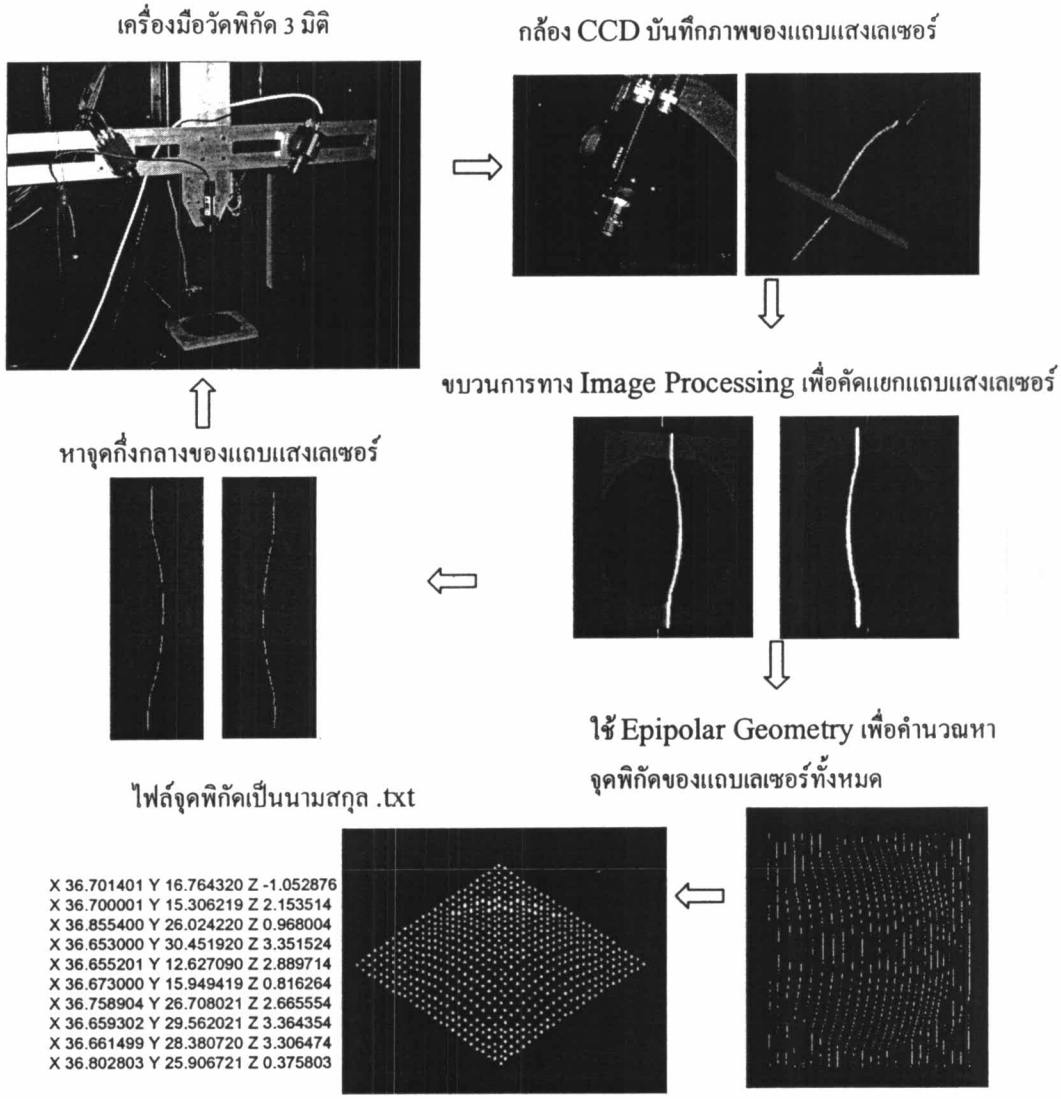
3.1.3. โปรแกรมควบคุมเครื่องมือวัดพิกัดระบบสเตอรีโอวิชั่นแบบใช้แถบแสงเลเซอร์



รูปที่ 3.6 โปรแกรม StereoCMM ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ

ในการควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิตินั้น จำเป็นจะต้องพัฒนาโปรแกรมขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้สอดคล้องกัน [36] อุปกรณ์ที่จะต้องควบคุมได้แก่ ตัวควบคุมมอเตอร์ 6250 ตัวควบคุมมอเตอร์ BLX30 และการ์ดรับข้อมูลภาพ DT3155 นอกจากจะใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แล้ว โปรแกรมควบคุมการทำงานมีหน้าที่ควบคุมขั้นตอนการเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูล การคำนวณพิกัด และการแสดงผลอีกด้วย ซึ่งโปรแกรมควบคุมการทำงานที่ได้พัฒนาขึ้นมีชื่อว่า StereoCMM รันภายใต้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 2000 โดยใช้ Microsoft Visual C++ เป็นคอมไพล์เลอร์ โปรแกรมมีลักษณะดังรูปที่ 3.6

3.1.4. ขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ ด้วยระบบสเตอรีโอวิชั่นแบบใช้แถบแสงเลเซอร์



รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของเครื่องมือวัดพิกัดระบบสเตอรีโอวิชั่นแบบใช้แถบแสงเลเซอร์

แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบการวัดพิกัด 3 มิติ ของเครื่องมือวัดพิกัดระบบสเตอรีโอวิชั่นแบบใช้แถบแสงเลเซอร์แสดงในรูปที่ 3.7

ขั้นตอนที่ 1 : ในการวัดวัตถุ ตอนเริ่มการทำงานของเครื่องมือวัดพิกัด 3 มิติ จะต้องทำการเคลื่อนแกน Z ขึ้นไปจนถึงตำแหน่งสูงสุด แล้วเลื่อนลงมาจนถึงตำแหน่งที่ได้ทำการสอบเทียบกล้องไว้ จากนั้นจึงใช้แกนเคลื่อนที่แกน X และ Y เพื่อจัดวัตถุให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับการมองเห็นของกล้อง CCD

ขั้นตอนที่ 2 : เมื่อได้ตำแหน่งวัตถุที่เหมาะสมแล้ว จะเริ่มทำการวัดโดยใช้แกนเคลื่อนที่แกน X เพียงแกนเดียว ในการเลื่อนระนาบแสงเลเซอร์ไปยังตำแหน่งต่างๆที่ต้องการวัด โดยเริ่มจากตำแหน่งเริ่มต้นก่อน

ขั้นตอนที่ 3 : บันทึกภาพของแถบแสงเลเซอร์ที่ถูกฉายลงบนผิวของวัตถุจากกล้อง CCD ทั้งสองตัว โดยที่รูปร่างของแถบแสงเลเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามผิวของวัตถุ

ขั้นตอนที่ 4 : ขบวนการทางภาพถ่าย (Image Processing) เพื่อคัดแยกเฉพาะแถบแสงเลเซอร์ออกจากภาพถ่าย

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณจุดกึ่งกลางของแถบแสงเลเซอร์ของภาพถ่ายจากทั้ง 2 กล้อง

ขั้นตอนที่ 6 : กลับไปที่ขั้นตอน 2 โดยเคลื่อนที่แกน X ไปยังตำแหน่งถัดไป และทำต่อเนื่องกันไปในขั้นตอนที่ 2 ถึง 6 จนครบทุกตำแหน่งตลอดทั่วผิวของวัตถุที่ต้องการวัดพิกัด

ขั้นตอนที่ 7 : ใช้วิธีเรขาคณิตอีพิโพล่าร์ (Epipolar Geometry) เพื่อหาตำแหน่งที่สอดคล้องของทั้งสองภาพถ่ายซึ่งจุดเดียวกันบนผิววัตถุ แล้วนำมาหาคำนวณหาจุดพิกัดที่ถูกต้อง

ขั้นตอนที่ 8 : ได้ไฟล์ข้อมูลของจุดพิกัด 3 มิติ เป็นนามสกุล *.txt