

การพัฒนาเครื่องวัดพิกัดชนิดโครงสร้างรอยต่อหมุน 5 แนวแกน The Development of 5-axis Articulated Arm-Coordinate Measuring Machine

สมฤกษ์ ปุจฉาการ^{1*} ปรัชญ์ ปะวีณเพิ่มสุข² กัญญ์กุลณัฏ จันทนพงศ์³ สุธรรม ธัมมกิตติคุณ⁴

^{1,2,3,4}สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800 E-mail: srpkarn@yahoo.com*

Somrer Poodchakarn^{1*} Prutch Paweenpermsuk² Kankullanach Juntanupong³ Sutham Thammakittikun⁴

^{1,2,3,4}Department of Production Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, E-mail: srpkarn@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดพิกัด (CMM) โครงสร้างเป็นแบบแขนหมุน 5 แนวแกน พร้อมระบบหัววัดทรงกลมแบบสัมผัส และโปรแกรมประมวลผลเพื่อคำนวณหาจุดสัมผัสชิ้นงานในระบบพิกัดฉาก โดยระเบียบวิธีนี้จะเป็นการแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของหัววัดที่ไม่มีตัวตรวจรับบอกทิศทางการสัมผัสที่พื้นผิวชิ้นงาน ระบบหัววัดที่พัฒนาขึ้นมานี้จะเป็นการเพิ่มสมรรถนะ และความแม่นยำของการระบุตำแหน่งของจุดสัมผัส โดยการติดตั้งตัวตรวจรับระบบสวิตช์สัมผัสขนาดเล็ก 4 ตัว จัดวางแบบ 4 ทิศทางบนระนาบเดียวกันและตั้งฉากกัน หลักการทำงานของเครื่องวัดพิกัด จะรับสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาล็อก (Analog) 0-5 V. ซึ่งสัมพันธ์กับมุมบิดของแขนหมุนจากโพเทนทิโอมิเตอร์ (Potentiometer) จำนวน 5 ตัวและสถานะสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิทัล (Digital) 0, 1 ของตัวตรวจรับระบบสวิตช์สัมผัส จะสามารถตรวจจับทิศทางการสัมผัสได้ 8 ทิศทางบนระนาบ และนำสัญญาณทั้งหมดมาประมวลผลร่วมกันด้วยระเบียบวิธีการคำนวณของเดนาวิต-ฮาร์เทนเบิร์ก (Danavit-Hartenberg) โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องของชุดสมการต่างๆ ด้วยโปรแกรม Mathematica พร้อมทั้งการทดสอบการตรวจวัดแบบเสมือนจริงด้วยโปรแกรม MSC.Adams หลังจากนั้นจึงนำชุดสมการที่ถูกต้องมาทำการพัฒนาระเบียบวิธีการคำนวณ (Algorithm) ด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อประมวลผลสัญญาณจากอุปกรณ์การวัดต่างๆ ของเครื่องวัดพิกัด จากผลการทดสอบและเปรียบเทียบเครื่องวัดพิกัดกับชิ้นงานแท่งเหล็ก 4 เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 50x50x50 mm พบว่ามีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยของจุดที่วัดกับค่าพิกัดจริงในระบบพิกัดฉากประมาณ 5% ในทุกๆ แนวแกน

คำหลัก : เครื่องวัดพิกัด, โพเทนทิโอมิเตอร์, เดนาวิต-ฮาร์เทนเบิร์ก, Mathematica, MSC.Adams, LabVIEW

Abstract

This research presents the design and development of the Coordinate Measuring Machine (CMM) which consists of the 5 revolute joints and a spherical contact probe system. Including a signal processing-programming for computing the contact points onto a work piece in the Cartesian coordinate system. This approach used for solving the systematic errors problem of a non-directional-surface contact probe. The development probe system can be increasing the performance and precision to enumerate the contact point positions. The component of this CMM consists of 4 miniature contact switches which arranged onto perpendicularly 4 directions and on the same plane. The CMM operational principle will receive the analog signal 0-5 V. from the 5 potentiometers which each sensor has a relationship with the orientation angle of

each joint. In part of the digital signal with the logic of 0, 1 from those contact switches can be detecting the 8 contact directions onto that plane. Then, collection all signal to be computed by Denavit-Hartenberg (D-H) parameters approach. These D-H equations have been proven by Mathematica commercial software. Moreover, they also proven by MSC.ADAMS the virtual motion simulation software. After that, using those correctly equations and developing with the appropriated algorithms by LabVIEW programming and processing the acquired signal from CMM. From the experimental results and calibration of this CMM with the steel-box cube of 50x50x50 mm, the average of true percent errors about 5% for every axis of the Cartesian coordinate system.

Keywords: Coordinate Measuring Machine, Potentiometer, Denavit-Hartenberg, Mathematica, Adams, LabVIEW

1. บทนำ

เครื่องวัดพิกัด (Coordinate Measuring Machine) หรือ CMM คืออุปกรณ์สำหรับวัดขนาดชิ้นงานหรือวัตถุใดๆ รูปแบบการใช้งานมีทั้งการใช้มือจับหัวตรวจวัดให้เคลื่อนที่ไปตามวัตถุ หรือควบคุมการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติเพื่อวัดขนาดชิ้นงานส่วนประกอบหลัก คือ (1) โต๊ะวางหรือติดตั้งชิ้นงานเพื่อตรวจสอบขนาด (2) หัวตรวจวัด (Probe) เป็นชุดอุปกรณ์สำหรับแตะกับชิ้นงานในจุดที่ต้องการวัดขนาด (3) ชุดโครงสร้างกลไกการเคลื่อนที่และตัวตรวจรู้ (Sensor) ของแขนวัด (4) ชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผลและแสดงผลการวัด [1] ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยได้นำเครื่อง CMM มาใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากง่าย สะดวกต่อการใช้งาน และมีความแม่นยำสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดชนิดอื่นๆ ทั้งยังลดระยะเวลาในการทำงานได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของผู้ใช้มีมากขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณภาพที่ดีขึ้น ทำให้จำนวนผู้ใช้งานมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ CMM ที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยล้วนแล้วแต่นำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้นซึ่งมีราคาที่สูงมาก โครงการวิจัยนี้จึงนำเสนอระเบียบวิธีการออกแบบและสร้างเครื่อง CMM รวมทั้งการประยุกต์ใช้โปรแกรม LabVIEW [2] สำหรับการประมวลผลสัญญาณจากตัวตรวจวัดต่างๆ บนหลักการพื้นฐานเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบที่แม่นยำและซับซ้อนต่อไป โดยทั่วไป CMM คืออุปกรณ์เครื่องจักรกลความแม่นยำสูงประเภทหนึ่ง ที่ต้องอาศัยองค์ความรู้หลากหลายสาขาร่วมกัน (Multi-disciplinary) โดยเฉพาะสาขากลศาสตร์

จลนศาสตร์ (Kinematics) การวัดและหุ่นยนต์ [3] Denavit-Hartenberg ได้นำเสนอระเบียบวิธีการกำหนดตัวแปรสำหรับการสร้างสมการเมตริกซ์ของการเคลื่อนที่ระบบจลนศาสตร์ของกลไกเครื่องจักรกล [4] B. Maurin และคณะ ได้นำเสนอแบบจำลองทางจลนศาสตร์ของระบบกลไกแบบขนาน 5 องศาอิสระโดยประยุกต์ใช้ระบบจลนศาสตร์แบบผันตรงและผกผัน (Forward-Inversed Kinematics) ในการวัดตำแหน่งและควบคุมการเคลื่อนที่ของกลไกอุปกรณ์ทางการแพทย์ [5] M. Ristic และคณะ นำเสนอการชดเชยหัววัดแบบสัมผัส ของเครื่อง CMM โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์แบบจำลอง [6] N.A. Barakat และคณะนำเสนอระเบียบวิธีการชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนของระบบจลนศาสตร์และรูปร่างเชิงกายภาพของเครื่อง CMM โดยเปรียบเทียบกับค่าจริงที่วัดด้วยเครื่องเลเซอร์ [7] จากแนวทางการวิจัยดังกล่าวข้างต้นและระเบียบวิธีทางวิศวกรรมต่างๆ [8]-[10] จึงนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครื่อง CMM ต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวตรวจรู้ (Sensor) ตัวตรวจรู้ เป็นตัวแปลงปริมาณทางกายที่วัดแล้วแปลงไปเป็นสัญญาณที่สามารถอ่านได้ด้วยคนหรือเครื่องมือ ตัวตรวจรู้เป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งที่ตอบสนองต่อปริมาณที่นำเข้า (Input) โดยการสร้างสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า ความไวของตัวตรวจรู้ แสดงให้เห็นด้วยปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกที่จะเปลี่ยนแปลง

เมื่อปริมาณที่กำลังทำการวัดเปลี่ยนแปลงไป [8], [9]

2.2 สวิตช์จำกัดระยะ (Limit Switch)

การทำงานอาศัยแรงกดจากภายนอกมากระทำ เช่น การวางของทับบริเวณปุ่มกดหรือลูกเบี้ยวมาชนที่ปุ่มกดและเป็นผลทำให้หน้าสัมผัสที่ต่ออยู่ติดกับกันชน เปิด-ปิดตามจังหวะของการชน จึงนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจรู้แบบสัมผัส มีลักษณะดังรูปที่ 1 [8], [9]



รูปที่ 1 สวิตช์จำกัดระยะ (Limit switch)

2.3 โปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือเชิงมุมไปเป็นค่าความต้านทาน หากจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าทางด้านขาเข้า จะทำให้สัญญาณแรงเคลื่อนและกระแสที่ออกทางขาออกเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง เนื่องจากการเลื่อนของแขน (Wiper) ที่ตัวโปเทนทิโอมิเตอร์ ซึ่งโปเทนทิโอมิเตอร์ มี 2 ชนิด คือ (1) แบบเชิงเส้น (Linear Potentiometer) ใช้ในการวัดระยะทางที่เป็นเส้นตรง (2) แบบเชิงมุม (Rotary Potentiometer) ใช้สำหรับวัดระยะในลักษณะการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2 [8], [9]

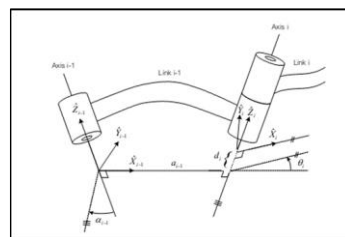


รูปที่ 2 โปเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงมุม

2.4 จลนศาสตร์แบบผันตรง (Forward Kinematics)

จลนศาสตร์แบบผันตรง คือ การคำนวณหาตำแหน่งที่ปลายของแขนกล (End Effector) โดยต้องทราบค่าตัวแปรแต่ละข้อต่อ (Joint Variables) กรณีข้อต่อแบบหมุนค่าตัวแปรที่ต้องการทราบคือค่ามุม จากนั้นนำค่ามุมที่ทราบค่าในแต่ละข้อต่อไปคำนวณหาค่าพิกัดที่ปลายแขนกลโดยใช้หลักการระเบียบวิธีของเดนาวิต-ฮาร์เทนเบิร์ก (Denavit-Hartenberg, D-H parameters) เข้ามาช่วยในการกำหนดแกนและค่าตัวแปรต่างๆ หลักการกำหนดตัวแปร จะเป็นการสร้างตัวแปรเพื่อนำมาใช้ในการหาสมการการเคลื่อนที่ของกลไกโดยมีการกำหนดแกนให้ชี้ไปตามทิศทางของการหมุนตามกฎมือขวา ซึ่งมีตัวแปรทั้งหมด 4 ตัวได้แก่

1. Link Length (a_i) คือระยะทางระหว่าง z_{i-1} ถึง z_i โดยพิจารณาตามแกน x_i
2. Link Twist (α_i) คือมุมระหว่างแกน z_{i-1} กับแกน z_i โดยพิจารณามุมตามแกน x_i
3. Link Offset (d_i) คือระยะทางระหว่าง x_{i-1} ถึง x_i โดยพิจารณาตามแกน z_i
4. Joint Angle (θ_i) คือมุมระหว่างแกน x_{i-1} กับแกน x_i โดยพิจารณามุมตามแกน z_i



รูปที่ 3 รายละเอียดของตำแหน่งตัวแปรต่างๆ ตามแนวทางของ Denavit-Hartenberg

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรต่างๆ (D-H parameters) ตามแนวทางของ Denavit-Hartenberg ของแต่ละข้อต่อ

Link	a_{i-1}	α_{i-1}	θ_i	d_i
1	L_1	0°	θ_1	0
2	L_2	0°	θ_2	0

หลังจากที่ได้ค่าตารางตัวแปร D-H แล้ว ต่อไปจะทำการหาค่าทรานสฟอร์มเมชันเมตริกซ์ (Transformation Matrix) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 4×4 ซึ่งภายในเมตริกซ์นี้ประกอบไปด้วยเมตริกซ์การหมุนและเวกเตอร์การเคลื่อนที่โดยการระบุค่าต่างๆ ในตาราง ลงในสมการ Homogeneous Transformation Matrix ของสมการไปข้างหน้าตามจำนวนข้อต่อ i

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & -d \sin \theta_{i-1} \\ \sin \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & d_i \cos \theta_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

หลังจากนั้นก็ให้นำมาแทนในสมการที่ (2) เพื่อหาค่าพิกัดสุดท้ายของเครื่องมือวัด CMM

$$T_i^{i-1} = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4 \quad (2)$$

โดยค่าในหลักที่ 4 ของเมตริกซ์ผลคูณข้างต้น จะเป็นชุดตัวแปรของรอยต่อ (Joint) ต่างๆ ของพิกัด X, Y, Z ของเครื่องมือวัด CMM [1]-[10]

2.5 โปรแกรม CAE : MSC.Adams [11]

โปรแกรม MSC.Adams คือโปรแกรมช่วยงานทางวิศวกรรม (CAE) ที่ผลิตมาเพื่อรับรู้ระบบการทำงานที่ใกล้เคียงความจริงและมีประสิทธิภาพพร้อมทั้งสามารถช่วยให้การออกแบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถวิเคราะห์โครงสร้าง การเคลื่อนที่ การควบคุม รวมทั้งด้านเครื่องกล และระบบไฟฟ้า อีกทั้งปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านวิศวกรรมและก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ

2.6 โปรแกรม Mathematica [12]

โปรแกรม Mathematica เป็นโปรแกรมช่วยงานทางวิศวกรรม ที่ประยุกต์ใช้เชิงสัญลักษณ์ และเชิงตัวเลข ที่ช่วยในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ใน

รูปแบบสมการที่มีความซับซ้อน

2.7 โปรแกรมแลบวิว (LabVIEW Programming)

[13]

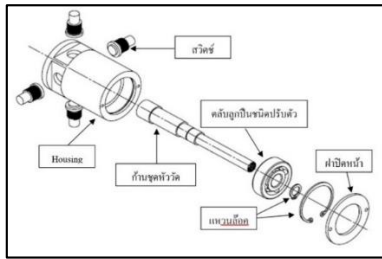
LabVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในการจัดการวัด และเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) รูปแบบภาษาที่ใช้ในโปรแกรมจะเรียกว่าเป็นภาษารูปภาพ ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวก และลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มากโดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น พอร์ทหรือการ์ด ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำเพื่อที่จะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

3. การดำเนินงาน

3.1 การออกแบบชุดหัววัด

การออกแบบจะคำนึงถึงการสร้างและการใช้ให้มีลักษณะการใช้งานที่ง่าย และมีความแข็งแรงคงทนไปกับความแม่นยำ ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องมือวัดมีความสามารถรับรู้ตำแหน่งและทิศทางของหัววัดได้ ซึ่งจะสามารถเพิ่มค่าชุดเซตต่างๆ ของหัววัด จะส่งผลให้เครื่องมือวัดมีความแม่นยำมากขึ้น โดยออกแบบให้ตัวเชื่อมต่อเป็นทรงกระบอก พร้อมทั้งมีสวิตช์ชนิดกดติด-ปล่อยดับ ติดอยู่ 4 ตัว เพื่อรับรู้ทิศทางของหัววัดได้ทั้งหมด 8 ทิศทาง ส่วนก้านวัดด้านใน ใช้การออกแบบในลักษณะของแกนเพลากลม โดยด้านบนมีขนาด 15 mm เพื่อใช้ในการกดสวิตช์ทั้ง 4 ตัว ถัดลงมามีการดักน้ำ เพื่อประกอบเข้ากับดัลลูปป็น แล้วใช้การประกอบเข้าด้วยกันด้วยแหวนล้อคนอก พร้อมทั้งเลือกใช้ดัลลูปป็นชนิดปรับตัวเองแนวเยื้องแกนได้ (Self-Aligning Ball Bearing) เพื่อให้มีความเป็นอิสระและง่ายในการเคลื่อนที่เยื้องไปกดสวิตช์ทั้ง 4 ตัว และถัดมาที่ปลายแกนใช้เป็นหัวสัมผัสแบบลูกบอลเหล็กในส่วนของการประมวลผล จะเป็นการนำค่าการเคลื่อนที่ของหัวบอลกับมุมองศาของแกน ที่ถูกกดในแต่ละทิศทางของสวิตช์ไปชุดเซตในชุดสมการจลนศาสตร์แบบผกผันตรง เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับ

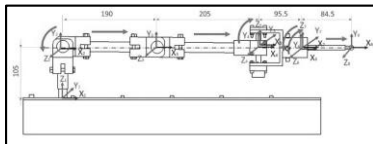
เครื่องมือวัดอีกตัวด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของหัววัดแบบสัมผัสสำหรับ CMM

3.2 การสร้างสมการการเคลื่อนที่ของ CMM

การประยุกต์ใช้รูปแบบการกำหนดตัวแปรของข้อต่อ (Joint) และชิ้นส่วน (Link) ต่างๆ ของ CMM จะเป็นไปตามระเบียบแบบแผนของ D-H โดยประกอบไปด้วยตัวแปรทั้งหมด 4 ประเภท และความสัมพันธ์ของ 2 แนวแกนในที่นี้คือ แกน X และแกน Z และใช้การพิจารณาเป็นรูปแบบ ตัวแปรจะเชื่อมกับรอยต่อที่ส่วนต้น และส่วนปลายแขน เช่น จุดที่หนึ่งไปจุดสองคือแขนที่หนึ่ง และจุดที่สองไปจุดที่สามก็คือแขนที่สอง ซึ่งจะกำหนดการตั้งแกน X และ Z ให้สอดคล้องกับเชิงกายภาพจริงของ CMM ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การกำหนดตัวแปรตามแบบแผนของ D-H

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรต่างๆ ตามแบบแผนของ D-H

i	α	a_{i-1}	d_i
1	90	0	105
2	0	190	0
3	0	205	0
4	-90	0	0
5	90	95.5	0

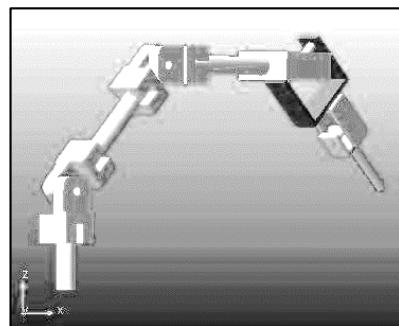
6	-90	0	0
7	0	84.5	0

3.3 การสร้างชุดสมการด้วยโปรแกรม Mathematica

โดยจะนำข้อมูลจากตารางที่ 2 ข้างต้นมา กำหนดเป็นตัวแปร และสมาชิกในเมทริกซ์ขนาด 4x4 ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 โดยใช้โปรแกรม Mathematica ซึ่งโปรแกรมตัวนี้จะช่วยคำนวณหาผลลัพธ์ของสมการจลนศาสตร์แบบผันตรงของ CMM

3.4 การประยุกต์ใช้โปรแกรม MSC.Adams

โปรแกรม MSC.Adams จะช่วยในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ CMM แบบเสมือนจริง โดยจะนำค่าพิกัด (x,y,z) ที่ตำแหน่งปลายหัวสัมผัส มาตรวจสอบเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของสมการที่สร้างมาตามแบบแผนของ D-H ดังแสดงในรูปที่ 6



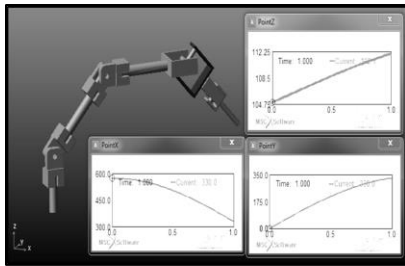
รูปที่ 6 แบบจำลองในโปรแกรม MSC.Adams

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการ

โดยโปรแกรม Mathematica กับ Msc.Adams

ทำการตรวจสอบสมการที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม Mathematica ซึ่งจะคำนวณออกมาอยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ จากนั้นนำไปใช้ประมวลผลโดยโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้ได้ค่าจากการวัดในระบบพิกัดที่ถูกต้องในทุกๆ แนวแกนของ CMM ซึ่งวิธีการตรวจสอบทำได้โดยการใส่ค่ามุมไปในทุกข้อต่อ แล้ววัดจุดปลายของแขนในโปรแกรม MSC.Adams จากนั้นจึงนำค่ามุมข้างต้นมาประมวลผลโดยโปรแกรม Mathematica เพื่อตรวจสอบค่าที่จุดปลาย

ของแขน ค่าจากทั้ง 2 โปรแกรมต้องมีค่าตรงกัน ซึ่งหมายความว่าสมการที่สร้างขึ้นมาจะถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตัวอย่างการตรวจสอบจุดปลายหัวสัมผัสของ CMM ด้วยโปรแกรม MSC.Adams

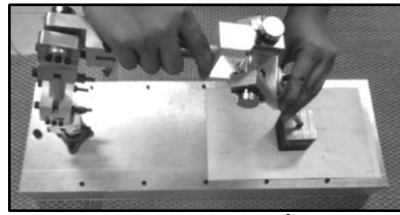
3.6 การออกแบบและเขียนโปรแกรม LabVIEW

โดยสามารถแบ่งการประมวลผลเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกคือการประมวลผลชุดหัววัดแบบสัมผัส ด้วยสวิตช์แบบ กด-ติด และปล่อย-ดับ เพื่อเป็นการชดเชยค่าเบี่ยงเบนของแกนหัวโพรงในแต่ละทิศทาง โดยเอาไปใช้เลือกเงื่อนไขการประมวลผลในโปรแกรม ซึ่งมี 8 ทิศทาง และการประมวลผลค่าจากโพเทนทิโอมิเตอร์ โดยส่วนนี้จะเป็นการนำค่าสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอกมาคำนวณในสมการเพื่อแสดงค่าการวัดออกมาในรูปแบบของพิกัด (x,y,z) ที่จุดสัมผัสของหัววัดทั้ง 8 ทิศทาง

4. ผลการทดลอง

การทดสอบความถูกต้องของเครื่องวัดพิกัดชนิดโครงสร้างรอยต่อหมุน 5 แนวแกนและหัววัดแบบสัมผัส สามารถทำได้ โดยการทดลองเปรียบเทียบเครื่อง CMM กับชิ้นงานเหล็กแท่ง 4 เหลี่ยมขนาด 50x50x50 mm ดังแสดงในรูป 8 โดยการวัดแบบสัมผัสบนระนาบพื้นผิวชิ้นงาน ซึ่งแบ่งเป็นระนาบ x-y จะได้ระยะแนวแกน Z, ระนาบ x-z จะได้ระยะแนวแกน Y และระนาบ y-z จะได้ระยะแนวแกน X โดยทำการวัดด้านละ 10 จุด ซึ่งในอุดมคติแล้ว ผลการวัดในแต่ละระนาบ ต้องได้ค่าของระยะตามแนวแกนต่างๆ ที่เท่ากันทั้ง 10 จุด เช่นการวัดค่าบนระนาบ x-y จะต้องได้ค่าระยะในแนวแกน Z ทั้ง 10 จุด

เท่ากัน แต่ความไม่สมบูรณ์ของทั้งส่วนของโครงสร้าง CMM และโปรแกรมประมวลผล ผลการทดสอบและความคลาดเคลื่อนจึงแสดงไว้ในตารางที่ 3



รูปที่ 8 ตัวอย่างการทดสอบการวัดชิ้นงานบนระนาบ x-y ควรจะต้องได้ค่าระยะแนวแกน Z ที่เท่ากัน

5. สรุป

การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดพิกัดพร้อมระบบหัววัดทรงกลมแบบสัมผัส และโปรแกรมประมวลผลเพื่อคำนวณหาจุดสัมผัสในระบบพิกัดฉาก โดยโครงสร้างของเครื่องวัดเป็นแบบแขนหมุน 5 แนวแกน สามารถทดสอบการทำงานได้อย่างน่าพอใจ โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริงของการทดสอบ การวัดแบบสัมผัสบนระนาบต่างๆ ประมาณ 5% โดยงานวิจัยนี้จะเป็นรากฐานของการพัฒนาเครื่องวัดพิกัด CMM ให้มีสมรรถนะตอบสนองต่อการทำงานที่ซับซ้อนสูงขึ้นในอนาคต เช่น การพัฒนาเป็นเครื่อง CMM โดยใช้ระบบ Encoder ในการวัดมุม และใช้ตัวตรวจรู้แบบเลเซอร์ตรวจจับการสัมผัสของหัววัด หรือพัฒนาต่อไปเป็นเครื่อง CMM แบบไม่สัมผัส เป็นต้น

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริงของการทดสอบการวัดแบบสัมผัสบนระนาบต่างๆ

รูปแบบการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริง
บนระนาบ y-z	5.08%
บนระนาบ x-z	4.37%
บนระนาบ x-y	5.67%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและพัฒนาี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ในการใช้โปรแกรม LabVIEW ลิขสิทธิ์ Version 2013
Student Edition และ MSC.Adams Student Edition
2014

เอกสารอ้างอิง

- [1] wikipedia.org. Coordinate measuring machine [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 15 มีนาคม 2557]. เข้าถึงได้จาก: https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine
- [2] Robert Bishop. LabVIEW 7 Express student edition. Prentice Hall; 2003.
- [3] A.H. Slocum. Precision Machine Design. Englewood Cliffs. Prentice-Hall. NJ; 1992.
- [4] Denavit Jacques Hartenberg, Richard Scheunemann. A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices. 1955; Trans ASME J. Appl. Mech 23: 215–221.
- [5] B. Maurin, O. Piccin, B. Bayle, J. Gangloff, M. de Mathelin. A parallel 5 DOF positioner for semi-spherical workspaces. Proceedings of the 2004 ASME Design Engineering Technical. Conferences, Salt Lake City, USA.
- [6] M Ristic, I Ainsworth and D Brujic. Contact probe radius compensation using computer aided design models. 2001; Proc Instn Mech Engrs Vol 215 Part B, IMechE.
- [7] N.A. Barakat, M.A. Elbestawi, A.D. Spence. Kinematic and geometric error compensation of a coordinate measuring machine. 2000;

International Journal of Machine Tools & Manufacture 40, 833–850.

- [8] Z.M. Bi and S.Y.T. Lang, Joint workspace of parallel kinematic machines, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2009; 25, pp. 57–63.
- [9] R.K. Mittal and I.J. Nagrath, Robotics and Control. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi; 2003.
- [10] P. I. Corke. June. A simple and systematic approach to assigning Denavit-Hartenberg parameters. 2007; IEEE Transactions on Robotics, vol. 23, pp. 590–594.
- [11] [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 17 มีนาคม 2557]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.mscsoftware.com/>
- [12] [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 22 มีนาคม 2557]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.wolfram.com/mathematica/>
- [13] [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 27 มีนาคม 2557]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.ni.com/labvie>