

ต้นแบบแขนหุ่นแบบสามก้านโยงเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

Prototype of Delta Robot for Industrial Application

ชาญณรงค์ ชูสุย^{1*} และ ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์²

Channarong Choosui^{1*} and Pradya Prempraneerach²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

¹Graduate student in Master of Engineering (Mechanical Engineering), Rajamangala University of Technology Thanyaburi, ,

Rangsit-Nakhonnayok Rd, Klong6, Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110

²Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, ,

Rangsit-Nakhonnayok Rd, Klong6, Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110

*Corresponding author, E mail: Chan_mte@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านที่มีโครงสร้างเป็นรูปแบบขนานที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ดีซีเซอร์โวสามตัว โดยจะใช้หลักการทางจลนศาสตร์ผกผันเพื่อช่วยออกแบบและเลือกความยาวของแต่ละก้านโยง เพื่อให้ได้พื้นที่การทำงานในระนาบแนวนอนที่เหมาะสมตามระดับความสูงที่ต้องการและทำการจำลองพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์ก่อนที่จะดำเนินการสร้างจริง นอกจากนี้ได้พัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ตามจุดพิกัดและเส้นทางที่กำหนด ซึ่งใช้การคำนวณด้วยจลนศาสตร์ผกผัน โดยระบบควบคุมของแขนหุ่นยนต์ได้พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI โดยเน้นให้มีฟังก์ชันที่ผู้ใช้งานควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์ได้ง่ายตามเส้นทางที่กำหนดไว้ที่มีการประมาณค่าเส้นทางเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องจากจุดพิกัดที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน ส่วนผลการทดสอบของแขนหุ่นยนต์ ในการทดลองแรกเป็นการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งจุดพิกัดที่กำหนดในแต่ละแกน โดยการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในทิศทางแกน x แกน y นั้นจะมีค่าความผิดพลาดในระนาบแนวนอนไม่เกิน 2 % แต่การเคลื่อนที่ตามทิศทางแกน z จะมีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ไม่เกิน 1 % และในการทดลองที่สองเป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่สร้างขึ้นจากจุดพิกัดที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน ซึ่งจะเปรียบเทียบคำสั่งเส้นทางเคลื่อนที่มอเตอร์ทั้ง 3 ตัว กับค่าองศาที่วัดได้จากเอนโค้ดเดอร์ของมอเตอร์ในแต่ละก้านโยง โดยมีค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่า 1 องศา และสามารถทำงานซ้ำเดิมได้อย่างแม่นยำจากการทดสอบ 3 ครั้ง

คำสำคัญ: แขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง จลนศาสตร์ผกผัน พื้นที่การทำงาน การเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด

Abstract

In this article, design and construction of the delta robot, which has three-parallel-link structure driven by three DC servo motors, is presented. Using inverse kinematics, length of each link could be selected such that desired delta-robot workspace in horizontal plane at a specified height can be achieved and simulated before constructing an actual delta robot. Moreover, we developed point-wise tracking and trajectory tracking controls, using inverse kinematics for an end-effector of delta robot. MATLAB/GUI is used for developing the robot control software, that is emphasized on user-friendly function and smooth-and-continuous trajectory tracking. For experimental results, the first test is to evaluate an accuracy of the point-wise tracking control in each axis of delta robot. The point-wise tracking of delta robot along x- and y-axes produce tracking error in horizontal plane of less than 2 % , but the tracking error along z-axis is less than 1 % . In the second test, three motor commands are compared against measured encoder angle of each motor/link to determine an accuracy of trajectory tracking control. From three experimental runs, delta robot establishes a good repeatability with tracking error less than 1 degree.

Keywords: Delta Robot, Inverse Kinematics, Workspace, Trajectory Tracking

1. บทนำ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทและมีความสำคัญ อีกทั้งยังมีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งด้านอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานเพื่ออำนวยความสะดวกในการขนย้ายสิ่งของวัสดุ หรือใช้ในการปฏิบัติงานแทนมนุษย์ในอุตสาหกรรมที่มีความเสี่ยงต่ออันตรายของมนุษย์ซึ่งในหลายประเทศได้มีการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์แบบติดตั้งอยู่กับที่ในรูปแบบใหม่กันอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นแขนกลแบบอนุกรมหรือแบบขนาน ที่เคลื่อนไหวภายในพื้นที่การทำงานที่จำกัด ซึ่งจะถูกโปรแกรมไว้ให้มีการทำงานซ้ำๆ เดิมๆ ตามที่กำหนด ซึ่งหุ่นยนต์อุตสาหกรรมก็ยังคงมีการทำวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยจะเน้นการเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานได้หลายรูปแบบ มีพื้นที่การทำงานกว้างสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและ มีความแม่นยำในการทำงาน โดยเฉพาะการปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมที่มีมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องเช่น แขนกลแบบขนาน (Parallel Robot Arm) ในกระบวนการ

ผลิตภัณฑอาหาร FlexPicker ของบริษัท ABB และหุ่นยนต์แบบขนานสำหรับ 3D printer ซึ่งนิยมใช้การขับเคลื่อนของก้านโยงค้ำบนแบบเชิงเส้นในแนวตั้ง จึงทำให้สามารถพิมพ์งานที่มีขนาดสูงได้ (Building 3D Printing, 2013 และ Siam Reprap, 2557) เป็นต้น

Olsson, A. (Olsson, 2009) ได้อธิบายถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบเดลต้าที่ขับเคลื่อนด้วยโดยมอเตอร์และไครฟ์ซึ่งพัฒนาโดย ELAU GmbH โดยในแบบจำลองของหุ่นยนต์ Delta-3 นั้นประกอบด้วย การคำนวณจลนศาสตร์ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามแขนและการเคลื่อนที่ของแผ่นปลายแขนที่สอดคล้องกัน และการศึกษาด้านพลวัตของหุ่นยนต์ที่มีอันตรรกะกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ของสามแขน ที่ได้สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และนำผลที่เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากหุ่นยนต์ Delta-3 ที่ขับเคลื่อนด้วยอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ของ ELAU GmbH ส่วน Park, S.B. *et al.* (Park, 2013) ได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์อย่างง่ายของแขน

กลแบบขนานสามก้านโยง ที่คำนวณโดยใช้สมการลากรองจ์เพื่อหาสมการพลวัตแบบผกผันที่จะนำมาใช้สร้างระบบควบคุมแรงบิดของแขนกลที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง-พร้อมการคำนวณจลศาสตร์แบบผกผันที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า 0.04 ms และที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับแขนกลแบบขนานทางเชิงพาณิชย์ที่มีความเร็วสูงได้ แต่ทว่าแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงมีความสมมาตรระหว่างแขนทั้งสาม จึงส่งผลให้มีพื้นที่การทำงานที่จำกัด Mauro Maya (Maya, 2013)

Dominique Deblaise (Deblaise, 2012) ได้ทำการออกแบบตัวหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง เพื่อทำการศึกษารองานและการประยุกต์ใช้งานในการบรรจุผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยใช้มอเตอร์แบบดิซีเป็นต้นกำลังและใช้โปรแกรม MATLAB ในการควบคุมการทำงาน ข้อดีของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงมีพื้นที่การทำงานกว้าง เพราะข้อต่อๆกันออกไปเรื่อยๆ และข้อเสียของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงความแข็งแรงต่ำ เพราะมีลักษณะเป็นโครงสร้างยื่นยาวออกไปจากฐาน และ Liu, N. and Wu, J. (Liu, 2014) ได้ออกแบบและสร้างแขนกลแบบไฮบริดที่ผสมระหว่างแขนกลแบบเดลต้าที่มี 3 องศาอิสระ และข้อมือแบบอนุกรมที่มีอีก 3 องศาอิสระ ที่เรียกว่า Delta-RST ซึ่งจะช่วยให้ผสมผสานมีข้อดีของแขนกลทั้งสองแบบเข้าด้วยกันคือ สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วพร้อมทั้งสามารถเข้าถึงพื้นที่การใช้งานในองศาต่างๆได้อย่างกว้างขวาง สำหรับหุ่นยนต์แบบเดลตาวิเคราะห์เมทริกซ์จาโคเบียนแบบผกผันและแบบตรงจะช่วยบ่งชี้รูปแบบการเกิดค่าเอกพจน์ในบางรูปแบบ ซึ่ง Lopez, M. *et al.* (Lopez, 2006) ได้ใช้การวิเคราะห์ทางจลศาสตร์ด้วยการเซตค่าดีเทอร์มิแนนต์ของจาโคเบียนของหุ่นยนต์แบบเดลต้าเท่ากับศูนย์ จะได้รูปแบบท่าทางที่ไม่พึงประสงค์ที่เป็นเอกพจน์ นอกจากนั้นได้เสนอการ

วิเคราะห์ด้วยเมทริกซ์จาโคเบียนแบบชั้นกลาง ที่มีความซับซ้อนในการคำนวณที่น้อยลง แต่ยังสามารถช่วยบ่งบอกถึงการเกิดรูปแบบเอกพจน์ได้ด้วย

ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จะเน้นการวิเคราะห์และสร้างแขนหุ่นยนต์แบบขนานพร้อมพัฒนาโปรแกรม Graphic User Interface (GUI) สำหรับควบคุมแขนกลแบบขนาน ที่มีฟังก์ชันการใช้งานที่สามารถเรียนรู้ได้ง่าย เพื่อใช้ในการควบคุมและกำหนดตำแหน่งต่างๆที่ต้องการให้ปลายแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางเป้าหมายแบบอัตโนมัติ ซึ่งแขนหุ่นยนต์แบบขนานที่นักวิจัยสนใจคือแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง(Delta robot) เนื่องจากคุณสมบัติของแขนกลแบบขนาน ที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงและในขณะที่เดียวกันก็มีความแม่นยำมากด้วย (Lin, 2012)

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและออกแบบพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ด้วยจลศาสตร์แบบผกผัน พร้อมทั้งสร้างหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงที่มีโครงสร้างที่เบาและขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบดิซีเซอร์โวสามตัว และพัฒนาระบบควบคุมที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ตามจุดพิกัดหรือเส้นทางเคลื่อนที่ที่กำหนดด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI ที่มีฟังก์ชันที่ใช้งานได้ง่าย

3. อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการพัฒนาและสร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ดังที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 1 นั้นจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ 7 ส่วนดังต่อไปนี้

3.1 มอเตอร์ดิซี YASKAWA รุ่น UGMED B5LTB62 ขนาด 43 วัตต์ 24 โวลต์ 1.6 แอมป์ ที่ให้แรงบิดได้

0.038 นิวตัน-เมตร ที่มีเกียร์ทด 1:31 ซึ่งใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนก้านโยกทั้งสาม

3.2 เอนโค้ดเดอร์แบบหมุน (Rotary Encoder) ที่ใช้วัดองศาการหมุน ที่มีความละเอียด 200 pulse/รอบ เพื่อใช้วัดตำแหน่งและทิศทางการหมุนของแต่ละก้านโยก

3.3 บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ของ Copley Motion Control รุ่น Accelus card ASC-090-09 ขับมอเตอร์ที่มีค่าความต่างศักย์ได้สูงสุดถึง 90 VDC และจ่ายกระแสไฟสูงสุดไม่เกิน 9 แอมป์ โดยตั้งค่าให้ปฏิบัติงานในโหมดควบคุมตำแหน่งหรือองศาการหมุนของมอเตอร์ด้วยการป้อนสลับองศาการหมุนของมอเตอร์ด้วยเอนโค้ดเดอร์ และรับสัญญาณแอนะล็อก (analog) เพื่อเป็นคำสั่งควบคุมตำแหน่งองศาการหมุนของแต่ละมอเตอร์

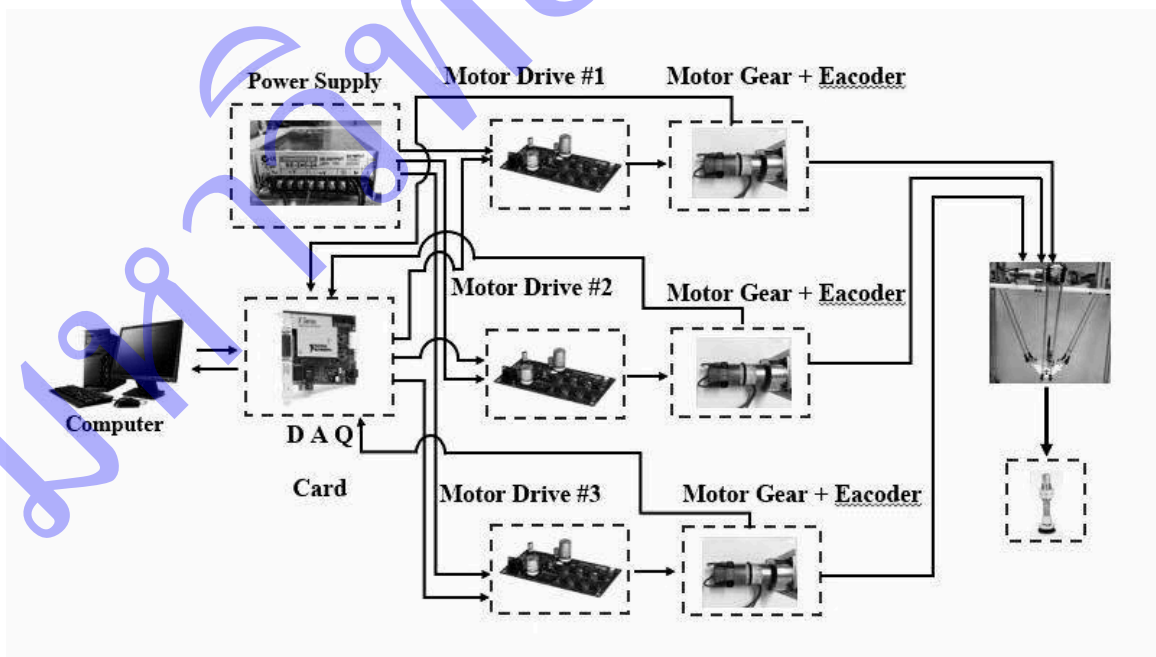
3.4 การ์ด รับ-ส่งข้อมูล Data acquisition ของ (National Instruments) รุ่น pcie-6323 ที่มี 32 สัญญาณแบบอนาล็อก มีความละเอียด 16 บิต และ 48 ช่องสัญญาณแบบดิจิทัล I/O และมีช่องนับสัญญาณพัลส์จำนวน 4 ช่อง

3.5 ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) เป็นสวิตช์ที่จำกัดองศาการหมุนของมอเตอร์แต่ละก้านโยก โดยจะใช้ลิมิตสวิตช์ ช่วยในการตั้งค่าองศาเริ่มต้นของแขนหุ่นยนต์อีกด้วย

3.6 แหล่งจ่ายไฟแบบดิซี (DC Switching Power supply) ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VAC ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 VDC เพื่อจ่ายกระแสไฟให้กับบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์และมอเตอร์ที่สามารถจ่ายกระแสได้ไม่เกิน 10 A

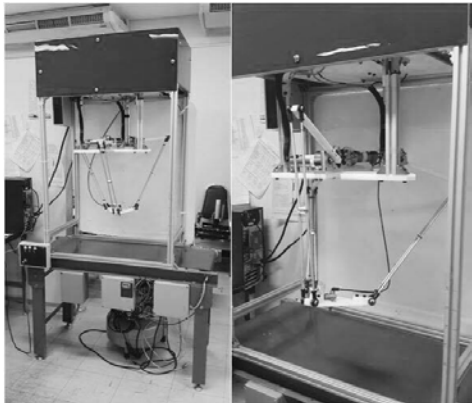
3.7 หัวคูคลมของ FESTO ที่ใช้เป่าลมทำหน้าที่ในการดูดชิ้นงานต่างๆที่ต้องการ

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อเป็นแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยกจะได้ดังรูปที่ 2 เนื่องจากก้านโยกส่วนล่างของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยกนั้นเชื่อมต่อกับก้านโยกด้านบนและแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ด้วยลูกปืนตาเหล็ก (Ball Joint) เมื่อเริ่มหรือหยุดการเคลื่อนที่อย่างกะทันหันจะทำให้เกิดการบิดตัว หรือ การสั่น ของ ก้านโยก ส่วน ล่าง ในแนว



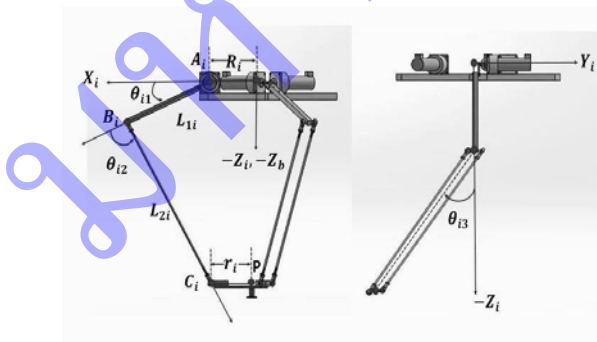
รูปที่ 1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยก

ระนาบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สปริงช่วยเพิ่มค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างเพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนและเพิ่มความแม่นยำให้แก่ตำแหน่งของหัวคูดลม



รูปที่ 2 แขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง เมื่ออยู่ในตำแหน่งปรกติ (ซ้าย) และ เมื่อมีการเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายของสายพาน (ขวา)

โดยขั้นตอนในการทำงานจะต้องมีการตั้งค่าเริ่มต้นทำงานหรือค่าองศาที่เป็นศูนย์ด้วยการสั่งงานให้ก้านโยงด้านบนเคลื่อนที่ขึ้นจนกระทั่ง สัมผัสกับลิimitswitch ด้านบน แล้วจึงตั้งค่าเอนโค้ดเดอร์ของทั้งสามมอเตอร์ให้เป็นศูนย์และเริ่มการทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง โดยก้านโยงด้านบนจะถูกจำกัดให้สามารถหมุนอยู่ได้ในช่วงระหว่างลิมิตสวิตช์ด้านบนและด้านล่าง ซึ่งเป็นมุมไม่เกิน 189 องศา 3.8 การจำลองพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงด้วยโปรแกรม MATLAB

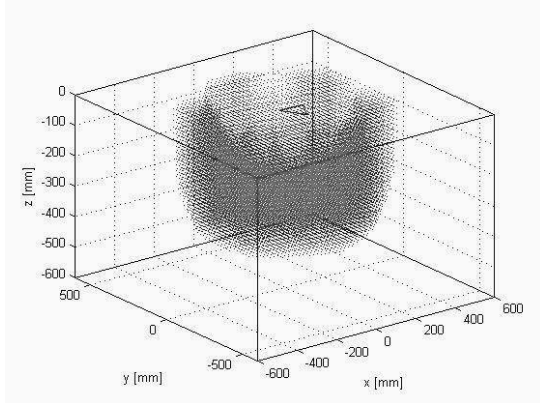


รูปที่ 3 ตัวแปรต่างๆแต่ละก้านโยง เมื่อมองจากด้านบน (ซ้าย) เมื่อมองจากด้านข้าง (ขวา)

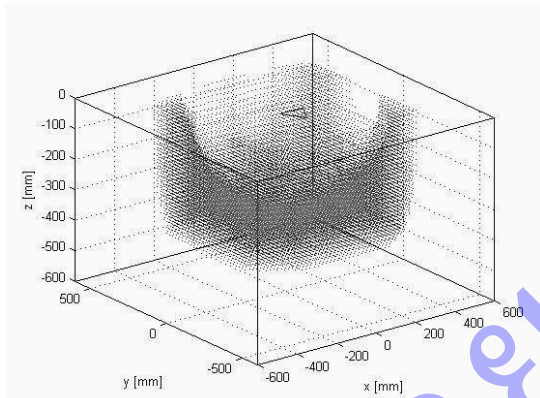
เพื่อให้ได้พื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงให้ที่มากที่สุดและเหมาะสมกับระบบอัตโนมัติที่จะใช้งานด้วย จึงได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่การทำงานของโครงสร้างแบบขนานที่เป็นลูปปิด ในขั้นตอนการออกแบบ เพื่อที่จะได้เลือกขนาดของแต่ละก้านโยงให้ได้อย่างเหมาะสมที่สุด โดยจะประยุกต์ใช้การแก้สมการจลนศาสตร์แบบผกผัน (inverse kinematics) (Stan 2011) ซึ่งจะให้การประมวลผลที่น้อยกว่าการแก้สมการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า (forward kinematics) โดยในขั้นแรกได้เลือกพารามิเตอร์ความยาวของแต่ละก้านโยง ดังนี้ $R = 11.8 \text{ cm}$, $r = 11.2 \text{ cm}$, และ $\square_1 = 20 \text{ cm}$ เมื่อปรับความยาว \square_2 ให้เพิ่มขึ้นจาก 40 ถึง 50 cm ซึ่งได้แสดงขอบเขตพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ที่สามารถเข้าถึงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ยิ่งความยาว \square_2 ของก้านโยงส่วนล่างมีค่าเพิ่มมากขึ้น ปริมาตรของพื้นที่ทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ที่สามารถเข้าถึงได้ที่เป็นรูปทรงแบบ paraboloid ก็จะมีขนาดใหญ่ ตามไป ด้วย โดยมีข้อสังเกตว่าเมื่อพิจารณาพื้นที่การทำงานจากทางด้านบนจะเห็นพื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงแบบหกเหลี่ยม นอกจากนั้นแล้ว เมื่อความยาว \square_2 มีค่าเพิ่มขึ้น พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง ที่เข้าถึงไม่ได้ที่มีรูปทรงด้วยใกล้เคียงกับแผ่นฐานด้านบนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นอีกด้วย

ตารางที่ 1 ช่วงของพื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง $\square_1, \square_2, \square_3$ เมื่อให้ $\square_1 = 20 \text{ cm}$ เป็นค่าคงที่ แล้วปรับเปลี่ยนความยาวของก้านโยงด้านล่าง (\square_2)

$\square_2 \text{ (cm)}$	ช่วงในแกน	ช่วงในแกน
	$\square_1 - \square_2 \text{ (cm)}$	$\square_2 \text{ (cm)}$
30	± 30	40
40	± 40	50
50	± 50	60



รูปที่ 4 พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง เมื่อ $[\square_1, \square_2] = [20, 40]$ cm



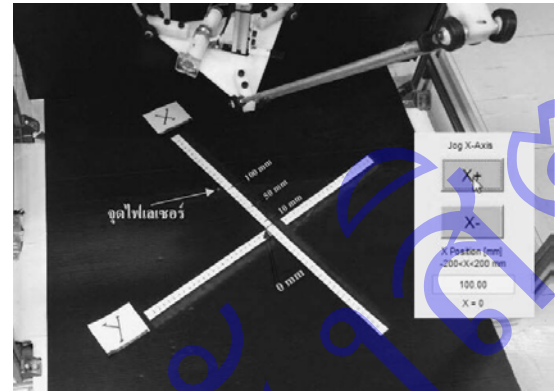
รูปที่ 5 พื้นที่การทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง เมื่อ $[\square_1, \square_2] = [20, 50]$ cm

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง

เพื่อทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ตามจุดพิกัดที่กำหนด ได้ทำการทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน x, y และ z ซึ่งสั่งด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI และ วัดตำแหน่งการทำงานด้วยแสงเลเซอร์ที่มีการกระจายของแสงไม่เกิน 0.5 mm ในระยะความสูงที่ไม่เกิน 50m cm ที่ติดตั้งอยู่ที่กึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ โดยตอนเริ่มต้นแผ่นปลายแขนอยู่ที่จุดกึ่งกลางของแผ่นฐาน และ เริ่มทำการทดสอบตัวหุ่นยนต์ โดยสั่งให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางตามแกน x, y และ z ในด้านบวก และ ในด้านลบ ด้วย

คำสั่งเพิ่มขึ้น ครั้งละ 10 cm ในแต่ละแกน



รูปที่ 6 การทดสอบความแม่นยำในทิศทางแกน x, y, z = ±10 cm เมื่อมีคำสั่งด้วยโปรแกรม MATLAB/GUI

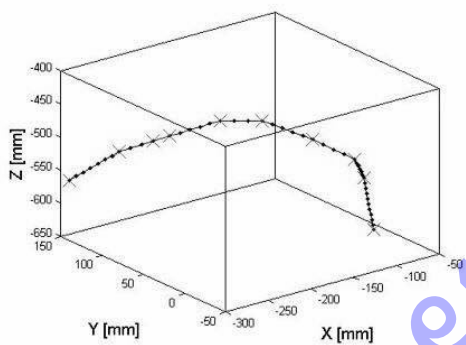
ตารางที่ 2 ค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงในทิศทาง x, y และ z เมื่อสั่งให้เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 cm

ทิศทาง	ค่าความผิดพลาดด้านบวก (mm)			ค่าความผิดพลาดด้านลบ (mm)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตามแกน X	-2	0	-2	+1	0	+2
ตามแกน Y	+2	+2	0	-2	-2	+2
ตามแกน Z	+1	+1	+2	0	0	-1

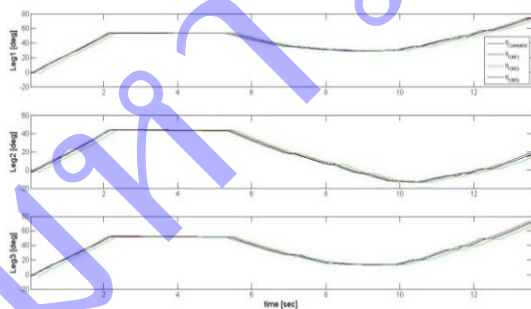
4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงตามเส้นทางที่สร้างจากจุดพิกัดที่กำหนด

ในการทดลองส่วนที่สองนั้น จะทำการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดจากจุดพิกัดที่ผู้ใช้งานเลือกและบันทึกข้อมูลไว้ในตารางและไฟล์ excel โดยจุดที่ผู้ใช้งานเลือกมาจำนวนสิบจุด ที่แสดงด้วยภาพทาบในรูปที่ 7 และ โปรแกรม MATLAB จะทำการคำนวณและเพิ่มจำนวนจุดตามระยะห่างระหว่างสองจุดพิกัดที่กำหนดในระยะทุกๆ 1 cm เพื่อให้ได้เส้นทางเคลื่อนที่ของจุดกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนอย่างต่อเนื่องและราบเรียบดังแสดงด้วยจุดทาบดังในรูปที่ 7 แล้วจะทำการเปรียบเทียบคำสั่งองศาการหมุนของ

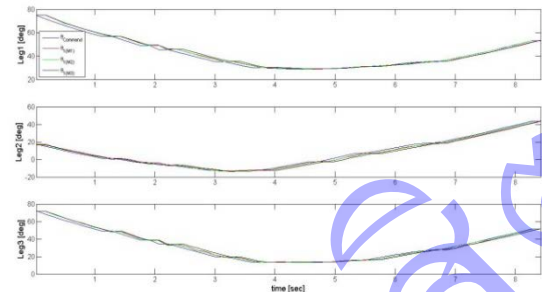
มอเตอร์แต่ละตัวกับองศาการหมุนของมอเตอร์ที่วัดได้จากเอนโค้ดเดอร์สำหรับแต่ละก้านโยง ดังแสดงในรูปที่ 8 สำหรับการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นหลังจากแต่ละลิมิตสวิทช์ด้านบน ในช่วงเวลา 0-2 วินาที และเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นมายังตำแหน่งกึ่งกลางในช่วงเวลา 2-6 วินาที และเคลื่อนที่จากตำแหน่งกึ่งกลางไปยังตำแหน่งแรกที่ยับชิ้นงาน ในช่วงเวลา 6-14 วินาที และ ในรูปที่ 9 แสดงการเคลื่อนที่จากตำแหน่งแรกที่ยับชิ้นงานยังตำแหน่งสองที่ยับชิ้นงานในช่วงเวลา 0-8.3 วินาที



รูปที่ 7 เส้นทางเคลื่อนที่ของกึ่งกลางของแผ่นปลายแขนที่เคลื่อนที่ ตามจุดที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน (กากบาท) และ จุดที่เพิ่มเติมระหว่างจุดสองพิกัดที่กำหนด (จุดทึบ)



รูปที่ 8 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงตามเส้นทางที่กำหนด โดยพิจารณาในช่วงหลังจากแต่ละลิมิตสวิทช์ด้านบนมายังตำแหน่งกึ่งกลาง และ เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งแรกที่ยับชิ้นงาน



รูปที่ 9 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงตามเส้นทางที่กำหนด โดยพิจารณา การเคลื่อนที่จากตำแหน่งแรกที่ยับชิ้นงานกลับไปยังตำแหน่งสองที่ยับชิ้นงาน

จากผลการทดสอบทั้งสามครั้งจะเห็นได้ว่า เส้นทางเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่เชื่อมต่อกับก้านโยงด้านบนนั้นสามารถเคลื่อนที่ตามคำสั่งของมอเตอร์สำหรับแต่ละก้านโยงที่กำหนดได้จากจลศาสตร์แบบผกผันได้อย่างแม่นยำทั้งขาไปและขากลับ และจากผลการทดสอบทั้งสามครั้งได้ค่าองศาการหมุนของมอเตอร์ที่เท่ากันทั้งสามครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแขนกลแบบสามก้านโยงสามารถทำงานซ้ำเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. การอภิปรายผล

หุ่นยนต์แบบสามก้านโยงได้เริ่มมีบทบาททางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่มากขึ้น โดยเฉพาะในงานที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำสูงซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาในการผลิตหรือบรรจุมล็ดภัณฑ์ ในขณะที่งานด้านอุตสาหกรรมทางด้านอาหารและชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นั้นมีความต้องการแรงงานในตลาดเป็นจำนวนมากขึ้นด้วย แต่เนื่องจากค่าจ้างแรงงานที่สูงในปัจจุบันทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มตามไปด้วย (โรงเรียน ปักธงชัยประชานิรมิต, 2557) นอกจากนั้นแล้วงานอุตสาหกรรมบางงานไม่สามารถที่จะใช้แรงงานมนุษย์เข้าไปทำได้ เช่น ในผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตในห้องสะอาด หรือ เป็นงานที่มีความเสี่ยงต่อมนุษย์ที่ต้องทำงานซ้ำเดิมต่อเนื่องเป็น

เวลานานๆ จึงทำให้หุ่นยนต์นั้นจำเป็นงานด้านอุตสาหกรรม ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงในหลายๆด้าน ซึ่งจำแนกได้ดังหัวข้อต่างๆ

5.1 การออกแบบหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงให้มีมวลน้อยโดยใช้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา จึงทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว

5.2 ได้ใช้สมการจลศาสตร์แบบผกผันมาช่วยออกแบบและใช้เลือกความยาวของก้านโยงเพื่อให้ได้พื้นที่การทำงานของปลายแขนกลแบบสามก้านโยงที่มีพื้นที่ๆ เข้าถึงได้ในระนาบ x และ y เป็นระยะ ± 50 cm และในแกนตั้งหรือ z ได้ในระยะ ± 60 cm สมการจลศาสตร์แบบผกผันในสมการที่ (1) ใช้คำนวณหาพื้นที่การทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3

$$\tan\left(\frac{\theta_n}{2}\right) = \frac{-2z_m \pm \sqrt{4z_m^2 + 4R_1^2 - S_1^2 + Q_1^2 \left(1 - \frac{R_1^2}{L_1^2}\right) - Q_1 \left(4R_1 + \frac{2R_1 S_1}{L_1}\right)}}{-2R_1 - Q_1 \left(\frac{R_1}{L_1} - 1\right) - S_1} \quad (1)$$

เมื่อ $R_1 = R - r$

$$Q_i = 2X_{ii} \cos \alpha_i + 2Y_{ii} \sin \alpha_i$$

$$S_i = \frac{(-X_{ii}^2 - Y_{ii}^2 - Z_{ii}^2 + L_2^2 - L_1^2 - R_1^2)}{L_1}$$

5.3 การเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงนั้นมีความแม่นยำที่น้อย โดยมีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ในระนาบ x, y อยู่ในช่วง ± 2 cm ส่วนค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ในแกนตั้งหรือแกน z อยู่ในช่วง 0 ถึง 2 cm ซึ่งเป็นค่าที่มากอยู่ ดังนั้นจึงควรมีการปรับเปลี่ยนจากเกียร์ทดแบบเฟืองฟันตรงในมอเตอร์ดีซีเซอร์โว ให้เป็นเกียร์ทดแบบฮาร์โมนิกซึ่งจะทำให้สามารถลดระยะคลอน (หรือ backlash) เมื่อมีการเคลื่อนที่ซึ่งส่งผลให้เกิดค่าความผิดพลาดที่น้อยลงได้

5.4 การเคลื่อนที่ตามเส้นทางหรือจุดพิกัดที่กำหนดของหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงนั้นยังมีความเร็วที่ต่ำ เนื่องจากต้องการให้มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ตาม

เส้นทางที่กำหนดจึงควรจะพัฒนาให้เป็นการควบคุมความเร็วสำหรับมอเตอร์ที่จะสามารถทำความเร็วได้มากขึ้นด้วย

6. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยง พร้อมทั้งการพัฒนาโปรแกรม MATLAB/GUI เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านที่ผู้ใช้งานเรียนรู้ได้ง่าย โดยที่ผู้ใช้งานสามารถระบุจุดพิกัดที่ต้องการแล้วทำการบันทึกค่าจุดพิกัดเหล่านั้นไว้ แล้วจึงสั่งให้กึ่งกลางของแผ่นปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่เชื่อมต่อจุดที่กำหนดได้อย่างอัตโนมัติ โดยก่อนที่จะทำการสร้างแขนหุ่นยนต์ขึ้นนั้น ได้ทำการทดสอบการจำลองพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงด้วยสมการจลศาสตร์แบบผกผัน เพื่อทำการเลือกค่าความยาวของก้านโยงด้านบนและก้านโยงด้านล่างให้ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแก่การใช้งาน จากผลวิเคราะห์หาพื้นที่การทำงานจะเห็นได้ว่าเมื่อความยาวก้านโยง \square_1 นั้นมีค่าคงที่ และ ความยาวก้านโยง \square_2 เพิ่มขึ้นพื้นที่ที่รูปทรงแบบ paraboloid ที่สามารถเข้าถึงได้จะขยายตัวออกไปในทางแกน x, y, z เป็นระยะที่เท่าๆกัน และพื้นที่การทำงานจะเพิ่มขึ้นในบริเวณเข้าใกล้แผ่นฐานอีกด้วยสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของแขนหุ่นยนต์ในขั้นแรกได้ทำการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งที่กำหนดในแต่ละแกน โดยผลการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แบบสามก้านโยงในทิศทางแกน x แกน y นั้นจะมีค่าความผิดพลาดในระนาบแนวนอนไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ แต่การเคลื่อนที่ตามทิศทางแกน z จะมีค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ในการทดสอบขั้นที่สอง

เป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่สร้างขึ้นจากจุดพิกัดที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน จะเห็นได้ว่าคำสั่งเส้นทางการเคลื่อนที่มอเตอร์แต่ละตัวกับเส้นทางการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ที่วัดได้จากเอนโค้ดเดอร์สำหรับแต่ละก้านโยงนั้นมีค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่า 1 องศา และสามารถทำงานซ้ำเดิมได้อย่างแม่นยำจากการทดสอบ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และบุคลากรทุกท่าน ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยทำงานได้สะดวกราบรื่น

8. เอกสารอ้างอิง

โรงเรียนปักธงชัยประชานิรมิต จ.นครราชสีมา. สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2557, สืบค้นจาก <https://sites.google.com/site/robotprograming/home/cud-prasngkh-kar-reiyn-ru>

Building and 3D Printing Parts Rostock Style, สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2559, สืบค้นจาก: <http://3dprintingindustry.com/2013/03/18/rostock/>

Deblaise, D. and Maurine, P. (2005), Effective Geometrical Calibration of a Delta Parallel Robot Used In Neurosurgery, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005 (IROS 2005), 1313-1381.

Lin, H.H., Wen, C.C., Lin, S.W., Tai, Y.H. and etc. (2012). Robust Control for a Delta Robot. Proceedings of SICE Annual Conference (SICE), 880-885, Aug. 2012.

Liu, N., Wu, J., (2014). Kinematics and Application of a Hybrid Industrial Robot – Delta-RST, Sensors & Transducers, Vol. 169, Issue 4, April 2014, pp. 186-192

Lopez, M., Castillo, E., Garcia, G., Bashir, A., (2006) ,Delta robot inverse, direct, and intermediate Jacobians, Proc. IMechE Vol. 220, pp.103–109

Maya, M., Castillo, E., Lomeli, A., Gonzalez-Galvan, E., and Cardenas, A. (2013), Workspace and Payload-Capacity of a New Reconfigurable Delta Parallel Robot, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 10, No. 56, 1-11.

Pan Feng, W., Li Min, Z., Xue Man, Z., (2012) Dynamic Modeling, Simulation and Experiment of the Delta Robot, Y. Zhang (Ed.): Future Communication, Computing, Control and Management, LNEE 141, pp. 149–156.

Park, S.B., Kim, H.S., Song, C. and Kim, K., 2013. “Dynamics Modeling of Delta-type Parallel Robot, Robotics (ICR),” 2013 44th International Symposium on, pp.1-5.

Olsson, A. (2009) Modeling and control of a Delta-3 robot. Master Thesis, Lund University, Department of Automatic Control, Sweden

Stan, S., Manic, M., Szep, C., Balan, R. (2011). Performance analysis of 3 DOF Delta parallel robot, 4th International Conference on Human System Interactions (HSI) Yokohama, 215-220.

Siam Reprap, Delta Robot 3D printer, สืบค้นเมื่อ 11
มกราคม 2559, [บริษัท Siam Reprap]. สืบค้น
จาก <http://www.siamreprap.com>

มหาวิทยาลัยรังสิต