

การประยุกต์แขนกลคาร์ทีเซียนสำหรับร่างภาพ 2 มิติ ควบคุมด้วยพีแอลซี

ไพโรจน์ ทองประศรี^{1*} และชลัมพล เวสารัชชประเสริฐ¹
pairote@eng.src.ku.ac.th^{1*}, chalumpol.we@ku.th¹

Received	: 26-Feb-2022
Revised	: 17-Oct-2022
Accepted	: 25-Oct-2022

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์แขนกลคาร์ทีเซียนสำหรับร่างภาพ 2 มิติ ขนาดกว้าง 297 mm ยาว 400 mm การเคลื่อนที่ของแขนกลแนวแกน x และ y เป็นเชิงเส้นขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อลดต้นทุนของแขนกลการเคลื่อนที่แนวแกน z ใช้โซลินอยด์ไฟฟ้าแทนเซอร์โวมอเตอร์ การเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน ของแขนกลถูกควบคุมด้วยพีแอลซีรุ่น CJ2M-CPU11 พิกัดหรือตำแหน่งสำหรับกำหนดให้แขนกลเคลื่อนที่ได้มาจากการแปลงรูปแบบขาคู่โดยใช้โปรแกรม ALL TO G-Code Converter ข้อมูลของพิกัดที่ได้ไม่สามารถนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของพีแอลซีได้โดยตรง โปรแกรมรับข้อมูลของพิกัดที่สามารถเก็บไว้ในหน่วยความจำของพีแอลซีได้ถูกพัฒนาบนโปรแกรม MATLAB โปรแกรมนี้สามารถย่อหรือขยายข้อมูลของพิกัดจากรูปต้นแบบได้ การควบคุมแบบป้อนกลับชนิด PI ใช้ควบคุมความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์ รูปแบบต้องมีขนาดไม่เกิน 100 Kbyte ผลการทดลองแขนกลคาร์ทีเซียนร่างภาพได้เร็วที่สุดตามรูปแบบที่กำหนด การตั้งค่าความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์แกน x และ y ต้องสัมพันธ์กับสัดส่วนของรูปแบบ ค่าที่เหมาะสมของอัตราเร่งและหน่วง K_p และ T_i มีค่าอยู่ที่ 50 c/s^2 800 Hz และ 1,600 ms ตามลำดับ เนื่องจากการเคลื่อนที่แกน z ของแขนหุ่นยนต์ใช้โซลินอยด์ไฟฟ้าทำให้ภาพร่างเบลอจนไม่สามารถบิตเบียร์ อุปกรณ์วาดภาพหัวปากกาต้องแข็งแรงเพียงพอ เพราะแกน z ไม่สามารถควบคุมแรงกดได้

คำสำคัญ: แขนกลคาร์ทีเซียน ร่างภาพ พีแอลซี เซอร์โวมอเตอร์ โซลินอยด์ไฟฟ้า

Application of Cartesian Robotic Arm for 2D Sketching Controlled by PLC

Pairote Thongprasri^{1*} and Chalumpol Wesaruchprasert¹

pairote@eng.src.ku.ac.th^{1*}, chalumpol.we@ku.th¹

Received	: 26-Feb-2022
Revised	: 17-Oct-2022
Accepted	: 25-Oct-2022

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

Abstract

This paper presents the application of a cartesian robotic arm for 2D sketching, width 297 mm, length 400 mm. The movement of the x and y axis is linear, which is driven by servo motor. To reduce cost, the z-axis movement of the robotic arm uses an electric solenoid instead of a servo motor. The movement of all 3 axes of the robotic arm is controlled by PLC model CJ2M-CPU11. The defined coordinates or positions for moving the robotic arm are obtained by converting the black and white image prototype using the ALL TO G-Code Converter program. The coordinate data cannot be directly imported into the PLC's memory. A program to adjust the coordinates for storing in PLC's memory was developed on MATLAB program. This program can shrink or enlarge the coordinates from the prototype image. The PI type feedback control is used to control the speed of the servo motor. The prototype image used must not exceed 100 Kbyte in size. If the line is thick, the positions obtained by converting with ALL TO G-Code Converter program are only the border of the prototype image. The experimental results, the cartesian robotic arm can sketch the fastest according to the defined image prototype. The speed setting of the x and y axis servo motor must be related to the proportion of the prototype. Optimal values for acceleration and deceleration, Kp, and Ti are 50c/s^2 , 800 Hz and 1600 ms, respectively. Since the z axis movement of the robotic arm uses an electric solenoid. The circular sketch according to the prototype looks distorted. Sketching equipment, the head of pen must be strong enough because the z-axis cannot control the pressure.

Keywords: cartesian robotic arm, sketching, PLC, servo motor and electric solenoid

1. บทนำ

แขนกลเป็นเครื่องจักรกลที่ถูกโปรแกรมให้ทำงานแทนมนุษย์ โดยสามารถทำงานได้อย่างหลากหลายต่อเนื่อง งานที่ต้องการความละเอียดสูง หรืองานที่เสี่ยงอันตรายทั้งในด้านการเคมีและด้านพื้นที่เสี่ยงภัย ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) และพีแอลซี (Programmable Logic Controller : PLC) เป็นตัวควบคุมที่นิยมนำมาใช้กับแขนกล ข้อเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์มีความยืดหยุ่นสำหรับการเขียนโปรแกรมที่ซับซ้อนมากกว่าพีแอลซี ในขณะที่ตัวควบคุมพีแอลซีมีเสถียรภาพในการทำงานที่สภาวะแวดล้อมที่หลากหลายได้ดีกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ แขนกลมีวิวัฒนาการและก้าวหน้าอย่างรวดเร็วได้เข้ามามีบทบาทมากมายในชีวิตของมนุษย์หลายด้าน เช่น ด้านการแพทย์ ด้านเกษตรกรรม ด้านการทหาร หรือแม้กระทั่งการประยุกต์แขนกลในงานด้านศิลปะ เป็นต้น ในการใช้แขนกลวาดภาพหรือร่างภาพจากภาพต้นแบบ การหาขอบภาพ พิกัดหรือตำแหน่ง ที่ใช้ควบคุมปลายแขนของแขนกลเป็นสิ่งสำคัญ หลักการหาขอบภาพคือการตรวจสอบว่าเส้นลากผ่านหรือใกล้เคียงกับจุดใด โดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดที่ใช้งาน สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มคือกลุ่มวิธีการเกรเดียนต์และกลุ่มวิธีการลาปาเซีย วิธีการเกรเดียนต์จะหาขอบภาพโดยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่ง สำหรับวิธีการลาปาเซียการหาขอบเขตภาพจะใช้อนุพันธ์อันดับ 2 โดยวิเคราะห์จากจุดที่มีค่า y เป็นศูนย์หรือ zero-crossing ซึ่งวิธีนี้ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าวิธีการเกรเดียนต์ [1] การหาพิกัดหรือตำแหน่งโดยใช้ G-Code (Geometric Code) ซึ่งเป็นภาษาที่ประกอบ ด้วยรหัสคำสั่งที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ต้องการ [2] แขนกลที่มีโครงสร้างที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมใช้สำหรับวาดภาพจากรูปต้นแบบ แขนกลสามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน x และ y ขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ และใช้ปากกาถูกลิ้นในการวาดภาพบนกระดาษขนาด A4 การหาขอบภาพใช้วิธี canny จัดอยู่ในกลุ่มวิธีการเกรเดียนต์ผ่านโปรแกรม MATLAB เมื่อได้ตำแหน่งขอบรูปจะถูกแปลงเป็นพิกัดส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เพื่อควบคุมให้แขนกลทำงาน ผลการวาดภาพมีความคล้ายภาพต้นแบบ [3] แขนกลสำหรับวาดภาพเป็นหุ่นยนต์ SCARA มี 3 ข้อต่อ ควบคุมด้วย

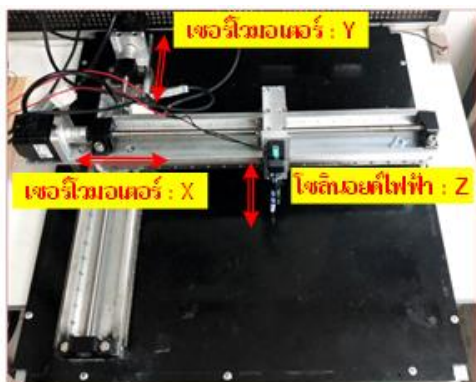
ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ 3 ตัว ใช้วิธี canny ในการตรวจหาขอบรูปผ่านโปรแกรม MATLAB ก่อนเริ่มวาดภาพทุกครั้งต้องมีการปรับระยะจุดเริ่มต้นหรือจุดอ้างอิง [4] การวาดภาพเหมือนมนุษย์ของหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ของ Fujitsu มีระบบ AI ในการควบคุม ใช้แขนข้างขวาในการวาดภาพประกอบด้วยส่วนหัวไหล่ที่หมุนได้ 3 ทิศทาง ส่วนของข้อศอกที่หมุนได้ 1 ทิศทาง และส่วนของมือที่มีนิ้วทั้ง 5 ซึ่งควบคุมด้วยมอเตอร์เพียง 1 ตัว มีการติดตั้งกล้องเว็บแคมความละเอียด 640x480 พิกเซล ไว้ที่ส่วนหัวของหุ่นยนต์ ใช้วิธีการ canny ในการหาขอบของรูปภาพ ใช้ปากกามาร์กเกอร์และปากกาขนนกในการวาด ผลที่ได้ปากกาขนนกมีความสวยงามและความสมจริงมากกว่าปากกามาร์กเกอร์ [5] การวาดภาพด้วยหุ่นยนต์พอล (Paul) ประกอบด้วย 3 ข้อต่อ และมีข้อต่อพิเศษที่ใช้สำหรับจับปากกาถูกลิ้น เคลื่อนที่โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ ติดตั้งกล้องสำหรับจับใบหน้าของมนุษย์ต้นแบบ ใช้ระบบ YARP (Yet Another Robot Platform) ควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ เนื่องจากใช้เซอร์โวมอเตอร์ราคาถูกทำให้ภาพที่ได้มีความละเอียดค่อนข้างต่ำและขาดความแม่นยำในการทำงาน [6] หุ่นยนต์ Kuka รุ่น KR6 ควบคุมการทำงานด้วยคอนโทรลเลอร์ KRC2 สั่งงานผ่านหน้าจอแสดงผล ติดตั้งกล้องเพื่อเป็นอุปกรณ์ในการรับภาพต้นแบบ ใช้วิธี canny ตรวจจับหาขอบของรูป ใช้ปากกาถูกลิ้นในการวาด ผลของการวาดภาพพบว่ามีความใกล้เคียงกับรูปต้นแบบ แต่ในส่วนที่เป็นเส้นขอบบางๆ ของรูปต้นแบบ canny ไม่สามารถคำนวณพิกัดออกมาได้ และเมื่อหุ่นยนต์ทำงานอยู่ในที่โล่งการเปลี่ยนแปลงของแสงส่งผลต่อประสิทธิภาพของภาพวาด [7] การประยุกต์ใช้ XY-Plotter ควบคุมด้วยพีแอลซีผ่านหน้าจอสั่งงานโดยระบุตำแหน่งหรือพิกัด ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบ สเต็ป [8] แขนกลแบบคาร์ทีเซียนควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Aduino ขับเคลื่อนแกน x และ y ด้วยสเต็ปมอเตอร์ สำหรับแกน z ขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ รูปต้นแบบวาดจากโปรแกรม Inkscape แล้วใช้ ALL TO G-Code Converter ในการแปลงไฟล์รูปภาพให้เป็นตำแหน่ง แขนกลสามารถวาดเส้นที่ต่อเนื่องได้ตามรูปที่กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำแต่ต้องเป็นรูปที่มีเส้นต่อเนื่อง [9] หุ่นยนต์วาดภาพเคลื่อนที่ mobile robot Draw (mDraw) สามารถวาด

ตัวอักษร A แบบ 2 มิติ ภาพที่ได้จะเป็นเส้นขีด ซอฟต์แวร์ mDraw ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพพัฒนาบนโปรแกรม MATLAB ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นตัวประมวลผล [10] การออกแบบและพัฒนาเครื่อง CNC สำหรับเขียนข้อความ โดยแปลงข้อความเป็น G-Code ทำให้ได้พิกัดสำหรับส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ประมวลผล เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่อง CNC [11] ไปยังตำแหน่งที่กำหนด

บทความนี้นำเสนอแผนกลการที่เขียนสำหรับร่างภาพ 2 มิติ ขนาดไม่เกิน A3 กว้าง 297 mm ยาว 400 mm ประมวลผลด้วยพีแอลซี ภาษาสำหรับควบคุมพีแอลซี ประกอบด้วยภาษา LD (Ladder Diagram) และ ST (Structure Text) การเคลื่อนที่แนวแกน x และแกน y ใช้เซอร์โวมอเตอร์ร่วมกับบอลสกรูและรางสไลด์ เพื่อลดต้นทุนของแกนแกน z ใช้โซลินอยด์ไฟฟ้าสำหรับจับปากกาเคลื่อนที่ขึ้นลง รูปภาพต้นแบบถูกแปลงเป็นตำแหน่ง x y และ z ด้วยโปรแกรม ALL TO G-Code Converter

2. โครงสร้างแผนกลการที่เขียน

แผนกลการที่เขียนสำหรับร่างภาพควบคุมด้วยพีแอลซี สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวเส้นตรงทั้ง 3 แกน ดังรูปที่ 1 โดยแกน x และ y ถูกขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ร่วมกับบอลสกรูและรางสไลด์ พิกัดของการเคลื่อนที่เป็นระยะ 297 mm และ 400 mm ตามลำดับ สำหรับอุปกรณ์ร่างภาพถูกยึดติดกับแกนของโซลินอยด์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ตามแนวแกน z ได้เป็นระยะ 10 mm



รูปที่ 1 โครงสร้างแผนกลการที่เขียน

รางสไลด์มีลักษณะเป็นรางยาวมีสไลด์บล็อกเป็นตัวรับน้ำหนัก สามารถเลื่อนไปกลับได้ในแนวเชิงเส้น ภายใน

จะมีลูกปืนเป็นตัวขับเคลื่อนให้บล็อกสามารถเคลื่อนที่ไปตามรางเพื่อช่วยลดแรงเสียดทานในขณะที่เคลื่อนที่ บอลสกรูเป็นชิ้นส่วนของกลไกที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน ซึ่งจะเปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ให้เป็นการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น บอลสกรูจะถูกติดตั้งอยู่บนรางสไลด์ โดยแรงที่กระทำสำหรับขับเคลื่อนสามารถหาได้จาก

$$F_a = \mu mg \quad (1)$$

โดย μ คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของบอลสกรู

m คือน้ำหนักที่กระทำกับตัวรางสไลด์ (kg)

g คือความเร่งของแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s^2)

น้ำหนักที่กระทำบนรางสไลด์ในงานวิจัยนี้มีค่าประมาณ 5 กิโลกรัม เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของบอลสกรู 0.9 จากสมการที่ (1) สามารถหาค่าแรงที่กระทำได้ 44.145 N โดยทั่วไปรางสไลด์ที่มีความยาว 500 mm ความเสียดทานของซิลิโคนอยู่ในช่วง 2–5 N แรงกระทำทั้งหมดเมื่อรวมค่าความเสียดทานของซิลิโคนสูงสุด (5 N) จะได้ 49.145 N

แรงบิดและกำลังไฟฟ้าของเซอร์โวมอเตอร์สามารถหาได้จากสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$\tau = \frac{F_a \times P_h}{2\pi n} \quad (2)$$

$$P = \tau \times \frac{2\pi n}{60} \quad (3)$$

โดย P_h คือระยะห่างระหว่างเกลียว (m)

η คือประสิทธิภาพของบอลสกรู

n คือความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์ (rpm)

จากสมการที่ (2) ประสิทธิภาพของบอลสกรู 80% โดยมีระยะห่างระหว่างเกลียว 0.02 m ดังนั้นแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์ที่ได้มีค่า 0.196 Nm เมื่อกำหนดความเร็วรอบของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้งาน 3,000 rpm กำลังไฟฟ้าของเซอร์โวมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) มีค่า 61.575 W โดยในงานวิจัยที่ใช้เป็นเอซีเซอร์โวมอเตอร์รุ่น R88M-WP10030H-S1 พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 100 W ความเร็วรอบ 3,000 rpm พีแอลซีไม่สามารถสั่งการควบคุมไปที่เอซีเซอร์โวมอเตอร์โดยตรง ต้องสั่งงานผ่านชุด

ขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ ในงานวิจัยที่ใช้คือรุ่น R88D-WN01H-ML2 พิกัดกำลังไฟฟ้า 100 W และแรงดัน 200~230VAC ดังแสดงในรูปที่ 2



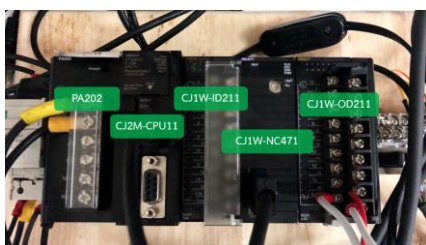
รูปที่ 2 เซอร์โวมอเตอร์และชุดขับ



รูปที่ 3 โซลินอยด์ไฟฟ้า

ชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์และเซอร์โวมอเตอร์มีราคาค่อนข้างสูง เพื่อลดต้นทุนสำหรับงานวิจัยนี้ การเคลื่อนที่แกน z ใช้โซลินอยด์ไฟฟ้ารุ่น ZYE1-0837Z มีความกว้าง 11 mm ยาว 20 mm สูง 12 mm พิกัดกำลังไฟฟ้า 9 W แรงดัน 24 VDC แรงที่ใช้ผลัก/ดึง 0.8 N ดังแสดงในรูปที่ 3 ทำหน้าที่เป็นตัวจับปากกาสำหรับการร่างภาพ

ชุดควบคุมพีแอลซีดังรูปที่ 4 ประกอบด้วยตัวควบคุมพีแอลซีเป็นแบบโมดูลาร์ รุ่น CJ2M-CPU11 หน่วยจ่ายไฟ รุ่น CJ1W-PA202 หน่วยอินพุตรุ่น CJ1W-ID211 หน่วยควบคุมตำแหน่ง รุ่น CJ1W-NC471 ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ และหน่วยเอาต์พุตชนิดทรานซิสเตอร์ (sink type) รุ่น CJ1W-OD211

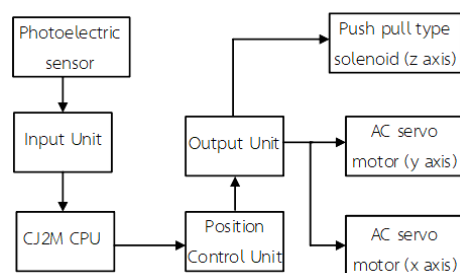


รูปที่ 4 ชุดควบคุมพีแอลซี

อุปกรณ์เซนเซอร์ทางแสง (photoelectric sensor) รุ่น EE-SX470 ดังรูปที่ 5 จำนวน 4 ตัว ใช้ตรวจจับระยะกั้นหน้าและหลังของแกน x และ y โดยต่อกับหน่วยอินพุตของพีแอลซี



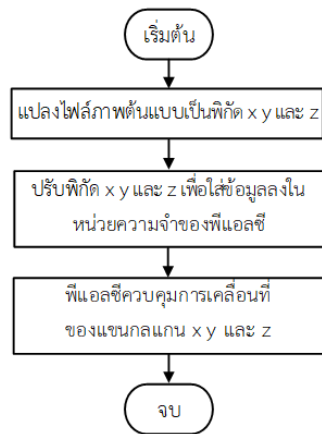
รูปที่ 5 photoelectric sensor รุ่น EE-SX470



รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมการต่อพีแอลซีร่วมกับอุปกรณ์

การต่อพีแอลซีร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6 มีอุปกรณ์เซนเซอร์ทางแสงจำนวน 4 ตัว ใช้ตรวจจับระยะกั้นหน้าและหลังของแกน x และ y โดยต่อกับหน่วยอินพุตของพีแอลซี สำหรับหน่วยเอาต์พุตต่อกับเซอร์โวมอเตอร์และโซลินอยด์ไฟฟ้าสำหรับควบคุมแกนกลแกน x y และแกน z ตามลำดับ

การควบคุมแกนกลมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 7 โดยพิกัดหรือตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์จะถูกพีแอลซีควบคุมผ่านหน่วยควบคุมตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนกลเกิดจากการแปลงไฟล์ต้นแบบด้วยโปรแกรม All To G-Code Converter หลังจากนั้นต้องทำการปรับพิกัดของ x y และ z สำหรับเก็บไว้ในหน่วยความจำของพีแอลซี เพื่อใช้เป็นข้อมูลให้พีแอลซีควบคุมแกนกล



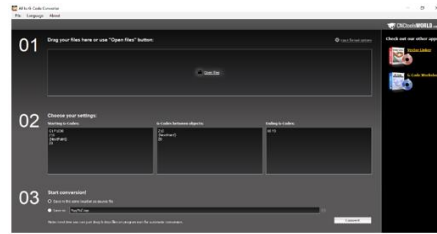
รูปที่ 7 แผนผังการควบคุมแขนกลโดยใช้พิกัด

3. ออกแบบระบบควบคุมด้วยพีแอลซี

ข้อมูลที่สำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้แขนกลคาร์ทีเซียนร่างภาพ 2 มิติ ตามรูปต้นแบบคือตำแหน่งหรือพิกัดของ x y และ z ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปเก็บยังหน่วยความจำของพีแอลซี รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำของพีแอลซีเป็นแบบ 5 คอลัมน์ แต่ละตำแหน่งสามารถเก็บข้อมูลได้ 2 เวิร์ด จำนวนพัลส์ที่ส่งให้เซอร์โวมอเตอร์หมุน 1 รอบจะใช้ 2,000 พัลส์ สำหรับบอลสกรูมีระยะห่างระหว่างเกลียว 2 mm ดังนั้นเมื่อส่งพัลส์ 2,000 พัลส์ แขนกลจะเคลื่อนที่ได้ 2 mm ขนาดสูงสุดที่แขนกลสามารถร่างภาพได้คือขนาดกระดาษ A3 กว้าง 297 mm ยาว 400 mm ดังนั้นข้อมูลที่เก็บลงในหน่วยความจำสำหรับตำแหน่งในแกน x ไม่เกิน 297,000 ตำแหน่ง และแกน y ไม่เกิน 400,000 ตำแหน่ง ข้อมูลนี้จะเป็นตัวกำหนดความจุของรูปต้นแบบต้องมีค่าไม่เกิน 100 Kbyte

งานวิจัยนี้รูปต้นแบบถูกแปลงเป็นพิกัดหรือตำแหน่ง x y และ z ด้วยโปรแกรม ALL TO G-Code Converter สำหรับรูปต้นแบบที่มีความหนาของเส้นการหาพิกัดหรือตำแหน่งจะได้เฉพาะขอบภาพต้นแบบ ขั้นตอนมีดังนี้

i) นำไฟล์รูป .jpg แปลงเป็นไฟล์ .dxf โดยรูปที่นำมาใช้ต้องเป็นภาพลายเส้นสีดำเท่านั้น หลังจากนั้นนำไฟล์ .dxf ที่ได้ไปแปลงเป็นพิกัดหรือตำแหน่ง ด้วยโปรแกรม All To G-Code Converter ดังแสดงในรูปที่ 8 ไฟล์ที่ถูกแปลงจะได้ไฟล์ตำแหน่งที่มีนามสกุล .tap



รูปที่ 8 แปลงไฟล์ .dxf เป็นไฟล์ .tap

```

PyramidsOK - Notepad
File Edit Format View Help
G1 F1000
Z10
X11786.171881 Y10801.350000
Z0
X11786.171881 Y10801.350000
X11518.814250 Y10528.358776
X11113.534821 Y10117.279892
X10659.125265 Y9657.802376
X10217.505498 Y9212.713426
X9162.393766 Y8151.126878
X9108.746883 Y8199.682752
X9070.089048 Y8233.537203
X8914.172520 Y8366.353778
X8729.961179 Y8522.834186
X8521.700000 Y8699.193397
X8311.368950 Y8877.678155
X8120.691125 Y9040.758728
  
```

รูปที่ 9 ตำแหน่ง x y และ z ที่อยู่ในไฟล์นามสกุล .tap

ii) จัดเตรียมข้อมูลเพื่อเก็บลงในหน่วยความจำของพีแอลซี เนื่องจากข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากการแปลงด้วยโปรแกรม All To G-Code Converter ในรูปที่ 9 ตำแหน่ง z จะแสดง 2 ค่าคือ $z10$ หมายถึงไม่มีสายเส้น (ปากกาถูกยก) และ $z0$ มีสายเส้น (ปากกาถูกเขียนบนกระดาษ) ส่วนตำแหน่งของ x และ y จะอยู่ในรูปจำนวนเต็มและมีทศนิยม 6 ตำแหน่ง เริ่มต้นทำการแยกข้อมูลของแกน x และ y ออกจากกันผลที่ได้ดังรูปที่ 10 (ก) จากนั้นทำการลบอักษร x y และทำการเพิ่มค่า 10 และ 0 ในแกน z ให้ครบ ผลที่ได้คอลัมน์ที่ 1 2 และ 3 คือตำแหน่งของแกน x y และ z ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 10 (ข)

เมื่อได้ข้อมูลตำแหน่งของแกน x y และ z ครบดังแสดงในรูปที่ 10 (ข) จากนั้นต้องจัดเรียงข้อมูลแกน x y และ z เป็น 5 คอลัมน์ โดยในรูปที่ 11 แสดงตัวอย่างการจัดเรียงข้อมูลตำแหน่งของแกน x เป็น 5 คอลัมน์ ส่วน y และ z แยกทำลักษณะเดียวกัน โดยขั้นตอนถัดไปก่อนเก็บข้อมูลในหน่วยความจำของพีแอลซีต้องทำให้แกน x และ y เป็นเลขจำนวนเต็มโดยตัดทศนิยมทิ้งก่อน

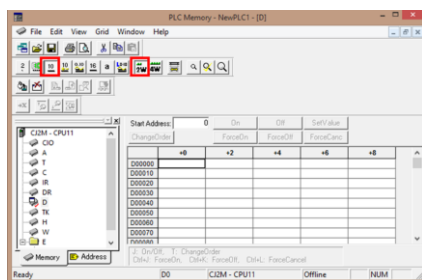
G1 F1000	G1 F1000		11786.17	10801.35	10
Z10	Z10		11518.81	10528.36	0
X11786.17	Y10801.350000		11113.53	10117.28	0
Z0	Z0		10659.13	9657.802	0
X11786.17	Y10801.350000		10217.51	9212.713	0
X11518.81	Y10528.358776		9162.394	8151.127	0
X11113.53	Y10117.279892		9108.747	8199.603	0
X10659.12	Y9657.802376		9070.089	8233.537	0
X10217.50	Y9212.713426		8914.173	8366.354	0
X9162.393	Y8151.126878		8729.961	8522.834	0
X9108.746	Y8199.602752		8521.7	8699.193	0
X9070.089	Y8233.537203		8311.369	8877.678	0
X8914.172	Y8366.353778		8120.691	9040.759	0
X8729.961	Y8522.834186		7961.319	9178.107	0
X8521.700	Y8699.193397		7905.593	9228.489	0
X8311.368	Y8877.678155		7822.886	9306.669	0
X8120.691	Y9040.758728		7705.002	9193.585	0
X7961.319	Y9178.107069		7656.762	9147.496	0
X7905.593	Y9228.488680		7609.297	9102.527	0
X7822.886	Y9306.669220		7568.274	9063.987	0
X7705.002	Y9193.584610		7544.736	9042.4	0
X7656.762	Y9147.496259		7515.234	9015.39	0
X7609.297	Y9102.526728		7407.388	8914.765	0

(ก) แยกข้อมูล x และ y (ข) ตำแหน่งของแกน x y และ z

รูปที่ 10 ข้อมูลตำแหน่งของแกน x y และ z

11786.17	11518.81	11113.53	10659.13	10217.51
9162.394	9108.747	9070.089	8914.173	8729.961
8521.7	8311.369	8120.691	7961.319	7905.593
7822.886	7705.002	7656.762	7609.297	7568.274
7544.736	7515.234	7407.388	7279.856	7136.682
6808.719	6538.513	6176.292	5372.1	4958.366
4576.624	4256.565	4126.487	4023.924	3878.278
3718.784	3568.289	3416.832	3254.418	3104.696
2996.876	2830.933	2666.937	2518.497	2477.519
2464.55	2406.666	2339.689	2263.965	2186.776
2115.201	2054.88	2029.769	1997.696	1952.978
1882.818	1746.1	1512.797	1435.955	1383.973
1326.815	1281.931	1239.782	1185.194	1082.503
970.6387	917.186	869.0945	801.6979	695.6895
477.5653	323.2094	173.2147	39.804797	25.400000
32.219671	79.494050	138.9698	209.55	303.6594
386.4126	464.961	546.1	866.7897	2603.5
4471.964	4490.457	4491.269	4455.324	4411.638
4358.004	4303.724	4257.996	4218.773	4216.4

รูปที่ 11 จัดเรียงข้อมูลตำแหน่งของแกน x เป็น 5 คอลัมน์

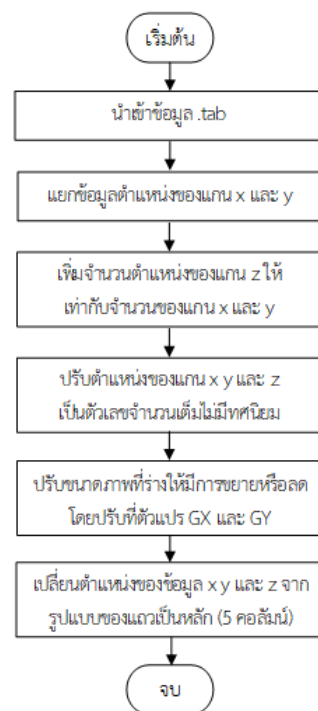


รูปที่ 12 พื้นที่หน่วยความจำของพีแอลซี

การใช้พื้นที่หน่วยความจำของพีแอลซีต้องทำการปรับข้อมูลที่จะเก็บเป็นเลขฐานสิบและขนาดของข้อมูลปรับเป็น 2 เวิร์ด ดังรูปที่ 12 โดยข้อมูลที่จะเก็บลงในพื้นที่หน่วยความจำของพีแอลซีต้องเป็นตัวเลขจำนวนเต็มเท่านั้น ส่วนทศนิยมจะถูกตัดทิ้ง โดยกำหนดพื้นที่หน่วยความจำของ

แกน x อยู่ที่ตำแหน่ง D1,000-D7,999 แกน y อยู่ที่ตำแหน่ง D8,000-D14,999 และแกน Z อยู่ที่ตำแหน่ง D15,000-D21,999

ขั้นตอนที่บรรยายได้ถูกนำมาพัฒนาโปรแกรม MATLAB โดยมีรายละเอียดตามแผนผังการทำงานดังแสดงในรูปที่ 13 ขั้นตอนการทำงานส่วนแรกคือต้องนำเข้าข้อมูล .tab โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาสามารถขยายหรือลดภาพที่ร่างได้ ทั้งนี้จะไม่สามารถขยายได้เกินพิกัดของกระดาด A3 ส่วน คำสั่งให้โซลินอยด์ไฟฟ้าทำงานหรือหยุดทำงาน (On/Off) กำหนดให้มีค่า 10 หรือ 0 ตามลำดับ เมื่อรันโปรแกรมตัวอักษร x y z และจุดทศนิยมได้ทุกตัวที่แยกตำแหน่งข้อมูลของแกน x และ y ออกจากกัน ทำการเพิ่มค่า 10 และ 0 ในแกน z ให้ครบตำแหน่ง ปรับข้อมูลตำแหน่งให้มีเฉพาะจำนวนเต็มตัดทศนิยมทิ้ง สามารถขยายหรือลดภาพที่ร่างได้โดยปรับค่า GX และ GY ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งต้องใส่ค่าจำนวนเต็มให้เท่ากันทั้งในแกน x (GX) และ y (GY) ทั้งนี้จะไม่สามารถขยายได้เกินพิกัดของกระดาด A3 ปรับเปลี่ยนข้อมูลตำแหน่งจากที่เก็บในรูปแบบแถวเป็นหลักจำนวน 5 คอลัมน์ รูปที่ 14 แสดงตัวอย่างผลของการรันโปรแกรมโดยตำแหน่งข้อมูลของแกน x y และ z เป็นจำนวนเต็มจัดเรียงเป็น 5 คอลัมน์ เรียงจากบนลงล่างตามลำดับ



รูปที่ 13 แผนผังการทำงานที่พัฒนาบน MATLAB

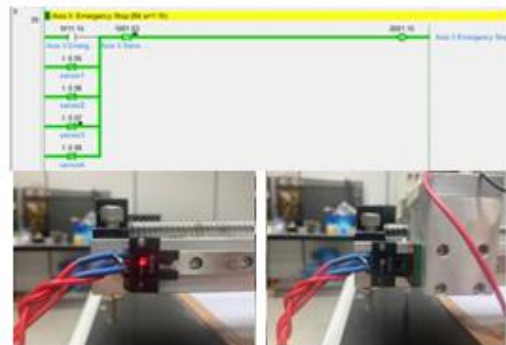
Variables - X2							
	1	2	3	4	5	6	7
1	101473	98320	94768	91280	91024		
2	90752	90048	88704	88096	81056		
3	74608	68016	66768	66160	64464		
4	63056	62400	62400	62480	62736		
5	63152	64000	65200	66312	66816		

Variables - Y2							
	1	2	3	4	5	6	7
1	204128	199200	193328	187392	186448		
2	186224	186496	187440	189504	193360		
3	197904	202416	202784	202272	193440		
4	185168	179424	178704	178704	180016		
5	182880	188176	194800	201712	202288		

Variables - Z2							
	1	2	3	4	5	6	7
1	10	0	0	0	0		
2	0	0	0	0	0		
3	0	0	0	0	0		
4	0	0	0	0	0		
5	0	0	0	0	0		

รูปที่ 14 ข้อมูลตำแหน่งแกน x y และ z เรียงจากบนลงล่าง

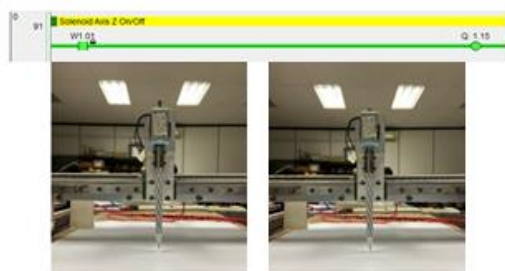
iii) ควบคุมพิกัดการเคลื่อนที่โดยใช้เซนเซอร์ทางแสงตรวจระยะกั้นหน้าและหลังแกน x และ y ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 เซนเซอร์ตรวจระยะกั้นหน้าและหลังแกน x และ y

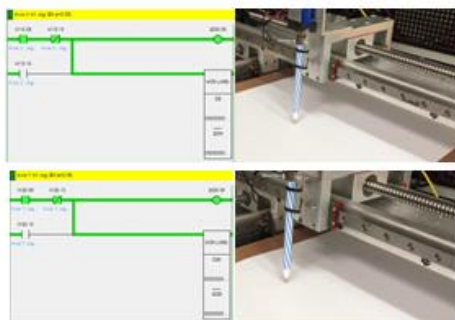
ภาษา LD และ ST ถูกใช้สำหรับเขียนโปรแกรมสั่งงานพีแอลซี โดยมีส่วนที่สำคัญดังนี้

i) ควบคุมการทำงานของโซลินอยด์ไฟฟ้าซึ่งติดตั้งปากกาไว้ เมื่อโซลินอยด์ทำงานปากกาจะถูกยกขึ้นดังรูปที่ 16 (ด้านซ้ายมือ) ทางตรงข้ามปลายปากกาจะถูกวางลงบนกระดาษดังแสดงในรูปที่ 15 (ด้านขวามือ)

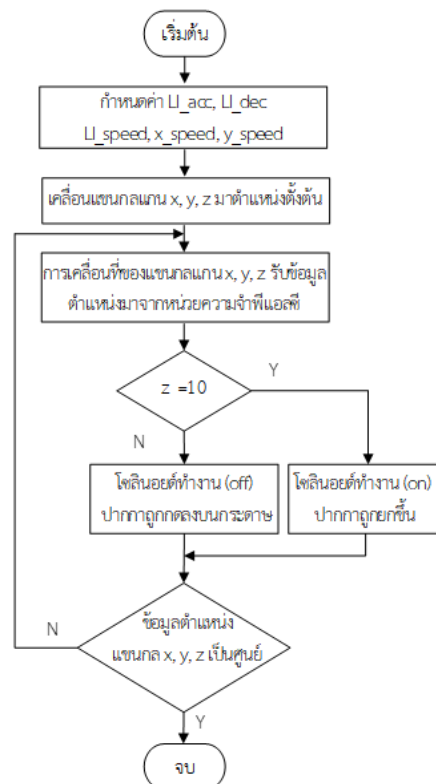


รูปที่ 15 ควบคุมการทำงานของโซลินอยด์ไฟฟ้า

ii) ควบคุมการเคลื่อนที่แกนกลแนวแกน x และ y ดังแสดงในรูปที่ 16 ด้านบนและล่างตามลำดับ



รูปที่ 16 ควบคุมการเคลื่อนที่แกนกลแนวแกน x และ y



รูปที่ 18 แผนผังควบคุมการเคลื่อนที่เซอร์โวมอเตอร์

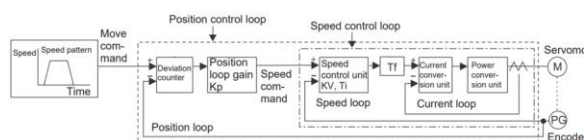
iv) การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ใช้ภาษา ST โดยมีแผนผังการทำงานดังแสดงในรูปที่ 18 ซึ่งหน้าที่หลักคือรับข้อมูลตำแหน่งจากหน่วยความจำพีแอลซี เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ โดยสามารถกำหนดคุณลักษณะที่สำคัญ ได้แก่

- LI_speed กำหนดความเร็วสูงสุด อยู่ในช่วง 0-65,535 c/s

- x_speed และ y_speed ตั้งค่าความเร็วของแกน x และ y อยู่ในช่วง 0-65,535 c/s

- LI_acc และ LI_dec ปรับอัตราเร่งและหน่วง โดยค่าที่ใช้ปรับจะถูกกำหนดให้ใช้ค่าเดียวกัน อยู่ในช่วง 0-65,535 command units/sec² (c/s²)

ขั้นตอนถัดมาแกนจะเคลื่อนมาที่ตำแหน่งตั้งต้น สำหรับการเคลื่อนที่ของแกนแกน x y และ z ตำแหน่งจะถูกส่งมาจากหน่วยความจำของพีแอลซี เงื่อนไขของปากกาจะถูกกดลงบนกระดาษหรือถูกยกขึ้นอยู่ที่ค่า z โดยถ้าค่า z มีค่าเป็นศูนย์ปากกาจะถูกกดลงบนกระดาษ แต่ถ้า z มีค่าเป็น 10 ปากกาจะถูกยกขึ้นเนื่องจากโซลินอยด์ไฟฟ้าทำงาน การร่างภาพเสร็จสิ้นเมื่อตำแหน่งข้อมูลในหน่วยความจำพีแอลซีถูกส่งมาให้ประมวลผลจนหมด

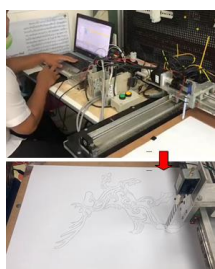


รูปที่ 19 กระบวนการควบคุมด้วย PI ของวงจรถุดขับ

รูปที่ 19 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ของชุดขับรุ่น R88D-WN01H-ML2 ชนิดการควบคุมเป็นแบบ PI ที่ใช้ค่า sampling rate เป็นความถี่ โดยสามารถปรับค่า K_p (position control loop gain) อยู่ในช่วง 10-20,000 Hz ส่วนค่า T_i (speed control loop) อยู่ในช่วง 15-51,200 ms เมื่อพีแอลซีส่งสัญญาณพัลส์เข้ามาถูกเปรียบเทียบกับเอ็นโค้ดเดอร์ ผลของการเปรียบเทียบถูกส่งต่อที่ position control loop ซึ่งเป็นส่วนของการควบคุมตำแหน่ง เอาต์พุตที่ได้ถูกส่งยัง speed control loop เพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์

4. ผลการทดลอง

ชุดต้นแบบแกนกลคาร์ทีเซียนร่างภาพ 2 มิติ ควบคุมการทำงานด้วยพีแอลซี ดังแสดงในรูปที่ 20



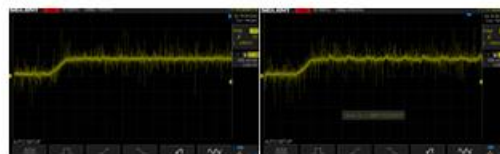
รูปที่ 20 ชุดต้นแบบแกนกลคาร์ทีเซียนร่างภาพ 2 มิติ

ขั้นตอนแรกทดลองการปรับจูนค่า K_p และ T_i เพื่อกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับใช้งาน โดยใช้รูปแบบในรูปที่ 21 เงื่อนไขการทดลอง i) ปรับเปลี่ยนค่า LI_speed x_speed และ y_speed ระหว่าง 30,000 - 60,000 c/s โดยปรับเพิ่มขึ้นระดับละ 10,000 c/s ii) คงค่า LI_speed x_speed และ y_speed ทำการปรับเปลี่ยนค่า K_p 4 ระดับ ได้แก่ 400 600 800 และ 1,000 Hz โดยกำหนดให้ T_i คงที่ 1,600 ms หลังจากทดลองเสร็จ ปรับเปลี่ยน T_i เป็น 2,000 2,400 และ 2,800 ms ตามลำดับ iii) ทำการทดลองซ้ำเดิมจนครบ



รูปที่ 21 รูปแบบและภาพที่ร่างด้วยด้วยแกนกล

ผลการทดลองแกนกลสามารถร่างภาพได้สมบูรณ์ และใช้เวลาน้อย ค่าที่เหมาะสม K_p และ T_i มีค่าอยู่ที่ 800 Hz และ 1,600ms ตามลำดับ โดยผลการตอบสนองระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ดังแสดงรูปที่ 22 (ก) ถ้าตั้งค่า K_p สูงกว่า 800 Hz หรือตั้งค่า T_i ต่ำกว่า 1,600 ms โครงสร้างแกนกลจะมีการสั่นสะเทือนขณะเคลื่อนที่ โดยผลการตอบสนองระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ที่ได้ดังรูปที่ 22 (ข) ซึ่งจะพบว่ารูปกราฟในสภาวะคงตัวมีระลอกคลื่นเกิดขึ้น สำหรับการปรับเปลี่ยนค่า LI_speed x_speed และ y_speed ถ้ากำหนดให้มีค่าสูงกว่า 60,000 c/s แกนกลจะเกิดการสั่นขณะมีการเคลื่อนที่



ก) K_p 800 Hz

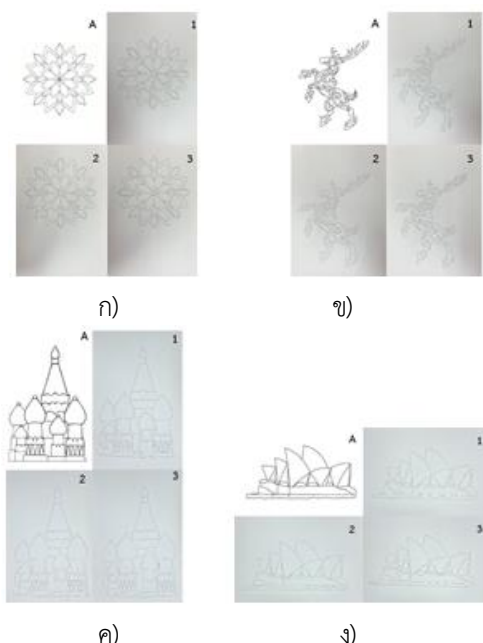
ข) K_p 1,000 Hz

รูปที่ 22 ผลตอบสนองระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

จากผลการทดลองทำให้สามารถกำหนดค่า K_p และ T_i ที่เหมาะสมได้ นอกจากนี้พบว่าค่าของ LI_speed

x_speed และ y_speed ต้องกำหนดไม่เกิน 60,000 c/s สำหรับขั้นตอนถัดไปทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของ x_speed y_speed LI_acc และ LI_dec รูปถ่ายเส้นสีดำจำนวน 4 แบบ (ก-ง) ที่มีลายเส้นไม่ซับซ้อน (อักษร A) ในรูปที่ 23 ถูกใช้เป็นต้นแบบ เงื่อนไขการทดลอง i) กำหนด LI_speed สูงสุดที่ 60,000 c/s ii) กำหนด Ki และ Ti มีค่าอยู่ที่ 800 Hz และ 1,600ms ตามลำดับ iii) ปรับเปลี่ยนค่า x_speed และ y_speed ระหว่าง 30,000 - 60,000 c/s โดยปรับเพิ่มขึ้นระดับละ 5,000 c/s

รูปที่ 23 ก) - ง) ที่มีหมายเลข 1-3 กำกับเป็นรูปส่วนหนึ่งของการทดลองใช้แผนกร่างภาพ เมื่อปรับเปลี่ยนค่า x_speed และ y_speed ดังนี้ หมายเลข 1: x_speed และ y_speed มีค่า 60,000 c/s หมายเลข 2: x_speed และ y_speed เท่ากับ 40,000 และ 60,000 c/s ตามลำดับ และสำหรับหมายเลข 3: x_speed และ y_speed เท่ากับ 60,000 และ 30,000 c/s ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้ภาพที่ร่างจากแผนกรมีความสมบูรณ์แต่ใช้เวลาในการร่างภาพต่างกัน



รูปที่ 23 รูปต้นแบบและภาพที่ร่างด้วยแผนกรสำหรับหาค่าที่เหมาะสมของ x_speed และ y_speed

จากผลการทดลองเมื่อปรับเปลี่ยนค่า x_speed และ y_speed ระหว่าง 30,000 - 60,000 c/s โดยปรับเพิ่มขึ้นระดับละ 5,000 c/s พิจารณาที่แผนกรใช้เวลาในการร่างภาพน้อยที่สุดพบว่าค่าที่เหมาะสมของ x_speed และ

y_speed ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของรูปภาพต้นแบบ เมื่อรูปต้นแบบมีขนาดความกว้างมากกว่าความสูง ให้กำหนดค่า x_speed เท่ากับ $LI_speed_{(max)}$ โดยค่า y_speed หาได้ดังนี้

$$y_speed = \frac{H}{W} \times LI_speed_{(max)} \quad (4)$$

ถ้ารูปต้นแบบมีขนาดความสูงมากกว่าความกว้าง ให้กำหนดค่า y_speed เท่ากับ $LI_speed_{(max)}$ ซึ่งค่า x_speed หาได้จาก

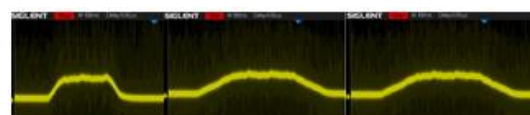
$$x_speed = \frac{W}{H} \times LI_speed_{(max)} \quad (5)$$

โดย H คือความสูงของรูปต้นแบบ (mm)

W คือความกว้างของรูปต้นแบบ (mm)

$LI_speed_{(max)}$ กำหนดค่า 60,000 c/s

จากการทดลองเมื่อได้ค่าที่เหมาะสมของ x_speed และ y_speed ในลำดับถัดมาหาค่าที่เหมาะสมของ LI_acc และ LI_dec โดยทดลองปรับอัตราเร่งและหน่วง 3 ระดับ คือ 50 100 และ 200 c/s^2 โดยทำการวัดสัญญาณแรงดันของเซอร์โวมอเตอร์ผ่าน Analog Monitor Output ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 24 โดยผลความชันของกราฟมากส่งผลให้เซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าความชันของกราฟน้อย ค่า LI_acc และ LI_dec เหมาะสมอยู่ที่ 50 c/s^2 ถ้าปรับต่ำกว่านี้ส่งผลให้เซอร์โวมอเตอร์มีการสั่นขณะเคลื่อนที่ สำหรับการปรับอัตราเร่งและหน่วงที่สูงกว่า 100 c/s^2 ค่าความชันของกราฟจะไม่แตกต่างกันมากนัก



ก) 50 c/s^2 ข) 100 c/s^2 ค) 200 c/s^2

รูปที่ 24 ผลตอบสนองของอัตราเร่งและหน่วง

ทดลองเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในการร่างภาพ โดยทำการทดลองเปลี่ยนอุปกรณ์ 4 ชนิด ได้แก่ ปากกาลูกกลิ้ง ขนาดหัว 0.5 mm ดินสอ 2B ปากกาตัดเส้น ปากกาเมจิก ดังแสดงในรูปที่ 25



รูปที่ 25 อุปกรณ์ที่ใช้ในการร่างภาพ

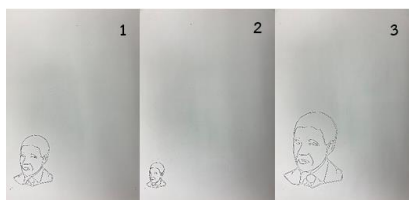


ก) ลากเส้น ข) ดินสอ ค) ตัดเส้น ง) ผนึก

รูปที่ 26 ภาพร่างเมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้วาด

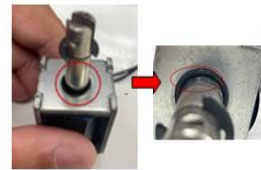
กำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ Ki มีค่า 800 Hz Ti มีค่า 1,600ms กำหนด LI_speed x_speed และ y_speed เท่ากับ 60,000 45,000 และ 60,000 c/s ตามลำดับ สำหรับ LI_acc และ LI_dec มีค่า 50 c/s² ทดลองร่างภาพต้นแบบ ในรูปที่ 21 ผลที่ได้ภาพที่ร่างด้วยปากกาถูกลิ้น ดินสอ และปากกาเมจิก ภาพที่ร่างมีรายละเอียดที่ครบถ้วนสมบูรณ์ดังแสดงผลในรูปที่ 26 แต่ภาพที่ได้จากปากกาตัดเส้นจะมีเส้นที่ไม่ครบถ้วนตามภาพต้นแบบ สาเหตุเนื่องมาจากขณะที่โซลินอยด์ไฟฟ้าไม่ทำงานปากกาจะถูกปล่อยลงมา ซึ่งจะไม่สามารถควบคุมแรงกดได้จึงทำให้หัวปากกาเกิดการบิดเบี้ยว ส่งผลต่อภาพที่ได้ออกมาไม่สมบูรณ์ สรุปได้ว่าอุปกรณ์ที่ใช้ร่างภาพหัวปากกาต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ เนื่องจากโซลินอยด์ไฟฟ้าไม่สามารถควบคุมแรงกดขณะไม่ทำงานได้

ทดลองปรับลดสัดส่วนของภาพที่ร่างจากแกนกลคาร์ทีเซียน โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาสามารถขยายหรือลดภาพที่ร่างได้โดยปรับค่า GX และ GY ใส่ค่าจำนวนเต็มให้เท่ากัน รูปที่ 27 แสดงผลของการร่างภาพเมื่อปรับค่า GX และ GY มีค่าเป็น 4 1 และ 16 เรียงจากหมายเลข 1-3 ตามลำดับ



รูปที่ 27 ปรับขนาดของภาพร่างจากรูปต้นแบบ

เพื่อที่จะลดต้นทุนโดยการใช้โซลินอยด์ไฟฟ้าแทนเซอร์โวมอเตอร์ทำงานในแนวแกน z เนื่องจากแกนของโซลินอยด์ไฟฟ้ามีการให้ตัวดังแสดงในรูปที่ 28 ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการเขียนวงกลมหรือเส้นโค้งมากๆ จะมีลักษณะผิดเพี้ยนจากรูปต้นแบบ โดยถ้ามีการลากเป็นเส้นโค้งหรือวงกลมต่อเนื่องโดยไม่มีการยกปากกา เส้นที่จะมาบรรจบกับจุดแรกจะไม่ถึงกัน ผลที่กล่าวมานี้ดังแสดงในรูปที่ 29



รูปที่ 28 การให้ตัวของแกนโซลินอยด์ไฟฟ้า



ก) รูปต้นแบบ ข) ภาพที่ร่างจากแกนกล

รูปที่ 29 ภาพร่างที่เกิดจากแกนกลคาร์ทีเซียนโดยใช้รูปต้นแบบประกอบไปด้วยวงกลม

5. สรุป

การประยุกต์แกนกลคาร์ทีเซียนสำหรับร่างภาพ 2 มิติ จากรูปต้นแบบ โครงสร้างแบบคาร์ทีเซียนจะเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นทำให้การออกแบบระบบควบคุมทำได้ง่าย การเคลื่อนที่ในแนวแกน x และ y ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยเซอร์โวมอเตอร์ สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ต้องใช้งานคู่กับชุดขับทำให้มีต้นทุนที่สูง เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ในแนวแกน z พบว่าทำหน้าที่ยกปากกาหรือปล่อยปากกาเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้เปลี่ยนเป็นใช้โซลินอยด์ไฟฟ้าแทนเซอร์โวมอเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน z เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก การเคลื่อนที่ของแกนกลใช้พีแอลซีเป็นตัวควบคุมโดยคำสั่งหรือโปรแกรมสั่งงานพีแอลซีใช้ภาษา LD ร่วมกับภาษา ST ฟังก์ชันหรือตำแหน่งที่กำหนดให้แกนกลเคลื่อนที่ไปโปรแกรม All To G-Code Converter แปลงเส้นขอบของรูปต้นแบบชนิดขาวดำให้เป็นฟังก์ชัน 3 มิติ ตำแหน่งหรือฟังก์ชันที่ไม่สามารถนำไปเก็บในหน่วยความจำพีแอลซีได้โดยตรง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมบน MATLAB สำหรับแปลงไฟล์ที่ได้จากโปรแกรม All To G-Code Converter ให้ได้ตำแหน่ง x y และ z แบบจำนวนเต็มชนิด 5 คอลัมน์ และสามารถขยายหรือย่อภาพร่างได้ การควบคุมแบบป้อนกลับของเซอร์โวมอเตอร์เป็นชนิด PI โดยได้ปรับค่า Kp และ Ti ที่เหมาะสมมีค่าอยู่ที่ 800 Hz และ 1,600ms ตามลำดับ สำหรับการตั้งค่าความเร็วของมอเตอร์แกน x และ y ต้องสอดคล้องกับสัดส่วนของรูปต้นแบบซึ่งจะทำให้เวลาที่ใช้ในการร่างภาพสั้น

ผลการทดลองให้แขนกลร่างภาพจากรูปต้นแบบ แขนกลสามารถร่างภาพได้สมบูรณ์ โดยข้อจำกัดคือการเขียนวงกลมหรือเส้นโค้งมากๆ จะมีลักษณะผิดเพี้ยนจากรูปต้นแบบ โดยถ้ามีการลากเป็นเส้นโค้งหรือวงกลมต่อเนื่อง โดยไม่มีการยกปากกา เส้นที่จะมาบรรจบกับจุดแรกจะไม่ถึงกัน เนื่องจากแกนของโซลินอยด์ไฟฟ้ามีการให้ตัว สำหรับอุปกรณ์ในการร่างภาพต้องใช้อุปกรณ์ที่มีหัวปากกาที่แข็งแรงพอสมควร เช่น ปากกามาจิก เป็นต้น เพราะอุปกรณ์ร่างภาพได้ถูกติดตั้งไว้กับแกนโซลินอยด์ไฟฟ้าจึงไม่สามารถปรับแรงกดลงบนกระดาษได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Shrivakshan G.T. A Comparison of various Edge Detection Techniques used in Image Processing. Int. Journal of Computer Science. Sep 2012;9(5):269-76.
- [2] Yakovlev S.G. Software development for 3d visualization of g-code when working with CNC machines. Journal of Physics: Conf. Series. 2020:1-6.
- [3] Munna M.S, Tarafder B.K, Robbani Md.G, Mallick T.C. Design and implementation of a drawbot using MATLAB and arduino mega. Int. Conf. on Electrical, Computer and Communication Engineering. 2017: 769-73.

- [4] Baid P, Kumar M.V. A 3 – DOF robot arm for drawing application. Int. Journal of Engineering Research & Technology. 2016;4(26):1-4.
- [5] Calinon S, Epiney J, Billard A. A humanoid robot drawing human portraits. Inter. Conf. on Humanoid Robots. 2005: 1-6.
- [6] Tresset P, Leymarie F.F. Portrait drawing by paul the robot. Article in Computers & Graphics. Aug. 2013;1-33.
- [7] Pichkalev M, Lavrenov R, Safin R, Hsia K.H. Face drawing by KUKA 6 axis robot manipulator. Developments in eSystems Engineering. 2019:709-714.
- [8] Rata M, Rata G. Application with a XY-plotter controlled by PLC used in student laboratory works. Inter. Sym. on Advanced Topics in Electrical Engineering. 2015:1-4.
- [9] Mishra S.K, Jha S, Sri R.G, Yashaswini N. Arduino based computer numerical control plotter. Inter. Res. Journal of Engineering and Technology. June 2021;8(6):2413-16.
- [10] Saha J, Niphadkar T, Majumdar Arpan. Drawbot: A mobile robot for image scanning and scaled printing. Inter. Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. 2016;5(2):124-28.
- [11] Xu S., Anwer N., Lavernhe S. Conversion of G-code programs for milling into STEP-NC. Proc. of Joint Conference on Mechanical, Design Engineering. 2014:1-7.