

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 43

The 43rd Electrical Engineering Conference (EECON-43)



28 - 30 ตุลาคม 2563

ณ โรงแรมท็อบแลนด์
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก



ไฟฟ้ากำลัง (PW)

การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)

โฟโตนิกส์ (PH)

ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)

ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)

คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)

อิเล็กทรอนิกส์ (EL)

พลังงานหมุนเวียน (RE)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)



ระบบควบคุมต้นทุนสำหรับแขนกล 6 แกนร่วมทำงานในสายการผลิต

A Budget 6-Axis Robot Controller for Collaborative Production Line

กาญจนา ศิลาวราวathy¹ และ ตะวัน ภูริศ²¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์²ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมแขนกล 6 แกนด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พาย โดยระบบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น แบ่งโหมดการทำงานออกเป็นโหมดการสอนและโหมดการทำงาน ในโหมดการสอนผู้ใช้จะสอนแขนกลโดยใช้จอยสติ๊กและทำการบันทึกค่าตำแหน่งมอเตอร์ในรูปแบบไฟล์เจสัน ส่วนโหมดการทำงานจะเป็นการขยับแขนกลไปในตำแหน่งที่กำหนดไว้แล้วในโหมดการสอน ระบบควบคุมแขนกลได้นำมาใช้ในระบบการตัดท่อ จากการทดสอบใช้งานพบว่าระบบซอฟต์แวร์สามารถควบคุมแขนกลให้ทำงานตามตำแหน่งที่ผู้ใช้สอนไว้ได้ต่อเนื่องอัตโนมัติ

คำสำคัญ: ระบบอัตโนมัติ การควบคุมแขนกล ระบบสมองกลฝังตัว ตำแหน่งควบคุม

Abstract

This article presents the introduction of a 6-axis robot arm control software system with a Raspberry Pi board for working with other independent machines in the production line. The software system is divided into teaching mode and operating mode. In the teaching mode, the user will teach the robot through a joystick and record in the JSON file format. In the operation mode, the robot arm is moved to the position specified in the teaching mode. Using the robotic arm control system in the pipe bending system, this software system can continuously control the robot to work according to the position taught by the user.

Keywords: Automation System, Robot Controller, Embedded System, Position Control

1. บทนำ

การก้าวเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 แขนกลหุ่นยนต์ถือเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ การผลิตรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า วัสดุอันตราย เคมี และงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เป็นต้น การนำแขนกล (Robot Arm) ขนาด 6 แกนมาใช้ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมนั้นยังจำกัดวงอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่เป็นผู้ประกอบการรายใหญ่ ซึ่งอาจยังไม่แพร่หลายในกลุ่มผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก เพราะ

ระบบแขนกลนั้นมีราคาแพงเนื่องจากการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างของแขนกลให้มีประสิทธิภาพต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง ประกอบกับเทคโนโลยีของแขนกลมีรูปแบบเฉพาะ อีกทั้งซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมเป็นลิขสิทธิ์ของผู้ผลิต ด้วยเหตุนี้แขนกลจากต่างประเทศผู้ผลิตจึงไม่สามารถใช้ซอฟต์แวร์ร่วมกันได้ ทำให้การใช้แขนกลในกระบวนการผลิตของผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็กจึงยังไม่แพร่หลาย ดังนั้นบทความนี้มุ่งเน้นการออกแบบพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการควบคุมแขนกลที่ผลิตใช้เองในประเทศไทย เพื่อสนองตอบการใช้หุ่นยนต์ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม โดยให้มีต้นทุนต่ำ งานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กมาใช้เป็นตัวควบคุมหุ่นยนต์แขนกลเพื่อลดต้นทุน อย่างไรก็ตามยังคงมีความยุ่งยากในการให้หุ่นยนต์ทำงานประสานงานร่วมกับเครื่องจักรอื่น ๆ ในสายการผลิต [1] นอกจากนี้หากหุ่นยนต์แขนกลมีความซับซ้อนมากขึ้นเช่นมีแขนกล 2 แขน [2] หรือมีการเคลื่อนที่หลายแกน ก็ต้องออกแบบการควบคุมที่ยุ่งยากซับซ้อน ในบางครั้งอาจจะต้องนำคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงราคาแพงมาใช้ในการเชื่อมต่อเพียง 4 ตัวในการควบคุมแขนกล 6 แกน จะต้องใช้ระบบควบคุมที่มีความซับซ้อนและอาศัยคอมพิวเตอร์ที่มีราคาสูงในการประมวลผล [3]

รายงานวิจัย [4] ได้ใช้บอร์ดราสเบอร์รี่พายในการควบคุมการทำงานของแขนกลผ่านทางเว็บอินเทอร์เฟซ และแสดงภาพเคลื่อนไหวที่รับภาพจากกล้อง แต่การควบคุมยังต้องอาศัยผู้ควบคุมคอยสั่งแขนกลให้ทำงานตามที่ต้องการ

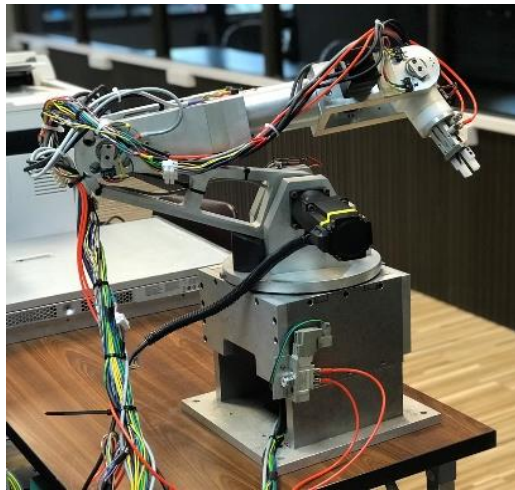
ดังนั้นงานวิจัยนี้เสนอการพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมแขนกล 6 แกนด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พายต้นทุนต่ำให้ทำงานแบบอัตโนมัติโดยไม่ต้องใช้ผู้ควบคุมคอยบังคับ พร้อมทั้งมีการควบคุมเชิงตรรกะให้ทำงานร่วมกับ PLC ของเครื่องจักรอื่นในสายการผลิต การตั้งโปรแกรมการทำงานของหุ่นยนต์จะอาศัยจอยสติ๊กบันทึกไว้ล่วงหน้าเพื่อโปรแกรมประมวลผลให้แขนกลสามารถเคลื่อนที่อย่างอัตโนมัติ

2. โครงสร้างแขนกล

ฮาร์ดแวร์แขนกลต้นแบบทำจากอลูมิเนียมตัดเป็นชิ้นงานตามแบบด้วยเครื่องไวร์คัทและเจาะช่องเพื่อลดน้ำหนักชิ้นงาน ประกอบชุดเกียร์กับสเต็ปมอเตอร์ 6 ตัว พร้อมเซนเซอร์วัดตำแหน่งเพื่อตรวจจับตำแหน่งองศาการหมุนของแกนมอเตอร์และกระปุกเกียร์ที่ใช้ในแขนกลแสดงไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าแรงบิดของมอเตอร์และอัตราทดเกียร์ที่ใช้

แกน	ตำแหน่ง	แรงบิด	อัตราทดเกียร์
1 st	เอว	4.8 Nm	1:25
2 nd	หัวไหล่	4.8 Nm	1:36
3 rd	ศอก	4.8 Nm	1:36
4 th	แขน	0.48 Nm	1:25
5 th	ข้อมือ	0.48 Nm	1:25
6 th	ปลายมือ	0.48 Nm	1:25



รูปที่ 1 แขนกลที่พัฒนาขึ้น

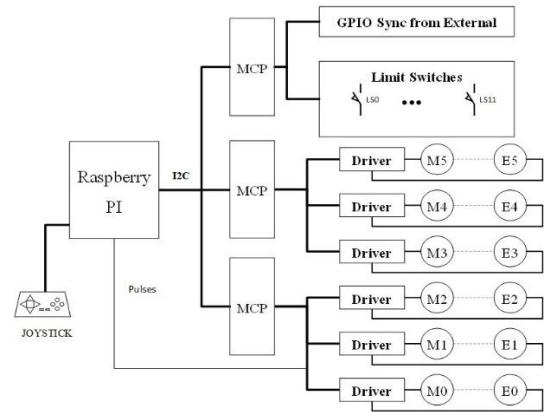
3. ระบบควบคุมแขนกล 6 แกน

ระบบควบคุมแขนกลมีองค์ประกอบ 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้ Raspberry Pi เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ และส่วนซอฟต์แวร์ควบคุมแขนกล

การทำงานเริ่มต้นจากการบังคับมอเตอร์แต่ละแกนผ่านจอยสติ๊กดังรูปที่ 2 ให้ขยับแขนกลไปยังตำแหน่งที่ต้องการ Raspberry Pi จะอ่านค่าปุ่มกดและส่งคำสั่งผ่านบัส I2C ไปควบคุมชุดขับเคลื่อนมอเตอร์และตรวจสอบการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ผ่านเซ็นเซอร์โค้ดเดอริ่ง วงจร PWM จะสร้างฐานเวลาเพื่อสร้างพัลส์ที่สอดคล้องกับความเร็วรอบป้อนให้กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ และนับจำนวนพัลส์ที่ตัววัดตำแหน่งเพื่อใช้ตรวจสอบตำแหน่งการเคลื่อนที่ การกดปุ่มเซฟจะบันทึกจำนวนพัลส์ เพื่อนำไปใช้สั่งงานในโหมดการทำงานตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 จอยสติ๊กที่ใช้ตั้งโปรแกรม



รูปที่ 3 แผนผังการควบคุม

เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณของพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตเอนกประสงค์ (General Purpose Input/Output: GPIO) ของ Raspberry Pi พายที่ใช้สำหรับการอ่านค่าแบบดิจิทัลมีจำนวนไม่เพียงพอต่อการใช้ควบคุมวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้ไอซีขยายพอร์ต MCP23017 ที่ทำงานร่วมกับบัส I2C จำนวน 3 ตัวเพื่อเพิ่มขยายจำนวนพอร์ตเอนกประสงค์ให้เป็น 48 บิต และมีการกำหนดตำแหน่งของการควบคุมมอเตอร์แต่ละตัวดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพอร์ตที่ใช้

สัญญาณ	พอร์ต	บิต		
		7	6	5:0
Direction	P0A	Gripper	-	J6:J1
Lower Limit SW	P0B	-	-	J6:J1
Upper Limit SW	P1B	Mode	-	J6:J1
Enable	P1A	-	-	J6:J1
Input	P2A	I7:I0		
Output	P2B	O7:O0		

จากการทดสอบในเบื้องต้นพบว่าแขนกลเคลื่อนไหวได้ช้าเนื่องจากข้อจำกัดของ MCP23017 ที่ตอบสนองความถี่ไม่เกิน 40 kHz ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงโดยสร้าง PWM ด้วย Raspberry Pi นำสัญญาณออกทางขาหมายเลข 18 และป้อนกลับสัญญาณเข้าที่ขาหมายเลข 23 แบบการขัดจังหวะ (Interrupt) การควบคุมทำโดยส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขาสัญญาณเพื่อขับเคลื่อน J1-J6 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขาพินพอร์ตเอนกประสงค์ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์

Motor	J1	J2	J3	J4	J5	J6
GPIO	24	25	12	16	20	21

โดยหลักการขัดจังหวะจะปลดค่าตัวนับของมอเตอร์แต่ละตัว และเมื่อตัวนับมีค่าเป็น 0 จะ Disable มอเตอร์เพื่อหยุดการทำงาน

3.1 การตั้งค่าโปรแกรมเพื่อสอนแขนกล

การตั้งโปรแกรมแขนกลคือการกำหนดค่าพัลส์ในการบังคับแขนกลให้มีรูปแบบการขับหรือปรับเปลี่ยนตำแหน่งการหมุนมอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ บันทึกค่าตำแหน่งองศาของแกนต่าง ๆ ที่ละชั้น

การตั้งโปรแกรมเพื่อบังคับแขนกล สามารถบังคับได้ด้วยจอยสติ๊ก โดยเมื่อกดปุ่มบันทึกจะเป็นการบันทึกข้อมูลเป็นคำสั่งเคลื่อนแขนกล 1 คำสั่ง เมื่อนำคำสั่งมาต่อกันจนเป็นการทำงานที่ต้องการ ก็จะทำการบันทึกโปรแกรมเพื่อนำมาเรียกใช้บังคับแขนกลให้ทำงานต่อเนื่องอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมีชุดคำสั่งอื่น ๆ เพิ่มเติมดังตารางที่ 4 เพื่อนำไปใช้ควบคุมการทำงานของแขนกล

ตารางที่ 4 ชุดคำสั่งที่ใช้

Code	Operand	ความหมาย
Mov A	a1..a6	Move absolute position
Mov R	r1..r6	Move relative
WaitT	Ich	Wait until Ich = True
WaitF	Ich	Wait until Ich = False
OutT	Och	Och = True
OutF	Och	Och = False
Delay	ms	Waiting ms
Sub	name	Subroutine
ret	-	Return
Call	name	Call subroutine
BF	name	Call sub if false
BT	name	Call sub if true
RDI	Ich	Load Input into stack
RDO	Och	Load Output into stack
RDT	Tch	Load Temp into stack
AND	-	And stack
OR	-	Or stack
NOT	-	Invert top of stack
OUT	Och	Pop stack to Och
OUT	Tch	Pop stack to Tch

หลักการการทำงานของซอฟต์แวร์ส่วนนี้จะใช้การอ่านค่าจอยสติ๊กที่พอร์ต USB ของเมาส์หรือรีพาย มีการตั้งค่าซอฟต์แวร์ให้เป็นโหมดตั้งค่าการควบคุมแขนกล การกดปุ่มซ้ายหรือขวาบนจอยสติ๊กจะเป็นการขับเพิ่มหรือลดองศาของแขนกล การกดปุ่มขึ้นหรือลงจะเป็นการเปลี่ยนแกนและเมื่อบังคับแขนกลให้ขับไปในตำแหน่งที่ต้องการ สามารถกดปุ่มสี่เหลี่ยมเพื่อบันทึกให้ซอฟต์แวร์จัดเก็บค่าการควบคุมแขนกลเรียกว่า 1 ชั้น ซึ่งจะบันทึกค่าเป็นมุมของมอเตอร์แต่ละแกนเก็บในรูปแบบไฟล์ JSON โดยสามารถบันทึกมุมของมอเตอร์ทั้งหมดแกน บันทึกเรียงลำดับตามจำนวนครั้งที่กดบันทึกไป ค่าที่บันทึกในไฟล์ JSON จะจัดเก็บ

รูปแบบการขับของแขนกลอย่างต่อเนื่องมีลำดับเพื่อใช้ควบคุมแขนกลให้ทำงานอัตโนมัติต่อไป

3.2 การควบคุมแขนกลให้ทำงานตามที่สอน

ซอฟต์แวร์ส่วนนี้จะอาศัยการสร้างอินเตอร์พรีเตอร์มาประยุกต์ใช้ โดยเริ่มจากการแยกส่วนไวยากรณ์ (Parsers) ด้วยวิธีการ LL1 [5] เพื่อสร้างตารางไวยากรณ์ แล้วจึงนำตารางนี้ไปใช้ในการแปลคำสั่งจากข้อมูล JSON และสั่งการให้กับโปรแกรมย่อยทำงานตามคำสั่งต่อไป

ชุดคำสั่งจำแนกตามลักษณะการทำงาน ได้เป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลและส่วนควบคุมเชิงตรรกซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ผู้ประกอบการต้องการใช้ในสายพานการผลิตเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงการทำงานระหว่างแขนกลกับเครื่องจักรอื่น ๆ ให้การทำงานเป็นไปอย่างต่อเนื่องและสอดคล้องกันกับกระบวนการผลิต

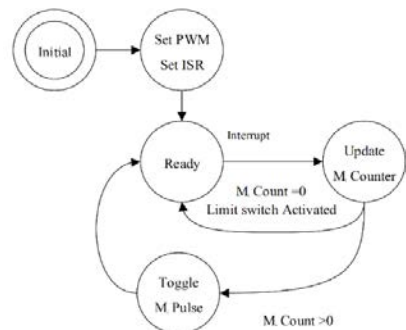
3.2.1 การควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล

การควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลสามารถทำได้สองลักษณะ คือ ใช้คำสั่งบังคับให้เคลื่อนที่ไปยังมุมที่ต้องการโดยไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งก่อนหน้า เรียกว่า Move Absolute และใช้คำสั่งให้เคลื่อนที่ด้วยองศาที่เพิ่มขึ้นหรือลดจากตำแหน่งอ้างอิงก่อนหน้าเรียกว่า Move Relative หรือการเคลื่อนที่เชิงสัมพัทธ์

คำสั่ง Mov Absolute หรือ Mov A แขนกลจะเคลื่อนที่ ไปยังตำแหน่งปลายทางเทียบกับจุดเริ่มต้นเสมอ อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่ของแขนกลไม่จำเป็นต้องเริ่มจากตำแหน่งเริ่มต้นทุกครั้ง การเคลื่อนที่ที่สามารถคำนวณเทียบกับตำแหน่งก่อนหน้าได้ ทำให้ใช้เวลาลดลง

การควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้คำสั่ง Mov R (Mov Relative) เป็นคำสั่งให้แขนกลขับหมุนไปโดยเทียบกับตำแหน่งปัจจุบัน คำสั่งนี้จะสอดคล้องกับการสั่งการชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ที่มีการทำงานแบบสัมพัทธ์

เพื่อป้องกันการขับแขนออกนอกระยะตำแหน่งต่ำสุดหรือสูงสุด ไม่ให้เกิดความเสียหายต่อสายไฟและสายสัญญาณ จึงได้ทำการติดตั้ง Limit Switch ตัดการทำงานของแขนกล



รูปที่ 3 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงสถานะจากการควบคุมพัลส์

การสร้างสัญญาณพัลส์บนเมาส์หรือรีพายเพื่อควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ ทำได้โดยอาศัยวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ภายในเมาส์หรือรีพาย

พวย ช่วยสร้างคาบเวลาความถี่สูง แต่ด้วยข้อจำกัดที่มีจำนวนพอร์ตของช่องสัญญาณไม่เพียงพอ จึงต้องใช้กลไกการขัดจังหวะเข้ามาช่วยในการสร้างสัญญาณควบคุมนับจำนวนพัลส์ของแกนมอเตอร์แต่ละแกน ดังรูปที่ 8 โดยการควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์แต่ละแกนจะมีการตั้งค่าระยะเวลาหมุนไว้ในตัวนับพัลส์ของแต่ละแกน เมื่อนำช่องสัญญาณของ PWM เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ และต่อเข้ากับขาพอร์ตและใช้กลไกการเกิดอินเทอร์รัพท์ที่ปลดจำนวนของตัวนับพัลส์ของมอเตอร์แต่ละแกนที่ได้ตั้งค่าไว้แล้ว หากค่าตัวนับของแกนใดลดลงจนเป็นศูนย์หรือตรวจพบว่า Limit Switch ของแกนกลไกใดถูกกระตุ้น ก็ไม่สร้างสัญญาณไปขับมอเตอร์แกนนั้นจนกว่าจะมีการสั่งงานครั้งต่อไป

3.3.2 การควบคุมเชิงตรรก

ส่วนนี้ใช้ควบคุมแกนกล และประสานการทำงานร่วมกับ PLC ของเครื่องจักรอื่น ๆ ในสายการผลิตร่วมกัน ให้เกิดความต่อเนื่องและเป็นไปตามกระบวนการผลิตได้ โดยเชื่อมต่อสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตจากสายการผลิตเชื่อมกับพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตของ MCP23017 ตามตารางที่ 2

โปรแกรมในส่วนนี้จะต้องสามารถปรับเปลี่ยนโปรแกรมโดยผู้ใช้ได้ จึงออกแบบให้มีการประมวลผลแบบสแตค (Stack Machine) ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและให้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการภายในเวลาที่ยอมรับได้ การทำงานจะ POP ค่าของตัวตั้งและตัวกระทำของชุดคำสั่งที่ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำสแตคเพื่อนำมาประมวลผลและ PUSH ผลลัพธ์เก็บลงในสแตค ผู้ใช้สามารถใช้คำสั่ง OUT เพื่อส่งค่าผลลัพธ์ออกจากสแตคไปยังพอร์ตเอาต์พุตที่กำหนดได้

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การทดสอบถูกแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตั้งแต่การทดสอบการเคลื่อนที่ของแกนกลแต่ละแกน เพื่อทำการกำหนดระยะเวลาปฏิบัติการด้วยการติดตั้ง Limit Switch ป้องกันการออกนอกระยะที่กำหนด การทดสอบความต่อเนื่องของการอ่านค่าระยะทดสอบการเคลื่อนที่ไปกลับของแต่ละแกน

การทดสอบการใช้จอยสติ๊กในการบังคับแกนกล ทดสอบการตั้งโปรแกรมให้ทำงานซ้ำ ทดสอบความคลาดเคลื่อนด้วยการตั้งแกนกลไปยังตำแหน่งเริ่มต้นจรดปากกาลงบนกระดาษแล้วยกปากกาขึ้น จากนั้นสุ่มค่าตำแหน่งเพื่อขยับแกนกลทั้ง 6 แกน ไปยังตำแหน่งอื่นๆ แล้วจึงใช้กระบวนการวิธีย้อนกลับ (Backtracking) ในการขยับแกนกลกลับมาที่จุดเริ่มต้น เพื่อจรดปากกาทำเครื่องหมายลงบนกระดาษอีกครั้งเพื่อดูความคลาดเคลื่อนระยะไม่เกิน 3 มิลลิเมตร รวมถึงทำการทดสอบการสุ่มเคลื่อนย้ายขยับลงบนกระดาษสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายในตารางนี้ขนาด 8x8 ช่อง ซึ่งสามารถวางตำแหน่งขยับไว้ที่กึ่งกลางจุดตัดได้อย่างที่กำหนด

5. สรุป

งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบพัฒนาระบบควบคุมแกนกลด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พวย ซอฟต์แวร์ควบคุมแกนกลเขียนด้วยภาษาไพทอน ออกแบบส่วนแปลชุดคำสั่งของแกนกลด้วยอินเทอร์พรีเตอร์โดยอาศัยกลไก LL1 เพื่อให้ผู้ใช้สามารถบังคับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนกลโดยใช้จอยสติ๊กและบันทึกการทำงานไว้ล่วงหน้าในไฟล์รูปแบบ JSON เพื่อนำมาใช้สั่งงานให้แกนกลเคลื่อนที่ได้อย่างอัตโนมัติตามที่ต้องการ ตัวแกนกลมีการติดตั้งลิมิตสวิทช์ป้องกันไม่ให้แกนกลเคลื่อนที่เกินระยะจำกัดเพื่อความปลอดภัยต่อแกนกลและผู้ใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Marcu, Gh. Lazea, R. Robotin, S. Herle, and L. Tamas, "Industrial robot controller using miniature computers", in *Int. Conf. on Automation, Quality and Testing, Robotics*, 2008.
- [2] GukHwa Kim, JooHan Park, TaeYong Choi, HyunMin Do, Dongll Park, and JinHo Kyung, "Case studies of a industrial dual-arm robot application", in *Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, 2017.
- [3] Chao Luo, and Wenzeng Zhang, "Design and analysis of multiple independent outputs time-sharing driving system for flexible robot arm", in *Int. Conf. on Adv. Robotics and Mechatronics*, 2019.
- [4] Rafia Alif Bindu, Sazid Alam, and Asif Ahmed Neloy, "A cost-efficient multipurpose service robot using raspberry Pi and 6 DOF robotic arm", in *Int. Conf. on Service Robotics Technol.*, 2019.
- [5] Dhruv Singal, Palak Agarwal, Saket Jhunjhunwala, and Subhajit Roy, "Parse Condition: Symbolic Encoding of LL(1) Parsing", in *Int. Conf. on Logic for Programming, Artificial Intelligence and Reasoning*, 2018.



กาญจนา ศิลารวเวทย์ สำเร็จการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สนใจระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ กลาวด์คอมพิวเตอร์ ความมั่นคงคอมพิวเตอร์ ระบบสมองกลฝังตัว



ตะวัน ภูริต สำเร็จการศึกษาวិทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ สนใจงานระบบสมองกลฝังตัว เอฟพีจีเอ ระบบดิจิทัล หุ่นยนต์ ระบบอัตโนมัติ