วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 28 ฉบับที่ 3 ก.ค.–ก.ย. 2561
The Journal of KMUTNB., Vol. 28, No. 3, Jul.–Sep. 2018

บทความวิจัย

ระบบอัตโนมัติช่วยฝึกซ้อมพิธีรับมอบใบปริญญาบัตร

นิรมล เรืองพยุงศักดิ์* ฐานันดร นวลศรี และ วิรุฬห์ ตันตินราศักดิ์
ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0–2555–2000 ต่อ 8218 อีเมล: niramon.r@eng.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.07.002
รับเมื่อ 13 มิถุนายน 2560 ตอบรับเมื่อ 29 สิงหาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 20 กรกฎาคม 2561
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบอัตโนมัติเพื่อช่วยบัณฑิตฝึกซ้อมรับมอบใบปริญญาบัตรสำหรับพิธีพระราชทานปริญญาบัตร โดยให้แขนกลทำหน้าที่ในการส่งมอบใบปริญญาบัตรให้กับบัณฑิตแทนผู้มอบใบปริญญาบัตร ซึ่งได้รับความเหนื่อยล้าที่แขนเนื่องจากการยืดและหดแขนซ้ำไปมาเป็นระยะเวลานานหลายชั่วโมง และระบบยังต้องทำงานได้ในกรณีที่เกิดการขัดจังหวะของการฝึกซ้อมด้วย ระบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้นประกอบด้วยแขนกล ชุดป้อนใบปริญญาบัตร และชุดตรวจจับมือ ซึ่งทำงานสัมพันธ์กัน ระบบได้ถูกออกแบบให้ทำงานอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้มีราคาประหยัด มีน้ำหนักเบา และเคลื่อนที่ได้รวดเร็ว เพื่อหยิบใบปริญญาบัตรจากชุดป้อนใบปริญญาบัตรและส่งมอบให้กับบัณฑิต สอดคล้องกับการเคลื่อนไหวของมือบัณฑิต ในการทดสอบประสิทธิภาพของแขนกล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมแขนกลให้มีความแม่นยำสำหรับการส่งมอบใบปริญญาบัตรให้กับบัณฑิต และแขนกลสามารถหยุดเพื่อรอให้บัณฑิตหยิบใบปริญญาบัตรจากปลายแขนกลก่อนทำงานรอบต่อไป

คำสำคัญ: ระบบอัตโนมัติ, แขนกล, พิธีรับมอบปริญญาบัตร

การอ้างอิงบทความ: นิรมล เรืองพยุงศักดิ์ ฐานันดร นวลศรี และ วิรุฬห์ ตันตินราศักดิ์, "ระบบอัตโนมัติช่วยฝึกซ้อมพิธีรับมอบใบปริญญาบัตร," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 3, หน้า 593–603, ก.ค.–ก.ย. 2561.

Research Article

Automation System Assisting Commencement Ceremony Rehearsal

Niramon Ruangpayoongsak*, Thanandon Nualsee and Wirun Tantinarasak
Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0–2555–2000 Ext. 8218, E–mail: niramon.r@eng.kmutnb.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.07.002
Received 13 June 2017; Accepted 29 August 2017; Published online: 20 July 2018
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This paper presents an automation system that assists rehearsals for the commencement ceremony. As individual representatives' fatigue solutions from long rehearsal hours, a working robot arm is used for delivering certificates in replacement of manual procedures. The system is required to completely perform its respective duties as to get prepared for any disruptions during rehearsals. The developed automation system consists of a robot arm, a certificate dispenser machine, and a hand detector, all of which must perform correspondingly. The system is designed to be automatic and is controlled by a microcontroller, making it cheap, light weight, with fast-reacting robotic limbs Robotic mechanical functions must conform to the graduates' grasping motions. According to the running test, the robotic arm can carry out certificate delivery with precision. Furthermore, the mechanical limb is supposed to wait by itself during individual pickup before executing its further cycle.

Keywords: Automation System, Robot Arm, Commencement Ceremony

Please cite this article in press as: N. Ruangpayoongsak, T. Nualsee, and W. Tantinarasak, "Automation system assisting commencement ceremony rehearsal," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 3, pp. 593–603, Jul.–Sep. 2018 (in Thai).

1. บทนำ

พิธีรับพระราชทานปริญญาบัตร เป็นงานประจำปีของมหาวิทยาลัยต่างๆ ในประเทศไทย ซึ่งต้องมีการฝึกซ้อมกันอย่างเข้มข้น เพื่อให้บัณฑิตมีความพร้อมเพรียงกัน เป็นระเบียบเรียบร้อย และสวยงาม แต่ละคณะต้องทำการซ้อมย่อย และจากนั้นทุกคณะจึงซ้อมใหญ่ในสถานที่จริง ซึ่งเป็นการฝึกซ้อมรวมทุกคณะ เพื่อให้บัณฑิตเข้าใจขั้นตอนของพิธีการ การซ้อมย่อยจะทำซ้ำหลายๆ ครั้ง จนกว่าจะมั่นใจว่าภาพรวมของการเดินเป็นแถวเป็นแนว ท่าทางในการทำความเคารพถูกต้องสวยงาม ตำแหน่งและจังหวะในการทำความเคารพถูกต้อง ใบปริญญาบัตรแต่ละใบจะถูกส่งมอบให้กับบัณฑิตทีละคน ภายใน 1 วัน จะทำการซ้อมหลายรอบ ในแต่ละรอบอาจใช้เวลาถึง 3 ชั่วโมง ผู้ส่งมอบใบปริญญาบัตร ซึ่งทำหน้าที่หยิบใบปริญญาบัตรจากมือของผู้ช่วยส่งมอบใบปริญญาบัตรและยื่นให้กับมือบัณฑิตจึงเกิดความเมื่อยล้าที่กล้ามเนื้อแขนเพราะต้องยืดและหดแขนซ้ำไปมา เพื่อหยิบและยื่นใบปริญญาบัตรอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน

เมื่อบัณฑิตยืนหยุดตรงหน้าผู้มอบใบปริญญาบัตร บัณฑิตจะยื่นมือไปข้างหน้า เพื่อรับใบปริญญาบัตรจากมือของผู้มอบใบปริญญาบัตร บัณฑิตดึงใบปริญญาบัตรแนบลำตัว จากนั้นเดินถอยหลังออกมาทำความเคารพ หันหลังกลับและเดินลงจากเวที บัณฑิตจะส่งคืนใบปริญญาบัตรให้กับเจ้าหน้าที่ซึ่งยืนรออยู่อีกทาง เพื่อนำไปใช้เวียนในการซ้อมต่อไป ต่อจากนั้นเจ้าหน้าที่จะลำเลียงใบปริญญาบัตรที่ถูกส่งคืนมารวมกันแล้ววางเป็นตั้งไว้ข้างผู้ช่วยส่งมอบใบปริญญาบัตร ซึ่งมีหน้าที่หยิบใบปริญญาบัตรและยื่นให้กับผู้ส่งมอบทีละใบ ช่วยลดภาระงานให้กับผู้ส่งมอบใบปริญญาบัตร ทำให้ผู้ส่งมอบใบปริญญาบัตรไม่ต้องเอื้อมหยิบใบปริญญาบัตร

นอกจากนี้ ในระหว่างการฝึกซ้อมอาจพบปัญหาการขัดจังหวะในการฝึกซ้อม เช่น บางครั้งขบวนบัณฑิตอาจติดขัดหรือชะงักไปชั่วขณะ เนื่องจากเกิดการสะดุดหรือหกล้ม ดังนั้นผู้ส่งมอบใบปริญญาบัตรและผู้ช่วยส่งมอบใบปริญญาบัตรจะต้องหยุดรอ ให้บัณฑิตมายืนรอข้างหน้าก่อนดำเนินการส่งมอบใบปริญญาบัตรต่อไป

การใช้ระบบอัตโนมัติทำงานซ้ำซากนั้น ได้ถูกนำมาใช้งานหลากหลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น แขนกลที่ทำงานซ้ำซากในการหยิบและวางชิ้นงานที่มีรูปร่างและวัสดุแตกต่างกัน และใช้เซนเซอร์เพื่อตรวจจับชิ้นงานหรือวัตถุเพื่อนำสัญญาณป้อนกลับมาใช้ควบคุมการทำงานของแขนกล เป็นต้น การใช้ระบบอัตโนมัติสำหรับช่วยฝึกซ้อมพิธีรับมอบใบปริญญาบัตรสามารถทำได้หากแต่มีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาแพง

บทความนี้นำเสนอระบบอัตโนมัติซึ่งช่วยในการฝึกซ้อมพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ซึ่งประกอบด้วย แขนกลซึ่งแทนที่ผู้ส่งมอบใบปริญญาบัตร ชุดตรวจจับมือสำหรับตรวจจับการขัดจังหวะของบัณฑิต และชุดป้อนใบปริญญาบัตรซึ่งแทนที่ผู้ช่วยส่งมอบใบปริญญาบัตร ให้ทั้งสามองค์ประกอบทำงานสัมพันธ์กัน ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำให้ระบบที่สร้างขึ้นนี้มีราคาประหยัด มีความแม่นยำในการเคลื่อนที่ สามารถตรวจจับการติดขัดหรือชะงัก และสั่งให้ระบบหยุดรอได้

Lu *et al.* [1] สำรวจแขนกลที่มีขายในเชิงพาณิชย์ ที่ใช้สำหรับงานวิจัย ซึ่งจากผลการสำรวจสามารถแบ่งแขนกลออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ แขนกลทางการศึกษาที่มีราคาถูก แขนกลอุตสาหกรรมที่มีราคาต่ำ แขนกลเชิงวิจัย และแขนกลที่ประกอบด้วยหน่วยแยกต่างๆ ที่สามารถรวมกันได้และมีน้ำหนักเบา แขนกลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในระบบอัตโนมัติช่วยฝึกซ้อมพิธีรับมอบใบปริญญาบัตรได้ แต่เนื่องจากถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถใช้งานหลากหลาย มีหลายองศาอิสระ และแม้ว่าแขนกลเหล่านี้จะมีความยืดหยุ่นในการเข้าถึงพื้นที่การหยิบจับวัตถุได้ดี แต่ผู้ใช้งานก็จะต้องศึกษาทำความเข้าใจหลักการทำงานของแขนกล เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน และต้องใช้อุปกรณ์เสริมเพิ่มเติม เพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์ จนกระทั่งสามารถทดแทนผู้ส่งมอบใบปริญญาบัตร และผู้ช่วยส่งมอบใบปริญญาบัตรได้

Allgeuer *et al.* [2] สร้างหุ่นยนต์ฮิวแมนอยด์ (Humanoid) โดยใช้มอเตอร์เซอร์โวไดนามิกเซล (Dynamixel) ของบริษัทโรโบทิส (ROBOTIS) เพื่อเลียนแบบท่าทางการเคลื่อนไหวของมนุษย์ หุ่นยนต์มีแขน ขา ศีรษะและลำตัวสูง 90 เซนติเมตร ขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติใช้วัสดุ

พลาสติก มอเตอร์ไดนามิกเซลเป็นมอเตอร์ที่มีตัวควบคุมพีไอดี (PID) ภายในตัว ทำให้สามารถสั่งงานให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งมุม ด้วยความเร็วที่ต้องการได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่ม

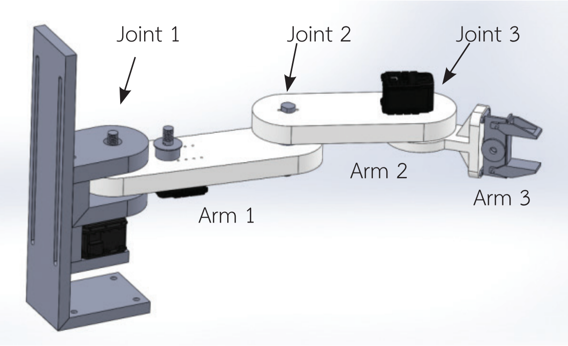
Agas *et al.* [3] นำเสนอวิธีการควบคุมแขนกลสำหรับช่วยฝึกซ้อมมือของผู้ป่วยอัมพฤกษ์ครึ่งซีก เพื่อทำกายภาพบำบัดลำตัวท่อนบนโดยใช้เกม 3 มิติเสมือนจริง แขนกลสร้างขึ้นโดยใช้มอเตอร์เซอร์โวไดนามิกเซล ขับเคลื่อนข้อต่อบนแขนกล และติดเซนเซอร์วัดแรงไว้ที่ปลายแขนกลในตำแหน่งที่ปลายนิ้วชี้ของผู้ป่วยสัมผัสปลายแขนกล มอเตอร์ไดนามิกเซลยังถูกใช้ในการสร้างแขนกล เพื่อการใช้งานอื่น เช่น เพื่อคนพิการ พรพรตและสยาม [4] ได้ติดตั้งแขนกลบนรถเข็นคนพิการเพื่อช่วยหยิบจับสิ่งของ และป้อนอาหารให้คนพิการ แขนกลนี้ถูกออกแบบมาเพื่อทำงานเฉพาะด้าน จึงมีความซับซ้อนของโครงสร้างไม่มากนัก ใช้มอเตอร์เซอร์โวไดนามิกเซลขับเคลื่อนแขนกลและควบคุมด้วยสวิตซ์เพียง 2 ตัวเท่านั้น ซึ่งทำให้ง่ายในการใช้งาน

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

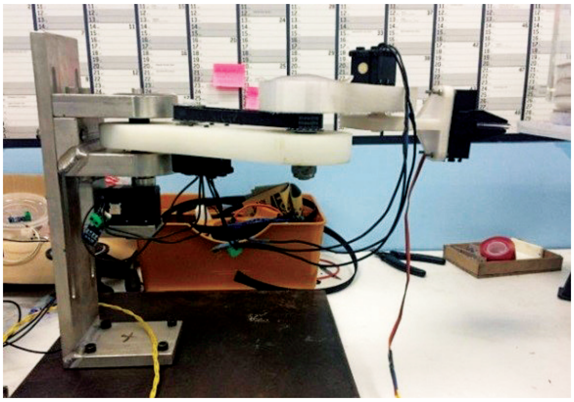
2.1 แขนกล

แขนกลทำหน้าที่แทนผู้ส่งมอบใบปริญญาบัตร ได้แก่ หยิบ และส่งมอบใบปริญญาบัตร มีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบแกว่งแขนไปมา จึงสามารถทดแทนได้ด้วยแขนกลแบบสการา (SCARA) เพื่อให้มีความอิสระในการเคลื่อนที่ในระนาบได้รวดเร็ว แขนกลสการาจึงได้ถูกออกแบบให้มีน้ำหนักเบา และใช้มอเตอร์เซอร์โวไดนามิกเซลซึ่งให้ความเร็วในการเคลื่อนที่มาก และมีความแม่นยำในการควบคุมตำแหน่งสูง นอกจากนี้เนื่องจากไม่ต้องติดเอนโค้ดเดอร์จึงทำให้ประหยัดพื้นที่และมีน้ำหนักเบา แบบจำลองของแขนกลแสดงในรูปที่ 1

แขนกลที่สร้างขึ้นมีแขน 3 ท่อน ท่อนแรกยึดติดกับเสาใช้วัสดุซูปเปอร์ลีนไนลอน เสริมด้วยอะลูมิเนียมรอบเพลาเพื่อให้แข็งแรงและใช้อะลูมิเนียมเป็นเสายึดข้อต่อที่ 1 เสายึดแขนกลเจาะช่องไว้ให้สามารถปรับตั้งความสูงของระนาบการทำงานของแขนกลได้ ส่วนแขนท่อนที่ 2 และ 3 ใช้วัสดุเอบีเอส



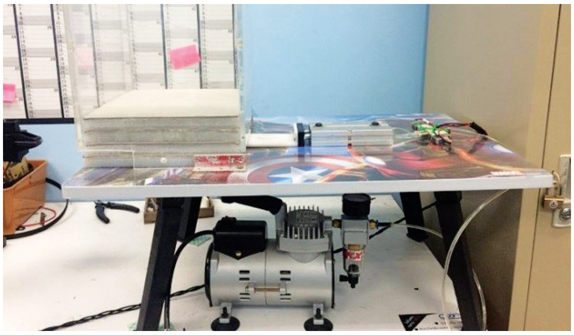
รูปที่ 1 แบบจำลองของแขนกล



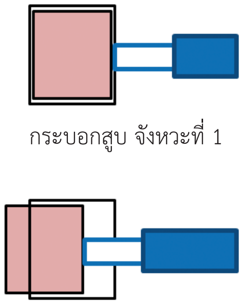
รูปที่ 2 แขนกลที่สร้างขึ้น

(ABS) ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเพื่อให้มีน้ำหนักเบา แขนท่อนที่ 3 เป็นท่อนปลายสำหรับติดตั้งกริปเปอร์ แขนกลที่สร้างเสร็จแล้วแสดงในรูปที่ 2 บนแขนท่อนที่ 1 ได้ใช้สายพานกับมู่เลย์ส่งกำลังไปขับเพลา เพื่อให้สามารถติดตั้งมอเตอร์ห่างจากเพลาข้อต่อที่ 2

เพื่อให้แขนกลสามารถเข้าถึงพื้นที่การทำงานได้เหมาะสม แขนกลที่สร้างขึ้นมี 3 ข้อต่อ ใช้มอเตอร์เซอร์โวไดนามิกเซลจำนวน 3 ตัว ได้แก่ MX-28, AX-18 และ AX-12 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 2 ติดตั้ง MX-28 ไว้ที่ข้อต่อที่ 1 ซึ่งยึดติดกับเสา และติดตั้ง AX-18 ไว้บนแขนท่อนแรกใกล้กับเพลาของข้อต่อที่ 1 และใช้สายพานกับมู่เลย์ส่งกำลังไปขับเพลาข้อต่อที่ 2 ส่วน AX-12 ถูกติดตั้งไว้ที่แขนท่อนที่ 2 เพื่อขับเพลาข้อต่อที่ 3 ซึ่งใช้หมุนกริปเปอร์ที่ปลายแขน ระยะการทำงานของข้อต่อที่ 1 อยู่ในช่วงระหว่างมุม –90 องศา ถึง +90 องศา



รูปที่ 3 ชุดป้อนใบปริญญาบัตร



รูปที่ 4 ชุดป้อนใบปริญญาบัตร

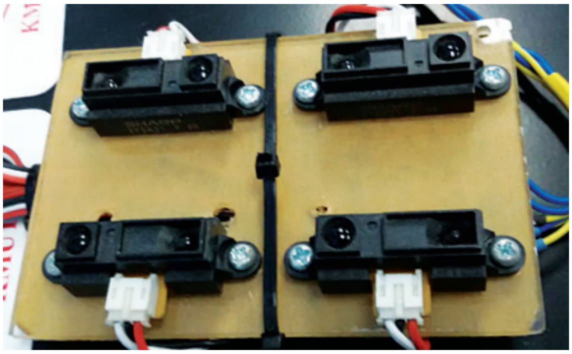
ในขณะที่ข้อต่อที่ 2 และ 3 อยู่ในช่วงระหว่างมุม –135 ถึง +135 องศา

2.2 ชุดป้อนใบปริญญาบัตร

ชุดป้อนใบปริญญาบัตร เป็นระบบนิวเมติกส์ [5] มีหน้าที่ยื่นใบปริญญาบัตรให้กับแขนกลทีละใบ กล่าวคือทำหน้าที่ทดแทนผู้ช่วยส่งมอบใบปริญญาบัตร ใบปริญญาบัตรซึ่งบรรจุอยู่ในกล่อง จะถูกผลักออกโดยใช้กระบอกลมผลักจากด้านหลังมาด้านหน้ากล่อง ทำให้ใบปริญญายื่นออกมาด้านหน้ากล่องและรอให้แขนกลมาหยิบ

ชุดป้อนใบปริญญาบัตรประกอบด้วย กล่องอะคริลิกสำหรับบรรจุใบปริญญาบัตร กระบอกลม 2 ทาง ก้านผลักใบปริญญาบัตรขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ปั๊มลมขนาดเล็ก และโซลินอยวาล์ว 3/2 ทาง ดังแสดงในรูปที่ 3

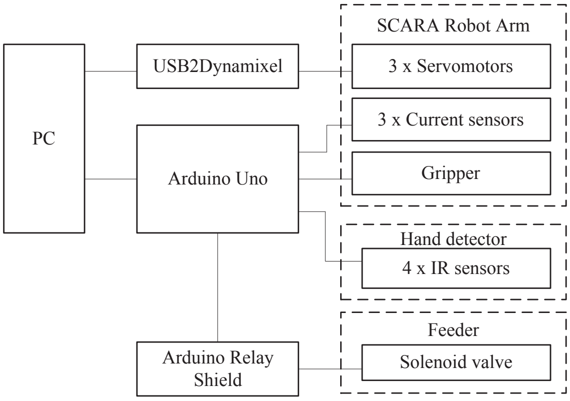
กล่องบรรจุใบปริญญาบัตรทำขึ้นจากแผ่นอะคริลิก ตัดมาประกอบเป็นกล่องสี่เหลี่ยม ตัดขอบด้านล่างออก เพื่อให้สามารถผลักใบปริญญาบัตร จากด้านหลังมาด้านหน้ากล่อง ซึ่งถูกวางเสมอขอบโต๊ะ ด้านหลังกล่องมีก้านผลักใบปริญญาบัตรยึดต่อกับกระบอกลม ซึ่งควบคุมด้วยโซลินอยด์วาล์ว กล่องบรรจุใบปริญญาบัตร ก้านผลักและกระบอกลมติดตั้งบนระนาบเดียวกัน กระบอกลมจะยืดออกเพื่อผลักใบปริญญาบัตรที่อยู่ล่างสุดในกล่องออกมาด้านหน้ากล่อง ในระหว่างที่แขนกลกำลังเคลื่อนที่มาหยุดที่หน้ากล่อง กระบอกลมทำงาน 2 จังหวะดังแสดงในรูปที่ 4 ในจังหวะที่ 1 กระบอกลมหดเข้าเพื่อปล่อยให้ใบปริญญาบัตรหล่นลงมาแทนที่ใบล่างสุดและในจังหวะที่ 2 กระบอกลมยื่นออกเพื่อผลักใบปริญญาบัตรใบล่างสุดออกทางด้านหน้ากล่อง



รูปที่ 5 ชุดตรวจจับมือ

2.3 ชุดตรวจจับมือ

ในการซ้อมรับใบปริญญาบัตร อาจเกิดการสะดุด หรือขัดจังหวะ ทำให้บัณฑิตขาดความต่อเนื่องของการยื่นมือมาจับใบปริญญาบัตร ดังนั้นเพื่อให้แขนกลหยุดรอเมื่อเกิดการขัดจังหวะ จึงได้สร้างชุดตรวจจับมือโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด (SHARP GP2Y0A21YK) จำนวน 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 5 ชุดตรวจจับมือถูกติดตั้งไว้ใต้แขนกล ณ ตำแหน่งที่บัณฑิตจะยื่นมือมาจับใบปริญญาจากปลายแขนกล ให้หน้าเซนเซอร์หงายขึ้นเมื่อแสงอินฟราเรดสะท้อนที่มือบัณฑิตจะสามารถตรวจจับว่ามือยื่นเข้ามารับใบปริญญาบัตรแล้วหรือไม่ หากตรวจพบมือจึงสั่งให้กริปเปอร์เปิด เพื่อปล่อยให้บัณฑิตดึงใบปริญญาบัตรออกจากกริปเปอร์ได้



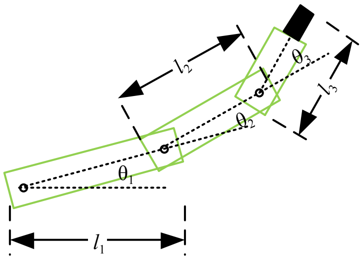
รูปที่ 6 แผงผังระบบควบคุม

ทั้งนี้ หากกริปเปอร์เปิดเร็วเกินไป จะทำให้ใบปริญญาบัตรร่วงหล่นลงบนพื้น ก่อนที่บัณฑิตจะดึงออก จึงจำเป็นต้องหยุดรอ เพื่อให้ชุดตรวจจับมือตรวจพบมือบัณฑิตก่อนแล้วค่อยสั่งเปิดกริปเปอร์ และในทางตรงกันข้ามถ้าหากกริปเปอร์เปิดช้าเกินไป จะทำให้บัณฑิตไม่สามารถดึงใบปริญญาบัตรออกจากกริปเปอร์ได้ในขณะที่ยื่นมือมาจับใบปริญญาบัตร

การใช้เซนเซอร์ทั้งสี่ตัวบนชุดตรวจจับมือจะช่วยให้การตรวจจับมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และเนื่องจากเซนเซอร์อินฟราเรดมีความว่องไวในการวัดระยะทางด้วยแสง สัญญาณป้อนกลับที่ส่งมายังระบบควบคุม จึงมีความรวดเร็วเหมาะกับการใช้งานในเวลาจริง

2.4 แผงผังระบบควบคุม

ดังแสดงในรูปที่ 6 ระบบอัตโนมัติประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งเชื่อมต่อกับอาร์ดูอิโน่ ยูโน่ (Arduino Uno) ที่สั่งงานควบคุมบอร์ดรีเลย์ซึ่งต่อพ่วงกับโซลินอยด์วาล์ว ที่ใช้ควบคุมกระบอกลมของชุดป้อนใบปริญญาบัตร ในขณะเดียวกันอาร์ดูอิโน่ตัวเดียวกันใช้ควบคุมกริปเปอร์ที่ปลายแขนกล อ่านค่าจากเซนเซอร์อินฟราเรดที่อยู่บนชุดตรวจจับมือ และอ่านค่าจากเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เซอร์โวทั้ง 3 ตัวด้วย ในขณะที่อีกพอร์ตของคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับบอร์ดยูเอสบีทูไดนามิกเซล (USB2Dynamixel) เพื่อสั่งงานมอเตอร์เซอร์โวไดนามิกเซลบนแขนกล โดยทั้งระบบใช้ไฟ 12 โวลต์ จากพาวเวอร์ซัพพลายแบบสวิตชิ่ง



รูปที่ 7 แขนกล

2.5 การควบคุมแขนกล

รูปที่ 7 แสดงโมเดลของแขนกล เมื่อแขนกลเคลื่อนที่จะเกิดมุมที่ข้อต่อทั้ง 3 ข้อ ได้แก่ มุม θ_1, θ_2 และ θ_3 ตามลำดับ สมการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าของแขนกล [6] เป็นดังนี้

$$x = l_{1c1} + l_{2c12} + l_{3c23} \tag{1}$$

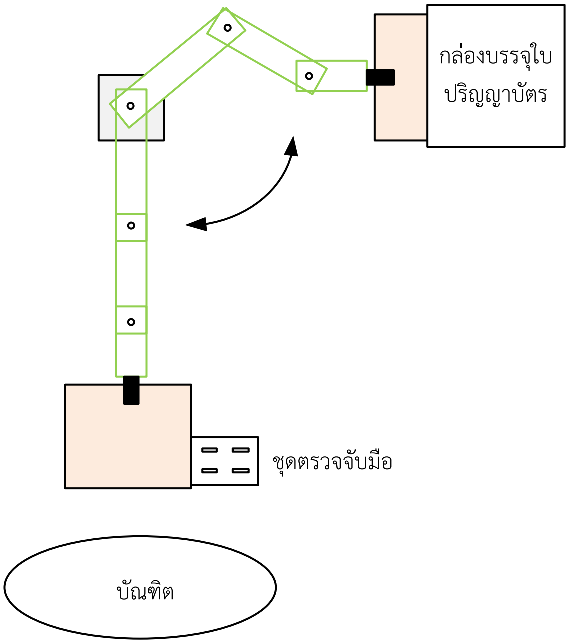
$$y = l_{1s1} + l_{2s12} + l_{3s23} \tag{2}$$

เมื่อ $c_1 = cos(\theta_1)$, $c_{12} = cos(\theta_1+\theta_2)$, $c_{23} = cos(\theta_1+\theta_2+\theta_3)$, $s_1 = sin(\theta_1)$, $s_{12} = sin(\theta_1+\theta_2)$, $s_{23} = sin(\theta_1+\theta_2+\theta_3)$ และ l_1, l_2, l_3 คือ ความยาวแขนท่อนที่ 1, 2 และ 3 ได้แก่ 175, 130 และ 120 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การสั่งงานแขนกล จะใช้การกำหนดค่ามุมที่ต้องการให้กับมอเตอร์เซอร์โวแต่ละตัว เนื่องจากมอเตอร์มีตัวควบคุมพีไอดีในตัว ซึ่งใช้ควบคุมตำแหน่งมุม และสามารถกำหนดความเร็วของมอเตอร์ได้สูงสุด 100 เปอร์เซนต์ ดังนั้นการสั่งงานแขนกลจะใช้วิธีคล้ายกับการสั่งงานแขนกลอุตสาหกรรม คือการกำหนดตำแหน่งมุมและความเร็วที่ต้องการไปยังแต่ละตำแหน่งบนระนาบ xy

รูปที่ 8 แสดงตำแหน่งการจัดวางแขนกล ชุดป้อนใบปริญญาบัตร และชุดตรวจจับมือ ชุดป้อนใบปริญญาบัตรจะอยู่ด้านขวามือของแขนกล ส่วนชุดตรวจจับมือจะอยู่ด้านหน้าต่ำกว่าปลายแขนกลลงไป เยื้องออกไปทางด้านขวาของใบปริญญาบัตรเล็กน้อย ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มือบัณฑิตยื่นมาจับใบปริญญาบัตร

นอกจากนี้ตำแหน่งของแขนกล ยังนำมาใช้ในการสั่ง

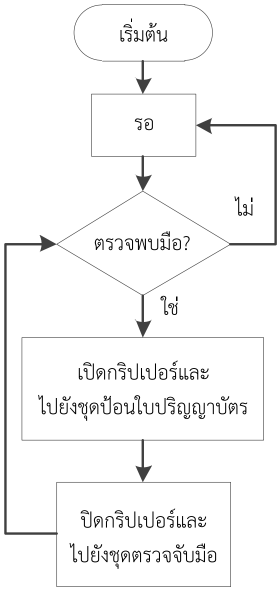


รูปที่ 8 ตำแหน่งของแขนกล ชุดป้อนใบปริญญาบัตร ชุดตรวจจับมือ และบัณฑิต

งานกระบอกลมให้ยืดออกหรือหดเข้า โดยสั่งเปิดปิดรีเลย์ซึ่งขับโซลินอยวาล์วให้ดันกระบอกสูบ ในจังหวะที่แขนกลเคลื่อนที่มายังชุดป้อนใบปริญญาบัตร

การทำงานของแขนกลแสดงในรูปที่ 9 ในตอนแรกเริ่มจากปลายแขนกลอยู่ที่ชุดตรวจจับมือดังรูปที่ 8 รอจนกระทั่งตรวจพบมือบัณฑิต จึงสั่งให้กริปเปอร์เปิดเพื่อปล่อยใบปริญญาบัตรและสั่งให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังชุดป้อนใบปริญญาบัตร จากนั้นสั่งให้กริปเปอร์ปิดเพื่อจับใบปริญญาบัตรแล้วเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเริ่มต้นพร้อมกับใบปริญญาบัตรและหยุดรอสัญญาณจากชุดตรวจจับมือ

การเคลื่อนที่ของแขนกลไปมา ระหว่างกล่องบรรจุใบปริญญาบัตรกับบัณฑิต ใช้ตำแหน่งที่ปลายแขน 4 จังหวะสำหรับแต่ละจังหวะต้องสั่งค่าให้มอเตอร์แต่ละข้อต่อหมุนไปยังตำแหน่งพร้อมกับระบุความเร็วในการหมุนให้กับตัวควบคุมพีไอดีภายในมอเตอร์เซอร์โวไดนามิกเซลของแขนกล สำหรับการเคลื่อนไหวในรูปที่ 8 กำหนดค่าดังแสดงตามตารางที่ 1



รูปที่ 9 ขั้นตอนการทำงานของแขนกล

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์

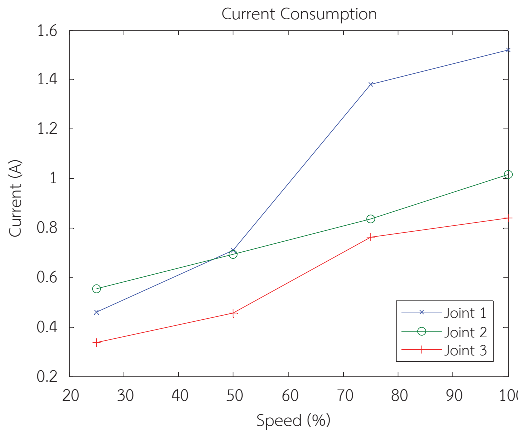
Step	Position (%)			Speed (%)		
	J1	J2	J3	J1	J2	J3
1	35	90	90	50	40	50
2	48	55	68	50	75	50
3	35	90	90	50	75	50
4	23	55	68	50	27	29

3. ผลการทดลอง

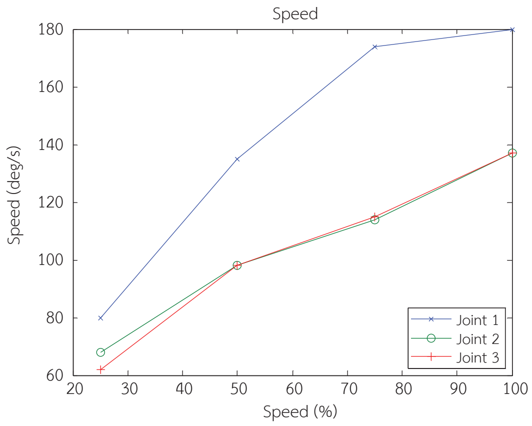
ในการทดสอบแขนกลได้แบ่งการทดลองออกเป็น การวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการขับมอเตอร์ที่แต่ละข้อต่อ ความเร็วสูงสุดของข้อต่อ ความแม่นยำของตำแหน่งที่ปลายแขนกล มุมของข้อต่อและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระหว่างการทำงาน

3.1 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในข้อต่อ

ในการทดลองได้วัดกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ทราบกำลังไฟฟ้าที่แขนกลต้องใช้ ได้ติดตั้งเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์เซอร์โวแต่ละตัว เมื่อยืดแขนกลเป็นเส้นตรงทุกข้อต่อและสั่งให้ข้อต่อที่ 1 หมุน ปรับค่าความเร็วเป็น 25, 50, 75



รูปที่ 10 กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละข้อต่อ (แอมแปร์) ที่ความเร็ว 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซนต์



รูปที่ 11 ความเร็วของแต่ละข้อต่อ (องศาต่อวินาที) ที่ความเร็ว 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซนต์

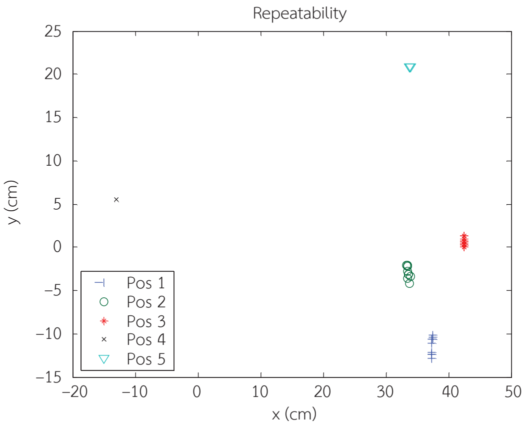
และ 100 เปอร์เซนต์ วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่มอเตอร์แต่ละตัวใช้ เมื่อทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ทั้งสามตัวใช้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ ข้อต่อที่ 1 ใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดเนื่องจากเป็นข้อต่อที่เสาซึ่งต้องใช้แรงบิดมากที่สุด ใช้กระแสไฟสูงสุดประมาณ 1.52 แอมแปร์ที่ความเร็ว 100 เปอร์เซนต์ และเมื่อลดความเร็วลงมาเหลือ 25 เปอร์เซนต์ ข้อต่อที่ 1 จะใช้กระแสไฟเพียง 0.46 แอมแปร์ ในขณะที่ข้อต่อที่ 2 ใช้มอเตอร์ขนาดกลาง ใช้กระแสไฟฟ้าในช่วงประมาณ 0.56 ถึง 1.02 แอมแปร์ ส่วนข้อต่อที่ 3 ใช้มอเตอร์ขนาดเล็กอยู่ที่ตำแหน่งปลายแขนเพื่อหมุนกริปเปอร์ซึ่งเป็นแขนท่อนปลายใช้แรงบิดน้อย จึงใช้กระแสไฟในช่วงประมาณ 0.34 ถึง 0.84 แอมแปร์ เมื่อแขนกลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำสุดและสูงสุด จะใช้กระแสไฟในช่วง 1.36–3.38 แอมแปร์ ในขณะที่ใช้ไฟเลี้ยง 12 โวลต์ กำลังไฟฟ้าที่แขนกลต้องใช้อยู่ในช่วงระหว่าง 16–41 วัตต์ชั่วโมง ดังนั้น แขนกลที่สร้างขึ้น นอกจากจะมีราคาประหยัดแล้ว ยังประหยัดพลังงานไฟฟ้าในขณะใช้งานอีกด้วย

3.2 ความเร็วของข้อต่อ

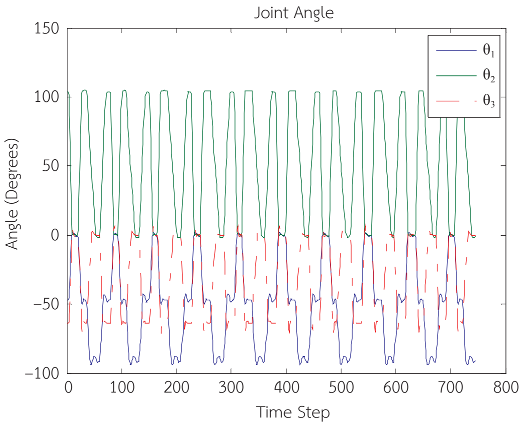
ในการทดสอบความเร็วในแต่ละข้อต่อ ได้สั่งให้ความเร็วของมอเตอร์แต่ละตัวเป็น 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซนต์ ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง วัดความเร็วจริงได้ผลดังแสดงในรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าความเร็วสูงสุดของข้อต่อที่ 1 ประมาณ 180 องศาต่อวินาที ส่วนความเร็วสูงสุดของข้อต่อที่ 2 และ 3 เป็น 137 องศาต่อวินาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแขนกลเคลื่อนที่ได้เร็ว เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่กำหนดให้แขนกลในหน่วยเปอร์เซนต์กับความเร็วจริงที่วัดได้ในหน่วยองศาต่อวินาที พบว่าในข้อต่อที่ 2 และ 3 ความเร็วทั้งสองแปรผันตามกัน เช่นเดียวกับในข้อต่อที่ 1 เมื่อสั่งงานแขนกลด้วยค่าเปอร์เซนต์ จะสามารถคาดคะเนความเร็วจริงที่จะได้ตามกราฟในรูปที่ 10

3.3 ความแม่นยำของตำแหน่งปลายแขนกล

ในการทดสอบความแม่นยำที่ปลายแขน ได้ทำการวัดค่ามุมหลังจากที่แขนกลเคลื่อนที่ นำมาเปรียบเทียบกับมุมที่ได้กำหนดให้ทั้ง 3 มุม ดังแสดงในตารางที่ 2 ได้แก่ ค่ามุมที่ต้องการของตำแหน่งที่ 1–5 ระยะทางที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2) ในแนวแกน x และ y และความเร็วที่ต้องการในหน่วยเปอร์เซนต์ ระยะทาง xy ในตารางเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งถูกใช้เพื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่วัดได้จริง เมื่อสั่งงานให้แขนกลเคลื่อนไหวแล้วจึงทำการวัดค่ามุมจริงด้วยมือ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความผิดพลาดพบว่าค่าความผิดพลาดบนข้อต่อที่ 1, 2 และ 3 อยู่ในช่วง



รูปที่ 12 ตำแหน่งที่ปลายแขนกลในการทำซ้ำ



รูปที่ 13 ค่ามุมของแต่ละข้อต่อในระหว่างการทำงาน 10 รอบ

0–1 องศา 0–3 องศา และ 0–2 องศา ตามลำดับ

จากตารางที่ 2 เมื่อสั่งให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 1 โดยสั่งมุมที่ข้อต่อที่ 1–3 เป็นมุม –45, 45 และ 0 ตามลำดับ พร้อมกำหนดค่าเปอร์เซนต์ของความเร็วเป็น 100% จะได้ตำแหน่งที่ปลายแขนที่พิกัด (37.4,–12.4) เมื่อทำซ้ำ 10 ครั้ง พบว่าแขนกลสามารถทำซ้ำได้ แต่มีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอยู่รอบตำแหน่งเป้าหมาย และค่าความผิดพลาดในแนวแกน y ไม่เกิน ±2.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 12

ตารางที่ 2 ค่ามุมแต่ละข้อต่อ (องศา) ความเร็ว (เปอร์เซนต์) และระยะทางในแนวแกน xy ของแต่ละตำแหน่งที่ทำการทดลอง

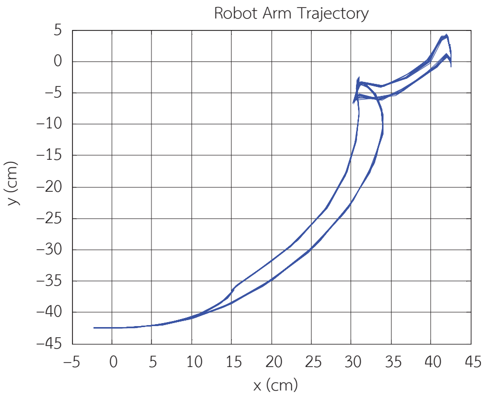
Pos.	Set point (degrees)			Speed (%)	Distance (cm)	
	θ_1	θ_2	θ_3		x	y
1	–45	45	0	100	37.4	–12.4
2	–45	90	–45	100	33.6	–3.2
3	0	0	0	100	42.5	0.0
4	90	90	90	10	–13.0	5.0
5	45	–45	45	10	33.9	20.9

เมื่อทดลองสั่งให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ 2 และ 3 พบว่า มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ±2.0 เซนติเมตร โดยค่าความผิดพลาดในแนวแกน y สูงกว่าในแนวแกน x สำหรับตำแหน่งที่ 4 และ 5 ซึ่งใช้ความเร็วเพียง 10% พบว่ามีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.07 เซนติเมตร

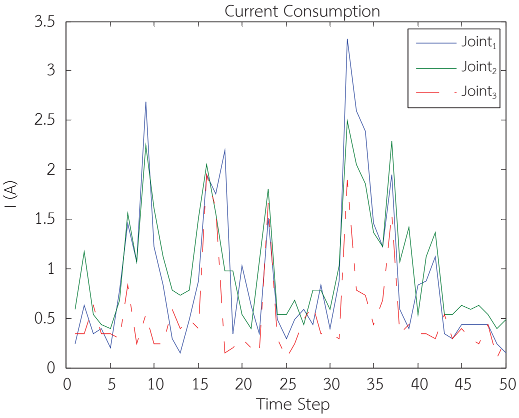
3.4 มุมของข้อต่อและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระหว่างการทำงาน

เมื่อให้แขนกลทำงานอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง เพื่อดึงใบปริญญาบัตรจากชุดป้อน แล้วนำมายื่นให้กับบัณฑิต เป็นจำนวน 10 รอบการทำงาน โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 1 จะได้มุมของแต่ละข้อต่อดังแสดงในรูปที่ 13 สำหรับข้อต่อที่ 1 จะเคลื่อนที่อยู่ในช่วงมุมระหว่าง 0 ถึง –95 องศา ส่วนข้อต่อที่ 2 เคลื่อนที่ในช่วงมุมระหว่าง 0 ถึง 105 องศา และข้อต่อที่ 3 เคลื่อนที่ในช่วงมุม 0 ถึง –70 องศา แขนกลเคลื่อนที่เป็นรูปแบบเดิมซ้ำไปเรื่อยๆ ระบบสามารถตรวจจับมือบัณฑิตและหยุดรอได้เมื่อไม่พบมือบัณฑิต นอกจากนี้ในการใช้งานจริงต้องการความเร็วสูง เพื่อให้สัมพันธ์กับความเร็วในการเดินแถวของบัณฑิต

ในการควบคุมจะต้องปรับความเร็วข้อต่อแตกต่างกันตามความเหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดการกระตุกและค่าความผิดพลาดของตำแหน่งได้ด้วย เมื่อนำตำแหน่งมุมของข้อต่อในการทำงาน 10 รอบแสดงในรูปที่ 13 มาคำนวณหาตำแหน่งปลายแขน จะได้เส้นทางการเคลื่อนของปลายแขนกลดังแสดงในรูปที่ 14 ในระหว่างการทำงาน ความหนาของเส้นแสดงให้



รูปที่ 14 เส้นทางการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลในระหว่างการทำงาน 10 รอบ



รูปที่ 15 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละข้อต่อในระหว่างการทำงาน

เห็นว่า แขนกลสามารถทำซ้ำได้ในเส้นทางเดิม แต่มีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่ปลายแขนกล ทำให้เส้นไม่ทับเป็นเส้นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนที่พบสามารถยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 8 กับ 14 แล้ว จะเห็นได้ว่าพิกัด (42.5,0) เป็นตำแหน่งของชุดป้อนใบปริญญาบัตร และพิกัด (–2.5,–42.5) เป็นตำแหน่งของบัณฑิต

ในระหว่างการทำงานแขนกลต้องการกระแสไฟฟ้าในแต่ละข้อต่อดังแสดงในรูปที่ 15 สำหรับข้อต่อที่ 1 ต้องการกระแสไฟมากกว่า 3 แอมแปร์ ส่วนข้อต่อที่ 2 ต้องการไม่เกิน 2.5 แอมแปร์ และข้อต่อที่ 3 ต้องการไม่เกิน 2 แอมแปร์ จะเห็นได้ว่ากระแสไฟที่ใช้ในการทำงานจริง สูงกว่ากระแส ไฟที่พบในการทดลองแรกในหัวข้อที่ 4.1 เนื่องจากในระหว่างการทำงานจริง เกิดแรงเหวี่ยงของท่อนแขนสูงกว่าในการทดลองแรก

ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปกลับระหว่างชุดป้อนใบปริญญาบัตรไปยังชุดตรวจจับมือ รวมแล้วใช้เวลาเฉลี่ยไม่เกิน 1 วินาที ส่วนระยะเวลาในการเปิดกริปเปอร์เฉลี่ยประมาณ 0.7 วินาที ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ใน 1 รอบการทำงานรวมประมาณ 4 วินาที

4. อภิปรายผลและสรุป

บทความนี้นำเสนอระบบอัตโนมัติสำหรับช่วยฝึกซ้อมพิธีรับใบปริญญาบัตร ระบบที่สร้างขึ้นมีน้ำหนักเบาและราคาไม่แพง สามารถหยิบและส่งมอบใบปริญญาบัตรให้บัณฑิตและทำงานสัมพันธ์กับมือของบัณฑิต ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทดแทนผู้ส่งมอบใบปริญญาบัตร และผู้ช่วยส่งมอบใบปริญญาบัตรได้สำเร็จ โดยมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งสูงสุดไม่เกิน ±2.5 เซนติเมตร และระยะเวลาในการทำงานประมาณ 4 วินาทีต่อรอบ ซึ่งสามารถใช้ในการซ้อมกลุ่มย่อยเพื่อสร้างความคุ้นเคยแก่บัณฑิต ให้บัณฑิตหยุดตามตำแหน่งต่างๆ เป็นจังหวะอย่างช้าๆ ก่อน เมื่อบัณฑิตคุ้นเคยแล้วจึงทำการฝึกซ้อมรวม ซึ่งต้องควบคุมระยะเวลาการเดินแถวของบัณฑิตให้เร็วขึ้น ระบบนี้สามารถพัฒนาต่อยอด ให้ลดระยะเวลาในการทำงานต่อรอบในการส่งมอบใบปริญญาบัตร โดยอาจเปลี่ยนกริปเปอร์ให้ทำงานได้เร็วขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในระบบที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้ เช่น การหยิบและส่งชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่น การป้อนชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่น หรือการตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ใกล้ตำแหน่งชิ้นงาน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ทุนสนับสนุน

เอกสารอ้างอิง

[1] Z. Lu, A. Chauhan, F. Silva, and L. S. Lopes,

"A brief survey of commercial robotic arms for research on manipulation," in *Proceedings 2012 IEEE Symposium on Robotics and Applications (ISRA)*, Aveiro of Portugal, 2012, pp. 986–991.

[2] P. Allgeuer, H. Farazi, M. Schreiber, and S. Behnke, "Child-sized 3D printed igus humanoid open platform," in *Proceedings IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, Seoul of Korea, 2015, pp. 33–40.

[3] A. M. Agas, A. A. Daitol, U. B. Shah, L. J. Fraser, K. M. Abbruzzese, K. K. Karunakaran, and R. Foulds, "3-DOF admittance control robotic arm with a 3D virtual game for facilitated training of the hemiparetic hand," in *Proceedings 2015 41st Annual Northeast Biomedical Engineering Conference (NEBEC)*, New York of USA, 2015, pp. 61– 62.

[4] P. Juntaratut and S. Charoenseang, "Software development of robot arm control for disabled person," in *Proceedings The Eighth National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT 2012)*, Bangkok of Thailand, 2012, pp. 750–756.

[5] H. Mistry, *Pneumatic Engineering: Fundamentals of Pneumatic Engineering*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.

[6] R. K. Mittal and I. J. Nagrath, *Robotics and Control*. New Delhi, Tata McGraw-Hill, 2003.