

การพัฒนาแขนหุ่นยนต์และระบบควบคุมผ่านสมาร์ทโฟนด้วยเทคนิคควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้น
แบบหลายแกน

Development of Robotic Arm and Control System via Smartphone with Multi-Axis
Linear Motion Control Techniques.

สุภาพ มายาง^{1,2}, สุเมธ เหมะวัฒนะชัย^{1,2*}
Supap Mayang^{1,2}, Sumet Heamawatanachai^{1,2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

²หน่วยวิจัยเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมความเที่ยงตรงและการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

*Corresponding author: sumeth@nu.ac.th, sumet_h@yahoo.com

(Received: 27 August 2020, Revised: 2 March 2021, Accepted: 30 April 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาแขนหุ่นยนต์ 6 แกน เพื่อช่วยหยิบสิ่งของขนาดเล็ก เช่น กระปุกยา และรีโมททีวี ซึ่งสามารถควบคุมแขนหุ่นยนต์ ด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนผ่านสัญญาณบลูทูธ และ Wi-Fi พร้อมกับแสดงภาพจากกล้องที่ติดกับแขนหุ่นยนต์บนหน้าจอสมาร์ทโฟนได้ตามเวลาจริง โดยมีการประยุกต์นำเอาทฤษฎีจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและแบบผกผัน มาวิเคราะห์หาพื้นที่ทำงานที่เหมาะสมของแขนหุ่นยนต์ และมีการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์หลายตัวพร้อมกัน เพื่อให้ปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบเส้นตรงตามแนวหน้า-หลัง (+x, -x) และแนวขึ้น-ลง (+y, -y) เหมาะสำหรับการควบคุมผ่านหน้าจอสมาร์ทโฟน ในการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบแขนหุ่นยนต์ที่ได้พัฒนาขึ้น แบ่งเป็น 2 การทดลองหลัก คือ การทดลองแรกเป็นการทดสอบความสามารถในการควบคุมมือจับของแขนหุ่นยนต์ ซึ่งผลการทดลองพบว่ามือจับสามารถเคลื่อนที่ได้ตามขอบเขตพื้นที่ทำงานตามกำหนด และการทดลองที่สองเป็นการทดสอบด้านระยะเวลาที่ใช้ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์เพื่อหยิบจับสิ่งของ จากผลการทดลองพบว่า การควบคุมแบบเคลื่อนที่เชิงเส้นแบบหลายแกนที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ใช้เวลาน้อยกว่าประมาณ 86% เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบทีละข้อต่ออิสระ

คำสำคัญ: แขนหุ่นยนต์, จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและแบบผกผัน

Abstract

This paper is a design and development of a 6-axis robot arm that can pick up small objects, such as pill boxes and TV remotes, etc. The robot arm is controlled by an application on a smartphone via Bluetooth and Wi-Fi and can show images from the camera attached to the arm on the phone's screen in real-time. The theory of forward and inverse kinematics was applied to analyze the appropriate working area of the robot arm. In order to make the system suitable for control via a smartphone's screen, the software in this research was developed to be able to control multiple servo motors simultaneously to move the gripper of the robot arm linearly, forwards-

backwards (+x, -x) and in up-down directions (+y, -y). There were two main experiments to evaluate the performance of the system. The first was to test the movement ability of the arm, and the results showed that it was able to move within the specified working area. The second examined the amount of time spent manipulating the robot arm to pick up objects. From the result of this experiment, it was found that the multi-axis linear motion control technique developed in this research, was approximately 86% less time consuming than the independent single-joint control technique.

Keywords: Robot Arm, Forward and Inverse Kinematics

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ จากรายงานของมูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทยระบุว่าในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีประชากรผู้สูงอายุ ประมาณ 12 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 18 ของประชากรทั้งหมดในประเทศ (Situation of the Thai elderly 2018, 2019) ซึ่งกลุ่มคนประเภทดังกล่าว มักมีปัญหาทางด้านการช่วยเหลือตัวเอง เช่น การเดิน การหยิบตัว รวมถึงการหยิบจับสิ่งของ การเพิ่มสูงขึ้นของผู้สูงอายุ และผู้ป่วยติดเตียงนั้น ส่งผลทำให้ขาดบุคลากรทางการแพทย์ และมีจำนวนบุคลากรไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้เกิดการดูแลที่ไม่ทั่วถึง ส่งผลกระทบต่อสถานะความเป็นอยู่ที่ดีของกลุ่มบุคคลทั้งสองประเภท อีกทั้งยังเป็นสาเหตุทำให้ ค่าดูแลรักษาทางการแพทย์ในระดับประเทศเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการทดแทนบุคลากร และสนับสนุนการดำเนินงานทางการแพทย์ ในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของผู้ป่วย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์มาใช้ในการช่วยเหลือผู้ป่วย เพื่อที่จะรองรับการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ และผู้ป่วยติดเตียงได้อย่างสมบูรณ์ แต่ในปัจจุบันหุ่นยนต์ในท้องตลาดยังมีราคาที่สูง จึงทำให้คนส่วนใหญ่ไม่สามารถจะจัดหาใช้งานได้

ในปัจจุบันเทคโนโลยีของหุ่นยนต์เจริญก้าวหน้าอย่างก้าวกระโดด และเริ่มเข้ามามีบทบาทกับชีวิตของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการผลิต งานสำรวจ การเกษตร และการแพทย์ (Robotics for Aging Society, 2019) ในงานวิจัยนี้ศึกษาการนำแขนหุ่นยนต์มาประยุกต์ใช้ในการ

ช่วยเหลือผู้ป่วย เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ป่วย รวมทั้งเป็นส่วนหนึ่งในการลดปัญหาในเรื่องของการขาดแคลนบุคลากรทางการแพทย์ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า แขนหุ่นยนต์สามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย ในงานวิจัยของ Jung and Bae (2015) ได้นำเอาหลักการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward Kinematics) และจลนศาสตร์แบบผกผัน (Inverse Kinematics) มาวิเคราะห์หาพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์ เพื่อใช้ในการบำบัดผู้พิการ ช่วยในการพยุงและฝึกการเคลื่อนไหวของแขน งานวิจัยของ Rahul et al. (2019) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวระนาบ เพื่อใช้ในการจัดเรียงกระถางกระดาของต้นกล้า ซึ่งทำงานร่วมกับสายพานลำเลียง โดยใช้หลักการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและแบบผกผัน ในการหาพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์ งานวิจัยของ Manikphan et al. (2010) ได้จำลองการทำงานแขนหุ่นยนต์แบบ 6 แกน โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม ใช้โมเดลคำนวณในรูปแบบ D-H หรือ Denavit – Hartenberg ในการวิเคราะห์การทำงานของแขนหุ่นยนต์ จำลองก่อนจะใช้สมการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า ในการหาความสัมพันธ์ของข้อต่อแต่ละข้อ และงานวิจัยของ Charoenseang and Chuakong (2013) เป็นการสร้างแขนหุ่นยนต์เพื่อป้อนอาหารคนพิการ ทำงานร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น ติดตั้งอยู่บนรถเข็นคนพิการ ซึ่งใช้หลักการจลนศาสตร์แบบผกผันเพื่อหาตำแหน่งของข้อต่อ

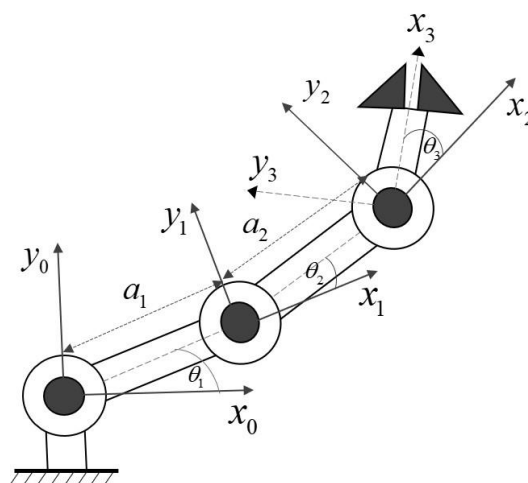
จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่าหลักการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า และแบบผกผัน สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับ

แขนหุ่นยนต์ เพื่อใช้งานได้อย่างหลากหลาย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดสร้างแขนหุ่นยนต์ในราคาประหยัด ให้คนทั่วไปได้เข้าถึงเทคโนโลยีหุ่นยนต์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาแขนหุ่นยนต์เพื่อช่วยในการหยิบจับสิ่งของสำหรับผู้ป่วยติดเตียง หรือคนที่เคลื่อนไหวลำบาก เป็นการประยุกต์นำเอาทฤษฎีจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและจลนศาสตร์ผกผัน เพื่อมาวิเคราะห์หาพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์ อีกทั้งยังพัฒนาซอฟต์แวร์ให้การควบคุมแขนหุ่นยนต์ได้ง่ายขึ้น คือ ระบบควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้นแบบหลายแกน (Multi-Axis Linear Motion Control -MALM Control) เป็นการควบคุมมอเตอร์หลายตัวพร้อมกัน เพื่อให้ปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบเส้นตรง เช่น แนวหน้า-หลัง (ตามแนวแกน $+x$, $-x$) และแนวขึ้น-ลง (ตามแนวแกน $+y$, $-y$) เพื่อใช้สำหรับการควบคุมผ่านหน้าจอสมาร์ทโฟน และมีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ ใช้ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์ โดยมีหน้าจอที่แสดงภาพจากกล้องที่ติดอยู่กับแขนหุ่นยนต์ เพื่อให้สามารถควบคุมแขนหุ่นยนต์ได้สะดวกกว่าการควบคุมแบบที่ละข้อต่ออิสระ โดยระบบนี้สามารถควบคุมแบบไร้สายผ่านสัญญาณบลูทูธ และ Wi-Fi อีกทั้งยังสามารถแสดงภาพการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ได้ตามเวลาจริง (Real Time)

2. การวิเคราะห์แขนหุ่นยนต์

การสั่งงานให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ได้สองวิธี คือ การควบคุมโดยป้อนค่ามุมของข้อต่อ (Joint Angle) ให้กับแขนหุ่นยนต์โดยตรง และการควบคุมโดยการป้อนตำแหน่งของปลายแขน (End Effector) (Phanomrattanakorn & Pornsukvittoon, 2017) ซึ่งงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้พัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้นแบบหลายแกน (MALM-Control) ซึ่งเป็นการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์หลายตัวพร้อมกัน เพื่อให้ปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่แนวเส้นตรงตามแนวหน้า-หลัง (แกน $+x$, $-x$) และแนวขึ้น-ลง (แกน $+y$, $-y$) ตามหน้าจอในแอปพลิเคชัน โดยในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแขนหุ่นยนต์ที่มี joint

angle หลักอยู่ 4 มุม คือ ส่วนของส่วนหัวไหล่ (Shoulder), ส่วนข้อศอก (Elbow), ข้อมือ (Wrist Roll) และส่วนของฐาน (Base) แต่การวิเคราะห์แขนหุ่นยนต์ด้วยจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและแบบผกผันสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการวิเคราะห์โดยสนใจ joint angle เพียง 3 มุม คือ ส่วนหัวไหล่, ส่วนข้อศอก และข้อมือ เพื่อควบคุมมือจับด้วยโมเดลในระนาบ 2 มิติ ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการอ้างอิงจากพิกัดแกนหัวไหล่ (x_0 , y_0) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมุมที่ฐาน (Base) เป็นการหมุนแขนหุ่นยนต์รอบแกน y_0 เพื่อหันแขนหุ่นยนต์ไปตามทิศทางที่ต้องการ



รูปที่ 1 แขนหุ่นยนต์ 3 ก้านต่อ ในระนาบ 2 มิติ

2.1 โมเดลระบบการควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้นแบบหลายแกน

การควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้นแบบหลายแกน ในงานวิจัยนี้เป็นการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์หลายตัว ให้สามารถทำมุมสัมพันธ์กัน เพื่อให้มือจับเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงตามแนวแกน x และแกน y ได้ โดยจากรูปที่ 1 กำหนดการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวหน้า-หลัง ($+x_0$, $-x_0$) และแนวขึ้น-ลง ($+y_0$, $-y_0$) ในการหาค่ามุมแต่ละข้อต่อทำได้โดยการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ของแขนหุ่นยนต์ด้วย ดีเอช พารามิเตอร์ (Denavit-Hartenberg parameters: DH) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาสายโซ่จลนศาสตร์อย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์ (Zar & Ei, 2017) โดยคำนวณด้วยหลักการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและแบบผกผัน

ซึ่งการควบคุมแขนหุ่นยนต์ทำได้โดยกำหนดมุมองศาให้กับเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปแบบ Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งนิยมใช้ในการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์

2.1.1 การกำหนด ค่า D-H parameters

ในงานวิจัยนี้สนใจแขนหุ่นยนต์ 3 ก้านต่อ ในระนาบ 2 มิติ (x-y) ในการหาพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์ ทำได้โดยหาจากตารางความสัมพันธ์ที่มีชื่อว่า Denavit–Hartenberg (D-H) ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ของแขนหุ่นยนต์ เพื่อใช้วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ โดยมีตัวแปร คือ มุมของแต่ละข้อต่อ (θ_i), ระยะห่างระหว่างข้อต่อ (d_i), ความยาวของแต่ละข้อต่อ (a_i) และมุมบิดของแต่ละข้อต่อ (α_i) (Tuchinda, 2016) เพื่อหาความสัมพันธ์แต่ละข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ นำค่ามาแทนลงในรูปแบบเมทริกซ์แสดงในตารางที่ 1

Link	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	0	a_1	0
2	θ_2	0	a_2	0
3	θ_3	0	0	0

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์แขนหุ่นยนต์ด้วย D-H parameter

2.1.2 จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า

จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าเป็นการหาค่าพิกัดและทิศทาง (ในรูปการแปลงเอกพันธ์) ของมือจับเมื่อทราบตำแหน่งและมุมของข้อต่อทั้งหมด

จากการคำนวณโดยใช้ค่า D-H parameter ดังตารางที่ 1 ด้วยวิธีการหาจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า จะได้

$${}^0T_3 = \begin{pmatrix} c_{123} & -s_{123} & 0 & a_1c_1 + a_2c_{12} \\ s_{123} & c_{123} & 0 & a_1s_1 + a_2s_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

แต่สำหรับหุ่นยนต์ในระนาบสองมิตินี้ จัดให้อยู่ในรูป

$${}^0T_3 = \begin{pmatrix} c_\phi & -s_\phi & 0 & p_x \\ s_\phi & c_\phi & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

โดย 0T_3 คือ Transformation Matrix ของพิกัดและจุดอ้างอิงจากเฟรมอ้างอิงของแกนที่ 3 เทียบกับไปยังเฟรมอ้างอิงของแกน 0 p_x และ p_y คือ พิกัดที่ตำแหน่งข้อต่อที่ 3 ของแขนหุ่นยนต์ เทียบกับแกนอ้างอิง 0

2.1.3 จลนศาสตร์แบบผกผัน

จลนศาสตร์แบบผกผันเป็นการหาค่าตำแหน่งและมุมของข้อต่อเมื่อทราบค่าเมทริกซ์เอกพันธ์ของตัวทำงานส่วนปลาย เทียบกับเฟรมฐาน

โดย ϕ คือทิศทางของก้านต่อ 3 เทียบกับพิกัดอ้างอิง 0 จากการ เปรียบเทียบสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

$$c_\phi = c_{123} = \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (3)$$

$$s_\phi = s_{123} = \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (4)$$

$$p_x = a_1c_1 + a_2c_{12} \quad (5)$$

$$p_y = a_1s_1 + a_2s_{12} \quad (6)$$

โดย

$$c_\phi = \cos \phi, \quad s_\phi = \sin \phi$$

$$c_1 = \cos \theta_1, \quad c_{12} = \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$s_1 = \sin \theta_1, \quad s_{12} = \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

จากสมการ (3) ถึง (6) ใช้วิธีการทางพีชคณิตเพื่อหาค่าของมุมข้อต่อ จากสมการ (5) และ (6) นำไปยกกำลังสองและรวมเข้าด้วยกันเป็น

$$p_x^2 + p_y^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2c_2 \quad (7)$$

จัดรูปเพื่อหา c_2

$$c_2 = \frac{p_x^2 + p_y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2} \quad (8)$$

หาค่า s_2 จากสมการความสัมพันธ์ $s_2^2 + c_2^2 = 1$ จะได้คำตอบที่เป็นไปได้ 2 คำตอบคือ

$$s_2 = \pm\sqrt{1-c_2^2} \quad (9)$$

ในกรณีนี้ กำหนดให้ s_2 มีค่าเป็นลบ เพื่อให้แขนหุ่นยนต์มีทิศทางที่เหมาะสมตามต้องการ

หาค่า θ_2 จากความสัมพันธ์

$$\theta_2 = \arctan 2(s_2, c_2) \quad (10)$$

ต่อไปหาค่า θ_1 จากการแก้สมการ (5), (6) โดยการใช้เอกลักษณ์ตรีโกณ เขียนสมการใหม่ในรูป

$$p_x = k_1c_1 - k_2s_1 \quad (11)$$

$$p_y = k_1s_1 + k_2c_1 \quad (12)$$

โดย

$$k_1 = a_1 + a_2c_2 \quad (13)$$

$$k_2 = a_2s_2 \quad (14)$$

วิธีการแก้สมการในรูปนี้คือเปลี่ยนตัวแปร สมมติให้

$$r = +\sqrt{k_1^2 + k_2^2} \quad (15)$$

$$\gamma = \arctan 2(k_2, k_1) \quad (16)$$

ดังนั้น

$$k_1 = r \cos \gamma \quad (17)$$

$$k_2 = r \sin \gamma \quad (18)$$

$$\frac{p_x}{r} = \cos \gamma \cos \theta_1 - \sin \gamma \sin \theta_1 \quad (19)$$

$$\frac{p_y}{r} = \cos \gamma \sin \theta_1 + \sin \gamma \cos \theta_1 \quad (20)$$

จัดรูปใหม่โดยใช้เอกลักษณ์ตรีโกณ

$$\cos(\gamma + \theta_1) = \frac{p_x}{r} \quad (21)$$

$$\sin(\gamma + \theta_1) = \frac{p_y}{r} \quad (22)$$

เมื่อใช้ฟังก์ชัน $\arctan 2$ จะได้ว่า

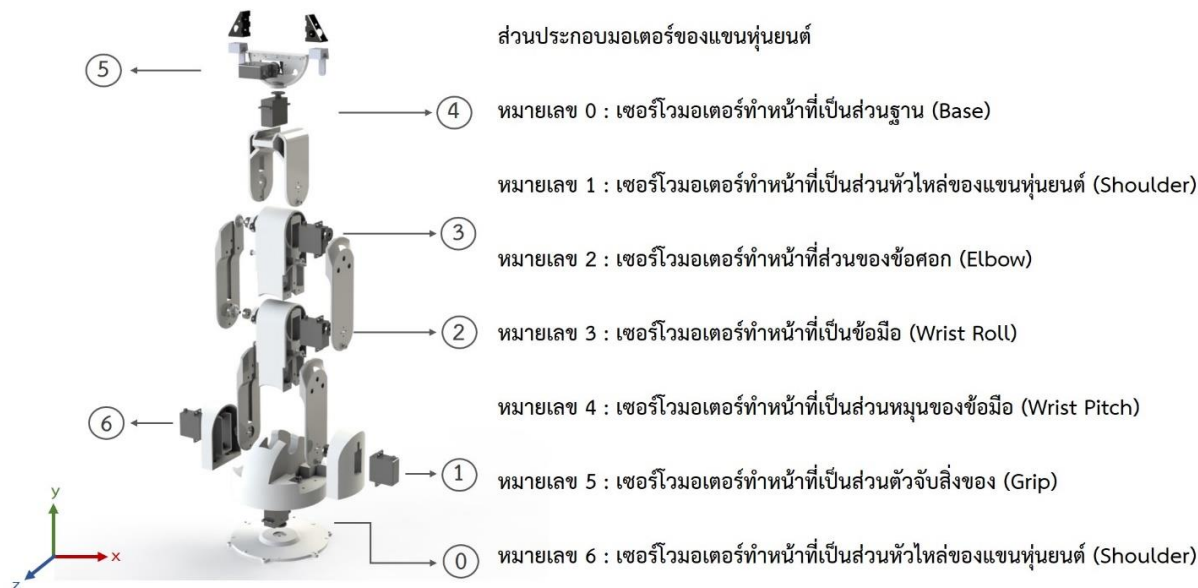
$$\gamma + \theta_1 = \arctan 2\left(\frac{p_y}{r}, \frac{p_x}{r}\right) = \arctan 2(p_y, p_x) \quad (23)$$

ดังนั้นค่ามุมของ θ_1 มีค่าเท่ากับ

$$\theta_1 = \arctan 2(p_y, p_x) - \arctan 2(k_2, k_1) \quad (24)$$

สุดท้ายหาคำตอบ θ_3 จากความสัมพันธ์ $\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = \phi$ จะได้

$$\theta_3 = \phi - \theta_1 - \theta_2 \quad (25)$$



รูปที่ 2 ส่วนประกอบเซอร์โวมอเตอร์ของแขนหุ่นยนต์

3. ฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์ ของแขนหุ่นยนต์

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์โดยสั่งงานผ่านทางแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ โดยทำการเชื่อมต่อระหว่างแขนหุ่นยนต์กับโทรศัพท์มือถือด้วยสัญญาณไร้สาย ซึ่งมีตัวควบคุมเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูโน้ (Arduino) ที่รับคำสั่งจากโทรศัพท์มือถือ แล้วส่งเป็นค่า PWM เพื่อควบคุมมุมของเซอร์โวมอเตอร์ และมีไมโครคอมพิวเตอร์ ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry pi) ในการส่งสัญญาณภาพตามเวลาจริงจากกล้องที่ติดอยู่กับแขนหุ่นยนต์ ไปแสดงภาพบนหน้าจอบนโทรศัพท์มือถือ

3.1 ส่วนฮาร์ดแวร์ของหุ่นยนต์

ในการออกแบบกลไกของแขนหุ่นยนต์ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Solid works ในการออกแบบ จากนั้นนำมาขึ้นรูปโดยใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ ใช้เซอร์โวมอเตอร์ควบคุมตำแหน่งผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้กับบอร์ดขับเคลื่อน

3.1.1 การออกแบบส่วนประกอบของแขนหุ่นยนต์

โดยการออกแบบแขนหุ่นยนต์เป็นแบบ 6 ข้อต่อ ประกอบไปด้วยเซอร์โวมอเตอร์ทั้งหมด 7 ตัว แสดงดังรูปที่ 2 เซอร์โวมอเตอร์หมายเลข 0 ทำหน้าที่ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองเพื่อให้แขนหุ่นยนต์สามารถหมุนรอบตัวได้ โดยแขนหุ่นยนต์นี้สามารถหมุนได้ 180 องศา ในแนวราบ (ระนาบ x-z), โดยเซอร์โวมอเตอร์หมายเลข 1 และหมายเลข 6 เป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่รับน้ำหนักมากที่สุดซึ่งทำหน้าที่ขับเคลื่อนในส่วนหัวไหล่ (Shoulder) ของแขนหุ่นยนต์ ในส่วนของเซอร์โวมอเตอร์หมายเลข 2, 3, 4 และ 5 ที่ติดตั้งในส่วนข้อศอก (Elbow), ข้อมือ (Wrist Roll), ส่วนหมุนของข้อมือ (Wrist Pitch) และส่วนจับสิ่งของ (Grip) ตามลำดับ โดยส่วนประกอบต่างๆของแขนหุ่นยนต์ถูกขึ้นรูปจากเครื่องพิมพ์สามมิติ และเมื่อนำชิ้นส่วนจากการขึ้นรูป มาประกอบเข้าด้วยกันจะได้แขนหุ่นยนต์ดังแสดงในรูปที่ 3

3.1.2 ระบบขับเคลื่อน และระบบควบคุมการเคลื่อนที่

ระบบควบคุมจะประกอบไปด้วย แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ และไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานในส่วน

ของระบบควบคุมตามรูปที่ 4 เริ่มจากผู้ใช้งานสามารถสั่งงานแอปพลิเคชันที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นบนโทรศัพท์มือถือ ส่งคำสั่งในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ผ่านตัวรับสัญญาณบลูทูธ (หมายเลข 3) ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ PWM ไปที่ระบบขับเคลื่อน ซึ่งระบบขับเคลื่อนประกอบด้วย แบตเตอรี่ลิเธียม-โพลิเมอร์ (หมายเลข 8) และบอร์ดขับเคลื่อน โดยบอร์ดขับเคลื่อนทำหน้าที่ให้พลังงานกลแก่มอเตอร์รวมถึงส่งสัญญาณไฟฟ้า เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ตามคำสั่งที่ได้รับจากแอปพลิเคชันบนมือถือ ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ทำได้โดยอาศัยสัญญาณภาพจากกล้อง ซึ่งถูกประมวลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ก่อนที่จะถูกส่งเข้าไปแสดงผลในแอปพลิเคชันบนมือถือด้วยสัญญาณ Wi-Fi โดยระบบขับเคลื่อน และระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 แขนหุ่นยนต์

3.2 ซอฟต์แวร์ของหุ่นยนต์

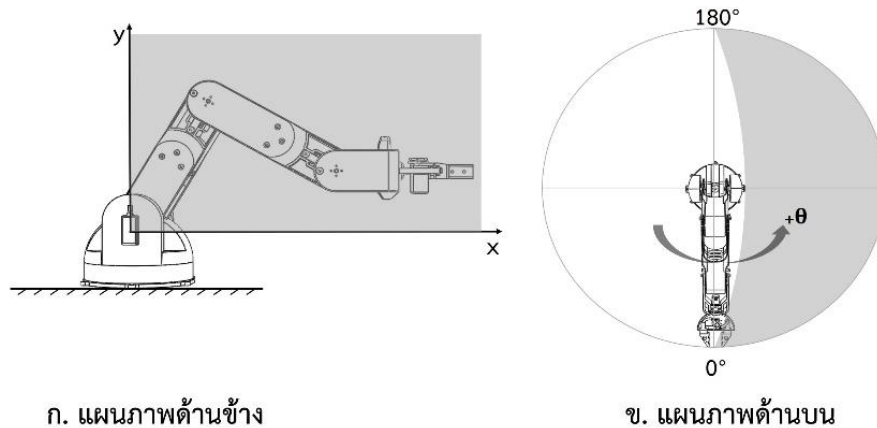
ในการออกแบบซอฟต์แวร์การทำงานของแขนหุ่นยนต์ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณ เพื่อหาพื้นที่ทำงานหรือขอบเขตของแขนหุ่นยนต์ และใช้โปรแกรม Arduino IDE สำหรับพัฒนาโปรแกรมลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อคำนวณจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและจลนศาสตร์ผกผัน และรับส่งสัญญาณเซนเซอร์เพื่อใช้ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์

3.2.1 การหาพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์

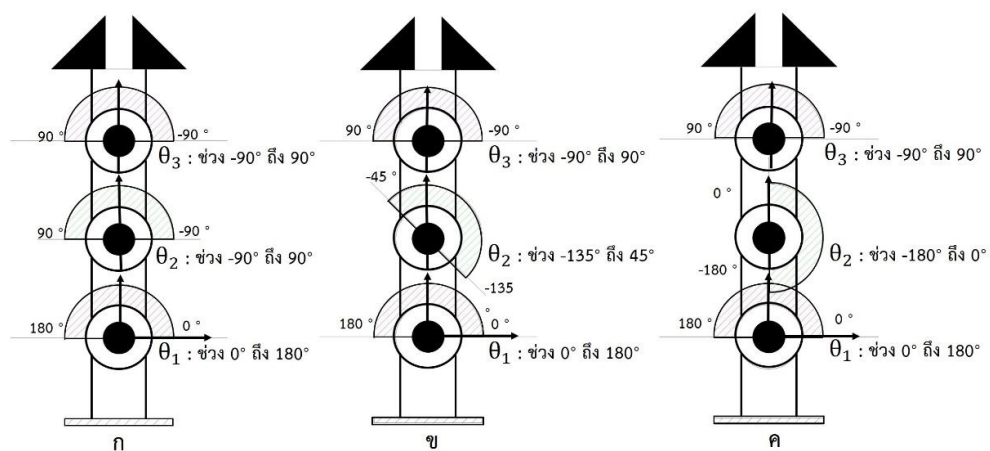
พื้นที่ทำงาน (workspace) ดังรูปที่ 5 คือพื้นที่ ที่ส่วนปลายของแขนหุ่นยนต์เข้าถึงได้ การหาพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์ในระนาบ x-z หาได้จาก ครึ่งหนึ่งของพื้นที่วงกลม ส่วนระนาบ x-y หาได้โดยการนำค่า D-H Parameters จากตารางที่ 1 ไปใช้ร่วมกับสมการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า และจลนศาสตร์แบบผกผัน จากหัวข้อที่ 2 ซึ่งแขนหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย ข้อต่อ 3 ข้อต่อ ประกอบไปด้วยมุมในการหมุนของข้อต่อ (θ_i) มีดังนี้ θ_1 คือมุมในส่วนของหัวไหล่ของแขนหุ่นยนต์ (Shoulder), θ_2 คือมุมในส่วนข้อศอก (Elbow) และ θ_3 คือมุมในส่วนข้อมือ (Wrist Roll) เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์สามารถหมุนได้แค่ 180 องศา θ_2 จึงส่งผลกระทบต่อขอบเขตการทำงานของแขนหุ่นยนต์มากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบการตั้งค่าของ θ_2 ในช่วง -90 ถึง 90 องศา, -135 ถึง 45 องศา และ -180 ถึง 0 องศา โดยการตั้งค่าช่วงมุมของเซอร์โวมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 6



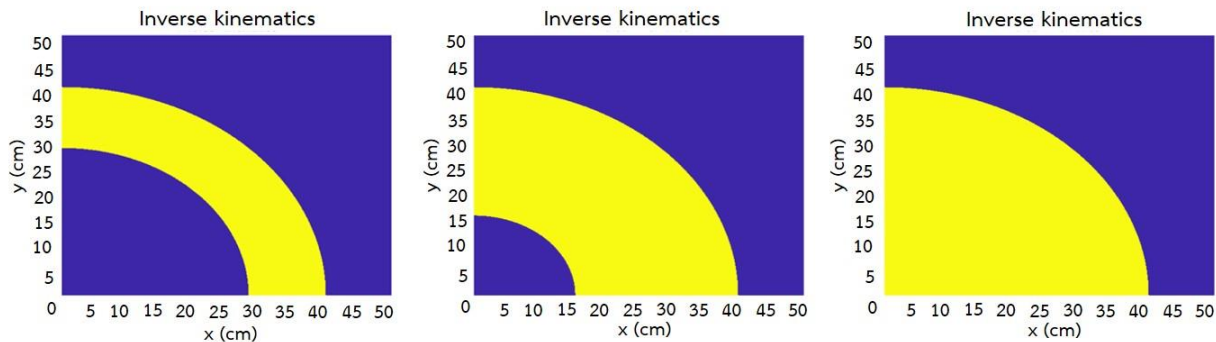
รูปที่ 4 ส่วนประกอบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์



รูปที่ 5 พื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์



รูปที่ 6 การตั้งค่าช่วงมุมของเซอร์โวมอเตอร์



ก. กำหนดมุม θ_2 ช่วง -90 ถึง 90 องศา

ข. กำหนดมุม θ_2 ช่วง -135 ถึง 45 องศา

ค. กำหนดมุม θ_2 ช่วง -180 ถึง 0 องศา

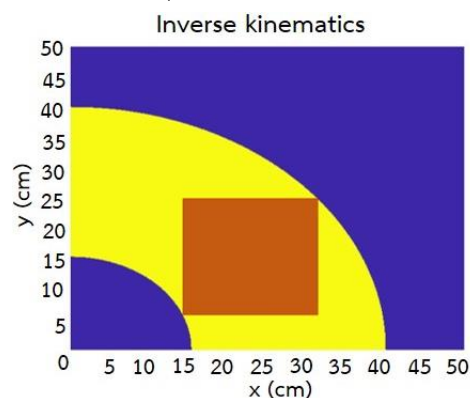
รูปที่ 7 พื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์จากการกำหนดช่วงมุมของเซอร์โวมอเตอร์

จากการคำนวณพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์ ตามการกำหนดช่วงมุมของเซอร์โวมอเตอร์รูปแบบต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ 7 โดยจากผลการคำนวณพบว่าหากตั้งค่าเซอร์โวมอเตอร์ θ_2 อยู่ในช่วง -90 ถึง 90 องศาพบว่าพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์มีค่าไม่เหมาะสมในการใช้งาน ในการการตั้งค่ามุม θ_2 ให้เป็น -135 ถึง 45 องศา มีพื้นที่ทำงานได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับการตั้งค่ามุมในช่วง -90 ถึง 90 องศา และแขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้เหมาะสมกับการใช้งานจริง ในส่วนของการการตั้งค่ามุม θ_2 ให้เป็น ให้เป็น -180 ถึง 0 องศา มีพื้นที่ทำงานได้มากที่สุด แต่ไม่เหมาะสมในการใช้งานจริง เพราะแขนหุ่นยนต์ไม่สามารถไปยังจุดอ้างอิงได้ซึ่งเป็นบริเวณโครงสร้างของฐาน ดังนั้น การตั้งค่ามุม θ_2 ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง -135 ถึง 45 องศา

3.2.2 การกำหนดพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์

จากการใช้โปรแกรม MATLAB จำลองพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 8 จะได้การกำหนดมุมของเซอร์โวมอเตอร์ที่เหมาะสม จากนั้นกำหนดขอบเขตการทำงานของแขนหุ่นยนต์ โดยกำหนดจุดน้อยที่สุดไปมากที่สุดของแนวราบ (Horizontal) ที่ 15 เซนติเมตร ถึง 32 เซนติเมตร และแนวตั้ง (Vertical) ที่ 7 เซนติเมตร ถึง 24 เซนติเมตร จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปกำหนดค่าในโปรแกรม Arduino IDE เพื่อกำหนดระยะ

ทำงานของปลายแขนหุ่นยนต์ คือ 17x17 เซนติเมตร



รูปที่ 8 กำหนดขอบเขตพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์

3.2.3 ขั้นตอนวิธีการควบคุมของแขนหุ่นยนต์

งานวิจัยนี้เป็นการควบคุมแขนหุ่นยนต์ โดยแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนผ่านสัญญาณไร้สาย พร้อมกับแสดงภาพบนหน้าจอตามเวลาจริง ซึ่งหน้าจอของแอปพลิเคชันจะประกอบไปด้วยหลายส่วน ดังรูปที่ 9 โดยส่วนที่ 1 เป็นส่วนเลือกสัญญาณเชื่อมต่อกับอุปกรณ์, ส่วนที่ 2 เป็นหน้าจอแสดงผลจากกล้องตามเวลาจริง ซึ่งแสดงผลจากกล้องที่ติดกับส่วนปลายแขนหุ่นยนต์, ส่วนที่ 3 เป็นหน้าจอแสดงผลจากกล้องตัวที่ 2 จะแสดงภาพมุมกว้างที่เห็นภาพรวมของแขนหุ่นยนต์, ส่วนที่ 4 เป็นปุ่มการควบคุมแขนหุ่นยนต์แบบ MALM-Control เข้ามาช่วยให้ผู้ใช้สามารถควบคุมแขนหุ่นยนต์ได้ให้ง่ายขึ้น, ส่วนที่ 5 เป็นการควบคุมที่ละเอียดต่อแบบอิสระ และส่วนที่ 6 เป็นปุ่ม

ฟังก์ชันสำหรับการช่วยในการตั้งค่าตำแหน่งเริ่มต้นให้พร้อมใช้งาน และปุ่มฟังก์ชันเมื่อผู้ใช้ทำการจับสิ่งของได้แล้ว แขนหุ่นยนต์จะนำสิ่งของไปวางไว้ที่อีกตำแหน่ง โดยผู้ใช้ไม่ต้องบังคับเอง



รูปที่ 9 ส่วนควบคุมแขนหุ่นยนต์ แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน

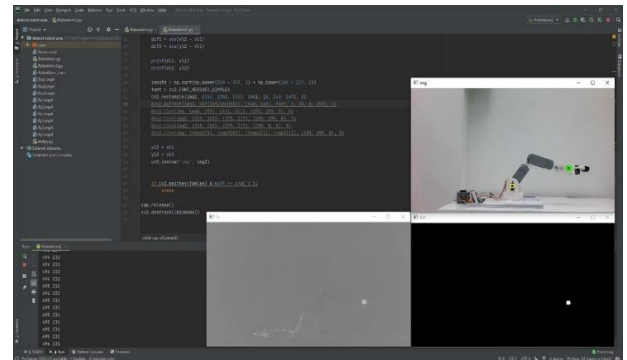
4.วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองของแขนหุ่นยนต์ โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองหลัก คือ ทดลองแรกเป็นการทดสอบความสามารถในการควบคุมมือจับของแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวหน้า-หลัง และแนวขึ้น-ลง ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในระนาบสองมิติ โดยใช้หลักการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและจลนศาสตร์แบบผกผัน และการทดลองที่สองเป็นการเป็นการทดสอบด้านระยะเวลาที่ใช้ควบคุมแขนหุ่นยนต์เพื่อหยิบสิ่งของ โดยแบ่งการควบคุมเป็นควบคุมแบบ MALM-Control และการควบคุมด้วยข้อต่ออิสระทั้ง 6 ข้อต่อ

4.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในระนาบสองมิติ

การทดลองการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในระนาบสองมิติ ซึ่งเป็นการให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตามแนวราบและแนวตั้ง จากนั้นทำการตรวจสอบว่าแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงได้ถูกต้องหรือไม่ โดยใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพ (Image Processing) แสดงดังรูปที่ 10 ทำการเขียนโปรแกรมด้วยไลบรารีที่ชื่อว่า Open CV ด้วยภาษาไพทอน (Python) โดยทำเครื่องหมายสีแดงไว้ที่ตำแหน่งปลายแขนหุ่นยนต์

จากนั้นกล้องจะตรวจจับเครื่องหมายสีแดงแล้วติดตามการเคลื่อนที่ตามปลายแขนหุ่นยนต์



รูปที่ 10 โปรแกรมประมวลผลภาพ ตรวจจับจุดสีแดง เคลื่อนที่ตามปลายแขนหุ่นยนต์

4.2 การทดลองการควบคุมแขนหุ่นยนต์ผ่านโทรศัพท์มือถือ

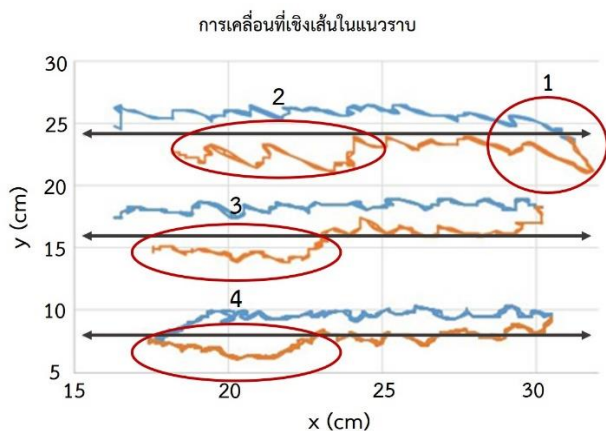
การทดลองต่อมาให้ผู้ใช้ควบคุมแขนหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ โดยให้แขนหุ่นยนต์หยิบจับสิ่งของจากจุดหนึ่งไปไว้ที่อีกจุดหนึ่ง ซึ่งผู้ใช้งานต้องมองผ่านจอที่แสดงภาพจากกล้องตามเวลาจริง จากนั้นแบ่งการทดลองเป็นการควบคุมด้วยข้อต่ออิสระทั้ง 6 ข้อต่อ และควบคุมแบบ MALM-Control มาช่วยในการเคลื่อนที่ ซึ่งทำการทดลองให้ผู้ใช้งาน 3 คน ทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง โดยโปรแกรมจำลองแสดงการหยิบจับสิ่งของจากจุดหนึ่งไปไว้ที่อีกจุดหนึ่ง การทดลองให้ผู้ใช้งาน ควบคุมบังคับแขนหุ่นยนต์ผ่านโทรศัพท์มือถือ แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การทดลองให้ผู้ใช้งาน ควบคุมบังคับแขนหุ่นยนต์ผ่านโทรศัพท์มือถือ

5. ผลลัพธ์และการอภิปราย

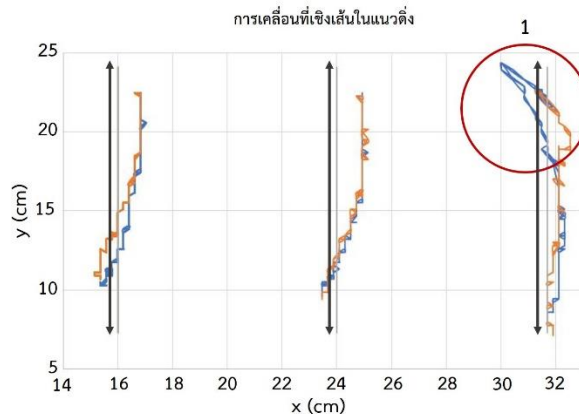
ผลการทดลองให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่เชิงเส้นตามแนวราบ โดยให้เคลื่อนที่ไปกลับ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ระดับ คือที่ค่า $y = 8$ cm, 16 cm และ 24 cm จากรูปที่ 12 แสดงถึงเส้นอ้างอิงตำแหน่ง ซึ่งเป็นเส้นการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบ ต่อมาเส้นการเคลื่อนที่ขาไป (เส้นสีน้ำเงิน) และเส้นการเคลื่อนที่ขากลับ (เส้นสีส้ม) จากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์มีจุดสังเกตคือ จุดที่ 1 มีตำแหน่งคลาดเคลื่อนจากแนวที่กำหนดไว้ประมาณ 2-3 cm ซึ่งเกิดจากการยืดแขนไปสุดพื้นที่ทำงาน ทำให้แรงบิดของมอเตอร์ส่วนหัวไหล่ และข้อศอกไม่เพียงพอ แขนหุ่นยนต์จึงไม่สามารถกลับไปสู่ตำแหน่งที่เดิมได้ จุดที่ 2, 3 และ 4 เกิดจากมอเตอร์ส่วนหัวไหล่ และข้อศอกพยายามดึงกลับมายังตำแหน่งของโปรแกรม ทำให้เกิดการกระตุกในช่วงนี้ และการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ทั้งขาไปและขากลับ ไม่เรียบสม่ำเสมอ ซึ่งเกิดจากการโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์ส่วนของข้อมือมีความเคลื่อนตัวมาก



รูปที่ 12 การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวราบ

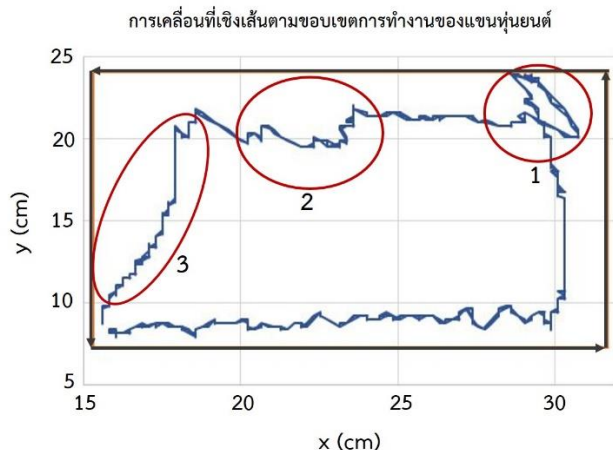
ต่อมาเป็นการทดลองเคลื่อนที่เชิงเส้นตามแนวตั้ง โดยทดลอง 3 ระดับ คือที่ค่า $x = 16$ cm, 24 cm และ 31.7 cm จากรูปที่ 13 การเคลื่อนที่มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกันทั้งขาไปและขากลับ มีตำแหน่งคลาดเคลื่อนจากแนวที่กำหนดไว้ประมาณ 1 cm ซึ่งมีจุดสังเกตคือการเคลื่อนที่ช่วง $x = 31.7$ cm ซึ่งเกิด

จากการยืดแขนหุ่นยนต์เข้าใกล้กับแนวขอบเขตพื้นที่ทำงาน ทำให้แรงบิดของมอเตอร์ส่วนหัวไหล่ และข้อศอกไม่เพียงพอ



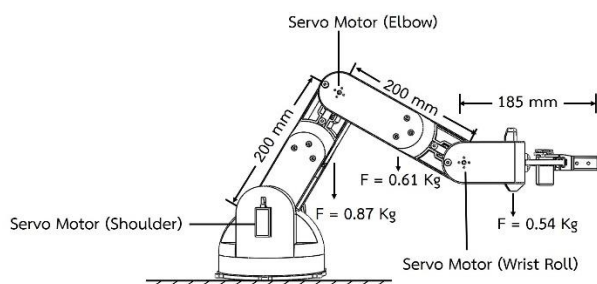
รูปที่ 13 การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวตั้ง

ต่อมาเป็นการทดลองเคลื่อนที่เชิงเส้นตามขอบเขตการทำงานของแขนหุ่นยนต์ จากรูปที่ 14 แสดงเส้นอ้างอิงการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ จากการใช้โปรแกรมประมวลผลภาพจับตำแหน่งที่กำหนด (ดังรูปที่ 10) ทำให้เกิดค่าระยะห่างระหว่างเส้นอ้างอิงกับเส้นการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ จากการวิเคราะห์มีจุดสังเกตคือ จุดที่ 1 เป็นตำแหน่งที่ใกล้กับแนวขอบเขตพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์ ดังนั้นการยืดแขนหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งดังกล่าว ทำให้แรงบิดของมอเตอร์ส่วนหัวไหล่ และข้อศอกไม่เพียงพอ ต่อมาจุดที่ 2 คือการเคลื่อนที่ขากลับเกิดจากมอเตอร์ส่วนหัวไหล่ และข้อศอกพยายามดึงกลับมายังตำแหน่งของโปรแกรม ทำให้เกิดการกระตุกในช่วงนี้ และจุดที่ 3 เกิดจากข้อจำกัดทางโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์



รูปที่ 14 การเคลื่อนที่ตามขอบเขตการทำงานของแขนหุ่นยนต์

จากการทดลองการเคลื่อนที่เชิงเส้นของแขนหุ่นยนต์ในระนาบสองมิติพบว่า มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยอันเนื่องมาจากแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์ไม่เพียงพอ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบขีดจำกัดในด้านน้ำหนักสูงสุดในการหยิบจับสิ่งของที่แขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนย้ายได้ ในรูปแบบของเวกเตอร์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อแต่ละช่วงข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 15 และเปรียบเทียบระหว่างแรงบิดแต่ละข้อต่อที่แขนหุ่นยนต์ต้องการกับแรงบิดสูงสุดของเซอร์โวมอเตอร์ แสดงดังตารางที่ 2 โดยน้ำหนักสูงสุดของวัตถุกำหนดให้เป็น 200 g



รูปที่ 15 เวกเตอร์แรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อแต่ละช่วงข้อต่อ

ตารางที่ 2 แรงบิดแต่ละช่วงต่อของแขนหุ่นยนต์ และแรงบิด

สูงสุดของเซอร์โวมอเตอร์

ตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์	น้ำหนัก (kg)	แรงบิดจากการคำนวณ (kg-cm)	แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ (kg-cm)
Shoulder	1.74	34.76	41.40
Elbow	1.21	24.24	20.70
Wrist Roll	0.68	12.49	20.70

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าแรงบิดของส่วน Shoulder มีค่าที่ 34.76 kg-cm ใกล้กับแรงบิดสูงสุดตามสเปกของเซอร์โวมอเตอร์ที่ 41.40 kg-cm ทั้งนี้ในการเคลื่อนที่จริงจะมีแรงบิดเพิ่มเติมที่เซอร์โวมอเตอร์ ทำให้ในการใช้งานจริงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ต่อมาส่วน Elbow แรงบิดมีค่าที่ 24.24 kg-cm ซึ่งมากกว่าค่าแรงบิดสูงสุดของเซอร์โวมอเตอร์มีที่ 20.70 kg-cm เพียงเล็กน้อย ทำให้อาจเกิดการคลาดเคลื่อนในการใช้งาน และในส่วนแรงบิดที่แขนหุ่นยนต์ต้องการของ Wrist Roll มีค่าน้อยกว่าแรงบิดสูงสุดของเซอร์โวมอเตอร์

ผลการทดลองควบคุมให้ใช้ควบคุมแขนหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ หยิบจับสิ่งของจากจุดหนึ่งไปไว้อีกจุดหนึ่ง แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการควบคุมแขนหุ่นยนต์

	ครั้งที่	ควบคุมแต่ละข้อต่อแบบอิสระ	ควบคุมแบบ MALM-Control
คนที่1	1	6.12 minute	1.18 minute
	2	4.10 minute	0.48 minute
	3	2.34 minute	0.38 minute
เวลาเฉลี่ย		4.19 minute	1.08 minute
คนที่2	1	5.22 minute	0.54 minute
	2	3.24 minute	0.44 minute
	3	2.18 minute	0.27 minute
เวลาเฉลี่ย		3.55 minute	0.42 minute
คนที่3	1	5.48 minute	0.49 minute
	2	2.36 minute	0.36 minute
	3	1.43 minute	0.28 minute
เวลาเฉลี่ย		3.09 minute	0.38 minute

จากตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองการควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้หยิบจับสิ่งของ โดยการควบคุมทีละข้อต่อแบบอิสระใช้เวลาในการควบคุมที่มากในครั้งแรก เนื่องจากการไม่คุ้นชินกับการบังคับผ่านหน้าจอแอปพลิเคชันของผู้ใช้ ทำให้การควบคุมทีละข้อต่อแบบอิสระเกิดความสับสนว่าข้อต่อไหนควรบังคับไปที่มุมเท่าไร ต่อมาการควบคุมแบบเคลื่อนที่เชิงเส้นแบบหลายแกนที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ใช้เวลาเฉลี่ยของทั้ง 3 คน น้อยกว่าประมาณ 86% เมื่อเทียบกับแบบควบคุมทีละข้อต่อแบบอิสระ ซึ่งวิธีการควบคุมนี้ทำให้สามารถมองผ่านจอแล้วไม่เกิดการสับสน ผู้ใช้สามารถควบคุมได้ง่ายขึ้น

6.สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาแขนหุ่นยนต์ช่วยหยิบสิ่งของควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน เป็นการประยุกต์นำเอาทฤษฎีจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าและจลนศาสตร์ผกผัน เพื่อมาวิเคราะห์หาพื้นที่ทำงานของแขนหุ่นยนต์ อีกทั้งยังพัฒนาซอฟต์แวร์ให้การควบคุมแขนหุ่นยนต์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นระบบที่มีชื่อว่า การควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้นแบบหลายแกน (Multi-axis linear motion control -MALM Control) จากการทดลองแรก การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ทั้ง 3 การทดลองคือ เคลื่อนที่เชิงเส้นตามแนวหน้า-หลัง (ตามแนวแกน $+x$, $-x$), แนวขึ้น-ลง (ตามแนวแกน $+y$, $-y$) และตามขอบเขตการทำงานของแขนหุ่นยนต์ ผลการทดลองมีจุดสังเกตที่เหมือนกันคือ การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ทั้งขาไปและขากลับ ไม่เรียบสม่ำเสมอ ซึ่งเกิดจากการโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์ส่วนข้อมือตามมีจุดขยับที่มาก ต่อมาการเคลื่อนที่ใกล้กับขอบเขตพื้นที่ทำงาน เกิดจากแรงบิดของมอเตอร์ส่วนหัวไหล่ และข้อศอกไม่เพียงพอต่อการกลับไปสู่ตำแหน่งเดิม และข้อจำกัดของโครงสร้างแขนหุ่นยนต์ และการเคลื่อนที่ขากลับจะเกิดการกระชาก เนื่องจากมอเตอร์ส่วนหัวไหล่ และข้อศอกพยายามดึงกลับมายังตำแหน่งของโปรแกรม ซึ่งผลการทดลองพบว่าส่วนปลายแขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ในแนวหน้า-หลัง ($+x$, $-x$), แนวขึ้น-ลง ($+y$, $-y$) ได้ตามขอบเขตที่กำหนด ต่อมาเป็นการทดลองควบคุมให้ผู้

ควบคุมแขนหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชันและมองผ่านจอที่แสดงภาพจากกล้องตามเวลาจริง โดยให้หยิบจับสิ่งของจากจุดหนึ่งไปไว้ที่จุดหนึ่ง จากผลการทดลองคือ การควบคุมแบบทีละข้อต่อแบบอิสระจะใช้เวลามากโดยเฉพาะรอบแรก ซึ่งผู้ใช้ควบคุมได้อย่างลำบาก เนื่องจากผู้ใช้งานต้องควบคุมผ่านการมองทางหน้าจอของโทรศัพท์เท่านั้น ทำให้ไม่รู้ว่าจะต้องปรับมุมแต่ละข้อต่อไปที่ตำแหน่งไหนบ้าง ส่วนการควบคุมการควบคุมแบบเคลื่อนที่เชิงเส้นแบบหลายแกนที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ ใช้เวลาเฉลี่ยของทั้ง 3 คน ได้น้อยลงถึง 85% ซึ่งการควบคุมแบบนี้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมแขนหุ่นยนต์ โดยมองผ่านจอที่แสดงภาพจากกล้องตามเวลาได้อย่างสะดวกและง่ายขึ้น จากการทดลองให้ผู้ใช้งานควบคุมแขนหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน โดยควบคุมแบบ MALM-Control สรุปได้ว่าสามารถใช้งานได้จริง และไม่มีผลกระทบมากนักจากปัญหาของการทดลองการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในระนาบสองมิติ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นสร้างหุ่นยนต์ที่มีราคาประหยัด ทำให้คนไทยสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีหุ่นยนต์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดปรับปรุงให้แขนหุ่นยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยปรับปรุงโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์ออกแบบให้มีน้ำหนักที่เบาลง เปลี่ยนมอเตอร์ที่มีแรงกำลังขับสูงขึ้น และนำไปพัฒนาต่อยอดแขนติดตั้งกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ให้มีความสามารถในการหยิบจับสิ่งของที่หลากหลาย อีกทั้งยังสามารถพัฒนาต่อยอดในส่วนของการควบคุมด้วยสมาร์ทโฟน เป็นการสั่งงานด้วยเสียง หรือวิธีการควบคุมอื่น ๆ ได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้แขนหุ่นยนต์ในด้านอื่น ๆ เช่น งานทางด้านการเกษตร งานอุตสาหกรรมการผลิต งานสำรวจ เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้โครงการแผนพัฒนาศักยภาพบัณฑิตวิจัยรุ่นใหม่ และได้รับการสนับสนุนจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.)

เอกสารอ้างอิง

- Charoenseang, S., & Chuakong, B. (2013). Development of Computer Vision System for Food Feeding Robot Arm for the Disabled Person. *Journal of Information Science and Technology (JIST)*, 4(1), 39-48.
<https://doi.org/10.14456/jist.2013.5>
- Foundation of Thai Gerontology Research and Development Institute (TGRI). (2019, November 7). Situation of the Thai elderly 2018.
<https://thaitgri.org/?p=38670>
- Jung, Y., & Bae, J. (2015). Kinematic Analysis of a 5 DOF Upper-limb Exoskeleton with a Tilted and Vertically Translating Shoulder Joint. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 20(3), 1428-1439.
<https://doi.org/10.1109/TMECH.2014.2346767>
- Manikpan, S., Kiatsin, S., & Leelasantitham, A. (2010). A Simulation of 6R Industrial Articulated Robot Arm Using Backpropagation Neural Network. *International Conference on Control. Automation and Systems 2010*. (pp. 823-826).
<https://doi.org/10.1109/ICCAS.2010.5670125>
- Ministry of Commerce, Department of Intellectual Property 2019. (2019). Robotics for Aging Society.
<http://ipthailand.go.th/images/2284/RoboticAnalysis219.pdf>
- Phanomrattanak, B., & Pornsukvitoon, V. (2017). A Study of Forward and Inverse Kinematic for 6-Link Robot Arm (Staubli RX90). *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 27(2), 241-252.
<https://doi.org/10.14416/j.kmutnb.2017.03.013>
- Rahul, K., Raheman, H., & Paradkar, V. (2019). Design and development of a 5R 2DOF parallel robot arm for handling paper pot seedlings in a vegetable transplanter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105014.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105014>
- Tuchinda, W. (2016). Industrial robot analysis and control. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Zar, M. T., & Ei, W. P. (2017). Point to Point Trajectory Control of 3R Planar Robot Arm. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research(IJSETR)*, 6(11), 2278 -7798.
<http://ijsetr.org/wp-content/uploads/2017/11/IJSETR-VOL-6-ISSUE-11-1435-1441.pdf>