การศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดส่วนแขนดาวินซี่
A Study on the Design and Development of Control System for the Arm of Da Vinci Surgery Robot

โพธิ์ สินชู*, ยุทธนา ปิติธีรภาพ, มนัส สังวรศิลป์ และ นันทชัย ทองแป้น
Po Sinchoo *, Yutthana Pititheeraphab , Manas Sangworasil and Nuntachai Thongpance

สาขาวิชาวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต
College of Biomedical Engineering Rangsit University
*Email: Po.s66@rsu.ac.th
Received: June 11, 2024; Revised: July 23, 2024; Accepted: August 01, 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีการผ่าตัดที่มีหุ่นยนต์ทางการแพทย์เข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น โดยการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ da Vinci เนื่องจากการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ทางการแพทย์มีราคาสูงมากและมีค่าดูแลรักษาที่สูงก่อนที่จะใช้งาน ศัลยแพทย์จึงจำเป็นที่จะต้องมีการฝึกฝนก่อนลงมือปฏิบัติจริง เนื่องจากทางวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต ได้รับมอบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci จาก โรงพยาบาลกรุงเทพภูเก็ตที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว จึงเป็นต้นแบบในการวิจัยนี้ที่จะสร้างและออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci เพื่อนำไปใช้งานดังที่ได้กล่าวมา การออกแบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของชุดประมวลผล ส่วนที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง โดยมีทั้งหมด 4 ฟังก์ชั่น และ ส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งของเครื่องมือผ่าตัด โดยมีทั้งหมด 3 ฟังก์ชั่น ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำชุดควบคุมการผ่าตัดทั้ง 3 ส่วน โดยใช้เทคนิคเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์เพื่อสร้างต้นแบบให้ทำงานแบบเดียวกันกับหุ่นยนต์ da Vinci สามารถสร้างส่วนควบคุมหลัก และภาคประมวลผล ที่นำไปควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ นอกจากนี้ยังสามารถเข้าใจโครงสร้างการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดได้อย่างลึกซึ้ง

คำสำคัญ : หุ่นยนต์ดาวินซี่ , เอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน, เอ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์

Abstract

Now, medical robotic surgery technology is increasingly involved in Da Vinci's robotic surgery. Because of the high cost of medical robot operation and the high cost of pre-operation maintenance, surgeons need to carry out pre-training before actual operation. Since the University School of Biomedical Engineering retired Da Vinci's surgical assistant robot from Bangkok Hospital, as the prototype of this study, the control system of Da Vinci's surgical assistant robot was constructed and designed and put into use. As mentioned above, the design is divided into processing unit, which directly controls the operation, and there are four functional parts, which control the position of surgical instruments, and there are three functions, so the researchers have conceived. And can create main controls and processing sector that can be used to control the da Vinci surgical robot.

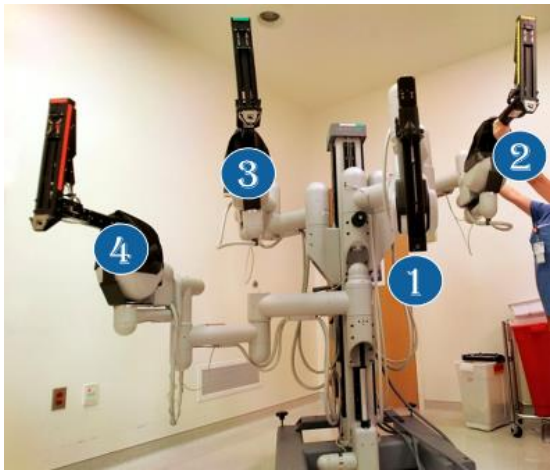
Keywords : Da vinci robot , Incremental Encoder, Absolute Encoder

1. บทนำ

ปัจจุบัน การแพทย์ได้มีการพัฒนาในเรื่องการผ่าตัดให้มีประสิทธิภาพ และความเจ็บปวดที่น้อยลง การผ่าตัดโดยใช้เทคโนโลยีทางด้านการแพทย์เข้ามาช่วยในการผ่าตัด นั้นคือการผ่าตัดผ่านกล้อง 3 มิติ (Advanced 3D Laparoscopic Surgery) คือการผ่าตัดผ่านรูเล็ก ๆ ขนาดเพียง 3-5 มิลลิเมตร [1] เจาะบนผิวหนังร่างกาย จากนั้นจึงสอดกล้องและเครื่องมือเข้าไปตรวจดูอวัยวะภายใน ซึ่งแพทย์สามารถเห็นภาพผ่านจอมอนิเตอร์ ซึ่งข้อแตกต่างจากวิธีเดิมที่เห็นได้ชัด คือ ไม่ต้องผ่าตัดเปิดแผลใหญ่เหมือนวิธีเปิดหน้าท้องแผลจึงมีขนาดเล็ก ผู้ป่วยไม่เจ็บตัวมาก ช่วยให้การฟื้นตัวของร่างกายกลับสู่สภาพปกติได้เร็วขึ้น ที่สำคัญการใช้เทคนิคนี้สามาถใช้ได้ผลดีกับการรักษาโรคที่เกิดกับอวัยวะภายในช่องท้อง แต่ในการผ่าตัดรักษาโรคที่มีความซับซ้อนโดยเฉพาะบริเวณที่คับแคบและลึก จึงเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือและวิธีการผ่าตัดภายใต้กล้อง [2] และวิวัฒนาการทางการแพทย์ที่ก้าวหน้า จึงทำให้เกิดการนำหุ่นยนต์ da Vinci มาช่วยในการผ่าตัดภายใต้กล้อง ประโยชน์ที่เด่นชัดของการนำหุ่นยนต์มาช่วยในการผ่าตัด คือ แขนของหุ่นยนต์ รวมไปถึงการออกแบบปลายข้อมือ เลียนแบบมือมนุษย์ แต่การเคลื่อนไหวและการหมุนเป็นไปได้อย่างอิสระและหักงอได้มากกว่า จึงทำให้เพิ่มความสามารถในการผ่าตัด [3] ซึ่งส่งผลให้คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยดีขึ้น

จากการศึกษาหลักการทำงานของระบบการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชี่แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1)INPUT คือส่วนที่ควบคุมการผ่าตัด เป็นตำแหน่งที่ศัลยแพทย์ทำการควบคุมโดยใช้ทั้งสองมือควบคุมการเคลื่อนไหวตัวควบคุมหลักเหมือนการผ่าตัดปกติ 2)PROCESS จะทำการแปลงสัญญาณจากตัว INPUT เพื่อที่จะไปควบคุมตัวหุ่นยนต์ 3)OUTPUT หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้ เปรียบเสมือนแขนของ ศัลยแพทย์ แขนของหุ่นยนต์ทั้ง 4 แขนจะทำการผ่าตัดเลียนแบบการเคลื่อนไหวของมือศัลยแพทย์สามารถหักงอข้อมือและหมุนข้อมือได้อย่างอิสระถึง 7 ตำแหน่ง จะแสดงได้ดังรูปที่ 1

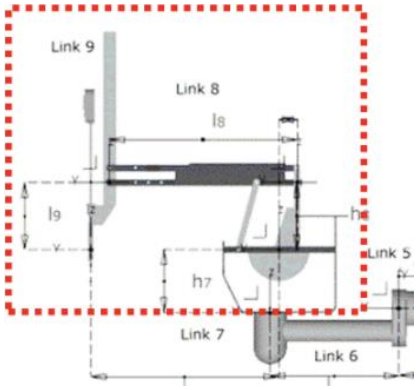
รูปที่ 1 ระบบการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชี่



รูปที่ 2 หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้

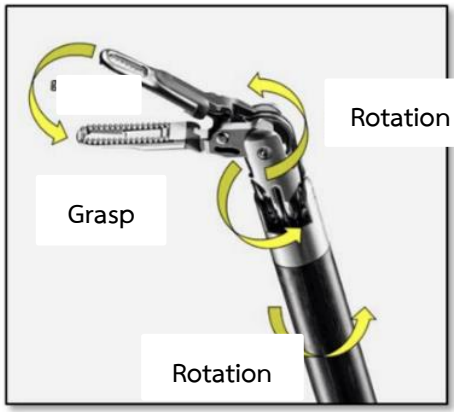
จากรูปที่ 2 จะแสดงการทำงานของแต่ละแขน มีดังนี้ 1) แขนที่ 1 ใช้ในการถือกล้องขยายภาพ 3 มิติ เพื่อส่งสัญญาณ ภาพอวัยวะที่ต้องผ่าตัดไปยังหน้าจอ 2) แขนที่ 2 ใช้ในการผ่าตัด ผูก ตลอดจนเย็บเนื้อเยื่อ 3) แขนที่ 3 ใช้ในการผ่าตัด ผูก ตลอดจนเย็บเนื้อเยื่อ 4)แขนที่ 4 ทำหน้าที่ดึงรั้งเนื้อเยื่อ เพื่อช่วยในการผ่าตัด

จากการศึกษาโครงสร้างของหุ่นยนต์ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแบ่งโครงสร้าง ออกเป็น 8 ส่วน หรือ 7 ข้อต่อ [4] ซึ่งในแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์จะถูกขับเคลื่อนด้วยเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์ เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งการเคลื่อนไหวของมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3

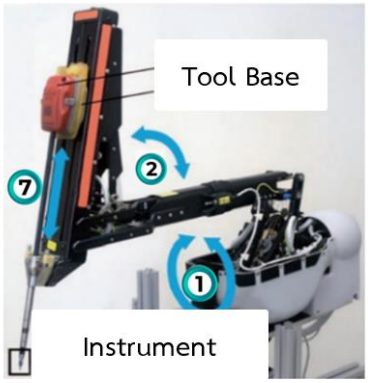


รูปที่ 3 ส่วนประกอบของ Patient Cart

ในงานวิจัยนี้จะทำการการออกแบบระบบควบคุมเพื่อไปต่อกับส่วนแขนและมือของหุ่นยนต์ da Vinci เพื่อให้ทำงานได้เหมือนเดิม โดยได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) ส่วนที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง [5] ดังรูปที่ 4 และ 2) ส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งการผ่าตัด ที่มี 3 ข้อต่อ [6] ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ส่วนที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง



รูปที่ 5 ส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งการผ่าตัด

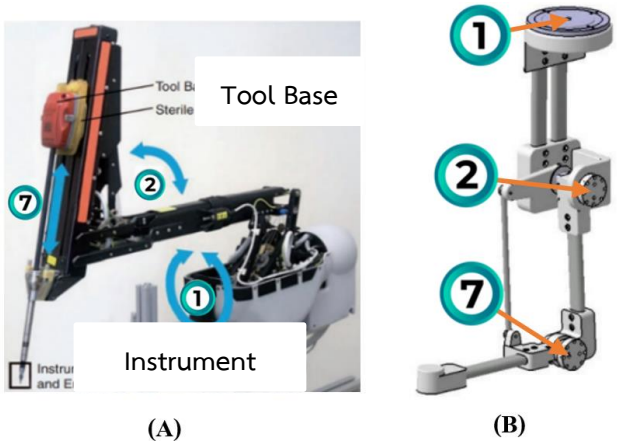
เนื่องจากทางวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต ได้รับมอบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci จากโรงพยาบาลกรุงเทพภูเก็ต ระบบการทำงานทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สามารถควบคุมและใช้งานได้อย่างปกติ แต่เมื่อเวลาผ่านไป ระบบการทำงานของซอฟต์แวร์มีอายุการใช้งานที่ถูกจำกัด จึงทำให้ต้องมีการบำรุงรักษา ซึ่งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษานั้นมีค่าใช้จ่ายที่สูง ทางวิทยาลัยจึงเกิดแนวคิดที่จะทำการวิจัยที่จะสร้างและออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

ในการดำเนินงานจะทำการพิจารณาหุ่นยนต์ da Vinci จะนำระบบการควบคุมแบบเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์มาใช้งาน ซึ่งจะพิจารณาในส่วนแขน ที่แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของชุดประมวลผล ส่วนที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรงที่มีการทำงานทั้งหมด 4 ฟังก์ชั่น และ ส่วนที่ควบคุมตำแหน่งการผ่าตัดที่มีการทำงานทั้งหมด 3 ฟังก์ชั่น จะใช้เทคนิคเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์มาควบคุม

2. การออกแบบและวิธีการทดลอง

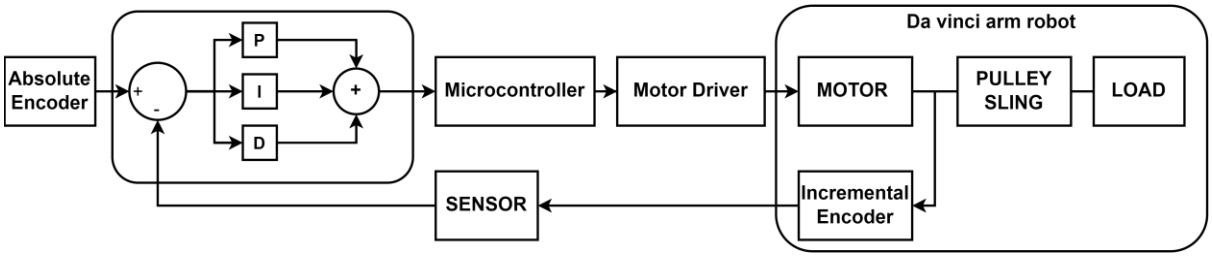
การออกแบบส่วนควบคุมหลัก (Master Controller) ได้อ้างอิงมาจากเครื่อง da Vinci ที่มีอยู่จริง และเสริมจากงานวิจัย Modelling and identification of the da Vinci Research Kit robotic arms [7] การออกแบบเริ่มจากการพิจารณา ส่วนควบคุมทางด้านมือขวา โดยทำการออกแบบผ่านโมเดลมือขวา โดยใช้โปรแกรม CATIA และพิมพ์ชิ้นงานโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 6 B เป็นหุ่นยนต์ da Vinci มือขวา รูป 6 A แสดงส่วนที่ออกแบบมาที่ใช้โปรแกรม CATIA

พิจารณาจากส่วนที่สร้างขึ้นตามรูป 6 B ที่จะไปควบคุมหุ่นยนต์ในรูป 6 A ซึ่งจะมีการทำงานโดยที่ ตำแหน่งที่ 1 หมุนซ้าย-ขวา ตำแหน่งที่ 2 เลื่อนมาด้านหน้า-หลัง และตำแหน่งที่ 7 เลื่อนขึ้น – ลง



รูปที่ 6 A) แขนหุ่นยนต์ PSM B) ส่วนที่ทำการออกแบบในโปรแกรม CATIA

เนื่องจากสัญญาณที่จะไปควบคุมแขนของหุ่นยนต์ da Vinci ประกอบไปด้วยสัญญาณที่จะให้ไปควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์ในส่วนที่ 1, 2 และ 7 และสัญญาณเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนที่ออกมาจากการหมุนของมอเตอร์ ในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์มาช่วยในการทำงานการควบคุม



รูปที่ 7 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานที่ออกแบบ

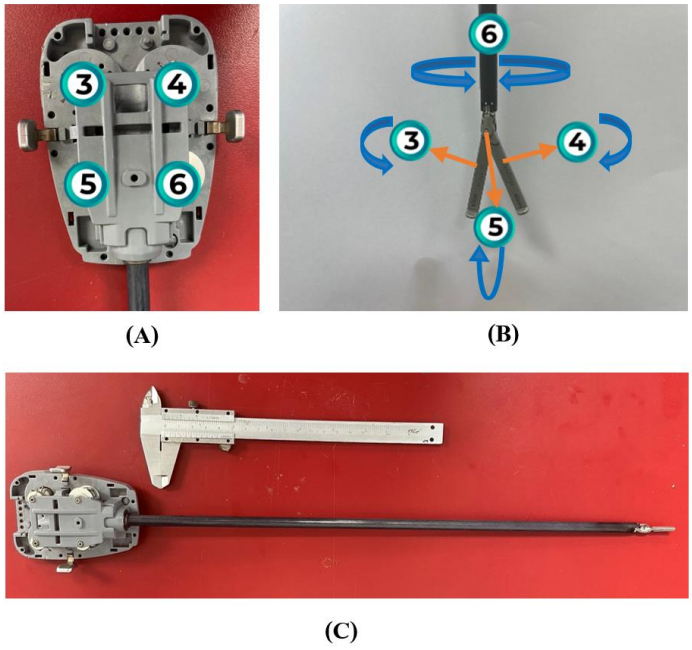
จากรูปที่ 7 คือ โดยการปรับตำแหน่งซึ่งมีค่ามุมตามพิสัยการเคลื่อนที่ต่อเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านการปรับค่า PID [8] เพื่อที่จะไปควบคุมมอเตอร์ จากที่กล่าวมาในรูปที่ 6 เมื่อมอเตอร์หมุนจะได้สัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์ สัญญาณที่ได้จะแสดงในตารางที่ 1 เอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนที่ติดอยู่กับมอเตอร์กระแสตรงในแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดทำหน้าที่จับตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ออกเป็นพัลส์ต่อรอบ และจะส่งค่ากลับมาที่เซ็นเซอร์เพื่อจะแปลงค่าเป็นมุมตามพิสัยการเคลื่อนที่ เพื่อที่จะเทียบกับค่าตำแหน่งที่เอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์กำหนดไว้แล้ว

ซึ่งค่าเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนที่ติดอยู่กับมอเตอร์ในแต่ละตัวนั้น (1, 2 และ 7) สามารถอ่านค่าจำนวนพัลส์ต่อรอบที่แตกต่างกันไปตามตารางที่ 1

และการควบคุมหุ่นยนต์ da Vinci ในส่วนของมือที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง แสดงดังรูปที่ 8

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

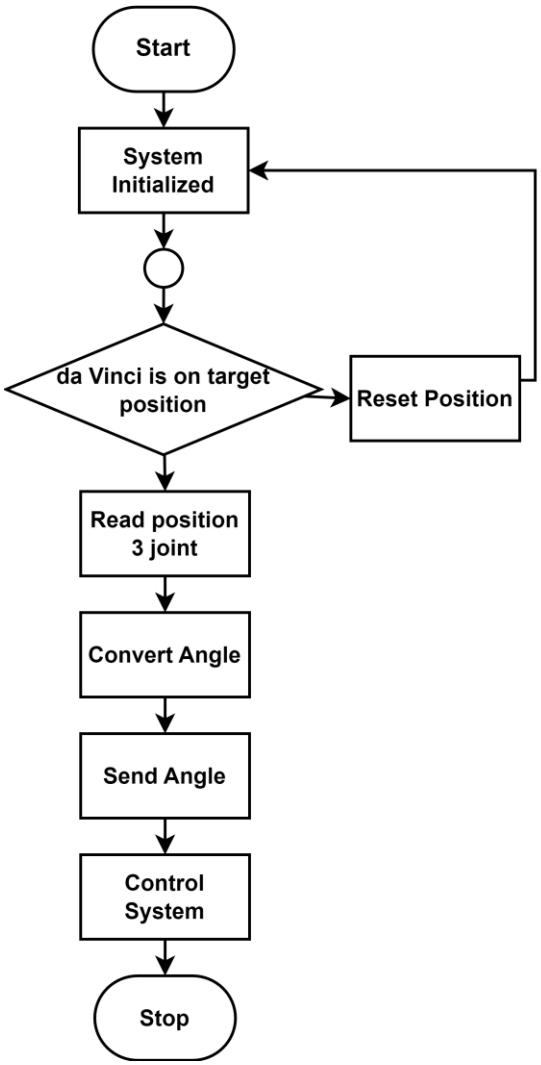
มอเตอร์	พิสัยการเคลื่อนที่ (องศา)	พิสัยระยะทาง (cm)	ค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนน้อยสุด (พัลส์ต่อรอบ)	ค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนมากสุด (พัลส์ต่อรอบ)
แขน				
1	0 – 180	-	-100,000	100,000
2	0 – 108	-	-50,000	50,000
7	-	0 – 23.62	-20,000	100,000



รูปที่ 8 A) กล่องที่ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง B) ปลายที่ไว้ใช้ทำการผ่าตัดโดยตรง C) รูปภาพโดยรวม

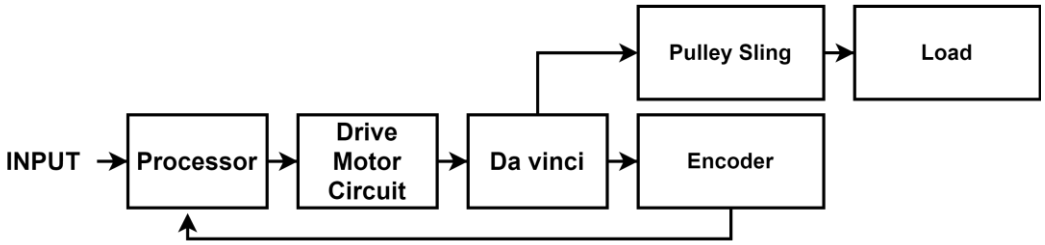
พิจารณาจากส่วนที่ทำการผ่าตัดโดยตรงในรูป 8 A ซึ่งประกอบไปด้วยรอก 4 ตัวตามเลข 3, 4, 5, และ 6 ซึ่งตัวรอก 3 ,4 และ 5 มีลักษณะรูปทรงกระบอก ที่มีรัศมีเท่ากัน คือ 5.5 มิลลิเมตร และ 6 มีรัศมี 9 มิลลิเมตร จากกล่องจะมีแกนยาว 38.2 เซนติเมตร ในรูปที่ 8 C และที่อีกปลายด้านหนึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ช่วยทำการผ่าตัดโดยตรงซึ่งต่อเชื่อมอยู่กับรอก 4 ตัวที่ได้กล่าวมาโดยที่ตำแหน่งที่ 3 เคลื่อนที่ไปทางซ้าย – ตรงกลาง โดยมุมต่ำสุดอยู่ที่ 90 องศา และมุมสูงสุดอยู่ที่ 180 องศา ตำแหน่งที่ 4 เคลื่อนที่ไปทางขวา – ตรงกลาง โดยมุมต่ำสุดอยู่ที่ 0 องศา และมุมสูงสุดอยู่ที่ 90 องศา ตำแหน่งที่ 5 เลื่อนมาด้านหน้า-หลังโดยมุมต่ำสุดอยู่ที่ 0 องศา และมุมสูงสุดอยู่ที่ 180 และตำแหน่งที่ 6 หมุนไป - กลับ 180 องศา ในรูป 8 B

Flow Chart แสดงการออกแบบของโปรแกรมในส่วนของประมวลผลสัญญาณ เริ่มต้นจากการเปิดระบบควบคุมของหุ่นยนตช่วยผ่าตัด da Vinci หลังจาก นั้นตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะเข้าสู่ตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ถ้าหากว่าตัวหุ่นยนต์นั้นไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ มอเตอร์จะทำการหมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ ตัวเอ็นโค้ดเดอร์ ที่อยู่ในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะทำการอ่านค่าตำแหน่งทั้ง 3 Joint หลังจากนั้น จะทำการแปลงมุม และส่งค่ามุมที่ได้กลับมายังระบบควบคุม เพื่อจะทำการควบคุมต่อไปแสดงดังรูปที่ 9



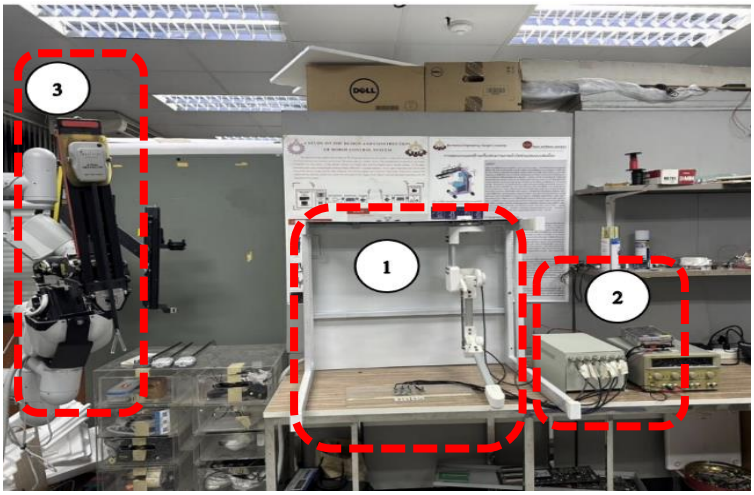
รูปที่ 9 Flow Chart แสดงการออกแบบของโปรแกรม

การทดสอบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด คือการนำเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์ ต่อเข้ากับชุดคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบและมอเตอร์ที่อยู่ในตัวแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด เมื่อปรับเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์ มอเตอร์ในหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะหมุน ค่ามุมเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนที่ติดอยู่กับมอเตอร์จะอ่านค่าแล้วส่งข้อมูลที่เป็นแรงดันกลับมาเพื่อเทียบกับข้อมูลที่ปรับค่าดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การทดสอบการควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

3. ผลการทดลอง



รูปที่ 11 ผลงานที่เสร็จสมบูรณ์

จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นถึงผลงานที่เสร็จสมบูรณ์ ประกอบด้วยส่วนควบคุมหลัก (หมายเลข 1), ภาคประมวลผล (หมายเลข 2) และ แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด (หมายเลข 3) เมื่อทำการปรับค่าของตัวเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์ได้ที่อยู่ภายในส่วนควบคุมหลัก แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจะถูกส่งไปยังภาคประมวลผล เพื่อทำการควบคุมมอเตอร์ภายในแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

ผลการทดสอบการทำงานระหว่างมุมที่ป้อนเข้าไปกับมุมที่แสดงออกมาทั้ง 3 มอเตอร์ ได้แก่ 1, 2 และ 7 จะทำการทดสอบพร้อมกับการปรับค่า PID เพื่อทำให้ผลต่างระหว่างเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์กับเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนมีค่าน้อยที่สุด โดยเราจะศึกษาระเอียดลึกไปดังตารางที่ 2 – 4

ตารางที่ 2 การทดสอบของมอเตอร์ที่ 1

Target (องศา)	ค่าเฉลี่ยของ Input (องศา)	ค่าเฉลี่ยของ Output (องศา)	ผลต่างระหว่าง Input และ Output (องศา)
0	0.55	0.00	0.55
-45	-45.32	-44.49	0.83
45	45.47	45.14	0.33
-90	-90.46	-89.77	0.69
90	90.28	89.64	0.64

ตารางที่ 3 การทดสอบของมอเตอร์ที่ 2

Target (องศา)	ค่าเฉลี่ยของ Input (องศา)	ค่าเฉลี่ยของ Output (องศา)	ผลต่างระหว่าง Input และ Output (องศา)
0	0.80	0.84	0.04
-45	-45.64	-45.09	0.55
45	45.44	44.81	0.63
-68	-68.22	-68.42	0.02
40	40.0	40.01	0.01
150	150.00	149.54	0.46

ตารางที่ 4 การทดสอบของมอเตอร์ที่ 7

Target (cm)	ค่าเฉลี่ยของ Input (cm)	ค่าเฉลี่ยของ Output (cm)	ผลต่างระหว่าง Input และ Output (cm)
0	0.04	0.03	0.01
-23	23.25	23.94	0.69

4. อภิปรายผล

จากการจัดทำงานวิจัยการศึกษาการออกแบบและสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci มีประเด็นที่นำมาอภิปรายผลโดยสรุป ดังนี้

1) สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวส่วนแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ในการประมวลผล ให้มีการควบคุมผ่าน

เอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์ที่อยู่ภายในตัว ควบคุมหลักที่ออกแบบโดยโปรแกรม CATIA และเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

2) มีการป้อนค่ากลับจากเอ็นโค้ดเดอร์ภายในแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci มายังไมโครคอนโทรลเลอร์

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ช่วยผ่าตัด da Vinci สามารถสร้างระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci และสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวมอเตอร์ของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci แต่ละตำแหน่งได้

ในการทดสอบระบบควบคุม พบว่าผลลัพธ์อาจมีความคลาดเคลื่อนซึ่งขึ้นอยู่กับการปรับค่า Gain ของระบบ PID การปรับค่า Gain ที่เหมาะสมจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งจะทำให้การฝึกหัดใช้งานหุ่นยนต์ผ่าตัด da Vinci มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] T. Dardona, S. Eslamian, L. A. Reisner, and A. Pandya, “Remote Presence: Development and Usability Evaluation of a Head-Mounted Display for Camera Control on the da Vinci Surgical System,” Robotics, vol. 8, no. 2, doi: 10.3390/robotics8020031.

[2] P. Kumar, S. Talele, S. Deshpande, R. Ghyar, S. Rout, and B. Ravi, “ Design, Analysis and Experimental Validation of a Novel 7-Degrees of Freedom Instrument for Laparoscopic Surgeries,” (in eng), no. 1573-9686 (Electronic).

[3] M. H. Hamedani et al., “Robust Dynamic Surface Control of da Vinci Robot Manipulator Considering Uncertainties: A Fuzzy Based Approach,” in 2019 7th International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM), 20-21 Nov. 2019 2019, pp. 418-423, doi: 10.1109/ICRoM48714.2019.9071876.

[4] L. W. Sun, F. V. Meer, Y. Bailly, and C. K. Yeung, “Design and Development of a da Vinci Surgical System Simulator,” in 2007 International Conference on Mechatronics and Automation, 5- 8 Aug. 2007 2007, pp. 1050- 1055, doi: 10.1109/ICMA.2007.4303693.

[5] E. Secco and A. T. Maereg, “ Kinesthetic Feedback for Robot-Assisted Minimally Invasive Surgery (da Vinci) with Two fingers Exoskeleton,” 2019.

[6] D. Somwanshi, M. Bundele, G. Kumar, and G. Parashar, “ Comparison of Fuzzy- PID and PID Controller for Speed Control of DC Motor using LabVIEW,” Procedia Computer Science, vol. 152, pp. 252- 260, 2019/ 01/ 01/ 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.05.019.

[7] G. A. Fontanelli, F. Ficuciello, L. Villani, and B. Siciliano, “Modelling and identification of the da Vinci Research Kit robotic arms,” in 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 24-28 Sept. 2017 2017, pp. 1464- 1469, doi: 10.1109/IROS.2017.8205948.

[8] D. Somwanshi, M. Bundele, G. Kumar, and G. Parashar, “ Comparison of Fuzzy- PID and PID Controller for Speed Control of DC Motor using LabVIEW,” Procedia Computer Science, vol. 152, pp. 252- 260, 2019/ 01/ 01/ 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.05.019.