



การออกแบบและสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชีเพื่อใช้ในการฝึกหัดใช้งาน



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2567



**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DA VINCI SURGICAL ROBOT
CONTROL SYSTEM FOR TRAINING**

BY

PO SINCHOO

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN
BIOMEDICAL ENGINEERING
COLLEGE OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2024

วิทยานิพนธ์เรื่อง

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชีเพื่อใช้ในการฝึกหัดใช้งาน

โดย

โพธิ์ สินธุ

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2567

ศ. ดร. ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์
ประธานกรรมการสอบ

ผศ. ว่าที่ ร.ต. ดร. พิชิตพล โชติกุลนันท์
กรรมการ

ผศ. ดร. ยุทธนา ปิติธีรภาพ
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ศ. ดร. สৌจิตต์ เพ็ชรประสาน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

27 สิงหาคม 2567

Thesis entitled

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DA VINCI SURGICAL ROBOT
CONTROL SYSTEM FOR TRAINING**

by

PO SINCHOO

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master of Engineering in Biomedical Engineering

Rangsit University
Academic Year 2024

Prof. Chuchart Pintavirooj, Ph.D.
Examination Committee Chairperson

Asst. Prof. Acting Sub LT.
Phichitphon Chotikunnan, D.Eng.
Member

Asst. Prof. Yutthana Pititheeraphap, Ph.D.
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Prof. Suejit Pechprasarn, Ph.D.)

Dean of Graduate School

August 27, 2024

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์เรื่องการออกแบบและสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชี เพื่อใช้ในการฝึกหัดใช้งาน สำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ. ดร. ยุทธนา ปิติธีรภาพ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ มาตลอด

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ ศ. ดร. ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ ซึ่งเป็นประธาน กรรมการสอบ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในด้านการวางแผนการดำเนินงานใน เรื่องการทำ วิทยานิพนธ์

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ รศ. นันทชัย ทองแป้น และ รศ. ดร. มนต์ สังวรศิลป์ และ ผศ. ว่าที่ ร.ต. ดร. พิชิตพล โชติกุลนันท์ ที่ได้ช่วยเหลือและให้ความอนุเคราะห์ ตั้งแต่เข้าเรียนในวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัย รังสิต อันเป็นสถานที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำวิทยาลัย วิศวกรรมชีวการแพทย์ทุกท่านที่ได้ให้การส่งสอนรายวิชาที่เป็นพื้นฐานในการทำโครงการครั้งนี้ ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่ให้โอกาสให้ได้รับ การศึกษาตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในระดับ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สุดท้ายนี้ความรู้ และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอ มอบความดีให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอกราบอภัยไว้ ณ โอกาสนี้

โพธิ์ สินธุ

ผู้วิจัย

6610116 : โพรธี ลินชู
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การออกแบบและสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชีเพื่อใช้ในการฝึกหัดใช้งาน
 หลักสูตร : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ยุทธนา ปิติธีรภาพ

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีการผ่าตัดที่มีหุ่นยนต์ทางการแพทย์เข้ามามีบทบาท โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่โดดเด่นคือการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ da Vinci อย่างไรก็ตามการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ทางการแพทย์มีราคาสูงและมีค่าดูแลรักษาที่สูงก่อนที่จะนำมาใช้งาน เนื่องจากทางวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต ได้รับมอบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci จาก โรงพยาบาลกรุงเทพภูเก็ต ที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว โดยนำมาเป็นต้นแบบในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci เพื่อใช้ในการฝึกหัดใช้งาน โดยใช้หลักการเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์ เพื่อทำการควบคุมแขนหุ่นยนต์ โดยทำการทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนเพื่อตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด การทดสอบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด และการทดสอบระบบโดยรวม ผลการทดสอบพบว่า สามารถสร้างส่วนควบคุมหลัก และภาคประมวลผล ที่นำไปควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ นอกจากนี้ยังสามารถเข้าใจโครงสร้างการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดได้อย่างลึกซึ้ง

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 58 หน้า)

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci, เอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์ และ ระบบควบคุม PID

6610116 : Po Sinchoo
 Thesis Title : Design and Construction of a Da Vinci Surgical Robot Control System
 for Training
 Program : Master of Engineering in Biomedical Engineering
 Thesis Advisor : Asst. Prof. Yutthana Pititheeraphab, Ph.D.

Abstract

Currently, surgical technology involving medical robots is becoming increasingly significant. One prominent technology is the da Vinci surgical robot. However, surgery with medical robots is expensive and has high maintenance costs before it can be utilized. Since the Faculty of Biomedical Engineering at Rangsit University received a da Vinci surgical robot from Bangkok Hospital, Phuket, which is no longer in use, it was used as a prototype in this research. The objective is to design and build a control system for the da Vinci surgical robot for training purposes, using the principle of an absolute encoder to control the robot's arms. Tests were conducted with a rotary encoder to detect the position of the surgical robot, motor position control of the surgical robot, and the overall system test. The test results showed that it is possible to create the main control unit and processing unit to control the da Vinci surgical robot. Additionally, this research provides an in-depth understanding of the working structure of the surgical robot.

(Total 58 pages)

Keywords: Da Vinci Surgical Robot, Absolute Encoder, PID Control System

Student's Signature Thesis Advisor's Signature

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการทำวิจัย	2
1.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	3
1.6 นิยามศัพท์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและทบทวนวรรณกรรม	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	15
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	15
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล	16
3.3 วิธีการทดสอบงานวิจัย	26

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	ผลการวิจัย	31
	4.1 ผลการทดสอบ	32
	4.2 ผลการทดสอบงานวิจัย	35
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	47
	5.1 สรุปผลการวิจัย	47
	5.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม		49
ภาคผนวก	Datasheet	51
ประวัติผู้วิจัย		58



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตารางแสดงระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย	4
4.1	ผลการทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด	35
4.2	การทดสอบมอเตอร์ที่ 1	36
4.3	การทดสอบมอเตอร์ที่ 2	37
4.4	การทดสอบมอเตอร์ที่ 3	38
4.5	การทดสอบมอเตอร์ที่ 4	39
4.6	การทดสอบมอเตอร์ที่ 5	40
4.7	การทดสอบมอเตอร์ที่ 6	41
4.8	การทดสอบมอเตอร์ที่ 7	42
4.9	ผลการทดสอบระบบโดยรวมเมื่อนำมาปรับใช้กับตัวควบคุมหลัก	43
4.10	ผลการทดสอบการปรับ PID ในเวลาจริง	43



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กรอบแนวคิดการทำงานวิจัย	3
2.1	หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci	7
2.2	รูปแสดงส่วนประกอบทั้งหมดของ da Vinci Surgical System	7
2.3	รูปร่าง และส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	10
2.4	ไคอะแกรมการควบคุมพีไอดี	11
2.5	Absolute Encoder	12
2.6	สัญญาณเอาต์พุตของ Absolute Encoder	13
3.1	หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ที่นำมาใช้ในงานวิจัย	16
3.2	แสดงส่วนประกอบของ Patient Cart	17
3.3	ทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือผ่าตัดในหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด	18
3.4	บล็อกไคอะแกรมแสดงการออกแบบระบบควบคุมขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด	18
3.5	บล็อกไคอะแกรมแสดงการออกแบบระบบควบคุมขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด	19
3.6	การออกแบบ Master Controller (ส่วนแขน)	20
3.7	การออกแบบ Master Controller (ส่วนมือ)	20
3.8	สัญญาณเอาต์พุตของ Absolute Encoder	21
3.9	รูปภาพแสดงวงจรที่ออกแบบและสร้างประมวลผล	23
3.10	รูปภาพแสดงการต่อวงจรระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ที่ออกแบบโดยรวม	23
3.11	Flow Chart แสดงการออกแบบของโปรแกรมในประมวลผลสัญญาณ	24
3.12	รูปภาพแสดงมอเตอร์แต่ละตำแหน่ง	25
3.13	การทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์ ตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด	26
3.14	การทดสอบการควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด	27
3.15	การทดสอบระบบโดยรวม	28
3.16	การทดสอบการปรับ PID ในเวลาจริง	30
4.1	ผลงานที่เสร็จสมบูรณ์	31
4.2	การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 1	32
4.3	การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 2	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 3	33
4.5	การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 4	33
4.6	การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 5	33
4.7	การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 6	34
4.8	การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 7	34
4.9	การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 1	36
4.10	การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 2	37
4.11	การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 3	38
4.12	การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 4	39
4.13	การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 5	40
4.14	การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 6	41
4.15	การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 7	42
4.16	กราฟควบคุมมอเตอร์ 1 ในเวลาจริง	44
4.17	กราฟควบคุมมอเตอร์ 2 ในเวลาจริง	44
4.18	กราฟควบคุมมอเตอร์ 3 - 4 ในเวลาจริง	45
4.19	กราฟควบคุมมอเตอร์ 5 ในเวลาจริง	45
4.20	กราฟควบคุมมอเตอร์ 6 ในเวลาจริง	45
4.21	กราฟควบคุมมอเตอร์ 7 ในเวลาจริง	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การผ่าตัดแบบแผลเล็ก หรือ การผ่าตัดแบบส่องกล้อง (Minimal Invasive Surgery) ซึ่งเป็นการเจาะรูเล็ก ๆ เพียง 1 – 2 เซนติเมตร บริเวณผิวหนังที่ต้องการจะผ่าตัด เพื่อสอดอุปกรณ์ผ่าตัด และกล้องขนาดเล็ก พร้อมทั้งบันทึกภาพและส่งมายังจอรับ ซึ่งทำหน้าที่แทนตาของศัลยแพทย์ รวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งประสิทธิภาพการรักษายังมีเช่นเดียวกับการผ่าตัดเปิดแผลใหญ่ แต่มีความคมชัดมากขึ้น เพราะกล้องมีกำลังขยายสูง สามารถเข้าไปผ่าตัดในจุดเล็ก ๆ ที่มือแพทย์เข้าไม่ถึง และยังกระทบกระเทือนอวัยวะภายในน้อย จึงช่วยลดผลแทรกซ้อน ทั้งยังทำให้การผ่าตัดสะดวก ลดความเจ็บปวดจากแผลผ่าตัดทำให้ระยะพักฟื้นของผู้ป่วยน้อยลง การผ่าตัดอาจใช้เวลาานกว่าการผ่าตัดแบบเปิดแผลใหญ่ เนื่องจากเครื่องมือมีขนาดเล็ก จึงตัดอวัยวะต่าง ๆ ได้ทีละน้อย อีกทั้งการผ่าตัดผ่านกล้องยังเป็นผลดีกับอวัยวะภายใน อาทิ ลำไส้ เนื่องจากมีตัวควบคุมอุณหภูมิร่างกายให้เป็นปกติ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งหากต้องเปิดแผลกว้าง อุณหภูมิความเย็นจัดในห้องผ่าตัดจะเข้าไปภายในท้องจะทำให้ลำไส้เกิดอาการบวมขึ้นได้ (Johnson, Schmidt, & Duvvuri, 2014)

ปัจจุบัน การแพทย์ได้มีการพัฒนาในเรื่องการผ่าตัดให้มีประสิทธิภาพ และความเจ็บปวดที่น้อยลง การผ่าตัดโดยใช้เทคโนโลยีทางด้านการแพทย์เข้ามาช่วยในการผ่าตัด นั่นคือ การผ่าตัดผ่านกล้อง 3 มิติ (Advanced 3D Laparoscopic Surgery) คือการผ่าตัดผ่านรูเล็ก ๆ ขนาดเพียง 3-5 มิลลิเมตร (Dardona, Eslamian, Reisner, & Pandya, 2019) เจาะบนผิวหนังร่างกาย จากนั้นจึงสอดกล้องและเครื่องมือเข้าไปตรวจดูอวัยวะภายใน ซึ่งแพทย์สามารถเห็นภาพผ่านจอมอนิเตอร์ ซึ่งข้อแตกต่างจากวิธีเดิมที่เห็นได้ชัดคือไม่ต้องผ่าตัดเปิดแผลใหญ่เหมือนวิธีเปิดหน้าท้อง แผลจึงมีขนาดเล็ก ผู้ป่วยไม่เจ็บตัวมาก ช่วยให้การฟื้นตัวของร่างกายกลับสู่สภาพปกติได้เร็วขึ้น ที่สำคัญการใช้เทคนิคนี้สามารถใช้ได้ผลดีกับการรักษาโรคที่เกิดกับอวัยวะภายในช่องท้อง แต่ในการผ่าตัดรักษาโรคที่มีความซับซ้อน โดยเฉพาะบริเวณที่คับแคบ และลึก จึงเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือและวิธีการผ่าตัดภายใต้กล้อง (Kumar et al., 2023) เพื่อที่จะลดข้อจำกัด และวิวัฒนาการทางการแพทย์ที่ก้าวหน้า จึง

ทำให้เกิดการนำหุ่นยนต์ da Vinci มาช่วยในการผ่าตัดภายใต้กล้อง ประโยชน์ที่เด่นชัดของการนำหุ่นยนต์มาช่วยในการผ่าตัด คือ ภาพที่เห็นในขณะผ่าตัดเป็นแบบ 3 มิติขยายใหญ่ขึ้น 10 เท่า และแขนของหุ่นยนต์ รวมไปถึงการออกแบบปลายข้อมือ เลียนแบบมือมนุษย์ แต่การเคลื่อนไหวและการหมุนเป็นไปได้อย่างอิสระและหักงอได้มากกว่า จึงทำให้เพิ่มความสามารถในการผ่าตัด (Hamedani et al., 2019) ซึ่งส่งผลให้คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยดีขึ้น

ทางวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต ได้รับมอบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci จากโรงพยาบาลกรุงเทพภูเก็ต ระบบการทำงานทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สามารถควบคุมและใช้งานได้อย่างปกติ แต่เมื่อเวลาผ่านไป ระบบการทำงานของซอฟต์แวร์มีอายุการใช้งานที่ถูกจำกัด จึงทำให้ต้องมีการบำรุงรักษา ซึ่งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษานั้นมีค่าใช้จ่ายที่สูง จึงทำให้ทางวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต มีข้อจำกัดในการบำรุงรักษา ทางผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะสร้างและออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ส่วนแขน ที่แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนของชุดประมวลผล ส่วนที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรงที่มีการทำงานทั้งหมด 4 ฟังก์ชัน และ ส่วนที่ควบคุมตำแหน่งการผ่าตัดที่มีการทำงานทั้งหมด 3 ฟังก์ชัน เพื่อใช้ในการฝึกหัดของศัลยแพทย์ ให้สามารถนำกลับมาใช้งาน และนำไปพัฒนาส่วนที่เหลืออื่น ๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

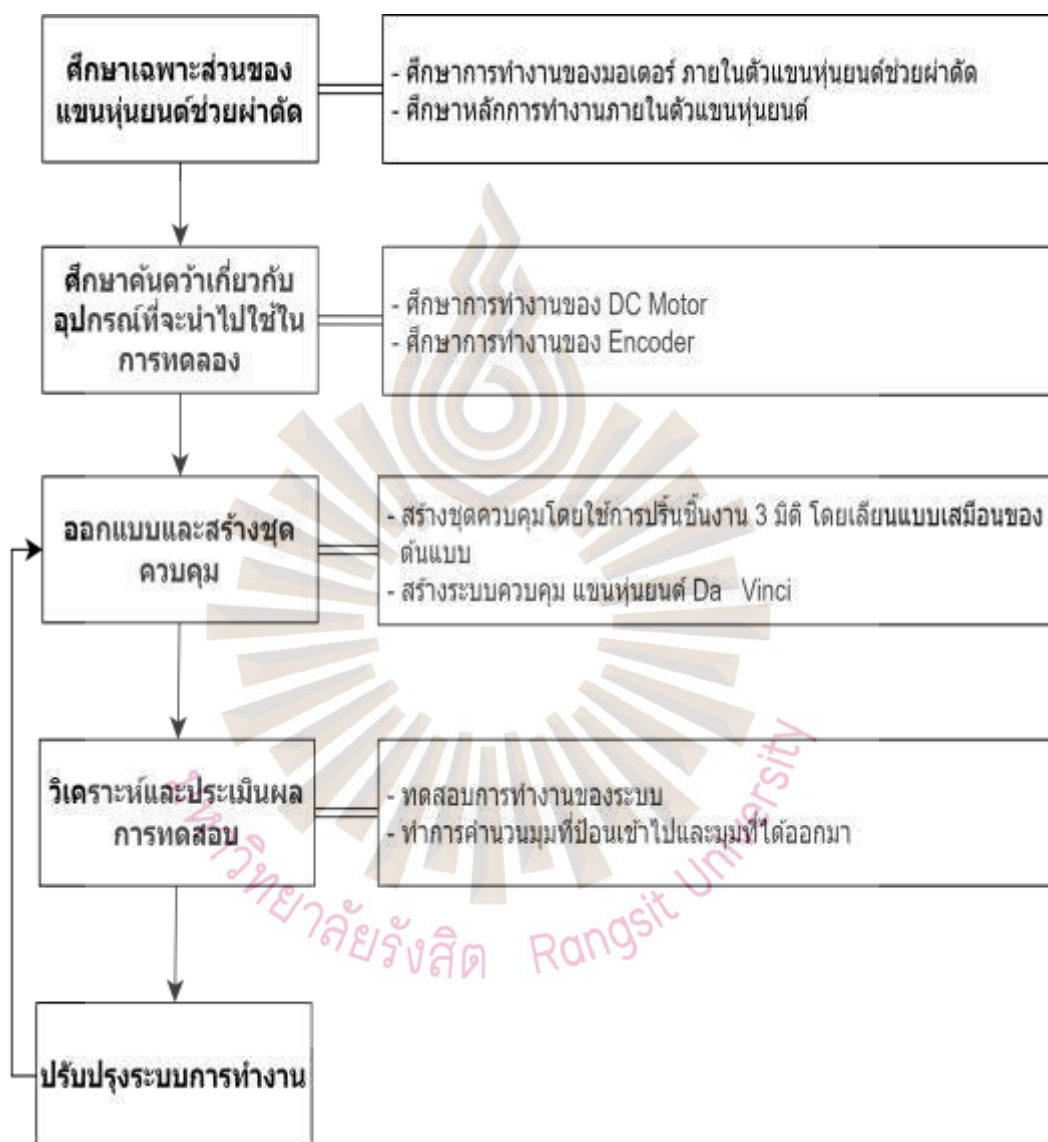
- 1) ศึกษาและออกแบบระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด
- 2) สร้างระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด
- 3) เพื่อสร้างการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติ
- 4) สร้างระบบเพื่อไว้ใช้ในการฝึกหัดสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษา

1.3 สมมติฐานของการทำวิจัย

- 1) การควบคุมหุ่นยนต์ da Vinci เพียง 1 แขน ได้ครบสมบูรณ์
- 2) สร้างระบบควบคุมที่ออกมาคุ้มค่ากับการใช้งานให้ได้มากที่สุด

1.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย

กรอบแนวคิดการทำงานวิจัยจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดการทำงานวิจัย

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษางานวิจัยระดับปริญญาโท มีทั้งหมด 14 ขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)									
	ปี พ.ศ. 2566 - 2567									
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1.ศึกษาหัวข้องานวิจัย	✓	✓								
2.รวบรวม ค้นคว้าข้อมูล เกี่ยวกับงานวิจัย	✓	✓								
3.ทดลอง และบันทึกผลจาก งานวิจัย				✓		✓				
4.สร้างโมเดลสำหรับการทดสอบ						✓				
5.เสนอหัวข้องานวิจัย							✓			
6.จำลองการควบคุมด้วยระบบที่ สร้างขึ้น						✓	✓			
7.สอบโครงร่างวิจัย							✓			
8.ทดสอบการทำงานของระบบ						✓	✓			
9.เก็บข้อมูลการทำงาน และ ปรับแก้ระบบ							✓			
10.วิเคราะห์ผล							✓	✓		
11.ทำรูปเล่มในส่วนของบทที่ 4 และ 5								✓		
12.สอบป้องกันวิทยานิพนธ์							✓	✓		
13.ปรับปรุงและแก้ไขรูปเล่ม								✓	✓	
14.ส่งต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับ สมบูรณ์										✓

1.6 นิยามศัพท์

นิยามศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์มีคำดังต่อไปนี้ เช่น

da Vinci Surgical System เป็นระบบการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ประกอบด้วยองค์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

- 1) Surgery Console คือตำแหน่งที่ศัลยแพทย์จะทำการควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci
- 2) Patient Cart คือตำแหน่งที่มีหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด และ เตียงสำหรับผ่าตัด
- 3) Vision Cart หรือ Computer Control Tower เป็นส่วนที่แปลงสัญญาณภาพการผ่าตัดจากกล้องภายในตัวผู้ป่วย ซึ่งระบบส่วนนี้มีความสำคัญมากเพราะจะช่วยควบคุม วิเคราะห์ และกรองข้อมูลสัญญาณไปมาระหว่างหุ่นยนต์กับศัลยแพทย์

Instrument คือ อุปกรณ์ที่ทำการผ่าตัดโดยตรงกับผู้ป่วย อุปกรณ์ชิ้นนี้จะมีหลายรูปแบบ ซึ่งตัวที่นำมาวิจัย จะเป็นอุปกรณ์จับเนื้อเยื่อ

Absolute Encoder คือ เ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) ที่ออกแบบมาให้มีรูปแบบสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นลักษณะของการเข้ารหัส โดยการใช้รหัสแทนสัญญาณพัลส์ เช่น Binary, Gray Code เป็นต้น เพื่อระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่และองศาของแกนเอ็นโค้ดเดอร์ได้มีตำแหน่งที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ มี 4 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

2.1.1 หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

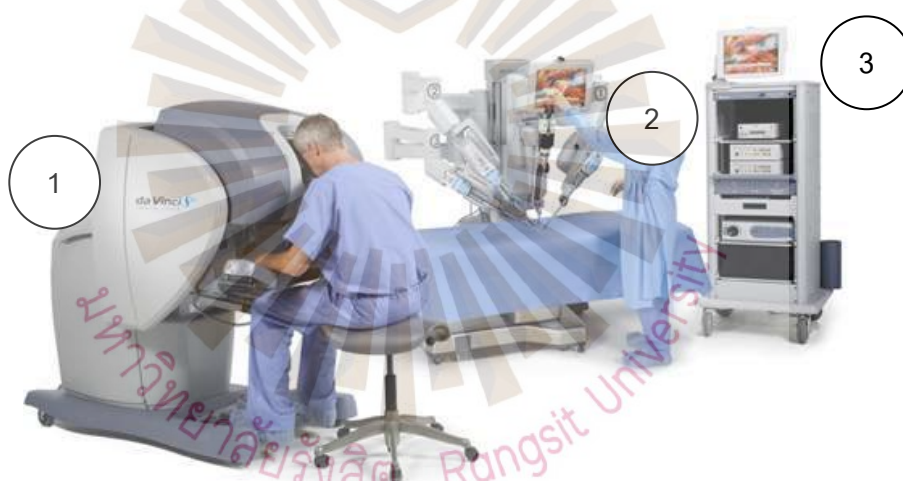
da Vinci คือหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ศัลยแพทย์ในการผ่าตัดที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ในการสั่งการแขนกลทั้ง 4 แขนที่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างนิ่มนวลและแม่นยำยิ่งกว่ามนุษย์ และ da Vinci เป็นหุ่นยนต์ผ่าตัดทั่วไปตัวแรกที่ได้รับการอนุมัติจากองค์การอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาให้สามารถทำการผ่าตัดได้ในทุกสาขาทางการแพทย์

da Vinci เป็นหุ่นยนต์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อการผ่าตัดแบบส่องกล้อง หรือ Minimal Invasive Surgery (MIS) ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีในการผ่าตัดสมัยใหม่ แต่การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดยังคงต้องใช้ศัลยแพทย์หรือศัลยแพทย์ผ่าตัดเป็นผู้ดำเนินการผ่าตัด เพียงแต่ต้องเป็นศัลยแพทย์ที่เชี่ยวชาญการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์จึงสามารถทำได้ โดยมีศัลยแพทย์ผู้ช่วยทำหน้าที่ช่วยส่งเครื่องมือหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ ซึ่งขั้นตอนคล้ายกับการผ่าตัดทั่วไป คือหลังจากผู้ป่วยได้รับยาสลบแล้ว ศัลยแพทย์จะเป็นผู้นำเครื่องมืออุปกรณ์หุ่นยนต์เจาะเข้าไปในร่างกายที่จะทำการผ่าตัด และทำการจัดทำทาง และตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เหมาะสม หลังจากนั้นจะมาควบคุมหุ่นยนต์เพื่อทำการผ่าตัด ซึ่งการใช้หุ่นยนต์เป็นเพียงแค่อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ช่วยทำการผ่าตัดเท่านั้น



รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci
ที่มา: Da Vinci robotic prostatectomy, 2019

2.1.1.1 ระบบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด



รูปที่ 2.2 รูปแสดงส่วนประกอบทั้งหมดของ da Vinci Surgical System
ที่มา: Schreuder and Verheijen, 2009

จากรูปที่ 2.2 คือ ระบบของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด แบ่งเป็น 3 ส่วน (Schreuder and Verheijen, 2009, pp.198-213) ดังนี้

1) ส่วนควบคุมการผ่าตัด (Surgeon Console) เป็นตำแหน่งที่ศัลยแพทย์จะทำการนั่งควบคุมหุ่นยนต์ผ่าตัดผ่านจอ 3 มิติ ศัลยแพทย์จะทำการควบคุมการทำงานของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด โดยใช้ทั้งสองมือควบคุมการเคลื่อนไหวตัวควบคุมหลักเหมือนการผ่าตัดปกติ ซึ่งตัว

ระบบจะทำการส่งสัญญาณการเคลื่อนไหวจากการควบคุมของศัลยแพทย์ไปยังแขนกลของหุ่นยนต์ เพื่อทำการผ่าตัดภายในร่างกายของผู้ป่วย โดยการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของศัลยแพทย์ประกอบไปด้วยที่สำคัญ ดังนี้

1.1) ส่วนควบคุมหลัก (Master Controller) เป็นส่วนควบคุมหลักที่เอาไว้ควบคุมการผ่าตัดด้วยแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci โดยศัลยแพทย์เป็นผู้ควบคุม

1.2) ส่วนควบคุมด้วยเท้า (Footswitch Interface) เป็นส่วนที่ควบคุมการยับยั้งของกล้องที่สอดเข้าไปในตัวผู้ป่วย และยังสามารปรับโฟกัสของกล้องได้อีกด้วย

2) หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้ (Patient Cart) ดังรูปที่ 2.1 เปรียบเสมือนแขนของศัลยแพทย์ แขนของหุ่นยนต์ทั้ง 4 แขนจะทำการผ่าตัดเลียนแบบการเคลื่อนไหวของมือศัลยแพทย์ ซึ่งหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci มีข้อมือกลที่สามารถหมุน และโค้งงอได้ โดยการเคลื่อนไหวของเครื่องมือหุ่นยนต์ทำได้คล้ายกับมือของมนุษย์ แต่ได้รับการพัฒนาให้ลดข้อจำกัดของข้อมือมนุษย์ คือ สามารถหักงอข้อมือ และหมุนข้อมือได้อย่างอิสระถึง 7 ตำแหน่ง ทำให้เครื่องมือสามารถเข้าไปผ่าตัดในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด หรือช่องผ่าตัดที่เล็ก ๆ ได้อย่างแม่นยำ และปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดยหน้าที่ของแต่ละแขน มีดังนี้

2.1) แขนที่ 1 ใช้ในการถือกล้องขยายภาพ 3 มิติ เพื่อส่ง สัญญาณภาพอวัยวะที่ต้องผ่าตัดไปยังหน้าจอ

2.2) แขนที่ 2 ใช้ในการผ่าตัด ผูก ต่อดจนเย็บเนื้อเยื่อ

2.3) แขนที่ 3 ใช้ในการผ่าตัด ผูก ต่อดจนเย็บเนื้อเยื่อ

2.4) แขนที่ 4 ทำหน้าที่ดึงรั้งเนื้อเยื่อ เพื่อช่วยในการผ่าตัด

3) ระบบควบคุมภาพ (Vision Cart หรือ Computer Control Tower) ทำงานเป็นเสมือนตาให้กับแพทย์ช่วยผ่าตัด และพยาบาล เพราะเป็นส่วนที่แปลงสัญญาณภาพการผ่าตัดจากกล้องภายในตัวผู้ป่วย ซึ่งระบบส่วนนี้มีความสำคัญมากเพราะจะช่วยควบคุม วิเคราะห์ และกรองข้อมูลสัญญาณไปมาระหว่างหุ่นยนต์กับศัลยแพทย์

2.1.1.2 ลักษณะการรักษาที่เหมาะสมกับหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

เนื่องจากหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci เหมาะกับการผ่าตัดในตำแหน่งอวัยวะที่ทำการผ่าตัดได้ยากหรือสลับซับซ้อน ตัวอย่างของโรคที่เหมาะสมในการใช้หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด เช่น

- 1) โรคระบบทางเดินอาหาร เช่น มะเร็งหลอดอาหาร มะเร็งลำไส้ใหญ่ ทวารหนัก
- 2) โรคระบบ ตับ น้ำดี ตับอ่อน เช่น มะเร็งตับ มะเร็งตับอ่อน มะเร็งถุงน้ำดี นิ่วในถุงน้ำดี
- 3) โรคทางเดินปัสสาวะ เช่น มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ มะเร็งไต
- 4) โรคทางนรีเวช เช่น เนื้องอก หรือ มะเร็งปากมดลูก เนื้องอกรังไข่ ภาวะอุ้งเชิงกรานหย่อน
- 5) โรคระบบทางเดินหายใจ และทรวงอก เช่น มะเร็งปอด มะเร็งผนังทรวงอก
- 6) การผ่าตัดทั่วไป เช่น การผ่าตัดกระเพาะ เพื่อรักษาโรคอ้วน ผ่าตัดไส้เลื่อน หรือเนื้องอกที่ต่อมหมวกไต

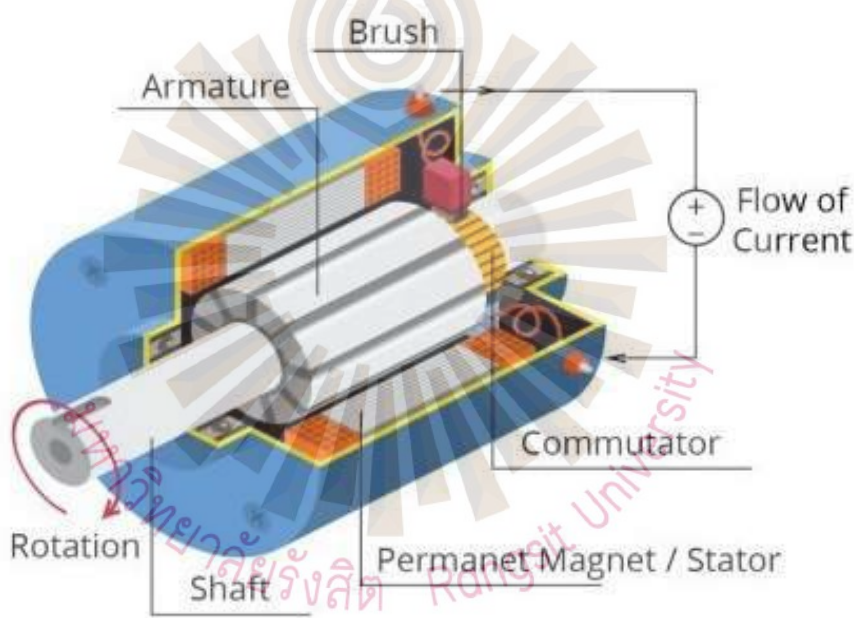
2.1.1.3 ข้อดีของการใช้หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

- 1) ทำงานเป็นเสมือนตาให้กับศัลยแพทย์ และพยาบาล เพราะเป็นส่วนที่ทำให้หน้าที่แปลงสัญญาณภาพการผ่าตัดจากกล้องภายในตัวผู้ป่วย ซึ่งระบบส่วนนี้มีความสำคัญมาก เพราะจะช่วยควบคุม วิเคราะห์ และกรองข้อมูลสัญญาณไปมาระหว่างหุ่นยนต์กับศัลยแพทย์
- 2) ระบบภาพขยาย 3 มิติ ที่มีความคมชัดสูง ทำให้ศัลยแพทย์มองเห็นความลึกและรายละเอียดของอวัยวะ รวมถึงเส้นประสาทได้อย่างชัดเจน ทำให้การผ่าตัดมีความแม่นยำ และปลอดภัยมากขึ้น
- 3) คอมพิวเตอร์สามารถช่วยปรับปรุงแก้ไขสัญญาณอาการมือสั่นของศัลยแพทย์ ทำให้การผ่าตัดโดยหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดเป็นไปอย่างนิ่มนวล
- 4) แผลผ่าตัดที่เล็ก การผ่าตัดที่ละเอียดทำให้เสียโลหิตน้อย ผู้ป่วยไม่เจ็บมาก สามารถพักฟื้นตัวเร็ว ทำให้ลดเวลาพักฟื้นในโรงพยาบาล

2.1.1.4 ข้อเสียของการใช้หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

- 1) ค่าใช้จ่ายในการผ่าตัดค่อนข้างสูง เนื่องจากตัวหุ่นยนต์มีราคาแพงประกอบกับค่าบำรุงรักษาสูง
- 2) ศัลยแพทย์ที่ใช้หุ่นยนต์ต้องได้รับการฝึกฝน และอบรมมาจนเชี่ยวชาญถึงสามารถใช้หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดได้
- 3) ศัลยแพทย์จะขาดความรู้ลึกอ่อน เนื่องจากการสัมผัสเนื้อเยื่อปกติ

2.1.2 ทฤษฎีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.3 รูปร่าง และส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

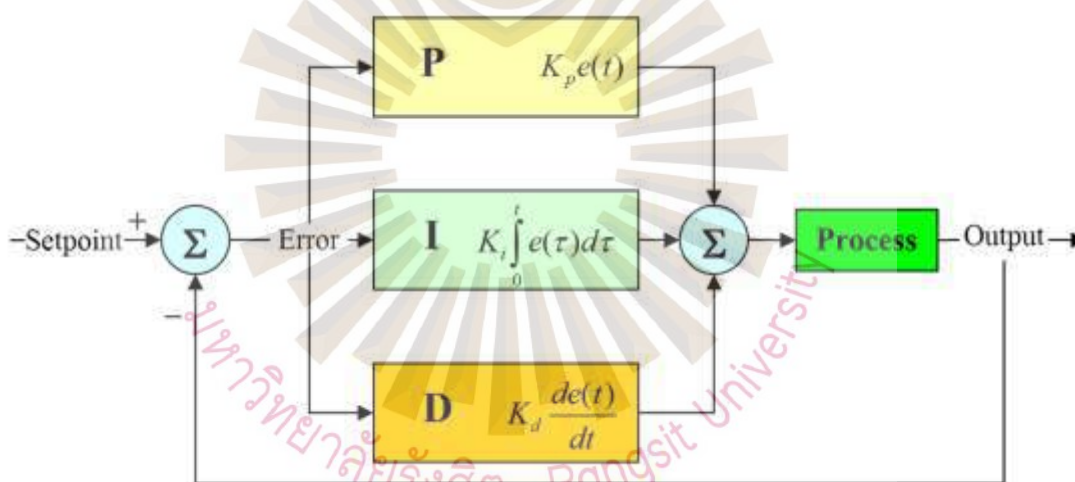
ที่มา: Symptoms of a bad armature, 2023

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มอเตอร์ที่ใช้งานในปัจจุบัน แต่ละชนิดแตกต่างกันออกไปต้องการความเร็วรอบหรือกำลังที่ต่างกัน ซึ่งมอเตอร์ที่ทำการศึกษาจะเป็นชนิด มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) นั้นจะมีส่วนประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1.ส่วนที่อยู่กับที่ เรียกว่า Stator ที่มีขดลวดสนาม (Field Coil) และ 2.ส่วนที่เคลื่อนที่ เรียกว่า Rotor ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) และแปรงถ่าน (Brush) แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.3

2.1.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือ DC Motor จะประกอบไปด้วย 2 ชุด ซึ่งชุดใดชุดหนึ่งอยู่ที่ Stator เรียกว่าชุดลวดสนาม (Field Winding) ที่ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กถาวรซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายมานั้นมาจากแหล่งเดียวกันกับชุดลวดอาร์เมเจอร์ และชุดลวดที่สองที่อยู่ในส่วนของ Rotor เรียกว่าชุดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ซึ่งจะจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าชุดลวดอาร์เมเจอร์ผ่านแปรงถ่าน หลังจากนั้นชุดลวดจะทำให้เกิด Torque ในการหมุนของ Rotor ที่เกิดมาจากการกระทำระหว่างขั้วแม่เหล็กของชุดลวดใน Stator และ Rotor ที่ต่างขั้วกัน และผลักกันทำให้เกิดการหมุนขึ้นได้ในที่สุด (Symptoms of a bad armature, 2023)

2.1.3 ทฤษฎีระบบควบคุม



รูปที่ 2.4 โค้ดแกรมการควบคุมพีไอดี

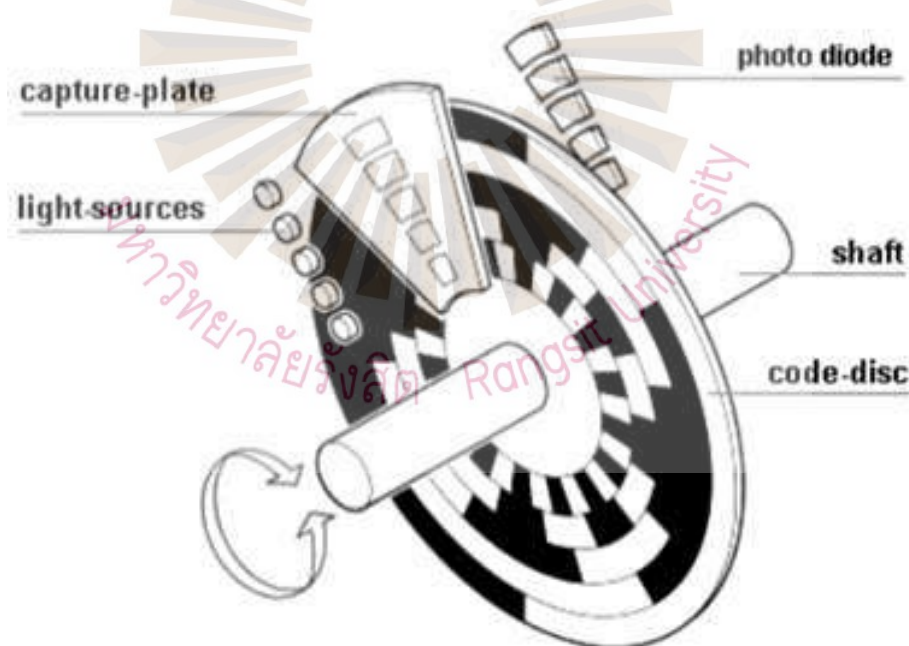
ที่มา: วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2553

PID Controller เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการ และค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2553)

รูปที่ 2.4 คือการรวมของ พีไอดี 3 เทอม ที่ประกอบด้วย เทอม P เทอม I และเทอม D ซึ่งแต่ละเทอมจะทำงานในแต่ละสถานการณ์ของระบบ เทอม P จะมีอิทธิพลสูง เมื่อค่าความต่างระหว่างปรับค่าด้วยมือ (Set Point) กับสัญญาณป้อนกลับ (Feed Back) มีค่ามาก อยู่ห่างกันมาก ขณะที่เทอม I จะมีอิทธิพลสูง เมื่อค่าป้อนกลับอยู่ใกล้ ๆ ค่าตั้งต้นเทอม I นี้จะเริ่มทำงาน เพื่อให้ค่าความผิดพลาดลดลงจนเป็นศูนย์ และอิทธิพลของเทอม D จะคอยต้านทานการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็วของสัญญาณป้อนกลับ ที่จะส่งผลต่อสัญญาณเอาต์พุต อิทธิพลของเทอม D จะลดลงเมื่อสัญญาณป้อนกลับของระบบ

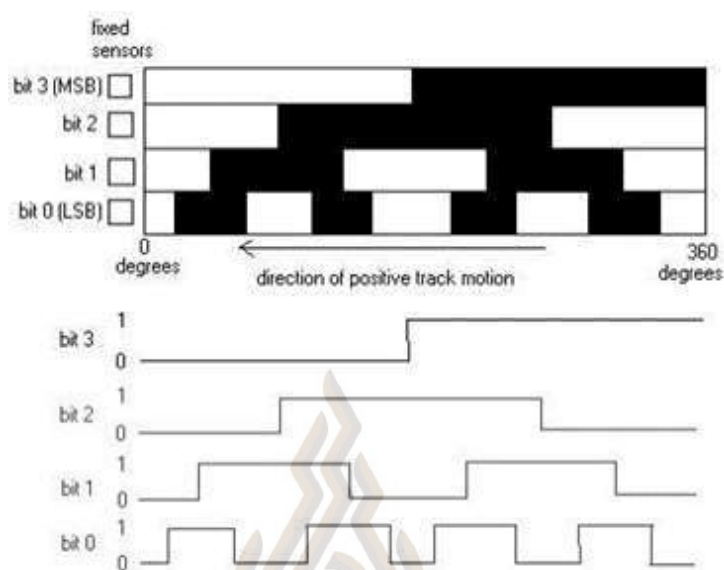
2.1.4 ทฤษฎีเอ็นโค้ดเดอร์

Absolute Encoder เป็นเอ็นโค้ดเดอร์ที่มีหัวอ่านหลายชุดเท่ากับจำนวนบิตเอาต์พุต การเจาะรูบนแผ่นแต่ละชุด ก็จะมีระยะห่างเป็นทวีคูณ ทำให้ทราบตำแหน่งการหมุน จึงทำให้สัญญาณออกมาเป็นรูปแบบรหัสไค้ด เช่น ตัวเลขฐาน 2 หรือ Binary แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5 – 2.6



รูปที่ 2.5 Absolute Encoder

ที่มา: Increment Encoder ต่างกับ Absolute Encoder อย่างไร, 2019



รูปที่ 2.6 สัญญาณเอาต์พุตของ Absolute Encoder

ที่มา: Increment Encoder ต่างกับ Absolute Encoder อย่างไร, 2019

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบ และพัฒนาเครื่องจำลองระบบดาวินซ์ให้การฝึกอบรมความเป็นจริงเสมือนหุ่นยนต์ดาวินซ์ (Design and Development of a da Vinci Surgical System Simulator) งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองเชิงเรขาคณิต และกลศาสตร์ของระบบดาวินซ์ เพื่อทำการอินเทอร์เฟซกับ SensAble Phantom 3D ที่ได้ปรับปรุงด้วยอุปกรณ์มือจับระบบเครื่องกลไฟฟ้าแบบใหม่เพื่อเลียนแบบตำแหน่ง การวางแนว และการเคลื่อนไหวในการเปิด โดยได้แรงบันดาลใจจากด้ามจับของคอนโซลหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินซ์ ซึ่งการจำลองยังได้รับการพัฒนาเพื่อให้แน่ใจว่าการเคลื่อนไหวจำลองการโดยจำลองศาสตร์ผกผัน ซึ่งงานวิจัยนี้จำเป็นสำหรับผู้ที่ยังไม่มีประสบการณ์เกี่ยวกับการผ่าตัดโดยใช้หุ่นยนต์

งานวิจัยของ Johnson et al., (2014) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชิงมุมอินพุตการควบคุมด้วยมือ และเอาต์พุตเชิงมุมของหุ่นยนต์นั้นสัมพันธ์กันหรือไม่ (Output control of da Vinci surgical system's surgical graspers) โดยงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการเคลื่อนไหวที่เชื่อมต่อกันของมือผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ที่ถูกควบคุมผ่านคอนโซลหลัก ผู้ใช้มีส่วนที่เกี่ยวข้องเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการผ่าตัด เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อจำแนก และประเมินอินเทอร์เฟซผู้ใช้ของ

ระบบการผ่าตัดดาวินซีในการควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งอินพุตเชิงมุมควบคุมการยึดเกาะนำเสนอแรงต้านจากที่ปลายนิ้วมือของศัลยแพทย์ และไม่มีการตอบสนองกลับ ซึ่งสามารถรับรองการกดได้ถึง 5.1 MPa

และงานวิจัยของ Liu and Curet (2015) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การทบทวนการวิจัยการฝึกอบรมและเครื่องจำลองเสมือนจริงสำหรับระบบการผ่าตัด da Vinci พบว่า การฝึกการใช้งานหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ผ่านโปรแกรมจำลอง หรือ Virtual Reality Simulator นั้นยังไม่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการผ่าตัด และไม่มีตัวชี้วัดถึงการใช้ทักษะต่าง ๆ ในการผ่าตัด และการใช้โปรแกรมจำลองเพียงอย่างเดียว ไม่เพียงพอต่อการดำเนินการ และประเมินพื้นฐานที่ครอบคลุม

การศึกษาระบบหุ่นยนต์ผ่าตัดทางไกลสำหรับการผ่าตัดที่มีการบุรุษน้อยที่สุด (AI-Zahrawi: A Telesurgical Robotic System for Minimal Invasive Surgery) งานวิจัยของ Yi et al., (2016) เพื่อพัฒนาและออกแบบระบบหุ่นยนต์ที่ลิเซอรจิคอลที่สามารถนำมาใช้ในการทำเข้าถึงผ่านทางช่องที่เล็กน้อยเพื่อลดการบาดเจ็บและเวลาฟื้นตัวของผู้ป่วยหลังผ่าตัด ซึ่งการใช้หุ่นยนต์ทำให้แพทย์สามารถควบคุม และดูแลผู้ป่วยได้จากระยะไกลโดยไม่ต้องอยู่ใกล้ โดยผู้วิจัยทำความเข้าใจถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบทางไกลที่มีประสิทธิภาพ และปลอดภัยสำหรับการผ่าตัดที่น้อยนิต ซึ่งสามารถช่วยลดภาระการบาดเจ็บ และระยะเวลาฟื้นตัวของผู้ป่วย การใช้หุ่นยนต์ในกระบวนการทางไกลนี้ยังเปิดโอกาสให้ผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาที่มีความแม่นยำ และมีประสิทธิภาพสูง โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในที่เดียว

Fontanelli, Ficuciello, Villani, and Siciliano (2017) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง Modelling and Identification of the da Vinci Research Kit Robotic Arms เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการระบุตัวตนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินซีซึ่งเป็นการจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบหุ่นยนต์ที่มีความสำคัญในการเข้าใจพฤติกรรม และดีไซน์ของหุ่นยนต์ การระบุตัวตนของหุ่นยนต์ในงานนี้หมายถึงกระบวนการที่ใช้เทคนิคต่าง ๆ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ หรือลักษณะทางกลในระบบหุ่นยนต์ ซึ่งส่งผลให้ผู้วิจัย และผู้พัฒนาทราบถึงลักษณะทางกล และพฤติกรรมของหุ่นยนต์ในระบบงาน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยการออกแบบ และสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินซ์เพื่อใช้ในการฝึกหัดใช้งาน มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

3.2.1 ภาคอินพุต

3.2.1.1 ตัวควบคุมหลักที่ออกแบบตามชุดควบคุมที่มีอยู่จริง

ตัวควบคุมหลัก (Master Controller) เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาให้สอดคล้องกับการควบคุมจริงในสถานะการใช้งาน

3.2.1.2 Absolute Encoder ขนาด 12 bits

Absolute Encoder เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับตำแหน่งหรือมุมของเครื่องจักร ด้วยความละเอียด 12 bits ทำให้สามารถตรวจจับได้อย่างแม่นยำ

3.2.2 ภาคประมวลผล

3.2.2.1 บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6

บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถสูงในด้านการประมวลผลข้อมูลและการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัย

3.2.2.2 Power Supply 5 V

แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ใช้สำหรับจ่ายพลังงานให้กับบอร์ดคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพ

3.2.3 ส่วนแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

3.2.3.1 อุปกรณ์ที่ทำการผ่าตัด (Instrument)

อุปกรณ์ผ่าตัดที่เลือกมาใช้งานในที่นี้คืออุปกรณ์สำหรับการจับ (Grasping Instrument) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ทำให้การผ่าตัดมีความแม่นยำและปลอดภัยมากขึ้น

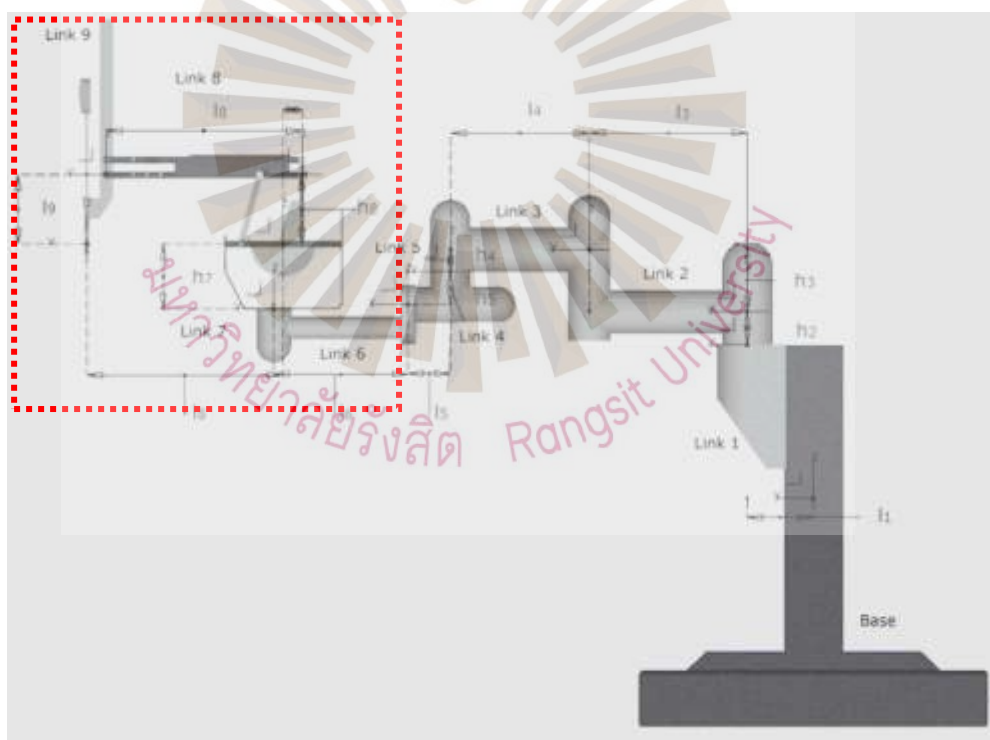
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการศึกษา หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ที่มี ซึ่งมีการออกแบบไว้ทั้งหมด 4 รุ่น ในงานวิจัยนี้ใช้หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci รุ่นแรก ซึ่งไม่ได้ใช้งานแล้วมีส่วนประกอบของแขน 4 แขน แขนแรกใช้ในการควบคุมส่วนของกล้อง ส่วนอีก 3 แขนใช้ควบคุมเครื่องมือผ่าตัด รูปหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

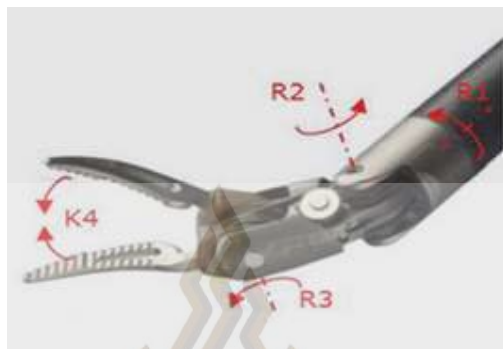
จากการศึกษาในส่วนของ หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้ (Patient Cart) พบว่าแต่ละแขนประกอบด้วย 9 ท่อนแขน (9 Link) ตามรูปที่ 3.2 หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้สามารถแบ่งได้ 3 ส่วนหลัก ๆ คือ 1. ส่วนฐาน (Base) เป็นส่วนล่างสุดมีความมั่นคงแข็งแรง เป็นตัวรับน้ำหนักของแขนหุ่นยนต์ทั้งหมด 2. ส่วนแขนหุ่นยนต์ที่ใช้บังคับทิศทาง (Link 1- Link 6) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายกับแขนของมนุษย์ทำหน้าที่บังคับทิศทางให้กับอุปกรณ์ไปยังพิกัดที่ต้องการ 3. อุปกรณ์เครื่องมือผ่าตัด (Link 7 – Link 9) ส่วนนี้เปรียบเสมือนมือของศัลยแพทย์มีลักษณะการเคลื่อนไหวรอบทิศทางคล้ายข้อมือของมนุษย์แต่ลดข้อจำกัดการเคลื่อนไหวบางอย่างที่มือของมนุษย์ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้จึงทำให้ส่วนนี้ทำงานได้ดีกว่ามือของมนุษย์ และสามารถเข้าไปทำงานบริเวณอวัยวะที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้จะออกแบบ และสร้างระบบควบคุมเฉพาะส่วนที่เป็นอุปกรณ์ผ่าตัด (Link 7- Link 9) ซึ่งแบ่งเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งของเครื่องมือผ่าตัด 3 ข้อต่อ และส่วนที่ใช้ควบคุมเครื่องมือผ่าตัดโดยตรงอีก 5 ข้อ-ต่อ (หมายเลข 4 - 7) ส่วนปลายของเครื่องมือผ่าตัดจะมีลักษณะเป็นมือจับสำหรับหยิบจับหรือตัดสิ่งของ



รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของ Patient Cart

ที่มา: Sun, Meer, Bailly, and Yeung, 2007, pp.1050-1055

จากการศึกษาโครงสร้างของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแบ่งโครงสร้างออกเป็น 8 ส่วน หรือ 7 ข้อต่อ คือส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งของเครื่องมือผ่าตัด 3 ข้อต่อ และส่วนที่ใช้ควบคุมเครื่องมือผ่าตัดโดยตรงอีก 4 ข้อต่อ คือ R1, R2, R3 และ K4 ดังรูปที่ 3.3

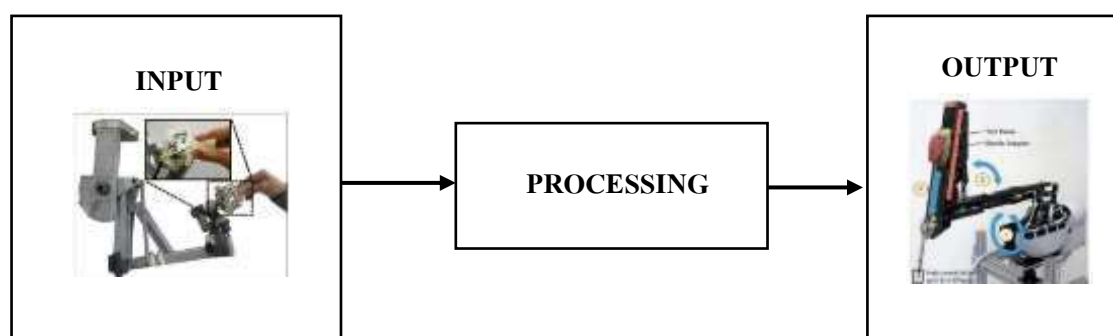


รูปที่ 3.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือผ่าตัดในหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

ที่มา: Yi et al., 2016, pp.2649-2655

ในแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ Rotary Encoder เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งการเคลื่อนไหวของมอเตอร์

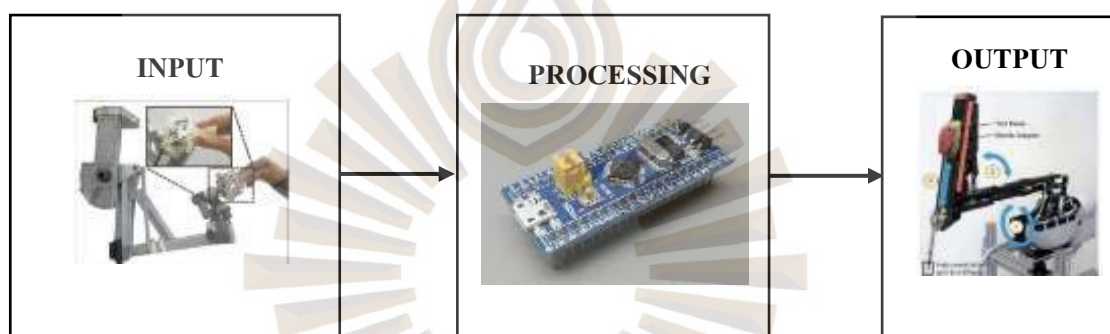
งานวิจัยการออกแบบ และสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินซ์เพื่อใช้ในการฝึกหัดใช้งาน ดำเนินงานเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการศึกษาการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการออกแบบ และพัฒนาระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดส่วนแขนรวมถึงการสร้างตัวควบคุมหุ่นยนต์ ขั้นตอนที่สามเป็นวิธีการทดสอบงานวิจัย จากวิธีการจัดงานวิจัย สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการออกแบบระบบควบคุมของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

จากรูปที่ 3.4 สามารถอธิบายวิธีการดำเนินการของแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้ ภาคอนินพุตประกอบด้วย Absolute Encoder และ ตัวควบคุมหลักที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Catia และพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ภาคอนินพุตจะทำการส่งข้อมูลไปยังภาคประมวลผล ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6 ใช้ในการรับค่าจากภาคอนินพุต และนำมาประมวลผล เพื่อใช้ในการควบคุมส่วนควบคุมแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ประกอบด้วยชุดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ถูกสั่งการโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งการทำงานของมอเตอร์ภายในตัวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

3.2.1 การออกแบบและสร้างภาคอนินพุต

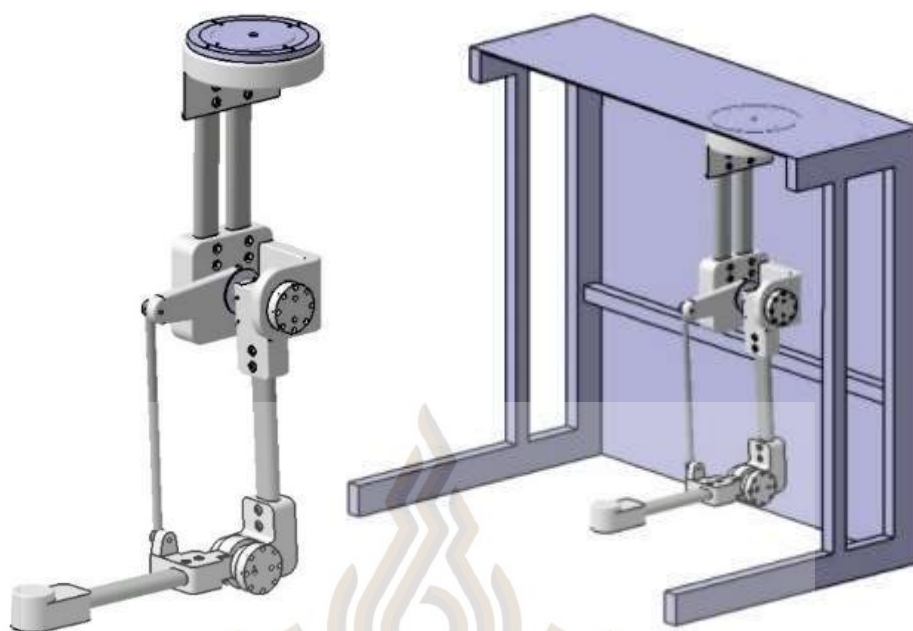


รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงการออกแบบระบบควบคุมแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

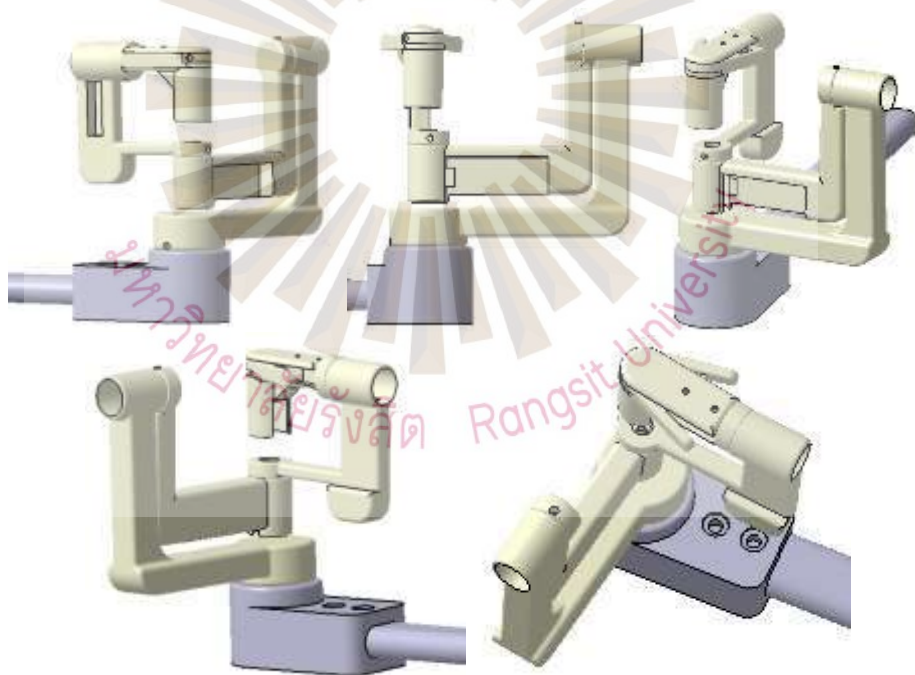
จากรูป 3.5 ส่วนควบคุมหลักคืออินพุต มีหน้าที่ควบคุมตำแหน่ง ทิศทางการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จะเป็นตัวส่งข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งเป็นมุมมองสามในแต่ละส่วนไปที่ส่วนของการประมวลผลเพื่อทำการควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดไปในตำแหน่งที่ต้องการ จะเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1. ส่วนควบคุมหลัก (Master Controller) 2. ส่วนของฮาร์ดแวร์

3.2.2.1 การออกแบบส่วนควบคุมหลัก (Master Controller)

การออกแบบส่วนควบคุมหลัก (Master Controller) ได้การอ้างอิงจาก ส่วนควบคุมของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci รุ่นแรก จากวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์มหาวิทยาลัยรังสิต การออกแบบเป็นไปตาม ส่วนควบคุมหลักมือขวา โดยการใช้โปรแกรม Catia และพิมพ์ชิ้นงานโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.6–3.7



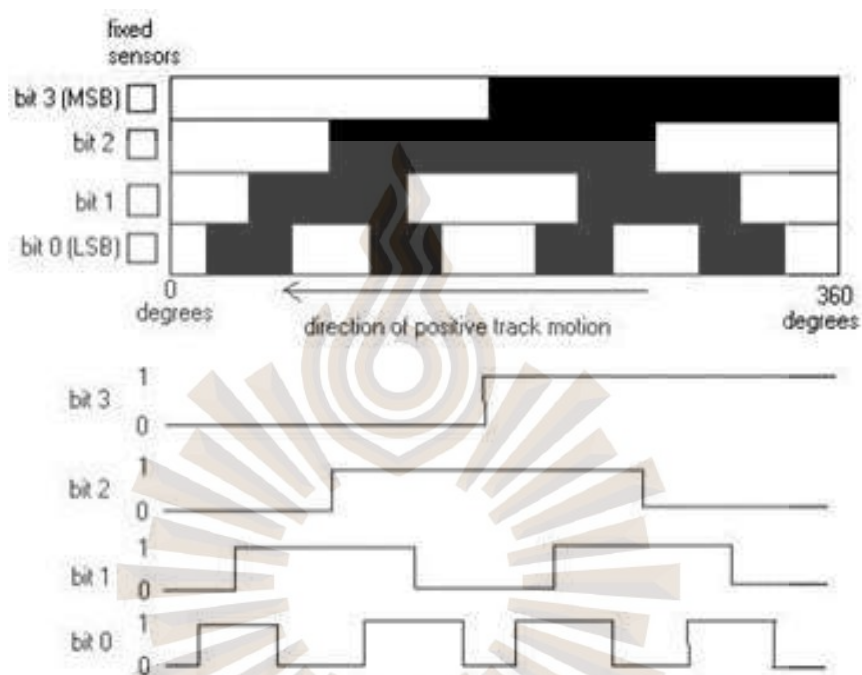
รูปที่ 3.6 การออกแบบ Master Controller (ส่วนแขน)



รูปที่ 3.7 การออกแบบ Master Controller (ส่วนมือ)

3.2.2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

งานวิจัยนี้เลือกใช้ Absolute Encoder ขนาด 12 bits ซึ่งมีความละเอียดอยู่ที่ 4096 เมื่อนำมาคำนวณกับมุมที่ต้องใช้จะอยู่ที่ค่าความละเอียดประมาณ 0.008 องศา



รูปที่ 3.8 สัญญาณเอาต์พุตของ Absolute Encoder

ที่มา: Increment Encoder ต่างกับ Absolute Encoder อย่างไร, 2019

3.2.2.3 การออกแบบภาคประมวลผลสัญญาณในส่วนของฮาร์ดแวร์

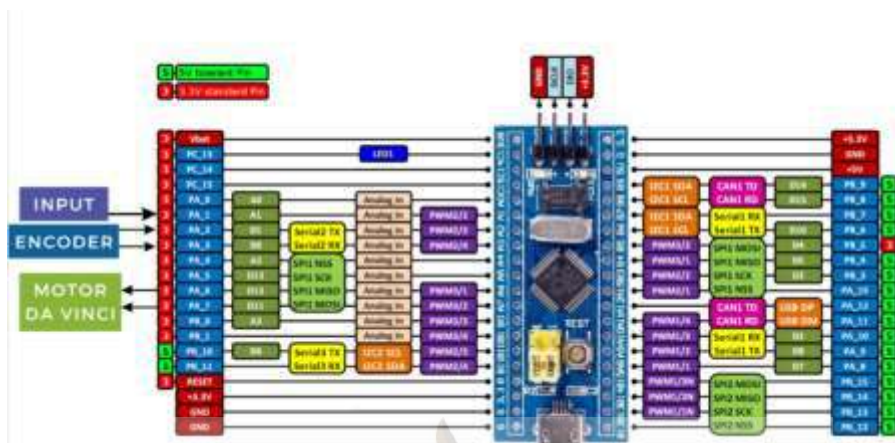
เนื่องจากงานวิจัยนี้มีส่วนของอินพุตทั้งหมด 7 สัญญาณ ในแต่ละสัญญาณจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 ตัว ดังนั้นผู้จัดทำจึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งหมด 7 ตัว ด้านเอาต์พุตและส่วนของการควบคุมมอเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละตัวจะต้องใช้รับจากเอ็นโค้ดเดอร์ 2 สัญญาณ และใช้สำหรับควบคุมมอเตอร์อีก 3 สัญญาณ ผู้จัดทำได้เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6 ใช้ในการประมวลผลของระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

Blue Pill STM32F103C8T6 รหัสแต่ละตัวมีความหมาย คือ

- 1) STM: Stands for the manufacturers name STMicroelectronics
- 2) 32: Stans for 32-bit ARM architecture
- 3) F103: Stands to indicate that the architecture ARM Cortex M3
- 4) C: 48-pin
- 5) 8: 64 KB Flash memory
- 6) T: Package type is LQFP
- 7) 6: Operating temperature -40 °C to + 85 °C

ข้อมูลทางเทคนิค Blue Pill STM32F103C8T6 คือ

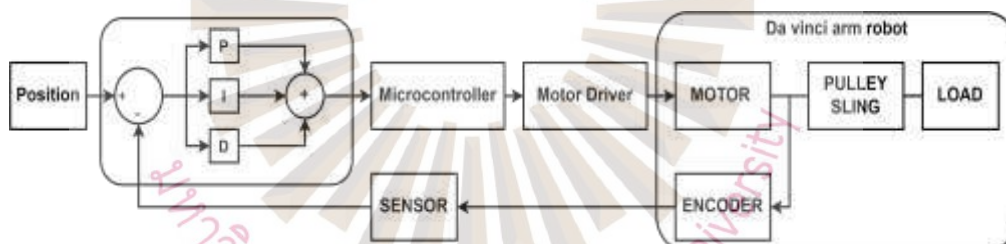
- 1) ความเร็ว Clock: 72 MHz
- 2) Ram: 20 KB
- 3) Flash: 128 KB
- 4) Digital IO Port: 34 Pin (GPIO)
- 5) Pin PWM (16 Bit): 12 Pin
- 6) Pin Analog (ADC): 9 Pin
- 7) SPI Channel: 2 Channel
- 8) I2C Channel: 2 Channel
- 9) รองรับ Arduino IDE
- 10) รองรับการทำงานแบบประหยัดพลังงาน ใช้กระแส 500 μ A
- 11) รองรับแรงดัน 3.3 VDC
- 12) ขนาดของบอร์ด: 53.0 mm x 22.5



รูปที่ 3.9 รูปภาพแสดงวงจรที่ออกแบบและสร้างประมวลผล

ที่มา: Hudak, 2016

จากรูป 3.9 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทางผู้วิจัยได้เลือกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ในส่วนของการประมวลผล เนื่องจากการประมวลผลที่เร็ว และรับแรงบัพทของ PWM ได้มาก ซึ่งทางผู้วิจัยเห็นสมควร จากคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้น



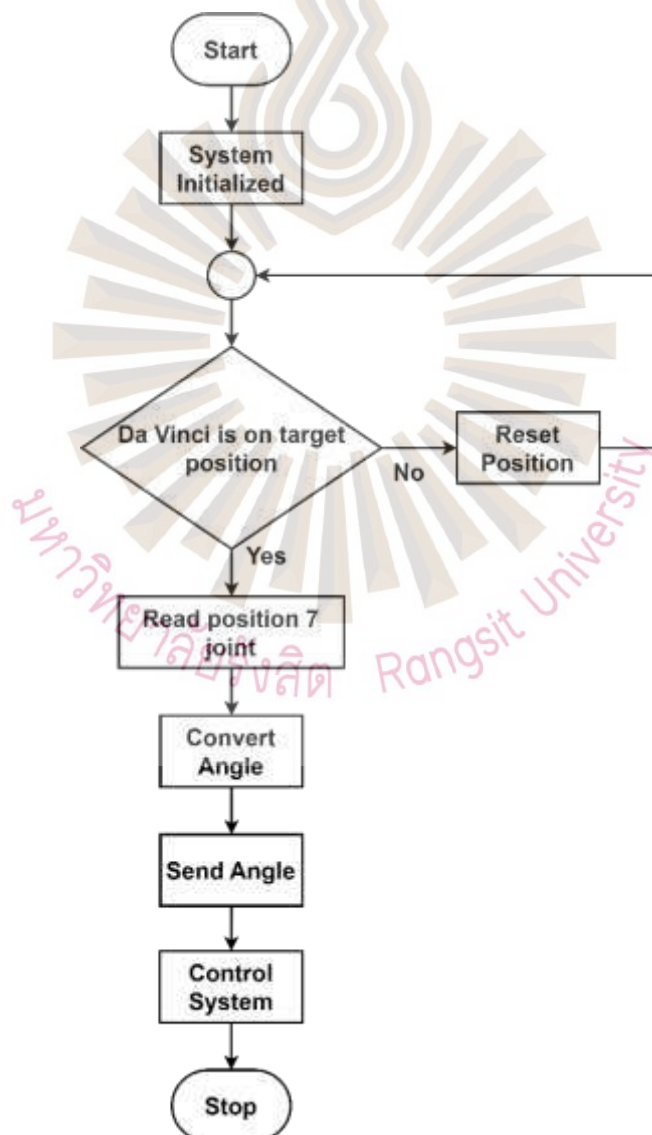
รูปที่ 3.10 รูปภาพแสดงการต่อวงจรระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ที่ออกแบบโดยรวม

จากรูป 3.10 คือวงจรระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ที่ออกแบบ การควบคุมมอเตอร์ 1 ตัว จะประกอบไปด้วย Input, STM 32 Blue Pill, Board Drive Motor และ da Vinci เมื่อประกอบรวมกันครบ 7 ชุด จะสามารถควบคุมการทำงานของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci โดยรวมได้

3.2.2.4 การออกแบบภาคประมวลผลสัญญาณในส่วนของซอฟต์แวร์

ภาคประมวลผลสัญญาณ ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณที่ได้รับมาจากภาค อินพุตที่เป็นสัญญาณอนาล็อก หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำ

การประมวล และส่งสัญญาณออกมาเป็นดิจิทัล จากนั้นข้อมูลดิจิทัลที่ได้มาจะไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และเอ็นโค้ดเดอร์ในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ซึ่งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผู้จัดทำเลือกใช้ สามารถทำงานได้โดยการเขียนโปรแกรมที่ใช้ภาษาซีในการสั่งการ กระบวนการการทำงานของซอฟต์แวร์ เริ่มต้นที่การเปิดระบบของตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลเพื่อที่จะดึงค่ามุมมองสาของเอ็นโค้ดเดอร์ภายในหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด หากตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกตั้งค่าไว้ มอเตอร์จะทำการหมุนภายในหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดให้เข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ หลังจากนั้น จะทำการควบคุม Absolute Encoder เพื่อทำการควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด สามารถอธิบายการทำงานได้จาก Flow Chart รูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 Flow Chart แสดงการออกแบบของโปรแกรมในประมวลผลสัญญาณ

จากรูป 3.11 คือ Flow Chart แสดงการออกแบบของโปรแกรมในส่วนของการประมวลผลสัญญาณ เริ่มต้นจากการเปิดระบบควบคุมของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci หลังจากนั้นตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะเข้าสู่ตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ ถ้าหากว่าตัวหุ่นยนต์นั้นไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ ก็จะวนกลับสู่ Loop เดิม เมื่อตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดเข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนดไว้แล้วนั้น ตัวเอ็นโค้ดเดอร์ ที่อยู่ในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะทำการอ่านค่าตำแหน่งทั้ง 7 Joint หลังจากนั้น จะทำการแปลงมุม และส่งค่ามุมที่ได้กลับมายังระบบควบคุม เพื่อจะทำการควบคุมต่อไป

3.2.2 แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

แขนของหุ่นยนต์ผ่าตัดเป็นของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci รุ่น S จากวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต เพื่อนำมาใช้งานกับระบบควบคุมที่ออกแบบ

จากการศึกษาพบว่า มีมอเตอร์ทั้งหมด 7 ตำแหน่งในการควบคุมการเคลื่อนไหวในแต่ละส่วน ดังนี้

3.2.3.1 มอเตอร์ควบคุมส่วนแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด 3 ตำแหน่ง

3.2.3.2 มอเตอร์ควบคุมส่วนเครื่องมือช่วยผ่าตัด 4 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.12 รูปภาพแสดงมอเตอร์แต่ละตำแหน่ง

จากรูปที่ 3.12 มอเตอร์ควบคุมส่วนแขนของหุ่นยนต์ผ่าตัด ประกอบไปด้วย M1, M2 และ M3 สำหรับมอเตอร์ควบคุมส่วนเครื่องมือช่วยผ่าตัด ประกอบไปด้วย M4, M5, M6 และ M7

3.3 วิธีการทดสอบงานวิจัย

เพื่อทำการทดสอบว่าผลที่ออกแบบถูกต้อง และเหมาะสมกับงานวิจัยนี้หรือไม่ งานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีการทดสอบออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.3.1 การทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์ ตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

3.3.1.1 วัตถุประสงค์

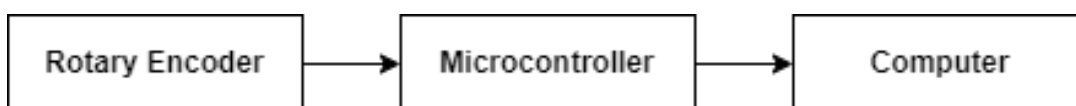
เพื่อทดสอบการตรวจจับตำแหน่งของเอ็นโค้ดเดอร์ภายในของตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

3.3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์มีดังต่อไปนี้

- 1) Rotary Encoder ภายในตัวของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด
- 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6
- 3) คอมพิวเตอร์สำหรับใช้แสดงผลการทดสอบ
- 4) โปรแกรม Arduino IDE เพื่อแสดงผลการทดสอบ

3.3.1.3 วิธีการทดสอบ



รูปที่ 3.13 การทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์ ตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

จากรูปที่ 3.13 คือ การต่อเอ็นโค้ดเดอร์ประเภท Rotary Encoder จากแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6 และจะทำ

การต่อวงจรให้ครบ 7 วงจร ตามมอเตอร์ภายในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะได้ค่าสัญญาณออกมาเป็นจำนวนพัลส์ต่อรอบ และทำการบันทึกผลค่าเอนโค้ดเดอร์ที่ได้รับจากหน้าจอ Serial Monitor

3.3.2 การทดสอบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

3.3.2.1 วัตถุประสงค์

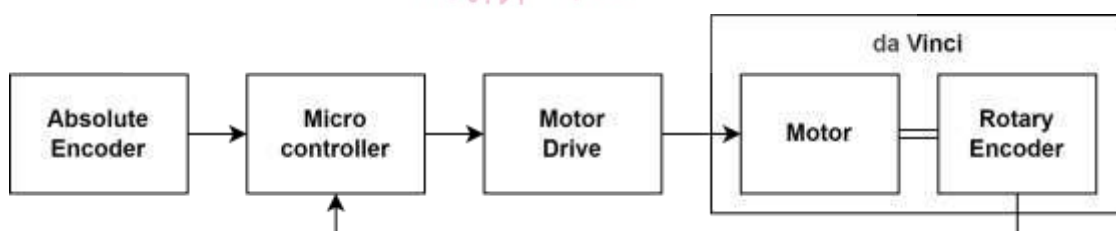
เพื่อทดสอบการควบคุมมอเตอร์ผ่าน Absolute Encoder

3.3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์มีดังต่อไปนี้

- 1) Absolute Encoder ขนาด 12 bits ที่นำมาควบคุมแขนหุ่นยนต์
- 2) มอเตอร์ภายในแขนตัวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด
- 3) Rotary Encoder ภายในตัวของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด
- 4) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6
- 5) คอมพิวเตอร์สำหรับใช้แสดงผลการทดสอบ

3.3.2.3 วิธีการทดสอบ



รูปที่ 3.14 การทดสอบการควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

จากรูปที่ 3.14 ขั้นตอนการทดสอบ คือ นำ Absolute Encoder ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6 และมอเตอร์จากแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ทดสอบการควบคุมมอเตอร์ โดยเมื่อหมุน Absolute Encoder ค่ามุมของ Encoder ใน da Vinci จะ

ปรับมุมมอง Absolute Encoder และทำการต่อวงจรให้ครบ 7 วงจร ตามมอเตอร์ภายในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด และทำการบันทึกผล

3.3.3 การทดสอบระบบโดยรวม

3.3.3.1 วัตถุประสงค์

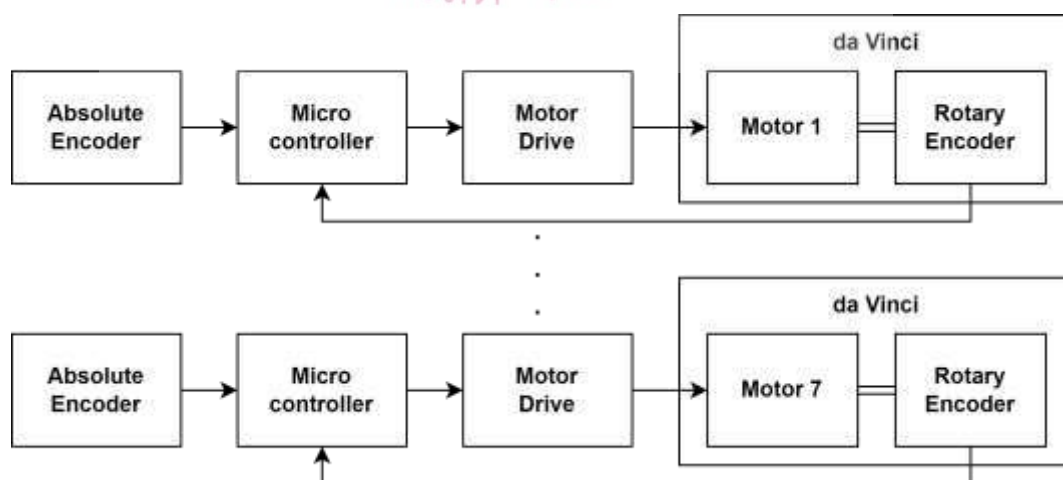
เพื่อทดสอบการใช้ตัวควบคุมหลัก ในการควบคุมแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci เมื่อใช้งานมอเตอร์ทุกตำแหน่งพร้อมกัน

3.3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบระบบโดยรวมในงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

- 1) ตัวควบคุมหลักที่ออกแบบตามชุดควบคุมที่มีอยู่จริง
- 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6
- 3) มอเตอร์ภายในตัวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด
- 4) Rotary Encoder ภายในตัวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

3.3.3.2 วิธีการทดสอบ



รูปที่ 3.15 การทดสอบระบบโดยรวม

จากรูปที่ 3.15 ขั้นตอนการทดสอบ คือ เริ่มต้นจากการต่อวงจรให้ได้ 7 วงจร แล้วนำมาต่อเข้ากับตัวควบคุมที่ออกแบบ และ เมื่อเปิดระบบควบคุม da Vinci จะเริ่มทำงาน หลังจากนั้นจะสามารถควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ทั้ง 7 ตัวพร้อมกัน และบันทึกผล

3.3.4 การทดสอบการปรับ PID ในเวลาจริง

3.3.4.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทำการปรับค่าที่ป้อนเข้าไปแล้วค่าที่ได้ออกมามีความเสถียรและมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

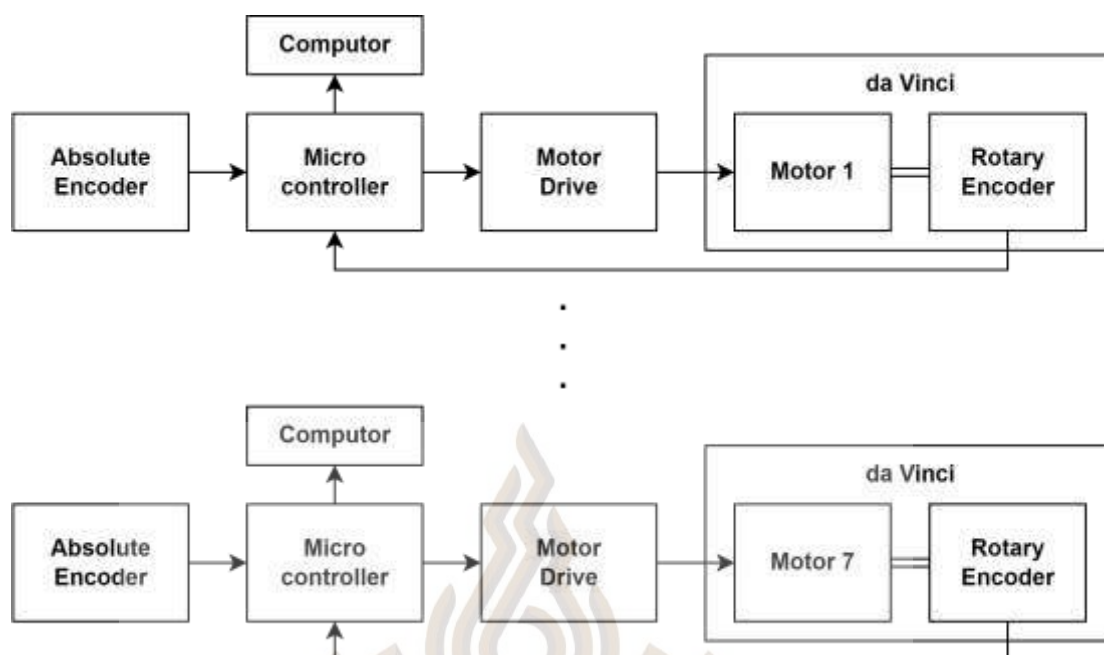
3.3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการปรับ PID ในงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

- 1) Absolute Encoder ขนาด 12 bits ที่จะนำมาควบคุมแขนหุ่นยนต์
- 2) มอเตอร์ภายในแขนตัวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด
- 3) Rotary Encoder ภายในตัวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด
- 4) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Blue Pill STM32F103C8T6
- 5) คอมพิวเตอร์สำหรับใช้แสดงผลการทดสอบ

3.3.4.3 วิธีการทดสอบ

เริ่มต้นจากการต่อวงจรให้ได้ 7 วงจร แล้วนำมาต่อเข้ากับตัวควบคุมที่ออกแบบ และ เมื่อเปิดระบบควบคุม da Vinci จะเริ่มทำงาน หลังจากนั้นจะสามารถควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ พร้อมกับการปรับค่า PID ของมอเตอร์แต่ละตัว แล้วดูกราฟ เพื่อดูว่าค่า PID ที่ใส่เข้าไปนั้น ทำให้ระบบควบคุมที่ออกแบบมามีความเสถียรที่ยอมรับได้ หลังจากนั้นทำการบันทึกผลแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.16

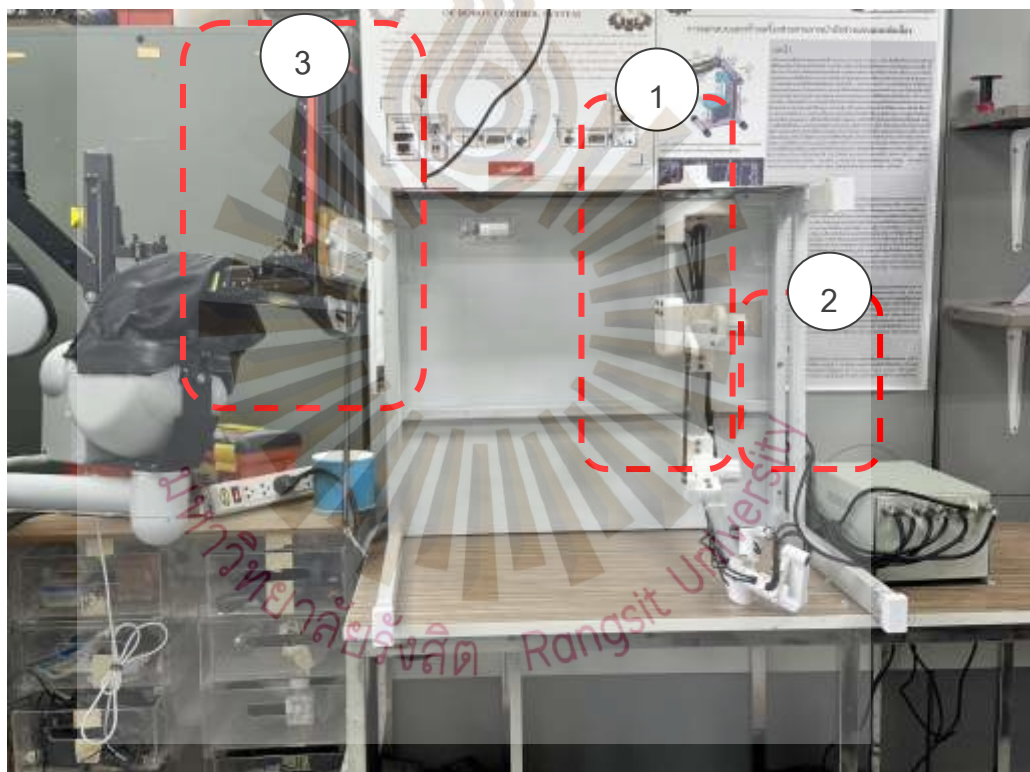


รูปที่ 3.16 การทดสอบการปรับ PID ในเวลาจริง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การจัดทำงานวิจัยการศึกษาการออกแบบ และสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ทางผู้จัดทำงานวิจัยจึงได้ทำการทดสอบเพื่อให้เห็นว่าระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด รวมไปถึง ตัวควบคุมที่ออกแบบสามารถใช้งานได้ตรงตามขอบเขตที่ผู้จัดทำได้กล่าวไว้



รูปที่ 4.1 ผลงานที่เสร็จสมบูรณ์

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงผลงานที่เสร็จสมบูรณ์ ประกอบด้วยส่วนควบคุมหลัก (หมายเลข 1), ภาคประมวลผล (หมายเลข 2) และ แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด (หมายเลข 3) เมื่อทำการปรับค่าของ Absolute Encoder ที่อยู่ภายในส่วนควบคุมหลัก แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจะถูกส่งไปยังภาคประมวลผล เพื่อทำการควบคุมมอเตอร์ภายในแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

4.1 ผลการทดสอบ

การจัดทำงานวิจัยการศึกษาการออกแบบ และสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ผลการทำงานวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์ จะมีคุณสมบัติ ดังนี้

4.1.1 สามารถควบคุมมอเตอร์ตำแหน่งที่ 1 ในการควบคุมการเอียงซ้าย - ขวา ของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ แสดงดังรูปที่ 4.2



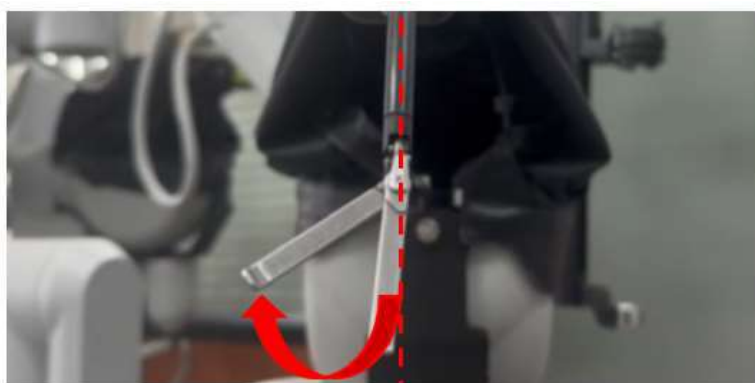
รูปที่ 4.2 การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 1

4.1.2 สามารถควบคุมมอเตอร์ตำแหน่งที่ 2 ในการควบคุมการก้ม - เงย ของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ แสดงดังรูปที่ 4.3



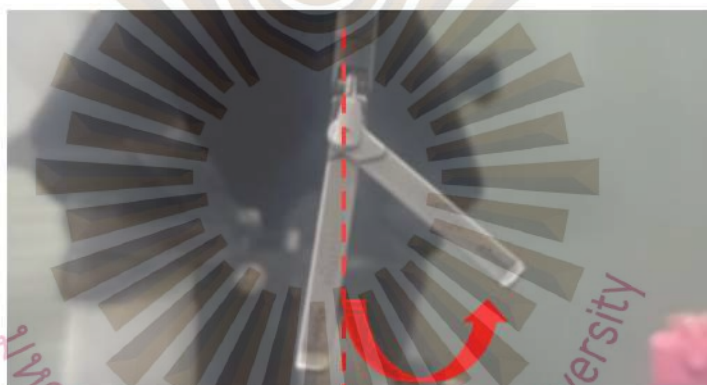
รูปที่ 4.3 การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 2

4.1.3 สามารถควบคุมมอเตอร์ตำแหน่งที่ 3 ในการควบคุมการหุบ - แยกของเครื่องมือด้านซ้าย ของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 3

4.1.4 สามารถควบคุมมอเตอร์ตำแหน่งที่ 4 ในการควบคุมการหุบ – แยกของเครื่องมือด้านขวา ของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ แสดงดังรูปที่ 4.5



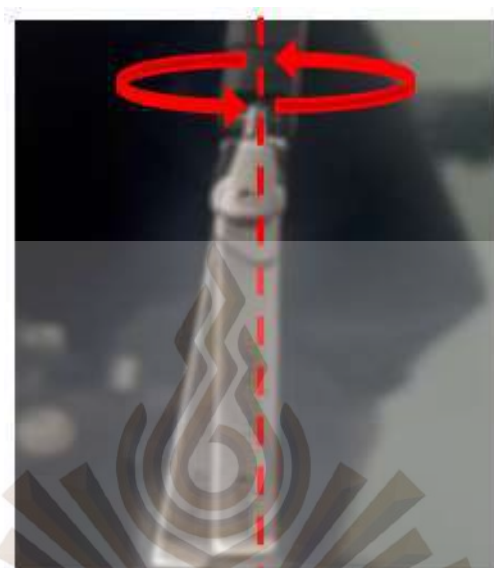
รูปที่ 4.5 การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 4

4.1.5 สามารถควบคุมมอเตอร์ตำแหน่งที่ 5 ในการควบคุมการก้ม - เงย ของเครื่องมือ ของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 5

4.1.6 สามารถควบคุมมอเตอร์ตำแหน่งที่ 6 ในการควบคุมการหมุนรอบแกน ของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 6

4.1.7 สามารถควบคุมมอเตอร์ตำแหน่งที่ 7 ในการควบคุมการเคลื่อนขึ้น - เคลื่อนลง ของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การทำงานของมอเตอร์ตำแหน่งที่ 7

4.2 ผลการทดสอบงานวิจัย

4.2.1 ผลการทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์ ตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

ผลการทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจากค่าของเอ็นโค้ดเดอร์ เป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

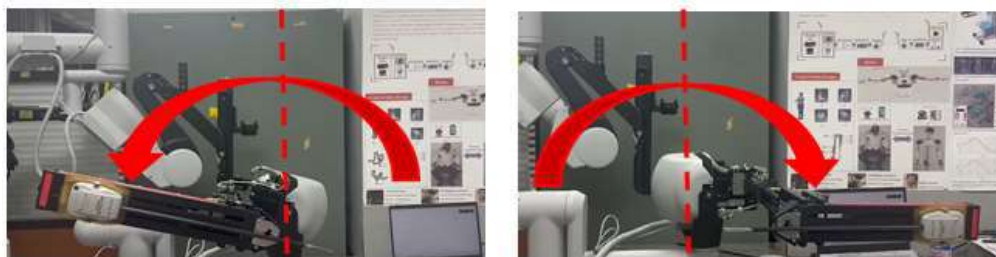
มอเตอร์	พิสัยการเคลื่อนที่ (องศา)	พิสัยระยะทาง (เซนติเมตร)	ค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์ น้อยสุด (พัลส์ต่อรอบ)	ค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์ มากสุด (พัลส์ต่อรอบ)
มอเตอร์ 1	0 – 180	-	-98,000	98,000
มอเตอร์ 2	0 – 108	-	-50,000	50,000
มอเตอร์ 3	-45 – 0	-	-9,000	7,500
มอเตอร์ 4	0 – 45	-	-7,500	9,000
มอเตอร์ 5	0 – 180	-	-5,500	5,500
มอเตอร์ 6	0 – 180	-	0	18,000
มอเตอร์ 7	-	0-23.62	-20,000	100,000

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จะได้ข้อมูลจริงจากเอ็นโค้ดเดอร์ในหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ค่าที่ได้ออกมาเป็น จำนวนพัลส์ต่อรอบของค่ามากที่สุด และค่าน้อยสุด

4.2.2 ผลการทดสอบการควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

ผลการทดสอบการควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดแต่ละตำแหน่ง เป็นไปตามตาราง และรูปภาพ ดังต่อไปนี้

4.2.2.1 การทดสอบมอเตอร์ 1



รูปที่ 4.9 การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 1

จากรูปที่ 4.9 เป็นการแสดงการเคลื่อนไหวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดโดยใช้มอเตอร์ตำแหน่งที่ 1 ในการควบคุมการเอียงซ้าย - ขวา แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ได้ผลสรุปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 การทดสอบมอเตอร์ที่ 1

Input (องศา)	Absolute Encoder (องศา)	Rotary Encoder (องศา)	ผลต่างระหว่าง Absolute เทียบกับ Rotary (องศา)
0	0.18	0.27	- 0.09
45	45.97	45.03	- 0.06
90	90.2	90.1	0.1
135	135.08	134.79	0.29
155	155.14	155.69	0.55

จากตารางที่ 4.2 การทดสอบมอเตอร์ที่ 1 คือการเก็บผลของตัว Absolute Encoder กับตัว Rotary Encoder ภายในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จำนวน 500 ค่า ของมุมมองศาที่ 0, 45, 90, 135 และ 155 นำมาหาค่าเฉลี่ย และทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัว Absolute Encoder เทียบกับตัว Rotary Encode

4.2.2.2 การทดสอบมอเตอร์ 2



รูปที่ 4.10 การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 2

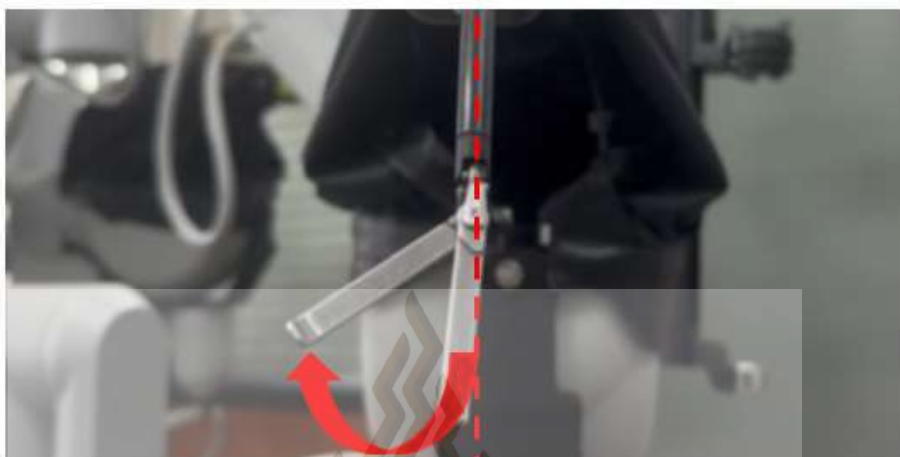
จากรูปที่ 4.10 เป็นการแสดงการเคลื่อนไหวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดโดยใช้มอเตอร์ตำแหน่งที่ 2 ในการควบคุมการก้ม - เงย แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ได้ผลสรุปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 การทดสอบมอเตอร์ที่ 2

Input (องศา)	Absolute Encoder (องศา)	Rotary Encoder (องศา)	ผลต่างระหว่าง Absolute เทียบกับ Rotary (องศา)
0	0.80	0.84	0.04
53	52.98	53.25	0.27
90	90.02	90.04	0.02
123	123.02	123.02	0

จากตารางที่ 4.3 การทดสอบมอเตอร์ที่ 2 คือการเก็บผลของ Absolute Encoder กับ Rotary Encoder ภายในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จำนวน 500 ค่า ของมุมมององศาที่ 0, 53, 90 และ 123 นำมาหาค่าเฉลี่ย และทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัว Absolute Encoder เทียบกับตัว Rotary Encode

4.2.2.3 การทดสอบมอเตอร์ 3



รูปที่ 4.11 การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 3

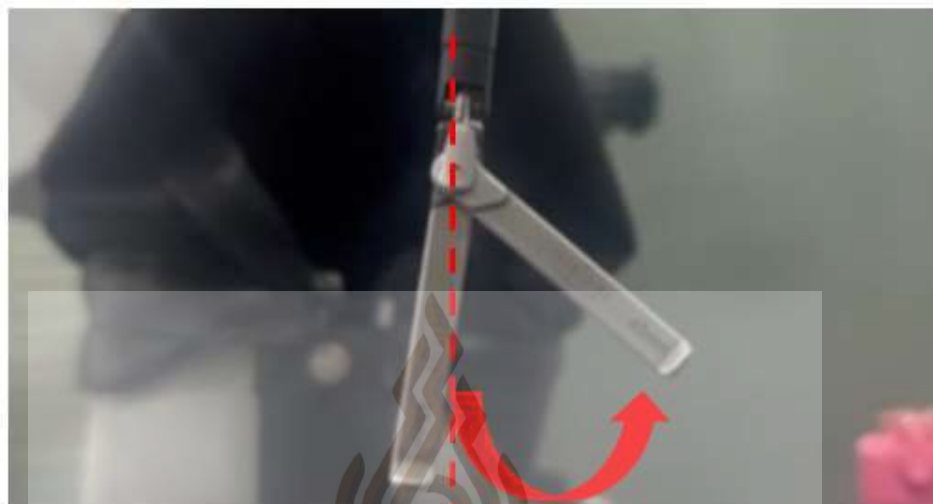
จากรูปที่ 4.11 เป็นการแสดงการเคลื่อนไหวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดโดยใช้มอเตอร์ตำแหน่งที่ 3 ในการควบคุมการหุบ - แยกของเครื่องมือด้านซ้าย แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดได้ผลสรุปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 การทดสอบมอเตอร์ที่ 3

Input (องศา)	Absolute Encoder (องศา)	Rotary Encoder (องศา)	ผลต่างระหว่าง Absolute เทียบกับ Rotary (องศา)
0	0.00	0.02	0.02
- 45	- 45.14	- 45.41	0.27

จากตารางที่ 4.4 การทดสอบมอเตอร์ที่ 3 คือการเก็บผลของ Absolute Encoder กับ Rotary Encoder ภายในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จำนวน 500 ค่า ของมุมมององศาที่ 0 และ - 45 นำมาหาค่าเฉลี่ย และทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัว Absolute Encoder เทียบกับตัว Rotary Encode

4.2.2.4 การทดสอบมอเตอร์ 4



รูปที่ 4.12 การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 4

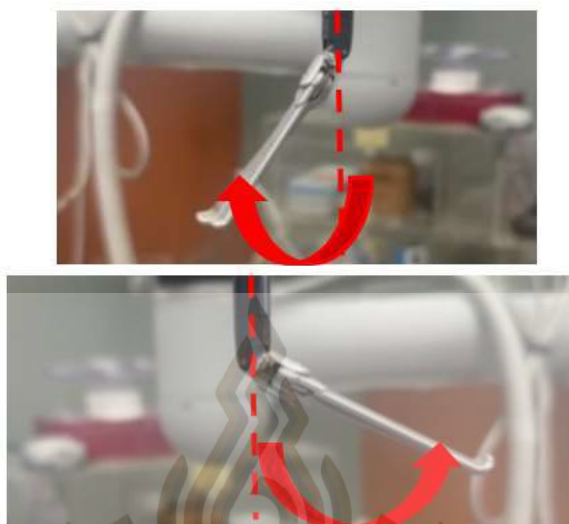
จากรูปที่ 4.12 เป็นการแสดงการเคลื่อนไหวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดโดยใช้มอเตอร์ตำแหน่งที่ 4 ในการควบคุมการหุบ – แยกของเครื่องมือด้านขวา แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดได้ผลสรุปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 การทดสอบมอเตอร์ที่ 4

Input (องศา)	Absolute Encoder (องศา)	Rotary Encoder (องศา)	ผลต่างระหว่าง Absolute เทียบกับ Rotary (องศา)
0	0.00	0.31	0.31
45	45.00	45.21	0.21

จากตารางที่ 4.5 การทดสอบมอเตอร์ที่ 4 คือการเก็บผลของ Absolute Encoder กับ Rotary Encoder ภายในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จำนวน 500 ค่า ของมุมมองศาที่ 0, 45 นำมาหาค่าเฉลี่ย และทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัว Absolute Encoder เทียบกับตัว Rotary Encode

4.2.2.5 การทดสอบมอเตอร์ 5



รูปที่ 4.13 การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 5

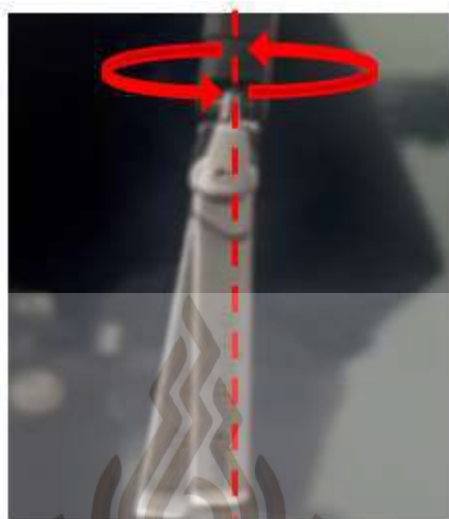
จากรูปที่ 4.13 เป็นการแสดงการเคลื่อนไหวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดโดยใช้มอเตอร์ตำแหน่งที่ 5 ในการควบคุมการก้ม - เงย แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ได้ผลสรุปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6 การทดสอบมอเตอร์ที่ 5

Input (องศา)	Absolute Encoder (องศา)	Rotary Encoder (องศา)	ผลต่างระหว่าง Absolute เทียบกับ Rotary (องศา)
0	0	0.05	0.05
90	90.2	90.11	0.09
180	180.05	179.34	0.71

จากตารางที่ 4.7 การทดสอบมอเตอร์ที่ 5 คือการเก็บผลของ Absolute Encoder กับ Rotary Encoder ภายในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จำนวน 500 ค่า ของมุมมองศาที่ 0, 90 และ 180 นำมาหาค่าเฉลี่ย และทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัว Absolute Encoder เทียบกับตัว Rotary Encode

4.2.2.6 การทดสอบมอเตอร์ 6



รูปที่ 4.14 การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 6

จากรูปที่ 4.14 เป็นการแสดงการเคลื่อนไหวแกนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดโดยใช้มอเตอร์ตำแหน่งที่ 6 ในการควบคุมการหมุนรอบแกน แกนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ได้ผลสรุปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 การทดสอบมอเตอร์ที่ 6

Input (องศา)	Absolute Encoder (องศา)	Rotary Encoder (องศา)	ผลต่างระหว่าง Absolute เทียบกับ Rotary (องศา)
0	0	0.56	0.56
45	45.06	45.33	0.27
90	90.02	90.4	0.18
135	134.99	134.57	0.42
180	179.96	179.69	0.27

จากตารางที่ 4.7 การทดสอบมอเตอร์ที่ 6 คือการเก็บผลของ Absolute Encoder กับ Rotary Encoder ภายในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จำนวน 500 ค่า ของมุมมองศาที่ 0, 45, 90, 135 และ 180 นำมาหาค่าเฉลี่ย และทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัว Absolute Encoder เทียบกับตัว Rotary Encode

4.2.2.7 การทดสอบมอเตอร์ 7



รูปที่ 4.15 การทดสอบมอเตอร์ตำแหน่งที่ 7

จากรูปที่ 4.15 เป็นการแสดงการเคลื่อนไหวแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดโดยใช้มอเตอร์ตำแหน่งที่ 7 ในการควบคุมการเคลื่อนขึ้น - ลง แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ได้ผลสรุปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 การทดสอบมอเตอร์ที่ 7

Input (cm)	Absolute Encoder (cm)	Rotary Encoder (cm)	ผลต่างระหว่าง Absolute เทียบกับ Rotary (cm)
0	0.04	0.03	0.01
23	23.22	23.45	0.23

จากตารางที่ 4.8 การทดสอบมอเตอร์ที่ 7 คือการเก็บผลของ Absolute Encoder กับ Rotary Encoder ภายในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จำนวน 500 ค่า ของระยะที่ 0 และ 25 เซนติเมตร นำมาหาค่าเฉลี่ย และทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัว Absolute Encoder เทียบกับตัว Rotary Encode

4.2.3 ผลการทดสอบระบบโดยรวมเมื่อนำมาปรับใช้กับตัวควบคุมหลัก

ผลการทดสอบระบบโดยรวมเมื่อนำมาปรับใช้กับตัวควบคุมหลัก เป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบระบบโดยรวมเมื่อนำมาปรับใช้กับตัวควบคุมหลัก

มอเตอร์	ผลการทดสอบเมื่อใช้งานของมอเตอร์ทุกตำแหน่งพร้อมกัน
มอเตอร์ 1	สามารถยับยั้งได้
มอเตอร์ 2	สามารถยับยั้งได้
มอเตอร์ 3	สามารถยับยั้งได้
มอเตอร์ 4	สามารถยับยั้งได้
มอเตอร์ 5	สามารถยับยั้งได้
มอเตอร์ 6	สามารถยับยั้งได้
มอเตอร์ 7	สามารถยับยั้งได้

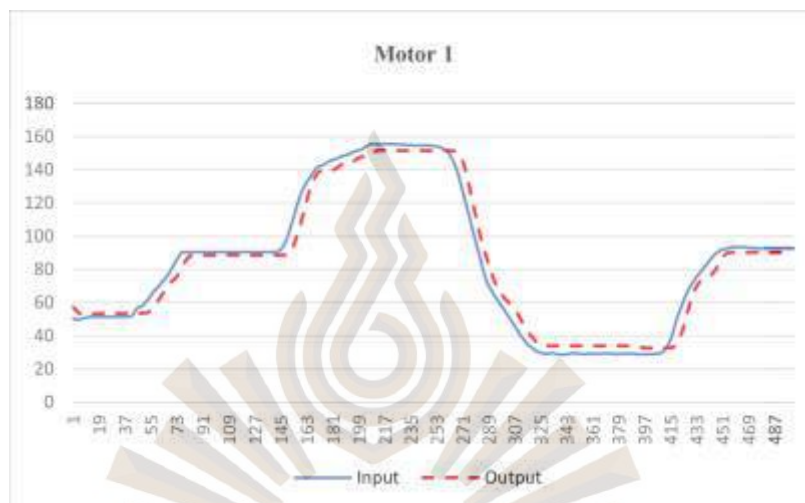
จากตารางที่ 4.9 ผลทดสอบระบบโดยรวมเมื่อนำมาปรับใช้กับตัวควบคุมหลักพบว่า มอเตอร์ทุกตำแหน่งสามารถยับยั้งได้ตามตัวควบคุมที่กำหนดไว้

4.2.4 ผลการทดสอบการปรับ PID ในเวลาจริง

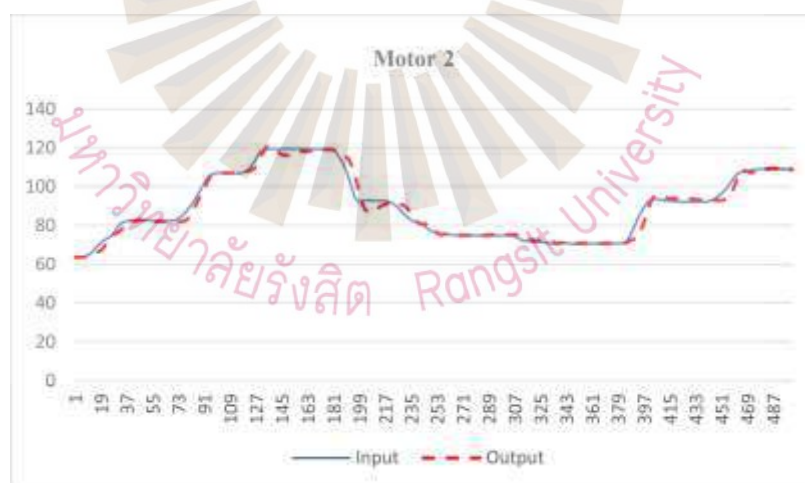
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการปรับ PID ในเวลาจริง

มอเตอร์	Kp	Ki	Kd
มอเตอร์ 1	0.35	0.015	0.01
มอเตอร์ 2	0.081	1	0.01
มอเตอร์ 3	0.7	0.1	0.01
มอเตอร์ 4	0.7	0.1	0.01
มอเตอร์ 5	0.6	0.023	0.01
มอเตอร์ 6	1.5	0.1	0.01
มอเตอร์ 7	2	0.1	0.01

ทำการปรับ PID โดยใช้วิธี Ziegler Nichols และทำการปรับไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะหาค่าที่เสถียร และยอมรับได้ ซึ่งผลการทดสอบการปรับ PID ในเวลาจริง และค่าที่ได้ เป็นไปตามตารางที่ 4.10 และพบว่าผลทดสอบระบบโดยรวมเมื่อนำมาปรับใช้กับตัวควบคุมหลัก พบว่า มอเตอร์ทุกตำแหน่งสามารถยับยั้งได้ตามตัวควบคุมที่กำหนดไว้ และสามารถอ่านกราฟได้ดังรูปที่ 4.16 – 4.21



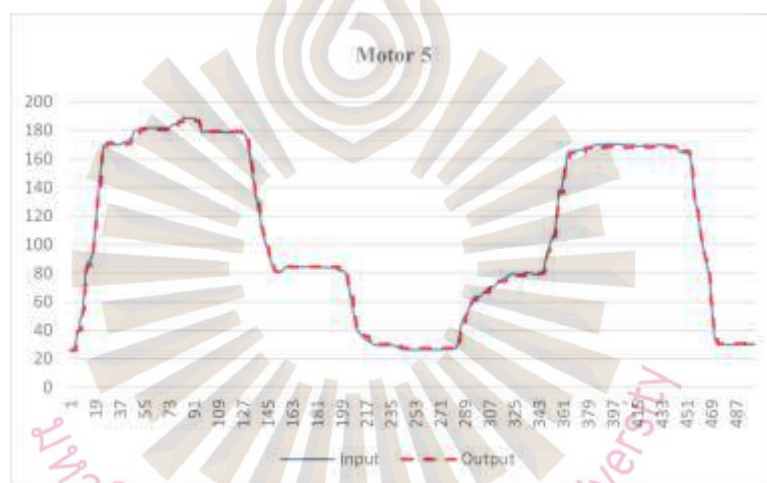
รูปที่ 4.16 กราฟควบคุมมอเตอร์ 1 ในเวลาจริง



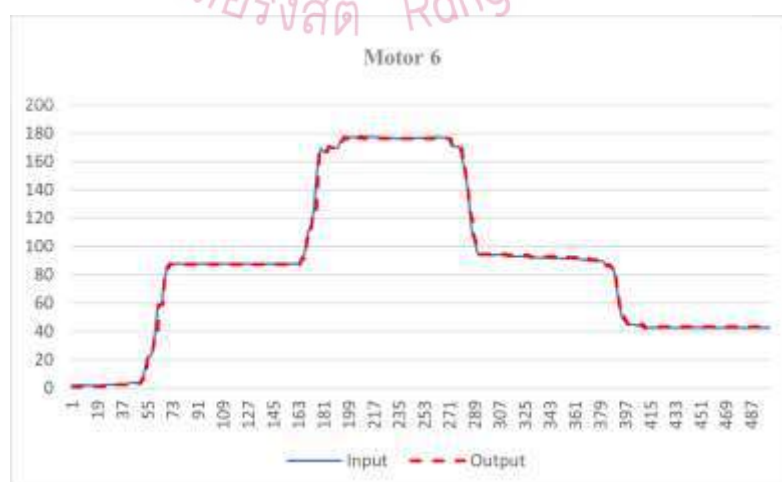
รูปที่ 4.17 กราฟควบคุมมอเตอร์ 2 ในเวลาจริง



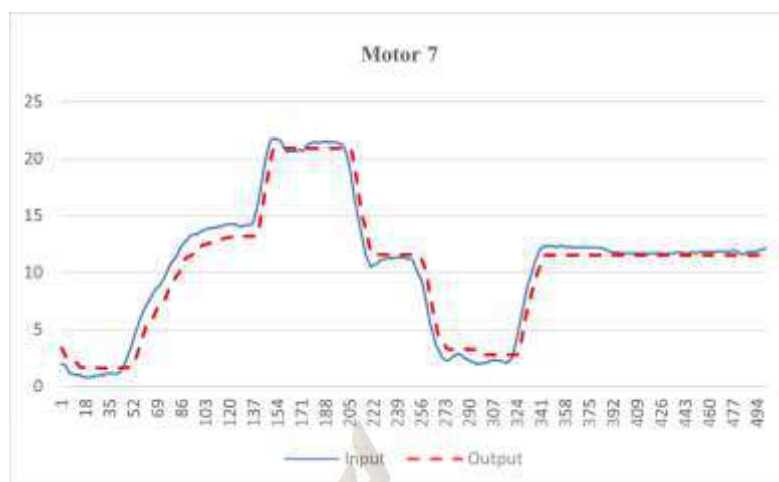
รูปที่ 4.18 กราฟควบคุมมอเตอร์ 3 - 4 ในเวลาจริง



รูปที่ 4.19 กราฟควบคุมมอเตอร์ 5 ในเวลาจริง



รูปที่ 4.20 กราฟควบคุมมอเตอร์ 6 ในเวลาจริง



รูปที่ 4.21 กราฟควบคุมมอเตอร์ 7 ในเวลาจริง

จากรูปที่ 4.16 – 4.21 คือการปรับการควบคุมแขนหุ่นยนต์ โดยทำการปรับค่า PID เพื่อให้ได้ความเสียรที่เหมาะสม สำหรับไว้ใช้ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษา และสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci เพื่อใช้ในการฝึกหัดการใช้งาน โดยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมการเคลื่อนไหว และตำแหน่งของหุ่นยนต์ในแต่ละจุดได้ ซึ่งเทคนิค Absolute Encoder ถูกนำมาใช้ในการส่งตำแหน่งเพื่อตรวจสอบ และควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนหุ่นยนต์ผ่าตัด นอกจากนี้ ยังได้ออกแบบชุดควบคุมที่เลียนแบบจากชุดควบคุมที่มีอยู่เดิม เพื่อให้ผู้ฝึกหัดสามารถใช้งานได้ง่าย และคุ้นเคย

ในการทดสอบระบบควบคุม พบว่าผลลัพธ์อาจมีความคลาดเคลื่อนซึ่งขึ้นอยู่กับการปรับค่า Gain ของระบบ PID การปรับค่า Gain ที่เหมาะสมจะช่วยลดความคลาดเคลื่อน และเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งจะทำให้การฝึกหัดใช้งานหุ่นยนต์ผ่าตัด da Vinci มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การปรับค่า Gain อย่างละเอียด: ควรมีการวิเคราะห์ และทดลองปรับค่า Gain ของระบบ PID อย่างละเอียด เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละการเคลื่อนไหว และตำแหน่งของหุ่นยนต์ โดยอาจใช้เทคนิคการปรับแต่ง PID แบบอัตโนมัติหรือการวิเคราะห์การตอบสนองของระบบแบบเรียลไทม์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

การทดสอบเพิ่มเติมในสถานการณ์จริง: นอกจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ควรมีการทดสอบระบบในสถานการณ์การผ่าตัดจำลองที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง เพื่อให้แน่ใจว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

การฝึกอบรมผู้ใช้งาน: ควรพัฒนาหลักสูตรการฝึกอบรมที่ครอบคลุมสำหรับผู้ฝึกหัดใช้งานหุ่นยนต์ รวมถึงการใช้งานระบบควบคุมใหม่ และการปรับแต่งค่า Gain ของระบบ PID เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประเมิน และปรับปรุงระบบอย่างต่อเนื่อง: ควรมีการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งาน และผลลัพธ์จากการฝึกหัดเพื่อนำมาวิเคราะห์ และปรับปรุงระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และความแม่นยำของการควบคุมหุ่นยนต์

การตรวจสอบความปลอดภัย: ควรมีการตรวจสอบ และทดสอบความปลอดภัยของระบบอย่างละเอียด เพื่อให้แน่ใจว่าการใช้งานหุ่นยนต์ในการฝึกหัด และการผ่าตัดจริงมีความปลอดภัยสูงสุด



บรรณานุกรม

- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2553). *ระบบควบคุมพีไอดี*. สืบค้น 3 มกราคม 2567, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ระบบควบคุมพีไอดี>
- Almujalhem, A., & Rha, K. H. (2020). Surgical robotic systems: What we have now? A urological perspective. *BJUI Compass*, 1(5), 152-159. doi:10.1002/bco2.31
- Da Vinci robotic prostatectomy*. (2019). Retrieved April 5, 2024, from <https://www.auinstitute.com/da-vinci-robotic-prostatectomy/>
- Dardona, T., Eslamian, S., Reisner, L. A., & Pandya, A. (2019). Remote Presence: Development and Usability Evaluation of a Head-Mounted Display for Camera Control on the da Vinci Surgical System. *Robotics*, 8(2). doi:10.3390/robotics8020031
- D’Ettorre, C., Mariani, A., Stilli, A., Rodriguez y Baena, F., Valdastrì, P., Deguet, A., Kazanzides, P., Taylor, R. H., Fischer, G. S., DiMaio, S. P., Menciassi, A., & Stoyanov, D. (2021). Accelerating Surgical Robotics Research: A Review of 10 Years With the da Vinci Research Kit. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 28(4), 56-78. doi:10.1109/mra.2021.3101646
- Fontanelli, G. A., Ficuciello, F., Villani, L., & Siciliano, B. (2017). *Modelling and identification of the da Vinci Research Kit robotic arms*. Paper presented at the 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS).
- Haidegger, T. (2019). Autonomy for Surgical Robots: Concepts and Paradigms. *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, 1(2), 65-76. doi:10.1109/tmrb.2019.2913282
- Hamedani, M. H., Selvaggio, M., Rahimkhani, M., Ficuciello, F., Sadeghian, H., Zekri, M., & Sheikholeslam, F. (2019). *Robust Dynamic Surface Control of da Vinci Robot Manipulator Considering Uncertainties: A Fuzzy Based Approach*. Paper presented at the 2019 7th International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM).
- Hassan, T., Hameed, A., Nisar, S., Kamal, N., & Hasan, O. (2016). Al-Zahrawi: A Telesurgical Robotic System for Minimal Invasive Surgery. *IEEE Systems Journal*, 10(3), 1035-1045. doi:10.1109/jsyst.2014.2331146

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Increment Encoder ต่างกับ Absolute Encoder อย่างไร*. (2019). Retrieved April 1, 2024, from <https://shorturl.asia/vwaxV>
- Johnson, P. J., Schmidt, D. E., & Duvvuri, U. (2014). Output control of da Vinci surgical system's surgical graspers. *J Surg Res*, 186(1), 56-62. doi:10.1016/j.jss.2013.07.032
- Kikuchi, K., Suda, K., Shibasaki, S., Tanaka, T., & Uyama, I. (2021). Challenges in improving the minimal invasiveness of the surgical treatment for gastric cancer using robotic technology. *Ann Gastroenterol Surg*, 5(5), 604-613. doi:10.1002/ags3.12463
- Kumar, P., Talele, S., Deshpande, S., Ghyar, R., Rout, S., & Ravi, B. (2023). Design, Analysis and Experimental Validation of a Novel 7-Degrees of Freedom Instrument for Laparoscopic Surgeries. *Ann Biomed Eng*, 51(4), 751-770. doi:10.1007/s10439-022-03086-w
- Liu, M., & Curet, M. (2015). A review of training research and virtual reality simulators for the da Vinci surgical system. *Teach Learn Med*, 27(1), 12-26. doi:10.1080/10401334.2014.979181
- Sait, K. H. (2011). Early experience with the da Vinci surgical system robot in gynecological surgery at King Abdulaziz University Hospital. *Int J Womens Health*, 3, 219-226. doi:10.2147/IJWH.S23046
- Schreuder, H. W., & Verheijen, R. H. (2009). Robotic surgery. *BJOG*, 116(2), 198-213. doi:10.1111/j.1471-0528.2008.02038.x
- Sun, L. W., Meer, F. V., Bailly, Y., & Yeung, C. K. (2007). *Design and Development of a Da Vinci Surgical System Simulator*. Paper presented at the 2007 International Conference on Mechatronics and Automation.
- Symptoms of a bad armature*. (2023). Retrieved April 7, 2024, from <https://www.aiptesting.com/symptoms-of-a-bad-armature.html>
- Yi, B., Wang, G., Li, J., Jiang, J., Son, Z., Su, H., & Zhu, S. (2016). The first clinical use of domestically produced Chinese minimally invasive surgical robot system " Micro Hand S". *Surg Endosc*, 30(6), 2649-2655. doi:10.1007/s00464-015-4506-1
- Hudak, Z. (2016). *STM32F103C8T6 board, alias Bluepill*. Retrieved from https://os.mbed.com/users/hudakz/code/STM32F103C8T6_Hello/

ภาคผนวก

DATASHEET

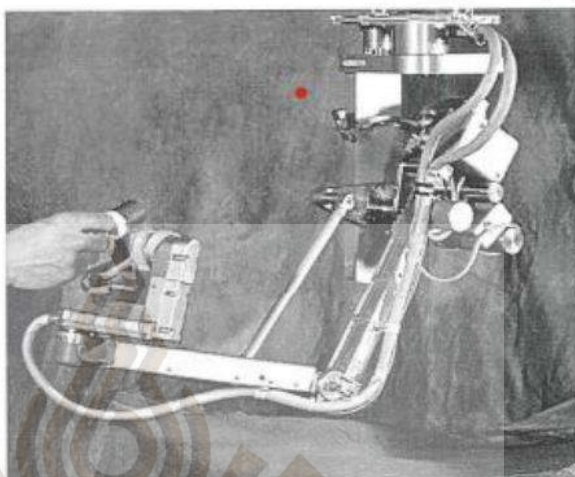
มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

Feature-Walk

Surgeon Console

Same
MTM is used
in all
daVinci
Systems

8 Axis



Feature Walk

Notes

Purpose

What is the MTM p/n's?

Are the MTML and MTMR different?

Teaching TipsEmphasis Point(s)Reference DocumentsVirtual Support

SSS - Master Tool Manipulator (MTM)

Purpose of the MTM

Receives input from the surgeon and transfers that motion to the patient side manipulators via the system servo loop. Controls both the ECM and PSMs.

The MTM consists of a series of motion sensing devices which capture movement on each axis and report the movement electronically to the motion controlling circuitry in the Surgeon Console. This circuitry will process the raw information and turn this into robotic arm movement and can provide mechanical feedback to the MTM.

Range Of Motion (ROM)

Eight Degrees of Freedom.

MTM needs large range of motion so that the mechanism does not limit the surgeon during the procedure (both in position and orientation). Shoulder - must reach anywhere in workspace. Gimbal - must be able to point anywhere on a sphere.

Inertia

It is desirable to have a low inertia mechanism to minimize surgeon fatigue due to the inertial effects of the mechanism. To compensate for inertia we reduce the mass of the MTM and also the radius at which the MTM rotates.

Imbalance

Feature-Walk

It is desirable to have an actively and passively counterbalanced mechanism to prevent unnecessary surgeon fatigue due to mechanism imbalance. For safety reasons the MTM needs to be balanced to minimize movement of the tool tips due to MTM imbalance. To compensate for imbalance we use counterweights, springs, & servo control.

Friction

It is desirable to minimize friction forces in the mechanism so the surgeon maintains a precise control over the mechanism and does not feel any rough spots or irregularities in the drive train. Low friction is essential to keep accurate servo feedback. To compensate for friction we use low friction drives (cables) and servo control.

Force Reflection

It is desirable to have the MTM be able to exert forces and torques on the surgeon to:

- Reflect contact forces from the slaves.
- Reflect range of motion information about the slaves.
- Reflect other constraints in the workspace.
- Force reflection is accomplished by using motors to apply torques to the MTM axes.
- The control computer determines the torques driven to the motors.
- Grip Axis uses a spring to simulate instrument grasping of tissue.

Safety

The mechanism must have sufficiently strong motors, redundant sensors, and have all mechanical parts designed in accordance with IEC regulations. In addition, all electronics must conform to UL and CE requirements.

Soft Lock Mode

Disconnects (clutches) the PSMs from the MTMs and holds the MTMs in place. This happens in three situations: Home, Head Out, and Stand By.

Gravity Compensation

If the surgeon lets go of the MTM while the head sensor is activated, (following mode) the MTM will not move much - therefore the instrument tips will not move much either.

Redundant Sensors

Every axis (with the exception of grip [axis 8]) has an encoder on the motor, and a pot on the axis. A potentiometer is used as a redundant sensor to monitor desired position (encoder) to actual position of the axis (potentiometer). If the pot and encoder report different readings then an error condition is logged.

Singularities

There are two notable positions in which a MTM will not behave intuitively due to the design of the MTMs in relation to the PSMs. This will be explained during the lab for this section.

"The Sweet Spot"

The MTM Shoulder "sweet spot" is defined as the nominal position for the master with the outer yaw axis at 0 degrees, the shoulder pitch axis at +10 degrees, and the elbow pitch axis at +10 degrees.

The MTM Gimbal "sweet spot" is defined as the nominal position for the gimbal with the outer links at the outer link "sweet spot", the platform axis turned inward by 70 degrees (negative on a left MTM, positive on a right MTM), the wrist pitch axis at 20 degrees, the wrist yaw axis at 0 degrees, and the roll axis at 0 degrees

Notes

Feature-Walk

MTM Axis 1

Axis 1 - Outer Yaw

ROM = 110 degrees

First stage small capstan reduction

Second stage large drum attached to large cables

Final drive ratio = 63:1



Feature-Walk

MTM Axis 2

Axis 2 - Pitch

ROM = 90 degrees

First stage small capstan reduction

Second stage large drum attached to large cables

Final drive ratio = 50:1



Feature-Walk

MTM Axis 3

Axis 3 - Elbow Pitch

ROM = 70 degrees

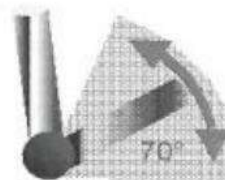
First stage small capstan reduction

Second stage large drum attached to large cables

Final drive ratio = 60:1

Motor & reduction housed in shoulder

Uses four bar linkage to transmit elbow motion



Feature-Walk

MTM Axis 4

Axis 4 - Platform

ROM = 300 degrees

First stage small capstan reduction

Second stage large drum attached to large cables

Final drive ratio = 10:5:1

No gravity calibration

Motor & reduction housed in shoulder

Uses cable drive to transmit motion to gimbal



Feature-Walk

MTM Axis 5Axis 5 - Wrist Pitch

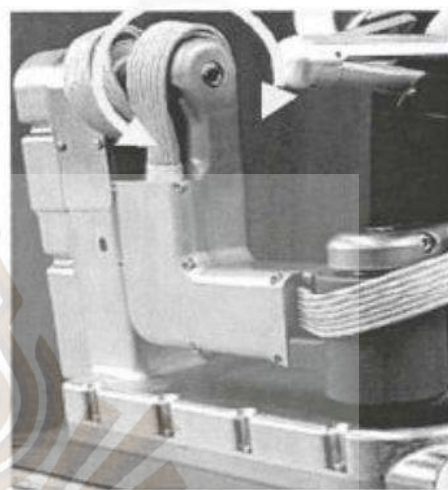
ROM = 285 degrees

Motor with gear head & bevel gear reduction

Final drive ratio = 33:1



Rotation about Horizontal Axis



Feature-Walk

MTM Axis 6Axis 6 - Wrist Yaw

ROM = 90 degrees

Motor with gear head & bevel gear reduction

Final drive ratio = 33:1

Redundant to Axis 4

Rotation about Vertical Axis
(Relative to Axis 5)

Feature-Walk

MTM Axis 7

Axis 7 - Wrist Roll

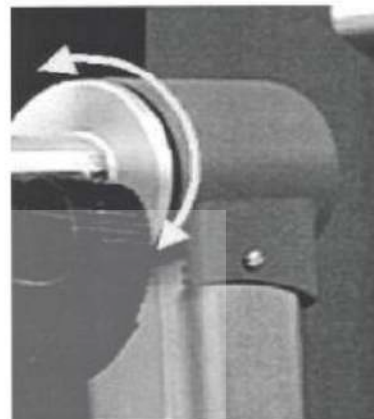
ROM = 930 degrees

Motor with gear head & bevel gear set

Final drive ratio = 16.6:1



Rotation about Horizontal
Axis
(Relative to Axis 5 & 6)



Feature-Walk

MTM Axis 7

Axis 7 - Wrist Roll

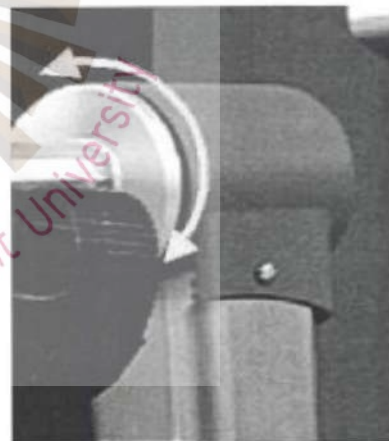
ROM = 930 degrees

Motor with gear head & bevel gear set

Final drive ratio = 16.6:1



Rotation about Horizontal
Axis
(Relative to Axis 5 & 6)



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	โพธิ์ สินธุ
วัน เดือน ปีเกิด	6 กุมภาพันธ์ 2544
สถานที่เกิด	จังหวัดปัตตานี ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์, 2566
ทุนการศึกษา	ทุนสนับสนุนการทำวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยรังสิต
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 998/110 ตึก A เดอะทรัสต์คอนโด ถนนเพชร เกษม ตำบลห้วยจรเข้ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม

