



การออกแบบและการจำลองการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดตาวิชั่นสามมิติ
ด้วยหลักการเซอร์โวมอเตอร์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2567



**DESIGN AND SIMULATION OF CONTROL FOR THE END-EFFECTOR
INSTRUMENTS OF DA VINCI SURGICAL SYSTEM
USING SERVO MOTOR**



**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

การออกแบบและการจำลองการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชีส่วนมือด้วย
หลักการเซอร์โวมอเตอร์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โดย

จันทวิทย์ พวงแสง

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2567

รศ.ดร. อนุชาติ ศรีศิริวัฒน์
ประธานกรรมการสอบ

ผศ.ดร. ทศวรรณ พุทธสกุล
กรรมการ

รศ.ว่าที่ ร.ต. ดร. พิชิตพล โชติกุลนันท์
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผศ.ดร. ยุทธนา ปิติธีรภาพ
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ศ.ดร. สือจิตต์ เพ็ชรประสาน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

28 มีนาคม 2568

Thesis entitled

**DESIGN AND SIMULATION OF CONTROL FOR THE END-EFFECTOR
INSTRUMENTS OF DA VINCI SURGICAL SYSTEM
USING SERVO MOTOR**

by

CHANTAWIT PHUANGSEANG

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

Rangsit University

Academic Year 2024

Assoc. Prof. Anuchart Srisiriwat, Ph.D.
Examination Committee Chairperson

Asst. Prof. Tasawan Puttasakul, D.Eng
Member

Assoc.Prof.Acting Sub LT. Phichitphon Chotikunnan, D.Eng
Member and Co-Advisor

Asst. Prof. Yutthana Pititheeraphab, D.Eng
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Prof. Suejit Pechprasarn, Ph.D.)

Dean of Graduate School

March 28, 2025

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีเนื่องมาจากได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.ยุทธนา ปิติธีรภาพ อาจารย์ที่ปรึกษา และขอขอบพระคุณ รศ.ว่าที่ ร.ต. ดร. พิชิตพล โชติกุลนันท์ ที่ร่วมให้คำปรึกษาที่ให้ความเอาใจใส่ช่วยเหลือให้คำแนะนำเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในด้านการวางแผน การดำเนินงาน ผลักดันจนการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จผล

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์นันทชัย ทองแป้น ที่ได้ช่วยเหลือและให้ความอนุเคราะห์ตั้งแต่เข้าเรียนในวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต อันเป็นสถานที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์

ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่และน้อง ๆ นักศึกษาวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิตที่คอยอำนวยความสะดวกและคอยให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยอยู่เคียงข้างและให้โอกาสให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายความรู้และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบความดีให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอกราบอภัยและน้อมรับไว้ ณ โอกาสนี้

จันทวิทย์ พวงแสง

ผู้วิจัย

6304838 : จันทวิทย์ พวงแสง
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การออกแบบและการจำลองการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ช่วย
 ผ่าตัดดาวินชีส่วนมือด้วยหลักการเซอร์โวมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม
 คอมพิวเตอร์
 หลักสูตร : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ยุทธนา ปิติธรรมา
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ว่าที่ ร.ต. ดร. พิชิตพล โชติกุลนันท์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการแพทย์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในนวัตกรรมสำคัญคือ การนำหุ่นยนต์มาช่วยในการผ่าตัด ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์หลายประการ เช่น ลดขนาดแผล ลดระยะเวลาการพักฟื้นของผู้ป่วย ลดความเสี่ยง และสามารถผ่าตัดบริเวณที่เข้าถึงได้ยาก อย่างไรก็ตาม หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดมักมีราคาสูง มีอายุการใช้งานของระบบควบคุมที่จำกัด และการซ่อมบำรุงทำได้ยาก จึงมีความจำเป็นที่จะศึกษาเชิงลึกถึงระบบควบคุมและอุปกรณ์ผ่าตัดภายใน โดยเฉพาะ หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชี ซึ่งเป็นแนวทางในการทำความเข้าใจระบบควบคุมและเครื่องมือผ่าตัด เพื่อพัฒนาระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานได้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษา และควบคุมการทำงานของปลายเครื่องมือผ่าตัดซึ่งประกอบด้วย 3 ฟังก์ชัน ได้แก่ การตัด การหมุน และการงอ โดยได้จำลองการควบคุมแต่ละฟังก์ชันผ่านโปรแกรม MATLAB ในรูปแบบ Block Diagram รวมถึงออกแบบระบบควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์เพื่อเลียนแบบการทำงานของเครื่องมือ ปลายแขนหุ่นยนต์ การศึกษานี้จะช่วยให้เข้าใจถึงโครงสร้างและการทำงานของอุปกรณ์ผ่าตัดภายใน หุ่นยนต์ อีกทั้งยังเป็นพื้นฐานในการปรับปรุงระบบควบคุมและกระบวนการบำรุงรักษาให้มีความคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 56 หน้า)

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด, ระบบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ดาวินชี, เซอร์โวมอเตอร์ และอุปกรณ์ผ่าตัด

ลายมือชื่อนักศึกษาลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

6304838 : Chantawit Phuangseang
 Thesis Title : Design and Simulation of Control for the End-effector
 instruments of Da Vinci Surgical System Using Servo Motor
 Program : Master of Engineering in Biomedical Engineering
 Thesis Advisor : Asst. Prof. Yutthana Pitithiraphap Ph.D.
 Thesis Co-Advisor : Assoc.Prof.Acting Sub LT. Phichitphon Chotikunnan, D.Eng.

Abstract

The rapid advancement of medical technology has led to significant improvements, with surgical robots being among the most impactful innovations. These robots reduce incision size, accelerate patient recovery, diminish surgical risks, and enhance access to difficult anatomical areas. Nonetheless, surgical robots are costly, have a limited operational lifespan for their control systems, and require complex maintenance. These challenges highlight the necessity for a thorough analysis of their architecture and control systems, particularly in the da Vinci Surgical Robot.

This study aims to investigate the control mechanisms of the end effector in robotic surgical instruments, focusing on three primary functions: cutting, rotating, and bending. A block diagram structure is used to show each function in MATLAB, and a servo motor-driven control system is built to make the instrument move like the real thing. This simulation enhances our comprehension of the functionality of surgical instruments and the interrelation of their components. It also provides a means to enhance the efficacy of control systems, reduce maintenance expenses, and increase their cost-effectiveness. This study establishes a framework for the progression of medical robotic technology, enabling enhanced education and implementation by local medical professionals in the future.

(Total 56 pages)

Keywords: Da Vinci Surgical robot, Simulink and End Effector Instruments.

Student's Signature Thesis Advisor's Signature
 Thesis Co-Advisor's Signature

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 คำถามการวิจัย / สมมติฐานการวิจัย	2
1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย	3
1.5 นิยามศัพท์	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	33
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	33
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	42
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล	43
บทที่ 4 ผลการวิจัย	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ประวัติผู้วิจัย	56



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	เปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ เมื่อปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของมอเตอร์ 3	50
4.2	เปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ เมื่อปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของมอเตอร์ 4	50
4.3	เปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ เมื่อปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของมอเตอร์ 5	50
4.4	เปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ เมื่อปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของมอเตอร์ 6	51



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กรอบแนวคิดการวิจัย	3
2.1	การผ่าตัดแบบแผลเล็ก (Minimally Invasive Surgery)	7
2.2	หุ่นยนต์ผ่าตัด	8
2.3	พัฒนาการด้านหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด	8
2.4	หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci	10
2.5	ลำดับการพัฒนาหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci	10
2.6	หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci แบบ Single Port	11
2.7	รูปแสดงส่วนประกอบทั้งหมดของ Da Vinci Surgical System	11
2.8	รูปแสดงส่วนควบคุมการผ่าตัด (Surgeon Console)	12
2.9	รูปแสดงหุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้ (Patient Cart)	12
2.10	รูปแสดงระบบควบคุมภาพ (Vision Cart)	13
2.11	กลุ่มอุปกรณ์ส่วนปลาย Da Vinci Surgical System	14
2.12	แสดงการเปรียบเทียบขนาดอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือกับเหรียญ	14
2.13	แสดงการควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ	15
2.14	รูปแสดงส่วนประกอบของตัวควบคุมส่วนปลายเครื่องมือ	15
2.15	แสดงรูปแบบการควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ	16
2.16	แสดงประเภทของ Servo Motor	17
2.17	รูปแสดงโครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โว	18
2.18	เซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย	19
2.19	โครงสร้างภายใน เซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย	20
2.20	Block Diagram เซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้	20
2.21	แสดงวิธีการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	22
2.22	แสดงสัญญาณการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	22
2.23	แสดงการจำแนกประเภทของหุ่นยนต์ผ่าตัด	23
2.24	แสดงรูปแบบของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดแบบต่างๆ	24
2.25	แสดงลำดับขั้นการพัฒนาเทียบกับวิวัฒนาการของหุ่นยนต์ผ่าตัด	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.26	แสดงระบบหุ่นยนต์ดาวินชี	25
2.27	(ก) โครงสร้าง RCM แบบ Double Parallelogram (ข) โครงสร้าง RCM แบบใช้รางไกด์ MCM	26
2.28	(ก) Master Control (ข) Software Operating System	26
2.29	(ก) Patient Side Manipulator (PSM) kinematics (ข) Master tool Manipulator (MTM) kinematics	27
2.30	Comparison between designed handle and Endowrist instrument tip	27
2.31	(ก) The novel master wearable exoskeleton (ข) Frame assignment and geometric	28
2.32	The Block Diagram of DC Servo motor with Closed-Loop voltage Feedback	29
2.33	The Instructions and Simulink Blocks for Each Method	29
2.34	Block diagram of the system	30
2.35	(ก) Arduino and MATALB communication (ข) MATLAB Simulink Block program	31
2.36	Add-On explorer window	31
2.37	ผังงานวิจัย	32
3.1	ผังการทำงานหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci	33
3.2	หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci ที่ใช้ทำการศึกษา ภายในห้องทดลอง วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต	34
3.3	แขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci	35
3.4	แบบจำลอง ส่วนประกอบของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci	35
3.5	รูป ก. แบบจำลอง ส่วนประกอบส่วนปลายเครื่องมือของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci และ รูป ข. แสดงส่วนประกอบส่วนปลายเครื่องมือของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	อุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ทำการผ่าตัด (Instrument) ในที่นี้เลือกมาเป็นแบบอุปกรณ์สำหรับการจับโครงสร้าง RCM	36
3.7	รูป ก. จำลองส่วนประกอบภายในและการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วน ปลายเครื่องมือ รูป ข. อธิบายส่วนประกอบภายในชุดควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ รูป ค. แสดงภาพชุดรอกที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วน ปลายเครื่องมือ	37
3.8	รูป ก. แสดงชุดควบคุมรอกของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือภายใน แขนหุ่นยนต์ผ่าตัด แกนที่ 9 รูป ข. ระบุชุดรอกภายในชุดควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ	38
3.9	รูป ก. แสดงชุดรอกของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือภายในแขน หุ่นยนต์ผ่าตัดที่ควบคุม ด้วยมอเตอร์ 3, 4, 5 และ 6 รูป ข. แสดงการทำงานของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือเมื่อรอกหมุน	38
3.10	แสดงชุดขับเคลื่อนของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ได้ทำการจำลอง ขึ้นมาใช้งานวิจัย	39
3.11	แสดงวิธีการทดสอบมอเตอร์ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ใช้ ในงานวิจัย	40
3.12	แสดงชุดคำสั่งจากบล็อก MATLAB Simulink เพื่อการทดสอบ มอเตอร์ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	40
3.13	แสดงชุดคำสั่ง Arduino IDE เพื่อการทดสอบมอเตอร์ของอุปกรณ์ ส่วนปลายเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	41
3.14	บล็อกไดอะแกรมของชุดจำลองควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ	42
3.15	ตัวคำนวณปรับค่าได้แบบสไลด์	42
3.16	บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO	43
3.17	อุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือในงานวิจัย เมื่อนำมาประกอบ	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.18	ชุดจำลองควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือด้วยเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย	44
4.1	รูปสัญญาณของการป้อนมุมด้านอินพุตและเอาต์พุตของ มอเตอร์ 3	45
4.2	รูปสัญญาณของการป้อนมุมด้านอินพุตและเอาต์พุตของ มอเตอร์ 4	46
4.3	รูปสัญญาณของการป้อนมุมด้านอินพุตและเอาต์พุตของ มอเตอร์ 5	46
4.4	รูปสัญญาณของการป้อนมุมด้านอินพุตและเอาต์พุตของ มอเตอร์ 6	47
4.5	รูปสัญญาณควบคุมมอเตอร์ เมื่อปรับค่าอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่า	48
4.6	รูปแบบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่จับด้วย มอเตอร์ 3 ทำมุมที่ $+45^{\circ}$	48
4.7	รูปแบบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่จับด้วย มอเตอร์ 3 ทำมุมที่ 0°	49
4.8	รูปแบบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่จับด้วย มอเตอร์ 3 ทำมุมที่ -45°	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านการผ่าตัดทำให้การผ่าตัดทางเลือกมีประสิทธิภาพสูง มีความหลากหลายและเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางมากขึ้น โดยวิธีการผ่าตัดแบบแผลเล็ก (MIS) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างสูง เป็นเทคนิคที่ช่วยให้ศัลยแพทย์สามารถใส่เครื่องมือขนาดเล็กและสอดกล้องเอนโดสโคป เข้าไปในช่องท้องของผู้ป่วยผ่านแผลเล็กๆ เพียง 3 แผลเท่านั้น (Kumar & Ravi, 2019) ทำให้ผู้ป่วยได้รับความเจ็บปวดน้อยลง บาดแผลมีขนาดเล็ก ลดการเกิดภาวะแทรกซ้อนจากการผ่าตัด พ้นตัวได้อย่างรวดเร็วหลังจากการผ่าตัด

สำหรับการผ่าตัดทางศัลยกรรมบางครั้งศัลยแพทย์ไม่สามารถเข้าไปทำงานได้ทุกที่ เช่น บริเวณแนวหน้าของสงคราม หรือบริเวณทุรกันดารที่ต้องศัลยแพทย์เร่งด่วน ทำให้มีการคิดค้น ริเริ่ม มีการผ่าตัดทางไกลโดยใช้ศัลยแพทย์ควบคุมการทำงานหุ่นยนต์ผ่าตัด

หุ่นยนต์ผ่าตัดได้มีการเริ่มนำมาใช้ในทางการแพทย์ในปี ค.ศ. 1986 ชื่อ PUMA (Longmore, Naik, & Gargiulo, 2020) โดยใช้ในการเจาะชิ้นเนื้อสมอง ต่อมาปี ค.ศ. 1988 ดร.นาธาน จากมหาวิทยาลัยอิมพีเรียล แห่งลอนดอน ได้พัฒนาหุ่นยนต์ที่ชื่อว่า Probot มาช่วยในการผ่าตัดผู้ป่วยต่อมลูกหมากโต หลังจากนั้นก็มีการ พัฒนาหุ่นยนต์ผ่าตัดอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีผู้พัฒนา ผลิตภัณฑ์และจำหน่ายหุ่นยนต์ผ่าตัดเชิงพาณิชย์มีอย่างหลากหลาย แต่ที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับคือระบบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci

หุ่นช่วยยนต์ผ่าตัด Da Vinci มีการนำมาใช้กับการผ่าตัดแบบแผลเล็กกันมากขึ้น ด้วยเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้าขึ้น ทำให้การผ่าตัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น แม่นยำมากขึ้น เช่น กล้องมีกำลังขยายมากขึ้นถึง 10 เท่า ภาพที่ได้ยังให้ภาพสามมิติทำให้ศัลยแพทย์เห็นภาพอวัยวะได้เสมือนจริงมากขึ้น การเคลื่อนไหวของเครื่องมือในการหมุนส่วนปลายเครื่องมือผ่าตัดที่สามารถหมุนได้ถึงเจ็ดทิศทาง และมือของหุ่นยนต์ยังช่วยลดอาการมือสั่นจากการเมื่อยล้าของศัลยแพทย์ได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามหุ่นยนต์ผ่าตัดก็มีข้อเสียนั้นคือหุ่นยนต์มีราคาค่อนข้างสูงและระบบควบคุมมักมีอายุในการใช้งาน อุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือจำกัดจำนวนครั้งการใช้งาน ถูกจำกัดสิทธิ์จากผู้ผลิต ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงและการซ่อมบำรุงค่อนข้างยากและศัลยแพทย์ที่ใช้งานต้องได้รับการฝึกฝนและอบรมการใช้งานจนเกิดความเชี่ยวชาญจึงจะสามารถใช้งานหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดได้

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะออกแบบและจำลองควบคุมระบบหุ่นยนต์ผ่าตัด Da Vinci ส่วนปลายเครื่องมือ เพื่อทำความเข้าใจระบบควบคุมหุ่นยนต์ผ่าตัด ให้สามารถนำมาปรับปรุง และนำไปพัฒนาส่วนอื่น ๆ อีกทั้ง ยังสามารถใช้พัฒนาการเรียนการสอน ลดค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรม ลดการนำเข้าหรือการฝึกผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง ด้วยหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดให้เกิดประโยชน์ในประเทศต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาและออกแบบระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ผ่าตัดส่วนปลายเครื่องมือ

1.2.2 จำลองระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ผ่าตัด ส่วนปลายเครื่องมือ

1.3 คำถามการวิจัย / สมมติฐานการวิจัย

การควบคุมหุ่นยนต์ผ่าตัดส่วนปลายเครื่องมือสามารถใช้เซอร์โวมอเตอร์ได้หรือไม่

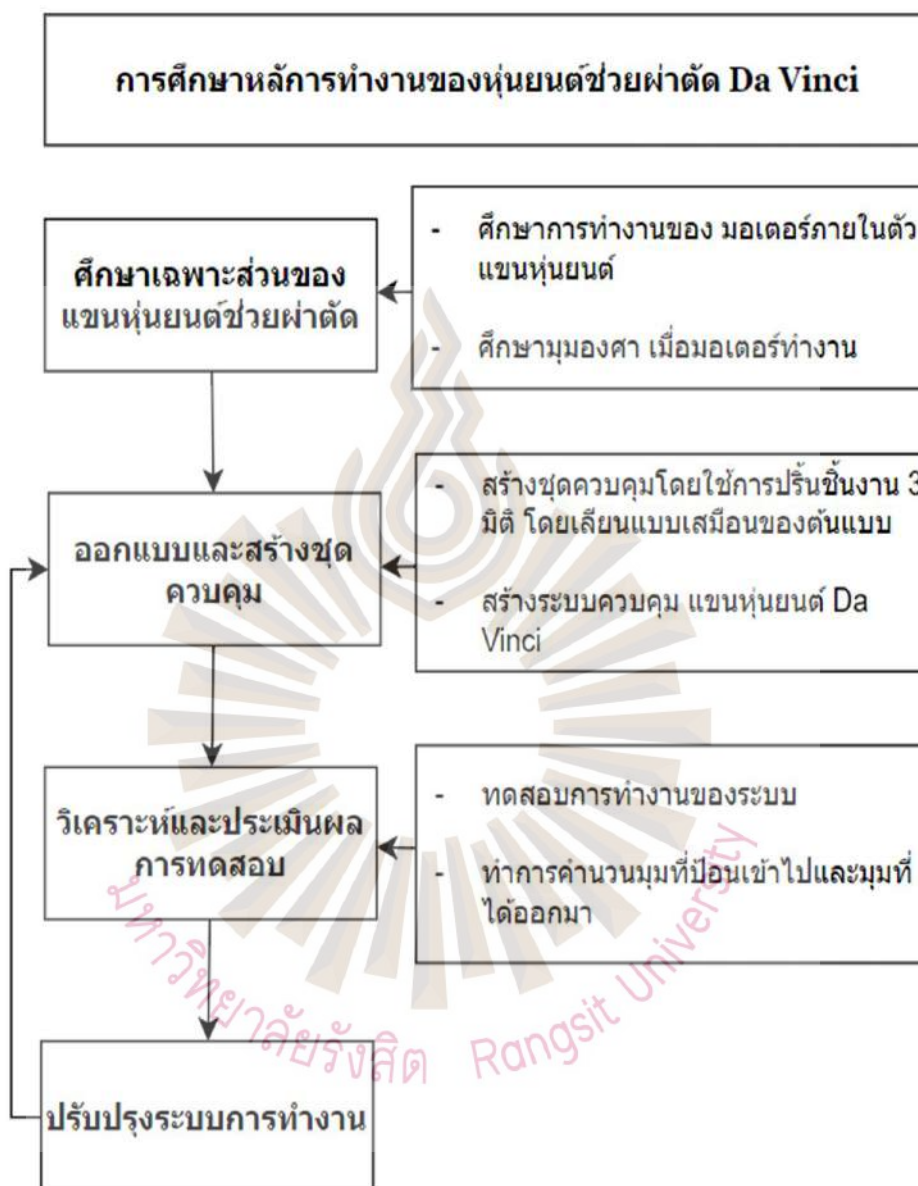
การออกแบบและจำลองควบคุมหุ่นยนต์ผ่าตัดส่วนปลายเครื่องมือ มีสมมติฐานแบ่งเป็นตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม ดังนี้

1.3.1 ตัวแปรต้น คือ การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ผ่าตัดส่วนปลายเครื่องมือ

1.3.2 ตัวแปรตาม คือ มุมและทิศทางการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ผ่าตัดส่วนปลายเครื่องมือ

1.3.3 ตัวแปรควบคุม คือ มุมและทิศทางที่ป้อนเข้าอินพุต

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ที่มา: ผู้วิจัย

1.5 นิยามศัพท์

การผ่าตัดผ่านกล้อง หรือ การผ่าตัดแผลเล็ก หมายถึง การผ่าตัดที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อภายนอกเพียงเล็กน้อย โดยใช้กล้องและเครื่องมือขนาดเล็กสอดผ่านเข้าไปในตำแหน่งที่มีพยาธิสภาพที่ต้องการผ่าตัด การผ่าตัดแบบผ่านกล้อง เป็นการผ่าตัดโดยการใส่กล้องส่องเข้าไปในช่องท้อง ส่วนมากจะมีแผลขนาดเล็ก 3 แผล ขนาด 0.5-1 ซม.

หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด หมายถึง วิธีปฏิบัติเพื่อจัดเสมหะในช่องทางเดินหายใจ

การจัดท่าเพื่อการระบายเสมหะ (Postural Drainage) หมายถึง การผ่าตัดโดยใช้หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดเป็นรูปแบบหนึ่งของการผ่าตัดแบบแผลเล็ก การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดหรือที่เรียกว่า Robotic Assisted Surgery เป็นเพียงแค่การใช้เทคโนโลยีของเครื่องจักรกล ระบบคอมพิวเตอร์ และการสร้างภาพสามมิติ มารวมกันเพื่อช่วยให้การผ่าตัดทำได้ง่ายและแม่นยำมากขึ้น การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดยังคงต้องใช้หมคนุ้ยหรือศัลยแพทย์ผ่าตัดเป็นผู้ดำเนินการผ่าตัด เพียงแต่ต้องเป็นศัลยแพทย์ที่เชี่ยวชาญการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์จึงจะสามารถทำได้ โดยมีศัลยแพทย์ผู้ช่วยทำหน้าที่ช่วยส่งเครื่องมือหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ ซึ่งขั้นตอนคล้ายกับการผ่าตัดทั่วไปคือหลังจากผู้ป่วยได้รับยาดมสลบแล้ว ศัลยแพทย์จะเป็นผู้นำเครื่องมืออุปกรณ์ของหุ่นยนต์จะเข้าไปในร่างกายที่จะทำการผ่าตัด และทำการจัดท่าทางและตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เหมาะสมหลังจากนั้นจะมากวควบคุมหุ่นยนต์เพื่อทำการผ่าตัด ซึ่งการใช้หุ่นยนต์เป็นเพียงแค่อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ช่วยทำการผ่าตัดเท่านั้น

ระบบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ดา วินชี หมายถึง ระบบการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด เป็นระบบการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ที่ใช้ในวิธีการผ่าตัดที่มีการบุกรุกน้อยที่สุด ระบบนี้ผลิตโดยบริษัท Intuitive Surgical ระบบการผ่าตัดดา วินชี ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนควบคุมการผ่าตัด (Surgeon Console) ระบบควบคุมภาพ (Vision Cart) และ ตัวหุ่นยนต์ผ่าตัด (Patient Cart) ปัจจุบันระบบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ดา วินชี มีด้วยกัน 4 รุ่น คือ The da Vinci Si, The da Vinci X, The da Vinci Xi และ The da Vinci SP¹

เครื่องมือส่วนปลาย หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำการผ่าตัดโดยตรงกับผู้ป่วย ที่ติดอยู่บริเวณส่วนปลายแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ทำหน้าที่เหมือนเครื่องมือผ่าตัดทั่วไป ซึ่งจะถูควบคุมโดย

สัลลัพท์ผู้ควบคุมการผ่าตัดผ่านส่วนควบคุมการผ่าตัด อุปกรณ์จะมีหลายรูปแบบแตกต่างกันไป และใช้ทำหน้าที่ต่างกัน เช่น ใช้หนีบ คีบ ดึง ใช้เย็บ ผูก ใช้ตัด เป็นต้น

เซอร์โวมอเตอร์ หมายถึง เป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ของมัน (State) ไม่ว่าจะเป็น ระยะ ความเร็ว มุมการหมุน โดยการใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเครื่องจักรกล หรือระบบการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามความต้องการ เช่น ควบคุมความเร็ว (Speed), ควบคุมแรงบิด(Torque), ควบคุมตำแหน่ง(Position), ระยะทางในการเคลื่อนที่ (หมุน) (Position Control) ของตัวมอเตอร์ได้



บทที่ 2

บททวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำได้ศึกษาทฤษฎีที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์ในหลาย ๆ เรื่อง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกัน เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและจัดทำโดยประกอบไปด้วยเนื้อหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและจำลองระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดส่วนปลายเครื่องมือ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า การผ่าตัดผ่านกล้องทางหน้าท้อง โดยการใช้กล้องส่องขยายภาพผ่าตัด (Laparoscopic Surgery) เป็นการผ่าตัดแบบแผลเล็ก (Minimally Invasive Surgery) ซึ่งคนไข้จะได้รับประโยชน์ในการผ่าตัดแบบส่องกล้องอย่างมาก โดยผู้ป่วยจะฟื้นตัวและกลับไปทำงานได้เร็วกว่าการผ่าตัดแบบเปิด (Open Surgery) และยังเสียเลือดระหว่างผ่าตัดน้อยกว่า แต่ยังมีข้อจำกัดในภาพที่มองเห็นเป็นสอง มิติ ขนาดความลึก และข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ผ่าตัด ไม่สามารถจะหัก มุม งอ เข้าสู่ที่คับแคบได้ และข้อจำกัดของการหมุนข้อมือของศัลยแพทย์ ผู้ทำการผ่าตัด ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงของอุปกรณ์การแพทย์ เพื่อการเปลี่ยนแปลงโฉมหน้าของการผ่าตัด และการเพิ่มพูนคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยให้ดียิ่งขึ้น คือ การพัฒนาการผ่าตัดแบบใช้หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด แบบแผลเล็ก (Minimally Invasive Surgical Robotics)



รูปที่ 2.1 การผ่าตัดแบบแผลเล็ก (Minimally Invasive Surgery)

ที่มา: Monilekhospital, 2025

2.1.1 หุ่นยนต์ผ่าตัด

หุ่นยนต์ (Robot) เป็นคำที่มีมาตั้งแต่ปี 1921 เป็นคำที่รู้จักกัน ครั้งแรกโดย Czech Robota ซึ่งได้เขียนบทละครจินตนาการแนว วิทยาศาสตร์เกี่ยวกับหุ่นรับใช้ ที่มีความสามารถคล้ายมนุษย์ สามารถคิด และทำตามใจตัวเอง ในปัจจุบัน ได้เริ่มเป็นจริงมากขึ้น โดยมีการพัฒนาหุ่นยนต์ เพื่อนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม ทางทหาร ทางเกษตร ทางอวกาศ สำหรับ งานที่อาจจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ สำหรับทางการแพทย์ได้มีการนำหุ่นยนต์มาใช้เพื่อช่วยในการผ่าตัด

หุ่นยนต์ผ่าตัดได้มีการเริ่มนำมาใช้ในการแพทย์ในปี ค.ศ. 1985 ชื่อ PUMA โดยใช้ในการเจาะชิ้นเนื้อสมอง ต่อมาปี ค.ศ. 1988 ดร.นาธาน จากมหาวิทยาลัยอิมพีเรียล แห่งลอนดอน ได้พัฒนาหุ่นยนต์ที่ชื่อว่า Probot มาช่วยในการผ่าตัดผู้ป่วยต่อมลูกหมากโต หลังจากนั้นก็มี การ พัฒนา หุ่นยนต์ผ่าตัดมาอย่างต่อเนื่อง (Longmore et al., 2020)



รูปที่ 2.2 หุ่นยนต์ผ่าตัด

ที่มา: Longmore et al., 2020

การผ่าตัดโดยใช้หุ่นยนต์นั้น ได้มีการพัฒนามาเป็นลำดับ โดยใน ระยะแรกๆ ของการศึกษาทดลอง ได้มีการผ่าตัดโดยการบังคับหุ่นยนต์ข้าม ทวีป (Tele Robotic) ซึ่งประเทศไทยได้เป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาครั้งนั้น ด้วย โดยการทำงานผ่าน “หน่วยศัลยศาสตร์ระบบปัสสาวะ” ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ร่วมกับ John Hopkins Medical School ในปี 2540 ด้วยการดำเนินการโดยสั่งการผ่าตัดระยะไกลข้ามทวีป ระหว่างอเมริกาและประเทศไทย แต่หุ่นยนต์ผ่าตัดในช่วงแรกของ การพัฒนานั้น ใช้ระบบเสียงในการสั่งการ ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่ การจดจำ เสียงของศัลยแพทย์ (Brassetti et al., 2023)



รูปที่ 2.3 พัฒนาการด้านหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

ที่มา: Brassetti et al., 2023

การผ่าตัดที่มีหุ่นยนต์ช่วย ทำให้การผ่าตัดสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น หุ่นยนต์ผ่าตัด (Robotic Surgery) ในรุ่นแรกๆนั้น จะมีเพียงแค่ แขนกลบังคับกล้อง เพื่อช่วยการมองเห็นในการผ่าตัด รุ่นต่อมาจะมีทั้ง แขนกล้อง และ แขนที่ทำงานคล้ายมือของคน ที่มีขนาดเล็กเพิ่มขึ้นมา ซึ่งจะช่วยให้การผ่าตัดมีความละเอียดมากขึ้น จนถึงรุ่นปัจจุบัน ได้มี การพัฒนา การมองเห็นเป็นแบบ 3 มิติ และ ความละเอียดสูง (High Definition : HD) ทั้งยังสามารถ ทำการผ่าตัดไปพร้อมกับศัลยแพทย์ ผู้ช่วยได้ โดยจะมี คัมบังคับ สำหรับแพทย์ 2 คน สามารถช่วยกันทำ ผ่าตัด การมองเห็นภาพ เป็นแบบ ความละเอียดสูง 3 มิติ (3D High definition : 3D HD) และมีกำลังขยาย 10 เท่า ทำให้การผ่าตัด มีความแม่นยำขึ้นอย่างมาก ต่างจากการทำผ่าตัด โดยเครื่องรุ่นก่อน หรือการทำผ่าตัดส่องกล้อง (Laparoscopic Surgery) แบบไม่ใช้หุ่นยนต์ ทำให้ผู้ป่วยได้รับประโยชน์อย่างมากในการผ่าตัด โดยเฉพาะ การผ่าตัดในที่แคบ ๆ และจะมีการเสียเลือดน้อยกว่า เนื่องจากมีความแม่นยำที่สูงยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังมีความเจ็บและความบอบซ้ำของแผลผ่าตัดน้อยกว่า (Brassetti et al., 2023)

การใช้หุ่นยนต์ผ่าตัด (Robotic Surgery) สามารถใช้ได้หลากหลายสาขาในทางการแพทย์ที่ต้องผ่าตัด โดยสาขาที่พิสูจน์แล้วว่า จะ ได้ประโยชน์สูงจากการใช้หุ่นยนต์ผ่าตัด มีดังต่อไปนี้

- 1) สาขาศัลยศาสตร์ระบบทางเดินปัสสาวะ (Urology Surgery)
- 2) สาขาศัลยศาสตร์ทั่วไป (General Surgery)
- 3) สาขาศัลยศาสตร์ลำไส้ใหญ่และทวารหนัก (Colorectal Surgery)
- 4) สาขาศัลยศาสตร์ทรวงอก (Cardio-thoracic Surgery)
- 5) สาขานรีเวช (Gyn. Surgery)

2.1.2 หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci

Da Vinci เป็นระบบหุ่นยนต์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อการผ่าตัดแบบส่องกล้อง หรือ Minimal Invasive Surgery (MIS) ซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีในการผ่าตัดสมัยใหม่ แต่การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดยังคงต้องใช้ศัลยแพทย์หรือศัลยแพทย์ผ่าตัดเป็นผู้ดำเนินการผ่าตัด เพียงแต่ต้องเป็นศัลยแพทย์ที่เชี่ยวชาญการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์จึงสามารถทำได้ โดยมีศัลยแพทย์ผู้ช่วยทำหน้าที่ช่วยส่งเครื่องมือหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ ซึ่งขั้นตอนคล้ายกับการผ่าตัดทั่วไป คือหลังจาก ผู้ป่วยได้รับยาดมสลบแล้ว ศัลยแพทย์จะเป็นผู้นำเครื่องมืออุปกรณ์หุ่นยนต์จะเข้าไปในร่างกายที่จะทำการผ่าตัด และทำการจัดทำทางและตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เหมาะสม หลังจากนั้นจะมากวคุมหุ่นยนต์

เพื่อทำการผ่าตัด ซึ่งการใช้หุ่นยนต์เป็นเพียงแค่อุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ช่วยทำการผ่าตัดเท่านั้น (Da Vinci Robot, n.d.)



รูปที่ 2.4 หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci
ที่มา: Da Vinci Robot, n.d.

หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดระบบนี้ผลิตโดยบริษัท Intuitive Surgical สหรัฐอเมริกา หลังจากพัฒนาและผ่านการอนุญาตจาก FDA ในปี ค.ศ. 1998 และมีการเริ่มวางจำหน่ายในปี ค.ศ. 1999 เป็นต้นมา จนถึงปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดแบบ 4 แขนมาถึง 5 รุ่น (Brassetti et al., 2023)



รูปที่ 2.5 ลำดับการพัฒนาหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci
ที่มา: Brassetti et al., 2023

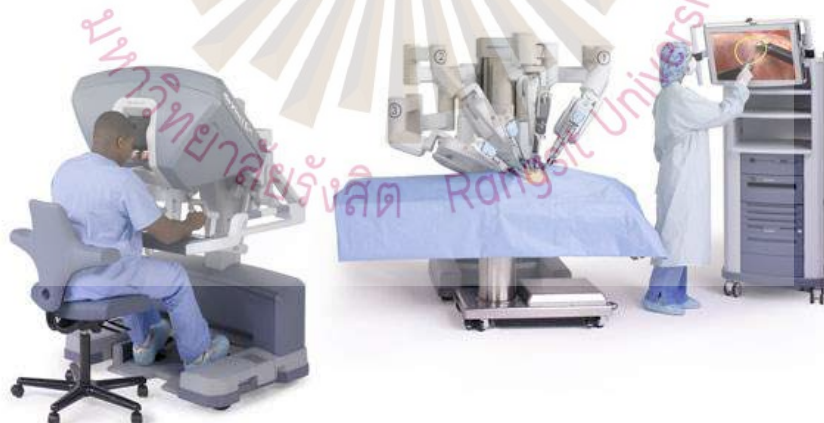
และในปี ค.ศ. 2018 บริษัทผู้ผลิตหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดระบบนี้ได้นำหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci แบบ แขนเดียวออกวางจำหน่าย



รูปที่ 2.6 หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci แบบ Single Port

ที่มา: Intuitive, n.d.

2.1.2.1 ระบบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci



รูปที่ 2.7 รูปแสดงส่วนประกอบทั้งหมดของ Da Vinci Surgical System

ที่มา: Intuitive, n.d.

ระบบของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้



รูปที่ 2.8 รูปแสดงส่วนควบคุมการผ่าตัด (Surgeon Console)

ที่มา: Intuitive, n.d.

1) ส่วนควบคุมการผ่าตัด (Surgeon Console) เป็นตำแหน่งที่ศัลยแพทย์จะทำการนั่งควบคุมหุ่นยนต์ผ่าตัดผ่านจอ 3 มิติ ศัลยแพทย์จะทำการควบคุมการทำงานของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด โดยใช้ทั้งสองมือควบคุมการเคลื่อนไหวตัวควบคุมหลักเหมือนการผ่าตัดปกติ ซึ่งตัวระบบจะทำการส่งสัญญาณการเคลื่อนไหวจากการควบคุมของศัลยแพทย์ไปยังแขนกลของหุ่นยนต์เพื่อทำการผ่าตัดภายในร่างกายของผู้ป่วย โดยการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของศัลยแพทย์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้ (Intuitive, n.d.)

(1) ส่วนควบคุมหลัก (Master Controller) เป็นส่วนควบคุมหลักที่เอาไว้ควบคุมการผ่าตัดด้วยแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci โดยศัลยแพทย์เป็นผู้ควบคุม

(2) ส่วนควบคุมด้วยเท้า (Footswitch Interface) เป็นส่วนที่ควบคุมการขยับของกล้องที่สอดเข้าไปในตัวผู้ป่วย และยังสามารัใช้ปรับโฟกัสของกล้องได้อีกด้วย



รูปที่ 2.9 รูปแสดงหุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้ (Patient Cart)

ที่มา: Intuitive, n.d.

2) หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้ (Patient Cart) ดังรูปที่ 2.9 เปรียบเสมือนแขนของ ศัลยแพทย์ แขนของหุ่นยนต์ทั้ง 4 แขนจะทำการผ่าตัดเลียนแบบการเคลื่อนไหวของมือศัลยแพทย์ ซึ่งหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci มีข้อมือกลที่สามารถหมุนและโค้งงอได้ โดยการเคลื่อนไหวของ เครื่องมือหุ่นยนต์ทำได้คล้ายกับมือของมนุษย์ แต่ได้รับการพัฒนาให้ลดข้อจำกัดของข้อมือมนุษย์ คือ สามารถหักงอข้อมือและหมุนข้อมือได้อย่างอิสระถึง 7 ตำแหน่ง ทำให้เครื่องมือสามารถเข้าไป ผ่าตัดในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด หรือช่องผ่าตัดที่เล็ก ๆ ได้อย่างแม่นยำและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดย หน้าที่ของแต่ละแขน มีดังนี้ (Intuitive, n.d.)

(1) แขนที่ 1 ใช้ในการถือกล้องขยายภาพ 3 มิติ เพื่อส่งสัญญาณภาพ อวัยวะที่ต้องผ่าตัดไปยังหน้าจอ

(2) แขนที่ 2 ใช้ในการผ่าตัด ผูก ตลอดจนเย็บเนื้อเยื่อ

(3) แขนที่ 3 ใช้ในการผ่าตัด ผูก ตลอดจนเย็บเนื้อเยื่อ

(4) แขนที่ 4 ทำหน้าที่ดึงรั้งเนื้อเยื่อ เพื่อช่วยในการผ่าตัด



รูปที่ 2.10 รูปแสดงระบบควบคุมภาพ (Vision Cart)

ที่มา: Intuitive, n.d.

3) ระบบควบคุมภาพ (Vision Cart หรือ Computer Control Tower) ทำงาน เป็นเสมือนตาให้กับแพทย์ช่วยผ่าตัดและพยาบาล เพราะเป็นส่วนที่ แปลงสัญญาณภาพการผ่าตัดจาก กล้องภายในตัวผู้ป่วย ซึ่งระบบส่วนนี้มีความสำคัญมากเพราะจะช่วยควบคุม วิเคราะห์ และกรอง ข้อมูลสัญญาณไปมาระหว่างหุ่นยนต์กับศัลยแพทย์

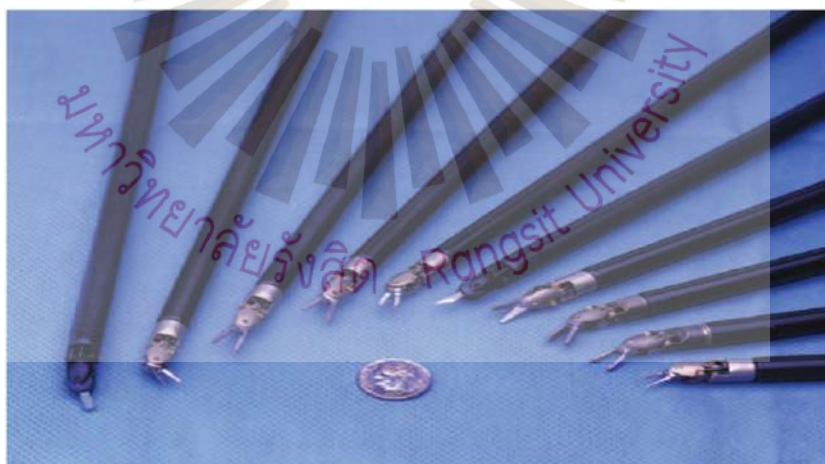
2.1.3 เครื่องมือส่วนปลาย (End-Effector Instruments)



รูปที่ 2.11 กลุ่มอุปกรณ์ส่วนปลาย Da Vinci Surgical System

ที่มา: Intuitive, n.d.

อุปกรณ์ส่วนปลายคืออุปกรณ์ขนาดเล็ก เป็นส่วนที่ติดอยู่กับปลายแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด จะมีด้วยกันหลายประเภทโดยจะมีด้วยกัน 2 ขนาด คือ ขนาด 5 มิลลิเมตร และ ขนาด 8 มิลลิเมตร (Intuitive, n.d.)

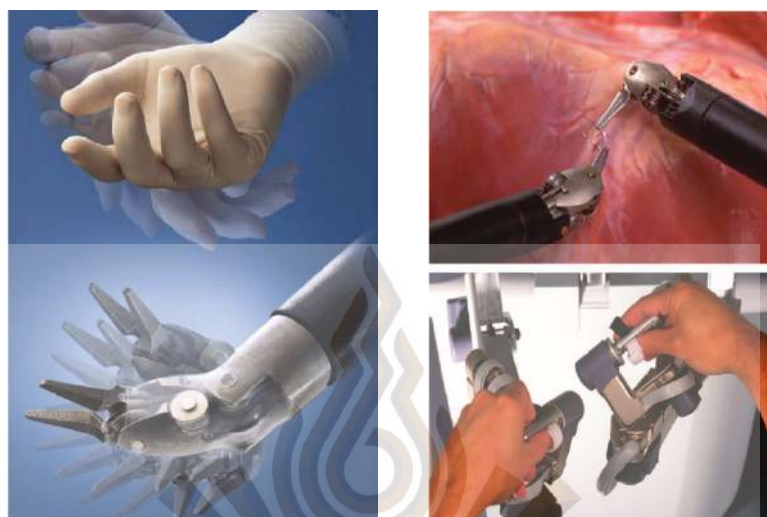


รูปที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบขนาดอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือกับเหรียญ

ที่มา: Liang, Du, Wang, & Sun, 2017

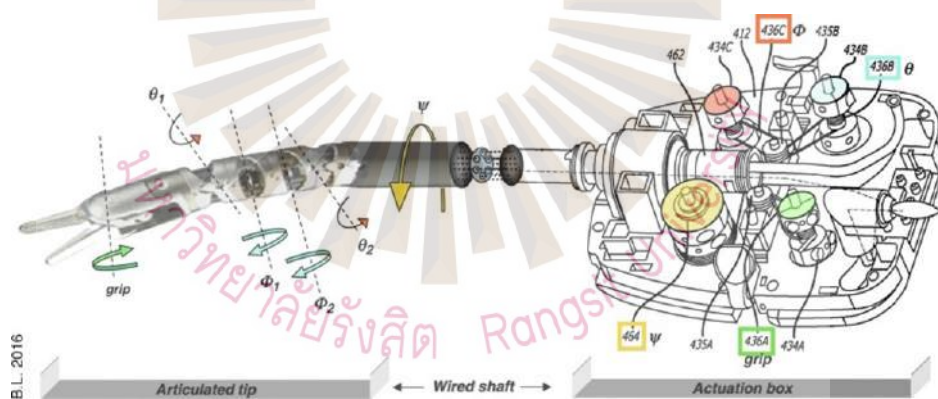
ทำให้การผ่าตัดไม่ต้องเปิดแผลขนาดใหญ่ และทำให้สามารถเข้าถึงบริเวณที่แคบและลึกได้ดี โดยชุดเครื่องมือนี้มีวัตถุประสงค์เฉพาะ สำหรับขั้นตอนการใช้งานก็ทำหน้าที่แตกต่างกันไป

โดยอุปกรณ์ส่วนปลายนี้จะถูกควบคุมจากศัลยแพทย์ด้วยชุดควบคุมผ่านระบบควบคุมไปยังปลายแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด (Liang et al, 2017)



รูปที่ 2.13 แสดงการควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ

ที่มา: Liang et al, 2017



รูปที่ 2.14 รูปแสดงส่วนประกอบของตัวควบคุมส่วนปลายเครื่องมือ

ที่มา: Intuitive, n.d.

การควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือจากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าจะถูกควบคุมด้วยสายสลิงจากรอก 4 ตัว ภายในกล่องชุดควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ ซึ่งจะมีรูปแบบการทำงานดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงรูปแบบการควบคุมอุปกรณ์ด้วยปลายเครื่องมือ

ที่มา: Liang et al, 2017

2.1.4 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวในทางวิศวกรรมเป็นการควบคุมการขับเคลื่อน (Servomechanism) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมมอเตอร์หรือระบบขับเคลื่อนต่าง ๆ ด้วยการตรวจสอบสัญญาณจากระบบขับเคลื่อนและปรับค่าให้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้อย่างต่อเนื่อง โดยปกติระบบ เซอร์โว จะตรวจสอบข้อผิดพลาดจากสัญญาณป้อนกลับเช่น ตำแหน่งทางกล ความเร็วหรือค่าผิดพลาดอื่น ๆ (Siam-Automation, n.d.)

เทคโนโลยีเซอร์โว (Servo Technology) เป็นระบบควบคุมรูปแบบหนึ่งที่ใช้สำหรับควบคุมตำแหน่ง ความเร็ว และแรงบิดของมอเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องมือควบคุม (Servo Drive or Amplifier), เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) และอุปกรณ์ตอบกลับ (Feedback Device) เช่น เอ็นโคเดอร์ (Encoder) เพื่อให้ระบบสามารถควบคุมมอเตอร์ให้หมุนตามที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและมีความเสถียรภาพ

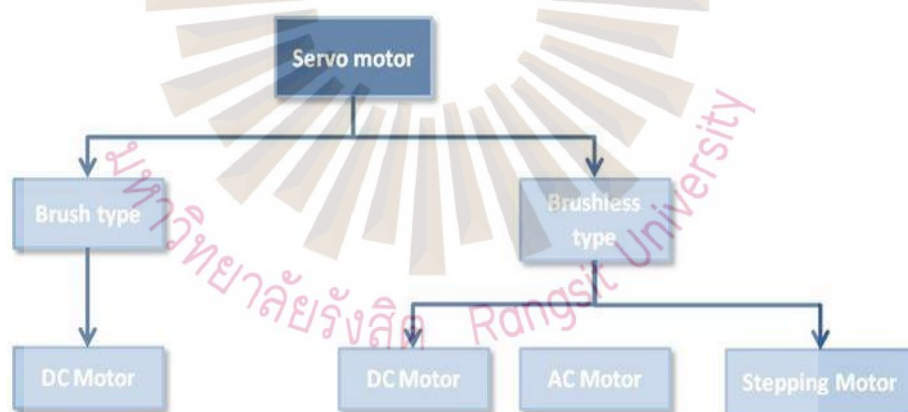
เซอร์โวมอเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลนั่นคือการหมุน ที่สามารถควบคุมได้ ไม่ว่าจะเป็น ระยะเวลา หมุน การหมุนโดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเครื่องจักรกล หรือระบบการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามความต้องการ เช่น ควบคุมความเร็ว (Speed), ควบคุมแรงบิด (Torque), ควบคุมตำแหน่ง

(Position), ระยะทางในการเคลื่อนที่(หมุน) (Position Control) ของตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งมอเตอร์ทั่วไปไม่สามารถควบคุมระยะเบื้องต้นได้ โดยให้ผลลัพธ์ความต้องการที่มีความแม่นยำสูง ขนาดของมอเตอร์จะมีหน่วยในการบอกขนาดเป็นวัตต์ (Watt)

เซอร์โวมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีความแม่นยำสูงและสามารถหมุนตามสัญญาณนำเข้าที่ได้รับจากเครื่องมือควบคุมได้อย่างแม่นยำ อุปกรณ์ตอบกลับจะวัดตำแหน่งจริงของมอเตอร์และส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องมือควบคุมเพื่อปรับตำแหน่ง ความเร็ว หรือแรงบิดของมอเตอร์ให้ตรงกับเอาต์พุตที่ต้องการ

2.1.4.1 ประเภทเซอร์โวมอเตอร์

ประเภทของเซอร์โวมอเตอร์โดยทั่วไปมีทั้ง DC และ AC Servo ในเครื่องจักรรุ่นเก่า ๆ จะพบว่าจะใช้ DC Servo Motor มากกว่า AC Servo Motor เนื่องจากในอดีตการควบคุมกระแสสูงๆนั้นจะต้องใช้ SCRs แต่ปัจจุบันทรานซิสเตอร์ได้พัฒนาขีดความสามารถให้ตัดต่อกระแสสูงและใช้งานความถี่ได้สูง ๆ ขึ้น จึงทำให้ระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์และระบบเซอร์โวได้ถูกนำมาใช้งานมากขึ้น ซึ่งสามารถแยกประเภทของเซอร์โวมอเตอร์ได้ดังนี้ (Siam-Automation, n.d.)



รูปที่ 2.16 แสดงประเภทของ Servo Motor

ที่มา: Siam-Automation, n.d.

1) มอเตอร์ชนิดที่มีแปรงถ่าน (Brush Type)

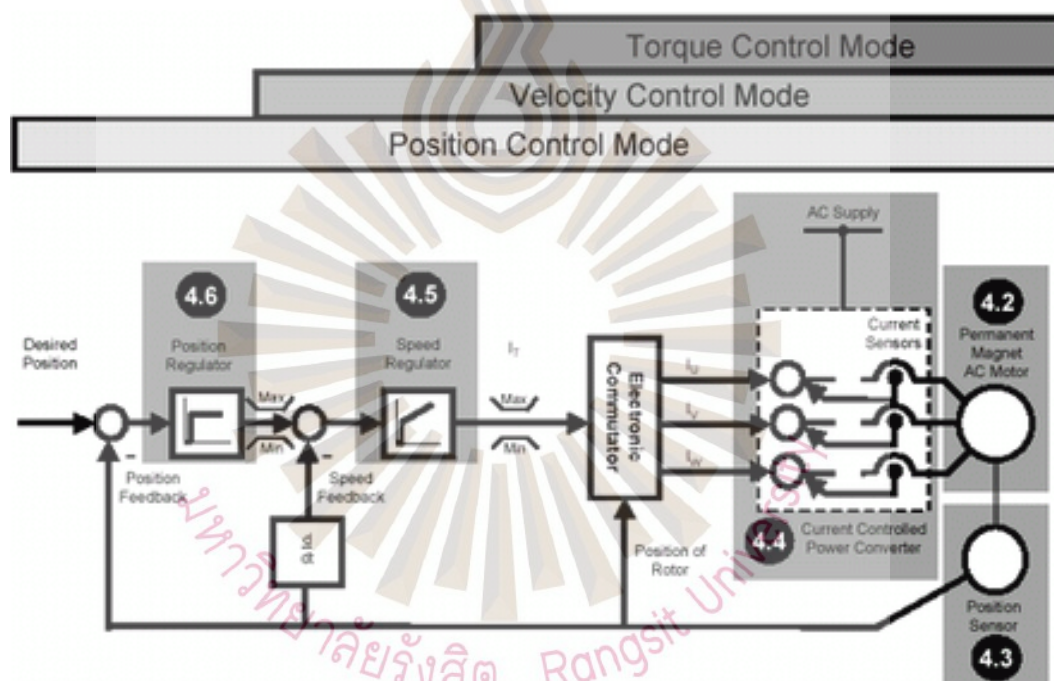
เซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้ที่สเตรเตอร์จะเป็นแม่เหล็กถาวรส่วนโรเตอร์ยังใช้แปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ เรียงกระแสเข้าสู่คลาวดอาร์เมเจอร์เหมือนกับคีมอเตอร์ทั่วไป

2) มอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่าน (Brushless Type)

เซอร์โวมอเตอร์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย DC Servo (Brushless), AC Servo ซึ่งมีทั้งแบบซิงโครนัสเซอร์และอะซิงโครนัสเซอร์ (การนำเอา Induction Motor เข้ามาใช้เป็นระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์) และ Stepping Servo motor

2.1.4.2 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โว

ลักษณะของการควบคุมเซอร์โวจะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed Loop Control) ซึ่งประกอบด้วยโหมดการควบคุม 3 โหมด คือ โหมดการควบคุมแรงบิด (Torque Control Mode) ซึ่งอยู่ช่วงรอบหรือลูบสุด โหมดการควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control Mode) และ โหมดการควบคุมตำแหน่ง (Position Control Mode) ซึ่งอยู่ลูบด้านนอกสุด โดยมีองค์ประกอบสำคัญดังรูป



รูปที่ 2.17 รูปแสดงโครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โว

ที่มา: Siam-Automation, n.d.

- 1) เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) (ตำแหน่ง 4.2)
- 2) ชุดควบคุมการขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Drive, Servo Amplifier หรือบ้างก็เรียกว่า Servo Controller) (ตำแหน่ง 4.4, 4.5, 4.6)
- 3) อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device เช่น Speed Encoder และ Position Sensor) (ตำแหน่ง 4.3) (Siam-Automation, n.d.)

2.1.5 RC Servo Motor

เซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นดีซีเซอร์โวมอเตอร์ขนาดเล็ก (Gobilda, n.d.)



รูปที่ 2.18 เซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย
ที่มา: Gobilda, n.d.

2.1.5.1 ชนิดของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

เซอร์โวมอเตอร์ 180 องศา

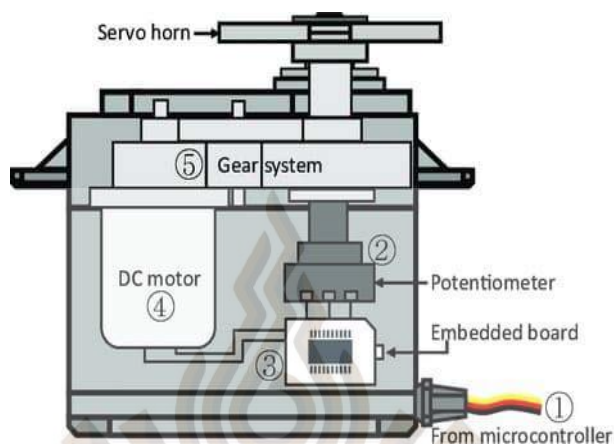
เป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่นิยมใช้งานทั่วไป มีหลายรุ่น หลายขนาด และหลายราคา สามารถควบคุมให้หมุนได้ตามองศาที่ต้องการ โดยหมุนได้ 0 ถึง 180 องศา (ในบางรุ่นหมุนได้สุดที่ประมาณ 200 องศา)

เซอร์โวมอเตอร์ 360 องศา

เป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่ส่วนใหญ่ดัดแปลงมาจากแบบ 180 องศา โดยดัดแปลงวงจรควบคุม และตัดแกนหรือนำเอาวาล์วออกมา เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์สามารถหมุนได้ครบรอบ เซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้ไม่สามารถควบคุมองศาได้ ควบคุมได้แค่ความเร็ว และทิศทางการหมุนเท่านั้น นิยมนำมาใช้เป็นมอเตอร์สำหรับรถบังคับ รถวิ่งตามเส้น เพราะอาศัยชุดเฟืองที่เซอร์โวมอเตอร์มีอยู่แล้ว ทำให้ได้แรงบิดที่มากกว่ามอเตอร์กระแสตรงปกติ รวมทั้งการควบคุมยังไม่ต้องใช้วงจรขับมอเตอร์แยก ทำให้ลดความยุ่งยากในการต่อวงจรไปได้มาก รวมทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย

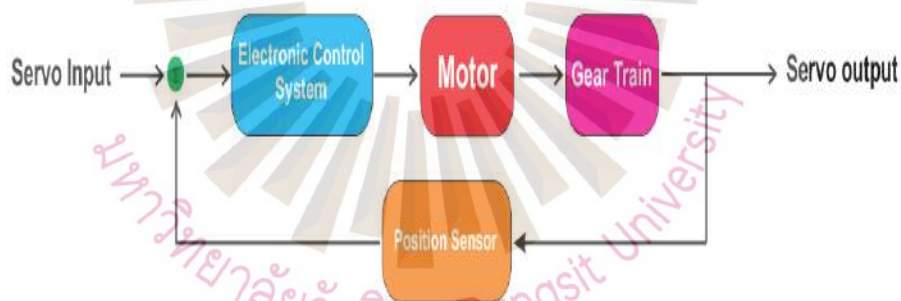
เซอร์โวมอเตอร์ชื่อรุ่นเดียวกัน แต่อาจจะมีทั้งชนิด 180 องศา และ 360 องศา จำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากในการเลือกซื้อ (Gobilda, n.d.)

ซึ่งโครงสร้างภายใน เซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก คือ มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ชุดเฟืองทดรอบ (Gear System) ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Potentiometer หรือ VR) สายสัญญาณและวงจรควบคุม (Control Electronics) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.19 โครงสร้างภายใน เซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ที่มา: Howtomechatronics, n.d.



รูปที่ 2.20 Block Diagram เซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้

ที่มา: Servo Motor Basics with Arduino, n.d.

2.1.5.2 การเลือกใช้งานเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์(ส่วนใหญ่)ใช้แรงดันไฟฟ้า 5V และมีองศาการหมุนที่ 0 ถึง ประมาณ 200 องศา (ยกเว้นมีการดัดแปลงให้หมุน 360 องศา) นอกจากนี้ 2 ขั้วนี้ที่เซอร์โวมอเตอร์ทุกรุ่นมีเหมือนกัน ยังมีอีก 4 ขั้วที่เซอร์โวมอเตอร์แต่ละรุ่นมีไม่เหมือนกัน

แรงบิด (Torque) - เป็นเลขบอกกำลังของเซอร์โวมอเตอร์ ยิ่งตัวเลขนี้มีค่ามาก แสดงว่าเซอร์โวมอเตอร์มีแรงมาก (Howtomechatronics, n.d.)

ความเร็วในการหมุน (Speed) - เป็นตัวเลขที่บอกว่าเซอร์โวมอเตอร์สามารถเปลี่ยนตำแหน่งได้เร็วแค่ไหน ยิ่งตัวเลขมีค่ามาก แสดงว่าเซอร์โวมอเตอร์มีความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งที่เร็วมาก

วัสดุที่ใช้ทำแกนหมุน - วัสดุที่ใช้ทำแกนหมุนของเซอร์โวมอเตอร์มี 2 ชนิด คือ พลาสติก และเหล็ก สำหรับแกนหมุนพลาสติกเมื่อใช้งานเซอร์โวมอเตอร์อย่างหนักเป็นเวลานาน จะทำให้เฟืองของเซอร์โวมอเตอร์ครูด ดังนั้นหากนำเซอร์โวมอเตอร์ไปใช้งานหนักเป็นเวลานาน จึงควรเลือกแกนเหล็ก เพราะแกนเหล็กมีโอกาสที่เฟืองจะครูดได้น้อยกว่า

ขนาดของแกนหมุน - เซอร์โวมอเตอร์แต่ละรุ่นจะมีขนาดของแกนหมุนที่ต่างกัน ตามแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละรุ่น (Servo Motor Basics with Arduino, n.d.)

2.1.5.3 การใช้งานเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์มีสาย 3 เส้น ประกอบด้วย

Signal (สีส้ม หรือ สีขาว) - สายสัญญาณควบคุมการหมุนแบบ PWM

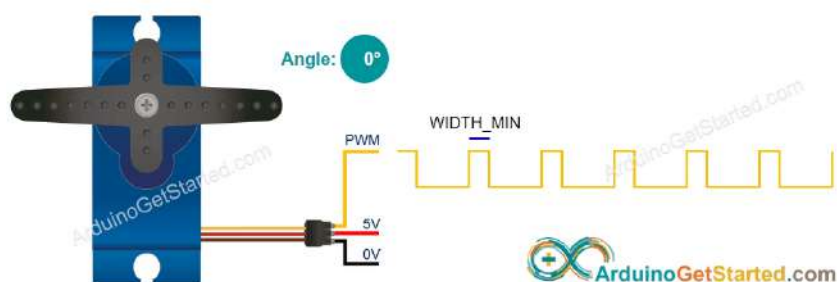
VCC (สีแดง) - สายสำหรับจ่ายไฟบวก 5V

GND (สีน้ำตาล หรือ สีดำ) - สายสำหรับจ่ายไฟลบ หรือกราวด์ (GND)

การควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะทำได้ที่สาย Signal โดยป้อนสัญญาณ PWM ความถี่ 50Hz เข้าไป โดยมีความกว้างพัลส์บวกที่ 0.5ms (ค่าต่ำสุด) ถึง 2.5ms (ค่าสูงสุด) หรือ 1ms (ค่าต่ำสุด) ถึง 2ms (ค่าสูงสุด) ตามแต่รุ่นของเซอร์โวมอเตอร์ โดยหากป้อนสัญญาณ PWM ที่มี ความกว้างช่วงบวกเข้าไปเท่าค่าต่ำสุด เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่ 0 องศา หากป้อนสัญญาณ PWM เข้าไปเท่าค่าสูงสุด เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่ 180 องศา (Howtomechatronics, n.d.)

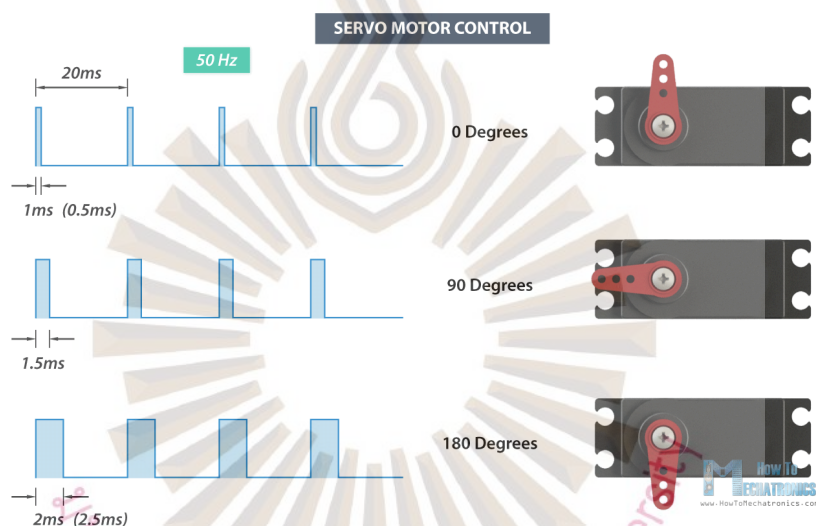
2.1.5.4 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เมื่อจ่ายสัญญาณพัลส์เข้ามาที่เซอร์โวมอเตอร์ ในส่วนวงจรควบคุมภายในจะทำการอ่านและประมวลผลค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ส่งเข้ามาเพื่อแปลงค่าเป็นตำแหน่งองศาที่ต้องการให้มอเตอร์ หมุนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ แล้วส่งคำสั่งไปทำการควบคุมให้มอเตอร์ หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีเซนเซอร์บอกตำแหน่งเป็นตัวป้อนกลับค่ามุมที่แกนหมุนไป ส่งกลับมาให้วงจรควบคุมเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าอินพุตที่ป้อนเข้า เพื่อควบคุมให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการอย่างถูกต้องแม่นยำ (Servo Motor Basics with Arduino, n.d.)



รูปที่ 2.21 แสดงวิธีการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ที่มา: Arduinogetstarted, n.d.



รูปที่ 2.22 แสดงสัญญาณการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ที่มา: Howtomechatronics, n.d.

ยกตัวอย่างเช่นหากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ไว้ที่ 1 ms ตัว Servo Motor จะหมุนไปทางซ้ายสุด ในทางกลับกันหากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ไว้ที่ 2 ms ตัว Servo Motor จะหมุนไปยังตำแหน่งขวาสุด แต่หากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลส์ไว้ที่ 1.5 ms ตัว Servo Motor ก็จะหมุนมาอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางพอดี

ดังนั้นสามารถกำหนดองศาการหมุนของ Servo Motor ได้โดยการเทียบค่า เช่น Servo Motor สามารถหมุนได้ 180 องศา โดยที่ 0 องศาใช้ความกว้างพัลส์เท่ากับ 1000 us ที่ 180 องศา ความกว้างพัลส์เท่ากับ 2000 us เพราะฉะนั้นค่าที่เปลี่ยนไป 1 องศาจะใช้ความกว้างพัลส์ต่างกัน $(2000-1000)/180$ เท่ากับ 5.55 us

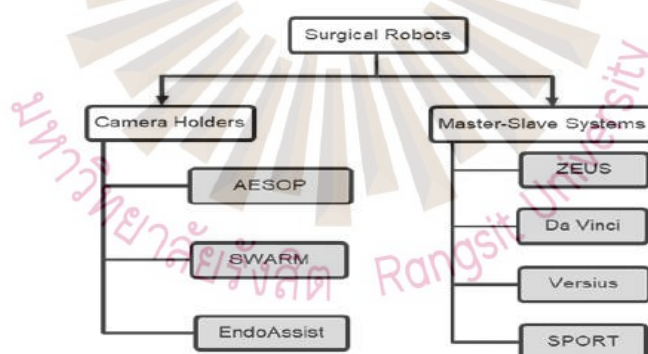
จากการหาความกว้างพัลส์ที่มุม 1 องศาข้างต้น หากต้องกำหนดให้ Servo Motor หมุนไปที่มุม 45 องศาจะหาค่าพัลส์ที่ต้องการได้จาก 5.55×45 เท่ากับ 249.75 us แต่ที่มุม 0 องศาเราเริ่มที่ความกว้างพัลส์ 1ms หรือ 1000 us เพราะฉะนั้นความกว้างพัลส์ที่ใช้กำหนดให้ Servo Motor หมุนไปที่ 45 องศา คือ $1000 + 249.75$ เท่ากับประมาณ 1250 us (Howtomechatronics, n.d.)

การหาความกว้างช่วงบวกของสัญญาณ PWM จากค่าองศา สามารถหาได้จากสูตร

$$\text{ความกว้างพัลส์บวก} = \frac{\text{ค่าสูงสุด} - \text{ค่าต่ำสุด}}{180} \times \text{องศาที่ต้องการ} + \text{ค่าต่ำสุด} \quad (2-1)$$

2.2 ทบทวนวรรณกรรม

ในปี 2019 ทบทวนเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบหุ่นยนต์ในการผ่าตัดผ่านกล้อง (A Comparative Study of Robots in Laparoscopic Surgeries) บทความนี้เน้นการทบทวนระบบการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ต่างๆ โดยบทความจะกล่าวถึงการเปรียบเทียบโดยละเอียดของระบบหุ่นยนต์ที่ใช้บ่อยที่สุด ตลอดจนการใช้งานและผลกระทบด้านต้นทุน (Kumar & Ravi, 2019)



รูปที่ 2.23 แสดงการจำแนกประเภทของหุ่นยนต์ผ่าตัด

ที่มา: Kumar & Ravi, 2019

ในปี 2020 ทบทวนเรื่อง การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ส่องกล้อง: มุมมองปัจจุบัน และทิศทางในอนาคต (Laparoscopic Robotic Surgery: Current Perspective and Future Directions) บทความนี้ได้ทบทวนระบบการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์เชิงพาณิชย์และต้นแบบใหม่ในตลาด วิเคราะห์ประสิทธิภาพและเปรียบเทียบเทคโนโลยีที่ใช้ และให้มุมมอง วิเคราะห์ทิศทางของการใช้งานในอนาคต (Longmore et al., 2020)

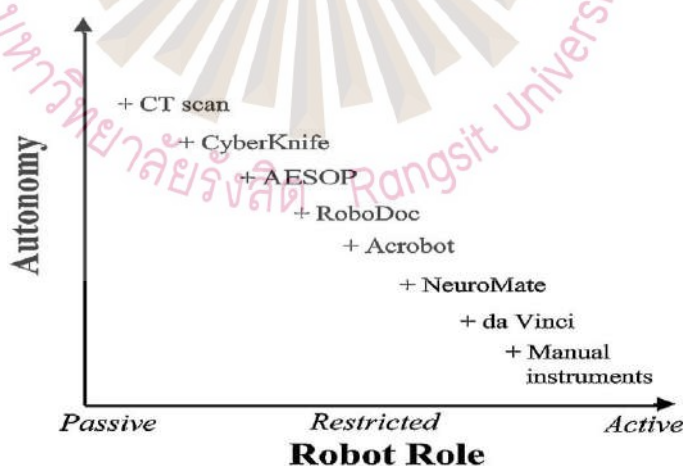


(ก) (ข)
รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดแบบต่างๆ

(ก) Patient Carts (ข) Surgeons Consoles

ที่มา: Longmore et al., 2020

ในปี 2004 บทความเรื่อง เทคโนโลยีหุ่นยนต์ในการผ่าตัด: อดีต ปัจจุบัน และอนาคต (Robotic Technology in Surgery: Past, Present, and Future) บทความนี้ให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีหุ่นยนต์ทางการแพทย์ลำดับขั้นการพัฒนาการของหุ่นยนต์ผ่าตัด ทบทวนวิวัฒนาการของหุ่นยนต์ผ่าตัด และหารือเกี่ยวกับอนาคต โอกาสในการสร้างสรรค์นวัตกรรม การผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ แสดงให้เห็นประโยชน์ที่ชัดเจนบางประการ เทคโนโลยีและต้นทุน ที่เกี่ยวข้องในระยะยาว และในอนาคตหุ่นยนต์ผ่าตัดควรจะเป็นเช่นไร (Camarillo, Krummel, & Salisbury, 2004)

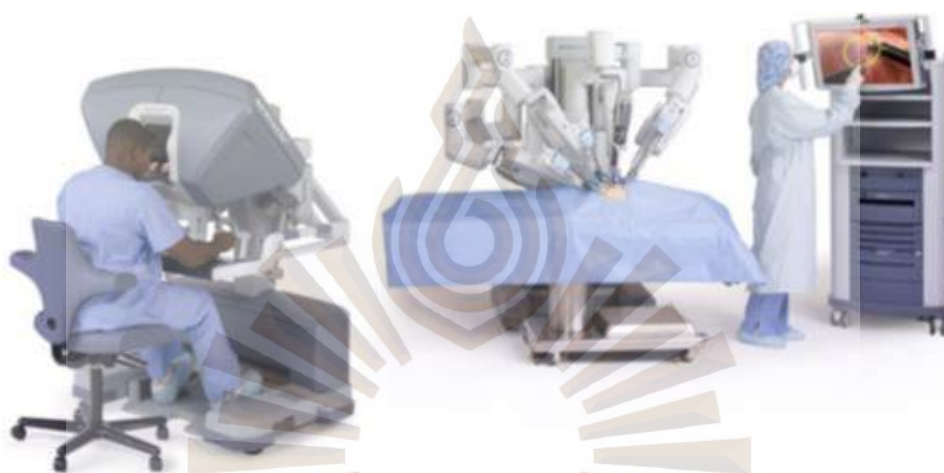


รูปที่ 2.25 แสดงลำดับขั้นการพัฒนาเทียบกับวิวัฒนาการของหุ่นยนต์ผ่าตัด

ที่มา: Camarillo et. al., 2004

ในปี 2012 บทความเรื่อง การทบทวน ข้อมูลทางเทคนิคของ หุ่นยนต์ผ่าตัดดาวินชี (Technical Review of The Da Vinci Surgical Telesystem) ในบทความนี้ได้ทบทวนเกี่ยวกับสิ่ง

ตีพิมพ์และสิทธิบัตรทั้งหมด เกี่ยวกับด้านเทคนิคของระบบหุ่นยนต์ดาวินชี โดยศึกษาบทความที่เผยแพร่เกี่ยวกับคุณสมบัติทางเทคโนโลยีของระบบหุ่นยนต์ดาวินชี โดยใช้ฐานข้อมูล PubMed และ ISI ฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์บนเว็บ <http://www.ncbi.nlm.nih.gov> และ <http://apps.isiknowledge.com> การค้นหารายละเอียดการออกแบบสิทธิบัตรที่ยื่น โดย Intuitive Surgical และสิ่งพิมพ์อื่น ๆ ที่ไม่ได้จัดทำดัชนีบนฐานข้อมูล ISIWeb หรือ PubMed (Freschi et al., 2013)



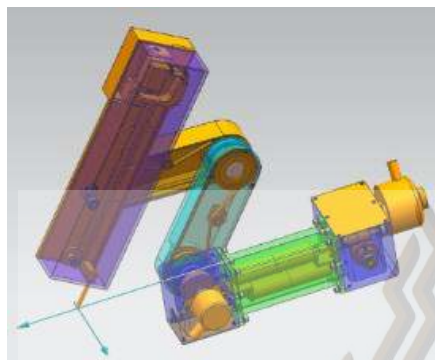
รูปที่ 2.26 แสดงระบบหุ่นยนต์ดาวินชี

ที่มา: Freschi et al., 2013

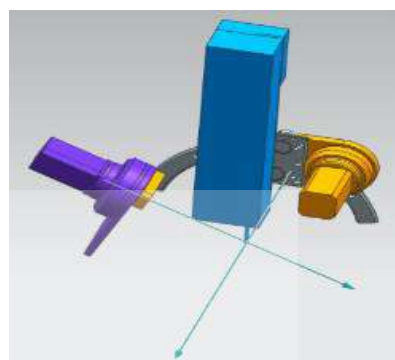
ในปี 2021 บทความเรื่อง กลยุทธ์การควบคุมแบบขดนิยมนที่ใช้ล่าสุดในหุ่นยนต์ผ่าตัด (Classical Control Strategies Used in Recent Surgical Robots) บทความนี้ชี้ให้เห็นข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับกลยุทธ์ระบบควบคุมต่างๆ เช่น การควบคุม PID, การควบคุมแบบจำลองการคาดการณ์ และการควบคุมโหมดเลื่อน พร้อมด้วยโครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุมหุ่นยนต์ผ่าตัดที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการใช้งานทางคลินิกของหุ่นยนต์ผ่าตัดในอนาคต มีการรายงานการประเมินที่ครอบคลุมโดยเน้นข้อจำกัดและช่องว่างของการออกแบบระบบควบคุมต่างๆ สำหรับการใช้งานในอนาคต (Freschi et al., 2013)

ในปี 2019 งานวิจัยเรื่อง การออกแบบและสร้างโครงสร้าง RCM ที่ใช้ในระบบหุ่นยนต์ผ่าตัด (Design and Fabrication of RCM Structure Used in Surgery Robot System) บทความนี้ออกแบบและพัฒนาโครงสร้างและการควบคุมระยะไกลในหุ่นยนต์ผ่าตัดแบบแผลเล็กโดยให้

ความสำคัญกับจุดอ้างอิง ของปลายเครื่องมือผ่าตัด ผู้วิจัยจึงได้สร้าง โครงสร้าง RCM ขึ้นมา สองแบบ (Guo et al., 2019)



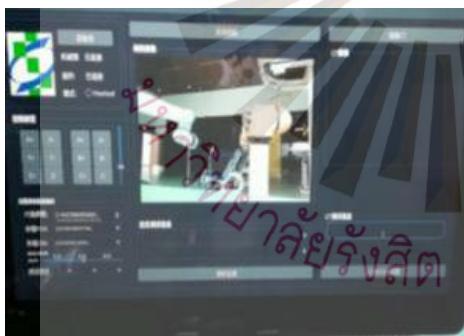
(ก)



(ข)

รูปที่ 2.27 (ก) โครงสร้าง RCM แบบ Double Parallelogram (ข) โครงสร้าง RCM แบบใช้รางไกด์
ที่มา: Guo et al., 2019

และได้ออกแบบระบบควบคุมผ่านระบบคอมพิวเตอร์แบบกระจายศูนย์ DCS



(ก)

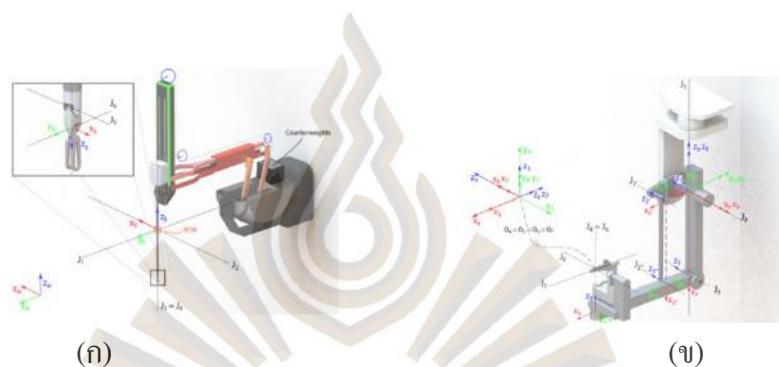


(ข)

รูปที่ 2.28 (ก) Master Control (ข) Software Operating System
ที่มา: Guo et al., 2019

ทำให้ศัลยแพทย์สามารถเข้าถึงระบบได้ทุกสถานที่และมีความปลอดภัยสูง สามารถพัฒนาระบบไปสู่การผ่าตัดด้วยระบบอัตโนมัติต่อไป

ในปี 2017 งานวิจัยเรื่อง การสร้างแบบจำลองและการระบุแขนหุ่นยนต์ของชุดวิจัยดา วินชี (Modelling and Identification Of The Da Vinci Research Kit Robotic Arms) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการระบุตัวตนของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดา วินชีแต่ละแกน ซึ่งเป็นการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้เข้าใจในพฤติกรรมและการออกแบบของหุ่นยนต์ การระบุตัวตนของหุ่นยนต์ในที่นี้หมายถึงกระบวนการที่ใช้เทคนิคต่าง ๆ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ หรือลักษณะทางกลในระบบหุ่นยนต์ ซึ่งส่งผลให้ผู้วิจัยและผู้พัฒนาทราบถึงลักษณะและพฤติกรรมทางกลของหุ่นยนต์ (Fontanelli, Ficuciello, Villani, & Siciliano, 2017)

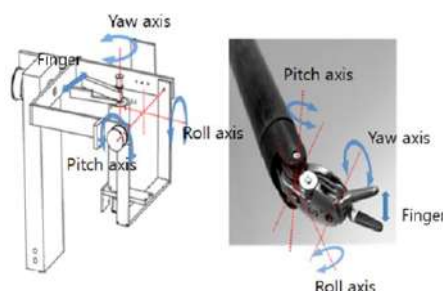


รูปที่ 2.29 (ก) Patient Side Manipulator (PSM) kinematics

(ข) Master tool Manipulator (MTM) kinematics

ที่มา: Fontanelli et al., 2017

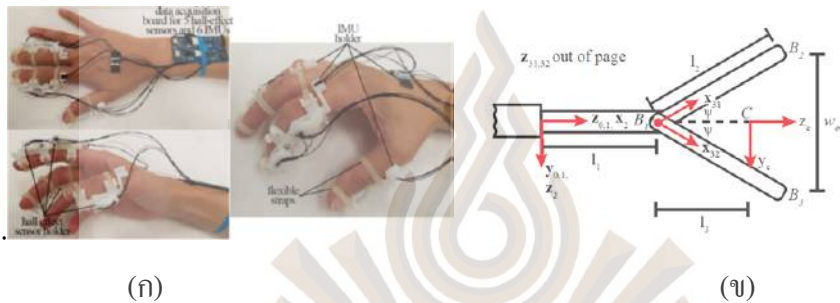
ในปี 2012 งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาอุปกรณ์หลักความเฉื่อยสำหรับการกำหนดค่าระบบสัมผัสของหุ่นยนต์ผ่าตัด (Development of Low-Inertia Master Device for Haptic System Configuration of Surgical Robot) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบ Master Tool ที่มีน้ำหนักเบา เพื่อควบคุมเครื่องมือผ่าตัดส่วนปลายเพื่อลดภาระน้ำหนักของข้อต่อ (Kang, Yoon, Lee, & Kim, 2012)



รูปที่ 2.30 Comparison Between Designed Handle And Endowrist Instrument Tip

ที่มา: Kang et al., 2012

ในปี 2019 งานวิจัยเรื่อง การควบคุมเครื่องมือผ่าตัด EndoWrist ของหุ่นยนต์ผ่าตัดดาวินชีที่ใช้ตัวควบคุมหลักการใหม่ (Control of A Da Vinci Endowrist Surgical Instrument Using A Novel Master Controller) งานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการควบคุมเครื่องมือส่วนปลายด้วย อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย เครื่องพิมพ์ 3 มิติ สวมใส่กับข้อมือ ควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ ด้วยการประมวลผลของ การติดตามดัชนีความห่างและการเคลื่อนไหวของนิ้วมือและข้อมือ (Guo et al., 2019)



รูปที่ 2.31 (ก) The Novel Master Wearable Exoskeleton

(ข) Frame Assignment and Geometric Parameters of Endowrist Instrument

ที่มา: Abeywardena, Psomopoulou, Sani, Tzemanaki, & Dogramadzi, 2020

ในปี 2016 งานวิจัยเรื่อง เครื่องมือประมาณค่า-แรงของเนื้อเยื่อ การใช้เครื่องมือหุ่นยนต์ผ่าตัดแบบ 3 แกน (Estimating Tool-Tissue Forces Using a 3-Degree-of-Freedom Robotic Surgical Tool) บทความนี้เสนอวิธีทางเลือกการตรวจสอบโดยการประมาณแรงอันตรกิริยาระหว่างเครื่องมือกับเนื้อเยื่อโดยใช้กระแสของมอเตอร์ขับเคลื่อน และตรวจสอบความถูกต้องของวิธีด้วยการประมาณค่าแรงแบบไร้เซนเซอร์

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\alpha}{\beta}$$

(2-2)

Decoupling Mechanism (Pulley Diameter Ratio)

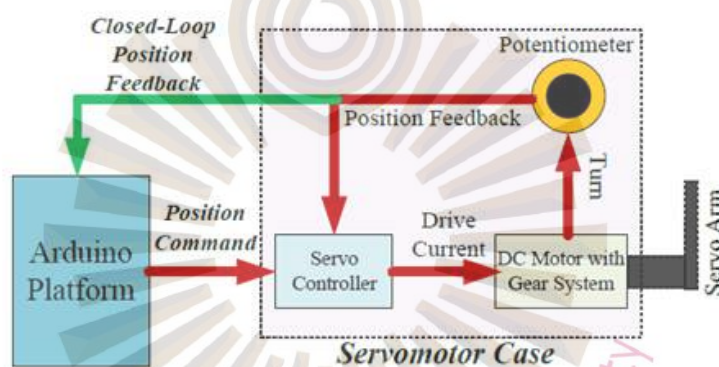
แรงบิดมอเตอร์ทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$T = (T_F + T_f) \frac{N_1}{N_2} + \left[J_1 + J_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \right] \ddot{\theta}$$

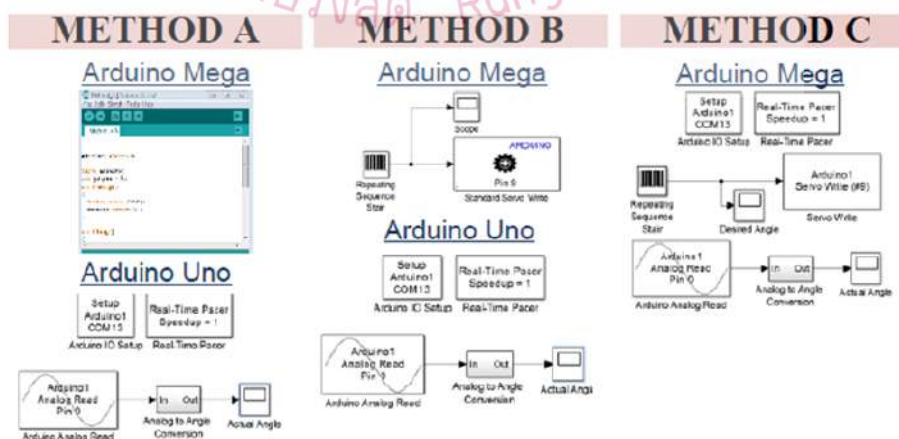
(2-3)

Sensorless Force Estimation

ในปี 2015 งานวิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบเกี่ยวกับวิธีการควบคุมตำแหน่งของ DC Servo Motor กับตำแหน่งป้อนกลับ โดยใช้ Arduino (A Comparative Study on the Position Control Method of DC Servo Motor with Position Feedback by using Arduino) บทความนี้นำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบเกี่ยวกับการควบคุมตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ ในแนวทางการควบคุมที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับระบบวงปิดด้วยเซอร์โวมอเตอร์เนื่องจากความยืดหยุ่นและความเรียบง่าย ในการควบคุมมอเตอร์ DC Servo มีวิธีการต่าง ๆ สามวิธีที่สามารถใช้งานได้โดยใช้ Arduino คือ Arduino Integrated Drive Electronics (IDE), Simulink (แพ็คเกจสับสแตนด์) และ Input/Output (IO) โดยใช้วิธีการข้างต้นเพื่อค้นหาเทคนิคที่ดีที่สุด (Sadun, Jalani, Sukor, & Pahat, 2015)



รูปที่ 2.32 The Block Diagram of DC Servo motor with Closed-Loop voltage Feedback
ที่มา: Sadun et al., 2015



รูปที่ 2.33 The Instructions and Simulink Blocks for Each Method
ที่มา: Sadun et al., 2015

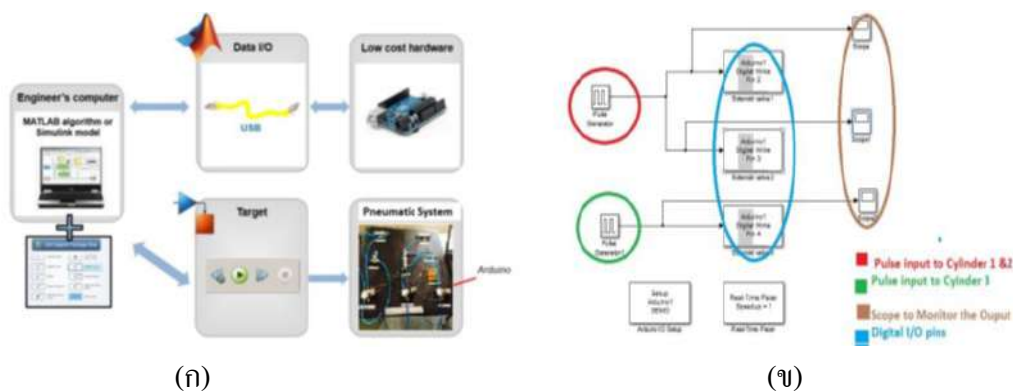
ในปี 2023 งานวิจัยเรื่อง การออกแบบการกำหนดตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์ผ่านแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์ Android ด้วย Arduino Nano 33 IoT บน Simulink (Design of Servo Motor Positioning Application for Android Phone with Arduino Nano 33 IoT on Simulink) บทความนี้นำเสนอแอปพลิเคชัน Wi-Fi ระหว่างโทรศัพท์ Android และ Arduino จากข้อมูลที่ส่งโดยโทรศัพท์ Android ผ่าน Wi-Fi ตำแหน่งของมอเตอร์เซอร์โว 3 ตัวจะถูกปรับด้วย Arduino Nano 33 IoT สำหรับการเขียนโปรแกรมของ Arduino และ โทรศัพท์ Android โดยใช้ Simulink Support Package สำหรับ Hardware Arduino และ Simulink Support Package สำหรับ Android ของ MATLAB ใช้ในกระบวนการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับ Arduino Nano 33 IoT และ โทรศัพท์ Android ตามลำดับ (Ilten, Demirtas, & Calgan, 2023)



รูปที่ 2.34 Block Diagram of The System

ที่มา: Ilten et al., 2023

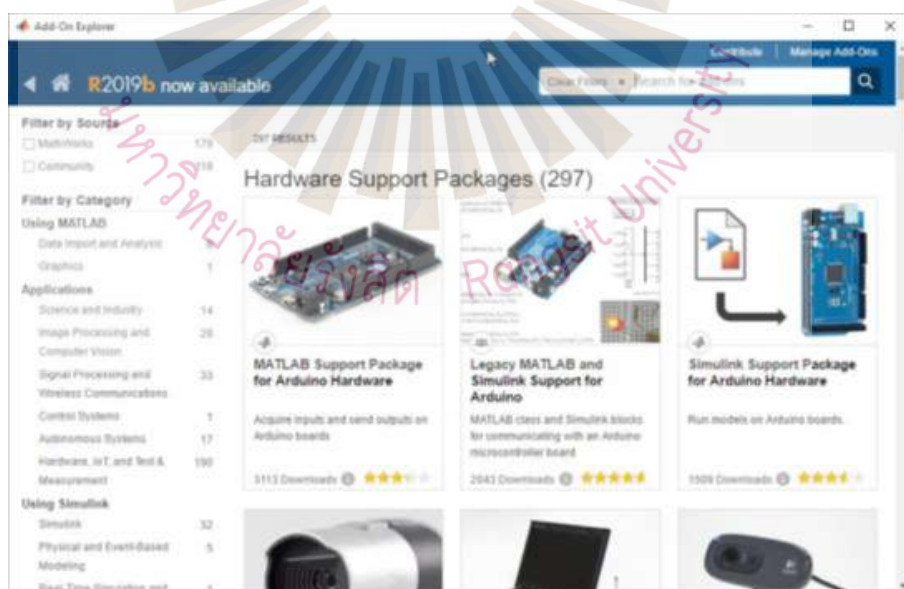
ในปี 2016 งานวิจัยเรื่อง การทดสอบระบบไฟฟ้า-นิวแมติกส์โดยใช้ MATLAB Simulink และ Arduino Controller- กรณีศึกษาของห้องปฏิบัติการระบบเมคาทรอนิกส์ (Actuation of Electro-Pneumatic System using MATLAB Simulink and Arduino Controller- A case of a Mechatronics systems Lab) บทความนี้แสดงถึงวิธีการสำหรับการเชื่อมต่อ MATLAB Simulink กับระบบนิวแมติกผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์โดยไม่ต้องมีการเขียนโปรแกรมใด ๆ โดยใช้เพียงแพ็คเกจ Arduino I/O เพื่อสื่อสารกับ Arduino Controller เพื่อส่งเอาต์พุตไปยังวงจรรีเลย์ (Parikh, Vasani, Sheth, & Gohil, 2016)



รูปที่ 2.35 (ก) Arduino and MATALB communication (ข) MATLAB Simulink Block program

ที่มา: Parikh et al., 2016

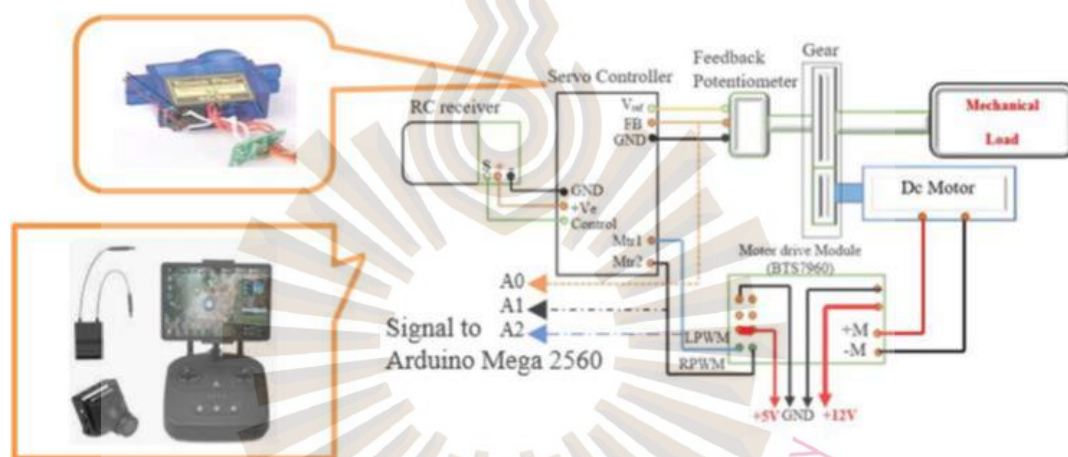
ในปี 2020 งานวิจัยเรื่อง ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ Arduino และ MATLAB®-Simulink (Introduction to Interfacing Arduino Hardware And MATLAB®-Simulink) บทความนี้ได้นำเสนอการใช้งาน MATLAB Simulink ซึ่งเป็น แพลตฟอร์ม การวิเคราะห์หรือจำลองงานทางวิศวกรรมที่ไม่ต้องเขียนโปรแกรม เพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ Arduino Controller ด้วย MATLAB Support Package for Arduino Hardware (Gonzalez-Longatt & Acosta Montalvo, 2020)



รูปที่ 2.36 Add-on Explorer Window

ที่มา: Gonzalez-Longatt & Acosta Montalvo, 2020

ในปี 2022 งานวิจัยเรื่อง ระบบควบคุมพวงมาลัยระยะไกลราคาประหยัดโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงพร้อมป้อนกลับตำแหน่ง (The Low-Cost Remote Steering Control Using The DC Motor With Feedback Position) การวิจัยได้เสนอการออกแบบและการติดตั้งมอเตอร์ DC พร้อมระบบป้อนกลับตำแหน่ง ใช้ในการควบคุมทิศทางการบังคับเลี้ยวของเครื่องปลูกข้าว ที่ถูกแปลงเป็นหุ่นยนต์ไร้คนขับ ควบคุมด้วยวิทยุบังคับระยะไกล Skydroid T10 โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ร่วมกับบอร์ดคอนโทรล Arduino Mega มอเตอร์ด้วยโมดูล BTS 7960 โดยใช้ชุดเซอร์โวเป็นระบบป้อนกลับเพื่อระบุตำแหน่ง (Chalardsakul, Sukontanakarn, & Piriyaasilpa, 2022)



รูปที่ 2.37 ผังงานวิจัย

ที่มา: Chalardsakul et al., 2022

บทที่ 3

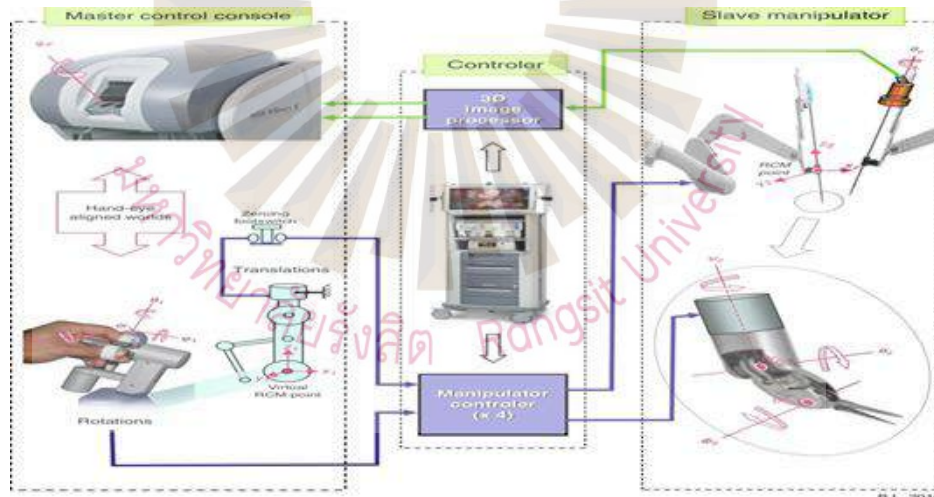
ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยการออกแบบ และจำลองควบคุมระบบหุ่นยนต์ผ่าตัด DaVinci ส่วนปลาย
เครื่องมือด้วยเซอร์โวมอเตอร์ มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

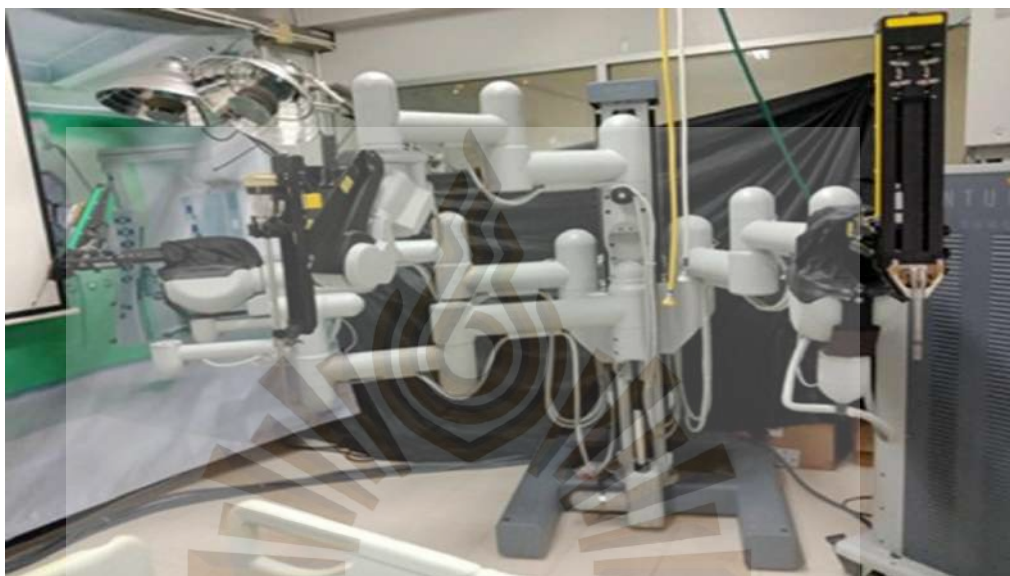
3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci

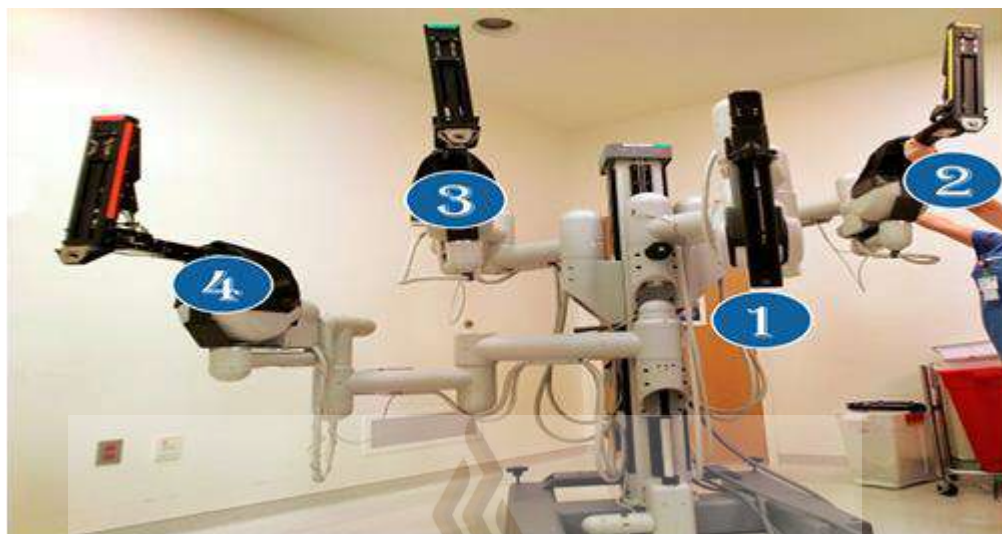
จากการศึกษาพบว่าระบบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนที่สำคัญ คือ 1) ส่วนควบคุมหลัก ทำหน้าที่เป็นอินพุต 2) ส่วนคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำหน้าที่ ประมวลผล และส่วนที่ 3) ส่วนแขนกล ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต

สำหรับหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดที่ได้ทำการการศึกษาในครั้งนี้เป็นหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดโมเดลรุ่นแรกของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci ซึ่งทางมหาวิทยาลัยรังสิต โดยวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ ได้รับมอบจากโรงพยาบาล กรุงเทพ เกต ซึ่งวัตถุประสงค์ของการทำการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การควบคุมชุดอุปกรณ์ส่วนปลายของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด



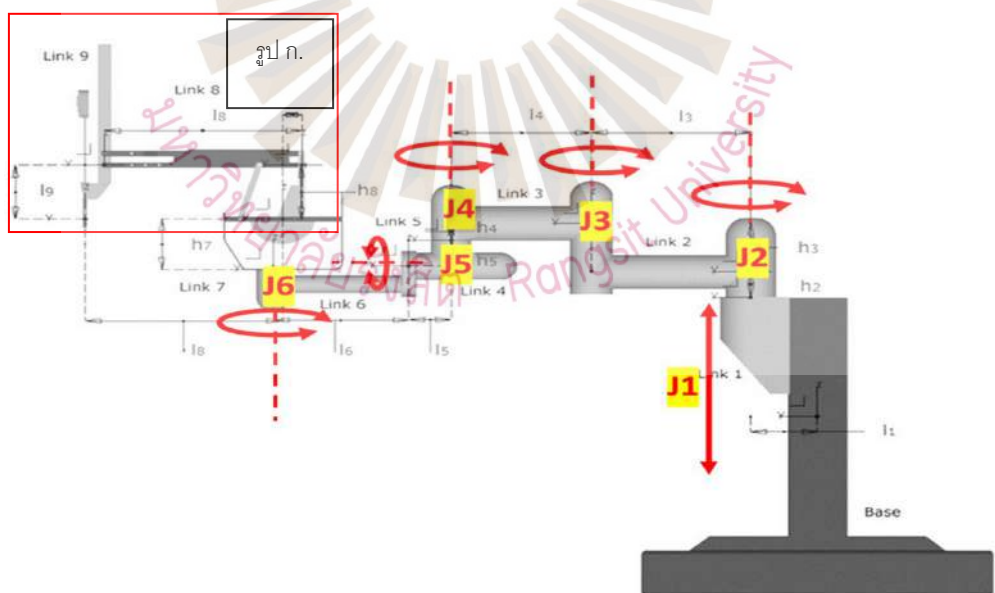
รูปที่ 3.2 หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci ที่ใช้ทำการการศึกษา ภายในห้องทดลองวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต

จากการศึกษาในส่วนของ หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้ (Patient Cart) แบบ 4 แขนพบว่าแต่ละแขนประกอบกันด้วยท่อนแขน 9 แขน (9 Link หรือ 9 Joint) โดยทั้ง 4 แขนสามารถปรับการเคลื่อนที่แบบอิสระต่อกัน ตามรูปที่ 3.3 หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้สามารถแบ่งได้ 3 ส่วนหลัก ๆ คือ 1) ส่วนฐานเป็นส่วนล่างสุดที่มีความมั่นคงแข็งแรง เป็นตัวรับน้ำหนักของแขนหุ่นยนต์ทั้งหมด 2) ส่วนแขนหุ่นยนต์ที่ใช้บังคับทิศทาง (Link1- Link6) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายกับแขนของมนุษย์ ทำหน้าที่บังคับทิศทางให้กับอุปกรณ์ไปยังพิกัดที่ต้องการ ในส่วนนี้จะปรับการทำงานแบบอิสระโดยแพทย์ผู้ช่วยหรือพยาบาลข้างตัวคนไข้ให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการผ่าตัด โดยไม่ผ่านการควบคุมจากตัวควบคุมหลักที่ศัลยแพทย์ทำการควบคุม 3) อุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือผ่าตัด (Link7 – Link9) ส่วนนี้จะถูกควบคุมผ่านชุดควบคุมหลัก ซึ่งจะเปรียบเสมือนมือของศัลยแพทย์ผู้ทำการผ่าตัด มีลักษณะการเคลื่อนไหวรอบทิศทางคล้ายข้อมือของมนุษย์ แต่จะเพิ่มความสามารถการเคลื่อนไหวบางอย่างที่มือของมนุษย์ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ เช่นการ หัก บิด งอ จึงทำให้ส่วนนี้ทำงานได้ดีกว่ามือของมนุษย์และสามารถเข้าไปทำงานบริเวณอวัยวะที่มีความซับซ้อน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

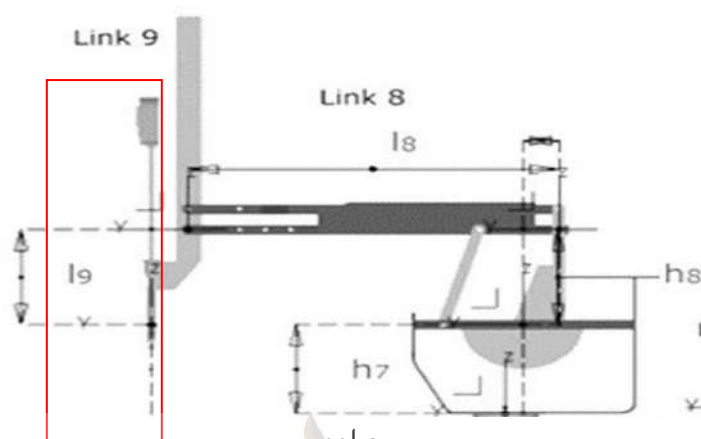


รูปที่ 3.3 แขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci

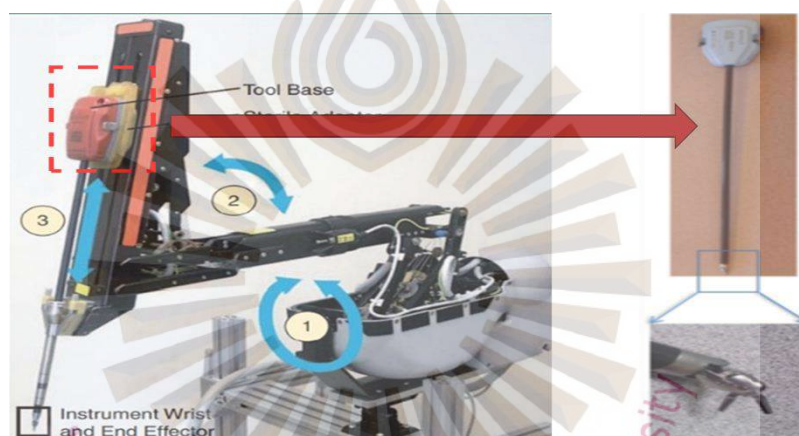
งานวิจัยนี้จะออกแบบและจำลองสร้างระบบควบคุมเฉพาะส่วนที่เป็นอุปกรณ์ส่วนปลาย
เครื่องมือผ่าตัด ที่ติดอยู่บริเวณปลาย (Link7- Link9) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งของเครื่องมือ
ผ่าตัดส่วนปลาย 3 ส่วน มีฟังก์ชันการทำงาน 4 ฟังก์ชัน ส่วนปลายของเครื่องมือผ่าตัดจะมีลักษณะ
เป็นมือจับสำหรับ หยิบ จับ ตัด ถ่าง บิด งอหรือตัด เย็บ อวัยวะที่ต้องการทำการผ่าตัด



รูปที่ 3.4 แบบจำลอง ส่วนประกอบของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci

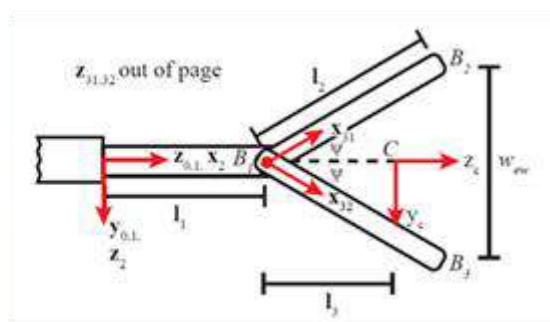


รูป ก



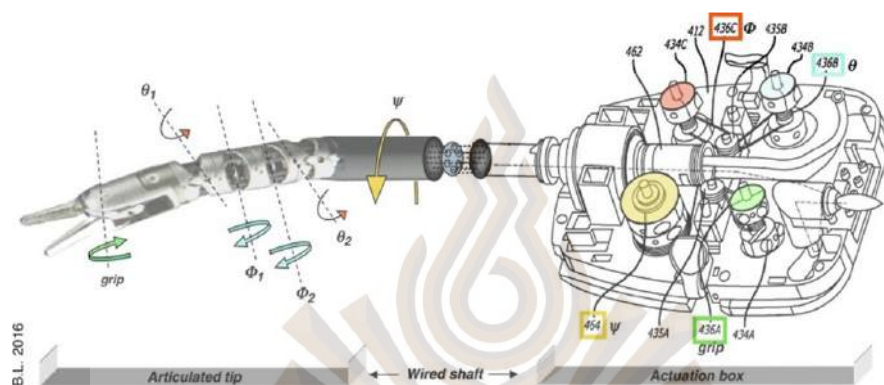
รูป ข

รูปที่ 3.5 รูป ก แบบจำลอง ส่วนประกอบส่วนปลายเครื่องมือของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดของระบบ Da Vinci และ รูป ข แสดงส่วนประกอบส่วนปลายเครื่องมือของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

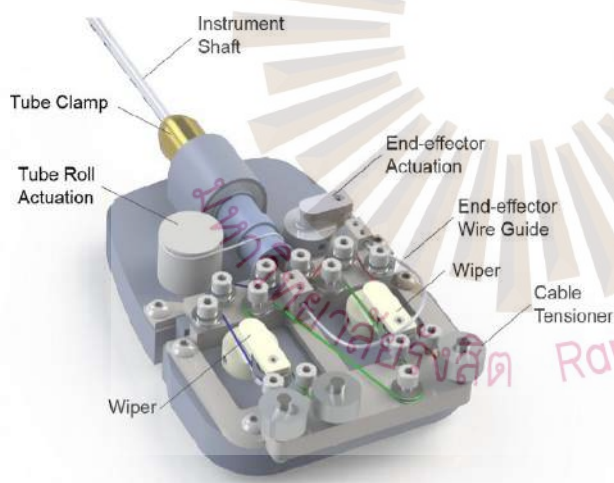


รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ทำการผ่าตัด (Instrument)
ในที่นี้เลือกมาเป็นแบบอุปกรณ์สำหรับการจับ

การทำงานของส่วนนี้จะถูกควบคุมด้วยสายสลิงโดยชุดควบคุมหลักจากศัลยแพทย์ผู้ทำการผ่าตัด ผ่านชุดคอนโทรล มาควบคุมมอเตอร์ 7 ตัว ที่อยู่ใน แกนที่ 7 ผ่านชุดรอก เพื่อควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของแขนส่วนนี้ โดยมีมอเตอร์ตัวที่ 1, 2 และ 7 จะทำหน้าที่ควบคุมแขนหุ่นยนต์ แกน 7, 8 และ 9 ในส่วนมอเตอร์ 3, 4, 5 และ 6 จะทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของรอกทั้ง 4 ภายในชุดควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ต้องการศึกษา



รูป ก

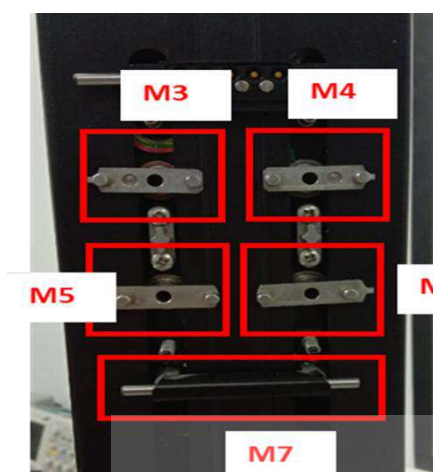


รูป ข



รูป ค

รูปที่ 3.7 รูป ก จำลองส่วนประกอบภายในและการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ รูป ข อธิบายส่วนประกอบภายในชุดควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ รูป ค แสดงภาพชุดรอกที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ



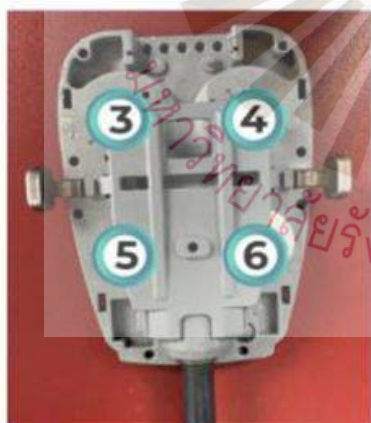
รูป ก



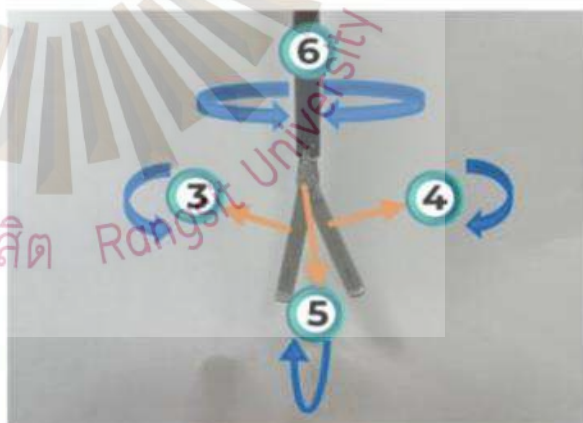
รูป ข

รูปที่ 3.8 รูป ก แสดงชุดควบคุมรอกของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือภายในแขนหุ่นยนต์ผ่าตัด
แกนที่ 9 รูป ข ระบุชุดรอกภายในชุดควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ

จากรูปที่ 3.8 อธิบายได้ว่า ชุดขับรอก M3 จะทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของรอกตัวที่ 1 ชุดขับรอก M4 จะทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของรอกตัวที่ 2 ชุดขับรอก M5 จะทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของรอกตัวที่ 3 และชุดขับรอก M6 จะทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของรอกตัวที่ 4



รูป ก



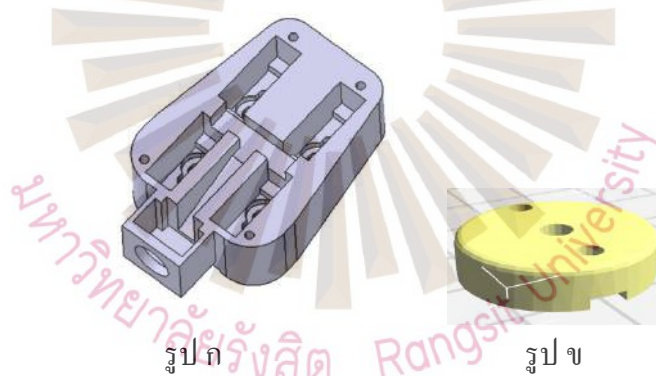
รูป ข

รูปที่ 3.9 รูป ก แสดงชุดรอกของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือภายในแขนหุ่นยนต์ผ่าตัด
ที่ควบคุมด้วยมอเตอร์ 3, 4, 5 และ 6 รูป ข แสดงการทำงานของอุปกรณ์
ส่วนปลายเครื่องมือเมื่อรอกหมุน

โดยได้ทำการศึกษาส่วนที่ควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือการผ่าตัดในรูป ซึ่งประกอบไปด้วยรอก 4 ตัวตามเลข 3, 4, 5, และ 6 ซึ่งตัวรอก 3, 4 และ 5 มีลักษณะรูปทรงกระบอก ที่มีรัศมีเท่ากันคือ 5.5 มิลลิเมตร และ 6 มีรัศมี 9 มิลลิเมตร จากกล่องจะมีแกนยาว 38.2 เซนติเมตร และที่อีกปลายด้านหนึ่งจะมีเครื่องมือที่ช่วยทำการผ่าตัดซึ่งต่อเชื่อมอยู่กับรอก 4 ตัวที่ได้กล่าวมาโดยที่ตำแหน่งที่ 3 เคลื่อนที่ไปทางซ้าย – ตรงกลาง โดยมุมต่ำสุดอยู่ที่ 90 องศา และมุมสูงสุดอยู่ที่ 180 องศา ตำแหน่งที่ 4 เคลื่อนที่ไปทางขวา – ตรงกลาง โดยมุมต่ำสุดอยู่ที่ 0 องศา และมุมสูงสุดอยู่ที่ 90 องศา ตำแหน่งที่ 5 เคลื่อนมาด้านหน้า-หลังโดยมุมต่ำสุดอยู่ที่ 0 องศา และมุมสูงสุดอยู่ที่ 180 องศา และตำแหน่งที่ 6 หมุนไป - กลับ 180 องศา

3.1.2 ดำเนินการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของมอเตอร์

ทำการสร้างชุดจำลองขึ้นมาใหม่ประกอบไปด้วย ก. ตัวฐานขับเคลื่อน และ ข. ชุดขับเคลื่อน เครื่องพิมพ์ 3 มิติ เมื่อนำมาประกอบกันจะได้ ค.



รูป ก

รูป ข

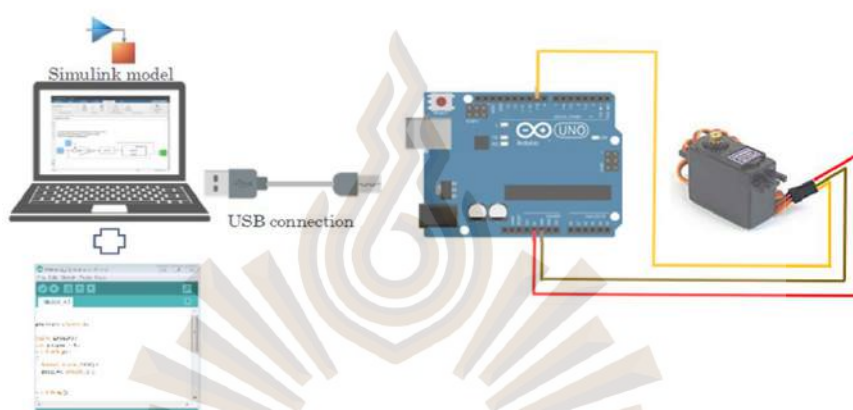


รูป ค

รูปที่ 3.10 แสดงชุดขับเคลื่อนของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ได้ทำการจำลองขึ้นมาใช้ในงานวิจัย

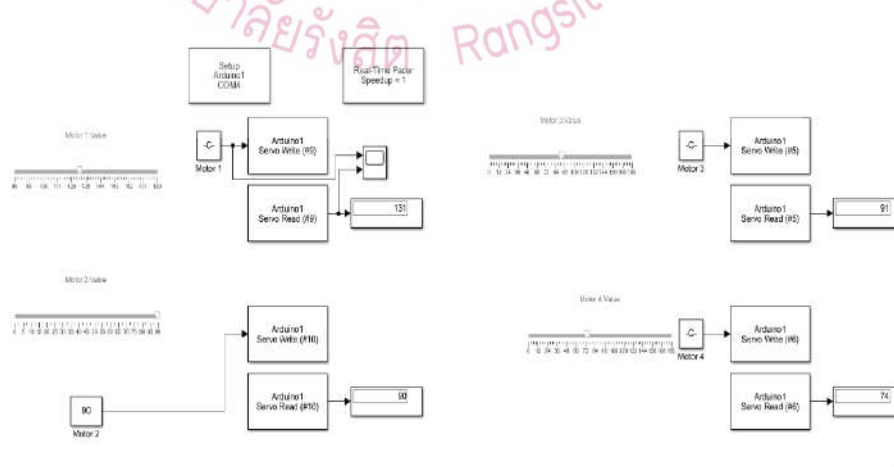
นำมาประกอบแล้วทำการทดสอบการเข้ากันได้กับชุดรอกของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ จะต้องสามารถประกอบเข้ากันได้พอดี ไม่ควรหลวมหรือแน่นเกินไป เพื่อให้การหมุนได้ประสิทธิภาพสูงสุด

ในส่วนของการทำการทดสอบการหมุนของมอเตอร์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ร่วมกับ Arduino IDE โดยใช้โปรแกรมและบล็อกสำเร็จรูป



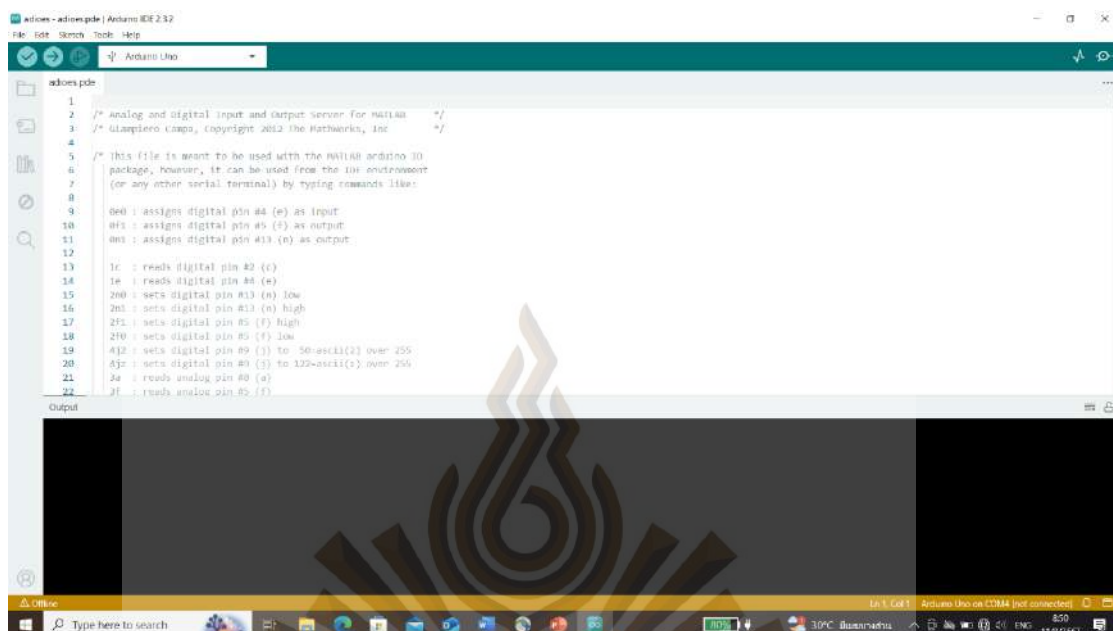
รูปที่ 3.11 แสดงวิธีการทดสอบมอเตอร์ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

วิธีการทดสอบ ทำการเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino Uno3 เปิดโปรแกรม MATLAB Simulink จากนั้นทำการติดตั้ง Add On Package Arduino Support เสร็จแล้วทำการสร้าง New Project file จากนั้น ทำการสร้าง ชุดคำสั่งการควบคุมมอเตอร์ดังกล่าว โดยใช้ชุดบล็อกจาก Servo Motor Library



รูปที่ 3.12 แสดงชุดคำสั่งจากบล็อก MATLAB Simulink เพื่อการทดสอบมอเตอร์ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

จากนั้นทำการเปิดโปรแกรม Arduino IDE แล้วเปิด File : adios.pde

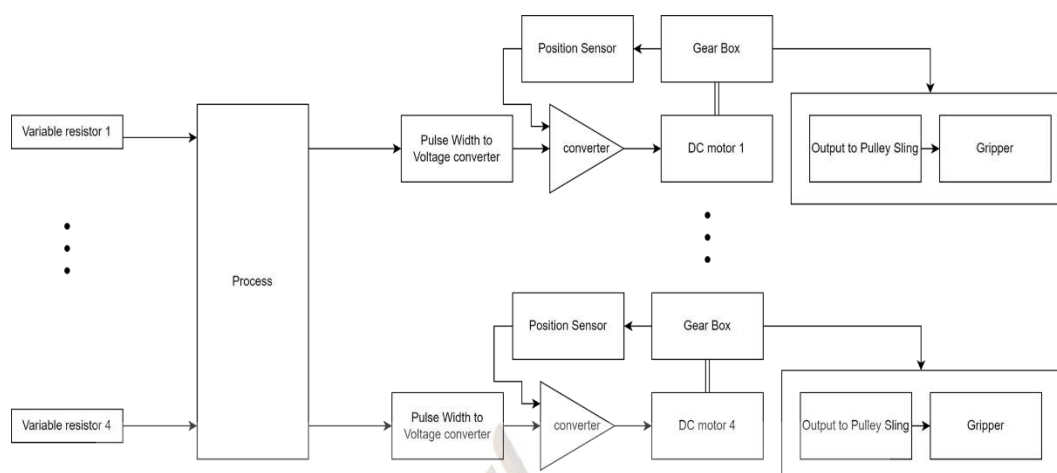


รูปที่ 3.13 แสดงชุดคำสั่ง Arduino IDE เพื่อการทดสอบมอเตอร์ของอุปกรณ์
ส่วนปลายเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

แล้วทำการเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino Uno3 จากนั้นทำการ Transfer เข้าสู่บอร์ด ปลดการเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino จากนั้นไปทำการเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino กับ MATLAB Simulink แล้วทำการ RUN สังเกตการณ์ทดสอบและบันทึกผล

3.1.3 ออกแบบและสร้างชุดควบคุม 4 มอเตอร์

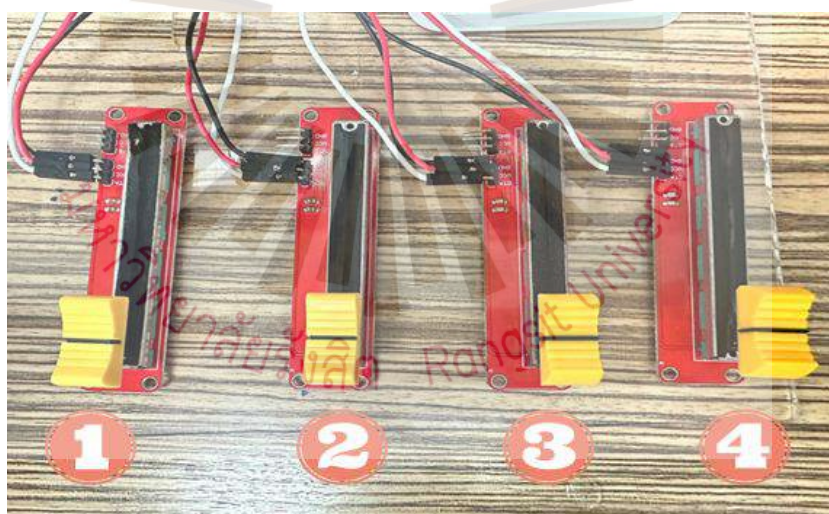
หลังจากได้ทำการทดสอบการทำงานของมอเตอร์ ที่ต้องการนำมาขับเคลื่อน เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือแล้วทำการออกแบบบล็อกไดอะแกรม ของชุดจำลองควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือได้ดังรูป



รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมของชุดจำลองควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

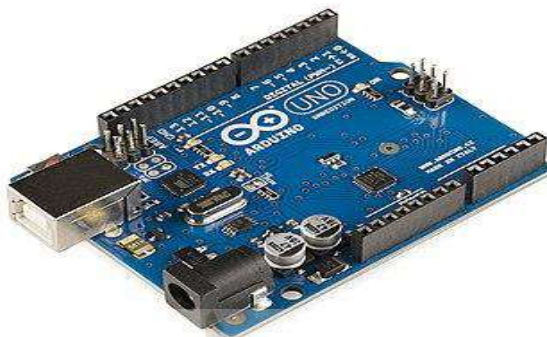
3.2.1 ภาคอนินพุต



รูปที่ 3.15 ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบสไลด์

ตัวต้านทานสไลด์ปรับค่าได้ ขนาด 10 กิโลโอห์ม ทำหน้าที่เปรียบเสมือนตัวควบคุมหลัก (Master Controller) สำหรับปรับค่าความกว้างของสัญญาณ PWM

3.2.2 ภาคประมวลผล



รูปที่ 3.16 บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO

บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO เปรียบเสมือนชุดประมวลผล ทำหน้าที่รับค่าจากอินพุตแล้วทำการประมวลผล เพื่อสร้างสัญญาณควบคุม จากนั้นทำการส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังชุดเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่เชิงมุมของชุดอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือต่อไป

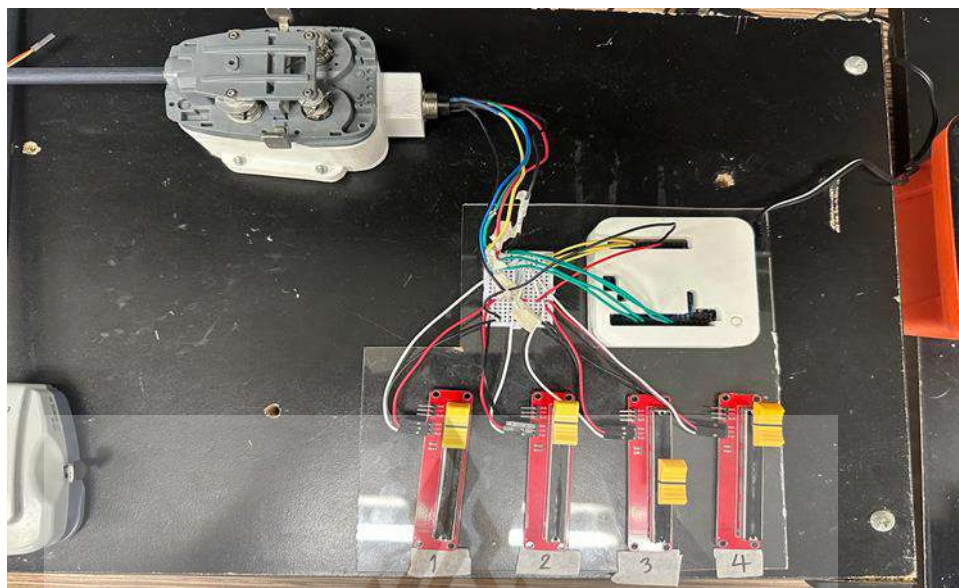
3.2.3 อุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด Da Vinci



รูปที่ 3.17 อุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือในงานวิจัย เมื่อนำมาประกอบ

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อนำมาประกอบได้ชุดอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือในงานวิจัย แล้ว ทำการต่ออุปกรณ์ตามบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.18 ชุดจำลองควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือด้วยเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

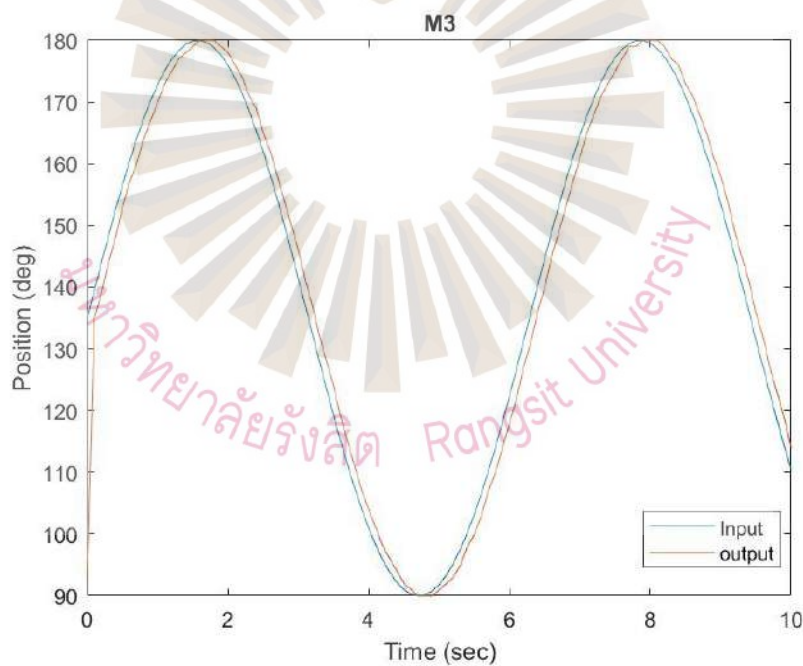
ทำการปรับค่าสัญญาณควบคุมมอเตอร์ ด้วยการปรับความต้านทานแบบปรับค่าทั้ง 4 ที่ละค่าแล้วบันทึกผล

บทที่ 4

ผลการวิจัย

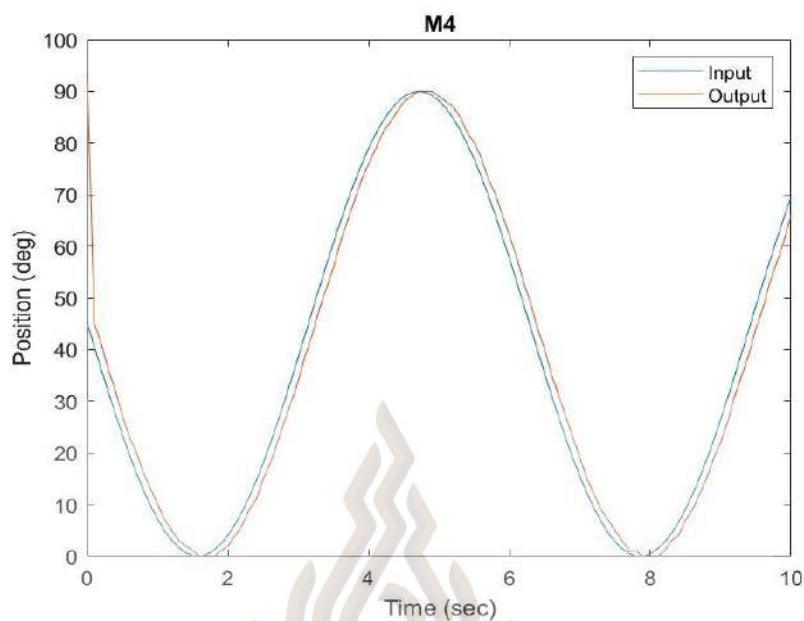
จากการทดลองควบคุมการเคลื่อนที่เชิงมุมของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว ผ่านการป้อนมุมด้านอินพุตด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink พร้อมทั้งบันทึกค่ามุมที่ป้อนเข้าเปรียบเทียบกับค่ามุมด้านเอาต์พุต จะได้ผลดังรูป

บันทึกตำแหน่งมุมการหมุนของมอเตอร์ 3 เทียบกับมุมที่ป้อนเข้าไป โดยมีค่ามุมเริ่มที่ $90^\circ - 180^\circ$ เป็นเวลา 10 วินาที



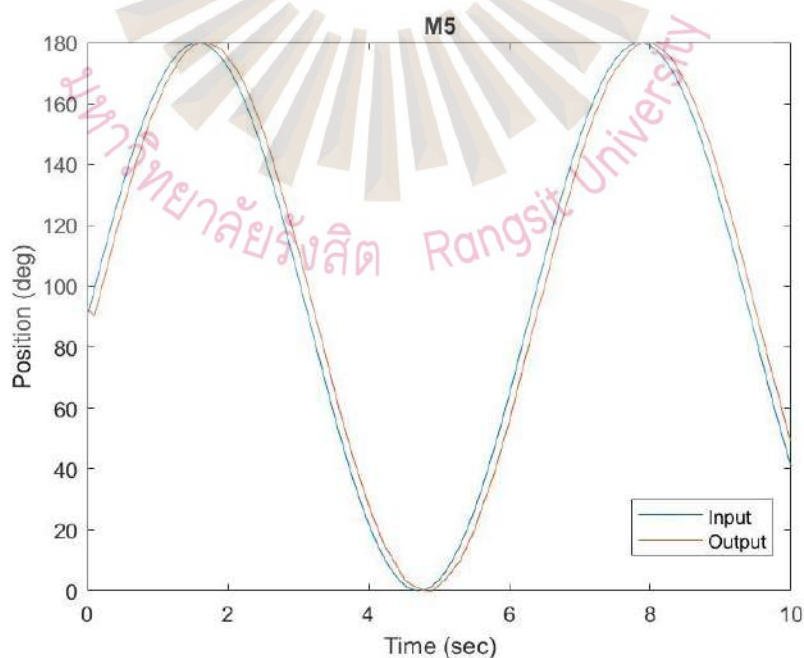
รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณของการป้อนมุมด้านอินพุตและเอาต์พุตของ มอเตอร์ 3

บันทึกตำแหน่งมุมการหมุนของมอเตอร์ 3 เทียบกับมุมที่ป้อนเข้าไป โดยมีค่ามุมเริ่มที่ $90^\circ - 180^\circ$ เป็นเวลา 10 วินาที



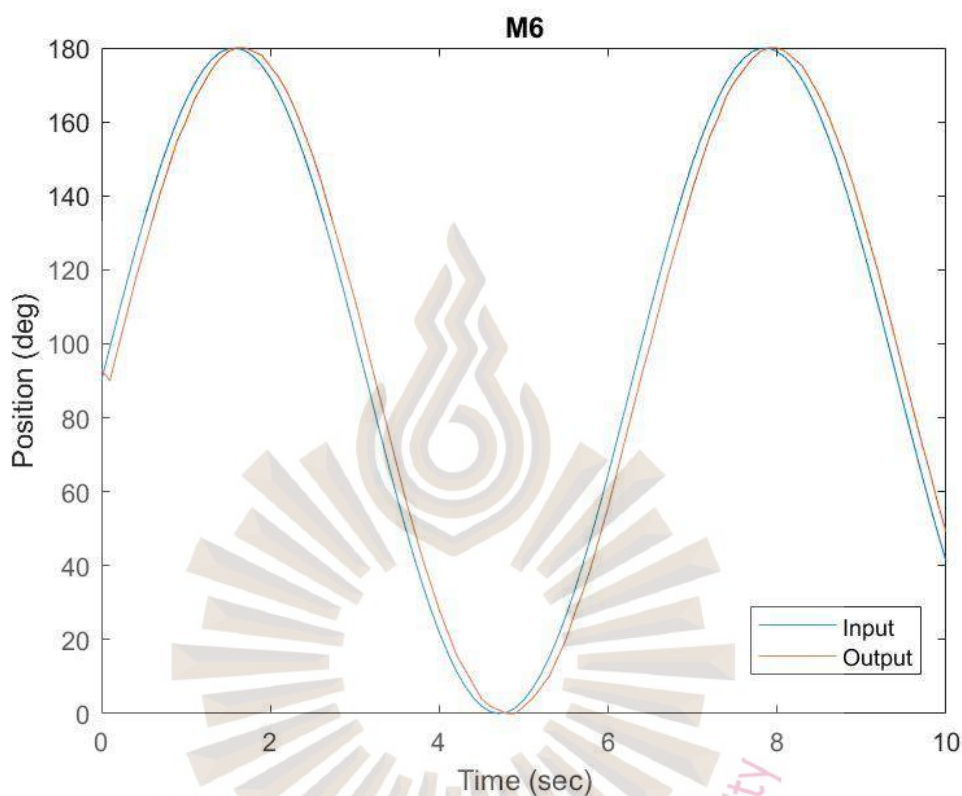
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณของการป้อนมุมด้านอินพุตและเอาต์พุตของ มอเตอร์ 4

บันทึกตำแหน่งมุมการหมุนของมอเตอร์ 5 เทียบกับมุมที่ป้อนเข้าไป โดยมีค่ามุมเริ่มที่ $0^\circ - 180^\circ$ เป็นเวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณของการป้อนมุมด้านอินพุตและเอาต์พุตของ มอเตอร์ 5

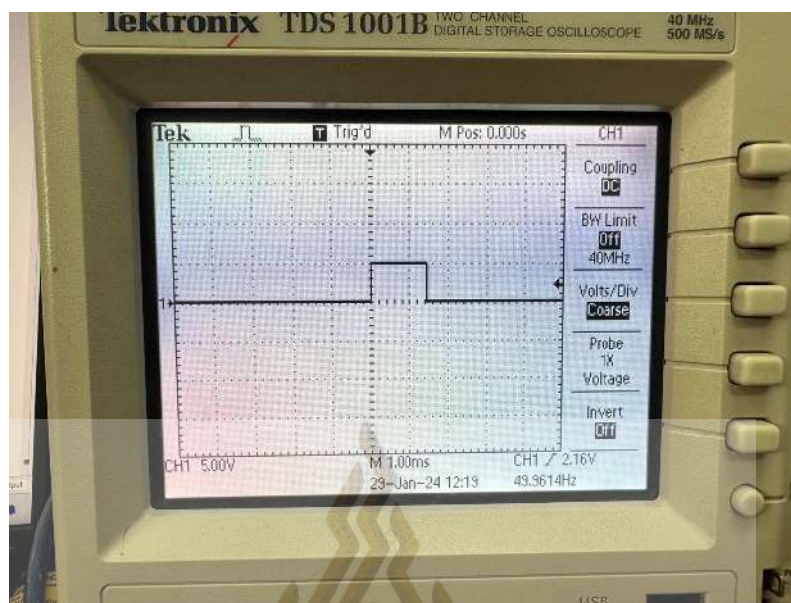
บันทึกตำแหน่งมุมการหมุนของมอเตอร์ 6 เทียบกับมุมที่ป้อนเข้าไป โดยมีค่ามุมเริ่มที่ $0^\circ - 180^\circ$ เป็นเวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณของการป้อนมุมด้านอินพุตและเอาต์พุตของ มอเตอร์ 6

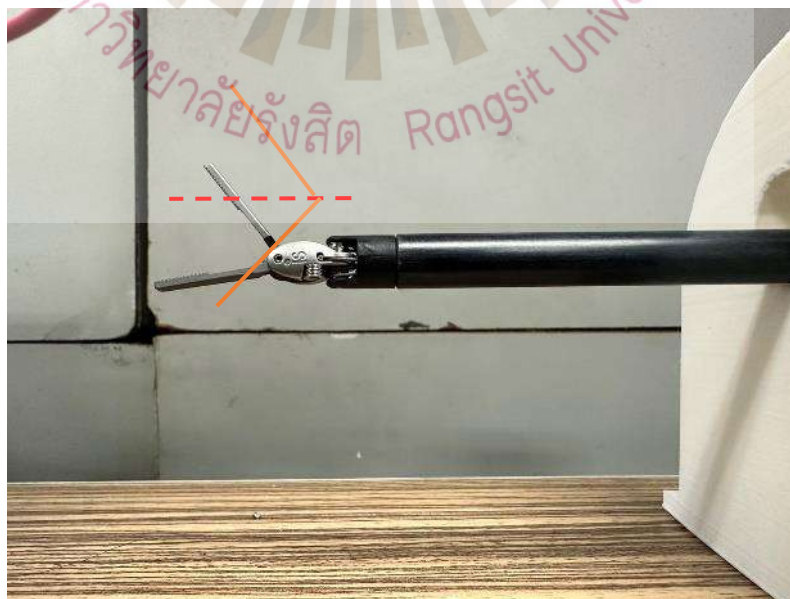
จากรูปจะเห็นว่าเมื่อทำการป้อนค่าการเคลื่อนที่เชิงมุมทางด้านอินพุตผ่านบล็อก Simulink เพื่อทดสอบชุดควบคุมมอเตอร์ทั้ง 4 แล้วทำการวัดค่ามุมที่ป้อนเข้าเปรียบเทียบกับมุมด้านเอาต์พุต จะเห็นว่า เมื่อป้อนค่าการเคลื่อนที่เชิงมุมด้านอินพุตเท่าใด ค่าการเคลื่อนที่เชิงมุมด้านเอาต์พุตที่วัดได้จะมีค่าเท่ากับอินพุตเช่นกัน แต่จะมีช่วงการหน่วงเวลาเพื่อประมวลผลชั่วขณะ

จากนั้นได้ทำทดสอบการป้อนค่าด้านอินพุตโดยใช้ตัวด้านทานปรับค่าได้แบบสไลด์ บาร์ขนาด 10 กิโลโอห์ม จะได้สัญญาณด้านเข้ามอเตอร์ดังรูป



รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณควบคุมมอเตอร์ เมื่อปรับค่าอินพุตด้วยตัวต้านทานปรับค่า

จากการทดสอบปรับค่าความกว้างพัลส์ของสัญญาณควบคุมมอเตอร์ด้วยการปรับค่าความต้านทานแบบปรับค่าได้ จะทำให้เห็นว่าเมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยน จะทำให้ความกว้างของสัญญาณพัลส์ด้านบวกเปลี่ยนไป ทำให้การเคลื่อนที่เชิงมุมของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือเปลี่ยนตามด้วยเช่นกัน โดยสามารถบันทึก การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่เชิงมุมของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือได้ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 รูปแบบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่ขับด้วยมอเตอร์ 3 ทำมุมที่ $+45^\circ$



รูปที่ 4.7 รูปแบบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่จับด้วยมอเตอร์ 3 ทำมุมที่ 0°



รูปที่ 4.8 รูปแบบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือที่จับด้วยมอเตอร์ 3 ทำมุมที่ -45°

ทำการบันทึกค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ด้านอินพุตเปรียบเทียบกับเคลื่อนที่เชิงมุมของมอเตอร์ทั้ง 4 ที่ได้ดังตาราง

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ เมื่อปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของมอเตอร์ 3

ความกว้างของสัญญาณพัลส์ มิลลิวินาที (mS)	มุมทำการ (องศา)	มุมการเคลื่อนที่ (องศา)
0.5 mS	-90	0
1.0 mS	-45	45
1.5 mS	0	90
2.0 mS	+45	135
2.5 mS	+90	180

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ เมื่อปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของมอเตอร์ 4

ความกว้างของสัญญาณพัลส์ มิลลิวินาที (mS)	มุมทำการ (องศา)	มุมการเคลื่อนที่ (องศา)
0.5 mS	-90	0
1.0 mS	-45	45
1.5 mS	0	90
2.0 mS	+45	135
2.5 mS	+90	180

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ เมื่อปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของมอเตอร์ 5

ความกว้างของสัญญาณพัลส์ มิลลิวินาที (mS)	มุมทำการ (องศา)	มุมการเคลื่อนที่ (องศา)
0.5 mS	-90	0
1.0 mS	-45	45

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ เมื่อปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของมอเตอร์ 5 (ต่อ)

ความกว้างของสัญญาณพัลส์ มิลลิวินาที (mS)	มุมทำการ (องศา)	มุมการเคลื่อนที่ (องศา)
1.5 mS	0	90
2.0 mS	+45	135
2.5 mS	+90	180

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือ เมื่อปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของมอเตอร์ 6

ความกว้างของสัญญาณพัลส์ มิลลิวินาที (mS)	มุมทำการ (องศา)	มุมการเคลื่อนที่ (องศา)
0.5 mS	-90	0
1.0 mS	-45	45
1.5 mS	0	90
2.0 mS	+45	135
2.5 mS	+90	180

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาออกแบบ และจำลองระบบควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลาย เครื่องมือของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ด้วยเซอร์โวมอเตอร์ จากผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า การนำเซอร์โวมอเตอร์มาใช้ในการทำการหมุนรอกเพื่อทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดนั้น ทำได้จริง สามารถตอบสนองการทำงานด้วยฟังก์ชันทั้ง 4 ฟังก์ชันดังวัตถุประสงค์ ที่เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ในระบบเดิมของหุ่นยนต์ผ่าตัด Da Vinci ที่มีการใช้งานอยู่จริง จึงเป็นแนวทางเพื่อใช้สำหรับการสร้างต้นแบบให้แพทย์ฝึกหัดใช้ในการฝึกผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงด้วยหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการนำเสนอแนวทางของการที่จะนำระบบควบคุมอุปกรณ์ส่วนปลายเครื่องมือของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดวิธีการหนึ่ง เพื่อให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะสร้างชุดฝึกหัดใช้ในการฝึกผ่าตัดด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงด้วยหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดให้แก่บุคลากรทางการแพทย์เพื่อลดการนำเข้าเทคโนโลยีต่างประเทศ หันมาพึ่งพาและใช้อุปกรณ์ภายในประเทศ เพื่อให้เกิดการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มศักยภาพ ความรู้ ความสามารถของประเทศต่อไป

บรรณานุกรม

- Abeywardena, S., Psomopoulou, E., Sani, M. F., Tzemanaki, A., & Dogramadzi, S. (2020). Control of a da Vinci EndoWrist surgical instrument using a novel master controller. In *XV Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing–MEDICON 2019: Proceedings of MEDICON 2019* (pp. 1545-1550). Coimbra: Portugal.
- Brassetti, A., Ragusa, A., Tedesco, F., Prata, F., Cacciatore, L., Iannuzzi, A., ... & Simone, G. (2023). Robotic surgery in urology: history from PROBOT® to HUGOTM. *Sensors*, 23(16), 7104.
- Camarillo, D. B., Krummel, T. M., & Salisbury Jr, J. K. (2004). Robotic technology in surgery: past, present, and future. *The American Journal of Surgery*, 188(4), 2-15.
- Chalardsakul, T., Sukontanakarn, V., & Piriyaasilpa, C. (2022). The low-cost remote steering control using the DC motor with feedback position. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 13(4), 2024-2032.
- Da Vinci Robot. (n.d.). Retrieved from <https://kowalskisurgicalcenter.com/da-vinci-robot/>
- Fontanelli, G. A., Ficuciello, F., Villani, L., & Siciliano, B. (2017, September). Modelling and identification of the da Vinci research kit robotic arms. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 1464-1469). Vancouver: Canada.
- Freschi, C., Ferrari, V., Melfi, F., Ferrari, M., Mosca, F., & Cuschieri, A. (2013). Technical review of the da Vinci surgical telemanipulator. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 9(4), 396-406.
- Gobilda. (n.d.). *Servo Motor*. Retrieved from <https://www.gobilda.com/search-results-page?q=Servo%20Motor>
- Guo, K., Liu, Y., Yang, H., Zhao, S., Zhang, Y., Wang, Z., & Liu, B. (2019). Design and Fabrication of RCM structure used in Surgery Robot System. *Journal of Physics: Conference Series*, 1345(5), 052056.
- How to Mechatronics. (n.d.). *Servo Motor*. Retrieved from <https://howtomechatronics.com/>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ilten, E., Demirtas, M., & Calgan, H. (2023). Design of Servo Motor Positioning Application for Android Phone with Arduino Nano 33 IoT on Simulink. US: BIDGE Publications.
- Intuitive. (n.d.) หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด *Da Vinci แบบ Single Port*. Retrieved from <https://www.intuitive.com/en-us/patients/da-vinci-robotic-surgery/about-the-systems>
- Kang, B.-H., Yoon, S. M., Lee, M. C., & Kim, C. Y. (2012). Development of Low-inertia Master device for Haptic system configuration of surgical robot. *The Journal of Korea Robotics Society*, 7(11), 30. doi: 10.7746/jkros.2012.7.4.267.
- Kumar, P., & Ravi, B. (2019, July). A comparative study of robots in laparoscopic surgeries. In *Proceedings of the 2019 4th International Conference on Advances in Robotics* (pp. 1-6). Chennai: India.
- Liang, Y., Du, Z., Wang, W., & Sun, L. (2017). A novel position compensation scheme for cable-pulley mechanisms used in laparoscopic surgical robots. *Sensors*, 17(10), 2257.
- Longmore, S. K., Naik, G., & Gargiulo, G. D. (2020). Laparoscopic robotic surgery: Current perspective and future directions. *Robotics*, 9(2), 42.
- Monilek Hospital and Research Centre. (2025). *Minimally Invasive Surgery*. Retrieved from <https://monilekhospital.com/>
- Parikh, P., Vasani, R., Sheth, S., & Gohil, J. (2016). Actuation of electro-pneumatic system using MATLAB simulink and arduino controller-A case of a mechatronics systems lab. In *International Conference on Communication and Signal Processing 2016 (ICCASP 2016)* (pp. 59-64). Netherlands: Atlantis Press.
- Sadun, A. S., Jalani, J., Sukor, J. A., & Pahat, B. (2015). A comparative study on the position control method of dc servo motor with position feedback by using arduino. In *Proceedings of Engineering Technology International Conference (ETIC 2015)* (pp. 10-11). India: Rathinam Technical Campus.
- Servo Motor Basics with Arduino. (n.d.). *Block Diagram เซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้*. Retrieved from <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/servo-motors/>
- Shi, Y., Singh, S. K., & Yang, L. (2021, May). Classical control strategies used in recent surgical robots. *Journal of Physics: Conference Series*, 1922(1), 012010.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Siam-Automation. (n.d.). *Servo Motor*. Retrieved from <https://www.siam-automation.com/search?q=Servo+Motor>

Zhao, B., & Nelson, C. A. (2016). Estimating tool–tissue forces using a 3-degree-of-freedom robotic surgical tool. *Journal of mechanisms and robotics*, 8(5), 051015.



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	จันทวิทย์ พวงแสง
วัน เดือน ปีเกิด	26 สิงหาคม 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดสุรินทร์ ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, 2546 มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง, 2566 มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์, 2567
ที่อยู่ปัจจุบัน	94/30 หมู่ 6 ตำบล หลักหก อำเภอ เมือง จังหวัด ปทุมธานี 12000
สถานที่ทำงาน	บริษัท พีพี โซลูชั่น และวิศวกรรม จำกัด
ตำแหน่งปัจจุบัน	กรรมการ