ระบบหุ่นยนต์ผ่าตัดแบบสอดกล้องชนิด 4 องศาอิสระขับเคลื่อนด้วยระบบสายลวด เพื่อการผ่าตัดแบบร่วมมือและการผ่าตัดระยะไกล “เอ็มยู-ลาปาโรบอท”

MU-LapaRobot: A Novel 4 –DOF Wire-Driven Laparoscopic Surgical Robotic System for Cooperative and Tele-Operative Procedures

ชวพล ดิเรกวัฒนะ[1] ผศ.ดร.จักรกฤษณ์ สุทธากรณ์[1, 2, *] และ ศ.นพ.จุมพล วิลาศรัศมี[3]

[1] ศูนย์เครือข่ายวิจัยประยุกต์ทางเทคโนโลยีหุ่นยนต์และชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

[2] ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถ. พุทธมณฑลสาย 4 ตำบล ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170 โทรศัพท์ 02-441-4250 ต่อ 6446 E-Mail: egjst@mahidol.ac.th*

[3] ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

270 ถ. พระรามหก แขวงพญาไทย เขตราชเทวี กรุงเทพฯ โทรศัพท์ 02-354-7308

BE002

บทคัดย่อ

การผ่าตัดแบบสอดกล้อง เป็นวิธีการผ่าตัดที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากศัลยแพทย์จะทำการเปิดแผลขนาดเล็กเพื่อสอดเครื่องมือการผ่าตัดและกล้องลาปาโรสโคป ที่มีรูปลักษณะยาวเข้าไปในร่างกาย ทำให้ระยะเวลาการฟื้นตัวสั้นลงมาก ทั้งนี้การผ่าตัดแบบสอดกล้อง จำเป็นต้องใช้แพทย์หลายคน นอกจากนี้ในบางกรณีการผ่าตัดต้องใช้เวลาในการผ่าตัดเป็นเวลานานหลายชั่วโมง ทำให้ศัลยแพทย์เกิดความอ่อนล้าได้ นอกจากนี้การผ่าตัดดังกล่าวยังต้องการแพทย์ที่มีความชำนาญเฉพาะทางสูง ทำให้การวิจัยและพัฒนาหุ่นยนต์ผ่าตัด “เอ็มยู-ลาปาโรบอท” จึงเกิดขึ้นเพื่อเสริมประสิทธิภาพการทำงานของศัลยแพทย์

หุ่นยนต์ เอ็มยู-ลาปาโรบอท ถูกออกแบบและพัฒนาสร้างขึ้นบนแนวความคิดที่ว่า หุ่นยนต์ผ่าตัดจะเข้ามาเสริมการทำงานของศัลยแพทย์ โดยอ้างอิงจากวิธีการทำงานและการผ่าตัดแบบปกติ ดังนั้นการเรียนรู้หรือความยากลำบากในการทำงานร่วมกับหุ่นยนต์ จึงจำเป็นต้องใช้เวลาและความพยายามน้อยมาก หุ่นยนต์เอ็มยู-ลาปาโรบอท เป็นหุ่นยนต์ขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบาชนิด 4 องศาอิสระ โดยใช้ระบบสายลวดส่งถ่ายกำลังการขับเคลื่อนของข้อต่างๆ ทำให้มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นสูง และความรู้สึกของศัลยแพทย์ที่ทำงานร่วมกับหุ่นยนต์หรือไม่นั้น แทบจะไม่มีความรู้สึกแตกต่างเลย สำหรับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงโอกาสการนำไปใช้งานใน 2 ลักษณะคือ (1) การผ่าตัดแบบร่วมมือ คือ การทำงานร่วมกับศัลยแพทย์ ณ บริเวณการผ่าตัดจริง (2) การผ่าตัดแบบระยะไกล คือ การทำงานแบบการควบคุมหุ่นยนต์จากระยะไกล

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ทางการแพทย์, หุ่นยนต์ช่วยในการผ่าตัด, การผ่าตัดแบบสอดกล้อง, ระบบขับเคลื่อนแบบสายลวด, หุ่นยนต์

Abstract

Currently, laparoscopic surgery is among the most popular surgical protocols. The laparoscopic surgery requires only 3-4 small incisions to open for inserting tools and laparoscope into the patient. Therefore, the recovery time is very short compare. However, laparoscopic surgery requires several surgeons and medical personnel. In some case, the surgery could take a very long period of time which surgeons may encounter with fatigue problem. Therefore, MU-LapaRobot research has been initiated to develop a surgical robotic system to improve the efficiency in surgical tasks.

MU-LapaRobot is designed and developed under the concept of Robot-Assisted Surgery with a standard surgical procedure. Therefore, the surgeon’s learning curve is shorter and much less than any other commercial surgical robotic system. The MU-LapaRobot is a 4-DOF small and light weight surgical robot with a wire-driven transmission system. Therefore, the robot has less weight, flexible and high transparency in term of force and torque. This paper describes the idea of utilizing this robot on two applications; (1) coorperative procedure, which robot and surgeon are working together at the surgical site, and (2) tele-operative procedure, which robot is remotely controlled by the surgeon for the remote area application.

Keywords: Medical Robotics, Surgical Robots, Laparoscopic Surgery, Wire-Driven System, Robot

1. บทนำ

Minimally Invasive Surgery (MIS) เป็นเทคนิคที่ผ่าตัดโดยผ่านโพรงร่างกายด้วยรอยผ่าเล็กบนผนังของช่องท้อง การผ่าตัดแบบนี้ทำให้เกิดความเจ็บปวดเล็กน้อยสำหรับผู้ป่วย การผ่าตัดแบบนี้ต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะโดยอุปกรณ์นี้มีลักษณะเป็นแท่งยาว มือจับคล้ายกรรไกร ซึ่งแพทย์จะต้องใช้อุปกรณ์แทนมือสัมผัสอวัยวะภายใน และกล้อง endoscope ซึ่งทำหน้าที่มองเห็นอวัยวะภายในแทนตา โดยสอดเข้ากับพอร์ตผ่านแผลเล็กๆ หน้าจอแสดงภาพภายในช่องท้องด้วยกล้อง endoscope โดยที่ปลายนั้นสามารถให้แสงสว่างได้ ภายในช่องท้องจะถูกเพิ่มพื้นที่การทำงานด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยผนังหน้าท้องจะยกตัวขึ้นเหนืออวัยวะภายในคล้ายโดม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกทั้งยังไม่ติดไฟง่ายซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากอุปกรณ์ผ่าตัดซึ่งใช้ไฟฟ้ามักถูกใช้ในกระบวนการผ่าตัดแบบนี้ด้วย

Minimally Invasive Surgery มีกระบวนการหลายแบบ ตัวอย่างเช่น การผ่าตัดแบบ percutaneous การผ่าตัดแบบ stereotactic เป็นต้น การผ่าตัดแบบ Laparoscopy ก็เป็นรูปแบบการผ่าตัดแบบเปิดแผลเล็กซึ่งคนไข้ได้รับประโยชน์คือเจ็บปวดน้อยลง แผลเป็นเล็กลง รอยผ่าเล็กลง ระยะพักฟื้นสั้นลงและความเสี่ยงต่อการติดเชื้อของแผลลดลง และค่าใช้จ่ายลดลง กรณีส่วนใหญ่ในการผ่าตัดแบบ Laparoscopic เป็นการผ่าตัดศัลยกรรมตัดเอาถุงน้ำดีออก

ปัจจุบันระบบหุ่นยนต์หลายจำนวนมากได้พัฒนาขึ้นระหว่างทศวรรษที่ผ่านมา ระบบช่วยเหลือคอมพิวเตอร์เป็นการพัฒนาของแบบจำลองผู้ป่วยที่แม่นยำ ระบบหุ่นยนต์ที่ประยุกต์ใช้สามารถให้ประโยชน์เช่นความแม่นยำสูง ความเสถียรโดยปราศจากการสั่นสะเทือนไม่เหนื่อย ไม่ถูกกระทบด้วยรังสีและควบคุมผ่านระยะไกล แม้ว่าจะมีประโยชน์หลายอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับการผ่าตัดโดยใช้มนุษย์ซึ่งมีการทำงานร่วมกันของตากับมือที่ดี มีการตัดสินใจที่ดี แต่อีกด้านหนึ่งการกะระยะที่ไม่แม่นยำ ความเหนื่อยล้าเนื่องจากการทำงานเป็นเวลานานหรือข้อจำกัดทางอายุ และ ความคล่องแคล่วถูกจำกัด แต่มีข้อจำกัดเช่นปัญหาของความน่าเชื่อถือ ความแพง ขนาด การให้ทดลองใช้ฟรี และการบำรุงรักษา[1-3]

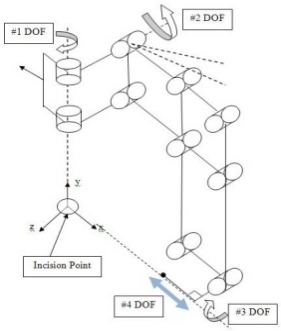
แม้ว่าระบบหุ่นยนต์ผ่าตัดมีประโยชน์หลายอย่างแต่คนส่วนใหญ่ไม่มีโอกาสได้ใช้เพราะมีค่าใช้จ่ายสูง และมีเพียงโรงพยาบาลใหญ่จำนวนน้อย สามารถซื้อระบบหุ่นยนต์ ระบบหุ่นยนต์ผ่าตัดในทางการค้าถูกใช้อย่างจำกัดเนื่องจาก ยุ่งยากซับซ้อน, ราคาและขนาดค่อนข้างใหญ่ แพทย์จำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนการใช้หุ่นยนต์เป็นอย่างดี ซึ่งการพัฒนาระบบหุ่นยนต์ผ่าตัดแบบใหม่นี้ ให้ศักยภาพเสมือนกับเป็นผู้ช่วยในการผ่าตัดแบบมาตราฐาน โดยการใช้หุ่นยนต์ MU-LapaRobot ที่สามารถนำไปใช้งานร่วมกับศัลยแพทย์โดยจะส่งผลกระทบกับรูปแบบการทำงานแบบปกติน้อยที่สุด

2. แนวคิดการออกแบบ

ในการออกแบบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดแบบส่องกล้องนี้ โดยหุ่นยนต์ที่มีใช้ในปัจจุบันทั้งในแบบที่มีขายในท้องตลาด เช่น หุ่นยนต์ da Vinci [4] และที่ยังพัฒนาวิจัยอยู่ เช่น หุ่นยนต์ LER, MC^{2}E, CURES [5-7] เป็นต้น จะเห็นว่า ระบบส่วนใหญ่เป็นการใช้งานแบบระยะไกลเท่านั้น (Teleopertion) แบบที่ใช้ในหุ่นยนต์ da Vinci ซึ่งแพทย์จะต้องควบคุมหุ่นยนต์จากอีกที่หนึ่งที่ห่างจากคนไข้ โดยการใช้งานในลักษณะนี้ผู้ใช้หรือแพทย์จำเป็นต้องฝึกฝนการใช้งานอย่างชำนาญโดยระบบที่มีความซับซ้อนก็จะต้องฝึกฝนเป็นเวลานาน และยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความพร้อมทางด้านอุปกรณ์และทีมแพทย์ที่สามารถใช้งานเครื่องมือเหล่านี้ได้ ดังที่กล่าวมานี้ทำให้ระบบหุ่นยนต์ผ่าตัดนั้นเข้าถึงผู้ป่วยได้น้อยด้วยข้อจำกัดต่างๆ ในส่วนหุ่นยนต์ที่มีการทำงานร่วมกับแพทย์ (Cooperation) ที่มีการพัฒนาอยู่ในปัจจุบันโดยแพทย์สามารถเข้าถึงได้มากขึ้นเนื่องจากหุ่นยนต์ได้ถูกใช้งานร่วมกับการทำงานแบบปกติ ซึ่งการเรียนรู้เกี่ยวกับระบบหุ่นยนต์นี้จะน้อยกว่าแบบแรก เนื่องจากหุ่นยนต์เข้ามาเสริมบางส่วนของการทำงานในแบบปกติ โดยมีผลกระทบกับขั้นตอนแบบปกติน้อย ทำให้สามารถเข้าใจการทำงานได้ไม่ยาก ในส่วนนี้ระบบที่สามารถเข้ามาช่วยเสริมการทำงานจะสามารถเข้าถึงการใช้งานในวงกว้างได้มากกว่าการใช้งานแบบที่เปลี่ยนไปจากเดิมทั้งหมด

2.1 หุ่นยนต์ MU-LapaRobot

หุ่นยนต์ MU-LapaRobot นี้ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งกับบริเวณรางของเตียงผ่าตัดได้ โดยจะใช้เวลาในการติดตั้งที่น้อย และมีน้ำหนักเบาโดยสามารถติดตั้งหรือปรับตำแหน่งได้ง่าย ซึ่งส่วนปลายนั้นสามารถเปลี่ยนอุปกรณ์ได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือโดยศัลยแพทย์จะใช้งานหุ่นยนต์ร่วมกับการทำงานแบบปกติได้ด้วย ในการผ่าตัดแบบส่องกล้องจะเป็นการผ่าตัดที่ใช้อุปกรณ์ช่วยผ่าตัดที่มีการเคลื่อนที่ซ้ำไปซ้ำมาผ่านจุดแผลเล็กเพื่อเข้าไปในบริเวณช่องท้อง ซึ่งการเคลื่อนที่จะทำได้ 4 ลักษณะหรือ 4 องศาอิสระคือ การหมุนรอบบริเวณแผลซึ่งทำให้การเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นทรงกรวยมีสองแกนการเคลื่อนที่การหมุนรอบตัวเอง และการเลื่อนเข้าออก จากข้อกำหนดการเคลื่อนที่เหล่านี้สามารถออกแบบคลอบคลุมการเคลื่อนที่ในรูปแบบที่กำหนดได้ โดยมีส่วนปลายแขนหุ่นยนต์, ระบบส่งกำลังแบบเส้นลวดและการถอดเปลี่ยนอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งการใช้งานจะคำนึงถึงความพอใจของผู้ใช้เป็นหลักโดยที่ใช้เวลาในการเรียนรู้ที่น้อยและการเตรียมอุปกรณ์ติดตั้งที่ไม่ยุ่งยาก จากแนวแกนการเคลื่อนที่ของสี่องศาอิสระนั้น แกนของแต่จะจุดหมุนจะตัดกันที่จุดๆหนึ่ง เสมือนจุดหมุนหรือบริเวณที่เปิดแผลเล็กบนผนังหน้าท้อง ซึ่งจากกลโครงสร้างเฉพาะของหุ่นยนต์นั้น ทุกการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ช่วยผ่าตัดจะผ่านบริเวณแผลเล็กหรือจุดหมุนร่วมเท่านั้น[8] โดยการเคลื่อนที่ของแต่ละองศาอิสระแสดงดังตารางที่ 1.



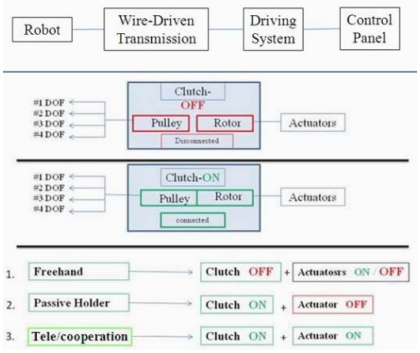
รูปที่ 1. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

DOF	ขอบเขตการเคลื่อนที่
1	180 องศา
2	75 องศา
3	150 องศา
4	150 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1. ขอบเขตการเคลื่อนที่ของปลายแขนหุ่นยนต์

2.2 การทำงานของหุ่นยนต์

การส่งกำลังแบบใช้ระบบเส้นลวด ที่ต่อกับระบบขับเคลื่อนต่อไปยังตัวหุ่นยนต์ ทำให้หุ่นยนต์มีน้ำหนักเบาเนื่องจากไม่มีน้ำหนักจากชุดขับเคลื่อนที่บริเวณจุดหมุนของหุ่นยนต์ ซึ่งในการพัฒนานี้จะควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้รีโมทแบบมีสายในแบบการทำงานจากระยะไกล



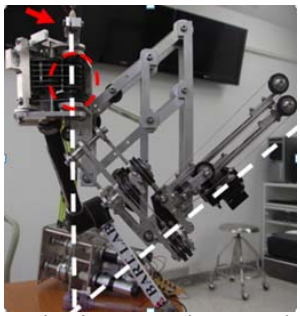
รูปที่ 2. ฟังก์ชั่นการทำงานของหุ่นยนต์และการควบคุม MU-LapaRobot

จากรูปที่ 2. การใช้งานหุ่นยนต์นั้นสามารถใช้งานได้หลายรูปแบบ คือ 1. Freehand คือ การใช้อุปกรณ์ช่วยผ่าตัดในการผ่าตัดแบบปกติ โดยหุ่นยนต์ทำหน้าที่ถืออุปกรณ์ตามการเคลื่อนที่ของศัลยแพทย์ในการผ่าตัด ซึ่งเหมือนการผ่าตัดแบบปกติ 2. Passive Holder คือ การที่หุ่นยนต์ทำหน้าที่เสมือนมือของผู้ช่วยในการจับถืออุปกรณ์ในตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดซึ่งจะช่วยในการคงตำแหน่งหรือพักการทำงานชั่วขณะหนึ่งได้ 3. Tele/Cooperation คือ การควบคุมอุปกรณ์ช่วยผ่าตัดด้วยรีโมท โดยในการทำงานนี้เป็นการทำงานในระบบถัดไปซึ่งสามารถพัฒนาเพิ่มระบบควบคุมที่ละเอียดอ่อนเพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้ในการช่วยผ่าตัดซึ่งทำงานร่วมกันกับศัลยแพทย์ได้

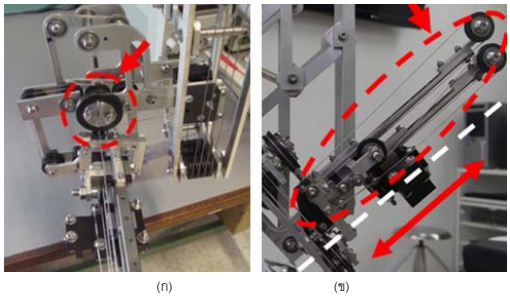
ระบบควบคุมประกอบด้วยคลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้าและมอเตอร์รอบต่ำที่ต่อกันและส่งกำลังด้วยเส้นลวด ในการใช้งานแบบ Freehand นั้น ระบบคลัทช์จะแยกออกจากกันทำให้ไม่สามารถถูกส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังรอกได้ ทำให้หุ่นยนต์สามารถถูกเคลื่อนที่ไปมาได้ในระยะที่จำกัดด้วยกลไก เมื่อระบบคลัทช์ได้รับกระแสไฟฟ้าทำให้รอกและส่วนของมอเตอร์ติดกันทำให้การเคลื่อนที่ของกลไกถูกกำหนดด้วยการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ หากมอเตอร์ไม่หมุนจะมีลักษณะเหมือนการหยุดอยู่กับที่ของอุปกรณ์และทั้งโครงสร้างทำให้สามารถใช้งานในลักษณะเป็นตัวจับอุปกรณ์ในแต่ละตำแหน่งได้ (Holder) แต่หากมีการหมุนของมอเตอร์ก็จะสามารถทำงานในส่วนของการควบคุมระยะไกลหรือแบบการทำงานร่วมกันกับผู้ใช้ได้ (Tele/Cooperation) โดยจะมีส่วนระบบควบคุมที่ใช้งานร่วมในเวลาเดียวกันซึ่งอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนาต่อไป

3. การทดลองใช้งานเบื้องต้น

จากการทดลองติดตั้งหุ่นยนต์เข้ากับบริเวณข้างเตียงผ่าตัดนั้น ต่อมาเป็นการปรับระยะของจุดที่เปิดแผลเล็ก ที่ส่วนปลายของแขนหุ่นยนต์เพื่อให้ได้ระยะที่พอดีกับจุดหมุนเสมือน ณ ตำแหน่งที่อุปกรณ์ช่วยผ่าตัดผ่าน โดยแนวแกนของจุดหมุนแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3. และรูปที่ 4.



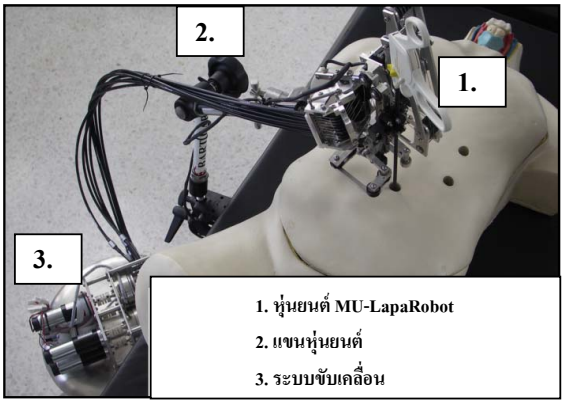
รูปที่ 3. แกนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่สร้างการเคลื่อนที่ทรงกรวย



(ก) (ข)

รูปที่ 4. (ก) การเคลื่อนหมุนรอบตัวเอง (ข) การเคลื่อนที่เข้าออก

การใช้งานในแบบ Freehand และ Holder นั้น สามารถทำงานได้โดยมีระบบควบคุมทำงานร่วมกัน ในส่วน Tele/Cooperative นั้นเป็นการใช้งานโดยที่หุ่นยนต์เข้ามาช่วยในการถือและช่วยในการเคลื่อนที่และยังสามารถคงตำแหน่งที่ต้องการไว้ได้ ซึ่งเสมือนมีมืออีกข้างหนึ่งมาช่วยจับไว้ในขณะใช้งาน ทำให้รู้สึกล้าหรือเกร็งแขนน้อยลง แต่ยังคงขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ใช้หรือแพทย์ในการเข้าถึงอวัยวะที่ต้องการด้วย



รูปที่ 5. หุ่นยนต์ MU-LapaRobot

4. แนวคิดการทำงานแบบ (1) ร่วมมือ และ (2) คุมระยะไกล

หุ่นยนต์ เอ็มยู-ลาปาโรบอท ถูกออกแบบให้ทำงานได้ในสองลักษณะคือ (1) ร่วมมือ - การทำงานแบบร่วมมือกับศัลยแพทย์ เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เครื่องมืออย่างเร็วของศัลยแพทย์ และ (2) คุมระยะไกล – เพื่อใช้ประโยชน์ในกรณีที่ศัลยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญมีจำนวนไม่เพียงพอและไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่อันตราย เป็นต้น

5. สรุป

การออกแบบพัฒนาหุ่นยนต์ MU-LapaRobot สำหรับช่วยผ่าตัดในการผ่าตัดแบบส่องกล้อง ได้ถูกพัฒนาเป็นหุ่นยนต์ที่มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา สามารถติดตั้งกับเตียงผ่าตัดได้ง่าย ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือ ส่วนปลายแขนหุ่นยนต์, แขนหุ่นยนต์, ระบบขับเคลื่อน และแผงควบคุมการทำงาน โดยส่วนปลายแขนหุ่นยนต์จะมีโครงสร้างที่มีจุดหมุนเสมือนซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับการรูปแบบการผ่าตัดแบบส่องกล้องที่การใช้งานของอุปกรณ์ผ่านจุดๆ เดียว การใช้งานหุ่นยนต์ร่วมกับอุปกรณ์มาตราฐานที่ใช้ในการผ่าตัดปกตินั้น ทำให้ง่ายในการใช้งานหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดนี้ ในส่วนของโครงสร้างที่จำกัดการเคลื่อนที่ผ่านจุดเดียวบังคับการทำงานของหุ่นยนต์นั้น หากเกิดการทำงานที่ผิดพลาด ชุดขับเคลื่อนก็จะไม่เคลื่อนที่ในทิศทางอื่นๆ ที่จะเป็นอันตรายกับผู้ป่วยบริเวณแผลได้ซึ่งฟังก์ชั่นการใช้งานที่สามารถใช้งานแบบ Freehand หรือเป็น Holder สอดคล้องกับการใช้งานจริงในการผ่าตัด ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวกับโครงสร้างของหุ่นยนต์เป็นหลัก

ในส่วนการทำงานแบบ Tele/Cooperative นั้นจะเป็นส่วนต่อในการพัฒนาต่อไปในรูปแบบของการเพิ่มประสิทธิภาพและความฉลาด เช่น การควบคุมความเร็วในพื้นที่ที่กำหนดของเครื่องมือผ่าตัด หรือการกำหนดพื้นที่การทำงานด้วยโปรแกรมที่กำหนดขึ้นให้กับหุ่นยนต์โดยอิงพื้นฐานการตัดสินใจในการผ่าตัดโดยแพทย์ ซึ่งแพทย์หรือผู้ช่วยแพทย์จะเป็นผู้ควบคุมการทำงานและทำการผ่าตัดร่วมกับการใช้หุ่นยนต์ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการการถ่ายทอดเทคโนโลยีหุ่นยนต์เพื่อช่วยในการผ่าตัด และศูนย์เครือข่ายวิจัยประยุกต์ทางเทคโนโลยีหุ่นยนต์และชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล คณะศัลยแพทย์ศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

เอกสารอ้างอิง

[1] R.H. Taylor, D. Stoianovici. “Medical Robotics in Computer-Integrated Surgery,” IEEE Trans. On Robotics and Automation, v. 19(5), October 2003.

[2] R.H. Taylor, “A Perspective on Medical Robotics,” in Proceedings of the IEEE; v. 94(9), September 2006

[3] G.H. Ballantyne, “Robotic surgery, telerobotic surgery, telepresence, and telementoring”. Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques. 2002

[4] G. Gortchev et al., “Da Vinci S robotic surgery in the treatment of benign and malignant gynecologic tumors”. Springer-Verlag 2009

[5] P. Berkelman, E. Boidard, P. Cinquin, J. Troccaz, LER: “The Light Endoscope Robot”, In the Proc. of the 2003 IEEURS.

[6] P. Berkelman and Ji Ma, “A Compact, Modular, Teleoperated Robotic Minimally Invasive Surgery System”, Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems Las Vegs, Nevada ‘ October 2003.

[7] N. Zemiti, G. Morel, T. Ortmaierm and N. Bonnet, “Mechatronic Design of a New Robot for Force Control in Minimally Invasive Surgery”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, VOL.12, No. 2, 2007

[8] J. Rosen et. al., “Spherical Mechanism Analysis of a Surgical Robot for Minimally Invasive Surgery”, Studies in Health Technology and Informatics, 2005