

สัญญาเลขที่ R2562B023



โครงการ การพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับงานเอกซเรย์

หัวหน้าโครงการ ศุภวิฑู สุขเพ็ง

คณะสหเวชศาสตร์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน.....
เลขทะเบียน 1044840
เลขเรียกหนังสือ...จ... ๙๕๗

๙๕๗
.ค๖๖
๑๕๗๒๗๕
๒๕๖๒

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับงานเอกซเรย์

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. รศ. ดร. ศุภวิฑู สุขเพ็ญ คณะสหเวชศาสตร์ ม.นเรศวร
2. ผศ. ดร. พาชื่น โพทัพ คณะสหเวชศาสตร์ ม.นเรศวร
3. อ. เศรษฐา ตั้งคำวานิช คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.นเรศวร
4. อ.บริพัฒน์ กัดมัน คณะสหเวชศาสตร์ ม.นเรศวร
5. อ.กานต์สินี ยาสมุทร คณะสหเวชศาสตร์ ม.นเรศวร

สนับสนุนโดย

งบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีงบประมาณ 2562

บทคัดย่อ

ในการถ่ายภาพเอกซเรย์ นักรังสีเทคนิคต้องจัดให้อวัยวะผู้ป่วยที่ต้องการถ่ายภาพขนานกับแผ่นรับภาพให้มากที่สุด โดยต้องจัดแนวลำรังสีตั้งฉากกับระนาบของส่วนที่ถ่ายและแผ่นรับภาพ เพื่อป้องกันไม่ให้ภาพเอกซเรย์ผิดรูปร่างหรือเกิดการขยาย ซึ่งในการถ่ายภาพเอกซเรย์ผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนไหว เช่น ผู้ป่วยที่ประสบอุบัติเหตุ หรือผู้ป่วยสูงอายุ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการอย่างรวดเร็วและมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยต้องเคลื่อนไหวร่างกายหรืออวัยวะของผู้ป่วยให้น้อยที่สุดเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่จะเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าตัวหลอดเอกซเรย์จะมีการบอกรังสีการทรมานเอียงของหลอดไว้แต่การจัดวางแผ่นรับภาพให้ขนานกับหลอดเอกซเรย์ อาจมีการปรับองศาที่ไม่ถูกต้องแม่นยำ อีกทั้งนักรังสีเทคนิคอาจต้องทำการจับแผ่นรับภาพในกรณีผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนไหว จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อพัฒนาชุดคำสั่งรับรู้การเปลี่ยนแปลงขนาดมุมของหลอดเอกซเรย์และสร้างแบบจำลอง 3 มิติของอุปกรณ์ยึดจับแผ่นรับภาพโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีการประดิษฐ์แบบจำลองอุปกรณ์ยึดจับแผ่นรับภาพที่ทำขึ้นจากแผ่นอะคริลิก ที่มีฟังก์ชันการทำงานสามารถปรับส่วนยึดจับแผ่นรับภาพให้สามารถหมุนเอียงมุมมองทำให้ตั้งฉากกับแนวลำรังสีได้อัตโนมัติ ทั้งนี้จากการทำงานของชุดคำสั่งสามารถรับค่ามุมได้เพียงในระนาบแกนเอกซ์ และแกนแซด ของหลอดเอกซเรย์ แต่ในส่วนของระนาบแกนวาย ต้องอาศัยการป้อนค่ามุมที่ได้จากการวัดมุมของหลอดเอกซเรย์จริงเพื่อส่งคำสั่งให้แบบจำลองอุปกรณ์ยึดจับแผ่นรับภาพทำงานตามได้ อย่างไรก็ตามการพัฒนาในส่วนนี้ เป็นเพียงการพัฒนาขั้นต้นต้องอาศัยการพัฒนาเพื่อให้พัฒนาชุดคำสั่งรับรู้การเปลี่ยนแปลงขนาดมุมของหลอดเอกซเรย์และแบบจำลองอุปกรณ์ยึดจับแผ่นรับภาพ รวมทั้งอุปกรณ์ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ผลการทำงานมีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

คำสำคัญ : ชุดคำสั่ง แบบจำลองสามมิติ แผ่นรับภาพ โปรแกรมคอมพิวเตอร์

Abstract

In radiography, the radiographer needs to set the patient's organs parallel with the image receptor, and the radiation beam must be set perpendicular to prevent X-rays distortion and magnification. In radiography, it is imperative to proceed quickly and with extreme caution when dealing with patients with limited mobility, such as the elderly or those who have had an accident. If the placement of the image receptor is not parallel with the X-ray tube, there may be inaccurate degrees of adjustment. Radiographers may also be required to hold the cassette for patients with limited mobility. The purpose of this research was to develop an instruction set for sensing the x-ray tube angle adjustment, and a 3D model for automatic image receptor angle adjustment, using a computer program. The instruction set can only obtain the angles for the X and Z axis planes of the x-ray tube, but the plane of the Y axis angle of the x-ray tube must be measured and the results entered into the computer program. This is a basic development that requires more study to develop its potential to be completely accurate.

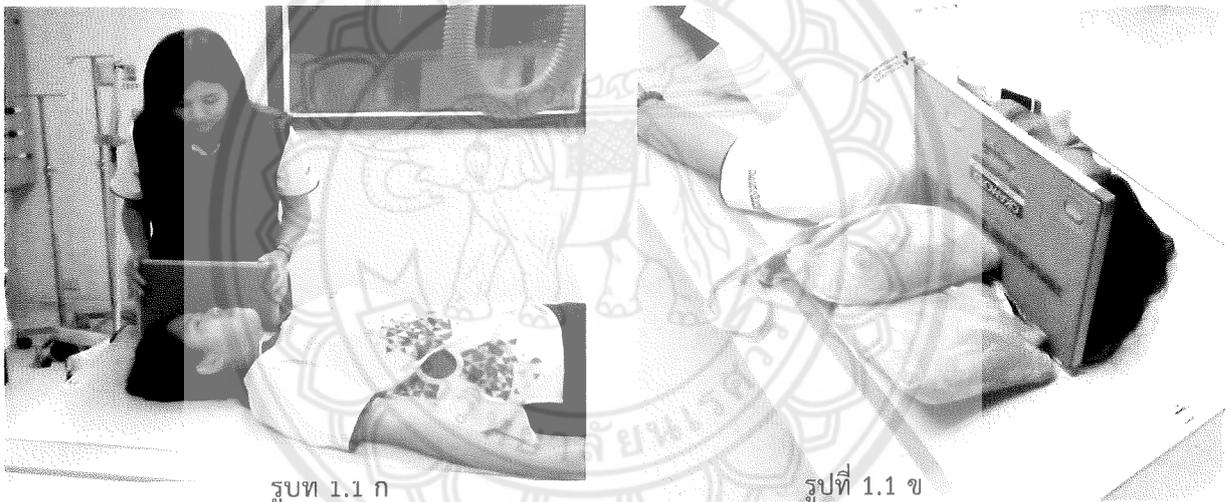
Keyword : Instruction set, 3D Model, Image Receptor, Computer program



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การถ่ายภาพเอกซเรย์ผู้ป่วยฉุกเฉินที่มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนไหว เช่น ผู้ป่วยฉุกเฉินที่ประสบอุบัติเหตุหรือผู้ป่วยสูงอายุ ที่มาทำการถ่ายภาพเอกซเรย์ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกระทำอย่างรวดเร็วและระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยเคลื่อนไหวร่างกายผู้ป่วยให้น้อยที่สุดเพื่อป้องกันการบาดเจ็บเพิ่มขึ้น โดยปกติผู้ป่วยเหล่านี้มักมาด้วยรถเข็นหรือเปลนอน นักรังสีการแพทย์ต้องประยุกต์วิธีการจัดทำที่ทำให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่ถูกต้องตามหลักวิชาคือ อวัยวะส่วนที่ต้องการถ่ายภาพขนานกับแผ่นรับภาพให้มากที่สุด แนวลำรังสีตั้งฉากกับระนาบของส่วนที่ถ่ายและแผ่นรับภาพ เพื่อป้องกันไม่ให้ภาพเอกซเรย์ผิดรูปร่าง



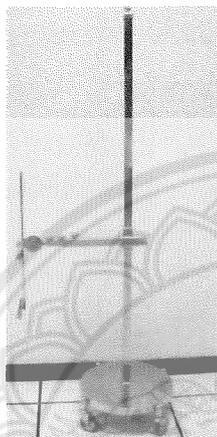
รูปที่ 1.1 แสดงวิธีการตามหลักการถ่ายภาพเอกซเรย์

1.1 ก การให้ญาติผู้ป่วยหรือบุคลากรทางการแพทย์ช่วยยึดจับแผ่นรับภาพในขณะที่มีการเอกซเรย์ผู้ป่วย

1.1 ข อุปกรณ์ต่างๆ ที่ช่วยให้ตัวรับภาพอยู่กับที่เพื่อเอกซเรย์ผู้ป่วย

แต่เนื่องจากข้อจำกัดของผู้ป่วยตามที่ได้กล่าวไปแล้ว นักรังสีการแพทย์จึงต้องอาศัยการเอียงหลอดเอกซเรย์ และวางแผ่นรับภาพให้ขนานกับหลอดเอกซเรย์ โดยใช้ถังน้ำหรือถุงทราย มาช่วยค้ำยันฟิล์มเพื่อให้เป็นไปตามหลักการถ่ายภาพดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ก และ 1.1 ข

อย่างไรก็ดีเนื่องจากวิธีการวางแผ่นรับภาพดังกล่าวไม่สามารถยึดจับฟิล์มได้อย่างถูกต้อง มั่นคง อาจทำให้แผ่นรับภาพเลื่อน เอียง อวัยวะส่วนที่ต้องการถ่ายภาพไม่ขนานกับแผ่นรับภาพ รูปที่ได้นั้นจึงผิดรูปหรือเกิดการขยายทำให้มีคุณภาพไม่เพียงพอต่อการวินิจฉัยของแพทย์ จึงอาจต้องอาศัยนักรังสีการแพทย์ ผู้ช่วยเหลือผู้ป่วย หรือแม้กระทั่งญาติผู้ป่วยมาทำหน้าที่ยึดจับแผ่นรับภาพในขณะที่ถ่ายภาพเอกซเรย์ ซึ่งทำให้ได้รับรังสีตามไปด้วย



รูปที่ 1.2 ก



รูปที่ 1.2 ข

รูปที่ 1.2 แสดงอุปกรณ์ยึดจับฟิล์มอเนกประสงค์สำหรับถ่ายภาพเอกซเรย์ผู้ป่วยฉุกเฉิน

2.1 ก ภาพด้านข้าง

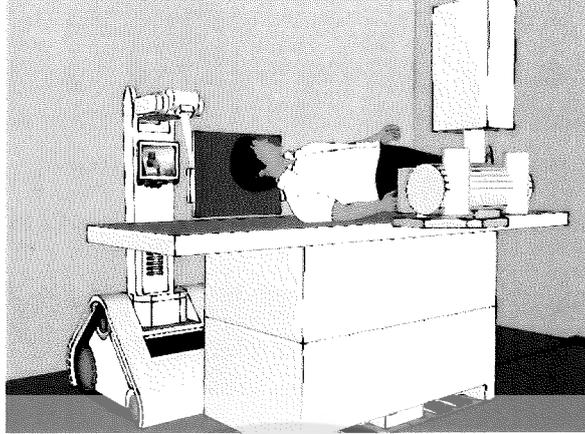
2.1 ข ภาพด้านหน้า

ศุภวิฑู สุขเพ็งและคณะ ได้เคย ออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ยึดจับฟิล์มอเนกประสงค์ดังภาพ 1.2 ก และ 1.2 ข สำหรับถ่ายเอกซเรย์ผู้ป่วยฉุกเฉินขึ้น จากสแตนเลส อุปกรณ์มีลักษณะเป็นเสาตั้งพื้น มีล้อสามารถเคลื่อนที่ได้ บริเวณเสาสามารถปรับความสูงได้และมีส่วนยึดจับแผ่นรับรูปที่สามารถหมุน ปรับเลื่อน บิดเอียง และพลิกแผ่นรับภาพได้ 360 องศา อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้มีขนาดกว้าง 13 นิ้ว ปรับเลื่อนได้ สูง 63 นิ้ว น้ำหนักรวม 9.8 กิโลกรัม สามารถใช้กับแผ่นรับภาพทั้งกลไกชนิดที่มีและไม่มี กริดได้ทุกขนาด แต่จากการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน พบว่าอุปกรณ์มีขนาดใหญ่เกินไป และปุ่มปรับหมุนระนาบ และองศาของแผ่นรับรูปที่ซับซ้อนเกินไป ไม่สะดวกต่อการใช้งานของนักรังสีเทคนิค

จากการวิเคราะห์แนวโน้มทางการตลาดและสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตร พบว่าในปัจจุบัน มีอุปกรณ์ยึดจับตั้บฟิล์มที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์อยู่ อย่างไรก็ตามก็ยังมีมีความจำเพาะเจาะจงกับการใช้งานในด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น กล่าวคือ สามารถหมุนหรือพลิกขึ้น-ลงได้ อย่างไรก็ตามอย่างหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ยังควบคุมการทำงานด้วยระบบ Manual ซึ่งยังต้องอาศัยนักรังสีเทคนิคเข้าไปปรับระดับของอุปกรณ์ก่อนการถ่ายภาพเอกซเรย์ จึงไม่ตอบสนองการใช้งานด้านการถ่ายภาพเอกซเรย์ผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนไหวได้อย่างเต็มที่

ปัจจุบันรัฐบาลได้วางนโยบายการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม โดยมีแนวคิดในการปรับเปลี่ยนบทบาทของประเทศในการผลิตสินค้าโภคภัณฑ์ไปสู่สินค้าเชิงนวัตกรรม เทคโนโลยีความคิดสร้างสรรค์ และสิ่งประดิษฐ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์และเทคโนโลยีด้านหุ่นยนต์ ที่ตอบโจทย์ความต้องการ และสามารถผลิตเพื่อจำหน่ายได้จริงและเมื่อปริมาณการผลิตมากขึ้น ต้นทุนต่อหน่วยลดลง ทำให้โรงพยาบาลในประเทศไทยสามารถซื้อมาใช้งานได้ เป็นการลดการนำเข้าและสร้างสมดุลทางเศรษฐกิจและสังคมให้เกิดความมั่นคง มั่นคั่งและยั่งยืนตามแนวทางของยุทธศาสตร์ประเทศไทย 4.0

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับงานเอกซเรย์ขึ้น โดยสามารถช่วยยึดจับแผ่นรับภาพขณะมีการถ่ายภาพในห้องเอกซเรย์ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยระบบเซนเซอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ภายในพื้นที่ห้องเอกซเรย์และมีฟังก์ชันเสริมเกี่ยวกับการติดตั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทั้งกับนักรังสีเทคนิคและผู้ป่วยในการถ่ายภาพ ซึ่งเป็นการออกแบบส่วนแขนกลของหุ่นยนต์และพัฒนาระบบ Wireless sensor ทำให้ระนาบของแผ่นรับภาพขนานกับหลอดเอกซเรย์ หรือตั้งฉากกับแนวลำรังสี โดยอัตโนมัติ เมื่อมีการปรับมุมของหลอดเอกซเรย์ โดยส่วนยึดจับตั้บฟิล์มสามารถใส่แผ่นรับภาพได้ทุกขนาด สามารถหมุนได้ 360 องศา ตามลักษณะอวัยวะที่ต้องการจะถ่าย และสามารถพลิกขึ้น-ลง (face up, face down), บิดเอียงมุมซ้าย-ขวาได้ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ผู้ป่วยเกิดความเข้าใจและให้ความร่วมมือในการจัดทำโดยลักษณะการใช้งานหุ่นยนต์จะเป็นไปดังรูปที่ 1.3 สำหรับตัวหุ่นยนต์จะใช้วัสดุที่หาได้ง่ายภายในประเทศ ราคาถูก ดูแลรักษาง่าย แข็งแรงทนทานและสวยงาม ต้นทุนในการประดิษฐ์ต่ำ สามารถสร้างและนำไปใช้ได้จริง ไม่สร้างมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อม โรงพยาบาลทุกแห่งสามารถจัดหาซื้ออุปกรณ์นี้มาใช้ในหน่วยงานได้ เพื่อช่วยให้การถ่ายภาพรังสีถูกต้องตามหลักการถ่ายภาพ



รูปที่ 1.3 ลักษณะการใช้งานหุ่นยนต์สำหรับงานเอกซเรย์

ประโยชน์ที่สำคัญของงานวิจัยชิ้นนี้ คือ ช่วยลดการบาดเจ็บจากการเคลื่อนย้าย และอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ป่วยในการถ่ายภาพเอกซเรย์ ลดเวลาในการปฏิบัติงานของนักรังสีการแพทย์และเจ้าหน้าที่รังสีเทคนิค ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดปริมาณรังสีให้แก่ผู้ป่วย ญาติผู้ป่วย เจ้าหน้าที่และบุคลากรที่เกี่ยวข้อง ลดงบรายจ่ายภายในแผนกรังสีวิทยาของแต่ละโรงพยาบาล เนื่องจากการสูญเสียงบประมาณจากการถ่ายภาพรังสีผิดพลาด และที่สำคัญคือนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อประดิษฐ์หุ่นยนต์และแขนกลยึดจับแผ่นรับภาพเอกซเรย์ที่สามารถปรับองศาของแผ่นรับภาพให้ขนานกับหลอดเอกซเรย์ได้อย่างอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

เป็นการพัฒนาหุ่นยนต์ใช้งานภายในห้องเอกซเรย์ โดยการประดิษฐ์ส่วนแขนกลสำหรับยึดจับแผ่นรับภาพ และระบบ Wireless Sensor ที่มีแขนกลช่วยยึดจับแผ่นรับภาพถ่ายภาพเอกซเรย์ โดยแขนกลที่จะพัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้ เป็นข้อต่อแบบหมุนทั้งหมด (Articulated Robot) ซึ่งประกอบไปด้วย 3 แขน และ 5 ข้อต่อ ในแต่ละข้อต่อสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ (degree-of-freedom (DOF)) [1] และติดตั้งระบบเซนเซอร์ ที่ปรับระนาบของแผ่นรับภาพตามองศาของหลอดเอกซเรย์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวอย่างท่าที่ใช้ในการถ่ายภาพทางรังสีสำหรับผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนไหว

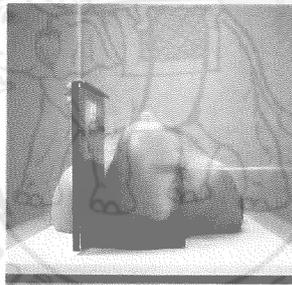
2.1.1 Lateral Skull (Trauma) [1]

การจัดท่า

วางหมอนหนุนศีรษะผู้ป่วย โดยให้แนว Midsagittal plane ขนานแผ่นรับภาพ และ Interpupillary line ตั้งฉากแผ่นรับภาพ และให้ผู้ป่วยก้มหน้าลงขณะทำการถ่าย

จุดกึ่งกลางลำรังสี

2 นิ้วเหนือแนว External acoustic meatus



รูปที่ 2.1 การจัดท่า Lateral Skull (Trauma) [2]

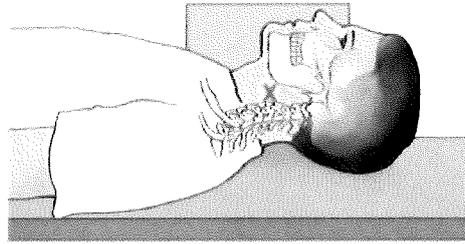
2.1.2 Cross table Lateral Cervical Spine [3]

การจัดท่า

ให้ผู้ป่วยปล่อยไหล่ตามสบายให้ผู้ป่วยนอนตั้งหัวตรงไม่ขยับ

จุดกึ่งกลางลำรังสี

ตั้งฉากกับแผ่นรับรูปที่ตำแหน่ง Cervical spine C4



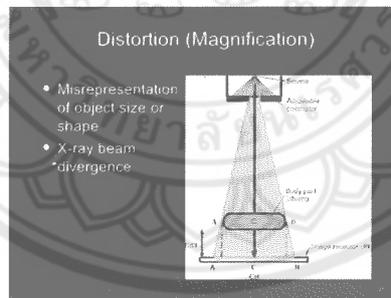
Horizontal CR to C4

รูปที่ 2.2 การจัดท่า Crosstable Lateral Cervical Spine [4]

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อภาพ

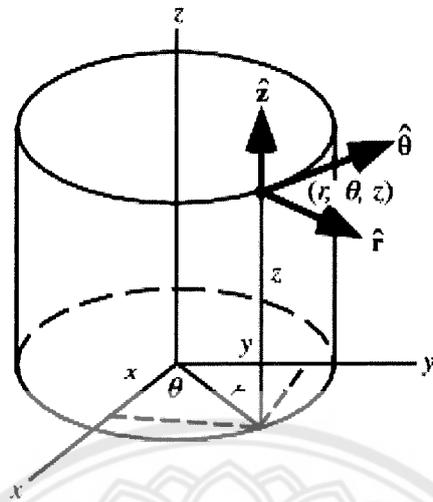
2.2.1 Distortion การบิดเบือนของภาพ

รูปที่ได้จากการถ่ายเอกซเรย์มีรูปร่างและขนาดไม่ตรงตามรูปร่างและขนาดของอวัยวะหรือที่ส่วนที่ถ่ายจริง โดยมีสาเหตุมาจากการวางแผ่นรับภาพไม่ขนานกับหลอดเอกซเรย์ ส่งผลให้ลำรังสีไม่ตั้งฉากกับแผ่นรับภาพ รูปที่ได้จึงมีขนาดและรูปร่างไม่ตรงตามความเป็นจริง ดังรูปที่ 4 ซึ่งสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการปรับให้แผ่นรับภาพขนานไปตามหลอดเอกซเรย์



รูปที่ 2.1 แสดงสาเหตุการบิดเบือนของภาพ (Distortion) [5]

2.3 ระบบพิกัดทรงกระบอก (Circular Cylindrical Coordinate System) [6,7]



รูปที่ 2.5 แสดงระบบพิกัดทรงกระบอก [7]

จากรูปที่ 2.5 แสดงระบบพิกัดทรงกระบอก เป็นระบบที่ใช้บอกตำแหน่งของจุดในสเปซ ด้วยพิกัด (ρ, θ, Z) หรือ (r, θ, Z)

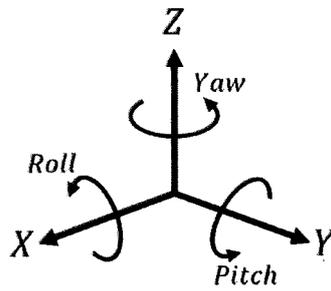
โดย

ρ หรือ r เป็นรัศมีของทรงกระบอก หรือระยะห่างจากแกน Z

θ เป็นมุมในระนาบ XY ที่วัดจากแกน X ไปยังแนว r

Z เป็นระยะจากระนาบ XY ถึงจุดนั้น จุด $P(r, \theta, Z)$ จึงเป็นจุดบนผิวทรงกระบอก

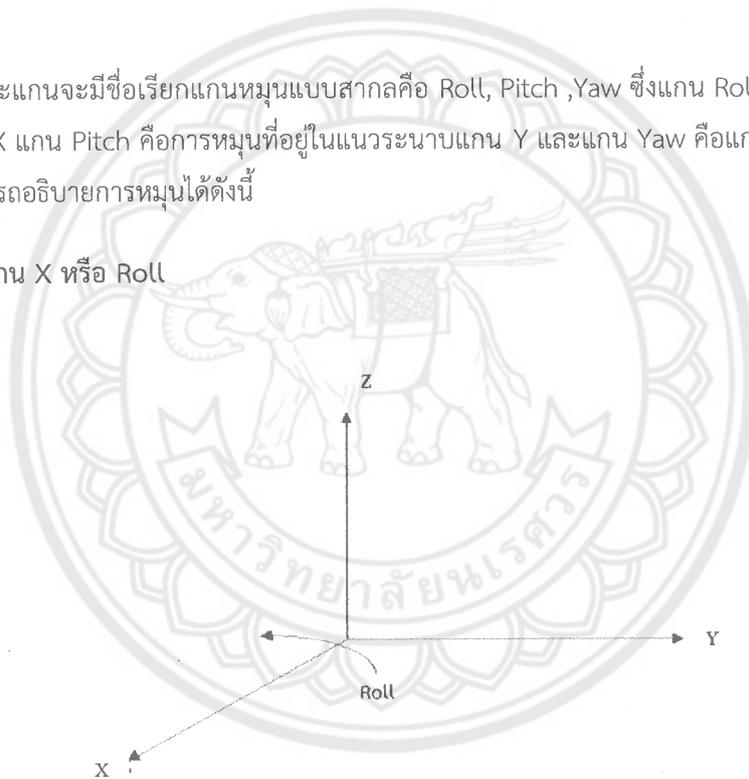
2.4. การหมุนแกน (Rotation) [7]



รูปที่ 2.6 แสดงการหมุนแบบ ๓๓๓ (๐๐๐๐, ๐๐๐๐๐, ๐๐๐)

แกนแต่ละแกนจะมีชื่อเรียกแกนหมุนแบบสากลคือ Roll, Pitch ,Yaw ซึ่งแกน Roll คือการหมุนที่อยู่ในแนวระนาบแกน X แกน Pitch คือการหมุนที่อยู่ในแนวระนาบแกน Y และแกน Yaw คือแกนที่อยู่ในแกนแนวตั้งหรือแกน Z สามารถอธิบายการหมุนได้ดังนี้

2.4.1 หมุนรอบแกน X หรือ Roll



รูปที่ 2.7 แสดงการหมุนรอบแกน X

จากรูปที่ 2.7 แกน X ถูกหมุน ทำให้ค่าพิกัดแกน Y และ Z เปลี่ยนแปลงตามสมการ ดังนี้

$$X_1 = X \tag{2.1}$$

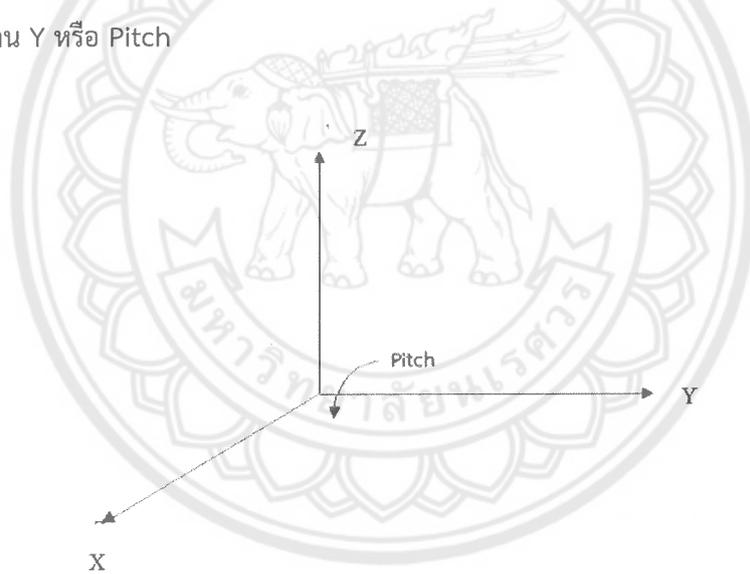
$$Y1 = Y \times \cos(\theta) - Z \times \sin(\theta) \quad (2.2)$$

$$Z1 = Y \times \sin(\theta) + Z \times \cos(\theta) \quad (2.3)$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบเมตริกซ์ได้ ดังนี้

$$[x_1, y_1, z_1, 1] = [x, y, z, 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

2.4.2 หมุนรอบแกน Y หรือ Pitch



รูปที่ 2.8 แสดงการหมุนรอบแกน Y

จากรูปที่ 2.8 แกน Y ถูกหมุน ทำให้ค่าพิกัดแกน X และ Z เปลี่ยนแปลงตามสมการ ดังนี้

$$X1 = Z \times \cos(\theta) - X \times \sin(\theta) \quad (2.5)$$

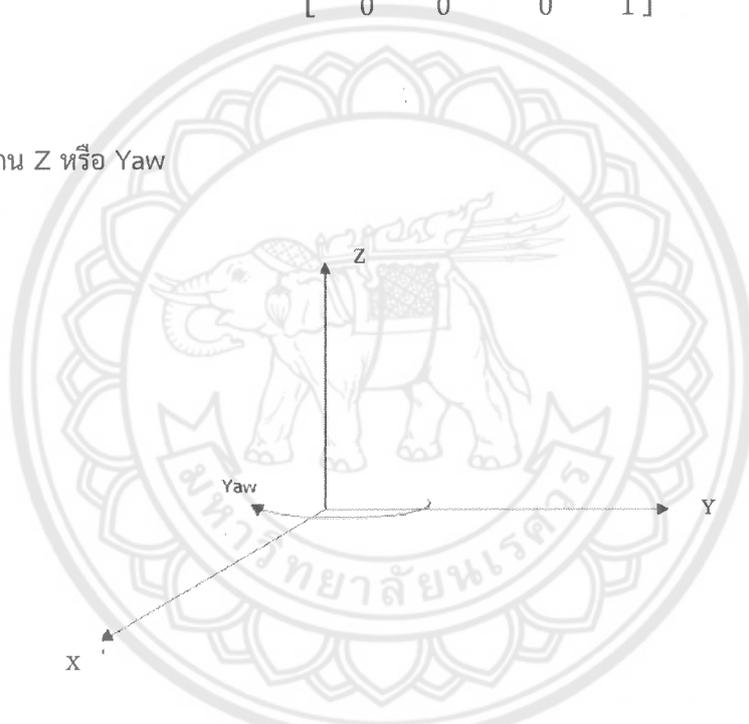
$$Y_1 = Y \quad (2.6)$$

$$Z_1 = Z \times \sin(\theta) + X \times \cos(\theta) \quad (2.7)$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบเมตริกซ์ได้ ดังนี้

$$[x_1, y_1, z_1, 1] = [x, y, z, 1] \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

2.4.3 หมุนรอบแกน Z หรือ Yaw



รูปที่ 2.9 แสดงการหมุนรอบแกน Z

จากรูปที่ 2.9 แกน Y ถูกหมุน ทำให้ค่าพิกัดแกน X และ Z เปลี่ยนแปลงตามสมการ ดังนี้

$$X_1 = X \times \cos(\theta) - Y \times \sin(\theta) \quad (2.9)$$

$$Y_1 = X \times \sin(\theta) + Y \times \cos(\theta) \quad (2.10)$$

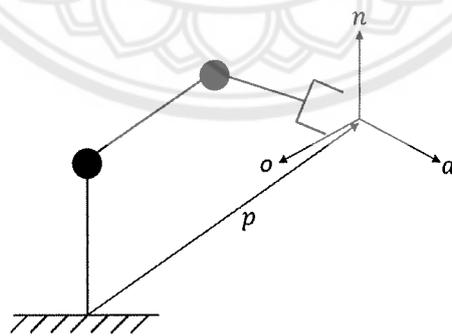
$$Z_1 = Z \quad (2.11)$$

จากสมการเขียนเป็นรูปแบบเมทริกซ์ได้ ดังนี้

$$[x_1, y_1, z_1, 1] = [x, y, z, 1] \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

2.5. ทฤษฎีจลนศาสตร์ [6, 8, 9, 10]

เป็นการศึกษาถึงตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของจุดใดจุดหนึ่งรวมถึงความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุมของวัตถุ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จำเป็นที่จะใช้อธิบายถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็ง ตำแหน่งของวัตถุสามารถบอกได้จากตำแหน่งของจุดที่อยู่บนวัตถุ ประกอบกับตำแหน่งเชิงมุมของวัตถุนั้น หุ่นยนต์หรือแขนกลในทางจลนศาสตร์นั้นประกอบขึ้นมาจากการประกอบหรือการต่อกันของก้านโยง โดยก้านโยงนั้นมีคุณสมบัติเป็นวัตถุแข็งเกร็งคือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อมีสิ่งใดมากระทำต่อกันของแต่ละก้านโยงนั้น วิธีในการนำมาต่อกันนั้นเรียกได้ว่าเป็นจลนศาสตร์ลูกโซ่ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ก้านโยงและข้อต่อ การบอกตำแหน่งและการหมุนของปลายแขนกล สามารถแสดงอยู่ในภาพของการบอกตำแหน่งด้วยเวกเตอร์ p และการหมุนด้วยพิกัด (n, o, a) ดังรูปที่ 2.10

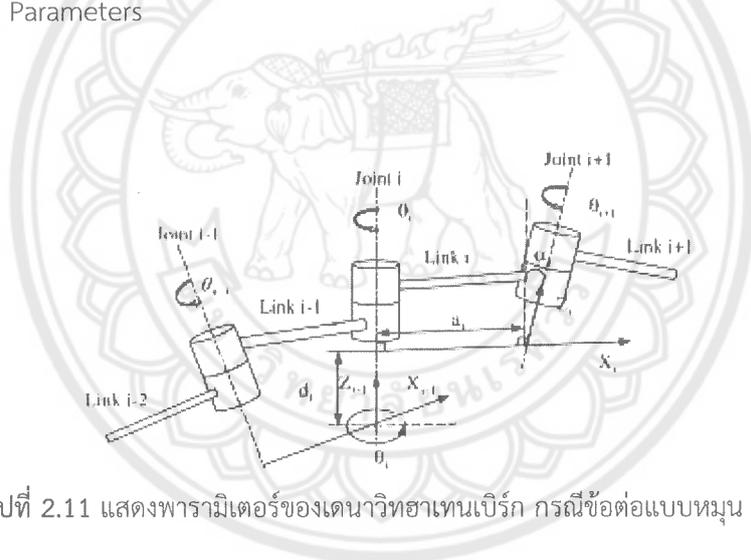


รูปที่ 2.10 ตำแหน่งและทิศทางของปลายแขนกล [8]

นอกจากนี้ ทฤษฎีจลนศาสตร์ หรือที่เรียกว่า Kinematics จะกล่าวถึงการพิจารณาหาตำแหน่ง (x, y, z) เมื่อทราบมุมมองศาแต่ละข้อต่อของแขนกล รวมถึงการพิจารณาหามุมองศาแต่ละข้อต่อของแขนกล เมื่อต้องการให้แขนกลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง (x, y, z) ตามที่ต้องการ

2.6 พารามิเตอร์เดนาวิทฮาเทนเบิร์ก (Denavit-Hartenberg) [10]

ในการสร้างแขนกลทั่วไปนั้นประกอบด้วยก้านโยงที่ต่อกันแบบอนุกรมด้วยข้อต่อจาก นั้นกำหนดแกนอ้างอิงที่ติดกับวัตถุในแต่ละก้านโยง เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแกนอ้างอิงแต่ละก้านโยงไปยังปลายสุดท้ายหรือจุดปลายของแขนกล โดยทั่วไปมักเป็นมือที่ใช้หยิบจับชิ้นงาน จากการคำนวณนี้สามารถบอกได้ว่าตำแหน่งของมือจับชิ้นงานอยู่ตำแหน่งใดในระนาบ 3 มิติในการคำนวณสามารถหาฟังก์ชันต่างๆ ตามลำดับต่อไป คือ ทำอย่างไรเพื่อใช้ตัวแปรที่กล่าวข้างต้นนั้นมาใช้กับหุ่นยนต์วิธีที่เป็นที่ยอมรับวิธีหนึ่ง ได้แก่ พารามิเตอร์ของ เดนาวิทฮาเทนเบิร์ก หรือ ใช้ตัวย่อ D-H Parameters



รูปที่ 2.11 แสดงพารามิเตอร์ของเดนาวิทฮาเทนเบิร์ก กรณีข้อต่อแบบหมุน [10]

จากรูปที่ 2.11 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆใน D-H Parameters ในกรณีของ ข้อต่อแบบหมุน (Revolute Joint) แต่ละตัวแปรนิยามดังต่อไปนี้

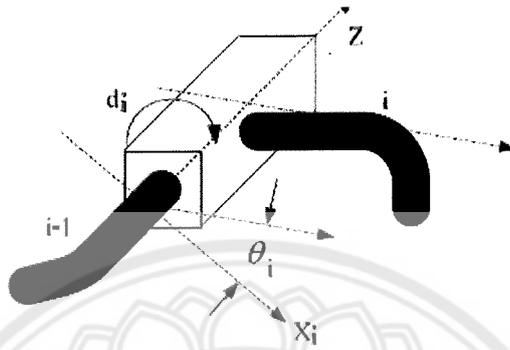
a_i คือ ระยะจากแกน $i-1$ Z ถึงแกน i Z วัดตามแนวแกน i X

d_i คือ ระยะจากแกน $i-1$ X ถึงแกน i X วัดตามแนวแกน $i-1$ Z

α_i คือ มุมบิดระหว่าง $i-1$ Z กับ i Z รอบแกน i X

θ_i คือ มุมระหว่างแกน $i-1$ X ถึงแกน i X หมุนรอบแกน $i-1$ Z

โดยตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง คือ มุม θ โดยระยะ d คงที่ ส่วนกรณีข้อต่อแบบเลื่อน (Prismatic Joint) ตัวแปรที่เปลี่ยนค่า คือ ระยะ d โดยมุม θ มีค่าคงที่



รูปที่ 2.12 แสดงพารามิเตอร์ของเดนาวิทาเทนเบิร์กกรณีข้อต่อแบบเลื่อน [10]

รูปที่ 2.12 สามารถอธิบายวิธีการกำหนดแกนดังนี้

1. เริ่มจากฐานกำหนดแกนอ้างอิงเป็น 0 ร่วมกับแกนอ้างอิงหลัก
2. กำหนดแกนในแต่ละก้านโยงตามกฎมือขวาโดยให้แกนหมุนเป็นแกนเริ่มต้นที่ 0 เช่น z_0 ในส่วนของข้อต่อแบบหมุนหรือข้อต่อแบบเลื่อนทิศทางของแกน z ไปในทิศทางออกจากก้านโยง
3. กำหนดแกนของก้านโยง ถัดไปให้ดูตามแกนการหมุนโดยให้แกนนั้นเป็นแกน z_1
4. ทิศทางของแกน x_1 หาได้โดยได้มาจากผลลัพท์ของ Cross Product $z_0 \times z_1$ แต่ละแกนจะถูกกำหนดที่ส่วนปลายของข้อต่อของก้านโยง
5. กรณีมีระยะออฟเซตจะมีระยะ d หรือถ้าไม่มี $d = 0$
6. แกน z อยู่รวมในแนวเดียวกับแกนการหมุนของข้อต่อ

เฟรม i อาจเกิดจากการหมุนและเลื่อนขนานของเฟรม $i - 1$ ตามลำดับต่อไปนี้

1. เลื่อนขนานเฟรม $i - 1$ ในทิศทางของแกนพิกัด x_{i-1} ซึ่งมีได้เปลี่ยนแปลง ด้วยมุมบิดของข้อต่อ a_{i-1} การเลื่อนขนานนี้สอดคล้องกับตัวดำเนินการ

$$\text{Trans}_{x_{i-1}, a_{i-1}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

2. หมุนเฟรมลัพท์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนที่ 1 รอบแกนพิกัด x_{i-1} ซึ่งมีได้เปลี่ยนแปลง ด้วยมุมบิดของข้อต่อ a_{i-1} การหมุนนี้สอดคล้องกับตัวดำเนินการ

$$\text{Rot}_{x_{i-1}, \alpha_{i-1}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

3. เลื่อนขนานเฟรมลัพท์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนที่ 2 ในทิศทางของแกนพิกัด z_i ซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนที่ 2 ด้วยระยะเลื่อนขนานของข้อต่อ d_i การเลื่อนขนานนี้สอดคล้องกับตัวดำเนินการ

$$\text{Trans}_{z_i, d_i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

4. หมุนเฟรมลัพท์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนที่ 3 รอบแกนพิกัด z_i ซึ่งมีได้เปลี่ยนแปลง ด้วยมุมของข้อต่อ θ_i การหมุนนี้สอดคล้องกับตัวดำเนินการ

$$\text{Rot}_{z_i, \theta_i} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & 0 \\ s\theta_i & c\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

เนื่องจากการหมุนและการเลื่อนขนานเกิดขึ้นสัมพันธ์กับเฟรมปัจจุบัน ดังนั้นตัวดำเนินการลัพธ์ที่สมมูลกันกับผลของตัวดำเนินการย่อยทั้งสี่ ซึ่งคือเมตริกซ์การแปลงเอกพันธ์ที่อธิบายตำแหน่งและทิศทางของการหมุนของ $\{i-1\}$ จึงสามารถคำนวณได้ดังนี้

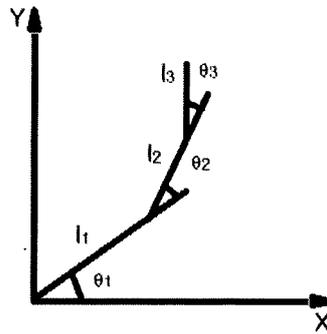
$$T_i^{i-1} = \text{Trans}_{x_{i-1}, a_{i-1}} \text{Rot}_{x_{i-1}, \alpha_{i-1}} \text{Trans}_{z_i, d_i} \text{Rot}_{z_i, \theta_i} \quad (2.17)$$

$$= \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ c\alpha_{i-1}s\theta_i & c\alpha_{i-1}c\theta_i & -s\alpha_{i-1} & -d_i s\alpha_{i-1} \\ s\alpha_{i-1}s\theta_i & s\alpha_{i-1}c\theta_i & c\alpha_{i-1} & d_i c\alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

จากความซับซ้อนของความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์กับพารามิเตอร์ทั้งสี่นี้ ในการออกแบบหุ่นยนต์จึงควรคำนึงถึงลักษณะโครงสร้างที่เอื้อประโยชน์ต่อการคำนวณด้วย เช่น มุมบิดของก้านต่อที่มีค่า 0° หรือ 90° ช่วยลดความซับซ้อนของเมตริกซ์การแปลงเอกพันธ์ลง

2.7 จลนศาสตร์ข้างหน้า (Forward Kinematics) [9, 10, 11]

จลนศาสตร์ข้างหน้า คือ การวิเคราะห์การเคลื่อนที่และทิศทางของตัวทำงานส่วนปลาย เมื่อทราบค่าตำแหน่งข้อต่อของหุ่นยนต์ เป็นการคำนวณตามลำดับจากข้อต่อไปยังส่วนปลายของแขนหุ่นยนต์ สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่แบบจลนศาสตร์ข้างหน้า



รูปที่ 2.13 ลักษณะตำแหน่งของ x และ y [11]

จากรูปที่ 2.13 สามารถเขียนสมการในแต่ละแกนได้ดังต่อไปนี้

$$x = l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (2.19)$$

$$y = l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (2.20)$$

$$\phi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (2.21)$$

2.8 จลนศาสตร์ผกผัน (Inverse Kinematics) [9, 10]

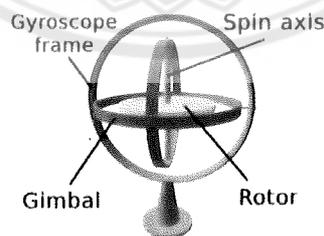
เป็นการวิเคราะห์หาฟังก์ชันของตัวแปรข้อต่อ ในพจน์ของตำแหน่งและทิศทางการหมุนของหุ่นยนต์ที่ถูกกำหนดมาให้ สำหรับหุ่นยนต์แบบอนุกรมแล้ว ปัญหาจลนศาสตร์ผกผันจะมีความสลับซับซ้อนกว่าปัญหาจลนศาสตร์ข้างหน้า เนื่องด้วยการเคลื่อนที่ในสามมิติ จะต้องบรรยายด้วยเลขาคณิตยูคลิดแบบพิเศษ (special Euclidean geometry) และการส่งจากปริภูมิของข้อต่อ ไปยังปริภูมิของการทำงานนั้นเกี่ยวข้องกับฟังก์ชันตรีโกณมิติ (trigonometric function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น (nonlinear function) และไม่ใช่ฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่งทั่วถึง (bijective function) ดังนั้น การวิเคราะห์จลนศาสตร์ผกผันจึงไม่มีขั้นตอนที่ค่อนข้างตายตัวดังเช่นกรณีจลนศาสตร์ข้างหน้า โดยปกติแล้วไม่มีวิธีการทั่วไปที่สามารถแก้สมการพีชคณิตแบบไม่เชิงเส้นใดๆ ก็ได้ เว้นเสียแต่วิธีทางเชิงเลข (numerical method) อย่างไรก็ตาม วิธีทางเชิงเลขมีข้อเสียที่ว่า โดยปกติแล้วขั้นตอนวิธีจะให้คำตอบเพียงคำตอบเดียวซึ่งอาจมิใช่คำตอบที่ต้องการ หรือไม่ได้อยู่ในสาขาเดียวกับคำตอบปัจจุบัน ยิ่งไปกว่านั้น หลักการของขั้นตอนวิธีมักเป็นวิธีทำซ้ำ (iterative method) ซึ่งต้องใช้เวลาที่ไม่แน่นอนและนานกว่า ซ้ำยัง

อาจประสบปัญหาค่าตอบไม่ลู่เข้า (divergence) ได้อีกด้วย ดังนั้น วิธีทางเชิงเลขสำหรับการหาผลเฉลยจลนศาสตร์ ผกผันจึงมักไม่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมแบบทันที (real-time control) แต่มักใช้ในการจำลองระบบที่ซับซ้อนและไม่สามารถหาผลเฉลยในรูปแบบปิด (closed form solution) ได้

ในทางปฏิบัติ หุ่นยนต์ที่ใช้งานจริงมักถูกออกแบบให้มีโครงสร้างที่ง่าย และสามารถหาผลเฉลยรูปแบบปิดได้ เพื่อประโยชน์หลักในการคำนวณให้ทันภายในอัตราการซีกตัวอย่าง (sampling rate) ของระบบควบคุมแบบทันที ผลเฉลยของเวกเตอร์ของข้อต่อ จะถูกจัดว่าเป็นผลเฉลยรูปแบบปิด หากเวกเตอร์ของข้อต่อ \mathbf{q} สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันชัดแจ้งของพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายตำแหน่งและทิศทางของแขนที่กำหนดมาให้ได้ แม้ว่าในความเป็นจริงแล้ว บ่อยครั้งอาจต้องเขียนนิพจน์ในรูปแบบฟังก์ชันประกอบ (composite function) ย่อยๆ หรือฟังก์ชันโดยปริยาย (implicit function) ของพหุนาม (polynomial) อันดับไม่เกิน 4 เพื่อลดความซับซ้อน วิธีการที่ใช้หาผลเฉลยรูปแบบปิดสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่ วิธีการพีชคณิตและวิธีการเลขคณิต

2.9 Gyroscope ไจโรสโคป [12]

เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยแรงเฉื่อยของล้อหมุน เพื่อช่วยรักษาระดับทิศทางของแกนหมุน ประกอบด้วยล้อหมุนเร็วบรรจุอยู่ในกรอบอีกทีหนึ่ง ทำให้เอียงในทิศทางต่าง ๆ ได้โดยอิสระ นั่นคือ หมุนในแกนใด ๆ โมเมนตัมเชิงมุมของล้อดังกล่าวทำให้มันคงรักษาทิศทางของมันไว้แม้กรอบล้อจะเอียง จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์ต่าง ๆ มากมาย เช่น เข็มทิศ และนักบินอัตโนมัติของเครื่องบิน เรือ กลไกบังคับทางเสื่อของตอร์ปิโด อุปกรณ์ป้องกันการกระถิกบนเรือใหญ่ และระบบนำร่องเฉื่อย (inertial guidance) รวมถึงระบบในยานอวกาศ และสถานีอวกาศ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แบบจำลองไจโรสโคป [12]

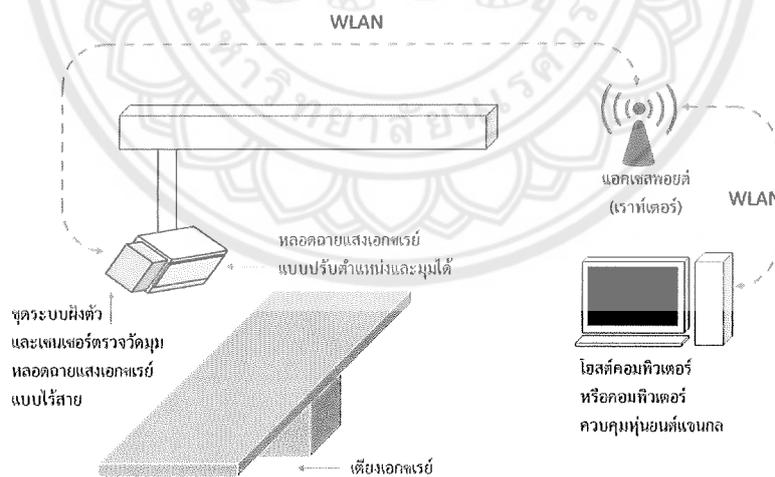
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ออกแบบระบบ Wireless Sensor สำหรับการอ่านค่ามุมหลอดเอกซเรย์

ทางคณะผู้วิจัยที่ได้ทำการศึกษาและวางแผนพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบมุมหลอดเอกซเรย์แบบไร้สาย โดยมีแนวคิดให้สามารถใช้กับเครื่องเอกซเรย์ที่มีอยู่ในปัจจุบันได้โดยไม่กระทบกับการทำงานเดิม ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าวนี้ให้มีลักษณะพอเหมาะเพื่อให้สามารถนำไปติดตั้งบริเวณด้านข้างของกรอบหลอดเอกซเรย์ได้ โดยภายในจะประกอบไปด้วยระบบฝังตัว (Embedded System), เซนเซอร์ตรวจวัดมุม (Gyroscope), โมดูลการสื่อสารแบบไร้สาย(Wireless Communication Module) และแบตเตอรี่ (Battery)

เพื่อให้การติดตั้งอุปกรณ์นี้เข้ากับเครื่องเอกซเรย์ที่มีอยู่ในปัจจุบันได้โดยไม่แก้ไขโครงสร้างทางกายภาพและทางไฟฟ้าของตัวเครื่องเอกซเรย์ ทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้การสื่อสารแบบไร้สาย เพื่อไม่ต้องเดินสายสัญญาณในเครื่องเอกซเรย์ โดยข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจวัดมุมจะแปลงเป็นสัญญาณไร้สาย เดินทางไปยังแอคเซสพอยต์และส่งต่อไปยังเครื่องโฮสต์คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมรับค่า โดยการสื่อสารนี้เป็นแบบไร้สายแบบ WLAN (Wireless LAN IEEE 802.11) ทำให้ผู้ใช้งานหรืออุปกรณ์หุ่นยนต์แขนกลสามารถทราบค่ามุมปัจจุบันของหลอดเอกซเรย์ และสามารถนำไปปรับฉากฟิล์มเพื่อให้ตั้งฉากกับรังสีที่ฉายได้ในขั้นถัดไป

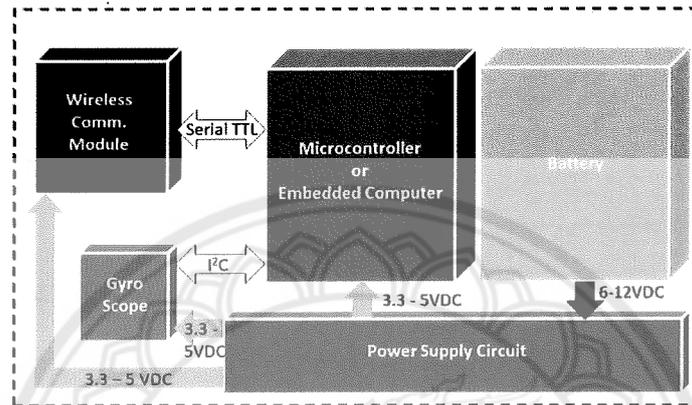
ภาพรวมการออกแบบและแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบมุมหลอดเอกซเรย์แบบไร้สาย



รูปที่ 3.1 ภาพรวมการออกแบบและแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบมุมหลอดเอกซเรย์แบบไร้สาย

3.1.1 การออกแบบระบบฝังตัวเพื่อตรวจสอบมุมหลอดเอกซเรย์แบบไร้สาย

การออกแบบระบบฝังตัวเพื่อตรวจสอบมุมหลอดเอกซเรย์นี้ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์ฝังตัวขนาดเล็กเป็นศูนย์กลางในการประมวลผลโดยภายในกล่องระบบฝังตัวเพื่อตรวจสอบมุมหลอดเอกซเรย์จะมีแผนผังการเชื่อมต่อและมีอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบระบบฝังตัวเพื่อตรวจสอบมุมหลอดเอกซเรย์แบบไร้สาย

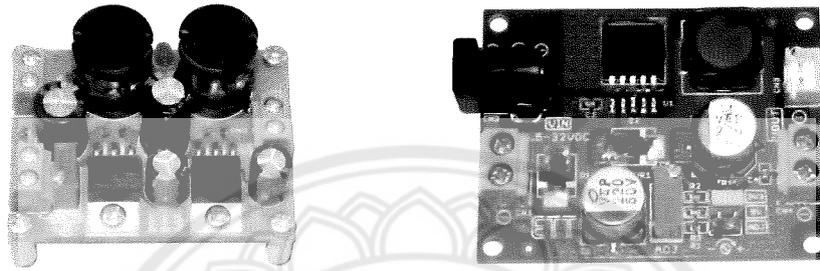
แบตเตอรี่ คืออุปกรณ์ที่ให้พลังงานทางไฟฟ้ากระแสตรง แก่วงจรไฟและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อ โดยทางคณะผู้วิจัยได้พิจารณาชนิดของแบตเตอรี่ที่ควรนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ควรเป็นประเภทแบตเตอรี่ Li-Po (Lithium -Polymer) หรือถ่านชาร์จ (Rechargeable Battery) ซึ่งมีน้ำหนักเบา ทำให้สามารถนำไปติดตั้งเข้ากับเครื่องเอกซเรย์เดิมได้ง่าย แต่เนื่องจากวงจรถออิเล็กทรอนิกส์ภายในที่จะใช้ในโครงการวิจัยนี้ ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ อาจจะมีค่าน้อยกว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งอธิบายในข้อถัดไป



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างแบตเตอรี่ลิเทียมโพลีเมอร์ (ซ้าย) และถ่านชาร์จ (ขวา)

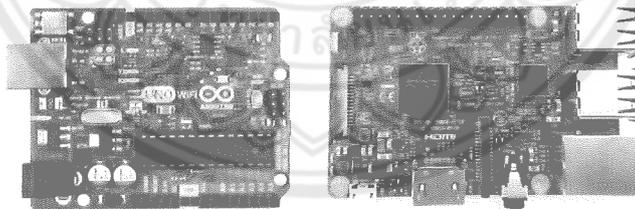
วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย คือวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่วงจรหลัก โดยทั่วไปแล้ววงจรเพาเวอร์ซัพพลายนี้จะเป็นการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่า ลงมาเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า เช่นเมื่อนำแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์มาต่อกับวงจรเพาเวอร์ซัพพลายเพื่อให้อุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่

แรงดันขนาด 5 โวลต์ เป็นต้น โดยภายในวงจรนี้อาจจะมีหม้อแปลงในกรณีแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง รวมทั้งไอซีประเภทปรับขนาดแรงดัน หรือ เรกกูเลเตอร์ (Regulator) และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter) บ้างตามความเหมาะสม ทั้งนี้เมื่อได้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับวงจรในงานโครงการวิจัยนี้แล้ว ก็สามารถนำไปจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่วงจรหลัก คือไมโครคอนโทรลเลอร์ ไซโรสโคป และ โมดูลการสื่อสารไร้สายได้ตามที่อุปกรณ์ชนิดนั้นๆต้องการได้



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างวงจรเพาเวอร์ซัพพลายขนาดเล็กแบบคงที่ (ซ้าย) และแบบปรับได้ (ขวา)

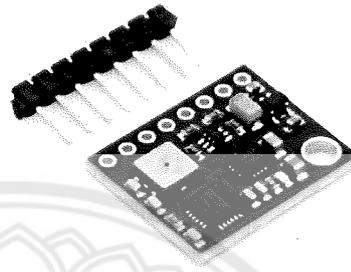
ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์ฝังตัว เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตทรานซิสเตอร์และวงจรรวม หรือ ไอซี ได้เข้ามามีบทบาทต่อการสร้างนวัตกรรมและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยที่ขนาดเล็กลงนั่นเอง ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็เช่นกัน ซึ่งคือระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถประมวลผลได้ ทำงานร่วมกับโปรแกรม อินพุต และเอาต์พุตได้ ซึ่งปัจจุบันมีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบอัจฉริยะต่างๆ



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ซ้าย) และบอร์ดคอมพิวเตอร์ฝังตัว (ขวา)

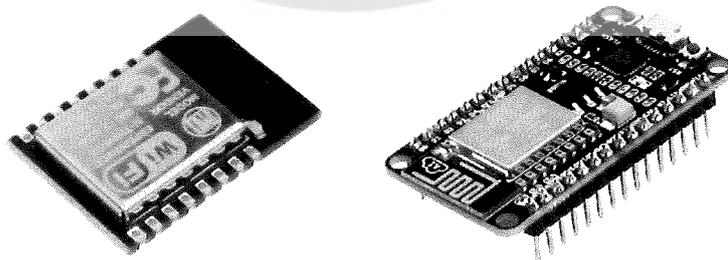
ไซโรสโคป คือตัวตรวจจับหรือเซนเซอร์ประเภท MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ที่ใช้อ่านค่าการหมุนรอบแกนอ้างอิง มีทั้งแบบ 2 แกน และแบบ 3 แกน (ในปัจจุบันโทรศัพท์มือถือบางรุ่นมีการติดตั้งเซนเซอร์ประเภทนี้ไว้ภายในตัวเครื่องแล้ว) เมื่อไปติดตั้งกับอุปกรณ์ที่ต้องการทราบมุมเอียงหรือมุมบิดก็สามารถทราบได้จากค่าที่อ่านได้เทียบกับมุมหรือจุดอ้างอิง โดยทางคณะผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกใช้โมดูลเซนเซอร์ไซโรสโคปที่สามารถเชื่อมต่อ (Interfacing) เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์ฝังตัวได้ ซึ่งโปรโตคอลและ

การเชื่อมต่อที่สามารถใช้ได้ตัวอย่างเช่น Serial TTL, I²C หรือ I²S เป็นต้น ทำให้โปรแกรมหลักในไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์ฝังตัวทำการอ่านค่าข้อมูลในรีจิสเตอร์โมดูลเซ็นเซอร์โรสโคปตามแกนที่ต้องการทราบค่า และนำไปประมวลผล และสามารถส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณไร้สายด้วยโมดูลการสื่อสารไร้สายในส่วนต่อไปได้



รูปที่ 3.6 แสดงการอ่านค่าจากโรสโคปรอบแกน X, Y และ Z (ซ้าย) และโมดูลเซ็นเซอร์โรโร(ขวา)

โมดูลการสื่อสารแบบไร้สาย คือชุดระบบฝังตัวที่ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลด้านการสื่อสารในระดับชั้นโปรโตคอลต่างๆที่เกี่ยวข้อง และวงจรรักษา-ส่งสัญญาณแบบไร้สายรวมทั้งเสาอากาศขนาดเล็กที่ถูกออกแบบรวมเป็นโมดูลชุดเดียว โดยสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ผ่านโปรโตคอลและการเชื่อมต่อที่ทั่วไปเช่น Serial TTL หรือ I²C ได้เช่นกัน



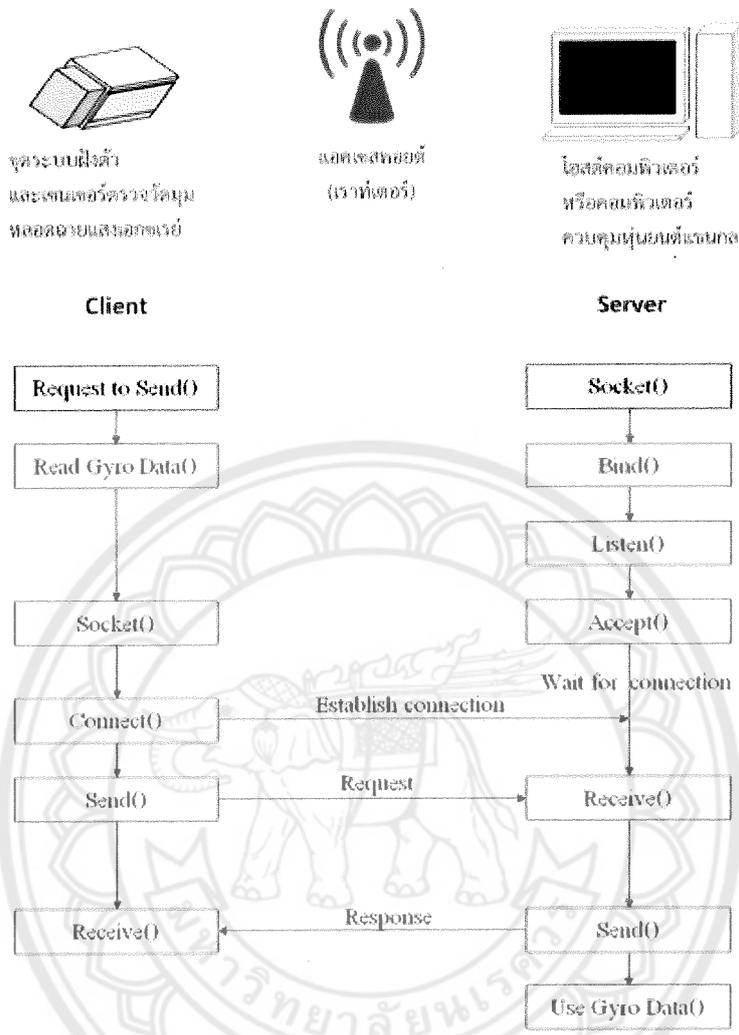
รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างโมดูลการสื่อสารแบบไร้สายที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

ดังนั้นเมื่อได้ทำการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์โจโรสโคปรอบแกน X, Y และ Z โดยไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว ก็จะสามารถสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลผ่านโมดูลการสื่อสารไร้สายที่เชื่อมต่อด้วยกัน ส่งต่อไปยังโฮสต์คอมพิวเตอร์หรือหุ่นยนต์แขนกลที่ปลายทางเพื่อแจ้งค่ามุมต่างๆ และสามารถสั่งให้มอเตอร์ในแขนกลขยับตามได้

3.1.2 การออกแบบการทำงานโปรแกรมเพื่อตรวจสอบมุมหลอดเอกซเรย์แบบไร้สาย

เมื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตามการออกแบบระบบฝังตัวเพื่อตรวจสอบมุมหลอดเอกซเรย์แบบไร้สายในหัวข้อที่ผ่านมาแล้ว ถัดมาคือส่วนที่จะต้องพัฒนาโปรแกรมการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างระบบฝังตัวที่ติดตั้งที่หลอดฉายแสง และโฮสต์คอมพิวเตอร์หรือหุ่นยนต์แขนกล ซึ่งออกแบบพัฒนาในลักษณะ Client-Server ได้โดยกำหนดให้ระบบฝังตัวที่ติดตั้งที่หลอดฉายแสงทำหน้าที่เป็น Client เชื่อมต่อไปยัง โฮสต์คอมพิวเตอร์หรือหุ่นยนต์แขนกลที่ทำหน้าที่เป็น Server เพื่อส่งข้อมูลมุมรอบแกน X, Y และ Z ไปคำนวณการเคลื่อนที่หรือหมุนแขนกลในส่วนถัดไป โดยการสื่อสารไร้สายจะอยู่ในกลุ่มโปรโตคอล WLAN (Wireless LAN IEEE 802.11) ที่สามารถติดต่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ผ่านแอคเซสพอยต์หรือเราท์เตอร์ตัวกลางได้ ตามการทำงานในรูปที่ 3.8

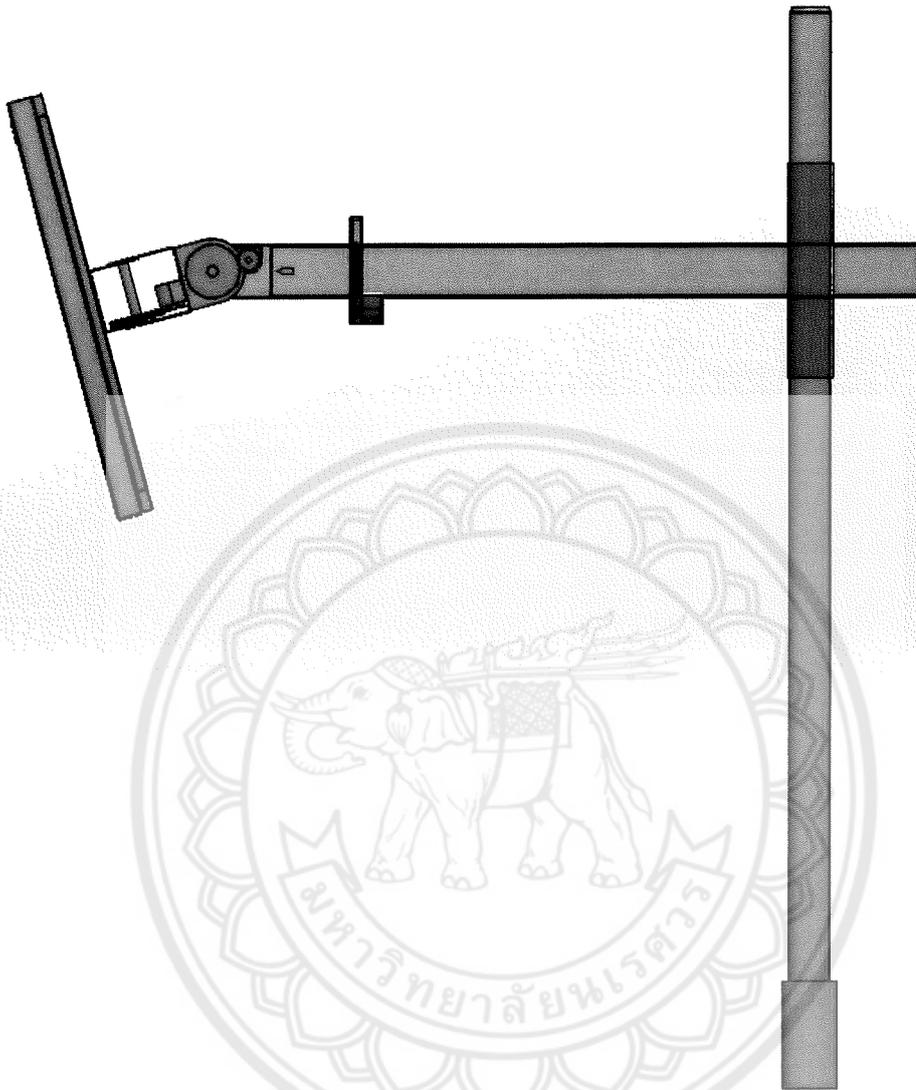




รูปที่ 3.8 ลักษณะการรับ-ส่งข้อมูลจากระบบฝังตัวที่ติดตั้งที่หลอดฉายแสงไปยังโฮสต์คอมพิวเตอร์

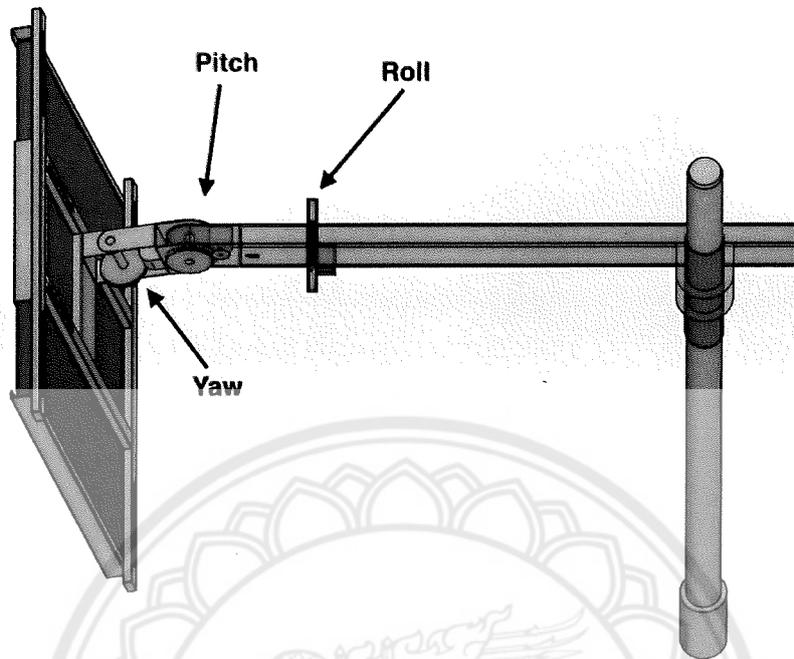
3.2 ออกแบบแขนกลหุ่นยนต์สำหรับการปรับมุมฟิล์มเอกซเรย์

ทางคณะผู้วิจัยที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบส่วนการเคลื่อนที่เพื่อปรับมุมอุปกรณ์ยึดแผ่นฟิล์มเอกซเรย์ โดย ออกแบบเป็นแขนกลหุ่นยนต์ที่นำมอเตอร์ไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ โดยควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่รับค่า มุมมาจากส่วนสั่งการ และอ่านค่ามุมเทียบกับเซนเซอร์วัดมุมบนส่วนแขนกลนี้ โดยมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.9 ภาพขาตั้งฝั่งด้านข้าง

1044844



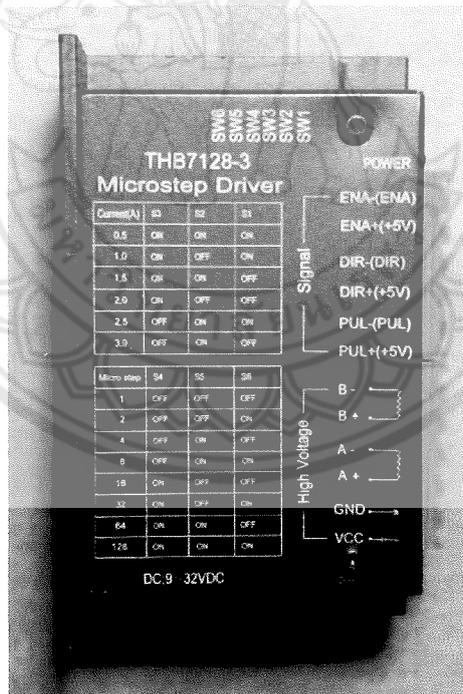
รูปที่ 3.10 แสดงข้อต่อมุม Roll Pitch Yaw



รูปที่ 3.11 แสดงชุดเฟืองโมดูล 1 อัตราทด 2.5:1

3.2.1 ชุดขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ THB7128 เป็นชุดขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยข้อดีของไอซีเบอร์ THB7128 สามารถขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ด้วยกระแสสูงสุดถึง 3 แอมป์ รับอินพุตความต่างศักย์ได้เป็นช่วงตั้งแต่ 9 โวลต์ถึง 32 โวลต์ และการนำไปใช้งานก็ไม่ซับซ้อนเพราะใช้สัญญาณเพียง 2 เส้น คือ ทิศทางการหมุน และสัญญาณสั่งหมุน โดยเป็นแบบพัลส์สี่เหลี่ยมโดยส่งสัญญาณพัลส์ 1 ลูก สเต็ปเปอร์มอเตอร์จะหมุน 1 สเต็ป และยังสามารถปรับไมโครสเต็ปได้ถึง 1/128 ซึ่งไมโครสเต็ป คือ การปรับการขับแบบละเอียด เช่น สเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ชื่อมาระบุว่ามีความละเอียดในการหมุนอยู่ที่ 200 สเต็ปต่อ 1 รอบ หมายความว่าถ้าขับมอเตอร์ให้หมุน 1 สเต็ป แกนมอเตอร์จะหมุนไป 1.8 องศา แต่ถ้าปรับไมโครสเต็ปเป็น 1/2 เมื่อขับมอเตอร์ให้หมุน 1 สเต็ป แกนจะหมุนไป 1.8/2 หรือ 0.9 องศา หรือถ้าปรับไมโครสเต็ปเป็น 1/128 ขับมอเตอร์ให้หมุน 1 สเต็ป แกนจะหมุนไป 1.8/128 องศา หรือเท่ากับ 0.014 องศา ซึ่งชุดขับที่สามารถปรับไมโครสเต็ปได้ละเอียดก็ช่วยเพิ่มความแม่นยำและลดความผิดพลาดของการหมุนสำหรับอุปกรณ์ที่ออกแบบได้



รูปที่ 3.12 ชุดขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์

3.2.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์

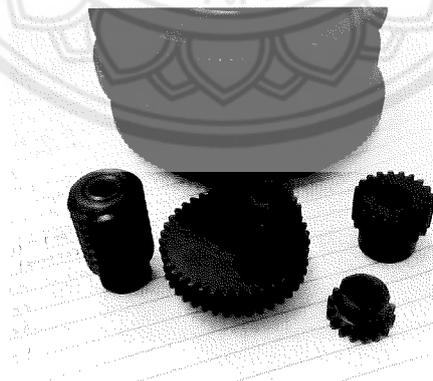
งานวิจัยนี้เลือกสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบที่มีเฟืองทดกำลังสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาด เพราะมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา



รูปที่ 3.13 สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบมีเฟืองทดกำลัง

3.2.3 เฟือง

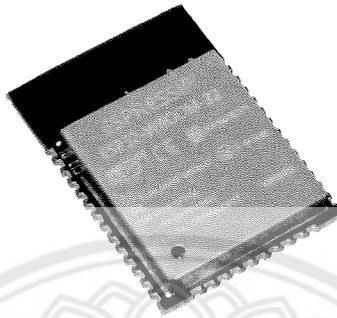
เฟืองในงานวิจัยเลือกใช้เฟืองโมดูล 1 ที่มีอัตราทดกำลังอยู่ที่ 2.5:1 โดยที่เฟืองต้นมีจำนวนฟัน 40 ฟันและเฟืองตาม 100 ฟัน โดยการทดลักษณะนี้เพื่อต้องการให้ระบบมีแรงบิดที่สูงและเพิ่มความละเอียดในการหมุน



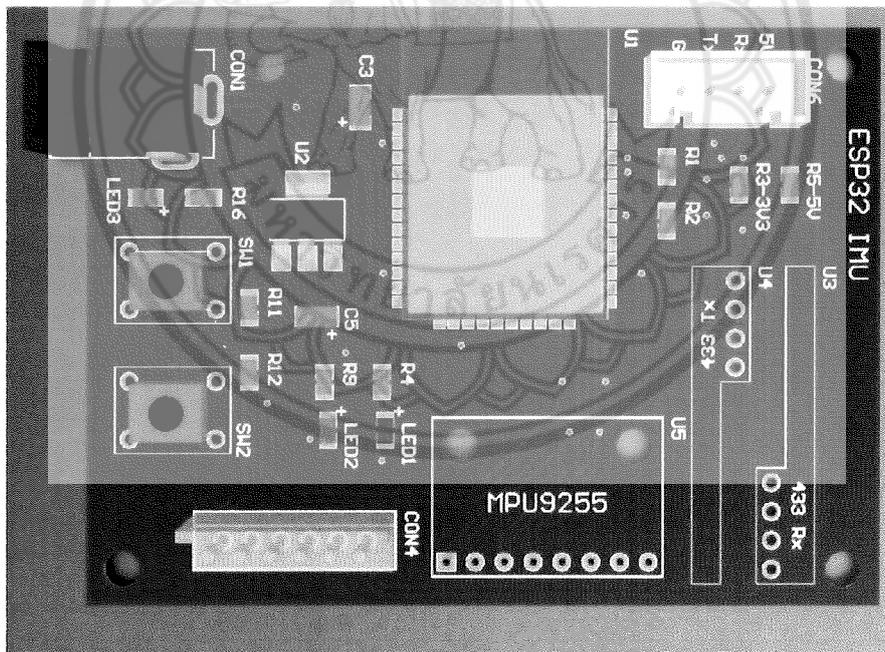
รูปที่ 3.12 เฟืองโมดูล

3.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

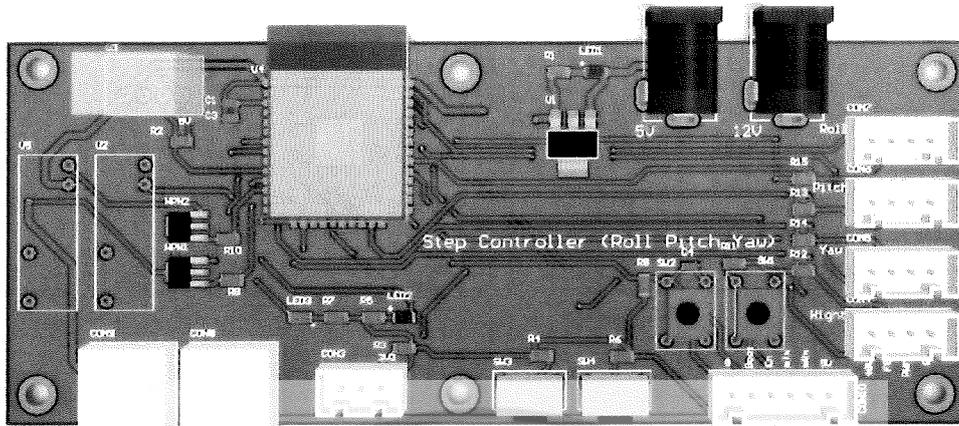
เนื่องจากขายึดฟิล์มในงานวิจัยต้องการสื่อสารกับตัววัดมุมจากหัวฉาย X-Ray ดังนั้น ในงานวิจัยนี้
เลือกใช้ MCU แบบที่สามารถเชื่อมแต่แบบไร้สายได้ โดยใช้เป็นตระกูล ESP32 เพราะ MCU สามารถเชื่อมต่อ WIFI
ได้



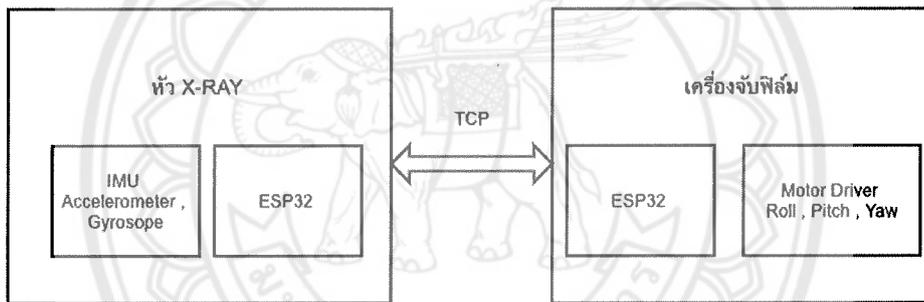
รูปที่ 3.13 ESP32



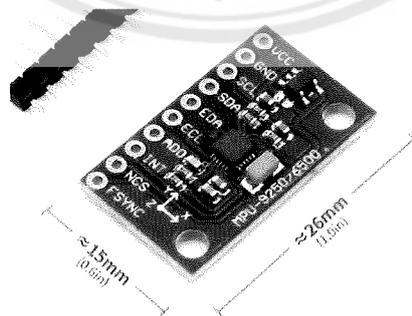
รูปที่ 3.14 แผงวงจรที่ออกแบบใช้ในงานวิจัย สำหรับวัดค่ามุมของหัว X-Ray



รูปที่ 3.15 แผงวงจรสำหรับควบคุมชุดขาตั้ง



รูปที่ 3.16 การสื่อสารระหว่าง MCU ทั้ง 2 ตัว

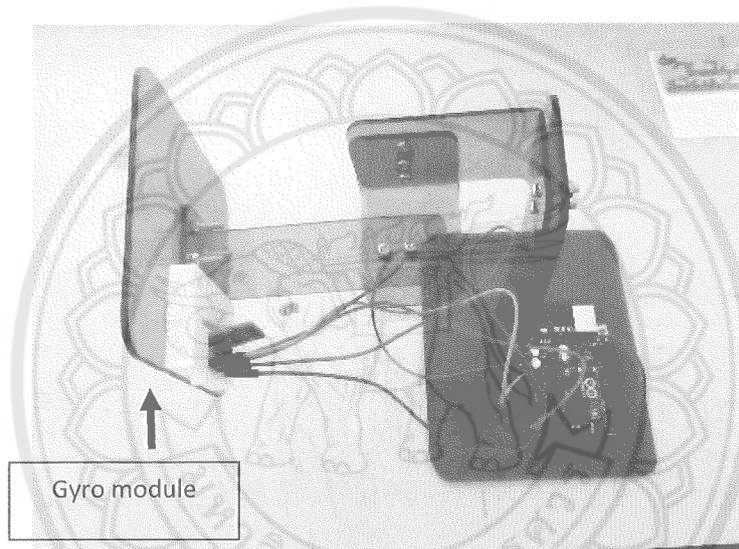


รูปที่ 3.17 MPU9255 สำหรับวัดความเฉื่อย

บทที่ 4 ผลการวิจัย

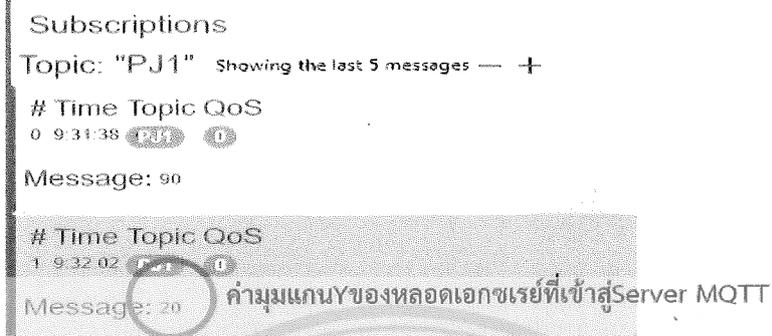
4.1 ผลการส่งค่าคำสั่งวัดมุมผ่านการสื่อสารไร้สาย

ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบจำลองการหมุนและการเปลี่ยนมุมของหลอดฉายแสงเอกซเรย์ ด้วยอุปกรณ์แบบจำลองหลอดเอกซเรย์สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 แกนเหมือนหลอดเอกซเรย์จริง และแผ่นด้านหน้าตัดหลอดเอกซเรย์มี Gyro module ทำหน้าที่รับรู้ขนาดของมุมที่เปลี่ยนแปลงของหลอดเอกซเรย์ โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้มี ความสูง 18 เซนติเมตร น้ำหนัก 250 กรัม ดังรูปที่ 4.1



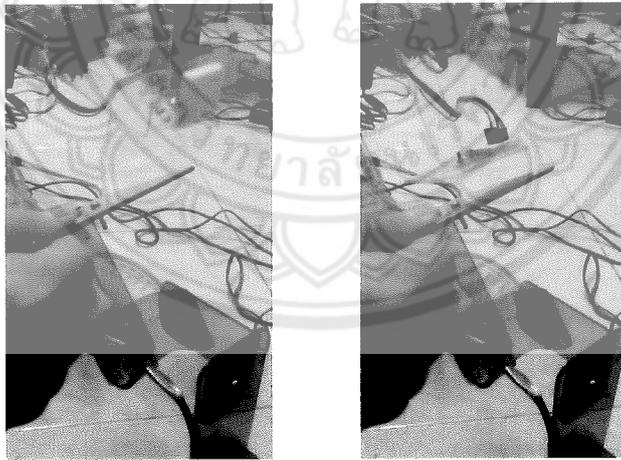
รูปที่ 4.1 Gyro module ติดตั้งบนแบบจำลองหลอดเอกซเรย์

โดยทดลองสร้างชุดคำสั่งการรับรู้ขนาดของมุมที่เปลี่ยนแปลงไปของหลอดเอกซเรย์ด้วย Gyro Module ที่ติดตั้งฝั่งหลอดเอกซเรย์ โดยชุดคำสั่งนี้สามารถรับข้อมูลมุมที่เปลี่ยนแปลงเมื่อหลอดเอกซเรย์มีการเปลี่ยนมุมองศาในแนวแกน X และแกน Z และสามารถส่ง ชุดคำสั่งส่งค่ามุมแกน Y โดยการป้อนค่ามุมเข้าไปที่ Server ในโปรแกรม MQTT ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ชุดคำสั่งส่งคำมูมแนวแกน Y

โดยทำการวัดเพื่อเปรียบเทียบคำมูมกับอุปกรณ์วัดมูม (ไม้ครึ่งวงกลม) และทำการส่งข้อมูลไปยัง Server ซึ่งจะเชื่อมต่อกับส่วนของแขนกลที่ใช้ในการหมุนและปรับมุมที่จับแผ่นฟิล์ม โดยข้อมูลมูมสามารถส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทางได้อย่างครบถ้วนและถูกต้อง



รูปที่ 4.3 การหมุนแผ่นรับภาพในแนวแกน X ที่ได้จากชุดคำสั่ง

4.2 ผลการปรับมุมและระยะเวลาเคลื่อนที่เพื่อปรับมุมของแขนกล

เมื่อทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการส่งคำสั่งค่ามุมองศาจากฝั่งของเซนเซอร์ที่หัวฉายแสงเอกซเรย์ ไปยังส่วนสื่อสารและส่วนควบคุมของแขนกลโดยทดสอบในช่วงองศาที่ใช้งานคือ -45 องศา ถึง 45 องศา มีผลดังนี้

4.2.1 ผลความถูกต้องจากการปรับมุม

4.2.1.1 ผลความถูกต้องจากการปรับมุม Roll

ตาราง 4.1 แสดงผลความถูกต้องจากการปรับมุม Roll

มุมที่วัดได้	15 องศา	30 องศา	45 องศา	-15 องศา	-30 องศา	-45 องศา
ครั้งที่ 1	13.2	28.33	44.1	-13.63	-28.1	-42.71
ครั้งที่ 2	14	28.37	43.14	-13.57	-28.2	-41.89
ครั้งที่ 3	13.83	27.83	42.36	-14.27	-27.9	-42.76
ครั้งที่ 4	13.86	28.74	42.49	-13.79	-28.46	-42.43
ครั้งที่ 5	14.01	28.61	43.54	-14.19	-27.93	-41.8
ครั้งที่ 6	13.98	29.01	42.96	-14.11	-28.31	-43.56
ครั้งที่ 7	13.32	27.76	43.82	-14.07	-28.52	-43.53
ครั้งที่ 8	13.52	28.54	42.27	-14.2	-28.18	-44.06
ครั้งที่ 9	13.55	28.05	43.37	-13.71	-28.18	-43.14
ครั้งที่ 10	13.77	27.82	43.23	-14.16	-28.35	-43.54
เฉลี่ย	13.704	28.306	43.128	-13.97	-28.213	-42.942

4.2.1.2 ผลความถูกต้องจากการปรับมุม Pitch

ตาราง 4.2 แสดงผลความถูกต้องจากการปรับมุม Pitch

มุมที่วัดได้	15 องศา	30 องศา	45 องศา	-15 องศา	-30 องศา	-45 องศา
ครั้งที่ 1	13.8	28.11	42.22	-13.7	-28.04	-43.22
ครั้งที่ 2	13.44	27.55	42.75	-14.15	-27.97	-43.82
ครั้งที่ 3	13.51	27.97	43.56	-13.64	-27.89	-42.88
ครั้งที่ 4	12.99	27.87	42.64	-13.89	-28.11	-41.59
ครั้งที่ 5	13.42	28.49	42.22	-14.07	-27.68	-43.12
ครั้งที่ 6	14.05	27.55	42.97	-13.55	-27.39	-43.42
ครั้งที่ 7	13.7	27.86	43.26	-13.18	-27.99	-43.48
ครั้งที่ 8	13.04	28.25	42.67	-12.66	-28.15	-41.76
ครั้งที่ 9	14.14	28.38	42.45	-13.77	-28.08	-42.41
ครั้งที่ 10	13.77	27.16	42.15	-13.24	-28.12	-42.26
เฉลี่ย	13.586	27.919	42.689	-13.585	-27.942	-42.796

4.2.1.3 ผลความถูกต้องจากการปรับมุม Yaw

ตาราง 4.3 แสดงผลความถูกต้องจากการปรับมุม Yaw

มุมที่วัดได้	15 องศา	30 องศา	45 องศา	-15 องศา	-30 องศา	-45 องศา
ครั้งที่ 1	13.41	27.7	42.59	-13.37	-27.62	-42.06
ครั้งที่ 2	13.62	28.02	42.73	-13.84	-28.42	-42.65
ครั้งที่ 3	12.3	28.69	42.32	-13.24	-28	-43.02
ครั้งที่ 4	12.42	27.3	42.65	-14.15	-28.13	-42.81
ครั้งที่ 5	13.98	27.55	42.46	-12.62	-28.74	-43.41
ครั้งที่ 6	12.21	28.77	43.28	-12.76	-27.9	-42.87
ครั้งที่ 7	13.02	27.55	43.01	-12.89	-28.6	-42.39
ครั้งที่ 8	13.97	27.33	42.15	-12.46	-27.64	-42.62
ครั้งที่ 9	13.41	28.05	42.13	-13.4	-27.68	-42.94
ครั้งที่ 10	12.51	28.26	42.95	-12.42	-27.59	-42.91
เฉลี่ย	13.085	27.922	42.627	-13.115	-28.032	-42.768

4.2.2 ระยะเวลาจากการปรับมุม

4.2.2.1 ระยะเวลาจากการปรับมุม Roll

ตาราง 4.4 แสดงระยะเวลาจากการปรับมุม Roll

ระยะเวลา (วินาที)	15 องศา	30 องศา	45 องศา	-15 องศา	-30 องศา	-45 องศา
ครั้งที่ 1	2.26	5.26	7.34	2.99	5.05	6.52
ครั้งที่ 2	3.23	5.07	6.92	2.37	4.56	6.43
ครั้งที่ 3	3.24	4.31	7.49	2.8	4.98	6.38
ครั้งที่ 4	2.72	4.41	7.03	2.32	4.31	6.69
ครั้งที่ 5	2.63	4.4	6.61	2.48	5.46	6.32
ครั้งที่ 6	3.38	4.55	7.29	2.23	5.2	6.95
ครั้งที่ 7	2.38	5.65	6.73	3.03	4.79	7.55
ครั้งที่ 8	2.27	5.03	6.56	2.88	5.39	6.91
ครั้งที่ 9	2.58	4.75	6.74	3.41	4.44	6.59
ครั้งที่ 10	2.73	5.54	6.6	2.25	5.47	6.79
เฉลี่ย	2.742	4.897	6.931	2.676	4.965	6.713

4.2.2.2 ระยะเวลาจากการปรับมุม Pitch

ตาราง 4.5 แสดงระยะเวลาจากการปรับมุม Pitch

ระยะเวลา (วินาที)	15 องศา	30 องศา	45 องศา	-15 องศา	-30 องศา	-45 องศา
ครั้งที่ 1	2.49	4.56	6.73	3.29	4.21	7.49
ครั้งที่ 2	2.6	4.73	7.35	2.69	4.98	6.79
ครั้งที่ 3	2.74	4.57	7.49	2.56	4.44	6.91
ครั้งที่ 4	2.95	5.01	7.15	3.13	4.96	7.79
ครั้งที่ 5	2.12	4.26	6.51	2.42	4.68	6.8
ครั้งที่ 6	2.47	5.39	7.47	2.25	5.16	6.36
ครั้งที่ 7	3.08	4.53	6.88	2.63	4.37	7.81
ครั้งที่ 8	2.71	5.12	7.5	2.37	5.22	7.2
ครั้งที่ 9	2.73	4.2	7.04	2.93	4.45	7.21
ครั้งที่ 10	2.98	5.39	6.85	3.26	4.46	6.31
เฉลี่ย	2.687	4.776	7.097	2.753	4.693	7.067

4.2.2.3 ระยะเวลาจากการปรับมุม Yaw

ตาราง 4.6 แสดงระยะเวลาจากการปรับมุม Yaw

ระยะเวลา (วินาที)	15 องศา	30 องศา	45 องศา	-15 องศา	-30 องศา	-45 องศา
ครั้งที่ 1	2.14	4.39	6.9	3.11	4.31	7.74
ครั้งที่ 2	2.5	4.95	7.62	2.99	5.27	7.3
ครั้งที่ 3	3.35	5.23	6.52	2.37	4.43	7.31
ครั้งที่ 4	3.26	4.45	7.1	2.62	4.8	6.66
ครั้งที่ 5	2.54	4.83	6.55	2.45	4.91	7.74
ครั้งที่ 6	2.62	5.17	6.36	2.56	5.13	7.1
ครั้งที่ 7	3.17	4.95	6.77	2.7	4.82	6.85
ครั้งที่ 8	2.18	4.96	7.21	3.17	5.02	7.8
ครั้งที่ 9	2.82	5.02	6.43	2.65	4.87	7.34
ครั้งที่ 10	3.39	5.02	7.62	3.15	5.11	6.62
เฉลี่ย	2.797	4.897	6.908	2.777	4.867	7.246

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในบทที่ 4 ทางคณะผู้วิจัยพบว่า ระบบที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นนี้สามารถทำงานได้ โดยสามารถส่งค่ามุมทั้ง 3 แกนที่ได้จากการปรับมุมที่หลอดฉายแสง ซึ่งมีอุปกรณ์วัดมุมและส่งข้อมูลมายังแขนกลหุ่นยนต์สำหรับปรับที่จับยึดแผ่นฟิล์มเอกซเรย์ได้ โดยสามารถส่งผ่านได้ทั้งโปรโตคอลการสื่อสารแบบ MQTT และ TCP ได้ ซึ่งข้อมูลมุมที่ส่งมานั้นเป็นข้อมูลที่ถูกต้องและครบถ้วน และส่วนของการควบคุมการปรับมุมของแขนกลสำหรับปรับที่จับยึดแผ่นฟิล์มเอกซเรย์นั้น ผลของการปรับมุมในช่วง 45 องศา ถึง - 45 องศา ทั้ง 3 แกนคือ Roll, Pitch และ Yaw เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นค่าความถูกต้องของมุมที่ส่งไป และค่ามุมที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกลนั้น จะพิจารณาได้ว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2.8 องศา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการฉายแสงแล้ว ยังอยู่ในช่วงที่รับได้และใช้งานได้ ซึ่งสาเหตุที่มีความคลาดเคลื่อนนี้เกิดขึ้นนั้น ไม่ได้เกิดจากการใช้งานสเต็ปเปอร์มอเตอร์โดยตรง เนื่องจากสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่เลือกใช้นั้นมีค่าที่ค่อนข้างละเอียดเมื่อเทียบสเต็ปกับองศา แต่สิ่งที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของมุมมีส่วนที่สามารถเกิดได้จากระบบส่งกำลังด้วยเฟือง ซึ่งการส่งต่อผ่านระบบเฟืองนี้ จะใช้การขบและผลักรันของฟันเฟือง ซึ่งจะต้องออกแบบให้มีระยะห่างกันเล็กน้อยมาก เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของเฟืองได้ แต่ระยะห่างเล็กน้อยนั้นเมื่อคำนวณผ่านรัศมีของเฟือง จะเกิดระยะคลาดเคลื่อนขึ้น หรือ Backlash เกิดได้เสมอ

และสำหรับระยะเวลาในการสั่งให้แขนกลหุ่นยนต์สำหรับปรับที่จับยึดแผ่นฟิล์มเอกซเรย์เคลื่อนที่ไปตามมุมที่สั่งการ สามารถวัดเป็นระยะเวลาโดยเฉลี่ยเมื่อเทียบกับองศาการหมุนกับเวลาได้ประมาณ 5.32 องศาต่อวินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่รวดเร็วพอเพียงในการใช้งาน

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองในบทที่ 4 และวิจารณ์ผลการทดลองในบทที่ 5 ทางคณะผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า ระบบหุ่นยนต์แขนกลสำหรับปรับที่จับยึดแผ่นฟิล์มเอกซเรย์นั้น สามารถสั่งการจากคำสั่งปรับมุมที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่ติดตั้งจากหัวฉายแสงเอกซเรย์ และส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารไร้สายมายังส่วนควบคุมแขนกลได้ และสามารถสั่งการปรับมุมแขนกลสำหรับปรับที่จับยึดแผ่นฟิล์มเอกซเรย์ได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในการปรับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่จากสเตปเปอร์มอเตอร์เพียงไม่กี่วินาทีเท่านั้น ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถทำต้นแบบหุ่นยนต์แขนกลสำหรับปรับที่จับยึดแผ่นฟิล์มเอกซเรย์ และการส่งคำสั่งมุมหมุนจากหัวฉายแสงเอกซเรย์ได้สำเร็จ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่องมือชุดเอกซเรย์ตามห้องเอกซเรย์ต่างๆที่มีสภาพแวดล้อมคล้ายกันได้ โดยทางคณะผู้วิจัยคาดหวังว่าการพัฒนาระบบต้นแบบนี้จะสามารถทดแทนการเลือกซื้ออุปกรณ์แขนกลแบบอเนกประสงค์ระดับอุตสาหกรรมในราคาหลักล้านบาทได้ ซึ่งจะเป็นการกระจายความรู้และการประยุกต์เป็นนวัตกรรมแก่ผู้ที่สนใจได้



เอกสารอ้างอิง

- [1] Moeller TB, Reif E. **Pocket atlas of radiographic positioning**. Thieme. ISBN:3131074426.
- [2] Slideplayer. **Cranium** [20 เมษายน 2561]. Available from:
<http://player.slideplayer.com/26/8354120/data/images/img35.jpg>.
- [3] O'Brien JB. **Trauma and Foreign Body Radiography 2557** [25 เมษายน 2561]. Available from: slideplayer.com/4568185/.
- [4] Slideplayer. **Trauma and Foreign Body Radiography 2557** [20 เมษายน 2561]. Available from: <http://player.slideplayer.com/15/4568185/data/images/img2.jpg>.
- [5] Tech R. **Image quality, digital technology and radiation protection** [25 พฤษภาคม 2561]. Available from: <https://www.slideshare.net/jdtomines/image-quality-digital-technology-and-radiation-protection>.
- [6] PHYSICS 1 TITISAK. (ตุลาคม 2556). **การเคลื่อนที่แบบหมุน (ROTATIONAL MOTION)** มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [7] C.S. Zhao M. Farooq M.M. Bayoumi. 1996. **Kinematics Motion Constraints in the Robot's Joint Space, Industrial Electronics, Control, and Instrumentation**. Springer US.
- [8] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (20 มีนาคม 2556). **โครงการการควบคุมแขนกล 5 แกน** เข้าถึงได้จาก <http://www.st.kmutt.ac.th/~s9211522/file/c.pdf>
- [9] พงศ์แสน พิทักษ์วัชร. **พื้นฐานของหุ่นยนต์: กลศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบอนุกรม** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2557
- [10] Direct Industry. (2012). **Encoder** เข้าถึงได้จาก <http://www.directindustry.com /prod/twk-elektronik-gmbh/incremental-rotary-encoder-optical-miniature-14701-981595.html>

[11] Lewis Loflin. (เมษายน 2552). Rotary Encoder Used with Arduino Interrupts.

เข้าถึงได้จาก <http://www.bristolwatch.com/arduino/arduino2.htm>

[12] วิกีพีเดีย. ไจโรสโคป 2561 [20 เมษายน 2561]. Available from:

<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%88%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%9B>.

