



Structure Design and Platform Development of Universal Template
for Humanoid Algorithm Interface (UTHAI)

การออกแบบโครงสร้างและพัฒนาระบบที่นิฐานสำหรับหุ่นยนต์ชีวนิภาพ
เพื่อการศึกษาและวิจัย

นายจิรภูริ ศรีรัตนอาภรณ์
นายเจษฎากร ท่าไชยวงศ์
นายวุฒิภัทร โชคอนันตทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาครสนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2560



Structure Design and Platform Development of Universal Template
for Humanoid Algorithm Interface (UTHAI)

การออกแบบโครงสร้างและพัฒนาระบบที่นิฐานสำหรับหุ่นยนต์ชีวภาพอยู่ด้วย^{ที่นิฐานสำหรับหุ่นยนต์ชีวภาพอยู่ด้วย}
เพื่อการศึกษาและวิจัย

นายจิรภูริ ศรีรัตนอาภรณ์

นายเจษฎากร ท่าไชยวงศ์

นายวุฒิภัทร โชคอนันตทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ

สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีการศึกษา 2560

**การออกแบบโครงสร้างและพัฒนาระบบพื้นฐานสำหรับหุ่นยนต์ชีวามาโนยด์
เพื่อการศึกษาและวิจัย**

นายจิรภูริษฐ์ ศรีรัตนอาภรณ์

นายเจษฎากร ท่าไซวงศ์

นายวุฒิภัทร โชคอนันดร์พิรุณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ

สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(นายธนัชชา ชูพจน์เจริญ)

.....
ประธานกรรมการ
(ดร.อาบทิพย์ รีวงศ์กิจ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
กรรมการ
(ดร.ปิติวุฒิ ชีรากิตติกุล)

.....
(รศ.ดร.ชิต เหล่าวัฒนา)

.....
กรรมการ
(ดร.สุภาษี วงศ์บุณย์ยงค์)

ชื่อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโครงสร้างและพัฒนาระบบพื้นฐานสำหรับหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อการศึกษาและวิจัย
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายจิรภูริษฐ์ ศรีรัตนอกรรณ์ นายเจษฎากร หาใจยวงศ์ นายวุฒิภัทร โขคงนันท์ทรัพย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก นายธนัชชา ชูพจน์เจริญ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.ชิต เหล่าวัฒนา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
คณะ	สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

งานวิทยานิพนธ์นี้เป็นงานที่เกี่ยวกับการออกแบบและจัดทำแพลตฟอร์มหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยใช้ชื่อว่า หุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ UTHAI และจุดประสงค์เพื่อให้นักวิจัยท่านอื่นสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ง่าย ภาพรวมของวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งออกเป็นทั้งหมดสามส่วน คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของการออกแบบและจัดสร้างส่วนโครงสร้างของหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนที่สองเป็นส่วนของการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในระบบด้วย ROS และส่วนสุดท้ายเป็นส่วนที่ออกแบบระบบพื้นฐานสำหรับการพัฒนาหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงมีเอกสาร คู่มือที่อยู่ในรูปแบบออนไลน์

คำสำคัญ : แพลตฟอร์มหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ / ระบบพื้นฐานหุ่นยนต์ / ROS / เครื่องพิมพ์สามมิติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.นัชชา ชูพจน์เจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้สละเวลามาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ให้ความรู้ในด้านต่างๆ ที่จำเป็นต่องานวิจัย รวมถึงการให้การสนับสนุนในเรื่องอุปกรณ์ในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชิต เหล่าวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ชี้แนะแนวทางให้คำแนะนำ และให้เกียรติเข้าร่วมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ภิวดา มณีวรรณ และนายวิษณุ จุราวี ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย และได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ อับพิพิญ ธิรวงศ์กิจ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ปิติวุฒย์ ธีรกิตติกุล ที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย และการแก้ไขปรับปรุงงานวิจัย ตลอดจนตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุภาชัย วงศ์บุณย์ยง ที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย และการแก้ไขปรับปรุงงานวิจัย ตลอดจนตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรในสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคนามทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือด้านสถานที่พร้อมทั้งส่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรี สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคนามทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ ถ้ามี และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

และสุดท้ายนี้ ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ส่งเสริมให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในเรื่องต่างๆ จนกระทั้งข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

นายจิรภูริศ ศรีรัตนอาภรณ์
นายเจษฎากร หาไซวงศ์
นายวุฒิภัทร โชคอนันตทรัพย์

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

รายการรูปภาพ

รูป

หน้า

รายการตาราง

ตาราง

หน้า

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

หุ่นยนต์อิวามานอยด์เป็นหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบสรีระร่างกายของมนุษย์ ซึ่งมีข้อจำกัดนวนมากเพื่อให้มีการเคลื่อนไหวคล้ายมนุษย์ ลักษณะเด่นของหุ่นยนต์อิวามานอยด์คือ การเคลื่อนที่ด้วยขาสองข้าง ซึ่งทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างคล่องแคล่วในทุกสภาพพื้นผิว ทั้งทางเรียบ ทางชันและหีบหัก ระดับ¹ ซึ่งนั่นทำให้หุ่นยนต์ที่เดินสองขาแตกต่างจากหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วยล้อ ด้วยโครงสร้างของหุ่นยนต์ที่คล้ายมนุษย์นั้นเอง จึงทำให้หุ่นยนต์อิวามานอยด์สามารถทำงานได้หลากหลายและยืดหยุ่น สามารถที่จะใช้อุปกรณ์ทั่วไปที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้กับมนุษย์ได้ ซึ่งหมายความว่าในอนาคตนั้นหุ่นยนต์อิวามานอยด์สามารถที่จะทำงานทดแทนแรงงานของมนุษย์ได้² งานที่หุ่นยนต์อิวามานอยด์จะเข้ามาทดแทนแรงงานของมนุษย์นั้น จะเป็นงานที่ต้องทำซ้ำๆ จนเกินความเมื่อยล้า งานที่อยู่ในพื้นที่อันตรายหรือที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ

สถาบันวิจัยหลายแห่งทั่วโลกกำลังให้ความสนใจสนับสนุนด้านการศึกษาวิจัยและพัฒนาหุ่นยนต์อิวามานอยด์ เพื่อให้ทำการกิจกรรมต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น DARPA Robotics Challenge (DRC)³ เป็นรายการแข่งขันหุ่นยนต์กึ่งอัตโนมัติเพื่อทำการกิจกรรมในสถานการณ์ภัยพิบัติที่อันตราย ซึ่งสถาบันวิจัยหุ่นยนต์ทั่วโลกได้ส่งหุ่นยนต์อิวามานอยด์ของตนเข้าร่วมการแข่งขัน ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาหุ่นยนต์อิวามานอยด์ขึ้นมาหลายรายการตัวเช่น ASIMO, HRP-3, LOLA และ WATHLITE-1 การพัฒนาหุ่นยนต์อิวามานอยด์นั้นได้ก่อให้เกิดงานศึกษาวิจัย และทดสอบต่อยอด ต่างๆ มากมาย เช่น การวางแผนการเดิน การเดินแบบสติติ การเดินแบบพลวัต การติดต่อสื่อสารของระบบ การมองเห็นและการประมวลผลภาพ การพูดคุยกับมนุษย์ ปัญญาประดิษฐ์ ฯลฯ ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบหุ่นยนต์ระบบอื่นๆ ได้ แม้ว่าจะมีการพัฒนาหุ่นยนต์อิวามานอยด์มากตามลำดับ แต่การเริ่มต้นทำงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์อิวามานอยด์นั้น ต้องใช้ความรู้ความสามารถ เครื่องมือ ระยะเวลา งบประมาณ และ ความพยายามเป็นอย่างมาก การสร้างหุ่นยนต์อิวามานอยด์ขึ้นมาใหม่นั้นต้องใช้งบประมาณสูง ดังนั้นการสร้างระบบจำลองของหุ่นยนต์อิวามานอยด์ขึ้นมาเป็นระบบพื้นฐาน ให้มีความพร้อมสำหรับการพัฒนาต่อยอดแก้ไขศึกษาหรือนักวิจัย จะช่วยประหยัดเวลาและงบประมาณที่ต้องใช้เดือยอย่างมาก ซึ่งนั่นหมายความว่านักวิจัยจะสามารถทำงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบหุ่นยนต์อิวามานอยด์และพัฒนาระบบที่พื้นฐานของหุ่นยนต์อิวามานอยด์ สำหรับให้นักศึกษาหรือนักวิจัยสามารถพัฒนาต่อยอดได้ โดยหุ่นยนต์อิวามานอยด์ที่ออกแบบมานั้น สามารถที่จะปรับปรุงแก้ไข ดัดแปลงได้จ่าย ตัวโครงสร้างจะใช้เป็น พลาสติก PLA ที่สามารถขึ้นรูปได้ โดยการใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ มีเซนเซอร์ตรวจการสัมผัสพื้นที่ฝ่าเท้าของหุ่นยนต์ มีเซนเซอร์สำหรับการวัดมุมเอียง ที่ถูกตัวของหุ่นยนต์ และเพื่อที่จะทำให้ง่ายต่อการศึกษาทำความเข้าใจ บำรุงรักษา จึงได้มีการจัดทำคู่มือและเอกสารวิธีการใช้งานอย่างชัดเจน โดยจะเก็บในรูปแบบของเอกสารออนไลน์

¹การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์รูปแบบต่างๆ รายวัสดุสนับสนุน

²ณัฐพงษ์ วรีประเสริฐ และณรงค์ ล้ำดี (2552: 374)

³DARPA 2015 [<https://www.darpa.mil/about-us/about-darpa>]

1.2 วัตถุประสงค์

ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์เกี่ยวกับหุ่นยนต์ชีวามโนยด์แพลตฟอร์มนี้ขึ้นมา กี เพื่อที่จะออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ที่สามารถแก้ไขปรับเปลี่ยนได้ง่าย พัฒนาระบบพื้นฐาน ระบบจำลอง สำหรับหุ่นยนต์ชีวามโนยด์เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย รวบรวมเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาหุ่นยนต์ และจัดทำเอกสารออนไลน์ ให้บุคคลที่สนใจสามารถเข้ามาศึกษาได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 มีต้นแบบหุ่นยนต์ชีวามโนยด์สำหรับใช้ในงานวิจัยแขนงต่างๆ
- 2 มีระบบพื้นฐานสำหรับพัฒนาหุ่นยนต์ชีวามโนยด์รุ่นใหม่ในสถาบัน
- 3 มีระบบจำลองสำหรับจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์
- 4 มีแหล่งรวมเครื่องมือสำหรับการพัฒนาหุ่นยนต์
- 5 มีคู่มือ เอกสาร วิธีการใช้งาน และรายละเอียดของหุ่นยนต์สำหรับพัฒนาต่อยอด

1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน

- 1 ใช้ ROS เป็นกรอบการทำงานสำหรับพัฒนาระบบพื้นฐาน
- 2 ออกแบบโครงสร้างให้มีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนตัวหุ่นยนต์ได้
- 3 น้ำหนักของหุ่นยนต์รวมกันทั้งตัว ไม่เกิน 5 กิโลกรัม
- 4 ใช้ Solidworks 3D เป็นโปรแกรมสำหรับออกแบบโครงสร้าง และคำนวณ
- 5 หุ่นยนต์มีความสูงไม่ต่ำกว่า 100 เซนติเมตร และสูงไม่เกิน 120 เซนติเมตร
- 6 หุ่นยนต์มี 2 แขน 2 ขา มีองศาอิสระของขาข้างละ 6 และแขนข้างละ 2 องศาอิสระ
- 7 หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ภายในสภาพแวดล้อมแบบปิด
- 8 หุ่นยนต์ใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์
- 9 หุ่นยนต์ใช้ตัวขับเคลื่อนแบบดิจิตอลสำหรับแต่ละข้อต่อเป็น Dynamixel Digital Servo
- 10 ใช้ Gazebo สำหรับจำลองระบบของหุ่นยนต์
- 11 ติดตั้งเซนเซอร์วัดการกดที่ฝ่าเท้าของหุ่นยนต์ (Ground contact)
- 12 ติดตั้งเซนเซอร์หน่วยวัดความเร็วที่บริเวณลำตัวของหุ่นยนต์ (IMU)
- 13 จัดทำคู่มือ เอกสารการใช้งาน และรายละเอียดส่วนประกอบของหุ่นยนต์

1.5 ภาพรวมของระบบและขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้การดำเนินงานวิจัยถูกแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งส่วนโครงสร้างของหุ่นยนต์ชีวามนอยด์ เป็นส่วนที่ทำในส่วนของการขึ้นรูปชิ้นงาน ออกแบบโมเดลสามมิติ รวมไปถึงระบบอิเล็กทรอนิกส์ ติดตั้งบอร์ดและเซนเซอร์ไวตามจุดต่างๆ เพื่อสร้างโครงสร้างของหุ่นยนต์ให้สามารถรองรับการเดินได้ ส่วนที่สองส่วนโปรแกรมของหุ่นยนต์ชีวามนอยด์ เป็นส่วนที่ทำในส่วนของการสั่งการตัวขับเคลื่อนต่างๆ อันค่าสถานะเซนเซอร์จากคอนโโอลเลอร์ รวมไปถึงระบบจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ และส่วนที่สามส่วนการออกแบบระบบพื้นฐานเพื่อการพัฒนาต่ออยอด ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ทำให้ผู้ที่จะมาวิจัยต่ออยอดสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น จัดการเอกสารคู่มือ การใช้งานต่างๆให้เป็นระบบระเบียบ สามารถแยกขั้นตอนการทำงานของแต่ละส่วนออกเป็นข้อดังนี้

ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาเกี่ยวกับส่วนประกอบของหุ่นยนต์ชีวามนอยด์
- ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับของมนุษย์
- ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ชีวามนอยด์
- ศึกษาความแตกต่างระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์ชีวามนอยด์
- ศึกษาวิธีการและวัสดุที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์
- ศึกษาระบบที่ใช้ในการจำลองการทำงานของหุ่นยนต์
- ศึกษาระบบที่ใช้ในการจำลองการทำงานของหุ่นยนต์
- ศึกษาการใช้งาน ROS พื้นฐาน

1) ส่วนโครงสร้างของหุ่นยนต์ชีวามนอยด์

- ออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ชีวามนอยด์
- จัดสร้างโครงสร้างหุ่นยนต์ชีวามนอยด์
- ทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ชีวามนอยด์

2) ส่วนโปรแกรมของหุ่นยนต์ชีวามนอยด์

- ออกแบบโปรแกรมของหุ่นยนต์ชีวามนอยด์
- สร้างโปรแกรมส่วนล่างสำหรับหุ่นยนต์ชีวามนอยด์
- สร้างโปรแกรมส่วนบนสำหรับหุ่นยนต์ชีวามนอยด์
- ทดสอบการทำงานของโปรแกรม

3) ส่วนการออกแบบระบบพื้นฐานเพื่อการพัฒนาต่ออยอด

- ติดตั้งระบบ
- วางระบบพื้นฐาน
- รวบรวมเครื่องมือที่เป็นประโยชน์
- จัดทำคู่มือ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 หุ่นยนต์อิริวามனอยด์

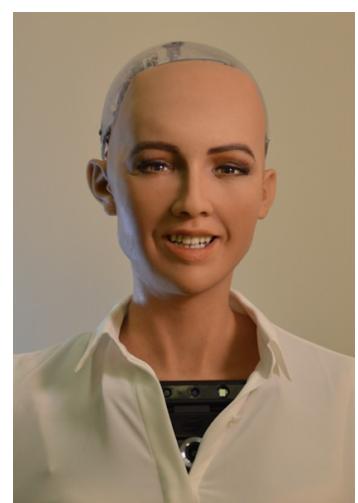
หุ่นยนต์อิริวามனอยด์ คือ หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างขึ้นมาให้มีรูปร่างคล้ายคลึงกับสรีระโครงสร้างของมนุษย์ มักถูกออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์เฉพาะอย่าง เช่น การใช้เครื่องมือต่างๆของมนุษย์ การอยู่ในสภาพแวดล้อมของมนุษย์ การศึกษาการเคลื่อนไหวของร่ายกายมนุษย์ หรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ โดยทั่วไปแล้ว หุ่นยนต์อิริวามனอยด์ประกอบไปด้วย 4 ส่วนคือ หัว ลำตัว เแขน และขา แต่การสร้างหุ่นยนต์อิริวามனอยด์นั้นก็ไม่จำเป็นที่จะต้องมีส่วนประกอบทุกส่วนดังที่กล่าวไว้ ในบางครั้งอาจมีเพียงแค่ส่วนบนเท่านั้น ดังรูปที่ 2.1ก¹ หุ่นยนต์นี้มาจากสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม เป็นหุ่นยนต์ที่มีส่วนบนเหมือนมนุษย์ แต่มีส่วนล่างเป็นล้อ หรือหุ่นยนต์อิริวามனอยด์ที่มีเพียงแค่ส่วนล่าง ดังรูปที่ 2.1ข² หุ่นยนต์สัมภาระ เป็นหุ่นยนต์อิริวามனอยด์ที่มีเพียงแค่ส่วนขาเท่านั้น หรือหุ่นยนต์อิริวามனอยด์ที่มีเพียงใบหน้าเหมือนมนุษย์ ดังรูปที่ 2.1ค³ หุ่นยนต์โซเฟีย เป็นแอนดรอยด์ที่มีหน้าตาคล้ายมนุษย์มาก มีตา มีปาก สามารถพูดปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์ได้



(ก) หุ่นยนต์ประชาสัมพันธ์โนม



(ข) หุ่นยนต์เดินสองขาสัมภาระ



(ค) หุ่นยนต์แอนดรอยด์โซเฟีย

รูปที่ 2.1: แสดงความแตกต่างของหุ่นยนต์อิริวามனอยด์แต่ละประเภท

¹ คนไทยสุดเจ๊!! สร้างหุ่นยนต์ 'น้องโนม' ทำหน้าที่ต้อนรับแทนคน ทั้งไทย-พูดหลายภาษา, <https://www.thairath.co.th/content/523340>

² หุ่นยนต์อิริวามனอยด์เดินสองขาสัมภาระ, <http://www.fibo.kmutt.ac.th/fiboweb2015/> หุ่นยนต์อิริวามனอยด์เดิน

³ ชา อุติ อาราเบีย มอบ สัญชาติ ให้ กับ หุ่น ยนต์ ครั้ง แรก ของ โลก “Sophia” สาว อัจฉริยะ, <https://www.ensurecommunication.com/2017/11/02/ชาอุติอาราเบียมอบสัญชาติ>

งานวิจัยทางด้านหุ่นยนต์ชีวมานอยด์จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีการพัฒนาความสามารถของการเดินของหุ่นยนต์ เช่น เริ่มต้นจากแรกสุดจะเป็นการพัฒนาให้หุ่นยนต์สามารถเดินหน้าได้ ต่อมาเกิดเพิ่มความสามารถให้หุ่นยนต์สามารถเดินบนพื้นเยียบ พื้นชุ่มชื้น เดินเลี้ยวซ้ายขวา เดินขึ้นลงบันได ฯลฯ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาปรับปรุงสมดุลของการเดินแบบสองขาอีกด้วย สมดุลของการเดินสามารถแบ่งได้สองแบบหลัก คือ การเดินแบบสมดุลสถิต และการเดินแบบสมดุลพลวัต งานในยุคแรกนั้นจะพัฒนาให้เดินได้แบบสมดุลสถิต ต่อมาเป็นสมดุลกึ่งพลวัต และเป็นสมดุลพลวัต การพัฒนาตัวควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ จำเป็นที่จะต้องใช้ความรู้ทางด้านกลศาสตร์ค่อนข้างมาก มีการใช้สมการที่มีความซับซ้อน

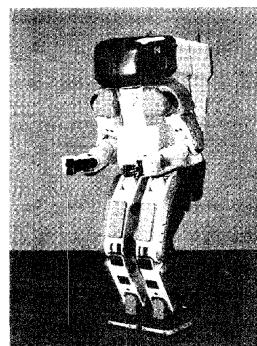
Zheng และคณะ (1988) พัฒนาหุ่นยนต์สองขาที่สามารถเดินบนพื้นราบได้ ให้สามารถเดินต่อเนื่องไปบนพื้นเอียงได้ด้วย พื้นเอียงที่ใช้มีลักษณะเป็นพื้นเอียงขึ้น หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานนี้มีข้อต่อสะโพก (hip), ข้อเท้า (ankle) และลำตัว (torso) มีเซนเซอร์วัดแรงกด (force sensor) ติดตั้งอยู่ที่ปลายเท้าและสันเท้าแต่ละข้างเพื่อใช้วัดตำแหน่งของน้ำหนักโดยรวม (center of gravity) ของหุ่นยนต์ การเดินของงานวิจัยจะพิจารณาเฉพาะการเดินในแนวหน้าหลัง โดยมีหลักการคือ การเดินบนพื้นเอียงโดยที่หุ่นยนต์ยังเดินในท่าทางเหมือนกับตอนที่เดินบนพื้นราบจะทำให้น้ำหนักโดยรวมของหุ่นยนต์เลื่อนไปข้างหลัง ดังนั้นการที่หุ่นยนต์ขยับลำตัวไปด้านหน้าจะทำให้น้ำหนักโดยรวมของหุ่นยนต์กลับมาอยู่ตรงกลางของพื้นที่รับน้ำหนักเหมือนเดิม ซึ่งจะทำให้หุ่นยนต์มีความสมดุลได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากหน่วยวัดแรงกดที่เท้าจะถูกนำมาคำนวณตลอดการเดินเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนมุกการขยับของลำตัว การเดินบนพื้นราบเป็นแบบสมดุลสถิตและการเดินบนพื้นเอียงก็ยังคงเป็นแบบสมดุลสถิตเช่นกัน

Inaba⁴ และคณะ (1995) สร้างหุ่นยนต์เลียนแบบลิ่ง (ape-like biped) ประกอบด้วยสองมือและสองขา มีการเดินแบบสมดุลสถิติ งานวิจัยนี้มีความคิดว่า wennen ทำการทำให้หุ่นยนต์สองขาเดินได้โดยไม่ล้มแล้ว ควรจะทำหุ่นยนต์ที่สามารถถabilize ขึ้นเองได้หลังจากที่ล้มแล้วด้วย ดังนั้นในงานนี้ หุ่นยนต์ถูกพัฒนาให้สามารถเดิน เมื่อล้มแล้ว ก็สามารถฟลิกตัวและลากขึ้นมาเดินให้ได้

⁴Yuki Asano*, Kei Okada and Masayuki Inaba

⁵Modelling of Walking Humanoid Robot With Capability of Floor Detection and Dynamic Balancing Using Colored Petri Net, Saeid Pashazadeh and Saeed Saeedvand

Hirai⁶ และคณะ (1998) พัฒนาหุ่นยนต์อิวามาโนยด์ ซึ่งตัวหุ่นยนต์มีความคล้ายมนุษย์มาก สามารถเดินได้อย่างราบรื่นคล้ายมนุษย์มากที่สุด เช่น สามารถเดินได้ในพื้นผิวนิ่มต่างๆ เดินได้บนพื้นอิฐอิฐเดินขึ้ลงบันไดได้ เดินเข็นรถได้ เป็นต้น การเดินในทุกสถานการณ์เป็นการเดินแบบสมดุลพลวัต หุ่นยนต์สามารถเดินได้ด้วยความเร็วสูงสุด 4.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หุ่นยนต์ประกอบไปด้วย แขนขาละ 9 องศาอิสระ ขาละ 6 องศาอิสระ ที่ปรับรีเควนหัวมีกล้องติดตั้งอยู่ 4 ตัว นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการรักษาสมดุลอื่นๆ อีกได้แก่ IMU ที่ติดตั้งบริเวณลำตัว และ Force sensor ที่ติดที่เท้าทั้งสองข้าง



รูปที่ 2.2: Honda asimo โดย Kazou Hirai

องค์ประกอบของหุ่นยนต์ทั่วไปจะประกอบไปด้วยระบบการตอบสนองต่างๆที่เป็นระบบ ซึ่งเราสามารถจำแนกออกเป็นส่วนหลักๆได้สามส่วนคือ ส่วนการรับรู้ ส่วนการประมวลผล และส่วนการขับเคลื่อน ทั้งหมด เมื่อนำมารวมเข้าด้วยกันแล้ว เราสามารถที่จะควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์ได้

การรับรู้ของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์

การรับรู้ของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์นั้นมีความยากมากกว่าหุ่นยนต์ชนิดอื่นๆเนื่องจาก หุ่นยนต์อิวามาโนยด์ เกิดจากการนำก้านต่อหularyาชิ้นเข้ามาเขื่อมต่อกันด้วยข้อต่อ ทำให้หุ่นยนต์อิวามาโนยด์สามารถเคลื่อนไหวเป็นท่าทางต่างๆได้ และไม่มีส่วนใดถูกต้องยึดติดกับพื้นโลก ซึ่งทำให้เราไม่สามารถที่จะอ้างอิงท่าทางของหุ่นยนต์ได้ จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มส่วนของการรับรู้เข้าไปเพื่อช่วยแก้ปัญหาในส่วนนี้ เช่นเซอร์วิสเพิ่มเข้าไปมีหลากหularyนิด และแต่ละชนิดก็ทำหน้าที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น เช่นเซอร์วิสโอนโคดเดอร์ที่ใช้สำหรับอ่านสถานะตำแหน่งและ ความเร็วของข้อต่อได้ เช่นเซอร์วิสหน่วยวัดความเร็วอยที่ใช้สำหรับหามุมเอียงของตัวหุ่นยนต์ และเซนเซอร์วัดแรงที่ ฝ่าเท้าที่จะช่วยในการบอกว่าเท้าของหุ่นยนต์สัมผัสพื้นหรือไม่ เป็นต้น

⁶Kazuo Hirai, (1999) "The Honda humanoid robot: development and future perspective", Industrial Robot: An International Journal, Vol. 26 Issue: 4, pp.260-266, <https://doi.org/10.1108/01439919910277431>

การประมวลผลของหุ่นยนต์อิวามาอยด์

ในปัจจุบันนี้หน่วยประมวลผลของหุ่นยนต์อิวามาอยด์มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการควบคุมหุ่นยนต์อิวามาอยด์แบบเรียลไทม์ได้ การประมวลผลนั้นสามารถที่จะแบ่งออกเป็นหลายๆส่วนได้ ยกตัวอย่างเช่น

หุ่นยนต์อิวามาอยด์ Thormang ได้แบ่งตัวประมวลผลเป็นตัวประมวลควบคุมสำหรับสั่งการตัวขับเคลื่อน ตัวประมวลควบคุมสำหรับอ่านสถานะตัวรับรู้ และตัวประมวลผลควบคุมภายนอกสำหรับคำนวณท่าทางการเดินและการวางแผน

หุ่นยนต์อิวามาอยด์ Robotis OP3 ได้แบ่งตัวประมวลผลเป็นตัวประมวลผลระดับสูงสำหรับคำนวณท่าทางการเคลื่อนไหว และตัวประมวลผลระดับล่างสำหรับสั่งการตัวขับเคลื่อนและอ่านสถานะตัวรับรู้

หุ่นยนต์อิวามาอยด์ Poppy ไม่ได้แบ่งตัวประมวลผล แต่ใช้เพียงตัวเดียวในการสั่งการตัวขับเคลื่อนอ่านสถานะตัวรับรู้ และประมวลผลการคำนวณทั้งหมด

นอกจากการประมวลผลและควบคุมแล้ว ยังรวมไปถึงหน่วยแสดงผลที่สามารถนำค่าสถานะต่างๆจากหุ่นยนต์อิวามาอยด์ออกไปสร้างเป็นกราฟ หรือแบบจำลองสามมิติได้อีกด้วย

การขับเคลื่อนของหุ่นยนต์อิวามาอยด์

การที่หุ่นยนต์อิวามาอยด์สามารถที่จะทำท่าทางต่างๆได้นั้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของข้อต่อตั้งนั้น การที่หุ่นยนต์จะขับเคลื่อนข้อต่อได้นั้น ก็จึงจำเป็นที่จะต้องมีตัวขับเคลื่อนที่ข้อต่อ โดยที่ไปแล้วเราจะติดมอเตอร์เซอร์โวไว้ที่ตำแหน่งเดียวกับข้อต่อเลย เหตุผลที่นิยมใช้มอเตอร์เซอร์โวนี้องจาก เซอร์โวสามารถที่จะควบคุมตำแหน่งและความเร็วได้

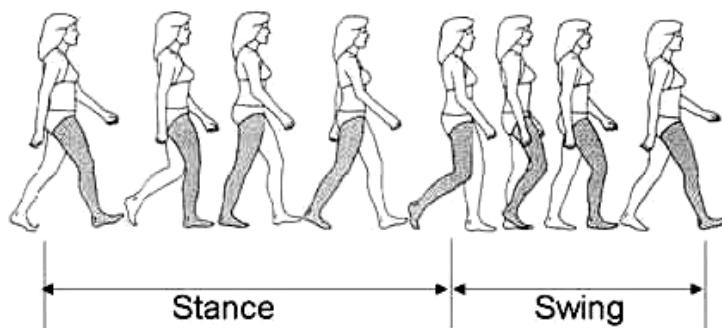
2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับมนุษย์

2.1.2.1 การวิเคราะห์การเดินของมนุษย์

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อิวามานอยด์นั้นจะเลียนแบบจากการเดินของมนุษย์ ดังนั้นการวิเคราะห์ลักษณะการเดินของมนุษย์ จะเป็นการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจถึงธรรมชาติการเดิน ก่อนนำไปทำการออกแบบกลไกทางกลและระบบควบคุมของหุ่นยนต์อิวามานอยด์ การก้าวเดินของมนุษย์โดยปกติแล้ว จะมีลักษณะเป็นวัฏจักร วนซ้ำไปเรื่อยๆ ในทิศทางที่ต้องการจนกว่าจะทำการหยุดเดิน การทรงตัวในระหว่างการยืนหรือการเดินนั้น เป็นไปตามสัญชาตญาณซึ่งเกิดจากการรักษาความสมดุลของร่างกายบัน្តาในทุก⁷ ส่งสัญญาณผ่านเส้นประสาทไปยังกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ที่ทำหน้าที่ให้เกิดการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของมนุษย์ในการเดินไปข้างหน้าสามารถแบ่งออกเป็นช่วงๆ ดังนี้

GAIT CYCLE



รูปที่ 2.3: วัฏจักรการเดินของมนุษย์

1. ช่วงเริ่มการวางแผนเท้าเพื่อเข้าสู่ช่วงเริ่มต้นเหวี่ยงเท้า เป็นช่วงที่เท้าเกิดการกระแทกลงบนพื้นหลังจากทำการเหวี่ยงมาจากด้านหลัง โดยธรรมชาติมนุษย์จะทำการวางแผนเท้าลงเพื่อลดแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ ดังนั้นทางกายภาพในส่วนของสันเท้ามนุษย์จึงมีลักษณะอ่อนนุ่ม
2. ช่วงเริ่มต้นเหวี่ยงเท้าเพื่อเข้าสู่ช่วงเหวี่ยงเท้า หลังจากทำการวางแผนเท้าลงกับพื้นแล้ว ข้อเข้าจะปรับมุมเพื่อให้ฝ่าเท้าแนวพื้นสนิท ขณะเดียวกันขาอีกข้างจะยกสูงขึ้นเพื่อถ่ายเทน้ำหนักไปยังเท้าที่เพิ่งวางแผน
3. ช่วงเหวี่ยงเท้า เป็นช่วงที่ขาหนีงยกอย้อยู่ในอากาศและขาที่วางแผนกับพื้นจะรองรับน้ำหนักทั้งหมดของร่างกาย
4. ช่วงเตรียมการวางแผนเท้า เป็นช่วงที่ขาหนีงที่ลอยอยู่เหวี่ยงไปข้างหน้าเพื่อเตรียมเข้าสู่ช่วงรองรับ ในขณะเดียวกันขาที่รับน้ำหนักอยู่จะทำการผลักตัวเพื่อเริ่มทำการถ่ายเทน้ำหนักไปข้างหน้า

⁷Rose, J. and Gamble, J., 1993, Human Walking, Williams & Wilkins, Philadelphia, pp. 10-44.

2.1.2.2 การวิเคราะห์องศาอิสระของมนุษย์

การที่มนุษย์สามารถเคลื่อนที่ได้เป็นผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของข้อต่อต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อต่อส่วนสะโพก ส่วนหัวเข่า และส่วนข้อเท้า แรงบิดที่เกิดขึ้นของแต่ละข้อต่อมีความสัมพันธ์ต่อกัน ส่งผลให้เกิดเสถียรภาพในการเดินของมนุษย์ เมื่อวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างในแต่ละส่วน พบว่าข้อต่อส่วนสะโพกมีลักษณะเป็นทรงกลม ทำให้ข้อต่อส่วนสะโพกสามารถหมุนได้ 3 องศาอิสระ ส่วนหัวเข่าของมนุษย์มีจุดต่อของข้อที่มีลักษณะเป็นทรงกลม สองลูกประกอบเข้าด้วยกันทำให้การเคลื่อนที่ถูกบังคับให้สามารถเคลื่อนที่ได้เพียง 1 องศาอิสระ ในส่วนของข้อเท้ามีลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนสะโพกคือสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 องศาอิสระ

จากทั้งหมดที่ได้ทำการวิเคราะห์มาข้างต้นพบว่าในขาหนึ่งข้างของมนุษย์ประกอบด้วย 7 องศาอิสระ ซึ่งส่งผลให้การเคลื่อนที่ของมนุษย์มีความคล่องแคล่วสูง แต่ในทางออกแบบกลไกการเดินและการควบคุม ของหุ่นยนต์สองขาถือว่ามีจำนวนองศาอิสระเกินความจำเป็นในการเคลื่อนที่บนปริภูมิ (space) และยากต่อการควบคุม (underactuated) ดังนั้นการกำหนดจำนวนองศาอิสระเพื่อให้หุ่นยนต์เดินได้สมดุลมนุษย์จึงมีผลในการออกแบบกลไกทางกลและการควบคุมของหุ่นยนต์สองขา

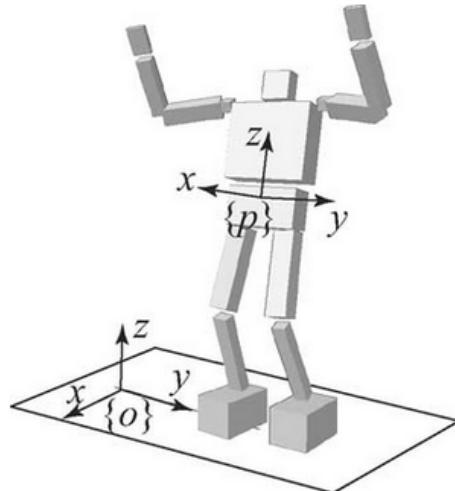
ข้อต่อ	องศาอิสระ	องศาการหมุน	
		สูงสุด	ต่ำสุด
หัว	θ_x	+60	-30
	θ_y	+70	-70
	θ_z	+80	-80
หลัง	θ_x	+30	-30
	θ_y	+55	-55
	θ_z	+45	-45
หัวไหล่	θ_x	+180	-80
	θ_y	+45	-135
	θ_z	+30	0
ศอก	θ_x	0	-155
สะโพก	θ_x	+120	-40
	θ_y	+40	-50
	θ_z	+60	-50
หัวเข่า	θ_x	0	-130
ข้อเท้า	θ_x	+30	-60
	θ_y	+45	-20
	θ_z	+20	-60

ตารางที่ 2.1: ความสามารถในการหมุนของแต่ละข้อต่อของมนุษย์

ผู้เขียนได้ข้อสรุปในการออกแบบขาหนึ่งข้างของหุ่นยนต์ให้มีองศาอิสระเท่ากับ 6 องศาอิสระ และได้ใช้ติดต่อロボติกบริษัท Robotis เป็นตัวขับเคลื่อนข้อต่อ เนื่องจากภายในเซอร์โวนี้มีตัวรับสัญญาณของตัวเอง และเซอร์โวนี้ถูกออกแบบมาให้สามารถติดตั้ง และสั่งการได้ง่าย

2.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับหุ่นยนต์อิวามาโนยด์

2.1.3.1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์

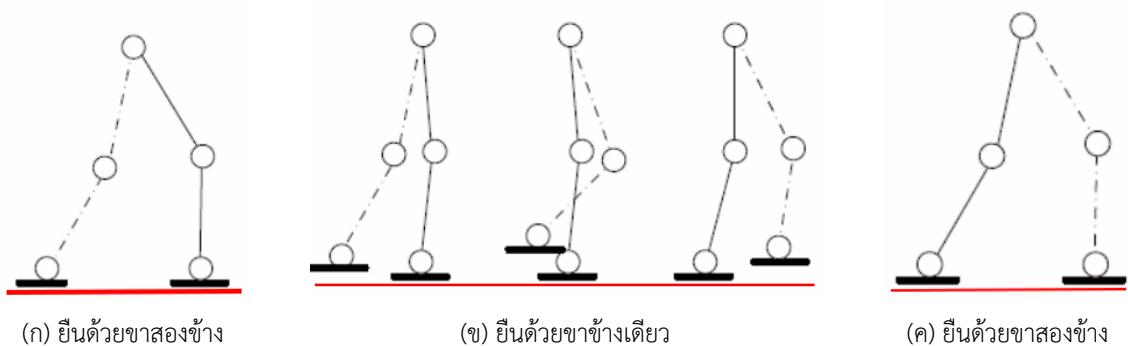


รูปที่ 2.4: ส่วนประกอบของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์

หุ่นยนต์อิวามาโนยด์ประกอบด้วยก้านต่อหลายๆ กันที่นำมาต่อ กัน ลักษณะโครงสร้างนั้นจะเป็นแบบโเข เปิด (Open kinematic chain) และแต่ละก้านต่อจะเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อแบบหมุน เราสามารถแบ่งโครงสร้าง ของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์ออกเป็นส่วนหลักๆ เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ส่วนก้านต่อของลำตัวหุ่นยนต์ (Torso) ซึ่งเรา สามารถที่จะรวมไปถึงส่วนแขนกับหัวด้วย และในส่วนที่สองคือ ส่วนก้านต่อของขาหุ่นยนต์ (Legs) ซึ่งเป็นส่วนขา ของหุ่นยนต์ทั้งสองข้างที่สามารถนำไปเปลี่ยนผับเปลี่ยนได้ ทั้งสองก้านต่ออนี้ถูกเชื่อมต่อกันด้วยส่วนของสะโพก (Hip) ที่อยู่ระหว่างส่วนลำตัวกับส่วนของขาหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 2.4

2.1.3.2 วัฏจักรการเดินของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์

วัฏจักรการเดินของหุ่นยนต์ คือ การที่หุ่นยนต์จะต้องมีการถ่ายน้ำหนักไปมาระหว่างเท้าซ้ายและเท้าขวา มีบางช่วงที่น้ำหนักตกลงบนเท้าข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างพร้อมกัน สามารถแบ่งออกเป็นช่วงได้สองช่วง คือ ช่วงการยืนด้วยขาข้างเดียว และช่วงการยืนด้วยขาทั้งสองข้าง



รูปที่ 2.5: วัฏจักรการเดินของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์

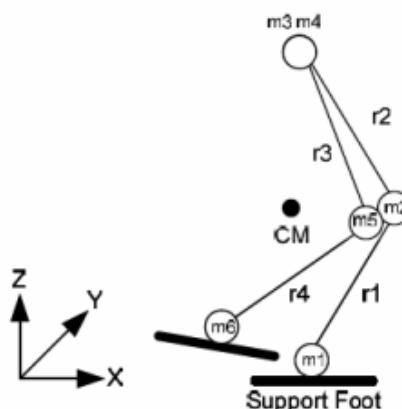
1) การยืนด้วยขาข้างเดียว : เป็นช่วงที่มีเท้าของหุ่นยนต์สัมผัสพื้นเพียงข้างเดียว ส่วนเท้าอีกข้างของหุ่นยนต์จะถูกยกอยู่จากพื้น โดยที่ไม่มีส่วนใดๆของขาข้างนั้นสัมผัสกับพื้นเลย ช่วงนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการแกะง่ำเท้าจากข้างหลังไปข้างหน้า ดังรูปที่ 2.5x

2) การยืนด้วยขาสองข้าง : เป็นช่วงที่เท้าทั้งสองข้างของหุ่นยนต์สัมผัสกับพื้น ช่วงนี้จะเกิดตั้งแต่หุ่นยนต์วางเท้าขณะที่สันเท้าแตะกับพื้น ไปจนถึง ปลายเท้าของขาอีกข้างหลุดออกจากพื้น

การเดินได้โดยไม่ล้มนั้น ตัวหุ่นยนต์จะต้องรักษาสมดุลของการเดินให้ได้ตลอดช่วงเวลาของการเดิน ซึ่งสมดุลของการเดินแบบสองขาสามารถแบ่งตามลักษณะการเดินและการถ่ายน้ำหนักได้เป็น 2 รูปแบบหลัก คือ การเดินแบบสมดุลสถิต (static balance walking) และ การเดินแบบสมดุลพลวัต (dynamic balance walking)

2.1.3.3 การสร้างและการควบคุมการเดินแบบสมดุลสถิต

การเดินของหุ่นยนต์ในลักษณะนี้ จุดศูนย์กลางมวล (CoM) ของตัวหุ่นยนต์จะไม่มีการเคลื่อนไหวออกนอกบริเวณฐานรับน้ำหนัก (Supporting Area) ตลอดช่วงเวลาการเดิน ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาที่รับน้ำหนักด้วยเท้าข้างเดียวหรือทั้งสองข้างก็ตาม หมายความว่า โครงสร้างของหุ่นยนต์จะไม่ล้มแน่นอน เนื่องจากการสร้างรูปแบบการเดินด้วยวิธีนี้จะควบคุมให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวล อยู่ภายใต้พื้นที่ฐานรับน้ำหนักของหุ่นยนต์ตลอดเวลา ??



รูปที่ 2.6: การควบคุมตำแหน่งของจุดรวมมวลให้อยู่ในพื้นที่ฐาน

ข้อดีของการสร้างและควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ด้วยวิธีนี้คือ สามารถสร้างรูปแบบการเดินได้โดยที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก สามารถสั่งให้หุ่นยนต์หยุดค้างในท่าทางใดๆก็ได้ตลอดเวลาโดยหุ่นยนต์ไม่ล้ม หุ่นยนต์ที่มีฝ่าเท้าใหญ่จะทำให้ง่ายต่อการก้าวเดินมากขึ้น นอกจากการควบคุมการก้าวขาแล้วอาจเพิ่มการควบคุมส่วนลำตัวเพิ่มเติม เพื่อเป็นการเพิ่มเสถียรภาพในการเดินและการถ่ายน้ำหนัก โดยที่อาจจะมีการเพิ่มเซนเซอร์วัดแรงที่ฝ่าเท้าเพื่อตรวจสอบการกระจายแรงกดที่ฝ่าเท้า เพื่อตรวจสอบว่าตำแหน่งของจุดรวมน้ำหนักอยู่บนพื้นที่ฝ่าเท้าหรือไม่ หรือเพื่อตรวจสอบเสถียรภาพของการเดินเพื่อแก้ไขท่าทางการเดินไม่ให้เกิดการล้ม

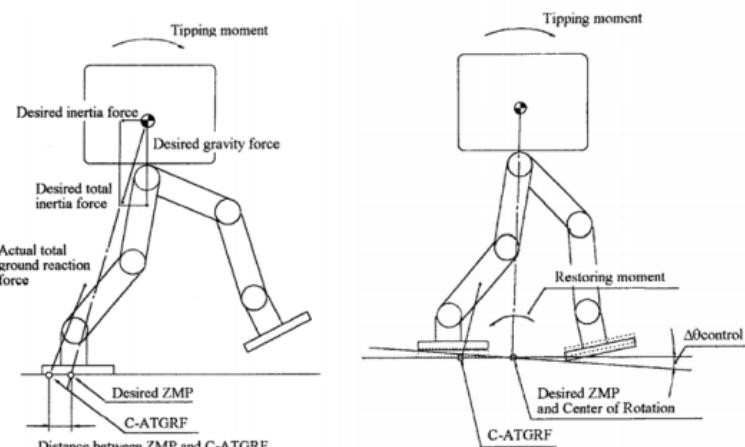
ข้อเสียของการควบคุมการเดินด้วยวิธีนี้คือ หุ่นยนต์จะใช้เวลาในการก้าวเดินมาก ใช้พลังงานในการเดินมากกว่าการเดินแบบสมดุลพลวัต และท่าทางที่ได้จะมีความแตกต่างจากท่าทางการเดินของมนุษย์

2.1.3.4 การสร้างและการควบคุมการเดินแบบสมดุลพลวัต

การสร้างรูปแบบการเดินและควบคุมการเดินในลักษณะนี้ท่าทางการเดินของหุ่นยนต์นั้นจะคล้ายกับการเดินของมนุษย์มากกว่าแบบสถิต เนื่องจากมีหลักการในการสร้างท่าทางที่เหมือนกับการเดินของมนุษย์ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้คือ เอียงตัวไว้ให้ล้มไปในทิศทางที่ต้องการเดิน เมื่อเริ่มเกิดการล้มขึ้นหุ่นยนต์จะเปลี่ยนตำแหน่งการวางเท้าไปยังตำแหน่งใหม่ เพื่อปรับให้โครงสร้างเข้าสู่ภาวะสมดุลอีกรั้ง

โดยธรรมชาติแล้วมนุษย์มีการถ่ายน้ำหนักในขณะที่เคลื่อนที่หรือยืนอยู่กับที่เพื่อรักษาสมดุลของท่าทางนั้นไว้ แต่หากการถ่ายโอนน้ำหนักนั้นเกิดสภาวะไม่สมดุล ร่างกายจะปรับสภาพโดยการเคลื่อนตำแหน่งของเท้าซึ่งเป็นพื้นที่ฐานออกจากเดิมไปยังตำแหน่งใหม่ เพื่อรักษาสมดุลไว้ หลักการดังกล่าวถูกนำมาใช้กับการควบคุมการเดินของหุ่นยนต์อิวามานอยด์ ในขณะที่หุ่นยนต์กำลังเคลื่อนไหว ผลจากแรงเฉียวยของการเคลื่อนที่และผลจากแรงดึงดูดของโลกมีผลต่อการเพิ่มและลดความเร่งให้การเดินของหุ่นยนต์ แรงเหล่านี้เรียกว่าแรงเฉียวยของการเคลื่อนที่ และเมื่อเท้าหุ่นยนต์สัมผัสกับพื้นจะได้รับผลกระทบของแรงนี้ เรียกว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้น

การตัดกันระหว่างแรงปฏิกิริยาจากพื้นและแนวแรงเฉียวยรวม ตำแหน่งนั้นหากทำให้โมเมนต์เท่ากับศูนย์เรียกจุดตัดนี้ว่าจุดโมเมนต์ศูนย์ (ZMP_{robot}) และจุดที่แรงปฏิกิริยาลงสู่พื้นว่า จุดปฏิกิริยาพื้นฐาน ท่าทางการเดินของหุ่นยนต์จะถูกกำหนดและถูกส่งให้กับชุดควบคุมข้อต่อจุดต่างๆ ของหุ่นยนต์ โดยให้สอดคล้องกับแรงเฉียวยรวมที่เกิดขึ้นจากการคำนวณ เรียกว่าแรงเฉียวยรวมเป้าหมาย และจุดโมเมนต์ศูนย์ที่ได้จากการคำนวณเรียกว่าจุดโมเมนต์ศูนย์เป้าหมาย (ZMP_{target}) เมื่อหุ่นยนต์เกิดสมดุลในขณะที่ทำการเดินได้อย่างสมบูรณ์ แนวแกนของแรงเฉียวยรวมเป้าหมายและแรงปฏิกิริยาที่พื้นจะเป็นตำแหน่งเดียวกัน แต่ในขณะที่หุ่นยนต์เดินผ่านพื้นผิวที่มีความชรุขระหรือไม่เรียบตำแหน่งสองจุดดังกล่าว จะไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกันทำให้หุ่นยนต์เกิดการล้มได้ แรงที่ทำให้เกิดการล้มนี้เกิดจากตำแหน่งของจุดโมเมนต์ศูนย์และตำแหน่งแรงปฏิกิริยารวมที่พื้นไม่ตรงกัน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลขึ้น และเมื่อหุ่นยนต์เสียสมดุลระบบที่จะสามารถป้องกันการล้มและทำให้หุ่นยนต์เดินต่อไปได้อย่างต่อเนื่องคือ ระบบควบคุมแรงปฏิกิริยา ระบบควบคุมจุดโมเมนต์ศูนย์ และระบบควบคุมการวางแผนเท้า??



รูปที่ 2.7: การควบคุมตำแหน่งของจุดโมเมนต์ศูนย์ให้ตรงกับแรงปฏิกิริยารวม

อย่างไรก็ตาม การสร้างท่าทางการเดินในลักษณะนี้ต้องใช้สมการในการคำนวณที่ซับซ้อนมาก เนื่องจากต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลายส่วน เช่น น้ำหนักของโครงสร้างในแต่ละส่วน แรงบิดที่แต่ละข้อต่อ และโมเมนต์โดยรวมของระบบ นอกจากนี้ยังต้องใช้อุปกรณ์การตรวจวัดต่างๆ เช่น เชเซอร์วัดแรง เชเซอร์วัดมุม เชเซอร์วัดแรงบิด ติดตั้งตามจุดต่างๆ ของโครงสร้างเพื่อวัดค่าอุกมา ก่อนที่จะทำการคำนวณตำแหน่ง และสร้างท่าทางการเดินของหุ่นยนต์อิวามานอยด์ ท่าทางการเดินที่ได้จากการควบคุมด้วยวิธีนี้ จะมีความคล้ายคลึงกับท่าทางการเดินของมนุษย์มาก

2.1.3.5 จุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์

หากต้องการให้หุ่นยนต์สามารถที่จะทรงตัวอยู่ได้โดยไม่ล้มนั้น จึงต้องรู้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์ตลอดเวลา และต้องให้จุดศูนย์กลางมวลอยู่ติดในบริเวณฐานรับน้ำหนักของหุ่นยนต์โดยหากพื้นที่ที่ฝ่าเท้าสัมผัสกับพื้น วิธีการนี้เป็นวิธีการทางสถิตศาสตร์

2.1.4 ตัวอย่างหุ่นยนต์ชีวามโนยด์

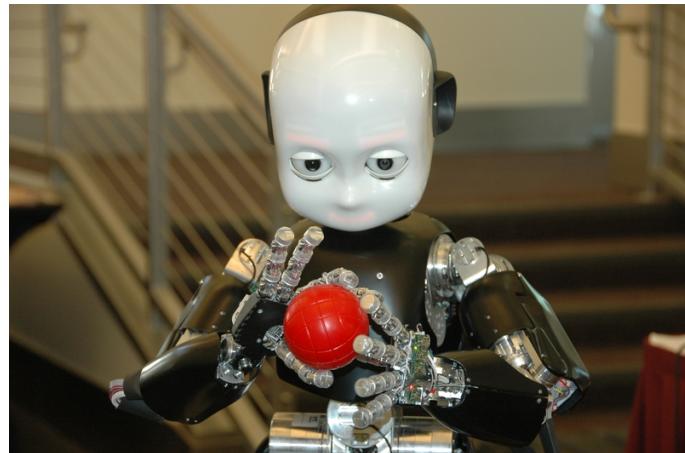
Poppy Humanoid



รูปที่ 2.8: หุ่นยนต์ชีวามโนยด์ปีอปปี้

หุ่นยนต์ชีวามโนยด์ปีอปปี้ ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในงานศิลปะ การวิจัยและการศึกษาโดยเฉพาะ หุ่นยนต์ปีอปปี้ประกอบด้วยส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ที่เปิดเป็นโอเพนซอร์ซให้ผู้ที่สนใจสามารถเข้ามาศึกษาได้ โปรแกรมของหุ่นยนต์ใช้โมดูลที่มีชื่อว่า Pypot ที่เป็นส่วนเสริมของภาษา Python ในการพัฒนาซอฟแวร์ ทุกคนสามารถเข้าถึงข้อมูลเชิงเทคนิคของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ปีอปปี้ได้ เช่น ส่วนรายละเอียดการทำงาน คลิปวีดีโอสอน การประกอบ การใช้ระบบจำลอง และการพัฒนาต่างๆผ่านทางเว็บไซต์ <http://www.poppy-project.org> หุ่นยนต์ปีอปปี้มีส่วนของโครงสร้างที่ผลิตมาจากพลาสติก PLA และ ABS โดยใช้เทคนิคการฉีดรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ตัวขับเคลื่อนข้อต่อต่างๆใช้เป็น Dynamixel Digital Servo และควบคุมคำสั่งของตัวขับเคลื่อนด้วยคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Odroid UX4 ใช้ระบบปฏิบัติการ Ubuntu 14.04 ตัวของหุ่นยนต์มีความสูง 83 เซนติเมตร น้ำหนัก 3.5 กิโลกรัม ใช้เซนเซอร์วัดมุมอิเล็กทรอนิกส์ IMU ที่มีองศาอิสระเท่ากับ 9 องศาอิสระ ในการควบคุมเส้นสายภาพในการเดินของตัวเอง มีองศาอิสระหรือจำนวนตัวขับเคลื่อนทั้งหมด 25 องศา ประกอบไปด้วย ขาข้างละ 6 องศาอิสระ แขนข้างละ 4 องศาอิสระ ลำตัว 3 องศาอิสระ และ หัว 2 องศาอิสระ??

iCub Humanoid



รูปที่ 2.9: หุ่นยนต์อิวามานอยด์ไอคัพ

หุ่นยนต์อิวามานอยด์ไอคัพ ถูกออกแบบโดยมหาวิทยาลัยหลายแห่งในยุโรปรวมกลุ่มกันขึ้นมาในชื่อ RobotCub และถูกสร้างขึ้นโดย Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) ตัวหุ่นยนต์ไอคัพนั้นมีความสูงอยู่ที่ 1 เมตร น้ำหนักโดยรวมทั้งหมดประมาณ 22 กิโลกรัม วัสดุที่ใช้ในการสร้างแตกต่างกันไปในแต่ละส่วนของร่างกายโดยจะใช้ aluminum alloy Al6082 สำหรับส่วนที่ต้องรับภาระความเครียดน้อย ใช้ aluminum alloy 7075 (Ergal) สำหรับส่วนที่ต้องรับภาระความเครียดปานกลางถึงสูง และใช้ Stainless Steel 17-4PH ในส่วนของเพลาข้อต่อต่างๆ เพื่อให้มีความแข็งแรงสูง ตัวหุ่นยนต์ถูกออกแบบให้มีลักษณะเหมือนเด็กอายุ 3-4 ขวบ ควบคุมโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์เป็นรุ่น PC104 Controller ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาใช้เป็นภาษา C++ ในการเขียนโปรแกรม การติดต่อสื่อสารกับตัวขับเคลื่อนหรือมอเตอร์ตามข้อต่อต่างๆ และเซนเซอร์ ผ่านทางโปรโตคอล CAN Bus เพื่อทำให้ใช้งานง่ายลง ใช้เส้นเอ็นในการส่งถ่ายแรงขับเคลื่อนไปยังส่วนของข้อต่อส่วนมือและขา นิ้วของหุ่นยนต์ถูกร้อยด้วยสายเคเบิลเคลือบ Teflon อยู่ภายใต้ และความต้านทานของสายเคเบิลที่ต้องการ ใช้เซนเซอร์วัดมุมของข้อต่อแต่ละตัวใช้การออกแบบให้มี Hall-effect ติดอยู่ ช่วยในการอ่านค่าของตำแหน่งและความเร็วที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อนั้น หุ่นยนต์ไอคัพมีองศาสตร์รวมกันทั้งหมด 53 องศาสตร์ ประกอบไปด้วย แขนข้างละ 7 องศาสตร์ มือข้างละ 9 องศาสตร์ หัว 6 องศาสตร์ ลำตัว 3 องศาสตร์ และขาข้างละ 6 องศาสตร์ ในส่วนของหัวจะประกอบไปด้วย กล้องสองตัวเพื่อทำการสืบสานและรับเสียงจากสภาพแวดล้อมภายนอก และไฟแสดงอารมณ์บริเวณปากและคิ้ว หุ่นยนต์นี้ไม่ได้ถูกออกแบบให้มีการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งก็คือตัวหุ่นยนต์นี้ไม่มีแบตเตอรี่ภายในตัว แต่ใช้แหล่งพลังงานจากการส่งเข้าไปผ่านสายเคเบิล และเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตผ่านสายแลน (LAN) ??

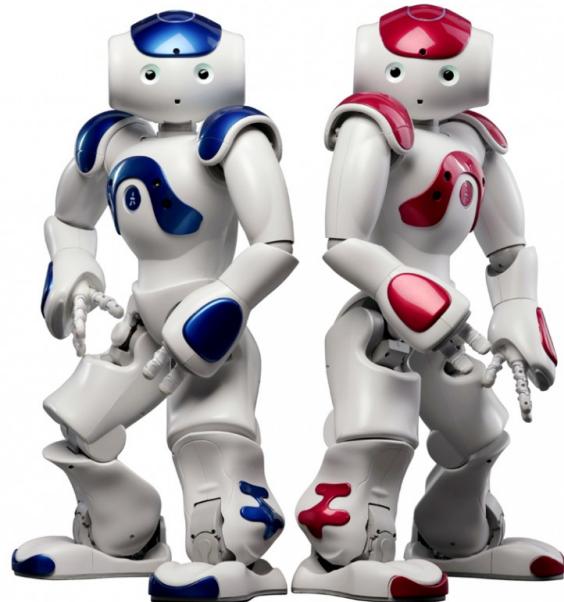
Darwin-OP Humanoid



รูปที่ 2.10: หุ่นยนต์อิวามาโนย์ดาร์วิน

หุ่นยนต์อิวามาโนย์ดาร์วิน (Darwin-OP) เป็นชื่อที่ย่อมาจากคำว่า Dynamic Anthropomorphic Robot with Intelligence–Open Platform เป็น OpenSource Platform ที่ถูกออกแบบและพัฒนาโดย Korean robot manufacturer Robotis โดยมีความร่วมมือกับ Virginia polytechnic institute and state university, Purdue university และ University of Pennsylvania หุ่นยนต์อิวามาโนย์ดาร์วินมีความสามารถในการรับภาระโหลดได้สูง เนื่องจากมีการพัฒนามอเตอร์เป็นของตัวเอง อีกทั้งยังมีความสามารถในการเคลื่อนที่แบบ พลวัต (Dynamic) หุ่นยนต์ดาร์วิน มีองศาอิสระทั้งหมด 20 องศาอิสระ ซึ่งประกอบไปด้วย ขาข้างละ 6 องศาอิสระ แขนข้างละ 3 องศาอิสระ และหัว 2 องศาอิสระ ขับเคลื่อนข้อต่อต่างๆด้วยเซอร์โวมอเตอร์ Dynamixel MX-28T ที่มีการเชื่อมต่อแบบ RS485 ในการประยัดสายที่ใช้ในการสั่งการ มอเตอร์แต่ละตัวมีเซนเซอร์วัดตำแหน่ง และความเร็วอยู่ภายใน ตัวหุ่นยนต์มีความสูงทั้งหมด 45 เซนติเมตร มีน้ำหนักโดยประมาณ 2.9 กิโลกรัม ระบบภายในใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเป็น 1.6 GHz Intel Atom Z530 (32 bit) ใช้คอนโทรลเลอร์ ARM CortexM3 STM32F103RE 72 MHz และมีเซนเซอร์วัดมุมเอียงเป็น 3-axis gyro, 3-axis accelerometer เพื่อช่วยในการควบคุมเสถียรภาพในการเดิน ??

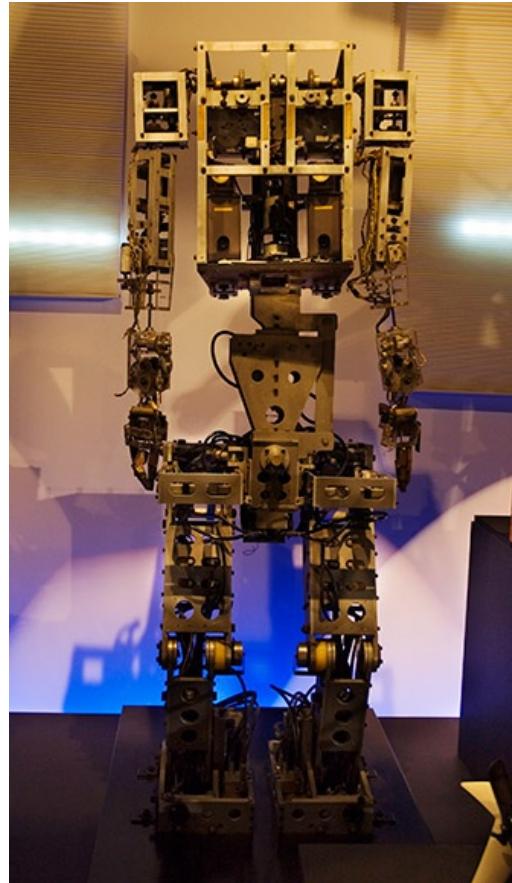
Nao Humanoid



รูปที่ 2.11: หุ่นยนต์อิวามานอยด์นาโอะ

หุ่นยนต์อิวามานอยด์นาโอะ เป็นหุ่นยนต์อิวามานอยด์ขนาดกลาง ถูกผลิตมาจากประเทศฝรั่งเศษ พัฒนาโดยบริษัท Aldebaran Robotics เมื่อปี 2004 และในปี 2007 หุ่นยนต์อิวามานอยด์นาโอะได้นำไปแทนที่หุ่นยนต์สูนัขของ Sony ซึ่ง Aibo ขณะนั้นใช้ในการแข่งขัน RoboCup Standard Platform League (SPL) หุ่นยนต์นาโอะได้ถูกนำไปใช้ใน Robocup 2008 และ 2009 หุ่นยนต์นาโอะถูกพัฒนาออกแบบมาหลายรุ่น มีองศาอิสระตั้งแต่ 14 องศาอิสระ 21 องศาอิสระ และ 25 องศาอิสระ สำหรับเพื่องานวิจัยนั้นมีถึง 25 องศาอิสระ โดยเพิ่มเติมมือสองข้างเอวเข้าไปเพื่อให้สามารถยกจับสิ่งของได้ ภายในหุ่นยนต์ถูกควบคุมด้วยระบบปฏิบัติการ NAO 2.0 (Linux-based) ตัวหุ่นยนต์มีความสูง 58 เซนติเมตร น้ำหนัก 4.3 กิโลกรัม ส่วนเซนเซอร์การรับรู้ต่างๆ จะประกอบไปด้วยเซนเซอร์วัดมุมอุ่น 3-axis gyro, 3-axis accelerometer, Ultrasound captors, ไมโครโฟน 4 ตัว ลำโพง 2 ตัว กล้อง 2 ตัว เพื่อใช้ประโยชน์ในการทำงานวิจัยต่างๆ ตอนนี้ความสามารถของหุ่นยนต์นาโอะที่ทำได้คือ สามารถเห็นสีได้ เดินขึ้นลงบันไดและทางลาดชันได้ ระหว่างการเดินนั้นสามารถวางแผนการวางเท้าได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถที่จะเดินหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วย ??

Wabot



รูปที่ 2.12: หุ่นยนต์อิวามานอยด์ว้าบอท

หุ่นยนต์อิวามานอยด์มีการพัฒนาในช่วงแรกเริ่มมาตั้งแต่ปี 1973 หุ่นยนต์อิวามานอยด์ ตัวแรกชื่อ Wabot-1 เริ่มสร้างโดยมหาวิทยาลัย Waseda ที่ประเทศญี่ปุ่น ตัวของหุ่นยนต์มีความสูง 180 เซนติเมตร น้ำหนัก 210 กิโลกรัม โดยหุ่นยนต์สามารถติดต่อสื่อสารกับมนุษย์ได้ด้วยภาษาญี่ปุ่น สามารถวัดระยะและทิศทางได้โดยใช้การรับรู้ผ่านทางตาและหูเทียม หุ่นยนต์ Wabot-1 นั้นสามารถเดินได้ด้วยขาของตนเองที่มีสองข้าง สามารถหยิบและเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ ต่อมาในปี 1984 มหาวิทยาลัย Waseda ได้พัฒนาหุ่นยนต์อิวามานอยด์ที่ชื่อ Wabot-2 โดยหุ่นยนต์สามารถสื่อสารกับมนุษย์ได้ สามารถถ่ายโน้ตเพลงและเล่นดนตรีโดยใช้ electronic organ แบบง่ายๆ ได้ และในปี 1985 บริษัท Hitachi ได้สร้างหุ่นยนต์ WHL-11 ที่มีสองขาเหมือนมนุษย์ ซึ่งสามารถเดินแบบสมดุลสถิต (Static Walking) บนพื้นราบได้ด้วยความเร็ว 13 วินาทีต่อหนึ่งก้าว และสามารถเลี้ยวได้ซ้ายและขวาได้ ??

2.2 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์

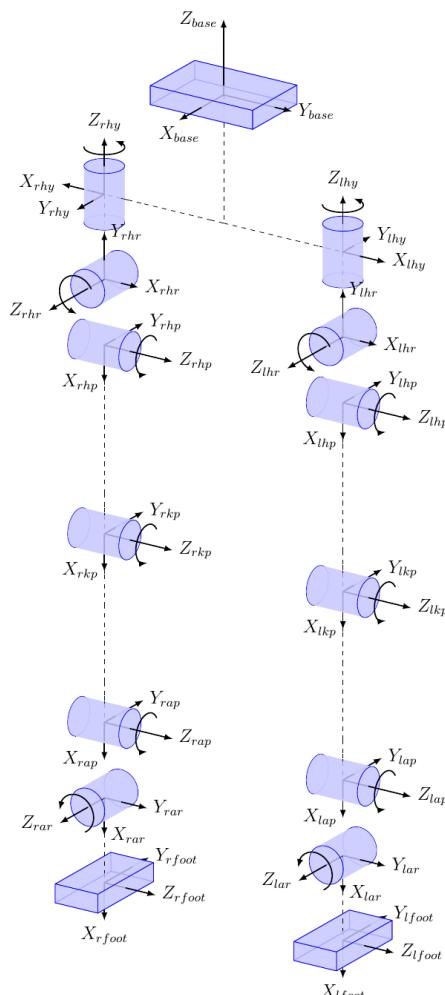
2.2.1 ความแตกต่างระหว่างโครงสร้างของมนุษย์กับโครงสร้างของหุ่นยนต์

2.2.1.1 ความแตกต่างขององค์การเสรี

เนื่องจากลักษณะข้อต่อของมนุษย์มีความซับซ้อนมากกว่าโครงสร้างของหุ่นยนต์ ทำให้ข้อต่อแต่ละจุดของมนุษย์นั้นสามารถหมุนได้หลายทิศทาง รวมถึงขอบเขตของการหมุนของข้อต่อในแต่จุดก็มีความแตกต่างกัน ใน การนำรูปแบบการเดินของมนุษย์ไปใช้กับหุ่นยนต์จึงต้องปรับค่ามุมที่ข้อต่อให้มีความเหมาะสมกับโครงสร้าง และ ข้อจำกัดเกี่ยวกับการหมุนของข้อต่อจุดต่างๆ ของหุ่นยนต์ที่จะใช้ทดสอบด้วย

2.2.1.2 ความแตกต่างของอัตราส่วน

นอกจากความแตกต่างขององค์การเสรี (DoF) ระหว่างมนุษย์กับหุ่นยนต์แล้ว ความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างโครงสร้างแต่ละส่วนของมนุษย์กับหุ่นยนต์เป็นอีกสาเหตุหนึ่ง ที่ต้องทำการปรับแต่งใหม่มีความเหมาะสม เนื่องจากความยาวของโครงสร้างแต่ละส่วน รวมทั้งระยะห่างระหว่างจุดหมุนแต่ละจุดของมนุษย์กับหุ่นยนต์ที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องกำหนดระบบพิกัดสำหรับหุ่นยนต์ที่มีความยาวต่างกัน เช่น ขาและศีรษะ ที่มีความยาวต่างกัน แต่ทั้งสอง部分มีความกว้างและสูงที่คล้ายกัน เพื่อให้ในการอ้างอิงจุดหมุน และความยาวของโครงสร้างในส่วนต่างๆ



รูปที่ 2.13: ตัวอย่างตำแหน่งและการหมุนของข้อต่อของหุ่นยนต์เพื่อการอ้างอิง

2.2.1.3 กำลังและประสิทธิภาพของมอเตอร์

ความสามารถในการรับน้ำหนักของข้อต่อแต่ละจุดมีความแตกต่างกัน การเคลื่อนไหวของมนุษย์นั้นจะมีกล้ามเนื้อ และเลี้นเอ็นเป็นตัวออกแรงดึงส่วนต่างๆของร่างกายเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนไหวซึ่งจะมีความยืดหยุ่นและแรงดึงที่มีค่าสูง สำหรับการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ จะใช้การบิดแกนของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) หรือมอเตอร์ที่ติดอยู่ที่ข้อต่อจุดต่างๆ ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนัก แรงบิดและความยืดหยุ่นที่ข้อต่อขึ้นกับกำลังของมอเตอร์เป็นหลัก การสร้างท่าทางของหุ่นยนต์จึงต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักและกำลังของเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ด้วยเข่นกัน

2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในหุ่นยนต์ชีวามโนยด์

ตัวขับเคลื่อน

ในการสร้างหุ่นยนต์ชีวามโนยด์นั้นระบบการขับเคลื่อนถือว่าเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากว่าถ้าหากระบบขับเคลื่อนไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ หรือหากมีการอุบัติเหตุที่ผิดพลาด จะส่งผลทำให้หุ่นยนต์ชีวามโนยด์นั้นมีประสิทธิภาพในการทำงานลดลงตามไปด้วย ภายในงานวิจัยนี้ทางผู้จัดทำได้ใช้ตัวขับเคลื่อนเป็น Dynamixel digital servo EX-106 ซึ่งเป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับทำหุ่นยนต์โดยเฉพาะ ภายในประกอบไปด้วย มอเตอร์กระแสตรง ชุดเฟืองมอเตอร์ ไดเรอර์คอนโทรลเลอร์ สามารถเชื่อมต่อกันผ่าน BUS RS-485 มีการควบคุมแบบ PID และแรงบิดที่สูง⁸



รูปที่ 2.14: ตัวขับเคลื่อนที่ใช้ในหุ่นยนต์ชีวามโนยด์

⁸Robot Actuator [http://support.robotis.com/en/product/actuator/dynamixel/ex_series/ex-106.htm]

หน่วยประมวลผลควบคุม

ในการควบคุมหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ให้สามารถทำกิจกรรมต่างๆ คือ หน่วยประมวลผลระบบควบคุม ถ้าหากไม่มีระบบประมวลผลควบคุมแล้ว อุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่ภายในตัวของหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์จะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ซอฟต์แวร์ของหุ่นยนต์ที่พัฒนามาทั้งหมดจะไม่สามารถใช้ได้ ทำให้หุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถทำงานในสิ่งที่ต้องการ การวางแผนระบบควบคุมที่นิยมใช้ในระบบหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือส่วนของหน่วยประมวลผลควบคุมระดับสูง และหน่วยประมวลผลควบคุมระดับต่ำ

หน่วยประมวลผลควบคุมระดับสูง (High level controller)

หน่วยประมวลผลควบคุมระดับสูงเป็นส่วนที่ใช้ประมวลผลการทำงานที่มีความซับซ้อนของระบบ เช่น จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ การคำนวณหาเส้นทางการเดิน ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลที่เร็ว และมีประสิทธิภาพ ในสมัยที่มีการพัฒนาหุ่นยนต์อิเล็กทรอนิกส์ยุคแรกเริ่มนั้น หน่วยประมวลผลควบคุมระดับสูง จะแกะ 3 กะ อะที 'วย ประที่ ไนกอ แกะ 3

2.3.2 ระบบที่ใช้ในการจำลองการทำงานของหุ่นยนต์

โปรแกรมจำลองการทำงานของหุ่นยนต์นั้นเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับนักวิจัยที่ทำงานวิจัยเกี่ยวกับหุ่นยนต์ การใช้โปรแกรมจำลองนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานหลายอย่าง เช่น ให้รู้ว่าหุ่นยนต์ที่ออกแบบนั้นสามารถทำงานได้อย่างที่ต้องการหรือไม่ กระบวนการคิดถูกต้องหรือไม่ โปรแกรมจำลองระบบส่วนใหญ่จะคำนวณพลวัตของหุ่นยนต์โดยใช้เครื่องมือคำนวณ Open Dynamics Engine (ODE)

USARSim

รูปที่ 2.27: ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรม USARSim

USARSim เป็นโอเพนซอร์ซและเหมาะสมสำหรับทำหุ่นยนต์ประเภทกู้ภัยในชากเมือง โดยมีฐานการพัฒนามาจาก Unreal Tournament game engine ภายใต้โปรแกรมมีเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย มีเซนเซอร์ของหุ่นยนต์ที่หลากหลาย เช่น เซนเซอร์รับภาพ หรือเซนเซอร์ตรวจความเคลื่อนไหว

MuRoSimF

รูปที่ 2.28: ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรม MuRoSimF

MuRoSimF ย่อมาจากคำว่า Multi-Robot Simulation Framework เป็นเครื่องมือที่ช่วยทำระบบจำลองจาก Darmstadt University โปรแกรมระบบจำลองนี้มีการใช้งานที่ง่าย เหมาะสำหรับหุ่นยนต์หลายประเภท เช่น หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อ หุ่นยนต์สองขา หรือหุ่นยนต์หลายขา สามารถคำนวณพลวัตร และการกระทบกันของกันต่อต่างๆได้

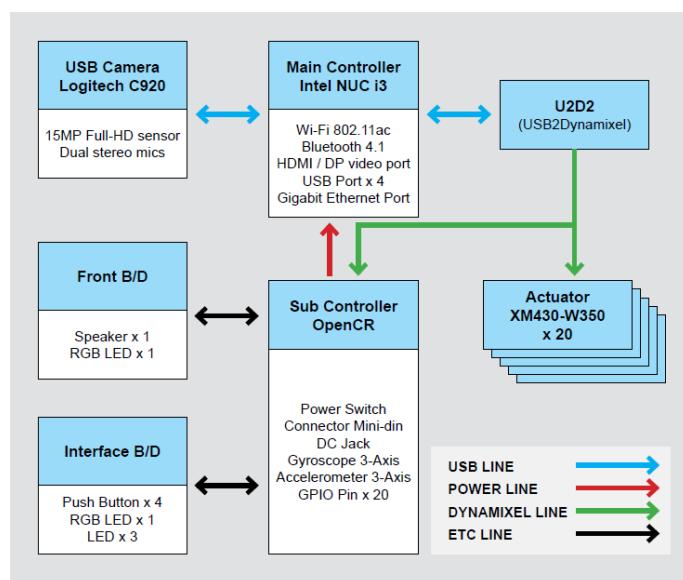
รูปที่ 3.23: ภาพการเปลี่ยนส่วนของชาร์ดแวร์เป็นระบบจำลอง

รูปที่ 3.24: ตัวอย่างการนำโครงสร้างพื้นฐานไปประยุกต์ใช้ ในแอปพลิเคชันการพูดคุยโดยตัดออกกับมุมนุชย์

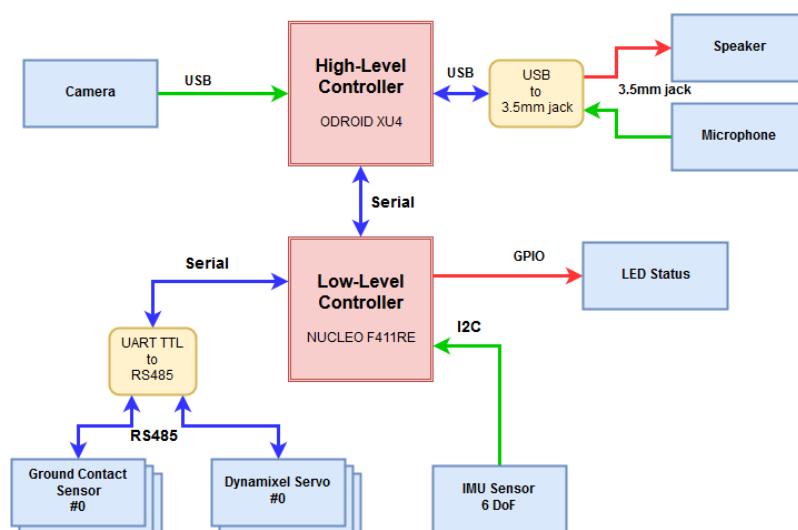
3.5.2 ออกแบบสถาปัตยกรรมของหุ่นยนต์

หลักการออกแบบสถาปัตยกรรมของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ UTHAI จะออกแบบระบบให้อยู่บนระบบพื้นฐาน ROS เนื่องจากการใช้กรอบการทำงานที่มีประสิทธิภาพ และความยืดหยุ่นสูง จะช่วยทำให้สามารถปรับเปลี่ยนระบบการควบคุมของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ได้ง่ายและรวดเร็ว การออกแบบหน่วยประมวลผลนั้นมีลักษณะรูปแบบ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและพอกกว่าสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ UTHAI จะมีลักษณะใกล้เคียงกับหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ Robotis OP3 ดังรูปที่ 3.25 ดังนั้นแล้วผู้วิจัยจึงได้แบ่งการประมวลผลออกเป็น 2 ส่วนคือ

- 1 หน่วยประมวลผลควบคุมระดับสูง (High Level Controller)
- 2 หน่วยประมวลผลควบคุมระดับต่ำ (Low Level Controller)



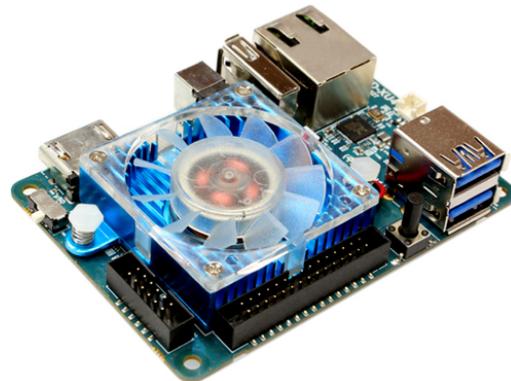
รูปที่ 3.25: สถาปัตยกรรมของหุ่นยนต์ Robotis OP3



รูปที่ 3.26: สถาปัตยกรรมของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ UTHAI

3.5.2.1 หน่วยประมวลผลควบคุมระดับสูง (High level controller)

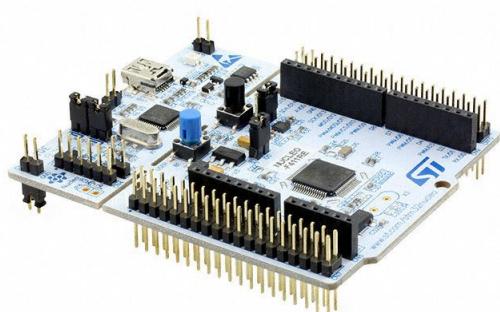
ระบบควบคุมหลักของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ UTHAI เน้นจะอยู่ที่หน่วยประมวลผลขั้นสูง ใช้เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ ODROID-XU4 ตัวประมวลผลหลักนี้ ทำหน้าที่ในการคำนวณเส้นทางการเดิน ทำให้หุ่นยนต์มีเสถียรภาพในการเดิน ตรวจการขัดกันของโครงสร้างของหุ่นยนต์ รวมไปถึงรับค่าข้อมูลตำแหน่ง ความเร็วจากข้อต่อ หลังจากนั้นจะทำการนำค่าทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณ มาแปลงให้อยู่ในรูปของชุดข้อมูล แล้วส่งออกไปให้ระบบกลาง (ROS) ในการส่งต่อไปให้อุปกรณ์อื่นต่อไป



รูปที่ 3.27: บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Odroid XU4

3.5.2.2 หน่วยประมวลผลควบคุมระดับต่ำ (Low level controller)

ระบบควบคุมขั้นต่ำเป็นหน่วยประมวลผลที่รองรับมาจาก บอร์ดคอมพิวเตอร์ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลโลร์ Nucleo F411RE เป็นหน่วยประมวลผลขั้นต่ำ สำหรับในการติดต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่อยู่ภายนอกตัวของหุ่นยนต์ เช่น ค่าเซนเซอร์ที่ไฟเท้าซึ่งสามารถบอกได้ว่าควรใช้สมการไหนในการคำนวณพลวัต หรือค่าของเซนเซอร์หน่วยวัดความเร็วymic ความสำคัญมาก ในการทำให้หุ่นยนต์ชีวามโนยด์เดินได้อย่างมีเสถียรภาพ เมื่ออ่านค่าเซนเซอร์ต่างๆได้แล้ว หน่วยประมวลผลขั้นต่ำจะนำค่าที่ได้จากการอ่านเซนเซอร์เหล่านี้แปลงให้อยู่ในลักษณะของชุดข้อมูล แล้วส่งออกไปในระบบกลาง (ROS) นอกจากนี้หน่วยประมวลผลขั้นต่ำยังทำหน้าที่รับค่าคำสั่งมาจากระบบกลาง ในการสั่งงานให้หุ่นยนต์มีท่าทางต่างๆได้



รูปที่ 3.28: บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Nucleo F411RE

3.5.3 จัดทำคู่มือและเอกสารการใช้งาน

คู่มือจะเป็นส่วนที่ผู้มาพัฒนาต่อยอดสามารถที่จะอ่านทำความเข้าใจได้ โดยจะเขียนให้อยู่ในรูปของไฟล์ Markdown (.md) และเก็บเอาไว้ในเว็บไซต์ GitHub ซึ่งเป็นแหล่งรวม Source code ออนไลน์ สามารถเข้าไปดาวน์โหลดไฟล์ลงเครื่องผู้ใช้ แล้วทำการติดตั้งใช้งานได้เลย อีกทั้งผู้ใช้งานสามารถส่ง Code ของตัวเองเข้าระบบ เพื่อช่วยพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของซอฟต์แวร์ของหุ่นยนต์ได้

3.5.3.1 รายการวัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นยนต์ชีวามานอยด์ UTHAI

รายการ	จำนวน (หน่วย)	บาท/หน่วย	ราคารวม(บาท)
===== Processing Unit	-	-	-
Odroid XU4 Embedded Computer	1	3800	3800
Shifter Shield for Odroid XU4	1	1000	1000
===== Sensor	-	-	-
Force sensitive Resistor	8	300	2400
Electronic Component	1	2000	2000
MPU9255 9 Axis IMU Module	1	500	500
===== Structure	-	-	-
อุปกรณ์ส่งกำลัง	1	3000	3000
ค่าวัสดุ เช่น Filament 3D printer , Carbon Fiber	1	8000	8000
สปริง	14	50	700
อุปกรณ์สิ้นเปลือง เช่น กระดาษทราย ฯลฯ	1	1000	1000
===== อุปกรณ์เสริม Motor Dynamixel	-	-	-
Frame สำหรับต่อพ่วงมอเตอร์	4	2000	8000
Horn Bearing	4	1400	5600
อุปกรณ์จ่ายพลังงาน	-	-	-
Power Supply	1	2000	2000
Battery Li-Po 4 cell	1	3000	3000
===== รวม	-	-	48000

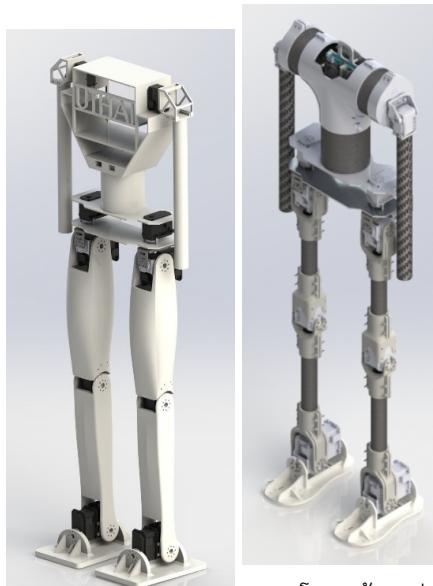
ตารางที่ 3.19: ตารางแสดงรายการของวัสดุต่าง ๆ

ใช้สำหรับแจกแจงค่าใช้จ่ายเบื้องต้นเท่านั้น ไม่สามารถใช้อ้างอิงบประมาณแบบละเอียดได้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 โครงสร้างของหุ่นยนต์



(ก) โครงสร้างหุ่นยนต์ใน ยนต์ ใน โปรแกรม 3
โปรแกรม 3 มิติ(ครั้งที่ 1) มิติ(ครั้งที่ 2)

รูปที่ 4.1: รูปการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ในโปรแกรม 3 มิติ

โครงสร้างของหุ่นยนต์อิวามานอยด์ UTHAI จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนท่อนบนและส่วนท่อนล่างโดย ส่วนท่อนบนจะประกอบไปด้วย เอว ลำตัว แขน และท่อนล่างจะประกอบไปด้วย สะโพก ขา น่อง ฝ่าเท้า ในการ เลือกใช้วัสดุนั้นได้แสดง ดังตารางที่ 4.1

ชิ้นส่วน	วัสดุที่ใช้ขึ้นรูป
แขน	ท่อคาร์บอนไฟเบอร์ ขนาด 30 มม.
ลำตัว	เครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ PLA
เอว	ท่อคาร์บอนไฟเบอร์ ขนาด 88 มม.
สะโพก	อลูมิเนียมอลลอลอยพับ
น่อง	เครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ PLA
ขา	เครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ PLA
ฝ่าเท้า	เครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ PLA

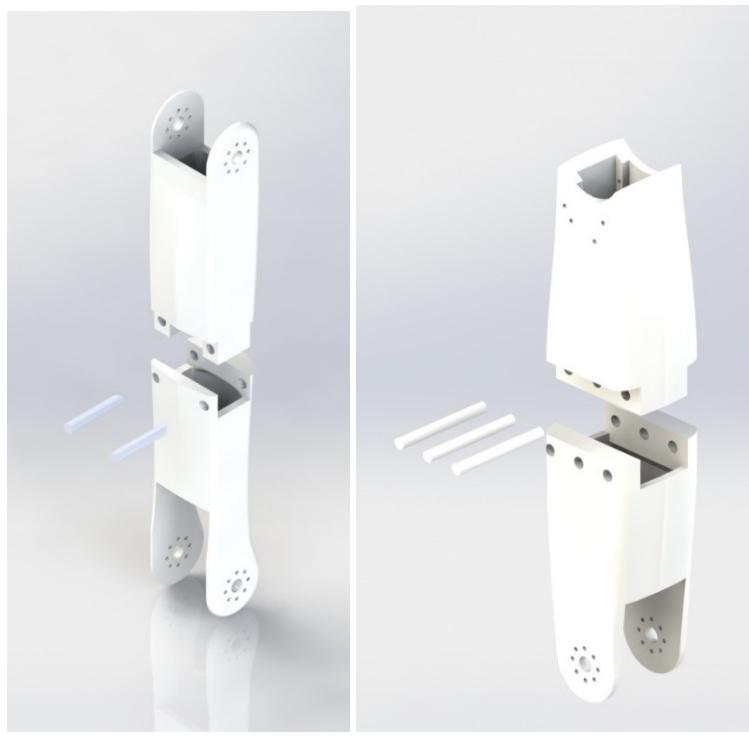
ตารางที่ 4.1: ตารางแสดงวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปหุ่นยนต์อิวามานอยด์ UTHAI

ซึ่งในการออกแบบนี้ได้แบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ครั้งด้วยกันเนื่องจากว่าเกิดปัญหาในด้านน้ำหนักของ การออกแบบครั้งที่ 1 ที่มากเกินไป จึงทำการปรับปรุงใหม่เพื่อให้มีน้ำหนักที่เบามากขึ้นกว่าเดิม แต่ยังคงคงทึ่ง ความแข็งแรงของโครงสร้างให้ไม่น้อยไปกว่าเดิม

4.1.1 การออกแบบขา

4.1.1.1 การออกแบบโครงสร้างส่วนขาครั้งที่ 1

การออกแบบโครงสร้างส่วนขาของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ ได้ออกแบบโดยคำนึงถึงการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ แต่เนื่องจากว่าเครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้ในการผลิตนั้นมีขนาดที่เล็กกว่าขนาดที่จะพิมพ์จริงจึงต้องทำการแยกส่วนของขาออก เป็นจำนวน 2 ส่วนในแต่ละในก้านต่อของขาท่อนบนและขาท่อนล่าง และหลังจากนั้นใช้การยึดขึ้นส่วนด้วยการตอกสลักเพื่อยึดติดขึ้นส่วนเข้าด้วยกัน เพื่อให้มีความแข็งแรงมากกว่าการต่อแบบทว่ไป ดังรูปที่ 4.2 เมื่อทำการพิมพ์ชิ้นงานส่วนขาท่อนบนและท่อนล่าง ออกแบบได้น้ำหนักของชิ้นงานตามตาราง 4.2



(ก) โครงสร้างส่วนหน้าแข็ง

(ข) โครงสร้างส่วนต้นขา

รูปที่ 4.2: รูปการออกแบบส่วนขาของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ UTHAI

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)
ต้นขา	263
หน้าแข็ง	204

ตารางที่ 4.2: ตารางแสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนขา

จากการทดสอบความสามารถในการเคลื่อนที่ พบร่วด้วยขับเคลื่อนสามารถเคลื่อนที่เข้าตำแหน่งได้ถูกต้องตามมุ่ง ที่ป้อนเข้าไปให้ระบบ แต่หากทำให้ชิ้นส่วนของขาเคลื่อนที่ด้วยถีปีกลับสูงและด้วยความเร็วที่มาก จะทำให้ตัวขับเคลื่อนเกิดการโอเวอร์โลด ซึ่งมีผลทำตัวขับเคลื่อนหยุดการทำงาน ซึ่งต้องทำการปิดเปิดตัวขับเคลื่อนใหม่

ผลการทดสอบ

จากการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน พบร่วมกันมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทำให้ตัวขับเคลื่อนมีค่าแรงบิดเป็นค่าแรงบิดสูงสุด(Stall Torque) แล้วทำให้ชิ้นงานไม่เกิดความเสียหาย

จากการทดสอบระยะเวลาการทำงานของตัวขับเคลื่อน ด้วยการเขียนโปรแกรมให้ตัวขับเคลื่อน เคลื่อนที่ไปกลับ สลับตำแหน่งไปเรื่อยๆอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 20 นาที พบร่วมกันว่า ตัวขับเคลื่อนทำงานได้เป็นปกติ

ปัญหาที่พบในการออกแบบครั้งที่ 1

เนื่องจากว่าเป้าหมายของการสร้างหุ่นยนต์ตัวนี้ให้มีน้ำหนักที่เบา (น้อยกว่า 5 กิโลกรัม) จึงพบปัญหาว่า น้ำหนักของส่วนขาที่ได้ออกแบบมานั้นมีน้ำหนักมากเกินกว่าของหุ่นยนต์กัน (ซึ่งหุ่นยนต์ตัวเดิมก่อนจะเป็นอุทัย) ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดปัญหาเรื่องภาระโหลดของดิจิตอลเซอร์วิส ที่ต้องกระทำให้มีมากขึ้นจากเดิมและจะทำให้น้ำหนักของตัวหุ่นยนต์มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์น้ำหนักส่วนขาของหุ่นยนต์กับหุ่นยนต์อิวามาอยด์ UTHAI ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ชิ้นส่วน	หุ่นยนต์กัน (เดิม)(กรัม)	หุ่นยนต์ UTHAI
ขาท่อนบน	171	263
ขาท่อนล่าง	172	204

ตารางที่ 4.3: ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักของชิ้นส่วนขาของหุ่นยนต์

จากข้อมูลในตารางนั้นจะเห็นได้ว่า หนักที่เพิ่มขึ้นมากจากการออกแบบใหม่แต่ละชิ้นนั้น มากถึง 124 กรัม ต่อขา 1 ข้าง และ 248 กรัมเมื่อเทียบกับขาทั้งหมดและเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนหน้า

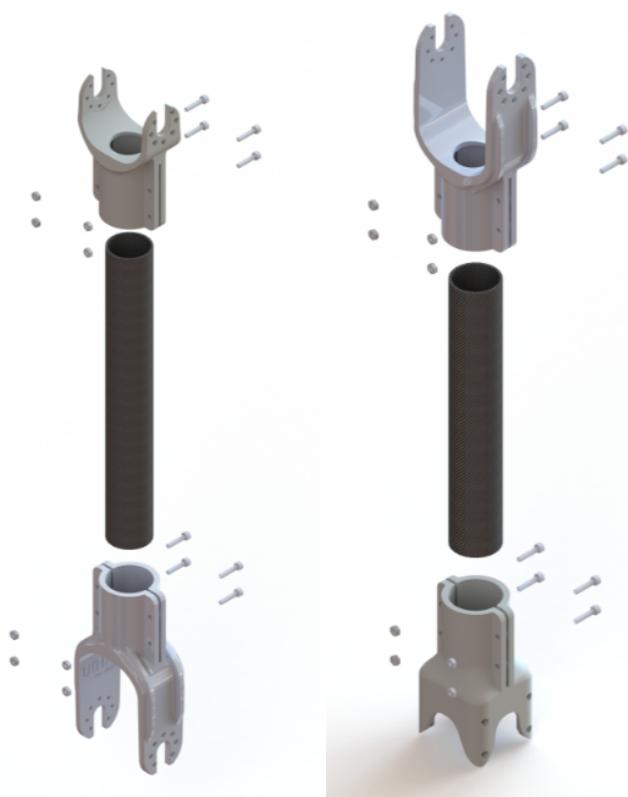
หลังจากพบปัญหาดังกล่าวผู้จัดทำจึงได้ตัดสินใจทำการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างในครั้งแรก ที่จะใช้การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ มาเป็นวัสดุพอลิเมอร์ห่วงคาร์บอนไฟเบอร์และชิ้นงาน 3 มิติแทน โดยจะให้ชิ้นงาน 3 มิตินั้นทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างวัสดุคุณภาพของไฟเบอร์กับมอเตอร์ และยึดกับวัสดุคุณภาพของไฟเบอร์ ด้วยการบีบ ซึ่งเหตุผลที่ต้องทำเช่นนี้ เพราะต้องการลดน้ำหนักของหุ่นยนต์ลง เพื่อไม่ให้มอเตอร์รับภาระที่หนักเกินไป

ชิ้นส่วน	วัสดุที่ใช้ขึ้นรูป (เก่า)	วัสดุที่ใช้ขึ้นรูป (ใหม่)
แขน	ท่อคาร์บอนไฟเบอร์ ขนาด 30 มม.	เดิม
ลำตัว	เครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ PLA	เดิม
เอว	ท่อคาร์บอนไฟเบอร์ ขนาด 88 มม.	เดิม
สะโพก	อลูมิเนียมอลล์loyพับ	เดิม
น่อง	เครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ PLA	วัสดุพอลิเมอร์ห่วงคาร์บอนไฟเบอร์และชิ้นงาน 3 มิติ
ขา	เครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ PLA	วัสดุพอลิเมอร์ห่วงคาร์บอนไฟเบอร์และชิ้นงาน 3 มิติ
ฝ่าเท้า	เครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ PLA	เดิม

ตารางที่ 4.4: ตารางแสดงวัสดุที่แก้ไขในการใช้ขึ้นรูป UTHAI

4.1.1.2 การออกแบบโครงสร้างส่วนขาครั้งที่ 2

ครั้งนี้การออกแบบชิ้นส่วนขาของหุ่นยนต์นั้น ได้คำนึงถึงเรื่องน้ำหนักเป็นหลัก และยังคงให้ความสำคัญกับข้อต่อที่จะใช้รับน้ำหนักทั้งด้านบนและด้านล่าง แล้วยังคงรับแรงบิดของมอเตอร์อีกด้วย ดังนั้นจึงได้ตัดสินใจที่จะเปลี่ยนจากการใช้วัสดุจากการพิมพ์สามมิติ ซึ่งเป็นพลาสติกทั้งหมด มาเป็นวัสดุผสม ระหว่างคาร์บอนไฟเบอร์กับชิ้นส่วนการพิมพ์สามมิติ ซึ่งชิ้นรูปจากพลาสติก PLA และทำการยึดติดกันด้วยการบีบอัด ดังรูปที่ 4.3 เมื่อทำการพิมพ์ชิ้นงานส่วนขาท่อนบนและท่อนล่างแล้วทำการประกอบ จะได้น้ำหนักของชิ้นงานเบรียบเทียบกับของเดิม ตารางที่ 4.5



(ก) โครงสร้างส่วนขา เชิง (ใหม่) (ข) โครงสร้างส่วนขา ตันขา (ใหม่)

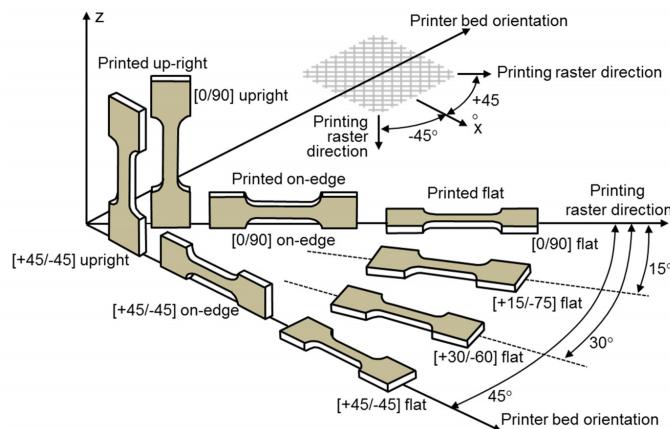
รูปที่ 4.3: รูปการออกแบบส่วนขาของหุ่นยนต์อิมานอยด์ UTHAI (ใหม่)

ชิ้นส่วน	น้ำหนักเดิม (กรัม)	น้ำหนักใหม่ (กรัม)
ตันขา	263	161
หน้า เชิง	204	166

ตารางที่ 4.5: ตารางแสดงน้ำหนักเบรียบเทียบของชิ้นส่วนขา

การขึ้นรูปชิ้นงาน

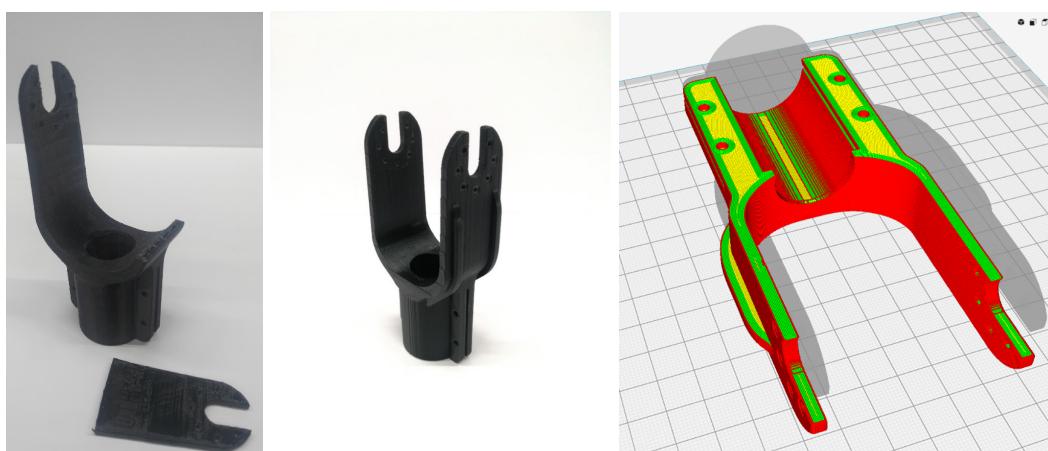
การขึ้นรูปชิ้นงานนั้น ได้ใช้การขึ้นรูปชิ้นตามความสูงแนวแกน Z ดังรูปที่ 4.4 เพื่อให้ชิ้นงานมีความสวยงามและสามารถสัมภาระได้พอตี กับท่อònการบอนโดยใหม่ผิวสัมผัสมากที่สุด ในการยืดเกราะ¹



รูปที่ 4.4: รูปการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการพิมพ์งานสามมิติ

4.1.1.3 ทดสอบโครงสร้างและการขับเคลื่อน

จากการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุโดยการนำไปประกอบกับตัวหุ่นยนต์จริง และทำการทดลองเดินพบว่าเมื่อทำการเดินจริงนั้น เกิดการฉีกขาดของชิ้นงานที่ ชิ้นการพิมพ์ของชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเกิดจากการได้รับแรงบิดมากเกินไปจากน้ำหนักของชิ้นงานส่วนขา และแรงที่ชิ้นงานจะได้รับนั้น จะเป็นเพียงส่วนการเชื่อมกันติดของชิ้นพลาสติกเท่านั้น ที่นี้เส้นพลาสติกจะไม่ได้เป็นตัวรับแรงจึงทำให้ เกิดการประทักษิณที่ง่ายกว่าดังนั้นจึงทำการออกแบบใหม่โดยการเพิ่มสันให้ชิ้นงานและเพิ่มความหนาบนหน้าแปลนเข้มกับตัวมอเตอร์ และทำการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยให้ความสูงของชิ้นงานเป็นไปตามแกน X และทำการเติมเนื้อพลาสติกด้านในให้เต็ม 100% ดังรูปที่ 4.5



(ก) รูปแสดง การ แตกรัก (ข) รูป แสดง ชิ้น งาน ที่ทำการ ออกแบบใหม่ (ค) รูปแสดงชั้นของการพิมพ์ตามแนวแกน x โดยการเติมเนื้อพลาสติก 100%

รูปที่ 4.5: รูปแสดงการแตกรักและชั้นการพิมพ์

¹Experimental Characterization of the Mechanical Properties of 3D-Printed ABS and Polycarbonate Parts

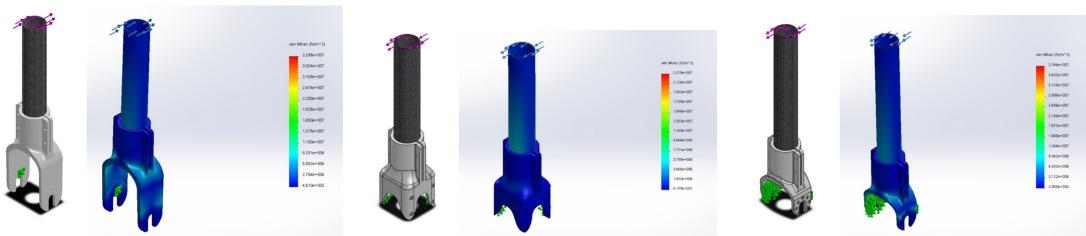
การทดลองความแข็งแรงของชิ้นงานโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข(Finite element)

ก่อนที่จะนำชิ้นงานที่ทำการออกแบบใหม่ที่เติมเนื้อพลาสติก 100% ไปใช้งานจริงนั้นจะต้องผ่านการวิเคราะห์แรงกระทำ โดยผ่านโปรแกรมจำลองเพื่อหาจุดที่เปราะบางของชิ้นงาน และนำข้อมูลนั้นไปวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงชิ้นงานต่อไป ซึ่งได้ดังค่า คุณสมบัติของชิ้นงานจากการพิมพ์สามมิติ ไว้ดังตารางที่ 4.6

Print Orientation Side	flat
Ultimate Stress (N/mm^2) ²	45.66
Young's Modulus (N/mm^2) ³	1141.55
Yield strength (N/mm^2) ⁴	23
Density (kg/m^3) ⁵	1250
Poisson ratio ⁶	0.33
Force (torque) ($N.m$)	10.4

ตารางที่ 4.6: ตารางแสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุจากเครื่องพิมพ์สามมิติ

เมื่อทดลองนำค่าดังกล่าวไปใช้ในโปรแกรม Solidwork และใช้ฟังก์ชัน Mass Property เพื่อหาค่าน้ำหนักที่ผ่านการคำนวนโดยโปรแกรม และนำมาเทียบกับชิ้นงานจริงเพื่อคุ้มครองความคลาดเคลื่อนด้านน้ำหนักมากน้อยขนาดไหน พบว่าค่าข้อมูลความคลาดเคลื่อนนั้นจะไม่เกินกว่าระหว่าง $\pm 1\%$ กับค่าที่แสดงบนโปรแกรม หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Solidwork ด้วยการวิเคราะห์ FEA ได้ผลลัพธ์ ดังนี้



(ก) รูปการวิเคราะห์แรงของข้อต่อ 1 (ข) รูปการวิเคราะห์แรงของข้อต่อ 2 (ค) รูปการวิเคราะห์แรงของข้อต่อ 3

รูปที่ 4.6: รูปการวิเคราะห์แรงของข้อต่อ

การวิเคราะห์นั้นจะทำการยึดจุดที่เป็นหน้าแปลนของมอเตอร์ไว้เพื่อให้เปรียบเสมือนกับว่าขณะนี้ชิ้นงานได้เข้มติดกับตัวมอเตอร์ หลังจากนั้นกำหนดแรงกระทำเพื่อให้เกิดโมเมนต์กับชิ้นงานโดยค่าแรงที่กระทำนั้น ได้มาจากการคำนวนแรงของมอเตอร์ที่จะรับไหว้เทียบกับระยะของแรง ที่กระทำกับชิ้นงาน ซึ่งได้ทดลองกับชิ้นงาน ตัวข้อต่อ 1 2 และ 3 ด้วยแรง 41.6 นิวตัน (N) เมื่อนำค่า ความตึงเครียดสูงสุด ($Max stress$) ของชิ้นงาน มาวิเคราะห์เพื่อหา จุดเปราะบางของวัสดุได้ดังตาราง ?? จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ค่าความตึงเครียดต่างๆ

ชื่อชิ้นงาน	ความตึงเครียดสูงสุดของชิ้นงาน($Max stress$) (N/mm^2)
ข้อต่อ 1	32.99
ข้อต่อ 2	23.19
ข้อต่อ 3	7.987

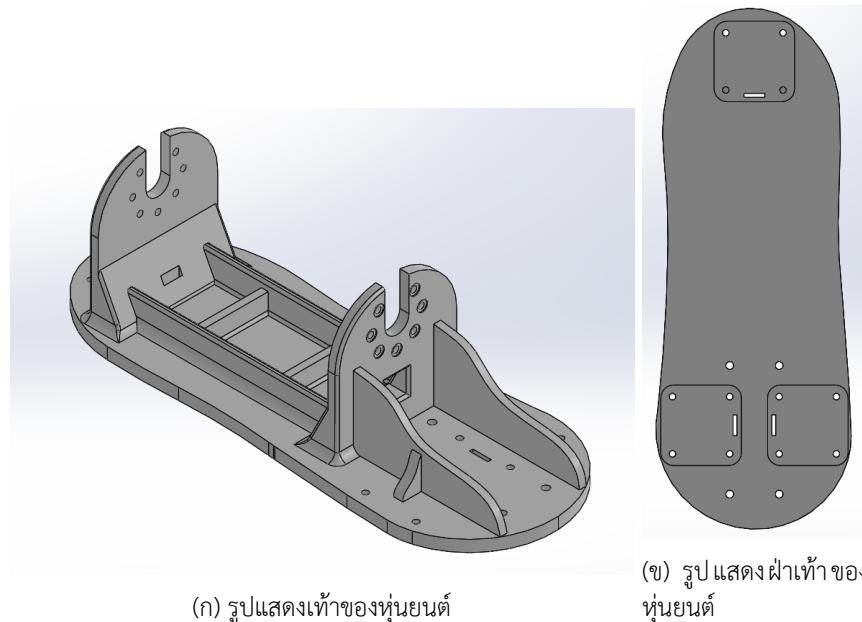
ตารางที่ 4.7: ตารางแสดงความตึงเครียดของชิ้นงาน (Stress)

ที่ได้มาจากการทดลองนั้นมี่อนนำไปเทียบกับค่าความตึงเครียดสูงสุดที่วัสดุจะรับไหว้ที่ $45.66 N/mm^2$ เนื่องด้วยวัสดุไม่มีวัสดุตัวไหนที่จะเกิดการแตกหักเมื่อเกิดแรงกระทำกับชิ้นงานดังนั้นชิ้นงานที่ทำการออกแบบนี้ พoSรุปได้ว่าจะไม่เกิดการแตกหักระหว่างการทำงาน ยกเว้นมีแรงกระทำจากภายนอกที่มากเกินไปจนมาผลทำให้เกิดความตึงเครียดของชิ้นงานสูง เกินกว่าค่าดังกล่าว

4.1.2 การออกแบบเท้า

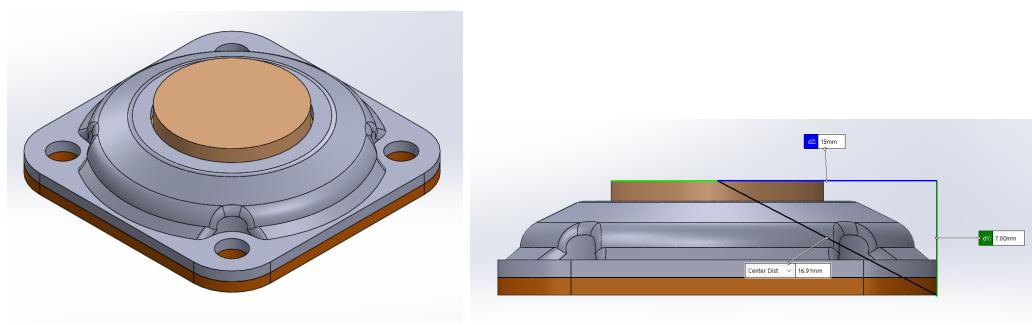
4.1.2.1 การออกแบบโครงสร้างเท้าครั้งที่ 1

โครงสร้างเท้านี้ได้ออกแบบให้มีลักษณะคล้ายคลึงกับรองเท้าของมนุษย์จริงและมีขนาดที่เหมาะสมกับตัวหุ่นยนต์ โดยคำนึงถึงความแข็งแรง และการใช้งานเป็นหลัก และยังต้องขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติได้อีกด้วย



รูปที่ 4.7: รูปแสดงเท้าของหุ่นยนต์ชิวามานอยด์ UTHAI

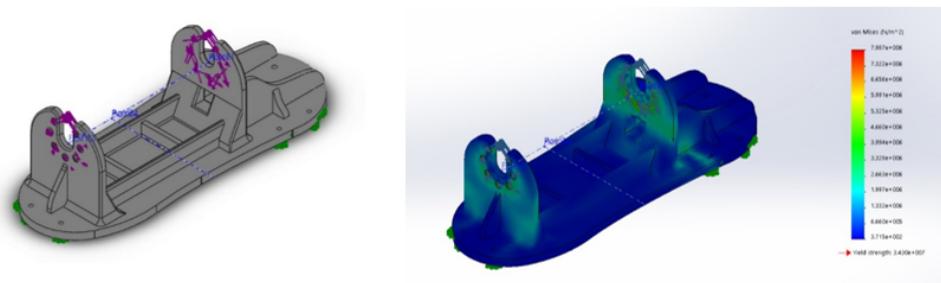
ในส่วนของโครงครอบ FSR นั้นได้ออกแบบให้มีการกดโดยตรงกับหน้าสัมผัสซึ่งส่วนที่สัมผัสกับหน้าสัมผัสนั้นจะเป็นเฉพาะส่วนของ 3d print ที่ออกแบบมา เฉพาะการกดโดยเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สนองหน้าสัมผัสได้ดีกว่า การกดจากภายนอกโดยตรงซึ่งตัวเซนเซอร์นี้จะมีความสูงจากมาจากการฝ่าเท้าเป็นระยะ 5.4 มิลลิเมตร โดยจะมีจำนวน 3 ตัวต่อเท้า 1 ข้าง



รูปที่ 4.8: รูปแสดงโดยรวมของโครงครอบ FSR

การทดลองความแข็งแรงของชิ้นงานโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Finite element)

จากค่าคุณสมบัติของชิ้นงานดังตาราง 4.6 นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงตัวเลขได้ผลดังนี้ การวิเคราะห์



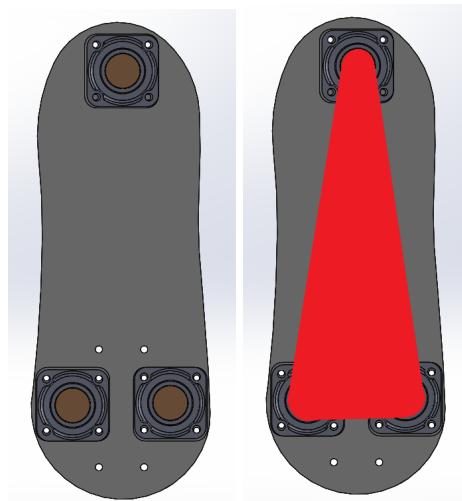
รูปที่ 4.9: รูปการวิเคราะห์แรงของเท้าหุ้นยนต์

นั้นเมื่อวิเคราะห์ทำเหมือนกับการวิเคราะห์ชิ้นส่วนขาคือทำการยึดจุดที่เป็นหน้าแปลนของดิจิตอลเซอร์โวไว้เพื่อให้เปรียบเสมือนกับว่าขณะนี้ชิ้นงานได้เข้ามติดกับตัวดิจิตอลเซอร์โว หลังจากนั้นกำหนดแรงกระทำเพื่อให้เกิดแรงบิดกับชิ้นงานโดยค่าแรงที่กระทำมันได้มาจากการคำนวณแรงของดิจิตอลเซอร์โวที่ทำกับชิ้นงานข้อเท้าที่แรงบิด 10.4 นิวตัน/เมตร ($N.m$) ได้ผลดังตารางที่ 4.8

ชื่อชิ้นงาน	ความตึงเครียดสูงสุดของชิ้นงาน (Max stress) (N/mm^2)
ฝ่าเท้า	37.44

ตารางที่ 4.8: ตารางแสดงความตึงเครียดของชิ้นงาน (Stress) ของฝ่าเท้า
ปัญหาที่พบ

เมื่อทำการประกอบชิ้นส่วนของ FSR กับฝ่าเท้าแล้วปัญหาที่พบคือ พื้นที่สัมผัสพื้นของฝ่าเท้า น้อยลงซึ่งเป็นผลทำให้พื้นที่รองรับน้อยลงด้วยซึ่งเป็นเหตุทำให้การเดินของหุ้นยนต์นั้นยากลำบาก ดังนั้นจึงทำการแก้ไขโดยออกแบบฝ่าเท้าให้มีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น และออกแบบเซนเซอร์ตรวจจับการเดินให้มีความบางลงอีกเพื่อให้หุ้นยนต์นั้น มีพื้นที่รองรับเพิ่มขึ้น

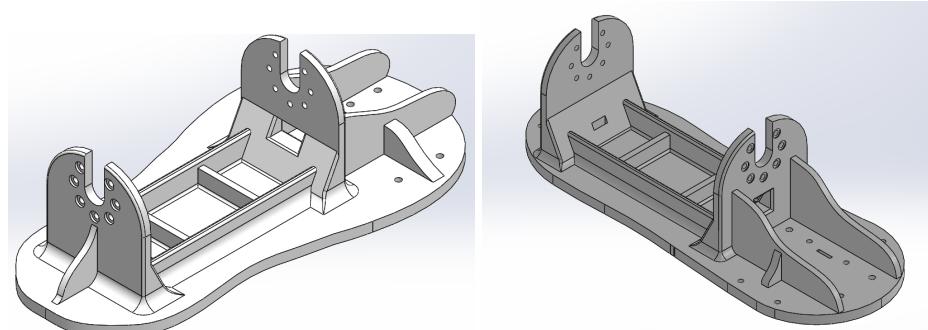


(ก) เท้าของหุ้นยนต์ (ข) พื้นที่รองรับของเท้า

รูปที่ 4.10: รูปแสดงฝ่าเท้าและพื้นที่รองรับ

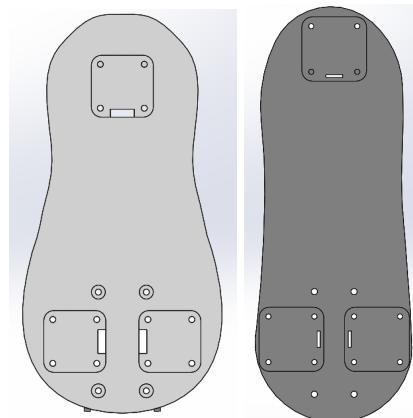
4.1.2.2 การออกแบบโครงสร้างเท้าครั้งที่ 2

ในการออกแบบครั้งนี้ได้เพิ่มขนาดของฝ่าเท้าให้ใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสดังจะเป็นผลทำให้หุ่นยนต์นั้นมีการเดินที่ง่ายขึ้น ในการปรับขนาดครั้งนี้ได้เพิ่มขนาดที่ปลายเท้าให้ใหญ่ขึ้น และสันเท้ารองลงมา



(ก) รูปแสดงเท้าของหุ่นยนต์ที่ออกแบบใหม่

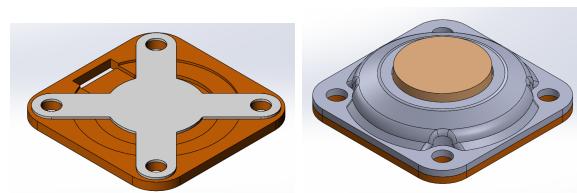
(ข) รูปแสดงเท้าของหุ่นยนต์เดิม



(ค) รูปแสดงฝ่าเท้าที่ (ง) รูปแสดงฝ่าเท้า
ออกแบบใหม่ เดิม

รูปที่ 4.11: รูปแสดงการเปรียบเทียบระหว่างเท้าเดิมและเท้าที่ออกแบบใหม่

ในส่วนของเซนเซอร์ตรวจจับพื้นน้ำได้ทำการออกแบบใหม่ทั้งหมดให้มีความบางลงกว่าเดิม และให้มีส่วนที่ยื่นออกมา จากฝ่าเท้าน้อยที่สุดซึ่งความสูงที่ยื่นออกมา มีความสูงเพียง 0.4 มิลลิเมตร ต่างจากเดิมที่มีความสูงถึง 5.4 มิลลิเมตร

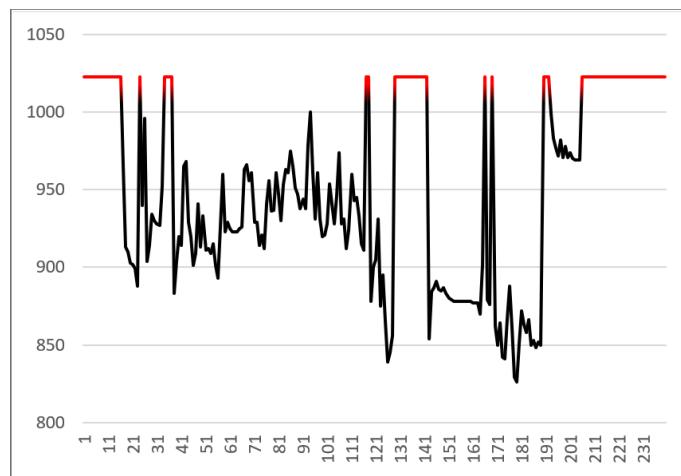


(ก) รูปแสดงโครงครอบ FSR ที่ (ข) รูปแสดงโครงครอบ FSR
ออกแบบใหม่ เดิม

รูปที่ 4.12: รูปแสดงการเปรียบเทียบระหว่างฝ่าเท้าเดิมและฝ่าเท้าที่ออกแบบใหม่

4.1.2.3 ทดสอบการใช้งานของเซนเซอร์ตรวจจับการสัมผัสพื้น

ในโครงการนี้เซนเซอร์ตรวจจับพื้นนั้นได้ใช้งานเพื่อทำการเรียบของเท้าเท่านั้นว่ามีการแตะพื้นหรือไม่ ซึ่งจะกำหนดค่าไว้ในช่วง 0-1023 โดยจะกำหนดให้ช่วงที่มากกว่า 1000 หมายถึงเท้ามีการยกเกิดขึ้นและต่ำกว่าันหมายถึงเท้ามีการเรียบ โดยจะแปลงค่าเซนเซอร์ทั้ง 3 ค่าบนเท้า เป็นค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ตามสมการ $(sensor1 + sensor2 + 2(sensor3))/4$ โดยให้ค่าตามแกน X เป็นค่า sampling(ครั้ง) ของข้อมูลและ ค่าตามแกน Y เป็นค่าของ 0-1023 เมื่อทำการทดลองให้ทำการเรียบเท้าและยกเท้าจะได้ผล ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13: รูปภาพแสดงค่าที่วัดได้ของ FSR

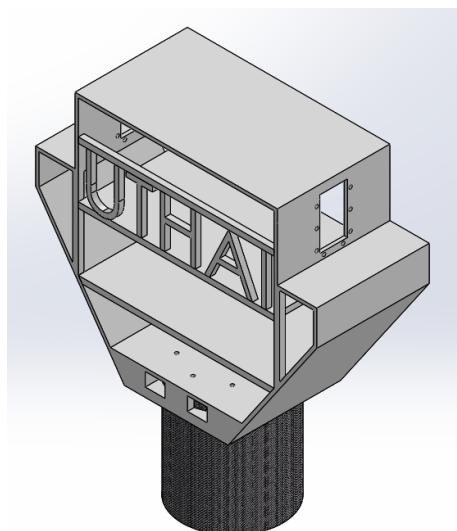
ผลที่ได้นี้เกิดจากการทดลองยกเท้าของหุ่นยนต์ขึ้นขณะหุ่นยนต์ยืนอยู่และยกเท้าขึ้น ค่าที่อ่านได้จะมีค่า 1023 หรือสูงสุดตามภาพ และเมื่อเท้าสัมผัสพื้นนั้น ค่าที่อ่านได้จะมีค่าที่ต่ำขึ้นอยู่กับแรงกดที่กระทำต่อเท้า ซึ่งถ้าค่าที่กระทำมากจะทำให้ค่าที่อ่านได้ต่ำมาก จะเห็นได้จากรูปภาพ 4.13 จะมีช่วงเวลาหนึ่งที่ค่าที่อ่านได้ต่ำสุดซึ่งขณะนั้น ได้ทดลองกดด้วยแรงจำนวนหนึ่งที่มากกว่าน้ำหนักตัวหุ่นยนต์เป็นเวลา 1-2 วินาที

4.1.3 การออกแบบโครงสร้างลำตัว

ลำตัวของหุ่นยนต์นั้นจะใช้สำหรับติดตั้งหน่วยประมวลผลควบคุมระดับต่ำและระดับสูง IMU รวมไปถึงบอร์ดแปลงไฟ 12v จากแบตเตอรี่ ให้เหลือ 5V เพื่อจ่ายไฟให้กับระบบ ละยังคงต้องจัดเก็บแบตเตอรี่สำหรับทำงานไร้สายได้อีกด้วย

4.1.3.1 การออกแบบลำตัวครั้งที่ 1

การออกแบบครั้งนี้ได้ออกแบบให้ลำตัวนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อให้ง่ายสำหรับผู้ต่อยอดที่มีเครื่องพิมพ์เป็นของตนเอง สามารถพิมพ์ และนำมาประกอบได้ โดยส่วนของเอวันั้นจะใช้เป็นท่อคาร์บอนไฟเบอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 91 มิลลิเมตร เพื่อให้เหมาะสมกับชิ้นงาน และเชื่อมยึดติดกันด้วยสกรูกับลำตัวและส่วนเอว

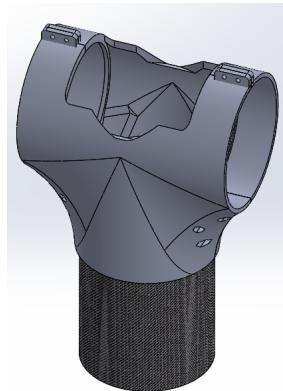


รูปที่ 4.14: รูปภาพแสดงตัวของหุ่นยนต์ที่ออกแบบเพื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

แต่เมื่อทำการทดลองหาค่ามวลในโปรแกรม solidwork แล้ว ได้ผลน้ำหนักคือ 711 กรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักที่มากเกินไปอาจส่งผลทำให้มอเตอร์รับน้ำหนักของตัวมากเกินไป ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้ต้องเปลี่ยนการออกแบบให้เบาลงกว่าเดิม คือลดขนาดของตัวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ลงและใช้วัสดุสมรรถนะว่าการบอนไฟเบอร์มากขึ้น ซึ่งจะยังคงได้ความแข็งแรงและความเบาอีกด้วย

4.1.3.2 การออกแบบโครงสร้างตัวครั้งที่ 2

จากปัญหาเรื่องน้ำหนักของชิ้นส่วนตัวของการออกแบบครั้งที่ 1 ได้แก้ไขโดยลดขนาดของส่วนพิมพ์ 3 มิติ ลงซึ่งจะแยกชิ้นส่วนออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนหน้าและส่วนหลัง และใช้การยึดกับท่อคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งเป็นส่วนเอวทวยการบีบซึ่งทำโดยการร้อยสกรูผ่านช่องที่ทำไว้สำหรับนตัวชิ้นงานพิมพ์ 3 มิติ แล้วขันให้จิ้นงานมาประกับเข้าหากัน ซึ่งน้ำหนักที่วิเคราะห์ได้โดยโปรแกรม solidwork นั้นได้ค่าเท่ากับ 342 กรัม ซึ่งน้อยกว่าการออกแบบ



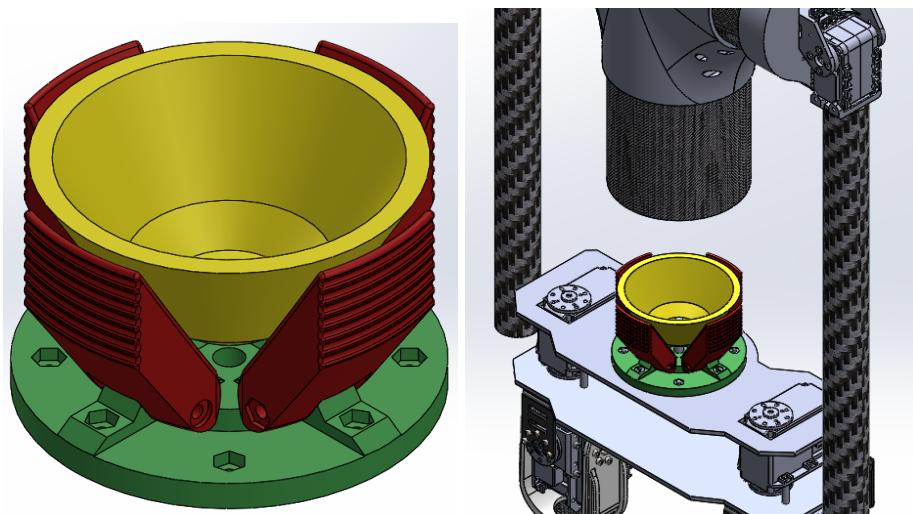
รูปที่ 4.15: รูปภาพแสดงตัวของหุ้นยนต์ที่ออกแบบเพื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ(ใหม่)

ครั้งแรกถึง 2 เท่า ซึ่งมีน้ำหนักมากถึง 711 กรัม

การยึดลำตัวกับสะโพก

การยึดลำตัวกับสะโพกนี้จะใช้รูปแบบการยึดโดยการถ่างวัสดุที่ทำขึ้นมาเพื่อยึดลำตัวกับสะโพกออกผ่านสกรู 1 ตัวที่ออกแบบไว้ โดยสกรูตัวนี้จะทำหน้าที่ดึงให้ถ่ายของตัวถ่าง เคลื่อนที่ลงมาและในขณะนั้นเองตัวถ่างด้านนอกอีก 4 ตัว จะค่อยๆขยับออกถ่างให้มีแรงบีบขอบท่อคาร์บอนไฟเบอร์และยึดกันอย่างแน่นหนึ่ง

ข้อแนะนำในการยึดให้แน่นมากขึ้น ควรจะใช้วัสดุที่มีความหนืด เช่น ยางในรถจักรยาน หรือแผ่นกันเลื่อนยึดกับหน้าสัมผัสของตัวถ่างก่อนแล้วจึงนำไปยึดกับวัสดุจริง)

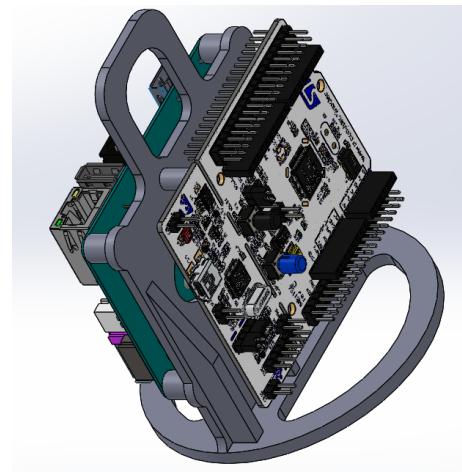


(ก) รูปภาพ แสดง อุปกรณ์ยึด ระหว่าง ลำ ตัว กับ (ข) รูปภาพ แสดง การ ติด ตั้ง บน สะโพก พร้อม ทำการยึดกับลำตัวหุ้นยนต์

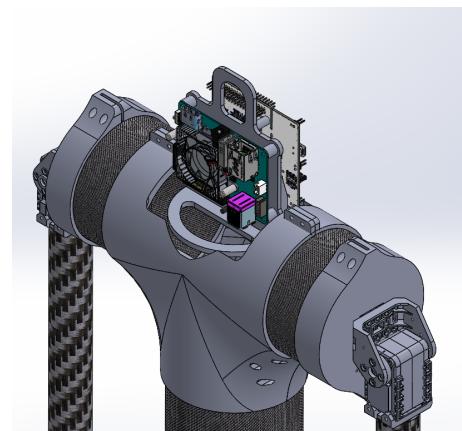
รูปที่ 4.16: รูปแสดงการใช้งานส่วนยึดสะโพกกับลำตัว

การติดตั้งบอร์ดควบคุมและแบตเตอรี่

เนื่องจากว่าบอร์ดควบคุมทั้ง 2 (Nucleo f411re, Odroid XU4) นั้นมีขนาดที่กระหัดรัด รวมถึงบอร์ด IMU และบอร์ดแปลงไฟ ที่มีขนาดเล็กเช่นกัน ฉะนั้นจึงได้ออกแบบ ฐานสำหรับยึดบอร์ดทั้งหมดไว้ในที่เดียว และเมื่อติดตั้งในฐานเรียบร้อยแล้วก็สามารถนำฐานนั้น สามลงไปในตัวของหุ่นยนต์ได้พอดี



รูปที่ 4.17: รูปภาพแสดงฐานที่ติดตั้งบอร์ดควบคุม

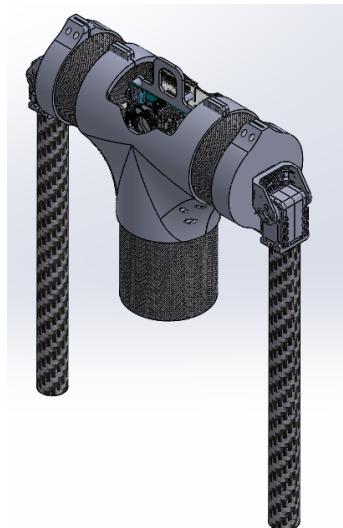


รูปที่ 4.18: รูปภาพแสดงฐานที่ติดตั้งบอร์ดควบคุมในตัวของหุ่นยนต์

ซึ่งเมื่อทำการติดตั้งในตัวหุ่นยนต์แล้ว การยึดติดกับบอร์ดนั้นใช้หลักการยึดเดียวกับการยึดห้องเครื่องบอนกับลำตัวคือ ใช้แรงของการบีบอัดจากสกรูบนลำตัวทั้งหมด ยึดให้อยู่กับที่ ส่วนของแบตเตอรี่นั้นจะใช้เป็นแบตเตอรี่ขนาด $6000mAh$ $12.6V$ จะถูกติดตั้งในส่วนลำตัวของหุ่นยนต์บริเวณห้องเครื่องบอนไฟเบอร์

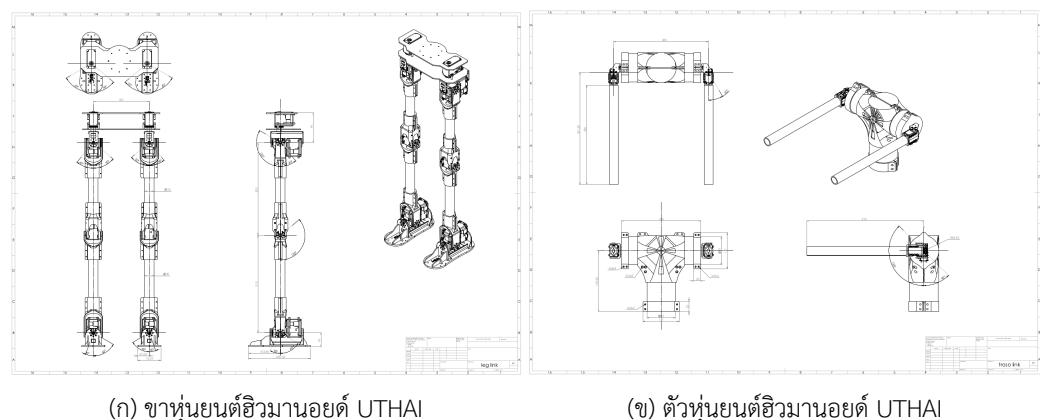
4.1.3.3 การออกแบบแขน

แขนนี้ได้ออกแบบให้เรียบง่ายและน้ำหนักเบา ซึ่งในโครงการนี้แขนจะเป็นหนึ่งในตัวแปรที่ช่วยในการเดินให้คล่องแคล่วมากขึ้น โดยวัสดุหลักที่ใช้มาทำแขนนั้นจะมาจากวัสดุคาร์บอนไฟเบอร์เป็นหลักและชิ้นส่วนพิมพ์ 3 มิติจะใช้สำหรับเชื่อมวัสดุทั้งหมดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 4.19: รูปภาพแสดงตัวของหุ่นยนต์ที่ติดตั้งแขนทั้ง 2 ข้าง

4.1.4 แบบวาดทางวิศวกรรม

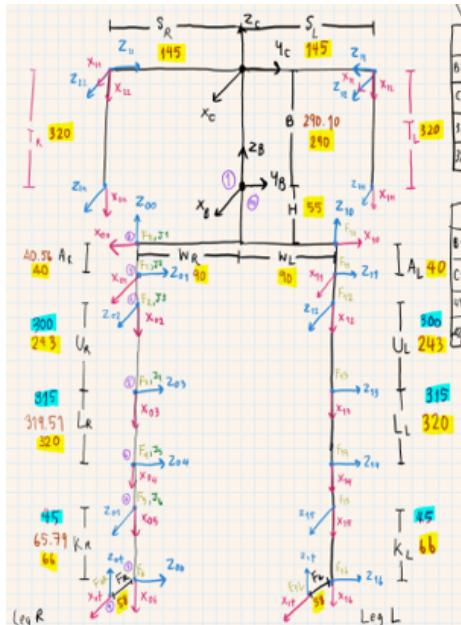


รูปที่ 4.20: ภาพแบบวาดทางวิศวกรรม

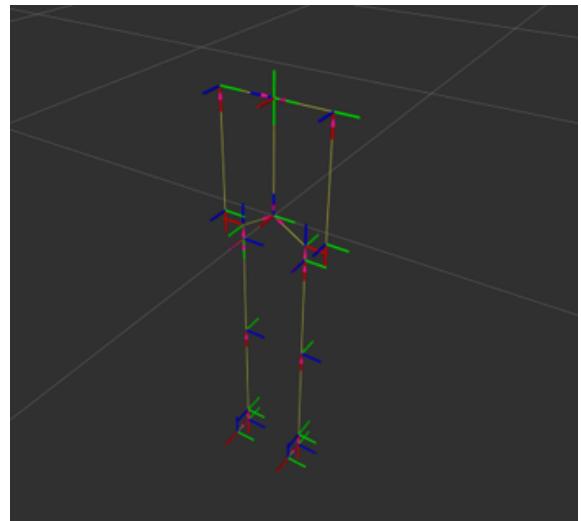
4.2 การออกแบบโปรแกรมด้วย ROS

4.2.1 ออกแบบแบบจำลองของทุ่นยนต์ชีวภาพอยู่รั้ว UTTHAI

การออกแบบนี้มีป้าหมายเพื่อ สร้างแบบจำลองของหุ่นยนต์อิวามานอยด์ UTHA ให้ถูกต้องตามที่โครงสร้างทางกลได้สร้างเอาไว้ โดยใช้โปรแกรม RViz เป็นตัวแสดงผลให้เห็นเป็นภาพ

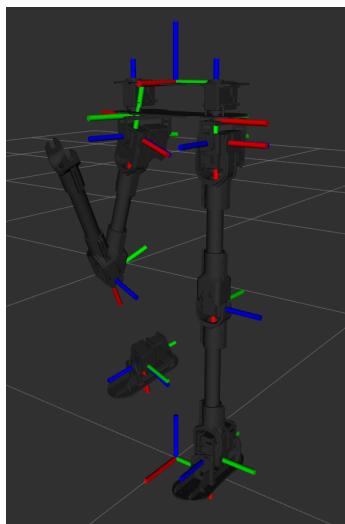


(ก) ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

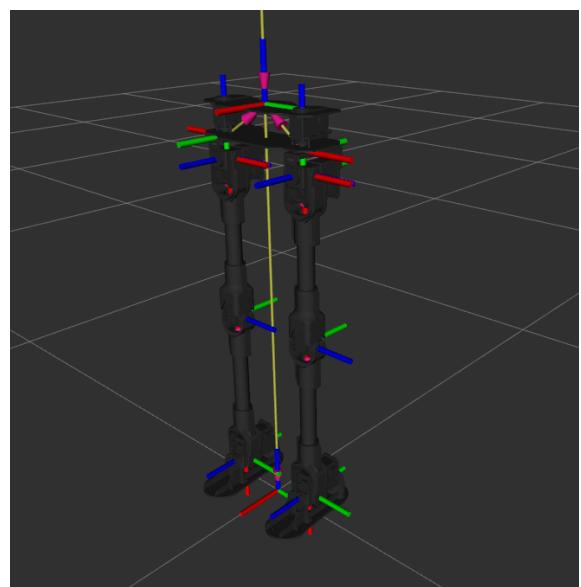


(๗) URDF ที่มีแต่โครงไม่มีก้านต่อ

รูปที่ 4.21: URDF ที่แสดงผลใน RViz



(ก) URDF ที่เกิดข้อผิดพลาด

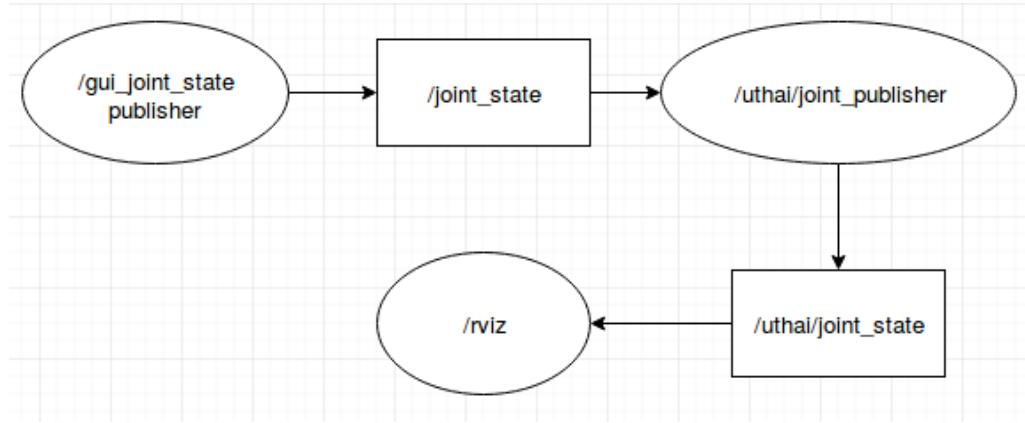


(ข) URDF ที่ทำงานได้ถูกต้อง

รูปที่ 4.22: URDF ที่แสดงผลใน RViz

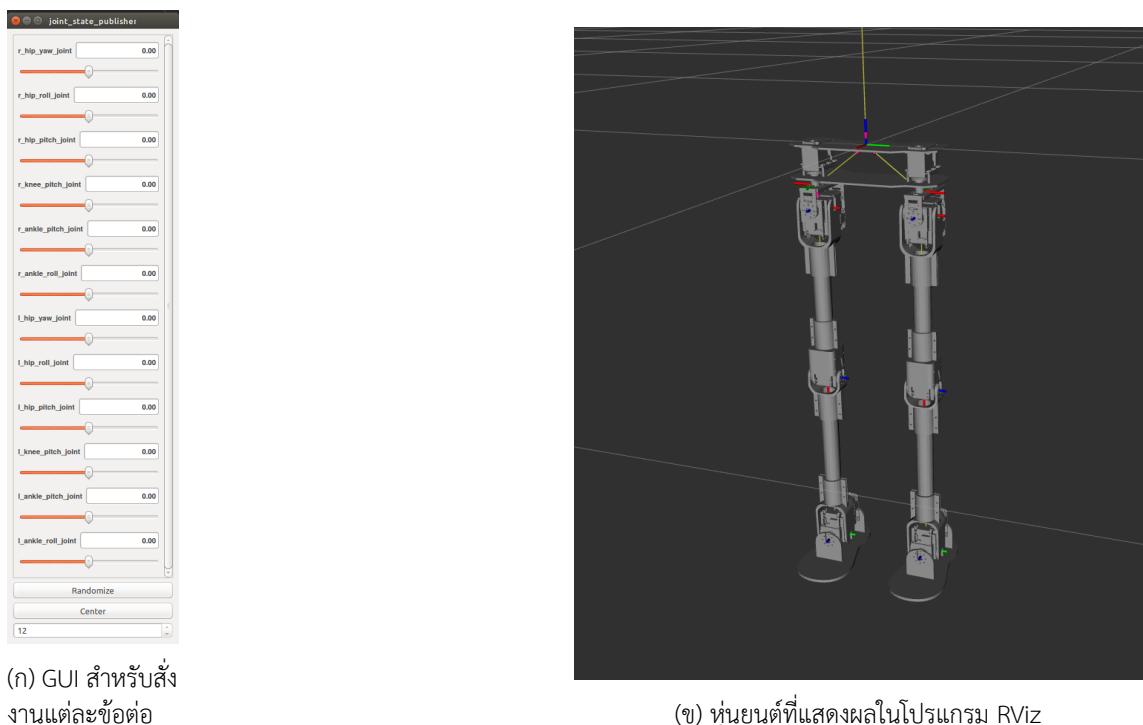
4.2.2 การสั่งงานข้อต่อใน RViz ผ่าน GUI

การเขียนโปรแกรมในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อ ทดสอบการทำงานของโปรแกรม RViz ที่จะแสดงการทำงานของข้อต่อเป็นอย่างไร การวางแผนของหุ่นยนต์นั้นมีความถูกต้องหรือไม่



รูปที่ 4.23: การสั่งการข้อต่อใน RViz ผ่าน GUI

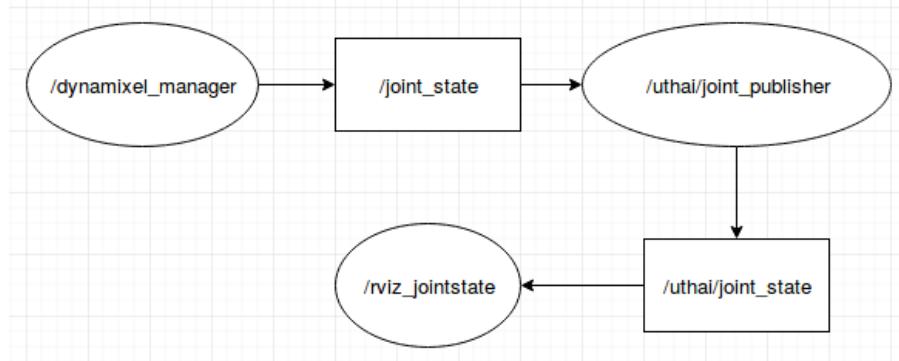
หลังจากที่ทำการทดลองเสร็จแล้วพบว่าสิ่งที่ขาดหายไปคือการตั้งค่า Joint limit ให้กับหุ่นยนต์ขีวามนอยด์ในโปรแกรม RViz จึงต้องกลับไปแก้ค่าและทดสอบใหม่ จากนั้นถือว่าการทดลองเสร็จสิ้น สามารถที่จะควบคุมการเคลื่อนไหวของแต่ละข้อต่อผ่าน GUI ได้



รูปที่ 4.24: การสั่งการข้อต่อใน RViz ผ่าน GUI

4.2.3 การเขียนโปรแกรมอ่านตำแหน่งจากเซอร์โวมอเตอร์เข้าระบบ

การเขียนโปรแกรมในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อ ทดสอบการอ่านตำแหน่งจากเซอร์โวมอเตอร์ และทดสอบการสั่งการระบบแสดงผลด้วยภาพ จึงได้ออกแบบการทดลองนี้ขึ้นมา การดำเนินการเริ่มจาก เขียนโปรแกรม สำหรับอ่านค่าตำแหน่งจากเซอร์โวซึ่งจะได้ตำแหน่งของมาใน topic JointState หลังจากนั้นก็จึงแปลงให้อยู่ใน message เดียวกับที่ Rviz ต้องการ แล้วจึงส่งออกไป



รูปที่ 4.25: การติดต่อสื่อสารระหว่างจากเซอร์โวมอเตอร์กับระบบ

(ก) หุ่นยนต์ตัวจริง

(ข) หุ่นยนต์ใน RViz

รูปที่ 4.26: การแสดงผลท่าทาง 1

(ก) หุ่นยนต์ตัวจริง

(ข) หุ่นยนต์ใน RViz

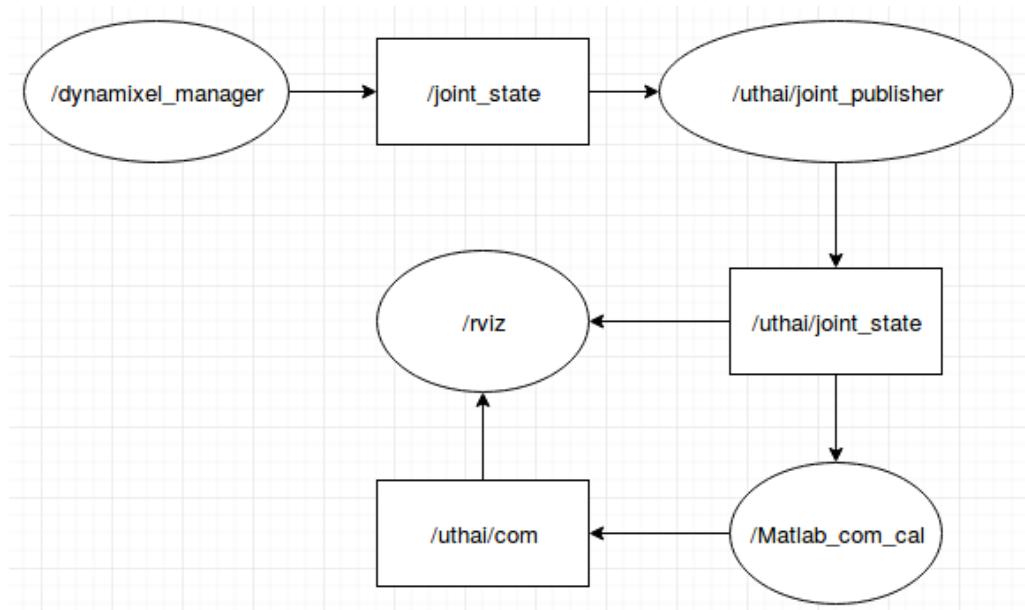
รูปที่ 4.27: การแสดงผลท่าทาง 2



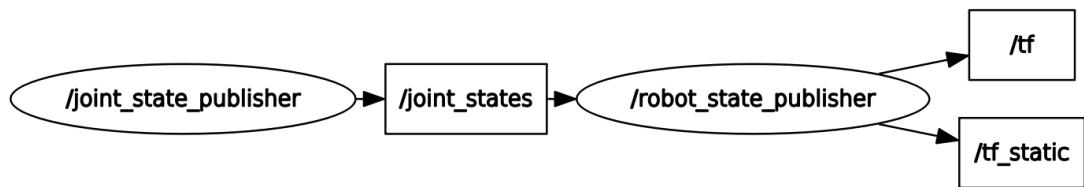
รูปที่ 4.28: การแสดงผลท่าทาง 3

4.2.4 การส่งตำแหน่งของเซอร์วอโมเตอร์ไปประมวลผลหาจุดศูนย์กลางมวล

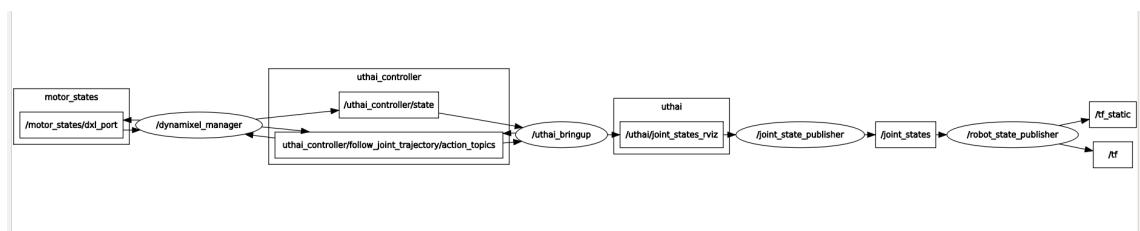
การเขียนโปรแกรมในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อ ทดสอบการทำงานการเชื่อมต่อกับโปรแกรมภายนอกโดยการ ส่งค่าตำแหน่งของเซอร์วอโมเตอร์ ออกไปแล้วมีโปรแกรมจาก MATLAB รับตำแหน่งไปแล้วประมวลผลเพื่อเอา ตำแหน่งของจุดศูนย์รวมมวลเข้ามาแสดงในโปรแกรม Rviz



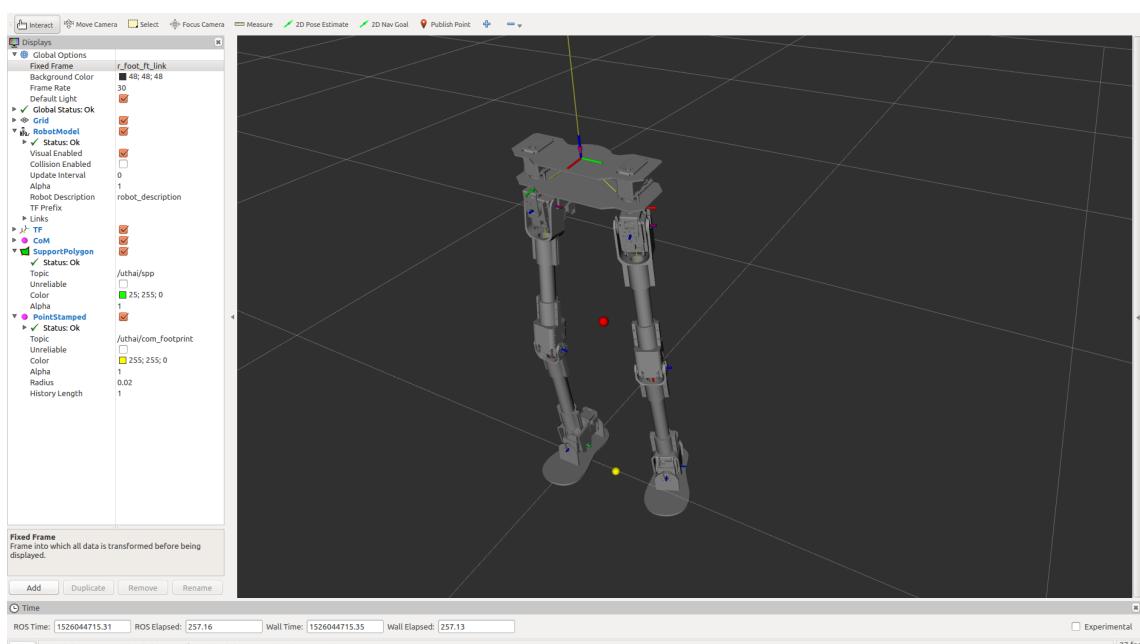
รูปที่ 4.29: การประมวลผลตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลด้วย MATLAB



รูปที่ 4.30: การเชื่อมต่อ กันระหว่าง Node ก่อน เชื่อมต่อเซอร์วิsmo เตอร์



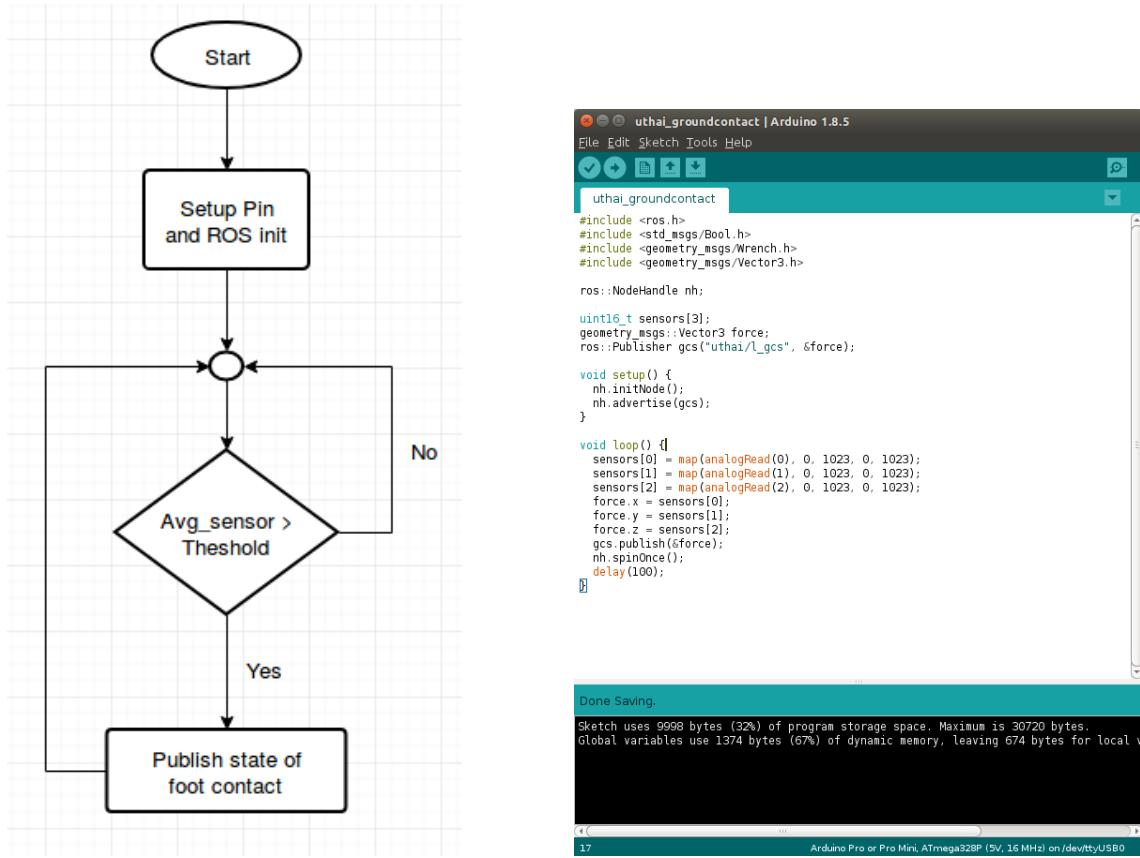
รูปที่ 4.31: การเชื่อมต่อ กันระหว่าง Node หลัง เชื่อมต่อเซอร์วิsmo เตอร์



รูปที่ 4.32: การประมวลผลตำแหน่งขาจุดศูนย์กลางด้วย MATLAB

4.2.5 การเขียนโปรแกรมเช่นเซอร์ตรวจจับการสัมผัสพื้น

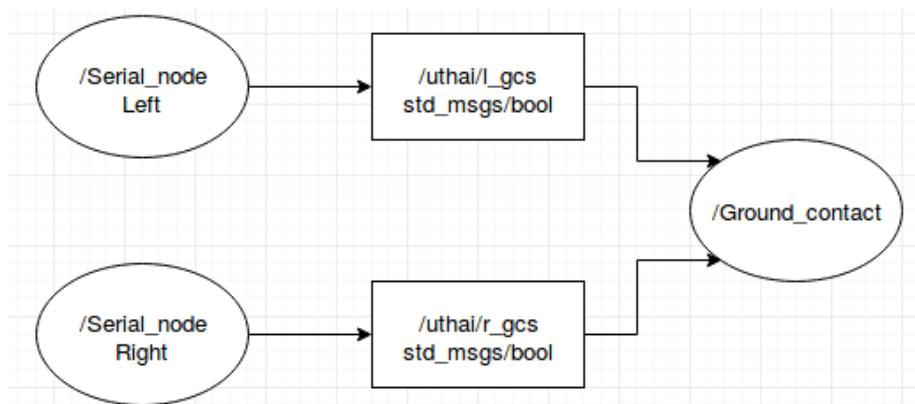
การเขียนโปรแกรมในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อ บอกให้ตัวประมวลผลระดับสูงรับรู้ว่าเท้าผ่านพื้นที่ไหนมีการสัมผัส กับพื้น เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะของโปรแกรมในการคำนวณ ตัวเซอร์ตรวจจับฝ่าเท้านั้นใช้เป็น Arduino Pro-Mini เนื่องจากมีขนาดเล็กและสามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดแรงกดได้สูงสุด 6 ตัว เมื่อได้อ่านแล้วจากนั้น จึงวางไฟล์char์ต การทำงานของโปรแกรม เมื่อได้ไฟล์char์ตแล้วจึงเริ่มเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบการทำงาน



(ก) ไฟล์char์ตของเซนเซอร์ตรวจจับพื้น

(ข) โปรแกรมของเซนเซอร์ตรวจจับพื้น

รูปที่ 4.33: เซนเซอร์ตรวจจับพื้น

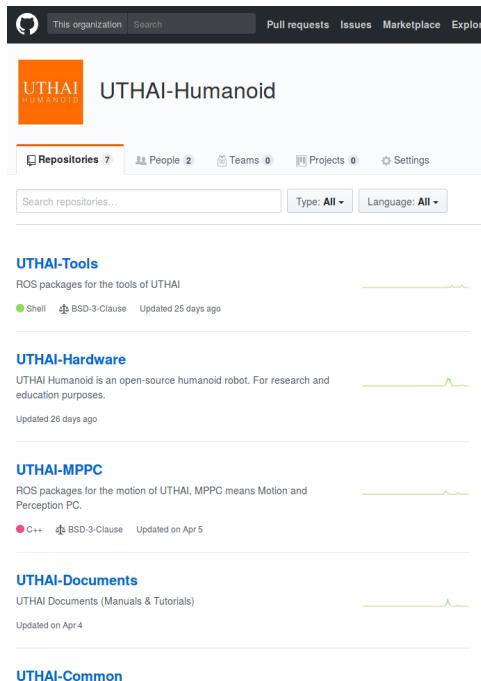


รูปที่ 4.34: การติดต่อสื่อสารระหว่างเซนเซอร์ตรวจจับเท้ากับระบบ

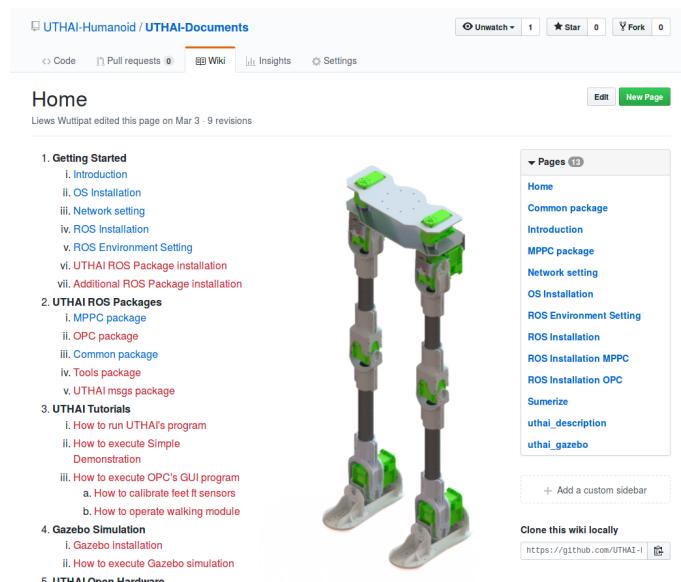
4.3 การออกแบบระบบพื้นฐาน

4.3.1 GitHub ของหุ่นยนต์อิฐมานอยด์ UTHAI

ไฟล์ข้อมูลทุกอย่างเกี่ยวกับหุ่นยนต์อิฐมานอยด์ UTHAI ได้ถูกอัพโหลดขึ้นบนอินเทอร์เน็ต โดยอัพโหลดไปไว้ที่ GitHub [https://github.com/UTHAI-Humanoid] และมีการเขียน Wiki การใช้งานเบื้องต้นเอาไว้ สำหรับนักศึกษาหรือนักวิจัยที่ต้องการพัฒนาต่อ



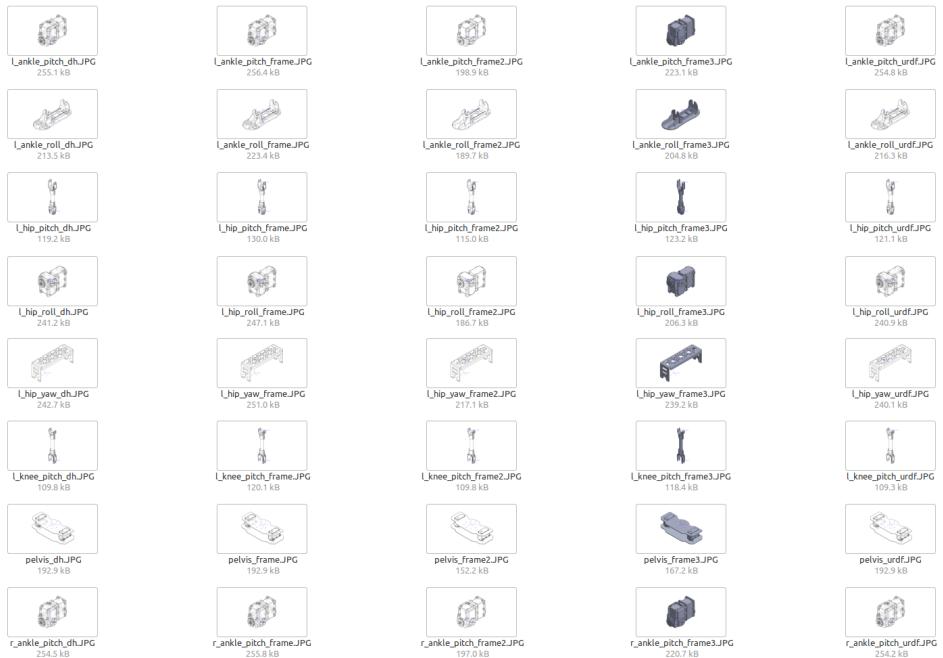
รูปที่ 4.35: GitHub ที่เก็บข้อมูลทั้งหมดของหุ่นยนต์อิฐมานอยด์ UTHAI



รูปที่ 4.36: ตัวอย่าง Wiki การใช้งานเบื้องต้นของหุ่นยนต์อิฐมานอยด์ UTHAI

4.3.2 ตัวอย่างเฟรมของหุ่นยนต์ชีวมานอยด์ UTHAI

เฟรมของหุ่นยนต์ชีวามาโนยด์ UTHAI ได้ถูกอัพโหลดให้อยู่บนอินเทอร์เน็ต โดยอยู่ที่ <https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hardware/tree/master/Mechanics/Frame>

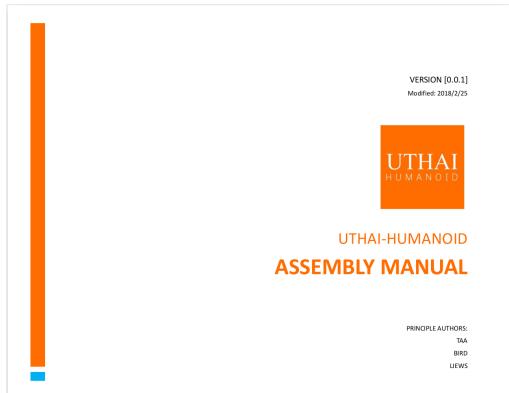


รูปที่ 4.37: ภาพเฟรมของแต่ละพาร์ทของหุ่นยนต์ชีวมานอยด์ UTHAI

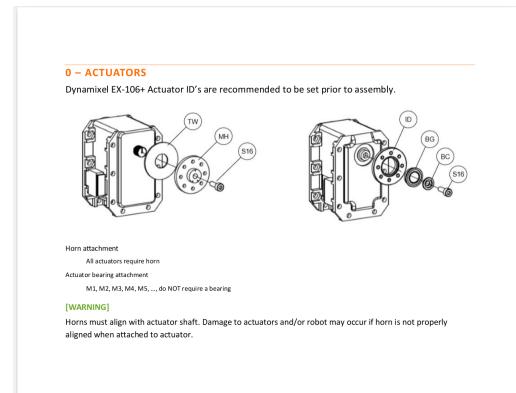
	SwellLz	Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hardware...	...	Latest commit 18d64b5 on Mar 10
...				
l_ankle_pitch_dh.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_ankle_pitch_frame.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_ankle_pitch_frame2.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_ankle_pitch_frame3.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_ankle_pitch_urdf.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_ankle_roll_dh.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_ankle_roll_frame.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_ankle_roll_frame2.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_ankle_roll_frame3.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_ankle_roll_urdf.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_hip_pitch_dh.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_hip_pitch_frame.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_hip_pitch_frame2.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_hip_pitch_frame3.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago
l_hip_pitch_urdf.JPG		Merge branch 'master' of https://github.com/UTHAI-Humanoid/UTHAI-Hard...		2 months ago

รูปที่ 4.38: ภาพ GitHub ของเฟรมแต่ละพาร์ทของหุ่นยนต์ชีวมานอยด์ UTHAI

4.3.3 ตัวอย่างเอกสารข้อมูลของหุ่นยนต์ชีวมานอยด์ UTHAI

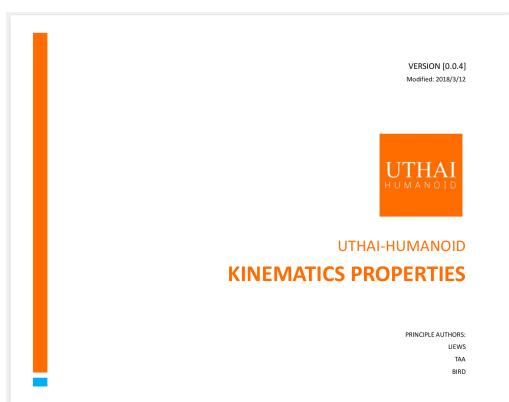


(ก) หน้าปกคู่มือการประกอบหุ่นยนต์ชีวามานอยด์ UTHAI

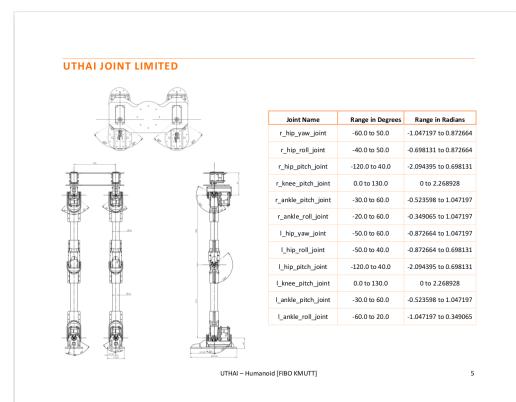


(ข) ตัวอย่างคู่มือการประกอบหุ่นยนต์ชีวามานอยด์ UTHAI

รูปที่ 4.39: UTHAI Assembly Manual



(ก) หน้าปกรายละเอียดของหุ่นยนต์ชีวามานอยด์ UTHAI



(ข) ตัวอย่างรายละเอียดของหุ่นยนต์ชีวามานอยด์ UTHAI

รูปที่ 4.40: UTHAI Kinematics Properties



(ก) หน้าปกรายละเอียดของหุ่นยนต์ชีวามานอยด์ UTHAI

URDF CONVENTION						
Link	Frame	Mass [kg]	Center of mass [m]			
All Robot	frame_base	3.56700000	-0.00836813	0.00000000	-0.31830799	
Link						
Moments of Inertia [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$] (Taken at the center of mass)						
All Robot	ixx	iyx	izx	iyy	isy	izz
	0.31081793	-0.00000313	-0.00035731	0.28471758	-0.00000024	0.03125190

DH CONVENTION						
Link	Frame	Mass [kg]	Center of mass [m]			
All Robot	frame_base	3.56700000	-0.00836813	0.00000000	-0.31830799	
Link						
Moments of Inertia [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$] (Taken at the center of mass)						
All Robot	ixx	iyx	izx	iyy	isy	izz
	0.31081793	-0.00000313	-0.00035731	0.28471758	-0.00000024	0.03125190

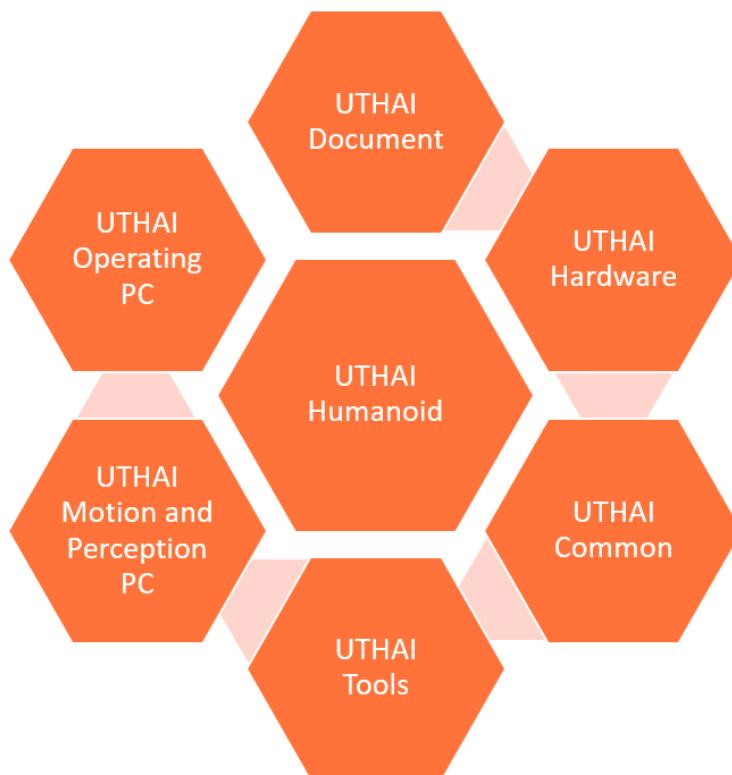
UTHAI – Humanoid [FIBO KMUTT]

(ข) ตัวอย่างรายละเอียดของหุ่นยนต์ชีวามานอยด์ UTHAI

รูปที่ 4.41: UTHAI Dynamics Properties

4.3.4 ภาพรวมระบบพื้นฐานของหุ่นยนต์อิวามาโนย์ UTHAI

ระบบพื้นฐานที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบเพื่อที่จะทำให้คนที่เข้ามาพัฒนาต่อยอดได้อย่างสะดวก และเป็นระบบระเบียบ มีรูปแบบแบบแผน ซึ่งผู้วิจัยได้วางระบบขึ้นมาจากการประสบการณ์การทำงานของผู้วิจัยเอง รวมถึงได้ค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม จนคิดว่าระบบจะทำให้หุ่นยนต์อิวามาโนย์สามารถพัฒนาต่อได้ง่าย และเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยท่านอื่นที่ต้องการนำระบบพื้นฐานนี้ไปใช้งาน



รูปที่ 4.42: ภาพรวมระบบพื้นฐานของหุ่นยนต์อิวามาโนย์ UTHAI

ระบบพื้นฐานที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นมา จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญอยู่ทั้งหมด 6 ส่วน คือ

1. UTHAI-Documents
2. UTHAI-Hardware
3. UTHAI-Common
4. UTHAI-MPPC
5. UTHAI-OPC
6. UTHAI-Tools

UTHAI-Documents

ในส่วนนี้คือส่วนของงานเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์อิวามาโนยด์

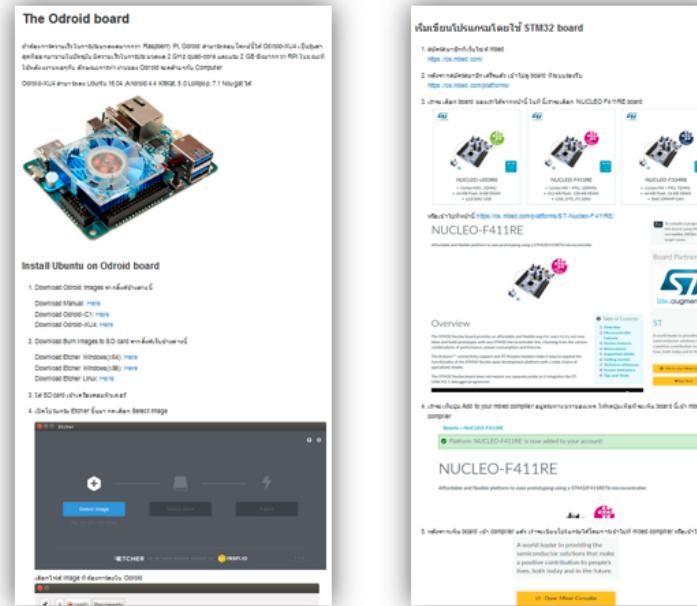
Reports-Hardware ใช้สำหรับเก็บรายงานวิทยานิพนธ์ทั้งฉบับร่างและฉบับสมบูรณ์ที่เกี่ยวข้องกับ การปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางกล และทางไฟฟ้าของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์ UTHAI

- การออกแบบโครงสร้างและพัฒนาระบบที่มีสำหรับหุ่นยนต์อิวามาโนยด์เพื่อการศึกษาและวิจัย

Reports-Software ใช้สำหรับเก็บรายงานวิทยานิพนธ์ทั้งฉบับร่างและฉบับสมบูรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มความสามารถของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์ UTHAI

- การพัฒนาระบบการเคลื่อนที่สำหรับหุ่นยนต์อิวามาโนยด์

Wiki ใช้สำหรับเก็บ Tutorial ที่เกี่ยวกับการใช้งานของหุ่นยนต์อิวามาโนยด์ UTHAI



รูปที่ 4.43: ภาพตัวอย่าง Tutorial ใน Wiki

ผู้วิจัยท่านอื่นสามารถที่จะช่วยกันเขียนและพัฒนาได้โดยการ Clone Repository และทำการแก้ไข ปรับปรุง หลังจากนั้นก็ Pull request ขึ้นมาเพื่อแสดงให้ผู้วิจัยท่านอื่นเห็นด้วย

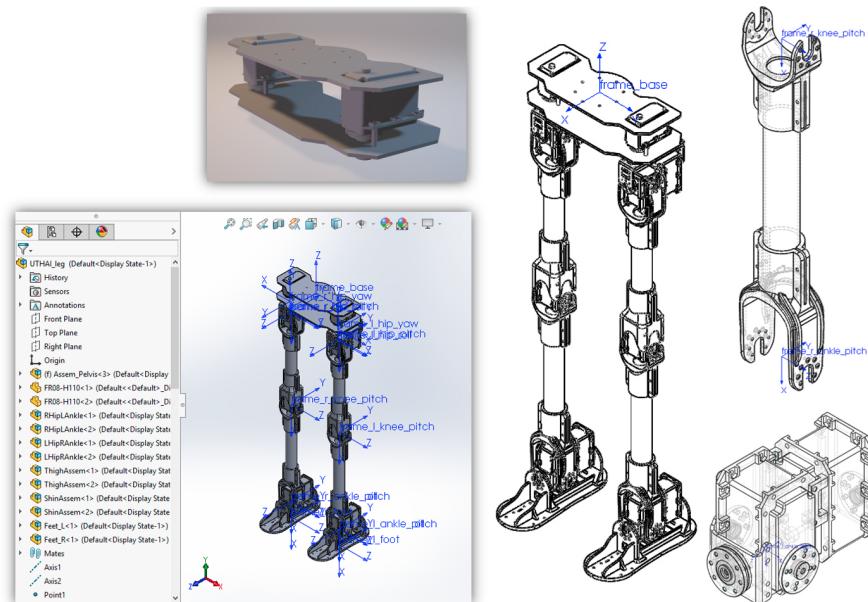
UTHAI-Hardware

ในส่วนนี้คือส่วนของรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างทั้งทางกลและทางไฟฟ้าที่เปิดให้ผู้ใช้งานอื่นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

Drawing ไฟล์ออกแบบทางวิศวกรรมทุกชิ้นส่วนที่ต้องมีการขึ้นรูป

STL files ไฟล์สำหรับการขึ้นรูปสามมิติและไฟล์สำหรับนำไปทำแบบจำลองหุ่นยนต์ข้อมูลอย่างละเอียด

Solidworks files ไฟล์ที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidworks เพื่อให้นำไปแก้ไขปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นได้



รูปที่ 4.44: ภาพตัวอย่างไฟล์ใน UTHAI-Hardware

UTHAI Humanoid										
URDF	Link	Mass [kg]	Center of mass [m]			Inertia [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$] taken at the center of mass				
			x	y	z	xx	xy	xz	yy	zz
	All	3.56700000	-0.00836813	0.00000000	-0.31830739	0.31081793	-0.00000313	-0.00005731	0.28471758	-0.00000024
	Body	0.86500000	-0.00557436	0.00000000	-0.02356998	0.00656431	-0.00000003	-0.00000466	0.00067608	0.00000000
R Hip Yaw		0.09100000	0.00000000	0.02500000	0.00735017	0.00014158	0.00000000	0.00000000	0.00000202	0.00000000
R Hip Roll		0.34300000	0.00000000	-0.01526210	-0.02652545	0.000032449	0.00000081	0.000026847	0.000000219	0.00014760
R Hip Pitch		0.31800000	0.22137989	0.00000000	0.00000000	0.000011525	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000254669
R Knee Pitch		0.15100000	0.11545118	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000139612
R Ankle Pitch		0.34300000	-0.01526210	0.02152545	0.00000000	0.000026847	-0.00000219	-0.00000081	0.00014760	0.00000000
R Ankle Roll		0.10500000	0.03625982	-0.00019548	0.000034576	0.000034591	-0.00000013	0.000000857	0.000032705	0.000000120
L Hip Yaw		0.09100000	0.00000000	0.02500000	0.00735017	0.00014158	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
L Hip Roll		0.34300000	0.00000000	-0.01526210	-0.02652545	0.000032449	0.00000081	0.000026847	0.000000219	0.00014760
L Hip Pitch		0.31800000	0.22137989	0.00000000	0.00000000	0.000011525	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000254669
L Knee Pitch		0.15100000	0.11545118	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000139612
L Ankle Pitch		0.34300000	-0.01526210	0.02152545	0.00000000	0.000026847	-0.00000219	-0.00000081	0.00014760	0.00000000
L Ankle Roll		0.10500000	0.03608455	0.000020160	0.00002697	0.000034223	0.00000014	0.000000840	0.000032348	-0.000000118

UTHAI Humanoid										
DH	Link	Mass [kg]	Center of mass [m]			Inertia [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$] taken at the center of mass				
			x	y	z	xx	xy	xz	yy	zz
	All	3.56700000	-0.00836813	0.00000000	-0.31830739	0.31081793	-0.00000313	-0.00005731	0.28471758	0.00000024
	Body	0.86500000	-0.00557436	0.00000000	-0.02356998	0.00656431	-0.00000003	-0.00000466	0.00067608	0.00000000
R Hip Yaw		0.09100000	0.00000000	0.02500000	0.00735017	0.00014158	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
R Hip Roll		0.34300000	0.00000000	-0.01526210	-0.02652545	0.000032449	0.00000081	0.000026847	0.000000219	0.00014760
R Hip Pitch		0.31800000	0.22137989	0.00000000	0.00000000	0.000011525	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000254669
R Knee Pitch		0.15100000	0.11545118	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000139612
R Ankle Pitch		0.34300000	-0.01526210	0.02152545	0.00000000	0.000026847	-0.00000081	0.000000219	0.000032449	0.00000000
R Ankle Roll		0.10500000	0.03625982	-0.00019548	0.000034576	0.000034591	-0.00000013	0.000000857	0.000000120	0.000032705
L Hip Yaw		0.09100000	0.00000000	0.02500000	0.00735017	0.00014158	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
L Hip Roll		0.34300000	0.00000000	-0.01526210	-0.02652545	0.000032449	0.00000081	0.000026847	0.000000219	0.00014760
L Hip Pitch		0.31800000	0.22137989	0.00000000	0.00000000	0.000011525	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000254669
L Knee Pitch		0.15100000	0.11545118	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000139612
L Ankle Pitch		0.34300000	-0.01526210	0.02152545	0.00000000	0.000026847	-0.00000081	0.000000219	0.000032449	0.00000000
L Ankle Roll		0.10500000	0.03608455	0.000020160	0.00002697	0.000034223	0.00000014	0.000000840	0.000032348	0.000000118

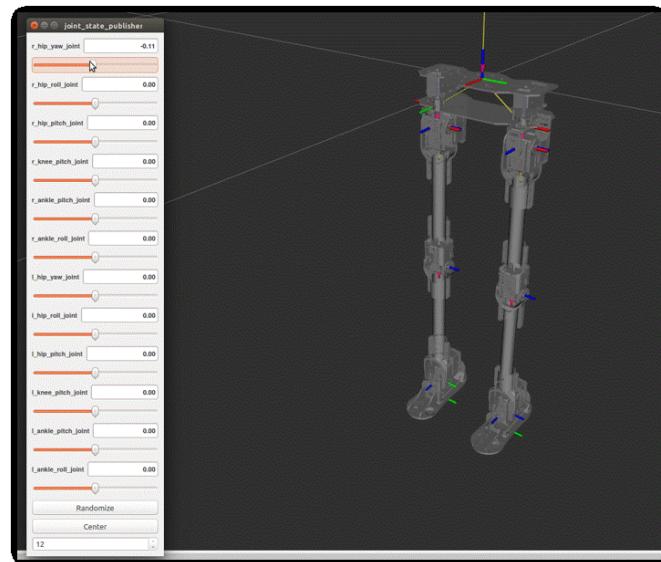
รูปที่ 4.45: ภาพตัวอย่างไฟล์ใน UTHAI-Hardware

UTHAI-Common

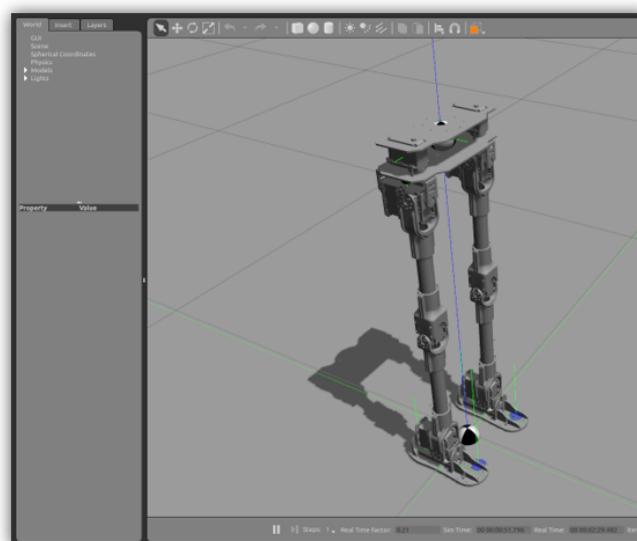
ในส่วนนี้คือส่วนของแพกเกจ ROS ที่ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการแสดงผลด้วยภาพ และระบบจำลองโดยจะมีแบบจำลองของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ UTHAI ในรูปแบบของ URDF Xacro

uthai_description เป็นแพกเกจที่เขียนอธิบายลักษณะของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์เพื่อให้ ROS สามารถนำไปใช้ในกระบวนการอื่นได้

uthai_gazebo เป็นแพกเกจที่เอาไว้สำหรับทำระบบจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ UTHAI



รูปที่ 4.46: ภาพ RViz ใน uthao_description



รูปที่ 4.47: ภาพ Gazebo ใน uthai_gazebo

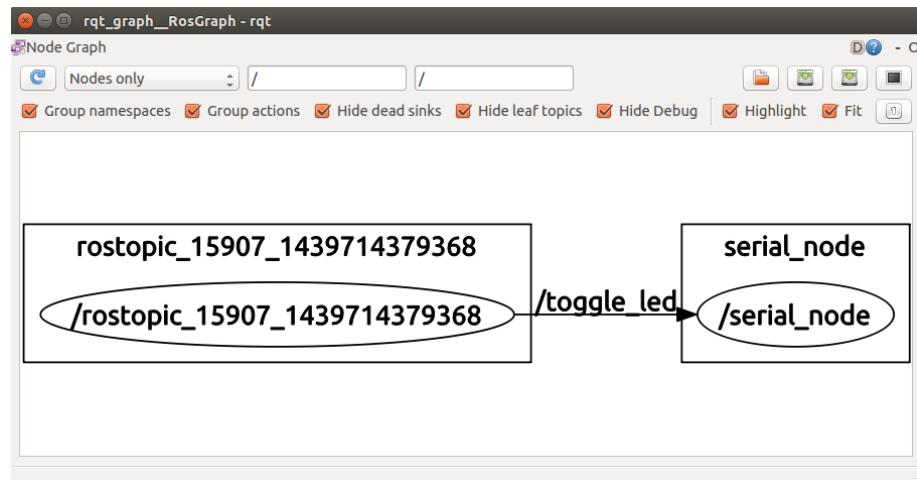
UTHAI-MPPC

ในส่วนนี้คือส่วนของแพกเกจ ROS ที่ใช้เป็นตัวในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อาร์ดเวย์ของหุ่นยนต์อิวามาโนย์ด์ UTHAI เพื่อส่งการตัวขับเคลื่อนดิจิตอลเซอร์โว และอ่านค่าเซนเซอร์จากตัวรับสัญญาณวัดความเร็ว การตรวจจับฝ่าเท้า ตำแหน่งและความเร็วของตัวขับเคลื่อน

uthai_mbed เป็นแพกเกจที่เขียนเพื่อเชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผลระดับต่ำผ่าน rosserial เขียนด้วยภาษา python โดยจะรับค่าเซนเซอร์หน่วยวัดความเร็วอย่างเรียลไทม์ ผ่านเซอร์ตรัจจับพื้น

uthai_manager เป็นแพกเกจที่เขียนเพื่อเอาไว้สำหรับจัดการตัวขับเคลื่อนทั้งหมด ให้สามารถสั่งการได้รวมถึง config ต่างๆด้วย

uthai_bringup เป็นแพกเกจที่เขียนเพื่อใช้ในการสั่งการตัวขับเคลื่อน ดิจิตอลเซอร์โว ที่เชื่อมต่อกับตัวประมวลผลระดับสูง



รูปที่ 4.48: ภาพ rqt_graph ของ serial_node

UTHAI-OPC

ในส่วนนี้คือส่วนของแพกเกจ ROS ที่ใช้เป็นตัวในการเชื่อมต่อระหว่างตัวประมวลผลระดับสูงกับคอมพิวเตอร์ภายนอกเพื่อใช้ในการควบคุม หรือการแสดงผลการทำงานที่ต้องใช้การคำนวณสูง เป็นการแบ่งเบาภาระการประมวลผลของตัวประมวลผลระดับสูง

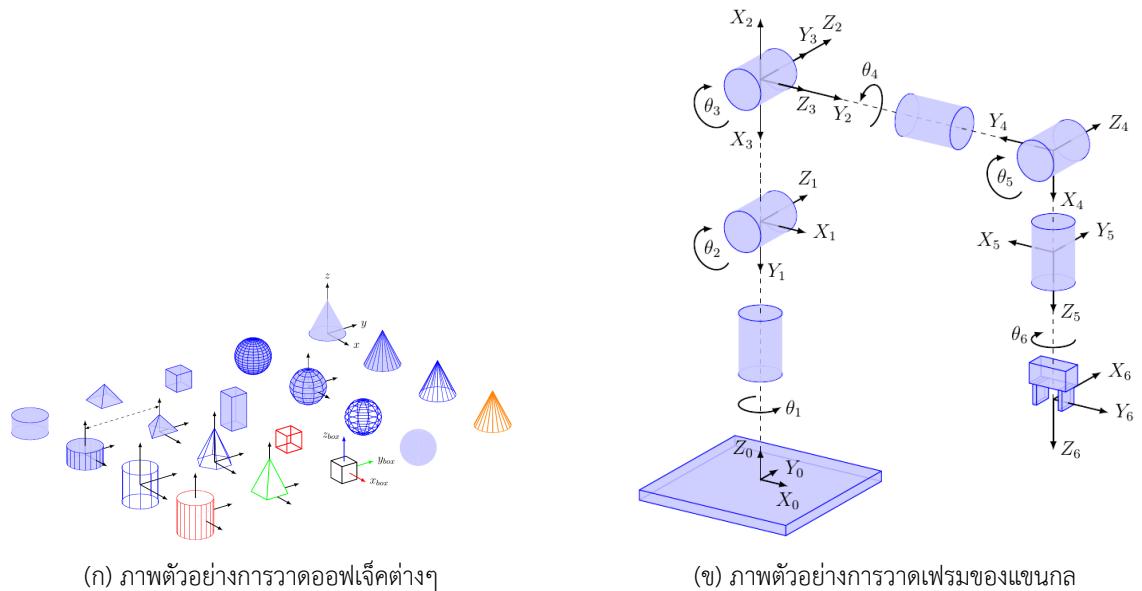
UTHAI-Msgs

ในส่วนนี้คือส่วนของแพกเกจ ROS ที่ใช้เป็นตัวในการเก็บ Messages ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันภายในระบบ ซึ่ง Messages ไม่เป็นมาตรฐาน โดยอาจรวมไปถึง services และ actions ของระบบหุ่นยนต์อิวามาโนย์ด์ UTHAI ด้วย

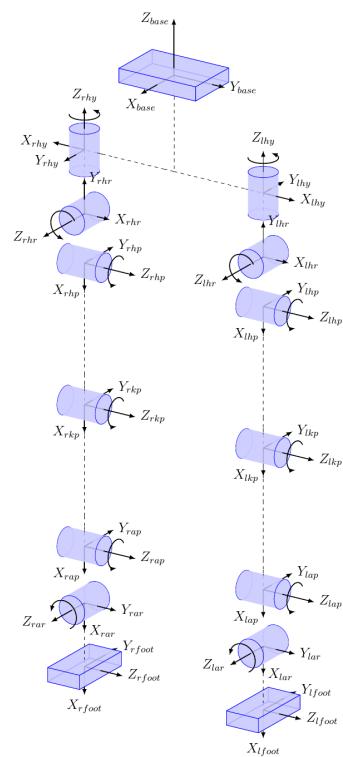
UTHAI-Tools

ในส่วนนี้คือส่วนของรายละเอียดเครื่องมือที่ช่วยทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

sketch-lib เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับเอาไว้วัดรูปเฟรมของหุ่นยนต์



รูปที่ 4.49: ภาพตัวอย่างการวัดเฟรมโดยใช้เครื่องมือนี้



รูปที่ 4.50: ภาพตัวอย่างการวัดเฟรมของหุ่นยนต์ชีวนิรภัย

4.4 ผลการทดลอง

4.4.1 การทดลองการเดิน

การทดลองการเดินนั้นได้ทดลองด้วยการปรับค่าข้อต่อให้เหมาะสมแก่การเดิน เพื่อทดสอบโครงสร้างที่ได้ออกแบบ มาว่าสามารถรับการเดินของหุ่นยนต์ได้จริงหรือไม่ โดยค่าที่ใช้ในการปรับนั้นจะเป็นค่ามุมของมอเตอร์ส่วนต่างๆของส่วนขาทั้ง 2 ข้าง โดยจะตั้งชื่อมอเตอร์ให้เป็นหมายเลขทั้ง 12 หมายเลขอีก ซึ่งหมายเลขของขาด้านขวาจะเป็นหมายเลข 1-6 และหมายเลขของขาด้านซ้าย คือ 6-12 ใน การปรับค่านี้จะทดลองปรับค่าด้วยการมองท่าทางการขับของหุ่นยนต์แล้วค่อยๆปรับค่าให้เหมาะสมเพื่อให้หุ่นยนต์ทรงตัวได้ โดยค่าที่ใช้ในการสั่ง



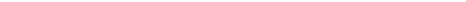
(ก) รูปการล้มครั้งที่ 1



(ข) รูปการล้มครั้งที่ 2



(ค) รูปการล้มครั้งที่ 3



(ง) รูปการล้มครั้งที่ 4



(จ) รูปการก้าวสำเร็จ

รูปที่ 4.51: รูปการทดลองการเดินของหุ่นยนต์ UTHAI

4.4.2 ปัญหาที่พบ

4.4.2.1 อุณหภูมิ

เมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานานจะส่งผลให้มอเตอร์ส่วนสะโพกและข้อเท้ามีความร้อนสูงถึง 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการสั่นงานให้มอเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งเมื่อมีแรงบิดข้างนอกมากเกินข้อง จะทำให้มอเตอร์นั้น พยายามรักษาอุณหภูมิของตนเองไว้ ส่งผลให้เกิดความร้อนเกิดขึ้นและ ส่งผลให้มอเตอร์อ่อนแรงลงเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้น ในการแก้ไขปัญหานี้สามารถเพิ่มเติมส่วนของการระบายอากาศซึ่งจะส่งผลให้ตัวของหุ่นยนต์นั้นมีน้ำหนักมากขึ้น หรือ หยุดการทำงาน ไว้สักกระยะเพื่อให้มีการระบายอากาศให้อยู่ในอุณหภูมิปกติ

4.4.2.2 โครงสร้าง

เนื่องจากการยึดท่อคาร์บอนไฟเบอร์นั้นได้ทำการยึดด้วยการปืนอัดเพื่อให้เกิดแรงเสียดทางสูงแต่ว่าเมื่อมีการ สั่นงานที่มีการกระชากรกล่าวคือ มีการเคลื่อนที่ของมุ้มมอเตอร์ที่มีความเร็วสูง จะส่งผลให้เกิดแรงบิดตามแนว แกนซึ่งเกินแรงเสียดทานที่การยึดติดจะรับไหว จึงเกิดการบิด ของข้อต่อ เกิดขึ้น ส่งผลให้ ส่วนของเท้ามีการบิดไป จากท่าปกติ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มแรงยึดด้วยการเสริมแผ่นยางบางๆบริเวณหน้าสัมผัสที่ติดกับท่อคาร์บอน ไฟเบอร์ เพื่อเพิ่มแรงยึดไปอีกขั้นหนึ่ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์

การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์อิวามานอยด์ UTHAI มุ่งเน้น 2 ส่วนเป็นหลักคือ

- 1 สามารถสร้างขึ้นได้ง่าย
- 2 น้ำหนักเบา

ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะประยุกต์ใช้เทคนิคการพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ใน การขึ้นรูปข้อต่อส่วนต่างๆของหุ่นยนต์อิวามานอยด์อุทัย และก้านต่อได้เลือกใช้วัสดุเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติคือ เบา และแข็งแรง เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ ทำให้หุ่นยนต์อิวามานอยด์อุทัยมีน้ำหนักเบา การเชื่อมต่อระหว่างข้อต่อ กับก้านต่อคาร์บอนไฟเบอร์ ผู้วิจัยใช้วิธีการบีบเพื่อสร้างแรงเสียดทานในการยึดติด เนื่องจากการเจาะห้องเครื่องบนไฟเบอร์จะทำให้ไฟเบอร์ขาด ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงของห้องเครื่องบนไฟเบอร์เป็นอย่างมาก อีกทั้งเมื่อมีการเคลื่อนไหวและรับแรงในแนวต่างๆจะทำให้รูที่เจาะขยายและคลอนได้ส่งผลต่อความแม่นยำโดยรวมของหุ่นยนต์ แต่การยึดติดด้วยวิธีการบีบกับห้องเครื่องบนไฟเบอร์นั้นมีปัญหาเกิดขึ้นคือ มีโอกาสที่จะประกอบโครงสร้างของหุ่นยนต์ไม่ตรง เพราะอาจเกิดการหมุนตามแนวยาวของขั้นส่วน และหากใช้งานต่อเนื่องจะทำให้เกิดการหมุนเลื่อน ตามแนวยาวของท่อได้

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาต่อครับปรุงในส่วนนี้การเชื่อมต่อขั้นส่วนเข้าด้วยกัน อาจจะด้วยวิธีเพิ่มรอยบากเพื่อให้ไม่สามารถหมุนได้ การประกอบโครงสร้างควรใช้วัสดุแผ่นยางบางมาคั่นกลางระหว่างหน้าสัมผัสที่ห้องเครื่องบนไฟเบอร์ซึ่งแผ่นยางจะสัมผัสถูกขั้นส่วนที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์สามมิติ

5.2 การออกแบบโปรแกรมด้วย ROS

การออกแบบโปรแกรมของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ UTHAI ผู้วิจัยได้ใช้ ROS เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการทำงาน ในวิทยานิพนธ์นี้ส่วนของโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

- 1 การแสดงผลภาพด้วย RViz
- 2 การจำลองการทำงานของหุ่นยนต์
- 3 การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์อุทัย

ผู้วิจัยได้ใช้ ROS เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการทำงานเนื่องจากเป็นสถาปัตย์ที่มีความสามารถในการทำงานได้ในส่วนของการแสดงผลด้วยภาพผ่านโปรแกรม RViz ผู้วิจัยได้เขียนไฟล์ URDF ไว้สำหรับหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ UTHAI โดยมีได้ใส่ข้อมูลทางพลศาสตร์ของหุ่นยนต์ไว้ด้วย ในส่วนของการจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมจำลองการทำงานเป็น Gazebo ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถใส่ข้อมูลทางพิสิกส์เข้าไปได้ ช่วยทำให้เห็นภาพก่อนการทำงานจริง ในส่วนสุดท้ายการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ชีวามโนยด์ ผู้จัดทำได้สร้างแพกเกจสำหรับควบคุมการขับเคลื่อนของดิจิตอลเซอร์วิส เพื่อทำให้สะดวกในการใช้งานต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงครรสร้างไฟล์ให้สามารถรันครั้งเดียวแล้วเปิดทุกโปรแกรมที่ต้องการทำงาน เนื่องจากปัญหาตอนนี้ที่ผู้วิจัยพบเจอคือ เวลาเปิดโปรแกรมเพื่อที่ทำการคำสั่งนั้นต้องใช้หน้าต่างเป็นจำนวนมาก โปรแกรมโดยนั้นจะเป็นส่วนย่อยๆหลายส่วน จึงควรที่จะรวมให้เป็นโปรแกรมเดียว

5.3 การออกแบบระบบพื้นฐาน

การออกแบบระบบพื้นฐานที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบก็เพื่อที่จะทำให้คนที่เข้ามาพัฒนาต่อยอดได้อย่างสะดวก และเป็นระบบระเบียบ มีรูปแบบแบบแผนที่ชัดเจน ซึ่งผู้วิจัยได้วางระบบนี้ขึ้นมาจากประสบการณ์การทำงานของผู้วิจัยเอง รวมถึงได้ค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมจนคิดว่าระบบนี้จะทำให้หุ่นยนต์ขีวามโนยด์สามารถพัฒนาต่อได้ง่าย และเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยท่านอื่นที่ต้องการนำระบบพื้นฐานนี้ไปใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

การออกแบบระบบพื้นฐานมาแล้วนั้นอนาคตอาจจะมีการปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมได้ แต่ความต้องการของผู้วิจัยคือ หากนักวิจัยท่านอื่นต้องการพัฒนาต่อยอด ควรที่จะศึกษาระบบพื้นฐานนี้ก่อน เนื่องจากระบบพื้นฐานนี้ผู้วิจัยได้ใช้ทั้งเวลาและประสบการณ์การทำงาน ออกแบบเพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานของการทำหุ่นยนต์ขีวามโนยด์

รายการ วัตถุประดิษฐ์	iCub	Poppy	DARWIN-OP	Nao	UTHAI
ใช้ในการวิจัยและพัฒนา คิด ของมนุษย์ และ เป็นญา ประดิษฐ์	ใช้ในด้านการเรียนรู้ และ วิจัยในหลากหลายด้าน	ใช้ในงานวิจัย พลเมย ด้าน ^{ชีวะ} เช่น ปฏิกภูมิประดิษฐ์ วิธี การเดิน และการมองเห็น	ใช้ในงานวิจัย การศึกษา และให้ความบ่มเพ็ง	เพื่อ การศึกษา และวิจัย สำหรับการทดลองนาโนคติ	
High Level Controller	PC104 controller	Ordroid XU4	Intel Atom Z530 (32 bit)	Intel Atom @ 1.6 GHz	Ordroid XU4
Low Level Controller	-	-	ARM CortexM3 STM32F103RE	-	Nucleo f411re
ระบบปฏิบัติการ	Linux	Linux(Ubuntu 14.04)	Linux	NAO qi 2.0 (Linux- based)	Linux(Ubuntu 16.04)
Sensor	กล้อง ^{โมโน} ,force sensor, Hall effect	IMU 9 gyro,IMU, Dynamixel motor sensor, Hall effect	3-axis accelerome- ter,gyro,force sensor(4 FRS/foot)	Infrared Sensor, Ultrasonic Sensor	Force foot), IMU 9 Dynamixel motor
วัสดุคงโครงสร้าง	Aluminum (Al6082) Steel 17-4PH	alloy Stainless Steel 17-4PH	3D-printed PLA	Aluminum Alloy 5052 Plastic	3D-printed PLA, car- bonfiber, Aluminum alloy
องศาอิสระ	53	25	20	25	16
ความสูง (เมตร)	1.04	0.83	0.4545	0.58	1.00
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	22	3.5	2.9	4.3	4.955 (แม่ร่วมแบบต่อรี)
แหล่งพลังงาน	แหล่ง พลังงาน ภายนอก จากสาย Cable	แหล่ง พลังงาน ภายนอก จากสาย Cable	แบตเตอรี่ 12V	แบตเตอรี่ จ่ายกระแสไฟฟ้า	แบตเตอรี่ 12V หรือแหล่ง จ่ายกระแสไฟฟ้าสาย ca- ble

ตารางที่ 5.1: ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติความไม่แน่นอนของ UTHAI และหุ่นยนต์ open source ทั่วโลก

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

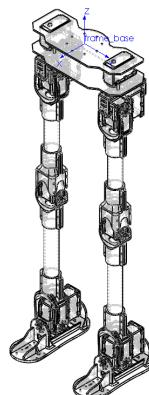
ข้อมูลเบื้องต้นของหุ่นยนต์อิวามานอยด์ UTHAI

ก.1 ค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์

ข้อมูลพลศาสตร์ของหุ่นยนต์อิวามานอยด์ UTHAI ซึ่งจะนำไปใช้ในการทำระบบจำลองด้วยโปรแกรม Gazebo ใน ROS และใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อทำให้การเดินมีเสถียรภาพ โดยข้อมูลชุดนี้ได้มาจากการคำนวณทั้งหมดใน SolidWorks และปรับมีค่าใกล้เคียงกับของจริงโดยการเทียบกับเครื่องซึ่งน้ำหนัก

ข้อมูลชุดนี้ประกอบไปด้วย มวล จุดศูนย์กลางมวล และโมเมนต์ความเฉื่อย อีกทั้งข้อมูลยังบอกในมาตรฐาน URDF กับ DH-Parameter ซึ่งทำให้ใช้งานในระบบการคำนวณที่ต่างกันได้

Overall Humanoid

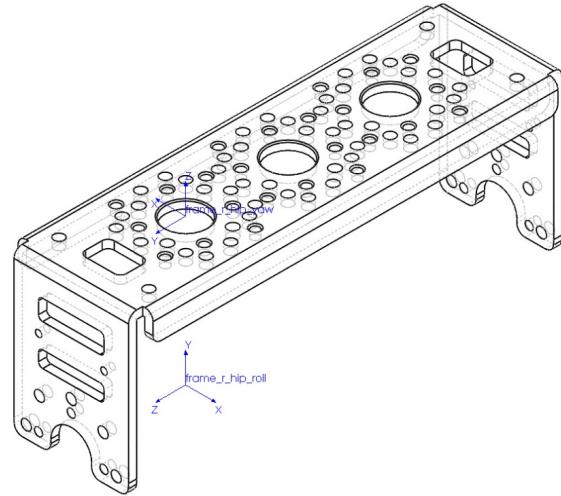


รูปที่ ก.1: ภาพแสดงช่วงล่างทั้งตัว

Link	All Link
Mass (kg)	3.31477475
CoM X (m)	-0.00855772
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	-0.33375492
Inertia Ixx	0.28641029
Inertia Ixy	-0.00000302
Inertia Ixz	-0.00048106
Inertia Iyy	0.26207601
Inertia Iyz	-0.00061103
Inertia Izz	0.02925799

ตารางที่ ก.1: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ทั้งตัว

Right Hip Yaw



รูปที่ ก.2: ภาพแสดงก้านต่อ Right Hip Yaw

Link	r_hip_yaw
Mass (kg)	0.09100000
CoM X (m)	0.00000000
CoM Y (m)	0.02864983
CoM Z (m)	-0.02500000
Inertia Ixx	0.00014158
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00014316
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00002022

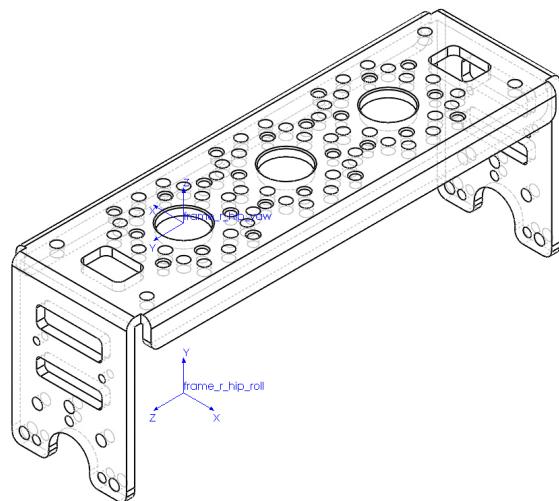
(ก) DH Parameter

Link	r_hip_yaw
Mass (kg)	0.09100000
CoM X (m)	0.00000000
CoM Y (m)	-0.02500000
CoM Z (m)	-0.00735017
Inertia Ixx	0.00014158
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00002022
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00014316

(ข) URDF

ตารางที่ ก.2: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Right Hip Yaw

Left Hip Yaw



รูปที่ ก.3: ภาพแสดงก้านต่อ Left Hip Yaw

Link	l_hip_yaw
Mass (kg)	0.09100000
CoM X (m)	0.00000000
CoM Y (m)	0.02864983
CoM Z (m)	-0.02500000
Inertia Ixx	0.00014158
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00014316
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00002022

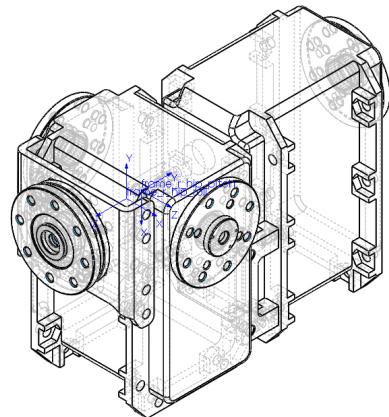
(ก) DH Parameter

Link	l_hip_yaw
Mass (kg)	0.09100000
CoM X (m)	0.00000000
CoM Y (m)	0.02500000
CoM Z (m)	-0.00735017
Inertia Ixx	0.00014158
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00002022
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00014316

(ข) URDF

ตารางที่ ก.3: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Left Hip Yaw

Right Hip Roll



รูปที่ ก.4: ภาพแสดงก้านต่อ Right Hip Roll

Link	r_hip_roll
Mass (kg)	0.34300000
CoM X (m)	0.01526237
CoM Y (m)	0.02152630
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00026846
Inertia Ixy	0.00000219
Inertia Ixz	-0.00000081
Inertia Iyy	0.00014760
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00032448

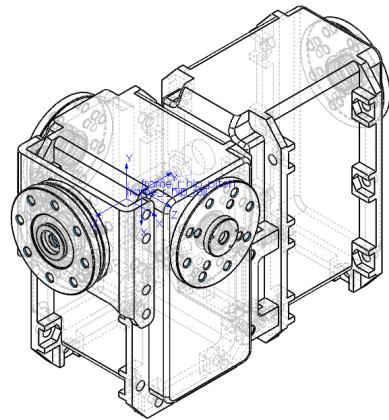
(ก) DH Parameter

Link	r_hip_roll
Mass (kg)	0.34300000
CoM X (m)	0.00000000
CoM Y (m)	-0.01526237
CoM Z (m)	-0.02652630
Inertia Ixx	0.00032448
Inertia Ixy	0.00000081
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00026846
Inertia Iyz	0.00000219
Inertia Izz	0.00014760

(ข) URDF

ตารางที่ ก.4: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Right Hip Roll

Left Hip Roll



รูปที่ ก.5: ภาพแสดงก้านต่อ Left Hip Roll

Link	l_hip_roll
Mass (kg)	0.34300000
CoM X (m)	0.01526237
CoM Y (m)	0.02152630
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00026846
Inertia Ixy	0.00000219
Inertia Ixz	-0.00000081
Inertia Iyy	0.00014760
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00032448

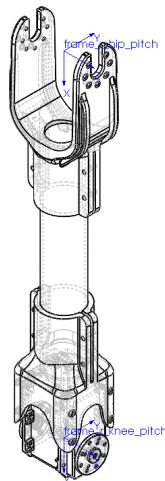
(ก) DH Parameter

Link	l_hip_roll
Mass (kg)	0.34300000
CoM X (m)	0.00000000
CoM Y (m)	-0.01526237
CoM Z (m)	-0.02652630
Inertia Ixx	0.00032448
Inertia Ixy	0.00000081
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00026846
Inertia Iyz	0.00000219
Inertia Izz	0.00014760

(ข) URDF

ตารางที่ ก.5: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Left Hip Roll

Right Hip Pitch



รูปที่ ก.6: ภาพแสดงก้านต่อ Right Hip Pitch

Link	r_hip_pitch
Mass (kg)	0.31800000
CoM X (m)	-0.07862011
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00011525
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000078
Inertia Iyy	0.00254669
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00250848

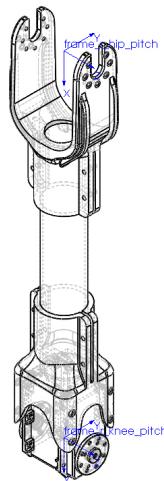
(ก) DH Parameter

Link	r_hip_pitch
Mass (kg)	0.31800000
CoM X (m)	0.22137989
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00011525
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000078
Inertia Iyy	0.00254669
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00250848

(ข) URDF

ตารางที่ ก.6: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Right Hip Pitch

Left Hip Pitch



รูปที่ ก.7: ภาพแสดงก้านต่อ Left Hip Pitch

Link	l_hip_pitch
Mass (kg)	0.31800000
CoM X (m)	-0.07862011
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00011525
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000078
Inertia Iyy	0.00254669
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00250848

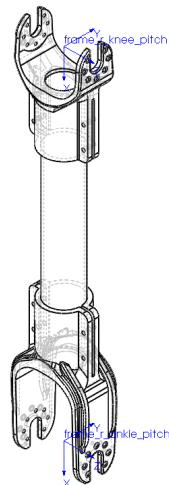
(ก) DH Parameter

Link	l_hip_pitch
Mass (kg)	0.31800000
CoM X (m)	0.22137989
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00011525
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000078
Inertia Iyy	0.00254669
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00250848

(ข) URDF

ตารางที่ ก.7: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Left Hip Pitch

Right Knee Pitch



รูปที่ ก.8: ภาพแสดงก้านต่อ Right Knee Pitch

Link	r_knee_pitch
Mass (kg)	0.13800000
CoM X (m)	-0.15211782
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00011525
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00127592
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00124960

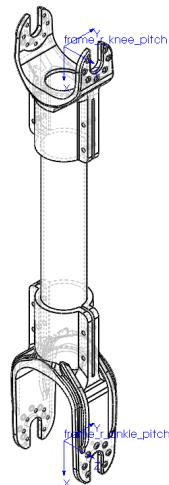
(ก) DH Parameter

Link	r_knee_pitch
Mass (kg)	0.13800000
CoM X (m)	0.16288218
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00005794
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00127592
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00124960

(ข) URDF

ตารางที่ ก.8: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Right Knee Pitch

Left Knee Pitch



รูปที่ ก.9: ภาพแสดงก้านต่อ Left Knee Pitch

Link	l_knee_pitch
Mass (kg)	0.13800000
CoM X (m)	-0.15211782
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00011525
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00127592
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00124960

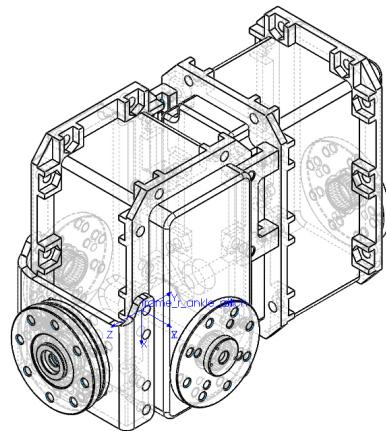
(ก) DH Parameter

Link	l_knee_pitch
Mass (kg)	0.13800000
CoM X (m)	0.16288218
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00005794
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000000
Inertia Iyy	0.00127592
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00124960

(ข) URDF

ตารางที่ ก.9: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Left Knee Pitch

Right Ankle Pitch



รูปที่ ก.10: ภาพแสดงก้านต่อ Right Ankle Pitch

Link	r_ankle_pitch
Mass (kg)	0.33138738
CoM X (m)	-0.01526237
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	-0.02152630
Inertia Ixx	0.00025937
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000079
Inertia Iyy	0.00031349
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00014261

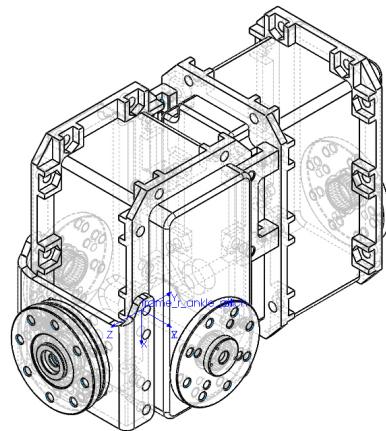
(ก) DH Parameter

Link	r_ankle_pitch
Mass (kg)	0.33138738
CoM X (m)	-0.01526237
CoM Y (m)	0.02152630
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00025937
Inertia Ixy	0-0.00000212
Inertia Ixz	0.00000079
Inertia Iyy	0.00014261
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00031349

(ข) URDF

ตารางที่ ก.10: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Right Ankle Pitch

Left Ankle Pitch



รูปที่ ก.11: ภาพแสดงก้านต่อ Left Ankle Pitch

Link	l_ankle_pitch
Mass (kg)	0.33138738
CoM X (m)	-0.01526237
CoM Y (m)	0.00000000
CoM Z (m)	-0.02152630
Inertia Ixx	0.00025937
Inertia Ixy	0.00000000
Inertia Ixz	0.00000079
Inertia Iyy	0.00031349
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00014261

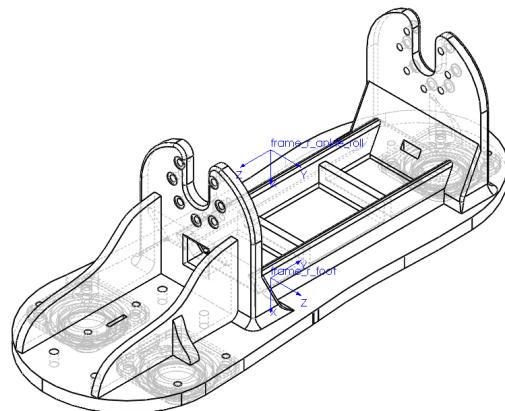
(ก) DH Parameter

Link	l_ankle_pitch
Mass (kg)	0.33138738
CoM X (m)	-0.01526237
CoM Y (m)	0.02152630
CoM Z (m)	0.00000000
Inertia Ixx	0.00025937
Inertia Ixy	0-0.00000212
Inertia Ixz	0.00000079
Inertia Iyy	0.00014261
Inertia Iyz	0.00000000
Inertia Izz	0.00031349

(ข) URDF

ตารางที่ ก.11: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Left Ankle Pitch

Right Ankle Roll



รูปที่ ก.12: ภาพแสดงก้านต่อ Right Ankle Roll

Link	r_ankle_roll
Mass (kg)	0.10500000
CoM X (m)	-0.01454118
CoM Y (m)	-0.00034576
CoM Z (m)	-0.00019548
Inertia Ixx	0.00034591
Inertia Ixy	-0.00000857
Inertia Ixz	-0.00000013
Inertia Iyy	0.00004813
Inertia Iyz	-0.00000120
Inertia Izz	0.00032705

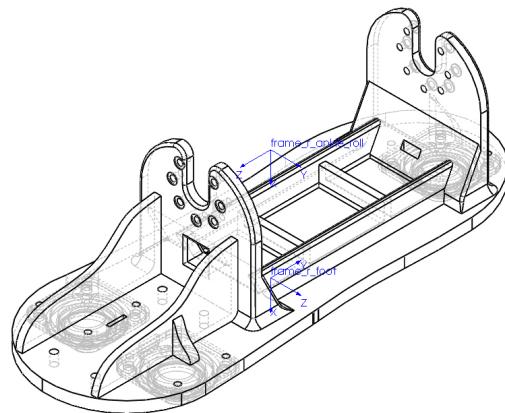
(ก) DH Parameter

Link	r_ankle_roll
Mass (kg)	0.10500000
CoM X (m)	0.03625882
CoM Y (m)	-0.00019548
CoM Z (m)	0.00034576
Inertia Ixx	0.00034591
Inertia Ixy	-0.00000013
Inertia Ixz	0.00000857
Inertia Iyy	0.00032705
Inertia Iyz	0.00000120
Inertia Izz	0.00004813

(ข) URDF

ตารางที่ ก.12: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Right Ankle Roll

Left Ankle Roll



รูปที่ ก.13: ภาพแสดงก้านต่อ Left Ankle Roll

Link	l_ankle_roll
Mass (kg)	0.10500000
CoM X (m)	-0.01454118
CoM Y (m)	-0.00034576
CoM Z (m)	-0.00019548
Inertia Ixx	0.00034591
Inertia Ixy	-0.00000857
Inertia Ixz	-0.00000013
Inertia Iyy	0.00004813
Inertia Iyz	-0.00000120
Inertia Izz	0.00032705

(ก) DH Parameter

Link	l_ankle_roll
Mass (kg)	0.10500000
CoM X (m)	0.03625882
CoM Y (m)	-0.00019548
CoM Z (m)	0.00034576
Inertia Ixx	0.00034591
Inertia Ixy	-0.00000013
Inertia Ixz	0.00000857
Inertia Iyy	0.00032705
Inertia Iyz	0.00000120
Inertia Izz	0.00004813

(ข) URDF

ตารางที่ ก.13: ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ Left Ankle Roll

ประวัติผู้เขียน

นายจิรภพ ศรีรัตนอาภรณ์



ชื่อ สกุล	นายจิรภพ ศรีรัตนอาภรณ์
รหัสนักศึกษา	57340500067
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	วิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
ชื่อสถาบัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2560

ประวัติผู้เขียน

นายเจษฎากร ท่าไชยวงศ์



ชื่อ สกุล	นายเจษฎากร ท่าไชยวงศ์
รหัสนักศึกษา	57340500067
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	วิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
ชื่อสถาบัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2560

ประวัติผู้เขียน

นายวุฒิภัทร โชคอนันตทรัพย์



ชื่อ สกุล	นายวุฒิภัทร โชค_anantraphi
รหัสนักศึกษา	57340500067
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ชื่อสถาบัน	วิศวกรรมที่นี่ยนต์และระบบอัตโนมัติ
ปีที่สำเร็จการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
	2560