สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

หุ่นยนต์สำหรับงานตักบาตร สจล.

KMITL Giving-Aim-to-the-Monk Robot

ชื่อผู้วิจัย

นายปิติเขต สู้รักษา

นายณัฐพล ผลเจริญพงศ์

RCH
TJ
211
ป๘๑น
ก.1
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....121172
วัน, เดือน, ปี 25 มิ.ย. 2555

b.12408961
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากเงินรายได้ ฯ ประจำปี พ.ศ. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ (เงินรายได้)

ส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) หุ่นยนต์สำหรับงานตักบาตร สจล.

ชื่อโครงการ(ภาษาอังกฤษ) **KMITL Giving-Aim-to-the-Monk Robot**

ประจำปีงบประมาณ 2554 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 64,900 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2553 ถึง 30 กันยายน 2554

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัดและ อีเมล์

หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ปีติเขต สู้รักษา

ผู้ช่วยนักวิจัย นายณัฐพล ผลเจริญพงศ์

หน่วยงานที่สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หมายเลขโทรศัพท์ 02-7392382 โทรสาร ...02-326-4176..... e-mail: pitikhate@hotmail.com

คำสำคัญ (Keywords) หุ่นยนต์ (robot) พระ (monk) ตักบาตร (offering aim)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2: บทคัดย่อ

บทคัดย่อ

จากการส่งเสริมจริยธรรมนักศึกษา และทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมไทยในการเป็นพุทธศาสนิกชนที่ดี และส่งเสริมให้เยาวชนรู้จักการให้ ทาง สถาบัน ฯ ได้จัดให้มีการตักบาตรประจำปีในทุก ๆ ปี และเพื่อเป็นสื่อบุญให้กับศิษย์ทั้งปัจจุบันและศิษย์เก่า ได้ทราบและร่วมบุญ หุ่นยนต์ตักบาตรจึงเป็นตัวแทนสื่อบุญดังกล่าวอีกทั้งเป็นการหลอมรวมศิลปกรรมแห่งเทคโนโลยีกับวัฒนธรรมอันดีงามของไทย

อนึ่ง ต้นแบบหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นนี้ จะเป็นแนวคิดชี้นำในการปรับปรุงให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นสำหรับเฟสงานสนามในปีถัดไป

Abstract

According to moral training policy aiming for enhancing giving mind-set for youth, KMITL offers giving-aim-to-the-monk activity. Hence, the project objective is to build a robot for offering-aim-to the-monks. The robot can be recognized as a merit medium to make current students and the alumni to stay connect with KMITL. In addition, the proposed robot is a fusion between state-of-the-art and a terrific culture of Thailand.

It should be noted that the robot is a first trial-conceptual prototype designed to be redesigned and rebuilt for the next phase, which will be carried out in the coming year 2555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง (Table of Contents)

หน้า

บทนำ.....1
เนื้อเรื่อง.....3
อภิปรายผล.....11
สรุปผลการวิจัยและผลสัมฤทธิ์.....16
บรรณานุกรม.....17

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (List tables)

ตารางที่ **หน้า**

1 ข้อมูลการจับระยะห่างการปฏิสัมพันธ์ระหว่างหุ่นยนต์กับพระ.....12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (List of illustration)

รูปที่ **หน้า**

1.1 ใบเชิญชวนสาธุชน ทั่วไป นักศึกษา ผู้ปกครอง และอาจารย์ เข้าร่วมโครงการส่งเสริมคุณธรรมนักศึกษา.....1

1.2 งานบุญตักบาตร สจล เบื้องหลังเห็นตึก 12 ชั้นคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล เด่นเป็นมงคล.....2

2.1 การออกแบบแขนกลประเภทกลไกต่อโยง 5 ชิ้น.....4

2.2 การออกแบบแขนกลประเภทกลไกต่อโยง 5 ชิ้น.....4

2.3 แขนกลประเภทกลไกต่อโยง 5 ชิ้น โดยใช้การขับเคลื่อนแบบขนาน.....6

2.4 การทำงานของแขนกลที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์สองตัว.....10

3.1 กราฟจากการทดลองเทียบกับการคำนวณ.....13

3.2 แบบแนวคิดแขนคู่.....14

3.3 ต้นแบบแนวคิดตามที่ออกแบบในรูปที่ 3.2.....14

3.4 ต้นแบบแนวคิดที่ได้จากงานวิจัยนี้.....15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลังและความสำคัญของปัญหา

จากการส่งเสริมจริยธรรมนักศึกษา และทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมไทยในการเป็นพุทธศาสนิกชนที่ดี และส่งเสริมให้เยาวชนรู้จักการให้ ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้จัดงานตักบาตรพระจำนวน 1000 รูป ณ บริเวณสนามกีฬา สจล. ในปี พ.ศ. 2552 ดังแสดงในรูปที่ 1 และจำนวน 1050 รูป ในปี 2553 ซึ่งเพิ่งผ่านพ้นไปในวันที่อาทิตย์ที่ 27 มิถุนายน 2553 ดังแสดงภาพเหตุการณ์อันน่าปลื้มปิติในความพร้อมเพรียงกันของหมู่คณะดังรูปที่ 2

รูปที่ 1.1 ใบเชิญชวนสาธุชน ทั่วไป นักศึกษา ผู้ปกครอง และอาจารย์ เข้าร่วมโครงการส่งเสริมคุณธรรมนักศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เนื้อเรื่อง

2.1 บทนำ

เพื่อความแข็งแรงของแขนหุ่นยนต์ที่ต้องรับภาระในการหยิบจับของใส่บาตร งานวิจัยนี้ออกแบบโดยอาศัยกลไกต่อโยง 5 ชิ้นถือว่าเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของแขนกลที่แข็งแรง ที่นักวิจัยหลายๆท่าน [1] และ[2] ให้ความสนใจในการออกแบบ และพัฒนา โดยแขนกลที่ใช้รูปแบบของกลไกต่อโยง 5 ชิ้น ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้ในหลายวงการ เช่น วงการอุตสาหกรรม วงการแพทย์ เป็นต้น ในบทความนี้จะแสดงการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแขนกลประเภทดังกล่าว โดยใช้การวิเคราะห์สมการการเคลื่อนที่ตามหลักการของลากรานจ์ (Lagrangian Principle) รวมไปถึงการหาคุณสมบัติต่างๆที่ช่วยให้วิเคราะห์ระบบกลไกได้ดีขึ้น

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแขนกลประเภทกลไกต่อโยง 5 ชิ้น

2.2.1 สมการของลากรานจ์

การหาสมการหลักของกลไกต่อต่อโยง 5 ชิ้น นั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการของลากรานจ์ซึ่งมุ่งพิจารณาไปที่ พลังงานต่างๆของระบบ

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \tau_i \tag{1}$$

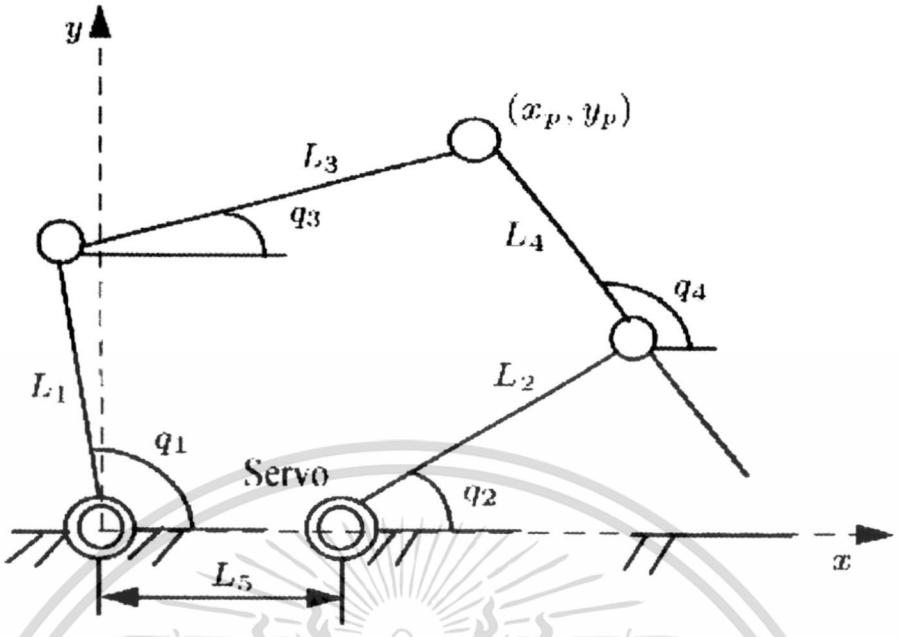
โดยที่ สมการ (1) รู้จักกันในชื่อของสมการของลากรานจ์ ซึ่ง

K หมายถึงพลังงานจลน์ของแต่ละชิ้นส่วนต่อโยงในระบบ

P หมายถึงพลังงานศักย์ของแต่ละชิ้นส่วนต่อโยงในระบบ

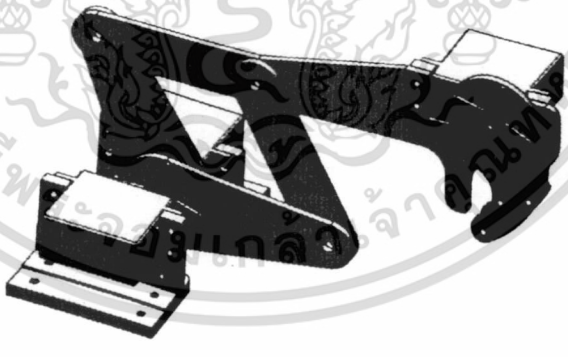
τ_i คือ แรงและแรงบิดที่เกิดขึ้นในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การออกแบบแขนกลประเภทกลไกต่อโยง 5 ชิ้น[4]

แขนกลจะมีส่วนต่อโยงทั้งหมดห้าชิ้น คือ L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 โดยส่วนต่อโยง L_5 จะถูกตรึงอยู่กับที่ ตามรูปที่ 2.1 ส่วนต่อโยงทั้งห้าชิ้นนี้รวมเรียกว่า กลไกต่อโยง 5 ชิ้น (five-bar linkage) รูปที่ 2.2 เป็นรูปของการออกแบบแขนกลโดยใช้โปรแกรมออกแบบในคอมพิวเตอร์ การออกแบบนั้นจะออกแบบให้ ส่วนต่อโยง L_5 มีขนาดความยาวเป็นศูนย์ หรือกล่าวคือมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนแขนกลนี้ จะขนานกัน ซึ่งเรียกการขับเคลื่อนแขนกลแบบนี้ว่าการขับเคลื่อนแบบขนาน (parallel driver) [3]



รูปที่ 2.2 การออกแบบแขนกลประเภทกลไกต่อโยง 5 ชิ้น

กำหนดให้ q_i มุมที่เกิดของแต่ละส่วนต่อโยงขึ้นเทียบกับทิศทางในแกนนอน พลังงานจลน์ของระบบกลไกต่อโยงห้าชิ้นสามารถหาได้จาก

$$K = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4}[I_i\dot{q}_i^2 + m_i(\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2)] = \frac{1}{2}\dot{Q}_{12}^{\mathrm{T}} D \dot{Q}_{12} \qquad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

I_i คือ ความเฉื่อยที่เกินขึ้นในมอเตอร์ ความเฉื่อยที่เกิดขึ้นจากภาระงาน (load)
และความเฉื่อยที่เกิดขึ้นในข้อต่อต่างๆของส่วนเชื่อมโยง

x_i ระยะจุดศูนย์กลางโน้มถ่วงของแต่ละส่วนเชื่อมในแนวแกน x

y_i ระยะจุดศูนย์กลางโน้มถ่วงของแต่ละส่วนเชื่อมในแนวแกน y

m_i คือมวลของแต่ละส่วนเชื่อม

$Q_{12} = [q_1 \ q_2]^T$ คือเวคเตอร์ของมุมของข้อต่อที่แยกอิสระกัน โดยสองมุมนี้เป็นมุมของส่วนอินพุท (input) ที่เกิดจากการขับเคลื่อนของมอเตอร์

D คือ เมตริกซ์ความเฉื่อย (inertia matrix)

พลังงานศักย์ของระบบกลไกต่อโยงห้าชิ้นสามารถหาได้จาก

$$P = \sum_{i=1}^{4} m_i g y_i = g M^T Y \tag{3}$$

โดยที่

g คือความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$M = [m_1 \ m_2 \ m_3 \ m_4]^T$ คือเวคเตอร์มวลของแต่ละส่วนต่อโยง

$Y = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4]^T$ คือเวคเตอร์ระยะจุดศูนย์กลางโน้มถ่วงของแต่ละส่วนต่อโยงในแนวแกน y

ด้วยการแทนค่าสมการ (2) และสมการ(3) ลงในสมการ (1) จะได้สมการใหม่คือ

$$D\ddot{Q}_{12} + \dot{D}\dot{Q}_{12} - \frac{\partial K}{\partial Q_{12}} + \frac{\partial P}{\partial Q_{12}} = \tau_{12} \tag{4}$$

จาก

$$C\dot{Q}_{12} = \dot{D}\dot{Q}_{12} - \frac{\partial K}{\partial Q_{12}} \tag{4.1}$$

$$G = \frac{\partial P}{\partial Q_{12}} \tag{4.2}$$

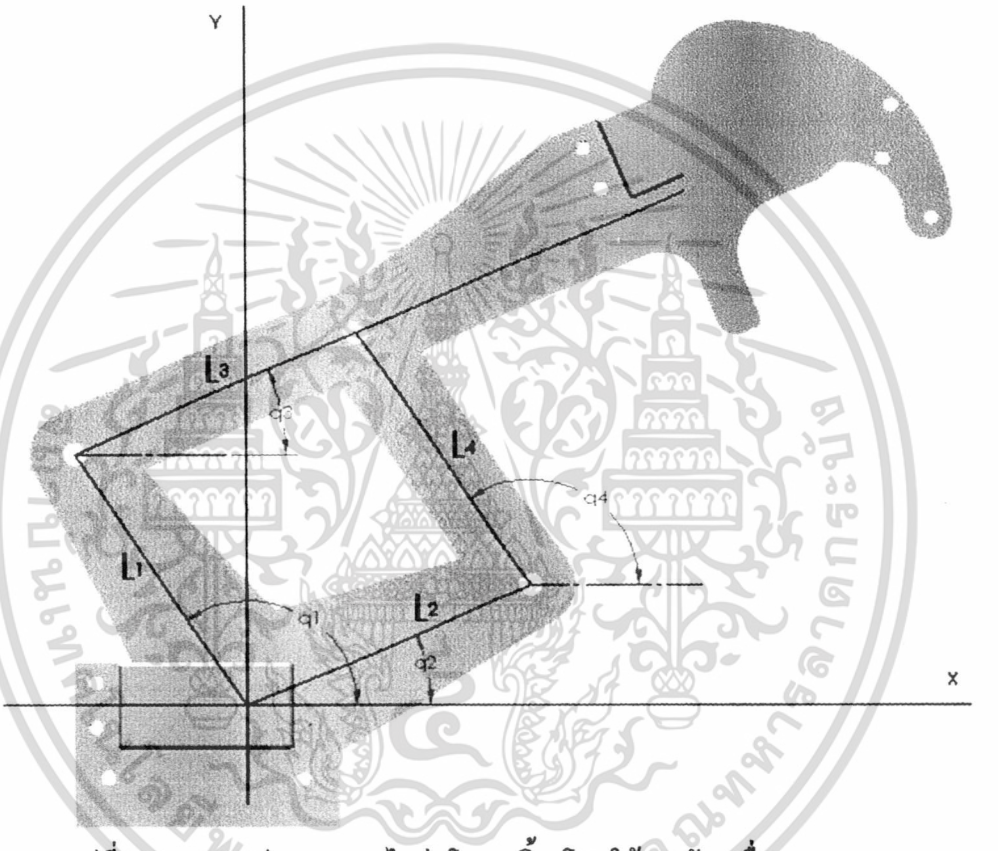
แทนค่าสมการ (4.1) และ สมการ (4.2) ลงในสมการ (4) จะทำให้ได้สมการ (4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D\ddot{Q}_{12}+C\dot{Q}_{12}+G=\tau_{12} \tag{4.3}$$

สมการ (4.3) เป็นสมการหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองในเชิงของ พลศาสตร์ (dynamic) ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้ ด้วยการหาค่าของ D, C, และ G เมตริกซ์ความเฉื่อย เวคเตอร์ที่รวมผลกระทบของแรงสู่ศูนย์กลางกับแรงเฉ และเวคเตอร์จากแรงโน้มถ่วง

2.3 จลศาสตร์ของแขนกล



รูปที่ 2.3 แขนกลประเภทกลไกต่อโยง 5 ชิ้น โดยใช้การขับเคลื่อนแบบขนาน

จากรูปที่ 2.3 สามารถใช้ความสัมพันธ์ของแต่ละส่วนต่อโยงในการสร้างสมการ จลศาสตร์ได้ โดย สมการที่สร้างจากความสัมพันธ์นี้คือ

$$L1C1 + L3C3 - L2C2 - L4C4 - L5 = 0 \tag{5}$$

$$L_1S_1 + L_3S_3 - L_2S_2 - L_4S_4 = 0 \tag{6}$$

โดยที่ $C_i = \cos(q_i)$ และ $S_i = \sin(q_i)$ สมกรที่ (5) และ (6) สามารถใช้คำนวณหาสมการจลศาสตร์ ของแขนกลตามรูปที่ 2.3 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.1 คำนวณหาค่าของ q_3 และ q_4

กลไกต่อโยง 5 ชิ้นตามรูปที่ 2.2 มีจำนวนองศาอิสระ (degree of freedom) เท่ากับ 2 และมีจุดร่วม (joint) 4 จุด คือ q_1, q_2, q_3 และ q_4 จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า q_1 และ q_2 นั้นเป็นอิสระไม่ขึ้นกับจุดร่วมอื่นเพราะเป็นมุมที่เกิดจากการขับเคลื่อนของมอเตอร์โดยตรง ส่วนอีกสองจุดร่วมที่เหลือจะขึ้นอยู่กับ q_1 และ q_2สำหรับวัตถุประสงค์ในหัวข้อนี้คือ การหาความสัมพันธ์ของ q_3 และ q_4 ในเทอมของ q_1 และ q_2 ดังนี้

ในการออกแบบหากกำหนดให้ความยาวของ L_i โดยที่ i = 1, 2, 3, 4 มีความยาวเท่ากันทั้งหมด จะเกิดเป็นรูปสี่เหลียมด้านขนาดที่มี L_1 L_2 L_3 และ L_4 เป็นด้านประกอบจากคุณสมบัติของสี่เหลี่ยมด้านขนานสามารถสรุปได้ว่า

$$q_3 = q_2 \tag{7}$$

$$q_4 = q_1 \tag{8}$$

2.3.2 คำนวณหา $\frac{\partial q_i}{\partial q_1}$ และ $\frac{\partial q_i}{\partial q_2}$ สำหรับ i = 3, 4

โดยการหาอนุพันธ์บางส่วน เทียบกับ q_1 ของสมการ(7) และ (8)จะได้

$$\frac{\partial q_3}{\partial q_1} = \frac{\partial q_2}{\partial q_1} = 0$$

$$\frac{\partial q_4}{\partial q_1} = \frac{\partial q_1}{\partial q_1} = 1$$

หาอนุพันธ์บางส่วน เทียบกับ q_2 ของสมการ(7) และ (8) จะได้

$$\frac{\partial q_3}{\partial q_2} = \frac{\partial q_2}{\partial q_2} = 1$$

$$\frac{\partial q_4}{\partial q_2} = \frac{\partial q_1}{\partial q_2} = 0$$

เขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial q_3}{\partial q_1} \\ \frac{\partial q_4}{\partial q_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial q_3}{\partial q_2} \\ \frac{\partial q_4}{\partial q_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

121172

2.3.3 คำนวณหา $\dot{q}_3$ และ $\dot{q}_4$

หาอนุพันธ์เทียบกับเวลาของสมการ (7) และ (8)

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{q}_2 \\ \dot{q}_1 \end{bmatrix} \tag{11}$$

2.3.4 คำนวณหา $\dot{x}_i$ และ $\dot{y}_i$ เมื่อ i = 1, 2, 3, 4

จากรูปที่ 2.3 จะสามารถสร้างความสัมพันธ์ตามระยะในแนวแกน x และระยะตามแนวแกน y ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} x_1 &= L_{c1}C_1, & y_1 &= L_{c1}S_1 \\ x_2 &= L_{c2}C_2, & y_2 &= L_{c2}S_2 \\ x_3 &= L_{c3}C_3 + L_1C_1, & y_3 &= L_{c3}S_3 + L_1S_1 \\ x_4 &= L_{c4}C_4 + L_2C_2, & y_4 &= L_{c4}S_4 + L_2S_2 \end{aligned} \tag{12}$$

โดยที่ i = 1, 2, 3, 4 และ $L_1 = L_2 = L_3 = L_4$ ตามการออกแบบแขนกล

L_{ci} เป็นระยะที่บอกถึงจุดศูนย์กลางมวล(center of mass)

ด้วยการหาอนุพันธ์เทียบกับเวลาจะทำให้ได้สมการที่ต้องการ

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -L_{c1}S_1\dot{q}_1, & \dot{y}_1 &= L_{c1}C_1\dot{q}_1 \\ \dot{x}_2 &= -L_{c2}S_2\dot{q}_2, & \dot{y}_2 &= L_{c2}C_2\dot{q}_2 \\ \dot{x}_3 &= -L_{c3}S_3\dot{q}_3 - L_1S_1\dot{q}_1, & \dot{y}_3 &= L_{c3}C_3\dot{q}_3 + L_1C_1\dot{q}_1 \\ \dot{x}_4 &= -L_{c3}S_4\dot{q}_4 - L_2S_2\dot{q}_2, & \dot{y}_4 &= L_{c4}C_4\dot{q}_4 + L_2C_2\dot{q}_2. \end{aligned}$$

สมการด้านบนสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเวคเตอร์ได้ดังนี้

$$\dot{X}_{12} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} L_{c1}S_1 & 0 \\ 0 & L_{c2}S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} = -A_s\dot{Q}_{12} \tag{13}$$

$$\dot{Y}_{12} = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{c1}C_1 & 0 \\ 0 & L_{c2}C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} = A_c\dot{Q}_{12}. \tag{14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 คำนวณหา $\frac{\partial y_i}{\partial q_1}$ และ $\frac{\partial y_i}{\partial q_2}$

จากสมการ (12) และการพิจารณาว่า q_1 และ q_2 เป็นอิสระต่อกันจะทำให้ได้ว่า

$$\frac{\partial y_1}{\partial q_1} = L_{c1}C_1, \quad \frac{\partial y_1}{\partial q_2} = 0$$

$$\frac{\partial y_2}{\partial q_1} = 0, \quad \frac{\partial y_2}{\partial q_2} = L_{c2}C_2$$

$$\frac{\partial y_3}{\partial q_1} = L_{c3}C_3\frac{\partial q_3}{\partial q_1} + L_1C_1, \quad \frac{\partial y_3}{\partial q_2} = L_{c3}C_3\frac{\partial q_3}{\partial q_2}$$

$$\frac{\partial y_4}{\partial q_1} = L_{c4}C_4\frac{\partial q_4}{\partial q_1}, \quad \frac{\partial y_4}{\partial q_2} = L_{c4}C_4\frac{\partial q_4}{\partial q_2} + L_2C_2$$

เขียนสมการด้านบนใหม่ให้อยู่ในรูปของเวคเตอร์

$$\frac{\partial Y_{12}}{\partial q_1} = \begin{bmatrix} L_{c1}C_1 \\ 0 \end{bmatrix} = L_{c1}C_1B_1 \tag{15}$$

$$\frac{\partial Y_{12}}{\partial q_2} = \begin{bmatrix} 0 \\ L_{c2}C_2 \end{bmatrix} = L_{c2}C_2B_2 \tag{16}$$

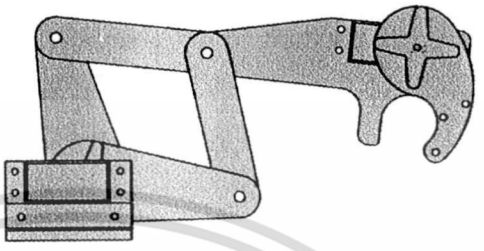
$$\frac{\partial Y_{34}}{\partial q_1} = \begin{bmatrix} L_{c3}C_3 & 0 \\ 0 & L_{c4}C_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial q_3}{\partial q_1} \\ \frac{\partial q_4}{\partial q_1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_1C_1 \\ 0 \end{bmatrix} = L_1A_{c34}A_{34}^{-1}S_{c1} + L_1C_1B_1 \tag{17}$$

$$\frac{\partial Y_{34}}{\partial q_2} = \begin{bmatrix} L_{c3}C_3 & 0 \\ 0 & L_{c4}C_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial q_3}{\partial q_2} \\ \frac{\partial q_4}{\partial q_2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ L_2C_2 \end{bmatrix} = -L_2A_{c34}A_{34}^{-1}S_{c2} + L_2C_2B_2 \tag{18}$$

สมการทางจลศาสตร์ที่ได้อธิบายมาในข้างต้นสามารถนำไปใช้หาสมการพลศาสตร์ของแขนกลต่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. การออกแบบแขนกลประเภทกลไกต่อโยง 5 ชิ้น



รูปที่ 2.4 การทำงานของแขนกลที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์สองตัว

ในบทความฉบับนี้นอกจากจะนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และยังนำเสนอการออกแบบชิ้นงานจริงที่มีคุณสมบัติตรงกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยของดีของการออกแบบนี้คือสามารถช่วยให้เห็นภาพการทำงานของแขนกลประเภทกลไกต่อโยง 5 ชิ้น เห็นถึงข้อจำกัดต่างๆทั้งในด้านวัสดุ ด้านการสร้างชิ้นงาน จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าตำแหน่งปลายของแขนกลสามารถเคลื่อนที่ได้ในระนาบจากการหมุนของมอเตอร์ที่ฐานของแขนกล โดยมอเตอร์สองตัววางอยู่ในแนวเดียวกันและ เป็นอิสระซึ่งกันและกัน

บทถัดไปเป็นการอภิปรายการสร้างจริงตามแบบที่ร่างและการวิเคราะห์ในบทนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อภิปรายผล

3.1 Protocol ข้อมูลในการออกแบบที่ได้ประกอบด้วย

Dept data เป็นข้อมูลที่ให้ความลึกของภาพ โดยจะเก็บข้อมูลแต่ล่ะ pixel ของภาพในรูปแบบของ gray scale 16 bit (ระยะไกลมืด - ระยะใกล้สว่าง) โดย

- **3 บิตล่าง** คือข้อมูลของ player หมายถึง จำนวนของคนที่อยู่ในภาพ

000	ไม่มีคน
001	มี 1 คน
010	มี 2 คน
011	มี 3 คน
100	มี 4 คน
101	มี 5 คน
110	มี 6 คน

เมื่อมีคนอยู่ในจอ แต่ละคนก็จะได้รับหมายเลขของ player ที่แตกต่างกัน จนกว่าภาพจะหายไปจากจอ

- **13 บิตบน** จะเก็บข้อมูลความลึก ในรูปของ gray scale แต่สำหรับการแสดงผลนั้นหากแสดงผมด้วย gray scale จะทำให้ดูยากและแยกความแตกต่างได้ยาก ในส่วนของการแสดงผลจึงแปลง gray scale ได้เป็นสีที่แตกต่างกับสำหรับ player แต่ล่ะคน

ในส่วนของระยะความลึก จากข้อมูลของผู้ผลิตกล่าวว่าระยะตรวจจับ(ในแนวตั้งฉาก) จะอยู่ในระยะ 80 cm. ถึง 400 cm. จึงได้ทำการทดลองเก็บผลที่ระยะความลึกต่าง ๆ พบว่าระยะที่ Kinect สามารถส่งค่าของ dept data มาให้นั้นอยู่ในช่วง 110 cm. – 390 cm. เท่านั้น จึงเก็บค่าทุก ๆ 10 cm. จำนวน 100 ค่าแล้วมาหาค่าเฉลี่ย ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

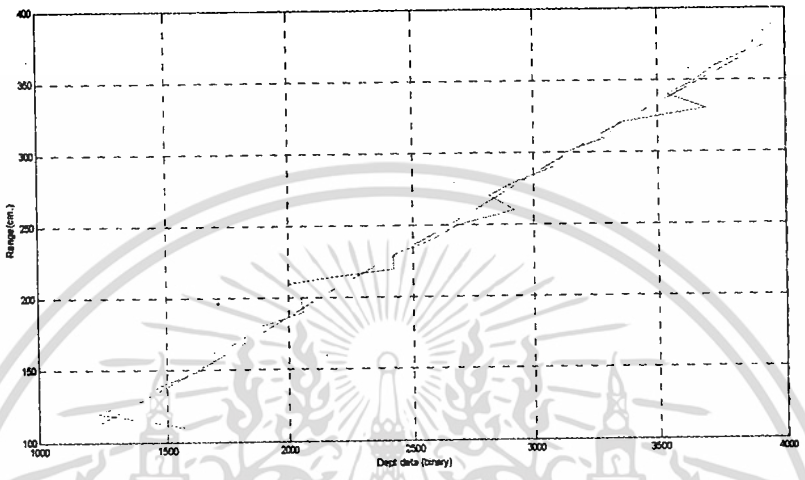
ตารางที่ 1 ข้อมูลการจับระยะห่างการปฏิสัมพันธ์ระหว่างหุ่นยนต์กับพระ

Range (cm)	Dept data (binary)	Dept data ขยับทางขวา 40 cm.	Dept data ขยับทางซ้าย 40 cm.
110	1578		992
120	1237	1316	1340
130	1381	1495	1448
140	1489	1496	1421
150	1637	1640	1623
160	1653	1725	1685
170	1790	1650	1809
180	1869	1949	1944
190	2066	2076	1972
200	2054	2239	2208
210	2007	2273	2236
220	2427	2355	2255
230	2426	2452	2542
240	2577	2626	2553
250	2680	2651	2582
260	2919	2814	2618
270	2811	2893	2782
280	2924	2944	2926
290	3085	2988	2934
300	3140	3140	3232
310	3302	3244	3156
320	3349	3379	3270
330	3687	3384	3381
340	3540	3607	3433
350	3646	3627	3552
360	3723	3788	3689
370	3849	3868	3777
380	3884	3876	3884
390	3961	3910	3915

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำข้อมูลเหล่านี้ไปทำ fitting curve โดยใช้ MATLAB จะได้สมการคือ

ได้สมการความสัมพันธ์ Y=0.0978X-8.6079 เมื่อ X คือค่า dept data (binary) และ Y คือค่า Range (cm.) Plot กราฟเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ได้จากการทดลองจริงเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการประมาณ ดังรูป



รูปที่ 3.1 กราฟจากการทดลองเทียบกับการคำนวณ

เมื่อ สีน้ำเงิน แทน ข้อมูลจากตารางที่ 1

สีแดงแทน สมการที่ได้จากการ fitting curve Y=0.0978X-8.6079

พบว่า dept data ให้ค่าที่ค่อนข้างเป็นเชิงเส้น

3.2 **Color Data** เป็นข้อมูลภาพวีดีโอ ซึ่งเก็บข้อมูลแต่ละ pixel ในรูปแบบของข้อมูล 4 bytes ซึ่งแต่ละ byte จะเก็บข้อมูล RGBA ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะนำไปใช้ในกระบวนการ image processing เพื่อทำการ tracking ต่อไป โดยมีตัวอย่างของ source code ไปประมวลผลภาพ เช่น

- Face Detect
- Motion Detect
- Shape Detect
- Pedestrian Detect

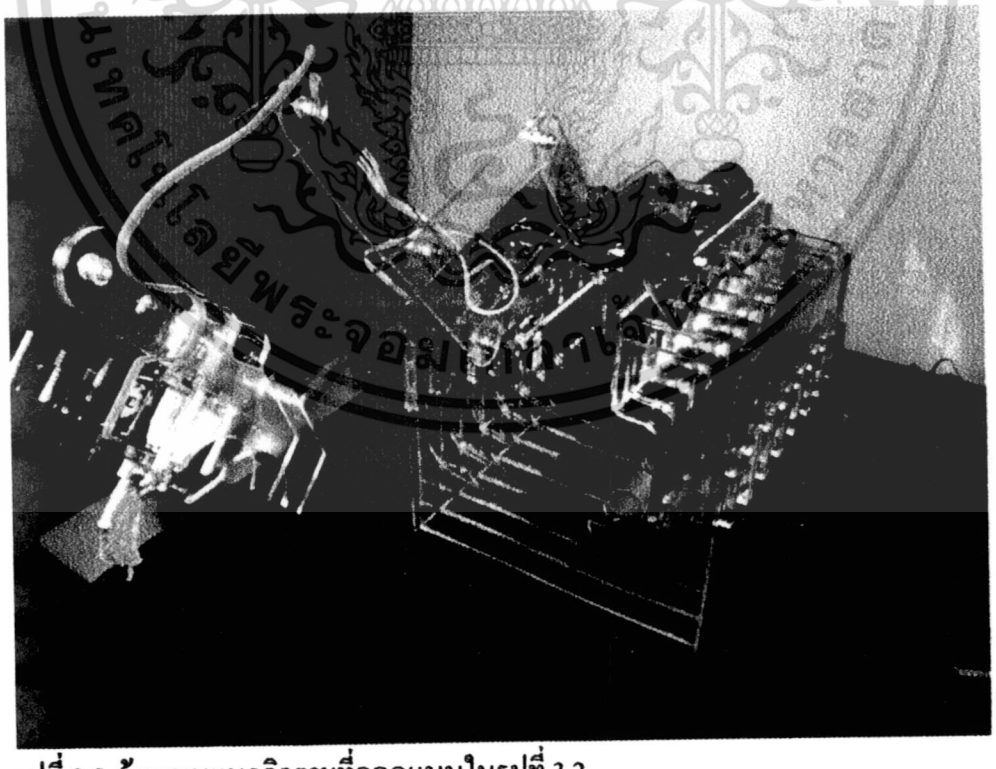
โดย source code เหล่านี้เขียนด้วย c# ไม่สามารถเรียกใช้งาน function ของ OpenCV ได้โดยตรง จึงต้องเรียกใช้งานผ่าน Library Emgu กระบวนการนี้จะใช้จับภาพขอบบาตรเพื่อให้ได้ตำแหน่งเป้าหมายในการดำเนินการเคลื่อนแขนหุ่นยนต์และภาระสิ่งของสู่บาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ภาพแสดงต้นแบบแนวคิด

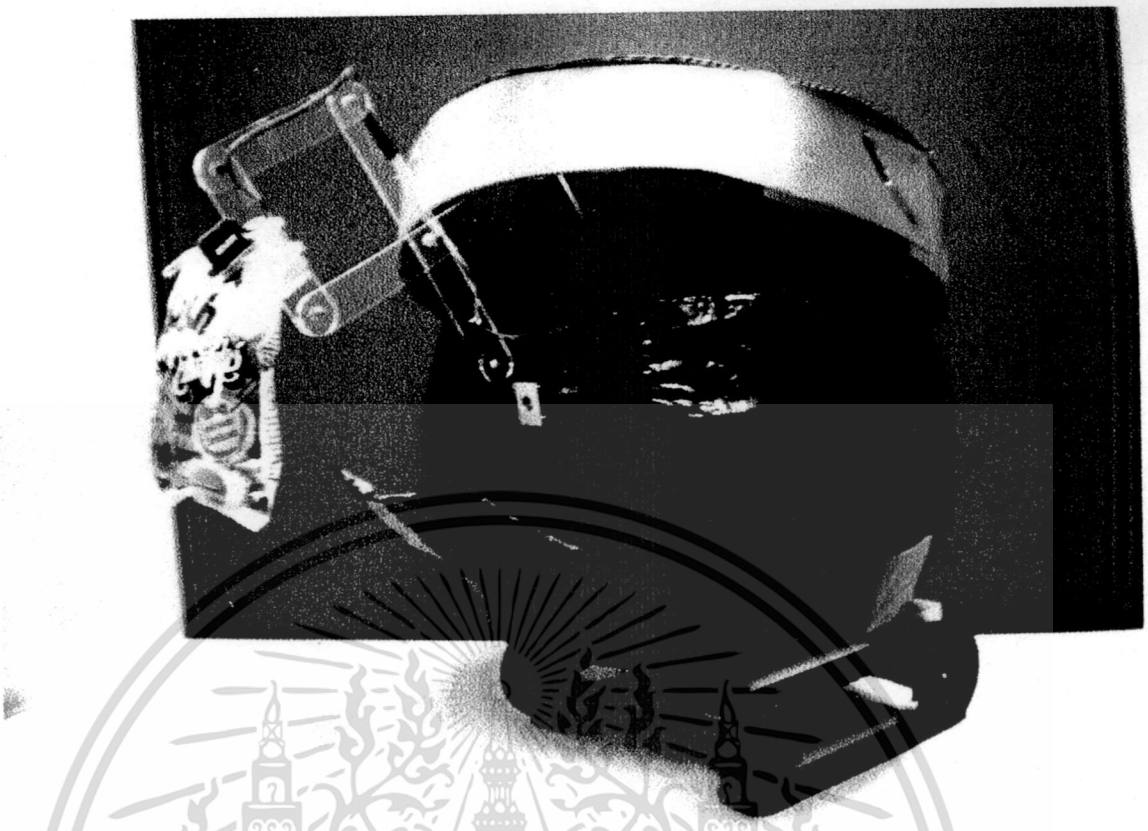
จากแบบในรูปที่ 3.2 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ในบทที่ผ่านมา ผลสัมฤทธิ์ของการสร้างจริงแสดงใน รูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ ต้นแบบแนวคิดที่ได้สามารถนำไปต่อยอดขยายผลสู่การสร้างต้นแบบในภาคสนามต่อไปในเฟสปฏิบัติการภาคสนามในปี พ.ศ. 2555

รูปที่ 3.2 แบบแนวคิดแขนคู่



รูปที่ 3.3 ต้นแบบแนวคิดตามที่ออกแบบในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ต้นแบบแนวคิดที่ได้จากงานวิจัยนี้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบแนวคิดหุ่นยนต์ตักบาตรเพื่อปรับปรุงพัฒนาให้สมบูรณ์ในปีถัดไป ผลการดำเนินงานเป็นไปตามเป้าประสงค์ได้หุ่นยนต์ต้นแบบแนวคิดที่สามารถทำงานและหยิบจับอุปกรณ์ได้ตามที่วางแผนไว้

อย่างไรก็ตาม ต้นแบบดังกล่าวในงานวิจัยนี้ ยังคงเป็นต้นแบบแนวคิดที่ลดขนาดเพื่อทดสอบฟังก์ชันการทำงานและเป็นการทดลองสร้างจากแบบที่ได้ทำการวิเคราะห์ในบทที่ 2 ทั้งนี้ จะทำการขยายผลไปสู่สเกลของภาคสนามในปีงบประมาณต่อไป เพื่อให้สามารถขยายปฏิบัติการจากห้องปฏิบัติการสู่การใช้ในภาคสนามในปีต่อไป (พ.ศ. 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] H. Asada and K. Youcef-Toumi, "Analysis and design of a direct-drive arm with a five-bar-link parallel drive mechanism," ASME J. Dynam.Syst., Measurement, Confrol, vol. 106, no. 3, 1984, pp. 225-230.

[2] D. Wang and M. Vidyasagar, "Algorithm for generating inertia matrices of N-bar-linkage robots," in Proc. ASME Winter Annual Meeting: Modelling Control Robotic Manipulators Manufacturing Processes,1987, pp. 111-116.

[3] D. Wang and M. Vidyasagar,"Modelling of a 5-bar-linkage manipulator with one flexible link," in Proc. IEEE Int. Conf Robotics Automat. (Philadelphia), 1988, pp. 21-26.

[4] Hongnian Yu, "Modeling and Control of Hybrid Machine Systems — a Five-bar Mechanism Case", International Journal of Automation and Computing 3, 2006, pp. 235-243.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้