ระบบการขนย้ายวัตถุร่วมกัน โดยใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่หลายตัว

A Cooperative Object Transportation System Using Multiple Mobile Robots

เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล,[1*] ปริญญ์ ชุปวา,[2] Oy Thaily,[3] ขุนพล มหาอุป,[4] จักรชัย ชิณโคตร,[5] ศิวณัทร ศรีโลห้อ[6]

Kiattisin Kanjanawanishkul,[1*] Prarin Chupawa,[2] Oy Thaily,[3] Khunpon Mahaup,[4] Jakrachai Chinnakotr,[5] Siwanut Sreelohor[6]

บทคัดย่อ

ระบบหุ่นยนต์หลายตัว คือ กลุ่มของหุ่นยนต์ที่ทำงานร่วมกัน เพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายที่ได้รับมอบหมาย การขนย้ายวัตถุเป็นการประยุกต์ใช้ระบบหุ่นยนต์หลายตัวชัดเจนมากอย่างหนึ่ง เนื่องจากโดยทั่วไปวัตถุนั้นอาจจะมีขนาดใหญ่หรือ หนักเกินกว่าที่หุ่นยนต์ตัวเดียวสามารถทำได้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้ ในโครงการวิจัยนี้จะออกแบบและพัฒนาตัวควบคุมที่สามารถควบคุมหุ่นยนต์ 2 ตัวให้สามารถขนย้ายวัตถุขนาดใหญ่กว่าที่หุ่นยนต์ตัวเดียวจะขนย้ายได้ ในการควบคุมหุ่นยนต์นั้น ตำแหน่งของหุ่นยนต์จะได้มาจากระบบวิชั่น ในขณะที่ทิศทางของหุ่นยนต์จะได้มาจากเซ็นเซอร์เข็มทิศ ตัวควบคุมที่นำเสนอนี้ จะเป็นแบบรวมศูนย์และกรรมวิธีการควบคุมเป็นแบบอาศัยพฤติกรรม โดยประกอบไปด้วยพฤติกรรมการคงอยู่ของวัตถุ, พฤติกรรมการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย, และ พฤติกรรมการรักษาระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์ จากผลการทดลอง พบว่า ตำแหน่งของหุ่นยนต์ทั้ง 2 ตัว ที่ได้จากระบบวิชั่น มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 4.90 เซนติเมตร ในแนวแกน x และ 5.78 เซนติเมตร ในแนวแกน y ในขณะที่ การบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทั้ง 2 ตัว โดยใช้เซ็นเซอร์เข็มทิศ มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 5 องศา เมื่อนำหุ่นยนต์ทั้งสองมาทำการขนย้ายวัตถุที่เป็นลักษณะยาว วางอยู่บนหุ่นยนต์ โดยให้ขนย้ายวัตถุดังกล่าวจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งเป้าหมาย พบว่า หุ่นยนต์ทั้งสองสามารถทำได้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ระบบหุ่นยนต์หลายตัว การควบคุมแบบอาศัยพฤติกรรม หุ่นยนต์เคลื่อนที่ หุ่นยนต์ขนถ่ายอัตโนมัติ

Abstract

A multi-robot system is defined as a group of robots working cooperatively in order to achieve a given mission. Object transportation is one of distinct applications of the multi-robot system. In general, the object is too large or too heavy for a single mobile robot to transport alone. To achieve this mission, this project will design and develop a controller which can control two robots to transport a large and heavy object. To control the robots, localization of the robots is provided by the vision system. The orientation of the robot is given by a compass sensor. The proposed controller is centralized and is based on a behavior-based approach consisting of a keeping-object behavior, a moving-to-goal behavior, a keeping-formation behavior. The experimental results showed that the maximum error of both robots' position provided by the vision

---

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, [2] อาจารย์, [3,4] นิสิตปริญญาตรี, [5,6] นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[1] Assistant Professor, [2] Lecturer, [3,4] Undergraduate student, [5,6] Graduate students Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand, 44150

[*] Corresponding author: Kiattisin Kanjanawanishkul, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand, 44150, E-mail : kiattisin.k@msu.ac.th

system were 4.90 cm and 5.78 cm along x-axis and y-axis, respectively, while the compass sensor provided the maximum angle error of 5 degrees. Both robots were then controlled to transport a long plate placed on their top from the starting point to the target point. The results showed that they can achieve the given mission properly.

Keywords: A multi-robot system, behavior-based controller, mobile robots, automated guided vehicle

บทนำ

ระบบหุ่นยนต์หลายตัว (Multiple Robot System, MRS) เป็นหัวข้อวิจัยหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างยิ่งตลอดหลายสิบปีที่ผ่านมา ระบบหุ่นยนต์หลายตัว คือ กลุ่มของหุ่นยนต์ที่ทำงานร่วมกัน เพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายที่ได้รับมอบหมาย ถึงแม้ว่า ระบบดังกล่าวจะมีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น ความทนทาน, การทำงานขนานกัน และ ประสิทธิผลทางด้านต้นทุน แต่ระบบหุ่นยนต์หลายตัว ก็ก่อให้เกิดปัญหาที่น่าท้าทายหลายอย่างสำหรับกลุ่มนักวิจัยทางด้านหุ่นยนต์ เช่น การสื่อสารไร้สาย, การแบ่งส่วนภารกิจ และกลไกการทำงานร่วมกัน การขนย้ายวัตถุเป็นการประยุกต์ใช้ระบบหุ่นยนต์หลายตัวชัดเจนมากอย่างหนึ่ง เนื่องจาก โดยทั่วไป วัตถุนั้น อาจจะมีขนาดใหญ่หรือ หนักเกินกว่าที่หุ่นยนต์ตัวเดียวสามารถทำได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่งในระบบกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ

ตัวอย่างของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนย้ายวัตถุร่วมกัน เช่น Parker[1] พัฒนาการขนย้ายวัตถุโดยใช้แบบอาศัยพฤติกรรมสำหรับหุ่นยนต์แบบมีล้อ 1 ตัว และหุ่นยนต์ 6 ขา 1 ตัว เพื่อทำการผลักกล่องร่วมกันไปในทิศทางที่ต้องการ, Miyata และคณะ[2] เสนอสถาปัตยกรรมที่รองรับการขนย้ายวัตถุร่วมกัน, Wang และคณะ[3] เสนอการควบคุมแบบ decentralization สำหรับการขนย้ายวัตถุในลักษณะของ Leader-Follower โดยจะมี Leader ทำหน้าที่รับคำสั่งเส้นทาง แล้ว Follower ประมาณเส้นทางในการเคลื่อนที่ได้ ด้วยการใช้ Force/Moment Sensor เพื่อตรวจวัดแรงที่กระทำจากวัตถุที่กำลังขนย้าย หุ่นยนต์ที่ใช้ คือ Omnidirectional Mobile Robot สำหรับขนย้ายวัตถุ เช่นเดียวกันกับ Hirata และคณะ[4] แต่เพิ่มแขนกลเพื่อขนย้ายวัตถุ และ Gross, Dorigo[5] ออกแบบการควบคุมกลุ่มของหุ่นยนต์จำนวน 16 ตัว สำหรับขนถ่ายวัตถุที่มีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน หุ่นยนต์แต่ละตัวจะมีแขนกล Wang และ คณะ[6] และ Fink และคณะ[7] ใช้หลักการของ object closure โดยที่วัตถุจะถูกห้อมล้อมด้วยกลุ่มของหุ่นยนต์แล้ว หุ่นยนต์จะทำการลากหรือสร้างการไหลของวัตถุนี้ไปยังสถานที่ที่ต้องการ

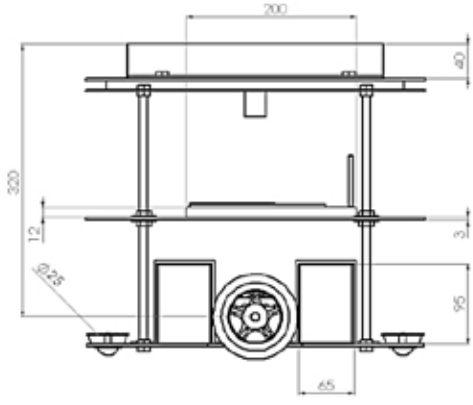
สำหรับโครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ คือ การสร้างและพัฒนาหุ่นยนต์ขนถ่ายอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle) พร้อมระบบนำร่อง และ การขนย้ายวัตถุร่วมกัน ในขณะที่ การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์จะใช้ระบบวิชั่น ซึ่งจะสามารถติดตามตำแหน่งของหุ่นยนต์แต่ละตัวบนพื้นที่การทำงานได้

การขนย้ายวัตถุร่วมกัน โดยใช้ หุ่นยนต์ขนถ่ายอัตโนมัติ 2 ตัว ทำการเคลื่อนย้ายวัตถุที่มีลักษณะเป็นแผ่นยาววางอยู่บนหุ่นยนต์ ระบบที่นำเสนอนี้ จะเป็นแบบรวมศูนย์ (centralization) และ การสื่อสารแบบทั่วกันหมด (global communication) ในส่วนของตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด จะใช้แบบอาศัยพฤติกรรม (behavior-based) เป็นหลัก

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้หุ่นยนต์ขนถ่ายอัตโนมัติสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบหุ่นยนต์และ จำลองรูปแบบการขนถ่ายวัตถุโดยใช้หุ่นยนต์ 2 ตัว ดังแสดงใน Figure 1 และ Figure 2 ตามลำดับ

(a)



(b)

Figure 1 Design drawing showing (a) layout of major components and (b) dimension

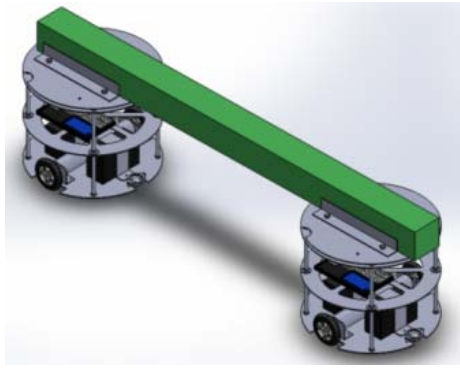


Figure 2 The design of object transportation by using two mobile robots

ส่วนประกอบที่สำคัญของหุ่นยนต์แสดงดังแผนภาพใน Figure 3 โดยหุ่นยนต์แต่ละตัว ประกอบไปด้วย วงจรควบคุมการขับมอเตอร์โดยใช้ RoboClaw Motor Controller, วงจรระบุทิศทางโดยใช้เซ็นเซอร์เข็มทิศ CMPS03, วงจรวัดมุมของวัตถุที่กำลังเคลื่อนย้ายโดยใช้ E6A2-CW3C Rotary Encoder, วงจรการสื่อสารไร้สายโดยใช้ ESP8266 WIFI module ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวส่งและตัวรับสัญญาณระหว่างหุ่นยนต์ทั้งสองตัวและตัวควบคุมหลัก (PC), ชุดดีซีมอเตอร์ ขนาดแรงดัน 24 V, 122 rpm, และ ล้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว

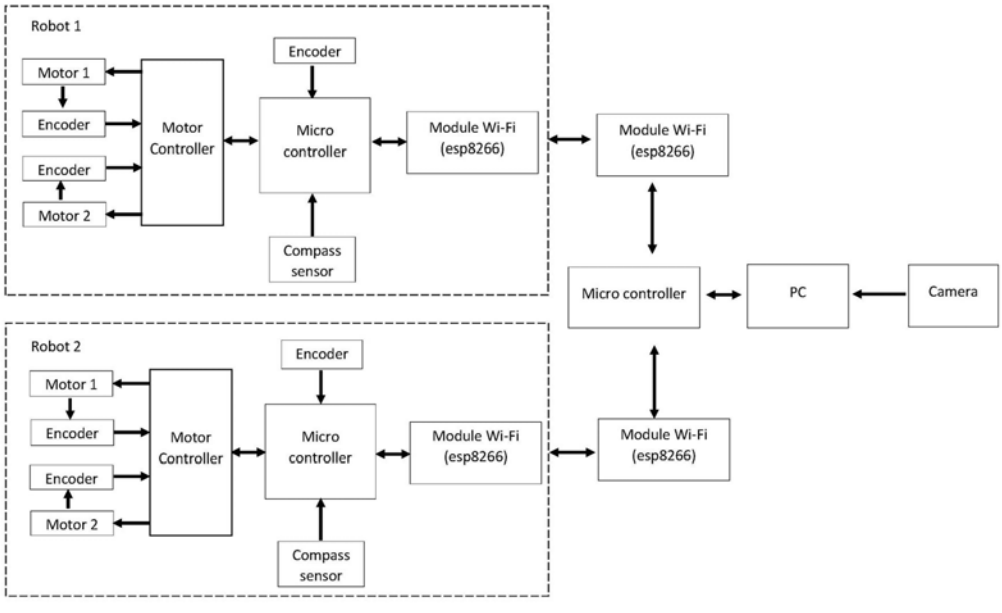


Figure 3 The block diagram of the cooperative object transportation system using two mobile robots

สำหรับตัวประมวลผลนั้น หุ่นยนต์แต่ละตัวจะใช้ Arduino Mega2560 Board ซึ่งทำหน้าที่ส่งค่าทิศทางของหุ่นยนต์ไปยังตัวควบคุมหลัก และ รับค่าความเร็วของแต่ละล้อจากตัวควบคุมหลัก ในส่วนของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า จะเป็นแบบกรดตะกั่วพร้อมวงจรคงค่าแรงดันไฟฟ้า หลังจากประกอบเรียบร้อยแล้ว จะได้หุ่นยนต์ดัง Figure 4

Figure 4 The mobile robots developed for cooperative object transportation

ในส่วนของกลไกของการทำงานร่วมกันระหว่างหุ่นยนต์ จาก Figure 4 จะเห็นได้ว่าวัตถุที่ต้องการเคลื่อนย้ายจะถูกวางอยู่บนจานหมุนที่หมุนได้อิสระ โดยมี Encoder เป็นตัวบ่งบอกทิศทางการหมุนของวัตถุ ข้อดีของวิธีนี้ คือ ไม่มีการสัมผัสกับพื้นดินเพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายเนื่องจากแรงเสียดทานกับพื้น และไม่มีการใช้ตัวจับยึด เช่น gripper เนื่องจาก รูปร่างของวัตถุอาจจะยากเกินกว่าที่จะใช้ gripper จับยึดได้ นอกจากนี้ บนจานหมุนนี้ จะมีฉากกั้นด้านข้างเพื่อไม่ให้วัตถุไถลไปทางด้านข้าง แต่วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระตามแนวแกนยาวของวัตถุ

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เราจำเป็นต้องทราบตำแหน่งของหุ่นยนต์ในปัจจุบัน ในโครงการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งกล้อง GigE CMOS ขนาดความละเอียด 1920 x 1080 พิกเซลและมี frame rate เท่ากับ 25 fps เลนส์ที่ใช้มีระยะโฟกัสที่ 4 มิลลิเมตร ดัง Figure 5

เป้าหมายของโครงการวิจัยนี้ คือ การควบคุมหุ่นยนต์ทั้งสองให้สามารถขนย้ายวัตถุร่วมกันและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่กำหนดได้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้ ตัวควบคุมเป็นส่วนที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง ตัวควบคุมที่นำเสนอในโครงการวิจัยนี้ จะเป็นแบบรวมศูนย์ คือ ข้อมูลตำแหน่งและทิศทางของหุ่นยนต์ทั้งสอง ถูกนำมารวมกันที่ตัวควบคุมหลัก กรรมวิธีที่ใช้ในการควบคุมจะเป็นแบบอาศัยพฤติกรรม (behavior-based) เป็นหลัก ซึ่งจะประกอบด้วย พฤติกรรมการคงอยู่ของวัตถุ (keeping-object behavior), พฤติกรรมการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย (moving-to-goal behavior), และ พฤติกรรมการรักษาระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์ (keeping-formation behavior) ทั้ง 3 พฤติกรรมนี้ จะถูกผสมผสานกัน ตามสถานการณ์ในขณะนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละพฤติกรรม คือ ความเร็วแต่ละล้อของหุ่นยนต์ ที่จะถูกส่งไปยังหุ่นยนต์ผ่านทางเครือข่ายไร้สาย ข้อดี ของการใช้การควบคุมแบบอาศัยพฤติกรรม คือ เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยๆ และ สามารถเพิ่มพฤติกรรมที่ต้องการได้ง่าย

Figure 5 The GigE CMOS camera installed at the ceiling looking down to the working place

ผลการทดลอง

การทดลองประกอบด้วย (1) การทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ด้วยระบบวิชั่น, (2) การทดสอบความถูกต้องของเซ็นเซอร์เข็มทิศ และ (3) การทดสอบการขนย้ายวัตถุร่วมกันโดยใช้หุ่นยนต์ 2 ตัว

การทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ด้วยระบบวิชั่น

คณะผู้วิจัยได้ทำการสอบเทียบค่าพิกเซลที่ได้จากระบบวิชั่นกับระยะจริงบนพื้นที่ทำงาน โดยสร้างจุดที่ใช้ในการสอบเทียบเป็นลักษณะกริด ระยะห่างกัน 50 เซนติเมตร ดัง Figure 6 เมื่อทำการสอบเทียบแล้วได้ทำการทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ ดังแสดงใน Figure 7 และได้ผลการทดสอบดัง Table 1

Figure 6 Calibration between image pixels and the real distance using 50×50 cm grid

Figure 7 The position accuracy test using the vision system

จากการทดสอบ พบว่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดทางแกน x คือ 4.90 เซนติเมตร ในขณะที่ ทางแกน y คือ 5.78 เซนติเมตร

Table 1 The results of the position accuracy test

Actual Position (cm)		Position using the Vision System (cm)		Error (cm)	
x	**y**	**x**	**y**	**x**	**y**
50	50	54.90	53.31	4.90	3.31
50	100	53.59	97.84	3.59	2.16
50	150	53.03	144.22	3.03	5.78
100	50	100.08	51.66	0.08	1.66
100	100	99.52	98.51	0.48	1.49
100	150	98.60	146.47	1.40	3.53
150	50	148.54	50.50	1.46	0.50
150	100	146.74	99.02	3.26	0.98
150	150	147.10	148.89	2.90	1.11
200	50	199.71	50.83	0.29	0.83
200	100	199.18	100.55	0.82	0.55
200	150	199.01	151.32	1.00	1.32
250	50	250.40	50.66	0.40	0.66
250	100	249.54	101.90	0.46	1.90
250	150	249.20	152.02	0.80	2.02
300	50	300.57	52.48	0.57	2.48
300	100	300.07	102.92	0.07	2.92
300	150	298.89	153.58	1.11	3.58
350	50	346.73	54.80	3.27	4.80
350	100	347.55	104.45	2.45	4.45
350	150	345.91	154.45	4.09	4.45

การทดสอบความถูกต้องของเซ็นเซอร์เข็มทิศ

การทดสอบการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์เข็มทิศของหุ่นยนต์ทั้งสองตัวโดยเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเข็มทิศดิจิตอลในโทรศัพท์ เป็นดัง Table 2

Table 2 The results of the orientation accuracy test

Orientation using smart phone (degree)	Orientation using compass sensor (degree)	Error (degree)
0	1	1
30	32	2
60	64	4
90	88	2
120	117	3
150	145	5
180	177	3
210	207	3
240	238	2
270	269	1
300	298	2
330	328	2

การทดสอบการขนย้ายวัตถุร่วมกันโดยใช้หุ่นยนต์ 2 ตัว

ในการทดสอบนี้จะใช้พื้นที่ทำงานจริงขนาด 2000×3500 (mm×mm) ใช้เส้นทางในการทดสอบ 4 เส้นทาง ดัง Figures 8 – 11 โดยทดสอบเส้นทางละ 3 ครั้ง ตัวอย่าง การขนย้ายวัตถุ โดยใช้หุ่นยนต์ 2 ตัว ตามเส้นทางที่ 2 แสดงใน Figure 12 โดยบันทึกภาพทุกๆ 15 วินาที ความยาวของวัตถุ คือ 0.8 เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าหุ่นยนต์ทั้งสองสามารถทำการขนย้ายวัตถุไปยังตำหน่งเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง โดยที่วัตถุไม่ตกลงพื้น

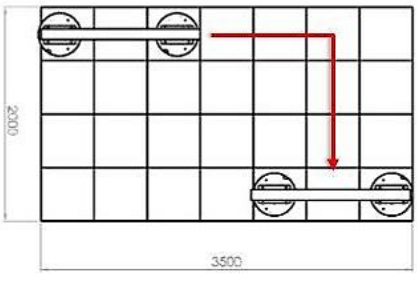


Figure 8 Route No. 1 of cooperative Object Transportation

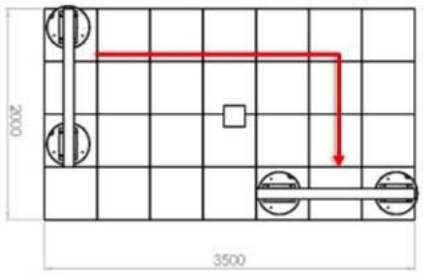


Figure 9 Route No. 2 of cooperative Object Transportation

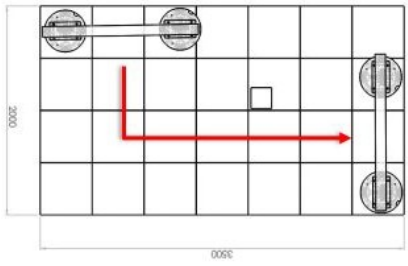


Figure 10 Route No. 3 of cooperative Object Transportation

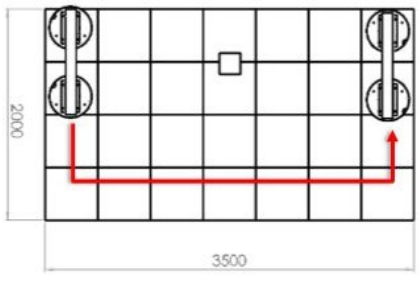


Figure 11 Route No. 4 of cooperative Object Transportation

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในโครงการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถทำงานได้ตามเป้าหมายของโครงการวิจัย ซึ่งก็คือ หุ่นยนต์ที่สามารถขนย้ายวัตถุร่วมกันได้ นอกจากนี้ ยังได้พัฒนาระบบวิชั่น เพื่อระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ และ ได้พัฒนาตัวควบคุมหุ่นยนต์ทั้งสองแบบอาศัยพฤติกรรม ผลการทดลอง พบว่า ตัวควบคุมสามารถควบคุมให้หุ่นยนต์ทั้งสองขนย้ายวัตถุและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง

งานวิจัยในอนาคต คณะผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาตัวควบคุมที่สามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถ

หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับการขนย้ายวัตถุในสถานประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อมได้ในอนาคต

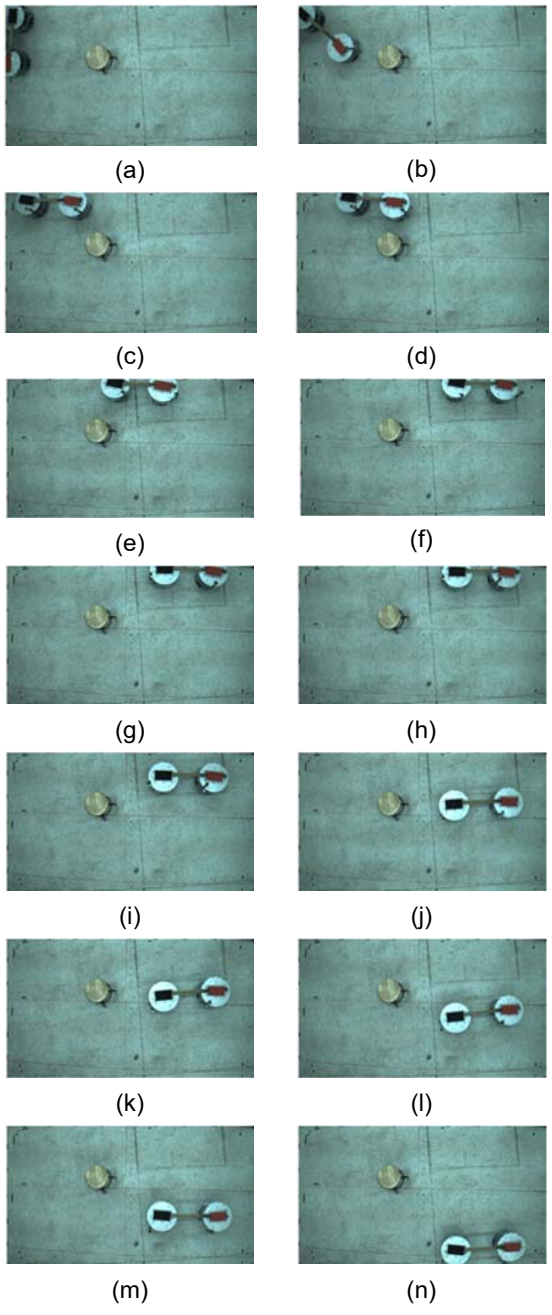


Figure 12 The robot movements snapshotted at every 15 seconds

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ ร้านโตการช่างที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสร้างหุ่นยนต์และโครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนจากศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Coordinating Center for Thai Government Science and Technology Scholarship Students) และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Science and Technology Development Agency) ปี พ.ศ.2557 คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Parker L. ALLIANCE: An architecture for fault tolerant, cooperative control of heterogeneous mobile robots. Proceedings of the Int. Conf. Intelligent Robots and Systems; 1994 Sep; Munich, Germany, p. 776 - 83.
2. Miyata N, Ota J, Arai T, Asama H. Cooperative transport by multiple mobile robots in unknown static environments associated with real-time task assignment. IEEE Trans. On Robotics and Automation 2002;18(5): 769–80.
3. Wang Z, Takano Y, Hirata Y, Kosuge K. Decentralized cooperative object transportation by multiple mobile robots with a pushing leader. Distributed Autonomous Robotic Systems 2007; 453–462.
4. Hirata Y, Kume Y, Sawada T, Wang Z, Kosuge K. Handling of an object by multiple mobile manipulators in coordination based on caster-like dynamics. Proceedings of the Int. Conf. on Robotics and Automation; 2004 Apr.; New Orleans, USA, p. 807-12.
5. Gross R, Dorigo M. Cooperative transport of objects of different shapes and sizes. Proceedings of the 4th Int. Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence

(ANTS 2004); 2004 Sep.; Brussels, Belgium, p. 106-17.

6. Wang Z, Hirata Y, Kosuge K. Control a rigid caging formation for cooperative object transportation by multiple mobile robots. Proceedings of the Int. Conf. on Robotics and Automation; 2004 Apr.; New Orleans, USA, p. 1580-5.
7. Fink J, Hsieh M, Kumar V. Multi-robot manipulation via caging in environments with obstacles. Proceedings of the Int. Conf. on Robotics and Automation; 2008 May; Pasadena, CA, p. 1471-6.