

แบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุ ระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม**ยุทธพงษ์ จำปาแก้ว¹ ปิยรัตน์ มูลศรี² เจษฎาพร ปาคำวัง³ อาทิตย์ หุ้เต็ม^{4*}**

Received : May 23, 2022

Revised : December 26, 2022

Accepted : December 27, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง แบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการ ทฤษฎี การออกแบบ สร้างแบบจำลองจลศาสตร์ โดยใช้หลักการจลศาสตร์และสมการที่เกี่ยวข้อง โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้ 1) เพื่อออกแบบและสร้างยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม 2) เพื่อออกแบบคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม 3) เพื่อสร้างแบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม โดยเลือกใช้สนามแข่งขันหุ่นยนต์อาชีวศึกษา “บริการทางการแพทย์” (VEC Robots : Medical Transportation) ประจำปีการศึกษา 2563 โดยเปรียบเทียบระบบควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ 4 ชั้นตอน เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ พบว่า 1.ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น (ไปกลับ) ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 10.73 นาที่ มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 11.71 นาที่ มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 12.06 นาที่ มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 12.52 นาที่ ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.33 นาที่ มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.35 นาที่ มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.20 นาที่ มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.36 นาที่ 2.ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ (ไปกลับ) เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.18 นาที่ มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.20 นาที่ มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.27 นาที่ มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.73 นาที่ 3.ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เวลาเฉลี่ย 0.63 นาที่ ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เวลาเฉลี่ย 0.51 นาที่ และ 4.ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เส้นตรง 6 เมตร เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เวลาเฉลี่ย 0.41 นาที่ ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เวลาเฉลี่ย 0.43 นาที่

คำสำคัญ: จลศาสตร์ ยานพาหนะขนส่ง ระบบอัตโนมัติ ล้อแมคคานัม

¹ นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: toyoyutthapong18@gmail.com

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: piyarutto@hotmail.com

³ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: Jetsadapom.pa@pcru.ac.th

⁴ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

KINETIC MODEL OF 4-WHEEL MACHANUM AUTOMATION VEHICLE

Yutthapong Jampakaew¹ Piyaarut Moonsri² Jetsadaporn Pakamwang³ Artit Hutem^{4*}**Abstract**

Subject research kinematic model of mackanum 4-wheel automated transport vehicle by applying kinetic principles and related equations. The objectives of this research are as follows: 1) to design and build a four-wheel automatic vehicle, 2) to design a motion control command of a four-wheel automatic vehicle, 3) to create a model. Simulate the kinematics of the macanum 4-wheel automatic transport vehicle by choosing to use the vocational robot competition. "Medical Service" (VEC Robots: Medical Transportation) for the academic year 2020 by comparing the 4-step objective transport vehicle control system to test the vehicle's movement. Terrazzo patterned floor, moving 3 times per 0 kg payload, average time 10.73 minutes, 0.5 kg payload, averaging time 11.71 minutes, 1.0 kg payload, averaging time 12.06 minutes, 1.5 kg payload, averaging time 12.52 minutes. With A4 white paper moving 7 times per payload, 0 kg payload, average time 6.33 minutes, 0.5 kg payload, 6.35 min payload, 1.0 kg payload, 6.20 min payload, 1.5 kg payload, 6.36 min average time 2. Finger touch control system through the screen. Mobile (round trip) moves 3 times per payload Vehicle moving on a polished surface, payload 0 kg, average time 4.18 minutes, payload 0.5 kg, average time 4.20 minutes, payload 1.0 kg, average time 4.27 minutes, payload 1.5 kg, average time 4.73 minutes 3. Automatic system moves along a straight line 6 meter, travel 5 times per payload Vehicles moving on a polished surface with an average time of 0.63 minutes, vehicles moving on a flat surface supported by A4 white paper, an average time of 0.51 minutes, and 4. Finger touch controls via a mobile screen, straight line 6 meters, moving 5 times per payload. The vehicle moved on a polished surface, the average time was 0.41 minutes, the vehicle moved on A4 white paper, the average time was 0.43 minutes.

Keywords: Kinetics, Transport vehicle, Automatic system, Mackanum whee

¹ Master of Science Program in Education Science, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: toyoyutthapong18@gmail.com

² Department of Science Education, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: piyarutto@hotmail.com

³ Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: Jetsadaporn.pa@pcru.ac.th

⁴ Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: artithutem@pcru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: artithutem@pcru.ac.th

บทนำ

โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโรคโควิด 19 (Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)) มีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้สถานพยาบาลมีเตียงรองรับผู้ป่วยได้ไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องจัดสถานที่ไว้ในรูปแบบของโรงพยาบาลสนาม เพื่อให้การดูแล รักษา และเฝ้าสังเกตอาการผู้ป่วย ภายใน 14 วัน (กระทรวงสาธารณสุข ศบค, 2564 : 2-3) และได้มองเห็นความสำคัญของบุคลากรด้านการแพทย์และสาธารณสุขและเจ้าหน้าที่สนับสนุนงานด้านต่าง ๆ ในโรงพยาบาลสนาม ถ้าบุคลากรดังกล่าวใกล้ชิดและติดเชื้อ COVID-19 ทางตรงหรือทางอ้อมแล้วจะถูกกักบริเวณ ปริมาณบุคลากรที่รองรับการให้บริการเฉพาะทางจะลดลงอย่างน่าตกใจ โดยเฉพาะบุคลากรที่ให้บริการด้าน อุปกรณ์ดำรงชีพ รวมถึงยาและเวชภัณฑ์ ตามความจำเป็นและเหมาะสม (กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2564ก : 3-4) โดยหากจำเป็นสามารถดำเนินการส่งต่อโรงพยาบาลที่มีศักยภาพมากกว่าและปิดดำเนินการโรงพยาบาลเมื่อสิ้นสุดการระบาดหรือมีการควบคุมโรคได้อย่างเหมาะสม (กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, 2564 : 1)

ผู้วิจัยได้ศึกษา หลักการ ทฤษฎี การออกแบบ สร้างแบบจำลองจำลองศาสตร์ โดยใช้หลักการ จลศาสตร์ และสมการที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างแบบจำลองจำลองศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม มาช่วยอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ (Polset et al., 2020) ออกแบบและสร้างยานพาหนะขนส่งวัตถุ จากการเขียนโปรแกรมคำสั่ง Arduino IDE ควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในยานพาหนะ อาทิเช่น บอร์ดอ่านค่าพินแถบสีขา-ดำ บอร์ดแปลงกระแสไฟฟ้าแบตเตอรี่ บอร์ดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อบังคับการเคลื่อนที่ของล้อแมคคานัมทั้งสี่ล้อให้ยานพาหนะให้เคลื่อนที่ ล้อแมคคานัมเป็นล้อที่ทำให้รถหรือหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้รอบทิศทาง มีลูกกลิ้งจะทำมุมกัน 45 องศา สามารถเคลื่อนที่อิสระ เคลื่อนที่ได้ไวกว่าการใช้ล้อแบบปกติ ซึ่งจะช่วยขนส่งวัตถุหรือยาและเวชภัณฑ์ ตามความเหมาะสม (กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2564ข : 3-4) โดยเลือกใช้สนามแข่งขันหุ่นยนต์อาชีวศึกษา “บริการทางการแพทย์” (VEC Robots : Medical Transportation) ประจำปีการศึกษา 2563 (สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา, 2563 : 5) ทดสอบคำสั่งการควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติเดินทางที่กำหนดและระบบ Applications ผ่านสัญญาณในโทรศัพท์ตามลำดับ เพื่อขนย้ายวัตถุ ในการดำรงชีพ รวมถึงยาและเวชภัณฑ์แก่ผู้ป่วย ลดภาระงานและลดความเสี่ยงของบุคลากรในการติดเชื้อจากผู้ป่วยยืนยัน COVID-19 ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม
2. เพื่อออกแบบคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม
3. เพื่อสร้างแบบจำลองจำลองศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม

วิธีดำเนินการวิจัย

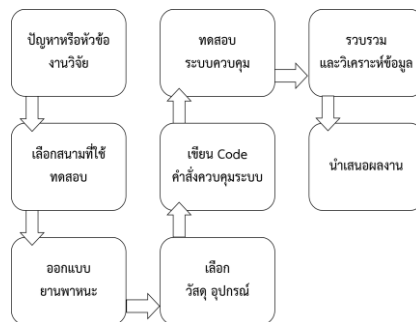
1. ขั้นตอนที่ 1 สรุปรวสภาพ ปัญหาและความต้องการ

ผู้วิจัยได้ออกแบบสอดคล้องกับคุณลักษณะของ หุ่นยนต์ให้บริการทางการแพทย์ (Medical transportation robot) มีขนาดความกว้างไม่เกิน 60 เซนติเมตร ยาวไม่เกิน 60 เซนติเมตร ความสูงไม่เกิน 100 เซนติเมตร และหนักไม่เกิน 25 กิโลกรัม มีแบตเตอรี่ไม่เกิน 24 โวลต์ พื้นสนาม มีขนาด 7 เมตร คูณ 7 เมตร ซึ่งเป็นการประยุกต์เทคโนโลยีมาใช้ในการสร้างหุ่นยนต์อัตโนมัติ บริการทางการแพทย์ นำส่งเวชภัณฑ์ยา ประกอบด้วย ถ้วยสำหรับใส่ยาและขวดน้ำดื่ม จากจุดจ่ายเวชภัณฑ์ยาและอาหารไปยังเตียงผู้ป่วย 4 เตียง และ ห้องพิเศษ 1

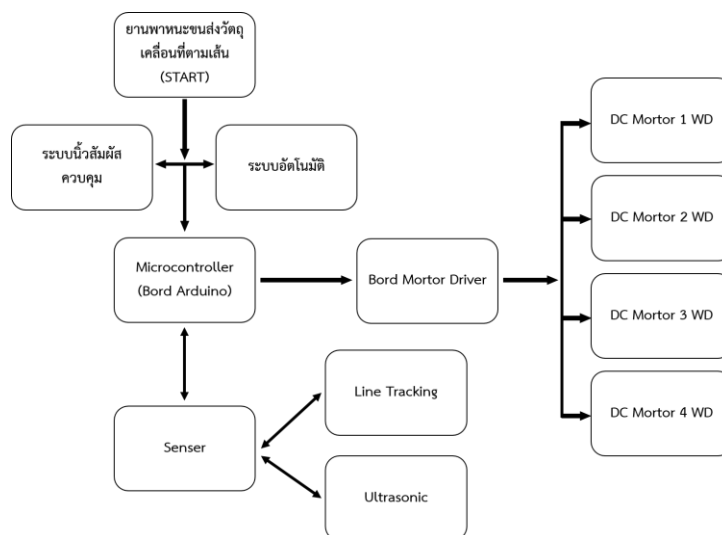
เพียง รวม 5 เพียง หรือ 5 จุด (สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา, 2564 : 4) เพื่อนำความรู้ดังกล่าวขนส่งเวชภัณฑ์ยาและน้ำดื่ม ตามความจำเป็น และเหมาะสม (กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2564ข : 3-4)

2. ขั้นตอนที่ 2 การวางแผนและออกแบบ

2.1 การวางแผนดำเนินงาน



ภาพที่ 1 แผนดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ช่วยควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ

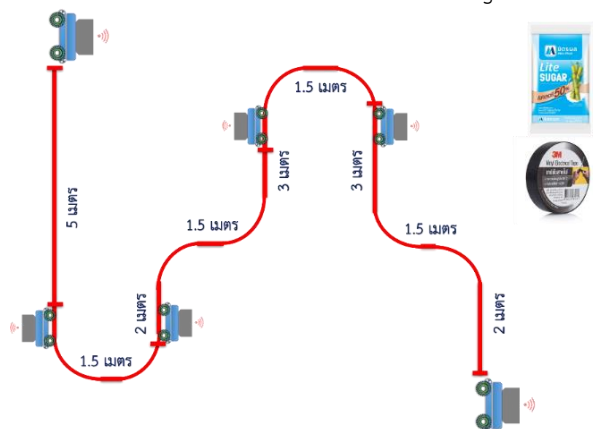
จากภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งเริ่มต้น หรือจุด START จากยานพาหนะขนส่งวัตถุ โดยใช้ระบบควบคุม 2 แบบ คือระบบอัตโนมัติ (จากการตั้งค่าไว้) และระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ (มีบอร์ด ESP WiFi รับสัญญาณมือถือ) ข้อมูลผ่านบอร์ด Microcontroller (Bord arduino) เมื่อ Sensor ทำงานหรือแปลงข้อมูลจะส่งข้อมูลย้อนกลับไปที่ Microcontroller และข้อมูลจะส่งต่อไปยัง Bord motor driver ควบคุมความเร็วของ Mortor และการหมุนของล้อทั้งสิ้น ใหยานพาหนะเคลื่อนที่ตามคำสั่งจากการเขียนโปรแกรม Arduino IDE

2.2 การออกแบบยานพาหนะ

การเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ การเขียนโปรแกรมคำสั่งพื้นฐานในการควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่รอบทิศทาง มีบทบาทสำคัญในการขนส่งและบริการอัตโนมัติ (Sun, 2020) และสามารถระบุตำแหน่งและทิศทางของหุ่นยนต์ที่แม่นยำจึงใช้เซ็นเซอร์หลายตัว (Shu, 2017) โดยใช้โปรแกรมที่ใช้ออกแบบชุดคำสั่งควบคุม คือ Arduino IDE เขียน Code คำสั่งพัฒนา IOT แพลตฟอร์ม arduino (กอบเกียรติสรุบล, 2561) โดยนำภาพที่ 5 ใช้เป็นสนามทดสอบในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 มวลของยานพาหนะ 9.47 kg



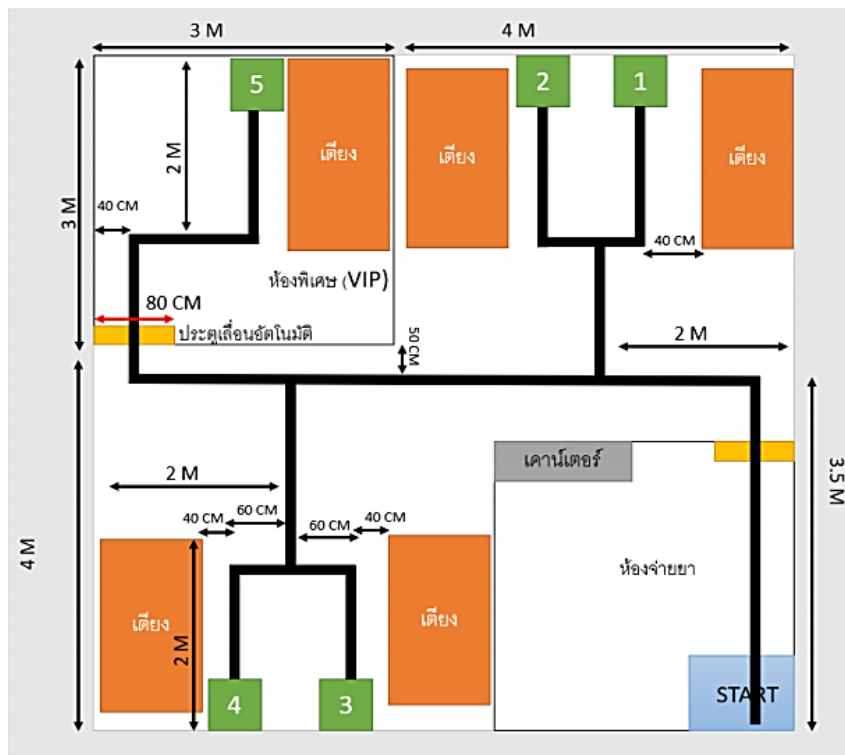
ภาพที่ 4 สนามทดสอบยานพาหนะ

2.3 การควบคุมยานพาหนะ

ระบบสื่อสารทางไกลในรูปแบบ WiFi ผ่านหุ่นยนต์ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและมีความเสมือนจริงในการควบคุมหุ่นยนต์ (กรีซ จันอาจ, 2558) และการออกแบบชุดคำสั่งพร้อมบันทึกข้อมูลในครั้งเดียวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ระบบควบคุมจากผู้ใช้งานจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นขึ้นอยู่กับการตั้งค่าพารามิเตอร์ของชุดคำสั่งในการเคลื่อนที่ (สรายุทธ นาขมิ้น และณิชนันท์ ขาวมงคล, 2560) และต้องมีประสิทธิภาพในการทำงาน (กันยาลักษณ์ โพธิ์ดัง, 2561) ระบบควบคุมของวัสดุที่ลำเลียงหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่หุ่นยนต์ใช้แซสซีที่ขับเคลื่อนสล็อตมีส่วนสำคัญช่วยให้เกิดความคล่องตัวรอบทิศทางในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะขนส่งวัตถุ ข้อมูลประกอบภาพที่ 8 และภาพที่ 9 ตามลำดับ

3. ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบยานพาหนะ

สร้างสนามจำลองและทำการทดสอบตามเส้นทางที่กำหนด เปรียบเทียบ การควบคุมยานพาหนะด้วยระบบ Applications ผ่านนิวส์สัมผัสจอมือถือและการควบคุมยานพาหนะด้วยระบบ อัตโนมัติ ค้นหาเส้นทางได้เอง การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเคลื่อนที่มีจำนวนมอเตอร์ที่แตกต่างกัน จะต้องมีการเปลี่ยนโปรแกรมในการสั่งงานการเคลื่อนที่ (พีรเดช เปรมใจ, 2560) และการขนถ่ายวัสดุโดยเลือกหุ่นยนต์ทำงานให้มีรอบเวลายาน (Cycle time) ได้เร็วที่สุด สามารถควบคุมหุ่นยนต์ที่มีลักษณะแตกต่างกันทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการขนถ่ายวัสดุ (พงศกร ชาญชัยชูจิต, 2561) มวลที่ใช้ทดสอบคือถุงน้ำตาลทรายขาว ขนาด 0.5 กิโลกรัม, 1.0 กิโลกรัม และ 1.5 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระบบควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ ดังนี้ ตอนที่ 1 เคลื่อนที่บนพื้นสนามที่กำหนด โดยใช้คำสั่งระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น ไปกลับ ตอนที่ 2 เคลื่อนที่บนพื้นสนามที่กำหนด โดยใช้คำสั่ง ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ ไปกลับ ตอนที่ 3 เคลื่อนที่บนพื้นเส้นตรง โดยใช้คำสั่งระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น เพื่อทำเวลาดีที่สุด ตอนที่ 4 เคลื่อนที่บนพื้นเส้นตรง โดยใช้คำสั่ง ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เพื่อทำเวลาดีที่สุด



ภาพที่ 5 สนามแข่งขันหุ่นยนต์บริการทางการแพทย์

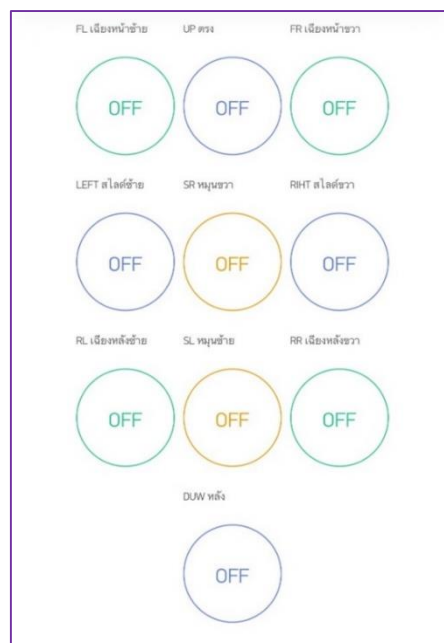
```

File Edit Sketch Tools Help
Robot

#define BLYNK_PRINT Serial
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
char auth[] = "qPNZ6uU-Lo6npdMB9VbWwHvQsf1K3B1Xz";
char ssid[] = "jame9";
char pass[] = "zarnane0909852189";
int up ; //ตรง
int duw ; //หลัง
int left ; //สไลด์ซ้าย
int Riht ; //สไลด์ขวา
int Fr ; //เฉียงหน้าซ้าย
int Fl ; //เฉียงหน้าขวา
int Rr ; //เฉียงหลังซ้าย
int Rl ; //เฉียงหลังขวา
int Sr ; //หมุนขวา
int Sl ; //หมุนซ้าย
int M_lin1 = D0;
int M_lin2 = D1;
int M_2in1 = D2;
int M_2in2 = D3;
int M_3in2 = D4;
int M_3in1 = D5;
int M_4in1 = D6;
int M_4in2 = D7;
int pwm = D8;

```

ภาพที่ 6 ตัวอย่างคำสั่งควบคุมยานพาหนะ โปรแกรม Arduino IDE



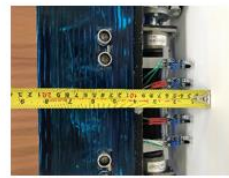
ภาพที่ 7 คำสั่งควบคุมระบบ Application(BLYNK) ผ่านมือถือ



8.1



8.2



8.3



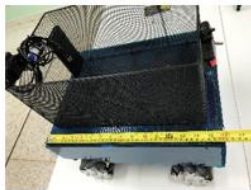
8.4



8.5



8.6



8.7



8.8



8.9

ภาพที่ 8 มิติของยานพาหนะ (ภาพ 8.1 ถึง 8.9)



9.1



9.2



9.3



9.4



9.5



9.6



9.7



9.8



9.9

ภาพที่ 9 พื้นเรียบต่างชนิดกัน (ภาพ 9.1 ถึง 9.9)

4. ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์สภาพปัญหาที่พบและพัฒนายานพาหนะขนส่งวัตถุ มีส่วนสำคัญในการปรับปรุง พัฒนาระบบชุดคำสั่งและวัสดุอุปกรณ์ที่รองรับ ให้มีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน (นันทพันธ์ กนกศิริจุฑา และคณิศร ภูนิคม, 2561) และนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์สร้างเป็นสมการจลน์ของระบบ ยานพาหนะเคลื่อนที่ขนส่งวัตถุได้รับอิทธิพลและมีผลต่อความแม่นยำในการเคลื่อนที่ (Guo, 2016) ซึ่งการออกแบบสมการจลน์ศาสตร์ที่ใกล้เคียงกับที่ได้จากผลการทดลอง ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าแพลตฟอร์มทำการเคลื่อนไหวยานพาหนะมีความสมบูรณ์ ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเคลื่อนที่ตามทิศทางที่กำหนดให้มีประสิทธิภาพการ (Zijie et al., 2019) และลักษณะของล้อ Mecanum เมื่อเทียบกับล้อทั่วไปและล้อเลื่อน การสั่นสะเทือนน้อยกว่า และเนื่องจากมุมของลูกกลิ้งทำงานโดยมีแรงเสียดทานกับพื้นน้อยลง (Teheri, 2020) การเคลื่อนที่รอบทิศทางของล้อ Mecanum 4 ล้อ และระบบควบคุมของยานพาหนะง่ายต่อการเปลี่ยนและอัปเดต การออกแบบตามการปรับปรุงสามารถเคลื่อนที่ได้เพื่อเพื่อขนส่งวัตถุ (Peng & Qian, 2016)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. การเปรียบเทียบระบบควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ

1.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด จำนวน 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก

ครั้งที่ 1 มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม (ยานพาหนะไม่บรรทุก) พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย 10.73 นาที และใช้น้อยที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 1 เวลา 10.47 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 3 เวลา 11.14 นาที

ครั้งที่ 2 มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 11.71 นาที และใช้น้อยที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 11.43 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 1 เวลา 12.14 นาที

ครั้งที่ 3 มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 12.06 นาที และใช้น้อยที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 11.57 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 1 เวลา 12.35 นาที

ครั้งที่ 4 มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 12.52 นาที และใช้น้อยที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 12.47 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 3 เวลา 12.58 นาที

1.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 จำนวน 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก

ครั้งที่ 1 มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม (ยานพาหนะไม่บรรทุก) พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 6.33 นาที และใช้น้อยที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 6.09 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 6 เวลา 7.05 นาที

ครั้งที่ 2 มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 6.35 นาที และใช้น้อยที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 6 เวลา 6.14 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 3 เวลา 7.04 นาที

ครั้งที่ 3 มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 6.20 นาที และใช้น้อยที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 7 เวลา 5.44 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 4 เวลา 6.51 นาที

ครั้งที่ 4 มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ย คือ 6.36 นาที และใช้น้อยที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 2 เวลา 5.52 นาที และใช้เวลามากที่สุด คือ การทดลองครั้งที่ 6 เวลา 7.56 นาที

1.3 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

ครั้งที่ 1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า

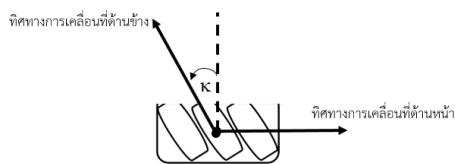
เวลาเฉลี่ย 0.53 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.55 นาที 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.51 นาที 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.54 นาที 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 1.01 นาที ใช้เวลาเฉลี่ย 0.63 นาที ครั้งที่ 2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า เวลาเฉลี่ย 0.49 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.54 นาที 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.49 นาที 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.51 นาที 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.52 นาที ใช้เวลาเฉลี่ย 0.51 นาที

1.4 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

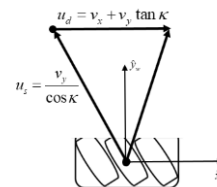
ครั้งที่ 1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า เวลาเฉลี่ย 0.37 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.38 นาที 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.44 นาที 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.43 นาที 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.45 นาที ใช้เวลาเฉลี่ย 0.41 นาที

ครั้งที่ 2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า เวลาเฉลี่ย 0.36 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.38 นาที 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.42 นาที 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.47 นาที 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.50 นาที ใช้เวลาเฉลี่ย 0.43 นาที

2. การเขียนแบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุ



10.1



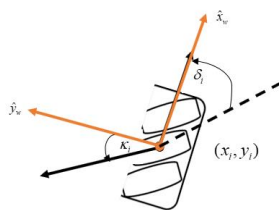
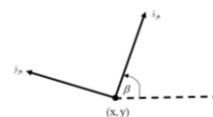
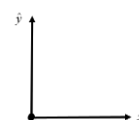
10.2

ภาพที่ 10 ทิศทางการเคลื่อนที่ของล้อและเวกเตอร์ของล้อลูกกลิ้ง

2.1 สมการ ความเร็วของล้อลูกกลิ้ง

$$u = \frac{v_d}{r} \quad (1)$$

$$u = \frac{1}{r} (v_x + v_y \tan \kappa) \quad (2)$$

11.2 ระบบล้อลูกกลิ้ง (wheel i)11.1 เฟรม f_b ของยานพาหนะ11.3 เฟรม f_s ของยานพาหนะ

ภาพที่ 11 ทิศทางของระบบเฟรม f_b , f_s และล้อลูกกลิ้งของยานพาหนะ (ภาพ 11.1 ถึง 11.3)

2.2 สมการความเร็วของล้อทั้งสี่ (Kuaykaew et. al., 2016)

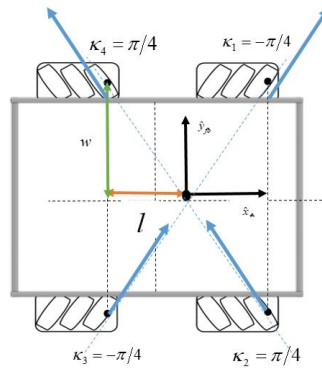
$$u_i = \eta_i(\beta) \dot{q} \quad (3)$$

$$u_i = \begin{bmatrix} \frac{1}{r} \frac{\tan \kappa_i}{r_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta_i & \sin \delta_i \\ -\sin \delta_i & \cos \delta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -y_i & 1 & 0 \\ x_i & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$u_i = \eta_i(\beta) \quad (5)$$

$$u_i = \frac{1}{r_i \cos \kappa_i} \begin{bmatrix} x_i \sin(\delta_i + \kappa_i) - y_i \cos(\delta_i + \kappa_i) \\ \cos(\delta_i + \kappa_i + \beta) \\ \sin(\delta_i + \kappa_i + \beta) \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

2.3 แบบจำลองเฟรมยานพาหนะบนสองล้อ



ภาพที่ 12 ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับระบบเฟรม f_b , f_s และล้อลูกกลิ้งของยานพาหนะ

2.4 สมการความเร็วของล้อทั้งสี่ของเฟรมยานพาหนะ

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$u = \eta(0) v_b \quad (8)$$

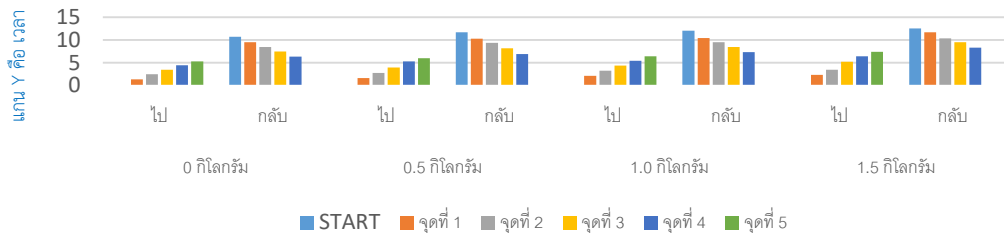
$$u = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} -l - w & 1 & -1 \\ l + w & 1 & 1 \\ l + w & 1 & -1 \\ -l - w & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{bx} \\ w_{by} \\ w_{bz} \end{bmatrix} \quad (9)$$

2.5 กราฟเปรียบเทียบปริมาณที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 1 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น (ไปกลับ)

ตอนที่ 1 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น

1.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก

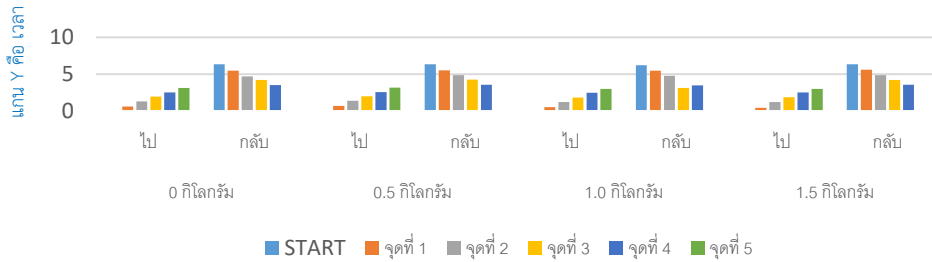


แกน X คือ มวลบนยานพาหนะ ไป-กลับ

ภาพที่ 13 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด จำนวน 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก

ตอนที่ 1 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น

1.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก



แกน X คือ มวลบนยานพาหนะ ไป-กลับ

ภาพที่ 14 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 จำนวน 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก

ตอนที่ 2 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ (ไปกลับ)

ตอนที่ 2 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ



แกน X คือ มวลบนยานพาหนะ ไป-กลับ

ภาพที่ 15 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ

ตอนที่ 3 ระบบอัตโนมัติ และตอนที่ 4 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เคลื่อนที่เส้นตรง 6 เมตร



ภาพที่ 16 ยานพาหนะเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

อภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง แบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้ 1) เพื่อออกแบบและสร้างยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม 2) เพื่อออกแบบคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม 3) เพื่อสร้างแบบจำลองจลศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม จากการทดสอบคำสั่งการควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติเดินทางตามเส้นทางที่กำหนด

จากการทดสอบยานพาหนะขนส่งวัตถุดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทดสอบการขนส่งวัตถุตามขนาดน้ำหนักต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบไปกลับรวม 5 จุด ตามภาพที่ 9 เมื่อประกอบตัวถังกับอุปกรณ์แล้วมาทดสอบการควบคุมยานพาหนะให้ได้ทิศทางเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดของสนามทดสอบ จึงเพิ่มมวลของถุงทรายวางบนตะกร้ารองน้ำหนักไว้ด้านบนของยานพาหนะ ซึ่งมวลที่ใช้ทดสอบคือถุงน้ำตาลทรายขาว มีขนาด 0.5 กิโลกรัม, 1.0 กิโลกรัม และ 1.5 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระบบควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ 4 ขั้นตอน เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ดังนี้

ตอนที่ 1 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้น (ไปกลับ)

1.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก พบว่า 1) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 10.73 นาที่ 2) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 11.71 นาที่ 3) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 12.06 นาที่ 4) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 12.52 นาที่ ตามลำดับ

1.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 7 ครั้งต่อมวลบรรทุก พบว่า 1) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.33 นาที่ 2) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.35 นาที่ 3) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.20 นาที่ 4) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 6.36 นาที่ ตามลำดับ

ตอนที่ 2 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ (ไปกลับ)

2.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 3 ครั้งต่อมวลบรรทุก พบว่า 1) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.18 นาที่ 2) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.20 นาที่ 3) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.27 นาที่ 4) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลาเฉลี่ย 4.73 นาที่

ตอนที่ 3 ระบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

3.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก และมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า (ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก) เวลาเฉลี่ย 0.53 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.55 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.51 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.54 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 1.01 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) ใช้เวลาเฉลี่ย 0.63 นาที

3.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า (ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก) เวลาเฉลี่ย 0.49 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.54 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.49 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.51 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.52 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) ใช้เวลาเฉลี่ย 0.51 นาที

ตอนที่ 4 ระบบนิวส์สัมผัสควบคุมผ่านจอมือถือ เคลื่อนที่ตามเส้นตรง 6 เมตร

4.1 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบลายหินขัด เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า (ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก) เวลาเฉลี่ย 0.37 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.38 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.44 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.43 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.45 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) ใช้เวลาเฉลี่ย 0.41 นาที

4.2 ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 เคลื่อนที่ 5 ครั้งต่อมวลบรรทุก ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนักและมีตะกร้ารองรับน้ำหนัก 0 kg, 0.5 kg, 1.0 kg และ 1.5 kg ตามลำดับ พบว่า 1) รถเปล่า (ไม่มีตะกร้ารองรับน้ำหนัก) เวลาเฉลี่ย 0.36 นาที 2) มวลบรรทุก 0 กิโลกรัม เวลา 0.38 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 3) มวลบรรทุก 0.5 กิโลกรัม เวลา 0.42 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 4) มวลบรรทุก 1.0 กิโลกรัม เวลา 0.47 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) 5) มวลบรรทุก 1.5 กิโลกรัม เวลา 0.50 นาที (ใส่ตะกร้ารองรับน้ำหนัก) ใช้เวลาเฉลี่ย 0.43 นาที

สรุป

แบบจำลองจำลองศาสตร์ของยานพาหนะขนส่งวัตถุระบบอัตโนมัติ 4 ล้อแมคคานัม สามารถช่วยอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ และช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการหมุนของล้อทั้งสี่ ให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ตามคำสั่งจากการเขียนโปรแกรม Arduino IDE ควบคุมยานพาหนะขนส่งวัตถุ บนพื้นเรียบลายหินขัด และบนพื้นเรียบรองด้วยกระดาษขาว A4 ซึ่งยานพาหนะจะเคลื่อนที่ได้ดีเมื่อมีมวลบรรทุกไม่มาก และลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสอดคล้องกับชุดคำสั่งที่ตั้งโปรแกรมไว้

ข้อเสนอแนะ

- 1) ชิ้นส่วนยานพาหนะสามารถ ถอดประกอบและซ่อมบำรุง หรือปรับเปลี่ยน อุปกรณ์ได้สะดวก
- 2) ตัวถังยานพาหนะควรขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวัสดุที่เบาเคลื่อนย้ายสะดวก เช่น อลูมิเนียม
- 3) วัสดุ อุปกรณ์ ควรหาซื้อได้ง่ายในชุมชน เพื่อปรับปรุงหรือซ่อมบำรุง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ของผู้บริหารโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลที่ให้ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ได้ให้ความรู้ ทักษะวิชาการต่าง ๆ นำไปประยุกต์ต่อยอดในการจัดการเรียนการสอน วิจัยด้านสิ่งประดิษฐ์ทางการแพทย์ และอาจารย์ทุกท่านในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในด้านความรู้ เนื้อหาทักษะและสมรรถนะการวิจัย ซึ่งจะได้นำความรู้ที่ได้รับในการศึกษาไปปรับใช้ในการปฏิบัติหน้าที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2564ก). แนวทางการจัดตั้งโรงพยาบาลสนามกรณีมีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในวงกว้าง. 7 มกราคม 2564.
นนทบุรี: กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2564ข). แนวทางการจัดตั้งโรงพยาบาลสนามกรณีมีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในวงกว้าง. 9 มกราคม 2564.
นนทบุรี: กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข. (2564). แนวทางการจัดตั้งโรงพยาบาลสนาม. นนทบุรี: กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข.
- กระทรวงสาธารณสุข ศบค. (2564). ความคืบหน้าสถานการณ์ในประเทศไทย ฉบับที่ 152. น. 2-3. ข้อมูลแถลงข่าวภาคเที่ยงโดย ศบค. กระทรวงสาธารณสุข. 11 กุมภาพันธ์ 2564
ณ สำนักงานองค์การอนามัยโลกประจำประเทศไทย. นนทบุรี : สำนักงานปลัดกระทรวงฯ
กรีซ จันอาจ. (2558). การพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- กอบเกียรติ สระอุบล. (2561). พัฒนา IOT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: อินเทอร์เน็ตเดีย
- กันยาลักษณ์ โพธิ์ดง. (2561). กะทิหุ่นยนต์จ่ายยาอัตโนมัติสำหรับผู้ป่วยและผู้พิการทางสายตา. พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
- นันทพันธ์ กนกศิริจุฑา, และคณิศร ภูนิคม (2561). พัฒนาการออกแบบจำลองรถลำเลียงอัตโนมัติ(เอจีวี)ด้วยการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2560 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- พงศกร ชาญชัยชูจิต. (2561). ระบบการจัดการหุ่นยนต์หลายตัวสำหรับขนถ่ายวัตถุในโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พีรเดช เปรมใจ. (2560). การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์หลายแพลตฟอร์ม ระบบฮาร์ดแวร์ การควบคุมและแสดงตำแหน่ง. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

- สรายุทธ นาขมิ้น, และณิชนันท์ ขาวมงคล. (2560). **พาหนะขนส่งเคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยระบบขับเคลื่อนแบบล้อแมคคานัม**. ปรินซ์นิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา. (2563). **กติกการแข่งขันหุ่นยนต์อาชีวศึกษา”บริการทางการแพทย์”ประจำปีการศึกษา 2563**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
- สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา. (2564). **กติกการแข่งขันหุ่นยนต์อาชีวศึกษา “บริการทางการแพทย์” (VEC Robots : Medical Transportation) ประจำปีการศึกษา 2563**. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.
- Guo, S., (2016). Accuracy analysis of omnidirectional mobile manipulator with mecanum Wheels. **Adv. Manuf.**, 15(4), 363-370.
- Kuaykaew, S., Kerdmee, S., Banyenugam, P., Moonsri, P., & Hutem, A. (2016). The Analytical Description of Projectile Motion of Cricket Ball in a Linear Resisting Medium the Storm Force. **Applied Mechanics and Materials**, 855, 188-191.
- Peng, T., & Qian, J. (2016). Mechanical Design and Control System of an Omni-directional Mobile Robot for Material Conveying. **ScienceDirect .Procedia CIRP**, 56(12) 412-415
- Polset, S., Wadsuntud, K., & Jaikwang, P. (2020). The development of small free 4-wheel drive electric cart for the disabled. **VRUResearch and Development Journal Science and Technology**, 15(3), 119-128.
- Shu, B. (2017). Position Compensation Algorithm for Omnidirectional Mobile Robots and Its Experimental Evaluation. **International Journal of precision engineering and manufacturing**, 18(12), 1755-1762.
- Sun, Z. (2020). Path-following control of Mecanum-wheels omnidirectional mobile robots using nonsingular terminal sliding mode. **Mechanical Systems and Signal Processing**, 147(2021), 107128.
- Teheri, H. (2020). Omnidirectional mobile robots, mechanisms and navigation Approaches. **Contents lists available at ScienceDirect, Mechanism and Machine Theory**, 153(2020), 103958.
- Zijie, N., Qiang, L., Yonjie, C. & Zhijun, S. (2019). Fuzzy Control Strategy for Course Correction of Omnidirectional Mobile Robot. **International Journal of Control, Automation and Systems**, 17(9), 2354-2364.