

การออกแบบและวิเคราะห์หุ่นยนต์ขึ้นบันได

Design and Analysis of an adjustable Wheel-legs for Stair Climbing Robot

ธเนศ รัตนะจินดาวงศ์ สโรช ไทรเมฆ และ ถิวดา มณีวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 โทรศัพท์: 0-2470-9339 โทรสาร: 0-2470-9691

อีเมลล์: tanet_net@hotmail.com, saroj@fibo.kmutt.ac.th , praew@fibo.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาหลักการเคลื่อนที่ขึ้นบันไดของหุ่นยนต์ โดยออกแบบให้หุ่นยนต์มีขาเก็บอยู่ภายในล้อ โดยใช้ล้อเคลื่อนที่บนพื้นราบ และใช้ขาเคลื่อนที่ขึ้นบันได ซึ่งการออกแบบหุ่นยนต์ขึ้นบันได นอกจากจะสร้างตัวหุ่นยนต์แล้วจะต้องคำนึงถึงลักษณะของบันไดด้วย เพราะว่าหุ่นยนต์อาจขึ้นบันไดที่มีความสูงและความลึกตามที่กำหนดได้ แต่ถ้าบันไดมีความสูงและความลึกต่างจากที่กำหนดอาจทำให้หุ่นยนต์ขึ้นบันไดไม่ได้เนื่องจากกลไกการทำงานหรือรูปร่างของตัวหุ่นยนต์เอง ดังนั้นหากออกแบบให้หุ่นยนต์สามารถยืดและหดขาได้เพื่อปรับช่วงการก้าวขึ้นบันไดก็จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การจำลองในคอมพิวเตอร์(Simulation) ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ขึ้นบันไดที่มีลักษณะความสูงหรือความลึกแตกต่างกันไปเพื่อดูเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์ (Trajectory) จะได้นำมาวิเคราะห์ปรับช่วงการก้าวเดินของหุ่นยนต์เพื่อขึ้นบันได

Abstract

This paper aims to study the motion of a stair climbing robot which has adjustable wheel-legs design. The leg can be retracted into the wheel on a normal flat terrain operation to maximize the forward moving speed. When approaching a stair or an uneven terrain, the leg can be extended from the wheel to increase its climbing ability. The robot can adapt its configuration to comply with different stair condition such as different in step depth and height. The extend and retract configuration during the rotation cycle called the climbing gait was designed according to the different stair conditions. The trajectories of the robot motion according to the proposed gait design are shown in the simulation.

Keywords

Wheel-legs, Stair climbing robot, Extension/Retraction leg, Gait design, Simulation

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้น หนึ่งในนั้นคือเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์ จากงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ขึ้นบันไดได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ทั้งวิธีการขึ้นบันได กลไกในการส่งแรง การควบคุมหุ่นยนต์ รวมไปถึงลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นบันไดของหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 7 รูปแบบ ดังนี้

1. การเคลื่อนที่ขึ้นบันไดด้วยล้อติดตะขาบ เช่น Urban[1], PackBot, iBOT
2. การเคลื่อนที่ขึ้นบันไดด้วยขา เช่น Asimo, HRP2, RHex [2]
3. การเคลื่อนที่ขึ้นบันไดด้วยล้อ เช่น Shrimp[3], Helios V[4]
4. การเคลื่อนที่ขึ้นบันไดด้วยการกระโดด เช่น Scout[5]
5. การเคลื่อนที่ขึ้นบันไดด้วยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการรวมตัวกัน เช่น Polybot[6]
6. การเคลื่อนที่ขึ้นบันไดด้วยการผสมผสานกันระหว่างล้อและขา เช่น Whegs[7], WorkPartner [8]
7. อื่นๆ เช่น OmniTread Serpentine Robot, Three Gremlin Robots Docked[9]

จากความสามารถของหุ่นยนต์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้มีการนำหุ่นยนต์มาใช้ในงานทางด้านการสำรวจพื้นที่ ด้านการค้นหาผู้ประสบภัยจากเหตุการณ์ต่างๆ เพื่อเป็นการช่วยเหลือเจ้าหน้าที่ในการปฏิบัติงานที่มนุษย์ยากจะเข้าถึงหรือมีความเสี่ยงมากเกินไป ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวส่วนมากเป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะมีลักษณะพื้นผิวแบบใดและอาจเต็มไปด้วยสิ่งกีดขวาง หุ่นยนต์ที่ใช้ล้อในการเคลื่อนที่จึงไม่เหมาะสมเนื่องจากไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามสิ่งกีดขวางที่มีความสูงมากกว่าครึ่งหนึ่งของล้อได้ ส่วนหุ่นยนต์ที่ใช้ขาในการเคลื่อนที่สามารถที่จะก้าวข้ามสิ่งกีดขวางได้แต่ก็มีโครงสร้างของหุ่นที่ซับซ้อนทำให้การเคลื่อนที่ที่ช้า ดังนั้นจึงได้ออกแบบหุ่นยนต์ที่สามารถปรับเปลี่ยนลักษณะการเคลื่อนที่ตามสภาพแวดล้อมที่ต้องการใช้งาน โดยหุ่นยนต์จะมีการทำงานเป็น 2 รูปแบบ คือ การเคลื่อนที่บนพื้นราบด้วยล้อและการเคลื่อนที่ขึ้นบันไดด้วยการยืดขาที่อยูภายในล้อออกมาเพื่อขึ้นบันได ซึ่งสามารถนำหุ่นยนต์ไป

ประยุกต์ใช้ในงานสำรวจได้เพราะหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ในพื้นที่ขรุขระและปีนข้ามสิ่งกีดขวางได้

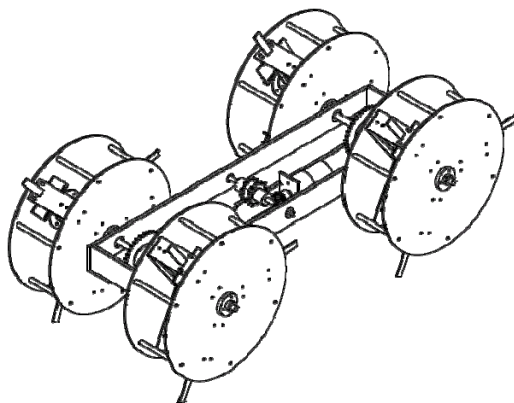
การนำเสนองานวิจัยนี้แบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกเป็นการออกแบบทางกล กล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ การออกแบบกลไกการเคลื่อนที่ที่ยืด/หดขาและการสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ ส่วนที่สองคือการวิเคราะห์หุ่นยนต์ขึ้นบันได กล่าวถึง จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ขึ้นบันไดและการออกแบบการปรับช่วงการก้าวเดินเพื่อขึ้นบันได ส่วนที่สามเป็นการจำลองการปรับช่วงการก้าวเดินเพื่อขึ้นบันไดและสุดท้ายเป็นสรุปและแนวทางการดำเนินงานในอนาคต

2. การออกแบบทางกล

การออกแบบทางกลสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ การออกแบบกลไกการเคลื่อนที่ที่ยืด/หดขาและการสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์มี 4 ล้อ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว โดยที่ภายในแต่ละล้อจะมีขาอยู่ 3 ขา ซึ่งถูกควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละขา รูปที่ 1. แสดงการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์และขนาดของหุ่นยนต์แสดงในตารางที่ 1.



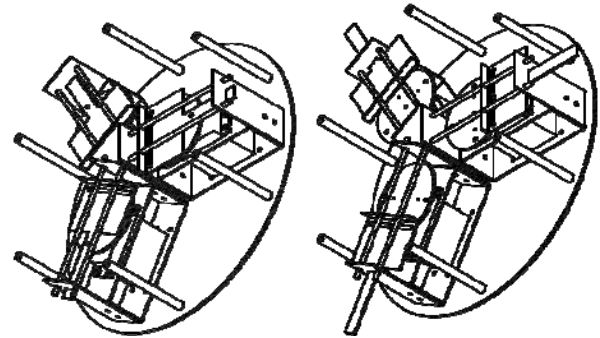
รูปที่ 1. โครงสร้างหุ่นยนต์

ตารางที่ 1. แสดงขนาดของหุ่นยนต์ขึ้นบันได

รายละเอียดข้อมูล	หน่วย
ความกว้าง	330 มิลลิเมตร
ความยาว	500 มิลลิเมตร
ความสูง	110 มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางล้อ	220 มิลลิเมตร
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	2 ตัว
เซอร์โวมอเตอร์	12 ตัว
ระยะยืดของขา	50 มิลลิเมตร
น้ำหนักรวมทั้งหมด	5 กิโลกรัม

2.2 การออกแบบกลไกการเคลื่อนที่ที่ยืด/หดขา

การออกแบบกลไกการเคลื่อนที่ที่ยืด/หดขา โดยติดตั้งขาเข้ากับเซอร์โวมอเตอร์ เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนจะเปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นการเคลื่อนที่แบบเลื่อนแทน ส่งผลให้ขาขยับยืดเข้า/ออกตามการควบคุม แสดงรูปเมื่อขาเก็บอยู่ในล้อและขาเมื่อยืดออกจากล้อได้ดังรูปที่ 2. และ 3. ตามลำดับ



รูปที่ 2. ขาเก็บอยู่ในล้อ

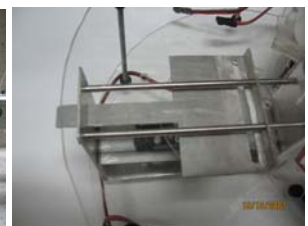
รูปที่ 3. ขายืดออกจากล้อ

2.3 การสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบ

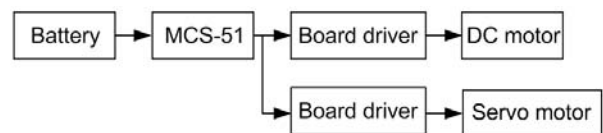
การสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นชิ้นส่วนทางกลซึ่งมีกลไกยืด/หดขาควบคุมโดยเซอร์โวมอเตอร์ในแต่ละขาดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1, 2.2 และส่วนของวงจร ซึ่งแสดงเป็นแผนผังของระบบ โดยมีแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานป้อนให้กับระบบทั้งหมด ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) ประมวลผลคำสั่งส่งไปยังบอร์ดขับมอเตอร์กระแสไฟฟ้ากระแสตรงและบอร์ดขับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเซอร์โวมอเตอร์ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4, 5 และ 6)



รูปที่ 4. ล้อหน้า



รูปที่ 5. ขาของหุ่นยนต์

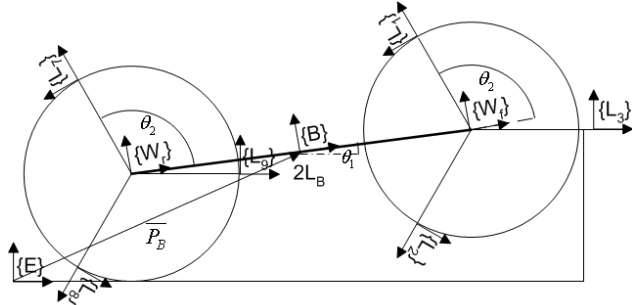


รูปที่ 6. แผนผังของระบบ

3. การวิเคราะห์หุ่นยนต์ขึ้นบันได

การวิเคราะห์หุ่นยนต์ขึ้นบันไดถูกคำนวณด้วยวิธีทางเรขาคณิต แบ่งเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

3.1 จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ขึ้นบันได



รูปที่ 7. แบบจำลองสมมูลของหุ่นยนต์ขึ้นบันได

จากรูปที่ 7. แสดงแบบจำลองสมมูลของหุ่นยนต์ขึ้นบันได โดยมี $\{E\}, \{B\}, \{W_f\}, \{W_r\}, \{L_i\}$ ถูกกำหนดเป็นแกนอ้างอิงโลก, แกนของตัวหุ่นยนต์, แกนของล้อหน้า, แกนของล้อหลัง, แกนอ้างอิงของขาที่ i (โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, 12$) ตามลำดับ โดยมี $\overline{P_B}$ เป็นเวกเตอร์ระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์, L_B คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์ไปยังจุดล้อ, θ_1 คือ มุมระหว่างแกนของตัวหุ่นยนต์กับแกนในแนวนอน (แกน X), θ_2 คือ มุมระหว่างแกนของตัวหุ่นยนต์กับแกนของขาที่ 1

ขาข้างขวาและซ้ายของล้อหน้าถูกกำหนดเป็นขา 1, 2, 3 และ 4, 5, 6 ตามลำดับ (ขา 1 อยู่ตำแหน่งเดียวกันกับขา 4, ขา 2 อยู่ตำแหน่งเดียวกันกับขา 5, ขา 3 อยู่ตำแหน่งเดียวกันกับขา 6) และในกรณีขาข้างขวาและซ้ายของล้อหลังถูกกำหนดเป็นขา 7, 8, 9 และ 10, 11, 12 ตามลำดับ (ขา 7 อยู่ตำแหน่งเดียวกันกับขา 10, ขา 8 อยู่ตำแหน่งเดียวกันกับขา 11, ขา 9 อยู่ตำแหน่งเดียวกันกับขา 12)

กำหนดให้

$\overline{P_B}, \overline{V_B}$ คือ เวกเตอร์ตำแหน่งและความเร็วของหุ่นยนต์ตามลำดับ

$\overline{P_{W_f}}, \overline{V_{W_f}}$ คือ เวกเตอร์ตำแหน่งและความเร็วที่ล้อหน้าตามลำดับ

$\overline{P_{L1}}, \overline{V_{L1}}$ คือ เวกเตอร์ตำแหน่งและความเร็วที่ขา 1 ตามลำดับ

ω_{L1} คือ เวกเตอร์ความเร็วเชิงมุมของขา 1 ของล้อหน้า

$$\theta_{12} = \theta_1 + \theta_2$$

ตำแหน่งและความเร็วที่ตัวหุ่นยนต์แกน $\{B\}$ หาได้จาก

$$\overline{P_B} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\overline{V_B} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad (2)$$

ตำแหน่งและความเร็วที่ล้อหน้าแกน $\{W_f\}$ หาได้จาก

$$\overline{P_{W_f}} = \begin{bmatrix} x + L_B \cos \theta_1 \\ y + L_B \sin \theta_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\overline{V_{W_f}} = \begin{bmatrix} \dot{x} - L_B \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \\ \dot{y} + L_B \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

ตำแหน่ง ความเร็วและความเร็วเชิงมุมที่ล้อหน้าแกน $\{L_1\}$ หาจาก

$$\overline{P_{L1}} = \begin{bmatrix} x + L_B \cos \theta_1 + L_1 \cos \theta_{12} \\ y + L_B \sin \theta_1 + L_1 \sin \theta_{12} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\overline{V_{L1}} = \begin{bmatrix} \dot{x} - L_B \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - L_1 \dot{\theta}_{12} \sin \theta_{12} \\ \dot{y} + L_B \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + L_1 \dot{\theta}_{12} \cos \theta_{12} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\omega_{L1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_{12} \end{bmatrix} \quad (7)$$

กำหนดให้ขา 2 และ 3 ทำมุมกับขา 1 เป็น 120 และ 240 องศาตามลำดับ (ขา 1->ขา 2->ขา 3 นับทวนเข็มนาฬิกา) และขาที่อยู่ในล้อหลังหมุนเป็นมุมเดียวกันกับล้อหน้า

3.2 การออกแบบการปรับช่วงการก้าวเดินเพื่อขึ้นบันได

การทำงานของล้อเมื่อจะขึ้นบันไดจากขั้นที่ 1 ไปยังขั้นที่ 2 แสดงดังรูปที่ 8. ถึง 13. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะแบ่งออกเป็น 6 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1. ล้อหมุนจากจุดเริ่มต้นจนชนกับบันได

ช่วงที่ 2. ขายี้ออกมาจากล้อ

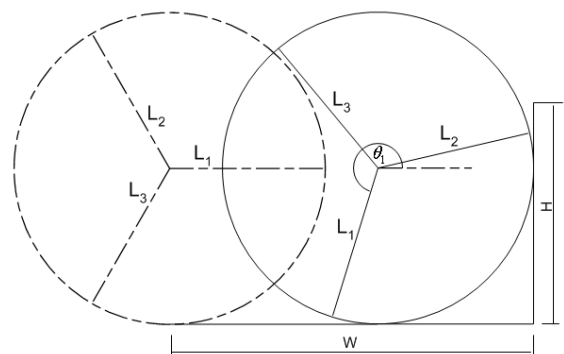
ช่วงที่ 3. ล้อหมุนต่อจนขาชนกับบันได

ช่วงที่ 4. ขายกตัวขนานกับเส้นแนวนอนของบันได

ช่วงที่ 5. ล้อยกตัวไปยังบันไดขั้นถัดไป

ช่วงที่ 6. ขาหดเก็บเข้าล้อ

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะคำนวณหาเวลาได้จากสมการที่ 8 ถึง 13 ดังนั้นการหาเวลาจึงสามารถระบุถึงกระบวนการปรับช่วงการก้าวเดินของหุ่นยนต์ได้

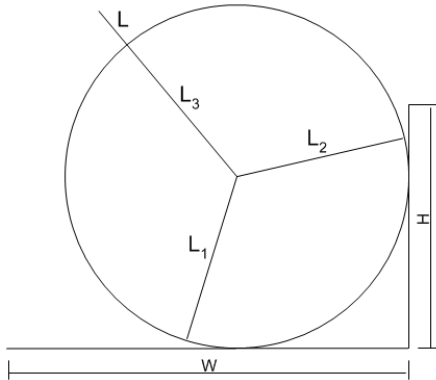


รูปที่ 8. เมื่อล้อหมุนจากจุดเริ่มต้นจนชนกับบันได (ช่วงที่ 1)

พิจารณาที่ล้อย่นาในรูปที่ 8. กำหนดให้ล้อย่นาด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ หุนยนต์จะถูกวานในท่าเริ่มต้นซึ่งมีขา L_1 วางตัวในแนวนอนขนานกับพื้น จากนั้นล้อย่นาจะหมุนจนกระทั่งชนกับบันได ดังนั้นจะหาเวลาช่วงที่ 1 (t_1) ได้จาก

$$t_1 = \frac{\theta_1}{\omega} \quad (8)$$

โดยที่ θ_1 คือ มุมระหว่างแกนของตัวหุนยนต์กับแกนอ้างอิงขา 1, ω คือ ความเร็วเชิงมุมของล้อย่นา



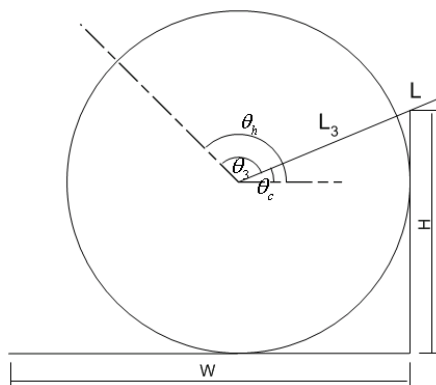
รูปที่ 9. การยัดขา (ช่วงที่ 2)

ช่วงที่ 2 เมื่อล้อย่นาไปชนกับขอบของบันไดจะตรวจสอบเงื่อนไขว่าล้อย่นาจะไปก่อกองศา เพื่อให้ขาใดควรจะทำออกมา ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็นขา 3 (วัดทวนเข็มนาฬิกา) ในรูปที่ 9. ตัวเซอร์โวมอเตอร์จะยัดขาให้มีระยะ L ตามที่กำหนด ซึ่งจะหาเวลาช่วงที่ 2 (t_2) ได้จาก

$$t_2 = \frac{\theta_{2_servo}}{\omega_{servo}} \quad (9)$$

โดยที่ θ_{2_servo} คือ มุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์,

ω_{servo} คือ ความเร็วเชิงมุมของเซอร์โวมอเตอร์ในการยัดขา



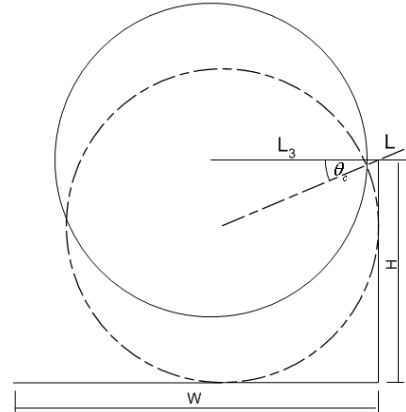
รูปที่ 10. เมื่อขา 3 ชนกับบันได (ช่วงที่ 3)

ต่อมาล้อย่นาจะหมุนไปเรื่อยๆจนกว่าขา 3 จะชนบันไดดังรูปที่ 10.

ซึ่งจะหาเวลาช่วงที่ 3 (t_3) ได้จาก

$$t_3 = \frac{\theta_h - \theta_c}{\omega} = \frac{\theta_3}{\omega} \quad (10)$$

โดยที่ θ_h คือ มุมระหว่างแกนของตัวหุนยนต์กับแกนอ้างอิงขา 3 (ก่อนชนบันได), θ_c คือ มุมระหว่างแกนอ้างอิงของตัวหุนยนต์กับแกนอ้างอิงขา 3 (หลังชนบันได), θ_3 คือ ผลต่างของมุม θ_h กับ θ_c , ω คือ ความเร็วเชิงมุมของล้อย่นา

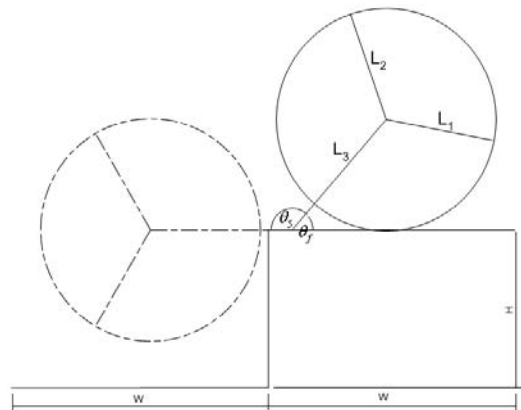


รูปที่ 11. เมื่อขา 3 ขนานกับบันได (ช่วงที่ 4)

ต่อมาล้อย่นาจะยกตัวส่งผลให้ขา 3 ขนานกับบันได ดังรูปที่ 11. ซึ่งจะหาเวลาช่วงที่ 4 (t_4) ได้จาก

$$t_4 = \frac{\theta_c}{\omega} \quad (11)$$

โดยที่ θ_c คือ มุมระหว่างมุมระหว่างแกนอ้างอิงของตัวหุนยนต์กับแกนอ้างอิงขา 3, ω คือ ความเร็วเชิงมุมของล้อย่นา

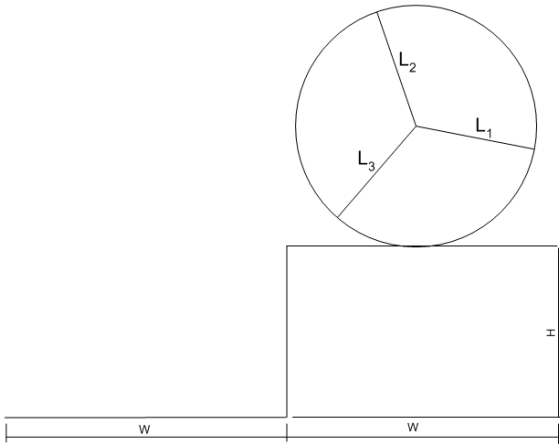


รูปที่ 12. ล้อย่นาตัวไปยังบันไดขั้นถัดไป (ช่วงที่ 5)

จากนั้นล้อย่นาจะยกตัวไปยังบันไดขั้นถัดไป ดังรูปที่ 12. ซึ่งจะหาเวลาช่วงที่ 5 (t_5) ได้จาก

$$t_5 = \frac{180^\circ - \theta_f}{\omega} = \frac{\theta_5}{\omega} \quad (12)$$

โดยที่ θ_f คือ มุมระหว่างแกนในแนวนอน(แกน x)กับขา 3, θ_5 คือ มุมการยกตัวขึ้นบันไดขั้นถัดไป, ω คือ ความเร็วเชิงมุมของล้อ



รูปที่ 13. ขา 3 จะหดเข้าภายในล้อ (ช่วงที่ 6)

จากรูปที่ 13. เซอร์โวมอเตอร์จะสั่งให้ขา 3 หดเข้าไปในล้อ ซึ่งจะหาเวลาช่วงที่ 6 (t_6) ได้จาก

$$t_6 = \frac{\theta_{6_servo}}{\omega_{servo}} \quad (13)$$

โดยที่ θ_{6_servo} คือ มุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์,

ω_{servo} คือ ความเร็วเชิงมุมของเซอร์โวมอเตอร์ในการหดขา

จากนั้นล้อจะหมุนจนกว่าจะชนบันไดขั้นที่ 2 ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนที่ที่หุ่นยนต์ทำงานเหมือนกับตอนอยู่บนบันไดขั้นที่ 1 ซึ่งค่าเวลาตั้งแต่ t_1 ถึง t_6 สามารถนำไปใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อศึกษาว่าหากเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร H (ความสูงของบันได) หรือ W (ความลึกของบันได) แล้วหุ่นยนต์จะต้องปรับเปลี่ยนช่วงการก้าวเดินอย่างไร ซึ่งได้แสดงผลการทดลองด้วยการจำลองในหัวข้อที่ 4.

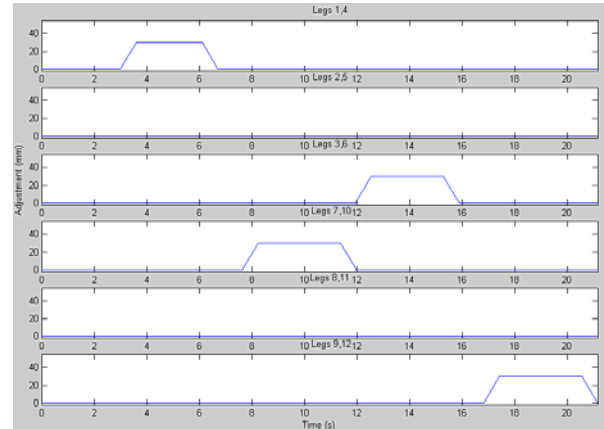
4. การจำลองการปรับช่วงการก้าวเดินเพื่อขึ้นบันได

นำสมการที่หามาได้จากหัวข้อที่ 3. ไปคำนวณหาค่าในโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้จำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขึ้นบันได โดยเขียนกราฟเพื่อหาช่วงเวลาที่ปรับช่วงการก้าวเดินเพื่อขึ้นบันได ใช้สมมติฐานในการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังนี้

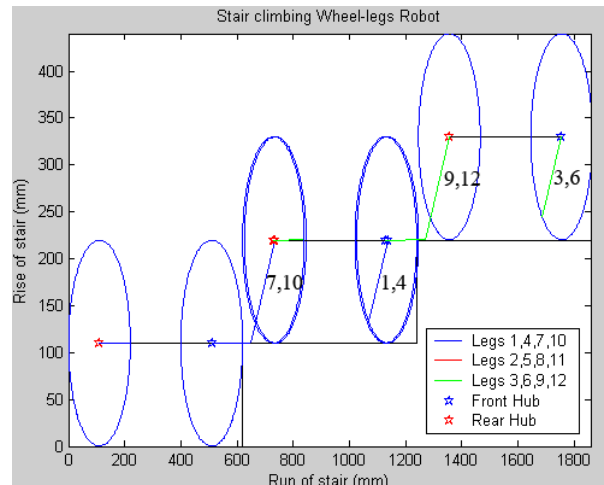
1. การเคลื่อนที่เป็นเคลื่อนที่แบบไม่มีการสั่นไถล
2. ไม่คิดผลจากความเฉื่อยที่เกิดขึ้น
3. การสัมผัสระหว่างขากับบันไดคิดเป็นจุดสัมผัส
4. มิติของหุ่นยนต์ถูกแทนที่ด้วยเส้นตรงเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา

การจำลองการปรับช่วงการก้าวเดินเพื่อขึ้นบันไดถูกแบ่งเป็น 2 เงื่อนไข โดยเงื่อนไขแรก คือ บันไดมี 2 ขั้น มีความลึก 620 มม. ความสูง 110 มม. ระยะในการยิดขา 30 มม. ล้อหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่เท่ากับ 1.55 รอบ/วินาที จะเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 14. และ 15.ตามลำดับ

จากรูปที่ 14. ที่บันไดขั้นที่ 1 ล้อหน้าขา 1,4 ยิดที่เวลา 2.99 ถึง 6.71 วินาที ล้อหลังขา 7,10 ยิดที่เวลา 7.64 ถึง 11.98 วินาที ที่บันไดขั้นที่ 2 ล้อหน้าขา 3,6 ยิดที่เวลา 12.00 ถึง 15.89 วินาที ล้อหลังขา 9,12 ยิดที่เวลา 16.82 ถึง 21.16 วินาที จะเห็นว่าหุ่นยนต์มีการปรับช่วงการก้าวเดิน คือ ขา 1,4 -> ขา 7,10 -> ขา 3,6 -> ขา 9,12 ส่วนรูปที่ 15. แสดงล้อขาเคลื่อนที่ขึ้นบันไดที่มีความลึก 620 และความสูง 110 มม.



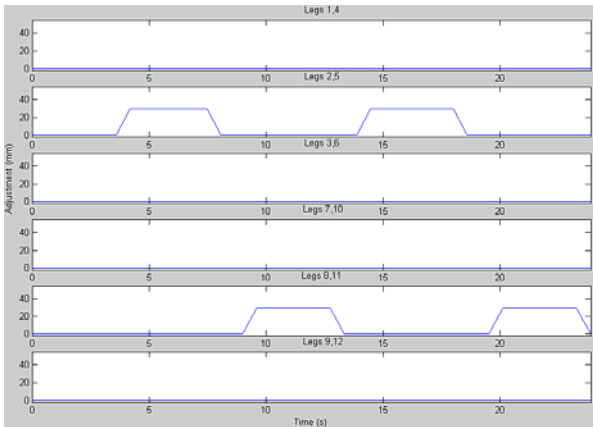
รูปที่ 14. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการยิด/หดของขา



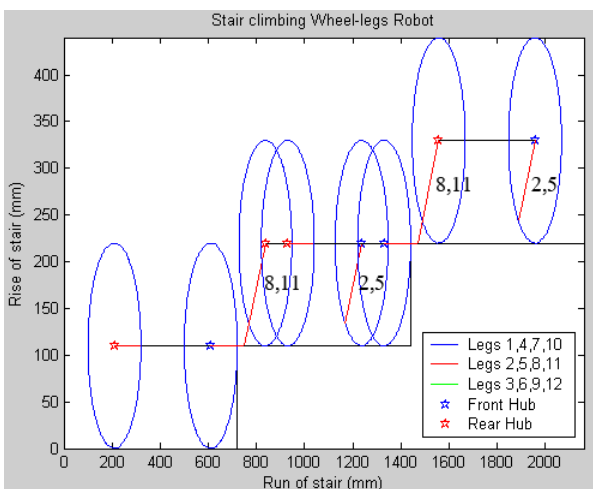
รูปที่ 15. หุ่นยนต์ขึ้นบันไดความลึก 620 และความสูง 110 มม.

เงื่อนไขที่สอง คือ บันไดมี 2 ขั้น มีความลึก 720 มม. ความสูง 110 มม. ระยะในการยิดขา 30 มม. ล้อหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่เท่ากับ 1.55 รอบ/วินาที จะเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 16. และ 17.ตามลำดับ

จากรูปที่ 16. ที่บันไดขั้นที่ 1 ล้อหน้าขา 2,5 ยิดที่เวลา 3.58 ถึง 8.06 วินาที ล้อหลังขา 8,11 ยิดที่เวลา 8.99 ถึง 13.33 วินาที ที่บันไดขั้นที่ 2 ล้อหน้าขา 2,5 ยิดที่เวลา 13.87 ถึง 18.59 วินาที ล้อหลังขา 8,11 ยิดที่เวลา 19.52 ถึง 23.86 วินาที จะเห็นว่าหุ่นยนต์มีการปรับช่วงการก้าวเดิน คือ ขา 2,5 -> ขา 8,11 -> ขา 2,5 -> ขา 8,11 ส่วนรูปที่ 17. แสดงล้อขาเคลื่อนที่ขึ้นบันไดที่มีความลึก 720 และความสูง 110 มม.



รูปที่ 16. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการยืด/หดของขา



รูปที่ 17. หุ่นยนต์ขึ้นบันไดความลึก 720 และความสูง 110 มม.

5. สรุปและแนวทางการดำเนินงานในอนาคต

ผลที่ได้จากการจำลองช่วยในการออกแบบการปรับระยะยืด/หดขา เมื่อบันไดมีขนาดเปลี่ยนไปจะมีผลต่อการปรับเปลี่ยนช่วงการเดินของหุ่นยนต์ด้วย ส่วนการออกแบบเป็นล้อขาที่มีข้อดีกว่าล้อ คือ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ข้ามสิ่งกีดขวางที่สูงกว่าครึ่งของล้อได้ ทั้งยังมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่ตามลักษณะของพื้นผิวที่จะปฏิบัติงานได้ หากพื้นที่เป็นผิวราบเรียบก็สามารถเคลื่อนที่ในรูปแบบของล้อและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบขาเมื่อต้องการขึ้นบันได และหากเปลี่ยนความลึกหรือความสูงของบันได หุ่นยนต์ก็สามารถปรับระยะยืด/หดขาเพื่อที่จะสามารถขึ้นบันไดที่เปลี่ยนไปได้ การดำเนินงานต่อไปจะปรับปรุงหุ่นยนต์ต้นแบบและทำระบบควบคุมเพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ตามที่วิเคราะห์ไว้ข้างต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ รวมไปถึงอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Matthies, Y.Xiong, R. Hogg, D.Zhu, A. Rankin, B.Kennedy, M.Hebert, R.Maclachlan, C.Won, T.Frost, G.Sukhatme, M.McHenry and S. Goldberg, "A portable, autonomous, urban reconnaissance robot" *Robotics and Autonomous Systems* 40, pp.163-172, 2002.
- [2] E.Z. Moore and M.Buehler, "Stable stair climbing in a simple hexapod robot" *Ambulatory Robotic Lab, Centre for Intelligent Machines, McGill University Montreal, QC, H3A 2A7, Canada.*
- [3] Roland Siegwart, Pierre Lamon, Thomas Estier, Michel Lauria and Ralph Piguet, "Innovative design for wheeled locomotion in rough terrain" *Robotics and Autonomous Systems* 40, pp.151-162, 2002.
- [4] Yasuyuki Uchida, Kazuya Furuichi and Shigeo Hirose, "Fundamental Performance of 6 Wheeled off-road Vehicle "HELIOS-V" " *Proc. of the 1999 IEEE, International Conference on Robotics & Automation, Detroit, Michigan, pp.2336-2341, May 1999.*
- [5] Sascha A. Stoeter, Paul E. Rybski, Maria Gini and Nikolaos Papanikolopoulos, "Autonomous Stair-Hopping with Scout Robots" *Center for Distributed Robotics Department of Computer Science and Engineering University of Minnesota, Minneapolis, U.S.A.*
- [6] Mark Yim, David G. Duff and Kimon D. Roufas, "Walk on the Wile Side", *Robotics & Automation Magazine, IEEE Volume 9, Issue 4, pp.49-53 Dec 2002,*
- [7] Roger D. Quinn, Gabriel M.Nelson, Richard J.Bachmann, Daniel A. Kingsley, John Offi and Roy E.Ritzmann, "Insect Designs for Improved Robot Mobility" *Proc. 4th Int.Conf.On Climbing and Walking Robots, Berns and Dillmann eds., Prof.Eng.Pub, pp.69-76, 2001.*
- [8] Same Ylonen and Aarne Halme, "Further Development and Testing of the Hybrid Locomotion of WorkPamer Robot" *Automation Technology, Helsinki University of Technology, Espoo,Finland.*
- [9] James Gaston, Kaarnran Raahemifar and Peter Hiscocks, "A Cooperative Network of Reconfigurable Stair-Climbing Robots" *IEEE/ISCAS International Symposium on Circuits and Systems, Island of Kos, Greece, pp.2553-2556, 21-24 May 2006.*