

การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อที่สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทางอย่างอิสระ

Control of an Omni-Directional Wheeled Mobile Robot

รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ มงคล เทียนวิบูลย์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email: fmevsv@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนของการพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อ ที่สามารถเคลื่อนที่ทั้งในแนวหน้า-หลัง แนวด้านข้าง และหมุนรอบตัวเอง หรือ การเคลื่อนที่ที่เกิดจากการรวมกันของการเคลื่อนที่ทั้งสามแบบได้อย่างอิสระ โดยใช้ตัวประมวลผลมากกว่าหนึ่งตัว ทำการควบคุมแบบขนาน กล่าวคือ ใช้ตัวประมวลผลกลางจำนวนหนึ่งตัวส่งคำสั่งไปยังตัวประมวลผลของแต่ละล้อจำนวนสี่ตัว การทดสอบประกอบด้วยการหาผลตอบสนองของแต่ละล้อที่มีต่อคำสั่งความเร็วที่มีลักษณะเป็นฟังก์ชันขั้นขนาดต่าง ๆ เคลื่อนที่ในลักษณะแนวเส้นตรง พบว่าความผิดพลาดของระยะทางการเคลื่อนที่สูงสุดมีค่าไม่เกิน 5.4% ภายในระยะการเคลื่อนที่ 1.5 เมตร ด้วยความเร็วไม่เกิน 0.6 เมตรต่อวินาที ความผิดพลาดเชิงมุมเมื่อหมุนรอบตัวเองมีค่าไม่เกิน 6.6% ต่อการหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ด้วยความเร็วไม่เกิน 2.1 เรเดียนต่อวินาที ทำการเคลื่อนที่เป็นวงปิตรูปสี่เหลี่ยม และ แปดเหลี่ยม เพื่อหาผลของความผิดพลาดสะสมที่มีต่อตำแหน่งสุดท้าย โดยที่ความผิดพลาดสะสมดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้เพื่ออ้างอิงกับสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นหัวข้อที่วิจัยต่อไปในอนาคต

Abstract

This research is to develop an omni-directional wheeled mobile robot which can move in forward-backward direction, lateral and rotation or combination of these three motion. We develop a parallel control architecture for controlling the robot. The motion of the robot is actuated by four DC servomotors connected to the wheels. Each motor will be controlled by one processor. The central

processor will responsible for sending the command to each wheel's local processor.

The experiments consist of measuring transient response of each wheels with respect to the different magnitude step functions. The motion error will be investigated from straight-line motion and rotating motion. For the 1.5 meter straight-line with speed setting below 0.6 m/s and rotating at fixed position with speed setting below 2.1 rad/sec, the maximum error is 5.4% and 6.6% respectively. The motion in close-trajectory such as square and octagon are also investigated. Most of the errors are effect by the environment conditions such as slip. This error can be reduced by incorporate more sensors for detecting environment to improve perceptual acuity which can be the research topics in the future.

1. บทนำ

เนื่องจากความสามารถของคอมพิวเตอร์ในระยะหลังมีความก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างมาก ทำให้การศึกษาเกี่ยวกับหุ่นยนต์มีความกว้างขวางมากขึ้น เพราะหัวใจของหุ่นยนต์ทั้งหลายจะขึ้นอยู่กับระบบประมวลผล นั่นก็คือคอมพิวเตอร์นั่นเอง ศาสตร์ทางด้านหุ่นยนต์เริ่มจากการพัฒนาเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ทำการประกอบ เคลื่อนย้ายชิ้นส่วน ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้อย่างง่าย ๆ ค่อย ๆ พัฒนาจนเป็นหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนด จนถึงสามารถตัดสินใจได้เองโดยอาศัยข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่บนตัวหุ่น แต่การที่หุ่นยนต์จะสามารถตัดสินใจและเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้องนั้น ตัวหุ่นเองจำเป็นต้องทราบตำแหน่งของตัวเอง เทียบกับสิ่งแวดล้อม

การหาตำแหน่งของหุ่นยนต์อย่างคร่าวๆ สามารถทำการคำนวณได้จากการหมุนของล้อแต่ละล้อ ซึ่งอาจจะเกิดความผิดพลาดได้หากเกิดการสั่นไถล โดยความผิดพลาดดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ โดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับเพื่ออ้างอิงกับสภาพแวดล้อม

2. การออกแบบที่เคยมี (Previous Work)

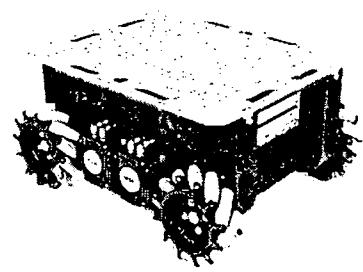
โดยระบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้กันทั่วไป มีอยู่ 3 แบบ ได้แก่ ใช้ล้อ, สายพาน และขา หุ่นยนต์ที่ใช้ล้อเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการสร้าง สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า ในกรณีที่น้ำหนักโครงสร้างเท่ากัน แต่ก็มีข้อเสียคือ เคลื่อนที่ได้ไม่ดันทันบนพื้นที่ขรุขระ โดยเฉพาะถ้าสิ่งกีดขวางมีขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับล้อ ในขณะที่ 2 ระบบที่เหลือสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ [1]

นิยามของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อ [2] คือ หุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่บนพื้นผิวได้ โดยอาศัยการขับเคลื่อนของชุดล้อที่สัมผัสกับพื้น ซึ่งติดตั้งอยู่บนตัวหุ่นยนต์ โดยชุดล้อหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างจุดที่ยึดชุดล้อกับพื้นผิว โดยมีจุดสัมผัสแบบหมุน (rolling contact) 1 จุด

โดยทั่วไป มีล้ออยู่ 3 ชนิดที่ใช้กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อ ได้แก่ ล้อธรรมดาเหมือนล้อรถยนต์, ล้อเคลื่อนที่ทุกทิศทาง (Omni-directional wheels) และล้อบอล (Ball wheels)

ปกติ ล้อแบบธรรมดามีองศาความอิสระ (Degree of Freedom, DOF) เท่ากับ 2 จึงต้องมีกลไกสำหรับเลี้ยวติดตั้งอยู่ เพื่อเพิ่มอีกหนึ่ง DOF ทำให้ล้อแบบนี้สามารถเคลื่อนที่บนระนาบในแนวเดียวกับการวางตัวของล้อ และหมุนได้รอบจุดสัมผัสระหว่างล้อกับพื้น

ล้อแบบ Omni-directional คิดในอีกแง่หนึ่ง ก็คือล้อแบบธรรมดาที่มีเกลียวพิเศษลักษณะเป็นลูกกลิ้ง ซึ่งติดตั้งเป็นมุม 70 องศาได้ที่ไม่เท่ากับศูนย์เมื่อเทียบกับการวางตัวของล้อ ลูกกลิ้งดังกล่าวทำให้ล้อชนิดนี้มี 3 DOF โดยไม่จำเป็นต้องมีกลไกเพิ่มเติม คือในแนวเดียวกับล้อ, ในแนวเดียวกับการหมุนของลูกกลิ้ง และ ในแนวการหมุนรอบจุดสัมผัส

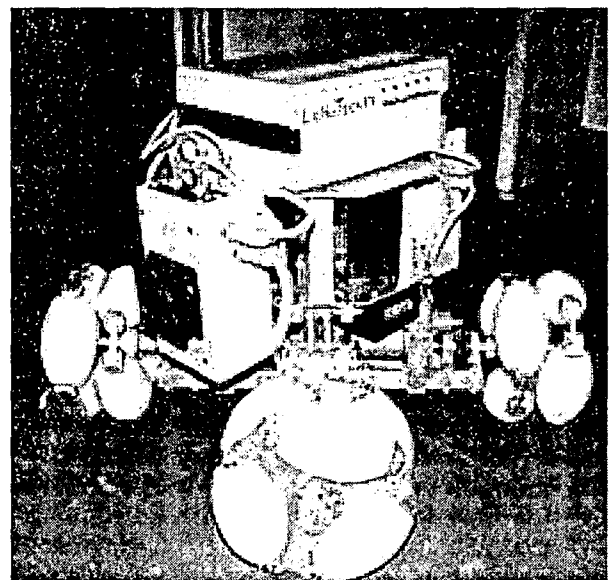


รูปที่ 1 ตัวอย่างล้อแบบ Omni-Directional ที่มีมุมระหว่างเพลาลูกกลิ้งกับเพลาชับเคลื่อน (70 องศา)

ล้อที่มีความคล่องตัวมากที่สุด คือ ล้อบอล ซึ่งให้ 3 DOFs โดยไม่มีการสั่นไถล แต่ล้อชนิดนี้สร้างได้ยาก จึงไม่เป็นที่นิยม

3. การออกแบบ

ระบบขับเคลื่อน ระบบขับเคลื่อนที่ใช้เป็นแบบ 4 ล้ออิสระจากกัน และเป็นล้อกำลังทั้งหมด ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนทั้งหมด 4 ตัว โดยมีมุมระหว่างเพลาลูกกลิ้งกับเพลาชับเคลื่อนเท่ากับ 90 องศา

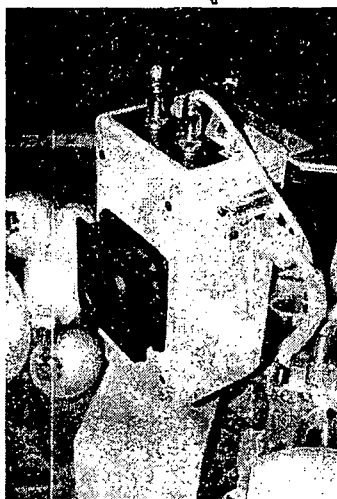


รูปที่ 2 "LoNoTech 4" หุ่นยนต์ที่ได้สร้างขึ้น

ระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics)

การขับเคลื่อนมอเตอร์จะผ่าน Full-Bridge Driver หมายเลข L298 [3] โดยปรับความเร็วโดยใช้วิธีการ Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งสัญญาณดังกล่าว สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข 89C1051 [4] ความกว้างของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงตามคำสั่งจากตัวควบ

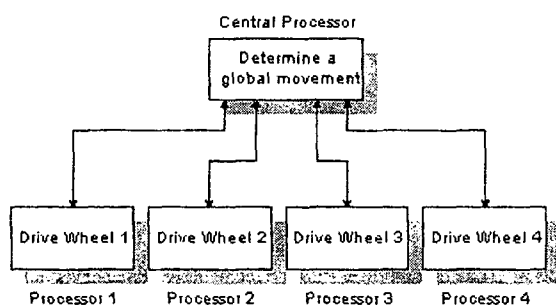
คุมของแต่ละล้อเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หมายเลข 89C51 [5] ซึ่งจะทำการควบคุมแบบ PID (Proportional - Integral - Differential) โดยอาศัยคำสั่งจากตัวประมวลผลหลัก (Central Processor) และสัญญาณป้อนกลับจากเอนโคเดอร์ (Encoder) ที่ติดตั้งอยู่กับเพลาล้อ



รูปที่ 3 ชัดควบคุมมอเตอร์

ระบบควบคุม

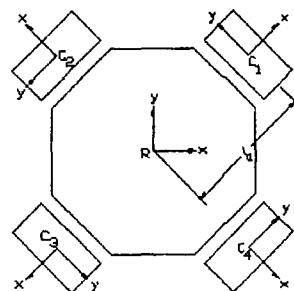
วิธีที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ ใช้การประมวลผลในลักษณะขนาน โดยใช้ตัวประมวลผลย่อยในการควบคุมแต่ละล้อ แล้วมีตัวประมวลผลหลักคอยประสานงาน การกระจายงานดังกล่าว ทำให้สามารถใช้ตัวประมวลผลที่มีความเร็วต่ำกว่า และ ประหยัด ทั้งยังทำให้ตัวประมวลผลหลักมีเวลาในการคิด และคำนวณมากขึ้น [6]



A parallel control architecture

รูปที่ 4 การควบคุมแบบขนาน

4. แบบจำลองการเคลื่อนที่



รูปที่ 5 การกำหนดแกนอ้างอิง

กำหนดแกนอ้างอิงตามรูปที่ 5 โดยมุมของแกนลูกกลิ้งที่ทำกับแกนเพลาล้อหลักที่ 1, 2, 3 และ 4 (η_1 , η_2 , η_3 และ η_4) มีค่าเท่ากับ 90 องศา สามารถหาสมการการเคลื่อนที่ผกผัน (Inverse Kinematic) ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \omega_{w_1x} \\ \omega_{w_2x} \\ \omega_{w_3x} \\ \omega_{w_4x} \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & l_a \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & l_a \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & l_a \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & l_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v}_{Bx} \\ \bar{v}_{By} \\ \bar{\omega}_{Bz} \end{bmatrix}$$

ส่วนสมการการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward Kinematic) จะอยู่ในรูป

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_{Bx} \\ \bar{v}_{By} \\ \bar{\omega}_{Bz} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{(1+l_a^2)^2} & -\frac{\sqrt{2}}{(1+l_a^2)^2} & \frac{\sqrt{2}}{(1+l_a^2)^2} & \frac{\sqrt{2}}{(1+l_a^2)^2} \\ \frac{\sqrt{2}}{(1+l_a^2)^2} & -\frac{\sqrt{2}}{(1+l_a^2)^2} & -\frac{\sqrt{2}}{(1+l_a^2)^2} & \frac{\sqrt{2}}{(1+l_a^2)^2} \\ \frac{4l_a^3}{(1+l_a^2)^2} & \frac{4l_a^3}{(1+l_a^2)^2} & \frac{4l_a^3}{(1+l_a^2)^2} & \frac{4l_a^3}{(1+l_a^2)^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{w_1x} \\ \omega_{w_2x} \\ \omega_{w_3x} \\ \omega_{w_4x} \end{bmatrix}$$

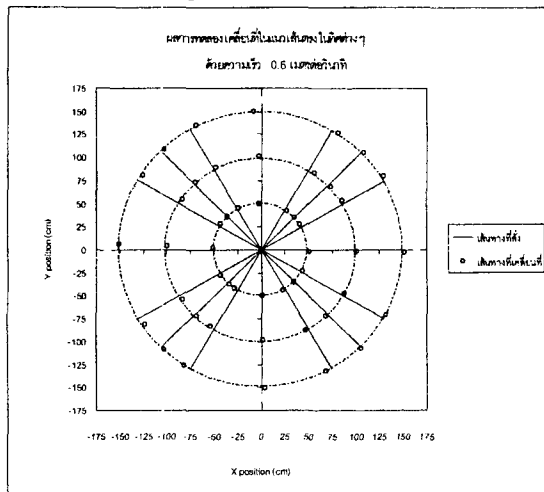
ความเร็วของแต่ละล้อทำการคำนวณจากสมการการเคลื่อนที่ผกผัน เมื่อทราบความเร็วของหุ่นที่ต้องการในทิศทางต่างๆ และในทางตรงข้าม ความเร็วล้อของหุ่นยนต์สามารถคำนวณกลับโดยอาศัยความเร็วของแต่ละล้อผ่านทางสมการการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

5. การทดลองและผลลัพธ์

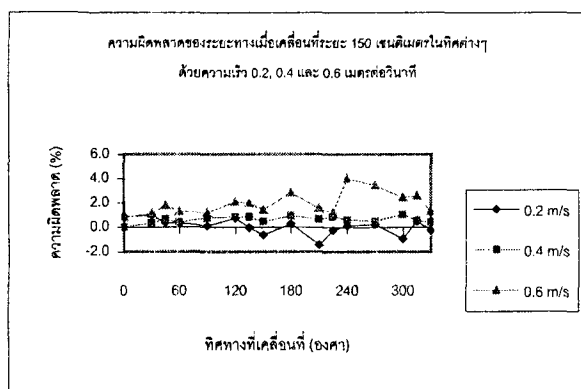
การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

ทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.2 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที ในทิศทาง 15 30 45 60 90 120 135 150 180 211 225 240 270 300 315 330 องศาโดยไม่หันหน้าหุ่น

ยนต์เป็นระยะ 50 100 และ 150 เซนติเมตร ตัวอย่างผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 ผลการทดลองเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงไปยังมุมต่างๆ ด้วยความเร็ว 0.6 เมตรต่อวินาที



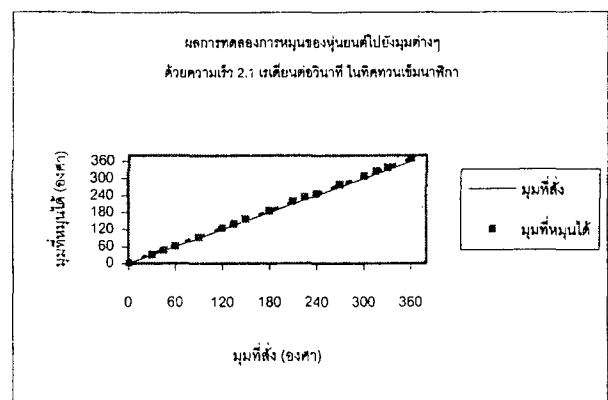
รูปที่ 7 ความผิดพลาดของระยะทางเมื่อเคลื่อนที่ระยะ 150 เซนติเมตรในทิศทางต่างๆ ด้วยความเร็วต่างๆ

เมื่อเคลื่อนที่ในทิศทาง 45, 135, 225 และ 315 องศา ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มต่ำกว่าการเคลื่อนที่ในทิศทางอื่น เนื่องจากการเคลื่อนที่ในทิศทางดังกล่าว ใช้ล้อขับเคลื่อนเพียง 2 ล้อ ส่วนอีก 2 ล้อหยุดอยู่กับที่ ซึ่งเป็นการขับเคลื่อนที่มีโอกาสเกิดการลื่นไถล (Slip) น้อยที่สุด เพราะมีความซับซ้อนน้อย ส่วนการเคลื่อนที่ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น คือการเคลื่อนที่ในทิศทาง 0, 90, 180 และ 270 องศา การเคลื่อนที่ดังกล่าวใช้ล้อทั้งสี่ในการขับเคลื่อน แต่ละล้อมีความเร็วเท่ากัน และการเคลื่อนที่ในทิศทาง 30, 60, 120, 150, 210, 240, 300 และ 330 องศา ที่แต่ละล้อมีความเร็วไม่เท่ากัน โอกาส

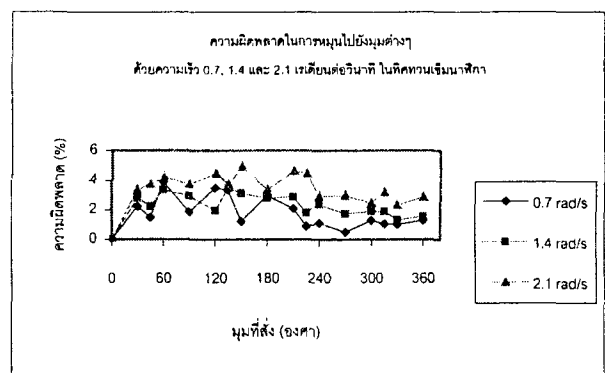
เกิดความผิดพลาดจะมีความซับซ้อนตามลำดับ ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ก็มีผลต่อความผิดพลาดเช่นกัน ที่ความเร็วสูงจะมีแนวโน้มในการผิดพลาดสูงกว่าที่ความเร็วต่ำ

การหมุนรอบตัวเอง

ทดสอบการหมุนรอบตัวเองของหุ่นยนต์ไปยังมุมต่างๆ ที่ความเร็วการหมุนต่างๆ กัน 3 ระดับ คือ 0.7, 1.4 และ 2.1 เรเดียนต่อวินาที ในทิศทางทวน และ ตามเข็มนาฬิกา เป็นมุม 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 180, 210, 225, 240, 270, 300, 330 และ 360 องศาตามลำดับ ตัวอย่างผลการทดลองแสดงในรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 ผลการทดลองการหมุนของหุ่นยนต์ไปยังมุมต่างๆ ด้วยความเร็ว 2.1 เรเดียนต่อวินาที ในทิศทางเข็มนาฬิกา



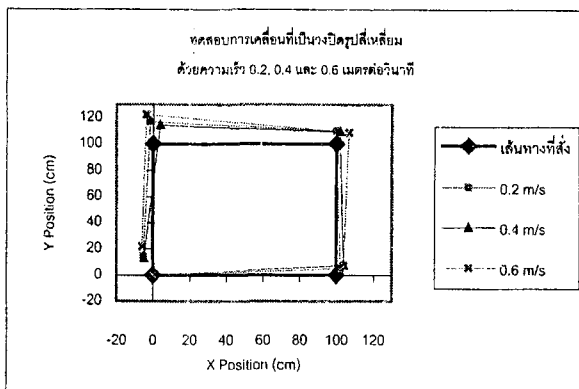
รูปที่ 9 ความผิดพลาดในการหมุนไปยังมุมต่างๆ ด้วยความเร็วต่างๆ ในทิศทางเข็มนาฬิกา

ความผิดพลาดในการหมุน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุน เนื่องจากการใช้ความเร็วในการหมุนสูงขึ้น เนื่องจากโมเมนตัมของหุ่นยนต์ก็มีค่าเพิ่มขึ้น

ตาม แรงที่ใช้หยุดหมุนก็จำเป็นต้องเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอาจมากกว่าขีดสูงสุดที่จะจ่ายให้ได้อาจของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ (Power Amplifier) ทำให้หยุดได้ไม่ตรงตำแหน่งที่ตั้ง และมุมที่หมุนได้มีแนวโน้มมากกว่ามุมที่ตั้งเสมอ

การเคลื่อนที่เป็นวงปิดรูปสี่เหลี่ยม

ทดสอบการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องของหุ่นยนต์โดยไม่หยุดวิ่ง เคลื่อนที่เป็นวงปิดรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส โดยไม่ทำการหันหน้าหุ่นยนต์ก่อนการเคลื่อนที่ แล้วกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น ทดลองโดยสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทาง $+X +Y -X$ และ $-Y$ ตามลำดับ ระยะเคลื่อนที่ทิศทางละ 1 เมตร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นวงปิดรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ทำการวัดตำแหน่งหลังจากเคลื่อนที่ในแนวแกนหนึ่งๆ เสร็จเรียบร้อย ทำการทดลองที่ความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที ตัวอย่างผลการทดลองแสดงในรูปที่ 10



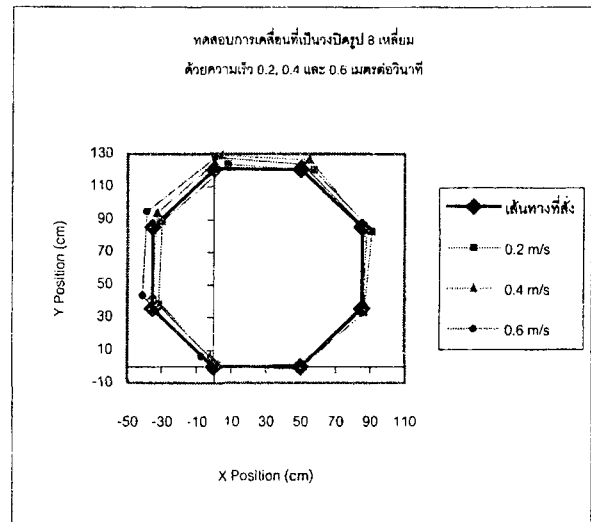
รูปที่ 10 ทดสอบการเคลื่อนที่เป็นวงปิดรูปสี่เหลี่ยม ด้วยความเร็วต่างๆ

ในช่วงแรกของการเคลื่อนที่ ความผิดพลาดเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกัน ยังใกล้เคียงกันอยู่ และมีแนวโน้มที่หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไกลกว่าตำแหน่งที่ตั้งเล็กน้อย เพราะผลเนื่องจากแรงเฉื่อยของตัวหุ่น และการสั่นไถลระหว่างล้อกับพื้น เมื่อเคลื่อนที่เป็นระยะทางไกลจากจุดเริ่มต้นมากขึ้น ความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ก็จะมากขึ้นด้วย เพราะเกิดจากความผิดพลาดสะสมในแต่ละช่วงการเคลื่อนที่มารวมกัน ที่ความเร็วสูงกว่า หุ่นยนต์มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ไกลกว่าเส้นทางที่ตั้งมากขึ้น

การเคลื่อนที่เป็นวงปิดรูปแปดเหลี่ยม

ทดสอบการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องของหุ่นยนต์ โดยไม่ทำการหันหน้าหุ่นยนต์ก่อนการเคลื่อนที่ จุดประสงค์

เพื่อเคลื่อนที่เป็นวงปิดให้ใกล้เคียงการวิ่งเป็นรูปวงกลม แต่การวิ่งเป็น รูปวงกลม จะไม่สามารถวัดตำแหน่งอื่นได้นอกจากจุดเริ่มต้น และ จุดสิ้นสุด จึงได้เคลื่อนที่เป็นวงปิดรูป 8 เหลี่ยมด้านเท่าแทน ตัวอย่างผลการทดลองแสดงในรูปที่ 11

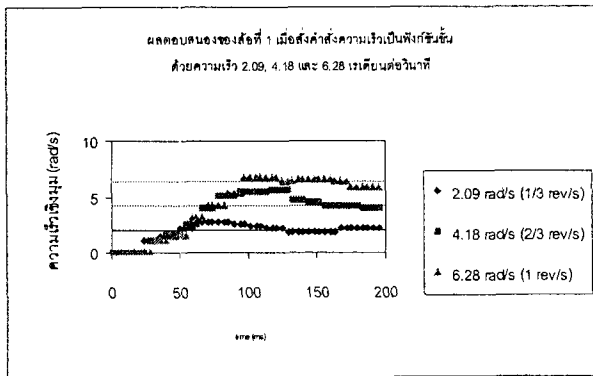


รูปที่ 11 ทดสอบการเคลื่อนที่เป็นวงปิดรูปแปดเหลี่ยม ด้วยความเร็วต่างๆ

ลักษณะความผิดพลาดที่เกิดขึ้นคล้ายคลึงกับการเคลื่อนที่รูปสี่เหลี่ยม กล่าวคือ ในช่วงแรกของการเคลื่อนที่ ความผิดพลาดเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกัน ยังใกล้เคียงกันอยู่ แต่เมื่อเคลื่อนที่เป็นระยะทางไกลจากจุดเริ่มต้นมากขึ้น ความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ก็จะมากขึ้นด้วย เพราะเกิดจากความผิดพลาดสะสมในแต่ละช่วงการเคลื่อนที่มารวมกันที่ความเร็วสูงกว่า หุ่นยนต์มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ไกลกว่าเส้นทางที่ตั้งมากขึ้น

หาผลตอบสนองของล้อ เมื่อสั่งความเร็วการหมุนเป็นฟังก์ชันขั้น

ทดลองสั่งความเร็วให้กับแต่ละล้อ ในลักษณะฟังก์ชันขั้น (Step function) ขนาดต่างๆ กัน คือ 2.09, 4.18 และ 6.28 เรเดียนต่อวินาที (ประมาณ 1/3, 2/3 และ 1 รอบต่อวินาที ตามลำดับ) แล้ววัดความเร็วของล้อที่หมุนได้จริง นำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบลักษณะการตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นที่มีขนาดต่างๆ กัน ตัวอย่างผลการทดลองแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 6.12 ผลตอบสนองของล้อที่ 1 เมื่อสั่งค่าสั่งความเร็วเป็นฟังก์ชันขั้นขนาดต่างๆ

เมื่อสั่งค่าสั่งลักษณะเหมือนกัน คือเป็นฟังก์ชันขั้นขนาดต่างๆ ความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว (Steady State Error) จะเกิดน้อยมาก แต่เนื่องจากล้อแต่ละล้อมีการตอบสนองในภาวะชั่วคราว (Transient Response) ที่ไม่เท่ากัน ทำให้การเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ ของหุ่นยนต์ที่ต้องอาศัยล้อทั้งสี่ ทำงานพร้อมๆ กัน เกิดความผิดพลาดได้ในขณะเริ่มต้น และ หยุด

6. สรุป

หุ่นยนต์มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่มากกว่า ระยะทางที่สั่งอยู่เสมอ ทั้งการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงที่มุมต่างๆ และการหมุนรอบตัวเอง ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น มีความสัมพันธ์กับความเร็วที่ใช้เคลื่อนที่ โดยที่ความเร็วสูงกว่า ระยะทางที่ผิดพลาดก็จะมีค่ามากตามไปด้วย อธิบายได้ว่าที่ความเร็วสูง โมเมนตัมของหุ่นยนต์จะมีค่าสูงกว่าที่ความเร็วต่ำ ทำให้ต้องใช้แรงมากขึ้นในการหยุด ซึ่งอาจจะมากกว่าค่าที่ชุดขับเคลื่อนจะให้ได้ และโอกาสที่จะเกิดการลื่นไถล (Slip) เมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง มีมากกว่าที่ความเร็วต่ำ

รูปแบบการเคลื่อนที่ที่มีผลต่อความผิดพลาดเช่นกัน รูปแบบที่มีความซับซ้อนน้อย เช่น ขับเคลื่อนโดยใช้ล้อเพียง 2 ล้อ โอกาสผิดพลาดจะต่ำกว่า การขับเคลื่อนโดยใช้สี่ล้อโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่ล้อทั้งสี่มีความเร็วไม่เท่ากัน โอกาสผิดพลาดก็จะยิ่งสูง

จุดที่สำคัญอีกจุดหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ คือ แต่ละล้อมีการตอบสนองต่อคำสั่งได้ต่างกัน ทำให้การเคลื่อนที่ที่จำเป็นต้องอาศัยล้อทั้งสี่พร้อมๆ

กัน เกิดความผิดพลาดได้ โดยเฉพาะในช่วงที่ต้องเปลี่ยนแปลงความเร็ว เช่น ตอนออกตัว และ หยุด เป็นต้น แต่ในสภาวะคงที่ ความเร็วผิดพลาดของแต่ละล้อนั้นน้อยมาก เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ความผิดพลาดจะเกิดน้อยกว่า ดังนั้นการเคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเกิดขึ้นบ่อยครั้ง โอกาสผิดพลาดจะมากขึ้นตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Joseph L. Jones, Anita M. Flynn, Mobile Robots, Inspiration to Implementation, A K Peters, Wellesley, Massachusetts, 1993.
- [2] Patrick F. Muir, Modeling and Control of Wheeled Mobile Robots, Ph.D. Dissertation, Department of Electrical and Computer Engineering, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 1988.
- [3] <http://www.st.com>, ST Microelectronics, L298 Dual Full-Bridge Driver Datasheet, 2000.
- [4] <http://www.atmel.com>, Atmel Corporation, 89C51 Datasheet, 2000.
- [5] <http://www.atmel.com>, Atmel Corporation, 89C1051 Datasheet, 2000.
- [6] Willard S. MacDonald, Design and Implementation of a Multilegged Walking Robot, Senior Honors Thesis, Laboratory for Perceptual Robotics, University of Massachusetts-Amherst, 1994