

หุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย

Security Enhancement through Robotics Technology: SEBOT

ชิต เหล่าวัฒนา และทศพร บุญแท้

ศูนย์ปฏิบัติการพัฒนาหุ่นยนต์ภาคสนาม(ฟีโบ้) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 66(2)470-9339, 66(2)470-9129 โทรสาร66(2)470-9339, E-mail: thodsaporn1@yahoo.com

1. บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีของหุ่นยนต์ มาใช้กับงานด้านช่วยรักษาความปลอดภัย โดยทำการพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบ ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยล้อ แบบทุกทิศทาง (Omni-directional wheel 45°) มาเพิ่มความปลอดภัยให้แก่เจ้าหน้าที่กู้ระเบิด เมื่อจำเป็นต้องเข้าไปสำรวจในบริเวณที่สงสัยว่ามีวัตถุระเบิด และ/หรือสารพิษต่างๆ การดำเนินโครงการวิจัยนี้ได้อาศัยข้อมูล พื้นฐานด้านแบบจำลองคณิตศาสตร์คิเนแมติกส์ ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ นอกจากนั้นแล้วยังได้มีการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ปรากฏว่าผลการทดสอบด้านความเร็วมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 30.83% การทดสอบรีพ็อดิชั่น มีความผิดพลาดเฉลี่ย 6.65%

Abstract

We implement robotics technology to enhance security in detrimental tasks. Our prototype: SECBOT benefits from a specially designed omni-directional wheel 45°. SECBOT is capable of assisting security officers in investigating bombs and toxic substances. This research project reveals a control approach for SECBOT. The test results on average velocity errors and average positional error are 30.83% and 6.65%, respectively.

2. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำหุ่นยนต์ และอุปกรณ์แมคคาทรอนิกส์มาใช้งานหลายประเภท ส่วนใหญ่เป็นงานทางด้าน อุต

สาหกรรม เพื่อลดต้นทุนในการผลิต แต่ยังมีงานบางประเภทที่ต้องใช้หุ่นยนต์ทำงานแทนมนุษย์ เนื่องจากลักษณะมีความเสี่ยงภัยสูง หรือสถานที่ที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงานของมนุษย์ งานดังกล่าวได้แก่ งานสำรวจอวกาศ งานสำรวจขั้วโลก หรือแม้กระทั่งการทำงานในโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นต้น ดังนั้นหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วยล้อจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่ามาปฏิบัติงานแทนมนุษย์ เนื่องจากมีความคล่องตัวสูง ในต่างประเทศได้มีการศึกษา ล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ (Wheel Mobile Robots : WMR) มาเป็นเวลานานแล้ว ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวกับล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ ได้แก่ Terregator[1] เป็นหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ด้วยล้อ หก ล้อ นำไปประยุกต์ใช้งานในการลำเลียง ขนถ่าย วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ในบริเวณโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ หุ่นยนต์ APRA's UGV[2] เป็นหุ่นยนต์ที่ใช้ในการสำรวจภูมิประเทศที่เป็นทุ่งหญ้า หุ่นยนต์ Hero2000[3] เป็นหุ่นยนต์ที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วยตัวเอง Harunobu[4] เป็นหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามท้องถนน โดยสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนไหวได้

โครงการหุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย เป็นโครงการที่ได้นำข้อมูลพื้นฐานจากงานวิจัยเรื่อง MOBO 2.0 An Omnidirectional Wheeled Mobile Robot มาพัฒนาสร้างเป็นหุ่นยนต์ต้นแบบ เพื่อใช้ในงานจริง โดยเป็นการนำเอาความสามารถพิเศษของ ฐานเคลื่อนที่ได้ (mobile base) แบบอสมิ (Omni-directional wheel) 45 องศา ที่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทาง เพื่อลดระยะทาง และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ โครงการวิจัยอาศัยทฤษฎีการควบคุมความเร็วมาใช้กับตัวหุ่นยนต์ และมีการเลือกใช้กล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) แบบไร้สาย อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล โดยติดตั้งเข้ากับตัวหุ่น

ยนต์ เพื่อสามารถควบคุมและสังเกตได้ในระยะ 150-200 เมตร

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและวิจัย ลักษณะของล้อ อมนิ แบบ 45 องศา ทฤษฎีทางด้าน การออกแบบคิเนแมติกส์ ของฐานเคลื่อนที่ได้ (mobile base) ที่อธิบายเชิงคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบต่างๆของล้อและส่วนที่ล้อสัมผัสกับพื้นให้มาอยู่ในรูปของ เมตริกซ์พีชคณิต(matrix algebra) และการสร้างเมตริกซ์จาโคเบียน(Jacobian matrix) ของ หุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย

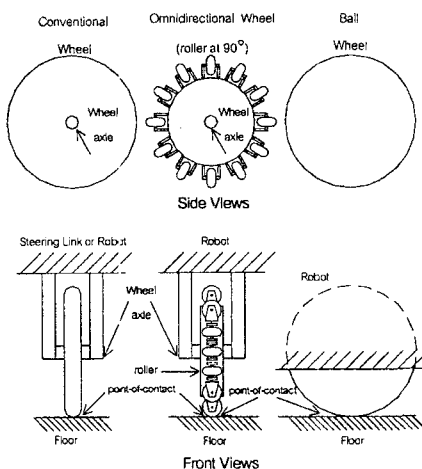
3. ทฤษฎีพื้นฐาน

ล้อที่ใช้กับ ฐานเคลื่อนที่ได้(Mobile base) มีด้วยกันสามแบบ คือ

1 ล้อปกติ(Conventional Wheel) มีสององศาอิสระ คือ มีการเคลื่อนที่ตามแนวพื้นที่ผิวของล้อตามแนวการวางล้อ และการหมุนที่จุดสัมผัสระหว่างล้อ กับพื้น โดยในการใช้งานจริงมีการติดตั้งกลไกการหมุน(Steering mechanism) เพื่อเพิ่มองศาอิสระขึ้นเป็นสามองศาอิสระ

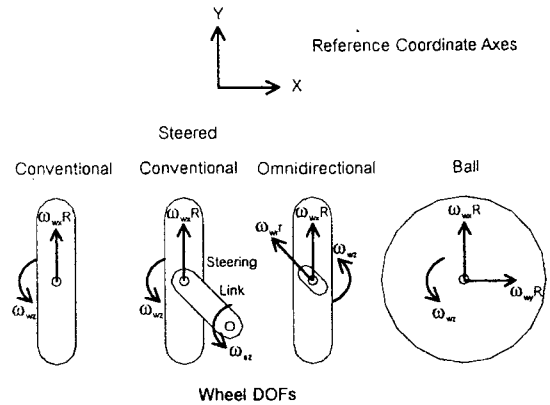
2 ล้ออมนิ(Omni-direction Wheel) มีสามองศาอิสระ ประกอบด้วยองศาอิสระที่หนึ่งคือทิศทางการวางล้อ องศาอิสระที่สองเกิดจากการหมุนของลูกกลิ้งที่ติดอยู่รอบๆของล้อ ในทางทฤษฎีมุมของ ลูกกลิ้ง สามารถทำมุมเท่าไรก็ได้ นอกจากศูนย์ และองศาอิสระที่สามเกิดจากการหมุนที่จุดสัมผัสระหว่างลูกกลิ้ง และพื้น

3 ล้อบอล(Ball Wheel) ซึ่งมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้มากที่สุด มีสามองศาอิสระโดยไม่มีการลื่น (Slip) แต่ การบำรุงรักษามีความยากลำบากพอสมควรตลอดจนความสามารถในการรับน้ำหนักยังจำกัดอีกด้วย



รูปที่ 1 ล้อปกติ ล้ออมนิ และล้อบอล

ความสัมพันธ์ทางด้าน คิเนแมติกส์ ของล้อแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ทางด้าน คิเนแมติกส์ ของล้อแบบต่างๆ

จากรูปสามารถแสดงความสัมพันธ์ทางด้าน คิเนแมติกส์ ได้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ทางด้าน คิเนแมติกส์ ของล้อแบบต่างๆ

Conventional และ Steered Conventional	Omni-directional	Ball
$V_y = \omega_{wx}R$ $V_x = 0$ $\omega_z = \omega_{wz}$	$V_y = \omega_{wx}R - \omega_{wr}r \cos(\eta)$ $V_x = \omega_{wr}r \sin(\eta)$ $\omega_z = \omega_{wz}$	$V_y = \omega_w R$ $V_x = \omega_{xy} R$ $\omega_z = \omega_{wz}$

เมื่อ V_x และ V_y คือ ส่วนประกอบตามแนวแกน x และ y ของความเร็วของล้อที่จุดสัมผัส

ω_z คือ ส่วนประกอบตามแนวแกน z ของความเร็วเชิงมุมของล้อที่จุดสัมผัส

ω_{wr} คือ ความเร็วเชิงมุมของ ลูกกลิ้ง รอบแกน

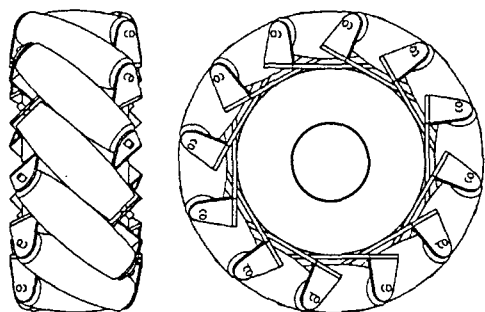
$\omega_{wx}, \omega_{wy}, \omega_{wz}$ คือ ส่วนประกอบตามแนวแกน x, y และ z ของความเร็วเชิงมุมของล้อรอบจุดศูนย์กลาง

ω_{sz} คือ ความเร็วเชิงมุมของกลไกการหมุน (Steering mechanism) รอบแกนหมุน

η คือ มุมของแกนลูกกลิ้ง ที่กระทำกับแกนล้อ

R และ r คือ รัศมีของล้อ และ ลูกกลิ้ง ตามลำดับ

ลักษณะของ ล้ออมนิ ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของ ล้ออมนิ(Omni-directional wheel 45°)

3.1 รูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ของคิเนแมติกส์

ในบทความนี้เราจะแสดงวิธีการในการจำลองคิเนแมติกส์ของ ล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้(Wheel Mobile Robot : WMR) โดยให้ส่วนที่ล้อสัมผัสกับพื้น เป็นแบบการต่อโยงแบบหลายชั้นต่อโยง(higher-pair joint) และแปลงให้อยู่ในรูปของสมการเมตริกซ์

3.1.1 นิยามและข้อสมมุติ

ล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้(WMR) สามารถเคลื่อนที่บนพื้นผิวโดยผ่านการรูดของล้อที่ประกอบอยู่บนตัวหุ่นยนต์ และสัมผัสกับพื้นผิว ล้อรวมเป็นอุปกรณ์ตัวหนึ่งซึ่งยอมให้การเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างตัวมันเองและพื้นผิว มีจุดสัมผัสการหมุนเพียงจุดเดียว (single point of rolling contact)

ข้อสมมุติในการออกแบบ

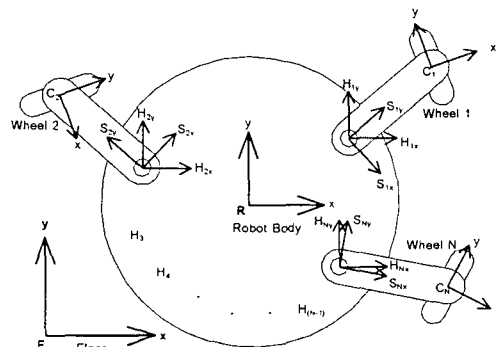
1. ล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ ต้องไม่เป็นชิ้นส่วนที่ยืดหยุ่น
2. ล้อแต่ละล้อสามารถมีชั้นต่อโยงบังคับเลี้ยวเพียงหนึ่งชั้นต่อโยง หรือไม่มีเลย
3. แกนบังคับเลี้ยวทั้งหมดต้องตั้งฉากกับพื้นผิว

ข้อสมมุติในการทำงาน

1. ล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่บนพื้นผิวระนาบ
2. ความเสียดทานของการเคลื่อนที่ที่จุดสัมผัสระหว่างล้อและพื้นผิวต้องมากพอที่ไม่ทำให้เกิดการลื่นไถล
3. ความเสียดทานของการหมุนที่จุดสัมผัสระหว่างล้อและพื้นผิวต้องมีค่าน้อยเพียงพอที่ไม่ทำให้เกิดการไถลของการหมุนได้

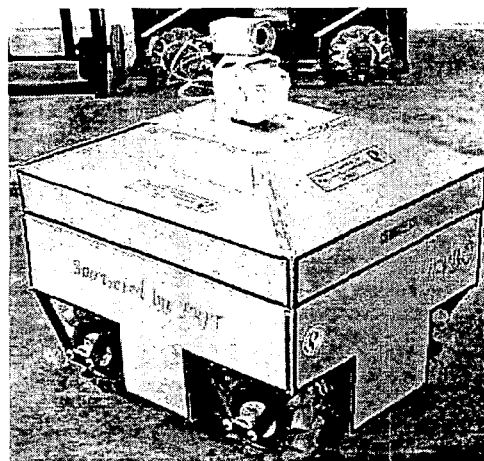
3.1.2 ระบบพิกัดฉากของ ล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้

รูปที่ 4 แสดงระบบพิกัดฉากที่ปลายทั้งคู่ของทุกชั้นต่อโยงของ WMR ชั้นต่อโยงของ กลไกปิด(closed-link chain) ของ ล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ พื้น ตัวหุ่นยนต์และชั้นต่อโยงบังคับเลี้ยวข้อต่อเป็น แบบหมุน(revolute) สำหรับล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ นี้มีจำนวน N ล้อ การกำหนดระบบพิกัดฉากจำนวนแกนจึงเป็น $3N+1$ กับตัวหุ่นยนต์และหนึ่งแกนที่ใช้อ้างอิง



รูปที่ 4 การตั้งแกนของระบบพิกัดฉาก

4. จาโคเบียนของหุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย



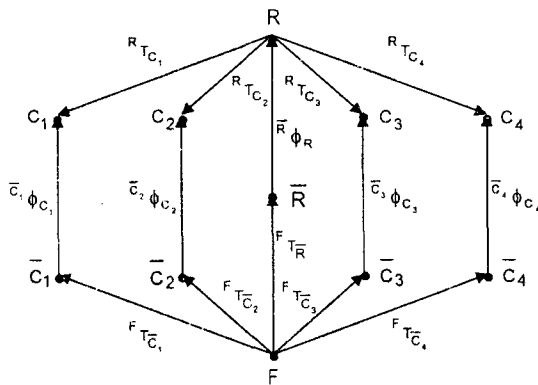
รูปที่ 5 ลักษณะของหุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย

รูปที่ 5 แสดงหุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ได้ทุกทิศทางโดยใช้ล้ออมนิ 45 องศา โดย การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถควบคุมบังคับด้วย จอยสติ๊ก (Joystick) ผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย นอกจากนั้นหุ่น

ยนต์ยังส่งภาพที่รับได้จากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด(CCTV) แบบไร้สาย กลับมายังเจ้าหน้าที่ที่กระเบิด

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้ล้อแบบ อมни สามารถเคลื่อนที่ได้สามองศาอิสระ บนระนาบ คือ การเคลื่อนที่เดินหน้า-ถอยหลัง การเคลื่อนที่ด้านข้างซ้าย-ขวา และการหมุนรอบตัวเอง ซึ่งการเคลื่อนที่ในทั้งสามทิศทางนั้นเกิดจากผลรวมของการหมุนล้อของทั้งสี่ล้อ

จาโคเบียน เป็นสมการที่ใช้ในการเปลี่ยนการหมุนของล้อแต่ละล้อซึ่งอยู่ใน จอยน์สเปซ (joint space) ให้เป็นการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใน คาร์ทีเซียนสเปซ (cartesian space) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิทรานสฟอร์มเมชันของหุ่นยนต์
(Transformation diagram of Security Robot)

ตารางที่ 2 การกำหนดสัญลักษณ์ในระบบพิกัดฉากของ
หุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย

F = floor : ระบบพิกัดอ้างอิงที่หยุดนิ่ง ซึ่งแกนตั้งฉากกับเส้นทางการเดิน
R = Robot : ระบบพิกัดซึ่งเคลื่อนที่ไปกับตัวหุ่นยนต์ ซึ่งแกนตั้งฉากกับพื้นของเส้นทางการเดิน
C = Contact Point (for =1,...,n) : ระบบพิกัดที่เคลื่อนที่ไปกับ ชิ้นต่อโยงบังคับเลี้ยวจุด origin ที่จุดสัมผัสระหว่างล้อและพื้นผิว แกน y ขนานไปกับล้อ และระนาบ xy สัมผัสกับพื้นผิว
$\bar{R}$ = Instantaneously Coincident Robot : ระบบพิกัดที่ทับกันสนิทกับระบบพิกัด R และหยุดนิ่งขณะเทียบกับระบบพิกัด F
$\bar{C}_i$ = Instantaneously Coincident Contact Point (for i=1,...,n) : ระบบพิกัดที่ทับกันสนิทกับ C_i และหยุดนิ่งขณะเทียบกับระบบพิกัด F

$\bar{R} \dot{\Pi}_R$ = ผลรวมของการทรานสฟอร์มเมชันจาก $\bar{R}$ ไปยัง R
ω = ความเร็วเชิงมุม
V = ความเร็วเชิงเส้น
$\dot{P}$ = ความเร็วใน คาร์ทีเซียนสเปซ
J = สมการจารโคเบียน

Transformation ของหุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย แสดงได้ดังนี้

$$\bar{R} \dot{\Pi}_R = {}^F T_R^{-1} \cdot {}^F T_{C_i} \cdot \bar{C}_i \dot{\phi}_{C_i} \cdot {}^R T_{C_i}^{-1} \quad (1)$$

$$\bar{R} \dot{\Pi}_R = {}^F T_R^{-1} \cdot {}^F T_{C_i} \cdot \bar{C}_i \dot{\phi}_{C_i} \cdot {}^R T_{C_i}^{-1} \quad (2)$$

$${}^F T_{C_i} = {}^F T_R \cdot \bar{R} \phi_R \cdot {}^R T_{C_i} \cdot \bar{C}_i \phi_{C_i}^{-1} \quad (3)$$

นำตัวแปรของสมการที่ (3) แทนค่าในสมการที่ (2)

$$\bar{R} \dot{\Pi}_R = {}^F T_R^{-1} \cdot {}^F T_R \cdot \bar{R} \phi_R \cdot {}^R T_{C_i} \cdot \bar{C}_i \phi_{C_i}^{-1} \cdot \bar{C}_i \dot{\phi}_{C_i} \cdot {}^R T_{C_i}^{-1} \quad (4)$$

$$\bar{R} \dot{\Pi}_R = {}^R T_{C_i} \cdot \bar{C}_i \phi_{C_i}^{-1} \cdot \bar{C}_i \dot{\phi}_{C_i} \cdot {}^R T_{C_i}^{-1} \quad (5)$$

เมื่อนำค่าเฉพาะกรณีของ หุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัย มาแทนในสมการที่ (5) ได้

$$\begin{bmatrix} 0 & -\bar{R} \omega_R & 0 & \bar{R} V_{R_y} \\ \bar{R} \omega_R & 0 & 0 & \bar{R} V_{R_x} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\bar{C}_i \omega_{C_i} & 0 & \bar{C}_i \omega_{C_i} \cdot {}^R d_{C_y} + \bar{C}_i V_{C_x} \\ \bar{C}_i \omega_{C_i} & 0 & 0 & -\bar{C}_i \omega_{C_i} \cdot {}^R d_{C_x} + \bar{C}_i V_{C_y} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\bar{R} V_{R_y} = -\bar{C}_i \omega_{C_i} \cdot {}^R d_{C_y} + \bar{C}_i V_{C_x} \quad (7)$$

$$\bar{R} V_{R_x} = \bar{C}_i \omega_{C_i} \cdot {}^R d_{C_x} + \bar{C}_i V_{C_y} \quad (8)$$

$$\bar{R} \omega_R = \bar{C}_i \omega_{C_i} \quad (9)$$

นำค่าเฉพาะกรณีของล้อทั้ง 4 ล้อมาแทนในสมการที่ (7) (8) และ (9) เพื่อให้ได้ สมการจาร์โคเบียนของหุ่นยนต์ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (10)

$$\begin{bmatrix} v_{R_x} \\ v_{R_y} \\ \omega_R \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} -r & -r & r & r \\ r & -r & -r & r \\ -\frac{r}{2l} & -\frac{r}{2l} & -\frac{r}{2l} & -\frac{r}{2l} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_{R_1} \\ \omega_{R_2} \\ \omega_{R_3} \\ \omega_{R_4} \end{bmatrix} \quad (10)$$

สามารถเขียนสมการที่ (10) ให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\dot{P} = J \cdot \omega \quad (11)$$

ซึ่ง สมการจาร์โคเบียนย้อนกลับ ของหุ่นยนต์ช่วยรักษาความปลอดภัยแสดงได้ดัง สมการที่ (12) และ (13)

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{r} & \frac{1}{r} & -\frac{2l}{r} \\ \frac{1}{r} & -\frac{1}{r} & -\frac{2l}{r} \\ 1 & -1 & -\frac{2l}{r} \\ \frac{1}{r} & \frac{1}{r} & r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\omega = J^{-1} \cdot \dot{P} \quad (13)$$

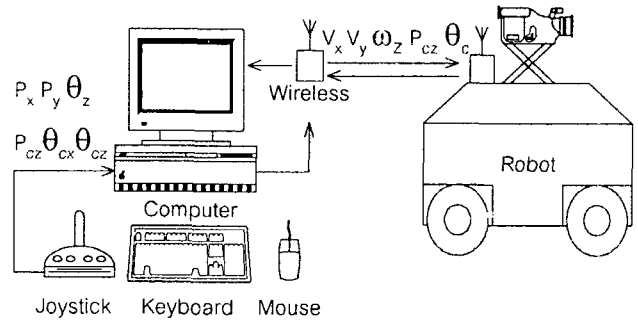
5. การส่งข้อมูลการเคลื่อนที่และภาพ

การส่งข้อมูลเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ได้ใช้ระบบส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งได้ทำการส่งข้อมูลแบบ RS-232 โดยขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

1. คอมพิวเตอร์รับข้อมูลตำแหน่งคันโยกของจอยสติ๊ก แล้วเปลี่ยนให้เป็นความเร็วของหุ่นยนต์ในคาร์ทีเซียนสเปซ
2. คอมพิวเตอร์ทำการเปลี่ยนความเร็วของหุ่นยนต์ ให้เป็นการหมุนของล้อในจอยน์สเปซ โดยใช้จาร์โคเบียนย้อนกลับในการคำนวณ

3. ส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์แบบ RS-232 โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย
4. หุ่นยนต์รับข้อมูล แล้วควบคุมมอเตอร์ให้หมุนด้วยความเร็วที่ต้องการ
5. หุ่นยนต์ส่งข้อมูลย้อนกลับมายังคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้ควบคุมบังคับรับรู้สถานะต่างๆของหุ่นยนต์ เช่น ความเร็วที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้จริง ระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ เป็นต้น

การส่งสัญญาณภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิด ได้ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สายมายังผู้ควบคุม โดยเครื่องรับสัญญาณได้ถูกติดตั้งไว้ในคอมพิวเตอร์ และยังสมารถรับภาพโดยใช้เครื่องรับโทรทัศน์ แสดงดัง รูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงการส่งข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์กับคอมพิวเตอร์

6. การทดสอบ

การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันข้อมูลจำเพาะเชิงเทคนิค ซึ่งการทดสอบครั้งนี้แบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก ๆ สองข้อดังนี้

6.1 การหาความผิดพลาดด้านความเร็ว

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความผิดพลาด ณ ความเร็วต่างๆ ว่าความเร็วที่ต้องการ กับความเร็วที่หุ่นยนต์สามารถทำได้มีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงไร และเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมในการทำงานของหุ่นยนต์

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. กำหนดความเร็วที่ต้องการ (V_{desire}) ให้หุ่นยนต์ทำงาน เพื่อใช้เป็นความเร็วอ้างอิง
2. ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามความเร็วที่ได้กำหนดไว้

- บันทึกค่าความเร็วที่หุ่นยนต์ทำได้จริง (V actual)
- เปรียบเทียบค่าความเร็วที่ได้ กับความเร็วที่ต้องการ
- คำนวณค่าความผิดพลาด ที่ได้จากการทดสอบ

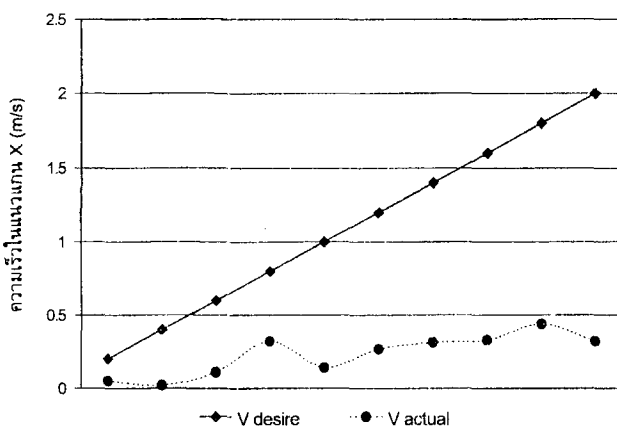
6.2 การทดสอบ รีพีทอะเบิลิตี(Repeatability)

เป็นการทดสอบ เพื่อ หาค่าความผิดพลาด ที่เกิดขึ้นเมื่อ ต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยการให้ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ซ้ำตำแหน่งเดิม

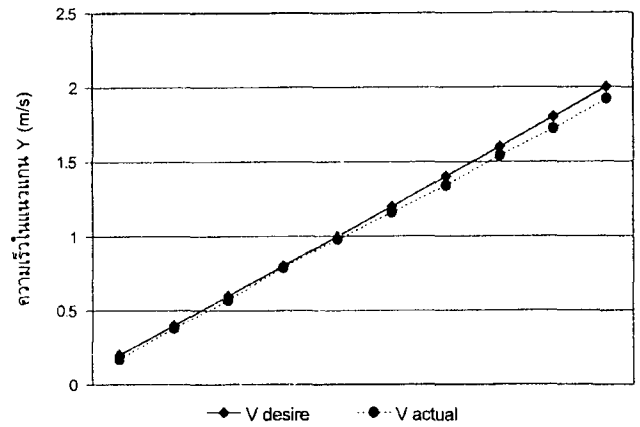
ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

- กำหนดระยะทางการเคลื่อนที่ เพื่อใช้เป็น เงื่อนไขในการทดสอบ
- ทำการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์
- ปล่อยหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ ตามระยะทางที่กำหนดไว้
- ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่กลับในทิศทางเดิม
- วัดระยะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผิดพลาด และบันทึกผล
- คำนวณ ค่า ความผิดพลาด ที่ได้จากการทดสอบ

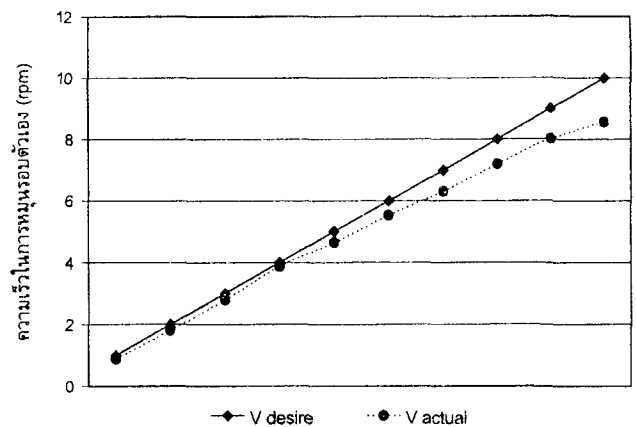
6. ผลการทดสอบ



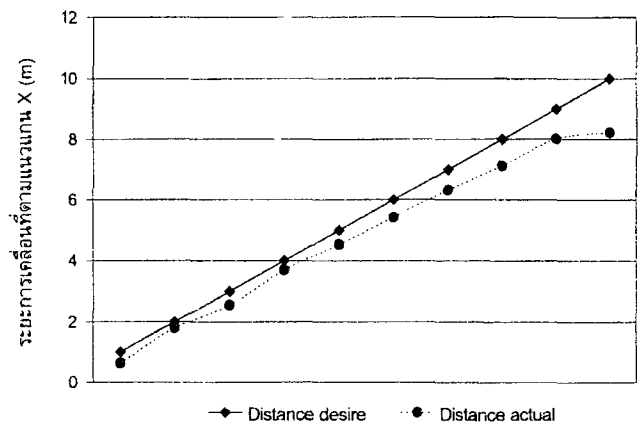
รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วในแนวแกน X



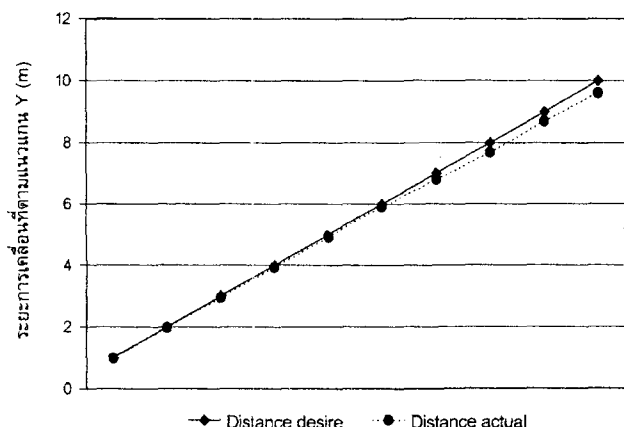
รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วในแนวแกน Y



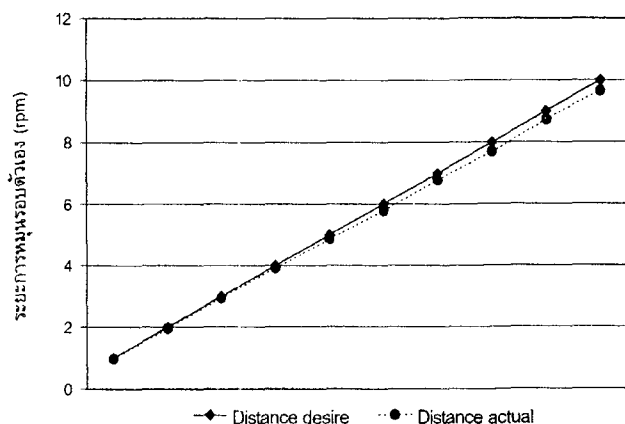
รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วในการหมุนรอบตัวเอง



รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบ รีพีทอะเบิลิตี ที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวแกน X



รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบ รีพีทอะเบิลิตี้ ที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวแกน Y



รูปที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบ รีพีทอะเบิลิตี้ ที่หุ่นยนต์หมุนรอบตัวเอง

จากการทดสอบหาความผิดพลาดด้านความเร็ว ปรากฏว่า ความเร็วที่หุ่นยนต์ทำได้จริงในแนวแกน Y และการหมุนรอบตัวเอง มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กับความเร็วที่ต้องการ แต่ก็ยังมีผิดพลาดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจาก การลื่นไถลของล้อ ส่วนความเร็วที่หุ่นยนต์ทำได้จริงในแนวแกน X มิได้มีความสัมพันธ์กับความเร็วที่ต้องการ โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้น นอกจากจะเกิดจากการลื่นไถลแล้ว ยังเป็นผลมาจาก ความไม่เหมาะสมของโครงสร้างหุ่นยนต์ กลไกของล้อ และพื้นที่ ที่ได้ทำการทดสอบอีกด้วย

จากการทดสอบ รีพีทอะเบิลิตี้(Repeatability) ปรากฏว่าการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y และการหมุนรอบตัวเองมีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย แต่ความผิดพลาดสามารถเห็นได้ชัด

เจนเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวแกน X ซึ่งเป็นผลมาจากความไม่เหมาะสมของโครงสร้างหุ่นยนต์ กลไกของล้อ และพื้นที่ ที่ได้ทำการทดสอบ

8. สรุป

จากผลการทดสอบการควบคุมความเร็วและรีพีทอะเบิลิตี้ (Repeatability) ของหุ่นยนต์ ความคลาดเคลื่อน(error) เกิดจากล้อทั้ง 4 ล้อของหุ่นยนต์ ไม่สัมผัสพื้นอยู่ตลอดเวลา เนื่องมาจาก การลื่นไถลของลูกกลิ้งกับพื้น การจัดสร้างกลไกของล้อ และโครงสร้างของหุ่นยนต์บางส่วนเกิดความผิดพลาดขึ้น นอกจากนั้นพื้นที่ ที่ได้ทำการทดสอบก็มีได้เรียบตามสมมุติฐาน ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆของหุ่นยนต์ มีความคลาดเคลื่อน

แนวทางการแก้ไขสามารถทำได้โดยติดตั้งระบบรองรับน้ำหนัก(suspension) เพื่อให้ล้อทั้ง 4 ล้อของหุ่นยนต์สัมผัสพื้นตลอดเวลา แม้ว่าพื้นที่ ที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปจะไม่เรียบก็ตาม ซึ่งผู้วิจัยได้กำลังดำเนินการปรับปรุงอยู่ในขณะนี้

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ มูลนิธิวิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศ (Foundation for Research in Information Technology : FRIT) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

10. เอกสารอ้างอิง

1. William L. Whittaker, Cognitive Robots for Construction, 1985 Annual Research Review, pp 11-14.
2. Diane J. Cook, Piotr Gmytrasiewicz, and Lawrence B. Holder, Member, "Decision-Theoretic Cooperative Sensor Planning", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, pp.1013-1022.
3. Yoichiro Maeda, Minoru Tanabe, Morikazu Yuta, Tomohiro Takagi, "Hierarchical Control for Autonomous Mobile Robots with Behavior-Decision Fuzzy Algorithm", Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.135-140.

4. Hideo Mori, "Recent Progress in Mobile Robot Harunobu-4", Vision-base Vehicle Guidance, pp. 204-221.
5. Dickerson, S.L. and Lapin, B.D., 1991, Control of an Omnidirectional Robotic Vehicle with Macanum Wheels, Atlanta, Georgia Institute of technology, pp. 0323-0328.
6. J.M.Holland, 1983, Basic Robotic Concepts, Howard W.sams&Co., Indianapolis IN, pp.107-170.
7. Muir, P.F. and Neuman, C.P., 1986, Kinematic Modeling of Wheeled Mobile Robotics, Pittsburgh, Carnegie-Mellon University, pp. 5-41.
8. Francois G. Pin and Stephen 'M. Killough," A New Family an Omnidirectional and Holonomic Wheeled Platforms for Mobile Robot", IEEE TRANSACTIONS ON robotics and Automation, Vol. 10, August 1994, 480-489