

การเปรียบเทียบแบบออนไลน์ ของระบบวัดตำแหน่งแบบออดโดเมทรีโดยใช้กล้องภายนอก Online Calibration of Odometry-based Localization using an External Camera

วุฒินันท์ สูงนารถ , ศุภวุฒิ จันทรานูวัฒน์ , และ รัชทิน จันทรเจริญ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 02-2186588
mod_x@chula.com

Wuthinun Soongnart , Supavut Chantranuwathana and Ratchatin Chancharoen,
Department of Mechanical Engineering
Chulalongkorn University,
Bangkok. 10300, Thailand
Tel : 2186588, Fax : 2522889

บทคัดย่อ

ในการใช้งานหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้นประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของตัวหุ่นยนต์เองภายในพื้นที่ใช้งาน วิธีการวัดตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่วิธีหนึ่งเรียกว่า ออดโดเมทรี เนื่องจากความสามารถในการตรวจวัดที่รวดเร็วและมีราคาถูกจึงทำให้เป็นที่นิยมใช้กันมาก แต่ปัญหามีอยู่ว่าเมื่อทำการตรวจวัด ค่าความผิดพลาดในการวัดตำแหน่งจะมีการสะสมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆตามระยะทางที่หุ่นยนต์ได้เคลื่อนที่ไป ดังนั้นเมื่อใช้การวัดตำแหน่งแบบออดโดเมทรีจึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ในบทความนี้ได้เสนอวิธีการปรับแก้ค่าความผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำในการวัดแบบออดโดเมทรีหลังจากปรับแก้ด้วยการวัดตำแหน่งที่ใช้กล้องวิดีโอเป็นตัวตรวจวัด โดยวิธีการมีอยู่ว่า จะทำการติดตั้งตัวกล้องวิดีโอในบางจุดของพื้นที่ใช้งานซึ่งเป็นจุดบนเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ การปรับแก้จะใช้ค่าความแตกต่างของการวัดตำแหน่งทั้งแบบออดโดเมทรีและกล้องวิดีโอนำไปปรับค่าพารามิเตอร์ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบออดโดเมทรี

Abstract

Effectiveness of mobile robots depends on their ability to locate precisely their positions relative to the environment. One of the methods in is called "Odometry". It is very popular due to its rapid locating capability together with low cost. However, position errors are accumulated along with the distance traveled. So when Odometry is adopted, other methods of error compensations should be applied as well. In this paper, we

introduce a calibration method to enhance accuracy from Odometry by using visual measurement from mounted cameras in the robot's working area. The different between the value measured by Odometry and camera is used to improve a parameter used by the calculations with Odometry method.

1. บทนำ

สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดเมื่อนำวิธีการวัดแบบออดโดเมทรีมาใช้กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้นมาจากปัจจัยหลายอย่างซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ Systematic Errors และ Non-Systematic Errors จะเห็นได้ว่าระบบการวัดแบบออดโดเมทรี (Odometry) สามารถปรับปรุงให้แม่นยำขึ้นได้โดยการลดค่าความผิดพลาดที่เป็นแบบ Systematic Errors วิธีการก็คือการนำระบบตรวจวัดตำแหน่งแบบอื่นที่ไม่มีการสะสมของค่าผิดพลาดติดตั้งเพิ่มเข้าไปในหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เพื่อทำการแก้ไขค่าความผิดพลาดอันเกิดจากการวัดด้วยออดโดเมทรี (Odometry)

ระบบการตรวจวัดตำแหน่งที่ไม่มีการสะสมของค่าความผิดพลาด ตัวตรวจวัดที่ใช้อาจจะเป็น เลเซอร์ [1] [2] [6] อัลตราโซนิก [1] [2] หรือกล้องวิดีโอ [2] [4] [6] [8] [9] แต่ตัวตรวจวัดที่มีความน่าสนใจก็คือกล้องวิดีโอ เนื่องจากว่า มีความแม่นยำ ตรวจวัดตำแหน่งของหุ่นยนต์ได้หลายตัวพร้อมกันถ้าติดตั้งนอกตัวหุ่นยนต์ ข้อมูลที่ได้จากการวัดสามารถที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นในคอมพิวเตอร์ ซึ่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นในคอมพิวเตอร์นั้นสามารถที่จะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงได้ ยิ่งตัวโปรแกรมมีความสามารถสูงก็จะทำให้หุ่นยนต์มีความฉลาดมากเพิ่มขึ้นด้วย และปัจจุบันแนวโน้มการใช้กล้องวิดีโอเป็นตัวตรวจวัดกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่มีมากขึ้น สาเหตุเป็น

เพราะเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ที่มีความก้าวหน้าไปอย่างมาก การใช้งานกล้องวีดีโอกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้น จะมีทั้งแบบที่ตัวกล้องวีดีโอถูกติดตั้งบนตัวหุ่นยนต์ [4] [6] [9] และติดตั้งภายนอกตัวหุ่นยนต์ [8] การติดตั้งกล้องบนตัวหุ่นยนต์นั้นมีข้อดีตรงที่หุ่นยนต์มีความเป็นอิสระสูง และสามารถนำไปใช้งานได้หลายพื้นที่ แต่ข้อเสียก็คือหุ่นยนต์หนึ่งตัวจะต้องมีตัวประมวลผลที่มีความสามารถสูงและใช้กล้องวีดีโออย่างน้อยหนึ่งชุด ถ้าต้องการใช้งานหุ่นยนต์หลายตัวจำเป็นต้องใช้ตัวประมวลผลและกล้องวีดีโอหลายชุดตามจำนวนของหุ่นยนต์เช่นกัน ทำให้การนำไปใช้งานโดยทั่วไปไม่เหมาะสมเนื่องจากค่าใช้จ่ายสูงมาก ส่วนการติดตั้งกล้องภายนอกตัวหุ่นยนต์นั้น สามารถที่จะใช้กล้องตัวเดียวควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์หลายตัวได้ แต่ก็มีข้อเสียตรงที่สามารถที่จะงานหุ่นยนต์ได้ในบริเวณที่จำกัด ถ้าพื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์มีขนาดใหญ่ก็จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตัวกล้องวีดีโอมากขึ้น

งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการวัดแบบออดโตมิทรีร่วมกับกล้องวีดีโอซึ่งจะเหมาะสมเป็นอย่างมาก ถ้าบริเวณพื้นที่ทำงานมีขนาดใหญ่ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดตั้งกล้องให้ครอบคลุมพื้นที่การทำงานทั้งหมด แต่จะเลือกติดตั้งเพียงบางตำแหน่งเท่านั้น บริเวณที่กล้องไม่สามารถที่จะวัดตำแหน่งของหุ่นยนต์ได้ก็จะใช้วิธีการวัดแบบออดโตมิทรี เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้ามาในพื้นที่ที่กล้องสามารถวัดได้ ตัวกล้องก็จะทำการวัดตำแหน่งของหุ่นยนต์แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดแบบออดโตมิทรีและทำการปรับปรุงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัดด้วยออดโตมิทรี ส่งผลทำให้ความแม่นยำของการวัดแบบออดโตมิทรีมีค่ามากขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เดดเรคคองนิง (Dead Reckoning) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยการใช้อยู่ของตำแหน่งและความเร็วที่วัดได้ในอดีตตามช่วงเวลาที่กำหนดแล้วนำมาคำนวณตำแหน่งและความเร็วในปัจจุบัน [2] ออดโตมิทรี (Odometry) เป็นวิธีการวัดที่ใช้การคำนวณแบบเดดเรคคองนิง (Dead Reckoning) ซึ่งวิธีการนี้จะทำการวัดตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่จากระยะการหมุนของเฟลล้อแล้วนำไปคำนวณเป็นระยะทางของการเคลื่อนที่ โดยใช้ตัวตรวจวัดที่วัดรอบเฟลล้อที่เรียกว่า เอนโคเดอร์ (Encoder)

2.1 สาเหตุของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากวิธีการวัดแบบออดโตมิทรี

การวัดตำแหน่งแบบออดโตมิทรี (Odometry) จะใช้วิธีการพื้นฐานการคำนวณอย่างง่ายตามที่ได้อธิบายมาแล้ว ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณจะได้จากเอนโคเดอร์ (Encoder) ซึ่งเป็นตัวตรวจวัดที่มีราคาถูก การคำนวณของออดโตมิทรี (Odometry) จะวัดการหมุนของล้อหุ่นยนต์แล้วคำนวณออกมาเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น ซึ่งค่าความผิดพลาดจะมีการสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดที่เรียกว่า Systematic Errors และ Non-Systematic Errors [1]

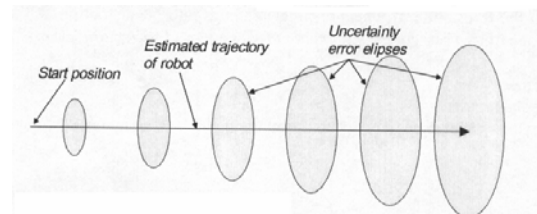
Systematic Errors

- รัศมีล้อของหุ่นยนต์ไม่เท่ากัน
- ค่าความแตกต่างระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางจริงของล้อขณะที่รับน้ำหนักของหุ่นยนต์กับเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อในขณะที่ไม่รับน้ำหนักของหุ่นยนต์
- การเอียงของล้อหุ่นยนต์
- ความละเอียดของเอนโคเดอร์
- อัตราการตรวจวัดข้อมูลจากเอนโคเดอร์

Non-Systematic Errors

- หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในพื้นที่ขรุขระ
- มีวัตถุที่เป็นอุปสรรคของการเคลื่อนที่ขัดขวาง
- ล้อของหุ่นยนต์เกิดการลื่นไถลสาเหตุอาจเกิดจาก
 - พื้นที่หุ่นยนต์วิ่งมีความเสียดทานต่ำ
 - ความเร็วของล้อที่สูงเกินไป
 - แรงจากภายนอกมากระทำเช่น เกิดการชนกันของหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวาง
 - ล้อของหุ่นยนต์ไม่สัมผัสกับพื้น

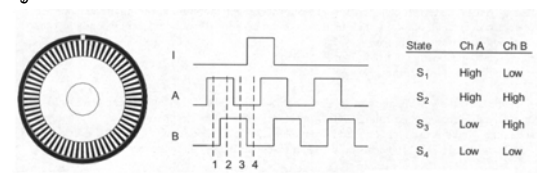
การประมาณตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยออดโตมิทรีที่เห็นภาพชัดเจนเห็นได้จากรูปที่ 1 ซึ่งจะประมาณตำแหน่งของหุ่นยนต์เป็นพื้นที่รูปวงรี ขนาดของวงรีจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่หุ่นยนต์ได้เคลื่อนที่ไปจนกว่าจะมีการวัดตำแหน่งจริงของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ แล้วนำค่าไปปรับปรุงความแม่นยำของการวัดแบบออดโตมิทรี ซึ่งจะทำให้วงรีมีขนาดลดลง รูปแบบการประมาณตำแหน่งลักษณะนี้จะให้ความสนใจเฉพาะตัวแปรที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาด แบบ Systematic Errors เนื่องจากว่าค่าความผิดพลาดแบบ Non-Systematic Errors ไม่สามารถที่จะคาดเดาได้



รูปที่ 1 วงรีของค่าความผิดพลาด [1]

2.2 ตัวตรวจวัดที่ใช้วัดตำแหน่งแบบออดโตมิทรี (Odometry)

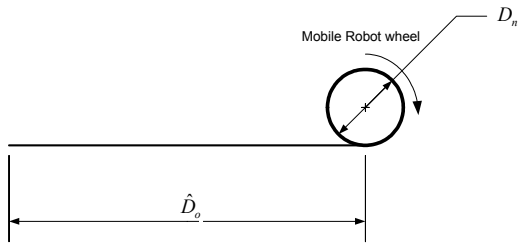
ตัวตรวจวัดตำแหน่งนั้นจะใช้เฟสควอดราเจอร์อินครีเมนทอลเอนโคเดอร์ (Phase-quadrature incremental encoder) ซึ่งถูกออกแบบให้มีการ 2 ช่องสัญญาณ โดยลูกคลื่นสี่เหลี่ยมที่ให้ออกมาจะมีเฟสต่างกัน 90 องศาซึ่งแสดงในรูปที่ 2 ความละเอียดที่สามารถวัดได้ก็มีค่าสูงเป็น 4 เท่าของความละเอียดที่วัดได้จากจานช่องสัญญาณของเอนโคเดอร์



รูปที่ 2 ลูกคลื่นจาก Phase-quadrature incremental encoder [1]

การคำนวณตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยวิธีออดิโทเมทรี

ระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้นคำนวณได้จาก



รูปที่ 3 ระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้น

$$C_n = \frac{\pi D_n}{n C_e} \quad (1)$$

โดยที่

C_n คือ แฟคเตอร์ที่ใช้เปลี่ยนจำนวนลูกคลื่นของเอนโคเดอร์ไปเป็นระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้น

D_n คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อ

C_e คือ ความละเอียดของเอนโคเดอร์ (จำนวนลูกคลื่นต่อรอบ)

n คือ อัตราส่วนการทดรอบระหว่างการหมุนของเอนโคเดอร์กับการหมุนของล้อ

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้นได้ดังนี้

$$\hat{D}_o = C_n N \quad (2)$$

โดยที่

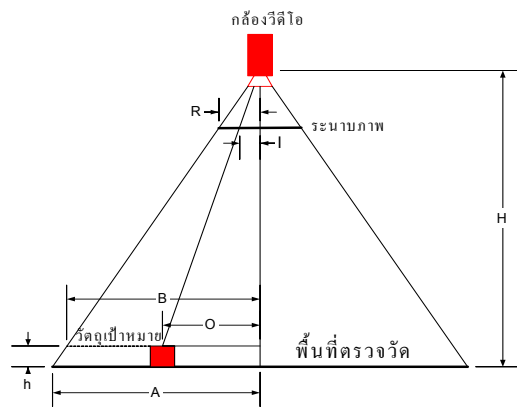
$\hat{D}_o$ คือ ระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้น

N คือ จำนวนลูกคลื่นที่นับได้จากเอนโคเดอร์

2.3 การวัดตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยใช้กล้องวิดีโอ

การตรวจวัดระยะแบบใช้กล้องตัวเดียว (Vision camera) เป็นการวัดแบบพาสซีฟ โดยทำการตรวจจับภาพของเป้าหมายลงไปบนระนาบภาพที่มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของตัวกล้องและเป้าหมาย ภาพที่ได้จากการวัดจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาตำแหน่งและทิศทางจริงของเป้าหมายที่อยู่ในพื้นที่ตรวจวัดของกล้อง ความละเอียดที่วัดได้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของตัวกล้อง ความละเอียดของกล้องมีหน่วยเป็น พิกเซล x พิกเซล (Pixel x Pixel)

เมื่อภาพของวัตถุเป้าหมายถูกฉายลงบนระนาบภาพ กล้องจะส่งภาพไปให้คอมพิวเตอร์ทำการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายบนระนาบภาพโดยอาศัยลักษณะพิเศษที่เป็นเอกลักษณ์ของวัตถุเป้าหมาย เช่น สี เป็นต้น จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการเปรียบเทียบตำแหน่งภาพของวัตถุเป้าหมายและคำนวณหาตำแหน่งจริงของวัตถุเป้าหมายที่อยู่ในพื้นที่ตรวจวัดของกล้อง



รูปที่ 4 การวัดตำแหน่งโดยกล้องวิดีโอ

ตำแหน่งของหุ่นยนต์คำนวณได้ดังนี้

$$B = \frac{A(H-h)}{H} \quad (3)$$

ระยะวัตถุสามารถคำนวณได้จาก

$$O = \frac{B \times I}{R} \quad (4)$$

โดยที่

A คือ ครึ่งความกว้างของพื้นที่ใช้งาน

B คือ ระยะอ้างอิงที่ใช้ในการคำนวณ

R คือ ครึ่งความกว้างของระนาบภาพ

O คือ ระยะวัตถุจริงบนพื้นที่ใช้งาน

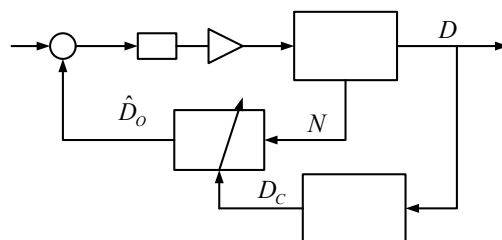
I คือ ระยะภาพบนระนาบภาพ

H คือ ความสูงของกล้องวิดีโอจากพื้น

h คือ ความสูงของวัตถุ

3. ระบบควบคุมหุ่นยนต์

การควบคุมมอเตอร์จะเป็นแบบ PID Control โดยควบคุมความเร็วของมอเตอร์ผ่านวงจรไฟฟ้าที่จ่ายกำลังให้กับมอเตอร์แบบ PWM (Pulse Width Modulation) Odometry จะเป็นตัวคำนวณตำแหน่งของมอเตอร์ที่หมุนไป และ Camera จะเป็นตัววัดตำแหน่งสัมบูรณ์ของตัวหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปถึงพื้นที่บริเวณที่กล้องวิดีโอสามารถวัดได้ Camera จะส่งค่าข้อมูลที่ไต่กลับไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดโดย Odometry จากนั้นก็จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของสมการที่ใช้คำนวณของ Odometry ซึ่งจะเป็นผลทำให้ความแม่นยำของ Odometry มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 แผนภาพการควบคุม

4. การปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณของออโตมิททรีโดยใช้กล้องวีดีโอ

ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของการคำนวณตำแหน่งแบบออโตมิททรีโดยใช้กล้องวีดีโอนั้นทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง

กล้องวีดีโอทำการวัดตำแหน่งคำนวณได้จาก

$$D_C = D \pm er \quad (5)$$

โดยที่

D_C คือ ค่าตำแหน่งที่วัดได้จากกล้องวีดีโอ

D คือ ค่าตำแหน่งจริงของหุ่นยนต์

er คือ ค่าความผิดพลาดในการวัดของกล้อง

ค่าความผิดพลาดในการวัดของกล้องมีสาเหตุจากความละเอียดของกล้องและพื้นที่ตรวจวัด

ขั้นตอนที่สอง

นำค่าตำแหน่งที่วัดได้จากกล้องไปคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่จะนำไปใช้ปรับแก้ จากสมการที่ (2)

$$C_c = \frac{D}{N}$$

โดยที่

C_c คือ พารามิเตอร์ที่ปรับแก้จากกล้อง

ขั้นตอนที่สาม

ค่าพารามิเตอร์ที่นำไปใช้คำนวณในออโตมิททรีจะมีการนำค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณตำแหน่งในครั้งก่อนมารวมปรับแก้ด้วยพร้อมกับกับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกล้องวีดีโอ ข้อดีของวิธีนี้ก็คือสามารถที่จะลดค่าความผิดพลาดในการวัดตำแหน่งได้ดีกว่าเนื่องจากค่าความผิดพลาดมีการเฉลี่ยในทุกช่วงการวัด

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณตำแหน่งแบบออโตมิททรีหาได้จาก

$$\hat{C}_n = \frac{\alpha \hat{C}_{n-1} + C_c}{1 + \alpha} \quad (6)$$

โดยที่

$\hat{C}_n$ คือ พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณตำแหน่งปัจจุบัน

$\hat{C}_{n-1}$ คือ พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณครั้งก่อน

α คือ Forgetting Factor

ขั้นตอนที่สี่

เมื่อทำการปรับแก้พารามิเตอร์ที่จะใช้ในการคำนวณแล้วระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้นคำนวณได้จาก

$$\hat{D} = \hat{C}_n N \quad (7)$$

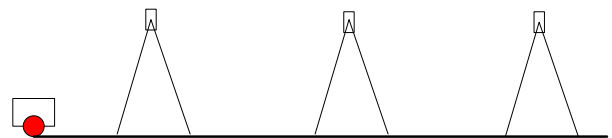
โดยที่

$\hat{D}$ คือ ระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้นที่คำนวณได้หลังจากมีการปรับแก้พารามิเตอร์

5. การทดลองเบื้องต้น

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการ Simulation ด้วยคอมพิวเตอร์โดยจะทำการวัดตำแหน่งของหุ่นยนต์เมื่อเคลื่อนที่ในพื้นที่ใช้งานด้วยออโตมิททรีและจะปรับแก้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วยกล้อง ค่าความผิดพลาดที่กำหนดให้กับการทดลองจะเป็นทั้งแบบ Systematic Errors ซึ่งเกิดจากขนาดของล้อหุ่นยนต์ที่ผิดพลาดไป 10 เปอร์เซ็นต์ และแบบ Non-Systematic Errors สาเหตุมาจากการสั่นไถลเนื่องจากความเร่งของหุ่นยนต์

ในขั้นต้นนั้นการทดลองจะให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยระยะ 20 เมตร กล้องวีดีโอจะถูกติดตั้งเหนือเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ เมื่อหุ่นยนต์อยู่ภายในบริเวณตรวจวัดได้ด้วยกล้อง การวัดตำแหน่งของหุ่นยนต์จะใช้กล้องเป็นตัววัดพร้อมทั้งปรับแก้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวัดด้วยออโตมิททรีก่อนหน้านี้และค่าพารามิเตอร์อื่นใหม่ที่จะใช้คำนวณด้วยออโตมิททรีในช่วงต่อไป



รูปที่ 6 การวัดตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

ขั้นตอนของการทดลอง

1. เริ่มต้นหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปเป็นแนวตรงและวัดตำแหน่งด้วยออโตมิททรีจนกระทั่งถึงพื้นที่ที่สามารถวัดตำแหน่งด้วยกล้อง ที่ระยะ 4 เมตรถึง 6 เมตร และปรับค่าพารามิเตอร์ ($\hat{C}_n$) โดยใช้ค่า $\alpha = 0$ เพื่อต้องการเห็นค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแก้ด้วยกล้องอย่างชัดเจน
2. คำนวณตำแหน่งแบบออโตมิททรี ในช่วงระยะ 6 เมตรถึง 10 เมตร
3. ปรับค่าพารามิเตอร์อีกด้วยกล้องเป็นครั้งที่สอง ในช่วงระยะ 10 เมตรถึง 12 เมตร
4. วัดตำแหน่งแบบออโตมิททรีหลังจากปรับแก้พารามิเตอร์ครั้งที่สอง ในช่วงระยะ 12 เมตรถึง 16 เมตร
5. ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ครั้งที่สามด้วยกล้อง ในช่วงระยะ 16 เมตรถึง 18 เมตร
6. วัดตำแหน่งแบบออโตมิททรีหลังจากปรับแก้พารามิเตอร์ครั้งที่สาม ในช่วงระยะ 18 เมตรถึง 20 เมตรจนกระทั่งหุ่นยนต์หยุดเคลื่อนที่

ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 7 8 9 10 11 และ 12

สมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

$$F = ma = \mu N = \mu mg = k \lambda mg \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{\omega_w r - V}{\omega_w r} \quad \text{เมื่อ } \omega_w \geq V \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{\omega_w r - V}{V} \quad \text{เมื่อ } V \geq \omega_w r \quad (10)$$

$$\mu = k \lambda \quad (11)$$

โดยที่

λ คือ อัตราการลื่นไถลของล้อหุ่นยนต์

ω_w คือ ความเร็วเชิงมุมของล้อหุ่นยนต์ (rad/sec)

V คือ ความเร็วเชิงเส้นของหุ่นยนต์ (m/sec)

r คือ รัศมีของล้อหุ่นยนต์ (0.044 m)

μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อกับพื้น

k คือ ความชันระหว่าง μ กับ λ (4.67)

F คือ แรงเสียดทานระหว่างล้อหุ่นยนต์กับพื้น (N)

สมการพลศาสตร์ของมอเตอร์

$$J_0 n^2 \alpha_w + b_0 n^2 \omega_w = Tn - Fr \quad (18)$$

$$L_a \frac{di}{dt} + R_a i + K_2 n \omega_w = E_v \quad (19)$$

$$T = K_1 i \quad (20)$$

โดยที่

J_0 คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์ เกียร์และล้อ (kg-m²)

n คือ อัตราทดเกียร์ (5750/200)

b_0 คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืด (0.00005 N-m/rad/sec)

α_w คือ ความเร่งเชิงมุมของล้อ (rad/sec)

T คือ แรงบิดของมอเตอร์ (N-m)

L_a คือ ค่าเหนี่ยวนำของขดลวดโรเตอร์ (negligible)

R_a คือ ค่าความต้านทานของมอเตอร์ (ohm)

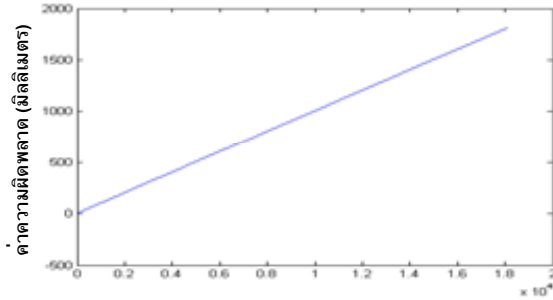
i คือ กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ (A)

K_1 คือ สัมประสิทธิ์ของแรงบิดของมอเตอร์ (0.04 N-m/A)

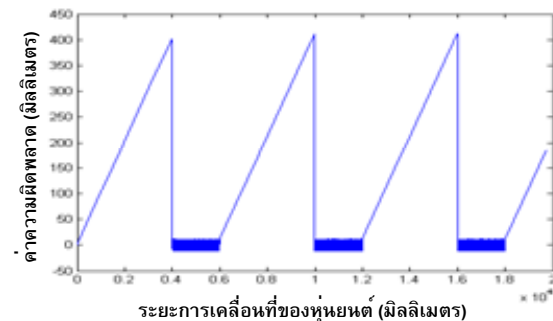
K_2 คือ สัมประสิทธิ์ของแรงดันย้อนกลับของมอเตอร์ (0.04

V-sec/rad)

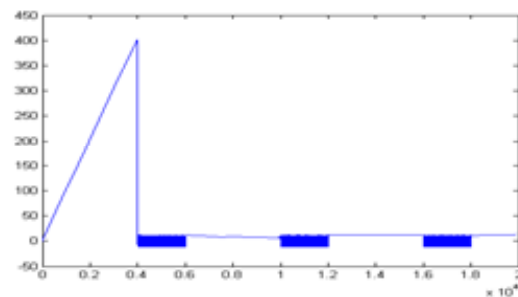
E_v คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (V)



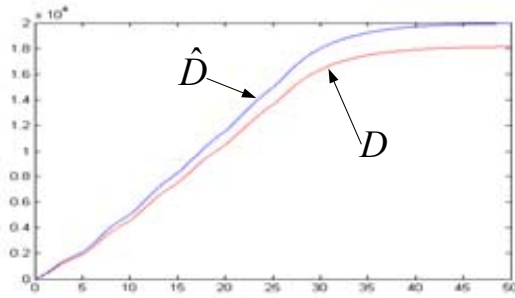
รูปที่ 7 กราฟความผิดพลาดของการวัดตำแหน่งแบบออดโตมิทรีโดยไม่มีการจำกัดค่าความผิดพลาดและไม่มีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ด้วยกล้องวิดีโอ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง $\hat{C}_n = 3.46 \times 10^{-4}$



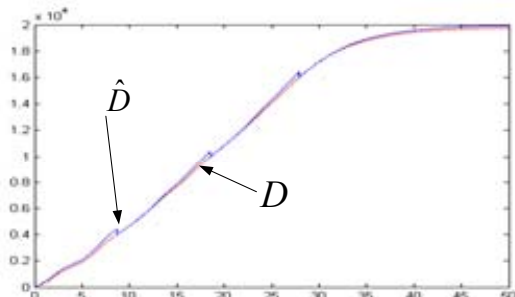
รูปที่ 8 กราฟความผิดพลาดของการวัดตำแหน่งแบบออดโตมิทรีโดยจำกัดค่าผิดพลาดด้วยกล้องวิดีโอแต่ไม่มีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง $\hat{C}_n = 3.46 \times 10^{-4}$



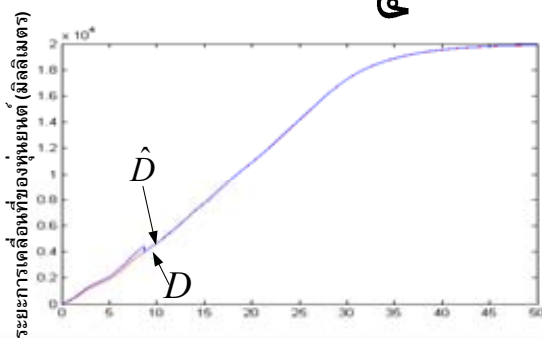
รูปที่ 9 กราฟความผิดพลาดของการวัดตำแหน่งแบบออดโตมิทรีโดยจำกัดค่าผิดพลาดด้วยกล้องวิดีโอและมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ครั้ง เริ่มต้นที่ $\hat{C}_0 = 3.46 \times 10^{-4}$



รูปที่ 10 กราฟตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริง (D) และตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่คำนวณได้ด้วยออโตมัทรี ($\hat{D}$) เทียบกับเวลา



รูปที่ 11 กราฟตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริง (D) และตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่คำนวณได้ด้วยออโตมัทรีและใช้กล้องวีดีโอจำกัดค่าผิดพลาด ($\hat{D}$) เทียบกับเวลา



รูปที่ 11 กราฟตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริง (D) และตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่คำนวณได้ด้วยออโตมัทรีแบบมีการปรับแก้พารามิเตอร์ด้วยกล้องวีดีโอ ($\hat{D}$) เทียบกับเวลา

7.วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าความผิดพลาดในการวัดตำแหน่งของหุ่นยนต์แบบออโตมัทรีที่มีผลมาจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อที่เปลี่ยนไปและการสั่นไหวเนื่องจากความเร่ง มีค่าสะสมเพิ่มมากขึ้นตามระยะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้

จากรูปที่ 7 การวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่มีค่าผิดพลาดสะสมเพิ่มขึ้นถ้าเป็นการวัดแบบออโตมัทรีเพียงอย่างเดียว เมื่อมีการติดตั้งกล้องเพื่อวัดตำแหน่งเพิ่มเข้าไปจะสามารถจำกัดค่าความผิดพลาดได้ตามรูปที่ 8 แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความผิดพลาดยังมีค่าสูงไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงของการเคลื่อนที่ภายนอกพื้นที่ที่สามารถตรวจวัดตำแหน่งได้ด้วยกล้อง และสุดท้ายได้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณตำแหน่งใหม่จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดถูกจำกัดลงมากดังรูปที่ 9 ค่าความผิดพลาดที่เหลือหลังจากการปรับพารามิเตอร์มีสาเหตุมาจากความละเอียดที่วัดได้จากกล้องวีดีโอ สังเกตได้จากระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในช่วง 4 ถึง 6 เมตร 10 ถึง 12 เมตรและช่วง 16 ถึง 18 เมตร ที่เห็นเป็นแถบสีในรูปที่ 9 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวใช้กล้องวีดีโอตรวจวัดตำแหน่งโดยตลอดซึ่งค่าผิดพลาดของกล้องจะอยู่ที่ประมาณ ± 25 มิลลิเมตร

จากการเปรียบเทียบการวัดตำแหน่งหุ่นยนต์ทั้งสามรูปแบบรูปแบบที่ใช้การปรับแก้พารามิเตอร์ของออโตมัทรีด้วยกล้องเป็นวิธีที่ให้ความแม่นยำในการวัดมากที่สุด เนื่องจากค่าพารามิเตอร์มีการปรับอยู่ตลอดเปลี่ยนไปตามค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจึงทำให้สามารถที่จะนำไปใช้วัดตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ที่ถูกใช้งานในพื้นที่ ที่มีสภาพของพื้นที่แตกต่างกันได้ดี

รายการอ้างอิง

- [1] Borenstein, J., Everett, H. R., and Feng, L., 1996, "Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning", Report for the Oak Ridge National Lab (ORNL) D&D Program, University of Michigan
- [2] Everett, H. R., "Sensors for Mobile Robots", A k Peters, Ltd., Natick, Massachusetts, 1995
- [3] Borenstein, J., "Experimental Results from Internal Odometry Error Corection with the Omnimate Mobile Robot", IEEE Transaction on Robotic and Automation, Vol. 14, No. 6, Desember 1998
- [4] Akihisa, O., Yukio, M., and Shin, Y., "Autonomous Navigation of Mobile Robot base on Teaching and Playback Using Trinocular Vision", 2001 The 27th Annual conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 398-430.
- [5] Maurizio, P., Antonio, S., and Renato, Z., "Autonomous Navigation and Localization in Service Mobile Robotics" 2001 IEEE International Conference on Intelligent and Systems, pp. 2024-2029.

เวลา (วินาที)