

การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยระบบบอกพิกัดโลกราคาถูก

Development of Low Cost GPS based Mobile Robot

มนัส อินทร์ นิรุจน์ ทิพหา สมยศ เกียรติวนิชวิไล*

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อ.เมือง จ.พิจิตร 65000 Email: somyotk@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ นอกอาคาร ระบบควบคุมของหุ่นยนต์เป็นแบบอัตโนมัติโดยอาศัยระบบบอกตำแหน่งพิกัดโลก (GPS: Global Positioning Systems) ในการกำหนดพิกัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ GPS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นรุ่นที่ราคาถูก ซึ่งตำแหน่งที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับนี้จะมีการแก้แวงและความผิดพลาดในสัญญาณเอาท์พุทสูง เพื่อลดผลของการแก้แวงของสัญญาณดังกล่าวออกในงานวิจัยนี้จะอาศัยตัวกรองสัญญาณแบบคิงดอลประเภทมูฟวี่ริงแอฟเวอร์เรจ (Moving Average Filter) ระบบควบคุมของหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุมระดับล่าง ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งจะควบคุมโดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ GPS และเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Compass) ระบบควบคุมอีกส่วนคือ โปรแกรมควบคุมระดับบนซึ่งพัฒนามาบนโปรแกรมวิซวลเบสิก ทำหน้าที่คำนวณพิกัดเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ไปเป็นพิกัดและทิศทางของหุ่นยนต์ เพื่อให้เป็นคำสั่งสำหรับโปรแกรมในส่วนควบคุมระดับล่างต่อไป ต้นแบบของหุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถเคลื่อนที่โดยอัตโนมัติด้วยหลักการระบบบอกตำแหน่งพิกัดโลก โดยมีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ในงานที่มีพื้นที่ทำงานใหญ่

คำสำคัญ หุ่นยนต์ ระบบอัตโนมัติ จีพีเอส

Abstract-This research studies and develops an autonomous outdoor mobile robot controlled by an automatic system using GPS (Global Positioning System). In this research work, a low cost GPS that accuracy and high output noise is applied. To decrease the oscillated signal in GPS output, digital moving average filter is adopted. Controller of the proposed robot is composed of two parts. The first part pertains to the low level control using a microcontroller GPS and electronic compass. The second part deals with the high

level control developed on Visual Basic program. The high-level controller is used to transform a specified path to the command of low-level controller. The prototype of developed robot can control in autonomous mode using GPS. However, accuracy of the system is depended on the accuracy of GPS that low cost GPS can be well applied in large working area.

Keywords: Robot, Autonomous System, GPS

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีหุ่นยนต์เป็นที่สนใจ และมีการพัฒนาอย่างกว้างขวางในประเทศที่พัฒนาแล้ว หุ่นยนต์เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตร เพื่อเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพในการดำเนินงาน และเพื่อแก้ปัญหาในงานบางประเภทที่มนุษย์ไม่ต้องการทำ หรือลักษณะงานอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้ อาทิเช่น

1. งานเสี่ยงอันตราย อาทิเช่น เช็ดกระจกตึกสูง, งานพันสารเคมีปราบศัตรูพืช, ถูระเบิด, การกู้ภัย เป็นต้น
2. งานที่ต้องการความแม่นยำสูง อาทิเช่น การออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งในโรงงาน เป็นต้น
3. งานที่ไม่ต้องการความผิดพลาดจากมนุษย์ อาทิเช่น การนับคนเข้าออกสถานที่ เป็นต้น
4. งานที่มนุษย์ไม่ยอมทำ และงานหนัก ได้แก่ งานที่น่าเบื่อหน่าย, งานหนัก เป็นต้น

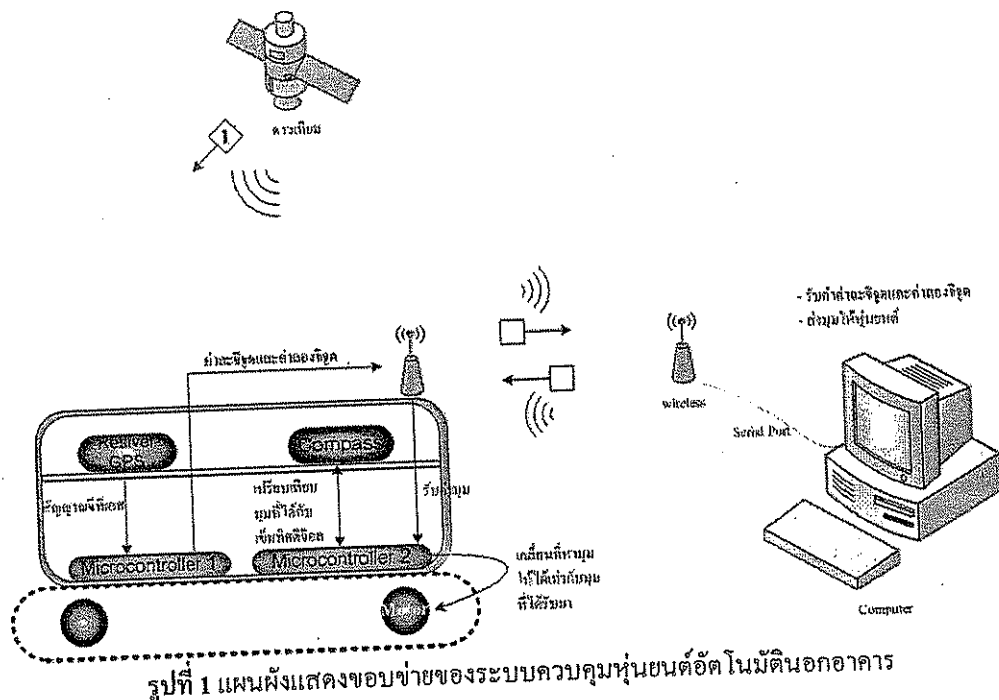
หุ่นยนต์รูปแบบต่างๆ จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่น หุ่นยนต์ถูระเบิด, หุ่นยนต์เพื่อการเกษตร เป็นต้น อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทย การพัฒนาหุ่นยนต์ที่ใช้งานได้จริงนั้นยังมีน้อย เนื่องจาก การพัฒนาหุ่นยนต์จำเป็นต้องอาศัยความชำนาญในศาสตร์ หลายๆด้าน อาทิเช่น ดังต่อไปนี้ ระบบกลไกทางกล (Mechanic) ระบบควบคุม (Control System) ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

(Electrical and Electronic System) การโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์และระบบสื่อสาร

งานวิจัยนี้นำเสนอ การพัฒนาหุ่นยนต์ภายนอกอาคารที่สามารถทำงานภายนอกอาคารทั้งในโหมดอัตโนมัติและโหมดบังคับโดยมนุษย์ ซึ่งสามารถนำไปเป็นเครื่องต้นแบบในการประยุกต์ใช้งานหลายประเภท ตัวอย่างการนำหุ่นยนต์นอกอาคารไปใช้งานได้แก่ หุ่นยนต์กู้ระเบิดควบคุมระยะไกล เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเข้าไปสำรวจในพื้นที่ๆเสี่ยงภัยสำหรับมนุษย์, รถขนส่งยานยนต์อัตโนมัติ เป็นระบบยานยนต์ที่ไม่ต้องอาศัยคนขับ, รถคัทพญาอัตโนมัติ รถไล่นาอัตโนมัติ, รถพ่นยากำจัดศัตรูพืชควบคุมระยะไกล เป็นต้น

2. ทฤษฎีพื้นฐานและหุ่นยนต์ควบคุมอัตโนมัติในงานวิจัย

ลักษณะการควบคุมของหุ่นยนต์ แบ่งออกเป็นสองระดับ คือ การควบคุมระดับบนและระดับล่าง บล็อกไดอะแกรมที่แสดงรายละเอียดของหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 1



2.1 ส่วนควบคุมระดับบน (High Level Control)

ในส่วนควบคุมระดับบนจะมีคอมพิวเตอร์ เป็นตัวหลักในการทำงาน โดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก 6.0 [1] สร้างแผนที่และเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ จากรูปที่ 1 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ออกแบบในโครงงานนี้ จะรับคำสั่งเส้นทางเดิน

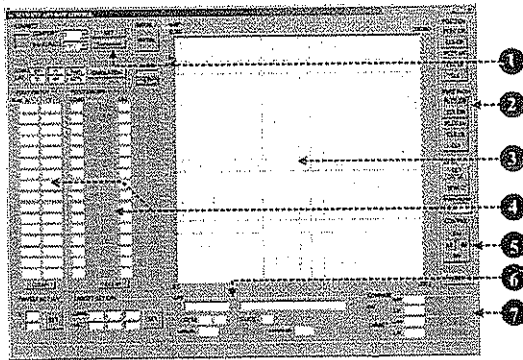
ที่กำหนดโดยผู้ควบคุม เส้นทางนี้จะถูกเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์ ส่วนบุคคล ส่วนควบคุมนี้จะรับคำสั่งจุดและลงจุดจากเครื่องรับสัญญาณ GPS ที่ติดอยู่บนหุ่นยนต์ผ่านทางสายสื่อสารไร้สายความถี่ 2.4 GHz จากนั้นจะทำการคำนวณค่ามุมของหุ่นยนต์ที่จะเคลื่อนที่ โดยจะคำนวณจากพิกัดเป้าหมายที่กำหนดขึ้น และค่าพิกัดตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นยนต์ ตัวควบคุมระดับบนส่วนนี้จะทำการประมวลผลหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของโลก และจะส่งค่ามุมที่ได้จากการคำนวณกลับไปให้ระบบควบคุมระดับล่างอีกครั้งหนึ่ง รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างหน้าจอของส่วนควบคุมระดับบน

2.2 ส่วนควบคุมระดับล่าง (Low Level Control)

เมื่อได้รับคำสั่งมุมจากตัวควบคุมระดับบนแล้ว ตัวควบคุมระดับล่างซึ่งมีการควบคุมแบบแบ่ง-แบ่ง จะทำการควบคุมทิศทางของหุ่นยนต์ให้หันไปในทิศทางที่กำหนด โดยจะไม่โครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นส่วนประมวลผลของตัวควบคุมระดับล่างนี้ จะเปรียบเทียบกับค่าทิศทางที่ได้มากับค่าทิศทางที่

อ่านได้จากโมดูลเข็มทิศดิจิทัล จากนั้นจะทำการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่หารูปไปยังมุมที่ต้องการโดยผ่านทางวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง ทั้งส่วนควบคุมระดับล่างและระดับบนจะใช้ทิศเหนือเป็นทิศทางอ้างอิง จากนั้นจะส่งค่าตำแหน่งใหม่จาก GPS ที่ได้จากการควบคุมการเคลื่อนที่นี้ไปให้ส่วน

ควบคุมระดับบนอีกครั้ง ในระบบควบคุมระดับล่างนี้จะประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ชุด[2-3] เป็นอุปกรณ์หลักในการทำงาน โดยชุดที่ 1 จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากโมดูลเซ็นเซอร์ที่ติดอยู่ ซึ่งใช้การติดต่อบนระบบบัส I²C เพื่อหาทิศทางของหุ่นยนต์เป็นองศาเทียบกับทิศเหนือของโลก โดยให้ ทิศเหนือ = 0° และ 360° ถือเป็นจุดเดียวกัน นอกจากนี้ในชุดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ยังเขียนโปรแกรมสำหรับบังคับทิศทางหุ่น โดยใช้การควบคุมแบบแบง - แบง (Bang-Bang) โดยมีค่าผิดพลาดที่ตั้งไว้คือ 2°



ความหมายของตำแหน่งต่างๆ

1. หน้าต่างที่ใช้กำหนดการติดต่อสื่อสารทางพอร์ตอนุกรม
2. ปุ่มกดเพื่อแสดงรูปแบบเส้นทางเคลื่อนที่
3. แผนที่แสดงรูปแบบเส้นทางเคลื่อนที่
4. ช่องแสดงค่าตำแหน่งพิกัดโลกโดยผู้ใช้กำหนดเอง (ละติจูดและลองจิจูด)
5. ปุ่มกดเพื่อควบคุมหุ่นยนต์โดยผู้ใช้
6. ช่องแสดงสัญญาณจีพีเอส ตำแหน่งที่หุ่นยนต์ตั้งอยู่
7. ช่องแสดงผลต่างระหว่างตำแหน่งเป้าหมายกับตำแหน่งจริงของหุ่นยนต์

รูปที่ 2 หน้าต่างโปรแกรมการใช้งาน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดที่ 2 จะทำหน้าที่อ่านค่าจาก GPS Module Receiver โดยตัวรับสัญญาณจีพีเอสจะให้ค่าตำแหน่งพิกัดโลกในลักษณะเป็นค่าตำแหน่งละติจูดและลองจิจูด และมีโปรโตคอลเฉพาะ ซึ่งมีข้อมูลอักขระหลายส่วนที่ไม่จำเป็นต้องนำไปคำนวณและไม่ต้องส่งกลับไปที่ตัวควบคุมระดับบน ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดนี้จะทำการตัดเฉพาะละติจูดและลองจิจูดที่จำเป็นส่งกลับไปยังระบบควบคุมระดับบนเท่านั้น โดยส่งกลับแบบอนุกรมด้วยอัตรา 4800 บิตต่อวินาที

2.2.1 ระบบควบคุมแบบแบง-แบง (Bang - Bang Control)

การควบคุมแบบแบง-แบงเป็นวิธีการควบคุมระบบควบคุมโดยมีหลักการควบคุม [4] คือ

$$e = t - a$$

$$u(t) = U \text{ เมื่อ } e > \text{bound (+)}$$

$$= -U \text{ เมื่อ } e < \text{bound (-)}$$

$$= 0 \text{ เมื่อ } \text{bound (-)} \leq e \leq \text{bound (+)}$$

(1)

เมื่อ e คือ ค่าความผิดพลาด

t คือ ค่าเป้าหมายที่ต้องการ

a คือ ค่ามุมจริงในขณะนั้น

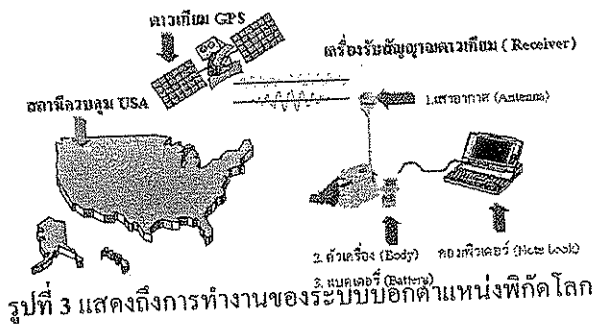
bound (+) คือ ค่าขอบเขตด้านบน

bound (-) คือ ค่าขอบเขตด้านล่าง

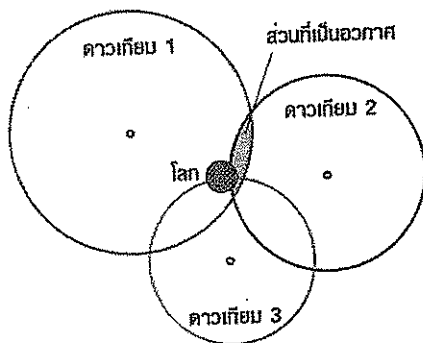
U คือ ค่าสัญญาณควบคุมที่กำหนดขนาดเท่ากับ U

2.3 ระบบตำแหน่งบอกพิกัดโลก (GPS: Global Positioning System)

อวกาศจะประกอบไปด้วยดาวเทียมจำนวนหนึ่ง ซึ่งบินโคจรรอบโลก ปกติวงโคจรของดาวเทียมจะอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 12,660 ไมล์ โดยดาวเทียมหนึ่งดวงจะสามารถโคจรรอบโลกได้ 1 รอบใน 12 ชั่วโมง ในระหว่างการโคจรรอบโลกนั้น ดาวเทียมจะมีการส่งสัญญาณสู่พื้นโลกผ่านเสาส่งสัญญาณที่ติดตั้งจากดาวเทียมมายังโลก สถานีที่อยู่บนโลกจะคอยตรวจสอบดูแลการทำงานของดาวเทียม โดยใช้เรดาร์ส่งสัญญาณไปยังดาวเทียม เพื่อให้ดาวเทียมอยู่ในวงโคจร ในความสูง ความเร็ว และตำแหน่งที่ถูกต้อง ในส่วนของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมหรือเครื่องจีพีเอสแบบมือถือ โดยทั่วไปในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม นั้นจะมีส่วนโปรแกรมในตัวเครื่องเพื่อให้เครื่องทราบว่าดาวเทียมอยู่ในตำแหน่งใด ในเวลานั้น ๆ โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จะทำการคำนวณตรวจสอบ และถอดรหัสสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมเป็นค่ารหัสที่สามารถนำไปใช้บอกตำแหน่งของเครื่องได้ รูปที่ 3 แสดงหลักการของเครื่องรับจีพีเอสดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น หลักการทำงานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม คือการคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมซึ่งจะต้องใช้ระยะทางจากดาวเทียมอย่างต่ำ 3 ดวง เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แน่นอน

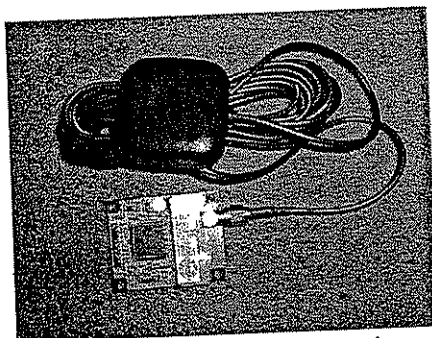


รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียม 3 ดวง โดยอาศัยค่าเวลาในการส่งของแต่ละดวงที่ต่างกัน



ความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณได้ในขณะนั้น หากมีมากกว่า 3 ดวงก็จะละเอียดมากขึ้น และขึ้นอยู่กับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมด้วย ซึ่งโดยมาก หากความละเอียดสูงจะมีราคาแพง

รูปที่ 5 แสดงโมดูลรับสัญญาณดาวเทียมรุ่น GM-82 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 5 ตัวรับสัญญาณจีพีเอส รุ่น จีเอ็ม-82

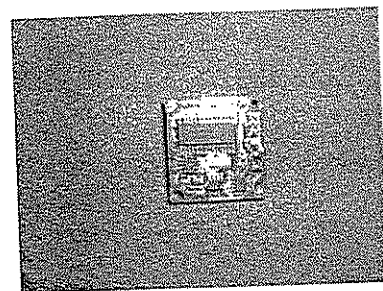
อย่างไรก็ตาม สัญญาณที่ได้จาก GPS จะมีลักษณะที่แกว่งมากเนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพื่อลดผลดังกล่าวในโครงการวิจัยนี้จึงออกแบบการโปรแกรมแบบดิจิทัลโดยใช้ตัวกรองแบบ Moving Average ซึ่งเป็นไปตามสมการนี้

$$y(k) = \frac{u(k) + u(k-1) + \dots + u(k-N)}{N} \quad (2)$$

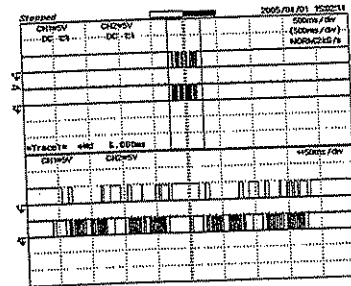
เมื่อ $y(k)$ คือ ค่าตำแหน่งที่ k ผ่านตัวกรองสัญญาณแล้ว $u(k), u(k-1), u(k-N)$ คือ ค่าสัญญาณตัวที่ $k, k-1$ และ $k-N$ ตามลำดับ ที่ยังไม่ผ่านตัวกรอง (สัญญาณที่ได้จาก GPS) N คือ จำนวนเต็มที่กำหนดขนาดความยาวของตัวกรองสัญญาณ หากค่านี้มีค่ามาก ความไวของการรับข้อมูลจะช้า (Low Sensitivity) แต่จะได้ข้อมูลที่เรียบขึ้น ในทางกลับกัน หากค่านี้น้อยจะให้ผลตรงกันข้าม

2.4 ชุดโมดูลเข็มทิศ

เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นรุ่น CMPS03 ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งให้ค่ามุมในรูปของความกว้างพัลส์ ที่ได้จากเอาต์พุตสัญญาณพัลส์ของโมดูลมาระบุตำแหน่งองศา จาก 0 ถึง 359.9 องศา โดยมีย่านของค่าความกว้างสัญญาณพัลส์จาก 1 มิลลิวินาทีไปจนถึง 36.99 มิลลิวินาที มีความละเอียด 0.1 มิลลิวินาทีต่อองศา ในการอ่านค่ามุมแต่ละครั้ง สัญญาณพัลส์จะเกิดช่วงว่างเป็นลอจิก "0" กว้าง 65 มิลลิวินาที ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการนับขนาดความกว้างพัลส์และให้ค่ามุมที่เป็นทิศทางของหุ่นยนต์ออกมา



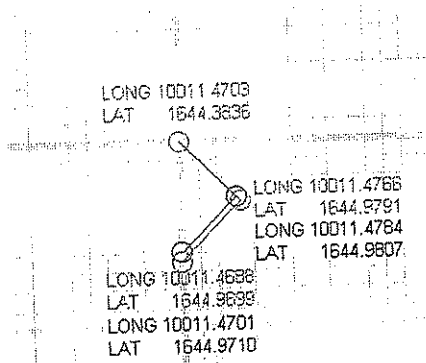
(ก)



(ข)

รูปที่ 6 ภาพ (ก) เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์รุ่น CMPS03

(ข) สัญญาณที่อ่านได้

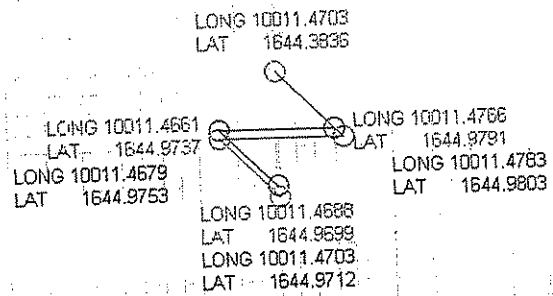


รูปที่ 9 การเคลื่อนที่รูปตัวแอล (L)

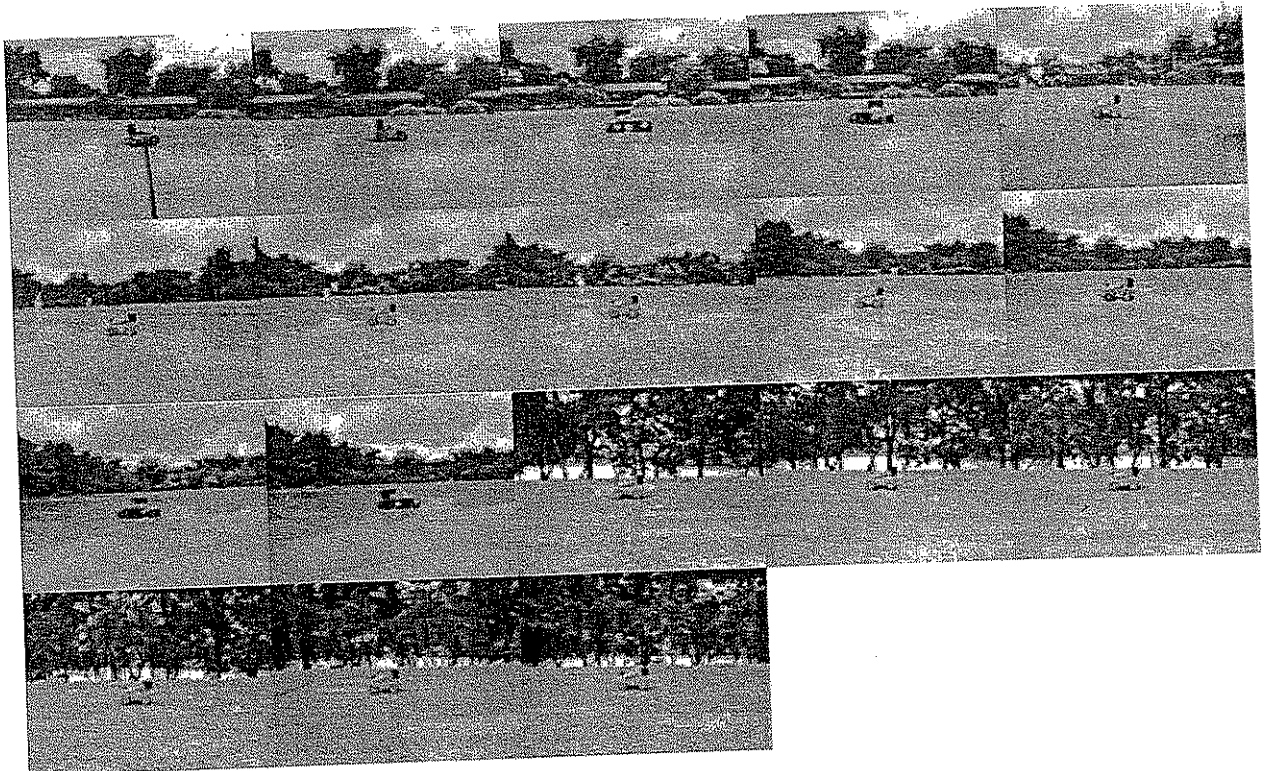
กรณีที่ 2 เส้นทางแบบรูปตัว Z

จากจุดเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งกำหนดให้อยู่ที่ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดรูปที่ 10 จากรูปจะเห็นได้ว่า ได้กำหนดเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์เป็นรูปตัว Z พบว่า จะมีสองช่วงการเคลื่อนที่ที่ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย

และมีการเคลื่อนที่เพียงช่วงเดียวที่เป็นไปตามเป้าหมาย อย่างไรก็ตาม จากการประมวลผลพบว่า ค่าผิดพลาดจะคิดเป็นประมาณ 8-15 % ระยะทางเป้าหมายรวม รูปที่ 9 (ข) แสดงภาพถ่ายการเคลื่อนที่แบบ Snap Shot



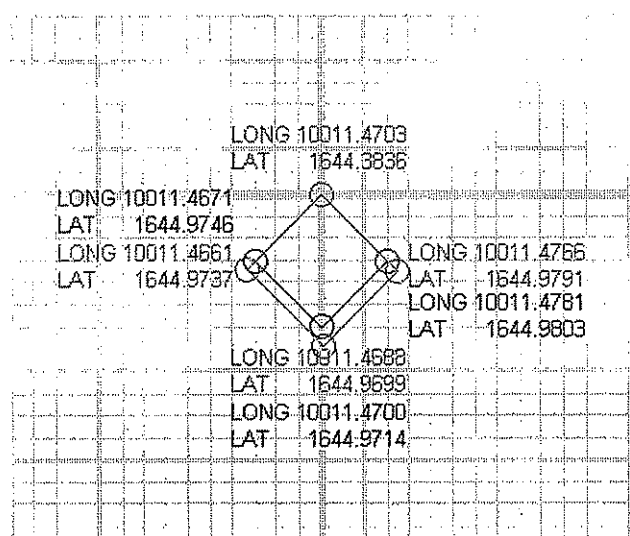
รูปที่ 10 แสดงการเคลื่อนที่แบบรูปตัว Z ของหุ่นยนต์



รูปที่ 11 แสดงภาพถ่ายแบบ snap shot ของการเคลื่อนที่รูปตัว Z ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่นอกอาคารนี้

กรณีที่ 3 เส้นทางแบบรูปสี่เหลี่ยม

จากจุดเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งกำหนดให้อยู่ที่ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดรูปที่ 12 จากรูปจะเห็นว่า ได้กำหนดเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์เป็นรูปสี่เหลี่ยม พบว่า จะมีสองช่วงของการเคลื่อนที่ที่ไม่เป็นไปตามเป้าหมายและมีการเคลื่อนที่อีกสองช่วงที่เป็นไปตามเป้าหมาย อย่างไรก็ตาม จากการประมวลผลพบว่า ค่าผิดพลาดของเป้าหมายจะคิดเป็นประมาณ 15-20% ของระยะทางรวมทั้งหมด



รูปที่ 12 แสดงการเคลื่อนที่แบบรูปสี่เหลี่ยมของหุ่นยนต์

4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายนอกอาคาร โดยระบบควบคุมแบบอัตโนมัติด้วยหลักการของระบบบอกตำแหน่งพิกัดโลก (GPS: Global Positioning Systems) ในงานวิจัยนี้ พบว่า หุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ได้ตรงตามจุดประสงค์ของโครงการที่ตั้งไว้ คือ ตัวหุ่นยนต์ได้มีการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติซึ่งได้ใช้ระบบบอกตำแหน่งพิกัดโลกในการนำทาง แต่การเคลื่อนที่ที่มีความคลาดเคลื่อนไปจากรูปแบบเส้นทางที่กำหนดไว้ เนื่องจากอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณจีพีเอสซึ่งมีราคานั้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่ (ปกติจะมีการคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 5 ถึง 25 เมตร หรือ 10 ถึง 50 ฟุต) การควบคุมโดยอาศัยการอ้างอิงเข็มทิศในตัวหุ่นยนต์และตำแหน่งพิกัดโลกเพื่อกำหนดทิศทางการเดินของหุ่น สามารถทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อย่างอัตโนมัติได้ อย่างไรก็ตาม การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเหล่านี้ จะ

ใช้ได้กับหุ่นยนต์นอกอาคารที่ต้องทำงานในที่โล่งแจ้งเท่านั้น ไม่สามารถทำงานภายในอาคาร อันเกิดจากตัวอาคารบดบังสัญญาณจากดาวเทียม ที่ส่งมายังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ปัญหาอีกส่วนหนึ่งคือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณดาวเทียมราคาถูกนี้มีความคลาดเคลื่อนสูง ทำให้เหมาะกับการทำงานนอกอาคารที่มีพื้นที่ที่กว้างมาก โดยไม่ควรจะน้อยกว่า 200 ตารางเมตร แนวทางในการแก้ไขปัญหาคือการติดตั้งระบบ ดีจีพีเอสเพิ่มเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมให้มีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม การติดตั้งดังกล่าวจะต้องมีฐานอ้างอิงซึ่งในทางการประยุกต์ใช้งานบางประเภทอาจทำไม่ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤษดา ใจเย็น และคณะ. เรียนรู้และใช้งาน PICBASIC PRO คอมไพเลอร์. กรุงเทพฯ : อินโนเวติฟ เอ็กเพอริเมนต์. 2546.
- [2] รศ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล. ภาษาแอสเซมบลีสำหรับ MCS-51. ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2547.
- [3] จักรกฤษณ์ พิษผล และคณะ. คู่มือเรียน Visual Basic 6. ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2547.
- [4] Katsuhiko Ogata. Modern Control Engineering. 3RD Ed. State of America : Prentice-Hall. 1997.