การหาสมรรถนะหุ่นยนต์สำรวจควบคุมผ่าน CAN บัส

Performance of Surveying Robotics Controlled via CAN Bus

ประกาศิต ตันติอลงการ[1], โอภาส ศิริครรชิตถาวร[2], นฤพนธ์ ศรีเหรา[3] และอานนท์ หม้อสุวรรณ[4]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนฮาร์ดแวร์เป็นการสร้างตัวหุ่นยนต์และชุดแขนกลซึ่งติดตั้งเซ็นเซอร์ต่างๆ ส่วนของซอฟต์แวร์เป็นการสร้างชุดวงจรควบคุมการรับส่งข้อมูลทั้งหมด การออกแบบวงจรใช้โปรแกรม Altium Designer โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103RBT6 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบซึ่งมี 3 บอร์ดคือ 1)บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อีเทอร์เน็ตทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารข้อมูลต่างๆ ผ่าน Wireless Router 2)บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เซ็นเซอร์ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ และ 3)บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์และอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อน ซึ่งทั้ง 3 บอร์ดจะติดต่อกันผ่าน CAN บัส

จากการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของหุ่นยนต์สำรวจ พบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่มุมเอียงได้ไม่เกิน 40 องศา ปีนขึ้นมุมไต่ได้ไม่เกิน 19 องศา ขึ้นพื้นที่ต่างระดับได้ไม่เกิน 19 เซนติเมตร แขนกล สามารถหมุนกล้อง CCD แนวซ้าย-ขวาได้ 180 องศา มุมก้ม-เงยได้ 180 องศา แขนกลยืดสูงได้ ไม่เกิน 1.7 เมตร สามารถมองเห็นภาพจากกล้องได้ชัดเจนไม่เกิน 7 เมตรในเวลากลางวัน และ 4 เมตรในเวลากลางคืน สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้เป็นระยะทาง 100 เมตรในที่โล่ง

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ สำรวจ ระบบ CAN เซ็นเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This research includes two parts: hardware and software. In hardware parts were constructed body and arm of robotics for supported sensors. In software part were designed control circuits by Altium Designer program. We used 3 microcontroller STM32F103RBT6 boards. The 1st Microcontroller Ethernet board use for communication with wireless router via RJ-45. The 2nd Microcontroller Sensor board use for reading data

[1,2,3,4] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800 ประเทศไทย

of sensors. The 3rd Microcontroller Drive board use for controlling motors and reading currents from driving motors. All of three boards communicate via CAN Bus network.

Performances showed that robotics could moving on incline plane not more than 40°, climb up and down the slope not more than 19° and the elevated track 90°, not higher than 0.19 meter. The camera could rotate laterally 180°, up and down 180°, with a mechanical arm to extend away 1.7 meters from the robotics. Pictures could be seen in details, in light not more than 7 meters far and in darkness 4 meters, away from the camera. The robotics could be controlled from the distance less than 100 meters in the open area.

Keywords: Robotics, Survey, CAN system, Sensor, Microcontroller

บทนำ

เมื่อเกิดภัยพิบัติในสถานที่ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปได้หรือเข้าถึงได้ลำบากเพราะอาจเกิดอันตรายต่อชีวิตได้ เช่น โรงงานระเบิด ภายในอุโมงค์หรือท่อขนาดใหญ่ เป็นต้น การให้ความช่วยเหลือควรมีหุ่นยนต์ที่สามารถเข้าไปสำรวจ สามารถค้นหา ช่วยเหลือผู้ประสบภัย และรายงานสภาพสถานการณ์ในขณะนั้นได้ ระบบการควบคุมของหุ่นยนต์จึงมีความสำคัญมาก การติดต่อสื่อสารและส่งข้อมูลจะต้องมีความรวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำ หุ่นยนต์ที่ใช้ในการสำรวจควรมีความสามารถในการตรวจหาผู้ประสบภัย สามารถรับภาพ วัดอุณหภูมิ วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และวัดความชื้นได้ แล้วส่งสัญญาณมายังคอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้ช่วยเหลือสามารถรับรู้ถึงสภาพสถานการณ์ในสถานที่นั้น ส่งผลให้สามารถให้การช่วยเหลือแก่ผู้ประสบภัยได้อย่างถูกวิธีและปลอดภัย

จากงานวิจัยของประกาศิต ตันติอลงการและคณะ (2556) พบว่าหุ่นยนต์ผู้ช่วยทหารที่สร้างขึ้น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงตัวเดียวทำให้เกิดความล่าช้าในการสื่อสาร และได้เสนอแนะว่าควรติดตั้งเซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจจับความร้อนเพื่อตรวจสอบชีวิตของผู้ประสบภัย หุ่นยนต์ควรมีความสามารถในการสำรวจพื้นที่ที่มีสารพิษอันตรายหรือสถานที่คับแคบที่คนไม่สามารถเข้าไปได้ ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ระบบสื่อสารแบบ CAN บัสมาใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ เนื่องจากจุดเด่นของระบบ CAN บัสคือมีความรวดเร็วในการส่งข้อมูลสูง หุ่นยนต์สำรวจนี้มีความสามารถในการเข้าถึงสถานที่ที่ยากลำบาก สามารถรับภาพจากกล้อง CCD วัดอุณหภูมิ วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และวัดความชื้นได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบ CAN บัสในการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อศึกษาการรับส่งข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์หลายชนิดโดยใช้ CAN บัสเป็นสื่อกลาง
3. เพื่อออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สำรวจควบคุมด้วยระบบ CAN
4. เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของหุ่นยนต์สำรวจในด้านต่างๆ เช่น การปีนป่ายพื้นที่ลาดเอียง การขึ้นพื้นที่ต่างระดับ การมองเห็นผ่านกล้อง CCD และการใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับสิ่งต่างๆ

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

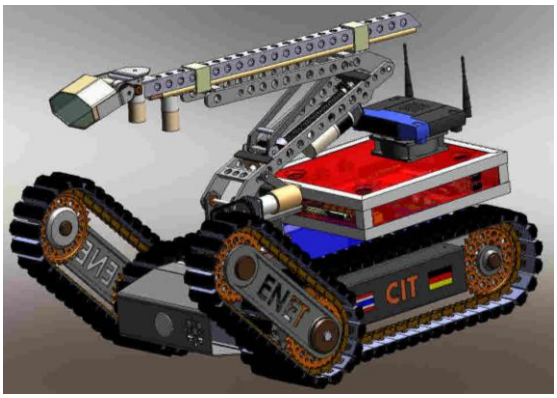
CAN (Control Area Network) เป็นมาตรฐาน ISO 11898 : 2003 (Texas Instrument, 2008) เป็นรูปแบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความรวดเร็วในการส่งข้อมูล CAN ได้ถูกนำไปใช้ในงานควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มากมาย เช่น ระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ เซ็นเซอร์ต่างๆ ภายในรถยนต์ การสื่อสารข้อมูลและควบคุมเซ็นเซอร์ต่างๆ ภายในเรือดำน้ำ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ และในงานด้านควบคุมอื่นๆ ที่ต้องการความรวดเร็วในการส่งข้อมูล เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยระบบ CAN นี้มาใช้ในหุ่นยนต์สำรวจเพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติต่างๆ เช่น ตึกถล่มอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวหรือตึกถล่มเพราะไม่มีมาตรฐานในการก่อสร้าง สถานที่ที่มีสารพิษหรือสถานที่ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งทำให้มีผู้บาดเจ็บติดอยู่ภายใน จำเป็นที่จะต้องมีเครื่องมืออุปกรณ์ที่สามารถสำรวจเพื่อให้การช่วยเหลือผู้ประสบภัยหรือรายงานสภาพสถานการณ์ขณะนั้นได้อย่างรวดเร็วทันท่วงทีเพื่อที่จะได้หาทางแก้ไขและช่วยเหลือต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

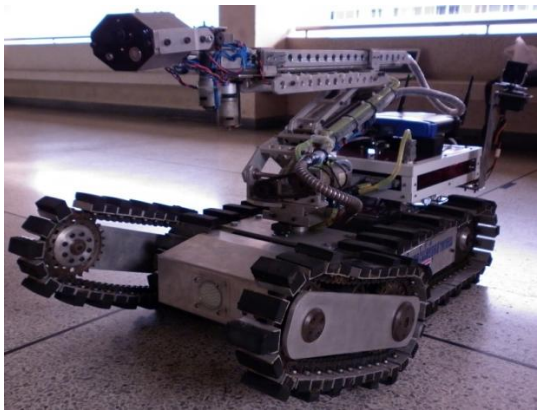
การออกแบบโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์สำรวจ

การออกแบบโครงสร้างตัวหุ่นยนต์สำรวจ ดังรูปที่ 1 ใช้โปรแกรม SolidWorks (ทวีศักดิ์ ศรีช่วย, 2553) การออกแบบวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ใช้โปรแกรม Altium Designer (บัณฑิต จามรภูติ, 2550) เมื่อออกแบบแล้วจึงนำมาสร้างหุ่นยนต์ดังรูปที่ 2 โครงสร้างหลักทำจากอะลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร เพื่อให้มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบา ตีนตะขาบทำขึ้นจากยางที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นเป็นพิเศษมีสองรูปแบบคือแบบสูงและต่ำจัดวางสลับกัน ตีนตะขาบนำมาประกอบกับตัวโซ่สายพานเป็นล้อตีนตะขาบ มีข้อดีคือล้อจะเรียงชิดกันเป็นระเบียบ ทำให้โซ่ตึงตลอดเวลาและน้ำหนักเบา ล้อตีนตะขาบออกแบบให้มีสองชุดแยกอิสระกันเพื่อใช้ในการปีนป่ายพื้นที่ต่างระดับ หุ่นยนต์สำรวจมีความกว้าง 46 เซนติเมตร

ยาว 88 เซนติเมตร และสูง 50 เซนติเมตร น้ำหนักรวม 35 กิโลกรัม บริเวณส่วนของปลายแขนกลประกอบด้วยกล้อง CCD หลอดไฟส่องสว่าง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเซ็นเซอร์วัดความชื้น



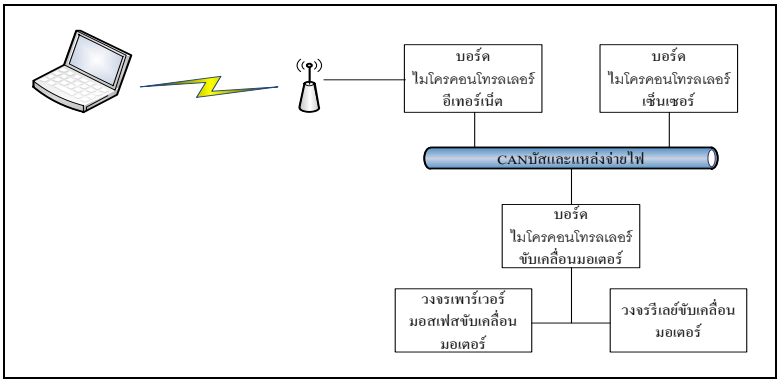
รูปที่ 1 ออกแบบตัวหุ่นยนต์สำรวจ



รูปที่ 2 หุ่นยนต์สำรวจที่สร้างขึ้น

การออกแบบภาคต่าง ๆ ของหุ่นยนต์สำรวจ

การควบคุมหุ่นยนต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103RBT6 (โอภาส ศิริครรชิตถาวร, 2553) จำนวน 3 บอร์ดคือ 1) ใช้ในการเชื่อมต่อกับอีเทอร์เน็ต 2) ใช้ในการติดต่อกับตัวเซ็นเซอร์ 3) ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ ดังแผนภาพบล็อกในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพบล็อกการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

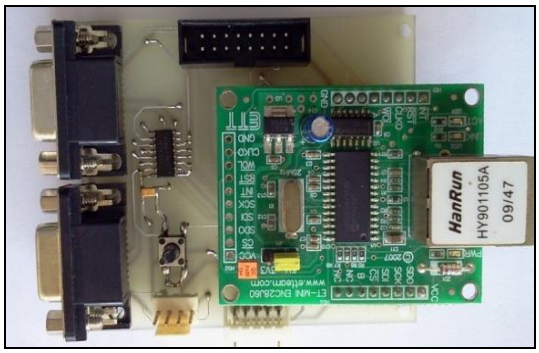
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อีเทอร์เน็ต

รูปที่ 4 คือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อีเทอร์เน็ต สามารถติดต่อกับ CAN บัสได้โดยใช้ไอซี SN65HVD230 ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ Voltage Differential ใน CAN บัส เป็นสัญญาณทีทีแอล 0-3.3 V และสามารถติดต่อกับอีเทอร์เน็ตได้โดยผ่าน Ethernet Module รุ่น ENC28J60

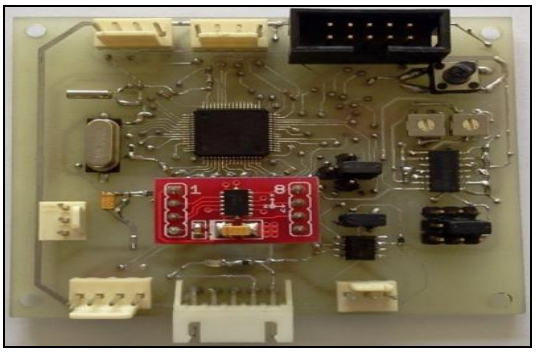
(บริษัท อีทีที จำกัด, 2556) ผ่านทาง SPI ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อกับ RS-232 โดยผ่านไอซี MAX3232 ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ ±15 V ใน RS-232 เป็นสัญญาณทีทีแอล 0-3.3 V บอร์ดนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารข้อมูลต่างๆ ผ่าน Wireless Router

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เซ็นเซอร์

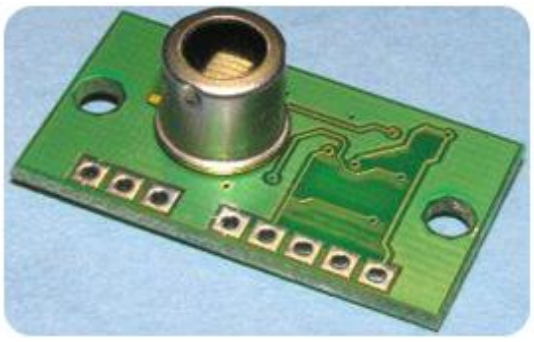
รูปที่ 5 คือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เซ็นเซอร์ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารข้อมูลของเซ็นเซอร์ต่างๆ ประกอบด้วย (1) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิรุ่น TPA81 วัดได้ระหว่าง –40°C ถึง +125°C (2) เซ็นเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รุ่น MG811 (3) เซ็นเซอร์วัดความชื้นรุ่น SK2L94V-0 วัดได้ในช่วง 90% RH หรือน้อยกว่า (4) เซ็นเซอร์วัดความเอียงรุ่น ET-MMA7331L (ETT CO.,LTD., 2013) ส่งข้อมูลผ่าน CAN บัส เซ็นเซอร์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6-9



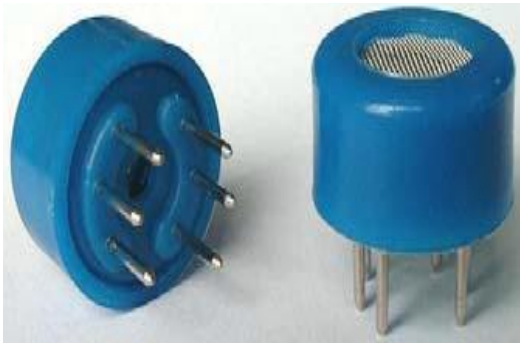
รูปที่ 4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อีเทอร์เน็ต



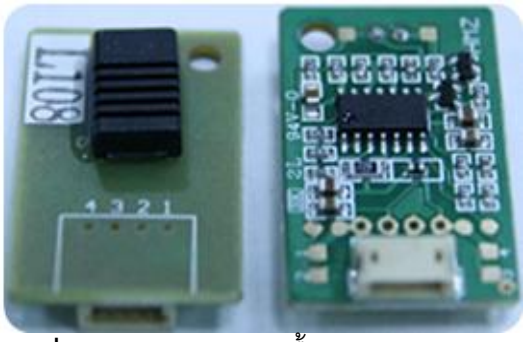
รูปที่ 5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เซ็นเซอร์



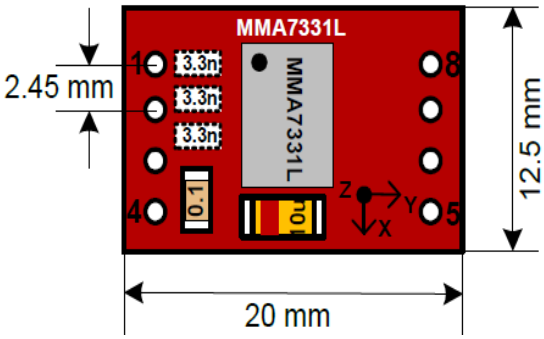
รูปที่ 6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ



รูปที่ 7 เซ็นเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



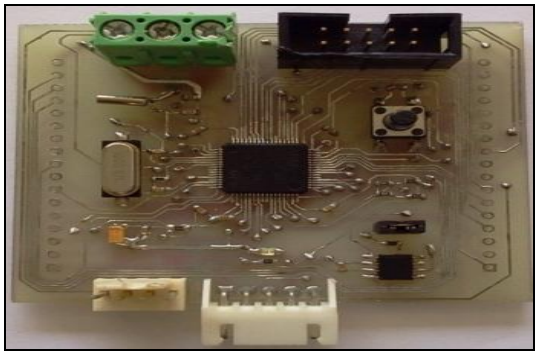
รูปที่ 8 เซ็นเซอร์วัดความชื้น



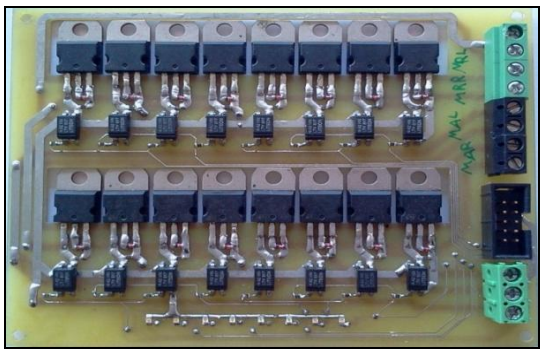
รูปที่ 9 เซ็นเซอร์วัดความเอียง

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์

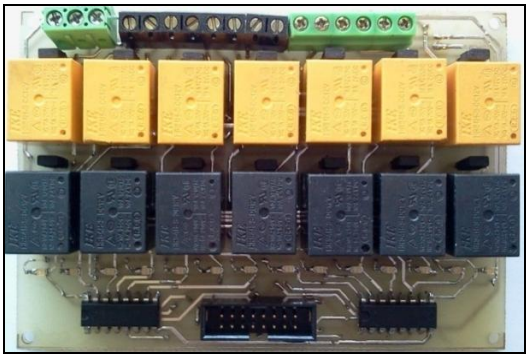
รูปที่ 10 คือบอร์ดที่ทำหน้าที่ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์และวัดกระแสไฟฟ้าจากการใช้งานของมอเตอร์ การควบคุมมอเตอร์ใช้ทั้งเพาเวอร์มอสเฟตและรีเลย์ วงจรเพาเวอร์มอสเฟตขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ H-Bridge ดังรูปที่ 11 การขับมอเตอร์หนึ่งตัวใช้เพาเวอร์มอสเฟต 4 ตัว ข้อดีคือสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้และยังได้ต่อ Freewheeling Diode เพื่อดิสชาร์จกระแสไฟฟ้าที่ค้างอยู่ในมอเตอร์ทิ้ง ส่วนวงจรรีเลย์ ดังรูปที่ 12 ใช้เพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ และใช้ลอจิกของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสั่งให้ไอซี ULN2003A ขับรีเลย์อีกทอดหนึ่ง



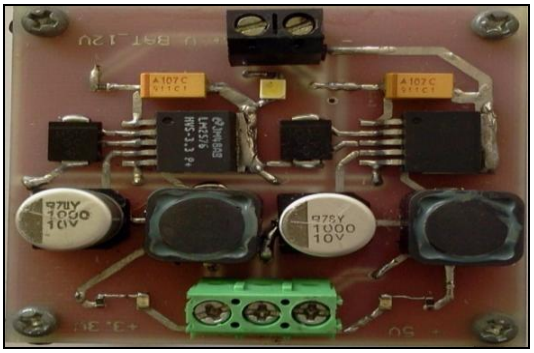
รูปที่ 10 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์



รูปที่ 11 เพาเวอร์มอสเฟตขับมอเตอร์



รูปที่ 12 รีเลย์ขับมอเตอร์



รูปที่ 13 วงจรเรกูเลเตอร์

วงจรเรกูเลเตอร์

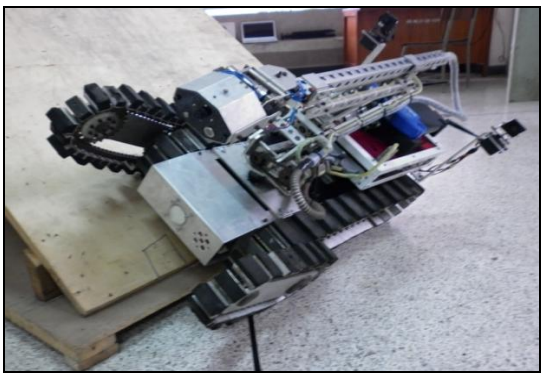
จากรูปที่ 13 เป็นวงจรเรกูเลเตอร์ในการปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอินพุต ให้ออกเป็นแรงดันเอาต์พุต 5 V และ 3.3 V โดยใช้ไอซี LM2575-5.0 และไอซี LM2575-3.3 ตามลำดับ

ผลการวิจัย

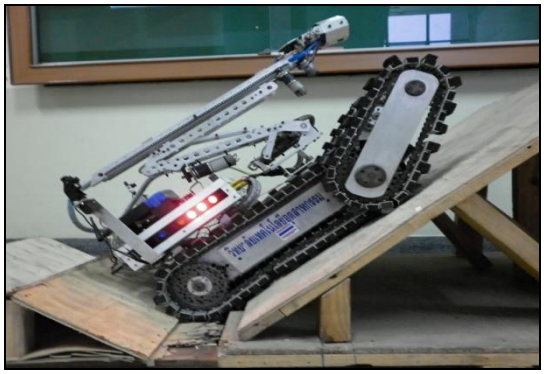
การวิจัยนี้เลือกแบบแผนการทดลองประเภท Pre-Experiment design แบบ One shot case study design (ยุทธ, 2554:68-69)

การทดสอบการทำงานในส่วนของฮาร์ดแวร์

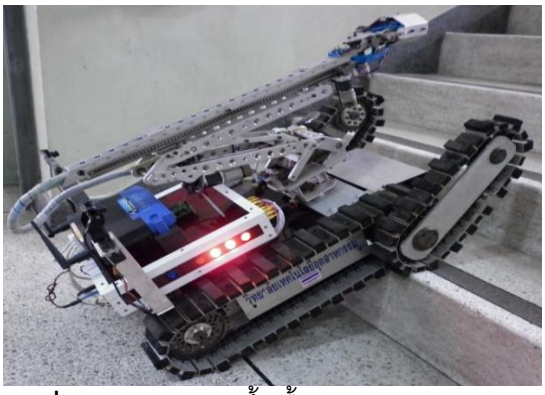
จากรูปที่ 14 เป็นการทดสอบความเอียงของหุ่นยนต์พบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้โดยที่ไม่ล้มคว่ำที่มุมไม่เกิน 40 องศา จากรูปที่ 15 เป็นการทดสอบมุมไต่ของหุ่นยนต์พบว่าหุ่นยนต์สามารถปีนขึ้นพื้นไม้ได้มุมไต่ไม่เกิน 19 องศา จากรูปที่ 16 เป็นการทดสอบการขึ้นพื้นที่ต่างระดับพบว่าหุ่นยนต์สามารถไต่พื้นที่ต่างระดับได้ไม่เกิน 19 เซนติเมตร จากรูปที่ 17 เป็นการทดสอบแขนกล พบว่าสามารถหมุนกล้อง CCD รอบตัวเองแนวซ้าย-ขวาได้ 180 องศา มุมก้ม-เงยได้ 180 องศา แขนกลยืดได้สูงไม่เกิน 1.7 เมตรนับจากฐานของแขนกลจนถึงปลายกล้อง



รูปที่ 14 ทดสอบความเอียงของหุ่นยนต์



รูปที่ 15 ทดสอบมุมไต่ของหุ่นยนต์



รูปที่ 16 ทดสอบการขึ้นพื้นต่างระดับ

รูปที่ 17 ทดสอบแขนกลของหุ่นยนต์

การทดสอบระยะในการมองเห็นจากกล้องปลายแขนกล

การทดสอบการมองเห็นในเวลากลางวัน ภายในอาคารที่โล่งมีแสงสว่าง พบว่าในช่วงระยะทาง 1-7 เมตร สามารถมองเห็นวัตถุต่างๆ ได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อระยะทางตั้งแต่ 8 เมตร เป็นต้นไป สามารถมองเห็นวัตถุได้แต่ไม่สามารถระบุรายละเอียดได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 18-19

การทดสอบการมองเห็นในเวลากลางคืนแล้วเปิดไฟส่องสว่างจากตัวหุ่นยนต์ พบว่า ช่วงระยะทาง 0.5-4.0 เมตรสามารถมองเห็นวัตถุต่างๆ ได้ชัดเจน แต่เมื่อระยะทางตั้งแต่ 4.5 เมตร เป็นต้นไป สามารถมองเห็นวัตถุได้แต่ไม่สามารถระบุรายละเอียดได้ ดังแสดงในรูปที่ 20-21

รูปที่ 18 ทดสอบที่ระยะ 7 เมตร

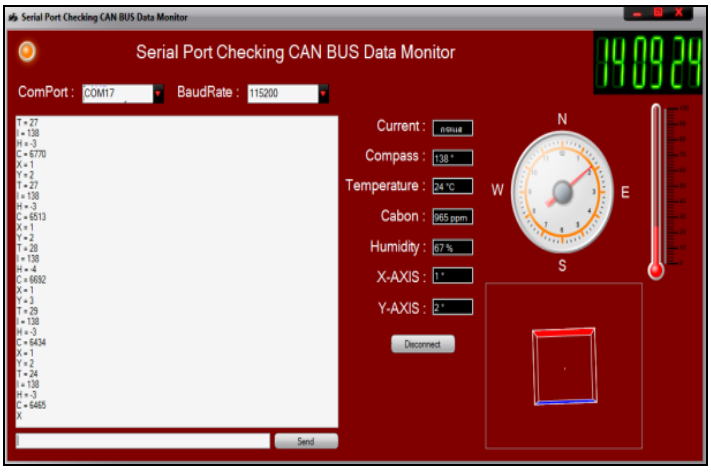
รูปที่ 19 ทดสอบที่ระยะ 8 เมตร

รูปที่ 20 ทดสอบที่ระยะ 4.0 เมตร

รูปที่ 21 ทดสอบที่ระยะ 4.5 เมตร

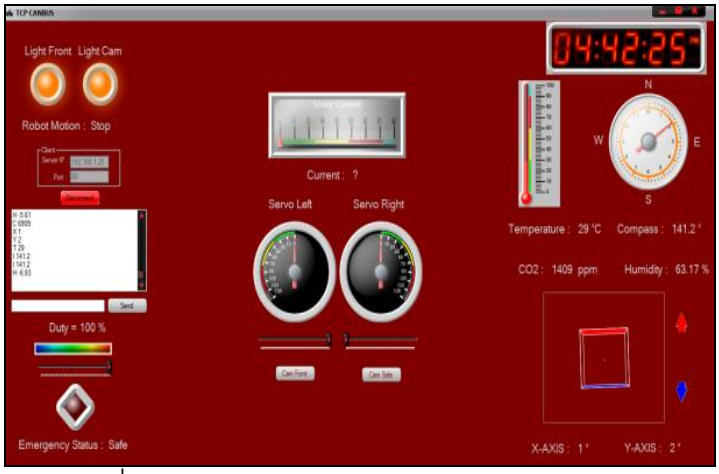
การทดสอบการทำงานในส่วนของซอฟต์แวร์

ในส่วนของซอฟต์แวร์ จะเป็นการทดสอบการรับค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆ จากรูปที่ 22 เป็นการแสดงผลที่รับจากเซ็นเซอร์ เช่น กระแสไฟฟ้า เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้น ความเอียงในแนวแกน X และแกน Y ส่งข้อมูลผ่าน CAN บัส มาแสดงผลในหน้าต่าง GUI ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Visual C# (กิตินันท์ พลสวัสดิ์, 2552)



รูปที่ 22 หน้าต่างแสดงผลการรับค่าต่างๆ จากเซ็นเซอร์

ในรูปที่ 23 เป็นหน้าต่างแสดงผลที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ มีการแสดงผลของค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ระบบแสงสว่างจากไฟหน้าและจากปลายแขนกล ค่า Duty Cycle เพื่อใช้ควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์ สถานภาพพลังงานของแบตเตอรี เซอโวทางด้านซ้ายและด้านขวาของหุ่นยนต์



รูปที่ 23 หน้าต่างแสดงผลที่ใช้ในการบังคับหุ่นยนต์

การทดสอบระยะทางในการควบคุมหุ่นยนต์

สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้เป็นระยะทาง 100 เมตรในที่โล่ง

สรุป

การวิจัยนี้ได้สร้างหุ่นยนต์สำรวจควบคุมผ่าน CAN บัส มีขนาดความกว้าง ยาว และสูง คือ 46, 88 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ น้ำหนักรวม 35 กิโลกรัม การทดสอบส่งและรับค่าต่างๆ จากระบบด้วย CAN บัสสู่ GUI ผ่านเครือข่าย LAN ผลการทดสอบสามารถรับค่าต่างๆ จากเซ็นเซอร์ทั้งหมดและส่งค่าเพื่อไปควบคุม Drive Board ต่างๆ ในระบบด้วย CAN บัส โดยส่งค่าออกมาทางพอร์ต Ethernet (RJ-45) เพื่อมาแสดงผลแบบ GUI โดยใช้โปรแกรม Visual C# สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้ระยะทางไม่เกิน 100 เมตรในที่โล่ง

การออกแบบสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์ใช้โปรแกรม SolidWorks ชุดแขนกลประกอบด้วยมอเตอร์ชุดขับเคลื่อนกลไกต่างๆ กล้อง CCD เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เซ็นเซอร์วัดปริมาณความชื้น และระบบไฟส่องสว่าง

การทดสอบความสามารถของหุ่นยนต์ พบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่มุมเอียงได้ไม่เกิน 40 องศา หุ่นยนต์สามารถปีนขึ้นพื้นไม้เอียงมุมไต่ไม่เกิน 19 องศา หุ่นยนต์สามารถไต่พื้นที่ต่างระดับได้ไม่เกิน 19 เซนติเมตร แขนกลสามารถกล้อง CCD แนวซ้าย-ขวาได้ 180 องศา มุมก้ม-เงยได้ 180 องศา ยืดแขนกลได้สูงไม่เกิน 1.7 เมตร

การทดสอบระยะการมองเห็นจากกล้อง CCD ในช่วงเวลากลางวัน พบว่าระยะที่สามารถมองวัตถุเห็นได้อย่างชัดเจนไม่เกิน 7 เมตร ส่วนในช่วงเวลากลางคืนระยะที่สามารถมองเห็นวัตถุได้อย่างชัดเจนไม่เกิน 4 เมตร

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยจนสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กิตินันท์ พลสวัสดิ์.(2552). *เริ่มต้น VisualBasic 2008 ฉบับโปรแกรมเมอร์*. นนทบุรี : บริษัท ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด.

ทวีศักดิ์ ศรีช่วย. (2553). *SolidWorks 2007 Handbook*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

บัณฑิต จามรภูติ. (2550). *คู่มือการใช้งาน Protel DXP [Altium Designer]* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : บริษัท เอช.เอ็น กรุ๊ป จำกัด.

บริษัท อีทีที จำกัด. (10 ตุลาคม 2556). *คู่มือการใช้งาน User's manual ET-Mini ENC28J60 Ethernet Controller.* สืบค้นจาก http://www.etteam.com/product/pic/man-ET-ds PIC33WEB-v1.pdf

ประกาศิต ตันติอลงการ , โอภาส ศิริครรชิตถาวร , วิชานนท์ แสงวิชัย และ พัชรี ชูชาติ. (2556). *การสร้างหุ่นยนต์ผู้ช่วยทหาร.* รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏสุราษฎร์ธานีวิจัย ครั้งที่ 9 : 21-22 พฤศจิกายน 2556 : หน้า 19-28.

ยุทธ ไกยวรรธ์ (2554). *การวางแผนการทดลองสำหรับงานวิจัย.* กรุงเทพฯ : บริษัท พิมพ์ดี จำกัด.

โอภาส ศิริครรชิตถาวร (2553). *เปิดโลก 32 บิต กับ STM32-Discovery*. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้น ส่วนจำกัด วี เจ พริ้นติ้ง.

ETT CO.,LTD. (7 มิถุนายน 2556). *คู่มือ MODULE ET-MMA7331L (3-Axis Analog Output Accelerometer).* สืบค้นจาก http://www.ett.co.th/

Texas Instrument. (2008). *Introduction to the Controller Area Network (CAN)*. Dallas, Texas 75265. Application Report : SLOA101A–August 2002–Revised July 2008.