บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ การออกแบบสนามทดสอบจำลอง การออกแบบลำดับขั้นตอนโปรแกรมการทำงานของหุ่นยนต์ การออกแบบวงจรทางอิเล็ก-ทรอนิกส์ วิธีการติดตั้งระบบอาร์เอฟไอดีเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ระบุตำแหน่งที่อยู่ของหุ่นยนต์เมื่อได้เดินทางไปถึงในพื้นที่เป้าหมาย การออกแบบการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์กับโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ผ่านบลูทูธ และสุดท้ายทำการออกแบบการแสดงผลด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก รายละเอียดการออกแบบได้ดำเนินการเป็นลำดับดังนี้

3.1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์

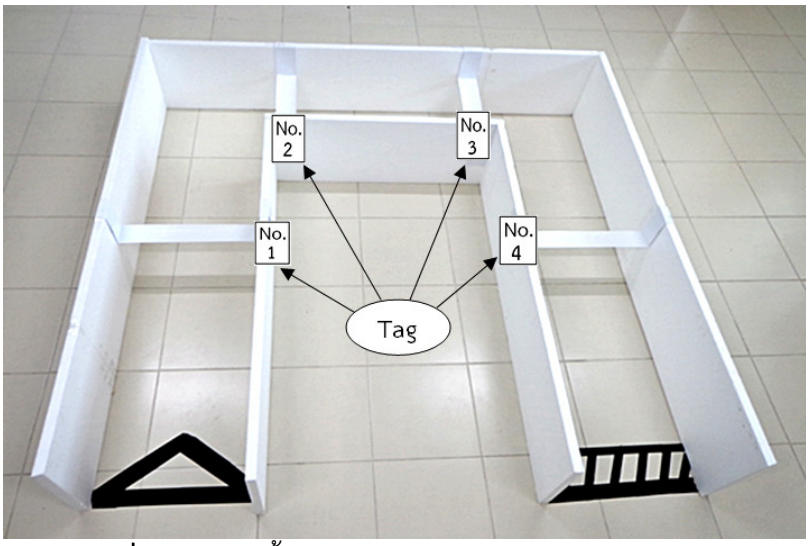
การทำงานของหุ่นยนต์ในปัจจุบันมีลักษณะที่ซับซ้อน ส่วนประกอบของหุ่นยนต์ในการวิจัยนี้แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.1.1 ทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) เป็นส่วนที่ติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การตรวจจับระยะห่างของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่เป็นผนังกั้นทั้งด้านซ้ายและขวา โดยใช้อุปกรณ์อัลตร้าโซนิก (Ultrasonic sensors) และมีระบบอาร์เอฟไอดีนำมาใช้เปรียบเสมือนกับเป็นส่วนตรวจสอบหรือเซนเซอร์ของหุ่นยนต์เช่นกัน ส่วนอุปกรณ์ประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรเลอร์แบบอาดุยโน่ (Arduino) ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ทั้งหมด สุดท้ายเป็นวงจรที่ใช้ในการขับมอเตอร์ออกแบบมาให้สามารถควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์ได้

3.1.2 ทางด้านซอฟต์แวร์ (Software) เป็นการควบคุมพฤติกรรมของหุ่นยนต์ ประกอบด้วยพฤติกรรมพื้นฐานต่างๆ เช่น การหยุด การเลี้ยว การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง การเรียนรู้และการตัดสินใจของหุ่นยนต์ รวมถึงการรับค่าอินพุตและนำไปแสดงผลที่แอลซีดีและจอโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ต่อไป

3.2 การออกแบบโครงสร้าง

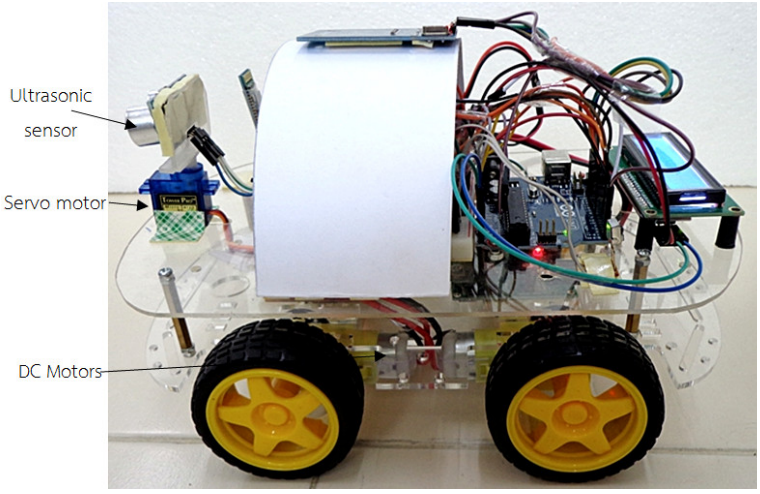
3.2.1 การออกแบบสนามทดสอบจำลอง



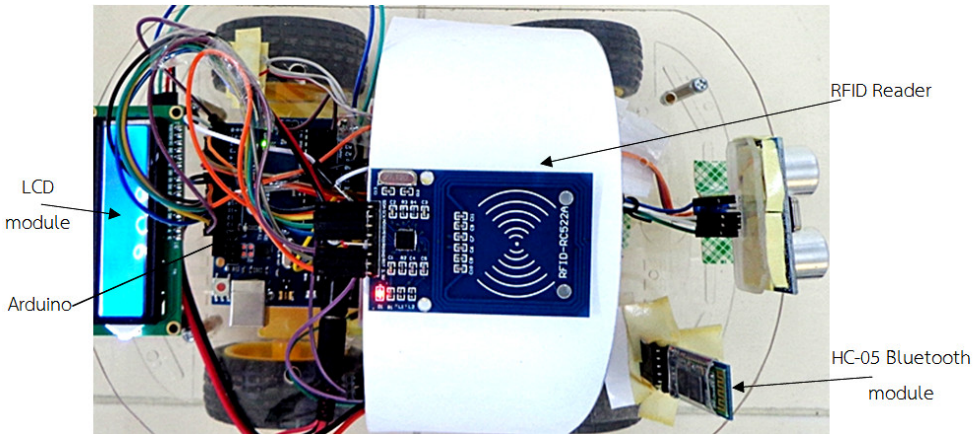
ภาพที่ 3-1 จุดติดตั้งแท็กอาร์เอฟไอดีบนสนามทดสอบจำลอง

จากภาพที่ 3-1 ทำการออกแบบสนามทดสอบจำลอง โดยระยะทางของสนามทดสอบคือ 5 เมตร และมีแท็กอาร์เอฟไอดีถูกติดตั้งไว้จำนวน 4 จุด แต่ละจุดห่างกัน 1 เมตร ความกว้างของทางเดินเท่ากับ 38 เซนติเมตร และผนังกั้นทางเดินทั้งซ้ายและขวาทำจากโฟมมีความสูง 30 เซนติเมตร ส่วนการติดตั้งแท็กอาร์เอฟไอดี ซึ่งเป็นบัตรพลาสติกมีความกว้าง 5.5 เซนติเมตร ยาว 8.5 เซนติเมตร ถูกนำไปติดไว้กับกระดาษแข็งมีความกว้าง 7.5 เซนติเมตร โดยระยะการติดตั้งแท็กสามารถปรับเปลี่ยนระยะห่างให้เหมาะสมกับการอ่านค่าข้อมูลแท็กอาร์เอฟไอดีให้มีประสิทธิภาพได้ ซึ่งจะได้ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการอ่านแท็กอาร์เอฟไอดีของหุ่นยนต์ในขณะกำลังเคลื่อนที่ต่อไป

3.2.2 การออกแบบและส่วนประกอบต่างๆ ของหุ่นยนต์



(ก) มุมมองด้านข้างหุ่นยนต์



(ข) มุมมองด้านบนหุ่นยนต์

ภาพที่ 3-2 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์

โครงสร้างหลักของหุ่นยนต์ออกแบบสร้างจากพลาสติกแข็งแบบอะคริลิก (Acrylic) เป็นหลักเพื่อให้มีน้ำหนักเบา ตัวหุ่นยนต์มีขนาดความกว้าง 16 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร และสูง 15.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-2 ระบบขับเคลื่อนประกอบด้วยล้อจำนวน 4 ล้อ ซึ่งจะช่วยในการทรงตัวของหุ่นยนต์ได้ดียิ่งขึ้นและมอเตอร์ที่ใช้ในการขับล้อมีค่าทอร์ก ($\boldsymbol{\tau}_w$) เท่ากับ 0.44 นิวตัน-เมตร กำลังขับของมอเตอร์เท่ากับ 5.5 วัตต์ขนาดแรงดัน 4.8-6 โวลต์ และมอเตอร์ชุดหมุนฐานของเซนเซอร์มีค่าทอร์ก ($\boldsymbol{\tau}_w$) เท่ากับ 0.12 นิวตัน-เมตร กำลังขับของมอเตอร์เท่ากับ 2.5 วัตต์ขนาดแรงดัน 5 โวลต์ ดังภาพที่ 3-3 ส่วนอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ แบตเตอรี่ชนิดลีเธี่ยม-โพลิเมอร์ (Lithium-Polymer) 2 เซล แรงดัน 7.4 โวลต์และกระแส 2.2 AH ล้อหุ่นยนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตรจำนวน 4 ล้อ อีกทั้งยังมีวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์และวงจรขับดีซีมอเตอร์แบบเอชบริดจ์ (H-Bridge Driver DC Motor) ขนาด 5-35 โวลต์จ่ายกระแสได้ 2 แอมแปร์อย่างละหนึ่งบอร์ด ซึ่งได้ทำการติดตั้งไว้แล้วในตัวของหุ่นยนต์

3.2.3 การคำนวณขนาดของมอเตอร์

1) มอเตอร์ชุดขับเคลื่อน

การคำนวณหาค่าคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว สำหรับมอเตอร์ที่เลือกใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ จะเป็นมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 120 rpm จากมวลของหุ่นยนต์ที่กำหนดไม่เกิน 1.2 กิโลกรัม ดังนั้นจะได้คุณสมบัติมอเตอร์ตามรายการคำนวณต่อไปนี้

$F = m \times g$

$F = 1.2 \times 9.81$

$F = 11.772\ N$

เนื่องจากการทรงตัวและการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์มีทั้งหมด 4 ล้อ ดังนั้นแรงเนื่องจากน้ำหนักที่กระทำแต่ละล้อมีค่าเท่ากับ

F = (11.772/4)

F = 2.943 N

จากสมการ (2-4) จะได้ T = F x r

เนื่องจากรัศมีของล้อมีขนาดเท่ากับ 0.0325 m ดังนั้นจะได้

T = 2.943 x 0.0325

T = 0.095 N.m

ดังนั้นจะได้กำลังมอเตอร์ จากสมการ (2-5) คือ

$$P = \frac{2\pi TN}{60}$$

$$P = \frac{2x3.14x120x0.095}{60}$$

P = 1.2 Watt จึงต้องใช้มอเตอร์ขนาด 1.2 วัตต์ หรือมากกว่า

2) มอเตอร์ชุดหมุนฐานของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์

น้ำหนักของตัวเซนเซอร์เท่ากับ 0.05 กิโลกรัม ความยาวของแขนยึดเท่ากับ 0.05 เมตร และความเร็วรอบที่ต้องการคือ 40 rpm โดยใช้สูตรคำนวณในสมการที่ (2-5) ตามรายละเอียดดังนี้

F = 0.05 x 9.81

F = 0.4905 N

และ T = 0.4905 x 0.05

T = 0.025 N.m

ดังนั้นจะได้กำลังมอเตอร์ คือ

$$P = \frac{2x3.14x40x0.025}{60}$$

P = 0.11 Watt จึงต้องใช้มอเตอร์ขนาด 0.11 วัตต์ หรือมากกว่า

ภาพที่ 3-3 มอเตอร์ชนิดต่างๆ ที่เลือกใช้ในหุ่นยนต์

3.2.4 การคำนวณระยะของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์และวงจร

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่สามารถหลบวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้โดยการวัดระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางกับตัวเซนเซอร์ โดยเซนเซอร์ถูกโปรแกรมไว้ที่ระยะ 10 เซนติเมตร สามารถคำนวณคาบเวลาที่จะต้องกำหนดลงในโปแกรมได้จากสมการ (2-11) คือ

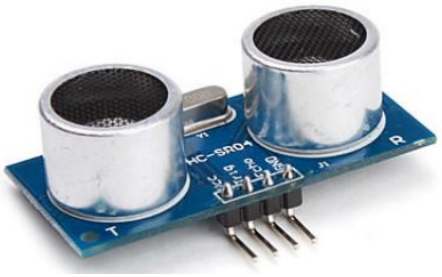
ระยะทาง = ความยาวของสัญญาณสะท้อน x 340 (m/s)/2

จะได้ว่า

10 cm = ความยาวของสัญญาณสะท้อน x 340 (m/s)/2

ความยาวของสัญญาณสะท้อน = (10/340) x 2

ความยาวของสัญญาณสะท้อน = 0.59 มิลลิวินาที หรือเลือกการตอบสนองได้เร็วกว่านี้



ภาพที่ 3-4 อัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง ชนิด SRF05

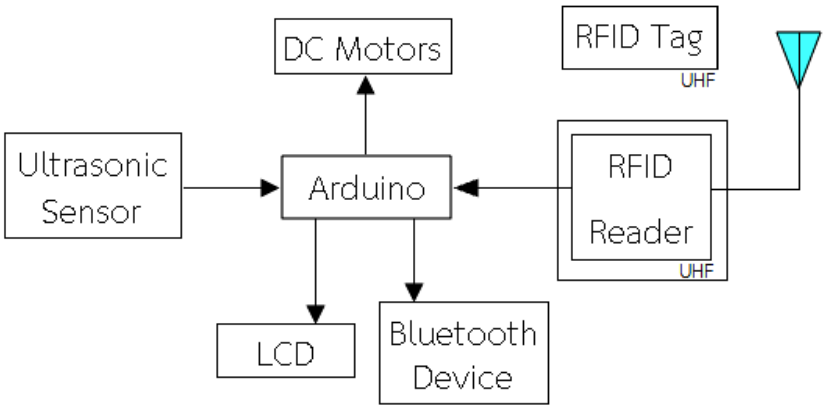
จากการคำนวณการวัดระยะของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ดังกล่าวจึงทำให้เลือกใช้เซนเซอร์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

- ใช้แรงดันประมาณ +5 V
- ทำงานโดยใช้กระแสประมาณ 15 มิลลิแอมแปร์
- ช่วงการวัดระยะทาง 4 เซนติเมตร ถึง 4 เมตร
- ความกว้างเชิงมุมในการวัด (measuring angle) 15 องศา
- ความกว้างของสัญญาณ Pulse สำหรับ Trigger 10 ไมโครวินาที
- ระดับแรงดันลอจิกสำหรับขา Trig และ Echo 5 V. TTL

การเลือกใช้งานโมดูลประเภทนี้ ดังภาพที่ 3-4 มีประเด็นที่สำคัญ เช่น ช่วงระยะห่างของการวัด ความกว้างของมุมเมื่อคลื่นเสียงเดินทางออกไปจากตัวส่ง (เรียกว่า Beam Angle) นอกจากนั้นการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงที่วัตถุกีดขวาง ขนาดและรูปทรงของวัตถุ และการสะท้อนกลับของเสียงจากหลายทิศทาง หรือต่างระยะกัน ก็มีผลต่อความถูกต้องหรือความผิดพลาดในการวัดค่าระยะห่างได้เช่นกัน ดังนั้นค่าที่อ่านได้จากโปรแกรมอาดุยโน่ จึงให้ค่าประมาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงมากที่สุด

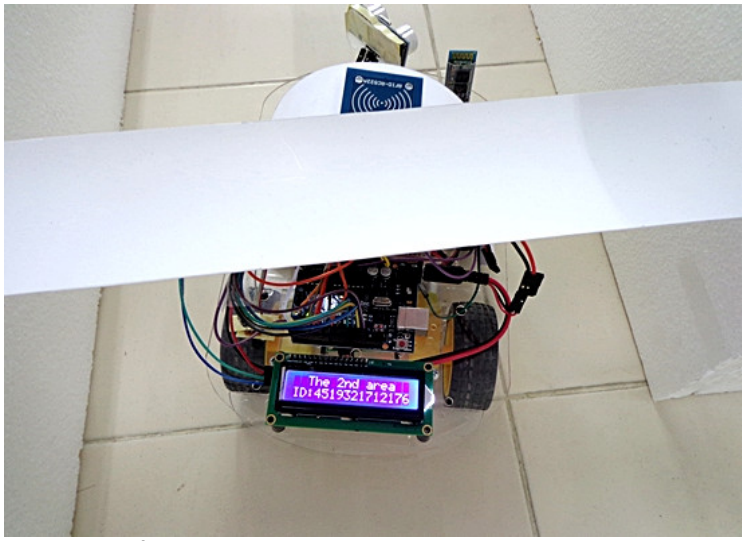
3.3 โครงสร้างของระบบการทำงาน

เพื่อให้เห็นฟังก์ชั่นการทำงานของระบบทั้งหมดว่าแต่ละภาคส่วนมีความสำคัญและสัมพันธ์ต่อกันอย่างไร จึงได้ทำการเขียนบล็อกไดอะแกรม (Block diagram) ในส่วนโครงสร้างการทำงานของหุ่นยนต์ ได้แก่ ส่วนประมวลผลและสั่งการ ส่วนควบคุมมอเตอร์ส่วนแสดงผลข้อมูล ส่วนการตรวจจับสิ่งกีดขวาง ส่วนของระบบอาร์เอฟไอดี และส่วนการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย เป็นต้น (ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2558)



ภาพที่ 3-5 บล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบต่างๆ ของหุ่นยนต์

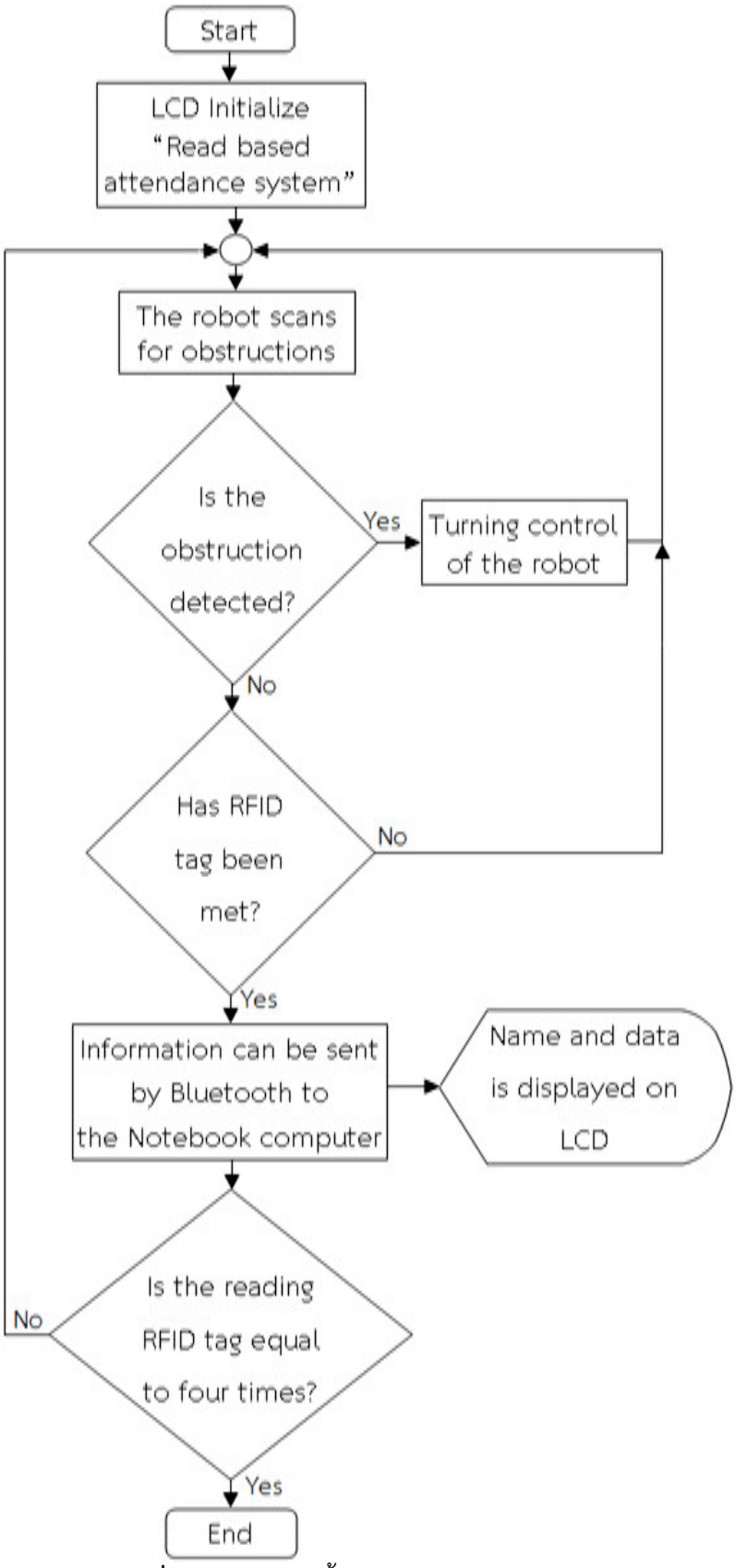
จากภาพที่ 3-5 หัวใจหลักของหุ่นยนต์คือ Arduino ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์รอบข้าง พร้อมทั้งสั่งการไปยังหน่วยอินพุตและเอาต์พุต โดยเริ่มต้นในส่วนของภาคเซนเซอร์ทำหน้าที่เป็นอินพุตคอยตรวจสอบวัตถุหรือสิ่งกีดขวางในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าอัลตร้าโซนิก ส่วนภาคดีซีมอเตอร์มีจำนวน 4 ตัว จะถูกสั่งจาก Arduino ให้บังคับหมุนซ้ายหรือขวาเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางหรือเดินตรงไปข้างหน้า ส่วนภาค LCD จะแสดงผลการทำงานเมื่อหุ่นยนต์กำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้าคือ the robot forwards และแสดงผลข้อมูลตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่ขณะนั้นรวมถึงหมายเลขไอดีของแท็กอาร์เอฟไอดี เมื่อหุ่นยนต์สามารถตรวจจับสัญญาณความถี่ของแท็กได้ เช่น the 2nd area หมายความว่า หุ่นยนต์ได้เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่สองของพื้นที่ (จากทั้งหมดมี 4 ตำแหน่ง) และอ่านข้อมูลจากแท็กคือ 4519321712176 (ซึ่งไอดีของแท็กจะไม่ซ้ำกัน) ดังภาพที่ 3-6 ส่วนภาคอาร์เอฟไอดีซึ่งมีทั้งตัวอ่านและแท็กอาร์เอฟไอดีเพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างกันที่ความถี่ยูเอชเอฟ คือ 13.56 MHz ส่วนภาคสุดท้ายคือภาคบลูทูธ จะทำการส่งสัญญาณข้อมูลจากหุ่นยนต์ไปยังโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์โดยได้เขียนโปรแกรมการติดต่อสื่อสารระหว่างพอร์ตที่ใช้งานและอัตราบอต (Baud rate) เพื่อเชื่อมต่อการทำงานแบบบลูทูธ



ภาพที่ 3-6 หุ่นยนต์อ่านค่าข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดี

3.4 การออกแบบลำดับขั้นตอนโปรแกรมการทำงานของหุ่นยนต์

การออกแบบแผนผังโปรแกรมการทำงานในส่วนนี้ จะดำเนินตามทีละขั้นตอนเพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้



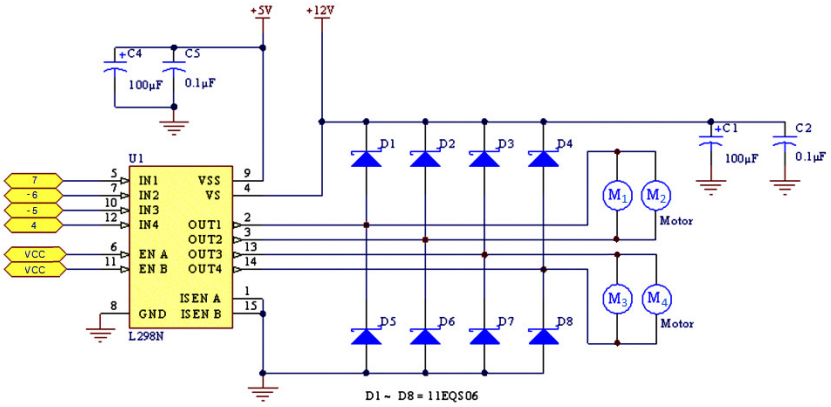
ภาพที่ 3-7 โปรแกรมขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์

ภาพที่ 3-7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเริ่มต้นคือ กำหนดค่าข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ LCD ต่อมาตรวจสอบสัญญาณอินพุตจากอุปกรณ์เซนเซอร์ว่าพบวัตถุหรือสิ่งกีดขวางข้างหน้าหรือไม่ ถ้าพบตัว Arduino จะประมวลผลข้อมูลว่าอยู่ทางด้านซ้ายหรือขวา แล้วจึงส่งสัญญาณออกไปบังคับเลี้ยวให้มอเตอร์หมุนซ้ายหรือขวาเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง โดยเงื่อนไขที่ถูกโปรแกรมไว้คือ เมื่ออัลตร้าโซนิกเซนเซอร์วัดระยะทางได้น้อยกว่า 10 เซนติเมตรโปรแกรมจะสั่งให้มอเตอร์หยุดเป็นเวลา 0.5 วินาที จากนั้นมอเตอร์จึงทำงานต่อ ซึ่งจะถูกโปรแกรมคำสั่งไว้ 3 เงื่อนไข ได้แก่ มอเตอร์เลี้ยวซ้ายในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางทางขวา มอเตอร์เลี้ยวขวาในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางทางซ้าย และสุดท้ายถ้าไม่พบสิ่งกีดขวางเมื่อเซนเซอร์วัดระยะได้มากกว่า 10 เซนติเมตรตัว Arduino จะสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าและตรวจจับสัญญาณความถี่จากแท็กอาร์เอฟไอดีไปพร้อมกันในขณะที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถ้าตรวจพบแท็กให้หุ่นยนต์หยุด 2 วินาทีแล้วแสดงข้อความบนตัวอุปกรณ์ LCD ดังต่อไปนี้ คือ the 1st, the 2nd, the 3rd หรือ the 4th area และ ID: XXXXXXXXXXXXX ขึ้นอยู่กับตำแหน่งพื้นที่ ที่ได้เดินทางไปถึงพร้อมกันนั้นได้ส่งข้อมูลหมายเลขไอดีของแท็กไปยังโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ผ่านทางโมดูลบลูทูธที่ติดตั้งไว้ในหุ่นยนต์ เพื่อแจ้งให้ทราบว่าหุ่นยนต์ได้เดินทางมาถึงพื้นที่เป้าหมายแล้ว ต่อจากนั้นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าต่อไป จนกระทั่งอ่านแท็กได้ครบ 4 แท็กตามที่กำหนดไว้แล้วจึงหยุดการทำงานของหุ่นยนต์

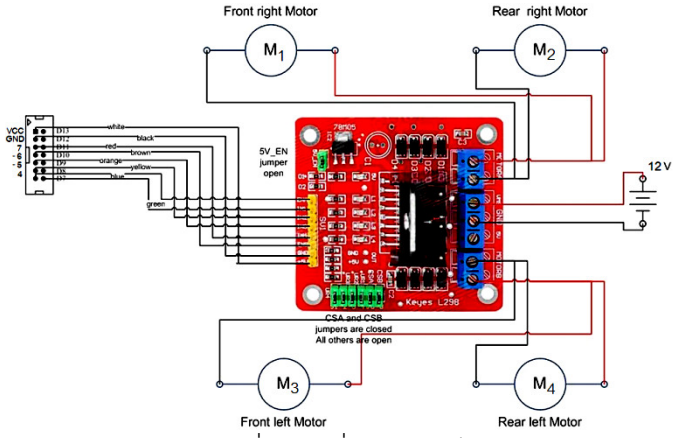
3.5 การออกแบบวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์

3.5.1 วงจรควบคุมระบบขับเคลื่อน (Motor driver)

หน้าที่ตัวประมวลผลที่จะต้องรับบทหนักมากที่สุดก็คือการควบคุมระบบการขับเคลื่อน ที่ตัวประมวลผลจะต้องควบคุมล้อทั้งสี่ล้อไปพร้อมๆ กัน และต้องมีการป้อนกลับเพื่อควบคุมความเร็วรอบของล้อแต่ละล้อ เพื่อทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นมีความแม่นยำมากขึ้น โดยที่ล้อแต่ละล้อจะมีระบบการควบคุมดังภาพที่ 3-8



(ก) วงจรเชื่อมต่อทางไฟฟ้า L298N



(ข) จุดเชื่อมต่อที่บอร์ดสำเร็จรูป

ภาพที่ 3-8 วงจรขับมอเตอร์ไอซี L298

ส่วนการเพิ่มหรือลดความเร็วในการขับเคลื่อนนั้นสามารถทำได้โดยใช้หลักการของ Pulse Width Modulation (PWM) ป้อนเข้าที่ขา 5 และ 6 ของอาดุยโน่ได้โดยตรง ซึ่งสาเหตุที่ว่าทำไมต้องใช้ PWM ก็เนื่องจากว่า มอเตอร์ที่เราใช้นั้นเป็นโหลดขนาดใหญ่และกินกระแสไฟเยอะ ถ้าเราใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปขับโดยตรงเลยอาจทำให้ ขณะที่มอเตอร์เริ่มสตาร์ทซึ่งจะกินกระแสไฟเยอะและออกตัวแบบพุ่งไปข้างหน้าอย่างแรงได้ ซึ่งเมื่อเราใช้ PWM เข้ามาช่วยจะทำให้เราสามารถไต่ระดับความเร็วในการขับเคลื่อนได้ และเกิดความ Smooth มากขึ้น (พรจิต ประทุมสุวรรณ, 2540)

ตารางที่ 3-1 การกำหนดลอจิกทำงานต่างๆ ของ L298

Input			Function
EN=H	IN1=L	IN2=L	Fast Motor Stop
	IN1=L	IN2=H	Reverse
	IN1=H	IN2=L	Forward
	IN1=H	IN2=H	Fast Motor Stop
EN=L	IN1=X	IN2=X	Free Running Motor Stop

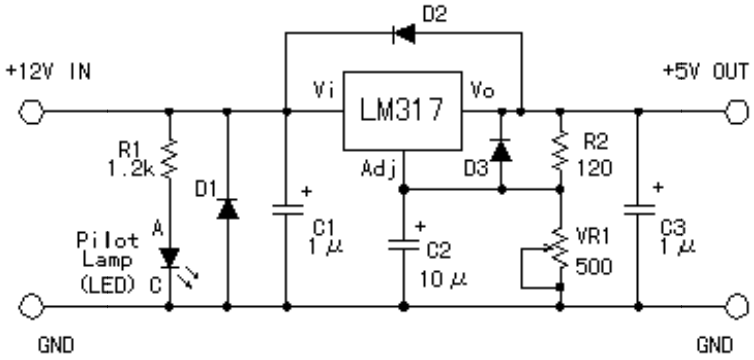
การคำนวณเพื่อเลือกความถี่ในการสวิตช์ของ PWM ซึ่งจากคู่มือไอซี L298 (Solarbotics, 2008) แนะให้ใช้ความถี่ของสัญญาณพัลส์ไม่เกิน 5 kHz และกำหนดค่าลดทอน (Pre scale) ให้กับอาดุยโน่ซึ่งหาได้จากสมการ (2-9) ดังนั้นเมื่อเลือกใช้ความถี่ในการทำงานของอาดุยโน่มีค่าเท่า 16 MHz และค่าลดทอน (Prescale) ที่ใช้คือ 32 ดังนั้นความถี่ในการสวิตช์ของ PWM ก็จะมีค่าเท่ากับ

$$f_{PWM} = \frac{16MHz}{(32.256)} = 1.953kHz$$

จากคุณสมบัติข้างต้น ทำให้เราทราบข้อมูลในการป้อนอินพุทให้กับไอซี L298 ให้สามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการ โดยใช้เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในโหมดการทำงานต่างๆ เราจะต้องเช็คบิตของอาดุยโน่ให้ตรงตามที่กำหนด

3.5.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า

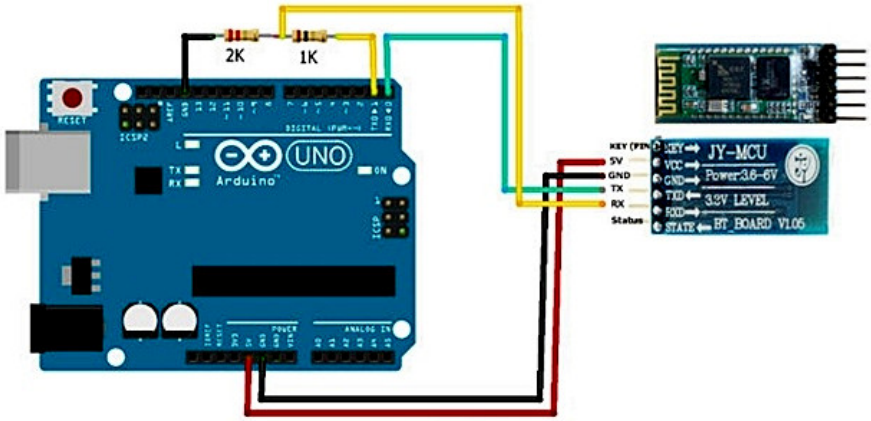
วงจรแหล่งจ่ายไฟตามภาพที่ 3-9 ใช้ไอซี LM137 ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ +5โวลต์ ขา 1 เป็นขาไฟเข้า ขา 2 เป็นขาที่สามารถปรับแรงดันได้ซึ่งต่ออยู่กับตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 ส่วนขา 3 เป็นขาเอาท์พุทให้แรงดันออกมาที่ 5 โวลต์ และ C3 ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออก



ภาพที่ 3-9 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า

3.5.3 วงจรเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างบลูทูธกับอาดุยโน่

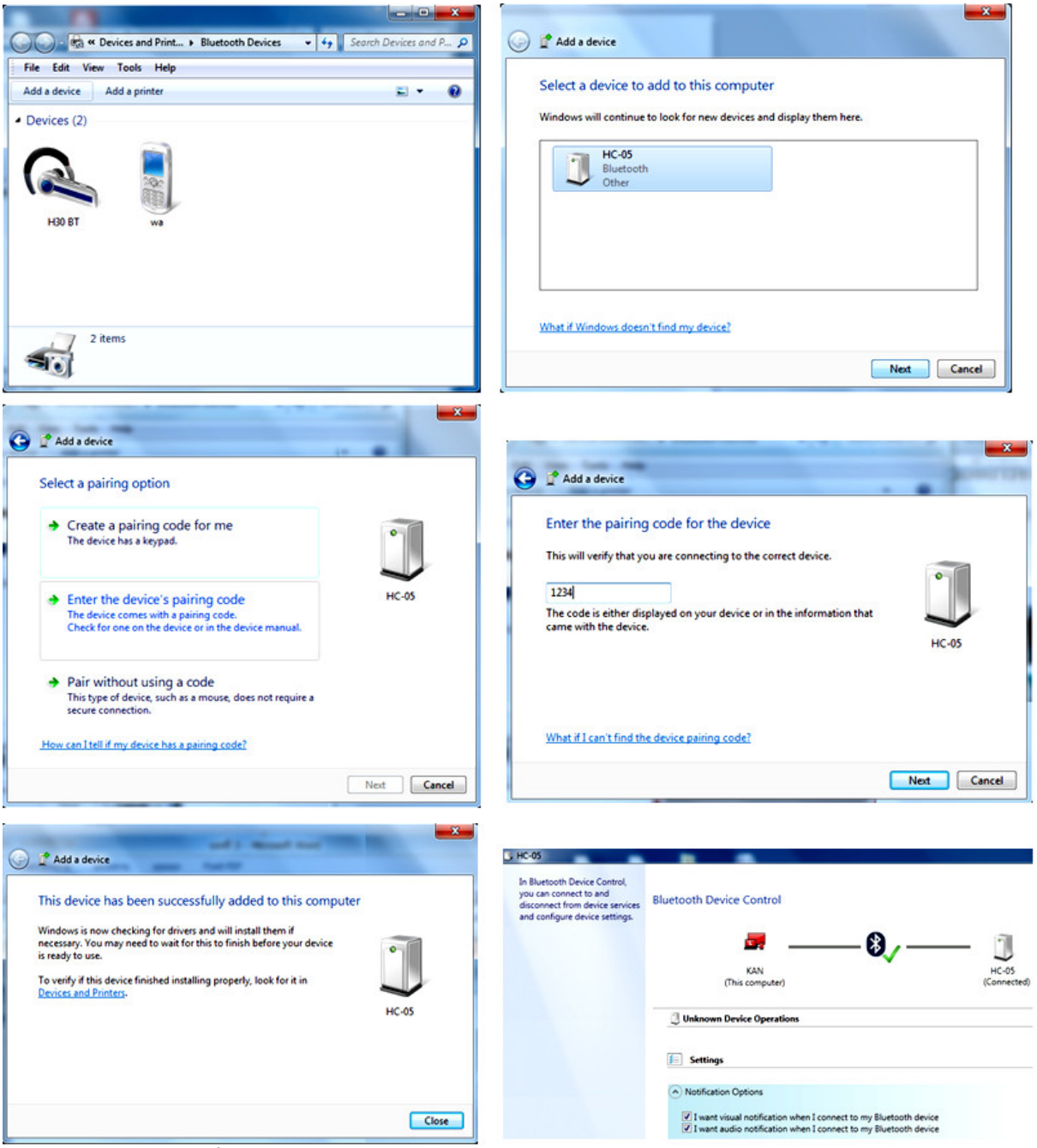
งานวิจัยนี้เลือกใช้โมดูลบลูทูธแบบ BlueStick รุ่น HC-05 เหมาะสำหรับสื่อสารแบบอนุกรม (Serial) ไร้สายย่านความถี่ประมาณ 2.4 GHz และทำงานแบบ Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) เป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า Bluetooth-to-Serial ใช้การรับส่งข้อมูลในระยะใกล้ๆ



ภาพที่ 3-10 วงจรเชื่อมต่อบลูทูธ BlueStick กับอาดุยโน่

ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากเชื่อมต่อขา (TX) ของบลูทูธเข้ากับขา 0 (RX) ของอาดุยโน่และขา RX ของบลูทูธผ่านวงจรแบ่งแรงดันจากขา 1 (TX) ของอาดุยโน่เนื่องจากข้อกำหนดแรงดันที่ป้อนเข้าขา RX ของบลูทูธต้องไม่เกิน 3.3 โวลต์ ถ้านำแรงดันไฟฟ้าที่ 5 โวลต์มาเชื่อมต่อกันโดยตรงอาจทำ

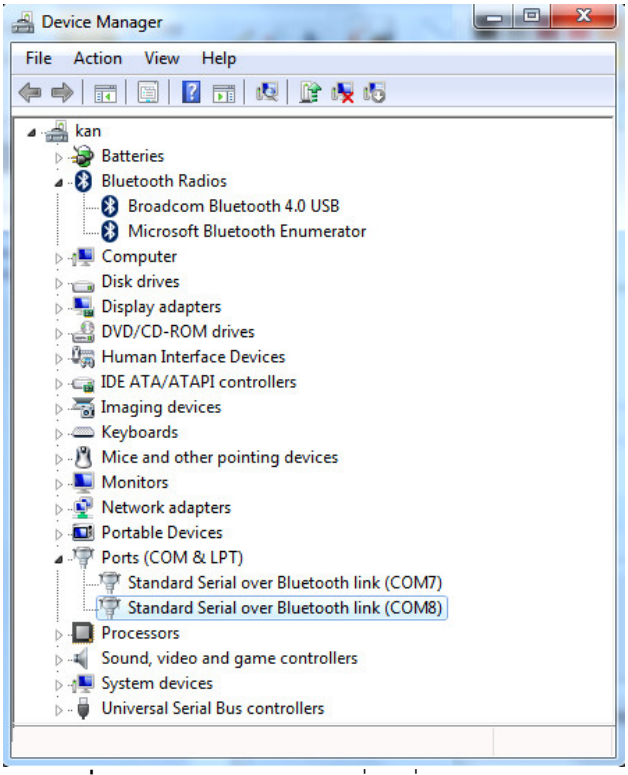
ให้โมดูลบลูทูธพังเสียหายได้ จึงได้ใช้ตัวต้านทานคงที่สองตัวคือ 2 kΩ และ1 kΩ เมื่อใช้กฎการแบ่งแรงดันจะได้แรงดันตามที่กำหนดไว้ดังภาพที่ 3-10 ต่อจากนั้นเปิดไฟแล้วทำการเชื่อมต่อไปยังโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ โดยเปิดการทำงานของบลูทูธไว้และให้มีการจับคู่กัน (Pairing) ระหว่างโมดูลบลูทูธกับโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 วิธีการจับคู่กันของโมดูลบลูทูธกับโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์

วิธีการจับคู่กันเริ่มจากเปิดโปรแกรมบลูทูธที่ด้านล่างขวาโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์แล้วคลิกที่ปุ่ม Add a device ซึ่งก็จะมองเห็นโมดูลบลูทูธ HC-05 ให้ป้อนรหัสเพื่อจับคู่กันคือ 1234 เป็นอันเสร็จสิ้น

การเชื่อมต่อ ถ้าต้องการทราบว่าบอร์ดอาดุยโน่เชื่อมต่อกับโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ที่พอร์ต (Com Port) ใดให้คลิกขวาที่ My computer (ใน Windows 8.1 ใช้คำว่า This PC) เลือกเมนู Manage ในช่องด้านซ้ายคลิ๊กที่ Device Manager แล้วหาตรงที่ Ports จะปรากฏดังภาพที่ 3-12 ในงานวิจัยนี้เลือกใช้พอร์ต COM8 ในการติดต่อสื่อสารและตั้งค่าอัตราบอตที่ 9600 บิตต่อวินาที 8 บิตข้อมูลในรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม



ภาพที่ 3-12 พอร์ต (COM8) ที่ใช้เชื่อมต่อผ่านบลูทูธ

คุณสมบัติทางเทคนิคของบลูทูธรุ่น BlueStick

1) ความไวในการทำงาน -80 dBm

2) กำลังส่งสูงสุด +4 dBm

3) เป็นอุปกรณ์ที่เข้ากันได้ตามมาตรฐานบลูทูธ V2.0 + EDR (Enhanced Data Rate) ถ่ายทอดข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 3 เมกะบิตต่อวินาที

4) ความถี่ใช้งาน 2.4 GHz

5) เป็นอุปกรณ์บลูทูธที่ทำงานในโหมดสเลฟ และใช้โปรไฟล์พอร์ตอนุกรม (SPP)

6) ระยะทำการสูงสุด 10 เมตร

7) อัตราบอตตั้งต้น 9,600 บิตต่อวินาทีโดยใช้รูปแบบข้อมูล 8 บิต บิตหยุด 1 บิต และไม่มีบิตตรวจสอบพาริตี้ หรือ 8N1

8) ตั้งค่าอัตราบอตใหม่ได้ประกอบด้วย 1200, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, 921600 และ1382400 บิตต่อวินาที

9) รหัสประจำตัวสำหรับใช้ในการจับคู่ตั้งได้ตั้งแต่ 0000 ถึง 9999 (4 หลัก) ค่าตั้งต้นคือ 1234

10) ย่านไฟเลี้ยง +3.3 ถึง +5.5 V

11) มีวงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรมหรือ UART ในตัว

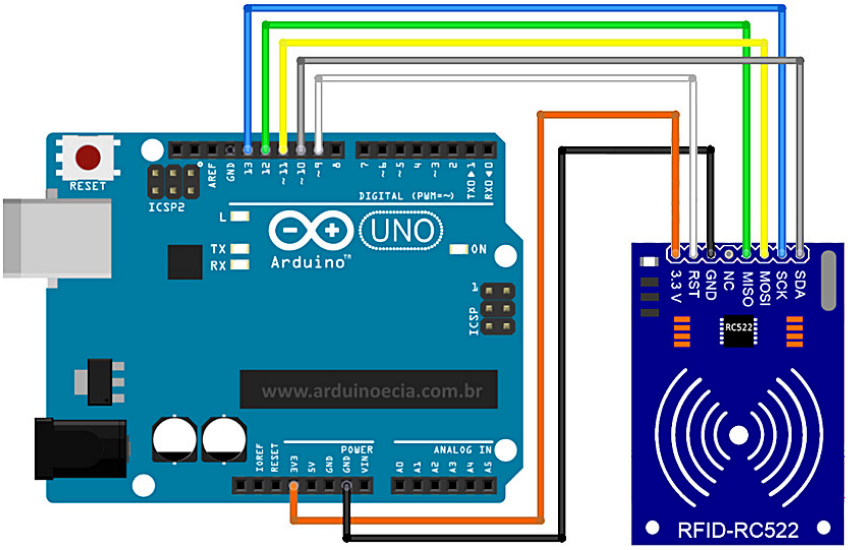
12) มีสายอากาศติดตั้งภายในตัว

13) ขนาด 1.5 ซม x 4.0 ซม.

3.5.4 วงจรเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างอาร์เอฟไอดีกับอาดุยโน่

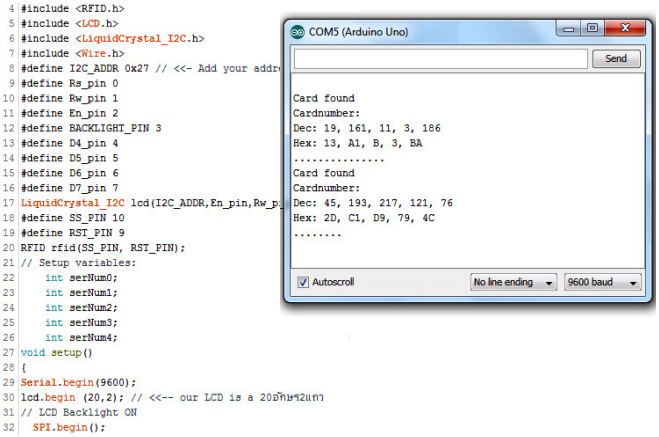
อุปกรณ์อาร์เอฟไอดีที่ใช้ในการทดลองคือ MIFARE รุ่น RC522 มีความถี่ 13.56 MHz ใช้ชิพเบอร์ยอดนิยม PN532 (NXP B.V, 2007) ซึ่งปกติชิพตัวนี้จะอยู่ในเครื่องโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่ติดตั้ง NFC การเลือกใช้งานอุปกรณ์อาร์เอฟไอดีเช่น เครื่องอ่าน แท็กและสายอากาศจึงจำเป็นต้องให้เหมาะสมกับความต้องการและความถี่ในการรับส่งต้องตรงกันเพื่อให้เกิดการสื่อสารได้ถูกต้อง เพราะว่าแท็กจะติดอยู่กับวัตถุที่ทำการระบุตัวตนหรือติดตาม ดังนั้นเครื่องอ่านจะต้องติดตั้งให้ถูกที่และใช้คุณสมบัติต่างๆ อย่างเหมาะสม และถ้าใช้ความถี่ที่ต่ำจะมีผลทำให้ถูกรบกวนจากคลื่นวิทยุใกล้เคียงได้ง่ายกว่า เช่น คลื่นจากโทรศัพท์มือถือ คลื่นจากโทรทัศน์ เป็นต้น เพราะแท็กที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะอยู่ในย่านความถี่ 135 KHz ,13.56 MHz , 27.125 MHz ยิ่งถ้าสูงขึ้นจะเป็น 2.45 GHz ซึ่งจะทำให้การรบกวนของสัญญาณน้อยลง ดังนั้นหากนำเอาอาร์เอฟไอดีไปใช้งานก็ต้องพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการรบกวนของสัญญาณว่าเป็นอย่างไร เช่น มีการติดตั้งตัวอ่านไว้ใกล้กับเครื่องส่งวิทยุหรือใกล้เครื่องรับโทรทัศน์หรือจากการใช้โทรศัพท์มือถือ ตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ ย่อมมีผลต่อการลดทอนการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีซึ่งอาจทำให้ข้อมูลเกิดความผิดพลาดขึ้นมาได้ การทดลองวิจัยนี้ได้ต่อขาอาร์เอฟไอดีร่วมกับอาดุยโน่ ดังภาพที่ 3-13 มีดังต่อไปนี้

- MOSI เชื่อมต่อกับขา 11 Aduino
- MISO เชื่อมต่อกับขา 12 Aduino
- SCK เชื่อมต่อกับขา 13 Aduino
- SDA เชื่อมต่อกับขา 10 Aduino
- RST เชื่อมต่อกับขา 9 Aduino
- VCC เชื่อมต่อกับขา 3.3V Aduino
- GND เชื่อมต่อกับขา GND Aduino



ภาพที่ 3-13 วงจรเชื่อมต่ออาร์เอฟไอดีกับอาดุยโน่

การใช้งานอาร์เอฟไอดีสามารถใช้ร่วมกับอาดุยโน่ได้เป็นอย่างดี เพราะมีไลบรารีที่ใช้สำหรับอาดุยโน่ได้โดยตรง จึงไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ดที่มีขนาดยาวเกินไป จึงทำให้เกิดการทำงานที่ง่ายขึ้น สำหรับการแสดงผลโปรแกรมตัวอย่างในภาพที่ 3-14 เป็นการแสดงการอ่านค่าข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดีบน Serial monitor ของโปรแกรม Arduino ได้ค่าเลขฐานข้อมูลออกมา 2 ค่าคือเลขฐานสิบและเลขฐานสิบหก งานวิจัยนี้จึงได้นำเลขรหัสฐานสิบไปใช้ประมวลผลและสั่งงานต่อไป



ภาพที่ 3-14 อ่านค่าข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดีบน Serial monitor

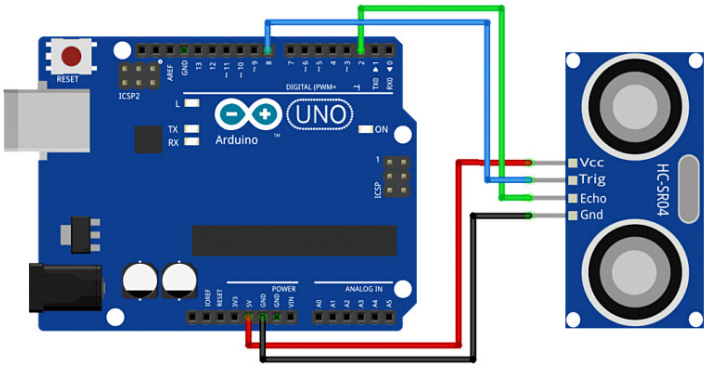
3.5.5 วงจรเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างอัลตร้าโซนิกกับอาดุยโน่

อุปกรณ์อัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ชนิด SRF05 สามารถตรวจจับระยะได้ตั้งแต่ 4 เซนติเมตร ถึง 4 เมตร ถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับอาดุยโน่ได้ง่ายโดยใช้ขาการเชื่อมต่อเพียง 4 ขา ดังภาพที่ 3-15 ประกอบด้วย

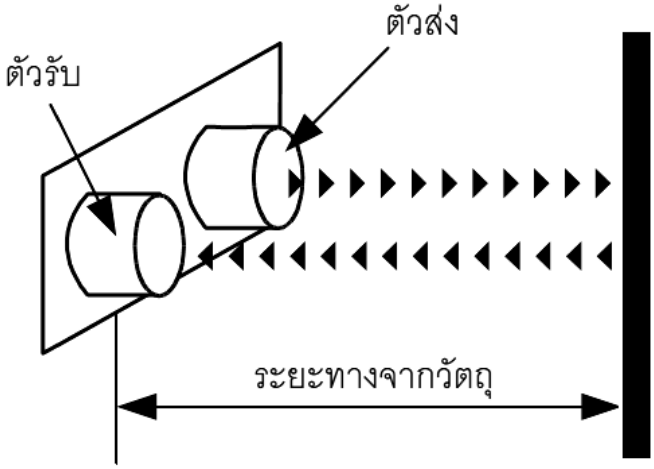
- VCC เชื่อมต่อกับแรงดัน 5 โวลต์ Aduino
- Trig เชื่อมต่อกับขา 8 Aduino ทำหน้าที่เป็นขาอินพุตรับสัญญาณพัลส์ที่มีความ

กว้างอย่างน้อย 10 ไมโครวินาทีเพื่อกระตุ้นการสร้างคลื่นอัลตร้าโซนิกความถี่ 40 kHz ออกสู่อากาศจากตัวส่ง ดังนั้นเมื่อคลื่นความถี่ดังกล่าวนี้เคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางที่อยู่เบื้องหน้าก็จะเกิดการสะท้อนกลับมายังตัวรับดังภาพที่ 3-16 และถูกแปลงออกมาเป็นความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่จะส่งออกไปทางขา Echo นอกจากนี้ในโหมด 1 สัญญาณจะใช้ชุดนี้เป็นจุดสื่อสารข้อมูลอนุกรมเพื่อรับส่งค่าการวัดกับอาดุยโน่

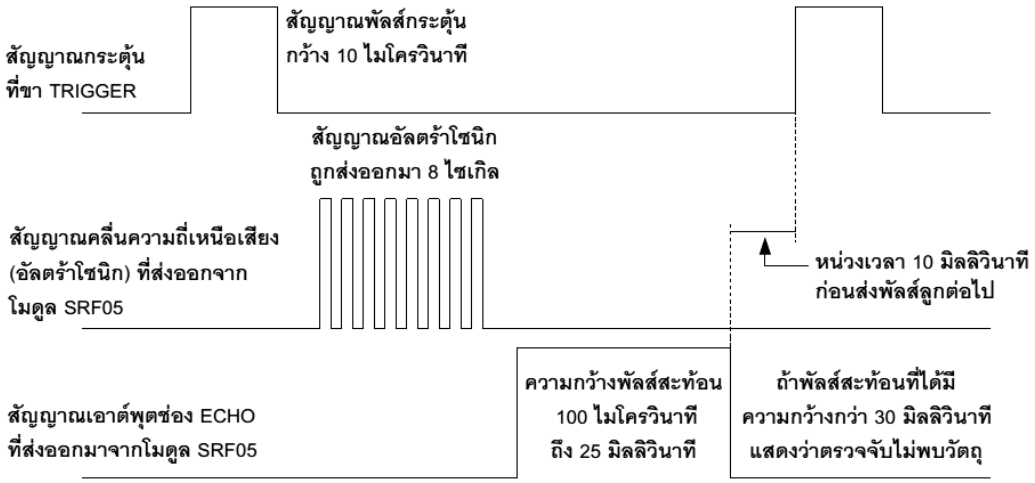
- Echo เชื่อมต่อกับขา 2 Aduino เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณพัลส์ออกจาก SRF05 ซึ่งการใช้งานจะนำขานี้ไปต่อเข้ากับพอร์ตอินพุตของอาดุยโน่ เพื่อตรวจจับความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ส่งออกมาเพื่อแปลความหมายออกมาเป็นระยะทางอีกครั้ง ดังภาพที่ 3-17
- GND เชื่อมต่อกับขากราวด์ Aduino



ภาพที่ 3-15 วงจรเชื่อมต่ออัลตร้าโซนิกกับอาดุยโน่



ภาพที่ 3-16 หลักการตรวจจับวัตถุโดยใช้สัญญาณความถี่อัลตร้าโซนิก



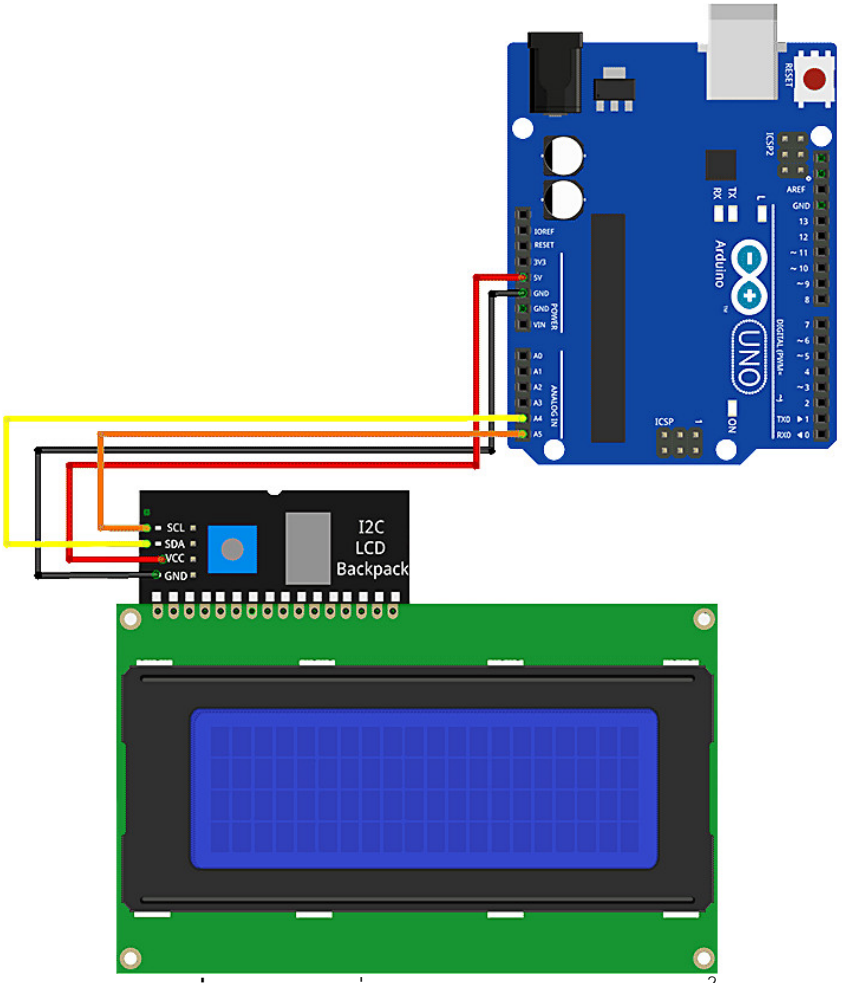
ภาพที่ 3-17 ไดอะแกรมเวลาแสดงสัญญาณที่ส่งออกไปและสัญญาณที่ตอบรับกลับมาจาก SRF05

3.5.6 วงจรเชื่อมต่อระหว่างแอลซีดีกับอาดุยโน่

แอลซีดี (Liquid Crystal Display: LCD) เป็นจอที่ทำมาจากผลึกคริสตอลเหลว หลักการคือด้านหลังจอจะมีไฟส่องสว่างหรือที่เรียกว่า Backlight อยู่ เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นที่ผลึกก็จะทำให้ผลึกโปร่งแสง ทำให้แสงที่มาจากไฟ Backlight แสดงขึ้นมาบนหน้าจอ และส่วนอื่นที่โดนผลึกปิดกั้นไว้ จะมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตอล เช่น สีเขียว หรือ สีฟ้า ทำให้เมื่อมองไปที่จอก็จะพบกับตัวหนังสือสีขาว แล้วพบกับพื้นหลังสีต่างๆ กัน

การเชื่อมต่อจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

- การเชื่อมต่อแบบขนาน - เป็นการเชื่อมต่อจอ LCD เข้ากับบอร์ดอาดุยโน่โดยตรง โดยจะแบ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบ 4 บิต และการเชื่อมต่อแบบ 8 บิต ในอาดุยโน่จะนิยมเชื่อมต่อแบบ 4 บิต เนื่องจากใช้สายในการเชื่อมต่อน้อยกว่า
- การเชื่อมต่อแบบอนุกรม - เป็นการเชื่อต่อกับจอ LCD ผ่านโมดูลแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อกับจอ LCD จากแบบขนาน มาเป็นการเชื่อมต่อแบบอื่นที่ใช้สายน้อยกว่า เช่น การใช้โมดูล I^2C Serial Interface จะเป็นการนำโมดูลเชื่อมเข้ากับตัวจอ LCD แล้วใช้บอร์ดอาดุยโน่เชื่อมต่อกับบอร์ดโมดูลผ่านโปรโตคอล I^2C ทำให้ใช่สายเพียง 4 เส้น ก็ทำให้หน้าจอแสดงผลข้อความต่างๆ ออกมาได้ ดังภาพที่ 3-18



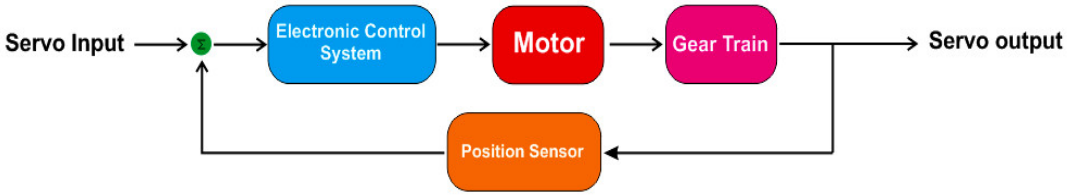
ภาพที่ 3-18 วงจรเชื่อมต่อแอลซีดีกับอาดุยโน่แบบ I^2C

ในในงานวิจัยนี้เลือกใช้ LCD 16x2 ที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบ Inter - IC communication ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อดังนี้

- GND เชื่อมต่อกับขากราวด์ Aduino
- VCC เชื่อมต่อกับแรงดัน 5 โวลต์ Aduino
- SDA (Serial Data) เชื่อมต่อกับขา 18(A4) Aduino เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล
- SCL (Serial Clock) เชื่อมต่อกับขา 19(A5) Aduino เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล

3.5.7 วงจรเชื่อมต่อระหว่างเซอร์โวมอเตอร์กับอาดุยโน่

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นมอเตอร์ที่สามารถสั่งงานหรือตั้งค่า แล้วตัวมอเตอร์จะหมุนไปยังตำแหน่งองศาที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง โดยใช้วิธีการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) คือ ระบบควบคุมที่มีการวัดค่าเอาต์พุตของระบบนำมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุตเพื่อควบคุมและปรับแต่งให้ค่าเอาต์พุตของระบบให้มีค่าเท่ากับหรือ ใกล้เคียงกับค่าอินพุต

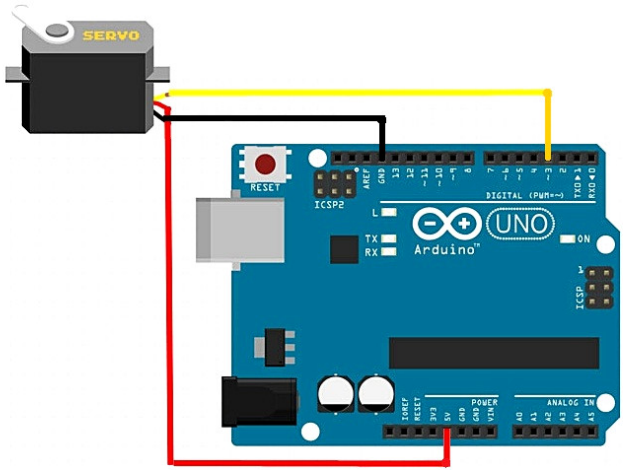


ภาพที่ 3-19 หลักการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์แบบป้อนกลับ

จากภาพที่ 3-19 เมื่อจ่ายสัญญาณพัลซ์เข้ามายังเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งในส่วนวงจรควบคุม (Electronic Control System) ภายในเซอร์โวจะทำการอ่านและประมวลผลค่าความกว้างของสัญญาณพัลซ์ที่ส่งเข้ามาเพื่อแปลค่าเป็นตำแหน่งองศาที่ต้องการ เพื่อให้ Motor หมุนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้น แล้วส่งคำสั่งไปทำการควบคุมให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยมี Position Sensor เป็นตัวเซ็นเซอร์คอยวัดค่ามุมที่ มอเตอร์กำลังหมุน เป็น Feedback กลับมาให้วงจรควบคุมเปรียบเทียบกับค่าอินพุตเพื่อควบคุมให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการอย่างถูกต้องแม่นยำ

สายไฟเชื่อมต่อเพื่อจ่ายไฟฟ้าและควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จะประกอบด้วยสายไฟ 3 เส้นและใน เซอร์โวมอเตอร์จะมีสีของสายแตกต่างกันไป ภาพที่ 3-20 ดังนี้

- สายสีดำหรือน้ำตาล เชื่อมต่อกับขากราวด์ Aduino
- สายสีแดง เชื่อมต่อกับแรงดัน 5 โวลต์ Aduino
- สายสีเหลือง (ส้ม ขาว หรือฟ้า) เชื่อมต่อกับขา 3 Aduino ทำหน้าที่เป็นสายส่งสัญญาณพัลซ์ควบคุม (3-5V)



ภาพที่ 3-20 วงจรเชื่อมต่อเซอร์โวมอเตอร์กับอาดุยโน่

งานวิจัยนี้เลือกใช้เซอร์โวแบบ Micro Servo Tower Pro SG902 เพื่อใช้เป็นมอเตอร์ชุดหมุนฐานของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ สามารถควบคุมแบบหมุนไป-กลับได้ 0-180 องศาเท่านั้น ซึ่งมีคุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์ดังนี้

- ขนาด 21.5mmx11.8mmx22.7mm

- น้ำหนัก 9 กรัม
- ความเร็วเมื่อไม่มีโหลด 0.12 วินาที/60องศา (4.8V)
- แรงบิด 1.2-1.4 kg/cm (4.8V)
- ทำงานที่อุณหภูมิ -30 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- เวลาหยุดก่อนรับคำสั่งใหม่ 7 มิลลิวินาที
- ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 4.8V - 6V

3.6 การออกแบบการแสดงผลด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก

3.6.1 การบันทึกค่าแท็กอาร์เอฟไอดีลงในอีอีพรอมของอาดุยโน่

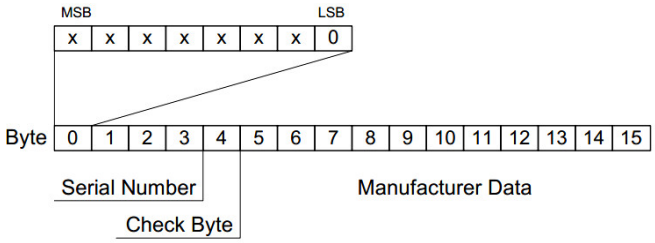
แท็กอาร์เอฟไอดียี่ห้อ MIFARE ขนาดหน่วยความจำ 1 Kbytes ความถี่ 13.56 MHz White Card Tag มีโครงสร้างข้อมูลของแท็กดังภาพที่ 3-21

		Byte number														
Sector	Block	0	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	Manufacturer Data														
	1	Data														
	2	Data														
	3	Key A						Access Bits			Key B					
1	0	Data														
	1	Data														
	2	Data														
	3	Key A						Access Bits			Key B					
. . .	. . .	. . .														
15	0	Data														
	1	Data														
	2	Data														
	3	Key A					Access Bits				Key B					

ภาพที่ 3-21 โครงสร้างแท็กอาร์เอฟไอดี MIFARE

โครงสร้างของแท็กภายในจะแบ่งข้อมูลออกเป็นเซ็คเตอร์ (Sector) ซึ่งมีทั้งหมด 16 เซ็คเตอร์ (ตั้งแต่ 0 ถึง 15) ในแต่ละเซ็คเตอร์ประกอบด้วยชุดข้อมูล 4 บล็อค(Block) โดยบล็อคต่างๆ จะเก็บข้อมูลของแท็กดังนี้

1) Sector 0 Block 0 เก็บข้อมูลของแท็กหรือค่า UID (Unique Identifier) มีขนาด 16 บิต สามารถอ่านได้เพียงอย่างเดียวไม่สามารถเขียนได้



Byte Number	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Description	Value				Value				Value				Adr	Adr	Adr	Adr

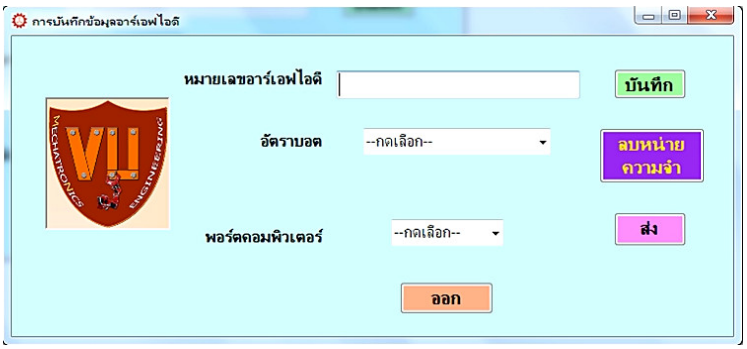
ดังภาพที่ 3-22 บล็อกการจัดเก็บข้อมูลของแท็กอาร์เอฟไอดี

2) Block 0, 1, 2 ของทุก Sector (ยกเว้น Sector 0 ที่ใช้ได้เฉพาะ Block 1,2) ใช้เก็บข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการเขียน-อ่านบัตร ดังภาพที่ 3-22 โดยบัตร Mifare ยังมีฟังชั่น Value Block เขียนข้อมูลลงไปเฉพาะ 4 ไบต์แรก (ไบต์ที่ 0-3) และ Backup ข้อมูลไว้ที่ไบต์ที่ 8-11 Invert ข้อมูลไว้ในไบต์ 4-7 เก็บข้อมูลตำแหน่ง (Address) ของ Block มีขนาด 1 ไบต์ไว้ที่ไบต์ที่ 12 กับ 14 และ Invert ข้อมูลตำแหน่งไว้ที่ 13 กับ 15 ฟังก์ชั่น Value Block เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการความเร็วในการอ่านเขียนข้อมูล ไม่ต้องการใช้ข้อมูลทั้ง Block ต้องการเพียงเขียน อ่าน เพิ่ม หรือลดและมีระบบป้องกันข้อมูลที่อยู่ข้างใน

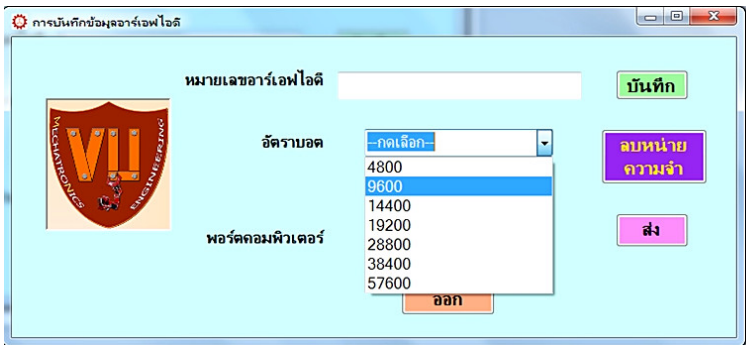
3) Block 3 ในแต่ละ Sector เก็บข้อมูลสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลใน Block นั้น ประกอบด้วย

- Key A เก็บรหัสการเข้าถึงข้อมูลของแท็ก เก็บไว้ที่ Block 3 Byte ที่ 0 – 5
- Key B เก็บรหัสการเข้าถึงข้อมูลของแท็ก เก็บไว้ที่ Block 3 Byte ที่ 11 – 15
- Access Bits เป็นค่าที่ใช้กำหนดสิทธิ์ของ Key A และ Key B สามารถอ่าน/เขียน Block ไหนได้บ้าง ใน Sector นั้น เช่นผู้ใช้แท็กอาจกำหนดให้ตนเองถือ Key A อยู่ ซึ่งกำหนดสิทธิ์ในส่วน Access bits แล้วให้สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ แต่ผู้ใช้ทั่วไปถือ Key B สามารถอ่านข้อมูลได้เพียงอย่างเดียว (ทีมงานวีนัส ซัพพลาย, ม.ป.ป.)

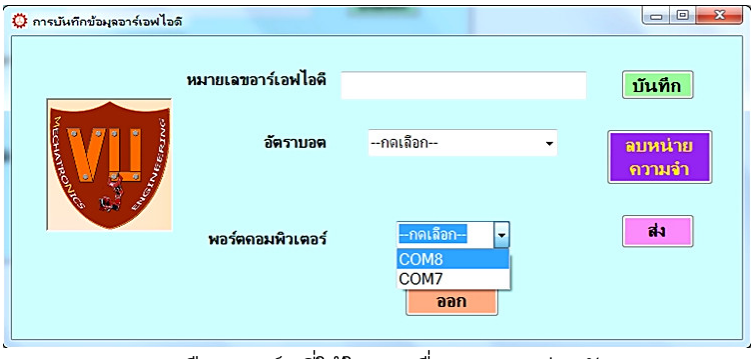
จากโครงสร้างภายในของแท็กที่กล่าวมา ซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลแบ่งเป็นบล็อกต่างๆ ในที่นี้จะทำการดึงรหัสหมายเลขที่อยู่ภายในบล็อกมาใช้ โดยเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าข้อมูลจากแท็กอาร์เอฟไอดีในภาพที่ 3-14 ให้ครบทั้ง 4 แท็กและจดบันทึกเฉพาะเลขฐานสิบที่ได้จากการอ่านไปใช้ในการป้อนข้อมูลเข้าสู่อีอีพรอมของอาดุยโน่



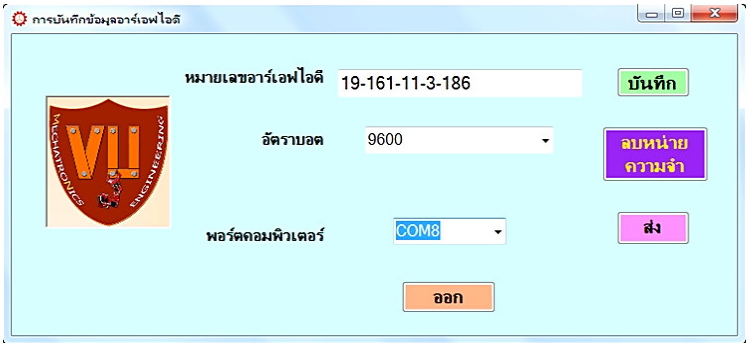
(ก) รูปแบบการบันทึกข้อมูลอาร์เอฟไอดี



(ข) เลือกอัตราบอดในการรับส่งข้อมูล



(ค) เลือกพอร์ตที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างกัน



(ง) รูปแบบการใส่หมายเลขอาร์เอฟไอดี

ภาพที่ 3-23 การบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำ

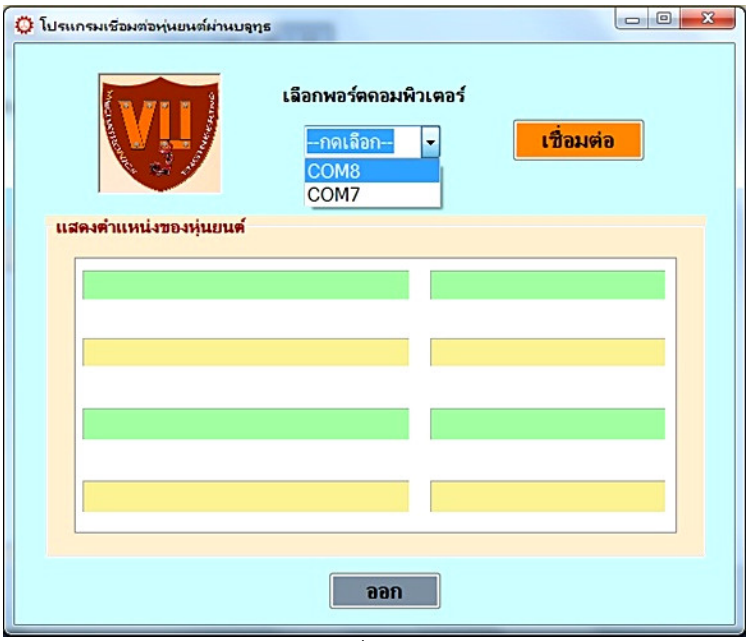
การบันทึกข้อมูลเริ่มจาก เปิดหน้าต่างของการบันทึกข้อมูลอาร์เอฟไอดีขึ้นมา ดังภาพที่ 3-23 (ก) จากนั้นทำการเลือกอัตราบอดในการรับส่งข้อมูลที่ 9600 บิตต่อวินาที และพอร์ตคอมพิวเตอร์ในการติดต่อสื่อสารระหว่างโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์กับอาดุยโน่ โดยเลือกพอร์ต COM8 หลังจากนั้นให้ใส่หมายเลขแท็กอาร์เอฟไอดีที่ได้จดบันทึกไว้ลงไป โดยขีดคั่นตรงกลางไว้เพื่อให้ข้อมูลนี้ถูกจัดเก็บลงไปจำนวน 5 ไบต์ในหน่วยความจำอีอีพรอม ดังภาพที่ 3-23 (ข-ง) เมื่อเสร็จแล้วให้กดปุ่มบันทึกและกดปุ่มส่ง ข้อมูลเหล่านี้ก็จะถูกส่งไปจัดเก็บที่อาดุยโน่ตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ ทำซ้ำเช่นนี้จนกระทั่งครบ 4 แท็กและกดปุ่มออกจากโปรแกรมจึงเป็นอันสิ้นสุดการบันนทึกข้อมูล ในกรณีที่ต้องการลบรหัสข้อมูลออกจากหน่วยความจำก็สามารถทำได้โดยเลือกอัตราบอดและพอร์ตคอมพิวเตอร์เช่นเดิม และ

กดปุ่มลบหน่วยความจำ ข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำอีอีพรอมของอาดุยโน่เหล่านั้นก็จะถูกลบออกไปทั้งหมดโดยทันที

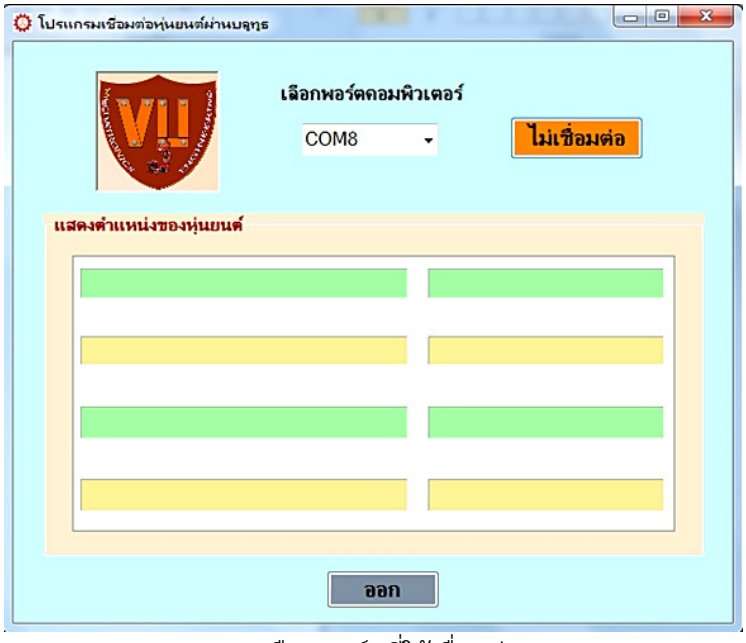
เนื่องจากหน่วยความจำมีจำนวนจำกัดประมาณ 1 กิโลไบต์ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้สามารถเพิ่มจำนวนรหัสหมายเลขอาร์เอฟไอดีไม่เกิน 20 แท็ก ในส่วนของขั้นตอนการนำเอารหัสไปใช้ทำโดยการเปรียบเทียบค่าข้อมูลที่อ่านได้จากแท็กกับค่าข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำอีอีพรอมว่าตรงกันหรือไม่ ถ้าไม่แสดงว่ายังไม่ได้บันทึกข้อมูลลงไปในหน่วยความจำ แต่ถ้ามีค่าตรงกันตัวอาดุยโน่จะส่งสัญญาณข้อมูลไร้สายแบบบลูทูธออกไปแสดงผลที่หน้าจอโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์

3.6.2 การแสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์และเวลา

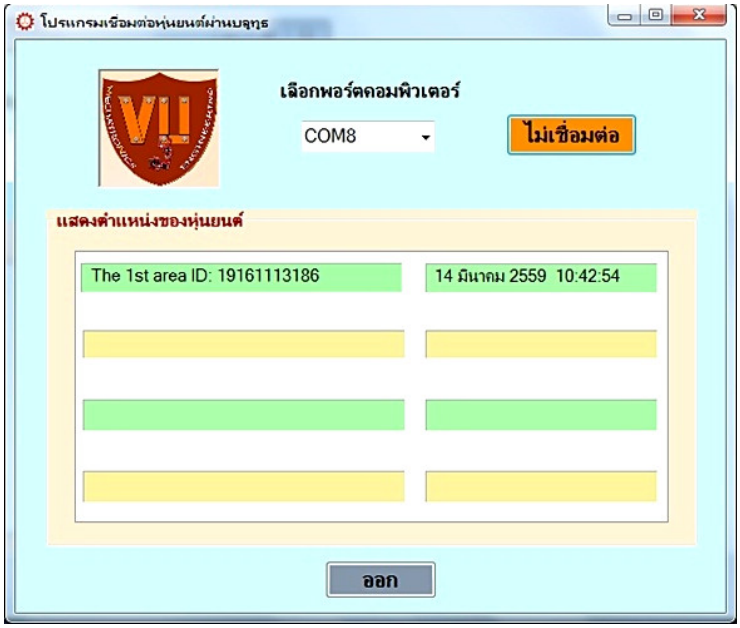
หลังจากที่เปิดการทำงานของหุ่นยนต์และดำเนินการจับคู่กันของโมดูลบลูทูธกับโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ แล้วดังในหัวข้อ 3.5.3 วงจรเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างบลูทูธกับอาดุยโน่ ซึ่งจะทำให้เกิดการติดต่อสื่อสารกันได้ ต่อจากนั้นจึงเปิดโปรแกรมเชื่อมต่อหุ่นยนต์ผ่านบลูทูธ ดังภาพที่ 2-24 (ก)



(ก) รูปแบบโปรแกรมเชื่อมต่อหุ่นยนต์ผ่านบลูทูธ



(ข) เลือกพอร์ตที่ใช้เชื่อมต่อ



(ค) ทดสอบการแสดงผล

ภาพที่ 3-24 การแสดงผลการรับค่าข้อมูลจากหุ่นยนต์

ขั้นตอนต่อไปจะต้องทำการเลือกพอร์ตให้ตรงกันกับอาดุยโน่ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ COM8 และในส่วนของอัตราบอตได้ถูกกำหนดค่าที่โค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้วคืออยู่ที่ 9600 บิตต่อวินาที ซึ่งจะต้องมีค่าตรงกับการเซตค่าที่ส่งมาจากอาดุยโน่เช่นกัน ต่อจากนั้นให้กดปุ่มเชื่อมต่อ ในขณะนี้เองโปรแกรมวิชวลเบสิกที่สร้างขึ้นนี้พร้อมที่จะรับข้อมูลที่ส่งมาจากหุ่นยนต์แล้วไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งที่เดินทางไปถึงและหมายเลขแท็กอาร์เอฟไอดีพร้อมทั้งบอกวันเวลาที่หุ่นยนต์ได้เดินทางไปถึงเป้าหมาย ดังภาพที่ 2-24 (ข-ค) การทดสอบเบื้องต้นโปรแกรมสามารถแสดงผลบอกตำแหน่งจุดแรกที่หุ่นยนต์

ไปถึงคือ The 1st area และหมายเลขแท็กอาร์เอฟไอดีคือ 19161113186 ซึ่งเป็นเลขฐานสิบ และช่องบอกวันที่และเวลาทางด้านขวามือคือ 14 มีนาคม 2559 เวลา 10:42:54 น. เป็นไปตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ ถ้าต้องการปิดการทำงานก็เพียงแต่กดปุ่มไม่เชื่อมต่อก่อนแล้วจึงกดปุ่มออก ซึ่งจะทำให้โปรแกรมหยุดการเชื่อมต่อกับหุ่นยนต์ทันที

การออกแบบหุ่นยนต์แบ่งออกเป็นภาคส่วนต่างๆ แต่ละภาคส่วนมีความซับซ้อนแตกต่างกันไป การสร้างหุ่นยนต์บอกตำแหน่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานหลายแขนงวิชา ซึ่งต้องมีการศึกษาล่วงหน้าก่อนปฏิบัติ ความพร้อมหลากหลายที่กล่าวมาเช่น ความรู้พื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ แมคคาทรอนิกส์ ด้านโปรแกรมมิ่ง และด้านการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย รวมถึงงบประมาณที่ใช้จ่ายให้คุ้มค่าในการทำวิจัย เพราะว่าการสร้างหุ่นยนต์อาจเกิดปัญหาทางด้านกลไกและระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งต้องใช้ทุนทรัพย์ในการซ่อมแซมทั้งสิ้น การออกแบบระบบที่มีการวางแผนรัดกุมจะช่วยให้ระบบมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุดและอยู่ใกล้ความสำเร็จมากที่สุด