สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์บุกเบิกไร้สายด้วยอัลตร้าโซนิก

Mobile Pioneer Robot By Ultrasonic

T046420

โดย

นายรัฐนันทน์ นันทิยะกุล

นางสาวอรุณี ลิ้มสุขะกร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46420
วัน, เดือน, ปี - 1 เม.ย. 2546

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หุ่นยนต์บุกเบิกไร้สายด้วยอัลตร้าโซนิก
Title	Mobile Pioneer Robot By Ultrasonic
โดย	นายรัฐนันทน์ นันทิยะกุล รหัสประจำตัว 41014354
	นางสาวอรุณี ลิ้มสุขะกร รหัสประจำตัว 41014530
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร. ปิติเขต สู้รักษา
	อาจารย์บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2544

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัญฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

(อาจารย์บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หุ่นยนต์บุกเบิกไร้สายด้วยอัลตร้าโซนิก
นักศึกษา	นายรัฐนันทน์ นันทิยะกุล รหัสประจำตัว 41014354
	นางสาวอรุณี ลิ้มสุขะกร รหัสประจำตัว 41014530
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร. ปิติเขต สู้รักษา
	อาจารย์บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ที่ใช้สำรวจ เก็บสร้างแผนที่และปฏิบัติงานในบริเวณที่จำกัดและเสี่ยงอันตรายซึ่งมนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ โดยควบคุมระยะทางไกลจากคอมพิวเตอร์ผ่านระบบสื่อสารไร้สายที่มีประสิทธิภาพความถูกต้องสูงไปยังหุ่นยนต์ที่มีขนาดเล็กและประหยัดพลังงาน อีกทั้งยังสามารถติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้งานเฉพาะด้านไปกับหุ่นยนต์ เช่น กล้องวงจรปิด เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหว แขนกล ฯลฯ โดยหุ่นยนต์จะใช้เซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิคหมุนกวาดเป็นมุม 180 องศาทางด้านหน้าเพื่อเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลสร้างแผนที่ หลบหลีกสิ่งกีดขวางและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อนำกลับมาหาทิศทางการเคลื่อนที่อย่างอัตโนมัติไปยังจุดหมายที่กำหนดไว้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT TITLE	MOBILE PIONEER ROBOT BY ULTRASONIC
STUDENT	Mr. Rattanan Nantiyakul No. 41014354
	Ms. Arunee Limsukhakorn No. 41014530
ADVISOR	Assist. Prof. Dr. Pitikhate Sooraksa
	Mr. Bunchana Purahong
COURSE	Bachelor of Information Engineering
DEPARTMENT	Information Engineering
YEAR	2001

ABSTRACT

This thesis presents, a mobile robot is designed and developed for survey and building map. The robot is acquired to used in the hazard environment or the place that is inaccessible for human. This robot is controlled remotely by a computer. In addition, there are a camera and other sensors used to collect data from the remote environment equipped as the robot's accessories. Using those accessories, the robot can be navigated, analyzed and built the map by itself. Experiments are also carried out to valid the effectiveness of the design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์บุญชนะ ภู่ระหงษ์ และ ผศ.ดร. ปิติเขต สู้รักษา เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอย่างเต็มที่ตลอดการทำโครงงานหุ่นยนต์บุกเบิกไร้สายด้วยอัลตร้าโซนิกนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ ภุชงค์ หงษ์สุวรรณ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับแนวทางจุดมุ่งหมายของโปรเจค

ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่และอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความสนับสนุนและกำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณพี่วัฒน์ พี่เต้ย พี่บุญ พี่ต่อที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับเรื่องฮาร์ดแวร์และแนวทางแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจยามเกิดปัญหา จนกระทั่งโครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นรูปเล่มปริญญานิพนธ์ได้

รัฐนันทน์ นันทิยะกุล

อรุณี ลิ้มสุขะกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
ขอบเขตของโครงงาน	1
ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	2
บทที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เอวีอาร์ (AT90S/LS8535)	4
คุณสมบัติของ เอวีอาร์ (AT90S/LS8535)	4
โครงสร้างและการทำงาน	6
โครงสร้างภายใน	6
การขับเคลื่อนมอเตอร์	8
มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232	9
คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ	9
การเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิคติดต่อ I/O ผ่านทางพอร์ตอนุกรม	12
ทฤษฎีการสื่อสารไร้สาย	13
การมอดูเลตทางความถี่	13
การมอดูเลตทางเฟส	15
เฟสล็อกลูป	17
หลักการของ พีแอลแอล	18
เซอร์โวมอเตอร์	20
คุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์	20
การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	21
อัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์	22
อินฟาเรดเซ็นเซอร์	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ 26

โมเด็มไร้สาย 26

หลักการทำงาน 26

การเชื่อมต่อวงจร MAX-232 27

การเชื่อมต่อวงจร TCM 3101 28

การเชื่อมต่อวงจรขยายสัญญาณ 29

หุ่นยนต์ 30

การเชื่อมต่อวงจรคอนโทรลเลอร์ 31

การเชื่อมต่อวงจรขับของมอเตอร์ 32

การเชื่อมต่อวงจรอินฟาเรด 33

การออกแบบทางซอฟต์แวร์ 34

โปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ 34

หลักการทำงานของโปรแกรม 34

วิชวลเบสิคเขียนโปรแกรมติดต่อ I/O พอร์ตอนุกรม 36

โปรแกรมควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ 41

บทที่ 4 ผลการทดลองของอินพุทและเอาท์พุทของเอฟเอสเค 43

ผลการทดลองของอินพุทและเอาท์พุทของอัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์ 44

บทที่ 5 สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ 45

บรรณานุกรม 46

ภาคผนวก 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 แบบจำลองการสื่อสารของแบบฟูลดูเพล็ก (Full Duplex) 2
รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขาของคอนโทรลเลอร์ 6
รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในของ AT90S8535 7
รูปที่ 2.3 วงจรขับมอเตอร์และการเชื่อมต่อของ LM 18298 8
รูปที่ 2.4 รูปร่างและตำแหน่งขาของคอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขาและ 25 ขา 10
รูปที่ 2.5 การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null modem และแบบ RS-232 12
รูปที่ 2.6 การมอดูเลตทางความถี่ 13
รูปที่ 2.7 การมอดูเลตสัญญาณ FM และPM 15
รูปที่ 2.8 การใช้มอดูเลเตอร์ PM กำหนดคลื่น FM และการใช้มอดูเลเตอร์ FM กำหนดคลื่นPM 16
รูปที่ 2.9 บล็อคไดอะแกรมของวงจรพีแอลแอล 18
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะระหว่างความถี่กับ error voltage ของ PLL 19
รูปที่ 2.11 แสดงชุดเกียร์และลักษณะของเซอร์โวมอเตอร์ 20
รูปที่ 2.12 แสดงการกำหนดช่วงพัลซ์ (Pulse) ของเซอร์โว 21
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ 22
รูปที่ 2.14 แสดงบีมแพทเทิร์น (Beam Pattern) ของ อัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์ 23
รูปที่ 2.15 แสดงการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก 23
รูปที่ 2.16 แสดงไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram) 24
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะองค์ประกอบของอินฟาเรดเซ็นเซอร์ 24
รูปที่ 3.1 แสดงการเชื่อมต่อวงจร MAX-232 27
รูปที่ 3. 2 แสดงการเชื่อมต่อวงจร TCM 3101 กับอุปกรณ์ภายนอก 28
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรขยายสัญญาณ 29
รูปที่ 3.4 แสดงการเชื่อมต่อที่ตัวหุ่นยนต์ 30
รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่อของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 31
รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อวงจรขับของมอเตอร์ 32
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรการเชื่อมต่อของอินฟาเรด 33
รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้งของอินฟาเรด 33
รูปที่ 3.9 โปรแกรมหน้าจอควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ในระบบควบคุมด้วยมือ 34
รูปที่ 3.10 โปรแกรมหน้าจอควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ในระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนที่หนึ่งการเขียนโปรแกรมติดต่อ I/O Serial Port 36

รูปที่ 3.12 แสดงขั้นตอนที่สองการเขียนโปรแกรมติดต่อ I/O Serial Port 37

รูปที่ 3.13 แสดงขั้นตอนที่สามการเขียนโปรแกรมติดต่อ I/O Serial Port 37

รูปที่ 3.14 แสดงการทำงานของโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของ
โปรแกรมหลัก 41

รูปที่ 3.15 แสดงการทำงานของโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วน
อินเทอร์รัพรูทีน 42

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟอินพุทและเอาท์พุทของเอฟเอสเค 43

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟของอินพุทและเอาท์พุทของอัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีทางการสื่อสารแบบไร้สายได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว จนได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมากและมนุษย์สามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามที่ต่างๆได้ ดังนั้นเพื่อให้การควบคุมหุ่นยนต์เกิดประโยชน์และศักยภาพมากที่สุด จึงเป็นที่มาของปริญญานิพนธ์นี้ซึ่งช่วยควบคุมหุ่นยนต์แบบไร้สายให้สามารถไปสถานที่ใดๆก็ได้และทำงานตามหน้าที่ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ โดยการควบคุมผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์และนำข้อมูลของสิ่งกีดขวางส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและสร้างเป็นแผนที่เส้นทางการเดินต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

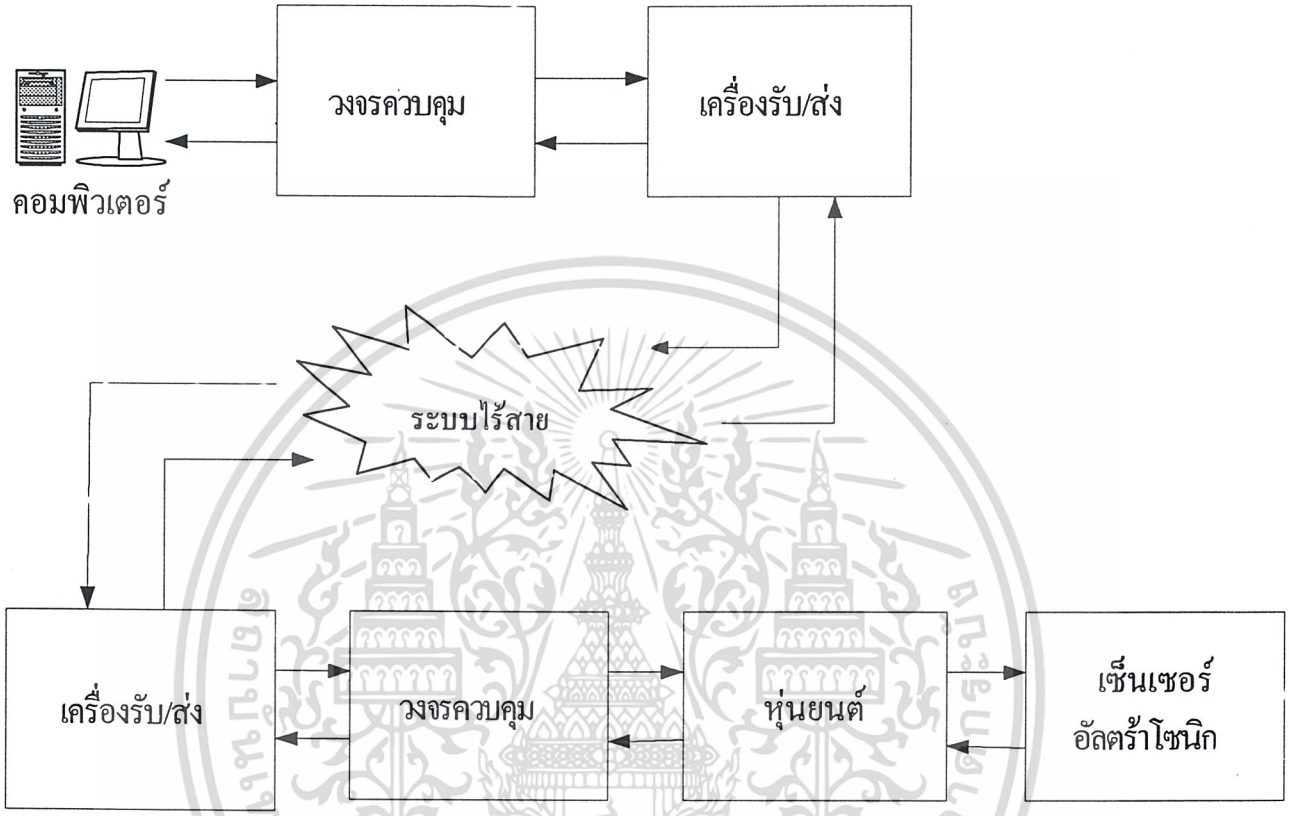
- ศึกษาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้งานเพื่อใช้ในการสั่งงานและควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้คือ เอวีอาร์ (AVR : AT90S/LS8535)
- ศึกษาระบบการสื่อสารแบบไร้สายด้วยการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และโพรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสาร
- เขียนโปรแกรมในการเก็บสร้างแผนที่และประมวลผลเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด
- ใช้เซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Sensor)ในการเก็บระยะทางของสิ่งกีดขวาง
- เพื่อเป็นแนวทาง ในการพัฒนาระบบหุ่นยนต์ไร้สาย (Mobile Robot) ต่อไปในอนาคต

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

เนื่องจากการควบคุมของหุ่นยนต์แต่เดิมใช้การควบคุมด้วยมนุษย์ผ่านอุปกรณ์ควบคุมที่เชื่อมต่ออยู่กับหุ่นยนต์ซึ่งเป็นการยากที่จะควบคุมหุ่นยนต์ในบางจุดที่ผู้ควบคุมไม่สามารถเข้าถึงได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาจึงได้เปลี่ยนระบบการส่งข้อมูลจากระบบที่ใช้สายเป็นระบบไร้สายและใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมเพื่อเก็บสร้างแผนที่และประมวลผลเส้นทางที่ดีที่สุดและใส่ความฉลาดในการเดินของหุ่นยนต์ทั้งหมดและหุ่นยนต์สามารถควบคุมตัวหุ่นยนต์เองได้โดยไม่ต้องพึ่งพามนุษย์อีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน



รูปที่ 1.1 แบบจำลองการสื่อสารของแบบฟูลดูเพล็ก (Full Duplex)

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ใหญ่ๆคือ

ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ คือส่วนที่ใช้ในการควบคุมและประมวลผลเส้นทางการเดินของหุ่นยนต์ที่ดีที่สุดที่จะไปถึงยังจุดหมายที่เลือกไว้ ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวาง

- ซอฟต์แวร์ ทำหน้าที่ในการติดต่อกับผู้ใช้และทำการประมวลผลสัญญาณข้อมูลสิ่งกีดขวางที่ถูกส่งมาจากหุ่นยนต์และทำการประมวลผลในการสร้างแผนที่ รวมทั้งหาเส้นทางในการเดินไปยังจุดหมายที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ ส่วนที่ใช้ติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์ไร้สาย โดยจะประกอบด้วย 5 ส่วนใหญ่ๆ

- **วงจรควบคุม1** ทำหน้าที่ในการเตรียมข้อมูลที่จะใช้รับส่งระหว่าง คอมพิวเตอร์ (ซอฟต์แวร์) กับเครื่องรับ/ส่งสัญญาณอาร์เอฟ (RF)
- **วงจรควบคุม2** ทำหน้าที่ในการเตรียมข้อมูลที่จะใช้รับส่งระหว่างเครื่องรับ/ส่งสัญญาณ อาร์เอฟกับตัวหุ่นยนต์
- **เครื่องรับ/ส่งสัญญาณ RF** แปลงข้อมูลสัญญาณดิจิตอล ให้เป็นสัญญาณอนาลอก และสัญญาณอนาลอก ไปเป็นสัญญาณดิจิตอล และเครื่องรับ/ส่งข้อมูลด้วยระบบสัญญาณไร้สายอาร์เอฟ
- **เซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิก** ใช้ในการตรวจจับหาระยะทางของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้า และส่งข้อมูลกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์
- **หุ่นยนต์** เป็นหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่สำรวจเส้นทางและส่งข้อมูลจากการสำรวจกลับไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์และรับสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์มาปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโครงงาน

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เอวีอาร์ (AT90S/LS8535)

จากการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ในตระกูลต่างๆ ซึ่งมีแนวทางการพัฒนาไปทางด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและการบรรจุอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานของซีพียู (CPU) ไว้ในชิป (Chip) เดียวกันให้มากขึ้น เช่นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารแบบอนุกรม, พอร์ตสื่อสารแบบขนาน, Timer/Counter และอื่นๆ

เอวีอาร์ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รวบรวมอุปกรณ์สนับสนุนไว้มากมาย อาทิเช่น Analog to Digital, SPI, UART, Timer/counter, PWM, ICP ซึ่งทำให้ MCU สามารถทำงานได้กว้างและใช้อุปกรณ์ต่อร่วมจากภายนอกน้อยมากและสามารถประมวลคำสั่งได้ภายใน 1 คล็อก (clock) โดยมีโครงสร้างการทำงานและสถาปัตยกรรมเป็นแบบ RISC ซึ่งทำให้ซีพียูทำงานได้เร็วกว่า ซีพียูที่มีสถาปัตยกรรมแบบ CISC

2.1.1 คุณสมบัติของ เอวีอาร์ (AT90S/LS8535)

คุณสมบัติ

- สถาปัตยกรรมภายในถูกออกแบบโดยใช้สถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduce Instruction Set Computer)
- มีคำสั่งในการควบคุมการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 118 คำสั่ง
- หน่วยความจำแบบแฟลช (FLASH) สำหรับบันทึกโปรแกรมเมมโมรี (PROGRAM MEMORY) ขนาด 8 กิโลไบท์ (Kbyte)
- หน่วยความจำแบบอีอีพรอม (EEPROM) สำหรับบันทึกข้อมูล (DATA MEMORY) ขนาด 512 ไบท์
- หน่วยความจำแบบแรม ขนาด 512 ไบท์
- ระบบการเปลี่ยนสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล ขนาด 10 บิท จำนวน 8 ช่องสัญญาณ
- กลุ่มรีจิสเตอร์ (Register) ใช้งานทั่วไป ขนาด 8 บิท จำนวน 32 ตัว
- พอร์ตอินพุตและเอาท์พุต ขนาด 8 บิท จำนวน 4 พอร์ต

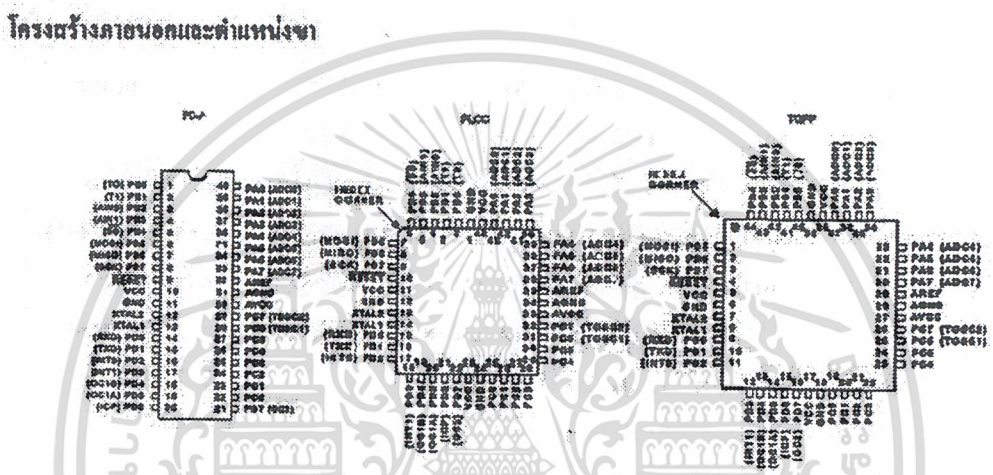
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิตอล แบบอะซิงโครนัส (UART) 1 ช่องสัญญาณ
- ระบบการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิตอล แบบซิงโครนัส (SPI) 1 ช่องสัญญาณ
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0 - 8 เมกะเฮิร์ต (MHz)
- ระบบการรีเซ็ต (Reset) แบบอัตโนมัติเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Power on Reset)
- ระบบกำเนิดความถี่สัญญาณแบบ PWM จำนวน 3 ช่องสัญญาณ
- ระบบการตรวจจับสัญญาณอนาลอก (Analog Comparator)
- 3 SLEEP MODE :IDEL, POWER SAVE and POWER DOWN
- ระบบการป้องกันการก็อปปี้ (copy) ข้อมูลภายในหน่วยความจำ (LOCK FOR SOFTWARE SECURITY)
- ระบบตรวจจับการทำงานผิดพลาดของซีพียู (WATCHDOG TIMER WITH ON-CHIP OSCILATOR)
- ระบบการอินเตอร์รัพท์จากภายนอก (EXTERNAL INTERRUPT)
- TIMER/COUNTER ขนาด 16 บิท 1 ช่องสัญญาณ
- TIMER/COUNTER ขนาด 8 บิท 1 ช่องสัญญาณ
- Vcc: 4.0 - 6.0 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 โครงสร้างและการทำงาน

AT90S8535 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิท ที่มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduce Instruction Set Computer) ซึ่งทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง/ 1 คล็อก หรือซีพียูสามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS / เมกะเฮิร์ต



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขาของคอนโทรลเลอร์

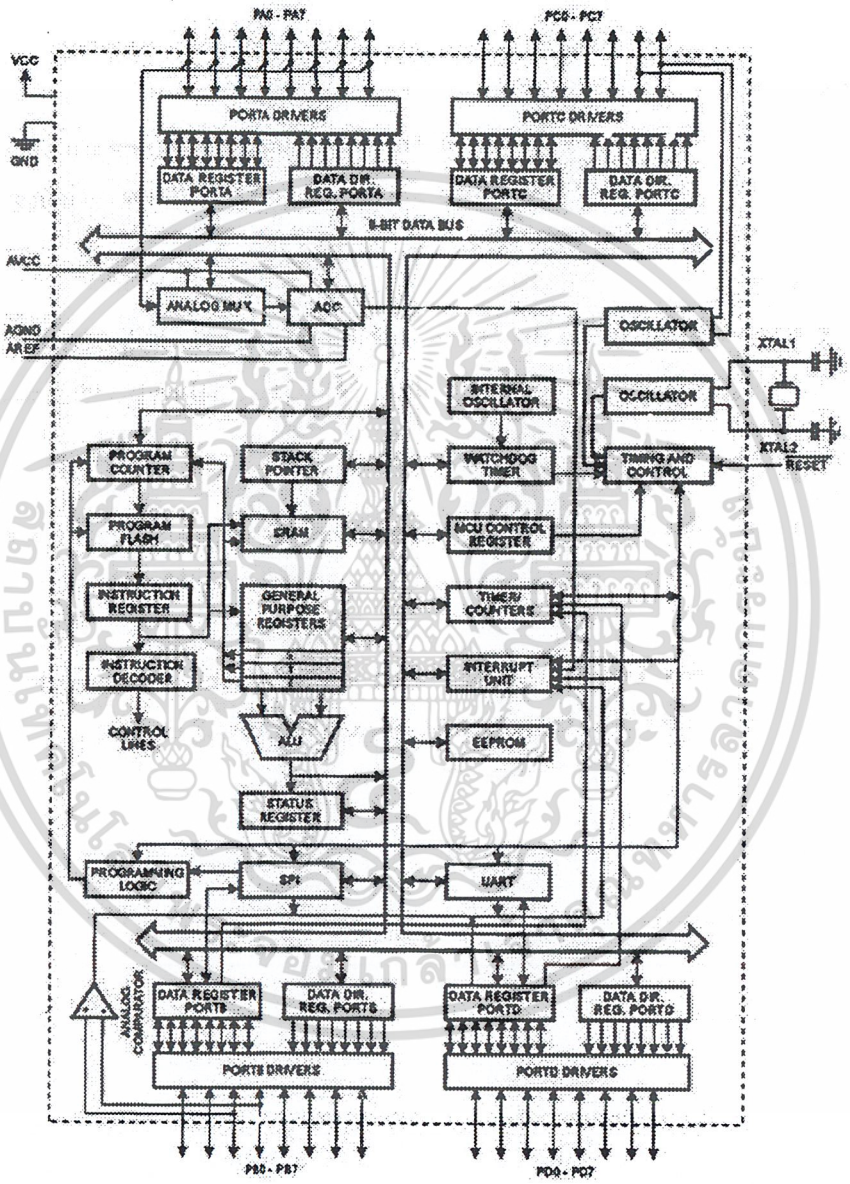
ภายในประกอบด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิท จำนวน 32 ตัว ซึ่งแต่ละตัวต่อเข้ากับเอแอลยู (ALU) โดยตรง ทำให้การประมวลผลต่อ 1 คำสั่งมีความเร็วกว่าซีพียูที่มีสถาปัตยกรรมแบบ CISC

2.1.3 โครงสร้างภายใน

AT90S8535 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมเมมโมรีแบบแฟลช ขนาด 8 กิโลไบท์ หน่วยความจำสำหรับดาต้าเมมโมรี (Data Memory) แบบอีอีพรอมขนาด 512 ไบท์ และหน่วยความจำแบบแรม ขนาด 512 ไบท์ มีพอร์ตสามารถทำงานได้ 2 ทิศทาง จำนวน 32 เส้นสัญญาณ และระบบ TIMER/COUNTER จำนวน 3 ชุดที่มีโหมดการทำงานเสริมในส่วนของการตรวจจับสัญญาณอินพุทแคปเจอร์ (input capture) มีอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบยูอาร์ท (UART) และเอสพีไอ (SPI) และยังเสริมด้วยระบบการแปลงสัญญาณจากอนาลอกไปเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน 8 ช่องสัญญาณ ที่มาพร้อมกับเอ็มซียู (MCU) มี Watchdog Timer เพื่อตรวจสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีระบบการประหยัดพลังงานอีก 3 ระบบ

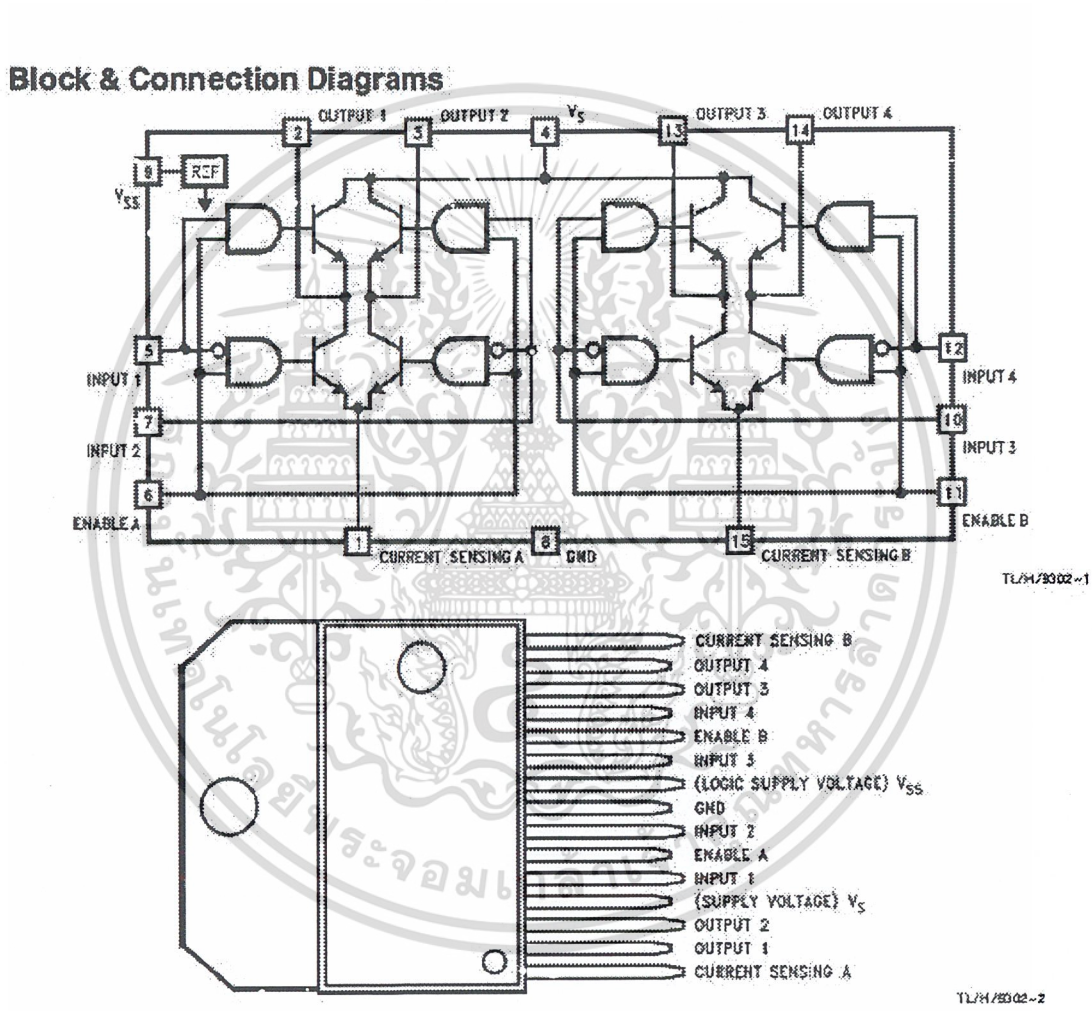


รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในของ AT90S8535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์

ใช้ไอซี LM 18298 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ในการขับโหลดที่ต้องการกระแสสูงๆ ยกตัวอย่าง เช่น รีเลย์(relay), solenoids DC และ สเต็ปปิ้งมอเตอร์(Stepping motor) มีขาอินพุทสัญญาณควบคุม ที่ใช้ในการเอ็นนาเบิ้ล (enable) ให้กับเกท(Gate) 2 ขา



รูปที่ 2.3 วงจรขับมอเตอร์และการเชื่อมต่อของ LM 18298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ –3 ถึง –12 V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12 V แสดงว่าเป็นช่องว่าง(space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิทข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

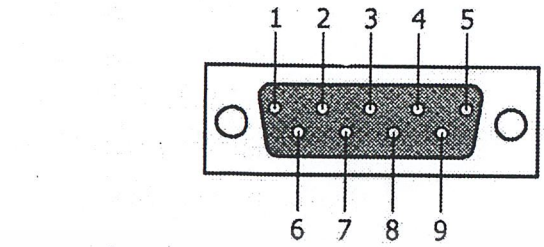
ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ที่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

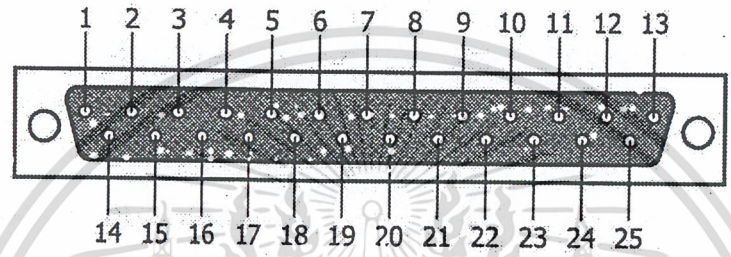
2.3.1 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวเมียหรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆที่เคยใช้งานในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูป ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขาหรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)



(ข) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25 ขาหรือแบบ DB-25 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect : DCD	อินพุต
2	3	Received Data : RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data : TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready : DTR	เอาต์พุต
5	7	Signal Ground : GND	-
6	6	Data Set Ready : DSR	อินพุต
7	4	Request To Send : RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send : CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator : RI	อินพุต

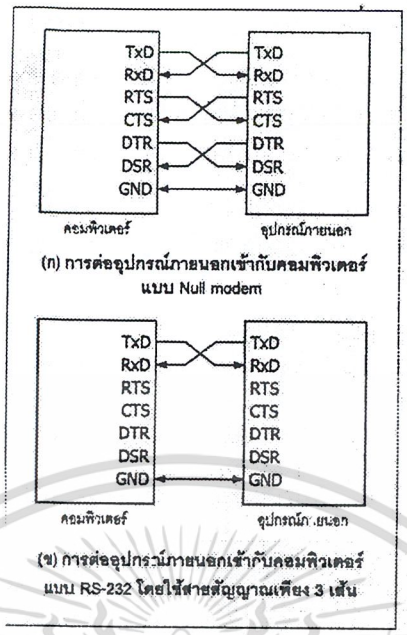
รูปที่ 2.4 รูปร่างและตำแหน่งขาของคอนเน็กเตอร์อนุกรม 9 ขาและ 25 ขา

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังในรูป (ข) ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล ในรูป (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนในรูป (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูลและเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Data Carrier Detect : DCD** หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก
- **Receive Data : RD หรือ R*D** ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์
- **Transmitted Data : TD หรือ T*D** ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป
- **Data Terminal Ready : DTR** เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อเป็นแบบ Null modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์
- **Signal Ground : GND** ขากราวด์ของระบบ
- **Data Set Ready : DSR** ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR
- **Request To Send : RTS** เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- **Clear To Send : CTS** ขานี้จะคอยรับสัญญาณจาก RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา T*D จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่
- **Ring Indicator : RI** ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null modem และแบบ RS-232

2.3.2 การเขียนโปรแกรมวิชวลเบสิคติดต่อ I/O ผ่านทางพอร์ตอนุกรม

การใช้วิชวลเบสิคเขียนโปรแกรมติดต่อ I/O ผ่านทางพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นทางพอร์ตอนุกรม(RS-232) หรือที่รู้จักในชื่อ คอม1,คอม2 และ พอร์ตขนาน หรือพอร์ตพริ้นเตอร์นั้นเอง หรือเราอาจใช้ Card I/O 8255 ซึ่งเป็นการขยายพอร์ตI/O ของขนาน(parallel) ก็สามารถทำการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ภายนอกผ่านพอร์ตได้ อีกทั้งสามารถติดต่อผ่านระบบเน็ตเวอร์ก(network) โดยผ่านช่องทางการติดต่ออย่าง TCP/IP จะเห็นได้ว่าวิชวลเบสิคก็สามารถทำงานด้านอินเทอร์เฟส (Interface) ฮาร์ดแวร์ได้ไม่แพ้ภาษาตัวอื่นๆและง่ายกว่า จึงทำให้สามารถทำความเข้าใจเพื่อจะนำไปใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว

เรื่อง การประยุกต์ไปใช้งาน

พอร์ตอนุกรม(RS-232)

สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆที่มีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านทาง RS-232 ยกตัวอย่างเช่น เครื่องชั่งน้ำรวมถึงโหลดเซลล์ (เป็นเซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งใช้สำหรับวัดน้ำหนักซึ่งที่ชุดแสดงผลภายในเป็นชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีสัญญาณรับส่งทาง RS-232), เครื่องวัดงานทางด้านไฟฟ้า, ไมโครคอนโทรลเลอร์, ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า, โอนถ่ายข้อมูลในฮาร์ดดิสระหว่างเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

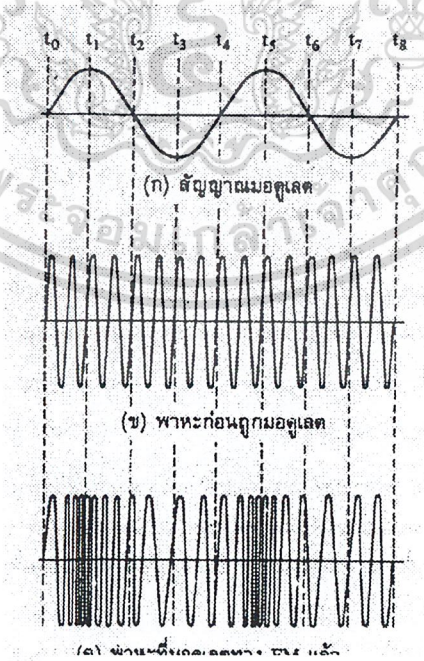
คอมพิวเตอร์ด้วยกัน, ควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ เป็นต้น ข้อดีของการติดต่อข้อมูลกันผ่านทาง RS-232 ก็คือสามารถใช้ได้ในระยะทางไกลๆระหว่างอุปกรณ์ ที่ติดต่อกัน

เนื่องจากที่ Microsoft Visaul Basic 5,6 จะมีตัวคอนโทรลชื่อ MS Comm ที่ใช้ติดต่อกับพอร์ตอนุกรม (RS-232) ให้ไว้อยู่แล้วไม่จำเป็นต้องเขียนโค๊ดให้ยุ่งยากทำให้การพัฒนาโปรแกรมในด้านนี้ได้เร็วและเป็นมารตฐานในทิศฐานการเขียนโปรแกรมเดียวกันของทุกโปรแกรมเมอร์ลักษณะเมื่อทำงานร่วมกันเป็นทีม

2.4 ทฤษฎีการสื่อสารไร้สาย

2.4.1 การมอดูเลตทางความถี่

รูปคลื่นของสัญญาณเอฟเอ็ม (FM)เกิดจากสัญญาณมอดูเลต ดังรูป(ก) เช่น สัญญาณเสียงซึ่งเป็นข่าวสารเข้าไปมอดูเลตลงบนสัญญาณพาหะดังรูป (ข) สัญญาณพาหะหลังจากมอดูเลตแล้วในรูปที่ (ค) เป็นสัญญาณเอฟเอ็ม จะเห็นว่าที่เวลา t_0 สัญญาณเอฟเอ็มอยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตมีค่าทางบวกสูงสุด ความถี่ของพาหะจะเพิ่มขึ้นสูงสุด นั่นคือสัญญาณมอดูเลตถึงจุดยอดสุด (สัญญาณมอดูเลตมีขนาดสูงสุดนั่นเอง) ที่เวลา t_1



รูปที่ 2.6 การมอดูเลตทางความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

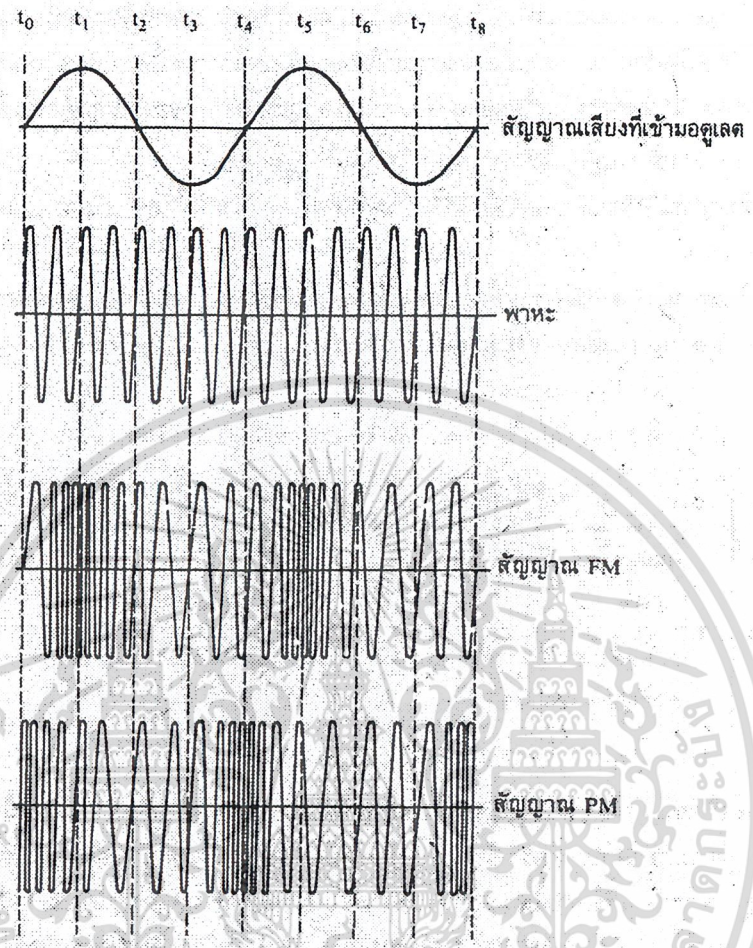
ที่เวลา t_2 สัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของพาหะก็จะลดลงมาที่ความถี่กลางดังเดิมหลังจากเวลาสัญญาณมอดูเลตมีค่าตกลงต่ำกว่าศูนย์กลายเป็นลบ พาหะจะมีความถี่ลดลงต่ำกว่าความถี่กลางและเมื่อเวลาสัญญาณมอดูเลตกลับเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ความถี่ของพาหะก็จะกลับมายังความถี่กลางดังเดิมเช่นกัน ในช่วงเวลา t_4 ถึง t_8 ก็จะซ้ำแบบเดิมเรื่อยๆไปสรุปแล้วความถี่พาหะจะเปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลตและพาหะยังคงอยู่ที่ความถี่กลางเมื่อสัญญาณมอดูเลตเป็นศูนย์ ช่วงความถี่ที่พาหะเบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน (frequency deviation) ตัวอย่างเช่นพาหะมีความถี่ 100 เมกะเฮิรตซ์ ลดลงต่ำสุดเป็น 99 เมกะเฮิรตซ์ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 เมกะเฮิรตซ์ สลับไปมาเช่นนี้ หมายความว่าช่วงความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ $\pm$ 0.1 เมกะเฮิรตซ์ หรือ $\pm$ 100 กิโลเฮิรตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเป็นโทน (สัญญาณเสียง) ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณเอฟเอ็ม จะเท่ากับ 1000 ครั้งต่อวินาที ถ้าสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเพิ่มความถี่เป็น 10 กิโลเฮิรตซ์ โดยคงค่าแอมพลิจูดเท่าเดิม ช่วงความถี่เบี่ยงเบนก็ยังเท่าเดิม คือเท่ากับ $\pm$100 กิโลเฮิรตซ์แต่อัตราเบี่ยงบนจะเพิ่มเป็น 10,000 ครั้งต่อวินาที นั่นคือความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเป็นตัวกำหนดอัตราการเบี่ยงเบนความถี่

สำหรับแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลตจะเป็นตัวกำหนดช่วงความถี่เบี่ยงเบน ตัวอย่างเช่น สัญญาณโทนที่มีแอมพลิจูดน้อยลงจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป $\pm$50 กิโลเฮิรตซ์

กล่าวโดยสรุป สัญญาณเอฟเอ็ม มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

- มีแอมพลิจูดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
- อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาหะมีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต
- ช่วงความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

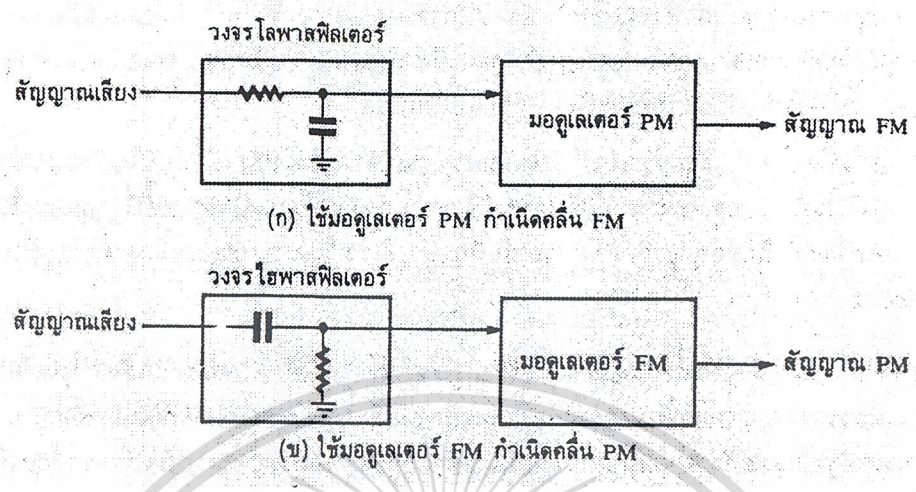


รูปที่ 2.7 การมอดูเลตสัญญาณ FM และPM

2.4.2 การมอดูเลตทางเฟส

ในการมอดูเลตทางเฟส เฟสของพาหะยอมเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเมื่อเฟสของพาหะเปลี่ยนแปลงความถี่ของพาหะก็เปลี่ยนแปลงด้วย ฉะนั้นการมอดูเลตทางเฟสจะทำให้เกิดความถี่เบี่ยงเบนด้วยเสมอ จริงๆแล้วในการมอดูเลตทางความถี่ เฟสก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย สรุปแล้วการเปลี่ยนแปลงทั้งสองแบบจะเกิดขึ้นพร้อมๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การใช้มอดูเลเตอร์ PM กำหนดคลื่น FM และ การใช้มอดูเลเตอร์ FM กำหนดคลื่น PM

รูป ข แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณเอฟเอ็ม กับ พีเอ็ม (PM) จะเห็นว่าสัญญาณทั้งสองมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ เว้นแต่ในการมอดูเลตทางเฟส ความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนเฟสและแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต ด้วยเหตุนี้การมอดูเลตทางเฟสความถี่เบี่ยงเบนมีค่ามากที่สุด ในขณะที่สัญญาณมอดูเลตผ่านศูนย์ (แกนศูนย์) กล่าวคือ เฟสของพาหะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ในขณะที่สัญญาณมอดูเลตเปลี่ยนจากบวกเป็นลบหรือลบเป็นบวก สังเกตที่เวลา t_2 สัญญาณที่เข้ามอดูเลตผ่านศูนย์ สัญญาณพีเอ็มเบี่ยงเบนไปยังความถี่ต่ำสุดที่เวลา t_4 สัญญาณที่เข้ามอดูเลตผ่านศูนย์อีกครั้ง สัญญาณพีเอ็มเบี่ยงเบนไปยังความถี่สูงสุด ฉะนั้นการมอดูเลตทางเฟสจึงทำให้เกิดสัญญาณเอฟเอ็มด้วยเช่นกัน บางทีเราเรียกการมอดูเลตทางเฟสว่าเป็นเอฟเอ็มโดยอ้อม (indirect FM)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าในการมอดูเลตทางเฟส ปริมาณความถี่เบี่ยงเบนมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตด้วยเหตุนี้ความถี่จะเบี่ยงเบนไปมากที่สุดเมื่อสัญญาณที่เข้ามอดูเลตผ่านแกนศูนย์ สมมติว่าความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต (คือสัญญาณเสียง) เพิ่มจาก 100 เฮิรตซ์ เป็น 1000 เฮิรตซ์ คือเพิ่มเป็น 10 เท่าที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ สัญญาณเสียงจะเปลี่ยนเฟสเท่ากับ 100 เฮิรตซ์ *360 องศา = 36,000 องศาต่อวินาที (เนื่องจาก 1 ไซเกิลเท่ากับ 360 องศา) ที่ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ สัญญาณเสียงจะเปลี่ยนเฟสเพิ่มขึ้นเป็น 360,000 องศาต่อวินาที เนื่องจากการเบี่ยงเบนความถี่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนเฟส ฉะนั้นความถี่พาหะย่อมเบี่ยงเบนมากขึ้นเมื่อความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลตสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ข้อแตกต่างของสัญญาณ พีเอ็ม กับ เอฟเอ็ม ได้แก่

สัญญาณพีเอ็ม มีความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับทั้งความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต

สัญญาณเอฟเอ็ม มีความถี่เบี่ยงเบนที่เข้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมพลิจูดของ สัญญาณที่เข้ามอดูเลตโดยไม่ขึ้นกับความถี่สัญญาณที่เข้ามอดูเลต

ความจริงแล้ว ถ้าใช้สัญญาณเสียงความถี่เดียวมอดูเลตให้กับสัญญาณพาหะให้มีความเบี่ยงเบนเท่ากัน ทั้งสัญญาณเอฟเอ็มกับพีเอ็มก็จะมีรูปคลื่นเหมือนกันทุกประการ แต่เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณมอดูเลต เราจะเห็นความแตกต่างระหว่าง สัญญาณเอฟเอ็มกับพีเอ็ม เพราะว่าสัญญาณพีเอ็ม จะมีความถี่เบี่ยงเบนสูงขึ้น แต่สัญญาณเอฟเอ็ม จะมีความถี่เบี่ยงเบนเท่าเดิม (อัตราการเบี่ยงเบนเท่านั้นที่เพิ่มขึ้น) ด้วยเหตุนี้การเปลี่ยนแปลงวงจรมอดูเลตแบบเอฟเอ็มเป็นพีเอ็มหรือแบบพีเอ็มเป็นเอฟเอ็ม สามารถใช้วงจรฟิลเตอร์ RC ธรรมดาแปลงได้

ในรูป (ก) ใช้วงจรฟิลเตอร์ชนิดโลพาสฟิวเตอร์ (lowpass filter) ทำหน้าที่ลดทอนแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเมื่อความถี่สูงขึ้น สัญญาณที่ได้เมื่อป้อนให้แก่วงจรเฟสมอดูเลเตอร์ ก็กลายเป็นสัญญาณเอฟเอ็ม ทั้งนี้ก็เพราะว่าเมื่อความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตสูงขึ้น การลดทอนแอมพลิจูดจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนลดลงไปชดเชยกับความถี่เบี่ยงเบนซึ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตสูงขึ้น ทำให้การเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตไม่มีผลต่อความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณพาหะคุณสมบัตินี้ก็เป็นคุณสมบัติของสัญญาณเอฟเอ็มนั่นเอง

ในทำนองเดียวกัน ถ้าเราต้องการแปลงการมอดูเลตแบบเอฟเอ็มให้ได้เป็นสัญญาณพีเอ็ม เราสามารถใช้วงจรฟิลเตอร์ชนิดไฮพาสฟิวเตอร์ (highpass filter) เพื่อลดทอนสัญญาณความถี่ต่ำ ทำให้ความถี่เบี่ยงเบนของสัญญาณพาหะลดลง เมื่อความถี่สัญญาณที่เข้ามอดูเลตลดลง ก็จะได้ความถี่ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกับสัญญาณพีเอ็ม

2.5 เฟสล็อกลูป (Phase Locked Loop :PLL)

เราสามารถจูนเลือกความถี่หรือฟิลเตอร์เฉพาะความถี่ได้โดยใช้พีแอลแอล (PLL) ซึ่งไม่ต้องมีคอยล์หรืออินดัคเตอร์ใดๆ ทั้งสิ้นพีแอลแอลเป็นอิเล็คทรอนิกส์เซอร์โว ซึ่งสามารถควบคุมออสซิลเลเตอร์ให้ผลิตความถี่ล็อคหรือซิ้งค์กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา เมื่อเฟสของความถี่จากออสซิลเตอร์เปลี่ยน แสดงว่าสัญญาณที่เข้ามาความถี่เปลี่ยนไปเอาท์พุทจากเฟสดีเทคเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงควบคุมให้ออสซิลเลเตอร์ผลิตความถี่ให้ตรงและล็อคกับสัญญาณที่เข้ามา ดังนั้นโวลเตจเฉลี่ยที่ได้จากเฟสดีเทคเตอร์ไปควบคุมออสซิลเลเตอร์จึงเป็นฟังก์ชั่นของความถี่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

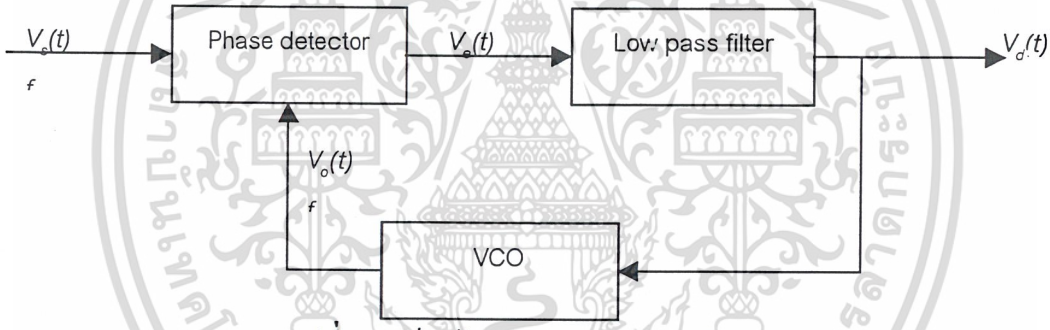
46420

สัญญาณที่เข้ามา นั่นคือหากสัญญาณที่เข้ามาเป็นเอฟเอ็ม (Frequency Modulated) แล้ว เอาท์พุทที่ได้จากเฟสดีเทคเตอร์ผ่านโลพาสฟิวเตอร์ (LPF) จะเป็นสัญญาณที่ถูกดีมอดูเลต (demodulated)

ปัจจุบันด้วยการพัฒนาทางด้านเซมิคอนดัคเตอร์ ทำให้วงจรพีแอลแอล ที่ซับซ้อนสามารถบรรจุอยู่ในไอซีเล็กๆ เพียงตัวเดียว เมื่อใช้งานก็เพียงต่ออุปกรณ์ภายนอกไม่กี่ตัว ทำให้ง่ายสะดวกและประหยัดอย่างยิ่ง

2.5.1 หลักการของ พีแอลแอล

หลักการเบื้องต้นของพีแอลแอล ก็มาจากระบบการป้อนกลับ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วนดังไดอะแกรมรูปที่ คือ phase detector, low pass filter และ voltage control oscillator



รูปที่ 2.9 บล็อคไดอะแกรมของวงจรพีแอลแอล

ในขณะที่ไม่มีสัญญาณป้อนเข้ามา V_d จะเท่ากับศูนย์ และวีซีโอ (VCO) ผลิตความถี่แบบที่เรียกว่าฟรีรันนิ่ง (free-running) เท่ากับ f_o เมื่อมีอินพุต V_s ป้อนเข้ามามีความถี่เท่ากับ f_s วงจรเฟสดีเทคเตอร์จะทำหนาที่เปรียบเทียบและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามากับสัญญาณจากวีซีโอ ถ้า f_s และ f_o แตกต่างกันจะได้ V_e (error voltage) จากเอาท์พุทของเฟสดีเทคเตอร์ผ่านโลพาสฟิวเตอร์ เป็น V_d ไปเข้าวีซีโอ ปรับความถี่ f_o ให้เท่ากับ f_s และเมื่อ f_o เท่ากับ f_s ก็คือสภาวะล็อคหรือซิ้งค์เอาท์พุทจากเฟสดีเทคเตอร์ V_e จะเป็นศูนย์ และ V_d ก็เท่ากับศูนย์ด้วย

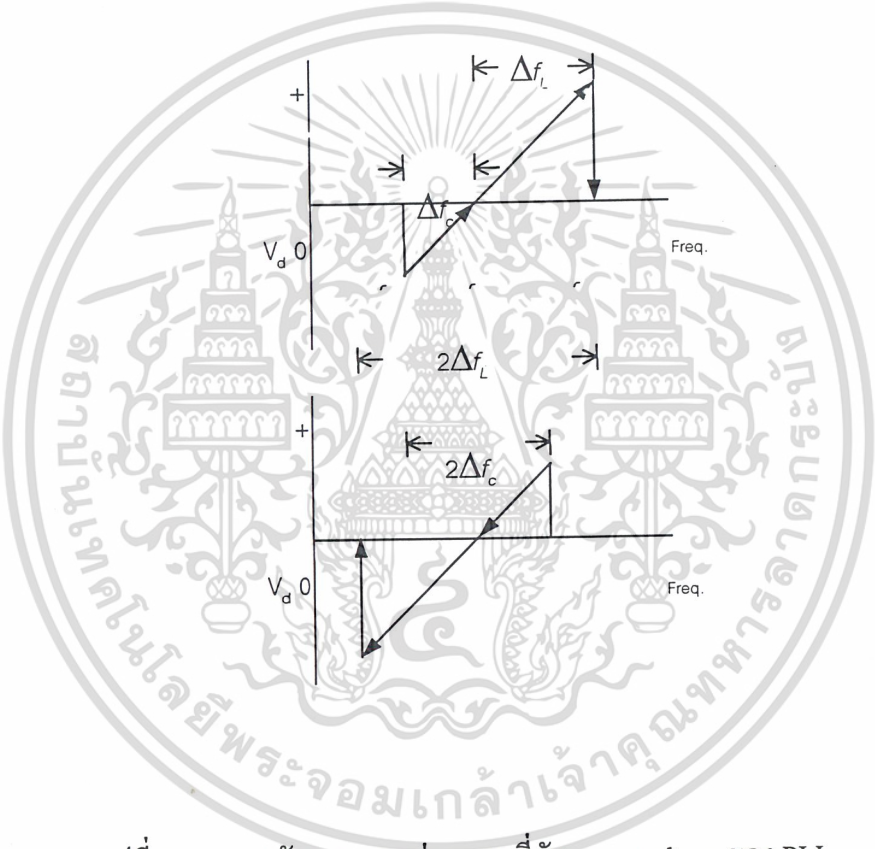
ในเรื่องของพีแอลแอลมีคำอยู่สองคำที่มักเข้าใจสับสนบ่อยๆ คือคำว่า ล็อกเรนท์(lock range) กับคำว่า แคปเจอร์เรนท์(capture range) ซึ่งมีความหมายแตกต่างกันดังนี้

ล็อกเรนท์ หมายถึงย่านความถี่ที่ใกล้เคียงกับ f_o ซึ่งพีแอลแอลยังสามารถล็อคกับสัญญาณที่เข้ามา ค่าของล็อกเรนท์ จะลดลงเมื่อเกนการขยายทั้งหมดของพีแอลแอลลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคปเจอร์เรนท์ หมายถึงบริเวณแถบความถี่ที่ใกล้เคียงกับ f_o ที่พีแอลแอล เริ่มล็อคกับสัญญาณที่เข้ามา ค่าของแคปเจอร์เรนท์ ขึ้นอยู่กับแบนด์วิดธ์ของโลพาสฟิวเตอร์ คือจะลดลงหากแบนด์วิดธ์แคบ และโดยปกติแคปเจอร์เรนท์จะมีค่าน้อยกว่าล็อกเรนท์

เพื่อให้เข้าใจคำว่าล็อกเรนท์และแคปเจอร์เรนท์ง่ายขึ้น พิจารณารูปที่ 2.10 ซึ่งแสดงถึงคุณลักษณะระหว่างความถี่กับ error voltage ของพีแอลแอล



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะระหว่างความถี่กับ error voltage ของ PLL

จากส่วนบนของรูปที่ 2 สมมติว่าสัญญาณที่เข้ามามีความถี่ค่อยๆ เปลี่ยนจากต่ำไปสูง ตอนแรกจะยังไม่มีอะไรเกิดขึ้นและ V_d เท่ากับศูนย์จนกระทั่งความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา f_s ซึ่งเป็นความถี่ต่ำสุดของแคปเจอร์เรนท์ ทำให้พีแอลแอล เริ่มล็อคกับ f_s และ V_d มีค่าเป็นลบเพื่อปรับ VCO ให้ f_o เท่ากับ f_s แต่ในที่นี้เราสมมติว่า เปลี่ยนไปเรื่อยๆ ซึ่งจะทำให้ค่าของ V_d เป็นลบน้อยลงจนกระทั่ง $f_s = f_o$ ทำให้ V_d เท่ากับศูนย์ จากนั้น V_d จะเริ่มเป็นบวกและมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่ง $f_s = f_2$ ซึ่งเป็นความถี่สูงสุดของล็อกเรนท์จะทำให้ f_s หลุดจากการล็อคและ V_d เท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกันถ้า f_s เปลี่ยนจากสูงลงมาต่ำ ให้พิจารณารูปที่ 2 ส่วนล่างพีแอลแอล จะเริ่มล็อคเมื่อ $f_s = f_3$ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของแคปเจอร์เรนท์ ทำให้ V_d มีค่าเป็นบวกทันทีเมื่อ f_s ลดลงจน $f_s = f_o$ จะได้ เท่ากับศูนย์แล้วมีค่าเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่ง $f_s = f_4$ ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของล็อกเรนท์จะทำให้ f_s หลุดจากการล็อคของพีแอลแอล และ V_d กลับเป็นศูนย์อีกครั้ง เราจึงสรุปได้ว่า

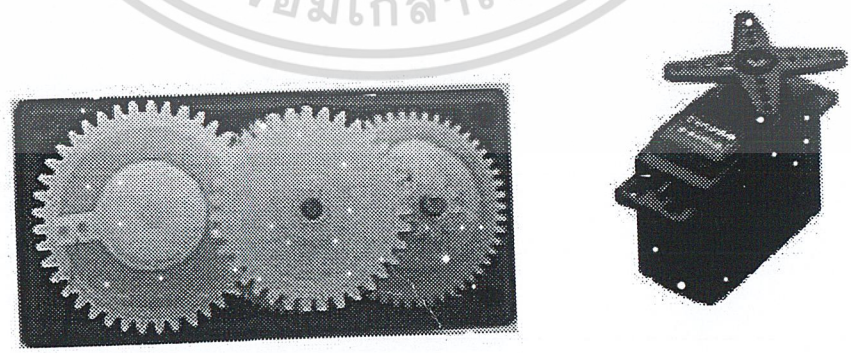
Lock range $= f_2 - f_4$ (1)

Capture range $= f_3 - f_1$ (2)

2.5 เซอร์โวมอเตอร์

2.5.1 คุณสมบัติ

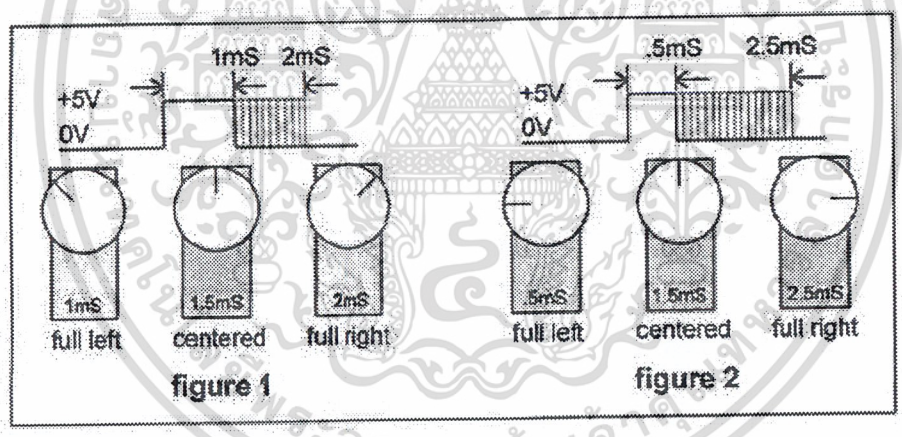
- สัญญาณพัลซ์เท่ากับพัลซ์บวก 1520 ไมโครวินาที.
- ไฟเลี้ยง 4.8 โวลต์
- ความเร็ว 0.19 วินาทีต่อ 60 องศา
- ทอร์ก 42 ออนซ์นิ้ว (3.0 กิโลกรัมเซ็นติเมตร)
- ขนาด 1.6" x 0.8" x 1.4" (41 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 36 มิลลิเมตร)
- น้ำหนัก 1.75 ออนซ์. (49 กรัม)
- ระดับกระแสที่ต้องการขณะอยู่นิ่ง 9.7 มิลลิแอมป์
- ระดับกระแสที่ต้องการขณะหมุน 130 มิลลิแอมป์



รูปที่ 2.11 แสดงชุดเกียร์และลักษณะของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีโมทย์คอนโทรล (remote control) เซอร์โว อุปกรณ์สำหรับการขับเคลื่อนหุ่นยนต์หรืองานที่ต้องการการกำหนดการหมุนเป็นช่วงๆ หรือตามองศาที่ต้องการ โดยกำหนดการหมุนในลักษณะครึ่งวงกลมโดยจะรับสัญญาณพัลซ์ (Pulse) ที่ตำแหน่งซ้ายสุด 0.5 มิลลิวินาที , เซ็นเตอร์ 1.5 มิลลิวินาที ,และขวาสุด 2.5 มิลลิวินาที ภายในตัวเซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วยแผงควบคุมซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการหมุนหรือเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ชุดเกียร์ที่ติดตั้งไว้ภายในประกอบด้วยเฟืองพลาสติก ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มกำลังหรือแรงบิด ให้กับตัวเซอร์โวมอเตอร์ การรับสัญญาณพัลซ์ (Pulse) จากไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณเพียง 1 I/O เท่านั้น จึงประหยัดขา I/O ได้มากกว่าการใช้สเตปมอเตอร์ (Stepmotor) ติดตั้งง่ายเพราะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมและมีขนาด 1.6 x 0.8 x 1.4 นิ้ว น้ำหนัก 1.75 ออนซ์ (49 กรัม) ใช้ไฟได้ตั้งแต่ 4.8 - 6 โวลต์ดีซี กินกระแส 9.7 มิลลิแอมป์ (ขณะอยู่กับที่) ,130 มิลลิแอมป์ (ขณะเคลื่อนไหว) มอเตอร์หมุนได้ทั้งซ้ายและขวา เซอร์โวมอเตอร์สามารถนำไปใช้ร่วมกับบอร์ด รับสัญญาณได้โดยตรงทั้งจากพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือรับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.12 แสดงการกำหนดช่วงพัลซ์ (Pulse) ของเซอร์โว

2.5.2 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

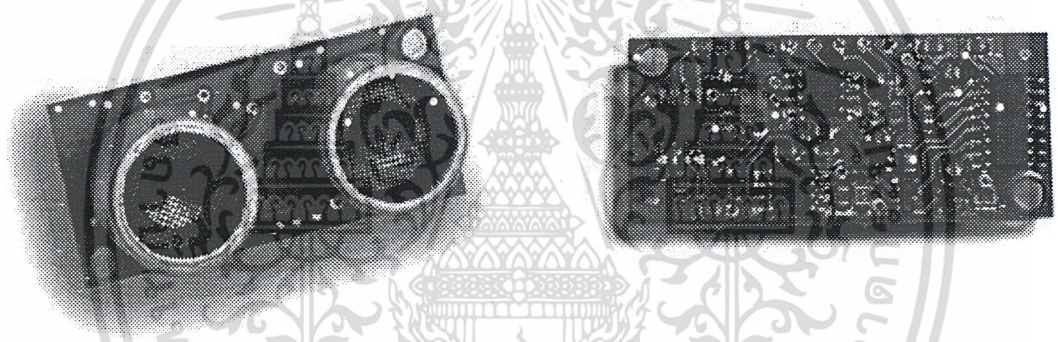
เซอร์โวมอเตอร์จะรับสัญญาณพัลซ์ (Pulse) เพื่อใช้ในการกำหนดการหมุน สัญญาณพัลซ์ที่ได้มีความกว้าง 1.5 มิลลิวินาที จะทำให้เซอร์โวมอเตอร์กลับมาอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง (Centered) เมื่อสัญญาณพัลซ์มีความกว้างเพิ่มมากขึ้น เช่นถ้าต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนมาทางขวา (Right) ก็ต้องเพิ่มความกว้างของช่วงพัลซ์จาก 1.5 มิลลิวินาที เพิ่มมาเป็น 1.8 , 1.9 , 2.0 , 2.1 เซอร์-โวมอเตอร์ก็จะหมุนตามมาทางขวาเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความกว้างของช่วงพัลซ์ ไปจนถึง 2.5 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่ตำแหน่งขวาสุด (Full Right) ในทำนองกลับกันถ้าต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางซ้าย (Left) ก็ต้องลดช่วงพัลซ์ให้แคบลงไปเรื่อยๆ จนไปถึง 0.5 มิลลิวินาที เซอร์โวมอเตอร์ก็จะหมุนมาทางซ้ายสุด (Full Left)

กระแสไฟที่ใช้กับเซอร์โวมอเตอร์ใช้ได้ตั้งแต่ 4.8 โวลต์ดีซี ไปจนถึง 6.0 โวลต์ดีซี ห้ามจ่ายแรงดันไฟมากไปกว่านี้เพราะจะมีผลทำให้แผงวงจรที่อยู่ภายในเซอร์โวมอเตอร์เกิดความเสียหายได้

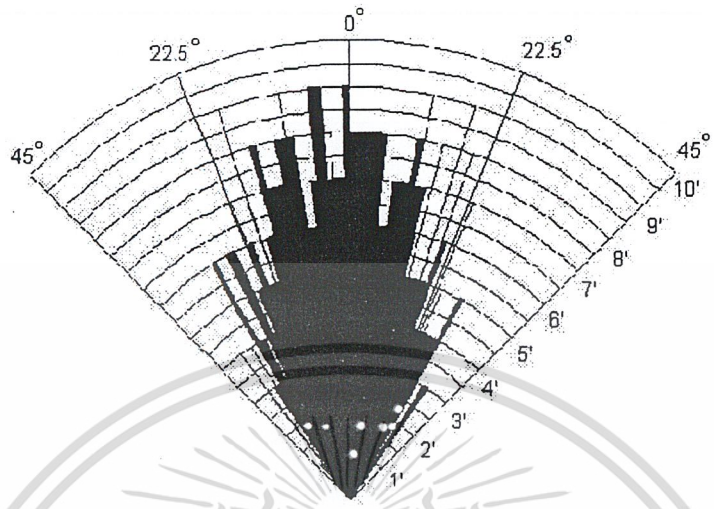
2.6 อัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์ (Ultrasonic Sensor)



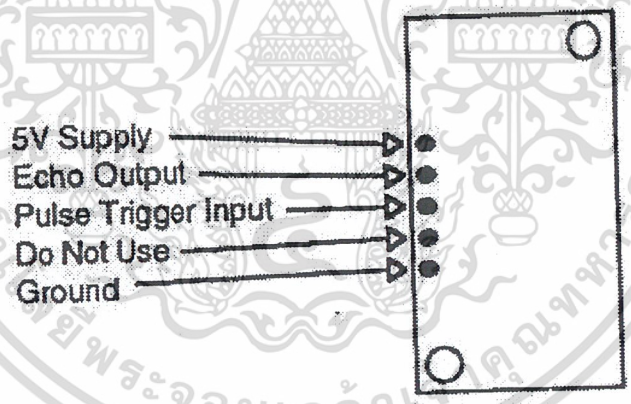
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์

Devantech SRF04 อัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดระยะทางโดยสามารถทำงานได้ที่ระยะ 3 เซ็นติเมตร ถึง 3 เมตร ซึ่งทำงานโดยการส่งพัลซ์ของเสียงออกนอกระยะการได้ยินของมนุษย์ โดยพัลซ์นี้จะเดินทางที่ความเร็วเสียง (0.9 ฟุต/มิลลิวินาที) โดยมีลักษณะเป็นรูปกรวยที่มีมุมกว้าง 30 องศา และคลื่นโซนิกจะสะท้อนกลับไปที่เซ็นเซอร์จากวัตถุทุกๆชิ้นที่อยู่ในเส้นทางของ คลื่นโซนิก (sonic wave) เซ็นเซอร์จะหน่วงเวลาเป็นช่วงสั้นๆ ประมาณ 100 ไมโครวินาที หลังจากเสียงถูกส่งออกไป จากนั้นที่ขาเอ้าต์พุทจะถูกเซ็ตให้เป็น ลอจิก “1” และจะถูกเคลียร์เป็นลอจิก “0” เมื่อคลื่นโซนิกสะท้อนกลับมาที่ตัวเซ็นเซอร์อีกครั้ง ซึ่งการคำนวณระยะทางของสิ่งกีดขวางจะสามารถคำนวนได้จากระยะเวลาที่ขาเอ้าท์พุตของอัลตร้าโซนิกมีค่าเป็น ลอจิก “1” โดยนำค่าระยะเวลามาคูณกับอัตราเร็วของเสียงหาร 2 (เนื่องจากค่าระยะเวลาคือค่าระยะเวลาทั้งไปและกลับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

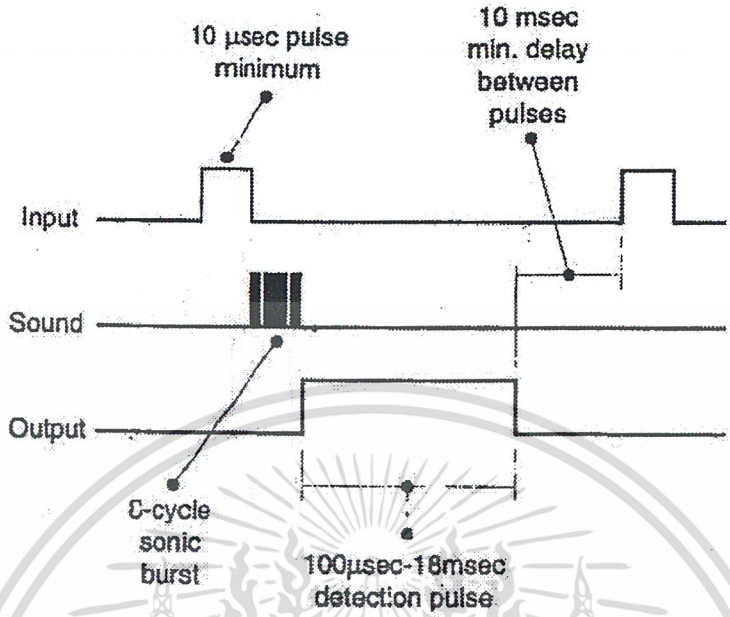


รูปที่ 2.14 แสดงบีมแพทเทิร์น (Beam Pattern) ของ อัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์



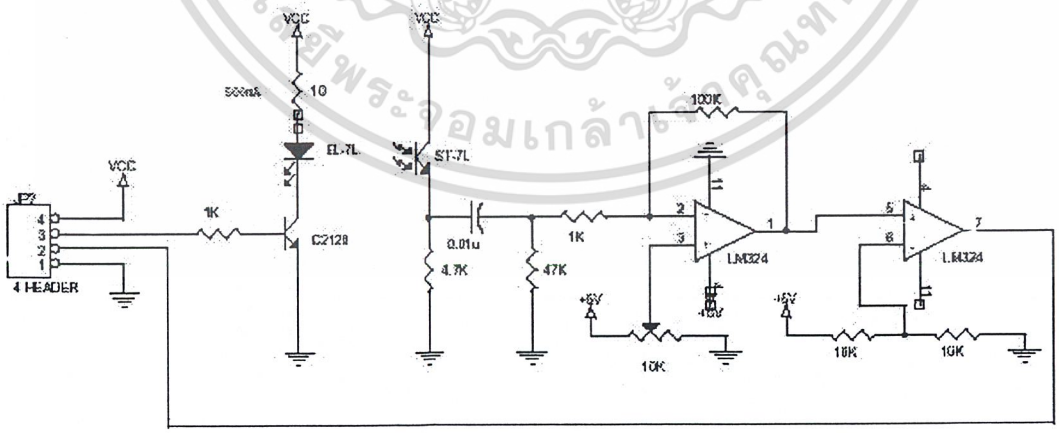
รูปที่ 2.15 แสดงการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงไทม์มิ่งไดอะแกรม (Timing Diagram)

2.7 อินฟาเรดเซ็นเซอร์ (Infrared Sensor)



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะองค์ประกอบของอินฟาเรดเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจำเพาะ (Specifications)

- ระยะต่ำสุด 1/8" จากสิ่งกีดขวาง
- ระยะสูงสุด = 1/2" จากสิ่งกีดขวาง
- ไฟเลี้ยง 5 โวลต์
- ระดับกระแส 75 มิลลิแอมป์
- ขนาดของบอร์ด 2.4" x 1.6"

รายละเอียดทั่วไป

ชุดแทร็กเกอร์ไลน์เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกำหนดให้หุ่นยนต์เดินตามเส้นที่ต้องการ โดยการทำงานของบอร์ดนั้นใช้เซ็นเซอร์ทั้งหมดสามตัว โฟโต้รีเฟล็กเตอร์ (Photoreflector) 7 (single transistor type) ติดตั้งไว้ด้านใต้ของบอร์ดแทร็กเกอร์ไลน์ เซ็นเซอร์ทั้งสามตัวจะทำหน้าที่ดีเทค (Detect) เส้น โดยถ้าเซ็นเซอร์ตัวกลางเห็นเส้น หุ่นยนต์ก็จะเดินไปข้างหน้า ถ้าเซ็นเซอร์ด้านซ้ายเห็นเส้น หุ่นยนต์ก็จะหันกลับมาทางซ้าย และถ้าเซ็นเซอร์ด้านขวาเห็นเส้น หุ่นยนต์ก็จะหันกลับมาทางขวา ตัวเซ็นเซอร์ใช้ อินฟาเรดแอลอีดี (IR LED) และ อินฟาเรดดีเทคเตอร์ (IR Detector) ประกอบอยู่ด้วยกันโดยอินฟาเรดแอลอีดี จะสะท้อนแสงอินฟาเรดจากพื้นผิวกลับมายัง อินฟาเรดดีเทคเตอร์ และส่งสัญญาณทั้งสามจุดสัญญาณไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้หุ่นยนต์เดินตามเส้นได้ตามต้องการ บอร์ดแทร็กเกอร์ไลน์ถูกออกแบบมาสำหรับเส้นที่ใช้เทปพันสายไฟสีดำบนพื้นสีขาวหรือเทปพันสายไฟสีขาวบนพื้นสีดำ เพื่อให้สะดวกในการนำไปใช้งานหรือจะใช้กับวัสดุที่เป็นแผ่นพีวีซีหรือวัสดุสิ่งพิมพ์อื่นๆ ก็ได้ตัวบอร์ดได้ติดตั้งเรคกูเลเตอร์(Regulator) 5โวลต์สำหรับปรับแรงดันไฟไว้แล้ว จึงไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟ 5โวลต์ จากภายนอก การใช้แสงอินฟาเรดจะช่วยลดปัญหาแสงรบกวนจากภายนอกได้เป็นอย่างดีและการใช้เซ็นเซอร์สามจุดจะช่วยลดข้อผิดพลาดในการอ่านเส้น การติดตั้งควรติดตั้งไว้ที่ด้านหน้าของหุ่นยนต์ บอร์ดมีขนาดเล็กเพียง 2.4 x 1.6 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
โครงสร้างและหลักการออกแบบโครงงาน

3.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์

3.1.1 โมเด็มไร้สาย (Wireless Modem)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบฟูลดูเพล็ก (Full Duplex) ระหว่างคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์โดยจะทำการมอดสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาลอกที่มีความถี่อยู่ในย่านของความถี่เสียงผ่านทางเครื่องส่งไร้สายที่ประยุกต์มาจากไมค์ลอย (Wireless Microphone)

3.1.1.1 หลักการทำงาน

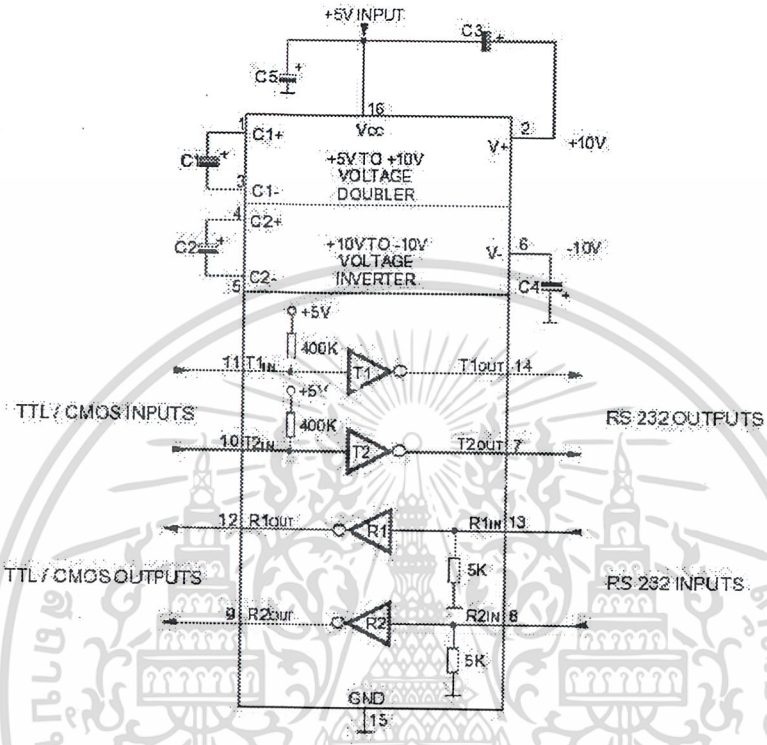
ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะถูกส่งผ่านออกมาจากพอร์ตอนุกรม RS-232 เข้าสู่ไอซี MAX 232 เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลจากคอมพิวเตอร์ (ลอจิก “1” +12 โวลต์ , ลอจิก “0” -12 โวลต์) ให้เป็นสัญญาณทีทีแอล (TTL) (ลอจิก “1” +5 โวลต์ , ลอจิก “0” 0 โวลต์) จากนั้นสัญญาณทีทีแอลที่ได้จากไอซี MAX 232 จะถูกส่งไปยังไอซี 74LS04 ที่ทำงานเป็นบัฟเฟอร์ หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังไอซี TCM 3101 เพื่อทำการมอดูเลชั่นแบบ FSK (ลอจิก “1” 1200 เฮิร์ต , ลอจิก “0” 2200 เฮิร์ต) ให้เป็นสัญญาณอนาลอกที่มีความถี่อยู่ในย่านของความถี่เสียงและสัญญาณอนาลอกที่ได้จะถูกส่งผ่านไมค์ลอย ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องส่งไร้สาย

ทางภาครับจะรับสัญญาณ FSK จากไมค์ลอยผ่านเข้าสู่วงจรแอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) โดยใช้ไอซีออปแอม (Op-Amp) เบอร์ TL062 ซึ่งมีอัตราการขยาย 10 เท่า จากนั้นสัญญาณ FSK ที่ถูกขยายแล้วถูกส่งไปยังไอซี TCM 3101 เพื่อทำการดีมอดูเลชั่นให้เป็นสัญญาณดิจิตอลและนำไปผ่านไอซี 74LS04 ที่ทำงานเป็นบัฟเฟอร์เพื่อทำการกลับเฟสให้ได้สัญญาณเดิมและส่งต่อไปยังคอนโทรลเลอร์เพื่อให้คอนโทรลเลอร์ประมวลผลและปฏิบัติตามคำสั่งต่อไป

ในทางกลับกัน การส่งข้อมูลจากคอนโทรลเลอร์ไปยังคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะวิธีการเช่นเดียวกันในทิศทางย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 การเชื่อมต่อวงจร MAX-232

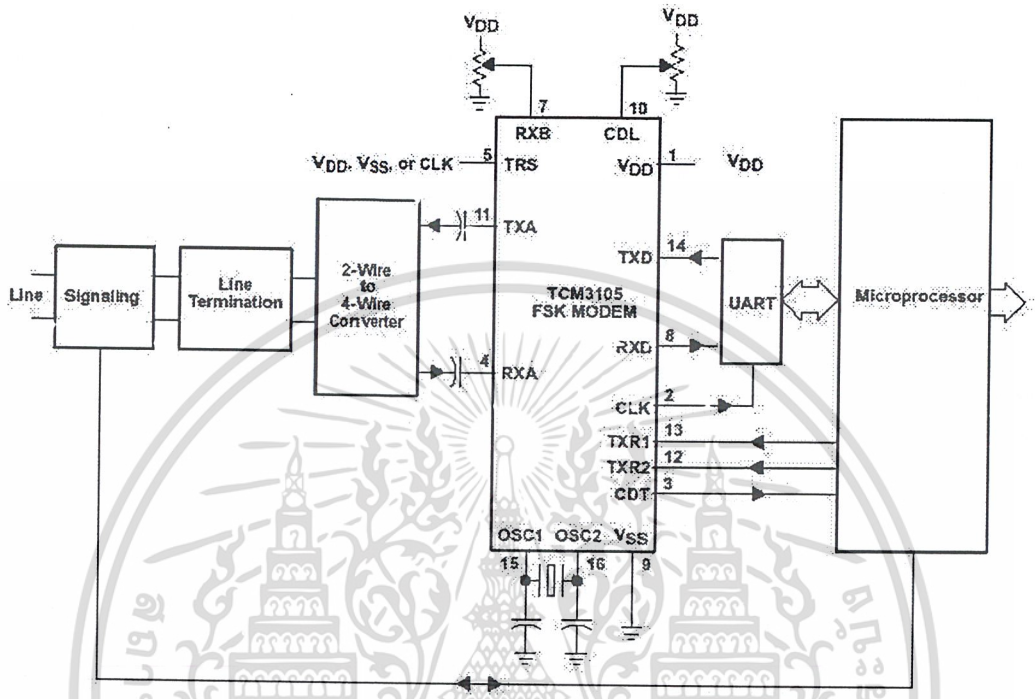


รูปที่ 3.1 แสดงการเชื่อมต่อวงจร MAX-232

ไอซีนี้ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และวงจรทีทีแอล โดยจะทำการแปลงโวลต์เตจจาก +10โวลต์และ –10 โวลต์จากมาตรฐาน RS-232 ของคอมพิวเตอร์ ไปเป็น 0 โวลต์ และ +5 โวลต์เพื่อต่อเข้ากับวงจร TTL และในทางกลับกันสามารถแปลงโวลต์เตจจาก 0 โวลต์ และ +5 โวลต์จากวงจร TTL ไปเป็น +10 โวลต์และ -10 โวลต์เพื่อต่อเข้ากับมาตรฐาน RS-232 ของคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.3 การเชื่อมต่อวงจร TCM 3101

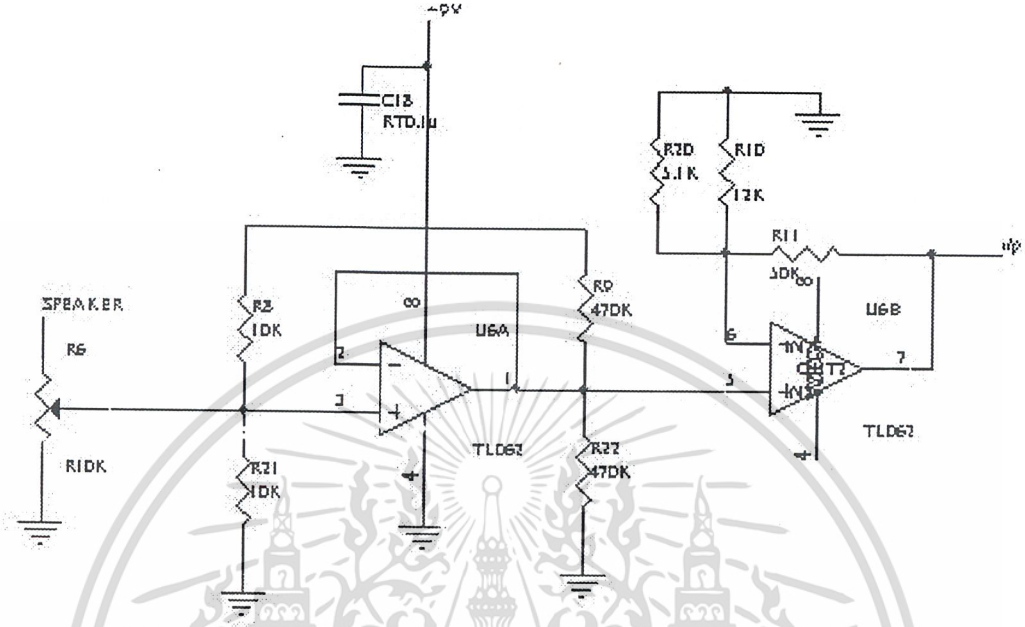


รูปที่ 3. 2 แสดงการเชื่อมต่อวงจร TCM 3101 กับอุปกรณ์ภายนอก

ไอซีนี้ทำหน้าที่เป็นโมเด็มแบบเอฟเอสเค (FSK Modem) ซึ่งทำหน้าที่ต้องมอดูเลชั่นและดีมอดูเลชั่นได้ภายในตัวเดียวและการทำงานเป็นแบบฟูลดูเพล็กสามารถทำงานได้พร้อมกันทั้งการมอดูเลชั่นและการดีมอดูเลชั่น โดยปกติไอซีตัวนี้มักนำมาใช้กับวงจรแพ็กเก็ตเรดิโอ (Packet Radio) ที่อัตราการส่งข้อมูล 1200 บิท / วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 การเชื่อมต่อวงจร ขยายสัญญาณ (Amplifier)

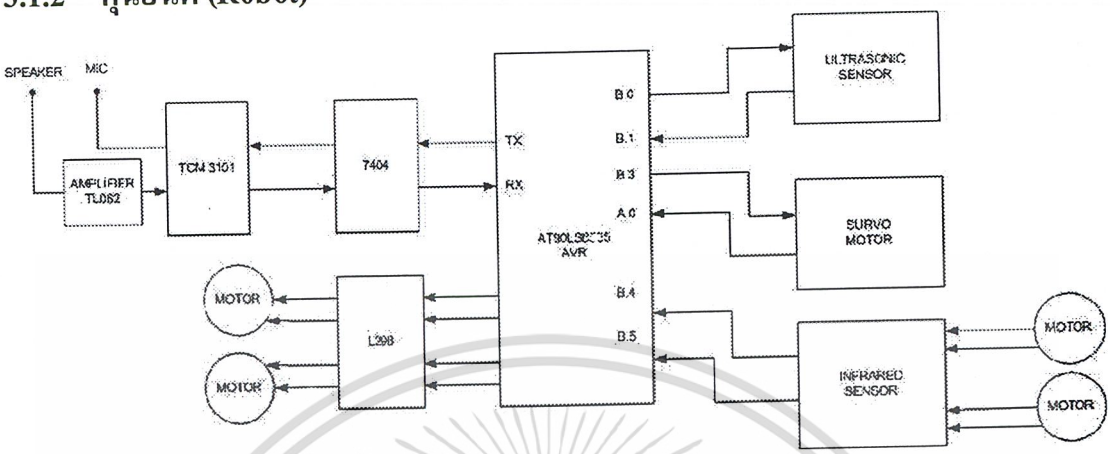


รูปที่ 3.3 แสดงวงจรขยายสัญญาณ

เป็นวงจรที่ใช้ในการขยายสัญญาณที่รับมาจากไมค์ลอย เนื่องจากสัญญาณที่รับได้มีขนาดแอมพลิจูดที่ต่ำมากไม่เพียงพอที่ไอซี TCM3101 จะสามารถทำงานได้ ดังนั้นต้องมีการขยายสัญญาณให้มีแอมพลิจูดที่มากขึ้นประมาณ 10 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 หุ่นยนต์ (Robot)



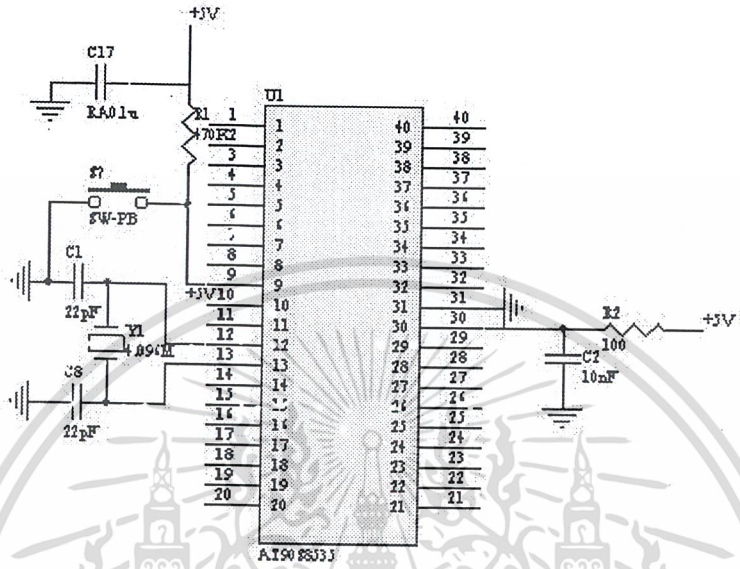
รูปที่ 3.4 แสดงการเชื่อมต่อที่ตัวหุ่นยนต์

หุ่นยนต์จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวาง โดยใช้เซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิก-กวัดระยะทางระหว่างหุ่นยนต์และสิ่งกีดขวาง โดยที่เซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิกถูกติดอยู่บนเซอร์โวมอเตอร์ การหมุนจะหมุนเป็นมุมทั้งสิ้น 180 องศาทางด้านหน้าของหุ่นยนต์ ซึ่งจะแบ่งมุมในการหมุนออกเป็น 6 มุม มุมละ 30 องศา จะหมุนเป็นมุมทั้งสิ้น 180 องศาทางด้านหน้าของหุ่นยนต์ ภายในของเซอร์โวมอร์เตอร์จะมีความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 5 กิโลโฮมห์ซึ่งจะหมุนตามแกนของมอเตอร์ เราจะสามารถรู้ค่ามุมของมอเตอร์ที่หมุนไปแล้วนั้นได้โดยการนำค่าโวลเตจจากขากลางของความต้านทานปรับค่าได้นี้มาเข้าวงจรอนาลอกทูดิจิตอลคอนเวิร์ตเตอร์ (Analog to digital converter : ADC) ขนาด 10 บิท ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ 0 – 255 และสามารถนำไปรวมกับข้อมูลระยะทางของสิ่งกีดขวางที่ได้จากเซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิกเพื่อทำการประมวลผลต่อไป โดยคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมหุ่นยนต์และรอรับสัญญาณข้อมูลที่หุ่นยนต์ส่งกลับมา นอกจากนี้ที่ล้อทั้งสองข้างของหุ่นยนต์จะมีแถบขาว 6 แถบ ซึ่งจะใช้ในการบอกระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปได้ โดยใช้หลักการของวงจรอินฟาเรด ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางล้อมีค่าเท่ากับ 6 ซ.ม. ดังนั้นจะได้เส้นรอบวงของล้อเท่ากับ $2\pi(3) = 6\pi$ ดังนั้น ระยะระหว่างขีดสีขาวบนล้อจะประมาณเท่ากับ 3.14 ซ.ม.

หุ่นยนต์จะทำการติดกล้องวงจรปิดไว้ และจะส่งสัญญาณภาพแบบไร้สายผ่านทางวีดีโอเซ็นเดอร์ (Vedio Sender) เพื่อที่จะสามารถมองเห็นสภาพแวดล้อมในขณะที่หุ่นยนต์ปฏิบัติงานอยู่ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1 การเชื่อมต่อวงจรคอนโทรลเลอร์



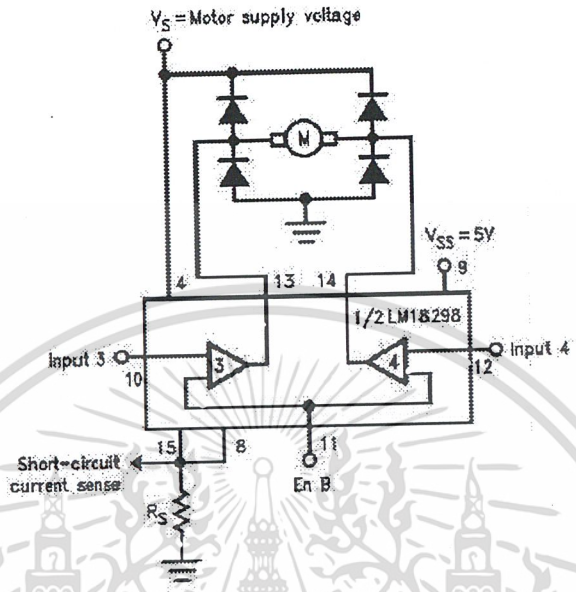
รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่อของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

AT90S8535 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิท ที่มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduce Instruction Set Computer) ซึ่งทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง/ 1 คล็อก หรือซีพียูสามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS / เมกะเฮิร์ต โดยใช้ค่า Xtal เท่ากับ 4.096 เมกะเฮิร์ต เพื่อให้สามารถตั้งค่ารีจิสเตอร์ยูบีอาร์อาร์ (UBRR) ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิท เพื่อใช้ควบคุมอัตราในการส่งข้อมูลที่ 1200 บิท / วินาที

$$BAUD = f_{ck} / 16 (UBRR + 1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 การเชื่อมต่อวงจรขับของมอเตอร์

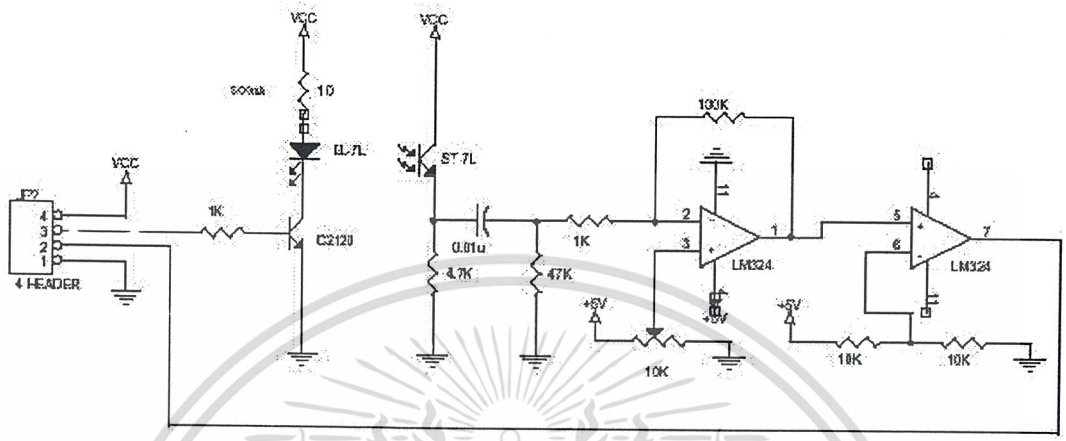


รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อวงจรขับของมอเตอร์

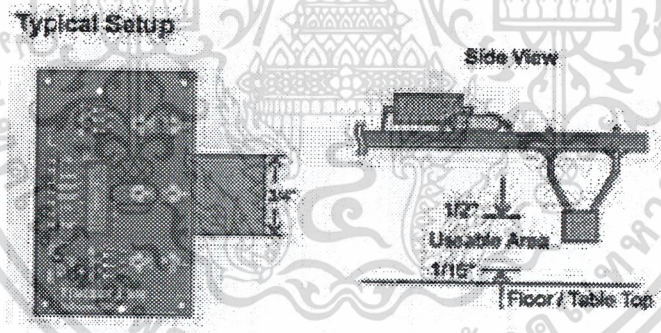
L298 เป็นไอซีที่ใช้ในไดร์ฟกระแสให้กับมอเตอร์ โดยปกติแล้วที่พอร์ตเอาท์พุทของคอนโทรลเลอร์จะสามารถจ่ายกระแสออกมาได้เพียงเล็กน้อยซึ่งไม่เพียงพอที่จะขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ ดังนั้นจำเป็นจะต้องใช้ไอซีตัวนี้ช่วยในการขับกระแสให้เพียงพอต่อความต้องการของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.3 การเชื่อมต่อวงจรอินฟาเรด



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรการเชื่อมต่อของอินฟาเรด



รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้งของอินฟาเรด

วงจรนี้จะใช้โดยการวัดรอบล้อของหุ่นยนต์ว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปได้ระยะทางเท่าใดแล้ว โดยจะใช้ขีดสีขาว 6 ขีดอยู่บนล้อและใช้หลักการของแสงอินฟาเรดที่จะสะท้อนได้ดีบนวัตถุที่มีสีขาวและจะถูกดูดกลืนเมื่อวัตถุที่สะท้อนมีสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบทางซอฟต์แวร์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

3.2.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

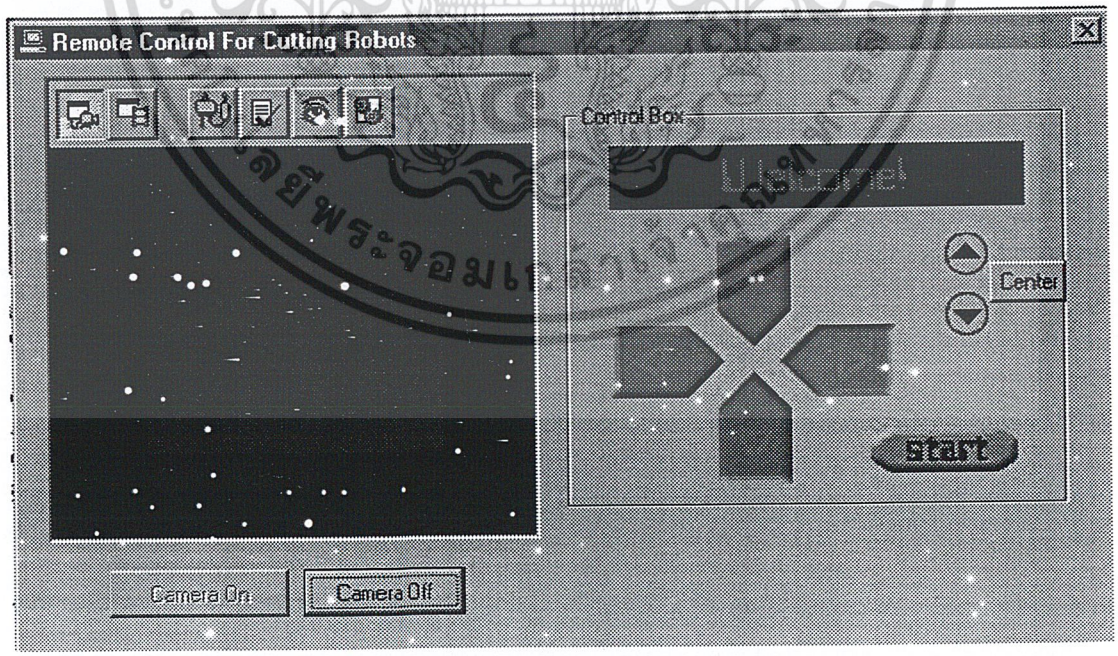
เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อระหว่างผู้ใช้และไมโครคอนโทรลเลอร์โดยควบคุมจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมผ่านทางโมเด็มไร้สาย โดยโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมเพื่อใช้ในการจำลองการทำงานส่งและรับข้อมูลเพื่อไปควบคุมหุ่นยนต์และส่งผลจากเซ็นเซอร์กลับมาประมวลผลที่คอมพิวเตอร์

3.2.1.1 หลักการทำงานของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมแบ่งออกเป็น 2 ชนิดการทำงานคือ

- ระบบควบคุมด้วยมือ (Manual System)

ผู้ใช้สามารถสั่งงานหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางต่างๆที่ต้องการได้อย่างอิสระ โดยผู้ใช้สามารถที่จะมองเห็นภาพของสภาพแวดล้อมต่างๆของหุ่นยนต์ได้จากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดแบบไร้สายที่ติดไว้ที่ตัวหุ่นยนต์



รูปที่ 3.9 โปรแกรมหน้าจอควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ในระบบควบคุมด้วยมือ

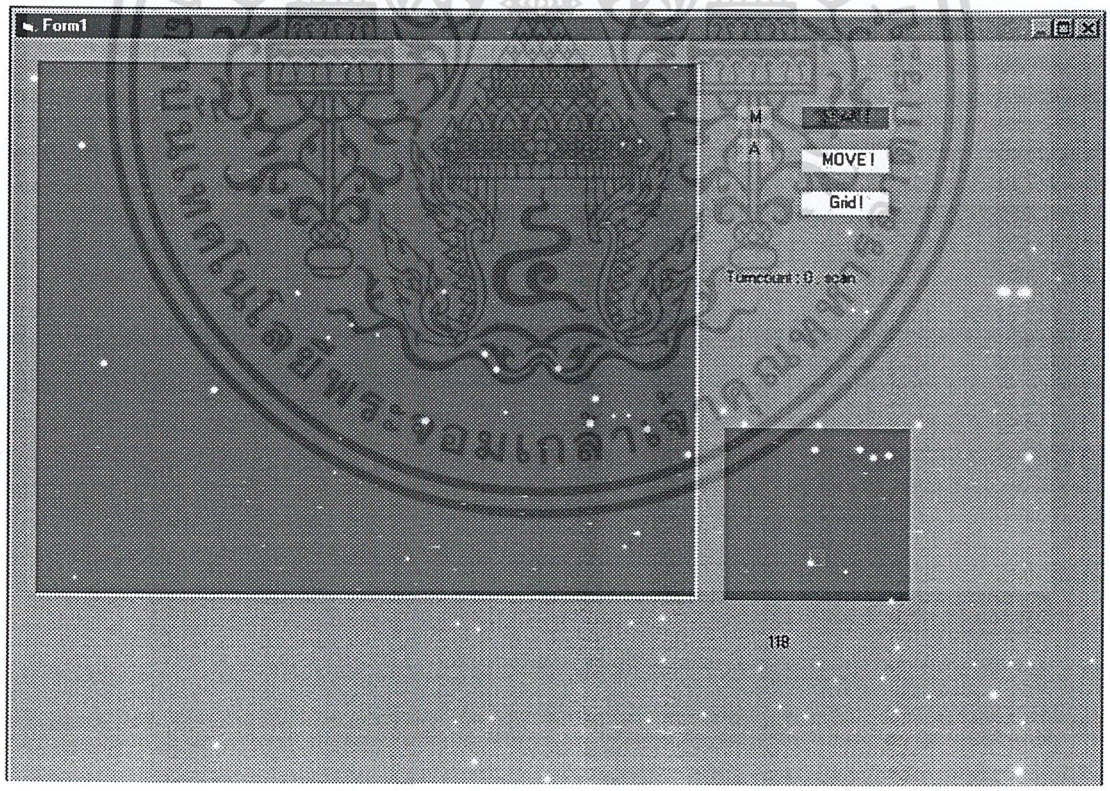
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control System)

ผู้ใช้จะทำการคลิ๊กที่หมายที่ต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังจุดหมายที่ต้องการ โดยหุ่นยนต์จะแสกนเก็บข้อมูลของสิ่งกีดขวางจากอัลตร้าโซนิก มุมของเซอร์โวมอเตอร์ที่วัดได้ จำนวนรอบล้อด้านซ้าย และจำนวนรอบล้อด้านขวาส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์ในลักษณะของแพ็กเก็ตโดยจะเริ่มต้นของข้อมูลของเพ็กเก็ตด้วย 0

0	ระยะทางสิ่งกีดขวาง	ค่ามุมของเซอร์โว	จำนวนรอบล้อด้านซ้าย	จำนวนรอบล้อด้านขวา

จากนั้นคอมพิวเตอร์จะประมวลผลเขียนสร้างแผนที่ของสิ่งกีดขวางขึ้นมาบนหน้าจอ และโปรแกรมจะคำนวณหาทิศทางในการเดินของหุ่นยนต์ต่อไปจนถึงจุดหมายที่ระบุไว้ โดยระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่จะถูกนำมาคำนวณเทียบเป็นสัดส่วนกับข้อมูลที่แสดงผลอยู่บนหน้าจอ



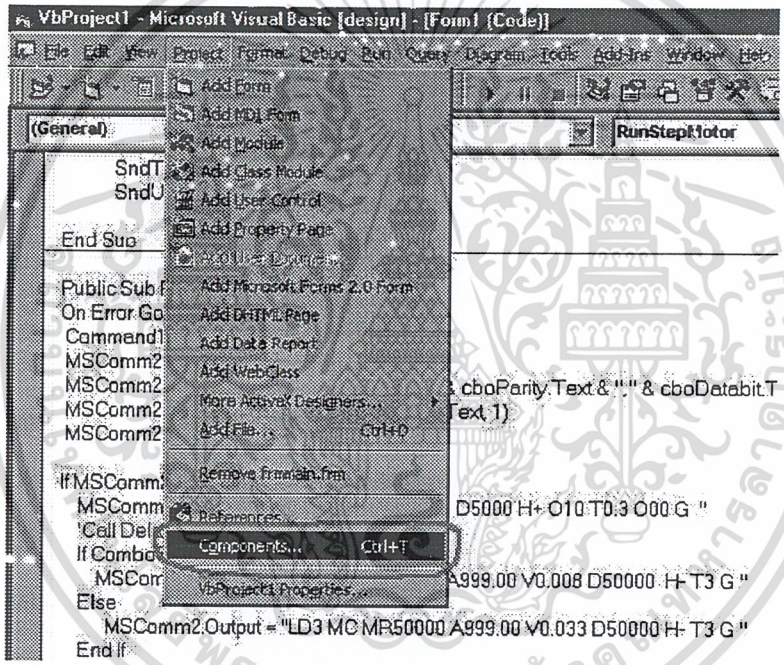
รูปที่ 3.10 โปรแกรมหน้าจอควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ในระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 วิชวลเบสิคเขียนโปรแกรมติดต่อ I/O พอร์ตอนุกรม

สามารถทำได้โดยใช้ VB Control ที่ชื่อว่า MSComm โดยกำหนด Custom Control เข้าไปที่เมนู Project--->Companents แล้วเลือกที่ช่อง MSComm ก็จะปรากฏ เป็นรูปไอคอนโทรศัพท์สีเหลือง คลิกที่ไอคอนลากนำมาไว้บน Form ใน Project ของโปรแกรม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

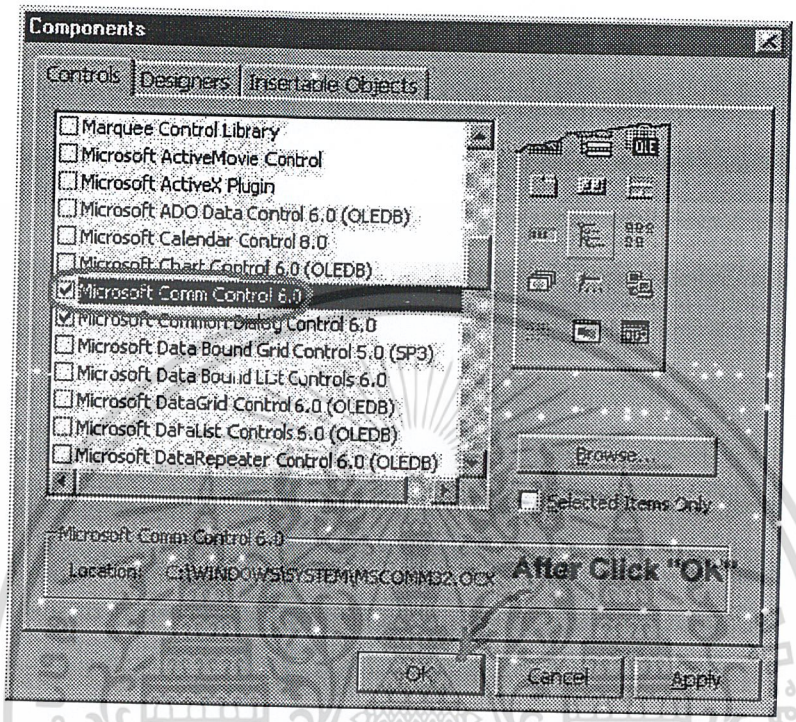
1. เลือกที่เมนูบาร์ด้านบนของโปรแกรม Visual Basic ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนที่หนึ่งการเขียนโปรแกรมติดต่อ I/O Serial Port

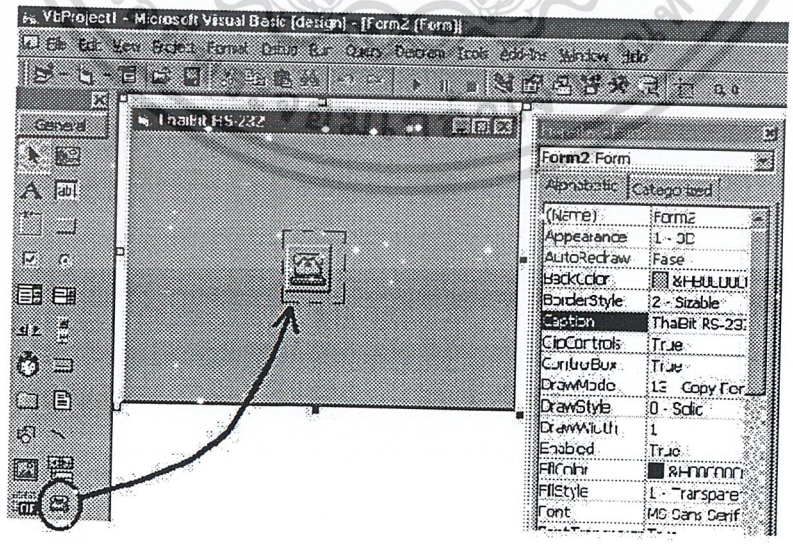
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือกชื่อคอนโทรล ชื่อ Microsoft Comm Control 6 ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.12 แสดงขั้นตอนที่สองการเขียนโปรแกรมติดต่อ I/O Serial Port

3. ขั้นที่สาม ลากคอนโทรลชื่อMicrosoft Comm จากToolBox มาไว้บนFormดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.13 แสดงขั้นตอนที่สามการเขียนโปรแกรมติดต่อ I/O Serial Port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตอนุกรม สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. การติดต่อแบบอินเตอร์รัพต์

อุปกรณ์รอบข้างเกือบทุกชิ้นจะต้องปฏิบัติงานอยู่เพื่อส่งสัญญาณไปให้แก่ซีพียูเสมอ ถ้าอุปกรณ์นั้นพร้อมที่จะรับส่ง จะส่งเป็นรหัสแอสกี้ โดยเขียนโปรแกรมอินเตอร์รัพต์โดยเมื่อที่ข้อมูลเข้ามาก็จะทำให้มี CommEvent กับ OnComm Event

2. การติดต่อแบบโพลลิ่ง

ในระบบพีซี การโพลใช้การส่งผ่านข้อมูลระหว่างเทอร์มินัลกับซีพียู กรณีข้อมูลเป็นประเภทไบท์ที่ส่งจากคีย์บอร์ด โดยวิธีการนี้จะตรวจสอบ คีย์บอร์ดว่ามีข้อมูลส่งมาหรือเปล่า โดยจะตรวจสอบตลอดเวลาการทำงานกับข้อมูลที่รับเข้ามาจะตรวจสอบด้วยความเร็วที่สูงกว่าอัตราความเร็วข้อมูลที่ส่งเข้ามาทางคีย์บอร์ด การที่ซีพียูส่งสัญญาณออกไปตรวจสอบ จะพบว่ามีข้อมูลที่ต้องส่งเข้ามาเรียกว่า"Wet Poll" ซึ่งจะเสียช่วงเวลา 90 เปอร์เซ็นต์ คาบเวลาที่เสียไปนั้นเราเลี่ยงไปใช้เทคนิค การโพลแบบ "Round Robin" แทนแต่ในวีบี จะใช้การตรวจสอบข้อมูลที่มาจากพอร์ตอนุกรมตลอด โดยจะใช้ Control Timer เข้ามาช่วยในการเขียนโปรแกรมซึ่งสามารถตรวจสอบได้ถึงระดับ 1 มิลลิวินาที หรือจะใช้ Do....Loop ก็ได้

ในตัวคอนโทรล MSComm มี Event ที่ใช้เพียง Event เดียวเท่านั้น ก็คือ OnComm Event ซึ่งจะใช้ในการติดต่อแบบอินเตอร์รัพต์ การเขียนโปรแกรมติดต่อพอร์ตอนุกรมแบบธรรมดาจะใช้ comEvent เพียง comEvReceive,comEvSend ถ้าเป็นการติดต่อสื่อสารแบบโมเด็มจะใช้หลายตัวในการตรวจสอบสัญญาณ

3. องค์ประกอบในการใช้ MSComm

การตั้งค่าติดต่อกับพอร์ต

- ComPort คือการกำหนดหมายเลขพอร์ต ที่ใช้ต่อ RS-232 (คอม1,คอม2)รายละเอียดดูในเมนูด้านซ้าย Serial Port Detail
- Setting คือการกำหนดอัตรา Baud,Parity,Data(จำนวนบิท),Stop ตัวอย่าง 1200,n,8,1 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- HandSh·aking กำหนดได้ 4 แบบ 1.comNone 2.comXonXoff 3. comRTS

4. ComTRSXonXoff

การใช้ บัฟเฟอร์(Buffer)ในการรับส่งข้อมูล

- InBuffersize คือ การกำหนดบัฟเฟอร์ในการรับข้อมูลเข้ามา
- OutBuffersize คือ การกำหนดบัฟเฟอร์ในการส่งข้อมูลออกไป
- Rthreshold คือ การกำหนดการเกิด Event-driven ในการรับข้อมูลเข้ามา
- Sthreshold คือ การกำหนดการเกิด Event-driven ในการรับข้อมูลออกไป
- Inputlen คือ จำนวนของข้อมูลที่ไปอ่านในบัฟเฟอร์รับข้อมูล
- EOFEnable คือ การบอกสิ้นสุดของไฟล์(EOF) End of File

ด้านฮาร์ดแวร์

- ParityReplace คือ ค่าของคาเลกเตอร์ที่จะแทนในเมื่อเกิด Parity Error
- NullDiscard คือ การกำหนดให้รับหรือไม่รับ NULL CHARACTER
- RTSEnableคือ ทำให้มีสัญญาณ RTS (Request To Send)
- DTSEnableคือ ทำให้มีสัญญาณ DTR(Data Terminal Ready)

การกำหนดคุณสมบัติของ MSComm Control ให้สามารถติดต่อกับพอร์ต

1. Property ชื่อ CommPort คือ เลือกคอมพอร์ตที่จะต่อใช้งาน ดังตัวอย่าง

   MSComm1.CommPort=1 ในที่นี้เลือกจะใช้ Com1อยู่ที่ด้านหลังเครื่องคอมพิวเตอร์

2. Property ชื่อ Settingsคือ การตั้งค่าของการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะต้องรู้ด้วยว่าอัตราบอด ของอุปกรณ์ที่จะติดต่อด้วยเป็นเท่าไร โดยมีรายละเอียดการใส่ต่างๆค่าดังนี้

   MSComm1.Settings="Baud(อัตราการรับส่งข้อมูล),Parity(ถ้าไม่ใช้ใส่ N,จำนวนบิทข้อมูล, บิทสต๊อบ" ดังตัวอย่าง

   MSComm1.Settings="1200,N,8,1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Property ชื่อ InputLenคือ กำหนดขนาดขณะที่มีข้อมูลเข้ามาให้ไปอ่านข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในบัพเฟอร์ ดังตัวอย่าง

   MSComm1.InputLen=1

4. Property ชื่อ PortOpen คือ จะเปิดให้พอร์ตใช้งานหรือไม่ ถ้าเปิด =True ถ้าปิด =False ดังตัวอย่าง

   MSComm1.PortOpen=True

5. Property ชื่อ Rthresholdคือ ทำให้เกิดการกระตุ้นด้วย Event-driven เมื่อมีข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูล(Comport)มันทำให้เกิดCommEvent ใน OnComm Event ดังตัวอย่าง

   MSComm1.Rthreshold =1

เราจะมาเขียนใน โพรซีเดอร์ VB ซึ่งจะไว้ที่ Sub Form_Load() หรือจะสร้าง Sub ขึ้นใหม่ในกรณีที่จะเรียกใช้ภายหลัง

```
Private Sub Form_Load()
    MSComm1.Settings="1200,N,8,1"
    MSComm1.CommPort=1
    MSComm1.InputLen=1
    MSComm1.PortOpen=True
    MSComm1.Rthreshold =1
End Sub
```

วิธีของการรับส่งข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม

จากวิธีเขียนโค๊ดด้านบนเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับคอมพอร์ตและเปิดใช้การรับและส่งของพอร์ตRS-232 ดังนั้นก็สามารถจะรับและส่งข้อมูลทางพอร์ตได้ โดยใช้ Property ดังนี้

Output =ซึ่งจะเป็นการส่งข้อมูลไปที่พอร์ต

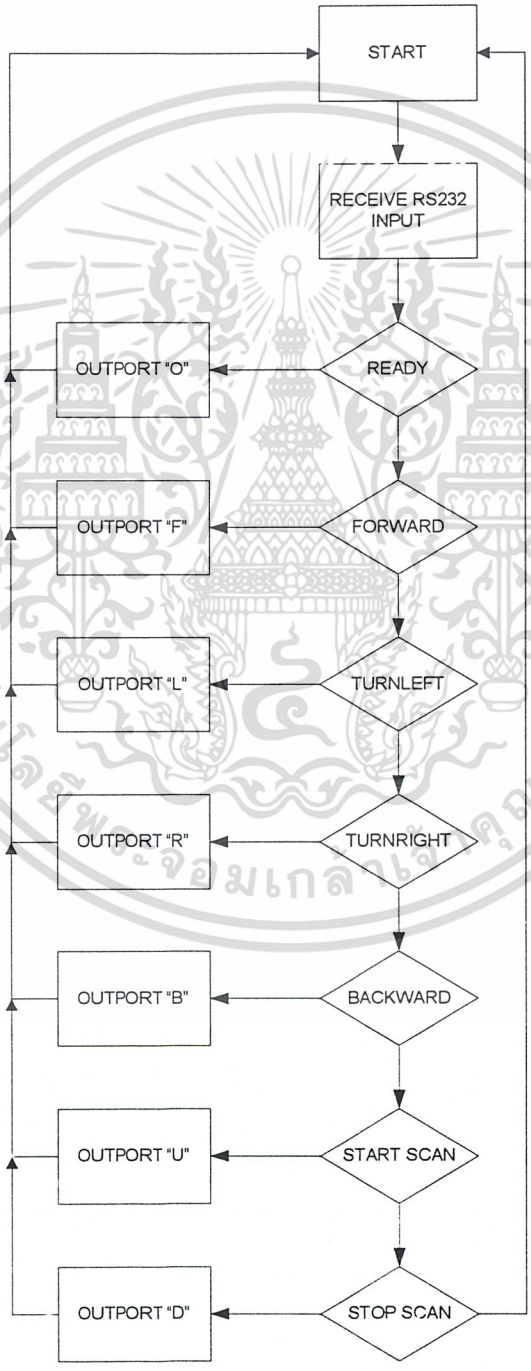
Input =เป็นส่วนของการรับข้อมูลจากพอร์ต

แต่ในส่วนนี้จะต้องนำคำสั่งไปเขียนที่ Event Property OnComm จะอยู่ใน Sub MSComm_OnComm ซึ่ง จะอ่านข้อมูลเข้ามาจากทางพอร์ต RS232 นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

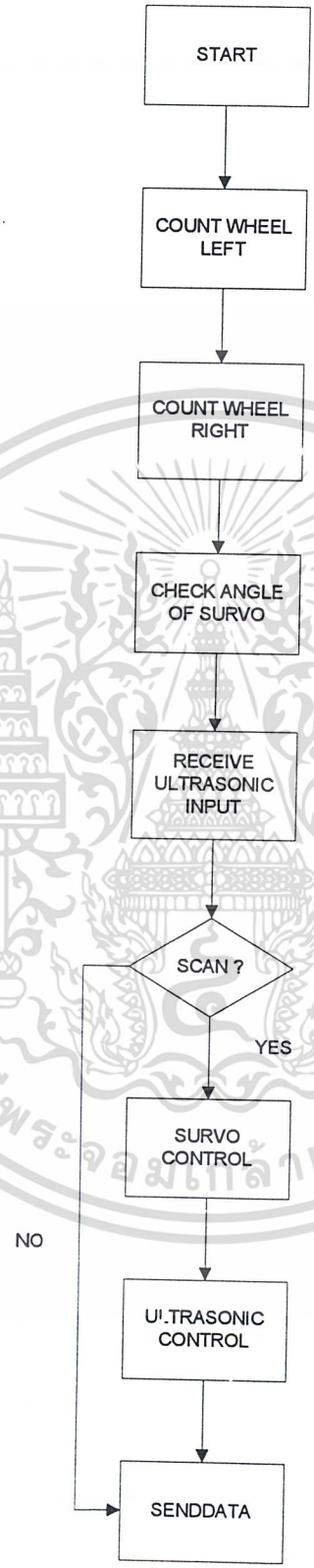
3.2.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างเป็นภาษาแอสเซมบลี มีหน้าที่ในการสั่งการและควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีรูปแบบการทำงานดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.14 แสดงการทำงานของโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

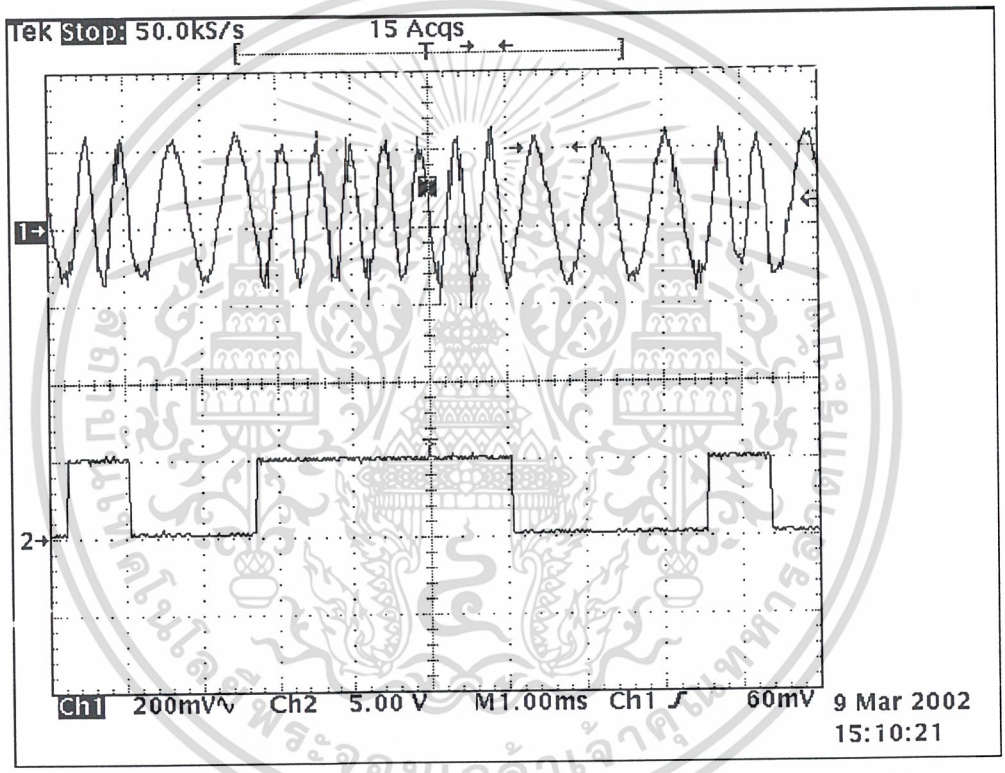


รูปที่ 3.15 แสดงการทำงานของโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนอินเทอร์รัพรูทีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลลัพธ์

4.1 กราฟแสดงผลการทดลองของอินพุทและเอาท์พุทของเอฟเอสเค

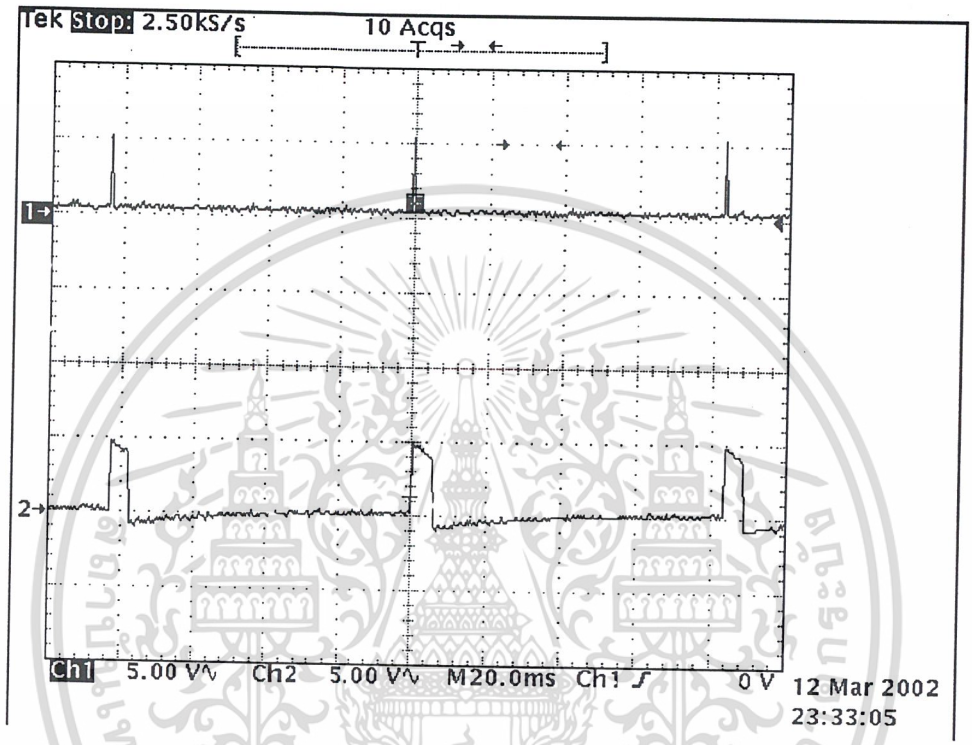


รูปที่ 4.1 แสดงกราฟอินพุทและเอาท์พุทของเอฟเอสเค

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อสัญญาณที่อินพุทมีความถี่ที่สูงจะได้ลอจิก 1 และความถี่ที่ต่ำจะได้ลอจิก 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กราฟแสดงผลการทดลองของอินพุทและเอาท์พุทของอัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟของอินพุทและเอาท์พุทของอัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าที่ขอบขาลงของสัญญาณอินพุท (กราฟด้านบน) จะทำให้เกิดสัญญาณเอาท์พุท (กราฟด้านล่าง) ที่มีค่าลอจิก 1 ซึ่งจะคำรงค่าลอจิก 1 ไปจนกระทั่งคลื่นโซนิกสะท้อนกลับมายังตัวเซ็นเซอร์อีกครั้ง สัญญาณที่ขาเอาท์พุทก็จะเปลี่ยนค่าเป็นลอจิก 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ได้ศึกษาการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการสั่งการควบคุม และสื่อสารระหว่างกันในการทำงาน พื้นฐานทางด้านอิเลคโทรนิกส์และระบบการสื่อสารไร้สาย จากการทดลอง การสื่อสารส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไปได้อย่างดี สามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้ทำงานตามที่ต้องการได้แต่ปัญหานั้นอยู่ที่ระบบสื่อสารที่ไม่สามารถส่งข้อมูลในอัตราบิทเรทที่สูงๆได้ ซึ่งไม่เป็นปัญหาเนื่องจากอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลที่ 1200 บิท / วินาทีก็เพียงพอต่อความต้องการแล้ว ปัญหาอีกอย่างคือปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดของเซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิก ในทางทฤษฎีนั้นคลื่นสามารถแทรกสอดกระจัดกระจายและเลี้ยวเบนได้ ทำให้คลื่นโซนิกที่ชะท้อนกลับมานั้นมาถึงไม่พร้อมกันทำให้เกิดข้อพิดพลาดขึ้น รวมทั้งเซ็นเซอร์อัลต้าโซนิกมีบีมเอ้าท์พุตที่กว้างถึง 30 องศาทำให้ค่าที่ได้หยาบและไม่สามารถแยกวัตถุที่อยู่ติดๆกันได้

ข้อเสนอแนะ

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR (AT90S8535) มีความเร็วในการประมวลผลสูงทำให้ระบบทำงานเร็วขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมาก แต่มีราคาแพง
- การนำคอมพิวเตอร์มาทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการประมวลผลดีขึ้นอย่างมากและยังมีความยืดหยุ่นสูงในการเปลี่ยนแปลงการทำงานเป็นอย่างอื่น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงไม่ต้องลงไปแก้ไขในส่วนของฮาร์ดแวร์
- การใช้มอเตอร์หมุนเซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิกเป็นแนวคิดที่ประหยัด เนื่องจากเซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิกมีราคาแพง แต่ก็มีข้อเสียอยู่ที่ความคลาดเคลื่อนของมุมที่ใช้ในการหมุนและบีมที่กว้างของเซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิกจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย
- ส่วนของวีดีโอเซ็นเดอร์ ควรปรับปรุงให้มีกำลังส่งแรงขึ้น เนื่องจากการ์ดทีวีทูนเนอร์จะสามารถรับสัญญาณได้น้อย ทำให้ภาพมีลักษณะไม่คมชัด และไวต่อแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กฤษดา ใจเย็น, อรรถพล บุญยะโภคา, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม PC-Serial port Interfacing text-lab manual
- บริษัท อีทีที จำกัด, คู่มือ AVR Enhanced RISC Microcontrollers AT90S/LS8535
- บริษัท อีทีที จำกัด, ET-AVR V1.0 AVR RISC Microcontroller Board Downloadable Flash
- สุชาติ กังวารจิตต์, หลักการทำงานเครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้