

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างแผนที่ด้วยระบบโซนาร์และการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว
MAP BUILDING USING FUSING SONAR AND MOTION
DETECTION



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62045
วัน,เดือน,ปี..... 27 ก.ค. 2549

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

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MAP BUILDING USING FUSING SONAR AND MOTION
DETECTION**

BY

Mr. BOONYASAK SUKSRI

Mr. SUTHIN YAMSRI



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF THE INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING**

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

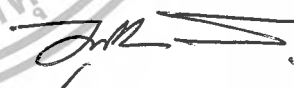
2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแผนที่ด้วยระบบโซนาร์และการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว		
THESIS TITLE	MAP BUILDING USING FUSING SONAR AND MOTION DETECTION		
ชื่อนักศึกษา	นายบุญญาศักดิ์ สุขศรี	รหัสประจำตัว	45015852
	นายสุทิน แย้มศรี	รหัสประจำตัว	45015874
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปิติเขต ผู้รักษา อาจารย์บุญยัชนะ ภูระหงษ์		
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2547		

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


.....
(รศ.ดร.ปิติเขต ผู้รักษา)
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์


.....
(อาจารย์บุญยัชนะ ภูระหงษ์)
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การสร้างแผนที่ด้วยระบบโซนาร์และการตรวจจับวัตถุ
เคลื่อนไหว

THESIS TITLE

MAP BUILDING USING FUSING SONAR AND MOTION
DETECTION

ชื่อนักศึกษา

นายบุญญาศักดิ์ สุขศรี รหัสประจำตัว 45015852
นายสุทิน แยมศรี รหัสประจำตัว 45015874

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา
อาจารย์บุญยชนะ ภูระหงษ์

ระดับการศึกษา

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา

2547

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเอาสัญญาณจากระบบโซนาร์และกล้องมาประยุกต์ใช้เป็นระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ ซึ่งการทำงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนของระบบโซนาร์จะนำสัญญาณจากโซนาร์มาคำนวณเพื่อหาระยะของสิ่งกีดขวางและนำมาสร้างเป็นแผนที่เพื่อใช้เป็นตัวช่วยในการนำร่องของหุ่นยนต์สำหรับการสำรวจพื้นที่ ส่วนที่สองเป็นระบบการประมวลสัญญาณภาพจากกล้อง โดยนำสัญญาณมาประมวลผลเพื่อตรวจจับวัตถุที่มีการเคลื่อนไหว จากข้อมูลที่ได้ทั้งหมดช่วยในการวิเคราะห์ชนิดและตำแหน่งของวัตถุ

THESIS TITLE	MAP BUILDING USING FUSING SONAR AND MOTION DETECTION		
STUDENT	Mr. Boonyasak	Suksri	No. 45015852
	Mr. Suthin	Yamsri	No. 45015874
ADVISOR	Assoc.Prof. Dr.Pitikhate Sooraksa		
	Mr.Boonchana	Purahong	
COURSE	Bachelor of Information Engineering		
DEPARTMENT	Information Engineering		
YEAR	2004		

Abstract

This project proposes utilization of signals from sonar and camera to apply for navigation system of robot separated in two parts. For sonar system, sensing signals from sonar is computed to determine the distance from objects and then create map for the navigation system of robot for surveying tasks. For image processing, video signals are used in motion detection process. Information obtained from the sensors will be employed to analyse position and type of objects.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือที่ดีเสมอมาตลอดจนอีกทั้งยังได้ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆในการทำงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณพี่ต่อ, พี่แมว, พี่เต๋า, และพี่ๆที่ Info-Dynamics Laboratory ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆด้วยดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยห่วงใยและให้การสนับสนุนในการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณญาติสนิทและพี่ๆทุกคนที่เป็นกำลังใจพร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด

สุดท้ายขอขอบพระคุณเพื่อนๆห้อง 3F/3 ที่คอยช่วยเหลือกันมาตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	
สารบัญรูป	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์	4
2.1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์	4
2.1.2 การใช้งาน Timer/Counter	6
2.1.3 ทฤษฎีการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม	7
2.1.4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม	9
2.1.5 อัตราการส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรม	10
2.2 การใช้งาน SONAR MODULE	11
2.2.1 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของโซนาร์	13
2.3 พื้นฐานการประมวลผลภาพ	15
2.3.1 ประเภทการกระทำภาพ(Types of Image Operation)	15
2.3.2 พื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซล(Basic Relation between Pixels)	17
2.3.3 สัญญาณรบกวนในรูปภาพดิจิทัล(Noise Digital Image)	18
2.3.4 การทำคอนโวลูชัน(Convolution)	19
2.3.5 การกรองสัญญาณภาพในโดเมนเวลา(Image Filtering inTime Domain)	21
2.4 หลักการทำงานดีซีมอเตอร์	23
2.5 ทฤษฎี Servo Motor	24
2.5.1 หลักการทำงานของ Servo Motor	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 การเคลื่อนที่ของ Object	27
2.6.1 การแสดงระยะห่างระหว่างวัตถุกับ Object	30
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การออกแบบการทำงานของระบบ	31
3.1.1 ส่วน User Control and Display	31
3.1.2 ส่วน Device Control Unit	34
3.2 การกำหนดไทมเมอร์(Timer)เพื่อใช้งานกับ โชนาร์	37
3.2.1 การกำหนดไทมเมอร์(Timer) ให้กับ โชนาร์	37
3.3 หลักการของการเขียนโปรแกรมจับดีซีมอเตอร์	39
3.4 การควบคุมมอเตอร์เซอร์โว	40
3.5 การออกแบบชุดควบคุม โชนาร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	41
3.6 การใช้งาน Component ของกล้อง	41
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลองตามวัตถุประสงค์หลัก	44
4.1.1 ส่วนของการใช้งาน โชนาร์	45
4.1.2 ส่วนของการ ใช้งานกล้องผ่านทาง VideoOCX	48
4.2 การใช้งานโปรแกรมในการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว	53
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 ผลสรุปและปัญหางานวิจัย	55
5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนาระบบ	56
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 1-1 ระบบกู้ภัยที่ต้องใช้หน่วยกู้ภัย	1
รูปที่ 1-2 ระบบกู้ภัยที่ใช้หุ่นยนต์เข้ามาช่วย	2
รูปที่ 2-1 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์	5
รูปที่ 2-2 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 ในอนุกรม AT89C5X	6
รูปที่ 2-3 บิตต่างๆในรีจิสเตอร์ TMOD	6
รูปที่ 2-4 บิตต่างๆในรีจิสเตอร์ TCON	7
รูปที่ 2-5 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	8
รูปที่ 2-6 บิตต่างๆของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม	9
รูปที่ 2-7 บิตต่างๆของรีจิสเตอร์ SCON	10
รูปที่ 2-8 การเชื่อมต่อ MCS-51 กับ IC MAX232A เพื่อการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม	11
รูปที่ 2-9 ลักษณะภายนอกของ SONAR MODULE รุ่น SRF04	12
รูปที่ 2-10 ขาที่ต่อใช้งาน SONAR MODULE รุ่น SRF04	12
รูปที่ 2-11 Timing Diagram ของ SONAR MODULE รุ่น SRF04	13
รูปที่ 2-12 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของโซนาร์(Beam width)	14
รูปที่ 2-13 การเกิดแรงบิดในตัวดีซีมอเตอร์	24
รูปที่ 2-14 ส่วนประกอบของ Servo Motor(1)	25
รูปที่ 2-15 ส่วนประกอบของ Servo Motor(2)	25
รูปที่ 2-16 ลักษณะ Pulse ที่จ่ายให้ Servo motor	26
รูปที่ 2-17 สัญลักษณ์ของ Object ที่ใช้แทน Robot	27
รูปที่ 2-18 การหมุนทิศทางของเส้นตรง	28
รูปที่ 2-19 การเคลื่อนที่ของเส้นตรงตามทิศทางของลูกศร	29
รูปที่ 2-20 การเคลื่อนที่ของวงกลมตามทิศทางของลูกศร	29
รูปที่ 2-21 การแสดงระยะของวัตถุที่ขวาง	30
รูปที่ 3-1 Application User Control and Display	31
รูปที่ 3-2 Block User Control and Display	32
รูปที่ 3-3 Flow Chart User Control & Display Unit	33
รูปที่ 3-4 Device Control Unit	34
รูปที่ 3-5 Flow Chart Device Control Unit	36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3-6 Block ชุดควบคุม Sonar และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	41
รูปที่ 3-7 Flow chart การทำงานของส่วน Motion Detection	42
รูปที่ 4-1 ผลการทดสอบโปรแกรมโดยรวมของส่วน User Control & Display Unit	44
รูปที่ 4-2 ระยะเวลาของวัตถุที่จะทำการทดสอบผลจากการใช้โซนาร์ครั้งที่1	45
รูปที่ 4-3 ระยะเวลาของวัตถุที่จะทำการทดสอบผลจากการใช้โซนาร์ครั้งที่2	46
รูปที่ 4-4 ระยะเวลาของวัตถุที่จะทำการทดสอบผลจากการใช้โซนาร์ครั้งที่3	47
รูปที่ 4-5 Method ของการเซต Driver ของกล้อง	48
รูปที่ 4-6 Method ของการเซต Format ของกล้อง	49
รูปที่ 4-7 Method ของการเซต Source ของกล้อง	49
รูปที่ 4-8 Method ของการแสดงผลข้อมูลของกล้อง	50
รูปที่ 4-9 หน้าจอของโปรแกรมเมื่อทำการเปิดกล้อง	50
รูปที่ 4-10 หน้าจอของโปรแกรมเมื่อทำการปิดกล้อง	51
รูปที่ 4-11 การใช้งานโปรแกรมสำหรับตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว	51
รูปที่ 4-12 หน้าจอของโปรแกรมเมื่อหยุดการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว	52
รูปที่ 4-13 การใช้งานโปรแกรมสำหรับตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว	53

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนด Baud Rate ค่าต่างๆ	10
ตารางที่ 2-2 Specification ของ SRFO4	12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

1.1.1 ระบบที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

ส่วนมากในปัจจุบันเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นตามพื้นที่ต่างๆส่วนมากการกู้ภัยมักจะใช้มนุษย์ในการกู้ภัยซึ่งอาจจะทำให้มีอัตราการเสี่ยงภัยเกิดขึ้นได้ในขณะปฏิบัติงาน และทำให้ สิ้นเปลืองทรัพยากรบุคคลในกรณีทำงานบางงานที่ไม่จำเป็นต้องใช้บุคคล ดังจะแสดงได้ดังรูป

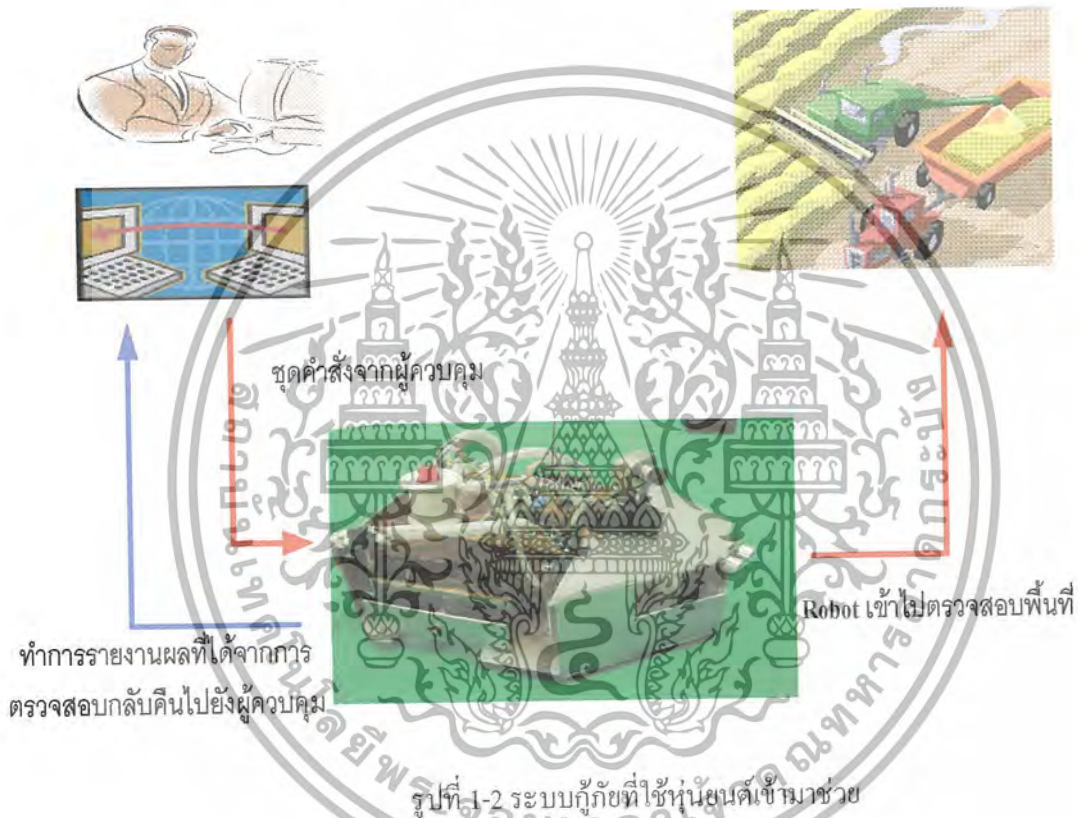


รูปที่ 1-1 ระบบกู้ภัยที่ต้องใช้หน่วยกู้ภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากปัญหาในปัจจุบันในบางครั้งหน่วยกู้ภัยไม่สามารถที่จะเข้าไปทำการสำรวจในพื้นที่นั้นได้หรือพื้นที่นั้นมีอันตรายเสี่ยงอันตรายมากเกินไป ดังนั้นการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ และมีอยู่ปัจจุบันเข้ามาช่วยในการทำงานแทนหรือเป็นผู้ช่วยของมนุษย์ก็จะช่วยลดความเสี่ยงของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานลงได้ในระดับหนึ่ง และเพื่อเป็นการพัฒนาขีดความสามารถของหุ่นยนต์ที่มีอยู่ในปัจจุบันให้เพิ่มมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้จัดทำงานวิจัยนี้ขึ้นมา แสดงได้ดังรูป

1.1.2 ระบบใหม่ที่แก้ไขในงานวิจัย



1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการนำร่องของหุ่นยนต์กู้ภัย (Rescue Robot)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ตำแหน่งกิ่งกีดขวางเพื่อสร้างแผนที่โดยระบบ Sonar
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและพัฒนาการประมวลผลทางด้านการเคลื่อนไหวของวัตถุ โดย Image Processing

Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

1.3.1 ในส่วนของการทำงานประมวลผลสัญญาณจากระบบโซนาร์

สามารถนำสัญญาณจากระบบ Sonar มาประมวลผลและวิเคราะห์เพื่อหาสิ่งกีดขวางและสร้างแผนที่ให้หุ่นยนต์กู้ภัย(Rescue Robot) ได้

1.3.2 ในส่วนของการทำงานประมวลผลสัญญาณภาพ(Motion Detection)

สามารถตรวจจับวัตถุที่กำลังเคลื่อนไหวได้โดยใช้ทฤษฎีการประมวลผลภาพ ด้วย(Image Processing)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ระบบของการประมวลผลและวิเคราะห์ตำแหน่งสิ่งกีดขวางเพื่อสร้างแผนที่ที่สามารถนำไปใช้กับหุ่นยนต์กู้ภัย(Rescue Robot) ได้

1.4.2 ระบบของการประมวลผลและการตรวจจับวัตถุที่กำลังเคลื่อนไหวสามารถนำไปใช้กับ หุ่นยนต์กู้ภัย(Rescue Robot) ได้

1.4.3 จากการวิเคราะห์เพื่อสร้างแผนที่โดยระบบ Sonar และการตรวจจับวัตถุที่กำลังเคลื่อนไหวโดยกล้องจะช่วยให้หุ่นยนต์กู้ภัย (Rescue Robot) ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากบทนำที่ได้กล่าวมาต่อไปจะได้พบกับส่วนต่างๆของงานวิจัย ซึ่งแบ่งออกเป็นบทต่างๆ ดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 4 ผลการทดลองงานวิจัย

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่รวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรรับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ ในขณะที่มีความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

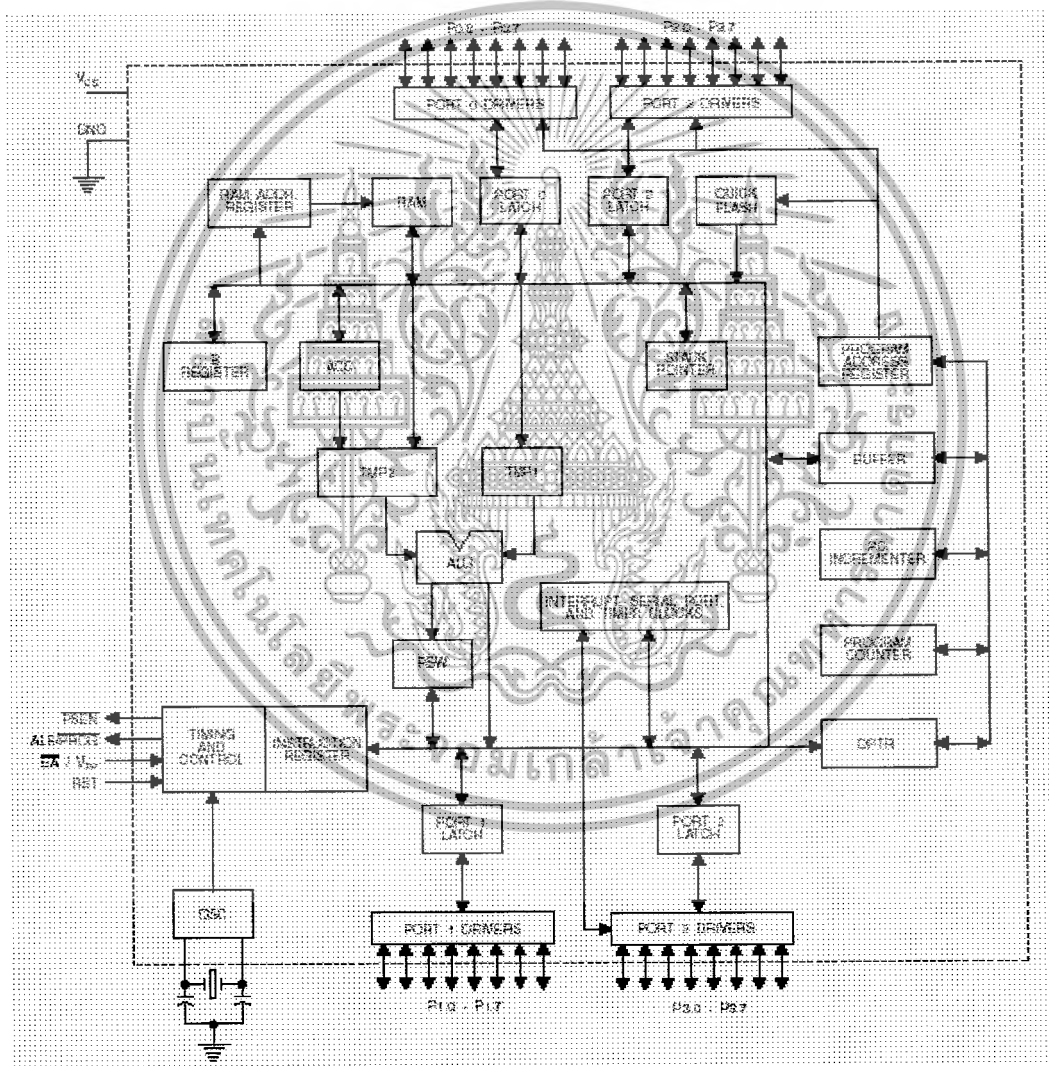
ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำรวมกันคือ “ไมโคร” (micro) ซึ่งหมายถึง ไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็ก ภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ และวงจรสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือคำว่า “คอนโทรลเลอร์” (controller) หมายถึง อุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

2.1.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89Cxx

- เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบEEPROM เพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ Full Duplex
- Timer/Counter ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิด interrupt ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 Kbytes
- มีวงจรถ่ายสัญญาณนาฬิกาอยู่ในชิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

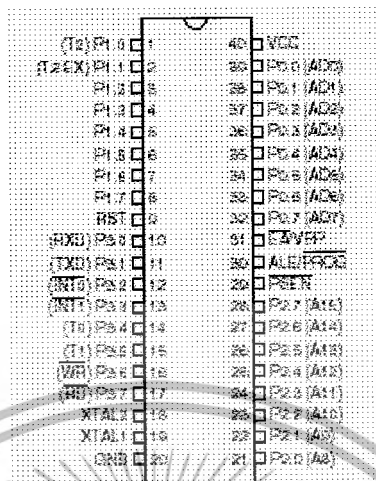
ในรูปที่ 2-1 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของ AT89Cxx จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐาน หากแต่แตกต่างกันเฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามา หากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม 87xx หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะเป็นแบบ EEPROM และบางเบอร์สามารถโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว



รูปที่ 2-1 รายละเอียด โครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ

Atmel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-2 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5x

2.1.2 การใช้งาน Timer/counter

การใช้งาน Timer/counter นั้นมีรีจิสเตอร์ที่ต้องใช้ 2 ตัวคือ TMOD และ TCON โดยที่ TMOD เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตไม่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ 4 บิตล่างใช้เลือกโหมดการทำงาน Timer/Counter 0 และ 4 บิตบนใช้เลือกโหมด Timer/Counter 1 ในการทำงานของ Timer นั้นจะเริ่มการนับตั้งแต่ 0000H จนถึง FFFFH (ในกรณี 16 บิต) และเมื่อเปลี่ยนจาก FFFFH เป็น 0000H จะเกิดการโอเวอร์โฟลขึ้น

Gate	C/T	M1	M0	Gate	C/T	M1	M0
------	-----	----	----	------	-----	----	----

รูปที่ 2-3 บิตต่างๆ ในรีจิสเตอร์ TMOD

โดยที่ Gate ใช้เลือกลักษณะการควบคุมการทำงานของ Timer/Counter

C/T ใช้เลือกการทำงานระหว่าง Timer/Counter

M1, M0 ใช้เลือกโหมดการทำงานของ Timer/Counter

“00” เลือกการทำงานโหมด Timer/Counter 13 บิต

“01” เลือกการทำงานโหมด Timer/Counter 16 บิต

“10” เลือกการทำงานโหมด Timer/Counter 8 บิตแบบตั้งค่าอัตโนมัติ

“11” สำหรับ Timer0 เลือกให้ทำงานในโหมด Timer/Counter แยกส่วน โดยแยกออกเป็น Timer/Counter 8 บิต 2 ตัว รีจิสเตอร์ TLO จะได้รับการควบคุมการเปิดปิดจาก

บิต TR0 ในรีจิสเตอร์ TCON และรีจิสเตอร์ TH0 ซึ่งเป็น Timer/Counter 8 บิตอีกตัวหนึ่ง จะได้รับการควบคุมจากบิต TR1 ในรีจิสเตอร์ TCON ในกรณีของ Timer1 เป็นการสั่งให้ Timer/Counter1 หยุดทำงาน

ส่วนรีจิสเตอร์ TCON ใช้ควบคุมการทำงานของ Timer/Counter เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ มีโครงสร้างดังรูป

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

รูปที่ 2-4 บิตต่างๆ ในรีจิสเตอร์ TCON

โดยที่ TF1/0 แสดงการโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1,0 จะเซตโดย hardware และเคลียร์โดย software

TR1/0 ควบคุมการเปิดปิด Timer 1,0 จะเซตและเคลียร์โดย software

IE1/0 แสดงการอินเตอร์รัพท์จาก INT1 และ INT0

IT1/0 บิตเลือกชนิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากภายนอก INT1 และ INT0

การเริ่มและหยุด Timer นั้นสามารถควบคุมได้ที่บิต TRx ในรีจิสเตอร์ TCON โดยปกติแล้ว TRx จะเคลียร์หลังจากระบบถูกรีเซต ซึ่งเป็นการให้ Timer ไม่นับและ TRx นี้จะเซตให้เริ่มทำงานได้ด้วย SETB TRx และสามารถหยุดการทำงานได้ด้วยคำสั่ง CLR TRx

การคำนวณ Timer นั้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

2.1.3 ทฤษฎีการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม

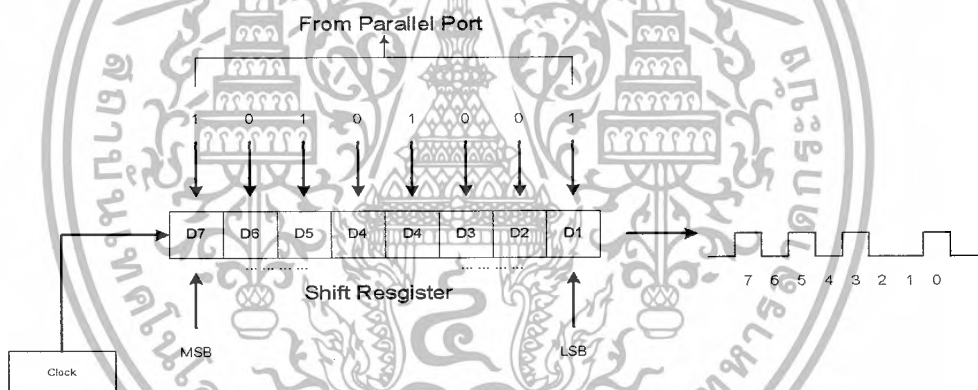
เป็นการรับส่งข้อมูลที่ละบิต จนครบ 1 ไบต์ ถ้าต้องการส่งข้อมูล 1 ไบต์ คือ $D_0 - D_7$ อาจส่งบิต D_0 ออกไปก่อนแล้วตามด้วย D_1 ไปเรื่อยๆ จนถึง D_7 การส่งข้อมูลทั้งสองแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันคือ การส่งข้อมูลแบบขนานสามารถส่งข้อมูลได้เร็ว คือ ส่งทีละบิตจะได้ข้อมูลครบ 1 ไบต์ แต่ถ้าต้องส่งเป็นระยะไกลๆ จะสิ้นเปลืองสายสัญญาณมาก ถ้าเป็นการส่งแบบอนุกรมเมื่อต้องการส่งข้อมูลเป็นระยะไกลๆ จะช่วยประหยัดสายสัญญาณเนื่องจากจะใช้สายอย่างน้อยเพียง 2 เส้น คือ สายสัญญาณกับสายกราวด์ แต่การรับส่งข้อมูลจะใช้เวลานานเนื่องจากเป็นการส่งทีละบิต ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดยเน้นที่ตัว MCS-51 เป็นสำคัญ

2.1.3.1 การสื่อสารข้อมูลแบบ Asynchronous

เป็นการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วยแต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า baud rate (bit/second) รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบ Asynchronous ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือ ไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต

เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ต้องการจะรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม ตัวไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลออกไปทางพอร์ตแบบขนานก่อน จากนั้นจะมีอุปกรณ์มาต่อที่พอร์ต เพื่อแปลงข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรมอีกทีหนึ่ง (Parallel to Serial Conversion) ตัวแปลงข้อมูลนี้อาจจะพิจารณาได้ง่ายๆว่าเป็น Shift Register ดังรูป



รูปที่ 2-5 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

สำหรับตัวรับข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเมื่อตัวรับข้อมูลทำงานจะเป็นการรับเข้ามาใน shift register แล้วส่งข้อมูลให้ไมโครคอมพิวเตอร์แบบขนานอีกทีหนึ่ง (Serial to Parallel) ระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันจะมีตัวแปลง Parallel to Serial และ Serial to Parallel อยู่ในชิพไอซี เรียกว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) การส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นจะต้องมีการเพิ่มเติมข้อมูลบางอย่างเข้าไปเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำงานได้ถูกต้องมากขึ้น โดยมีการเติมค่าบิตต่างๆ ลงไปตามรูปที่ 2.4

Start	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	Parity	Stop
-------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	--------	------

รูปที่ 2-6 บิตต่างๆ ของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

ถ้ามีการส่งข้อมูลแบบ 8 บิต จะต้องส่งบิตแรกออกไปก่อน เรียกว่า บิตเริ่มต้น (Start Bit) ถ้ามีการส่งข้อมูลหลายๆ ไบต์ออกมา บิตนี้จะเป็นตัวบอกว่ามีข้อมูลใหม่มาแล้ว โดยทั่วไปบิตเริ่มต้นมักมีระดับลอจิกเป็น “0” ต่อจากบิตเริ่มต้นจะเป็นข้อมูลบิต D₀ ถึง D₇ จากนั้นจะตามด้วยบิตตรวจสอบและบิตหยุด เพื่อบอกการสิ้นสุดของข้อมูล บิตหยุดอาจมีจำนวนมากกว่า 1 บิตก็ได้ เช่น ½ บิต , 2 บิต

การสื่อสารแบบอนุกรมนี้ การกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลจะบอกเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bps) ที่เรียกว่าอัตราบอดหรือบอดเรต (baud rate) โดยค่ามาตรฐานที่ใช้กันมีหลายค่าได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที สำหรับความเร็วของการส่งข้อมูล (baud rate) สามารถหาได้จากการหารสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กับ MCS-51

2.1.4 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นั้นภายในชิพจะมี UART อยู่ในตัว ซึ่งเป็นชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ พอร์ตอนุกรมของ MCS-51 จะใช้ขา TXD และ RXD ในการรับส่งข้อมูลโดยขาทั้ง 2 จะอยู่ในพอร์ต 3 คือ P3.1 หรือขา 11 เป็น TXD และ P3.0 หรือขา 10 เป็น RXD พอร์ตอนุกรมของ MCS-51 สามารถทำงานแบบ full duplex ได้ คือสามารถรับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน โดยในการรับส่งข้อมูลจะมีบัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลให้ใช้

Register ที่สำคัญในการรับส่งข้อมูล คือ SBUF และ SCON ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ที่อยู่ใน Special Function Register โดยที่ถ้าเขียนข้อมูลลงไปที่รีจิสเตอร์ Serial Port Buffer (SBUF) จะเป็นการส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรม และถ้าอ่านข้อมูลจาก SBUF นี้จะเป็นการรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม

สำหรับ Serial Port Control Register (SCON) จะเป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ รีจิสเตอร์นี้จะทำหน้าที่ควบคุมและบอกสถานะต่างๆของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม บิต TI เมื่อเป็น “1” แสดงว่าข้อมูลได้ถูกส่งออกพอร์ตไปแล้ว ,บิต RI เมื่อเป็น “1” แสดงว่าได้รับข้อมูลเข้ามาแล้ว ,บิต REN เป็นตัวใช้กำหนดให้มีการรับข้อมูล ,บิต SM0 SM1 และ SM2 เป็นบิตที่

ใช้กำหนดโหมดการทำงาน ,บิต TB8 และ RB8 เป็นบิตตรวจสอบที่ส่งออกและรับเข้าเมื่อใช้งานใน โหมด 2 และ 3

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

รูปที่ 2-7 บิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ SCON

ในการจะรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ทอนุกรมต้องทำการป้อนค่าให้กับรีจิสเตอร์ SCON ก่อน เพื่อกำหนดโหมดการทำงานและลักษณะต่างๆของการรับและส่งข้อมูล

2.1.5 อัตราการส่งข้อมูลของพอร์ทอนุกรม

ในโหมด 0 และ 2 ไม่สามารถกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลได้ โดยในโหมด 0 จะมีอัตรา baud rate= ความถี่ oscillator หารด้วย 12 ในโหมด 1 จะมี 2 ค่าคือ ความถี่ oscillator หารด้วย 32 ที่ SMOD="0" และหารด้วย 64 ที่ SMOD="1" ซึ่งสามารถกำหนดได้ในรีจิสเตอร์ PCON บิตที่ 7

การคำนวณหาอัตราบอดเรตที่กำหนดด้วย Timer 1 สามารถหาได้ด้วยสมการนี้

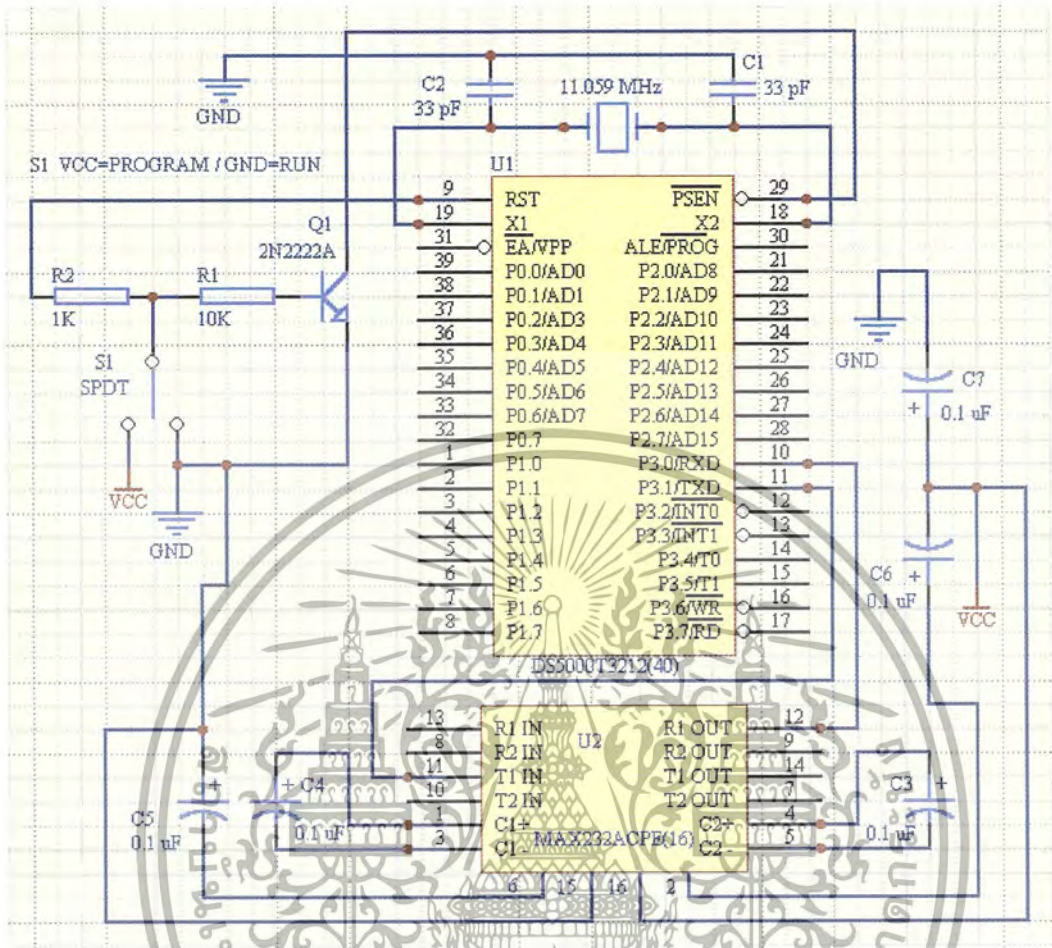
$$Baud Rate = 2^{SMOD} / 32 \times \text{ความถี่ oscillator} / (12 \times [256 - TH1])$$

โดยที่ SMOD เป็นค่าของบิตภายในรีจิสเตอร์ PCON ซึ่งอาจมีค่าเป็น 0 หรือ 1 TH1 ค่าภายในรีจิสเตอร์ TH1 ใช้สำหรับ Reload ค่าของการนับเวลา รูปแบบทั่วไปของการหาค่า Baud Rate ในโหมด 1 และ 3 สามารถหาได้ดังนี้

$$Baud Rate = \text{Timer1 Overflow Rate} / 32$$

ค่า Baud Rate	Crystal	SMOD โหมด	ค่าใน TH1	ค่า Baud Rate ที่ได้	Error
9,600	12.00	1	-7(F9H)	8,923	7%
9,600	11.059	0	-3(FDH)	9,600	0
2,400	11.059	0	-12(F4H)	2,400	0
1,200	11.059	0	-24(E8H)	1,200	0

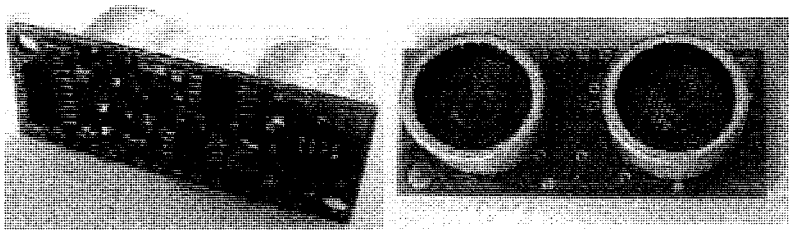
ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนด Baud Rate ค่าต่างๆ



รูปที่ 2-8 การเชื่อมต่อ MCS-51 กับ IC MAX232A เพื่อการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

2.2 การใช้งาน SONAR MODULE

ในการทำโครงงานนี้ได้เลือกใช้ SONAR MODULE รุ่น SRF04 เป็นตัวหาระยะห่างของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ โดยตัว SONAR จะทำการปล่อยคลื่นเสียงออกจากตัวเอง จากนั้นจะรอรับการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเมื่อคลื่นนั้นไปสะท้อนกับวัตถุที่อยู่ใกล้ที่สุดในระยะที่สามารถตรวจสอบได้ ด้วยการวัดค่าเวลาที่ถูกต้องตั้งแต่การปล่อยคลื่นออกไปจนถึงการได้รับคลื่นที่สะท้อนกลับมาทำให้สามารถหาระยะห่างของวัตถุที่อยู่ใกล้ที่สุดที่คลื่นไปกระทบได้

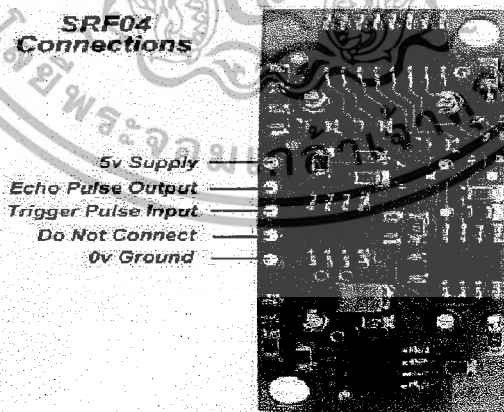


รูปที่ 2-9 ลักษณะภายนอกของ SONAR MODULE รุ่น SRF04

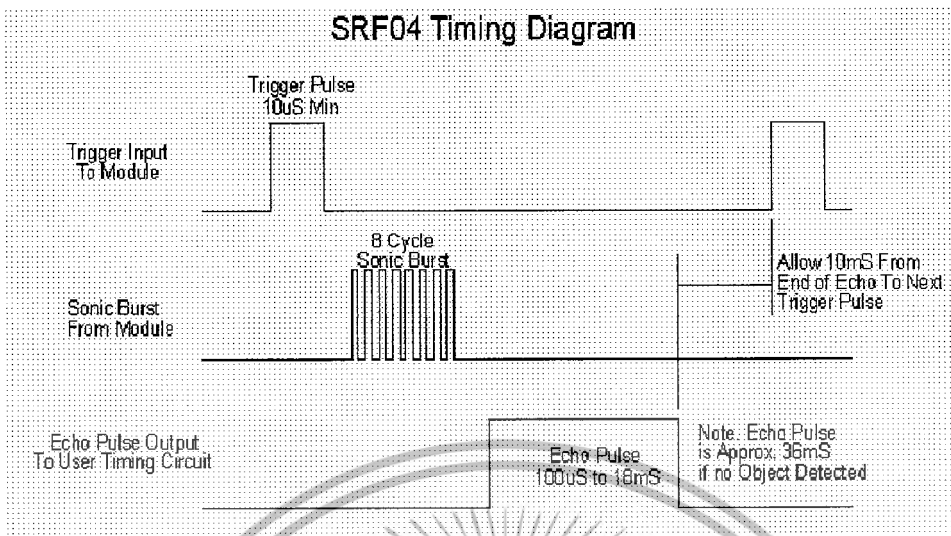
Voltage	5v
Current	30mA Typical / 50mA Max
Frequency	40KHz
Maximum Range	3 m
Minimum Range	3 cm
Sensitivity	Detect a 3cm diameter stick at > 2 m
Input Trigger	10uS Min. TTL level pulse
Echo Pulse	Positive TTL level signal, width proportional to range.
Weight	0.4 oz.
Size	1.75" w x 0.625" h x 0.5" d

ตารางที่ 2-2 Specifications ของ SRF04

SONAR MODULE รุ่น SRF04 นี้จะทำการปล่อยคลื่นเสียงได้ต้องป้อนอินพุต (Trigger Pulse) เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างอย่างน้อย 10 μ s และจะได้คลื่นสะท้อนกลับ (Echo Pulse) ที่มีขนาดความกว้างของพัลส์ที่ 100 μ s ถึง 18 ms ส่วนในการต่อใช้งานนั้นตัว MODULE จะมีขาที่ต่อใช้งาน 5 ขา ดังรูป



รูปที่ 2-10 ขาที่ต่อใช้งาน SONAR MODULE รุ่น SRF04



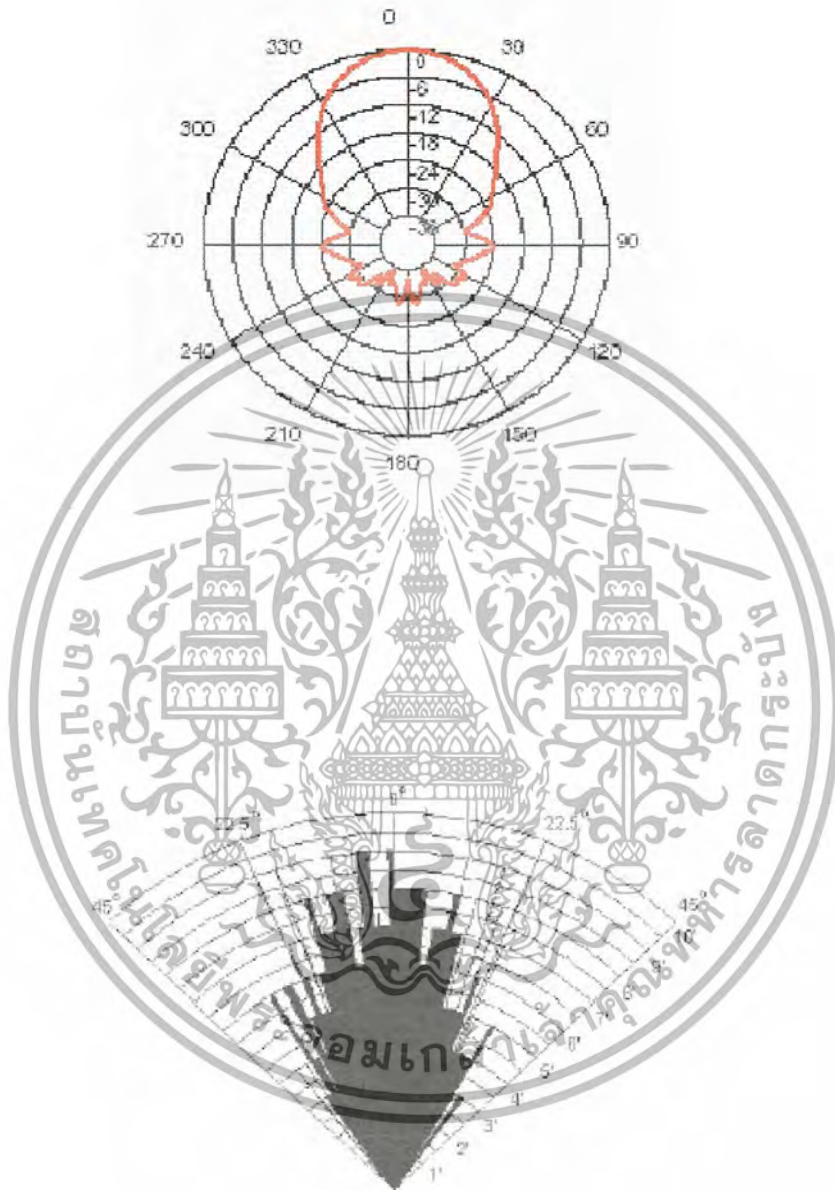
รูปที่ 2-11 Timing Diagram ของ SONAR MODULE รุ่น SRF04

จาก Timing Diagram แสดงให้เห็นว่า SRF04 ต้องการพัลส์ขนาด 10 μ S ในการ trig และเมื่อได้รับการ trig แล้ว SRF04 จะส่งคลื่น ultrasound 40kHz จำนวน 8 cycle ออกไป จากนั้น SRF04 ก็จะรอ Echo pulse จนกว่าเวลาจะผ่านไป 36 ms จะสรุปว่าไม่มีวัตถุขวางอยู่ แต่ถ้ามีวัตถุขวางอยู่ก็จะมีสัญญาณออกมาที่ขา Echo Pulse

2.2.1 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของโซนาร์(BEAM PATTERN)

จากรูป 2-12 แสดงให้เห็นถึงทิศทางและขอบเขตการแพร่กระจายของคลื่นที่ส่งออกจากโซนาร์ โดยคลื่นจะกระจายออกมาในด้านหน้าและกระจายทำมุม 30 องศาเมื่อเทียบกับเส้นตรงแกนกลางที่พุ่งออกจากโซนาร์ ดังนั้นจะสามารถหาระยะวัตถุที่ต้องการทราบได้นั้น จะต้องให้วัตถุอยู่ในระยะการกระจายของคลื่นนี้เท่านั้น

BEAM PATTERN



รูปที่ 2-12 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของ โชนาร์(Beam width)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พื้นฐานการประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพดิจิทัล(Image Processing) เป็นกระบวนการที่นำข้อมูลภาพดิจิทัลเข้ามาทำการประมวลผล และให้ข้อมูลออกมาเป็นข้อมูลภาพตัวใหม่ ซึ่งการประมวลผลส่วนใหญ่จะเน้นในด้านการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น (Image Enhancement) การวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) การคืนสภาพเดิมของรูปภาพ (Image Restoration) การแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ (Image Segmentation) การแปลงภาพ (Image Transforms) และการบีบอัดรูปภาพ (Image Compression) ในหัวข้อนี้เรามีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อสร้างพื้นฐานความเข้าใจเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล ดังนั้นเนื้อหาส่วนใหญ่จึงเป็นเพียงพื้นฐานเบื้องต้น

2.3.1 ประเภทการกระทำการภาพ(Types of Image Operation)

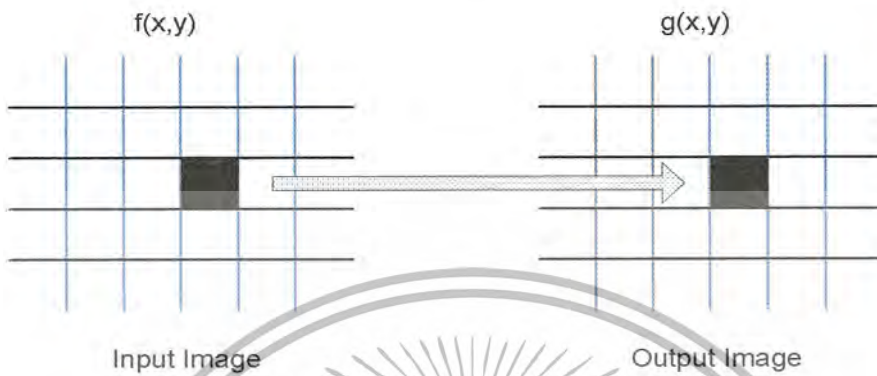
การประมวลผลภาพดิจิทัลจะเป็น กระบวนการที่ทำการ(Operation) ภาพอย่างใดอย่างหนึ่งต่อภาพนำเข้า(Input Image) เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์(Output Image) มีลักษณะของภาพเป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งการกระทำการภาพที่ใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัลมีอยู่มาหลายแบบ ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะและการแยกแยะประเภทของการกระทำการภาพ จะช่วยให้เราสามารถคาดคะเนภาพผลลัพธ์ที่จะได้จากการกระทำการแต่ละแบบ หรือการประมาณความซับซ้อนของการกระทำการภาพที่จะใช้

การกระทำการภาพในการประมวลผลภาพดิจิทัลสามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ 3 ประเภท คือ

1. การกระทำการจุดต่อจุด(Point Operation) การกระทำการแบบนี้ ค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลของภาพผลลัพธ์ จะขึ้นกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลในภาพนำเข้า ณ ตำแหน่งที่สมนัยกันดังรูปที่ 1 ลักษณะการกระทำการภาพประเภทนี้ได้แก่ การปรับความสว่าง หรือ ความคมชัดของภาพดิจิทัล การ บวก ลบ คูณ และหาร ภาพดิจิทัล หรือ การกระทำการทางตรรกศาสตร์ต่างๆ เป็นต้น

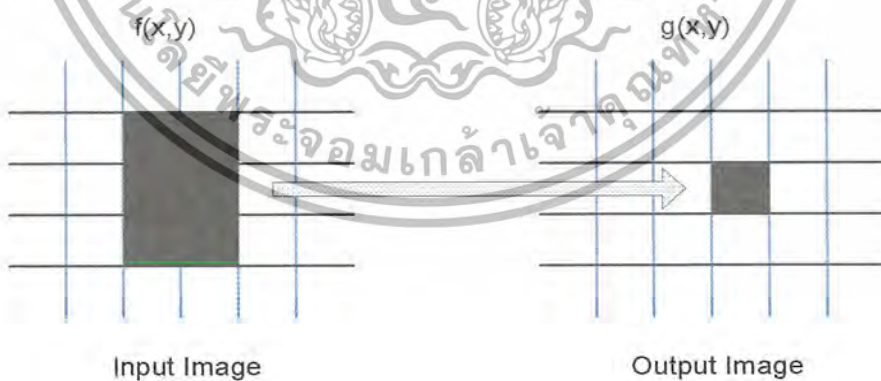
ถ้า $f(x,y)$ และ $g(x,y)$ เป็นภาพนำเข้าและภาพผลลัพธ์ตามลำดับ ค่าของพิกเซล $g(x,y)$ จะมีค่าดังนี้

$g(x,y) = \tau[f(x_i, y_i)]$; เมื่อ τ เป็นการกระทำทางภาพใดๆ



2. การทำการเฉพาะบริเวณ (Local Operation) สำหรับการกระทำแบบนี้ค่าความเข้มแสงของพิกเซลแต่ละจุดในภาพผลลัพธ์จะขึ้นกับค่าความเข้มแสงของกลุ่มพิกเซลที่อยู่บริเวณเดียวกัน (Neighborhood Pixel) ในภาพนำเข้า ดังรูปที่ 2 ลักษณะการกระทำทางภาพประเภทนี้ได้แก่ การหาขอบ (Edge-Detection) การกรองสัญญาณในโดเมนระยะทาง (Spatial Filtering) เป็นต้น ถ้า $f(x,y)$ และ $g(x,y)$ เป็นภาพนำเข้าและภาพผลลัพธ์ตามลำดับ ค่าของพิกเซล $g(x,y)$ จะมีค่าดังนี้

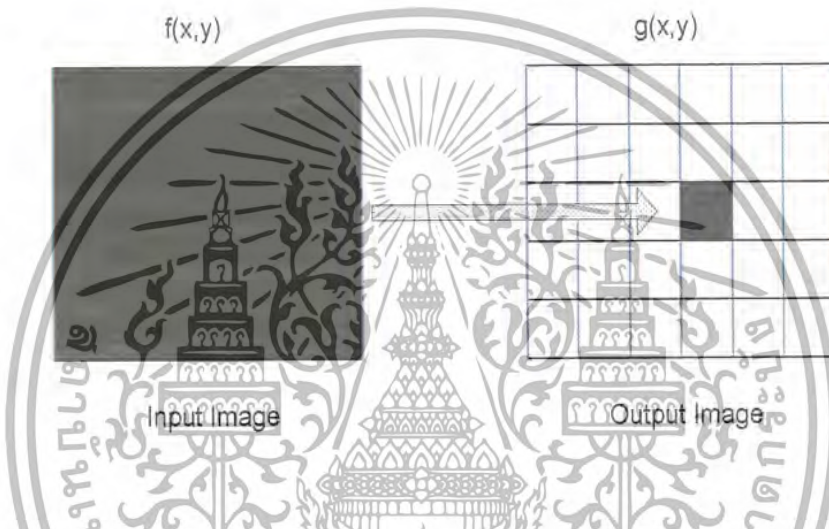
$$g(x,y) = \tau[\text{neighborhood of } f(x,y)]$$



3. การกระทำการทั้งหมด (Global Operation) การกระทำการแบบนี้ ค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลของภาพผลลัพธ์ (Output Image) จะขึ้นกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลทุกตัวในภาพนำเข้า ดังรูปที่ 3 ลักษณะการกระทำการภาพประเภทนี้ได้แก่ การเทรชโฮลดิ้ง (Thresholding) การทำฮิสโทแกรม (Histogram) เป็นต้น

ถ้า $f(x,y)$ และ $g(x,y)$ เป็นภาพนำเข้าและภาพผลลัพธ์ตามลำดับ ค่าของพิกเซล $g(x,y)$ จะมีค่าดังนี้

$$g(x_i,y_i) = \tau[f(x_i,y_i) \text{ for all } i]$$



2.3.2 พื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซล (Basic Relationships between Pixels)

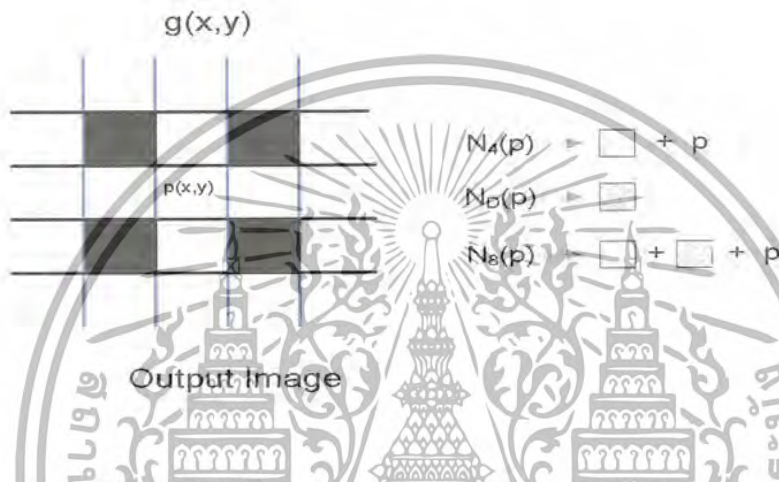
รูปภาพดิจิทัลจะมีคุณลักษณะทั้งในด้านการวัดระยะทางและรูปร่างเชิงเรขาคณิตที่แตกต่างกันเล็กน้อยสำหรับฟังก์ชันทางระนาบสองมิติแบบต่อเนื่องที่ประกอบไปด้วยพิกเซลเรียงต่อกันเป็นระนาบสองมิติ การวัดระยะทางความห่างหรือรูปร่างเชิงเรขาคณิตของวัตถุต่างๆ ในรูปภาพ จะกำหนดด้วยระยะห่างระหว่างพิกเซลและรูปร่างการเชื่อมต่อของพิกเซล ดังนั้นความเข้าใจพื้นฐานในด้านความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซล ดังนั้นความเข้าใจพื้นฐานในด้านความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซล ซึ่งเป็นส่วนประกอบของรูปภาพดิจิทัล จึงมีความจำเป็นที่ต้องกล่าวถึง

2.3.2.1 พิกเซลใกล้เคียง (Pixels Neighbors)

ในการประมวลผลภาพดิจิทัลนั้น มีการกระทำหลายแบบที่ใช้กลุ่มของพิกเซลใกล้เคียงกันเป็นหลัก นอกจากนี้ การเชื่อม (Connectivity) ระหว่างพิกเซลจะทำได้เฉพาะในส่วนของพิกเซลที่อยู่ใกล้เคียงกันเท่านั้น ดังนั้นการเข้าใจคำนิยามของพิกเซลใกล้เคียงสามารถกำหนดได้

เป็นแบบใหญ่ๆ 2 แบบ คือ พิกเซลใกล้เคียงแบบ 4 ซึ่งพิกเซลประชิดจะเรียงตัวกันเป็นรูปกากบาท และพิกเซลใกล้เคียงแบบ 8 ซึ่งพิกเซลประชิดจะเรียงกันอยู่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังรูปที่ 3

ถ้ากำหนดให้พิกเซล p มีตำแหน่งอยู่ที่ (x,y) $N_4(p)$ และ $N_8(p)$ จะเป็นการประชิดพิกเซลแบบ 4 และ 8 ตามลำดับ และ $N_0(p)$ เป็นพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่ง $(x+1,y+1),(x+1,y-1),(x-1,y+1)$ และ $(x-1,y-1)$ ในขณะที่สมาชิกของ $N_4(p)$ จะประกอบไปด้วย p และ พิกเซลที่ตำแหน่ง $(x+1,y)$, $(x-1,y)$, $(x,y+1)$ และ $(x,y-1)$ และสมาชิกของ $N_8(p)$ จะประกอบด้วย p , $N_4(p)$ และ $N_0(p)$



2.3.3 สัญญาณรบกวนในรูปภาพดิจิทัล (Noise in Digital Image)

รูปภาพดิจิทัลที่ได้ในงานจริงมักจะมีคุณภาพลดลงเนื่องจากมีสัญญาณรบกวน (Noise) ปนอยู่ด้วยเสมอ การจำลองลักษณะของสัญญาณรบกวนสำหรับงานทางด้านการประมวลผลภาพดิจิทัล โดยมากจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันการกระจาย (Distribution Functions) ทางสถิติต่างๆ ซึ่งในทางปฏิบัติสัญญาณรบกวนส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ ในขั้นตอนการเปลี่ยนจากสัญญาณแสงมาเป็นสัญญาณ ไฟฟ้า ดังนั้นสมมติฐานของสัญญาณรบกวนที่นิยมใช้กันจะเป็นสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian) แบบเสมอ (Uniform) และแบบจุด (Impulse)

สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian Noise) จะเป็นสัญญาณรบกวนที่มีการกระจายในลักษณะปกติ (Normal) ซึ่งลักษณะการกระจายของสัญญาณรบกวนจะเป็นฟังก์ชันของค่าระดับเทา ดังสมการ

$$p(g) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(g-m)^2}{2\sigma^2}}$$

เมื่อ g เป็นค่าระดับเทา

m เป็นค่าเฉลี่ย

σ^2 เป็นค่าความแปรปรวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแบบเสมอ (Uniform Noise) จะเป็นสัญญาณรบกวนที่มีการกระจายในลักษณะสม่ำเสมอ ซึ่งจะเป็นไปตามสมการ

$$p(g) \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a \leq g \leq b \\ 0 & elsewhere \end{cases}$$

และสัญญาณรบกวนแบบจุด (Impulse Noise) จะเป็นสัญญาณรบกวนที่พิกเซลเป็นจุดๆ ไป โดยจะเปลี่ยนค่าความเข้มแสงของพิกเซล ณ ตำแหน่งหนึ่งๆ ให้มีค่าแตกต่างไปจากพิกเซลข้างเคียง ซึ่งค่าความเข้มแสงที่จำลองกันโดยมาก จะเป็นในลักษณะความเข้มแสงสีขาวและดำ (Salt and Pepper) นั่นคือรูปภาพดิจิทัลจะถูกทำลายโดยพิกเซลบางตำแหน่งจะถูกเปลี่ยนเป็นจุดดำ หรือ จุดขาว โดยพิกเซลรบกวน (Noise Pixels) สัญญาณรบกวนแบบนี้จะมีฟังก์ชันการกระจายตามสมการ

$$p(g) \begin{cases} A & g = a \\ B & g = b \end{cases}$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าระดับเทาเดิม

A และ B เป็นค่าระดับเทาใหม่

2.3.4 การทำคอนโวลูชัน (Convolution)

การทำคอนโวลูชันในเชิงของการประมวลผลภาพดิจิทัล จะเป็นการกระทำระหว่างภาพนำเข้า $f(x,y)$ ที่มีขนาด $N*N$ เมื่อ N เป็นเลขจำนวนเต็มใดๆกับ มาส์ค (Mask) $m(x,y)$ ซึ่งจะเป็นภาพที่มีขนาด $M*M$ เมื่อ M เป็นเลขจำนวนเต็มใดๆ (ปกติจะเป็นเลขคี่) และมีขนาดน้อยกว่า N มากๆ เช่น $3*3, 5*5, 7*7, 9*9$ หรือ $11*11$ เป็นต้น ผลลัพธ์ความเข้มแสงใหม่ที่ได้จากการทำคอนโวลูชันจะถูกเก็บไว้ในภาพผลลัพธ์ $g(x,y)$ ซึ่งขั้นตอนการทำคอนโวลูชันจะเป็นไปตามสมการ

$$g(x,y) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} f(i,j)m(x-i,y-u)$$

จากสมการจะเห็นว่า การทำคอนโวลูชันจะมีวิธีการเป็นขั้นตอนดังนี้

1. กลับ (Flip) มาส์คเทียบกับตำแหน่งจุดตรงกลางของมาส์ค เมื่อใช้มาส์คมีขนาดเป็นเลข

จำนวนเต็มคี่ ซึ่งโดยปกติมาส์คที่ใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัลจะมีลักษณะสมนัยทั้งในแนว x และ y ทำให้มาส์คที่ได้จะมีลักษณะเหมือนเดิม ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงมักจะถูกละไว้และการกำหนดมาส์คจะกำหนดในลักษณะที่เป็นมาส์คหลังจากการกลับแล้ว

2. เลื่อนมาส์คให้ไปทาบบภาพนำเข้าโดยให้จุดตรงกลางของมาส์คตรงกับพิกเซล $f(x,y)$
3. ทำการคูณค่าความเข้มแสงระหว่างพิกเซลของมาส์คและพิกเซลของภาพนำเข้าที่ ณ ตำแหน่งเดียวกันแบบจุดต่อจุด
4. บวกผลคูณที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 ทั้งหมด และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใส่เป็นค่าความเข้มสว่างของผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งเดียวกับพิกเซลของภาพนำเข้า นั่นคือ $g(x,y)$
5. เลื่อนตำแหน่งไปที่พิกเซลถัดไปของภาพนำเข้าและทำซ้ำตั้งแต่ ขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 จนกระทั่งครบพิกเซลทุกตัวในภาพนำเข้า

ตัวอย่างเช่น ถ้ามีมาส์คขนาด 3×3 ที่มีค่า ณ ตำแหน่งต่างๆหลังจากทำการกลับแล้วดังนี้

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{bmatrix}$$

เมื่อนำมาส์คนี้ไปทาบบพิกเซล p ณ. ตำแหน่ง (x,y) ของภาพนำเข้า $f(x,y)$ ผลของการทำคอนโวลูชัน จะได้ค่าความเข้มแสงของพิกเซล q ณ. ตำแหน่งเดียวกันของภาพผลลัพธ์ $g(x,y)$ มีค่าดังนี้

$$q = g(x,y) = Af(x-1,y-1) + Bf(x-1,y) + Cf(x-1,y+1) + Df(x,y-1) + Ef(x,y) + Ff(x,y+1) + Gf(x+1,y-1) + Hf(x+1,y) + If(x+1,y+1)$$

จากนั้นมาส์คจะเลื่อนไปที่ตำแหน่งถัดไปทางขวามือ นั่นคือ $f(x,y+1)$ โดยจะทำไปเรื่อยๆจนครบทุกพิกเซลในภาพนำเข้า

จากขั้นตอนการคอนโวลูชันจะเห็นได้ว่า ถ้าเราต้องการให้มาส์คทุกตัวทาบบลงบนภาพนำเข้าพอดี เราจะต้องข้ามไม่ทำการคอนโวลูชันพิกเซลแถวแรกๆหรือแถวท้ายๆและหลักแรกๆหรือหลักท้ายๆซึ่งจำนวนที่หายไปจะขึ้นกับขนาดของมาส์ค ตัวอย่างเช่น มาส์คขนาด 3×3 การทำคอนโวลูชันจะไม่ทำกับพิกเซลแถวแรกและแถวสุดท้ายและในหลักแรกและหลักสุดท้าย การคอนโวลูชันเป็นพื้นฐานของการกระทำทางการประมวลผลดิจิทัลหลายประเภทในโดเมนเวลา โดยเฉพาะการกรองสัญญาณภาพ (Image Filtering) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.3.5 การกรองสัญญาณภาพในโดเมนเวลา (Image Filtering in Time Domain)

การกรองสัญญาณภาพ (Image Filtering) ในโดเมนเวลาเป็นเทคนิคพื้นฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับงานด้านการประมวลผลสัญญาณภาพ การกรองสัญญาณภาพเป็นเทคนิคแบบหนึ่งของการปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) ที่มีจุดมุ่งหมายในการกำจัดสัญญาณความถี่ต่ำ ความถี่สูงหรือความถี่ของสัญญาณในช่วงหนึ่งๆ การกรองสัญญาณภาพทำได้ทั้งในโดเมนเวลาหรือระยะทางและในโดเมนความถี่ แต่การกรองสัญญาณภาพทำได้ทั้งในโดเมนเวลาจะทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการกรองสัญญาณในโดเมนความถี่ หลักการของการกรองสัญญาณภาพในโดเมนเวลาเป็นการกระทำแบบเฉพาะบริเวณแบบหนึ่งที่มีพื้นฐานการทำงานเป็นกระบวนการคอนโวลูชันภาพต้นฉบับกับมาสก์แบบต่างๆ โดยที่ลักษณะของมาสก์ที่ใช้จะเป็นตัวกำหนดผลลัพธ์ที่จะได้ ซึ่งการกรองสัญญาณภาพในโดเมนเวลาจะทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการกรองสัญญาณโดเมนเวลาเป็นการกระทำแบบเฉพาะบริเวณแบบหนึ่งที่มีพื้นฐานการทำงานเป็นกระบวนการคอนโวลูชันภาพต้นฉบับกับมาสก์แบบต่างๆ โดยที่ลักษณะของมาสก์ที่ใช้จะเป็นตัวกำหนดผลลัพธ์ที่จะได้ ซึ่งการกรองสัญญาณภาพในโดเมนเวลาสามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ 3 ประเภท คือ การทำภาพให้เรียบ (Image Smoothing) การทำภาพให้คมชัด (Image Sharpening) และตัวหาขอบ (Edge Detector)

การทำภาพให้เรียบมีวัตถุประสงค์ในการกำจัดสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นสัญญาณประเภทความถี่สูง โดยพื้นฐานอาศัยหลักการทำการเฉลี่ยค่าความเข้มแสงเฉพาะบริเวณหรืออีกนัยหนึ่งคือเป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low-pass Filtering) ผลกระทบของการทำภาพให้เรียบก็คือภาพต้นฉบับจะพร่ามัว (Blurring Effect) มีความคมชัดน้อยลง เนื่องจากขอบของวัตถุในรูปภาพจะเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความเข้มแสงและจัดว่าเป็นสัญญาณความถี่สูงจะถูกกรองออกไป ดังนั้นเทคนิคการทำภาพให้เรียบส่วนใหญ่จะเน้นที่การกำจัดสัญญาณรบกวนแต่จะไม่ทำลายของวัตถุในภาพมาสก์ที่ใช้ในการทำภาพให้เรียบจะมีลักษณะที่พิกเซลทุกตำแหน่งจะมีค่าเป็นบวกหมด ตัวอย่างเช่น

$$\text{มาสก์ ค่าเฉลี่ย} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{มาสก์ แบบเกาส์เซียน} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{หรือ} \quad \frac{1}{32} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & 12 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{เป็นต้น}$$

โดยทั่วไปมาสค์แบบเกาส์เซียนจะเป็นที่นิยมใช้มากกว่าแบบค่าเฉลี่ย เนื่องจากว่าจะมีผลกระทบต่อการพรางมัว (Blur) ของภาพต้นฉบับน้อยกว่า และมีได้หลายแบบ โดยการกำหนดที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกเซลทั้งหมดในมาสค์ ซึ่งตัวกระทำเรียบแบบเกาส์เซียนสองมิติ $G(x,y)$ จะมีค่าตามสมการ

$$G(x,y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

นอกจากนี้มาสค์แบบเกาส์เซียนจะเหมาะสำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีการกระจายแบบเกาส์เซียน ซึ่งเชื่อว่าเป็นสัญญาณที่เกิดกับปรากฏการณ์ตามธรรมชาติต่างๆ

การทำภาพเรียบหรือการกำจัดสัญญาณรบกวนยังสามารถใช้มาสค์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นหรือมาสค์แบบไม่เชิงเส้นอีกหลายประเภท เช่น ค่ามัธยฐาน (Median) ค่าโหมด (Mode) หรือการหาค่าเฉลี่ยแบบไม่เชิงเส้น เป็นต้น

การทำภาพให้ชัด และ ตัวหาขอบจะเป็นการกรองสัญญาณใน โดเมนเวลา ที่ใช้มาสค์ที่เป็นประเภทการหาค่าอนุพันธ์ (Derivatives) ของพิกเซลเฉพาะบริเวณ โดยที่การทำให้ภาพชัดขึ้นจะเป็นการกรองสัญญาณใน โดเมนเวลา ที่ทำให้บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงในรูปภาพเด่นชัดขึ้น นั่นคือทำงานในลักษณะเป็นการกรองสัญญาณความถี่สูง (High-pass Filtering) ส่วนตัวหาของจะเป็นตัวกระทำที่ต้องการหาตำแหน่งขอบของวัตถุ ที่อยู่ในภาพดิจิทัล มาสค์ของการทำภาพให้ชัดและตัวหาขอบ จะมีลักษณะคล้ายกันคือค่าของพิกเซลในมาสค์จะมีทั้งบวกและลบ แต่จะมีลักษณะการวางตัวของค่าที่เป็นบวกและลบต่างกันกล่าวคือ มาสค์การทำภาพให้ชัดจะมีค่าเป็นบวกบริเวณใกล้ๆกับจุดตรงกลางมาสค์ และจะมีค่าเป็นลบอยู่รอบๆดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$\text{มาสค์ ค่าเฉลี่ย} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \text{ หรือ } \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\text{มาสค์ แบบเกาส์เซียน} = \begin{bmatrix} -2 & 1 & -2 \\ 1 & 4 & 1 \\ -2 & 1 & -2 \end{bmatrix} \text{ หรือ } \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -1 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \text{ เป็นต้น}$$

มาสค์ของตัวหาขอบจะมีวัตถุประสงค์ในการหาว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างแบบฉับพลันในบริเวณใด ซึ่งถ้าพบก็หมายความว่าบริเวณนั้นๆอาจจะเป็นขอบของวัตถุ

ดังนั้นตัวอย่างของมาส์จะเป็นดังต่อไปนี้

$$\text{โซเบล(Sobel)} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \text{ หรือ } \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\text{พีวิท(Prewitt)} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ หรือ } \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

2.4 หลักการทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นทรานส์ดิวเซอร์แรงบิดซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษคือแรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดของเพลลาของดีซีมอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้แสดงได้ในรูปที่ 2.13 ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟลักซ์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K \phi I \quad (2-1)$$

เมื่อ T คือแรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์

I คือกระแสเป็นแอมแปร์

และ K คือตัวคงที่ ดังนั้นแรงบิดของเพลลาจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เตจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลลาของมอเตอร์และด้านารไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลลาของมอเตอร์

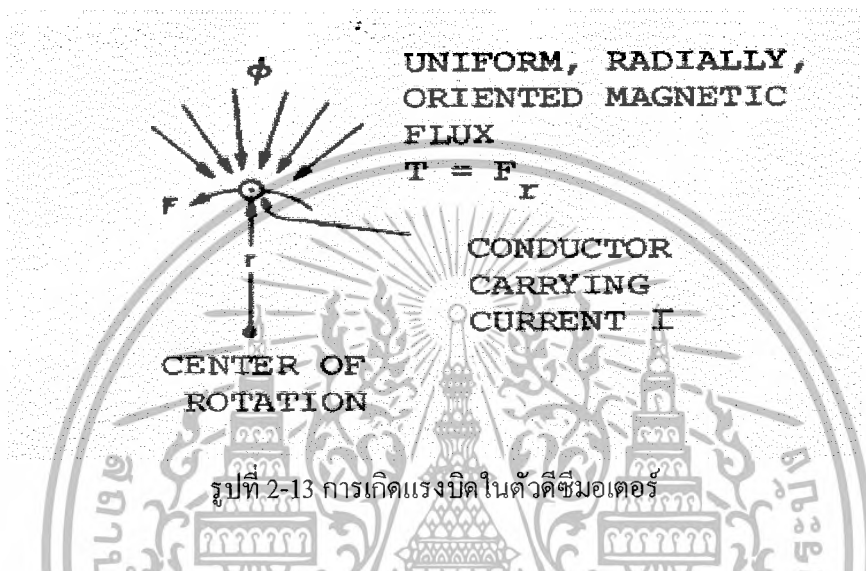
$$E = K \phi \omega \quad (2-2)$$

เมื่อ E คือ โวลต์เตจย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็น โวลต์

ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์

ω คือ ความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที

สมการ (2-1) และ (2-2) เป็นสมการที่แสดงถึงหลักการทํางานพื้นฐานของคีมอเตอร์

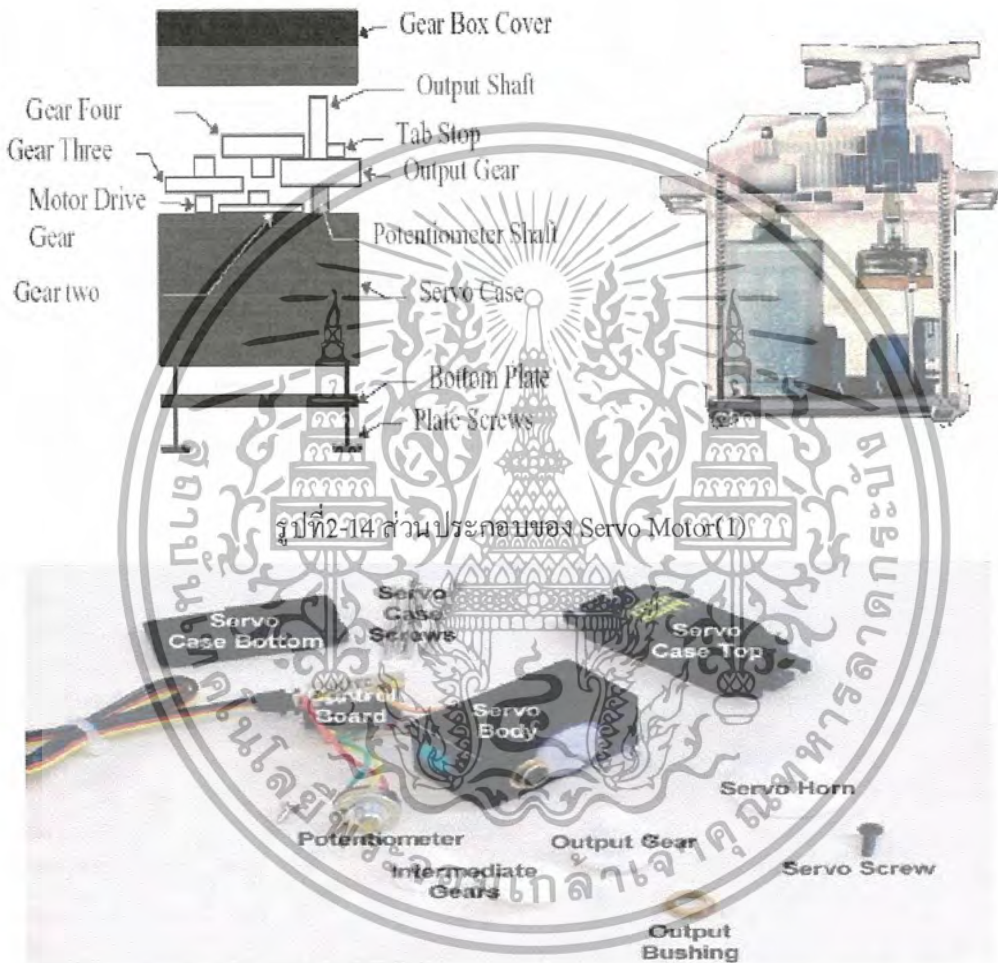


รูปที่ 2-13 การเกิดแรงบิดในตัวคีมอเตอร์

2.5 ทฤษฎี Servo motor

servo motor คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับ ชุดเกียร์ และ ส่วนควบคุมต่างๆ ไว้ใน โมดูลเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อที่ใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC,GND และสายสัญญาณควบคุม(Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวา ได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียวโดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมจะเป็นสัญญาณ พัลส์วามอด (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ จะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ให้แรงบิดสูง กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุมด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อ วงจรขับ (Driver) อื่นๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่ง หรือ ทิศทางองศาที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณ ความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่เซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้แค่เพียงประมาณ 180 องศา หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น หรือบางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210 องศา แต่จะไม่สามารถหมุนเป็น วงรอบได้เนื่องจาก โครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่ง การหมุนของมอเตอร์ และ ตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัว

ด้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้น เซอร์โวมอเตอร์จึงถูกออกแบบให้หมุนได้ประมาณ 180 องศา หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดกับตัวด้านทานปรับค่าได้ แต่ถ้าหากเราต้องการให้มอเตอร์หมุนเป็นวงรอบ (360°) นั้นก็สามารถทำได้ โดยจะต้องทำการปรับแต่ง (Modify) คัดแปลงชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์ ซึ่งวิธีการต่างๆ จะได้กล่าวไว้ภายหลัง

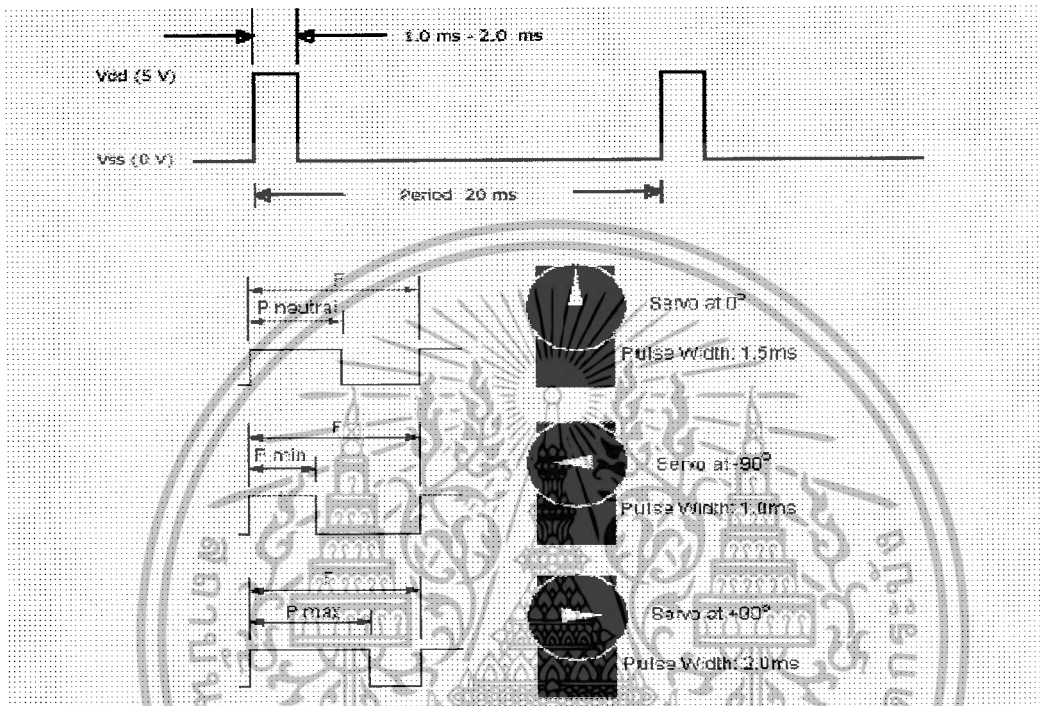


รูปที่ 2-15 ส่วนประกอบของ Servo Motor(2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 หลักการทำงานของ Servo Motor

การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ทำได้โดยการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูป คือ



รูปที่ 2-16 ลักษณะ Pulse ที่จ่ายให้ Servo motor

จากรูปที่ 2-16 จะแสดงให้เห็นลักษณะของ Pulse ที่จ่ายให้ Servo motor จะทำให้ได้ผลดังนี้

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือ จุดกึ่งกลางของมอเตอร์
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม -90 องศา หรือ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม +90 องศา หรือ ในทิศทางทวนตามนาฬิกา

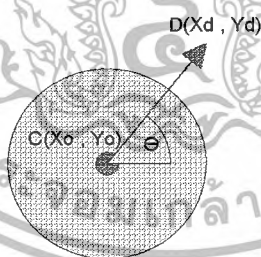
***หมายเหตุ** ค่าความกว้างพัลส์ และ ระยะเวลาการหมุนของมอเตอร์ที่อธิบายด้านบน นั้นเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้นทั้งนี้ระยะเวลาหมุนและขนาดของพัลส์ที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแต่ละยี่ห้ออาจจะไม่เท่ากัน ดังนั้นในการใช้งานจึงควรศึกษารายละเอียดของมอเตอร์ในแต่ละรุ่นที่นำมาใช้ ซึ่งโดยปกติแล้วรายละเอียดต่างๆ มักจะมีติดมากับตัวมอเตอร์นั้นๆ อยู่แล้ว

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆ นั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อน สัญญาณพัลส์เป็นระดับความกว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุด ทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้า ต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม -45 องศา เราก็จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และ สัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้

โดยหลักการก็คือ จะอาศัยการเปรียบเทียบช่วงเวลาของความกว้างพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ทางขาสัญญาณควบคุมกับค่าเวลาของวงจร RC ภายในบอร์ดควบคุมในตัวของมอเตอร์ ซึ่งค่าเวลาของวงจร RC นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามการหมุนของมอเตอร์ เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าจะถูกยึดติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งการหมุนของมอเตอร์จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) เปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยในขณะที่เราป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุมสัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเวลาของวงจร RC หากค่าทั้ง 2 ไม่เท่ากันมอเตอร์ก็จะหมุนทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งค่าเวลาความกว้างพัลส์ของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนเท่ากับสัญญาณพัลส์ทางขาควบคุม (Control line) มอเตอร์จึงจะหยุดหมุน

2.6 การเคลื่อนที่ของ Object

Object ที่นำมาแทนเป็นตัว Robot เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของ Robot ในโปรแกรมจะแทน Robot ด้วย Object วงกลมและเส้นตรงเพื่อใช้บอกทิศทางและแทนตำแหน่งของ Robot ดังรูป



รูปที่ 2-17 สัญลักษณ์ของ object ที่ใช้แทน Robot

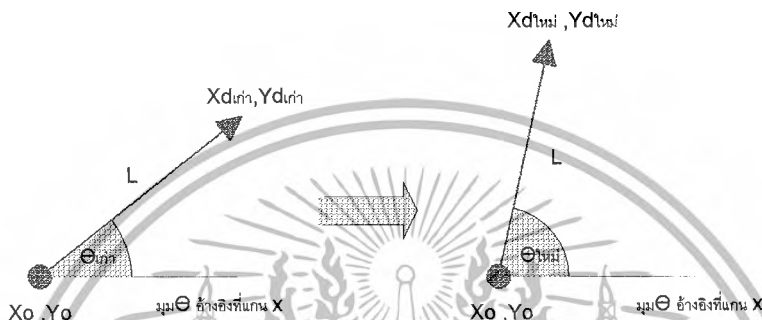
จากรูป วงกลมจะใช้แทนตัว Robot และบ่งบอกตำแหน่งของ Robot ด้วยเส้นตรง CD ในการเคลื่อนที่ที่จะเคลื่อนที่ตามระยะทางที่กำหนดในทิศทางของเส้นตรง CD ในการควบคุมการเคลื่อนที่ที่ต้องใช้ parameter 2 ค่าคือ ระยะทางในการเคลื่อนที่(R) และมุมของเส้นตรง CD เทียบกับแกน x (θ) ที่ใช้ในการหาทิศทางในการเคลื่อนที่ ในการเคลื่อนที่นั้นจะพิจารณาเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเส้นตรงและ ส่วนของวงกลม

การควบคุมการเคลื่อนที่ของเส้นตรงมี 2 ลักษณะคือ การเคลื่อนเส้นตรงไปในทิศทางของลูกศร และการหมุนปลายลูกศรเพื่อเปลี่ยนทิศทาง

- การหมุนปลายลูกศรทำได้โดยใช้สมการ

$$Xd_{ใหม่} = L \cdot \cos(\theta_{ใหม่}) + X_o$$

$$Yd_{ใหม่} = L \cdot \sin(\theta_{ใหม่}) + Y_o$$



รูปที่ 2- 18 การหมุนทิศทางของเส้นตรง

โดยที่ L

คือ ความยาวของเส้นตรง

θ คือ มุมระหว่างเส้นตรงโดยวัดจากแกน x

$Xd_{ใหม่}$ คือ ค่าพิกัด x ใหม่ที่ได้เมื่อมีการหมุนลูกศร(หมุนตัว Robot)

$Yd_{ใหม่}$ คือ ค่าพิกัด y ใหม่ที่ได้เมื่อมีการหมุนลูกศร(หมุนตัว Robot)

X_o คือ ค่าพิกัด x ที่จุดกำเนิดของเส้นตรง

Y_o คือ ค่าพิกัด y ที่จุดกำเนิดของเส้นตรง

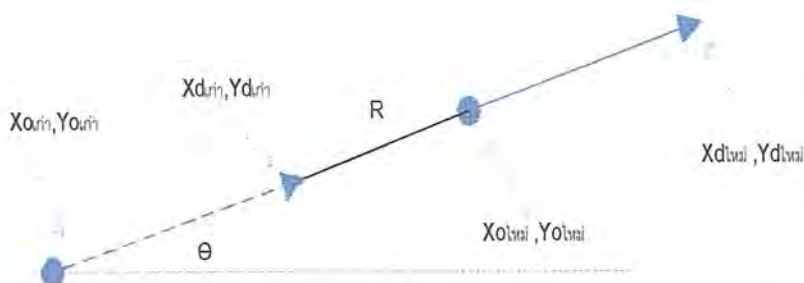
- การเคลื่อนเส้นตรงไปในทิศทางของลูกศรสามารถทำได้โดยใช้สมการ

$$Xd_{ใหม่} = R \cdot \cos(\theta) + Xd_{เก่า}$$

$$Yd_{ใหม่} = R \cdot \sin(\theta) + Yd_{เก่า}$$

$$Xo_{ใหม่} = R \cdot \cos(\theta) + Xo_{เก่า}$$

$$Yo_{ใหม่} = R \cdot \sin(\theta) + Yo_{เก่า}$$



รูปที่ 2-19 การเคลื่อนที่ของเส้นตรงตามทิศทางของลูกศร

การเคลื่อนที่ของรูปร่างกลมจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของเส้นตรง CD ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถทำได้โดยการใช้สมการ

$$Xoใหม่ = R \cdot \cos(\theta) + Xoเก่า$$

$$Yoใหม่ = R \cdot \sin(\theta) + Yoเก่า$$



รูปที่ 2-20 การเคลื่อนที่ของวงกลมตามทิศทางของลูกศร

โดยที่	R	คือ	ระยะทางในการเคลื่อนที่
	θ	คือ	มุมระหว่างเส้นตรง โดยวัดจากแกน x
	Xxใหม่	คือ	ค่าพิกัด x ใหม่ ที่ได้เมื่อมีการเคลื่อนที่เป็นระยะ R
	Yxใหม่	คือ	ค่าพิกัด y ใหม่ ที่ได้เมื่อมีการเคลื่อนที่เป็นระยะ R
	Xxเก่า	คือ	ค่าพิกัด x เก่าก่อนที่จะมีการเคลื่อนที่
	Yxเก่า	คือ	ค่าพิกัด y เก่าก่อนที่จะมีการเคลื่อนที่

2.6.1 การแสดงระยะห่างระหว่างวัตถุที่พบกับ Robot object

จากการใช้ SONAR ทำให้ได้ระยะที่ใกล้ที่สุดจากวัตถุที่คขวางกับตัว Robot ดังนั้นสามารถแสดงระยะห่างเป็นลักษณะของรูปภาพได้ ในที่นี้จะทำการหาตำแหน่งของวัตถุที่คขวางได้จากสมการดังนี้

$$X_s = S \cdot \cos(\theta) + X_0$$

$$Y_s = S \cdot \sin(\theta) + Y_0$$



รูปที่ 2-21 การแสดงระยะของวัตถุที่คขวาง

โดยที่	S	คือ	ระยะห่างระหว่างตัว Object กับวัตถุที่คขวาง
	θ	คือ	มุมระหว่างทิศทางของ object กับแกน x
	X_s	คือ	ค่าพิกัด x ของวัตถุที่คขวางที่ระยะ S
	Y_s	คือ	ค่าพิกัด y ของวัตถุที่คขวางที่ระยะ S

เมื่อได้ศึกษาทฤษฎีจากบทที่ 2 แล้วจะนำไปใช้กับขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานและการออกแบบการทดลอง โดยจะแสดงในบทที่ 3

บทที่ 3

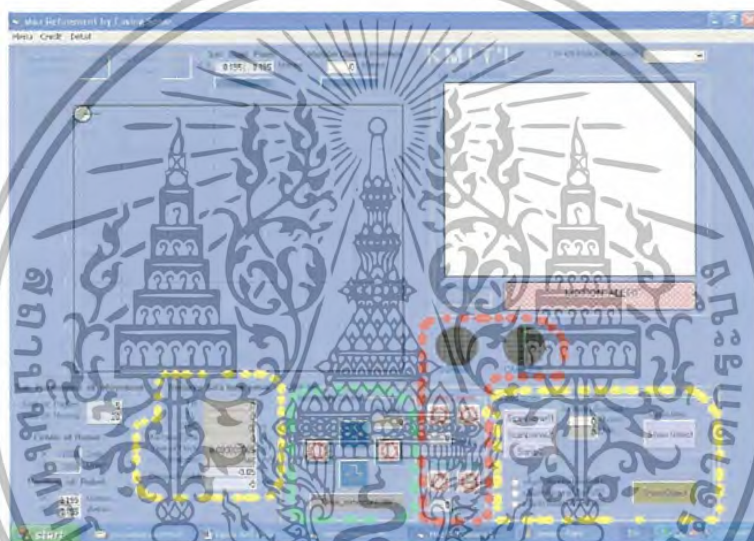
การออกแบบและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบการทำงานของระบบ

3.1.1 ส่วน User Control and Display

การทำงานในส่วนนี้จะประกอบด้วยส่วนหลัก 2 ส่วนคือ

- ส่วน โปรแกรมที่ใช้แสดงผลและควบคุมการทำงานติดต่อกับผู้ใช้



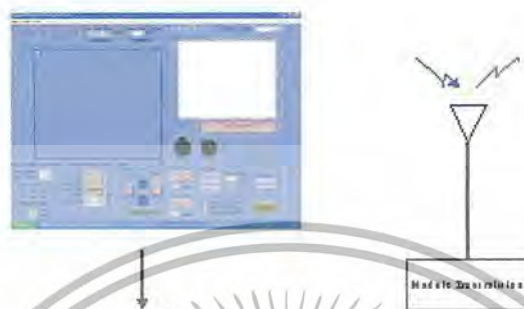
รูปที่ 3-1 Application User Control and Display

การออกแบบในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็นส่วนๆ โดยบริเวณตารางใหญ่จะเป็นบริเวณพื้นที่ที่จำลองขึ้นมาในการสำรวจ บริเวณสี่เหลี่ยมทางด้านซ้ายบนจะเป็นส่วนที่ใช้แสดงภาพจากกล้องและการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว บริเวณสี่เหลี่ยมจะเป็นส่วนใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ บริเวณสี่เหลี่ยมจะเป็นส่วนควบคุมและแสดงผลของมอเตอร์เซอร์โว และบริเวณสี่เหลี่ยมจะเป็นส่วนควบคุมและแสดงผลของระบบโซนาร์

- ส่วนของคอมพิวเตอร์และโมดูลเครื่องส่ง

การทำงาน คือ ส่วนของโปรแกรมจะทำการส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม และส่งผ่านโมดูลเครื่องส่ง เพื่อไปควบคุม Device Control Unit ให้ทำงานตามที่ต้องการ และในขณะเดียวกันก็จะทำการรับข้อมูลจาก Device Control Unit เข้ามาเพื่อที่จะให้โปรแกรมทำการ

ประมวลผลและคำนวณค่าต่างๆที่ได้มาจาก Device Control Unit เพื่อจะแสดงผลออกมาในรูปของแผนที่ การตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว และตำแหน่งของสิ่งกีดขวางต่างๆ

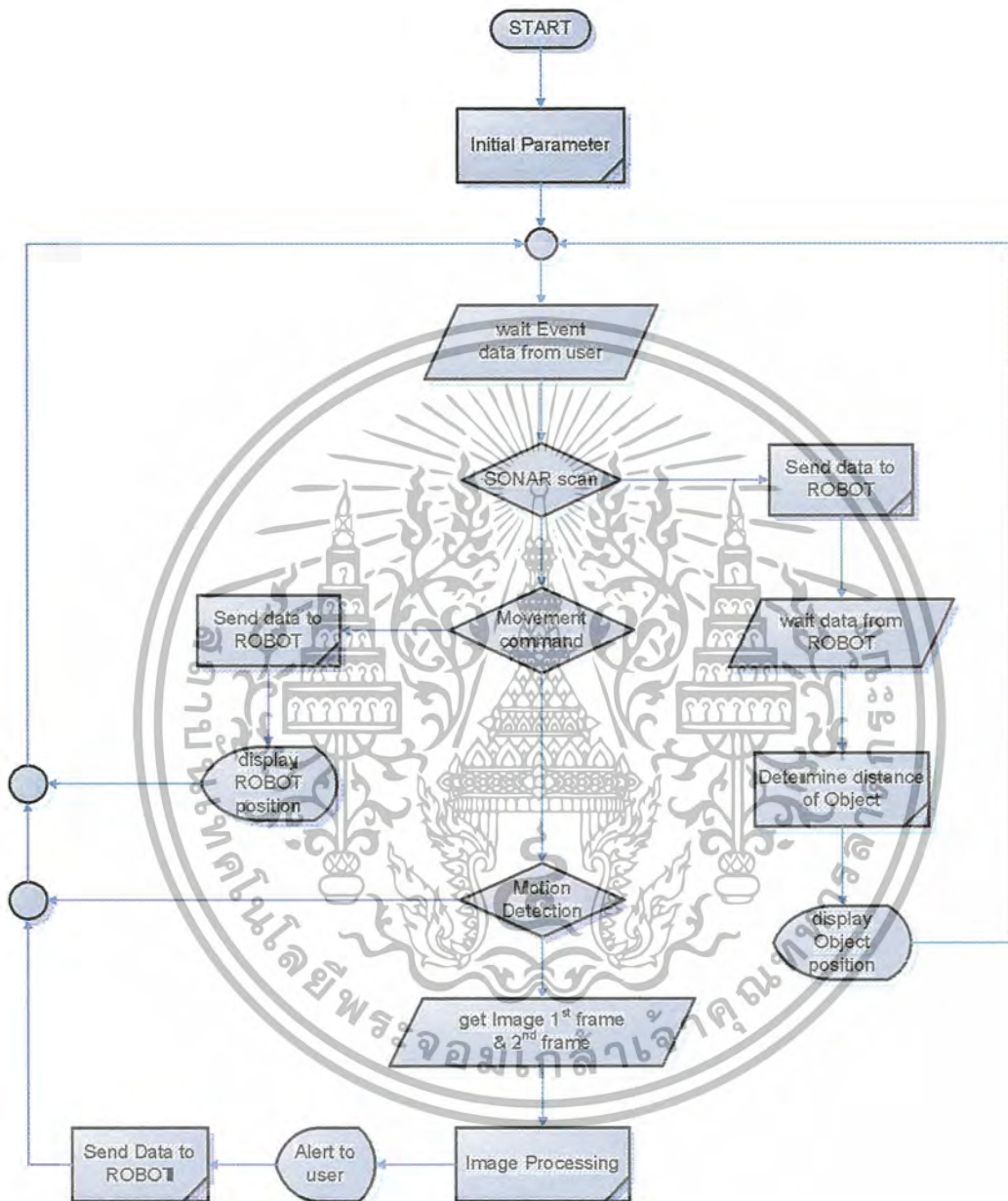


รูปที่ 3-2 Block User Control and Display

ในส่วนนี้การเขียนโปรแกรมการทำงานจะแสดงตามรายละเอียดใน flow chart โดยสรุปได้ดังนี้

- ทำการกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆให้กับโปรแกรม
- รอรับ Input จาก User โดย User จะเป็นคนสั่งให้โปรแกรมทำอะไร
- ทำการตรวจเช็คค่า Input ที่รับมาเข้าเงื่อนไขอะไร เช่น เป็นเงื่อนไขในการเคลื่อนที่ Robot หรือสั่ง Scan Sonar
- ทำการส่งข้อมูลออกไปที่ RF Module ผ่านทางพอร์ทอนุกรม
- รอรับข้อมูลจาก Device Control Unit และแสดงผล

Flow Chart ของส่วน User Control & Display Unit แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3-3 Flow Chart User Control & Display Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ส่วน Device Control Unit

เนื่องจากส่วนนี้จะทำการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยจะทำงานสัมพันธ์กับส่วน User Control and Display Unit ส่วนนี้จะทำการรับข้อมูลมาแล้วนำค่าที่รับได้มาทำการประมวลผลตามกระบวนการที่ได้โปรแกรมไว้ เพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ และในขณะที่เดียวกันก็จะทำการส่งสัญญาณและข้อมูลต่างๆ กลับไปยังส่วน User Control and Display Unit โดยจะติดต่อได้ทั้งแบบเชื่อมต่อด้วยสายและแบบไร้สาย โดยใช้หลักการสื่อสารผ่านทางพอร์ทอนุกรม



รูปที่ 3-4 Device Control Unit

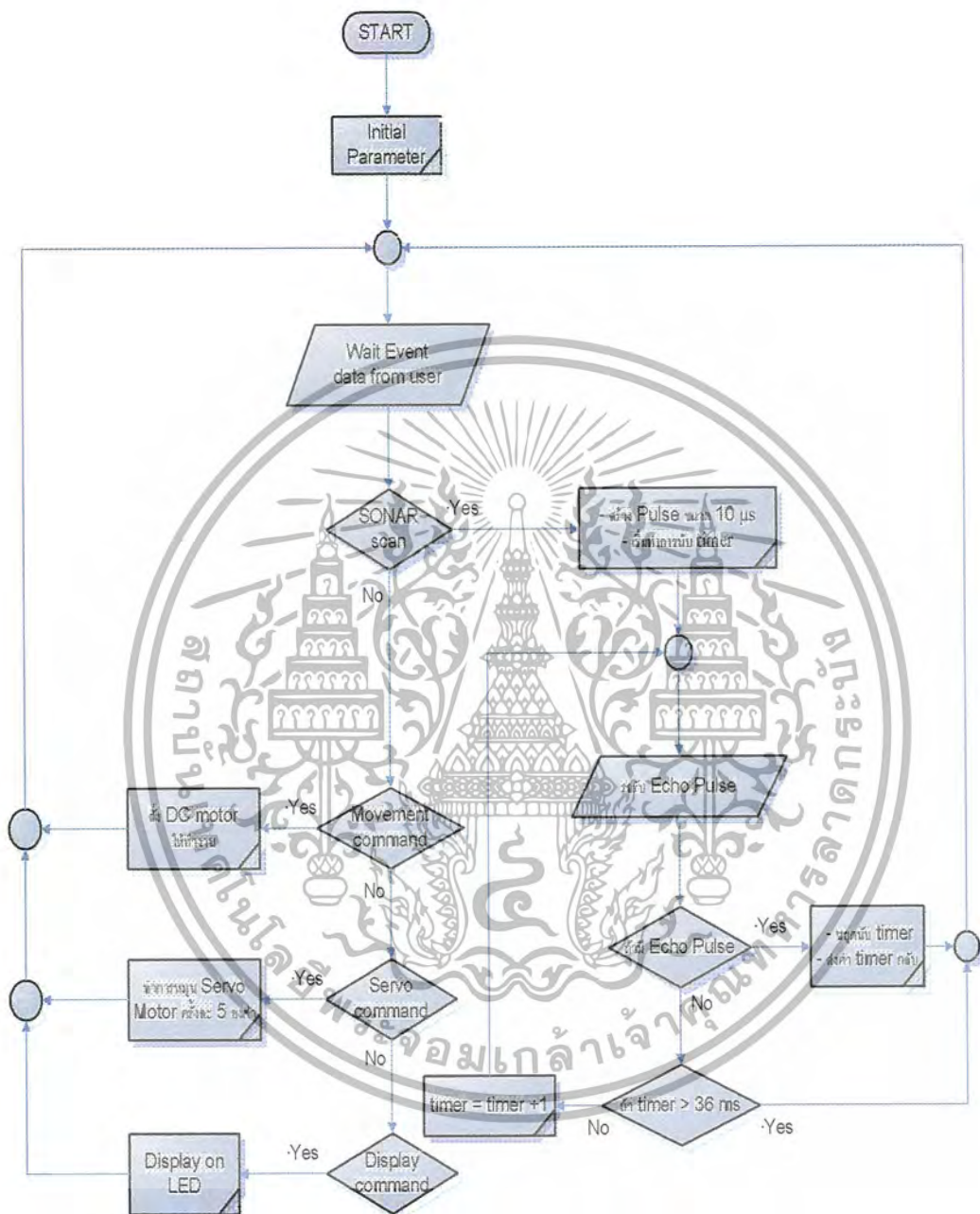
ในส่วนนี้การเขียนโปรแกรมการทำงานจะแสดงตามรายละเอียดใน flow chart โดยสรุปได้ดังนี้

- ทำการกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับโปรแกรม
- รอรับข้อมูลจากส่วน User Control and Display Unit
- เมื่อรับข้อมูลก็จะทำการตรวจสอบว่าตรงตามเงื่อนไขหรือไม่ เนื่องจากเงื่อนไข

หลักๆมีอยู่ 3 เงื่อนไข ดังนี้

1. เงื่อนไขในการควบคุมการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ เป็นฟังก์ชันที่ใช้ควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามทิศทางต่างๆ โดยถ้าข้อมูลที่ส่งมาจากส่วน User Control and Display Unit ตรงกับเงื่อนไขที่ตั้งไว้มันก็จะทำงานตามกระบวนการ
2. เงื่อนไขในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ จะเป็นฟังก์ชันที่ควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปทางซ้ายและขวา ครั้งละ 5 องศา
3. เงื่อนไขของการควบคุมการ Scan Sonar โดย Sonar จะทำงานได้นั้น เริ่มต้นเมื่อจ่ายไฟบวกและกราวด์แล้วเราต้องทำการสร้าง Trigger pulse ให้ Sonar จากนั้นจะทำการสั่งให้ Timer ทำงาน แล้วสุดท้ายก็ทำการตรวจสอบว่ามีการรับ Echo pulse กลับมาหรือไม่ ถ้ามี Echo pulse กลับมาแสดงว่า Sonar ทำการตรวจพบวัตถุ ดังนั้นจะได้ค่าเวลา คือ Timer High:TH,Timer Low:TL ออกมาและในช่วงที่รอ Echo pulse ถ้าในระยะเวลา 36 ms ไม่มี Echo pulse กลับมาแสดงว่าตรวจไม่เจอวัตถุในระยะเวลาที่สามารถตรวจได้ (ระยะสูงสุดที่สามารถตรวจได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโซนาร์) เมื่อได้ค่า (Timer high:TH,Timer Low:TL) ก็จะทำการส่งกลับไปให้ User Control and Display เพื่อนำค่าไปคำนวณหาระยะทางและสร้างแผนที่ออกมา

Flow Chart ของส่วน Device Control Unit แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3-5 Flow chart Device Control Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การกำหนดไทมเมอร์ (Timer) เพื่อใช้งานกับโซนาร์

หัวข้อนี้จะกล่าวถึง

1. การกำหนดไทมเมอร์ (Timer) ให้กับโซนาร์
2. การคำนวณหาระยะทาง

เนื่องจากโซนาร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับวัตถุได้โดยจะบอกเป็นระยะทางได้ ซึ่งการทำงานของโซนาร์จะทำงานได้ตามทฤษฎีของโซนาร์ที่กล่าวไว้ ว่าโซนาร์ต้องมีส่วนประกอบดังนี้คือ

1. ไฟเลี้ยง (+Vcc)
2. กราวด์ (Gnd)
3. สัญญาณทริกเกอร์ (Trigger pulse)
4. สัญญาณตอบรับ (Echo pulse)

เริ่มต้นโซนาร์จะทำงานได้เมื่อเราจ่าย Vcc,Gnd ให้แล้วสร้าง Trigger pulse ให้กับโซนาร์ ซึ่งเมื่อสัญญาณจากโซนาร์ไปกระทบกับวัตถุใดๆ โซนาร์จะทำการส่งสัญญาณกลับคืนมานั่นก็คือ Echo pulse เมื่อมี Echo pulse กลับคืนมาแสดงว่าโซนาร์ทำงานเสร็จในหนึ่งครั้งแล้ว ซึ่งในการทำงานหนึ่งครั้งก็จะมีเวลาในการทำงานของตัวเอง และเวลาจะเป็นตัวสำคัญที่จะบอกเราว่าวัตถุที่โซนาร์ตรวจเจอมีระยะทางเท่าไร ซึ่งจะมีการกำหนดค่าต่างๆการคำนวณอย่างไรจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3.2.1 การกำหนดไทมเมอร์ (Timer) ให้กับโซนาร์

เนื่องจากเราจะใช้ Timer เป็นตัวนับค่าเวลาในการสแกนของโซนาร์ในแต่ละครั้งโดยเราจะมีวิธีการกำหนด Timer ภายใน Microcontroller เพื่อนับเวลาตามขั้นตอนดังนี้

- 1.1) เริ่มต้นเรากำหนด Timer และโหมดการทำงานก่อน เช่น ในการทดลองเราใช้ Timer 0 model ก็ทำการเซตในรีจิสเตอร์ TMOD(วิธีเซตดูตามทฤษฎี) โดยมีวิธีเซตดังนี้

`MOV TMOD,#21H` -----> เป็นการกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ TMOD โดยต่างๆจะอ้างได้จากทฤษฎีของค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ซึ่งมี 8 bit

- 1.2) เมื่อกำหนด Timer แล้วเริ่มต้นในโปรแกรมต้องเริ่มต้นสร้าง Trigger pulse ให้กับโซนาร์แล้วเริ่มเซต Timer เพื่อที่จะให้ Timer เริ่มนับเวลา โดยมีวิธีดังนี้

`SETB TR0` -----> เป็นการบอกให้ Timer เริ่มต้นทำงานคือเริ่มนับค่าเวลา

- 1.3) เมื่อ Timer เริ่มต้นทำการนับเวลาไป เมื่อโซนาร์ได้สัญญาณไปทริก มันก็จะทำการส่งสัญญาณออกไปและเมื่อไปกระทบกับวัตถุใดๆที่ใกล้ที่สุด มันก็จะทำการส่งสัญญาณตอบกลับ

(Echo pulse) มายัง Microcontroller เราก็จะทำการหยุด Timer แล้วก็เอาค่าเวลาที่ได้ออกมา เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาระยะทาง โดยหยุด Timer ได้ดังนี้

```
CLR   TRO           -----> ทำการหยุด Timer
MOV   Timer_high,TH -----> แสดงค่า Timer Hight
MOV   Timer_LOW,TL -----> แสดงค่า Timer Low
```

หลังจากที่ได้ค่า (Timer Hight:TH) และ(Timer Low:TL) แล้วก็จะมาถึงขั้นตอนที่จะนำมาหาระยะทาง โดยค่า (Timer Hight:TH) และ(Timer Low:TL) จะถูกส่งจากชุด Interface microcontroller ผ่านพอร์ตอนุกรมเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์เป็นตัวคำนวณ โดยวิธีการคำนวณก็จะทำได้ดังนี้

จากสูตรการหาระยะทาง คือ $S=V*T$ ซึ่งก่อนจะมาเข้าสูตรนี้ได้ต้องหาค่าต่างๆก่อนโดยเริ่มหาค่า (Timer Hight:TH) และ(Timer Low:TL) ดังนี้

1.คำนวณหาค่า Machine Cycle จากสูตรดังนี้

$$MC = TL+(TH*2^8)$$

เมื่อ TL= Timer Low:TL ,TH = Timer Hight, MC = Machine Cycle

2.คำนวณหาค่า Time จากสูตรดังนี้

$$T = (12*MC)/fosc$$

เมื่อ 12 = CPU Clock, V= Velocity(ความเร็วเสียงข 346 m/s),fosc = ความถี่

ของคริสตัล, MC = Machine Cycle

3.จากนั้นก็หาระยะทางได้จากสูตรดังนี้

$$S = V*T = ((12*V*MC))/fosc$$

ตัวอย่างการคำนวณหาระยะทางเมื่อกำหนดค่า TH,TL หรือพูดได้ว่าเมื่อเราได้ค่า TH,TL

จาก Microcontroller; TH = 5 , TL = 10

เริ่มต้นคำนวณ ได้ดังนี้

$$MC = TL+(TH*2^8)$$

$$= 5+(10*256)$$

$$= 2565 \quad \text{Sec}$$

$$T = (12*MC)/fosc$$

$$= ((1.085*10^{-6})*2565)$$

$$= 0.002783025$$

จากนั้นก็คำนวณหาระยะทางจากสูตร

$$S = V * T$$

$$= (346 * 0.002783025) / 2$$

$$= 0.481463325 \text{ Metre}$$

ฉะนั้นก็จะได้ระยะทางประมาณ 48 เซนติเมตร

3.3 หลักการของการเขียนโปรแกรมขับเคลื่อนมอเตอร์

เมื่อเรารู้ว่าการทำงานของมอเตอร์คือต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้ โดยเราจะอาศัยการจ่ายลอจิกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปที่วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ (แสดงในภาคผนวก) โดยวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ก็จะทำการขับเคลื่อนมอเตอร์ตามที่ได้สัญญาณมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเราจะทำการจ่ายลอจิกการทำงาน โดยมีสองสถานะคือ 0 กับ 1 โดยถ้าจ่ายลอจิกกลับด้านกันก็จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทางนั่นเอง

ตัวอย่างโปรแกรม

-----Start DC motor Control -----;

```
Loop_forward: CLR P2.0
              SETB P2.1
              SETB P2.2
              CLR P2.3
              ACALL Delay_100MS
              LJMP Wait_check
```

-----;

```
Loop_reverse: SETB P2.0
              CLR P2.1
              CLR P2.2
              SETB P2.3
              ACALL Delay_100MS
              LJMP Wait_check
```

หมายเหตุ ส่วนสัญญาณจ่ายออกมาจากไมโครคอนโทรเลอร์จะถูกจ่ายออกมาตามที่ได้ออกแบบวงจรไว้ให้ ทำให้เรารู้ว่าจะเขียนโปรแกรมอย่างไร ส่วนวงจรสามารถอ้างอิงได้จากภาคผนวก

3.4 การควบคุมมอเตอร์เซอร์โว

ในการควบคุมมอเตอร์เซอร์โวและนำมาใช้งานนั้น นอกเหนือจากการจ่ายไฟและกราวด์แล้ว ต้องทำการจ่ายพัลส์ให้อีกขาหนึ่งเพื่อจะทำให้มอเตอร์หมุน และการหมุนนั้นสามารถหมุนได้ 2 ทิศทางและสามารถกำหนดองศาในการหมุนได้ (ภายในระยะ 0 – 180 องศาโดยประมาณ) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์

ในโครงการนี้ต้องการให้มอเตอร์เซอร์โวนั้นหมุนครั้งละ 5 องศา ได้ทั้งทวนเข็มนาฬิกา และตามเข็มนาฬิกา จากคู่มือการใช้งานมอเตอร์เซอร์โวนั้นถ้าต้องการให้มอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่ง 90 องศา ต้องจ่ายพัลส์บวกขนาด 1500 μ s และพัลส์ช่วงลบอีก 20 ms

โปรแกรมในส่วนที่นับเวลาในการสร้างขนาดของพัลส์ช่วงบวกคือ

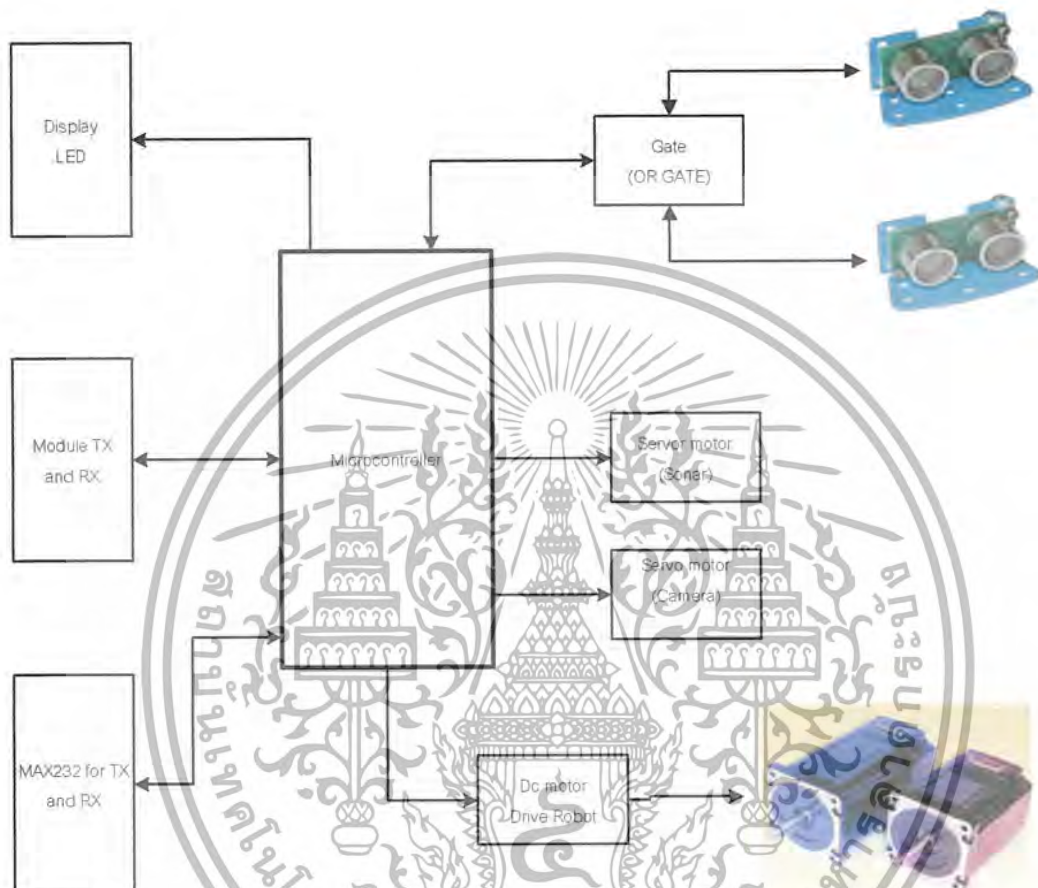
```
MOV R7,#จำนวนรอบ
DELAY: MOV R6,#0AH
DE1: NOP
NOP
DJNZ R6,DE1
DJNZ R7,DELAY
```

เมื่อเราเรียกฟังก์ชันนี้ 1 ครั้งคือ R7 เท่ากับ 1 จะใช้จำนวน Machine Cycle ทั้งหมดประมาณ 43 MC โดยที่ 1 MC จะใช้เวลาเท่ากับ $12 / (11.0592 \times 10^6) = 1.085 \mu$ s เมื่อทำงาน 1 รอบจึงใช้เวลาเท่ากับ 46.655 μ s ดังนั้นถ้าต้องการมอเตอร์อยู่ที่ 90 องศา จะต้องใช้ฟังก์ชันนี้ $1500 / 46.655 = 32.15 \approx 32$ รอบ เมื่อได้ตำแหน่ง 90 องศาแล้ว ก็จะสามารถหมุนไปทางด้านซ้ายและขวาได้อีกด้านละ 18 ครั้งนั่นเองคือ ที่ 0 และ 180 องศานั่นเอง

ที่ตำแหน่ง 0 องศา ใช้ฟังก์ชัน $32 + 18 = 50$ รอบ ใช้เวลา $50 \times 46.655 \mu$ s = 2332.75 μ s
 ที่ตำแหน่ง 90 องศา ใช้ฟังก์ชัน 32 รอบ ใช้เวลา $32 \times 46.655 \mu$ s = 1492.96 μ s
 ที่ตำแหน่ง 180 องศา ใช้ฟังก์ชัน $32 - 18 = 14$ รอบ ใช้เวลา $14 \times 46.655 \mu$ s = 653.17 μ s
 ดังนั้นการหมุน 1 ครั้งจะเท่ากับ 5 องศาและใช้เวลา 46.655 μ s

3.5 การออกแบบชุดควบคุมโซนาร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบจะอธิบายและแสดงเป็น Block ส่วนการทำงานแต่ละส่วน ดังนี้



รูปที่ 3-6 Block ชุดควบคุม Sonar และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

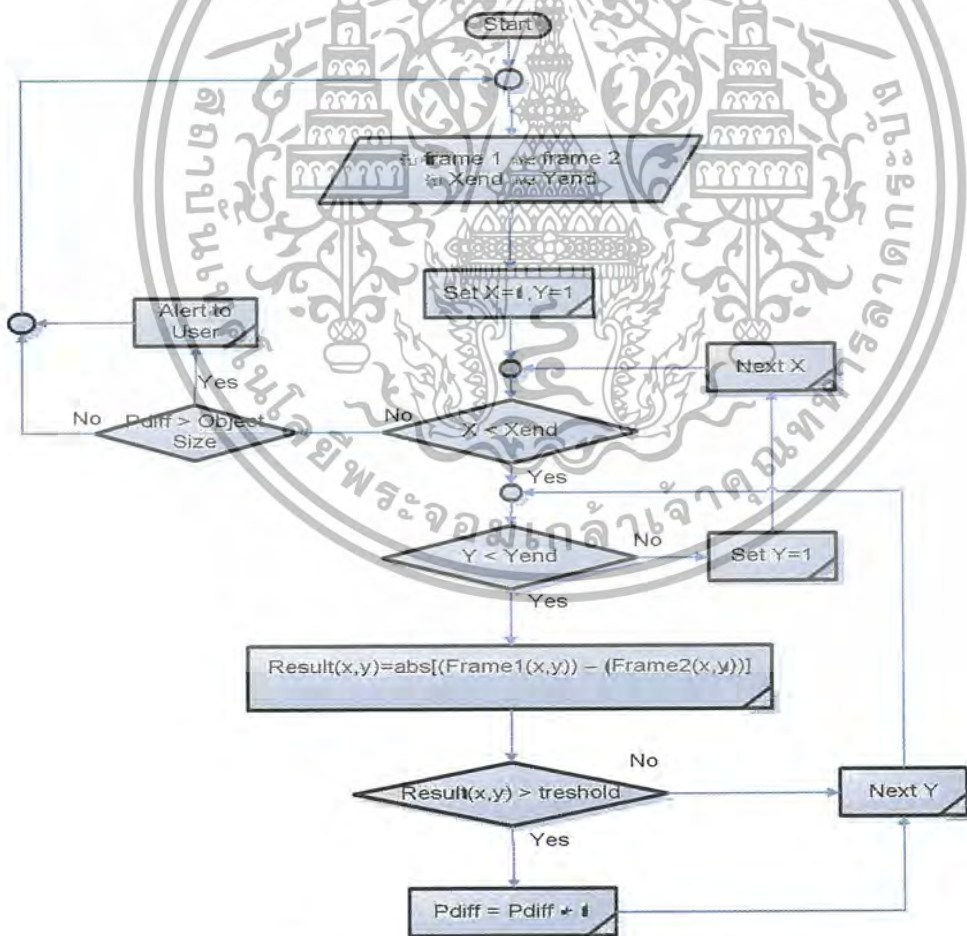
3.6 การใช้งาน Component ของกล้อง

ในการที่จะใช้งานกล้องมาเป็นส่วนที่ใช้สำหรับเป็นส่วนการมองเห็นของหุ่นยนต์และตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว เพื่อที่จะสามารถเห็นพื้นที่ที่เข้าไปสำรวจบางส่วนว่ามีลักษณะอย่างไร โดยสามารถดูผลจากที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยที่ตัวกล้องจะทำการส่งสัญญาณภาพกลับมาที่คอมพิวเตอร์ โดยจะสามารถติดต่อกับกล้องผ่านทางคอมพิวเตอร์ที่ชื่อว่า VideoOCX โดยในส่วนองงานวิจัยนี้เราใช้ทำหน้าที่หลักๆ ดังนี้

- ใช้แสดงภาพที่รับได้จากกล้อง
- ใช้ capture ภาพนิ่ง
- ใช้แปลงคลาสของข้อมูล
- ใช้บันทึกสัญญาณภาพ

การตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว (Motion Detection)

การตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหวนั้นจำเป็นต้องอาศัยหลักการของ Image Processing ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยต้องทำการ capture ภาพจากกล้องที่แสดงอยู่มาอย่างน้อย 2 ภาพ เพื่อทำการเปรียบเทียบกัน โดยปกติแล้วภาพจะมีลักษณะการเก็บข้อมูลเป็นแบบ matrix และค่าภายในแต่ละ element จะแทน pixel แต่ละจุดของภาพ และค่าในแต่ละจุดนั้นจะเก็บระดับของความเข้มแสง ดังนั้นบริเวณที่ภาพเปลี่ยนไปหรือไม่เหมือนกันจะส่งผลให้ค่าของระดับความเข้มแสงไม่เท่ากันด้วย



รูปที่ 3-7 Flow chart การทำงานของส่วน Motion Detection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวิธีการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหวที่ได้ทำขึ้นนั้น จะมีวิธีการดังนี้ ใช้ component ที่ชื่อว่า VideoOCX ในการติดต่อกับกล้องผ่านทางโปรแกรม Visual Basic ทำการจองหน่วยความจำ 2 ตัวเพื่อใช้ในการเก็บภาพที่ capture ได้ หลังจากนั้น สั่งให้กล้องเริ่มทำงาน แล้วทำการ capture ภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ตามลำดับ ต่อมาให้ทำการแปลงภาพที่ได้ให้อยู่ในรูปของ matrix เพื่อที่จะอ้างอิงและเข้าถึง pixel แต่ละตัวได้ ให้นำภาพทั้งสองที่อยู่ในรูปของ matrix มาเปรียบเทียบกับจุดต่อจุด (Point Operation) โดยที่ค่าผลต่างของภาพทั้งสองจะต้องมาเปรียบเทียบกับระดับความต่างที่กำหนดโดยผู้ใช้ ก่อนที่จะถูกตัดสินว่า ณ pixel นั้นเป็นจุดที่เกิดความต่างหรือไม่ และถ้าเกิดความต่างก็จะแสดงผลให้ผู้ใช้งานทราบโดยแสดงที่ปุ่มสัญญาณบนจอภาพ และนอกจากนั้นยังมีค่าอีกหนึ่งค่าที่จะต้องนำมาเปรียบเทียบกับจำนวน pixels ที่เกิดความต่าง เพื่อที่จะใช้กำหนดขนาดของวัตถุบนภาพที่จะตรวจจับ

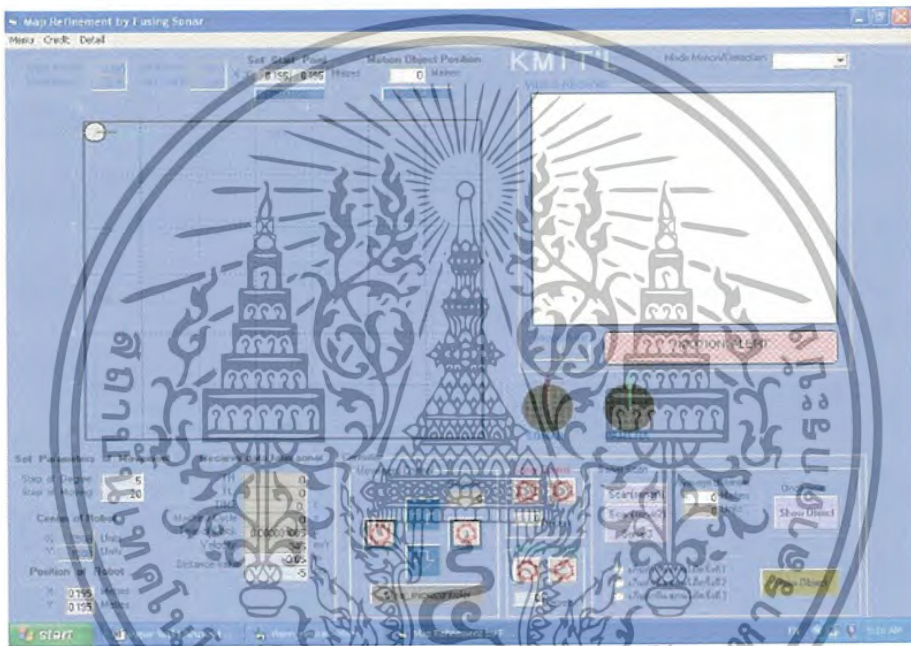
เมื่อได้ศึกษาขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานและการออกแบบการทดลองจากบทที่ 3 แล้ว จะสามารถแสดงผลการทดลองที่ได้จากขั้นตอนวิธีการดำเนินงานและการออกแบบการทดลอง โดยผลการทดลองที่ได้จะแสดงในบทที่ 4



บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการออกแบบโปรแกรมสำหรับการควบคุมและแสดงผลที่ใช้ในการติดต่อกับ Device Control Unit เมื่อทำการรันโปรแกรมก็จะได้ผลตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยจากรูปภาพข้างล่างก็จะแสดงผลจากการรันการทำงาน เมื่อรันโปรแกรมจะมีการเซตค่าต่างๆ และจะได้ผลที่ปรากฏตามรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 ผลการทดลองโปรแกรมโดยรวมของส่วน User Control & Display Unit

จากผลการทดลองตามรูปที่ 4-1 เราจะสามารถแยกการทำงานออกเป็นส่วนๆและจะอธิบายการทำงานและผลการทดลองที่ได้ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองตามวัตถุประสงค์หลัก

การทำงานหลักๆของโปรแกรมตามที่ได้ตั้งเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้จะมีอยู่ 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของการใช้งานโซนาร์เพื่อหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง และ ส่วนของการตรวจจับภาพเคลื่อนไหว โดยจะแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ส่วนของการใช้งานโรบอตร์

4.1.1.1 ตำแหน่งของวัตถุตัวอย่างที่ต้องการทดสอบหาระยะทางครั้งที่ 1 (ที่ระยะ 57 เซนติเมตร)



รูปที่ 4-2 ระยะของวัตถุที่จะทำการทดสอบและผลจากการใช้โรบอตร์ครั้งที่ 1

เมื่อจะทำการหาระยะให้ทำการกดที่ตำแหน่งที่ 1 และค่าระยะทางที่ได้จะแสดงอยู่ที่ตำแหน่งที่ 2 ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 56 เซนติเมตร เมื่อต้องการให้วัตถุที่ตรวจพบนั้นแสดงบนแผนที่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้จำลอง ให้คอปุ่มที่ตำแหน่งที่ 3 แล้ววัตถุจะแสดงขึ้นบนแผนที่ตามระยะที่ได้ในตำแหน่งที่ 4 ดังรูปที่ 4-2

4.1.1.2 ตำแหน่งของวัตถุตัวอย่างที่ต้องการทดสอบหาระยะทางครั้งที่ 2 (ที่ระยะ 133 เซนติเมตร)



รูปที่ 4-3 ระยะของวัตถุที่จะทำการทดสอบและผลจากการใช้โซนาร์ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจะทำการหาระยะให้ทำการกดที่ตำแหน่งที่ 1 และค่าระยะทางที่ได้จะแสดงอยู่ที่ตำแหน่งที่ 2 ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 445 เซนติเมตร เมื่อต้องการให้วัตถุที่ตรวจพบนั้นแสดงบนแผนที่ที่ใช้จำลอง ให้กดปุ่มที่ตำแหน่งที่ 3 แล้ววัตถุจะแสดงขึ้นบนแผนที่ตามระยะที่ได้ในตำแหน่งที่ 4 ดังรูปที่ 4-4

4.1.2. ส่วนของการใช้งานกล้องผ่านทาง VideoOCX

4.1.2.1 ส่วนเมตรอดของ VideoOCX ทำหน้าที่ในการเซตค่าต่างๆของกล้องได้ให้เหมาะสมตามผู้ใช้ต้องการ

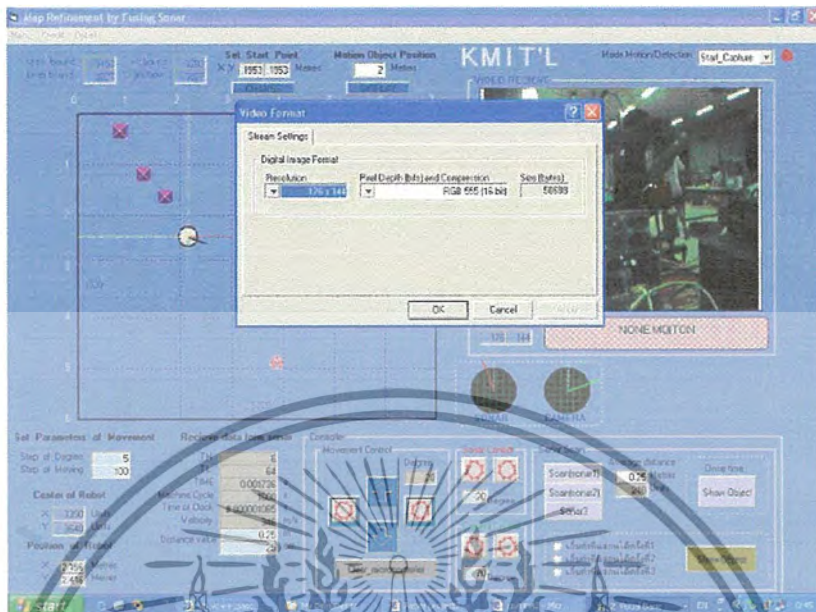
- Set Driver ใช้เซต driver ของกล้อง
- Set Format ใช้เซตขนาดของภาพที่รับเข้ามา, สีของภาพ
- Set Solution ใช้เซต source ของกล้อง
- Set Information แสดงข้อมูลเกี่ยวกับกล้อง

ผลที่ได้เมื่อรันแต่ละเมตรอดของ VideoOCX จะเป็นดังนี้

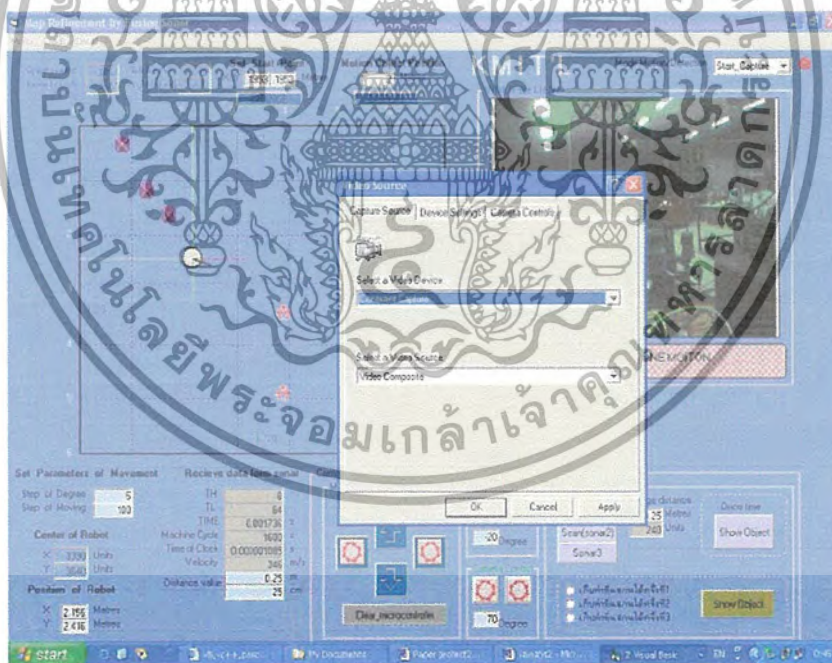


รูปที่ 4-5 Method ของการเซต Driver ของกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-6 Method การเซต Format ของกล้อง



รูปที่ 4-7 Method การเลือก Source ของกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-8 Method การแสดงข้อมูลของกล้อง

4.1.2.2 Oncamera ทำหน้าที่ส่งให้กล้องทำงาน โดยรับภาพแล้วแสดงที่หน้าจอ โดยผลที่ได้จะนำให้เห็นภาพที่หน้าจอ



รูปที่ 4-9 หน้าจอของโปรแกรมเมื่อทำการเปิดกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3 Offcamera ทำหน้าที่เรียกปิดการทำงานของกล้องส่งผลให้โปรแกรมหยุดแสดงภาพที่รับมาจากกล้อง



รูปที่ 4-10 หน้าจอของโปรแกรมเมื่อทำการปิดกล้อง

4.1.2.4 Start Motion ทำหน้าที่เริ่มการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว โดยจะตั้งให้Timer ทั้ง 2 ตัวทำการ Capture ภาพมา 2 ภาพเพื่อมาเปรียบเทียบกันแล้วทำการแสดงผลแจ้งเตือน และจะแสดงบล็อกที่ใช้ในการตั้งค่าเกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหวขึ้นมา



รูปที่ 4-11 หน้าจอของโปรแกรมเมื่อเริ่มทำการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.5 Stop Motion ทำหน้าที่หยุดการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว จะทำให้ในส่วนบล็อกรหัสของการตั้งค่าในการตรวจจับวัตถุหายไป

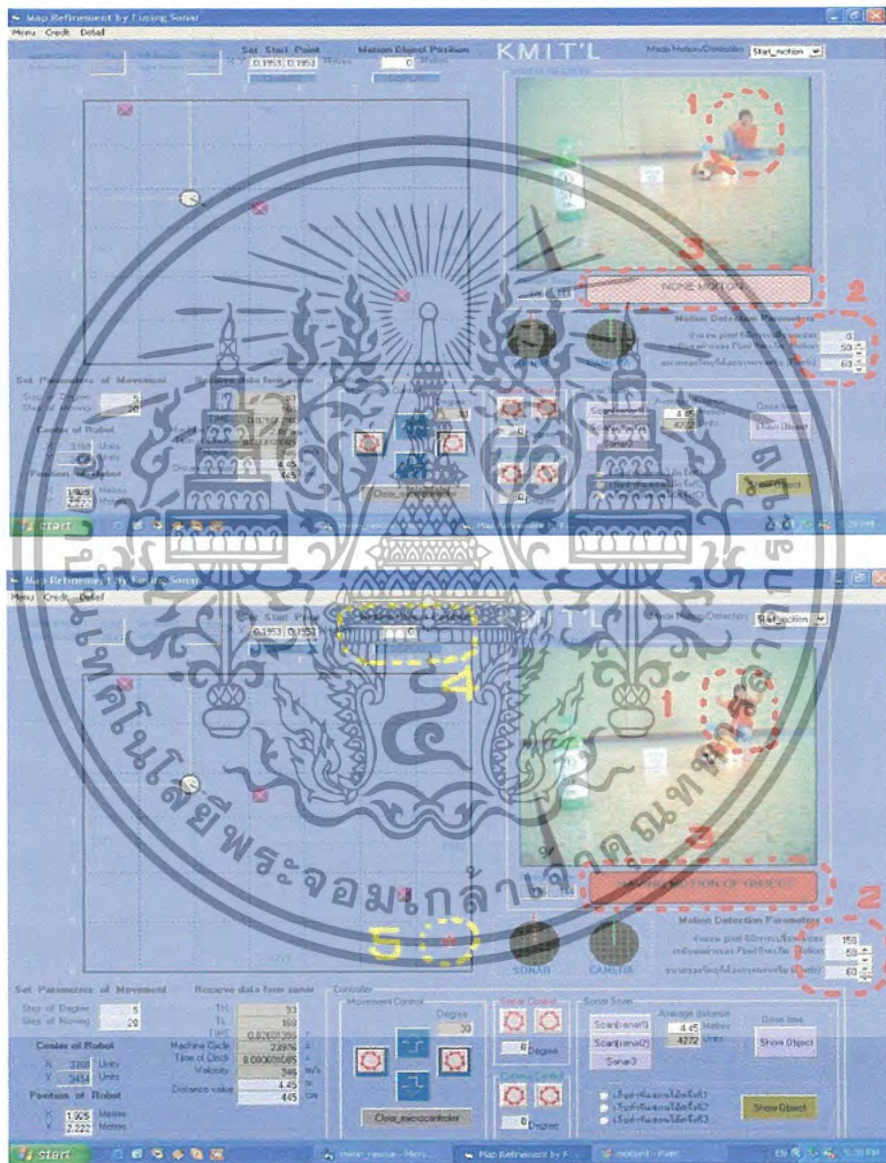


รูปที่ 4-12 หน้าจอของโปรแกรมเมื่อหยุดการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การใช้งานโปรแกรมในการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว

ทำการเปิดคั้งที่ menu แล้วเลือกที่ on camera เลือก start motion ที่ combo list จะทำให้โปรแกรมเริ่มทำการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหวและแจ้งเตือน ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการจองหน่วยความจำและสั่งให้กล้องเริ่มทำงานเพื่อทำการ capture ภาพมาประมวลผล ในการตรวจจับนั้นต้องทำการตั้งค่าขนาดของวัตถุที่ต้องการตรวจจับเสียก่อนในบริเวณจุดที่ 2



รูปที่ 4-13 การใช้งานโปรแกรมสำหรับตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อยังมีวัตถุเคลื่อนไหว โปรแกรมก็จะไม่แจ้งเตือนดังรูปที่ 4-13 (บน) แต่เมื่อมีวัตถุเคลื่อนไหวที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่ต้องการตรวจจับ โปรแกรมก็จะแจ้งเตือนขึ้นมาที่ตำแหน่งที่ 3 ถ้าต้องการแสดงตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนไหวนั้นลงบนแผนที่ที่จำลองขึ้นมาให้ใส่ระยะของวัตถุ นั้นลงไปที่ย่อในตำแหน่งที่ 4 แล้วกดปุ่ม วัตถุที่เคลื่อนไหวนั้นก็จะแสดงบนแผนที่

ถ้าต้องการหยุดการตรวจจับให้เลือก Combo list เป็น stop motion ในขั้นตอนนี้จะทำการ ค้นหน่วยความจำที่จองไว้ แล้วจะส่งให้กล้องหยุดการ Capture ถ้าต้องการปิดการทำงานของ กล้องให้เลือกที่ menu แล้วเลือกที่ off camera

จากงานวิจัยที่ได้นำเสนอมาทั้งหมด 4 บทนี้ ในการทำการทดลองได้พบปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นกับงานวิจัยนี้และได้ทำการแก้ไขปัญหาและหาข้อสรุปออกมา โดยปัญหาต่างๆและข้อสรุปรวม ไปถึงข้อเสนอแนะต่างๆได้แสดงไว้ในบทที่ 5



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยที่ 1 คือ สามารถทำได้ตามจุดประสงค์และขอบเขตข้อที่ 1 คือ ในเรื่องของโซนาร์ได้ผลตามแสดงไว้ในบทที่ 4 คือ จะสามารถใช้โซนาร์ทำการสแกนหาวัตถุแล้วแสดงผลที่โปรแกรมได้ว่ามีวัตถุเกิดขึ้นขวางที่ระยะใด

ส่วนในจุดประสงค์และขอบเขตข้อที่ 2 ในเรื่องของการตรวจสอบวัตถุเคลื่อน ไหวนั้นยังไม่สามารถทำงานได้สมบูรณ์ซึ่งหลังจากงานวิจัย 1 จึงได้ทำการพัฒนาต่อจนได้ผลสรุปดังนี้

5.1 ผลสรุปและปัญหาในงานวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้ จะรวมผลการทดลองทั้งหมดจากงานวิจัย 1 และ 2 ซึ่งจะสรุปผลจากการทำงานในส่วนงานวิจัยดังนี้

ก) ในส่วนงานวิจัยที่ 1 จะทำเฉพาะส่วนของโซนาร์ การสร้างแผนที่ การเคลื่อนที่ และการออกแบบ Graphic User Interface (GUI) ติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งจากการทดลองงานวิจัยสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดได้แสดงในบทที่ 4

ในส่วนปัญหาที่พบในงานวิจัยที่ 1

- จะเป็นในเรื่องของงบประมาณที่ใช้ในการทำงานวิจัยซึ่งทำให้งานวิจัยสามารถทำงานได้ในระดับหนึ่งเท่านั้นซึ่งยังไม่ดีที่สุด
- ส่วนการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ต้องการนั้นสามารถทำได้ไม่เท่าที่ควรเพราะว่าตัวหุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ที่ไม่มีประสิทธิภาพจึงควรนำระบบที่สร้างขึ้นมาใช้กับหุ่นยนต์ที่มีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงกว่านี้จะทำให้ทำงานได้สมบูรณ์ขึ้น
- การตรวจหาระยะของวัตถุด้วยโซนาร์นั้นจะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นซึ่งเป็นข้อผิดพลาดที่สามารถเกิดขึ้นได้ดังนั้นถ้าต้องการตรวจหาระยะที่จะเกิดค่าผิดพลาดน้อยจะต้องทำการสแกนหาระยะนั้นหลายๆ ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

ข) ในส่วนงานวิจัยที่ 2 จะเพิ่มส่วนของการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ การตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหวด้วยกล้อง ปรับปรุงการทำงานในส่วนของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้ดีขึ้น และปรับปรุง GUI ให้ดีขึ้น ซึ่งจากการทดลองงานวิจัยสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดได้แสดงในบทที่ 4

ในส่วนปัญหาที่พบในงานวิจัยที่ 2

- การใช้กล้องไร้สาย จะมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางและสัญญาณรบกวน ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงกับการตรวจจับวัตถุเคลื่อนไหว การแก้ไขจึงออกแบบให้การเปรียบเทียบภาพ 2 ภาพนั้นจำเป็นต้องมีความต่างมากกว่าระดับ Threshold จึงจะถือว่าเกิดความต่างระหว่างพิกเซลนั้น
- การใช้งานคอมพิวเตอร์ที่ติดต่อกับกล้องผ่าน โปรแกรม Visual Basic จะมีปัญหาในช่วงแรกที่เริ่มใช้

5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนาระบบ

ในงานวิจัยนี้การทำงานจะเป็นระบบ Manual ซึ่งถ้าพัฒนาระบบนี้ไปพัฒนาและใช้กับหุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ ลักษณะทางกายภาพของหุ่นยนต์ควรจะแข็งแรงเพื่อที่จะสามารถเข้าทำงานในพื้นที่จริงได้จะทำให้หุ่นยนต์มีความสามารถสูงขึ้น ระบบนี้ยังสามารถพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติได้ถ้ามีการออกแบบและใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเข้ามาช่วย

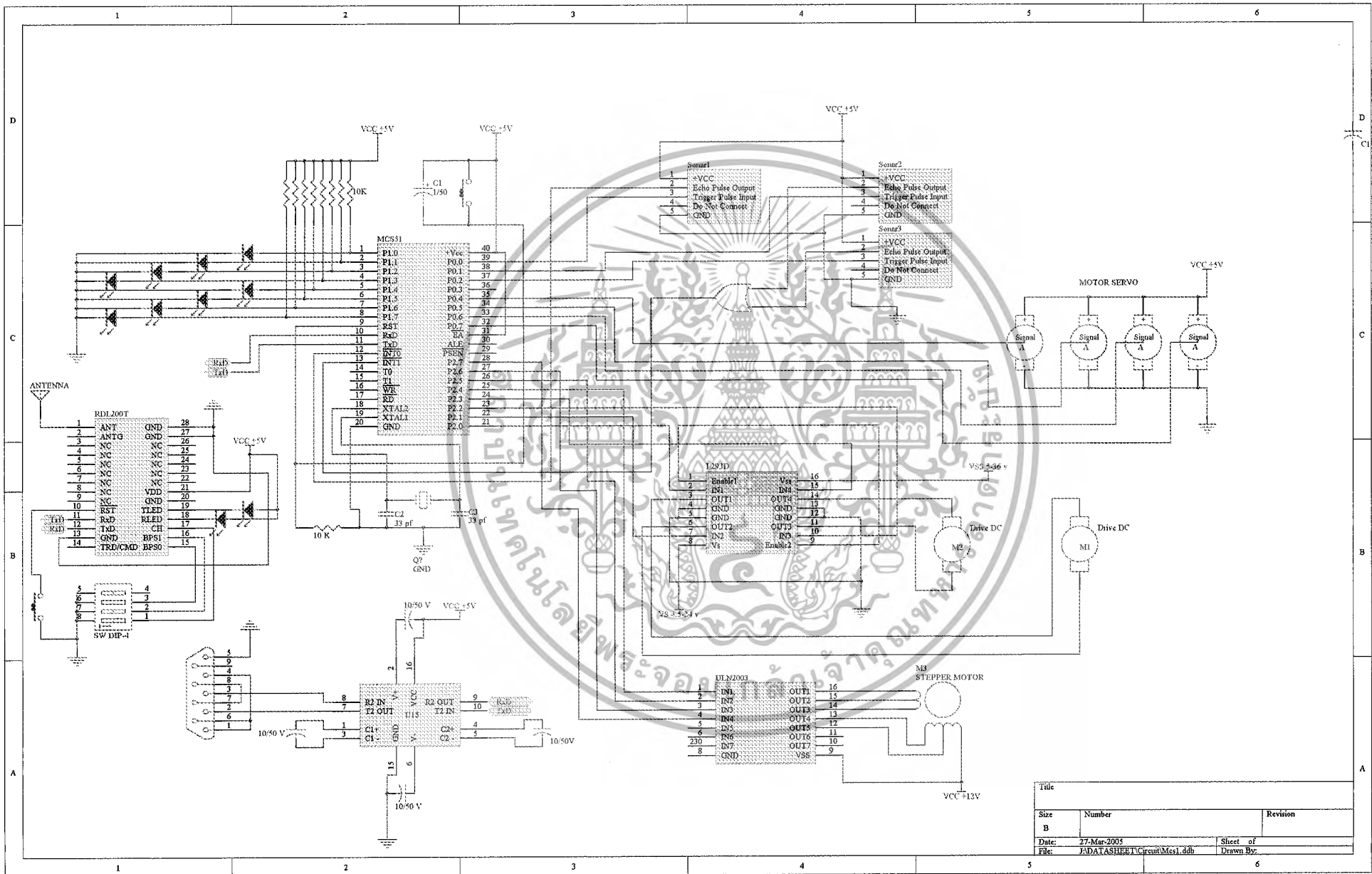
บรรณานุกรม

- [1] อภิชาติ ภูพิลíp, “เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic”, อินโฟเพรส, 2546
- [2] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช”, บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2521
- [3] ชีรวัฒน์ ประกอบผล, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543
- [4] กิตติ ภัคคีวัฒนะกุล, จำลอง ครูอุตสาหะ, “Visual Basic 6 ฉบับดโปรแกรมเมอร์”, บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, 2542
- [5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital Image Processing 2nd Edition”, Prentice Hall ,2002





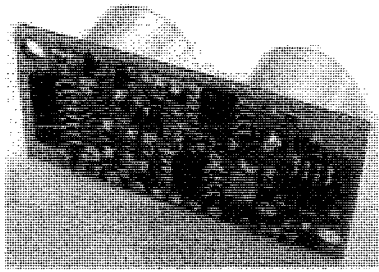
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		
Size	Number	Revision
B		
Date:	27-Mar-2005	Sheet of
File:	J:\DATASHEET\Circuit\Mcs11.ddb	Drawn By:

SRF04 - Ultra-Sonic Ranger

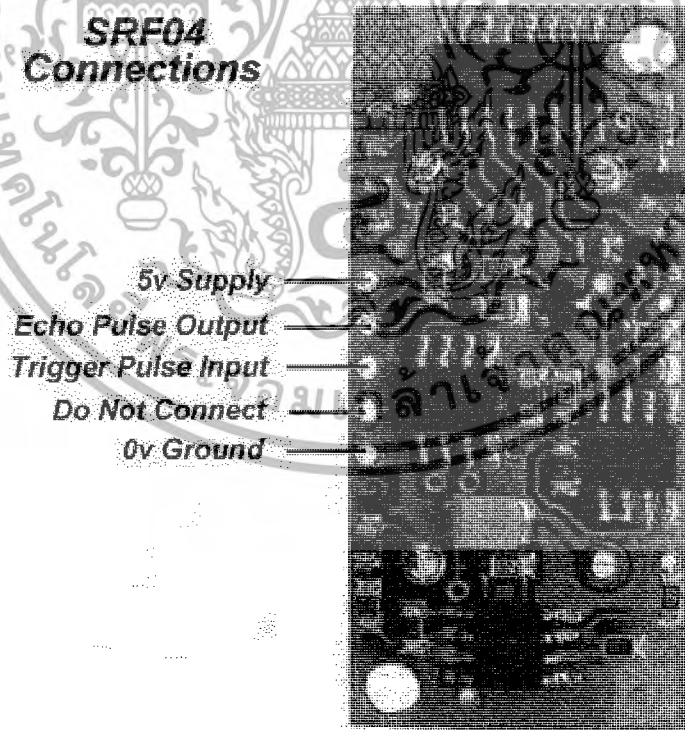
Technical Specification



This project started after I looked at the Polaroid Ultrasonic Ranging module. It has a number of disadvantages for use in small robots etc.

1. The maximum range of 10.7 metre is far more than is normally required, and as a result
2. The current consumption, at 2.5 Amps during the sonic burst is truly horrendous.
3. The 150mA quiescent current is also far too high.
4. The minimum range of 26cm is useless. 1-2cm is more like it.
5. The module is quite large to fit into small systems, and
6. It's EXPENSIVE.

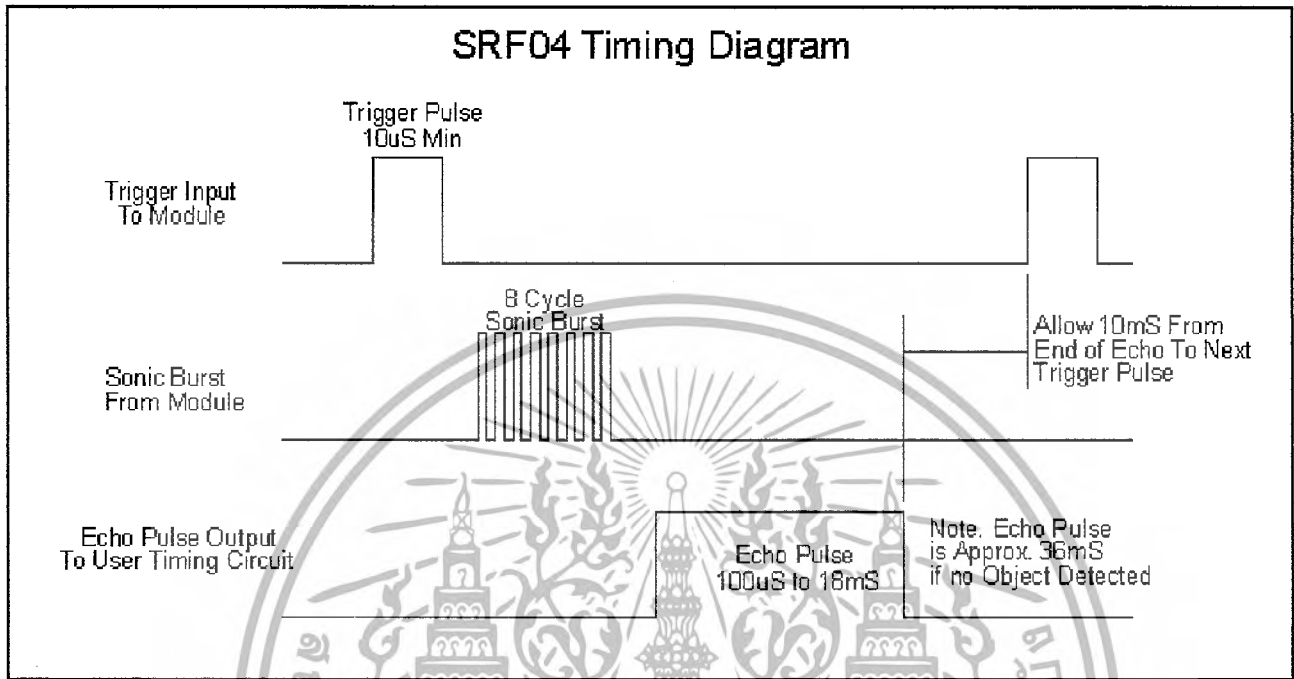
The SRF04 was designed to be just as easy to use as the Polaroid sonar, requiring a short trigger pulse and providing an echo pulse. Your controller only has to time the length of this pulse to find the range. The connections to the SRF04 are shown below:



The SRF04 Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

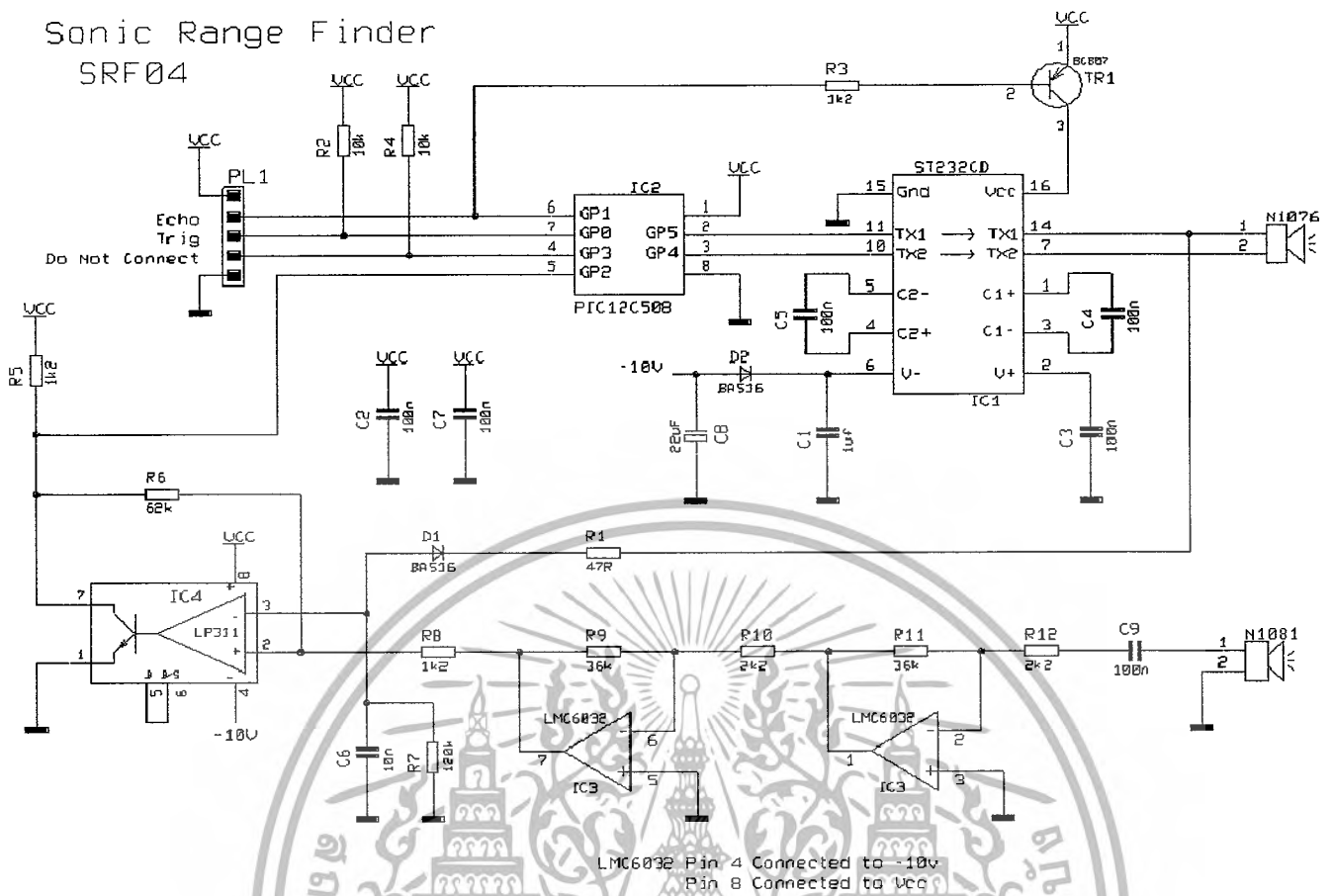
start the ranging. The SRF04 will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40khz and raise its echo line high. It then listens for an echo, and as soon as it detects one it lowers the echo line again. The echo line is therefore a pulse whose width is proportional to the distance to the object. By timing the pulse it is possible to calculate the range in inches/centimeters or anything else. If nothing is detected then the SRF04 will lower its echo line anyway after about 36mS.



Here is the schematic, You can download a better quality pdf (161k) version [srf1.pdf](#)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sonic Range Finder SRF04



The circuit is designed to be low cost. It uses a PIC12C508 to perform the control functions and standard 40kHz piezo transducers. The drive to the transmitting transducer could be simplest driven directly from the PIC. The 5v drive can give a useful range for large objects, but can be problematic detecting smaller objects. The transducer can handle 20v of drive, so I decided to get up close to this level. A MAX232 IC, usually used for RS232 communication makes an ideal driver, providing about 16v of drive.

The receiver is a classic two stage op-amp circuit. The input capacitor C8 blocks any residual DC which always seems to be present. Each gain stage is set to 24 for a total gain of 576-ish. This is close to the 25 maximum gain available using the LM1458. The gain bandwidth product for the LM1458 is 1MHz. The maximum gain at 40kHz is $1000000/40000 = 25$. The output of the amplifier is fed into an LM311 comparator. A small amount of positive feedback provides some hysteresis to give a clean stable output.

The problem of getting operation down to 1-2cm is that the receiver will pick up direct coupling from the transmitter, which is right next to it. To make matters worse the piezo transducer is a mechanical object that keeps resonating some time after the drive has been removed. Up to 1mS depending on when you decide it has stopped. It is much harder to tell the difference between this direct coupled ringing and a returning echo, which is why many designs, including the Polaroid module, simply blank out this period. Looking at the returning echo on an oscilloscope shows that it is much larger in magnitude at close quarters than the cross-coupled signal. I therefore adjust the detection threshold during this time so that only the echo is detectable. The 100nF capacitor C10 is charged to about -6v during the burst. This discharges quite quickly through the 10k resistor R6 to restore sensitivity for more distant echoes.

A convenient negative voltage for the op-amp and comparator is generated by the MAX232. Unfortunately, this

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

also generates quite a bit of high frequency noise. I therefore shut it down whilst listening for the echo. The 10uF capacitor C9 holds the negative rail just long enough to do this.

In operation, the processor waits for an active low trigger pulse to come in. It then generates just eight cycles of 40khz. The echo line is then raised to signal the host processor to start timing. The raising of the echo line also shuts of the MAX232. After a while – no more than 10-12mS normally, the returning echo will be detected and the PIC will lower the echo line. The width of this pulse represents the flight time of the sonic burst. If no echo is detected then it will automatically time out after about 30mS (Its two times the WDT period of the PIC). Because the MAX232 is shut down during echo detection, you must wait at least 10mS between measurement cycles for the +/- 10v to recharge.

Performance of this design is, I think, quite good. It will reliably measure down to 3cm and will continue detecting down to 1cm or less but after 2-3cm the pulse width doesn't get any smaller.

Maximum range is a little over 3m. As an example of the sensitivity of this design, it will detect a 1inch thick plastic broom handle at 2.4m.

Average current consumption is reasonable at less than 50mA and typically about 30mA.

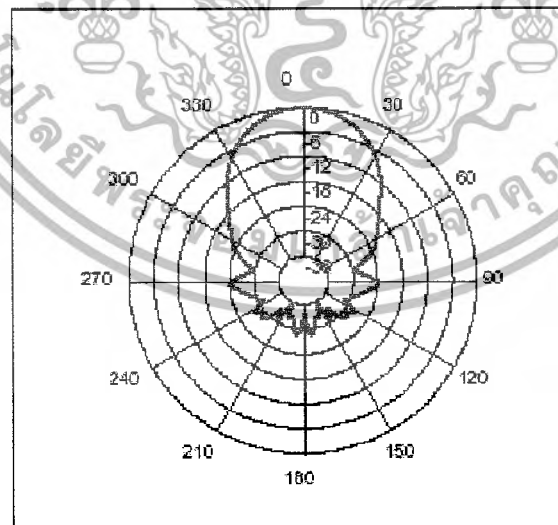
Download the [source code](#) and a ready assembled [hex file](#).

Calculating the Distance

The SRF04 provides an echo pulse proportional to distance. If the width of the pulse is measured in uS, then dividing by 58 will give you the distance in cm, or dividing by 148 will give the distance in inches. $uS/58=cm$ or $uS/148=inches$.

Changing beam pattern and beam width

You can't! This is a question which crops up regularly, however there is no easy way to reduce or change the beam width that I'm aware of. The beam pattern of the SRF04 is conical with the width of the beam being a function of the surface area of the transducers and is fixed. The beam pattern of the transducers used on the SRF04, taken from the manufacturers data sheet, is shown below.



There is more information in the [sonar faq](#).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Update - May 2003

Since the original design of the SRF04 was published, there have been incremental improvements to improve performance and manufacturing reliability. The op-amp is now an LMC6032 and the comparator is an LP311. The 10uF capacitor is now 22uF and a few resistor values have been tweaked. These changes have happened over a period of time.

All SRF04's manufactured after May 2003 have new software implementing an optional timing control input using the "do not connect" pin. This connection is the PIC's Vpp line used to program the chip after assembly. After programming its just an unused input with a pull-up resistor. When left unconnected the SRF04 behaves exactly as it always has and is described above. When the "do not connect" pin is connected to ground (0v), the timing is changed slightly to allow the SRF04 to work with the slower controllers such as the Picaxe. The SRF04's "do not connect" pin now acts as a timing control. **This pin is pulled high by default and when left unconnected, the timing remains exactly as before.** With the timing pin pulled low (grounded) a 300uS delay is added between the end of the trigger pulse and transmitting the sonic burst. Since the echo output is not raised until the burst is completed, there is no change to the range timing, but the 300uS delay gives the Picaxe time to sort out which pin to look at and start doing so. The new code has shipped in all SRF04's since the end of April 2003. The new code is also useful when connecting the SRF04 to the slower Stamps such as the BS2. Although the SRF04 works with the BS2, the echo line needs to be connected to the lower numbered input pins. This is because the Stamps take progressively longer to look at the higher numbered pins and can miss the rising edge of the echo signal. In this case you can connect the "do not connect" pin to ground and give it an extra 300uS to get there.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

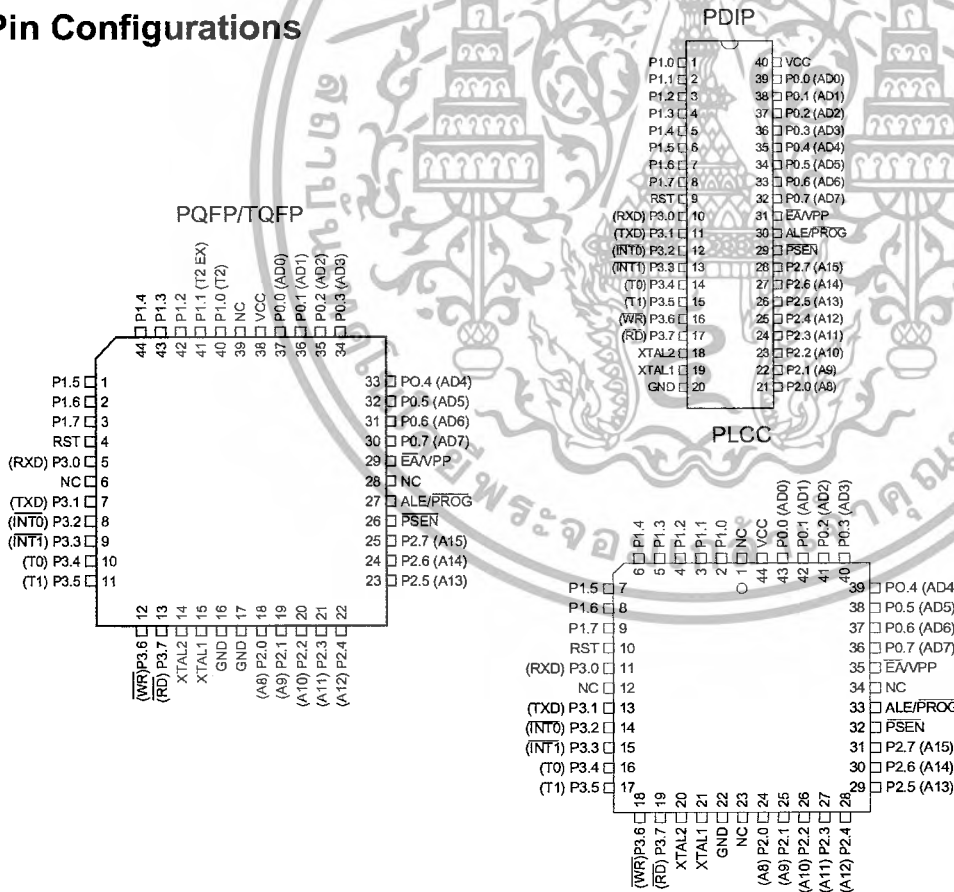
Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations



8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

AT89C51

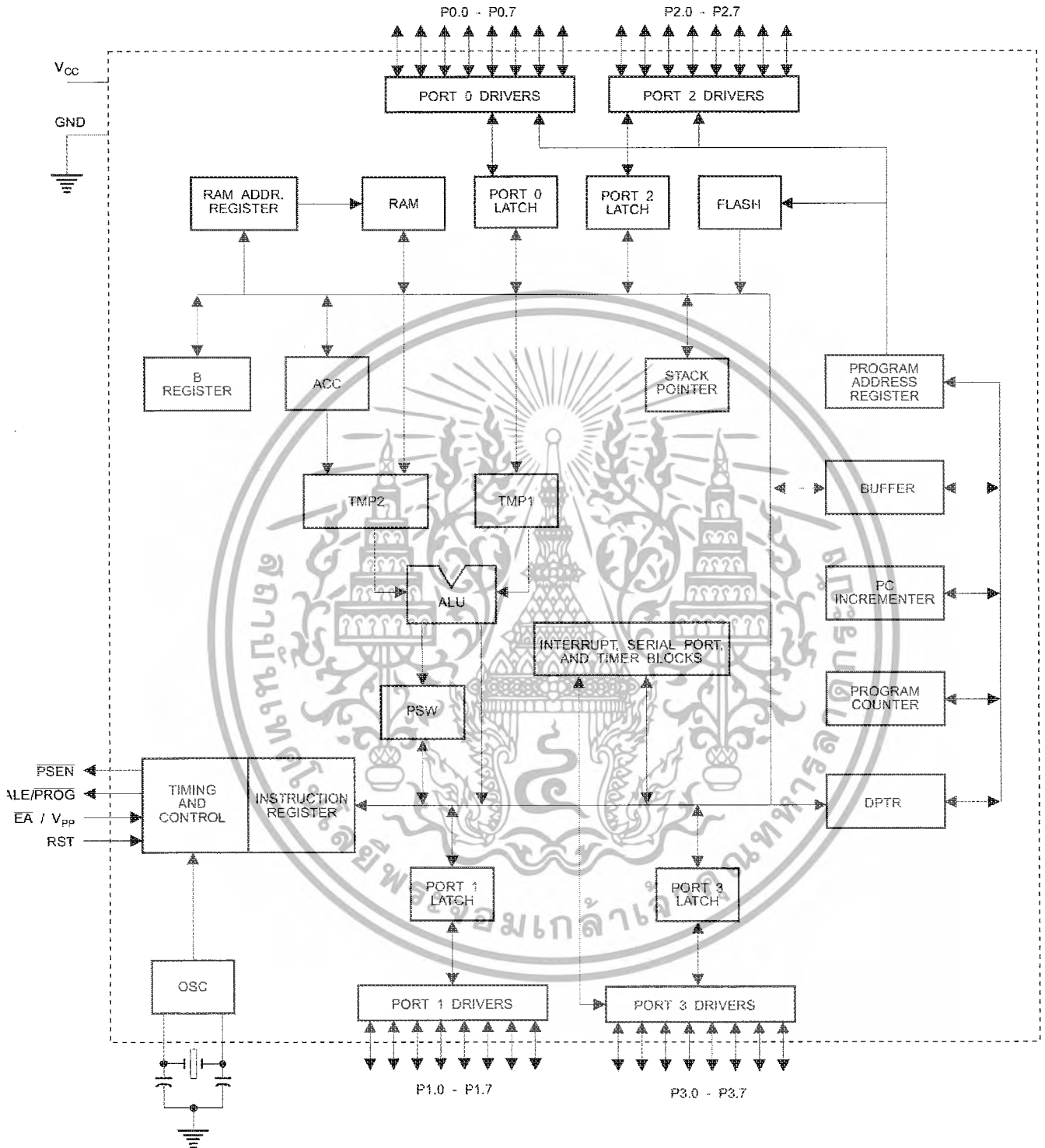
**Not Recommended
for New Designs.
Use AT89S51.**

Rev. 0265G-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs,

Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE



pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C51 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

$\overline{\text{EA}}$ /VPP

External Access Enable. $\overline{\text{EA}}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{\text{EA}}$ will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require 12-volt V_{PP} .

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

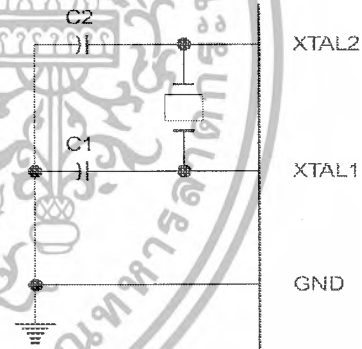
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections

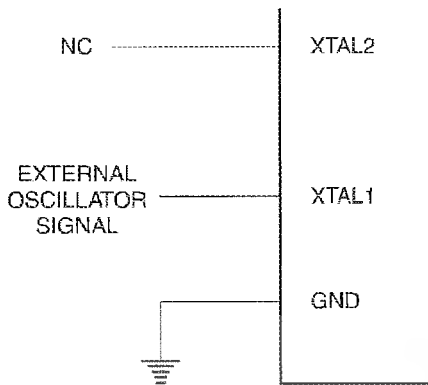


Note: C1, C2 = 30 pF \pm 10 pF for Crystals
= 40 pF \pm 10 pF for Ceramic Resonators

Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{\text{PSEN}}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Figure 2. External Clock Drive Configuration



ters retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the \overline{EA} pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of \overline{EA} be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Regis-

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, \overline{EA} is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled

Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise \overline{EA}/V_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 features \overline{Data} Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. \overline{Data} Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/ \overline{BSY} output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/PROG low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 51H indicates 89C51
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode		RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V _{pp}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data		H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data		H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase		H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte		H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

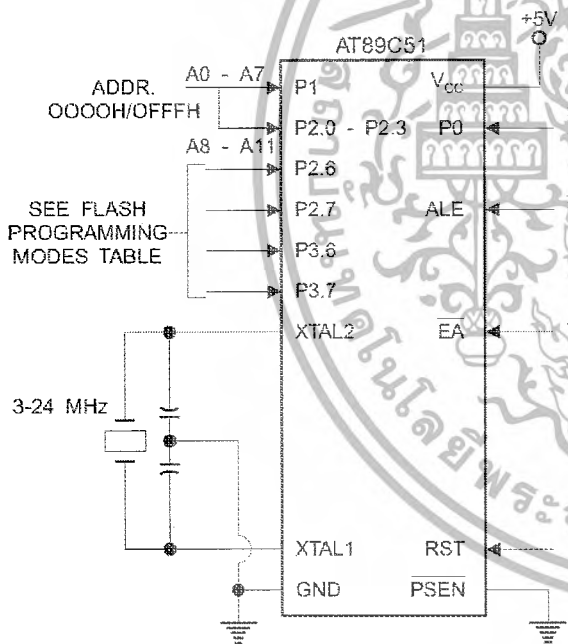
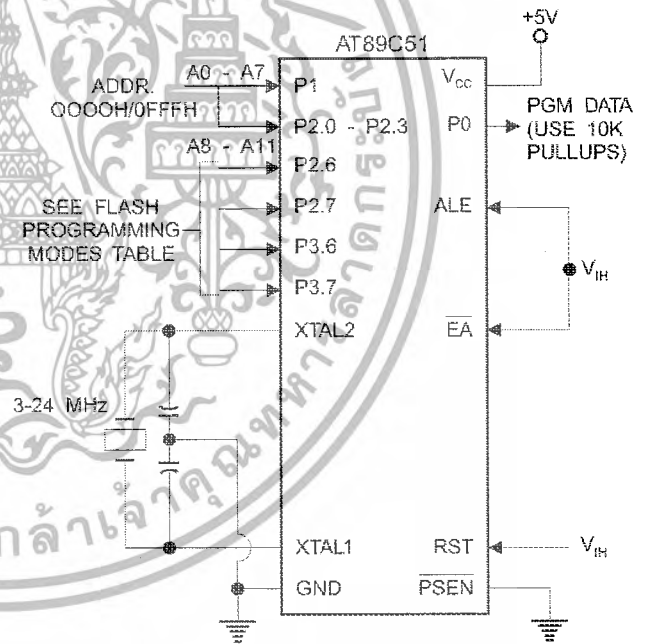
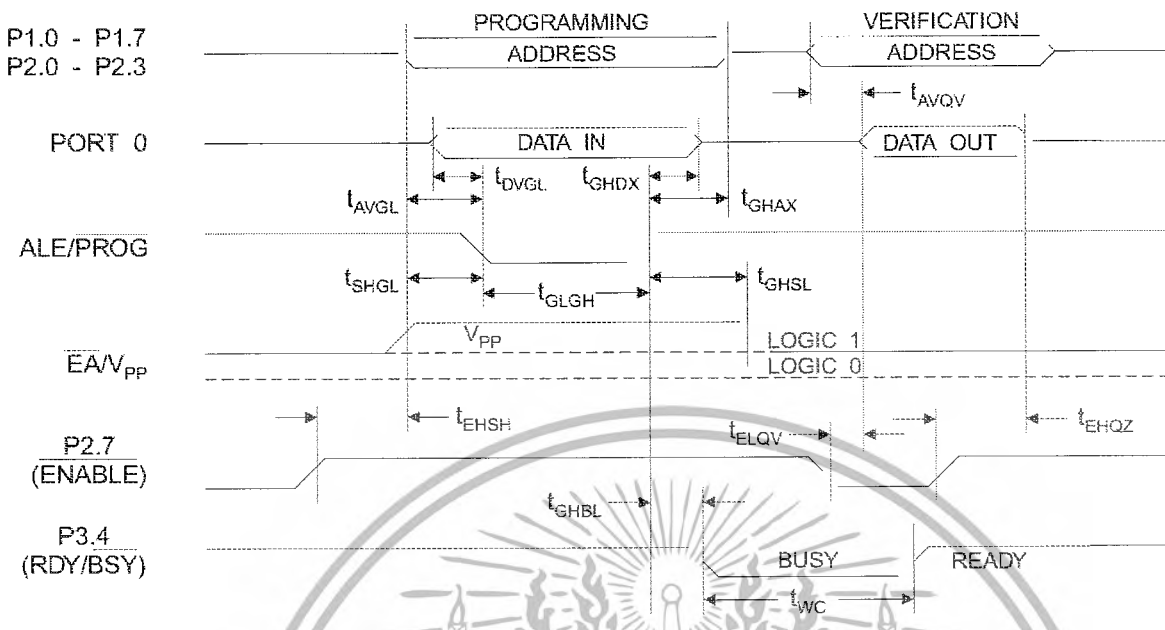


Figure 4. Verifying the Flash

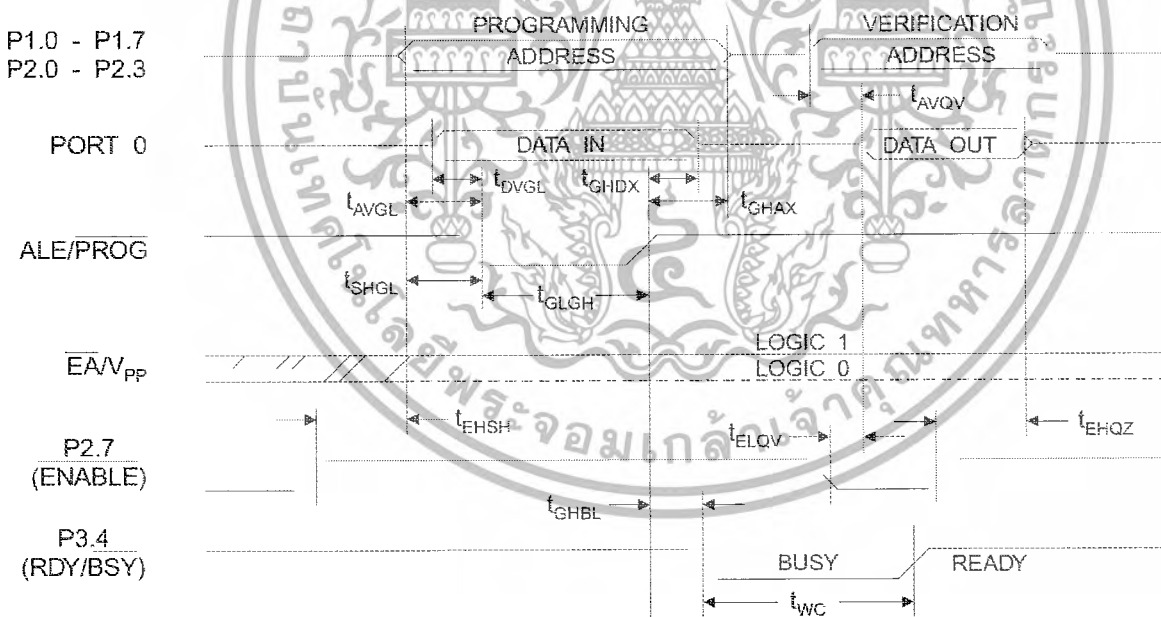


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ($V_{PP} = 12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ($V_{PP} = 5V$)



Flash Programming and Verification Characteristics

T_A = 0°C to 70°C, V_{CC} = 5.0 ± 10%

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
V _{PP} ⁽¹⁾	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
I _{PP} ⁽¹⁾	Programming Enable Current		1.0	mA
1/t _{CLCL}	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t _{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{GHAX}	Address Hold after $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48t _{CLCL}		
t _{GHDX}	Data Hold after $\overline{\text{PROG}}$	48t _{CLCL}		
t _{EHS}	P2.7 (ENABLE) High to V _{PP}	48t _{CLCL}		
t _{SHGL}	V _{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
t _{GHSL} ⁽¹⁾	V _{PP} Hold after $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t _{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t _{AVQV}	Address to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		48t _{CLCL}	
t _{EHQZ}	Data Float after $\overline{\text{ENABLE}}$	0	48t _{CLCL}	
t _{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	μs
t _{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground.....	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$ (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage	(Except $\bar{E}A$)	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IL1}	Input Low-voltage ($\bar{E}A$)		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OL1}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, $\bar{P}SEN$)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, $\bar{P}SEN$)	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
V_{OH1}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
I_U	Input Leakage Current (Port 0, $\bar{E}A$)	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	μA

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
 Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA
 Ports 1, 2, 3: 15 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA
 If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

AC Characteristics

Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

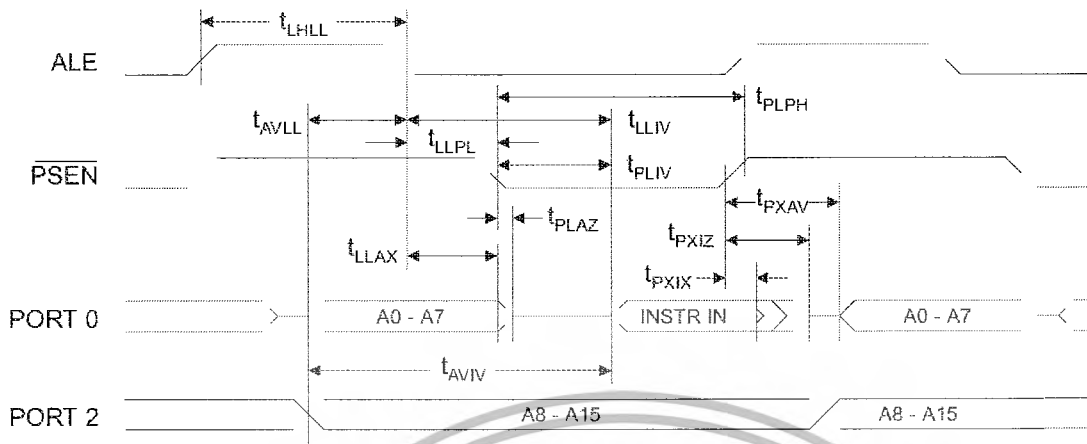
External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold after ALE Low	48		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{PLPH}	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{PLIV}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold after $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float after $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-10$	ns
t_{PXAV}	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-55$	ns
t_{PLAZ}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{WLWH}	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{RLDV}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
t_{RHDX}	Data Hold after $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
t_{RHDZ}	Data Float after $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
t_{AWWL}	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold after $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{RLAZ}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-20$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns

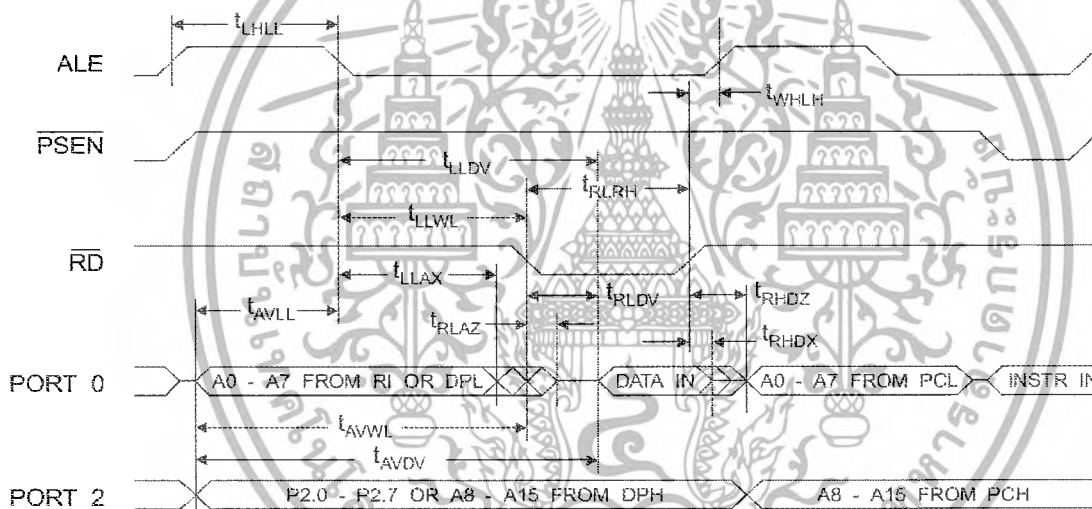


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

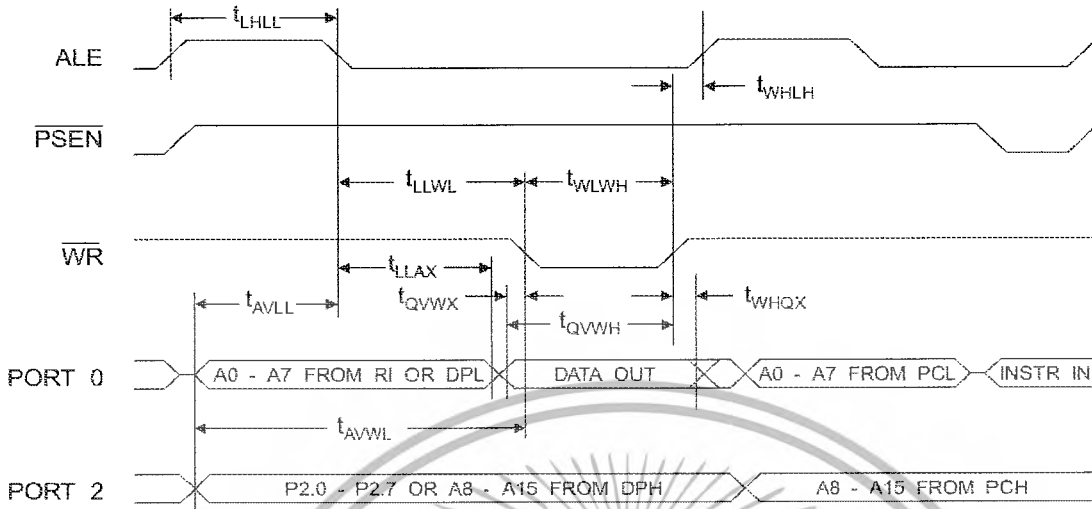
External Program Memory Read Cycle



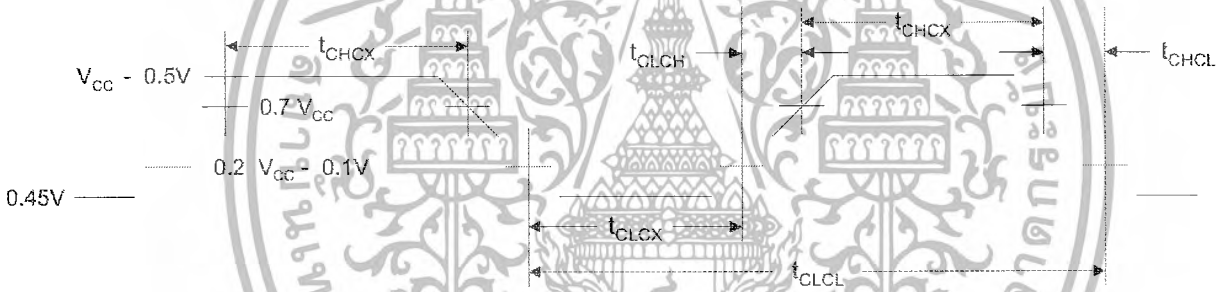
External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns



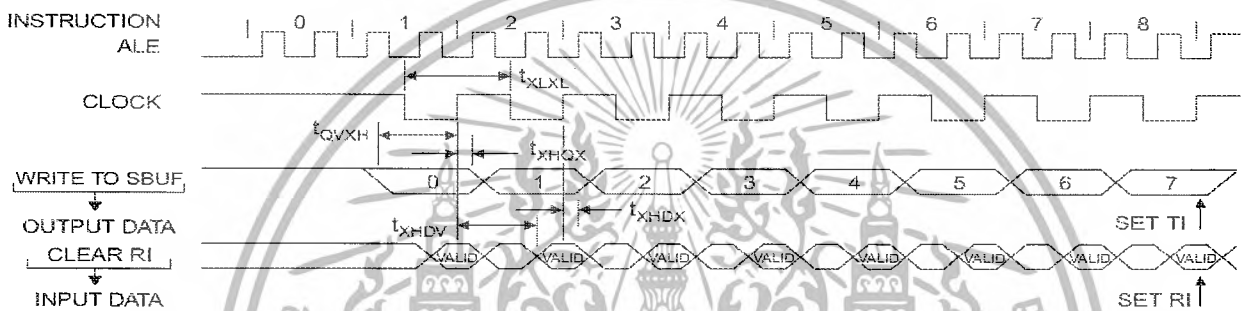
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

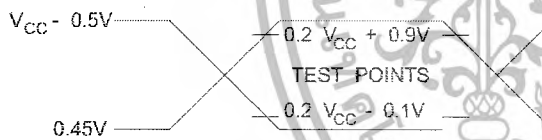
($V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHGX}	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDX}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

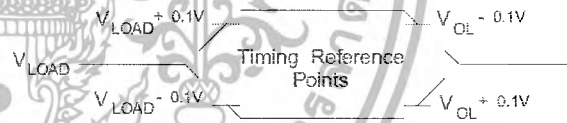


AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5\text{V}$ for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ±20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89C51-12JC	44J	
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89C51-12JI	44J	
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ±20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89C51-16JC	44J	
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89C51-16JI	44J	
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
20	5V ±20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89C51-20JC	44J	
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89C51-20JI	44J	
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	
24	5V ±20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	40P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	40P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

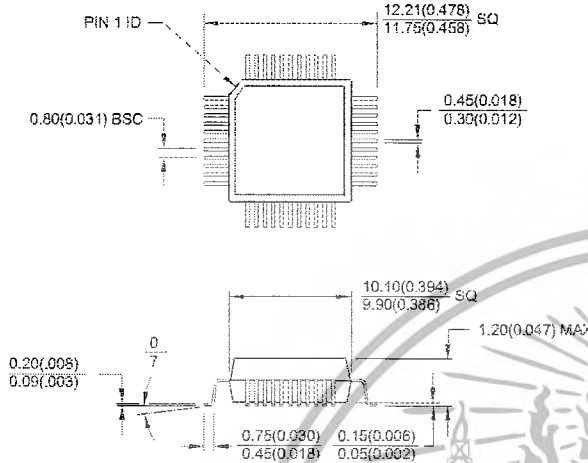
Package Type	
44A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

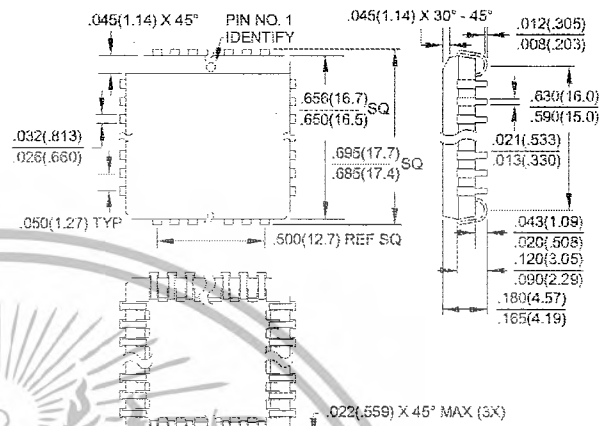
Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*
 JEDEC STANDARD MS-026 ACB

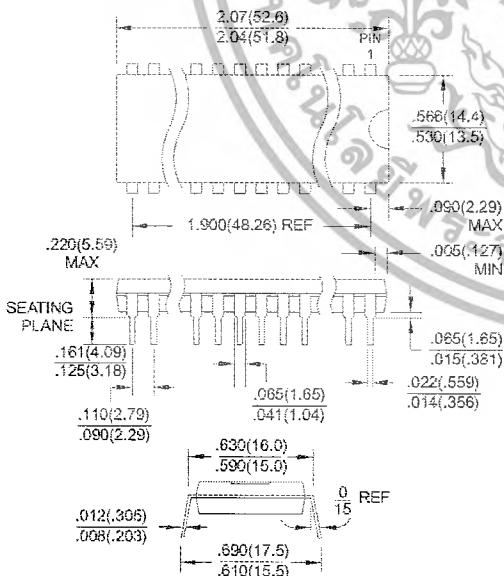


Controlling dimension: millimeters

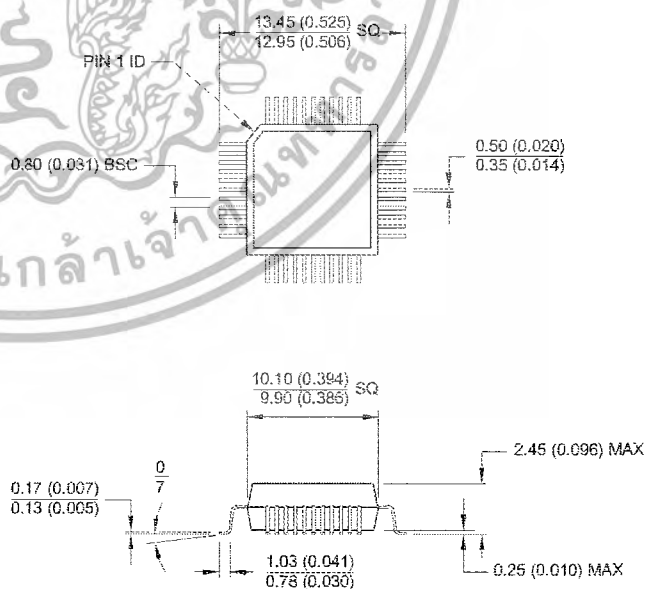
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)
 JEDEC STANDARD MS-018 AC



40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
 Dimensions in Inches and (Millimeters)



44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)
 Dimensions in Millimeters and (Inches)*
 JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters



Atmel Headquarters

Corporate Headquarters

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Europe

Atmel U.K., Ltd.
Coliseum Business Centre
Riverside Way
Camberley, Surrey GU15 3YL
England
TEL (44) 1276-686-677
FAX (44) 1276-686-697

Asia

Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan

Atmel Japan K.K.
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Atmel Colorado Springs

1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Rousset

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001



Fax-on-Demand

North America:
1-(800) 292-8635
International:
1-(408) 441-0732

e-mail

literature@atmel.com

Web Site

<http://www.atmel.com>

BBS

1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 2000.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.










Printed on recycled paper.

0265G-02/00/xM

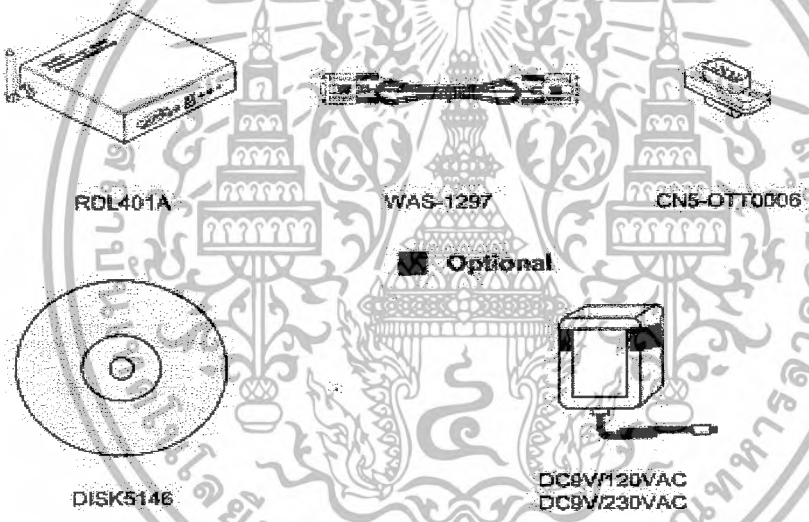
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RDL401A Series

Information

Machine type	Function
 <p>RDL401A</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> <p>AUTO SWITCH</p> <p>TX  RX</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> <p>DISPLAY</p> <p>  </p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> <p>RS232</p> <p></p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;"> <p>CHANNEL SELECT</p> <p></p> </div> </div>

Standard Package



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

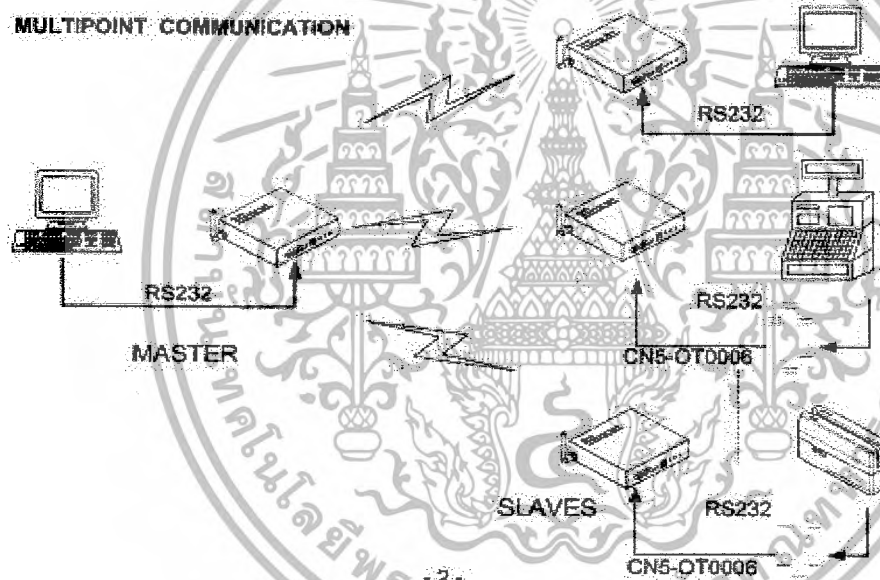
Application

- To replace the RS-232 cable between Computer and Computer (Terminal) .
- Remote control
- Remote monitoring
- Data acquisition
- Computer-aided integrated manufacturing
- Point-of-sale system
- Data transmission of moveable station

POINT TO POINT COMMUNICATION

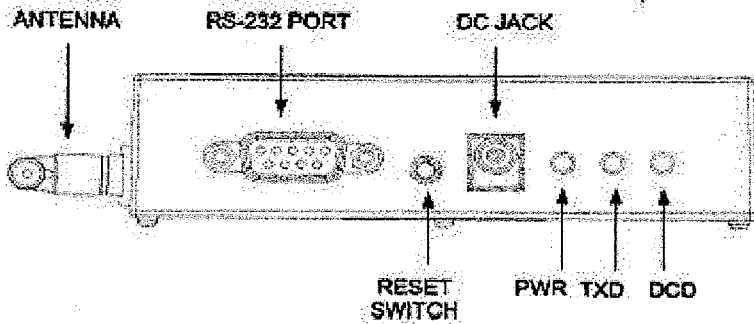


MULTIPOINT COMMUNICATION



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Configuration



CHANNEL Select Switch :

- Switch 1 : ON : 433.92MHz
OFF : 434.33MHz
- Switch 2 : ON : 4800 BPS Disable
OFF : 4800 BPS Enable
- Switch 3 : ON : 9600 BPS Enable
OFF : 19200 BPS Enable
- Switch 4 : Reserved

RS-232 Port -- To be connected with the Computer (Terminal) .

REST Switch -- Press this REST switch to reset radio Channel to the new setting .
Before pressing this switch , the radio Channel will not change although the CHANNEL Select Switch has been changed . (The CHANNEL Select Switch is located on the bottom of the RDL401A unit)

Power Jack -- For DC 9V power input .

PWR Power indicator -- Turn on when the power is applied .

TXD Indicator -- Green LED turns on when the data is sent from the connected Computer (Terminal) to RDL401A unit .

DCD Indicator -- Green LED turns on when it detects a radio transmission from the air (Data Carrier Detect) .

CHANNEL Select Switch -- DIP switch located on the bottom of the RDL401A unit is for changing radio channel 433.92MHz or 434.33MHz . After you make Channel change , you must press RESET switch or power off and then reboot power . Then the RDL401A will be reset to the new radio Channel .

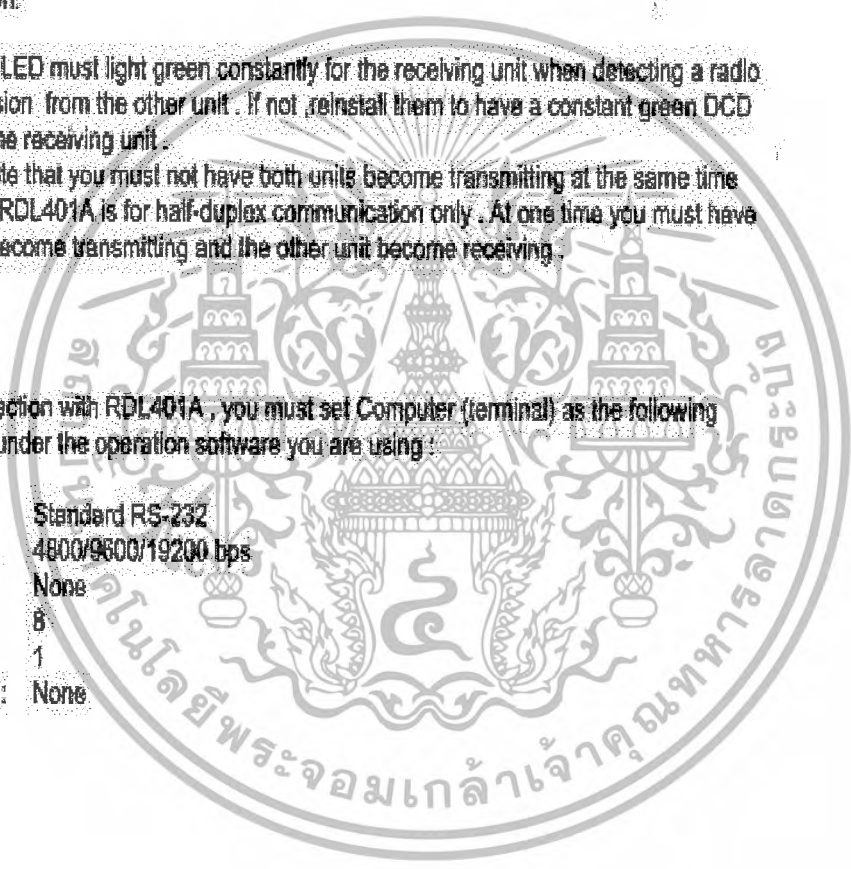
Installation

1. Install the RS-232 cable between the RDL401A and Computer or Terminal .
(The pin connection is as PIN ASSIGNMENT)
2. Set up one pair of RDL401 , one for Master Computer (terminal) and the other for Remote Computer (terminal) . Set both RDL401A units at the same channel .
3. Connect the DC power supply to the DC Power Jack on RDL401A unit , the PWR LED will turn on.
4. The DCD LED must light green constantly for the receiving unit when detecting a radio transmission from the other unit . If not ,reinstall them to have a constant green DCD light for the receiving unit .
Please note that you must not have both units become transmitting at the same time because RDL401A is for half-duplex communication only . At one time you must have one unit become transmitting and the other unit become receiving .

Note :

To get connection with RDL401A , you must set Computer (terminal) as the following parameters under the operation software you are using :

Standard :	Standard RS-232
Baud Rate :	4800/9600/19200 bps
Parity :	None
Data Bits :	8
Stop BIT :	1
Flow control :	None

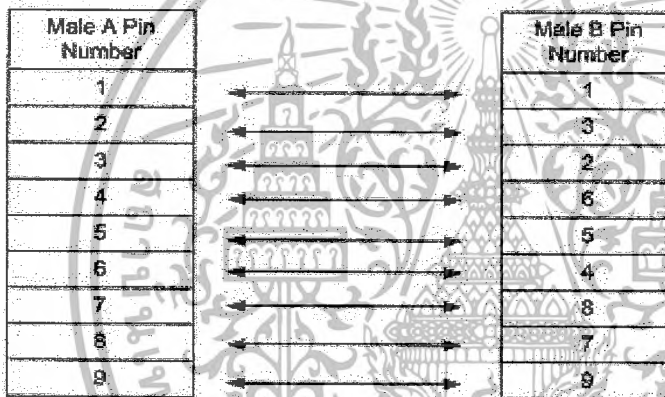


PIN ASSIGNMENT

9 Pin D Female Connect

Pin Number	Signal
1	X
2	TXD (Out)
3	RXD (In)
4	X
5	Ground
6	X
7	X
8	RTS (Out)
9	X

CNS-OTT0008 Connect



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification

Frequency : 433.92/434.33MHz

Antenna Impedance : 50 Ohms , unbalanced

Number of Channels : 2 (Frequency Synthesized)

Frequency Stability : +/- 10 ppm (at 0-80 Deg. C)

Data Rate : 4800/9600/19200 Baud

Data format : None Parity , 8 Data Bits , 1 Stop Bit ,
Half-duplex over a single channel Asynchronous
Serial

Communication Distance : Approx. 50-150 meters (prospective)

Power Supply : 9 VDC

Environment : Operating Temperature 0 ~+60 Deg. C
Storage Temperature -10 ~+70 Deg. C
Humidity : 10 % ~ 95 % , non-condensing

Dimensions : W 107 * D 102 * H 28 mm

Weight : APPROX. 0.36 KGs

Transmitter Output Power : 5mW maximum

Modulation Deviation : 35 +/- 5 KHz

PLL Programming Time : 5 m sec , maximum

Current Drain : 60 mA maximum at 9 VDC nominal

Sensivity : -102 dBm

Selectivity : 85 KHz maximum

Receiver Current : Typical 27 mA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Radio Data Link RF Module with UART Interface

INTRODUCTIONS:

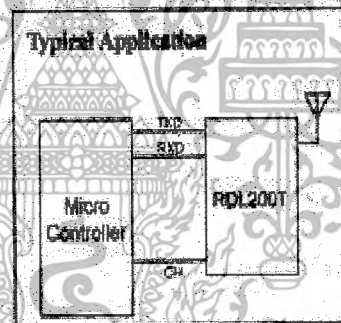
RDL200T (Radio Data Link) RF Module is designed for wireless RS232 serial data communication. It is suitable for most of your wireless data link applications. RDL200T RF Module can be built into your equipment through RS232 interface to replace the cable to become wireless communication. It is a low cost and high quality radio data communication solution.

FEATURES:

1. ISM frequency 433.92MHz / 434.33MHz
2. Two channel selectable.
3. Low power consumption with 3.3Vdc
4. RS232 interface (Serial TTL level)
5. Speed up to 9600bps with automatic flow control.
6. Half-duplex with automatic Receiving/Transmitting control.
7. Small package size.
8. Distance: 50-150 meters with appropriate antenna

APPLICATION:

1. Hand-held terminals
2. Computer to computer
3. Computer to terminal
4. Data collection terminal
5. Mobile-around data communications
6. Remote control
7. Remote monitoring
8. POS systems.



SPECIFICATIONS:

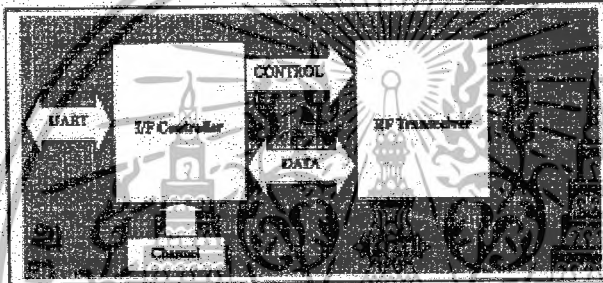
1. Frequency: CH1 433.92MHz / CH2 434.33MHz
2. Modulation: FSK
3. Output power: 7dbm (5mw)
4. Receiving Sensibility: -102dbm
5. Operating voltages: 2.7Vdc-3.3Vdc
6. Power consumption: Tx:60mA / Rx:30mA
7. Interface : RS232 (TTL Level: TXD/RXD)
8. Data Rate : 19200bps/9600bps / 4800bps , Half-duplex
9. Operating temperature: 0°C-55°C (Storage Temperature: -10°C -60°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUICK REFERENCE DATA

Parameter	Value	Units
Frequency, Channel#1/Channel#2	433.02/434.33	MHz
Modulation	FSK	
Frequency deviation	+/-30	KHz
Max. RF output power	7	dBm
Sensitivity	-102	dBm
UART Baudrate	19200/9600/4800	bps
Supply voltage	2.7 - 3.3	Vdc
Max. Receive current	30	mA
Max. Transmit current	60	mA

BLOCK DIAGRAM



I/F Controller: UART and Radio interface unit

RF Transceiver: A long-range radio transceiver for wireless links operating in the globally available ISM band.

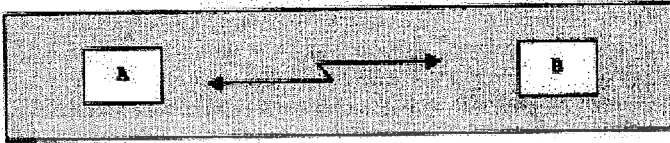


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RDL200T APPLICATION

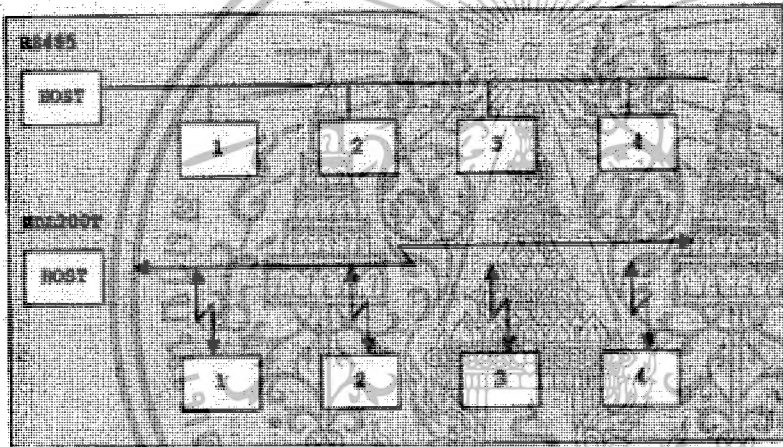
1. Point to Point Radio Data Link

For point to point radio data link, just change your RS232 transceiver IC to RDL200T in your RS232 product. You don't need to change any firmware. RDL200T serves as a invisible RS232 cable in your product.



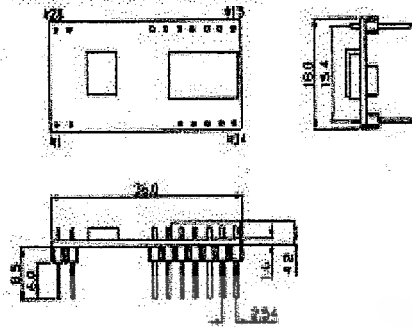
2. Multi-Station Radio Data Link

For Multi-Station radio data link, you have to build a protocol for Multi-Station that's similar to RS485 to assign machine ID for each station.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE OUTLINE (DIP28)



Unit: mm

PIN ASSIGNMENT

PIN	NAME	I/O	DESCRIPTION
1	ANT	I	*Antenna
2	ANTG	I	*Antenna Signal GND
3,4,5,6,7,8,9	NC		No-Connect
10	/RST	I	Active Low Reset
11	RXD	I	UART Data Input
12	TXD	O	UART Data Output
13	GND	I	GND
14	TRD/CMD		Reserved
15	BPS0		4800bps 0:disable 1:enable
16	BPS1		0:9600bps 1:19200bps(*short data pack)
17	CH	I	0:433.92MHz 1:434.35MHz
18	RLED	O	RXD Status LED
19	TLED	O	TXD Status LED
20	GND		GND
21	VCC		Power Input +3.3Vdc-2.7Vdc
22,23,24,25,26	NC		No-Connect
27	GND		GND
28	GND		GND

*Antenna Signal GND: Connect to antenna cable GND.

*Antenna : 50 ohm / 430-435MHz / -25db.

*19200bps for short data pack (max 70 bytes) only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

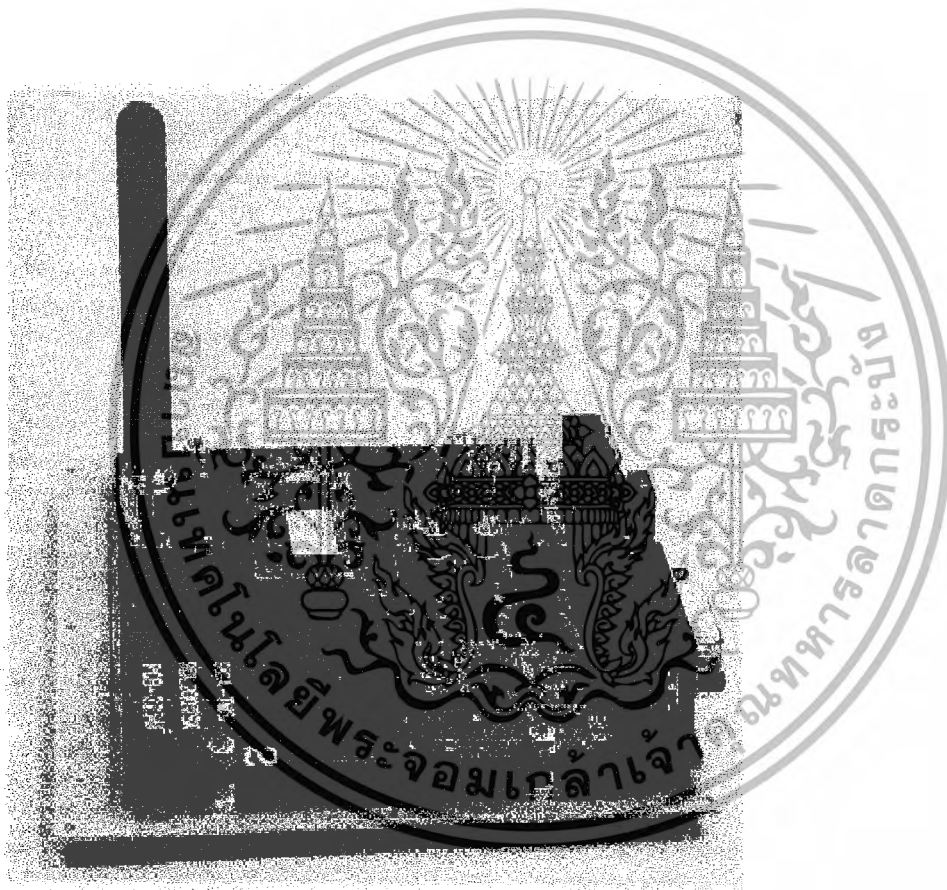
PROMAG

RDL200T

REV.B

RDL200T START KIT

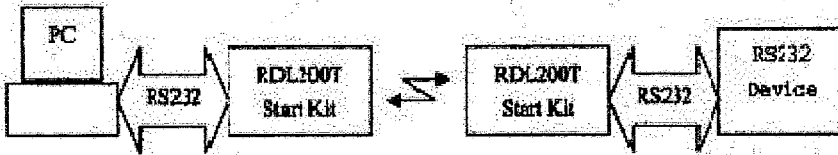
The RDL200TSK Start Kit includes the RDL200T module and RS232 Transceiver IC. You can easily learn and develop your product for wireless communication application.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

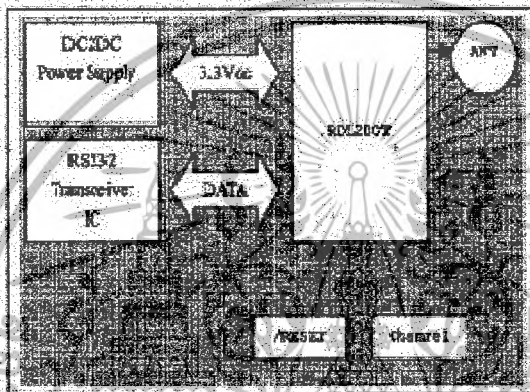
START KIT PACKAGE APPLICATION

Example: Point to Point radio datalink

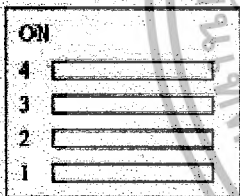


Keep your communication way and easy to upgrade your product to become wireless product with RDL200T.

ASY-RDL200TSK BLOCK DIAGRAM



DIP SWITCH



- 1. ON : CH1 (433.92MHz) / OFF:CH2 (434.39MHz)
- 2. ON : 4800 bps DISABLE / OFF : 4800 bps ENABLE
- 3. ON : 9600 bps ENABLE / OFF : 19200 bps ENABLE
- 4. Reserved

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROMAG

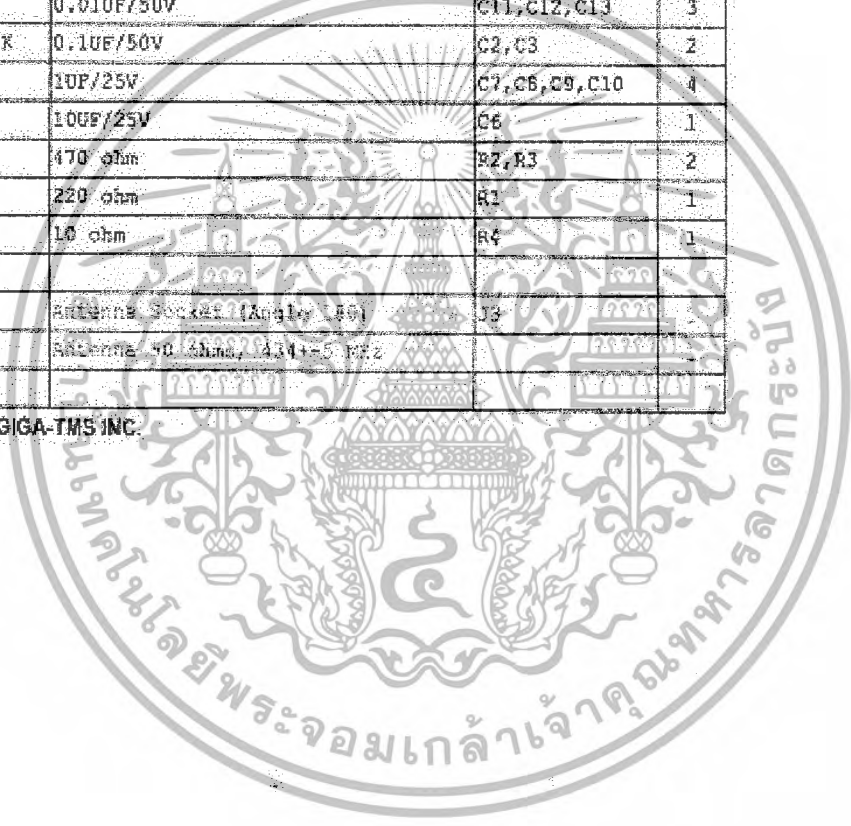
RDL200T

REV.B

ASY-RDL200T5K BILL OF MATERIALS

Part Number	Description	Location	QTY
UTCLD1117-3.3J	3.3Vdc DC2DC Power supply	U1	1
RDL200T-00	Radio Data Link Module	U2	1
SP385ACA	RS232 Transceiver IC	U3	1
BA516	DIODE	D1	1
DBS104G	DIODE BRIDGE SMT DBS104G	D3	1
7D180	Variable Resistor	RVI	1
CEC45-476D16W	47UF/16V	C1, C4	2
CMC5X102K50	1000PF/50V	C5	1
CMC5X103K50	0.01UF/50V	C11, C12, C13	3
C2012X7R1H104K	0.1UF/50V	C2, C3	2
CMC5X105K25	10UF/25V	C7, C8, C9, C10	4
CMC6Y106Z16	10UF/25V	C6	1
0805-5-470R	470 ohm	R2, R3	2
0805-5-220R	220 ohm	R1	1
0805-5-10R	10 ohm	R4	1
*CN5-076007	Antenna Socket (Angle 180)	J3	1
*ANC-1001	Antenna 50 Ohms, 1314-5 PF2		1

*PROVIDED BY GIGA-TMS INC.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORDERING INFORMATION

RDL200T-00: (Radio Data Link Module)
P/N: RDL200T-00

RDL200T Start Kit Package: (ASY-RDL200TSK x 2PC9)
P/N: RDL200T-SKE

E: Include 230VAC/9VDC Adaptor
U: Include 120VAC/9VDC Adaptor

RDL401A-00 (Stand-Alone Radio Data Link)
P/N: RDL401AE

E: Include 230VAC/9VDC Adaptor
U: Include 120VAC/9VDC Adaptor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

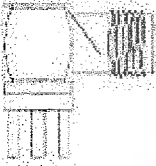
OPTIONAL ANTENNA SOCKET AND ANTENNA

1. Antenna Socket

P/N: CN5-OTG0007 (Angle 180)



P/N: CN5-OTG0008 (Angle 90)



2. Antenna Extension Cable

P/N: WAS-1520



3. Antenna

P/N: ANT-T001 (50 ohms, 434+5 MHz)

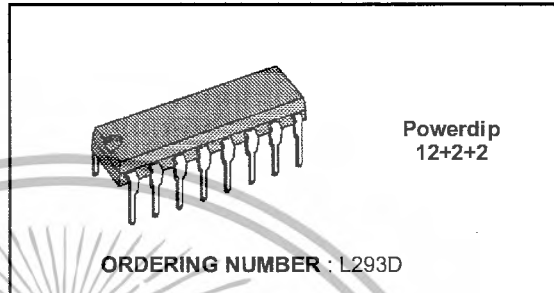


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES

PRELIMINARY DATA

- 600mA. OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (NON REPETITIVE) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5v (HIGH NOISE IMMUNITY)
- INTERNAL CLAMPS DIODES



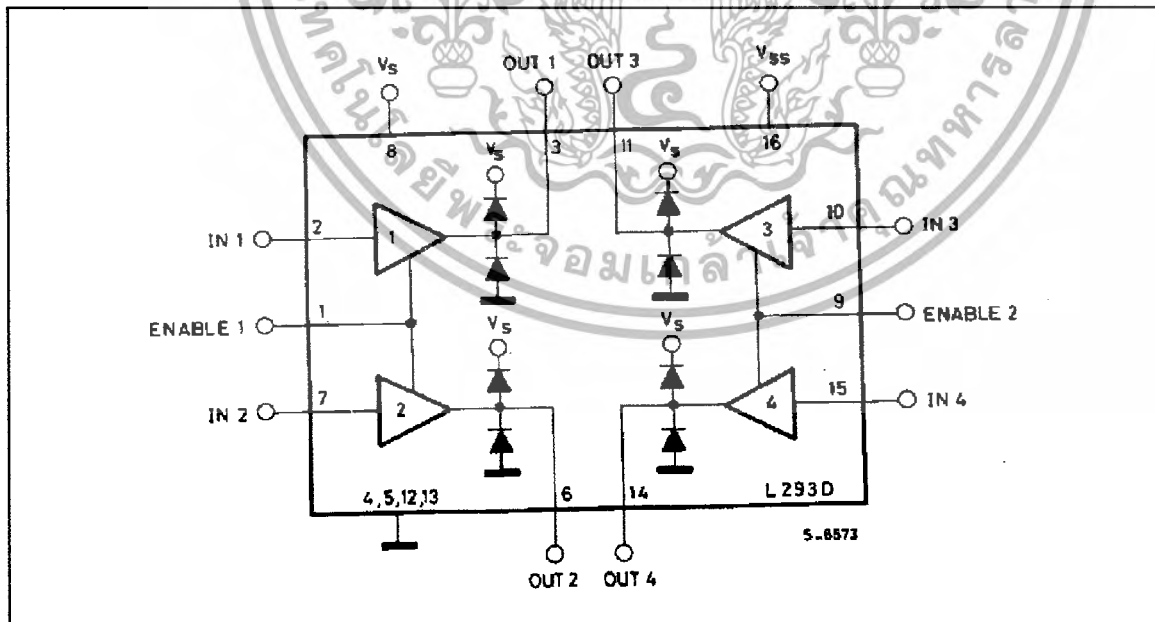
DESCRIPTION

The L293D is a monolithic integrated high voltage, high current four channel driver designed to accept standard DTL or TTL logic levels and drive inductive loads (such as relays solenoids, DC and stepping motors) and switching power transistors. To simplify use as two bridges is pair of channels is equipped with an enable input. A separate supply input is provided for the logic, allowing operation at a low voltage and internal clamp diodes are included.

This device is suitable for use in switching applications at frequencies up to 5 KHz.

The L293D is assembled in a 16 lead plastic package which has 4 center pins connected together and used for heatsinking.

BLOCK DIAGRAM

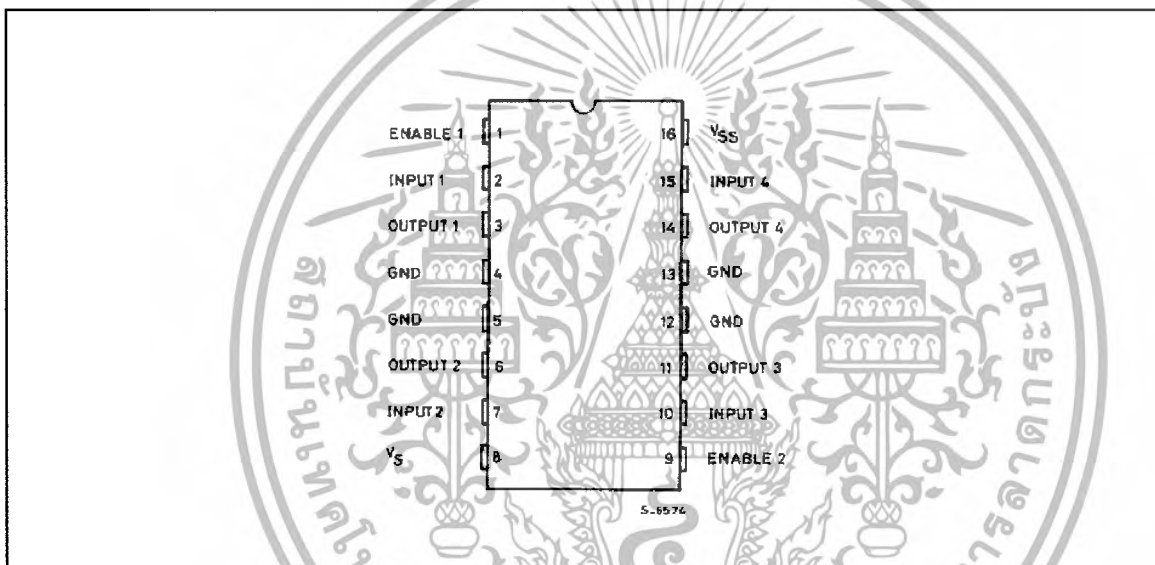


L293D

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Supply Voltage	36	V
V_{SS}	Logic Supply voltage	36	V
V_i	Input voltage	7	V
V_{en}	Enable voltage	7	V
I_o	Peak output current (100 μ s non repetitive)	1.2	A
P_{tot}	Total power dissipation at $T_{ground-pins} = 80^\circ\text{C}$	5	W
T_{stg}, T_J	Storage and junction temperature	-40 to 150	$^\circ\text{C}$

CONNECTION DIAGRAM



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	Value	Unit
Rth-j-case	Thermal resistance junction-case	max 14	$^\circ\text{C/W}$
Rth j-case	Thermal resistance junction-ambient	max 80	$^\circ\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (For each channel, $V_s = 24V$, $V_{ss} = 5V$, $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_s	Supply voltage		V_{ss}		36	V
V_{ss}	Logic supply voltage (pin 16)		4.5		36	V
I_s	Total quiescent supply current (pin 8)	$V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		2	6	mA
		$V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		16	24	
		$V_{en} = L$			4	
I_{ss}	Total quiescent logic supply current (pin 16)	$V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		44	60	mA
		$V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{en} = H$		16	22	
		$V_{en} = L$		16	24	
V_{iL}	Input low voltage (pin 2, 7, 10, 15)		-0.3		1.5	V
V_{iH}	Input high voltage (pin 2, 7, 10, 15)	$V_{ss} \leq 7V$	2.3		V_{ss}	V
		$V_{ss} > 7V$	2.3		7	
I_{iL}	Low voltage input current (pin 2, 7, 10, 15)	$V_{iL} = 1.5V$			-10	μA
I_{iH}	High voltage input current (pin 2, 7, 10, 15)	$2.3 \leq V_{iH} \leq V_{ss} - 0.6V$		30	100	μA
V_{enL}	Enable low voltage (pin 1, 9)		-0.3		1.5	V
V_{enH}	Enable high voltage (pin 1, 9)	$V_{ss} \leq 7V$	2.3		V_{ss}	V
		$V_{ss} > 7V$	2.3		7	
I_{enL}	Low voltage enable current (pin 1, 9)	$V_{enL} = 1.5V$		-30	-100	μA
I_{enH}	High voltage enable current (pin 1, 9)	$2.3V \leq V_{enH} \leq V_{ss} - 0.6V$			± 10	μA
V_{CEsatH}	Source output saturation voltage (pin 3, 6, 11, 14)	$I_o = -0.6A$		1.4	1.8	V
V_{CEsatL}	Sink output saturation voltage (pins 3, 6, 11, 14)	$I_o = +0.6A$			1.2	1.8
V_F	Clamp diode forward voltage	$I_o = 600\text{ mA}$		1.3		V
t_r	Rise time (*)	0.1 to $0.9 V_o$		250		ns
t_f	Fall time (*)	0.9 to $0.1 V_o$		250		ns
t_{on}	Turn-on delay (*)	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		750		ns
t_{off}	Turn-off delay (*)	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		200		ns

(*) See fig.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

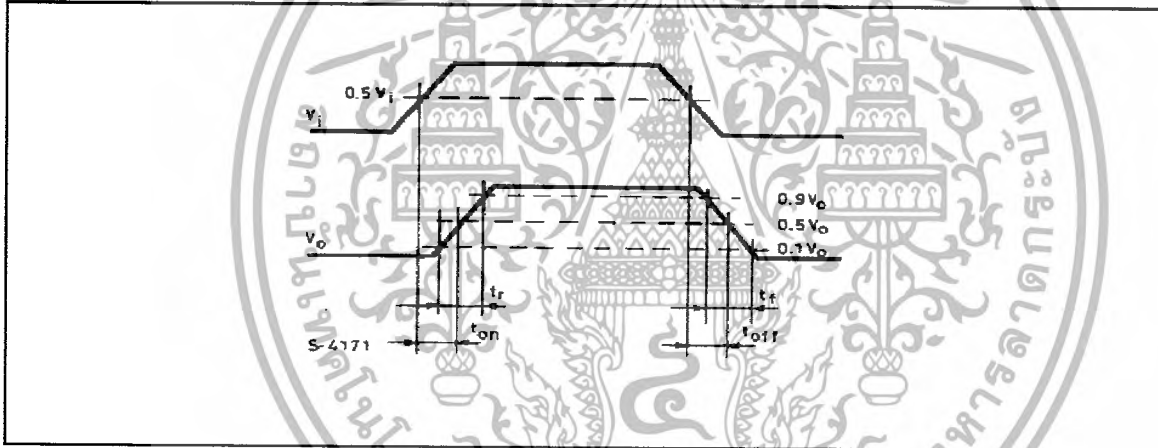
TRUTH TABLE (One channel)

INPUT	ENABLE (*)	OUTPUT
H	H	H
L	H	L
H	L	Z
L	L	Z

Z = High output impedance

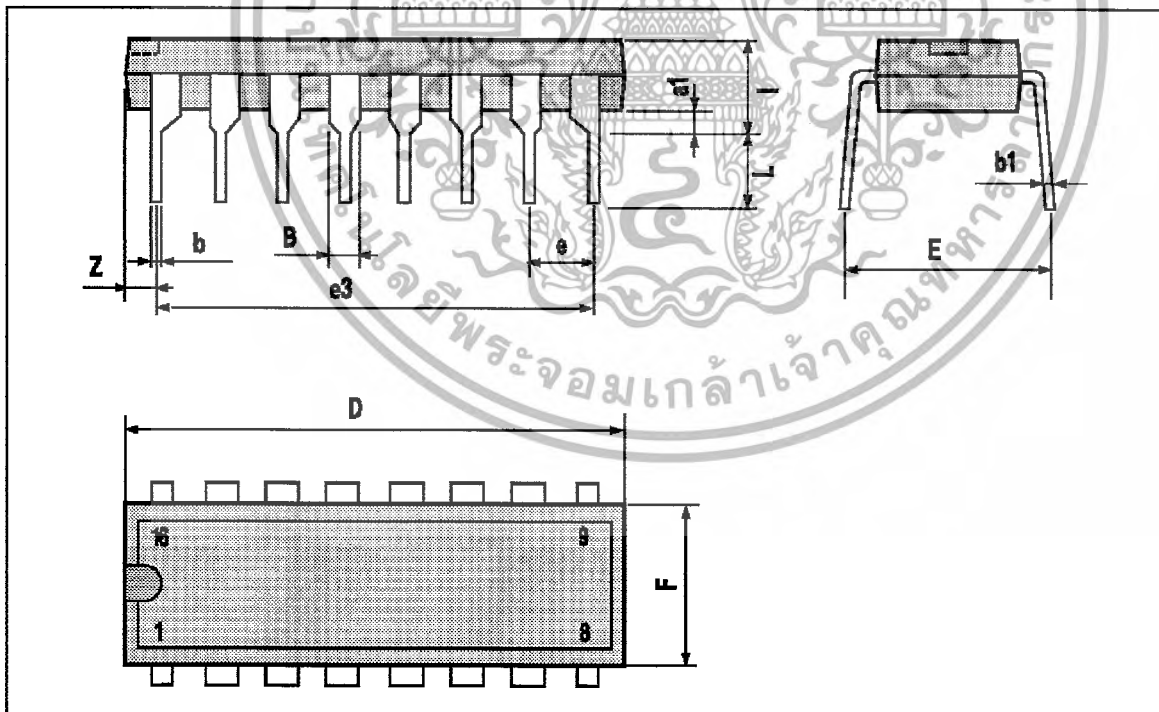
(*) Relative to the considered channel

Figure 1. Switching Times



POWERDIP PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.85		1.40	0.033		0.055
b		0.50			0.020	
b1	0.38		0.50	0.015		0.020
D			20.0			0.787
E		8.80			0.346	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.10			0.280
l			5.10			0.201
L	3.30			0.130		
Z			1.27			0.050



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1994 SGS-THOMSON Microelectronics - All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

SEVEN DARLINGTON ARRAYS

- SEVEN DARLINGTONS PER PACKAGE
- OUTPUT CURRENT 500mA PER DRIVER (600mA PEAK)
- OUTPUT VOLTAGE 50V
- INTEGRAL SUPPRESSION DIODES FOR INDUCTIVE LOADS
- OUTPUTS CAN BE PARALLELED FOR HIGHER CURRENT
- TTL/CMOS/PMOS/DTL COMPATIBLE INPUTS
- INPUTS PINNED OPPOSITE OUTPUTS TO SIMPLIFY LAYOUT

DESCRIPTION

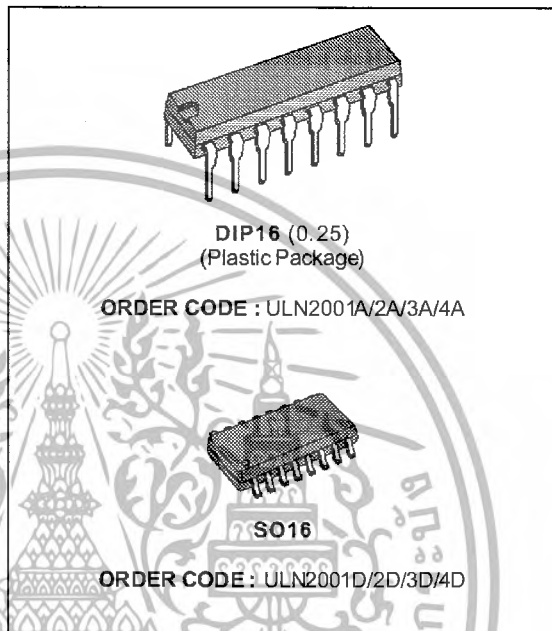
The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003 and ULN2004A are high voltage, high current darlington arrays each containing seven open collector darlington pairs with common emitters. Each channel is rated at 500mA and can withstand peak currents of 600mA. Suppression diodes are included for inductive load driving and the inputs are pinned opposite the outputs to simplify board layout.

The four versions interface to all common logic families :

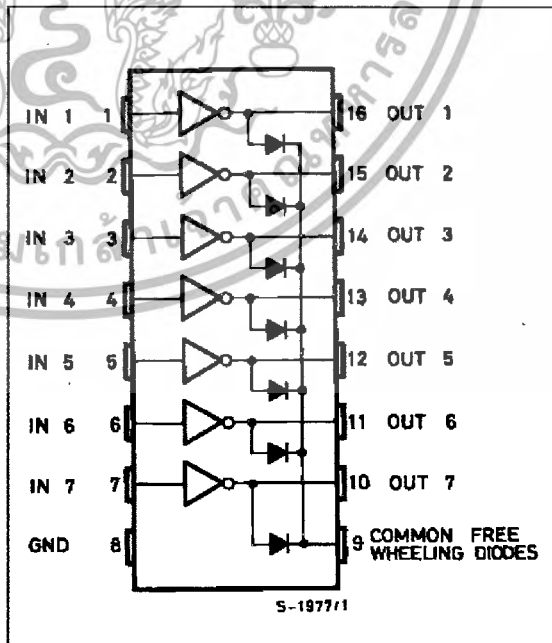
ULN2001A	General Purpose, DTL, TTL, PMOS, CMOS
ULN2002A	14-25V PMOS
ULN2003A	5V TTL, CMOS
ULN2004A	6-15V CMOS, PMOS

These versatile devices are useful for driving a wide range of loads including solenoids, relays DC motors, LED displays filament lamps, thermal print-heads and high power buffers.

The ULN2001A/2002A/2003A and 2004A are supplied in 16 pin plastic DIP packages with a copper leadframe to reduce thermal resistance. They are available also in small outline package (SO-16) as ULN2001D/2002D/2003D/2004D.

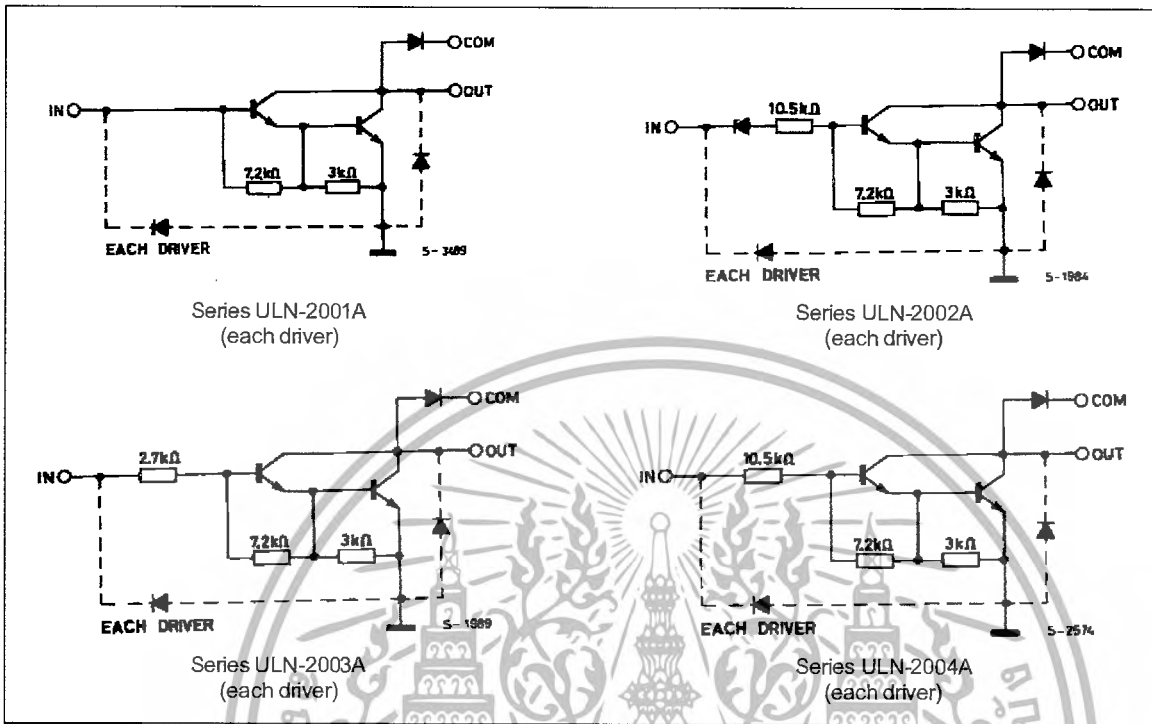


PIN CONNECTION



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_o	Output Voltage	50	V
V_{in}	Input Voltage (for ULN2002A/D - 2003A/D - 2004A/D)	30	V
I_c	Continuous Collector Current	500	mA
I_b	Continuous Base Current	25	mA
T_{amb}	Operating Ambient Temperature Range	- 20 to 85	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	- 55 to 150	°C
T_j	Junction Temperature	150	°C

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP16	SO16	Unit
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 70	165	°C/W

ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Fig.
I_{CEX}	Output Leakage Current	$V_{CE} = 50\text{V}$ $T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, V_{CE} = 50\text{V}$			50 100	μA μA	1a 1a
		$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}$ for ULN2002A $V_{CE} = 50\text{V}, V_i = 6\text{V}$ for ULN2004A $V_{CE} = 50\text{V}, V_i = 1\text{V}$			500	μA	1b
					500	μA	1b
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter Saturation Voltage	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 250\mu\text{A}$		0.9	1.1	V	2
		$I_C = 200\text{mA}, I_B = 350\mu\text{A}$		1.1	1.3	V	2
		$I_C = 350\text{mA}, I_B = 500\mu\text{A}$		1.3	1.6	V	2
$I_{i(on)}$	Input Current	for ULN2002A, $V_i = 17\text{V}$		0.82	1.25	mA	3
		for ULN2003A, $V_i = 3.85\text{V}$		0.93	1.35	mA	3
		for ULN2004A, $V_i = 5\text{V}$		0.35	0.5	mA	3
		$V_i = 12\text{V}$		1	1.45	mA	3
$I_{i(off)}$	Input Current	$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, I_C = 500\mu\text{A}$	50	65		μA	4
$V_{i(on)}$	Input Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}$ for ULN2002A $I_C = 300\text{mA}$			13		
		for ULN2003A $I_C = 200\text{mA}$			2.4		
		$I_C = 250\text{mA}$			2.7		
		for ULN2004A $I_C = 300\text{mA}$			3		
		$I_C = 125\text{mA}$			5		
		$I_C = 200\text{mA}$			6		
		$I_C = 275\text{mA}$ $I_C = 350\text{mA}$			7 8		
h_{FE}	DC Forward Current Gain	for ULN2001A $V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 350\text{mA}$	1000				2
C_i	Input Capacitance			15	25	pF	
t_{PLH}	Turn-on Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	μs	
t_{PHL}	Turn-off Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	μs	
I_R	Clamp Diode Leakage Current	$V_R = 50\text{V}$ $T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, V_R = 50\text{V}$			50 100	μA μA	6 6
V_F	Clamp Diode Forward Voltage	$I_F = 350\text{mA}$		1.7	2	V	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST CIRCUITS

Figure 1a.

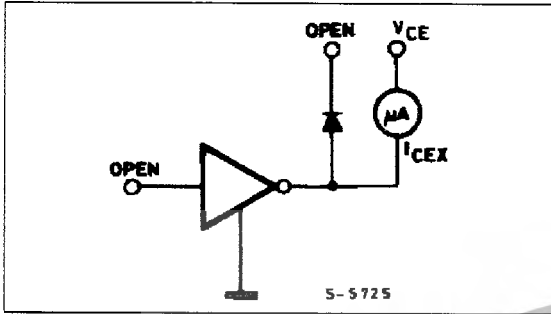


Figure 1b.

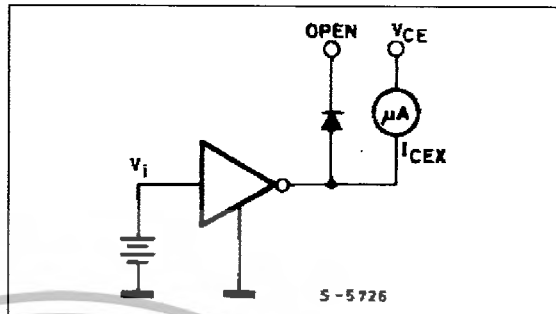


Figure 2.

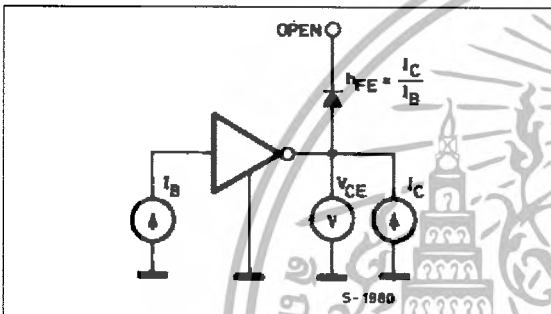


Figure 3.

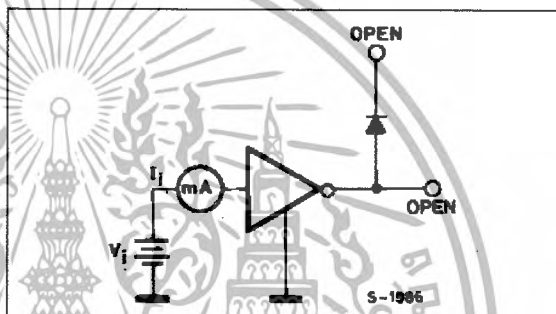


Figure 4.

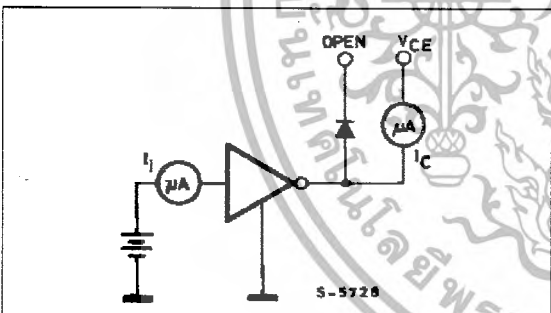


Figure 5.

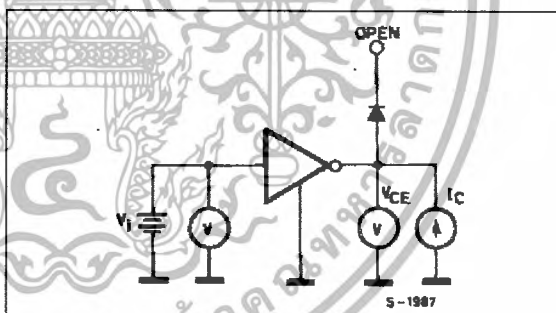


Figure 6.

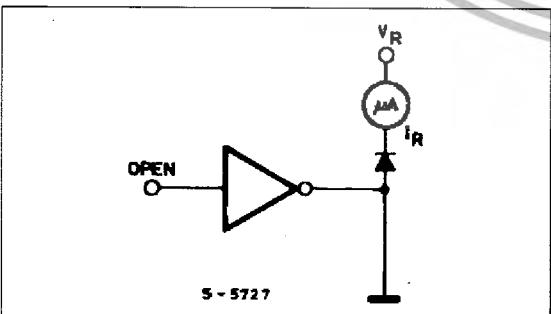
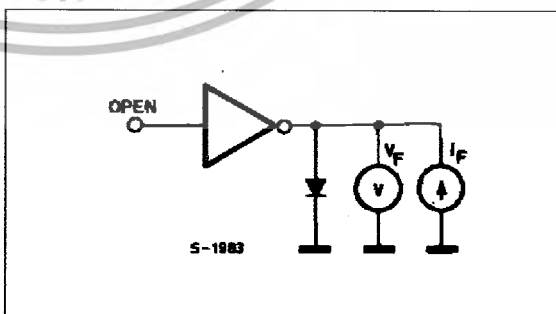


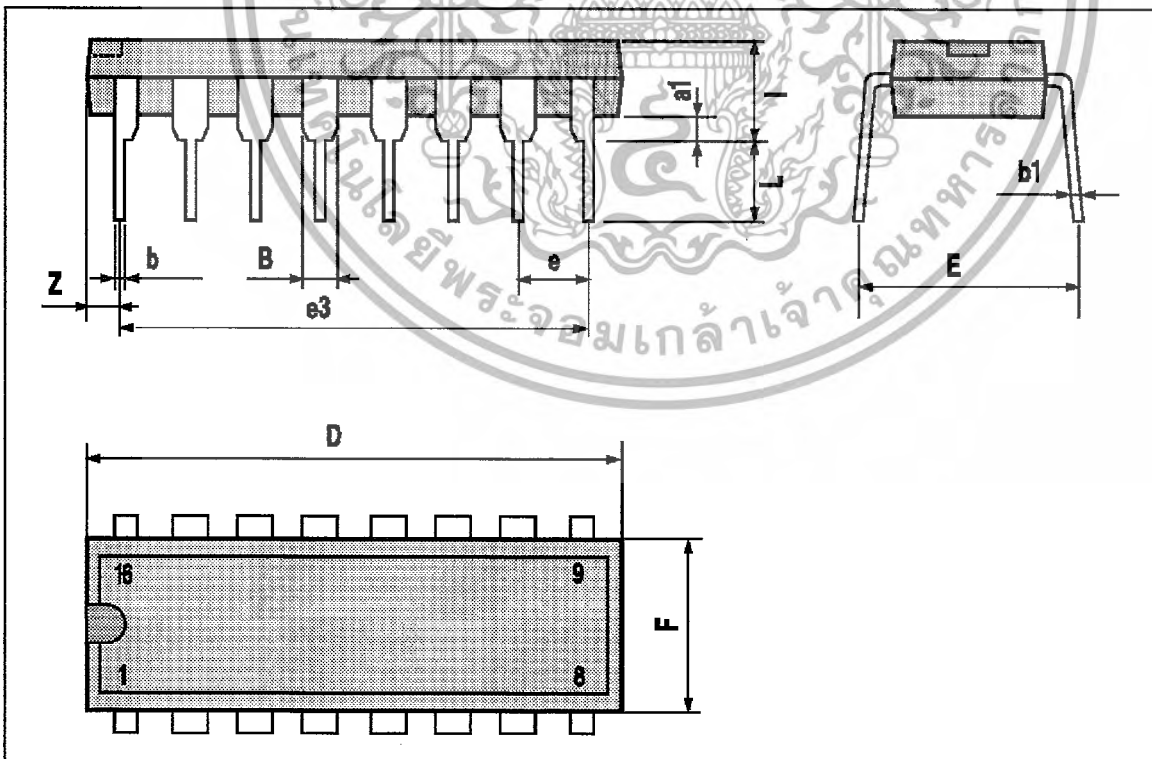
Figure 7.



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

DIP16 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

SO16 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.009
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1			45 (typ.)			
D	9.8		10	0.386		0.394
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.62			0.024
S			8 (max.)			

