

กล้องสำรวจ  
SURVEY CAMERA



โดย

นายอรรถพงศ์ รักสวัสดิ์

เลขหม.....  
เลขทะเบียน..... 46223  
วัน, เดือน, ปี..... 2 1 ส.ค. 2546

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

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

กล้องสำรวจ  
SURVEY CAMERA

โดย

นายอรรถพงศ์ รักสวัสดิ์ 42515758

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มนัส

สังวรศิลป์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

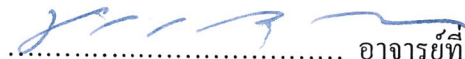
ปริญญาโท ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง กล้องสำรวจ

ผู้จัดทำ

1. นายอรรถพงษ์ รักสวัสดิ์ 42515758

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รศ.ดร.มนัส สัจวรศิลป์ )

## กล้องสำรวจ

นาย อรรถพงษ์ รักสวัสดิ์  
รศ.ดร.มนัส ตั้งวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2544

### บทคัดย่อ

กล้องสำรวจเป็นการประยุกต์การประมวลผลภาพในด้านการสำรวจพื้นที่ โดยสามารถควบคุมตำแหน่งของกล้องให้หมุน และแสดงภาพในทิศทางตามที่กำหนด ซึ่งสามารถบันทึกภาพของวัตถุได้ 2 แบบ คือ แบบตั้งเวลา และแบบตรวจจับการเคลื่อนไหว ซึ่งแบบตรวจจับการเคลื่อนไหวใช้หลักการของการสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกของวัตถุและการประมวลผลภาพ และสามารถวัดขนาดของวัตถุโดยใช้จุดอ้างอิงจากลำแสงเลเซอร์

# SURVEY CAMERA

Mr.Attapong Raksawat

Asst.Dr.Manas Sangworasil Advisor

2001

## ABSTACT

SURVEY CAMERA is image-processing applications for survey area. In this able for control rotate of the camera and show image in other point of position. Which the record able of object in two types, time and to observe of movement. In type to observe of movement used the principle of reflect ultrasonic wave from object and image processing. And able measurement dimension of objects by used reference a pointer from LASER.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	1
1.3 หลักการเบื้องต้น	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 สเต็ปมอเตอร์	4
2.1 หลักการทำงานพื้นฐาน	5
2.2 ชนิดของสเต็ปมอเตอร์	6
2.3 วงจรขับมอเตอร์	8
2.4 วงจรป้องกัน	14
2.5 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์	16
2.6 การวัดขาของสเต็ปมอเตอร์	18
บทที่ 3 พอร์ทขนาน	19
3.1 พอร์ทและการใช้งาน	19
3.2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ทขนาน	21
3.3 การตรวจสอบพอร์ทขนาน	24
3.4 การใช้งานพอร์ทขนาน	25
3.5 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ทขนาน	27
บทที่ 4 การวัดระยะทาง	29
4.1 หลักการของรูปสามเหลี่ยม	29
4.2 หลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไป	34

บทที่ 5	คลื่นอัลตราโซนิก	38
5.1	ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก	39
5.2	คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอัลตราโซนิก	40
5.3	การแยกแยะ	48
5.4	อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	48
5.5	การประยุกต์ใช้งาน	53
บทที่ 6	แสงและสี	54
6.1	คุณสมบัติของแสง	55
6.2	ไดอะแกรม CIE Chromaticity	55
6.3	แบบจำลองของสี	56
6.4	ระบบการมองเห็น	60
6.5	วิธีการเก็บภาพ	61
บทที่ 7	การประมวลผลภาพ	64
7.1	การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล	64
7.2	ประเภทการประมวลผลภาพ	68
7.3	ระดับสีเทา	69
7.4	ฮิสโตแกรม	70
7.5	ความสว่าง	71
7.6	ความคมชัด	71
7.7	การสร้างภาพไบนารี	72
7.8	เทรชโฮล	72
บทที่ 8	การออกแบบส่วนโครงสร้าง	73
8.1	หลักการทำงาน	74
8.2	ส่วนประมวลผลและควบคุม	74
8.3	วงจรอินเทอร์เฟส	74
8.4	วงจรควบคุมสแต็ปมอเตอร์	77
8.5	วงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว	81
8.6	วงจรแปลง A/D	84
8.7	ชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์	84
8.8	แหล่งจ่ายพลังงาน	86
8.9	กล้องวีดีโอ	87
8.10	ฐานกล้อง	87

บทที่ 9 การออกแบบส่วนโปรแกรมควบคุม	91
9.1 การเขียนโปรแกรมรับ-ส่งข้อมูล	91
9.2 การเขียนโปรแกรมควบคุม ADC0832	94
9.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมสตีปมอเตอร์	96
9.4 การเขียนโปรแกรมควบคุมชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์	97
9.5 การเขียนโปรแกรมเซนเซอร์ตรวจจับขอบเขตมุมหมุน	97
9.6 การเขียนโปรแกรมประมวลผลภาพ	97
9.7 การออกแบบโปรแกรมแสดงผล	100
บทที่ 10 ผลการทดลอง	110
10.1 การทดลองวัดความละเอียดการหมุนของมอเตอร์	110
10.2 การทดลองวัดแรงดันของวงจรแปลง A/D	110
10.3 การทดลองวัดประสิทธิภาพการแสดงผลของกล้อง	112
10.4 การทดลองแสดงผลจากกล้อง เมื่อมีการควบคุมการหมุนกล้อง	114
10.5 การทดลองประมวลผลภาพเบื้องต้น	116
10.6 การทดลองบันทึกภาพแบบอัด โนมัติ	119
10.7 การทดลองวัดระยะของวัตถุ	124
บทที่ 11 สรุปและวิจารณ์	127
ภาคผนวก ก. ข้อมูลอุปกรณ์	
ภาคผนวก ข. โปรแกรมทดสอบ	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

# สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 2 สเต็ปมอเตอร์	
รูปที่ 2.1 แสดงตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุม การทำงานของสเต็ปมอเตอร์	5
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์	7
รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลย์ของขดลวดในสเต็ปมอเตอร์	8
รูปที่ 2.4 แสดงการใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับวงจรขับ (1 เฟส)	9
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรขับสเต็ปมอเตอร์แบบใช้แรงดันสองระดับ	9
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรขับแบบชอปเปอร์	10
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรขับแบบบริดจ์ ที่ใช้สองแหล่งจ่าย	11
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรขับแบบบริดจ์ที่ใช้แหล่งจ่ายเดียว	12
รูปที่ 2.9 แสดงวงจรขับแบบยูนิโพลาร์และแบบวาริเอเบิลรีล็กแทนซ์	12
รูปที่ 2.10 แสดงวงจรขับแบบไบโพลาร์ และแบบไฮบริด	13
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรขับแบบ Practical Bipolar	13
รูปที่ 2.12 แสดงไดโอดซัพเพลสเซอร์	14
รูปที่ 2.13 แสดงไดโอด- ความต้านทานซัพเพลสเซอร์	15
รูปที่ 2.14 ซีเนอร์ไดโอดซัพเพลสเซอร์	16
รูปที่ 2.15 แสดงขาของสเต็ปมอเตอร์	18
บทที่ 3 พอร์ทขนาน	
รูปที่ 3.1 แสดงการตรวจสอบตำแหน่งพอร์ทขนาน	25
รูปที่ 3.2 แสดงสายสัญญาณของพอร์ทขนานแบบ 25 ขา	27
บทที่ 4 การวัดระยะทาง	
รูปที่ 4.1 แสดงหลักการวัดระยะทางด้วยรูปสามเหลี่ยม	29
รูปที่ 4.2 แสดงหลักการวัดระยะทางด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ	30
รูปที่ 4.3 แสดงหลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบจุด	32
รูปที่ 4.4 แสดงหลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบลายเส้นเดียว	33
รูปที่ 4.5 แสดงหลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญเสียไป	34
รูปที่ 4.6 แสดงหลักการใช้คลื่นแสง	36
รูปที่ 4.7 แสดง หลักการใช้อัลตราโซนิก	36

## บทที่ 5 คลื่นอัลตราโซนิก

รูปที่ 5.1 แสดงช่วงความถี่ของสัญญาณ	38
รูปที่ 5.2 แสดงคลื่นตามยาว	39
รูปที่ 5.3 แสดงคลื่นตามขวาง	40
รูปที่ 5.4 แสดงการบีบ	41
รูปที่ 5.5 แสดงการเกิดคลื่นนิ่ง	41
รูปที่ 5.6 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง	42
รูปที่ 5.7 แสดงการสะท้อนของคลื่นเสียง	43
รูปที่ 5.7 แสดงการสะท้อนของคลื่นเสียง	43
รูปที่ 5.8 แสดงการสะท้อนของคลื่นเสียง	43
รูปที่ 5.9 แสดงปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก	47
รูปที่ 5.10 แสดงผลของเปียโซอิเล็กทริก	49
รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในทั่วไปของทรานสดิวเซอร์ เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค	50
รูปที่ 5.12 แสดงวงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก	51

## บทที่ 6 แสงและสี

รูปที่ 6.1 แสดงแถบความถี่ของคลื่นแสง	54
รูปที่ 6.2 แสดงสีต่างๆที่มองเห็นได้	55
รูปที่ 6.3 แสดง ไดอะแกรม CIE Chromaticity	56
รูปที่ 6.4 แสดง แบบจำลองสีแบบ RGB	57
รูปที่ 6.5 แสดงแบบจำลองสีแบบ HSV	59
รูปที่ 6.6 แสดงแบบจำลองสีแบบ HLS	60
รูปที่ 6.7 แสดงภาพจากกล้องวิดีโอ	61
รูปที่ 6.8 แสดงการเปรียบเทียบภาพที่ใช้จำนวนบิต ต่อ 1 จุดภาพต่างกัน	62

## บทที่ 7 การประมวลผลภาพ

รูปที่ 7.1 แสดงวิธีประมวลทีละกลุ่ม	69
รูปที่ 7.2 แสดงภาพระดับสีเทา	69
รูปที่ 7.3 แสดงฮิสโตแกรมของระดับสีเทา	70
รูปที่ 7.4 แสดง ภาพเมื่อมีการปรับความสว่าง	71
รูปที่ 7.5 แสดง ภาพเมื่อมีการปรับความคมชัด	72

## บทที่ 8 การออกแบบส่วนโครงสร้าง

รูปที่ 8.1 แสดงโครงสร้างของโรงงาน	73
รูปที่ 8.2 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	75
รูปที่ 8.3 แสดงการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเข้ากับพอร์ตขนาน	76
รูปที่ 8.4 แสดงวงจรดิจิทัลเอาต์พุต	76
รูปที่ 8.5 แสดงโครงสร้างการต่อวงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์	77
รูปที่ 8.6 แสดงวงจรควบคุมขับเคลื่อนมอเตอร์	78
รูปที่ 8.7 แสดงลอจิกไดอะแกรมของไอซี L298	78
รูปที่ 8.8 แสดงแผนผังของวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว	81
รูปที่ 8.9 แสดงแผนผังของวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก	81
รูปที่ 8.10 แสดงวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก	82
รูปที่ 8.11 แสดงแผนผังของวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิก	82
รูปที่ 8.12 แสดงวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิก	83
รูปที่ 8.13 แสดงรูปสัญญาณที่วัดจากตัวส่งและตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก	83
รูปที่ 8.14 แสดงการต่อใช้งาน ADC0832	84
รูปที่ 8.15 แสดงภาพถ่ายบัตรประชาชน	84
รูปที่ 8.16 แสดงหลักการวัดระยะทางด้วยลำแสงเลเซอร์	85
รูปที่ 8.17 การประมวลผลภาพลำแสงเลเซอร์กระทบบนวัตถุ	86
รูปที่ 8.18 แสดงชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์	86
รูปที่ 8.19 แสดงวงจรจ่ายพลังงาน	87
รูปที่ 8.20 แสดงมุมมองของฐานกล้อง	88
รูปที่ 8.21 แสดงการต่อเซ็นเซอร์ตรวจจับขอบเขตมุมมอง	89
รูปที่ 8.22 แสดงฐานกล้องและการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด	90

## บทที่ 9 การออกแบบส่วนโปรแกรมควบคุม

รูปที่ 9.1 แสดงTimig Diagram ของไอซี ADC0832	95
รูปที่ 9.2 แสดงฟอร์ม Login	100
รูปที่ 9.3 แสดงฟอร์ม Monitor	100
รูปที่ 9.4 แสดงฟอร์ม Monitor ส่วนควบคุมกล้อง	101
รูปที่ 9.5 แสดงฟอร์ม Picture	102
รูปที่ 9.6 แสดงฟอร์มสีของจุดภาพ	102
รูปที่ 9.7 แสดงฟอร์ม Color	103
รูปที่ 9.8 แสดงฟอร์ม Bright Con	103

รูปที่ 9.9 แสดงฟอร์ม Threshold	104
รูปที่ 9.10 แสดงฟอร์ม Compare	104
รูปที่ 9.11 แสดงฟอร์ม Distance	105
รูปที่ 9.12 แสดงฟอร์ม Histogram	105
รูปที่ 9.13 แสดงฟอร์ม Status	106
รูปที่ 9.14 แสดงฟอร์มสถานะพอร์ตขนาน	106
รูปที่ 9.15 แสดงฟอร์มสถานะเซ็นเซอร์	107
รูปที่ 9.16 แสดงฟอร์มกำหนดการทำงานสตีปมอเตอร์	107
รูปที่ 9.17 แสดงฟอร์มสถานะสตีปมอเตอร์	108
รูปที่ 9.18 แสดงฟอร์ม Database	109
รูปที่ 9.19 แสดงฟอร์มกำหนดรูปแบบการบันทึกภาพ	109
บทที่ 10 ผลการทดลอง	
รูปที่ 10.1 การแสดงผลของกล้องที่ระยะ 1 เมตร	112
รูปที่ 10.2 การแสดงผลของกล้องที่ระยะ 2 เมตร	112
รูปที่ 10.3 การแสดงผลของกล้องที่ระยะ 1 เมตร (Laser)	113
รูปที่ 10.4 การแสดงผลของกล้องที่ระยะ 1 เมตร (Laser)	113
รูปที่ 10.5 การแสดงผลของกล้องในแนวตั้ง	114
รูปที่ 10.6 การแสดงผลของกล้องในแนวนอน	115
รูปที่ 10.7 แสดงการทดลองประมวลผลสีของภาพ	116
รูปที่ 10.8 แสดงการทดลองกลับภาพ	117
รูปที่ 10.9 แสดงการทดลองปรับความสว่าง-ความคมชัด	117
รูปที่ 10.10 แสดงการทดลองเทรซโฮลภาพ	118
รูปที่ 10.11 แสดงการทดลองบันทึกภาพแบบกำหนดมุม	119
รูปที่ 10.12 แสดงการทดลองบันทึกภาพแบบกำหนดเวลา	120
รูปที่ 10.13 แสดงการทดลองบันทึกภาพ	
ใช้หลักการสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิก	122
รูปที่ 10.14 แสดงการทดลองบันทึกภาพ ใช้หลักการประมวลผลภาพ	123
รูปที่ 10.15 แสดงจุดกระทบของลำแสงเลเซอร์บนวัตถุ	124
รูปที่ 10.16 แสดงการประมวลผลภาพจากกล้อง	124
รูปที่ 10.17 แสดงภาพขยายของขอบเขตวัตถุ	125
รูปที่ 10.18 แสดงข้อมูลระยะของภาพ	125
รูปที่ 10.19 แสดงการวัดระยะของวัตถุ	126

รูปที่ 10.20 แสดงผลการวัดระยะของวัตถุ	126
บทที่ 11 สรุปและวิจารณ์	
รูปที่ 11.1 แสดงชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์ขนานแบบถื่น	129
รูปที่ 11.2 แสดง การวัดระยะทางด้วยลำแสงเลเซอร์แบบเส้น ในระยะใกล้	130
รูปที่ 11.3 แสดง การวัดระยะทางด้วยลำแสงเลเซอร์แบบเส้น ในระยะปานกลาง	130
รูปที่ 11.4 แสดง การวัดระยะทางด้วยลำแสงเลเซอร์แบบเส้น ในระยะไกล	131
รูปที่ 11.5 แสดงหลักการสร้างพื้นผิว 3 มิติ จากลำแสงรูปตาราง	134

# สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2 สเต็ปมอเตอร์	
ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างของสเต็ปมอเตอร์กับดีซีเซอร์โวมอเตอร์	4
ตารางที่ 2.2 แสดงการควบคุมโหมควจรยับแบบไปโพลาร์ และแบบไฮบริด	13
ตารางที่ 2.3 แสดงการควบคุมโหมควจรยับแบบ Practical Bipolar	14
ตารางที่ 2.4 แสดงลำดับการกระตุ้นขดลวดแบบหนึ่งเฟส	16
ตารางที่ 2.5 แสดงลำดับการกระตุ้นขดลวดแบบสองเฟส	17
ตารางที่ 2.6 แสดงลำดับการกระตุ้นขดลวดแบบครึ่งเฟส	17
บทที่ 3 พอร์ทขนาน	
ตารางที่ 3.1 แสดงการใช้งานพอร์ทที่ตำแหน่งต่างๆ	20
ตารางที่ 3.2 แสดงการจับของเนื้อที่สำหรับพอร์ทขนาน	21
ตารางที่ 3.3 แสดงตำแหน่งของรีจิสเตอร์	22
ตารางที่ 3.4 แสดงดาต้ารีจิสเตอร์	23
ตารางที่ 3.5 แสดงสเตตัสรีจิสเตอร์	23
ตารางที่ 3.6 แสดงคอนโทรลรีจิสเตอร์	24
ตารางที่ 3.7 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นพอร์ทขนาน	24
ตารางที่ 3.8 แสดงข้อมูลสายสัญญาณของพอร์ทขนาน	26
บทที่ 5 คลื่นอัลตราโซนิก	
ตารางที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วของคลื่นในตัวกลางต่างๆ	46
บทที่ 7 การประมวลผลภาพ	
ตารางที่ 7.1 แสดงจำนวนบิตที่ใช้ในการจัดเก็บที่แปรตามค่า $N$ และ $m$	67
ตารางที่ 7.2 แสดงจำนวนไบต์กับค่าของ $N$ และ $m$	67
บทที่ 8 การออกแบบส่วนโครงสร้าง	
ตารางที่ 8.1 แสดงสัญญาณควบคุมไอซี L298	79
ตารางที่ 8.2 แสดงสถานะการควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบหนึ่งเฟส	79
ตารางที่ 8.3 แสดงสถานะการควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบสองเฟส	80
ตารางที่ 8.4 แสดงสถานะการควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งเฟส	80

บทที่ 9 การออกแบบส่วน โปรแกรมควบคุม	
ตารางที่ 9.1 แสดงสถานะข้อมูล	92
ตารางที่ 9.2 แสดงพอร์ตใช้งาน	92
ตารางที่ 9.3 แสดงบิทใช้งานในพอร์ทดาคต้า	94
ตารางที่ 9.4 แสดงบิทใช้งานในพอร์ทสเตตัส	94
ตารางที่ 9.5 แสดงบิทใช้งานในพอร์ทคอนโทรล	94
ตารางที่ 9.6 แสดงสัญญาณควบคุมไอซี ADC0832	95
ตารางที่ 9.7 แสดงตำแหน่งการใช้งานบิทของพอร์ทดาคต้า	96
บทที่ 10 ผลการทดลอง	
ตารางที่ 10.1 แสดงผลการทดลองวัดความละเอียดการหมุนของมอเตอร์	110
ตารางที่ 10.2 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันของวงจรแปลง A/D	111
บทที่ 11 สรุปและวิจารณ์	
ตารางที่ 11.1 แสดงความละเอียดการวัดและความถี่ ที่ใช้วัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิค	133

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันการใช้กล้องเพื่อบันทึกเหตุการณ์ต่างๆ เป็นที่นิยมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ แต่ในการใช้งานบางด้านจำเป็นต้องมีผู้ควบคุมให้กล้องเคลื่อนที่เพื่อจับเป้าหมายหรือถ้ากล้องไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ก็จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนกล้องให้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น ดังนั้นจึงได้คิดโครงการนี้ขึ้น เพื่อควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกล้อง และสามารถบันทึกภาพของวัตถุที่กำลังเคลื่อนไหวนไหว ซึ่งเป็นประโยชน์มากในงานด้านรักษาความปลอดภัยและงานตรวจพื้นที่ของหุ่นยนต์สำรวจ

### 1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการและประยุกต์ใช้งานคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก
2. เพื่อศึกษาหลักการและประยุกต์ใช้งานการควบคุมสแต็ปมอเตอร์
3. เพื่อศึกษาหลักการและประยุกต์ใช้งานการควบคุมวงจรถออิเล็กทรอนิกส์ผ่านเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
4. เพื่อศึกษาหลักการและประยุกต์ใช้งานการประมวลผลภาพ
5. เพื่อศึกษาวิธีการเขียน โปรแกรมด้วย โปรแกรม Boland C++ Builder

### 1.2 ขอบเขตของโครงการ

โครงการกล้องสำรวจ มีระยะควบคุมกล้องไม่เกิน 2 เมตรจากเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถควบคุมการหมุนของกล้อง จากมุม 0 องศา ถึงมุม 360 องศา ในแนวแกนนอนและจากมุม -20 องศา ถึงมุม 20 องศาในแนวแกนตั้ง โดยสามารถควบคุมการหมุนกล้องได้ทั้งแบบโดยตรงและแบบอัตโนมัติ สามารถบันทึกภาพจากการกำหนดเวลาหรือแบบตรวจจับการเคลื่อนไหวนไหว โดยสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวนไหวในระยะ 0.3-6 เมตร สามารถประมวลผลภาพจากกล้องเบื้องต้น และสามารถวัดระยะความกว้างยาวของวัตถุได้ในระยะไม่เกิน 3 เมตรจากตัวกล้อง

### 1.3 หลักการเบื้องต้น

กล้องสำรวจเป็นการแสดงภาพจากการเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอ สัญญาณภาพจากกล้องจะต่อกับการ์ดแคปเจอร์ (Capture card) ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลและบันทึกภาพ ในการควบคุมตำแหน่งของกล้องทำได้โดยส่งสัญญาณผ่านพอร์ตขนาน ไปควบคุมสเต็ปมอเตอร์ (Step motor) 2 ชุดซึ่งควบคุมการหมุนในแนวแกนนอนและแกนแนวตั้งของกล้อง การบันทึกภาพแบบกำหนดเวลา โดยใช้ฐานเวลาจากการกำหนดในโปรแกรม ทำการบันทึกภาพสู่ฐานข้อมูล การบันทึกภาพแบบตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุสามารถทำได้ 2 แบบ คือใช้หลักการบันทึกภาพเมื่อได้รับสัญญาณจากภาครับของคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) ที่สะท้อนกับวัตถุกลับมา และโดยใช้หลักการประมวลผลภาพ โดยการเปรียบเทียบจำนวนจุดสี ที่ได้จากการทำเทรชโฮล (Threshold) ภาพ จำนวนสองภาพจากการสุ่มภาพจากกล้อง การวัดระยะของวัตถุใช้หลักการปล่อยลำแสงเลเซอร์ (Laser) 2 ลำที่ขนานกัน ส่งไปที่วัตถุ นำภาพที่บันทึกได้ไปประมวลผลภาพ หาอัตราส่วนระยะจริงกับระยะของจุดภาพ เพื่อเป็นระยะอ้างอิงในการวัดความกว้างของวัตถุในบริเวณอื่นๆของภาพ

### 1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

โครงการ “กล้องสำรวจ” เป็นการประยุกต์การประมวลผลภาพในงานสำรวจพื้นที่ ซึ่งมีรายละเอียด เนื้อหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการออกแบบสร้างและการทดลองไว้ในบทต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละบท ดังนี้

**บทที่ 1 บทนำ** เสนอรายละเอียดความเป็นมา, ขอบเขต, หลักการเบื้องต้นรวมทั้งรายละเอียดของปริญญานิพนธ์

**บทที่ 2 สเต็ปมอเตอร์** กล่าวถึงรายละเอียดของ สเต็ปมอเตอร์, การออกแบบใช้งานและควบคุม ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนการหมุนของกล้อง

**บทที่ 3 พอร์ตขนาน** กล่าวถึงรายละเอียดของการติดต่อใช้งาน พอร์ตขนาน ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ติดต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับเครื่องคอมพิวเตอร์

**บทที่ 4 การวัดระยะทาง** กล่าวถึงรายละเอียดการวัดระยะทางโดยทางอ้อม ในวิธีการต่างๆ ซึ่งเป็นแนวทางและหลักการวัดระยะของวัตถุ

**บทที่ 5 คลื่นอัลตราโซนิค** กล่าวถึงรายละเอียดคุณสมบัติของคลื่นอัลตราโซนิค, อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ และการประยุกต์ใช้งานต่างๆ ซึ่งเป็นหลักการของวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว

**บทที่ 6 แสงและสี** กล่าวถึงรายละเอียดของแสงสี และแบบจำลองสีในแบบต่าง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการอ่านค่าสีของภาพจากกล้อง

บทที่ 7 การประมวลผลภาพ กล่าวถึงรายละเอียดของหลักการและวิธีการประมวลผลภาพเบื้องต้น ซึ่งเป็นประโยชน์ ในประมวลผลภาพที่ได้จากกล้อง รวมทั้งการวิเคราะห์ของวัตถุ

บทที่ 8 การออกแบบส่วนโครงสร้าง เสนอรายละเอียดของแนวคิด , หลักการ, คุณสมบัติ และการออกแบบอุปกรณ์ส่วนโครงสร้าง ภายในโครงการ

บทที่ 9 การออกแบบส่วนโปรแกรมควบคุม เสนอรายละเอียดการเขียน โปรแกรมติดต่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ภายในโครงการ และการออกแบบโปรแกรมแสดงผล

บทที่ 10 การทดลอง เสนอการทดลองคุณสมบัติต่างของอุปกรณ์ที่ใช้ภายในโครงการ และการทดลองแสดงผลการสำรวจพื้นที่

บทที่ 11 สรุปและวิจารณ์เสนอข้อสรุปของผลการทดลอง ปัญหาและแนวทางการพัฒนาโครงการ

## บทที่ 2

### สตีปมอเตอร์

สตีปมอเตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโรเตอร์(Rotor) เป็นแม่เหล็กถาวร ใช้การกระตุ้น ด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดที่สเตเตอร์ โดยแบ่งชุดขดลวดที่สเตเตอร์ออกเป็นเฟส (Phase) ต่างๆ การขับสตีปมอเตอร์ต้องใช้วงจรควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดตัวนำในแต่ละเฟส เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้สอดคล้องกับการหมุนของโรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร ซึ่งมีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วไป โดยเมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับมันจะหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ก็จะเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นการเคลื่อนที่ทางกล จึงเหมาะสำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทางดิจิทัลหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ การทำงานส่วนใหญ่จะขึ้นกับสัญญาณพัลส์(Pulse) กระตุ้นที่ป้อนให้กับขดลวดเฟสของมอเตอร์ในลำดับที่ถูกต้องด้วยวงจรจัดลำดับลอจิกและกระแสที่พอเพียงด้วยวงจรขับ ในปัจจุบันราคาของสตีปมอเตอร์มีราคาถูกลงมาก และมีไอซีเพาเวอร์ที่ใช้ขับมอเตอร์ได้ตามต้องการและสะดวกยิ่งขึ้น ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้คือสามารถใช้งานในระบบเปิด(Open loop system) นั่นก็คือมันทำงานได้โดยไม่ต้องการป้อนกลับ(Feed back) เหมือนดีซีมอเตอร์ทั่วไป และมีข้อได้เปรียบกว่าดีซีเซอร์โวมอเตอร์ ดังตารางที่ 2.1

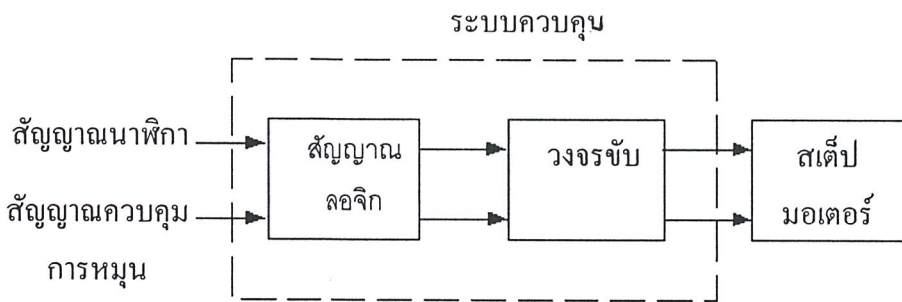
สตีปมอเตอร์	ดีซีเซอร์โวมอเตอร์
มีการควบคุมที่ซับซ้อน	การควบคุมง่าย
ไม่ต้องมีการป้อนกลับ	จำเป็นต้องมีการป้อนกลับ
กำลังเทียบเมื่อกับรูปร่างยังไม่เหมาะสม	กำลังงานเมื่อเทียบกับขนาดรูปร่างเหมาะสม
แข็งแรง สึกหรอต่ำ	การสึกหรอมากเพราะใช้แปรงถ่าน
การบล็อกกิ่ง (Brocking) ดี	การบล็อกกิ่งต้องอาศัยการเบรกที่พิเศษ

ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างของสตีปมอเตอร์กับดีซีเซอร์โวมอเตอร์

อย่างไรก็ตาม ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งที่ถูกต้อง จำเป็นที่ต้องการการป้อนกลับไปยังระบบให้รับรู้ วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือการใช้สวิทช์ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งที่ต้องการตรวจจับ เพื่อให้เริ่มต้นทำงานและอ้างอิงตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง

## 2.1 หลักการทำงานพื้นฐาน

สเต็ปมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่การทำงานจะต้องป้อนสัญญาณเป็นพัลส์ให้แก่ขดลวดเฟสของมอเตอร์ในลำดับที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.1 แสดงตัวคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์

จากรูปที่ 2.1 สเต็ปมอเตอร์จะทำงานเมื่อป้อนสัญญาณนาฬิกา และอินพุตสำหรับควบคุมการหมุน ซึ่งระบบควบคุม(Controller) จะอินเตอร์เฟสโดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์หรือคอมพิวเตอร์ การหมุนของมอเตอร์จะหมุนเป็นจังหวะตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้ามา ทำให้สามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนได้ เรียกว่า สเต็ป(Step)

ความละเอียดการหมุนของมอเตอร์ กำหนดเป็นองศาที่หมุนไปในหนึ่งสเต็ป หากมอเตอร์มีจำนวนองศาต่อสเต็ปมาก หมายความว่า มอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนต่ำ เช่น มอเตอร์มีสเต็ป การหมุนเท่ากับ 7.5 องศาต่อสเต็ป แสดงว่ามอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 48 ตำแหน่ง และหากมอเตอร์มีสเต็ปการหมุนเท่ากับ 1.8 องศาต่อสเต็ป ความละเอียดของการหมุนก็เท่ากับ 200 ตำแหน่ง อย่างไรก็ตาม สามารถเพิ่มความละเอียดของการหมุนโดยการทดเฟือง หรือใช้วงจรถับแบบครึ่งสเต็ปซึ่งจะให้ความละเอียดเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว

## 2.2 ชนิดของสเต็ปมอเตอร์

การแบ่งชนิดของสเต็ปมอเตอร์ สามารถแบ่งได้ในหลายๆแบบ กล่าวคือหากแบ่งตามโครงสร้างหรือความแตกต่างของรูปแบบโรเตอร์จะแบ่งออกเป็น 4 ชนิด และหากแบ่งตามวิธีการพันขดลวดบนสเตเตอร์จะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

### 2.2.1 แบ่งตามโครงสร้างพื้นฐาน

- ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable-Reluctance Stepping Motor ; VR) มีโครงสร้างแบบมัลติทูธ(Multitooth) มอเตอร์แบบนี้โรเตอร์ทำด้วยเหล็กอ่อนเช่น โลหะซิลิคอน(Silicon) ซึ่งค่าซึมซาบแม่เหล็ก(Permeability) สูงและสามารถให้ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านได้มากโดยโรเตอร์จะติดอยู่กับแกนมอเตอร์และสเตเตอร์ ติดอยู่กับ โครงของตัวมอเตอร์วิธีสังเกตุคือเมื่อหมุนแกนด้วยมือจะหมุนได้ตลอดโดยไม่ติดขัด

- ชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet ; PM) มีโครงสร้างของโรเตอร์แบบเรียบไม่มีซี่ขั้วแม่เหล็กบนโรเตอร์จะเป็นแบบแม่เหล็กถาวร เมื่อต้องการให้สเต็ปมอเตอร์มีขนาด มุมของสเต็ปเล็กลงจะต้องเพิ่มซี่ขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์และจำนวนซี่ฟันของสเตเตอร์ แต่มีข้อจำกัดในการเพิ่มซี่ขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ เนื่องจากการสร้างแม่เหล็กถาวรสร้างโดยมีหลายซี่จะทำให้ยาก การควบคุมสามารถทำได้โดยป้อนกระแสกระตุ้นที่ขดลวดบนสเตเตอร์ เช่น ถ้าเป็นสเตเตอร์แบบ 4 เฟส จะมีซี่ขั้วแม่เหล็กอยู่ 4 ขั้ว ซึ่งมีคอยล์พันแยกออกจากกัน ขั้วแม่เหล็กถาวรบนโรเตอร์จะถูกแรงดึงดูดจากซี่ขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ สเตเตอร์นั้นถึงแม้ว่าจะไม่ป้อนกระแสอีกต่อไปทำให้เกิดเป็นแรงยึดหน่วงขึ้น มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อข้อดีในความถูกต้องของตำแหน่ง แม้ความเร็วจะมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น ข้อเสียคือมีขนาดมุมสเต็ปใหญ่ทำให้ความละเอียดของสเต็ปต่อรอบน้อย จากโครงสร้างของโรเตอร์ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวร การทำให้มีหลายซี่ทำได้ยาก ไม่สามารถสร้าง สเต็ปขนาดเล็กได้ มีโครงสร้างขนาดเล็กทำให้ค่าทอร์คที่ได้ต่อหน่วยมีปริมาตรต่ำ ถ้าต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของทอร์ค แม่เหล็กถาวรที่ใช้ต้องทำจากสารแม่เหล็กที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กสูง

- ชนิดไฮบริด (Hybrid) เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด โดยเฉพาะนำมาใช้กับอุปกรณ์ในเครื่องคอมพิวเตอร์ โครงสร้างภายในได้จากการรวมเอาโครงสร้างของโรเตอร์ชนิดวาริเอเบิลรีลักแตนซ์คือ จะพันขดลวดสองขดอยู่ที่ขั้วเดียวกัน เรียกว่าไบโพลาร์(Bipolar) ซึ่งในการกระตุ้นแต่ละครั้งจะให้ขั้วที่แตกต่างกัน และชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ตมาประกอบเข้าด้วยกัน โครงสร้างของมอเตอร์จะมีแม่เหล็กถาวรอยู่ตรงกลางระหว่างเฟสทั้งสอง การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กทำได้โดยใช้สนามแม่เหล็กที่สร้างจากสเตเตอร์ ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กแบบเฮเทอโพลาร์โรโพลาร์(Heteropolar Field) ดังนั้น ทอร์คที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของสนามแม่เหล็ก 2 ชนิด คือ สนามแม่เหล็กถาวรและสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นของขดลวดแต่ละขด โครงสร้างของซี่ฟันของ

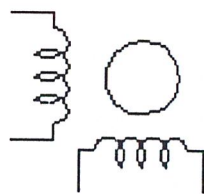
โรเตอร์จะใหญ่กว่าซี่ฟันของสเตเตอร์เล็กน้อย เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำทางตำแหน่งของการเคลื่อนที่ ข้อดีของไฮบริดจ์สเต็ปมอเตอร์คือ สเต็ปมีขนาดเล็ก, มีความละเอียดของสเต็ปต่อรอบสูง, มีค่าทอร์กสูงกว่าสเต็ปมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ และมีแรงเฉื่อยทางแมคคานิกส์มากกว่า สเต็ปมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์

- ชนิดแรเอิร์ธเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Rare Earth Permanent Magnet) เป็นสเต็ปมอเตอร์ที่ปรับปรุงมาจากชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต มีโครงสร้างของโรเตอร์เป็นแผ่นยึดติดกับเพลามอเตอร์ มีโมเมนต์ความเฉื่อยต่ำ, อัตราเร่งสูง, แรงบิดค้ำกำลังทางกลและความถูกต้องของตำแหน่งสูงมาก, ความเร็วเริ่มหมุนและหยุดสูง, และสูญเสียกำลังงานต่ำ มอเตอร์ชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ดิสก์แมกเน็ตสเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Disc Magnet Steppers)

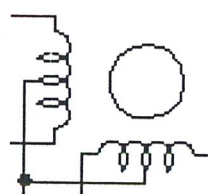
## 2.2.2 แบ่งตามการพันขดลวดบนสเตเตอร์

- แบบไบโพลาร์ (Bipolar) มีการพันขดลวด 1 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ถูกกำหนดโดยทิศทางของกระแสไฟฟ้า และทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้โดยการกลับทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งกำหนดทิศทางการไหลและกลับของทิศทางของกระแสไฟฟ้า

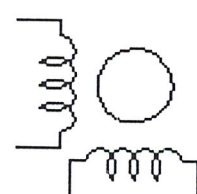
- แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม ลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์ดังรูปที่ 6.2 แต่ละขดจะแบ่งออกเป็น 2 เฟส มอเตอร์แต่ละตัวจะมี 4 เฟส และมีการต่อสายออกจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้มอเตอร์แบบนี้มีทั้ง 5 สายและ 6 สายโดยปกติขดลวดทั้งสองจะมีการเชื่อมต่อกันเพื่อลดจำนวนสายไฟที่ต่อจากมอเตอร์ โดยจะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว



แบบ 4 สาย 2 เฟส



แบบ 5 สาย 4 เฟส



แบบ 6 สาย 4 เฟส

(ก) แบบไบโพลาร์

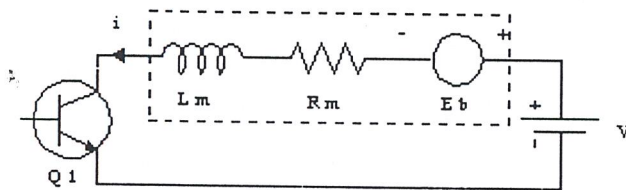
(ข) แบบยูนิโพลาร์

รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการพันขดลวดบนสเตเตอร์

วงจรจ่ายกำลังของมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ทำได้ง่ายกว่ากว่าชนิดไบโพลาร์ แต่การพันขดลวดแบบยูนิโพลาร์ จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์ เพราะจะมีเพียงขดลวดครึ่งหนึ่งของขดลวดที่ถูกกระตุ้นให้ทำงาน ในระยะเวลาหนึ่ง การพิจารณาว่าสเต็ปมอเตอร์ตัวใดมีการพันขดลวดแบบใด สามารถสังเกตได้โดยง่าย โดยถ้าเป็นแบบไบโพลาร์จะมีสายต่อออกจากมอเตอร์ 4 สาย และถ้าเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 หรือ 6 สาย หรือสามารถทราบได้จากการอ่านจากป้าย(Name plate) ที่ติดอยู่กับมอเตอร์

### 2.3 วงจรขับมอเตอร์

จุดประสงค์ของวงจรขับคือเพื่อให้ได้โวลต์เตจและกระแสที่ถูกต้องไปยังมอเตอร์ ในช่วงเวลาที่สั้นและมีประสิทธิภาพ การพิจารณาถึงหลักการในการออกแบบวงจรขับกำลังให้กับขดลวดของสเต็ปมอเตอร์ จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เนื่องจากการหมุนของสเต็ปมอเตอร์จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับ ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า



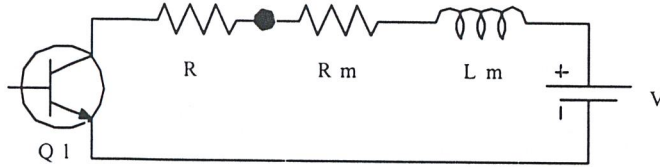
รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของขดลวดในสเต็ปมอเตอร์

โดยทั่วไป สเต็ปมอเตอร์ได้ถูกออกแบบให้ทนความร้อนได้สูงถึง 100 องศาเซลเซียส แต่ในการใช้งานจริงจะถูกใช้งานที่ระดับต่ำกว่าจุดอิมิตัวที่กำหนดมา ในการขับสเต็ปมอเตอร์นั้นต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่กินกระแสสูง เนื่องจากขดลวดในแต่ละเฟสของสเต็ปมอเตอร์จะต้องมีการนำและหยุดนำกระแสอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับทรานซิสเตอร์กำลังจากแรงดันยอดแหลม(Spike Voltage) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของกระแสในขดลวด และการเสียดสภาพฉนวนของแรงดัน ซึ่งการออกแบบวงจรขับและวงจรป้องกันสามารถทำได้ดังนี้

1. การใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับวงจรขับ
2. การใช้วงจรขับแบบใช้แรงดันสองระดับ
6. การใช้วงจรขับแบบชอปเปอร์
4. การใช้วงจรขับแบบบริดจ์

### 2.3.1 การใช้ตัวต้านทานอนุกรมกับวงจรถับ

เป็นวงจรรูปแบบธรรมดาและราคาถูกที่สุด ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ โดยการต่อความต้านทานอนุกรมเข้ากับขดลวดขดลวดในแต่ละเฟส เป็นการเพิ่มความต้านทานภายนอกทำให้ค่าเวลาดังตัวของวงจรถดลงไป ทำให้เวลาของการเพิ่มและลดระดับกระแส ลง

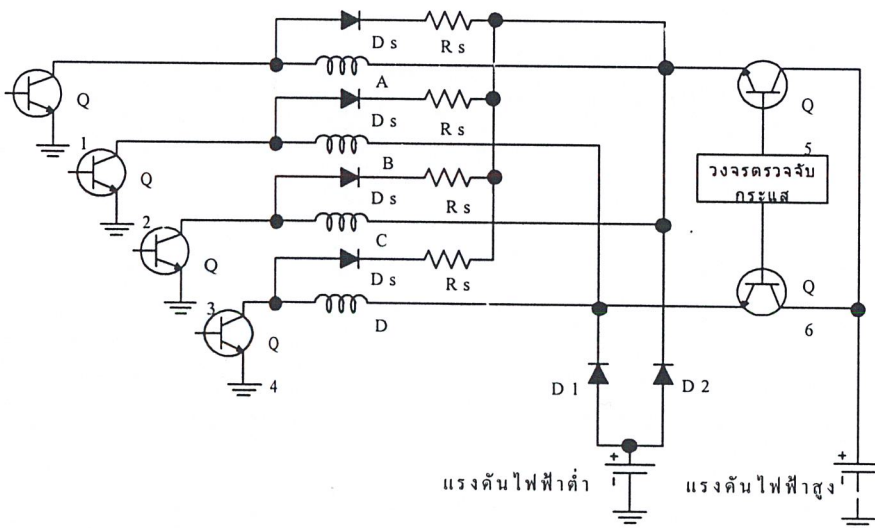


รูปที่ 2.4 แสดงการใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับวงจรถับ (1 เฟส)

ข้อเสียของการต่อตัวต้านทานอนุกรมคือ การสูญเสียพลังงาน ค่าความต้านทานภายนอกมีมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้ระบบไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

### 6.3.2 การใช้วงจรถับแบบใช้แรงดันสองระดับ

วิธีนี้มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบของการต่อตัวต้านทานอนุกรม ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้าระดับสูงสำหรับขดลวดกระแสและตัดต่อไปยังแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำเมื่อถึงอัตรากระแสที่ต้องการหรือถึงเวลาที่กำหนด

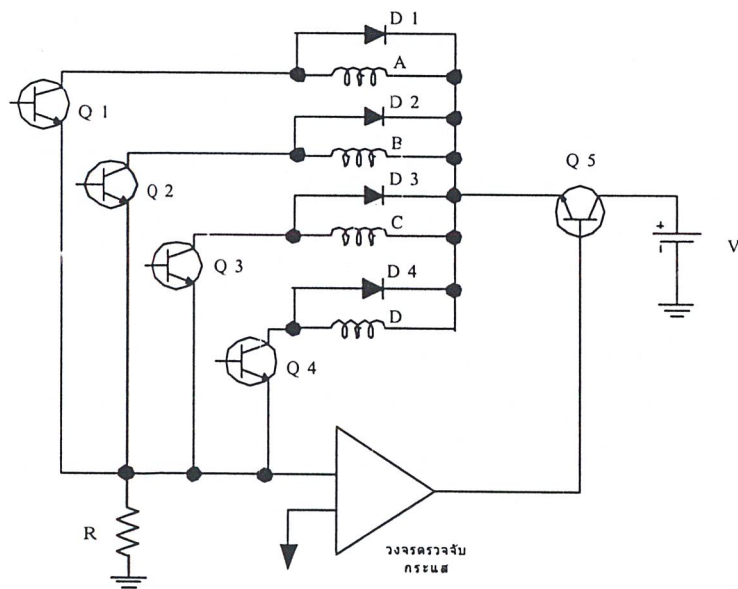


รูปที่ 2.5 แสดงวงจรถับสเต็ปมอเตอร์แบบใช้แรงดันสองระดับ

กระแสที่อยู่ในขดลวดจะไหลผ่านไดโอด D1 โดยแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำจะทำงานแทน วิธีนี้เรียกว่า การขับแบบแรงดันไฟฟ้าคู่หรือการขับแบบสองระดับ เมื่อพิจารณาการลดลงของเวลาในการเปลี่ยนระดับกระแสของระบบการขับแบบสองระดับเปรียบเทียบกับแบบการต่อความต้านทานอนุกรม แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดจะยังอยู่ที่ทั้งหมดจนกระทั่งกระแสเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่กระแสต้องการ แม้ว่าเวลาคงตัวจะไม่ลดลงเหมือนในแบบการต่อตัวต้านทานอนุกรม ค่ายการขก ระดับกระแสก่อนข้างจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น หลังจากแรงดันไฟฟ้าระดับสูงจะตัดต่อไปสู่ระดับแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำ กระแสจะตกลงและเกิดแรงดันย้อนกลับ ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q5 และ Q6 ไม่ทำงาน ไดโอด D1 และ D2 ของระดับไฟฟ้าระดับต่ำนำกระแสอยู่ เมื่อแรงดันไฟฟ้าระดับสูงทำงาน ทรานซิสเตอร์ Q5 และ Q6 นำกระแส ไดโอด D1 ตั้จะหยุดนำกระแสทันที และแหล่งจ่ายไฟของแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำจะกลายเป็นระบบภายนอก การทำงานจะเป็นอย่างนี้สลับกันไปตลอดช่วงการทำงาน โดยทั่วไปไดโอดกระแสสูงจะมีค่าเวลาในการคืนตัวช้า ดังนั้นจึงควรใช้ไดโอดชนิดคืนตัวเร็ว(Fast Recovery Diode)

### 6.3.3 การใช้วงจรขอปเปอร์

วงจรขอปเปอร์เป็นวงจรที่ใช้ขับมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยใช้การมอดูเลทความกว้างของพัลส์(Pulse Width Modulation) หรือการมอดูเลทความถี่(Frequency Modulation) ความคุมกระแสเฉลี่ยที่ให้กับสเต็ปมอเตอร์ วงจรขับแบบขอปเปอร์อย่างง่าย ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



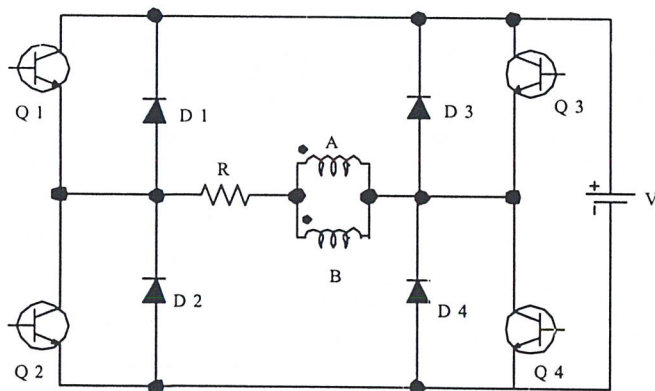
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรขับแบบขอปเปอร์

จากรูปที่ 2.6 เมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งของมอเตอร์ทำงาน ทรานซิสเตอร์ Q4 จะเปิดและปิดไปสู่แรงดันไฟฟ้าระดับสูงตลอดเวลา การใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นสาเหตุให้กระแสในแต่ละเฟสเพิ่มระดับขึ้นอย่างทันทีทันใด เช่นเดียวกับวงจรขับแบบแรงดันไฟฟ้าสองระดับ คือมีวงจรตรวจจับกระแสเพื่อจะปรับตั้งค่าการหยุดทำงานของทรานซิสเตอร์ Q4 เมื่อกระแสมีค่าถึงระดับที่ต้องการ และเมื่อกระแสลดต่ำลงต่ำกว่ากระแสขีดเริ่มเปลี่ยน(Threshold Current) ทรานซิสเตอร์ Q4 จะทำงานอีกครั้งหนึ่ง การทำงานของวงจรมีจะยอมให้กระแสเฉลี่ยคงอยู่ในระดับที่ต้องการ ในกรณีนี้ความถี่ของการตัดช่วงจะอยู่ระหว่าง 1-30 KHz ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเวลาคงตัวของการพันขดลวดของมอเตอร์และฮิสเทอรีซิส(Hysteresis) ของวงจรตรวจจับกระแส ความถี่ของการตัดช่วงมักจะปรับตั้งอยู่สูงกว่าช่วงที่กำหนด เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำซึ่งเกิดจากการสั่นของมอเตอร์

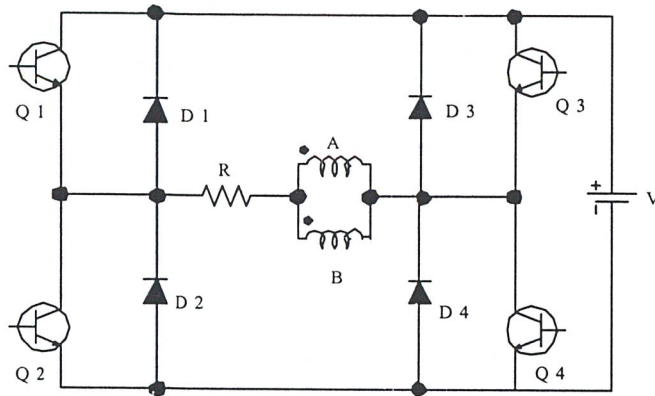
### 2.3.4 การใช้วงจรแบบบริดจ์

ประสิทธิภาพในการใช้งานของสแต็ปมอเตอร์จะสูงขึ้น ถ้าควบคุมการไหลของกระแสให้ไหลได้สองทิศทาง ซึ่งช่วยให้แรงบิดเพิ่มขึ้นอีก 20-35 % ของการใช้วงจรขับแบบมีกระแสไหลทางเดียว วงจรขับแบบบริดจ์มีสองชนิด

1. แบบใช้สองแหล่งจ่าย
2. แบบใช้แหล่งจ่ายเดียว



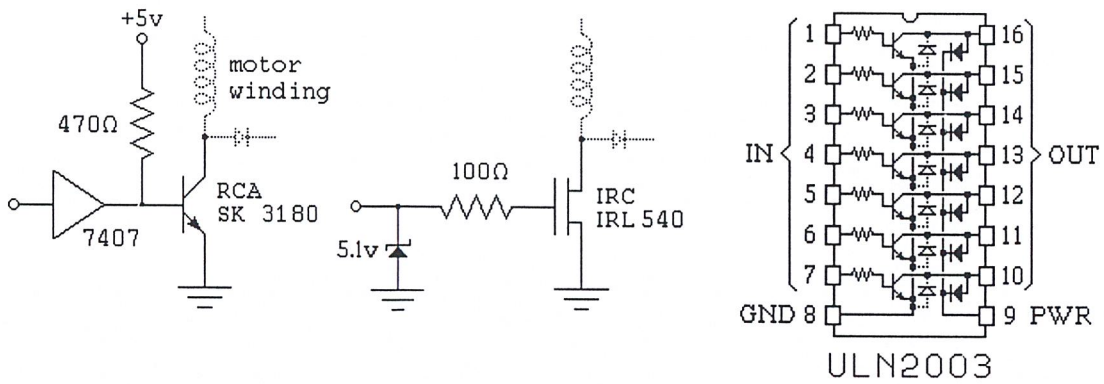
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรขับแบบบริดจ์ ที่ใช้สองแหล่งจ่าย



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรขับแบบบริดจ์ที่ใช้แหล่งจ่ายเดียว

### 2.3.5 ตัวอย่างวงจรขับสเต็ปมอเตอร์

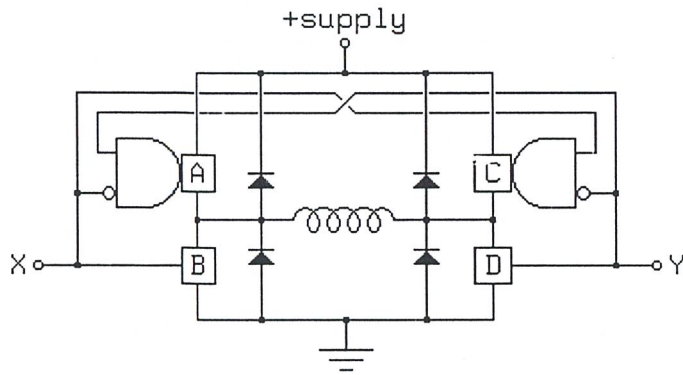
#### 2.3.5.1 แบบยูนิโพลาร์ และแบบวาริเอเบิลรีล็กแทนซ์



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรขับแบบยูนิโพลาร์และแบบวาริเอเบิลรีล็กแทนซ์

จากรูปที่ 2.9 เป็นการต่อวงจร โดยใช้ทรานซิสเตอร์และเฟทในการขับสเต็ปมอเตอร์ และการต่อใช้งานใช้ไอซีขับสเต็ปมอเตอร์เบอร์ ULN2003

2.3.5.2 แบบไบโพลาร์ และแบบไฮบริด

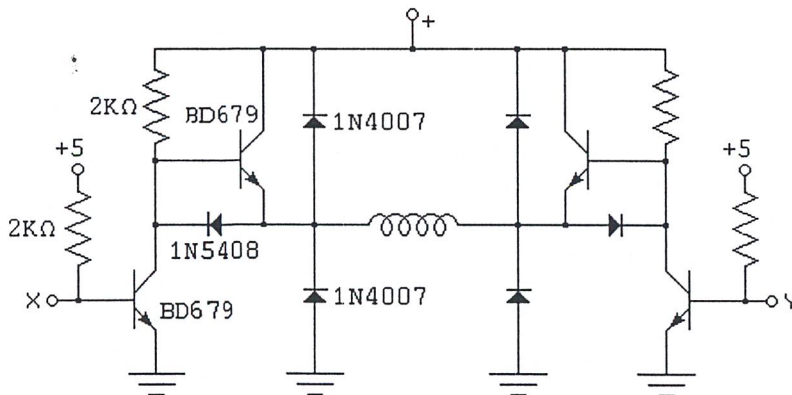


รูปที่ 2.10 แสดงวงจรขับแบบไบโพลาร์ และแบบไฮบริด

XY	ABCD	โหมด
00	0000	Fast decay
01	1001	Forward
10	0110	Reverse
11	0101	Slow decay

ตารางที่ 2.2 แสดงการควบคุมโหมดวงจรขับแบบไบโพลาร์ และแบบไฮบริด

6.3.5.3 แบบ Practical Bipolar



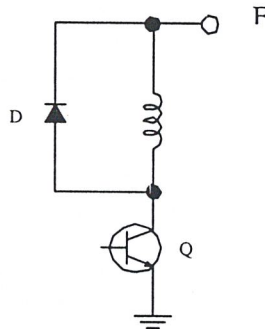
รูปที่ 2.11 แสดงวงจรขับแบบ Practical Bipolar

XYE	โหมด
--1	fast decay
000	slower decay
010	forward
100	reverse
110	slow decay

ตารางที่ 2.3 แสดงการควบคุมโหมดวงจรขับแบบ Practical Bipolar

## 2.4 วงจรป้องกัน

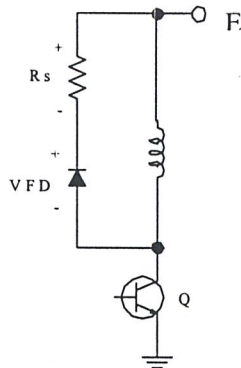
### 2.4.1 ไดโอดชัฟเฟิลเซอร์



รูปที่ 2.12 แสดงไดโอดชัฟเฟิลเซอร์

ถ้าหากนำไดโอดมาต่อขนานกับขดลวดลักษณะดังรูปที่ 2.12 กระแสจะไหลวนภายหลังจากทรานซิสเตอร์ปิดวงจร และค่ากระแสจะค่อยๆ ลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่ง สักย์ไฟฟ้าบริเวณขาคอลเลคเตอร์จะเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของซัพพลาย E รวมกับศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอดในทิศที่ไดโอดเปิดวงจร วิธีการเช่นนี้เป็นวิธีที่ธรรมดาแต่จะมีเวลากระแสไหลวนค่อนข้างนาน

## 2.4.2 ไดโอด-ความต้านทาน ชัฟเฟลสเซอร์



รูปที่ 2.13 แสดงไดโอด- ความต้านทานชัฟเฟลสเซอร์

ตัวต้านทานถูกนำมาต่ออนุกรมกับไดโอดดังรูป 2.13 เพื่อที่จะลดกระแสไหลวนให้เร็วขึ้น ความต่างศักย์  $V_{cc}$  ที่ปรากฏตรงขาคอลเลกเตอร์เมื่อเกิดการเทินออฟจะเท่ากับ

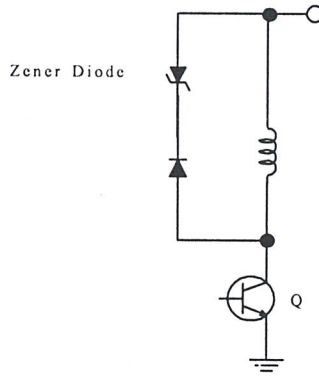
$$V_{cc} = E + IR_s + V_{df}$$

- เมื่อ
- $E$  = ศักย์ไฟฟ้าของชัฟฟลาย
  - $I$  = กระแสก่อนการเทินออฟ
  - $R_s$  = ความต้านทานของตัวต้านทานชัฟเฟลสเซอร์
  - $V_{df}$  = ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมไดโอดในทิศทางที่ไดโอดเปิดวงจร

ยิ่งค่าความต้านทาน  $R_s$  มากเท่าไร กระแสที่ลดลงก็จะมากขึ้นเท่านั้น หลังการเทินออฟ แต่ยิ่งทำให้ศักย์ไฟฟ้าของคอลเลกเตอร์มากขึ้น

## 2.4.3 ซีเนอร์ไดโอดชัฟเฟลสเซอร์

ซีเนอร์ไดโอดถูกใช้บ่อยในการต่ออนุกรมกับไดโอดธรรมดา ดังแสดงในรูป 2.14 วิธีนี้จะลดกระแสได้อย่างรวดเร็วกว่าหลังการเทินออฟ ข้อดีของการใช้วิธีนี้คือศักย์ไฟฟ้าที่ขาคอลเลกเตอร์จะเท่ากับศักย์ไฟฟ้าของชัฟฟลายรวมกับศักย์ไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอด โดยไม่ขึ้นกับกระแส ซึ่งทำให้การเลือกค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด ที่คอลเลกเตอร์ง่ายมากขึ้น



รูปที่ 2.14 ซีเนอริไดโอดซัพเพรสเซอร์

## 2.5 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของมอเตอร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เกิดขึ้นที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละสเตเตอร์ ซึ่งต้องเป็นแบบซีควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้อง สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ หนึ่งเฟส(one phase), สองเฟส(two phase) และครึ่งเฟส(half phase)

### 2.5.1 แบบหนึ่งเฟส

เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โดยการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งได้เรียงถัดกันไป

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.4 แสดงลำดับการกระตุ้นขดลวดแบบหนึ่งเฟส

### 2.5.2 แบบสองเฟส

การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกันแบบหนึ่งเฟส การกระตุ้นแบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าหนึ่งเฟส โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อม

กันและเคลื่อนที่ต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป ข้อเสียการกระตุ้นแบบนี้คือ ต้องใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.5 แสดงลำดับการกระตุ้นขดลวดแบบสองเฟส

### 2.5.3 แบบครึ่งเฟส

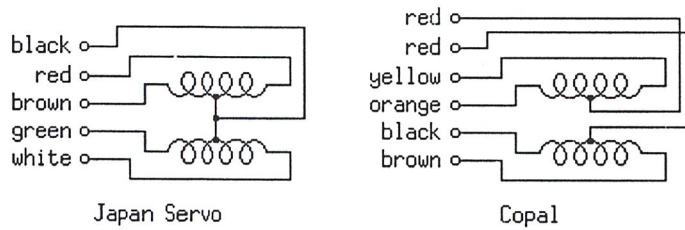
เป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบหนึ่งเฟสและแบบสองเฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัว แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง แต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อย

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.6 แสดงลำดับการกระตุ้นขดลวดแบบครึ่งเฟส

## 2.6 การวัดขาของสตีปมอเตอร์

การวัดหาขาของสตีปมอเตอร์ในแบบ 6 เส้น สามารถตรวจหาขาคู่ของขดลวดภายในมอเตอร์ได้ โดยอาศัยโอห์มมิเตอร์ตั้งย่านวัด  $\times 1$  โอห์ม สังเกตดังรูปที่ 2.15 จะประกอบด้วยขดลวดสองขดบนสเตเตอร์หนึ่งขั้ว ใช้โอห์มมิเตอร์ วัดปลายสายใดสายหนึ่งเป็นเส้นหลัก แล้วทำการวัดอีกสายหนึ่งจะได้ค่าประมาณ 40 โอห์ม แสดงว่าเป็นการวัดเจอขดลวดหนึ่งขดแล้ว อาจจะเป็นขดของ 1 กับ 3 หรือ 2 กับ 3 ก็ได้ ต่อไปให้ย้ายปลายสายที่สองไปวัดอีกเส้นหนึ่ง จะได้ค่าความต้านทานเป็นสองเท่าแสดงว่าเป็นขดลวดขด 1 กับ 2 เพราะฉะนั้น ปลายสายวัดที่หนึ่งคือสายของเซ็นเตอร์แท๊ปหรือขาที่ 3 สายวัดที่สองก็จะเป็นขาที่ 2 ส่วนขาที่เหลือก็จะเป็นขาที่ 1 และทำเช่นนี้กับการหาปลายสายของขดลวดที่เหลือ



รูปที่ 2.15 แสดงขาของสตีปมอเตอร์

## บทที่ 3

### พอร์ทขนาน

การที่จะนำเอาสัญญาณอนาลอกจากตัวตรวจจับมาแสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ อาทิ ความดัน, อุณหภูมิ, ความเข้มของแสงน้ำหนัก, สถานะสวิทช์, การเคลื่อนไหว เป็นต้น หรือนำมาบันทึกไว้แล้วส่งออกไปเพื่อใช้ในการควบคุมทางฟิสิกส์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ว่า หมายถึง มอเตอร์, ไชเรน, รีเลย์และสเต็ปมอเตอร์ การที่จะทำเช่นนี้ได้ ต้องผ่านกระบวนการแปลงข้อมูลทางฟิสิกส์ที่เป็นข้อมูลอนาลอกไปเป็นข้อมูลดิจิทัล เพื่อให้สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้และข้อมูลสามารถนำไปแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์หรือบันทึกไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ส่วนการจะนำข้อมูลออกมาเพื่อควบคุมอุปกรณ์ทางฟิสิกส์ ต้องเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลไปเป็นข้อมูลอนาลอก การติดต่อระหว่างฮาร์ดแวร์และเครื่องคอมพิวเตอร์ เรียกว่าการอินเทอร์เฟส การอินเทอร์เฟสสามารถทำได้หลายวิธี

- เชื่อมต่อผ่านการคอร์ดอินพุทเอาต์พุท ซึ่งใช้วิธีติดตั้งการ์ดลงในสล็อตภายในเครื่องคอมพิวเตอร์

- เชื่อมต่อผ่านพอร์ทอนุกรม

- เชื่อมต่อผ่านพอร์ทขนาน

- เชื่อมต่อผ่านระบบมาตรฐานอื่นๆ เช่น พอร์ท USB(Universal Serial Bus), พอร์ท SCSI หรือพอร์ทเกม เป็นต้น

#### 3.1 พอร์ทและการใช้งาน

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานพอร์ทต่างๆ ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องรู้ถึงตำแหน่งการอ้างถึงของอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุทที่ต้องการติดต่อด้วย ในการอ้างตำแหน่งพอร์ทจะถูกออกแบบให้ใช้สายสัญญาณแอดเดรสบัสเพียง 10 เส้น คือ A0-A9 ดังนั้นจึงสามารถอ้างตำแหน่งพอร์ทได้ถึง 1024 พอร์ท ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือพอร์ทที่มีแอดเดรสอยู่ในช่วง 000H-0FFFH จะใช้งานบนเมนบอร์ดสำหรับชิพพอร์ทเท่านั้น เช่น 8259 ( Interrupt Controller ), 8237 (DMA Controller), 8253(Timer&Counter) และกลุ่มที่มีแอดเดรสอยู่ในช่วง 100H-3FFFH จะใช้งานกับการ์ดขยายต่างๆ ที่เสียบในสล็อต

หมายเลขพอร์ท	การใช้งาน
000H-01FH	ตัวควบคุม DMA 1 ,8237A-5
020H-021H	Interrupt mask register
022H-03FH	(ห้ามใช้) ตัวควบคุม 8259
040H-043H	เวลา /และตัวนับเวลา
060H	ลำโพง (บิต 0 และ บิต 1)
060H-06FH	ตัวควบคุมพอร์ทขนานและคีย์บอร์ด 8255
070H-07FH	Real Time Clock,Nmi ของระบบ
080H-09FH	DMA page register 74LS162
0A0H-0BFH	ตัวควบคุมอินเตอร์รัพท์ 2 8259 (สเลฟ)
0F0H	เคสรีเมทโครโปรเซสเซอร์
0F1H	รีเซทเมทโครโปรเซสเซอร์
0F8H-0FFH	เมทโครโปรเซสเซอร์
1F0H-1F8H	ฮาร์ดดิสก์
200H-207H	เกมอินพุท/เอาต์พุท
278H-27FH	เครื่องพิมพ์ขนานพอร์ท 2
2F8H-2FFH	เครื่องพิมพ์อนุกรมพอร์ท 2
300H-31FH	การ์ดโปรโตไทป์(prototype)
360H-36FH	สงวนไว้
378H-37FH	เครื่องพิมพ์ขนานพอร์ท 1
380H-38FH	SDLC, ไบต์ซิงโครไนซ์ 2
3A0H-3AFH	ไบต์ซิงโครไนซ์ 1
3B0H-3BFH	อะแดปเตอร์โมโนโครมและเครื่องพิมพ์
3C0H-3CFH	สงวนไว้
3D0H-3DFH	อะแดปเตอร์สีและการฟลัก
3F0H-3F7H	ตัวควบคุมดิสก์ไครฟ์
3F8H-3FFH	พอร์ทอนุกรม1

ตารางที่ 3.1 แสดงการใช้งานพอร์ทที่ตำแหน่งต่างๆ

จากตาราง 3.1 ถ้าในระบบของเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่มีการใช้งานอุปกรณ์นั้น เราสามารถนำแอดเดรสของพอร์ตนั้นมาใช้งานได้ ในโครงการนี้เลือกใช้พอร์ตนาน เพราะมีข้อดีคือ

1. ในด้านความปลอดภัย เนื่องจากไม่ต้องถอดฝาเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อติดตั้งการ์ดใดๆ
2. ในด้านเข้ากันได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ เพราะพอร์ตนานจะมีติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง
3. สะดวกในการใช้งานและประหยัดพื้นที่ เพราะไม่ต้องเพิ่มการ์ดใดๆ
4. จำนวนช่องสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต โดยปกติพอร์ตนานจะมีอินพุต 5 ขา และเอาต์พุต 12 ขา ซึ่งเพียงพอที่จะนำไปใช้งานต่างๆ อีกทั้งสามารถขยายจำนวนพอร์ตเพิ่มขึ้นได้
5. พอร์ตนานจะมีความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เท่ากับการติดต่อระบบบัสโดยตรง และมีความเร็วมากกว่าการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรม
6. อะไหล่และชิ้นส่วนประกอบ สามารถหาได้ง่ายและราคาไม่แพง

### 3.2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตนาน

พอร์ตนาน บางครั้งเรียกว่า พอร์ตเครื่องพิมพ์(Printer port) พอร์ตนานจะมีการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ตเป็นแบบขนาน มีความเร็วในการติดต่อข้อมูลเท่ากับการติดต่อกับระบบบัสโดยตรง มีอัตราการถ่ายทอดข้อมูลสูงกว่าการถ่ายทอดข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8-10 เท่า และมีการประมวลผลข้อมูลขนาด 8 บิต ตำแหน่งของอินพุต/เอาต์พุตของพีซี (PC I/O) จะทำการจับจองเนื้อที่สำหรับพอร์ตนานเอาไว้ 3 ย่าน คือ

ตำแหน่ง	พอร์ต
3BCh – 3BFh	-
378h – 37Fh	LPT 1
278h – 27Fh	LPT 2

ตารางที่ 3.2 แสดงการจับจองเนื้อที่สำหรับพอร์ตนาน

มาตรฐานของพอร์ตขนานจะมีรีจิสเตอร์(Register) อยู่ 8 รีจิสเตอร์ ซึ่งสามารถรายละเอียดของรีจิสเตอร์ ได้ดังตารางที่ 3.3

ตำแหน่ง	พอร์ต	หน้าที่
Base + 0	Data Port (SPP)	เขียน
Base + 1	Status Port (SPP)	อ่าน
Base + 2	Control Port (SPP)	เขียน/อ่าน
Base + 3	Address Port (EPP)	เขียน/อ่าน
Base + 4	Data Port (EPP)	เขียน/อ่าน
Base + 5	Undefined (16/32bit Transfers)	-
Base + 6	Undefined (32bit Transfers)	-
Base + 7	Undefined (32bit Transfers)	-

ตารางที่ 3.3 แสดงตำแหน่งของรีจิสเตอร์

จากตารางที่ 3.3 ในการติดต่อใช้งานรีจิสเตอร์ต่างๆ แอดเดรสแรกจะถูกเรียกว่าแอดเดรสหลัก(Base address) ซึ่งหากติดต่อใช้งานเครื่องพิมพ์ขนานพอร์ต 1 ตำแหน่งแอดเดรสหลักก็คือ 378H แอดเดรสถัดไป (Base+1) ก็จะเป็นตำแหน่ง 379H (378H+1H) ในการใช้งานจริงจะใช้เพียง 3 รีจิสเตอร์ เท่านั้น ซึ่งทั้งสามประกอบด้วย

1. ดาต้ารีจิสเตอร์ (Data register)
2. สเตตัสรีจิสเตอร์ (Status register)
3. คอนโทรลรีจิสเตอร์ (Control register)

1. คำต๋ารี่จีสเตอร์ อยู๋คำแหน่งแอดเดรสหลัก (Base address) ทำหน้าที่ เขียนอย่างเดี่ยว

ตำแหน่ง	พอร์ท	หน้าที่	หมายเลขบิต	คุณสมบัติ
Base + 0	คำต๋า	เขียน	7	Data 7
			6	Data 6
			5	Data 5
			4	Data 4
			3	Data 3
			2	Data 2
			1	Data 1
			0	Data 0

ตารางที่ 3.4 แสดงคำต๋ารี่จีสเตอร์

2. สเตตัสรี่ยีสเตอร์ อยู๋ตำแหน่งแอดเดรสหลักบวกหนึ่ง (Base address+1) ทำหน้าที่อ่านอย่างเดี่ยว

ตำแหน่ง	พอร์ท	หน้าที่	หมายเลขบิต	คุณสมบัติ
Base + 1	สเตตัส	อ่าน	7	Busy
			6	<u>Ack</u>
			5	Paper Out, Paper Empty (PO, PE)
			4	Select
			3	<u>Error / Fault</u>
			2	<u>IRQ</u>
			1	Reserved
			0	Reserved

ตารางที่ 3.5 แสดงสเตตัสรี่ยีสเตอร์

3.คอนโทรลรีจิสเตอร์ จะอยู่ตำแหน่งแอดเดรสหลักบวกสอง (Base address+2) ทำหน้าที่อ่านและเขียน

ตำแหน่ง	พอร์ท	หน้าที่	หมายเลขบิต	คุณสมบัติ
Base + 2	คอนโทรล	อ่าน/เขียน	7	-
			6	-
			5	Direction
			4	IRQ Enable
			3	Select In
			2	Initialize Printer (INIT), Reset
			1	Auto Linefeed
			0	Strobe

ตารางที่ 3.6 แสดงคอนโทรลรีจิสเตอร์

### 3.3 การตรวจสอบพอร์ทขนาน

ทุกครั้งระหว่างที่ทำการเปิดเครื่อง(Boot-up) ไบออส(BIOS) จะทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ต่อไว้กับพอร์ทขนานว่าอยู่ที่ตำแหน่งไหน พอร์ทแรกจะถูกกำหนด ให้เป็น LPT1 และ พอร์ทที่สองจะถูกกำหนดให้เป็น LPT2 ซึ่ง BIOS จะเก็บตำแหน่งแอดเดรสหลักของแต่ละพอร์ทดังต่อไปนี้

ตำแหน่งเริ่มต้น	พอร์ท
0000:0408	LPT1
0000:040A	LPT2
0000:040C	LPT3
0000:040E	LPT4

ตารางที่ 3.7 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นพอร์ทขนาน

การตรวจสอบตำแหน่งของพอร์ทขนาน สามารถตรวจสอบโดยใช้โปรแกรม Debug ตรวจสอบที่ตำแหน่งหน่วยความจำเริ่มต้นของพอร์ทขนาน โดยใช้คำสั่ง “-d 40:0008” ซึ่ง 40:0008 เป็นตำแหน่งแรกของพอร์ท

```
Microsoft(R) Windows 98
(C)Copyright Microsoft Corp 1981-1999.

C:\WINDOWS>cd command

C:\WINDOWS\COMMAND>debug
-d 40:0008
0040:0000          78 03 00 00 00 00 1B 02          x.....
0040:0010  27 C4 00 80 02 80 00 20 00 00 2E 00 2E 00 34 4B  '.....4K
0040:0020  30 52 3A 27 30 52 30 52-30 52 38 48 0D E0 64 20  OR:'OROROR8H..d
0040:0030  65 12 62 30 75 16 67 22-0D 1C 64 20 20 39 00 80  e.bou.g"...d 9..
0040:0040  00 00 C0 00 00 00 00 00-00 03 50 00 00 10 00 00  .....P.....
0040:0050  00 0E 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0040:0060  0E 0D 00 D4 03 29 30 A4-17 05 85 FF 04 00 01 00  .....)0.....
0040:0070  00 00 00 00 00 02 00 00-14 14 14 3C 01 01 01 01  .....<....
0040:0080  1E 00 3E 00 18 10 00 60          ..>....

-q
```

### รูปที่ 3.1 แสดงการตรวจสอบตำแหน่งพอร์ทขนาน

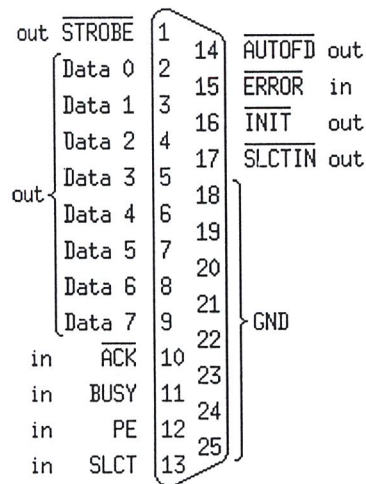
จากรูปที่ 3.1 ข้อมูลที่วงกลมไว้ คือ 378H เป็นค่าแอดเดรสหลักของ LPT1 ค่าแอดเดรสที่มีค่าเป็นศูนย์แสดงว่า พอร์ทของ LPT หมายเลขนั้นไม่สามารถติดต่อได้ จะเห็นว่าเครื่องพีซีเครื่องนี้ไม่มี LPT2-4 หรือสามารถตรวจตำแหน่งของพอร์ทได้จากการเขียนโปรแกรมตรวจสอบพอร์ท (TestPort.cpp)

### 3.4 การใช้งานพอร์ทขนาน

สำหรับพอร์ทขนานแบบมาตรฐาน การอ่านข้อมูล ผู้ใช้สามารถนำพอร์ทอินพุทจากพอร์ทสเตตัสและพอร์ทคอนโทรลมาใช้งานรับค่าข้อมูล ส่วนการเขียนข้อมูล สามารถนำพอร์ทดาต้าร่วมกับพอร์ทคอนโทรลได้ (พอร์ทคอนโทรลสามารถเป็นได้ทั้งพอร์ทอินพุทและเอาต์พุท) ตำแหน่งของสายสัญญาณบนพอร์ทขนานจะมีหน้าที่และทิศทาง (Direction) ดังตารางที่ 3.8 และรูปที่ 3.2

แบบ 25 ขา	แบบ 36 ขา	สัญญาณ	หน้าที่	รีจิสเตอร์
1	1	<u>Strobe</u>	อ่าน/เขียน	Control
2	2	Data 0	เขียน	Data
3	3	Data 1	เขียน	Data
4	4	Data 2	เขียน	Data
5	5	Data 3	เขียน	Data
6	6	Data 4	เขียน	Data
7	7	Data 5	เขียน	Data
8	8	Data 6	เขียน	Data
9	9	Data 7	เขียน	Data
10	10	<u>Ack</u>	อ่าน	Status
11	11	Busy	อ่าน	Status
12	12	PO,PE	อ่าน	Status
13	13	Slct	อ่าน	Status
14	14	<u>Autolf</u>	อ่าน/เขียน	Control
15	32	<u>Error / Fault</u>	อ่าน	Status
16	31	<u>Init</u>	อ่าน/เขียน	Control
17	36	<u>Slctin</u>	อ่าน/เขียน	Control
18-25	19-30	Ground	กราวด์	

ตารางที่ 3.8 แสดงข้อมูลสายสัญญาณของพอร์ตขนาน



รูปที่ 3.2 แสดงสายสัญญาณของพอร์ทขนานแบบ 25 ขา

### 3.5 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ทขนาน

พอร์ทขนานจะมีลักษณะเช่นเดียวกับอุปกรณ์อินพุทเอาต์พุทตัวอื่นๆ คือเมื่อต้องการติดต่อจะต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการติดต่อกับพอร์ทขนานในตำแหน่งนั้นๆ ยกตัวอย่างการเขียนโปรแกรมเพื่อส่งค่าลอจิก “1” ออกไปทุกบิตของพอร์ทดาต้าของ LPT1 และอ่านค่าจากพอร์ทขนานมายังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ทสเตตัส ของ LPT1 สามารถเขียนโปรแกรมดังนี้

#### 3.5.1 ภาษา QBASIC

##### การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ทขนาน

OUT &H378,&HFF

โดยที่

OUT()	เป็นคำสั่งสำหรับการเขียนข้อมูล
&H	ที่แสดงนั้นหมายถึงตัวเลขฐานสิบหก
378	เป็นแอดเดรสของรีจิสเตอร์ Data สำหรับ LPT1
FF	เป็นข้อมูลฐานสิบหกมีลอจิก “11111111” ในฐานสอง

การอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ทขนาน

```
Temp=INP(&H379)
```

โดยที่ INP() เป็นคำสั่งสำหรับการอ่านข้อมูล  
 379 เป็นตำแหน่งแอดเดรสของรีจิสเตอร์ STATUS สำหรับ LPT1 ในตัวเลข  
 ฐานสิบหก  
 Temp เป็นตัวแปรที่ใช้เก็บข้อมูลที่อ่านได้จากพอร์ทขนาน

### 3.5.2 ภาษา ASSEMBLY

การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ทขนาน

```
mov dx,378h
```

```
mov al,ffh
```

```
out dx,al
```

การอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ทขนาน

```
mov dx,379h
```

```
in al,dx
```

### 3.5.3 ภาษา PASCAL

การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ทขนาน

```
Port[378H]:=FFH
```

การอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ทขนาน

```
Temp :=Port[379H]
```

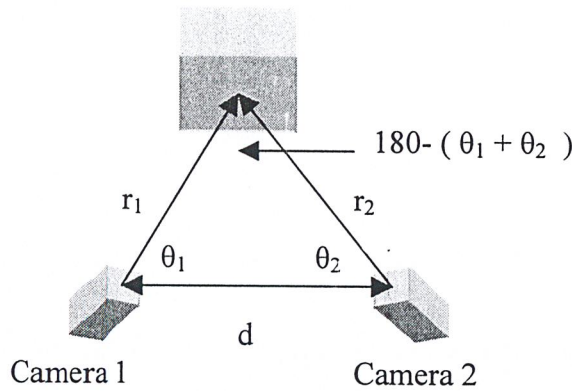
## บทที่ 4

### การวัดระยะทาง

ในการวัดระยะทาง สามารถแบ่งออกได้เป็นการวัดแบบตรงและแบบอ้อม โดยการวัดระยะทางแบบตรงคือการใช้เครื่องมือวัดระยะเช่น ตลับเมตร วัดในส่วนที่ต้องการ ในการวัดระยะทางที่ไม่สามารถวัดระยะทางโดยการใช้เครื่องมือวัดระยะโดยตรงได้เช่น มีอุปสรรคสิ่งกีดขวาง, ระยะทางไกลมาก เป็นต้น จำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการวัดทางอ้อมที่จะให้ค่าระยะทางได้เช่นเดียวกัน หลักการวัดระยะทางด้วยวิธีทางอ้อมต่างๆ คือ

#### 4.1 หลักการของรูปสามเหลี่ยม

หลักการของรูปของรูปสามเหลี่ยม โดยจะมีเครื่องมือที่ใช้เก็บภาพอยู่ 2 ตัว ซึ่งวางห่างเป็นระยะทางที่แน่นอน และเครื่องมือทั้งสองเก็บตำแหน่งบนวัตถุที่ตำแหน่งเดียวกัน



รูปที่ 4.1 แสดงหลักการวัดระยะทางด้วยรูปสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเครื่องมือทั้งสองและวัตถุวางไว้ในลักษณะรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมีด้าน 1 ด้านและมุม 2 มุม ที่ทราบอยู่ก่อนแล้วก็คือด้าน  $d$  และมุม  $\theta_1$  และ  $\theta_2$  ส่วนที่สามจะหาได้โดยใช้มุม 2 มุมที่ทราบแล้วลบออกจาก  $180^\circ$  ซึ่งระยะทางจากเครื่องมือแต่ละตัวไปยังวัตถุสามารถหาได้โดยใช้สูตรกฎของซายน์ (Sine Law)

$$r_1 = \frac{d \cdot \sin \theta_2}{\sin[180^\circ - (\theta_1 + \theta_2)]}$$

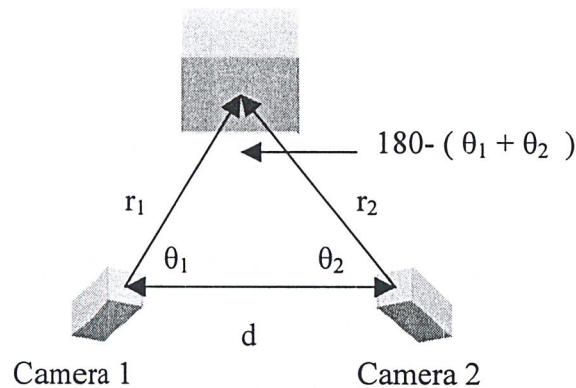
## บทที่ 4

### การวัดระยะทาง

ในการวัดระยะทาง สามารถแบ่งออกได้เป็นการวัดแบบตรงและแบบอ้อม โดยการวัดระยะทางแบบตรงคือการใช้เครื่องมือวัดระยะเช่น ตลับเมตร วัดในส่วนที่ต้องการ ในการวัดระยะทางที่ไม่สามารถวัดระยะทางโดยการใช้เครื่องมือวัดระยะโดยตรงได้เช่น มีอุปสรรคสิ่งกีดขวาง, ระยะทางไกลมาก เป็นต้น จำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการวัดทางอ้อมที่จะให้ค่าระยะทางได้เช่นเดียวกัน หลักการวัดระยะทางด้วยวิธีทางอ้อมต่างๆ คือ

#### 4.1 หลักการของรูปสามเหลี่ยม

หลักการของรูปของรูปสามเหลี่ยมโดยจะมีเครื่องมือที่ใช้เก็บภาพอยู่ 2 ตัว ซึ่งวางห่างเป็นระยะทางที่แน่นอน และเครื่องมือทั้งสองเก็บตำแหน่งบนวัตถุที่ตำแหน่งเดียวกัน



รูปที่ 4.1 แสดงหลักการวัดระยะทางด้วยรูปสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าเครื่องมือทั้งสองและวัตถุวางไว้ในลักษณะรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมีด้าน 1 ด้านและมุม 2 มุม ที่ทราบอยู่ก่อนแล้วก็คือด้าน  $d$  และมุม  $\theta_1$  และ  $\theta_2$  ส่วนที่สามจะหาได้โดยใช้มุม 2 มุมที่ทราบแล้วลบออกจาก  $180^\circ$  ซึ่งระยะทางจากเครื่องมือแต่ละตัวไปยังวัตถุสามารถหาได้โดยใช้สูตรกฎของไซน์ (Sine Law)

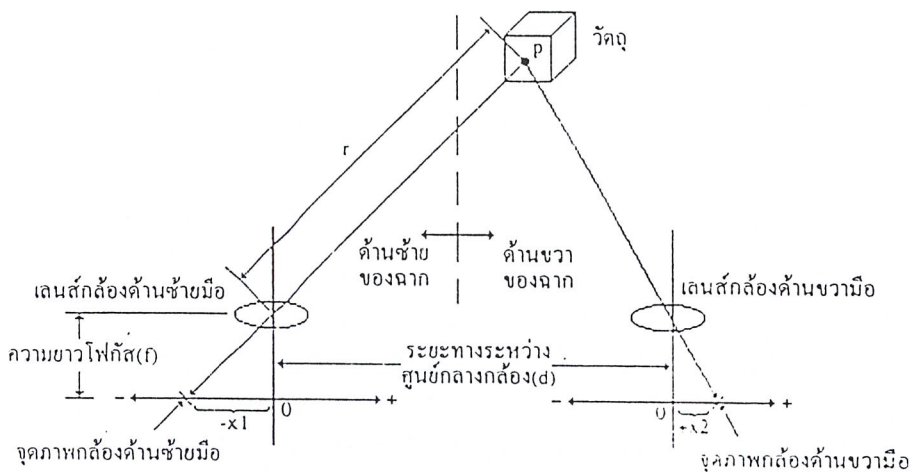
$$r_1 = \frac{d \cdot \sin \theta_2}{\sin[180^\circ - (\theta_1 + \theta_2)]}$$

$$r_2 = \frac{d \cdot \sin \theta_1}{\sin[180^\circ - (\theta_1 + \theta_2)]}$$

ในการวัดระยะทางโดยใช้หลักการรูปสามเหลี่ยมแบ่งออกเป็น 2 วิธี ซึ่งวิธีแรกเรียกว่า พาสซีฟ(Passive) จะใช้เครื่องมือเก็บภาพ 2 ตัว เช่นกล้องวิดีโอ และวิธีการแบบแอคทีฟ(Active) จะใช้เครื่องมือเก็บภาพ 1 ตัวร่วมกับเครื่องกำเนิดแสงอีก 1 ตัว

#### 4.1.1 หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ

วิธีนี้บางครั้งถูกเรียกว่า สเตอริโอวิชัน(Stereo Vision) หรืออธิบายได้เหมือนกับการใช้ตาทั้งสองของมนุษย์ในการรับรู้ระยะทาง ในวิธีนี้ จะใช้กล้องวิดีโอในการอธิบายแทนเครื่องมือที่ใช้เก็บภาพ โดยกล้องวิดีโอทั้งสองวางห่างกันในระยะทางที่แน่นอน



รูปที่ 4.2 แสดงหลักการวัดระยะทางด้วยรูปสามเหลี่ยมแบบพาสซีฟ

จากรูป 4.2 กำหนดระยะทาง  $d$  และความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอกำหนดเป็น  $f$  ซึ่งจะใช้เป็นตัวคำนวณหาระยะทาง  $r$  จากกล้องวิดีโอไปยังจุด  $P$  บนวัตถุ โดยกล้องทั้งสองจะเก็บภาพวัตถุเดียวกันเข้ามาและหาจุดที่สอดคล้องกันหรือจุดเดียวกันจากภาพทั้งสอง เช่น จุด  $P$  ซึ่งจะปรากฏที่กล้องด้านขวา 1 จุดภาพและปรากฏที่กล้องด้านซ้าย 1 จุดภาพ ซึ่งก็คือจุดเดียวกัน แต่ละจุดภาพจะบอกตำแหน่งระยะห่างจากศูนย์กลาง เช่นเดียวกับ  $x_1$  จะเป็นระยะห่างในกล้องด้านซ้ายมือจากจุดภาพนั้นไปยังตำแหน่งศูนย์กลางของภาพ เช่นเดียวกับ  $x_2$  จะเป็นระยะห่างในกล้องด้านขวามือจากจุดภาพนั้นไปยังตำแหน่งศูนย์กลางของภาพ ถ้าหากช้อนภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองตัว จุดของ

ภาพทั้งสองคือ  $x_1$  และ  $x_2$  จะไม่อยู่ตำแหน่งเดียวกัน จะได้ระยะห่างระหว่างจุดขึ้นมา ซึ่งระยะห่างระหว่างจุดนี้สามารถคำนวณได้โดยใช้ค่าสมบูรณ์(Absolute) ให้กับผลต่างของทั้งสองจุด ผลลัพธ์เรียกว่าค่าความแตกต่าง(Disparity)

ระยะทาง  $r$  จากกล้องวิดีโอไปยังจุดบนวัตถุจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าความแตกต่างระหว่าง  $x_1$  และ  $x_2$  เช่น ถ้าความแตกต่างเข้าใกล้สอง ระยะทาง  $r$  จะมีค่าได้ไม่สิ้นสุดหรือไม่เกิดระยะทางขึ้นระหว่างจุดภาพทั้งสองที่สอดคล้องกัน ในทางกลับกันถ้าระยะทาง  $r$  ลดลง ค่าความแตกต่างก็จะเพิ่มขึ้น ระยะทางของจุดบนวัตถุสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$r = \frac{d \cdot \sqrt{f^2 + x_1^2 + x_2^2}}{|x_1 - x_2|}$$

เมื่อ  $d$  เป็น ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเลนส์ของกล้องแต่ละตัว

$r$  คือ ระยะทางจากเลนส์กล้องถึงวัตถุที่อยู่ตรงกลางฉาก

$f$  คือ ความยาวโฟกัสของกล้องวิดีโอ

$x$  คือ ระยะห่างของจุดภาพกับศูนย์กลางของเลนส์

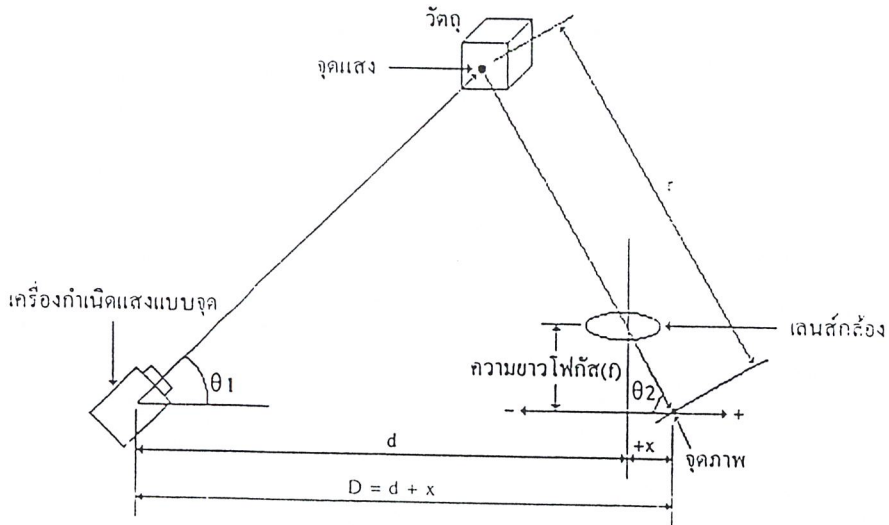
จะเห็นว่าในระบบสเตอริโอ ความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพที่ตรงกันหรือสอดคล้องกันและตำแหน่งของจุดสองจุดภาพนี้ต้องคำนวณให้ถูกต้อง ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเสมอเรียกว่า “Correspondence Problem”

ปัญหา Correspondence ที่เกิดขึ้นนี้สามารถลดลงได้ด้วยการตัดอุปกรณ์เก็บภาพออก 1 ตัว โดยใช้หลักการแทนกล้องตัวที่สองด้วยเครื่องกำเนิดแสง เรียกวิธีนี้ว่า หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ

#### 4.1.2 หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟ

หลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟจะแตกต่างกับวิธีแบบพาสซีฟ คือ จะใช้เครื่องกำเนิดแสงแทนกล้องวิดีโอตัวที่สอง โดยเครื่องกำเนิดแสงจะกำเนิดแสงซึ่งเป็นแบบจุดหรือแบบสายเส้นเดี่ยวและใช้กล้องวิดีโอในการเก็บภาพวัตถุ ซึ่งจะนำจุดภาพที่แสงกระทบมาคำนวณหาระยะทาง

## 1. วิธีแบบจุด (Spot Sensing)



รูปที่ 4.3 แสดงหลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบจุด

เมื่อฉายลำแสงไปบนวัตถุในห้องที่มีดังรูปที่ 4.3 ลำแสงจะสร้างจุดแสงบนวัตถุและสะท้อนไปยังกล้องวิดีโอ โดยระยะห่างระหว่างกล้องกับเครื่องกำเนิดแสงเป็นระยะ  $d$  จุดภาพต้องพบได้ง่าย ซึ่งควรจะเป็นจุดที่มีความสว่างมากที่สุด ในการคำนวณหาระยะทาง  $r$  สามารถคำนวณได้จากมุม  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  และระยะ  $d$  ซึ่งมุม  $\theta_2$  คำนวณได้จากความยาวโฟกัส ( $f$ ) ของกล้องวิดีโอซึ่งเป็นค่าคงที่ และระยะห่างจากศูนย์กลางเลนส์กล้องกับจุดภาพ ( $x$ ) ดังสมการ

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{f}{x}\right)$$

ระยะทางระหว่างเครื่องกำเนิดแสงและจุดภาพ สามารถคำนวณจากสมการ

$$D = d+x$$

- เมื่อ
- $f$  คือ ความยาว โฟกัสของกล้องวิดีโอ
  - $x$  คือ ระยะห่างจากศูนย์กลางของเลนส์กล้องกับจุดภาพที่พบ
  - $d$  คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องกำเนิดแสงกับกล้องวิดีโอ

ระยะทาง  $r$  สามารถคำนวณได้โดยใช้กฎของซายน์ ดังสมการ

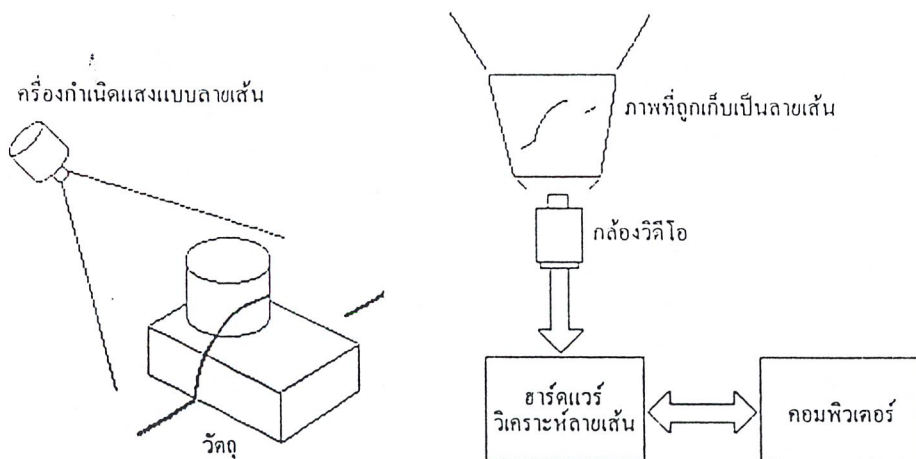
$$\frac{r}{\sin \theta_1} = \frac{D}{\sin[180^\circ - (\theta_1 + \theta_2)]}$$

$$r = \frac{D \cdot \sin \theta_1}{\sin[180^\circ - (\theta_1 + \theta_2)]}$$

ในวิธีการแบบจุด เมื่อต้องการหาระยะทางที่จุดอื่นๆบนวัตถุ จะต้องเลื่อนจุดแสงไปทั่วตลอดทั้งภาพซึ่งต้องใช้เวลามาก เมื่อใช้แสงธรรมดาจำเป็นต้องใช้เฉพาะห้องมืดเพื่อให้เห็นจุดภาพได้ชัดเจน ถ้าหากใช้ในระดัปลแสงปกติก็ควรติดตั้งตัวกรองแสง(Filter) ไว้ด้านหน้าของกล้องเพื่อลดปริมาณแสงลง การใช้แสงชนิดอื่นๆ เช่นแสงอินฟราเรด(Infrared) หรือแสงเลเซอร์จะไม่มีปัญหานี้

## 2. วิธีแบบลายเส้นเดี่ยว (Light Stripe Sensing)

วิธีแบบลายเส้นเดี่ยว เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีวิธีแบบจุด โดยใช้ลำแสงแสง จะได้การฉายแสงผ่านร่องแสงไปยังวัตถุและใช้กล้องเก็บลายเส้นที่เกิดขึ้นบนวัตถุ โดยใช้ลายเส้นจะถูกแบ่งออกเป็นจุดภาพย่อยๆ และระยะทางจะคำนวณในแต่ละจุดตามลายเส้น ส่วนวิธีการคำนวณหาระยะทางจะเหมือนกับวิธีแบบจุด

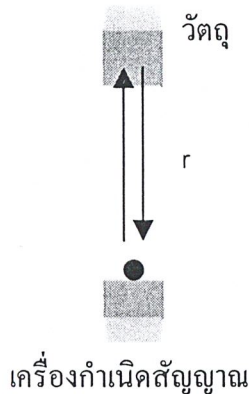


รูปที่ 4.4 แสดงหลักการของรูปสามเหลี่ยมแบบลายเส้นเดี่ยว

ข้อดีของวิธีแบบลายเส้นเดียวคือ ง่ายและเร็วกว่าวิธีแบบจุด นอกจากนั้นขอบเขตและพื้นที่ของวัตถุสามารถหาได้โดยการต่อที่จุดปลายของแต่ละลายเส้นเข้าด้วยกัน ดังนั้นวิธีแบบลายเส้นนี้สามารถใช้ในการแบ่งย่านภาพวัตถุ หรือเรียกว่า Image Segmentation

#### 4.2 หลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญหายไป (Time of Flight)

การวัดระยะทางวิธีนี้จะใช้การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปยังวัตถุที่ต้องการ เมื่อสัญญาณนี้กระทบกับวัตถุนั้นจะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ



รูปที่ 4.5 แสดงหลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญหายไป

ระยะทางหาได้จากผลคูณระหว่างความเร็วกับเวลาหารด้วย 2 ดังสมการ

$$r = \frac{v \cdot t}{2}$$

- เมื่อ  $r$  คือ ระยะทางจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไปยังวัตถุ  
 $v$  คือ ความเร็วขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณที่ใช้  
 $t$  คือ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มส่งสัญญาณและสะท้อนกลับมา

โดยทั่วไปมีสัญญาณอยู่ 3 ชนิดที่ใช้หลักการเกี่ยวกับเวลาที่สูญหายไปได้แก่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, คลื่นแสง และคลื่นเสียง ซึ่งวิธีในการคำนวณหาระยะทางจะมีลักษณะเหมือนกัน อย่างไรก็ตามในแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะและมีผลต่อความแม่นยำของระยะทางที่คำนวณได้

#### 4.2.1 คุณสมบัติของสัญญาณทั่วไป

คุณสมบัติของสัญญาณทั่วไป ที่ต้องคำนึงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. มุมเบี่ยงเบนของสัญญาณ ถ้าหากสัญญาณที่ส่งออกไปมีมุมกว้าง แต่วัตถุมีขนาดเล็ก จะทำให้ระยะทางที่คำนวณได้มีความแม่นยำลดลงเพราะสัญญาณจะครอบคลุมบริเวณได้กว้างกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่มีมุมแคบกว่า ซึ่งจะให้ความแม่นยำมากกว่า

2. ความเร็วของสัญญาณ สัญญาณที่ส่งออกไปและสะท้อนกลับจากวัตถุที่เร็วกว่าจะทำให้การคำนวณระยะทางได้ยุ่งยาก เช่น คลื่นเสียงเดินทางที่ความเร็ว 1,100 ฟุต/วินาที ขณะที่คลื่นแสงเดินทางที่ความเร็ว 982,080,000 ฟุต/วินาที ซึ่งจะใช้ตัวเลขดังกล่าวในการคำนวณหาระยะทางร่วมกับเวลาที่สูญเสียไป สมมุติที่ระยะทาง 1 ฟุต คลื่นเสียงเดินทางจะใช้เวลา 1.8 มิลลิวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นแสงจะใช้เวลาประมาณ 1 นาโนวินาที จะเห็นว่าคลื่นแสงใช้เวลาสั้นกว่ามาก

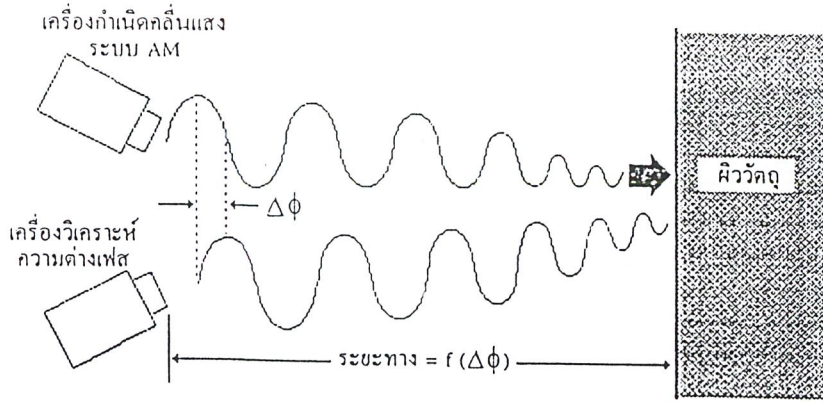
#### 4.2.2 หลักการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic)

ในการวัดระยะทางด้วยวิธีนี้จะใช้คลื่นความถี่วิทยุที่นิยมเรียกกันว่าเรดาร์ (Radar) โดยส่งคลื่นวิทยุไปในชั้นบรรยากาศ ถ้าหากพบหรือชนกับวัตถุ คลื่นจะสะท้อนกลับมา และระยะทางคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของเวลา เรดาร์นิยมใช้ในการวัดระยะทางกับวัตถุที่เป็น โลหะ และอยู่ใกล้ และสิ่งหนึ่งที่ควรรู้คือ คลื่นวิทยุจะต้องมีกำลังมากพอที่จะกำเนิดสัญญาณ ที่มีมุมเบี่ยงเบนแคบๆ ซึ่งมุมนี้จะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีขนาดใหญ่จะทำให้ส่งคลื่นวิทยุที่มีมุมเบี่ยงเบนได้แคบ นอกจากนั้นคลื่นวิทยุความถี่สูงจะเดินทางได้เร็วเกือบเท่ากับความเร็วแสง และวัตถุที่ไม่ใช่โลหะจะดูดซึมสัญญาณคลื่นความถี่สูง

#### 4.2.3 หลักการใช้คลื่นแสง (Light)

วิธีนี้ถูกเรียกว่า LIDAR (Light Detection And Ranging) ซึ่งจะกำเนิดคลื่นแสงสั้นๆ ออกไปและรอคลื่นสะท้อนกลับมา นำเวลาที่สูญเสียไปมาคำนวณหาระยะทาง นิยมใช้แสงเลเซอร์ เพราะว่ามุมเบี่ยงเบนของคลื่นจะแคบมาก เป็นผลให้ระยะทางที่คำนวณได้มีความถูกต้องสูง ความเข้มของแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาสามารถนำเปลี่ยนเป็นความเข้มในระดับเกรย์สเกลได้ หากนำความเข้มแสงในแต่ละจุดมารวมกันก็สามารถนำมาแสดงเป็นข้อมูลภาพสามมิติได้

ปัญหาที่เกิดขึ้นของวิธีนี้คือ ในการวัดระยะทางที่สั้นๆ ซึ่งจะใช้เวลาน้อยๆ ไม่สามารถตรวจวัดได้ทัน วิธีแก้ไขคือเปลี่ยนไปวัดเฟสของคลื่นที่สะท้อนกลับมาแทน โดยใช้แสงเลเซอร์นี้ผสม (Modulate) แบบ A.M. (Amplitude Modulation) แล้วจึงส่งออกไป

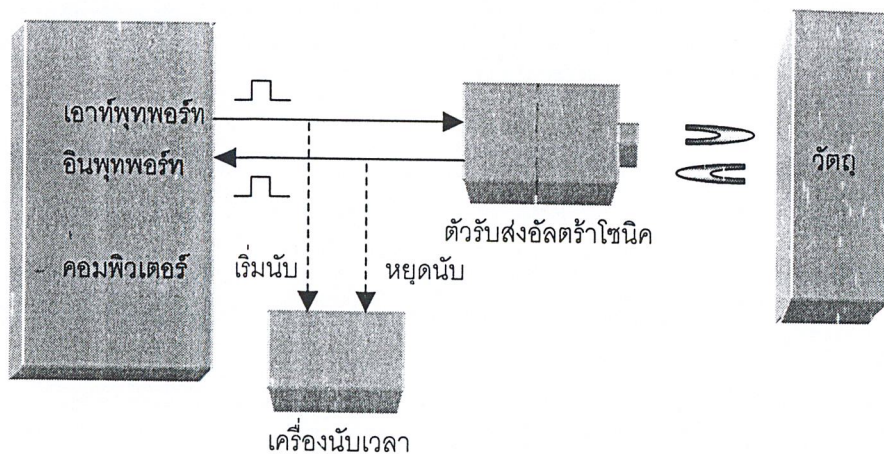


รูปที่ 4.6 แสดงหลักการใช้คลื่นแสง

จากรูปที่ 4.6 เมื่อแสงไปกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมา ซึ่งมีเฟสต่างกับคลื่นที่ส่งออกไป ปริมาณของความต่างเฟสจะเป็นสัดส่วนกับระยะทางของวัตถุ

#### 4.2.4 หลักการใช้คลื่นเสียง (Sound)

คลื่นเสียงอัลตราโซนิกสามารถวัดระยะทางที่ใกล้ได้อย่างแม่นยำเพราะคลื่นเดินทางที่ความเร็วต่ำ แต่เป็นการยากที่จะส่งคลื่นให้ได้มุมเบี่ยงเบนที่แคบๆ เพื่อให้สามารถรู้ลักษณะของวัตถุแบบสามมิติได้ คลื่นอัลตราโซนิกส่วนมากใช้วัดระยะทางตั้งแต่ 1 ฟุต ถึง 50 ฟุต มีความผิดพลาดร้อยละ 1 ถึง 2 โดยใช้เครื่องส่งส่งสัญญาณคลื่นเสียงความถี่สูงออกไป ในช่วงสั้นๆ และใช้ฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ง่ายๆ ในการนับเวลาที่สูญเสียไปโดยเครื่องนับจะเริ่มนับเมื่อคลื่นเสียงถูกส่งออกไป และจะหยุดนับเมื่อคลื่นเสียงสะท้อนกลับมาเวลาที่นับได้จะเป็นสัดส่วนกับระยะทางของวัตถุ



รูปที่ 4.7 แสดง หลักการใช้อัลตราโซนิก

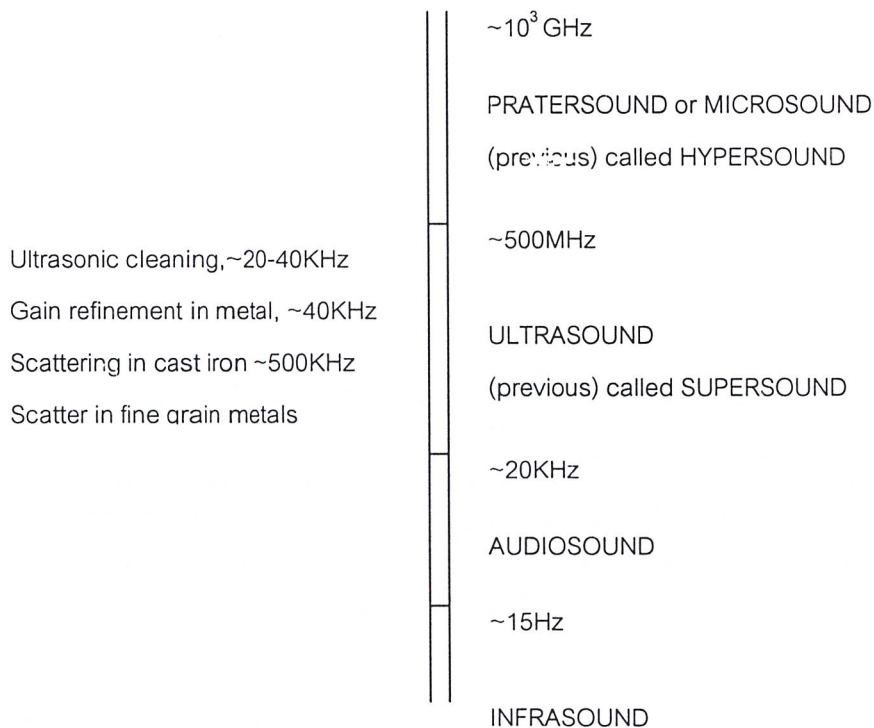
จากรูปที่ 4.7 ใช้สัญญาณพัลส์แบบดิจิตอลป้อนเข้าที่ตัวอัลตราโซนิก เพื่อให้กำเนิดคลื่นเสียงสั้นๆส่งออกไปยังวัตถุ และในเวลาเดียวกันสัญญาณพัลส์จะส่งไปยังเครื่องนับเวลาให้เริ่มทำการนับด้วย เมื่อสัญญาณพัลส์ไปกระทบวัตถุจะสะท้อนกลับมายังตัวรับอัลตราโซนิก เป็นผลให้ตัวอัลตราโซนิกเกิดสัญญาณพัลส์ขึ้น และส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องนับเวลาเพื่อหยุดการนับเวลาจากนั้นจะนำค่าเวลาไปคำนวณหาระยะทางต่อไป

## บทที่ 5

### คลื่นอัลตราโซนิก

#### คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic wave)

คลื่นอัลตราโซนิก คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินที่หูมนุษย์จะได้ยิน ซึ่งทั่วไปแล้วมนุษย์จะสามารถได้ยินคลื่นความถี่ประมาณ 20 Hz - 20 KHz ดังนั้นแล้วคลื่นอัลตราโซนิกจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ถึง  $10^4$  GHz โดยคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า  $10^4$  GHz และแอมพลิจูดสูงๆ เรียกว่า " ไฮเปอร์ - ซาวด์ "

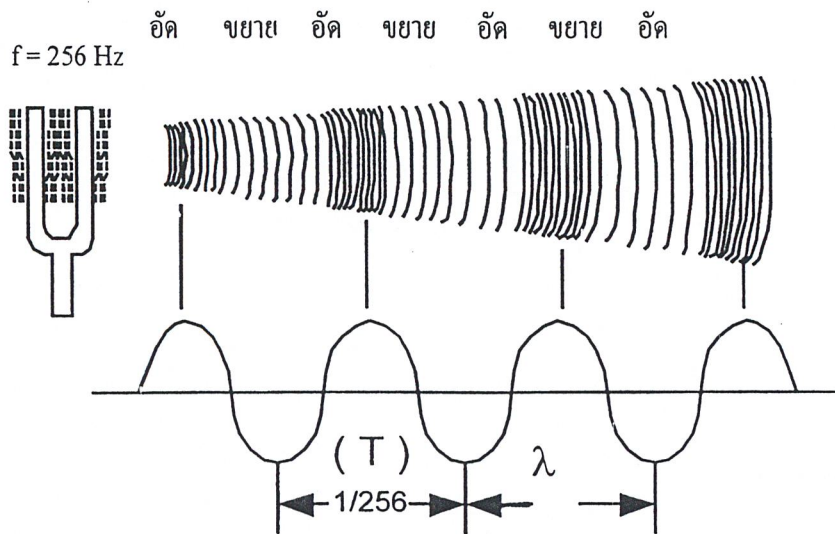


รูปที่ 5.1 แสดงช่วงความถี่ของสัญญาณ

## 5.1 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิกที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆมีหลายชนิดด้วยกัน ตามการเคลื่อนที่ไปในทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น

**5.1.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave)** คือ คลื่นอนุภาคตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น

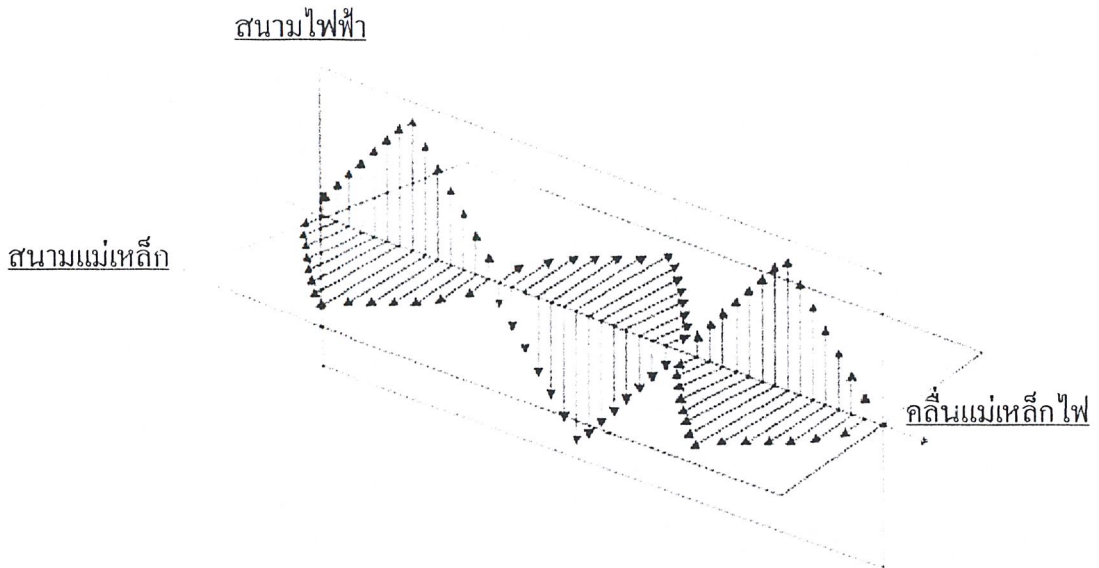


รูปที่ 5.2 แสดงคลื่นตามยาว

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่ามีส่วนรวมที่เป็นคลื่นอัด(Compression) ซึ่งก็คือคลื่นช่วงของอนุภาคของตัวกลางมีความชันสูง และคลื่นขยาย(Rarefaction) คือคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางมีความชันต่ำ และเมื่อนำค่าของความชันที่เปลี่ยนตามระยะทางมาเขียนกราฟจะได้รูปไซน์(Sine Wave) โดยยอดคลื่นจะตรงกับส่วนอัด.และท้องคลื่นจะตรงกับส่วนขยาย ระยะทางระหว่าง ส่วนอัดถึงส่วนอัดหรือส่วนขยายถึงส่วนขยาย คือ 1 ความยาวคลื่น และมีคาบเวลา (T) ซึ่งเท่ากับ  $1/f$  โดยจุดที่เป็นแกนนั้นมีความดัน 1 บรรยากาศ

**5.1.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)** คือคลื่นที่ซึ่งทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของการเคลื่อนที่ เช่นคลื่นนี้เดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่น และสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นตัวกลางที่เป็นของแข็งได้ คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและแก๊ส คลื่นตามขวางมี

ลักษณะเหมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นเพียงทิศทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องจากการแกว่ง ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยการเคลื่อนที่แบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้น้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ



รูปที่ 5.3 แสดงคลื่นตามขวาง

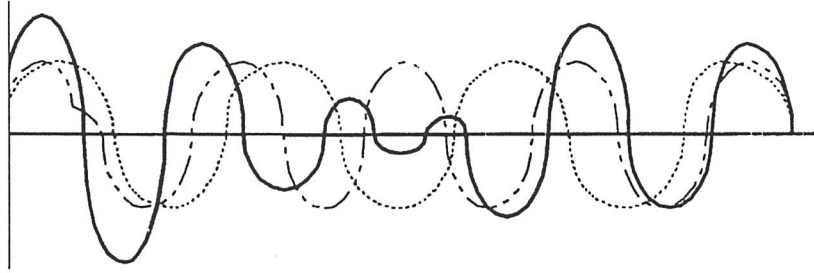
**5.1.3 คลื่นผิวหน้า (Surface Waves or Rayleigh)** เป็นคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอนุภาค ไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเท่านั้น แต่ยังมี การเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

## 5.2 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอัลตราโซนิก

### 5.2.1 การแทรกสอดของคลื่นเสียง (Interference)

การแทรกสอดเกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลาง (Medium) เดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลหลายลักษณะ คือ

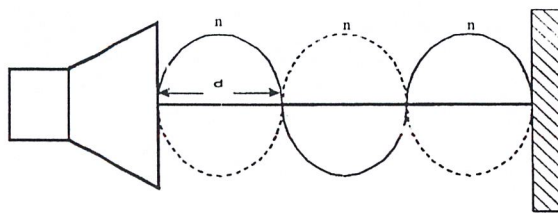
ก. การบีบ (Beat) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นที่มีความถี่ต่างกันหรือต่างเฟสกัน เคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 5.4 แสดงการบัพ

จากรูปที่ 5.4 เป็นการแสดงบัพของคลื่นเสียง 2 คลื่น ซึ่งจะได้คลื่นที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนไป ประโยชน์ของการบัพของคลื่นนั้น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน

ข. การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นซูดที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงข้ามกัน ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่ง

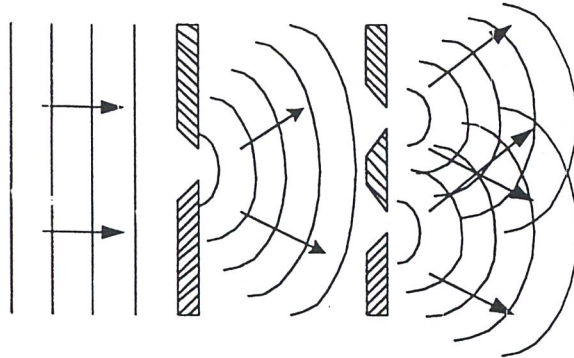


รูปที่ 5.5 แสดงการเกิดคลื่นนิ่ง

จากรูปที่ 5.5 เสียงจะมีความเข้มสูงสุดที่ตำแหน่ง ก. และเบาสุดที่ตำแหน่ง ข. ซึ่งระยะระหว่างขั้วทั้ง 2 เท่ากับ  $d = \lambda/2$  หรือ  $L = n(\lambda/2)$  โดยที่  $n = 1, 2, 3$

### 5.2.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction)

คลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ



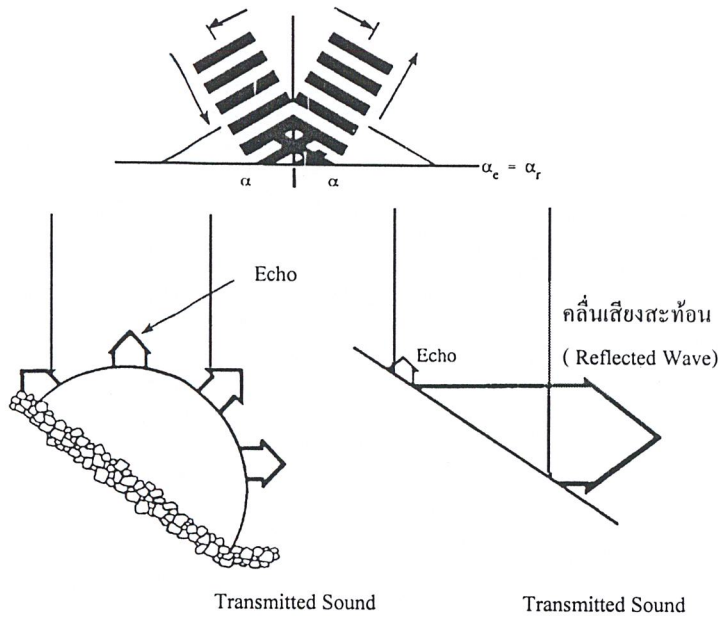
รูปที่ 5.6 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง

### 5.2.3 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)

เมื่อคลื่นเสียงวิ่งอยู่ในตัวกลางไปกระทบของแข็ง เช่น กำแพง หน้าผา หรือพื้นผิวของของเหลว บางส่วนของคลื่นเสียงจะแทรกผ่านเข้าไปในสารนั้นๆ และส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับที่เรียกว่าเสียงก้องหรือเอคโค่(Echo) โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 50 ms จะทำให้เราได้ยินเสียงนั้นเป็นครั้งที่สอง

$$\text{มุมกระทบ } \alpha_e = \text{มุมสะท้อน } \alpha_r$$

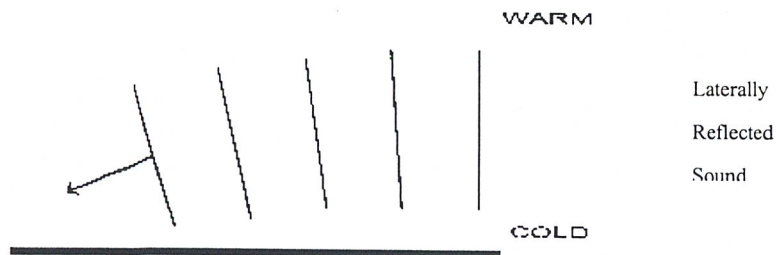
ลักษณะของการสะท้อนของเสียง เมื่อเสียงกระทบกับของแข็ง ทิศทางการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับมุม ตกกระทบทำให้เสียงกระจายไปในทิศทางต่างๆ แต่สำหรับวัตถุที่มีผิวเรียบ คลื่นเสียงที่มาตกกระทบส่วนใหญ่จะสะท้อนจากระนาบนั้นอย่างมีระเบียบ



รูปที่ 5.7 แสดงการสะท้อนของคลื่นเสียง

5.2.4 การหักเหของคลื่นเสียง (Refraction)

คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่



รูปที่ 5.8 แสดงการสะท้อนของคลื่นเสียง

### 5.2.5 ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wave Length)

ความถี่ คือ จำนวนของออสซิลเลชันที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกัน ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างการสั่นที่สมบูรณ์หรือการเดินทางครบหนึ่งรอบ (Cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (successive compression) หรือการเบาบางของอากาศ (rare-fractions) การอัดคือ การที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กันตามสมการข้างล่าง

$$C = f\lambda$$

โดยที่

- C = ความเร็วของการเดินทาง
- f = ความถี่(Hz)
- $\lambda$  = ความยาวคลื่น(m)

### 5.2.6 ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิค

คลื่นที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกันและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุแรกสำหรับการโค้งตัวของคลื่นในบรรยากาศ สำหรับความเร็วของคลื่น (c) ในก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) จะเป็นดังนี้

$$V = \sqrt{\frac{\Gamma P}{\rho}}$$

โดยที่

- V = ความเร็วของคลื่นเสียง (m/s)
- $\Gamma$  = ค่าโมดูลัส (modulus) ของก๊าซ
- P = ความดันของก๊าซ (Pascal):  
ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเล =  $1.01325 \times 10^5$  Pascal
- $\rho$  = ความหนาแน่นของก๊าซ ( $\text{Kgm}^{-3}$ ) ความหนาแน่นของอากาศ = 1.29

เนื่องจากในอากาศประกอบด้วยโมเลกุลอะตอมคู่ ดังนั้น ค่า  $\Gamma = 1.4$  จะได้

$$V = \sqrt{\frac{1.4P}{\rho}}$$

ดังนั้นถ้าโมเลกุลของอากาศมีมวลเป็น  $M$  และปริมาตรเป็น  $V$  จะให้ความหนาแน่น

$$\rho = \frac{M}{V}$$

และจาก

$$PV = RT$$

โดยที่

$R$  = ค่าคงที่ของก๊าซ

$T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ

ดังนั้น

$$V = \sqrt{\frac{\Gamma RT}{M}}$$

ความเร็วของคลื่นในก๊าซอุดมคติจะขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซ กับอุณหภูมิ และเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แต่ในความเป็นจริงค่าความเร็วจะขึ้นกับค่าความดัน และความหนาแน่นของ ก๊าซด้วย กล่าวคือ ค่าความดันและความหนาแน่นของก๊าซจะลดลง เมื่อความสูงเหนือจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

โดยที่

$V_1$  = ความเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ  $T_1$  (m/s)

$V_2$  = ความเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ  $T_2$  (m/s)

$T_1$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่หนึ่ง (K)

$T_2$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่สอง (K)

หรือ

$$V = V_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

โดยที่  $V$  = ความเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิใดๆ (m/s)  
 $V_0$  = ความเร็วเสียงที่  $0^{\circ} \text{C}$  (331.45 m/s)  
 $t$  = อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )

ความเร็วที่ยอมรับได้ในอากาศที่อุณหภูมิปกติ ความสัมพันธ์จะเป็นไปตามสมการ

$$V = 331.45 + 0.607t \quad (\text{m/s})$$

$$V = 1,055.03 + 1.106F \quad (\text{ft/s})$$

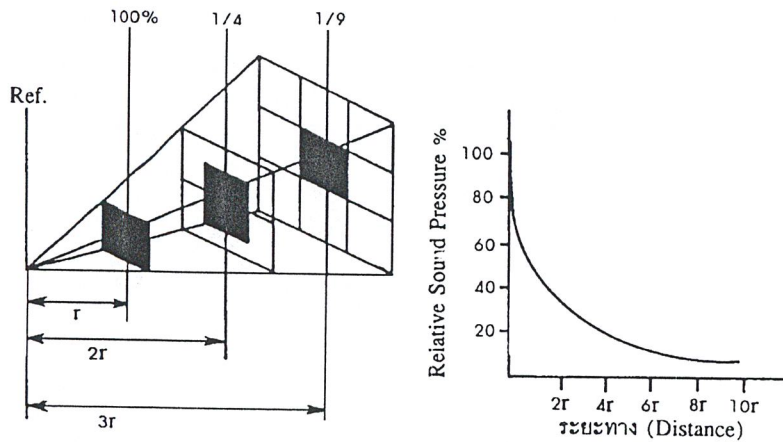
โดยที่  $V$  = ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ  
 $t$  = อุณหภูมิของคลื่นในอากาศ  $^{\circ}\text{C}$   
 $F$  = อุณหภูมิของคลื่นในอากาศ  $^{\circ}\text{F}$

GAS	Velocity (m/s)
AIR	331.45
ARGON	319
CARBON MONOXIDE	338
CARBON DIOXIDE	259
HELIUM	965
HYDROGEN METHANE	1284

ตารางที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วของคลื่นในตัวกลางต่างๆ

### 5.2.7 ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอัลตราโซนิก จะมีหน่วยวัดเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ( $W/cm^2$ ) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที ความเข้มที่ออกจากแหล่งกำเนิด จะมีค่าลดลงไปตามระยะทางที่เสียงเดินทางผ่าน เนื่องจากเมื่อรัศมีของการเดินทางไกลขึ้น พื้นที่รับเสียงก็จะมีค่ามากขึ้น



รูปที่ 5.9 แสดงปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

จากรูปที่ 5.9 ที่รัศมี  $r$  พื้นที่รับเสียงมีค่าเท่ากับ 1 แต่ที่รัศมี  $3r$  พื้นที่รับเสียงจะเพิ่มขึ้นเป็น 9 เท่า ดังนั้นการลดความเข้มของเสียงจะมีค่าเป็นกำลังสองของรัศมี ( $1/r^2$ )

### 5.2.8 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอัลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้ม ซึ่งเกิดจากการลู่ออกของลำคลื่นอัลตราโซนิก หรือเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่น โดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานความร้อนนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานยิ่งถูกดูดซับได้มาก

### 5.3 การแยกแยะ

การแยกแยะหรือรีโซลูชัน(resolution) ของการส่งระบบพัลส์คลื่นสะท้อน สามารถถูกใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของระบบที่แยกความแตกต่างตัวสะท้อน 2 สิ่งที่อยู่ใกล้กัน การแยกแยะที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด

การแยกแยะทางด้านข้าง (azimuth resolution) เป็นความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของเป้า 2 สิ่ง ซึ่งวางในแนวอนตตั้งฉากกับทิศทางของลำคลื่นในระยะทางที่เท่ากัน และขึ้นอยู่กับความกว้างของลำคลื่นที่ใช้ส่ง

การแยกแยะตามแนวแกนของคลื่น (range resolution) เป็นความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้า 2 สิ่ง ตามแนวแกนของลำคลื่น

### 5.4 อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

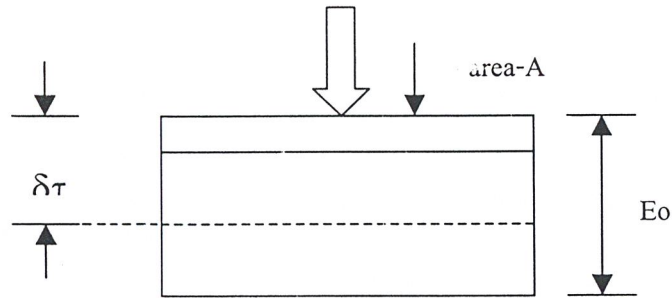
#### 5.4.1 ประเภทของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานกล โดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดเป็นคลื่นอัลตราโซนิคกระจายไปในวัตถุตัวกลาง หรือจากพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิคแปลงไปเป็นพลังงานกล ซึ่งทำให้เกิดแรงดันขึ้นที่ตัวทรานสดิวเซอร์ได้ ในปัจจุบันอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด ตามหลักการที่ใช้สร้างคือ

1. เปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมรรควัสดุรีโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าใดค่าหนึ่ง
2. แมกนีโตสทริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวด กับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดอยู่
3. อิเล็กโตรสทริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล

#### 5.4.2 ปรัชญาการณเปียโซอิเล็กทริก

เปียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ solid crystalline - dielectric



รูปที่ 5.10 แสดงผลของเพียโซอิเล็กทริก

จากรูป 5.10 จะเกิดความเค้น(Stress) ภายในคริสตอล และทำให้ผลึกคริสตอลผิดรูปไป เช่นพวกควอartz(Quartz) ผลก็คือประจุเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของ แลททิส เป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่(Displacement) ของประจุบวกและลบในแลททิสเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่า ผลของเพียโซอิเล็กทริก(Piezoelectric effect) การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด(electrod) เข้าที่ผิวด้านนอก แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด(magnitude) และการมีขั้ว(polarity) ของประจุบนผิวที่เหนี่ยวนำ(induced suurface charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรง(F) ที่มากระทำ

#### 5.4.3 ชนิดของเพียโซอิเล็กทรานสดิวเซอร์

เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

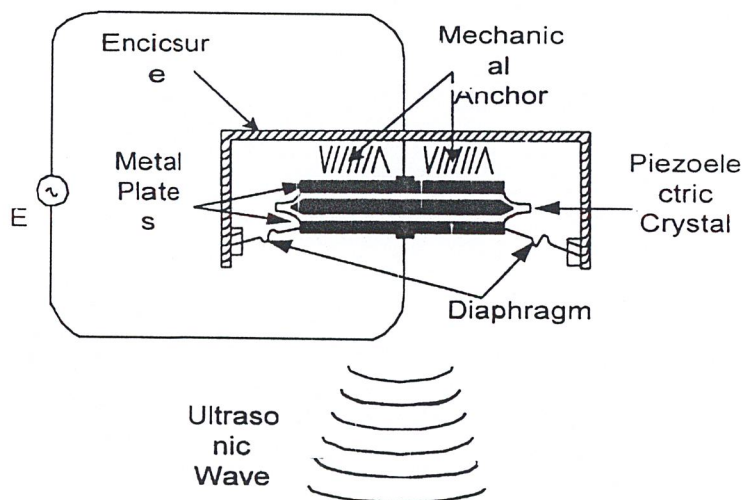
**1. Generation-action transducer** ใช้เป็นตัวรับโดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

**2. Motor-action transducer** ใช้เป็นตัวส่งโดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิค จะขึ้นอยู่กับขนาดความสูงและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ในทั้งสองกรณี ค่าแรงดันที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับขนาดของวัสดุ

#### 5.4.4 โครงสร้างของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

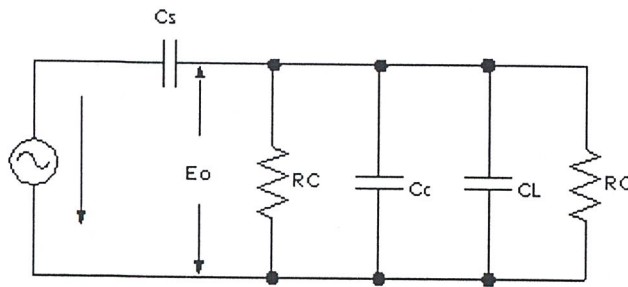
โครงสร้างของหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก โดยภายนอกตัวมักจะสร้างเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและ สูงประมาณ 10-25 มม. ด้านหน้าจะทำเป็นช่องและมีตระแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอัลตราโซนิกเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดนี้ได้โดยสะดวก และตระแกรงนี้ยังป้องกันสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ อีกเช่น แมลง ฯลฯ ถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรต่อตัวถังลงกราวด์เพื่อชิลด์ บางยี่ห้อที่ขาข้างหนึ่งจะต่อกับตัวถังเพื่อลงกราวด์ไว้เรียบร้อยแล้ว

โครงสร้างภายในจะประกอบด้วย "ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริก"(Piezoelectric element) ซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแร่ควอartz, แบเรียมทิตาเนท(Bariumtitanate) ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริกที่ทำมาจากแบเรียมทิตาเนท ซึ่งได้จากการผสมสารติตานิยมกับแบเรียมคาบอเนท ที่อุณหภูมิประมาณ 1300-1400 องศาเซลเซียส และผลิตออกมาในรูปแบบของชิ้นสาร "เซรามิก" ซึ่งจะเป็รูปลิ่มเหลี่ยม โดยส่วนใหญ่ชิ้นเซรามิกนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น ซึ่งทำมาจากแผ่นเงินเพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กโทรดต่อไป ด้านข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านหนึ่งจะยึดกับแผ่นไดอะแฟรม ซึ่งสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้โดยแผ่นไดอะแฟรมนี้จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายเลนส์ เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น



รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในทั่วไปของทรานสดิวเซอร์  
เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค

### 5.4.5 วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 5.12 แสดงวงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก

เมื่อ

$C_c$  = คาปาซิแตนซ์ของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก

$R_c$  = leakage resistance ของเปียโซอิเล็กทริก มีค่าประมาณ  $10^8 - 10^{10}$

ความต้านทานระหว่างเทอร์มินอล โดยทั่วไปจะเป็นความต้านทาน  
โหลด  $R_l$  ( ในช่วง  $10^6 - 10^7$  )

$C_l$  = คาปาซิแตนซ์ ของ subsequent stage (load) ร่วมกับ connecting  
cable

ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูง โวลต์เตจ  $E_o$  ที่คร่อมโหลด หาได้โดย  $C_c$  และ  $C_l$  ค่าเหล่านี้  
นี้มาได้โดยการใช้การแบ่งโวลต์เตจ  $E_o$  ได้จากสมการ

$$E_o = \frac{E C_c}{(C_c + C_l)}$$

โดยค่า  $E_o$  จะขึ้นกับความถี่ ถ้าเอาท์พุทโวลต์เตจมีค่ามาก สามารถทำให้ลดลงได้โดยการ  
เพิ่ม  $C_l$  เช่น การนำค่า  $C_c$  ต่อขนานเข้าไป ที่ความถี่ต่ำ โวลต์เตจ  $E_o$  คร่อม โหลดจะหาได้จากค่ารี  
แอกแตนซ์ของ  $C_c$  และอิมพีแดนซ์ ของ  $C_l$  และ  $R_l$  ที่ต่อขนานกัน โวลต์เตจ  $E_o$  ขึ้นอยู่กับความถี่  
และจะลดลงเมื่อความถี่ลดลง การตอบสนองต่อความถี่สามารถปรับปรุงได้โดยการทรานสดิวเซอร์  
ที่มีคาปาซิแตนซ์สูงหรือ โดยการเพิ่มความต้านทาน

#### 5.4.6 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาครบคร่อม จะทำให้ชั้นสารเซรามิกโก่งงอ ทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (electrically pulse) จากการ ออสซิลเลท ก็จะทำให้ชั้นสารโก่งงอมากขึ้นหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากการออสซิลเลทนั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงประมาณ ร้อยละ 10 ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี้ ก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชั้นสารเซรามิกตรงกับความถี่เรโซแนนท์ที่เป็นความถี่ตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้ ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ จะทำงานตรงกันข้ามกับตัวส่ง คือเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชั้นสารเซรามิกเข้ามา จะทำให้ชั้นสารโก่งตัวไปมา และเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันคุณสมบัติโดยทั่วไปของอัลตราโซนิค แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือ มีความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจถึง 100 เมกกะโอห์ม แต่ขณะที่มันทำงาน ความต้านทานไฟสถิตจะลดลง

#### 5.4.7 ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวรับ-ตัวส่งทรานสดิวเซอร์

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย
2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายโดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันไม่เกิน 20 Vrms
3. ความถี่ เรโซแนนท์ (คือความถี่ที่ตัวมันสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 KHz (Bandwidth) ที่มีขายโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน +/- 1KHz และมีแถบความถี่ประมาณ 4.5 KHz (bandwidth) สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 KHz สำหรับตัวรับ เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกจากตัวส่งได้
4. อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ประมาณในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส
5. ตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางการคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดของแรงดันที่ออกมาจะลด จึงควรให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงกันมากที่สุด อัลตราโซนิคสามารถทำให้เป็นลำแคบได้โดยใช้เลนส์ที่เรียกว่า Planoconc avelenes วางข้างหน้าของทรานสดิวเซอร์
6. ในกรณีที่ใช้งาน ตัวรับจะต้องมีความต้านทานต่อขานานกับตัวรับ เพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วความต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10 K ถึง 100K ถ้าใช้ค่าน้อยความไวจะลด

ลงแต่ความถี่จะกว้างขึ้น หากมีสัญญาณรบกวนเยอะควรใช้โหนดที่มีความต้านทานสูง เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีความถี่แคบ

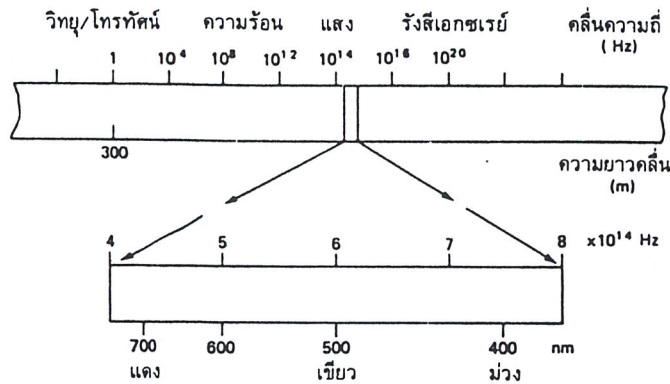
### 5.5 การประยุกต์ใช้งาน

คลื่นอัลตราโซนิก เป็นคลื่นที่มีทิศทาง กล่าวคือเนื่องจากคลื่นที่มีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลง ที่ความถี่ 40KHz คลื่นจะมีความยาวคลื่นประมาณเพียง 8 มม. ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ทำให้กำเนิดเสียงที่ความถี่นี้มากๆ คลื่นเสียงจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ การมีทิศทางของอัลตราโซนิกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายอย่าง เช่น นำไปใช้เป็นเครื่องควบคุมระยะไกล (ultrasonic remote control), เครื่องล้างอุปกรณ์ (ultrasonic cleaner), เครื่องวัดความหนาของวัตถุ, เครื่องวัดความลึก, เครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย, เครื่องหาจุดรั่วของภาชนะรูปปิด, เครื่องฝึกสุนัข, เครื่องฟังเสียงอัลตราโซนิก, เครื่องเตือนภัย เป็นต้น โดยความถี่ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่นถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศ ความถี่ที่ใช้มักไม่เกิน 50 KHz เพราะอากาศจะดูดกลืนความถี่สูงๆ การใช้งานทางด้านแพทย์จะใช้ความถี่สูงๆ ตั้งแต่ 1 MHz - 1GHz

## บทที่ 6

### แสงและสี

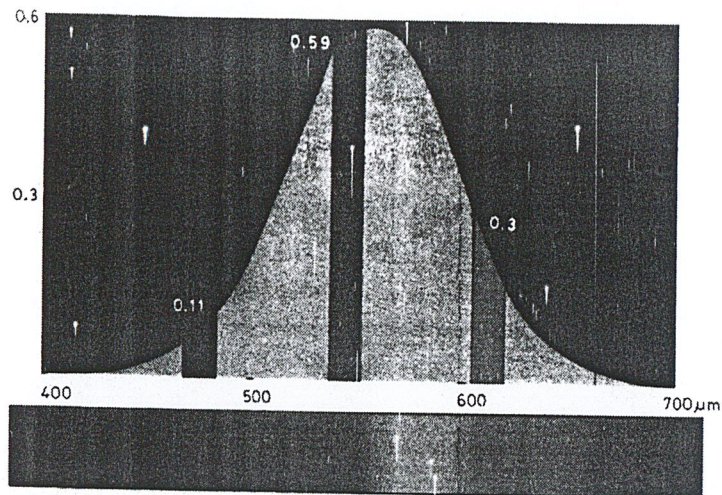
แสงที่สามารถมองเห็นได้(Visible light) นั้นเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารวมทั้งคลื่นวิทยุ หรือรังสีเอ็กซ์(X-ray) ความแตกต่างของคลื่นเหล่านี้คือค่าความยาวคลื่น



รูปที่ 6.1 แสดงแถบความถี่ของคลื่นแสง

จากรูป 6.1 แสดงช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองเห็นได้เรียกว่า แถบของคลื่นแสงที่มองเห็น(Visible spectrum) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 ถึง 700 นาโนเมตร

การมองเห็นสีต่างๆ เกิดจากการผสมของสีต่างๆ ในการมองเห็นสีวัตถุ เกิดจากการผสมสีแสงเชิงลบ(subtractive mixing) เกิดจากแสงไปกระทบวัตถุ และ โคนวัตถุดูดแสงบางส่วนไว้ ส่วนที่เหลือจะสะท้อนเข้าสู่ดวงตา ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นสีต่างๆได้ ส่วนการสร้างภาพของระบบโทรทัศน์จะเป็นการสร้างสี โดยการผสมสีแบบบวก(additive mixing) โดยมีแม่สี 3 สี คือ สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน เป็นตัวสร้างสีอื่นๆอีกครั้งหนึ่งโดยการผสมสี



รูปที่ 6.2 แสดงสีต่างๆที่มองเห็นได้

### 6.1 คุณสมบัติของแสง

คุณสมบัติของแสงบางประการที่ใช้ในการประมวลผลภาพ ที่ควรทราบคือ

1. สีต้นหรือฮิว (Hue) คือสีที่ตาเรามองเห็นหรือคือความถี่ของแสงที่ทำให้ความรู้สึกแก่ตา
2. ความเข้มสี (Saturation) คือความเข้มของสี จากการผสมของแสงสีขาว
3. ความสว่าง (Brightness) คือความสว่างของแสงที่ตามนุษย์รู้สึกต่อสี

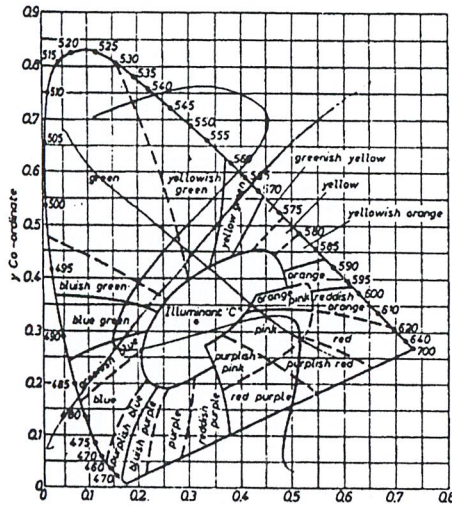
เนื่องจากสีต้นมีมากมาย จึงจำเป็นต้องเลือกแม่สีแสง ซึ่งเมื่อปรับสัดส่วนให้ผสมกันแล้วจะได้สีต้นที่ใกล้เคียงสีจริงตามธรรมชาติได้ใกล้เคียงที่สุด

### 6.2 ไคอะแกรม CIE Chromaticity

การกำหนดสีของสีต่างๆที่ต้องการ โดยการผสมกันของค่าคงที่ 3 ค่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก ในระบบคอมพิวเตอร์กราฟิก ใน ค.ศ.1931 สถาบัน CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) ได้กำหนดตัวแปรมาตรฐาน 3 ตัวด้วยกัน เรียกว่า X, Y และ Z เพื่อแทนค่าของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ในการผสมกันของสี เพื่อให้ได้สีของที่ต้องการ ถ้า C คือสีที่ต้องการจะได้

$$C = xX + yY + zZ$$

การกำหนด  $x, y$  และ  $z$  สามารถหาได้จากระนาบ  $x+y+z = 1$  ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ดังนั้นเส้นโค้งของแถบสเปกตรัมบริสุทธิ์ (pure spectrum color curve) คือ  $S(\lambda) = (X(\lambda), Y(\lambda), Z(\lambda))$  จะอยู่ในภายในบริเวณค่าบวกของรูปกราฟ เนื่องเส้นโค้งของแถบสีถูกกำหนดบนระนาบ 3 มิติ บนระนาบ  $x+y+z = 1$  ดังนั้นจึงสามารถที่จะแทนค่าไปสู่ระบบ 2 มิติได้และ Standard CIE Chromaticity Diagram คือเส้นโค้งของ  $S'(\lambda) = (X(\lambda), Y(\lambda), Z(\lambda))$



รูปที่ 6.3 แสดง ไดอะแกรม CIE Chromaticity

จากรูปที่ 6.3 จะเห็นว่าบริเวณกลางๆของไดอะแกรมจะมีความเข้มน้อยเพราะมีส่วนผสมของสีขาวมาก อย่างไรก็ตามสีบางสีมนุษย์ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ เพราะฉะนั้นในการเลือกแม่สี RGB จะถูกจำกัดอยู่ในกรอบสามเหลี่ยม นอกกรอบดังกล่าวจะใช้แม่สีทั้งสามสร้างขึ้นไม่ได้

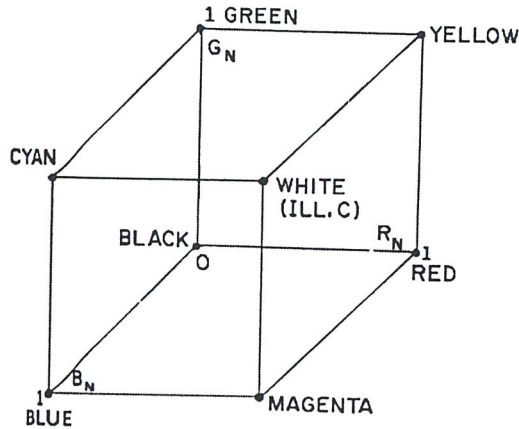
### 6.3 แบบจำลองของสี (Color model)

แบบจำลองของสี คือการกำหนดลักษณะของสีที่ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์กราฟิก เพื่อความสะดวกในการใช้งาน แบบจำลองของสีที่กำหนดนั้นสามารถแยกออกได้เป็นแบบจำลองสีที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ต่างๆในระบบคอมพิวเตอร์ และแบบจำลองของสีที่ใช้ในระบบชีวิตประจำวัน ที่ประกอบด้วย ชนิดของสี(hue), ความอิ่มตัวของสี(Saturation) และความสว่างของสี(Brightness)



### 6.3.1 แบบจำลองของสีแบบ RGB

เป็นแบบจำลองของสีที่ใช้ในระบบจอภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยประกอบจากสีแดง, สีเขียวและสีน้ำเงิน แบบจำลองของสีชนิดนี้ถูกกำหนดขึ้นในระบบพิกัดแบบ Cartesian ค่าตัวแปรทั้งสามตัว คือ R(red), G(green) และ B(blue) สามารถที่จะนำมารวมกันได้โดยตรงเพื่อทำให้ได้สีที่ต้องการ แบบจำลองของสีแบบ RGB นี้ถูกกำหนดด้วยลูกบาศก์ขนาด 1 หน่วย



รูปที่ 6.4 แสดง แบบจำลองสีแบบ RGB

ในแนวเส้นทะแยงมุมของลูกบาศก์ ค่าตัวแปรทั้งสามจะมีค่าเท่ากันคือระดับสีเทา(gray level) และสีดำจะอยู่ที่จุดกำเนิด ที่ตัวแปร (R,G,B) มีค่าเป็น (0,0,0) ส่วนสีขาวจะอยู่ที่ตำแหน่ง (1,1,1)

### 6.3.2 แบบจำลองของสีแบบ CMY

แบบจำลองของสีแบบ CMY เป็นแบบจำลองที่ใช้เป็นมาตรฐานในอุปกรณ์การพิมพ์ต่างๆ ตัวแปรทั้งสามของแบบจำลองชนิดนี้คือ C(Cyan : สีฟ้า), M( Magenta : สีม่วง ) และ Y (Yellow : สีเหลือง) อีกทั้งตัวแปรทั้งสามคือ C, M และ Y เป็นส่วนประกอบของตัวแปรของสีในแบบจำลองแบบ RGB ด้วย และถูกกำหนดขึ้นมาคล้ายกับตัวแปรในระบบ RGB ต่างกันที่สีขาวจะอยู่ที่บริเวณจุดกำเนิด(0,0,0) แทนสีดำในแบบจำลองแบบของสีแบบ RGB การกำหนดสีของแบบจำลอง CMY กระทำได้โดยการแยกหรือลบสีที่ไม่ต้องการออกจากสีขาว แทนที่จะเป็นการเพิ่มสีที่ต้องการลงในสีดำตามแบบจำลองของสีแบบ RGB เช่น สีฟ้า ได้จากสีขาวลบด้วยสีแดง หรือเกิดจากการรวมกันของสีน้ำเงินและสีเขียว ดังนั้นสามารถกำหนดสมการของการเปลี่ยนแปลงจากแบบจำลองของสีแบบ RGB และแบบจำลองของ CMY ได้คือ

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

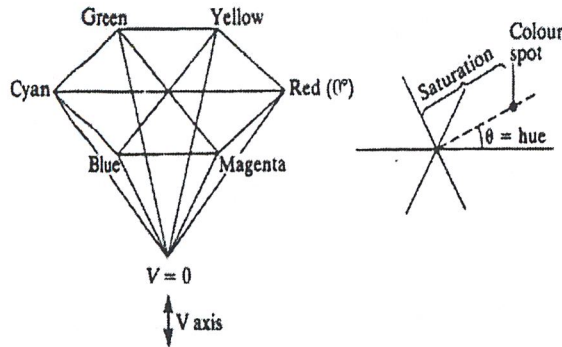
### 6.3.3 แบบจำลองของสีแบบ YIQ

แบบจำลองของสีชนิดนี้ถูกใช้ในการแพร่ภาพทางโทรทัศน์ ในระบบ NTSC (National Television System Committee) โดยอาศัยค่าพื้นฐานจากแบบจำลองของสีแบบ RGB ทำการเรียงข้อมูลของตัวแปร RGB เพื่อคุณภาพของการสื่อสาร ตัวแปร Y ในแบบจำลองสีแบบ YIQ คือ ความสว่าง(Luminance) ของสีแบบเดียวกับที่ในระบบ CIE และค่าตัวแปร Y เท่านั้นที่ใช้ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ และจะถูกแสดงในระบบโทรทัศน์ระบบขาวดำ ส่วนค่าสีต่างจะถูกกำหนดโดยตัวแปร I และ Q ซึ่งสามารถกำหนดสมการของการเปลี่ยนแปลงจากแบบจำลองของสีแบบ RGB และแบบจำลองของ YIQ ได้คือ

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

### 6.3.4 แบบจำลองของสีแบบ HSV

การจำลองของสีที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น เป็นแบบจำลองของสีที่กำหนดขึ้นมาใช้เป็นมาตรฐานของอุปกรณ์ต่างๆ แต่โดยทั่วไปแล้วเป็นการยากที่จะใช้แบบจำลองของสีเหล่านี้ในการกำหนดสีที่ต้องการสำหรับผู้ใช้โดยตรง ดังนั้นแบบจำลองแบบ HSV จึงถูกกำหนดขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งตัวแปรทั้งสามได้แก่ H(Hue) ใช้ในการกำหนดสีต่างๆ, S (Saturation) คือค่าความอิ่มตัวของสี และ V(Value) คือค่าความสว่างของสีที่แบบจำลองของสีชนิดนี้ถูกกำหนดในพิกัดทรงกระบอก(Cylindrical coordinate) โดยรูปแบบที่ใช้มาจากกรวยหกเหลี่ยม(Hexagonal cone) หรือรูปพีระมิดที่มี 6 ด้าน(6-sided pyramid)

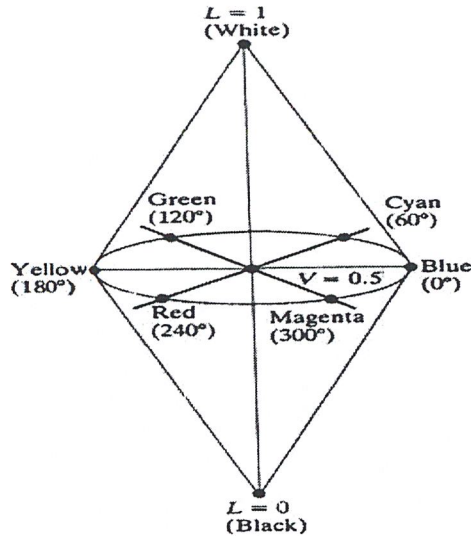


รูปที่ 6.5 แสดงแบบจำลองสีแบบ HSV

ส่วนบนสุดของรูปของรูปกรวยหกเหลี่ยมจะมีค่า  $V = 1$  ที่บริเวณนี้ของภาพจะประกอบด้วยสีที่มีค่าความสว่างมากที่สุด ค่า H หรือค่าของสีต่างๆจะถูกกำหนดโดยมุมรอบๆแกนตั้งโดยสีแดงอยู่ที่มุม 0 องศา สีเขียวอยู่ที่มุม 120 องศา และสีน้ำเงินอยู่ที่มุม 240 องศา ค่าความสว่าง หรือ V มีค่าระหว่าง 0 ที่ตำแหน่งกลางถึง 1 ที่บริเวณสามเหลี่ยมที่ประกอบขึ้นเป็นรูปกรวยหกเหลี่ยม กรวยหกเหลี่ยมที่กำหนดขึ้นมีขนาดความสูง 1 หน่วย (V) โดยมีจุดยอดของกรวยอยู่ที่บริเวณจุดกำเนิด ที่จุดยอดของรูปกรวยจะแทนที่โดยสีดำและมีค่า  $V = 0$  ที่จุดนี้ ค่าของ H และ S จะไม่มีผลต่อค่าของสีเลย และที่  $S=0, V=1$  จะแทนที่ด้วยสีขาว ที่  $S=0$  คือค่าในแนวแกน V ที่มีค่าระหว่าง 0 และ 1 นั้นจะแทนที่ด้วยระดับสีเทา โดยที่ค่าของ H จะไม่มีผลต่อสีด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อ S มีค่าไม่เท่ากับ 0 แล้วค่า H จะเป็นค่าที่กำหนดสีต่างๆ เช่น สีแดงบริสุทธิ์ (pure red) จะมีค่า  $H=0, S=1$  และ  $V=1$  ดังนั้นที่ตำแหน่ง  $S=1$  และ  $V=1$  ค่าของสีที่ได้จะเป็นสีที่มีความบริสุทธิ์ (pure color) การเพิ่มสีขาวในสีต่างๆทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของ S และระดับ (Shade) ของสีต่างๆ ทำได้โดยการเปลี่ยนค่าของ V

### 6.3.5 แบบจำลองของสีแบบ HLS

แบบจำลองสีแบบ HLS (Hue, Lightness, Saturation) กำหนดขึ้น โดยอาศัยรูปทรงกรวยหกเหลี่ยม 2 รูปที่ซ้อนกันในระบบพิกัดทรงกระบอก



รูปที่ 6.6 แสดงแบบจำลองสีแบบ HLS

ค่าของ H คือค่ารองมุมของแกนตั้งของรูปหกเหลี่ยมที่ซ้อนกัน โดยมีสีแดงที่ค่ามุม 0 องศา เหมือนกับค่าของ H ในแบบจำลองของสีแบบ HSV และค่าของ S จะอยู่ที่บริเวณแกนอน มีค่าระหว่าง 0 ที่จุดกำเนิด และ 1 ที่ผิวของรูปหกเหลี่ยม ส่วน L จะมีค่าเท่ากับ 0 ที่บริเวณจุดปลายของรูปหกเหลี่ยม รูปที่ต่ำกว่าซึ่งมีค่าเป็นสีดำ และจะมีค่าเท่ากับ 1 ที่บริเวณจุดปลายของรูปหกเหลี่ยม รูปบนซึ่งมีค่าเป็นสีขาว ระดับของสีเทาจะอยู่บริเวณที่ S มีค่าเท่ากับ 0 และค่าสีที่มีความอึมครึมมากที่สุดจะอยู่ที่บริเวณ  $S = 1$  และ  $L = 0.5$

#### 6.4 ระบบการมองเห็น

ระบบการมองเห็นทั่วไปในที่นี้จะกล่าวถึงระบบการมองเห็นของมนุษย์อย่างเบื้องต้น ซึ่งในหลายปีที่ผ่านมา ในด้านอุตสาหกรรมจะใช้การมองของมนุษย์ในการควบคุมคุณภาพ เช่น การตรวจสอบความชำรุด, สี, รอยตำหนิ และสลายของชิ้นงานหรือวัตถุใดๆ แต่เนื่องจากระบบการมองเห็นของมนุษย์มีความไม่แน่นอน เช่น การมองวัตถุชนิดเดียวกันที่มีความเข้มของสีต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่มนุษย์ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ ยังคงเห็นวัตถุเป็นสีเดียวกันอยู่ การตรวจสอบวัตถุที่กระทำซ้ำๆ กันเป็นเวลานานๆ เป็นผลให้เกิดความอ่อนล้าขึ้นที่ดวงตาและตัวมนุษย์ ซึ่งทำให้คุณภาพที่ออกมามีความถูกต้องไม่สม่ำเสมอ การตัดสินใจของแต่ละบุคคลไม่เหมือนกัน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการแยกแยะของดวงตา รวมถึงเซาว์ปัญญา (Intelligent) ของแต่ละบุคคลด้วย

ในการมองเห็นของหุ่นยนต์มีลักษณะตายตัว ที่สร้างขึ้นจากฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ซึ่งตัวตรวจจับ ที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น กล้องวิดีโอ ในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์สามารถมองหรือ ตรวจสอบวัตถุที่ต้องกระทำซ้ำๆ กัน ได้เป็นเวลานาน และมีประสิทธิภาพสูงกว่ามนุษย์มาก ใน

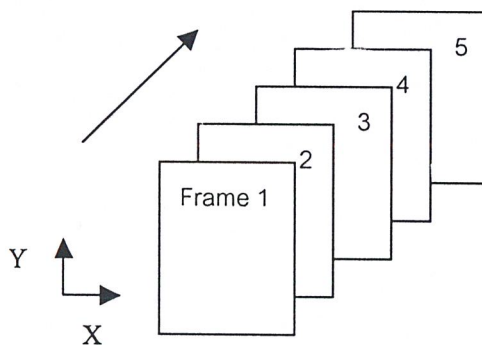
ปัจจุบัน อุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมนำหุ่นยนต์ไปใช้งานต่างๆ เช่น ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน ใช้แขนกลในการหยิบชิ้นงาน

## 6.5 วิธีการเก็บภาพ

ในการเก็บภาพของวัตถุหนึ่งๆ จะอาศัยอุปกรณ์สำหรับรับภาพได้แก่ กล้องวิดีโอ เพื่อทำการแปลงระดับความสว่างในแต่ละตำแหน่งของภาพ ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอก จากนั้นจะมีอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณภาพดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยทั่วไปจะใช้การรูดิจิไทเซอร์ ที่ประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล(Analog to Digital Conversion : A/D) เป็นส่วนประกอบสำคัญ และจะจัดเรียงสัญญาณดิจิทัลนี้ลงสู่หน่วยความจำ(Video Memory) ซึ่งแทนค่าความสว่างของภาพในแต่ละจุดให้เกิดภาพเรียกว่า ภาพดิจิทัล(Digital Image)

### 6.5.1 สัญญาณข้อมูลภาพจากกล้องวิดีโอ

การส่งสัญญาณข้อมูลภาพจากวิดีโอ จะมีลักษณะการส่งที่เป็นลำดับภาพเดี่ยวหรือเฟรม(Frame) ที่ฉายต่อเนื่องกันดังรูป 6.7 เช่น ระบบวิดีโอ NTSC จะส่งด้วยอัตราเร็ว 30 เฟรมต่อวินาที โดยดิจิทัลวิดีโอแต่ละเฟรมจะเป็นข้อมูลภาพดิจิทัลในลักษณะของเมตริกซ์ กล่าวคือในภาพหนึ่งๆ จะถูกแบ่งออกเป็นจุดย่อยๆจำนวนมาก เรียกว่าส่วนประกอบภาพ(Picture Element) หรือจุดภาพ( Pixel ) จำนวนจุดภาพยิ่งมาก จะยิ่งทำให้ภาพมีความละเอียดคมชัดมากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงแทนภาพของแต่ละจุดภาพด้วยสัญญาณดิจิทัล หรือแทนด้วยด้วยสถานะลอจิก “0” และ “1”

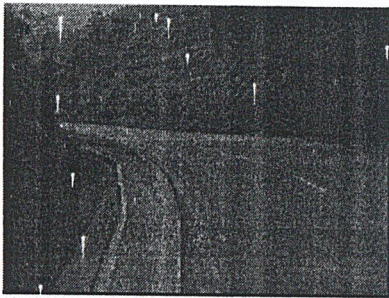


รูปที่ 6.7 แสดงภาพจากกล้องวิดีโอ

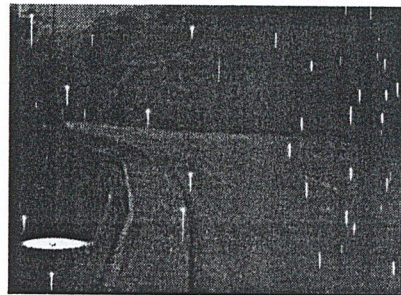
### 6.5.2 กระบวนการดิจิไทเซชัน (Digitization)

กระบวนการดิจิไทเซชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณจากสัญญาณอนาลอก ให้เป็นข้อมูลทางดิจิตอล แล้วนำไปจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำ การเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือการสุ่มตัวอย่างอนาลอก (Sampling) และการจัดระดับของสัญญาณที่สุ่มมา (Quantizing) แต่ละระดับแทนด้วยรหัสดิจิตอล

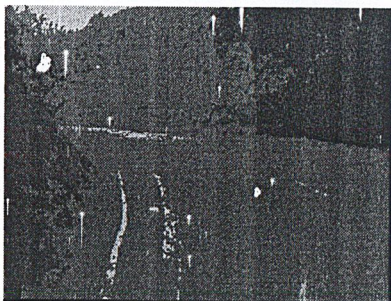
สัญญาณภาพอนาลอกสามารถแสดงความละเอียดและจำนวนสีของภาพได้ไม่จำกัด เนื่องจากความต่อเนื่องของสัญญาณ แต่เมื่อสัญญาณภาพอนาลอกถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล ความละเอียดและจำนวนสีของภาพถูกจำกัดด้วยความเร็ว A/D จำนวนบิตที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของหน่วยความจำ ในภาพระดับสีเทาแต่ละจุดภาพสามารถแสดงระดับสัญญาณได้ 256 ระดับ นั่นคือ 1 จุดภาพจะต้องสร้างจากข้อมูลจำนวน 8 บิต



ก. รูปขนาด 24 บิต ต่อ 1 จุดภาพ



ข. รูปขนาด 8 บิต ต่อ 1 จุดภาพ



ค. รูปขนาด 4 บิต ต่อ 1 จุดภาพ



ง. รูปขนาด 1 บิต ต่อ 1 จุดภาพ

รูปที่ 6.8 แสดงการเปรียบเทียบภาพที่ใช้จำนวนบิต ต่อ 1 จุดภาพต่างกัน

### 6.5.3 หน่วยความจำภาพ (Video Memory)

สัญญาณภาพอนาลอกเมื่อถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้ว จะทำให้เกิดข้อมูลจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลไว้ชั่วคราวก่อนที่จะนำไปใช้งาน หน่วยความจำที่ใช้เป็นประเภทอ่านและเขียนข้อมูลใหม่ได้ หรือเรียกว่า RAM (Random Access Memory) บางครั้งหน่วยความจำภาพถูกเรียกว่า วิดีโอแรม (Video Ram) คุณสมบัติวิดีโอแรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่สำคัญคือ ต้องใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูล (Access Time) ที่ต่ำมากๆ นั่นคือความเร็วในการเขียนและอ่านข้อมูลต้องมากเพียงพอ

ขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ขึ้นขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลดิจิทัลที่ต้องการจัดเก็บ ส่วนข้อมูลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพ เช่นในการเก็บภาพขนาด  $256 \times 256$  จุดต่อภาพ และใช้รหัสดิจิทัล 8 บิตต่อ 1 จุด ภาพ ดังนั้นหน่วยความจำที่ใช้มีขนาด  $(256 \times 256 \times 8)$  บิตเท่ากับ 524,288 บิตต่อ 1 ภาพ หรือ 64 กิโลไบต์ต่อ 1 ภาพ

## บทที่ 7

### การประมวลผลภาพ

ข้อจำกัดของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการเก็บภาพในกระบวนการดิจิทัลไคเซชัน คือไม่สามารถแยกแยะ หรือจำกัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นกับภาพได้ ยิ่งกว่านั้นข้อมูลภาพบางตำแหน่งยังปกปิดข้อมูลที่เราสงสัย ซึ่งหากมองด้วยตาเปล่าแล้วไม่สามารถจะมองเห็นได้ ซึ่งได้มีการนำภาพดังกล่าวไปดำเนินการด้วยวิธีที่เรียกว่า “การประมวลผลภาพ” ซึ่งจะทำการสร้างใหม่ขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลตัวเลข

#### การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยภาพจะถูกแทนที่อยู่ในรูปของเมตริกซ์ แต่ภาพที่ได้ส่วนมากจะเป็นภาพที่ได้จากตัวรับสัญญาณ ซึ่งอยู่ใน รูปของฟังก์ชัน  $f(x,y)$  ที่ต่อเนื่องในระนาบสองมิติ(แกน  $x$  และแกน  $y$ ) โดยจะเป็นสัดส่วนกับความสว่างหรือความเข้มของภาพ ที่ตำแหน่ง  $(x,y)$  ซึ่งเรียกว่าระดับสีเทา(Gray-Level)

#### 7.1 การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล

ภาพข้อมูลแบบดิจิทัล(Digital Image) เป็นภาพที่ถูกแปลงมาจากอนาลอก อยู่ในรูปของตัวเลข โดยภาพอนาลอกถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่เรียกว่าจุดภาพหรือพิกเซล ในแต่ละจุดภาพจะถูกระบุตำแหน่งโดย  $(x,y)$  และค่าระดับสี

##### 7.1.1 โมเดลของภาพ (Image model)

ภาพ(Image) หมายถึง ฟังก์ชันของความเข้มแสงที่กำหนดโดยฟังก์ชัน  $f(i,j)$  เมื่อค่าแอมพลิจูด(Amplitude) ของ  $f(i,j)$  ที่ สเปเชียลโคออดิเนต (Spatial coordinate)  $(i,j)$  ให้ค่าความเข้มแสง(Intensity) ที่จุดนั้นเนื่องจากแสงเป็นรูปหนึ่งของพลังงาน  $f(i,j)$  จึงไม่เป็นศูนย์และอนันต์

$$0 < f(i,j) < \infty$$

ภาพที่มองเห็นโดยทั่วไปประกอบด้วยแสงสะท้อนจากวัตถุตามธรรมชาติแล้ว  $f(i,j)$  จะถูกกำหนดคุณสมบัติจากองค์ประกอบ 2 ประการคือ

ก. ปริมาณของแสงที่แพร่มาจากแหล่งกำเนิดมายังฉากที่กำลังมอง เรียกองค์ประกอบนี้ว่า ความสว่าง(illumination) แทนด้วย  $i(i,j)$

ข. ปริมาณแสงสะท้อนออกจากวัตถุในฉากซึ่งเรียกว่า การสะท้อน(reflection) แทนด้วย  $r(i,j)$  ซึ่งผลคูณของฟังก์ชัน  $r(i,j)$  และ  $i(i,j)$  จะได้เป็น  $f(i,j)$

$$f(i,j) = i(i,j) * r(i,j)$$

เมื่อ

$$0 < f(i,j) < \infty$$

$$0 < r(i,j) < 1$$

จากสมการแสดงให้เห็นว่าการสะท้อนมีค่าขอบเขตอยู่ระหว่าง 0 คือ ดูดซับแสงทั้งหมด และเป็น 1 เมื่อสะท้อนแสงทั้งหมด คุณลักษณะของฟังก์ชัน  $i(i,j)$  กำหนดโดยแหล่งกำเนิดแสง ส่วนฟังก์ชัน  $r(i,j)$  กำหนดโดยคุณสมบัติของวัตถุในฉาก สำหรับภาพโมนอโครมความเข้มของฟังก์ชันภาพ  $f(i,j)$  ที่จุด  $(i,j)$  ใดๆจะเรียกว่าระดับสีเทา(Gray level) ของภาพที่จุดนั้นๆมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดคือ

$$L_{\min} \leq 1 \leq L_{\max}$$

เมื่อ  $L_{\min} = i_{\min} * r_{\min}$  เป็นค่าบวก

และ  $L_{\max} = i_{\max} * r_{\max}$  สามารถหาค่าได้

### 7.1.2 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) และการควอนไทซ์ (Quantization)

ในการที่จะทำให้ภาพอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับคอมพิวเตอร์ฟังก์ชันของภาพ  $f(i,j)$  ต้องทำให้เป็นดิจิทัลทั้ง ทางสเปเชียลและทางแอมพลิจูด การทำให้เป็นดิจิทัลทางสเปเชียล โคออดิเนต  $(i,j)$  จะเรียกว่าการสุ่มตัวอย่างภาพในขณะที่การทำให้เป็นจำนวนเชิงเลขในแง่ของแอมพลิจูดจะเรียกว่า การควอนไทซ์ระดับสีเทา(gray level quantization)

การสุ่มตัวอย่างภาพจะต้องมีการคำนึงถึงแถบความถี่ปฏิบัติงาน(bandwidth) ของภาพเนื่องจากเราจะต้องเลือกความถี่ของการสุ่มตัวอย่างให้มีค่าอย่างน้อย 2 เท่าของความถี่ปฏิบัติงานของภาพ มิฉะนั้นค่าตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจะไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของภาพได้เนื่องจากจะเกิดปัญหาความผิดเพี้ยนเนื่องจากผลการอไลอัสซิง(aliasing effect) จึงต้องศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการเลือกความถี่ของการสุ่มด้วย

ภาพที่มองเห็น โดยทั่วไปประกอบด้วยแสงสะท้อนจากวัตถุตามธรรมชาติแล้ว  $f(i,j)$  จะถูกกำหนดคุณสมบัติจากองค์ประกอบ 2 ประการคือ

ก.ปริมาณของแสงที่แพร่มาจากแหล่งกำเนิดมายังฉากที่กำลังมอง เรียกองค์ประกอบนี้ว่า ความสว่าง(illumination) แทนด้วย  $i(i,j)$

ข.ปริมาณแสงสะท้อนออกจากวัตถุในฉากซึ่งเรียกว่า การสะท้อน(reflection) แทนด้วย  $r(i,j)$  ซึ่งผลคูณของฟังก์ชัน  $r(i,j)$  และ  $i(i,j)$ จะได้เป็น  $f(i,j)$

$$f(i,j) = i(i,j) * r(i,j)$$

เมื่อ

$$0 < f(i,j) < \infty$$

$$0 < r(i,j) < 1$$

จากสมการแสดงให้เห็นว่าการสะท้อนมีค่าขอบเขตอยู่ระหว่าง 0 คือ จุดดับแสงทั้งหมด และเป็น 1 เมื่อสะท้อนแสงทั้งหมด คุณลักษณะของฟังก์ชัน  $i(i,j)$  กำหนดโดยแหล่งกำเนิดแสง ส่วนฟังก์ชัน  $r(i,j)$  กำหนดโดยคุณสมบัติของวัตถุในฉาก สำหรับภาพโมนอโครมความเข้มของฟังก์ชันภาพ  $f(i,j)$  ที่จุด  $(i,j)$  ใดๆจะเรียกว่าระดับสีเทา(Gray level) ของภาพที่จุดนั้นๆมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดคือ

$$L_{\min} \leq I \leq L_{\max}$$

เมื่อ  $L_{\min} = i_{\min} * r_{\min}$  เป็นค่าบวก

และ  $L_{\max} = i_{\max} * r_{\max}$  สามารถหาค่าได้

### 7.1.2 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) และการควอนไทซ์ (Quantization)

ในการที่จะทำให้ภาพอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับคอมพิวเตอร์ฟังก์ชันของภาพ  $f(i,j)$  ต้องทำให้เป็นดิจิทัลทั้ง ทางสเปเชียลและทางแอมพลิจูด การทำให้เป็นดิจิทัลทางสเปเชียล โคออดิเนต  $(i,j)$  จะเรียกว่าการสุ่มตัวอย่างภาพในขณะที่การทำให้เป็นจำนวนเชิงเลขในแง่ของแอมพลิจูดจะเรียกว่า การควอนไทซ์ระดับสีเทา(gray level quantization)

การสุ่มตัวอย่างภาพจะต้องมีการคำนึงถึงแถบความถี่ปฏิบัติงาน(bandwidth) ของภาพเนื่องจากเราจะต้องเลือกความถี่ของการสุ่มตัวอย่างให้มีค่าน้อย 2 เท่าของความถี่ปฏิบัติงานของภาพ มิฉะนั้นค่าตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจะไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของภาพได้เนื่องจากจะเกิดปัญหาความผิดเพี้ยนเนื่องจากผลการโอไลอัสซิง(aliasing effect) จึงต้องศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการเลือกความถี่ของการสุ่มด้วย

N \ m	1	2	3	4	5	6	7	8
32	1024	2048	3072	4096	5120	6144	7168	8192
64	4096	8192	12288	16384	20480	24576	28672	32768
128	16384	32768	49152	65536	81920	98304	114688	131072
256	65536	131072	196608	262144	327680	393216	458752	524288
512	264144	524288	786432	1048576	1310720	1572864	1835008	2097152

ตารางที่ 7.1 แสดงจำนวนบิตที่ใช้ในการจัดเก็บที่แปรตามค่า N และ m

Nm	1	2	3	4	5	6	7	8
32	128	256	512	1024	1024	1024	1024	1024
64	512	1024	2048	2048	4096	4096	4096	4096
128	2048	4096	8192	8192	16384	16384	16384	16384
256	8192	16384	32786	32786	65536	65536	65536	65536
512	32786	65536	131072	131072	262144	262144	262144	262144

ตารางที่ 7.2 แสดงจำนวนไบนารีกับค่าของ N และ m

ยกตัวอย่างการคำนวณเช่นภาพ 128x128 กับ 64 ระดับสีเทา ต้องการที่เก็บ 98,304 บิต ในตารางที่ 7.1 แสดงค่าของ b กับค่าของ N และตารางที่ 7.2 แสดงจำนวนไบนารีกับค่าของ N และ m ความละเอียด(resolution) ของภาพขึ้นอยู่กับค่า N และ m อยู่มาก การเพิ่มค่าเหล่านี้จะทำให้ภาพดิจิทัลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นแต่จำนวนบิตที่ต้องใช้ในการเก็บข้อมูลจะเพิ่มขึ้นด้วย

### 7.1.3 ลักษณะของเพิ่มการเก็บภาพให้อยู่ในระบบข้อมูลแบบดิจิทัล

โดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลภาพจะมีความเข้มตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไปแต่ที่ใช้กันมากจะใช้กันที่ค่าระดับความเข้มของจุดภาพเท่ากับ 256 ระดับ ซึ่งจะทำให้ค่าของจุดภาพอยู่ในช่วง(0 - 255) โดยใช้เนื้อที่เก็บข้อมูลภาพขนาด 1 ไบนารี หรือเท่ากับ 8 บิต สำหรับข้อมูล 1จุดภาพ( $2^8 = 256$ ) ในกรณีที่ต้องการภาพที่มีความละเอียดของระดับความเข้มสูงๆอาจจะต้องการจำนวนบิตสำหรับเก็บข้อมูลมากกว่า 8 บิต อาจจะเป็น 16 หรือ 24 บิต โดยค่าความเข้มของจุดเท่ากับ  $2^{16}$  และ  $2^{24}$  โดยแยกให้ชัดเจนดังนี้

1. ภาพ 2 ระดับ คือ มีเพียงแค่จุดขาว กับ จุดดำเท่านั้น โดยแต่ละจุดภาพเป็นข้อมูลขนาด 1 บิต
2. ภาพ 16 ระดับ คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 4 บิต ซึ่งสามารถทำให้แสดงได้ 16 ระดับสี หรือ 16 ระดับสีเทา ขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือขาวดำ
3. ภาพ 256 ระดับ คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 8 บิต ซึ่งสามารถทำให้แสดงได้ 256 ระดับสี หรือ 256 ระดับสีเทา ขึ้นอยู่กับภาพนั้นเป็นภาพสีหรือ ขาวดำ
4. ภาพทิวทัศน์ (True color) คือ ในแต่ละจุดภาพจะมีขนาดของข้อมูล 24 บิต ทำให้สามารถแสดงผลของภาพได้เหมือนจริงที่สุด เพราะสามารถแสดงได้ถึง 16,777,216 ระดับสี โดยจะแสดงได้แต่ภาพสีเท่านั้นไม่สามารถแสดงภาพขาวดำได้

## 7.2 ประเภทการประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพหรือการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

### 7.2.1. วิธีประมวลผลทีละจุดใน 1 ภาพ (Point by Point)

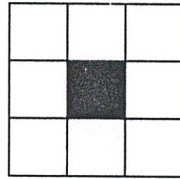
โดยแต่ละจุดภาพของภาพต้นแบบ (Original Image) จะถูกแปลงไปเป็นภาพใหม่ ซึ่งค่าของแต่ละจุดภาพในภาพใหม่นี้จะสัมพันธ์กับค่าของจุดภาพที่ตำแหน่งเดียวกับภาพต้นแบบ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนภาพไบนารี (Binary Image) จุดภาพที่มีระดับเป็น “0” ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็นระดับ “1” ในภาพใหม่ และจุดภาพที่มีระดับ “1” ในภาพต้นแบบจะถูกเปลี่ยนไปเป็น “0” ในภาพใหม่

### 7.2.2. วิธีประมวลผลโดยใช้จุดภาพที่สอดคล้องกัน (Corresponding Points)

วิธีนี้จะสร้างภาพใหม่โดยใช้การเทียบเคียง (Correlation) ของแต่ละจุดภาพเพื่อหาค่าของจุดภาพที่เหมือนกันหรือสอดคล้องกันจากภาพ 2 ภาพหรือตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป ค่าของจุดภาพดังกล่าวสามารถนำมารวมกันด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ค่าของจุดภาพจากภาพ 2 ภาพของเมืองหนึ่งๆ ซึ่งเก็บมาที่เวลาต่างกันสามารถนำมาลบกันเพื่อคำนวณหาความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังไม่สามารถใช้รวมข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจวัดต่างๆ จำนวนหนึ่ง เพื่อแปลงไปเป็นข้อมูลภาพที่มีความสมบูรณ์หรือมีรายละเอียดของภาพที่สามารถแสดง ให้เข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งตัวตรวจวัดอาจเป็นกล้องถ่ายภาพดาวเทียม โดยเก็บภาพของย่านสเปกตรัมต่างๆ กัน เช่น รังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเล็ต และรังสีที่มองเห็นได้

### 7.2 3. วิธีประมวลผลทีละกลุ่มใน 1 ภาพ (Regional Point)

ในการคำนวณจะใช้ค่าของจุดภาพที่อยู่รอบๆจุดภาพหลัก นำมาสร้างภาพใหม่ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การเฉลี่ยข้อมูลจากจุดภาพที่อยู่รอบๆจุดภาพหลัก ซึ่งจะช่วยลดข้อมูลที่มีความผิดพลาดให้ลดลง ดังนั้นค่าของจุดภาพในภาพใหม่นี้เท่ากับค่าเฉลี่ยของจุดภาพ 9 จุดที่ติดกัน (จุดภาพหลักหลักหนึ่งจุด และรอบๆจุดภาพหลักอีก 8 จุด)

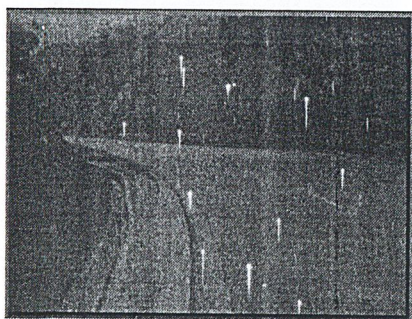


รูปที่ 7.1 แสดงวิธีประมวลผลทีละกลุ่ม

### 7.3 ระดับสีเทา

ระดับสีเทาคือค่าระดับความสว่าง ที่ได้จากค่าของความสว่างของแม่สีทั้งสามคือ สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน จากการรับรู้ความสว่างของสี มนุษย์จะเห็นสีแดงจะมีความสว่างน้อยกว่าสีเขียว และมากกว่าสีน้ำเงิน สีเขียวจะมีความสว่างมากที่สุด และสีน้ำเงินจะสว่างน้อยที่สุด การนำค่าของแม่สีแต่ละสีมารวม หรือผสมกันให้เป็นค่าระดับสีเทาจะต้องคึงค่าสีมาตามความสว่างของแต่ละแม่สีนำมารวมกันก็จะได้ค่าของสีเทาที่ต้องการ

มาตรฐานของเปอร์เซ็นต์การคึงค่าสีตามความสว่างของแม่สี ที่นิยมนำมาใช้คือนำค่าของสีแดงมา 29.9% สีเขียว 58.7% และสีน้ำเงิน 11.4% เมื่อรวมกันจะได้ค่าความสว่างเท่ากับ 100% ( $29.9 + 58.7 + 11.4$ )



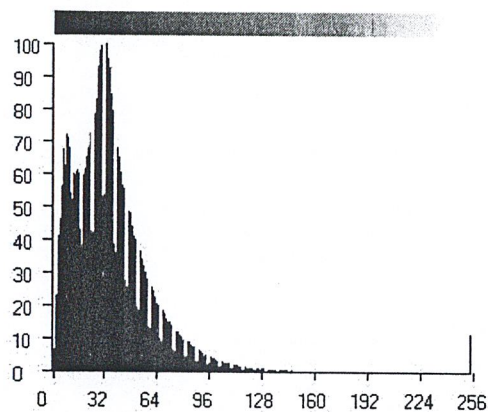
รูปที่ 7.2 แสดงภาพระดับสีเทา

## 7.4 ฮิสโตแกรม(Histogram)

ฮิสโตแกรม คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการนับจำนวนพิกเซลที่มีความเข้มแต่ละค่าหนึ่งในระดับระดับสีเทา ของภาพ เช่น ภาพ 256 สี จะมีค่าระดับสีเทา ที่มีค่าตั้งแต่ ระดับสีเทา = 0 ถึง ระดับสีเทา = 255 โดยแกน x ในกราฟแสดงค่าระดับสีเทา แกน y แสดงค่าจำนวนพิกเซล แสดงให้เห็นว่าภาพมีการกระจายตัวในลักษณะใด ฮิสโตแกรมนี้จะเป็นตัวแสดงให้เห็นลักษณะของภาพได้เป็นอย่างดีว่า ควรปรับปรุงภาพด้วยวิธีใดโดยที่ภาพที่มีลักษณะของฮิสโตแกรมไม่กระจายไปทั่วย่านของค่าระดับสีเทาแล้วจำเป็นต้องมีการปรับปรุงหรือบางครั้งลักษณะของฮิสโตแกรมก็มีการค่อนข้างไปในทางด้านใดด้านหนึ่งซึ่งจะทำให้ภาพมืดเกินไปหรือสว่างเกินไป

### ขั้นตอนการสร้างฮิสโตแกรม

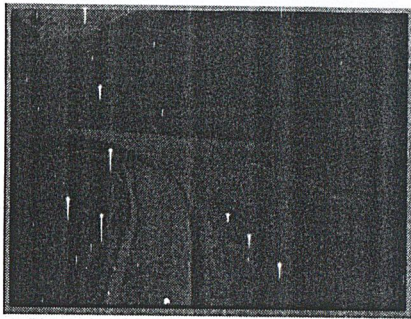
1. ทำการดิจิไทซ์(Digitiz) ภาพ
2. นับจำนวนพิกเซลในแต่ละระดับสีเทา
3. พล็อตกราฟระหว่างจำนวนจุดกับระดับสีเทา



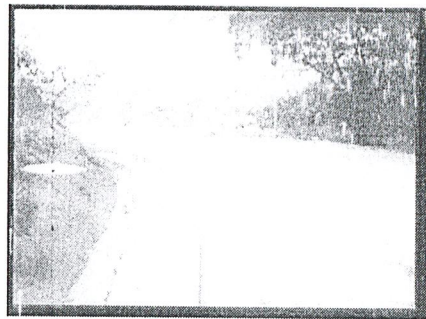
รูปที่ 7.3 แสดงฮิสโตแกรมของระดับสีเทา

### 7.5 ความสว่าง ( Brightness )

การปรับความสว่างของภาพคือการปรับความสว่างของภาพให้มีค่าความสว่างมากขึ้นหรือลดลง ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับค่าระดับแม่สีของจุดภาพทั้งหมดทุกค่าด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่ง และเมื่อเพิ่มหรือลดค่าของแม่สีใดไปจนสุด เช่น ลดไปจนถึง 0x00 หรือเพิ่มไปจนถึง 0xff ค่าสีของแม่สีอื่นยังคงสามารถเพิ่มหรือลดความสว่างได้ต่อไป ซึ่งในที่สุดหากลดค่าสีไปเรื่อย ๆ จะทำให้สีของ Pixel เป็นสีดำ (0x000000) ซึ่งมีที่มืดที่สุด หรือหากเพิ่มค่าสีไปเรื่อย ๆ ก็จะทำให้ Pixel เป็นสีขาว (0xffffffff) หรือสว่างที่สุด ดังนั้น เมื่อจะต้องทำกับทุก ๆ Pixel ก็จะทำให้ภาพมืดลงหรือสว่างขึ้น



ก. ภาพเมื่อปรับความสว่างลดลง



ข. ภาพเมื่อปรับความสว่างมากขึ้น

รูปที่ 7.4 แสดง ภาพเมื่อมีการปรับความสว่าง

### 7.6 ความคมชัด ( Contrast )

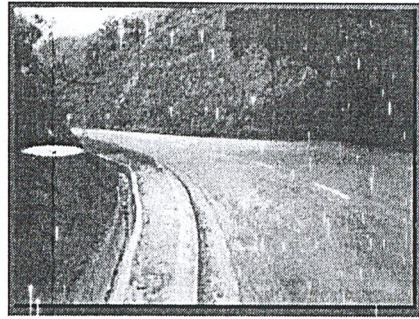
การปรับความคมชัดของภาพคือการปรับภาพให้มีค่าความคมชัดมากขึ้นหรือลดลง ซึ่งภาพที่มีความคมชัดมากขึ้น ระดับสีเทาจะมีลักษณะรวมตัวกัน ภาพที่มีค่าความคมชัดลดลงระดับสีเทาจะมีลักษณะกระจายออก เมื่อปรับความคมชัดให้มากขึ้นสีของภาพก็จะเด่นขึ้นมา การปรับความคมชัดมีหลักการง่าย ๆ การกำหนดค่ากลางค่าหนึ่งขึ้นมามีค่าหนึ่ง ถ้าปรับความคมชัดให้สูงขึ้น เมื่อค่าแม่สีมีค่ามากกว่าค่ากลางต้องปรับค่าของแม่สีเดิมให้มากกว่าค่ากลาง เมื่อค่าของแม่สีน้อยกว่าค่ากลาง ต้องลดค่าของแม่สีให้น้อยกว่าค่ากลาง การปรับความคมชัดให้ต่ำลง คือการปรับค่าแม่สีให้เข้าใกล้ค่ากลาง เมื่อค่าของแม่สีเดิมมีค่ามากกว่าค่ากลาง ต้องลดค่าของแม่สีลง และถ้าค่าเดิมของแม่สีมีค่าน้อยกว่าค่ากลาง ต้องปรับค่าของแม่สีให้สูงขึ้น จากหลักการดังกล่าวสามารถหาค่าสีของแม่สีใหม่ได้คือ

ค่าใหม่ของแม่สี = ((ค่าเดิมของแม่สี - ค่ากลาง) \* Contrast) + ค่ากลาง

โดยที่ค่าของความคมชัดจะเป็นเลขจำนวนจริง มีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 255 และค่ากลางคือค่าโทนสีของระดับสีเทา



ก. ภาพเมื่อปรับความคมชัดลดลง



ข. ภาพเมื่อปรับความคมชัดมากขึ้น

รูปที่ 7.5 แสดง ภาพเมื่อมีการปรับความคมชัด

### 7.7 การสร้างภาพไบนารี

สามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล โดยพิจารณาว่าจุดภาพใดควรจะเป็นจุดขาวหรือจุดดำ จะกระทำโดยการเปรียบเทียบระหว่างจุดภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่ง สิ่งที่สำคัญคือค่าเทรชโฮล เนื่องจากถ้าเลือกค่าเทรชโฮลที่ไม่เหมาะสม ภาพที่ได้อาจจะไม่เหมาะสม ขาดความคมชัด และรายละเอียดบางส่วนขาดหายไป

### 7.8. เทรชโฮล ( Thresdhold )

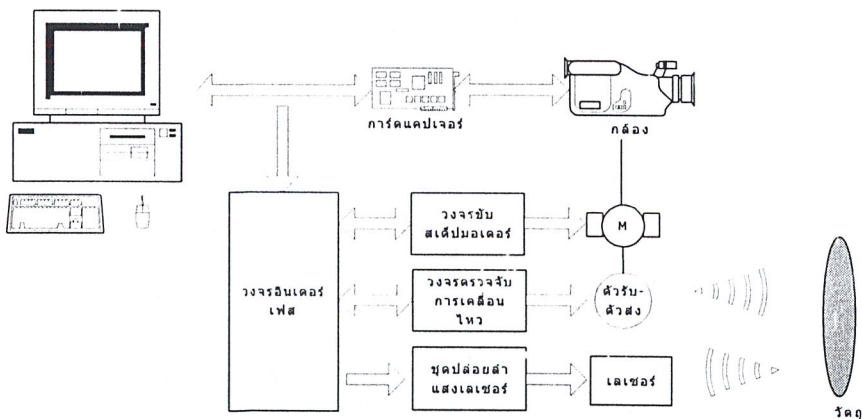
การปรับเทรชโฮลนี้คือ ลักษณะการแยกระดับสีเทาออกเป็นสองค่า คือค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดตามที่เรากำหนด ประโยชน์ของเทรชโฮล ได้แก่การทำให้เป็นภาพไบนารี หรือช่วยให้การหาขอบภาพได้ง่ายขึ้น เป็นต้น

## บทที่ 8

### การออกแบบส่วนโครงสร้าง

ในขั้นตอนการออกแบบโครงงาน ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนของฮาร์ดแวร์ และส่วนของโปรแกรมควบคุม ส่วนของฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยส่วนของฐานหมุนกลิ้ง ซึ่งมีวงจรถับมอเตอร์ สเต็ปมอเตอร์และเซ็นเซอร์ตรวจจับมุมหมุน ส่วนของภาคอินเตอร์เฟส โดยในโครงงานนี้เลือกการอินเตอร์เฟสทางพอร์ทขนาน ซึ่งสามารถนำไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆได้ง่าย เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่มีใช้ทั่วไป ในส่วนโปรแกรมควบคุม ผู้ทำโครงงานเลือกใช้การทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ WINDOWS 98 SE โดยใช้คอมไพเลอร์(Compiler) ของ Boland C++ Builder 5.0 (BCB 5.0) เพราะมีเครื่องมือ(Component) และการเขียนโปรแกรมที่ง่ายในการใช้งาน ในบทนี้จะกล่าวรายละเอียดของส่วนฮาร์ดแวร์ซึ่งประกอบด้วย

1. ส่วนประมวลผลและควบคุม (Processor and Control)
2. วงจรอินเตอร์เฟส
3. วงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor Controller)
4. วงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว
5. วงจรแปลง A/D
6. ชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์
7. แหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply)
8. กล้องวิดีโอ
9. ฐานกลิ้ง



รูปที่ 8.1 แสดงโครงสร้างของโครงงาน

## 8.1 การทำงาน

จากรูปที่ 8.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกทุกดิจิทัล ซึ่งต่อกับตรวจจับการเคลื่อนไหวเพื่อควบคุมการบันทึกภาพ โดยสัญญาณควบคุมจะผ่านวงจรอินเตอร์เฟส ส่งสัญญาณควบคุมการปล่อยแสงเลเซอร์เพื่อเป็นจุดอ้างอิงในการประมวลผลภาพเพื่อวัฏระยะของวัตถุ และทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์เพื่อหมุนฐานของกล้อง ทำให้กล้องที่ติดตั้งสามารถหมุนเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนดได้ ในขณะที่เดียวกันจะรับสัญญาณตรวจจับมุมหมุนของฐานกล้องจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ เพื่อไปประมวลผลควบคุมให้ได้ค่ามุมที่ต้องการ

## 8.2 ส่วนประมวลผลและควบคุม (Processor and Control)

ในการประมวลผลเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผล โดยมีอุปกรณ์ประกอบที่มีคุณสมบัติอย่างต่ำ ดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium 166 MMX ขึ้นไป
2. หน่วยความจำไม่ควรต่ำกว่า 32 MB
3. จอภาพแบบ Super VGA ขึ้นไป
4. คีย์บอร์ดและเมาส์
8. การ์ดแคปเจอร์ (Capture Card) เพื่อรับภาพจากกล้อง CCD

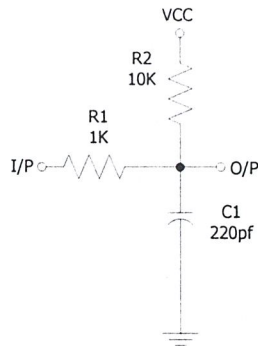
เนื่องจากโปรแกรมควบคุมจะทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ WINDOWS 98 SE จึงต้องมีคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการโดยไม่มีปัญหา

## 8.3 วงจรอินเตอร์เฟส

เนื่องจากโครงการนี้ใช้การอินเตอร์เฟสทางพอร์ทขนาน ซึ่งมีข้อดีคือไม่ต้องสร้างการ์ดอินเตอร์เฟสเพิ่มเติม ซึ่งเป็นวงจรที่เป็นตัวกลางในการติดต่อ-ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ กับเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในโครงการ ในการออกแบบได้สร้างวงจรอินเตอร์เฟสพอร์ทขนานซึ่งสามารถใช้งานพอร์ทคาต้า, พอร์ทสเตตัส และพอร์ทคอนโทรลได้ทั้งหมด โดยนำสายสัญญาณต่างๆซึ่งผ่านวงจรกรองสัญญาณรบกวนแล้วเข้าสู่วงจรต่างๆภายในโครงการ

เนื่องจากสายเคเบิลของพริ้นเตอร์สามารถเกิดสัญญาณสอดแทรก(interference) ได้ง่าย ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้อาจเกิดในรูปสัญญาณรูปเดือยแหลมหรือสไปค์(spike) เกิดเป็นแรงดันเกินสั้นๆ ซึ่งอาจทำให้วงจรทำงานผิดพลาดได้ สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยต่อวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยมี

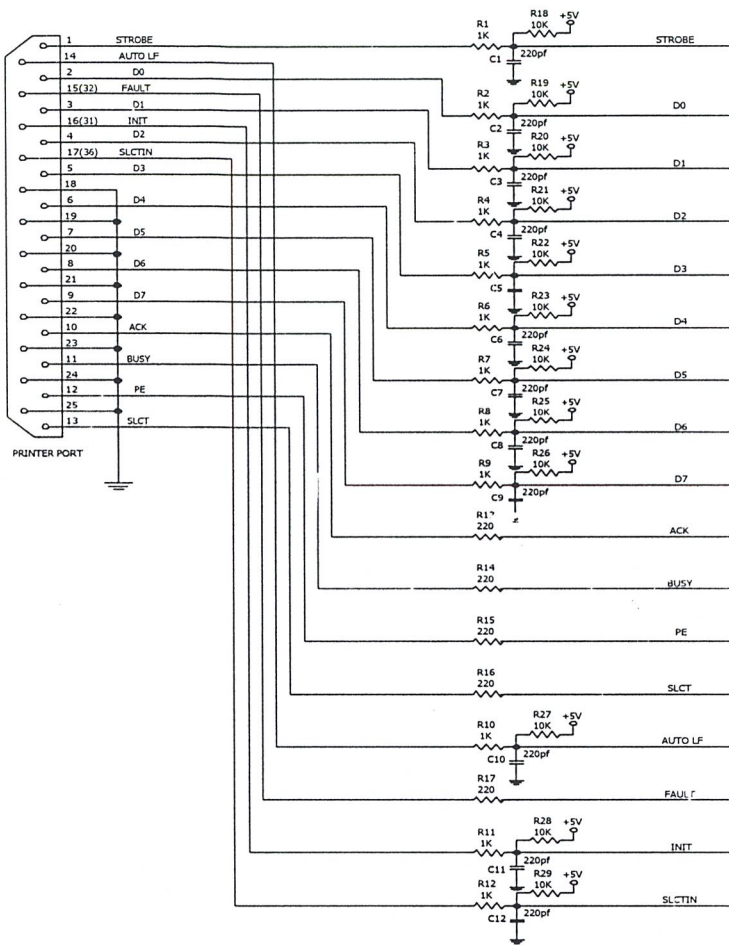
ตัวต้านทาน  $R_1$  และ  $C_1$  ซึ่งจะทำหน้าที่ชอร์ตสัญญาณสไปค์ที่เกิดจากความถี่สูงลงกราวด์ไป ดังวงจรในรูปที่ 8.2



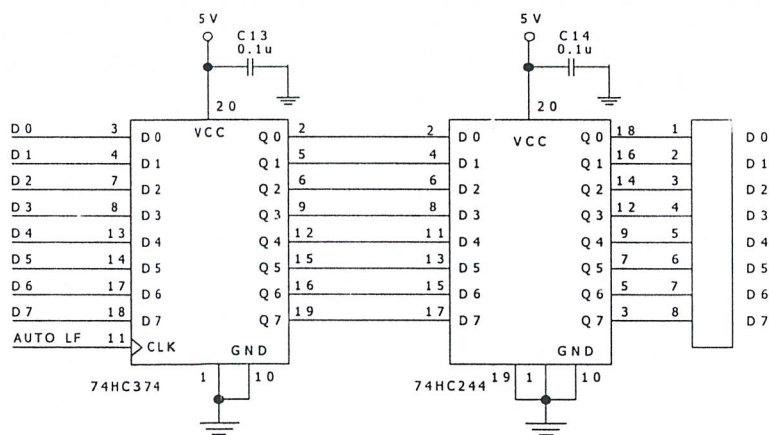
รูปที่ 8.2 แสดงวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

ในการเขียน โปรแกรมต้องกำหนดกว้างของพัลส์ต่ำสุด 1.25 ไมโครวินาที ถึงจะผ่านวงจรกรองความถี่ไปได้ และจากวงจรใช้ไอซีชนิดซิมอส ซึ่งไม่สามารถที่จะใช้ต่อโดยตรงกับเอาต์พุตของการ์ดเครื่องพิมพ์ที่เป็นชนิดทีทีแอลได้ ทั้งนี้ก็เพราะว่าระดับสัญญาณลอจิก “1” ของอุปกรณ์ทีทีแอลใช้แรงดันต่ำกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ซิมอส ดังนั้น  $R_2$  ที่ต่อระหว่างขาสัญญาณที่ออกจากการ์ดเครื่องพิมพ์กับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ เพื่อพูลอัพ(pull up) ระดับสัญญาณของทีทีแอลให้ตรงกับซิมอส

ทางด้านพอร์ตคาต้า จะมี  $IC_1$  ซึ่งภายในจะมีดีฟลิปฟลอป(D-flipflop) ทำงานเป็นวงจรป้องกัน ข้อมูลที่เข้ามายังฟลิปฟลอปคือข้อมูลที่เขียนโปรแกรมผ่านทางด้านเอาต์พุตทั้ง 8 ของ พอร์ตคาต้า (D0-D7) และข้อมูลนี้จะถูกทำค้างสถานะ(latch) โดยสัญญาณ “AUTO LF” เอาต์พุตของ  $IC_1$  ที่ถูกทำให้ค้างสถานะ จะถูกส่งเข้าไปยัง  $IC_2$  ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ขับเอาต์พุต(Driver) ดังรูปที่ 8.3 และรูปที่ 8.4 ในการออกแบบเลือกใช้อิซีเบอร์ 74HC374 ทำหน้าที่ค้างสถานะข้อมูล โดยใช้สัญญาณนาฬิกา (CLK ขาที่ 11) จากขาสัญญาณ AUTO LF โดยในการส่งข้อมูลจะใช้โปรแกรมเป็นตัวควบคุม และใช้อิซี 74HC244 เป็นบัฟเฟอร์(Buffer) ป้องกันวงจรจากอุปกรณ์ภายนอกอีกชั้นหนึ่ง ส่วน  $C$  ค่า 0.1uF จะป้องกันสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟ



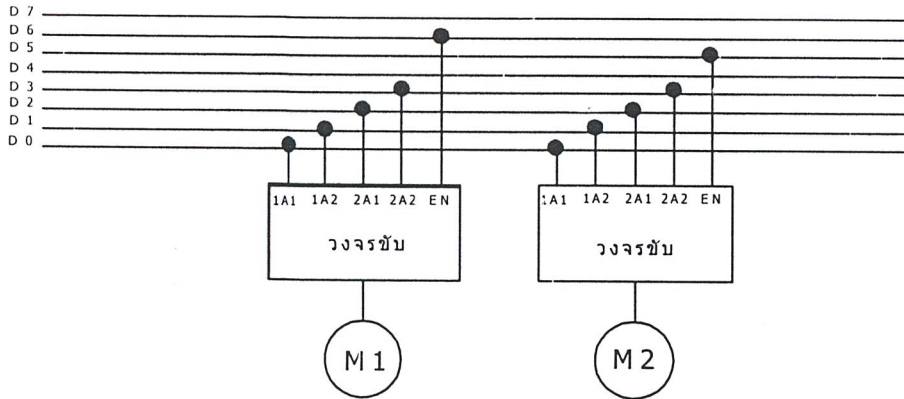
รูปที่ 8.3 แสดงการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเข้ากับพอร์ตนาน



รูปที่ 8.4 แสดงวงจรดิจิทัลเอาต์พุต

#### 8.4 วงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์ (Step Motor Controller)

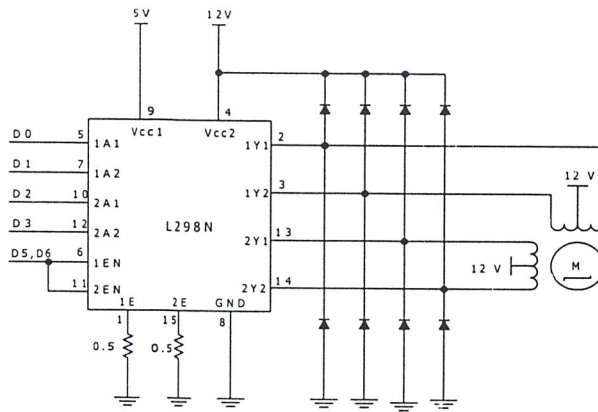
วงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์นี้ จะเป็นส่วนควบคุมการหมุนฐานกลิ้งในแนวนอนและแนวตั้ง โดยมีโครงสร้างของ วงจรดังรูป 8.5



รูปที่ 8.5 แสดงโครงสร้างการต่อวงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์

จากรูปที่ 8.5 เป็นการต่อวงจรขับมอเตอร์แต่ละตัวเข้ากับสายสัญญาณควบคุม ในที่นี้ก็คือสายสัญญาณคาตา (D0-D7) ของพอร์ตขนาน จะสังเกตได้ว่าจะต่อขาสัญญาณ D0-D7 เหมือนกัน ซึ่งก็คือ การกำหนดเฟสของสเต็ปมอเตอร์ โดยในการออกแบบจะกำหนดการทำงานของมอเตอร์แต่ละตัวโดยการควบคุมขา EN (Enable) ของมอเตอร์แต่ละตัวเท่านั้น ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์แต่ละตัวโดยไม่ขึ้นต่อกัน การควบคุมแบบนี้จะประหยัดสายสัญญาณ และสามารถให้มอเตอร์ทำงานพร้อมกันได้ โดยหลักการมัลติเพล็กซ์ทางเวลา (Time Multiplex) หลักการทำงานคือ การส่งสัญญาณควบคุมมอเตอร์แต่ละตัวสลับกันในช่วงเวลาที่กำหนดสลับกันไป และเนื่องจากความเร็วในการทำงานของคอมพิวเตอร์สูงมาก ดังนั้นจึงมองเห็นเหมือนกับว่ามอเตอร์ทุกตัวหมุนไปพร้อมๆ กัน

8.4.1 วงจรขับมอเตอร์



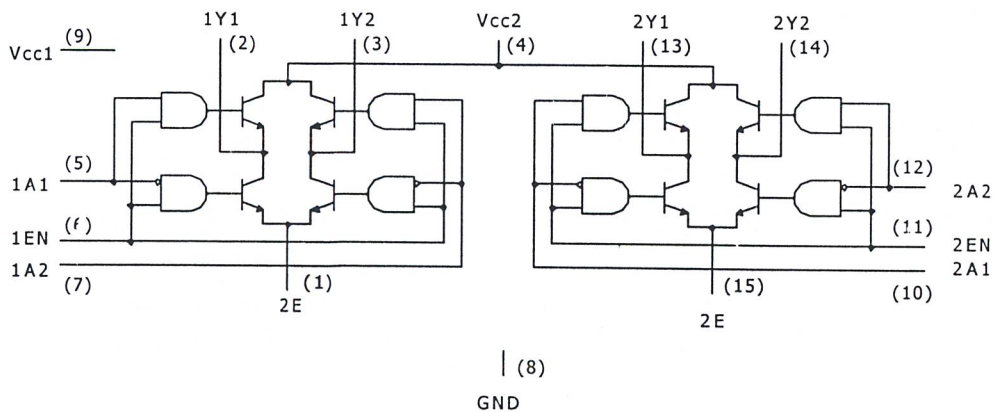
รูปที่ 8.6 แสดงวงจรควบคุมขับสเต็ปมอเตอร์

จากรูปที่ 8.6 เป็นวงจรขับสเต็ปมอเตอร์เพียงหนึ่งวงจร ซึ่งในโครงการจะใช้ทั้งหมดสองวงจร โดยใช้พอร์ทดาวต้า D0-D3 ในการควบคุมเฟสการหมุน และ D6 ในการควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ตัวที่ 1 และ D5 ในการควบคุมการทำงานของ สเต็ปมอเตอร์ตัวที่สอง การออกแบบโดยการต่อวงจรแบบบริดจ์แหล่งจ่ายเดียว ป้องกันระบบโดยใช้ไดโอดซัพพลีเซอเรอร์ และใช้ไอซี L298 เป็นตัวขับมอเตอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่น่าสนใจคือ

1. มีวงจรขับสองชุดภายใน
2. สามารถจ่ายกระแสได้ 2 A ต่อชุด
3. มีย่านจ่ายแรงดันเอาท์พุท จาก 5 V ถึง 46 V

ฯลฯ

การควบคุมเฟสของสเต็ปมอเตอร์สามารถดูการควบคุมได้จากลอจิกไดอะแกรม



รูปที่ 8.7 แสดงลอจิกไดอะแกรมของไอซี L298

การควบคุมจะต่อสายอินพุต 1EN และ 2EN เข้าด้วยกัน เนื่องจากใช้งานวงจรจับทั้งสองชุดพร้อมกัน การควบคุมเพียงป้อนสถานะควบคุมเป็น “1” ที่ขา EN

สัญญาณ O/P	เฟส	สถานะควบคุม			
		2A2 (D3)	2A1 (D2)	1A2 (D1)	1A1 (D0)
1Y1	1	X	X	X	0
1Y2	2	X	X	0	X
1Y3	3	X	0	X	X
1Y4	4	0	X	X	X

ตารางที่ 8.1 แสดงสัญญาณควบคุมไอซี L298

จากตารางที่ 8.1 จะสังเกตได้ว่าใช้สถานะ “0” เพื่อควบคุมเฟสการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ ดังนั้นหากต้องการควบคุมเฟสของสเต็ปมอเตอร์ในแบบต่างๆ ผ่านวงจรจับสเต็ปมอเตอร์ภายในโครงการนี้ สามารถกำหนดลำดับการควบคุมได้ดังตารางที่ 8.2 ถึง 8.4 โดยหากต้องการหมุนมอเตอร์ไปในทิศทางกันข้าม เพียงกลับลำดับการควบคุมใหม่เท่านั้น เช่น จากตารางที่ 8.2 ลำดับการกระตุ้นคือ 1-2-3-4 การกำหนดลำดับในการควบคุมใหม่จะเป็น 4-3-2-1 เป็นต้น

### 1. สถานะการควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบหนึ่งเฟส

ลำดับ	สถานะเฟส				ข้อมูลฐาน สิบ
	4	3	2	1	
	D3	D2	D1	D0	
1	1	1	1	0	14
2	1	1	0	1	13
3	1	0	1	1	11
4	0	1	1	1	7

ตารางที่ 8.2 แสดงสถานะการควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบหนึ่งเฟส

## 2. สถานะการควบคุมสเต็มมอเตอร์แบบสองเฟส

ลำดับ	สถานะเฟส				ข้อมูลฐาน สิบ
	4	3	2	1	
	D3	D2	D1	D0	
1	1	1	0	0	12
2	1	0	0	1	9
3	0	0	1	1	3
4	0	1	1	0	6

ตารางที่ 8.3 แสดงสถานะการควบคุมสเต็มมอเตอร์แบบสองเฟส

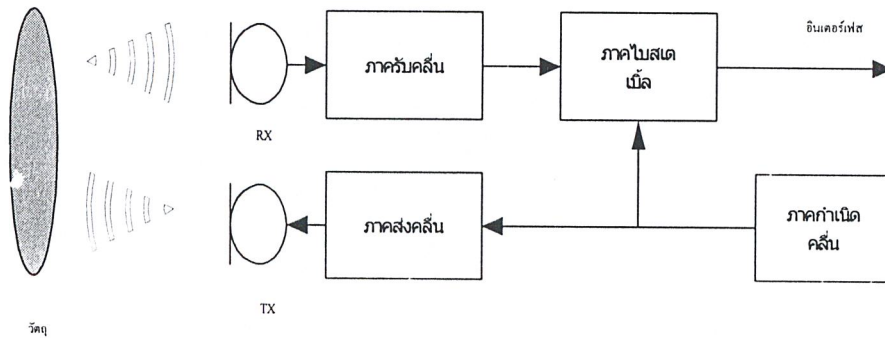
## 3. สถานะการควบคุมสเต็มมอเตอร์แบบครึ่งเฟส

ลำดับ	สถานะเฟส				ข้อมูลฐาน สิบ
	4	3	2	1	
	D3	D2	D1	D0	
1	1	1	1	0	14
2	1	1	0	0	12
3	1	1	0	1	13
4	1	0	0	1	9
5	1	0	1	1	11
6	0	0	1	1	3
7	0	1	1	1	7
8	0	1	1	0	6

ตารางที่ 8.4 แสดงสถานะการควบคุมสเต็มมอเตอร์แบบครึ่งเฟส

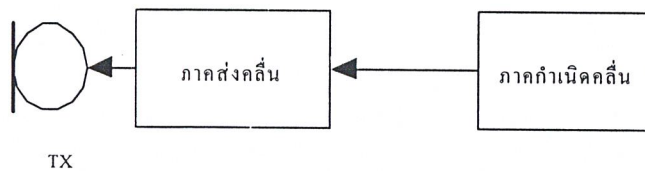
## 8.5 วงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว

ในโครงการนี้เลือกใช้การตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยใช้หลักการสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิกของวัตถุ กล่าวคือ เมื่อคลื่นอัลตราโซนิกส่งออกไปและกระทบกับวัตถุจะเกิดการสะท้อนคลื่นบางส่วนเข้ามาสู่ทรานสดิวเซอร์ตัวรับ ทำให้ทราบการเคลื่อนไหวของวัตถุได้ โครงสร้างของวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยคลื่นอัลตราโซนิกจะประกอบด้วย ภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิกและภาครับคลื่นอัลตราโซนิก



รูปที่ 8.8 แสดงแผนผังของวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว

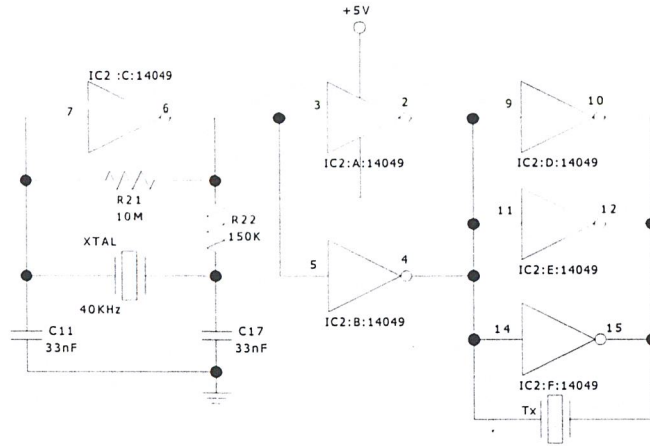
### 8.5.1 วงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก



รูปที่ 8.9 แสดงแผนผังของวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก

การออกแบบโดยการสร้างวงจรกำเนิดคลื่นให้มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant) ของวงจรอัลตราโซนิก โดยทั่วไปสามารถสร้างได้หลายแบบ เช่น

1. ใช้ IC 555 TIMER ซึ่งสามารถทำการต่อได้ 2 แบบ ขึ้นอยู่กับกับการใช้งานคือ แบบ โมโนสเตเบิล (Monostable Multivibrator) และแบบอะสเตเบิล (Astable Multivibrator)
2. ใช้ IC ดิจิตอล ในโครงการนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ MC14049UB ซึ่งเป็นไอซี inverter/buffer ร่วมกับคริสตัล (Crystal) ความถี่ 40KHz สร้างเป็นวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิก



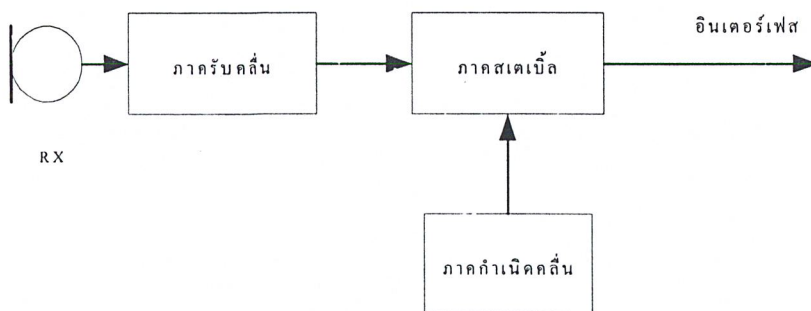
รูปที่ 8.10 แสดงวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค

### หลักการทํางานของวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค

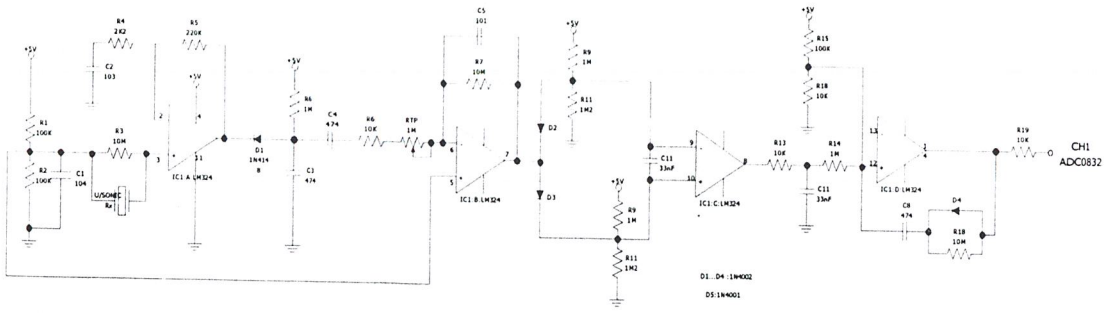
จากวงจรภาคส่งคลื่นอัลตราโซนิค สัญญาณความถี่จากคริสตอลจะผ่านไอซี 2c ซึ่งจะได้พัลส์ความถี่ 40 KHz ทั้งช่วงบวก(Positive) และลบ(Negative) ไอซี 2cdf ต่อแบบขนานเพื่อให้มีแรงดันตกคร่อมทรานสดิวเซอร์ เป็น 3 เท่าของไฟเลี้ยง c11 และc17 จะทำหน้าที่กรองความถี่

### 8.5.2 วงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิค

จากการทำงาน of วงจรภาคส่งนั้น ทรานสดิวเซอร์ตัวส่งจะส่งคลื่นอัลตราโซนิคออกไปและเมื่อมีการสะท้อนกลับมากกระทบกับทรานสดิวเซอร์ตัวรับ จะเกิดแรงดันขนาดเล็กขึ้นที่ทรานสดิวเซอร์ตัวรับ โดยแรงดันนี้จะมีรูปคลื่นเป็นคลื่นไซน์(Sine wave) ที่มีความถี่ของคลื่นเสียงที่เข้ามาตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ สัญญาณที่ได้รับจะมีค่าน้อยมาก จึงต้องมีการขยายสัญญาณที่คร่อมทรานสดิวเซอร์ตัวรับให้มีขนาดสูงขึ้น



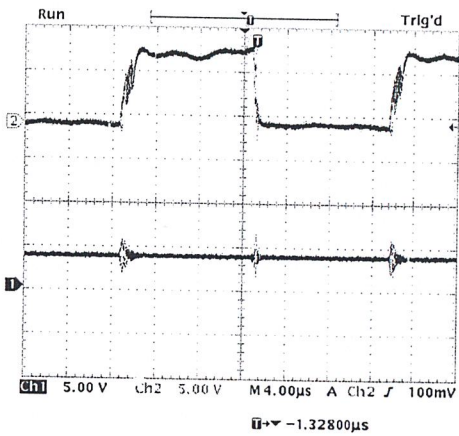
รูปที่ 8.11 แสดงแผนผังของวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิค



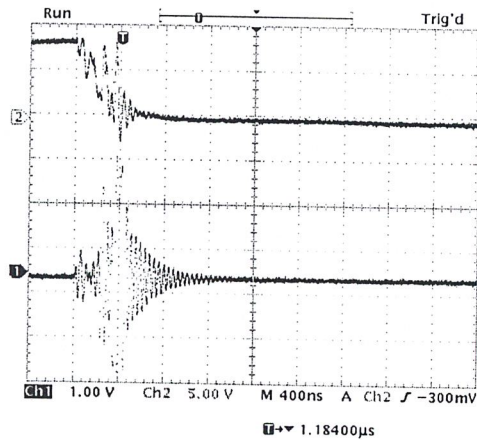
รูปที่ 8.12 แสดงวงจรภาครับคลื่นอัลตราโซนิค

**หลักการทํางานของวงจรรับคลื่นอัลตราโซนิค**

เมื่อสัญญาณที่สะท้อนกับวัตถุกลับมากกระทบกับทรานสดิวเซอร์ตัวรับ สัญญาณจะถูกขยายโดยไอซี 1a และ b ไอซี 1a จะไบอัสตัวเอง (self-biasing) ผ่าน C2 และ R5 คาบเวลาของวงจรขยายชุดแรกจะตั้งไว้ น้อยกว่าความถี่ 40 KHz เล็กน้อย ผ่าน ไอซี 1c เข้าสู่วงจรไบสแตรเบิล (ไอซี 1d) เข้าสู่ วงจรแปลง A/D ช่องที่ 1 เพื่ออ่านระดับสัญญาณไปประมวลผลต่อไป



20 Nov 2001 23:43:49



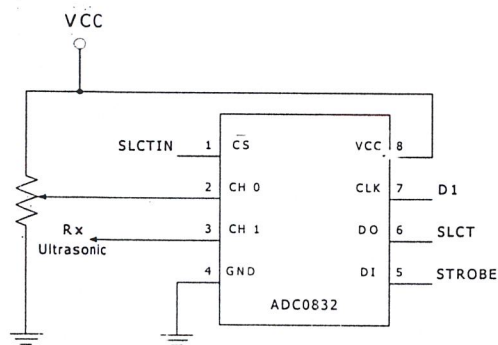
20 Nov 2001 23:47:34

รูปที่ 8.13 แสดงรูปสัญญาณที่วัดจากตัวส่งและตัวรับคลื่นอัลตราโซนิค

จากรูปที่ 8.13 ซึ่งเป็นรูปสัญญาณที่วัดจากทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและสัญญาณก่อนเข้าวงจร A/D จะสังเกตุว่า สัญญาณตัวรับ (โพรบหมายเลข 1) มีระดับสัญญาณขึ้นลงจำนวนมากจากการสะท้อนของคลื่นอัลตราโซนิค ซึ่งต้องใช้ค่าแรงดันระดับหนึ่งเท่านั้น ไปใช้ในการควบคุม

## 8.6 วงจรแปลง A/D

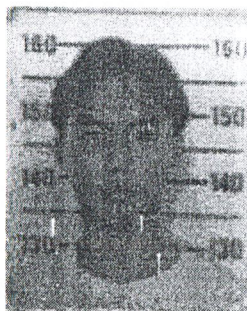
การออกแปลง A/D เพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณอนาลอกจากเซ็นเซอร์ต่างๆ เช่นจากวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ เพื่อที่จะให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้ โดยใช้ไอซี A/D เบอร์ ADC0832 ภายในมีช่องรับสัญญาณขาเข้าถึง 2 สัญญาณ ระดับแรงดันอ่านค่าไม่เกิน 5 โวลต์ มีการประมวลผลสัญญาณขนาด 8 บิต และส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนุกรม ส่งต่อผู้วงจรอินเทอร์เฟสเพื่อประมวลผลต่อไป ในภาคควบคุมไอซี ADC0832 โคจรงานนี้เลือกใช้ พอร์ตทาดำ D1 เพื่อทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาแก่ พอร์ตคอนโทรล SLCTIN และ STROBE เพื่อควบคุมการทำงาน และเลือกพอร์ทสเตตัส SLCT เพื่ออ่านข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ในการออกแบบเลือกใช้ CHI อ่านค่าแรงดันจากวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว



รูปที่ 8.14 แสดงการต่อใช้งาน ADC0832

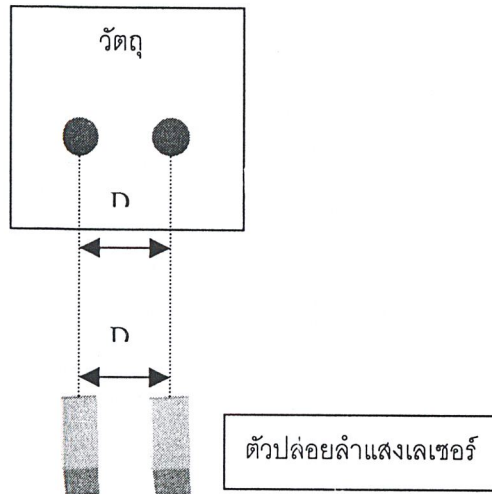
## 8.7 ชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์

ในส่วนของ การวัดวัดความกว้างยาวของภาพ ใช้แนวคิดการวัดโดยเทียบกับระยะความยาวอ้างอิงที่ทราบ เช่นรูปถ่ายบัตรประชาชน ซึ่งมีขนาดความสูงกำกับด้วย ทำให้ทราบอัตราส่วนระยะจริงกับพิกเซลของภาพได้ และเมื่อนำอัตราส่วนนี้ไปใช้วัดในจุดอื่นๆของภาพ ก็สามารถแสดงค่าเป็นระยะจริงของวัตถุได้

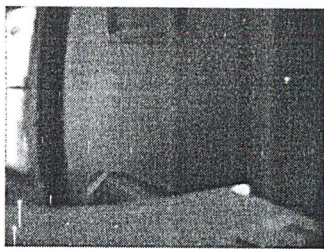


รูปที่ 8.15 แสดงภาพถ่ายบัตรประชาชน

จากหลักการข้างต้น จึงคิดสร้างจุดอ้างอิงที่ทราบระยะแน่นอนขึ้น โดยใช้ลำแสงเลเซอร์ซึ่งมีคุณสมบัติเดินทางเป็นเส้นตรง จำนวนสองลำแสงที่ขนานกัน เมื่อลำแสงเลเซอร์ตกกระทบกับวัตถุเป็นตัวอย่างอิงจุดระยะ แล้วใช้กล้องวีดีโอบันทึกภาพเพื่อนำภาพไปหาอัตราส่วนระยะจริงกับพิทเทิลของภาพโดยใช้การประมวลผลทางภาพ ในรูปที่ 8.16 และรูปที่ 8.17 ได้แสดงแนวความคิดและการทดลองวัดระยะด้วยลำแสงเลเซอร์ ในห้องพัก เวลา 12:34 น.

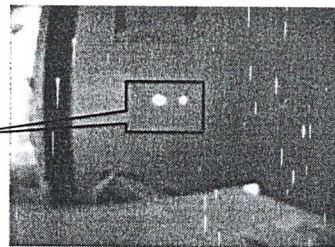


รูปที่ 8.16 แสดงหลักการวัดระยะทางด้วยลำแสงเลเซอร์

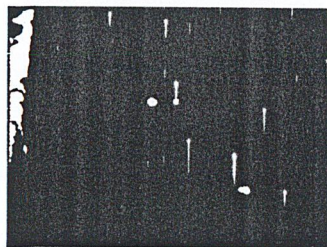


ก.ภาพปกติ

จุดที่ลำแสง  
กระทบ



ข.ภาพเมื่อลำแสงเลเซอร์กระทบวัตถุ



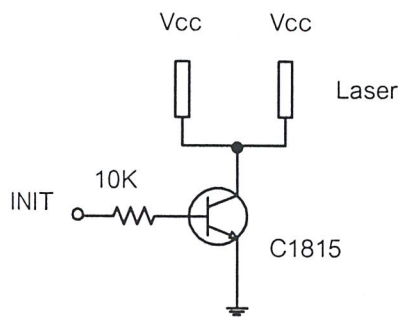
ค.ภาพเมื่อทำการเทรซโฮล

รูปที่ 8.17 การประมวลผลภาพลำแสงเลเซอร์กระทบบนวัตถุ

จากรูปที่ 8.17 รูป ข.จะสังเกตว่า จุดที่แสงเลเซอร์ที่ตกกระทบมีความสว่างที่เด่นชัด แม้ว่าจะเป็นตอนกลางวันก็ตามและเมื่อทำการเทรซโฮลภาพ(รูป ค.) จะเห็นจุดความสว่างของจุดชัดเจนขึ้น เมื่อผ่านกระบวนการ หาจุดศูนย์กลางของจุดแสงเลเซอร์ในแต่ละจุด ก็จะทราบระยะห่างของพิทเชลของจุดลำแสงเลเซอร์ในแต่ละจุด ทำให้ทราบอัตราส่วนระยะจริงต่อระยะห่างจุดภาพในภาพ ทำให้สามารถทราบระยะต่างๆได้ เพียงทำการอ่านระยะจุดภาพของส่วนต่างๆที่สนใจ

ในการออกแบบควบคุมชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์ โดยการใช้พอร์ทคอนโทรล INIT ควบคุมการเปิดและปิดการปล่อยแสงเลเซอร์ โดยเลือกใช้เลเซอร์พอยเตอร์ (Laser Pointer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สื่อการสอนที่มีราคาถูก 2 ตัว ติดตั้งห่างกัน 5 Cm โดยมีคุณสมบัติดังนี้

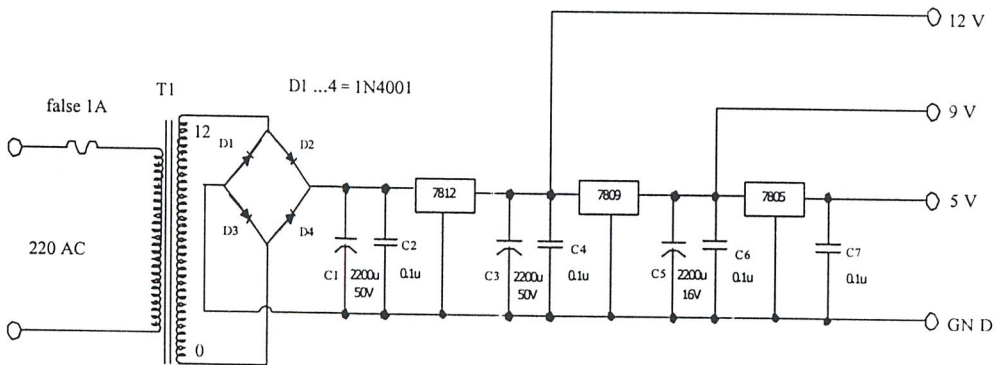
1. ความยาวคลื่นแสง 630-680 นาโนเมตร
2. พลังงานสูงสุด 1 มิลลิวัตต์
3. แหล่งจ่ายพลังงานขนาด 4.5 โวลท์



รูปที่ 8.18 แสดงชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์

## 8.8 แหล่งจ่ายพลังงาน

ภายในโครงงาน มีแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเลี้ยงวงจรในส่วนต่างๆ ถึง 3 ระดับ กล่าวคือ 5V ,9V และ 12 V โดยที่ไฟเลี้ยง 5V จะจ่ายไปเลี้ยงไอซีต่างๆ ไฟเลี้ยง 9V จ่ายไปเลี้ยงวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว และ 12V เพื่อขับสเต็ปปีงมอเตอร์ ดังวงจรในรูปที่ 8.19



รูปที่ 8.19 แสดงวงจรจ่ายพลังงาน

## 8.9 กล้องวิดีโอ

ในโครงการนี้เลือกใช้กล้อง CCD ซึ่งป็นแบบขาว-ดำ ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- กล้อง CCD แบบอินฟาเรด แสดงผลระบบขาว-ดำ
- ทำงานที่ระดับแรงดัน 12 โวลต์ดีซี
- มีความละเอียดของสัญญาณแบบเดียวกับโทรทัศน์ คือเส้นสแกนทางแนวนอน 380 เส้น และเส้นสแกนทางแนวตั้ง 450 เส้น

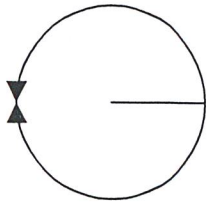
สำหรับการรับภาพจากกล้อง CCD จะใช้การ์ดอินเตอร์เฟส TV รุ่น Flyvideo ของบริษัท Lifeview ซึ่งการ์ด Capture ตัวนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพที่รับเข้ามาจากกล้อง ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถแสดงและประมวลผลภาพได้

## 8.10 ฐานกล้อง

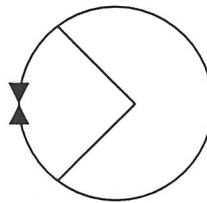
ฐานกล้อง เป็นส่วนของฐานหมุนกล้องซึ่งประกอบด้วย ฐานหมุนส่วนบนทำหน้าที่หมุนกล้องในแนวตั้ง และฐานหมุนส่วนล่างทำหน้าที่หมุนกล้องในแนวนอน โดยขับเคลื่อนทางกลด้วยสเต็ปมอเตอร์ 2 ชุด

### 8.10.1 มุมหมุน

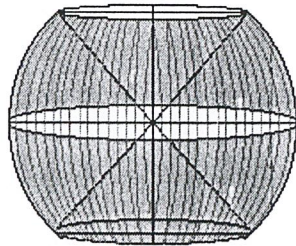
มุมหมุนเป็นคุณสมบัติของการขับเคลื่อนกลิ้ง ในทิศทางต่าง โดยในการออกแบบฐานกลิ้งได้ออกแบบให้สามารถหมุนได้ในแนวระนาบตั้งแต่มุม 0 องศาจนถึง มุม 360 องศา และในแนวตั้งสามารถหมุนได้ตั้งแต่มุม -20 องศาจนถึงมุม 20 องศา ดังรูปที่ 8.20



ก. มุมหมุนแนวระนาบ



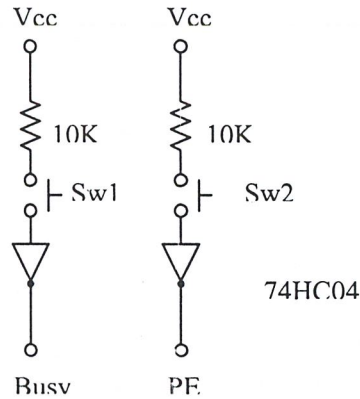
ข. มุมหมุนแนวตั้ง



ค. มุมหมุนสามมิติ

รูปที่ 8.20 แสดงมุมหมุนของฐานกลิ้ง

ในการออกแบบจะให้กลิ้งหมุนเพียงขอบเขตที่กำหนดเท่านั้น เพราะเนื่องจากสายไฟเลี้ยงและสายสัญญาณต่างๆจะพันกันเมื่อหมุนเกินหนึ่งรอบ ดังนั้นเมื่อกลิ้งได้หมุนถึงจุดที่กำหนดจะหยุดการหมุน และจะหมุนอีกครั้งในทิศทางตรงกันข้าม โดยมีไมโครสวิตช์(Micro switch) ทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับที่ขอบเขตมุมหมุน และเป็นจุดเริ่มต้นและอ้างอิงตำแหน่งการหมุนของกลิ้ง โดยทำการส่งสัญญาณให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลเพื่อกำหนดทิศทางการหมุนในทิศทางต่อไป

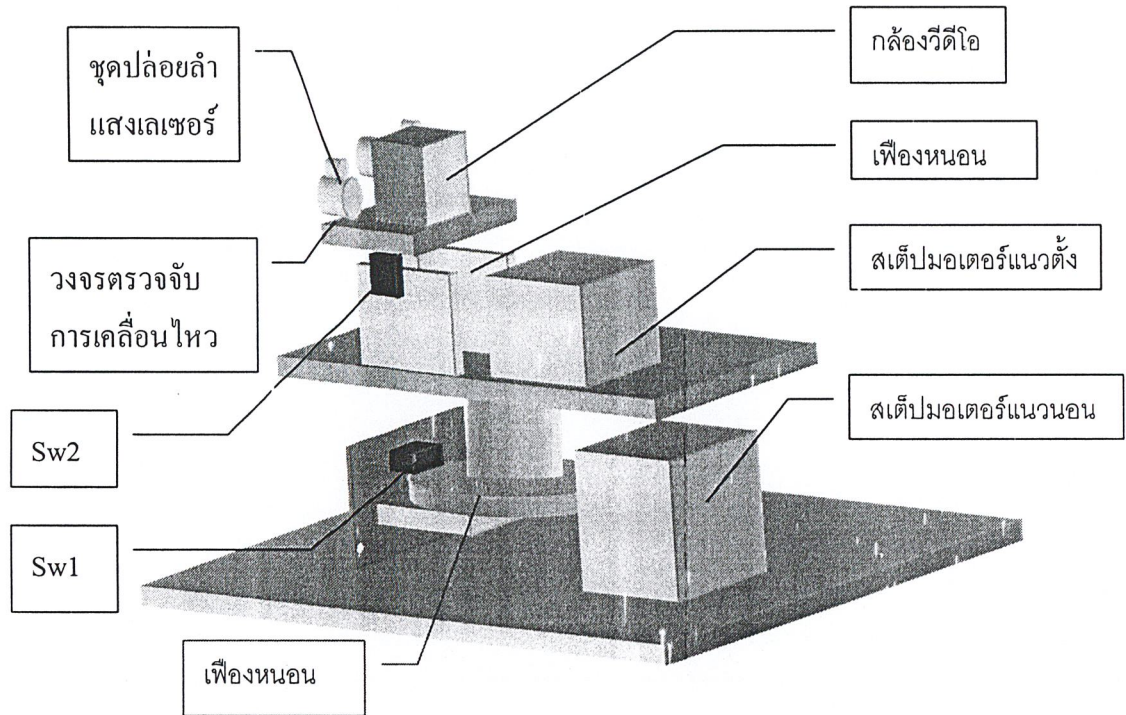


รูปที่ 8.21 แสดงการต่อเซ็นเซอร์ตรวจจับขอบเขตมุมหมุน

จากรูปที่ 8.20 Sw1 และ Sw2 คือไมโครสวิตช์ที่ติดตั้งอยู่ที่เฟืองแกนหมุนในแนวนอนและแนวตั้ง โดยข้อมูลสถานะของสวิตช์จะมีค่าเป็น “1” เมื่อแกนหมุนของก้านเคลื่อนที่มาชนสวิตช์ โดยที่ Sw1 จะติดตั้งที่แกนแนวนอนและส่งทำการข้อมูลเข้าสู่ Busy ของพอร์ตสเตตัส ส่วน Sw2 ได้ติดตั้งที่แกนแนวตั้งและทำการส่งข้อมูลเข้าสู่ PE ของพอร์ตสเตตัสเช่นเดียวกัน ข้อมูลทั้งสองจะถูกคอมพิวเตอร์ตรวจค่าอยู่ตลอดเวลาที่ก้านเคลื่อนที่ เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของการหมุน

### 8.10.2 การติดตั้ง

ในการออกแบบจะให้ฐานของวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหวยู่ส่วนบนของฐานหมุนก้านด้วย เนื่องจากต้องการให้วงจรตรวจจับการเคลื่อนไหวดูตรวจจับในทิศทางอื่นๆที่ก้านที่เคลื่อนสามารถบันทึกภาพได้ ในการออกแบบได้ใช้เฟืองตัวนอนเป็นตัวถ่ายทอดกำลังทางกล เนื่องจากเฟืองตัวนอนจะมีมุมหมุนตั้งฉากกันจะขจัดปัญหาจากที่อุปกรณ์ มีน้ำหนักทำให้มุมหมุนเคลื่อนลงมาได้



รูปที่ 8.22 แสดงฐานกล้องและการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด

## บทที่ 9

### การออกแบบส่วนโปรแกรมควบคุม

โครงการนี้ทำงานโดยการรับสัญญาณจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ไปควบคุมอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์และการประมวลผลภาพ การออกแบบส่วนโปรแกรมควบคุมจึงเป็นนการติดต่อควบคุมระหว่างฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นและการประมวลผลภาพที่ได้จากกล้อง โดยใช้โปรแกรม BORLAND C++BUILDER 5.0 เป็นคอมไพเลอร์ในการเขียนโปรแกรมการทำงาน ในขั้นต้นได้เขียนโปรแกรมทดสอบโดยใช้โปรแกรม TURBO C 2.0 เป็นคอมไพเลอร์เนื่องจากสามารถทดสอบโปรแกรมได้ง่ายกว่า โดยที่โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ข. ซึ่งสามารถที่จะศึกษาการเขียนโปรแกรมการควบคุมอย่างง่ายได้

#### 9.1 การเขียนโปรแกรมรับ-ส่งข้อมูล

ในการเขียน โปรแกรมเพื่อติดต่อกับอุปกรณ์ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อใช้คอมไพเลอร์ภาษา C โดยเช่น Turbo C จะใช้คำสั่ง

```
int          inport(int portid);
unsigned char inportb(int portid);
void         output(int portid, int value);
void         outputb(int portid, unsigned char value);
```

คำสั่ง output() เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการส่งข้อมูลออกทางพอร์ตของเครื่องพีซี ตามหมายเลขพอร์ตที่กำหนด ถูกนิยามไว้ใน dos.h เรียกใช้โดยใส่ #include < dos.h > ที่โปรแกรมส่วนบน

```
รูปแบบ          void output(int portid, int value);
```

```
โดยที่          portid คือ หมายเลขพอร์ต
                 value  คือ ข้อมูล
```

```
ตัวอย่าง       output(0x378,0xff);   หรือ   output(888,255);
```

จากตัวอย่างคือการส่งข้อมูล “FF” ซึ่งเป็นฐาน 16 ออกทางพอร์ท 378H (พอร์ทขนานที่ 1) หรือเขียนในรูปแบบเลขฐานสิบได้คือ 255 ข้อมูลที่ออกทางพอร์ทคือ “FF” หรือ “11111111” ฐานสอง จะมีสถานะดังตารางที่ 9.1

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 9.1 แสดงสถานะข้อมูล

แต่ในการเขียนโปรแกรมติดต่อรับ-ส่งข้อมูล โดยใช้ Borland C++ Builder 5.0 จะไม่สามารถใช้คำสั่งของโปรแกรม Turbo C ได้เนื่องจากการเขียนโปรแกรมภายใต้ระบบปฏิบัติการ WINDOWS ซึ่งเป็นการทำงานแบบมัลติทาสกิ้ง(Multi Tasking) การติดต่อรับส่งข้อมูลโดยตรงอาจทำให้มีปัญหาที่ระบบปฏิบัติการได้ ทางบริษัทบอแลนด์(Boland) จึงไม่สร้างคำสั่ง inport, inportb, outport และ outportb ไว้ในโปรแกรม แต่ก็สามารถเขียนเป็นโปรแกรมย่อย จากภาษาแอสเซมบลี โดยสามารถดูคำสั่งได้จากภาคผนวก ข. ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมได้โดยตรง ซึ่งโปรแกรม BCB มีคุณสมบัติพิเศษสามารถคอมไพล์โปรแกรมภาษา แอสเซมบลีภายในโปรแกรมได้ โดยต้องมี “asm” นำหน้าคำสั่งภาษาแอสเซมบลีทุกครั้ง

การรับ-ส่งข้อมูลภายในโครงการ จะเป็นติดต่อควบคุมโดยใช้พอร์ทขนานที่ 1 ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 378H และมีรีจิสเตอร์ต่างๆ ดังนี้

รีจิสเตอร์	ตำแหน่ง	หมายเลขพอร์ท	หน้าที่
ดาต้า	Base+0	0x378	เขียน
สเตตัส	Base+1	0x379	อ่าน
คอนโทรล	Base+2	0x37a	อ่านและเขียน

ตารางที่ 9.2 แสดงพอร์ทใช้งาน

### 9.1.1 การส่งข้อมูล

การส่งข้อมูลภายในโครงการจะส่งข้อมูลออกไป(การเขียน) ออกได้สองพอร์ตคือ พอร์ตคาต้าและพอร์ตคอนโทรล การติดต่อพอร์ตคาต้าเพื่อส่งข้อมูลออกทาง D1-D7 ของ IC2 ในรูปที่ 8.4 ต้องส่งสัญญาณ AUTO LF ไปควบคุม IC1 ด้วย เพื่อทำการคงสถานะ สัญญาณ AUTO LF จะอยู่ตำแหน่ง รีจิสเตอร์คอนโทรล มีแอดเดรสตำแหน่ง แอดเดรสหลักบวกสอง ถ้าแอดเดรสหลัก เท่ากับ 0x378 สัญญาณ AUTO LF จะมีแอดเดรสเท่ากับ 0x37a และ AUTO LF จะอยู่ตำแหน่งบิตที่ 1 ของข้อมูล สามารถเขียนคำสั่งควบคุมได้ดังนี้

```
outport(0x37a,2); // เซ็ตสัญญาณ AUTO LF ให้มีสถานะ Hi ( 0000 0010 )
outport(0x378,data); // เซ็ตสัญญาณ พอร์ตคาต้า D0-D7 ตามค่าของdata
outport(0x37a,0); // เซ็ตสัญญาณ AUTO LF ให้มีสถานะ Low ( 0000 0000 )
```

ในการติดต่อกับพอร์ตคอนโทรลสามารถทำได้เช่นเดียวกัน ดังนี้

```
outport(0x37a,data); // เซ็ตสัญญาณ พอร์ตคอนโทรล ตามค่าของ data
```

### 9.1.2 การรับข้อมูล

การรับข้อมูลหรือการอ่านข้อมูล ภายในโครงการสามารถอ่านข้อมูลได้สองพอร์ตคือ พอร์ตสเตตัสและพอร์ตคอนโทรล การติดต่อรับข้อมูลพอร์ตทั้งสองทำได้ดังนี้คือ

```
data = inport(0x379); // การอ่านข้อมูลจากพอร์ตสเตตัส
data = inport(0x37a); // การอ่านข้อมูลจากพอร์ตคอนโทรล
```

โดยที่ data คือตัวแปรแบบจำนวนเต็ม โดยการประกาศ “int data;” แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จะเป็นค่าเลขฐานสิบซึ่งมีข้อมูลของพอร์ตนั้นๆทุกบิต เมื่อต้องการอ่านค่าเฉพาะบิตใดบิตหนึ่งต้องใช้คำสั่ง “&” กับค่าประจำบิตของบิตนั้นเช่น อุปกรณ์ต่อเข้ากับ พอร์ตสเตตัส (379H) ขา SLCT (บิตที่ 4) จะมีค่าประจำบิตเท่ากับ 16 ( $2^4$ ) การอ่านข้อมูลของอุปกรณ์ทำได้โดยใช้คำสั่ง

```
data = inport(0x379)&16;
if(data==16){.....} // ถ้าค่าที่ได้มีสถานะเป็น “1” คือตรงกับค่าประจำหลักของบิต
else {.....}
```

### 9.1.3 การควบคุมพอร์ตขนานในโครงการงาน

ในส่วนโปรแกรมควบคุมพอร์ตขนาน เพื่อทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ภายนอกในโครงการงาน ได้ใช้พอร์ตจำนวน 3 พอร์ตคือ พอร์ตคาค่า, พอร์ตสแตตัส และพอร์ตคอนโทรล ซึ่งมีข้อมูลรายละเอียดของบิตต่างๆในแต่ละพอร์ต ในตารางที่ 9.3 ถึง ตารางที่ 9.5

บิต	7	6	5	4	3	2	1	0
สัญญาณ	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
การใช้งาน	-	M1	M2	-	เฟส 4	เฟส 3	เฟส 2	เฟส 1

ตารางที่ 9.3 แสดงบิตใช้งานในพอร์ตคาค่า

บิต	7	6	5	4	3	2	1	0
สัญญาณ	Busy	Ack	PE	Slct	Err	IRQ	-	-
การใช้งาน	Sw1	-	Sw2	D0 A/D	-	-	-	-

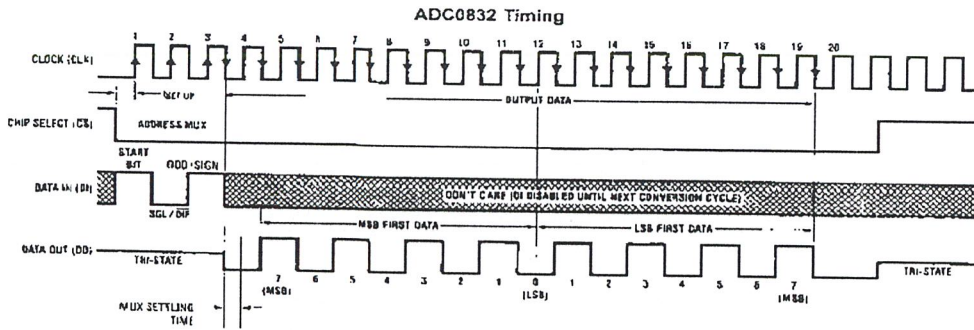
ตารางที่ 9.4 แสดงบิตใช้งานในพอร์ตสแตตัส

บิต	7	6	5	4	3	2	1	0
สัญญาณ	-	-	-	IRQ	SlctIn	Init	Autolf	Strobe
การใช้งาน	-	-	-	-	CS A/D	Laser	Lath D0-D7	D1 A/D

ตารางที่ 9.5 แสดงบิตใช้งานในพอร์ตคอนโทรล

## 9.2 การเขียนโปรแกรมควบคุม ADC0832

การตรวจจับสัญญาณจากวงจรเซนเซอร์ต่างๆ ซึ่งเป็นสัญญาณแบบอนาลอก ต้องมีวงจรแปลงสัญญาณสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อประมวลผล โดยผ่านวงจรแปลง A/D ในโครงการงานมีวงจร A/D โดยใช้ไอซี ในการรับค่าข้อมูลคือ ADC 0832 ซึ่งสามารถรับสัญญาณจากวงจรเซนเซอร์ต่างๆ ได้สองชุด การติดต่อเพื่อรับข้อมูลจากไอซีสามารถควบคุมได้จากการส่งสัญญาณต่างๆ ไปสู่อไอซีตาม Timing Diagram ของไอซี



รูปที่ 9.1 Timig Diagram ของไอซี ADC0832

จากรูปที่ 9.1 จะเห็นได้ว่าการควบคุมการอ่านค่าดิจิทัลจากไอซี ADC 0832 ต้องมีสัญญาณ CLOCK ,CHIP SELECT และ DATA IN เนื่องจากไอซี ADC0832 สามารถรับสัญญาณอะนาลอกเข้ามาได้ 2 อินพุต และส่งข้อมูลแบบอนุกรม การเขียนโปรแกรมจึงต้องอ่านค่าข้อมูลคราวละหนึ่งอินพุต และทำการเก็บข้อมูลที่ละหนึ่งบิตเก็บไว้จนครบ 8 บิต ในโครงงานนี้ จะใช้สัญญาณควบคุมและอ่านค่า ดังตารางที่ 9.6

ขาสัญญาณ	สัญญาณควบคุม	ตำแหน่งแอดเดรส	ตำแหน่งบิต
CS	Sltin	Base+2 (0x37a)	3
DI	Strobe	Base+2 (0x37a)	0
DO	Slct	Base+1 (0x379)	4
CLK	D1	Base (0x378)	1

ตารางที่ 9.6 แสดงสัญญาณควบคุมไอซี ADC0832

สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมในรูปแบบฟังก์ชันในโปรแกรม TestADC.cpp ได้คือ

```
void readsensor(int channel);
```

### 9.3 การเขียนโปรแกรมควบคุมสเต็ปมอเตอร์

เนื่องจากโครงการใช้พอร์ทคาต้าในการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ โดยได้กำหนดบิตควบคุมไว้ในตารางที่ 9.3 โดยมีค่าประจำบิตควบคุม ในตารางที่ 9.7

สัญญาณ	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
ค่าประจำหลัก	128	64	32	16	8	4	2	1
การใช้งาน	-	M1	M2	-	เฟส 4	เฟส 3	เฟส 2	เฟส 1

ตารางที่ 9.7 แสดงตำแหน่งการใช้งานบิตของพอร์ทคาต้า

โดยที่ M1 คือ ขาอินพุตสเต็ปมอเตอร์ตัวที่หนึ่ง ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งฐานล่าง ทำหน้าที่หมุนกลิ้งในแนวนอน  
M2 คือ ขาอินพุตสเต็ปมอเตอร์ตัวที่สอง ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งฐานบน ทำหน้าที่หมุนกลิ้งในแนวตั้ง

จากตารางที่ 9.7 จะเห็นได้ว่า จะเห็นในควบคุมสเต็ปมอเตอร์แต่ละตัวจะต้อง ป้อนสัญญาณเฟสควบคุมและสัญญาณการต่อใช้งาน(อินพุต) ของมอเตอร์ด้วย โดยในการป้อนสัญญาณเฟสควบคุมสามารถดูได้จากตารางที่ 8.2 ถึง ตารางที่ 8.4 หากต้องการให้ M1 เฟสที่1 ทำงาน ก็เพียงป้อนสถานะออกทางพอร์ทคาต้าโดยมีข้อมูลคือ “01001110<sub>2</sub>” หรือ “78” ในฐานสิบ โดยที่บิตที่ 6 (M1) มีสถานะ “1” คือเป็นการควบคุมขา EN ของชุดขับชุดที่หนึ่งให้ทำงานส่วนบิตที่ 0 (เฟส1) มีสถานะเป็น “0” เนื่องจากในการออกแบบใช้การควบคุมเฟสของวงจรควบคุมสเต็ปมอเตอร์ โดยที่เฟสใดจะทำงานก็ต่อเมื่อมีสถานะ “0” สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมดังนี้ ( ในการกำหนดข้อมูลอาจใช้ค่าตำแหน่งของ EN มอเตอร์แต่ละตัวบวกกับค่าตำแหน่งเฟส เช่น จากตัวอย่าง M1 มีค่าตำแหน่ง EN อยู่ที่บิตที่ 6 จะมีค่าเลขฐานสิบเท่ากับ 64 บวกกับกับตำแหน่งเฟสที่1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14 จะได้ ข้อมูลเท่ากับ 64+14 = 78 )

```

outport(0x37a,2); // เซ็ตสัญญาณ AUTO LF ให้มีสถานะ Hi ( 0000 0010 )
outport(0x378,78) // เซ็ตสัญญาณ D7-D0 ให้มีสถานะ “01001110”
outport(0x37a,0); // เซ็ตสัญญาณ AUTO LF ให้มีสถานะ Low ( 0000 0000 )

```

การเขียนโปรแกรมควบคุมสเต็ปมอเตอร์ ตัวอย่างโปรแกรมคือ TestDriv.cpp

#### 9.4 การเขียนโปรแกรมควบคุมชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์

ในการควบคุมการปล่อยแสงเลเซอร์เพื่อเป็นจุดอ้างอิงในในการวัดความกว้างยาวของวัตถุ ด้วยการการประมวลผลภาพ จากการกำหนดพอร์ทควบคุมใช้งานที่ “In1” ซึ่งเป็นขาสัญญาณบิตที่ 2 ของพอร์ทคอนโทรล (ตารางที่ 9.5 ) สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมได้โดยใช้คำสั่ง เขียนข้อมูลไปที่พอร์ทคอนโทรล ด้วยค่าประจำบิตที่ 2 ให้มีค่าสถานะเป็น “1” ซึ่งจะได้ข้อมูลที่ต้องเขียนออกไปคือ “4” ( $2^2$ ) และการควบคุมให้ชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์หยุดทำงานคือการเขียนข้อมูลบิตที่ 2 ให้มีสถานะ “0” คำสั่งที่ต้องใช้คือ

1. การควบคุมให้ชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์ทำงาน สามารถเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
outport(0x37a,4);
```

2. การควบคุมให้ชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์หยุดทำงาน เขียนโปรแกรมได้คือ

```
outport(0x37a,0);
```

#### 9.5 การเขียนโปรแกรมเซ็นเซอร์ตรวจจับขอบเขตมุมหมุน

การตรวจเช็คสถานะของเซ็นเซอร์ตรวจจับขอบเขตมุมหมุนคือการอ่านค่าสถานะของ Sw1 และ Sw2 ซึ่งติดตั้งที่แกนหมุนในแกนแนวนอนและแกนแนวตั้ง โดยต้องอ่านค่าจากบิตที่ 7 และที่ 5 ของพอร์ทสเตตัส (ตารางที่ 9.4 ) โดยการอ่านค่าที่ได้เก็บไว้ในตัวแปร โดยใช้คำสั่ง

```
Sw1 = inport(0x379)&128 ;
```

```
Sw2 = inport(0x379)&32;
```

#### 9.6 การเขียนโปรแกรมประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพของโครงการนี้ เป็นการประมวลผลเพื่อให้ทราบการเคลื่อนไหวโดยการสุ่มบันทึกภาพบางช่วงเวลามาทำการเทรซโซลเพื่อหาจำนวนระดับจุดสีขาวและดำ และทำการเปรียบเทียบกับภาพเดิมที่ทำการประมวลผลด้วยวิธีเดียวกัน ถ้าจุดสีของภาพที่สองมีการคลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 10 ของภาพแรก โปรแกรมจะประมวลผลว่าวัตถุเกิดการเคลื่อนที่

การเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลภาพ สิ่งที่สำคัญคือการอ่านค่าจุดพิกเซลของภาพให้ได้ เมื่อทราบตำแหน่งและค่าของจุดสี จึงสามารถนำค่าที่ได้ ไปประมวลผลด้วยวิธีการต่างๆได้ การเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าจุดสีของภาพโดยใช้โปรแกรม PCB ทำได้โดยใช้เครื่องมือชื่อ “Image” เพื่อแสดงภาพในนามสกุลต่างๆ

ในการเขียนโปรแกรมจะต้องประมวลผลภาพโดยใช้คลาส (Class) Tbitmap และใช้ตัวแปร เพื่ออ้างตำแหน่งจุด (x,y) ของภาพ ตัวอย่างคำสั่งที่เกี่ยวข้องคือ

```
Graphics::TBitmap *bmpProcess = new Graphics::TBitmap();
```

เป็นการประกาศ bmpProcess เป็นตัวแปรพอยเตอร์ของคลาส Tbitmap ซึ่งในการเขียนโปรแกรมจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางของการอ่านและเขียนจุดภาพ

```
TCanvas *IpCanvas = ImageProcess->Canvas;
```

เป็นการประกาศ IpCanvas เป็นตัวแปรพอยเตอร์ของคลาส Tcanvas ซึ่งจะเป็ผลให้สามารถวาดจุดต่างๆใน ImageProcess ได้ ( ImageProcess คือ Name property ของ Image ที่ต้องการกระทำ)

```
try{ //เป็นการป้องกันระบบ
bmpProcess->Dormant(); // เป็นการเรียกใช้ Free up GDI resources
bmpProcess->FreeImage(); // เป็นการจับจองหน่วยความจำ
nPixelColor = bmpProcess->Canvas->Pixels[x][y];
```

เป็นการอ่านค่าจุดสีที่ตำแหน่ง เก็บค่าไว้ที่ตัวแปร nPixelColor

```
nRed = GetRValue(nPixelColor);
nGreen = GetGValue(nPixelColor);
nBlue = GetBValue(nPixelColor);
```

เป็นการอ่านค่าจุดสีแดง, สีเขียวและสีน้ำเงิน จากตัวแปร nPixelColor เก็บไว้ในตัวแปร nRed, nGreen และ nBlue

```
bmpProcess->Canvas->Pixels[x][y] = nRed + (nGreen << 8) + (nBlue << 16);
```

เป็นการวาดจุดสีลงที่ bmpProcess ที่ตำแหน่ง x,y ด้วยค่าสี nRed, nGreen และ nBlue การเลื่อน (<<) บิตเนื่องจากองค์ประกอบของจุดภาพบิตแมทขนาด 24 บิต ประกอบด้วยสีแดง,สีเขียว และน้ำเงิน เรียงกันอย่างละ 8 บิต

```
IpCanvas->Draw(0,0,bmpProcess);
```

เป็นการวาดจุดสีที่ได้ส่งสู่ตัวแปร IpCanvas ซึ่งได้ประกาศไว้ให้กระทำกับ ImageProcess ซึ่งก็คือเป็นการวาดจุดทั้งหมดจาก bmpProcess ตั้งแต่จุด 0,0 ลงสู่ Image (ImageProcess) ที่ต้องการนั่นเอง

```
} // end try เป็นการสิ้นสุดการเรียกใช้หน่วยความจำ
catch (...)
{
    MessageBeep(0);
}
```

หากเกิดปัญหา ระบบเครื่องคอมพิวเตอร์หยุดทำงานโดยไม่ทราบสาเหตุ(catch) ให้ส่งสัญญาณเตือน

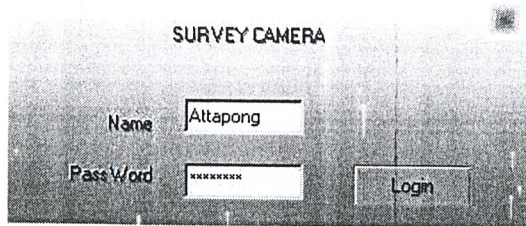
```
delete bmpSource; // ลบ bmpSource ออกจากหน่วยความจำ
```

ตัวอย่างการใช้คำสั่งเพื่อประมวลผลภาพอย่างง่ายสามารถศึกษาได้จาก ภาคผนวก ข.

## 9.7 การออกแบบโปรแกรมแสดงผล

โปรแกรมแสดงผลทำหน้าที่ แสดงภาพจากกล้อง และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างผ่านโปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์

### 9.7.1 ฟอรัม Login

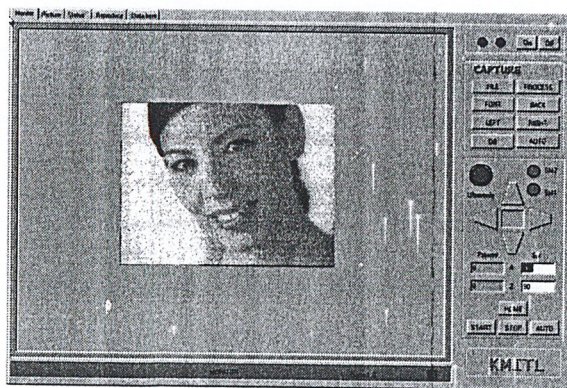


รูปที่ 9.2 แสดงฟอรัม Login

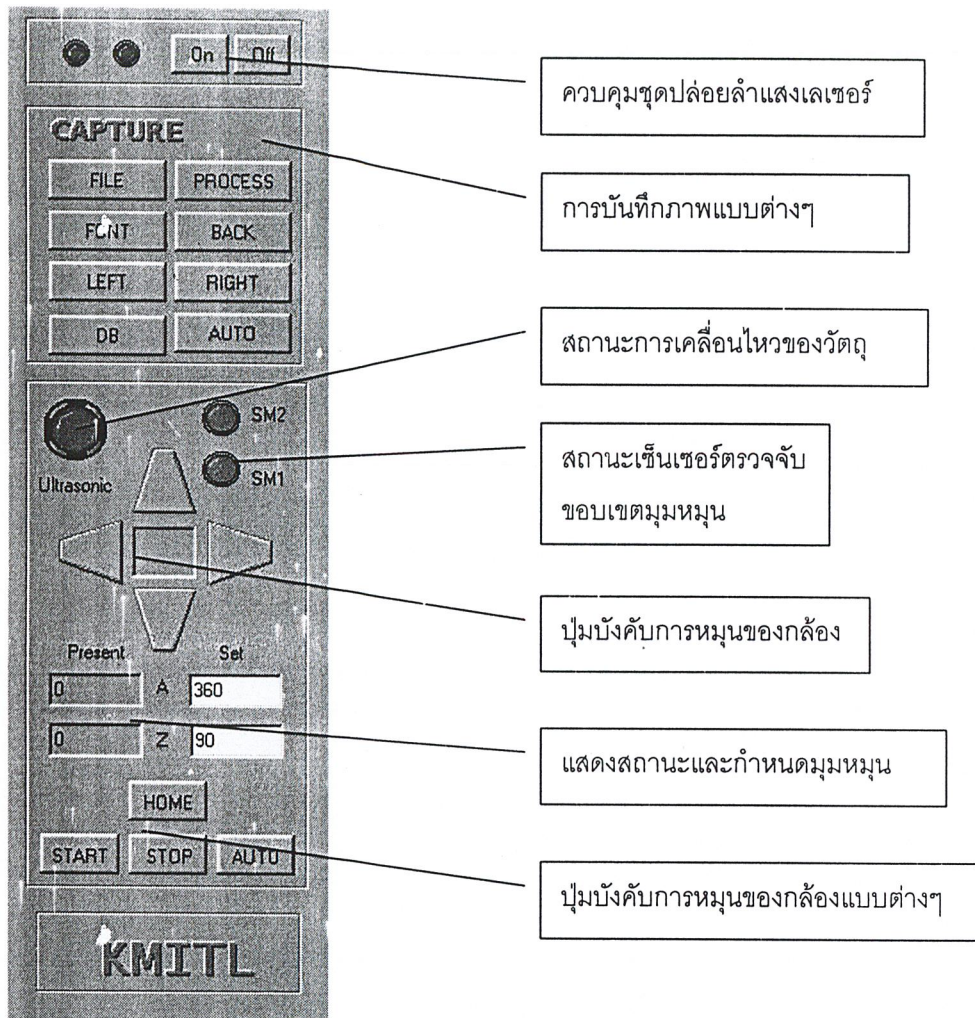
จากรูปที่ 9.2 คือฟอรัมแรก ซึ่งเป็นฟอรัมของการเข้าสู่โปรแกรม ซึ่งใส่รหัสผ่านที่ถูกต้องจึงจะเข้าสู่โปรแกรมได้

### 9.7.2 ฟอรัม Monitor

ฟอรัม Monitor ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานการหมุนของกล้อง, แสดงภาพที่ได้จากกล้องและการบันทึกภาพแบบต่างๆ



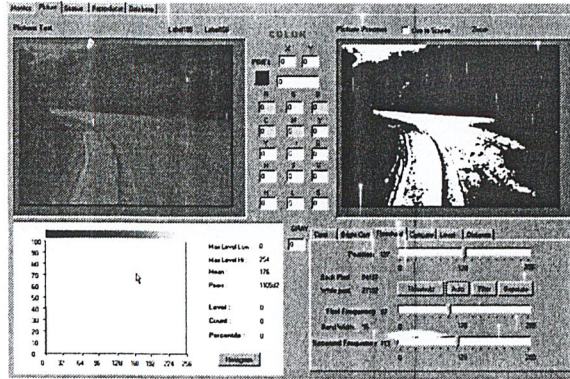
รูปที่ 9.3 แสดงฟอรัม Monitor



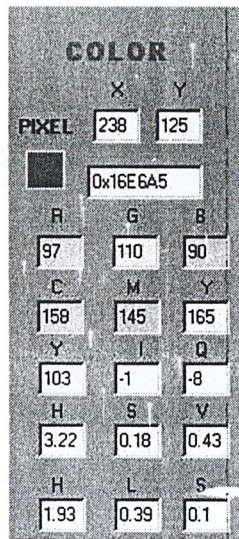
รูปที่ 9.4 แสดงฟอร์ม Monitor ส่วนควบคุมกล้อง

### 9.7.3 ฟอร์ม Picture

ฟอร์ม Picture ทำหน้าที่ประมวลผลภาพที่ได้จากกล้อง โดยมี Picture Test ทำหน้าที่แสดงภาพต้นแบบ ที่ได้จากกล้องหรือจากไฟล์อื่นๆ และมี Picture Process ทำหน้าที่แสดงผลภาพที่ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพต้นแบบ

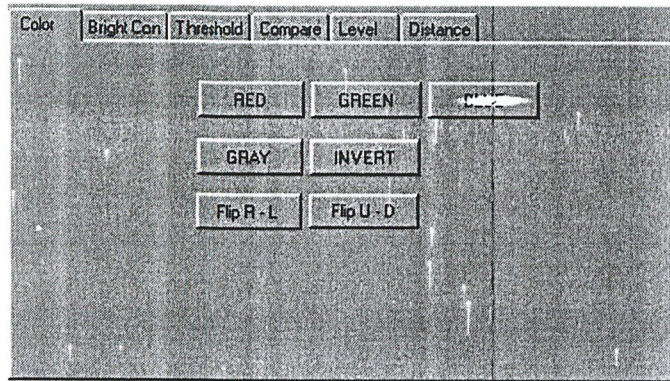


รูปที่ 9.5 แสดงฟอร์ม Picture



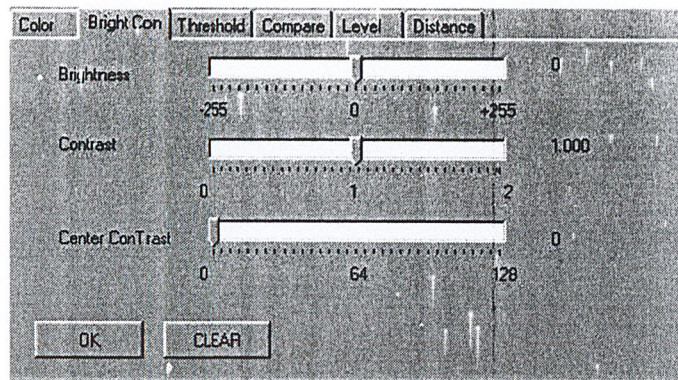
รูปที่ 9.6 แสดงฟอร์มสีของจุดภาพ

จากรูปที่ 9.6 ฟอร์มสีของจุดภาพทำหน้าที่ อ่านค่าจุดสีและตำแหน่งที่เมาส์เคลื่อนที่อยู่บนจุดภาพ ในแบบจำลองสีต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการอ่านค่าสีบางค่าที่มนุษย์ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่าง และประโยชน์ในการประมวลผลภาพ



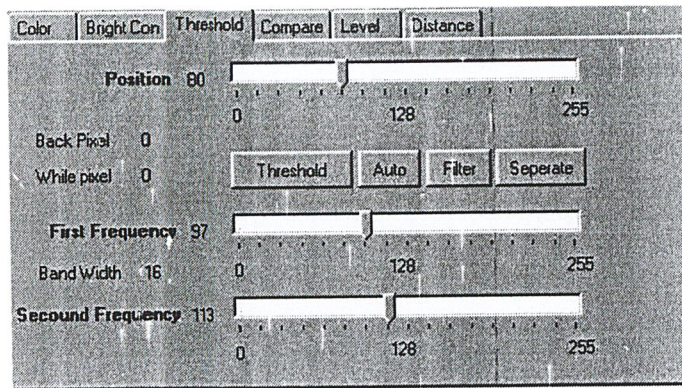
รูปที่ 9.7 แสดงฟอร์ม Color

ฟอร์ม Color ทำหน้าที่ประมวลผลสี และการกลับด้านของภาพ โดยมีปุ่ม RED, GREEN, BLUE ทำหน้าที่แยกแม่สีแดง, แม่สีเขียว และแม่สีน้ำเงินออกจากภาพ, ปุ่ม GRAY ทำหน้าที่แสดงภาพระดับสีเทาของภาพ, ปุ่ม INVERT ทำหน้าที่แสดงภาพกลับสีของภาพต้นแบบ, ปุ่ม Flip R-L ทำหน้าที่กลับภาพจากขวาไปซ้าย และปุ่ม Flip U-D ทำหน้าที่กลับภาพจากบนไปล่าง



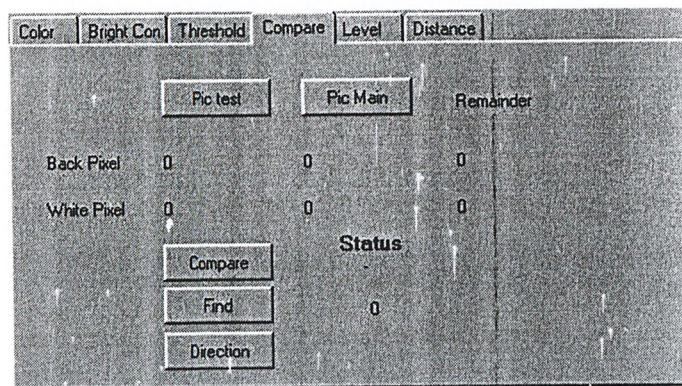
รูปที่ 9.8 แสดงฟอร์ม Bright Con

ฟอร์ม Bright Con ทำหน้าที่ปรับความสว่างและความคมชัดของภาพ โดยสามารถปรับความสว่างได้จาก -255 ถึง 255 ระดับ ปรับค่าความคมชัดได้ จาก 0 ถึง 2 และปรับค่ากลางของความคมชัดได้จาก 0 ถึง 128



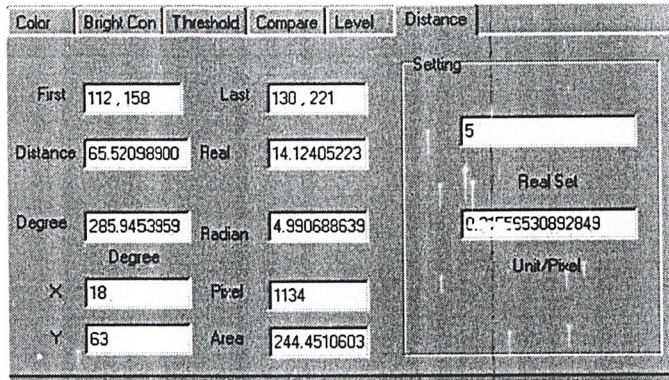
รูปที่ 9.9 แสดงฟอร์ม Threshold

ฟอร์ม Threshold ทำหน้าที่เทรเทรชโฮลภาพ โดยสามารถเลือกตำแหน่งเทรชโฮลได้ จาก 0-255 หรือเทรชโฮลแบบอัตโนมัติ รวมทั้งสามารถกำหนดค่าช่วงของเทรชโฮลได้



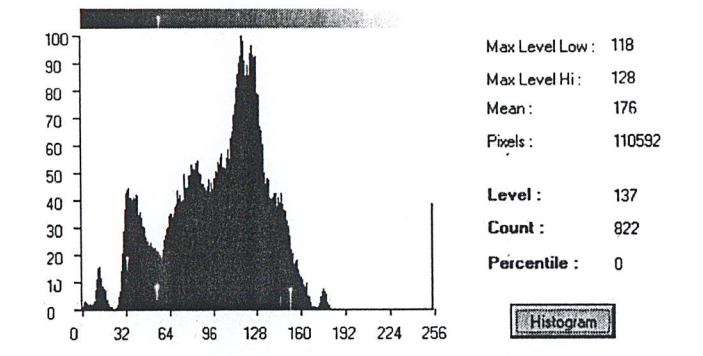
รูปที่ 9.10 แสดงฟอร์ม Compare

ฟอร์ม Compare ทำหน้าที่เปรียบเทียบความแตกต่างภาพ 2 ภาพ โดยใช้หลักการเปรียบเทียบจำนวนจุดสีดำ และจำนวนจุดสีขาว ที่ได้จากการเทรชโฮลภาพ ซึ่งผลการเปรียบเทียบจะแสดงข้อมูลที่ Compare Status



รูปที่ 9.11 แสดงฟอร์ม Distance

ฟอร์ม Distance ทำหน้าที่วัดระยะความกว้างยาวของวัตถุโดยการเปรียบเทียบหน่วยวัดกับจุดภาพที่นับได้ ซึ่งโครงการจะใช้ภาพที่ได้จากการบันทึกภาพจุดลำแสงเลเซอร์กระทบกับวัตถุเป็นระยะอ้างอิง

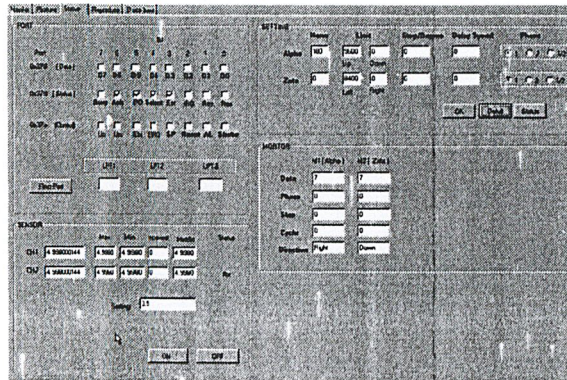


รูปที่ 9.12 แสดงฟอร์ม Histogram

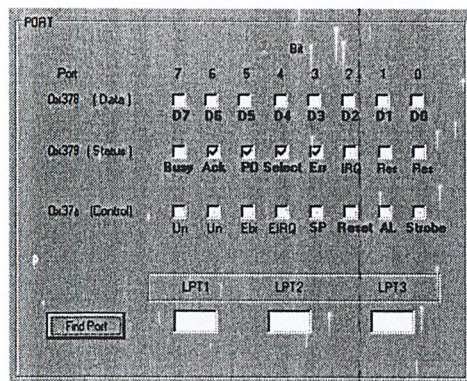
ฟอร์ม Histogram ทำหน้าที่แสดงฮิสโตแกรมของภาพ ที่ได้จากการประมวลผลภาพ

### 9.7.4 ฟอรัม Status

ฟอรัม Status ทำหน้าที่แสดงสถานะของฮาร์ดแวร์ต่างๆ และการกำหนดค่าการทำงานของโปรแกรม

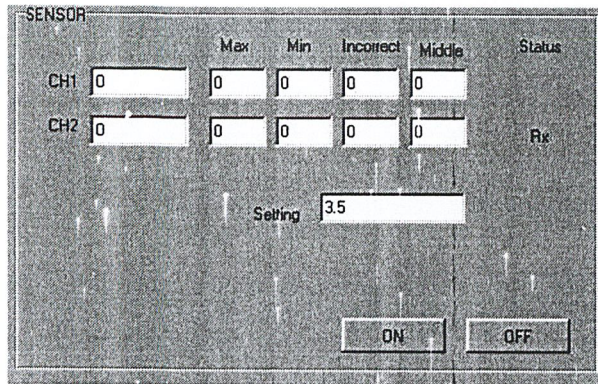


รูปที่ 9.13 แสดงฟอรัม Status



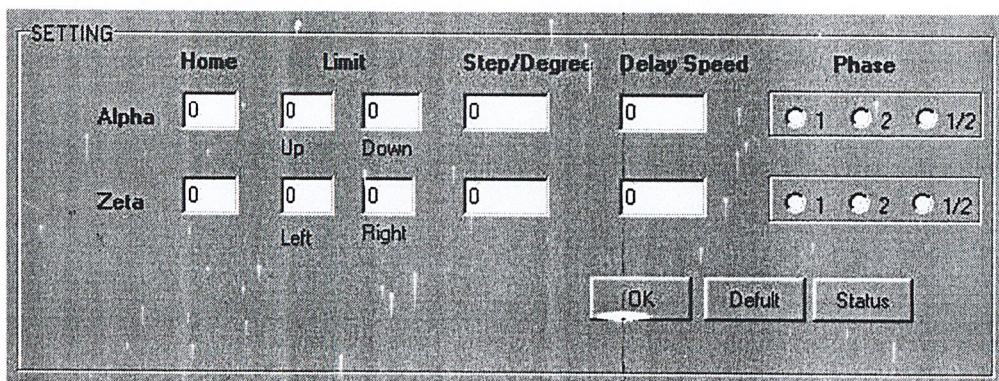
รูปที่ 9.14 แสดงฟอรัมสถานะพอร์ตขนาน

ฟอรัมแสดงสถานะพอร์ตขนาน จะแสดงสถานะบิตของรีจิสเตอร์ต่างๆของพอร์ตขนาน และการค้นหาตำแหน่งของพอร์ตขนานที่ติดตั้งภายในเครื่องคอมพิวเตอร์



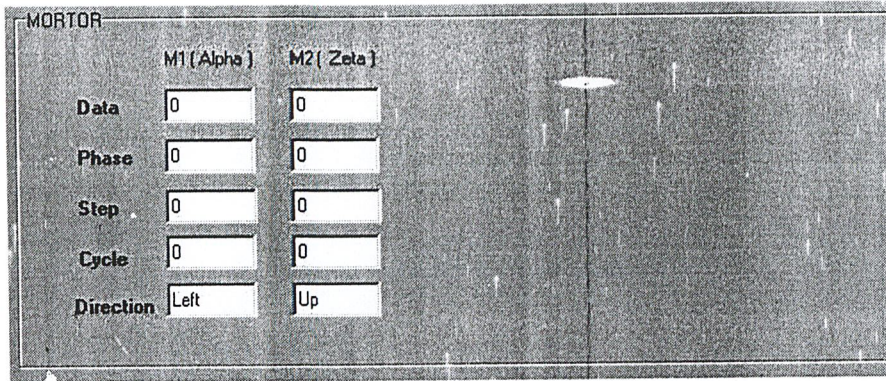
รูปที่ 9.15 แสดงฟอร์มสถานะเซ็นเซอร์

ฟอร์มแสดงสถานะเซ็นเซอร์ ทำหน้าที่แสดงระดับแรงดัน จากวงจร A/D ซึ่งจะแสดงสถานะการเคลื่อนไหวของวัตถุด้วย(CH2) โดยสามารถกำหนดแรงดันในการแสดงสถานะของวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหวได้



รูปที่ 9.16 แสดงฟอร์มกำหนดการทำงานสเต็ปมอเตอร์

ฟอร์มกำหนดการทำงานสเต็ปมอเตอร์ ทำหน้าที่กำหนดการควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ทั้งสองตัว และกำหนดขอบเขตการหมุนของฐานกลิ้ง



รูปที่ 9.17 แสดงฟอร์มสถานะสตีปมอเตอร์

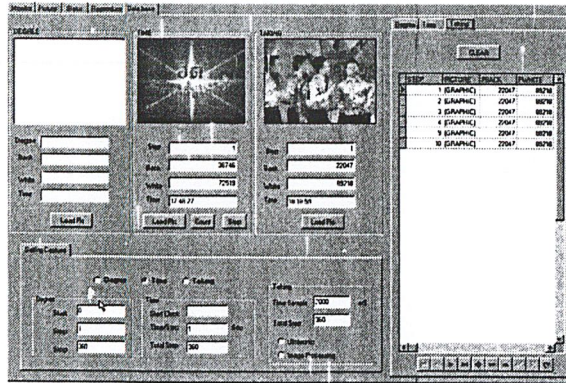
ฟอร์มสถานะสตีปมอเตอร์ ทำหน้าที่แสดงรายละเอียดการหมุนของสตีปมอเตอร์ทั้งสองตัว

### 9.7.5 ฟอร์ม Database

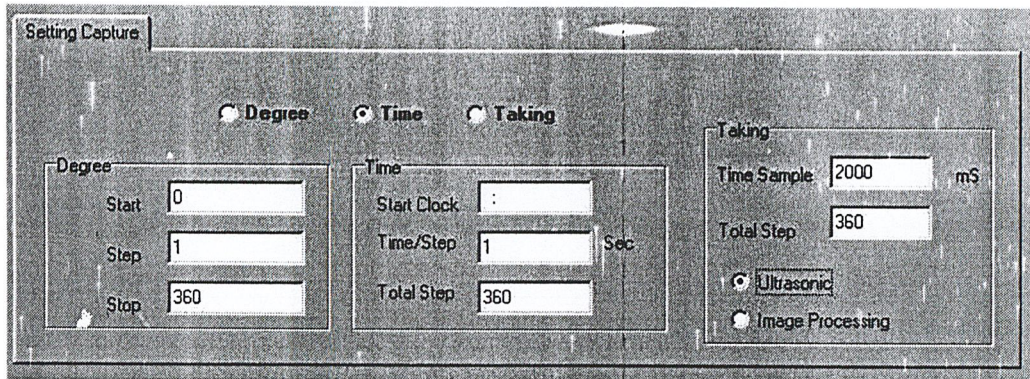
ฟอร์ม Database ทำหน้าที่บันทึกและแก้ไขฐานข้อมูลภาพ โดยสามารถบันทึกภาพจากกล้องหรือจากไฟล์ มาเก็บไว้ในฐานข้อมูลต่างๆ คือ ฐานข้อมูล DEGREE, ฐานข้อมูล TIME และฐานข้อมูล TAKING ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ เมื่อมีการกดปุ่ม AUTO บนฟอร์ม Monitor โดยแต่ละฐานข้อมูลมีรายละเอียดได้ดังนี้

1. ฐานข้อมูล DEGREE ทำหน้าที่บันทึกภาพเมื่อกำลังเคลื่อนที่ในแนวนอน เพื่อบันทึกภาพของสภาพแวดล้อมรอบกล้อง โดยการกำหนดการบันทึกภาพแบบ DEGREE ซึ่งโปรแกรมจะบันทึกภาพเมื่อกำลังได้หมุนไปในมุมที่กำหนด และบันทึกเวลาที่ทำการบันทึกภาพ
2. ฐานข้อมูล TIME ทำหน้าที่บันทึกภาพจากการตั้งเวลา โดยการกำหนดการบันทึกภาพแบบ TIME ซึ่ง โปรแกรมจะบันทึกภาพเมื่อถึงเวลาที่กำหนด และบันทึกเวลาที่ทำการบันทึกภาพ

3. ฐานข้อมูล TAKING ทำหน้าที่บันทึกภาพเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนไหวตัดผ่านกล้อง โดยอ่านค่าสัญญาณจากภาครับของคลื่นอัลตราโซนิก เมื่อมีสัญญาณที่สะท้อนกลับมา ซึ่งหมายถึงวัตถุได้เคลื่อนไหวตัดผ่านกล้อง หรือจากการเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวของวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ จากการนับค่าจุดสีของภาพที่สุ่มจากกล้อง เมื่อมีการเคลื่อนไหวของวัตถุ โปรแกรมก็จะทำการบันทึกภาพนั้นเก็บไว้ในฐานข้อมูล การควบคุมโดยการกำหนดการบันทึกภาพแบบ TAKING ซึ่ง โปรแกรมจะบันทึกภาพเมื่อวัตถุเคลื่อนไหว และบันทึกเวลาที่ทำการบันทึกภาพ



รูปที่ 9.18 แสดงฟอร์ม Database



รูปที่ 9.19 แสดงฟอร์มกำหนดรูปแบบการบันทึกภาพ

## บทที่ 10

### ผลการทดลอง

ในโครงการนี้ได้ทดลองคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ เพื่อจะได้ความละเอียดของอุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมควบคุมและกำหนดการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีความสัมพันธ์กันต่อไป

#### 10.1 การทดลองวัดความละเอียดการหมุนของมอเตอร์

ในการทดลองจะทำการนับจำนวนสเต็ปการหมุนของมอเตอร์แต่ละตัวเพื่อคำนวณค่าสเต็ปการหมุนและอัตราทดรอบของเฟืองที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ โดยใช้โปรแกรมทดสอบ TestDrive.cpp ซึ่งผลของการทดลองมีค่าในตารางที่ 10.1

มอเตอร์	แบบโดยตรง						แบบทดรอบ						อัตรา ทด รอบ
	ความละเอียด step / cycle			สเต็ปการหมุน degree / step			ความละเอียด step / cycle			สเต็ปการหมุน degree / step			
	1	2	1/2	1	2	1/2	1	2	1/2	1	2	1/2	
M1	200	200	400	1.8	1.8	0.9	9600	9600	19200	0.0375	0.0375	0.0187	1/48
M2	200	200	400	1.8	1.8	0.9	8400	8400	16800	0.0428	0.0428	0.0214	1/42

ตารางที่ 10.1 แสดงผลการทดลองวัดความละเอียดการหมุนของมอเตอร์

#### 10.2 การทดลองวัดแรงดันของวงจรแปลง A/D

วงจรแปลง A/D ที่ใช้ในการทดลองมีประโยชน์ในการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าจากเซนเซอร์เพื่อนำไปใช้ในการควบคุม ซึ่งในโครงการนี้ได้นำวงจรแปลง A/D ต่อเข้ากับวงจรตรวจจับการเคลื่อนไหว เพื่อนำค่าแรงดันไปควบคุมการบันทึกภาพของกล้องวีดีโอ ในการทดลองได้วัดแรงดันไฟฟ้าเทียบกับค่าแรงดันมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ แล้วอ่านค่าที่ได้จากการวัดจากวงจร A/D ด้วยโปรแกรมทดสอบ TestiADC.cpp บันทึกค่าลงในตารางที่ 10.2

ค่าแรงดันมาตรฐาน ฐาน V	CH1		CH2	
	ค่าจากการวัด V	ความผิดพลาด %	ค่าจากการวัด V	ความผิดพลาด %
0.1	0.0784	-21.6	0.0784	-21.6
0.2	0.1764	-11.8	0.1764	-11.8
0.3	0.2941	-1.966	0.2745	-8.5
0.4	0.3921	-1.975	0.3921	-1.975
0.5	0.4901	-1.98	0.4901	-1.98
0.6	0.5882	-1.966	0.5882	-1.966
0.7	0.6862	-1.971	0.6862	-1.971
0.8	0.8039	0.487	0.7843	-1.962
0.9	0.9019	0.211	0.9019	0.211
1.0	1.0000	0.000	1.0000	0.000
1.2	1.2156	1.300	1.1960	-0.333
1.4	1.4117	0.835	1.3921	-0.564
1.6	1.6274	1.712	1.6078	0.487
1.8	1.8235	1.305	1.8039	0.216
2.0	2.0196	0.980	2.0196	0.980
2.5	2.5490	1.960	2.5098	0.392
3.0	3.0588	1.960	3.0196	0.653
3.5	3.5686	1.960	3.5494	1.411
4	4.0588	1.470	4.0392	0.980
5	5.0000	0.000	5.0000	0.000

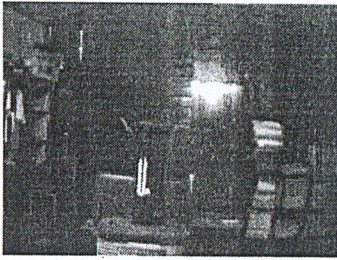
ตารางที่ 10.2 แสดงผลการทดลองการวัดแรงดันของวงจรแปลง A/D

### 10.3 การทดลองวัดประสิทธิภาพการแสดงผลของกล้อง

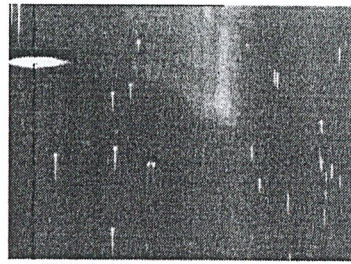
คุณภาพการแสดงผลของกล้อง จะมีผลต่อการประมวลผลภาพในโปรแกรม การทดลองประสิทธิภาพการแสดงผลของกล้องที่ใช้ในโครงการทำให้ทราบข้อจำกัดของกล้อง ในการทดลองได้ใช้กล้องอินฟราเรดที่สามารถมองในที่มืดได้ โดยทำการบันทึกภาพวัตถุในระยะและความสว่างที่แตกต่างกัน ผลการทดลองได้จากการทดลองในเวลากลางคืน ทดสอบระยะห่างของวัตถุที่ 1 เมตร และ 2 เมตร โดยได้ทดลองดังนี้

#### 10.3.1 สภาพห้องสว่างและห้องมืด

##### 1. วัตถุห่าง 1 เมตร



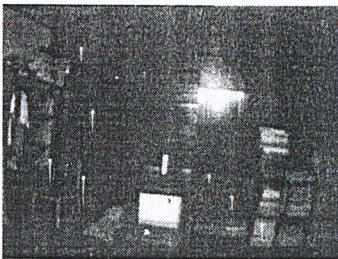
ก. ห้องสว่าง



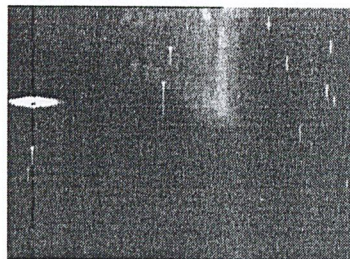
ข. ห้องมืด

รูปที่ 10.1 การแสดงผลของกล้องที่ระยะ 1 เมตร

##### 2. วัตถุห่าง 2 เมตร



ก. ห้องสว่าง

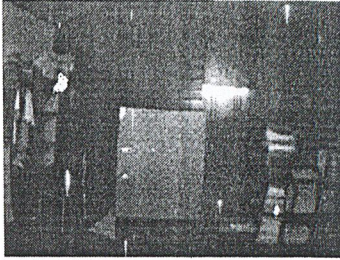


ข. ห้องมืด

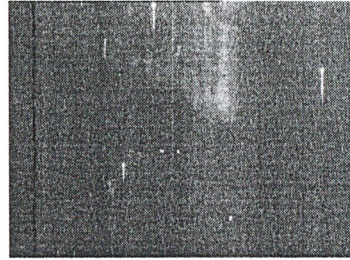
รูปที่ 10.2 การแสดงผลของกล้องที่ระยะ 2 เมตร

### 10.3.2. ใช้แสงเลเซอร์ ในสภาพห้องสว่างและห้องมืด

#### 1. วัดดูห่าง 1 เมตร



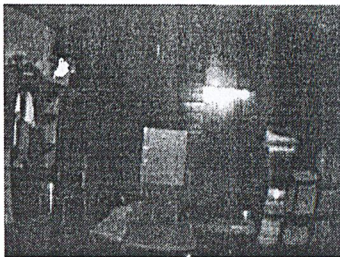
ก. ห้องสว่าง



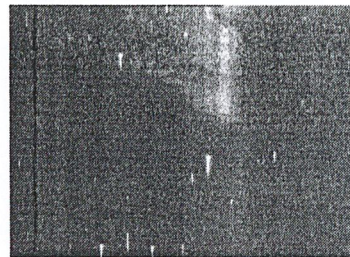
ข. ห้องมืด

รูปที่ 10.3 การแสดงผลของกล้องที่ระยะ 1 เมตร (Laser)

#### 2. วัดดูห่าง 2 เมตร



ก. ห้องสว่าง



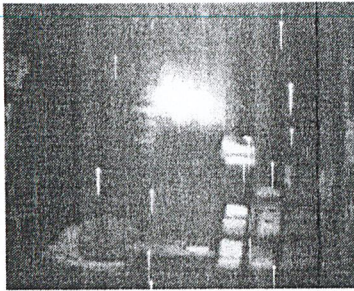
ข. ห้องมืด

รูปที่ 10.4 การแสดงผลของกล้องที่ระยะ 1 เมตร (Laser)

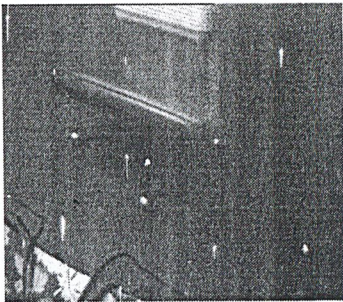
## 10.4 การทดลองแสดงผลจากกล้อง เมื่อมีการควบคุมการหมุนกล้อง

ความสามารถของโครงการ “กล้องสำรวจ” คือสามารถควบคุมการหมุนเพื่อแสดงภาพของกล้องได้ ผลการทดลองเป็นการแสดงภาพที่ได้จากการควบคุมการหมุนในทิศทางต่างๆ

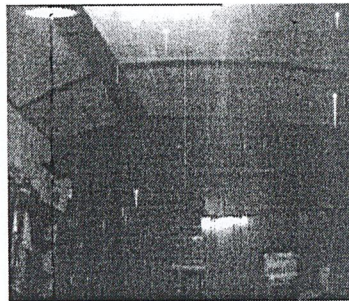
### 10.4.1 การควบคุมการหมุนแนวตั้ง



ก. แนวระดับ



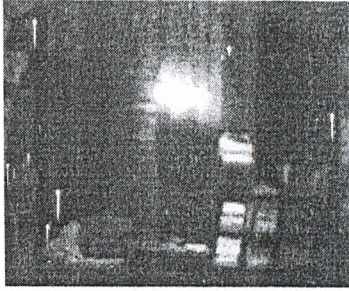
ข. มุมก้ม



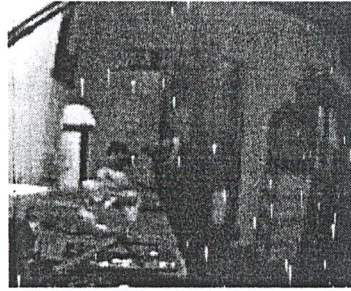
ค. มุมเงย

รูปที่ 10.5 การแสดงผลของกล้องในแนวตั้ง

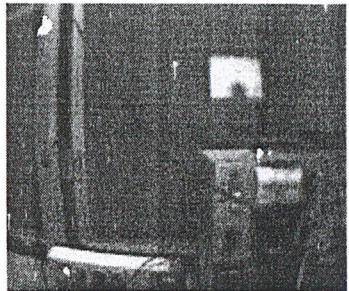
### 10.4.2 การควบคุมการหมุนแนวนอน



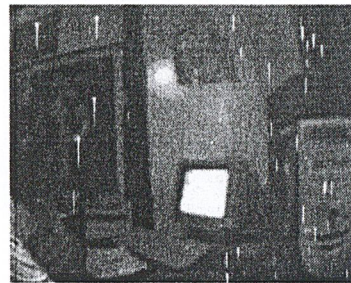
ก. 0 องศา



ข. 90 องศา



ค. 180 องศา

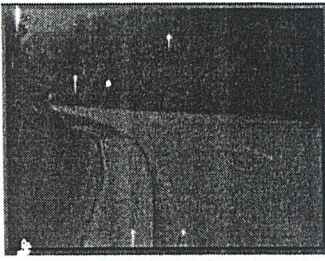


ง. 270 องศา

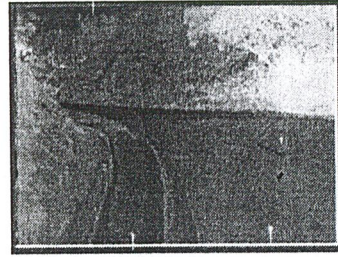
รูปที่ 10.6 การแสดงผลของกล้องในแนวนอน

### 10.5 การทดลองประมวลผลภาพเบื้องต้น

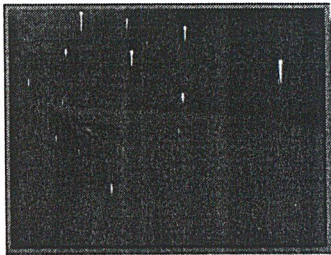
#### 10.5.1 การประมวลผลสีของภาพ



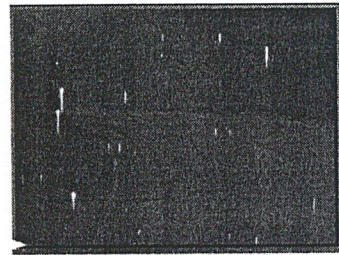
ก. ภาพต้นแบบ



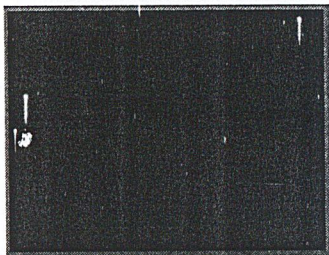
ข. ภาพอินเวอร์ส



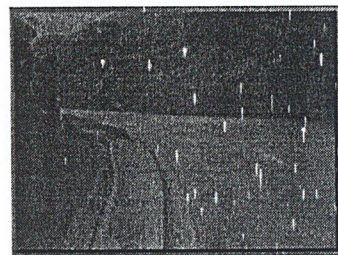
ค. ภาพแม่สีแดง



ง. ภาพแม่สีเขียว



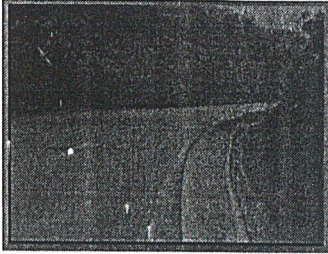
จ. ภาพแม่สีน้ำเงิน



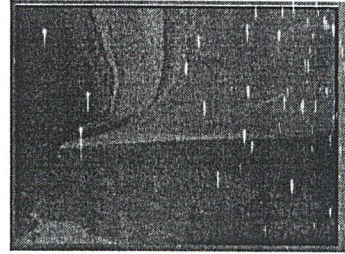
ฉ. ภาพระดับสีเทา

รูปที่ 10.7 แสดงการทดลองประมวลผลสีของภาพ

### 10.5.2 การกลับภาพ



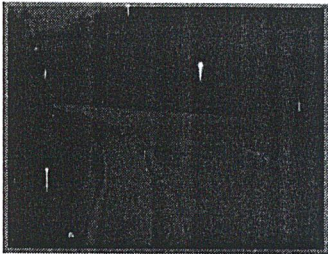
ก. กลับภาพจากขวาไปซ้าย



ข. กลับภาพจากบนลงล่าง

รูปที่ 10.8 แสดงการทดลองกลับภาพ

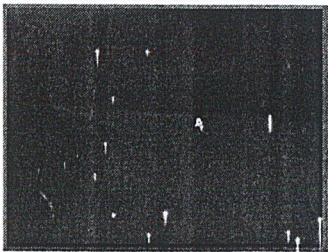
### 10.5.3 การปรับความสว่าง-ความคมชัด



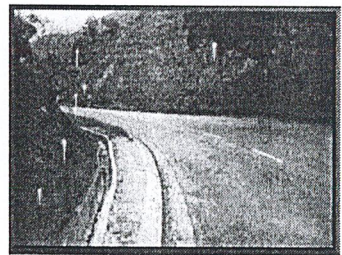
ก. ปรับความสว่างลดลง



ข. ปรับความสว่างเพิ่มขึ้น



ค. ปรับความคมชัดลดลง



ง. ปรับความคมชัดมากขึ้น

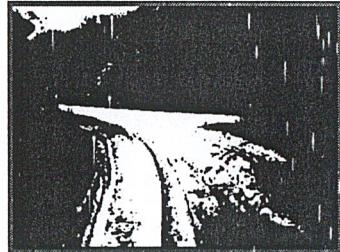
รูปที่ 10.9 แสดงการทดลองปรับความสว่าง-ความคมชัด

### 10.5.4 การเทอร์โซลภาพ

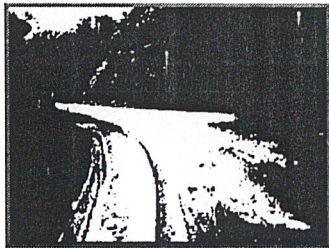
ตำแหน่งอ้างอิงของการประมวลผลเทอร์โซลภาพ ในโปรแกรมสามารถปรับได้ จากค่าระดับสีเทาค่า 0 ถึงค่า 255 ซึ่งการทำงานเริ่มต้นโปรแกรมจะกำหนดระดับไว้ที่ 80 และสามารถแก้ไขระดับได้โดยการปรับระดับ หรือใช้เทอร์โซลแบบอัตโนมัติ



ก. ระดับ 80 (ค่าเริ่มต้น)



ข. ระดับ 128 (ค่ากึ่งกลาง)



ค. ระดับ 123 (ค่าอัตโนมัติ)



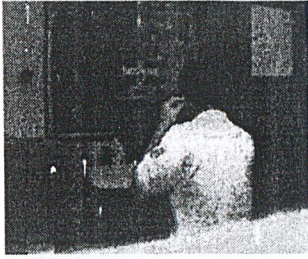
ง. ระดับ 150 (ค่าปรับแต่ง)

รูปที่ 10.10 แสดงการทดลองเทอร์โซลภาพ

## 10.6 การทดลองบันทึกภาพแบบอัตโนมัติ

### 10.6.1 การบันทึกภาพแบบกำหนดมุม

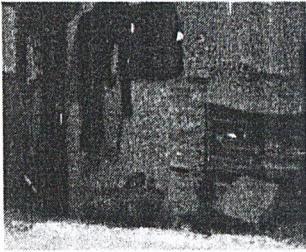
ในการทดลอง กำหนดมุมเริ่มต้นที่ 0 องศา จำนวนสเต็ปการหมุน 10 สเต็ป และ มุมหยุดที่ 180 องศา ผลการทดลอง คือ



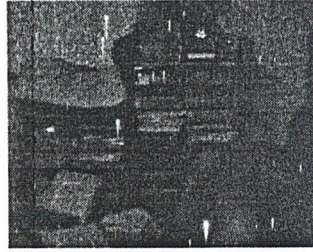
ก. สเต็ปที่ 1, มุม 0 องศา



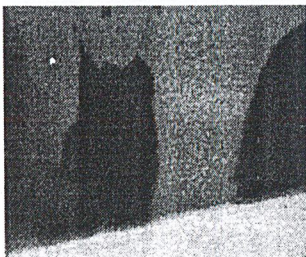
ข. สเต็ปที่ 2, มุม 18 องศา



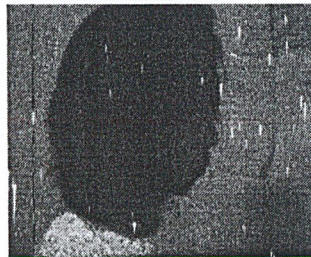
ค. สเต็ปที่ 3, มุม 36 องศา



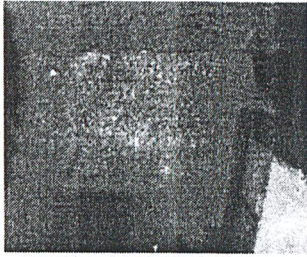
ง. สเต็ปที่ 4, มุม 54 องศา



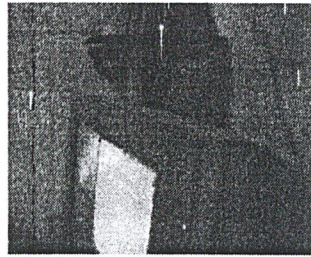
จ. สเต็ปที่ 5, มุม 90 องศา



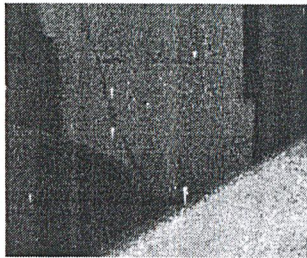
ฉ. สเต็ปที่ 6, มุม 108 องศา



ช. สเต็ปที่ 7, มุม 126 องศา



ซ. สเต็ปที่ 8, มุม 144 องศา



ฅ. สเต็ปที่ 9, มุม 162 องศา

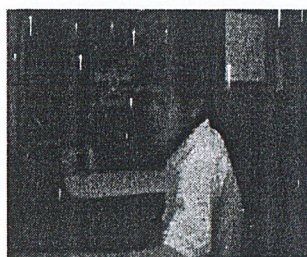


ญ. สเต็ปที่ 8, มุม 180 องศา

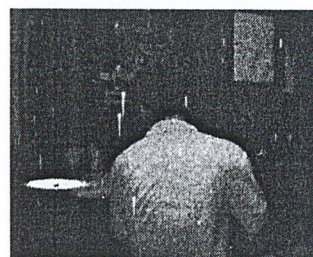
รูปที่ 10.11 แสดงการทดลองบันทึกภาพแบบกำหนดมุม

#### 10.6.2 การบันทึกภาพแบบกำหนดเวลา

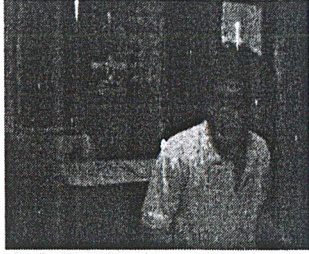
ในการทดลอง กำหนดเวลาเริ่มต้นที่ 23.00 นาฬิกา จำนวนเวลาต่อสเต็ปเท่ากับ 1 นาที จำนวนทั้งหมด 8 สเต็ป ผลการทดลอง คือ



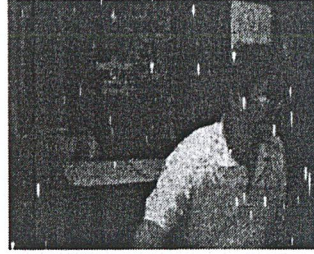
ก. สเต็ปที่ 1, เวลา 23.00 น.



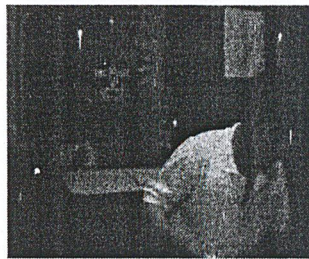
ข. สเต็ปที่ 2, เวลา 23.01 น.



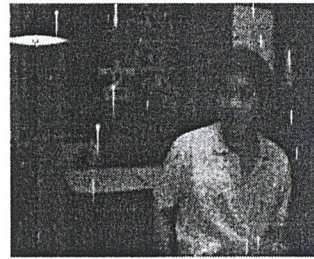
ค. สแต๊ปที่ 3, เวลา 23.02 น.



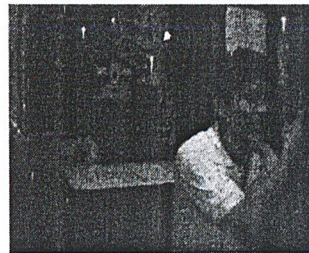
ง. สแต๊ปที่ 4, เวลา 23.03 น.



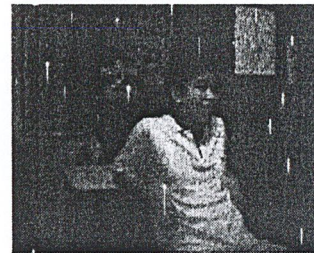
จ. สแต๊ปที่ 5, เวลา 23.04 น.



ฉ. สแต๊ปที่ 6, เวลา 23.05 น.



ช. สแต๊ปที่ 7, เวลา 23.06 น.

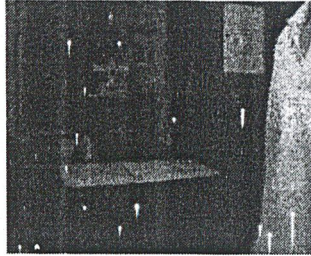


ซ. สแต๊ปที่ 8, เวลา 23.07 น.

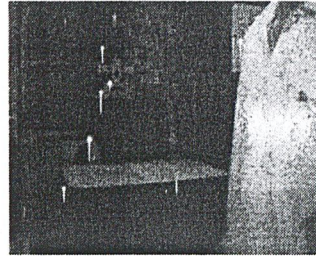
รูปที่ 10.12 แสดงการทดลองบันทึกภาพแบบกำหนดเวลา

### 10.6.3 การบันทึกภาพแบบตรวจจับการเคลื่อนไหว

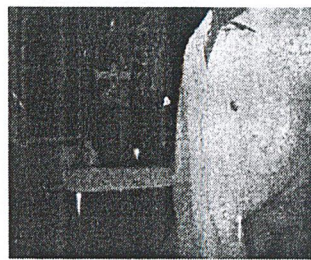
#### 10.6.3.1 หลักการสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิก



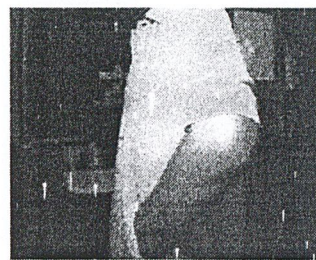
ก. สเต็ปที่ 1



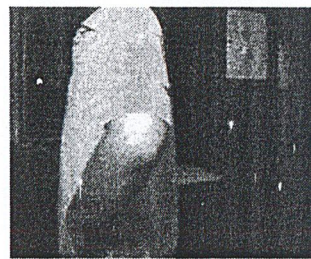
ข. สเต็ปที่ 2



ค. สเต็ปที่ 3



ง. สเต็ปที่ 4



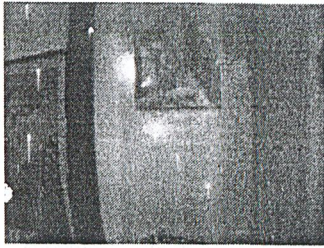
จ. สเต็ปที่ 5



ฉ. สเต็ปที่ 6

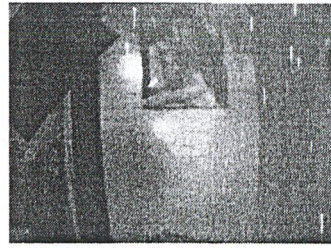
รูปที่ 10.13 แสดงการทดลองบันทึกภาพ ใช้หลักการสะท้อนคลื่นอัลตราโซนิก

### 10.6.3.2 หลักการประมวลผลภาพ



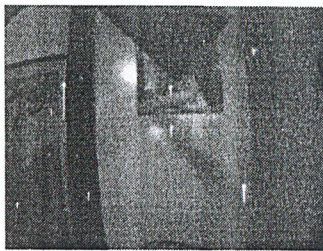
B = 15,586 W = 57,343

ก. ภาพต้นแบบ



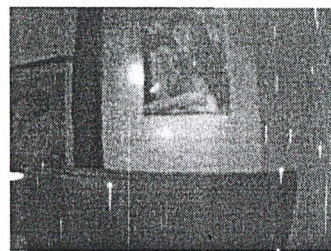
B = 20,239 W = 52,690 S = Move

ข. ภาพบันทึก 1



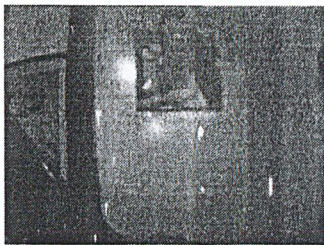
B = 17,041 W = 55,888 S = Move

ค. ภาพบันทึก 2



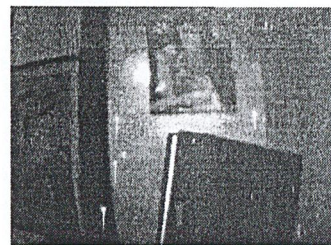
B = 23,097 W = 49,832 S = Move

ง. ภาพบันทึก 3



B = 16,565 W = 56,364 S = Move

จ. ภาพบันทึก 4



B = 24,472 W = 48,457 S = Move

ฉ. ภาพบันทึก 5

รูปที่ 10.14 แสดงการทดลองบันทึกภาพ ใช้หลักการประมวลผลภาพ

จากรูปที่ 10.14 ค่าของ “B” คือจำนวนจุดภาพสีค่าที่ผ่านกระบวนการเทรซโฮลภาพ ค่าของ “W” คือ จำนวนจุดภาพสีขาวที่ผ่านกระบวนการ เทรซโฮลภาพเช่นกัน และ “S” คือ สถานะของวัตถุในภาพบันทึก โดยเทียบจำนวนจุดภาพสีค่าของภาพที่ตรวจสอบกับภาพต้นแบบ

## 10.7 การทดลองวัดระยะของวัตถุ

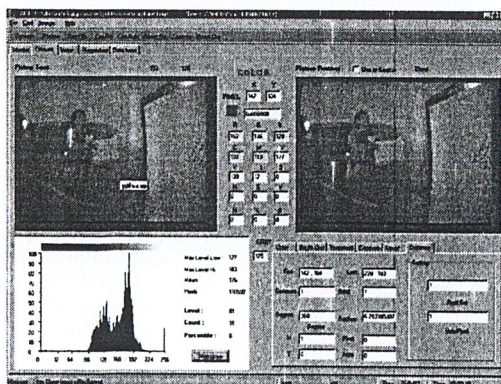
### ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดการแสดงภาพจากกล้อง โดยกดปุ่ม Connect ที่ฟอร์มหลัก ซึ่งจะปรากฏภาพที่ฟอร์ม Monitor
2. บังคับทิศทางของกล้อง ให้แสดงภาพของวัตถุได้ชัดเจน
3. กดปุ่ม On ที่ฟอร์ม Monitor เพื่อเปิดการทำงานของชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์ ซึ่งจะ ได้ภาพที่ Monitor ดังรูปที่ 10.15



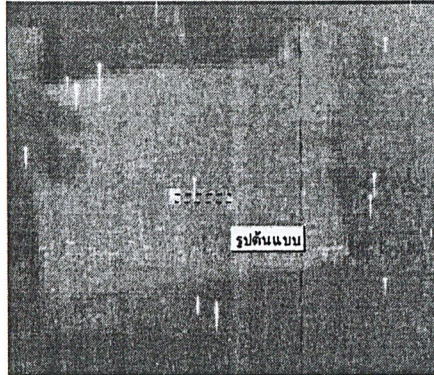
รูปที่ 10.15 แสดงจุดกระทบของลำแสงเลเซอร์บนวัตถุ

4. กดปุ่ม PROCESS เพื่อทำการบันทึกภาพไปประมวลผลภาพ
5. กดฟอร์มไปที่ Picture ซึ่งจะ ได้ภาพจากการบันทึกมาแสดง และพร้อมสำหรับการประมวลผลภาพ ดังรูปที่ 10.16



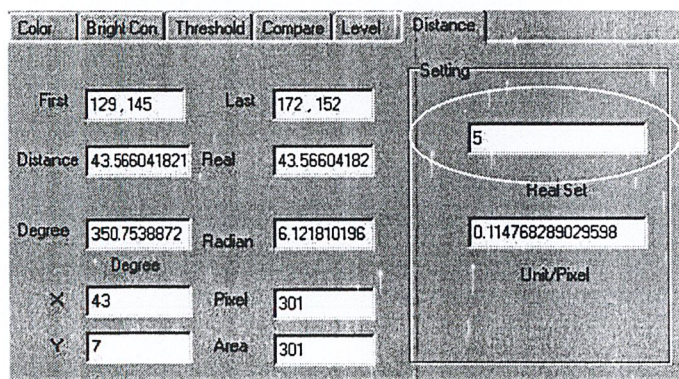
รูปที่ 10.16 แสดงการประมวลผลภาพจากกล้อง

6. ลากเมาส์จากจุดบนสุดของขอบเขตวัตถุ จนถึงล่างสุดของขอบเขตวัตถุที่สนใจ
7. กดปุ่ม Zoom In เพื่อทำการขยายภาพขอบเขตให้เด่นชัดขึ้น ดังรูปที่ 10.17



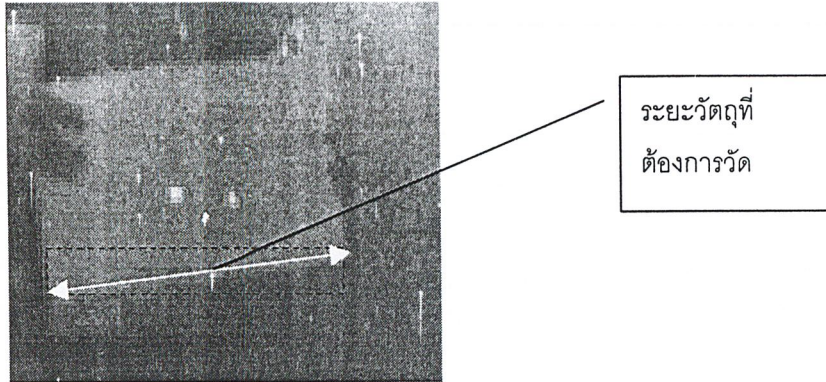
รูปที่ 10.17 แสดงภาพขยายของขอบเขตวัตถุ

8. ลากเมาส์จากจุดศูนย์กลางจุดกระทบลำแสงเลเซอร์จุดที่หนึ่ง ไปยังจุดศูนย์กลางของจุดกระทบลำแสงเลเซอร์จุดที่สอง ซึ่งจะได้ข้อมูลที่ ฟอรัม Distance ดังรูปที่ 10.18



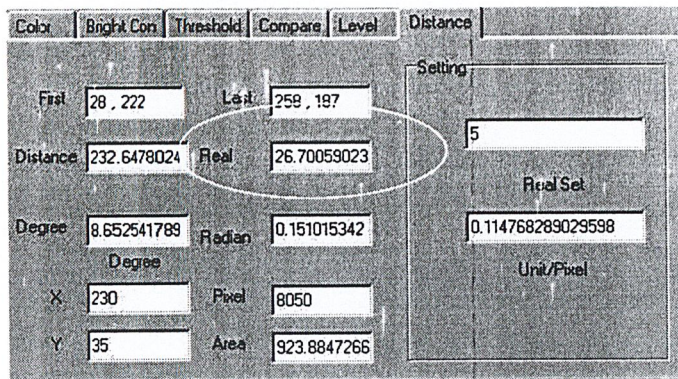
รูปที่ 10.18 แสดงข้อมูลระยะของภาพ

9. ป้อนค่าตัวเลข 5 ในช่อง Real Set ซึ่งเป็นการกำหนดระยะห่างของลำแสงเลเซอร์ ซึ่งโครงการนี้ได้ติดตั้งห่างกัน 5 เซนติเมตร เมื่อป้อนค่าแล้ว ค่าของ Unit/Pixel จะเปลี่ยนไป เป็นอัตราส่วนของค่า Real Set กับ Distance
10. ลากเมาส์ไปวัดระยะอื่นๆของวัตถุที่สนใจ ซึ่งในการทดลองเป็นการวัดความยาวของกระดาษ ดังรูปที่ 10.19



รูปที่ 10.19 แสดงการวัดระยะของวัตถุ

11. อ่านค่าระยะของวัตถุจริงจากช่อง Real ในรูปที่ 10.20 ซึ่งจะได้ความยาวของกระดาษ 26.70059023 ซึ่งมีหน่วยเดียวกับที่ค่าที่ป้อนใน Real Set คือ 26.70059023 เช่นติเมตร



รูปที่ 10.20 แสดงผลการวัดระยะของวัตถุ

## บทที่ 11

### สรุปและวิจารณ์

โครงสร้างส่วนฮาร์ดแวร์ได้ใช้สเต็ปมอเตอร์เป็นส่วนส่งกำลังทางกล เพื่อแก้ปัญหาการถ่วงของโพลคิโบแนวคิง(ส่วนแพลนกลิ้งขึ้นบนและลงล่าง)จากแรงโน้มถ่วงโลก ในโครงการเลือกใช้เฟืองตัวหนอนเป็นตัวแก้ปัญหา

จากการทดลองการหมุนของมอเตอร์ในส่วนต่างๆ ค่าที่ได้จากตารางการทดลองที่ 10.1 ซึ่งได้ใช้เฟืองหนอนอัตราทดรอบ 1 ต่อ 48 ในส่วนของฐานหมุน และใช้เฟืองหนอนอัตราทดรอบ 1 ต่อ 42 ในส่วนของฐานแพลนกลิ้งขึ้นบนและลงล่าง ซึ่งจากการทดลองปรากฏว่ามีความละเอียดของการหมุนสูงสุด (ควบคุมแบบครึ่งเฟส) ในส่วนของฐานหมุน ถึง 19,200 ตำแหน่งต่อรอบหรือมีสเต็ปการหมุน 0.01875 องศาต่อสเต็ป ส่วนของฐานแพลนกลิ้งขึ้นบนและลงล่างมีความละเอียดของการหมุนสูงสุด 8,400 ตำแหน่งต่อรอบหรือมีสเต็ปการหมุน 0.0214 องศาต่อสเต็ป

การกำหนดสเต็ปการหมุนต่อ 1 องศา ที่ความละเอียด 9,600 สเต็ปต่อรอบ จำนวนได้จำนวนสเต็ปต่อองศาเท่ากับ 26.666666 แต่ในการควบคุมต้องป้อนจำนวนสเต็ปให้แก่สเต็ปมอเตอร์เป็นจำนวนเต็มเท่านั้น กล่าวคือจำนวนสเต็ปเท่ากับ 26 ต่อการหมุน 1 องศาเท่านั้น ดังนั้นจึงเกิดค่าคลาดเคลื่อนของสเต็ปจำนวน 240 สเต็ปต่อการหมุนหนึ่งรอบ หรือผิดพลาดเพียง 9 องศาต่อการหมุนหนึ่งรอบ

ในส่วนของวงจรแปลง A/D เนื่องจากเลือกใช้ไอซี ADC0832 ถอดรหัสขนาด 8 บิต รับสัญญาณเข้ามาได้ 2 ช่องสัญญาณ และทำการส่งข้อมูลดิจิทัลแบบอนุกรม ในการตรวจจับแรงดันช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ มีระดับการตรวจจับ 255 ระดับ ( $2^8-1$ ) มีความละเอียดการตรวจจับ 0.01960 โวลต์ต่อระดับ ซึ่งในการทดลองเทียบค่าที่ได้กับโวลต์มิเตอร์ดิจิทัลมาตรฐานมีค่าผิดพลาดส่วนใหญ่เพียงร้อยละ 2 เท่านั้น ซึ่งจากตารางการทดลองที่ 10.2 จะสังเกตได้ว่า ในช่วงแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 0.4 โวลต์ จะมีความผิดพลาดในการวัดสูง และระดับแรงดันที่ต่ำกว่า 1 โวลต์ ค่าผิดพลาดจะมีค่าเป็นลบ กล่าวคือวัดแรงดันได้น้อยกว่าแรงดันมาตรฐาน

การทดลองวัดประสิทธิภาพการแสดงผลของกล้อง ซึ่งทำการทดลองในเวลากลางวันเนื่องจากต้องการทดลองความสามารถของกล้องอินฟราเรดซึ่งพื้นที่ของห้องทดลองต้องมีจริงๆ ผลการทดลองปรากฏว่า การแสดงผลของกล้องที่ระยะไกลเกินกว่า 2 เมตร ได้ภาพที่ไม่คมชัด จำเป็นต้องปรับโฟกัสของกล้องใหม่ทุกครั้ง ส่วนในการแสดงผลในห้องที่มีตุนิท การแสดงผลของกล้องแสดงภาพได้ชัดเจนในระยะที่ไม่เกิน 1 เมตร

การทดลองแสดงผลภาพ ที่ใช้ลำแสงเลเซอร์เป็นจุดอ้างอิง ผลปรากฏว่า กล้องสามารถแสดงผลได้ชัดเจนในระยะที่ไม่เกินหนึ่งเมตร ซึ่งการแสดงผลจะขึ้นอยู่กับวัตถุที่นำมาทดลองด้วย ซึ่งหากวัตถุสีทึบ จะทำให้แสดงผลดีขึ้นเนื่องจากจุดแสงเลเซอร์จะมีลักษณะสว่างเด่นชัดขึ้น

ในส่วนการทดลองควบคุมการหมุนของกล้อง ปรากฏว่าสามารถควบคุมการหมุนได้เป็นอย่างดี โดยมีพิสัยการหมุนในแนวตั้ง ตั้งแต่มุม  $-20$  องศาถึงมุม  $20$  องศา และในทางแนวนอนมีพิสัยการหมุน ตั้งแต่  $0$  องศา จนถึง  $360$  องศา

การวัดความกว้างยาวของวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ ที่ได้จากการบันทึกภาพลำแสงเลเซอร์กระทบวัตถุ ความแน่นอนในการวัดจะขึ้นอยู่กับการอ่านค่าจำนวนจุดภาพ ความคมชัดของจุดลำแสงเลเซอร์ และการติดตั้งชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์ให้ขนานกัน ซึ่งในการทดลองพบว่าลำแสงเลเซอร์มีการเอียงและขยายจุดแสงขึ้น เมื่อระยะทางไกลขึ้น เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์เอียงไปจากระดับและพื้นระนาบไม่เรียบพอ

### ปัญหาและแนวทางการพัฒนา

ในส่วนของกลไกก็เจอปัญหาการสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่ของมอเตอร์แต่ละตัว การเคลื่อนที่ของกลไกต่างๆ มีความละเอียดของการหมุนแต่มีความเร็วในการเคลื่อนที่ช้า การพันของสายเมื่อมีการหมุนเกินหนึ่งรอบ ในส่วนของวงจรอินเตอร์เฟสใช้พอร์ทขนานซึ่งมีระยะควบคุมที่ไม่ไถลนัก วงจรขับมอเตอร์ก็ใช้แผ่นปริ้นซ์แบบเอนกประสงค์ ซึ่งเป็นการต่อวงจรที่ไม่ดีนัก เนื่องจากต้องเดินสายไฟเส้นเล็กๆ แทนลายวงจรอาจมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน ค่าประจุแฝงในสายประสงค์ ปัญหาในการไล่เดินสายไฟฟ้า ในส่วนการเขียนโปรแกรม อ่านค่าจากวงจรแปลง A/D ได้ค่าที่ไม่เที่ยงตรงมากนัก และมีลักษณะที่ให้ค่าที่เคลื่อนไหวตลอดเวลา ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาและการพัฒนา สามารถกล่าวได้คือ

-การตรวจจับโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกจะมีความผิดพลาดสูง หากอยู่ในพื้นที่แบบปิดเพราะจะเกิดการสะท้อนคลื่นกลับไปกลับมาทั่วทั้งห้อง ทำให้การตรวจจับผิดพลาดได้

-การสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และส่วนของฐานกล้องในระยะไกล ควรใช้ระบบการสื่อสารแบบอื่น เช่นการสื่อสารแบบอนุกรมหรือการสื่อสารแบบไร้สายรวมทั้งการสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

-ส่วนของกลไกเนื่องจากใช้เฟืองที่มีอัตราทดรอบสูง หากต้องการความเร็วในการเคลื่อนที่มากกว่านี้ควรใช้เฟืองที่มีการทดรอบที่เหมาะสมกับการใช้งาน

-วงจรแปลง A/D ควรเลือกใช้ที่มีคุณภาพสูง เช่นมีสัญญาณด้วยจำนวนบิตมากกว่า 8 บิต

-ส่วนของกล้อง CCD เนื่องจากไม่สามารถปรับระยะโฟกัสของวัตถุแบบอัตโนมัติได้ ซึ่งในระยะที่ไกลเกิน 3 เมตร จะได้ภาพที่ไม่คมชัดในการใช้งานที่มีความต้องการรายละเอียดของการ

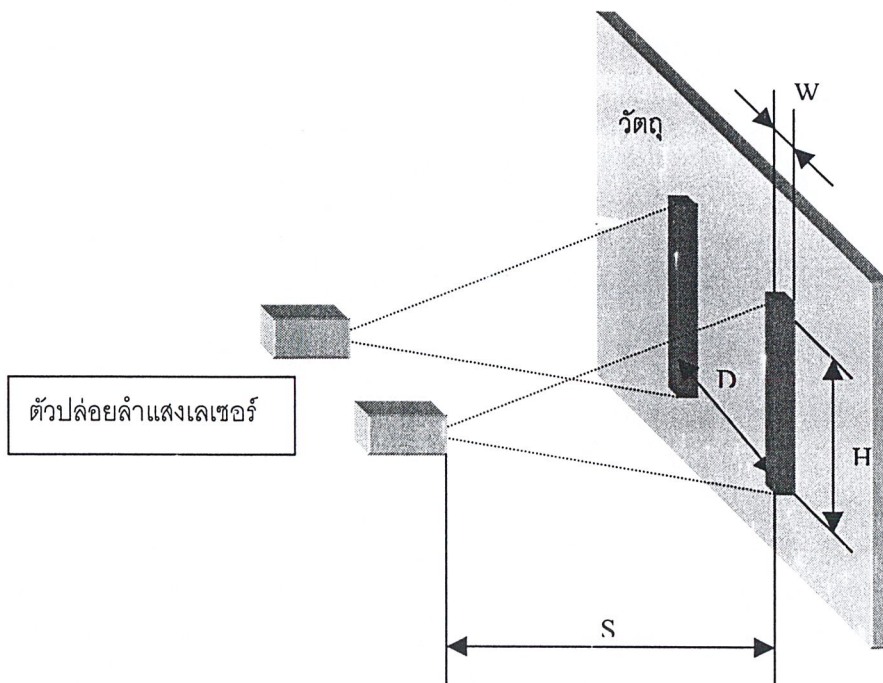
วัดสูง ควรใช้กล้องที่มีการปรับ โฟกัสที่มีการควบคุมได้ และใช้กล้องที่แสดงผลแบบสีซึ่งจะแสดงรายละเอียดของภาพได้ดีกว่ากล้องแบบ ขาว-ดำ

-การแสดงผลภาพจากกล้อง CCD ในที่มีดี แม้ตัวกล้องจะสามารถรับภาพได้โดยใช้ระบบแสงอินฟราเรด แต่ไม่สามารถแสดงผลภาพที่คมชัดที่ไกลเกินกว่า 1 เมตรได้ การแก้ปัญหาโดยการมีแหล่งส่องสว่างชนิดอื่นทดแทน หรือเพิ่มชุดปล่อยลำแสงอินฟราเรดมากขึ้น

-ในการควบคุมวงจรต่างๆใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด ซึ่งจะไม่สามารถทำงานอย่างอื่นได้หากคำสั่งเดิมยังทำงานไม่สำเร็จ จึงควรใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกลางในการควบคุมวงจรต่างๆแทน

-ในส่วนของโปรแกรมที่ทำงานแบบมัลติทาสกิ้ง การเลือกใช้คอมไพเลอร์ “Timer” ของ BCB ซึ่งมีความละเอียดของการนับเวลาสูงสุดที่ 1 mSec หรือสามารถกำเนิดความถี่ได้เพียง 1 KHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ต่ำมากในการส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งแก้ไขโดยการเขียนโปรแกรมติดต่ออุปกรณ์ภายนอกโดยตรง โดยใช้ภาษาแอสเซมบลี หรือใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมแทน

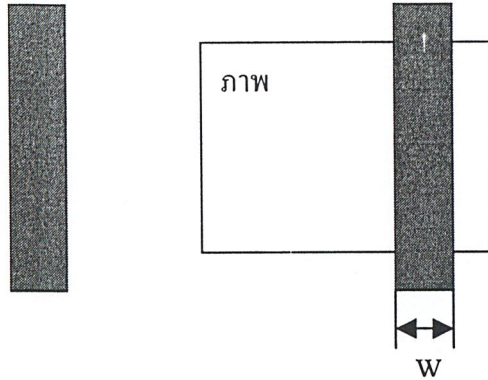
-การพัฒนาชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์แบบจุดไปเป็นการใช้แบบเส้น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11.1



รูปที่ 11.1 แสดงชุดปล่อยลำแสงเลเซอร์ขนานแบบเส้น

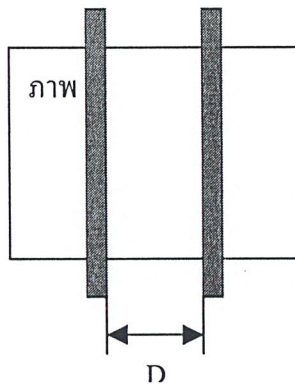
จากรูปที่ 11.1 ภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ จะมีภาพลำแสงเลเซอร์ (สีแดง) อยู่ด้วย เมื่อระยะทางจากวัตถุกับระยะทางของตัวปล่อยลำแสงเลเซอร์มีระยะต่างกัน ภาพที่ได้ก็ต่างกันด้วย กล่าวคือ

1. ระยะใกล้ ภาพที่ได้จะระยะทางในแนว W จะวัดได้ เพราะในแนว D และ H จะห่างออกไปเกินฉากรับภาพ



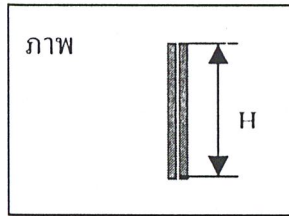
รูปที่ 11.2 แสดง การวัดระยะทางด้วยลำแสงเลเซอร์แบบเส้น ในระยะใกล้

2. ระยะปานกลาง ระยะ W จะมีขนาดเล็กมากจนวัดเทียบอัตราส่วนไม่ได้ แต่วัดขนาดระยะ D ได้



รูปที่ 11.3 แสดง การวัดระยะทางด้วยลำแสงเลเซอร์แบบเส้น ในระยะปานกลาง

3. ระยะไกล ระยะ W และระยะ D จะมีขนาดเล็กมาก แต่วัดขนาดระยะ H ได้



รูปที่ 11.4 แสดง การวัดระยะทางด้วยลำแสงเลเซอร์แบบเส้น ในระยะไกล

ซึ่งในการประมวลผลภาพ จะใช้ระยะต่างๆของเส้นเลเซอร์ ในการอ้างอิงเทียบอัตราส่วน ความยาวจริงและอัตราขยายของลำแสงเลเซอร์ ในการวัดความกว้างยาว จุดอื่นๆของวัตถุ โดยใช้หลักการเดียวกับการวัดระยะทางด้วยลำแสงเลเซอร์แบบจุดซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไปแล้วในบทที่ 4 และ บทที่ 8 ของปริญญาณิพนธ์เล่มนี้

-แนวทางการพัฒนาการวัดระยะจากวัตถุถึงกล้องด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เนื่องจากโครงการงานนี้ไม่สามารถวัดระยะห่างของวัตถุถึงตัวกล้องได้ แต่อย่างไรก็ตามสามารถที่จะพัฒนาเป็นวงจรตรวจจับระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้หลักการสะท้อนของคลื่นและเวลาที่สูญเสียไป โดยทำการนับเวลาตั้งแต่ทำการส่งคลื่นอัลตราโซนิก และเมื่อคลื่นชนกับวัตถุจะเกิดการสะท้อนคลื่นบางส่วนเข้ามาสู่ทรานสดิวเซอร์ตัวรับ คาบเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มส่งคลื่นจนรับคลื่น สามารถคำนวณหาระยะทางของวัตถุถึงตัวกล้อง โดยระยะทาง S ของวัตถุสามารถหาได้จากสมการ

$$V = 331.45 + 0.607t \quad (\text{m/s})$$

เมื่อ  $v$  = ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ (m/s)

$t$  = อุณหภูมิของคลื่นในอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )

เมื่ออุณหภูมิห้อง ประมาณ  $27^{\circ}\text{C}$  ดังนั้น

$$V = 331.45 + 16.389 \quad (\text{m/s})$$

$$V = 347.839 \quad (\text{m/s})$$

และ 
$$S = \frac{V * T}{2} \quad (m)$$

เมื่อ  $T =$  คาบเวลาดั้งแต่ส่งคลื่นจนกระทั่งรับคลื่นได้ ซึ่งจะเป็นสองเท่าของเวลาที่คลื่นกระทบวัตถุ  
 $S =$  ระยะทางจากตัวส่งคลื่นถึงวัตถุ

ซึ่งจะได้

$$S = 347.839T / 2 \quad (m)$$

$$S = 173.9195T \quad (m)$$

จากสูตรหาความละเอียดสูงสุดในการวัดคือ 1 เซนติเมตร (0.01m) ต้องใช้เวลา 57.497 us ซึ่งจำเป็นต้องสร้างวงจรนับเวลาที่นับได้ละเอียดเป็นหน่วยไมโครวินาที หรือหากใช้วงจรนับเวลาที่มีฐานเวลาอ้างอิงมาทำการนับ โดยมีหน่วยแสดงผลเป็นหน่วยวินาที แต่ต้องการแสดงออกเป็นระยะทางหน่วยเป็นเมตร ก็ต้องสร้างฐานเวลาอ้างอิงที่มีความถี่ 17.39195 KHz เข้าสู่วงจรนับเวลา เช่นใช้ไอซีเบอร์ IC M7224 ความละเอียดของการวัดจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ป้อนเข้าสู่วงจรนับความถี่ เมื่อ  $T = 1/F$  จะได้ระยะทางสั้นที่สุดที่ตรวจพบได้คือ

$$S = \frac{173.9195}{F}$$

ระยะไกลที่สุดคือ

$$S = \frac{173.9195 \times \text{Step}}{F}$$

เมื่อ step คือ ระดับการนับทั้งหมด คือ  $2^{\text{bit}}$

bit คือ ขนาดบิตของวงจรนับเวลา เช่น หากวงจรนับมีขนาด 16 บิต

ก็นับได้  $2^{16} = 65536$  ระดับ

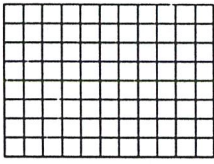
ค่าความถี่ที่ใช้ในการเป็นฐานเวลาอ้างอิงให้กับวงจรมัลติเพลกซ์เวลา เพื่อทำการนับเวลาสูญเสียไปของการส่งคลื่นอัลตราโซนิกสามารถดูรายละเอียดได้ในตารางที่ 11.1

ความละเอียดการวัด	ความถี่ที่ใช้
10 um	17.3919 MHz
0.1mm	1.73919 MHz
1 mm	173.919 KHz
5 mm	34.783 KHz
1cm	17.3919 KHz
5 cm	3.47839 KHz
10 cm	1.73919 KHz
30 cm	579.371 Hz
100 cm	173.919 Hz

ตารางที่ 11.1 แสดงความละเอียดการวัดและความถี่ที่ใช้วัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

อย่างไรก็ตามในการส่งคลื่นออกไปซ้ำๆกันเรื่อยๆ และความถี่ของการส่งคลื่นออกไปนั้นจะต้องพิจารณาว่าพัลส์ที่จะส่งลูกต่อไปนั้นจะต้องไม่ส่งออกไปก่อนได้รับสัญญาณสะท้อนจากวัตถุที่อยู่ไกลที่สุด เนื่องจากจะเกิดการรับสัญญาณสะท้อนของการส่งคลื่นที่ซ้ำซ้อนได้ ดังนั้นความถี่ของการส่งพัลส์จะขึ้นอยู่กับระยะไกลสุดของเป้าหมายที่ต้องการด้วย

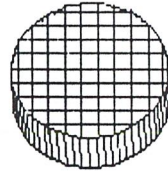
- เขียนโปรแกรมกรองสัญญาณเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนในรูปแบบ
- เขียนโปรแกรมให้สามารถจดจำและแยกแยะวัตถุได้
- พัฒนาให้สามารถสร้างและแสดงแผนที่ของพื้นที่รอบๆบริเวณได้
- การพัฒนาให้สามารถแสดงพื้นผิวของวัตถุแบบ 3 มิติได้ โดยใช้หลักการปล่อยลำแสงแบบรูปตาราง ซึ่งเมื่อแสงกระทบวัตถุที่มีพื้นผิวไม่เรียบจะเกิดการกระเจิงของแสงตามลักษณะของวัตถุ ซึ่งสามารถนำภาพที่ได้ไปผ่านกระบวนการทำเส้นบาง เพื่อแสดงเวกเตอร์ตั้งฉาก(Normal Vector), แสดงรูปวัตถุในลักษณะ Wirefram และคำนวณระยะของวัตถุต่อไปได้ ดังรูปที่ 11.5



ก.ลำแสงรูปตาราง



ข.วัตถุ



ค.ภาพที่บันทึกได้

รูปที่ 11.5 แสดงหลักการสร้างพื้นผิว 3 มิติ จากลำแสงรูปตาราง

## ภาคผนวก ก.

### ข้อมูลอุปกรณ์

#### ข้อมูลอุปกรณ์

1. ไอซี ADC0832 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล
2. ไอซี L298 ทำหน้าที่ขับสเต็ปมอเตอร์

## ADC0831/ADC0832/ADC0834 and ADC0838 8-Bit Serial I/O A/D Converters with Multiplexer Options

### General Description

The ADC0831 series are 8-bit successive approximation A/D converters with a serial I/O and configurable input multiplexers with up to 8 channels. The serial I/O is configured to comply with the NSC MICROWIRE™ serial data exchange standard for easy interface to the COPSTM family of processors, and can interface with standard shift registers or  $\mu$ Ps.

The 2-, 4- or 8-channel multiplexers are software configured for single-ended or differential inputs as well as channel assignment.

The differential analog voltage input allows increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

### Features

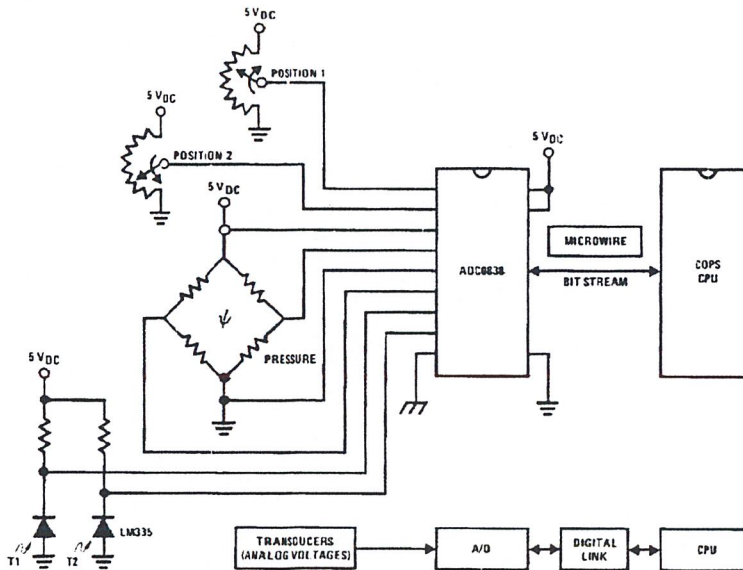
- NSC MICROWIRE compatible—direct interface to COPS family processors
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand-alone"

- Operates ratiometrically or with 5 V<sub>DC</sub> voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 2-, 4- or 8-channel multiplexer options with address logic
- Shunt regulator allows operation with high voltage supplies
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Remote operation with serial digital data link
- TTL/MOS input/output compatible
- 0.3" standard width, 8-, 14- or 20-pin DIP package
- 20 Pin Molded Chip Carrier Package (ADC0838 only)
- Surface-Mount Package

### Key Specifications

■ Resolution	8 Bits
■ Total Unadjusted Error	$\pm 1/2$ LSB and $\pm 1$ LSB
■ Single Supply	5 V <sub>DC</sub>
■ Low Power	15 mW
■ Conversion Time	32 $\mu$ s

### Typical Application



TL/H/5583-1

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.  
COPSTM and MICROWIRE™ are trademarks of National Semiconductor Corporation.

ADC0831/ADC0832/ADC0834 and ADC0838  
8-Bit Serial I/O A/D Converters with Multiplexer Options

## Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Current into V <sup>+</sup> (Note 3)	15 mA
Supply Voltage, V <sub>CC</sub> (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Inputs	-0.3V to V <sub>CC</sub> + 0.3V
Analog Inputs	-0.3V to V <sub>CC</sub> + 0.3V
Input Current per Pin (Note 4)	± 5 mA
Package	± 20 mA
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T <sub>A</sub> = 25°C (Board Mount)	0.8W

Lead Temperature (Soldering 10 sec.)	
Dual-In-Line Package (Plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (Ceramic)	300°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C
ESD Susceptibility (Note 5)	2000V

## Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Supply Voltage, V <sub>CC</sub>	4.5 V <sub>DC</sub> to 6.3 V <sub>DC</sub>
Temperature Range	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>
ADC0831/8BCJ, ADC0831/4/BCCJ, ADC0832BIWM, ADC0831/2/4/8CIWM	-40°C to +85°C
ADC0831/2/4/8BCN, ADC0838BCV, ADC0831/2/4/8CCN, ADC0838CCV, ADC0831/2/4/8CCWM	0°C to +70°C

## Converter and Multiplexer Electrical Characteristics

The following specifications apply for V<sub>CC</sub> = V<sub>+</sub> = V<sub>REF</sub> = 5V, V<sub>REF</sub> ≤ V<sub>CC</sub> + 0.1V, T<sub>A</sub> = T<sub>i</sub> = 25°C, and f<sub>CLK</sub> = 250 kHz unless otherwise specified. **Boldface limits apply from T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>.**

Parameter	Conditions	BCJ, BIWM, CIWM and CCJ Devices			BCV, CCV, CCWM, BCN and CCN Devices			Units
		Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	
<b>CONVERTER AND MULTIPLEXER CHARACTERISTICS</b>								
Total Unadjusted Error ADC0838BCV ADC0831/2/4/8BCN ADC0831/8BCJ ADC0832BIWM ADC0838CCV ADC0831/2/4/8CCN ADC0831/2/4/8CCWM ADC0831/4/8CCJ ADC0831/2/4/8CIWM	V <sub>REF</sub> = 5.00 V (Note 6)		± ½ ± ½			+ ½ + ½	+ ½ + ½	LSB
Minimum Reference Input Resistance (Note 7)		3.5	<b>1.3</b>		3.5	1.3	<b>1.3</b>	kΩ
Maximum Reference Input Resistance (Note 7)		3.5	<b>5.9</b>		3.5	5.4	<b>5.9</b>	kΩ
Maximum Common-Mode Input Range (Note 8)			<b>V<sub>CC</sub> + 0.05</b>			V <sub>CC</sub> + 0.05	<b>V<sub>CC</sub> + 0.05</b>	V
Minimum Common-Mode Input Range (Note 8)			<b>GND - 0.05</b>			GND - 0.05	<b>GND - 0.05</b>	V
DC Common-Mode Error		± 1/16	± ¼		± 1/16	± ¼	± ¼	LSB

### Converter and Multiplexer Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for  $V_{CC} = V+ = 5V$ ,  $T_A = T_J = 25^\circ C$ , and  $f_{CLK} = 250$  kHz unless otherwise specified. Boldface limits apply from  $T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ .

Parameter	Conditions	BCJ, BIWM, CIWM and CCJ Devices			BCV, CCV, CCWM, BCN and CCN Devices			Units
		Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	
<b>CONVERTER AND MULTIPLEXER CHARACTERISTICS (Continued)</b>								
Change in zero error from $V_{CC} = 5V$ to internal zener operation (Note 3)	15 mA into $V+$ $V_{CC} = N.C.$ $V_{REF} = 5V$		<b>1</b>			<b>1</b>	<b>1</b>	LSB
$V_Z$ , internal diode breakdown (at $V+$ ) (Note 3)	MIN MAX 15 mA into $V+$		<b>6.3</b> <b>8.5</b>			6.3 8.5	<b>6.3</b> <b>8.5</b>	V
Power Supply Sensitivity	$V_{CC} = 5V \pm 5\%$	$\pm 1/16$	$\pm 1/4$	$\pm 1/4$	$\pm 1/16$	$\pm 1/4$	$\pm 1/4$	LSB
$I_{OFF}$ , Off Channel Leakage Current (Note 9)	On Channel = 5V, Off Channel = 0V		-0.2 <b>-1</b>			-0.2	<b>-1</b>	$\mu A$
	On Channel = 0V, Off Channel = 5V		+0.2 <b>+1</b>			+0.2	<b>+1</b>	$\mu A$
$I_{ON}$ , On Channel Leakage Current (Note 9)	On Channel = 0V, Off Channel = 5V		-0.2 <b>-1</b>			-0.2	<b>-1</b>	$\mu A$
	On Channel = 5V, Off Channel = 0V		+0.2 <b>+1</b>			+0.2	<b>+1</b>	$\mu A$
<b>DIGITAL AND DC CHARACTERISTICS</b>								
$V_{IN(1)}$ , Logical "1" Input Voltage (Min)	$V_{CC} = 5.25V$		<b>2.0</b>			2.0	<b>2.0</b>	V
$V_{IN(0)}$ , Logical "0" Input Voltage (Max)	$V_{CC} = 4.75V$		<b>0.8</b>			0.8	<b>0.8</b>	V
$I_{IN(1)}$ , Logical "1" Input Current (Max)	$V_{IN} = 5.0V$	0.005	<b>1</b>		0.005	<b>1</b>	<b>1</b>	$\mu A$
$I_{IN(0)}$ , Logical "0" Input Current (Max)	$V_{IN} = 0V$	-0.005	<b>-1</b>		-0.005	<b>-1</b>	<b>-1</b>	$\mu A$
$V_{OUT(1)}$ , Logical "1" Output Voltage (Min)	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{CUT} = -360 \mu A$ $I_{OUT} = -10 \mu A$		<b>2.4</b>			2.4	<b>2.4</b>	V
			<b>4.5</b>			4.5	<b>4.5</b>	V
$V_{OUT(0)}$ , Logical "0" Output Voltage (Max)	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = 1.6$ mA		<b>0.4</b>			0.4	<b>0.4</b>	V
$I_{OUT}$ , TRI-STATE Output Current (Max)	$V_{OUT} = 0V$	-0.1	<b>-3</b>		-0.1	<b>-3</b>	<b>-3</b>	$\mu A$
	$V_{OUT} = 5V$	0.1	<b>3</b>		0.1	<b>+3</b>	<b>+3</b>	$\mu A$
$I_{SOURCE}$ , Output Source Current (Min)	$V_{OUT} = 0V$	-14	<b>-6.5</b>		-14	<b>-7.5</b>	<b>-6.5</b>	mA
$I_{SINK}$ , Output Sink Current (Min)	$V_{OUT} = V_{CC}$	16	<b>8.0</b>		16	9.0	<b>8.0</b>	mA
$I_{CC}$ , Supply Current (Max) ADC0831, ADC0834, ADC0838		0.9	<b>2.5</b>		0.9	2.5	<b>2.5</b>	mA
	ADC0832	Includes Ladder Current	2.3	<b>6.5</b>		2.3	6.5	<b>6.5</b>

## AC Characteristics

The following specifications apply for  $V_{CC} = 5V$ ,  $t_r = t_f = 20$  ns and  $25^\circ C$  unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Typ (Note 12)	Tested Limit (Note 13)	Design Limit (Note 14)	Limit Units
$f_{CLK}$ , Clock Frequency	Min Max		10	400	kHz kHz
$t_C$ , Conversion Time	Not including MUX Addressing Time		8		$1/t_{CLK}$
Clock Duty Cycle (Note 10)	Min Max			40 60	% %
$t_{SET-UP, CS}$ Falling Edge or Data Input Valid to CLK Rising Edge				250	ns
$t_{HOLD}$ , Data Input Valid after CLK Rising Edge				90	ns
$t_{pd1}$ , $t_{pd0}$ —CLK Falling Edge to Output Data Valid (Note 11)	$C_L = 100$ pF Data MSB First Data LSB First	650 250		1500 600	ns ns
$t_{1H}$ , $t_{0H}$ —Rising Edge of CS to Data Output and SARS Hi-Z	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (see TRI-STATE® Test Circuits)	125		250	ns
	$C_L = 100$ pF, $R_L = 2k$		500		ns
$C_{IN}$ , Capacitance of Logic Input		5			pF
$C_{OUT}$ , Capacitance of Logic Outputs		5			pF

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

**Note 2:** All voltages are measured with respect to the ground pins.

**Note 3:** Internal zener diodes (6.3 to 8.5V) are connected from  $V_{+}$  to GND and  $V_{CC}$  to GND. The zener at  $V_{+}$  can operate as a shunt regulator and is connected to  $V_{CC}$  via a conventional diode. Since the zener voltage equals the A/D's breakdown voltage, the diode insures that  $V_{CC}$  will be below breakdown when the device is powered from  $V_{+}$ . Functionality is therefore guaranteed for  $V_{+}$  operation even though the resultant voltage at  $V_{CC}$  may exceed the specified Absolute Max of 6.5V. It is recommended that a resistor be used to limit the max current into  $V_{+}$ . (See Figure 3 in Functional Description Section 6.0)

**Note 4:** When the input voltage ( $V_{IN}$ ) at any pin exceeds the power supply rails ( $V_{IN} < V_{-}$  or  $V_{IN} > V_{+}$ ) the absolute value of current at that pin should be limited to 5 mA or less. The 20 mA package input current limits the number of pins that can exceed the power supply boundaries with a 5 mA current limit to four.

**Note 5:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

**Note 6:** Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplexer errors.

**Note 7:** Cannot be tested for ADC0832.

**Note 8:** For  $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$  the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see Block Diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the  $V_{CC}$  supply. Be careful, during testing at low  $V_{CC}$  levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog  $V_{IN}$  or  $V_{REF}$  does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0  $V_{DC}$  to 5  $V_{DC}$  input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950  $V_{DC}$  over temperature variations, initial tolerance and loading.

**Note 9:** Leakage current is measured with the clock not switching.

**Note 10:** A 40% to 60% clock duty cycle range insures proper operation at all clock frequencies. In the case that an available clock has a duty cycle outside of these limits, the minimum time the clock is high or the minimum time the clock is low must be at least 1  $\mu$ s. The maximum time the clock can be high is 60  $\mu$ s. The clock can be stopped when low so long as the analog input voltage remains stable.

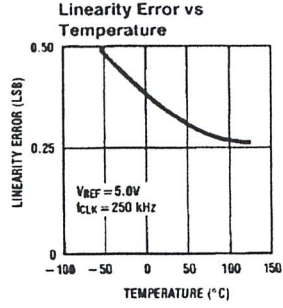
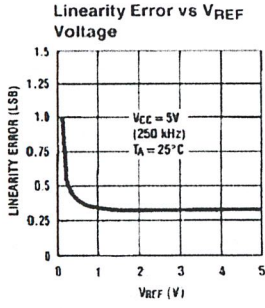
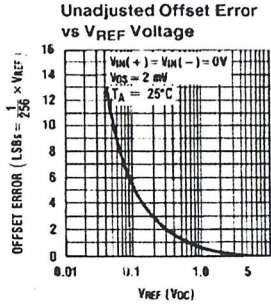
**Note 11:** Since data, MSB first, is the output of the comparator used in the successive approximation loop, an additional delay is built in (see Block Diagram) to allow for comparator response time.

**Note 12:** Typicals are at  $25^\circ C$  and represent most likely parametric norm.

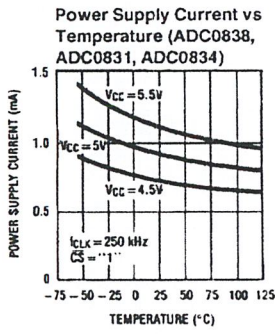
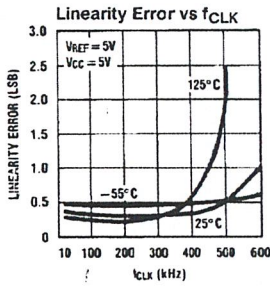
**Note 13:** Tested limits are guaranteed to National's AOQL (Average Outgoing Quality Level).

**Note 14:** Guaranteed but not 100% production tested. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

# Typical Performance Characteristics

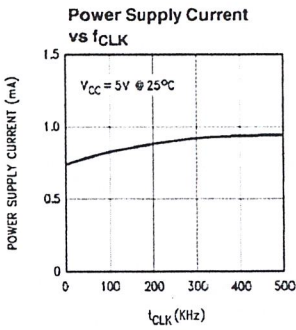
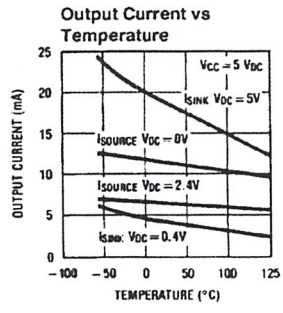


TL/H/5583-2



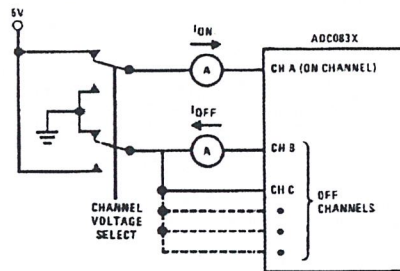
Note: For ADC0832 add  $I_{REF}$ .

TL/H/5583-40



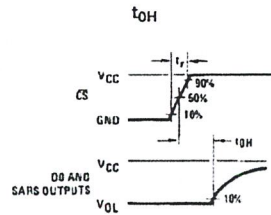
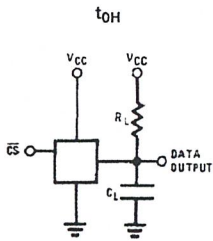
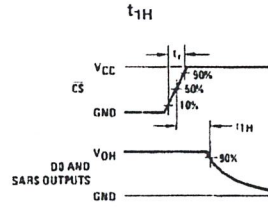
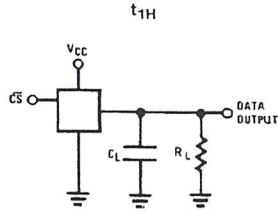
TL/H/5583-29

## Leakage Current Test Circuit



TL/H/5583-3

## TRI-STATE Test Circuits and Waveforms

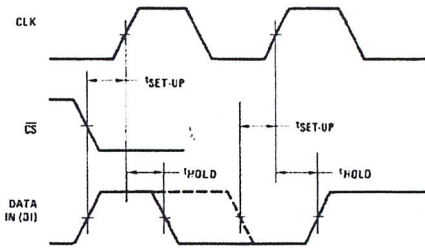


TL/H/5583-4

TL/H/5583-23

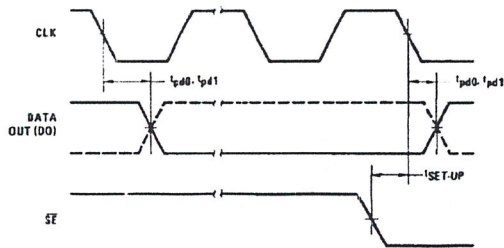
## Timing Diagrams

Data Input Timing



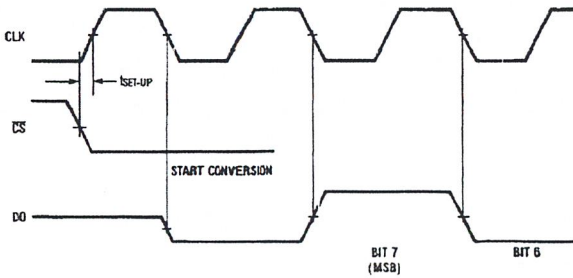
TL/H/5583-24

Data Output Timing



TL/H/5583-25

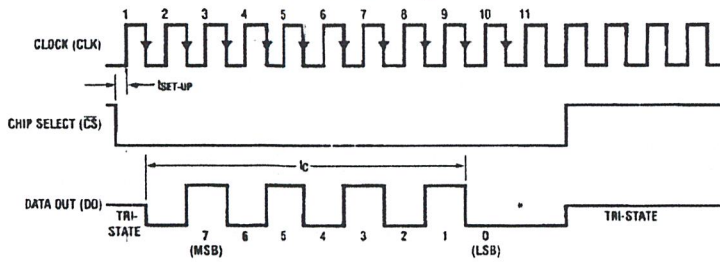
ADC0831 Start Conversion Timing



TL/H/5583-26

## Timing Diagrams (Continued)

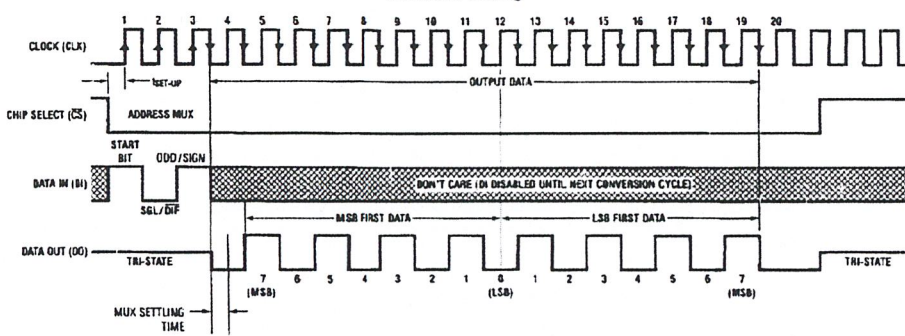
### ADC0831 Timing



TL/H/5583-27

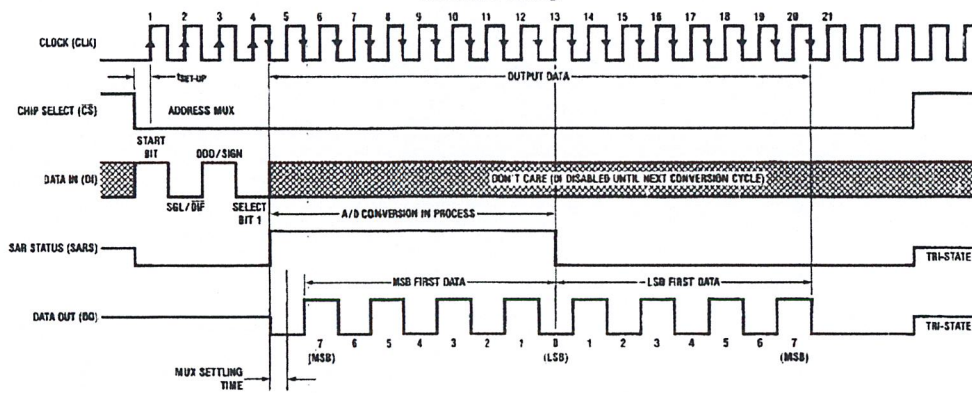
\*LSB first output not available on ADC0831.

### ADC0832 Timing



TL/H/5583-28

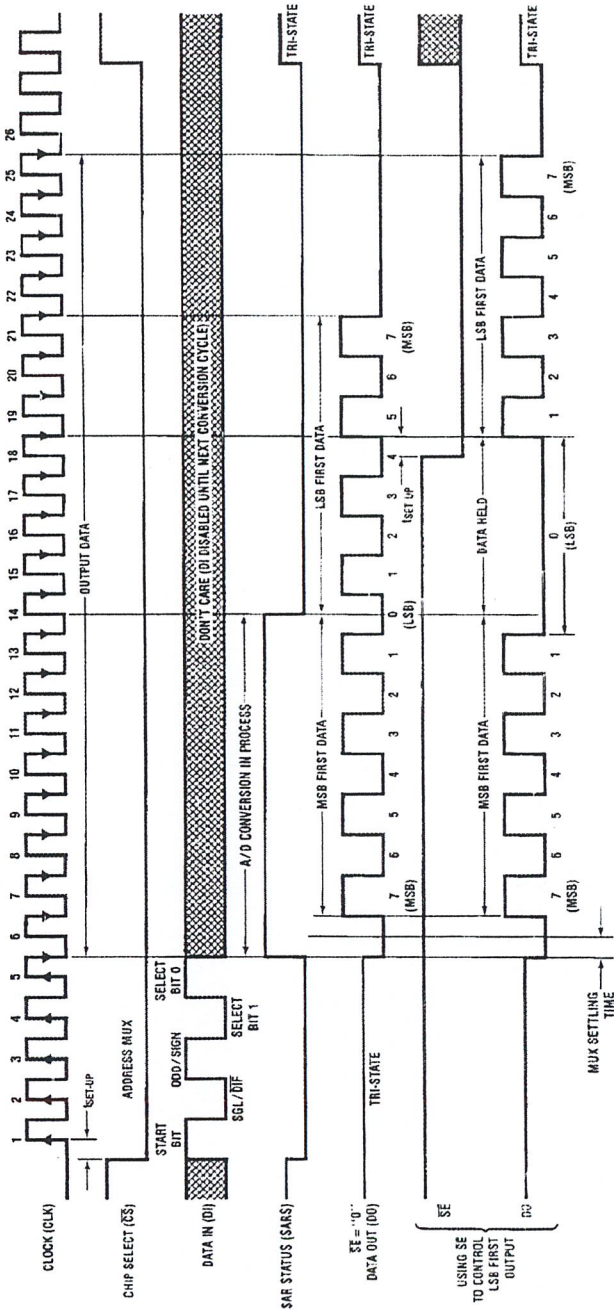
### ADC0834 Timing



TL/H/5583-5

# Timing Diagrams (Continued)

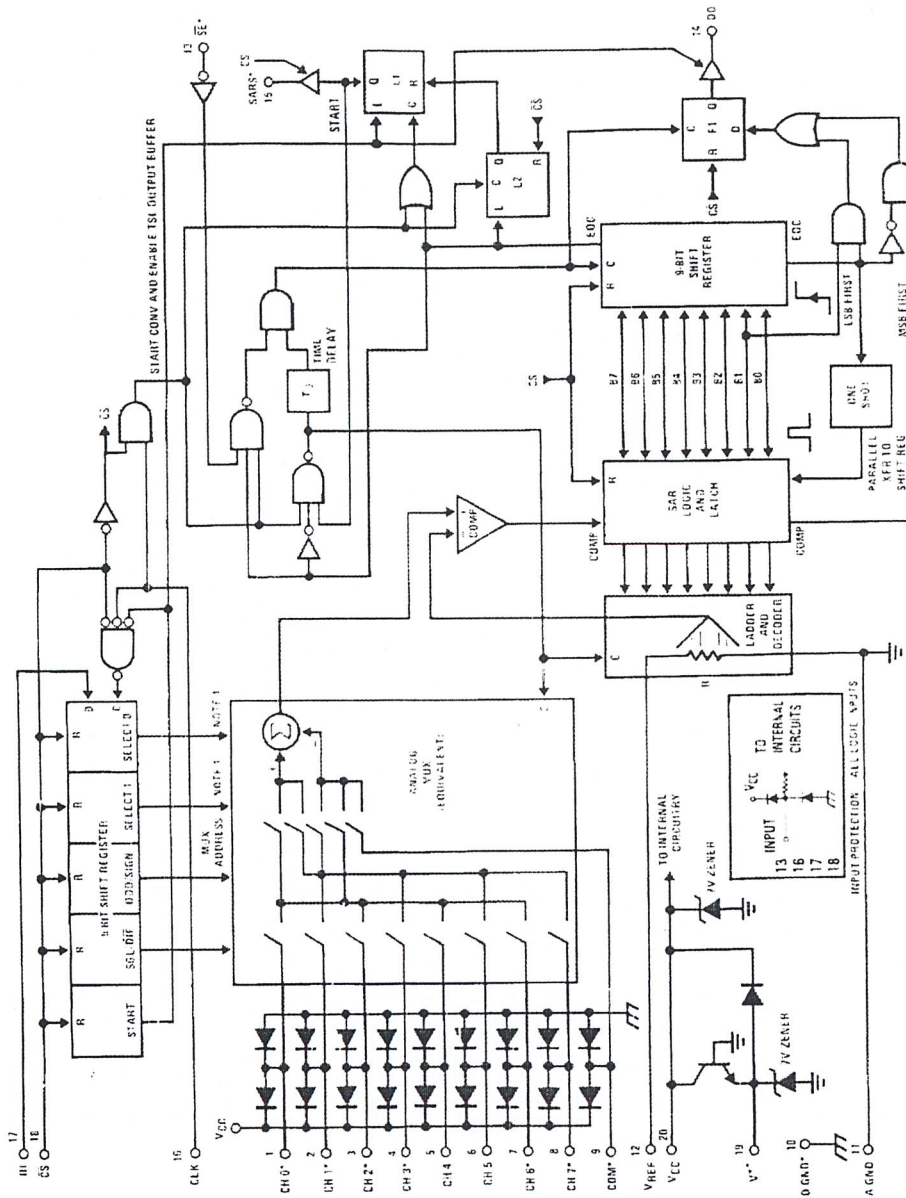
ADC0838 Timing



\* Make sure clock edge # 18 clocks in the LSB before SE is taken low

# ADC0838 Functional Block Diagram

TU/H-5563-7



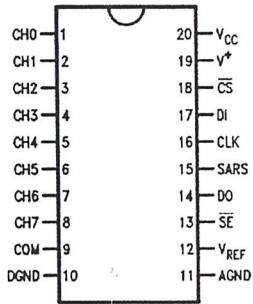
\*Some of these functions/pins are not available with other options.

**Note 1:** For the ADC0834, D1 is input directly to the D input of SELECT 1. SELECT 0 is forced to a "1". For the ADC0832, D1 is input directly to the D1 input of ODD/SIGN. SELECT 0 is forced to a "0" and SELECT 1 is forced to a "1".

# Connection Diagrams

## ADC0838 8-Channel MUX

Small Outline/Dual-In-Line Package (J, M and N)

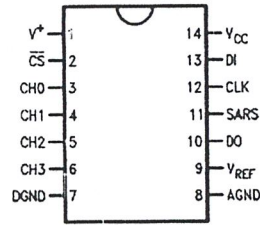


Top View

TL/H/5583-8

## ADC0834 4-Channel MUX

Small Outline/Dual-In-Line Package (J, M, and N)



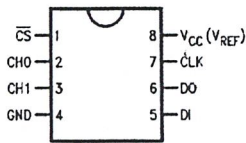
Top View

COM internally connected to A GND

TL/H/5583-30

## ADC0832 2-Channel MUX

Dual-In-Line Package (J and N)



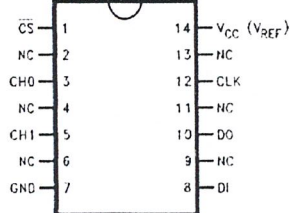
Top View

TL/H/5583-31

COM internally connected to GND.  
V<sub>REF</sub> internally connected to V<sub>CC</sub>.

## ADC0832 2-Channel MUX

Small Outline Package (M)

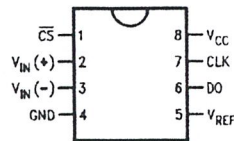


Top View

TL/H/5583-41

## ADC0831 Single Differential Input

Dual-In-Line Package (J and N)

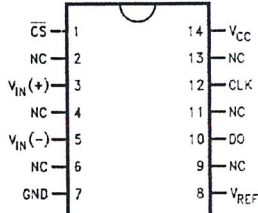


Top View

TL/H/5583-32

## ADC0831 Single Differential Input

Small Outline Package (M)

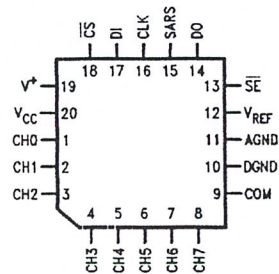


Top View

TL/H/5583-42

## ADC0838 8-Channel MUX

Molded Chip Carrier (PCC) Package (V)



TL/H/5583-53

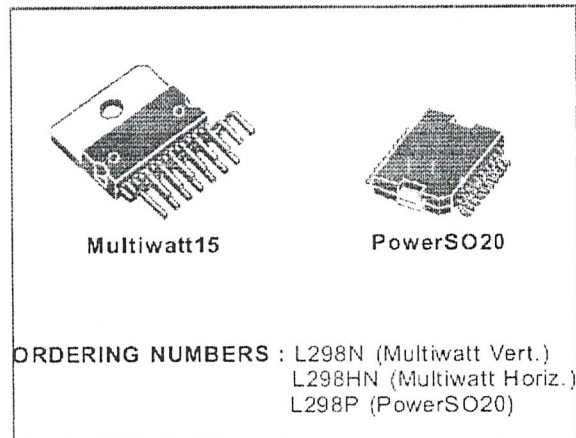


## DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

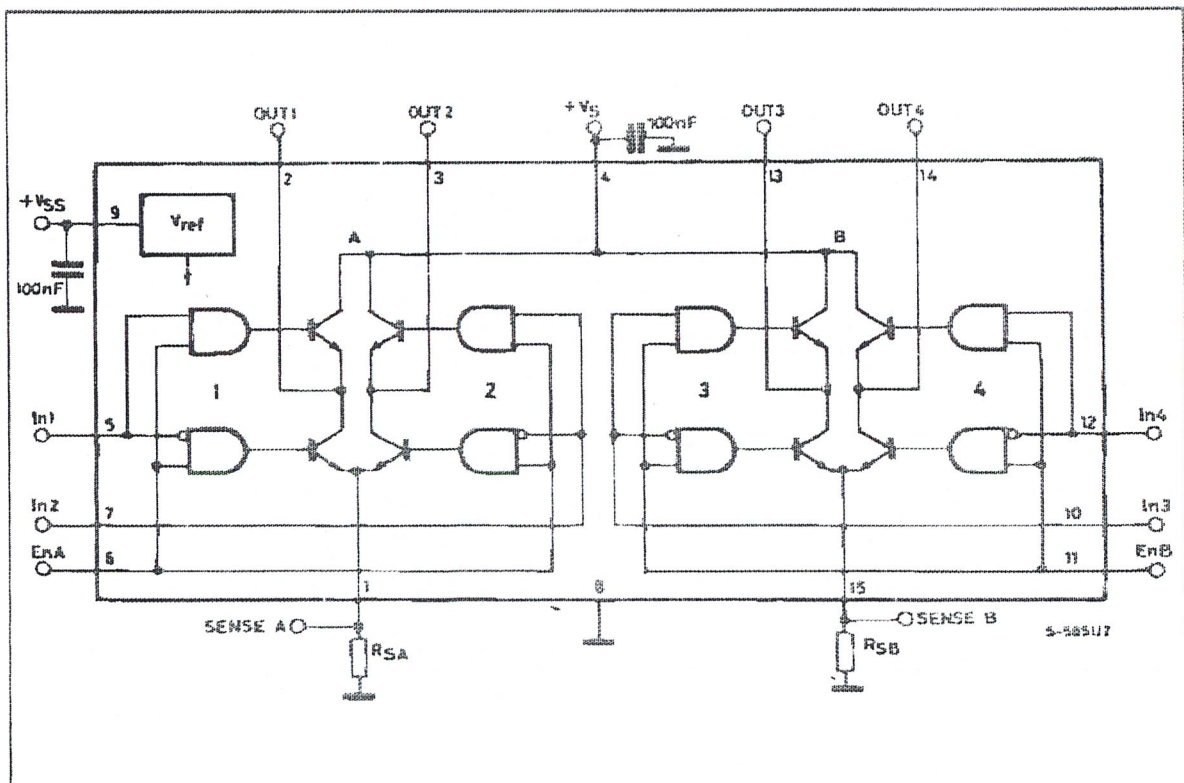
### DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

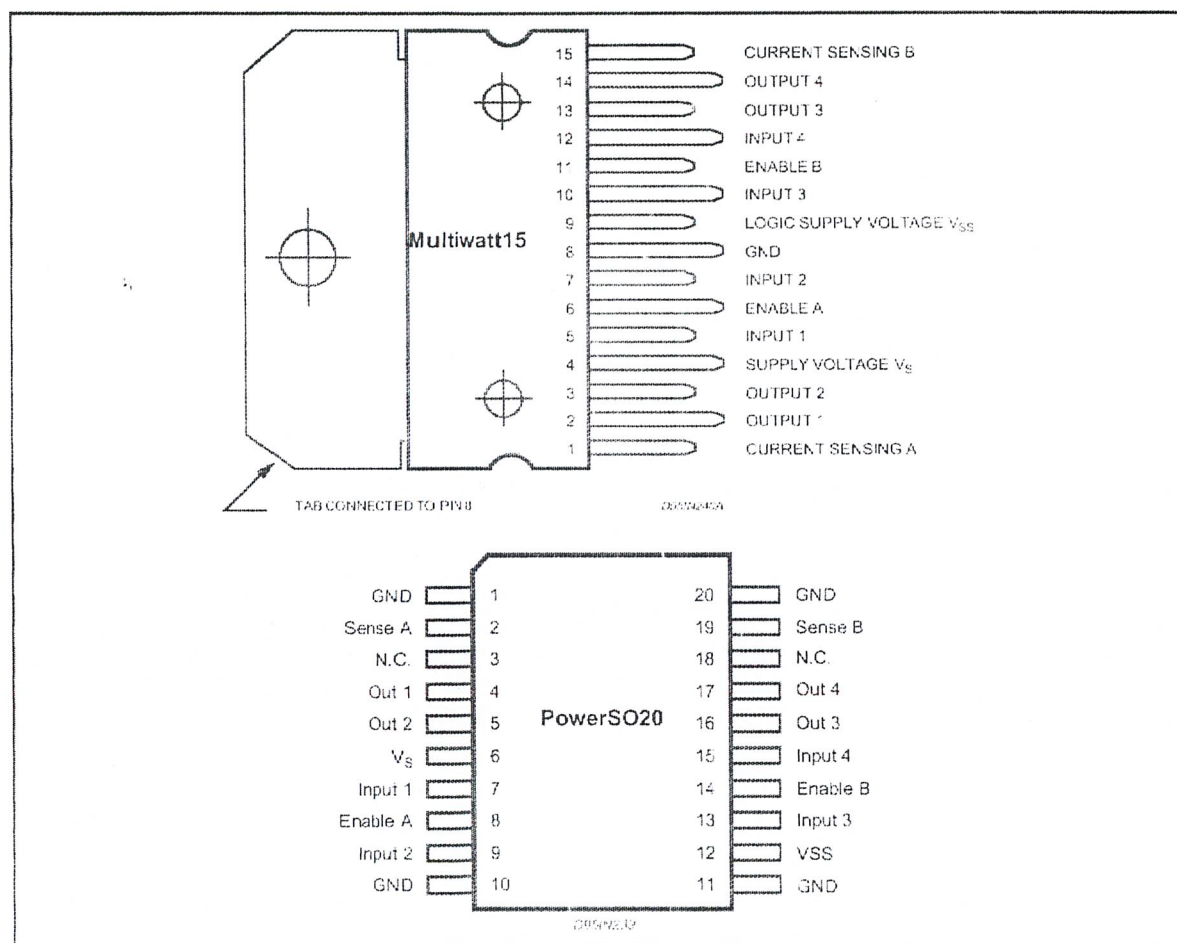
### BLOCK DIAGRAM



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_S$	Power Supply	50	V
$V_{SS}$	Logic Supply Voltage	7	V
$V_I, V_{en}$	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
$I_O$	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ( $t = 100\mu s$ )	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$ )	2.5	A
	-DC Operation	2	A
$V_{sens}$	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation ( $T_{case} = 75^\circ C$ )	25	W
$T_{op}$	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
$T_{stg}, T_j$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

**PIN CONNECTIONS (top view)**



**THERMAL DATA**

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt 15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	3	$^\circ C/W$
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	$^\circ C/W$

(\*) Mounted on aluminum substrate



Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

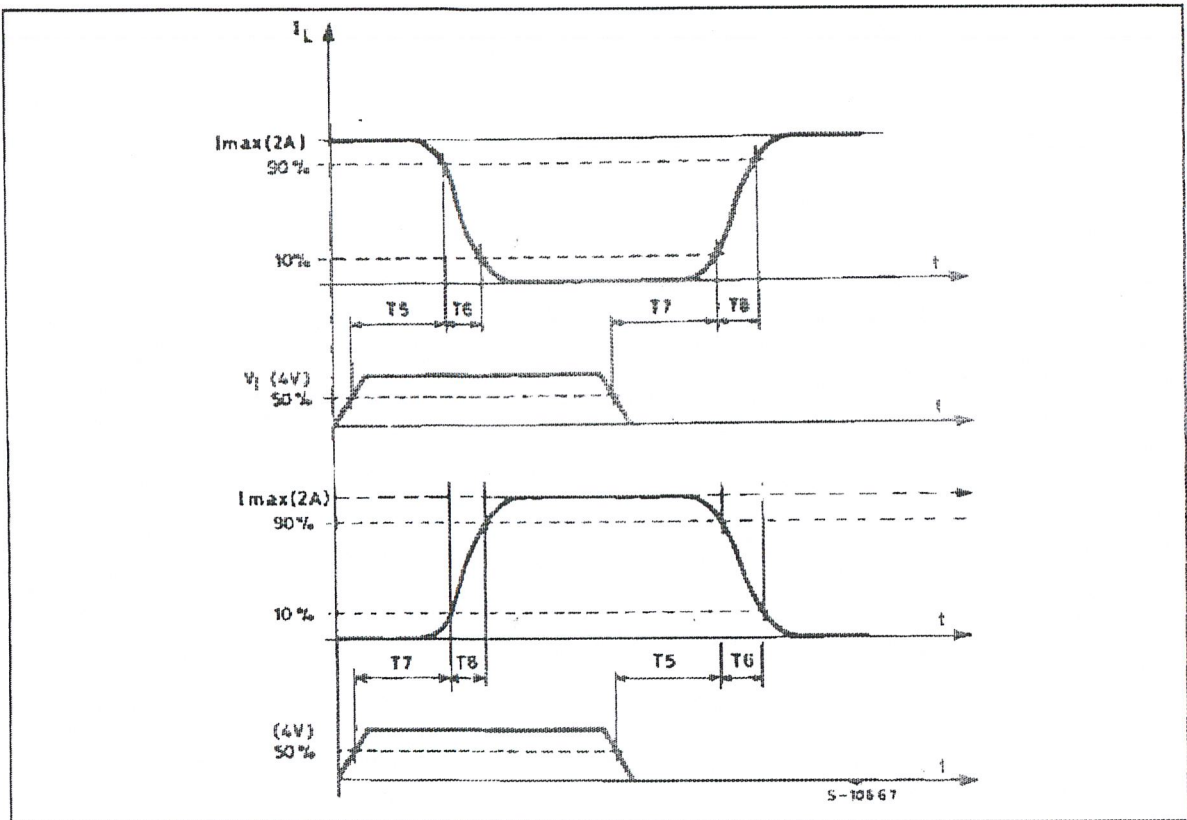
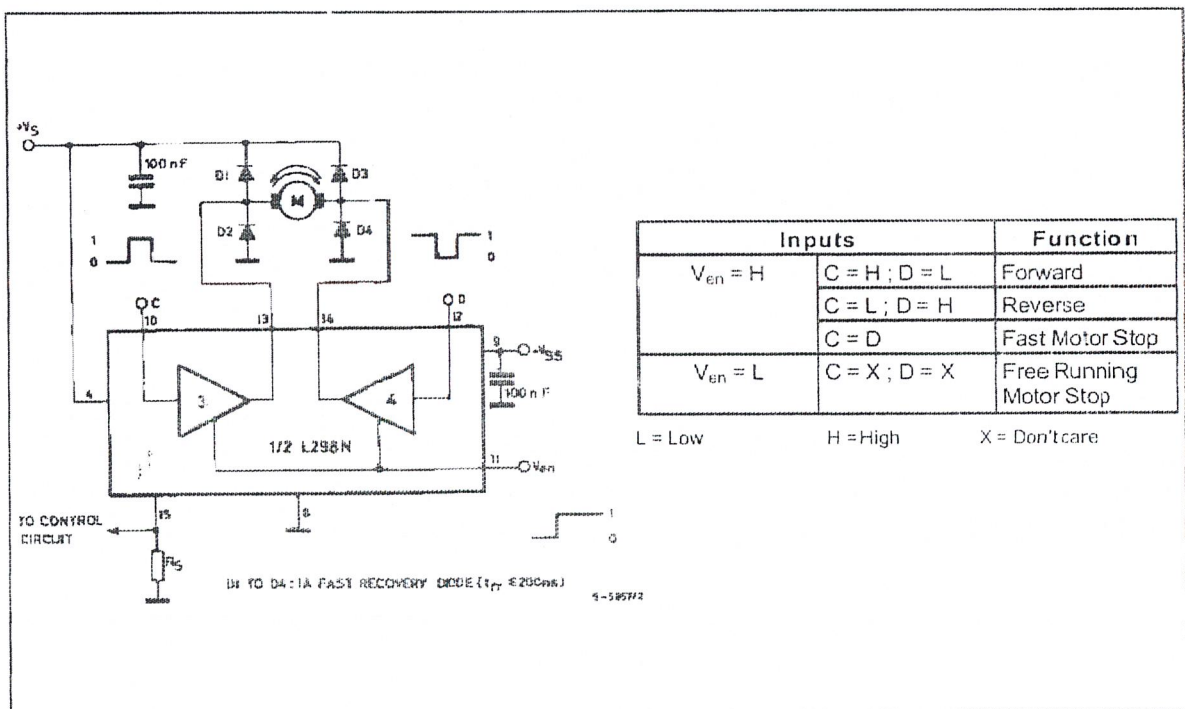
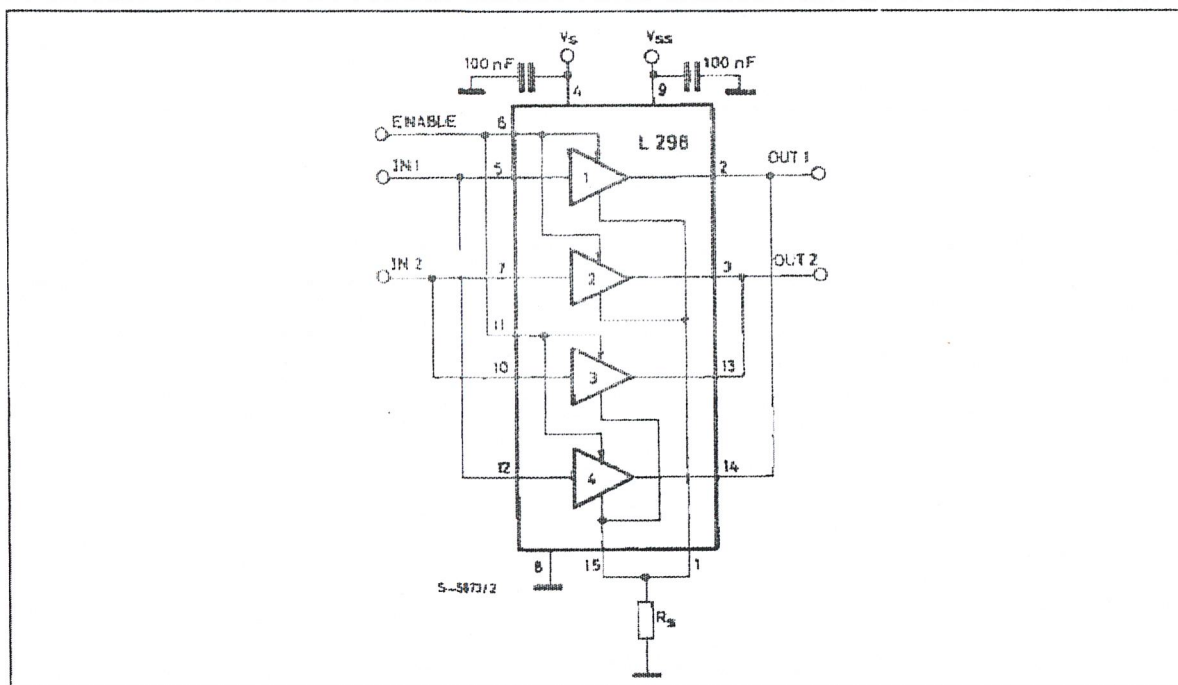


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



**Figure 7 :** For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



## APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

### 1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor ( $R_{SA}$ ;  $R_{SB}$ ) allows to detect the intensity of this current.

### 1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are  $In1$ ;  $In2$ ;  $EnA$  and  $In3$ ;  $In4$ ;  $EnB$ . The  $In$  inputs set the bridge state when The  $En$  input is high; a low state of the  $En$  input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

## 2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both  $V_S$  and  $V_{SS}$ , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of  $V_S$  that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off: Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turnit OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

## 3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ( $t_{rr} \leq 200$  nsec) that must be chosen of a  $V_F$  as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Shottky diodes would be preferred.

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.

On Fig 8 it is shown the driving of a twophase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

**Figure 8 :** Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

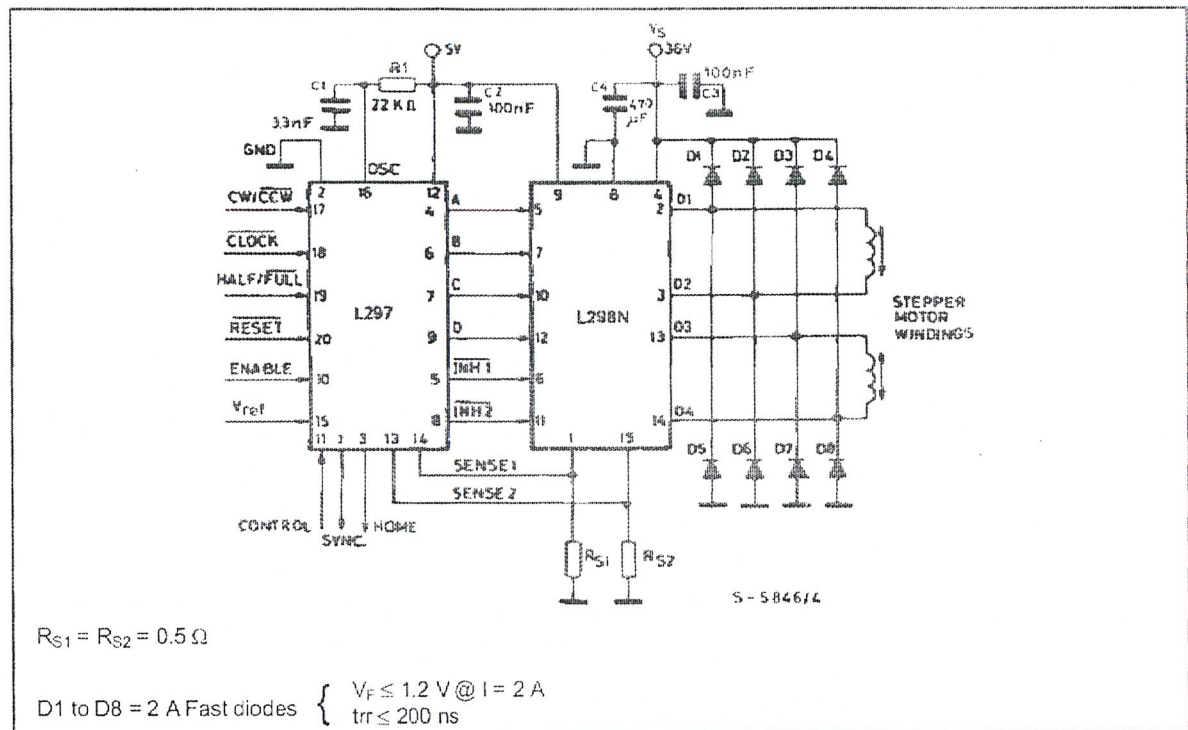


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

## ภาคผนวก ข.

### โปรแกรม

เนื่องจากโค้ดของโปรแกรม SC(Survey Camera) มีจำนวนบรรทัดของรหัสจำนวนมาก จึงไม่สามารถเสนอทั้งหมดได้ แต่ฟังก์ชันที่สำคัญของโปรแกรมซึ่งเขียนด้วยBCB5.0 และโปรแกรมทดสอบซึ่งเขียนด้วยภาษาซี ผู้จัดทำได้นำเสนอในบางส่วน คือ

1. โปรแกรมตรวจพอร์ต (TestPort.cpp)
2. โปรแกรมส่งข้อมูล (TestOutput.cpp)
3. โปรแกรมขับสเต็ปมอเตอร์ (TestDriv.cpp)
4. ฟังก์ชันย่อยติดต่ออุปกรณ์โดยใช้ BCB5.0
5. ฟังก์ชันอ่านข้อมูลจากแปลง A/D
6. ฟังก์ชันเทรซโฮลภาพ
7. ฟังก์ชันขยายรูป
8. ฟังก์ชันการวิเคราะห์ภาพ

อย่างไรก็ตาม ฟังก์ชันที่นำเสนอเป็นเพียงรหัสโปรแกรมเพื่อการศึกษา เนื่องจากตัวแปรและชื่อของคอมโพเนนต์ในฟังก์ชัน ได้กำหนดและใช้ได้เฉพาะโปรแกรม SC ในโครงการนี้เท่านั้น

## 1. โปรแกรมตรวจพอร์ต (TestPort.cpp)

```
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
void main(void)
{
    unsigned int far *ptraddr;           // พอยเตอร์ของตัวแปรพอร์ต
    unsigned int address;               // ตำแหน่งพอร์ต
    int a;
    ptraddr=(unsigned int far *)0x00000408; // กำหนดตำแหน่งพอร์ตขนานที่ 1

    for (a = 0; a < 3; a++)
    {
        address = *ptraddr;
        if (address == 0) printf("No port found for LPT%d \n",a+1);
        else      printf("Address assigned to LPT%d is %Xh\n",a+1,address);
        *ptraddr++;
    }
    getch();
}
```

## 2. โปรแกรมส่งข้อมูล (TestOutput.cpp)

```
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>

int out=0;

main()
{
    do
    {
        clrscr();
        printf("DATA OUT 0 - 255 or 758 to Exit ==> ");
        scanf("%d",&out);
        outport(0x37a,2);
        outport(0x378,out);
        outport(0x37a,0);
    }
    while(out!=758);
    // ถ้าจ้งข้อมูล Do-D7 เป็น '0' เมื่อออกจากโปรแกรม
    outport(0x37a,2);
    outport(0x378,0);
    outport(0x37a,0);
}
```

### 3. โปรแกรมขับสเต็ปมอเตอร์ (TestDriv.cpp)

```
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <conio.h>
main()
{
    int st=0,c=0;
    int m,p,mb,pm=0;
    int datam[3][8]={ { 7,11,13,14,7,11,13,14}           // 1 เฟส
                      ,{12,9,3,6,12,9,3,6}             // 2 เฟส
                      ,{14,12,13,9,11,3,7,6} };        //1/2 เฟส

    char key='g';
    clrscr();                                           // ล้างหน้าจอ
    /***** รับค่า การกำหนดรูปแบบ *****/
    gotoxy(10,2); printf(" Test Deive SteppingMotor");
    gotoxy(10,4); printf(" Motor 1 or 2 : "); scanf("%d",&m);
    gotoxy(10,5); printf(" Phase Control 1,2 or 3(1/2) : "); scanf("%d",&p);
    gotoxy(10,24);printf(" Stop Please push 's' ");
    /***** บวกค่าประจำตำแหน่งของ สเต็ปมอเตอร์ *****/
    if(m==1) { mb=64; }
    else if(m==2) { mb=32; }

    do{
        outport(0x37a,2);
        outport(0x378,datam[p-1][pm]+mb);
        outport(0x37a,0);

        gotoxy(35,12); printf("data %d  ",datam[m-1][fm]);
        gotoxy(35,13); printf("Phase = %d  ",fm);           // แสดงข้อมูลเฟส

        st++;
        gotoxy(35,14); printf("Step all = %d  ",st);         // แสดงจำนวนสเต็ป
```

```

if(!.ey!='\n')
{
fm--;
}
if(pm<0)
{ pm=7;
c++;
gotoxy(35,15); printf("circle = %d ",c); //แสดงเฟสการหมุน
}
}
else
{
pm++;

if(pm>=8)
{ pm=0;
c++;
gotoxy(35,15); printf("circle = %d ",c); // แสดงจำนวนรอบการหมุน
}
}
delay(5);
key=getch();
}
while(key!='s'); //จบการทำงานเมื่อกด อักษร "S"
}

```

#### 4. ฟังก์ชันย่อยติดต่ออุปกรณ์โดยใช้ BCB5.0

```
//-----  
// functions  
//  inport    - inputs a word from a hardware port  
//  inportb   - inputs a byte from a hardware port  
//  inp       - inputs a byte from a hardware port  
//  inpw      - inputs a word from a hardware port  
//  
//  outport   - outputs a word to a hardware port  
//  outportb  - outputs a byte to a hardware port  
//  outp      - outputs a byte to a hardware port  
//  outpw     - outputs a word to a hardware port  
//-----
```

unsigned short inport(unsigned short port)

```
{  
    asm  mov  dx,port  
    asm  in   ax,dx  
    return _AX;  
}
```

unsigned char inportb(unsigned short port)

```
{  
    asm  mov  dx,port  
    asm  in   al,dx  
    asm  xor  ah,ah  
    return _AX;  
}
```

```
unsigned short inpw(unsigned short port)
```

```
{  
    asm  mov  dx,port  
    asm  in   ax,dx  
    return _AX;  
}
```

```
short int inp(unsigned short port)
```

```
{  
    asm  mov  dx,port  
    asm  in   al,dx  
    asm  xor  ah,ah  
    return _AX;  
}
```

```
void outport(unsigned short port, unsigned short val)
```

```
{  
    asm  mov  dx, port  
    asm  mov  ax, val  
    asm  out  dx, ax  
}
```

```
void outportb(unsigned short port, unsigned char val)
```

```
{  
    asm  mov  dx, port  
    asm  mov  al, val  
    asm  out  dx, al  
}
```

```
unsigned short outpw(unsigned short port, unsigned short val)
```

```
{  
    asm  mov  dx, port  
    asm  mov  ax, val  
    asm  out  dx, ax  
    return (_AX);  
}
```

```
short int outp(unsigned short port, unsigned char val)
```

```
{  
    asm  mov  dx, port  
    asm  mov  al, val  
    asm  out  dx, al  
    asm  xor  ah, ah  
    return (_AX);  
}
```

## 5. ฟังก์ชันอ่านข้อมูลจาก วงจรแปลง A/D

```
void TF_Main::readsensor(int channel)
{
    int chan, ap[8];                //ap[8] ตัวแปรเก็บข้อมูลขนาด 8 บิต
    int i,j;    // i =bit , j=clock
        if(channel==0) chan=1;      // อ่านช่องสัญญาณที่ 1
    else if(channel==1) chan=0;     // อ่านช่องสัญญาณที่ 2
    bits=0;
    for(i=0;i<=7;i++)              //ล้างข้อมูลตัวแปร
    { ap[i]=0;
    }
    /***** ติดต่อ พอร์ตทดสอบ เพื่ออ่านข้อมูล *****/
    output(0x37a,8);                // cs ควบคุมด้วย slectin พอร์ตคอนโทรล บิตที่3
    output(0x378,0);                // d0 ควบคุมด้วย D0 พอร์ตคาต้า บิตที่ 0 เอเป็นสัญญาณนาฬิกา
    output(0x37a,0+8);              // DI start bit "1" ควบคุมด้วย strobe cพอร์ทควบคุม บิตที่ 0
        for(j=1;j<=11;j++)         // j = กำเนิดสัญญาณนาฬิกา 11 ลูก
        {
            output(0x378,2);        // clock d1
            output(0x378,0);        // clock d1
                if(j==2) {output(0x37a,chan+8); } //เลือก ODD/SING
            else if(j>3&& j<=11)
            {
                i=11-j;    output(0x37a,1+8);
                ap[i]=inport(0x379)&16; // อ่านข้อมูลจาก ADC8032 ซึ่งต่อกับพอร์ตทดสอบ บิตที่ 4
                if(ap[i]==16){ ap[i]=1; } // เก็บข้อมูลเป็นเลขฐาน 2
                if(ap[i]==0) {ap[i]=0; }
                bits=bits+(ap[i]*pow(2,i)); // แปลงข้อมูลเป็นเลขฐาน 10
            }
        }
        // จบลูป for
    output(0x37a,0);                // >cs
}
}
```

## 6. ฟังก์ชันเทรชโฮลภาพ

```
void __fastcall TF_Main::B_ThresholdClick(TObject *Sender)
{
    int x, y, nPixelColor, nRed, nGreen, nBlue, nGray; // ตัวแปรอ่านตำแหน่งและค่าสี
    int hold; // ตำแหน่งของโฮล

    ThPs=TB_Threshold->Position; // อ่านค่าตำแหน่งของระดับเทรชโฮล
    BackP=0; // ล้างข้อมูลตัวแปรนับจำนวนจุดสีดำ
    WhiteP=0; // ล้างข้อมูลตัวแปรนับจำนวนจุดสีขาว

    // ใช้ bmp และคลาส TBitmap

    Graphics::TBitmap *bmpProcess = new Graphics::TBitmap();
    Graphics::TBitmap *bmpSource = new Graphics::TBitmap();

    // วาดรูปสู่ ImageProcess
    TCanvas *IpCanvas = ImageProcess->Canvas;

    try{

        bmpProcess->Width = IMAGE_WIDTH; // กำหนดความกว้างของภาพ
        bmpProcess->Height = IMAGE_HEIGHT; // กำหนดความสูงของภาพ
        //////////////////////////////////// เลือกรูปต้นแบบ ////////////////////////////////////

        if(CB_UseSource->State==cbChecked)
        {
            bmpSource->Assign(ImageProcess->Picture);
        }
        else
        {
            bmpSource->Assign(ImageTest->Picture);
        }
    }
```

```

bmpProcess->Assign(bmpSource);           // คัดลอกภาพจากภาพต้นฉบับ
bmpProcess->Dormant();                   // Free up GDI resources
bmpProcess->FreeImage();                 // Free up Memory.

for(x=0;x<=IMAGE_WIDTH;x++)           // เลื่อนจุดภาพแนวแกนนอน
{
    for(y=0;y<=IMAGE_HEIGHT;y++)      // เลื่อนจุดภาพแนวแกนตั้ง
    {

        nPixelColor = bmpProcess->Canvas->Pixels[x][y]; // อ่านค่าสี
        nRed = GetRValue(nPixelColor); // อ่านค่าแม่สีแดง
        nGreen = GetGValue(nPixelColor); // อ่านค่าแม่สีเขียว
        nBlue = GetBValue(nPixelColor); // อ่านค่าแม่สีน้ำเงิน

        nGray = int((nRed * 0.299) + (nGreen * 0.587) + (nBlue * 0.114)); // ทำระดับสีเทา

        // นับจำนวนจุดสี
        if(nGray < ThPs) {hold = 0; BackP++;} // นับจุดสีดำ
        else {
            hold = 255; WhiteP++; // นับจุดสีขาว
        }
    }
} // วัดรูปเก็บไว้

bmpProcess->Canvas->Pixels[x][y] = hold +(hold << 8)+ (hold << 16);

    } // จบ y
} // จบ x

// วัดรูปมาแสดง

IpCanvas->Draw(0,0,bmpProcess);

// แสดงจำนวนจุดสี
L_TotalWhitePixel->Caption=WhiteP;
L_TotalBackPixel->Caption=BackP;

```

```
    bmpProcess->ReleaseHandle();    // This will actually lose the bitmap;

} // end try

catch (...)
{
    MessageBeep(0);
}

delete bmpSource;
delete bmpProcess;
}
```

## 7. ฟังก์ชันขยายรูป

```
void __fastcall TF_Main::PZoom(TObject *Sender)
{
    // คำนวณ ขนาดใหม่ของภาพ
    double lw = ImageTest->Width *nZoomRatio;
    double lh = ImageTest->Height*nZoomRatio;
    int i,j,x, y,nPixelColor,nRed,nGreen,nBlue,nGray; // i ,j คือ ตำแหน่งของจุดภาพที่ขยายแล้ว
    int cenX,cenY;

    // use bmp and class TBitmap
    Graphics::TBitmap *bmpProcess = new Graphics::TBitmap();
    Graphics::TBitmap *bmpSource = new Graphics::TBitmap();
    // draw into image
    TCanvas *IpCanvas =ImageProcess->Canvas;

    try{

        bmpProcess->Width =ImageProcess->Width ;
        bmpProcess->Height =ImageProcess->Height;
        bmpSource->Assign(ImageTest->Picture);
        bmpProcess->Dormant(); // Free up GDI resources
        bmpProcess->FreeImage(); // Free up Memory.
    }

    ////////// อ่านตำแหน่งจุดภาพต้นแบบ
    for(x=ptO[0]+1;x<ptM[0]-1;x++)
    {
        for(y=ptO[1]+1;y<ptM[1]-1;y++)
        {
```

```

////////// วาดรูปผู้ตำแหน่งจุดภาพขยาย
for(i=1;i<=nZoomRatio;i++)
{
    for(j=1;j<=nZoomRatio;j++)
    {
////////// วาดรูปเก็บไว้
bmpProcess->Canvas->Pixels[(x*nZoomRatio)+i-
((ptO[0]+2)*nZoomRatio)][(y*nZoomRatio)+j-((ptO[1]+2)*nZoomRatio)] = bmpSource->
Canvas->Pixels[x][y];

        } // end j
    } // end i
} // end y
} // end x

// แสดงรูปที่วาด
IpCanvas->Draw(0,0,bmpProcess);
bmpProcess->ReleaseHandle(); // This will actually lose the bitmap;

} // end try

catch (...)
{
    MessageBeep(0);
}

delete bmpSource;
delete bmpProcess;
L_Zoomratio->Caption="Zoom "+IntToStr(nZoomRatio*100)+" % "; // แสดงอัตราขยาย

}

```

## 8. ฟังก์ชันการวัดระยะภาพ

```
void __fastcall TF_Main::Dis(TObject *Sender)
{
double r,deg,rad,real,UP;
int xf,xl,yf,yl,x,y;

////////// ptO[] และ ptM[] ได้จากตำแหน่ง x และ y เมื่อมีการคลิกเมาส์และลากเมาส์
xf=ptO[0]; // จุด x จุดแรก
yf=ptO[1]; // จุด y จุดแรก
xl=ptM[0]; // จุด x จุดสุดท้าย
yl=ptM[1]; // จุด y จุดสุดท้าย

x=abs(xf-xl); // ระยะความแตกต่างแนวนอน
y=abs(yf-yl); // ระยะความแตกต่างแนวตั้ง

E_XDis->Text=IntToStr(x); // แสดงระยะห่างแนวนอน
E_YDis->Text=IntToStr(y); // แสดงระยะห่างแนวตั้ง

r= sqrt(pow(x,2)+pow(y,2)); // คำนวณระยะกระจัด
E_RDis->Text=FloatToStr(r); // แสดงระยะกระจัด

UP=StrToFloat(E_UPDis->Text); // เก็บค่า unit/pixel
E_RealDis->Text=FloatToStr(UP*r); // คำนวณและแสดง ระยะจริง

if(y!=0) // ตรวจสอบกรณีตัวหารเป็น 0
{
rad= atan2(y,x); // คำนวณมุม หน่วยเรเดียน
deg= (rad*180)/3.141592654; // คำนวณมุม หน่วย องศา
}
}
```

```
else
{
rad=0;
deg=0;
}
//----- แสดงค่ามุม ตามตำแหน่ง -----//
```

```
if(x1>=xf && y1>=yf) // q4
{
rad=6.283185307-rad;
deg=360-deg;
}
```

```
else if(x1>=xf && y1<=yf) // q1
{
rad=rad;
deg=deg;
}
```

```
else if(x1<=xf && y1<=yf) // q2
{
rad=3.1414592654-rad;
deg=180-deg;
}
```

```
else if(x1<=xf && y1>=yf) // q3
{
rad=3.1414592654+rad;
deg=180+deg;
}
```

```
E_AngDegDis->Text=FloatToStr(deg); // แสดงค่ามุม หน่วยเป็นองศา
E_AngRadDis->Text=FloatToStr(rad); // แสดงค่ามุม หน่วยเป็นเรเดียน

E_PixelDis->Text=IntToStr(x*y); // แสดงจำนวนจุดภาพ
E_AreaDis->Text=FloatToStr(x*y*UP); // แสดงพื้นที่จริง

}
```

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ เพราะความกรุณาช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ  
ข้อมูล และคำแนะนำจาก รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูรณ์  
ขอขอบคุณ คำแนะนำทางด้านกระบวนการคิด, เทคนิคการเขียนโปรแกรมรวมทั้งหลักการ  
ทางกลไก จากเพื่อนๆ ห้อง R3

## เอกสารอ้างอิง

1. จูริพงษ์ นามแดง, “DAQคาต้าแอกควิชชันบนพีซี”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์, ฉบับที่186, 2541, หน้า 158-162.
2. จูริพงษ์ นามแดง, “DAQคาต้าแอกควิชชันบนพีซี”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์, ฉบับที่187, 2541, หน้า 146-152.
3. ศุภชัย พุคยาภรณ์, “เครื่องวัดระยะทาง”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์, ฉบับที่179, 2536, หน้า 24-30.
4. เสริมพงษ์ คงวิริยะวิทยา, “การวัดระยะทางของพื้นผิววัตถุแบบสามมิติด้วยรหัสเกรย์”, คณะ - วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 83 หน้า, 2539
5. Bruce Mielke, “Integrated Computer Graphics”, St. Paul, West Publishing Company, 1991
6. Haim Levkowitz and Gabor T. Herman, “Color Scales for Image Data”, IEEE Computer Graphics and Application, January, 1992, pp. 72-80
7. H. Yamamoto, K. Sato and S. Inokuchi, “Tuned Range Finder for High Precision 3-D Data”, Proc. 8<sup>th</sup> ICPR, pp. 35-50, 1986
8. James D. Foley, Andries Van Dam, Steven K. Feiner and John F. Hughes, “Computer Graphics Principles and Displays”, second edition, Singapore, Addison-Wesley Publishing Company, 1990
9. James D. Foley and Jack Grimes, “Using Color in Computer Graphics”, IEEE Computer Graphics and Application, January, 1988, pp. 25-27
10. Neubert, Herman K.P., “Instrument transducers”, Oxford, Clarendon Press, 1975