



หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

MOBILE ROBOT

วัน เดือน ปี 1 ส.ค. 2540
เลขทะเบียน 037131
เลขเรียกหนังสือ T 38224 จ.549 น.

โดย

นาย จิรพัฒน์ คังหงษ์

รหัส 35104007

นาย ชัยวัฒน์ รุจิเมธ เกษ

รหัส 35104104

นาย จิตติ จังวัฒนกิจ

รหัส 36014075

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ.ดร. วัลลภ สุระกำพลธร

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

037131

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

MOBILE ROBOT

ผู้จัดทำ

1. นาย จิรวัฒน์ หังหงส์ รหัส 35104067
2. นาย ชัยวัฒน์ รุจิเมธภาส รหัส 35104104
3. นาย จิตติ จิงวัฒนกิจ รหัส 36014075


.....
ศ.ดร.วัลลภ กุระกำพลธร
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

จิรพัฒน์ คังหงส์

ชัยวัฒน์ รุจิเมธภาส

จิตติ จิงวัฒนกิจ

ศ.ดร.วัลลภ สุระกำพลธร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538

บทกัตย่อ

โครงการชิ้นนี้เป็นโครงการเกี่ยวกับการทดลองสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งในการเคลื่อนที่นี้จะต้องสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่วางอยู่บนพื้นได้เองด้วย โครงการนี้ใช้เซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดเป็นตัวตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวตัดสินใจว่าจะทำอย่างไรเมื่อพบสิ่งกีดขวาง ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้นเราใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อน แต่เนื่องจากการที่จะทำให้หุ่นยนต์สามารถเดินในสิ่งแวดล้อมจริงได้นั้นมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นเราจึงต้องจำกัดสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองไม่ให้มีความยากจนเกินไปนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOBILE ROBOT

Jirapat Tanghongs

Chaiwat Rujimetapath

Jitti Jungwattanakij

Prof.Dr.Wanlop Surakamponporn Advisor

1995

ABSTRACT

In this project, we tried to build a robot that can move automatically. The robot has to avoid crashing an obstacle on the floor. We use infrared sensors to detect the obstacles. Microcontroller is used to make a decision to do something when the robot find an obstacle. The robot's movement is made by using two d.c. motors. Because of difficulty of movement in complex environment, we should not choose too difficult environment to test our robot.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
สารบัญ	iii
สารบัญรูปภาพ	vi
สารบัญตาราง	ix
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 นำเรื่อง	1-1
1.2 แผนผังงานสำหรับการวางแผน	1-2
1.2.1 สิ่งแวดล้อม และหลักการของแผนที่	1-2
1.3 การติดตั้งเซนเซอร์	1-3
1.3.1 แผนที่ท้องถิ่นและบริเวณการชน	1-4
1.3.2 กฎพื้นฐานการตีความข้อมูลของอินฟาเรด	1-5
1.4 การวางแผนเส้นทางไกล	1-8
1.4.1 สมการค่า (Cost Function)	1-8
1.4.2 การปรับปรุงแบบจำลองทั้งหมด	1-9
1.5 การเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม : การกำหนดปัญหา	1-11
1.5.1 การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง	1-12
1.5.2 ตัวอย่างของการทดลอง	1-12
1.5.3 ตัวอย่างที่ 1	1-13
1.5.4 ตัวอย่างที่ 2	1-13
1.6 การประเมินที่เวลาจริง	1-15
บทที่ 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับระบบขับเคลื่อนหุ่นยนต์	2-1
2.1 หลักการเบื้องต้น	2-1
2.2 ความเร็วของการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์	2-2
2.3 การควบคุมทิศทางการหมุนของตัวมอเตอร์	2-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 2.3.1 การใช้รีเลย์ควบคุมมอเตอร์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 2-2 การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การใช้ทรานซิสเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์	2-3
2.3.3 การใช้เพาเวอร์มอสเฟตในการควบคุมมอเตอร์	2-5
2.4 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์	2-5
บทที่ 3 การเข้ารหัสสำหรับเพลาหมุน	3-1
3.1 พื้นฐานของการเข้ารหัส	3-1
3.2 อุปกรณ์ตรวจจับ	3-3
3.2.1 แบบใช้หลักการทางกล	3-4
3.2.2 แบบใช้หลักการฮอลล์เอฟเฟกต์	3-5
3.2.3 แบบใช้หลักการสะท้อนของแสง	3-6
3.2.4 แบบใช้หลักการตัดลำแสง	3-7
บทที่ 4 อุปกรณ์เซนเซอร์	4-1
4.1 สวิตช์กลไก	4-1
4.2 สวิตช์อ่อนตัว	4-3
4.3 สวิตช์ปรอท	4-4
4.4 ตัวตรวจจับแม่เหล็ก	4-4
4.5 อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง	4-5
4.5.1 โฟโตเซลล์	4-5
4.5.2 โฟโตทรานซิสเตอร์	4-6
4.5.3 อินฟราเรดแอลอีดี	4-8
4.5.4 ออปโตไอโซเลเตอร์	4-9
4.5.4.1 ออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดคู่	4-11
4.5.4.2 ตัวตรวจจับการสะท้อน	4-11
4.6 อุปกรณ์ตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ใช้ในหุ่นยนต์	4-12
4.6.1 สวิตช์สัมผัส	4-12
4.6.2 อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	4-12
4.6.3 อินฟราเรดเซนเซอร์	4-12
4.7 วงจรอินฟราเรดเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ตรวจจับในโรงงาน	4-13
บทที่ 5 เอ็มซีเอส-51	5-1
5.1 หน่วยความจำของเอ็มซีเอส-51	5-1
5.2 รีจิสเตอร์ภายในเอ็มซีเอส-51	5-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 สายต่างๆของบัสและพอร์ต	5-3
5.3.1 ขา PSEN	5-3
5.3.2 ขา EA	5-4
5.3.3 ตัวจับเวลา/ตัวนับ	5-4
5.3.3.1 เมื่อทำงานเป็นวงจรรีติงเวลา	5-4
5.3.3.2 เมื่อทำงานเป็นนาฬิการับ	5-4
5.4 การจัดหน่วยความจำ	5-5
5.4.1 หน่วยความจำโปรแกรม	5-6
5.4.2 หน่วยความจำข้อมูล	5-6
5.5 ตัวจับเวลา/ตัวนับ	5-9
5.6 พอร์ตอนุกรม	5-11
5.7 การอินเตอร์รัพต์	5-12
5.8 ชุดคำสั่งของเอ็นซีเอส-51	5-15
5.8.1 กลุ่มการถ่ายเทข้อมูล	5-16
5.8.1.1 การถ่ายเทข้อมูลในแรมภายใน	5-16
5.8.1.2 การถ่ายเทข้อมูลในแรมภายนอกและหน่วยความจำโปรแกรม	5-18
5.8.2 กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์	5-19
5.8.3 กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์	5-20
5.8.4 กลุ่มคำสั่งแบบบูลีน	5-22
5.8.5 กลุ่มคำสั่งการกระโดด	5-22
บทที่ 6 การออกแบบและการสร้าง	6-1
6.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของตัวหุ่นยนต์	6-1
6.2 อัลกอริทึมของการตัดสินใจ	6-2
6.3 ฟLOWชาร์ท (flowchart) แสดงการทำงานของโปรแกรม	6-4
6.4 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์	6-7
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์	7-1
7.1 การทดลองและปัญหาที่พบในโครงงาน	7-1
7.2 การประยุกต์ใช้งาน	7-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เอกสารอ้างอิง
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	แสดงแบบจำลองทางเรขาคณิตและแบบจำลองสัญลักษณ์ของห้องทดลองเอจี้วี	1-3
รูปที่ 1.2	แสดงการติดตั้งชุดของเซนเซอร์ 12 ตัว	1-3
รูปที่ 1.3	แสดงแผนที่ท้องถิ่นซึ่งประกอบด้วยบริเวณการชนและบริเวณคาเคา	1-4
รูปที่ 1.4	แสดงการแปลความหมายของเซนเซอร์ 3 ตัวหน้าเมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางแบบต่างๆ	1-5
รูปที่ 1.5	แสดงปัญหาที่เกิดจากการที่ขนาดของลำแสงกว้างเกินไปและการสะท้อนบางมุมที่ไม่เกิดการสะท้อนกลับ	1-6
รูปที่ 1.6	แสดงเส้นทางเดิน	1-8
รูปที่ 1.7	แสดงกราฟการถ่วงน้ำหนักของเส้นทางต่างๆ	1-9
รูปที่ 1.8	แสดงการเกิดกรณีที่มีสิ่งกีดขวางที่ไม่ได้คาดหมายมาขวางทางเดิน	1-11
รูปที่ 1.9	แสดงแผนภาพของอัลกอริทึมของการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง	1-11
รูปที่ 1.10	แสดงแบบจำลองและส่วนต่างๆ ของห้องทดลองเอจี้วีของมหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ด	1-12
รูปที่ 1.11	แสดงการเลี้ยวอ้อม	1-12
รูปที่ 1.12	แสดงการถอยหลังเพื่อที่จะเลือกทางเดินใหม่	1-13
รูปที่ 1.13	แสดงการเลี้ยวอ้อมเพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางของเอจี้วี	1-14
รูปที่ 1.14	แสดงการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางโดยการเปลี่ยนเส้นทางเดินของเอจี้วี	1-15
รูปที่ 2.1	แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยอาศัยมอเตอร์ 2 ตัว	2-1
รูปที่ 2.2	แสดงลักษณะการติดตั้งล้อที่ใช้ในการขับเคลื่อนและล้อที่ใช้สำหรับการทรงตัว	2-2
รูปที่ 2.3	แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้รีเลย์	2-3
รูปที่ 2.4	แสดงการต่อทรานซิสเตอร์ 4 ตัวเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์	2-3
รูปที่ 2.5	แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์ควบคุมด้วยมอเตอร์เฟด	2-4
รูปที่ 2.6	แสดงวงจรตัวอย่างที่ใช้ในการควบคุมทิศทางการหมุน, การหยุดหมุนและความเร็วของมอเตอร์	2-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1	แสดงตัวเข้ารหัสอย่างง่ายที่ให้เอาต์พุตเป็น 1 พัลส์ต่อการหมุน 1 รอบ	3-1
รูปที่ 3.2	แสดงการหาทิศทางของการหมุนโดยใช้ตัวตรวจจับ 2 ชุด	3-2
รูปที่ 3.3	แสดงตัวเข้ารหัสสำหรับเพลาหมุนอย่างง่ายโดยใช้ไมโครสวิตช์	3-4
รูปที่ 3.4	แสดงตัวเข้ารหัสแบบใช้หลักการฮอลล์เอฟเฟกต์	3-5
รูปที่ 3.5	แสดงตัวเข้ารหัสแบบใช้หลักการสะท้อนแสง	3-6
รูปที่ 3.6	แสดงตัวเข้ารหัสแบบใช้หลักการตัดแสง	3-7
รูปที่ 3.7	แสดงตัวเข้ารหัสสำเร็จรูปที่มีใช้ในงานอุตสาหกรรม	3-7
รูปที่ 4.1	แสดงวงจรที่ใช้ในการแก้ไขการเกิดสวิตช์บาวซ์	4-2
รูปที่ 4.2	แสดงภาพตัดแสดงโครงสร้างของสวิตช์อ่อนตัว	4-3
รูปที่ 4.3	แสดงวงจรใช้งานของสวิตช์อ่อนตัว	4-3
รูปที่ 4.4	แสดงวงจรประยุกต์ใช้งานสวิตช์ปรอทตรวจจับความเอียง	4-4
รูปที่ 4.5	แสดงวงจรเตือนภัยประยุกต์ใช้งานสวิตช์แม่เหล็ก	4-5
รูปที่ 4.6	แสดงวงจร CVO ควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโต้เซลล์	4-6
รูปที่ 4.7	แสดงวงจรควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโต้เซลล์	4-7
รูปที่ 4.8	แสดงวงจรประยุกต์ใช้งานอินฟราเรดแอลอีดี	4-8
รูปที่ 4.9	แสดงวงจรออปโตไอโซเลเตอร์อย่างง่าย	4-9
รูปที่ 4.10	แสดงวงจรออปโตไอโซเลเตอร์แบบคู่	4-10
รูปที่ 4.11	แสดงตัวตรวจจับการสะท้อน	4-10
รูปที่ 4-12	แสดงวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ใช้ในหุ่นยนต์	4-14
รูปที่ 5.1	แสดงการจัดวางขาต่างๆ ของเอ็มซีเอส-51	5-1
รูปที่ 5.2	แสดงหน้าที่ของพอร์ตเมื่อทำงานกับหน่วยความจำภายนอก	5-2
รูปที่ 5.3	แสดงโครงสร้างการจัดหน่วยความจำของเอ็มซีเอส-51	5-2
รูปที่ 5.4	แสดงโครงสร้างภายในของเอ็มซีเอส-51	5-4
รูปที่ 5.5	แสดงการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม	5-5
รูปที่ 5.6	แสดงการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำข้อมูล	5-6
รูปที่ 5.7	แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอก	5-6
รูปที่ 5.8	แสดงจัดหน่วยความจำข้อมูล	5-7
รูปที่ 5.9	แสดงพื้นที่การกำหนดตำแหน่งของภายในหน่วยความจำข้อมูลภายในจาก	5-8
รูปที่ 5.8		
รูปที่ 5.10	แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 0 และโหมด 1	5-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.11	แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 2	5-10
รูปที่ 5.12	แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 3	5-10
รูปที่ 5.13	แสดงบิตควบคุมที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ TMOD	5-11
รูปที่ 5.14	แสดงบิตควบคุมที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ TCON	5-12
รูปที่ 5.15	แสดงบิตควบคุมที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ SCON	5-13
รูปที่ 5.16	แสดงแผนภูมิทางฮาร์ดแวร์ของแหล่งอินเทอร์รัพต์ชนิดต่างๆ	5-14
รูปที่ 5.17	แสดงบิตควบคุมการอินเทอร์รัพต์ในรีจิสเตอร์ IE	5-15
รูปที่ 5.18	แสดงโปรแกรมเลื่อนข้อมูลไปทางขวา 2 ไบต์	5-17
รูปที่ 5.19	แสดงโปรแกรมดึงค่าจากหน่วยความจำโปรแกรมมาใช้	5-18
รูปที่ 5.20	แสดงโปรแกรมบวกเลข BCD 2 หลัก	5-20
รูปที่ 5.21	แสดงโปรแกรมสำหรับนำข้อมูลจากพอร์ต 1 และพอร์ต 2 มา OR กัน แล้วเก็บผลลัพธ์ไว้ที่ 0100H	5-21
รูปที่ 5.22	แสดงโปรแกรมที่ใช้เลือกกระโดดไปโปรแกรมย่อย	5-24
รูปที่ 6.1	แสดงส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในหุ่นยนต์	6-1
รูปที่ 6.2	แสดงตัวอย่างแผนผังการเดินอย่างง่าย	6-3
รูปที่ 6.3	แสดงฟลอชาร์ทของโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์	6-4
รูปที่ 6.4	แสดงฟลอชาร์ทของโปรแกรมการนำทาง	6-5
รูปที่ 6.5	รูปแสดงฟลอชาร์ทการของโปรแกรมส่วนการตัดสินใจ	6-6
รูปที่ 7.1	แสดงภาพจำลองสภาพการทดสอบการเดินเข้าหาจุดมุ่งหมายของหุ่นยนต์ในกรณีที่มีมุมศีกบังอยู่	7-1

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงความน่าจะเป็นของผลการตรวจจับแบบต่างๆ วัดที่ระยะต่างๆกัน
ตารางที่ 1.2	นิยามของลอสฟังก์ชัน (loss function)
ตารางที่ 4.1	แสดงคุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสสวิตช์
ตารางที่ 5.1	แสดงลำดับความสำคัญของแหล่งอินเทอร์รัพต์ต่างๆ
ตารางที่ 5.2	แสดงตำแหน่งที่อยู่ของการกระโดดแต่ละแหล่งอินเทอร์รัพต์
ตารางที่ 5.3	แสดงชุดคำสั่งของการถ่ายเทข้อมูลในแรมภายใน
ตารางที่ 5.4	แสดงชุดคำสั่งการถ่ายเทข้อมูลในแรมภายนอก
ตารางที่ 5.5	แสดงชุดคำสั่งการถ่ายเทข้อมูลในหน่วยความจำ โปรแกรม
ตารางที่ 5.6	แสดงชุดคำสั่งทางคณิตศาสตร์
ตารางที่ 5.7	แสดงชุดคำสั่งของกลุ่มทางตรรกศาสตร์
ตารางที่ 5.8	แสดงชุดคำสั่งของบูลีน
ตารางที่ 5.9	แสดงคำสั่งกระโดดที่ไม่ตั้งชื่อ
ตารางที่ 5.10	แสดงคำสั่งกระโดดที่มีชื่อแม่ต่างๆ ในเอ็มซีเอส-51

บทที่ 1 บทนำ

1.1 น้าเรื่อง

ในบทนี้เป็นกรอธิบายวิธีของการวางแผนเส้นทางพื้นฐาน และหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ใช้ชุดอินฟราเรด (infrared array) บนเอจีวี (Advance Guidance Vehicle : AGV) ซึ่งได้ทำการศึกษาจากหนังสือชื่อ Advance Guidance Vehicle การหลบหลีกสิ่งกีดขวางเป็นกฎเฉพาะสำคัญต่อการประยุกต์ใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในสภาวะจริง การทดลองวิจัยประสบปัญหาสองประการคือ พื้นฐานรูปแบบ (model-based) และพื้นฐานตัวตรวจรู้ (sensor-based) โดยทั่วไปพื้นฐานรูปแบบจะหมายถึงการหลบหลีกสิ่งกีดขวางในที่ที่กำหนด การสร้างรูปแบบสิ่งกีดขวางขึ้นมาโดยมีรูปแบบที่ง่ายต่อการทดลองหาทางเดินที่ไม่ชนได้ ต้องกำหนดพื้นที่ให้ง่าย และอีกสิ่งพื้นฐานตัวตรวจรู้พัฒนาการตัวตรวจจับ และหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางจากสภาวะจริงซึ่งจากการทดลองนี้ เราใช้ชุดอินฟราเรดในการหาเส้นทาง

หลายวิธีสำหรับเวลาจริง (real-time) การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และการออกแบบแนวคิดได้รายงานไว้ในหลายๆ วิธีนี้มีพื้นฐานมาจาก สนามศักย์ประดิษฐ์ (Artificial potential field) มากที่สุด เช่น วิธีสนามศักย์ (Potential Field Method), สนามศักย์ทั่วไป (Generalized Potential Field), สนามแรง (Force Field), สนามแรงเหมือนจริง (Virtual Force Field) และเดินเข้าหาเรียงจุดหมาย (Goal Relocation Approach)

วิธีสนามศักย์นี้น่าสนใจสำหรับการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เพราะเป็นวิธีการง่ายและประสิทธิภาพพอเพียงแต่สำหรับบางงานที่ยากๆ วิธีนี้ก็ขาดประสิทธิภาพพอ ในสภาวะแวดล้อมจริง หุ่นยนต์จะหลงทางเกิดขึ้นกับทางที่มากแบบ ซึ่งผลของสนามศักย์ได้อาศัยรับแรงดึงดูดจากเป้าหมาย แล้วเกิดขึ้นได้หลายทางเป็นแรงดึงดูดที่ทำให้สับสน นั้นสามารถเกิดขึ้นจริงกับสภาวะแวดล้อมรวมถึงสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเว้า ยังมีปัญหาอื่นๆ ทางเดินที่วนไปวนมา, เมื่อเดินทางผ่านทางแคบหรือระเบียบและไม่สามารถผ่าน ความหนาแน่นของสิ่งกีดขวางสูง ซึ่งเราต้องใช้วิธีอื่น เช่น เวกเตอร์สนามภาพเหลี่ยม (Vector field histogram) ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันที่เขียนเหลี่ยม (Cartesian Histogram grid) ของพื้นที่จริง 2 มิติ การเก็บข้อมูลที่เปลี่ยนไปตลอดเวลา และพื้นที่ 1 มิติ ของพื้นที่เชิงขั้วเหลี่ยม (Polar histogram) (การจัดเก็บข้อมูลชั้นสูง) ที่แสดงตำแหน่งของสิ่งกีดขวางรอบหุ่นยนต์เป็นเชิงขั้ว เหมาะสำหรับสิ่งกีดขวางหนาแน่นแต่มีระยะทางไม่ไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากนัก อยู่ในตำแหน่งที่หุ่นยนต์สามารถทราบถึงเป้าหมาย ซึ่ง Zhao และ BeMent ได้พัฒนาระบบการเรียนรู้สำหรับการแก้ไขกับดักเอาไว้

อย่างไรก็ตามวิธีสนามศักย์ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด และความยากที่จะพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนเพราะติดด้านจลน์ศาสตร์ ด้วยเหตุผลหลักที่หุ่นยนต์เลี้ยวเป็นวงกลม และไม่สามารถคงเส้นทางเดิม หรือเส้นทางใหม่ได้อย่างทันทีทันใด มากกว่านั้นข้อจำกัดบนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในเส้นทางที่เปลี่ยนไปตลอดจะไม่สามารถใช้วิธีสนามศักย์ได้

วิธีต่อไปนี้เป็น การแสดงทางเดินสำหรับเส้นทางโรงงาน ใช้รูปแบบที่ง่าย สูตรของแผนผังที่เราตั้งเป้าหมายการตัดสินใจที่ดีที่สุด ภายใต้ความไม่แน่นอนของการอ่านค่าของตัวตรวจรู้(sensor) เราแสดงการตัดสินใจทางทฤษฎีที่พัฒนาเพื่อแก้ปัญหาหลบหลีกสิ่งกีดขวางเราอธิบายจากการตีความจากกฎและความน่าจะเป็นของรูปแบบตัวตรวจรู้ที่สร้างเพื่อลดความไม่แน่นอนของการรับข้อมูลอินฟาเรด ความสำเร็จขั้นต้นของอัลกอริทึม (Algorithm) ของทางเดินโรงงานของฟังก์ชันหาย(loss function) และการสร้างใหม่(recursive) กฎการตัดสินใจ Bayes สุดท้ายนี้ เราแสดงผลบนการพัฒนาจริง

1.2 แผนผังงานสำหรับการวางแผน (Framework for Planning)

โดยปกติโรงงานจะมีเส้นทางรถเป็นทางยาว และมีจุดทางแยกต่างๆ ดังนั้นเราคิดแปลงจำลองแบบเช่นนั้นมาเป็นแบบการวางแผนพื้นที่, ใช้สถิติ, หลักการเดียวกันวิเคราะห์ให้คล้ายเป็นแผนที่ของโรงงาน อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายตัวที่เกี่ยวข้อง ทุกจุดของแผนที่สามารถทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ จะนำข้อมูลผ่านตัวตรวจจับมาวิเคราะห์ได้

1.2.1 สิ่งแวดล้อม และหลักการของแผนที่(Environment and its Topological Map)

จากที่อธิบายก่อนหน้านี้ ในสิ่งแวดล้อมที่หุ่นยนต์ปฏิบัติงาน และพื้นที่ผู้วางแผนที่ทดลองยาว 15 เมตร และกว้าง 3.8 เมตร, และรวมทั้งกำแพง 4 อัน เราสมมติว่าพื้นที่ที่ทดลองที่กำหนดเป็นสิ่งแวดล้อมเรียกว่า เหตุผลหลัก (priori), แต่คน, โต๊ะ, เก้าอี้, กล้อง ฯลฯ เรียกว่าเป็น สิ่งกีดขวาง สามารถอยู่ ณ ที่ใดๆ ดังนั้นถ้าหากหุ่นยนต์รู้ว่าสิ่งแวดล้อมเป็นเช่นไรก็สามารถจัดการกับสิ่งกีดขวางที่ไม่คาดคิดได้

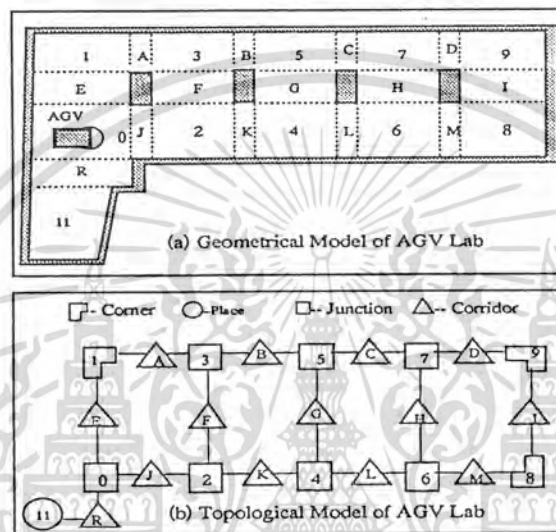
เวลาจริง(real-time) ต้องการวางแผนเส้นทางที่ง่าย และเราต้องสร้างสองแผนที่ใช้ประกอบกัน: หนึ่งแสดงแผนที่ของของสิ่งแวดล้อมทั้งหมด และอีกอันเป็นแผนที่ที่เพิ่งจะสร้างขึ้นรอบๆหุ่นยนต์ เพื่อหาเส้นทางเดินที่ปลอดภัย การแยกออกเป็นสองระดับสำหรับปกติ และทางที่มีผลกระทบ ซึ่งเป็นวิธีในการช่วยการพัฒนาให้ง่ายขึ้น

เราสร้างแผนที่จำลองแบบโดยมีการบอกเป็นข้อมูลให้รู้ก่อนว่าสิ่งใด เป็นสิ่งแวดล้อม และเชื่อมต่อกันอย่างไร ข้อมูลของสิ่งแวดล้อมจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงเพื่อให้หุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

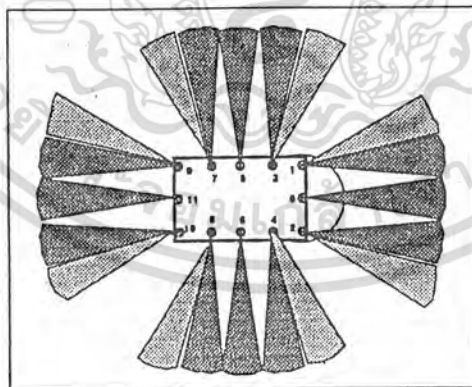
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดเส้นทางที่น่าจะเป็นแน่นอนได้ แผนผังง่ายๆ เชื่อมต่อเป็นลักษณะเส้นกราฟไม่ตรงประกอบกันเป็นเครือข่ายของสถานที่เช่น ห้อง, ระเบียง, มุม และทางแยกดูรูป 1.1 แสดงลักษณะของแผนที่ห้องทดลองเอจีวีสร้างจากพื้นฐานการสร้างแผนที่ที่กล่าวมา โดยคิดคำนวณเป็นสัดส่วนกับขนาดของหุ่นยนต์ ลักษณะตามปกติของพื้นฐานของสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น ขนาดห้องและระเบียนนั้นจะไม่ต่างกัน, คือลักษณะของแผนที่จะต้องเป็นมาตรฐานเดียวกัน



รูปที่ 1.1 แสดงจำลองทางเรขาคณิตและแบบจำลองสัญลักษณ์ของห้องทดลองเอจีวี

1.3 การติดตั้งเซนเซอร์ (Sensor Configuration)



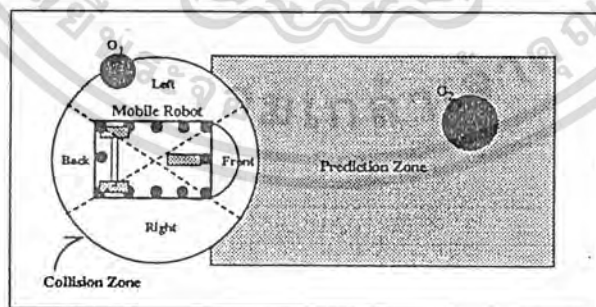
รูปที่ 1.2 แสดงการติดตั้งชุดของเซนเซอร์ 12 ตัว

วิธีที่จะประสบความสำเร็จสำหรับเวลาจริง, เราต้องสร้าง “ม่าน อินฟราเรด (infrared curtain)” ประกอบด้วย 12 ชุดอินฟราเรดติดอยู่รอบตัวหุ่นยนต์ ดังรูป 1.2 แต่ละตัวถูกขับเคลื่อนด้วย ฟูทาบา เซอร์โว มอเตอร์ (Futaba servo motor) และสามารถหมุนได้ 170 องศา โดยความเร็วการหมุนประมาณ 100 องศาต่อวินาที ลำแสงอินฟราเรดเป็นตัวช่วยการหมุนตัว ส่วนตำแหน่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักของการเคลื่อนที่จะเป็นลำแสงสี่เข็ม การทำเช่นนี้จะเป็นการยืดหยุ่นต่อการวางตำแหน่งแบบอื่นๆ การป้องกันการกวนกันของลำแสงอื่นๆ ที่ข้างเคียงนั้น อินฟราเรดทั้ง 12 ตัวโดยปกติจะไม่ทำงานร่วมกัน การแบ่งกลุ่มรับค่าเข้ามา อินฟราเรดของในกลุ่มหนึ่ง จะมีระยะห่างประมาณ 30 เซนติเมตร, และแบ่งการรับค่า หนึ่งกลุ่มจากสี่กลุ่ม ณ เวลาหนึ่ง โดยมีการให้ตัวอื่นรอก่อน หรือมีการหมุนเวียน ระยะที่ไกลที่สุดที่สามารถหวังผลได้นั้น ตั้งค่ารัศมีประมาณ 4.2 เมตร ลำแสงที่สะท้อนเกินจากรัศมีในระยะนี้จะตัดทิ้งเพราะปัญหาการสะท้อนมากเกินไปทำให้ประสิทธิภาพลดลง การอ่านค่าจากทั้งหมดอินฟราเรด 12 ชุดจาก 3 กลุ่มใช้เวลาประมาณ 120 มิลลิวินาที

1.3.1 แผนที่ท้องถิ่นและบริเวณการชน (Local Map and Collision Zone)

เราได้นำเสนอแผนที่ท้องถิ่นที่จะบันทึกข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจรู้ ชุดอินฟราเรด 12 ชุด, พื้นที่รอบบริเวณหุ่นยนต์ แผนที่ประกอบด้วยเขตการชน(collision zone) และเขตคาดเดา(prediction zone), แสดงดังรูป 1.3 เขตการชนเป็นลักษณะ 2 มิติพื้นที่วงกลม รัศมี R_o (โดยคิดเป็นสัดส่วนกับความเร็วหุ่นยนต์), โดยวางตำแหน่งพื้นฐานที่จุดกลางของยานพาหนะ โดยจะแบ่งเป็น สี่พื้นที่ย่อย: หน้า, หลัง, ซ้าย, และขวาเมื่ออินฟราเรดตรวจจับได้ว่ามีสิ่งกีดขวางที่ไม่อาจคาดเดาอยู่ในตำแหน่งหนึ่งของพื้นที่กลุ่มย่อยระหว่างการเดินทางผ่าน, ระบบควบคุมจะสั่งการ หยุด หรือ หลีกหนีออก อย่างทันทีทันใดเพื่อป้องกันการชนที่จะเกิดขึ้น ในทางตรงกันข้าม, เขตคาดเดาเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมมุมฉาก (ขนาด 4 เมตร X 2.7 เมตร) ทางด้านหน้าของหุ่นยนต์, ในทิศทางของหุ่นยนต์มุ่งหน้า เป็นหลักของการคาดเดาของพื้นฐานศักยภาพการชน ทราบว่าเป็น การรบกวนของการรับข้อมูลตัวตรวจรู้, และเลือกควบคุมการกระทำตอบสนองเช่น a_1 (เคลื่อนย้ายไปรอบสิ่งกีดขวาง) หรือ a_2 (ถอยหลัง)



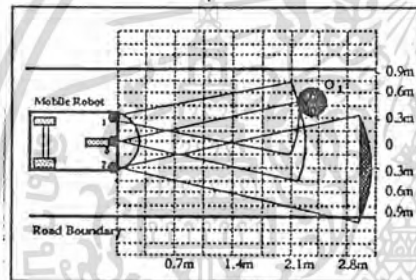
รูปที่ 1.3 แสดงแผนที่ท้องถิ่นซึ่งประกอบด้วยบริเวณการชนและบริเวณคาดเดา

เมื่อตัวตรวจรู้อินฟราเรดอ่านค่าพื้นที่ที่กว้างไกล, มันจำเป็นต้องจัดการจับเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ของตัวตรวจรู้จริง แล้วสรุปเป็นพื้นที่ของตัวตรวจรู้ ในความหมายก็คือ, ข้อมูลตัวตรวจรู้จริง จะสรุปเมื่อ: (i)ระยะทางสั้น, ซึ่งจับได้ทั้งเขตการชน และเขตคาดเดา และทราบได้ว่า สิ่งกีดขวางกำลังจะเข้ามาใกล้, และ(ii)ระยะยาว, หมายความว่าน่าจะไม่มีสิ่งกีดขวาง ในอีกทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

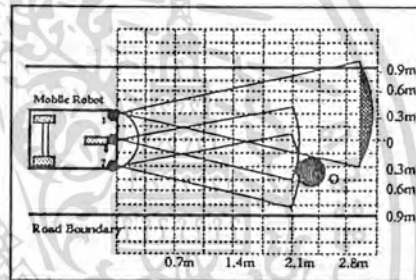
หนึ่ง, หุ่นยนต์สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ไม่คาดคิดได้อย่างรวดเร็ว ข้อมูลสรุปได้ทันทีที่ทันใจจะเอาไปเปรียบเทียบกับแผนที่ใกล้เคียง และบอกให้ทราบถึงพื้นที่ที่ครอบคลุมที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางในเวลาจริง ยกตัวอย่างเช่น, สิ่งกีดขวาง O1 ในรูป 1.3 เปรียบเทียบแล้วทราบว่าอยู่กลุ่มย่อยทางซ้าย, แต่ไม่มีการกระทำใดเพราะว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในทางตรงข้าม, หุ่นยนต์จะมีผลกับสิ่งกีดขวาง O2 ในเขตคาดเดา และเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่จะหลบหลีก

1.3.2 กฎพื้นฐานการตีความข้อมูลของอินฟारेด

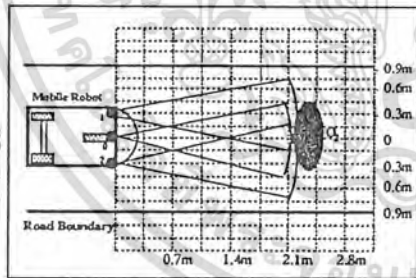
อินฟारेดนั้นใช้เป็นตัวชี้ทางให้อัลกอริทึม หลบหลีกสิ่งกีดขวาง และการปรับปรุงแผนที่ทั้งหมดวิธีการประยุกต์ทั้งสองจำเป็นต้องใช้ในสามกรณีดังนี้: (i) เส้นทางสะดวก, (ii) เห็นว่าสิ่งกีดขวางนั้นอยู่ด้านข้างสามารถทำงานต่อไปได้, (iii) เห็นว่าสิ่งกีดขวางนั้นปิดกั้นเส้นทางทั้งหมด ซึ่งต้องให้หุ่นยนต์เคลื่อนย้ายทางเดิมหาทางใหม่



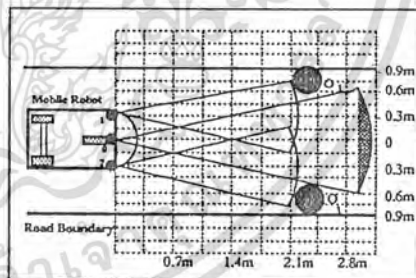
(a) An Obstacle Appears at the Left Side



(b) An Obstacle Appears at the Right Side



(c) An Obstacle Appears at the Middle



(d) The Obstacles Appear at the both Sides

รูปที่ 1.4 แสดงการแปลความหมายของเซนเซอร์ 3 ตัวหน้าเมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางแบบต่างๆ

เมื่อด้านหน้ามีการค้นพบสิ่งกีดขวางที่ไม่คาดคิดในเขตคาดเดา, หุ่นยนต์จะใช้อินฟारेดด้านหน้า 3 ตัวประมาณค่าของช่องว่าง, และตัดสินใจการผ่านไปได้ ความกว้างของลำแสงอินฟारेดที่จะวัดได้ถูกต้องแม่นยำที่เส้นทางยาวๆไม่ได้, เราปรับปรุงกฎพื้นฐานการตีความค่าอินฟारेดสามตัว มันเป็นพื้นฐานลำแสงถูกบัง ที่ระยะหนึ่ง, รูป 1.4, ที่ที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านจุดสมมติโดยบังคับกับทางเดินด้วยขอบถนน

สามลำแสงถูกบังในตำแหน่งไกลกว่า ระยะ 0.7 เมตร, ดังรูป 1.4 เราเลือกให้ระยะ 2.1 เมตร เป็นระยะทางที่หุ่นยนต์ต้องตัดสินใจ, เลือกความเร็วที่ 0.5 เมตรต่อวินาที, ถนนมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้าง 1.8 เมตร, แลความละเอียดขึ้นอยู่กับอินฟาเรดสามตัวด้านหน้า

กฎของความ

เป็นไปได้สำหรับการตีความสามารถอธิบายได้อย่างง่าย

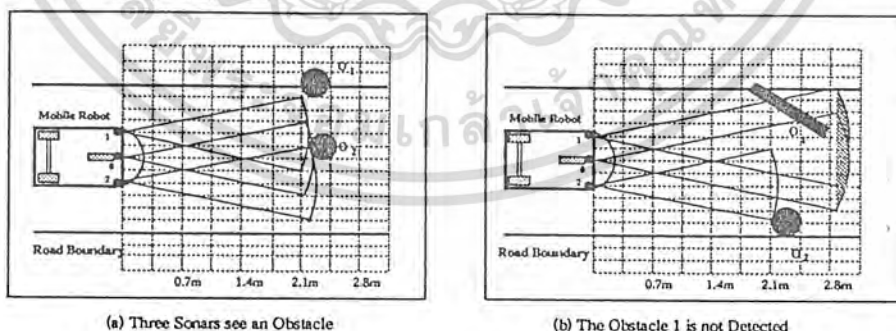
กฎ 1 ถ้าอินฟาเรดทั้งสามตัวว่างเปล่า, สามารถเดาว่าผ่านไปได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนกระทำการใด

กฎ 2 ถ้าอินฟาเรดตัวกลางไม่เห็นอะไรที่ปลายลำแสง, ให้คาดเดาว่าทางสามารถผ่านไปได้ถึงแม้ว่าอินฟาเรดสองตัวด้านข้างสามารถจับสิ่งกีดขวางได้ก็ตาม รูป 1.4(d)

กฎ 3 ถ้าอินฟาเรดตัวหนึ่งตัวใดด้านข้างว่างไม่เห็นอะไร ที่เขตคาดเดา ถนนกว้างอย่างน้อยเป็นสองเท่าของความกว้างหุ่นยนต์, ถือช่องว่างที่เกิดขึ้นหุ่นยนต์สามารถผ่านได้ แม้ว่าอินฟาเรดสองตัวที่ติดกันจะจับสิ่งกีดขวางได้ก็ตาม แสดงรูป 1.4(a) และ 1.4(b)

กฎ 4 ถ้าอินฟาเรดทั้งสามตัวสามารถตรวจจับได้พร้อมกันหมายความว่า เส้นทางนั้นถูกปิด ดังรูป 1.4(c)

กฎเหล่านี้เป็นพื้นฐานการตีความข้อมูลของอินฟาเรดสามตัวอย่างง่าย และชัดเจน อย่างไรก็ตามอย่างไรก็ดี เราพบว่ายังมีปัญหาสองข้อที่จะต้องแก้ไขให้ได้เมื่อนำไปใช้จริง ปัญหาแรกคือข้อจำกัดบางเส้นทางอาจถูกมองเห็นว่าผ่านไม่ได้เพราะความกว้างของลำแสงมากเกินไปตัวอย่างเช่น รูป 1.5 (a) แสดงช่องว่างด้านขวา ตามความจริงแล้วสามารถผ่านได้ แต่อินฟาเรดทั้งสามเกิดตรวจจับได้คือเห็นสิ่งกีดขวาง O2 เราเรียกสถานการณ์นี้ว่า “พลาด (miss)” จากการวัด ซึ่งจะตรงกับกฎสี่ข้อที่กำหนดว่าเส้นทางตัน สองปัญหาอันเนื่องมาจากการสะท้อนกลับผิดทิศ รูป 1.5(b) แสดงสถานการณ์ที่มีสิ่งกีดขวาง O1 ไม่สามารถตรวจจับได้จากอินฟาเรดเพราะว่า พื้นที่ผิวไม่ตั้งฉากกับแกนของลำแสงของตัวส่ง จึงทำให้เส้นทางที่ไม่สามารถผ่านไปได้กลับตีความว่าผ่านไปได้ เราเรียกสถานการณ์ว่า “ผิด (false)” จากการวัด



(a) Three Sonars see an Obstacle

(b) The Obstacle 1 is not Detected

รูปที่ 1.5 แสดงปัญหาที่เกิดจากการที่ขนาดของลำแสงกว้างเกินไปและการสะท้อนบางมุมที่ไม่เกิดการสะท้อนกลับ

ในการแก้ปัญหาคำถาม “ผิด” กับ “พลาด”, จำเป็นต้องใช้ความน่าจะเป็นวัดค่าสำหรับกฎที่เราตั้งขึ้น เพื่อจัดการกับความผิดพลาดของตัวตรวจจับ การวัดความน่าจะเป็นจะเป็นสิ่งที่กระทำได้ถึง 5000 ทางเลือกโดยการสุ่ม ปัญหาหลักของสิ่งกีดขวาง เราพิจารณา เฟอร์นิเจอร์, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่อง, และคน เราสมมติขนาดของสิ่งกีดขวาง (วัดขนาดจาก ตัวตรวจรู้), O_s , เป็นการสุ่มค่าด้วย การกระจายแบบต่างๆกัน จากระยะ 10 เซนติเมตร ถึง 60 เซนติเมตร โดยธรรมชาติของสิ่งกีด ขวางจะต้องมี: มุม, ขอบ, ผิวโค้ง, ผิวเรียบ, และชนิดที่มีผิวที่บอกรูปแบบไม่ได้ ซึ่งตามสภาพเป็น จริงก็จะต้องพบค่าที่สุ่ม และการกระจายไว้รูปแบบเราจะอธิบายในขอบเขตดังนี้

* N_t เป็นจำนวนเส้นทางทั้งหมด (จากการวัด)

* $n_1 \in N_t$ เป็นจำนวนของครั้งที่ สถานะ $\ominus_1$ (สามารถผ่านไปได้)

* $n_2 \in N_t$ เป็นจำนวนของครั้งที่ สถานะ $\ominus_2$ (ไม่สามารถผ่านไปได้)

* z_{1c} เป็นค่าที่วัดถูกต้องที่ได้จากการวัด สถานะ $\ominus_1$, และ n_{1c} เป็นจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์ $z_{1c} \in n_1$

* z_{1m} เป็นค่าที่วัดได้จาก พลาด สถานะ $\ominus_1$, และ n_{1m} เป็นจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์ $z_{1m} \in n_1$

* z_{2c} เป็นค่าที่วัดถูกต้องที่ได้จากการวัด สถานะ $\ominus_2$, และ n_{2c} เป็นจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์ $z_{2c} \in n_2$

* z_{2f} เป็นค่าที่วัดได้จาก ผิด สถานะ $\ominus_2$, และ n_{2f} เป็นจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์ $z_{2f} \in n_2$

จากที่กล่าวข้างต้นสามารถสรุปได้

$$N_t = \sum_{i=1}^2 n_i = n_{1c} + n_{1f} + n_{2c} + n_{2f}$$

จากเงื่อนไขที่กล่าวมาความน่าจะเป็นของสี่เหตุการณ์ z_{1c} , z_{1m} , z_{2c} , และ z_{2m}

$$P(z_{1c}|\ominus_1) = n_{1c}/n_1 \quad (\text{เหตุการณ์ } z_{1c})$$

$$P(z_{1m}|\ominus_1) = n_{1m}/n_1 \quad (\text{เหตุการณ์ } z_{1c})$$

$$P(z_{2c}|\ominus_2) = n_{2c}/n_2 \quad (\text{เหตุการณ์ } z_{1c})$$

$$P(z_{2f}|\ominus_2) = n_{2f}/n_2 \quad (\text{เหตุการณ์ } z_{1c})$$

แสดงความสัมพันธ์ตามเงื่อนไข:

$$P(z_{1c}|\ominus_1) = 1 - P(z_{1m}|\ominus_1)$$

$$P(z_{2c}|\ominus_2) = 1 - P(z_{2f}|\ominus_2)$$

จากตาราง 1.1 แสดงให้เห็นผลจากทาง ความน่าจะเป็นที่จะวัดพลาด จะมีค่าลดลง เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวาง และตรงกันข้ามความน่าจะเป็นของการวัด ผิด จะมีค่าเพิ่ม ขึ้นเมื่อหุ่นยนต์ยังเคลื่อนที่ไกลสิ่งกีดขวาง เป็นเพราะว่าไม่มีผลของการสะท้อน จากพื้นที่ผิวที่ไม่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จาก อย่างไรก็ตามที่ระยะทางอินฟารีดสามารถรับค่ากลับมาได้จะต้องอยู่ใน ลำแสงอินฟารีด ความกว้างของลำแสงยิ่งกว้างยิ่งเป็นผลดีต่อการตรวจจับสิ่งกีดขวาง

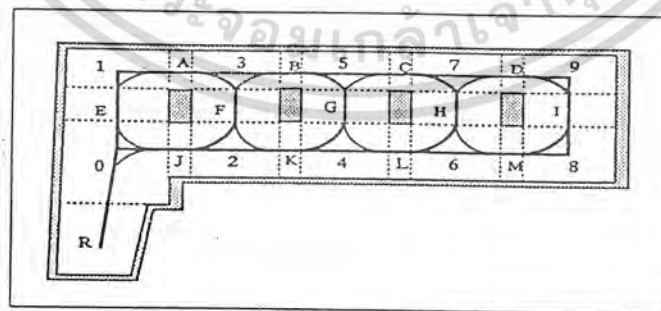
ตารางที่ 1.1 แสดงความน่าจะเป็นของผลการตรวจจับแบบต่างๆ วัดที่ระยะต่างๆกัน

Range (meter)	Correct $P(z_{1c} \theta_1)$	Miss $P(z_{1m} \theta_1)$	Correct $P(z_{2c} \theta_2)$	False $P(z_{2f} \theta_2)$
1.40	0.82	0.18	0.72	0.28
1.75	0.73	0.27	0.75	0.25
2.10	0.65	0.35	0.79	0.21
2.45	0.57	0.43	0.83	0.17
2.80	0.49	0.51	0.86	0.14
3.15	0.41	0.59	0.89	0.11
3.50	0.33	0.67	0.91	0.08

1.4 การวางแผนเส้นทางไกล

พื้นฐานของพื้นที่ที่เราได้ออกแบบมาทั้งหมดสำหรับการรวดเร็ว, สะดวกต่อการเก็บ และสรุปหาข้อมูลของพื้นที่ เพื่อสภาวะจริง นำมาใช้วางแผนเส้นทางที่มีระยะไกลขึ้นโดยนำมาเข้าการตัดสินใจสามารถหาเส้นทางตั้งแต่ต้นจนจบ เป็นเส้นทางที่ปลอดภัย เส้นทางที่ดีที่สุด ในความหมายคือ การใช้เวลาน้อยที่สุด มากกว่าการใช้ระยะทางน้อยที่สุด ซึ่งวิธีเมทริกนี้จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้

เส้นทางเดินที่กำหนดเป็นตัวแทนเส้นทางปลอดภัย ประกอบด้วยกำแพงด้านข้าง และผนังกันขวาง รูป 1.6 แสดงเส้นทางเดินที่แบ่งไว้ตรงกลางถนน (ดูรูป 1.1 ประกอบ) เป็นเส้นทางที่คำนวณไว้ ประกอบไปด้วยเส้นตรง และเส้นโค้ง ซึ่งการหามุมและขอบจะอธิบายหลังจากนี้



รูปที่ 4.6 แสดงเส้นทางเดิน

1.4.1 สมการค่า (Cost Function)

การวางแผนเส้นทางไกลจะต้องใช้สมการค่า หาเพื่อพิจารณาข้อดีของเส้นทาง

นั้นๆ คำนวณจากความน่าจะเป็นของการเจอสิ่งกีดขวางที่ไม่คาดคิดระหว่างเส้นทาง, สมการค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยสองส่วน: หนึ่งค่าการตัดสินใจ(เวลาที่ใช้ตอนไม่มีสิ่งกีดขวาง), และช่วงที่ไม่แน่นอน (เวลาที่ใช้หลบหลีกสิ่งกีดขวาง) โดยมีตัวแปรประกอบด้วย ความยาว, กว้าง, และทางตรง ความไม่แน่นอนของค่านี้ จะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ตัวตรวจรับมา และค่าการกระจายทางจลน์ต่างๆ ที่หุ่นยนต์ ได้ผ่านการเรียนรู้ประกอบกันไป

สมมติว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่, ที่เส้นทางต่างๆ เส้นตรง, เส้นโค้ง กำหนดให้ C_{ij} เป็นค่าที่เกี่ยวข้องประจำเส้นทาง ทางตรง, ทางโค้ง จากจุด i ไปยังจุด j

$$C_{ij} = t_{ij} + \sum_{n=1}^n u_{ij}(n)$$

t_{ij} --- เวลาที่ใช้ เมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางจากจุด i ไปยังจุด j

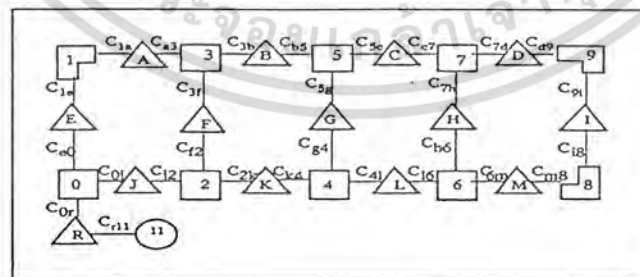
u_{ij} --- ค่าความไม่แน่นอนจากจุด i ไปยังจุด j ; 0 สำหรับไม่มีสิ่งกีดขวาง, นอกนั้นมากกว่า 0

n --- เป็นจำนวนของสิ่งกีดขวางที่ไม่คาดคิด

พื้นฐานของสมการค่า คือการให้น้ำหนักความไว้วางใจกับเส้นทางที่คิดว่าปลอดภัย รูป 1.7 เป็นการแสดงน้ำหนักของเส้นทางที่กำหนดขึ้นมา และมีการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลของตัวตรวจรู้ อีกทั้ง ซึ่งเราต้องจัดการให้โปรแกรมสามารถแก้ไขได้อย่างตลอดเวลา

1.4.2 การปรับปรุงแบบจำลองทั้งหมด

พิจารณาการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลใหม่ โดยใช้ข้อมูลตัวตรวจรู้ตัดสินใจเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่าน โดยจะตั้งคำนวณสมการค่าไปด้วยในระหว่างเส้นทางนั้นดูการถ่วงน้ำหนักเส้นทาง รูป 1.7



ฐานของสถิติ Bayes จะเป็นแปลงค่าสมมติฐานตลอดเวลา และค่าถ่วงน้ำหนัก จะนำมาคิดคำนวณประกอบด้วย

พิจารณาเส้นทางเดินแบบแรก O1, เส้นทางโค้งสามารถผ่านได้ มีสิ่งกีดขวาง O1 อยู่มากมายไร้รูปแบบ เราใช้สมการกระจายพอยส์สัน (Poisson distribution) รูปแบบของเส้นทางเป็น W1 ของ O1 ดังนั้นส่วนของเส้นทางที่ประเมินได้

$$p(W1 = k/\lambda) = \lambda^k e^{-\lambda} / k!$$

ที่ $\lambda > 0$ เป็นค่าเริ่มต้นที่ไม่ทราบ

เราสมมติว่า λ เป็นค่าคอนจูเกต สมการความหนาแน่นของการกระจายแกมมา (Gamma distribution) ที่เราใช้การกระจายแกมมาเพราะง่ายต่อการประยุกต์เข้ากับงานของเราโดยให้ความหมาย ดังนี้ (i) จำนวนของสิ่งกีดขวางสามารถนับได้ แต่ละเส้นทาง และ(ii) จำนวนเส้นทางที่ถึงที่

ในทำนองเดียวกันรูปแบบ O2 มีแบบเส้นทางที่สุ่ม W2 คือมีสิ่งกีดขวางเพียงหนึ่งก็สามารถบดกั้นเส้นทางทั้งหมด เราต้องใช้การกระจายเบอร์นูลลี (Bernoulli distribution) สำหรับเส้นทาง W2 การมีอยู่จริง หรือ ไม่นั้น p เป็นความน่าจะเป็นที่นับค่าได้ตลอดเส้นทาง

$$f(W2 = k/p) = p^k (1-p)^{1-k} \quad (0 \leq p \leq 1)$$

ที่ k เป็น 0 เมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางและเป็น 1 เมื่อมีสิ่งกีดขวาง

เราสมมติคอนจูเกตความหนาแน่นของ p เป็นการกระจายเบตา (Beta distribution) และเช่นเดียวกันตัวแปรต่างๆ กำหนดดังนี้: (I) เป็นจำนวนของเส้นทางที่สามารถผ่านได้ระหว่าง i, j และ(ii)เป็นจำนวนเส้นทางที่ไม่ผ่าน

ตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดไว้ในแบบการกระจายทางสถิติของ Bayes จะถูกคำนวณเมื่อหุ่นยนต์ได้เดินผ่านเส้นทางนั้น เก็บข้อมูลจากตัวตรวจรู้มาประเมินตลอดเวลา สามารถอธิบายความคาดหวังของจำนวนสิ่งกีดขวางที่จะพบ: $E(O1)$ และ $E(O2)$ เมื่อเราแก้ไขความไม่แน่นอนของเส้นทางที่ถูกถ่วงน้ำหนัก i, j การคาดหวังที่จะเจอชนิดของสิ่งกีดขวางเป็นความสัมพันธ์

$$u1 = c1E(O1)$$

$$u2 = c2E(O2)$$

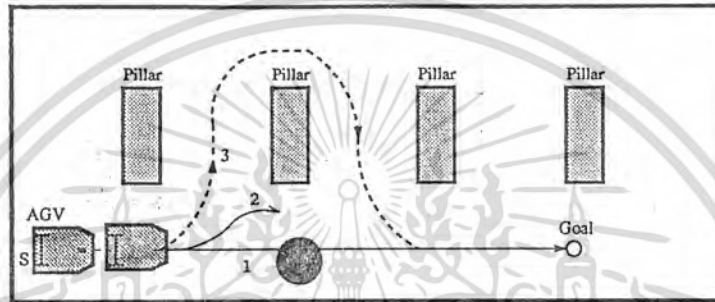
โดย c_i เป็นค่าสมมติฐานที่กำหนดแต่ละเส้นทางพิจารณาจากความยาว, เวลาที่ผ่าน และความปลอดภัย ตัวแปรลดค่า(decay factor) ไล่จากค่าความไม่แน่นอน คือ ถ้าหุ่นยนต์กลับมาที่เดิมแล้วไม่เห็นสิ่งกีดขวางเดิมอยู่ ค่าที่ตั้งเปลี่ยนแปลงไว้จะกลายเป็นค่าปกติตามที่แสดงในตารางที่ 1.2

การหลบหลีกสิ่งกีดขวางแบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม : การกำหนดปัญหา

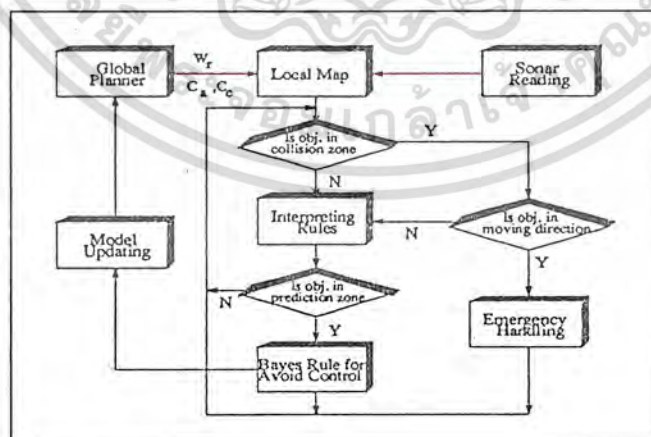
ตอนนี้เราจะพิจารณาการวางแผนในสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง สมมติให้หุ่นยนต์กำลังเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางเดินที่ได้มีการสร้างไว้แล้วตามเส้นทางที่ 1 ในรูปที่ 1.8 แต่ปรากฏว่ามีสิ่งกีดขวางปรากฏอยู่ในเส้นทางเดิน ทำให้เกิดโอกาสที่จะชนได้ เช่น เซอร์จะตรวจว่ามีช่องว่างด้านข้างพอที่จะให้หุ่นยนต์เคลื่อนย้ายไปด้านข้างของสิ่งกีดขวางตามเส้นทางที่ 2 ตามรูปได้หรือไม่ ทำให้เกิดปัญหาขึ้นว่าควรเคลื่อนย้ายไปด้านข้างหรือควรเคลื่อนย้อนตามเส้นทางที่ 3



รูปที่ 1.8 แสดงการเกิดกรณีที่สิ่งกีดขวางที่ไม่ได้กำหนดมาขวางทางเดิน

ตารางที่ 1.2 นิยามของลอสฟังก์ชัน (loss function)

Action	θ_1	θ_2
a_1	0	$C_o + C_m$
a_2	$C_a - C_c$	0



รูปที่ 1.9 แสดงแผนภาพของอัลกอริทึมของการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

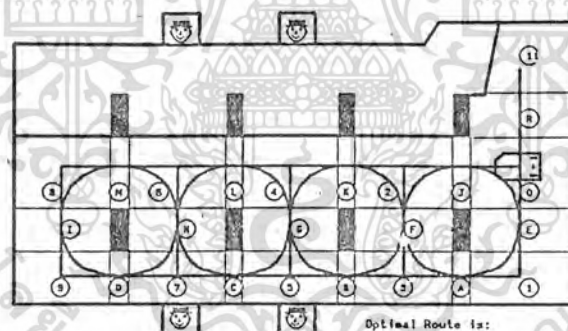
การแก้ปัญหาตามที่อธิบายข้างบนทำให้เราเจอปัญหาคือจะจัดการอย่างไรกับความไม่แน่นอนในการตรวจสอบการชนและจะเลือกทางที่ดีที่สุดอย่างไรในเมื่อมีข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งปัญหาแรกเราสามารถที่จะแก้ไขได้ด้วยการการใช้ชุดของเซนเซอร์ สำหรับปัญหาที่ 2 แก้โดยการหากฎการตัดสินใจสำหรับการควบคุมการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางที่ไม่แน่นอน

1.5.1 การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

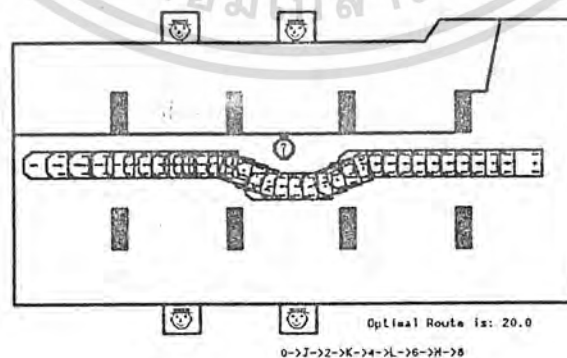
รูปที่ 1.9 เป็นแผนผังรูปภาพ(flow chart) อัลกอริทึมการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เราเห็นได้ชัดว่าการตัดสินใจ อัลกอริทึมแต่ละส่วนมีกฎตายตัว จากการที่อินพุตสามตัวด้านหน้า ตรวจสอบพบสิ่งกีดขวางที่เขตคาดเดา, กฎ Bayes ไม่ได้กำหนดให้กระทำการหลีกเลี่ยงในที่นั้น จนกว่าจะมีการเปรียบเทียบเส้นทางไกลก่อน แล้วประเมินค่าความไม่แน่นอน

1.5.2 ตัวอย่างของการทดลอง

เป็นการเอาอัลกอริทึมมาทำการทดลองทั้งจำลองแบบบนเครื่อง ซัน เวอร์สเตชัน (SUN workstation) และการทดลองจริง โดยใช้สถานีคอมพิวเตอร์เวลาจริงของเอจีวี รูปที่ 1.10 แสดงรูปแบบของห้องทดลองเอจีวี, มีการทำทางเดินกว้าง, ทำเส้นกลางถนน เพื่อเปรียบเทียบ, เรามีการทดลองสองตัวอย่าง



รูปที่ 1.10 แสดงแบบจำลองและส่วนต่างๆ ของห้องทดลองเอจีวีของมหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ด



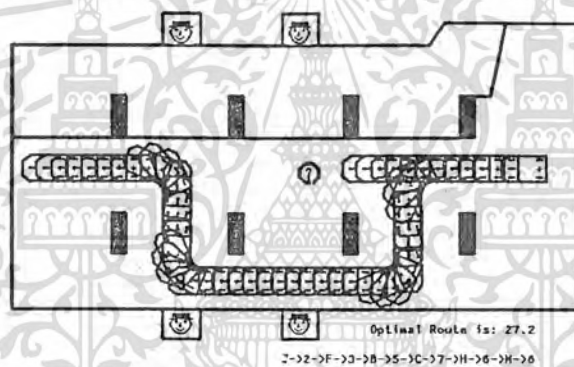
รูปที่ 1.11 แสดงการเลี้ยวอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3 ตัวอย่างที่ 1

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ได้รับคำสั่งให้เดินจากจุดเริ่มต้น, จุด 0, ถึงจุดหมาย, จุด 8 การวางแผนทางเดินก็จะเป็นเส้นตรงจากจุด 0 โดยมีการเรียงลำดับดังนี้: จุด J,จุด 2,จุด K,จุด 4,จุด L,จุด 6,และจุด M,จุด 8, ซึ่งค่า $C_c = 20s$ ในเทอมของเส้นทาง 12 เมตร และด้วยความเร็วของหุ่นยนต์ 0.6 เมตร/วินาที

เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามที่ประเมินไว้, ถ้ามีสิ่งกีดขวางเข้ามาบนทางเช่นรูป 1.11 สมมติฐานจากกฎสามข้อ สามารถบอกได้ว่าเส้นทางนี้ผ่านไปได้, ก็มีส่วนแสงอินฟราเรดด้านหนึ่งที่ไม่ถูกบัง ประกอบกับสิ่งกีดขวางวางอยู่ตำแหน่ง กึ่งกลางของผนังกำแพงขวาง ดังนั้นหุ่นยนต์น่าจะคิดเช่นไร: เดินเลี้ยวด้านข้าง หรือ ถอยหลัง ? หุ่นยนต์ก็ต้องใช้กฎ Bayes หาคำตอบเอง, โดยมีพื้นฐานจากข้อกำหนดที่ให้ไว้



รูปที่ 1.12 แสดงการถอยหลังเพื่อที่จะเลือกทางเดินใหม่

สมมติว่าการตีความเริ่มที่การอ่านค่าอินฟราเรดระยะ 2.1 เมตร จากตารางที่ 1.1, จะได้ค่าดังนี้

$$p(z|O_1) = 0.65, \quad p(z|O_2) = 0.21$$

ซึ่ง $p(z|O_1)$ วัดคำว่า “คล้ายกับ (likely)” อย่างไร สถานะปกติเป็น O_1 กำหนดจาก z , และ $p(z|O_2)$ วัดคำว่า “คล้ายกับ (likely)” อย่างไร สถานะปกติเป็น O_2 กำหนดจาก z

1.5.4 ตัวอย่างที่ 2

ใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ ตัวเดิมเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น ไปยังจุดหมายการเดินทางด้วยเส้นทางตรงรวมค่า $C_c = 21.4s$ เห็นว่าค่าสูงกว่าแบบตัวอย่างแรกเพราะ เพิ่มค่าความไม่แน่นอนสาเหตุมาจากมีสิ่งกีดขวางที่มีบางส่วนบังทางเดิน

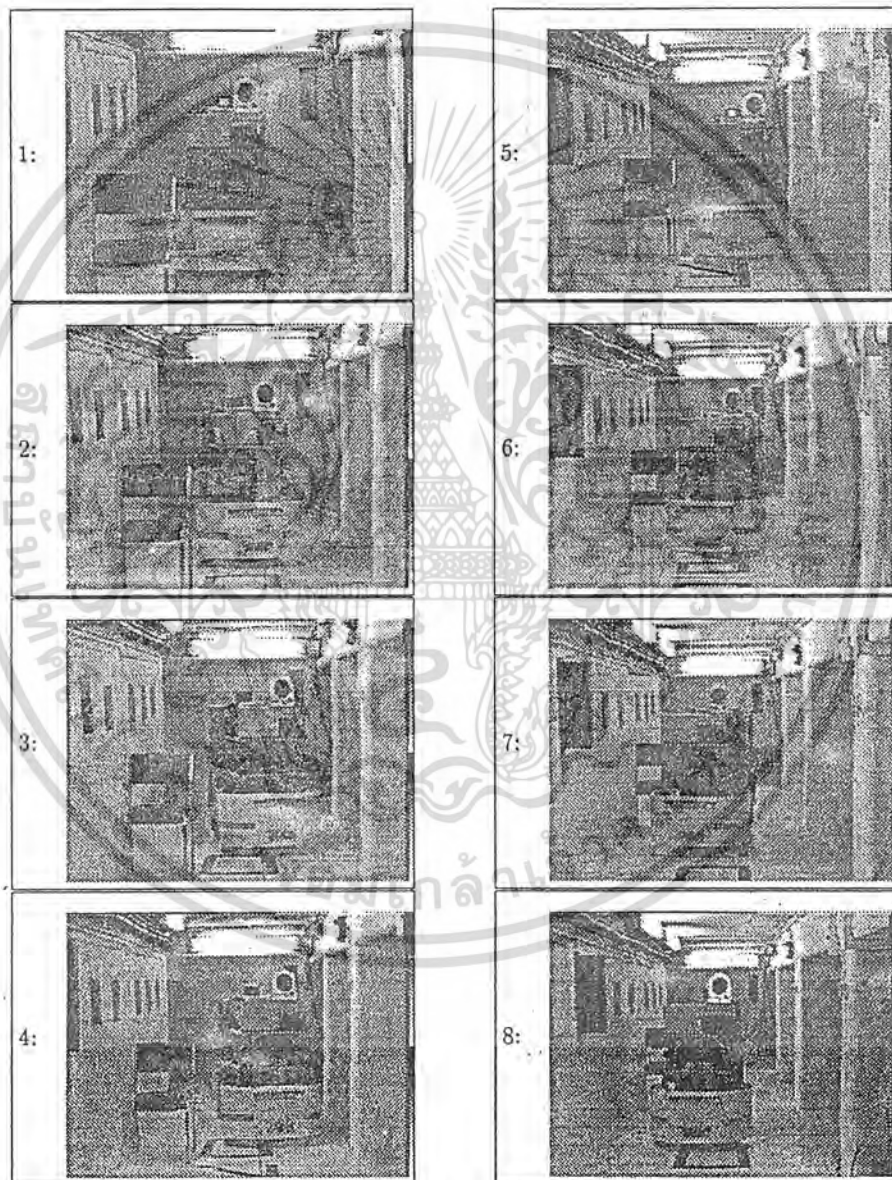
สิ่งกีดขวางที่ไม่คาดคิดปรากฏที่กึ่งกลางเส้นทางเดิน อินฟราเรดตรวจจับจะเห็นสิ่งกีดขวางมุ่งเข้ามาใกล้ ณ ตำแหน่งระยะ 2.1 เมตร, สมมติฐานจากข้อมูลอินฟราเรดคาดคะเนว่าจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านไปไม่ได้ หุ่นยนต์ควรเดินทางออกย้อนทางเดิมอย่างไรไกลแค่ไหน? ซึ่งสามารถจะรู้ได้จากกฎ Bayes และจากตาราง 1.1 ทำให้รู้ได้ว่า

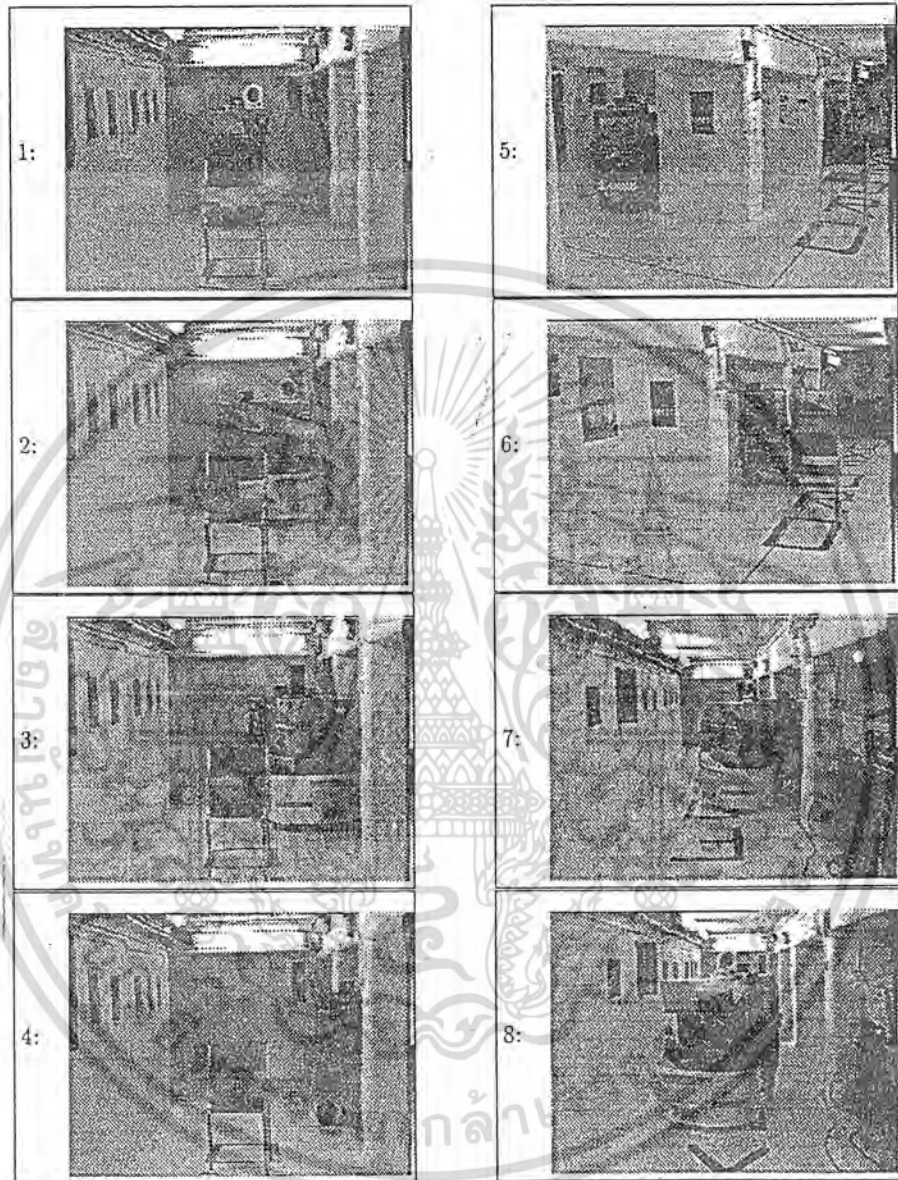
$$p(z|\theta_1) = 0.35, \quad p(z|\theta_2) = 0.79$$

ซึ่ง $p(z|\theta_1)$ มีความน่าจะเป็นในการวัดค่า z ที่เรียกว่าการวัดพลาด,
และ $p(z|\theta_2)$ มีความน่าจะเป็นในการวัดค่า z ที่เรียกว่าการวัดถูกต้อง



รูปที่ 1.13 แสดงการเลี้ยวอ้อมเพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางของเอจิวี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.14 การหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางโดยการเปลี่ยนเส้นทางเดินของเอจีวี

1.6 การประเมินที่ เวลาจริง

รูป 1.13 และ 1.14 แสดงผลการทดลองหุ่นยนต์เคลื่อนที่จริงที่ ห้องทดลองเอจีวี แสดงให้เห็นว่าสองกรณีที่ได้จำลองแบบเป็นจริงเช่นไร หุ่นยนต์สามารถรับมือกับสิ่งกีดขวางที่ไม่คาดคิด เป็นเก้าอี้ คำสั่งที่เกิดจะต้องตัดสินใจระหว่าง เดินอ้อมทางอื่นๆ หรือเดินหลักด้านข้างๆ, หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.6 เมตร/วินาที และไม่มีการหยุดระหว่างเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 1.13 แสดงรูปให้เห็น 8 รูป, เริ่มที่รูป 1 ไปถึงรูป 8 แสดงให้เห็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่พยายามเดินเลี้ยวด้านข้างที่เป็นช่องว่างระหว่างเก้าอี้กับผนัง เหมือนดังตัวอย่างที่ 1

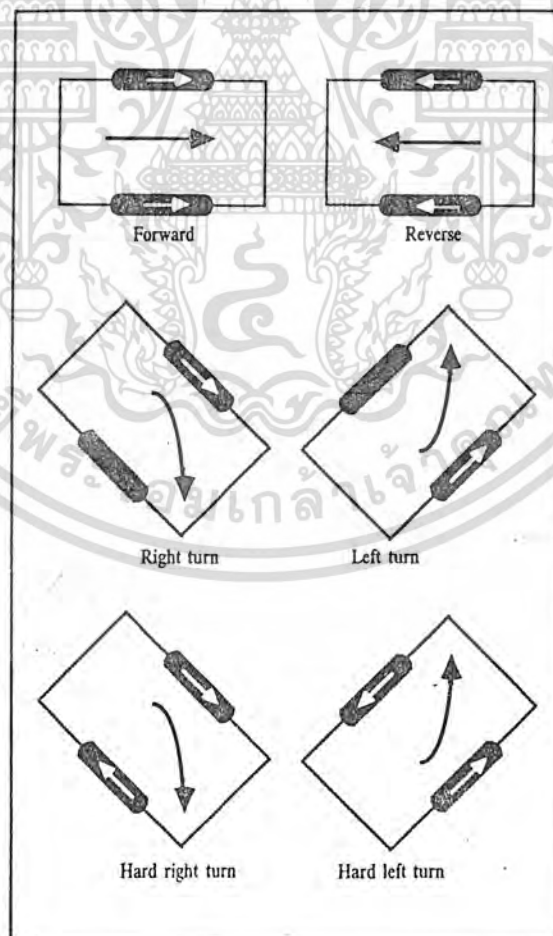
รูป 1.14 แสดงหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ไม่คาดคิดคือ เก้าอี้ ขวางระหว่างทางไปจุดหมาย ที่ท้ายสุดของทางเดิน หลังจากการประเมินที่ระยะใกล้แล้วพบว่าไม่สามารถผ่านไปได้จริง ดังนั้นต้องมีการย้อนกลับทางเดิม ที่สามารถเดินไปยังจุดหมายที่ใกล้ที่สุด เหมือนดังตัวอย่างที่ 2



บทที่ 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

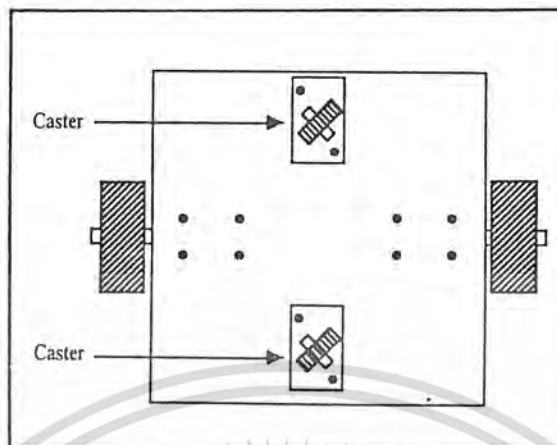
2.1 หลักการเบื้องต้น

มอเตอร์ขับเคลื่อนจัดได้ว่าเป็นส่วนที่ขาดส่วนหนึ่งของหุ่นยนต์ เนื่องจากว่าเราจะต้องพิจารณาจุดที่จะต้องติดตั้ง รวมทั้งต้องคำนึงถึงน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ด้วย การออกแบบโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์ 2 ตัวเพื่อที่จะขับล้อ 2 ข้าง แล้วอาศัยการหมุนล้อไปหน้าหรือย้อนหลังเพื่อควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่ข้างตัวหุ่นยนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งสามารถเลี้ยวซ้ายหรือขวา โดยการหยุดมอเตอร์ตัวหนึ่งก็จะทำให้ตัวหุ่นยนต์เลี้ยวไปทางด้านเดียวกับล้อที่หยุดหมุน หรือถ้าเราต้องการให้หุ่นยนต์หันเลี้ยวอย่างรวดเร็วก็ทำได้โดยการกลับทิศทางหมุนของล้อข้างเดียวกับด้านที่ต้องการให้เลี้ยว



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยอาศัยมอเตอร์ 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการติดตั้งล้อที่ใช้ในการขับเคลื่อนและล้อที่ใช้สำหรับการทรงตัว

เราสามารถที่จะติดมอเตอร์และล้อที่ด้านข้างของตัวหุ่นยนต์ตรงบริเวณใดก็ได้ ถ้าเราติดตั้งบริเวณตรงกลางของขอบเราต้องติดล้อที่สามารถหมุนได้อย่างอิสระไว้บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของตัวหุ่นด้วยเพื่อการทรงตัวดังแสดงในรูปที่ 2.2 แต่ถ้าเราต้องการติดล้อไว้ที่บริเวณด้านหลังก็ต้องติดล้อที่สามารถหมุนอย่างอิสระไว้ที่ด้านหน้าของตัวหุ่นด้วย และต้องคำนึงถึงการวางน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ให้สมดุลด้วย

2.2 ความเร็วของการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์

เราสามารถหาอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ได้โดยคิดจากความเร็วรอบของล้อและเส้นรอบวงของล้อ ซึ่งความเร็วรอบของล้อขึ้นกับความเร็วรอบของมอเตอร์และอัตราทดของเฟืองที่ใช้หดรอบของมอเตอร์

2.3 การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

เรามีวิธีการที่จะบังคับทิศทางการหมุนของตัวมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาได้หลายวิธีเช่น การใช้สวิตช์แบบดับเบิลโพล-ดับเบิลโธร (double-pole double-throw :DPDT) ซึ่งเราสามารถที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนหรือหยุดหมุนหรือกลับทิศทางการหมุนของตัวมอเตอร์ได้ซึ่งเราจะไม่กล่าวในที่นี้เพราะไม่สามารถควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ได้

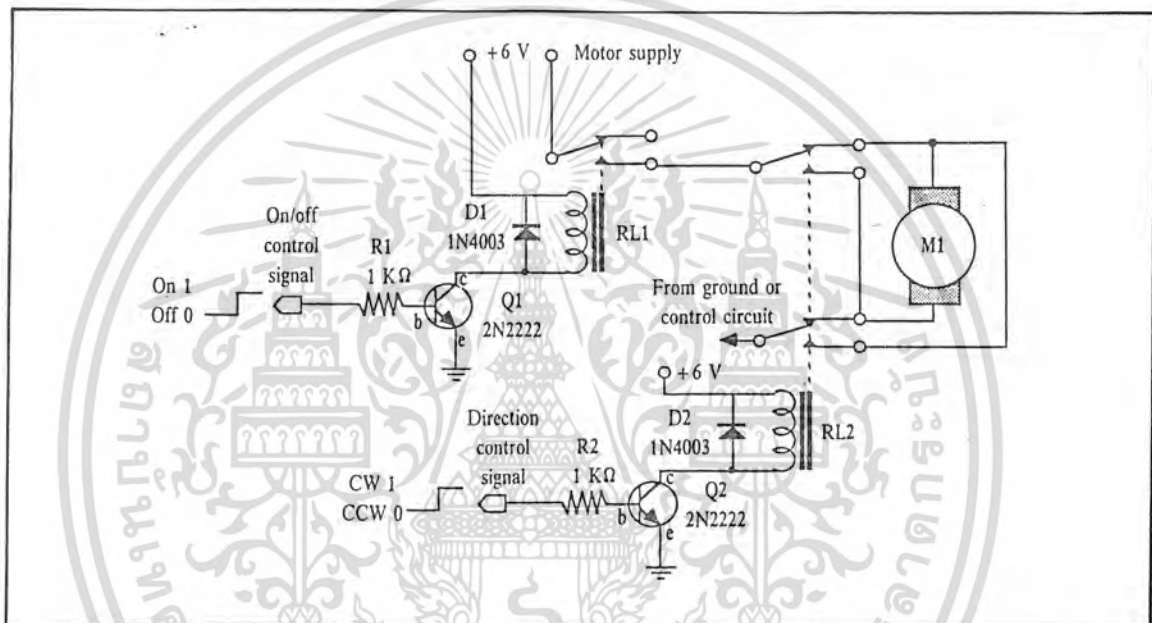
สำหรับวิธีการอื่นๆ ก็เช่นอาศัยการใช้รีเลย์เป็นสวิตช์เปิดปิดไฟที่จะป้อนให้กับตัวมอเตอร์หรือการใช้งานทรานซิสเตอร์ในลักษณะของสวิตช์ซึ่งอาจใช้แบบชนิดไบโพลาร์หรือแบบเฟตก็ได้ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การใช้รีเลย์ควบคุมมอเตอร์

รูปที่ 2.3 เป็นวงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้รีเลย์เป็นสวิตช์ โดยรีเลย์ RL1 เป็นรีเลย์แบบที่เรียกว่าซิงเกิลโพล-ดับเบิลโธร (single-pole double-throw :SPDT) ซึ่งมีขั้วเดียวใช้เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รีเลย์สำหรับควบคุมการ เปิด-ปิด ของตัวมอเตอร์โดยการป้อนสัญญาณควบคุมที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ที่ทำงานเป็นสวิตช์ ส่วน RL2 เป็นรีเลย์แบบดับเบิล โพล-ดับเบิล โครตที่มี 2 ขั้ว ทำให้สามารถกลับทิศทางหมุนของกระแสที่ป้อนให้กับตัวมอเตอร์ได้ สำหรับสัญญาณที่ป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ตัวนั้นสามารถใช้เอาท์พุทจากวงจรดิจิตอลได้โดยตรงเลย และยังสามารถแยกไฟเลี้ยงของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และไฟเลี้ยงที่ป้อนให้ตัวมอเตอร์ออกจากกันได้อีกด้วย

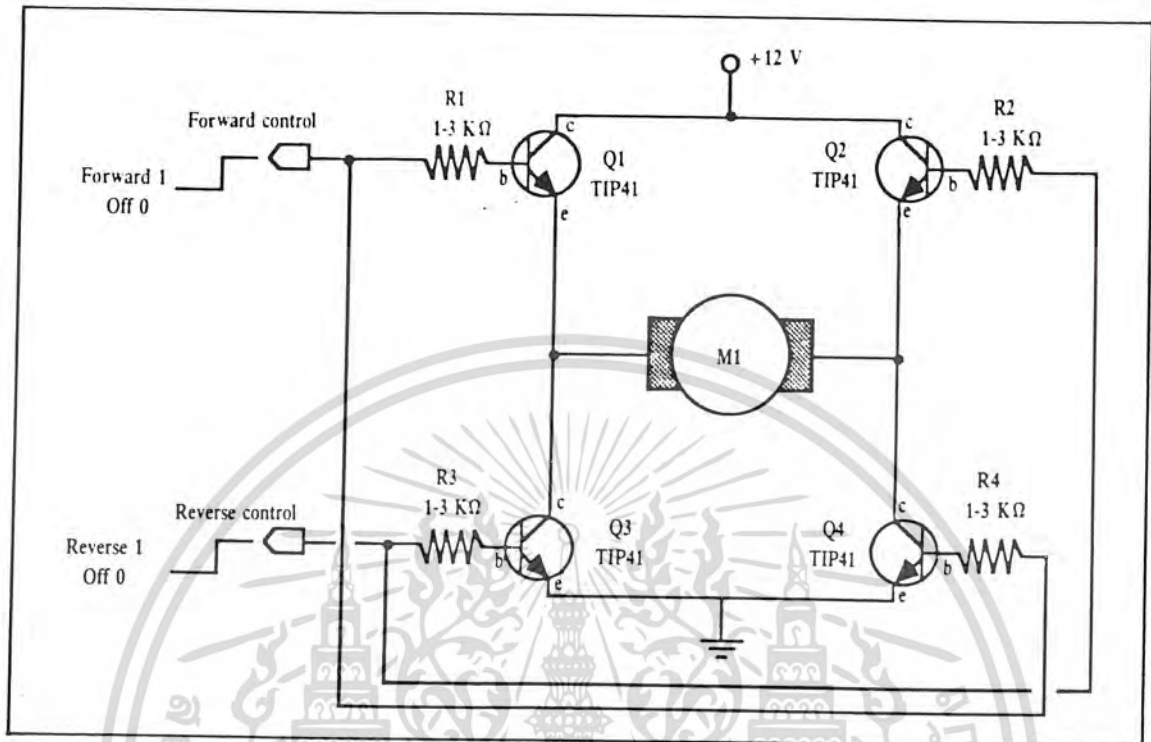


รูปที่ 2.3 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้รีเลย์

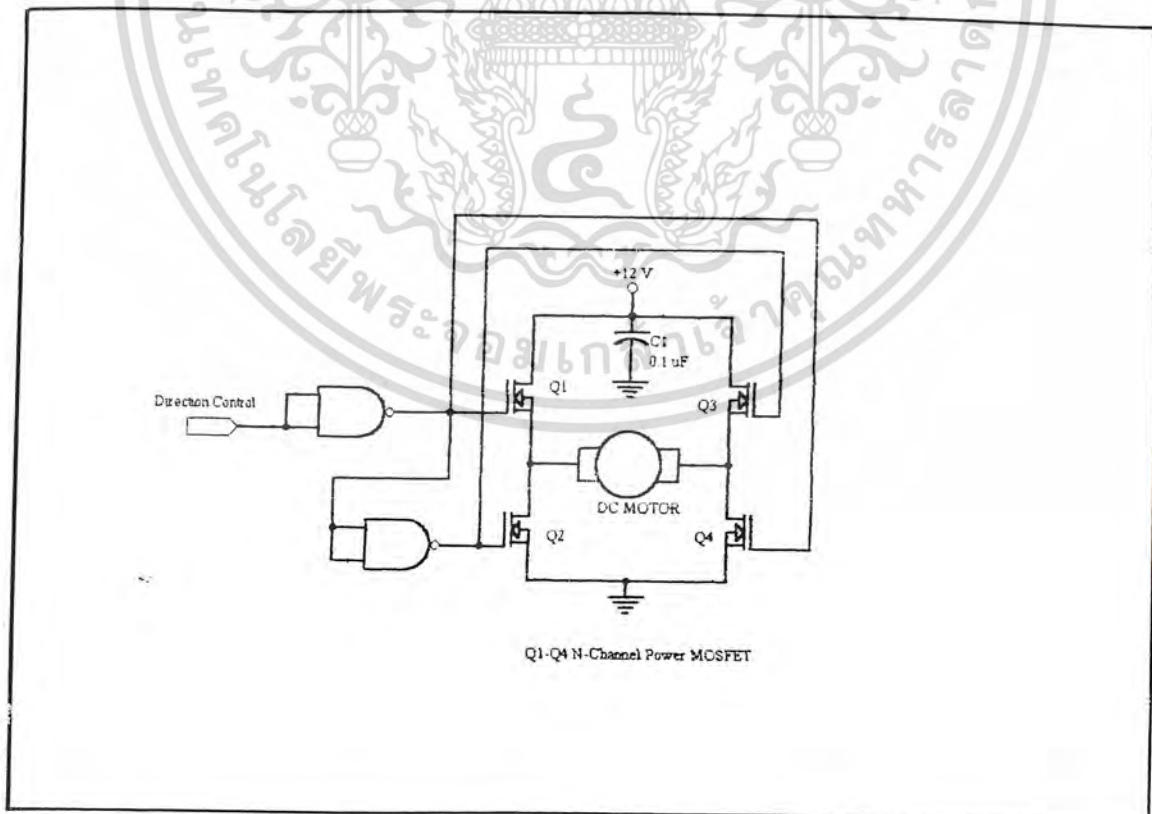
2.3.2 การใช้ทรานซิสเตอร์ในการควบคุมมอเตอร์

การใช้ทรานซิสเตอร์ในงานควบคุมมอเตอร์นั้นเป็นการนำทรานซิสเตอร์มาใช้งานในลักษณะของสวิตช์ ถ้าเราต้องการใช้ทรานซิสเตอร์แค่ 2 ตัวในการควบคุมเราจะต้องต่อทรานซิสเตอร์ในลักษณะคอมพลิเมนทารี (complementary) และต้องใช้ไฟเลี้ยงทั้งขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งไม่สะดวกในการใช้งานดังนั้นเราจึงต้องวงจรในลักษณะดังรูปที่ 2.4

จากรูปที่ 2.4 ในขณะใดขณะหนึ่งเราจะให้มีทรานซิสเตอร์เพียง 2 ตัวเท่านั้นที่นำกระแส คือ Q1กับQ4 หรือ Q2กับQ3 (คือการควบคุมเดินหน้าหรือถอยหลัง จะต้องไม่เป็น '1' ในเวลาเดียวกัน) ซึ่งการที่เราให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสเป็นคู่นี้จะทำให้เราสามารถบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวมอเตอร์ได้ ซึ่งก็คือการบังคับทิศทางการหมุนของตัวมอเตอร์นั่นเอง



รูปที่ 2.4 แสดงการต่อทรานซิสเตอร์ 4 ตัวเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์



เอกสารรูปที่ 2.5 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์ควบคุมด้วยเพาเวอร์มอสเฟต อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งวงจรในลักษณะดังรูปที่ 2.4 นั้นเราสามารถที่จะใช้แหล่งจ่ายไฟชั่วคราวและสามารถแยกแหล่งจ่ายไฟจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ทำให้เราสามารถใช้อาชีพจากวงจรดิจิทัลมาใช้ในการเปิด (turn on) หรือปิด (turn off) ทรานซิสเตอร์ได้โดยตรง

2.3.3 การใช้พาวเวอร์มอสเฟต (Power MOSFET) ในการคุมมอเตอร์

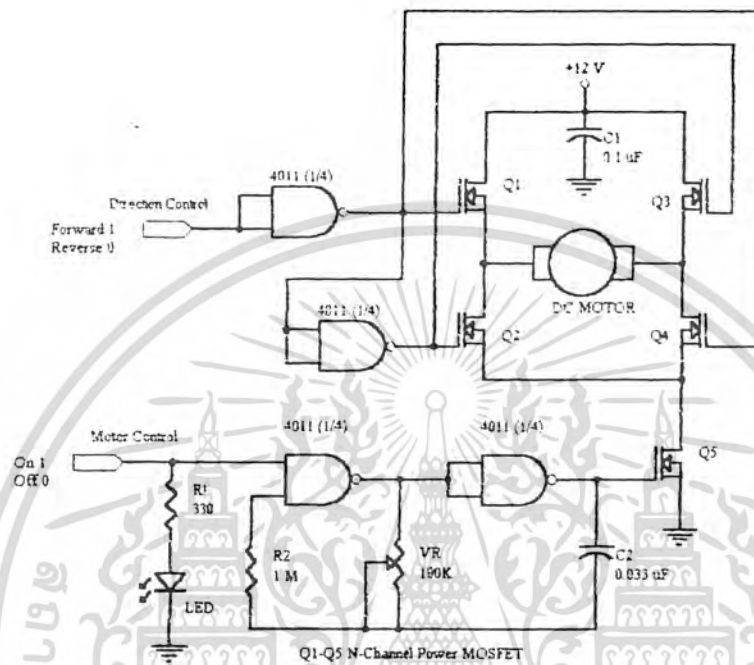
สำหรับวงจรใช้งานโดยทั่วไปของวงจรควบคุมมอเตอร์ที่ใช้มอสเฟตนั้นแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งต่อมอสเฟตเหมือนกับทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 2.4 แต่ได้มีการเพิ่มอินเวอร์เตอร์ซึ่งทำให้สามารถสลับอินพุตที่ต้องใช้ในการควบคุมทิศทางหมุนของมอเตอร์ได้แต่เราต้องเพิ่มเติ่มมอสเฟตที่จะใช้ในการควบคุมให้มอเตอร์หมุนหรือหยุดหมุนซึ่งทำให้เราสามารถที่จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้

2.4 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์

ได้มีความพยายามที่จะปรับปรุงความเร็วของมอเตอร์ เพราะว่าการที่เราจะปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการปรับที่ขนาดของล้อหรืออัตราทดของเฟืองท่อนั้นเป็นไปได้ยาก ดังนั้นเราจึงใช้การปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์แทน ซึ่งจากการที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงถ้าเราป้อนแรงดันน้อยลงก็จะทำให้ความเร็วในการหมุนลดลงด้วย ดังนั้นเราก็จะสามารถปรับความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ได้โดยการเปลี่ยนค่าแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์นั่นเอง

วิธีการหนึ่งที่เราใช้ในการปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์คือเราใช้วงจรดังรูปที่ 2.6 จากรูปมอสเฟต Q5 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ควบคุมการจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ ถ้าเราป้อนแรงดันที่ขาเกตของ Q5 เป็นความถี่ค่าหนึ่ง (อาจจะให้เป็นพัลส์ก็ได้) ก็จะทำให้ Q5 ทำงาน เป็นช่วงๆ ซึ่งจะทำให้มีแรงดันตกคร่อมมอเตอร์เป็นเป็นช่วงๆ มีค่าความถี่เดียวกันกับ V_g ซึ่งในตอนนี้จะทำให้มีค่าแรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมมอเตอร้น้อยกว่าการที่เราป้อนแรงดันเป็นไฟกระแสตรง ค่าเฉลี่ยของแรงดันนี้สามารถหาได้จากสูตร แรงดันสูงสุด*ค่าดีวตี้ไซเคิล (duty cycle) ดังนั้นถ้าเราสามารถปรับค่าดีวตี้ไซเคิล ได้ก็เท่ากับว่าเราสามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้

จากรูปที่ 2.6 เราใช้สัญญาณควบคุมการหมุนจากส่วนควบคุมมาป้อนให้วงจรกำเนิดความถี่เพื่อป้อนให้กับขาเกตของ Q5 ต่อไป เราอาจจะดัดแปลงวงจรได้โดยใช้วงจรถ่ายทอดสัญญาณที่สามารถปรับค่าดีวตี้ไซเคิลได้ หรือไม่ก็เอาสัญญาณจากไมโครโปรเซสเซอร์มาป้อนให้กับขาเกตโดยตรงก็ได้ แต่สัญญาณที่นำมาป้อนนี้ต้องมีลักษณะเป็นพัลส์ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้การเขียนโปรแกรมให้ส่งสัญญาณเป็นพัลส์ออกมาตามความถี่และดีวตี้ไซเคิลตามต้องการ



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรตัวอย่างที่ใช้ในการควบคุมทิศทางการหมุน, การหยุดหมุนและความเร็วของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การเข้ารหัสสำหรับเพลาหมุน

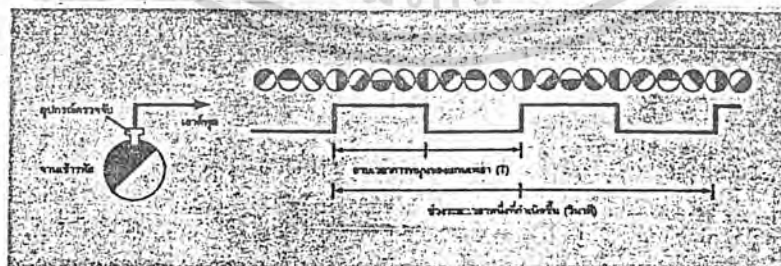
การเข้ารหัสสำหรับเพลาหมุน (rotary encoders) คือการเปลี่ยนลักษณะการหมุนเชิงกล เช่นการหมุนของแกนมอเตอร์หรือการหมุนเหวี่ยงของเครื่องจักรส่วนใดส่วนหนึ่ง มาเข้ารหัสเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อนำไปเข้าสู่ระบบควบคุม สำหรับตัวอย่างการใช้งานที่เห็นได้ชัดได้แก่การนำมาสร้างเป็นเทร็คบอลและเมาส์ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์, ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์, หุ่นยนต์ในงานอุตสาหกรรม, อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกกำลังกาย เป็นต้น ดังนั้นในการออกแบบควบคุมโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์เทคนิคการเข้ารหัสจึงมีความสำคัญมากส่วนหนึ่ง

3.1 พื้นฐานของการเข้ารหัส

ตัวเข้ารหัสใช้หลักการของการปิดเปิดสวิตช์ซึ่งเป็นจังหวะที่สอดคล้องและสัมพันธ์กับการหมุนของเพลาหรือแกนหมุน จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่ามีจานเข้ารหัส (encoder disc) ซึ่งแบ่งครึ่งระหว่างสีขาวและสีดำ ต่อกับเพลาและมีอุปกรณ์ตรวจจับ (sensor) ติดตั้งอยู่ด้านบนทำหน้าที่ตรวจจับเฉพาะสีขาวเท่านั้น ดังนั้นเมื่อแถบสีขาวเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อใด มันก็จะส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จึงมีลักษณะเป็นขบวนพัลส์ ซึ่งความถี่ที่ผลิตจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนของจานหรือเป็นส่วนกลับของคาบเวลาดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ

$$\text{ความถี่ (เฮิรตซ์)} = \text{จำนวนพัลส์ (ไซเคิล)} / \text{ช่วงระยะเวลาหนึ่ง (วินาที)} \quad \dots(1)$$

$$\text{ความถี่ (เฮิรตซ์)} = 1 / \text{คาบเวลา (วินาที)} \quad \dots(2)$$

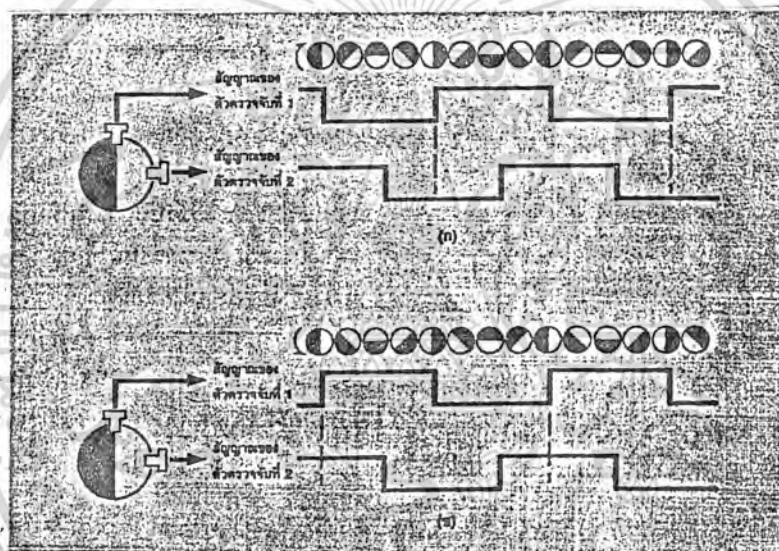


รูปที่ 3.1 ตัวเข้ารหัสอย่างง่ายที่ให้เอาต์พุตเป็น 1 พัลส์ต่อการหมุน 1 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความเร็วของเพลาหรือความถี่สามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณได้ ซึ่งสามารถกำหนดได้โดยคอมพิวเตอร์นับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาคงที่ที่กำหนดขึ้น แล้วแทนค่าลงในสมการที่ 1 หรือวัดช่วงระยะเวลาที่ใช้ใน 1 ไซเคิล แล้วแทนค่าลงในสมการที่ 2 ซึ่งทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน

เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นจึงขอยกตัวอย่างสัก 1 ข้อ เช่นกำหนดให้ตัวเข้ารหัส ออกแบบให้เพลาหมุน 1 รอบจะได้เอาต์พุตออกมา 1 พัลส์ เมื่อนำมาต่อใช้งานปรากฏว่าใน 1 วินาที นับพัลส์ได้ทั้งหมด 10 พัลส์ หรือกล่าวได้ว่าเพลากำลังหมุนด้วยความเร็ว 10 รอบต่อวินาที (rps) หรือ 600 รอบต่อนาที (rpm) และรูปคลื่นพัลส์ที่ได้จะมีความถี่เป็น 10 เฮิรตซ์ มีคาบเวลาของพัลส์เป็น 0.1 วินาที



รูปที่ 3.2 แสดงการหาทิศทางการหมุนโดยใช้ตัวตรวจจับ 2 ชุด

(ก) เอาต์พุตที่ได้เมื่อจานเข้ารหัสหมุนตามเข็มนาฬิกา

(ข) เอาต์พุตที่ได้เมื่อจานเข้ารหัสหมุนทวนเข็มนาฬิกา

จากตัวอย่างเห็นได้ว่าความเร็วรอบ (rps) และความถี่ของพัลส์ที่ได้มีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติตัวเข้ารหัสอาจถูกออกแบบให้ผลิตพัลส์จำนวนมากต่อการหมุนทางกล 1 รอบ ซึ่งให้ผลดีในการควบคุมและป้องกันสัญญาณรบกวน ดังนั้นการคำนวณหาค่าความถี่และความเร็วรอบจึงแตกต่างกัน ซึ่งค่าความถี่ของพัลส์ยังสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 1 และ สมการที่ 2 เช่นเดิม แต่ความเร็วรอบต้องคำนวณโดยใช้สมการที่ 3 แทน

ความเร็วรอบ (รอบต่อวินาที) = ความถี่ (เฮิรตซ์) / N(3)

N คือจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นต่อการหมุนทางกลครบ 1 รอบ

นอกจากการหาความเร็วของเพลลาได้แล้ว การหาทิศทางการหมุนของเพลลาที่ทำได้เช่นกัน โดยใช้เทคนิคการติดตั้งตัวตรวจจับ และการวิเคราะห์รูปคลื่นที่ได้มาเป็นข้อกำหนด การออกแบบทำได้โดยการเพิ่มตัวตรวจจับอีกตัวหนึ่งติดตั้งให้ทำมุม 90 องศา กับตัวตรวจจับตัวแรก ซึ่งทำให้ได้สัญญาณพัลส์อีกชุดหนึ่งที่มีความต่างเฟสกัน 90 องศา ดังรูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.2 (ก) เป็นเพลลาที่กำลังหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา ซึ่งเห็นได้ว่าสัญญาณขณะที่ตัวตรวจจับตัวแรกเริ่มเปลี่ยนสถานะช่วงขอบขาขึ้น ตัวตรวจจับที่ 2 จะต้องตรงกับลอจิก "0" เสมอ นั่นคือพัลส์ที่เกิดขึ้นจากตัวตรวจจับที่ 2 จะล่าหลังเป็น 90 องศา

สำหรับรูปที่ 3.2 (ข) เป็นการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา ผลที่ได้จะตรงข้ามกับการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา คือ ช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณของตัวตรวจจับแรกจะตรงกับขณะที่สัญญาณจากตัวตรวจจับที่ 2 มีสถานะลอจิก "1" เสมอ หรือพัลส์ที่เกิดจากตัวตรวจจับที่ 2 จะนำหน้าเป็น 90 องศา

ดังนั้นการติดตั้งเข้ารหัสแบบมีตัวตรวจจับ 2 ชุดนี้ จึงสามารถวัดได้ทั้งค่าความเร็วรอบและทิศทางการหมุน โดยนำสัญญาณจากตัวตรวจจับตัวใดตัวหนึ่งไปคำนวณหาความเร็วรอบ และนำสัญญาณจากตัวตรวจจับทั้ง 2 ตัว มาวิเคราะห์หาทิศทางการหมุนได้ เมื่อทราบทฤษฎีเบื้องต้นกันแล้ว ต่อไปเราจะมาศึกษาถึงระบบจริงกันบ้าง โดยเริ่มจากอุปกรณ์ตรวจจับชนิดต่างๆ ที่มีใช้งาน

3.2 อุปกรณ์ตรวจจับ

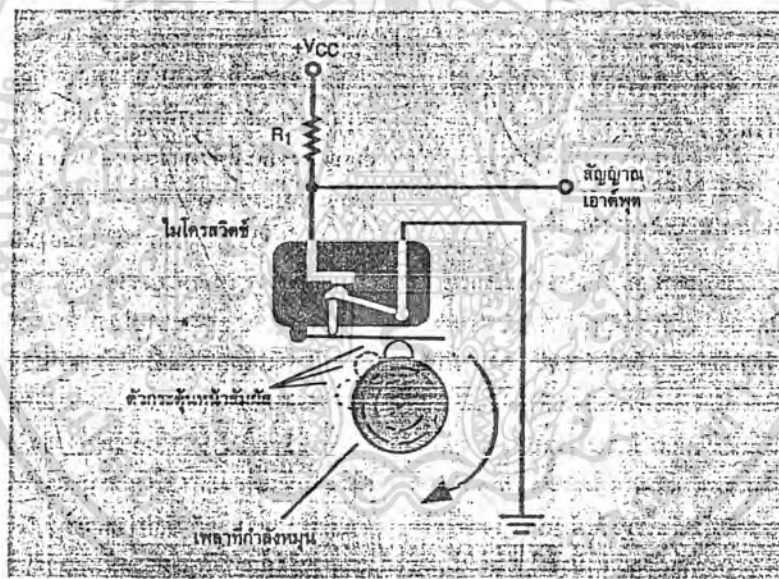
อุปกรณ์ตรวจจับ (sensor) ที่ใช้ในการเข้ารหัสของเพลลาหมุนนั้นสามารถแบ่งตามหลักการทำงานพื้นฐานได้ 4 ประเภทคือ

1. ใช้หลักการสวิตช์ทางกล
2. สวิตช์แบบฮอลล์เอฟเฟกต์
3. ใช้หลักการสะท้อนของแสง
4. หลักการของการคัดแสง

ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์เหล่านี้ได้มีผลผลิตออกมาจำหน่ายมากมาย โดยจัดทำเป็น โมดูลที่ติดตั้งและใช้งานได้สะดวก จึงเริ่มเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้น แต่การเลือกใช้ก็ต้องคำนึงถึงลักษณะของงานและความสะดวกด้วย ดังนั้นมาทำความรู้จักตัวตรวจจับที่ใช้หลักการทำงานต่างๆ กันก่อน

3.2.1 แบบใช้หลักการทางกล (Switch Sensors)

เป็นตัวตรวจจับที่ใช้หลักการเหมือนสวิตช์เปิดปิดวงจรไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งเป็นชนิด ไมโครสวิตช์ แต่แตกต่างกันที่ตัวตรวจจับแบบนี้จะมีตัวกระตุ้นหน้าสัมผัส (actuator) ที่ติดตั้งให้หมุนไปพร้อมกับเพลาดังรูปที่ 3.3 ตัวกระตุ้นหน้าสัมผัสอาจทำขึ้นจากหัวสกรูก็ได้ ซึ่งจากรูปเมื่อเพลามุ่งไปในตำแหน่งที่หัวสกรูอยู่ด้านบนจะทำให้หน้าสัมผัสถูกดันขึ้น และเคลื่อนที่ไปกดสวิตช์ให้ปิดวงจร เอาต์พุตที่ได้จึงเป็นลอจิก "0" แต่เมื่อเพลามุ่งต่อไปอีกตัวกระตุ้นก็จะเปลี่ยนตำแหน่งไปด้วย ทำให้สวิตช์เปิดวงจรอีกครั้ง เอาต์พุตที่ได้เป็นลอจิก "1" เมื่อหมุนครบ 1 รอบจึงทำให้เกิดสัญญาณขึ้น 1 พัลส์



รูปที่ 3.3 ดังเข้ารหัสสำหรับเพลามุมอย่างง่ายโดยใช้ไมโครสวิตช์

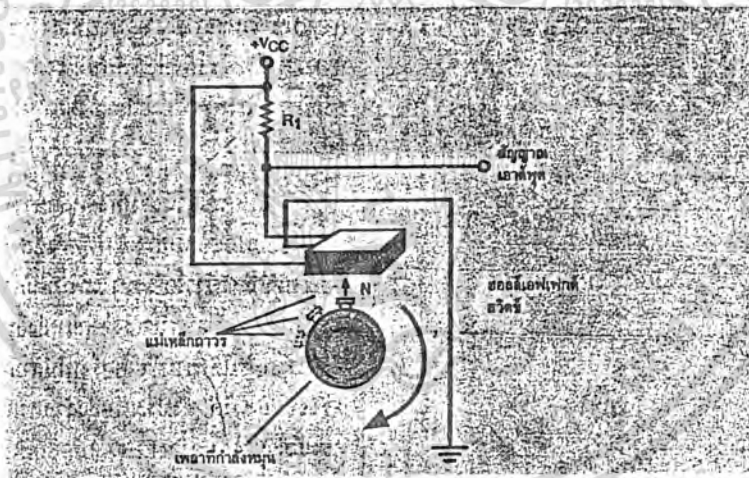
ตัวตรวจจับแบบนี้ง่ายต่อการนำไปใช้งานและออกแบบ แต่มีข้อเสียอันเกิดจากกลไกของหน้าสัมผัสสวิตช์ซึ่งอาจทำให้เกิดเบาะขึ้น ทำให้การวัดผิดพลาดไป และความเร็วในการสวิตช์ก็มีค่าต่ำทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานกับเพลามีความเร็วรอบสูงๆ ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้กับเพลามีความเร็วต่ำๆ ตัวตรวจจับแบบนี้จะทำให้ง่ายต่อการออกแบบและติดตั้ง ข้อเสียอีกประการหนึ่งก็คืออายุ

การใช้งานค่อนข้างสั้น เพราะเกิดจากการสวิตช์อย่างรวดเร็วทำให้เกิดการสึกหรอและเสียหายไปในที่สุด

3.2.2 แบบใช้หลักการฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall effect switch)

ตัวตรวจจับแบบฮอลล์เอฟเฟกต์สวิตช์มีข้อดีกว่าแบบกลไกคือ ไม่มีการสัมผัสระหว่างตัวตรวจจับและเพลทหมุน หลักการฮอลล์เอฟเฟกต์เป็นการนำปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นกับสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษซึ่งเมื่อกระทบกับสนามแม่เหล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ทำให้แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยและเป็นสัดส่วนกับความเข้มของสนามแม่เหล็กฮอลล์เอฟเฟกต์สวิตช์ที่สร้างขึ้นจะอยู่ในรูปของวงจรรวมซึ่งประกอบด้วยตัวตรวจจับความเข้มสนามแม่เหล็ก (Hall effect sensors) และวงจรขยายสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้

จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรการต่อใช้งานฮอลล์เอฟเฟกต์สวิตช์ ซึ่งทำงานเมื่อขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรขนาดเล็กที่ติดบนเพลทเคลื่อนที่ผ่านผิวหน้าของตัวตรวจจับ โดยมีระยะห่างที่ตัวตรวจจับสามารถรับความเข้มของสนามแม่เหล็กได้พอเพียงถึงระดับเทรชโฮลด์ คือประมาณ $1/8$ นิ้ว และไม่ควรมากเกิน $3/16$ นิ้วสำหรับการต่อสายมีลักษณะคล้ายกับแบบตัวตรวจจับชนิดกลไกซึ่งไม่ยุ่งยากและติดตั้งง่าย



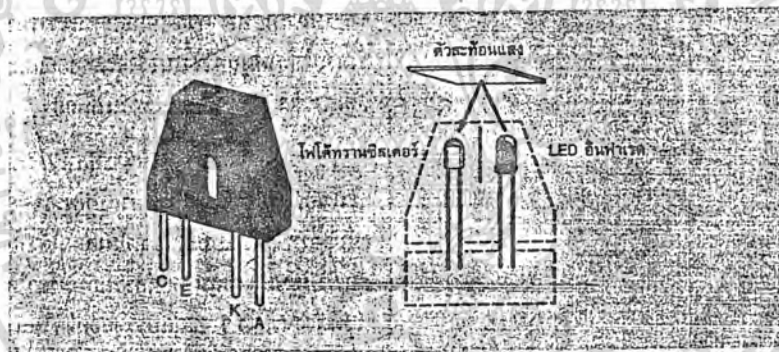
รูปที่ 3.4 ตัวเข้ารหัสแบบใช้หลักการฮอลล์เอฟเฟกต์

ข้อเสียของตัวตรวจจับแบบฮอลล์เอฟเฟกต์ก็คือการเกิดฮิสเตอร์เรซิส (hysteresis) ทำให้การเปลี่ยนแปลงสถานะการทำงานทั้งขณะเปิดและปิดไม่สามารถเปลี่ยนในทันทีทันใดได้ ดังนั้นระยะห่างของตัวตรวจจับและแม่เหล็กถาวรที่ติดตั้งอยู่ที่เพลทต้องพอเหมาะ รวมทั้งความเข้มของสนามแม่เหล็กจะต้องมีค่าพอเหมาะทำให้ตัวตรวจจับทำงานได้ อย่างไรก็ตามปัญหานี้แก้ไขได้โดยติดตั้งแม่

หลอดไฟอีกตัวหนึ่งเพิ่มเข้าไปทางด้านหลังของฮอลล์เอฟเฟกต์สวิตช์ โดยหันขั้วได้เข้าหาสวิตช์เพื่อเสริมกับสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็กถาวรที่เพลาหมุน นั่นคือแม่เหล็กถาวรที่เพิ่มเติมขึ้นจะสร้างสนามแม่เหล็กไบแอส (biasing field) ทำให้ระยะห่างระหว่างตัวตรวจจับและเพลาหมุนขยายได้มากขึ้น นอกจากนี้การต่อใช้งานตัวตรวจจับแบบฮอลล์เอฟเฟกต์ในส่วนของเอาต์พุตที่จะนำไปใช้งาน ต้องต่อผ่านวงจรฟลิปฟล็อปเพื่อปรับปรุงคลื่นให้เป็นคลื่นสี่เหลี่ยมสมมาตร (symmetrical square waves) ช่วยแก้ไขผลอันเกิดจากฮิสเตอร์ซิสอีกครั้งหนึ่งก่อนนำไปใช้งาน

3.2.3 แบบใช้หลักการสะท้อนของแสง (Reflective optical sensors)

อุปกรณ์ตรวจจับแบบใช้หลักการสะท้อนมีข้อดีที่เหนือกว่าแบบฮอลล์เอฟเฟกต์ตรงที่การตรวจจับสามารถกำหนดพื้นที่การทำงานได้แน่นอนทำให้ออกแบบระบบได้ง่าย รูปที่ 3.5 แสดงตัวตรวจจับแบบใช้หลักการสะท้อนแสง จากรูปจะเห็นได้ว่าประกอบด้วยแอลอีดีอินฟราเรด (Infrared LED) และโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งจัดวางในตำแหน่งที่หันทิศทางไปในทางเดียวกัน ดังนั้นโฟโตทรานซิสเตอร์จึงไม่ได้รับกระทบกับแสงอินฟราเรด ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะหยุดทำงานตลอดเวลา



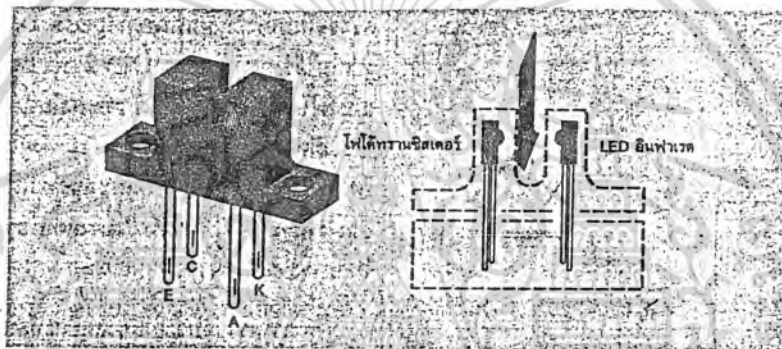
รูปที่ 3.5 ตัวเข้ารหัสแบบใช้หลักการการสะท้อนแสง

การตรวจจับจะอาศัยวัสดุที่สะท้อนแสงได้ เช่น โลหะสะท้อนแสง หรือ แผ่นฟอยล์ (foil) ซึ่งถูกเรียกว่าตัวสะท้อนแสง (reflector) มาวางไว้บริเวณด้านหน้าของตัวตรวจจับในระยะเวลาที่สามารถทำงานได้ ลำแสงอินฟราเรดจากแอลอีดีสะท้อนกลับมายังโฟโตทรานซิสเตอร์ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์ทำงานได้สัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตโฟโตทรานซิสเตอร์จะมีระดับลอจิกที่แน่นอน และเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกได้อย่างรวดเร็วหรือเกิดฮิสเตอร์ซิส้น้อยมาก ทำให้รูปคลื่นของสัญญาณที่ได้ไม่เกิดการบิดเบี้ยวเนื่องจากการทำงานอาศัยหลักการสะท้อนแสงทำให้มีประสิทธิภาพสูง ตัวตรวจจับประเภทนี้จึงนิยมถูกนำมาใช้ออกแบบใช้งานกับระบบตัวตรวจจับ 2 ชุด เพราะสามารถนำมาติดตั้งกับ

งานเข้ารหัสที่ติดตัวสะท้อนแสงได้หลายรูปแบบ เช่น ติดตั้งในด้านเดียวกันแต่คนละตำแหน่ง หรือติดตั้งด้านหน้าหรือด้านหลังของงานเข้ารหัสก็ได้ทำให้ประยุกต์ใช้งานได้สูงขึ้น

3.2.4 แบบใช้หลักการตัดลำแสง (Interruption sensors)

ส่วนประกอบที่สำคัญของตัวตรวจจับแบบนี้ยังคงใช้แอลอีดีอินฟราเรดและโฟโตทรานซิสเตอร์เช่นเดิมแต่แตกต่างกันตรงที่การจัดตำแหน่งของแอลอีดีอินฟราเรดและโฟโตทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะวางหันหน้าเข้าหากันโดยมีช่องว่างแคบๆ ดังรูปที่ 3.6 ลำแสงอินฟราเรดจากแอลอีดีจะส่งผ่านช่องว่างมากระทบกับโฟโตทรานซิสเตอร์ให้ทำงานตลอดเวลา แต่เมื่อใดที่มีวัตถุทึบแสงมาตัดผ่านในช่องว่าง จะทำให้แสงที่กระทบกับโฟโตทรานซิสเตอร์ขาดหายไปและทำให้หยุดทำงานทันที

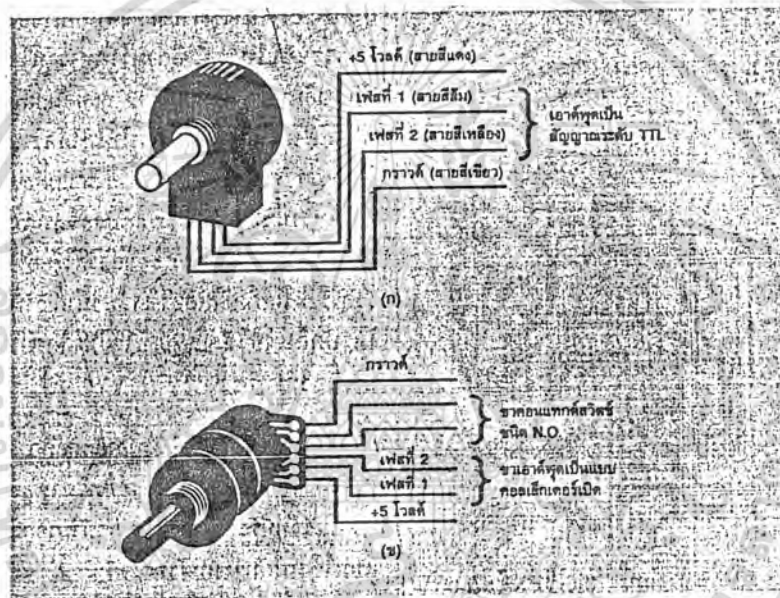


รูปที่ 3.6 ตัวเข้ารหัสแบบใช้หลักการตัดแสง

การใช้งานตัวตรวจจับแบบนี้ต้องใช้ร่วมกับงานเข้ารหัสที่มีขนาดพอเหมาะและไม่บิดเบี้ยว เพื่อป้องกันการเสียดสีระหว่างงานเข้ารหัสและตัวตรวจจับในช่องแคบ งานเข้ารหัสที่ใช้จะเป็นวัสดุโปร่งแสงเช่นพลาสติกใส และพิมพ์ลายช่องด้วยวัสดุทึบแสง การทำงานของตัวตรวจจับแบบใช้หลักการตัดแสงจะให้ความแม่นยำสูง เพราะไม่ต้องอาศัยการสะท้อนแสง แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้งานทำได้คือน้อยกว่าแบบใช้หลักสะท้อนแสงเพราะสามารถติดตั้งได้เพียงลักษณะเดียว คือ คล่อมระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของงานเข้ารหัส

อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้หลักการของแสงทั้งแบบสะท้อนและการตัดลำแสงมีข้อเสียที่ไม่สามารถทำงานในพื้นที่ที่มีความสว่างมากๆ ได้ เพราะแสงจากแหล่งอื่นจะตกกระทบโฟโตทรานซิสเตอร์จนไม่สามารถตรวจจับแสงได้ ทั้งประเภทส่งลำแสงแบบตรง และสะท้อนจาก LED เพื่อแก้ปัญหานี้อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้หลักการของแสงจึงต้องมีชิลด์ (shield) เพื่อป้องกันแสงจากแหล่งภายนอกด้วย ซึ่งอุปกรณ์เข้ารหัสสำหรับเพลทหมุนที่ใช้งานจริงจะถูกออกแบบให้มีการชิลด์ในตัว

พร้อมใช้งานได้เลยรูปที่ 3.7 แสดงตัวเข้ารหัสที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรม ซึ่งมีทั้งแบบตรวจจับอย่างหยาบและแบบละเอียดให้เลือกใช้งานสำหรับระบบควบคุมโดยต่อร่วมกับเพลาค์คันที่ วงจรต่างๆ จะถูกบรรจุอยู่ในทั้งหมด แต่สำหรับในรุ่นเกรฮิลล์ (grayhill) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัพไว้ภายนอกด้วย เพราะเอาต์พุตจะเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด ลักษณะการหมุนของแกนจะเป็นแบบคลิก (click stop) ซึ่งเป็นผลมาจากงานเข้ารหัสภายใน เอาต์พุตที่ได้ต่อการหมุนครบ 1 รอบเป็น 32 พัลส์ ส่วนในรุ่นของเคลโรสแตต (clarostat) จะสามารถผลิตพัลส์ได้มากกว่าเป็น 128 พัลส์ต่อรอบ และมีลักษณะการทำงานที่เป็นแบบคลิกทำให้การทำงานเรียบไม่เกิดการสั่นขึ้นภายใน



- รูปที่ 3.7 แสดงตัวเข้ารหัสสำเร็จรูปที่มีใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งง่ายต่อการใช้งานและมีความเที่ยงตรงสูง
- (ก) ตัวเข้ารหัสของเคลโรสแตตรุ่น 600 สามารถผลิตพัลส์ได้ 128 พัลส์ต่อรอบหรือมีความละเอียด 2.8125 องศาต่อสเต็ป
 - (ข) ตัวเข้ารหัสของเกรฮิลล์รุ่น 61C11-01-08-02 สามารถผลิตพัลส์ได้ 32 พัลส์ต่อรอบหรือมีความละเอียด 11.25 องศาต่อสเต็ป

บทที่ 4 อุปกรณ์เซ็นเซอร์

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนของอินพุตที่ทำหน้าที่รับความรู้สึกต่างๆ เรียกว่า ตัวตรวจจับ หรือ เซนเซอร์ (sensor) ซึ่งมันจะทำการเปลี่ยนแปลงความรู้สึกต่างๆ ที่ได้รับให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งอาจจะเป็นแรงดันหรือกระแสก็ได้ และส่งให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตีความหมาย และนำเอาผลดังกล่าวไปใช้งานได้ตามความต้องการ

ตัวตรวจจับแบบง่ายๆ พื้นฐานที่เราคุ้นเคยกันดี เช่น สวิตช์กลไก, สวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch), เซลล์รับแสง, โฟโตคัปเปิลเลอร์ (Photo Coupler), ตัวตรวจจับตำแหน่ง, ตัวตรวจจับแรง, ตัวตรวจจับอุณหภูมิ, ตัวตรวจจับเสียง เป็นต้น ตัวตรวจจับต่างเหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพทางฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของตัวตรวจจับแต่ละชนิดให้ได้เข้าใจกันต่อไป

4.1 สวิตช์กลไก (MECHANICAL SWITCHS)

สวิตช์กลไกที่เราพบเห็นและใช้กันมาตลอดก็จัดเป็นตัวตรวจจับชนิดหนึ่งด้วย สวิตช์กลไกนี้จะรับแรงกระทำจากภายนอกเพื่อใช้เป็นแรงกระทำต่อหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าให้เปิดหรือปิดตามต้องการในสวิตช์กลไกที่ทำงานแบบชั่วคราว การกระทำของหน้าสัมผัสจะเปิดหรือปิดเพียงชั่วขณะจากนั้นก็กลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมของในตอนเริ่มแรก ไมโครสวิตช์มักจะมีขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งได้ง่ายและถูกนำไปใช้เป็นสวิตช์ในการบอกตำแหน่งเป็นส่วนใหญ่

สวิตช์กลไกที่ได้กล่าวมานี้ ยังสามารถแบ่งออกได้สองแบบตามลักษณะการใช้งานในทางพาณิชย์และแบบที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม

แบบที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มักจะถูกใช้ในระบบแสงสว่าง เครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน เช่น เครื่องรับวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

สวิตช์แบบที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ มักจะใช้งานกับวงจรไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านหน้าสัมผัสมากกว่า 5 แอมแปร์ ตัวถังของสวิตช์จะถูกออกแบบและยึดติดอย่างดี เพื่อป้องกันแรงกระแทกและการสั้นสะพานจากภายนอก สวิตช์แบบที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

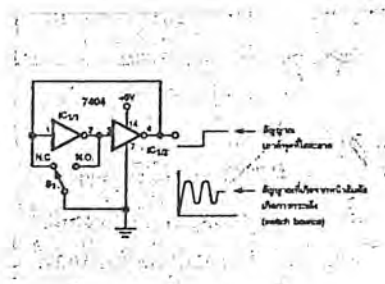
หลายๆ แบบมักจะมีการชิลด์ป้องกันฝุ่น, ความสกปรก, น้ำมัน, สารเคมีต่างๆ และทนต่อสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายได้ โดยเฉพาะอุณหภูมิที่สูงๆ

การสึกกร่อนของหน้าสัมผัสและการเกิดประกายไฟระหว่างหน้าสัมผัส เป็นสองปัญหาใหญ่ของสวิตช์แบบกลไกนี้ วัสดุจำพวกทอง, เงิน, แพลลาเดียม (palladium), พลาตินัม (platinum), โมลิบดีนัม (molybdenum) และทังสเตน (tungsten) จึงถูกนำมาใช้เป็นหน้าสัมผัสของสวิตช์เพราะสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดีและมีค่าความต้านทานต่ำ แต่กระนั้นก็ดีโลหะเหล่านี้เมื่อผ่านการใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่ง จะเกิดออกไซด์ (oxide) ขึ้นมีลักษณะเป็นชั้นของออกไซด์บางๆ เคลือบบนผิวของหน้าสัมผัสและผิวของโลหะ เป็นผลทำให้คุณสมบัติการนำไฟฟ้าลดลง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสสวิตช์

ชนิดโลหะ	ความต้านทาน ($\mu\Omega/\text{cm}$)	ความต้านทานการเกิดการออกซิเดชัน	ผลจากการเกิดประกายไฟ
ทอง	2.42	ดีที่สุด	ผิวโลหะเป็นหลุม
โมลิบดีนัม	5.70	ดี	ผิวโลหะเป็นหลุม
แพลลาเดียม	11.00	พอใช้	ต้านทานการเกิดประกายไฟ
พลาตินัม	10.60	ดีมาก	ต้านทานการเกิดประกายไฟ
เงิน	1.63	ดีที่สุด	ผิวโลหะเป็นหลุม
ทังสเตน	5.52	ดี	ต้านทานการเกิดประกายไฟ

ในเรื่องของการเกิดประกายไฟบนหน้าสัมผัสของสวิตช์นั้น จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อสวิตช์ดังกล่าวถูกนำมาใช้กับวงจรไฟฟ้าที่มีการใช้กระแสค่อนข้างสูง เมื่อใช้สวิตช์กับโหลดที่ดึงกระแสสูงๆ จะเกิดประกายไฟกระโดดข้ามช่องว่างระหว่างหน้าสัมผัสทั้งสอง เป็นผลทำให้หน้าสัมผัสตรงที่เกิดประกายไฟสึกกร่อนเป็นหลุมได้เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากประกายไฟ ในตารางที่ 4.1 นั้นแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติต่างๆ ของโลหะหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้สร้างเป็นหน้าสัมผัสของสวิตช์



รูปที่ 4.1 วงจรใช้ในการแก้ไขการเกิดสวิตช์บาวซ์

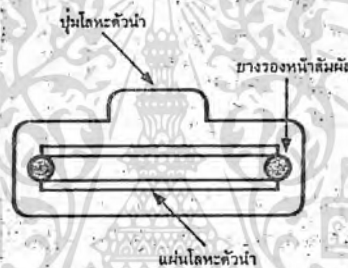
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

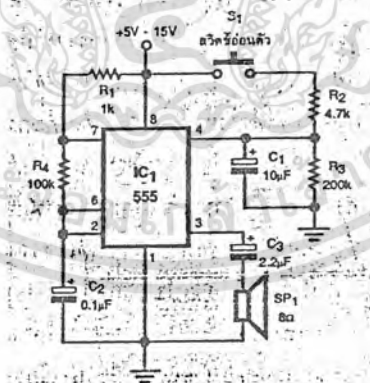
ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่มักจะพบเสมอในสวิตช์กลไกก็คือ ปัญหาสัญญาณรบกวนทางกล หรือที่เราคุ้นเคยกับคำว่า สวิตช์เด้ง (switch bounce) จากผลดังกล่าวนี้เมื่อนำสวิตช์มาใช้กับวงจรไฟฟ้าจะไม่มีปัญหามากนัก แต่เมื่อนำมาใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะกับวงจรดิจิทัลแล้วจะก่อปัญหาได้อย่างมากมายทีเดียว

4.2 สวิตช์อ่อนตัว (FLEX SWITCHES)

สวิตช์อ่อนตัวมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 4.2 สวิตช์อ่อนตัวนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจจับการสัมผัสหรือความตึงที่เกิดจากแรงได้ ตัวสวิตช์สามารถทำงานได้โดยอาศัยแรงที่กระทำบนพื้นที่รับแรงของสวิตช์ การใช้งานสวิตช์แบบนี้จะต้องระมัดระวังเรื่องของความชื้นและน้ำมันค่อนข้างมาก การใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นงานประเภทตรวจจับน้ำหนัก และระบบส่งสัญญาณเตือนภัย เป็นต้น



รูปที่ 4.2 ภาพตัดแสดงโครงสร้างของสวิตช์อ่อนตัว



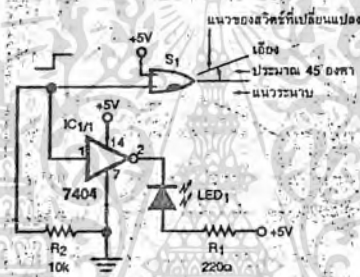
รูปที่ 4.3 วงจรประยุกต์ใช้งานของสวิตช์อ่อนตัว

ในรูปที่ 4.3 เป็นวงจรส่งเสียงสัญญาณเตือนภัย โดยมีสวิตช์อ่อนตัวเป็นตัวตรวจจับ เมื่อสวิตช์อ่อนตัวถูกกดจนหน้าสัมผัสภายในสัมผัสกันจะทำให้ไอซี LM 555 (IC 1) ทำงานส่งเสียงสัญญาณเตือนออกมาโดยความถี่ของเสียงที่ได้ถูกกำหนดจากค่า R_4 และ C_2 หลังจากนี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าสัมผัสจากออกจากกันแล้ว วงจรก็ยังส่งสัญญาณเตือนต่อไประยะหนึ่ง ระยะเวลาดังกล่าว ถูกกำหนดโดยค่าของ R_3 และ C_1 ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการและวงจรที่แสดงไว้ก็เป็นตัวอย่างง่ายๆ ตัวอย่างหนึ่งในการประยุกต์ใช้งาน

4.3 สวิตช์ปรอท (MERCURY SWITCHES)

ปรอทเป็นโลหะตัวนำที่ดีเลิศมีสภาพเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิห้อง ปรอทถูกนำมาสร้างเป็นสวิตช์อีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า สวิตช์ปรอท โดยปรอทจะถูกบรรจุอยู่ในหลอดแก้ว และมีหน้าสัมผัสสองหน้าสัมผัส เมื่อโลหะปรอทเคลื่อนที่ไปแตะกับหน้าสัมผัสทั้งสอง ทำให้ความต้านทานลดต่ำลงจนเป็นสวิตช์ปิดวงจร ในหลอดแก้วที่บรรจุปรอทไว้จะบรรจุก๊าซเฉื่อย (ก๊าซไนโตรเจน) เอาไว้ เพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์และประกายไฟที่หน้าสัมผัสของสวิตช์



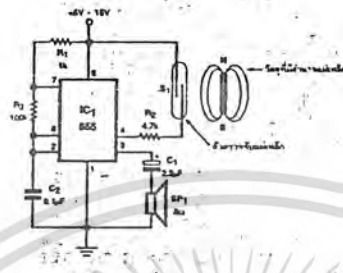
รูปที่ 4.4 วงจรประยุกต์ใช้งานสวิตช์ปรอทตรวจจับความเอียง

ในรูปที่ 4.4 เป็นตัวอย่างการวงจรใช้งานสวิตช์ปรอทในการตรวจจับความเอียงแบบง่ายๆ การทำงานเมื่อสวิตช์ปรอทติดตั้งไว้ในแนวระนาบ (แนวนอน) ตามปกติสวิตช์ปรอทจะเปิดวงจรของอินพุตของอินเวอร์เตอร์เกต (ขา 1 ของ IC 1) มีสถานะลอจิกเป็น “0” เอาต์พุตจึงเป็นลอจิก “1” เป็นผลทำให้ LED 1 ไม่สว่าง เมื่อสวิตช์ปรอทที่ติดตั้งไว้เกิดการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปจากแนวนอนหรือเกิดการเอียงออกจากแนวระนาบไปในจุดที่กำหนด ปรอทที่ถูกบรรจุอยู่ภายในจะเคลื่อนที่ไปแตะหน้าสัมผัสของสวิตช์จนครบวงจรเป็นสวิตช์ปิด ขาอินพุตของอินเวอร์เตอร์เกตจึงมีสถานะลอจิกเป็น “1” เอาต์พุตจึงเป็นลอจิก “0” ทำให้ LED 1 ติดสว่างขึ้นและเราก็สามารถนำผลอันนี้ไปใช้งานได้ทันที

4.4 ตัวตรวจจับแม่เหล็ก (MAGNETIC PROXIMITY SENSOR)

ตัวตรวจจับแม่เหล็กจะทำหน้าที่ในการตรวจจับอำนาจแม่เหล็กใดๆ ก็ตามที่เข้ามาใกล้ๆ กับตัวตรวจจับในระยะ และความเข้มที่กำหนดจนสามารถรับรู้ได้ ตัวตรวจจับแม่เหล็กหรือเรียกอีกอย่างว่า สวิตช์แม่เหล็ก (magnetic switch) จะถูกออกแบบไว้ทั้งในลักษณะปกติปิดวงจรหรือปกติเปิดวงจร เพื่อให้สะดวกในการประยุกต์ใช้งานหลายๆ ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 วงจรเตือนภัยประยุกต์ใช้งานสวิตช์แม่เหล็ก

ตัวอย่างการนำเอาตัวตรวจจับแม่เหล็กมาใช้งานแสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวงจรในรูปที่ 4.3 เพียงแต่เอาตัวตรวจจับต่างชนิดกัน การทำงานกล่าวคือเมื่อมีอำนาจแม่เหล็กเข้ามาในบริเวณที่ตัวตรวจจับแม่เหล็กสามารถรับรู้ได้ หน้าสัมผัสของสวิตช์จะปิดวงจร เป็นผลทำให้ไอซี LM 555 ถูกอินทิเกรตสามารถทำงานได้และส่งสัญญาณออกมา ต่อเมื่ออำนาจแม่เหล็กที่เข้ามาจากหายไป เป็นผลทำให้หน้าสัมผัสของสวิตช์เปิดวงจร วงจรจึงหยุดส่งสัญญาณออกมา อนึ่งความถี่เสียงของวงจรนี้จะถูกกำหนดโดยค่าของ R_3 และ C_2

4.5 อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง (OPTO DEVICE)

อุปกรณ์ตรวจจับทางแสงเป็นการนำเอาผลของแสงสว่างมาเปลี่ยนแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อสามารถนำมาใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ อุปกรณ์ตรวจจับทางแสงที่เราคุ้นเคยกันดี ก็มีอยู่หลายชนิด ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไปดังนี้

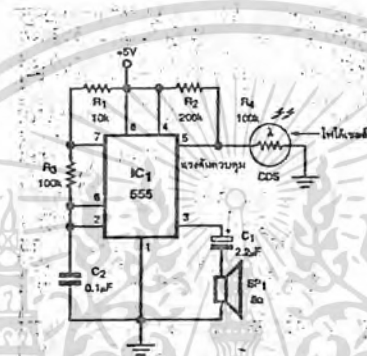
4.5.1 โฟโตเซลล์ (Photo cells)

โฟโตเซลล์เป็นตัวตรวจจับทางแสงแบบพื้นฐานที่มีใช้กัน ตัวตรวจจับแบบนี้มีโครงสร้างที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำที่ขั้วต่อใช้งานสองขั้ว เมื่อมีแสงมาตกกระทบกับตัวตรวจจับชนิดนี้จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานบนโฟโตเซลล์ตามการเปลี่ยนแปลงของแสงที่เปลี่ยนไป โฟโตเซลล์มักจะสร้างมาจากสารแคดเมียมซัลไฟด์ (cadmium-sulfide : CdS) หรือ แคดเมียมเซเลไนด์ (cadmium-selenide : CdSe)

โฟโตเซลล์ที่สร้างจากแคดเมียมเซเลไนด์จะใช้เวลาประมาณ 10 มิลลิวินาทีในการตอบสนองต่อความเข้มของแสงที่เปลี่ยนไป ส่วนโฟโตเซลล์ที่สร้างจากสารแคดเมียมซัลไฟด์จะใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงประมาณ 100 มิลลิวินาที จากผลของการตอบสนองต่อแสงที่ค่อนข้างช้านี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้างเข้าเช่นนี้ ทำให้การใช้งานเชื่อมต่อกับวงจรดิจิทัลค่อนข้างลำบากและมีปัญหาบ้างเล็กน้อย แต่โฟโตไดโอดก็สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้มากตามปริมาณความเข้มของแสงที่เปลี่ยนไปมากๆ ได้ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวาง

ค่าความต้านทานของตัวโฟโตไดโอดขึ้นอยู่กับสารที่นำมาใช้ในการผลิต ส่วนใหญ่แล้วค่าความต้านทานขณะไม่ได้รับแสงอาจจะสูงถึง 1 เมกะโอห์มหรือมากกว่านั้น ส่วนค่าความต้านทานขณะที่ได้รับแสงเต็มที่จะมีค่าประมาณ 250 โอห์มหรือต่ำกว่านั้น



รูปที่ 4.6 วงจร CVO ควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโตไดโอด

จากวงจรรูปที่ 4.6 เป็นวงจรที่นำเอาโฟโตไดโอดมาประยุกต์ใช้งานในวงจรผลิตความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของแสงที่เปลี่ยนไป ค่าความต้านทานของ R_2 และ R_4 (โฟโตไดโอด) จะต่อร่วมกันเป็นวงจรแบ่งแรงดันเพื่อจ่ายแรงดันควบคุมให้กับขา 5 ของ IC 1 ซึ่งเป็นขาควบคุมแรงดันเมื่อปริมาณของแสงที่ตกกระทบบนตัวโฟโตไดโอดเพิ่มมากขึ้นความต้านทานของโฟโตไดโอดจะลดต่ำลง แรงดันที่ขา 5 จึงเปลี่ยนแปลงต่ำลง เป็นผลทำให้ความถี่ทางเอาต์พุตของ IC 1 มีค่าสูงขึ้น ซึ่งความถี่พื้นฐานนั้นจะถูกกำหนดโดยค่าของ R_3 และ C_2 ส่วนย่านการเปลี่ยนแปลงของความถี่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามช่วงกว้างของแรงดันควบคุมที่เปลี่ยนไปมานั่นเอง

ในทางกลับกันหากปริมาณแสงที่ตกกระทบบนตัวโฟโตไดโอดลดต่ำลง ความต้านทานภายในโฟโตไดโอดจะสูงขึ้น เป็นผลทำให้ความถี่ทางเอาต์พุตของ IC 1 มีค่าต่ำลงตามปริมาณแสงที่ลดลงนั้น และถ้าหากทำการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่าง R_2 และ R_4 จะเป็นผลทำให้การทำงานกลับเป็นตรงกันข้ามทั้งหมด ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานตามความเหมาะสม

4.5.2 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor)

โดยภาวะปกติแล้ว สารกึ่งตัวนำจะมีคุณสมบัติที่ไวต่อแสงอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อมีการนำเอาสารกึ่งตัวนำมาสร้างเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ โปรตรอนจากแสงจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ ดังนั้นโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จับแสงชนิดหนึ่งถูกออกแบบขึ้นจากการเกิดปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของสารกึ่งตัวนำ และมีรอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction) ระหว่างสารสองชนิดของโฟโวลตาอิกเซลล์ ซึ่งรอยต่อนี้มีขนาดใหญ่กว่ารอยต่อพี-เอ็นของทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปความแตกต่างจากทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือที่ตัวถัง (case) ด้านบนของโฟโวลตาอิกเซลล์จะมีช่องสำหรับแสงเพื่อส่งไปยังรอยต่อพี-เอ็นโดยที่ช่องรับแสงนี้จะมีวัสดุเคลียร์ไมก้า (clear mica) หรือควอตซ์เลนซ์ (quartz lens) ติดอยู่บนช่องรับแสงดังกล่าว

โฟโวลตาอิกเซลล์ทุกแบบ จะมีโครงสร้างเป็นชนิดเอ็นพีเอ็นสารที่ถูกนำมาใช้ผลิต ได้แก่ ซิลิเนียม, ซิลิกอน หรือ เยอรมันเนียม สารแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมของคลื่นแสงในย่านที่แตกต่างกันออกไป



รูปที่ 4.7 วงจรควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโวลตาอิกเซลล์

- (ก) วงจรทำงานเมื่อแสงตกกระทบบ
- (ข) วงจรหยุดทำงานเมื่อมีแสง

โฟโวลตาอิกเซลล์ที่สร้างมาจากสารซิลิเนียม จะตอบสนองต่อสเปกตรัมของคลื่นแสงที่คนเราสามารถมองเห็นได้ ซึ่งลักษณะการตอบสนองได้ใกล้เคียงกับสายตาของคนเรา โฟโวลตาอิกเซลล์ที่สร้างจากซิลิกอน จะมีการตอบสนองได้ดีต่อสเปกตรัมของแสงในย่านของแสงอินฟราเรดหรือใกล้เคียง โฟโวลตาอิกเซลล์ที่สร้างมาจากสารเยอรมันเนียม จะมีการตอบสนองต่อแสงได้ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง ซึ่งรวมถึงย่านของแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วย

การทำงานและการตรวจจับของโฟโวลตาอิกเซลล์ มีความรวดเร็วกว่าโฟโวลตาอิกเซลล์มาก ซึ่งสามารถตอบสนองได้รวดเร็วถึง 1 ไมโครวินาทีทีเดียว ทำให้โฟโวลตาอิกเซลล์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง

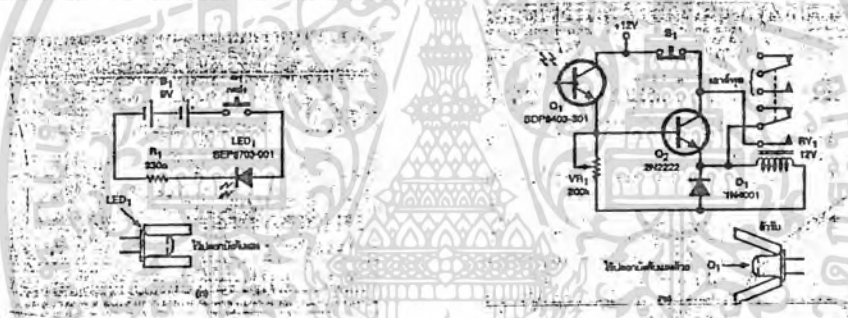
โฟโวลตาอิกเซลล์สามารถทำงานได้ทั้งเป็นวงจรขยายและวงจรสวิตช์ ตัวอย่างวงจรประยุกต์ใช้งานแสดงดังรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) ในรูปที่ 4.7 (ก) โฟโวลตาอิกเซลล์ Q_1 ถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เป็นตัวตรวจจับแสงที่สามารถปรับความไวได้ การทำงานคือเมื่อ Q_1 ได้รับแสงจะทำให้ Q_1 ทำงานเป็นผลทำให้มีแรงดันไบแอสที่ขาเบสของ Q_2 รีเลย์ RY_1 จึงทำงานต่อวงจรความไวในการทำงานของวงจรสามารถปรับได้ที่ค่าของ VR_1

ในทางตรงกันข้าม หากเราเปลี่ยนตำแหน่งกันระหว่าง VR_1 และ Q_1 ดังรูปที่ 4.7(ข) จะมีการทำงานคือเมื่อแสงตกกระทบ Q_1 ให้ Q_1 ทำงานลดวงจรขาเบสของ Q_2 ลงกราวด์ Q_2 จึงหยุดทำงาน รีเลย์ RY_1 จึงปล่อยวงจรออก ซึ่งเป็นไปในทางตรงกันข้ามกับวงจรในรูปที่ 4.7 (ก)

4.5.3 อินฟราเรด แอลอีดี (Infrared LED)

อินฟราเรดแอลอีดี ถูกสร้างขึ้นเพื่อกำเนิดแสงในย่านอินฟราเรด เมื่ออินฟราเรดแอลอีดีนำกระแส อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ และเกิดพลังงานดังกล่าวขึ้นจากโฟตอน การเกิดพลังงานดังกล่าวเป็นไปในทันทีที่มีกระแสไหลผ่าน



รูปที่ 1.8 วงจรประยุกต์ใช้งานอินฟราเรดแอลอีดี

(ก) วงจรภาคส่ง (ข) วงจรภาครับ

อินฟราเรดแอลอีดีสามารถกำเนิดอินฟราเรดได้ในช่วงสองความยาวคลื่นคืออินฟราเรดแอลอีดีที่สร้างจากสารแกลเลียมอาเซไนด์ (Gallium Arsenide : GaAs) จะให้ความยาวคลื่นประมาณ 900 นาโนเมตร และอินฟราเรดแอลอีดีที่สร้างจากสารแกลเลียมอลูมิเนียมอาเซไนด์ (Gallium Aluminum Arsenide : GaAlAs) จะกำเนิดแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นประมาณ 880 นาโนเมตร

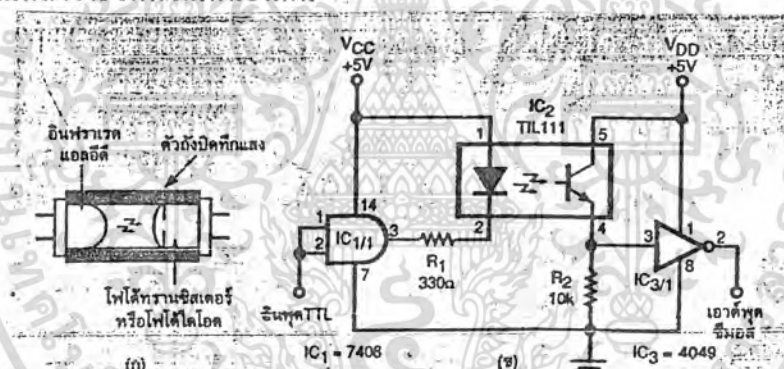
รูปที่ 4.8 เป็นวงจรใช้งานรีโมตคอนโทรลแบบง่าย โดยรูปที่ 4.8 (ก) เป็นวงจรภาคส่งรีโมตคอนโทรล และรูปที่ 4.8 (ข) เป็นวงจรภาครับรีโมตคอนโทรล ในวงจรภาคส่งแหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์ จะจ่ายไฟให้กับอินฟราเรดแอลอีดี มีการจำกัดกระแสด้วย R_1 และอินฟราเรดแอลอีดีจะเปล่งแสงอินฟราเรดออกมาเมื่อการกดสวิตช์ S_1 เป็นการส่ง

ทางด้านวงจรภาครับเมื่อแสงอินฟราเรดจากเครื่องส่งกระทบบนโฟโตทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำให้ Q_1 ทำงาน เป็นผลทำให้เกิดแรงดันไบแอสที่ขาเบสของ Q_2 ซึ่งเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไบแอสตรงให้กับขาเบส Q_2 จึงทำงานเป็นผลให้รีเลย์ RY_1 ทำงานดูหน้าสัมผัสเพื่อจ่ายไฟให้กับตัวเอง ดังนั้นขณะนี้ RY_1 ทำงานแล้วและจะยังคงทำงานต่อไป แม้ว่าแสงอินฟราเรดที่ตกกระทบ Q_1 จะหมดไปแล้วก็ตาม ถ้าหากต้องการให้วงจรหยุดทำงานก็สามารถทำได้โดยการกดสวิทช์ S_1 ก็จะทำให้ RY_1 หยุดทำงานทันที และวงจรก็จะพร้อมรับสัญญาณจากเครื่องรีโมตคอนโทรลอีกครั้งหนึ่ง ขณะที่ RY_1 ทำงานอยู่นั้นหากกดภาคส่งให้กับอินฟราเรดตัวส่งอีกครั้งก็จะไม่มีผลต่อวงจรจนกว่าจะมีการหยุดการทำงานก่อน

4.5.4 ออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto Isolator)

ออปโตไอโซเลเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์มาก เนื่องจากมันได้รวมเอาตัวกำเนิดแสงและตัวตรวจจับแสงเข้าไว้ด้วยกัน จุดประสงค์หลักของออปโตไอโซเลเตอร์คือการใช้งานเพื่อเป็นการแยกกันทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ตัวอย่างเช่นการเชื่อมโยงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเข้าไปควบคุมงานกำลังไฟฟ้ากำลังเป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากการที่มีระบบแหล่งจ่ายไฟที่ไม่เหมือนกัน



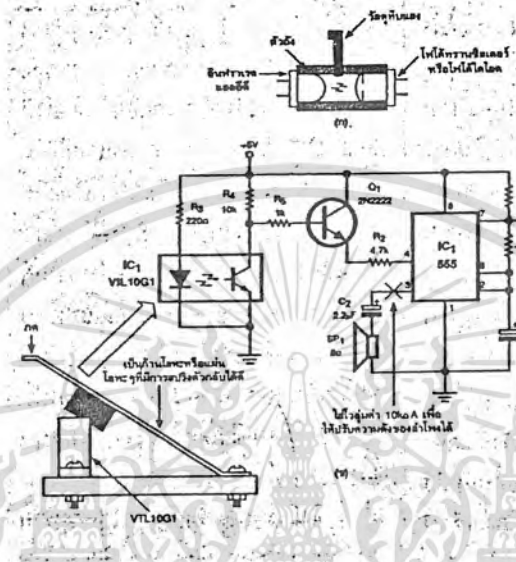
รูปที่ 4.9 (ก) โครงสร้างของออปโตไอโซเลเตอร์อย่างง่าย

(ข) วงจรประยุกต์ใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์

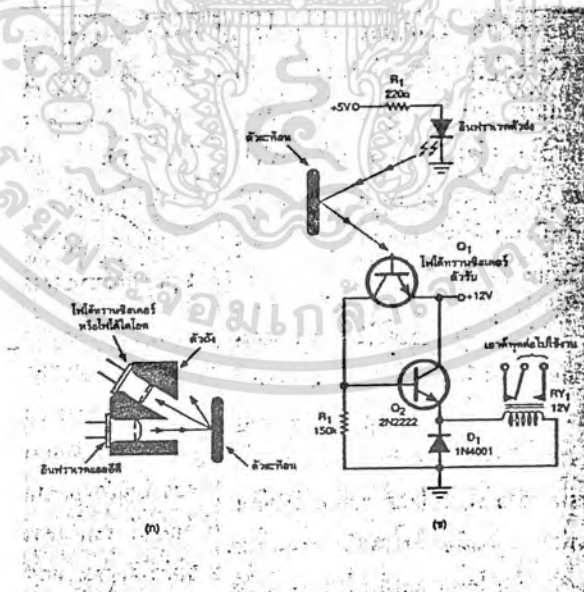
ออปโตไอโซเลเตอร์จะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังที่ทึบแสงเพื่อป้องกันการรบกวนของแสงจากภายนอก ออปโตไอโซเลเตอร์อาจจะรวมเอาอุปกรณ์ตรวจจับแสงดังที่ได้กล่าวมาแล้วจับคู่กันและบรรจุในตัวถังเดียวกันก็ได้ เช่น แสงจากหลอดนีออนกับตัวรับโฟโตเซลล์, หลอดอินแคนเดสเซนต์กับโฟโตเซลล์ และตัวส่งอินฟราเรดกับโฟโตเซลล์ และตัวส่งอินฟราเรดกับโฟโตทรานซิสเตอร์หรือกับโฟโตไดโอด เป็นต้น

ออปโตไอโซเลเตอร์ที่ใช้ในงานกำลังสูงจะถูกบรรจุอยู่ในตัวถังที่ใหญ่และค่อนข้างแข็งแรง ส่วนออปโตไอโซเลเตอร์ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรืองานที่มีกำลังค่อนข้างต่ำและ

ปานกลางจะถูกบรรจุอยู่ในตัวดังรูปไอซีที่เคยพบเห็นกันมาบ้างแล้วในรูปที่ 4.9 (ก) นั้นเป็นโครงสร้างภายในอย่างง่ายของออปโตไอโซเลเตอร์



รูปที่ 1.10 (ก) โครงสร้างของออปโตไอโซเลเตอร์แบบคู่
(ข) การประยุกต์ใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์



รูปที่ 4.11 (ก) ลักษณะภายในของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน
(ข) วงจรใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์อย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 4.9 (ข) เป็นการนำออปโตไอโซเลเตอร์เข้ามาเชื่อมต่อเอาต์พุตของไอซีที่ทีแอล เข้ากับอินพุตของไอซีชิมอส โดยสัญญาณเอาต์พุตของ IC _{1/1} จะใช้ขับอินฟราเรดแอลอีดีตัวส่งที่ลอจิก “0” จะทำให้อินฟราเรดแอลอีดีใน IC ₂ นำกระแสและส่งแสงอินฟราเรดออกมา ไฟไคทรานซิสเตอร์ในออปโตไอโซเลเตอร์เมื่อได้รับแสงจึงทำงาน ทำให้ปรากฏลอจิก “1” ที่อินพุตของ IC _{3/1} เอาต์พุตของ IC _{3/1} จึงมีลอจิกเป็น “0” ในทางกลับกันถ้าเอาต์พุตของ IC _{1/1} มีลอจิกเป็น “1” ไฟไคทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน อินพุตของ IC _{3/1} มีลอจิกเป็น “0” เอาต์พุตของ IC _{3/1} จึงมีระดับลอจิกเป็น “1” สรุปคือเอาต์พุตของวงจรจะมีสถานะลอจิกตรงข้ามกับอินพุตของวงจร

4.5.4.1 ออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดคู่ (Slotted Pair Optoisolator)

ออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดนี้จะติดตั้งตัวรับและตัวส่งไว้บนตัวถังเดียวกัน แต่จะเปิดช่องทางของแสงเอาไว้ วิธีการใช้งานจะใช้วัสดุที่ทึบแสงมาปิดแสงตรงช่องว่างดังกล่าว และนำผลดังกล่าวไปใช้งาน ลักษณะของออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดตัวคู่นี้ แสดงดังรูปที่ 4.10 (ก)

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 4.10 (ข) ซึ่งเป็นวงจรเครื่องเคาะรหัสมอร์ส โดย Q₁ และ IC₁ ซึ่งเป็นออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดตัวคู่ การทำงานของวงจรจะใช้วัสดุทึบแสงมาประกอบเป็นลิ้นเคาะรหัสมอร์ส โดยให้ส่วนทึบแสงทำหน้าที่ปิดเปิดแสงบนตัวออปโตไอโซเลเตอร์ให้ทำงานหรือไม่ทำงานตามต้องการ (ตัวรับแสงได้รับแสงหรือไม่ได้รับแสง) ออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้มากมาย ตัวอย่างเช่น การนับจำนวนสิ่งของ การนับรอบของเครื่องกลต่างๆ เป็นต้น

4.5.4.2 ตัวตรวจจบการสะท้อน (Reflector Isolator)

ตัวตรวจจบการสะท้อนก็เป็นออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดหนึ่ง หลักการคือจะอาศัยวัสดุหรือชิ้นงานที่จะตรวจจบ เป็นตัวสะท้อนแสงจากอินฟราเรดแอลอีดีตัวส่งไปยังตัวรับแสงที่เป็นไฟไคทรานซิสเตอร์ การติดตั้งบนตัวถังของตัวตรวจจบการสะท้อนระหว่างอินฟราเรดแอลอีดีและไฟไคทรานซิสเตอร์จะติดตั้งให้ทำมุมกัน 45 องศาหรือมากกว่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ก) และส่วนใหญ่จะเป็นการติดตั้งไว้ตัวถังบรรจุตัวเดียวกันเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน

วงจรใช้งานตัวตรวจจบการสะท้อนแบบง่ายๆ แสดงดังรูปที่ 4.11 (ข) จะเห็นว่าอินฟราเรดแอลอีดี LED₁ ถูกต่อกับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ทำให้นำกระแสและส่งแสงอินฟราเรดออกมาตลอดเวลา และเมื่อแสงอินฟราเรดจาก LED₁ การสะท้อนผ่านพื้นผิวใดๆ ก็ตาม เข้ามายังไฟไคทรานซิสเตอร์ Q₁ (ตัวรับ) Q₁ จึงทำงานและมีไบแอสที่ขาเบสของ Q₂ เป็นไบแอสตรง Q₂ จึงทำงานทำให้รีเลย์ RY₁ และสามารถนำผลการเปลี่ยนแปลงสถานะสัมผัสของ RY₁ ไปใช้งานได้ทันที ความไวในการทำงานของวงจรนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของ R₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 อุปกรณ์ตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ใช้ในหุ่นยนต์

เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถที่จะเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้เองโดยอัตโนมัติ เราต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ได้ทราบว่าสิ่งกีดขวางอยู่ที่ใดบ้าง เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์จะได้ทำการตัดสินใจได้ถูกต้องว่าจะทำอย่างไรต่อไป เช่น ให้เลี้ยวซ้ายหรือให้หยุด

สำหรับระบบเซนเซอร์ที่นิยมใช้กันในการสร้างหุ่นยนต์นั้นมีหลายชนิดซึ่งจะได้กล่าวถึงบางชนิดที่สำคัญคือ

4.6.1 สวิตช์สัมผัส

ทำงานโดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อหุ่นยนต์เดินไปกระทบกับสิ่งกีดขวาง สวิตช์สัมผัสที่ติดอยู่รอบๆ ตัวของหุ่นยนต์จะส่งสัญญาณเป็นไปที่ส่วนควบคุม จากนั้นส่วนควบคุมจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ ตัวตรวจจับแบบนี้มีข้อเสียคือจะต้องรอให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปกระทบกับสิ่งกีดขวางเสียก่อนจึงจะทราบว่าสิ่งกีดขวางอยู่

4.6.2 อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer)

มีหลักการการทำงานโดยอาศัยการส่งคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าที่มนุษย์จะสามารถได้ยินได้ออกไป เมื่อคลื่นที่ส่งไปนั้นกระทบกับสิ่งกีดขวางก็จะเกิดการสะท้อนขึ้น ถ้าเรานำเอาตัวตรวจจับคลื่นเสียงความถี่สูงไปตั้งไว้ในทิศทางที่หันหน้าไปทางเดียวกับตัวส่งเราก็จะสามารถทราบได้ว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ในทิศทางที่เราส่งคลื่นออกไปได้โดยการตรวจจับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมานั่นเอง ข้อเสียของอุปกรณ์ตรวจจับประเภทนี้คือมีราคาแพง และเมื่อคลื่นเสียงความถี่สูงที่ส่งไปกระทบกับวัสดุบางชนิดที่มีความสามารถในการดูดกลืนเสียงก็จะทำให้คลื่นที่สะท้อนกลับมานั้นมีขนาดเล็กไม่แรงพอที่จะทำให้ตัวตรวจจับทำงานได้ก็จะทำให้ตัวตรวจจับไม่สามารถตรวจพบได้ หรือในบางกรณีที่วัตถุที่วางกีดขวางอยู่นั้นวางอยู่ในลักษณะที่ทำมุมกับกับตัวตรวจจับก็อาจจะทำให้คลื่นที่ส่งออกไปนั้นสะท้อนเบนออกไปจากแนวเส้นปกติของตัวตรวจจับได้ ก็จะทำให้ไม่สามารถตรวจพบสิ่งกีดขวางนี้ได้เช่นกัน ดังนั้นรูปทรง, การวางตัวของสิ่งกีดขวางและวัสดุพื้นผิวจึงมีผลต่ออุปกรณ์ตรวจจับชนิดนี้

4.6.3 อินฟราเรดเซนเซอร์ (Infrared Sensor)

อุปกรณ์ตรวจจับแบบนี้ทำงานคล้ายกับแบบอุลตราโซนิค แต่แทนที่จะส่งคลื่นเสียงออกไปก็จะส่งคลื่นแสงออกไปแทน โดยแสงที่ส่งไปนี้เป็นแสงความถี่ต่ำในช่วงอินฟราเรดซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ตาของมนุษย์ไม่สามารถจะมองเห็นได้ มีข้อดีคือตัวส่งและตัวรับแสงอินฟราเรดมีราคาไม่แพงมากเหมือนอุลตราโซนิค แต่ก็ข้อเสียคือสีของวัตถุจะมีผลต่อการสะท้อนของแสงอินฟราเรด และยังอาจจะมีแสงอินฟราเรดจากแหล่งอื่นที่เข้ามารบกวนระบบของเราได้เช่น ไฟฉาย

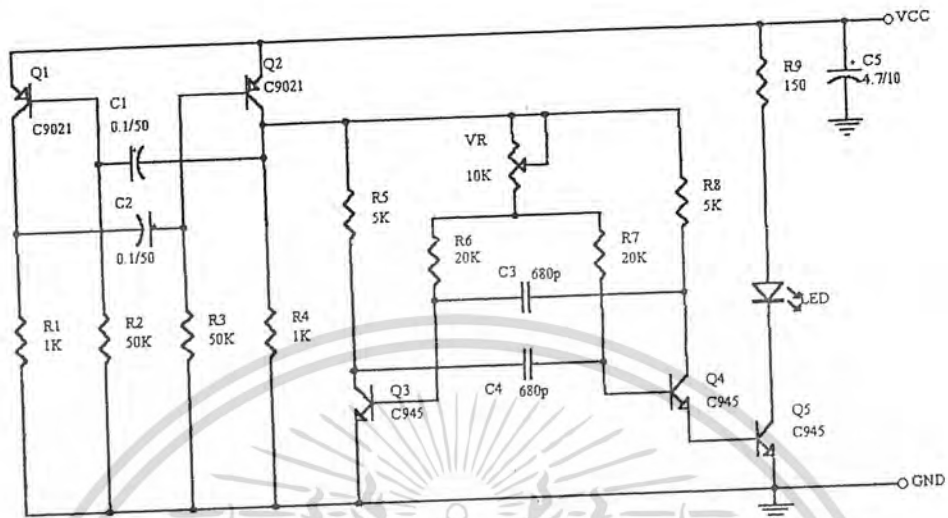
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือดวงอาทิตย์ และตัวตรวจจับแสงบางชนิดยังมีช่วงการทำงานที่ครอบคลุมความถี่แสงในช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วย ทางแก้ของเราก็อาจต้องส่งคลื่นแสงอินฟราเรดออกไปเป็นพัลส์ โดยที่วงจรที่ใช้ในการรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมานั้นจะมีผลต่อแสงอินฟราเรดที่รับเข้ามาแล้วมีความถี่ตรงกับความถี่ทางด้านส่งเท่านั้น ก็จะทำให้เราสามารถกรองเอาเฉพาะสัญญาณที่เราต้องการเท่านั้นได้ และในการส่งคลื่นออกไปเป็นช่วงความถี่นี้ทำให้เราสามารถเพิ่มกำลังส่งของอินฟราเรดแอลอีดีได้อีกด้วย โดยถ้าเราส่งคลื่นแสงยาวตลอดจะทำให้เราต้องจำกัดกระแสให้อยู่ในขนาดที่ อินฟราเรดแอลอีดี พอจะทนไหวเท่านั้น แต่ถ้าเราส่งคลื่นออกไปเป็นพัลส์ จะทำให้เราสามารถจ่ายกระแสในขณะส่งได้สูงขึ้นโดยที่กระแสเฉลี่ยยังคงมีค่าไม่เกินขนาดที่ตัวแอลอีดี จะทนได้

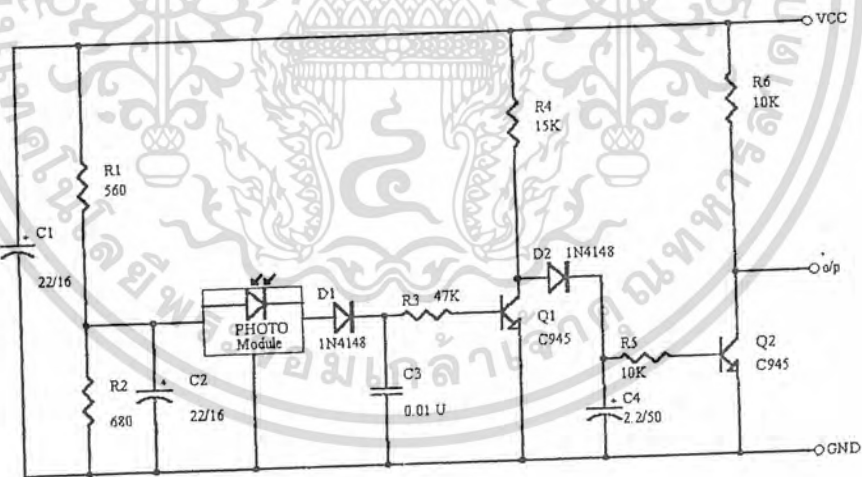
4.7 วงจรอินฟราเรดเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ตรวจจับในโรงงาน

สำหรับวงจรที่นำมาทดสอบเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับในโรงงานนี้นั้นคิดแปลงมาจากวงจรรีโมทคอนโทรล โดยภาคส่งจะส่งคลื่นแสงอินฟราเรดเป็นพัลส์ความถี่ประมาณ 40KHz

และสำหรับเอาต์พุตที่ได้จากภาครับเราจะต้องนำไปต่อเข้าเป็นอินพุตให้กับไมโครโปรเซสเซอร์ต่อไป



ก) วงจรภาคส่ง



ข) วงจรภาครับ

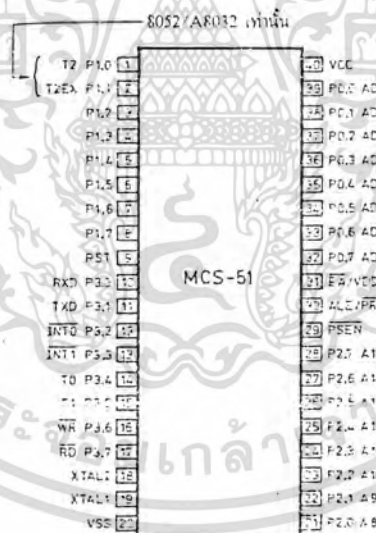
รูปที่ 4.12 แสดงวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ใช้ในหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 เอ็มซีเอส-51 (MCS-51)

ในงานระบบควบคุมอัตโนมัติที่อุปกรณ์ที่สำคัญและมีบทบาทอย่างมากชนิดหนึ่งคือไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งก็มีการใช้งานที่ค่อนข้างยุ่งยากเพราะจำเป็นต้องมีการต่ออุปกรณ์ร่วมอื่นๆ อีกมาก ทำให้มีการพัฒนานำเอาอุปกรณ์ที่จำเป็นเช่น หน่วยความจำ พอร์ตต่างๆ ฯลฯ มารวมไว้ในชิปตัวเดียวกันกับไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเราเรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์นั่นเอง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เราเลือกมาใช้ในโครงงานนี้นั้นเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตในตระกูลเอ็มซีเอส-51 (MCS-51) ซึ่งจากรูปที่ 5.1 และ 5.2 นั้นแสดงจำนวนขาและหน้าที่ของ 8051 ซึ่งถือว่าเป็นตัวแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลเอ็มซีเอส-51 ทั้งหมด



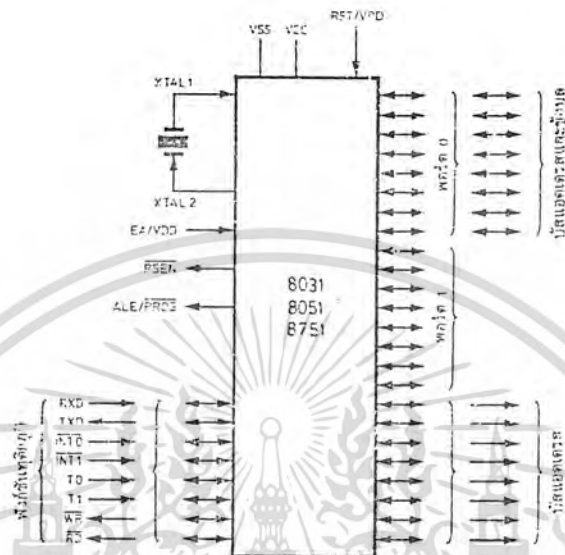
รูปที่ 5.1 แสดงการจัดวางขาต่างๆ ของเอ็มซีเอส-51

5.1 หน่วยความจำของเอ็มซีเอส-51

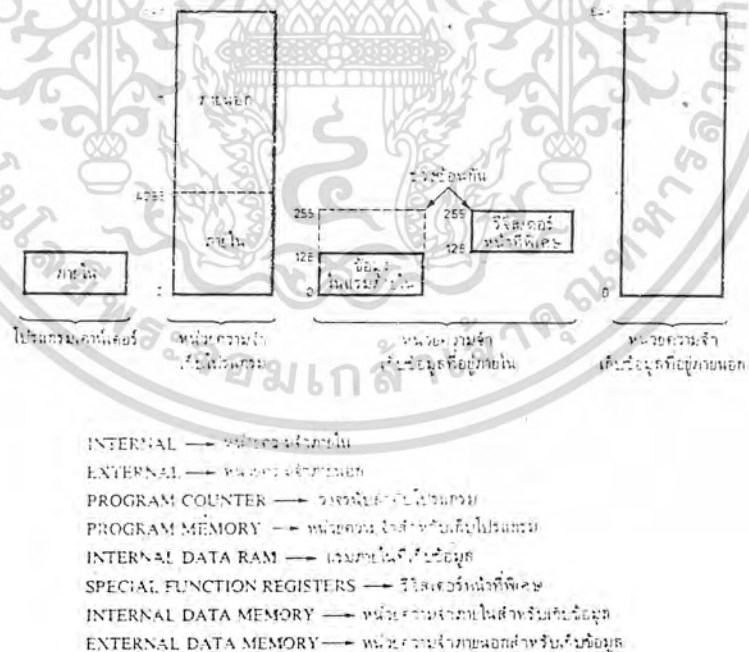
จากรูปที่ 5.3 เป็นหน่วยความจำภายในตัวเอ็มซีเอส-51 หน่วยความจำนี้แบ่งได้ 2 กลุ่มคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล หน่วยความจำแฟรมีแอดเดรส (Address) ที่ต่ำกว่า 4 หรือ 6 กิโลไบต์บรรจุอยู่ในรอม (ROM) ส่วนเอ็มซีเอส-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไม่มีรอมภายในจะใช้หน่วยความจำภายนอกแทนซึ่งอาจเป็นรอม, แรม หรือ อีพรอม (EPROM) แทนก็ได้



รูปที่ 5.2 แสดงหน้าที่ของพอร์ตเมื่อทำงานกับหน่วยความจำภายนอก



รูปที่ 5.3 แสดงโครงสร้างการจัดหน่วยความจำของเอ็มซีเอส-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ็มซีเอส-51 จะอ่านหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมเข้ามาเป็นภาษาเครื่อง ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล จะใช้เป็นที่เก็บตัวแปร, การคำนวณหาผลลัพธ์ทันที, การจัด การกับข้อมูลที่มีขนาด 16 บิต (word), ตารางที่ใช้ค้นหาค่าต่างๆ และหน้าที่อื่นที่คล้ายกัน

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลใช้ร่วมกับหน่วยความจำภายนอกได้ถึง 640 กิโลไบต์ ซึ่งเลือกใช้รอมหรือแรมก็ได้ และยังมีรีจิสเตอร์พิเศษที่ใช้หน่วยความจำภายนอกของแรมได้ 128 หรือ 256 กิโลไบต์

5.2 รีจิสเตอร์ภายในเอ็มซีเอส-51

เอ็มซีเอส-51 มีรีจิสเตอร์ (Register) ที่อำนวยความสะดวกในการใช้งานตามคำสั่ง ต่างๆ ประกอบด้วย แอคคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) รีจิสเตอร์ B ที่ใช้ในการคูณและหาร รีจิส เตอร์สถานะ (Status Register:SR) สแต็กพอยเตอร์ (Stack Pointer:SP) คาต้าพอยน์เตอร์ (Data Pointer:DPTR) (2×8 บิตหรือ 1×16 บิต) พอร์ต (Port) หมายเลขศูนย์ถึงพอร์ตหมายเลขสาม รีจิส เตอร์แบบคู่ซึ่งใช้ส่งและรับข้อมูลขนานอนุกรม รีจิสเตอร์ 16 บิต ที่เป็นวงจรรีจิสเตอร์และวงจรรีจิส เตอร์ซึ่งจองไว้สำหรับใช้นับตัวที่ 3 รีจิสเตอร์คำสั่ง สำหรับหน้าที่พิเศษ (เช่นการอินเตอร์รัพต์ RCT : Read Time Clock) และอินพุต เอาท์พุตแบบอนุกรม

5.3 สายต่างๆ ของบัสและพอร์ต

ในรูปที่ 5.4 จะเห็นโครงสร้างภายในของเอ็มซีเอส-51 เราจะสมมติให้มีบัสสอง ทิศทาง 4 เส้น และพอร์ตขนาด 8 บิต ตามทฤษฎี แต่ที่จริงนั้นจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อมีการใช้หน่วยความ จำภายในตัว

เมื่อไม่ใช้หน่วยความจำภายในพอร์ต 0 และ 2 จะถูกใช้เป็นบัสของข้อมูลและ แอดเดรส โดยพอร์ต 0 ทำหน้าที่เป็นแอดเดรสบัส(Address Bus) A_0-A_7 และ คาต้าบัส(Data Bus) D_0-D_7

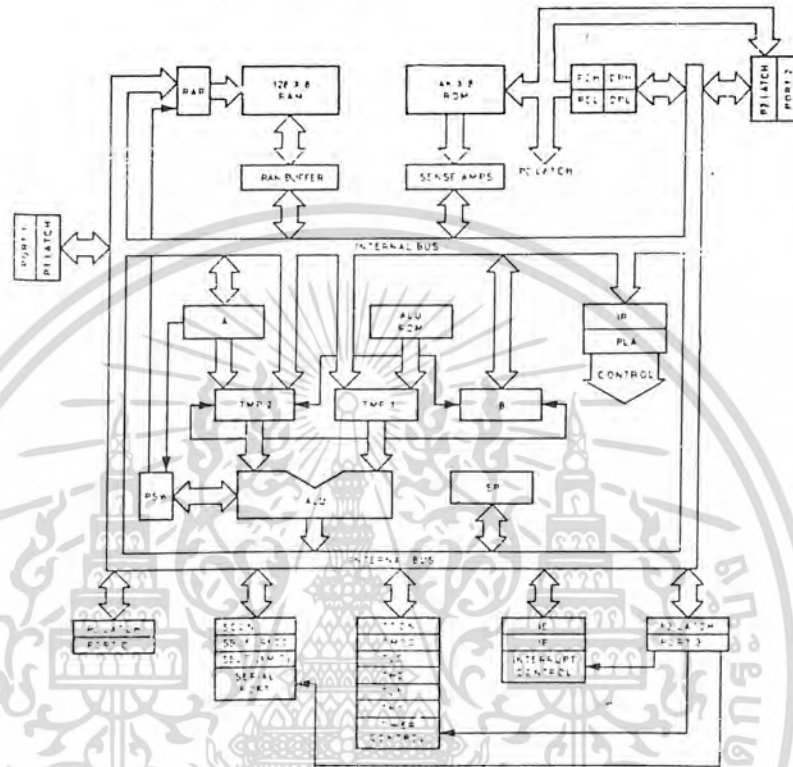
เอาท์พุตของขา $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$ มาจากสายเอาท์พุตของพอร์ต 3 โดยโปรแกรมภายในใช้สัญญาณ $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$ เพื่อการเขียนและอ่านข้อมูลของหน่วยความจำภายนอกตามลำดับ

5.3.1 ขา $\overline{PSEN}$

ขา $\overline{PSEN}$ เป็นขารับสัญญาณสำหรับเปิดให้มีการอ่านหน่วยความจำภายนอก ถ้า สังเกตทุกๆ รับคำสั่งระหว่างการทำงานด้วยโปรแกรมในรอมหรืออีพรอมจะเห็นว่าสัญญาณ $\overline{PSEN}$ ทำงานถึงสองครั้งเหมือนสัญญาณ $\overline{ALE}$ เพราะว่ามี การอ่านข้อมูลจำนวน 2 ไบต์ในแต่ละรอบคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา $\overline{PSEN}$ นี้ไม่ทำงานเมื่อมีภาษาเครื่องเก็บอยู่ในหน่วยความจำภายใน และถ้าหากหน่วยความจำภายนอกไม่มีข้อมูลบรรจุอยู่ก็จะไม่ทำงานด้วยเช่นกัน



รูปที่ 5.4 แสดงโครงสร้างภายในของเอ็มซีเอส-51

5.3.2 ขา EA

เป็นขาอินพุตที่ใช้ร่วมกับแอดเดรสภายนอก โดยจะมีค่าลอจิก '0' เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์อ่านคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ยังมีหน้าที่เป็นอินพุตสำหรับป้อนแรงดัน 21 โวลต์ เพื่อโปรแกรมให้กับอีพรอมภายในสำหรับเบอร์ที่มีอีพรอมภายใน

5.3.3 ตัวจับเวลา/ตัวนับ

เอ็มซีเอส-51 มีตัวจับเวลา/ตัวนับอยู่ 2 ตัว นอกจาก 8052 ที่มีตัวจับเวลา/ตัวนับ (Timer/Counter) ขนาด 16 บิตเพิ่มพิเศษอีก 1 ตัว ซึ่งมีการทำงานดังนี้

5.3.3.1 เมื่อทำงานเป็นวงจรตั้งเวลา

รีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ตั้งเวลาจะเพิ่มค่าขึ้นหนึ่งของทุกๆ รอบคำสั่งของเครื่อง และจะนับด้วยอัตราสูงสุดที่ $\frac{1}{12}$ ของความเร็วสัญญาณนาฬิกาของโปรเซสเซอร์

5.3.3.2 เมื่อทำงานเป็นวงจรรนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำหน้าที่เป็นวงจรมีเพิ่มค่าขึ้นหนึ่งเมื่อมีสัญญาณป้อนให้อินพุต T0, T1 หรือ T2 (T2 มีเฉพาะ 8052) เป็นขอบสัญญาณขาสูง อัตราการนับสูงสุดคือ 1/24 ของความเร็วสัญญาณนาฬิกาของโปรเซสเซอร์

วงจรมีและวงจรตั้งเวลา 0 และ 1 มีวิธีโปรแกรมให้ทำงานได้ต่างกันถึง 4 แบบ รันการทำงานเป็น 8 บิตหรือ 16 บิต และการบรรจุค่าพีรีเซตหนึ่งค่าได้เองอย่างอัตโนมัติ

วงจรมีและวงจรตั้งเวลาที่ 1 เลือกโปรแกรมให้ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณของอัตราการส่งบิตออกไปอย่างอนุกรมสำหรับการใช้ในการอินเตอร์เฟสได้

สำหรับตัวจับเวลา/ตัวนับตัวที่ 2 มีการทำงานย่อยๆ อีก 3 ชนิดคือ

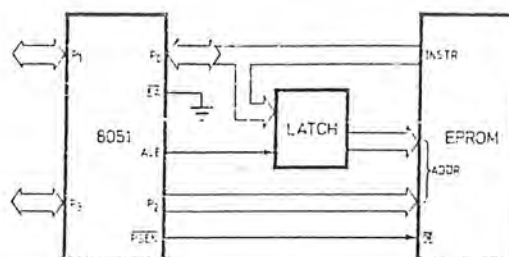
1. วงจรมี 16 บิตที่สามารถโหลดค่ากลับคืนเองอย่างอัตโนมัติ
2. วงจรมีที่จองไว้ชนิด 16 บิต
3. วงจรกำเนิดสัญญาณของการส่งบิตเพื่อใช้อินเตอร์เฟส

5.4 การจัดหน่วยความจำ

ในระบบของเอ็มซีเอส-51 จะมีการแบ่งหน่วยความจำเหมือนกับซีพียูทั่วๆ ไปคือจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะตามชนิดของข้อมูลที่เก็บดังนี้

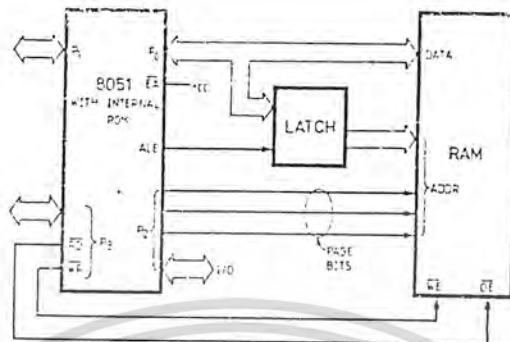
1. หน่วยความจำข้อมูล (data memory)
2. หน่วยความจำโปรแกรม (program memory)

ถ้าจะพูดกันง่ายๆ หน่วยความจำข้อมูลก็หมายถึงหน่วยความจำส่วนที่เป็นแรม (RAM) ซึ่งสามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา แต่ไม่สามารถรันโปรแกรมบนหน่วยความจำส่วนนี้ได้ ส่วนหน่วยความจำโปรแกรมจะหมายถึงหน่วยความจำที่อ่านได้อย่างเดียว (ROM) ซึ่งบรรจุโปรแกรมที่จะทำให้เอ็มซีเอส-51 ทำงาน โดยหน่วยความจำทั้งสองประเภทนี้จะถูกแยกออกจากกันด้วยคำสั่งทางซอฟต์แวร์และลักษณะการติดต่อทางฮาร์ดแวร์ด้วย กล่าวคือจะมีคำสั่งเฉพาะสำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำชนิดใดชนิดหนึ่งและจัดสัญญาณสโตรบในการติดต่อกับหน่วยความจำแต่ละชนิดแยกต่างหากกันด้วย ดังรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.5 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม

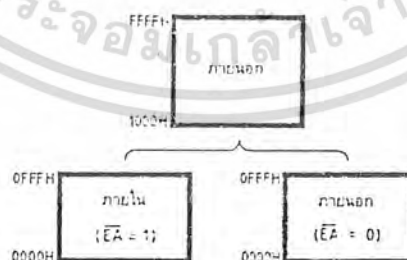
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำข้อมูล

5.4.1 หน่วยความจำโปรแกรม

ในเอ็มซีเอส-51 จะแบ่งหน่วยความจำโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วน คือหน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในคือหน่วยความจำประเภทรอมหรืออีพรอมที่อยู่ภายในตัวเอ็มซีเอส-51 เบอร์ 8051 หรือ 8751 ตามลำดับ ซึ่งมีขนาด 4 กิโลไบต์ ส่วนหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกคือ หน่วยความจำที่ต่ออยู่ภายนอกตัวเอ็มซีเอส-51 โดยอาจจะเป็นต่อเพื่อขยายหน่วยความจำเพิ่มเนื่องจากหน่วยความจำภายในไม่พอ หรืออาจจะเป็นหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมดเลยก็ได้ในกรณีของ 8031 เพราะภายในตัวไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมเหมือนเบอร์ 8051 หรือ 8751 โดยเอ็มซีเอส-51 สามารถเลือกให้รันโปรแกรมในหน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือภายนอกก็ได้ โดยควบคุมที่ขา $\overline{EA}$ (ขา 31) แต่สำหรับเบอร์ 8031 จะต่อขา $\overline{EA}$ ลงกราวด์เสมอ การจัดแบ่งพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอก แสดงในรูปที่ 5.7

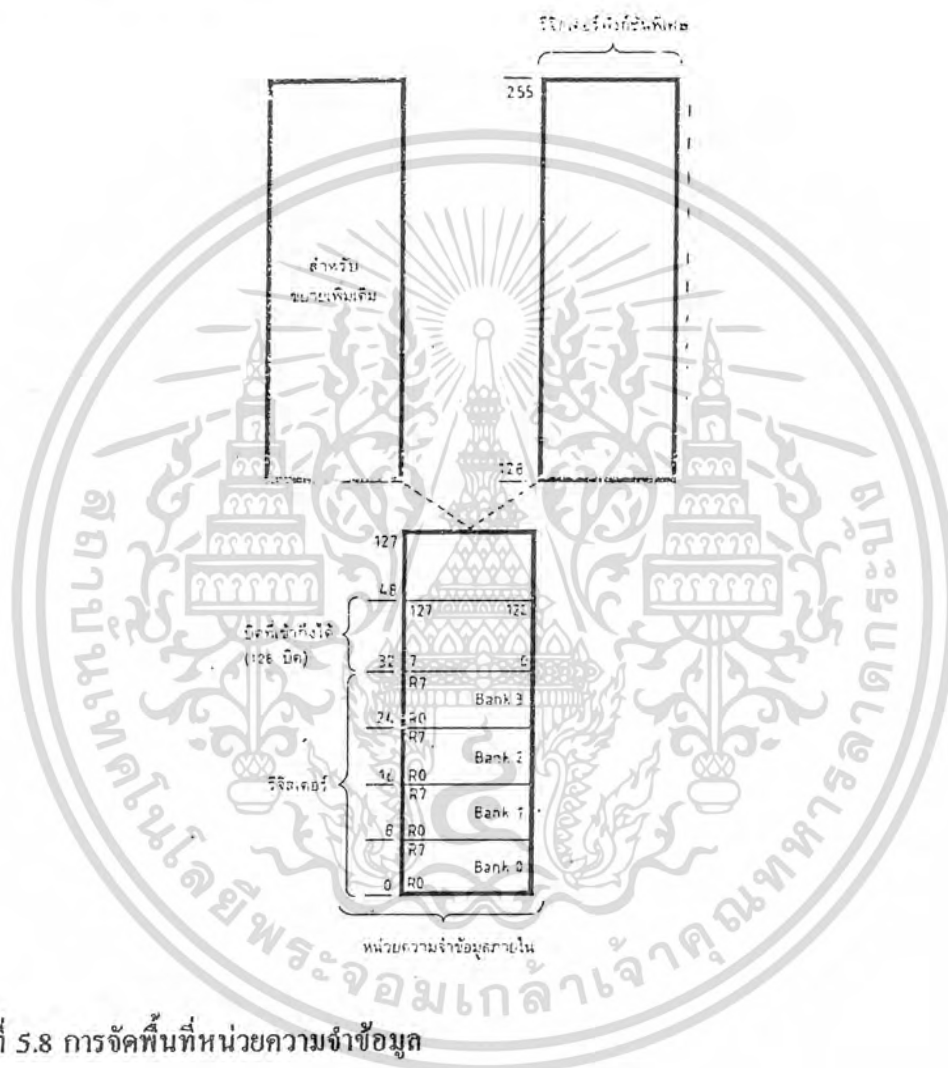


รูปที่ 5.7 การจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอก

5.4.2 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลของเอ็มซีเอส-51 ก็ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนเหมือนกันคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและภายนอก โดยหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะเข้าถึงได้ด้วยคำสั่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOVX เท่านั้น สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8031/8051 และ 8751 จะมีทั้งหมด 256 ไบต์ส่วนบน ซึ่งใช้เป็นที่อยู่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ และอีก 256 ไบต์ส่วนล่างซึ่งถูกใช้งานทั่วไปดังรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.8 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูล

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นว่าพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลภายใน 128 ไบต์ล่าง (ตำแหน่ง 00H-7FH) จะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของรีจิสเตอร์แบงก์ (00H-1FH), ส่วนพิเศษที่สามารถเข้าถึงตำแหน่งบิตได้โดยตรง (20H-2FH) และส่วนที่ใช้งานทั่วไป (30H-7FH)

ส่วนรีจิสเตอร์แบงก์มีทั้งหมด 4 แบงก์ แต่เราสามารถใช้ได้ครั้งละแบงก์เท่านั้น การเลือกใช้แบงก์ไหนอยู่ที่เรากำหนดค่าในรีจิสเตอร์ PSW

คำสั่งที่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งจะแบ่งลักษณะการกำหนดเลขเอกสารที่อยู่ของหน่วยความจำข้อมูลได้ 4 โหมดด้วยกันคือ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	(MSB)								(LSB)
7FH									127
2FH	7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78	47
2EH	77	76	75	74	73	72	71	70	46
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68	45
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60	44
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58	43
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50	42
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48	41
28H	47	46	45	44	43	42	41	40	40
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38	39
26H	37	36	35	34	33	32	31	30	38
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28	37
24H	27	26	25	24	23	22	21	20	36
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18	35
22H	17	16	15	14	13	12	11	10	34
21H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08	33
20H	07	06	05	04	03	02	01	00	32
1FH	แรมที่ 3								31
18H									24
17H									23
10H									16
0FH	แรมที่ 1								15
08H									8
07H									7
00H	แรมที่ 0								0

รูปที่ 5.9 พื้นที่การกำหนดตำแหน่งบิตของหน่วยความจำข้อมูลภายในจากรูปที่ 5.8

โหมดการกำหนดเลขที่อยู่รีจิสเตอร์ จะเป็นการติดต่อกับข้อมูลที่อยู่ในรีจิสเตอร์โดยตรง ตัวอย่างเช่น

MOV A,R0 ; ย้ายค่าใน R0 ไปไว้ใน ACC

ADD A,R3 ; บวกค่าใน ACC กับค่าใน R3 แล้วนำผลลัพธ์ไปไว้ใน ACC

โหมดการกำหนดเลขที่อยู่โดยตรง จะเป็นการติดต่อกับข้อมูลที่ตำแหน่งแอดเดรสที่กำหนดโดยตรง ซึ่งจะต้องอยู่บริเวณตำแหน่งของแรมภายใน 128 ไบต์ ตัวอย่างเช่น

MOV A,40H ; ย้ายค่าข้อมูลในหน่วยความจำ แรมตำแหน่ง 40H ไปเก็บไว้ใน ACC

ADD A,41H ; บวกข้อมูลใน แรมตำแหน่ง 41H กับข้อมูลใน ACC

โหมดของการกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลโดยทันที จะเป็นการติดต่อกับข้อมูลทันที ตัวอย่างเช่น

MOV A,#40H ; นำค่า 40H ไปเก็บใน ACC

ADD A,#41H ; บวกค่า 41H เข้ากับค่าใน ACC ตำแหน่ง 41H

โหมดการกำหนดเลขที่อยู่ในรีจิสเตอร์โดยอ้อม จะเป็นการติดต่อกับข้อมูลที่ใช้ค่าในตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1				ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2			
GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0

GATE : เซตเป็น "1" จะเป็นการเอ็นเนเบิล (Enable) ตัวจับเวลา/ตัวนับให้ถูกควบคุมด้วยขา INT_x ต้องมีสถานะสูงและบิต TRX ใน TCON ต้องเซตเป็น "1" จึงจะเริ่มทำงาน แต่ถ้า GATE เป็น "0" ตัวจับเวลา/ตัวนับจะถูกควบคุมให้เริ่มทำงานด้วยบิต TRX เท่านั้น

C/T : เป็นบิตควบคุมในการเลือกทำงานเป็นตัวจับเวลาหรือตัวนับ ถ้าเป็น "0" จะทำงานเป็นตัวจับเวลา ถ้าเป็น "1" ทำงานเป็นตัวนับ

M1,M0 : เป็นตัวเลือกโหมดการทำงานดังนี้

M1	M0	โหมดการทำงาน
0	0	โหมด 0
0	1	โหมด 1
1	0	โหมด 2
1	1	โหมด 3

รูปที่ 5.13 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ TMOD

5.6 พอร์ตอนุกรม

เอ็มซีเอส-51 จะมีพอร์ตอนุกรมเป็นแบบฟูลดูเพ็กซ์ (full duplex) สามารถที่จะส่งและรับข้อมูลได้พร้อมกันเพราะมีบัฟเฟอร์ 2 ตัว ใช้ในการรับตัวหนึ่งและส่งตัวหนึ่ง โดยโครงสร้างของรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะแยกกันแต่การติดต่อจะใช้ชื่อเดียวกันคือ SBUF พอร์ตอนุกรมของเอ็มซีเอส-51 สามารถที่จะโปรแกรมให้ทำงานได้แตกต่างกัน 4 โหมด

โหมด 0 ข้อมูลจะเข้าและออกทางขา RXD โดยการเลื่อนสัญญาณจากขา TXD ข้อมูลจะเป็น 8 บิต โดยจะส่งบิตน้อยสำคัญต่ำ (LSB) ก่อน อัตราบิตจะคงที่ที่ $\frac{1}{12}$ ของความถี่ออสซิลเลเตอร์

โหมด 1 เป็นการรับ/ส่งข้อมูลขนาด 10 บิต โดยการส่งออกทางขา TXD และรับเข้าทางขา RXD รูปแบบบิตจะประกอบด้วย 1 บิตสตาร์ทเป็น "0", 8 บิตข้อมูล และ 1 บิตสตอปบิตเป็น "1" อัตราบิต (baud rate) แปรผันได้ตามการตั้งตัวจับเวลาตัวที่ 1 โดยมีสูตรดังนี้

$$\text{อัตราบิต} = (2^{\text{SMOD}}) * \frac{\text{ความถี่ออสซิลเลเตอร์}}{32 * 12 * (256 - TH_1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

TFx : เป็นแฟลกอินเตอร์รัปต์จะถูกเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว์ของตัวจับเวลา/ตัวนับ และจะเคลียร์ตัวเองโดยอัตโนมัติเมื่อทำงานอินเตอร์รัปต์นั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว

TRx : เป็นบิตควบคุมให้ตัวจับเวลา/ตัวนับเริ่มทำงานโดยการเซตให้เป็น “1” และให้หยุดทำงานด้วยการเคลียร์ให้เป็น “0” โดยซอฟต์แวร์

IEx : เป็นแฟลกอินเตอร์รัปต์จากสัญญาณภายนอก เซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อมีสัญญาณขอการอินเตอร์รัปต์ปรากฏที่ขา INTx และจะเคลียร์ตัวเองโดยอัตโนมัติเมื่อกระโดดไปทำงานบริการอินเตอร์รัปต์ที่ขอมาเรียบร้อยแล้ว

ITx : เป็นบิตควบคุมรูปแบบสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอก จะเซต/เคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์ โดยถ้าเซตเป็น “1” จะถูกอินเตอร์รัปต์ด้วยสัญญาณขอบจากลง และถ้าเคลียร์เป็น “0” จะถูกอินเตอร์รัปต์ด้วยสัญญาณระดับแรงดันต่ำ

หมายเหตุ x หมายถึง เลข 0 หรือ เลข 1

รูปที่ 5.14 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ TCON

โหมด 2 เป็นการรับส่งข้อมูลขนาด 11 บิต เข้าทางขา RXD และส่งออกทางขา TXD ประกอบด้วย 1 บิตสตาร์ท มีค่า “0”, 9 บิตข้อมูล และ 1 บิตสตอป โดยการรับข้อมูลบิตที่ 9 จะถูกนำมาเก็บที่บิต RB 8 ใน SCON ส่วนการส่งจะต้องใส่บิตที่ 9 ไว้ใน TB 8 ของ SCON ก่อนอัตราบิตสามารถเลือกได้ 2 อัตราคือ 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ขึ้นอยู่กับเซตการเซตบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ SCON ซึ่งรายละเอียดของรีจิสเตอร์ SCON แสดงในรูปที่ 5.15

โหมด 8 จะเหมือนกับโหมด 2 ทุกอย่าง ยกเว้นอัตราบิตจะแปรผันตามการตั้งจับเวลา 1 ซึ่งจะใช้สูตรเดียวกับโหมด 1

5.7 การอินเตอร์รัปต์(Interrupt)

ในระบบของเอ็มซีเอส-51 จะอินเตอร์รัปต์ได้จาก 5 แหล่ง (ยกเว้นเบอร์ 8032/8052 มี 6 แหล่ง) โดยสามารถตั้งระดับความสำคัญได้ 2 ระดับคือ ระดับสูงและระดับต่ำ ซึ่งจะมีแผนภูมิทางฮาร์ดแวร์ของการอินเตอร์รัปต์ดังรูปที่ 5.16

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

SM0, SM1 : เป็นตัวกำหนดโหมดการใช้งานของพอร์ตอนุกรมดังนี้

SM0	SM1	โหมด
0	0	0
0	1	1
1	0	2
1	1	3

SM2 : ความคุมเอ็นเนเบิลการใช้โปรเซสเซอร์หลายตัวในการสื่อสารซึ่งกันและกันในโหมด 2 และ 3

REN : ตัวเอ็นเนเบิลอนุกรมการรับเมื่อเซตเป็น "1" และถ้าเป็น "0" เป็นการดิสเอเบิล

TB8 : เป็นตัวเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่จะส่งในโหมด 2 และ 3

RB8 : เป็นตัวรับข้อมูลบิตที่ 9 ในโหมด 2 และ 3 ส่วนในโหมด 1 จะเป็นสตอปบิต

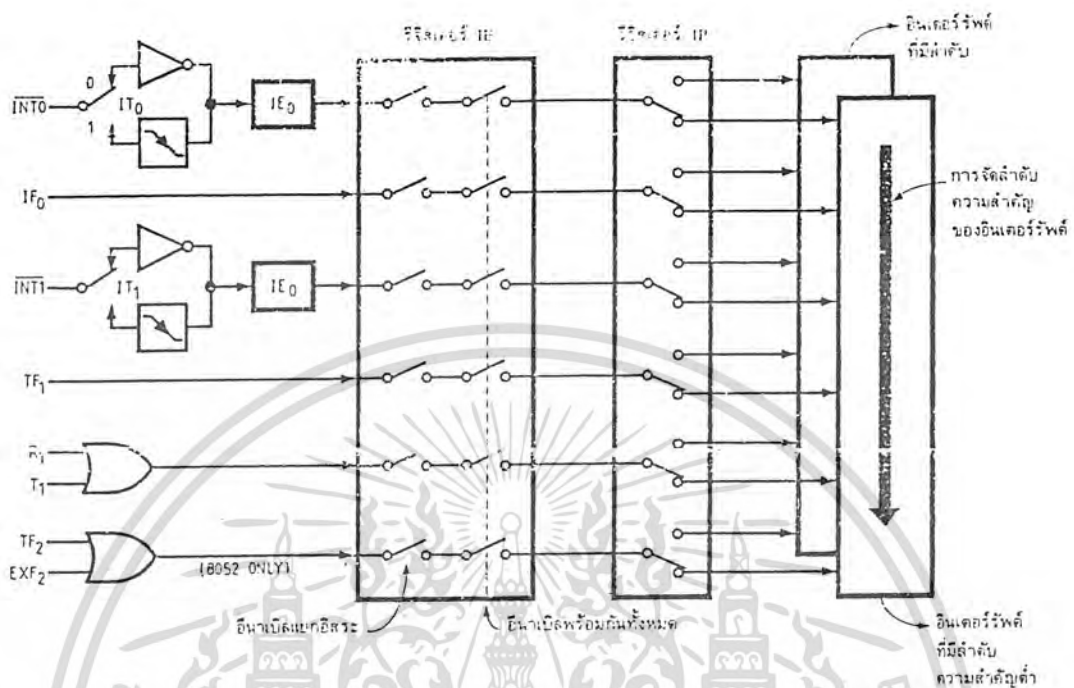
TI : เป็นแฟลกอินเตอร์รัพต์การเซตด้วยฮาร์ดแวร์ที่ปลายช่วงของบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือที่จุดเริ่มต้นของบิตสตอปในโหมดอื่น ในการส่งแบบอนุกรมของทุกโหมด จะต้องเคลียร์บิตนี้ด้วยโปรแกรมหลังการส่ง

RI : เป็นแฟลกอินเตอร์รัพต์การรับ เซตด้วยฮาร์ดแวร์ที่ปลายช่วงของบิตที่ 8 ในโหมด 0 หรือจุดครึ่งของช่วงบิตสตอปในโหมดอื่น ในการรับแบบอนุกรมจะต้องเคลียร์บิตนี้ด้วยโปรแกรมหลังการรับทุกครั้ง

รูปที่ 5.15 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ SCON

การอินเตอร์รัพต์ความสำคัญต่ำ สามารถที่จะถูกอินเตอร์รัพต์จากอินเตอร์รัพต์ตัวอื่นที่มีระดับความสำคัญสูงได้ แต่ไม่สามารถที่จะอินเตอร์รัพต์จากอินเตอร์รัพต์ตัวอื่นที่มีระดับเดียวกันได้ แต่ถ้าเป็นการอินเตอร์รัพต์จากตัวที่มีความสำคัญสูงจะไม่สามารถถูกอินเตอร์รัพต์จากตัวอื่นได้เลย โดยเราสามารถตั้งระดับความสำคัญของแต่ละแหล่งอินเตอร์รัพต์ได้ที่รีจิสเตอร์ IP และถ้าในเหตุการณ์ที่มีการร้องขออินเตอร์รัพต์ในระดับความสำคัญเดียวกันพร้อมกัน ก็จะต้องมีการจัดระดับความสำคัญของแต่ละแหล่งดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แผนภูมิทางฮาร์ดแวร์ของแหล่งอินเทอร์รัพต์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 5.1 ลำดับความสำคัญของแหล่งอินเทอร์รัพต์ต่างๆ

แหล่งการอินเทอร์รัปต์	ลำดับความสำคัญ
อินเทอร์รัพต์ 0 จากภายนอก	1
อินเทอร์รัพต์โอเวอร์โฟลวของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 0	2
อินเทอร์รัพต์ 1 จากภายนอก	3
อินเทอร์รัพต์โอเวอร์โฟลวของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1	4
อินเทอร์รัพต์ของพอร์ตอนุกรม	5
อินเทอร์รัพต์โอเวอร์โฟลวของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 2	6

การถูกขัดจังหวะให้มาทำงานบริการอินเทอร์รัพต์แต่ละแหล่งก็จะต้องมีตำแหน่งที่จะกระโดดไปทำงานที่แน่นอน ซึ่งในเอ็มซีเอส-51 จะกำหนดที่อยู่ของตำแหน่งที่จะกระโดดไปทำงานเมื่อถูกอินเทอร์รัพต์ดังตารางที่ 5.2 ส่วนรายละเอียดคิควบคุมของรีจิสเตอร์ IE แสดงในรูปที่ 5.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงตำแหน่งที่อยู่ของการกระโดดแต่ละแหล่งอินเตอร์รัพต์

แหล่งการอินเตอร์รัปต์	ตำแหน่งที่อยู่ในการกระโดดทำงาน
External Interrupt	0003H
Timer 0 Overflow	000BH
External Interrupt	0013H
Timer 1 Overflow	001BH
Serial Port Interrupt	0023H

EA	—	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
----	---	-----	----	-----	-----	-----	-----

EA : ถ้า EA = 0 จะคิสเอเบิลการอินเตอร์รัพต์ทั้งหมด ถ้า EA = 1 จะสามารถอินเตอร์รัพต์ได้ โดยแต่ละแหล่งอินเตอร์รัพต์จะมีอิสระในการเซต/เคลียร์ให้เอ็นเนเบิลหรือคิสเอเบิลได้

ETx : จะเป็นบิตควบคุมการยอมรับอินเตอร์รัพต์โอเวอร์โฟลว์ของตัวจับเวลา/ตัวนับ x

ES : เป็นบิตควบคุมการยอมรับอินเตอร์รัพต์พอร์ตอนุกรม

EXx : เป็นบิตควบคุมการยอมรับอินเตอร์รัพต์จากภายนอกที่ขา INTx

หมายเหตุ โดยที่ทุกบิตถ้าเซตเป็น “1” จะยอมรับการอินเตอร์รัพต์ แต่ถ้าเป็น “0” จะไม่ตอบสนองต่อการอินเตอร์รัพต์

รูปที่ 5.17 แสดงบิตควบคุมการอินเตอร์รัพต์ในรีจิสเตอร์ IE

5.8 ชุดคำสั่งของเอ็มซีเอส-51

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงชุดคำสั่งของเอ็มซีเอส-51 ซึ่งถูกแบ่งเป็นลักษณะการทำงานตามฟังก์ชันได้ 5 กลุ่มคือ

1. กลุ่มการถ่ายเทข้อมูล
2. กลุ่มคณิตศาสตร์
3. กลุ่มตรรกศาสตร์
4. กลุ่มของบูลีน

5. กลุ่มของการกระโดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8.1 กลุ่มการถ่ายเทข้อมูล

แบ่งออกเป็น 2 ชุดคำสั่งถ่ายเทข้อมูลในแรมภายใน กับชุดคำสั่งถ่ายเทข้อมูลในแรมภายนอกและหน่วยความจำโปรแกรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.8.1.1 การถ่ายเทข้อมูลในแรมภายใน

ชุดคำสั่งของการถ่ายเทข้อมูลของแรมภายในนั้น แสดงดังตารางที่ 5.3 ซึ่งเวลาที่ใช้ใน 1 คำสั่งนั้นจะเป็นเวลาเมื่อขณะใช้ความถี่ในการทำงานของ CPU ที่ความถี่ 12 Hz และรายละเอียดของแต่ละคำสั่งมีดังนี้

ตารางที่ 5.3 แสดงชุดคำสั่งของการถ่ายเทข้อมูลในแรมภายใน

นิโมบิก	การกระทำ	โหมดการรับส่งข้อมูล				เวลาการอีก ซีที (μs)
		Dir	Ind	Reg	Imm	
MOV A,<src>	A = <src>	X	X	X	X	1
MOV <dest>,A	<dest> = A	X	X	X		1
MOV <dest>,<src>	<dest> = <src>	X	X	X	X	2
MOV DPTR,#data16	DPTR = 16-bit immediate constant.				X	2
PUSH <src>	INC SP : MOV "@SP", <src>	X				2
POP <dest>	MOV <dest>,"@SP" : DEC SP	X				2
XCH A,<byte>	ACC and <byte> exchange data	X	X	X		1
XCHD A,@Ri	ACC and @Ri exchange low nibbles		X			1

MOV จะทำงานในลักษณะการถ่ายเทข้อมูลเป็นขนาดไบต์หรือบิตก็ได้ จากแหล่งกำเนิดเข้าสู่ตัวรับข้อมูลในฟิลด์โอเพอร์แรนด์

PUSH จะทำงานโดยเพิ่มค่าในรีจิสเตอร์ SP ก่อน แล้วจึงถ่ายข้อมูล 1 ไบต์จากแหล่งกำเนิดที่ฟิลด์โอเพอร์แรนด์กำหนดไว้ไปยังบริเวณสแต็กตามตำแหน่งที่รีจิสเตอร์ SP กำหนด

POP การถ่ายเทข้อมูลขนาด 1 ไบต์จากบริเวณสแต็กตามตำแหน่งที่รีจิสเตอร์ SP กำหนดไปยังรีจิสเตอร์ที่โอเพอร์แรนด์กำหนด และหลังจากนั้นรีจิสเตอร์ SP จะลดค่าลงหนึ่ง

XCH คำสั่งแลกเปลี่ยนไบต์ระหว่างแหล่งกำเนิดโอเพอร์แรนด์กับรีจิสเตอร์ A

XCHD คำสั่งแลกเปลี่ยนขนาดนิเบิลทางอันดับต่ำของแหล่งกำเนิดโอเพอร์แรนด์กับนิเบิลอันดับต่ำของแอกคิวมูลเตอร์

ตัวอย่างเช่น จะทำการเลื่อนข้อมูลไป 2 ไบต์ทางขวาซึ่งจะมี 2 วิธีคือ ใช้คำสั่ง MOV หรือใช้คำสั่ง XCH รายละเอียดโปรแกรมที่ใช้คำสั่งทั้ง 2 แบบ แสดงในรูปที่ 5.18

รูปแบบคำสั่ง ตำแหน่ง	2A	2B	2C	2D	2E	ACC
MOV A, 2EH	00	12	34	56	78	78
MOV 2EH, 2DH	00	12	34	56	56	78
MOV 2DH, 2CH	00	12	34	34	56	78
MOV 2CH, 2BH	00	12	12	34	56	78
MOV 2BH, #0	00	00	12	34	56	78

(ก)

รูปแบบคำสั่ง ตำแหน่ง	2A	2B	2C	2D	2E	ACC
CLR A	00	12	34	56	78	00
XCH A, 2BH	00	00	34	56	78	12
XCH A, 2CH	00	00	12	56	78	34
XCH A, 2DH	00	00	12	34	78	56
XCH A, 2EH	00	00	12	34	56	78

(ข)

รูปที่ 5.18 โปรแกรมเลื่อนข้อมูลไปทางขวา 2 ไบต์

(ก) โดยใช้คำสั่ง MOV (ข) แลใช้คำสั่ง XCH

ตารางที่ 5.4 แสดงชุดคำสั่งการถ่ายเทข้อมูลในแรมภายนอก

นิโมนิค	การกระทำ	เวลาการปฏิบัติ (μ s)
JMP addr	กระโดดไป addr	2
JMP @A+DPTR	กระโดดไป A+DPTR	2
CALL addr	กระโดดไปจับรูทีนที่ addr	2
RET	กลับจากจับรูทีน	2
RETI	กลับจากอินเตอร์รัพต์	2
NOP	ไม่ปฏิบัติกร	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8.1.2 การถ่ายเทข้อมูลในแรมภายนอก และหน่วยความจำโปรแกรม

คำสั่งในการเคลื่อนย้ายข้อมูลในแรมภายนอกนั้นจะดูคำสั่งได้ในตารางที่ 5.4 ซึ่งจะมีตัวชี้ 2 แบบคือ ใช้รีจิสเตอร์ R0 และ R1 เป็นตัวชี้และอีกแบบคือ ใช้รีจิสเตอร์ DPTR เป็นตัวชี้ ซึ่งถ้าเราใช้ R1(R0 หรือ R1) เป็นตัวชี้จะชี้ได้เพียง 256 ไบต์เท่านั้น แต่ถ้าใช้ DPTR จะสามารถชี้ได้ถึง 64 กิโลไบต์ทีเดียว ส่วนชุดคำสั่งของการถ่ายเทข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมนั้นจะอยู่ในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงชุดคำสั่งการถ่ายเทข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม

นิโมติก	การกระทำ	เวลาการปฏิบัติ (μ s)
MOVC A,@A+DPTR	อ่านหน่วยความจำโปรแกรมที่ A+DPTR	2
MOVC A,@A+PC	อ่านหน่วยความจำโปรแกรมที่ A+PC	2

ตัวอย่างในรูปที่ 5.19 เป็นการนำเอาข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งเป็นการดึงค่าคงที่ออกมา ซึ่งอาจจะเป็นค่าของชาน์หรือค่าทางคณิตศาสตร์ที่เราคำนวณไว้แล้วใส่ลงในหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งเรียกว่า ลูกอ๊อฟเทเบิ้ล (lookup table) ซึ่งตัวแปร DATA มีค่า 1 ถึง 255 นั้นจะเป็นตัวเลือกในการดึงข้อมูล

```
MAIN : MOV A,DATA
        CALL TABLE
```

```
TABLE: MOVC A,@A+PC
```

```
RET
```

```
BASE 1: DB 1
```

```
DB 2
```

```
DB 225
```

รูปที่ 5.19 โปรแกรมดึงค่าจากหน่วยความจำโปรแกรมมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8.2 กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์

กลุ่มคำสั่งนี้แสดงในตารางที่ 5.6 ช่วงเวลาการทำงานแต่ละคำสั่งนั้นกำหนดที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz คำสั่งทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่ใช้เวลา 1 μs ยกเว้นคำสั่ง INC DPTR ซึ่งใช้เวลา 2 μs คำสั่งคูณและหารใช้เวลา 4 μs รายละเอียดการทำงานของแต่ละคำสั่งเป็นดังนี้

INC เป็นการบวกหนึ่งเข้ากับแหล่งกำเนิดโอเปอร์เรนด์และใส่ค่าใหม่กับเข้าตัวโอเปอร์เรนด์

ตารางที่ 5.6 แสดงชุดคำสั่งทางคณิตศาสตร์

นิโมติก	การกระทำ	โหมดการบอดเลต				เวลาการเรอิก จิลวต์ (μs)
		Dir	Ind	Reg	Imat	
ADD A, <byte>	$A = A + \text{<byte>}$	X	X	X	X	1
ADDC A, <byte>	$A = A + \text{<byte>} - C$	X	X	X	X	1
SUBB A, <byte>	$A = A - \text{<byte>} - C$	X	X	X	X	1
INC A	$A = A + 1$			Accumulator only		1
INC <byte>	$\text{<byte>} = \text{<byte>} + 1$	X	X	X		1
INC DPTR	$\text{DPTR} = \text{DPTR} + 1$			Data Pointer only		2
DEC A	$A = A - 1$			Accumulator only		1
DEC <byte>	$\text{<byte>} = \text{<byte>} - 1$	X	X	X		1
MUL AB	$B:A = B \times A$			ACC and B only		4
DIV AB	$A = \text{Int} [A/B]$ $S = \text{Mod} [A/B]$			ACC and B only		4
DA A	Decimal Adjust			Accumulator only		1

DEC เป็นการลบหนึ่งออกจากตัวเลขที่อยู่ในแหล่งกำเนิดโอเปอร์เรนด์และนำผลลัพธ์กลับมาเก็บที่ตัวโอเปอร์เรนด์นั้น

ADD เป็นการบวกค่าในแอกคิวมูลเตอร์เข้ากับค่าในแหล่งกำเนิดโอเปอร์เรนด์

ADC เป็นการบวกค่าในแอกคิวมูลเตอร์เข้ากับค่าในแหล่งกำเนิดโอเปอร์เรนด์และบวกกับบิตตัวทดด้วย

SUBB เป็นการจำตัวเลขที่แหล่งกำเนิดโอเปอร์เรนด์ลบออกจากตัวเลขใน A และนำค่าบิตตัวที่ทดมาลบออกอีกและได้ผลลัพธ์ใส่ลงในแอกคิวมูลเตอร์ A

MUL จะเป็นการคูณแบบไม่คิดเครื่องหมายของตัวเลขที่อยู่ในแอกคิวมูลเตอร์กับเลขในรีจิสเตอร์ B แล้วได้ผลลัพธ์ 2 ไบต์ นำเก็บไว้ที่ AB โดย A จะรับอันดับต่ำ ส่วน B จะรับอันดับสูง

DIV จะเป็นคำสั่งการหารแบบไม่คิดเครื่องหมายที่อยู่ในแอกคิวมูลเตอร์หารด้วยตัวเลขในรีจิสเตอร์ B แล้วนำผลลัพธ์เก็บไว้ในแอกคิวมูลเตอร์และเศษเหลือจะอยู่ในรีจิสเตอร์ B ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DA สำหรับการบวกกันทางระบบตัวเลข BCD เป็นการปรับค่ารวม ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการบวกกันทางไบนารีของระบบตัวเลข BCD ขนาด 2 หลักสองจำนวน การปรับค่าตัวเลขผลรวมด้วยการใช้คำสั่ง DA จะได้ผลลัพธ์กลับมาที่แอกคิวมูเลเตอร์

ตัวอย่างในรูปที่ 5.20 เป็นการบวกเลข BCD 2 หลักโดยที่ตำแหน่ง 30H-31H เป็นตัวตั้ง (ตำแหน่ง 31H เป็น LSB) และ 32H-33H เป็นตัวบวก (ตำแหน่ง 33H เป็น LSB) ให้เก็บค่าผลลัพธ์ไว้ที่ตำแหน่ง 34H-35H-36H (โดยให้ตำแหน่ง 36H เป็น LSB)

MOV A,31H	: นำค่า bcd ตัวแรกเข้ารีจิสเตอร์ A
ADD A,33H	: บวกค่า A กับ BCD ใน 33H
DA A	: ปรับค่าที่บวกให้เป็น BCD
MOV 36H,A	: นำค่าบวกหลักที่ 1 ไว้ที่ 36H
MOV A 30H	: นำค่า BCD ตัวที่ 2 ออกมาไว้ที่ A
ADC A,32H	: บวกค่า BCD กับ A ที่ตำแหน่ง 32H
DA A	: ปรับค่า BCD
MOV 35H,A	: นำค่า BCD หลักที่ 2 ไว้ที่ตำแหน่ง 35H
JC OVER	
MOV 36H,#00	
SJMP END	
OVER :MOV 36H,#01H	
END :RET	

รูปที่ 5.20 โปรแกรมบวกเลข BCD 2 หลัก

5.8.3 กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์

กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์แสดงสรุปในตารางที่ 5.7 ซึ่งคำสั่งเหล่านี้สามารถที่จะทำงานในลักษณะของบูลีนได้ทั้งขนาดไบต์หรือเป็นบิต รายละเอียดแต่ละคำสั่งเป็นดังนี้

CPL ด้วยการส่งกลับค่าหรือคอมพลีเมนต์ (Complement) ข้อมูลในแอกคิวมูเลเตอร์ โดยไม่มีผลใด ๆ ต่อค่าแฟลกใน PSW หรือการให้ตำแหน่งแอดเดรสตามบิตนั้น ๆ

ANL เป็นการ AND กันทางตรรกะ ระหว่างแหล่งกำเนิดสองโอเปอเรนด์ ซึ่งจะสั่งให้ทำงานตรรกข้อมูลขนาดเป็นไบต์หรือบิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 แสดงชุดคำสั่งของกลุ่มทางตรรกศาสตร์

นิโมทิก	การกระทำ	โหมดการประมวลผล				เวลาการเอ็ก ซีกิวต์ (μs)
		Dir	Ind	Reg	Imm	
ANL A,<byte>	A = A .AND. <byte>	X	X	X	X	1
ANL <byte>,A	<byte> = <byte> .AND. A	X				1
ANL <byte>,#data	<byte> = <byte> .AND. #data	X				2
ORL A,<byte>	A = A .OR. <byte>	X	X	X	X	1
ORL <byte>,A	<byte> = <byte> .OR. A	X				1
ORL <byte>,#data	<byte> = <byte> .OR. #data	X				2
XRL A,<byte>	A = A .XOR. <byte>	X	X	X	X	1
XRL <byte>,A	<byte> = <byte> .XOR. A	X				1
XRL <byte>,#data	<byte> = <byte> .XOR. #data	X				2
CPL A	A = 00H					Accumulator only 1
CPL A	A = .NOT. A					Accumulator only 1
RL A	Rotate ACC Left 1 bit					Accumulator only 1
RLC A	Rotate Left through Carry					Accumulator only 1
RR A	Rotate ACC Right 1 bit					Accumulator only 1
RRC A	Rotate Right through Carry					Accumulator only 1
SWAP A	Swap Nibbles in A					Accumulator only 1

RL,RLC,RR,RRC,SWAP ทั้ง 5 คำสั่งนี้เป็นการสั่งทำงานการวนบิต บนตัวแอดคิวมูลเตอร์ ซึ่ง RL เป็นการวนซ้าย, RR เป็นการวนขวา, RLC เป็นการวนซ้ายผ่านบิตทด, RRC เป็นการวนขวาผ่านบิตทด และ SWAP เป็นการวนซ้ายสลับครั้ง

ORL เป็นการ OR ทางตรรกกันระหว่างแหล่งกำเนิดสองโอเปอเรนด์ ซึ่งจะสั่งให้ทำงานตรรกข้อมูลขนาดเป็นไบต์หรือบิตก็ได้

XRL เป็นการ XOR กันทางตรรกระหว่างแหล่งกำเนิดสองโอเปอเรนด์ ซึ่งจะสั่งให้ทำงานตรรกข้อมูลขนาดเป็นไบต์หรือบิตก็ได้

ตัวอย่างโปรแกรมในรูปที่ 5.21 เป็นการนำเอาข้อมูลที่พอร์ต 1 และพอร์ต 2 มา OR กันและเก็บผลลัพธ์ไว้ที่แรมภายนอกที่ตำแหน่ง 0100H

MOV A,90H : นำค่าจากพอร์ต 1 เข้าใน A
 ORL A,0AH : OR ค่าใน A กับพอร์ต 2
 MOV DPTR,#0100H : เซตค่า DPTR ที่ตำแหน่งของแรมภายนอก
 MOVX @DPTR,A : เก็บค่าผลลัพธ์ในแรม

รูปที่ 5.21 โปรแกรมสำหรับนำข้อมูลจากพอร์ต 1 และพอร์ต 2 มา OR กัน แล้วเก็บผลลัพธ์ไว้ที่ 0100H

5.8.4 กลุ่มคำสั่งแบบบูลีน

ชุดคำสั่งเกี่ยวกับบูลีนแสดงในตารางที่ 5.8 ทุกคำสั่งใช้การเข้าถึงข้อมูลโดยตรงในระดับบิต โดยมีการใช้บิตแอดเดรสได้ตั้งแต่ 00-7FH ในพื้นที่ 128 บิต หน่วยความจำข้อมูลภายในและบิตแอดเดรส 80-FFH ในบริเวณกลุ่มรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (SFR) ขอให้ดูรูปที่ 5.8 และ 5.9 ประกอบ

ตารางที่ 5.8 แสดงชุดคำสั่งของบูลีน

นิโมติก	การกระทำ	เวลาการเอ็ก ซีกวิค (μs)
ANL C,bit	$C \leftarrow C \text{ AND bit}$	2
ANL C,/bit	$C \leftarrow C \text{ AND NOT bit}$	2
ORL C,bit	$C \leftarrow C \text{ OR bit}$	2
ORL C,/bit	$C \leftarrow C \text{ OR NOT bit}$	2
MOV C,bit	$C \leftarrow \text{bit}$	1
MOV bit,C	$\text{bit} \leftarrow C$	2
CLR C	$C \leftarrow 0$	1
CLR bit	$\text{bit} \leftarrow 0$	1
SETB C	$C \leftarrow 1$	1
SETB bit	$\text{bit} \leftarrow 1$	1
CPL C	$C \leftarrow \text{NOT } C$	1
CPL bit	$\text{bit} \leftarrow \text{NOT bit}$	1
JC rel	Jump if $C = 1$	2
JNC rel	Jump if $C = 0$	2
JB bit,rel	Jump if $\text{bit} = 1$	2
JNB bit,rel	Jump if $\text{bit} = 0$	2
JBC bit,rel	Jump if $\text{bit} = 1$; CLR bit	2

ตัวอย่าง การย้ายค่าบิตที่ตำแหน่งแฟลกเข้าสู่พอร์ต 1.0

```
MOV C,FLAG
```

```
MOV P1.0,C
```

ตัวอย่างที่ให้นี้ ตำแหน่งแฟลก (FLAG) เป็นตำแหน่งใดๆ ภายในช่วง 128 บิต แอดเดรสค่าหรือบริเวณ SFR ขา I/O (ที่พอร์ต 1.0) จะถูกเซตหรือเคลียร์จะขึ้นอยู่กับค่าแฟลกว่าเป็น “0” หรือ “1”

5.8.5 กลุ่มคำสั่งการกระโดด

ตามตารางที่ 5.9 เป็นคำสั่งกระโดดโดยไม่มีข้อแม้ คำสั่ง JMP addr แบ่งเป็น 3 ลักษณะคือ SJMP LJMP AJMP ซึ่งแต่ละคำสั่งจะมีข้อแตกต่างของการกระโดดไปยังแอดเดรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไกลสุดต่างกัน คำสั่ง **JMP** เป็นนิโมนิกที่สามารถใช้ได้ ถ้าผู้ใช้ไม่คำนึงถึงระยะไกลไกลของการกระโดดไป รายละเอียดของการกระโดดแต่ละอย่างมีดังนี้

SJMP จะเป็นการกระโดดแบบย้ายอันคืบตำแหน่งเดิม (relative offset) จะกระโดดได้ -128 ถึง +127 ไบต์

AJMP แบบนี้จะกระโดดได้ 2 กิโลไบต์ ซึ่งหน่วยความจำเพียง 2 ไบต์ เท่านั้นในการกำหนด

LJMP แบบนี้จะกระโดดได้ถึง 64 กิโลไบต์ ซึ่งจะใช้นหน่วยความจำถึง 3 ไบต์ในการกำหนด

JMP @ A + DPTR เป็นการควบคุมให้กระโดดไปยังโปรแกรมที่ต้องการเฉพาะภายในส่วนต่างๆ

ตารางที่ 5.9 แสดงคำสั่งกระโดดที่ไม่ตั้งข้อแม้

นิโมนิก	การกระทำ	เวลาการเอ็ก ซีคิวต์ (μ s)
JMP addr	Jump to addr	2
JMP @A + DPTR	Jump to A + DPTR	2
CALL addr	Call subroutine at addr	2
RET	Return from subroutine	2
RETI	Return from interrupt	2
NOP	No operation	1

ตารางที่ 5.10 แสดงคำสั่งกระโดดที่มีข้อแม้ต่างๆ ในเอ็มซีเอส-51

นิโมนิก	การกระทำ	โหมดการแอดเดรส				เวลาการเอ็ก ซีคิวต์ (μ s)
		Dir	Ind	Reg	Imm	
JZ rel	Jump if A = 0				Accumulator only	2
JNZ rel	Jump if A $\neq$ 0				Accumulator only	2
DJNZ <byte>,rel	Decrement and jump if not zero	X		X		2
CJNE A, <byte>,rel	Jump if A $\neq$ <byte>	X			X	2
CJNE <byte>, #data,rel	Jump if <byte> $\neq$ #data		X	X		2

ตัวอย่างโปรแกรมรูปที่ 5.22 สมมติว่ามีการเลือกกระโดดไปตามโปรแกรมย่อยได้ 5 ส่วน ด้วยการกำหนดค่า 0 ถึง 4 ซึ่งถูกโหลดเข้าไปไว้ในแอดคิวมูเลเตอร์ ในตารางที่ 5.10 เป็นการแสดงถึงการกระโดด โดยมีข้อแม้ต่างๆ ซึ่งจะตรวจสอบความเท่ากันคือ ศูนย์ (ZERO)

```
MOV DPTR,#JUMP_TABLE
```

```
MOV A,INDEX_NUMBER
```

```
RL A
```

```
JMP @A+DPTR
```

```
JUMP_TABLE: AJMP CASE_0
```

```
          AJMP CASE_1
```

```
          AJMP CASE_2
```

```
          AJMP CASE_3
```

```
          AJMP CASE_4
```

รูปที่ 5.22 โปรแกรมที่ใช้เลือกกระโดดไปโปรแกรมน้อย



บทที่ 6 การออกแบบและการสร้าง

ในการออกแบบหุ่นยนต์นั้นก็เป็นการนำเอาส่วนประกอบหลักต่างๆ ตามที่ได้กล่าวถึงในบทก่อนหน้ามารวมเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถทำงานได้ แล้วจากนั้นเราจึงทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ของเรา

6.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของตัวหุ่นยนต์

แผนผังส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกแสดงไว้ในรูปของบล็อกไดอะแกรมแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในหุ่นยนต์

สำหรับรายละเอียดของวงจรแต่ละส่วนนั้นได้กล่าวถึงไปแล้วในบทก่อนๆ นี้ ดังนั้นในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการนำเอาส่วนประกอบต่างๆ ที่ได้ต่อลงบนแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว มาติดตั้งที่ตัวถังของหุ่นยนต์ที่เราได้สร้างไว้ เพื่อจะได้ทำการทดลองต่อไปได้

เริ่มจากส่วนฐานของตัวหุ่นยนต์ เราได้ทำการออกแบบให้มีลักษณะเป็นแท่นทำจากพลาสติกเพื่อความสะดวกในการตัด จากนั้นนำฮามอเตอร์ที่จะใช้เป็นตัวขับเคลื่อนมาติดไว้ที่ใต้ฐานโดยมีล้อเพื่อช่วยในการทรงตัวอยู่ 2 ล้อ ดังแสดงไว้แล้วในรูปที่ 2.2 หน้า 2-2

บนแท่นที่ใช้เป็นตัวหุ่นยนต์เราได้ออกแบบไว้เป็น 2 ชั้น ชั้นล่างจะเป็นที่วางของแบตเตอรี่ที่เราจะใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับหุ่นยนต์ของเรา ในการวางแบตเตอรี่นั้นจะต้องวางไว้ตรงกลางของตัวหุ่นยนต์เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในการทรงตัวเนื่องจากว่าเป็นส่วนที่มีน้ำหนักมากที่สุด โดยส่วนของเพาเวอร์ซัพพลายซึ่งจะเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรต่างๆ ของเราก็จะถูกวางไว้บนชั้นล่างนี้ด้วย ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายนี้จะประกอบด้วยวงจรเรกกูเลเตอร์ (Regulator) เพื่อรักษาระดับแรงดันให้ได้ 5 โวลต์หรือ 12 โวลต์ตามที่เรากำลังต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างชั้นบนและชั้นล่างเราใช้เสาที่ถูกเจาะรูไว้เป็นค้ำยัน ซึ่งเราได้นำเอา
 วงจรส่วนที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์มาติดไว้บนเสานี้ด้วยเพื่อเป็นการประหยัดเนื้อที่
 บนวงจรส่วนควบคุมมอเตอร์นี้ประกอบไปด้วยส่วนควบคุมทิศทางของการหมุนของมอเตอร์ซึ่งเราใช้
 เทปเวอร์มอสเฟตทำงานในลักษณะของสวิตช์ดังแสดงไว้แล้วในรูปที่ 2.6 หน้า 2-6 ซึ่งในส่วนนี้จะ
 รวมเอาวงจรที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของการหมุนของมอเตอร์เอาไว้ด้วย วงจรควบคุม
 ความเร็วนี้ไม่สามารถที่จะควบคุมโดยซอฟต์แวร์ได้ ดังนั้นเราจึงต้องทำการปรับความเร็วให้ได้ตาม
 ที่เราต้องการโดยการปรับที่ฮาร์ดแวร์ ซึ่งการปรับความเร็วนี้มีวัตถุประสงค์เพียงเพื่อไม่ให้หุ่นยนต์
 เดินเร็วเกินไปตามการหมุนเต็มความเร็วของมอเตอร์อันอาจทำให้เกิดอันตรายได้ ถ้าวงจรส่วน
 ตรวจจับสิ่งกีดขวางและส่วนการตัดสินใจของเราไม่สามารถทำงานได้เร็วพอก็อาจจะทำให้เกิดการ
 ชนเข้ากับสิ่งกีดขวางได้ (เพราะเหตุว่าระยะตรวจจับสิ่งกีดขวางของวงจรตรวจจับนั้นมีจำกัดถ้า
 ระยะแคบเกินไปและหุ่นยนต์เดินเร็วเกินไปก็จะทำให้เกิดการหลบไม่ทันได้)

สำหรับภาคคอนโทรลก็จะถูกติดตั้งไว้บนเสาในลักษณะเดียวกันกับส่วนควบคุม
 มอเตอร์

ที่ชั้นบนของฐานนั้นเราใช้เป็นที่วางของเซนเซอร์ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 8 ตัวโดย
 แบ่งเป็นด้านหน้า 3 ตัวด้านข้างด้านละ 2 ตัวที่เหลืออีก 1 ตัวติดอยู่ทางด้านหลัง เรานำเอา
 เอาท์พุทที่ได้จากเซนเซอร์ไปป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการตัดสินใจ
 ของหุ่นยนต์ของเรา

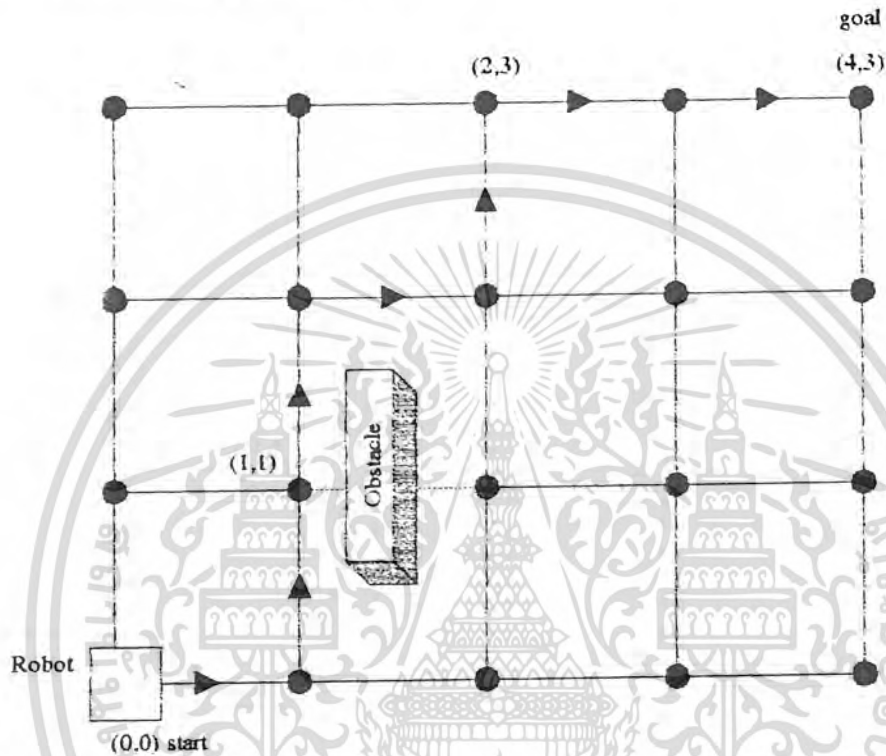
6.2 อัลกอริทึมของการตัดสินใจ

ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เราจะทำการแบ่งพื้นที่บริเวณที่ทำการทดสอบออกเป็น
 โหนด (node) แต่ละโหนดจะมีพิกัด (coordinate) ประจำตัวทำให้เราสามารถอ้างอิงตำแหน่ง
 ของแต่ละโหนดได้โดยเราให้พิกัดเริ่มต้นเป็น (0,0) มีระยะห่างระหว่างโหนดเป็นระยะทางตามที่
 เรากำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นระยะทาง 1 ก้าว (หรือเรียกว่า 1 สเต็ป (step) ก็ได้) จากนั้นเรา
 จะกำหนดพิกัดของจุดมุ่งหมาย (goal) โดยการวัดระยะทางตามแนวแกนเอ็กซ์และแกนวายแล้วมา
 คำนวณว่าต้องใช้การเคลื่อนที่กี่ก้าวหรือกี่ครั้ง ว่าจุดหมายของเราอยู่ที่โหนดที่เท่าไร

จากนั้นเริ่มต้นการเคลื่อนที่ด้วยการเคลื่อนที่ไปทางขวาก่อนโดยการเคลื่อนที่ทุกครั้งจะ
 ต้องทำการตรวจสอบก่อนทุกครั้งว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่หรือไม่ หลักการเคลื่อนที่ของเรานั้นคือจะ
 เคลื่อนที่จนกระทั่งเจอสิ่งกีดขวางหรือถึงจุดมุ่งหมาย หรืออริบจะได้ว่าทำการเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนเอ็กซ์ 1 ก้าว
 จากนั้นจะทำการเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนวายอีก 1 ก้าว ทำเช่นนี้ไปเรื่อยจนกระทั่งเข้าถึงโหนดที่
 เป็นจุดมุ่งหมายโดยหุ่นยนต์จะต้องรู้พิกัดปัจจุบันของตัวเองตลอดเวลาแล้วบวกพิกัดเพิ่มขึ้น 1 ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(หรือลดลง 1 ค่า) ทุกครั้งที่เคลื่อนที่ไปตามแนวแกนเอ็กซ์หรือแกนวาย แล้วแค่ว่าจะเคลื่อนที่เข้าหาหรือออกจากจุดมุ่งหมาย รูปที่ 6.2 ประกอบ



รูปที่ 6.2 แสดงตัวอย่างแผนผังการเดินทางอย่างง่าย

ถ้าหุ่นยนต์พบกับสิ่งกีดขวางดังเช่นจากรูปที่พิกัด (1,1) ตามปกติจะต้องเคลื่อนที่ต่อไปยังพิกัด (2,1) แต่ปรากฏว่ามีสิ่งกีดขวางวางอยู่ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปตามปกติได้ การตัดสินใจในกรณีนี้คือหุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่ไปตามแนวเดิมกับทิศทางเมื่อเดินมาถึงที่พิกัดที่พบกับสิ่งกีดขวาง (คือไม่เลี้ยวนั่นเอง) โดยการเคลื่อนที่นี้ก็คือหลักการที่ว่าเคลื่อนที่เข้าใกล้จุดหมายไว้ก่อน

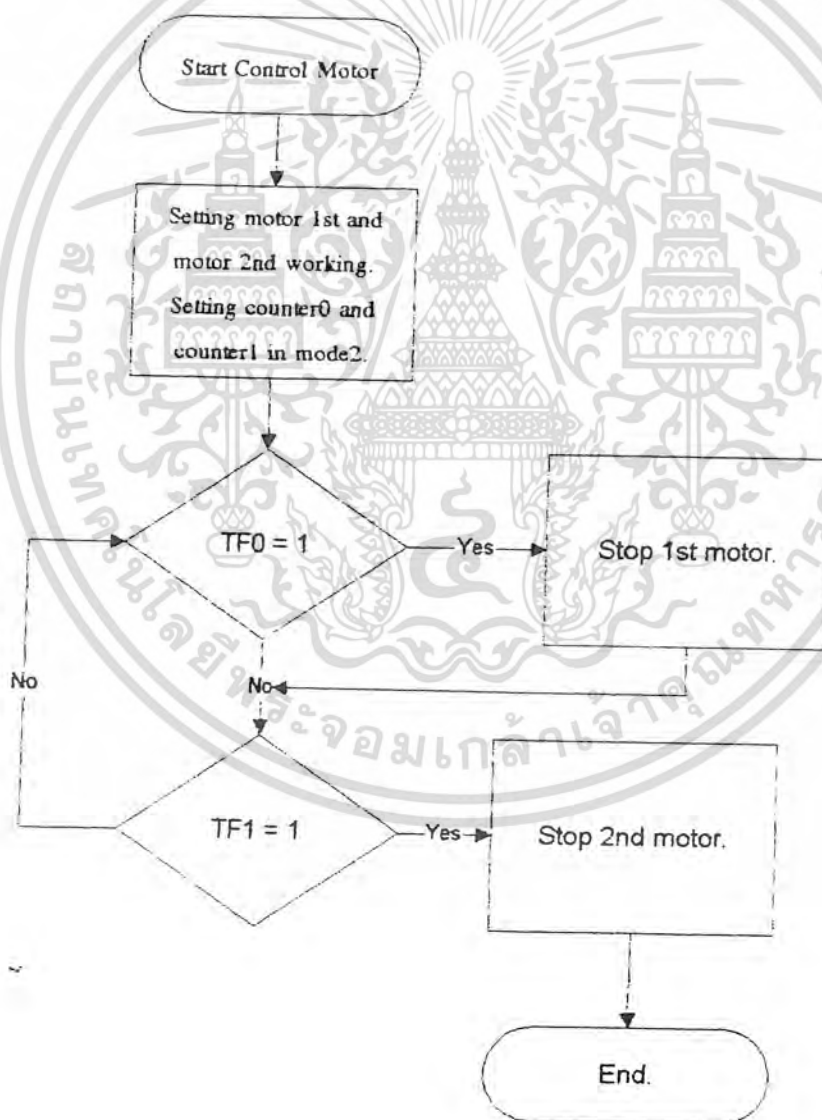
ที่กล่าวมานี้เป็นหลักการเคลื่อนที่อย่างง่ายที่ใช้เป็นหลักในการตัดสินใจเมื่อพบกับสิ่งกีดขวางอย่างง่ายที่ไม่มีความซับซ้อนมากนัก ถ้าหากว่าเกิดมีสถานการณ์ที่ซับซ้อนกว่านี้มากเช่นเมื่อเดินไปพบกับมุม, ทางเดินรูปตัวยู, หรือผนังที่มีความยาวมากก็อาจจะต้องมีอัลกอริทึมพิเศษที่จะจัดการกับสถานการณ์พิเศษเช่นนี้ เช่นการบังคับให้เดินย้อนกลับทางเดิม หรือเมื่อมีการเดินเลยพิกัดไปแล้วก็จะสามารถหาทางที่จะเดินย้อนให้เข้าใกล้พิกัดจุดมุ่งหมายให้มากขึ้นได้ด้วย ซึ่งอัลกอริทึมพิเศษนี้อาจมีลักษณะเฉพาะต่างกันไปแล้วแต่กรณี ทำให้ต้องมีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่จะเกิดกรณีพิเศษต่างๆ แล้วหาทางแก้ไขเป็นกรณีๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีข้อที่น่าสังเกตอีกกรณีคือเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปจนกระทั่งมีพิกัดในแกนใด แกนหนึ่งตรงกันกับพิกัดจุดหมายแล้วเช่นเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ถึงพิกัดที่ (2,3) แล้ว จะสังเกตได้ว่า หุ่นยนต์ได้เคลื่อนที่มาจนกระทั่งอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันกับพิกัดจุดหมาย (4,3) ในแนวแกน เอ็กซ์แล้ว ดังนั้นจึงไม่มีความจะเป็นต้องเคลื่อนที่ซิกแซกอีกแล้ว ก็จะทำการเดินตรงตามแนวแกน เอ็กซ์เข้าหาจุดมุ่งหมายได้เลย (ในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง)

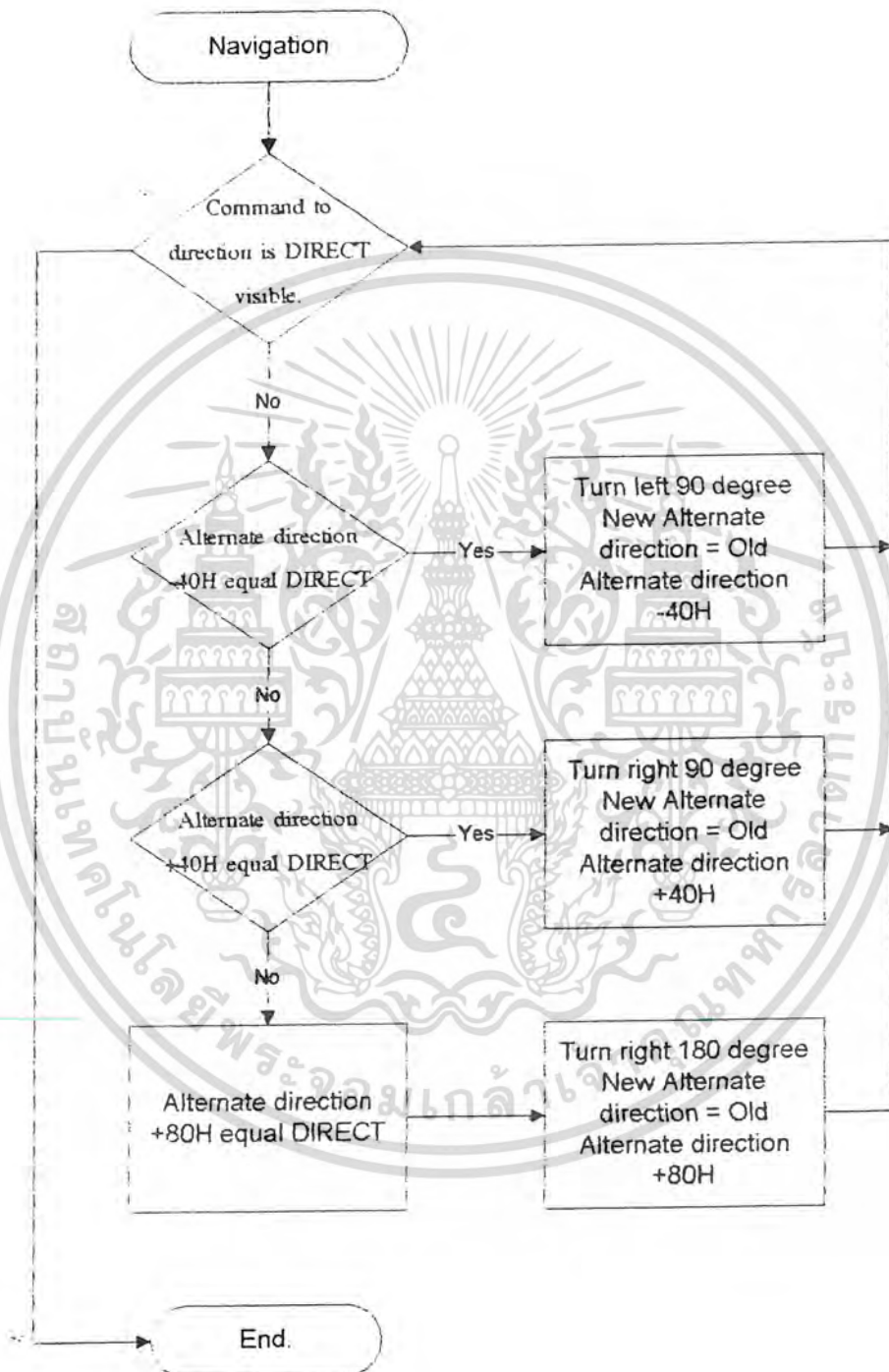
6.3 ฟLOWชาร์ท (flowchart) แสดงการทำงานของโปรแกรม

หัวข้อนี้จะแสดงฟLOWชาร์ทที่แสดงการทำงานของโปรแกรมดังนี้



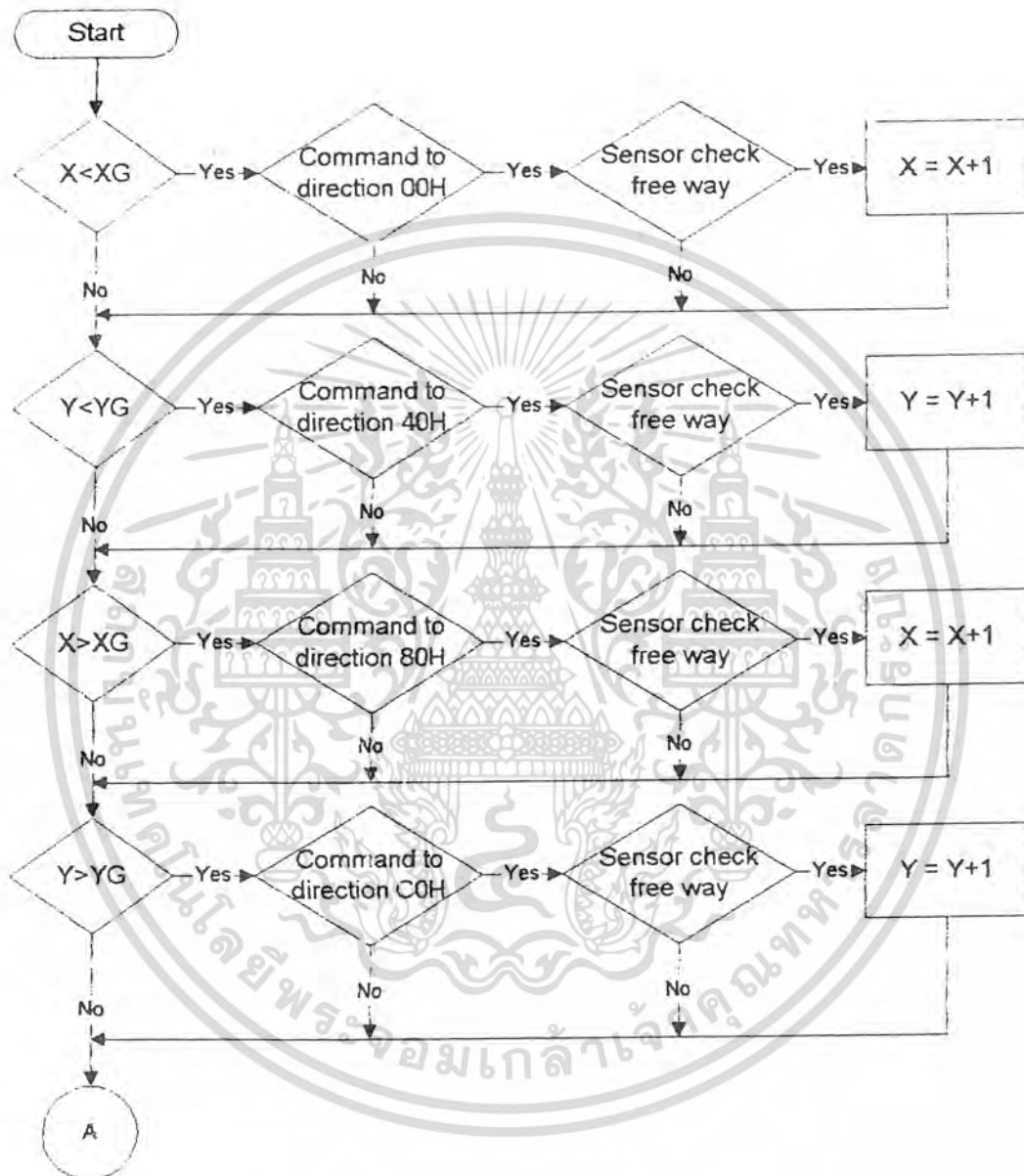
รูปที่ 6.3 แสดงฟLOWชาร์ทของโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



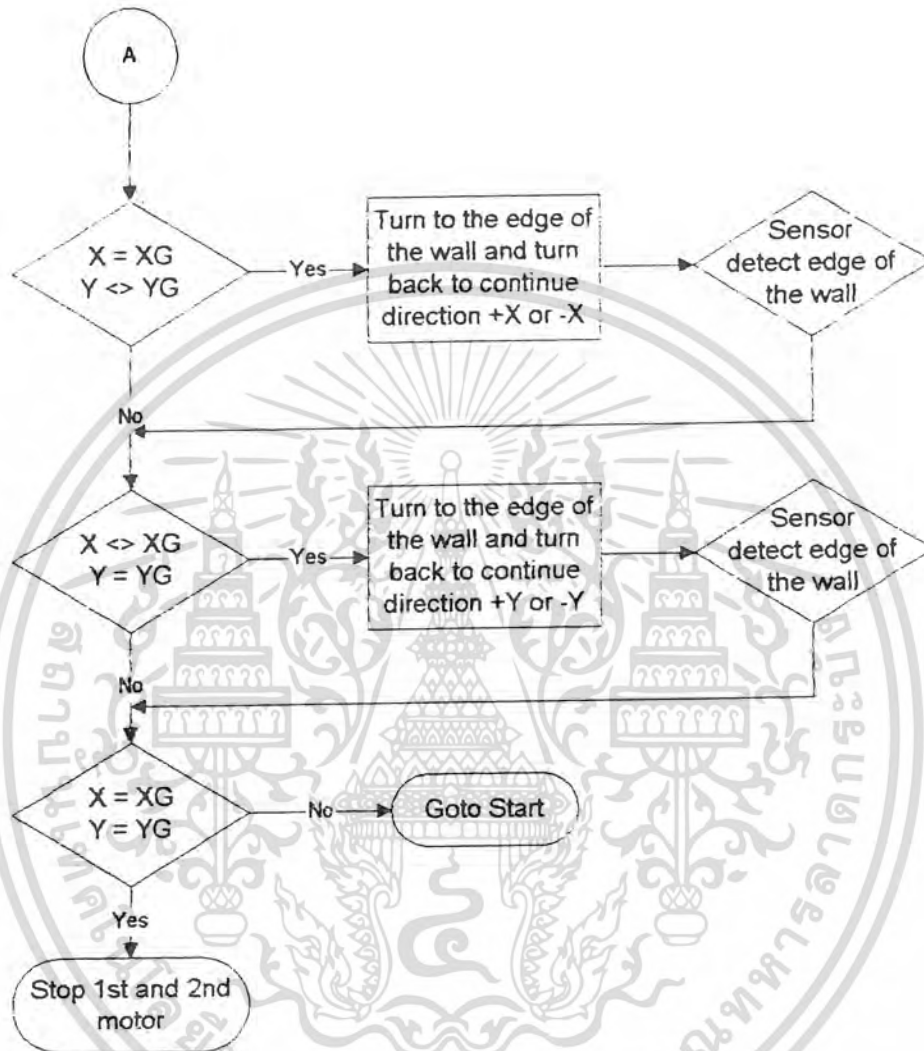
รูปที่ 6.4 แสดงโฟลชาร์ทของโปรแกรมการนำทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 รูปแสดงฟลอชาร์ทการของโปรแกรมส่วนการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 (ต่อ)

6.4 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการตรวจสอบสิ่งกีดขวาง, การตัดสินใจ, และการเคลื่อนที่ ของหุ่นยนต์ที่สร้างในโครงงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

```

1      ; *****
2      ; * PROGRAM ALGORITHM OF OBSTACLE AVOIDANCE
3      ; *****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

4          ; REGISTER DEFINE R0 - DISTANCE ONE STEP
ABOUT 2.7 cm
5          ; R1 - TYPE OF MOVE
6          ; 1111B = 0FH MOVE FORWARD
7          ; 0101B = 05H MOVE BACKWARD
8          ; 0111B = 07H MOVE LEFT
9          ; 1101B = 0DH MOVE RIGHT
10         ; R2 - SENSOR FRONT THE THREE IR
11         ; R3 - COMMAND TO THE DIRECTION
12         ; R4 - COORDINATE ROBOT OF X
13         ; R5 - COORDINATE ROBOT OF Y
14         ; R6 - GET DIRECTION X TOGGLE -X(00H) OR +X(80H)
15         ; R7 - GET DIRECTION Y TOGGLE -Y(40H) OR +Y(C0H)
16         ; PORT1 DEFINE F
17         ; ++++++
18         ; L:M1 + + R:M0
19         ; ++++++
20         ; B
21         ; P0 - POWER MOTOR0 ON/OFF
22         ; P1 - DIRECTION FORWARD/BACKWARD
23         ; P2 - POWER MOTOR1 ON/OFF
24         ; P3 - DIRECTION FORWARD/BACKWARD
25         ; P4-P7 - NOT USE
26         ; PORTA(8255) DEFINE
27         ; +2+1+0+
28         ; 3 7
29         ; 4++5++6
30 0000          ORG 0000H
31 0008          DIRECT EQU 08H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 0009 นไว้สำหรับการใช้ XG เพื่อการ EQU 09H นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

33      000A      YG      EQU 0AH
34      000B      BUFF    EQU 0BH
35      000C      SIDE    EQU 0CH
36      E003      PORT_CON EQU 0E003H
37      E000      PORTA    EQU 0E000H
38      00F0      RB      EQU 0F0H

39 0000 75 08 40      MOV DIRECT,#40H      ;SET DIRECTION
ALTERNATE +Y
40 0003 75 09 11      MOV XG,#11H      ;SET COORDINATE X
AT GOAL
41 0006 75 0A 23      MOV YG,#23H      ;SET COORDINATE Y
AT GOAL
42 0009 75 0C 00      MOV SIDE,#00H      ;SET SIDE IS NO
OBSTACLE
43 000C 78 00      MOV R0,#00H
44 000E 79 00      MOV R1,#00H
45 0010 7A 00      MOV R2,#00H
46 0012 7B 00      MOV R3,#00H
47 0014 7C 00      MOV R4,#00H
48 0016 7D 00      MOV R5,#00H
49 0018 7E 00      MOV R6,#00H
50 001A 7F 40      MOV R7,#40H
51 001C 90 E0 03      MOV DPTR,#PORT_CON      ;CONTROL 8255
ALL INPUT
52 001F 74 9B      MOV A,#9BH
53 0021 F0      MOVX @DPTR,A
54
55 0022 EC      START:  MOV A,R4
56 0023 B5 09 03      CJNE A,XG,NOT_EQ      ;COMPARE

```

เอกสารนี้ COORDINATE X < XG รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

57 0026 02 00 45          LJMP A
58 0029 50 1A          NOT_EQ: JNC A          ;STATE X < XG
59 002B 7B 00          MOV R3,#00H          ;COMMAND

DIRECTION +X
60 002D 12 01 2C          LCALL READY          ;FUNCTION SET

DIRECTION
61 0030 E5 0C          MOV A,SIDE
62 0032 B4 FF 10          CJNE A,#FFH,A
63 0035 12 01 AF          LCALL SENSOR          ;FUNCTION DETECT

OBSTACLE
64 0038 BA 07 0A          CJNE R2,#07H,A          ;FREE WAY
65 003B 12 01 D4          LCALL SET_MOTION          ;FUNCTION

MOVEMENT
66 003E EC          MOV A,R4
67 003F 24 01          ADD A,#01H          ;X = X + 1
68 0041 FC          MOV R4,A
69 0042 75 F0 FF          MOV RB,#FFH          ;COMPLETE THIS

LOOP
70 -----
71 0045 ED          A: MOV A,R5
72 0046 B5 0A 03          CJNE A,YG,NOT_EQ1          ;COMPARE

COORDINATE Y < YG
73 0049 02 00 68          LJMP B
74 004C 50 1A          NOT_EQ1: JNC B          ;STATE Y < YG
75 004E 7B 40          MOV R3,#40H          ;COMMAND

DIRECTION +Y
76 0050 12 01 2C          LCALL READY          ;FUNCTION SET

DIRECTION
77 0053 E5 0C          MOV A,SIDE
78 0055 B4 FF 10          CJNE A,#FFH,B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสำนักงานเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

79 0058 12 01 AF          LCALL SENSOR          ;FUNCTION DETECT
OBSTACLE
80 005B BA 07 0A          CJNE R2,#07H,B          ;FREE WAY
81 005E 12 01 D4          LCALL SET_MOTION        ;FUNTION
MOVEMENT
82 0061 ED                MOV A,R5
83 0062 24 01              ADD A,#01H              ;Y = Y + 1
84 0064 FD                MOV R5,A
85 0065 75 F0 FF          MOV RB,#FFH            ;COMPLETE THIS
LOOP
86 -----
87 0068 EC                B:    MOV A,R4
88 0069 B5 09 03          CJNE A,XG,NOT_EQ2        ;COMPARE
COORDINATE X > XG
89 006C 02 00 8C          LJMP C
90 006F 40 1B              NOT_EQ2: JC C            ;STATE X > XG
91 0071 7B 80              MOV R3,#80H          ;COMMAND
DIRECTION -X
92 0073 12 01 2C          LCALL READY          ;FUNCTION SET
DIRECTION
93 0076 E5 0C              MOV A,SIDE
94 0078 B4 FF 11          CJNE A,#FFH,C
95 007B 12 01 AF          LCALL SENSOR          ;FUNCTION DETECT
OBSTACLE
96 007E BA 07 0B          CJNE R2,#07H,C          ;FREE WAY
97 0081 12 01 D4          LCALL SET_MOTION        ;FUNTION
MOVEMENT
98 0084 EC                MOV A,R4
99 0085 C3                CLR C
100 0086 94 01            SUBB A,#01H            ;X = X - 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

101 0088 FC          MOV R4,A
102 0089 75 F0 FF    MOV RB,#FFH      ;COMPLETE THIS
LOOP
103                  ;-----
104 008C ED          C:    MOV A,R5
105 008D B5 0A 03    CJNE A,YG,NOT_EQ3  ;COMPARE
COORDINATE Y > YG
106 0090 02 00 B0    LJMP D
107 0093 40 1B      NOT_EQ3: JC D      ;STATE Y > YG
108 0095 7B C0      MOV R3,#C0H      ;COMMAND
DIRECTION -Y
109 0097 12 01 2C    LCALL READY      ;FUNCTION SET
DIRECTION
110 009A E5 0C      MOV A,SIDE
111 009C B4 FF 11    CJNE A,#FFH,D
112 009F 12 01 AF    LCALL SENSOR      ;FUNCTION DETECT
OBSTACLE
113 00A2 BA 07 0B    CJNE R2,#07H,D    ;FREE WAY
114 00A5 12 01 D4    LCALL SET_MOTION ;FUNTION
MOVEMENT
115 00A8 ED          MOV A,R5
116 00A9 C3          CLR C
117 00AA 94 01      SUBB A,#01H      ;Y = Y - 1
118 00AC FD          MOV R5,A
119 00AD 75 F0 FF    MOV RB,#FFH      ;COMPLETE THIS
LOOP
120                  ;-----
121 00B0 E5 F0      D:    MOV A,RB
122 00B2 B4 FF 06    CJNE A,#FFH,D1    ;CHECK THE
ABNORMAL EVENT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

123 00B5 75 F0 00      MOV RB,#00H
124 00B8 02 01 17      LJMP F
125                      ;-----
126 00BB EC            D1:    MOV A,R4
127 00BC B5 09 2A      CJNE A,XG,E      ;STATE X = XG
128 00BF ED            MOV A,R5
129 00C0 B5 0A 03      CJNE A,YG,NOT_EQ4    ;STATE Y <> YG
130 00C3 02 00 E9      LJMP E
131 00C6 EE            NOT_EQ4: MOV A,R6
132 00C7 24 80          ADD A,#80H
133 00C9 FE            MOV R6,A
134 00CA FB            MOV R3,A      ;COMMAND DIRECTION
R6 + #80H
135 00CB 12 01 2C      SENS0: LCALL READY    ;FUNCTION SET
DIRECTION
136 00CE 12 01 AF      LCALL SENSOR    ;FUNCTION DETECT
OBSTACLE
137 00D1 BA 07 15      CJNE R2,#07H,E      ;FREE WAY
138 00D4 12 01 D4      LCALL SET_MOTION    ;FUNCTION
MOVEMENT
139 00D7 BB 00 07      CJNE R3,#00H,NOT_EQ5    ;IF TOGGLE +X
DIRECTION
140 00DA EC            MOV A,R4
141 00DB 24 01          ADD A,#01H      ;X = X + 1
142 00DD FC            MOV R4,A
143 00DE 02 00 CB      LJMP SENS0
144 00E1 EC            NOT_EQ5: MOV A,R4      ;IF TOGGLE -X
DIRECTION
145 00E2 C3            CLR C
146 00E3 94 01          SUBB A,#01H      ;X = X - 1

```



```

147 00E5 FC MOV R4,A
148 00E6 02 00 CB LJMP SENS0
149 -----
150 00E9 ED E: MOV A,R5
151 00EA B5 0A 2A CJNE A,YG,F ;STATE Y = YG
152 00ED EC MOV A,R4
153 00EE B5 09 03 CJNE A,XG,NOT_EQ6 ;STATE X <> XG
154 00F1 02 01 17 LJMP F
155 00F4 EF NOT_EQ6: MOV A,R7
156 00F5 24 80 ADD A,#80H
157 00F7 FF MOV R7,A
158 00F8 FB MOV R3,A ;COMMAND DIRECTION
R7 + #80H
159 00F9 12 01 2C SENS1: LCALL READY ;FUNCTION SET
DIRECTION
160 00FC 12 01 AF LCALL SENSOR ;FUNCTION DETECT
OBSTACLE
161 00FF BA 07 15 CJNE R2,#07H,F ;FREE WAY
162 0102 12 01 D8 LCALL MOTION ;FUNTION
MOVEMENT
163 0105 BB 40 07 CJNE R3,#40H,NOT_EQ7 ;IF TOGGLE +Y
DIRECTION
164 0108 ED MOV A,R5
165 0109 24 01 ADD A,#01H ;Y = Y + 1
166 010B FD MOV R5,A
167 010C 02 00 F9 LJMP SENS1
168 010F ED NOT_EQ7: MOV A,R5 ;IF TOGGLE -Y
DIRECTION
169 0110 C3 CLR C
170 0111 94 01 SUBB A,#01H ;Y = Y - 1

```

```

171 0113 FD          MOV R5,A
172 0114 02 00 F9     LJMP SENS1
173                  ;-----
174 0117 EC          F:  MOV A,R4
175 0118 B5 09 0E     CJNE A,XG,H          ;STATE X = XG
176 011B ED          MOV A,R5
177 011C B5 0A 0A     CJNE A,YG,H          ;STATE Y = YG
178 011F 78 01       MOV R0,#01H
179 0121 79 00       MOV R1,#00H          ;STOP MOTOR0 AND
MOTOR1
180 0123 12 01 D8     LCALL MOTION
181 0126 02 01 26     FINISH: LJMP FINISH
182                  ;-----
183 0129 12 00 22     H:  LCALL START
184                  ;-----
185 012C EB          READY: MOV A,R3
186 012D B5 08 01     CJNE A,DIRECT,NOT_EQ8 ;COMPARE
ALTERNATE DIRECTION WITH COMMAND
187 0130 22          RET
188 0131 E5 08       NOT_EQ8: MOV A,DIRECT          ;CHECK
COMMAND NEAR LEFT SITE
189 0133 C3          CLR C
190 0134 24 40       ADD A,#40H
191 0136 8B 0B       MOV BUFF,R3
192 0138 B5 0B 14     CJNE A,BUFF,NOT_EQ9
193 013B 12 01 8B     LCALL LEFT          ;BEFORE TURN LEFT
194 013E E5 0C       MOV A,SIDE
195 0140 B4 FF 47     CJNE A,#FFH,NOT_DO      ;CHECK LEFT SITE
196 0143 78 10       MOV R0,#10H
197 0145 79 07       MOV R1,#07H

```

```

198 0147 12 01 D8          LCALL MOTION          ;FUNTION
MOVEMENT TURN LEFT 90 DEGREE
199 014A 8B 08             MOV DIRECT,R3
200 014C 02 01 2C          LMP READY
201 014F E5 08             NOT_EQ9: MOV A,DIRECT      ;CHECK
COMMAND NEAR RIGHT SITE
202 0151 C3                CLR C
203 0152 94 40             SUBB A,#40H
204 0154 8B 0B             MOV BUFF,R3
205 0156 B5 0B 14          CJNE A,BUFF,NOT_EQ10
206 0159 12 01 9D          LCALL RIGHT          ;BEFORE TURN RIGHT
207 015C E5 0C             MOV A,SIDE
208 015E B4 FF 29          CJNE A,#FFH,NOT_DO      ;CHECK RIGHT
SITE
209 0161 78 10             MOV R0,#10H
210 0163 79 0D             MOV R1,#0DH
211 0165 12 01 D8          LCALL MOTION          ;FUNTION
MOVEMENT TURN RIGHT 90 DEGREE
212 0168 8B 08             MOV DIRECT,R3
213 016A 02 01 2C          LMP READY
214 016D E5 08             NOT_EQ10: MOV A,DIRECT    ;CHECK
COMMAND BACKWARD SITE
215 016F C3                CLR C
216 0170 24 80             ADD A,#80H
217 0172 8B 0B             MOV BUFF,R3
218 0174 B5 0B B5          CJNE A,BUFF,READY
219 0177 78 10             MOV R0,#10H
220 0179 79 07             MOV R1,#07H
221 017B 12 01 D8          LCALL MOTION          ;FUNTION
MOVEMENT TURN LEFT 180 DEGREE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

222 017E 78 10          MOV R0,#10H
223 0180 79 07          MOV R1,#07H
224 0182 12 01 D8       LCALL MOTION
225 0185 8B 08          MOV DIRECT,R3
226 0187 02 01 2C       L JMP READY
227 018A 22            NOT_DO:  RET
228                    :-----
229 018B 90 E0 00       LEFT:  MOV DPTR,#PORTA
230 018E E0            MOVX A,@DPTR
231 018F 20 E3 07       JB E3H,LEFT_FREE      ;DETECT <1> LEFT
SITE
232 0192 20 E4 04       JB E4H,LEFT_FREE      ;DETECT <2> LEFT
SITE
233 0195 75 0C FF       MOV SIDE,#FFH          ;LEFT SITE HAVE
OBSTACLE
234 0198 22            RET
235 0199 75 0C 00       LEFT_FREE: MOV SIDE,#00H      ;LEFT SITE HAVE
NOT OBSTACLE
236 019C 22            RET
237                    :-----
238 019D 90 E0 00       RIGHT:  MOV DPTR,#PORTA
239 01A0 E0            MOVX A,@DPTR
240 01A1 20 E6 07       JB E6H,RIGHT_FREE      ;DETECT <1> RIGHT
SITE
241 01A4 20 E7 04       JB E7H,RIGHT_FREE      ;DETECT <2> RIGHT
SITE
242 01A7 75 0C FF       MOV SIDE,#FFH          ;RIGHT SITE HAVE
OBSTACLE
243 01AA 22            RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

244 01AB 75 0C 00    RIGHT_FREE: MOV SIDE,#00H    ;RIGHT SITE
HAVE NOT OBSTACLE

245 01AE 22          RET

246                ;-----

247 01AF 90 E0 00    SENSOR:  MOV DPTR,#PORTA    ;PORTA INPUT
IR ARRAY SENSOR

248 01B2 E0          MOVX A,@DPTR

249 01B3 54 07          ANL A,#07H    ;LOGIC AND 00000111H

250 01B5 FA          MOV R2,A

251 01B6 22          RET

252                ;-----

253 01B7 90 E0 00    SENSORX: MOV DPTR,#PORTA    ;PORTA INPUT
IR ARRAY SENSOR

254 01BA E0          MOVX A,@DPTR

255 01BB 20 E3 09          JB E3H,A1    ;DETECT <1> LEFT SITE

256 01BE 20 E4 06          JB E4H,A1    ;DETECT <2> LEFT SITE

257 01C1 12 02 0C          LCALL X

258 01C4 12 02 27          LCALL Y

259 01C7 20 E6 09    A1:    JB E6H,A2    ;DETECT <1> RIGHT
SITE

260 01CA 20 E7 06          JB E7H,A2    ;DETECT <2> RIGHT SITE

261 01CD 12 02 27          LCALL Y

262 01D0 12 02 0C          LCALL X

263 01D3 22          A2:    RET

264                ;-----

265 01D4 78 10          SET_MOTION: MOV R0,#10H

266 01D6 79 0F          MOV R1,#0FH

267 01D8 12 02 08    MOTION:  LCALL SETUP

268 01DB 75 89 66          MOV TMOD,#66H    ;COUNTER T0 AND
T1 IN MODE 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

269 01DE 75 8C D0      MOV TH0,#D0H
270 01E1 75 8D D0      MOV TH1,#D0H
271 01E4 75 8A D0      MOV TL0,#D0H
272 01E7 75 8B D0      MOV TL1,#D0H
273 01EA D2 8C      LOOPA:  SETB TR0      ;BEGIN COUNT T0
274 01EC D2 8E      SETB TR1      ;BEGIN COUNT T1
275 01EE 89 90      MOV P1,R1      ;SET TYPE MOVEMENT
276 01F0 30 8D 02      LOOPB:  JNB TF0,LOOPC      ;IF TF0 <> 1 THEN
LOOPC
277 01F3 C2 90      CLR P1.0      ;ELSE STOP MOTOR0
278 01F5 30 8F F8      LOOPC:  JNB TF1,LOOPB      ;IF TF1 <> 1 THEN
LOOPB
279 01F8 C2 92      CLR P1.2      ;ELSE STOP MOTOR1
280 01FA 30 8D F3      JNB TF0,LOOPB      ;LAST CHECK
281 01FD C2 90      CLR P1.0
282 01FF 12 02 08      LCALL SETUP
283 0202 12 01 B7      LCALL SENSORX      ;FUNCTION DETECT
OBSTACLE
284 0205 D8 E3      DJNZ R0,LOOPA      ;EXIT LOOP WHEN R0
= 0
285 0207 22      RET
286
287 0208 75 88 00      SETUP:  MOV TCON,#00H      ;CLEAR TCON
288 020B 22      RET
289
290 020C 78 03      X:      MOV R0,#03H      ;SET THREE LOOP
291 020E 12 02 08      X1:      LCALL SETUP
292 0211 75 89 66      MOV TMOD,#66H      ;COUNTER T0 AND
T1 IN MODE 2
293 0214 75 8D 00      MOV TH1,#00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

294 0217 75 8B 00      MOV TL1,#00H
295 021A D2 8E          SETB TR1          ;BEGIN COUNT T1
296 021C 75 90 0C      MOV P1,#0CH      ;SET ONLY MOTOR1

```

WORKING

```

297 021F 30 8F FD      LOOPX:  JNB TF1,LOOPX      ;WAIT TF1 = 1
298 0222 C2 92          CLR P1.2
299 0224 D8 E8          DJNZ R0,X1      ;EXIT LOOP WHEN R0 =
0

```

```

300 0226 22            RET
301 -----
302 0227 78 03          Y:    MOV R0,#03H      ;SET THREE LOOP
303 0229 12 02 08      Y1:   LCALL SETUP
304 022C 75 89 66      MOV TMOD,#66H      ;COUNTER T0 AND
T1 IN MODE 2
305 022F 75 8C 00      MOV TH0,#00H
306 0232 75 8A 00      MOV TL0,#00H
307 0235 D2 8C          SETB TR0      ;BEGIN COUNT T0
308 0237 75 90 03      MOV P1,#03H      ;SET ONLY MOTOR0

```

WORKING

```

309 023A 30 8D FD      LOOPY:  JNB TF0,LOOPY      ;WAIT TF0 = 1
310 023D C2 90          CLR P1.0
311 023F D8 E8          DJNZ R0,Y1      ;EXIT LOOP WHEN R0 =
0
312 0241 22            RET
313

```

Lines Assembled : 313

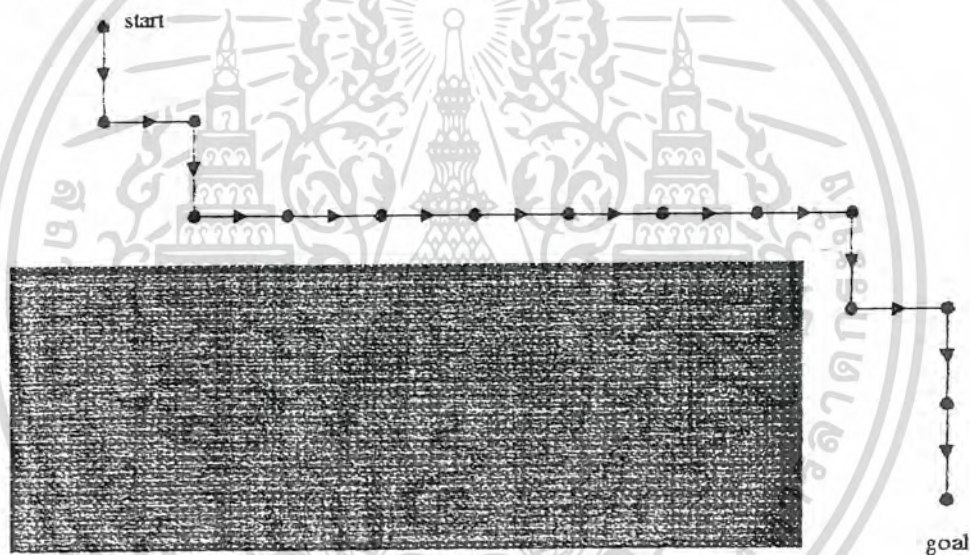
Assembly Errors : 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์

7.1 การทดลองและปัญหาที่พบในโครงการ

เราได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบการทำงานโดยรวมของหุ่นยนต์ทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ซึ่งมีสภาพจำลองการทำงานดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 แสดงภาพจำลองสภาพการทดสอบการเคลื่อนเข้าหาจุดมุ่งหมายของหุ่นยนต์ในกรณีที่มีมุมติดบังอยู่

ซึ่งก็สามารถทำงานได้ตามที่คาดหวัง แต่ก็ยังประสบปัญหาบางประการที่ทำให้การทำงานไม่สมบูรณ์เต็มที่ ปัญหาที่เราประสบในการทำโครงการมีดังนี้

ปัญหาที่เราพบเกี่ยวกับระบบเซนเซอร์คือ เซนเซอร์แต่ละตัวนั้นมีระยะที่สามารถตรวจจับวัตถุได้ไม่เท่ากัน แม้เราได้พยายามที่จะตั้งให้มีระยะเท่ากันก็ตาม นอกจากนี้แต่ละตัวยังมีความกว้างของลำแสงที่แตกต่างกันอีกด้วย

ปัญหาสำคัญอีกอย่างคือถ้าติดตั้งเซนเซอร์สูงจากพื้นมากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถตรวจสิ่งกีดขวางบางอย่างที่มีลักษณะวางนอนอยู่กับพื้นเจอได้ ทำให้หุ่นยนต์ของเราอาจจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดินไปสะดุดได้ หรือถ้าสิ่งกีดขวางบางอย่างที่มีขอบลักษณะยื่นออกมาแต่ไม่อยู่ในแนวที่เซนเซอร์จะตรวจเจออย่างเช่น โฉะที่มีขอบ หุ่นยนต์ก็อาจจะตรวจไม่พบขอบและเดินไปชนขอบได้

ข้อจำกัดของหุ่นยนต์อย่างหนึ่งคือไม่สามารถเดินบนพื้นต่างระดับได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าหุ่นยนต์กำลังเดินอยู่บนชั้น 2 ของอาคารและเดินมาถึงบริเวณที่เป็นขอบบันไดด้านล่างหุ่นยนต์ก็จะนึกว่าเป็นบริเวณพื้นที่ว่างเพราะเหตุว่าไม่มีขอบกั้นอยู่ทำให้อาจเดินตกบันไดได้

สำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับอัลกอริทึมก็มีเช่น การที่เมื่อหุ่นยนต์เดินไปพบกับสถานการณ์บางอย่างซึ่งอัลกอริทึมของเราไม่สามารถหาทางออกได้ ก็จะทำให้หุ่นยนต์ต้องเคลื่อนที่วนไปมาไม่มีวันจบ เรียกว่าเป็นการติดกับดัก

ปัญหาที่เกี่ยวกับการควบคุมก็มีหลายอย่าง ซึ่งที่สำคัญก็มีเช่น การที่เซนเซอร์มีระยะตรวจจับสั้นเกินไป ทำให้หุ่นยนต์อาจจะชนเข้ากับสิ่งกีดขวางก่อนที่จะทำการเลี้ยวหลบ การแก้ไขก็ต้องตั้งระยะการตรวจจับให้มีระยะยาวพอสมควร แต่ถ้ายาวเกินไปก็จะเกิดปัญหาอื่นตามมาคือ แสงอินฟราเรดจากชุดส่งชุดหนึ่งอาจจะเข้าไปรบกวนตัวรับที่อยู่ข้างเคียงได้ ดังนั้นถ้าจะให้ดีจึงควรมีการแบ่งเวลาการส่งและรับแสงอินฟราเรดของตัวตรวจจับแต่ละตัวด้วย

ในการควบคุมมอเตอร์ก็มีความยุ่งยากเช่นกัน คือ การที่เราใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัวในการควบคุมการเคลื่อนที่และการเลี้ยว ในระหว่างที่หุ่นยนต์เดินตรง ถ้ามอเตอร์ทั้ง 2 ตัวหมุนด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากันก็จะทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งหรือเอนออกเส้นทางที่คังใจทำให้พิศมิตพลาคได้ ในการเลี้ยวก็เป็นการยากที่จะทำให้มุมเลี้ยวเป็นมุมฉากได้อย่างแน่นอนซึ่งก็มีผลทำให้การเดินตามพิศมิตพลาคได้ด้วย

ในการเขียนโปรแกรมนั้นก็ยังมีปัญหามากเช่นกันเพราะเราไม่สามารถที่จะเขียนโปรแกรมให้ครอบคลุมทุกกรณี (case) ที่หุ่นยนต์ของเราอาจประสบได้ จึงทำได้แต่เพียงว่าพยายามให้ครอบคลุมกรณีต่างๆ ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

7.2 การประยุกต์ใช้งาน

เนื่องจากว่าในขณะนี้ยังไม่มีมีการประยุกต์นำหุ่นยนต์มาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการประยุกต์ส่วนใหญ่จึงจำกัดอยู่แต่เฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหลัก นอกจากนี้ก็อาจจะมีความพยายามที่จะนำมาใช้ในหน่วยงานต่างๆบ้าง

การประยุกต์ที่อาจพบเห็นได้ คือการนำไปเป็นหุ่นยนต์ขนส่งของที่มันหน้าที่ขนของหรือเอกสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง อาจเป็นระหว่างแผนกต่างๆ ภายในหน่วยงานหรือภายในโรงงานก็ได้ โดยหุ่นยนต์จะได้รับการโปรแกรมเส้นทางที่จะต้องใช้ในการเดินทางไว้แล้ว แต่ในระหว่างทางถ้าหากพบสิ่งกีดขวางก็สามารถที่จะหลบหลีกได้เองโดยไม่ชนกับคนที่เดินไปมาหรือสิ่งของที่อาจขวางทางอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากว่าการโปรแกรมมีความยุ่งยากซับซ้อนมากก็อาจจะมีการดัดแปลงโดยนำเอาเส้นสะท้อนแสงมาติดไว้ที่พื้น แล้วให้หุ่นยนต์เดินตามเส้นก็ได้ แต่ต้องมีการป้องกันไม่ให้ไปชนสิ่งกีดขวางที่อาจจะวางขวางทางอยู่ได้

การปฏิบัติเมื่อหุ่นยนต์ที่เดินตามเส้นพบกับสิ่งกีดขวางนั้นอาจทำได้หลายวิธีเช่น ให้หยุดจนกว่าจะมีคนมาเคลื่อนสิ่งกีดขวางนั้นออกไปหรืออาจจะให้มีการเดินอ้อมสิ่งกีดขวางแล้ววกกลับเข้ามาเดินไปตามเส้นต่อไปก็ได้

การประยุกต์อีกชนิดที่มีความเป็นไปได้ก็การใช้เป็นหุ่นยนต์เฝ้ายาม โดยเฉพาะในเวลากลางคืนที่หุ่นยนต์จะทำการเดินตรวจตราไปรอบๆ บริเวณตามที่ได้รับโปรแกรมไว้ แต่จะไม่ชนกับวัตถุหรือเครื่องใช้สำนักงานที่อาจวางเกะกะอยู่ หุ่นยนต์ชนิดนี้อาจจะได้รับการติดตั้งกล้องโทรทัศน์วงจรปิดสำหรับบันทึกภาพและเพื่อให้ผู้ควบคุมได้เห็นสภาพในบริเวณต่างๆ ได้ โดยที่ผู้ควบคุมไม่ต้องเดินมาตรวจเอง เราอาจจะติดตั้งเซนเซอร์ชนิดอื่นอีกก็ได้เช่น เซนเซอร์ตรวจจับควัน หรือเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ เพื่อประโยชน์ในการป้องกันอัคคีภัย หรืออาจมีการเพิ่มเติมถึงดับเพลิงคิดไว้ที่ตัวหุ่นยนต์ก็ได้เพื่อจะได้ทำการดับไฟได้ทันทั่วทั้งที่

เอกสารอ้างอิง

1. ทศพร สุขยศ, “เทคนิคการเข้ารหัสสำหรับเฟลาหมุ่นเพื่องานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 137, มีนาคม 2537, หน้า 118-122.
2. ทศพร สุขยศ, “เทคนิคการเข้ารหัสสำหรับเฟลาหมุ่นเพื่องานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 138, เมษายน 2537, หน้า 145-151.
3. ณรงค์ ย่างสกุล, “ง่ายๆ กับการประยุกต์ใช้งานตัวตรวจจับแบบต่างๆ”, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 143, ตุลาคม 2537, หน้า 88-94.
4. ศิริชัย คิลกรัตนพิจิตรและณรงศักดิ์ ตั้งกาญจน์ศรี, “เจาะหัวใจ MCS-51”, เข้าใจ/สร้าง/เล่นไมโครโปรเซสเซอร์ 1, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), หน้า 150-160, 2538.