

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม  
CONTROL MOBILE ROBOT BY NEURAL NETWORK



นายศักดิ์สิทธิ์ กรศรี  
นายสันติ ถึงศรีปิ่น

สท.  
ศ.๖๘๓  
๕๖๕

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 50247  
วัน,เดือน,ปี 2 8 เม.ย. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักหอสมุดกลางพระจอมเกล้าลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง ปีการศึกษา 2545 อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๕ เม.ย. ๒๕๕๐

# CONTROL MOBILE ROBOT BY NEURAL NETWORK




A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
2002

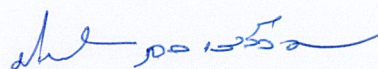
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม  
CONTROL MOBILE ROBOT BY NEURAL NETWORK  
นักศึกษาผู้จัดทำ นายศักดิ์สิทธิ์ กรศรี รหัสประจำตัว 43015486  
นายสันติ ถึงศรีปิ่น รหัสประจำตัว 43015489  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ กองรัตน์ อาจารย์อานินต์ น่วมตำราญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 22 เมษายน 2546  
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม CONTROL MOBILE ROBOT BY NEURAL NETWORK
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายศักดิ์สิทธิ์ กรศรี นายสันติ ถึงศรีปิ่น
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิริยะ กองรัตน์ อาจารย์อาจินต์ น่วมสำราญ
ปีการศึกษา	2545

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเราสามารถนำโครงข่ายประสาทเทียม มาประยุกต์ใช้ช่วยแก้ปัญหาทางวิศวกรรมได้หลายอย่าง โครงข่ายประสาทเทียมเป็นระบบที่สามารถเรียนรู้ได้เองจากข้อมูลตัวอย่าง โครงข่ายประสาทเทียมเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาที่มีข้อมูลจำนวนมากและไม่สามารถหาความสัมพันธ์จากข้อมูลได้โดยง่าย ซึ่งรูปแบบของโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้กันคือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

งานวิจัยนี้เสนอแนวคิดแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มาประยุกต์ใช้กับการควบคุมการตัดสินใจของหุ่นยนต์ ซึ่งใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล TMS320C31 เป็นตัวประมวลผล และโครงข่ายประสาทเทียมเป็นระบบการเรียนรู้เงื่อนไขระหว่างอินพุต เอาท์พุตของหุ่นยนต์ ที่ได้จากสิ่งกีดขวางในพื้นที่ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Control Mobile Robot by Neural Network
<b>Authors</b>	Mr.Saksit Kornsri Mr.Santi Thungsirpan
<b>Thesis Advisor</b>	Assot. Prof. Viriya Kongratana Mr.Arjin Numsomran
<b>Year</b>	2002

### ABSTRACT

Nowadays, the neural network is widely used for engineering problem. The neural network was learning oneself by example data. The neural network becoming with a lot of data and non- relation easily. Such Multi-layer Neural Networks was a lot of efficiency, to like

This thesis desirable concept is the neural network. Ones was using to select system of robot. The robot development is using TMS320C31 DSP processor. As for the neural network was learning system for input, output and obstructiveness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงลงได้เพราะได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ อาจินต์ น่วมสำราญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปฏิญานิพนธ์ ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ และคำปรึกษาในการแก้ไขปัญหอย่างเต็มที่

ขอขอบคุณ รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ที่ได้เอื้อเฟื้อ Board DSK ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม และ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้อ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองตลอดจนความช่วยเหลือ จนสามารถทำปฏิญานิพนธ์นี้เสร็จสิ้นลงตามวัตถุประสงค์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแต่บิดาและมารดา

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริิญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริิญญานิพนธ์.....	2
1.4 รายละเอียดของปริิญญานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 สถาปัตยกรรม TMS320C31.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 สถาปัตยกรรม TMS320C31 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ.....	3
2.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU).....	3
2.2.2 RAM และ ROM.....	6
2.3 โครงสร้างของ TMS320C3X DSK (DSK Starter Kit).....	9
บทที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network).....	10
3.1 กล่าวนำ.....	10
3.2 ระบบเซลล์ประสาททางชีววิทยา.....	10
3.3 การจำลองระบบเซลล์ประสาทเทียม.....	12
3.4 การเรียนรู้ของ โครงข่ายประสาทเทียม.....	13
3.4.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 3.4.2 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนก็เช่นเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านใดๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม.....	15
3.6 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ( Multi-Layers Neural Networks ).....	16
3.7 การนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์โครงข่ายเทียม.....	19
3.7.1 การนำสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม.....	19
3.7.2 การนำสัญญาณอนาล็อกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม.....	27
<b>บทที่ 4 มอเตอร์ (Motor).....</b>	<b>30</b>
4.1 การทำงานของดีซีมอเตอร์.....	30
4.2 การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor หลักการทำงานของ วงจร H-Bridge Switching.....	33
4.3 การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor สร้างวงจร H-Bridge Switching จาก Relay.....	34
4.4 การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor สร้าง วงจร H-Bridge Switching จาก Transistor.....	37
4.5 การควบคุมความเร็ว DC Motor.....	40
4.6 วิธีกรมอดูล์วเลขนทางความกว้างของพัลส์ (PWM).....	40
4.6.1 ลักษณะของ PWM โดยทั่วไปมีอยู่ 3 ลักษณะ.....	41
4.7 การควบคุม Motor โดยใช้ L293D.....	41
<b>บทที่ 5 การแผ่พลังงาน และ รั้งสีอินฟราเรด.....</b>	<b>44</b>
5.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	44
5.2 สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	44
5.3 แถบสเปคตรัม.....	45
5.4 รั้งสีอินฟราเรด.....	46
5.5 ประโยชน์ของรั้งสีอินฟราเรด.....	46
5.6 ไดโอดเปล่งแสง หรือ แอล อี ดี .....	46
5.7 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor).....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 การออกแบบ.....	49
6.1 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ (Motor Drive).....	49
6.2 วงจรผลิตความถี่ PWM.....	49
6.3 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้ L293D.....	50
6.4 การออกแบบวงจรตรวจจับ (SENSOR).....	51
6.4.1 การออกแบบตัวส่ง Infrared.....	51
6.4.2 การออกแบบตัวรับ Infrared.....	52
บทที่ 7 ผลการทดลอง.....	53
7.1 ผลการทำงานของซอฟต์แวร์.....	53
7.1.1 การทดลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมกับลอจิก พื้นฐานทางดิจิทัล.....	53
7.1.2 การทดลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมของตัวตรวจจับ.....	55
7.2 การทดสอบการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม.....	61
7.3 สรุปผลการทดลอง.....	64
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก .....	66
ภาคผนวก ก.....	67
ภาคผนวก ข.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชื่อและหน้าที่ต่างๆ ของรีจิสเตอร์ใน CPU.....	6
2.2 ชื่อและหน้าที่ต่างๆของรีจิสเตอร์ใน CPU.....	7
4.1 ตารางแสดงสภาวะการควบคุม L293D.....	42
7.1 แสดงความสัมพันธ์ของลอจิก AND และ ผลลัพธ์ที่คำนวณได้.....	53
7.2 แสดงความสัมพันธ์ของลอจิก OR และ ผลลัพธ์ที่คำนวณได้.....	54
7.3 แสดงความสัมพันธ์ของลอจิก XOR และ ผลลัพธ์ที่คำนวณได้.....	54
7.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต.....	56
7.5 แสดงผลลัพธ์ที่คำนวณได้.....	56
7.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต.....	58
7.7 แสดงผลลัพธ์ที่คำนวณได้.....	59
7.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต.....	62
7.9 แสดงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับอินพุต.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงสถาปัตยกรรมของไอซีเบอร์ TMS320C31.....	3
2.2 แสดงหน่วยความจำของไอซีเบอร์ TMS320C31.....	8
2.3 แสดงการจัดหน่วยความจำของไอซี TMS320C31.....	8
2.4 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของ DSK.....	9
3.1 ระบบเซลล์ประสาท.....	11
3.2 การส่งผ่านกระแสประสาทกันระหว่างเซลล์.....	12
3.3 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม.....	13
3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว.....	15
3.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	16
3.6 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม.....	17
3.7 สถาปัตยกรรมการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ.....	18
3.8 โครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไป.....	19
3.9 การนำสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม.....	20
3.10 การกำหนดค่าอินพุตเลเยอร์ เอาต์พุตเลเยอร์ และค่าน้ำหนัก W และ V.....	22
3.11 สมการการกระตุ้น (Activation Function).....	23
3.12 สมการการกระตุ้น (Activation Function).....	24
3.13 การนำสัญญาณอนาล็อกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม.....	28
4.1 วงจรมอเตอร์ดีซี.....	30
4.2 โครงสร้าง DC Motor แบบแม่เหล็กถาวร.....	31
4.3 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching .....	33
4.4 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching ในทิศทาง Forward ....	33
4.5 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching ในทิศทาง Revert.....	34
4.6 โครงสร้างของ รีเลย์.....	35
4.7 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Relay .....	35
4.8 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Relay ในทิศทาง Forward .....	36
4.9 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Relay ในทิศทาง Revert .....	36
4.10 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor .....	37
4.11 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor ในทิศทาง Forward ....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้น ไม่เห็นแต่เพียงผู้เดียว และต้องยกเว้นเงินของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบ

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor ในทิศทาง Revert .....	39
4.13 สักส่วนเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์.....	40
4.14 แสดงโครงสร้างภายในของ L293D.....	42
4.15 แสดงลักษณะการต่อใช้งาน L283D.....	43
5.1 แถบสเปคตรัม.....	45
5.2 ความยาว อินฟราเรด คลื่นเท่ากับ 700 นาโนเมตร.....	45
5.3 ความยาวคลื่นในย่านต่างๆ กัน.....	45
5.4 รูปร่าง และสัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง.....	47
5.5 ลักษณะ โครงสร้างและสัญลักษณ์ของโพโต้ทรานซิสเตอร์.....	48
5.6 แสดงวงจรไบแอส และ กราฟลักษณะสมบัติของโพโต้ทรานซิสเตอร์.....	48
6.1 วงจรผลิตความถี่ PWM.....	49
6.2 วงจรขับมอเตอร์โดยใช้ L293D.....	51
6.3 วงจรส่งInfrared.....	52
6.4 รูปวงจรรับสัญญาณ Infrared.....	52
7.1 แสดงการวางตำแหน่งลิมิตสวิทช์.....	55
7.2 แสดงการวางตำแหน่งตัวตรวจจับอินฟราเรด.....	57
7.2 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

เดิมทีงานทางด้านดิจิตอลคอนโทรลจะใช้อุปกรณ์ประเภทไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุม เนื่องจากมีฟังก์ชันและอุปกรณ์การต่อพ่วงและสนับสนุน (peripheral) เช่น input output control pins , analog to digital converter , standard serial port , PWM อยู่ในตัวของมันเองอยู่แล้ว จึงทำให้ง่ายแก่การใช้งานด้านคอนโทรล แต่ปัจจุบันนี้งานด้านดิจิตอลคอนโทรลไม่ว่าจะเป็น DCM (Digital Motor Control) , Automotive Control , Industrial Automation , Optical Networking มีการใช้อัลกอริทึม (Algorithm) และฟังก์ชัน (function) ต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคอนโทรล เช่น Sensorless Algorithm , Random PWMs , Power Factor, Ripple composition, Precision PID, Adaptive Control, Multivariable Control และอื่นๆอีก ดังนั้นการที่จะประมวลผล อัลกอริทึมและฟังก์ชันต่างๆ ที่เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องอาศัยคุณสมบัติเด่นของ DSP (Digital Signal Processing) ซึ่งจะทำงานในระบบที่ซับซ้อนขึ้นได้

งานทางด้าน Robot ก็เป็นอีกสาขาหนึ่งที่มีการมีศึกษา และ วิจัยกันมาก และในปัจจุบัน การพัฒนา Robot ก็มาเกี่ยวเนื่องการทำงานที่ซับซ้อนมากขึ้น และ มีการนำเอาอัลกอริทึมต่างๆมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการนำ DSP ไปใช้ในการควบคุม Motor และนำ Sensor ต่างๆเข้ามาเป็นเงื่อนไขการทำงานในสถานะการต่างๆ ให้เป็นไปตาม อัลกอริทึมที่กำหนดเอาไว้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านคอนโทรลต่างๆ ที่มีความซับซ้อนของกระบวนการ ให้เป็นไปตาม อัลกอริทึมที่ต้องการได้ต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการเขียน Program ในการควบคุม DSP โดยใช้ภาษา C
2. เพื่อศึกษาการ Interface ระหว่าง DSP กับอุปกรณ์ Sensor ต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผล
3. เพื่อศึกษาความสามารถและการประยุกต์ใช้งาน DSP ในการควบคุมระบบต่างๆ ให้หลากหลายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
4. สามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติ และนำไปใช้งานจริงได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เพื่อศึกษาการนำทฤษฎี Neural Network มาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจของ Robot

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

1. ออกแบบ วงจร Interface ระหว่าง DSP กับวงจรตรวจจับต่างๆ เพื่อรับค่าประมวลผลได้
2. ออกแบบวงจรตรวจจับ Limit Switch และ Interface ให้สามารถตรวจจับวัตถุที่ขวางทางได้ก่อนที่จะชน
3. ออกแบบวงจร Drive DC Motor ให้สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วของ Robot ได้ตามความต้องการ
4. สามารถเขียนโปรแกรมให้ Robot สามารถเดินไปในทิศทางและพื้นที่ ที่กำหนด และสามารถเดินทางตามเส้นทางที่กำหนดได้

### 1.4 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์

- บทที่ 1 เป็นการกล่าวนำและวัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์และขอบเขตในการศึกษา
- บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงสถาปัตยกรรมภายใน TMS320C31 หน่วยความจำภายในและรีจิสเตอร์ต่างๆ
- บทที่ 3 กล่าวถึง โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) การจำลองระบบเซลล์ประสาทเทียม การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
- บทที่ 4 กล่าวถึง การทำงานของดีซีมอเตอร์ การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor การควบคุมความเร็ว DC MOTOR และ วิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM)
- บทที่ 5 กล่าวถึง การแผ่พลังงาน และ รั้งสีอินฟราเรด ประโยชน์ของรั้งสีอินฟราเรด และการนำมาใช้งาน
- บทที่ 6 กล่าวถึง การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ (Motor Drive) การออกแบบวงจรตรวจจับ (SENSOR) แบบต่างๆ
- บทที่ 7 กล่าวถึง การทดลองการทำงานของวงจรต่างๆ และการเรียนรู้เส้นทางของ Robot โดยใช้ Neural Network และผลสรุปผลการทดลอง

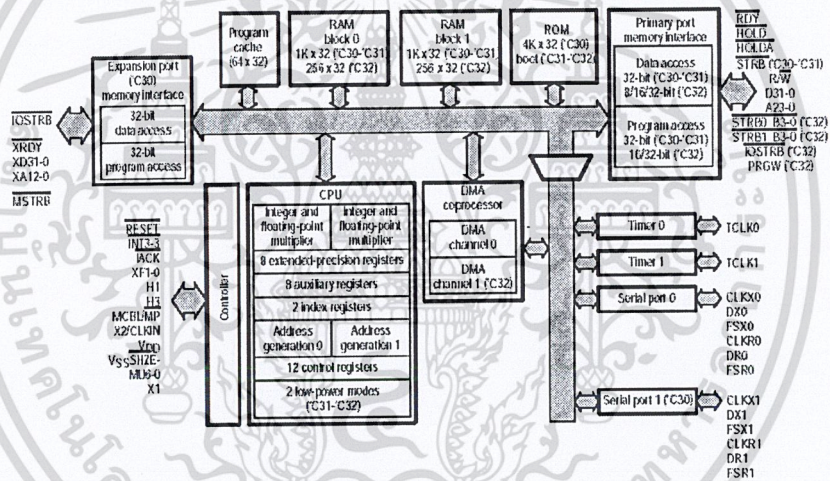
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# สถาปัตยกรรม TMS320C31

### 2.1 กล่าวนำ

ไอซีเบอร์ TMS320C31 ถูกสร้างและออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการทางด้าน การประมวลผลบนพื้นฐานของคณิตศาสตร์ชั้นสูงและการแก้ปัญหาทาง Hard ware และ Soft ware ประสิทธิภาพอันสูงของ TMS320C31 เกิดจากความแน่นอนและความกว้างทางไดนามิกของส่วนคำนวณทางทศนิยม มีหน่วยความจำขนาดใหญ่ การทำงานแบบขนานและมี DMA Controller เพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.1 แสดงสถาปัตยกรรมของไอซีเบอร์ TMS320C31

### 2.2 สถาปัตยกรรม TMS320C31 ประกอบด้วยส่วนต่างๆสำคัญดังนี้

#### 2.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)

หน่วยประมวลผลกลางประกอบไปด้วย

##### 2.2.1.1 Multiplier

มีหน้าที่ในการคูณและสามารถคูณจำนวนเต็ม 24 bit และจำนวนทศนิยม 32 bit โดยใช้ เวลาเพียง 1 รอบ ซึ่งการคำนวณจำนวนทศนิยมจะใช้เวลา 50 nS ต่อรอบ และสามารถประมวลผล

แบบขนานได้เพื่อที่จะเพิ่มความสามารถประมวลผลข้อมูล โดยใช้คำสั่งแบบขนานให้ทำการคูณ และการทำงานของ ALU ภายในหนึ่งรอบ

เมื่อ Multiplier ทำการคำนวณทศนิยม อินพุตที่มีขนาด 32 บิต และผลลัพธ์ที่ได้จะมีขนาด 40 บิต แต่ถ้า Multiplier ทำการคูณจำนวนเต็มอินพุตมีขนาดเพียง 24 บิต และจะได้ผลลัพธ์ขนาด 32 บิต

### 2.2.1.2 หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Logic Unit (ALU))

ใน 1 รอบการทำงานของ ALU จะประมวลผลจำนวนเต็มได้ 32 บิต และทศนิยมได้ 40 บิต โดยผลลัพธ์จาก ALU ยังคงมีขนาด 32 บิตถ้าเป็นจำนวนเต็ม 40 บิตถ้าเป็นทศนิยม barrel shifter จะมีหน้าที่ในการเลื่อนข้อมูล 32 บิต ซ้ายและขวาใน 1 รอบการทำงาน

บัสภายใน (CPU1/CPU2 และ REG1/REG2) จะเป็นตัวพาข้อมูลที่จะนำมาประมวลผล 2 ตัว จากหน่วยความจำและอีก 2 ตัวจากรีจิสเตอร์ ดังนั้นจึงทำการคูณ บวก หรือลบแบบขนานได้ใน 1 รอบการทำงาน

### 2.2.1.3 หน่วยช่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Auxiliary Register Arithmetic Unit (ARAUs))

ARAUs เป็นรีจิสเตอร์ที่ช่วยการทำงานแบบขนานกับตัวคูณและ ALU โดย ARAUs จะมี 2 ตัวคือ ARAU0 และ ARAU1 ARAU จะสามารถเก็บแอดเดรสได้ 2 แอดเดรสใน 1 รอบการทำงานเพื่อใช้ในการอ้างตำแหน่งแบบต่างๆ

### 2.2.1.4 CPU Register

ใน TMS320C31 จะมีรีจิสเตอร์ 28 ตัว ซึ่งตรงกับ CPU โดยรีจิสเตอร์ทั้งหลายเหล่านี้จะทำงานกับ Multiplier และ ALU และยังสามารถใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นอีกด้วย อย่างไรก็ตาม รีจิสเตอร์เหล่านี้ก็ยังมีหน้าที่พิเศษบางอย่างด้วย เช่น ใช้สำหรับการทำงานเกี่ยวกับจำนวนทศนิยม และรีจิสเตอร์ช่วย (Auxiliary register) ทั้ง 8 ตัวยังใช้ในการอ้างแอดเดรสแบบ Indirect addressing register ด้วย รีจิสเตอร์ที่เหลือจะทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบต่างๆ เช่น การอ้างแอดเดรส การจัดการเกี่ยวกับสแตค (Stack) การบอกสถานะของโปรเซสเซอร์ การอินเตอร์รัพต์ และการเคลื่อนย้ายข้อมูลเป็นบล็อก ชื่อต่างๆของรีจิสเตอร์และหน้าที่ของมันแสดงดังตาราง 1

- Exten precision register (R7-R0) สามารถใช้เก็บค่าจำนวนเต็ม 32 บิต และทศนิยม 40 บิต โดยจะเก็บค่าลงในบิตที่ 0-39 แต่ถ้าจำนวนเต็มแบบมีเครื่องหมายก็จะทำการเก็บที่บิต 0-31 ส่วนบิตที่ 32-39 จะไม่ใช่
- Auxiliary register (AR7 – AR0) จะถูกใช้โดย CPU และจะถูกควบคุมโดย ARAU ทั้ง 2 ตัว หน้าที่แรกของ AR ยังใช้ให้ส่วนที่เก็บตัวนับในการวนลูปหรือจะใช้งานอื่นๆ ที่เกี่ยวกับตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์และ ALU
- Data page pointer (DP) ส่วนรีจิสเตอร์ขนาด 32 บิต โดยที่ 5 บิตแรก จะถูกใช้ในการอ้างแอดเดรสแบบ direct addressing mode ซึ่งใช้เป็นตัวชี้ (Pointer) ไปยังหน้า (Page) ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสาร อาจก่อให้เกิดความเสียหายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Index register (IR0,IR1) จะถูกใช้โดย ARAU ในการเก็บค่าของดัชนีในการชี้แอดเดรส (Indexed address)
- Block size register(BK) มีขนาด 32 บิตซึ่ง ARAU จะใช้ในการอ้างแอดเดรสแบบเก็บ Circular addressing เพื่อเป็นตัวเก็บค่าขนาดของบล็อกข้อมูล
- System stack pointer (BK) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 32 บิต ซึ่งเป็นค่าของแอดเดรสของยอดของสแตค โดยปกติ SP จะชี้ไปยังค่าสุดท้ายซึ่งเก็บอยู่บนสแตค การ push จะกระทำก่อนที่จะเพิ่มค่า SP และการ POP หลักการลดค่าของ SP คำสั่งที่จะทำงานกับ SP ได้คือ Interrupts, Traps, Return, Push และ Pop
- Status register (ST) เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บข้อมูลต่างๆ ที่แสดงสถานะของ CPU เช่นค่าของ flag ซึ่งจะแสดงสถานะของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ว่าเป็น ศูนย์ ถนวมถึงการคำนวณทางลอจิกด้วย
- CPU/DMA interrupt enable register (IE) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 32 บิตใช้สำหรับการกำหนดการเอนาเบิ้ลอินเทอร์รัพต์ของ CPU โดยการเอนาเบิ้ลของ CPU จะใช้บิตที่ 0-10 และการเอนาเบิ้ลของ DMA จะใช้บิตที่ 16-26 “1” จะเป็นเอนาเบิ้ลและ “0” จะเป็นการ ดิสเอนเบิ้ล
- I/O Flage register (IOF) เป็นรีจิสเตอร์ในการควบคุม XFO และ XFI
- Repeat counter (RC) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 32 บิต ใช้เก็บค่าของจำนวนเท่าหรือจำนวนครั้งของบล็อกข้อมูลซึ่งถูกกระทำ เมื่อโปรเซสเซอร์ทำงานในโหมดของการกระทำในข้อมูลซ้ำ (Repeatmode) repeat star address register (RS) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 32 บิต จะถูกใช้ในการเก็บแอดเดรสเริ่มต้นของบล็อกข้อมูลที่จะถูกกระทำซ้ำ และ Repeat end address register (RE) ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 32 บิต จะถูกเก็บแอดเดรสสุดท้ายของบล็อกข้อมูลซึ่งจะถูกกระทำซ้ำ
- Program counter (PC) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 32 บิต ซึ่งเก็บแอดเดรสของคำสั่งที่จะถูกนำมาอ่านคำสั่งถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ชื่อและหน้าที่ต่างๆ ของรีจิสเตอร์ใน CPU

Register Name	Assigned Function
AR0	Auxiliary register 0
AR1	Auxiliary register 1
AR2	Auxiliary register 2
AR3	Auxiliary register 3
AR4	Auxiliary register 4
AR5	Auxiliary register 5
AR6	Auxiliary register 6
AR7	Auxiliary register 7
DP	Data-page pointer
IR0	Index register 0
IR1	Index register 1
BK	Block-size register
SP	System-stack pointer
ST	Status register
IE	CPU/DMA interrupt-enable
IF	CPU interrupt flag
IOF	I/O flag
RS	Repeat start-address
RE	Repeat end-address
RC	Repeat counter
PC	Program counter

หน่วยความจำของ TMS320C31 จะมีขนาด 16 M และมีขนาด 1 word เท่ากับ 32 บิต โดยในหน่วยความจำนี้จะใช้กับโปรแกรมข้อมูลและอินพุตเอาต์พุต ดังนั้นค่าของ สัมประสิทธิ์ โปรแกรมข้อมูลจะถูกเก็บได้ทั้ง RAM และ ROM

### 2.2.2 RAM และ ROM

รูปที่ 2.2 จะแสดงการจัดหน่วยความจำภายใน TMS320C31 โดยแรมจะแบ่งออกเป็น บล็อก 0 และ 1 ซึ่งมีขนาดบล็อกละ  $1K \times 32$  และ  $4K \times 32$  ทั้ง RAM และ ROM สามารถถูกเข้าใช้ได้โดย CPU 2 ครั้งใน 1 รอบการทำงานได้ ดังนั้นการที่มีบัสของโปรแกรมแยกกันและบัสของ DMA ที่สามารถทำงานแบบขนานได้

### 2.2.2.1 Memory Maps

ตารางหน่วยความจำจะขึ้นอยู่กับว่า ต้องการจะให้โปรเซสเซอร์ประมวลผลในโหมดของไมโครโปรเซสเซอร์ หรือ ไมโครคอมพิวเตอร์ แต่ในที่นี้จะให้โปรเซสเซอร์ประมวลผลในโหมดของไมโครโปรเซสเซอร์ แสดงในรูปแบบที่ 2.3 ในแอดเดรสที่ 800000h จนถึง 801FFFh จะถูกใช้สำหรับ expansion bus ซึ่งจะถูกรับเข้าได้โดยให้สัญญาณ /MSTRB แอดเดรสที่ 80200h จนถึง 803FFFh จะไม่ใช้แอดเดรสที่ 80400h ถึง 805FFFh จะถูกใช้สำหรับ Expansion bus ซึ่งจะถูกทำให้เข้าถึงโดยให้สัญญาณ /IOSTRB แอดเดรส 80600h ถึง 807FFFh จะไม่ใช้ทุก ๆ รีจิสเตอร์ จะอยู่ที่แอดเดรส 808000h ถึง 8097FFFh RAM บล็อก 0 จะอยู่ที่ 809800h ถึง 809bFFFh และ บล็อก 1 จะอยู่ที่ 809c00h ถึง 809FFFh แอดเดรส 80A000h จนถึง 0FFFFFFh จะถูกใช้โดยอุปกรณ์ภายนอก(เมื่อสัญญาณ /STRB แอดเดรส)

### 2.2.2.2 Memory Address Mode

TMS320C31 จะแบ่งโหมดการอ้างแอดเดรสออกเป็น 5 กลุ่ม โดยมีโหมดในการอ้างแอดเดรสทั้งหมด 6 แบบดังนี้

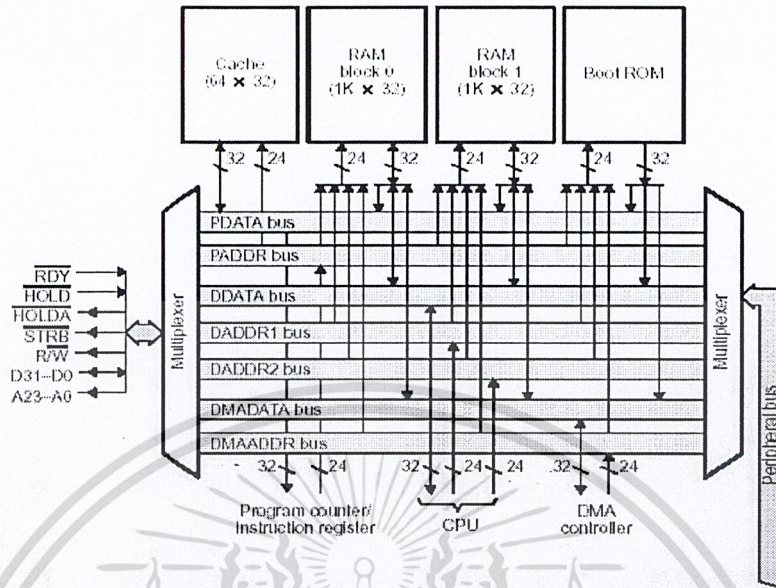
- General addressing mode
- Register ค่าที่นำมาคำนวณจะเก็บที่ CPU รีจิสเตอร์
- Short immediate ค่าที่นำมาคำนวณจะเป็นค่าที่โหลดโดยตรงขนาด 16 บิต จากคำสั่ง
- Direct ค่าที่นำมาคำนวณจะถูกเก็บอยู่ในตำแหน่ง ซึ่งมีแอดเดรสขนาด 24 บิตแสดงอยู่ในคำสั่ง
- indirect รีจิสเตอร์ช่วยจะเก็บแอดเดรสของข้อมูล

ตารางที่ 2.2 ชื่อและหน้าที่ต่างๆของรีจิสเตอร์ใน CPU

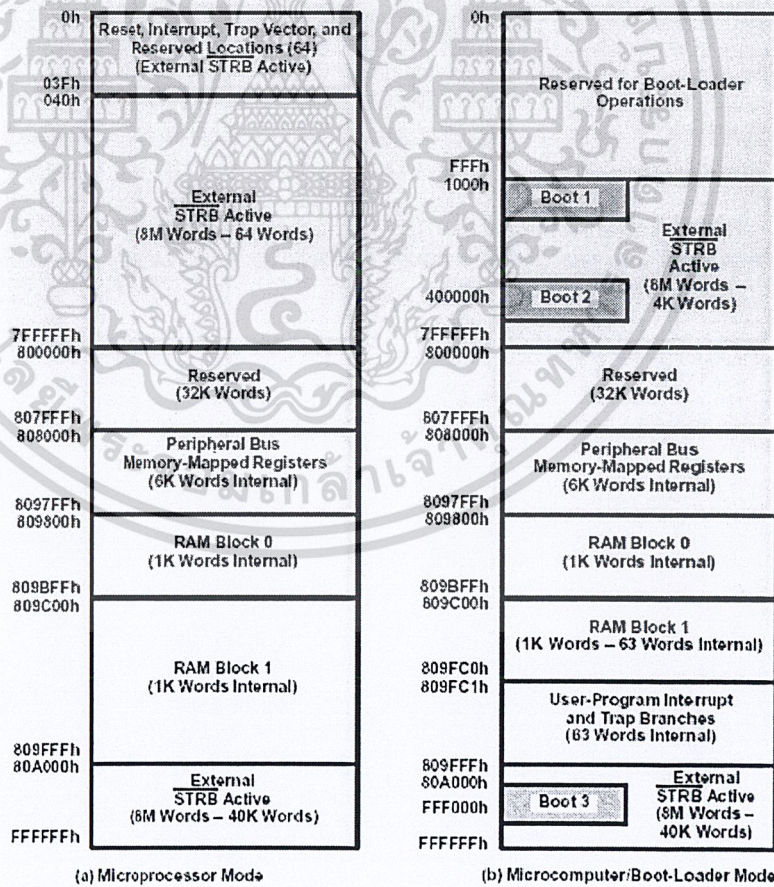
Register Name	Assigned Function
R0	Extended-precision register 0
R1	Extended-precision register 1
R2	Extended-precision register 2
R3	Extended-precision register 3
R4	Extended-precision register 4
R5	Extended-precision register 5
R6	Extended-precision register 6
R7	Extended-precision register 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำ (Memory Organization)



รูปที่ 2.2 แสดงหน่วยความจำของไอซีเบอร์ TMS320C31



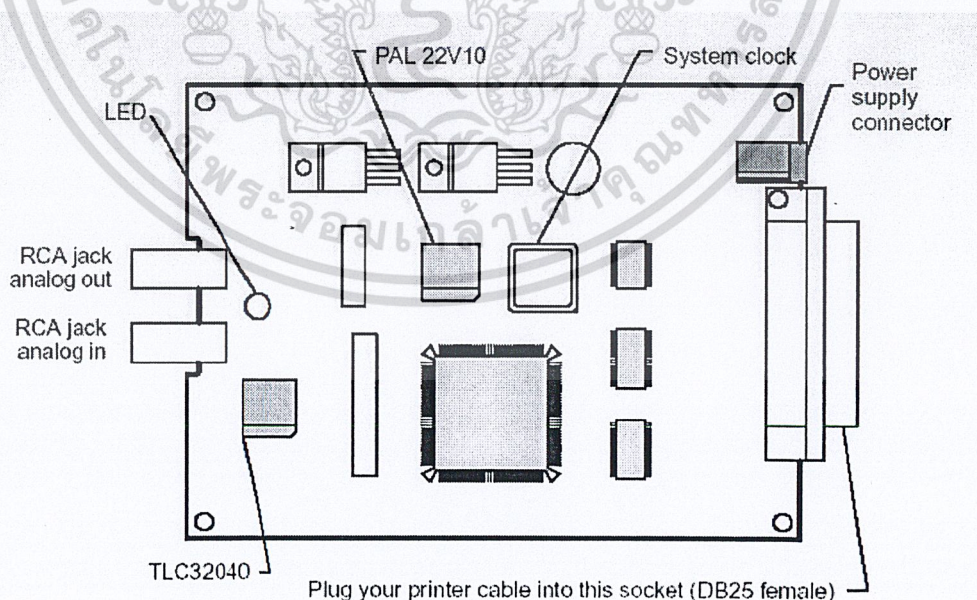
รูปที่ 2.3 แสดงการจัดหน่วยความจำของไอซี TMS320C31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 โครงสร้างของ TMS320C3X DSK (DSK Starter Kit (DSK))

### 2.3.1 โครงสร้างของ DSK

- TMS320C31 เป็น DSP แบบ Floating-point
- มี CycleTime 40 ns ประมวลผล 50 ล้านคำสั่ง Floating-point 99 ต่อ วินาที (MFLOPS) และ ประมวลผล 25 ล้านคำสั่งต่อวินาที (MIPS)
- อินเทอร์เฟซเครื่องพิมพ์แบบขนาน (parallel printer port interface) ที่เป็นมาตรฐานหรือพัฒนาแล้ว เพื่อต่อกับคอมพิวเตอร์แม่ (Host PC<sup>TM</sup>) และ TMS329C31 ติดต่อกับโปรแกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้
- รับข้อมูลโดยผ่านวงจรเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อก (AIC) TLC32040
  - ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC) และตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (DAC) สามารถเปลี่ยนแปลงพิสัยแบบพลวัตได้ 14 บิตใน 20000 ตัวอย่างต่อวินาที
  - มีฟิลเตอร์สร้างเอาท์พุทใหม่ และสามารถบายพาส (bypass) ได้ ตัวเก็บประจุแบบสวิตช์ (switched-capacitor) ป้องกันสัญญาณรบกวน เป็นอินพุตฟิลเตอร์
- ใช้คอนเนคเตอร์ปลั๊กแบบ RCA แบบมาตรฐาน สำหรับอนาล็อกอินพุตและเอาท์พุท
- คอนเนคเตอร์อิมูเลเตอร์ XDS510
- คอนเนคเตอร์เพิ่มเติมที่กำหนดค่า TMS320C31 ทั้งหมดสำหรับใช้กับบอร์ดดีเอสเค



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของ DSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

### 3.1 กล่าวนำ

โครงข่ายประสาทเทียมถูกคิดค้นขึ้นโดยการเลียนแบบธรรมชาติทางชีววิทยา จากการศึกษาระบบประสาทพบว่า ระบบประสาทประกอบไปด้วยหน่วยเซลล์ประสาทพื้นฐานจำนวนมาก เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน แต่ละเซลล์ประสาทจะรับกระแสประสาทเข้ามาทางส่วนที่เรียกว่าเดนไดรต์ (Dendrite) ซึ่งมีหลายอันเข้าสู่ตัวเซลล์ แล้วส่งต่อออกไปยังส่วนที่เรียกว่าแอกซอน (Axon) ซึ่งมีอันเดียว แอกซอนจะต่ออยู่กับส่วนเดนไดรต์ของเซลล์อื่นๆ ผ่านช่องว่างเล็กๆระหว่างส่วนทั้งสอง ช่องว่างในจุดที่เชื่อมต่อนี้เรียกว่าไซแนปส์ (Synapse)

### 3.2 ระบบเซลล์ประสาททางชีววิทยา

ระบบประสาทมีหน้าที่ควบคุมรักษาสมดุลภายในร่างกายให้คงที่ ระบบประสาทของมนุษย์เป็นระบบที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนจะประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) ประมาณ  $10^{11}$  เซลล์ และเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทตัวอื่นอีกประมาณ 10 ล้านเซลล์ ซึ่งระบบประสาทจะมีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน คือ

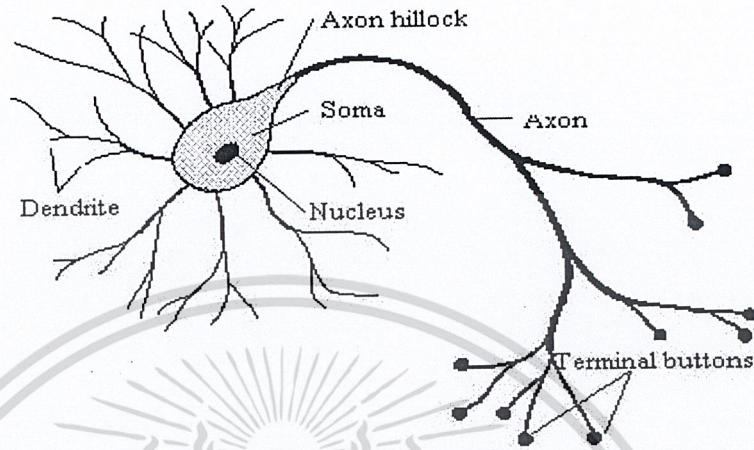
- ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous Systems)
- ระบบประสาทรับความรู้สึก (Sensory Systems)
- ระบบประสาทมอเตอร์ (Motor Systems)

ระบบประสาทส่วนกลางจะทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่รับมาจากระบบประสาทรับความรู้สึกที่ประกอบด้วยเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (Sensory Receptor) ซึ่งจะรับรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งรอบตัวและจะส่งข่าวสารไปยังประสาทส่วนกลาง เมื่อประสาทส่วนกลางประมวลแล้ว ก็ส่งสัญญาณไปควบคุมสั่งการระบบประสาทมอเตอร์ของอวัยวะแสดงผล (Effector) ให้ทำงาน ซึ่งจะทำให้เกิดการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งภายในและภายนอกร่างกาย

เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะประกอบด้วย ตัวเซลล์ (Cell Body) และแขนงที่แยกออกจากตัวเซลล์ซึ่ง ได้แก่ แอกซอน (Axon) และ เดนไดรต์ (Dendrite) แอกซอนมีจุดเริ่มต้นจากบริเวณส่วนที่หนาที่สุดของเซลล์ประสาทที่เรียกว่า แอกซอนไฮลิล็อกซ์ (Axon Hillock) เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะมีแอกซอนเพียงหนึ่งอัน ปลายของแอกซอนจะแยกเป็นแขนงหลายเส้นและไปสิ้นสุดที่ Terminal Bottons และที่จุดสิ้นสุดนี้จะมีตัวรับกระแสประสาท (Nerve Impulse) ที่เรียกว่า Receptor Zone ซึ่งต่ออยู่กับเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทตัวอื่น กระแสประสาทหรือข้อมูลที่อยู่ในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงไฟฟ้าเคมีจะไปกระตุ้นให้เซลล์ส่งเซลล์ประสาทตัวอื่น และเดนไดรต์จะทำหน้าที่รับกระแสประสาทเซลล์อื่นเข้าสู่เซลล์



รูปที่ 3.1 ระบบเซลล์ประสาท

คุณสมบัติของเซลล์ประสาทโดยทั่วไป คือ จะมีความไวต่อการถูกกระตุ้น เมื่อเซลล์ประสาทถูกกระตุ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของไอออนบริเวณบริเวณ Receptor Zone ซึ่งจะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้น และเมื่อความต่างศักย์ของจุดนี้สูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ก็ทำให้เกิดการส่งสัญญาณกระแสประสาทไปยังเซลล์อื่น

ความต่างศักย์ของเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทขณะพักประมาณ  $-60$  ถึง  $-90$  mV ถ้ามีการกระตุ้นเซลล์ประสาทจะมีการแก้โพลาไรซ์ (Depolarization) ของเยื่อหุ้มเซลล์ หลังจากการแก้โพลาไรซ์จนความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น  $15$  mV แล้ว จะทำให้อัตราการแก้โพลาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจุดนี้จะเรียกว่า Firing Level เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด ( $35$  mV) จะทำให้อัตราการแก้โพลาไรซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว (70%) และจะค่อย ๆ ลดลงกลับเข้าสู่ภาวะปกติ หลังจากเข้าสู่สภาวะปกติแล้วความต่างศักย์จะลดลงต่ำกว่าระดับปกติซึ่งจะเรียกช่วงนี้ว่า After Hyperpolarization ถ้าดับของการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน (After Potential)

กระแสประสาทที่ส่งผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์จะต้องผ่านรอยต่อระหว่าง Terminal Button และ Receptor Zone ซึ่งจะเรียกรอยต่อนี้ว่า ซิแนปส์ (Synapse) การส่งผ่านกระแสประสาทกันระหว่างเซลล์ (Neuron transmission) ซิแนปส์จะปล่อยสารเคมีเพื่อไปกระตุ้น (Excitatory) สำหรับบางกรณีและบางกรณีก็ปล่อยสารเคมีเพื่อยับยั้ง (Inhibitor) และในขณะใด ขณะหนึ่งซิแนปส์ก็จะยอมให้เกิดขึ้นเพียงกรณีก็ปล่อยสารเพื่อยับยั้งการส่งผ่านกระแสประสาท ในกรณีที่ซิแนปส์เกิด

สภาวะกระตุ้นความต่างศักย์ระหว่างผนังเซลล์จะลดลงเป็น  $-58$  mV จะทำให้เกิดการแก้โพลาไรซ์ขึ้น ซึ่งถ้าสูงพอถึงภาวะ Firing Level ก็จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานขึ้น และการที่จะเกิด

สถานะเช่นนี้ขึ้นได้จะต้องอาศัยซีแนปส์ 10 ถึงร้อยตัวในเวลาเดียวกัน โดยขบวนการ Summation ซึ่งซีแนปส์เพียงตัวเดียวจะไม่สามารถกระตุ้นเซลล์ประสาทให้ถึงภาวะ Firing Level

ในสถานะกระตุ้นจะทำให้เกิดส่งผ่านสัญญาณกระแสประสาทไอออนของโซเดียม(Na) โพแทสเซียม(K) และคลอไรด์(Cl) จะซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ให้มากขึ้น ส่วนสถานะยับยั้งโพแทสเซียมและคลอไรด์จะไหลออกจากเซลล์และโซเดียมไม่มีการไหลเข้าสู่เซลล์ซึ่งเป็นเหตุให้ประจุบวกภายในเซลล์เป็นลบมากขึ้น (ประมาณ  $-75$  mV) ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์ประสาทถูกกระตุ้นยากขึ้นกว่าปกติ คือต้องใช้ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น  $16$  mV จึงสามารถกระตุ้นเซลล์ประสาทให้ถึง Firing Level ได้ ซึ่งระยะนี้เรียกว่าระยะการคือ (Refractory Period)



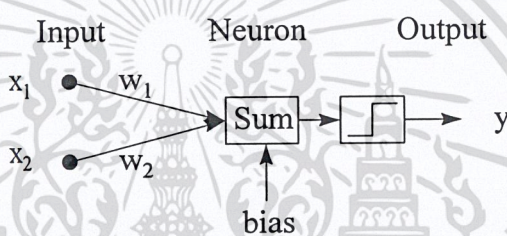
รูปที่ 3.2 การส่งผ่านกระแสประสาทกันระหว่างเซลล์

### 3.3 การจำลองระบบเซลล์ประสาทเทียม

การนำเอาแนวคิดจากความเข้าใจการทำงานของเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิตมาประยุกต์ใช้เป็นแบบจำลองพื้นฐานของเซลล์ประสาทเทียมถูกนำเสนอโดยแม็คคัลลอคและพิตส์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. ๒๔๘๖ โดยมีการทำงานคร่าวๆ แบบเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิตคือ ทำหน้าที่รวมสัญญาณที่เข้ามายังเซลล์ประสาทเทียม ซึ่งเสมือนว่าเป็นสัญญาณที่เข้ามาตามแชนแนลของเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิต แล้วจึงสัญญาณกระตุ้นออกไป หากผลรวมของสัญญาณเข้านั้นมีค่าสูงเกินค่าระดับ (Threshold) ซึ่งก็เสมือนการยิงสัญญาณไฟฟ้าออกทางแอกซอนจากเซลล์ประสาทของสิ่งมีชีวิตนั่นเอง อย่างไรก็ตาม สิ่งที่สำคัญในการจำลองเซลล์ประสาทคือ การจำลองไซแนปส์ทั้งหลายในโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเปรียบเสมือนแหล่งการสะสมความรู้ของสมอง การจำลองไซแนปส์นั้น

ใช้หลักการที่ว่า แต่ละไซแนปส์ทำหน้าที่เป็นตัวปรับเปลี่ยนสภาพสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากเซลล์ประสาทตัวอื่นๆ ก่อนส่งสัญญาณนั้นผ่านแชนแนล-ไดรท์เข้าสู่ตัวเซลล์ประสาท และการปรับเปลี่ยน

สัญญาณดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการเชื่อมต่อบริเวณรอยต่อไซแนปส์ โดยความแข็งแรงนี้จะเปลี่ยนไปตามความรู้ที่สมองได้เรียนเข้าไป แม้คัลลอกซ์และพิตส์เสนอให้ใช้ตัวแปรตัวหนึ่งเรียกว่า "ค่าน้ำหนัก" (Weight) ในการจำลองไซแนปส์ หากค่าน้ำหนักนี้มีขนาดใหญ่ก็จะหมายความว่า ความเหนียวแน่นของรอยต่อไซแนปส์มีค่าสูง นั่นคือส่งผ่านสัญญาณได้มาก หากค่าน้ำหนักนี้มีขนาดเล็กก็หมายความว่าสัญญาณจะส่งผ่านรอยต่อไซแนปส์ได้น้อย นอกจากนี้ ความเป็นบวกหรือลบของค่าน้ำหนักก็มีความหมายเช่นกัน หากค่าน้ำหนักมีค่าเป็นบวกจะหมายความว่าสัญญาณที่วิ่งผ่านรอยต่อไซแนปส์เข้าสู่เซลล์ประสาทเทียมจะเป็นสัญญาณกระตุ้น แต่หากค่าน้ำหนักมีค่าเป็นลบ จะหมายความว่าสัญญาณที่ผ่านรอยต่อไซแนปส์เข้าสู่เซลล์ประสาทเทียมจะมีผลเป็นสัญญาณกด



รูปที่ 3.3 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม

### 3.4 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

#### 3.4.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน

รูปแบบการเรียนรู้แบบมีผู้สอนเริ่มด้วยการส่งสิ่งเร้าที่ใช้ในการสอนเข้าไปเป็นอินพุท (Input) ในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสร้างผลตอบออกมาเป็นเอาต์พุท (Output) ซึ่งผลตอบจะเป็นอย่างไร ก็ขึ้นอยู่กับสถานะในตอนที่เราเริ่มเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ผลตอบดังกล่าวจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลตอบเป้าหมาย (Target response) ซึ่งผู้สอน (Teacher) จะเป็นผู้สร้างขึ้น หากผลตอบทั้งสองมีความแตกต่างกัน นั่นคือ มีความคลาดเคลื่อน (error) เกิดขึ้น ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะถูกนำไปคำนวณการปรับแต่งค่าน้ำหนักต่างๆ ในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อลดความคลาดเคลื่อนลงให้เหลือน้อยที่สุด การปรับแต่งค่าน้ำหนักโดยพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนนี้ จะขึ้นอยู่กับกฎการเรียนรู้หรือขั้นตอนการคำนวณซึ่งเรียกว่า "อัลกอริทึม" (Algorithm) ที่แตกต่างกัน โดยแต่ละอัลกอริทึมจะมีคุณลักษณะและสมรรถนะแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม วิธีการส่วนใหญ่ของการเรียนรู้แบบมีผู้สอนนี้จะดัดแปลงมาจากวิธีการทาง

คณิตศาสตร์ในเรื่องของเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (optimization technique) นั่นเอง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการเรียนรู้แบบมีผู้สอนนั้นสามารถควบคุมได้ การสั่งการ โครงข่ายประสาทเทียมจะเป็นไปโดยทางอ้อม ในลักษณะของการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยการสร้างข้อมูลตัวอย่าง (รวมทั้งค่าเป้าหมาย) ที่จะให้โครงข่ายเรียนรู้ เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ข้อมูลตัวอย่างได้ถูกต้องหมดแล้ว ความรู้ที่โครงข่ายประสาทเทียมได้เก็บไว้ในลักษณะของค่าน้ำหนักต่างๆ จะเป็นสิ่งที่ถูกนำไปใช้งานจริง เพื่อสร้างผลตอบต่อข้อมูลใหม่ๆ ที่โครงข่ายไม่เคยเห็นมาก่อน ดังนั้นสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งๆ และวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนวิธีการหนึ่งๆ นั้น ความรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถนำไปใช้งานจริงได้เพียงใด ก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลตัวอย่างที่นำไปสอนนั้น อาจกล่าวได้ว่า หากข้อมูลตัวอย่างมีจำนวนมากพอ โครงข่ายประสาทเทียมก็จะสามารถสร้างความรู้ได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามด้วยระดับความเจริญก้าวหน้าด้านโครงข่ายประสาทเทียมในปัจจุบันเทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อสร้างข้อมูลตัวอย่าง สำหรับการเรียนรู้ที่ประสิทธิภาพนั้นยังคงเป็นงานวิจัยที่ต้องมีการค้นคว้ากันต่อไป

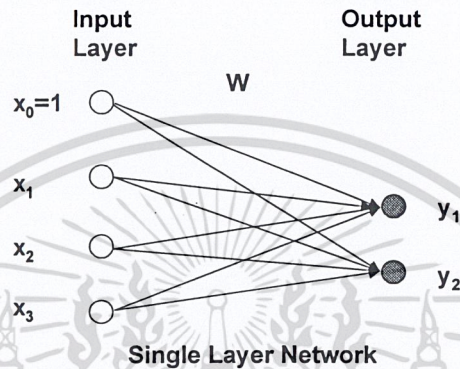
### 3.4.2 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน

การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนั้น ไม่จำเป็นต้องมีค่าเป้าหมายของแต่ละข้อมูลตัวอย่าง ในระหว่างการเรียนรู้ โครงข่ายประสาทเทียมจะได้รับข้อมูลกระตุ้นในรูปแบบต่างๆ และจะทำการจัดกลุ่มรูปแบบต่างๆ เหล่านั้นเองตามต้องการ ผลตอบของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนี้ จะเป็นการระบุดังกลุ่มของข้อมูลที่ใส่เข้าไป โดยจะอิงกับวิธีการจัดกลุ่มซึ่งได้เรียนรู้จากข้อมูลที่โครงข่ายเคยพบมา แม้ว่าการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนี้จะไม่ต้องการผู้สอน แต่ก็ต้องการแนวทางในการจัดกลุ่ม เช่น การจัดกลุ่มอาจจะจัดตามรูปทรง สีหรือวิธีการใช้งานของวัตถุต่างๆ ที่จะนำมาจัดเป็นต้น ดังนั้นหากไม่มีการให้แนวทางที่ชัดเจนว่าการจัดกลุ่มควรเป็นไปตามคุณลักษณะใด การจัดกลุ่มอาจไม่ประสบความสำเร็จในแง่การนำมาใช้งานจริงก็ได้ ตัวอย่างเช่น การให้เด็กจัดของไว้บนชั้นวางของนั้น เด็กอาจจะจัดตามใจชอบและไม่เป็นหมวดหมู่ ทำให้ไม่สะดวกต่อการนำสิ่งของใหม่ๆ เข้าไปเก็บรวมด้วยก็ได้ การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนี้ จึงมักต้องมีการดำเนินการปรับแต่งข้อมูล เพื่อให้เกิดการเน้นสภาพของคุณลักษณะสำคัญ ที่ต้องการนำมาเป็นแนวทางในการจัดกลุ่มให้เด่นชัดขึ้นหรืออาจเป็นการปรับกฎการเรียนรู้ เพื่อให้เน้นไปที่คุณลักษณะที่ต้องการก็ได้ เนื่องจากขั้นตอนการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนี้จะมีการระบุดังกลุ่มของข้อมูลตัวอย่างก่อน เมื่อตัดสินใจได้แล้วว่า ข้อมูลใหม่มีลักษณะที่ควรจัดรวมเข้ากลุ่มใด (หรืออาจถือเป็นกลุ่มใหม่ก็ได้ในกรณีที่ไม่ควรจัดเข้ากลุ่มใดเลย) หลังจากนั้น จึงมีการปรับคุณลักษณะของกลุ่ม โดยการนำลักษณะของข้อมูลใหม่นี้มาช่วยกำหนดแนวทางการจัดด้วย ในการตัดสินใจว่าข้อมูลใหม่นี้ควรจัดรวมเข้ากลุ่มใด ในโครงข่ายประสาทเทียมบางชนิดอาจจะใช้วิธีการแข่งขันกันของกลุ่มต่างๆ ว่ากลุ่มใดควรได้ข้อมูลดังกล่าวไป การเรียนรู้ในลักษณะนี้จะถูกเรียกว่า การเรียนรู้แบบแข่งขันกัน (Competitive Learning) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม

แนวคิดมุมมองใหม่ของโครงข่ายประสาทเริ่มจากงานของ Warren McCulloch และ Walter Pitts ในช่วงทศวรรษ ค.ศ. 1940 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมถูกนำเสนอและแสดงให้เห็นว่า ในหลักการแล้วสามารถนำมาใช้คิดฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือลอจิกได้ สัญลักษณ์ของแบบจำลองหน่วยประสาทเทียมแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

$X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$

เป็นค่าข้อมูลเข้าหน่วยประสาทเทียม

$W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$

เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลเข้าหน่วยประสาทเทียม

$Y_1, Y_2$

เป็นผลลัพธ์ของหน่วยประสาทเทียม

จะได้สมการของผลลัพธ์เป็นดังนี้

$$O = f(W_{11}X_1 + W_{12}X_2 + W_{13}X_3 + \dots + W_{1n}X_n + b)$$

สามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้เป็น

$$Y = f(W_n X_n + b)$$

หน่วยประสาทเทียมเรียนรู้ได้โดยรับข้อมูลตัวอย่างเข้ามาจำนวนหนึ่งแล้วค่อยๆทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจนได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์ที่ต้องการมากที่สุด สำหรับหน่วยประสาทที่มี

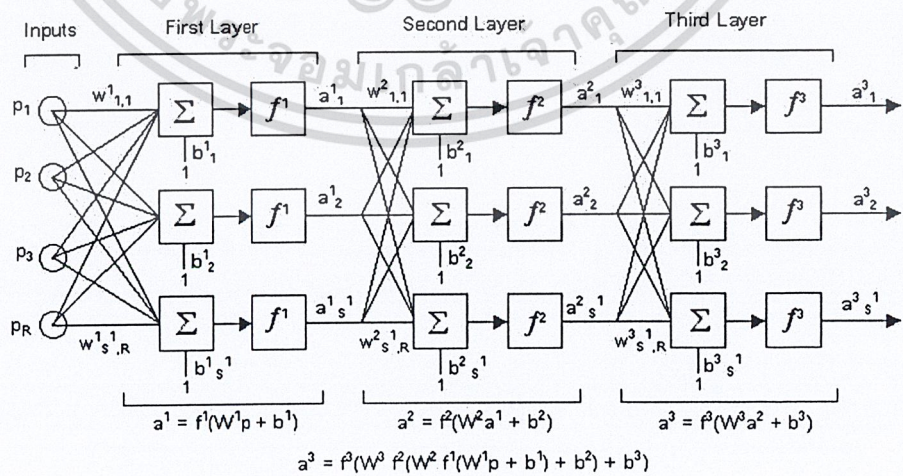
ฟังก์ชันการแปลงถ่ายทอดข้อมูลแบบ Hard Limit คือค่าของผลลัพธ์เป็นได้เพียง 0 หรือ 1 เท่านั้น เอกสารนี้ฟังก์ชันการแปลงถ่ายทอดข้อมูลแบบ Hard Limit คือค่าของผลลัพธ์เป็นได้เพียง 0 หรือ 1 เท่านั้น ไม่ว่าจะเรียกว่าเพอร์เซปตรอน (perceptron) จากการศึกษาพบว่าหน่วยประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนที่

มีหลายอินพุตสามารถนำมาเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหาที่มีเส้นขอบเขตการตัดสินใจค่าผลลัพธ์เป็นเชิงเส้นได้

### 3.6 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ( Multi-Layers Neural Networks )

หน่วยประสาทเทียมสามารถนำมาต่อกันเป็นโครงข่ายหลายชั้น โดยแต่ละชั้นมีหน่วยประสาทเทียมมากกว่าหนึ่งตัวได้ สัญลักษณ์ของแบบจำลองหน่วยประสาทเทียมแบบหลายชั้นแสดงได้ดังรูปที่ 3 หน่วยประสาทเทียมชั้นที่รับข้อมูลเข้ามาเรียกว่า “input layer” หน่วยประสาทเทียมชั้นสุดท้ายที่ส่งข้อมูลออกไปเป็นผลลัพธ์เรียกว่า “output layer” ส่วนหน่วยประสาทเทียมชั้นเรียกว่า “hidden layer” การนับจำนวนชั้นของโครงข่ายจะนับจากจำนวนชั้นของเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก จำนวนหน่วยประสาทเทียมของแต่ละชั้นไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ฟังก์ชันการแปลงถ่ายทอดของแต่ละชั้นไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน โครงข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 3 เป็นแบบส่งผ่านข้อมูลไปข้างหน้า (feed-forward networks) ส่วนโครงข่ายที่มีการนำข้อมูลขาออกย้อนกลับมาเป็นข้อมูลเข้าเรียกว่าโครงข่ายแบบย้อนกลับ (recurrent networks)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นสามารถนำมาแก้ปัญหาที่ซับซ้อนมากได้ ผลลัพธ์ของปัญหาที่ต้องการแก้ไม่จำเป็นต้องมีเส้นขอบเขตการตัดสินใจแบบเชิงเส้น ความสามารถและประสิทธิภาพของโครงข่ายอยู่ที่การเลือกรูปแบบการต่อโครงข่ายและวิธีการเรียนรู้ปรับ เพื่อค่าถ่วงน้ำหนัก โครงข่ายแบบสองชั้นที่มีฟังก์ชันการแปลงชั้นแรกเป็นแบบโค้งตัวเอส (sigmoid) และชั้นที่สองเป็นแบบเชิงเส้น (linear) สามารถสอนให้เรียนรู้เพื่อประมาณหาฟังก์ชันส่วนใหญ่ได้ มีการศึกษาและนำเสนอชนิดของโครงข่ายประสาทเทียมหลายรูปแบบและมีการเสนอการเรียนรู้ของโครงข่ายหลายวิธี

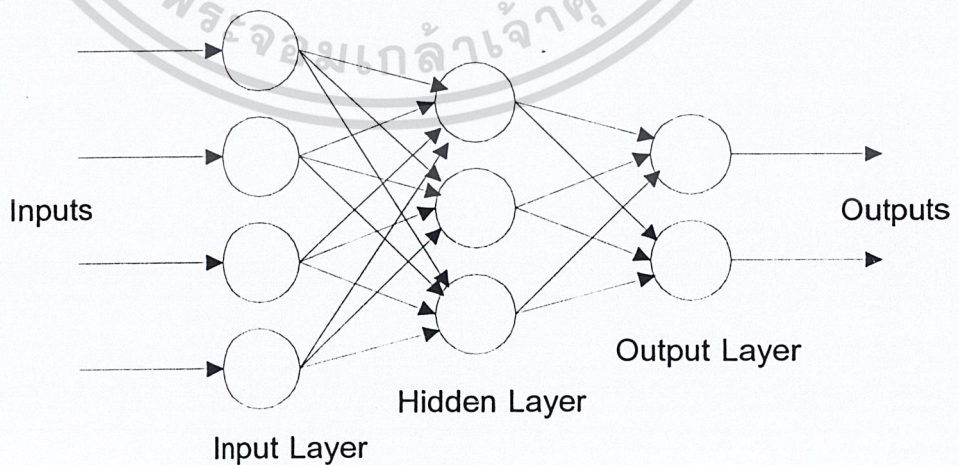


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้ารูปที่ 3.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ มีการทำงานแบบขนานจำนวนมาก ในที่นี้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซพตรอนหลายชั้น (Multilayer Neural Network:MLP) หรือโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Feedforward Backpropagation Neural Network) ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบต้องมีผู้สอน (Supervised Learning)

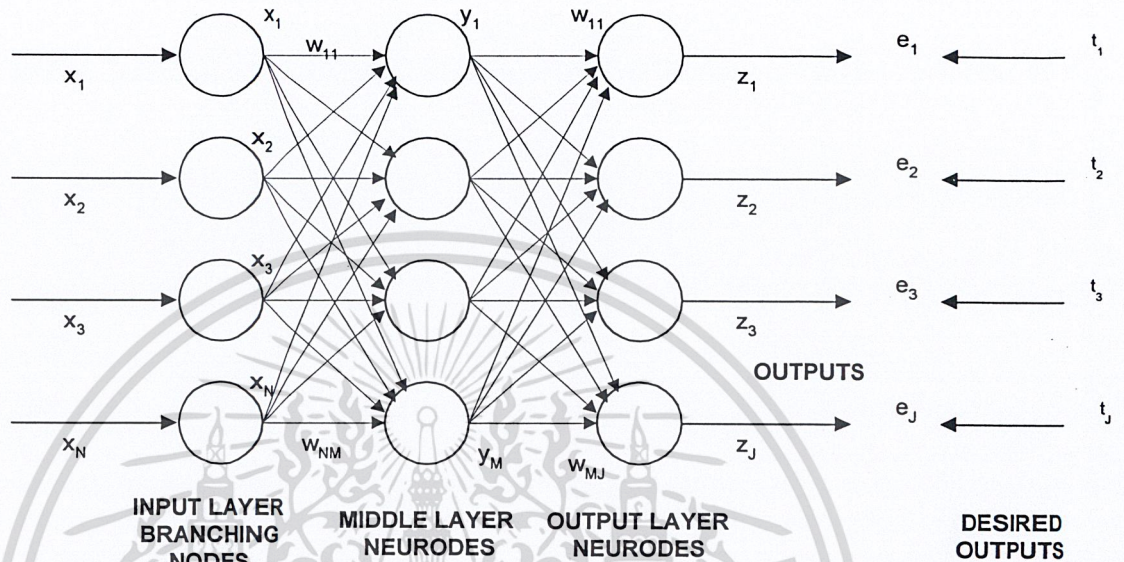
1. สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ หรือแบบเพอร์เซพตรอนหลายชั้นมีลักษณะหลักๆ ดังนี้คือ

- จำนวนชั้นต่างๆ โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยชั้นต่างๆ คือ ชั้นอินพุต (Input layer) ชั้นเอาต์พุต (Output layer) และชั้นซ่อน (Hidden layer) ซึ่งจะอยู่ระหว่างชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต
- การเชื่อมต่อระหว่างชั้นต่างๆ การเชื่อมต่อระหว่างชั้นต่างๆนั้น ทุกๆ โหนดในชั้นอินพุตจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ โหนดในชั้นซ่อนชั้นแรก และทุกๆ โหนดในชั้นซ่อนชั้นแรกจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ โหนดในชั้นถัดไป จนในที่สุดทุกๆ โหนดในชั้นซ่อนชั้นสุดท้าย จะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ โหนดในชั้นเอาต์พุต
- การทำงานของชั้นต่างๆ ชั้นอินพุตไม่มีการประมวลผลทำหน้าที่รับสัญญาณเข้าแล้วกระจายออกไปยังแต่ละโหนด ในชั้นถัดไปเท่านั้น ส่วนชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต นั้นมีการประมวลผล จากรูปแสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซพตรอนหลายชั้น ซึ่งจะประกอบไปด้วย ชั้นของอินพุต ชั้นซ่อนจำนวน 1 ชั้น และชั้นของเอาต์พุต โดยแต่ละโหนดจะถูกเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.6** สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับอธิบายขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับแบบพื้นฐานที่มีชั้นกลาง 1 ชั้น พร้อมตัวแปรต่างๆ



รูปที่ 3.7 สถาปัตยกรรมการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

โดยที่

- $x_n$  อินพุตโหนดที่  $n$  มีทั้งหมด  $N$  โหนด
- $s_m$  เอาต์พุตของชั้นซ่อน ก่อนทำการปรับค่า (activation) เป็น  $y_m$
- $y_m$  เอาต์พุตของชั้นซ่อน หลังทำการปรับค่าของโหนดที่  $m$  มีทั้งหมด  $M$  โหนด
- $v_j$  เอาต์พุตของชั้นเอาต์พุต ก่อนทำการปรับค่า (activation) เป็น  $z_j$
- $z_j$  ค่าเอาต์พุตที่ได้ทำการปรับค่าแล้วของชั้นเอาต์พุตโหนดที่  $j$  มีทั้งหมด  $J$  โหนด
- $t_j$  เอาต์พุตที่ต้องการที่ชั้นเอาต์พุตโหนดที่  $j$  มีทั้งหมด  $J$  โหนด
- $w_{nm}$  น้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นอินพุต กับชั้นซ่อน
- $w_{mj}$  น้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นซ่อน กับชั้นเอาต์พุต
- $\eta$  อัตราการเรียนรู้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1
- $r$  จำนวนรอบที่จะทำการเรียนรู้ มี  $R$  เป็นจำนวนรอบที่กำหนด

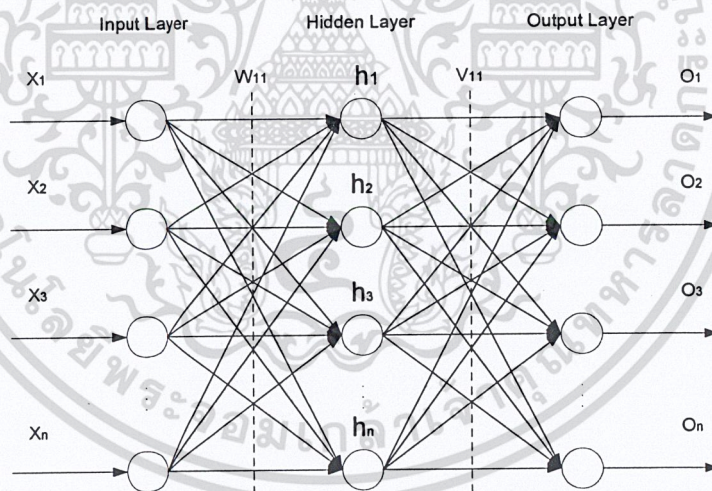
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการเผยแพร่ข้อมูลไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์โครงข่ายเทียม

การนำสัญญาณดิจิทัลและอนาลอกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมจากโครงข่ายระบบ ซึ่งประกอบด้วยตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนอินพุต อาทิเช่น ตัวตรวจจับทางเดินนาร์่อง ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางตัว ตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรด ตัวตรวจจับทางแยก ตัวตรวจจับสถานี ตัวตรวจจับตำแหน่ง ตัวตรวจจับความเร็ว ตัวตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่ เป็นต้น และมีส่วนเอาต์พุต คือ มอเตอร์ขับเคลื่อนซ้าย มอเตอร์ขับเคลื่อนขวา เราจะนำสัญญาณอินพุตทั้งหมดซึ่งแบ่งได้เป็น แบบอนาลอกและแบบดิจิทัลมาป้อนเป็นส่วนอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แตกต่างกัน คือ เป็นแบบอนาลอกและแบบดิจิทัล ดังนั้น จึงต้องมีการจัดการในส่วนของอินพุตก่อนจะนำไปป้อนให้โครงข่ายประสาทเทียม

#### 3.7.1 การนำสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

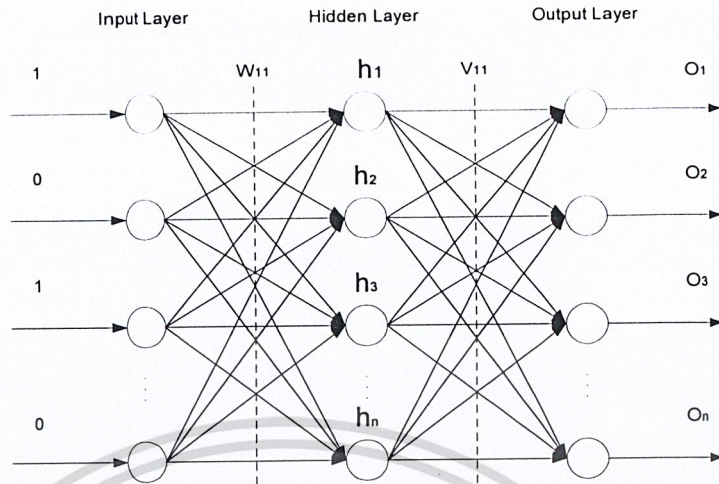
เนื่องจากสัญญาณทางดิจิทัลมีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเป็นช่วงไม่ต่อเนื่อง คือ ลอจิก 1 และลอจิก 0 ดังนั้นจึงสามารถนำเข้าไปเป็นอินพุตของโครงข่ายเทียมได้เลยโดยไม่ต้องมีการปรับแต่งสัญญาณ



รูปที่ 3.8 โครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไป

สัญญาณนำเข้าแบบดิจิทัล คือ มีลอจิกเป็น 0 และลอจิก 1 วงจรที่เป็นสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลมีดังนี้ วงจรตรวจจับทางเดินนาร์่องแบบดิจิทัลโดยใช้ตัวตรวจจับแบบอินฟาเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การนำสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการนำสัญญาณอินพุตแบบดิจิทัลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม วิธีของการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม มีรายละเอียดดังนี้

1. ทำการกำหนดค่าน้ำหนัก โดยใช้วิธีการสุ่มด้วยค่าน้อย ๆ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 โดยกำหนดให้  $W$  มีขนาด  $M$  แถว และ  $N$  คอลัมน์

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & \dots & W_{2n} \\ W_{31} & W_{32} & W_{32} & \dots & W_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & W_{m3} & \dots & W_{mn} \end{bmatrix}$$

และ  $V$  เป็นเมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นฮิดเดนไปยังชั้นเอาต์พุต ซึ่งมีขนาด  $L$  แถว และ  $M$  คอลัมน์

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & \dots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & \dots & V_{2n} \\ V_{31} & V_{32} & V_{32} & \dots & V_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{m1} & V_{m2} & V_{m3} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการสุ่มค่าถ่วงน้ำหนักของ  $W$  และ  $V$  แล้วจะได้ค่าดังตัวอย่าง

$$W = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.5 & 0.8 & \dots & 1.0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & \dots & 0.0 \\ 0.7 & 0.4 & 0.2 & \dots & 0.0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.7 & 0.5 & 0.1 & \dots & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.5 & 0.5 & \dots & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.1 & \dots & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & \dots & 0.4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1.0 & 1.0 & 0.8 & \dots & 0.0 \end{bmatrix}$$

เมื่อได้ค่าเมตริกซ์  $W$  และ  $V$  เรียบร้อยแล้วจะทำการอ่านค่าของอินพุตจากไฟล์ข้อกำหนดหรือจากสัญญาณอินพุตของวงจรดิจิทัลเข้ามาเป็นค่าของอินพุตเลขอร์  $X$  ของโครงข่ายประสาทเทียม

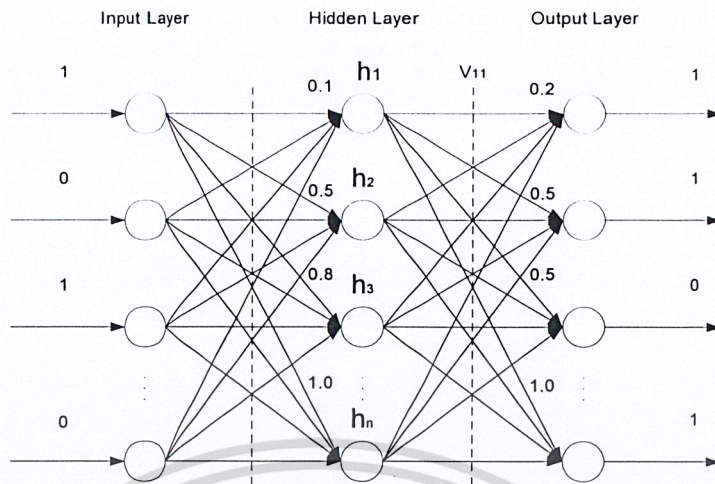
$$X = [1 \ 0 \ 1 \ \dots \ 0]$$

จากนั้นกำหนดค่าเอาพุตเป้าหมาย  $OT$  ซึ่งมีค่าเป็นดิจิทัล เช่นกัน

$$OL = [1 \ 1 \ 0 \ \dots \ 1]$$

จากค่าของอินพุตที่นำเข้ามาทำให้เป็นไบโพลาร์ ถ้าข้อมูลเดิมเป็น 0 ให้ข้อมูลใหม่เป็น -1 และถ้าข้อมูลเดิมเป็น 1 ให้ข้อมูลใหม่เป็น 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การกำหนดค่าอินพุตเลเยอร์ เฮดเลเยอร์ และค่าน้ำหนัก W และ V

2. เมื่อทำการป้อนเซตของข้อมูลที่ใช้สอนเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม จะสามารถคำนวณ โหนดของฮิดเดนที่ m ได้ดังนี้

$$net_m = \sum_{n=1}^N W_{mn} \cdot V_n$$

$net_m$  คือ ค่ารวมของผลคูณของค่าถ่วงน้ำหนัก W กับค่าอินพุต ดังนั้น จะได้ค่าของข้อมูล ที่ฮิดเดนเลเยอร์ เป็นเมตริกซ์แนวอน  $net_m$

$$net_m = [1 \ 0 \ 1 \ \dots \ 0] \cdot \begin{bmatrix} 0.1 & 0.5 & 0.8 & \dots & 1.0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & \dots & 0.0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.2 & \dots & 0.0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.7 & 0.5 & 0.1 & \dots & 0.0 \end{bmatrix}$$

การคำนวณค่า  $net_1$  ในชั้นฮิดเดน

$$net_1 = [1 \ 0 \ 1 \ \dots \ 0] \cdot \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.7 \\ \vdots \\ 0.7 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

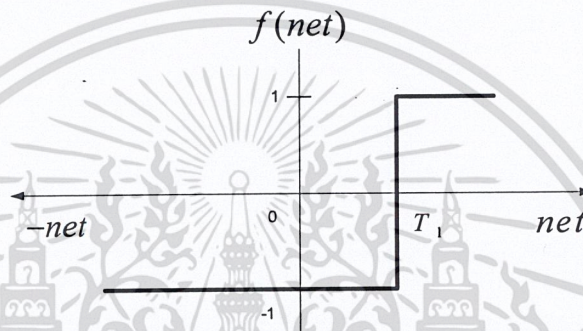
$$net_1 = (1 \times 0.1) + (0 \times 0.2) + (1 \times 0.7) + \dots + (0 \times 0.7)$$

เมื่อคำนวณทุกโหนดแล้วจะได้ค่าเป็นเมตริกซ์ในชั้นฮิดเดน คือ

$$net = [net_1 \quad net_2 \quad net_3 \quad \dots \quad net_m]$$

จากนั้นนำค่า  $net$  ไปหาค่าเทรสโฮลต์

$$h = f(net_m)$$



รูปที่ 3.11 สมการการกระตุ้น (Activation Function)

$$f(net) = \begin{cases} -1 & \text{if } net < T_1 \\ 1 & \text{if } net \geq T_1 \end{cases}$$

จากความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน  $f(net_m)$  นี้ ข้อมูลของโหนดฮิดเดนเลเยอร์ จะมีค่าได้เป็นลอจิก 1 และ -1 เท่านั้น เนื่องจากถ้าผลรวมของค่าผลรวมของค่า  $net$  ตัวใด ถ้ามีค่ามากกว่า 0.5 ค่าเอาต์พุตของฮิดเดนเลเยอร์นั้น จะมีค่าเป็น 1 และถ้าค่าผลรวมของ  $net$  นั้น ถ้าน้อยกว่า 0.5 แล้ว ค่าเอาต์พุตของฮิดเดนเลเยอร์นั้น จะมีค่าเป็น -1 ดังนั้น เมตริกซ์ฮิดเดนเลเยอร์จะเป็นเมตริกซ์ตามแนวนอน และมีค่าเป็น 1 และ -1

$$h = [1 \quad -1 \quad -1 \quad \dots \quad 1]$$

### 3. ทำการคำนวณหาเอาต์พุตในชั้นเอาต์พุตโดยวิธีการเดียวกับข้อ 2

$$net_m = \sum_{n=1}^N W_{mn} \cdot V_n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$net_m = [1 \ 0 \ 1 \ \dots \ 0] \cdot \begin{bmatrix} 0.1 & 0.5 & 0.8 & \dots & 1.0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & \dots & 0.0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.2 & \dots & 0.0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.7 & 0.5 & 0.1 & \dots & 0.0 \end{bmatrix}$$

การคำนวณค่า  $net_1$  ในชั้นเอาต์พุต

$$net_1 = [1 \ 0 \ 1 \ \dots \ 0] \cdot \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.7 \\ \vdots \\ 0.7 \end{bmatrix}$$

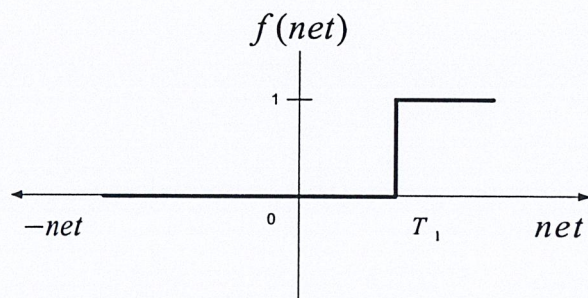
$$net_1 = (1 \times 0.1) + (0 \times 0.2) + (1 \times 0.7) + \dots + (0 \times 0.7)$$

เมื่อกำหนดทุกโหนดแล้วจะได้ค่าเป็นเมตริกซ์ในชั้นเอาต์พุต คือ

$$net = [net_1 \ net_2 \ net_3 \ \dots \ net_m]$$

จากนั้นนำค่า  $net$  ไปหาค่าเทรสโฮลด์

$$O = f(net)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.12** สมการการกระตุ้น (Activation Function)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบสิ่งเนื้อหาและต่อยอดไปยังเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$O = [1 \ 0 \ 1 \ \dots \ -1]$$

ดังนั้น เมตริกซ์เอาต์พุตเลเยอร์จะเป็นเมตริกซ์ตามแนวนอน และมีค่าเป็น 1 และ 0

4. เมื่อคำนวณชั้นของเอาต์พุตครบทุกโหนดแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย โดยใช้ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ระหว่างค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการของแพทเทิร์นที่ P ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^{Pattern} (O_{ip} - O_p)^2$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot ((1-1) + (1-0) + (1-1) + \dots + (0-0))^2$$

5. ทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นเอาต์พุตกับชั้นฮิดเดนสำหรับแพทเทิร์น ซึ่งสามารถทำได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} \Delta V &= -\eta \frac{\partial E_p}{\partial V} \\ &= \alpha V + \eta \delta_p^v h_p \end{aligned}$$

โดยที่ความคลาดเคลื่อนภายในของเอาต์พุต คือ

$$\delta_p^v = (D_p - O_p) O_p (1 - O_p)$$

$\alpha$  เป็นค่าโมเมนตัม

$\eta$  เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นฮิดเดนกับชั้นเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} + \Delta V & V_{12} + \Delta V & V_{13} + \Delta V & \dots & V_{1n} + \Delta V \\ V_{21} + \Delta V & V_{22} + \Delta V & V_{23} + \Delta V & \dots & V_{2n} + \Delta V \\ V_{31} + \Delta V & V_{32} + \Delta V & V_{32} + \Delta V & \dots & V_{3n} + \Delta V \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{m1} + \Delta V & V_{m2} + \Delta V & V_{m3} + \Delta V & \dots & V_{mn} + \Delta V \end{bmatrix}$$

- 6. ทำการคำนวณกลับจากชั้นเอาต์พุตไปยังชั้นฮิดเดนโดยใช้ค่า  $v$  ใหม่ และใช้ฟังก์ชันกระตุ้น แบบเดิม
- 7. ปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นฮิดเดนกับชั้นอินพุตสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta W = \alpha W + \eta \delta_p^w x_p$$

โดยที่ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนภายในชั้นฮิดเดน คือ

$$\delta_p^w = h_p(1-h_p)(\delta_p^v)$$

- $\alpha$  เป็นค่าโมเมนตัม
- $\eta$  เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นฮิดเดนกับชั้นเอาต์พุต

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} + \Delta W & W_{12} + \Delta W & W_{13} + \Delta W & \dots & W_{1n} + \Delta W \\ W_{21} + \Delta W & W_{22} + \Delta W & W_{23} + \Delta W & \dots & W_{2n} + \Delta W \\ W_{31} + \Delta W & W_{32} + \Delta W & W_{32} + \Delta W & \dots & W_{3n} + \Delta W \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} + \Delta W & W_{m2} + \Delta W & W_{m3} + \Delta W & \dots & W_{mn} + \Delta W \end{bmatrix}$$

- 8. ทำการคำนวณซ้ำในข้อ 2 จนกระทั่งค่าความผิดพลาดรวมมีค่าน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้จากข้อ 1 ถึง 8 จะเห็นว่าค่าอินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายจะไม่มีเปลี่ยนแปลงค่า ในขณะที่ค่าเมตริกซ์  $W$ ,  $V$  และค่าโหนดฮิดเดน มีการเปลี่ยนแปลงในทุกรอบของการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.2 การนำสัญญาณอนาลอกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

สัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณที่ต่อเนื่อง มีค่าได้มากมายไม่จำกัด เอาต์พุตของสัญญาณอนาลอกจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับแหล่งจ่ายแรงดัน สัญญาณอนาลอกที่ใช้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 โวลต์ ถึงค่ามากที่สุดเป็น 5 โวลต์ มีความต่อเนื่องจากสัญญาณอนาลอกมีความต่อเนื่อง ดังนั้นสัญญาณทางไฟฟ้าระหว่าง 0 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ จึงมีค่ามากมายจนเป็นอนันต์ เช่น 0.0000001, 0.001, 0.002... จนถึง 5 โวลต์ ดังนั้นการจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปเป็นอินพุตของโครงข่ายเทียม จึงต้องใช้แพทเทิร์นจำนวนมากมายมหาศาลและไม่เหมาะสมกับระบบที่ใช้ เพราะจะทำให้ขั้นตอนในการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นไปอย่างล่าช้ามาก และจะต้องใช้หน่วยความจำมาก วิธีการที่จะต้องจัดการสัญญาณทางอนาลอก คือ จะต้องแบ่งสัญญาณอนาลอกของช่วงอินพุต, ฮิดเดน และเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม

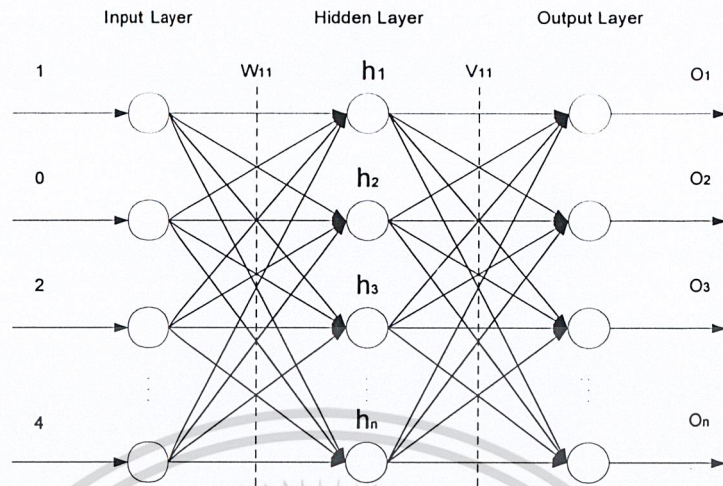
- 0.0 โวลต์ ถึง 1.0 โวลต์ เป็นช่วงที่ 1
- > 1.0 โวลต์ ถึง 2.0 โวลต์ เป็นช่วงที่ 2
- > 2.0 โวลต์ ถึง 3.0 โวลต์ เป็นช่วงที่ 3
- > 3.0 โวลต์ ถึง 4.0 โวลต์ เป็นช่วงที่ 4
- > 4.0 โวลต์ ถึง 5.0 โวลต์ เป็นช่วงที่ 5

จากวิธีการนี้ จะเห็นว่ามีความละเอียดของข้อมูลมากกว่าแบบดิจิทัลมาก สำหรับอุปกรณ์ให้สัญญาณแบบอนาลอกคือตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบอนาลอก, ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอนาลอก เป็นต้น การนำสัญญาณอินพุตเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมของสัญญาณแบบอนาลอกจะมีขั้นตอนการคำนวณเหมือนกับวิธีทางดิจิทัล

#### ขั้นตอนการทำงานของสัญญาณอนาลอก

1. ทำการกำหนดค่าน้ำหนัก โดยวิธีการสุ่มด้วยค่าระหว่าง  $-1$  และ  $1$  โดยกำหนดให้  $W$  เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นอินพุตกับฮิดเดน ซึ่ง  $W$  มีขนาด  $M$  แถวและ  $N$  คอลัมน์ และ  $V$  เป็นเมตริกซ์ ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นฮิดเดนไปยังชั้นเอาต์พุต ซึ่งมีขนาด  $L$  แถวและ  $M$  คอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การนำสัญญาณนอกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & \dots & W_{2n} \\ W_{31} & W_{32} & W_{32} & \dots & W_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & W_{m3} & \dots & W_{mn} \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & \dots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & \dots & V_{2n} \\ V_{31} & V_{32} & V_{32} & \dots & V_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{m1} & V_{m2} & V_{m3} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix}$$

ทำการสุ่มค่าน้ำหนักด้วยค่าระหว่าง -1 ถึง 1

$$W = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0.5 & \dots & -0.5 \\ 0.2 & 0.3 & -0.3 & \dots & -0.1 \\ 0.1 & 0.2 & -0.1 & \dots & 0.9 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1.0 & -1 & -0.3 & \dots & 0.1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = \begin{bmatrix} -1 & -0.5 & -0.7 & \dots & 0.2 \\ -1 & -0.2 & 0.8 & \dots & 0.2 \\ -1 & 0.2 & 0.1 & \dots & 0.4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0.3 & -0.1 & \dots & -0.6 \end{bmatrix}$$

2. ทำการคำนวณตามวิธีของโครงข่ายประสาทเทียม เหมือนกับข้อมูลแบบดิจิทัลจนถึงข้อ 8



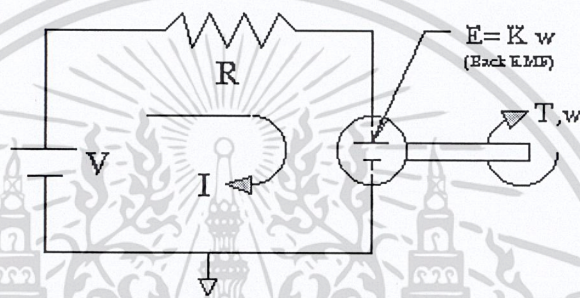
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### มอเตอร์ (motor)

#### 4.1 การทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลได้ โดยมีคุณสมบัติคือแรงบิดที่เพลลาของดีซีมอเตอร์จะแปรผันตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดที่เพลลาของดีซีมอเตอร์จะแปรผันตรงกับกระแส อาร์มาเจอร์



รูปที่ 4.1 วงจรมอเตอร์ดีซี

ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำ จะสร้างสนามที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi$  และขดลวดตัวนำเหล่านั้น อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ  $r$  สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสได้ดังสมการ

$$T = K\Phi_f I_a$$

เมื่อ	T	คือแรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็น N-m
	$\phi$	คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น waber
	I	คือกระแส มีหน่วยเป็น A
	K	คือค่าคงที่

จะเห็นว่าความสัมพันธ์แรงบิดของเพลลานั้น จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส โดยเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ก็จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันเอง โดยที่ค่าแรงดันนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของมอเตอร์และด้านการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลของกระแส ความสัมพันธ์ของแรงดันย้อนกลับกับความเร็วของเพลามอเตอร์ แสดงได้ดังสมการ

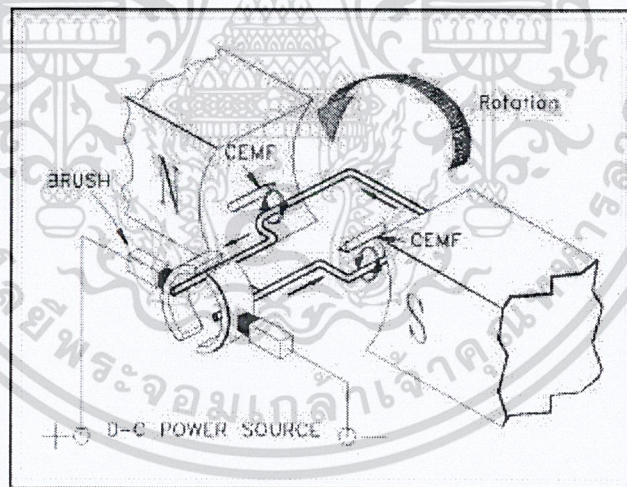
$$Tg = J \frac{d\omega}{dt} - B\omega + T_r + T_L$$

- E คือแรงดันย้อนกลับ(Back e.m.f.) มีหน่วยเป็น V
- $\phi$  คือเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น waber
- $\omega$  คือความเร็วของมอเตอร์ มีหน่วยเป็น rad/s

ดีซีมอเตอร์นั้นสามารถแยกประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กออกได้เป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

- ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
- ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

โดยในที่นี่จะกล่าวถึงเฉพาะแบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่เท่านั้น ซึ่งมักจะใช้เป็นแบบแม่เหล็กถาวร แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4.2 โครงสร้าง DC Motor แบบแม่เหล็กถาวร

ในระบบนี้เส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กจะมีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่

$$T = K_t I$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = Ke\omega$$

โดยที่เราจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างอาร์มาเจอร์ แรงบิด และความเร็วของมอเตอร์ เป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นสมการทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์แบบนี้จะสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$V = Ke\omega + L \frac{di}{dt} + R_i$$

- V คือแรงดันที่ป้อนให้กลับมอเตอร์  
 Ke คือค่าคงที่ของแรงดันย้อนกลับ (Back e.m.f.)  
 L คือค่าอินดักแตนซ์ของอาร์มาเจอร์  
 R คือค่าความต้านทานของขั้วมอเตอร์

สมการไดนามิกส์ของมอเตอร์ คือ

$$Tg = J \frac{d\omega}{dt} - B\omega + T_r + T_L$$

- Tg คือแรงบิดที่กำเนิดโดยอาร์มาเจอร์  
 J คือผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด  
 B คือสัมประสิทธิ์ของวิสกอสแคมป์ปิ้ง  
 T<sub>r</sub> คือแรงบิดเสียดทานภายใน  
 T<sub>L</sub> คือแรงบิดโหลด

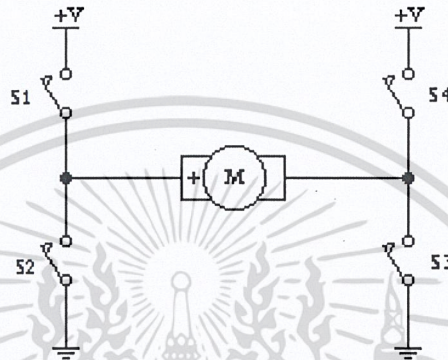
มอเตอร์แบบสนามแม่เหล็กถาวรนั้น จะมีข้อดีที่เหนือกว่ามอเตอร์แบบที่มีโครงสร้างของสนามแม่เหล็กด้วยการพันขดลวด คือ ไม่มีกำลังสูญเสียในสนามแม่เหล็ก และมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่า เมื่อเทียบกลับมอเตอร์ที่มีกำลังแรงม้าเท่ากัน นอกจากนี้ความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้น ยังให้ค่าของกระแสอาร์มาเจอร์ที่สูงกว่าดีซีมอเตอร์แบบสนามแม่เหล็กเป็นขดลวด เหมาะกับการประยุกต์ใช้งานกับระบบที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching

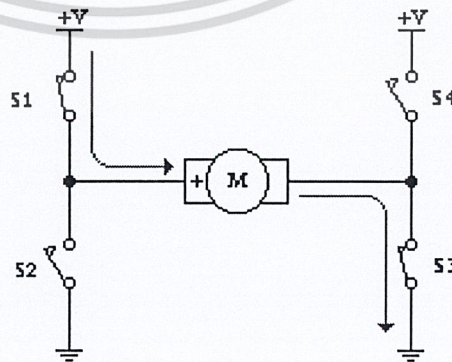
### Switching

เริ่มจากหลักการของวงจรมันั้น จะประกอบไปด้วย สวิตช์ 4 ตัว นั่นก็คือ S1 ,S2 ,S3 และ S4 นั้นเอง ซึ่งในรูปตัวอย่าง จะใช้ DC-Motor เป็น Load ของวงจรมันั้นเอง



รูปที่ 4.3 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching

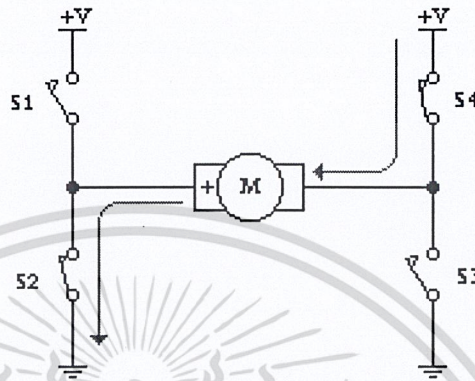
ในสภาวะเริ่มต้น สวิตช์ ทุกตัว Off อยู่ ก็จะไม่ทำอะไรเกิดขึ้นทั้งสิ้น เพราะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่มอเตอร์ และเมื่อเราทำการ On สวิตช์ S1 และ S3 พร้อมกัน จะเป็นการเชื่อมวงจร ทำให้มีกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านมอเตอร์ จากขั้วบวกของมอเตอร์ ไปยังขั้วลบของมอเตอร์ จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ ในทิศทาง Forward (จะหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา หรือทวนเข็มนาฬิกานั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของ การพันขดลวดภายในมอเตอร์)



รูปที่ 4.4 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching ในทิศทาง Forward

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในโครงการด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกันถ้าหากเราทำการ On สวิตช์ S2 และ S4 พร้อมกัน ก็จะเป็นการเชื่อมวงจร และทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์จากขั้วลบของมอเตอร์ไปยังขั้วบวกของมอเตอร์ จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ และเป็นการหมุนในทิศทาง Revert (กลับทิศทางกับกรณีแรก)



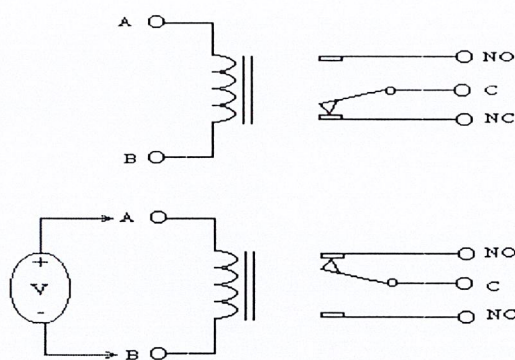
รูปที่ 4.5 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching ในทิศทาง Revert

### 4.3 การควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor สร้างวงจร H-Bridge Switching จาก Relay

โครงสร้างของรีเลย์จะประกอบไปด้วยขดลวด (Coil) 1 ชุด และหน้าสัมผัส (Contactor) ซึ่งในหน้าสัมผัส 1 ชุด จะประกอบไปด้วย

- หน้าสัมผัสแบบปกติปิด (Normally Close หรือ NC) ซึ่งในสภาวะปกติ ขานี้จะต่ออยู่กับขาร่วม (Common)
- หน้าสัมผัสแบบปกติเปิด (Normally Open หรือ NO) ซึ่งในสภาวะปกติ ขานี้จะต่อเข้ากับขาร่วม (Common) เมื่อขดลวดมีแรงดันตกคร่อม หรือกระแสไหลผ่าน (ในปริมาณที่เพียงพอ)

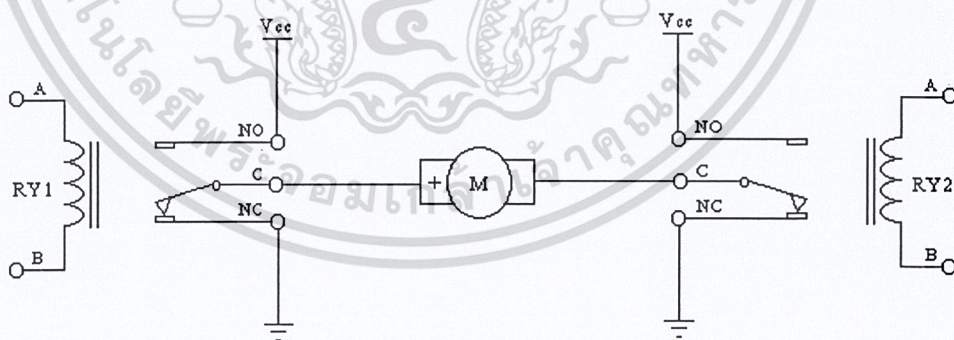
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 โครงสร้างของ รีเลย์

ในรีเลย์ 1 ตัว อาจมีหน้าสัมผัสมากกว่า 1 ชุด เช่น 2 ชุด 4 ชุด เป็นต้น เมื่อขดลวดได้รับแรงดันตกคร่อม (ขา A และ B) จะทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวด ซึ่งจะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็ก ดึงดูดให้หน้าสัมผัส NO และ C ติดกัน

วงจรที่เรานำมาเป็นตัวอย่างประกอบไปด้วย รีเลย์ 2 ตัว คือ RY1 และ RY2 ซึ่ง Load ก็คือ DC-Motor ซึ่งต่ออยู่กับขาร่วมของ RY1 และ RY2 โดยขั้วบวกของมอเตอร์ ต่ออยู่ที่ขา C ของ RY1 และขั้วลบของมอเตอร์ ต่ออยู่ที่ขา C ของ RY2 โดยที่ขา NO ของ RY1 และ RY2 จะต่ออยู่กับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟที่จะจ่ายให้มอเตอร์ (Vcc) และขา NC ของ RY1 และ RY2 จะต่อลงกราวด์

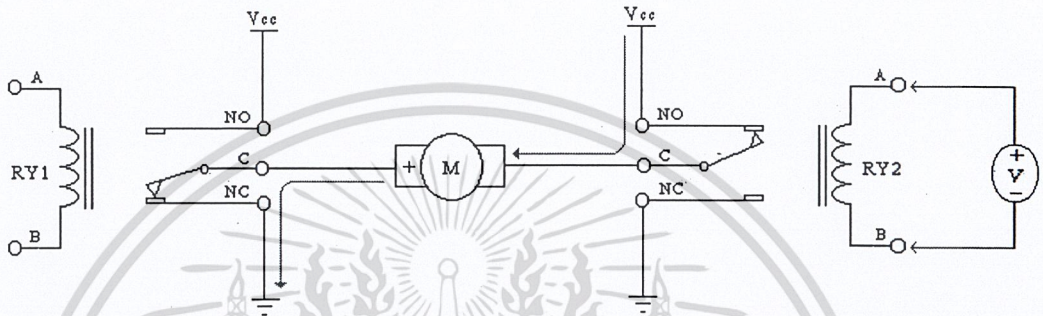


รูปที่ 4.7 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**กรณีที่ RY1 ทำงาน**

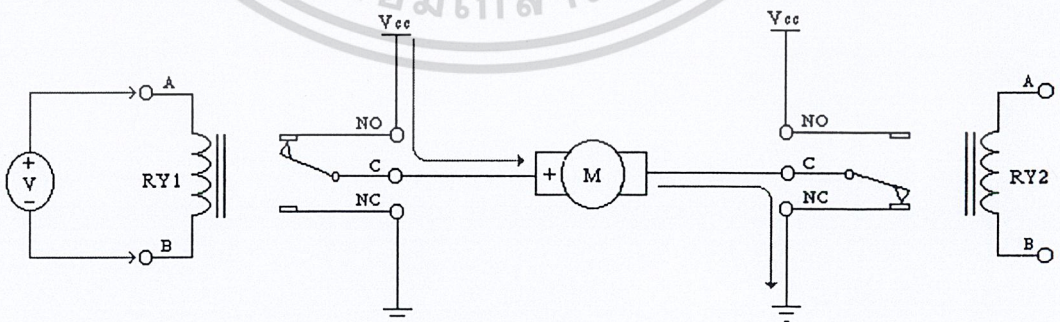
เมื่อ RY1 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดึงดูดให้ขา NO และขา C ของ RY1 ดัดกัน ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (Vcc) ผ่านเข้าสู่ขั้วบวกของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา C ของ RY2 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวก และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทาง Forward ได้



**รูปที่ 4.8** หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Relay ในทิศทาง Forward

**กรณีที่ RY2 ทำงาน**

เมื่อ RY2 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดึงดูดให้ขา NO และขา C ของ RY2 ดัดกัน ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (Vcc) ผ่านเข้าสู่ขั้วลบของมอเตอร์และผ่านไปยังขา C ของ RY1 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบและครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทาง Revert ได้

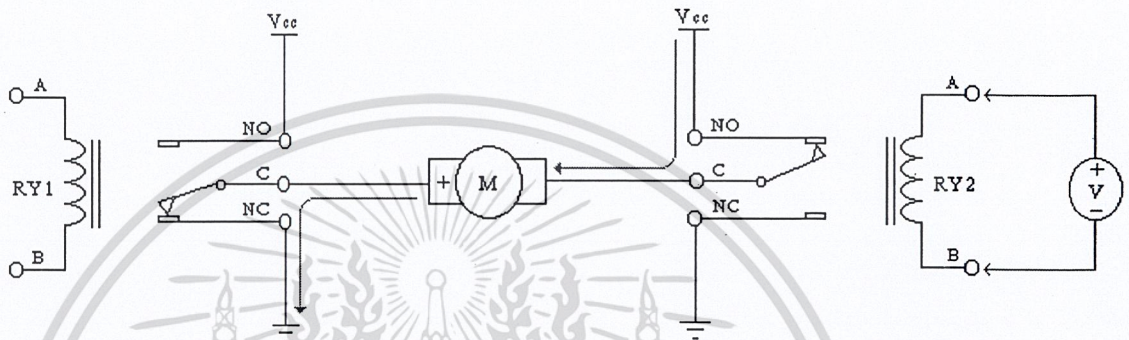


**รูปที่ 4.9** หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Relay ในทิศทาง Revert

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กรณีที่ RY1 ทำงาน

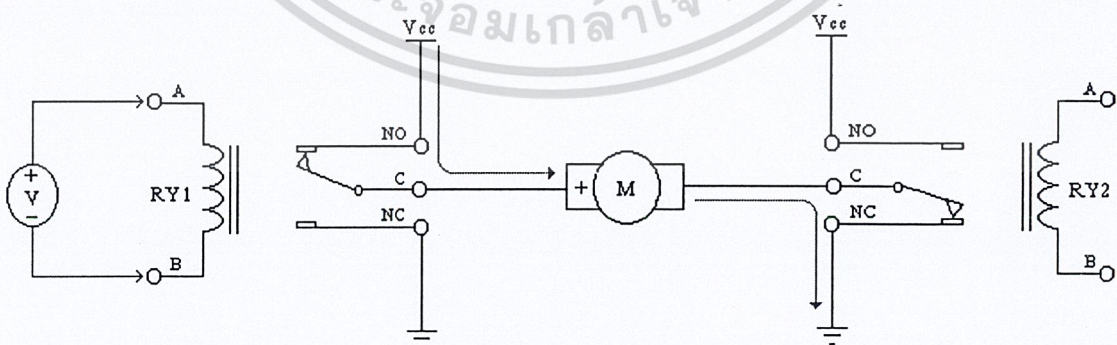
เมื่อ RY1 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดึงดูดให้ขา NO และขา C ของ RY1 ดัดกัน ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (Vcc) ผ่านเข้าสู่ขั้วบวกของมอเตอร์ ผ่านไปยังขา C ของ RY2 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวก และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทาง Forward ได้



รูปที่ 4.8 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Relay ในทิศทาง Forward

### กรณีที่ RY2 ทำงาน

เมื่อ RY2 ทำงาน (มีกระแสไหลผ่านขดลวดในปริมาณที่เพียงพอ) จะทำให้เกิดอำนาจสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ดึงดูดให้ขา NO และขา C ของ RY2 ดัดกัน ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (Vcc) ผ่านเข้าสู่ขั้วลบของมอเตอร์และผ่านไปยังขา C ของ RY1 ซึ่งต่ออยู่ที่ NC และลงกราวด์ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางลบและครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุนในทิศทาง Revert ได้



รูปที่ 4.9 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Relay ในทิศทาง Revert

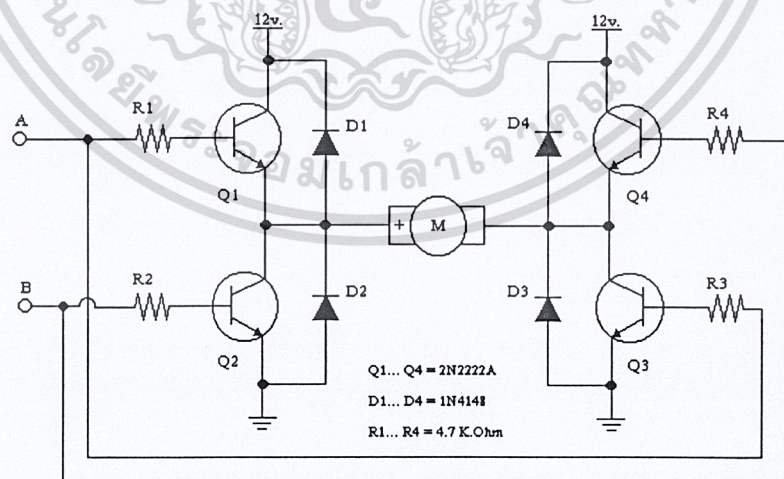
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่า รีเลย์ จะเป็นอุปกรณ์ ที่นำมาประยุกต์สร้างเป็นวงจร H-Bridge switching ได้ง่าย ไม่ยุ่งยากก็ตาม แต่รีเลย์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กที่มีส่วนเคลื่อนไหวกว้างไกล เพราะฉะนั้นก็ย่อมจะมีข้อจำกัดทางกลอยู่บ้าง เช่น ผลกระทบของการตอบสนอง รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่มีความเร็วในการทำงานต่ำ เช่นรีเลย์ชนิดแรงดันต่ำ (กระตุ้นขดลวดไม่เกิน 24 V) จะใช้เวลาในการทำงานประมาณ 10 - 50 ms. และรีเลย์ขนาดใหญ่ ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม นั้น อาจใช้เวลาในการทำงานมากกว่า 100 ms. เลยทีเดียว

ผลกระทบจากอำนาจแม่เหล็ก รีเลย์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็ก ดังนั้นเราจึงไม่สามารถหนีปัญหานี้ได้ ดังนั้นจึงไม่ใช่เรื่องแปลก ที่หลายคนอาจเคยมีปัญหของ รีเลย์ไปรบกวนการทำงานของวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์ การแก้ไข อาจมีหลายวิธี เช่น

- แยกกราวด์ คือ การแยกกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์ และแหล่งจ่ายไฟกระตุ้นรีเลย์ ออกจากกันโดยใช้อุปกรณ์ Opto Coupler
- แยกบอร์ด คือ การแยกในส่วนของวงจรรีเลย์ ออกจากบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการชิลด์ให้ดี
- ลดขนาดแรงดันกระตุ้น คือ การเปลี่ยนตัวรีเลย์ เช่นเปลี่ยนจากรีเลย์ขนาด 24 V มาเป็นขนาด 12 V

#### 4.4 การควบคุมทิศทางหมุนของ DC Motor สร้างวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor



รูปที่ 4.10 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor device) ที่มีคุณสมบัติของการ Cutoff และการ Saturation มาประยุกต์ใช้งานเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่เราสามารถควบคุมการปิดและเปิดได้

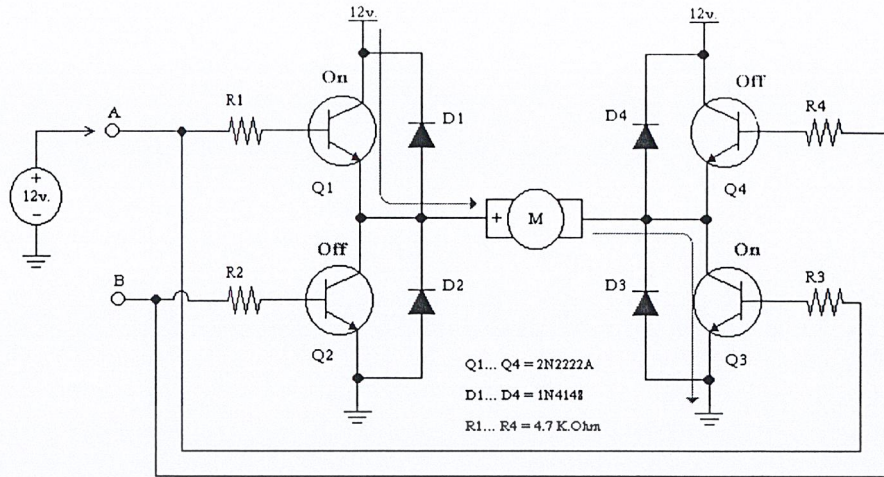
จากรูปด้านล่างเป็นวงจรสาธิตแบบง่าย ๆ โดยการนำทรานซิสเตอร์มาเป็นสวิตช์ควบคุมมอเตอร์ เมื่อเราป้อนกระแส  $I_b$  ด้วยปริมาณที่มากพอก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน (On) จะทำให้กระแส  $I_c$  ไหล แปลว่ามีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ได้ (กระแส  $I_b$  จะต้องมากเพียงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะ "อิ่มตัว" ได้) ในสภาวะ อิ่มตัว (Saturation mode) นี้ ทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับสวิตช์ปิดวงจร ค่าความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ กระแส  $I_c$  ที่ไหลจะมีค่าเข้าใกล้  $I_{c(max)}$  ในสภาวะ คัดออฟ (Cutoff mode) นี้ จะเกิดขึ้นเมื่อเราหยุดจ่ายกระแส  $I_b$  ( $I_b = 0$ ) ทรานซิสเตอร์จะทำงานเหมือนกับสวิตช์เปิดวงจร ค่าความต้านทานระหว่างขา C และขา E จะมีค่าเป็นอนันต์ กระแส  $I_c$  จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ข้อดีของการนำทรานซิสเตอร์ มาประยุกต์ใช้งานเป็นสวิตช์นั้น น่าจะเป็นส่วนของการควบคุม ที่สามารถ ตอบสนองจังหวะของการเปิดและปิด สวิตช์ได้นับล้านครั้งต่อวินาที (ความเร็วในการตอบสนองมีหน่วยเป็น ns) และที่สำคัญคือ ไม่ทำให้เกิดปัญหาการบวมจากสนามแม่เหล็กของรีเลย์

วงจรที่จะนำมาเป็นตัวอย่างประกอบไปด้วย ทรานซิสเตอร์ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ทุกตัวใช้เบอร์ 2N222A ส่วน R1, R2, R3 และ R4 ใช้ค่าความต้านทาน 4.7k ทำหน้าที่จำกัดกระแส  $I_b$  ส่วนไดโอด D1, D2, D3 และ D4 ใช้เบอร์ 1N4148 ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไหลย้อนกลับจากมอเตอร์ ในขณะที่ทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน แหล่งจ่ายของวงจรจะใช้เป็น แบตเตอรี่รีขนาด 12 V หรือจาก Power Supply ก็ได้ ส่วนมอเตอร์นั้นให้ใช้เป็นมอเตอร์ตัวเล็ก ๆ

#### กรณีที่ Q1 และ Q3 ทำงาน

เมื่อมีการจ่ายแรงดัน 12 V เข้าที่จุด A ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R1 เข้าสู่ขา base ของ Q1 และมีกระแสไหลผ่าน R3 เข้าสู่ขา base ของ Q3 ทำให้ Q1 และ Q3 ทำงาน (On) เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย (12 V) ผ่านขา Collector และ Emitter ของ Q1 ผ่านเข้าสู่ขั้วบวกของมอเตอร์ผ่านไปยังขา Collector และ Emitter ของ Q3 ทำให้มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ในทิศทางบวก และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุน ในทิศทาง Forward ได้

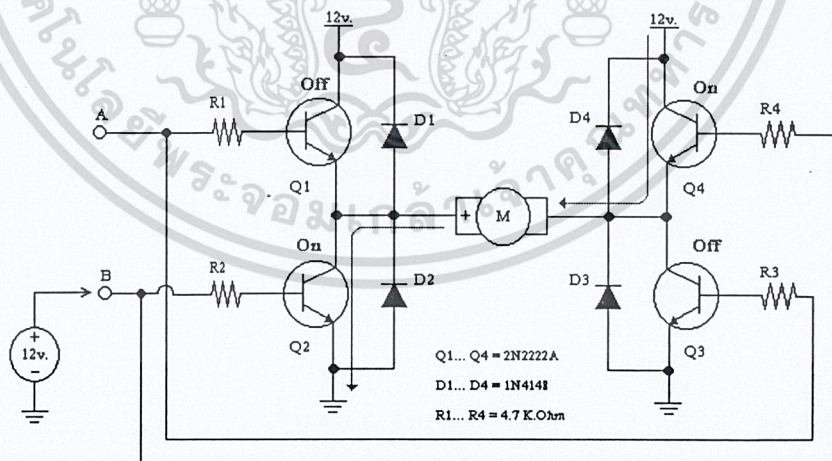
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor ในทิศทาง Forward

**กรณีที่ Q2 และ Q4 ทำงาน**

เมื่อมีการจ่ายแรงดัน 12 V เข้าที่จุด B ทำให้มีกระแสไหลผ่าน R2 เข้าสู่ขา base ของ Q2 และมีกระแสไหลผ่าน R4 เข้าสู่ขา base ของ Q4 ทำให้ Q2 และ Q4 ทำงาน (On) เปรียบเสมือน สวิตช์ปิดวงจร ส่งผลให้มีกระแสไหลจากแหล่งจ่าย 12 V ผ่านขา Collector และ Emitter ของ Q4 ผ่านเข้าสู่ขั้วลบของมอเตอร์ผ่านไปยังขา Collector และ Emitter ของ Q2 ทำให้มีกระแสไหลผ่าน มอเตอร์ในทิศทางลบ และครบวงจร จึงทำให้มอเตอร์สามารถหมุน ในทิศทาง Revert ได้



รูปที่ 4.12 หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching จาก Transistor ในทิศทาง Revert

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

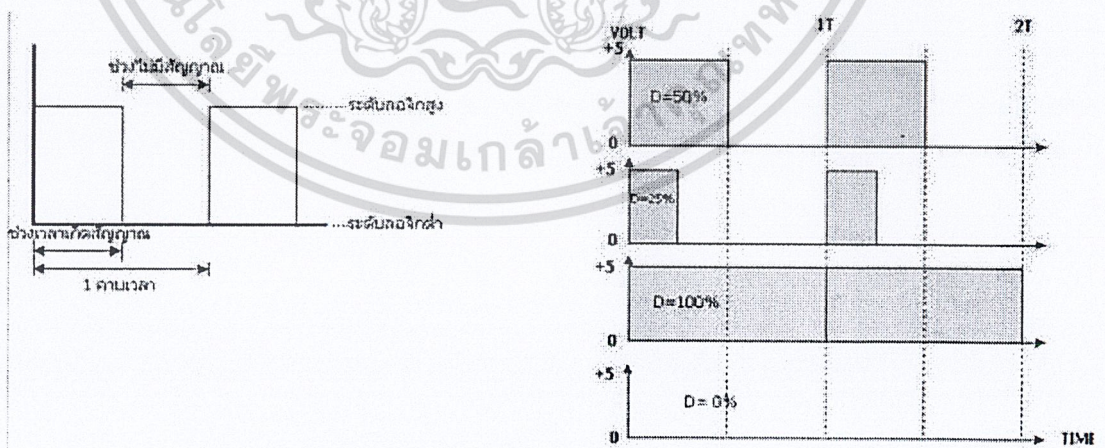
#### 4.5 การควบคุมความเร็ว DC Motor

ในโรงงานงานอุตสาหกรรมนั้น การควบคุมความเร็ว DC Motor ที่นิยมกันมากที่สุด คือ การปรับกระแสที่จ่ายให้กับ DC Motor ในรูปของสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) แล้วทำการปรับช่วงความถี่ (Duty Cycle) ของรูปคลื่น ซึ่งเรียกว่า วิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation (PWM) ) โดยมีวิธีการคิดค่าช่วงเวลา ของ PWM ดังนี้

#### 4.6 วิธีการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM)

การมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM) Pulse Width Modulation เป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วนและความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยที่ความถี่ของพัลส์นั้นไม่เปลี่ยนแปลง หรือการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของคิวดี้ไซเคิล (duty cycle) ซึ่งค่าของคิวดี้ไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่าง เช่นถ้าหากค่าคิวดี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่ครึ่งหนึ่งดังรูปที่ 1 และในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าคิวดี้ไซเคิลมีค่ามากก็แสดงว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าคิวดี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% ก็หมายความว่าไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลยซึ่งค่าคิวดี้ไซเคิลสามารถหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ค่าคิวดี้ไซเคิล} = \frac{\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์}}{\text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}} \times 100\%$$



รูปที่ 4.13 สัดส่วนเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.1 ลักษณะของ PWM โดยทั่วไปมีอยู่ 3 ลักษณะคือ

4.6.1.1 เปลี่ยนแปลงทั้งความถี่และความกว้างของพัลส์ (Variation of both frequency and pulse width)

4.6.1.2 เปลี่ยนความถี่โดยความกว้างของพัลส์คงที่ (Constant pulse width with variable frequency)

4.6.1.3 เปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์โดยความถี่คงที่ (Constant frequency with variable pulse width)

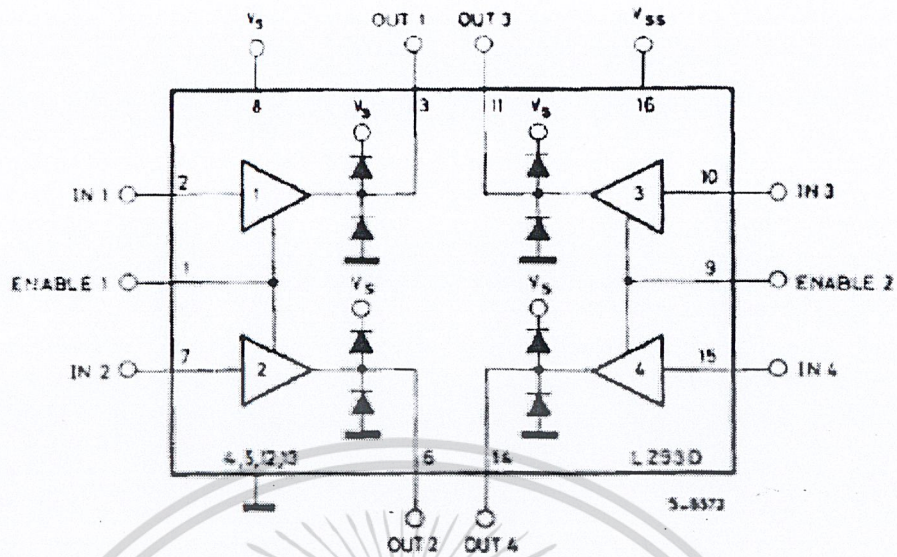
การทำงานทั้ง 3 ลักษณะมีข้อดีข้อเสียต่างกันไป การทำงานในลักษณะที่ 2 และที่ 3 จะดีกว่าลักษณะที่ 1 เนื่องจากกำหนดความถี่หรือช่วงเวลา  $t_{on}$  ที่ทำให้สวิตชิ่งหรืออุปกรณ์ควบคุมการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ แต่แบบที่ 1 นั้นความถี่และความกว้างของพัลส์กำหนดขึ้นจากวงจร จึงอาจไม่ใช่ความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานก็ได้ ดังนั้นวงจร PWM ส่วนใหญ่จึงใช้การทำงานในลักษณะที่ 2 หรือลักษณะที่ 3 เสียเป็นส่วนใหญ่ ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตไอซีในงาน PWM ออกมาจำหน่ายโดยได้พัฒนา ให้เป็นวงจรสำเร็จรูปใน IC ตัวเดียว เหมาะสำหรับใช้งานสำหรับแหล่งจ่ายไฟตรงโดยเฉพาะ ซึ่งการใช้งานของ IC เหล่านี้สามารถใช้งานได้ง่ายโดยต่ออุปกรณ์เพิ่มเติมภายนอกเพียงเล็กน้อย เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดจุดการทำงานของ IC PWM นั้นๆ เพื่อให้การทำงานของวงจรมีความสมบูรณ์ขึ้น อาจมีการเพิ่มเติมวงจรสำหรับระบบต่างๆ เช่น วงจรเปรียบเทียบสำหรับป้องกันกระแส หรือ แรงดัน

#### 4.7 การควบคุม MOTOR โดยใช้ L293D

L293D เป็นอุปกรณ์ในตระกูล TTL ใช้แรงดันในการทำงานที่ 5 V L293D เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมทิศทางการหมุนของ DC Motor ซึ่งโดยทั่วไปแล้วทิศทางการหมุนของ Motor เราสามารถควบคุมการหมุนได้โดยการกลับหรือสลับขั้วแรงดันที่จ่ายเข้าไป Motor ดังนั้น Motor ก็จะมี หมุนกลับทิศทางการหมุน เราจึงใช้ IC L293D ในการควบคุมทิศทางการหมุนของ Motor เพราะง่ายต่อการควบคุม และภายในตัวอุปกรณ์ L293D ยังมีภาคขยายสำหรับกระแสที่จ่ายไปยัง Motor อีกด้วย เราเพียงแต่ทราบสถานะในการควบคุม เราก็จะทำการควบคุม Motor ได้ L293D จะจ่าย Current Max ที่ Output 1.2 A ก็เพียงพอแล้วสำหรับ Drive Motor

นอกจากนี้ยังมี IC อีกหลายเบอร์ในตระกูล L293D ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม Motor ที่ต้องการกระแสสูง ๆ ในการใช้งานแต่ที่สำคัญเพียงเราต้องการทราบสถานะการควบคุมก็จะสามารถที่จะใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างภายในของ L293D

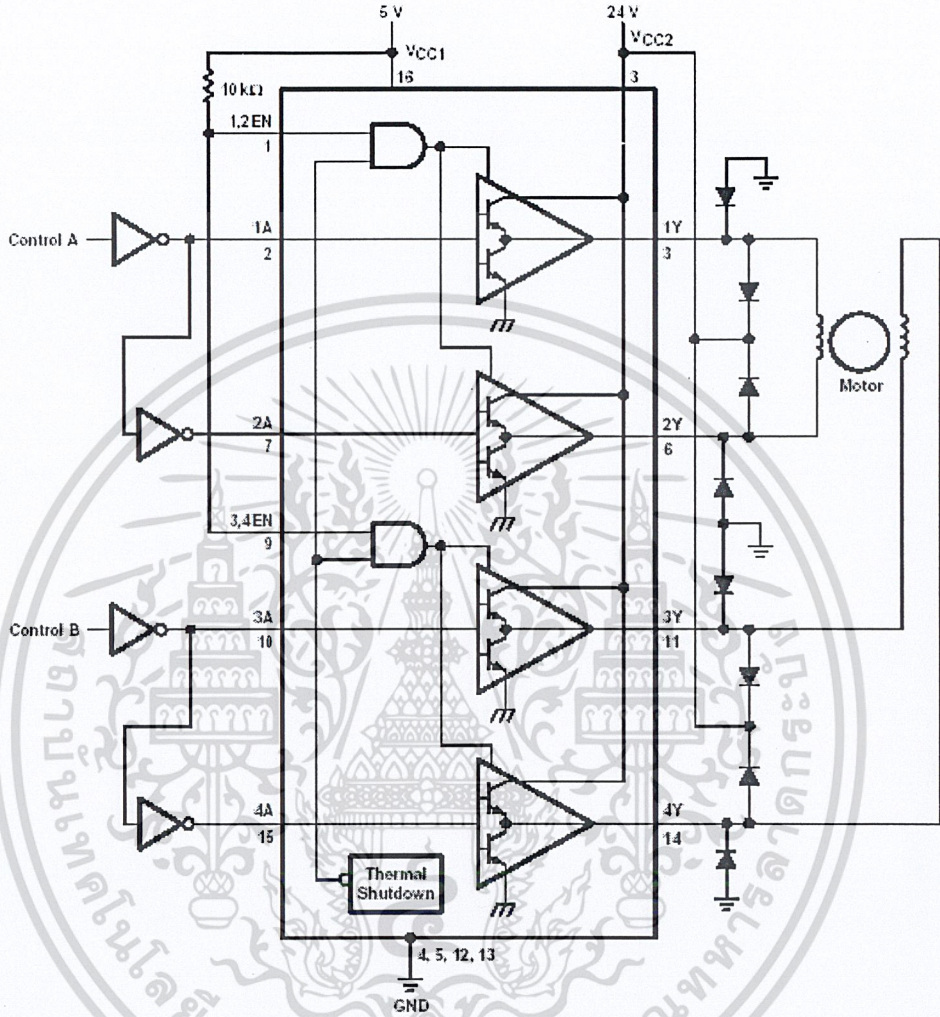
จากโครงสร้างภายในจะเห็นว่ามี OP AMP ทำหน้าที่ในการขยายกระแสโดย IC L293D 1 ตัว จะสังเกตว่ามี OP AMP 2 ตัว ที่ทำหน้าที่ในการขยายกระแสเพื่อควบคุมทิศทางการหมุนของ Motor 2 ตัว และจะสังเกตพบว่าจะมี Diode ทำหน้าที่ในการป้องกันแรงดันไหลย้อนกลับ เนื่องจาก Motor เป็นขดลวดที่พันอยู่เพื่อทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (Inductor) ซึ่งในความเป็นจริงอาจเกิดแรงดันไหลย้อนกลับ (Electromagnetic force) ที่อาจก่อความเสียหายแก่วงจรภายในได้ ดังนั้นจึงใช้ Diode ทำหน้าที่ในการป้องกันแรงดันไหลย้อนกลับ โดยใช้หลักการของ Diode เมื่อเกิดแรงดันไหลย้อนกลับมาจาก Motor แรงดันส่วนนั้นจะถูก Detect จาก Diode ลงกราวด์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับวงจร

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงสภาวะการควบคุม L293D

Input	Enable(*)	Output
H	H	H
L	H	L
H	L	Z
L	L	Z

จากตารางแสดงการควบคุมนี้ จะเห็นลักษณะการควบคุมไม่การความซับซ้อนมากนัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เพียงแต่ทำการ จ่ายแรงดัน “0” หรือ “5” V ตามตารางที่บอกไว้ก็จะสามารถที่จะควบคุมทิศทางการหมุนได้ทั้งสี่ทิศทาง อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Motor ได้ ในการใช้งานที่ต้องการกระแสที่ Output มากๆ อาจใช้ IC L293D ที่สามารถจ่ายกระแสได้มากกว่า 1.2 A เช่นเบอร์ L293DD ที่สามารถจะจ่ายกระแสไปยังโหลดได้มากกว่า



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะการต่อใช้งาน L293D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor)

### 5.1 การแผ่พลังงาน และ รังสีอินฟราเรด (Propagation of energy and infrared ray)

เกิดจากการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic disturbance) โดยการทำให้สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หรือถ้าสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า คลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นสามารถเคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้ สเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่และความยาวคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ คลื่นแสงที่ตามองเห็น อัลตราไวโอเลต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงมีประโยชน์มากในการสื่อสารและโทรคมนาคมและทางการแพทย์

### 5.2 สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่
2. อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดในสุญญากาศเท่ากับ  $3 \times 10^8$  m/s ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วของแสง
3. เป็นคลื่นตามขวาง
4. ถ่ายเทพลังงานจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง
5. ถูกปล่อยออกมาและถูกดูดกลืนได้โดยสสาร
6. ไม่มีประจุไฟฟ้า
7. คลื่นสามารถแทรกสอด สะท้อน หักเห และเลี้ยวเบนได้

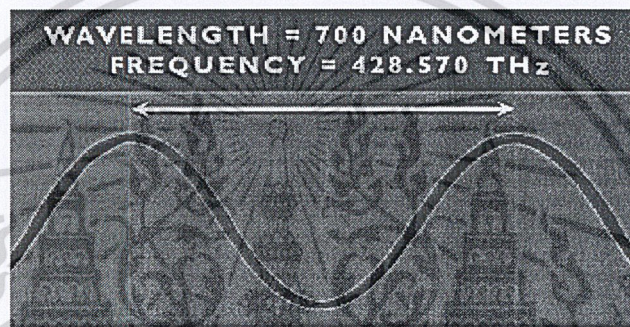
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 แถบสเปกตรัม



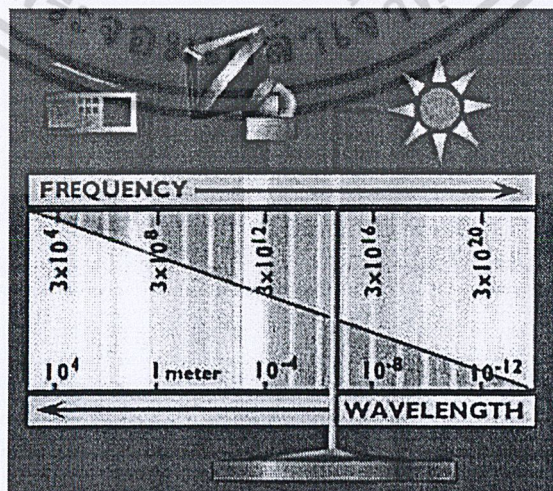
รูปที่ 5.1 แถบสเปกตรัม

แสงที่เรามองเห็นนั้น ก็เป็นกลุ่มหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากับ 300 ล้านเมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.2 ความยาว อินฟราเรด คลื่นเท่ากับ 700 นาโนเมตร

แต่ละคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ก็จะมีค่าที่แตกต่างกันไป (นั่นก็คือมีความยาวคลื่นต่างกัน) ในรูปข้างบนเป็นตัวอย่าง แสดงถึงแสงสีแดง ในแถบสเปกตรัมของแสงขาว ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 700 นาโนเมตร ในการพิจารณาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เราจะแบ่งคลื่นทั้งหมดออกเป็นกลุ่มๆ ตามความถี่ของมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 5.3 ความยาวคลื่นในย่านต่างๆ กัน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับแสงสีแดง แสงสีอื่นๆ ก็จะมีเฉพาะของตัวเอง แต่แสงสีเหล่านี้เป็นเพียงส่วนย่อยๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดเท่านั้น เพียงแต่แสงที่มีความถี่อยู่นอกช่วงนี้ตาเราไม่สามารถมองเห็นได้ คลื่นที่มีย่านความถี่สูงสุดได้แก่ รังสีแกมมา รองลงมาคือ รังสีเอ็กซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ตตามลำดับ ส่วนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำกว่าแสงที่มองเห็นก็ได้แก่ รังสีอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ เป็นต้น

#### 5.4 รังสีอินฟราเรด

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่ำกว่าแสงสีขาวก็คือรังสีอินฟราเรดและคลื่นวิทยุ ในปัจจุบันเรานำรังสีอินฟราเรดและคลื่นวิทยุมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย รังสีอินฟราเรดมีความถี่อยู่ระหว่าง  $10^{11} - 10^{14}$  เฮิร์ตซ์ เป็นคลื่นที่อยู่ถัดจากรังสีแดง

#### 5.5 ประโยชน์ของรังสีอินฟราเรด

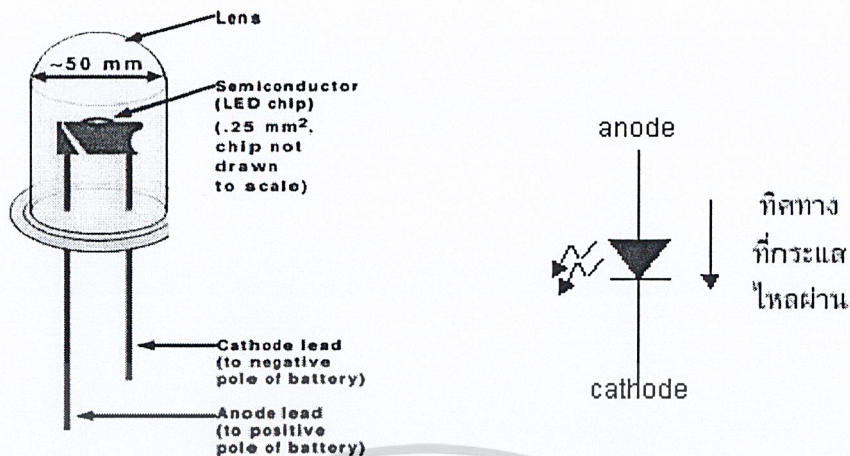
รังสีอินฟราเรดจากดวงอาทิตย์แผ่มาซึ่งโลกตลอดเวลา นำประโยชน์มาสู่โลกมากมายทั้งทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากรังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นพลังงานความร้อนเราจึงนำมาใช้ประโยชน์ได้มาก เช่น แพทย์ใช้รังสีอินฟราเรดในการรักษาโรคผิวหนัง หรือ ใช้รักษากล้ามเนื้ออักเสบ รังสีอินฟราเรดสามารถทะลุผ่าน เมฆ หมอก และ ใบไม้ได้ดีกว่าแสงขาว ดังนั้นการถ่ายภาพภูมิประเทศจากที่สูงๆ ด้วยฟิล์มที่ไวต่อรังสีอินฟราเรดจะได้รายละเอียดมากกว่าถ่ายด้วยฟิล์มธรรมดา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่มีเมฆ หมอกคลุมพื้นที่นั้น

#### 5.6 ไดโอดเปล่งแสง หรือ แอล อี ดี (LIGHT EMITTING DIODE)

แอลอีดี (LED) ซึ่งย่อมาจากคำว่า LIGHT EMITTING DIODE เป็นไดโอดชนิดพิเศษที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำหัวต่อ พี-เอ็น (P-N Junction) เมื่อมีการป้อนไบแอสเป็นแบบฟอร์เวิร์ดไบแอส จะทำให้ไดโอดส่องแสงสว่างออกมาแสงที่ส่องสว่างออกมามีหลายช่วงคลื่น แล้วแต่นิคมของสารที่ทำ เช่น แสงสีแดง แสงสีเขียว แสงสีเหลือง หรือ แสงที่ตาเรามองไม่เห็น เช่น แสงอินฟราเรด (Infrared)

โครงสร้างของแอลอีดีนั้น ประกอบด้วยชั้นซับสเตรท (Substrate Layer) ทำด้วย GaP of GaAs ชั้นถัดมาจะทำด้วยสาร GaAsP ทั้งสองชั้น แล้วจะทำการโด๊ป (Doped) ให้เป็นสารเอ็น ชั้นที่สามจะเป็นชั้นของ ซิลิคอนไฟไตต์ (Si3A4) แล้วทำการแพร่สารฟอสฟอรัสไปให้ติดกับสารเอ็น เกิดเป็นรอยต่อ พี-เอ็น (P-N Junction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 รูปร่าง และสัญลักษณ์ของไดโอดเปล่งแสง

เมื่อแอลอีดีได้รับฟอร์เวิร์ดไบแอสอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลในสารพี ทำให้เกิดแสงที่เรียกว่าพลังงานโฟตอน (Photon) เปล่งออกมา ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับไดโอดเปล่งแสงนั้นเกิดจากกระบวนการผลิตที่เรียกว่า อิเล็กโตรลูมิเนสเซนส์ (Electro Luminescence) คือ การสร้างให้หน้าสัมผัสของสารพีมีขนาดเล็กกว่าสารเอ็น เต็มสารเกือบบางชนิดลงไปเช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (Gallium Arsenide Phosphide : GaAsP) หรือ แกลเลียม ฟอสไฟด์ (Gallium Phosphide : GaP) เพื่อให้พลังงานโฟตอนมีจำนวนมากที่สุด และเรืองแสงสว่างสุดใสขึ้น ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านแสดงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว จนมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงขึ้นมาก เช่น ไฟเบอร์ออปติก ไอซีประเภทออปติคอลล รวมไปถึงวงจรที่มีการเชื่อมโยงทางแสง หรือ ออปโต ไอโซเลต (Opto Isolate)

### 5.7 โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor)

โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) มีโครงสร้างแตกต่างจากโฟโตไดโอด คือที่บริเวณที่รับแสงคือรอยต่อพี-เอ็น ระหว่างเบสกับคอลเลกเตอร์ (B-C) และกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ระหว่างขั้วอิมิตเตอร์กับขั้วคอลเลกเตอร์ โฟโตทรานซิสเตอร์นั้นเปรียบเหมือนสวิตช์ทาสแสง (Light Switch) เพราะเมื่อมีแสงมาตกกระทบบรอยต่อระหว่าง B-C จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ มีกระแสคอลเลกเตอร์ ( $I_C$ ) ตามสมการ

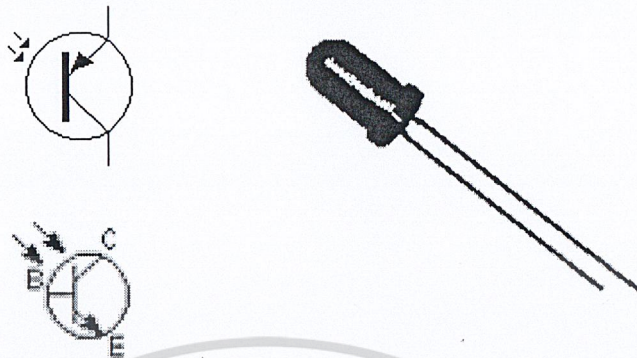
$$I_C = \beta_{dc} \times I_\lambda$$

$$I_C = \text{กระแสคอลเลกเตอร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\beta_{dc}$  = อัตราการขยายกระแสของโฟโตทรานซิสเตอร์

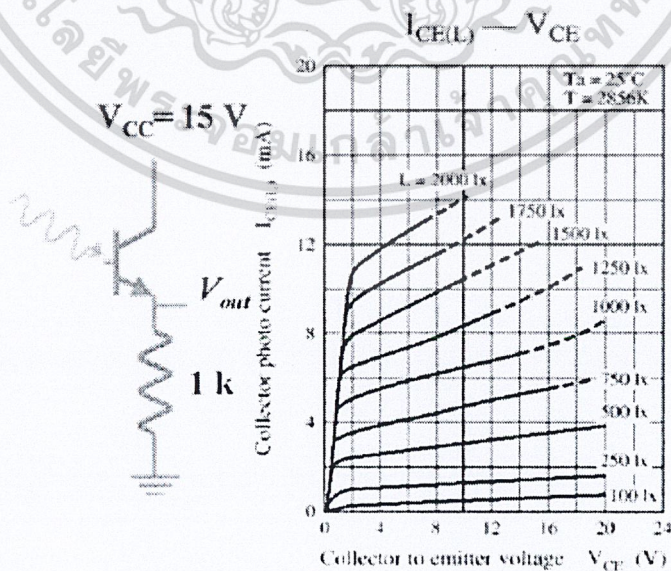
$I_\lambda$  = กระแสเบสที่เกิดจากแสงสว่างตกกระทบบรอยต่อเบส-คอลเลกเตอร์



รูปที่ 5.5 ลักษณะโครงสร้างและสัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์

การทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor Operation) เมื่อไบแอสโฟโตทรานซิสเตอร์ให้ถูกต้อง โดยให้ไบแอสแรงดันระหว่างขั้วอิมิตเตอร์และคอลเลกเตอร์สำหรับเบสไม่ต้องไบแอส ขณะนี้ถ้าไม่มีแสงตกกระทบบรอยต่อของเบส-คอลเลกเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน และจะไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่จะมีกระแสรั่วไหลระหว่างรอยต่อคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์จำนวนหนึ่ง (uA) เรียกว่า Dark current

เมื่อให้แสงที่มีความสว่างเล็กน้อยที่รอยต่อเบส-คอลเลกเตอร์จะทำให้กระแส  $I_c$  ไหลได้ตามสมการและถ้าเพิ่มความสว่างของแสงให้มากขึ้น ค่ากระแส  $I_c$  จะสูงขึ้นตามไปด้วยดังกราฟลักษณะสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.6 แสดงวงจรไบแอส และ กราฟลักษณะสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์ งานการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

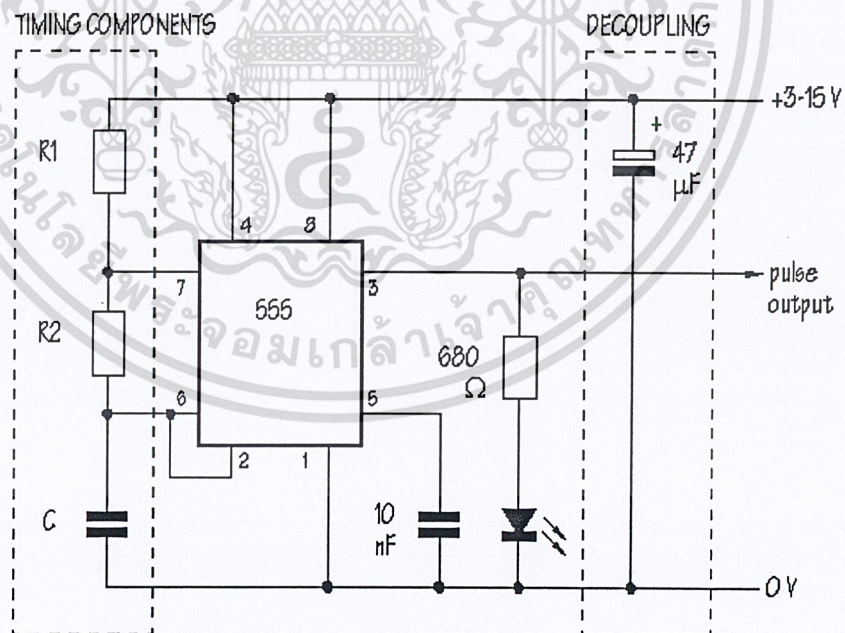
### การออกแบบ

#### 6.1 การออกแบบวงจรขับมอเตอร์ (Motor Drive)

ในการออกแบบวงจรขับมอเตอร์ (Motor Drive) นั้นเราจะใช้หลักการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM) โดยจะใช้ IC เบอร์ L293D ซึ่งเป็น IC ที่ใช้สำหรับขับ out put ที่มีกระแสสูงๆโดยมันสามารถจ่ายกระแสได้ 600 mA ต่อเนื่อง และสามารถควบคุม enable ได้ 2 ชุดซึ่งสามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ แบบการมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM) ได้เป็นอย่างดี

#### 6.2 วงจรผลิตความถี่ PWM

IC เบอร์ 555 เป็น IC ที่เรารู้จักกันดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่าง กว้างขวาง ในที่นี้เราจะมาดูการคำนวณการนำ IC 555 มาใช้งานเป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบ square wave โดยเราเรียกวจรแบบนี้ว่า Astable Multivibrator ดังแสดงดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 6.1 วงจรผลิตความถี่ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถคำนวณหาค่าต่างเพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการดังนี้

ถ้าให้  $T$  = คาบเวลา  
 $T1$  = ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็น "HIGH"  
 $T2$  = ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็น "LOW"

จะได้  $T1 = 0.693 (R1+R2) C$   
 $T2 = 0.693 (R2) C$

ความถี่ที่ได้  $f = 1/T$

ถ้าให้  $R1 = 7.5$   
 $K ; R2 = 2.7 K ; C = 0.1 \text{ mF}$   
 $T1 = 0.693 (7.5K + 2.7K) 0.1 \text{ mF}$   
 $= 0.693 \times 10.2 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6}$   
 $= 0.707 \times 10^{-3} \text{ sec} = 0.707 \text{ msec}$

$T2 = 0.693 * 2.7K * 0.1 \text{ mF}$   
 $= 0.187 \text{ msec}$   
 และคาบเวลา  $T = T1 + T2$   
 $= 0.707 \text{ msec} + 0.187 \text{ msec}$   
 $= 0.894 \text{ msec}$

จะได้วงจรที่ ออก แบบคือ

$$R1 = 7.5 K, R2 = 2.7 K, C = 0.1 \text{ mF}$$

$$T1 = 0.707 \text{ msec}$$

$$T2 = 0.187 \text{ msec}$$

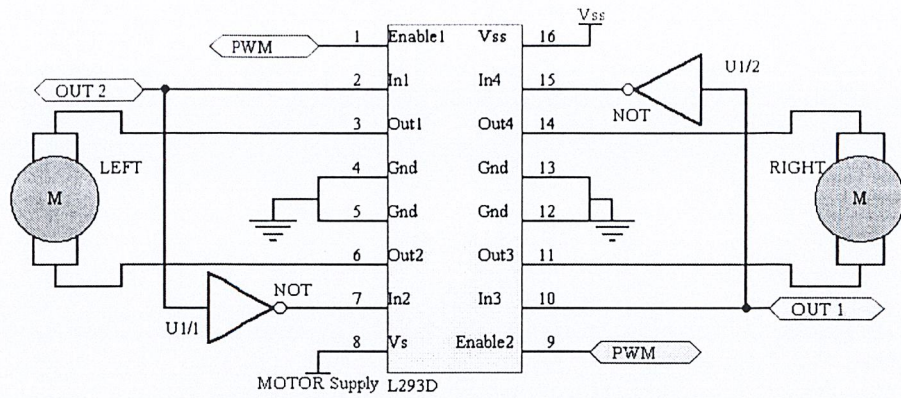
$$T = 0.894 \text{ msec}$$

### 6.3 วงจรจับมอเตอร์โดยใช้ L293D

จากรูปข้างล่างนี้ เราจะทำการแบ่งเป็น 2 ชุด คือ enable1 และ enable2 เพื่อทำการป้อน pulse ที่ได้จากวงจรกำเนิด pulse ก่อนหน้านี้ และ in put1 และ in put2 จะใช้ควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 1 โดย in put 2 จะต้องทำการต่อ invert เพื่อกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ และในทำนองเดียวกันกับชุดที่ 2 คือ in put3 และ in put 4 ใช้ควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยมี in put 3 ต้องต่อ invert ก่อนเข้า in put 3 เพื่อกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 วงจรขับมอเตอร์โดยใช้ L293D

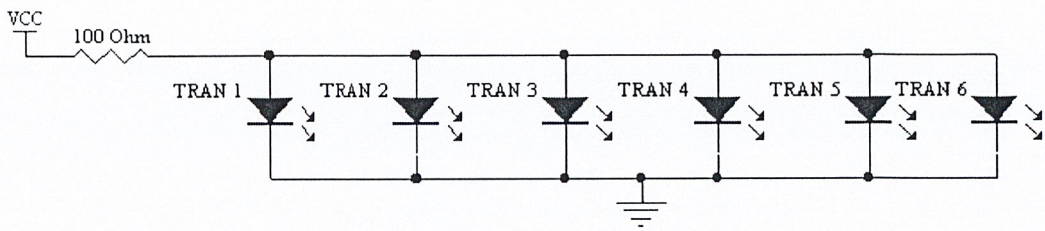
ในการกำหนดความเร็วของมอเตอร์นั้นทำได้โดยการปรับ Duty Cycle ของ Pulse in put ที่มาจากวงจร Astable Multivibrator โดยถ้าเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle มีค่ามากก็จะทำให้ค่าเฉลี่ยของกระแสเพิ่มขึ้นด้วย ในทางกลับกันถ้าเราทำการปรับเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle ให้มีค่าลดลงก็จะทำให้ค่าเฉลี่ยของกระแสลดลงด้วยซึ่งก็คือเป็นการ ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลงด้วยเช่นกัน

#### 6.4 การออกแบบวงจรตรวจจับ (SENSOR)

ในการตรวจจับของโครงการนี้จะใช้การตรวจจับความแตกต่างของแสงที่สะท้อนกลับมายังตัวตรวจจับซึ่งชุดอุปกรณ์ตรวจจับนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือในส่วนของตัวส่ง infrared และตัวรับ infrared ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

##### 6.4.1 การออกแบบตัวส่ง Infrared

ในการออกแบบตัวส่ง Infrared สำหรับ Robot ที่เดินตามเส้นนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องมียาระยะในการส่งไกลมากนักดังนั้นจึงไม่ต้องมียวงจรในการจ่าย Pulse ให้กับ LED Infrared เราสามารถที่จะจ่ายแหล่งจ่ายไฟตรงให้กับ LED Infrared ได้โดยตรงเลย แต่ต้องต่อ ความต้านทานจำกัดกระแสให้กับ LED Infrared เพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสไหลผ่าน LED Infrared มากเกินไปเพราะจะทำให้ LED Infrared เสียหายได้ซึ่งเราสามารถต่อวงจรภาคส่ง Infrared ได้ดังรูปที่ 6.3 เป็นวงจรส่ง Infrared

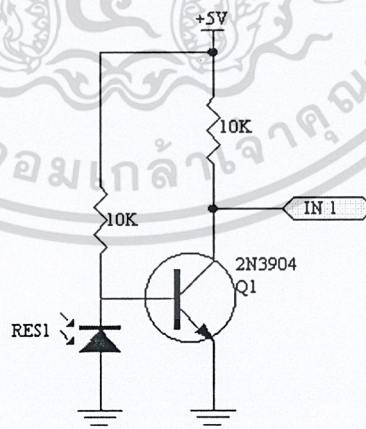


รูปที่ 6.3 แสดงวงจรส่ง Infrared

#### 6.4.2 การออกแบบตัวรับ Infrared

การออกแบบตัวรับ Infrared นั้นเราจะใช้ Photo Diode ในการรับ Infrared ที่จะสะท้อนจากพื้นที่เป็นสีวากลับมากับตัวรับคือ Photo Diode จากรูปที่ 6.4 นั้นเราจะเห็นว่า Photo Diode นั้นจะต่อกลับขั้วอยู่ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ 2N3904 ซึ่งในสถานะที่ไม่มีการสะท้อนของ Infrared ที่กระทบกับแถบสีดำนายัง Photo Diode นี้จะทำให้ Photo Diode อยู่ในสถานะ Revert Bias ดังนั้นจึงมีกระแสเข้าขา เบสของทรานซิสเตอร์ และทำให้ ทรานซิสเตอร์ทำงาน ทรานซิสเตอร์จึงมีสภาพเหมือน Shot Circuit จึงทำให้ IN 1 เท่ากับต่อลง Ground ก็คือ Logic “0” นั่นเอง

แต่เมื่อ Photo Diode อยู่ในตำแหน่งที่ไม่ได้อยู่บนแถบสีดำก็จะทำให้ Infrared สามารถสะท้อนกับพื้นที่ที่มีสีขาว กลับมายัง Photo Diode ได้จึงมีผลทำให้ Photo Diode เปรียบเสมือน Shot Circuit หรือ Forward Bias นั่นเองจึงทำให้ขาเบสของทรานซิสเตอร์เสมือนต่อลง Ground ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงหยุดทำงานหรืออยู่ในสถานะ OFF จึงทำให้ที่ IN 1 ต่อตรงเข้ากับแหล่งจ่ายโดยตรง ซึ่งก็คือ Logic “1” นั่นเอง



รูปที่ 6.4 แสดงการต่อวงจรรับ Infrared โดยใช้ Photo Diode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### ผลการทดลอง

#### 7.1 ผลการทำงานของซอฟต์แวร์

การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์จะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ การทดลองกับลอจิกพื้นฐานทางดิจิทัลและการทดสอบกับตัวตรวจจับจริง เพื่อนำสัญญาณจากตัวตรวจจับไปเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

##### 7.1.1 การทดลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมกับลอจิกพื้นฐานทางดิจิทัล

ในการทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม จะทำการทดสอบกับลอจิกพื้นฐานทางดิจิทัลอย่างง่ายก่อนคือการทดสอบข้อมูลอินพุต 2 โหนด และข้อมูลเอาต์พุต 1 โหนด โดยเงื่อนไขของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตในการทดลองจะใช้ลอจิก AND, OR, และ XOR

##### 7.1.1.1 แอนด์เกต(AND)

ตารางที่ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ของลอจิก AND และ ผลลัพธ์ที่คำนวณได้

Pattern	Condition			Output
	$X_1$	$X_2$	Y	O
1	0	0	0	-0.000017
2	0	1	0	0.000101
3	1	0	0	0.000102
4	1	1	1	0.990126

ค่าถ่วงน้ำหนัก W และ V ที่ได้จากการเรียนรู้

$w[i][j]$  :

$w[0][0]$ : 1.301263

$w[0][1]$ : 0.225411

$w[0][2]$ : 0.115270

$w[1][0]$ : 0.889513

$w[1][1]$ : -0.895127

$w[1][2]$ : 2.024330

$w[2][0]$ : 0.309283

$w[2][1]$ : 1.929238

$w[2][2]$ : -0.839349

$v[j][k]$  :

$v[0][0]$ : 1.301263

$v[1][0]$ : 0.889513

$v[2][0]$ : 0.309283

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.1.1.2 ออร์เกต(OR)

ตารางที่ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ของลอจิก OR และ ผลลัพธ์ที่คำนวณได้

Pattern	Condition			Output
	$X_1$	$X_2$	Y	O
1	0	0	0	0.000058
2	0	1	0	0.993847
3	1	0	0	0.994668
4	1	1	1	0.998618

ค่าถ่วงน้ำหนัก W และ V ที่ได้จากการเรียนรู้

$w[i][j]$

$w[0][0]: 0.973668$        $w[0][1]: -0.129468$        $w[0][2]: 0.162965$

$w[1][0]: 0.890580$        $w[1][1]: 1.115801$        $w[1][2]: 1.029775$

$w[2][0]: -0.283277$        $w[2][1]: 1.319451$        $w[2][2]: 0.667615$

$v[j][k]$

$v[0][0]: 0.973668$        $v[1][0]: 0.890580$        $v[2][0]: -0.283277$

### 7.1.1.3 เอ็กครูซีฟออร์เกต(XOR)

ตารางที่ 7.3 แสดงความสัมพันธ์ของลอจิก XOR และ ผลลัพธ์ที่คำนวณได้

Pattern	Condition			Output
	$X_1$	$X_2$	Y	O
1	0	0	0	0.000048
2	0	1	0	0.989318
3	1	0	0	0.988726
4	1	1	1	0.000097

ค่าถ่วงน้ำหนัก W และ V ที่ได้จากการเรียนรู้

เอกสารนี้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น  $w[0][0]: 0.637962$        $w[0][1]: 0.232101$        $w[0][2]: 0.187686$        $w[1][0]: 0.890580$        $w[1][1]: 1.115801$        $w[1][2]: 1.029775$        $w[2][0]: -0.283277$        $w[2][1]: 1.319451$        $w[2][2]: 0.667615$

$w[1][0]: 2.321503$        $w[1][1]: 1.723470$        $w[1][2]: 0.806252$   
 $w[2][0]: -1.702403$        $w[2][1]: 1.573681$        $w[2][2]: -2.014565$

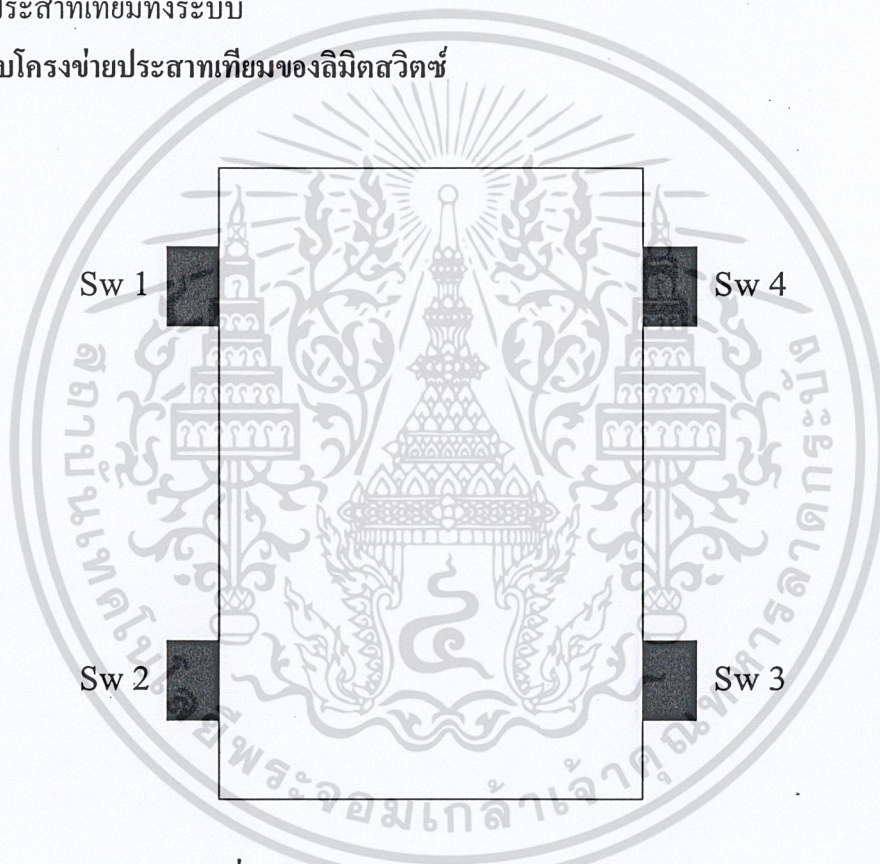
$v[j][k] :$

$v[0][0]: 0.637962$        $v[1][0]: 2.321503$        $v[2][0]: -1.702403$

### 7.1.2 การทดลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมของตัวตรวจจับ

สำหรับการทดสอบการทำงานในขั้นตอนนี้ จะแบ่งการทดสอบออกเป็นตัวตรวจจับแต่ละชนิด เมื่อทดสอบแล้วว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่งานมีความถูกต้องดีแล้วจึงจะนำไปใช้งาน กับโครงข่ายประสาทเทียมทั้งระบบ

การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมของลิมิตสวิทช์



รูปที่ 7.1 แสดงการวางตำแหน่งลิมิตสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

Pattern	Input				Output				
	Limit Sw.1	Limit Sw.2	Limit Sw.3	Limit Sw.4	Hi-Speed	Left FW	Left RW	Right RW	Right FW
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	1	1	0	0	0
3	0	1	0	0	1	0	1	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	1	0
5	0	0	0	1	1	0	0	0	1

ตารางที่ 7.5 แสดงผลลัพธ์ที่คำนวณได้

Pattern	Input				Output				
	Limit Sw.1	Limit Sw.2	Limit Sw.3	Limit Sw.4	Hi-Speed	Left FW	Left RW	Right RW	Right FW
1	0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	1	0	0	0	0.994907	0.991766	-0.000004	0.000051	0.000038
3	0	1	0	0	0.995445	0.000018	0.993052	0.000026	0.000008
4	0	0	1	0	0.994145	-0.000005	0.000002	0.993033	0.000026
5	0	0	0	1	0.994483	0.000002	0.000047	0.000001	0.991832

ค่าถ่วงน้ำหนัก  $W$  และ  $V$  ที่ได้จากการเรียนรู้

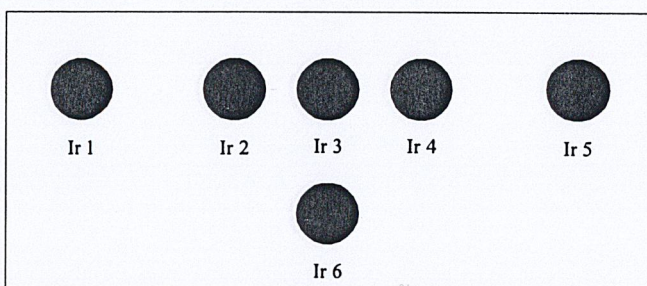
$w[i][j]$  :

$w[0][0]$ : 1.200400	$w[0][1]$ : 0.414734	$w[0][2]$ : 0.189007	$w[0][3]$ : 1.694607
$w[0][4]$ : 0.241122			
$w[1][0]$ : 1.093941	$w[1][1]$ : -0.704957	$w[1][2]$ : 0.938464	$w[1][3]$ : 0.098551
$w[1][4]$ : -1.311726			
$w[2][0]$ : 1.453274	$w[2][1]$ : -0.056258	$w[2][2]$ : 1.131119	$w[2][3]$ : -0.498034
$w[2][4]$ : 0.991395			
$w[3][0]$ : 0.287648	$w[3][1]$ : 1.526612	$w[3][2]$ : 1.318113	$w[3][3]$ : -0.026132
$w[3][4]$ : -0.493820			

$v[j][k]$  :

$v[0][0]$ : 1.200400	$v[0][1]$ : 0.414734	$v[0][2]$ : 0.189007	$v[0][3]$ : 1.694607
$v[0][4]$ : 0.241122			
$v[1][0]$ : 1.093941	$v[1][1]$ : -0.704957	$v[1][2]$ : 0.938464	$v[1][3]$ : 0.098551
$v[1][4]$ : -1.311726			
$v[2][0]$ : 1.453274	$v[2][1]$ : -0.056258	$v[2][2]$ : 1.131119	$v[2][3]$ : -0.498034
$v[2][4]$ : 0.991395			
$v[3][0]$ : 0.287648	$v[3][1]$ : 1.526612	$v[3][2]$ : 1.318113	$v[3][3]$ : -0.026132
$v[3][4]$ : -0.493820			
$v[4][0]$ : 2.279153	$v[4][1]$ : 0.527673	$v[4][2]$ : 0.872518	$v[4][3]$ : 0.773212
$v[4][4]$ : -0.581549			

### 7.1.2.2 การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมของอินฟราเรด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติไปรษณีย์ด้านการค้า  
รูปที่ 7.2 แสดงการวางตำแหน่งตัวตรวจจับอินฟราเรด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

Pattern	Input						Output (Motor)				
	Ir.1	Ir.2	Ir.3	Ir.4	Ir.5	Ir.6	Hi-Speed	Left FW	Left RW	Right RW	Right FW
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
3	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0
4	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0
5	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
7	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0

ตารางที่ 7.7 แสดงผลลัพธ์ที่คำนวณได้

Pattern	Input						Output (Motor)				
	Ir.1	Ir.2	Ir.3	Ir.4	Ir.5	Ir.6	Hi-Speed	Left FW	Left RW	Right RW	Right FW
1	1	1	1	1	1	1	0.005879	0.012423	-0.005691	-0.009395	0.006542
2	0	1	1	1	1	1	0.992620	0.994240	-0.020568	-0.025406	0.029033
3	1	0	1	1	1	1	0.992487	0.018049	0.997061	-0.021700	-0.003089
4	1	1	0	1	1	1	0.991461	0.013776	0.000958	0.994776	-0.000928
5	1	1	1	0	1	1	0.989395	0.36863	-0.021313	-0.043284	0.996706
6	1	1	1	1	0	1	0.999858	0.991914	-0.017300	-0.023223	0.989241
7	1	1	1	1	1	0	0.999808	0.005983	0.989100	0.989184	0.000497

ค่าถ่วงน้ำหนัก  $w$  และ  $v$  ที่ได้จากการเรียนรู้

$w[i][j]$  :

$w[0][0]$ : 1.277723	$w[0][1]$ : 1.393367	$w[0][2]$ : -0.486404	$w[0][3]$ : 2.265669
$w[0][4]$ : 0.493678	$w[0][5]$ : -1.564632		
$w[1][0]$ : 0.606196	$w[1][1]$ : 0.856122	$w[1][2]$ : 0.549882	$w[1][3]$ : -2.016419
$w[1][4]$ : 0.678904	$w[1][5]$ : 2.328336		
$w[2][0]$ : 1.164395	$w[2][1]$ : -1.356985	$w[2][2]$ : 0.418133	$w[2][3]$ : 2.249700
$w[2][4]$ : 0.831720	$w[2][5]$ : -1.690350		
$w[3][0]$ : 0.416527	$w[3][1]$ : -0.717658	$w[3][2]$ : -1.542772	$w[3][3]$ : -1.324653
$w[3][4]$ : 0.771889	$w[3][5]$ : 2.312469		
$w[4][0]$ : -0.099380	$w[4][1]$ : 0.069087	$w[4][2]$ : -1.622107	$w[4][3]$ : -0.922672
$w[4][4]$ : 0.331910	$w[4][5]$ : -1.101536		
$w[5][0]$ : 0.434804	$w[5][1]$ : -0.514841	$w[5][2]$ : 1.782336	$w[5][3]$ : -1.317792
$w[5][4]$ : 0.953029	$w[5][5]$ : -1.074469		

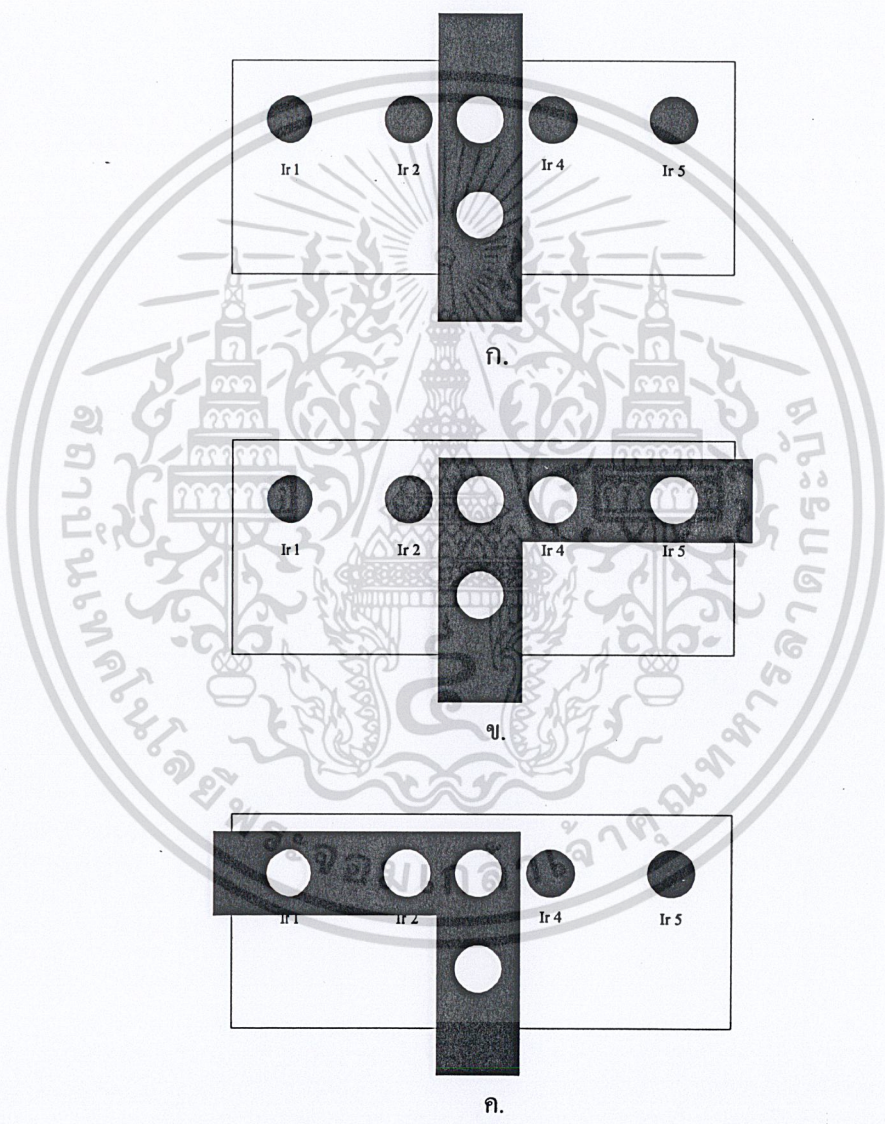
$v[j][k]$  :

$v[0][0]$ : 1.277723	$v[0][1]$ : 1.393367	$v[0][2]$ : -0.486404	$v[0][3]$ : 2.265669
$v[0][4]$ : 0.493678			
$v[1][0]$ : 0.606196	$v[1][1]$ : 0.856122	$v[1][2]$ : 0.549882	$v[1][3]$ : -2.016419
$v[1][4]$ : 0.678904			
$v[2][0]$ : 1.164395	$v[2][1]$ : -1.356985	$v[2][2]$ : 0.418133	$v[2][3]$ : 2.249700
$v[2][4]$ : 0.831720			
$v[3][0]$ : 0.416527	$v[3][1]$ : -0.717658	$v[3][2]$ : -1.542772	$v[3][3]$ : -1.324653
$v[3][4]$ : 0.771889			
$v[4][0]$ : -0.099380	$v[4][1]$ : 0.069087	$v[4][2]$ : -1.622107	$v[4][3]$ : -0.922672
$v[4][4]$ : 0.331910			
$v[5][0]$ : 0.434804	$v[5][1]$ : -0.514841	$v[5][2]$ : 1.782336	$v[5][3]$ : -1.317792
$v[5][4]$ : 0.953029			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.2 การทดสอบการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

การทดสอบในขั้นตอนนี้ เป็นการทดสอบการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยการนำระบบตัวตรวจจับอินฟราเรดเป็นตัวจับเส้นที่พื้น เพื่อนำเข้าโครงข่ายประสาทเทียมจะนำค่าถ่วงน้ำหนักที่คำนวณไว้มาคูณกับค่าอินพุต และให้ค่าเอาต์พุตออกมาใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้เป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต โดยความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตจากตัวตรวจจับและเอาต์พุตจะกำหนดตามเงื่อนไขที่ต้องการ เช่น



รูปที่ 7.3 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

Pattern	Input						Output (Motor)				
	Ir.1	Ir.2	Ir.3	Ir.4	Ir.5	Ir.6	Hi-Speed	Left FW	Left RW	Right RW	Right FW
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
4	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
5	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1
6	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
7	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1
8	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
11	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0
12	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1

ตารางที่ 7.9 แสดงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับอินพุต

Pattern	Input						Output (Motor)				
	Ir.1	Ir.2	Ir.3	Ir.4	Ir.5	Ir.6	Hi-Speed	Left FW	Left RW	Right RW	Right FW
1	1	1	1	1	1	1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
2	0	0	0	0	0	0	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
3	1	1	0	1	1	0	ON	ON	OFF	OFF	ON
4	1	1	0	0	0	0	ON	ON	OFF	ON	OFF
5	0	0	0	1	1	0	ON	OFF	ON	OFF	ON
6	1	1	0	0	1	0	ON	ON	OFF	ON	OFF
7	1	0	0	1	1	0	ON	OFF	ON	OFF	ON
8	0	1	0	1	0	0	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
9	1	1	1	1	1	0	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
10	0	0	0	0	0	1	ON	OFF	OFF	ON	OFF
11	1	1	0	0	1	1	ON	ON	OFF	ON	OFF
12	1	0	0	1	1	1	ON	OFF	ON	OFF	ON

### 7.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประกอบด้วยระบบตรวจจับทางเดิน และระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถสรุปผลการทดลองโดยแยกประเภทได้ดังนี้

#### 7.3.1 ระบบตรวจจับเส้นทางเดิน

ระบบตรวจจับเส้นทางเดินโดยผ่านโครงข่ายประสาทเทียม สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องในกรณีที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินตามแนวเส้นตรงหรือเส้นโค้ง หากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกนอกแนวเส้นทางเดิน ระบบสามารถปรับให้กลับมาอยู่ในแนวเส้นทางเดินได้ตลอด ส่วนกรณีที่เส้นทางเดินเลี้ยวซ้ายหรือขวาก็สามารถตรวจจับเส้นทางเลี้ยวและเลี้ยวได้อย่างถูกต้อง

#### 7.3.2 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่เป็นระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ PWM ซึ่งสามารถตั้งค่าความเร็วได้ 2 ระดับ และสามารถควบคุมการหมุนได้ 2 ทิศทาง ทวนเข็มนาฬิกา และตามเข็มนาฬิกา โดย สั่งงานจากไมโครโปรเซสเซอร์ ระบบเงื่อนไขการควบคุม การเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และ ปรับความเร็ว สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยการกำหนดในความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] J.Wesley Hines, “MATHLAB Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering”
- [2] Lames A. Freeman and David M. Skapura, “Neural Networks Algorithms, Applications and Programming Techniques”, University of Houston at Clear Lake.
- [3] TMS320C3x User Guide, Texas Instruments , Inc.,Dallas,TX,1997
- [4] Rulph Chassing, “Digital Signal Processing Laboratory Experiments Using C and the TMS320C31”, University of Messachusetts,Dartmouth, 1998
- [5] สุรพงษ์ อูสายพันธ์, “ภาษาซี”, สถาบันราชภัฏสกลนคร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

รายละเอียดของโปรแกรมควบคุมแบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----//
//                                     //
//-----//

#include"stdio.h"
#include"pototype.h"

int *out = (int*)0xc00000;
int *in = (int*)0xc00000;
int *led = (int*)0xc10000;
int a,b,c,d,i,j,k;
int line;
int sw;

main ()
{
do
{
sw = *in;
sw = (sw & 0x0000000f);
stop_motor();
*led = 0x00000000;
}while(sw != 0x0000000b);
while (1)
{
*led = 0x00000000;
line = *in;
line = (line & 0x03f00000);
switch(line)
{
// case 0x03f00000 :
// case 0x02d00000 :
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 0x02b00000 :
case 0x03b00000 :
case 0x02900000 :    adj_right();          /* adjust right */
                    break;
case 0x00900000 :    stop_motor();
                    delay2(100);
                    left();                /* turn left */
                    delay(1);
                    stop_motor();
                    delay2(10);
                    break;
case 0x02e00000 :
case 0x03e00000 :
case 0x02c00000 :    adj_left();           /* adjust left */
                    break;
case 0x02400000 :    stop_motor();
                    delay2(100);
                    right();              /* turn right */
                    delay(1);
                    stop_motor();
                    delay2(10);
                    break;
default :            motor_forward(1);
                    break;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//-----//
//                                     รายละเอียดของ Pototype.h                                     //
//-----//
```

```
#include"stdio.h"
```

```
#define no_sp          0x00000000
```

```
#define fw_sp_lo      0x00000009
```

```
#define fw_sp_hi      0x00000209
```

```
#define rw_sp_lo      0x00000006
```

```
#define rw_sp_hi      0x00000206
```

```
#define turn_r        0x0000020a
```

```
#define turn_l        0x00000205
```

```
#define adj_r         0x00000201
```

```
#define adj_l         0x00000208
```

```
#define clear_c_r     0x00000400
```

```
#define clear_c_l     0x00000800
```

```
#define clear_c       0x00000c00
```

```
int *out_port = (int*)0xc00000;
```

```
int *in_port = (int*)0xc00000;
```

```
int *led_port = (int*)0xc10000;
```

```
int ir[input_node];
```

```
int ir_buffer;
```

```
void delay(int t);
```

```
void delay2(int t);
```

```
void motor_forward(int i);
```

```
void motor_reward(void);
```

```
void stop_motor(void);
```

```
void right(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void left(void);
```

```
void adj_right(void);
```

```
void adj_left(void);
```

```
void delay(int time)
```

```
{
```

```
int t;
```

```
    for(t=0;t<time*780000;t++);
```

```
}
```

```
void delay2(int time)
```

```
{
```

```
int t;
```

```
    for(t=0;t<time*10000;t++);
```

```
}
```

```
void motor_forward(int i)
```

```
{
```

```
int l,m,n;
```

```
    if(i==1)
```

```
    {
```

```
        *out_port = fw_sp_hi;
```

```
    }
```

```
    if(i==2)
```

```
    {
```

```
        *out_port = fw_sp_lo;
```

```
    }
```

```
}
```

```
void motor_reward(void)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int l,m,n;
```

```

for(l=0;l<5;l++)
    *out_port = rw_sp_hi;
}

```

```

void stop_motor(void)
{
int l,m,n;
    for(l=0;l<5;l++)
        *out_port = no_sp;
}

```

```

void right(void)
{
int l,m,n;
    for(l=0;l<5;l++)
        *out_port = turn_r ;
}

```

```

void left(void)
{
int l,m,n;

    for(l=0;l<5;l++)
        *out_port = turn_l ;
}

```

```

void adj_right(void)
{
int l,m,n;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 for(l=0;l<5;l++)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 \*out\_port = adj\_r ;

```
}  
  
void adj_left(void)  
{  
int l,m,n;  
  
for(l=0;l<5;l++)  
*out_port = adj_l ;  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----//
//                                     โปรแกรมควบคุม โดยโครงข่ายประสาทเทียม                                     //
//-----//

#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<stdlib.h>
//#include <conio.h>

#define input_node 6
#define hidden_node 6
#define output_node 5
#define pattern 12
#define loop 4000

//-----//
//                                     robot drive part                                     //
//-----//

int *io_port = (int*)0xc00000;
int *led_port = (int*)0xc10000;
int input_bit[input_node];
int output_bit[output_node+1];
void delay(float sec);
void get_io();
void put_io();
void test();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----//
//                                     neural network part                                     //
//-----//

char    p;
float neta = 0.1;
float x[input_node];
float h[hidden_node];
float o[output_node];
float w[input_node][hidden_node]={
{-0.859225, 1.266238, 0.895088, 3.192328, 0.125872,    0.0},
{-0.169139, 0.815038, 0.651577,-1.167095,-0.102424,  0.0},
{ 2.858013, 0.991884,-0.463569,-0.431511,-2.027748,  0.0},
{-1.282079, 1.338624,-0.245059,-0.974538, 0.355536,  0.0},
{-0.158893, 0.058139, 0.646488,-1.124431,-0.100795, 0.0},
{-1.095010, 0.195517,-1.407400, 0.173102, 0.616693,  0.0}};
float v[hidden_node][output_node]={
{-0.859225, 1.266238, 0.895088, 3.192328, 0.125872},
{-0.169139, 0.815038, 0.651577,-1.167095,-0.102424},
{ 2.858013, 0.991884,-0.463569,-0.431511,-2.027748},
{-1.282079, 1.338624,-0.245059,-0.974538, 0.355536},
{-0.158893, 0.058139, 0.646488,-1.124431,-0.100795},
{    0.0,    0.0,    0.0,    0.0,    0.0}};
float hidden_error[hidden_node];
float output_error[output_node];
float xt[pattern][input_node]={           //{ir1, ir2, ir3, ir4, ir5, ir6}
{1,1,1,1,1,1},                             // pattern 1
{0,0,0,0,0,0},                             // pattern 2
{1,1,0,1,1,0},                             // pattern 3
{1,1,0,0,0,0},                             // pattern 4
{0,0,0,1,1,0},                             // pattern 5
{1,1,0,0,1,0},                             // pattern 6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{1,0,0,1,1,0}, // pattern 7
{0,1,0,1,0,0}, // pattern 8
{1,1,1,1,1,0}, // pattern 9
{0,0,0,0,0,1}, // pattern 10
{1,1,0,0,1,1}, // pattern 11
{1,0,0,1,1,1} // pattern 12
};

```

```

float ot[pattern][output_node]={ // {sp, left_fw, left_rw, right_rw, right_fw}
{0,0,0,0,0}, // pattern 1
{0,0,0,0,0}, // pattern 2
{1,1,0,0,1}, // pattern 3
{1,1,0,1,0}, // pattern 4
{1,0,1,0,1}, // pattern 5
{1,1,0,1,0}, // pattern 6
{1,0,1,0,1}, // pattern 7
{0,0,0,0,0}, // pattern 8
{0,0,0,0,0}, // pattern 9
{1,1,0,1,0}, // pattern 10
{1,1,0,1,0}, // pattern 11
{1,0,1,0,1} // pattern 12
};

```

```
//-----
```

```

void cal_nn();
void random_weight();
void cal_error();
void update_weight();
void train_nn();
void display();
void put_output();

```

```

//--- imp;ementation.
void cal_nn()
{
char i,j,k;
    for(j=0;j<hidden_node;j++)
    {
        h[j]=0;
        for(i=0;i<input_node;i++)
        {
            h[j]=w[i][j]*x[i]+h[j];
        }
        h[j]=tanh(h[j]);
    }
    for(k=0;k<output_node;k++) //--- cal output
    {
        o[k]=0;
        for(j=0;j<hidden_node;j++)
        {
            o[k]=v[j][k]*h[j]+o[k];
        }
        o[k]=tanh(o[k]);
    }
}

/*
void random_weight()
{
char i,j,k;
    เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
    ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
    for(j=0;j<hidden_node;j++)

```

```

    {
        for(i=0;i<input_node;i++)
        {
            w[i][j]= 0.5;
        }
    }
    for(k=0;k<output_node;k++)
    {
        for(j=0;j<hidden_node;j++)
        {
            v[j][k]= 0.5;
        }
    }
}
*/
void cal_error()
{
    char j,k;

    for(k=0;k<output_node;k++)
    {
        output_error[k] = (1-o[k]*o[k])*(ot[p][k]-o[k]);
    }
    for(j=0;j<hidden_node;j++)
    {
        hidden_error[j] = 0.0;
        for(k=0;k<output_node;k++)
        {
            hidden_error[j] = v[j][k]*output_error[k]+hidden_error[j];
        }
    }
    for(j=0;j<hidden_node;j++)
    {
        hidden_error[j] = (1-h[j]*h[j])*hidden_error[j];
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}

void update_weight()
{
char i,j,k;
    for(i=0;i<input_node;i++)
    {
        for(j=0;j<hidden_node;j++)
        {
            w[i][j] = w[i][j]+neta*hidden_error[j]*x[i];
        }
    }
    for(j=0;j<hidden_node;j++)
    {
        for(k=0;k<output_node;k++)
        {
            v[j][k] = v[j][k]+neta*output_error[k]*h[j];
        }
    }
}

```

```

void train_nn()
{
char i;
int n;

//    random_weight();
    for(n=0;n<loop;n++)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        for(i=0;i<input_node;i++)
        {
            x[i]=xt[p][i];
        }
        cal_nn();
        cal_error();
        update_weight();
    }
//    clrscr();
//    printf("loop : %d \n",n);
}
}

void display()
{
/*
char i;

for(p=0;p<pattern;p++)
{
    printf("parrem[%d]\n",p+1);
    for(i=0;i<input_node;i++)
    {
        x[i]=xt[p][i];
        printf("X[%d]: %f\n",i,x[i]);
    }
    cal_nn();
    for(i=0;i<output_node;i++)
    {
        printf("O[%d]: %f\n",i,o[i]);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        printf("\n");
    }
*/
}

void delay(float sec)
{
    int i;
    for(i=0;i<sec*1600000;i++);
}
/*
void check_sw()
{
    int temp;

    temp = *io_port;
    temp = (temp & 0x0000000f);
    if(temp==0x00000007) //limit_1
        {x[0] = 1;}
    else
        {x[0] = 0;}
    if(temp==0x0000000b) //limit_2
        {x[1] = 1;}
    else
        {x[1] = 0;}
    if(temp==0x0000000d) //limit_3
        {x[2] = 1;}
    else
        {x[2] = 0;}
    if(temp==0x0000000e) //limit_4
        {x[3] = 1;}
    else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        {x[3] = 0;}
    }
    */
void get_io()
{
    int temp;

    temp = *io_port;
    temp = (temp & 0x03f00000);
    if(temp&0x00100000) //ir_2
        {x[3] = 1.0;}
    else
        {x[3] = 0.0;}
    if(temp&0x00200000) //ir_3
        {x[2] = 1.0;}
    else
        {x[2] = 0.0;}
    if(temp&0x00400000) //ir_4
        {x[1] = 1.0;}
    else
        {x[1] = 0.0;}
    if(temp&0x00800000) //ir_1
        {x[4] = 1.0;}
    else
        {x[4] = 0.0;}
    if(temp&0x01000000) //ir_6
        {x[5] = 1.0;}
    else
        {x[5] = 0.0;}
    if(temp&0x02000000) //ir_5
        {x[0] = 1.0;}
    else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        {x[0] = 0.0;}
    }

void put_io()
{
    int i,data;

    *led_port = 0x00000000;
    data = 0;
    if(o[0]>0.8){data = data + 512;}
    if(o[1]>0.8){data = data + 8;}
    if(o[2]>0.8){data = data + 4;}
    if(o[3]>0.8){data = data + 2;}
    if(o[4]>0.8){data = data + 1;}
//    if(o[5]>0.85){data = 0x00000000;}
    *led_port = 0x00000000;
    *io_port = 0x00000000;
    *io_port = (0x00000f0f&data);
}

void test()
{
    o[0] = x[0];
    o[1] = x[1];
    o[2] = x[2];
    o[3] = x[3];
    o[4] = x[4];
    o[5] = x[5];
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----//
//                               Main Program                               //
//-----//

void main()
{
    *led_port=0xaaaaaaaa; //training mode
    train_nn();
    while(1)
    {
        get_io();
        cal_nn();
//      test();
        put_io();
        delay(0.001);
    }
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้