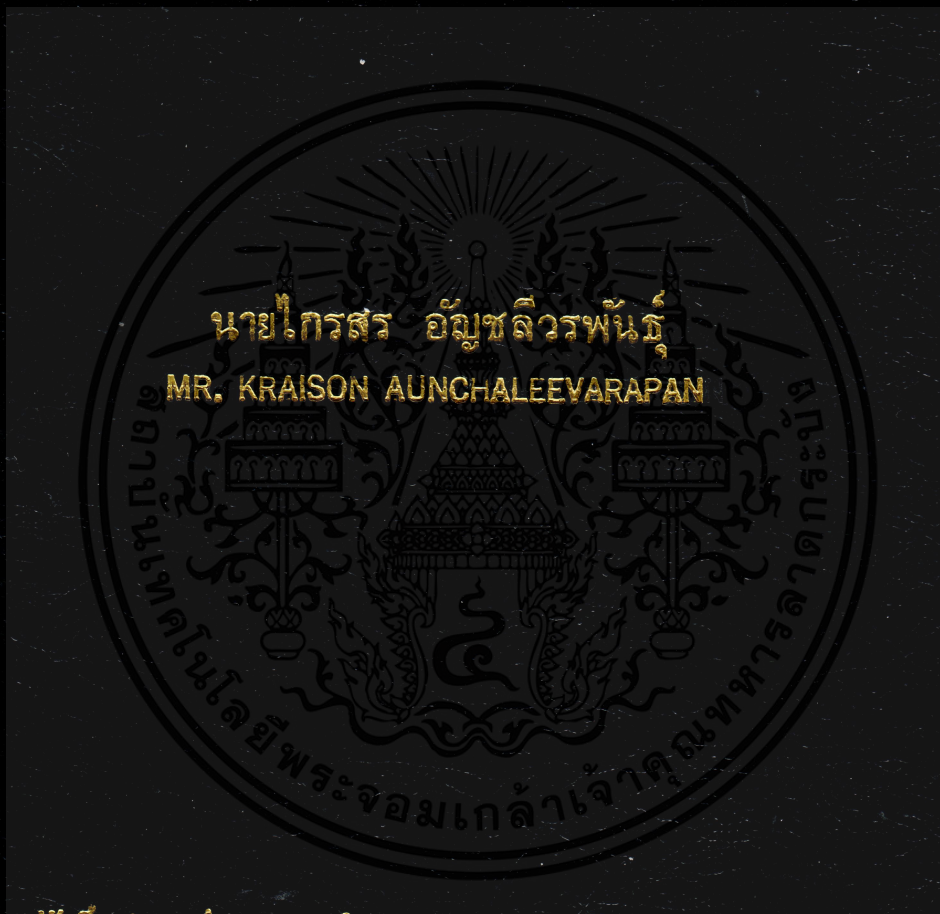


ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติควบคุมโดยโครงข่ายประสาทเทียม

AUTOMATED GUIDED VEHICLE CONTROLLED
BY NEURAL NETWORK



นายไกรสร อัญชลีวรพันธุ์
MR. KRAISON AUNCHALEEVARAPAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2540

ISBN 974-622-014-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

AUTOMATED GUIDED VEHICLE CONTROLLED BY NEURAL NETWORK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT' S INSTITUTE OF THECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาในะห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1997

ISBN 974-622-014-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติควบคุมโดยโครงข่ายประสาทเทียม
นักศึกษา	นายไกรสร อัญชสิทธิ์พันธุ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.โยธิน เปรมปราชญ์รัชต์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พศ.	2540

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ ซึ่งควบคุมโดยโครงข่ายประสาทเทียม ยานขนส่งนี้มีขนาดความยาว 1 เมตร ความกว้าง 60 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร มี 4 ล้อ มีน้ำหนักรวม 200 กิโลกรัม มีมอเตอร์ขับเคลื่อนที่เป็นอิสระต่อกัน 2 ตัวขับเคลื่อนแบบความเร็วแตกต่างกัน มีความเร็วตามแนวราบสูงสุด 15 เมตรต่อวินาที ตัวตรวจจับใช้ตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมภายนอก 40 ตัว ประกอบด้วย ตัวตรวจจับเส้นทางเดินแบบเมตริกซ์ขนาด 4x4 จำนวน 1 ชุด ตัวตรวจจับทางแยก 4 ตัว ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน 8 ตัว ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรดและอัลตราโซนิกอย่างละ 3 ชุด ตัวตรวจจับบางชนิดให้สัญญาณออกได้ทั้งแบบอนาล็อกและดิจิทัล นอกจากนี้ยังมีระบบควบคุมยานขนส่งจากระยะไกลและ ระบบป้องกันยานขนส่งอีกหลายอย่าง เช่น กันชน ไฟและเสียงสำหรับขอกทาง ตัวประมวลผลกลางใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 80386 DX-40 แบบจำลองของโครงข่ายระบบประสาทที่นำมาใช้ควบคุมยานขนส่งจะเป็นแบบแพร่กระจายกลับ (Back-Propagation) ซึ่งเหมาะกับระบบที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุต ซึ่งจากการทดลองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวควบคุมสามารถทำการควบคุมยานขนส่งได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THESIS TITLE AUTOMATED GUIDED VEHICLE CONTROLLED BY
NEURAL NETWORK

STUDY MR.KRAISON AUNCHALEEVARAPAN

THESIS ADVISOR ASSOC.PROF.DR.YOTHIN PREMPRANEERACH

LEVEL OF STUDY MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL
ENGINEERING

DEPARTMENT CONTROL ENGINEERING, KING MONGKUT'S
INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

YEAR 1997

ABSTRACT

This thesis presents the design and construction of an automatic guided vehicle (AGV), which is controlled by neural networks containing the data under algorithm. This AGV is 1 meter long, 60 centimeters wide, 50 centimeters high and consists of 4 wheels. It can carry a load up to 200 kilograms. The AGV has 2 DC motors, which can be driven independently and its horizontal speed is 15 meters per minute. The 40 sensors are used to detect the change of external environment and consist of 2 sets of matrix sensors having a size of 4 x 4 to detect the guide path. The AGV has 4 sensors which can capture the separate directions of AGV, 10 sensors for site-detecting and 5 sets of infrared and ultrasonic sensors for obstacle-detecting. All sensors can give the output which can be both analog and digital. In addition there is a remote system to control the AGV and a system to protect the AGV's various movements. The bumper when touched has a light and sound alarm system indicating movements. A microprocessor 80386 DX-40 which is of 16 bits operated by a 40 MHz clock signal is the CPU. The reason for using the Neural Network is to control the AGV. because the multiple input and output can be controlled for good performance by the neural network, while other controllers can't do it or have difficulty to control it.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ก็เพราะได้รับความเมตตาจากอาจารย์โยธิน เปรมปราณี รัชต์เป็นอย่างมาก รวมทั้งการให้แนวทางตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ ผู้เขียนต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ.โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณอาจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ ที่กรุณาให้ยืมอุปกรณ์ไอซีและช่วยแนะนำเทคนิคของวงจรความถี่มอเตอร์ ขอขอบคุณคุณมนตรีพรรณรัตน์ ที่กรุณาให้ยืมตัวเอ็นโค้ดเดอร์ ขอขอบคุณ คุณกมล เอื้อชินกุล ที่แนะนำเรื่องต่างๆและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ขอขอบคุณ คุณไพฑิน บุญเดช ที่กรุณาให้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือและแนะนำสิ่งต่างๆมากมาย ขอขอบคุณคุณสาธิต อินทจักร ที่ช่วยเหลือแนะนำเทคนิคการถ่ายรูปและอื่นๆ ขอขอบคุณคุณสุขสจิต สุขใจ ที่ช่วยแนะนำวิธีการแก้ปัญหาทางซอฟต์แวร์ ขอขอบคุณคุณชลัช ทองเจือ คุณสายกลาง บุญญบุรณ์ ที่ช่วยเหลือในด้านต่างๆมากมาย ขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆทุกท่านที่มีส่วนแนะนำสถานที่การซื้อของและอื่นๆ สุดท้ายขอขอบพระคุณทุนมูลนิธิเพื่อการสื่อสารและคอมพิวเตอร์(C&C) ที่กรุณาให้ทุนขณะทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง

ไกรสร อัญชลีวรพันธุ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ	XIV
บทที่	
1 บทนำ	1
2 องค์ประกอบของยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ	5
ระบบยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติทั่วไป	5
ทิศทางการพัฒนายานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ	9
พัฒนาวิธีการเก็บตารางการเคลื่อนที่	9
การนำร่องแบบไร้สาย	10
พัฒนาวิธีการส่งข้อมูล	10
เทคโนโลยีในการนำร่อง	10
การนำร่องโดยใช้ทางเดินนำร่อง	10
การนำร่องแบบไร้สาย	12
ลักษณะของตัวควบคุมที่ใช้ในยานขนส่ง	18
ตัวควบคุมแบบ เปิด-ปิด (ON-OFF Control Mode)	19
ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Mode)	20
ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control Mode)	21
ตัวควบคุมแบบคริเวทีฟ (Derivative Control Mode)	23
ตัวควบคุมแบบประกอบกัน (Composite Mode)	24
ส่วนขับเคลื่อนของยานขนส่ง	27
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3 การออกแบบและสร้างระบบควบคุมยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ	39
บทนำ	39
ระบบนำร่องด้วยโฟโต้เซนเซอร์	40
หลักการที่นำมาใช้ในการนำร่องของยานขนส่งในวิทยานิพนธ์..	40
วงจรถอดตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง	43
ตัวตรวจจับทางแยก	44
ระบบนำร่องและตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยอุลตราโซนิก	47
ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ด้วยอุลตราโซนิกแบบดิจิตอล...	47
ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยอุลตราโซนิกแบบอนาลอก	48
ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรด	52
ระบบตรวจวัดแรงดันและประจุแบตเตอรี่	52
แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของยานขนส่ง	55
ระบบควบคุมแบบไร้สายระยะไกล	55
ระบบบันทึกเสียงและระบบความปลอดภัยของยานขนส่ง	59
วิธีการในการค้นหาสถานีปฏิบัติงานของยานขนส่ง	65
วงจรถับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง	70
การทำงานของวงจรถับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง	73
การทำงานของวงจรถับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง	73
วงจรถักขยายกำลังสำหรับมอเตอร์กระแสตรง	79
วงจรถื่อมต่อของคอมพิวเตอรืกับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อไปควบคุมระบบ ต่างๆของยานขนส่ง	81
สัญญาณต่างๆบนสล็อตของคอมพิวเตอรื	81
วงจรถื่อมต่อสัญญาณข้อมูลภายนอก	85
ระบบทางกลของยานขนส่ง	89
การคำนวณอัตราทดของมอเตอร์ที่กระทำต่อโหลด	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4 นิวรอลเน็ตเวิร์ค	93
บทนำ	94
ความรู้พื้นฐานทางกายภาพของระบบเซลล์ประสาท	94
แบบจำลองโครงข่ายเซลล์ประสาท	97
การเรียนรู้ของโครงข่าย	101
การแพร่กระจายกลับ	103
วิธีการของกฎเคลตันนอกประสงค์	106
ปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการสอนของโครงข่ายด้วยวิธี Back-propagation เพิ่มมากขึ้น	109
ขั้นตอนการสอนโครงข่ายประสาทเทียม	110
5 การนำข้อมูลจากเซนเซอร์เข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม	116
การนำสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม	116
การนำสัญญาณอนาล็อกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม	126
โครงข่ายประสาทเทียมแบบลูปปิดและลูปเปิด	129
กรรมวิธีการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมและการนำไปงาน.....	130
6 ผลการทดลอง	133
ผลการทดสอบตัวตรวจจับสัญญาณ	133
ผลการทดสอบระบบควบคุมการเคลื่อนที่	143
ผลการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์	145
7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	184
บรรณานุกรม	187
ภาคผนวก	188
ภาคผนวก ก.	189
ภาคผนวก ข.	243
ประวัติผู้เขียน	253

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงสภาวะของสัญญาณที่เป็นไปได้ทั้งหมดและทิศทางการหมุนของเอ็นโค้ดเดอร์	36
2 แสดงการเปรียบเทียบหมายเลขช่องสัญญาณ ในฐาน 10 และฐาน 2 กับสัญญาณ PPM ..	58
3 แสดงความสัมพันธ์ของ โหนดและทิศทาง	66
4 แสดงความสัมพันธ์ของ โหนดและทิศทางแสดงเป็นตัวเลข	67
5 แสดงคำสั่งของ LM628	75
6 แสดงสัญญาณต่างๆบนสล็อตของคอมพิวเตอร์	82
7 แสดงแอดเดรสและหน้าที่การทำงานของสล็อตพีซี	84
8 แสดงการกำหนดหมายเลขพอร์ตของ 8255	85
9 แสดงแอดเดรสและการเลือกชิพ ADC	89
10 แสดงแอดเดรสและการเลือกใช้ชิพ DAC	89
11 แสดงรายละเอียดของยานขนส่ง	92
12 แสดงการปรับค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับกฎการสอนแบบต่างๆ	103
13 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของลอจิก AND	146
14 แสดงความสัมพันธ์ของลอจิก XOR	148
15 แสดงเงื่อนไขของอินพุตและเอาต์พุตของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบ 2บิต	151
16 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับทางแยกกับเอาต์พุตมอเตอร์	153
17 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับสถานีกับรีจิสเตอร์สถานี	156
18 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรดกับมอเตอร์	159
19 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหว แบบอุลตราโซนิกกับมอเตอร์	162
20 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวตรวจจับทางเดินแบบเมตริกซ์กับมอเตอร์	166
21 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับชนิดต่างๆของ AGV กับมอเตอร์	169
22 แสดงการเปรียบเทียบตัวตรวจจับ 2บิตกับแบบเมตริกซ์	180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1	แสดงการนำ AGV ไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม	7
2	แสดงการนำ AGV มาใช้ขนส่งอาหารในโรงแรม	8
3	แสดงวิธีการนำร่องโดยใช้กล้อง CCD	11
4	แสดงวิธีการวัดระยะทางของ AGV	13
5	แสดงการนำร่องโดยใช้เลเซอร์	15
6	แสดงการนำร่องโดยใช้กล้องในการประมวลผลภาพให้ AGV	16
7	แสดงระบบเซอร์โวของหุ่นยนต์	18
8	แสดงการจับวางตัวจับของยานขนส่ง	18
9	แสดงกริยาควบคุมแบบ เปิด-ปิด	19
10	แสดงคุณสมบัติของตัวควบคุมแบบสัดส่วน	21
11	แสดงผลของตัวควบคุมแบบอินทรีย์	22
12	แสดงผลของตัวควบคุมแบบดิริเวทีฟ	23
13	แสดงการนำตัวควบคุม P,I,PI มาใช้ควบคุมมอเตอร์	25
14	แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของดีซีมอเตอร์	27
15	แสดงแรงบิดต่างๆที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์	29
16	บล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล	31
17	บล็อกไดอะแกรมรูปการควบคุมทั้งตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์	34
18	แสดงกรอบความเร็วของมอเตอร์	36
19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง w,f และ q	37
20	แสดงการจัดวางตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง และกรณี que อาจเกิดขึ้นได้กับ AGV ขณะเคลื่อนที่	41
21	แสดงการวางตัวตรวจจับแบบ PID	42
22	แสดงการวางของตัวตรวจจับแบบเมตริกซ์	42
23	แสดงวงจรของตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง	43
24	แสดงการติดตั้งตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนในเชิงการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือแจกจ่ายโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

		หน้า
25	แสดงวงจรสมบูรณข์ของส่วนแปลงความเข้มแสงเป็นข้อมูลดิจิทัล 8บิต	44
26	แสดงรูปแบบของทางแยกที่ใช้งานบ้อย	46
27	แสดงการจัดวางตัวตรวจจับทางแยก	46
28	แสดงวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวอุลตราโซนิคแบบดิจิทัล	49
29	แสดงหลักการทำงานของวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางอุลตราโซนิคแบบอนาลอก	50
30	แสดงวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางอุลตราโซนิคแบบอนาลอก	51
31	แสดงวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรดดิจิทัล	53
32	แสดงวงจรตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่	54
33	แสดงวงจรประจุแบตเตอรี่	54
34	แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของยานขนส่ง	55
35	แสดงบล็อกไดอะแกรมของ IC SL490	56
36	แสดงสัญญาณ PPM ของเลข 2	57
37	แสดงบล็อกไดอะแกรมของ IC SL926	57
38	แสดงวงจรภากรับและส่งแบบอินฟาเรดสำหรับควบคุม AGV ระยะไกล	61
39	แสดงวงจรบันทึกเสียงและภาคขยายกำลัง	62
40	แสดงวงจรปิดเปิดเสียง,ไฟขอทางและไฟเลียของ AGV	64
41	แสดงวงจรตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน	65
42	แสดงการกำหนดโหนดสถานีปฏิบัติงานจำนวน 9 โหนดและทิศทางของโหนด	66
43	แสดงการแทนค่าทิศทางของโหนดปฏิบัติงาน	66
44	แสดงความสัมพันธ์ของโหนดหมายเลข 0 กับโหนดต่างๆ	67
45	แสดงทางเดินของ AGV จากโหนด 0 ไปยังโหนด 7	68
46	แสดงแผนภูมิรูปต้นไม้ของโหนด 0	69
47	แสดงตัวอย่างของทรีจากโหนด 0 ไปโหนด 7	69
48	แสดงแสดงแผนภูมิต้นไม้ที่มีความลึก 5ระดับของโหนด 0 ไปยังโหนด 7	69
49	แสดงโครงสร้างของดิจิทัล PID ฟัลเตอร์ของ LM628	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางที่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
50	แสดงโครงสร้างของ PID ฟีดแบ็คของ LM 628 71
51	แสดงสัญญาณอินพุตจากเซ็น โคลด์เดอร์ทที่ป้อนเข้า LM62871
52	แสดงวงจรขับดีซีมอเตอร์ 2ชุด74
53	แสดงโฟล์ทการ์ตการสั่งงาน LM628 76
54	แสดงเอาต์พุตของ LM628 79
55	แสดงวงจรภาคขยายกำลังไฟสำหรับดีซีมอเตอร์80
56	แสดงทิศทางของกระแสเมื่อมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา81
57	แสดงทิศทางของกระแสเมื่อมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา 81
58	แสดงวงจรการ์ด 8255 86
59	แสดงวงจรการ์ด ADC 87
60	แสดงวงจรการ์ด DAC 88
61	แสดงการทดสอบของ AGV 91
62	แสดงบล็อก ไดอะแกรมการควบคุมของ AGV 91
63	แสดงการสื่อสารประสาทข้อมูลในระบบประสาท 94
64	แสดงโครงสร้างของเซลล์ประสาทและการส่งสัญญาณกระแสประสาท 94
65	แสดงลักษณะการเกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน 96
66	แสดงสภาวะต่างของเซลล์ประสาท 96
67	แสดงศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานที่เกิดจากการรวมกันของซินแนปส์ 97
68	แสดงแบบจำลองเซลล์ประสาทของ Mcclloch-Pitts และ โครงข่ายลอจิกพื้นฐาน..... 98
69	แสดงแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม 99
70	แสดงสัญญาณกระตุ้นแบบต่างๆ 101
71	แสดงโครงข่ายมัลติเลเยอร์ เปรอร์เซ็ปตอน 104
72	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y 105
73	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับ Y โดยมีชั้นฮิดเดนเป็นตัวเชื่อม105
74	แสดงแผนภูมิการสอนแบบ Error Back-propagation ที่มี I ชั้น 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 ไม่ว่ากรณิดาทุกทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

75 แสดงรูปโครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไป116

76 แสดงการนำสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม 117

77 แสดงการกำหนดค่าในชั้นอินพุต,เอาต์พุตและค่าถ่วงน้ำหนัก W,V 119

78 แสดงกราฟของฟังก์ชันกระตุ้น 120

79 แสดงกราฟของสมการฟังก์ชันกระตุ้นที่ใช้ 121

80 แสดงการคำนวณ ในชั้นฮิดเดนโหนดที่ 1 121

81 แสดงการคำนวณ ในชั้นเอาต์พุต123

82 แสดงการคำนวณแพร่กลับในชั้นของฮิดเดน 125

83 แสดงการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมโดยย่อ 126

84 แสดงการนำสัญญาณทางอนาลอกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม 127

85 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า 129

86 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการป้อนกลับชั้นเดียว 130

87 แสดงการนำสัญญาณจากตัวตรวจจับเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม 131

88 แสดงการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้กับยานขนส่ง132

89 แสดงการติดตั้งตัวตรวจจับสัญญาณบริเวณใต้ท้องยานขนส่ง134

90 แสดงเอาต์พุตวัดจากขา 1 ของ MRD750 ขณะตรวจไม่พบเส้นทางนำร่อง 134

91 แสดงเอาต์พุตวัดจากขา 1 ของ MRD750 ขณะตรวจพบเส้นทางนำร่อง135

92 แสดงเอาต์พุตวัดจากขา 8 ของ IC LM324 ขณะตรวจไม่พบทางเดินนำร่อง..... 136

93 แสดงเอาต์พุตวัดจากขา 1 ของ MRD750 ขณะตรวจพบเส้นทางนำร่อง 136

94 แสดงเอาต์พุตของสัญญาณขา 8 ของ LM324ขณะตรวจพบทางเดินนำร่องทั้งหมด.. 137

95 แสดงเอาต์พุตของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางขณะตรวจไม่พบสิ่งกีดขวาง 138

96 แสดงเอาต์พุตของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรดขณะตรวจพบสิ่งกีดขวาง138

97 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับวัดจากขาคอเลคเตอร์ของ
ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC639 ขณะตรวจไม่พบสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหว 139

98 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับวัดจากขาคอเลคเตอร์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อุญช์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

		หน้า
	ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC639 ขณะตรวจพบสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหว	140
99	แสดงเอาต์พุตของสัญญาณที่วัดจากขา 7ของ IC LM319 ขณะไม่พบสิ่งกีดขวาง.....	141
100	แสดงเอาต์พุตของสัญญาณที่วัดจากขา 7ของ IC LM319 ขณะตรวจพบสิ่งกีดขวาง..	141
101	แสดงเอาต์พุตของตัวส่งสัญญาณควมคุมรีโมทที่ขาของอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD253	142
102	แสดงเอาต์พุตของตัวรับสัญญาณอินฟาเรดที่ผ่านการขยายแล้วโดยวัดที่ขา 9 ของ IC SL486	143
103	แสดงเอาต์พุตของวงจรขับ DCมอเตอร์ขณะทำงานในโหมดความเร็วและ ทิศทางการตาม เข็ม นาฬิกา	144
104	แสดงเอาต์พุตของวงจรขับ DCมอเตอร์ขณะทำงานในโหมดความเร็วและทิศทางการตาม เข็มนาฬิกา	144
105	แสดงเอาต์พุตของวงจรขับ DC มอเตอร์ขณะทำงานพ่นโหมดตำแหน่ง	145
106	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของลอจิก ANDที่ผ่านการสอนแล้ว	147
107	แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของลอจิก AND ที่ผ่านการคำนวณแล้ว	147
108	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของลอจิก XOR ที่ผ่านการสอนแล้ว	149
109	แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของลอจิก XOR ที่ผ่านการคำนวณแล้ว	149
110	แสดงวิธีการตรวจจับทางเดินนำร่องของตัวตรวจจับ 2บิต	150
111	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องที่ผ่านการสอนแล้ว	152
112	แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับ 2บิตที่ผ่านการคำนวณแล้ว	152
113	แสดงการตรวจจับทางแยกของ AGV	153
114	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับทางแยกที่ผ่านการสอนแล้ว	154
115	แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับทางแยก 2 บิต ที่ผ่านการคำนวณแล้ว	155
116	แสดงการตรวจจับสถานีปฏิบัติงานของ AGV	156
117	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับสถานีที่ผ่านการสอน โคร่งข่ายแล้ว	157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์สมควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ตามการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

หน้า

118	แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน ที่ผ่านการคำนวณแล้ว	158
119	แสดงการติดตั้งตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรด	159
120	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแลสอินฟาเรด	160
121	แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรดที่ ผ่านการคำนวณ	161
122	แสดงการติดตั้งตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวอุลตราโซนิก	162
123	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวที่ผ่านการคำนวณแล้ว	164
124	แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวอุลตราโซนิก.....	165
125	แสดงการตรวจจับทางเดินนำร่องของตัวตรวจจับแบบเมตริกซ์	166
126	แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับเส้นทางแบบเมตริกซ์กับมอเตอร์ขับเคลื่อน	167
127	แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับทางเดินแบบเมตริกซ์	168
128	แสดงวงจรเชื่อมต่อตัวควบคุมกับระบบภายนอก(Interface)	173
129	แสดงการติดตั้งตัวตรวจจับต่างๆบน AGV	173
130	แสดงการติดตั้งระบบขับเคลื่อนของ AGV	174
131	แสดงการติดตั้งตัวควบคุมเข้ากับ AGV	174
132	แสดงการติดตั้งระบบจ่ายไฟเลี้ยงของ AGV	175
133	แสดงการแก้ไขโปรแกรมโดยการเชื่อมต่อจอ VAG และคีย์บอร์ด	175
134	แสดงโครงสร้างทางกลด้านหน้าของ AGV	176
135	แสดงโครงสร้างทางกลด้านหลังของ AGV	177
136	แสดงโครงสร้างทางกลด้านข้างของ AGV	178
137	แสดงการเคลื่อนที่ของ AGV เมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวาง	179
138	แสดงการเคลื่อนที่ของ AGV ออกจากสิ่งกีดขวางของ AGV	179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ

	หน้า
AGV	ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ (Automated Guide Vehicle) 1
FMS	ระบบโรงงานแบบยืดหยุ่น(flexible manufacturing system)1
C	ตัวแปรเอาต์พุต(output variable) 20
C_p	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบสัดส่วน 20
C_o	ค่าเอาต์พุตที่ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์(Zero Error Controller Output) 20
P	ตัวควบคุมแบบสัดส่วน(Proportional Control)20
K_p	กำลังขยายของตัวควบคุมแบบสัดส่วน(proportional gainm) 20
e_p	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบสัดส่วนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 20
$C_1(t)$	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมในตัวควบคุมแบบอินทิกรัล 22
$Ae(t)$	พื้นที่ทั้งหมดของความคลาดเคลื่อน(เปอร์เซ็นต์/เวลา)ตั้งแต่วันที่ $t=0$ ถึง $t=T$ 22
$C_1(t)$	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมในตัวควบคุมแบบอินทิกรัล 22
D	ตัวควบคุมแบบดิริเวทีฟ(Derivative Control) 24
e	สัญญาณเออร์เรอร์(error signal)24
$C_D(t)$	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบดิริเวทีฟ(%)ที่เวลา t 24
C_{PI}	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมในตัวควบคุมแบบ PI(Porprotion Intregal Control) ... 24
PI	ตัวควบคุมแบบสัดส่วน-อินทิกรัล(Proportional- Intregal Control) 24
C_{PD}	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมในตัวควบคุมแบบ PD(Porportional Derivative Contorl) 24
PD	ตัวควบคุมแบบสัดส่วน-ดิริเวทีฟ(Proportional- Derivative Control) 25
C_{PID}	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมในตัวควบคุมแบบ PID (Porprotion Intregal Derivative Control) 25
PID	ตัวควบคุมแบบสัดส่วน-อินทิกรัล-ดิริเวทีฟ(Proportional-Intregal- Derivatiive Control) 25
m	สัญญาณควบคุม(control signal) 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ(ต่อ)

$m(0)$	เอาต์พุตของตัวควบคุมเมื่อค่าผิดพลาดเป็นศูนย์	25
T_I	อินทิกรัลไทม์(integral time)	25
R_a	ความต้านทานของฟิลด์(field resistance)	27
T_F	แรงบิดเสียดทานภายใน(internal friction torque)	27
$I_a(t)$	กระแสอาร์เมเจอร์(armature current)	27
J	ผลรวมของโมเมนต์แรงเฉื่อย(total moment of inertia)ของมอเตอร์และโหลด	27
K_T	ค่าคงที่แรงบิด(torque constant)	27
L_a	ความเหนี่ยวนำ(inductance)ของขดลวดอาร์เมเจอร์	27
T_G	แรงบิดกำเนิดจากมอเตอร์(generated torque)	27
T_L	แรงบิดโหลด(load torque)	27
T_s	แรงเฉื่อยของมอเตอร์	27
$V(t)$	โวลต์เดจที่ป้อนให้มอเตอร์	28
$V_G(t)$	เอาต์พุตโวลต์เดจของทาโคมิเตอร์	29
K_E	ค่าคงที่ของโวลต์เดจ(voltage constant)	29
$G_1(s)$	ฟังก์ชันการถ่ายโอนระหว่างโวลต์เดจกับความเร็ว	32
$G_2(s)$	ฟังก์ชันการถ่ายโอนแรงบิดโหลด	32
β	สัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมป์ลิ่ง(viscous damping coefficient)	32
$\theta(t)$	ตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์	34
$\omega(t)$	ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์	34
K_G	ค่าคงที่ของทาโคมิเตอร์(tachometer gain)	34
K_R	ค่าคงที่ของเอ็นโค้ดเดอร์(encoder gain)	34
ω_c	ค่าคงที่ของความเร็ว	35
ρ	อัตราลดลงของความเร็ว	37
ANNS	ระบบแบบจำลองนิวรอลเน็ตเวิร์ค (Artificial Neural Network System)	97
X_i	โหนดอินพุต	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตัว **XV** นี้จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ(ต่อ)

c	ค่าคงที่ของอัตราการเรียนรู้	103
S	การสอนแบบมีการชี้แนะ	103
U	การสอนแบบไม่มีการชี้แนะ	103
v_{ij}	ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นฮิดเดนกับเอาต์พุต	103
w_{ij}	ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นอินพุตกับฮิดเดน	103
$f(\text{net})$	ฟังก์ชันทรานซิปต์	107
Δv	ปรับค่าถ่วงน้ำหนักชั้นฮิดเดนกับเอาต์พุต	108
η	ค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate)	108
σ	ค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นฮิดเดน	108
δ_p^i	เวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อนสำหรับชั้นที่ i ใดๆ	108
α	ค่าโมเมนตัม	108
X_p^{i-1}	เซตของอินพุตแพทเทิร์นที่ p ชั้น i-1	108
O_p^i	ชั้นของเอาต์พุตสำหรับความคลาดเคลื่อนของชั้นที่ i ใดๆ	109
E_p	ค่าความผิดพลาดของแพร์ตเทิร์น	110
E_{\max}	ค่าความผิดพลาดต่ำสุดที่ยอมรับได้	110
h_i	โหนดฮิดเดนที่ i	116
h_m	ค่าของชั้นฮิดเดนที่ผ่านสมการกระตุ้น	120
o_i	โหนดเอาต์พุตที่ I	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ มีการแข่งขันกันอย่างเสรี ทำให้ผู้ผลิตจำเป็นต้องหาวิธีการลดต้นทุนการผลิตของตนเองลง ทั้งนี้เพื่อตัดราคาของบริษัทที่มีผลผลิตอย่างเดียวกัน และในทางตรงกันข้ามก็จำเป็นต้องพัฒนากรรมวิธีการผลิต เพื่อให้ได้ผลผลิตออกมามีคุณภาพดีและใช้เวลาในการดำเนินการน้อย ดังนั้นนักวิชาการสมัยใหม่จึงมุ่งเป้าหมายที่การนำเอาเทคโนโลยีอันทันสมัยเข้ามาเป็นตัวดำเนินการ วิธีนี้จะมองว่าเป็นการลงทุนที่สูง แต่ผลประโยชน์ที่จะได้รับต่อไปในอนาคตถือว่าคุ้มค่าอย่างยิ่ง โดยเฉพาะหน่วยโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นตัวผลิตผลิตภัณฑ์ออกมาจำหน่ายยังท้องตลาด ปัจจัยที่มีการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ก็คือความละเอียดในการทำงาน ระยะเวลาในการทำงานที่ไม่จำเป็นต้องหยุดสายการผลิตเพื่อพักผ่อนสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและได้ปริมาณงานมาก การทำงานในระบบผสมผสานเทคโนโลยีใหม่นี้มีการนำเอาสายพานลำเลียง, แครน, พีแอลซี, หุ่นยนต์, ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติมาใช้ในกรรมวิธีการผลิต ดังนั้นในทางอุตสาหกรรมจึงจัดการศึกษาเฉพาะทางด้านการจัดการวัสดุ และกระบวนการควบคุมขึ้น ในที่จะกล่าวเฉพาะการขนส่งวัสดุเท่านั้น[1]

การขนส่งวัสดุ (Transportation system) หากต้องการจะขนส่งวัสดุจากสายการผลิตหนึ่งไปยังอีกสายการผลิตหนึ่งมีวิธีการมากมายอาทิเช่น ใช้รถบรรทุกขนส่งใช้สายพานลำเลียงหรือถ้าหากวัสดุนั้นมีน้ำหนักมากและระยะทางในการขนส่งไกล ก็อาจจะใช้รถไฟขนส่งได้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กวิธีที่แพร่หลายคือการใช้สายพานลำเลียงและการใช้เครน (crane) วิธีนี้จะทำโดยการนำเอาวัสดุที่มีขนาดคงที่และมีการขนส่งที่ต่อเนื่อง หากหยุดการขนส่งลงสายพานลำเลียงหรือเครนนั่น ก็เสมือนเป็นสิ่งกีดขวาง การทำงานของระบบไปโดยปริยาย เพราะมีขนาดใหญ่โตจึงกินพื้นที่การทำงานมาก อีกทั้งเป็นการยากในการที่จะซ่อมแซมระบบที่เสียหายและยังต้องใช้เวลาานมากในกรณีต้องการจะย้ายทิศทางของการลำเลียงขนส่ง เมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น จึงมีการคิดค้นรถขนส่งที่เคลื่อนที่ได้เองโดยไม่จำเป็นต้องมีคนควบคุม

คุมและเมื่อเคลื่อนที่ผ่านไปแล้วสามารถคืนพื้นที่การทำงานด้วย รถขนส่งนี้เรียกว่า ยานขนส่งแบบนำร่องอัตโนมัติ (Automatic guide vehicle) หรือ AGV[13]

เนื่องจาก การพัฒนา AGV ตัวเดิมซึ่งเป็นวิทยานิพนธ์ของนายอนุตรชัยปี 2536[7] ใช้ระบบประมวลผลกลางเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านความยืดหยุ่น ผู้ที่จะใช้งาน AGV จะต้องมีความรู้ในภาษาแอสเซมบลี (assembly) ทำให้ยากต่อการแก้ไขและเพิ่มความชาญฉลาดให้แก่ระบบเป็นอย่างยิ่ง อีกทั้งระบบแบบเดิม[7] ยังมีการประมวลผลแบบเปิด-ปิด (on/off) คือรับข้อมูลเข้ามาแล้วทำการประมวลผล แล้วนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ไปขับมอเตอร์ เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ของ AGV ข้อเสียของการควบคุมที่เป็นแบบ เปิด-ปิดคือ ระบบจะสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำก็ต่อเมื่อ มีความถูกต้องของข้อมูลเข้าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ทำให้ขาดความยืดหยุ่น อีกทั้งระบบตรวจจับต่าง ๆ ยังไม่สมบูรณ์ อีกทั้งมีเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังไม่มีการสร้าง AGV ระบบจริงขึ้นมาใช้งานจริงเลย จากเงื่อนไขที่จะต้องมีความสมบูรณ์ของข้อมูลนำเข้าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์นี้ เป็นปัญหาการทำงานของ AGV ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสภาวะแวดล้อมเลวร้าย เช่น กรณีเส้นทางที่ใช้เป็นทางเดินนำร่องของยานขนส่งมีสิ่งสกปรกมาเกาะติด ข้อมูลที่อ่านได้จากหน่วยนำข้อมูลเข้าจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น คือแทนที่จะได้ข้อมูลว่าเป็นเส้นตรงให้ AGV เคลื่อนที่ไปข้างหน้า เมื่อมีสิ่งสกปรกมาเกาะติดทางเดินนำร่องบางส่วน หน่วยรับข้อมูลเข้ากลับอ่านได้เป็น AGV กำลังออกนอกเส้นทางด้านซ้ายให้ปรับ AGV เข้าทางขวาจึงเป็นความผิดพลาดขึ้น ประการสำคัญคือ การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่าง ๆ บนตัว AGV จะต้องเข้าไปแก้ไขในระบบตัวโปรแกรมซึ่งไม่เป็นการสะดวกกับผู้ใช้งานอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ใช้งานนั้น ๆ มิได้เป็นผู้เขียนโปรแกรมควบคุม AGV เอง เป็นการเสียเวลาและจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้เชี่ยวชาญควบคุมดูแล AGV ตลอดเวลา

เนื่องจากระบบเดิม[7]มีข้อเสียดังที่กล่าวมาแล้ววิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอการใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาเป็นตัวควบคุม AGV สำหรับประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเทียมคือสามารถควบคุม ระบบ(plant)ที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุตได้ดี และเสียเวลาในการคำนวณน้อย ในขณะที่ตัวควบคุมในแบบอื่นๆ ไม่สามารถกระทำได้หรืออาจจะเสียเวลาในการควบคุมมากเกินไปจนทำให้ระบบไม่สามารถตอบสนองคำสั่งได้ตามต้องการ ในการเพิ่มเงื่อนไขในการควบคุมหรือความสามารถในการตัดสินใจตัวควบคุมแบบอื่นๆนั้น จะต้องทำการออกแบบตัวควบคุมใหม่ๆใหม่จึงเป็นการเสียเวลาและไม่สะดวกอย่างยิ่ง แต่ระบบควบคุมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำได้โดยง่ายคือเพียงสอนเงื่อนไขเพิ่มเข้าไปในโครงข่ายเท่านั้น โครงข่ายที่สอนเงื่อนไขใหม่ลงไปจะสามารถควบคุมระบบใหม่นั้นๆได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องออก

แบบตัวควบคุมระบบใหม่ทั้งหมดเลย อีกทั้งระบบที่ควบคุมที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวควบคุมยังไม่จำเป็นต้องรู้ค่า พารามิเตอร์ภายในของระบบนั้นๆเลย จึงเป็นความสะดวกอย่างยิ่งในการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ควบคุมระบบ(plant)ต่างๆ

AGV ในวิทยานิพนธ์นี้มีวงจรทำหน้าที่ตรวจจับสถานะแวดล้อมภายนอก ที่เป็นอินพุตของระบบ AGV ซึ่งประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ ดังนี้

ตัวตรวจจับเส้นทางเดินนำร่อง AGV, สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะออกแบบตัวตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องเป็นแบบเมตริกซ์ (matrix) มีขนาด 4×4 จุด จำนวน 2 ชุด ที่ให้ข้อมูลเอาต์พุตได้ทั้งแบบอนาลอกและดิจิทัล กรรมวิธีนี้มีข้อดีคือ ค่าที่อ่านได้จะมีความละเอียดมากกว่าวิธีเก่าซึ่งใช้ตัวตรวจจับแบบ 2 บิต สำหรับรูปแบบของเส้นทางที่กำหนดในวิทยานิพนธ์นี้มีดังนี้ เส้นทางตรง, ทางแยกมุมฉาก, ทางโค้ง และเพื่อบอกให้ AGV หยุดยังตำแหน่งเป้าหมายอย่างถูกต้องจึงทำการออกแบบ

ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน ตัวตรวจจับนี้มีจำนวน 8 ตัว สามารถตรวจจับสถานีปฏิบัติงานได้ทั้งหมด 256 สถานี

นอกจากนี้ AGV ที่สร้างขึ้นยังมี ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบ่งเป็น แบบอินฟราเรด และตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวแบบอัลตราโซนิก ตัวตรวจจับนี้จะถูกติดตั้งรอบ ๆ ตัว AGV เพื่อเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการนำร่องและเป็นการป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการชนของ AGV ได้ สัญญาณทางไฟฟ้าของตัวตรวจจับของ AGV ทั้งหมด จะถูกนำมาเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อที่จะทำการตัดสินใจให้ค่าเอาต์พุตที่ถูกต้องออกมาควบคุมการทำงานของ AGV ต่อไป

สำหรับการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมนั้น จะต้องทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมก่อน จนกระทั่งสามารถจดจำเงื่อนไขของอินพุตและเอาต์พุต ที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดขึ้นตามต้องการ จนได้หมดทุกกรณีแล้ว โครงข่ายประสาทเทียมจะเก็บค่าน้ำหนัก(weight)ไว้เพื่อการใช้งานต่อไป

การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะทำได้โดย เริ่มการทำงานของ AGV ให้หน่วยรับข้อมูลต่าง ๆ รับข้อมูลจากตัวตรวจจับทั้งหมดเข้ามา ข้อมูลที่รับเข้ามาอาจจะมีค่าผิดพลาดบ้างบางส่วน จากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดเข้าโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อคำนวณหาค่าเอาต์พุตที่ถูกต้องตามข้อกำหนดที่ทำการสอนไว้ แล้วให้ค่าเอาต์พุตออกมาซึ่งในที่นี้ก็คือ ดิซิมมอลเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนยานขนส่ง และระบบความปลอดภัยต่างๆของ AGV นั้นเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ออกแบบ และสร้าง AGV ขึ้นใช้งาน
2. เพื่อประยุกต์ใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ 80386
3. เพื่อประยุกต์ใช้งานอุลตราโซนิก, อินฟราเรด และโฟโต้เซนเซอร์
4. เพื่อศึกษาวิธีการควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและสร้าง
ขึ้นใช้งาน
5. เพื่อศึกษาโครงข่ายประสาทเทียม และประยุกต์ใช้งาน

1.3 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

- บทที่ 1 เป็นบทนำ จะอธิบายถึงวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์และเนื้อหาคร่าว ๆ
ของแต่ละบท
- บทที่ 2 อธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับAGVที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน
- บทที่ 3 อธิบายการออกแบบระบบทั้งหมดของ AGV เช่น แมคคานิก, วงจร
ตรวจจับต่าง ๆ, วงจรควบคุม, วงจรขับมอเตอร์
- บทที่ 4 อธิบายรายละเอียดของโครงข่ายประสาทเทียม กล่าวถึงความเป็นมา
ทฤษฎี และการใช้งาน
- บทที่ 5 อธิบายการนำข้อมูลจากตัวตรวจจับเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม
- บทที่ 6 แสดงผลการทดสอบระบบต่าง ๆ
- บทที่ 7 บทสรุปและการวิจารณ์

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

องค์ประกอบของยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

2.1 ระบบยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

ระบบ AGV ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะเป็นแบบระบบที่ใช้ทางเดินนำร่องได้แก่แถบสีติดตามพื้น[14] การฝังเส้นลวดหรือโลหะตัวนำใต้พื้นนี้มีลักษณะของความไม่ยืดหยุ่นการแก้ไขจะต้องทำการรื้อถอนแถบโลหะตัวนำออกทั้งหมดก่อนจึงจะสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานใหม่ได้ทำให้เสียเวลาในการแก้ไข และเสียค่าใช้จ่ายมากอีกด้วย ระบบทางเดินนำร่องส่วนใหญ่มักจะถูกกำหนดโดยโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้งานซึ่งมีหลายกรณีที่สามารถดัดแปลงแก้ไขไปใช้งานได้ ตัวอย่างของการดัดแปลงแก้ไขระบบ AGV อาทิเช่น การต่อเติมทางเดินนำร่อง การเพิ่มจำนวนสถานีปฏิบัติงาน, การเพิ่มจุดตัด, การเพิ่มจำนวนของ AGV ในระบบ การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวในการทำงาน การเปลี่ยนระบบตัวตรวจจับ (sensors), การเปลี่ยนวิธีขนถ่ายวัสดุ, การเปลี่ยนวิธีการควบคุม, การเปลี่ยนวิธีการประจุแบตเตอรี่ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ต่อมาผู้ผลิต AGV จึงมีการเสนอ AGV ที่อาศัยทางเดินนำร่องน้อยลงโดยมีจุดประสงค์ คือ เพื่อให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากกว่าที่เป็นอยู่ ทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไข

AGV จัดเป็นหุ่นยนต์ประเภทเคลื่อนที่ (Mobile Robot)[11] ซึ่งแตกต่างจากแขนกลที่เป็นแบบคงที่ (Fixed Robot) AGV มีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมแบบใหม่มากกว่า 30 ปี AGV เป็นยานพาหนะที่ไม่ต้องใช้คนขับ สามารถวิ่งไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ได้เองโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ AGV ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นได้อีก อาทิเช่น รถโฟล์คลิฟท์ (fork-lift) รถบรรทุก (truck) รถแทรกเตอร์ เป็นต้น หรืออาจใช้แทนสายพานลำเลียง หน้าที่ของ AGV คือขนส่งวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์สินค้าหรือชิ้นส่วนเล็ก ๆ น้อย ๆ ของสายการผลิตหนึ่งไปยังอีกสายการผลิตหนึ่ง AGV มีใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติ และมีการขยายการทำงานในโรงงานแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยสามารถทำงานร่วมกับคนได้แล้ว

เอกสารนี้เป็นโรงงานอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติทั้งหมดนั้น ระบบขนส่งจะถูกควบคุมการทำงานจากคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง (Central Computer) บางโรงอาจใช้คนเพียงคนเดียวควบคุมการผลิตทั้งระบบได้ โดยผู้ควบคุมจะอยู่ในห้องควบคุมกลางเท่านั้น การขนส่งวัสดุต่าง ๆ จะทำโดยการออกคำสั่งตามลักษณะต่าง ๆ แล้วแต่จะกำหนดขึ้น เช่น ให้ขนส่งจากหน่วยที่เป็นเครื่อง

จักรไปมีสถานีประกอบชิ้นส่วน, โรงเก็บของในโรงงานประเภทประกอบชิ้นส่วน, หน่วยบรรจุผลิตภัณฑ์ ระบบขนส่ง อาทิ AGV, สายพานลำเลียงจัดเป็นเครื่องมือการจัดการขั้นปฐมภูมิ (Primary handling device) สำหรับนำชิ้นงานจากโรงเก็บของไปยังอุปกรณ์จัดการทุติยภูมิ (Secondary handling device) เช่น แขนกล เมื่อมีการนำวัสดุมาถึงอุปกรณ์จัดการขั้นทุติยภูมิ อุปกรณ์ชนิดนี้จะนำวัสดุที่ขนส่งมาโดยอุปกรณ์จัดการปฐมภูมิไปเก็บยังหน่วยเก็บวัสดุ (warehouse system)[1] ต่อไป

สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมแบบกึ่งอัตโนมัติก็สามารถนำเอา AGV ไปใช้งานร่วมกับมนุษย์ได้ โดยมนุษย์จะออกคำสั่งแบบโต้ตอบกับ AGV ให้ทำงานได้ตามคำสั่งเช่นกัน ระบบแบบนี้มักจะมีการยืดหยุ่นอยู่แล้ว (Flexible Manufacturing System) หรือ FMS การทำงานของ AGV ในโรงงานแบบนี้ก็เหมือนกับในโรงงานแบบอัตโนมัติทั้งหมด การนำ AGV ไปใช้งานในโรงงานแสดงดังรูปที่ 1

ในปัจจุบัน AGV ส่วนใหญ่จะถูกกำหนดให้เคลื่อนที่ไปตามทางเดินนำร่อง (goide path) ทั้งนี้เพราะจะได้ความแม่นยำดีกว่าวิธีที่ไม่ใช้ทางเดินนำร่องนั่นเองทางเดินนำร่องของAGVถูกกำหนดตามความเหมาะสมของสถานะแวดล้อมของโรงงานนั้น ๆ อาทิเช่น การใช้แถบสีติดบนพื้น[14] จะนิยมกันมากในโรงงานที่มีความสะอาดสูง เช่น ทำ IC เพราะโรงงานชนิดนี้ไม่ต้องการฝุ่นละอองในห้องปฏิบัติการ ผลพลอยได้ของ AGV ในระบบแถบสีที่ใช้จะไม่ได้รับความเสียหายจากฝุ่นละอองที่อาจจะมาเกาะติดกับแถบสีที่ใช้นำร่อง AGV เลย วิธีการนี้เป็นการลงทุนที่น้อยที่สุด หรืออาจจะมีการฝังลวดหรือโลหะตัวนำได้พื้นเพื่อให้ AGVสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ได้

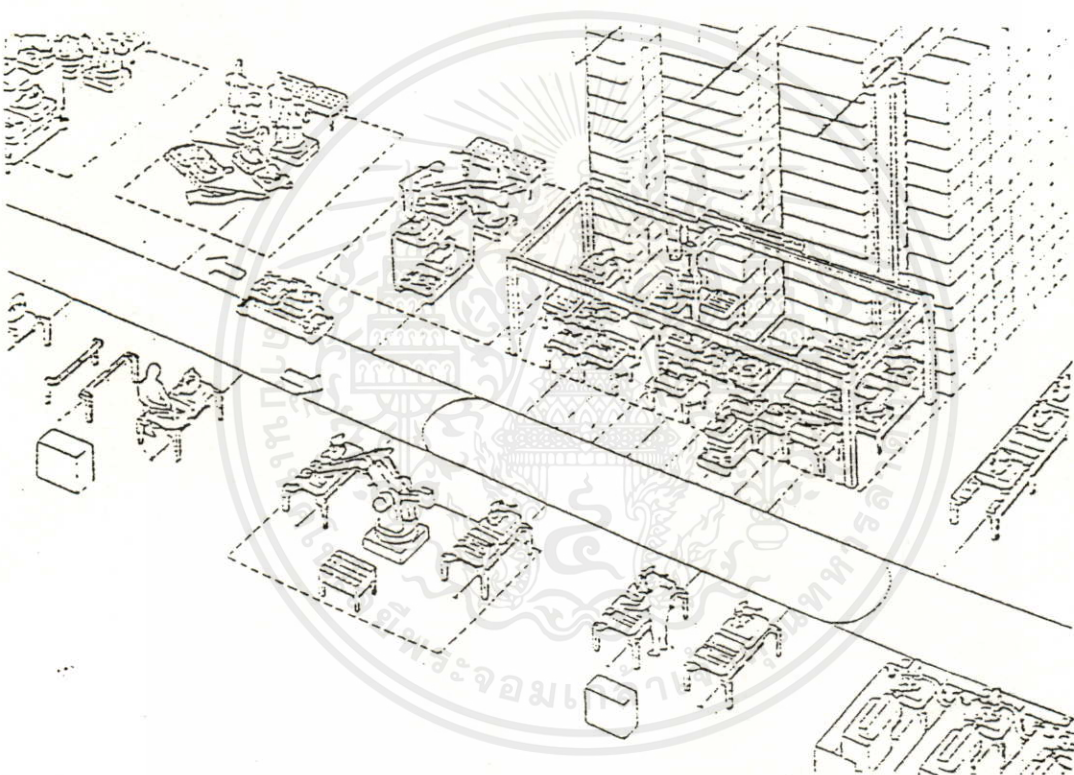
ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้าน AGV ก้าวหน้าไปมาก ได้มีการวิจัยและพัฒนา AGV แบบที่สามารถเคลื่อนที่อิสระ (Free ranging) ขึ้นมาใช้กันแล้ว AGV แบบใหม่นี้ไม่ต้องอาศัยทางเดินนำร่องอีกต่อไป แต่จะใช้ระบบนำทาง (navigation system) ซึ่งอยู่บนตัว AGV ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่แทน เทคนิคสำหรับ AGV แบบเคลื่อนที่อิสระมีมากมาย อาทิเช่น ใช้กล้อง CCD เป็นตาของ AGV, การใช้ดาวเทียม เป็นต้น และในบางกรณีอาจมีทั้งใช้เส้นทางและไม่ใช้เส้นทางนำร่องบนตัวเดียวกันก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่วัตถุประสงค์ของการใช้งาน อย่างไรก็ตาม ในโรงงานอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติ ส่วนมากก็ยังคงใช้ AGV แบบมีทางเดินนำร่องด้วย เหตุผลของค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่ากับงานและความแม่นยำที่ดีกว่าอีกด้วย

โครงสร้างภายนอกของ AGV ส่วนมากจะทำเป็นแท่นไว้วางภาชนะหรือที่ใส่วัสดุต่าง ๆ อาทิเช่น ถาด (frags) ชั้นวางของ (racks), กล่อง (boxes) มีล้อที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีส่วนที่สามารถติดต่อกับผู้ใช้งาน เช่น คีย์บอร์ด, ไฟขอทาง, เสียงไซเรน นอกจากนี้เพื่อป้องกันความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิได้ทั้งหมด ยกเว้นกรณีให้คำปรึกษาและต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียหายที่จะเกิดกับ AGV ดังนั้น AGV วางตัวอาจติดตั้งตัวชน (bumpper) ทางด้านหน้า และด้านหลังของ AGV อีกด้วย AGV ส่วนมากจะใช้ระบบขับเคลื่อนที่มีเสียงเงียบหรือไม่มีเสียงเลย จึงได้มีการนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้เป็นส่วนขับเคลื่อน ข้อดีคือไม่ทำให้เกิดมลภาวะ แต่ข้อเสียของระบบไฟฟ้าก็คือ ต้องแบกแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักมาก และเสียเวลาในการประจุ (charge) นาน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการคิดค้นพัฒนาแบตเตอรี่ ชนิดใหม่ขึ้นมากมาย ดังนั้น ปัญหาด้านน้ำหนักและเวลาในการประจุจึงดีขึ้นเรื่อย ๆ

รูปที่ 1

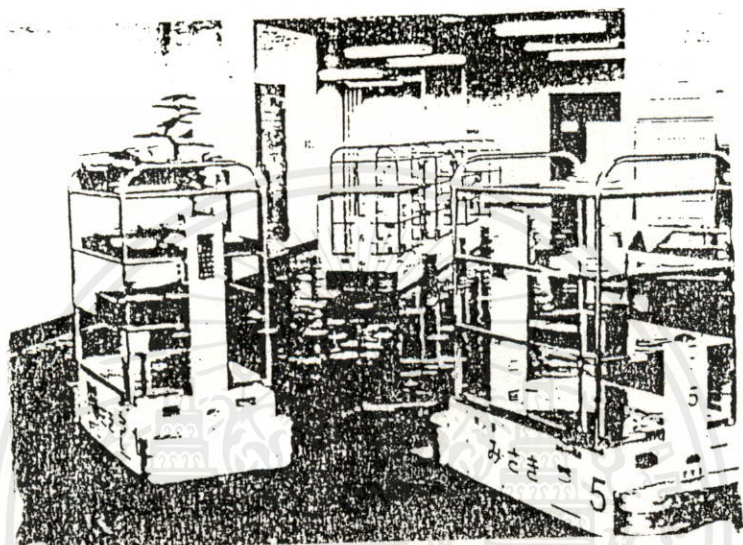


แสดงการนำ AGV ไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

การนำเอา AGV ไปประยุกต์ใช้งานในหน่วยงานอื่นที่นอกเหนือจากโรงงานอุตสาหกรรม ในต่างประเทศมีการนำเอา AGV ไปใช้ในหน่วยงานอื่นมากมาย อาทิเช่น การบริการอาหารตามโรงแรมและภัตตาคาร แสดงดังรูปที่ 2 โดยจะมีการทำการทำงานคือผู้ส่งอาหาร กดคีย์บอร์ดที่อยู่บนโต๊ะทำการส่งอาหารกับทางห้องครัวเมื่อห้องครัวรับทราบจะนำอาหารชนิดนั้น ๆ วางบนตัว AGV, AGV จะนำอาหารไปส่งยังโต๊ะที่สั่ง หรือการใช้ AGV ในการ

รับส่งเอกสาร ในสำนักงาน, การขนส่งอุปกรณ์ผ่าตัดไปยังห้องต่างๆในโรงพยาบาล, การนำทางผู้มาพักในโรงแรมไปยังห้องพัก การขนเด็กและคนพิการไปยังห้องตรวจโรค นอกจากนี้ AGV ยังถูกนำมาใช้กันมากในส่วนที่เป็นความลับทางราชการ การใช้ AGV เป็นยามตรวจการ, การขนส่งวัสดุแก๊สมันตรังสี หรือสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ไปยังที่เก็บ เป็นต้น

รูปที่ 2



แสดงการนำ AGV มาใช้ขนส่งอาหารในโรงแรม

ระบบ AGV ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะเป็นแบบระบบที่ใช้ทางเดินนำร่องได้แก่แถบสีติดตามพื้น การฝังเส้นลวดหรือโลหะตัวนำได้ พื้นนี้มีลักษณะของความไม่ยืดหยุ่น การแก้ไขจะต้องทำการรื้อถอนแถบโลหะตัวนำออกทั้งหมดก่อน จึงจะสามารถเปลี่ยนแปลงการทำงานใหม่ได้ทำให้เสียเวลาในการแก้ไข และเสียค่าใช้จ่ายมาก

ระบบทางเดินนำร่องส่วนใหญ่มักจะถูกกำหนดโดยโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้งาน ซึ่งมีหลายกรณีที่สามารถตัดแปลงแก้ไขไปใช้งานได้ ตัวอย่างของการตัดแปลงแก้ไขระบบ AGV อาทิเช่นการต่อเติมทางเดินนำร่องการเพิ่มจำนวนสถานีปฏิบัติงาน, การเพิ่มจุดตัด, การเพิ่มจำนวนของ AGV ในระบบ การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวในการทำงาน การเปลี่ยนระบบตัวตรวจจับ (sensors), การเปลี่ยนวิธีขนถ่ายวัสดุ, การเปลี่ยนวิธีการควบคุม, การเปลี่ยนวิธีการประจุแบตเตอรี่ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ต่อมาผู้ผลิต AGV จึงมีการเสนอ AGV ที่อาศัยทางเดินนำร่องน้อยลงโดยมีจุดประสงค์ คือ เพื่อให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากกว่าที่เป็นอยู่ ทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไข

2.2 ทิศทางในการพัฒนายานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

ปัจจุบันทิศทางในการพัฒนา AGV จึงมุ่งไปที่การพยายามทำให้ AGV สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ (Free ranging) โดยอาศัยระบบนำร่องแบบใหม่ การพัฒนา AGV มีการวิจัยในหน่วยงานเฉพาะและตามมหาวิทยาลัยต่าง ๆ มากมาย เพื่อค้นหาวิธีการใหม่ ๆ มาใช้ตามวัตถุประสงค์ แนวทางในการปรับปรุงและพัฒนา AGV เพื่อให้ AGV อาศัยทางเดินนำร่องน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ สามารถทำได้โดยการวิจัยและพัฒนาระบบเซนเซอร์, เทคนิคการนำร่อง, การสื่อสารข้อมูลไร้สาย, การนำเอาปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้งานเป็นส่วนตัดสินใจ, การพัฒนาตัวควบคุมและประมวลผลภาพ, การพัฒนาเทคนิคในการขับเคลื่อน, การพัฒนาอัลกอริทึมในการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุม AGV แนวโน้มในการพัฒนา AGV ต่อไปในอนาคตอาจไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการนำร่องเลย แนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีของ AGV เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นมากขึ้นนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวทางหลัก คือ

2.2.1. พัฒนาการเก็บตารางการเคลื่อนที่

วิธีการนี้จำเป็นจะต้องเก็บความสัมพันธ์ของจุดโคออร์ดิเนต (Coordinate) ต่าง ๆ ไว้ก่อนแล้วจึงจะสามารถสั่งงาน AGV ให้ทำงานหรือเคลื่อนที่ไปตามคำสั่ง และทิศทางที่ผู้ควบคุมต้องการ วิธีการเก็บตารางการเคลื่อนที่มีหลายวิธี ได้แก่ บำรุงง่าย ข้อเสียคือ ตัวเซนเซอร์ชนิดนี้มีความอ่อนไหว (Sensitive) ต่อคุณภาพของสีและความเข้มของแสงมากจึงขาดความเชื่อถือลงไปบ้าง ในกรณีการใช้งานเป็นเวลานาน ๆ ตัวอย่างการนำ AGV ที่ใช้โฟโต้เซนเซอร์เป็นตัวนำร่องใน clean room เป็นต้น การพัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ

1) เก็บข้อมูลบนตัวยานขนส่ง

ความสัมพันธ์ไว้ที่คอมพิวเตอร์ซึ่งอยู่บนตัว AGV วิธีการนี้มีผลดี คือ AGV สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องพึ่งคอมพิวเตอร์ส่วนกลางเลย สามารถใช้หน่วยความจำได้หลายชนิด เช่น E² PROM หรือ RAM การแก้ไขข้อมูลทำได้ง่าย วิธีการนี้หากใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการทำงานสูงจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง เพราะหากใช้คอมพิวเตอร์ที่เป็นแบบ 16 หรือ 32 บิต สามารถเชื่อมต่อใช้งานกับฮาร์ดดิสก์ หรือฟลอปปีดิสก์ได้เลย วิธีการแบบนี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากที่สุด ข้อเสีย คือ ต้นทุนสูง

2) วิธีการเก็บข้อมูลเอาไว้ที่คอมพิวเตอร์ส่วนกลาง

วิธีการนี้จำเป็นจะต้องมีคอมพิวเตอร์อีก 1 ตัว ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม AGV ให้ทำงานตามคำสั่งจากส่วนกลาง ข้อดีก็คือ สามารถโต้ตอบกับ AGV ได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้อง

เข้าไปแก้ไขรายละเอียดในตัว AGV ข้อเสีย คือ AGV ไม่สามารถทำงานได้อย่างอิสระ ต้องพึ่งพาข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ส่วนกลางทำให้ทำงานช้า

3)วิธีการเก็บข้อมูลอยู่บนตัว AGV และคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง

วิธีการนี้จะดีที่สุดที่มีความยืดหยุ่นสูงอีกทั้งสามารถดัดแปลงให้ควบคุม AGV ได้หลายตัวพร้อมกัน

2.2.2การนำร่องแบบไร้สาย (wirless guidance)

เป็นการนำร่องที่ไม่ต้องติดตั้งทางเดินนำร่องตามพื้น วิธีการนี้ AGV สามารถเคลื่อนที่ได้ อย่างอิสระและมีความยืดหยุ่นในการดำเนินการสูงมาก ในปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาวิธีการนี้มากสิ่งที่สำคัญที่สุดของการนำร่องแบบไร้สายคือ เทคนิคการนำทาง (navigation techniques) ซึ่งมีหลายวิธี

2.2.3พัฒนาวิธีการส่งข้อมูล(methord fo data transmission)

วิธีการส่งข้อมูลระหว่าง AGV กับคอมพิวเตอร์ส่วนกลางกระทำได้หลายวิธี เช่น การส่งข้อมูลโดยใช้แสงอินฟราเรด,การส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ,การส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ เป็นต้น

2.3เทคโนโลยีในการนำร่องของยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

เทคโนโลยีในการนำร่องของ AGV มีหลายวิธีพอสรุปได้ดังนี้

2.3.1 การนำร่องโดยใช้ทางเดินนำร่อง

2.3.1.1การใช้แถบโลหะ (matal tripe)

การใช้แถบโลหะดีเป็นแถบแบบเดียวกับแถบสี วิธีการนี้จะต้องเปลี่ยนตัวตรวจจับสีไปเป็นพรอกซิมีตี้ (proximity sensor) แทน, พรอกซิมีตี้ เซนเซอร์จะให้เอาต์พุตออกมาในกรณี ที่ตรวจพบแถบโลหะเท่านั้น เอาต์พุตมีให้เลือกทั้งแบบที่เป็นอนาลอกและดิจิตอล ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ความแม่นยำคงที่ คือ แม้มันฝุ่นละอองมาเกาะติดก็ยังทำงานได้ดี ข้อเสียของวิธีนี้คือ ราคาแพง การซ่อมบำรุงทำได้ยาก

2.3.1.2การใช้แถบแม่เหล็ก (magnetic tape)

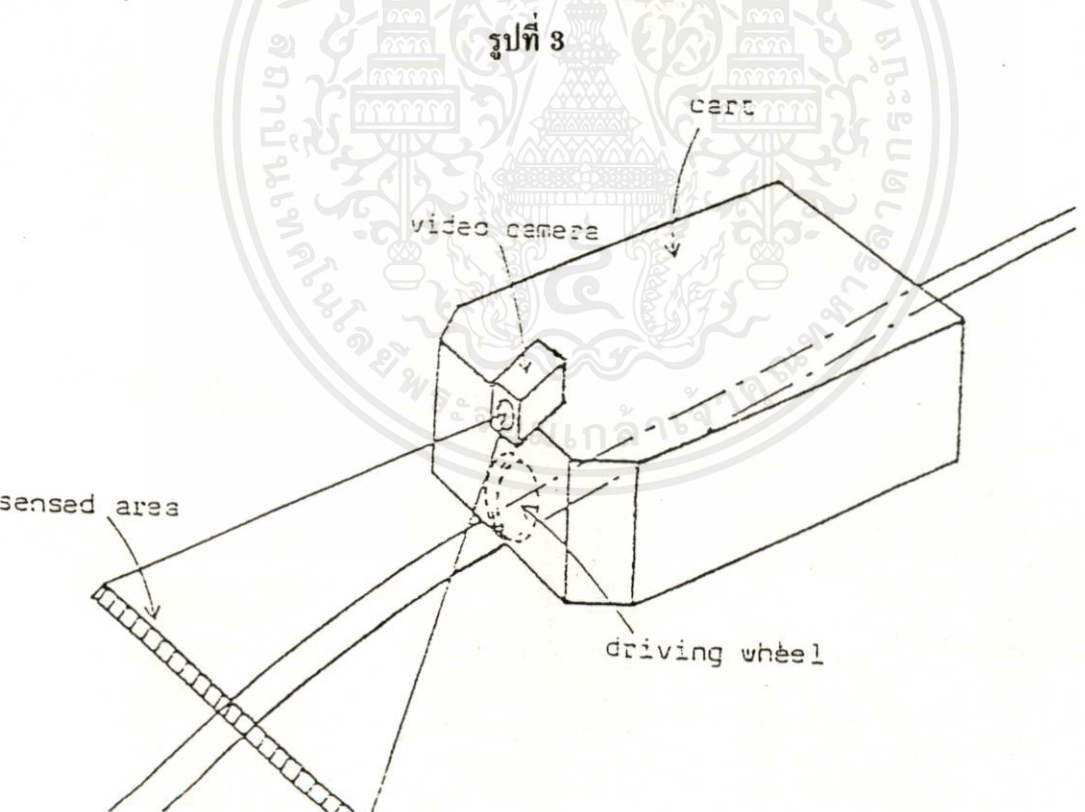
ฝังลงในพื้นมีลักษณะเป็นตารางทั่วๆ ไปบนพื้น AGV จะทำการตรวจจับเทปแม่เหล็กด้วยแมกเนติกเซนเซอร์ (magnetic sensor) โดย AGV จะเคลื่อนที่ไปตามแนวของตารางจุดตัดของเส้นตารางจะเป็นตัวนับตำแหน่งในการเคลื่อนที่การทำงานของวิธีนี้ลักษณะของแมกเนติกเซนเซอร์นั้นประกอบด้วย ขดลวดกระตุ้น 1 ชุด (exciting coil) ชุดตรวจจับ 2 ชุด (detecting coil) การทำงานเริ่มจากขดลวดกระตุ้น ผลิตสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีชุดตรวจจับคอยตรวจจับ

สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น กรณีที่ AGV อยู่ตรงแนวแถบแม่เหล็กพอดีสนามแม่เหล็กที่ตัวตรวจจับรับได้จะมีค่ามากที่สุดการเคลื่อนที่ตามวิธีการนี้อาจกำหนดจุดโคออร์ดิเนต (Coordinate) เอาไว้ก่อนแล้ว ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ความแม่นยำในการทำงานสูง ความคงทนถาวรมีมากข้อเสียคือ การลงทุนในการติดตั้งสูงกว่าวิธีที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด

2.3.1.3 การใช้กล้องทีวี หรือ CCD เป็นตัวนำร่อง

โดยการนำสัญญาณรูปที่ได้รับ ซึ่งอาจเป็นดิจิทัลมาทำการประมวลผลเพื่อหาทางเดินของแถบที่ติดอยู่บนพื้น แสดงดังรูปที่ 3 การใช้กล้องทีวี มีข้อดีคือ สามารถหาตำแหน่งที่ถูกต้องของแถบสีได้ แม้ว่าแถบสีนั้นจะมีการเลอะเลือนหรือชำรุดเสียหายไปบ้างก็ตาม ด้วยข้อดีที่กล่าวมาทำให้สามารถนำไปใช้กับการขนส่งภายนอกอาคารได้ โดยเฉพาะ การขนถ่ายวัสดุจากอาคารหนึ่งไปสู่อาคารหนึ่ง แต่ข้อเสียก็คือ ความเร็วในการประมวลผลช้ามาก โดยเฉพาะการทำงานกับคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการทำงานต่ำ แต่ปัญหาข้อนี้จะถูกแก้ไขด้วยการปรับปรุงหน่วยประมวลผลกลางให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

รูปที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ **แสดงวิธีการนำร่องโดยใช้กล้อง CCD** เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.4 การใช้แถบสีหรือเทปสะท้อนแสงติดบนพื้น

วิธีการนี้ทำได้โดยการติดแถบสีที่มีความแตกต่างกับสีของพื้น เมื่อ AGV ตรวจพบแถบสีนั้น จะนำเอาข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ต่อไป ข้อดีของวิธีนี้คือระบบการนำร่องไม่ซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงแก้ไขง่าย การซ่อมบำรุง กระทบได้ในระยะเวลาสั้น ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูก สำหรับเทคนิคในการตรวจจับเทปสีมี 2 วิธี ได้แก่

1) การใช้ตัวเซนเซอร์ตรวจจับแถบสีโดยเฉพาะ

วิธีการนี้มีความเชื่อถือได้สูงที่สุดโดยตัวตรวจจับแถบสีนี้จะรับเอาความถี่แสงที่กำหนดไว้ไปใช้เท่านั้น ความถี่แสงอื่นจะถูกปฏิเสธออกไป ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ราคาสูง

2) การใช้โฟโต้เซนเซอร์ (photo sensor)

ตัวตรวจจับความเข้มของแสงที่สะท้อนกลับออกมา วิธีการนี้จะต้องทำงานในที่บริเวณสะอาดมาก ๆ การใช้โฟโต้เซนเซอร์จึงเหมาะสำหรับ clean room ของโรงงานประเภท IC ข้อดีของการใช้โฟโต้เซนเซอร์ คือ เป็นอุปกรณ์ที่หาง่าย, ง่ายต่อการสร้าง, ราคาถูก

2.3.2 การนำร่องแบบไร้สาย (wireless guidance)

เป็นการนำร่องที่ไม่ต้องติดตั้งทางเดินนำร่องตามพื้น วิธีการนี้ AGV สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและมีความยืดหยุ่นในการดำเนินการสูงมาก ในปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาวิธีการนี้มากสิ่งที่สำคัญที่สุดของการนำร่องแบบไร้สายคือ เทคนิคการนำทาง ซึ่งมีหลายวิธี

2.3.2.1 การนำทางด้วยรีโมท คอนโทรล (Remote Rontrol Navigation)

วิธีการนี้จะทำการส่งข้อมูลทางดิจิทัลไปกับความถี่แสงย่านอินฟราเรด มีการนำเทคนิคเข้ารหัสต่าง ๆ มาใช้กันอย่างแพร่หลายเช่น การมอดูเลตตำแหน่งของพัลส์ (pulse position modulation) PPM ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ราคาถูก ข้อเสีย คือ ระยะทางในการควบคุมได้ไม่ไกล

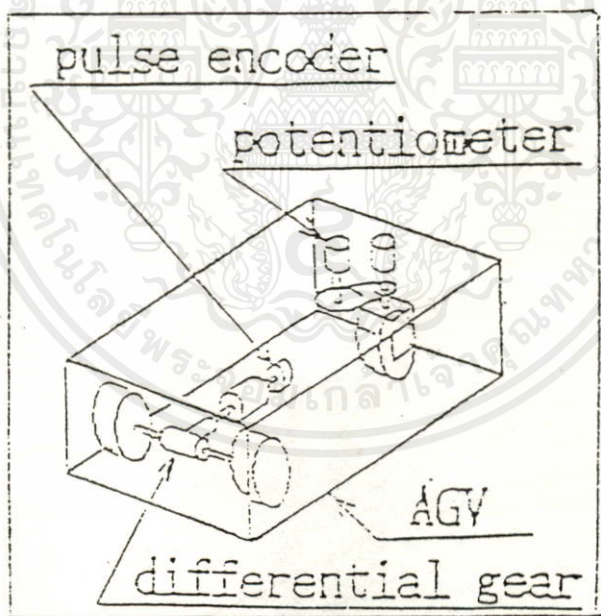
2.3.2.2 การใช้อัลตราโซนิกวัดระยะทาง (Ultrasonic Distance Measurement)

วิธีการนี้ AGV จะเก็บแผนที่ของเส้นทางทุกทางที่เป็นไปได้ในหน่วยความจำ วิธีการเคลื่อนที่จะเริ่มจากผู้ใช้กำหนดเป้าหมายปลายทางที่จะให้ AGV ได้รับคำสั่งจะทำการคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดแล้วจะเคลื่อนที่ไปโดยใช้อัลตราโซนิก ทำหน้าที่คอยตรวจจับวัตถุติดขวาง เพื่อหาแนวทางในการเคลื่อนที่ ข้อดีของเทคนิคนี้ คือ ความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร ข้อเสีย คือ จำเป็นต้องมีสถานที่ที่มีลักษณะเป็นกำแพง ทำให้สิ้นเปลืองจำนวนของตัวตรวจจับ และราคาที่แพงของตัวตรวจจับ ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งคือ ตัวตรวจจับประเภทอัลตราโซนิก จะมีความถูกต้องมากที่สุดในขณะที่ทำงานในอุณหภูมิจำกัด หากมีการถ่ายเทของอากาศไม่ดี หรือ การถูกรบกวนของแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความถี่สูง อาทิเช่น มอเตอร์หรือเครื่องจักรที่กำลังทำงาน

2.3.2.3 การใช้เครื่องวัดระยะทาง เป็นวิธีการหาตำแหน่งของตัว AGV เอง

โดย AGV จะต้องมีคอมพิวเตอร์ที่ติดอยู่บนตัว AGV เองการวัดระยะทางทำได้โดยการอ่านตำแหน่งที่ป้อนกลับจากตัวโรตารี เอ็นโค้ดเดอร์ (rotary encoder) ที่ติดตั้งกับแกนของมอเตอร์ที่ใช้ส่วนขับเคลื่อนของ AGV หลักการวัดระยะทางโดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์ คือ จะต้องมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (home position) เพื่อเป็นจุดอ้างอิงและกำหนดตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการจะให้ AGV เคลื่อนที่ไปเมื่อ AGV เคลื่อนที่เอ็นโค้ดเดอร์จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นพัลส์ AGV จะนำพัลส์ที่อ่านเข้ามาไปคำนวณหาตำแหน่งเป้าหมายได้ วิธีการนี้ค่อนข้างจะง่าย แต่ก็มีข้อเสีย คือ เมื่อ AGV เคลื่อนที่ มักเกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง ปัญหานี้เกิดจากการลื่นไถล (slipping) ของล้อและชิ้นส่วนทางกล วิธีการแก้คือ AGV จะต้องการชดเชยค่าการลื่นไถลเป็นระยะๆ หลังจากที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งซึ่งเป็นการไม่สะดวกแสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4



แสดงวิธีการวัดระยะทางของ AGV

2.3.2.4 การนำทางด้านคลื่นวิทยุ (radio navigation)

ตามปกติวิธีนี้สามารถวัดตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ โดยมีขอบเขตของการตรวจจับตั้งแต่มิเตอร์ถึงหลายกิโลเมตร แต่สำหรับระบบนำร่องไร้สายที่ไม่ใช้ทางเดินนำร่องเลยนั้น วิธีการนี้จะไม่เหมาะสม เนื่องจากเหล็ก (iron) จะทำให้คลื่นวิทยุเกิดการสะท้อน (reflect)

และเบี่ยงเบนไป ทำให้การหาตำแหน่งขาดความถูกต้องแม่นยำ โดยเฉพาะมีขอบเขตการตรวจจับมากกว่า 100 เมตร

2.3.2.5 การใช้เข็มทิศใจโรสโคป (gyroscopic compass)

วิธีการนี้เป็นการนำร่องโดยอาศัยเทคนิคทางโมเมนตัม ใจโรสโคปจะถูกตั้งขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ เมื่อตำแหน่งของ AGV เบี่ยงเบนออกไปจากแนวที่ต้องการ จะทำให้เกิดความเร่งกระทำในทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ ค่าความเร่งนี้ใจโรสโคปจะตรวจจับได้ จากนั้นจะนำค่าความเร่งที่ตรวจจับนี้ไปเป็นอินพุตของวงจรรีเลย์เล็กทรอนิกส์เพื่อหาทิศทางที่เบี่ยงเบนไปของ AGV จากนั้นคอมพิวเตอร์บนตัว AGV จะคำนวณหาทิศทางในการเคลื่อนที่ที่ถูกต้องได้ ข้อดีของใจโรสโคป คือ ทำให้สามารถรับรู้ทิศทางที่แท้จริงของ AGV ตลอดเวลา ข้อเสีย คือ หายาก, ราคาแพง

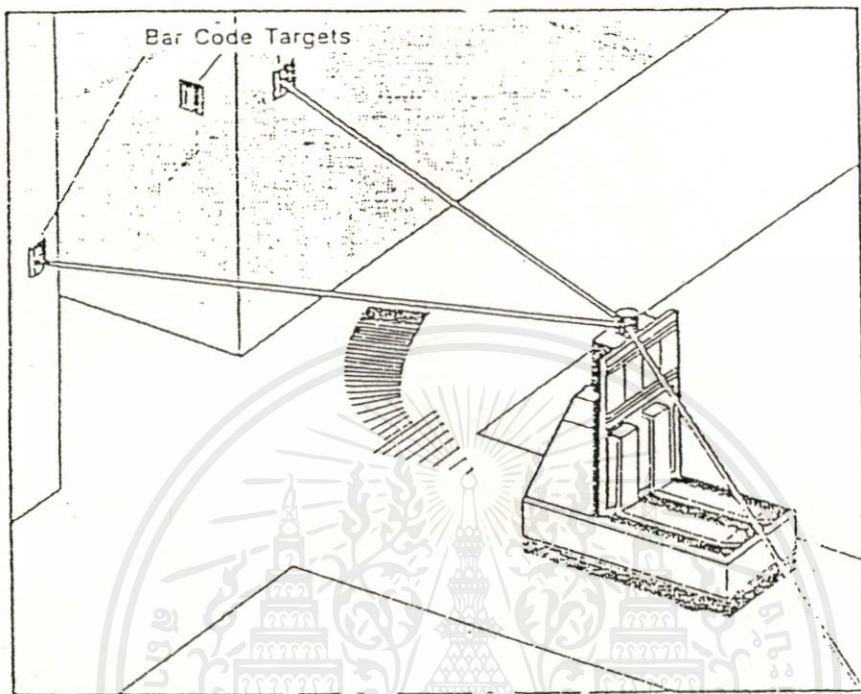
2.3.2.6 การประมวลผลภาพ (image processing)

หาตำแหน่งของ AGV โดยใช้กล้องคิดบนเพดานหรือบริเวณมุมห้องหรือพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยกล้องที่ใช้ปัจจุบันมีหลายแบบสามารถส่งข้อมูลทางดิจิทัลให้กับคอมพิวเตอร์นำไปประมวลผลได้ เช่น CCD เมื่อคอมพิวเตอร์รับข้อมูลจากกล้องแล้วจะเป็นผู้ออกคำสั่งให้ AGV ทำงานได้ โดยอาจจะใช้วิธีการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุหรืออาศัยรีโมทคอนโทรลสั่งงานได้ ความถูกต้องของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของกล้องที่ใช้ ปัจจุบันมีความละเอียดให้เลือกมากมาย ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ จะต้องใช้กล้องหลายตัว เนื่องจากกล้องแต่ละตัวจะมีพิสัยของโฟกัสและรัศมีไม่มากนัก

2.3.2.7 การนำร่องโดยใช้เลเซอร์วัดระยะทาง (laser distance measurement)

วิธีการนี้อาจใช้ได้แบบวิธีรันนิ่งโทมแสดงดังรูปที่ 5 (ranning time) ของสัญญาณ การวัดการรบกวน (interference) วิธีการนี้อาจใช้ดอปเพลอร์ (dropper) กรรมวิธีการแบบนี้จะอาศัยการวัดเวลาในการเดินทางไปกลับของสัญญาณความละเอียดของวิธีการนี้อยู่ในระดับมิลลิเมตร ข้อเสีย คือ อุปกรณ์ชนิดนี้มีราคาแพง และใช้ได้บางกรณีเท่านั้น เพราะระบบการขนส่งหลายแห่งเป็นบริเวณเปิดโล่งหรือเป็นกำแพง ซึ่งกำแพงหรือส่วนสะท้อนจะอยู่ไกลเกินจับได้ นอกจากนี้การนำเลเซอร์ที่มีกำลังสูง ๆ มาใช้จะไม่นิยมในบริเวณที่มีคนหรือยานพาหนะหนาแน่น

รูปที่ 5



แสดงการนำร่องโดยใช้เลเซอร์

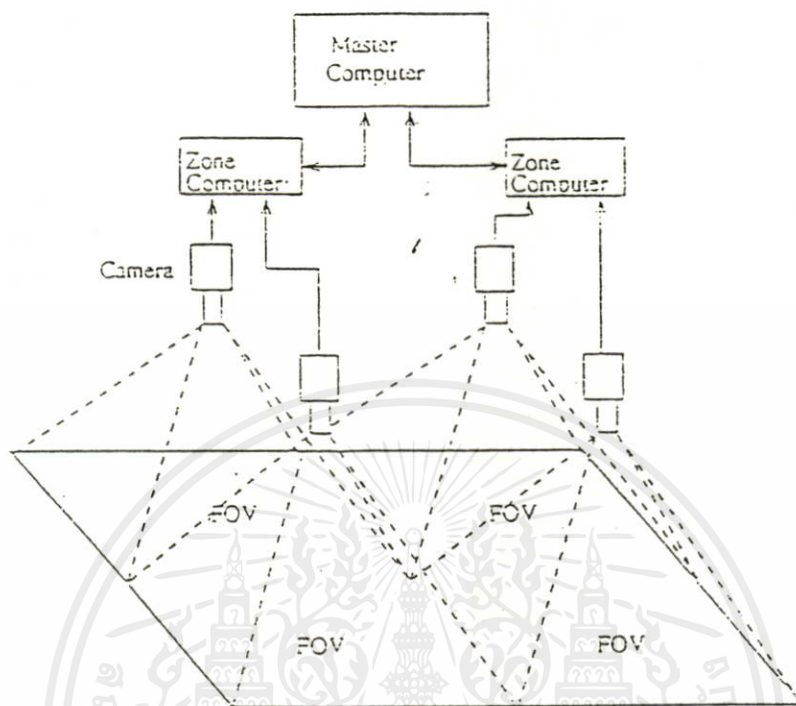
2.3.2.8 การใช้เลเซอร์หาระยะทางด้วยวิธีสร้างรูปสามเหลี่ยม (Laser triangulation)

วิธีการนี้จะหาค่าแหน่งได้โดยการวัดมุมจากจุดสองจุด การสแกนวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่นั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก และต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ความถูกต้องแม่นยำจะขึ้นกับระยะทางและมุมที่ทำกับเส้นฐาน (baseline) ซึ่งเชื่อมโยงระหว่างจุด 2 จุด ระยะทางที่วัดได้อย่างถูกต้องแม่นยำจะอยู่ในช่วง 0-10 เมตร

2.3.2.9 การประมวลผลภาพ (image processing)

หาค่าแหน่งของ AGV โดยใช้กล้องติดบนเพดานหรือบริเวณมุมห้องหรือพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยกล้องที่ใช้ปัจจุบัน มีหลายแบบสามารถส่งข้อมูลทางดิจิทัลให้กับคอมพิวเตอร์นำไปประมวลผลได้ เช่น CCD เมื่อคอมพิวเตอร์รับข้อมูลจากกล้องแล้วจะเป็นผู้ออกคำสั่งให้ AGV ทำงานได้ โดยอาจจะใช้วิธีการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุหรืออาศัยรีโมทคอนโทรลสั่งงานได้ ความถูกต้องของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของกล้องที่ใช้ ปัจจุบันมีความละเอียดให้เลือกมากมาย ข้อเสียของวิธีการนี้คือ จะต้องใช้กล้องหลายตัว เนื่องจากกล้องแต่ละตัวจะมีทิศของโฟกัสและรัศมีไม่มากนักแสดงดังรูปที่ 6

รูปที่ 6



แสดงการนำร่องโดยใช้กล้องในการประมวลผลภาพให้ AGV

2.3.2.10 การนำร่องโดยใช้ดาวเทียม (Satellite navigation)

การนำร่องโดยใช้ดาวเทียมหรือที่รู้จักกันในชื่อ GPS (Global positioning system) วิธีการนี้จะใช้การรันนิ่งไทม์ (running time) คือ การหาค่าตำแหน่งของ AGV 2 จุด ที่เคลื่อนที่ไปแล้ววัดเวลาในการเคลื่อนที่ วิธีการนี้จะให้ความละเอียดได้ไม่มากนัก คือโดยประมาณ 10 เมตร เท่านั้นข้อดีของวิธีการนี้คือ สามารถนำไปใช้นำร่อง AGV ที่มีขนาดใหญ่ให้ขนส่งวัสดุที่มีขนาดใหญ่น้ำหนักมากใช้ขนส่งภายนอกอาคารไปในระยะทางไกล ๆ ได้ เช่น การใช้บนไซโล (zilo) หรือคอนเทนเนอร์ (contraine) จากท่าเรือไปยังโรงเก็บวัสดุ หรือไปอีกท่าเรือหนึ่งได้

2.3.2.11 วิธีคอร์รีเลชัน (Correlation)

โดยใช้ฮอปติกเซนเซอร์แบบหัวอ่านคู่ ทำการสแกน ไปบนพื้นที่ขรุขระ และการวัดค่าของหัวอ่านทั้ง 2 จะเป็นไปอย่างสัมพันธ์กัน หลักการของการวัดมีลักษณะเป็นการเลื่อนอย่างอิสระ การวัดของหัวอ่านทั้งสองนี้จะสามารถประเมินลักษณะการเคลื่อนที่ในระนาบที่ไม่ทราบมาก่อนได้

2.3.3 การนำร่องโดยใช้ทางเดินนำร่องร่วมกับการนำร่องแบบไร้สาย

เป็นการนำสองเทคนิคมาผสมผสานกัน ทั้งนี้เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น อาทิ เช่น

2.3.3.1 ใช้การนำร่องด้วยวิธีการฝังลวดใต้พื้นแบบมาตรฐานเป็นหลัก แล้วเสริมด้วยการใช้เครื่องวัดระยะทางในบางจุด เช่น ในบริเวณที่ AGV เคลื่อนที่เข้าสู่สถานีขนถ่ายอุปกรณ์เป็นต้น วิธีการนี้ทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ไม่ต้องแก้ไขเพิ่มเติมเส้นทางเดินนำร่องใหม่อีกในกรณีต้องการเพิ่มสถานีปฏิบัติการ

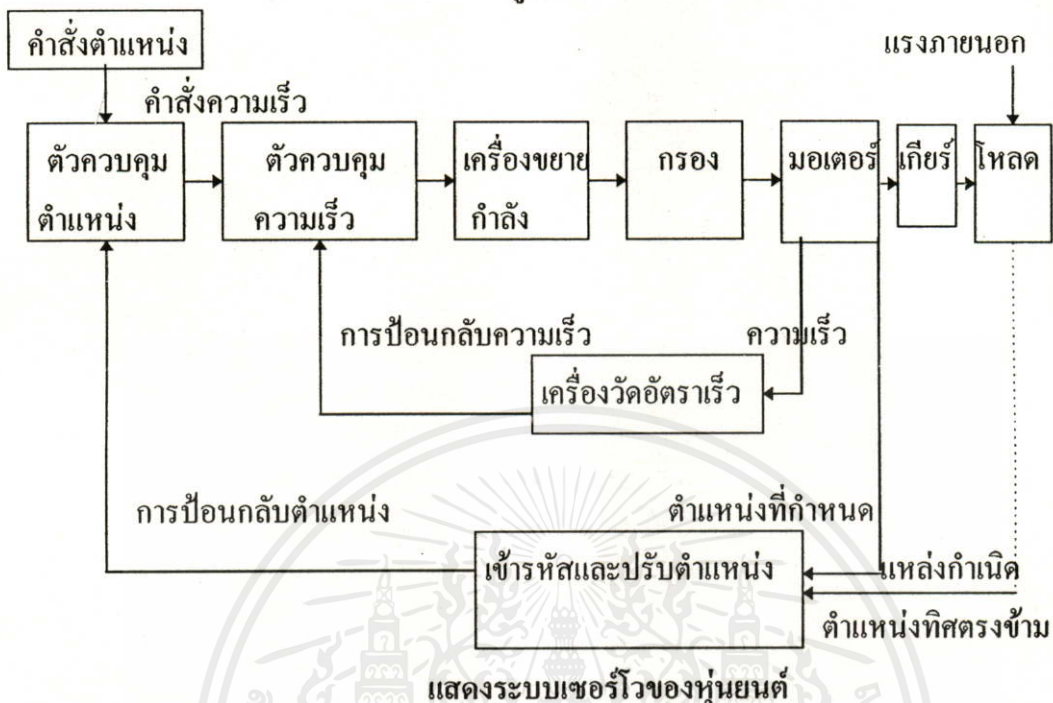
2.3.3.2 การใช้เส้นทางเดินนำร่องทำงานร่วมกับกล้อง CCD และรีโมทคอนโทรล วิธีการนี้เกิดจากการนำ 3 เทคนิคมาทำงานร่วมกัน ข้อดีของวิธีการแบบนี้คือมีความยืดหยุ่นมากกว่าการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเท่านั้น แต่การลงทุนก็จะสูงขึ้นอีกมากเช่นกัน หุ่นยนต์ทางอุตสาหกรรมส่วนมากถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพราะช่วยทำให้มีการตอบสนองรวดเร็วและถูกต้อง (หุ่นยนต์ที่ใช้งานเบาๆ จะถูกขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ที่ทำงานด้วยความดันอากาศและหุ่นยนต์ที่ทำหน้าที่หนัก จะใช้เซอร์โวมอเตอร์แบบไฮดรอลิก) ในรูปที่ 7 คือบล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวมอเตอร์ไฟตรงของหุ่นยนต์ชนิดหนึ่งแบบแกนเดี่ยว

2.3.4 ระบบนำร่องที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

สำหรับ AGV ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้แบบมีเส้นทางนำร่อง ซึ่งเป็นแถบสี ทั้งนี้เพราะว่าเป็นเทคนิคที่สร้างง่าย, ราคาถูก และสามารถหาอุปกรณ์ได้ง่ายกว่าในประเทศไทย นอกจากนี้แล้วในวิทยานิพนธ์นี้ยังได้เพิ่มเติม ระบบตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน, ระบบตรวจจับทางแยก, ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง, ระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว, ระบบการควบคุมและสั่งงานระยะไกลด้วยรีโมท สำหรับตัวประมวลผลกลางในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เบอร์ 30386DX-40 มีหน่วยความจำ 4 Mb ทั้งนี้เพราะจะเป็นการง่ายกับการพัฒนาในขั้นต่อไป และยังเหมาะกับการเขียนโปรแกรมที่มีการคำนวณซับซ้อนอีกด้วย การติดตั้งตัวตรวจจับต่างๆ ในวิทยานิพนธ์นี้แสดงดังรูปที่ 8

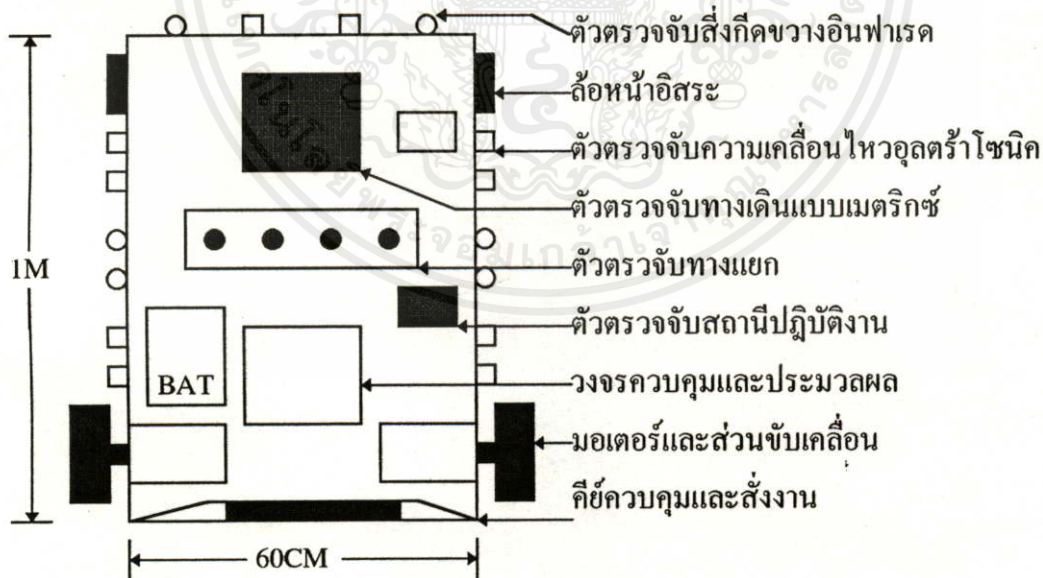
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7



แสดงระบบเซอร์โวของหุ่นยนต์

รูปที่ 8



แสดงการจัดวางตัวตรวจจับของยานขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.4 ลักษณะของตัวควบคุมที่ใช้ในยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

การออกแบบระบบควบคุมนั้นจะต้องพิจารณาฟังก์ชันการส่งผ่าน (Transfer Function) ของระบบเสียก่อน ซึ่งฟังก์ชันการส่งผ่านนี้จะบอกถึงคุณสมบัติของระบบที่จะควบคุม ดังนั้น

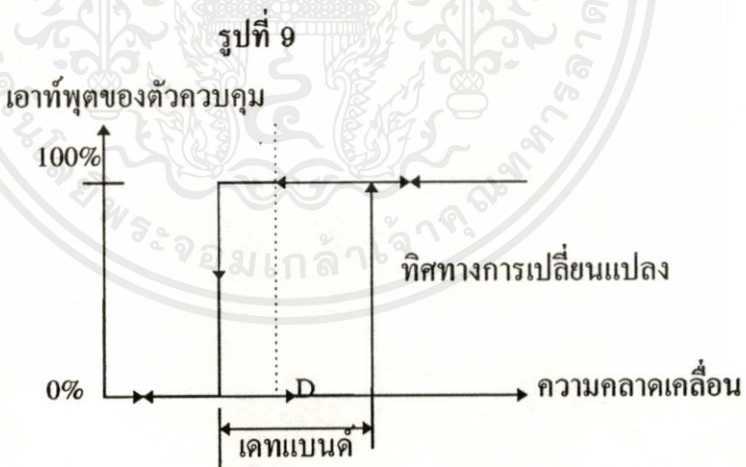
การเลือกวิธีการควบคุมที่ดีจะให้ผลการควบคุมมีเสถียรภาพ (Stability) และมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถแบ่งการควบคุมออกเป็น 4 แบบใหญ่ ๆ คือ

1. ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด(ON-OFF)
2. ตัวควบคุมแบบสัดส่วน(Proportional)
3. ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล(Integral)
4. ตัวควบคุมแบบดิริเวทีฟ(Derivative)

การแสดงกรียาของตัวควบคุมในแต่ละโหมด (Mode) นี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของเอาต์พุต (Control Output : C) และค่าความคลาดเคลื่อนอินพุต (Error Input : e) โดยค่าเอาต์พุตนั้นจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์จาก 0เปอร์เซ็นต์ ถึง 100เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนจะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ของย่าน (Range)

2.4.1 ตัวควบคุมแบบ เปิด-ปิด (ON-OFF Control Mode)

การควบคุมที่ง่ายที่สุดนั้นจะใช้การควบคุมแบบ เปิด-ปิด หรือแบบ 2 ตำแหน่ง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 9 โดยฟังก์ชันการส่งผ่านจะแสดงสถานะของเอาต์พุตได้ 2 สถานะเท่านั้น คือ 0 เปอร์เซ็นต์ หรือ 100 เปอร์เซ็นต์



แสดงกรียาการควบคุมแบบเปิด-ปิด

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าถ้าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าวิกฤต (Critical Value) ค่าของเอาต์พุตจะเปลี่ยนจาก 0เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 100เปอร์เซ็นต์ และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนลดต่ำกว่าค่าวิกฤต ค่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจาก 100เปอร์เซ็นต์เป็น 0เปอร์เซ็นต์ แต่ก่อนที่ค่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงนั้นจะเกิดเดทแบนด์(Deadband)ขึ้นรอบ ๆ ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ (Zero error) โดยในช่วงเดทแบนด์นั้นค่าเอาต์พุตจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ซึ่งอาจจะเป็นผล

มาจากการเสียดทานที่ไม่คาดคิดไว้ก่อน หรือบางครั้งก็ต้องทำให้มีช่วงเดธแบนด์ เพื่อป้องกันการเปิด-ปิด บ่อยเกินไป การควบคุมแบบ เปิด-ปิดนี้ส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นิยมใช้กันมากได้แก่ โซลินอยด์วาล์ว(Solenoid Valve) แบบไฟฟ้า

ตัวควบคุมแบบเปิด-ปิด สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\begin{aligned} C &= 0 \% \quad e < -\varepsilon & \dots\dots\dots 1 \\ C &= 100 \% \quad e > +\varepsilon \\ \text{เมื่อ } \varepsilon &= (1/2) \text{ ของค่าเดธแบนด์} \end{aligned}$$

2.4.2 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control Mode)

สำหรับการควบคุมที่มีกรียาการควบคุมแบบสัดส่วนนั้นค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของความคลาดเคลื่อน ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมาก ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนน้อย ค่าเอาต์พุตที่ได้ก็จะน้อยด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวนี้เรียกว่า กำลังขยายที่เป็นสัดส่วนสามารถเขียนเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$C_p = K_p e_p + C_0 \quad \dots\dots\dots 2$$

โดยที่ C_p = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบสัดส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์

K_p = กำลังขยายที่เป็นสัดส่วน ที่อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของเอาต์พุตต่อเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน

e_p = ค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ของย่าน

C_0 = ค่าเอาต์พุตที่ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ (Zero Error Controller

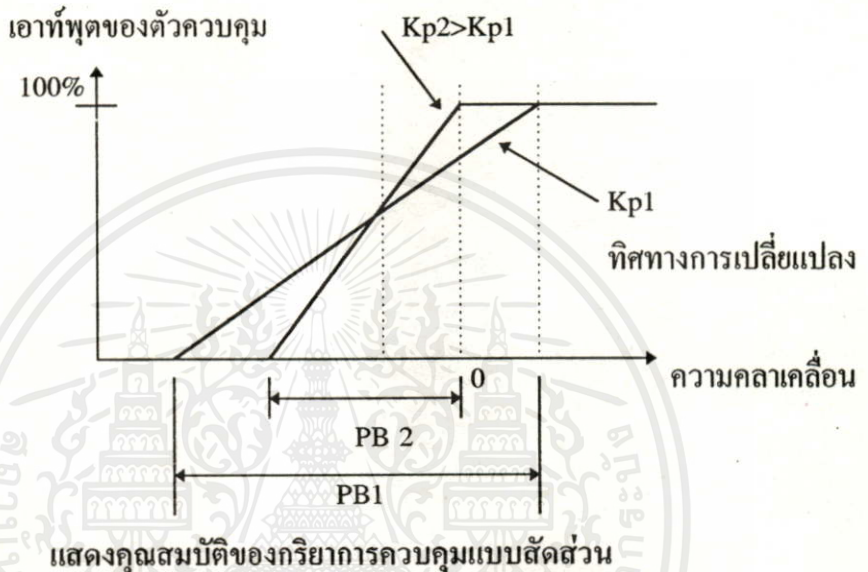
Output)

คุณสมบัติของการควบคุมในโหมดนี้ แสดงดังรูปที่ 10

จากรูปที่10จะแสดงการเกิดค่าอิมพัลส์ของค่าความคลาดเคลื่อนคือเมื่อเอาต์พุตสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นไปอีก แต่ค่าเอาต์พุตไม่สามารถจะเพิ่มขึ้นตาม และทำนองเดียวกันเมื่อค่าเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนยังลดลงอีก ค่าเอาต์พุตก็ไม่สามารถลดลงได้ ซึ่งช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างที่เอาต์พุตมีค่าจาก 0

เปอร์เซ็นต์ ถึง 100เปอร์เซ็นต์เรียกว่าแถบกำลังขยายสัดส่วน ถ้ากำลังขยาย(Gain) ของระบบมีค่าสูง จะทำให้ แถบกำลังขยายสัดส่วนลดลง

รูปที่ 10



ปัญหาอย่างหนึ่งของตัวควบคุมแบบสัดส่วนก็คือค่าเอาต์พุตที่ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ศูนย์ (C_0) มีค่าคงที่ ซึ่งการเลือกค่า C_0 นั้น จะกระทำในช่วงเริ่มต้น โดยเลือกค่าที่เหมาะสมกับค่าตัวแปรของระบบ แต่ถ้าตัวแปรตัวอื่น ๆ ของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ตัวแปรควบคุมเปลี่ยนแปลงไปด้วย และแก้ไขโดยปรับค่า C_0 ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลง แต่ในการควบคุมนั้นตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงโหลด(load change)จะเห็นว่าไม่สามารถปรับค่าของ C_0 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ศูนย์ตลอดเวลา ในกรณีเช่นนี้จำเป็นจะต้องจำกัดหรือกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน(offset Error) น้อยที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ เพื่อให้ผลบวกของ $K_p e_p$ กับ C_0 ให้เท่ากับค่าใหม่ของตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุม

2.4.3 ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Control Mode)

เป็นกิริยาควบคุมอีกแบบหนึ่งที่กล่าวถึง ความคลาดเคลื่อนตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร ซึ่งบางครั้งอาจเรียกกิริยาควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมแบบรีเซ็ต (Reset Control) จะเห็นว่าในการควบคุมแบบสัดส่วนนั้น จะกล่าวถึงความคลาดเคลื่อนขณะใด ๆ ที่นำมาพิจารณา

แต่ในกริยาการควบคุมแบบอินทรีย์กล นั้น พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด และ อาจเป็นไปได้ว่าในสภาวะใดสภาวะหนึ่งค่าความคลาดเคลื่อนอาจจะเป็นศูนย์

การหาค่าความคลาดเคลื่อนในกริยาการควบคุมแบบอินทรีย์กล นั้นจะต้องหาค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จากนั้นนำไปคูณด้วยค่าคงที่ที่เรียกว่ากำลังขยายอินทรีย์กล(integral gain)เพื่อหาค่าเอาต์พุตดังสมการ 3 ต่อไป

$$C_1(t) = K_1 Ae(t) + C_1(0) \dots\dots\dots 3$$

โดยที่ $C_1(t)$ =ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมในกริยาควบคุมแบบอินทรีย์กล(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) ที่เวลา t

KI = ค่ากำลังขยายอินทรีย์กล [เปอร์เซ็นต์ต่อ (เปอร์เซ็นต์-เวลา)]

$Ae(t)$ = พื้นที่ทั้งหมดของความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์-เวลา) คิดตั้งแต่

เวลา t

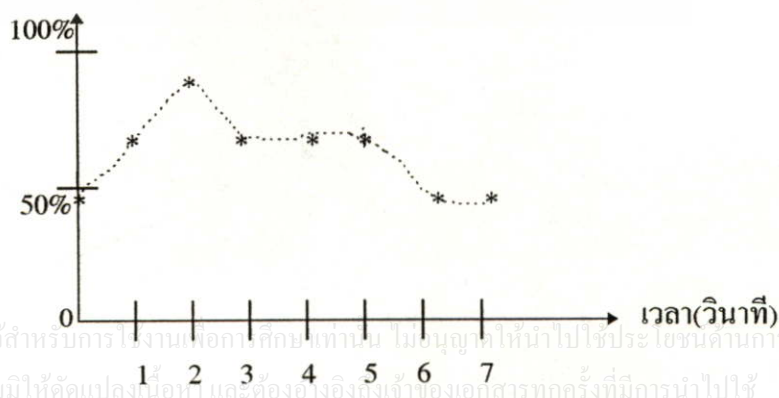
มีค่าเป็นศูนย์จนถึงเวลา t

$C_1(0)$ = เอาต์พุตของตัวควบคุมที่เวลา t มีค่าเป็นศูนย์

จากสมการ 3 สามารถเขียนในรูปสมการ Integral Calculus ได้ดังนี้

$$C_1(t) = K_1 \int_0^t e_p(\tau) d\tau + C_1(0) \dots\dots\dots 4$$

รูปที่ 11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงกริยาของตัวควบคุมแบบ อินทรีย์กล

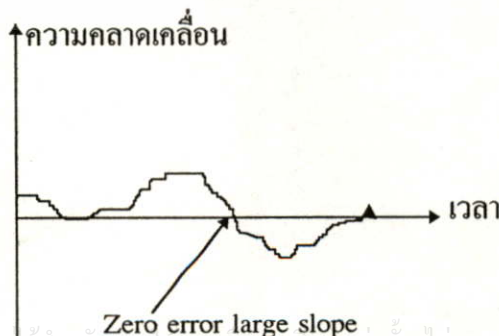
จากรูปที่ 11 ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมสามารถปรับค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ได้โดยอัตโนมัติ เพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในระบบ โดยสมมุติให้เวลาการเปลี่ยนเริ่มจาก 0 ไปจนถึง 7 นาที และเมื่อครบ 7 นาที ปรากฏว่าตรวจพบการไม่เปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อน ทำให้ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมคงที่ที่ค่าหนึ่งในที่นี้มีค่าเป็น 45 เปอร์เซ็นต์ค่าเอาต์พุต 45 เปอร์เซ็นต์จะคงค่านี้ตลอดไปจนกว่าตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าความคลาดเคลื่อนใหม่ ซึ่งทำให้ค่าเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้ง จะเรียกการกระทำนี้ว่าการรีเซ็ตและผลของการรีเซ็ตนี้ สามารถแก้ไขปัญหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่เป็นศูนย์จากการใช้การควบคุมแบบสัดส่วนลงได้โดยเพิ่มการขยายการควบคุมแบบ อินทรีย์ล เข้าไป

2.4.4 ตัวควบคุมแบบดิริเวทีฟ (Derivative Control Mode)

การขยายการควบคุมแบบดิริเวทีฟนี้เอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา (Time Rate of Change of Error) จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสจะเป็นศูนย์ได้และค่าเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเรียกการกระทำดังกล่าวนี้ว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ตามตัวอย่างดังรูปที่ 12 จากรูปที่ 12 จะเห็นว่าตรงจุดค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชันสูงซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงนั้นทำให้ค่าเอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนแปลงสูงตามไปด้วย

อัตราการเปลี่ยนของค่าความคลาดเคลื่อนสามารถประมาณได้ โดยการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน 2 ค่า แล้วหารด้วยเวลาระหว่าง 2 ค่านี้ แล้วนำไปคูณด้วยค่าคงที่ กำลังขยายดิริเวทีฟเพื่อหาค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม ดังสมการ 5

รูปที่ 12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงตัวอย่างคุณสมบัติของกริยาควบคุมแบบดิริเวทีฟ

$$C_D(t) = K_D [e_p(t) - e_p(t_0)] / (t - t_0) \quad \dots\dots\dots 5$$

$C_D(t)$ = ค่าเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบดิริเวตีฟ (เปอร์เซ็นต์) ที่เวลา t

K_D = ค่า กำลังขยายดิริเวตีฟ [เปอร์เซ็นต์ต่อ (เปอร์เซ็นต์ต่อเวลา)]

$e_p(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t (เปอร์เซ็นต์)

$e_p(t_0)$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t_0 (เปอร์เซ็นต์)

จากสมการ 5 สามารถนำมาเขียนเป็นสมการ ดิริเวตีฟแคลคูลัส (Derivative Calculus) ได้ดังนี้

$$C_D = K_D [de_p / dt] \quad \dots\dots\dots 6$$

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาท์พุทนั้น จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อนำกริยาการควบคุมแบบดิริเวตีฟนี้ไปใช้โดยลำพังจะไม่สามารถทำให้ค่าเอาท์พุทมีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ได้ ดังนั้น จึงต้องนำไปใช้ร่วมกับกริยาการควบคุมอื่น ๆ ตามหัวข้อ 2.2.5

2.4.5 ตัวควบคุมแบบประกอบกัน (Composite Mode)

ในทางปฏิบัตินั้น การนำกริยาการควบคุมแบบต่าง ๆ มาใช้ จะต้องนำมาประยุกต์เข้าด้วยกันก่อน เพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่สุด และกริยาการควบคุมแบบต่าง ๆ ที่ประยุกต์ใช้ ได้แก่

2.4.5.1 ตัวควบคุมแบบพีไอ [Proportional-Integral (PI) Mode]

ซึ่งมีสมการเอาท์พุท คือ

$$C_{PI} = K_p e_p + K_p K_I A_e \quad \dots\dots\dots 7$$

2.4.5.2 ตัวควบคุมแบบพีดี [Proportional-Derivative (PD) Model]

มีสมการเอาท์พุท คือ

$$C_{PD} = K_p e_p + K_p K_D [e_p(t) - e_p(t_0)] / (t - t_0) + C_0 \quad \dots\dots\dots 8$$

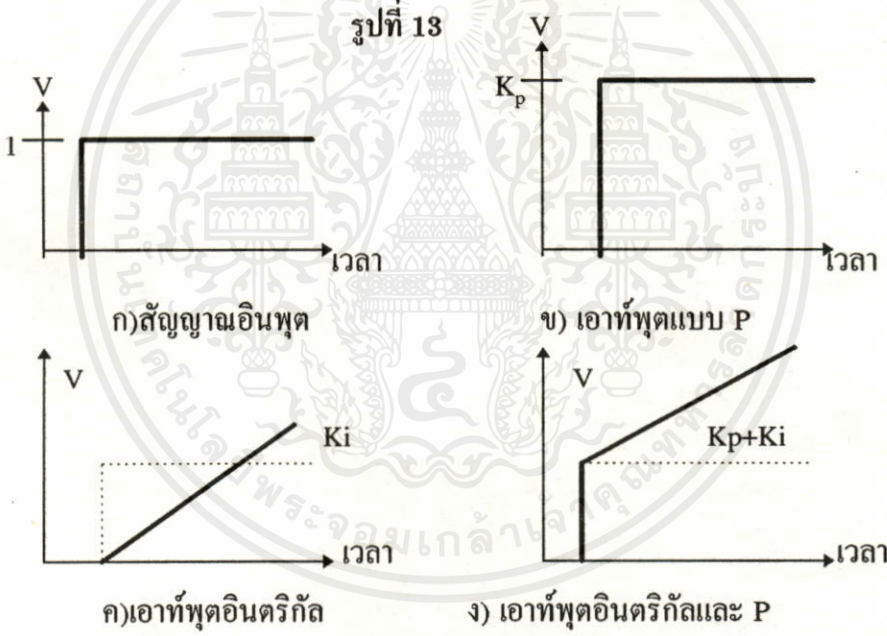
2.4.5.3 ตัวควบคุมแบบพีไอดี[Proportional-Integral-Derivative (PID) Model]

มีสมการดังนี้

$$C_{PID} = K_p e_p + K_p K_I A_e + K_p K_D [e_p(t) - e_p(t_0)] / (t - t_0) \dots\dots\dots 9$$

ระบบการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงมักจะมีการชดเชยตัวควบคุมทางอเนกโลกเข้าไปในระบบด้วยตัวคอนโทรลเลอร์ที่นิยมใช้กันคือตัวควบคุมแบบPI การควบคุมแบบ PI นี้เป็นการรวมกันของตัวควบคุม 2 ชนิด คือ Pและแบบ I ซึ่งเป็นการชดเชยระบบ คือทำให้ค่าออฟเซต (offset) ที่เกิดขึ้นกรณีมีการเปลี่ยนแปลงโหลดของคอนโทรลเลอร์หมดไปจากรูปเป็นคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อสัญญาณทดสอบแบบสเต็ป (unit step) ของตัวควบคุมแบบ P, I และ PI

รูปที่ 13



แสดงการนำตัวควบคุม P,I,PI มาใช้กับมอเตอร์

การควบคุมแบบนี้เราจะหาสัญญาณควบคุม (m) ได้ตามสมการ คือ

$$m = K_p e + \left(\frac{1}{Ti}\right) \int_0^r edt + m(0) \dots\dots\dots 10$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เว้นแต่จะขออนุญาตจากผู้นิพนธ์เอกสารชุดนี้ซึ่งมีการนำไปใช้ โดยที่ K_p = อัตราขยายของ P คอนโทรลเลอร์ (Proportional gain)
 e = สัญญาณความผิดพลาด (error signal)

T_i = เวลาอินทิกรัล(Integral time)

$m(0)$ = เอาท์พุทของตัวควบคุมเมื่อค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์

จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบ PI สามารถชดเชยระบบได้ดี แต่ระบบที่ออกแบบบางครั้งก็อาจจะไม่มีเสถียรภาพกรณีที่ค่า T_i มีค่าน้อยไม่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีเวลาล่าช้า (time lag) มาก ๆ เพราะการตอบสนองของตัวแปรกระบวนการ (C) จะช้ามากไม่สามารถแก้ไขค่าผิดพลาดได้ทันเวลาระบบควบคุมแบบ PI จะใช้ได้ดีกับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดมาก ๆ แต่โหลดควรเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เมื่อเทียบกับค่า T_i เพื่อป้องกันการเกิดการออสซิลเลท (oscillate) อันเนื่องมาจากโอเวอร์รูท (overshoot) ของการอินทิกรัล และระบบมักจะทำให้โอเวอร์ชูตสูงก่อนที่จะเข้าสู่ค่าคงที่

2.5 ส่วนจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับยานขนส่งอัตโนมัติ

2.5.1 แบตเตอรี่

ปัจจุบันมีการพัฒนาไปมากมีทั้งแบบเซลล์แห้งและเปียก แต่ละแบบจะมีโครงสร้างและการใช้งานแตกต่างกันไป พอจะแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด คือ

1. ซิงค์ (zinc) เป็นแบตเตอรี่ที่จ่ายพลังงานได้ดีามีการพัฒนาขึ้นใช้ในสมัยแรก ๆ
2. อัลคาไลน์ (alkaline) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีอายุการใช้งานนานเท่าแบบ ซิงค์ ทั้งยังมีการจ่ายกำลังงานนานกว่าแต่ก็มีข้อเสียคือ ไม่สามารถประจุใหม่ (recharge) ได้ และยังมีราคาแพง
3. นิกเกิล-แคดเมียม (nikel-cadmium) หรือที่นิยมเรียก "Ni-Cad" แบตเตอรี่ชนิดนี้ สามารถประจุใหม่ได้, หาง่าย, และมีราคาไม่แพง แต่ให้กำลังงานน้อย เหมาะใช้ในงานขนาดเล็ก ใช้งานได้ไม่นานเหมือนซิงค์และอัลคาไลน์
4. ตะกั่ว-กรด (lead-acid) มีเห็นใช้ทั่วไปในรถยนต์, รถมอเตอร์ไซด์สามารถประจุใหม่ได้มีหลายขนาด มีกำลังงานสูงมาก แต่น้ำหนักมาก ทำให้ AGV ต้องรับน้ำหนักมาก แต่ราคาถูกและหาซื้อง่าย

5. เจล-เซลล์ (gel-cell) ประจุใหม่ได้ คล้ายตะกั่ว-กรด แต่จ่ายกระแสได้สูงกว่า ข้อเสียคือ หายากและราคาแพง

คุณสมบัติของแบตเตอรี่

1. แรงดัน (Voltage) สำหรับแบตเตอรี่ที่ประจุใหม่ได้นั้น ขณะประจุเต็มจะมีระดับแรงดันสูงกว่าระดับปกติ กำหนดประมาณ 20-30% เช่นแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ชนิดตะกั่ว-กรด เมื่อประจุเต็มจะมีค่าประมาณ 13.8 โวลต์ และแบตเตอรี่จะถือว่าหมดแรงดัน เมื่อแรงดันลดต่ำลงเหลือประมาณ 80% จากระดับปกติ เช่น แบตเตอรี่ 6 โวลต์จะถือว่าหมดสภาพ ถ้าแรงดัน

ตกต่ำกว่า 4.8 โวลต์ การทดสอบระดับแรงดันของแบตเตอรี่ต้องทำขณะที่แบตเตอรี่ใช้งานอยู่ ก็จะต้องต่อโหลดด้วย

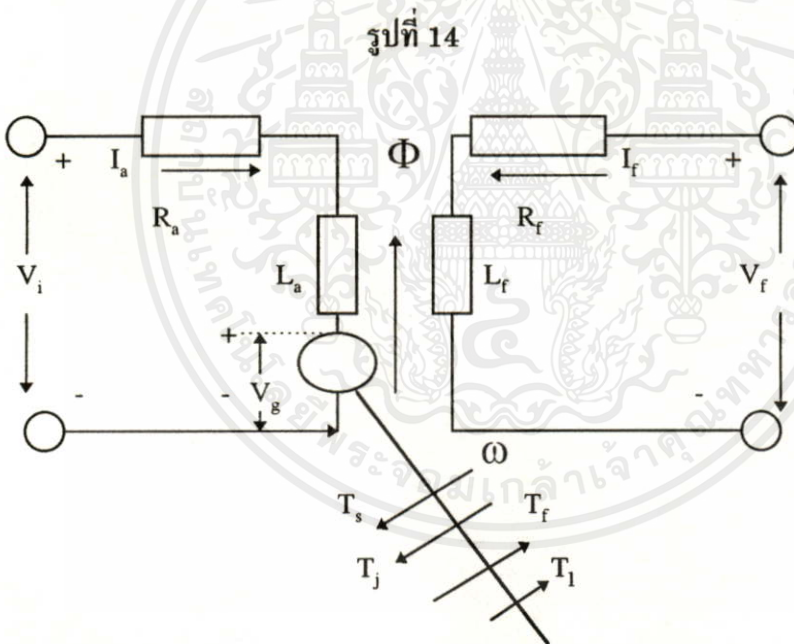
2.กระแส-เวลา (ampere-hour) แสดงถึงปริมาณความจุของแบตเตอรี่

2.6 ส่วนขับเคลื่อนของยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

2.6.1 การควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง

ตามปกติ AGV จะขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์กระแสตรง ซึ่งจะต้องมีการควบคุมตำแหน่งในการเคลื่อนที่ ทั้งนี้ ก็เพื่อให้ AGV สามารถหยุดยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำแต่การที่จะควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานตามเป้าหมายที่ถูกต้องจะต้องหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เสียก่อน สมการทางไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงสามารถหาได้จากรูปที่ 14

ส่วนประกอบสำคัญของดีซีมอเตอร์กระแสตรง มีดังนี้



แสดงแบบจำลองทางไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรง

R_a : ความต้านทานของอาร์เมเจอร์

L_a : อินдукแตนซ์ของอาร์เมเจอร์

V_g : โวลต์เตจกำเนิดในอาร์เมเจอร์ (โวลต์เตจป้อนกลับ) ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

R_f : ความต้านทานของฟิลด์ ต้องอ้างอิงถึงเข้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L_f : อินдукแตนซ์ของฟิลด์

ϕ : ช่องว่างอากาศของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก

- ω : ความเร็วของเพลอาร์เมเจอร์
 T_g : แรงบิดที่พัฒนาขึ้นในมอเตอร์
 T_f : แรงบิดเสียดทานของมอเตอร์
 T_s : แรงเฉื่อยของมอเตอร์
 T_l : แรงบิดโหลดบนเพลของมอเตอร์
 R_a : ความต้านทานของอาร์เมเจอร์
 L_a : อินдукแตนซ์ของอาร์เมเจอร์
 V_g : โวลต์เตจกำเนิดในอาร์เมเจอร์ (โวลต์เตจป้อนกลับ)
 R_f : ความต้านทานของฟิลด์
 L_f : อินдукแตนซ์ของฟิลด์
 ϕ : ช่องว่างอากาศของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก
 ω : ความเร็วของเพลอาร์เมเจอร์
 T_g : แรงบิดที่พัฒนาขึ้นในมอเตอร์
 T_f : แรงบิดเสียดทานของมอเตอร์
 T_s : แรงเฉื่อยของมอเตอร์
 T_l : แรงบิดโหลดบนเพลของมอเตอร์

จากรูปสมการทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์ จะได้ดังนี้

$$V_i(t) = R_{aia}(t) + L_a \frac{d_{ia}(t)}{dt} + V_g(t) \dots\dots\dots 11$$

เทอมโวลต์เตจ $V_g(t)$ ในสมการ คือ โวลต์เตจย้อนกลับของมอเตอร์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเส้นลวดตัวนำของอาร์เมเจอร์หมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นโดยกระแสของฟิลด์ (I_f) ตามกฎของฟาราเดย์ เส้นลวดตัวนำหมุนในฟิลด์แม่เหล็กคงที่จะมีการเหนี่ยวนำโวลต์เตจขึ้นในขดลวดนั้น

$$V(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} \dots\dots\dots 12$$

เมื่อ $\lambda(t)$ คือเส้นแรงแม่เหล็กที่ลิงเตจ (linkages) ไปยังขดลวดและ t คือ เวลาในการหมุนของคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์ การควบคุมวงจรของแต่ละส่วนของตัวนำในโรเตอร์จะเกิดโวลต์เตจขึ้นในส่วนของตัวนำนั้นตามสมการ เมื่อ $d\lambda(t)/dt$ เป็นสัดส่วนต่อเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศและความเร็วเชิงมุม $\omega(t)$ หรือเราจะได้ว่า

$$V_g(t) = K\phi(t) \omega(t) \dots\dots\dots 13$$

สมมุติให้กระแสของฟลัดมีค่าคงที่และไม่คิดถึงส่วนการเปลี่ยนแปลงในเส้นแรงฟลัด เนื่องจากอาร์เมเจอร์รีแอคชั่นเส้นแรงแม่เหล็กก็จะมีค่าคงที่ ดังนั้น สมการ 3 จึงกลายเป็น

$$V_g(t) = K_c \omega(t) \dots\dots\dots 14$$

เมื่อเราสมมุติให้เส้นแรงของฟลัดมีค่าคงที่แรงบิดของแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นแก่โรเตอร์ของมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับกระแสอาร์เมเจอร์

$$T_g(t) = K_t I_a(t) \dots\dots\dots 15$$

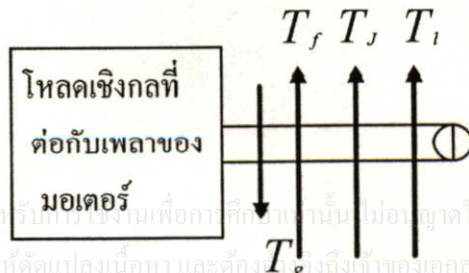
เมื่อ K_t คือ ค่าคงที่ของแรงบิดของมอเตอร์

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ คือ ผลคูณของแรงบิดที่เกิดขึ้นและความเร็วเชิงมุม

$$P_g(t) = T_g(t) \omega(t) \dots\dots\dots 16$$

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ทั้งหมดนี้จะหายไปยังโหลดที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์แต่กำลังงานนี้บางส่วนจะสูญเสียไปในตัวมอเตอร์การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานหมายถึงความหน่วงเนื่องจากลมที่มีต่อโรเตอร์แรงเสียดทานของตัวรองรับโรเตอร์กระแสที่ไหลจนในเหล็กของโรเตอร์ และฮีสเทอเรซิสจากรูปที่ 15 แสดงให้เห็นถึงแรงบิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์

รูปที่ 15



แสดงถึงแรงบิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์

$T_g(t)$: แรงบิดของมอเตอร์

$T_f(t)$: แรงบิดที่ต้องชนะการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน

$T_g(t)$: แรงบิดเพื่อใช้เพิ่มอัตราเร่งแก่ความเฉื่อยของโหลด

$T_l(t)$: แรงบิดโหลด

ในช่วงใด ๆ ก็ตาม แรงบิดของมอเตอร์จะต้องเท่ากับ และมีทิศทางตรงข้ามกับผลรวมของแรงบิด $T_f(t)$, $T_g(t)$ และ $T_l(t)$ ดังนั้น

$$T_g(t) = T_f(t) + T_l(t) + J dw(t)/dt \quad \dots\dots\dots 17$$

เมื่อ J คือ ผลรวมของโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่ที่เพลลาของมอเตอร์ ผลรวมของแรงบิดเสียดทานที่ประกอบกันขึ้นที่เพลลาของมอเตอร์ซึ่งเป็นลิเนียร์ฟังก์ชันกับความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์เรียกว่า ส่วนประกอบของวิสคอสฟริกชัน และมักจะอยู่ในเทอมที่แยกออกจากฟริกชันอื่น ๆ ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการนี้

$$T_g(t) = T_f(t) + T_l(t) + \frac{Jdw(t)}{dt} + B\Omega(t) \quad \dots\dots\dots 18$$

เมื่อ B คือ สัมประสิทธิ์ของวิสคอสฟริกชันของมอเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์

$T_f(t)$ คือ ผลรวมของฟริกชันของโหลดและของมอเตอร์ทั้งหมด มีแรงต้านของลมและการสูญเสียกำลังในเหล็กของเพลลามอเตอร์

จากสมการทั้งหมดของโมเดลดีซีมอเตอร์เหล่านี้เราสามารถหาทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์ได้ โดยใส่ลาปลาซทรานสฟอร์มทั้งสองข้างของชุดสมการพื้นฐาน และเขียนใหม่ได้เป็น

$$V_1(s) - V_g(s) = (R_a + SL_a) I_a(s) \quad \dots\dots\dots 19$$

$$V_g(s) = K_c \Omega(s) \quad \dots\dots\dots 20$$

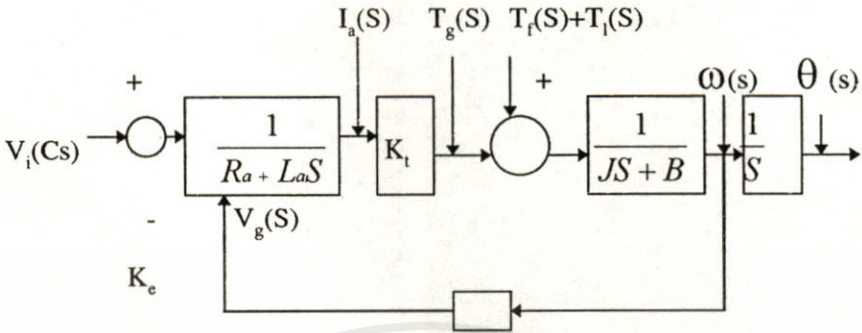
$$T_g(s) = K_t I_a(s) \quad \dots\dots\dots 21$$

$$T_g(s) - T_f(s) - T_l(s) = (B + sJ) \Omega(s) \quad \dots\dots\dots 22$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 16



แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์กระแสตรง

สมมุติว่าโวลต์เตจที่ป้อนให้กับวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์มีค่าคงที่ ดังนั้น มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วคงที่ คือ ทำงานอยู่ที่สภาวะสงบนิ่งด้วยโพลต์ที่คงที่ กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นโดยโรเตอร์

จะหาได้จากสมการ 21 และเมื่อรวมกับสมการ 22 ก็จะได้

$$P_g = T_g \omega = K_t I_a \omega \dots\dots\dots 23$$

เมื่อทุกเทอมในสมการสุดท้ายมีค่าคงที่เนื่องจากมอเตอร์ทำงานอยู่ที่สภาวะสงบนิ่ง กำลังไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนโดยอาร์เมเจอร์ต้องเท่ากับผลคูณของโวลต์เตจตกคร่อมอาร์เมเจอร์และกระแสที่ไหลผ่าน ดังนั้น

$$P = V_g I_a = K_c \omega I_a \dots\dots\dots 24$$

ดังนั้นเราจะได้ว่ากำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นต้องเท่ากับกำลังงานไฟฟ้าที่ถูกดูดกลืนในโรเตอร์ดังสรุปได้ว่า

$$K_t = K_c \dots\dots\dots 25$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์จากลือกโคอะแกรมในรูปที่ 16 แสดงถึงระบบที่มีสองอินพุต และมีเอาต์พุตเป็นทั้งความเร็วเชิงมุมและการเคลื่อนที่แบบเชิงมุม θ จากลือกโคอะแกรมข้างบน ความเร็วของระบบเขียนได้เป็น

$$\omega(s) = G_1(s) V_1(s) + G_2(s) [T_f(s) + T_l(s)] \dots\dots\dots 26$$

$$\text{เมื่อ } G_1(s) = \left. \frac{\omega(s)}{V_1(s)} \right|_{T_f(s)+T_l(s)=0} \dots\dots\dots 27$$

$$G_2(s) = \left. \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_l(s)} \right|_{V_1(s)=0} \dots\dots\dots 28$$

$G_1(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างโวลต์เตจกับความเร็ว

$$G_1(s) = \frac{\omega(s)}{V_1(s)} = \frac{K_t}{(La(s) + Ra)(Js + B) + K_t K_e} \dots\dots\dots 29$$

$$= \frac{K_m}{\alpha s + Bs + 1} \dots\dots\dots 30$$

$$K_m = \frac{K_t}{RaB + K_t K_e} \dots\dots\dots 31$$

$$\alpha = \frac{LaJ}{RaB + K_t K_e} \dots\dots\dots 32$$

$$\beta = \frac{RaJ + LaB}{RaB + K_t K_e} \dots\dots\dots 33$$

จากสมการ 30 เป็นโวลต์เตจทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของดีซีมอเตอร์ ในเมื่อ
 เอกสมมุติว่า T_l และ T_f มีค่าเป็นศูนย์ สมการ 30 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น $\frac{K_t}{RaB(1 + \tau_s s)(1 + \tau_m s) + K_t K_e}$ ถ้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_1(s) = \frac{K_t}{RaB(1 + \tau_s s)(1 + \tau_m s) + K_t K_e} \dots\dots\dots 34$$

เมื่อ $\tau_c = \frac{L_a}{R_a} =$ ค่าเวลาที่ทางไฟฟ้า
 $\tau_m = \frac{J}{B} =$ ค่าเวลาที่ทางกล

ถ้าอินดักแตนซ์ของอาร์เมเจอร์มีค่าน้อย เวลาที่ทางไฟฟ้าสามารถตัดทิ้งได้และสมการได้เป็น

$$G_v(s) = \frac{\omega(s)}{V_i(s)} = \frac{K_t}{R_a B (1 + \tau_e s)(1 + \tau_m s) + K_t K_e} \dots\dots\dots 35$$

$$= \frac{K_m}{\tau s + 1} \dots\dots\dots 36$$

เมื่อ $\tau = \frac{R_a J}{R_a B + K_t K_e} \dots\dots\dots 37$

ในสมการ 35 ค่าคงที่ K_m อาจเรียกได้ว่าเป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ ทรานเฟอ์ ฟังก์ชันแรงบิดโหลด $G_2(s)$ หาได้เป็น

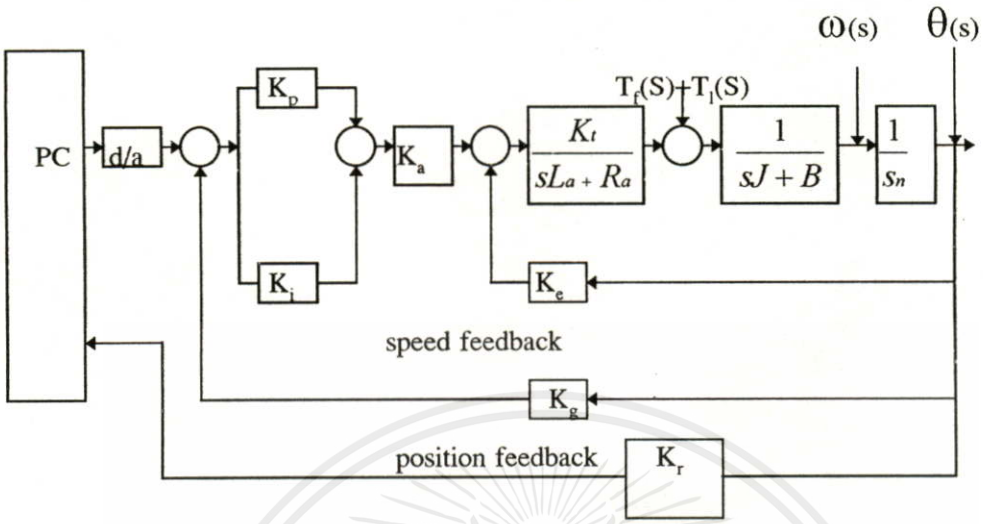
$$G_2(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_l(s)} = \frac{-1}{\frac{J s + B}{K_t K_e} + \frac{1}{1 + \frac{(J s + B)(L_a s + R_a)}{K_t K_e}}} \dots\dots\dots 38$$

$$G_2(s) = \frac{-R_a}{\alpha s + \beta s + 1} K_m \left[\frac{L_a}{R_a} s + 1 \right] \dots\dots\dots 39$$

ซึ่งถ้าอินดักแตนซ์ของอาร์เมเจอร์ไม่นำมาคิดสามารถจะลดรูปสมการลงเหลือ

$$G_L(s) = \frac{\omega(s)}{T_f(s) + T_l(s)} = \frac{\left[\frac{-R_a}{K_t} \right]}{\tau s + 1} K_m \dots\dots\dots 40$$

รูปที่ 17



บล็อกไดอะแกรมรูปการควบคุมทั้งตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์

ในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงซึ่งมีระบบการป้อนกลับนั้น ความเร็วของมอเตอร์ในช่วงที่มีการเพิ่มความเร็ว (acceleration), ลดความเร็ว (deceleration) และช่วงความเร็วคงที่ (slewing) นั้น มีความสำคัญมาก

ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งโรเตอร์เชิงมุม $\theta(t)$ กับความเร็วเชิงมุม $\omega(t)$

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(t) dt \dots\dots\dots 41$$

จะเห็นว่าถ้าเราทำการควบคุมตำแหน่งเชิงมุม $\theta(t)$ ได้ เราก็จำเป็นต้องควบคุมความเร็วเชิงมุม $\omega(t)$ ด้วย

จากสมการของมอเตอร์เราทำการพิจารณาการควบคุมความเร็วในช่วงเพิ่มความเร็ว นั้น เราจำเป็นต้องมีการควบคุมแรงบิด T_G กล่าวคือ

- ก) การเพิ่มความเร็ว (acceleration)

ตามปกติมอเตอร์จะถูกเพิ่มความเร็วจากการป้อนแรงบิด T_G จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ส่วนหนึ่งภายใต้ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถมิได้ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega(t) = [(T_G - T_f - T_L) / B][1 - \exp(-\beta / J)t] \dots\dots\dots 42$$

- ข) ขณะความเร็วคงที่ (slewing)

ข) ขณะความเร็วคงที่ (slewing)

จากเงื่อนไขคือ $d\omega(t)/dt = 0$ สมการของมอเตอร์จะได้

$$\omega(t) = T_G / \beta \quad \dots\dots\dots 43$$

ค) การลดความเร็ว (decelation)

ในช่วงนี้จะไม่คิดทอม $\beta\omega$ กล่าวคือสมการจะกลายเป็น

$$T_G = Jd\omega(t) / dt$$

$$\omega(t) = \omega_c - (T_G / J)t$$

เมื่อ $\omega_c =$ ค่าคงที่ความเร็ว $\dots\dots\dots 44$

2.6.2 อินคริเมนทัลโรตารีเอ็นโคดเดอร์ (Incremental rotary encoder)

ในระบบการควบคุมดิษฐ์มอเตอร์นั้นจะต้องมีทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ทำหน้าที่ป้อนกลับ (feedback) สัญญาณจากเอาต์พุตของมอเตอร์เพื่อสามารถควบคุมความเร็วและตำแหน่งของมอเตอร์ให้มีความแม่นยำตลอดเวลา อินคริเมนทัลโรตารี เอ็นโคดเดอร์ ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมการทำงานของดิษฐ์มอเตอร์อินคริเมนทัลโรตารีเอ็นโคดเดอร์ จัดเป็นออปติคัลเอ็นโคดเดอร์ (optical encoder) แบบหนึ่ง เอ็นโคดเดอร์นี้จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แปรผันโดยตรงกับการหมุนของเพลลา ส่วนประกอบของอินคริเมนทัลโรตารีเอ็นโคดเดอร์คือ ตัวกำเนิดแสง (light source), จานหมุน (disc), ตัวเซนเซอร์แสง (light detector) และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ บนแผ่นจานหมุนจะเป็นช่อง ๆ ตัวกำเนิดแสงอาจเป็น LED ก็ได้ ความละเอียดของเอ็นโคดเดอร์คือ จำนวนสัญญาณพัลส์ต่อการหมุนเพลลา 1 รอบ โดยทั่วไปมีค่าความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง 10000 พัลส์ ต่อการหมุน 1 รอบ โดยทั่วไปแล้วเอาต์พุตของโรตารีเอ็นโคดเดอร์ จะมีประมาณ 2 หรือ 3 ช่อง คือ ช่อง A, ช่อง B และดัชนี (index) คุณสมบัติโดยทั่วไปของเอ็นโคดเดอร์ คือ ช่อง (channel) A และ B จะมีสัญญาณล้าหน้า (lead) หรือล้าหลัง (lag) กัน 90° และมีดัชนีเป็นตัวบอกการหมุนครบ 1 รอบ ของเพลลาสัญญาณ 2 ช่องที่แตกต่างกัน 90° นี้เรียกว่า ควอดราเจอร์ (quadrature) กัน ซึ่งสามารถทำให้รับรู้ทิศทางและความเร็วของตัวมอเตอร์ได้ สัญญาณและทศทางการหมุนของเอ็นโคดเดอร์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ช่อง A	ช่อง B	ทิศทางการหมุน
ขอขนาขึ้น ↑	ลจิกสูง (1)	ตามเข็มนาฬิกา
ขอขนาขึ้น ↑	ลจิกต่ำ (0)	ทวนเข็มนาฬิกา
ขอขนาลง ↓	ลจิกสูง (1)	ทวนเข็มนาฬิกา
ขอขนาลง ↓	ลจิกต่ำ (0)	ตามเข็มนาฬิกา
ลจิกสูง (1)	ขอขนาขึ้น ↑	ทวนเข็มนาฬิกา
ลจิกต่ำ (0)	ขอขนาขึ้น ↑	ตามเข็มนาฬิกา
ลจิกสูง (1)	ขอขนาลง ↓	ตามเข็มนาฬิกา
ลจิกต่ำ (0)	ขอขนาลง ↓	ทวนเข็มนาฬิกา

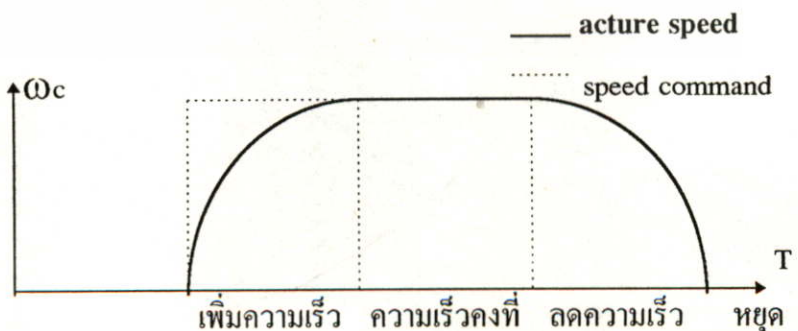
แสดงสภาวะของสัญญาณที่เป็นไปได้ทั้งหมดและทิศทางการหมุนที่วิเคราะห์ได้

2.6.3 กรอบความเร็วสำหรับควบคุมตำแหน่ง (Speed profile for position control)

ลักษณะความเร็วตั้งแต่มอเตอร์เริ่มหมุนจนถึงหยุดที่ตำแหน่งเป้าหมายแสดงในรูปที่ 18 ซึ่งสามารถแบ่งช่วงความเร็วออกได้เป็น 5 ช่วง คือ

1. ช่วงเร่งความเร็ว (acceleration) ในช่วงนี้ความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามสมการ 1

รูปที่ 18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่หรือแจ้งผู้อื่นถึงข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงกรอบความเร็วของเร็วมอเตอร์

2. ช่วงความเร็วคงที่ (slewing)

เมื่อความเร็วของโรเตอร์เพิ่มถึงค่าสูงสุด จะเริ่มเห็นผลของการควบคุมความเร็วแบบป้อนกลับ โดยความเร็วจะเข้าสู่ค่าคงที่

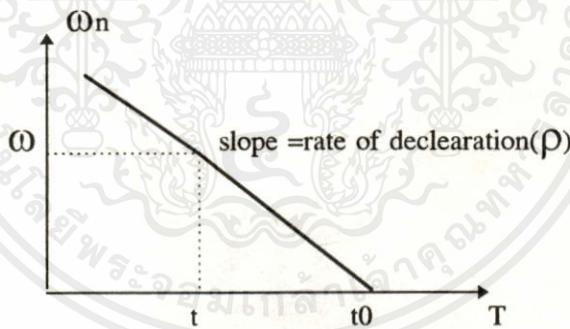
3. ช่วงลดความเร็ว (deceleration)

ในช่วงนี้ความเร็วเอาต์พุตจะเป็นไปตามสมการ

$$\omega(t) = \sqrt{2 \cdot q \cdot \rho} \dots\dots\dots 45$$

โดยที่ q = ค่าผลต่างทางตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบัน เป้าหมาย มีหน่วยเป็นจำนวนพัลส์
 f = อัตราการลดลงของความเร็ว

รูปที่ 19



แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง w , f และ q

จากรูปที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุม ω , อัตราลดความเร็ว f และค่าผลต่างทางตำแหน่ง q โดยจากรูป เมื่อมอเตอร์ลดความเร็วลง ความเร็วเชิงมุม ω ที่เวลา t จะมีค่าเท่ากับ

$$\omega(t) = (t_0 - t) \cdot \rho \dots\dots\dots 46$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

เมื่อ t_0 เป็นเวลาขณะที่ยังไม่ลดความเร็วลงไปถึงตำแหน่งเป้าหมายพอดี

ตามรูปประยะทางในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่เวลา t ถึงตำแหน่งเป้าหมายที่เวลา t_0 จะมีค่าเท่ากับพื้นที่สามเหลี่ยมใต้เส้นกราฟ โดยจะมีค่าเท่ากับ

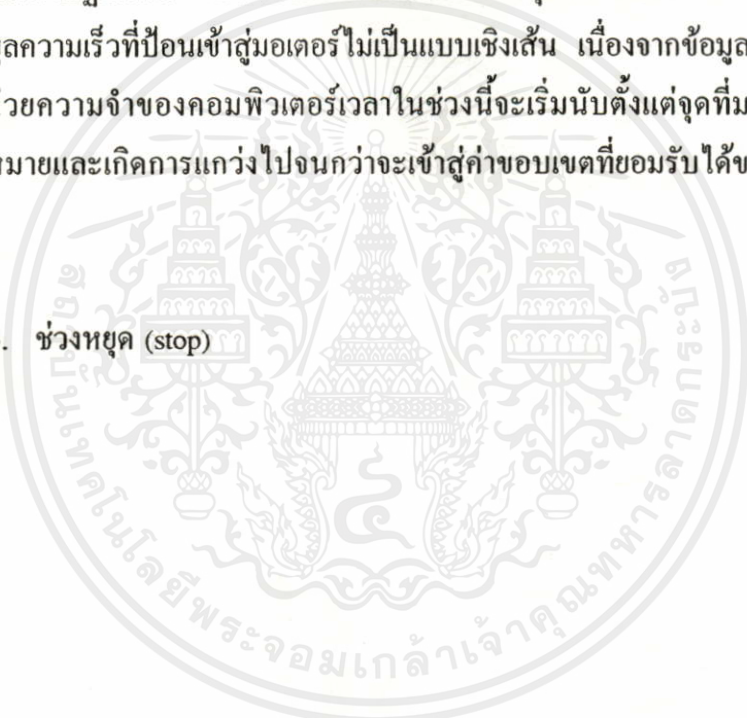
$$q = \frac{1}{2}(t_0 - t) \cdot \rho \cdot (t_0 - t) \quad \dots\dots\dots 47$$

แทนค่า $(t_0 - t)$ จะได้ $\Omega(t) = \sqrt{2 \cdot q \cdot \rho} \quad \dots\dots\dots 48$

4. ช่วงก่อนเข้าสู่ค่าคงที่ (setting)

ตามปกติในทางอุดมคตินั้น มอเตอร์จะหยุดที่ตำแหน่งเป้าหมายพอดี โดยไม่เกิดการแกว่งแต่อย่างใด แต่ในทางปฏิบัตินั้น เป็นไปได้มากที่มอเตอร์จะหมุนออกนอกตำแหน่งเป้าหมาย ทั้งนี้ เพราะข้อมูลความเร็วที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ไม่เป็นแบบเชิงเส้น เนื่องจากข้อมูลความเร็วถูกนำไปเก็บในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์เวลาในช่วงนี้จะเริ่มนับตั้งแต่จุดที่มอเตอร์หมุนถึงตำแหน่งเป้าหมายและเกิดการแกว่งไปจนกว่าจะเข้าสู่ค่าขอบเขตที่ยอมรับได้ของตำแหน่งเป้าหมาย

5. ช่วงหยุด (stop)



บทที่ 3

การออกแบบและสร้างระบบควบคุม ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสร้างระบบทางอิเล็กทรอนิกส์และระบบการทำงานทางกลของ AGV อันประกอบด้วย ระบบการนำร่องด้วยโฟโต้เซนเซอร์ ระบบนำร่องและตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยอุลตราโซนิก ระบบตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่ ระบบการควบคุมไร้สายระยะไกล ระบบบันทึกเสียงและการป้องกันของยานขนส่ง ระบบตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน ระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ และส่วนของการเชื่อมต่อ (interface) กับคอมพิวเตอร์ประมวลผลกลางระบบโครงสร้างทางกล เป็นต้น

การทำงานของ AGV ในวิทยานิพนธ์นี้ จะเริ่มจากผู้ใช้ทำการสวิทช์จ่ายพลังงานให้แก่ตัว AGV จากนั้นจะทำการรีเซ็ตระบบ เมื่อ AGV ทำการกำหนดค่าเริ่มต้นในหน่วยความจำเรียบร้อยแล้วก็จะเริ่มทำงานโดยจะคอยอ่านค่าคีย์บอร์ดที่อยู่ตรงส่วนหลังของตัว AGV เอง ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ เช่น การวิ่งตามทางแบบอัตโนมัติ การยอมให้มีการโต้ตอบกับผู้ใช้โดยการรับคำสั่งจากระบบคอนโทรล การเคลื่อนที่อิสระและมีคีย์บอร์ด เป็นคำสั่งของสถานีอยู่เฉพาะอีกหลายสถานี เมื่อผู้ใช้ทำการเลือกโหมดการทำงานเรียบร้อยแล้ว ส่วนของโปรแกรมบริการจะกระทำตามที่กำหนดเอาไว้ เช่น เมื่อผู้ใช้เลือกโหมดวิ่งตามเส้นทางอัตโนมัติ AGV จะทำงานโดยเริ่มจากทำการอ่านข้อมูลจากตัวตรวจจับซึ่งอยู่ใต้ท้องของ AGV ซึ่งมีหลายแบบเมื่ออ่านข้อมูลเข้ามาแล้วจะนำเอาข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลตามกรรมวิธีของโครงข่ายประสาทเทียม (Neuron Network) และให้เอาต์พุตออกมาใช้ในการควบคุมมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนขับเคลื่อนของ AGV ต่อไป ส่วนขับเคลื่อนของ AGV ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นแบบมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งควบคุมความเร็วด้วยอนาล็อก PI คอนโทรลเลอร์และควบคุมตำแหน่งด้วยคอมพิวเตอร์ 8036 DX-40 โดยจะวัดตำแหน่งและความเร็วโดยใช้ตัวเอนโคคเคอร์ นอกจากนี้แล้วยังมีระบบต่าง ๆ ทำงานร่วมด้วยเพื่อให้ AGV ทำงานได้สมบูรณ์ อาทิเช่น ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอุลตราโซนิก แบบอินฟราเรด ตัวตรวจจับนี้จะทำหน้าที่คอยตรวจจับสิ่งกีดขวางที่เข้ามาใกล้ตัว AGV โดยจะให้เอาต์พุตออกมาสามารถนำไปใช้ในการหาว่าสิ่งกีดขวางอยู่ตำแหน่งใดทิศทางใด เพื่อให้ AGV ไม่เคลื่อนที่ไปชนได้ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุม AGV โดยใช้การควบคุมแบบไร้สายได้หน้าที่และการทำงานของวงจร อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ แสดงดังต่อไปนี้

3.2 ระบบนำร่องด้วยโฟโต้เซนเซอร์ (Photo Sensors)

AGV ที่ได้ออกแบบขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้สามารถเดินโดยการตามเส้นแถบสีที่ติดอยู่บนพื้นเรียกแถบสีที่ติดตามพื้นนี้ว่าทางเดินนำร่อง (guide path) หน้าที่ของตัวตรวจจับแบบโฟโต้เซนเซอร์คือ จะทำการตรวจหาแถบสีที่ติดบนพื้นแล้วจะนำสัญญาณที่อ่านได้ไปเข้าสู่ส่วนประมวลผลกลางเพื่อทำการตัดสินใจในการนำร่อง การทำงานของโฟโต้เซนเซอร์นี้จะอาศัยการสะท้อนแสงอินฟราเรดที่สะท้อนจากแถบสีและพื้นห้องโดยอาศัยคุณสมบัติที่ว่าแถบสีเข้มจะดูดกลืนแสงได้ดีกว่าแถบสีแบบสว่าง ดังนั้นการพิจารณาเลือกสีของเทปที่ติดบนพื้นของห้องจะต้องมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น กรณีที่พื้นโรงงานเป็นสีอ่อนก็ควรเลือกใช้เทปสีเข้มหรือสีดำ หากพื้นห้องเป็นสีดำแถบเทปที่ติดควรจะเป็นสีขาวหรือสีเหลือง

3.2.1 หลักการที่นำมาใช้ในการนำร่องของ AGV ในวิทยานิพนธ์นี้

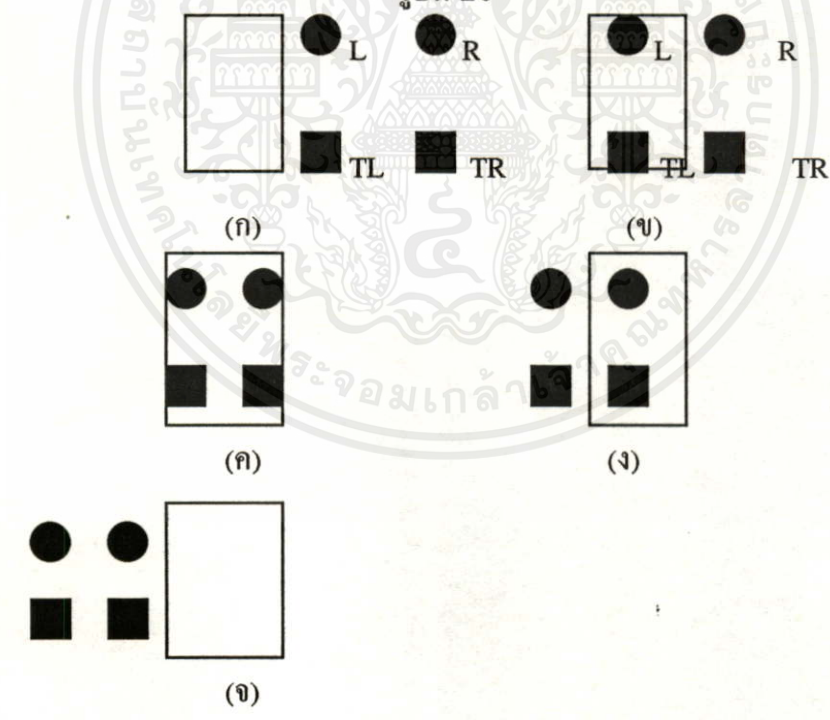
ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการออกแบบตัวตรวจจับการนำร่องขึ้นหลายแบบโดยให้เอาต์พุตออกมาในแบบต่าง ๆ กัน คือ ตัวตรวจจับของอนาลอกแบบ 2 ตัว ตัวตรวจจับอนาลอกแบบเมตริกซ์ ตัวตรวจจับแบบดิจิตอลและตัวตรวจจับแบบดิจิตอลแบบเมตริกซ์ โดยหลักการต่อไปนี้จะป็นวิธีการอ่านค่าจากเทปสีที่ติดตามพื้นห้อง

3.2.1.1 ตัวตรวจจับแบบอนาลอกและตัวตรวจจับแบบดิจิตอล ที่ให้ผล 2 บิต

หลักการทำงานของตัวตรวจจับแบบนี้จะใช้ตัวส่งแสงอินฟราเรด 2 ตัวทำหน้าที่ส่งแสงอินฟราเรดซึ่งเป็นแสงความถี่สูงเกินกว่าตาของมนุษย์จะมองเห็น (invisible light) ออกไปตกกระทบกับแถบเทปสีที่ติดบนพื้น เมื่อแสงอินฟราเรดไปตกกระทบจะสะท้อนหรือดูดกลืนแสงอินฟราเรด (แล้วแต่ว่าเป็นแถบเข้มหรือแถบสว่าง) ถ้าแถบสีเป็นแถบสว่างแสงอินฟราเรดจะสะท้อนมาเข้าตัวตรวจจับ ทำให้บอกได้ว่า AGV อยู่บนทางเดินนำร่องหรือไม่ ในทางตรงกันข้ามถ้าแสงอินฟราเรดที่สะท้อนกลับออกมามีค่าน้อยมาก AGV ก็จะรับรู้ได้ว่ากำลังออกจากเส้นทางนำร่องตัวประมวลผลกลางจะพยายามปรับ AGV ให้เข้าสู่เส้นทางเดิมที่ถูกต้อง ตำแหน่งการวางของตัวตรวจจับชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 20 ตัวตรวจจับแสงอินฟราเรด L, R จะทำหน้าที่คอยตรวจหาตำแหน่งเส้นทาง (เทปสี) แล้วจะส่งค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้ไปยังวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ใช้แบบความเร็วแตกต่าง (Difference speed) คือ มอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ตัว หมุนด้วยความเร็วไม่เท่ากัน ขณะที่ AGV กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นอาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ คือ การหลุดออกนอกเส้นทางเดินนำร่องได้ ดังนั้นจึงต้องทำการอ่านข้อมูลจากตัวตรวจจับเข้ามา

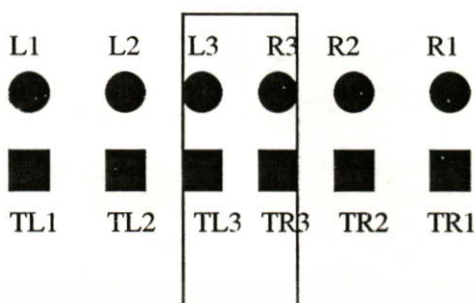
ประมวลผลตลอดเวลา จากรูปที่ 21(ก) แสดง AGV หลุดออกนอกเส้นทางไปทางขวามือ กรณีนี้ตัวตรวจจับเส้นทางทั้ง 2 ตัว คือ L, R จะมีเอาต์พุตเป็นลอจิก “0” ทั้งคู่ หากเกิดความผิดพลาดกรณีนี้ขึ้น AGV จะต้องเคลื่อนที่ปรับตัวเอง ไปทางซ้ายมากขึ้น เพื่อให้กลับเข้าสู่เส้นทางที่ถูกต้องได้ ดังรูปที่ 21(ข) แสดงว่า AGV เคลื่อนที่กินไปทางขวามือมากเกินไป กรณีนี้ตัวตรวจจับทางซ้าย (L) จะอ่านข้อมูลได้เป็น “1” และตัวตรวจจับ R จะเป็นลอจิก “0” ดังนั้น AGV จะต้องปรับตัวเองไปทางขวามากขึ้นรูป 20(จ) แสดง AGV หลุดออกนอกเส้นทางซีกไหนกันแน่ หากเกิดเงื่อนไขนี้จำเป็นจะต้องใช้ซอฟต์แวร์ เข้ามาช่วยทำการตัดสินใจ วิธีการอีกอย่างหนึ่งที่น่ามาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ คือ การติดตั้งชุดตรวจจับเป็นบริเวณกว้างเพื่อครอบคลุมพื้นที่การตรวจจับได้มากกว่าเดิมดังแสดงในรูปที่ 21 วิธีการแบบนี้สามารถตรวจจับได้กว้างกว่ามากการปรับตัวเองอาจใช้อัลกอริทึมของ PID มาช่วยได้ โดยถ้า AGV กินเส้นทางข้างใดข้างหนึ่งจะให้ค่าเออร์เรอร์ (error) ออกมาไม่เท่ากันนำค่าเออร์เรอร์นี้ไปปรับความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งจะให้ค่าของความเร็วตามค่าเออร์เรอร์ที่อ่านได้วิธีการนี้สะดวกมากกว่าแบบแรกมาก

รูปที่ 20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 แสดงตำแหน่งการจัดวางของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องและกรณีที่เกิดขึ้นได้กับ AGV
 ขณะเคลื่อนที่

รูปที่ 21



L1= ตัวตรวจจับซีกซ้าย ตัวที่ 1

L2= ตัวตรวจจับซีกซ้ายตัวที่ 2

L3= ตัวตรวจจับซีกซ้ายตัวที่ 3

R1= ตัวตรวจจับซีกขวาตัวที่ 1

R2= ตัวตรวจจับซีกขวาตัวที่ 2

R3= ตัวตรวจจับซีกขวาตัวที่ 3

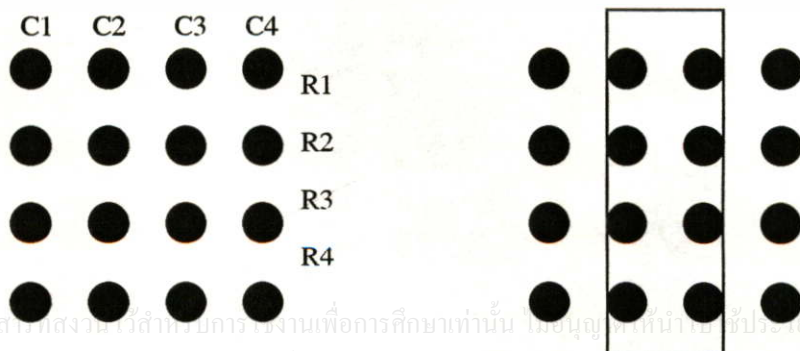
TL1..TR3= ตัวส่งสัญญาณ

แสดงการวางตัวตรวจจับแบบ PID

3.2.1.2. ตัวตรวจจับการนำร่องแบบเมตริกซ์ 16 บิต (Bit)

เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้อัลกอริทึมของโครงข่ายประสาทเทียมมาเป็นตัวตัดสินใจจึงมีการออกแบบตัวตรวจจับซึ่งเป็นแบบเมตริกซ์ขึ้นมาเพื่อนำเอาข้อมูลที่ได้ไปเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม

รูปที่ 22

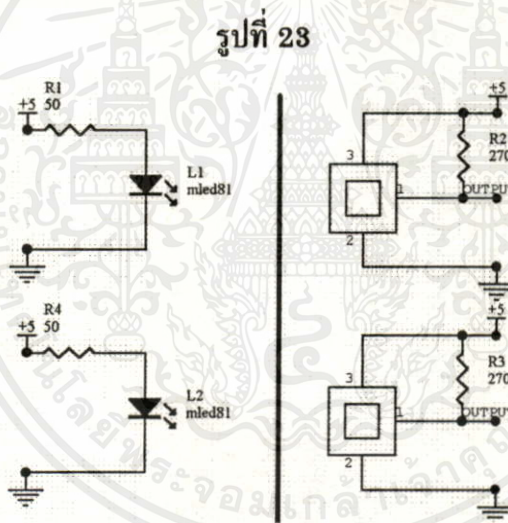


แสดงการวางของตัวตรวจจับแบบเมตริกซ์

จากรูปที่ 22 แสดงการวางของตัวตรวจจับและการนำไปใช้งาน การจัดวางตัวตรวจจับชนิดนี้จะเรียกเป็นแถว (row) และคอลัมน์ (colom) โดยจะมี 4 แถวและ 4 คอลัมน์ คือ 16 ตัวนั่นเอง การใช้งานแสดงดังรูปที่ 23 เมื่อ AGV อยู่บนเส้นจะให้เอาต์พุตออกมาเป็น “1” ในคอลัมน์ที่ C_2 และ C_3 เท่านั้น คอลัมน์อื่นจะมีลอจิกเป็น “0” หากกรณีเกิดการออกนอกเส้นทางของ AGV จะมีได้มากมายซึ่งจะให้เอาต์พุต ออกมาแตกต่างกันไปแล้วแต่กรณี วิธีการแบบนี้ให้ความละเอียดที่สุด และเหมาะสำหรับนำไปเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมด้วย รายละเอียดและการทำงานของวงจรแสดงดังรูปที่ 23

3.2.2 วงจรของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบดิจิทัล

ระบบเซนเซอร์ที่ใช้ในวงจรนี้ใช้ตัวส่งอินฟราเรดเบอร์ MLED 81 ส่วนตัวรับใช้เบอร์ MRD 750 โดยมีลักษณะการต่อวงจรใช้งานดังแสดงในรูปที่ 23

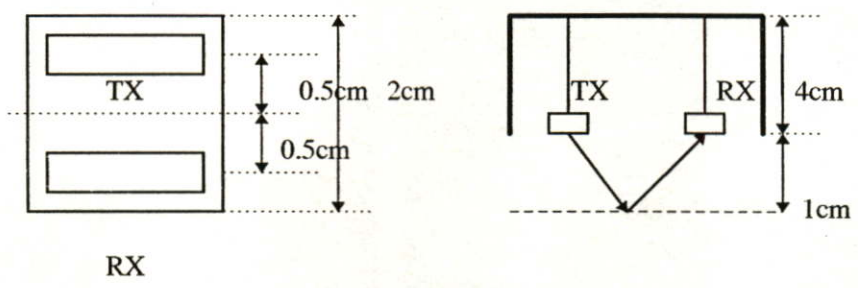


แสดงลักษณะของตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง

ลักษณะที่ต่อใช้งานในกรณี 1 จุด MLED81 จะส่งแสงอินฟราเรดเป็นเส้นตรง พุ่งลงไปกระทบกับพื้นซึ่งจะติดแถบสีไว้เป็นทางเดินนำร่องของ AGV เมื่อแสงอินฟราเรดตกกระทบแถบสีนั้นจะสะท้อนแสงอินฟราเรดกลับออกมายังตัวรับ คือ MRD750 เมื่อ MRD 750 จับสัญญาณแสงนี้ได้ก็จะให้เอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณทางดิจิทัล คือ ลอจิกเป็น “0” เมื่อไม่มีการสะท้อนและลอจิก “1” หรือ 5 โวลต์การติดตั้งใช้งานแสดงดังรูปที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 24



แสดงการติดตั้งตัวตรวจจับ

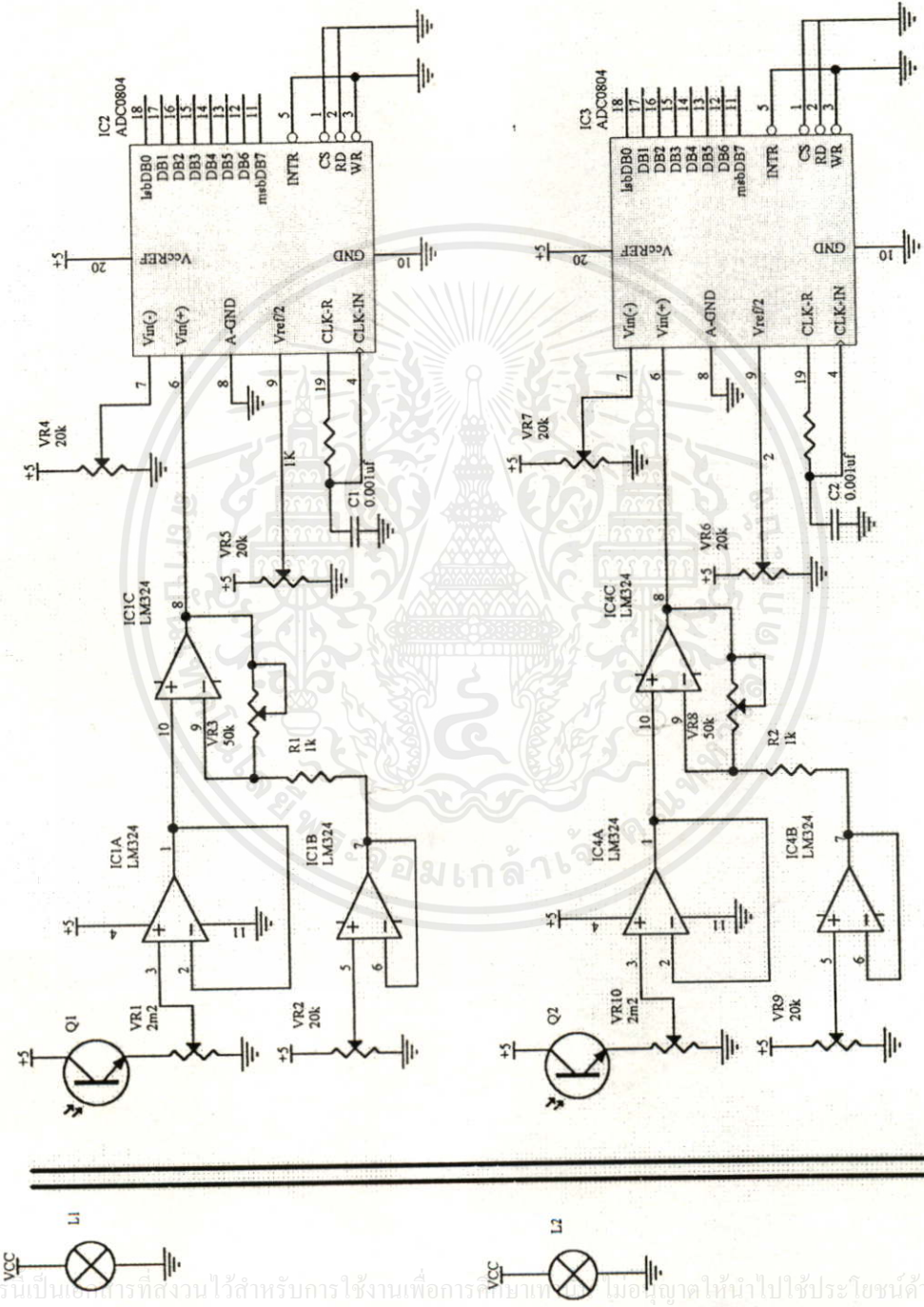
3.2.2.2 ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบอนาล็อก

จากเหตุผลที่ข่ายสัญญาณอินพุทที่จะนำเข้าโครงข่ายประสาทเทียมมี 2 แบบ คือ แบบดิจิตอลและแบบอนาล็อก เพื่อที่จะเปรียบเทียบการทำงานของทั้งสองแบบ ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบอนาล็อกแสดงคังรูปที่ 25 จากรูปพิจารณาการทำงานของวงจร สามารถปรับช่องการรับแสงได้โดยปรับที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR4, VR5 และความไวแสงปรับที่ VR1, VR2 และ VR3 ตามลำดับ การทำงานของส่วนตรวจจับทางเดินนำร่องแบบอนาล็อกนี้จะรับข้อมูล 8 บิตจากหัวอ่านมาทำการลบกับค่ากลาง คือ 127 หมายความว่าถ้าหัวอ่านรับแสงได้ครั้งหนึ่งจะได้อ่านค่าความเข้มแสงได้เท่ากับ 128 จะถือว่าตัวตรวจจับนี้อยู่บนเส้นพอดี แต่ถ้าค่าที่อ่านมากกว่า 128 จะถือว่าตัวตรวจจับอยู่ห่างเส้นมากเกินไป และถ้าค่าที่อ่านได้น้อยกว่า 128 ก็ จะถือว่าตัวตรวจจับล้ำเข้าไปในเส้นมากเกินไป

3.2.3 ตัวตรวจจับทางแยกของ AGV

ตัวตรวจจับทางแยกของ AGV ในวิทยานิพนธ์นี้จะมีแบบเดียว คือ แบบดิจิตอลวงจร และการทำงานจะใช้หลักการเหมือนกับตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง คือ ใช้ MLED81 เป็นตัวส่งแสงอินฟราเรด และใช้ MRD750 เป็นตัวรับแสงที่สะท้อนจากแถบสี รูปแบบและการจัดวางตัวตรวจจับทางแยกแสดงคังรูปที่ 27

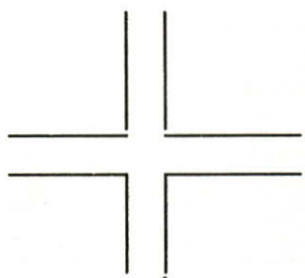
รูปที่ 25



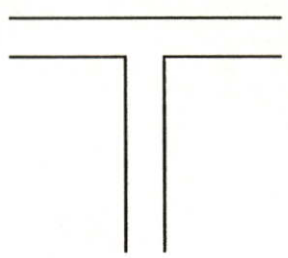
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษามาก่อน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงวงจรสมบูรณของส่วนแปลงความเข้มแสงเป็นข้อมูลดิจิทัล 8 บิต

รูปที่ 26



ก) ทางสี่แยก



ข) ทางแยกรูปตัว T



ค) ทางแยกรูปตัว Y

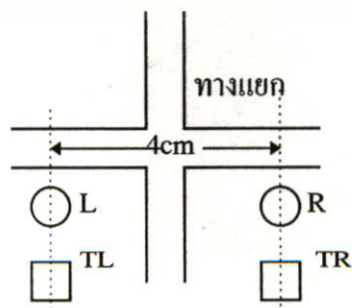


ง) ทางแยกโค้ง

แสดงรูปแบบของทางแยกที่จะใช้งานบ่อย

การจัดวางตัวตรวจจับทางแยกจะวางดังรูปที่ 26 หลักการทำงานของตัวตรวจจับแบบนี้ จะทำงานร่วมกับตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบเมตริกซ์ คือ ถ้าตัวตรวจจับทางซ้าย (L) และ (R) รับสัญญาณได้เป็น "1" ทั้งคู่แสดงว่าพบทางแยกรูป 4 แยก หรือตัว T กรณีตัวตรวจจับ L เป็น "1" และ R เป็น "0" แสดงว่าพบทางแยกรูปตัว T การติดตั้งตัวตรวจจับทางแยกแสดง ดังรูปที่ 27

รูปที่ 27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจะจำแนกแน่ชัดลงไป จะต้องใช้งานควบคู่ไปกันกับตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบเมตริกซ์ด้วย

3.3 ระบบนำร่องและตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยอุลตราโซนิก

การตรวจจับสิ่งกีดขวางมักกระทำในขณะที่ AGV วิ่งไปตามเส้นทางเดินนำร่อง โดยจะใช้คลื่นอุลตราโซนิกตรวจหาวัตถุที่ขวางทาง เพื่อให้วัตถุที่เข้ามาขวางทางเดินนำร่องทำการเคลื่อนที่พ้นทางเดินนำร่อง เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ออกไปแล้ว AGV จะทำการเคลื่อนที่ต่อไป สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบวงจรตรวจจับด้วยคลื่นอุลตราโซนิกขึ้น การทำงานจะมี 2 แบบคือ เป็นแบบการตรวจจับความเคลื่อนไหวแบบดิจิตอลและตัวตรวจจับระยะทางแบบอนาล็อก

3.3.1 หลักการทำงานของตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวแบบดิจิตอล

การทำงานของตัวตรวจจับชนิดนี้ คือ จะต้องมิตัวรับและตัวส่งดังแสดงในรูปที่ 28 โดยตัวส่งจะใช้คริสตอลความถี่ 40 KHZ เป็นตัวล็อก (Locked) สัญญาณที่ความถี่นี้จะมี ความยาวคลื่น 6 มิลลิเมตร จากรูป IC 2:C และ IC 2 B คือ เบอร์ 4049 ซึ่งเป็นภาครับถูกออกแบบให้มีค่ากลาง 40 KHZ เช่นกัน IC 1:A และ IC 1:B ทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณอุลตราโซนิก ซึ่งมีค่า 40 KHZ โดย C2 และ R5 ทำหน้าที่เป็นตัวไบอัส (Bias) โดยมีค่ากลาง หน่วงเวลาเป็น $t = RC$ ระหว่างตัวขยายสัญญาณช่วงแรกและช่วงที่สองคลัปปลิง (Clipping) กันด้วย ไดโอด D1 ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณที่มียอดเป็นลบ ถ้าไม่มีการเคลื่อนไหวของ สิ่งกีดขวางสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจาก IC1 จะเป็นเส้นตรง ค่าความไวของการตรวจจับ ความเคลื่อนไหวทำได้โดยปรับตัวทานค่า 1 เมกกะเฮิร์ต ตัวคลัปปลิงในวงจรทุกตัวจะเป็น แบบ AC คลัปปลิง คือสัญญาณไฟฟ้า AC สามารถผ่านไปได้แต่สัญญาณ DC ไม่สามารถผ่าน ไปยังภาคต่อไปได้ เมื่อสัญญาณความเคลื่อนไหวผ่านเข้า IC 1:D ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจร เปรียบเทียบสัญญาณแบบวินโดว์ (Window Comparator) ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณทั้งช่วง บวกและช่วงลบ เมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ AGV ค่าความต่างศักย์ที่ขา 7 ของ IC 1:B จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟกรณีนี้นิโคไดโอด D2 หรือ D3 จะนำกระแส ดังนั้นค่า ความต่างศักย์ที่ขา 8 จะเป็นลอจิก "0" ถ้าสัญญาณมากกว่าค่านี้ไดโอด D3 จะนำกระแสและจะ ให้เอาต์พุตเป็นลอจิก "1" แต่กรณีความต่างศักย์ของสัญญาณตกลง ไดโอด D2 จะนำกระแส กรณีนี้ค่าเอาต์พุตก็จะเป็นลอจิก "1" เช่นกัน ดังนั้นจึงเรียกการทำงานช่วงนี้ว่าวงจรวินโดว์ เพราะว่าสามารถตรวจจับได้ในช่วงต่ำกว่าและมากกว่าค่ากลางที่ตั้งขึ้น จากรูป R13 และ C7 ทำหน้าที่เป็นวงจรความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass Filter) IC 1:D ทำหน้าที่เป็นวงจรโมโนสเตเบิล (monostable) ซึ่งนำสัญญาณผ่านจากฟิลเตอร์ไปสู่ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC639 เพื่อปิดเปิด

LED เราสามารถตั้งค่าเวลาการรีเซตโดยปรับแต่งค่า C8 และ R10 ในวงจรตั้งเวลาประมาณ 0.5 วินาที

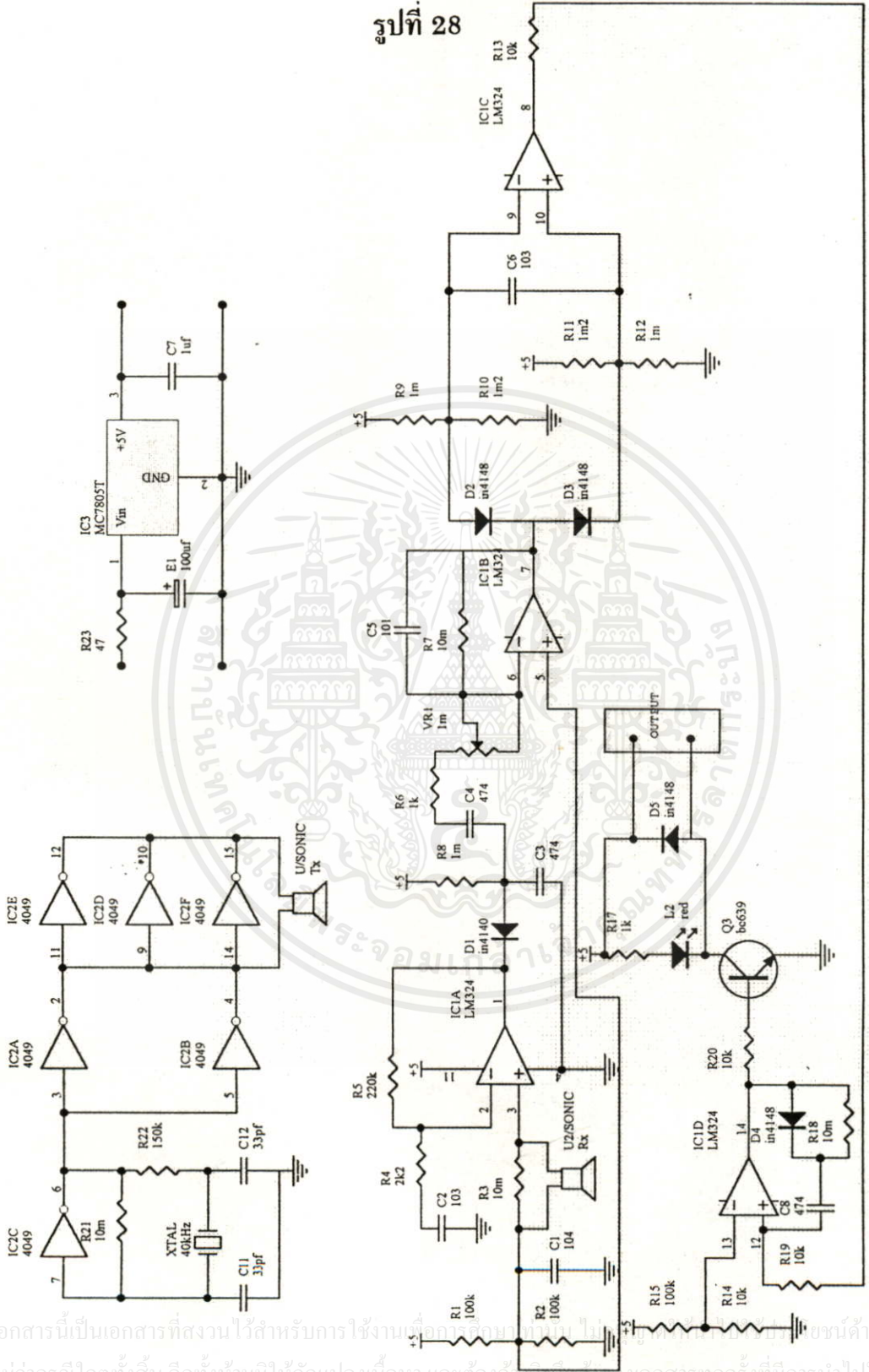
3.3.2 หลักการทำงานของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอุลตราโซนิกแบบอนาล็อก

การทำงานของตัวตรวจจับชนิดนี้จะให้เอาท์พุทออกมาเป็นแบบอนาล็อกคือ เมื่อ AGV เคลื่อนที่เข้าไปใกล้วัตถุกีดขวางตัวตรวจจับอุลตราโซนิกจะตรวจพบแล้วส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์ประมวลผลกลางทำให้สามารถทราบถึงตำแหน่งและทิศทางของตัวกีดขวาง จากนั้นคอมพิวเตอร์ประมวลผลกลางจะสั่งงานให้ส่วนควบคุมความเร็วของมอเตอร์ลดความเร็วลง โดยค่าของความเร็วที่จะต้องลดลงนี้จะต้องมีความสัมพันธ์กับระยะทิศทางของสิ่งกีดขวางด้วย สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ ตัวตรวจจับอุลตราโซนิกนี้จะติรรอบๆตัว AGV เมื่อสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ผ่านตัว AGV จนตัวตรวจจับไม่สามารถทำการตรวจจับได้แล้วมอเตอร์ก็จะเริ่มหมุนอีกครั้ง

วงจรตรวจจับวัตถุกีดขวางที่สร้างขึ้นนี้จะให้สัญญาณเป็นแบบอนาล็อกมีขนาด 0.5 โวลต์ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับระยะทางระหว่างตัว AGV กับสิ่งกีดขวาง จากรูปที่ 29 การตรวจจับสิ่งกีดขวางสามารถทำได้โดยการส่งคลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 40 KHz ออกจากตัวส่ง (transmitter) ที่ละประมาณ 10-20 พัลส์ โดยมีความถี่ 64 HZ หรือจะส่งสัญญาณประมาณทุก ๆ 15 msec คลื่นอุลตราโซนิกที่ส่งออกไปจะมีความเร็วประมาณ 300 m/sec เมื่อกระทบสิ่งกีดขวางแล้วจะสะท้อนกลับมาเข้าตัวรับ (receiver) จากนั้นสัญญาณที่รับได้จะผ่านเข้าภาคขยายตัวสัญญาณ เพื่อส่งไปกระตุ้นดีฟลิปฟลอปต่อไป

ขอบขาขึ้นของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ผลิตจากภาคกำเนิดความถี่ 64 HZ จะไปกระตุ้นโมโนสเตเบิล 2 ตัว พร้อมกัน โมโนสเตเบิลตัวแรกจะสร้างพัลส์มีความกว้างที่ T1 ส่วนโมโนสเตเบิลตัวที่ 2 จะสร้างพัลส์มีความกว้างพัลส์ T2 พัลส์ T1 จะทำหน้าที่เปิดเกตเพื่อปล่อยให้พัลส์สี่เหลี่ยมที่ผลิตจากภาคกำเนิดความถี่ 40 KHz ออกไปสู่ตัวอุลตราโซนิก ด้วยวิธีนี้เราจะได้คลื่นอุลตราโซนิกออกไปที่ละประมาณ 10 ถึง 20 พัลส์ในทุก ๆ 15 msec ส่วนพัลส์ T2 มีหน้าที่รีเซตดีฟลิปฟลอปซึ่งต่อขาข้อมูลรอได้ที่ลอจิก "1" สำหรับพัลส์สี่เหลี่ยมความถี่ 40 KHz นั้น ส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปเข้าตัวนับความถี่ (counter ซึ่งก่อนถึงจะมีเกตกันอยู่ 1 ตัว เกตตัวนี้จะปิดเปิดโดยขาเอาต์พุต Q ของดีฟลิปฟลอป การนับจะเริ่มขึ้นทันทีที่มีการรีเซตดีฟลิปฟลอปด้วยพัลส์ T2 และจะนับไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีสัญญาณอุลตราโซนิกสะท้อนกลับมา ขอบขาขึ้นของสัญญาณอุลตราโซนิกที่สะท้อนกลับมาจะกระตุ้นดีฟลิปฟลอป

รูปที่ 28

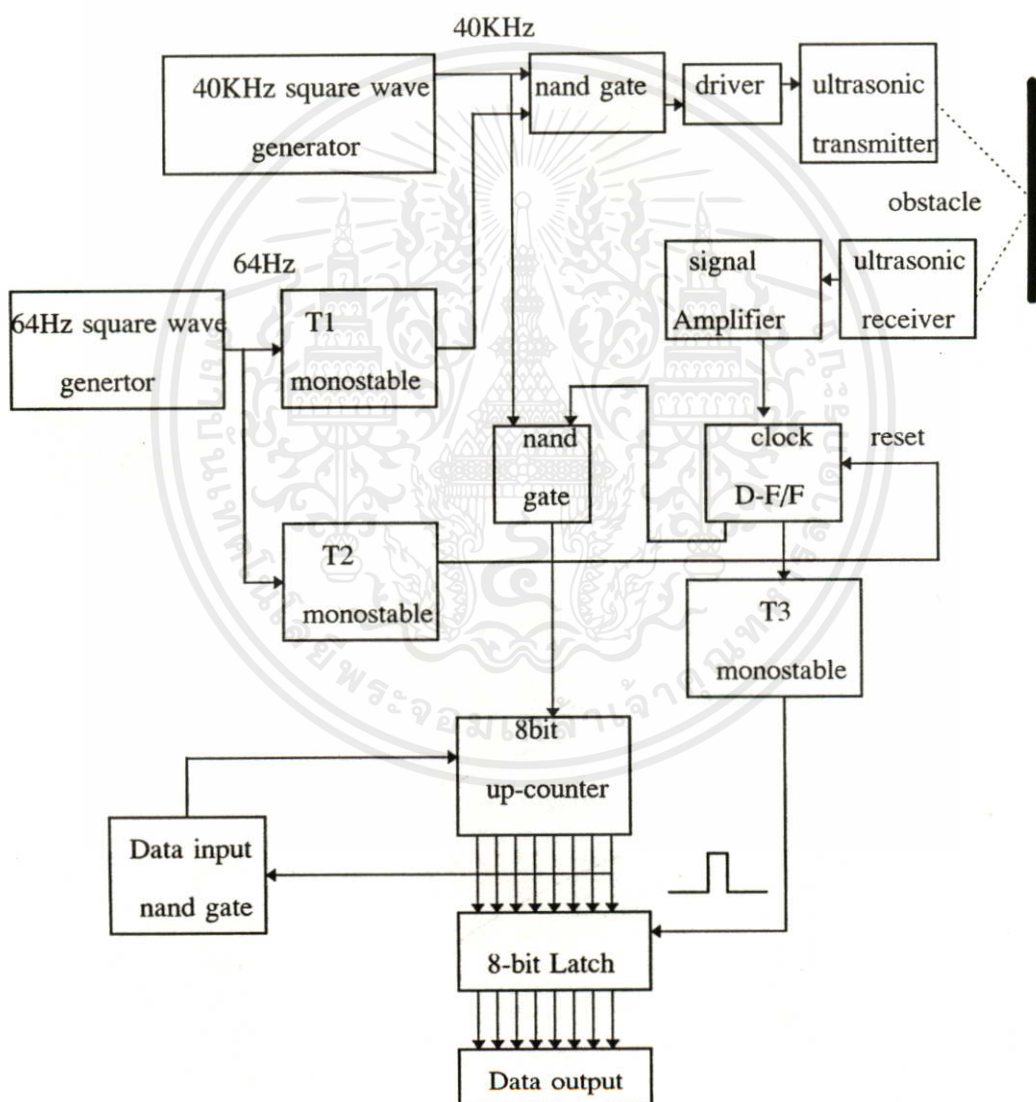


แสดงวงจรตรวจจับความเคลื่อนไหวอุตุตราฯ ไซนิกแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเอกสารของหน่วยงานราชการ... ไม่ว่าการพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

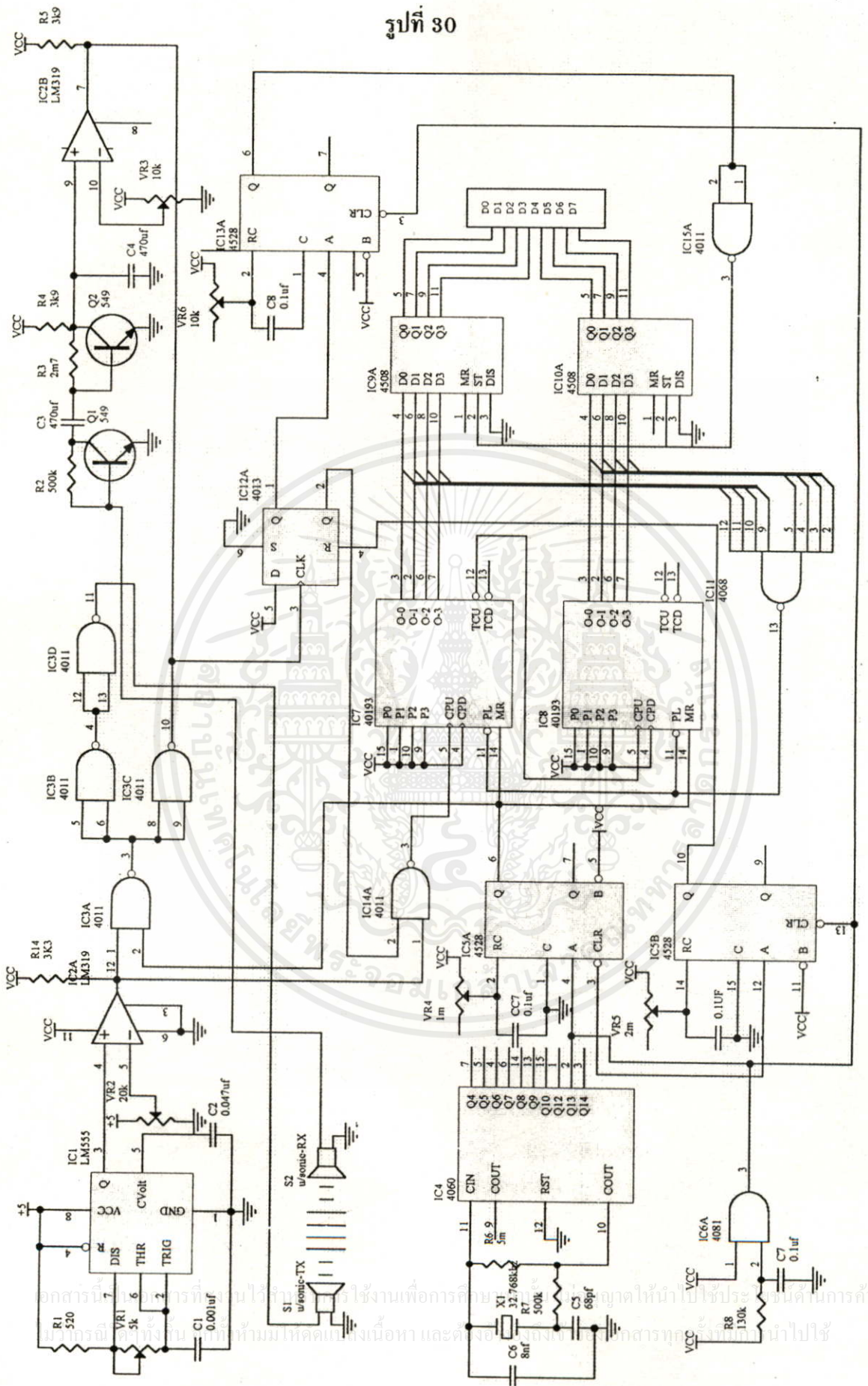
จะต่ออยู่กับโมโนสเตเบิลคัทวี่สามซึ่งจะสร้างพัลส์ความกว้าง T3 ทุกครั้งที่ขา Q เปลี่ยนค่าจาก 0 เป็น 1 เมื่อมีสัญญาณอุลตราโซนิกสะท้อนกลับมา พัลส์ T3 มีหน้าที่โอนาเบิลคัทวี่กักข้อมูลให้ปล่อยปริมาณความถี่ที่นับได้เข้าสู่คอมพิวเตอรื ด้วยวิธีนี้จึงสามารถหาความสัมพันธ์ของระยะทางระหว่าง AGV กับสิ่งกีดขวางได้ ในรูปที่ 29 แสดงบล็อกไดอะแกรม ของการตรวจจับสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วงจรถวายจับวัตถุกีดขวางที่สมบูรณ์

รูปที่ 30



แสดงวงจรของตัวตรวจจับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แบบอนาล็อก

3.4 หลักการทำงานของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรด

นอกจากจะมีระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอัลตราโซนิกแบบคิจิตอลและแบบ อนุาลอก แล้วในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ยังได้ออกแบบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรดขึ้นมาอีกอย่างหนึ่งเพื่อเป็นการป้องกันตัว AGV ขึ้นอีกชั้นหนึ่งด้วยการใช้งานจะเหมือนกับแบบอัลตราโซนิก สำหรับข้อดีของตัวตรวจจับแบบอินฟราเรด คือ ทำงานที่ความถี่แสงที่ตามองไม่เห็น และให้รัศมีเป็นแนวเส้นตรงไม่มีการบานออก เมื่อออกห่างตัวส่งเหมือนกับแบบอัลตราโซนิก แต่ข้อเสียของตัวตรวจจับแบบอินฟราเรด ก็คือไม่สามารถสะท้อนกับวัตถุโปร่งใสได้ และจะทะลุทะลวงผ่านไปเลย เช่นกระจกใสดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้ตัวตรวจจับทั้งสองชนิดทำงานร่วมกัน แสดงดังรูปที่ 31

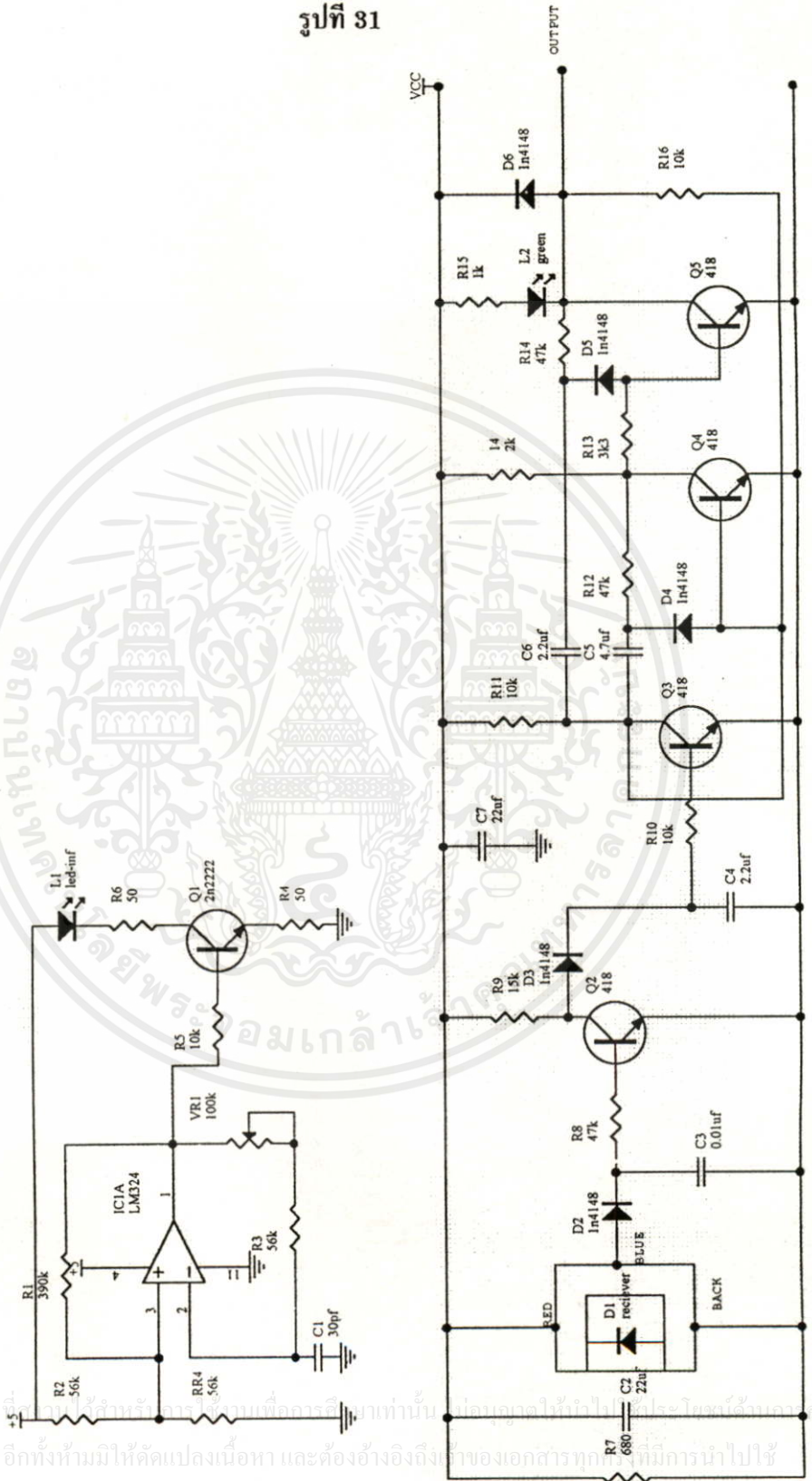
ภาคส่ง ภาคส่งสัญญาณอินฟราเรดประกอบด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์ IC_1 มี R_1 และ R_2 ทำหน้าที่ไบแอสให้ขานอนอินเวอร์ตติ้งอินพุท (ขา 3) ทำให้แรงดันที่ขานี้เป็นครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายมี R_3 ทำหน้าที่ป้องกันกลับแรงดันจากเอาต์พุท ขา 1 มายังขาแรงดันอ้างอิงขา 3 นี้ VR_1 , R_4 และ C_1 เป็นวงจร RC ออสซิลเลเตอร์ ป้องกันกลับจากเอาต์พุทมายังขา 2 อินเวอร์ตติ้งอินพุท และสามารถปรับความถี่ได้โดยปรับที่ VR_1 นี้ หรืออีกกรณีหนึ่งเป็นการปรับแรงดันทางเอาต์พุทขา 1 เพื่อไบแอสให้กับขาเบสของ Q_1 และ R_5 เมื่อทรานซิสเตอร์ได้รับไบแอสตรงจะทำการจ่ายกระแสผ่าน LED_1 อินฟราเรดตัวส่งมี R_6 และ R_7 ทำหน้าที่จำกัดกระแสให้อินฟราเรดตัวส่ง (LED_1)

ภาครับ ภาครับสัญญาณอินฟราเรดจะใช้โมดูลรับอินฟราเรดโดยเฉพาะซึ่งนิยมใช้ในเครื่องรับโทรทัศน์โดยจะรับคลื่นอินฟราเรดความถี่ 30 KHZ ที่ส่งออกมาแล้วจะทำการปรับแต่งสัญญาณที่ส่งมาให้โดยใช้ไดโอด D_1 เป็นตัวตรวจจับสัญญาณซีกบวก และใช้ C_2 ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนความถี่สูงออกไป จากนั้นสัญญาณจะถูกป้อนเข้าทรานซิสเตอร์ TR_1 , TR_2 ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงขึ้นที่ขา C ของ TR_2 จะต่อเข้ากับชุดฟลิปฟล็อปซึ่งมี TR_3 และ TR_4 ทำงานสลับกันคือ เมื่อ TR_4 เปิด TR_3 จะปิดซึ่งเป็นการรีเซตตัวรับทุกครั้งที่มีสิ่งกีดขวางเข้ามา

3.5 ระบบตรวจวัดแรงดันและประจุแบตเตอรี่

วงจรประกอบด้วย LM339 ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดัน V_a กับแรงดันอ้างอิง V_{ref} แรงดัน V_a จะเปลี่ยนแปลงแปรผันกับแรงดันแบตเตอรี่ ถ้าหากแรงดันแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ยอมรับได้ จะให้เอาต์พุตออกไปยังพอร์ตของคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการหยุดการทำงานทั้งหมดค่า 80% ของแรงดันปกติจะถือว่าแรงดันแบตเตอรี่นั้น ๆ หมด วงจรแสดงดังรูปที่ 32

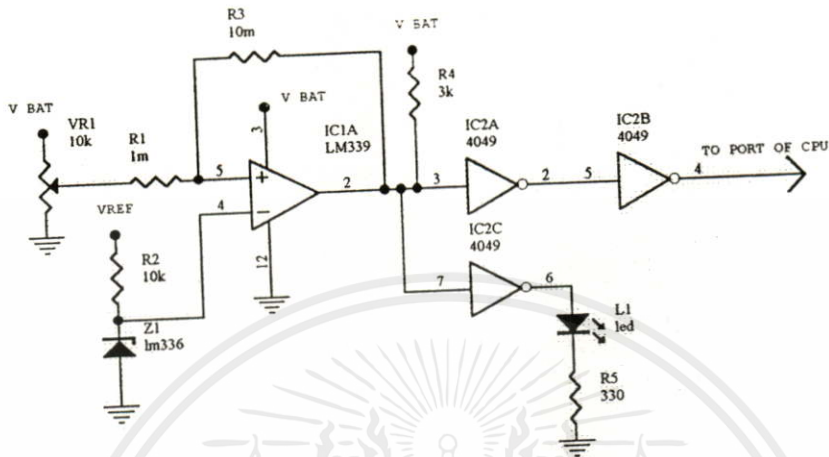
รูปที่ 31



แสดงตัวตรวจจับแบบอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการอธิบายเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากผู้นิเทศน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกชิ้นที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 32

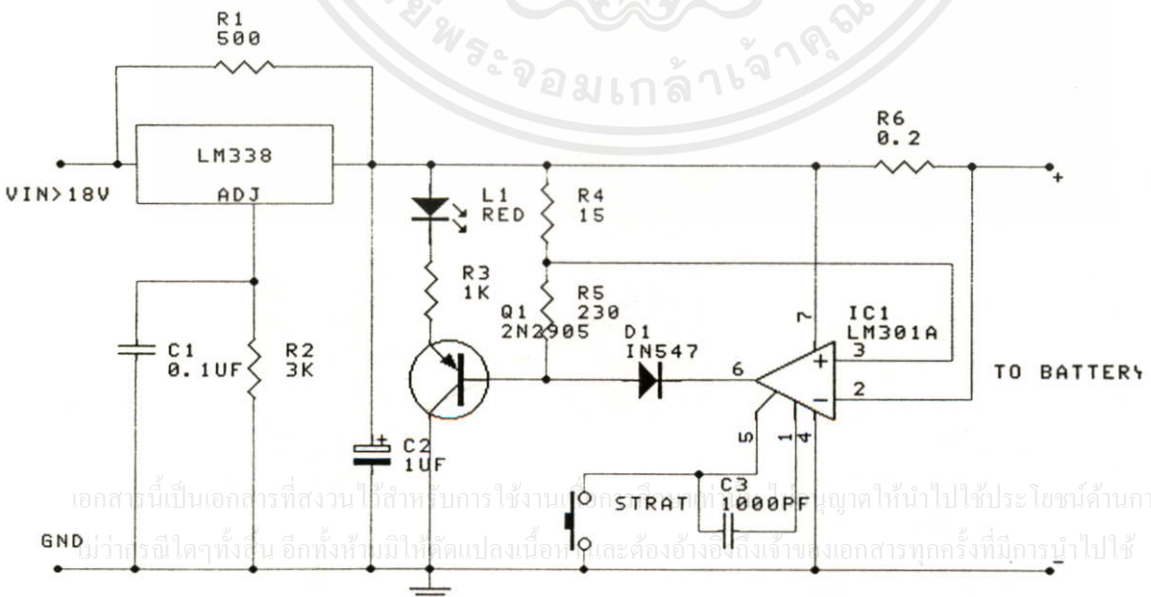


แสดงวงจรตรวจวัดแรงดันแบตเตอรี่

3.5.1 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

วงจรชาร์จแบตเตอรี่ประกอบด้วย ชิพ LM338 ทำหน้าที่จ่ายกระแสขนาด 5 แอมป์ โดยมีทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2905 เป็นตัวขยายกระแส และไอซี LM301A เป็นตัวเปรียบเทียบค่าแรงดันที่อ้างอิงกับแรงดันของแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันอ้างอิงเท่ากับแรงดันแบตเตอรี่ วงจรชาร์จจะหยุดนำกระแสรายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่ 33

รูปที่ 33



แสดงวงจรชาร์จแบตเตอรี่

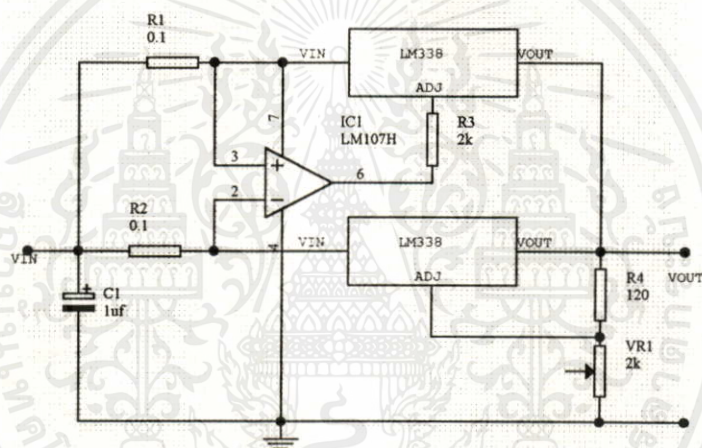
3.6 แหล่งจากไฟเลี้ยงของยานขนส่ง

วงจรรักษาระดับแรงดันในวิทยานิพนธ์นี้มีหลายชุดทำหน้าที่จ่ายแรงดันในวงจรต่างๆ เช่น

ตัวตรวจจับอุณหภูมิตัวตรวจจับแบบอินฟราเรด ไฟขอทาง เป็นต้น การทำงานของวงจรจะใช้ไอซี LM338 ทำหน้าที่เป็นตัวรักษาระดับแรงดัน สามารถรับกระแสได้ถึง 10 แอมป์ โดยจะมีไฟเลี้ยงหลายระดับ คือ +5V,+9V,+12V รายละเอียดของวงจรแสดงดังรูปที่

34

รูปที่ 34



แสดงวงจรแหล่งจากไฟเลี้ยงของยานขนส่ง

3.7 ระบบควบคุมแบบไร้สายระยะไกล

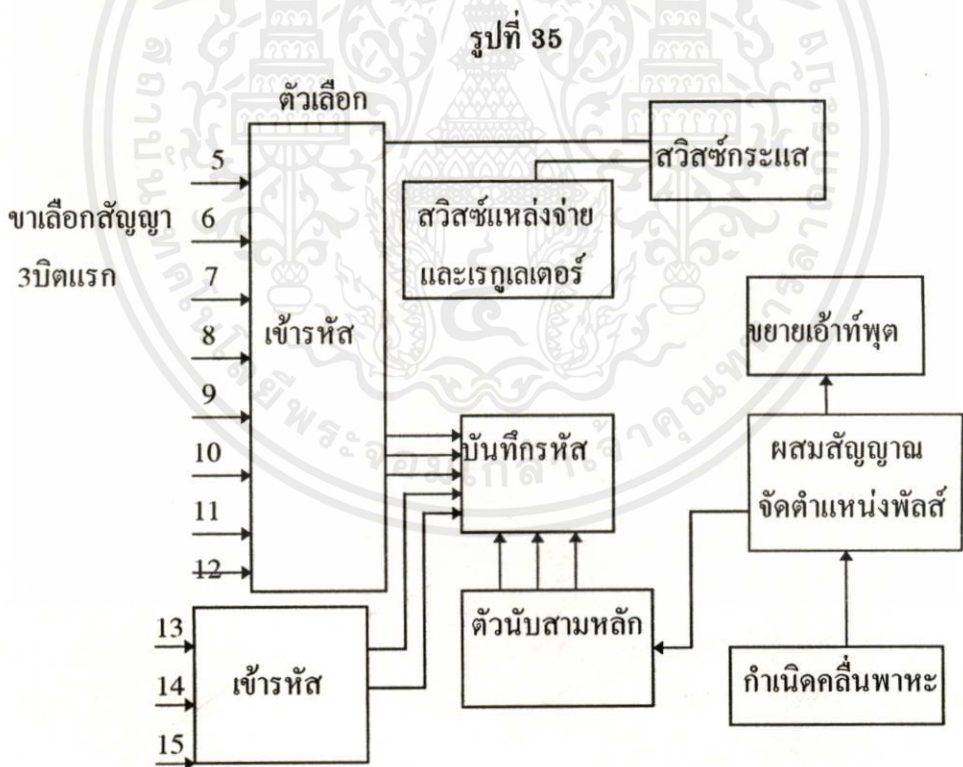
ในวิทยานิพนธ์นี้แบ่งการสื่อสารระหว่าง AGV กับผู้ควบคุมออกเป็น การควบคุมโดยใช้รีโมทคอนโทรล (Remote control) การควบคุมโดยใช้รีโมทคอนโทรลจะใช้ควบคุม AGV ในระยะใกล้สามารถใช้งานได้คล่องตัว เพราะมีขนาดเล็กและง่ายแก่การเขียนโปรแกรม

3.7.1 การควบคุมโดยใช้รีโมทคอนโทรล

ปัจจุบันวงจรควบคุมแบบรีโมทคอนโทรลเป็นที่รู้จักและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็น เครื่องปรับอากาศ เครื่องรับโทรทัศน์ เป็นต้น หลักการทำงานของรีโมทคอนโทรลโดยทั่วไปคือการทอคูเลท (Modulation) สัญญาณข้อมูลคือตำแหน่งดีดที่กด เข้ากับคลื่นพาหะซึ่งอาจเป็นคลื่นวิทยุอุลตราโซนิก อินฟราเรดหรือคลื่นอื่น ๆ เป็นต้น จากนั้นจะส่ง

สัญญาณข้อมูลที่กดไปยังตัวรับซึ่งจะทำหน้าที่คอยถอดรหัสข้อมูลออกจากคลื่นพาหะ (Demodulation) เมื่อได้ข้อมูลก็จะนำไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ต่อไป สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการสร้างวงจรรีโมทขึ้นมาใช้ในการควบคุมการทำงานของ AGV โดยตัวส่งจะมีทั้งหมด 15 คีย์ และตัวรับจะให้เอาต์พุตเป็น 15 ช่องข้อมูลใช้สำหรับบังคับ AGV ในระยะใกล้ ตัวอย่างของฟังก์ชันที่ใช้คือ ให้ AGV เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา หยุด เป็นต้น การทำงานของวงจรรีโมทคอนโทรลนี้จะใช้ไอซี 3 ตัว ซึ่งถูกผลิตมาให้ใช้งานร่วมกัน คือ SL490B สำหรับภาคส่งสัญญาณ SL486 และ ML926 เป็นตัวรับและขยายสัญญาณ

SL490B เป็นไอซีสำหรับเข้ารหัสเมื่อกดคีย์ โดยส่งออกไปเป็นลักษณะของพัลส์โพสิชันมอดูเลชัน หรือพีพีเอ็ม (Pulse Position Modulation, PPM) โดยมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามโค้ดที่ได้จากโค้ดรีจิสเตอร์ ถ้าเป็นการส่งย่านอัลตราโซนิก จะใช้อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เป็นตัวปล่อยพัลส์ และใช้ LED แทนเมื่อส่งย่านอินฟราเรด โครงสร้างภายในของ SL490 แสดงดังรูปที่ 35

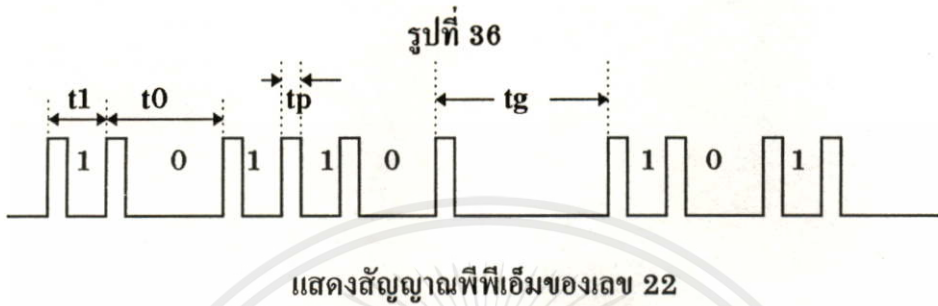


แสดงบล็อกไดอะแกรมของไอซี SL490

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

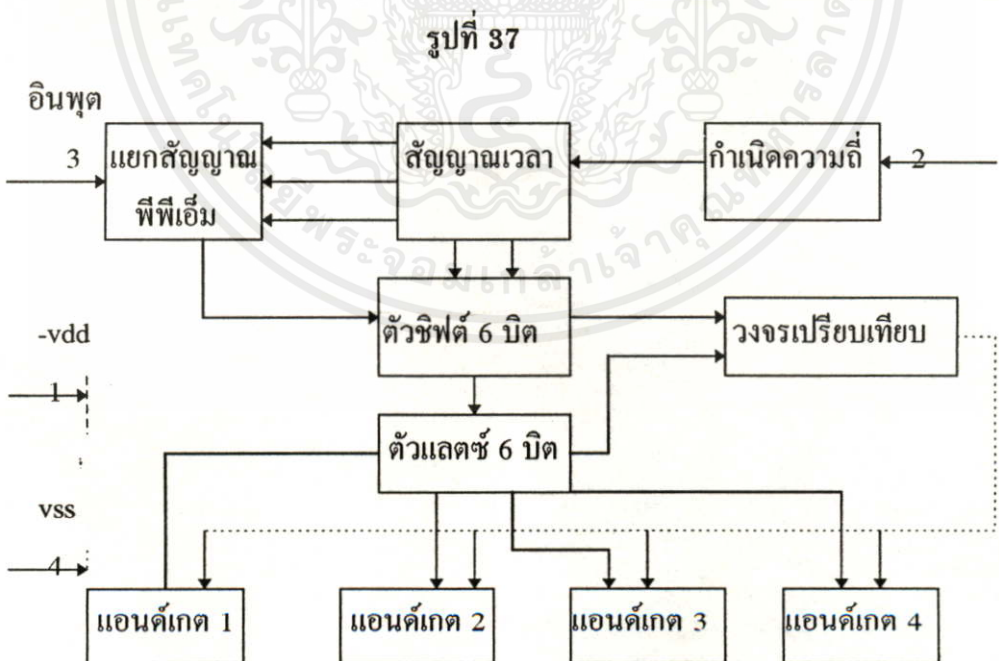
สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 2, 3 ได้มาจาก การผสมสัญญาณระหว่างความถี่ของคลื่นพาหะ กับสัญญาณมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ได้เป็นสัญญาณพีพีเอ็มออกมา เป็นของ 2 โดย t_1

แสดงภาวะ “1” ซึ่งแคบกว่า t_0 ที่แสดงภาวะ “0” ส่วน t_y จะแบ่งแยกสัญญาณพีพีเอ็มแต่ละชุดออกจากกัน จากรูปเป็นสัญญาณพีพีเอ็มของเลข 22 ของฐานสิบ ดังแสดงในรูปที่ 36 เพราะไอซีตัวนี้สามารถผลิตสัญญาณเลขฐานสองได้ 5 บิต คือ 32 ช่องสัญญาณ



ไอซี SL486 เป็นภาครับสัญญาณเข้ามาโดยใช้ไดโอดเป็นตัวรับคลื่นอินฟาเรดเบอร์ RS320 แล้วทำการขยายสัญญาณพีพีเอ็มที่รับเข้ามาก่อนส่งไปไอซี ML926

ไอซี ML926 จะรับสัญญาณพีพีเอ็มเข้ามาแยกแล้วแปลงออกมาเป็นสัญญาณเลขฐานสองออกมาทางขา 5, 6, 7 และ 8 โครงสร้างการทำงานของไอซี ML926 แสดงดังรูปที่ 37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ **แสดงบล็อคดีอะแกรมของไอซี SL926** สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรภาคส่งใช้ไฟ 9 โวลต์ป้อนเข้าขา 4 ของ SL490 และเป็นไฟเลี้ยงให้ Q_1 และ Q_2 เมื่อขา 2 ให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นไบแอสสำหรับ Q_1 เพื่อขับ Q_2 ให้ทำงาน LED₁, LED₂ จะส่งพัลส์อินฟาเรดออกมาโดยมี R_1, R_2, C_1, C_2 เป็นตัวกำหนดความถี่คลื่นพาหะ

ตารางที่ 2

ฐานสิบ	ฐานสอง	พีพีเอ็ม
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0011	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	

เปรียบเทียบหมายเลขช่องสัญญาณในฐาน 10 และฐาน 2 กับสัญญาณพีพีเอ็ม

3.7.2 ภาครับสัญญาณอินฟาเรด

เอกสารนี้เป็นวงจรภาครับสัญญาณอินฟาเรดในรูปที่ 38 จากภาพภาครับจะใช้ไฟเลี้ยง 9 โวลต์ จ่ายให้ไมโครโอดี SL486, ML926 และ CD4514 มีไดโอด RS302 เป็นตัวรับแสงอินฟาเรด ซึ่งต่อเข้ากับขา 1 และขา 16 ของไอซี SL486 ซึ่งจะมีหน้าที่ดีโค๊ดและขยายสัญญาณพีพีเอ็ม แล้วส่งเข้าอินพุตขา 3 ของไอซี ML926 ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 100 k Ω ใช้สำหรับปรับความถี่ออสซิลเลชัน

ขา 3 ของไอซี ML926 ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 100 k Ω ใช้สำหรับปรับความถี่ออสซิลเลเตอร์ของ IC₂ ให้ตรงกับอินพุตที่รับเข้ามา ส่วนขา 5, 6, 7, 8 ของ IC₂ เป็นเอาต์พุตสัญญาณเลขฐานสอง ซึ่งจะแสดงผลผ่าน LED1-LED4 สำหรับ ICS CD4514 จะรับสัญญาณเข้ามาถอดรหัสได้เอาต์พุต 16 ช่องไอซีเบอร์ CD4514 เมื่อไม่มีการทำงานเอาต์พุตทั้งหมดจะเป็น “0” เวลา கடสวิทช์ช่องใดช่องหนึ่ง ช่องนั้นจะมีเอาต์พุตเป็น “1” ตรงอินพุตของ IC₃ นี้ จะมีสถานะเป็น “0” หหมดทั้ง 4 อินพุต เมื่อยังไม่กดสวิทช์เลือกช่อง ถ้าสมมุติว่าเรามีสวิทช์สำหรับเลือกช่องโดยให้สัญญาณเลขฐานสองเป็น “0000” จะมีสัญญาณพีพีเอ็ม มาจากเครื่องส่ง ผ่านภาครับขยาย พอออกจาก ML926 เอาท์พุตที่ได้จะเป็นสถานะ “0000” ซึ่งเป็นสภาพปกติของอินพุตของ IC₃ อยู่แล้ว ดังนั้น จึงไม่มีอะไรเกิดขึ้นทำให้เราไม่สามารถใช้งานช่อง 0 เป็นสัญญาณควบคุมได้

3.8 ระบบบันทึกเสียงและระบบความปลอดภัยของยานขนส่ง

เนื่องจากการทำงานของ AGV จะต้องเคลื่อนที่ตลอดเวลา และอาจเกิดกรณีผิดพลาดขึ้นมาได้ อาทิเช่น การกีดขวางของวัตถุขวางทางเดินของ AGV การที่จะขอทางจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมียิ่งหรือแสงไฟ แสดงให้สิ่งกีดขวางนั้น ๆ ทราบ สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบระบบเตือน AGV ทั้งสองชนิด คือ มีเสียงเตือนและมีไฟสำหรับขอทางในการทำงานนั้น เมื่อ AGV เคลื่อนที่เข้าใกล้วัตถุกีดขวาง คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณเสียงออกให้สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ออกจากเส้นทางของ AGV พร้อมกับไฟขอทางจะติดขึ้นพร้อมกัน เมื่อสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่พ้นทางเดินนำร่องของ AGV แล้ว คอมพิวเตอร์ส่วนกลางก็จะทำการหยุดเสียง และไฟขอทางจนกระทั่ง AGV ตรวจพบสิ่งกีดขวางอีกครั้งหนึ่งก็จะเริ่มทำงานเหมือนเดิม

3.8.1 หลักการทำงานของวงจรบันทึกเสียง

ในการบันทึกเสียงลงในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีหลายวิธีแตกต่างกันไป อาทิเช่น บันทึกลงเทป บันทึกลงฮาร์ดดิสก์ บันทึกลงตัวไอซี สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้การบันทึกเสียงโดยใช้ไอซีเบอร์ ISD1016/1020 ซึ่งเป็นไอซีที่สามารถบันทึกเสียงเก็บไว้ในตัวได้เลยเนื่องจากมีหน่วยความจำสำรองภายในอยู่แล้วโดยเป็นหน่วยความจำที่ไม่ต้องใช้เวลาในการรักษาความจำคือหน่วยความจำนอนโวลตาไทล์ อีอีพรอม (nonvolatile EEPROM) หรือ NV EEPROM ซึ่งไม่ต้องการแบตเตอรี่สำรอง ตัวไอซีสามารถบันทึกเสียงได้นาน 16 วินาที และ 20 วินาที

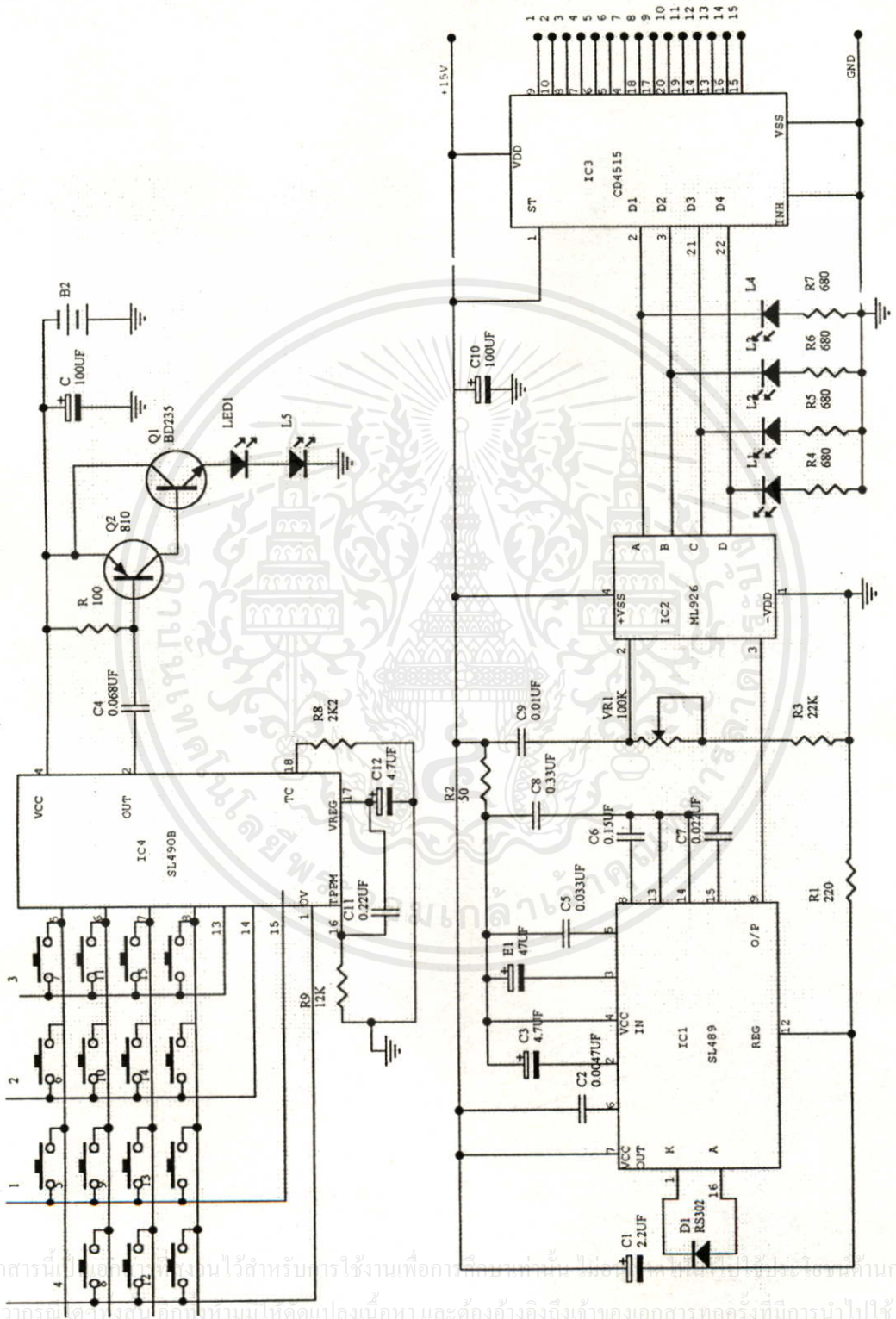
วงจรสมบูรณของเครื่องบันทึกเสียงไร้เส้นเทปแสดงดังรูปที่ 39 การทำงานเริ่มต้นโดยเมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้วงจร IC1 ก็พร้อมที่จะรับข้อมูลเพื่อทำการบันทึกโดยเมื่อสวิทช์ S2 ถูกกดให้ต่อวงจรให้ขาที่ควบคุมการบันทึก (REC) มีสถานะเป็น “0” ในขณะนี้ก็จะเกิดการบันทึกเสียง

เข้าไปใน IC1 โดยมีคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (MIC1) ทำหน้าที่รับสัญญาณเสียง และ R2, R3 เป็นตัวจัดไบแอสให้กับไมโครโฟน สัญญาณจะถูกคัปปลิ่งผ่าน C3 เข้ามาที่ขา 18 เพื่อทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้น สัญญาณที่ผ่านการขยายโดยวงจรปริแอมป์จะออกมาทางขา 21 ซึ่งเป็นสัญญาณทางอนาล็อกเอาต์พุตและคัปปลิ่ง ผ่าน R7 และ C7 เข้าขา 20 ซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณภายในไอซีเช่นกัน สัญญาณที่ถูกขยายจะถูกบันทึกลงไว้ในหน่วยความจำภายในไอซีที่ขา 25 (RECLD) เป็นขาจับชุดแสดงสถานะขณะทำการบันทึกซึ่งแสดงผลโดย LED1 ที่ขา 19 มีตัวต้านทาน R8 และ C8 เมื่อยังไม่กดสวิทช์เลือกช่อง ถ้าสมมุติว่าเรามีสวิทช์สำหรับเลือกช่อง โดยให้สัญญาณเลขฐานหน่วยความจำสำรองภายในอยู่แล้วโดยเป็นหน่วยความจำที่ไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยงในการรักษาความจำคือหน่วยความจำอนโวลตาไทล์ อีอีพรอม (nonvolatile EEPROM) หรือ NV EEPROM ซึ่งไม่ต้องการแบตเตอรี่สำรอง ตัวไอซีสามารถบันทึกเสียงได้นาน 16 วินาที และ 20 วินาที

วงจรสมบูรณ์ของเครื่องบันทึกเสียงไร้เส้นเทปแสดงดังรูปที่ 39 การทำงานเริ่มต้นโดยเมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้วงจร IC1 ก็พร้อมที่จะรับข้อมูลเพื่อทำการบันทึกโดยเมื่อสวิทช์ S2 ถูกกดให้ต่อวงจรให้ขาที่ควบคุมการบันทึก (REC) มีสถานะเป็น “0” ในขณะนี้ก็จะเกิดการบันทึกเสียงเข้าไปใน IC1 โดยมีคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (MIC1) ทำหน้าที่รับสัญญาณเสียง และ R2, R3 เป็นตัวจัดไบแอสให้กับไมโครโฟน สัญญาณจะถูกคัปปลิ่งผ่าน C3 เข้ามาที่ขา 18 เพื่อทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้น สัญญาณที่ผ่านการขยายโดยวงจรปริแอมป์จะออกมาทางขา 21 ซึ่งเป็นสัญญาณทางอนาล็อกเอาต์พุตและคัปปลิ่ง ผ่าน R7 และ C7 เข้าขา 20 ซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณภายในไอซีเช่นกัน สัญญาณที่ถูกขยายจะถูกบันทึกลงไว้ในหน่วยความจำภายในไอซีที่ขา 25 (RECLD) เป็นขาจับชุดแสดงสถานะขณะทำการบันทึกซึ่งแสดงผลโดย LED1 ที่ขา 19 มีตัวต้านทาน R8 และ C8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

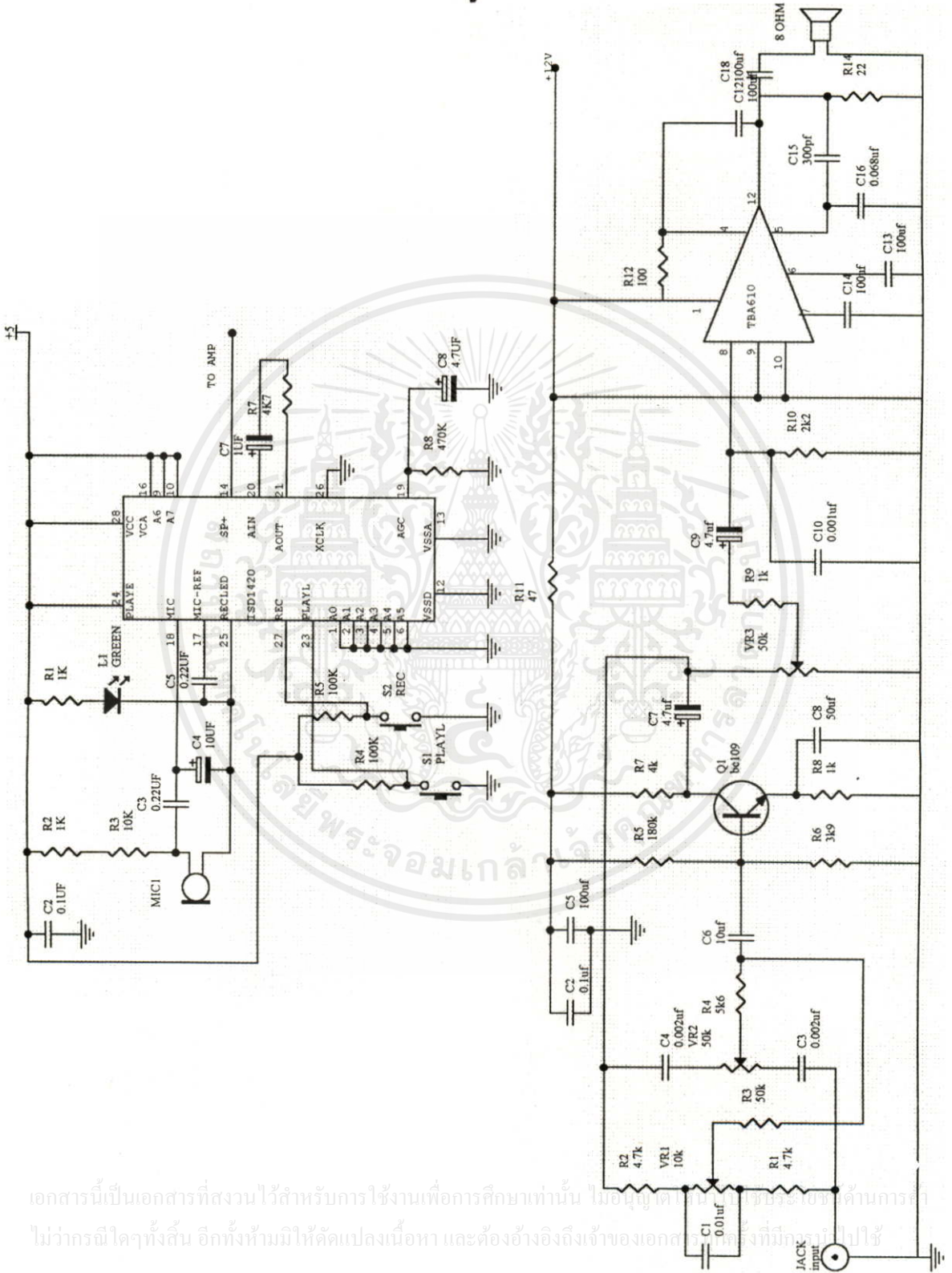
รูปที่ 38



แสดงวงจรการรับและส่งรีโมทแบบอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศแห่งชาติ
ไม่ว่าการที่จะนำเอกสารนี้ไปใช้หรือเผยแพร่ในสื่อใดก็ตาม จะต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉบับที่ 39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่จัดทำขึ้นทุกครั้งไป

แสดงวงจรบันทึกเสียงและภาคขยายกำลัง

จัดเป็นวงจรรักษาระดับสัญญาณการบันทึกให้คงที่หรือ AGC (Automatic gain control) เพื่อให้สัญญาณของการบันทึกมีความเหมาะสม เมื่อเล่นกลับสัญญาณจะได้ไม่เกิดความผิดเพี้ยน

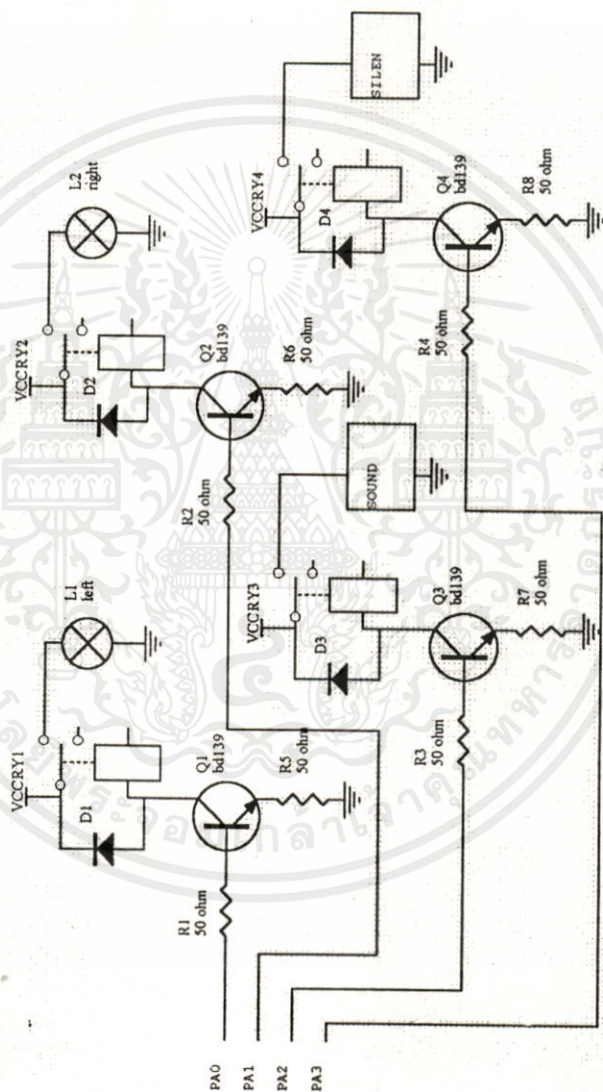
เมื่อทำการบันทึกไปจนครบเวลาที่กำหนดไว้คือ 20 วินาที วงจรบันทึกจะหยุดทำงานทันที หากต้องการเล่นกลับก็ต้องควบคุมที่ขา 23 (PLAYL) ด้วยระบบลอจิก "0" โดยการกด S1 กระบวนการเล่นกลับก็จะทำงานขึ้นภายในตัวไอซี และให้เอาต์พุตออกมาทางขา 14 ถึงแม้ว่าเอาต์พุตนี้จะสามารถขับลำโพงเล็ก ๆ ได้โดยตรง แต่อาจมีระดับความดังของเสียงต่อดังนั้น จึงเพิ่มภาคขยายเสียงเข้าไปอีก โดยสัญญาณจะถูกคัปปลิ่งผ่าน R6 และ C6 เข้าสู่ภาคขยายเสียงซึ่งแสดงดังรูปที่ 39

จากรูปที่ 39 แสดงภาคขยายเสียงที่มีเอาต์พุตขา 14 ของไอซีบันทึกเสียง ISD 1420 ซึ่งจะใช้ไอซีขยายเสียงเบอร์ TBA 810 ซึ่งมีหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงโดยเฉพาะ การทำงานของวงจรก็รับสัญญาณเสียงเข้ามาทางอินพุตโดยมี R1, R2 และ C1 เป็นตัวไบแอส และใช้ VR1 และ VR2 ทำการปรับคุณภาพของเสียง จากนั้น สัญญาณเสียงจะถูกนำไปคัปปลิ่งผ่าน C6 แล้วผ่านเข้าภาคขยายสัญญาณภาคแรก โดยมีทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานในคลาสเอ ตัวต้านทาน R5, R6, R7 และ R8 ทำหน้าที่ไบแอสสัญญาณ เมื่อสัญญาณเสียงถูกขยายจากภาคแรกแล้วจะถูกนำมาคัปปลิ่งไปยังไอซี TBA810 โดยมี Cg ทำหน้าที่เป็นตัวคัปปลิ่ง เมื่อไอซี TBA 810 ขยายสัญญาณแล้วจะให้เอาต์พุตออกทางขา 12 โดยมี C18 เป็นตัวคัปปลิ่ง

3.8.2 ระบบความปลอดภัยของยานขนส่ง

นอกจากวงจรขอทางด้วยเสียงแล้ว AGV ที่ออกแบบสร้างขึ้นยังมีวงจรตัดต่อสัญญาณของไฟขอทางและไฟเลี้ยวด้วย ทั้งนี้ เพื่อบอกให้วัตถุที่ขวางรู้ว่า AGV จะเคลื่อนที่ในทิศทางใด เช่น เลี้ยวซ้าย สัญญาณจาก PAO ของไอซี 8255 จะให้เอาต์พุตออกมาเป็น "1" ทำให้ Q1 ทำงาน เป็นผลให้รีเลย์ RY1 ซึ่งต่อเชื่อมกับไฟเลี้ยวทำให้ไฟเลี้ยวติดขึ้นได้ รายละเอียดของ วงจรแสดงในรูปที่ 40

รูปที่ 40



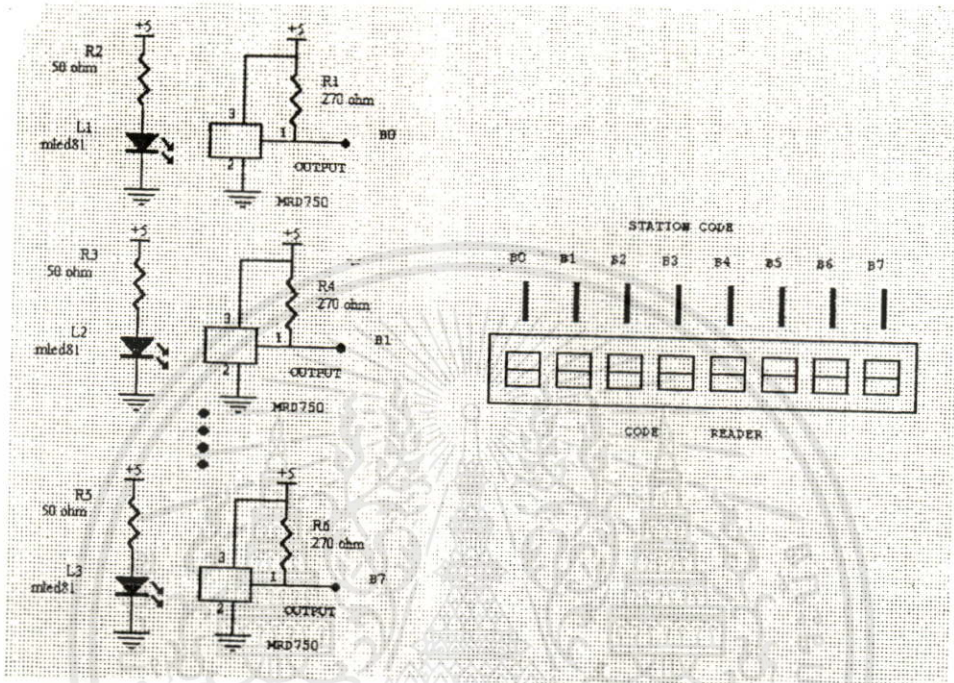
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงวงจรปิดเปิดเสียง,ไฟขอทางและไฟเดี่ยวของยานขนส่ง

3.8.3 ระบบตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน

ระบบตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน แสดงดังรูปที่ 41

รูปที่ 41



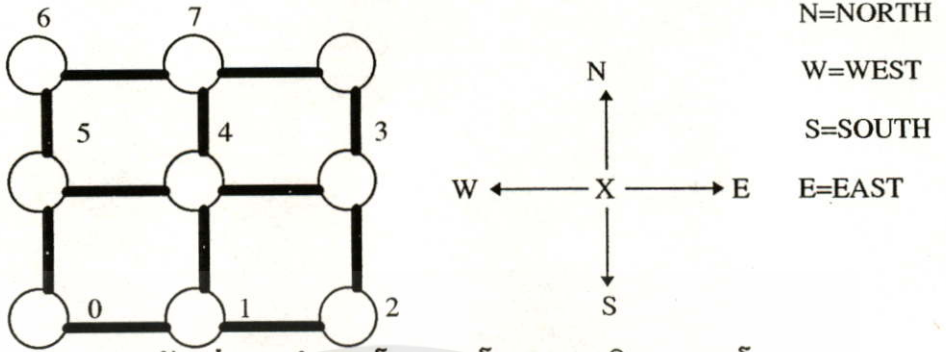
แสดงวงจรตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน

จากวงจรจะเห็นว่าเหมือนกับวงจรในส่วนตรวจจับทางเดินนำร่อง คือใช้ MLE081 เป็นตัวส่งแสงอินฟราเรด และใช้โมดูล MRD750 เป็นตัวตรวจจับแสงอินฟราเรดที่สะท้อนจากแถบสี สำหรับวงจรที่ออกแบบขึ้นมาี้ มีตัวตรวจจับทั้งหมด 8 ชุด ให้เอาต์พุตเป็นแบบดิจิตอล 8 บิต ทำให้สามารถตรวจจับสถานีปฏิบัติงานได้ 256 สถานี วิธีการตรวจจับสถานีทำได้หลายวิธี เช่น นำบาร์โค้ดมาใช้งานได้ ทั้งนี้แล้วแต่ความต้องการของระบบที่ออกแบบ

3.9 วิธีการในการตรวจสอบสถานีของ AGV

วิธีการตรวจหาสถานีปฏิบัติงานใช้วิธีการตรวจหาแบบทรี (Tree search) การทำงานเริ่มจากให้ AGV อยู่ที่จุดเริ่มต้น (Start) ซึ่งจะเริ่มที่โหนดใดก็ได้ จากนั้นผู้ใช้จะออกคำสั่งให้ AGV เคลื่อนที่ไปยังโหนดเป้าหมาย, AGV จะทำการหาตำแหน่งและทิศทางของโหนดเป้าหมายโดยจะคำนวณว่าจะต้องเคลื่อนที่ผ่านโหนดใดบ้างจึงจะใช้ระยะทางน้อยที่สุด เมื่อได้ตำแหน่งและเป้าหมายเรียบร้อยแล้ว จะเคลื่อนที่ไปที่โหนดเป้าหมายทันที จำนวนโหนดเป้าหมายสามารถมีได้ทั้งหมด 256 โหนด และสามารถเพิ่มเติมได้ตามความต้องการของผู้ใช้ ตัวอย่างการกำหนดโหนดแสดงดังรูปที่ 42

รูปที่ 42



แสดงตัวอย่างการกำหนดโหนด 9 โหนด และทิศทางของโหนด
 การกำหนดค่าให้กับทิศทางเป็นตัวเลขเพื่อให้ง่ายในการคำนวณแสดงได้ดังนี้

รูปที่ 43



แสดงการแทนค่าทิศทางจะกำหนดในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ตารางที่ 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0		X →				X ↑			
1	← X		X →		X ↑				
2		← X		X ↑					X ↑
3			X ↓		← X			X ↑	
4		X ↓		← X		← X		X ↑	
5	X ↓				X →		X ↑		
6						X ↓		X →	
7				X ↓			← X		X →
8				X ↓				X ←	

แสดงความสัมพันธ์ของโหนดและทิศทาง

จากตารางที่ 3 แทนทิศทางด้วยตัวเลขและกำหนดเลข 0 คือ ไม่มีการเชื่อมต่อถึงกัน จะได้ตารางที่ 4

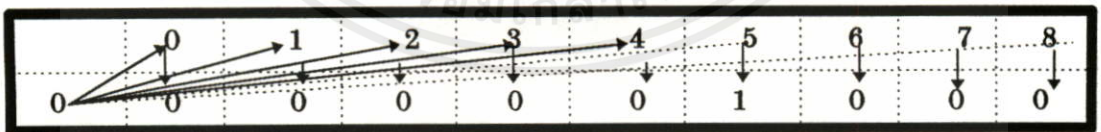
ตารางที่ 4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	4	0	0	0	1	0	0	0
1	2	0	4	0	1	0	0	0	0
2	0	2	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	3	0	2	0	0	0	1
4	0	3	0	4	0	2	0	1	0
5	3	0	0	0	4	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	2	0	4	0
7	0	0	0	0	3	0	2	0	4
8	0	0	0	3	0	0	0	2	0

แสดงความสัมพันธ์ของโหนดและทิศทางแสดงเป็นตัวเลข

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่า มี 9 แถว (row) และ 9 (column) ซึ่งแทนด้วยหมายเลขของโหนดหรือสถานีปฏิบัติงาน

รูปที่ 44



แสดงความสัมพันธ์ของโหนดหมายเลข 0 กับโหนดต่าง ๆ

จากรูปที่ 44 โหนด 0 ต่อกับโหนด 0 อยู่แล้ว กำหนดให้มีค่าเป็น 0

โหนด 0 ต่อกับโหนด 1 มีทิศทาง S คือแทนด้วยตัวเลข 4

โหนด 0 ไม่ต่อกับโหนด 2 แทนค่าเป็นตัวเลขได้ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีโทษคดีแพ่งและอาญา และต้องขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนด 0 ไม่ต่อกับโหนด 3 แทนค่าเป็นตัวเลขได้ 0

โหนด 0 ไม่ต่อกับโหนด 4 แทนค่าเป็นตัวเลขได้ 0

โหนด 0 ต่อกับโหนด 5 มีทิศทาง N แทนด้วยเลข 1

โหนด 0 ไม่ต่อกับโหนด 6 แทนค่าเป็นตัวเลขได้ 0

โหนด 0 ไม่ต่อกับโหนด 7 แทนค่าเป็นตัวเลขได้ 0

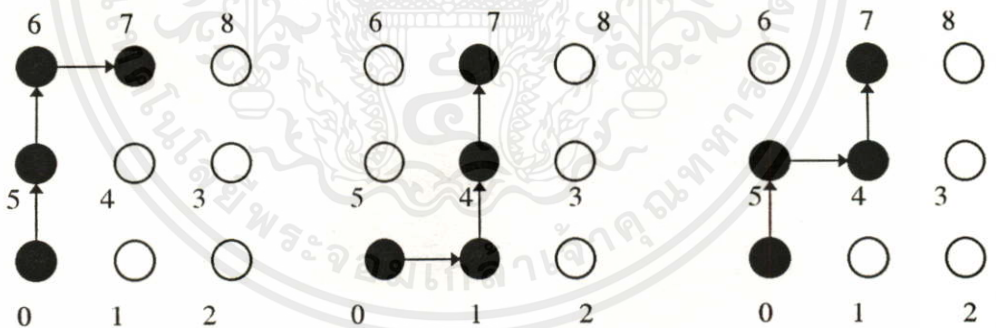
โหนด 0 ไม่ต่อกับโหนด 8 แทนค่าเป็นตัวเลขได้ 0

ความสัมพันธ์ของโหนดอื่น ๆ แสดงดังตาราง

ตัวอย่าง การป้อนข้อมูลเข้าสู่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ในภาษา C ของโหนด 0

```
int node[9][9] = {{0, 4, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0}},
```

การทำงานของโปรแกรมหาทางเดินที่มีระยะสั้นที่สุด เช่น กำหนดให้จุดเริ่มต้นของ AGV อยู่ที่โหนด 0 และเป้าหมายคือ โหนด 7 ดังนั้น เมื่อผ่านการค้นหาเส้นทางเดินแล้วผลที่ได้จะมีหลายเส้นทางแต่จะมีทางที่สั้นที่สุดคือผ่านโหนดทั้งหมด 3 โหนด และในกรณีที่จำนวนโหนดมีค่าเท่ากันจะเลือกเส้นทางแรกที่พอ ดังนั้น เส้นทางเดินนำร่องของ AGV จะแสดงดังรูปที่ 45



แสดงทางเดินของ AGV จากโหนด 0 ไปยังโหนด 7

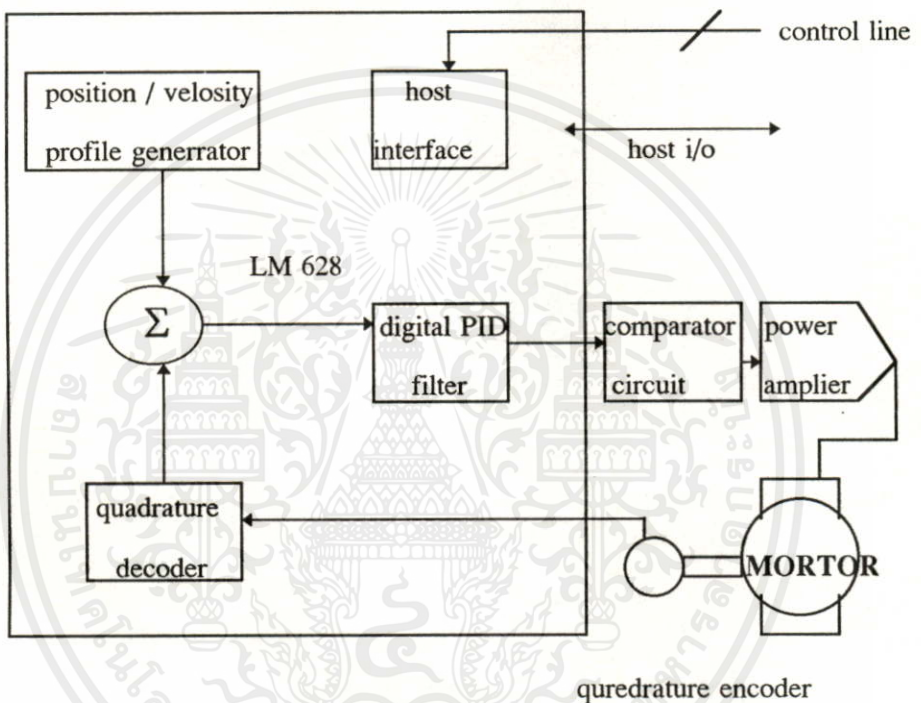
จากรูปที่ 45 โปรแกรมจะเลือกเส้นทางเดินในรูป (ค) เพราะจากการค้นหาโดยโปรแกรมจะพอก่อนวิธี (ก) และ (ข)

อัลกอริทึม (Algorithm) ของการค้นหาจะเป็นแบบทรี แสดงในรูปที่ 46 เมื่อ AGV อยู่ที่โหนดใด โหนดนั้นจะเป็นโหนดจาก (root node) ทันทีแล้วโหนดที่เชื่อมต่ออื่น ๆ จะลดลำดับลงไปเรื่อย ๆ เช่น ถ้า AGV อยู่ที่โหนด 0 จะถือว่าโหนด 0 เป็นโหนดคราก และ โหนด 1,5 อยู่ลำดับที่ 1

3.10 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง (DC-Motor Driver)

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการออกแบบวงจรขับเคลื่อน AGV ขึ้น 2 ชุด ใช้ในการบังคับการทำงานของมอเตอร์ 2 ตัวซึ่งทำงานแบบความเร็วแตกต่างกันโดยการสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ ส่วนกลางไอซีที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์นี้ใช้เบอร์ LM628 ของบริษัท เนชั่นแนล เซมิคอนดักเตอร์ (National Semiconductor) โครงสร้างภายในและการใช้งานแสดงดังรูปที่ 49

รูปที่ 49



แสดงโครงสร้างและการใช้งานของ IC LM628

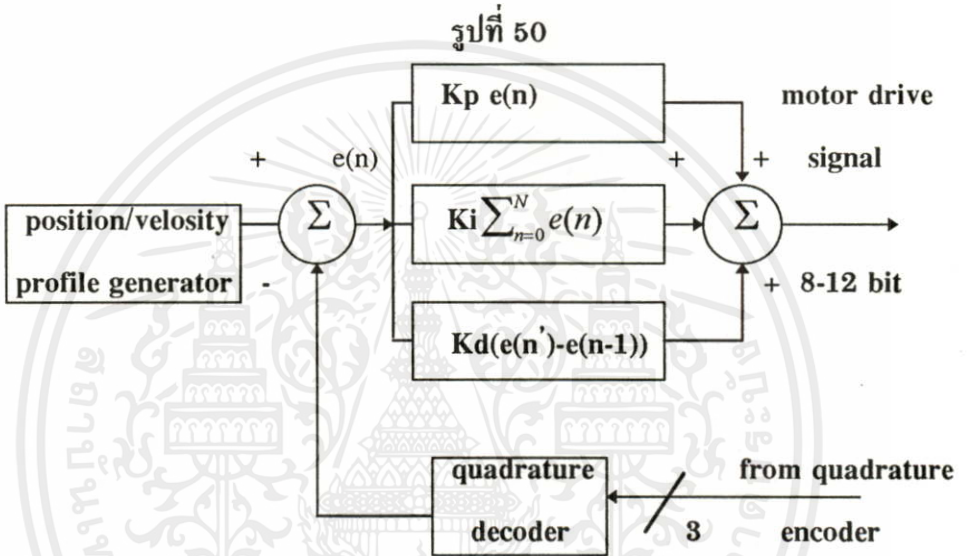
LM 628 นี้ สามารถควบคุมความเร็ว (speed) และตำแหน่ง (position) ของดีซีมอเตอร์ได้โดยการสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง โดยการใช้ซอฟต์แวร์สั่งงาน จากรูปโครงสร้างภายในของ LM 628 จะเห็นว่ามีส่วนตรวจจับสัญญาณจากตัวเอ็นโค้ดเดอร์ 3 ช่อง คือ ดัชนี (INDEX) ช่อง A (channel A) ช่อง B (channel B) สัญญาณจากตัวเอ็นโค้ดเดอร์นี้ จะใช้ในการตรวจจับความเร็วและตำแหน่งการหยุด และเคลื่อนที่ของเพลามอเตอร์ ส่วนที่สอง คือ วงจรการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง ซึ่งประกอบด้วยสายสัญญาณควบคุม (control lines) และสายข้อมูลและพอร์ต (host I/O port) ส่วนสุดท้าย คือ ดิจิตอล PID ฟิลเตอร์ (digital PID Filter) 16 บิต ทำหน้าที่ชดเชย (compensate) สัญญาณการควบคุมของระบบให้มีเสถียรภาพโครงสร้างการทำงานของดิจิตอล PID ฟิลเตอร์ แสดงดังรูปที่ 50 LM 628 ดิจิตอล PID ฟิลเตอร์ในการชดเชย (compensate) รูปสมการของ PID คือ

$$U(n) = Kp * e(n) + Ki \sum_{n=0}^n e(n) + Kd[e(n') - e(n' - 1)] \dots\dots\dots 49$$

เมื่อU(n) คือ เอาต์พุตของสัญญาณควบคุมมอเตอร์

n, e(n) คือ ค่าความผิดพลาดทางตำแหน่งที่เวลาต่างๆ, n' คือ เวลา derivative Kp, Ki,

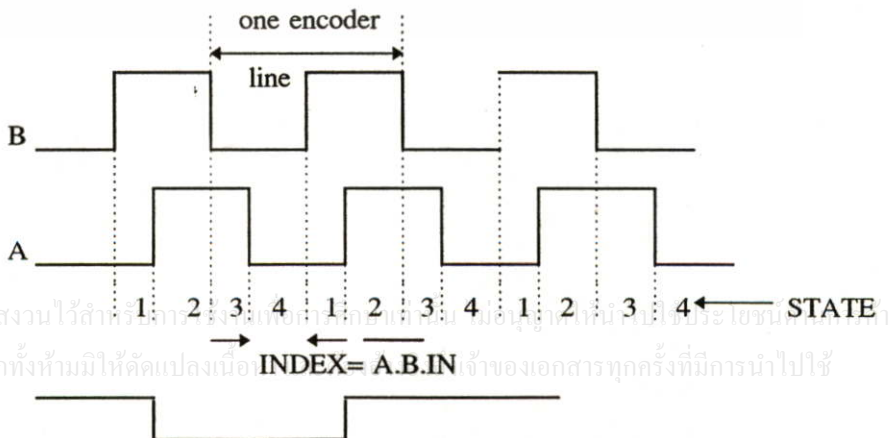
Kd คือค่าพารามิเตอร์ของ proportional, Integral, และ derivative รายละเอียดของการควบคุมแบบ PID แสดงดังบทที่ 2



แสดงโครงสร้างของดิจิทัล PID ฟิลเตอร์ของ LM 628

การตรวจสอบทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะใช้ตัวเอ็นโค้ดเดอร์ตรวจสอบการตรวจสอบทิศทางของมอเตอร์ของไอซี LM 628 ลักษณะของสัญญาณเอ็นโค้ดเดอร์แสดงดังรูปที่ 51

รูปที่ 51



แสดงสัญญาณอินพุตจากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ป้อนเข้า LM628

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับ LM 628

กำหนดให้ P คือ ตำแหน่งเป้าหมาย (หน่วย = จำนวนพัลส์ของตัวเอ็นโค้ดเดอร์)

กำหนดให้ R คือ จำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์ 1 รอบ * 4 (เป็นค่าความละเอียดของระบบ)

ความละเอียดของเอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้ คือ 500 รอบ

$$\text{ดังนั้น } R = 500 * 4 = 2000$$

และ $P = 2000 * \text{จำนวนพัลส์ที่ต้องการให้มอเตอร์หยุด}$

$$P = 2000 * 100 \text{ revs} = 200,000 \text{ พัลส์}$$

แปลงให้เป็นเลขฐาน 16 จะได้

$$P = 00030D40H \text{ (ค่านี้ คือ ค่าตำแหน่งที่จะนำไปป้อนให้ LM 628)}$$

กำหนดให้ V คือ ความเร็ว (หน่วย = รอบ/อัตราส่วน)

T คือ เวลาที่ใช้ในการสุม (วินาที) = 314 μ S (ใช้ความถี่ 6 MHz)

C คือ อัตราส่วนการแปลง (conversion Factor) = 1 minute/60 seconds

$$\text{ดังนั้น } V = R * T * C * \text{desired rpm}$$

$$V = 2000 * 341E-6 * \frac{1}{60} * 600 \text{ rpm}$$

$$V = 6.82 \text{ counts/sample}$$

$$V(\text{scaled}) = 6.82 * 65,536 = 446,955.52$$

$$V(\text{rounded}) = 446,956$$

แปลงให้เป็นเลขฐาน 16 จะได้

$$V = 0006D1EC \text{ (ค่านี้ คือ ค่าความเร็วที่จะนำไปป้อนให้ LM 628)}$$

กำหนดให้ A คือ ความเร่ง (หน่วย = counts/sample/sample) เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทสงวนลิขสิทธิ์ การนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตของบริษัทสงวนลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปใช้

$$\text{ดังนั้น } A = 2000 * 341E-6 * 341E-6 * 1 \text{ rev/sec/sec}$$

$$A = 2.33E-4 \text{ counts/sample/sample}$$

$$A(\text{scaled}) = 2.33\text{E-}4 * 65,536 = 15.24$$

$$A(\text{rounded}) = 15$$

แปลงเป็นฐาน 16 จะได้ $A = 0000\ 000\ \text{FH}$ (ค่านี้ คือ ความเร่งที่จะนำไปป้อนให้ LM 628)

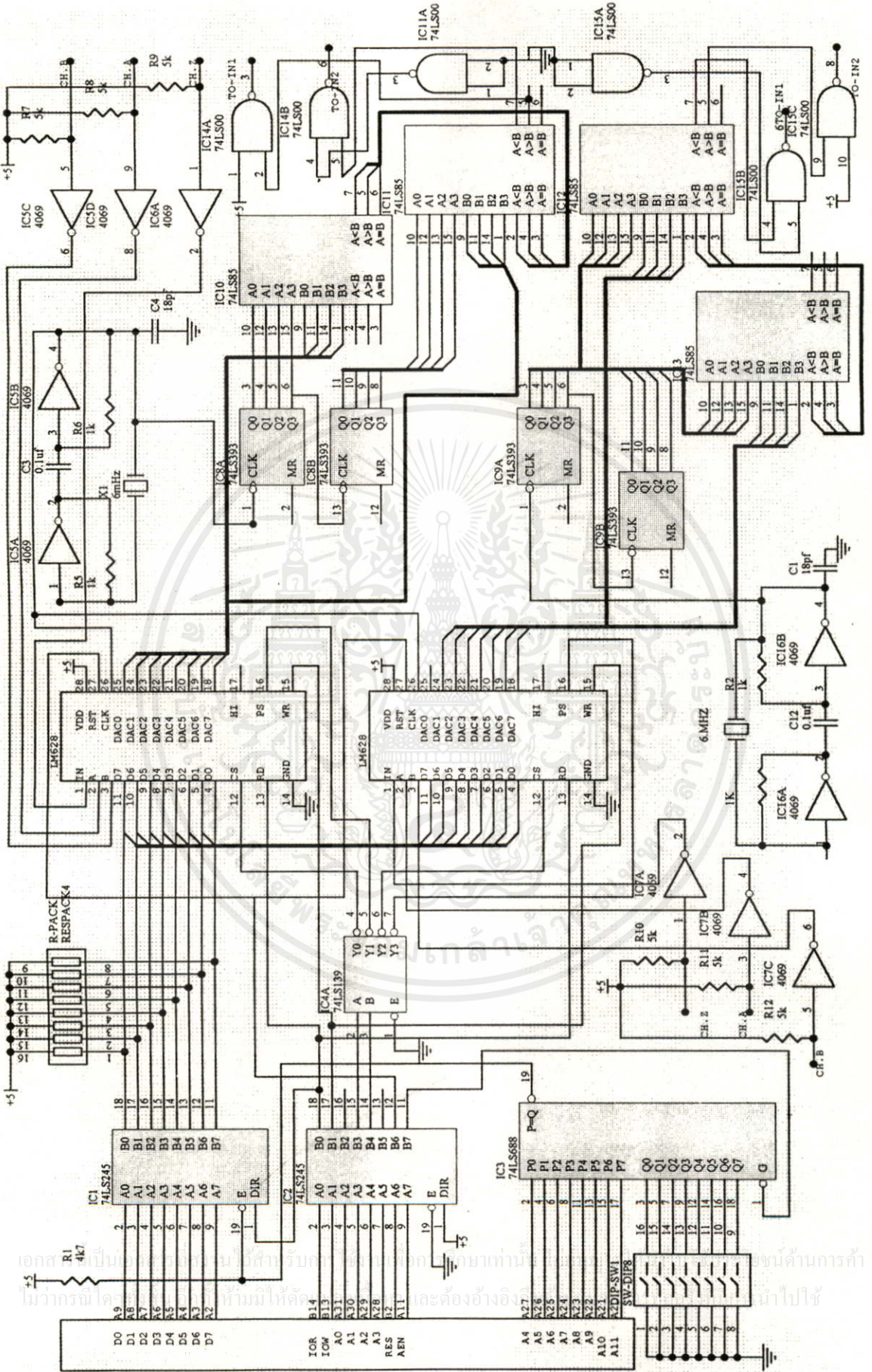
3.10.1 การทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง

ไอซี LM628 สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ โดยการใส่สล็อต (slot) ของ PC การเชื่อมต่อ LM628 กับ PC จะใช้สายสัญญาณ 2 กลุ่มคือ สายสัญญาณควบคุม (control lines) และสายข้อมูล (data bus lines) สายสัญญาณควบคุม ได้แก่ \overline{IOR} , \overline{IOW} , \overline{RESET} สายแอดเดรส A0 - A11, สายข้อมูล ได้แก่ D0 - D7

ไอซี 74LS138 เป็นตัวเลือกแอดเดรสของ LM628 โดยการตีโค้ดของสายแอดเดรส, คอมพิวเตอร์จะออกคำสั่งการทำงานให้ LM628 เป็นพอร์ตคำสั่ง (command port) หรือ พอร์ตข้อมูล (data port) โดยการสั่งที่ขา PS ของ LM628 ถ้า PS เป็น "0" จะทำงานเป็นพอร์ตข้อมูล, วงจรของ LM628 แสดงดังรูปที่ 52

3.10.2 การสั่งงานวงจรส่วนขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง

การสั่งงาน LM628 ก็จะต้องทำการโหลดข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ลงไปที่เก็บในหน่วยความจำภายในของ LM628 การเขียนข้อมูลลงใน LM628 จะต้องทำการตรวจสอบบิตว่าง (Busy bit) ของข้อมูลก่อนเสมอ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการผิดพลาด การตรวจสอบและการสั่งงานไอซี LM628 จะกระทำโดยทางซอฟต์แวร์ คำสั่งของ LM628 แสดงดังตารางที่ 5 เอกลักษณ์ของ LM628 ให้ข้อมูลออกมาได้เป็น 8 บิต หรือ 12 บิตก็ได้แล้วแต่ผู้ใช้จะเลือกใช้เดิม LM628 ถูกออกแบบให้มีการทำงานแบบลิเนียร์ (Linear) ซึ่งจะมีปัญหาในเรื่องของการระบายความร้อนทำให้ต้องใช้ตัวระบายความร้อน (Heat sink) ขนาดใหญ่เป็นการไม่สะดวกในวิทยานิพนธ์นี้ จึงทำการออกแบบวงจรเพิ่มเติม เพื่อให้ LM628 ทำงานเป็นวงจรขับชนิด PWM คอนเวอร์เตอร์ การทำงานของวงจรที่ออกแบบเพิ่มเติมจะอาศัยการเปรียบเทียบสัญญาณเอาต์พุต 8 บิตของ LM628 กับตัวนับสัญญาณพัลส์ (counter) โดยใช้ไอซี 74LS393 ทำหน้าที่เป็นตัวนับไบนารี เอกลักษณ์ของตัวนับและข้อมูลดิจิทัล 8 บิต ของ LM628 จะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน การเปรียบเทียบสัญญาณนี้จะใช้ไอซี 74LS85 ซึ่งจะให้สัญญาณเอาต์พุตแบบ PWM ความสัมพันธ์ของข้อมูลจาก LM628 กับสัญญาณ PWM แสดงดังรูปที่ 54



แสดงวงจรขั้วรับที่ขมอต่อ 2 ชุด

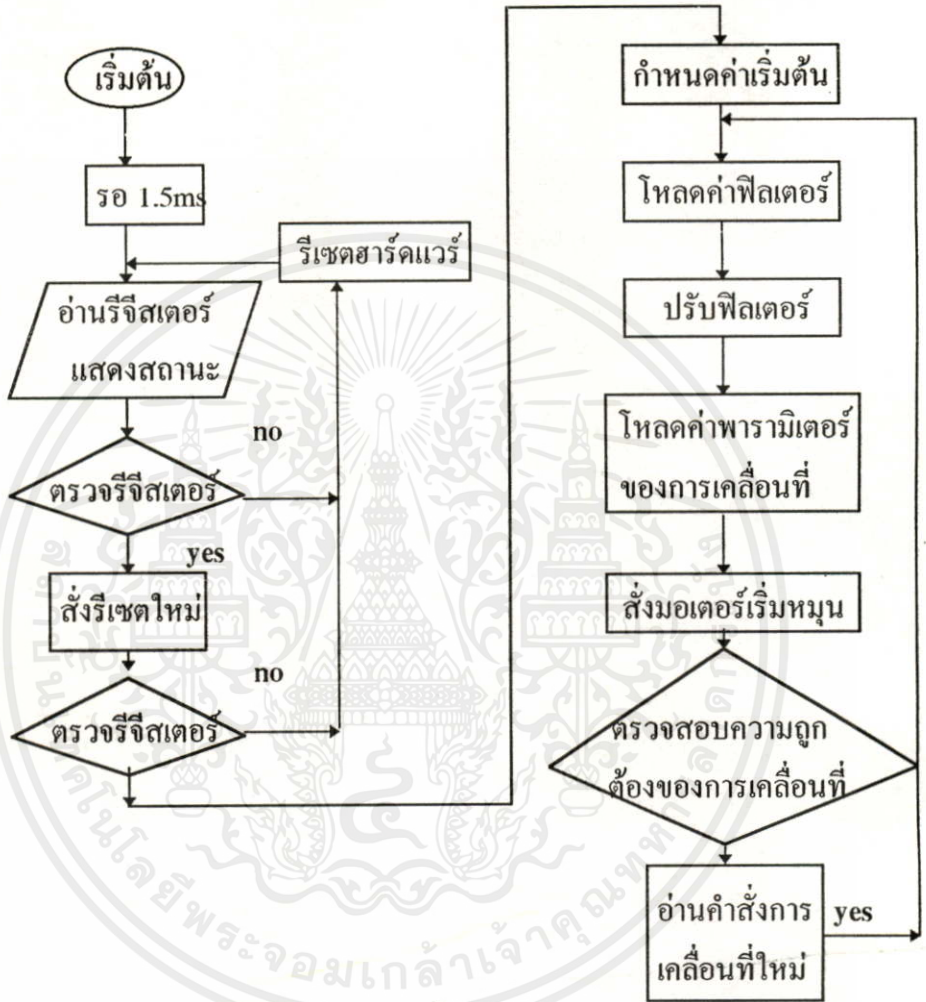
ตารางที่ 5

คำสั่ง	ชนิด	ความหมาย	เลขฐานสิบหก	จำนวนไบต์
RESET	initialize	รีเซ็ต LM628	00	0
PORT8	initialize	เลือก LM628 ทำงานแบบ 8 บิต	05	0
PORT12	initialize	เลือก LM628 ทำงานแบบ 12 บิต	06	0
DFH	initialize	กำหนดตำแหน่งเริ่มต้น	02	0
SIP	interrupt	เซตตำแหน่งของอินเดกซ์	03	0
LPEI	interrupt	เซตอินเตอร์รัพท์เมื่อเกิดเออเรอร์	2B	2
LPES	interrupt	หยุดเมื่อเกิดเออเรอร์	1A	2
SBPA	interrupt	เซตเบรกพอยต์แบบสัมบูรณ์	20	4
SBPR	interrupt	เซตเบรกพอยต์แบบรีเลทีฟ	21	4
MSKI	interrupt	กำหนดการเกิดอินเตอร์รัพท์	1C	2
RSTI	interrupt	รีเซ็ตอินเตอร์รัพท์	1D	2
LFIL	Filter	โหลดฟิลเตอร์พารามิเตอร์	1E	2 ถึง 10
UDF	Filter	ปรับค่าฟิลเตอร์	04	0
LTRJ	Trajectory	โหลดข้อมูลการเคลื่อนที่	1F	2 ถึง 14
STT	Trajectory	เริ่มหมุนมอเตอร์	01	0
RDSTAT	Report	อ่านไบร์ด์สถานะ	ไม่มี	1
RDSIGS	Report	อ่านสัญญาณจากรีจิสเตอร์	0C	2
RDIP	Report	อ่านตำแหน่งของอินเดกซ์	09	4
RDDP	Report	อ่านตำแหน่งที่คำนวณได้	08	4
RDRP	Report	อ่านค่าตำแหน่งจริง	0A	4
RDDV	Report	อ่านความเร็วที่คำนวณได้	07	4
RDRV	Report	อ่านค่าความเร็วจริง	0B	2
RDSUM	Report	อ่านผลรวมของการอินทริกัล	0D	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก **แสดงคำสั่งของ LM628** ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคำสั่งของ LM628 ดังตารางที่ 5 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิ (Flowchart) ดังแสดงในรูปที่ 54 และสามารถเขียนรหัสเทียม (Pseudo code) ไว้ดังนี้

แผนภูมิที่ 53



แสดงโปรแกรมการทำงานของ LM628

ตัวอย่างการทำงานของ LM628 โดยใช้ รหัสเทียม(pseudo code)

กำหนดค่าเริ่มต้น :

WAIT : รอ 1.5 ms หลังจากกรีเซท

RDSTAT : ตรวจสอบความถูกต้องของการรีเซทโดยการอ่านไบร์สถานะไม่เท่ากับ 80h อ่านซ้ำ hardware RESET

MSKI : ตั้งค่าการอินเตอร์รัพท์

BUSY : ตรวจสอบบิต 0 ว่าว่างหรือไม่

WR, 0000H : เขียนข้อมูล 2 ไบต์ลงใน LM628

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะภายในเท่านั้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตัดต่ออ้างอิงจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BUSY : ตรวจสอบบิต 0 ว่าว่างหรือไม่

RSTI : รีเซทคำสั่งการอินเทอร์รัพท์

BUSY : ตรวจสอบบิต 0 ว่าว่างหรือไม่

WR, 0000H : เขียนข้อมูล 2 ไบรต์ลงใน LM628

RDSTAT : อ่านข้อมูลในไบรต์สถานะว่าเท่ากับ 80h หรือไม่

IF Status byte not equal 80h THEN repeat : ถ้าข้อมูลในไบรต์สถานะไม่เท่ากับ 80h อ่านซ้ำ

BUSY : ตรวจสอบบิต 0

RSTI : รีเซทอินเทอร์รัพท์

BUSY : ตรวจสอบบิต 0

WR, 0000H : รีเซทอินเทอร์รัพท์ทุกแหล่งเลือกข้อมูลเอาต์พุตของ LM628
ว่าเป็นแบบกึ่งบิต

BUSY : ตรวจสอบบิต 0

PORT : กำหนดให้ LM628 ให้เอาต์พุตแบบ 8 บิต โหลดข้อมูลของ
ฟิลเตอร์

BUSY : ตรวจสอบบิต 0

LFIL : โหลดคำสั่งของฟิลเตอร์

BUSY : ตรวจสอบบิต 0

WR, 0008H : บิตควบคุมของฟิลเตอร์

: บิตที่ 8 to 15 (MSB) ใช้กำหนดอัตราคิริเวทไฟ

: บิต 3 โหลดค่า Kp

: บิต 2 โหลดค่า KI

: บิต 1 โหลดค่า Kd

: บิต 0 โหลดค่า il

: ในตัวอย่างจะเลือกค่า Kp เพียงค่าเดียวเท่านั้นค่าของบิตควบคุม

จึงเป็น 0008H ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

BUSY : ตรวจสอบบิต 0

WR, 0032H : เลือกค่า Kp = 50, โหลดข้อมูลไบรต์คู่แรกลงใน MSB ไบรต์
ต่อไปลงใน LSB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลง
ข้อมูลไปยังเครื่องเข้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับค่าฟิลเตอร์

BUSY : ตรวจสอบบิต 0
 UDF : โหลดคำสั่งปรับค่าฟิลเตอร์

โหลดค่าพารามิเตอร์ของการเคลื่อนที่

BUSY : ตรวจสอบบิต 0
 LTRJ : โหลดคำสั่งค่าการเคลื่อนที่
 BUSY : ตรวจสอบบิต 0
 WR,002AH : โหลดคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่
 : เลือกโหมดตำแหน่ง, ความเร่ง, ความเร็ว ดังนั้น คำสั่งควบคุมจึงเป็น 002AH

BUSY : ตรวจสอบบิต 0
 WR,xxxxH : โหลดค่าความเร่งโดยโหลด MSB ก่อน
 BUSY : ตรวจสอบบิต 0
 WR,xxxxH : โหลดค่าความเร็ว, MSB ก่อน
 BUSY : ตรวจสอบบิต 0
 WR,xxxxH : โหลดค่าตำแหน่ง, MSB ก่อน
 BUSY : ตรวจสอบบิต 0
 WR,xxxxH : โหลดค่าของตำแหน่ง, LSB สั่งมอเตอร์หมุน
 BUSY : ตรวจสอบบิต 0
 STT : คำสั่งเริ่มหมุนมอเตอร์

ตรวจสอบความสมบูรณ์ของการเคลื่อนที่

RDSTAT : ตรวจสอบบิตที่ 2 ของการเคลื่อนที่

โปรแกรมย่อยการตรวจสอบ BUSY

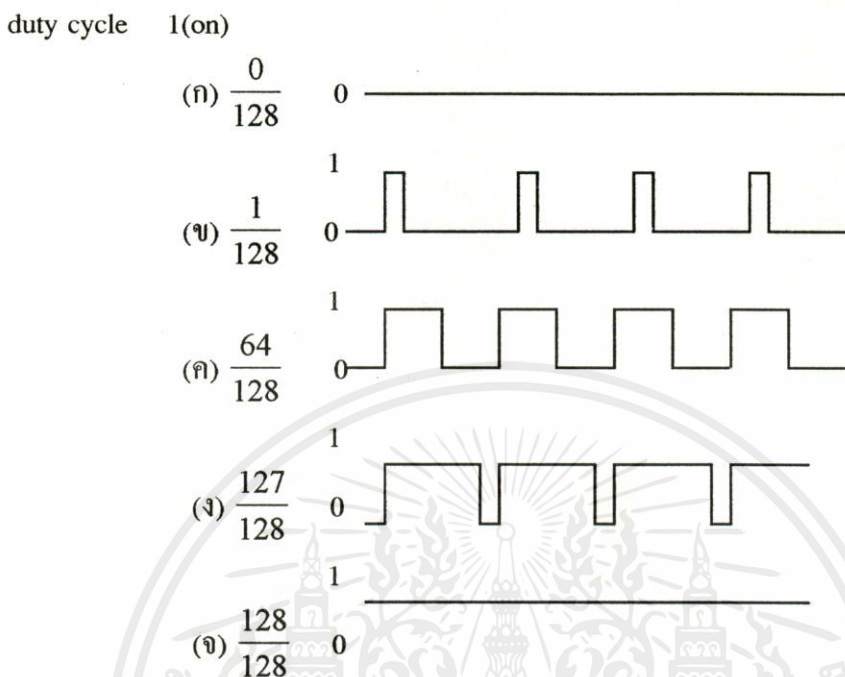
BUSY :

RDSTAT : อ่านไบต์สถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร IF bit0 is set THEN, BUSY ELSE RETURN : เพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น ถ้าบิต 0 เป็น "1" แสดงว่าถูกต้อง ถ้าไม่ใช่ "1" จะต้องอ่านซ้ำ

END

รูปที่ 54



แสดงรูปเอาท์พุทของ LM628

3.10.3 วงจรภาคขยายกำลังของมอเตอร์กระแสตรง

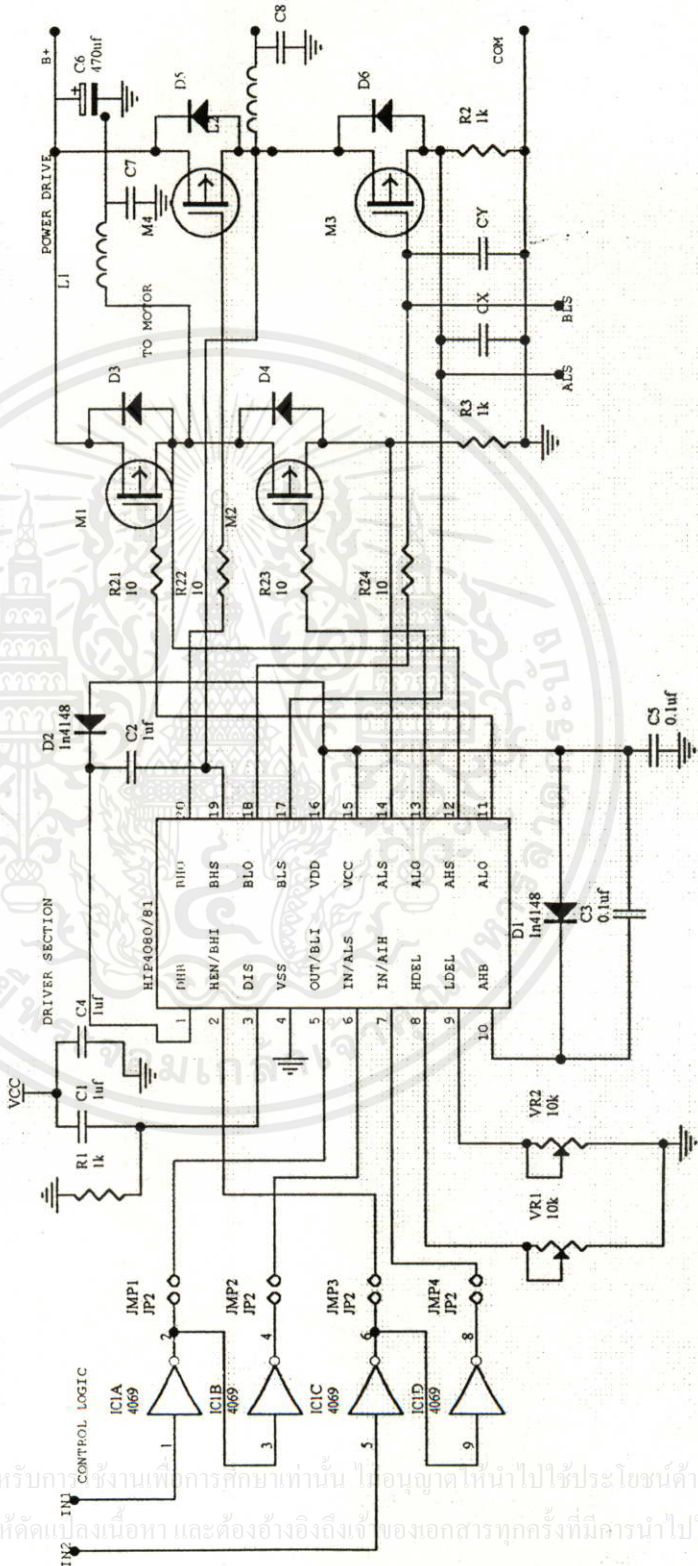
เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานของ LM628 จากการทำงานแบบเป็นเชิงเส้นไปเป็นแบบ PWM จึงเป็นผลให้ต้องออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังใหม่โดยใช้ ไอซี HIP4080/81 ของบริษัท ฮาริส (HARIS) ทำหน้าที่เป็นวงจรจัดการไฮบริดโดยใช้ เจเฟท (JFET) เบอร์ 50 N05 ซึ่งทนโวลต์แดงได้ 50 โวลต์ และทนกระแสได้ 5 แอมแปร์ 4 ตัว มาต่อกันแบบ H-บริดจ์เพื่อใช้ในการควบคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ การทำงานของวงจร H-บริดจ์ แสดงดังรูปที่ 55, 56 และรูปที่ 57

เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนเดินหน้าจะบังคับให้เฟทตัวที่ 1 และเฟทตัวที่ 4 นำกระแสและให้เฟทตัวที่ 2 และ 3 นำกระแสมอเตอร์จะหมุนถอยหลัง นอกจากนี้ในช่วงที่เฟทแต่ละชุดหยุดนำกระแส จำเป็นจะต้องให้เฟทตัวที่ 4 นำกระแสต่อไปเมื่อมอเตอร์หมุนเดินหน้า หรือให้เฟทตัวที่ 2 นำกระแสต่อไปเมื่อมอเตอร์หมุนถอยหลัง เพื่อใช้เป็นทางคายพลังงานที่สะสมอยู่ในขดลวดของมอเตอร์หน้าทีการจัดการจ่ายกระแสและการหน่วงเวลาในการเปิดปิดเกทเป็นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไอซี HIP4080/81

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

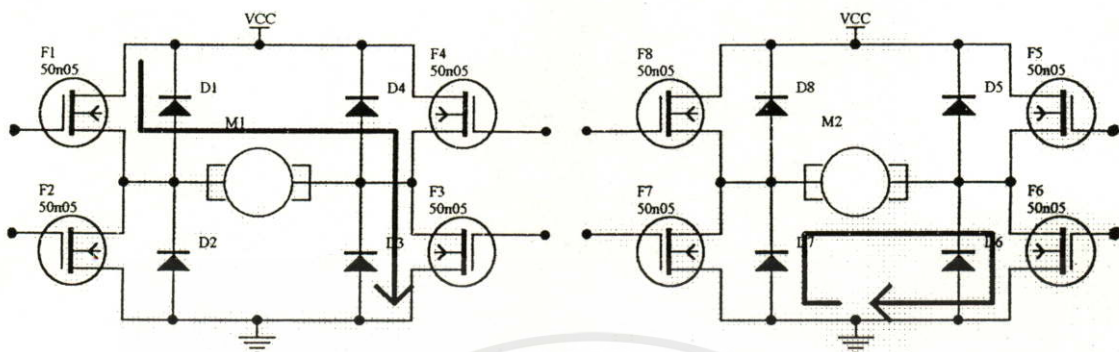
รูปที่ 55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงภาคขับมอเตอร์

รูปที่ 56

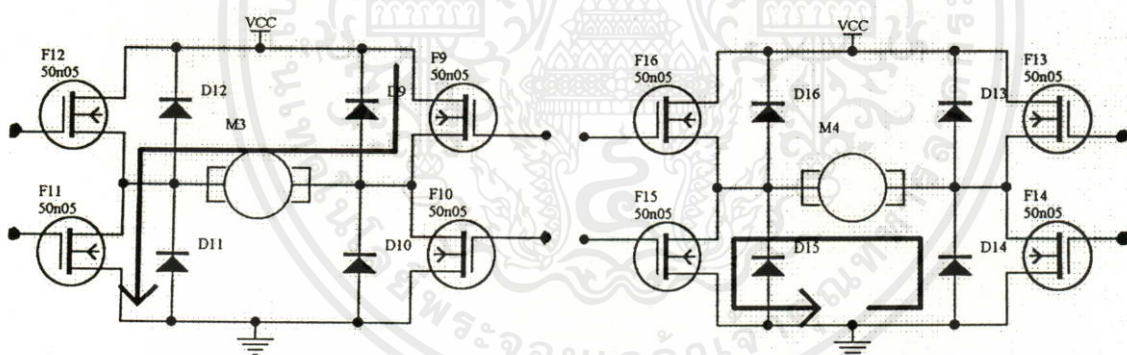


รูปที่ 56 ก. เมื่อเฟตตัวที่ 1 และ เฟตตัวที่ 4 นำกระแส

รูปที่ 56 ข. เมื่อเฟตตัวที่ 4 นำกระแส

แสดงทิศทางของกระแสเมื่อมอเตอร์หมุนเดินหน้า

รูปที่ 57



รูปที่ 57 ก. เมื่อเฟตตัวที่ 2 และเฟตตัวที่ 3 นำกระแส

รูปที่ 57 ข. เมื่อเฟตตัวที่ 2 นำกระแส

แสดงทิศทางของกระแสเมื่อมอเตอร์หมุนถอยหลัง

3.11 วงจรเชื่อมต่อของคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อไปควบคุมระบบต่างๆของ AGV

3.11.1 สัญญาณต่างๆบนสล็อตของคอมพิวเตอร์

การนำข้อมูลภายนอกจากตัวตรวจจับต่างๆเข้า (Input) และออก (Output) จากคอมพิวเตอร์ จะกระทำผ่านสล็อตของคอมพิวเตอร์ ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เบอร์ 80386 ไมโครการ์ดจอวงจรมีฟังก์ชันให้คือแปลงเนื้อหา และต้องนำวงจรมานำเข้าของเอกรสทุกครั้งนำมาไปใช้ DX-40 ทำงานที่สัญญาณนาฬิกา 40 เมกะเฮิร์ตซ์สล็อตของเมนบอร์ด เบอร์นี้ก็มีสัญญาณที่ต้องทราบ คือ

ตารางที่ 6 แสดงสัญญาณต่างๆบนสล็อตของคอมพิวเตอร์

ชื่อสัญญาณ	ตำแหน่งขาบนสล็อต		ชื่อสัญญาณ
	ด้าน SLOT	ด้านติดตั้งอุปกรณ์	
GND	B01	A01	I/O CHCK
RESET	B02	A02	D7
+SV	B03	A03	D6
IRQ2	B04	A04	D5
-SV	B05	A05	D4
DREQ2	B06	A06	D3
+12V	B07	A07	D2
reserved	B08	A08	D1
+12V	B09	A09	D0
GND	B10	A10	I/O CHRDY
MEMW	B11	A11	AEN
MEMR	B12	A12	A19
lowe	B13	A13	A18
lorc	B14	A14	A17
DACK3	B15	A15	A16
DREQ3	B16	A16	A15
DACK1	B17	A17	A14
DREQ1	B18	A18	A13
DACK0	B19	A19	A12
CLK	B20	A20	A11
IRQ7	B21	A21	A10
IRQ6	B22	A22	A9
IRQ5	B23	A23	A8
IRQ4	B24	A24	A7
IRQ3	B25	A25	A6
DACK2	B26	A26	A5
TC	B27	A27	A4
ALE	B28	A28	A3
+5V	B29	A29	A2
OSC	B30	A30	A1
END	B31	A31	A0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของสัญญาณต่าง ๆ ในสล็อต 8 บิต ของเครื่องไอบีเอ็ม และคอมพิวเตอร์แสดงผล ดังตารางซึ่งมีสัญญาณที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์และน่าสนใจเป็นพิเศษ ดังนี้

OSC (ขา B30) เป็นสัญญาณนาฬิกาของบัสอินพุต, เอาต์พุตซึ่งมีมาตรฐานที่ 4.77 เมกะเฮิร์ตซ์ ในรุ่น XT และ 14.138 เมกะเฮิร์ตซ์ ในรุ่น AT

CLK (ขา B20) เป็นสัญญาณนาฬิกาของระบบ ตามมาตรฐานของเครื่องไอบีเอ็มพีซี จะมีความถี่เท่ากับ 1/3 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์เช่น 1.59 เมกะเฮิร์ตซ์ (เมื่อใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ 4.77 เมกะเฮิร์ตซ์) แต่ในปัจจุบันเครื่องพีซีได้ถูกพัฒนาให้มีความเร็วในการทำงานสูงขึ้นมาก ดังนั้นมาตรฐานของความถี่ทั้ง OSC และ CLK จึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

RESET (ขา B02) ใช้เมื่อต้องการเริ่มต้นการทำงานของระบบใหม่ เมื่อเปิดสวิตช์เครื่องหรือหลังจากเกิดการหยุดชะงัก หรือรีเซ็ตการทำงานของฮาร์ดแวร์

\overline{IOWR} (ขา B13) เป็นสัญญาณจากบัสคอนโทรลเลอร์ เมื่อต้องการเขียนหรือส่งข้อมูลกับอินพุตและเอาต์พุต

\overline{IORD} (ขา B14) เป็นสัญญาณจากบัสคอนโทรลเลอร์เช่นกัน ใช้เมื่อต้องการเขียนหรือส่งข้อมูลอินพุต, เอาต์พุต

\overline{MEMRD} (ขา B12) เป็นสัญญาณแสดงการทำงานของโปรเซสเซอร์หรือ DMA คอนโทรลเลอร์กำลังอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ

\overline{MEMWR} (ขา B11) เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ ซึ่งกำหนดแอดเดรสด้วยสายสัญญาณ A0 ถึง A19

สิ่งแรกที่เราจะทำในการออกแบบวงจรที่จะสร้างบนบอร์ดทดลอง คือ วงจรถอดรหัสตำแหน่งแอดเดรส โดยเราสามารถเลือกใช้ในช่วงที่กำหนดไว้เท่านั้น การถอดรหัสใช้ชิพเบอร์ 74HCT688 ซึ่งเป็นชิพสำหรับเปรียบเทียบสัญญาณ (word comparator)

ค่าแอดเดรสกำหนดได้โดยการปรับตั้งคิพสวิตช์ให้ตรงกับแอดเดรสที่ต้องการเอาต์พุตที่ได้คือ สัญญาณ \overline{SELECT} ซึ่งจะนำไปต่อเข้าขาอินพุตของบัฟเฟอร์ เมื่อแอดเดรสจากเครื่องพีซีตรงกับแอดเดรสที่ตั้งไว้ในวงจรถอดรหัสสัญญาณ \overline{SELECT} จะทำงาน และให้ข้อมูลเอาต์พุต การทำงานในส่วนนี้ยังต้องนำสัญญาณ AEN, \overline{LOWR} และ \overline{IORD} มาควบคุมการทำงานของวงจรถอดรหัสอีกทีหนึ่ง เพราะสัญญาณเหล่านี้มีการทำงานที่มีความสัมพันธ์กัน และเป็นตัวบ่งชี้การทำงานของเครื่องพีซี เมื่อต้องการติดต่อกับอุปกรณ์อินพุต, เอาต์พุต

การถอดรหัสแอดเดรสของเครื่อง PC จะต้องไม่เกิดการทับซ้อนของแอดเดรสเพราะจะทำให้เครื่องพีซีเสียหายได้การจัดแอดเดรสของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นมาตรฐานแสดงดังตาราง 7

ตารางที่ 7

อินพุต เอาต์พุต แอดเดรส	หน้าที่การทำงาน
000H-00FH	ส่วนควบคุม DMA
020H-021H	ส่วนควบคุมการอินเตอร์รัพท์
040H-043H	ไทมเมอร์ / เคาน์เตอร์
060H-063H	รีจิสเตอร์ระบบ
080H-083H	รีจิสเตอร์ของ DMA
0A0H-0BFH	NMI รีจิสเตอร์อินเตอร์รัพท์
0C0H-0FFH	สงวนไว้
100H-1FFH	ส่วนควบคุมพรอนต์พานอล
200H-20FH	สำหรับเกมคอมพิวเตอร์
210H-217H	ส่วนขยายเพิ่มเติม
220H-29FH	สงวนไว้
278H-27FH	เครื่องพิมพ์ที่ 2
2F8H-2FFH	ซีเรียลอินเตอร์เฟสที่ 2
300H-31FH	สำหรับพอร์ตทดลองเพิ่มเติม
320H-32FH	ส่วนควบคุมฮาร์ดดิสก์
378H-37FH	พริ้นเตอร์อินเตอร์เฟส
380H-38FH	SDLC อินเตอร์เฟส
3A0H-3AFH	สงวนไว้
3B0H-3BFH	สำหรับโมโนโครมอะแดปเตอร์
3C0H-3CFH	สงวนไว้
3D0H-3DFH	สำหรับการ์ดคัลเลอ์กราฟฟิค
3E0H-3E7H	สงวนไว้
3F0H-3F7H	ส่วนควบคุมฟลอปปีดิสก์
3F8H-3FFH	ซีเรียลอินเตอร์เฟส

แสดงแอดเดรสและหน้าที่การทำงานของสล็อตพีซี

8.11.2 วงจรเชื่อมต่อกับสัญญาณอินพุต,เอาต์พุตภายนอก

วงจรที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับสัญญาณข้อมูลภายนอกของ AGV จะมี 3 การ์ด คือ

- 1.การ์ด 8255 ซึ่งมีชิพ 8255, 8 ตัวทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุต กับอุปกรณ์ เชื่อมต่อภายนอกอาทิเช่น ตัวตรวจจับทางเดินนาร่อง, ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอัลตราโซนิก เป็นต้น
- 2.การ์ดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งมีชิพ ADC 0804 8 ตัว หน้าที่รับสัญญาณอนาลอกจากอุปกรณ์ภายนอก ได้แก่ ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบอนาลอก
- 3.การ์ดแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกซึ่งมีชิพ DAC0832 จำนวน 4 ตัว เมื่อให้เอาต์พุตเป็นอนาลอกไปควบคุมอุปกรณ์ขยายงานในอนาคต

การเชื่อมต่อการ์ดทั้ง 3 ชนิด จะต่อโดยผ่านสล็อตของเครื่องพีซีโดยมีชิพ 74LS245 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ของข้อมูล และบัฟเฟอร์ของสายบัสควบคุมอย่างละ 1 ตัว, ชิพ 74LS688 ทำหน้าที่เป็นตัวเลือกแอดเดรสของชิพที่เชื่อมต่อ และชิพ 74LS139 ทำหน้าที่เลือกชิพและพอร์ต

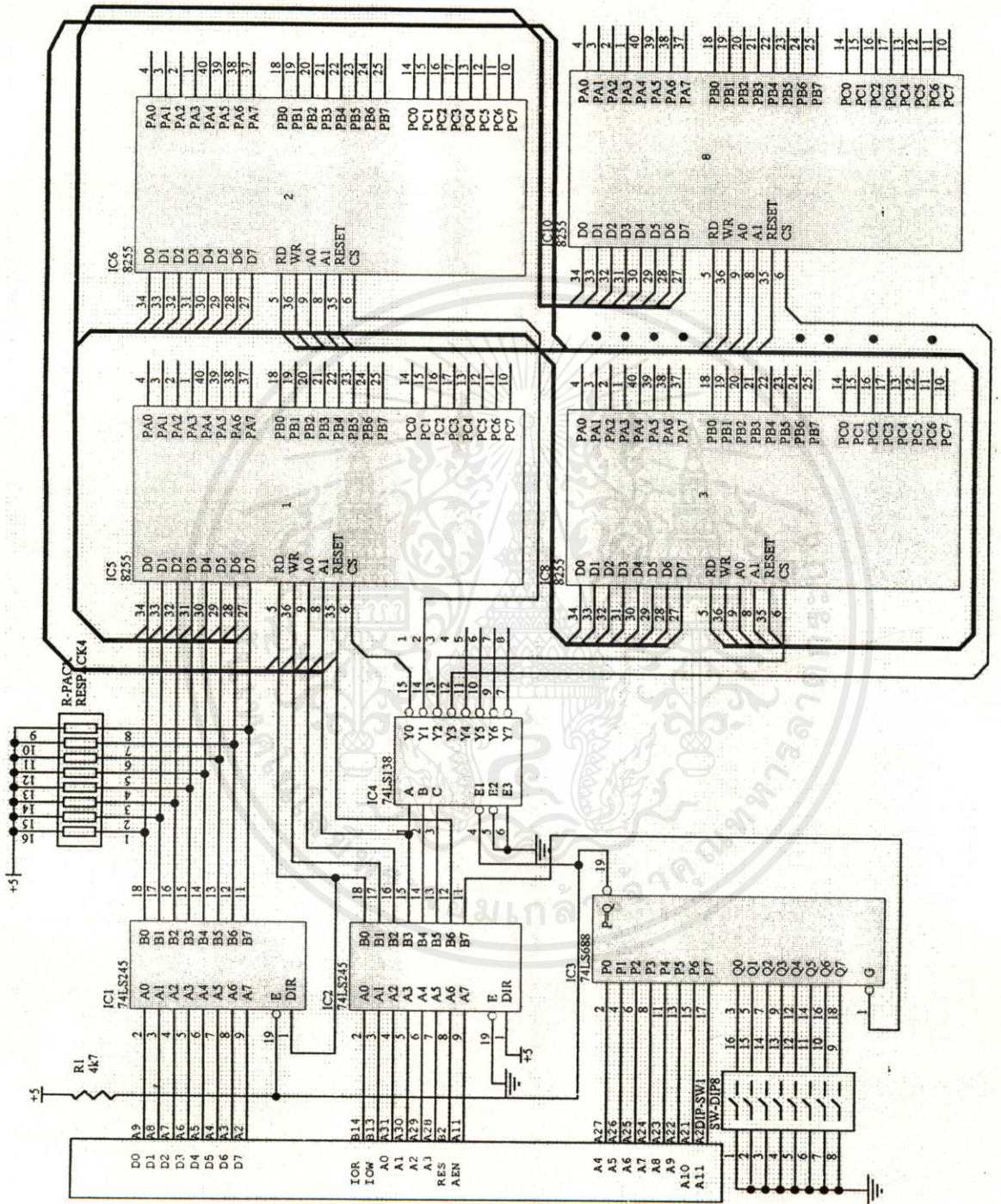
ตัวอย่างการตั้งค่าแอดเดรสของการ์ด เช่น ชิพ 8255 เป็นไอซีซึ่งประกอบด้วย พอร์ตใช้งาน 3 พอร์ตและอีก 1 พอร์ตทำหน้าที่เป็นพอร์ตควบคุม การใช้งานชิพ 8255 จะต้องทำการส่งข้อมูลไปยังพอร์ตควบคุมก่อนจะทำให้พอร์ตทั้ง 3 พอร์ตของ 8255 ที่เหลือทำหน้าที่อะไร เป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ซึ่งเราจะต้องเป็นผู้กำหนดคำสั่งควบคุมเอง

ตารางที่ 8

แอดเดรส	พอร์ต
XX0H	PORT A(1)
XX1H	PORT B(1)
XX2H	PORT C(1)
XX3H	PORT CONTROL (1)
XX4H	PORT A(2)
XX5H	PORT B(2)
XX6H	PORT C(2)
XX7H	PORT CONTROL (2)
จนถึง XX1FH	PORT CONTROL (8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

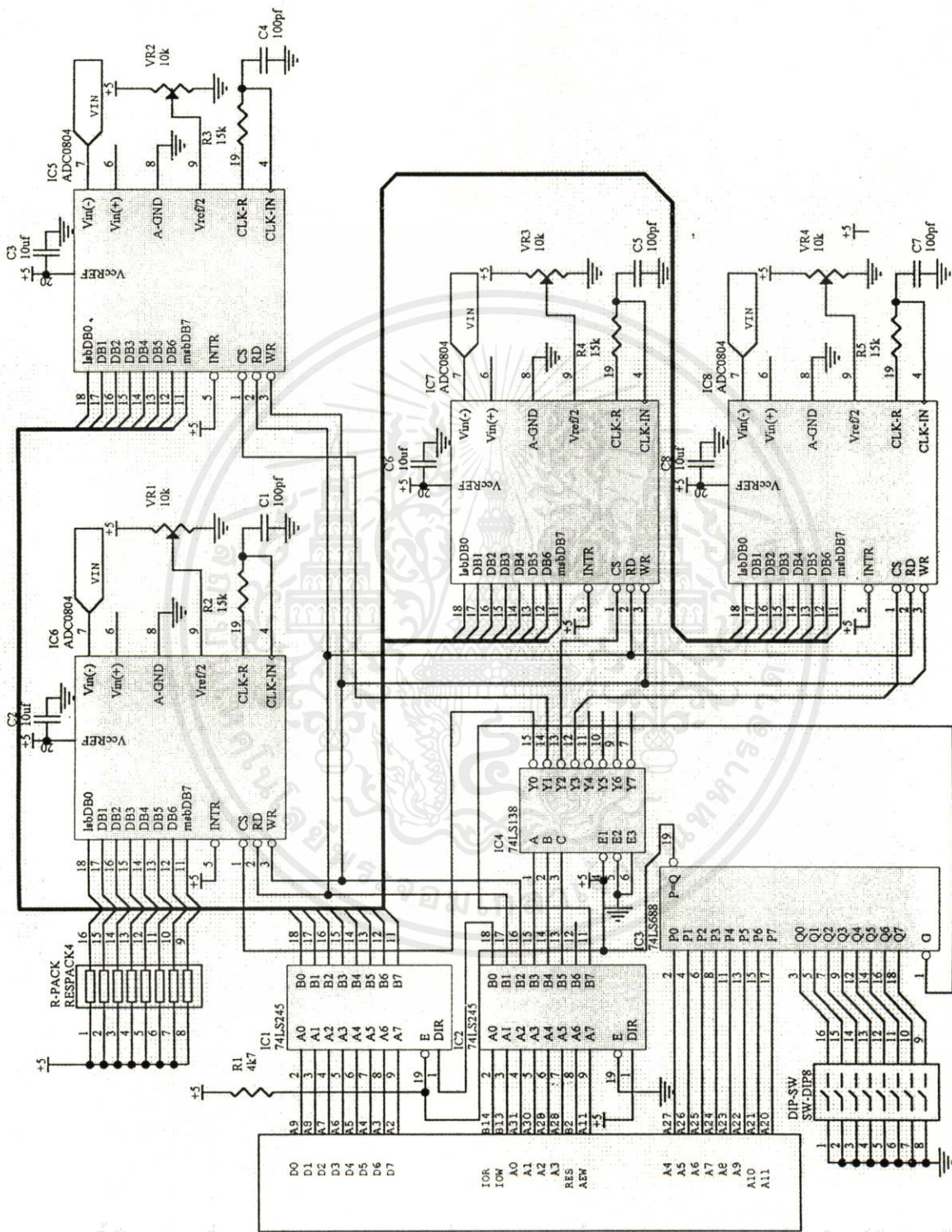
รูปที่ 58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงวงจรเชื่อมต่อของการ์ด 8255

รูปที่ 59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงวงจรเชื่อมต่อของการ์ด ADC

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบให้มี 8255 เชื่อมต่อกัน 8 ตัวทั้งนี้เพื่อการขยายงานในอนาคต การตั้งแอดเดรสเริ่มต้นของการ์ดจะทำได้โดยเซตดิฟฟิววิตซ์ เช่น เราตั้งตำแหน่ง 300H จะเซตดิฟฟิววิตซ์ ได้ดังนี้

วิธีการกำหนดค่าของการ์ด ADC และการ์ด DAC จะเหมือนกับของการ์ด 8255

ตารางที่ 9

แอดเดรส	ชิพที่เลือก
XX0H	ADC-1
XX1H	ADC-2
XX2H	ADC-3
XX3H	ADC-4
XX4H	ADC-5
XX5H	ADC-6
XX6H	ADC-7
XX7H	ADC-8

แสดงแอดเดรสและการเลือกชิพ ADC

ตารางที่ 10

แอดเดรส	ชิพที่เลือก
XX0H	DAC-1
XX1H	DAC-2
XX2H	DAC-3
XX3H	DAC-4

แสดงแอดเดรสและการเลือกใช้ชิพ DAC

3.12 ระบบทางกลของยานขนส่ง

AGV ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ มีขนาดความยาว 1 เมตร ความกว้าง 60 เซนติเมตร, สูง 50 เซนติเมตร มีล้อทั้งหมด 4 ล้อ โดยมีล้อขับเคลื่อน 2 ล้อ ซึ่งขับเคลื่อนโดยดิฟฟิววิตซ์ 2 ตัว อยู่ทางด้านหลังของ AGV ความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวราบ 15 เมตรต่อนาที จากเงื่อนไขในการเคลื่อนที่คือ จะต้องมีความเร็วตามแนวราบเป็น 15 เมตรต่อนาที จึงต้องนำค่าความเร็วนี้ไปคำนวณอัตราทดของเฟือง (gear) และเลือกขนาดของล้อ กำหนดดิฟฟิววิตซ์ที่ใช้มีขนาด 24

โวลต์ 4.1 แอมป์ ความเร็วรอบ คือ 3840 รอบต่อนาที แรงบิด (Torque) 1.667 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร เลือกขนาดของล้อขับเคลื่อนมีรัศมี 3 นิ้ว

3.12.1 การคำนวณอัตราทดของมอเตอร์ที่กระทำต่อโหลด

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อยังไม่ผ่านการทดครั้งแรก} &= 3840 \text{ rpm} \\ \text{ต้องการทดรอบเป็น 30 เท่า ดังนั้น ความเร็วที่ได้} &= \frac{3840}{30} \text{ rpm} \\ &= 128 \text{ rpm} \end{aligned}$$

แรงบิดจะเพิ่มขึ้นจากเดิม 50 เท่า ดังนั้น มอเตอร์จะมีแรงบิดเป็น

$$\begin{aligned} T &= 1.667 \text{ kg cm} \times 30 \\ T &= 50 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

กำหนดรัศมีของล้อขับเคลื่อนเป็น 3 นิ้ว

ดังนั้น เมื่อล้อหมุนครบ 1 รอบจะได้ระยะทาง = $2\pi r$ cm.

$$= 2 \times 3.141 \times 3 \times 2.54 \text{ cm}$$

$$\text{ล้อหมุน 1 รอบได้ระยะทาง} = 48 \text{ cm}$$

ถ้าต้องการให้ AGV เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 15 m/min หรือ 1500 cm/min

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นล้อจะต้องหมุนด้วยความเร็ว} &= \frac{1500 \text{ cm / min}}{48 \text{ cm}} \\ &= 31.25 \text{ rpm} \end{aligned}$$

จากความเร็วของมอเตอร์เป็น 128 rpm

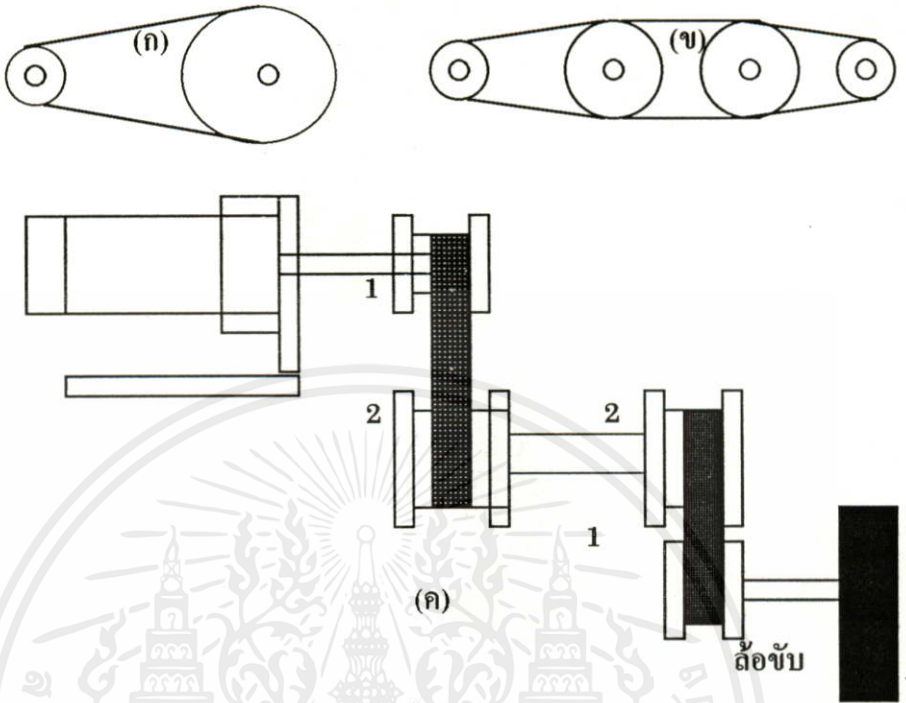
$$\begin{aligned} \therefore \text{อัตราทดของเฟือง} &= \frac{128 \text{ rpm}}{31.25 \text{ rpm}} \\ &= 4 \text{ เท่า} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น แรงบิดที่ทำการทดเฟืองแล้วจะได้ } 9 \times 50 \text{ kg cm} = 200 \text{ kg cm}$$

จากอัตราทด 1 : 4 เมื่อเฟืองขับเคลื่อนของมอเตอร์จะเล็กเป็น 1/4 เท่าของเฟืองเพลาล้อ ซึ่งเป็นปัญหาในการติดตั้ง จึงต้องแบ่งเฟืองทดออกเป็น 1 : 2 : 1 : 2 รูปที่ 62

ไม่ว่า แสดงโครงสร้างทางกลของล้อขับเคลื่อนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 61



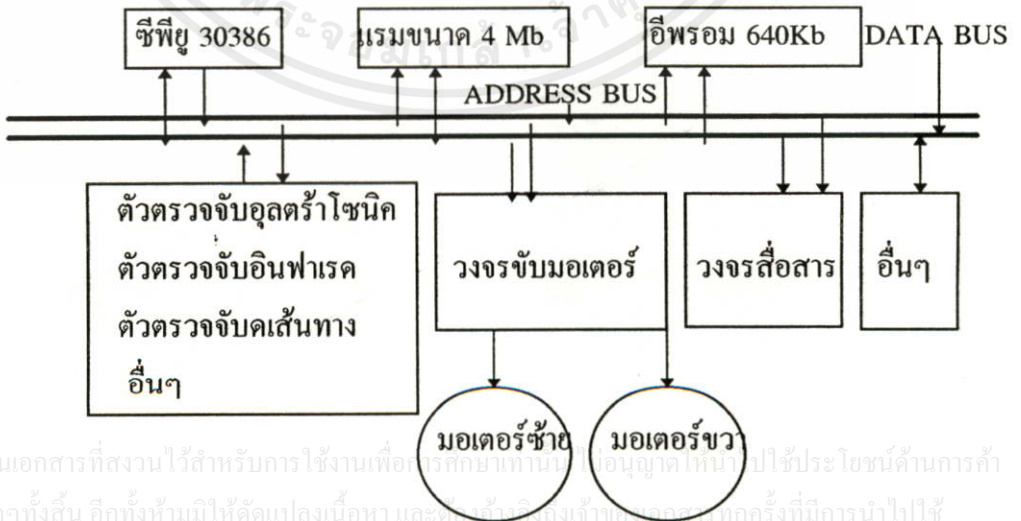
แสดงการทดเฟืองของ AGV

(ก) แสดงอัตราทด 1:4 (ข) แสดงอัตราทด 1:2:1:2 (ค) การใช้งานจริง

3.12.2 รายละเอียดปลีกย่อยของยานขนส่ง

การทำงานของ AGV จะอาศัยการตัดสินใจจากคอมพิวเตอร์ประมวลผลกลางซึ่งติดตั้งอยู่บนตัว AGV การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ส่วนกลางแสดงดังรูปที่ 62

รูปที่ 62



แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมของ AGV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงข้อมูลใดๆที่ปรากฏในเอกสารนี้ที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11

ความเร่งสูงสุด	0.5 m/s ²
ความเร็วสูงสุด	15 m/s
CPU	80386DX-40 (32 bit, 40 MHz)
Power Supply	±12V, ±5V, 24V
วิธีการควบคุมการเคลื่อนที่	PID Control wit DC servo motor Different speed
ความยาว	1 m
ความกว้าง	60 cm
ความสูง	50 cm
น้ำหนัก	120 kg
ตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง	2 ตัว
ตัวตรวจจับแบบเมตริกซ์	16 ตัว
ตัวตรวจจับสถานี	8 ตัว
ตัวตรวจจับทางแยก	2 ตัว
ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางอุลตราโซนิก	5 ตัว
ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางอินฟราเรด	3 ตัว
ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์	2 ชุด
วงจรเสียงขอทาง	1 ชุด
รีเลย์	5 ชุด

แสดงรายละเอียดของยานขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

โครงข่ายประสาทเทียม(Neuron Network)

4.1 บทนำ

เมื่อเราพิจารณาถึงมนุษย์และสัตว์จะเห็นว่าสามารถรู้จักภาพและวิเคราะห์แยกแยะเสียง ได้ดีกว่าคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยที่สุด แม้จะเป็นคอมพิวเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่องานทางด้านนี้ โดยเฉพาะก็ตาม และนักวิจัยในสาขานี้ได้คาดหวังกันว่าระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Systems:ANNS) จะเป็นคลื่นลูกใหม่ที่ใช้ในการประมวลผลข่าวสาร สำหรับใช้แทนหรือสนับสนุนการคำนวณแบบเดิมโครงข่ายประสาทเทียมจะช่วยเสริมความสามารถของคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลในระบบใหญ่ๆ ซึ่งระบบนี้สามารถเรียนรู้และตัดสินใจสำหรับกระบวนการของระบบนั้น ๆ ได้

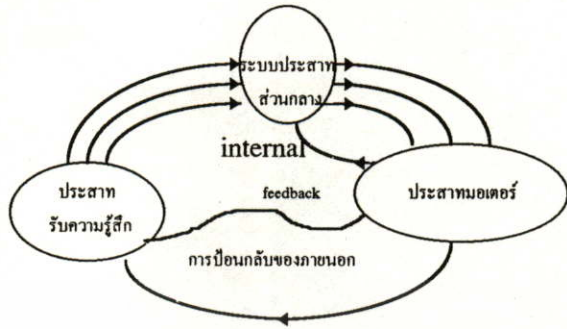
4.2 ระบบเซลล์ประสาททางชีววิทยา

ระบบประสาทมีหน้าที่ควบคุมรักษาสมดุลภายในร่างกายให้คงที่ ระบบประสาทของมนุษย์เป็นระบบที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนจะประกอบด้วยเซลล์ประสาท(Neurons)ประมาณ 10^{11} เซลล์[6] และเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทตัวอื่นอีกประมาณ 10 ล้านเซลล์ ระบบประสาทมียู่ด้วยกัน 3 ส่วน แสดงในรูปที่63 คือ

1. ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System)
2. ระบบประสาทรับความรู้สึก (Sensory Systems)
3. ระบบประสาทมอเตอร์ (Motor Systems)

จากภาพที่63 ระบบประสาทส่วนกลางจะทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่รับมาจากระบบประสาทรับความรู้สึกที่ประกอบด้วยเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (Sensory Receptor) ซึ่งจะรับรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมรอบตัว และจะส่งข่าวสารไปยังประสาทส่วนกลาง และเมื่อประสาทส่วนกลางประมวล แล้วก็ส่งสัญญาณไปควบคุมสั่งการระบบประสาทมอเตอร์ของอวัยวะแสดงผล (Effector) ให้ทำงาน ซึ่งจะทำให้เกิดการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งภายในและภายนอกร่างกาย

รูปที่ 63



การสื่อสารข้อมูลในระบบประสาท

เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะประกอบด้วย ตัวเซลล์ (Cell Body) และแขนงที่แยกออกจากตัวเซลล์ซึ่งได้แก่ แอกซอน (Axon) และ เดนไดรต์ (Dendrite) แสดงดังรูปที่ 64 แอกซอนมีจุดเริ่มต้นจากบริเวณส่วนที่หนาที่สุดของเซลล์ประสาทที่เรียกว่า Axon Hillock เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะมีแอกซอนเพียงหนึ่งอันปลายของแอกซอนจะแยกเป็นแขนงหลายเส้นและไปสิ้นสุดที่

รูปที่ 64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีพิเศษที่ขออนุญาตเป็นพิเศษ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้



Terminal Buttons Receptor Zone

โครงสร้างของเซลล์ประสาทและการส่งสัญญาณกระแสประสาท

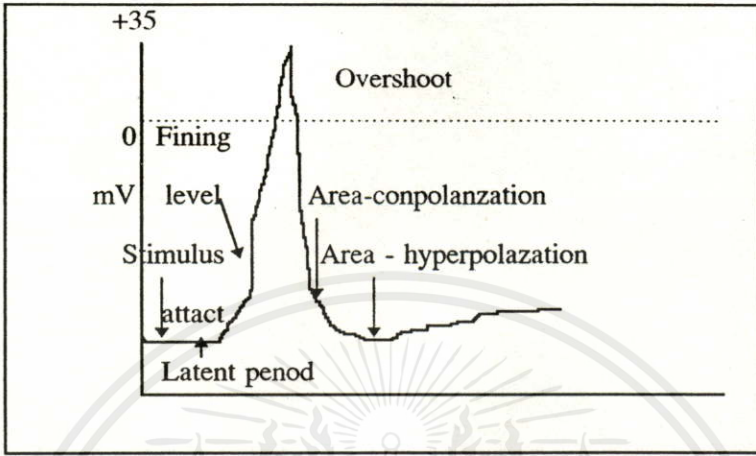
Terminal Bottons และที่จุดสิ้นสุดนี้จะมีตัวรับกระแสประสาท (Nerve Impulse) ที่เรียกว่า Receptor Zone ซึ่งต่ออยู่กับเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทตัวอื่น กระแสประสาทหรือข้อมูลที่อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเคมี จะไปกระตุ้นให้ตัวเซลล์ส่งเซลล์ประสาทตัวอื่น และเดนไดรต์จะทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากเซลล์อื่นเข้าสู่ตัวเซลล์

คุณสมบัติของเซลล์ประสาทโดยทั่วไปคือ จะมีความไวต่อการถูกระตุ้น เมื่อเซลล์ประสาทถูกระตุ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมมูลย์ของไอออนบริเวณ Receptor Zone ซึ่งจะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้น และเมื่อความต่างศักย์ของจุดนี้สูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ก็จะทำให้เกิดการส่งสัญญาณกระแสประสาทไปยังเซลล์อื่น

ความต่างศักย์ของเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทขณะพักประมาณ -60 ถึง -90 mV ถ้ามีการกระตุ้นเซลล์ประสาทจะมีการแก้โพลาไรซ์ (Depolarization) ของเยื่อหุ้มเซลล์ และหลังจากเกิดการแก้โพลาไรซ์จนความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 15 mV แล้ว จะทำให้อัตราการแก้โพลาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจุดนี้จะเรียกว่า Firing Level แสดงดังรูปที่ 65 เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (35 mV) จะทำให้อัตราการแก้โพลาไรซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว (70%) และจะค่อย ๆ ลดลงกลับเข้าสู่ภาวะปกติ หลังจากเข้าสู่ภาวะปกติแล้วความต่างศักย์จะลดลงต่ำกว่าระดับปกติซึ่งจะเรียกช่วงนี้ว่า After Hyperpolarization ลำดับของการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ทั้งหมดนี้เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน (After Potential)

กระแสประสาทที่ส่งผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งจะต้องผ่านรอยต่อระหว่าง Terminal Botton และ Receptor Zone ซึ่งจะเรียกรอยต่อนี้ว่า ซิแนปส์ (Synapse) การส่งผ่านกระแสประสาทกันระหว่างเซลล์ (Neurotransmission) ซิแนปส์จะปล่อยสารเคมีเพื่อไปกระตุ้น (Excitatory) สำหรับบางกรณีและบางกรณีก็ปล่อยสารเคมีเพื่อยับยั้ง (Inhibitory) และในขณะใดขณะหนึ่งซิแนปส์จะยอมให้เกิดขึ้นเพียงกรณีเดียวเท่านั้น คือถ้าไม่กระตุ้นก็จะปล่อยสารเพื่อยับยั้งการส่งผ่านกระแสประสาท ในรูปที่ 66 แสดงสภาวะต่าง ๆ ของเซลล์ประสาท ในกรณีที่ซิแนปส์เกิดสภาวะกระตุ้นความต่างศักย์ระหว่างผนังเซลล์จะลดลงเป็น -58 mV จะทำให้เกิดการแก้โพลาไรซ์ขึ้น ซึ่งถ้าสูงพอถึงภาวะ Firing Level ก็จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานขึ้น และการที่จะเกิดสภาวะเช่นนี้ขึ้นได้จะต้องอาศัยซิแนปส์ 10 ถึงหลายร้อยตัวในเวลาเดียวกัน โดยขบวนการ Summation ซึ่งซิแนปส์เพียงตัวเดียวจะไม่สามารถกระตุ้นเซลล์ประสาทให้ถึงภาวะ Firing Level ได้ ในรูปที่ 66 แสดงศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานที่เกิดขึ้นจากการรวมกันของซิแนปส์จำนวนต่าง ๆ กัน

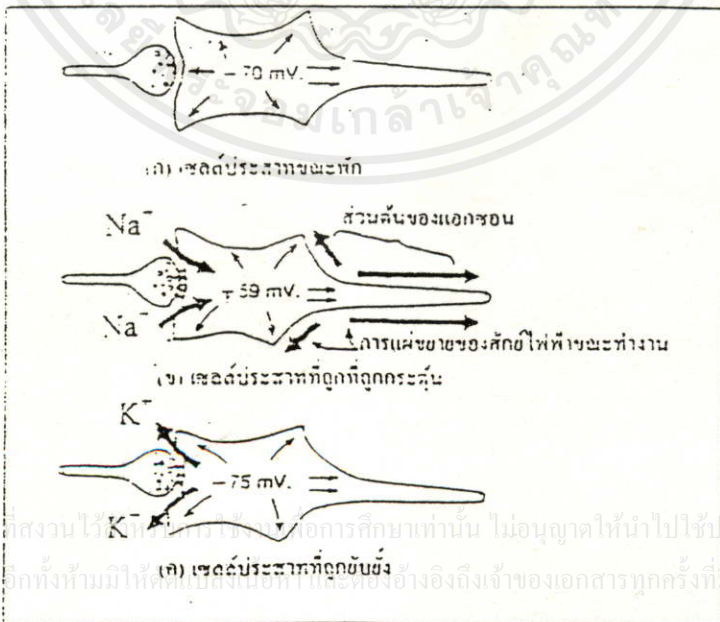
รูปที่ 65



แสดงลักษณะการเกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน

ในสภาวะกระตุ้นจะทำให้เกิดการส่งผ่านสัญญาณกระแสประสาทไอออนของโซเดียม (Na), โพแทสเซียม(K) และ (Cl) จะซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้มากขึ้น ส่วนในสภาวะยับยั้งโพแทสเซียมและคลอไรด์จะไหลออกจากเซลล์และโซเดียมไม่มีการไหลเข้าเซลล์ซึ่งเป็นเหตุให้ประจุบวก

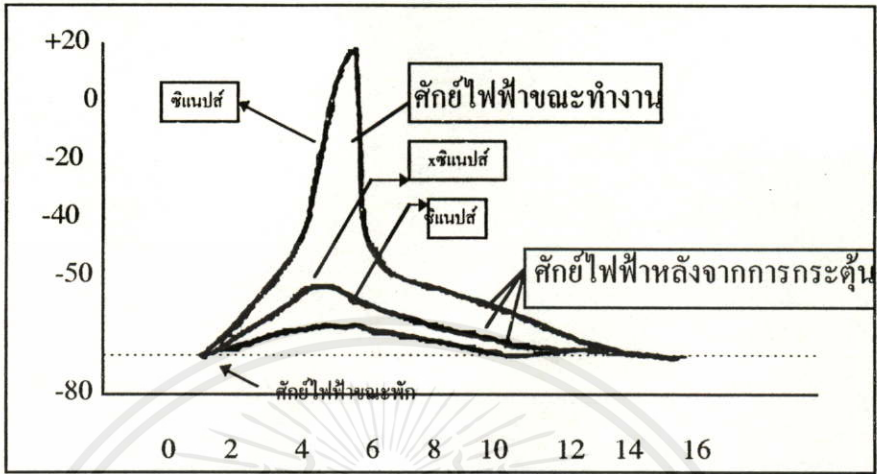
รูปที่ 66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ให้ใช้เพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งที่มีที่กระตือรือร้นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงภาวะต่างๆของเซลล์ประสาท (ก) ขณะพัก,(ข)ขณะกระตุ้น,และ(ค) ขณะถูกยับยั้ง

รูปที่ 67



แสดงศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานที่เกิดจากการรวมกันของซิแนปส์

ภายในเซลล์เป็นลบมากขึ้น (ประมาณ -75mV) ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์ประสาทถูกกระตุ้นยากขึ้นกว่าปกติ คือต้องใช้ความต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็น 16mV จึงจะสามารถกระตุ้นเซลล์ประสาทให้ถึง Firing Level ได้ ซึ่งระยะนี้จะเรียกว่าระยะการคือ (Refractory Period)

4.3 แบบจำลองโครงข่ายเซลล์ประสาท

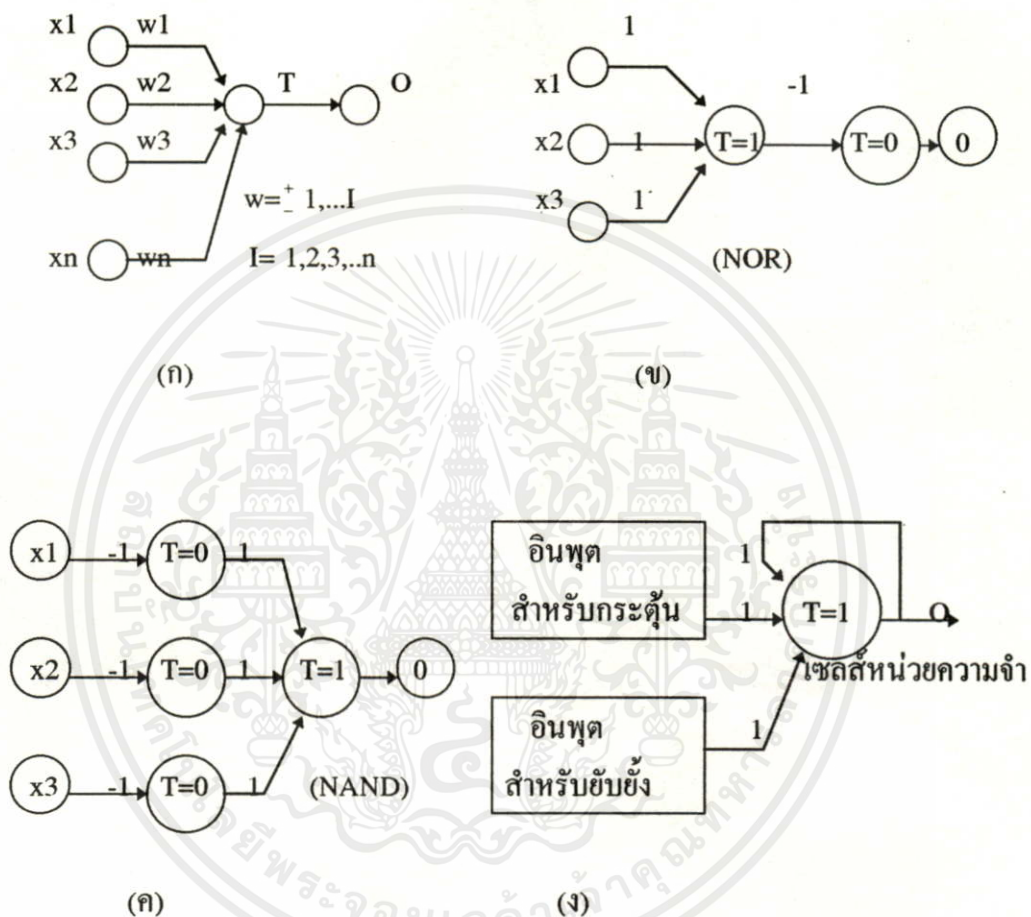
ในหัวข้อที่แล้วเราได้กล่าวถึงการทำงานของระบบประสาทโดยทั่วไป ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในหัวข้อนี้จะมาพิจารณากันถึงระบบการทำงานของแบบจำลองระบบประสาทที่จะใช้ในการประมวลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้ควบคุม (รักษาสมดุล) ระบบต่าง ๆ แบบจำลองที่จะกล่าวมาเป็นแบบแรกในที่นี้ถูกเสนอโดย McCulloch และ Pitts ในปีค.ศ. 1943 ซึ่งระบบของเซลล์ประสาทแสดงในภาพที่ 68k อินพุต x (สำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, n$) จะมีค่าเป็น $\{0,1\}$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตสัญญาณจากเซลล์อื่นในขณะนั้นว่าจะมีหรือไม่มีสัญญาณ ส่วนสัญญาณที่จะส่งต่อไปยังเซลล์ถัดไปซึ่งเป็นเซลล์ลำแดงผล (เซลล์ของผลลัพธ์ จะแทนด้วย O) และ Firing Level ของแบบจำลองนี้ถูกจำลองโดย

$$O^{k+1} = \begin{cases} 1: & \text{ถ้า } \sum_{i=1}^n w_i x_i^k \geq T \\ 0: & \sum_{i=1}^n w_i x_i^k < T \end{cases} \dots\dots\dots 50$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เป็นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ โดยที่ $k = 0,1,2,\dots$ เป็นช่วงเวลาที่ไม่ต่อเนื่อง w เป็นค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อกับอินพุตที่ i ซึ่งถ้า $w = +1$ แสดงถึงสภาวะการกระตุ้นของซิแนปส์ และถ้า $w = -1$ ซิแนปส์จะมีการยับยั้ง

การส่งผ่านสัญญาณและ T เป็นค่าความต่างศักย์เทรซโฮลด์หรือขีดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งถ้าผลรวมของผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักกับสัญญาณอินพุตจะต้องมากกว่า T จึงจะมีสัญญาณผ่านไปยังเซลล์อื่นได้

รูปที่ 68

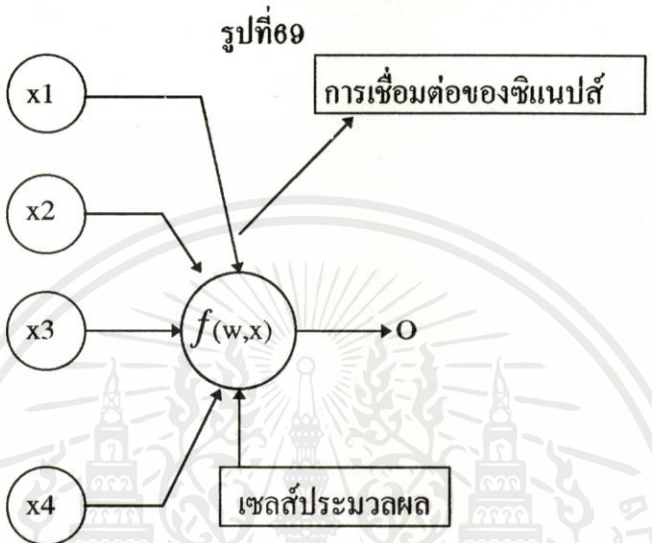


แบบจำลองเซลล์ประสาทของ McCulloch-Pitts และโครงข่ายลอจิกพื้นฐาน

(ก) โค้ดแกรมแบบจำลอง (ข) เกต NOR (ค) เกต NAND (ง) เซลล์หน่วยความทรงจำ

แบบจำลองของ McCulloch-Pitts แม้จะเป็นโครงข่ายแบบง่ายๆ แต่แบบจำลองนี้สามารถใช้แทนตัวดำเนินการทางลอจิกได้ คือตัวดำเนินการ NOT . OR. และ AND เมื่อเรากำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและค่าเทรซโฮลด์ที่เหมาะสมกับโครงข่าย ในรูปที่ 68(ข) หรือ 68(ค) เป็นแบบจำลองที่ใช้ตัวดำเนินการซึ่งเป็น Gates ที่ใช้ในพีชคณิตบูลีนคือ NOR หรือ NAND ซึ่งมีอินพุตสามตัว และในรูปที่ 68(ง) เป็นเซลล์ที่แทนหน่วยความทรงจำซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีการป้อนกลับจากเอาต์พุท

ANN ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นแบบจำลองที่ใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาแบบจำลองและระบบการเรียนรู้ชนิดต่างๆที่กล่าวต่อไปซึ่งโครงข่ายนี้จะคล้ายกับแบบจำลองของMcCulloch-Pittsส่วนที่ต่างกันคือค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในแบบจำลองเนื่องจากค่าตัวแปรในแบบจำลอง ANN เป็นเลขจำนวนจริงและค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการเรียนรู้ซึ่งแบบจำลองนี้แสดงในรูปที่69



แบบจำลองโครงข่ายเซลล์ประสาทเทียม

จากรูปที่69 แสดงโครงข่ายการเชื่อมต่อของแบบจำลองเซลล์ประสาทที่สามารถสอนให้โครงข่ายตัดสินใจได้โดยมี X เป็นสัญญาณอินพุต และ W เป็นค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการสอนโครงข่าย และแต่ละโหนดในโครงข่ายจะใช้แทนเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่าหน่วยประมวลผลพื้นฐาน (Process Element Unit) และมีซินแนปส์ซึ่งจะเชื่อมต่อโหนดเพื่อใช้ในการส่งผ่านสัญญาณ การกระตุ้นหรือยับยั้งสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนัก W และสำหรับสัญญาณเอาต์พุตสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$O = f(W'X) \dots\dots\dots 51$$

โดยที่ W เป็นเวกเตอร์ของค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

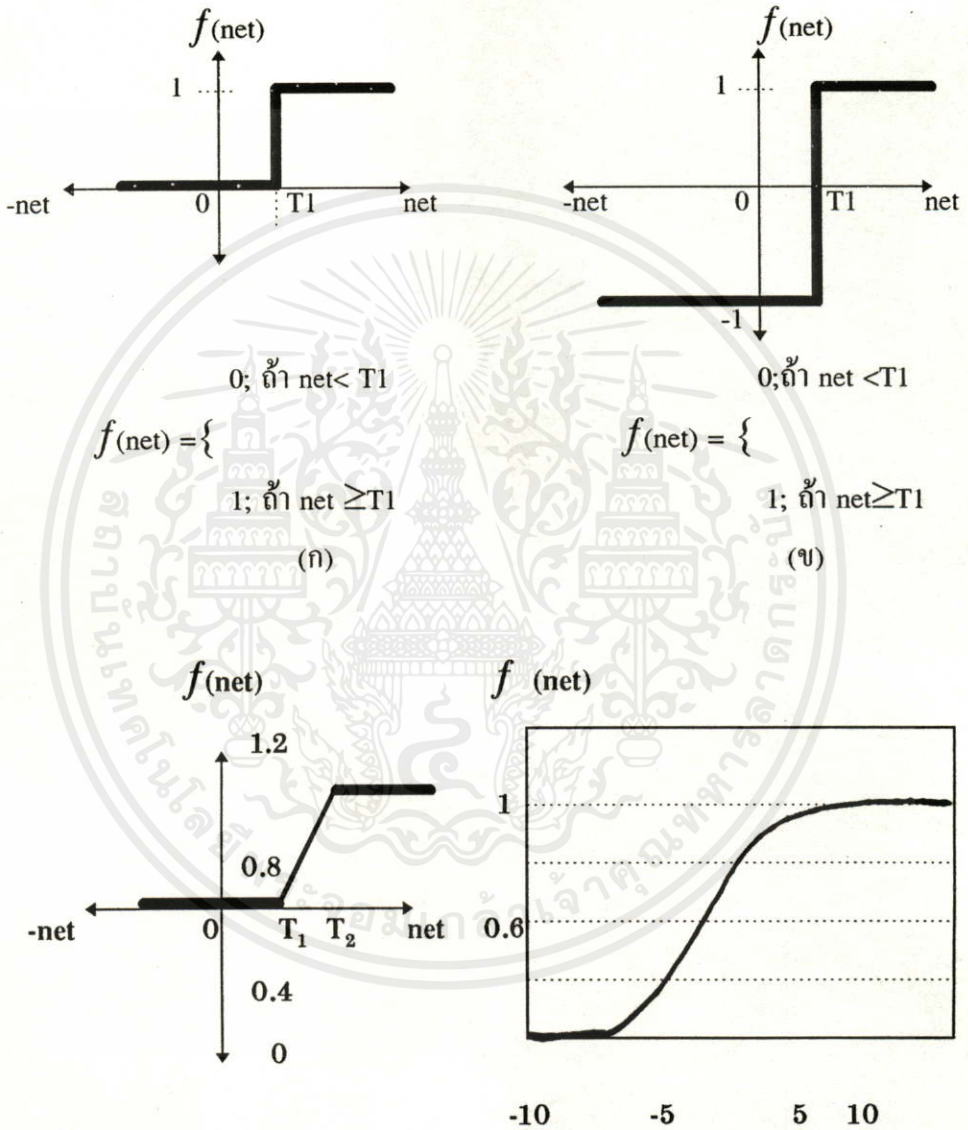
$$W \equiv [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]' \dots\dots\dots 52$$

และ X เป็นเวกเตอร์อินพุต $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]'$ เมื่อ t เป็นตัวดำเนินการทรานสโพสต์ของเมตริกซ์ฟังก์ชันกำหนดสัญญาณเอาต์พุตในสมการที่ 51 ถูกเรียกว่าฟังก์ชันการเร่งเร้าหรือแอกติเวชันฟังก์ชัน (Activation Function)[5]ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับกราฟของศักย์ไฟฟ้า

ขณะทำงานในรูปที่ 70 Activation Function มีด้วยกันสองชนิดคือ ชนิดที่เป็นเชิงเส้นและชนิดไม่เป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 70

กำหนดให้ $net = W'X = \sum_{i=1}^n w_i x_i$ และ T_1, T_2 เป็นค่าเทรชโฮลด์

รูปที่ 70



$$f(net) = \begin{cases} 0; & \text{ถ้า } net < T_1 \\ 1; & \text{ถ้า } net \geq T_1 \end{cases} \quad (\text{ก})$$

$$f(net) = \begin{cases} 0; & \text{ถ้า } net < T_1 \\ 1; & \text{ถ้า } net \geq T_1 \end{cases} \quad (\text{ข})$$

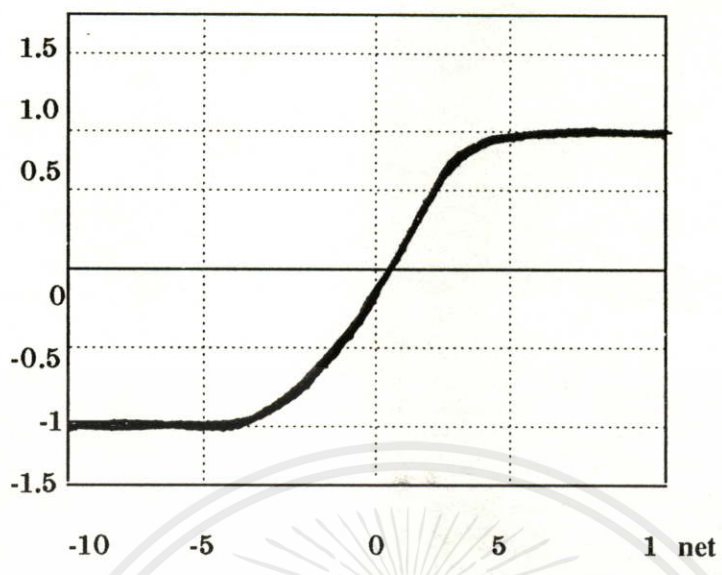
$$f(net) = \begin{cases} 1; & \text{ถ้า } net \geq T_2 \\ \frac{1}{T_2 - T_1} (T_2 - net); & \text{ถ้า } T_1 \leq net < T_2 \\ 0; & \text{ถ้า } net < T_1 \end{cases}$$

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 0; ถ้า $net < T_1$ ปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค)

(ง)



$$f(\text{net}) = \frac{2}{1 + e^{-\text{net}}} - 1$$

(จ)

Activation Funcion แบบชนิดต่างๆ (ก) Threshold Logic (ข) Bipolar Binary (ค) Linear Threshold (ง) Sigmoid (จ) Bipolar Continuous

สำหรับ Activation Function ในรูปที่70ที่เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (ภาพที่70(ก-ค)และแบบต่อเนื่อง (รูปที่70(ง-จ) ค่าที่ได้จากฟังก์ชันเหล่านี้มีสองลักษณะ[5][6]คือ สองสภาพขั้วหรือ โพลาร์ (Bipolar) ซึ่งโดเมนของ $f(\text{net})$ จะอยู่ในช่วงปิด $[-1,1]$ และหนึ่งสภาพขั้วหรือ ยูนิโพลาร์ (Unipolar) ซึ่งโดเมนของ $f(\text{net})$ จะอยู่ในช่วงปิด $[0,1]$ การที่จะกำหนดว่า Activation Funcion ใดคุณสมบัติที่สุดคงเป็นไปได้ เนื่องจาก ANNS ไม่มีโครงข่ายที่แน่นอน นั่นคือโครงข่ายหนึ่งจะใช้ได้กับปัญหาใดปัญหาหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการเลือก Activation Funcion ใดจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ

4.4 การเรียนรู้ของโครงข่าย

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด การเรียนรู้ของ ANNS จะมีประสิทธิภาพเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายซึ่งการสอน (Training) โครงข่ายก็คือการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้แก่โครงข่ายนั้นๆ
 วิธีการสอน ANNS มีอยู่สองแบบด้วยกัน คือ

4.4.1 การสอนแบบชี้นำหรือดูแล (Supervised Learning) การสอนโดยวิธีนี้จะกำหนด เขตของการสอนให้กับโครงข่ายซึ่งเซตนี้ประกอบด้วยอินพุต และเอาต์พุตที่ต้องการ (Output Desired) เมื่อป้อนอินพุตให้กับโครงข่ายๆ ก็จะทำให้การประมวลผลจนได้คำตอบและค่าถ่วงน้ำหนัก สำหรับคำตอบที่ได้จากโครงข่ายจะถูกนำมา คำนวณค่าความผิดพลาดโดยวัดเป็นระยะทางว่ามีความห่างจากคำตอบที่ต้องการของอินพุตในชุดเดียวกันมากน้อยเพียงใด ถ้ายังมีความผิดพลาดสูงอยู่ก็จะมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และทำการสอนต่อไปจนกว่าค่าความผิดพลาดระหว่างค่าคำตอบของโครงข่ายกับเอาต์พุตที่ต้องการมีค่าน้อยพอที่จะรับได้จึงหยุดการสอนและค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้ก็จะเป็นเหมือนฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงข้อมูล

4.4.2 การสอนแบบที่ไม่มีการชี้นำและไม่มีการดูแล (Unsupervised Learning) การสอนโดยวิธีนี้จะป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่ายและภายในโครงข่ายจะมีเอาต์พุตโหนดอยู่หลายโหนดด้วยกัน โดยแต่ละโหนดจะแทนกลุ่มของข้อมูลที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เมื่อป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่ายๆ จะคำนวณค่าความสัมพันธ์ที่มีอยู่ภายในเซตของอินพุตโดยอาศัยค่าความถ่วงน้ำหนักเป็นตัวแยกความแตกต่างของอินพุตไปเก็บไว้ในโหนดเอาต์พุตของโครงข่าย การสอนโดยวิธีนี้จะไม่สามารถระบุได้ว่าเอาต์พุตโหนดใดเป็นของข้อมูลกลุ่มไหน ผู้ใช้จะต้องกำหนดเอง ซึ่งต่างจากการสอนชี้นำที่โครงข่ายสามารถระบุกลุ่มของเอาต์พุตได้แน่นอน

การสอนโครงข่ายเซลล์ประสาทจำลอง เป็นการหาฟังก์ชันการแปลงและฟังก์ชันการแปลงที่ได้จะมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งฟังก์ชันการแปลงของ ANN ในที่นี้คือเซตของค่าความถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย ดังนั้นฟังก์ชันการแปลงจะมีศักยภาพมากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายนั้นๆว่ามีเสถียรภาพมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายนั้นๆว่ามีเสถียรภาพมากน้อยเพียงใด และค่าถ่วงน้ำหนักคำนวณได้จากการสอนโครงข่าย ซึ่งการสอนโครงข่ายมีหลายแบบด้วยกันเช่น กฎการสอนของ Hebb , กฎการสอนแบบ Perceptron ของ Rosenblatt, กฎการสอนแบบเคลดำ, กฎการสอนของ Widrow-Hoff กฎการสอนโดยใช้สหสัมพันธ์, กฎการสอนแบบ Winner-Take-All, และกฎการสอนแบบ Outstar ของ Grossberg ในตารางที่ 12 ได้สรุปกฎการสอนโครงข่ายของวิธีต่างๆไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12

กฎการสอน	การปรับค่าถ่วงน้ำหนัก	ค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก	การสอน	Activation Function
Hebb	$\Delta w_{ij} = cf(W_i'X)x_i$	0	U	Any
Preceptron	$\Delta w_{ij} = c(d_i - f(W_i'X))x_j$	จำนวนจริงใด ๆ	S	Binary Bipolar of Binary Unipolar
Delta	$\Delta w_i = c(d_i - o_i)f(W_i'X)X$	จำนวนจริงใด ๆ	S	ฟังก์ชันต่อเนื่อง
Widrow - Hoff	$\Delta w_{ij} = c(d_i - (W_i'X))x_j$	จำนวนจริงใด ๆ	S	Any
Correlation	$\Delta w_{ij} = cd_i x_j$	0	S	Any
Winner - Take-All	$\Delta w_{mj} = c(x_j - w_{mj})$ m : โหนดที่เป็น Winner	Random Normalized	U	ฟังก์ชันต่อเนื่อง
Outstat	$\Delta w_{ij} = c(d_i - w_{ij})$	0	S	ฟังก์ชันต่อเนื่อง

แสดงการปรับค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับกฎการสอนแบบต่างๆ

c เป็นค่าคงที่ของอัตราการเรียนรู้

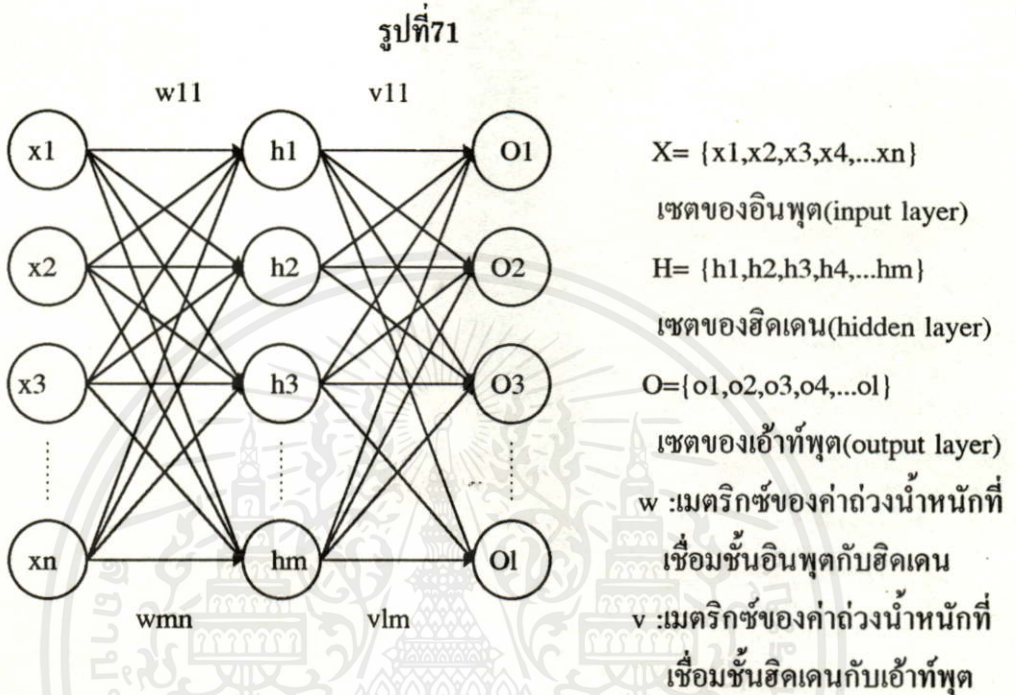
S การสอนแบบชี้แนะ, U : การสอนแบบไม่มีการชี้แนะ

Δw_{ij} ค่าถ่วงน้ำหนักที่ถูกปรับค่าและมีการเชื่อมต่อระหว่างอินพุตโหนดที่ i และ เอาต์พุตโหนดที่ j

4.5 การแพร่กระจายกลับ

การแพร่กระจายกลับหรือแบคโพรพาเกชัน (Back-Propagation) เป็นขั้นตอนที่ใช้สอนโครงข่ายแบบ Multiayer Perceptron ซึ่งเป็นแบบจำลองโครงข่ายเซลล์ประสาทที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายแบบเป็นชั้น ๆ ดังในรูปที่ 71 ซึ่งโครงข่ายนี้มีการเชื่อมโยงกัน 3 ชั้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นของอินพุตซึ่งมีเซลล์ประสาทอยู่ N โหนด ถัดมาเป็นชั้นของฮิดเดนหรือชั้นภายใน (Hidden Layer) ซึ่งประกอบด้วยโหนดต่าง ๆ จำนวน M โหนด และสุดท้ายคือชั้นของเอาต์พุตซึ่งมีโหนดต่าง ๆ อยู่ L โหนด โครงข่ายแบบ Multilayer Perceptron ในรูปที่ 71 แต่ละโหนดในชั้นเดียวกันจะไม่มี การเชื่อมโยงกันจะมีเฉพาะระหว่างชั้นเท่านั้น และการเชื่อม

เหมือนในรูปที่ 71 อาจจะมีจำนวนชั้นมากกว่านี้ก็ได้ซึ่งอาจมีสี่ชั้น โดยการเพิ่มชั้นฮิดเดนเข้าไปอีกหนึ่งชั้น หรือถ้าต้องการจำนวนชั้นมากกว่านี้ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มชั้นของฮิดเดน



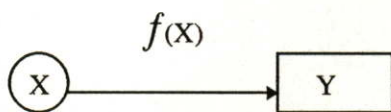
แสดงโครงข่าย Multilayer Perceptron ที่มี 3 ชั้น

ซึ่งโครงข่ายนี้มีการเชื่อมโยงกัน 3 ชั้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นของอินพุตซึ่งมีเซลล์ประสาทอยู่ N โหนด ถัดมาเป็นชั้นของฮิดเดนหรือชั้นภายใน (Hidden Layer) ซึ่งประกอบด้วยโหนดต่าง ๆ จำนวน M โหนด และสุดท้ายคือชั้นของเอาต์พุตซึ่งมีโหนดต่าง ๆ อยู่ L โหนด โครงข่ายแบบ Multilayer Perceptron ในรูปที่ 71 แต่ละโหนดในชั้นเดียวกันจะไม่มี การเชื่อมโยงกันจะมี เฉพาะระหว่างชั้นเท่านั้น และการเชื่อมโยงนี้จะต่อถึงกันทุกโหนด โครงข่ายแบบ Multilayer Perceptron ไม่จำเป็นต้องมีสามชั้นเหมือนในรูปที่ 71 อาจจะมีจำนวนชั้นมากกว่านี้ก็ได้ซึ่งอาจ มีสี่ชั้น โดยการเพิ่มชั้นฮิดเดนเข้าไปอีกหนึ่งชั้น หรือถ้าต้องการจำนวนชั้นมากกว่านี้ก็สามารถ ทำได้โดยการเพิ่มชั้นของฮิดเดน

ชั้นฮิดเดน เป็นตัวเพิ่มความสามารถให้แก่โครงข่ายเซลล์ประสาท โครงข่ายแบบ Multilayer Perceptron ถ้าไม่มีชั้นฮิดเดนก็จะกลายเป็นโครงข่ายแบบ Perceptron อย่างเช่น โครงข่ายแบบ Perceptron ที่เสนอโดย Rosenblatt ซึ่ง Minsky และ Papert ได้แสดงให้เห็น ว่าโครงข่ายเซลล์ประสาท จำลองนี้เป็นโครงข่ายที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต

ในลักษณะเชิงเส้นซึ่งไม่สามารถจะแก้ปัญหาเอ็กคลูซีฟ (Exclusive OR : XOR) ได้ในกรณี
ที่ไม่มีชั้นฮิดเดนความสัมพันธ์ของฟังก์ชันการแปลงดังแสดงในตัวอย่างข้างล่างนี้

รูปที่ 72



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y

จากรูปที่ 72 เมื่อ X เป็นตัวแปรอิสระ Y เป็นตัวแปรตามและ $f(X)$ เป็นฟังก์ชันการแปลงจาก X ไปยัง Y ในกรณีที่ X เป็นการเป็นอิสระต่อกันแบบเชิงเส้น (Linearly Independent) เราสามารถคำนวณฟังก์ชันการแปลง $f(X)$ ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้า $\alpha_1 = \{0, 1\}$ และ $\alpha_2 = \{1, 0\}$ เมื่อ $X = [\alpha_1, \alpha_2]$ และ $Y' = [1, 1]$ ดังนั้นเราสามารถคำนวณฟังก์ชันการแปลงได้ ดังนี้

$$X \cdot f(X) = Y \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

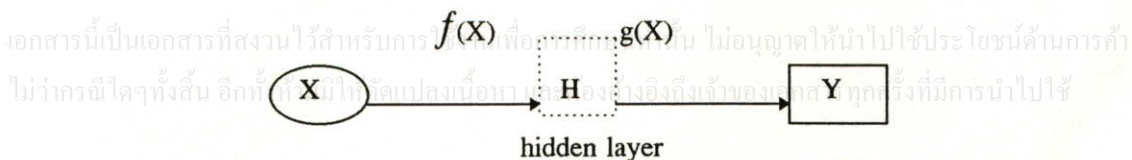
เมื่อฟังก์ชันการแปลง $f(X) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ แต่ถ้าตัวแปร X ไม่เป็นอิสระต่อกันแบบเชิงเส้น

(Linearly Dependent) เราไม่สามารถจะกำหนดฟังก์ชันการแปลง $f(X)$ ได้เช่นถ้า

$\alpha_1 = \{0, 0\}$ และ $\alpha_2 = \{1, 1\}$ เมื่อ $X = [\alpha_1, \alpha_2]$ และ $Y' = [1, 1]$ จะได้ว่า $X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

ซึ่งในกรณีนี้เราไม่สามารถคำนวณฟังก์ชัน $f(X)$ ที่สอดคล้องกับ Y ได้ และในกรณีนี้จะเหมือนกับปัญหา XOR แต่ถ้าเพิ่มชั้นฮิดเดนเข้าไปในรูปที่ 72 จะทำให้สามารถแก้ปัญหาที่เป็น Linearly Dependent นี้ได้ (ดูรูปที่ 73)

รูปที่ 73



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับ Y โดยมีชั้นฮิดเดนเป็นตัวเชื่อม

ในการหาความสัมพันธ์จาก X ไปยัง Y โดยใช้ชั้นของฮิดเดนในทาง ANN จะทำให้ฟังก์ชัน $f(X)$ และ $g(X)$ ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่ง $f(X)$ และ $g(X)$ ในที่นี้ก็คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการสอนโครงข่ายนั่นเอง การที่จะกำหนดชั้นของฮิดเดนว่าในโครงข่ายหนึ่ง ๆ ควรมีฮิดเดนกี่ชั้น และแต่ละชั้นประกอบด้วยกี่โหนดนั้นไม่มีกฎเกณฑ์หรือทฤษฎีที่แน่นอน ดังนั้นการกำหนดจำนวนชั้นและจำนวนโหนดของแต่ละชั้นของฮิดเดนสามารถทำได้โดยการทดลอง

4.6 วิธีการของกฎเดลต้าเอนกประสงค์

กฎเดลต้า (Delta Rule) ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สอนโครงข่ายเซลล์ประสาทจำลอง ซึ่งครั้งแรกใช้ในการสอนโครงข่ายเซลล์ประสาทจำลอง Perceptron ซึ่งจะเป็นการสอน Perceptron แบบต่อเนื่องและต่อมาได้พัฒนาการสอนเซลล์ให้ใช้ได้กับโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อกันหลายชั้นอย่าง Multilayer perceptron จึงเรียกกฎเดลต้าที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่นี้ว่า กฎเดลต้าเอนกประสงค์ (Generalized Delta Rule: GDR)

ขั้นตอนการสอนโครงข่าย Multilayer Perceptron จะเรียกว่า ขั้นตอนการสอนแบบค่าความผิดพลาดแพร่กระจายกลับหรือ Error Back-propagation ซึ่งเป็นการแพร่กระจายของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในชั้นเอาต์พุตที่ต้องการกับเอาต์พุตที่คำนวณได้ โดยคำนวณย้อนกลับจากชั้นเอาต์พุตผ่านชั้นฮิดเดนตลอดมาจนถึงชั้นอินพุตเพื่อทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจากรูปที่ 71 เมื่อทำการสอนโครงข่ายนี้ ซึ่งมีการสอนแบบซ้ำๆ ดังนั้นในการสอนจะต้องป้อนเซตของข้อมูลที่จะใช้สอนซึ่งประกอบด้วยเซตของอินพุต และเซตของเอาต์พุตที่ต้องการซึ่งจะสอดคล้องกับเซตของอินพุต กำหนดให้ P เป็นจำนวนเซตทั้งหมดที่ใช้ในการสอนโครงข่าย ดังนั้นเซตของอินพุตและเอาต์พุตที่ต้องการทั้งจะมีอยู่ P เซต, ถ้าให้ D เป็นเซตของเอาต์พุตที่ต้องการจะได้ว่า $D_p = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_L\}$ เมื่อ $p = 1, 2, 3, \dots, P$

W เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นของอินพุตกับชั้นฮิดเดนซึ่ง W มีขนาด M แถวและ N คอลัมน์

V เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นฮิดเดนไปยังชั้นเอาต์พุต ซึ่งมีขนาด L แถว และ N คอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & \cdots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & \cdots & W_{2n} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & \cdots & W_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ W_{M1} & W_{M2} & W_{M3} & \cdots & W_{MN} \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & \cdots & V_{1m} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & \cdots & V_{2m} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} & \cdots & V_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ V_{L1} & V_{L2} & V_{L3} & \cdots & V_{LM} \end{bmatrix}$$

และ $f(\text{net})$ เป็น Activation Function ใด ๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 71

เมื่อทำการป้อนเซตของข้อมูลที่ใช้สอนเข้าสู่โครงข่าย จะสามารถคำนวณโหนดของฮิดเดนที่ m ได้ ดังนี้

$$\text{net}_m = \sum_{n=1}^N w_{mn} x_n \quad \dots\dots\dots 53$$

$$h_m = f(\text{net}_m)$$

และสามารถคำนวณเอาท์พุทโหนดที่ 1 ได้ดังนี้

$$\text{net}_t = \sum_{m=1}^N v_{1m} k_m \quad \dots\dots\dots 54$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $O_1 = f(\text{net}_1)$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณชั้นของเอาต์พุตครบทุกโหนดแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายโดยใช้ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ระหว่างค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการของแพทเทิร์นที่ p ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (O_{pi} - d_{pi})^2 \dots\dots\dots 55$$

ดังนั้นในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นเอาต์พุตกับชั้นฮิดเดน สำหรับแพทเทิร์นที่ p (H_p) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta V = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial V} \dots\dots\dots 56$$

$$= \alpha V + \eta \delta_p^V H_p$$

โดยที่ $\delta_p^V = (Dp - Op)Op(1 - Op)$ ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนภายในชั้นของเอาต์พุต

α เป็นค่าโมเมนตัม

η เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ซึ่งเป็นค่าคงที่

และการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นฮิดเดนกับชั้นอินพุตสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta W = \alpha W + \eta \delta_p^W X_p \dots\dots\dots 57$$

โดยที่ $\delta_p^W = Hp(1 - Hp)(\delta_p^V)$ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนภายในชั้นฮิดเดน สำหรับ α และ η จะมีคุณสมบัติเหมือนกับสมการที่ 56

ในกรณีที่มีโครงข่ายมี 1 ชั้นสามารถปรับค่าถ่วงน้ำหนักโดยวิธีค่าความผิดพลาดแพร่กระจายกลับได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และส่งแจ้งจนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta W' = \alpha W' + \eta \delta_p^W X_p^{-1} \dots\dots\dots 58$$

เมื่อ W^i เป็นเมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักที่อยู่ระหว่างชั้นที่ i กับ $i-1$ ($i = 1, 2, 3, \dots, I$), X_p^{i-1} เป็นเซตของอินพุตแพทเทิร์นที่ p จากชั้นที่ $i-1$ และ δ_p^i เป็นเวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อนสำหรับชั้นที่ i สำหรับชั้นเอาต์พุตหรือชั้นที่ 1 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\delta_p^i = (D_p - O_p^i) O_p^i (1 - O_p^i) \dots\dots\dots 59$$

โดยที่ O_p^i คือชั้นของเอาต์พุต และสำหรับความคลาดเคลื่อนของชั้นที่ i ใด ๆ โดยที่ $i \neq I$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\delta_p^i = O_p^i (1 - O_p^i) (\delta_p^{i-1} W^{i-1}) \dots\dots\dots 60$$

โดยที่ O_p^i คือเอาต์พุตชั้นที่ i แพทเทิร์นที่ p และสำหรับ δ_p^{i-1} และ W^{i-1} เป็นค่าความคลาดเคลื่อนและเมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นถัดไป

4.7 ปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการสอนโครงข่ายด้วยวิธี Back-propagation เพิ่มมากขึ้นมีดังนี้

4.7.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก

ก่อนที่จะทำการสอนโครงข่าย Multilayer Perceptron โดยวิธี Error Back-Propagation จำเป็นต้องกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นทุกชั้น โดยค่านี้จะเป็นตัวเลขจำนวนจริงที่มีค่าน้อย ๆ ที่ได้มาจากการสุ่ม ค่าเริ่มต้นของเมตริกซ์เชื่อมโยงจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการสอนและอาจจะส่งผลถึงค่าถ่วงน้ำหนักหลังจากที่ได้สอนโครงข่ายไปแล้วว่าจะมีศักยภาพมากน้อยเพียงใดในการแปลงข้อมูลอินพุตไปสู่เอาต์พุต ในอัลกอริทึมที่ 4-1 แสดงขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนักอัลกอริทึมที่ 4-1 ขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเมตริกซ์ค่าถ่วงน้ำหนัก

กำหนดให้	ROW	เป็นจำนวนแถวของเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก
	COL	เป็นจำนวนคอลัมน์ของเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก
	W	เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นใด ๆ

```
void Initial_Weights (Matrix W, int ROW, int COL)
```

```
    เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
```

```
    for (int i = 0 : i < ROW : ++)
```

```
    ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
```

```
        for (int j = 0 : j < COL: ++)
```

```
            W[i][j] = 1 - random (101)/53.0;
```

4.7.2 อัตราเร็วในการเรียนรู้ (Learn Rate : η) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่านี้จะเป็นค่าคงที่ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05 - 0.25 แต่มีงานวิจัยบางส่วนที่ค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้มีการปรับค่าได้เช่น กำหนดให้อัตราเร็วในการเรียนรู้ผันแปรตามจำนวนรอบที่สอน อัตราเร็วในการเรียนรู้ผันแปรตามค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของระบบ และค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ผันแปรตามค่าความแปรปรวนของแต่ละแพทเทิร์น

4.7.3 โมเมนตัม (Momentum : α) สำหรับกฎการสอนแบบเจเนอรัลไลซ์เซลล์ค่า โดยทั่วไปค่าโมเมนตัมอาจจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ แต่ค่านี้มีคุณสมบัติช่วยป้องกันการแกว่ง (Oscillate) ของระบบ โดยค่านี้จะสัมพันธ์กับค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ คือถ้าอัตราเร็วในการเรียนรู้มีค่ามากแต่ค่าโมเมนตัมมีค่าน้อยจะทำให้ระบบโครงข่ายเกิดการแกว่ง ส่วนกรณีอื่น ๆ โครงข่ายจะไม่เกิดการแกว่งแต่จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการสอน

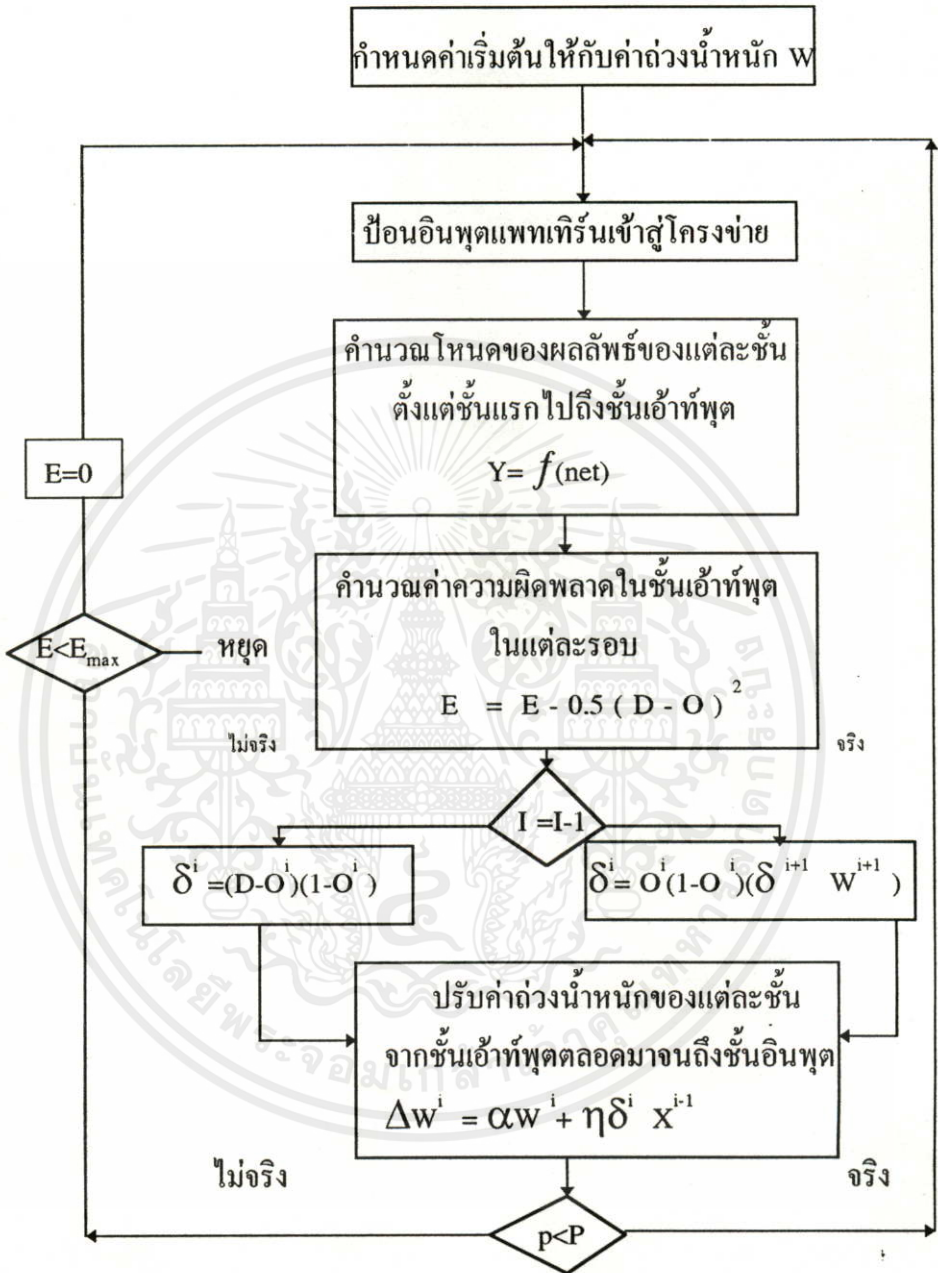
4.7.4 ไบแอส (Bias) โหนดไบแอสสำหรับโครงข่ายโดยทั่วไปอาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ ในกรณีของโครงข่ายที่ใช้ในระบบที่เป็น Real-time แล้วจะไม่ค่อยมีการใช้โหนดไบแอสเนื่องจากจะเสียเวลาในการคำนวณและถ้ามีการออกแบบโครงข่ายอย่างเหมาะสมแล้วทอมไบแอสไม่จำเป็นต้องมี แต่ถ้าโครงข่ายมีจำนวนโหนดไม่เหมาะสมคือมีจำนวนโหนดน้อยไป การเพิ่มโหนดไบแอสเข้าไปจะทำให้โครงข่ายสามารถจดจำได้ดีขึ้น โหนดไบแอสจะถูกเพิ่มเข้าไปเป็นโหนด ๆ หนึ่งในแต่ละชั้น ยกเว้นในชั้นของผลลัพธ์และโหนดไบแอสที่เพิ่มเข้าไปมักจะเป็นค่าคงที่ ผลของการเพิ่มโหนดไบแอสเข้าไปในโครงข่ายจะทำให้ประสิทธิภาพการสอนดีขึ้น

4.8 ขั้นตอนการสอนโครงข่ายประสาทเทียม

การสอนโครงข่าย Multilayer Perceptron ด้วยวิธี Back-propagation มีขั้นตอนการสอนดังอัลกอริทึมที่ 4-2 ซึ่งเป็นโครงข่ายแบบไม่มีไบแอสและในรูปที่ 75 เป็นแผนภูมิของขั้นตอนการสอนของอัลกอริทึมนี้โดยที่ E_{max} เป็นค่าความผิดพลาดที่ต่ำสุดที่พอจะยอมรับได้ ซึ่งในการสอนโครงข่ายในรอบหนึ่ง ๆ (Epoch) ก็คือการสอนชุดของแพทเทิร์นทั้งหมด P แพทเทิร์น ถ้าค่าความผิดพลาดของระบบ E ยังมีค่ามากกว่าค่าความผิดพลาดที่ตั้งไว้ E_{max} ก็จะนำข้อมูลชุดเดิมมาทำการสอนใหม่จนกว่าค่าความผิดพลาด E จะน้อยกว่าค่า E_{max}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนูเชิดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 74



แผนภูมิการสอนแบบ Error Back-propagation ที่มี I ชั้น

อัลกอริทึมที่ 4.2 แสดงขั้นตอนการสอนโครงข่าย โดยวิธี Back-Propagation กำหนดให้

Float *****W; /* W[i][j][k]** เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นที่ i ที่เชื่อมต่อระหว่างอินพุตโหนดที่ k กับเอาต์พุต j โหนด */

Float ****Layer; /* Layer[i][j]** เป็นชั้นที่ i โหนดที่ j */

```

Float  **Delta; /*Delta[i][j] เป็นค่าความผิดพลาดของชั้นที่ i โหนดที่ j */
int     *ROW;  /*ROW[i] ชั้นที่ i มีจำนวนโหนดเท่ากับ ROW[i] */
int     *COL;  /*COL[i] เป็นจำนวนคอลัมน์ของเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนักชั้นที่ i*/
int     I;     /* จำนวนชั้นทั้งหมดของโครงข่าย*/

void    Set_Input_Pattern(Vector X) /*ป้อนเซตของอินพุตเข้าสู่อินพุตของโครงข่าย */
{
    Layer[0] = X;                    /*ป้อนเวกเตอร์อินพุตให้กับเวกเตอร์ของชั้นอินพุต */
}

void    Forward_Propagate()          /*คำนวณผลลัพธ์ของแต่ละชั้น */
{
    Vector input;
    float net;
    for(int I=0; i<(I-1); i++)
    {
        input= Layer[i];
        for (int j=0; j < ROW[j]; j++)
        {
            net = 0;
            for (int k = 0; k < COL[i]; k++)
                net = net + input[k]*W[i][j][k];
            /* คำนวณ โหนดผลลัพธ์โดยใช้ฟังก์ชัน Sigmoid */
            Layer[i+1][j] = 1/(1 + exp(-net));
        }
    }
}

float SSE()                          /* คำนวณค่าความผิดพลาดของชั้นเอาต์พุต */
{
    float sse = 0;
    for(int j = 0; j < ROW[I-1]; j++)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Ep[j] = Layer [I-1][j] * (Dp [j]-Layer[I-1][j] * (1 - Layer[I-1][j]));
    sse = sse + Ep [j] * Ep[j];
}
return sse;
}
void Adjust_Weights() /* ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก */
{
    float sum;
    /* ปรับค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นเอาต์พุต */
    for (int j = 0; j < ROW[I-1]; j++)
        for (int k = 0; k<COL[I-1]; k++)
            W[I-2][j][k] = a * W[I-2][j][k] - h * Ep [j] * Layer[I-2][k];
    /* ปรับค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นเอาต์พุต */
    for (int j = 0; j < COL[I-1]; j++)
        for (int k = 0; k < COL[i]; k++)
            net = net + input[k]* W[i][j][k];
    /* คำนวณ โหนดผลลัพธ์โดยใช้ฟังก์ชัน Sigmoid */
    Layer [i+1][j] = 1 / (1 + exp(-net));
}
}
float SSE() /* คำนวณค่าความผิดพลาดของชั้นเอาต์พุต */
{
    float sse = 0;
    for(int j = 0; j < ROW[I-1]; J++)
    {
        Ep[j] = Layer[I-1][j]* (Dp [j] * (1-Layer [I-1][j]));
        sse = sse + Ep [j]* Ep [j];
    }
    return sse;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบส่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
void Adjust_Weights() /* ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก */
{
    float sum;
    /* ปรับค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นเอาพุท */
    for (int j = 0; j < ROW[I-1]; j++)
        for (int k = 0; k < COL [I-1]; k++)
            W[1-2][j][k] = *W[I-2][j][k] + h * Ep [j] * Layer[I-2][k];

    /* คำนวณค่าความผิดพลาดของชั้นที่ I-1 */
    for (int j = 0; j < COL[I-1]; j++)
    {
        sum = 0;
        for (int k =0; k < ROW[I-1];k++)
            sum += Ep [k] * W[1-2] [k][j];
        Delta[I-2][j] = Layer[I-2][j] * (1- Layer[I-2][j]) * sum;
    }
    /* ปรับค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับชั้นที่ i ใดๆ โดยที่ i ≠ I */
    for (int i = I -3; i >=0; i--)
    {
        for (int j = 0; j < ROW[i]; j++)
            for (int k = 0; k < COL[i]; k++)
                W[i][j][k] = j * W[i][j][k] + h * Deita[i+1][j] * Layer[i][k];

        /* คำนวณค่าความผิดพลาดของชั้นที่ i */
        if ( i > 0)
            for (int j = 0; j < COL [I]; j++)
                sum = 0;

        for (int k = 0; k < ROW[i]; k++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sum += Ep[k] * W[i][k][j];
Delta[i][j] = Layer[i][j] * (1-Layer[i][j]) * sum;
    }
}
}
void Back_Propagation_Training()
{
    for (int i = 0; i < I; i++) /* เป็นจำนวนชั้นทั้งหมดของโครงข่าย */
        Initail_Weights(W[i], ROW[i], COL[i]); /* กำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก */
    ถ้าค่าความผิดพลาดยังมากกว่าค่าความผิดพลาดต่ำสุดที่ตั้งเอาไว้ให้ทำการสอนโครงข่ายต่อไป
    while (Error > ERROR_MIN)
    {
        p = random(P); /* สุ่มแพทเทิร์นที่ p จากแพทเทิร์นที่ใช้สอนทั้งหมด P เซต */
        Set_Input_Pattern(X[P]); /* ป้อนอินพุตแพทเทิร์นที่ p เข้าสู่โครงข่าย */
        Forward_Propagate(); /* คำนวณผลลัพธ์ของแต่ละชั้น */
        error = SSE(); /* คำนวณค่าความผิดพลาด */
        Adjust_Weights(); /* ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก */
    }
}
}

```

เมื่อสอนโครงข่ายจนอยู่ในสถานะที่เสถียรแล้วก็สามารถนำค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้มาหาคำตอบได้ดังอัลกอริทึมที่ 4-3

อัลกอริทึมที่ 4-3 ขั้นตอนการนำค่าถ่วงน้ำหนักมาใช้งาน

```

void Back_Propagation()
{
    for (int p = 0; p < P; p++) /* P เป็นจำนวนแพทเทิร์นทั้งหมดของระบบ */
    {
        Set_Input_Pattern(X[P]); /* ป้อนอินพุตแพทเทิร์นที่ p เข้าสู่โครงข่าย */
        Forward_Propagate(); /* คำนวณผลลัพธ์ของแต่ละชั้น และผลลัพธ์ของระบบ
        ชั้นที่ 1 (Layer[1-i]) */
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การนำข้อมูลจากเซนเซอร์เข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

5.1 บทนำ

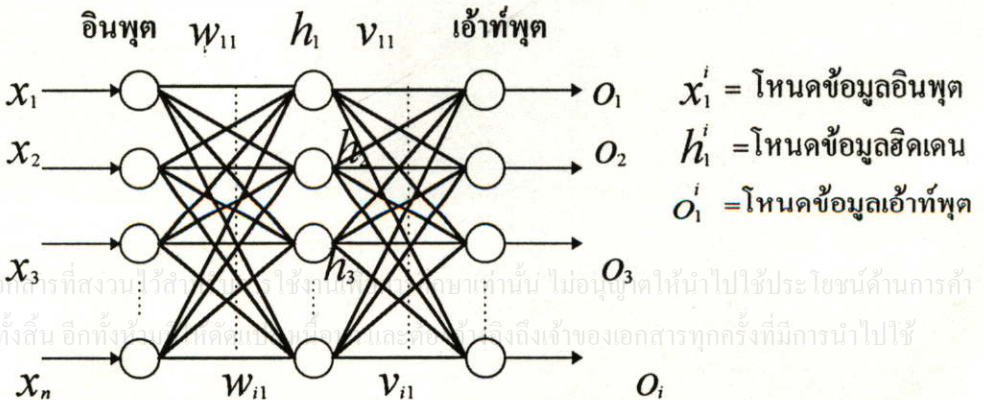
การนำสัญญาณดิจิทัลและอนาล็อกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

จากโครงสร้างของ AGV ซึ่งประกอบด้วยตัวตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนอินพุต อาทิเช่น ตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง, ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอัลตราโซนิก, ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรด, ตัวตรวจจับทางแยก, ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน, ตัวตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่ เป็นต้น และมีส่วนเอาต์พุต คือ มอเตอร์ขับเคลื่อนซ้าย, มอเตอร์ขับเคลื่อนขวา, สัญญาณเสียงขอทาง, ไฟขอทาง, ไฟเลี้ยวซ้ายและขวา เป็นต้น เราจะนำสัญญาณอินพุตทั้งหมดซึ่งแบ่งได้เป็นแบบอนาล็อก และแบบดิจิทัล มาป้อนเป็นส่วนอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ แตกต่างกันไปป้อนให้โครงข่ายประสาทเทียม

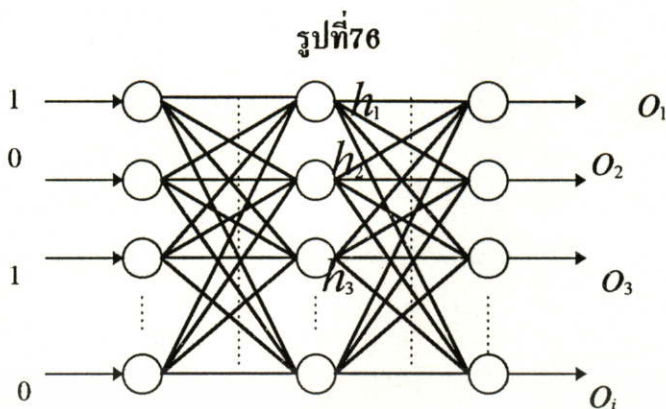
5.2 การนำสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

เนื่องจากสัญญาณทางดิจิทัลมีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเป็นช่วงไม่ต่อเนื่อง (discrete) คือ ลอจิก 1 และลอจิก 0 ดังนั้น จึงสามารถนำเข้าไปเป็นอินพุตของโครงข่ายเทียมได้ โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งสัญญาณ รูปที่ 75 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่าย

รูปที่ 75



แสดงรูปโครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไป



แสดงการนำสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

สัญญาณนำเข้าแบบดิจิทัล คือ มีลอจิกเป็น 0 และลอจิก 1 วงจรที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลมีดังนี้ วงจรตรวจจับทางเดินนำร่องแบบดิจิทัล, วงจรตรวจจับทางเดินนำร่องแบบเมตริกซ์, วงจรตรวจจับความเคลื่อนไหวอุลตราโซนิกแบบดิจิทัล, วงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรด เป็นต้น

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการนำสัญญาณอินพุตแบบดิจิทัล เข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมแสดงดังภาพ 76 จากภาพจะเห็นว่าข้อมูลอินพุตเลขยอร์ มีค่าเป็นแบบดิจิทัลคือเป็นลอจิก 1 และ 0 จากนั้นจะดำเนินวิธีการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะใช้วิธีที่กล่าวแล้วในบทที่ 4 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. ทำการกำหนดค่าน้ำหนัก (weight) โดยใช้วิธีการสุ่ม (random) ด้วยค่าน้อย ๆ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 โดยกำหนดให้ W เป็นเมตริกซ์ ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นอินพุตกับชั้นฮิดเคนซึ่ง W มีขนาด M แถว และ N คอลัมน์

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & \dots & W_{2n} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & \dots & W_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_{M1} & W_{M2} & W_{M3} & \dots & W_{MN} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ V เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นฮิดเคนไปยังชั้นเอาต์พุต ซึ่งมีขนาด L แถว และ M คอลัมน์

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & \dots & V_{1m} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & \dots & V_{2m} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} & \dots & V_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{L1} & V_{L2} & V_{L3} & \dots & V_{LM} \end{bmatrix}$$

เมื่อทำการสุ่มค่าถ่วงน้ำหนักของ W และ V แล้วจะได้ค่าดังตัวอย่าง

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

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

เมื่อได้ค่าเมตริกซ์ W และ V เรียบร้อยแล้วจะทำการอ่านค่าของอินพุตจากไฟล์ข้อกำหนด, หรือจากสัญญาณอินพุตของวงจรดิจิทัลเข้ามาเป็นค่าของอินพุตเลขอร์ X ของโครงข่ายประสาทเทียม ขั้นตอนนี้แสดงดังภาพที่ 77

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

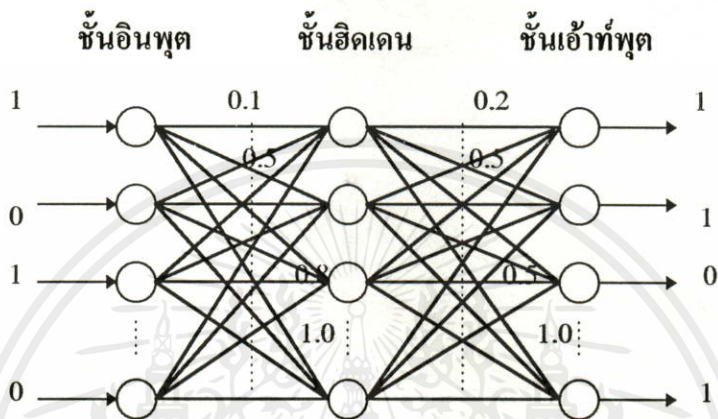
จากนั้นกำหนดค่าเอาต์พุตเป้าหมาย O , ซึ่งมีค่าเป็นดิจิทัล เช่นกัน

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

จากค่าของอินพุตและเอาต์พุตที่นำเข้ามาทำให้เป็นไบโพลาร์คือ ถ้าข้อมูลเดิมเป็น 0 ให้ข้อมูลใหม่เป็น -1 และถ้าข้อมูลเดิมเป็น 1 ให้ข้อมูลใหม่เป็น 1

กำหนดค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่สามารถยอมรับได้เป็น $E = 0.0005$

รูปที่ 77



แสดงการกำหนดค่าในอินพุตเลเยอร์, เอาต์พุตเลเยอร์ และค่าถ่วงน้ำหนัก W, V

2.เมื่อทำการป้อนเซตของข้อมูลที่ใช้สอนเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม จะสามารถคำนวณ โหนดของฮิดเดนที่ m ได้ดังนี้

$$net_m = \sum_{n=1}^N WmnXn$$

net_m คือ ค่ารวมของผลคูณของค่าถ่วงน้ำหนัก W กับค่าอินพุต

ดังนั้น จะได้ค่าของข้อมูลที่ฮิดเดนเลเยอร์ เป็นเมตริกซ์แนวนอน net_m

0.1	0.5	0.8	...	1.0
0.2	0.4	0.3	...	0.0
0.7	0.2	0.2	...	0.0
...
0.7	0.5	0.1	...	0.0

$$net_m = [1 \ 0 \ 1 \ \dots \ 0] \times \text{W matrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณค่า net_1 ในชั้นฮิดเดน

$$\text{net}_1 = [1 \quad -1 \quad 1 \quad \dots \quad -1] \times \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.7 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0.7 \end{bmatrix}$$

$$\text{net}_1 = 1 \times 0.1 + -1 \times 0.2 + 1 \times 0.7 + \dots -1 \times 0.7,$$

เมื่อกำหนดครบทุกค่าแล้วจะได้ค่าเป็นเมตริกซ์ในชั้นฮิดเดน คือ

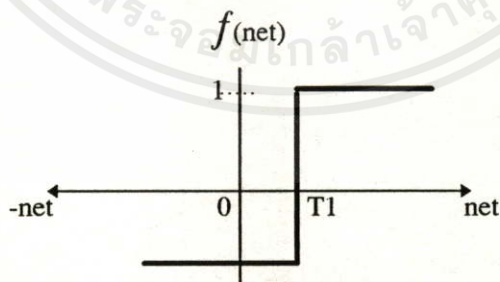
$$\text{net}_m = [\text{net}_1 \quad \text{net}_2 \quad \text{net}_3 \quad \dots \quad \text{net}_m]$$

จากนั้น นำค่า net_m ไปหาค่าเทรชโฮลด์ (thrcshold) โดยใช้สมการ

$$\text{hm} = f(\text{net}_m)$$

โดย $f(\text{net})$ เป็น Activation Function ซึ่งมีหลายรูปแบบ แต่ในที่นี้จะเลือกใช้แบบไบนารี คือ มีรูปแบบเป็น 0 และ 1 รูปแบบของไบโพลาร์แสดงดังภาพ 78

รูปที่ 78



แสดงกราฟของสมการการกระตุ้น (Activation Function)

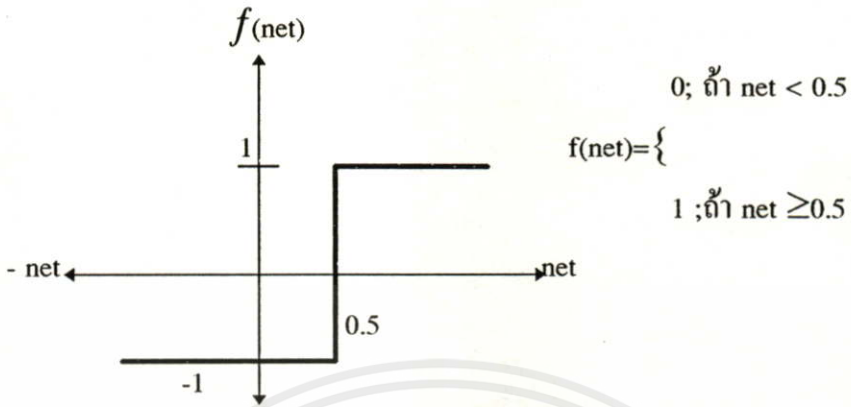
$$-1 ; \text{ ถ้า } \text{net} < T1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1 ; \text{ ถ้า } \text{net} \geq T1$$

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกค่า T_1 อยู่ที่จุดต้นกำเนิด (Origin) จะได้รูปแบบฟังก์ชันเป็นดังภาพ 79

รูปที่ 79

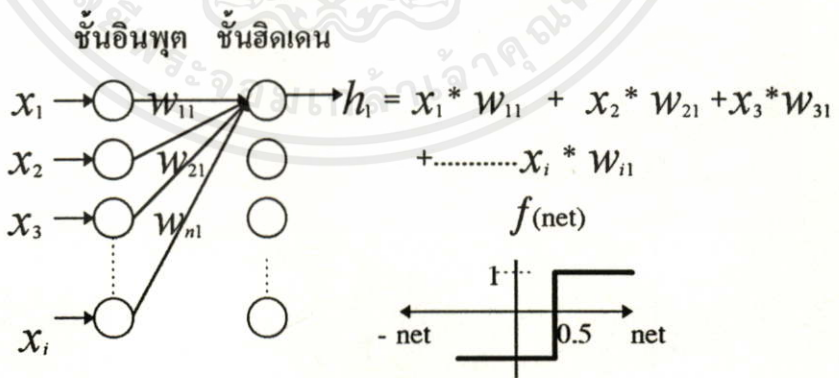


แสดงกราฟของสมการการกระตุ้น (Activation Function) ที่ใช้

จากความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน $F(\text{net}_m)$ นี้ ข้อมูลของโหนดฮิดเดนเลเยอร์ จะมีค่าได้เป็นลอจิก 1 และ -1 เท่านั้น เนื่องจากถ้าค่าผลรวมของค่า net ตัวใด ถ้ามีค่ามากกว่า 0.5 ค่าเอาต์พุตของฮิดเดนเลเยอร์นั้นจะมีค่าเป็น 1 และถ้าค่าผลรวมของ net นั้น ถ้าน้อยกว่า 0.5 แล้ว ค่าเอาต์พุตของฮิดเดนเลเยอร์นั้น จะมีค่าเป็น -1 ดังนั้น เมตริกซ์ฮิดเดนเลเยอร์จะเป็นเมตริกซ์ตามแนวนอน และมีค่าเป็น 1 และ -1 (แสดงในภาพที่ 80)

$$hm = [1 \ -1 \ -1 \ \dots \ 1]$$

รูปที่ 80



แสดงการคำนวณในชั้นฮิดเดนโหนดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

3. ทำการคำนวณหาเอาต์พุตในชั้นเอาต์พุตโดยใช้วิธีการเดียวกับข้อ 2

$$\text{net}_1 = \sum_{m=1}^M V_{1m} h_m$$

โดย net1 คือค่าของโหนดเอาต์พุตใด ๆ

$$\text{net}_L = \begin{matrix} & \text{hidden layer} & \text{V matrix} \\ [1 & -1 & -1 \dots 1] & \times & \begin{bmatrix} 0.2 & 0.5 & 0.5 & \dots & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.1 & \dots & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & \dots & 0.4 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 1.0 & 1.0 & 0.8 & \dots & 0.0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

ตัวอย่างค่า net1 ในชั้นเอาต์พุต

$$\text{net}_1 = [1 \ -1 \ -1 \ \dots \ 1] \times \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1.0 \end{bmatrix}$$

$$\text{net}_1 = 1 \times 0.2 + -1 \times 0.1 + -1 \times 0.2 + \dots + 1 \times 1.0,$$

เมื่อกำหนดครบทุกค่าแล้วจะได้เมตริกซ์ในชั้นเอาต์พุต (แสดงในรูปที่ 82) คือ

$$\text{net} = [\text{net}_1 \ \text{net}_2 \ \text{net}_3 \ \dots \ \text{net}_n]$$

นำค่า net₁ ไปหาค่าเทรชโฮลด์ (threshold) โดยใช้สมการ

$$O_1 = F(\text{net } 1)$$

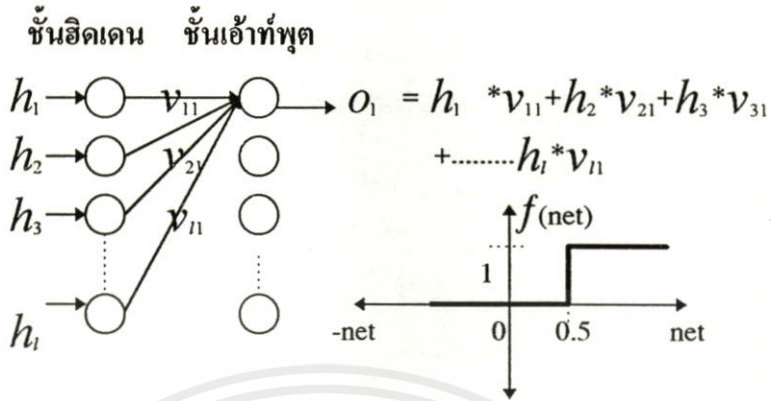
โดยใช้ค่า Activation Function ซึ่งจะได้ข้อมูลเป็นเมตริกซ์เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$O_1 = [1 \ -1 \ 1 \ \dots \ -1]$$

รูปที่ 81



แสดงการคำนวณในชั้นเอาต์พุต

4. เมื่อคำนวณชั้นของเอาต์พุตครบทุกโหนดแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย โดยใช้ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ระหว่างค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการของแพทเทิร์นที่ P ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{L=1}^L (O_{pL} - O_{pl})^2$$

เมื่อ E_p คือค่าความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตกับค่าเป้าหมาย
 O_{pl} คือค่าเอาต์พุตเป้าหมาย
 O_{pL} คือเอาต์พุตที่คำนวณได้จากวิธีที่ 2 และ 3

ตัวอย่างของการหาค่าความผิดพลาดของโหนดเอาต์พุตที่ 1

จากข้อ 1 กำหนดเอาต์พุตเป้าหมายเป็น $O_1 = [1 \ 1 \ 1 \ \dots \ -1]$

และค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้จากข้อ 3 $O_1 = [1 \ 0 \ 1 \ \dots \ -1]$

นำไปแทนค่าในสมการจะได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า E_p นี้ คือ ค่าความผิดพลาดรวมของเอาต์พุตทุกโหนด

เมื่อได้ค่าความผิดพลาดรวมแล้วจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ยอมรับได้ในที่นี้ ตั้งค่า E ไว้สูงสุด คือ 0.0005 ในข้อ 1 ถ้าค่าความผิดพลาดรมน้อยกว่า 0.0005 แล้วจะหยุดการคำนวณทั้งหมด แต่ถ้าค่ามากกว่า 0.0005 แล้วจะทำการคำนวณในรอบต่อไป จนกระทั่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้จึงจะหยุดการคำนวณ

5. ทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นเอาต์พุตกับชั้นฮิดเดนสำหรับแพทเทิร์นที่ $P(Hp)$ ซึ่งสามารถทำได้ดังสมการ

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

โดยที่ $\delta_p^V = (Dp - Op)Op(1 - Op)$ ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนภายในชั้นของเอาต์พุต

α เป็นค่าโมเมนตัม

η เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

ทำให้ค่าในเมตริกซ์ V เดิมเกิดการเปลี่ยนแปลงไป คือ

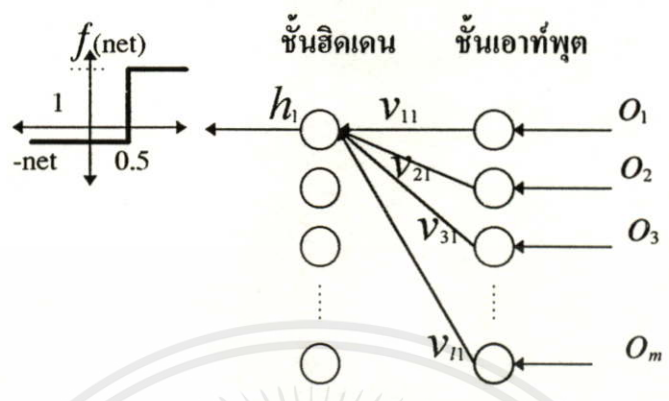
$$V_{new} = \begin{bmatrix} V_{11} + \Delta V & V_{12} + \Delta V & V_{13} + \Delta V & \dots & V_{1n} + \Delta V \\ V_{21} + \Delta V & V_{22} + \Delta V & V_{23} + \Delta V & \dots & V_{2n} + \Delta V \\ V_{31} + \Delta V & V_{32} + \Delta V & V_{33} + \Delta V & \dots & V_{3n} + \Delta V \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{1n} + \Delta V & V_{2n} + \Delta V & V_{3n} + \Delta V & \dots & V_{nn} + \Delta V \end{bmatrix}$$

6. ทำการคำนวณกลับจากชั้นเอาต์พุตไปยังชั้นฮิดเดนโดยใช้ค่า V ใหม่ (V_{new})

และใช้ฟังก์ชัน กระตุ้น แบบเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 82



แสดงการคำนวณแพร่กลับในชั้นของอินพุต

วิธีการคำนวณเหมือนกับข้อ 3 (รูปที่ 82) แสดงการคำนวณกลับจากชั้นเอาต์พุตมาชั้นอินพุต

7. ปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นอินพุตกับชั้นอินพุตสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta W = \alpha W + n \delta_p^W X_p$$

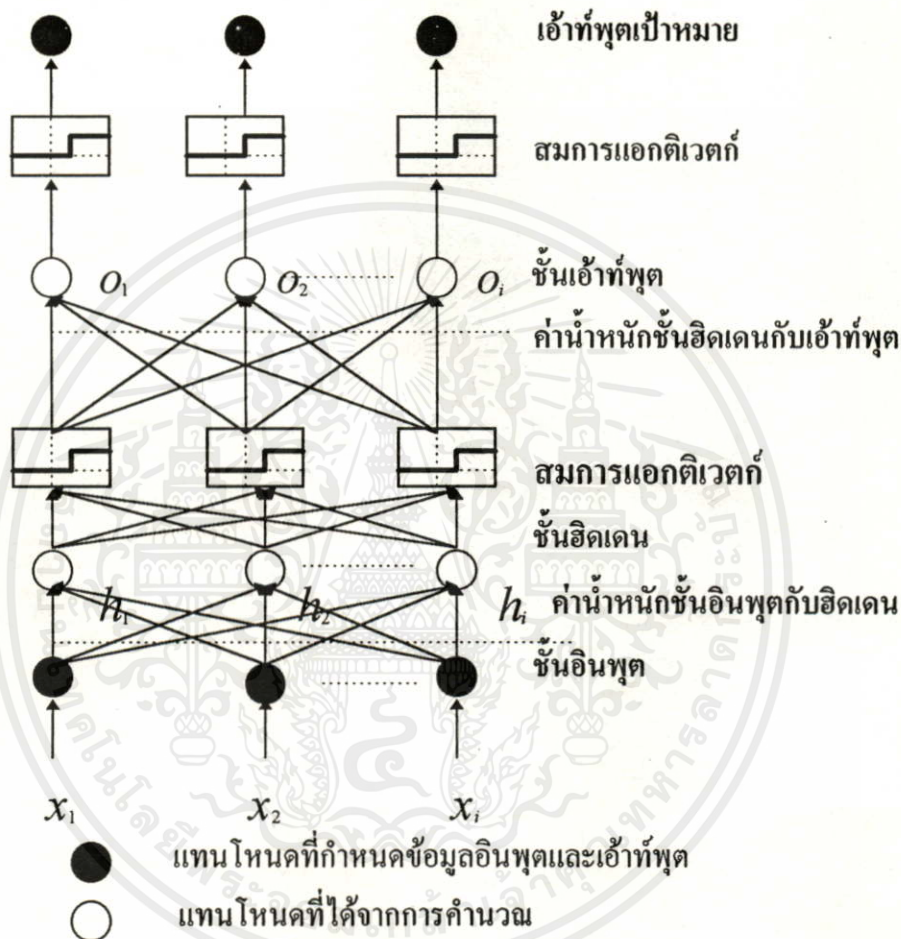
โดยที่ $\delta_p^W = H_p(1 - H_p)(\delta_p^V)$ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนภายในชั้นอินพุต สำหรับ α และ n จะมีคุณสมบัติเหมือนกับข้อ 5 ปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นอินพุตกับอินพุต คือ เมตริกซ์ W

$$W_{new} = \begin{bmatrix} W_{11} + \Delta W & W_{12} + \Delta W & W_{13} + \Delta W & \dots & W_{1n} + \Delta W \\ W_{21} + \Delta W & W_{22} + \Delta W & W_{23} + \Delta W & \dots & W_{2n} + \Delta W \\ W_{31} + \Delta W & W_{32} + \Delta W & W_{33} + \Delta W & \dots & W_{3n} + \Delta W \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{m1} + \Delta W & W_{m2} + \Delta W & W_{m3} + \Delta W & \dots & W_{mn} + \Delta W \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รอบเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 8. ทำการคำนวณซ้ำในข้อ 2 จนกระทั่งค่าความผิดพลาดรวมมีค่าน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้จากข้อ 1 ถึง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งเนื้อหา และดองข้อมูลใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 8 จะเห็นว่าค่าอินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงค่า ในขณะที่ค่าเมตริกซ์ W, V

และค่าโหนดฮิดเดน มีการเปลี่ยนแปลงในทุกรอบของการคำนวณ(รูปที่83 แสดงการทำงานอย่างง่ายของการสอนโครงข่ายประสาทเทียม)

รูปที่83



แสดงการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

5.3 การนำสัญญาณอนาลอกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

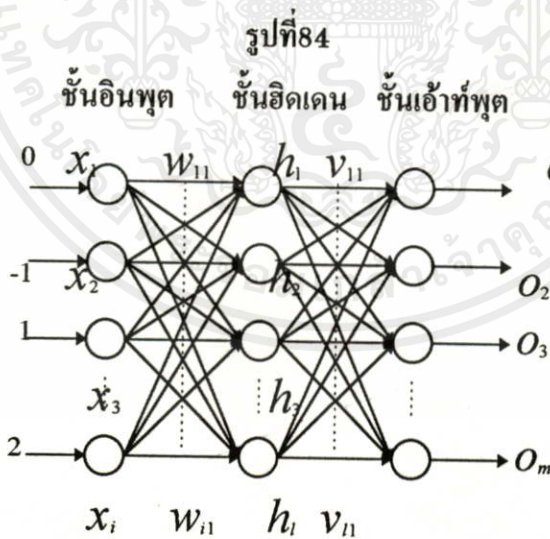
สัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณที่ต่อเนื่อง (contineous signal) มีค่าได้มากมายไม่จำกัด เ้าที่พุตของสัญญาณอนาลอกจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับแหล่งจ่ายแรงดัน ในวิทยานิพนธ์นี้ สัญญาณอนาลอกที่ใช้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 โวลต์ ถึงค่ามากที่สุดเป็น 5 โวลต์ เนื่องจากสัญญาณอนาลอกมีความต่อเนื่อง ดังนั้น สัญญาณทางไฟฟ้าระหว่าง 0 โวลต์ ถึง 5 โวลต์ จึงมีค่ามากมายจนเป็นอนันต์ (infinity) เช่น 0.00000001, 0.001, 0.002 . . . จนถึง 5 โวลต์ ดังนั้น การจะนำค่าข้อมูลเหล่านี้ไปเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม จึงจะต้องใช้แพทเทรินจำนวนมาก มหาศาลและไม่เหมาะสมกับระบบที่ใช้กับ AGV เพราะจะทำให้ขั้นตอนในการคำนวณของ

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นไปอย่างล่าช้ามาก และจะต้องใช้หน่วยความจำมากมาย วิธีการที่จะจัดการสัญญาณทางอนาลอก คือ จะต้องแบ่งสัญญาณอนาลอกของช่วงอินพุต, ฮิดเดน และเอาต์พุต ของโครงข่ายประสาทเทียมออกเป็นช่วง ๆ ดังนี้

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 จะเห็นว่ามีความละเอียดของข้อมูลมากกว่าแบบของดิจิทัลมาก สำหรับอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณแบบอนาลอกคือตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบอนาลอก, ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอนาลอก เป็นต้น การนำสัญญาณอินพุตเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมของสัญญาณแบบอนาลอกจะมีขั้นตอนการคำนวณเหมือนกับวิธีทางดิจิทัล

ขั้นตอนการทำงานของสัญญาณอนาลอกของ AGV แสดงดังรูปที่ 84



แสดงการนำสัญญาณทางอนาลอกเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

1. ทำการกำหนดค่าน้ำหนัก (weight) โดยใช้วิธีการสุ่ม (random) ด้วยค่าระหว่าง -1 และ 1 โดยกำหนดให้ W เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นอินพุตกับชั้นฮิดเดน ซึ่ง W มีขนาด M แถวและ N คอลัมน์

และ V เป็นเมตริกซ์ ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นฮิดเคนไปยัง
ชั้นเอาต์พุต ซึ่งมีขนาด L แถว และ M คอลัมน์

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & \dots & W_{2n} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & \dots & W_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{M1} & W_{M2} & W_{M3} & \dots & W_{MN} \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & \dots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & \dots & V_{2n} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} & \dots & V_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{M1} & V_{M2} & V_{M3} & \dots & V_{MN} \end{bmatrix}$$

ตัวอย่างการสุ่ม ด้วยค่าระหว่าง -1 และ 1 เช่น

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

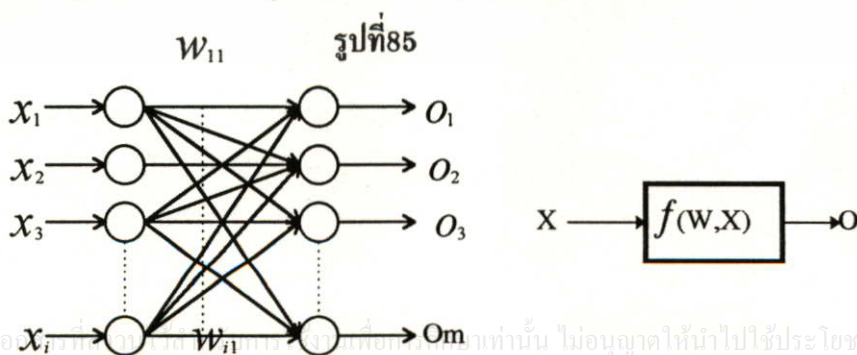
2. ทำการคำนวณตามวิธีของโครงข่ายประสาทเทียม เหมือนกับข้อมูลแบบดิจิทัล จนถึงข้อ 8

5.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบลูปปิดและลูปเปิด

จากบทที่ 4 ได้กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับโครงข่ายเซลล์ประสาททั้งที่เป็นแบบจำลองและโครงข่ายเซลล์ประสาทของมนุษย์ จะมีการเชื่อมต่อกันของโหนดในลักษณะของโครงข่ายอย่างหนาแน่น เพื่อให้โครงข่ายสามารถเรียนรู้และสามารถจดจำสิ่งที่เรียนรู้มาแล้วได้ซึ่งการเชื่อมต่อของโครงข่าย จะมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ

5.4.1 โครงข่ายที่ส่งสัญญาณไปข้างหน้า(Feedforward Network) โครงข่ายชนิดนี้จะประกอบด้วย ชั้นต่าง ๆ ของโครงข่าย โดยชั้นแรกจะเป็นอินพุตและชั้นสุดท้ายเป็นเอาต์พุต ส่วนระหว่างชั้นอินพุตกับเอาต์พุต อาจจะมีหรือไม่มีชั้นที่แทรกอยู่ภายในก็ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมที่ใช้ในการสอน โครงข่าย เช่น Perceptron แบบหลายชั้น(Multilayer Perceptron) ก็จะมีชั้นที่อยู่ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตอีก ชั้นดังกล่าวนี้อาจมีหลายชั้นก็ได้ ส่วนโครงข่าย แบบ Self-Organizing Map ของ Kohonen [10] จะมีเพียงชั้นของอินพุตและเอาต์พุตเท่านั้น การเชื่อมต่อระหว่างชั้นของโครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้า จะมีค่าน้ำหนักเป็นตัวเชื่อม และสัญญาณอินพุตที่เข้ามาจะถูกส่งไปตามทิศทางของลูกศร จนถึงชั้นของเอาต์พุตโดยไม่มีการป้อนกลับดังรูปที่ 85 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีการป้อนสัญญาณไปข้างหน้าอย่างเดียวไม่มีการป้อนกลับนี้เรียกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบลูปเปิด ซึ่งจะเหมือนกับลูปเปิด (Open loop System) ในการระบบควบคุม

5.4.2 โครงข่ายที่มีการป้อนกลับ(Feedback Network) โครงข่ายแบบนี้ในครั้งแรกจะเป็นโครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้าแสดงดังรูปที่ 85 ส่วนในรูปที่ 86 มีส่วนเพิ่มเข้ามาคือส่วนการป้อนกลับ ปกติโดยทั่วไปแล้วนั้นการป้อนกลับจะมีค่าการหน่วงเวลา(delay time)เสมอ กำหนดให้เวลาห้วงมีค่าเป็น Δ โครงข่ายประเภทนี้เรียกว่าโครงข่ายรีเคอร์เรนท์(Recurrent Network) ในระบบควบคุมเรียกว่า ระบบลูปปิด(Close loop System)

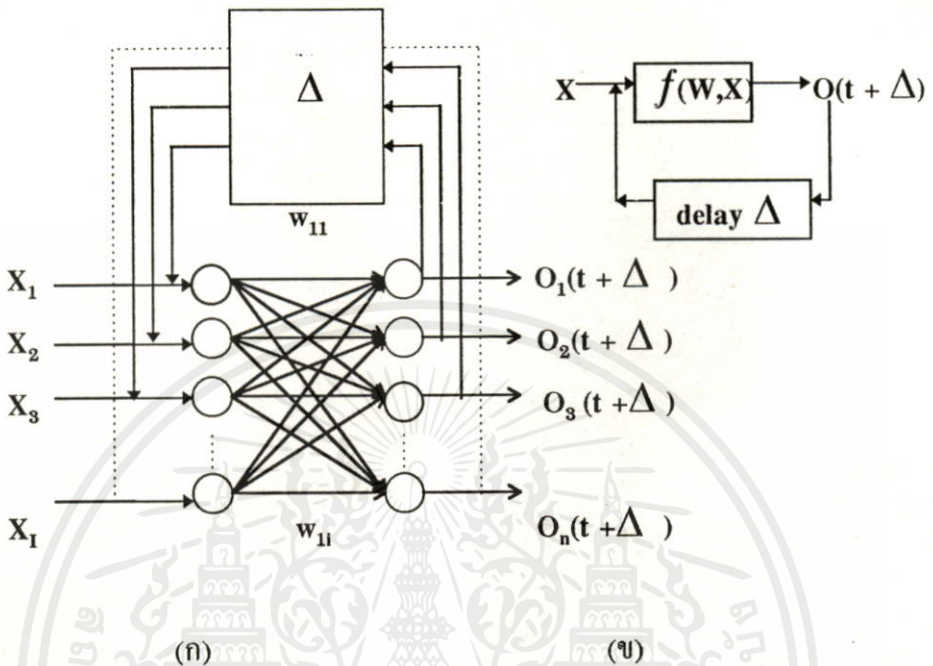


เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ (ก) แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร (ข) กระจายหรือเผยแพร่ซ้ำ

แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบ ป้อนไปข้างหน้า

(ก) แสดงการต่อเชื่อมชั้นอินพุตกับเอาต์พุต (ข) แสดงบล็อกไดอะแกรม

รูปที่ 86



แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการป้อนกลับชั้นเดียว

(ก) แสดงการเชื่อมต่อชั้นอินพุตกับเอาต์พุต

(ข) แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงข่ายแบบมีการป้อนกลับ

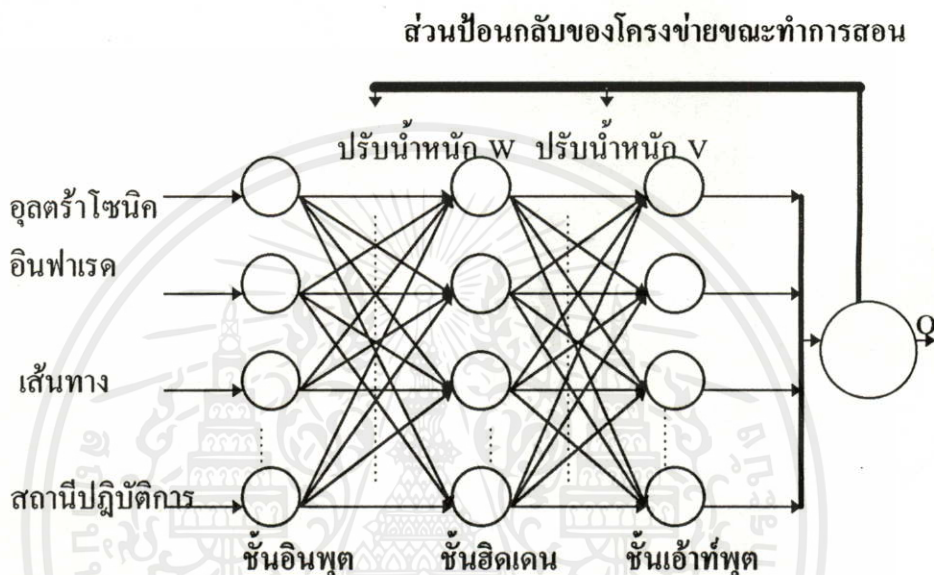
5.5 กรรมวิธีการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมและการนำไปใช้งาน

จากโครงสร้างของยานขนส่งที่ประกอบด้วย ตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนอินพุตของ โครงข่ายประสาทเทียมและมีมอเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของยานขนส่งเป็นเอาต์พุต เราจะนำส่วนอินพุตทั้งหมดมาเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม โดยจะป้อนเข้าทางอินพุต($x_i, i=1,2,3,\dots,n$) จากนั้นจะทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้จดจำอินพุตที่รับเข้ามา เมื่อโครงข่ายสามารถจดจำเงื่อนไขความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตได้แล้ว ก็จะทำการเก็บค่าน้ำหนัก(weight) เอาไว้ใช้งานต่อไป

จากรูปที่ 87 จะเห็นว่าสัญญาณจากตัวตรวจจับต่างๆ เช่น อุลตราโซนิก, อินฟราเรด, ตัวตรวจจับทางเดินน้ำร่อง, ตัวตรวจจับสถานีและอื่นๆถูกนำไปป้อนเป็นอินพุตของ โครงข่ายประสาทเทียมและสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากรูปข้างบนจะเป็นส่วนที่ใช้ขับเคลื่อนยานขนส่ง ใน

รูปแสดงถึงโครงข่ายที่มีการป้อนกลับภายในคือจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักจนกระทั่งได้ค่าเอาต์พุตที่มีเงื่อนไขสัมพันธ์กับอินพุต (ตามเงื่อนไขที่ได้ทำการสอนไว้แล้ว)

รูปที่ 87



แสดงการนำสัญญาณจากตัวตรวจจับเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

การใช้งานจริงจะทำการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นมา 2 โครงข่ายคือ โครงข่ายหลัก และ โครงข่ายย่อย โครงข่ายหลักทำหน้าที่คำนวณหาค่าเอาต์พุตที่ถูกต้อง เมื่อรับข้อมูลจากอินพุตเข้ามา เมื่อได้ค่าเอาต์พุตแล้วจะนำสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ตัวซึ่งจะมีการทำงานคือ เดินหน้า, ถอยหลัง, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา สัญญาณอีกส่วนหนึ่งของของโครงข่ายหลักจะนำไปเปิดไฟเลี้ยว, ไฟฉุกเฉิน และเสียงสำหรับขอทาง โครงข่ายย่อยทำหน้าที่หยุดการทำงานของยานขนส่งในขณะที่มีเหตุการณ์บางอย่างเกิดขึ้นอย่างกะทันหัน เช่น เกิดการชนกับสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่เร็วมากจนตัวตรวจจับ ไม่สามารถทำการตรวจจับได้ทัน โครงสร้างโดยทั่วไปของโครงข่ายย่อยนี้จะเหมือนกับโครงข่ายหลักจากภาพที่ 88 แสดงการทำงานรวมกันของโครงข่ายหลักและโครงข่ายย่อย

1 : ตัวตรวจจับอุตุร่าโซนิกซ้าย

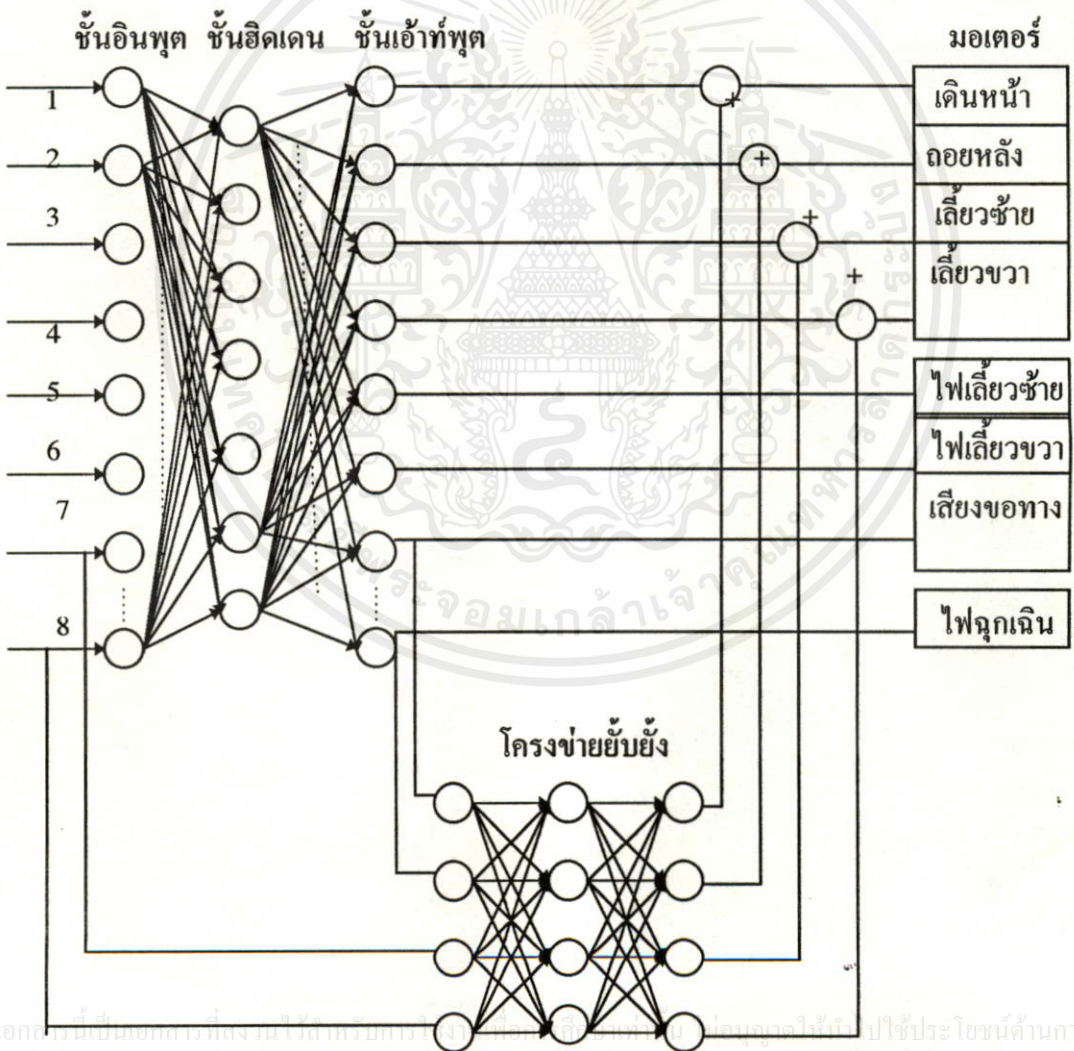
2 : ตัวตรวจจับอินฟราเรดซ้าย

3 : ตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง

- 4 : ตัวตรวจจับอุลตราโซนิกขวา
- 5 : ตัวตรวจจับอินฟราเรดขวา
- 6 : ตัวตรวจจับอุลตราโซนิกด้านหน้า
- 7 : ลิ้มิตสวิทช์ซ้าย
- 8 : ตัวตรวจจับอื่นๆ

รูปที่ 88

โครงข่ายหลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นอินพุต ชั้นฮิดเดน ชั้นเอาท์พุต

แสดงการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้กับยานขนส่ง

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 ผลการทดสอบตัวตรวจจับสัญญาณ

ผลการทดสอบตัวตรวจจับสัญญาณ (sensors) ต่างๆ ซึ่งมีทั้งแบบอนาล็อกและดิจิทัลอันประกอบด้วยตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบดิจิทัล 2 บิต, ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบเมตริกซ์ขนาด 4x4 บิต, ตัวตรวจจับทางแยกแบบดิจิทัล, ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน, ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรด, ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวอุลตราโซนิกแบบดิจิทัล, ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางอุลตราโซนิกแบบอนาล็อก

6.1.1 ผลการทดสอบตัวตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องแบบดิจิทัล

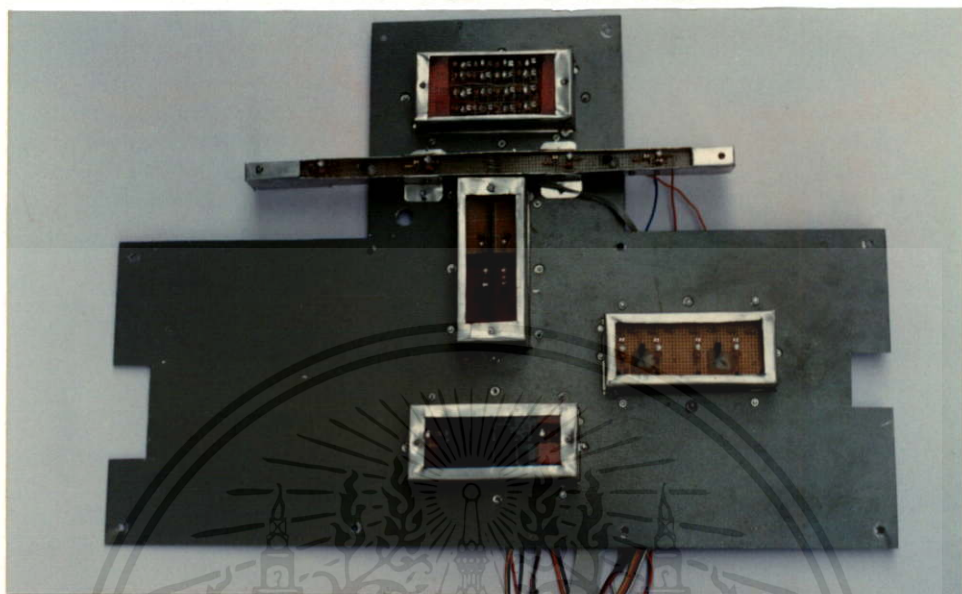
ในส่วนของวงจรตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องแบบดิจิทัล 2บิต,ตัวตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องเมตริกซ์แบบดิจิทัลขนาด 4x4บิต,วงจรตรวจจับทางแยก,วงจรตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน จะใช้วงจรเดียวกันคือใช้ MLED71 เป็นตัวส่งสัญญาณย่านความถี่อินฟราเรด และใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์เบอร์ MRD750 เป็นตัวรับสัญญาณที่สะท้อนจากพื้น การจัดวางตัวตรวจจับแบบต่างๆ ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3

ภาพที่ 89 แสดงการจัดวางตัวตรวจจับสัญญาณแบบต่างๆ ซึ่งในขณะที่ใช้งานจริงตัวตรวจจับทั้งหมดนี้จะถูกติดตั้งในบริเวณใต้ท้องตัว AGV

ภาพที่ 90 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับทางเดินแบบดิจิทัล 2บิตซึ่งวัดจากขา 1 ของ โฟโต้ทรานซิสเตอร์เบอร์ MRD750(วงจรของตัวตรวจจับแสดงในภาพที่ 23) กรณีตรวจไม่พบเส้นทางเดินนำร่อง

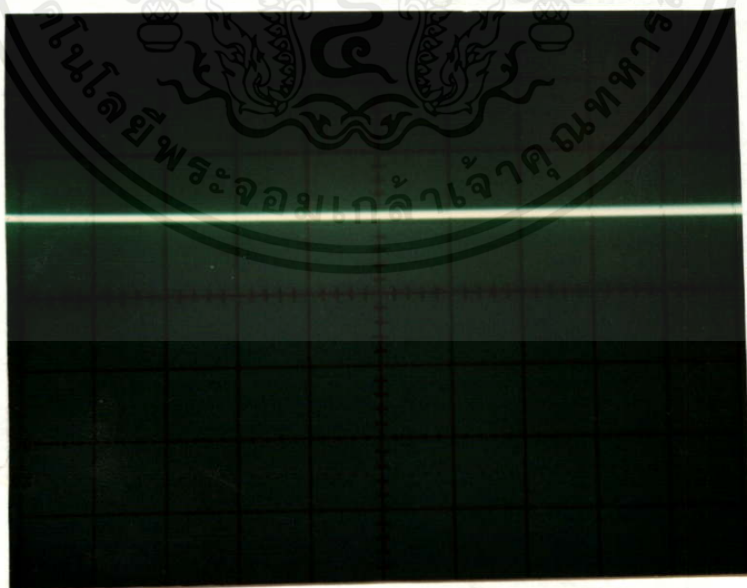
ภาพที่ 91 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบดิจิทัล 2บิต(วงจรในภาพที่ 23)กรณีตรวจพบเส้นทางเดินนำร่อง

ภาพที่ 89



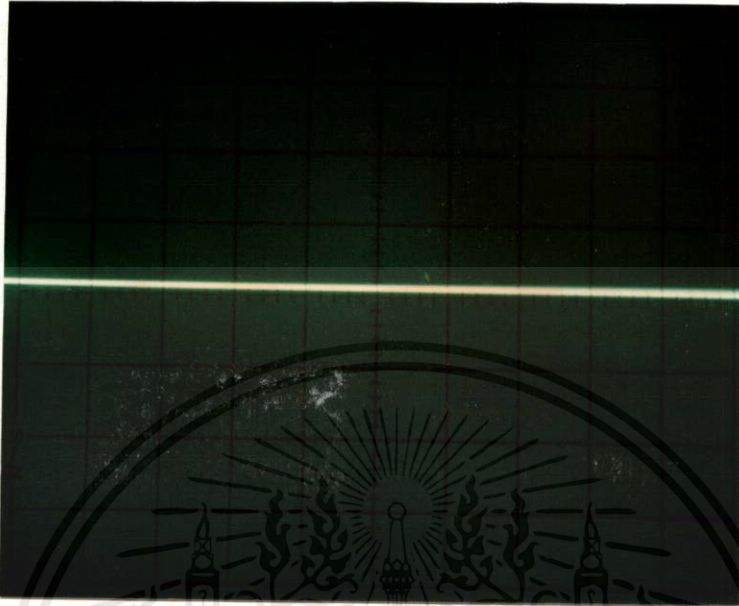
แสดงการติดตั้งตรวจจับสัญญาณแบบต่างๆบริเวณใต้ท้องยานขนส่ง

ภาพที่ 90



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ
แสดงเอาต์พุตของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบดิจิทัล 2 บิต วัดจากขา 1 ของ MRD 750 ขณะ
ตรวจไม่พบเส้นทางเดินนำร่องจากภาพจะมีขนาดสัญญาณเป็น 5V ให้ลอจิกเป็น "1" 5V/10us)

ภาพที่ 91



แสดงเอาต์พุตของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบดิจิทัล 2บิต วัดจากขา 1 ของMRD 750ขณะตรวจพบเส้นทางเดินนำร่อง จากภาพจะมีขนาดสัญญาณเป็น0V ให้ลอจิกเป็น “0” (5V /10us)

6.1.2 ผลการทดสอบตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบอนาล็อก

ในการตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องแบบอนาล็อกนั้น จะประกอบด้วยตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบอนาล็อก 2บิต และตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบเมตริกซ์ขนาด 4x4บิต วงจรทั้ง2แบบจะเหมือนกันคือ จะใช้ตัวส่งสัญญาณแสงในย่านที่สามารถมองเห็นได้(Visible light) และใช้เซลล์รับแสงเป็นตัวรับสัญญาณอินพุตแบบอนาล็อก จากนั้นจะขยายขนาดของสัญญาณแล้วนำไปเข้าวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลแล้วนำเข้าสู่ออมพิวเตอร์(รายละเอียดของวงจรแสดงในภาพที่ 25)

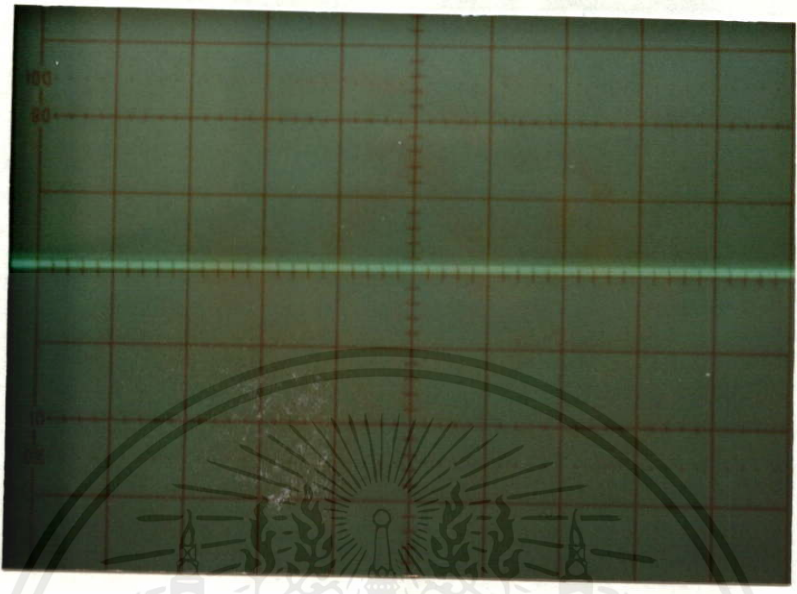
ภาพที่ 92 แสดงเอาต์พุตสัญญาณแสงที่ผ่านการขยายแล้ว ซึ่งวัดจากขา 8ของ IC LM324 ขณะตรวจไม่พบทางเดินนำร่อง

ภาพที่ 93 แสดงเอาต์พุตของสัญญาณแสงที่วัดจากขา 8 ของ IC LM324 ขณะตรวจพบทางเดินนำร่องบางส่วน

ภาพที่ 94 แสดงเอาต์พุตของสัญญาณแสงที่วัดจากขา 8ของ IC LM324 ขณะตรวจพบทางเดินนำร่องทั้งหมด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 92



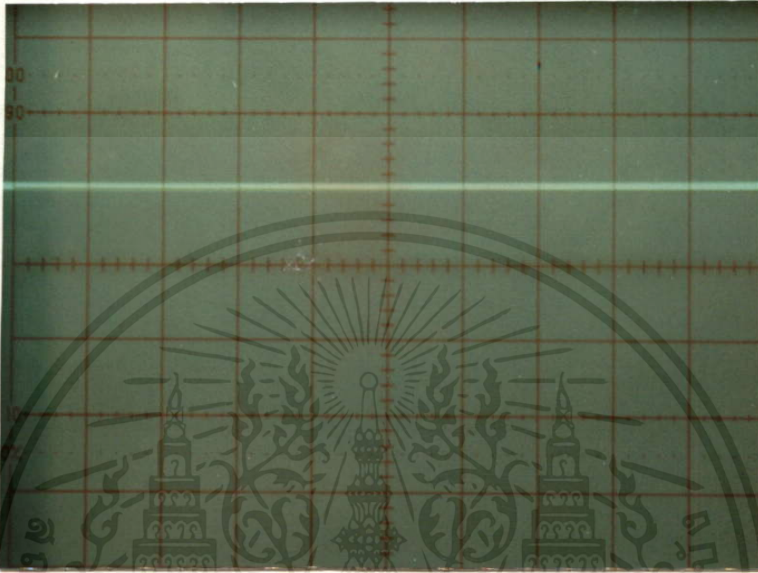
แสดงเอาต์พุตวัดจากขา 8 ของ IC LM324 ขณะตรวจไม่พบทางเดินนำร่องจะให้สัญญาณ ไฟฟ้า มีขนาดสัญญาณ DC 0V (5v/10us)

ภาพที่ 93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสดงเอาต์พุตของสัญญาณแสงที่วัดจากขา 8 ของ IC LM324 ขณะตรวจพบทางเดินนำร่อง ไม่ว่าจะผิดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุคนเบี่ยงเนื้อหา และต้องอึ้งองตั้งใจของเอกสารทุกตรงที่มักเรานำไปใช้ บางส่วน จากภาพจะเห็นได้ว่ามีขนาดสัญญาณเป็น DC 3V (5v/10us)

ภาพที่ 94



แสดงเอาต์พุตของสัญญาณแสงที่วัดจากขา 8 ของ IC LM324 ขณะตรวจพบทางเดินนำร่องทั้งหมด จากภาพจะเห็นว่ามีความถี่สัญญาณเป็น DC 5V(5V/10us)

6.1.3 ผลการทดสอบตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรด

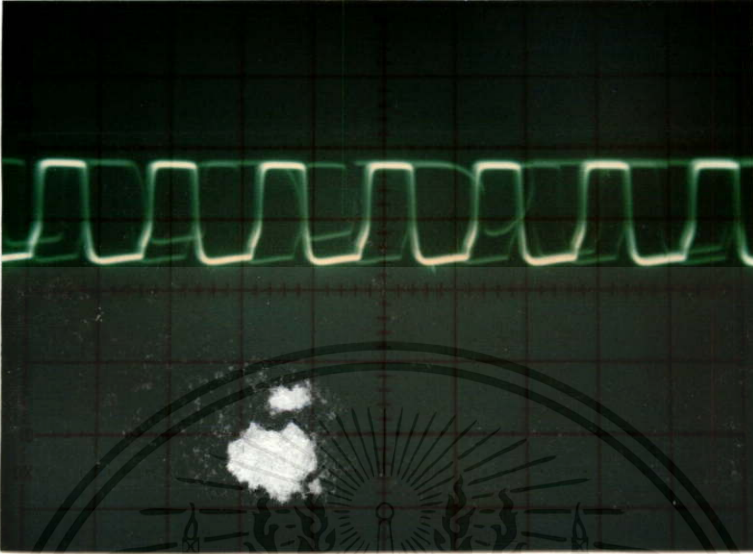
การทดสอบตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรด วงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยใช้ความถี่อินฟราเรดนี้จะให้เอาต์พุตเป็นแบบดิจิทัล 1 บิต วงจรตรวจจับชนิดนี้จะอาศัยการสะท้อนระหว่างสิ่งกีดขวางกับตัว AGV มีรัศมีการสะท้อน 20-40 เซนติเมตร ถูกติดตั้งรอบๆตัว AGV ในกรณีที่ AGV ตรวจพบสิ่งกีดขวางจะให้เอาต์พุตออกมาตามทิศทางของสิ่งกีดขวางที่ปรากฏ(รายละเอียดของวงจรแสดงในภาพที่ 31)

ภาพที่ 95 แสดงเอาต์พุตของตัวส่งสัญญาณอินฟราเรด

ภาพที่ 96 แสดงเอาต์พุตของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวาง ขณะพบสิ่งกีดขวาง

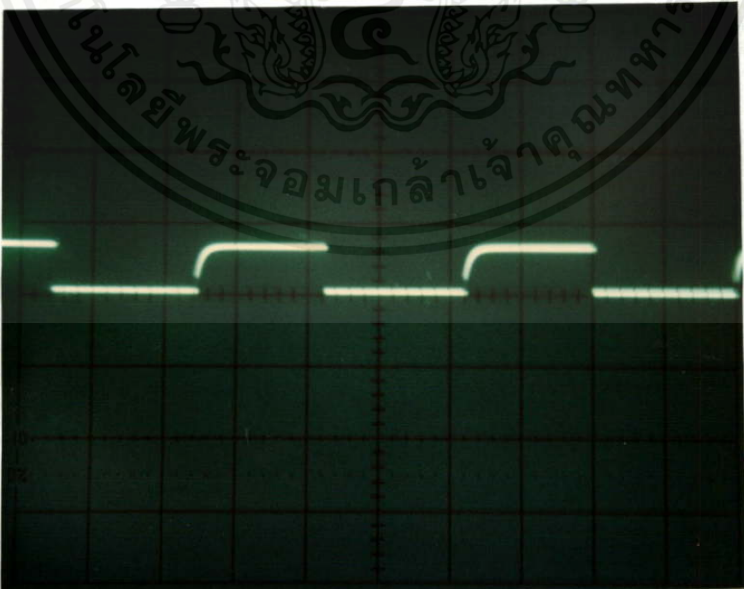
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 95



แสดงเอาต์พุตของตัวส่งสัญญาณอินฟาเรด จากภาพจะเห็นได้ว่าสัญญาณของตัวส่งอินฟาเรด วัดจากขาคอลเลคเตอร์ของ 2N2222 (วงจรแสดงในภาพที่ 31)จะเป็นพัลส์ที่มีขนาด 9V และมีความถี่ประมาณ 40KHz (5V/10us)

ภาพที่ 96



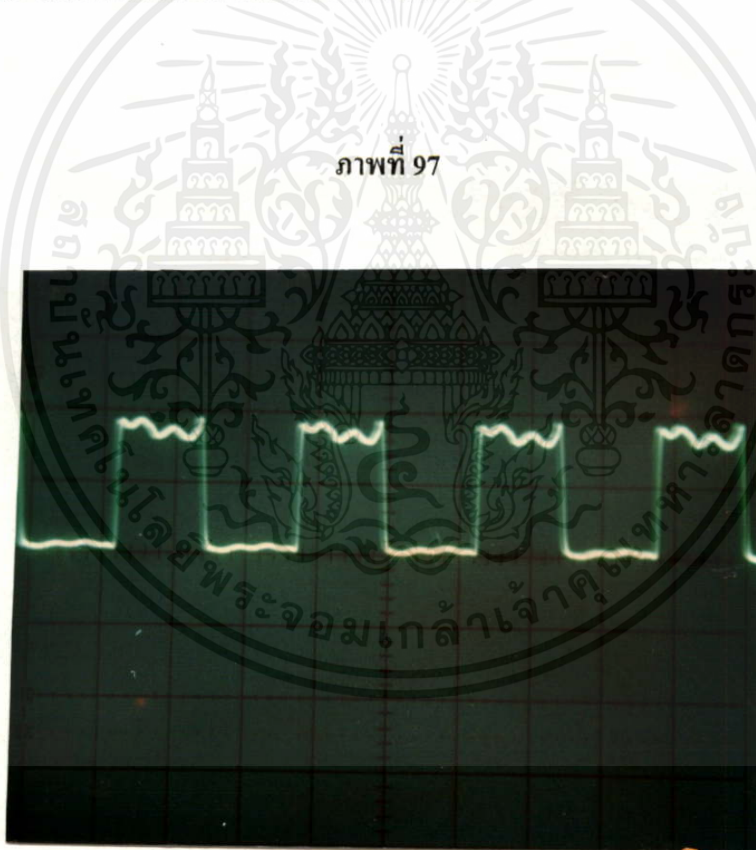
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำสัญญาณเข้าตัวพื้ตภาคแรกของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางวัดจากขา C ของ Q418 ขณะตรวจจับสิ่งกีดขวาง (วงจรแสดงในภาพที่ 31)จะให้สัญญาณเป็นรูปพัลส์ (5V/10us)

6.1.4 ผลการทดสอบวงจรตรวจจับความเคลื่อนไหวแบบอัลตราโซนิก

วงจรตรวจจับความเคลื่อนไหวอัลตราโซนิกแบบดิจิทัล 1 บิต วงจรตรวจจับชนิดนี้จะอาศัยความถี่ย่านอัลตราโซนิกความถี่ 40KHz เป็นตัวส่งสัญญาณออกไปกระทบสิ่งกีดขวางส่วนวงจรภาครับสัญญาณจะทำการถือสัญญาณความถี่ไว้ที่ 40KHz เช่นกัน เพื่อเป็นการป้องกันการรบกวนจากความถี่ย่านอื่นซึ่งอาจเข้ามาในระบบขณะทำการตรวจจับ วงจรนี้จะตรวจเฉพาะสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนไหวเท่านั้น รัศมีที่สามารถทำการตรวจจับคือ 0 ถึง 50 เซนติเมตร

ภาพที่ 97 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของตัวส่งสัญญาณความถี่ย่านอัลตราโซนิกออกอากาศ

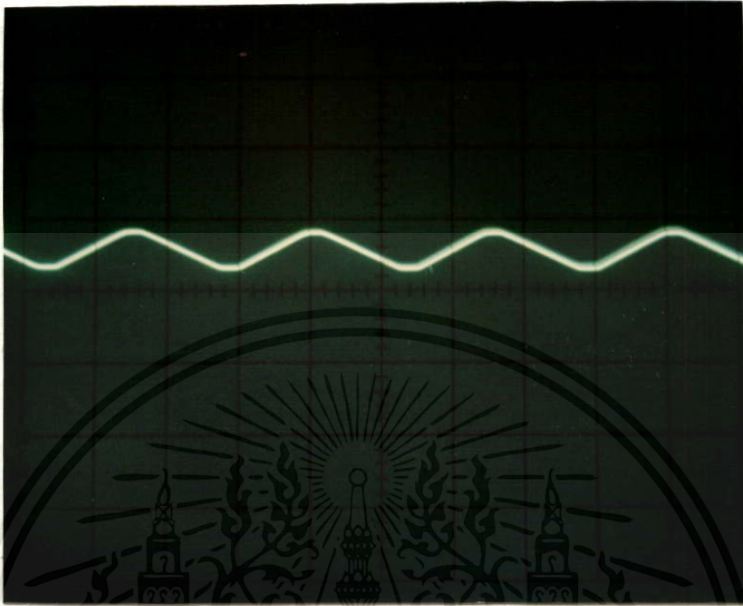
ภาพที่ 98 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับวัดจากขาคอกเลกเตอร์ของ ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC639 ขณะที่ตรวจพบสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนไหว



แสดงสัญญาณเอาต์พุตของตัวส่งสัญญาณความถี่อัลตราโซนิก(รายละเอียดของวงจรแสดงในภาพที่ 28) จากภาพสัญญาณตัวส่งจะมีขนาด 9Vเป็นรูปพัลส์ที่มีความถี่ 40KHz(5V/10us)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 98



แสดงสัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับวัดจากขาคอกเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ BC639 (รายละเอียดของวงจรแสดงในภาพที่ 28)ขณะที่ตรวจพบสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนไหวสัญญาณเป็นรูปตามเหลี่ยมขนาด $5V(5V/10\mu s)$

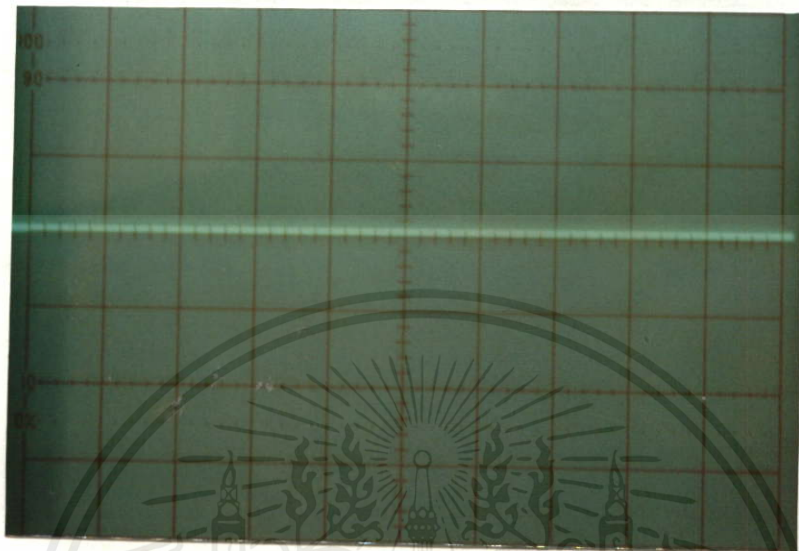
6.1.5 ผลการทดสอบวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางอุลตราโซนิกแบบอนาล็อก

นอกจากวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรด, วงจรตรวจจับความเคลื่อนไหวอุลตราโซนิกแล้วในวิทยานิพนธ์นี้ยังมีวงจรตรวจจับสิ่งกีดขวางอุลตราโซนิกแบบอนาล็อก เพื่อทำการตรวจจับสิ่งกีดขวางได้หลายระยะอีกด้วย ในการทดสอบการทำงานของวงจรมันนี้จะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของสิ่งกีดขวางกับ AGV คือถ้าระยะห่างระหว่าง สิ่งกีดขวางกับตัว AGV มากเอาต์พุตที่ได้จากวงจรตรวจจับจะมีค่าน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้าระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางกับ AGV มีค่าน้อยสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีค่ามาก

ภาพที่ 99 แสดงเอาต์พุตของสัญญาณที่ตรวจวัดจากขา 7 ของ IC LM319 (. ในภาพที่ 30) ขณะที่ตรวจไม่พบสิ่งกีดขวาง

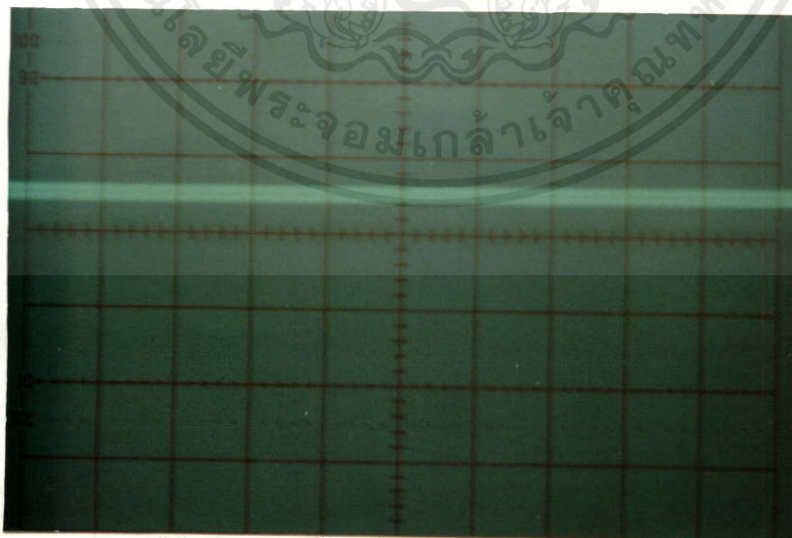
ภาพที่ 100 แสดงเอาต์พุตของสัญญาณที่ตรวจวัดจากขา 7 ของ IC LM319 (. ในภาพที่ 30) ขณะที่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 99



แสดงเอาต์พุตของสัญญาณที่ตรวจวัดจากขา 7 ของ IC LM319 (ในภาพที่ 30) ขณะที่ตรวจไม่พบ
สิ่งกีดขวางจากภาพจะเห็นได้ว่าสัญญาณมีขนาด 0V (5v/10us)

ภาพที่ 100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเป็นเอกสารที่เผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
แสดงเอาต์พุตของสัญญาณที่ตรวจวัดจากขา 7 ของ IC LM319 (ในภาพที่ 30) ขณะที่ตรวจพบสิ่ง
กีดขวาง จากภาพจะเห็นว่าสัญญาณมีขนาด 3V (5V/10us)

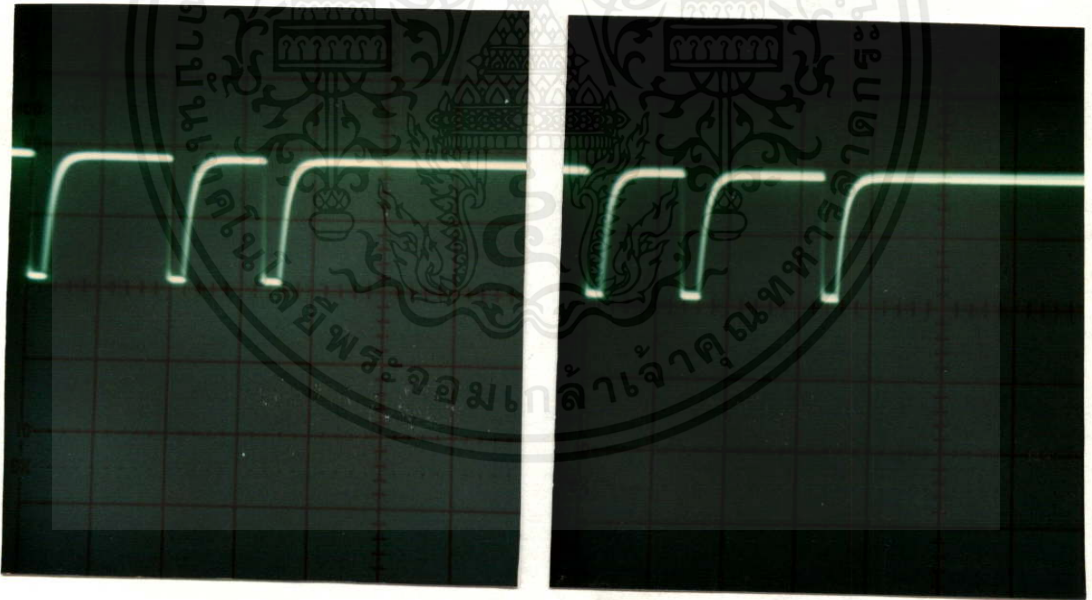
6.1.6 ผลการทดสอบวงจรควบคุมรีโมทคอนโทรล

การควบคุม AGV ในระยะไกล ในวิทยานิพนธ์นี้กระทำได้โดยการใช้รีโมทคอนโทรลแบบอินฟราเรดซึ่งมีการเข้ารหัส ตัวส่งและตัวรับแบบ PPM (แสดงในภาพที่ 39) วงจรที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นนี้มีระยะการควบคุมได้ไกล 20 เมตร การทดสอบการทำงานของวงจรกระทำโดยการกดคีย์ควบคุมของตัวส่งรหัสแล้วดูผลของตัวรับข้อมูลเป็นไปตามรหัสของคีย์ที่กด

ภาพที่ 101 แสดงเอาต์พุตของตัวส่งสัญญาณควบคุมรีโมทที่ขาของอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ BD253

ภาพที่ 102 แสดงอินพุตของตัวรับสัญญาณอินฟราเรดที่ผ่านการขยายแล้ว โดยวัดที่ขา 9 ของ IC SL486 และสัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากอนุกรมเป็นบีซีดี(BCD)

ภาพที่ 101

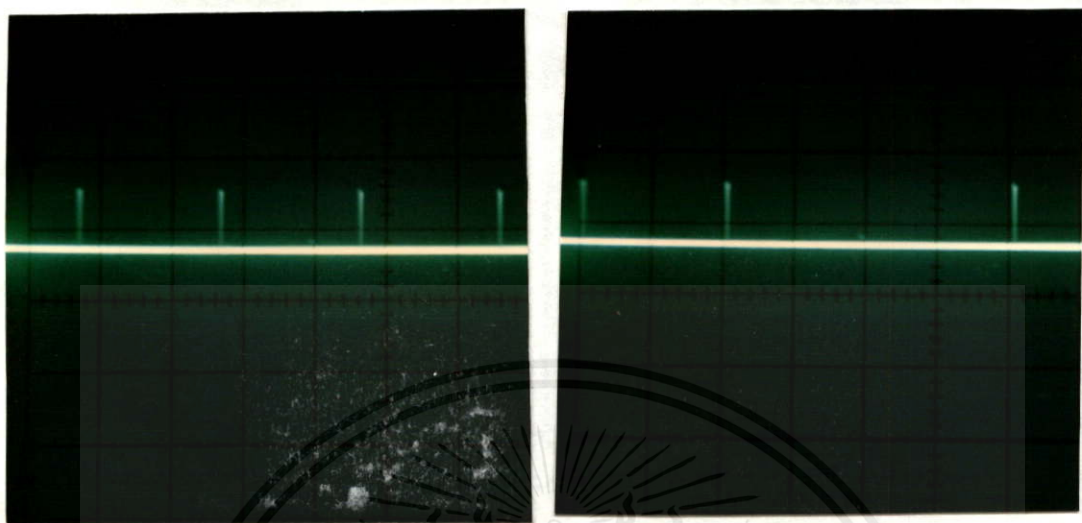


(ก) สัญญาณรหัส PPM ของเลข 1

(ข) สัญญาณรหัส PPM ของเลข 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่แสดงเอาต์พุตของตัวส่งสัญญาณควบคุมรีโมทที่ขา E ของ QBD253 (วงจรในภาพที่ 38) จากภาพจะเห็นว่าสัญญาณที่เข้ารหัสแล้วจะเป็นพัลส์ที่มีตำแหน่งต่างๆกัน มีขนาด 9V (5V/10us)

ภาพที่ 102



(ก)

(ข)

แสดงอินพุตของตัวรับสัญญาณอินฟาเรดที่ผ่านการขยายแล้ว โดยวัดที่ขา 9 ของ IC SL486 (รายละเอียดของวงจรแสดงในภาพที่ 30) จากภาพแสดงจะเห็นได้ว่ามีรูปแบบเป็นพัลส์ขนาด 9V มีตำแหน่งของพัลส์ที่แตกต่างกันตามรหัสของตัวส่งสัญญาณ(5V/10us)

(ก) สัญญาณที่ตัวรับ ของรหัสเลข 1

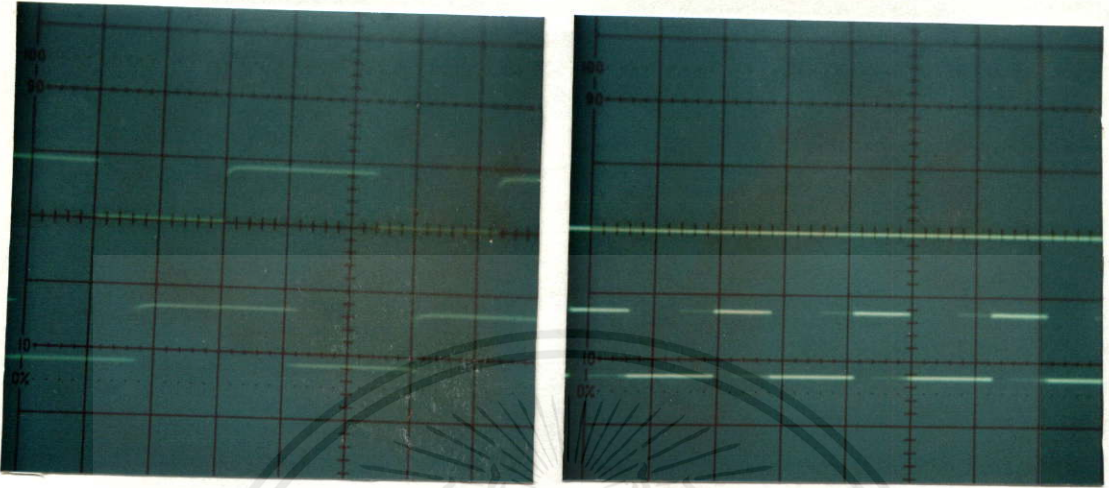
(ข) สัญญาณที่ตัวรับของรหัสเลข 2

6.2 ผลการทดสอบวงจรควบคุมการเคลื่อนที่

จากวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ที่แสดงในภาพที่ 55 ทำการทดสอบวงจรขับเคลื่อน DC มอเตอร์ โดยกำหนดให้มีความเร่งเป็น 5 เมตร/วินาที², ความเร็ว 20 เมตร/วินาที และมีทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา จากนั้นทำการวัดเอาต์พุตจากเอ็นโค้ดเดอร์และเอาต์พุตของวงจร PWM ผลการทดสอบแสดงดังภาพ 103 ต่อไปเปลี่ยนความเร่งเป็น 2 เมตร/วินาที², ความเร็ว 10 เมตร/วินาที และเปลี่ยนทิศทางการหมุนเป็นทวนเข็มนาฬิกา ทำการวัดเอาต์พุตจากเอ็นโค้ดเดอร์และเอาต์พุตของวงจร PWM ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 104 ต่อไปทดสอบระบบการควบคุมตำแหน่งด้วยการปรับค่า PID กำหนดความเร่งในการออกตัวและการหยุดหมุนของมอเตอร์เป็น 3 เมตร/วินาที² ป้อนความเร็วเป็น 3 เมตร/วินาที, ป้อนค่าตำแหน่ง ที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนเป็น 100 รอบของเอ็นโค้ดเดอร์ เริ่มทำงานและวัดทิศทางของเอ็นโคดเดอร์และเอาต์พุตของวงจร PWM ขณะวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ทำการล๊อคโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของ บริษัทไมโครคอนโทรลเลอร์ จำกัด หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก บริษัทไมโครคอนโทรลเลอร์ จำกัด จะถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 103

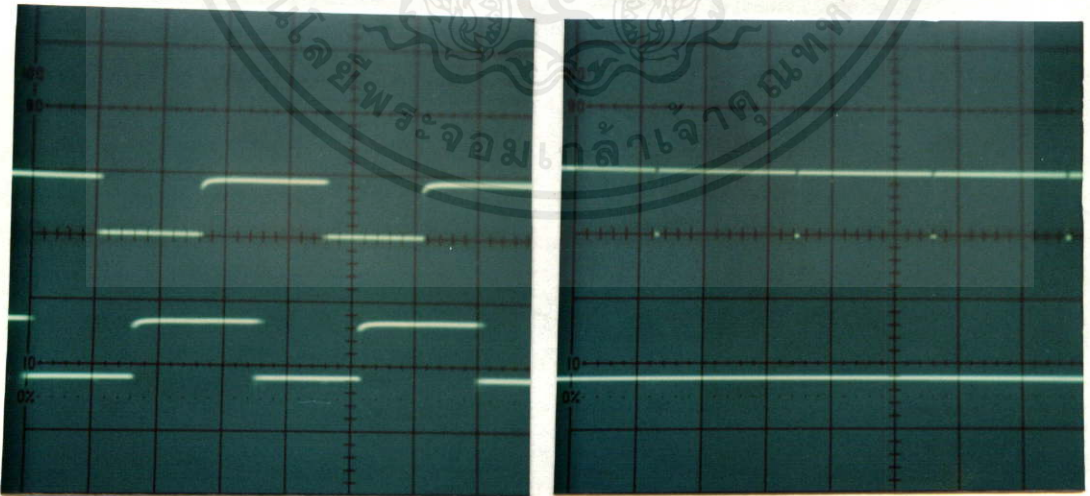


(ก)

(ข)

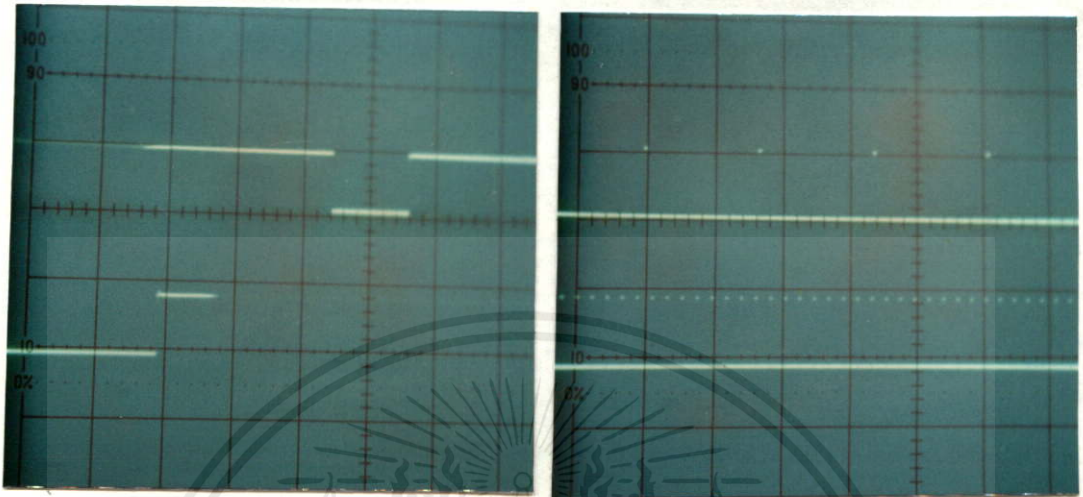
แสดงเอาต์พุตของวงจรขับDCมอเตอร์ขณะทำงานในโหมดความเร็วและมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา (5V/0.2ms) (ก) สัญญาณที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (ข) สัญญาณจากวงจรขับมอเตอร์

ภาพที่ 104



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ (ก) แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึง (ข) ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แสดงเอาต์พุตของวงจรขับDCมอเตอร์ขณะทำงานในโหมดความเร็วและมีทิศทางตามทวนเข็มนาฬิกา (5V/0.2ms) (ก) สัญญาณที่วัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (ข) สัญญาณจากวงจรขับมอเตอร์

ภาพที่ 105



(ก)

(ข)

แสดงเอาต์พุตของวงจรขั้ว DC มอเตอร์ ขณะทำงานในโหมดตำแหน่ง (5V/0.2ms)

(ก) สัญญาณวัดจากเอ็นโค้ดเดอร์ (ข) สัญญาณที่วัดจากวงจรขั้วมอเตอร์

6.3 ผลการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์

การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบคือ การทดสอบกับลอจิกพื้นฐานแบบดิจิทัลและการทดสอบกับ สัญญาณจากตัวตรวจจับจริง เพื่อที่จะนำสัญญาณจากตัวตรวจจับไปเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

6.3.1 การทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมกับลอจิกพื้นฐานดิจิทัล

ในการทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมนี้จะทำการทดสอบกับลอจิกพื้นฐานทางดิจิทัลอย่างง่ายก่อนกล่าวคือจะทำการทดสอบข้อมูลอินพุตเป็น 2 โหนดและข้อมูลเอาต์พุตเป็น 1 โหนดจากเงื่อนไขของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตนี้จะเห็นว่า ลอจิกที่น่าจะนำมาทดลองใช้คือ แอนด์(AND) และ ออร์(OR) ซึ่งมีรูปแบบของลอจิกดังนี้

6.3.1.1 แอนด์เกต(AND)

AND ให้เอาต์พุตเป็นจริง (true) ถ้าค่าของอินพุตทั้ง 2 ค่าเป็นจริง (true) นอกจากนี้ในกรณีอื่นค่าเอาต์พุตที่ได้จะเป็นเท็จ(false) กำหนดให้ค่าลอจิกที่เป็นจริงแทนด้วย "1" และลอจิกเท็จแทนด้วย "0" นำมาเขียนในรูปความสัมพันธ์จะได้ดังตารางที่ 13

ภาพที่ 106

$wxh[0][0] = 0.000000$	$wxh[0][1] = 0.570474$
$wxh[0][2] = 0.518423$	$wxh[0][3] = 1.557249$
$wxh[0][4] = -0.700743$	$wxh[1][0] = -1229.00$
$wxh[1][1] = -0.763901$	$wxh[1][2] = -0.771720$
$wxh[1][3] = 0.373192$	$wxh[1][4] = -0.515387$
$wxh[2][0] = 0.000000$	$wxh[2][1] = -0.848062$
$wxh[2][2] = -0.882239$	$wxh[2][3] = 0.247108$
$wxh[2][4] = 0.172535$	$who[0][0] = 0.571167$
$who[1][0] = -1.270065$	$who[2][0] = -1.265890$
$who[3][0] = -0.000046$	$who[4][0] = 0.000026$

แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของลอจิก AND ที่ผ่านการสอนแล้ว

การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม จะทำการป้อนอินพุตเข้าไปในโครงข่าย จากนั้นโครงข่ายจะทำการคำนวณหาค่าเอาต์พุตที่ถูกต้องออกมาแสดงดังภาพที่ 107

ภาพที่ 107

แพทเทิร์นที่ 1 $input_node_1 = 1.000$
 $input_node_2 = 1.000$
 $output_node = 0.966630$

แพทเทิร์นที่ 2 $input_node_1 = -1.000$
 $input_node_2 = 0.000$
 $output_node = -0.979466$

แพทเทิร์นที่ 3 $input_node_1 = 0.000$
 $input_node_2 = 1.000$
 $output_node = -0.96925$

แพทเทิร์นที่ 4 $input_node_1 = 0.000$
 $input_node_2 = 1.000$
 $output_node = -0.96925$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแบบส่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของลอจิก AND ที่ผ่านการคำนวณแล้ว

เนื่องจากการทำงานของลอจิก AND และ OR เป็นลอจิกที่ง่ายไม่ค้อมีค่าเอาต์พุตที่ขัดแย้งกัน ดังนั้นจึงทำการทดสอบกับลอจิก XOR เพื่อเป็นการยืนยันการทำงานของโครงข่ายว่าสามารถจดจำเงื่อนไขที่ทำการสอนได้

6.3.1.2 เอ็กครูซีฟออร์(XOR)

ลอจิก XOR จะให้ค่าเอาต์พุตเป็นจริง(true) ถ้าอินพุตตัวใดตัวหนึ่งในสองตัวเป็นจริงและให้เอาต์พุตเป็นเท็จ(false) ถ้าค่าอินพุตของทั้ง 2 ตัวเหมือนกัน ความสัมพันธ์ของลอจิก XOR แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14

X	X	----> Y
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

แสดงความสัมพันธ์ของลอจิก XOR

ทำการป้อนค่าอินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายในไฟล์ XOR_IN_0.DAT, XOR_IN_1.DAT, XOR_IN_2.DAT, XOR_IN_3.DAT, XOR_OUT_0.DAT, XOR_OUT_1.DAT, XOR_OUT_2.DAT, XOR_3.DAT โดยที่แต่ละไฟล์มีข้อมูลดังนี้

แพทเทิร์นคู่ที่ 1 XOR_IN_0.DAT = 1 1

XOR_OUT_0.DAT = 0

แพทเทิร์นคู่ที่ 2 XOR_IN_1.DAT = 1 0

XOR_OUT_1.DAT = 1

แพทเทิร์นคู่ที่ 3 XOR_IN_2.DAT = 0 1

XOR_OUT_2.DAT = 1

แพทเทิร์นคู่ที่ 4 XOR_IN_3.DAT = 0 0

XOR_OUT_3.DAT = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ จากนั้นทำการคำนวณโดยกำหนดให้มีอัตราการเรียนรู้เป็น 0.5 และกำหนดให้มีจำนวนอินพุต 2 โหนด ฮิดเดน 4 โหนดและเอาต์พุตแแน 1 โหนดทำการคำนวณจนกระทั่งมีค่าความผิดพลาดน้อย

กว่า 0.001 จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักเก็บไว้ในไฟล์ XOR_WEIGHT.DAT สำหรับค่าที่คำนวณได้ของค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละตัวแสดงดังรูปที่ 108

รูปที่ 108

wxh[0][0] =	0.000000	wxh[0][1] =	-1.235302
wxh[0][2] =	1.979924	wxh[0][3] =	2.409852
wxh[1][0] =	0.000000	wxh[1][1] =	-1.492969
wxh[1][2] =	-2.123984	wxh[1][3] =	-0.411134
wxh[2][0] =	-3.296567	wxh[2][1] =	-1.448214
wxh[2][2] =	-1.881397	wxh[2][3] =	-0.108064
who[0][0] =	-2.297119	who[1][0] =	-2.590207
who[2][0] =	2.558790	who[3][0] =	-0.001690

แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของลอจิก XOR ที่ผ่านการสอนแล้ว

การทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมกับลอจิก XOR ทำโดยการป้อนอินพุตแพทเทิร์น หลังจากนั้น โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการคำนวณให้ค่าเอาต์พุตที่ถูกต้องออกมา ดังรูปที่ 109

รูปที่ 109

แพทเทิร์นที่ 1 input_node_1 = 1.00000
 input_node_2 = 1.00000
 output_node = -0.974815

แพทเทิร์นที่ 2 input_node_1 = 1.00000
 input_node_2 = 0.00000
 output_node = 0.981051

แพทเทิร์นที่ 3 input_node_1 = 0.00000
 input_node_2 = 1.00000
 output_node = 0.982061

แพทเทิร์นที่ 4 input_node_1 = 0.00000
 input_node_2 = 0.00000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของลอจิก XOR ที่ผ่านการคำนวณแล้ว

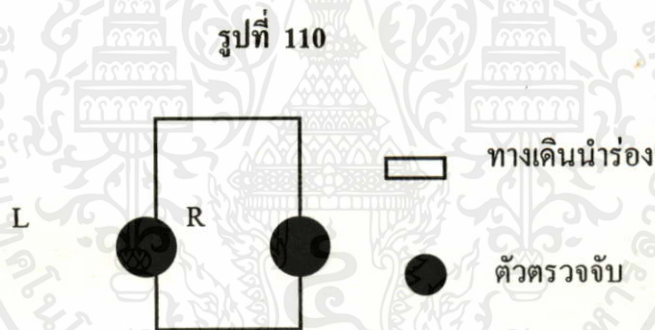
จากการทดสอบการทำงานของลอจิก AND และ OR จำนวน 20 ครั้งพบว่ามีความถูกต้อง 100เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นสามารถจดจำเงื่อนไขต่างๆที่สอนได้อย่างถูกต้อง

6.3.2 ทดสอบการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานกับระบบตรวจจับต่างๆของ AGV

สำหรับการทดสอบการทำงานในขั้นตอนนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็นตัวตรวจจับแต่ละชนิดก่อน เมื่อทดสอบแล้วว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้งานมีความถูกต้องดีแล้งจึงจะนำไปใช้งาน กับ AGV ทั้งระบบ

6.3.2.1 การทดสอบตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบ 2 บิต

ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบ 2 บิตนี้ถูกติดตั้งบริเวณใต้ตัว AGV มีหน้าที่ค้นหาเส้นทางเดินของ AGV จะมี 2 บิตดังแสดงในรูปที่ 110



การทดสอบการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้งานในการควบคุม AGV โดยใช้ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องเราจะกำหนดเงื่อนไขความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตดังนี้คือ อินพุตเป็นตัวตรวจจับซีกซ้ายและซีกขวา เอาต์พุตคือมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ของ AGV ซีกซ้ายและซีกขวา ซึ่งเป็นแบบความเร็วแตกต่าง ซึ่งเป็นเอาต์พุตเป้าหมายในการควบคุม AGV ความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบ 2 บิตกับเอาต์พุตของมอเตอร์แสดงดังตาราง 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15

LEFT SENSOR	RIGHT SENSOR	LEFT MOTOR	RIGHT MOTOR
0	0	1	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	1	0

แสดงเงื่อนไขของอินพุตและเอาต์พุตของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบ 2 บิต

นำข้อมูลในตารางไปทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมเป็นคู่แพทเทิร์นคือ

แพทเทิร์นคู่ที่ 1 GUIDE_2BIT_0.DAT = 0 0

OUT_GUIDE_0.DAT = 1 1

แพทเทิร์นคู่ที่ 2 GUIDE_2BIT_1.DAT = 0 1

OUT_GUIDE_1.DAT = 1 0

แพทเทิร์นคู่ที่ 3 GUIDE_GUIDE_2.DAT = 1 0

OUT_GUIDE_2.DAT = 0 1

แพทเทิร์นคู่ที่ 4 GUIDE_2BIT_3.DAT = 1 1

OUT_GUIDE_3.DAT = 1 0

หลังจากป้อนค่าอินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายเข้าโครงข่ายแล้วทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยกำหนดให้มีอัตราการเรียนรู้เป็น 0.5 และกำหนดให้มี อินพุต 2 โหนด ฮิดเดน 6 โหนด และมี เอาต์พุต 2 โหนด จากนั้นทำการคำนวณจนกระทั่งค่าความผิดพลาดรวมมีค่าน้อยกว่า 0.001 ก็จะ ได้ค่าถ่วงน้ำหนักออกมาแสดงในไฟล์ชื่อ weight_2bit.dat ค่าของตัวถ่วงน้ำหนักที่ได้แสดง ดังรูปที่ 111

รูปที่ 111

0.000000	-0.023532	0.840938	2.185209
1.848488	-0.834510	0.233500	-1.410568
0.192548	0.056627	0.432843	-1.623710
0.843559	-0.131339	0.035579	-0.433726
0.949557	-0.032286	-1.044718	2.668784
2.314336	-0.122838	0.000460	-0.000578
0.000476	-0.001764	-0.000079	-0.000244

แสดงค่าวงนำหนักของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องที่ผ่านการสอนแล้ว

การทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมการทำงานของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบ 2 บิต ทำโดย อ่านค่าอินพุตพอร์ตจากตัวตรวจจับเข้ามา จากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจะนำค่าวงนำหนักที่เก็บไว้มาทำการคูณกับค่าอินพุตนี้ และให้ค่า เอาต์พุตออกมาใช้ ควบคุมมอเตอร์ การทดสอบการทำงานของโครงข่ายแสดงดังรูปที่ 112

รูปที่ 112

แพทเทิร์นที่ 1	SENSOR LEFT	=	0.0000
	SENSOR RIGHT	=	0.0000
	MOTOR LEFT	=	0.969642
	MOTOR RIGHT	=	0.975728
แพทเทิร์นที่ 2	SENSOR LEFT	=	0.0000
	SENSOR RIGHT	=	1.0000
	MOTOR LEFT	=	0.999595
	MOTOR RIGHT	=	-0.991081
แพทเทิร์นที่ 3	SENSOR LEFT	=	1.0000
	SENSOR RIGHT	=	0.0000
	MOTOR LEFT	=	-0.970320
	MOTOR RIGHT	=	0.989252

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

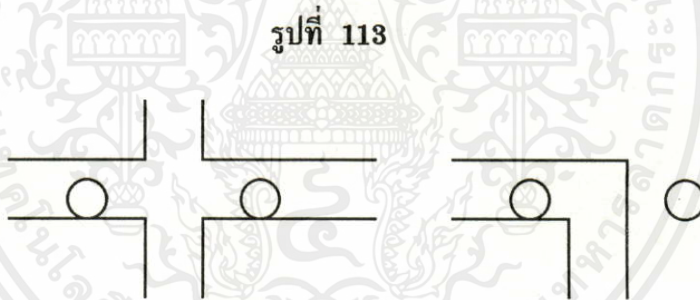
แพทเทิร์นที่ 4 SENSOR LEFT	=	1.0000
SENSOR RIGHT	=	1.0000
MOTOR LEFT	=	0.986537
MOTOR RIGHT	=	-0.984855

แสดงการทดสอบหาแอมป์พุทของตัวตรวจจับ 2 บิต ที่ผ่านการคำนวณแล้ว

จากการทดสอบการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมเป็นจำนวน 30 ครั้ง แอมป์พุทของให้ความถูกต้องเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

6.3.2.2 การทดสอบตัวตรวจจับทางแยกแบบดิจิทัล 2 บิต

ตัวตรวจจับทางแยกของ AGV แบบ 2 บิต ถูกติดตั้งอยู่บริเวณใต้ท้องของตัว AGV เช่นกัน ตัวตรวจจับนี้ทำหน้าที่ค้นหาทางแยกของทางเดินนำร่อง การใช้งานแสดงดังรูปที่ 113



แสดงการตรวจจับทางแยกของ AGV

สำหรับความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับทางแยกกับมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่แสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16

PATH LEFT	PATH RIGHT	MOTOR LEFT	MOTOR RIGHT
0	0	0	0
0	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 0 เพื่อการศึกษาเท่านั้น 1 มอนูญาตไ้ นำไปใช้ 1 ะโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง 1 ให้คำปลงเน้ 1 หา และต้อง 1 ้างอิงถึง 1 ้าของเอกสาร 1 ทุกครั้ง 1 ึ่งมีการนำไปใช้

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับทางแยกกับแอมป์พุทมอเตอร์

6.3.2.3 การทดสอบตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน

ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบ 2 บิตนี้ถูกติดตั้งบริเวณใต้ตัว AGV มีหน้าที่ค้นหาสถานีปฏิบัติงานของ AGV จะมี 2 บิตดังแสดงในรูปที่ 116

รูปที่ 116



แสดงการตรวจจับสถานีปฏิบัติงานของ AGV

สำหรับความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงานกับรีจิสเตอร์ควบคุมการค้นหาเส้นทาง การเคลื่อนที่แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17

X1	X2	X3	X4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับสถานีกับรีจิสเตอร์ของสถานี

นำข้อมูลของความสัมพันธ์ดังตารางไปสร้างไฟล์อินพุตและเอาต์พุตเป้าหมาย เพื่อทำการสอน
โครงข่ายประสาทเทียมลงในไฟล์

หลังจากป้อนค่าอินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายเข้าโครงข่ายแล้วทำการสอนโครงข่ายประสาท
เทียม โดยกำหนดให้มีอัตราการเรียนรู้เป็น 0.5 และกำหนดให้มี อินพุต 4 โหนด ฮิดเดน 8 โหนด
และมีเอาต์พุต 16 โหนด จากนั้นทำการคำนวณจนกระทั่งค่าความผิดพลาดรวมมีค่าน้อยกว่า 0.001
ก็จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักออกมาแสดงในไฟล์ชื่อ s_weight.dat ค่าของตัวถ่วงน้ำหนักที่ได้ แสดง
ดังรูปที่ 117

รูปที่ 117

-0.150000	-0.030000	0.115000	0.210000
0.465000	0.295000	0.240000	-0.285000
0.020000	0.235000	-0.230000	-0.250000
-0.130000	0.190000	-0.065000	-0.235000
0.440000	0.310000	-0.365000	0.005000
0.225000	-0.280000	-0.295000	-0.210000
-0.360000	0.375000	-0.075000	-0.395000
0.395000	0.470000	0.130000	0.040000
0.275000	0.040000	-0.235000	-0.385000
-0.105000	-0.005000	0.160000	-0.205000
-0.285000	0.000000	0.425000	-0.295000
-0.075000	0.485000	-0.365000	0.375000
-0.040000	-0.170000	-0.230000	-0.200000
-0.380000	-0.080000	-0.180000	-0.070000
0.020000	0.270000	0.335000	-0.395000
-0.055000	-0.495000	-0.435000	0.045000
-0.295000	0.090000	-0.470000	0.475000
-0.195000	-0.395000	-0.310000	-0.425000
0.480000	0.105000	-0.325000	0.300000
0.230000	-0.180000	0.440000	0.320000
-0.315000	-0.255000	-0.030000	0.235000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ หากมีผู้ใดละเมิดลิขสิทธิ์หรือละเมิดเงื่อนไขใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับสถานะที่ผ่านการสอนโครงข่ายแล้ว

การทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมการทำงานของตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงานแบบ 2 บิต ทำโดย อ่านค่าอินพุตพอร์ตจากตัวตรวจจับเข้ามา จากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจะนำค่าถ่วงน้ำหนักที่เก็บไว้มาทำการคูณกับค่าอินพุตนี้ และให้ค่า เอาต์พุตออกมาใช้ควบคุมมอเตอร์ การทดสอบการทำงานของโครงข่ายแสดงดังรูปที่ 118

รูปที่ 118

$$\text{input } x_1 = 0.0000$$

$$\text{input } x_2 = 1.0000$$

$$\text{input } x_3 = 0.0000$$

$$\text{input } x_4 = 0.0000$$

$$\text{station } 1 = 0.00210$$

$$\text{station } 2 = -0.34342$$

$$\text{station } 3 = -0.97054$$

$$\text{station } 4 = -1.00007$$

$$\text{station } 5 = 0.98465$$

$$\text{station } 6 = 0.34070$$

$$\text{station } 7 = 0.35558$$

$$\text{station } 8 = 0.26877$$

$$\text{station } 9 = -0.97650$$

$$\text{station } 10 = 0.35457$$

$$\text{station } 11 = 0.00016$$

$$\text{station } 12 = -0.56690$$

$$\text{station } 13 = 0.29854$$

$$\text{station } 14 = -0.56546$$

$$\text{station } 15 = 0.11730$$

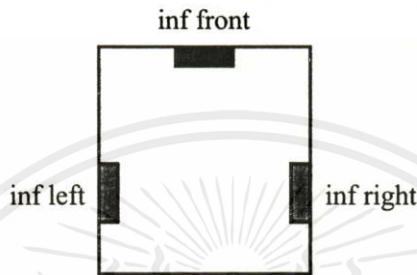
$$\text{station } 16 = 0.33519$$

แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน ที่ผ่านการคำนวณแล้ว
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
จากการทดสอบการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมเป็นจำนวน 20 ครั้ง เอาต์พุตของให้ความถูกต้อง
ต้องเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

6.3.2.4 การทดสอบตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยใช้ตัวตรวจจับแบบอินฟาเรด

ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรดถูกติดตั้งอยู่รอบๆตัว AGV ทำหน้าที่ตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ไม่มีการเคลื่อนที่ตัวตรวจจับแบบนี้มี 3 ตัว อยู่บริเวณด้านหน้า, ด้านซ้ายและด้านขวาของ AGV สูงจากพื้น 40 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 119

รูปที่ 119



แสดงการติดตั้งตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรด

กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวตรวจจับแบบอินฟาเรดกับมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18

inf front	inf left	inf right	MOTOR LEFT	MOTOR RIGHT
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0

แสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรดกับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผู้ใช้เอกสารนี้ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขการใช้งานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มิฉะนั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย

นำข้อมูลของความสัมพันธ์ดังตาราง ไปสร้างไฟล์อินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายเพื่อทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยแบ่งเป็นไฟล์ได้ดังนี้

แพทเทิร์นคู่ที่ 1	INF_IN_0.DAT	=	0	0	0
	INF_OUT_0.DAT	=	1	1	
แพทเทิร์นคู่ที่ 2	INF_IN_1.DAT	=	0	0	1
	INF_OUT_0.DAT	=	0	1	
แพทเทิร์นคู่ที่ 3	INF_IN_1.DAT	=	0	1	0
	INF_OUT_0.DAT	=	1	0	
แพทเทิร์นคู่ที่ 4	INF_IN_1.DAT	=	0	1	1
	INF_OUT_0.DAT	=	1	1	
แพทเทิร์นคู่ที่ 5	INF_IN_1.DAT	=	1	0	0
	INF_OUT_0.DAT	=	0	0	
แพทเทิร์นคู่ที่ 6	INF_IN_1.DAT	=	1	0	1
	INF_OUT_0.DAT	=	0	1	
แพทเทิร์นคู่ที่ 7	INF_IN_1.DAT	=	1	1	0
	INF_OUT_0.DAT	=	1	0	
แพทเทิร์นคู่ที่ 8	INF_IN_1.DAT	=	1	1	1
	INF_OUT_0.DAT	=	1	1	

หลังจากป้อนค่าอินพุตและแฮดพุตเป้าหมายเข้าโครงข่ายแล้วทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยกำหนดให้มีอัตราการเรียนรู้เป็น 0.5 และกำหนดให้มี อินพุต 3 โหนด ฮิดเดน 8 โหนด และมี แฮดพุต 2 โหนด จากนั้นทำการคำนวณจนกระทั่งค่าความผิดพลาดรวมมีค่าน้อยกว่า 0.001 ก็จะ ได้ค่าถ่วงน้ำหนักออกมาแสดงในไฟล์ชื่อ i_weight.dat ค่าของตัวถ่วงน้ำหนักที่ได้แสดงดังรูป ที่ 120

รูปที่ 120

-0.129720	0.461678	2.352560	0.320496
-0.942783	-1.498093	-0.045411	1.188183
1.099919	-1.134372	-0.021843	-0.836456
-0.918693	1.200346	-0.270521	2.427238
0.131188	-0.918693	2.427238	-0.333160
0.232813	2.824177	-0.008309	-0.000149
-0.002848	-0.016236		

แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรด

การทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ ควบคุมการทำงานของตัวตรวจจับ อินฟารัดทำโดยอ่านค่าอินพุตพอร์ตจากตัวตรวจจับเข้ามาจากนั้น โครงข่ายประสาทเทียมจะนำค่าถ่วงน้ำหนักที่เก็บไว้มาทำการคูณกับค่าอินพุตนี้ และให้ค่า เอาต์พุตออกมาใช้ควบคุมมอเตอร์ การทดสอบการทำงานของโครงข่ายแสดงดังรูปที่ 121

รูปที่ 121

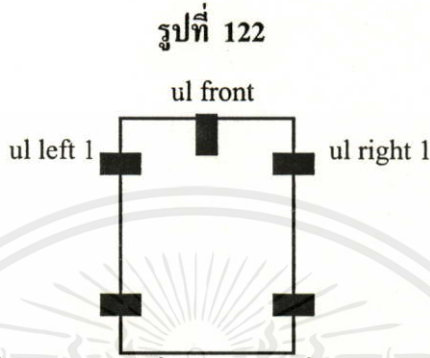
แพทเทิร์นที่ 1	inf front	=	0.0000
	inf left	=	0.0000
	inf right	=	0.0000
	MOTOR LEFT	=	0.936137
	MOTOR RIGHT	=	0.923144
แพทเทิร์นที่ 2	inf front	=	0.00000
	inf left	=	0.00000
	inf right	=	1.00000
	MOTOR LEFT	=	-0.932149
	MOTOR RIGHT	=	0.974090
แพทเทิร์นที่ 3	inf front	=	0.00000
	inf left	=	1.00000
	inf right	=	0.00000
	MOTOR LEFT	=	0.985300
	MOTOR RIGHT	=	-0.977825

แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟารัดที่ผ่านการคำนวณแล้ว

จากการทดสอบการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมเป็นจำนวน 30 ครั้งเอาต์พุตของให้ความถูกต้องเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2.5 การทดสอบตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวแบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ

ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวแบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติทำหน้าที่ตรวจจับสิ่งกีดขวางที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น คนหรือ AGV ตัวอื่นๆ มีรัศมีทำการประมาณ 40 cm ติดตั้งอยู่บริเวณรอบๆตัว AGV ดังแสดงในรูปที่ 122



แสดงการติดตั้งตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวอุตสาหกรรมอัตโนมัติ

กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวตรวจจับแบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติกับมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19

ul front	ul left 1	ul left 2	ul right 1	ul right 2	MOTOR LEFT	MOTOR RIGHT
0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	1	1	0	1
0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	1	1
0	0	1	1	0	1	1
0	0	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	1
0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	0	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนั้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหาและด้อยอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ul front	ul left 1	ul left 2	ul right 1	ul right 2	MOTOR LEFT	MOTOR RIGHT
0	1	1	0	1	1	1
0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0
1	0	1	1	0	0	0
1	0	1	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับอุลตราโซนิคกับมอเตอร์

นำข้อมูลของความสัมพันธ์ดังกล่าวไปสร้างไฟล์อินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายเพื่อทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมโดยแบ่งเป็นไฟล์ได้ดังนี้

แพทเทิร์นคู่ที่ 1 UL_IN_0.DAT = 0 0 0 0 0

UL_OUT_0.DAT = 1 1

แพทเทิร์นคู่ที่ 2	UL_IN_1.DAT	=	0	0	0	0	1
	UL_OUT_0.DAT	=	0	1			
แพทเทิร์นคู่ที่ 31	UL_IN_31.DAT	=	1	1	1	1	0
	UL_OUT_31.DAT	=	0	0			
แพทเทิร์นคู่ที่ 32	UL_IN_32.DAT	=	1	1	1	1	1
	UL_OUT_32.DAT	=	0	0			

หลังจากป้อนค่าอินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายเข้าโครงข่ายแล้วทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยกำหนดให้มีอัตราการเรียนรู้เป็น 0.5 และกำหนดให้มี อินพุต 5 โหนด ฮิดเดน 10 โหนด และมีเอาต์พุต 2 โหนด จากนั้นทำการคำนวณจนกระทั่งค่าความผิดพลาดรวมมีค่าน้อยกว่า 0.001 ก็จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักออกมาแสดงในไฟล์ชื่อ weight_UL.dat ค่าของตัวถ่วงน้ำหนักที่ได้ แสดงดังรูปที่ 123

รูปที่ 123

0.577137	-0.415963	1.564549	1.469012
0.572432	1.108850	-1.176004	-0.432137
0.395963	-1.144549	-0.509010	-0.007433
-0.578855	0.561002	1.048388	-0.335015
-0.415867	-1.085524	-0.052249	-0.172150
-1.490278	1.747892	-0.030851	-0.583748
0.814566	-1.045442	-0.167656	-1.450279
-1.045442	-0.167656	-1.450279	-1.140396
0.034065	1.460649	0.005387	0.034065
1.460649	0.005387	0.753737	0.107114
1.543306	-0.561487	1.885088	1.747892
0.814566	-1.045442	-1.140396	0.034065
0.000023	0.002076	0.003453	-0.001571
-0.000002	-0.000217	-1.667531	2.138906
-2.293144	0.777745		

แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวแบบอูลตราโซนิก

การทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมการทำงานของตัวตรวจจับอุตสาหกรรมโรบอติกทำโดยอ่านค่าอินพุตพอร์ตจากตัวตรวจจับเข้ามาจากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจะนำค่าถ่วงน้ำหนักที่เก็บไว้มาทำการคูณกับค่าอินพุตนี้ และให้ค่า เอาต์พุตออกมาใช้ควบคุมมอเตอร์ การทดสอบการทำงานของโครงข่ายแสดงดังรูปที่ 124

รูปที่ 124

แพทเทิร์นที่ 1	ul front	=	0.00000
	ul left 1	=	0.00000
	ul left 2	=	0.00000
	ul right 1	=	0.00000
	ul right 2	=	0.00000
	MOTOR LEFT	=	0.909217
	MOTOR RIGHT	=	0.908958
แพทเทิร์นที่ 2	ul front	=	0.00000
	ul left 1	=	1.00000
	ul left 2	=	0.00000
	ul right 1	=	0.00000
	ul right 2	=	1.00000
	MOTOR LEFT	=	0.991833
	MOTOR RIGHT	=	0.970157

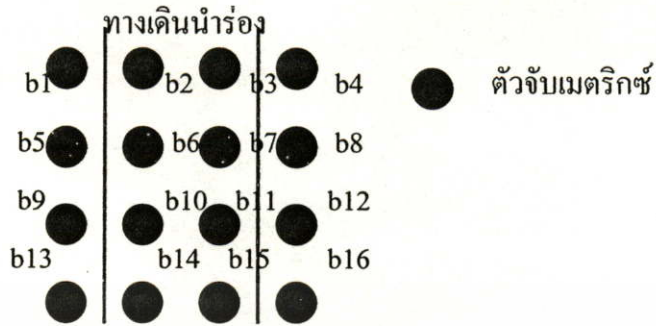
แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวดอุตสาหกรรมโรบอติก

จากการทดสอบการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมเป็นจำนวน 20 ครั้งเอาต์พุตของให้ความถูกต้องเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

6.3.2.6 การทดสอบตัวตรวจจับทางเดินร่องแบบเมตริกซ์

ตัวตรวจจับทางเดินร่องแบบเมตริกซ์ทำหน้าที่ตรวจจับทางเดินร่องของ AGV ตัวตรวจจับทางเดินร่องนี้ถูกติดตั้งอยู่บริเวณใต้ท้องของตัว AGV ดังแสดงในรูปที่ 125

รูปที่ 125



แสดงการตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องของตัวตรวจจับแบบเมตริกซ์

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบเมตริกซ์ 16 บิต ควบคุมการเคลื่อนที่สามารถกำหนดเงื่อนไขได้ถึง 65536 เงื่อนไขซึ่งเป็นการยากในการสอนโครงข่าย ดังนั้นจึงเปลี่ยนการกำหนดเงื่อนไขเป็นการอ่านค่าเป็นแถวและคอลัมภ์ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20

b1	b2	b3	b4	M_LEFT SPEED LOW	M_RIGHT SPEED LOW	M_LEFT SPEED FAST	M_RIGHT SPEED FAST
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	0	0	1	1
0	1	1	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0	1	0
1	1	0	0	1	1	0	0
1	1	0	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1

แสดงความสัมพันธ์ของตัวตรวจจับเส้นทางแบบเมตริกซ์กับมอเตอร์จับเคลื่อน

นำข้อมูลของความสัมพันธ์ดังกล่าวไปสร้างไฟล์อินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายเพื่อทำการสอน
โครงข่ายประสาทเทียมโดยแบ่งเป็นไฟล์ได้ดังนี้

แพทเทิร์นคู่ที่ 1	M_IN_0.DAT	=	0	0	0	0
	M_OUT_0.DAT	=	1	1	0	0
แพทเทิร์นคู่ที่ 2	M_IN_1.DAT	=	0	0	0	1
	M_OUT_0.DAT	=	0	0	0	1
แพทเทิร์นคู่ที่ 15	M_IN_16.DAT	=	1	1	1	0
	M_OUT_31.DAT	=	0	0	1	1
แพทเทิร์นคู่ที่ 16	M_IN_32.DAT	=	1	1	1	1
	M_OUT_32.DAT	=	0	0	1	1

หลังจากป้อนค่าอินพุตและเอาต์พุตเป้าหมายเข้าโครงข่ายแล้วทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียม
โดยกำหนดให้มีอัตราการเรียนรู้เป็น 0.5 และกำหนดให้มี อินพุต 4 โหนด ฮิดเดน 10 โหนด และมี
เอาต์พุต 4 โหนด จากนั้นทำการคำนวณจนกระทั่งค่าความผิดพลาดรวมมีค่าน้อยกว่า 0.001 ก็จะ
ได้ค่าถ่วงน้ำหนักออกมาแสดงในไฟล์ชื่อ b_weight.dat ค่าของตัวถ่วงน้ำหนักที่ได้แสดง ดังรูป
ที่ 126

รูปที่ 126

1.576403	-1.221601	4.341696	-3.468559	0.020989
-0.016274	0.549778	0.051160	-2.176586	0.693426
0.776485	0.92525	-0.348279	-1.568735	-4.415536
1.672648	0.155705	0.504497	0.185040	-0.090401
-0.369405	-2.176484	-0.553644	-0.019263	-1.100480
0.290397	-2.388950	0.558754	-2.361329	-0.086207
-2.227063	-1.042226	-1.033603	0.800134	2.934685
-1.836157	-2.176484	-0.553644	-0.019263	1.618382
-2.361329	-0.086207	-2.227063	0.289831	1.515635
-0.901491	1.439906	-0.000000	-0.006680	0.000171
0.087799	0.008826	-0.141213	0.094198	-0.016969
-0.000000	-0.000618	0.003257	0.008171	0.859879
2.020420	-2.597842	-1.355172	-3.04709	1.457480

แสดงค่าถ่วงน้ำหนักของตัวตรวจจับเส้นทางแบบเมตริกซ์กับมอเตอร์ขับเคลื่อน

การทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ควบคุมการทำงานของตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบเมตริกซ์ทำโดยอ่านค่าอินพุตพอร์ตจากตัวตรวจจับเข้ามาจากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจะนำค่าถ่วงน้ำหนักที่เก็บไว้มาทำการคูณกับค่าอินพุตนี้ และให้ค่า เอาต์พุตออกมาใช้ควบคุมมอเตอร์ การทดสอบการทำงานของโครงข่ายแสดงดังรูปที่ 127

รูปที่ 127

แพทเทิร์นที่ 1	b1	=	0.00000
	b2	=	0.00000
	b3	=	1.00000
	b4	=	0.00000
	MOTOR LEFT LOW	=	-0.930193
	MOTOR RIGHT LOW	=	-0.999999
	MOTOR LEFT FAST	=	0.988341
MOTOR RIGHT FAST	=	-0.970023	
แพทเทิร์นที่ 2	b1	=	0.00000
	b2	=	1.00000
	b3	=	0.00000
	b4	=	0.00000
	MOTOR LEFT LOW	=	-0.9999955
	MOTOR RIGHT LOW	=	0.999949
	MOTOR LEFT FAST	=	-0.999596
MOTOR RIGHT FAST	=	0.893677	

แสดงการทดสอบหาเอาต์พุตของตัวตรวจจับทางเดินแบบเมตริกซ์

จากการทดสอบการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมเป็นจำนวน 50 ครั้ง เอาต์พุตของให้ความถูกต้องเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

6.3.3 การทดสอบการใช้งาน AGV ทั้งระบบ

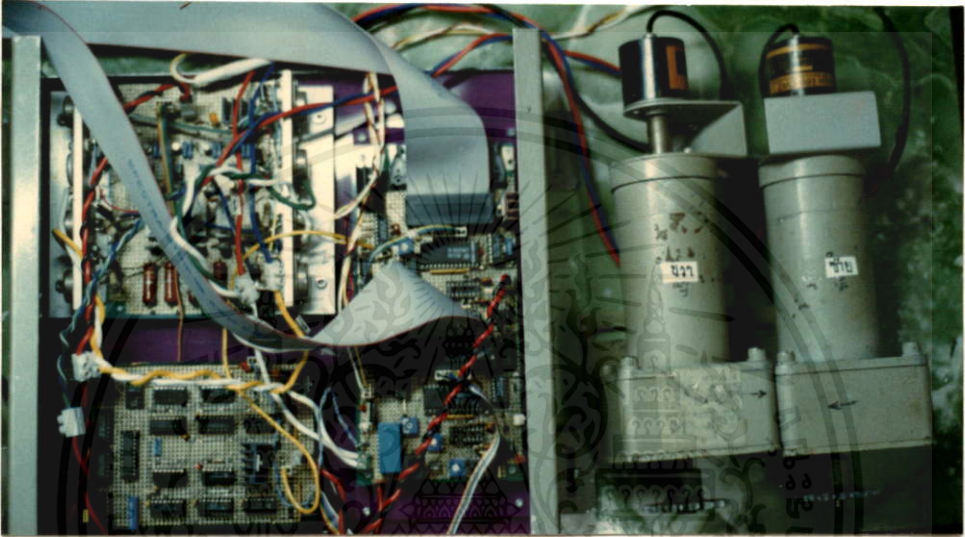
หลังจากที่ทำการทดสอบการทำงานทางฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ควบคุมของวงจรตรวจจับชนิดต่างๆที่ระบบเรียบร้อยแล้ว ปรากฏว่าผลการทดลองออกมาถูกต้องทั้งหมด ต่อไปจะเป็นการนำระบบตัวตรวจจับชนิดต่างๆมาทำงานรวมกัน ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตจากตัวตรวจจับต่างๆแสดงดังตาราง 21

- pat : แพทเทิร์น
- GL : ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องซีกซ้าย
- GR : ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องซีกขวา
- PL : ตัวตรวจจับทางแยกซีกซ้าย
- PR : ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องซีกขวา
- X1 : ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงานตัวที่ 1
- X2 : ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงานตัวที่ 2
- X3 : ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงานตัวที่ 3
- X4 : ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงานตัวที่ 4
- IF : ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรดด้านหน้า
- IL : ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรดด้านซ้าย
- IR : ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟาเรดด้านขวา
- UF : ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวด้านหน้า
- UI1 : ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวด้านซ้ายตัวที่ 1
- UI2 : ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวด้านซ้ายตัวที่ 2
- Ur1 : ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวด้านขวาตัวที่ 1
- Ur2 : ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวด้านขวาตัวที่ 2
- MIF : มอเตอร์ด้านซ้ายเดินหน้า
- MIB : มอเตอร์ด้านซ้ายถอยหลัง
- MIR : มอเตอร์ด้านซ้ายเลี้ยวขวา
- MIL : มอเตอร์ด้านซ้ายเลี้ยวซ้าย
- MrF : มอเตอร์ด้านขวาเดินหน้า
- MrB : มอเตอร์ด้านขวาถอยหลัง
- MrR : มอเตอร์ด้านขวาเลี้ยวขวา
- MrL : มอเตอร์ด้านขวาเลี้ยวซ้าย
- Li : ไฟฉุกเฉินสำหรับขอทาง
- S : เสียงเตือนพบสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

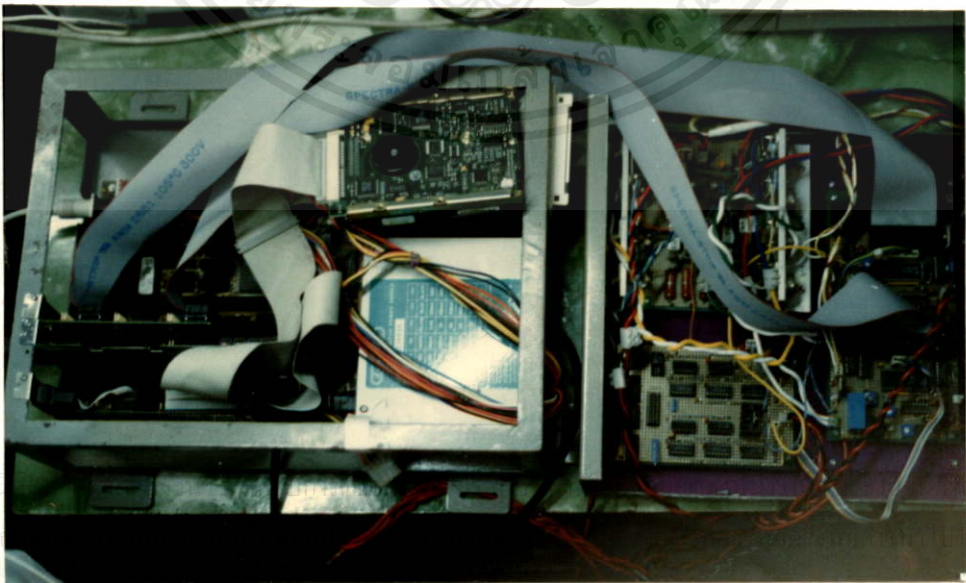
เมื่อทำการทดสอบการทำงานของระบบทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์แล้ว ต่อไปเป็นการทดสอบการทำงานของ AGV ทั้งระบบโดยจะทำการประกอบวงจรส่วนต่างๆทั้งระบบทางฮาร์ดแวร์และตัวควบคุมการทำงานของ AGV(80386 dx-40) ลงบน ตัวระบบทางกลที่ได้ทำการออกแบบไว้ โครงสร้างการติดตั้งระบบต่างๆแสดงดังภาพต่อไปนี้

ภาพที่ 126



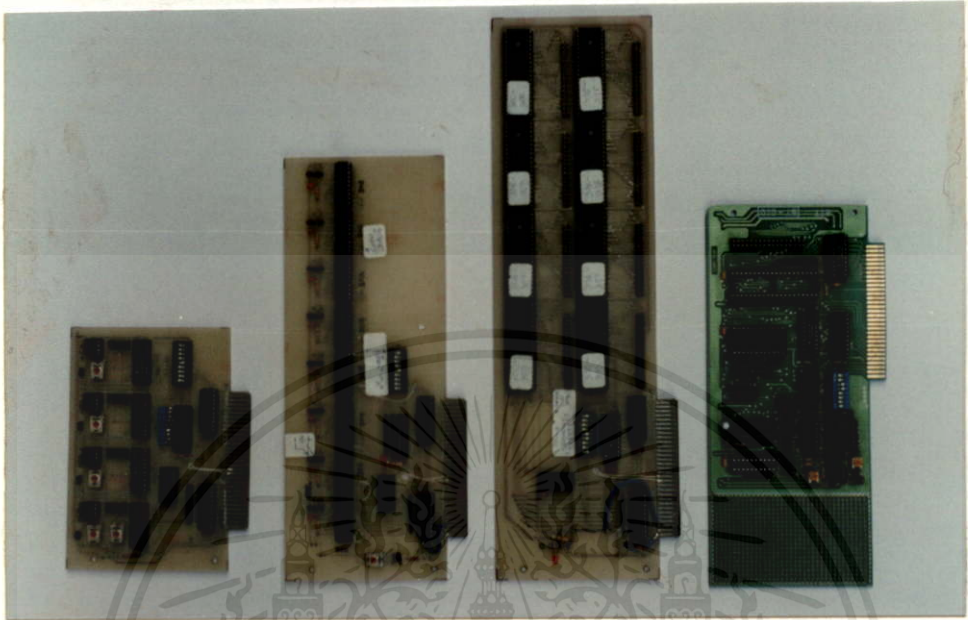
แสดงวงจรการทำงานของตัวควบคุมมอเตอร์

ภาพที่ 127



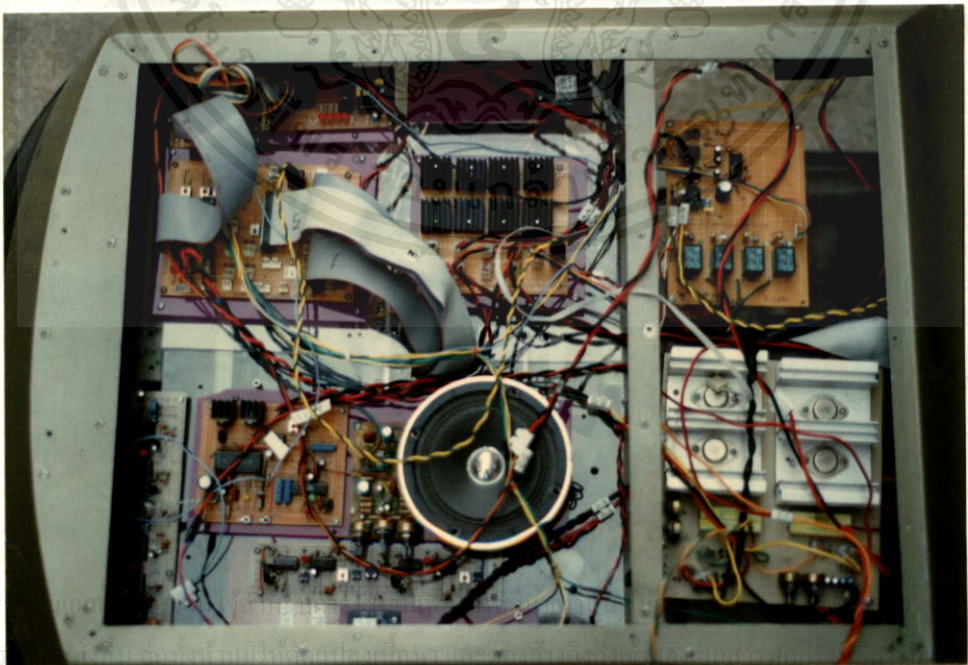
แสดงวงจรของตัวควบคุม 80386DX-40

ภาพที่ 128



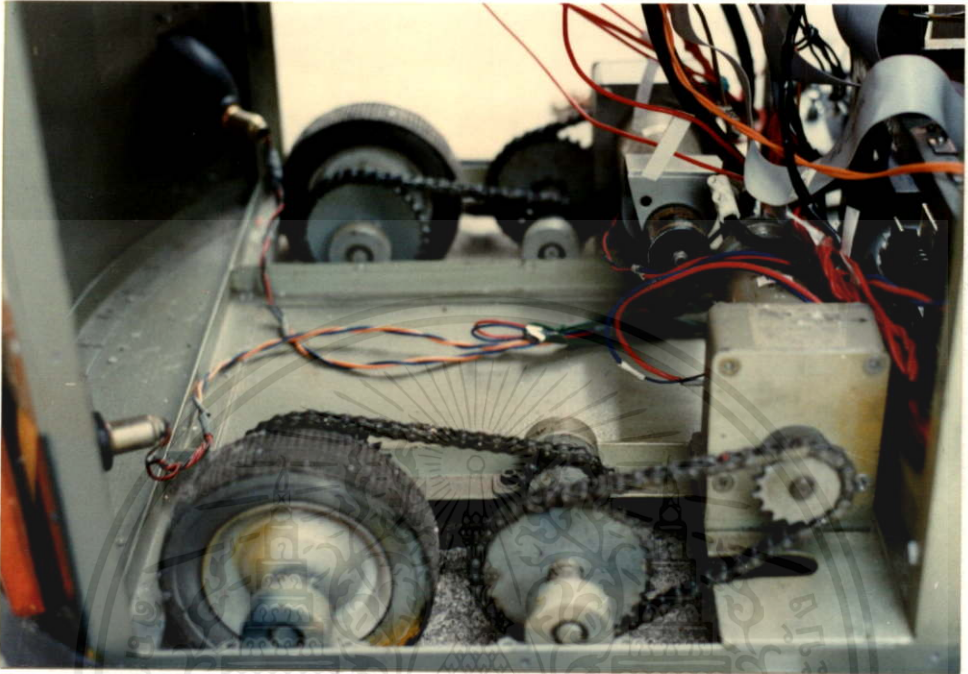
แสดงวงจรของตัวเชื่อมต่อตัวควบคุมกับระบบภายนอก(Interface)

ภาพที่ 129



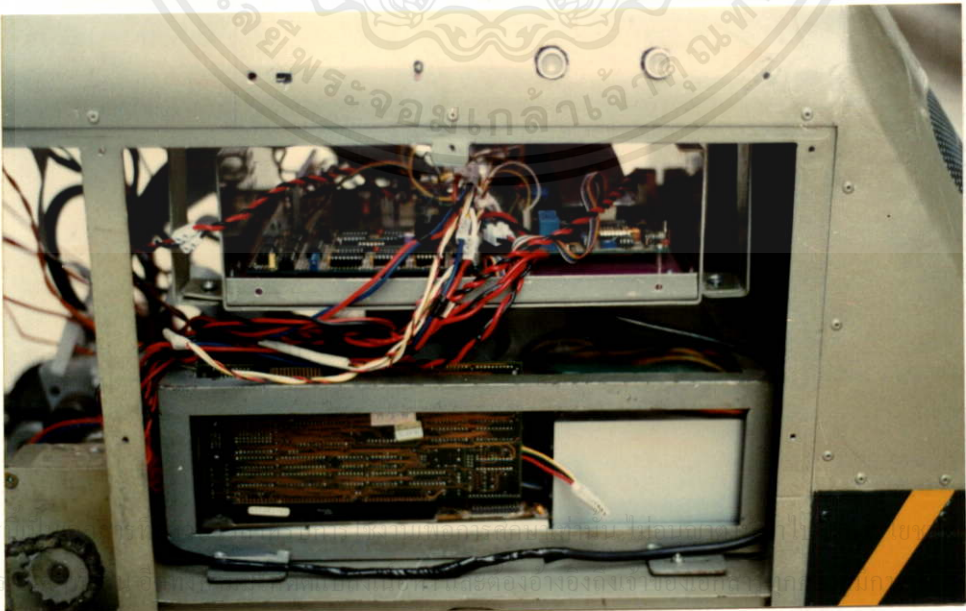
แสดงการติดตั้งวงจรตรวจจับต่างๆบน AGV

ภาพที่ 130



แสดงการติดตั้งระบบขับเคลื่อนของ AGV

ภาพที่ 131

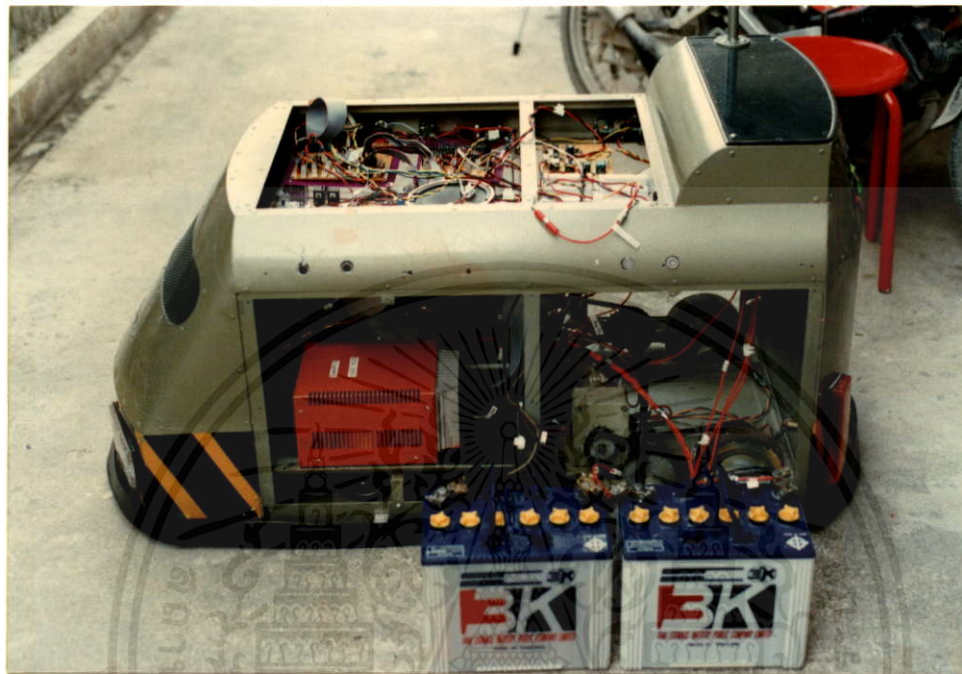


แสดงการติดตั้งตัวควบคุมเข้ากับ AGV

เอกสาร
ไม่ว่ากร

นการก้า
ซ้

ภาพที่ 132



แสดงการติดตั้งระบบจ่ายไฟเลี้ยงของ AGV

ภาพที่ 133



แสดงวิธีการแก้ไขโปรแกรมโดยการเชื่อมต่อกับจอ VGA และคีย์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... การค้า
ไม่ว่าใครก็ตามที่นำออกเผยแพร่... ให้นำไปใช้

ภาพที่ 134



แสดงโครงสร้างทางกลด้านหน้าของ AGV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 135



แสดงโครงสร้างทางกลด้านหลังของ AGV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 136



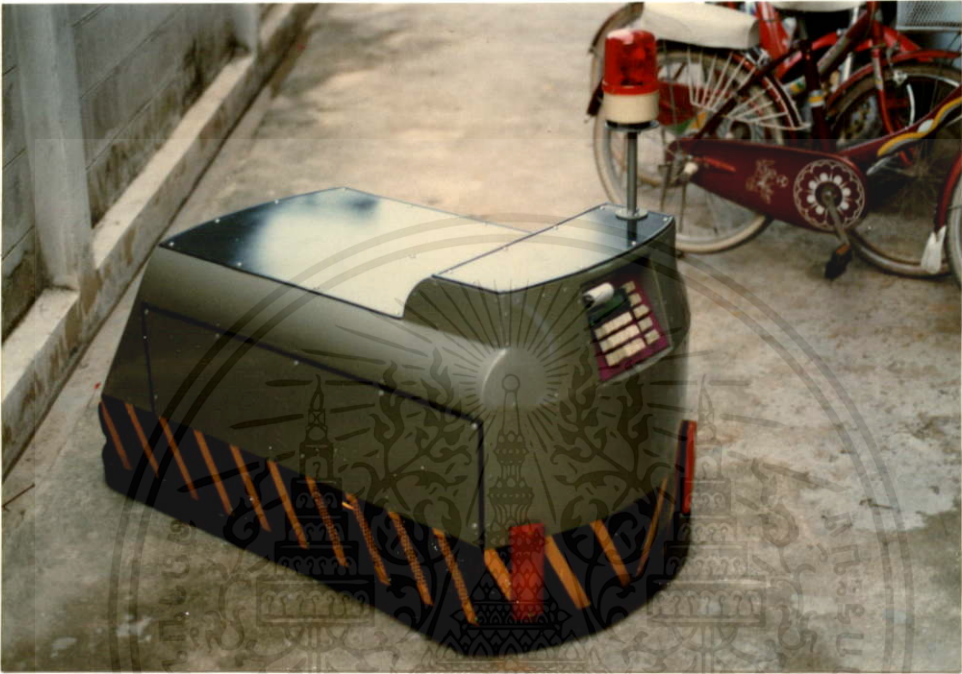
แสดงโครงสร้างทางกลด้านหลังของ AGV

6.3.4 การทดสอบการทำงานในโหมดต่างๆของยานขนส่ง

ทดสอบการทำงานในโหมดต่างๆของยานขนส่งซึ่งประกอบด้วย ระบบการตรวจสอบและหยุดการทำงานของส่วนขับเคลื่อนเมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขวาง ระบบเคลื่อนที่ตามเส้นทางนำร่อง ระบบควบคุมโดยใช้รีโมทควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 137



แสดงการเคลื่อนที่ของ AGV เมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 138



แสดงการเคลื่อนที่ออกจากสิ่งกีดขวางของ AGV

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จะถือว่าผิดกฎหมายและจะดำเนินการดำเนินคดีต่อไป

6.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองระบบตรวจจับต่างๆอันประกอบด้วย ระบบตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง ระบบตรวจจับทางแยก ระบบตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน ระบบตรวจจับเส้นทางแบบเมตริกซ์ ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง ระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง และระบบความปลอดภัยต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองโดยแยกแต่ละประเภทได้ดังนี้

6.4.1 ระบบตรวจจับเส้นทางเดินนำร่อง

ระบบตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องแบบ 2 บิต สามารถตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องมีระยะจากตัวตรวจจับถึงทางเดินนำร่องอยู่ระหว่าง 0 ถึง 4 เซ็นติเมตร โดยสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ภายใต้การควบคุมการทำงานของโปรแกรมควบคุมแบบปิดเปิด

ระบบตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องแบบเมตริกซ์ ระบบตรวจจับเส้นทางแบบเมตริกซ์นี้มีระยะในการตรวจจับประมาณ 0 ถึง 6 เซ็นติเมตรจากพื้นของเส้นทางถึงตัวตรวจจับ ระบบการทำงานของตัวตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากในกรณีที่เส้นทางของทางเดินนำร่องมีความเสียหายจากสิ่งสกปรกมาเกาะติด อาทิ ฝุ่นละอองได้ดีในการควบคุมแบบปิดเปิด และสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากขึ้นโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาทำการตัดสินใจ

การเปรียบเทียบการทำงานของวิธีในการตรวจจับเส้นทางในการนำร่องโดยทั่วไปกับระบบตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องที่ออกแบบขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้มีดังนี้

ตารางที่ 23

คุณสมบัติของตัวตรวจจับ	ระบบการตรวจจับของAGVทั่วไป	ระบบของ AGV ในวิทยานิพนธ์
จำนวนของตัวตรวจจับ	2	16
ระยะในการตรวจจับสูงสุด	4 cm	6 cm
ขนาดของเส้นทางที่ตรวจจับได้	มีขนาดความกว้างเดียว	มีความกว้างหลายขนาด
สีของเส้นทางนำร่อง	ดำหรือขาว(อย่างเดียว)	ได้ทั้ง 2 แบบ
ความละเอียดในการตรวจจับ	น้อย	มาก
วิธีในการควบคุม	แบบเปิดปิด(on/off)	ใช้โครงข่ายประสาทเทียม
กรณีทางเดินแปรอะเปรีออนหรือมีฝุ่นละออง	ใช้งานเพื่อทำงานผิดพลาด มีอนุภาคให้ทำงานได้ถูกต้อง	สามารถทำงานได้ถูกต้อง

แสดงการเปรียบเทียบการทำงานของตัวตรวจจับ 2 บิตกับแบบเมตริกซ์

6.4.2 ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ระบบตัวตรวจจับสิ่งกีดขวาง ถูกใช้ในการเพิ่มความฉลาดให้กับยานขนส่ง ตัวตรวจจับแต่ละแบบมีความสามารถในการทำงานแตกต่างกัน โดยปกติแล้วระบบ AGV โดยทั่วไปมักจะใช้ตัวตรวจจับชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้นกล่าวคือ อาจใช้อุลตราโซนิกอย่างเดียวหรืออินฟราเรดอย่างเดียวการตรวจจับสิ่งกีดขวางจึงอาจมีความผิดพลาดขึ้นได้ อาทิเช่น ถ้าใช้ตัวตรวจจับแบบอินฟราเรดอย่างเดียวก็ จะไม่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางที่โปร่งใสเช่นกระจกได้ แต่ถ้าใช้ตัวตรวจจับแบบอุลตราโซนิกก็จะมีระยะในการตรวจจับสั้นและถูกรบกวนได้ง่ายเนื่องจากเป็นความถี่เสียง ด้วยเหตุนี้ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้มีการนำตัวตรวจจับหลายแบบมาใช้เพื่อเป็นการกำจัดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ตัวตรวจจับที่นำมาใช้นี้ประกอบด้วย ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอุลตราโซนิก ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรด ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวแบบอุลตราโซนิก ซึ่งจากผลการทดสอบปรากฏว่าระบบที่ประกอบด้วยตัวตรวจจับทั้ง 3 แบบที่กล่าวมานี้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอุลตราโซนิกดิจิตอลและแบบอนาล็อก สามารถทำการตรวจจับสิ่งกีดขวางทั้งแบบสิ่งกีดขวางไม่เคลื่อนไหวและแบบสิ่งกีดขวางเคลื่อนไหวได้ดี โดยมีระยะในการตรวจจับสิ่งกีดขวางประมาณ 30 เซ็นติเมตร และจะสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำในบริเวณที่ไม่มีสิ่งรบกวนในย่านความถี่ อุลตราโซนิก ระบบตรวจจับชนิดนี้จึงเหมาะจะนำไปใช้ใน พื้นที่สงบ เช่น clean room

ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรดมีระยะในการตรวจจับอยู่ที่ 30 เซ็นติเมตร และจะมีพิสัยในการตรวจจับไกลเป็น 40 เซ็นติเมตรในกรณีที่ พื้นผิวสะท้อนเป็นสีขาว

6.4.3 ระบบตรวจจับทางแยก

ระบบตรวจจับทางแยกมีระยะในการตรวจจับ จากตัวตรวจจับถึงเส้นทางนำร่อง 0 ถึง 4 เซนติเมตรเช่นกัน จากการทดสอบระบบตรวจจับทางแยกนี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำทั้งการควบคุมด้วยโปรแกรมควบคุมแบบปิดเปิด และแบบใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการประมวลผล

6.4.4 ระบบตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน

ระบบตรวจจับสถานีปฏิบัติงานสามารถทำการถอดรหัสได้อย่างถูกต้องแม่นยำ มีระยะในการตรวจจับอยู่ที่ 4 เซนติเมตรจากตัวตรวจจับถึงข้อมูลของรหัสสถานี แต่จากการทดลองพบกัปัญหาคือ ระบบตรวจ จับแบบนี้ไม่สามารถอ่านรหัสแบบกลับหัวได้ จึงต้องทำการแก้ไขต่อไป

6.4.5 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่

ระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ทำงานแบบ PWM สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยในโหมดความเร็วสามารถตั้งค่าความเร็วได้ 256 ระดับ โดยมีความเร็วตั้งแต่ 0 เมตร/นาทิจนถึง 15 เมตร/นาทิจำลองด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ เคลื่อนที่ได้ทั้งทิศทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาได้อย่างถูกต้อง ในโหมดการควบคุมตำแหน่งนั้นสามารถหยุดตามเป้าหมายได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ทั้งทิศทวนเข็มนาฬิกา การทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งจะมีโหมดความเร็วเป็นตัวควบคุมอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะใช้การป้อนกลับของตัวเอ็นโค้ดเดอร์ที่เป็นพัลส์มาทำการนับค่าหาตำแหน่งหยุด เมื่อมอเตอร์เคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่ต้องการ วงจรจะทำการล็อกแกนของมอเตอร์ ระบบควบคุมที่ได้ออกแบบขึ้นใช้นี้สามารถตั้งค่าทางความเร็ว ความเร่ง และตำแหน่งการหยุดและการเริ่มเคลื่อนที่ ของมอเตอร์ ได้ สำหรับการเพิ่มหรือเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์PIDสามารถทำให้ระบบควบคุมเป็นไปตามต้องการได้โดยการเปลี่ยนแปลงทางซอฟต์แวร์

ระบบความปลอดภัยของยานขนส่งประกอบด้วยไฟเลี้ยว ไฟฉุกเฉิน เสียงเตือน ลิมิตสวิตช์ซึ่งสั่งงานจากไมโครโปรเซสเซอร์ โดยจะมีการเตือนเมื่อพบสิ่งกีดขวางได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

6.4.6 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้งาน สามารถแก้ปัญหาความผิดพลาดจาก จากการอ่านค่าของข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนได้ดี ในกรณีที่ค่าของอินพุตจากตัวตรวจจับต่างๆ ไม่สมบูรณ์ อาทิเช่น กรณีที่เส้นทางเดินนำร่องมีการแปรอะปรืออนเป็นต้น ผลจากการทดลองตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบดิจิทัล 2บิต ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้ในยานขนส่งทั่วไป กับตัวตรวจจับที่ออกแบบขึ้นใช้ในวิทยานิพนธ์นี้แบบเมตริกซ์และใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการควบคุม ปรากฏว่าเมื่อนำมาทดสอบกับเส้นทางเดินนำร่องที่มีบางส่วนแปรอะปรืออนไป ปรากฏว่าตัวตรวจจับแบบดิจิทัล 2บิตทำงานผิดพลาดตลอด โดยไม่สามารถวิ่งไปบนเส้นทางที่ถูกต้องได้ แต่ตัวตรวจจับแบบเมตริกซ์ที่มีโครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัวควบคุม จึงสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องทุกครั้งที่การควบคุมโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมนี้ เหมาะจะนำไปใช้งานในสถานที่ปฏิบัติงานจริง เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้ และยังเป็นกราง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงและการ

เพิ่มความชาญฉลาดของยานขนส่ง นอกจากนี้การนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ควบคุมระบบอื่นยังเป็นการง่ายกว่าคือ ผู้ออกแบบตัวควบคุม(controller)ไม่จำเป็นต้องรู้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ(plant)นั้นเลย เพียงแต่กำหนดเงื่อนไขของอินพุตและเอาต์พุตลงไปเท่านั้นก็สามารถควบคุมระบบนั้นๆให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำได้ และที่สำคัญอย่างยิ่งคือโครงข่ายประสาทเทียม สามารถแก้ปัญหาในระบบที่มีหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต(multi input and multi output)ได้ดี ในขณะที่ระบบแบบอื่น เช่นพีไอดี(PID) และ ฟัซซี่ลอจิก(FUZZY LOGIC) ไม่สามารถทำได้หรือเป็นไปได้ยาก เนื่องจากจะต้องทำการออกแบบกฎและคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆมากมาย นอกจากนี้ยังเป็นการเสียเวลาในการคำนวณนานมาก แต่ระบบโครงข่ายประสาทเทียมทำการคำนวณเป็นแบบขนาน(parallel processor) สามารถลดเวลาในการทำงานได้มาก อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบที่มีตัวประมวลผลหลายตัว(multi processor)ได้ ระบบที่จะมาทำการเชื่อมต่อหรือจะให้โครงข่ายประสาทเทียมมาเป็นตัวควบคุม สามารถทำการสอนเงื่อนไขต่างๆ เข้าเป็นอินพุตและเอาต์พุตของระบบ แล้วให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ได้ โดยไม่ต้องไปเปลี่ยนแปลงแก้ไขในส่วนของรหัสโปรแกรม(source code)ของโครงข่ายประสาทเทียมเลย ดังนั้นการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาทำการตัดสินใจจึงมีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพกว่าวิธีอื่นๆมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและสร้างยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ (AGV) ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่

ก) ระบบทางกล

ตัวยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ ซึ่งมีขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ความยาว 1 เมตร สูง 40 เซนติเมตร มีล้อหน้าเป็นล้ออิสระ 2 ล้อ และ ล้อขับเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน 2 ล้อ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้การควบคุมแบบความเร็วแตกต่างกันและทดกำลังเป็น 200 กิโลกรัม สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที สามารถรับน้ำหนักบรรทุก ประมาณ 50 กิโลกรัม

ข) ระบบตัวตรวจจับที่ใช้กับยานขนส่ง

สำหรับระบบตัวตรวจจับของยานขนส่งที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ตัวตรวจจับเส้นทางเดินนำร่องแบบ 2 บิต , ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องแบบเมตริกซ์ 16 บิต, ตัวตรวจจับทางแยก, ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน, ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรด, ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบเคลื่อนไหวด้วยอัลตราโซนิก , ระบบตรวจจับแรงดันแบตเตอรี่

ค) ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของยานขนส่ง

สำหรับระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของยานขนส่ง จะใช้ไมโคร โปรเซสเซอร์ควบคุมมอเตอร์ โดยเฉพาะเบอร์ LM628 ซึ่งทำงานแบบเชิงเส้น แต่ในวิทยานิพนธ์นี้นำมาดัดแปลงให้สามารถทำงานในแบบ PWM เพื่อลดพื้นที่และน้ำหนักของตัวระบยควบคุมมอเตอร์นี้สามารถควบคุมได้ทั้งความเร็วและแบบตำแหน่งโดยสามารถทำงานได้ 4ควอดแรนต์ ตัวควบคุมนี้สามารถปรับแต่งค่า PID ได้เพื่อทำให้การออกตัวและการหยุดของยานขนส่งมีประสิทธิภาพดี จากการทดลองพบว่าวงจรถูกควบคุมนี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องในโหมดความเร็ว และโดยเฉพาะในโหมดตำแหน่งนั้นสามารถหยุดตามเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง แม่นยำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ ใช้งานด้านธุรกิจ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง) ระบบควบคุมโดยใช้รีโมทคอนโทรล

สำหรับการควบคุมยานขนส่งในการแบบโต้ตอบจะใช้รีโมทคอนโทรลควบคุม โดยมี ระยะไกล 15 เมตรทำการมอดูเลทด้วยความถี่อินฟราเรด และมีการเข้ารหัสแบบ PPM ทั้งนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ ในการสั่งการให้ยานขนส่งมีความสามารถเคลื่อนที่ออกนอกเส้นทาง และสามารถสั่งงานแบบโต้ตอบที่ละคำสั่งกับยานขนส่งได้

จ) ระบบประมวลผลกลางและควบคุมยานขนส่ง

สำหรับระบบควบคุมยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ นั้น ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เบอร์ 80386 DX ทำงานที่ความถี่ 40 MHz และมีหน่วยความจำ 4 Mb เหตุผลที่เลือกใช้เครื่อง PC เป็นตัวควบคุม เพราะ สามารถทำการคำนวณซอฟต์แวร์ที่เป็นเลขจำนวนจริง (floating point) ได้ดี ทั้งนี้เหมาะสมอย่างยิ่งกับการควบคุมด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และยังเป็นทางเลือกแบบเพื่อไว้ในอนาคตเพราะ สามารถทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขซอฟต์แวร์ได้ง่าย และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของบอร์ดควบคุมได้ง่าย โดยสามารถเปลี่ยนแปลงเบอร์ของบอร์ดควบคุมเป็นแบบที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบันได้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับการพัฒนาและการใช้งานยานขนส่ง ในอนาคตทำให้ระบบยานขนส่งมีความยืดหยุ่นสูงสามารถนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมได้จริง

ฉ) ซอฟต์แวร์ควบคุมยานขนส่ง

สำหรับโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของยานขนส่งจะใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาทำการควบคุม ประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเทียมคือ สามารถควบคุมการทำงานของระบบที่มีหลายอินพุตและหลายเอาต์พุตได้ดี อีกทั้งยังเป็นการคำนวณแบบขนาน ทำให้เสียเวลาในการคำนวณน้อย และยังเป็นระบบควบคุมที่ไม่จำเป็นต้องรู้ว่าพารามิเตอร์ภายใน ต่างๆ ของระบบ (plant) ด้วย ดังนั้นการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ควบคุมยานขนส่งจึงเป็นประโยชน์อย่างมากเนื่องจากยานขนส่งที่สร้างขึ้นมีหลายอินพุตและหลายเอาต์พุต คือมีตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ เป็นอินพุตและมีมอเตอร์เป็นเอาต์พุต การนำตัวควบคุมชนิดอื่นมาใช้ จะเป็นการยากลำบากเป็นอย่างยิ่ง อีกทั้งยังอาจเสียเวลาในการคำนวณนานมาก เป็นผลให้ระบบทำงานผิดพลาดได้ การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาทำการควบคุมยานขนส่งทำได้โดยจะทำการสอนเงื่อนไขต่างๆ (สัญญาณจากตัวตรวจจับชนิดต่างๆ และเอาต์พุตมอเตอร์) ที่จะเกิดขึ้นกับยานขนส่ง จนกระทั่งสามารถจดจำเงื่อนไขต่างๆ ได้หมดแล้ว จึงเก็บค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) เอาไว้ อีก การใช้งานทำโดยนำสัญญาณอินพุตจากตัวตรวจจับเข้ามาเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม จากนั้นจะนำค่าถ่วงน้ำหนักที่เก็บไว้มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าเอาต์พุตที่ถูกต้องไปควบคุมมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนขับเคลื่อนของยานขนส่งต่อไป ดังนั้นการนำโครงข่าย

ประสาทเทียมมาใช้ในการควบคุมยานขนส่ง จะทำให้ยานขนส่งมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และสามารถเพิ่มความฉลาดในการตัดสินใจได้ง่ายอีกด้วย

ช) ระบบความปลอดภัยของยานขนส่ง

เนื่องจากตัวยานขนส่งมีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมากจึงต้องมี ระบบรักษาความปลอดภัย ของยานขนส่ง เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายจากการเคลื่อนที่ชนสิ่งกีดขวาง ระบบความปลอดภัยของยานขนส่งประกอบด้วย ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง , ระบบไฟเลี้ยว, ระบบไฟและระบบเสียงขอทาง เพื่อเป็นการเตือนสิ่งกีดขวางต่างๆ ขณะที่ยานขนส่งเคลื่อนที่เข้าใกล้หรือยานขนส่งเกิดการชนกับสิ่งกีดขวางขึ้น

7.1 ข้อเสนอแนะ

ก) ปัญหาที่เกิดขึ้นกับยานขนส่งคือ น้ำหนักของยานขนส่งซึ่งเมื่อรวมน้ำหนักบรรทุกแล้ว จะมีน้ำหนักประมาณ 200 กิโลกรัม แต่น้ำหนักของยานขนส่งส่วนใหญ่เกิดจากน้ำหนักของแบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟเลี้ยงของยานขนส่ง ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดขนาด 12 โวลต์ 50 แอมป์จำนวน 2 ลูก ซึ่งมีน้ำหนักรวมประมาณ 35 กิโลกรัม อีกทั้งยังเสียเวลาในการประจุนานมาก จึงควรมีการปรับปรุงชนิดของแบตเตอรี่ให้มีน้ำหนัก น้อยลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นเปลี่ยนเป็นแบบเซลล์แห้ง

ข) เนื่องจากยานขนส่งถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ PC เบอร์ 80386 DX-40 ดังนั้นการคำนวณในแบบเลขจำนวนจริง(floating point) จึงเสียเวลาในการคำนวณนาน แต่เหตุผลที่เลือกใช้บอร์ดควบคุมชนิดนี้เพราะสามารถเปลี่ยนแปลงโปรแกรมการทำงานได้ง่าย และมีราคาถูก อย่างไรก็ตามระบบ ยานขนส่งที่ได้ออกแบบขึ้นนี้สามารถ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้

ค) ตัวตรวจจับเส้นทางที่ได้ทำการออกแบบขึ้นใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ทำงานได้ ประสิทธิภาพสูงสุด ก็ต่อเมื่อไม่มีคลื่นแสงในย่านความถี่อินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดอื่นมารบกวนเท่านั้น ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพ การทำงานของตัวตรวจจับต่อไปจะต้อง สามารถทำการลือกค่าความถี่ของแสงอินฟราเรดที่ใช้งานอยู่เพื่อป้องกันการรบกวนได้ อีกทั้งจะทำให้สามารถแยกแยะสีของเส้นทางที่มีความถี่แตกต่างกันไม่มาก อาทิเช่น สีเขียวหรือสีเหลืองได้

ง) ยานขนส่งที่ได้จัดสร้างขึ้นนี้ เป็นเพียงตัวยานขนส่งซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้เท่านั้น การเพิ่มเติมความสามารถในการทำงานในโนโรงงานอุตสาหกรรมจริงนั้น ยังไม่เป็นการเพียงพอ การปรับปรุงให้มีความสามารถในการทำงานมากขึ้นทำได้มากมายหลายวิธีเช่น มีการติดตั้งแกนกลสำหรับการหยิบจับวัตถุแล้วเคลื่อนที่นำไปเก็บยังสถานีเป้าหมายได้ มีการติดตั้งกล้องดิจิทัลเพื่อสามารถทำการคัดเลือกชนิดของวัตถุที่ตรวจพบ เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1].White,J. A.,”Materials Handling’s Intelligence,”Modern Materials Handling,Vol. 43, No.4,March 1988,p.
- [2.] G. Barto, R. S. Sutton,and C.W. Anderson, “Neuronlike Adaptive Elements That Can Sol Diffcult Learning Control Problems,”IEEE Trans.Syst.,Mam,Cybern.,vol.SMC-13pp 838846 ,1983.
- [3].M. Sekiguchi, S.Nagata, and.K. Asakawa, ”Behavior Control for a Mobile Robot by Multi-Hierachical Neural Network,”Proc 1989 IEEE ICRA,pp 1578-1583,1989.
- [4].S. Nagata,T. Kimoto ,and Asakawa,Control of Mobile Robots with Neural Network, ”INNS ,sup.1,p.349,1988.
- [5].Russel C.Eberhart and Roy W.Dobbins “Neural Network PC Tools A Practical Guide ”,Acadernic Press ,Inc Harcout Brace Jovovanovich,Publishers ,1990.
- [6].Laurene Fausett “Fundamentals of Neural Networks Architectures,Algorithms,and Applications” ,Prentice hall international editions,1994.
- [7].อนุตรชัย ณ ถลาง “ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ” วิทยานิพนธ์นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 1990.
- [8]. Electro-craft coporation,”DC motor Control Servo System “1972.
- [9]. Steeds W.”Mechanic of Rode Vehicle ”,Iliff&Sons Ltd.,London 1960
- [10].Gordon Mccomb,”The Robot Builder,s Bonnaza 99 Inxpensive Robot ,Gondon Mccomb USA ,1987.
- [11].Takashi Kenjo”Power Electronics “Oxford University press,1990.
- [12].Robert Jourdain,”Programmer’s Problem IBM PC,XT,AT” Brady Newyork,1986.
- [13]. Harry H,Poolo,”fundamentals of Robotics “,Van Nostrand Reinhold Newyork,1989.
- [14]. Gordon M.Mair,”Industrial Robotics”,Prentic Hall Inter Ltd.,1988.
- [15].Ray Duncan ,”Advance MS-Dos Programming”,microsoft press,1989.
- [16].ยีน ภู่วรรณ ,”เทคโนโลยี ฮาร์ดแวร์ IBM PC “,บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,2533.
- [17]. โยชินเปรมปราณีรัชต์.,ระบบโซโวและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์ ,JICA.,2533.
- [18].สาธิต อินทจักร์ ,”การปรับปรุงภาพโดยใช้นิงรอลเน็ตเวิร์ค”,วิทยานิพนธ์ปี 2538.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก, เปรียบเทียบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/******
```

```
/****** AGV Version 1 KMITL *****
```

```
// software designed by Kraison Aunchareevarapan//
```

```
/****** NEURAL NETWORK CONTROL *****
```

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

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

```
#include<stdlib.h>
```

```
#include<math.h>
```

```
#include<alloc.h>
```

```
#include<string.h>
```

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

```
#include<time.h>
```

```
#include<ctype.h>
```

```
#define inputnode 3 //old 3 add 1 bias
```

```
#define hiddennode 8
```

```
#define outputnode 2 //1
```

```
#define pattern 4
```

```
#define unet 1
```

```
/*-----*/
```

```
/****** MAIN BOARD NUMBER 2 *****
```

```
/*-----*/
```

```
/// use 8255 --1
```

```
/*-----*/
```

```
#define porta_1 0x300 //port sensor A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีใ้ดูแลความปลอดภัยของเอกสารต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// PA0 ----- PATH RIGHT
```

```
// PA1 ----- PATH LEFT
```

```
// PA2 ----- CROSS RIGHT
```

```

// PA3 ----- CROSS LEFT

// PA4 ----- STATION
// PA5 ----- STATION
// PA6 ----- STATION
// PA7 ----- STATION

```

```

#define portb_1 0x301 // portb
// PB0 ----- LONG LEFT
// PB1 ----- SHORT LEFT
// PB2 ----- SHORT RIGHT
// PB3 ----- LONG RIGHT
// PB4 ----- NO USED
// PB5 ----- NO USED
// PB6 ----- NO USED
// PB7 ----- NO USED

#define portc_1 0x302 //NO USED
#define portcontrol_1 0x303 //control port 1
/*****/

#define porta_2 0x304 // MATRIX CHECK
#define portb_2 0x305 // MATRIX CHECK
// 0 0 0 0
// PB4 PB0 PA4 PA0
// 0 0 0 0
// PB5 PB1 PA5 PA1
// 0 0 0 0
// PB6 PB2 PA6 PA2
// 0 0 0 0
// PB7 PB3 PA7 PA3

```

```

/*-----*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอให้อัปโหลดเอกสารนี้ฟรี และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define portc_2 0x306    // RELAY
    //    PC0    RELAY 1
    //    PC1    RELAY 2
    //    PC2    RELAY 3
    //    PC3    RELAY 4
```

```
#define portcontrol_2 0x307 // control port 2
```

```
/*-----*/
```

```
#define porta_3 0x308    // REMOTE
```

```
#define portb_3 0x309    // REMOTE
```

```
/*
```

```
PORT    KEY
```

```
-----
```

```
PA0 -----1
```

```
PA1 -----2
```

```
PA2 -----3
```

```
PA3 -----4
```

```
PA4 -----5
```

```
PA5 -----6
```

```
PA6 -----7
```

```
PA7 -----8
```

```
PB0 -----9
```

```
PB1 -----10
```

```
PB2 -----11
```

```
PB3 -----12
```

```
PB4 -----13
```

```
PB5 -----14
```

```
PB6 -----15
```

```
PB7 -----16
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*/
```

```
/*-----*/
```

```
#define portc_3 0x30a    // WALL REFLECT INFRARED
```

```
#define portcontrol_3 0x30b // control port 3
```

```
/*      PC0 ----- INFRARED  FRONT
        PC1 ----- ULTRASONIC FRONT

        PC2 ----- ULTRASONIC LEFT
        PC3 ----- INFRARED  LEFT
        PC4 ----- ULTRASONIC LEFT

        PC5 ----- ULTRASONIC RIGHT
        PC6 ----- INFRARED  RIGHT
        PC7 ----- ULTRASONIC RIGHT
```

```
*/
```

```
/******
```

```
/* board number2 of 8255 ADDRESS START AT 280H-28BH
```

```
ADDRESS 280H IS PORT CONTROL MOTOR-1
```

```
ADDRESS 281H IS PORT DATA  MOTOR-1
```

```
ADDRESS 284H IS PORT CONTROL MOTOR-2
```

```
ADDRESS 285H IS PORT DATA  MOTOR-2
```

```
ADDRESS 288H IS PORT A  FOR CONTROL LCD DISPLAY
```

```
ADDRESS 289H IS PORT B  FOR CONTROL LCD DISPLAY
```

```
ADDRESS 28AH IS PORT C  FOR CONTROL MATRIX KEY BOARD -UPPER LOWER
```

```
ADDRESS 28BH IS PORT CONTROL FOR 8255 NUMBER 3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*#####*/
```

```
/*+++++++*/
```

```
/****** PUSED0 HEX BYTE-OP *****/
```

```
#define RESET 0X00 /* 0 */
```

```
#define PORT12 0X05 /* 0 */
```

```
#define PORT8 0X06 /* 0 */
```

```
#define DFH 0X02 /* 0 */
```

```
#define SIP 0X03 /* 0 */
```

```
#define LPEI 0X1B /* 2 */
```

```
#define LPES 0X1A /* 2 */
```

```
#define SBPA 0X20 /* 4 */
```

```
#define SBPR 0X21 /* 4 */
```

```
#define MSKI 0X1C /* 2 */
```

```
#define RSTI 0X1D /* 2 */
```

```
#define LFIL 0X1E /* 2-10 */
```

```
#define UDF 0X04 /* 0 */
```

```
#define LTRJ 0X1F /* 2-14 */
```

```
#define STT 0X01 /* 0 */
```

```
#define RDSIGS 0x0C /* 1 */
```

```
#define RDIP 0X09 /* 2 */
```

```
#define RDDP 0X08 /* 4 */
```

```
#define RDRP 0X0A /* 4 */
```

```
#define RDDV 0X07 /* 4 */
```

```
#define RDRV 0X0B /* 2 */
```

```
#define RDSUM 0X0D /* 2 */
```

```
/*-----*/
```

```
//// use 8255 main board number 2
```

```
#define command_left 0x284 /*port command motor left*/
```

```
#define data_left 0x285 /*port data motor left */
```

```
#define command_right 0x288 /*port command motor right */
```

```
#define data_right 0x289 /*port data motor right */
```



```

                |                |
                S                3
*/
/*      1011121314151617181
      --+-----
      01014101011101010101
      11210141010111010101
      21012101110101010101
      31010131012101010111
      41013101410121011101
      51310101014101110101
      61010101010121014101
      71010101013101210141
      81010101310101012101
*/
/*****
/* relationship of station variable */
int infonode[9][9]={{0,4,0,0,0,1,0,0,0},
                    {2,0,4,0,1,0,0,0,0},
                    {0,2,0,1,0,0,0,0,0},
                    {0,0,3,0,2,0,0,0,1},
                    {0,3,0,4,0,2,0,1,0},
                    {3,0,0,0,4,0,1,0,0},
                    {0,0,0,0,0,2,0,4,0},
                    {0,0,0,0,3,0,2,0,4},
                    {0,0,0,3,0,0,0,2,0}};

struct tree *root; /* pointer tree */
struct tree *hroot; /* pointer root tree */

/* global variable */
int partnode[5];

int partable[10][10];

int result[10];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่อ่านไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่แบ่งกำไรใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* Prototype */
void addnode(struct tree *node,int name_node,int inp);
void creattree(int nodestart);
void freetree(void);
void searcher(int nodetarget);
void use_tree_serch(void);
void use_node_tree(void);

```

```

void input_x(int i);
void random_weight(void);
void sum_and_tre_h(void);
void sum_and_tre_o(void);
void cal_error_o(void);
void cal_error_h(void);
void update_w(void);
void test_rusult(void);
void memory_reserve(void);
void free_memory_reserve(void);
void read_weight(void);
void writeweight(void);
void read_target_pattern(int p);
void train_neuron(void);
void use_neuron(void);
void input_path_neuron(void);

```

```

float *x;
float *sumh;
float *h;
float *sumo;
float *o;
float *t;
float *wxh[3];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรคัดลอกทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float *who[3];

float *eo;

float *esumh;

float *eh;

float neta=0.25;

float E=100.0;

float Emax=0.001;

int index;

int icount_11=0;

int icount_12=0;

char tab[ ]=" *AGV -1 KMITL* ";
char tab2[]= " CONTROL DEPART ";
char tab3[]=" MODE CONTROL ";
char space[]=" ";
char run[] = " Run AGV-1 ";
char remote[]="REMOTE CONTROL ";
char front[] ="FORWARD ";
char back[] = "BACKWARD ";
char left[] = "LEFT ";
char right[]= "RIGHT ";
char f_r[]= " FRONT - LEFT ";
char f_l[]= " FRONT - RIGHT ";
char r_l[]= " RIGHT - LEFT ";
char stop[] = " STOP ";
char out_path[]="out of path ";
char station[]="STATION FOUND ";

char no_press[]="NO KEY PRESS ";
char mode1[]="MODE-1 GUIDE ";
char mode2[]="MODE-2 REMOTE ";
char mode3[]="MODE-3 AUTO DET ";
char mode4[] ="STOP ALL MOTOR ";

char temp,temp2;

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่สามารถนำออกจากรั้วมหาวิทยาลัยได้
 ไม่สามารถนำออกจากรั้วมหาวิทยาลัยได้
 ไม่สามารถนำออกจากรั้วมหาวิทยาลัยได้

```

void wrline_tab2(void);
void init_lcd(void);
void wrline(int x);
void wrl1(void);
void wrl2(void);
void wrl3(void);
void wrl4(void);
void wrlm(void);
void wrlm2(void);
void Goto_position_1_1(int Temp_1);
void Goto_position_1_2(int Temp_2);
void epluse(void);
void tdelay(int mm);
void wrbyte(char temp);
void wrline_clear(int ca);
void wrl_clear_2(void);
void wrl_clear_1(void);
void wrlm_clear(void);
void wrlm2_clear(void);
void gen_wrl1(char xc1);
void gen_wrl2(char xc2);
void gen_wrline(int x,char xchar);
void wrline_tab3(void);
void f_mode1(void);
void f_mode2(void);
void f_mode3(void);
void f_mode4(void);
void front_left(void);
void front_right(void);
void right_left(void);
void COL(void);

```

```

/*****/

```

```

void function_key_0(void);
void function_key_1(void);
void function_key_2(void);
void function_key_3(void);
void function_key_4(void);
void function_key_5(void);
void function_key_6(void);
void function_key_7(void);
void function_key_8(void);
void function_key_9(void);
void function_key_a(void);
void function_key_b(void);
void function_key_c(void);
void function_key_d(void);
void function_key_e(void);
void function_key_f(void);
void function_key_g(void);
void function_key_h(void);
void function_key_i(void);
void function_key_j(void);
void LCD (void);
void print_run(void);
void wrline_backward(void);
void wrline_forward(void);
void wrline_left(void);
void wrline_right(void);
void wrline_remote(void);
void wrline_no_press(void);
void out_of_path(void);
void station_find(void);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ประสงค์ให้ผู้อื่นนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void mask_int(int port_command,int port_data);
void reset_int(int port_command,int port_data);
void load_position_stop(int port_command,int port_data);

```

```
void load_position_int(int port_command,int port_data);
```

```
void reset_code_left(void);
```

```
void select_8_bit_left(void);
```

```
void define_home_left(void) ;
```

```
void reset_code_right(void);
```

```
void select_8_bit_right(void);
```

```
void define_home_right(void) ;
```

```
void load_filter_left(void);
```

```
void load_filter_right(void);
```

```
void update_filter_left(void);
```

```
void update_filter_right(void);
```

```
void new_ffilter(void);
```

```
void tarjectory_forward_left(void);
```

```
void tarjectory_forward_right(void);
```

```
void tarjectory_reward_left(void);
```

```
void tarjectory_reward_right(void);
```

```
void tarjectory_out_right(void);
```

```
void tarjectory_out_left(void);
```

```
void tarjectory_pos_left(void);
```

```
void tarjectory_pos_right(void);
```

```
void tarjectory_short_right(void);
```

```
void tarjectory_long_right(void);
```

```
void tarjectory_short_left(void);
```

```
void tarjectory_long_left(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่อนุญาตให้นำออกนอกระบบโดยไม่ได้รับอนุญาตให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void start_motor_left(void);
```

```
void start_motor_right(void);
```

```
void check_busy(int port_command);
```

```
void reward(void);
```

```
void forward(void);
```

```
void turn_left(void);
```

```
void turn_right(void);
```

```
void out_long_left(void);
```

```
void out_long_right(void);
```

```
void out_short_left(void);
```

```
void out_short_right(void);
```

```
void stop_2_motor(void);
```

```
void stop_motor_l(void);
```

```
void stop_motor_r(void);
```

```
void out_turn_right(void);
```

```
void out_turn_left(void);
```

```
void pos(void);
```

```
void load_code(void);
```

```
void LM628(void);
```

```
void cross(void);
```

```
void SENSOR(void);
```

```
void relay(void);
```

```
void reflect(void);
```

```
void remote_control(void);
```

```
void p_stop(void);
```

```
void barcode(void);
```

```
void check_path(void);
```

```
void matrix_path(void);
```

```
void ultrasonic_movment(void);
```

```
void infrared_detect(void);
```

```
void front_detect(void);
```

```
void long_path(void);
```

```
void station_dect(void);
```

```
void front_dect_ul_movment(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void sound(void);
```

```

/*****
/***** tree serch *****/
/*****/

```

```
void use_node_tree(void)
```

```

{
    int i,j;

    clrscr();
    creattree(8); //start node

    for(i=0;i<9;i++)
    {
        for(j=0;j<9;j++)
        {
            printf("%d ",infonode[i][j]);
        }
        printf("\n");
    }
    searcher(1); //target node
    freetree();
    printf("result\n");
    for(i=0;i<10;i++)
    {
        for(j=0;j<10;j++)
        {
            printf("%d ",partable[i][j]);
        }
        printf("\n");
    }
    printf("out result\n");
    for(i=0;i<10;i++)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        printf("%d ",result[i]);
    }
}

/*****

/* addnode in tree maximum 5 leafnode */
void addnode(struct tree *node,int name_node,int inp)
{
    int i;

    struct tree *nnode;
    nnode = (struct tree *)malloc(sizeof(struct tree));
    nnode->namenode=name_node;
    nnode->info=inp;
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        nnode->ptrleaf[i]=NULL;
    }
    nnode->ptrleaf[4]=node;
    if (node->ptrleaf[0] == NULL) node->ptrleaf[0]=nnode;
    else if (node->ptrleaf[1] == NULL) node->ptrleaf[1]=nnode;
    else if (node->ptrleaf[2] == NULL) node->ptrleaf[2]=nnode;
    else if (node->ptrleaf[3] == NULL) node->ptrleaf[3]=nnode;
}

/* creat tree */
/*****

void creattree(int nodestart)
{
    int i,j,k,l,m,n;
    int level;
    hroot = (struct tree *)malloc(sizeof(struct tree));
    hroot->namenode=nodestart;
    hroot->info=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น

สงวนลิขสิทธิ์ © ๒๕๖๓ โดย บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน) ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและเครื่องหมายการค้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(i=0;i<5;i++)
{
    hroot->ptrleaf[i]=NULL;
}
root = (struct tree *)malloc(sizeof(struct tree));
root = hroot;
// level=1;

/* create level 2 */
for(i=0;i<9;i++)
{
    if(infonode[nodestart][i]!=0)
        addnode(root,i,infonode[nodestart][i]);
}

/* create level 3 */
root=hroot;
//level=1;
for(i=0;i<4;i++)
{
    if(root->ptrleaf[i]!=NULL)
    {
        root=root->ptrleaf[i];

// level=2;
        for(j=0;j<9;j++)
        {
            if(infonode[root->namenode][j]!=0)
            {
                root=root->ptrleaf[4];

// level=1;
                if(root->namenode!=j)

                    root=root->ptrleaf[i];
                    addnode(root,j,infonode[root->namenode][j]);
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ถูกริขสิทธิ์เท่านั้น ไปลงเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    else root=root->ptrleaf[i];
    }
}
root=root->ptrleaf[4];
}
}

```

```

/* create level 4 */
root=hroot;
//level=1;
for(i=0;i<4;i++)
{
    if(root->ptrleaf[i]!=NULL)
    {
        root=root->ptrleaf[i];
//        level=2;
        for(j=0;j<4;j++)
        {
            if(root->ptrleaf[j]!=NULL)
            {
                root=root->ptrleaf[j];
//                level=3;
                for(k=0;k<9;k++)
                {
                    if(infonode[root->namenode][k]!=0)
                    {
                        root=root->ptrleaf[4];
//                        level=2;
                        if(root->namenode!=k)
                        root=root->ptrleaf[4];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ควรสืบสวนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//                                     level=1;

                                     if(root->namenode!=k)
                                     {

root=root->ptrleaf[i]->ptrleaf[j];
addnode(root,k,infonode[root->namenode][k]);
                                     }

else root=root->ptrleaf[i]->ptrleaf[j];
                                     }

else root=root->ptrleaf[j];
                                     }

                                     }

root=root->ptrleaf[4];
                                     }

root=root->ptrleaf[4];
                                     }

}

/* create level 5 */
root=hroot;
// level=1;
for(i=0;i<4;i++)
{
    if(root->ptrleaf[i]!=NULL)
    {
        root=root->ptrleaf[i];
// level=2;
        for(j=0;j<4;j++)
        {
            if(root->ptrleaf[j]!=NULL)
            {
                root=root->ptrleaf[j];
// level=3;
                for(k=0;k<4;k++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลสิ่งใดสิ่งหนึ่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

        root=root->ptrleaf[4];
    }
}
root=root->ptrleaf[4];
}
}

/*****
/* free memory tree */
void freetree(void)
{
    int i,j,k,l,m,n;
    int level;

    /* delete level 5 */
    root=hroot; level=1;
    for(i=0;i<4;i++)
    {
        if(root->ptrleaf[i]!=NULL)
        {
            root=root->ptrleaf[i];
            level=2;
            for(j=0;j<4;j++)
            {
                if(root->ptrleaf[j]!=NULL)
                {
                    root=root->ptrleaf[j];
                    level=3;
                    for(k=0;k<4;k++)
                    if(root->ptrleaf[k]!=NULL)
                    {
                        root=root->ptrleaf[k];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งลิขสิทธิ์ไว้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        level=4;
        for(l=0;l<4;l++)
            {
                if(root->ptrleaf[l]!=NULL)
                    {
                        free(root->ptrleaf[l]);
                        root->ptrleaf[l]=NULL;
                    }
            }
        root=root->ptrleaf[4];
    }
    root=root->ptrleaf[4];
}
root=root->ptrleaf[4];
}
}

/* free level 4 */
root=hroot; level=1;
for(i=0;i<4;i++)
{
    if(root->ptrleaf[i]!=NULL)
    {
        root=root->ptrleaf[i];
        level=2;
        for(j=0;j<4;j++)
        {
            if(root->ptrleaf[j]!=NULL)
                root=root->ptrleaf[j];
            level=3;
            for(k=0;k<4;k++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งอ้างอิงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

root=root->ptrleaf[j];

```

    {
        if(root->ptrleaf[k]!=NULL)
        {
            free(root->ptrleaf[k]);
            root->ptrleaf[k]=NULL;
        }
    }
    root=root->ptrleaf[4];
}
}
root=root->ptrleaf[4];
}
}
/* delete level 3 */
root=hroot;
//level=1;
for(i=0;i<4;i++)
{
    if(root->ptrleaf[i]!=NULL)
    {
        root=root->ptrleaf[i];
        level=2;
        for(j=0;j<4;j++)
        {
            if(root->ptrleaf[j]!=NULL)
            {
                free(root->ptrleaf[j]);
                root->ptrleaf[j]=NULL;
            }
        }
        root=root->ptrleaf[4];
    }
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ

```

/* delete level 2 */
for(i=0;i<4;i++)
{
    if(root->ptrleaf[i]!=NULL)
    {
        free(root->ptrleaf[i]);
        root->ptrleaf[i]=NULL;
    }
}
root=hroot;
free(root);
free(hroot);
}

/*****
void searcher(int nodetarget)
{
    int i,j,k,l;
    int a,b,c,d;
    int level;
    int res[10];
    int minnode;
    int pathnode;

    for(i=0;i<10;i++)
    {
        for(j=0;j<10;j++)
        {
            partable[i][j]=-1; /* initize part all */

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ทวงไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i=0;j=0;

```

```

root=hroot;
// level=1;
for(k=i;k<10;k++)
{
    partable[k][j]=root->namenode;
}

for(a=0;a<4;a++)
{
    if(root->ptrleaf[a]!=NULL)
    {
        root=root->ptrleaf[a];
        // level=2;
        j++;
        if(nodetarget==root->namenode)
        {
            partable[i][j]=root->namenode;
            i++;
        }
        else
        {
            for(k=i;k<10;k++)
            {
                partable[k][j]=root->namenode;
            }
            for(b=0;b<4;b++)
            {
                if(root->ptrleaf[b]!=NULL)
                {
                    root=root->ptrleaf[b];
                    // level=3;
                    j++;
                    if(nodetarget==root->namenode)
                    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

partable[i][j]=root->namenode;
    i++;
}
else
{
for(k=i;k<10;k++)
{
partable[k][j]=root->namenode;
}
for(c=0;c<4;c++)
{
if(root->ptrleaf[c]!=NULL)
{
root=root->ptrleaf[c];
level=4;
j++;
if(nodetarget==root->namenode)
{
partable[i][j]=root->namenode;
i++;
}
else
{
for(k=i;k<10;k++)
{
partable[k][j]=root->namenode;
}

for(d=0;d<4;d++)
{
if(root->ptrleaf[d]!=NULL)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงสิ่งพิมพ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

root=root->ptrleaf[d],

```

```

level=5;

```

```

j++;

```

```

if(nodetarget==root->namenode)
    {
partable[i][j]=root->namenode;
        i++;
    }
root=root->ptrleaf[4];
    j--;
}
}
}
for(k=i;k<10;k++)
    {
partable[k][j]=-1;
        root=root->ptrleaf[4];
            j--;
    }
for(k=i;k<10;k++)
    {
partable[k][j]=-1;
    }
        root=root->ptrleaf[4];
            j--;
    }
}
}
for(k=i;k<10;k++)
    {
partable[k][j]=-1;
        root=root->ptrleaf[4];
            j--;
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
for(k=i;k<10;k++)
{
    for(l=0;l<10;l++)
    {
        partable[k][l]=-1;
    }
}

```

```

/* out result */
for(i=0;i<10;i++)
{
    res[i]=0;
}
for(i=0;i<10;i++)
{
    for(j=0;j<10;j++)
    {
        if(partable[i][j]==-1)
        {
            res[i]=res[i]+1;
        }
    }
}

```

```

minnode=100;
pathnode=0;
for(i=0;i<10;i++)
{

```

```

    if((minnode>res[i])&&(res[i]!=0))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูลนี้ออกไปและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        minnode=res[i];

```

```

        pathnode=i;

```

```

    }

```

```

    }
    for(j=0;j<10;j++)
    {
        result[j]=partable[pathnode][j];
    }
}

```

```

/***** end tree serch *****/

```

```

/***** motor control *****/

```

```

void mask_int(int port_command,int port_data)

```

```

{
    outputb(port_command,MSKI);
    check_busy(port_command);

    outputb(port_data, 0x00 );
    outputb(port_data, 0x20 );
    check_busy(port_command);
}

```

```

/*****

```

```

void reset_int(int port_command,int port_data)

```

```

{
    outputb(port_command,RSTI);
    check_busy(port_command);

    outputb(port_data, 0x00 );
    outputb(port_data, 0x00 );
    check_busy(port_command);
}

```

```

/*****

```

```

void load_position_stop(int port_command,int port_data)

```

```

{
    outputb(port_command,LPES);

```

```
check_busy(port_command);
```

```
outportb(port_data,0x00);
```

```
outportb(port_data,0x0ff);
```

```
check_busy(port_command);
```

```
}
```

```
/***/
```

```
void load_position_int(int port_command,int port_data)
```

```
{
```

```
outportb(port_command,LPEI);
```

```
check_busy(port_command);
```

```
outportb(port_data,0x00);
```

```
outportb(port_data,0x0ff);
```

```
check_busy(port_command);
```

```
}
```

```
/***/
```

```
void reset_code_left(void)
```

```
{
```

```
outportb(command_left,RESET);
```

```
check_busy(command_left);
```

```
}
```

```
/***/
```

```
void reset_code_right(void)
```

```
{
```

```
outportb(command_right,RESET);
```

```
check_busy(command_right);
```

```
}
```

```
/***/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรมการในนามเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ถือว่าสงวนไว้จัดคัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void select_8_bit_left(void)
```

```
{
```

```
outportb(command_left,PORT8);
```

```

    check_busy(command_left);
}

/*****/
void select_8_bit_right(void)
{
    outportb(command_right,PORT8);
    check_busy(command_right);
}

/*****/
void define_home_left(void)
{
    outportb(command_left,DFH);
    check_busy(command_left);
}

/*****/
void define_home_right(void)
{
    outportb(command_right,DFH);
    check_busy(command_right);
}

/*****/
void load_filter_left(void)
{
    outportb(command_left,LFIL);
    check_busy(command_left);
    outportb(data_left,0x03); /*control word*/
    outportb(data_left,0x0f);
    check_busy(command_left);
    outportb(data_left,0x00); /* KP */ //000
    outportb(data_left,0x0f);

    check_busy(command_left);
}

```

```

outputb(data_left,0x00); /* KI */ //0ff
outputb(data_left,0x0f); //000
check_busy(command_left);

outputb(data_left,0x00); /* KD */ //000
outputb(data_left,0x00); //off
check_busy(command_left);

outputb(data_left,0x0f); /* IL */
outputb(data_left,0x0f);
check_busy(command_left);
}
/*****/

```

```

void load_filter_right(void)
{
outputb(command_right,LFIL);
check_busy(command_right);
outputb(data_right,0x03); /*control word*/
outputb(data_right,0x0f);
check_busy(command_right);

outputb(data_right,0x00); /* KP */
outputb(data_right,0x0f);

check_busy(command_right);
outputb(data_right,0x00); /* KI */
outputb(data_right,0x0f);
check_busy(command_right);

outputb(data_right,0x00); /* KD */
outputb(data_right,0x00);
check_busy(command_right);

```

```

    outportb(data_left,0x0ff); /* IL */
    outportb(data_left,0x0ff);
    check_busy(command_left);
}
/*****/

void update_filter_left(void)
{
    outportb(command_left,UDF);
    check_busy(command_left);
}
/*****/

void update_filter_right(void)
{
    outportb(command_right,UDF);
    check_busy(command_right);
}
/*****/

void new_filter(void)
{
    load_filter_left();
    update_filter_left();

    load_filter_right();
    update_filter_right();
}
/*****/

void tarjectory_forward_left(void)

    /***** from most significant bit to least bit *****/
    {
    เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
    ไม่ว่าจะตีพิมพ์ในสิ่งอื่นอีกทั้งห้ามมิให้อัปโหลดเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
    outportb(command_left,LTRJ);

    check_busy(command_left);

    outportb(data_left,0x08); /*controlword 08*/

```

```

outputb(data_left,0x2a); //2a
check_busy(command_left);
/*////////////////////////////////////*/
outputb(data_left,0x00); /* A 03f*/
outputb(data_left,0x00); //0ff
check_busy(command_left);

outputb(data_left,0x0ff);
outputb(data_left,0x0ff);
check_busy(command_left);
/*////////////////////////////////////*/
outputb(data_left,0x000); /* V 000*/
outputb(data_left,0xff); //000
check_busy(command_left);

outputb(data_left,0xff);
outputb(data_left,0xff);
check_busy(command_left);
}
/*****/
/*****/
void tarjectory_pos_left(void)
{
outputb(command_left,LTRJ);
check_busy(command_left);

outputb(data_left,0x10); /*controlword */
outputb(data_left,0x2a);
check_busy(command_left);

outputb(data_left,0x000); /* A */
outputb(data_left,0x000);
check_busy(command_left);

```

```

outportb(data_left,0x000);
outportb(data_left,0x0df);
check_busy(command_left);
/*****/
outportb(data_left,0x000); /* V */
outportb(data_left,0x01f);
check_busy(command_left);

outportb(data_left,0x0ff);
outportb(data_left,0x0ff);
check_busy(command_left);
/*****/
outportb(data_left,0x000); //0ff /* P TWO'COMPLMENT ~0X...+1*/
outportb(data_left,0x000); //0ff
check_busy(command_left);

outportb(data_left,0x00f); //0c0
outportb(data_left,0x0ff); //001
check_busy(command_left);
}
/*****/
/*****/
void start_motor_left(void)
{
outportb(command_left,STT);
check_busy(command_left);

}
/*****/

void check_busy(int port_command)
{
do
{
// gotoxy(40,24);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//      printf("READIND BUSY BIT      ");
      }
      while( 0x01 & inp(port_command));
  }
  /***/
void forward(void)
{
  new_filter();

  tarjectory_forward_left();

  start_motor_left();
  tarjectory_forward_right();
  start_motor_right();

  gotoxy(2,5); //40,22
  printf("Forward Direction      ");
}
/***/
void pos(void)
{
  new_filter();

  tarjectory_pos_left();
  start_motor_left();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

printf("Allocate memory error x\n");
exit(1);
}

sumh= (float*)farmalloc(hiddennode*sizeof(float));
if(sumh==NULL)
{
printf("Allocate memory error sumh\n");
exit(1);
}

h= (float*)farmalloc(hiddennode*sizeof(float));
if(h==NULL)
{
printf("Allocate memory error h\n");
exit(1);
}

sumo= (float*)farmalloc(outputnode*sizeof(float));
if(sumo==NULL)
{
printf("Allocate memory error sumo\n");
exit(1);
}

o= (float*)farmalloc(outputnode*sizeof(float));
if(o==NULL)
{
printf("Allocate memory error o\n");
exit(1);
}

t= (float*)farmalloc(outputnode*sizeof(float));
if(t==NULL)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    printf("Allocate memory error \n");
    exit(1);
}

for(i=0;i<inputnode;i++)
{
    wxh[i]=(float*)farmalloc(hiddennode*sizeof(float));

    if(wxh[i]==NULL)
    {
        printf("Allocate memory error weight_x_h\n");
        exit(1);
    }
}

for(i=0;i<hiddennode;i++)
{
    who[i]=(float*)farmalloc(outputnode*sizeof(float));

    if(who[i]==NULL)
    {
        printf("Allocate memory error weight_h_o\n");
        exit(1);
    }
}

eo= (float*)farmalloc(outputnode*sizeof(float));
if(eo==NULL)
{
    printf("Allocate memory error eo\n");
    exit(1);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

esumh= (float*)farmalloc(hiddennode*sizeof(float));
if(esumh==NULL)
{
    printf("Allocate memory error esumh\n");
    exit(1);
}

eh= (float*)farmalloc(hiddennode*sizeof(float));
if(eh==NULL)
{
    printf("Allocate memory error eh\n");
    exit(1);
}
}
/*****
void free_memory_reserve(void)
{
    int i;

    farfree(x); farfree(h); farfree(o);
    farfree(sumh);farfree(t);farfree(sumo);
    farfree(eo);farfree(esumh);farfree(eh);

    for(i=0;i<inputnode;i++)
    {
        farfree(wxh[i]);
    }

    for(i=0;i<outputnode;i++)
    {
        farfree(who[i]);
    }
}
*****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

char fname[12];

sprintf(fname,"motor%d.dat",p);//orobot%d.dat
if((out=fopen(fname,"rt"))==NULL)
{
    printf("cannot open file:%s",fname);
    exit(1);
}
else
{
    for(k=0;k<outputnode;k++)
    {
        fscanf(out,"%f",&t[k]);
        gotoxy(10,k+6);
        printf(" t[%d] (data)== %f",k,t[k]);

        if(t[k]==0) {t[k]=-1;}
        else t[k]=1;
    }
    fclose(out);
}
}
/*%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%*/

```

```

void random_weight(void)

```

```

{
    int i,j,k;
    int x,y;
    FILE *out;
    char fname[12];
    int rak;
    time_t t;

```

```

    sprintf(fname,"w.dat");//weight%d.dat

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if((out=fopen(fname,"wt"))==NULL)
{
    printf("cannot open files:%s\n",fname);
    exit(1);
}
else
{
    srand((unsigned) time(&t));
    for(i=0;i<inputnode;i++)
    {
        for(j=1;j<hiddennode;j++)
        {
            rak=rand()%100;
            if(rak<50) rak=1; else rak=-1;
            wxh[i][j]=((rand()%100)/200.0)*rak;
            fprintf(out,"%f\n",wxh[i][j]);
        }
        for(x=0;x<hiddennode;x++) //i=x,j=y
        {
            for(y=0;y<outputnode;y++)
            {
                rak=rand()%100;
                if(rak<50) rak=1; else rak=-1;
                who[x][y]=((rand()%100)/200.0)*rak;
                fprintf(out,"%f\n",who[x][y]);
            }
        }
        fclose(out);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

/**/

```

void read_weight(void)
{
    FILE *rd;
    int i,j;
    int x,y;
    char fname[12];

    sprintf(fname,"w.dat"); //weight%d.dat
    if((rd=fopen(fname,"rt"))==NULL)
    {
        printf("\n cannot open files:%s,%d",fname);
        exit(1);
    }
    else
    {
        for(i=0;i<inputnode;i++)
        {
            for(j=1;j<hiddennode;j++)
            {
                fscanf(rd,"%f",&wxh[i][j]);
            }
        }
        /*****/
        for(x=0;x<hiddennode;x++) //i=x,j=y
        {
            for(y=0;y<outputnode;y++)
            {
                fscanf(rd,"%f",&who[x][y]);
            }
        }
        fclose(rd);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
void writeweight(void)
{
    FILE *wd;
    int i,j;
    int k,l;
    char fname[12];

    sprintf(fname,"w.dat");//weight%d.dat
    if((wd=fopen(fname,"wt"))==NULL)
    {
        printf("\n cannot open files:%s",fname);
        exit(1);
    }
    else
    {
        for(i=0;i<inputnode;i++)
        {
            for(j=1;j<hiddennode;j++)
            {
                fprintf(wd,"%f\n",wxh[i][j]);
            }
        }
        for(k=0;k<hiddennode;k++) //i=k,j=l
        {
            for(l=0;l<outputnode;l++)
            {
                fprintf(wd,"%f\n",who[k][l]);
            }
        }
        fclose(wd);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

for(i=0;i<hiddennode;i++)
{
    for(j=0;j<outputnode;j++)
        sumo[j]=sumo[j]+who[i][j]*h[i];
}

for(i=0;i<outputnode;i++)
    o[i]=tanh(sumo[i]);
}
/*****/
void cal_error_o(void)
{
    int i;
    for(i=0;i<outputnode;i++)
        eo[i]=(1-o[i]*o[i])*(t[i]-o[i]);
}
/*****/
void cal_error_h(void)
{
    int i,j;

    for(i=0;i<hiddennode;i++)
    {
        esumh[i]=0.0;
    }
    for(i=0;i<hiddennode;i++)
    {
        for(j=0;j<outputnode;j++)
            esumh[i]=esumh[i]+who[i][j]*eo[j];
    }
    for(i=0;i<hiddennode;i++)
    {
        eh[i]=(1-h[i]*h[i])*esumh[i];
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ดิฉันจึงขอร้องให้ผู้อ่านลองเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d7 d6 d5 d4 d3 d2 d1 d0 white path

```
p_left 0 0 0 0 1 0 0 0 1 -> 01
/ p_right 0 0 0 0 1 0 0 1 0 -> 02
```

BACK PATH

```
p_left 1 1 1 1 1 1 1 0 -> fe
p_right 1 1 1 1 1 1 0 1 -> fd
```

*/

/*

```
gotoxy(10,15);
printf("input node x[1] =="); // node x[0] is bias node
scanf("%f",&x[1]);
```

```
printf("x[1]= %f",x[1]);
```

```
gotoxy(10,17);
printf("input node x[2] ==");
scanf("%f",&x[2]);
```

```
printf("x[2]= %f",x[2]);
```

*/

```
temp = inportb(porta_1);
```

```
gotoxy(40,15);
printf("temp = %x ",temp);
```

```
p_left = p_right = temp;
```

```
p_left = p_left & 0x01; //mask bit 0 //0x0f1
```

```
p_right = p_right & 0x02; //mask bit 1 //0x0f2
```

```
if(p_left == 0x00){ p_left = -1.0;} else { p_left = 1.0;}
```

```
if(p_right == 0x00){ p_right= -1.0;} else { p_right = 1.0;}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช้ข้อมูลไปลงบนสื่อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

```
x[1] = p_left; x[2] = p_right;
```

```
if(x[1] == 0.0) {x[1] = -1.0;}
```

```
else {x[1] = 1.0;}
```

```
if(x[2] == 0.0) {x[2] = -1.0;}
```

```
else {x[2] = 1.0;}
```

```
sum_and_tre_h();
```

```
sum_and_tre_o();
```

```
for(j=0;j<outputnode;++j)
```

```
{
```

```
gotoxy(40,18+j);
```

```
printf("o[%d] = %f ",j,o[j]);
```

```
if(o[j] >= 0.5){ o[j] = 1;} else { o[j] = 0; }
```

```
gotoxy(40,22+j);
```

```
printf("o[%d] = %f ",j,o[j]);
```

```
}
```

```
/// control motor dc by neuron network
```

```
if((x[1] == 1) && (x[2] == 0)) //middel 0x0f0 ,0x0f0
```

```
{
```

```
delay(20);
```

```
stop_2_motor();
```

```
gotoxy(38,10);
```

```
printf(" OUT OF PATH
```

```
// out_of_path();
```

```
out_turn_right();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. เรื่องนี้ขอสงวนไว้ด้วยตัวเอง. เนื้อหา และเรื่องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay(10);
}

else if((x[1] == 1) && (x[2] == 0))//out right 0x0f0 ,0x0f2
{

    delay(20);
    stop_2_motor();
    gotoxy(38,10);
    printf("<----Turn Left  ");
//    wrline_left();
    turn_left();
    delay(10);
}

else if((x[1] == 0)&&(x[2] == 1))// out left 0x0f1,0x0f0
{

    delay(20);
    stop_2_motor();
    gotoxy(38,10);
    printf("Turn Right ----> ");
//    wrline_right();
    turn_right();
    delay(10);
}

else if((x[1] == 1)&&(x[2] == 1))// out of path 0x0f1 ,0x0f2
{
    เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
    ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
    delay(20);
    stop_2_motor();
    gotoxy(38,10);

```

```

printf(" MIDDLE ");
// wrlne_forward();
forward();
delay(10);
}

```

```

printf(" press any key");
getch();

```

```

free_memory_reserve();

```

```

}
/*****

```

```

void test_result(void)

```

```

{

```

```

int i;

```

```

int j;

```

```

read_weight();

```

```

clrscr();

```

```

for(i=0;i<4;i++) //4 number of pattern

```

```

{

```

```

input_x(i);

```

```

read_target_pattern(i);

```

```

sum_and_tre_h();

```

```

sum_and_tre_o();

```

```

for(j=0;j<outputnode;++j)

```

```

{
gotoxy(40,18+j);

```

```

printf("o[%d] = %f ",j,o[j]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

printf("Press any key to test result.\n");

for(i=0;i<inputnode;i++)
    for(j=0;j<hiddenode;j++)
        printf("wxh[%d][%d]=%f\n",i,j,wxh[i][j]);
for(i=0;i<hiddenode;i++)
    for(j=0;j<outputnode;j++)
        printf("who[%d][%d]=%f\n",i,0,who[i][j]);

getch();

writeweight();
test_rusult();
free_memory_reserve();
}
/*****/
void use_neuron(void)
{
    memory_reserve();
    test_rusult();
    free_memory_reserve();
}
/*****/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

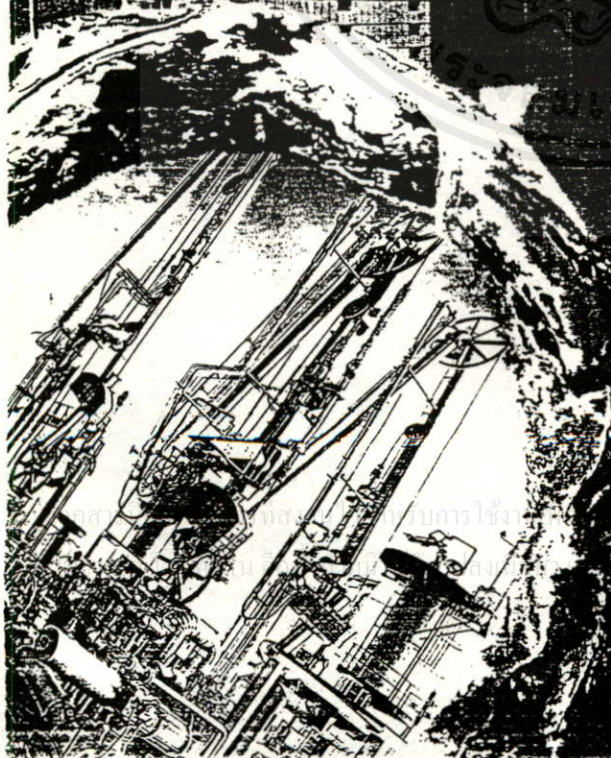
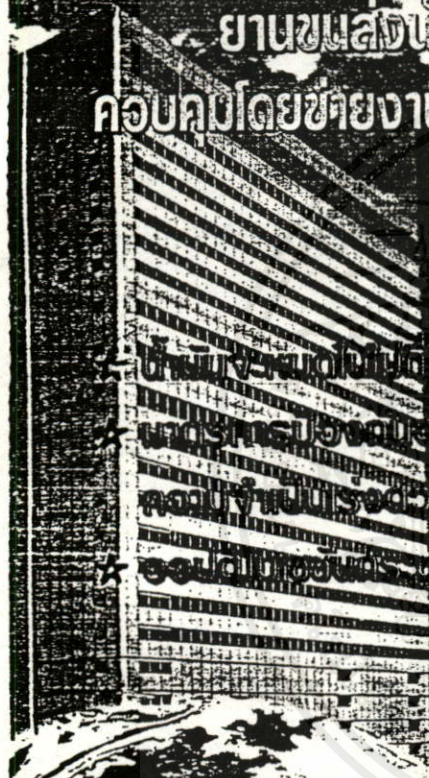


THAILAND ENGINEERING JOURNAL ปีที่ 50 เล่มที่ 4 เมษายน 2540

SS-0523

วิศวกรรมสาร

ยานขนส่งที่รองรับอัตโนมัติ ควบคุมโดยข่ายงานระบบประสาท



บทความพิเศษ: การพัฒนาเทคโนโลยีการขนส่งอัตโนมัติ

บทความพิเศษ: การพัฒนาเทคโนโลยีการขนส่งอัตโนมัติ

บทความพิเศษ: การพัฒนาเทคโนโลยีการขนส่งอัตโนมัติ

บทความพิเศษ: การพัฒนาเทคโนโลยีการขนส่งอัตโนมัติ

บทความพิเศษ: การพัฒนาเทคโนโลยีการขนส่งอัตโนมัติ

บทความพิเศษ: การพัฒนาเทคโนโลยีการขนส่งอัตโนมัติ



ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ ควบคุมโดยข่ายงานระบบประสาท

AUTOMATED GUIDED VEHICLE CONTROL BY NEURAL NETWORK

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ ซึ่งควบคุมโดยข่ายงานระบบประสาท (neural network) ซึ่งมีลักษณะวิธีการการเรียนรู้ ยานขนส่งนี้มีขนาดความยาว 1 เมตร ความกว้าง 60 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร มี 4 ล้อ สามารถรับโหลดบรรทุกได้ 200 กิโลกรัม มีมอเตอร์ขับเคลื่อนที่เป็นอิสระต่อกัน 2 ตัว ความเร็วตามแนวราบ 15 เมตร/นาที เซ็นเซอร์ที่ใช้เป็นตัวตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมภายนอก 40 ตัว ประกอบด้วย ตัวตรวจจับเส้นทางเดินแบบเมทริกซ์ขนาด 4 x 4 จำนวน 2 ชุด ตัวตรวจจับทางแยก 4 ตัว ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงาน 10 ตัว ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางแบบอินฟราเรดและอัลตราโซนิกอย่างละ 5 ชุด ตัวตรวจจับทั้งหมดให้สัญญาณออกได้ทั้งแบบอนาล็อกและดิจิทัล นอกจากนี้ยังมีระบบควบคุมยานขนส่งจากระยะไกล และระบบป้องกันยานขนส่งอีกหลายอย่าง เช่น กันชน ไฟ และเสียงสำหรับช่องทาง ตัวประมวลผลกลางใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 80386 DX-40 ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 16 บิต ทำงานที่สัญญาณนาฬิกา 40 เมกะเฮิรตซ์ สัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับต่างๆ จะถูกนำมาเป็นสัญญาณเข้าของข่ายงานระบบประสาท โดยจะทำการสอนเงื่อนไขต่างๆ ให้กับข่ายงานระบบประสาทล่วงหน้า จนกระทั่งสามารถจดจำเงื่อนไขทั้งหมดได้แล้ว ก็จะเก็บค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) เอาไว้ เมื่อจะใช้งานจริงก็จะนำค่าสัญญาณเข้าที่ย่านได้จากตัวตรวจจับทั้งหมดมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักที่เก็บไว้และให้สัญญาณออกออกมา จากนั้นนำค่าสัญญาณออกที่ได้ไปควบคุมมอเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนขับเคลื่อนของยานขนส่งต่อไป แบบจำลองของข่ายงานระบบประสาทที่ใช้จะเป็นแบบการแพร่กระจายกลับ เราสามารถเพิ่มความฉลาดของยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ โดยการเพิ่มเติมรูปแบบข้อมูลที่สอนเพื่อให้รับรู้สถานการณ์ใหม่ๆ ได้ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าข่ายงานระบบประสาทสามารถจดจำเงื่อนไขต่างๆ ได้ดี แม้ว่าสัญญาณที่ป้อนเข้ามาจะมีการผิดเพี้ยนไปบ้าง

Abstract

This paper presents the design and construction of an automatic guided vehicle (AGV), which is controlled by neural networks containing the data-under algorithm. This AGV is 1 meter long, 60 centimeters wide, 50 centimeters high and consists of 4 wheels. It can carry a load up to 200 kilograms. The AGV has 2 DC motors which can be driven independently and its horizontal speed is 15 meters per minute. The 40 sensors are used to detect the change of external environment and consist of 2 sets of matrix sensors having a size of 4 x 4 to detect the guide path. The AGV has 4 sensors which can capture the separate direction of the AGV, 10 sensors for site-detecting and 5 sets of infrared and ultrasonic sensors for obstacle-detecting. All sensors can give the output which can be both analog and digital. In addition there is a remote system to control the AGV and a system to protect the AGV's movements the bumper when touched has a light and sound alarm system indicating movements. Microprocessor 80386 DX-40 which is of 16 bits operated by 40 MHz clock signal is a CPU. The signal obtained from all sensors becomes input of AGV by inserting in advance the condition to the neural network to the extent that all condition are recorded. The value of the weight is recorded for future working and, when it is used, the real value of recorded is indicated and then output is given. After that the obtained output controls the motors which are the drivers of the AGV. The model of the neural network which is used in this paper is two layers connected to each other by independent data. The capacity of the AGV can be increased by the addition of information data specifying the new condition. The experimental result is that conditions are well recorded by the neural network even though the applied input is distorted to some extent.

ไม่ขอสงวนลิขสิทธิ์สิ่งตีพิมพ์นี้แต่ขอเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*รองศาสตราจารย์ ภาควิชาระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

**นักศึกษาระดับปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทนำ

ปัจจุบัน

อุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีการแข่งขันอย่างเสรี ทำให้ผู้ผลิต ต้องมีการพัฒนาระบบการผลิตในหลายจุด

ทั้งนี้เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตให้ลดลง ตลอดจนพัฒนาระบบการผลิตให้มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การจัดการวัสดุก็เป็นจุดหนึ่งที่ต้องพัฒนาให้ดีขึ้น การจัดการวัสดุนั้นประกอบด้วยระบบการขนส่งวัสดุ (transport system), ระบบการเก็บวัสดุ (warehouse system) และการควบคุมระบบ (system control) [1] [2] การพัฒนาระบบจำเป็นต้องมีการนำเอาระบบอัตโนมัติต่างๆ มาใช้ เช่น PLC หุ่นยนต์ ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ สายพานลำเลียง (conveyor), เครนอัตโนมัติ (automated crane) เป็นต้น ยานขนส่งแบบนำร่องอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle) หรือ AGV จัดเป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีข้อดีอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมมากกว่า 30 ปี AGV ไม่ต้องการคนขับซึ่งสามารถวิ่งไปตามเส้นทางที่ได้กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ AGV มีหน้าที่ขนส่งวัตถุดิบ, ชิ้นส่วน, ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง

AGV ส่วนใหญ่จะถูกกำหนดให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางนำร่อง (guide path) ซึ่งติดตั้งอยู่ตามพื้นโรงงาน ทางเดินนำร่องที่นิยมใช้ เช่น การฝังลวดใต้พื้น, การติดแถบสีตามพื้น เป็นต้น โครงสร้างภายนอกของ AGV ส่วนมากจะทำเป็นแท่นสำหรับวางภาชนะที่ใส่วัสดุ เช่น ถาด กล่อง หรือชั้นวางของ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้าน AGV ก้าวหน้าไปมาก มีการวิจัยและพัฒนา AGV แบบเคลื่อนที่อิสระ (free ranging) กันอย่างกว้างขวาง AGV แบบนี้ไม่ต้องติดตั้งทางเดินนำร่องบนพื้น แต่จะใช้ระบบนำทาง (navigation system) ซึ่งอยู่บนตัว AGV ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่แทน อย่างไรก็ตาม โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักยังคงใช้แบบเส้นทางนำร่องอยู่ ด้วยเหตุผลที่ว่า มีความคลาดเคลื่อนน้อยและเสียเวลาในการคำนวณน้อยกว่า ในกรณีที่ทิศทางการขนส่งวัสดุมีความแน่นอน, ปริมาณการขนส่งมีจำนวนมาก ตลอดจนการขนส่งเป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ระบบ AGV จะเสียเปรียบระบบสายพานลำเลียง แต่ข้อดีของ AGV ที่เหนือสายพานลำเลียงคือ ไม่เกะกะ, การติดตั้งทางเดินนำร่องมีความยืดหยุ่นกว่าระบบสายพานลำเลียง เพราะสามารถดัดแปลงแก้ไขได้ง่ายกว่า และยังคืนพื้นที่การทำงานให้สามารถใช้งานอย่างอื่นอีกเมื่อ AGV เคลื่อนที่ผ่านไปแล้ว

นอกจากในงานอุตสาหกรรมแล้ว AGV ยังสามารถนำไป

ประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ อีกมาก อาทิเช่น การขนส่งสัมภาระไปยังห้องต่างๆ ของแขกที่มาพักในโรงแรม, การรับ-ส่งเอกสารสำนักงาน, การขนส่งผู้ป่วยไปยังห้องรักษาในโรงพยาบาล, การบริการอาหารตามโรงแรมและภัตตาคาร, การขนส่งวัสดุที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหรือบริเวณที่เป็นความลับทางราชการ และอื่นๆ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอยานขนส่งแบบนำร่องอัตโนมัติ ซึ่งควบคุมโดยช่างานระบบประสาท โดยใช้รูปแบบขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายกลับ (Back-propagation) [3] มาเป็นตัวตัดสินใจแทนแบบเก่าที่เป็นแบบปิด-เปิด [7] ซึ่งไม่มีความยืดหยุ่นในการตัดสินใจ

โครงสร้างของยานขนส่ง

ส่วนประกอบของยานขนส่งที่สร้างขึ้นใช้ในงานวิจัย แสดงดังตารางที่ 1

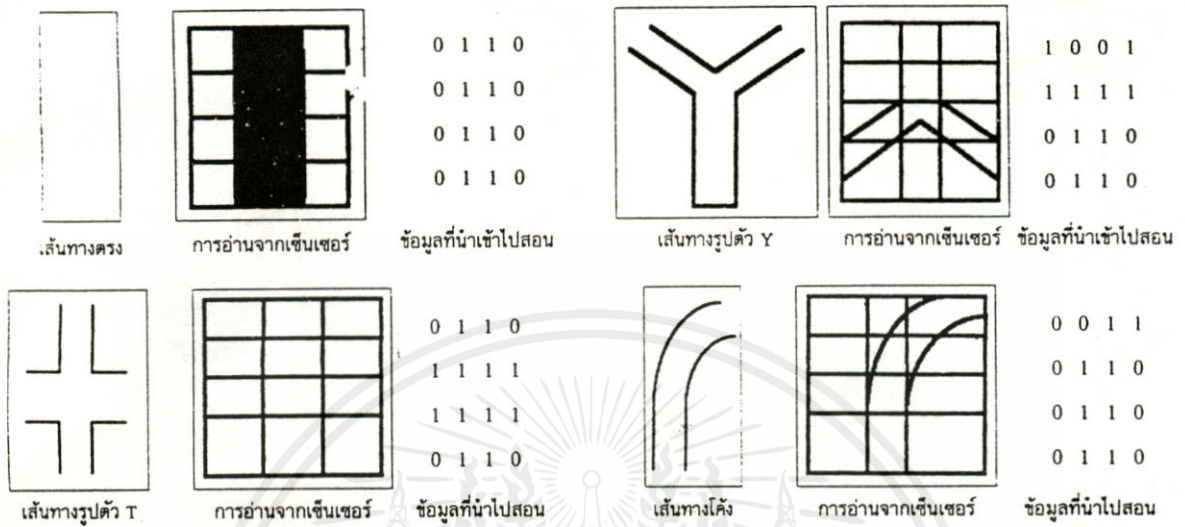
ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของยานขนส่งในงานวิจัยนี้

ขนาด	กว้าง 60 เซนติเมตร, ยาว 1 เมตร, สูง 50 เซนติเมตร
ความเร็วในการเคลื่อนที่	ความเร็วสูงสุด 15 เมตร/นาที และปรับความเร็วเองได้
ตัวควบคุมการประมวลผล	ซีพียู 80386 Dx-40 Ram & M
วิธีการประมวลผล	ใช้ขั้นตอนวิธีของช่างานระบบประสาท
น้ำหนัก	น้ำหนัก AGV 150 Kg, น้ำหนักบรรทุก 50 Kg
แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง	แบตเตอรี่ขนาด 12 V 70 Ah 2 ลูก
เวลาการทำงาน	4-5 ชั่วโมง
ส่วนขับเคลื่อน	ล้ออิสระ 2 ล้อ, ล้อขับเคลื่อน 2 ล้อ โดยใช้กำลังจาก DC มอเตอร์ 12 V 4 Amp 2 ตัว
ตัวตรวจจับทางเดินนำร่อง	มี 2 แบบ คือ อนุภาคและดีจิตอล อย่างละ 1 ชุด ใช้หัวอ่านแบบอินฟราเรดแบบสะท้อนมีรัศมีทำการ 4 cm ทำการอ่านข้อมูลเข้าแบบเมทริกซ์
ตัวตรวจจับสถานี	มี 2 แบบ คือ สร้างขึ้นเองตรวจจับสถานีได้ 1024 สถานี และแบบใช้หัวอ่านที่ตลับมาตรฐาน
ตัวตรวจจับอินฟราเรด	ใช้ตรวจจับสิ่งกีดขวางรอบตัว AGV จำนวน 3 ชุด
ตัวตรวจจับอุลตราโซนิก	ใช้ตรวจจับสิ่งกีดขวางระยะไกลรอบตัว AGV 3 ชุด
ลิ้มิตสวิตช์	ใช้เป็นกั้นขอบระยะใกล้ 6 ตัว
อื่นๆ	เสียงขอทาง, ไฟขอทาง, รีโมทคอนโทรล อย่างละ 1 ชุด

การทำงานของตัวตรวจจับ

ตัวตรวจจับทางเดินนำร่องที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีหลายแบบ ได้แก่ ทางตรง, ทางแยกรูปตัว Y, ทางแยกรูปตัว T, ทางโค้ง สัญญาณเข้าของตัวตรวจจับจะถูกนำไปเป็นสัญญาณเข้าของช่างานระบบประสาทเพื่อคำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมต่อไป วิธีการเตรียมข้อมูลเข้าจากตัวตรวจจับเส้นทางนำร่องแบบเมทริกซ์ ซึ่งมีขนาด 4 x 4

แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของเส้นทางที่ใช้ในการทดลอง

ตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางมี 2 ชนิด คือ แบบอินฟราเรด และแบบอัลตราโซนิก หลักการทำงานของตัวตรวจจับอินฟราเรดคือ จะทำการมอดูเลตสัญญาณความถี่ 1 KHz เข้ากับสัญญาณความถี่แสงอินฟราเรดแล้วส่งออกอากาศไป เมื่อมีวัตถุเข้าใกล้ในรัศมีที่กำหนดไว้ ตัวตรวจจับก็จะรายงานตำแหน่งและทิศทางของวัตถุที่กีดขวาง ตัวตรวจจับชนิดนี้มีพิสัยไกลและใช้ไม่ได้กับวัตถุที่โปร่งใสและวัตถุที่ดูดกลืนแสง เช่น วัตถุผิววขุระสีดำ แต่มีข้อดีคือ มีรัศมีทำการเป็นเส้นตรงไม่เบี่ยงเบน ตัวตรวจจับแบบอัลตราโซนิก ตัวตรวจจับชนิดนี้มีพิสัยทำการไกลกว่า หลักการที่ใช้กับยานขนส่งคือ จะทำการมอดูเลตสัญญาณความถี่ต่ำประมาณ 64 Hz เข้ากับสัญญาณความถี่อัลตราโซนิกความถี่ 40 KHz แล้วส่งออกอากาศ เมื่อคลื่นอัลตราโซนิกไปกระทบสิ่งกีดขวางก็จะสะท้อนกลับออกมาด้วยความถี่เดิม แต่ระดับสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงสามารถรู้ถึงตำแหน่งและทิศทางของสิ่งกีดขวางได้ ตัวตรวจจับสถานีปฏิบัติงานจะใช้รหัสแถบแบบเลเซอร์ไดโอด มีรัศมีทำการห่างจากพื้นประมาณ 10 เซนติเมตร การทำงานของหัวอ่านชนิดนี้จะอาศัยการสะท้อนของแถบรหัสที่ติดอยู่กับพื้น ซึ่งรหัสของแถบนี้เราสามารถออกแบบขึ้นใช้เองได้ หรืออาจใช้ตามมาตรฐานที่นิยมก็ได้ การติดต่อสื่อสารระหว่างยานขนส่งกับสถานีปฏิบัติงานจะมี 2 แบบ คือ แบบใช้รีโมทขนาดเล็ก มีพิสัยประมาณ 20 เมตร อีกแบบหนึ่งคือ การใช้คลื่นความถี่ 46-49 MHz ซึ่งมีพิสัยทำการไกลประมาณ 100 เมตร

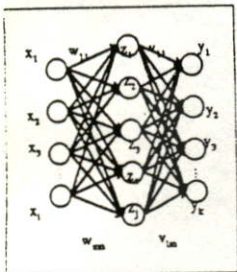
การทำงานของ AGV จะเริ่มจากสถานีปฏิบัติงานส่งสัญญาณ

เรียกยานขนส่งให้เดินทางมาที่สถานีนั้นๆ หลังจากที่ได้รับสัญญาณแล้ว ยานขนส่งจะนำเอาข้อมูลที่ได้รับเก็บในสแต็ก (stack) เพื่อรอรับคำสั่งจากสถานีอื่น ๆ อีกต่อไป จากนั้นจะเดินทางมาที่สถานีที่เรียก วิธีการค้นหาทางเดินไปยังสถานีปฏิบัติการจะใช้ขั้นตอนวิธีแบบต้นไม้ (tree) การทำงานอีกโหนดหนึ่งคือ การโต้ตอบโดยตรงระหว่างยานขนส่งกับตัวคอมพิวเตอร์ การทำงานในโหนดนี้จะทำครั้งละ 1 คำสั่ง เช่น คอมพิวเตอร์หลักสั่งเลี้ยวขวา ยานขนส่งจะเลี้ยวขวาแล้วหยุดรอสัญญาณคำสั่งใหม่ต่อไป ส่วนขับเคลื่อนของยานขนส่งใช้ DC เซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว ซึ่งควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมมอเตอร์เบอร์ LM 628 ซึ่งสามารถควบคุมความเร็ว, ความเร่ง และตำแหน่ง และยังสามารถออกแบบฟิลเตอร์ PID ได้ เพื่อทำให้ระบบเสถียรภาพดีที่สุด โดยการเขียนโปรแกรมซึ่งจะทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานมาก

ข่ายงานระบบประสาท (Neural Network)

การตัดสินใจของยานขนส่งจะเลียนแบบการทำงานของเซลล์ประสาทของมนุษย์ โดยอาศัยหลักการว่าการจดจำรูปแบบ (pattern) ต่างๆ โดยสมองของมนุษย์ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจ และถูกนำไปใช้ในการสร้างภูมิปัญญา โดยสมองของมนุษย์สามารถจดจำสิ่งที่พบเห็นในลักษณะของรูปแบบ และบอกได้ว่าเคยพบเห็นมาก่อนแล้วหรือไม่ และสิ่งที่พบเห็นคืออะไร การสื่อความหมายของสิ่งที่พบเห็นจะต้องอาศัยประสบการณ์จากการเรียนรู้และมีฝึกฝนเป็นเวลานาน

ในรูปที่ 2 แสดงข่ายงานระบบประสาทแบบพื้นฐานข่ายงาน ดังรูป มี 3 ชั้นคือ ชั้นสัญญาณเข้าซึ่งมีเซลล์ประสาทอยู่ n โหนด ถัดมาเป็นชั้นฮิดเดนหรือชั้นภายใน ซึ่งประกอบด้วยโหนดต่างๆ จำนวน m โหนด และสุดท้ายคือ ชั้นสัญญาณออก ซึ่งมีโหนดต่างๆ อยู่ 1 โหนด การเชื่อมโยงนี้แสดงดังรูปที่ 2



$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$: เซลล์ของชั้นสัญญาณเข้า (Input Layer)
 $Z = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_m)$: เซลล์ของชั้นฮิดเดน (Hidden Layer)
 $Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_1)$: เซลล์ของชั้นสัญญาณออก (Output Layer)
 W : เมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นสัญญาณเข้ากับชั้นฮิดเดน
 V : เมทริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นฮิดเดนกับชั้นสัญญาณออก

รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองของข่ายงานระบบประสาท

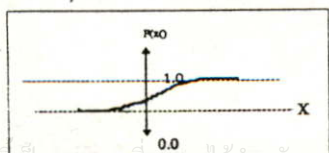
ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายกลับ

1. เริ่มกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก ใช้วิธีการตั้งค่าโดยการสุ่มค่า เริ่มต้นด้วยค่าน้อยๆ คือ ให้อยู่ในช่วง 0-1 ต่อจากนั้นตั้งค่าของสัญญาณเข้า (x_i), เป้าหมาย (t_k) และอัตราการเรียนรู้ (η) ที่ต้องการ
2. ตรวจสอบเงื่อนไขของค่าความผิดพลาดที่ตั้งไว้ (error) ถ้ามีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ไปทำข้อ 3
3. แต่ละหน่วยของสัญญาณเข้า ($X_i, i = 1, 2, 3, \dots, I$) รับสัญญาณเข้าจากข้อ 1 และกระจายสัญญาณไปยังชั้นฮิดเดนโดยแต่ละโหนดจะทำการคูณค่าของสัญญาณที่รับเข้ามากับค่าถ่วงน้ำหนักที่สุ่มได้จากข้อ 1 ในแต่ละโหนดของชั้นฮิดเดน ($Z_j, j = 1, 2, 3, \dots, j$) จะทำการหาค่าถ่วงน้ำหนักรวมตามสมการ (1)

$$Z_j = \omega_{oj} + \sum_{i=0}^I X_i * \omega_{ij} \quad (1)$$

จากนั้นใช้ค่าฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation function) คำนวณหาค่าสัญญาณออก ฟังก์ชันการกระตุ้นมีหลายแบบ ในที่นี่จะใช้แบบฟังก์ชันโบนารีซิกมอยด์ (Binary Sigmoid Function) ซึ่งมีช่วงการทำงานอยู่ระหว่าง 0-1 ดังนิยามต่อไปนี้

$$f_j(x) = \frac{1}{1 + \exp(-Z_j)} \quad (2)$$



นำค่า Z_j ในสมการที่ 1 แทนลงในสมการ (2) เมื่อทำการคำนวณเสร็จแล้วจะได้ค่า Z_j
 $Z_j = f(Z_j) \quad (3)$

4. แต่ละหน่วยของชั้นสัญญาณออก ($Y_k, k = 1, 2, 3, \dots, 1$) หาผลรวมของน้ำหนักชั้นสัญญาณออก

$$Y_k = v_{ok} + \sum_{j=0}^J Z_j v_{jk} \quad (4)$$

จากนั้นใช้ฟังก์ชันกระตุ้นคำนวณหาค่าสัญญาณออก ดังสมการ (5)

$$Y_k = f(Y_k) \quad (5)$$

5. แต่ละโหนดของชั้นสัญญาณออก ($k = 1, 2, 3, \dots, 1$) รับรูปแบบเป้าหมาย (t_k) เปรียบเทียบกับรูปแบบสัญญาณเข้าและคำนวณค่าผิดพลาด (δ_k) ของชั้นสัญญาณออก จากสมการ (6)

$$\delta_k = (t_k - Y_k) (1 - Y_k^2) \quad (6)$$

แต่ละหน่วยของชั้นฮิดเดน ($j = 1, 2, 3, \dots, m$) รวมค่าของข้อมูลจากชั้นสัญญาณออกตามสมการ (7)

$$\delta_i = (1 - Z_j^2) * \sum_{k=0}^K \delta_k * \omega_{jk} \quad (7)$$

6. คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักที่ปรับใหม่ (weight correction term) จากสมการ (8)

$$\Delta \omega_{ij} = \delta_k * \alpha * Z_j \quad (8)$$

คำนวณค่าไบอัสที่ปรับใหม่ (bias correction term) จากสมการ (9)

$$\Delta \omega_{oj} = \alpha * \delta_k \quad (9)$$

ส่งข้อมูลที่คำนวณได้กลับไปยังชั้นฮิดเดน

เมื่อได้ค่าแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักที่จะต้องปรับใหม่ (weight correction term) โดยใช้สมการ (10)

$$\Delta v_{jk} = \alpha * \delta_j * X_i \quad (10)$$

คำนวณค่าไบอัสที่ปรับใหม่ (bias correction term) จากสมการ (11)

$$\Delta v_{ok} = \alpha * \delta_j \quad (11)$$

7. แต่ละโหนดของชั้นสัญญาณออก ($Y_k, k = 1, 2, 3, \dots, 1$) ปรับปรุงการไบอัสและค่าถ่วงน้ำหนักโดยใช้สมการ (12)

$$\omega_{ij}(\text{new}) = \omega_{ij}(\text{old}) + \omega \Delta_{ij} \quad (12)$$

แต่ละโหนดของชั้นฮิดเดน ($Z_j, j = 1, 2, 3, \dots, m$) ปรับค่าไบอัสและค่าถ่วงน้ำหนัก ($j = 0, 1, 2, 3, \dots, m$) โดยใช้สมการ (13)

$$v_{jk}(\text{new}) = v_{jk}(\text{old}) + v \Delta_{jk} \quad (13)$$

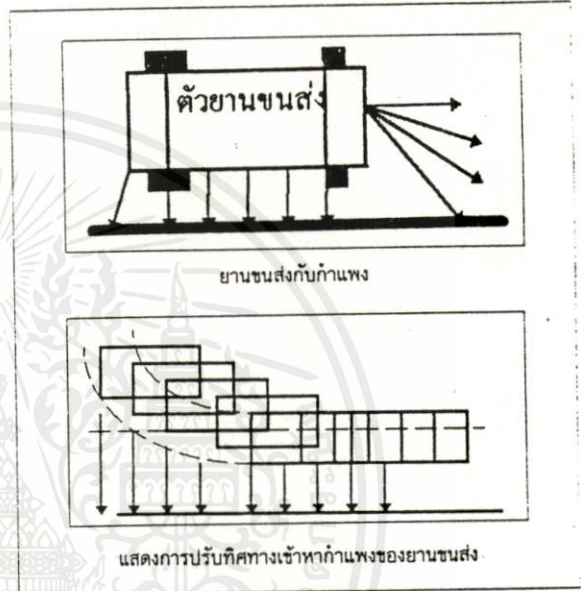
8. ตรวจสอบเงื่อนไขในการหยุดการคำนวณของโปรแกรม โดยดูจากค่าความผิดพลาดที่ตั้งไว้

$$E_{\text{sum}} = E + \frac{1}{2} (t_k - Y_k)^2 \quad (14)$$

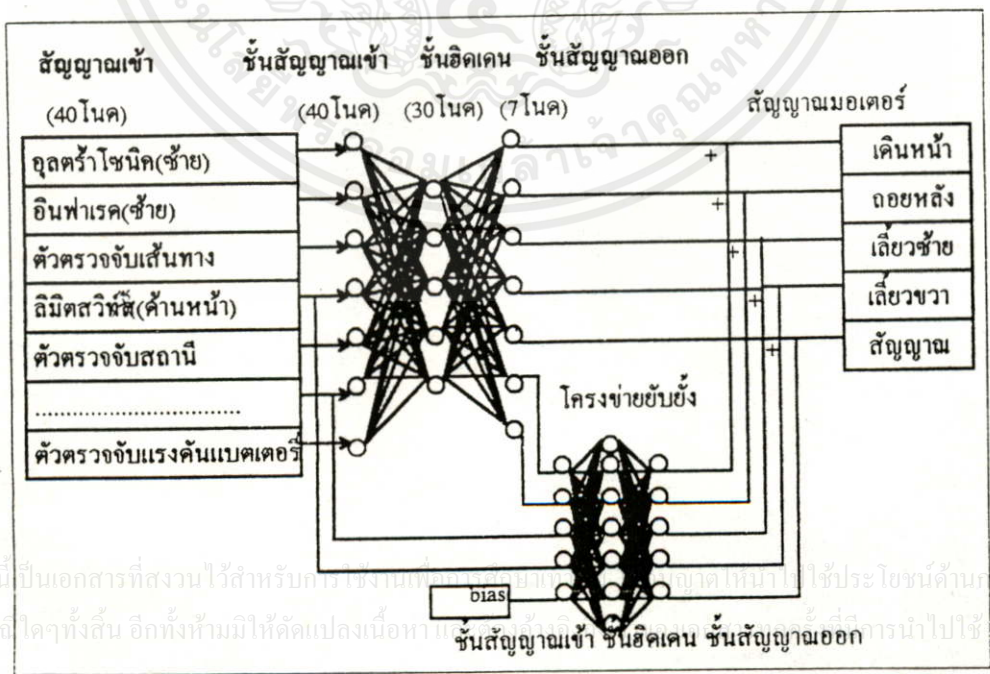
การนำข่ายระบบประสาทไปควบคุมยานขนส่ง

จากโครงสร้างของยานขนส่งที่ประกอบด้วย ตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ (sensors) ทำหน้าที่เป็นส่วนสัญญาณเข้า และมีมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ของยานขนส่งเป็นสัญญาณออก เราจะนำส่วนสัญญาณจากตัวตรวจจับทั้งหมดมาเป็นสัญญาณเข้าของข่ายงานระบบประสาท โดยจะป้อนเข้า $(X_i, i = 1, 2, 3, \dots, n)$ จากนั้นจะทำการสอนข่ายงานระบบประสาทให้จดจำสัญญาณที่รับเข้ามา และคำนวณหาสัญญาณออกที่ถูกต้อง (ทำตามขั้นตอนที่ 1-8) [4] [5] จนกระทั่งได้ค่าความผิดพลาด (error) เท่ากับหรือน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ก็จะเก็บค่าถ่วงน้ำหนักครั้งสุดท้ายเอาไว้ โดยอาจเก็บลงในไฟล์ จากรูปที่ 3 เป็นตัวอย่างการนำข่ายงานระบบประสาทไปใช้ควบคุมยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ จะเห็นได้ว่ามีตัวรับข้อมูลจากตัวตรวจจับสัญญาณทั้งหมดมี 40 ตัว โดยตัวตรวจจับต่างๆ นี้ถูกติดตั้งอยู่รอบๆ ตัวยานขนส่ง การทำงานของตัวตรวจจับจะมี 2 แบบคือแบบอนาล็อกและแบบดิจิตอล ในที่นี้แสดงการนำข้อมูลที่แบบดิจิตอลเข้ามาเท่านั้น โครงสร้างอย่างง่ายที่ใช้มีชั้นสัญญาณเข้า 40 โหนด ชั้นฮิดเดน 30 โหนด และมีชั้นสัญญาณออก 7 โหนด โดยจะมีข่ายงานระบบประสาทที่มีขนาดเล็กกว่า กล่าวคือ มีชั้นสัญญาณเข้า 5 โหนด ชั้นฮิดเดน 7 โหนด และมีชั้นสัญญาณออก 5 โหนด ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยยังเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นแบบกะทันหันและเป็นอันตรายกับยานขนส่ง เช่น การชนสิ่งกีดขวาง

ในระยะใกล้ ข่ายงานระบบประสาทขนาดเล็กนี้จะส่งผลไปควบคุมมอเตอร์ส่วนขับเคลื่อนโดยตรง โดยจะทำการหยุดมอเตอร์ขับเคลื่อนทั้ง 2 ตัว แล้วจะสั่งให้ยานขนส่งเคลื่อนที่ถอยหลังออกในทิศทางตรงข้ามกับสิ่งกีดขวาง หากไม่มีเหตุการณ์กะทันหันเกิดขึ้น ข่ายงานระบบประสาทขนาดเล็กนี้จะไม่ทำงาน มีเพียงข่ายงานระบบประสาทหลักเท่านั้นที่ทำงาน



รูปที่ 4 แสดงการทำงานในโหมดที่ 2 ของยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ



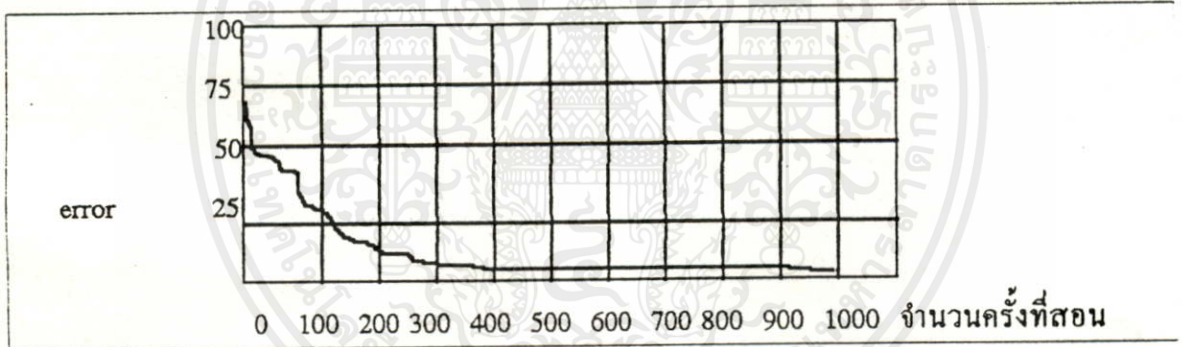
รูปที่ 3 แสดงการนำข่ายงานระบบประสาทมาใช้กับยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

ผลการทดลอง

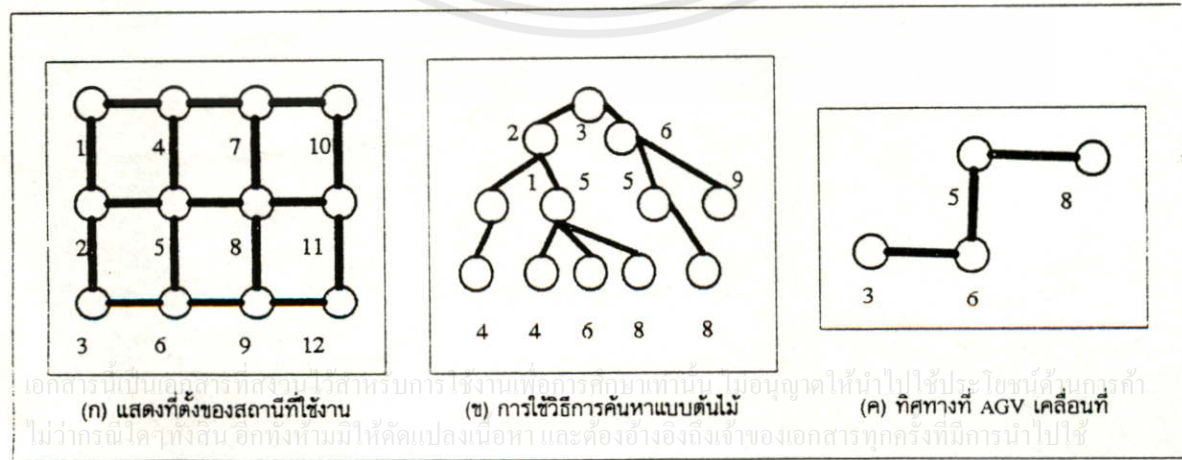
ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ดีในระดับหนึ่ง กล่าวคือ ในโหมดที่ 1 สามารถจดจำเส้นทางเดิน (guided path) ที่เป็นแถบเส้นสีดำหรือสีขาวได้ รวมทั้งสามารถแยกแยะทางแยกแบบต่างๆ ที่ได้ทำการสอนล่วงหน้าเอาไว้แล้ว เช่น ทางแยกรูปตัว Y ทางแยกรูปตัว T ทางโค้ง การทำงานในโหมดนี้มีลักษณะพิเศษที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งคือ ถึงแม้เส้นทางเดินบางช่วงจะมีฝุ่นผงหรือสิ่งสกปรกมาเปื้อนบนยานขนส่งก็ยังสามารถทำงานได้ถูกต้อง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 จากการทดลองเก็บข้อมูลพบว่าในการเดินทางของยานขนส่ง 100 ครั้ง มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเพียง 8 ครั้ง เท่านั้น แต่ก็เกิดเป็นผลมาจากสาเหตุทางฮาร์ดแวร์ทั้งสิ้น ส่วนการทำงานในโหมดที่ 2 คือ การทำงานแบบกึ่งยานสำรวจ โดยอาศัยผนังของกำแพงเป็นตัวอ้างอิง แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า ยานขนส่งแบบนี้สามารถทำงานได้ระดับหนึ่ง ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาในขั้นต่อไปอีก

สรุป

บทความนี้เสนอวิธีการควบคุมยานขนส่งอัตโนมัติโดยการนำช่างงานระบบประสาทมาประยุกต์ใช้งาน โดยจะนำสัญญาณเข้าที่ได้จากตัวตรวจจับสัญญาณ ซึ่งมีหลายตัวและทำหน้าที่ต่างๆ กันมาป้อนเข้าสู่ช่างงานระบบประสาท เพื่อที่จะคำนวณหาค่าสัญญาณออกที่ถูกต้องแล้วนำค่าที่ได้ไปควบคุมมอเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนขับเคลื่อนของยานขนส่งแบบของช่างงานระบบประสาทที่ใช้เป็นแบบการแพร่กระจายกลับ การควบคุมยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติโดยใช้ช่างงานระบบประสาท มีความยืดหยุ่นกว่าการควบคุมแบบปิด-เปิดมาก [6] กล่าวคือ สามารถทำงานได้แม้ในสภาวะแวดล้อมที่มีการผิดเพี้ยน อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความฉลาดให้กับยานขนส่งได้ง่ายคือ เพียงแค่เพิ่มรูปแบบการเรียนรู้เข้าไปอีกเท่านั้น คุณสมบัติข้อนี้ไม่สามารถหาได้จากโปรแกรมทั่วไป เนื่องจากในโปรแกรมโดยทั่วไปนั้นผู้ใช้งานจะต้องเข้าไปแก้ไขในส่วนของตัวโปรแกรมซึ่งจำเป็นต้องมีความชำนาญ และยังเป็นการเสียเวลามากด้วย



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดกับจำนวนครั้งในการสอน



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการเดินทางของ AGV จากสถานีที่ 3 ไปยังสถานีที่ 8

เอกสารอ้างอิง

[1] White, J. A., "Materials Handling's Intelligence," Modern Materials Handling, Vol. 43, No. 4, March 1988, p.

[2] G. Barto, R.S. Sutton, and C.W. Anderson, "Neuronlike Adaptive Elements That Can Sol Difficult Learning Control Problems," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. SMC-13pp. 838846, 1983.

[3] M. Sekiguchi, S. Nagata, and K. Asakawa, "Behavior Control for a Mobile Robot by Multi-Hierarchical Neural Network," Proc 1989 IEEE ICRA, pp. 1578-1583, 1989.

[4] S. Nagata T. Kimoto, and Asakawa, Control of Mobile Robots with Neural Network," INNS, sup. 1, p. 349, 1988.

[5] Russel C.Eberhart and Roy W. Dobbins "Neural Network PC Tools A Practical Guide", Academic Press, Inc. Harcourt Brace Jovovanovich, Publishers, 1990.

[6] อนุตรชัย ณ กลาง "ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ" วิทยานิพนธ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. 1990.



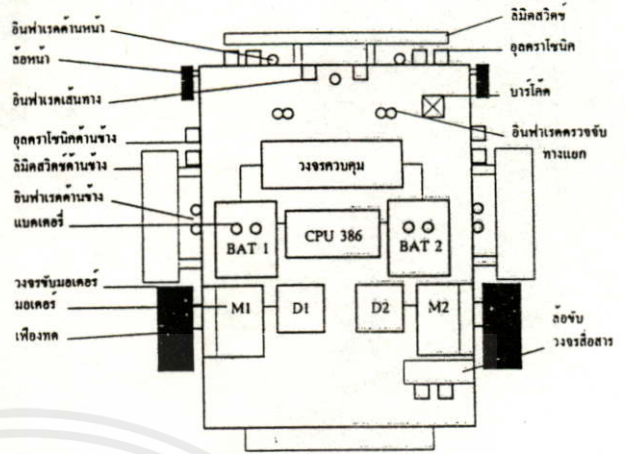
ภาคผนวก

ตารางที่ 2 แสดงรูปแบบการสอนช่วยงานระบบประสาทของยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติ

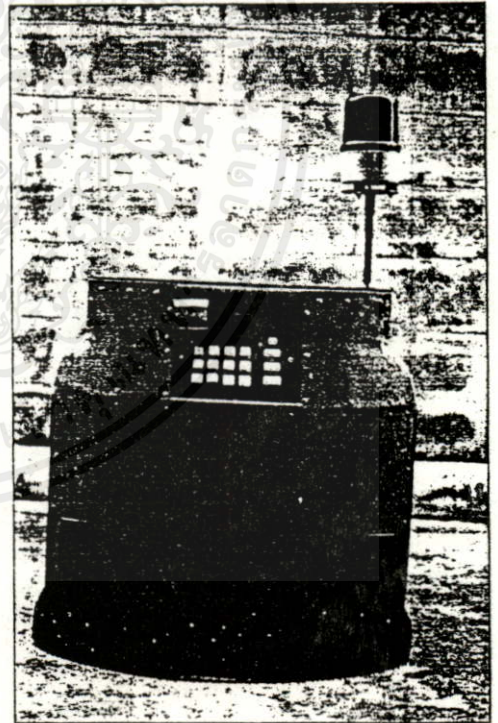
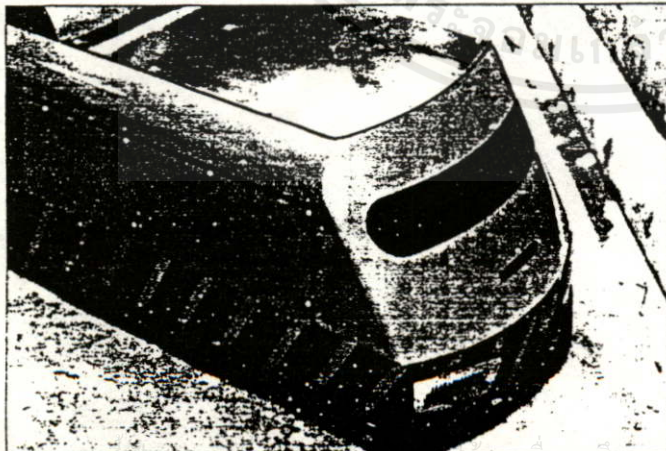
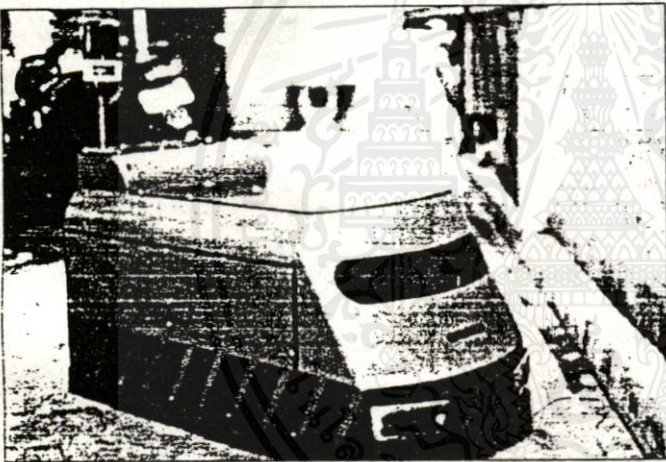
TRAINING PATTERN																												
pat	INPUT																OUTPUT											
	UF	U	UL	U	IL	IR	IF	IB	IP	IP	IS	O	O	LL	LR	LF	LB	BT	--	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	B			R				L	R		BL	BR							F	F	F	LT	F	F	RT	LT		
																			W	W		W	W					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	--	1	0	0	0	1	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	--	0	1	0	0	0	1	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	--	0	1	0	0	0	1	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	--	0	0	0	1	0	0	0	1	1
6	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	1	0	0	0	1	1
8	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	1	0	0	1	1	0	0	1	1
9	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	1	0	0	0	1	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	1	0	0	0	1	1
11	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	--	1	0	0	1	1	0	0	1	1
12	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	1	0	0	0	1	0	0	0	1
14	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	1	0	0	0	0	1	0	0	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	--	1	0	0	0	1	0	0	0	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	1	0	0	0	1	0	0	0	1
18	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	--	1	0	0	0	1	0	0	0	1
19	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	1	0	0	0	1	0	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	--	0	0	1	0	0	0	1	0	1
21	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	--	0	0	0	1	0	0	0	1	1
22	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	--	0	0	1	0	0	0	1	1	1
23	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	1	0	0	0	0	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	--	0	0	0	0	0	0	0	0	1
25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	--	0	0	0	1	0	0	0	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	0	0	0	0	0	1
27	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	--	0	0	0	0	0	0	0	0	1
28	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	1	0	0	0	1	0	0	0	1
29	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0	0	0	0	0	0	1

ความหมายของตัวย่อในตาราง

UF	อุลตราโซนิกด้านหน้า	; LL	ลิมิตสวิตช์ด้านซ้าย
UB	อุลตราโซนิกด้านหลัง	; LR	ลิมิตสวิตช์ด้านขวา
UL	อุลตราโซนิกด้านซ้าย	; LF	ลิมิตสวิตช์ด้านหน้า
UR	อุลตราโซนิกด้านขวา	; LB	ลิมิตสวิตช์ด้านหลัง
IL	อินฟาเรดด้านซ้าย	; BT	ตัวตรวจจับแรงดันแบบเคอวี
IR	อินฟาเรดด้านขวา	; M1FW	มอเตอร์ตัวที่ 1 เดินหน้า
IF	อินฟาเรดด้านหน้า	; M1BW	มอเตอร์ตัวที่ 1 ถอยหลัง
IB	อินฟาเรดด้านหลัง	; MILT	มอเตอร์ตัวที่ 1 เลี้ยวซ้าย
IPL	อินฟาเรดตรวจจับทางแยกด้านซ้าย	; M1RT	มอเตอร์ตัวที่ 1 เลี้ยวขวา
IPR	อินฟาเรดตรวจจับทางแยกด้านขวา	; M2FW	มอเตอร์ตัวที่ 2 เดินหน้า
IS	อินฟาเรดตรวจจับสถานี	; M2BW	มอเตอร์ตัวที่ 2 ถอยหลัง
OBL	ตัวตรวจจับรหัสแถบด้านซ้าย	; M2RT	มอเตอร์ตัวที่ 2 เลี้ยวขวา
OBR	ตัวตรวจจับรหัสแถบด้านขวา	; M2LT	มอเตอร์ตัวที่ 2 เลี้ยวซ้าย
		; SP	เสียงพูดและไฟฉุกเฉิน



รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของยานขนส่ง



ไม่ทำการเดินเชิงเทคนิกแต่เพียงอย่างเดียวที่พร้อมทั้งระบบงานแต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายไกรสร อัญชลีวรพันธุ์ เกิดเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2513 ที่จังหวัด ฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ปีการศึกษา 2534 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2535 มีผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ขณะเรียนปริญญาโทเรื่อง ยานขนส่งนำร่องอัตโนมัติควบคุมโดยข่ายงานระบบประสาท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้