ปัญญาประดิษฐ์สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้น

ARTIFICIAL INTELLIGENT FOR MOBILE ROBOT LINE TRACKING

โดย

นาย นิวัตน์ วโรภาษ

วัน เดือน ปี 31 ก.ค 2540
เลขทะเบียน 037094
เลขเรียกหนังสือ T 58167 น 453 ป

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037094

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ปัญญาประดิษฐ์สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้น

ผู้จัดทำ

1. นายนิวัตน์ วโรภาษ 55104223

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ชม กิ้มปาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญญาประดิษฐ์สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้น

นาย นิวัตน์ วโรภาษ 35104223
รศ.ดร. ชม กิ้มปาน อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเอาปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้กับยานขนส่งแบบนำร่องอัตโนมัติเพื่อให้ยานขนส่งสามารถสำรวจและเก็บข้อมูลของเส้นทางที่ยังไม่มีข้อมูลอยู่ได้และในการเคลื่อนที่ไปยังสถานีต่างๆ ยานขนส่งจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดที่เป็นไปได้ในขณะนั้นให้ ผู้ใช้งานจะควบคุมยานขนส่งผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์โดยที่คอมพิวเตอร์จะเป็นตัวเลือกเส้นทางให้แล้วส่งคำสั่งผ่านพอร์ตอนุกรมไปยังชุดควบคุมของยานขนส่งซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ระบบนำร่องของยานขนส่งจะใช้เทคนิคการนำร่องโดยโฟโต้เซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ARTIFICIAL INTELLIGENT FOR MOBILE ROBOT LINE TRACKING

Mr.Niwat Waropas 35104223

Assoc.Prof.DR. Chom Kimpan Advisor

1995

ABSTRACT

The thesis uses AI to be applied in Automated Guided Vehicle,AGV. So AGV can survey and store the route,which was never stored before. In route to any station,AGV can routing and choose the shortest properly. User can controls AGV through a computer ,which used to routing and sends command to control module using serial port. Control module is microcontroller 8031 and guide system mainly uses photo sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1 บทนำ		
	ความเป็นมาของAGV	1
	เทคโนโลยีทางด้านAGV	2
	เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูล	4
	เทคโนโลยีการนำร่อง	4
	เทคโนโลยีการขับเคลื่อนและการเลี้ยว	8
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานในการสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่		
	ส่วนขับเคลื่อน	10
	ส่วนควบคุม	16
	ส่วนอินเตอร์เฟส	17
	ส่วนที่ใช้ตรวจจับ	19
บทที่ 3 เทคนิคในการเขียนโปรแกรม		
	การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม	20
	การเขียนโปรแกรมสร้างพัลซ์วิดท์โมดูเลชั่นให้กับมอเตอร์	21
	การเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด	22
บทที่ 4 โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่		
	โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่จากเครื่องคอมพิวเตอร์	24
	การใช้งานโปรแกรมควบคุม	25
	คำสั่งในการใช้งาน	25
ภาคผนวก		26
กิตติกรรมประกาศ		
เอกสารอ้างอิง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของ AGV

ปัจจุบันอุตสาหกรรมประเภทต่างๆมีการแข่งขันกันอย่างเสรี ทำให้ผู้ผลิตต้องมีการพัฒนาระบบการผลิตในหลายจุด การจัดหาวัสดุ (Material handling) ก็เป็นจุดหนึ่งที่ผู้ผลิตต้องพัฒนาให้ดีขึ้นเพื่อลดต้นทุนการผลิต ตลอดจนพัฒนาระบบการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น

ระบบจัดการวัสดุนั้นประกอบด้วย ระบบการขนส่งวัสดุ (Transport system) , ระบบการเก็บวัสดุ (Warehouse system) และการควบคุมระบบ (System control) การพัฒนาระบบจำเป็นต้องมีการนำเอาระบบอัตโนมัติต่างๆมาใช้ อาทิเช่น PLC , CNC , DNC , หุ่นยนต์ , AGV , สายพานลำเลียง (Conveyor) , เครนอัตโนมัติ (Automated Crane) เป็นต้น

ยานขนส่งแบบนำร่องอัตโนมัติ(Automatic Guided Vehicle) หรือ AGV จัดเป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่(mobile robot) ชนิดหนึ่งซึ่งมีใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมมากว่า 30 ปี AGV เป็นยานพาหนะที่ไม่ต้องใช้คนขับที่สามารถวิ่งไปตามเส้นทางที่กำหนดได้เองโดยอัตโนมัติ AGV สามารถใช้แทนยานพาหนะอาทิเช่นรถโฟร์คลิฟท์ (fork-lift),รถบรรทุก,รถแทรกเตอร์ เป็นต้น หรืออาจใช้แทนระบบสายพานลำเลียง AGV มีหน้าที่ขนส่งวัตถุดิบ,ชิ้นส่วน,ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าคงคลังจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง AGVมีใช้มากในโรงงานแบบอัตโนมัติ (Automated factory)

AGV มักใช้ในระบบโรงงานแบบยืดหยุ่น(Flexible Manufacturing System)เพื่อป้อนงานแก่เครื่องจักรประเภท CNC , DNC AGV เป็นส่วนหนึ่งในระบบ AMDC (Automated Materials Distribution Center) หรือในโรงเก็บวัสดุ ปัจจุบันนี้เนื่องจากระบบอัตโนมัติเข้ามามีบทบาทในโรงงานอย่างแพร่หลายจึงมักจะพบว่ามีการใช้ AGV อยู่มาก AGVจึงกลายเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในระบบโรงงานแบบยืดหยุ่น การขนส่งวัสดุมีตั้งแต่การนำวัสดุจากโรงเก็บของไปยังพื้นที่ปฏิบัติงาน (work areas) หรือขนส่งระหว่างพื้นที่ปฏิบัติงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งรวมไปถึงการนำผลผลิตไปยังโกดังเก็บสินค้า

ในโรงงานที่ใช้ระบบอัตโนมัติทั้งหมดนั้น ระบบขนส่งจะถูกควบคุมการทำงานจากคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง (central computer) โดยต้องสามารถขนส่งวัสดุตามคำสั่งลักษณะต่างๆไปยังตำแหน่งใดๆก็ได้ ไม่ว่าจะเป็นหน่วยเครื่องจักร (machine cell), สถานีประกอบชิ้นส่วน (assembly station) หรือโรงเก็บของในโรงงานประเภทประกอบชิ้นส่วน ระบบขนส่งอาทิเช่น AGV, สายพานลำเลียง นั้นถือได้ว่าเครื่องมือการขั้นปฐมภูมิ (primary handling device) สำหรับนำชิ้นงานจากโรงเก็บของไปยังอุปกรณ์จัดการขั้นทุติยภูมิ (secondary handling

เอกสารนี้ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

device) เช่นแขนหุ่นยนต์ เป็นต้น เพื่อให้แขนหุ่นยนต์หยิบชิ้นงานป้อนเครื่องจักรไปต่อไป AGV ในปัจจุบันได้รับการออกแบบเพื่อให้สามารถทำงานภายใต้การควบคุมจากคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง โดยสามารถโปรแกรมให้ AGV วิ่งไปตามเส้นทางและหยุดยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ในปัจจุบัน AGV ส่วนใหญ่จะถูกกำหนดให้เคลื่อนที่ไปตามทางเดินนำร่อง (guide path) ซึ่งติดตั้งอยู่ตามพื้นโรงงานทางเดินนำร่องที่นิยมใช้อาทิเช่น การฝังสายตัวนำใต้พื้น, การใช้แถบสีติดบนพื้น เป็นต้น โครงสร้างภายนอกสำหรับ AGV ส่วนมากจะทำเป็นแท่นไว้วางภาชนะที่ใส่วัสดุอาทิเช่น ถาด (tray) , กล่อง (boxes) หรือชั้นวางของ (racks) เป็นต้น ในการติดตั้งระบบ AGV ก้าวหน้าไปมาก มีการวิจัยและพัฒนา AGV แบบเคลื่อนที่อิสระ (free ranging) กันอย่างกว้างขวาง AGV แบบนี้ไม่ต้องติดตั้งทางเดินนำร่องบนพื้น แต่จะใช้ระบบนำทาง (navigation system) ซึ่งอยู่บนตัว AGV ควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่แทน เทคนิคสำหรับ AGV แบบเคลื่อนที่อิสระนั้นมีหลายอย่าง บ่อยครั้งที่มีการนำเทคนิคต่างๆมาผสมผสานกัน อย่างไรก็ตามโรงงานอัตโนมัติในปัจจุบันส่วนมากก็ยังคงใช้ AGV แบบมีทางเดินนำร่องอยู่ โรงงานหลายแห่งมีการติดตั้งแขนหุ่นยนต์บน AGV ทำให้ AGV มีลักษณะเป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (mobile robot) สมบูรณ์แบบ วิธีนี้ทำให้สามารถใช้หุ่นยนต์เพียงตัวเดียวกับเครื่องจักรหลายตัว เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานแขนหุ่นยนต์และลดค่าใช้จ่าย

ตามปกติด้านหน้าและด้านหลังของ AGV จะติดบัมเปอร์ (bumper) เพื่อความปลอดภัย AGV ส่วนมากจะใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (lead-acid) และขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง

ในกรณีที่ทิศทางการขนส่งวัสดุมีความแน่นอน , ปริมาณการขนส่งมีจำนวนมาก ตลอดจนการขนส่งเป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ระบบ AGV จะเสียเปรียบระบบสายพานลำเลียง แต่ข้อดีของ AGV เหนือสายพานลำเลียงก็คือไม่เกะกะ , การติดตั้งทางเดินนำร่องมีความยืดหยุ่น (flexibility) กว่าระบบสายพานลำเลียงเพราะสามารถดัดเปลงแก้ไขได้ง่ายกว่า

นอกจากในโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว AGV ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่นๆ อีกมากอาทิ เช่น การขนสัมภาระไปยังห้องต่างๆของแขกที่มาพักในโรงแรม , การรับส่งเอกสารในสำนักงานโดย AGV ทำหน้าที่เป็นรถส่งสาร (mail mobile) แทนการใช้พนักงาน , การบริการอาหารตามโรงแรมและภัตตาคารหรือ การขนส่งวัสดุในสถานที่ที่เป็นความลับทางราชการ และที่อื่นๆ

1.2 เทคโนโลยีทางด้าน AGV

ระบบ AGV ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นระบบที่ใช้ทางเดินนำร่องได้แก่ สายตัวนำฝังใต้พื้น ,แถบสีติดพื้น สำหรับการฝังสายตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใต้พื้นนั้นทำให้ระบบไม่ยืดหยุ่น การแก้ไขดัดแปลงกระทำได้ยาก นอกจากนั้นในระบบ AGV ที่ซับซ้อน การติดตั้งรวมทั้งการสื่อสารด้วยวิธีเหนี่ยวนำผ่านสายตัวนำจะเสียค่าใช้จ่ายสูง

มีหลายกรณีสำหรับระบบ AGV ที่ทางโรงงานมักต้องการดัดแปลงแก้ไข ตัวอย่างการดัดแปลงแก้ไขระบบ AGV อาทิเช่น การต่อเติมทางเดินนำร่อง , การเพิ่มจำนวนสถานีปฏิบัติงาน , การเพิ่มจุดตัด (junction) , การเปลี่ยนแปลงจำนวน AGV ในระบบ , การเปลี่ยนแปลงลำดับในการขนส่งเช่นเปลี่ยนเส้นทางวิ่งจากสถานีหนึ่งไปอีกสถานีหนึ่ง , การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวทำงาน , การเปลี่ยนระบบเซนเซอร์ , การเปลี่ยนวิธีขนถ่ายวัสดุ , การเปลี่ยนวิธีประจุแบตเตอรี่ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ต่อมาผู้ผลิต AGV จึงมีการเสนอ AGV ที่อาศัยทางเดินนำร่องน้อยลง จุดประสงค์สำคัญคือเพื่อให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากกว่าที่เป็นอยู่ ทำให้ง่ายต่อการแก้ไขดัดแปลง

ในปัจจุบันทิศทางการพัฒนา AGV จึงมุ่งไปที่การพยายามทำให้ AGV สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ (free ranging) โดยอาศัยระบบการนำทาง การพัฒนา AGV ที่การวิจัยทั้งจากบริษัทผู้ผลิตและจากสถาบันวิจัยต่างๆ เพื่อหาเทคโนโลยีใหม่ๆ สำหรับ AGV เพื่อให้ AGV พึ่งพาทางเดินนำร่องน้อยลงโดยได้มีการวิจัยและพัฒนาระบบเซนเซอร์ , เทคนิคการนำทาง , เทคนิคการสื่อสารข้อมูล , ระบบควบคุม รวมทั้งเทคนิคโปรแกรมควบคุมการทำงาน สำหรับแนวโน้มการพัฒนา AGV ในอนาคตคือทำให้ AGV ไม่ต้องใช้ทางเดินนำร่องเลย แนวทางพัฒนาเทคโนโลยี AGV ให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 แนวหลัก ได้แก่

1.2.1) พัฒนาการนำร่องแบบไร้สาย (wireless guidance) เป็นการพัฒนา AGV ให้สามารถเคลื่อนที่ออกจากทางเดินนำร่องชั่วคราว โดยที่ AGV สามารถที่จะเคลื่อนที่กลับไปยังทางเดินนำร่องได้ดังเดิม เทคนิคนี้พบในผู้ผลิตบางราย เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการดัดแปลงระบบนำร่องโดยไม่จำเป็น นอกจากนี้ในปัจจุบันก็ได้มีการวิจัยระบบนำร่องแบบไร้สายที่สมบูรณ์โดยไม่ต้องใช้ทางเดินนำร่องเลย แต่ยังมีข้อจำกัดหลายอย่างทำให้ยังไม่เป็นที่นิยมนักในอุตสาหกรรม

1.2.2) พัฒนาวิธีการส่งข้อมูล (method of data transmission) วิธีการส่งข้อมูลระหว่าง AGV กับคอมพิวเตอร์ส่วนกลางกระทำได้ หลายวิธี เช่น การส่งข้อมูลผ่านแสงอินฟาเรด , การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ เป็นต้น

1.2.3) พัฒนาวิธีเก็บตารางการเคลื่อนที่ การเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีหนีไม่พ้นที่จะต้องทีการแก้ไขข้อมูลในตารางการเคลื่อนที่ ตารางนี้จะเก็บข้อมูลเดี่ยวกับการเคลื่อนที่จากสถานีหนึ่งไปยังสถานีหนึ่ง วิธีการเก็บตารางการเคลื่อนที่มีหลายวิธีได้แก่

1) เก็บข้อมูลไว้ที่คอมพิวเตอร์ส่วนกลาง ข้อดีคือเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อูลในตารางได้ง่าย ส่วนข้อเสียคือทำให้ AGV ไม่สามารถทำงานได้ตามลำพัง ต้องพึ่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เก็บข้อมูลไว้ที่คอมพิวเตอร์ซึ่งอยู่บน AGV ข้อดีของวิธีนี้คือ AGV สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องพึ่งคอมพิวเตอร์จากส่วนกลาง และถ้าใช้หน่วยความจำเป็น E^2 PROM หรือ RAM PACKED การแก้ไขข้อมูลก็ทำได้ง่าย ส่วนข้อเสียวิธีนี้คือ หากใช้ EPROM การแก้ไขจะไม่ค่อยสะดวก

1.3 เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูล

เดิมการส่งข้อมูลระหว่าง AGV กับคอมพิวเตอร์ส่วนกลางจะกระทำผ่านสายตัวนำซึ่งฝังใต้พื้น ต่อมาได้มีการเสนอวิธีใหม่คือส่งข้อมูลผ่านแสงอินฟราเรดทำให้สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราบอด (baudrate) ที่สูงขึ้น นอกจากนี้ก็ยังมีการพัฒนาการสื่อสารข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ แม้ว่าคลื่นวิทยุมีโอกาสถูกรบกวน (interference) รวมทั้งมีข้อจำกัดทางด้านกฎหมาย แต่ก็ยังคงมีการพัฒนาต่อไป

การใช้อินฟราเรดนั้นมีข้อจำกัดตรงที่การส่งต้องเป็นแนวตรงเท่านั้น ส่วนวิธีการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุจะมีความยืดหยุ่นกว่า ตามปกติลักษณะข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ส่วนกลางและ AGV ติดต่อสื่อสารกันนั้นประกอบด้วย

- คำสั่งการขับเคลื่อน (driving order)
- ข้อมูลทางตำแหน่ง (position data)
- การซิงโครไนเซชั่นทางเวลา (synchronization of timers) เพื่อให้คอมพิวเตอร์ส่วนกลางทราบตำแหน่งปัจจุบันของ AGV

1.4 เทคโนโลยีการนำร่อง

เทคโนโลยี AGV มีการพัฒนาเทคนิคการนำร่องขึ้นมาหลายวิธี ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1.4.1) การนำร่องโดยใช้ทางเดินนำร่อง

1) การฝังสายตัวนำใต้พื้น เป็นวิธีมาตราฐานที่นิยมกันมาก ในการติดตั้งต้องมีการเซาะร่องตามพื้นแล้วฝังสายตัวนำลึกประมาณ 0.5 นิ้ว แล้วปูกระเบื้องยางพร้อมลงอีพอกซี (epoxy resin) การใช้งานจะเริ่มโดยป้อนไฟสลับความถี่สูงแก่ตัวนำเพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก แรงดันที่ใช้ประมาณ 40 โวลท์ กระแสประมาณ 400 มิลลิแอมป์ และความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 1-15 กิโลเฮิรซ์ AGV จะมีขดลวด 2 ขดคอยตรวจจับสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำจากสายตัวนำ กรณีที่ AGV อยู่วิ่งอยู่ตรงแนวฝังสายตัวนำพอดี ค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้จากขดทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน AGV จะวิ่งต่อไปตามปกติ แต่ถ้า AGV วิ่งเบนไปจากแนวฝังสายตัวนำ สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ขดลวดทั้งสองจะมีค่าไม่เท่ากัน ระบบควบคุมก็จะส่งสัญญาณไปปรับแต่งทิศทางการวิ่งของ AGV ให้ตรงแนวเช่นเดิม ข้อดีของวิธีนี้คือมีความเชื่อถือได้สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

, ทนทาน ส่วนข้อเสียคือระบบไม่ยืดหยุ่น การดัดแปลงแก้ไขทำได้ยาก และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงโดยเฉพาะต้องขนส่งในระยะไกล

2) ใช้แถบสีหรือเทปสะท้อนแสงติดบนพื้น AGV จะคอยจับหาแนวเส้นทางของแถบสีนั้น ข้อดีของวิธีนี้คือระบบการนำร่องไม่ซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงแก้ไข , การซ่อมบำรุงกระทำได้ง่าย ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูก สำหรับเทคนิคในการตรวจจับแถบสีมี 2 วิธีได้แก่

2.1) ใช้โฟโต้เซนเซอร์ (photo sensor) ตรวจจับความเข้มแสงที่สะท้อนกลับขึ้นมา ข้อดีของการใช้โฟโต้เซนเซอร์คือสร้างง่ายและราคาถูก ส่วนข้อเสียคือการใช้โฟโต้เซนเซอร์นั้นอ่อนไหวต่อคุณภาพของแถบสีมากอีกทั้งแถบสีนั้น เลอะเลือนและชำรุดเสียหายง่าย นอกจากนี้ความสะอาดของพื้นก็มีผลต่อการตรวจจับเช่นกัน การใช้โฟโต้เซนเซอร์จึงเหมาะสำหรับใน clean room ของโรงงานเท่านั้น

2.2) ใช้กล้องทีวี (TV camera) โดยนำสัญญาณภาพที่ได้รับมาทำการประมวลผลเพื่อหาทางเดินของแถบสีบนพื้น การใช้กล้องทีวีมีข้อดีคือทำให้สามารถหาตำแหน่งแถบสีได้ แม้ว่าแถบสีนั้นจะมีการเลอะเลือนหรือชำรุดเสียหายไปบ้างก็ตาม ทำให้สามารถนำไปใช้ขนส่งภายนอกอาคาร (outdoor) ได้โดยเฉพาะการขนถ่ายวัสดุจากอาคารหนึ่งไปสู่อีกอาคารหนึ่ง แต่ข้อเสียก็คือความเร็วในการประมวลผลภาพช้าเกินไปไม่สอดคล้องกับ real time แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของซีพียูที่ใช้ประมวลผล

3) ใช้แถบโลหะ (metal stripe) วางเป็นแนวแบบเดียวกับแถบสี แล้วใช้พรอคซิมิตี้เซนเซอร์ (proximity sinsor) ตรวจหาตำแหน่งแถบโลหะนั้น

4) ใช้แถบแม่เหล็ก (magnetic tape) ฝังลงในพื้นเป็นลักษณะตารางทั่วๆพื้นที่ AGV จะเคลื่อนไปตามแนวขอบตาราง จุดตัดของเส้นตารางจะเป็นตัวนับตำแหน่งในการเคลื่อนที่ ลักษณะแมกเนติคเซนเซอร์นั้นประกอบด้วย exciting coil 1 ชุด , detecting coil 2 ชุด exciting coil จะผลิตสนามแม่เหล็กจากไฟสลับโดยมี detecting coil คอยตรวจจับสนามแม่เหล็ก กรณีที่ AGV อยู่ตรงแนวแถบแม่เหล็กพอดี สนามแม่เหล็กพอดี สนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้จะมีค่ามากที่สุด

1.4.2) การนำร่องแบบไร้สาย (wireless guidance)

เป็นการนำร่องโดยไม่ต้องตั้งทางเดินนำร่องตามพื้น AGV สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนากันมาก สิ่งที่สำคัญที่สุดของการนำร่องแบบไร้สายคือเทคนิคการนำทาง (navigation technique) ซึ่งมีหลายวิธีอาทิเช่น

1) การนำทางด้วยคลื่นวิทยุ (radio navigation) ตามปกติวิธีนี้สามารถหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ในห้องโดยประมาณ โดยมีขอบเขตของการตรวจจับตั้งแต่หลายร้อยเมตรจนถึงหลายกิโลเมตรแต่สำหรับระบบนำร่องแบบไร้สายที่ไม่ใช้ทางเดินนำร่องเลยนั้น วิธีนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะไม่เหมาะสมเนื่องจากเหล็ก (iron) จะทำให้คลื่นวิทยุเกิดการสะท้อน (reflect) และเบี่ยงเบนไป (divert) ทำให้การหาตำแหน่งขาดความถูกต้องและแม่นยำ (inaccuracy) โดยเฉพาะหากขอบเขตการตรวจจับต่ำกว่า 100 เมตร

2) การนำทางโดยอาศัยระบบดาวเทียม (satellite navigation) หรือรู้จักกันในชื่อ GPS (Global Positioning System) สามารถหาตำแหน่งบนพื้นโลกได้โดยการวัดรันนิ่งไทม์ (running time) ของดาวเทียม แต่ความละเอียดสูงสุดของเทคนิคนี้คือ 10 เมตร เท่านั้น

3) การใช้อุลตร้าโซนิควัดระยะทาง (ultrasound distance measurement) โดย AGV จะเก็บแผนที่เส้นทางทุกเส้นไว้ในหน่วยความจำ วิธีการเคลื่อนที่จะเริ่มที่การกำหนดเป้าหมายปลายทางที่จะไป AGV จะคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดแล้วเคลื่อนที่ไปโดยใช้อุลตร้าโซนิคทำหน้าที่คอยตรวจจับวัตถุเพื่อหาแนวทางในการเคลื่อนที่ ข้อดีของเทคนิคนี้คือความถูกต้องอยู่ในระดับมิลลิเมตร ส่วนข้อเสียคือเทคนิคนี้จำเป็นต้องมีกำแพงตลอดจนวัตถุที่เพียงพอสำหรับหาตำแหน่ง ส่วนความถูกต้องในการวัดนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิห้อง , การถ่ายเทของอากาศและอาจถูกรบกวนได้จากแหล่งกำเนิดเสียง (acoustic sources) ที่มีความถี่สูงอาทิ เช่น เครื่องจักรที่กำลังหมุน เป็นต้น

4) การใช้เลเซอร์วัดระยะทาง (laser distance measurement) ใช้หลักการวัดรันนิ่งไทม์ (running time) ของสัญญาณจะอยู่ในหน่วยของเซ็นติเมตร ส่วนการวัดการรบกวนจะอยู่ในหน่วยมิลลิเมตร ข้อเสียคือใช้ได้ในบางกรณีเท่านั้นเพราะระบบการขนส่งหลายแห่งเป็นบริเวณเปิดโล่งหรือเป็นกำแพงซึ่งอยู่ไกลเกินกว่าจะตรวจรับได้นอกจากนี้กรณีการใช้เลเซอร์จะใช้ไม่ได้กับบริเวณที่มีผู้คน กับยานพาหนะเป็นจำนวนมาก

5) การใช้เลเซอร์หาระยะด้วยวิธีสร้างรูปสามเหลี่ยม (laser triangulation) ในวิธีนี้จะหาตำแหน่งได้จากการวัดมุมจากจุดสองจุด โดยระยะทางที่แม่นยำจะอยู่ในช่วงระยะ 0-10 เมตร

6) การประมวลผลภาพ (image processing) หาตำแหน่ง AGV โดยใช้กล้องติดบนเพดาน (ceiling) ของห้องโถง กล้องที่ใช้อาจจะเป็นแบบ tube หรือ CCD ในทางการค้ากล้อง CCD มีความละเอียดประมาณ 500 pixel สัญญาณที่ได้จะถูกนำไปประมวลผล

7) การใช้เครื่องวัดระยะทาง (odometry) เป็นวิธีหาตำแหน่ง AGV เทียบกับตำแหน่งเริ่มต้นโดยเทียบกับ โรตารี่ เอ็นโคดเดอร์ (rotary encoder) ติดตั้งที่ล้อทำหน้าที่คอยวัดตำแหน่ง เริ่มต้นจะต้องมีการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้น (home position) เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิง วิธีนี้ค่อนข้างง่ายแต่มีข้อเสียคือมักจะเกิดค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งอันเนื่องมาจากการลื่นไถล (slipping) ของล้อ จึงต้องมีการตั้งระยะใหม่เพื่อลดความคลาดเคลื่อนนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) การใช้เข็มทิศไจโรสโคป (gyroscopic compass) เป็นการนำทางโดยอาศัยเทคนิคทางโมเมนตัม ไจโรสโคปจะถูกติดตั้งขนานกับทิศทางที่ต้องการเคลื่อนที่ไป เมื่อตำแหน่ง AGV เบี่ยงเบนไปจากแนวที่ต้องการ จะทำให้เกิดความเร่งในทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ ซึ่งค่าความเร่งนี้ไจโรสโคปสามารถตรวจวัดได้ ค่าความเร่งนี้จะนำไปคำนวณหาการเบี่ยงเบนของตำแหน่ง แล้วจึงนำค่าจากการคำนวณไปป้อนให้ระบบเพื่อทำการแก้ไขตำแหน่งต่อไป

9) วิธีคอร์รีเรชั่น (correlation) โดยใช้ออปติกเซนเซอร์แบบหัวอ่านคู่ (two-tandem joined heads) ทำการสแกนไปยังพื้นผิวขรุขระ (roughness) และการวัดค่าของหัวอ่านทั้งสองจะเป็นไปอย่างสัมพันธ์กัน หลักของการวัดมีลักษณะเป็นการเคลื่อนที่อย่างอิสระ (sliping independant) การวัดของหัวอ่านจะสามารถประเมินการเคลื่อนที่ได้

1.4.3) การนำร่องร่วมกับการใช้ทางเดินนำร่องแบบไร้สาย

เป็นการนำเทคนิคข้างต้นมาผสมผสานกันทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1) ใช้วิธีนำร่องด้วยการฝังสายตัวนำใต้พื้นแบบมาตรฐานเป็นหลัก แล้วเสริมด้วยการใช้เครื่องวัดระยะทาง ในบางจุดเช่นที่ AGV จะเคลื่อนที่เข้าไปเทียบท่ายังอุปกรณ์ถ่ายโหลด วิธีนี้ทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

2) ใช้วิธีนำร่องด้วยการวางกริด (grid) เป็นการนำร่องโดยการให้ AGV วิ่งไปตามเส้นกริดมีลักษณะต่อกันเป็นรูปตาราง การวัดระยะทางจะมีการอ้างอิงทุกครั้งที่ผ่าน AGV วิ่งผ่านกริดทำให้ค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งถูกขจัดออกไปข้อดี คือมีความยืดหยุ่นสูง สามารถเปลี่ยนวิธีการวิ่งได้ง่าย , มีความถูกต้องแม่นยำ ,ต้นทุนต่ำตลอดจนใช้ภายในอาคารและนอกอาคาร กริดที่ใช้มีหลายแบบได้แก่

- ใช้แถบโลหะติดตามขอบคอนกรีต การติดตั้งจะง่าย การตรวจจับแถบโลหะจะใช้พรอคซิมิตี้เซนเซอร์

- ใช้แถบสีติดเป็นตาราง แล้วใช้กล้อง CCD หรือโฟโต้เซอร์ตรวจจับ แบบนี้มีข้อเสียคือจะไวต่อความสกปรกมาก

- ใช้แผ่นปูพื้นเป็นรูปหมากรุก คือมี 2 สีสลับกันการตรวจจับอาจใช้กล้อง CCD

ลักษณะของกริดนอกจากทำเป็นเส้นแล้วยังทำเป็นจุดได้ด้วย การทำเป็นจุดจะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงไปอีก

1.4.4) การนำร่องด้วยเทคนิคพิเศษอื่นๆ

ในสถาบันวิจัยต่างๆได้มีการพัฒนากันมาก แต่ยังไม่ได้นำมาพัฒนาในอุตสาหกรรมอย่างจริงจังจึงเป็นเพียงการทดลองที่ได้ผลเท่านั้น ตัวอย่างของการนำร่องพิเศษ

1) โดยใช้เทคนิคการวัดมุมด้วยเลเซอร์ เป็นระบบการนำทางด้วยเลเซอร์โดยวิธีการวัดมุมสะท้อนกลับของแสงเลเซอร์ที่ยิงไปตกกระทบแผ่นสะท้อนซึ่งติดอยู่ตามผนังห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดเลเซอร์พลังงานต่ำ , กระจกหมุน (rotating mirror) , แผ่นสะท้อน (reflector) ติดตามผนังกำแพงในระดับเดียวกับลำเลเซอร์และตัวรับออบติค เช่น กระจกสะท้อน , เลนส์ เป็นต้น การทำงานของระบบเริ่มต้นด้วยการยิงเลเซอร์ผ่านกระจกหมุน ซึ่งจะทำให้ได้ลำเลเซอร์กวาดไปรอบๆห้องโดยที่ AGV สามารถรู้มุมลำเลเซอร์ได้จากมุมการหมุนของกระจก ลำเลเซอร์จะตกกระทบกันแผ่นสะท้อนแล้วกลับมายังตัวรับออบติกซึ่งใช้แกนร่วมอยู่กับแกนลำเลเซอร์มุมที่สะท้อนกลับมาจะเป็นมุมที่เทียบกับจุดอ้างอิง และจะถูกนำไปประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งและมุมที่ถูกต้องของตัว AGV ต่อไป ทุกรอบที่เลเซอร์กวาดไป ตำแหน่งและส่วนหัวของตัว AGV จะมีการปรับเปลี่ยนตาม อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นเพียงต้นแบบในงานวิจัย โดยระบบนี้เรียกอีกอย่างว่าเครื่องวัดมุม (angle meter) ข้อดีก็คือใช้เป็นตัวนำร่อง แต่ก็มีข้อจำกัดในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางระหว่างแผ่นสะท้อนกับ AGV และค่าใช้จ่ายก็ยังสูงอีกด้วย

2) การนำร่องโดยใช้กล้องอินฟราเรดอ่านตำแหน่ง AGV จากเพดาน โดยจะติดกล้องอินฟราเรดบนเพดานไว้ตรวจความเคลื่อนไหวของ AGV โดยบน AGV จะติดตั้งตัวส่งแสงอินฟราเรด (infrared light emitter) ข้อมูลภาพจากกล้องจะถูกส่งไปประมวลผลยังคอมพิวเตอร์ส่วนกลางเพื่อการระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ และคอมพิวเตอร์จะควบคุม AGV โดยใช้สัญญาณวิทยุ

1.5 เทคโนโลยีการขับเคลื่อนและการเลี้ยว

AGV ส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (lead-acid) และขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงซึ่งมีการควบคุมทิศทางการหมุน , ความเร็ว และตำแหน่งโดยใช้คอมพิวเตอร์ (onboard computer) ในการเลี้ยวก็ขึ้นอยู่กับระบบล้อซึ่งมีทั้งแบบ 3 ล้อ และ 4 ล้อ ดังเช่น

- ระบบ 3 ล้อ เลี้ยวโดยล้อหน้า 1 ล้อโดยให้ล้อหลัง 2 ล้อเป็นล้อขับ
- ระบบ 3 ล้อ เลี้ยวด้วย 2 ล้อหลัง ส่วนล้อหน้าเป็นล้อขับ
- ระบบ 3 ล้อ ล้อหน้าเป็นทั้งล้อขับและล้อเลี้ยว ส่วน 2 ล้อหลังเป็นล้อช่วย
- ระบบ 3 ล้อ เลี้ยวด้วย 2 ล้อหน้า โดยมีทั้งแบบเลี้ยวพร้อมกัน และแบบแยกอิสระ
- ระบบ 3 ล้อ เลี้ยวโดยใช้หลักการหมุนในทิศตรงข้ามกัน (differential steering)
- ระบบ 4 ล้อ เลี้ยวโดยหลักการหมุนในทิศทางตรงกันข้าม 2 ล้อเป็นล้อขับ อีก 2 ล้อ เป็นล้อช่วย

-ระบบ 4 ล้อ ขับเคลื่อนได้ทั้ง 4 ล้อ ล้อแต่ละคู่ก็สามารถเลี้ยวได้

-ระบบ 4 ล้อ 2 ล้อหน้าสำหรับเลี้ยว ส่วน 2 ล้อหลังเป็นล้อขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ระบบ 5 ล้อ ล้อที่ 5 ซึ่งเป็นทั้งล้อขับและล้อสำหรับเลี้ยวจะติดตั้งอยู่กลางแนวแกนของสองล้อหน้าซึ่งเป็นล้อช่วย ส่วนสองล้อหลังก็เป็นล้อธรรมดา

-ระบบ 6 ล้อ ล้อที่ 5 และ 6 ซึ่งเป็นทั้งล้อขับและล้อเลี้ยว จะติดอยู่ตรงแนวกลางแนวแกนของ 2 ล้อหน้าและ 2 ล้อหลัง ซึ่งต่างก็เป็นล้อช่วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037094

บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานในการสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่

ในการสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่สามารถแบ่งส่วนที่สำคัญออกเป็น 4 ส่วนคือ

- ส่วนขับเคลื่อน
- ส่วนควบคุม
- ส่วนอินเตอร์เฟส (interfacing)
- ส่วนที่ใช้ตรวจจับ (sensor)

2.1 ส่วนขับเคลื่อน

ในการที่จะทำให้ส่วนต่างๆของหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวได้นั้นจะต้องใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยมากจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีแรงบิดสูงและสามารถควบคุมความเร็วได้ง่าย วงจรที่ใช้ขับมอเตอร์ไม่ซับซ้อนมาก ส่วนในการเคลื่อนส่วนต่างๆที่ไม่ต้องการแรงบิดสูง แต่ต้องการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ จะใช้สเตปปิ้งมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน

2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีใช้ในอุตสาหกรรมหุ่นยนต์กันอย่างแพร่หลาย ความเร็วของมอเตอร์จะแปรผันตามค่าโวลท์เตจ(voltage)ที่จ่ายให้กับมอเตอร์และค่าแรงบิด(torque)ของมอเตอร์จะแปรผันตามค่ากระแสอาเมเจอร์เป็นไปตามสูตร

V(voltage) = E+IR ; IR = กระแส x ค่าความต้านทานของอาเมเจอร์

E(baok emf) = $k\phi\omega$; ค่าคงที่ x ความเร็วเชิงมุม

T(torque) = $k\phi\omega$; ค่าคงที่ x กระแสอาเมเจอร์

ในการควบคุมมอเตอร์ สามารถที่จะควบคุมได้ 2 อย่างคือ ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และ ควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ ในการควบคุมความเร็วสามารถจะควบคุมได้โดยการปรับค่าโวลท์เตจที่ป้อนให้กับมอเตอร์หรือปรับค่าโวลท์เตจเฉลี่ยโดยการป้อนไฟให้กับมอเตอร์เป็นพัลซ์(Pulse)ที่มีความถี่สูง ความเร็วของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับความกว้างของช่วงจังหวะที่ป้อนให้ วิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์วิธีนี้เรียกว่า พัลซ์วิดท์โมดูเลชั่น(Pulse Width Modulation, PWM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลซ์วิดท์โมดูเลชั่นแอมปลิไฟเออร์(PWMA)

ในระบบ ดีซีเซอร์โว แอมปลิไฟเออร์จะมีหน้าที่ควบคุมกระแสและโวลท์เตจที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าความเร็วที่ต้องการ ถ้าเราใช้ลิเนียร์แอมปลิไฟเออร์จะมีการสูญเสียพลังงานไปที่เอาท์พุททรานซิสเตอร์มากเช่น มอเตอร์ตัวหนึ่งต่ออนุกรมกับแอมปลิไฟเออร์ โดยใช้ซัพพลายร่วมกัน ซัพพลายจะจ่ายไฟ 50 โวลท์ มอเตอร์ใช้ไฟไป 10 โวลท์ และกระแส 20 แอมแปร์ มอเตอร์จึงกินพลังงานไป 200 วัตต์ จะเห็นว่ามีการสูญเสียที่แอมปลิไฟเออร์ถึง 800 วัตต์ คือจะมากเป็น 4 เท่าของมอเตอร์

วิธีหนึ่งที่จะแก้ปัญหาการสูญเสียพลังงานคือใช้แอมปลิไฟเออร์ควบคุมมอเตอร์โดยการเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเกิล(Duty cycle)ของโวลท์เตจที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ แอมปลิไฟแออร์ชนิดนี้เรียกว่า สวิทช์ชิ่งแอมปลิไฟเออร์ ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วต่ำๆ โดยมีแรงบิดสูงอยู่โดยไม่สิ้นเปลืองพลังงานเหมือนพวกลิเนียร์แอมปลิไฟเออร์

สวิทช์ชิ่งแอมปลิไฟเออร์นี้ทรานซิสเตอร์แอมปลิไฟจะทำหน้าที่คล้ายสวิทช์ เมื่อทรานซิสเตอร์นำกระแสโวลท์เตจตกคร่อมตัวมันจะน้อยมากจนตัดทิ้งได้ แต่เมื่อมันหยุดนำกระแสโวลท์เตจที่ตกคร่อมมันจะมีค่าเข้าใกล้ V_{CC} และมีกระแสไหลผ่านน้อยมากถือว่าเป็นศูนย์ ด้วยเหตุดังกล่าวนี้การสูญเสียในเอาท์พุททรานซิสเตอร์จึงมีค่าต่ำ ระบบสวิทช์ชิ่งสามารถสร้างได้หลายวิธีมีทฤษฎีง่ายทฤษฎีหนึ่งในการทำให้แอมปลิไฟเออร์สวิทช์ด้วยความถี่ที่คงที่และสามารถแปรค่าที่ เปิด(on) และ ปิด(off) ของพัลซ์ได้ตามต้องการแอมปลิไฟเออร์ชนิดนี้เรียกว่า พัลซ์วิดท์โมดูเลเตอร์แอมปลิไฟ ซึ่งถ้าเราสามารถออกแบบให้แปรค่าได้ทั้งค่าพัลซ์และความถี่แล้วก่อให้เกิดประโยชน์ในการควบคุมรักษาระดับกระแสสูงๆได้ แต่อาจเกิดออสซิเลทหรือทำให้เกิดเสียงร้องที่ความถี่รีโซแนนท์

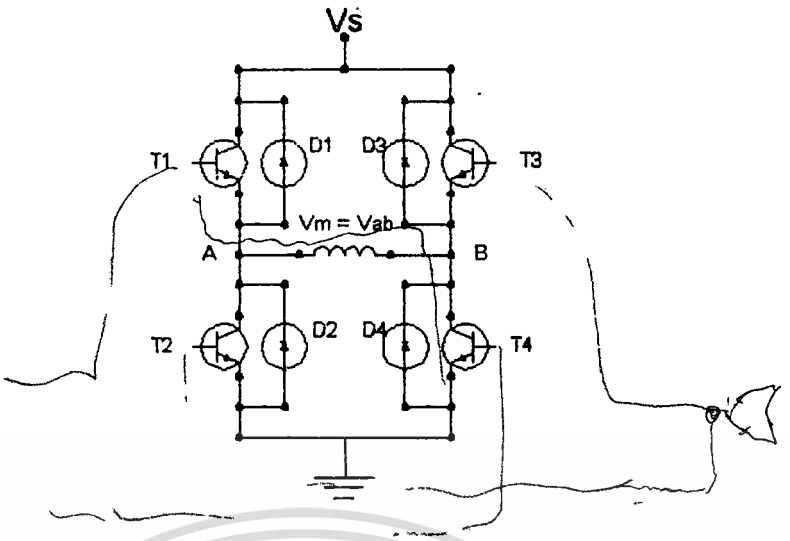
การทำงานของพัลซ์วิดท์โมดูเลชั่นแอมปลิไฟเออร์

แอมปลิไฟเออร์แบบ PWM สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของการทำงานคือ ไบโพลาร์ ยูนิโพลาร์และลิมิตยูนิโพลาร์ สำหรับแบบไบโพลาร์ซึ่งง่ายที่สุดจะดูการทำงานได้ตามรูปที่ 2.1 โดยที่เราจะกำหนดให้มีความถี่การสวิทช์เป็น f_s t_{on} เกิดขึ้นในส่วนแรกและ t_{off} เกิดในส่วนหลังโดย

t_{on} เมื่อ $0 \le t \le t_1$

t_{off} เมื่อ $t_1 \le t \le t_f$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 พัลซ์วิดท์โมดูเลชั่นแอมปลิไฟเออร์สำหรับดีซีมอเตอร์

แบบ ไบโพลาร์จะมี T1 และ T4 นำกระแสระหว่างเฟส on ส่วน T2 และ T3 จะนำกระแสขณะเฟส off จะได้ฟังก์ชันดกคร่อมมอเตอร์เป็น

$V_m = V_s$ เมื่อ $0 \le t \le t_1$

และ $V_m = -V_s$ เมื่อ $t_1 \le t \le t_f$

แบบยูนิโพลาร์ จะลดจำนวนทรานซิสเตอร์ในการสวิทช์ลงสวิทช์ขึ้นกับ V_{in} เป็นบวกหรือลบ เมื่อ V_{in} เป็นบวก T4 จะนำกระแสตลอดคาบ ในขณะที่ T1 นำกระแสในช่วงเฟส on และ T2 จะนำกระแสในช่วงเฟส off เมื่อ V_{in} เป็นลบ T2 จะนำกระแสตลอด โดยมี T3 และ T4 สลับกันทำงาน เมื่อ V_{in} เป็นบวกได้

$V_{in} = V_s$ เมื่อ $0 \le t \le t_1$

และ $V_{in} = 0$ เมื่อ $t_1 \le t \le t_f$

การแสดงค่า V_{in} ในทางลบจะเหมือนกันเพียงแต่ V_{in} เป็นลบเท่านั้น

จากลักษณะของ 2 แบบดังกล่าวมานั้นมีปัญหาเหมือนกัน ซึ่งในแต่ละกรณีจะมีทรานซิสเตอร์คู่หนึ่ง (T1,T2) หรือ (T3,T4) จะหยุดนำกระแสขณะที่อีกคู่นำกระแสซึ่งมีเวลาเก็บสะสมและเวลาที่ปล่อยออกของทรานซิสเตอร์เกิดขึ้นและมันอาจเป็นไปได้ที่ทรานซิสเตอร์ทั้งหมดนำกระแสในเวลาเดียวกันซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรของซัพพลาย เราจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงภาวะดังกล่าว ซึ่งสามารถทำได้โดยการหน่วงเวลาระหว่างการหยุดและการนำกระแสของทรานซิสเตอร์และด้วยเหตุผลดังกล่าว ความถี่ของการสวิทช์จะถูกจำกัดในวงที่แคบลง

แบบลิมิตยูนิโพลาร์จะแสดงให้เห็นคือมีความจำเป็นต้องมีช่วงหน่วงเวลาซึ่งการสวิทช์ขึ้นกับค่า V_{in} เมื่อ V_{in} เป็นบวก T4 จะนำกระแสตลอด T1 จะสวิทช์เป็น on ในช่วงเฟส on ดังนั้นในช่วงเฟส on ทั้ง T1 และ T4 จะ on ยังผลแก่โวลท์เตจของมอเตอร์ V_m คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_m = V_s$ เมื่อ $0 \le t \le t_1$

ระหว่างเฟส off จะมี T4 นำกระแสเพียงตัวเดียวเป็นผลให้ V_{in} ขึ้นกับ I_{AB} ตราบใดที่ $I_{AB} > 0$ ซึ่งเป็นสภาวะปกติเมื่อ $V_{AB} > 0$ กระแสI_{AB} จะไหลผ่าน D2 และ T4 เป็นผลให้ $V_A = 0$ และ

$V_m = V_{AB} = 0$ เมื่อ $t_1 \le t \le t_f$ และ $I_{AB} > 0$

ในกรณีที่ I_{AB} เป็นลบ กระแสจะไหลผ่าน D1 และ D4 เป็นผลให้ $V_A = V_s$ และ

$V_m = V_{AB} = V_s$ เมื่อ $t_1 \le t \le t_f$ และ $I_{AB} < 0$

ซึ่งจะเกิดขึ้นภายหลังเปลี่ยนขั้ว V_{in}

ในที่สุดถ้าเราสามารถทำให้ $I_{AB} = 0$ (เข้าใกล้ศูนย์จนถือว่าเป็นศูนย์) จะทำให้ ทั้ง D1 และ D4 ไม่นำกระแสและโวลท์เตจ V_{in} จะอยู่ระหว่างค่าศูนย์และ V_s ดังต่อไปนี้

$0 < V_m < V_s$ เมื่อ $t_1 \le t \le t_f$ และ $I_{AB} = 0$

อย่างไรก็ตาม ถ้า $I_{AB} > 0$ เป็นสภาวะปกติเมื่อ $V_{in} > 0$ แบบยูนิโพลาร์และแบบลิมิตยูนิโพลาร์ จะแสดงคุณสมบัติคล้ายกันมาก

การหาทรานเฟอร์ฟังก์ชัน(transfer function) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สมการสถานะคงที่ของมอเตอร์ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น ในสถานะไม่คงที่(dynamic) จะต้องพิจารณาถึงผลของความเหนี่ยวนำอาเมเจอร์,โหลด อินเนอเชีย(load inertia) และค่าแรงเสียดทาน ในขณะที่กระแสคงที่ จะไม่เกิดสถานะที่ไม่คงที่ กระแสอาเมเจอร์เป็นฟังก์ชันของค่าศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน(V),ค่าความต้านทานอาเมเจอร์(R_a),ค่าความเหนี่ยวนำอาเมเจอร์(L)และแบ็คอีเอ็มเอฟ(back electromotive force,E)

$$V(s) = (R_a + LS)I(s) + E(s)$$

ทอร์คที่เกิดจากมอเตอร์เป็นฟังก์ชันของค่าความเข้มของสนาม(ϕ)และกระแสอาเมเจอร์

$$\tau_a(s) = K_a I(s)\phi = K_m I(s)$$

ทอร์คที่เกิดขึ้นนี้เป็นเหตุให้มอเตอร์หมุนโหลดด้วยความเร็วเชิงมุมω แอคทูเอเตอร์ทอร์ค(actuator torque) เป็นทอร์คที่รวมความเฉื่อยและแรงเสียดทาน

$$\tau_L = JS\omega(s) + f\omega(s)$$

แบ็คอีเอ็มเอฟแปรผันตามความเร็วเชิงมุมของอาเมเจอร์

$$E(s) = K_a \phi\omega(s) = K_m\omega(s)$$

สำหรับโหลดที่มากขึ้นทำให้อาเมเจอร์หมุนช้าลง,ค่าแบ็คอีเอ็มเอฟลดลงซึ่งจะไปเพิ่มกระแสอาเมเจอร์เพื่อไปขับโหลดดังนั้นในตัวมอเตอร์เองก็มีการป้อนกลับ เราสามารถรวมสมการให้อยู่ในรูปของบล็อคไดอะแกรมได้ดังรูปและได้ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\theta_1}{V} = \frac{K_m}{S[(R_a + LS)(JS + F + (K_m)^2]}$$

ถ้าแกนของมอเตอร์ต่ออยู่กับเฟืองชุด ความเร็วหลังจากผ่านเฟืองชุดคือผลคูณของความเร็วของมอเตอร์กับอัตราทดเฟือง ถ้าต้องการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ สามารถใช้ทรานเฟอร์ฟังก์ชันจากกระแสต่อทอร์คคือ

$$\frac{\tau}{I} = \frac{K_m(R_a + LS)(JS + F)}{K_m^2 + (R_a + LS)(JS + F)}$$

2.1.2 สเตปปิ้งมอเตอร์

สเตปปิ้งมอเตอร์เปรียบเหมือนทรานสดิวเซอร์แบบแปลงไฟฟ้าไปเป็นเชิงกลแบบมีอินพุทเป็นกลุ่มของไบนารี่โวลท์เตจและเอาท์พุทเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ในเชิงมุมเป็นสเตรป ด้วยลักษณะการเคลื่อนที่ดังกล่าวสเตปปิ้งมอเตอร์จึงได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น ใช้เป็นตัวป้อนกระดาษและกำหนดช่วงห่างของบรรทัดในไลน์ปริ้นเตอร์, X-Y พล็อตเตอร์, ขับเครื่องจักรกลที่คอนโทรลด้วยคอมพิวเตอร์ รวมทั้งหุ่นยนต์ด้วย โดยขนาดของสเตปจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1° ถึง 30°

สเตปปิ้งมอเตอร์โดยทั่วไปมีอยู่ 3 ชนิด คือ

- แวเรียเบิ้ล รีลัคแตนท์ (Variable Reluctance,VR)
- เพอมาแนนท์ แมกเน็ท (Permanant Magnet,PM)
- ไฮบริดจ์ สเตปปิ้ง มอเตอร์ (Hybrid Stepping Motor,HSM)

แวเรียเบิ้ล รีลัคแตนท์

จะเป็นสเตปปิ้งมอเตอร์ที่ถูกกล่าวถึงและนำมาใช้งานมากที่สุดโดยเฉพาะแบบ 4 เฟสโรเตอร์และสเตเตอร์จะทำมาจากเหล็กผสมซิลิคอน เพลาของมอเตอร์จะหมุนไปเป็นค่ามุมคงที่หรือเรียกว่ามุมสเตป มักจะมีมุมที่ต่างกันคือ 0.72, 0.9, 1.8, 2.0, 3.6, 7.5, 15 สำหรับสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้วงจรขับแบบ ยูนิโพลาร์ (Unipolar) ซึ่งลักษณะการทำงานของวงจรจะต้องเปลี่ยนค่าโวลเตจท์เข้าไปในแต่ละขั้วตามลักษณะของพัลส์ที่ใช้ขับชุดไดรเวอร์ ค่าโวลเตจท์ที่จ่ายให้มอเตอร์จะใช้อ้างอิงกับกราวด์เสมอ

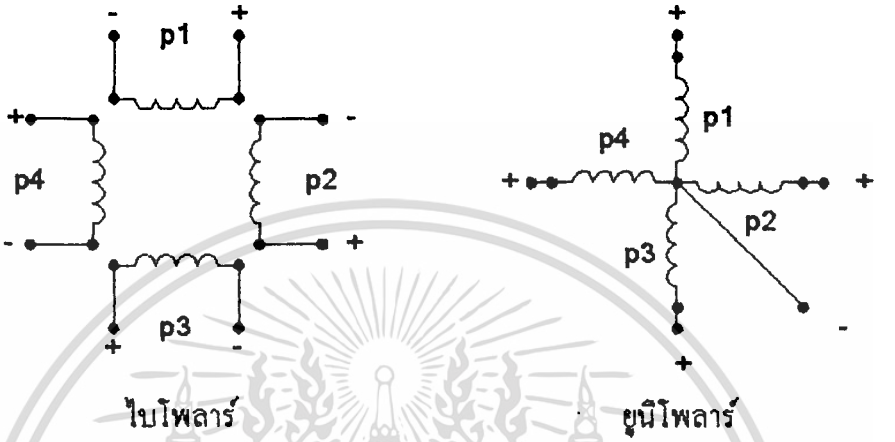
เพอมาแนนท์ แมกเน็ท

จะเป็นสเตปปิ้งมอเตอร์แบบที่ตัวโรเตอร์ทำด้วยแม่เหล็กถาวร สเตปปิ้งมอเตอร์แบบนี้จะใช้ลักษณะการหมุนแบบไบโพลาร์ (Bipolar) ซึ่งการทำงานจะต้องจ่ายไฟบวกลบเข้าแต่ละเฟสของมอเตอร์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮบริดจ์ สเตปปิ้ง มอเตอร์

จะเป็นแบบผสมระหว่างแวเรียเบิ้ล รีลัคแตนท์ และ เพอมาแนนท์ แมกเน็ท จำนวนซี่ฟันของโรเตอร์และสเตเตอร์จะไม่เท่ากัน สเตปปิ้งมอเตอร์แบบนี้จะมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อน จึงเป็นแบบที่ไม่ค่อยนิยมใช้งานเท่าใดนัก



ไบโพลาร์ ยูนิโพลาร์

รูปที่ 2.2 แสดงวงจรของสเตปปิ้งมอเตอร์แบบต่างๆ

โดยทั่วไปวงจรที่ใช้กับสเตปปิ้งมอเตอร์จะนิยมใช้ทั้ง 2 แบบคือแบบไบโพลาร์จะใช้กับสเตปปิ้งมอเตอร์ที่เป็นชนิดเพอมาแนนท์แมกเน็ทและแบบยูนิโพลาร์จะใช้กับชนิดแวเรียเบิ้ลรีลัคแตนท์ส่วนสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิดไฮบริดจ์สเตปปิ้งมอเตอร์จะมีวงจรที่แตกต่างออกไปเนื่องจากคุณสมบัติของมอเตอร์ชนิดนี้สามารถทำงานตามกระแสได้ทั้งสองทิศทาง

วิธีการป้อนอินพุทให้กับสเตปปิ้งมอเตอร์

การป้อนอินพุทให้กับสเตปปิ้งมอเตอร์มีด้วยกัน 3 วิธีคือ

- แบบขับทีละ 1 เฟส
- แบบขับทีละ 2 เฟส
- แบบขับ 1-2 เฟสสลับกัน

การป้อนอินพุททั้ง 3 แบบนี้จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะกับงานที่จะนำไปใช้ การขับแบบทีละ 1 เฟสจะเป็นแบบที่มีความเที่ยงตรงของตำแหน่งสูงแต่จะมีแรงบิดน้อย ส่วนการขับแบบทีละ 2 เฟสจะมีความเที่ยงตรงของตำแหน่งน้อยกว่าแบบแรก แต่มีแรงบิดสูงกว่า และการขับ 1-2 เฟสสลับกันจะมีความเที่ยงตรงของตำแหน่งน้อยที่สุดแต่จะมีแรงบิดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1	2	3	4
ϕ1	1	0	0	0
ϕ2	0	1	0	0
ϕ3	0	0	1	0
ϕ4	0	0	0	1

ตารางที่ 2.1 แสดงการขับสเตปปิ้งมอเตอร์ 4 เฟส แบบขับทีละ 1 เฟส

	1	2	3	4
ϕ1	1	0	0	1
ϕ2	1	1	0	0
ϕ3	0	1	1	0
ϕ4	0	0	1	1

ตารางที่ 2.2 แสดงการขับสเตปปิ้งมอเตอร์ 4 เฟส แบบขับทีละ 2 เฟส

	1	2	3	4	5	6	7	8
ϕ1	1	1	0	0	0	0	0	1
ϕ2	0	1	1	1	0	0	0	0
ϕ3	0	0	0	1	1	1	0	0
ϕ4	0	0	0	0	0	1	1	1

ตารางที่ 2.3 แสดงการขับสเตปปิ้งมอเตอร์ 4 เฟส แบบ 1-2 เฟสสลับกัน

2.2 ส่วนควบคุม

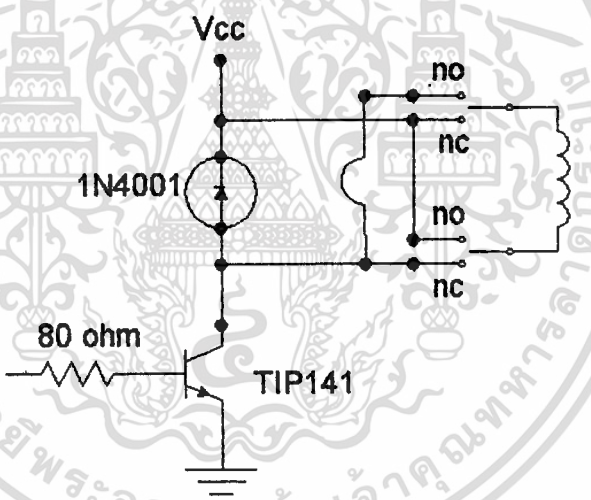
ส่วนที่ใช้ควบคุมส่วนต่างๆของหุ่นยนต์จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้งานกับระบบควบคุมที่มีขนาดเล็ก โดยภายในไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์หนึ่งตัวจะประกอบด้วยหน่วยการทำงานหลักของระบบคอมพิวเตอร์ครบถ้วนเช่น หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู หน่วยความจำ พอร์ตในการติดต่อหรือควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้นซึ่งหากว่าเป็นการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไปก็จะต้องใช้ไอซีภายนอกมาประกอบเพื่อทำหน้าที่เหล่านี้ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นระบบคอมพิวเตอร์เพื่องานควบคุมที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแผงวงจรที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์จะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-32 ซึ่งถูกออกแบบมาเป็นเอ็มเบดเด็ดคอนโทรลเลอร์(Embedded controller)กล่าวคือเป็นบอร์ดที่ถูกออกแบบมาเพื่องานควบคุมโดยเฉพาะ โดยจะใช้ติดตั้งในเครื่องมือ เครื่องจักรกล เครื่องใช้ไฟฟ้า รวมทั้งระบบอัตโนมัติต่างๆ บอร์ดนี้สามารถใช้กับชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของ INTEL ซึ่งเป็นชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกนำมาใช้งานกับระบบควบคุมอัตโนมัติในระดับ 8 บิตที่โดดเด่นมากตัวหนึ่ง (รายละเอียดของ ANT-32 ดูได้ในภาคผนวก)

2.3 ส่วนอินเตอร์เฟส

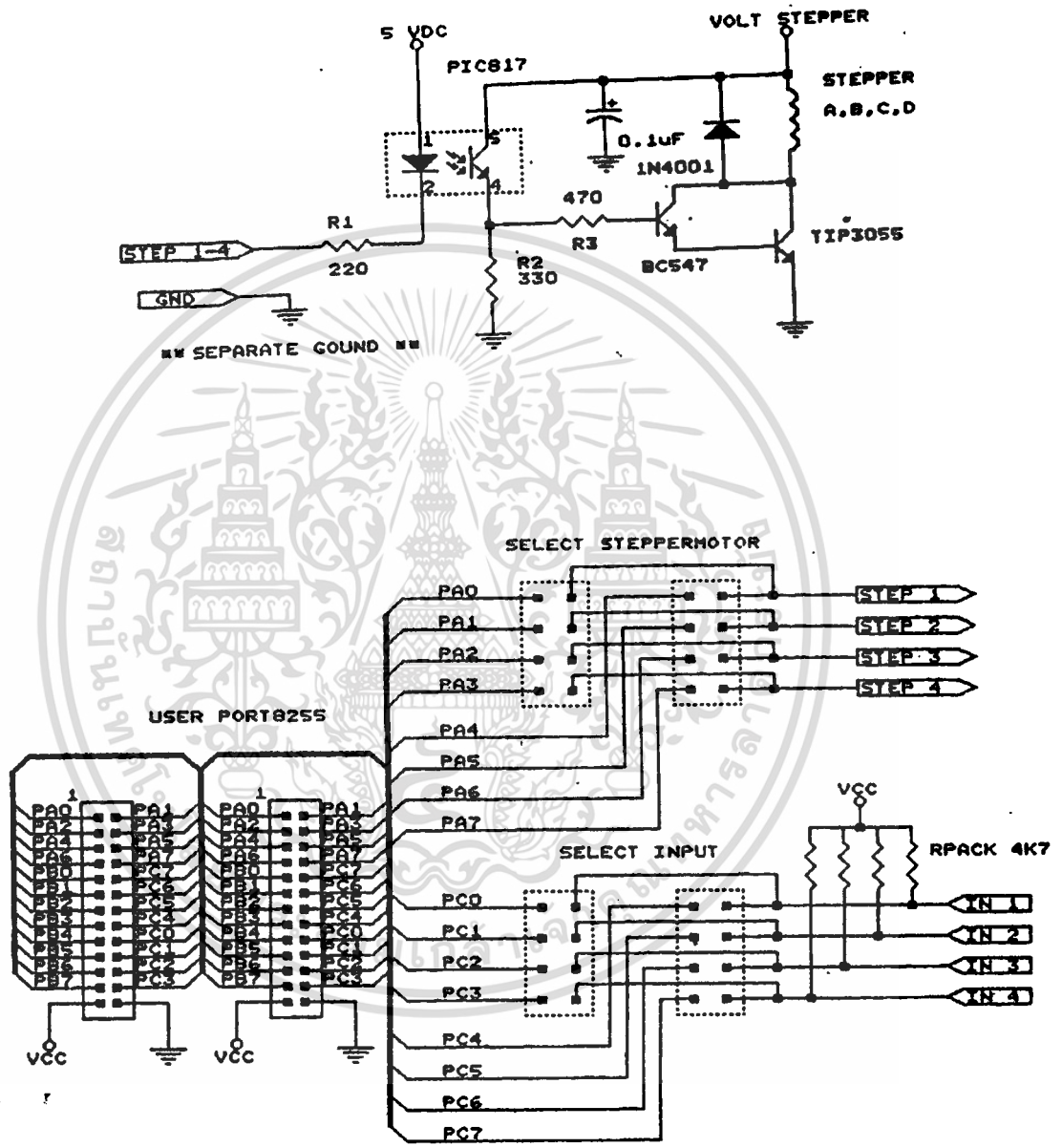
แผงวงจรที่ใช้ขับมอเตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์ TIP141 สำหรับขับมอเตอร์และใช้รีเลย์เป็นตัวสลับขั้วไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ตามรูปที่ 2.3 โดยแผงวงจรรีเลย์ที่ใช้เป็นบอร์ด EX-RELAY ซึ่งมีรีเลย์ขนาด 220 โวลต์เอซี(VAC) 5 แอมป์ ใช้โวลต์เคจขับรีเลย์ 6 โวลต์ดีซี(VDC)



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรที่ใช้ขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์

แผงวงจรที่ใช้ขับสเตปปิ้งมอเตอร์ใช้บอร์ด EX-STEPM ซึ่งเป็นบอร์ดขับสเตปปิ้งมอเตอร์ที่ใช้งานกับมอเตอร์ที่ต้องการกระแสสูงสุดถึง 5 แอมป์ ใช้กับสเตปปิ้งมอเตอร์แบบ 4 เฟส มีการแยกชุดจ่ายไฟของสเตปปิ้งมอเตอร์กับชุดจ่ายไฟของอินพุทโดยใช้ออปโต้คัปเปอร์ (Opto coupler) ทำให้ตัดปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวนและปัญหาอื่นๆที่จะเข้ามากวนกับระบบควบคุมของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



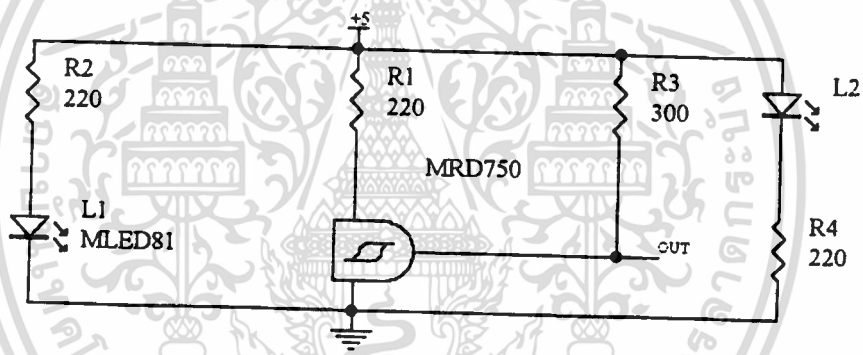
รูปที่ 2.4 แสดงวงจรขับสเตปปิ้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **2.4 ส่วนที่ใช้ตรวจจับ**

การจะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางนั้นจะใช้หลักการปล่อยแสงอินฟราเรดโดยใช้ MLED81 เป็นตัวส่ง ไปตกกระทบพื้นหรือแถบสี แล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับแสงอินฟราเรด โดยใช้ MRD750 เป็นตัวรับปริมาณความเข้มของแสงสะท้อนที่ MRD750 รับได้จะขึ้นกับโทนสีของตำแหน่งที่ไปตกกระทบเป็นหลัก ถ้าตำแหน่งนั้นมีสีอ่อน(สีขาวของพื้น) การดูดกลืนแสงจะน้อยสีเข้ม แสงส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับไปเข้า MRD750 ได้มากกว่า ส่งผลให้ MRD750 “on” แต่ถ้าตำแหน่งนั้นมีสีเข้ม(สีดำของเส้นนำทาง)การดูดกลืนแสงจะมีมากกว่าทำให้ปริมาณแสงที่สะท้อนกลับไปเข้า MRD750 มีน้อย ส่งผลให้ MRD750 “off”

การคำนวณระยะทางที่หุ่นยนต์วิ่งไปได้จะใช้ออปโต้คัปเปิ้ลเป็นตัวนับรอบการหมุนของล้อ เมื่อได้จำนวนรอบของล้อแล้ว จะสามารถคำนวณเป็นระยะทางที่หุ่นยนต์วิ่งไปได้



รูปที่ 2.5 แสดงวงจร infrared sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
เทคนิคในการเขียนโปรแกรม

3.1 การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม

เป็นการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้การส่งข้อมูลแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ที่ความเร็ว9600 bps แบบ 8 บิต ไม่มีพาริตี้บิต 1 สต็อปบิต

ที่คอมพิวเตอร์สั่งงาน การส่งข้อมูลจะใช้ฟังก์ชันของไบออส แต่ในการรับข้อมูลจะใช้การรับข้อมูลโดยใช้อินเตอร์รัปต์ จะมีบัฟเฟอร์แบบวงกลมไว้รับข้อมูลเอาไว้ การจะรับข้อมูลแบบอินเตอร์รัปต์จะต้องทำการอีนาเบิลอินเตอร์รัปต์ โดยอ่านค่าจากพอร์ต 21H เข้ามาแล้วเซตบิตที่ต้องการให้เป็น 0 (บิต 3 สำหรับ IRQ 3 หรือ บิต 4 สำหรับ IRQ 4) แล้วเขียนค่ากลับไปที่พอร์ต 21H จากนั้นเซตค่าเวกเตอร์อินเตอร์รัปต์ให้มาชี้ที่อินเตอร์รัปต์รูทีนที่เขียนขึ้น (สำหรับ IRQ 3 จะใช้อินเตอร์รัปต์ 11 และ IRQ 4 จะใช้อินเตอร์รัปต์ 12)โดยในอินเตอร์รัปต์รูทีนก่อนจะออกจากอินเตอร์รัปต์ จะต้องส่ง EOI ออกไปยังพอร์ต 20H ถ้าไม่ทำเช่นนี้ PIC จะไม่ส่งอินเตอร์รัปต์มายังซีพียูอีก

สำหรับที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 การรับส่งข้อมูลจะเป็นแบบอินเตอร์รัปต์ทั้งหมด

บัฟเฟอร์แบบวงกลม

บัฟเฟอร์คือพื้นที่ของหน่วยความจำที่ถูกใช้เป็นที่เก็บข้อมูลชั่วคราว เพื่อรอการส่งหรือรอการประมวลผล บัฟเฟอร์ประเภทหนึ่งซึ่งใช้กันทั่วไป คือ บัฟเฟอร์วงกลม (Ciroular buffer) ตัวอักษรจะถูกดึงจากบัฟเฟอร์โดยใช้หลักการเข้าก่อนออกก่อนหรือ FIFO (first in/first out) ถ้าบัฟเฟอร์แบบวงกลมเต็ม ตัวอักษรที่เข้ามาใหม่จะถูกเขียนทับไปบนตัวอักษรที่เก่าที่สุดในบัฟเฟอร์ อย่างไรก็ตามการสร้างแฮนด์เช็คกิ้งที่เหมาะสมสามารถป้องกันการได้รับตัวอักษรเมื่อบัฟเฟอร์เต็มได้

ทั้งอินพุตและเอาต์พุตบัฟเฟอร์สามารถใช้วิธีการเดียวกันได้ในกรณีของอินพุตบัฟเฟอร์ภายใต้การสื่อสารแบบอินเตอร์รัปต์ไดรเวน ตัวอักษรถูกใส่ลงในบัฟเฟอร์โดยตัวจัดการอินเตอร์รัปต์ จากนั้นพวกมันจะถูกดึงออกจากบัฟเฟอร์โดยลูปของโปรแกรมหลัก

การสร้างและการเติมบัฟเฟอร์

การสร้างบัฟเฟอร์ต้องจองหน่วยความจำจำนวนหนึ่ง และสร้างตัวแปรสำหรับเก็บขนาดของมัน (SIZE) แล้วจึงจองตัวแปรเพื่อเก็บจำนวน (COUNT) และออฟเซต (OFFSET) จากจุดเริ่มต้น (START) โดยให้ค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นการเผยแพร่ผลงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออฟเซตในบัฟเฟอร์สำหรับอักษรตัวใหม่ คำนวณได้จาก

OFFSET = COUNT + STARTPOS

IF OFFSET = SIZE ,OFFSET = OFFSET - SIZE

จากนั้นตัวอักษรจะถูกนำไปใส่ไว้ในตำแหน่ง OFFSET ของบัฟเฟอร์

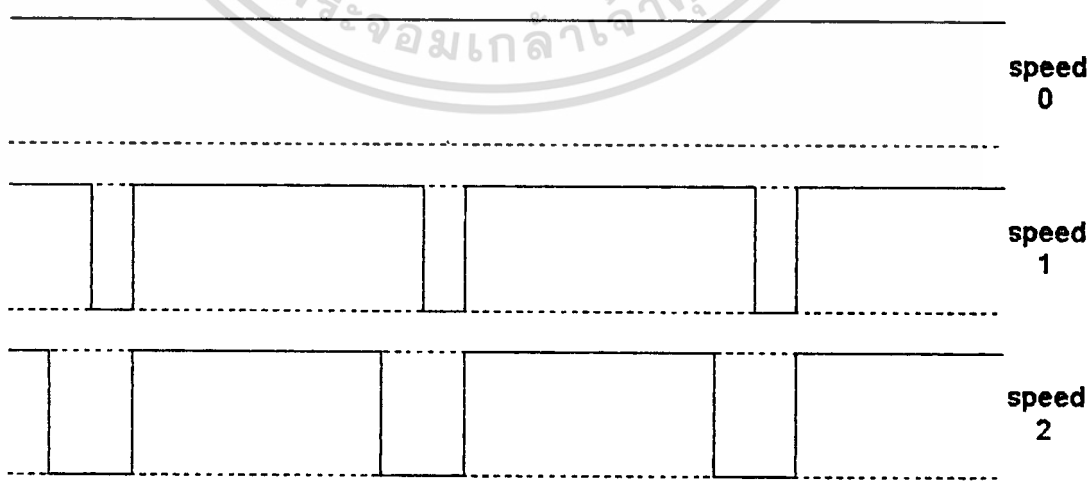
ถ้า COUNT เท่ากับ SIZE แสดงว่ามีตัวอักษรที่ต้องใส่ลงไปมากกว่าที่จะใส่ลงในบัฟเฟอร์ได้พอดี และ STARTPOS ถูกเพิ่มขึ้น จากนั้นถ้า STARTPOS เกินตำแหน่งสุดท้ายของบัฟเฟอร์ มันจะย้อนกลับไปที่จุดเริ่มต้น ถ้า COUNT น้อยกว่า SIZE ค่า COUNT จะถูกเพิ่มขึ้น

การดึงตัวอักษร

ถ้า COUNT เป็นศูนย์ คือไม่มีตัวอักษรในบัฟเฟอร์ ดังนั้นฟังก์ชั่นจะส่งค่ากลับเป็น FALSE ตัวอักษรตัวแรกที่จะถูกดึงอยู่ที่ออฟเซต STARTPOS หลังจากดึงตัวอักษรออกไป ค่า STARTPOS จะเพิ่มขึ้น (ค่ากลับเป็น 0 เมื่อ STARTPOS เท่ากับ SIZE) และค่า COUNT ถูกลดลง

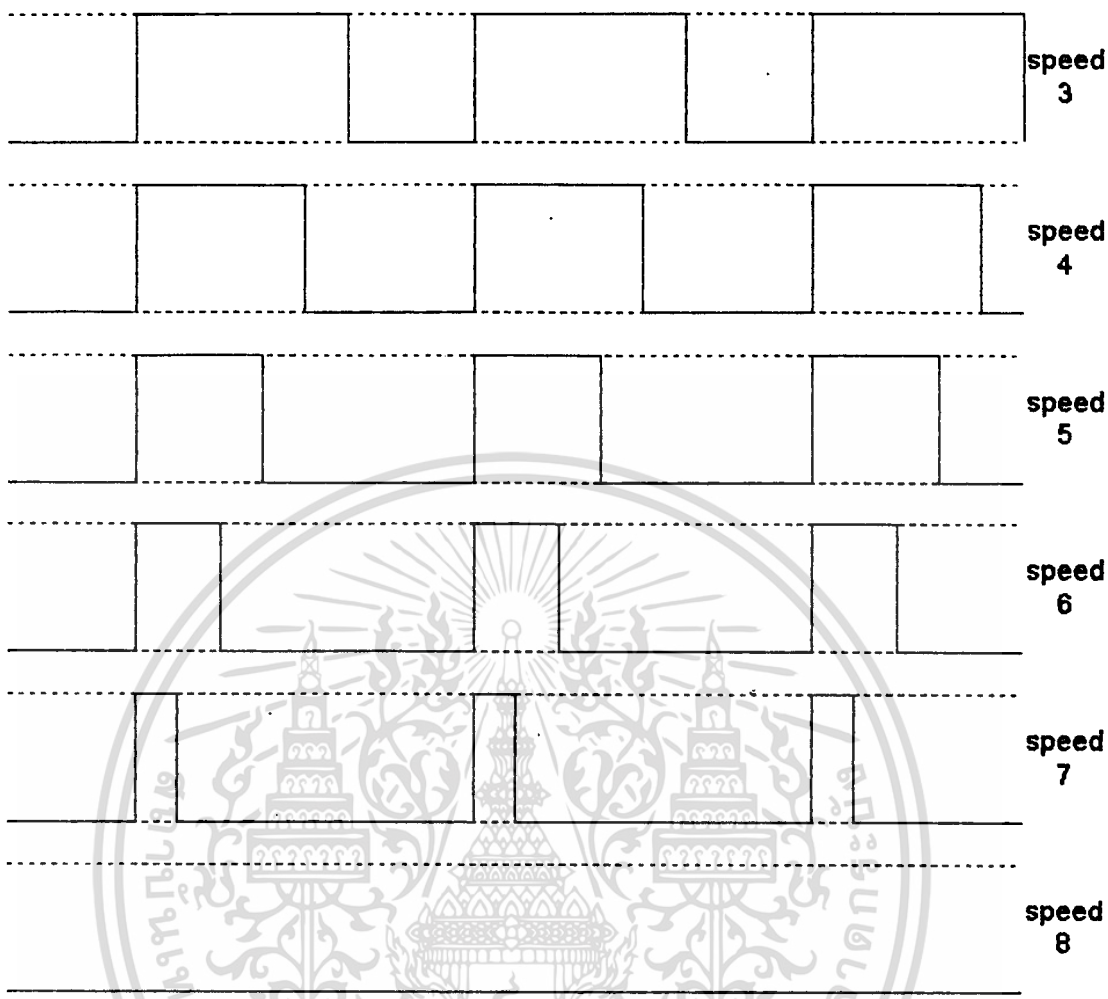
3.2 การเขียนโปรแกรมสร้างพัลซ์วิดท์โมดูเลชั่นให้กับมอเตอร์

การเขียนโปรแกรมพัลซ์วิดท์โมดูเลชั่นเป็นวิธีการควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วงจังหวะโดยจะแบ่งความเร็วออกเป็น 9 ระดับ คือ ระดับ 0 มอเตอร์จะไม่หมุน ระดับ 1 มอเตอร์จะเริ่มหมุน ความเร็วของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ตามระดับความเร็วจนถึงความเร็วสูงสุดคือความเร็วระดับ 8 ในการเขียนโปรแกรมจะใช้ timer ที่มีใน MCS51 สร้างอินเตอร์รัป เมื่อเกิดอินเตอร์รัปขึ้น MCS51 จะอ่านแพทเทินของความเร็วต่างๆมาแสดงที่พอร์ต P1 เป็นไปตามรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของสัญญาณที่ป้อนให้มอเตอร์ที่ระดับความเร็วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



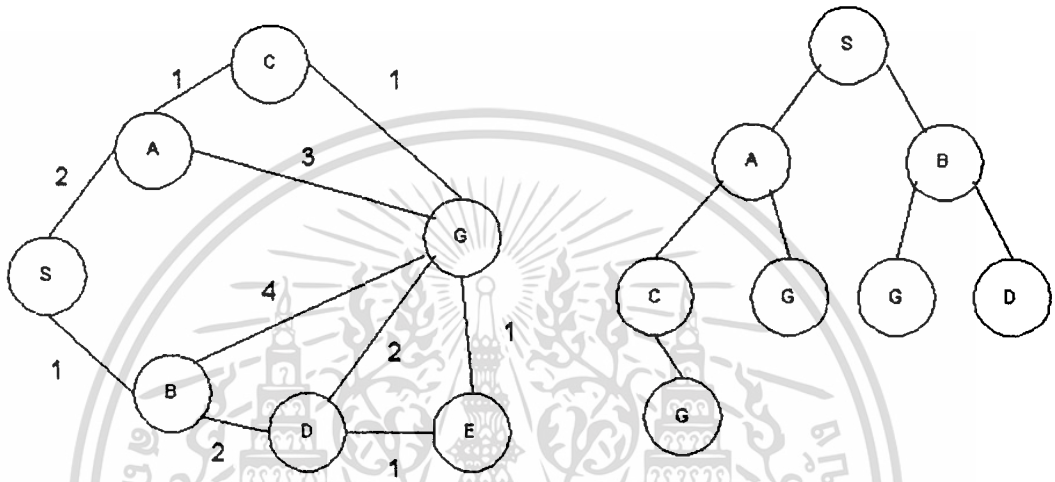
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของสัญญาณที่ป้อนให้มอเตอร์ที่ระดับความเร็วต่างๆ (ต่อ)

3.3 การเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด

ในการเลือกเส้นทาง(path)ที่ดีที่สุดจากกราฟ (graph) ซึ่งมีทางให้เลือกหลายทางเป็นหนึ่งในปัญหาที่จะใช้เทคนิคในการค้นหาโดยปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งสามารถใช้หลักการของการแบ่งแยกและจัดขอบเขต (branch and bound search) มาแก้ปัญหาได้ การค้นหาเริ่มต้นด้วยการขยายโหนดเริ่มต้น (root node) ออกไปให้เป็นลักษณะทรี (tree) ค่า(cost)ของแต่ละโหนดจากโหนดเริ่มต้นไปยังโหนดย่อยจะถูกคำนวณ ค่าของแต่ละอันจะถูกนำมาเปรียบเทียบกันและเส้นทางซึ่งมีค่าน้อยที่สุดจะถูกเลือก และทำการขยายโหนดย่อยออกไปอีกค่าของเส้นทางที่เกิดขึ้นใหม่จะถูกคำนวณอีกครั้งหนึ่งซึ่งเป็นระยะทางจากจุดเริ่มต้นจนถึงโหนดย่อยนั้นและเส้นทางที่ค่าน้อยที่สุดจะถูกเลือกออกมาใหม่ ถ้าโหนดย่อยที่ขยายออกมาเป็นโหนดที่เคยผ่านมาแล้วจะเลือกเอาเส้นทางที่มายังโหนดนี้เพียงเส้นทางเดียวโดยใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดแล้วตัดเส้นทางอื่นทิ้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบวนการจะเกิดขึ้นซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงเป้าหมาย(goal)หรือเลือกจนครบทุกโหนดแล้ว ถ้าเลือกครบทุกโหนดแล้วยังไม่พบโหนดเป้าหมายแสดงว่าไม่มีเส้นทางใดสามารถไปถึงเป้าหมายได้ เมื่อถึงเป้าหมายแล้วจะเก็บค่าระยะทางเอาไว้เป็นค่าประมาณระยะทางที่สั้นที่สุด(estimated cost) แล้วจะทำการขยายโหนดอื่นๆที่ยังมีระยะทางจากจุดเริ่มต้นมายังโหนดนั้นไม่เกินค่าประมาณระยะทางที่สั้นที่สุดทำซ้ำไปเรื่อยๆก็จะได้เส้นทางจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายที่สั้นที่สุด



กราฟของเส้นทาง หลังจากแปลงเป็นทรีเพื่อใช้ค้นหา

รูปที่ 3.2 แสดงวิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

จากรูปเป็นการเลือกเส้นทางจาก S จะไป G จะเลือกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 S-B มีค่าน้อยที่สุด

ขั้นที่ 2 S-A มีค่าน้อยที่สุด

ขั้นที่ 3 S-A-C มีค่าน้อยที่สุด

ขั้นที่ 4 S-A-C-G เป็นเส้นทางที่ดีที่สุดในการเดินทางจาก S ไปยัง G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่

4.1 โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่จากเครื่องคอมพิวเตอร์

```
═══════════════ Display Screen ═══════════════
System Linking.
Ready.
Learning mode
Found 1 node have 3 ways
Enter name of node 1 : station1
Stop by user

═══════════════ Command Line ═══════════════
>> s
═══════════════ Status Line ═══════════════
   Sensor Status :  Bar -> off  off   on   on   off   Head ->   on
   Motor  Status :  Left -> 5       Right -> 6
   Robot  Status :  stop
```

รูปที่ 4.1 แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์บนเครื่องคอมพิวเตอร์

โปรแกรมจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. Display Screen จะทำหน้าที่แสดงผลให้ผู้ใช้ทราบเกี่ยวกับตัวหุ่นยนต์ ว่ากำลังทำอะไรอยู่ เช่น System Linking จะบอกให้ผู้ใช้ทราบว่าขณะนี้เครื่องคอมพิวเตอร์กำลังทำการติดต่อกับหุ่นยนต์เพื่อตรวจสอบระบบของหุ่นยนต์ , Found 1 node have 3 ways จะบอกผู้ใช้ว่าขณะนี้หุ่นยนต์เดินทางมาพบทางแยกที่มี 3 ทาง เป็นต้น

2. Command Line จะทำหน้าที่รับคำสั่งของผู้ใช้งานแล้วแปลงเป็นคำสั่งย่อยเพื่อส่งคำสั่งย่อยนั้นไปให้หุ่นยนต์ทำงานตามต้องการ

3. Status Line จะทำหน้าที่แสดงสถานะของตัวตรวจจับ , ความเร็วของมอเตอร์ และทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การใช้งานโปรแกรมควบคุม

เริ่มต้นเมื่อเรียกโปรแกรมมาใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการติดต่อไปยังตัวหุ่นยนต์เพื่อตรวจสอบความพร้อมของหุ่นยนต์และตรวจสอบระบบที่ทำการติดต่อไปด้วยนั้นว่าเป็นระบบเดียวกันหรือไม่หลังจากที่ Display Screen แสดงผลว่า Ready แล้วแสดงว่าระบบที่ติดต่อถูกต้องและพร้อมจะรับคำสั่ง แต่ตอนนี้หุ่นยนต์จะยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางที่จะวิ่ง ฉะนั้นต้องทำการเรียนรู้เส้นทางการวิ่งของหุ่นยนต์เสียก่อน โดยการสั่งให้หุ่นยนต์ทำการเรียนรู้ โดยพิมพ์ L <enter> หุ่นยนต์จะอยู่ใน Learning mode เมื่อหุ่นยนต์พบทางแยกจะมีข้อความขึ้นมาให้ใส่ชื่อของโหนดเพื่อใช้อ้างอิงต่อไป เมื่อหุ่นยนต์เรียนรู้เส้นทางหมดแล้วเราจะสามารถสั่งงานให้หุ่นยนต์ไปยังโหนดต่างๆได้โดยอัตโนมัติ

4.3 คำสั่งในการใช้งาน

L <enter> = Learning ใช้สั่งให้หุ่นยนต์ทำการเรียนรู้เส้นทางที่กำลังจะวิ่ง

R <enter> = Reset ใช้สั่งให้หุ่นยนต์ทำการรีเซตระบบเมื่อมีการทำงานผิดพลาด

G ชื่อโหนด <enter> = Go ใช้สั่งให้หุ่นยนต์ไปยังโหนดต่างๆ

List <enter> = List node name ใช้แสดงชื่อโหนดทั้งหมดที่หุ่นยนต์รู้จัก

Q <enter> = Quit ใช้ออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

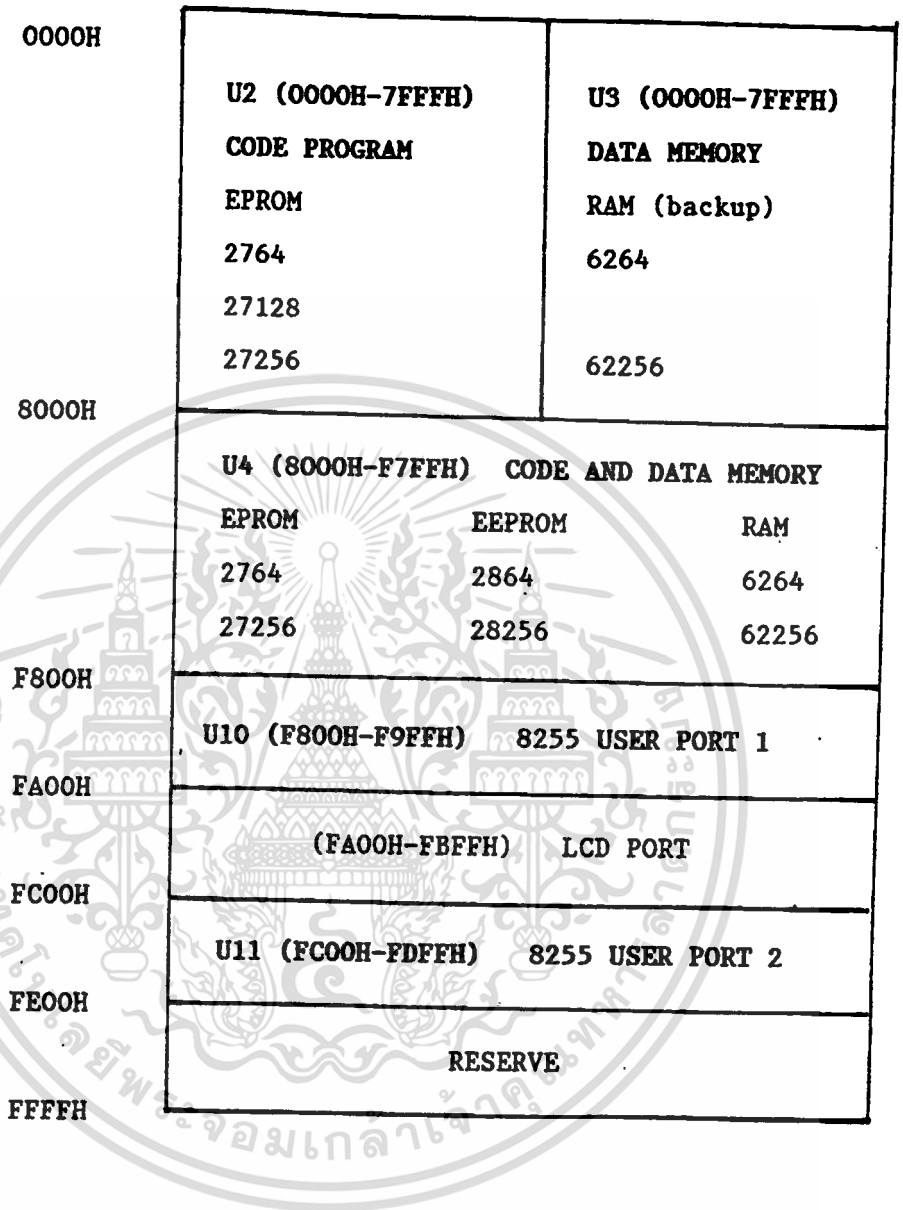
ANT-32 SPECIFICATION

CPU	80C32 CHMOS 8-bits Microcontroller
CLOCK SPEED	11.0592 MHz
INTERNAL RAM	256 Byte
PROGRAM MEMORY	U2 8-32KByte:2764 27128 27256 (EPROM)
	default = 28 pins socket
DATA MEMORY	U3 8-32KByte:6264 62256 (RAM-backup)
	default = 28 pins socket
PROGRAM & DATA MEMORY	U4 8-32KByte:2764 27256 (EPROM)
	6264 62256 (RAM)
	2864 28256 (EEPROM)
	default = 6264 8KByte RAM
INTERNAL PORT	12 bits I/O (PORT1 TO T1 INT0 INT1)
PORT	USER PORT 1,2 48 bits 8255 I/O
	LCD PORT (DOT MATRIX ONLY)
SERIAL INTERFACE	RS232C use MAX232 chip
BACKUP,WATCHDOG,PF DETECTOR.	use MAX691 chip (options)
REAL TIME CLOCK	use DS1202 chip (options)
DATA RETENTION TIME	over 4 Years for RAM and RTC
CONNECTOR	40 pins - System Expansion
	26 pins x 2 - User Port 1, 2
	16 pins - Internal Port
	14 pins - LCD Port
	3 pins - RS232C Port
	2 pins - 5VDC Power Supply
POWER CONSUMTION	+5VDC 168 mA (approximate)
SIZE	10.2 cm. x 14.2 cm.

บริษัท ศิลารีเสิร์ช จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

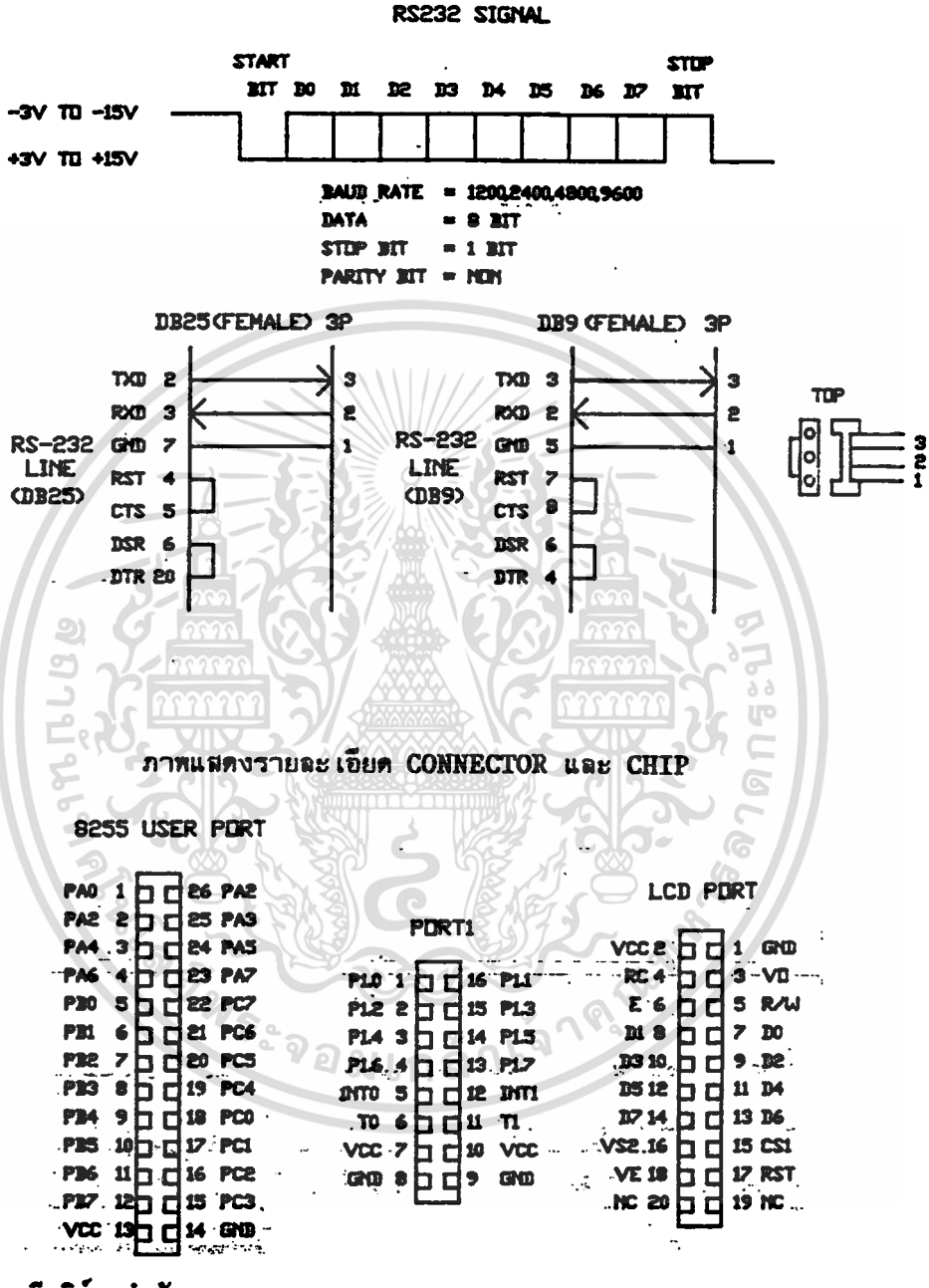
ANT-32 MEMORY MAP



บริษัท ศิลาวีเลิร์ช จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแสดงลักษณะสัญญาณ RS232 และการต่อสาย

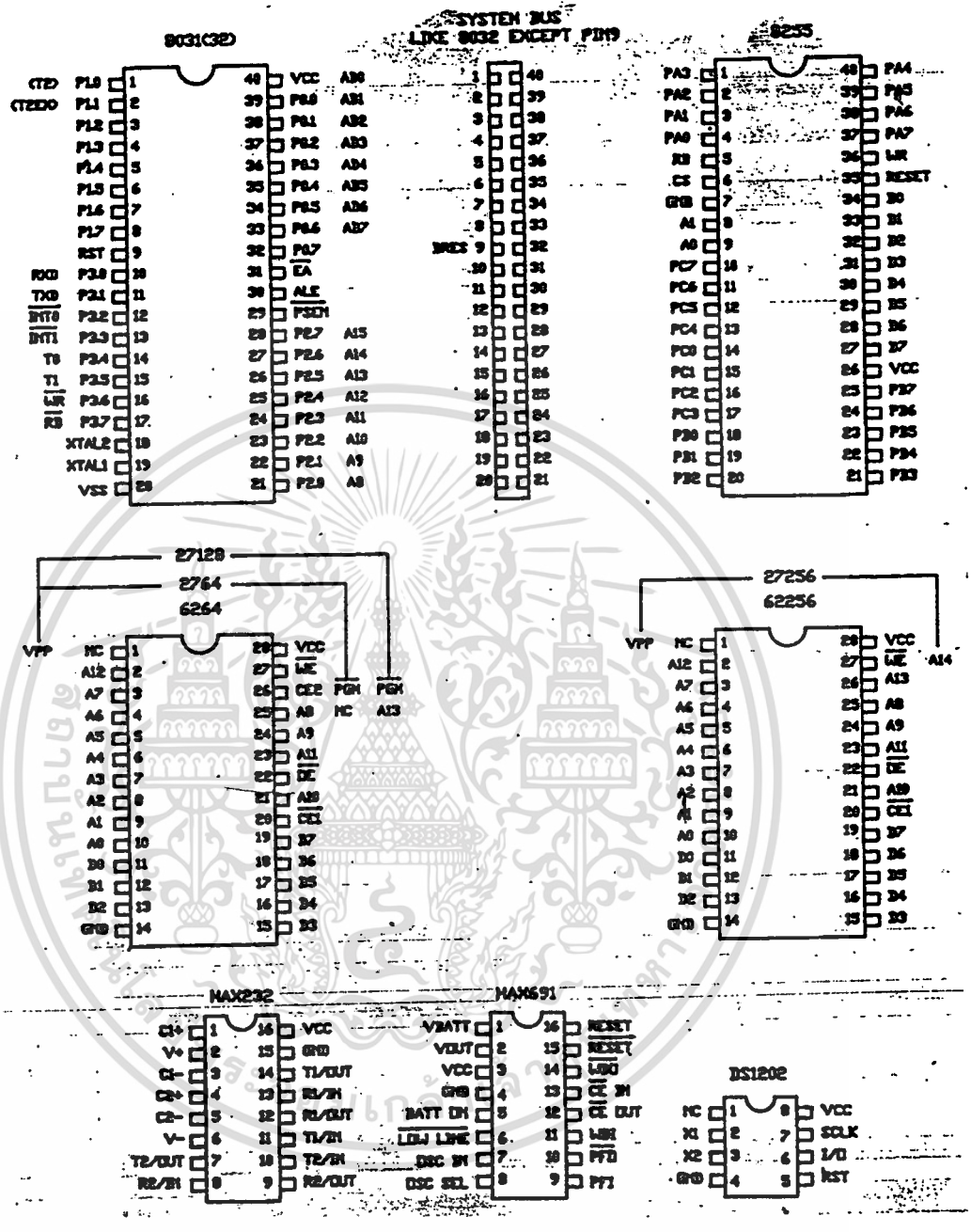


ภาพแสดงรายละเอียด CONNECTOR และ CHIP

บริษัท ศิลารีเสิร์ช จำกัด

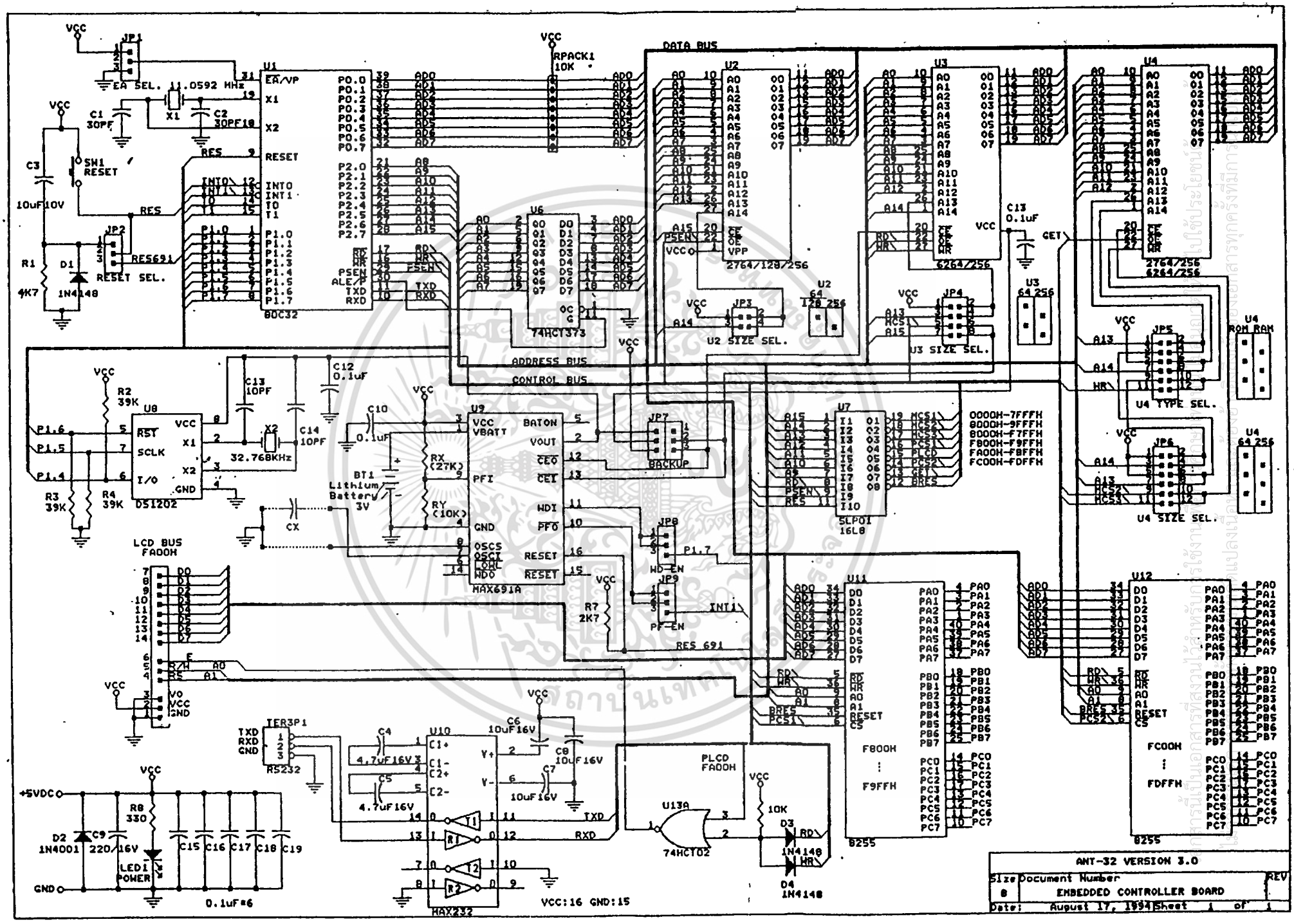
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแสดงรายละเอียดของ CONNECTOR และ CHIP (ต่อ)



ศิลารีเสิร์ช จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


DATA BUS
ADDRESS BUS
CONTROL BUS
EA SEL.
11.0592 MHz
RESET SEL.
RES691
U2 SIZE SEL.
U3 SIZE SEL.
U4 TYPE SEL.
U4 SIZE SEL.
BACKUP
WD-EN
PF-EN
RES 691
LCD BUS
F800H
F9FFH
FC00H
FDFFH
PLCD
F800H
0000H-7FFFH
8000H-9FFFH
8000H-F7FFH
F800H-F9FFH
FA00H-FBFFH
FC00H-FDFFH
ANT-32 VERSION 3.0
EMBEDDED CONTROLLER BOARD
August 17, 1994
VCC:16 GND:15
0.1uF*6

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับแนวทางและคำแนะนำจากอ.ชม กิ้มปาน เป็นอย่างมาก ผู้เขียนต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณ ประสงค์ วงศ์ประสิทธิพร ช่วยแนะนำด้านเทคนิคทางด้านอิเลคทรอนิคส์,นิธิ จารุวร และ บงกช กิติศรีวรพันธุ์ ช่วยแนะนำด้านเทคนิคทางด้านเครื่องกล, ธนิต อมรวิทยกิจเวชา ให้การสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ และ พี่ๆเพื่อนๆห้อง อ.ประภากร

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1.Phillip John McKerrow,"Introduotion to robotios",Addison-Wesley Publishing,1991

2.Aaron M. Tenenbaum,Yedidyah Langsam, Moshe J. Augenstein,"Data struotures using C",Prentioe Hall,1990

3.Peter W. Gofton,"Mastering Serial Communioations",SYBEX,1994

4.โยชิน เปรมปราณีรัชต์,"ระบบเซอร์โวและอิเลคทรอนิคส์คอนโทรลมอเตอร์",สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้