สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หุ่นยนต์ควบคุมด้วยระบบ จีพีเอส

GPS Controlled Robot

TO50348

โดย

นายศรายุทธ อาจสมบุญ

นายสุทธิพงษ์ ชัยสิทธิ์ศักดิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 50348
วัน,เดือน,ปี 13 พ.ค. 2547
.b.....
.i.....
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ควบคุมด้วยระบบ จีพีเอส

GPS Controlled Robot

โดย

นายศรายุทธ อาจสมบุญ รหัสประจำตัว 42010341

นายสุทธิพงษ์ ชัยสิทธิ์ศักดิ์ รหัสประจำตัว 42010387

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์ควบคุมด้วยระบบ จีพีเอส

GPS Controlled Robot

ผู้จัดทำ

1. นายศรายุทธ อาจสมบุญ รหัสประจำตัว 42010341
2. นายสุทธิพงษ์ ชัยสิทธิ์ศักดิ์ รหัสประจำตัว 42010387

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงาน หุ่นยนต์ควบคุมด้วยระบบ จีพีเอส

GPS Controlled Robot

ชื่อนักศึกษา นายศรายุทธ อาจสมบุญ รหัสนักศึกษา 42010341

นายสุทธิพงษ์ ชัยสิทธิ์ศักดิ์ รหัสนักศึกษา 42010387

โครงงานได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ควบคุมด้วยระบบ จีพีเอส

ศรายุทธ อาจสมบุญ
สุทธิพงษ์ ชัยสิทธิ์ศักดิ์
อ. พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถเดินทางไปยังพิกัดเป้าหมายที่กำหนดจากผู้ใช้งาน โดยใช้ระบบ จีพีเอส เป็นระบบนำร่อง และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลและควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ แต่เนื่องจากระบบ จีพีเอส มีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก โครงงานนี้จึงมุ่งหวังให้หุ่นยนต์มีสามารถเดินทางไปยังพิกัดเป้าหมายได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด และเป็นหุ่นยนต์ที่มีความคงทน แข็งแรง และมีความสามารถในการเดินทางได้ในหลายสภาพพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GPS Controlled Robot

Mr. Sarayut Artsomboon
Mr. Sutthipong Chaisitsak
Mr.Ponlasat Lertprasert Advisor

2002

ABSTRACT

This project is an application of GPS to control car in order go to a destination ordered from user. The robot movement controlled by a microcontroller and uses signal from GPS for navigation. This project attemps to improve the robot can go to destinaion that nearest the real position. Robot has durable and can move on various surface.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานชิ้นนี้ดำเนินงานมาได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือและคำแนะนำในเรื่องต่างๆ จากอาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ตั้งแต่การตัวหุ่นยนต์ อุปกรณ์จีพีเอส คำแนะนำในด้านโปรแกรม วงจรอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งการทำรายงานฉบับนี้

นอกจากนี้ยังมีเพื่อนๆ ที่คอยให้คำปรึกษาเรื่องต่างๆ เสนอแนวคิดในการเขียนโปรแกรม กำลังใจ และคอยช่วยทำงานในบางเวลา

ผู้จัดทำจึงขอขอบคุณทุกท่านในความช่วยเหลือต่างๆ จนงานลุล่วงมาได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ระบบนำร่อง (Navigation system)	1
1.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุ (Radionavigation system)	2
บทที่ 2 ระบบ GPS	7
2.1 ความเป็นมาของระบบ GPS	7
2.2 ภาพรวมของระบบ GPS	7
2.3 แนวความคิดเบื้องต้นในการระบุพิกัดของจีพีเอส	8
2.4 สัญญาณจากดาวเทียม จีพีเอส	14
2.5 ความถี่ที่ดาวเทียม จีพีเอส ส่งมายังโลก	15
2.6 รหัสที่ดาวเทียม จีพีเอส ส่งมายังพื้นโลก	16
2.7 การให้บริการของระบบจีพีเอส	18
2.8 ผลของการใส่ SA เพื่อลดความแม่นยำลง	19
บทที่ 3 จีโอเดติก ดาตัม	20
3.1 การอ้างอิงโดยเอลลิพซอยด์ (Reference Ellipsoids)	20
3.2 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก (Earth Surface Model)	21
3.3 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้งานทั่วไป (Global Coordinate System)	22
3.4 ข้อสับสนของความสูง	25
3.5 สรุปความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการที่ผ่านมา	27
บทที่ 4 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร	28
4.1 รูปแบบประโยคมาตรฐานพอสังเขป	29
4.2 รูปแบบประโยคของเครื่องรับแต่ละรุ่น	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ 35
5.1 เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ 35
5.2 ข้อมูลทั่วไปของ Vector 2X 35
5.3 ลักษณะทางกายภาพ 35
5.4 MODE ต่างๆ ของVector 2X 37
5.5 รูปแบบของเอาท์พุท จาก Vextor 2X 39
บทที่ 6 การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง 40
6.1 การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง 40
6.2 การใช้ทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตันขับโหลดกระแสสูง 40
6.3 วงจรขับกำลังมอเตอร์กระแสตรง แบบ H 41
บทที่ 7 การสร้างและการออกแบบ 42
7.1 วงจรการควบคุมมอเตอร์ 42
7.2 ลักษณะของหุ่นยนต์ 43
7.3 โปรแกรมควบคุมการทำงาน 44
บทที่ 8 การทดสอบ 46
8.1 การทดสอบการคำนวณทิศทาง 46
8.2 การทดสอบการเดินของรถไปหาพิกัดเป้าหมาย 46
บทที่ 9 สรุป 49
บรรณานุกรม 50
ภาคผนวก 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า.
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ระบบนำร่อง (Navigation system)

ระบบนำร่อง (Navigation system) สามารถนิยามได้ว่า คือระบบที่สามารถนำยานพาหนะจากที่หนึ่งซึ่งรู้ตำแหน่งแน่นอนแล้วไปยังอีกที่หนึ่งโดยกำหนดเส้นทางการเดินทางให้ จากความหมายนี้เมื่อมีการนำทางหรือนำร่องเกิดขึ้น ระบบนำร่องนอกจากจะบอกเราว่าขณะนี้เราอยู่ที่ใดแล้ว ยังจะต้องบอกเราด้วยว่าเราจะไปจากจุดที่เราอยู่ไปยังที่หมายได้อย่างไร ระบบนำร่องสามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ออกได้ 5 วิธีการดังนี้

1.1.1 Piloting เป็นระบบการนำทางที่มีมาแต่โบราณ การกำหนดเส้นทางต่าง ๆ เป็นการอาศัยการสังเกตจากสภาพทางภูมิศาสตร์เป็นหลัก เช่น หมู่บ้าน ภูเขาแม่น้ำ ต้นไม้ใหญ่ ๆ เป็นต้น ผู้เดินทางจะอาศัยสภาวะทางภูมิศาสตร์เหล่านี้มาเป็นตัวกำหนดว่าจะเดินทางไปในทิศทางใด ดังนั้นถ้าสภาพทางภูมิศาสตร์เปลี่ยนแปลงไปปัญหาจะเกิดขึ้นกับการนำทางทันที

1.1.2 Dead reckoning เป็นระบบการนำทางที่อาศัยการวัดความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมแต่ทำการวัดต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ แล้วนำผลที่ได้มาผนวกเข้ากับแผนการเดินทางที่ทราบอยู่แล้ว ระบบนี้เริ่มเป็นที่รู้จักกันในปี 1927

1.1.3 Celestial navigation เป็นระบบการนำทางโดยอาศัยการหาตำแหน่งบนพื้นโลกเทียบกับเทหวัตถุบนฟากฟ้าอันได้แก่ กลุ่มดาวหรือดวงจันทร์ เป็นต้น

1.1.4 เป็นระบบการนำทางโดยอาศัยการหาตำแหน่งบนพื้นโลก จากเครื่องมือหลายอย่างประกอบกัน เช่น มิเตอร์วัดความเร็ว เข็มทิศ ไจโรสโคป เป็นต้น รบบนี้มักถูกใช้ร่วมกับระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุเพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น

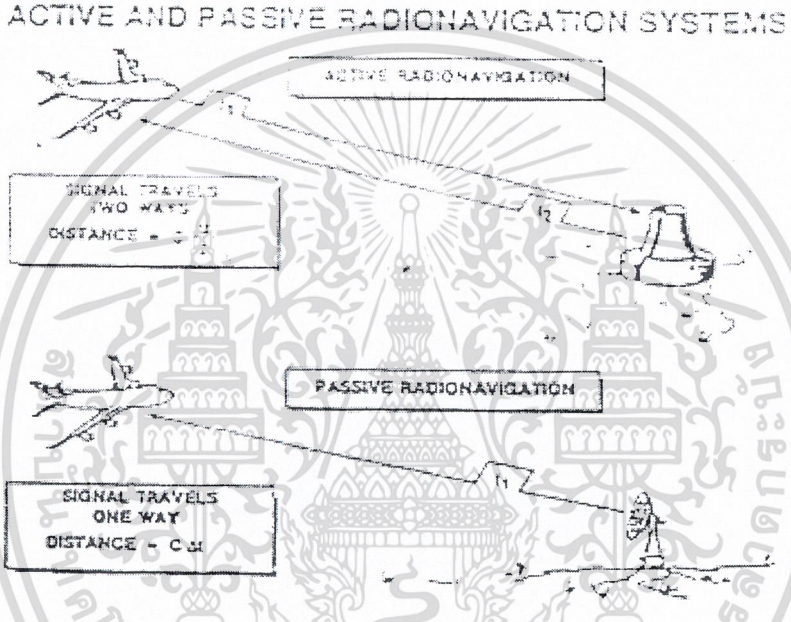
1.1.5 Electronic or radionavigation เป็นระบบการนำทางที่อาศัยการคำนวณหาระยะทางบนพื้นโลกจากเครื่องมือที่ใช้วัดเวลาที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางจากแหล่งกำเนิดมาถึงเครื่องรับ การนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุนี้ จะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบแอกทีฟ (Active radionavigation) และแบบแพสซีฟ (Passive radionavigation)

- ระบบแอกทีฟ สามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นระบบสองทิศทาง ตัวอย่างในรูปที่ 1.1 กระทำโดยเครื่องบินส่งสัญญาณในรูปของพัลส์ความถี่ f1 ไปยังสถานีส่งที่ไกลออกไป เมื่อสถานีส่งรับสัญญาณในรูปของพัลส์ที่ได้มันจะส่งกลับไปยังเครื่องบินในความถี่ที่ต่างจากเดิมในที่นี้คือ f2 ดังนั้น เมื่อเครื่องรับสัญญาณในเครื่องบินนำสัญญาณ f2 ที่รับได้มาเปรียบเทียบกับเวลาจริงในปัจจุบันจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เวลาที่ต่างกันออกไปเป็น dt ดังนั้นระยะห่างระหว่างเครื่องบินกับสถานีส่งจะมีค่าเท่ากับ (dt/2)*c เมื่อ c เป็นความเร็วของแสง

- ระบบแพสซีฟ ถือเป็นระบบทิศทางเดียว ทำโดยเครื่องบินรับสัญญาณในรูปของพัลส์ความถี่ f1 จากสถานีส่งที่ไกลออกไป เมื่อเครื่องบินนำสัญญาณ f1 ที่รับได้มาเปรียบเทียบกับเวลาจริงในปัจจุบันจะได้เวลาที่ต่างกันออกไปเป็น dt ดังนั้น ระยะห่างระหว่างเครื่องบินกับสถานีส่งจะมีค่าเท่ากับ dt*c ระบบนี้จะเป็นพื้นฐานการนำร่อง จีพีเอส (GPS:Global Positioning System) ที่จะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 1.1 แสดงการนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุแบบแอกทีฟ และแบบพาสซีฟ

1.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุ (Radionavigation system)

1.2.1 ระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนพื้นโลก

ระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนพื้นโลกมักแยกออกเป็นสองระบบด้วยกัน คือ ระบบหาทิศคลื่นวิทยุ (Radio direction finding (RDF) system) กับระบบไฮเปอร์โบลิก (Hyperbolic system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบหาทิศทางของคลื่นวิทยุ สามารถอธิบายได้ง่าย ๆ คือ ผู้ใช้งานปรับเครื่องรับให้ตรงกับสถานีส่งวิทยุที่รู้พิกัดอยู่ก่อนแล้ว จากนั้น ใช้สายอากาศหาทิศทางของสถานีส่ง จะทำให้ได้ค่าแบริ่ง (bearing) ออกมา ทำกระบวนการนี้ซ้ำโดยใช้สถานีส่งอื่น ๆ จากนั้นใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้าช่วยก็จะทำให้ทราบตำแหน่งของผู้ใช้งาน

ระบบไฮเปอร์โบลิกจะทำความเข้าใจยากขึ้นเล็กน้อย ระบบนี้จะใช้พิกัดที่ถูกส่งออกมาจากสถานีส่งวิทยุหลายสถานี แต่ละจุดของทุก ๆ จุดที่แตกต่างกันระหว่างสัญญาณวิทยุจากสถานีที่แตกต่างกันจะจัดวางตัวกันอยู่ในรูปของไฮเปอร์โบลาร์หลาย ๆ เส้น และเส้นที่ประกอบมาจากจุดหลาย ๆ จุดเหล่านี้จะถูกสร้างไว้บนแผ่นที่ที่ผู้ใช้มีอยู่ ผู้ใช้ต้องใช้เครื่องรับฟังสัญญาณวิทยุเพื่อหาว่าขณะนี้ตำแหน่งของตนเองอยู่ที่เส้นไฮเปอร์โบลิกเส้นใหม่ออกมาเมื่อเทียบกับสถานีใหม่ที่ตนเองรับฟังอยู่ ถ้าเส้นไฮเปอร์โบลิกสองเส้นนี้ตัดกัน จุดนั้นคือพิกัดที่ตนเองอยู่ นอกจากนั้นยังมีการนำเฟสของสัญญาณวิทยุมาทำการคำนวณเพื่อกำหนดพิกัดให้แม่นยำขึ้น ตัวอย่างของระบบต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่

เดคคา (DECCA) เป็นระบบนำร่องแบบระบบไฮเปอร์โบลิกที่ใช้ความถี่ต่ำ (low-frequency)ลักษณะการใช้งานจะเป็นการเปรียบเทียบเฟส(phase) ของคลื่นวิทยุที่รับได้จากหลาย ๆ สถานี บริเวณใช้งานอยู่ทางยุโรปตะวันตก บางส่วนของแคนาดา อ่าวเปอร์เซีย และท่าเรือเบงกอล

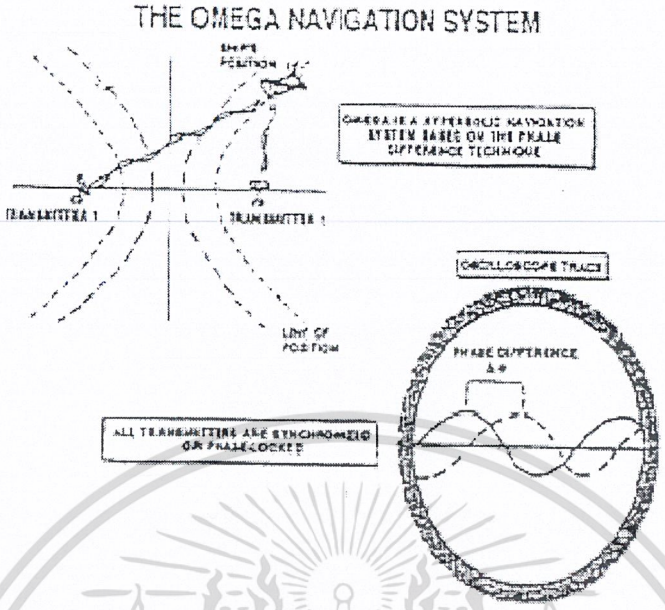
-จี (Gee) เป็นระบบของประเทศอังกฤษ คล้าย ๆ กับระบบโรแลน แต่ใช้คลื่น VHF ข้อจำกัดของระบบนี้คือรัศมีการทำงานอยู่ในช่วงที่สายตามองเห็น (line-of-sight)

-โรแลน-เอ (ROLAND-A) เป็นระบบที่พัฒนามาตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่สองโดย MIT คำว่า ROLAND มาจาก Long-Range-Navigation สร้างมาเพื่อใช้เป็นระบบนำร่องที่มีความแม่นยำให้กับกองทัพเรือและอากาศ ใช้คลื่นวิทยุในย่านความถี่ 1850-1950 Hz รัศมีทำการไกลประมาณ 600 ไมล์

- โรแลน-ซี (ROLAND-C) ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1950 ปัจจุบันยังคงใช้งานอยู่อย่างกว้างขวางและได้ขยายระบบออกไปครอบคลุมพื้นที่หลาย ๆ ประเทศ การทำงานของระบบเป็นแบบพัลส์ไฮเปอร์-โบลิก ใช้ความถี่อยู่ในช่วง 90KHz-110KHz

-โอเมกา (OMEGA) เป็นระบบที่เก่ากว่าโรแลน-ซี แต่ยังคงใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โครงสร้างของระบบเป็นดังรูปที่ 1.2ระบบโอเมกาเป็นระบบนำร่องโดยใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่ต่ำมาก (very low frequency:VLF) กระจายคลื่นออกมาจากสถานีส่งอย่างต่อเนื่อง และเป็นระบบแพสซีฟ เครื่องรับในเรือจะรับคลื่นความถี่จากสถานีส่งสองแห่ง แล้วหาค่าเฟสที่ต่างกันออกไป จะทำให้ทราบระยะทางได้ ในปัจจุบันนั้นระบบโอเมกาส่งความถี่ออกอากาศจำนวน 4 ความถี่ด้วยกัน คือ 10.2,11.05,11-1/3 และ 13.6 กิโลเฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



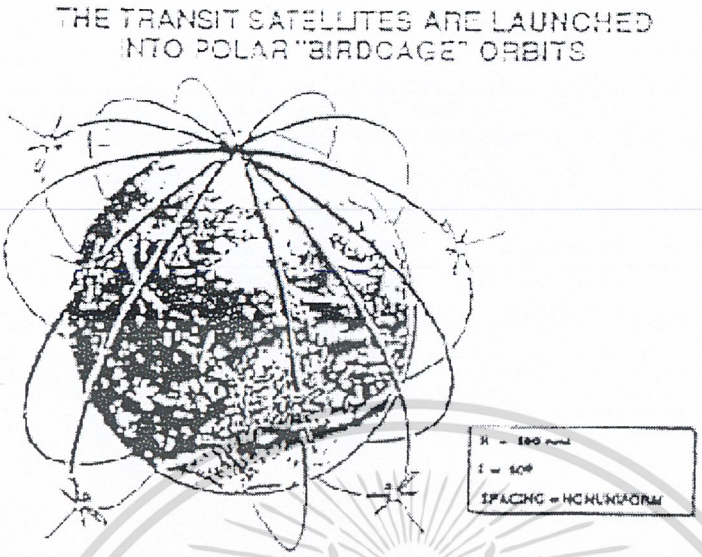
รูปที่ 1.2 แสดงระบบโอเมกา

1.2.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนอวกาศ

ข้อเสียของของระบบนำร่องที่มีสถานีส่งอยู่บนผิวโลกก็คือ บริเวณที่ใช้งานจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะที่ทำให้การใช้งานมีขีดจำกัด เพื่อให้การใช้งานครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น จึงได้พัฒนาระบบให้มีสถานีส่งเป็นดาวเทียมโคจรอยู่เหนือผิวโลกด้วยระยะห่างที่คงที่ค่าหนึ่ง

-ทรานสิต (TRANSIT : SATNAV)ถือเป็นระบบแรกที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งมีรูปแบบวงโคจรดังรูปที่ 1.3 ระบบได้ถูกพัฒนาโดย John Hopkins Applied Physics Loboratory เพื่อใช้เป็นระบบนำร่องของเรือเดินทะเล ผู้ใช้งานสามารถหาตำแหน่งของตัวเองได้โดยใช้หลักการ ดรอพเพลอร์ (droppler) ของสัญญาณวิทยุที่เลื่อนออกไป (shift) สัญญาณวิทยุนี้จะถูกส่งออกมาจากดาวเทียม ความแม่นยำอยู่ในระดับความผิดพลาดประมาณ 200-300 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 ระบบทรานสิต

จากการใช้งานระบบทรานสิตพบว่ายังมีข้อจำกัดอยู่มากเช่น การให้บริการยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ณ จุด ๆ หนึ่ง จะเห็นดาวเทียมดวงหนึ่ง ๆ อยู่ประมาณ 10-15 นาที เท่านั้น ทำให้การนำร่องไม่ต่อเนื่องกันไปอย่างตลอดเวลา เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่อยู่บนผิวโลกการระบุพิกัดผิดพลาดมากยิ่งขึ้น และระบบนี้ยังให้การนำร่องแบบสองมิติเท่านั้น

-ไทเมชั่น (TIMATION) ระบบถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1972 โดย Naval Research Laboratory (NRL) จุดมุ่งหมายเพื่อทำหน้าที่รองรับการกำหนดพิกัดโดยการใช้เวลาและความถี่ (Time and Frequency Transfer) ดาวเทียมดวงแรกถูกบรรจุไว้ด้วยตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ผลึกควอตซ์ (Quartz crystal oscillator) ที่มีความแม่นยำมาก ต่อมาได้ส่งดวงที่สองขึ้นไปและใช้นาฬิกาเชิงอะตอม (Atomic clock) บรรจุไว้แทน ดาวเทียมดวงที่สามถือเป็นดวงที่ใช้จำลองการทำงานของเทคโนโลยีของ GPS ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

-ระบบนาฟสตาร์ จีพีเอส (NAVSTAR GPS : NAVigation-Satellite Timing And Ranging Global Positioning System) ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของ U.S. Department of Defense (DoD) ระบบ นาฟสตาร์ จีพีเอส ถือได้ว่าเป็นระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากกลุ่มดาวเทียมโคจรอยู่เหนือพื้นโลกที่ใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งสัญญาณออกมาเพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กองกำลังนั้นจะอยู่ที่ใดบนพื้นโลก หรือ ใกล้พื้นผิวโลก จะหยุดนิ่งอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ก็ตาม ในปัจจุบันนี้ทางด้านพลเรือนได้ทีการใช้ระบบนำร่องโดยอาศัยดาวเทียมนาฟสตาร์ จีพีเอส กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะระบบนำร่องที่ติดตั้งในรถยนต์เพื่อแสดงพิกัดตัวเองบนแผนที่เป็นเรื่องที่หลาย ๆ ประเทศทุ่มเงินทำการพัฒนาเพื่อนำมาใช้งานกันในเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ระบบ GPS

2.1 ความเป็นมาของระบบ GPS

ดาวเทียมด้าน GPS ถูกปล่อยสู่อวกาศครั้งแรกในปี 1983ใช้เป็นเพียงระบบนำร่องในขั้นต้นให้กับเครื่องบินเมื่อกลุ่มดาวเทียม GPS มีการขยายตัวมากขึ้น พื้นการครอบคลุมก็มากขึ้นและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องสำหรับการตรวจสอบแบบ 2 มิติ (ละติจูด,ลองติจูด และระดับความสูง) ซึ่งระบบสมบูรณ์จริง ๆ จะต้องใช้กลุ่มดาวเทียมปฏิบัติงานถึง 21 ดวง และดาวเทียมสำรองบนวงโคจรอีก 3 ดวง

2.2 ภาพรวมของระบบ GPS

ดังที่กล่าวแล้วว่า ระบบ GPS นี้อาศัยกลุ่มดาวเทียม 21 ดวงและดาวเทียมสำรองอีก 3 ดวง ในระนาบของการโครงทั้งหมด 6 ระนาบ ซึ่งจะสามารถใช้ในการนำร่องทั้งทางภาคพื้นดิน ในทะเล และในอากาศ ระบบ
GPS จะทำการปรับค่าตัวเลขบอกตำแหน่งของวัตถุใน 3 มิติ อย่างสม่ำเสมอ (ละติจูด,ลองติจูดและระดับความสูง และทำการวัดอัตราเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ได้ในเวลาใดเวลาหนึ่ง

ระบบ GPS นี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. Space Segment

จะประกอบไปด้วยดาวเทียมที่อยู่ห่างจากโลกประมาณ 11,000ไมล์ สำหรับประสานงานกับดาวเทียม4
ดวงหรือมากกว่าที่สามารถถูกเห็นได้อย่างพร้อมกันจากบริเวณใด ๆ บนพื้นผิวโลกขึ้นไปดาวเทียมจะต้องลอยตัวอยู่สูงเพียงพอที่สัญญาณจากระบบบนภาคพื้นดินไม่สามารถรบกวนได้ เช่น ระบบบนภาคพื้นดิน LORAN-C และ OMEGA

2.Control Segment

จะประกอบไปด้วย สถานีควบคุมหลัก (Mastercontrol Monitor) , 5 สถานีแจ้งผล (Monitor Station) และ 3 เสาอากาศภาคพื้นดิน (Ground antennas) ซึ่งจะถูกจัดวางอยู่ทั่วโลก สถานีแจ้งผลจะใช้เครื่องรับ GPS ในการติดตามดาวเทียมทั้งหมดที่สามารถมองเห็นได้ และรวบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

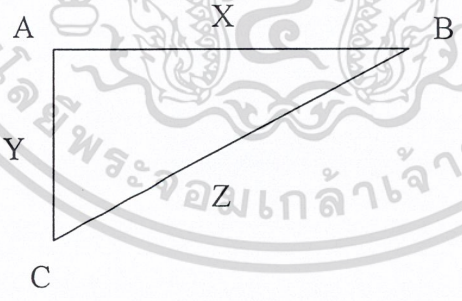
ข้อมูลของระยะทางจากการถ่ายทอดของดาวเทียม โดยสถานีแจ้งผลจะส่งข้อมูลที่รวบรวมได้จากดาวเทียมไปยังสถานีควบคุมหลัก ซึ่งจะคำนวณ วงโคจรของดาวเทียมอย่างแม่นยำ ข้อมูลจะถูกจัดเป็นรูปแบบเข้ากับข้อมูลนำร่อง (navigation messages)
ที่ถูกปรับเปลี่ยนไปสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังดาวเทียมแต่ละดวงโดยผ่านเสาอากาศภาคพื้นดิน

3. User Segment

จะประกอบด้วย เครื่องรับ ส่วนประมวลผลและจานสายอากาศ ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ทางภาคพื้นดิน ในทะเลหรืออากาศ สามารถที่จะรับการถ่ายทอดของกลุ่มดาวเทียม GPS และคำนวณตำแหน่ง,ความเร็ว และเวลาได้อย่างแม่นยำ

2.3 แนวความคิดเบื้องต้นในการะบุพิกัดของจีพีเอส

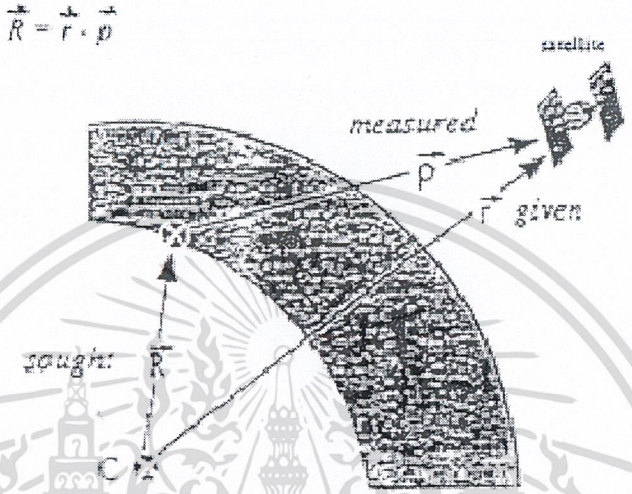
ในวิชาเรขาคณิตพื้นฐานที่เคยศึกษามาเกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยม ทำให้ทราบว่า ถ้ารู้เส้นรอบรูปสามเหลี่ยม และมุมภายในรูปสามเหลี่ยม จะสามารถหาเส้นที่สามได้อย่างถูกต้อง ดังอย่างเช่น สมมติว่ามีรูปสามเหลี่ยมทางเรขาคณิตอย่างง่ายดังรูป 5.1 โดยอาศัยความรู้เบื้องต้นจะเขียนได้ว่า $Y^2 = Z^2 - X^2$ หรือกล่าวได้ง่ายๆ ว่า ถ้ารู้ความยาวของ Z และ X และมุมต่าง ๆ แล้วจะหาค่าความยาวของ Y ได้



รูปที่ 2.1 แสดงการหาความยาวของ Y เมื่อทราบความยาวของ X,Y และมุมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนองเดียวกัน จะอาศัยแนวคิดนี้ในการกำหนดพิกัดบนพื้นผิวโลกของระบบจีพีเอสได้ ดัง รูป 2.2



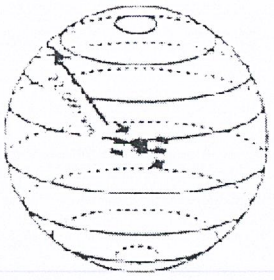
รูปที่ 2.2 การหาพิกัดในระบบจีพีเอส

จากรูปที่ 2.2 ถือว่าจุด C เป็นศูนย์กลางของโลก สายอากาศ (antenna) อยู่ที่พื้นผิวโลก ดาวเทียมลอยอยู่เหนือพื้นผิวโลก เครื่องรับที่ต่ออยู่กับสายอากาศสามารถวัดได้ว่า ดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศเท่าใด

(P) และดาวเทียมส่งข้อมูลมาบอกเครื่องรับว่า ตัวมันห่างจากจุด C เท่าใด (r) ตัวเครื่องรับก็จะหาได้ว่าตำแหน่งของสายอากาศอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย คือ $R = r - P$ (เป็นเวคเตอร์)

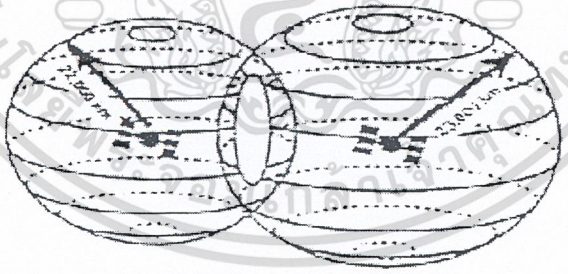
ประเด็นต่อมาก็คือ เครื่องรับมีหลักการในการวัดระยะห่างระหว่างตัวมันกับดาวเทียมอย่างไร ในช่วงแรกขอสมมติว่า ดาวเทียมดวงแรกโคจรอยู่เหนือพื้นโลก 22,000 กิโลเมตร ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมมีรัศมี 22,000 กิโลเมตร

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าเครื่องรับที่อยู่บนพื้นผิวโลก อาจจะอยู่ที่บริเวณใดก็ได้บนพื้นผิวทรงกลมที่สร้างขึ้นมาล้อมรอบดาวเทียม เพราะเราไม่รู้ว่าที่จุดใดของทรงกลมแตะอยู่กับพื้นผิวโลก รู้แต่เพียงว่าจะมีอยู่จุดหนึ่งเท่านั้นที่สัมผัสกับพื้นผิวโลก ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงหนึ่งโคจรอยู่เหนือพื้นดิน 23,000 กิโลเมตร เราก็จะสามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสองมีการตัดกัน ผลที่ได้จะเป็นวงกลมเล็ก ๆ เกิดขึ้น เครื่องรับน่าจะอยู่ที่ใดที่หนึ่งในวงกลมนี้ ซึ่งยังคงเป็นพื้นที่ที่กว้างเกินไป

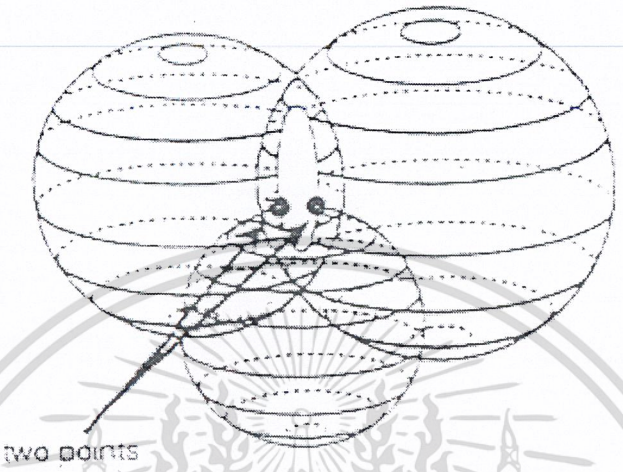


รูปที่ 2.4 แสดงการตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม

ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงเป็นดวงที่สามโคจรอยู่เหนือพื้นโลก 24,000 กิโลเมตร ก็สามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสามมีการตัดกันผลที่ได้จะเป็นจุดสองจุดที่ขอบของวงกลมเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ๆ เครื่องรับน่าจะอยู่จุดใดจุดหนึ่งในสองจุดนี้ แต่จะมีจุดเดียวเท่านั้นที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎี (ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยอาศัยคณิตศาสตร์เข้าช่วย)

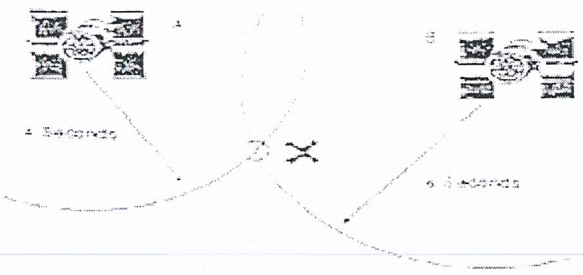


รูปที่ 2.5 แสดงการตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม

ประเด็นถัดมาลองมาดูว่า ตัวเครื่องรับสัญญาณจะรู้ว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศของเครื่องรับเป็นระยะทางเท่าใดได้ อย่างไร โดยหลักการแล้ว ถือว่าคลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับด้วยความเร็วเท่ากับแสง ดังนั้นถ้าสมมติว่า ดาวเทียมส่งข้อมูล ABC ออกมาจากดาวเทียมเมื่อเวลา 08.00 นาฬิกา แล้วเครื่องรับรับข้อมูลได้เวลา 08.01 นาฬิกา แสดงว่าข้อมูลใช้เวลาเดินทางจากดาวเทียมมายังสายอากาศใช้เวลา 1 นาที เมื่อนำค่านี้คูณด้วยความเร็วของแสง ก็จะทำให้ได้ระยะทางออกมาเช่นเดียวกัน

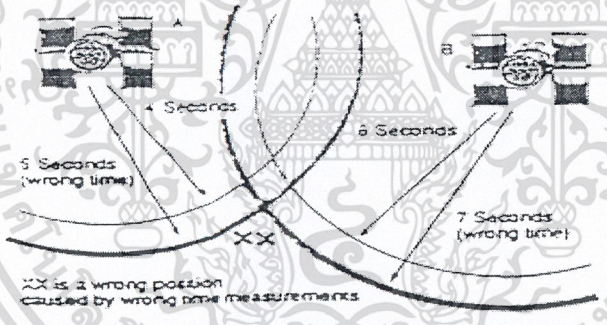
ดังนั้นแทนที่เราจะบอกเป็นระยะทางว่าดาวเทียมโคจรอยู่สูงจากพื้นผิวโลกกี่กิโลเมตร เราอาจบอกเป็นเวลาก็ได้ เช่น ดาวเทียมสองดวงอยู่ห่างจากสายอากาศ 4 และ 6 วินาที เพื่อให้ง่ายขึ้นจะมองทรงกลมที่สมมติขึ้นมาล้อมรอบดาวเทียมแค่สองมิติเป็นวงกลมล้อมรอบดาวเทียม A และ B และสมมติว่าเกิดจุดตัวกันออกมาที่จุด X ดังรูปที่2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B

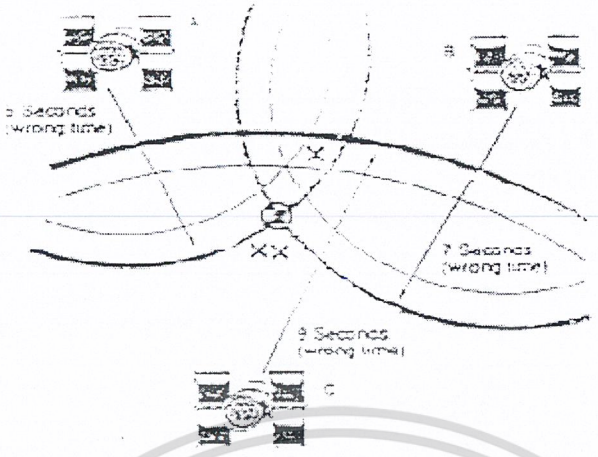
แต่ถ้าเวลาที่วัดได้เกิดการผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็น จะด้วยสาเหตุใดก็ตาม เช่น ดาวเทียม จาก A 4 วินาทีเป็น 5 วินาที และดาวเทียม B จาก 6 วินาทีเป็น 7 วินาที ผลที่เกิดขึ้นก็คือ แทนที่จะเกิดจุดตัวขึ้นที่จุด X กลับเกิดที่จุด XXX ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการตัดกันของดาวเทียม A และ B ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

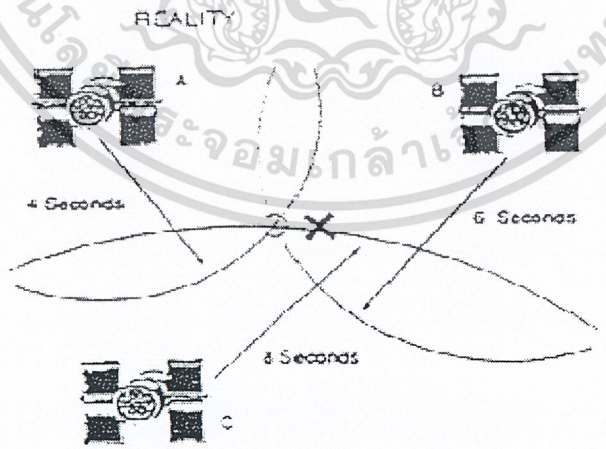
แม้ว่าจะใช้ดาวเทียมดวงที่สาม(ดาวเทียม C) เข้าช่วย เพื่อหาตำแหน่งที่แน่นอนดังกล่าวมาแล้วในตอนต้น ถ้าเวลาผิดพลาดไปก็จะเกิดจุดตัดที่ผิดพลาดขึ้นมาเช่นกัน ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A ,B และ C ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าจุดที่ถูกต้องตามที่ต้องการในครั้งแรกก็คือจุด X ซึ่งจะเป็นจุดตัดจุดเดียวเท่านั้น ไมโครโปรเซสเซอร์ในเครื่องรับจะเริ่มทำการปรับค่าความผิดพลาดของเวลาของดาวเทียมแต่ละดวง การทำเช่นนี้จำต้องอาศัยดาวเทียมอีกดวงหนึ่งเข้าช่วยเพื่อทำการปรับตั้ง เวลาในเครื่องรับให้แม่นยำขึ้น จากนั้นจึงทำการขยับเวลาที่ทำการวัดได้จากดาวเทียมแต่ละดวงเพื่อทำการลดค่าผิดพลาดให้น้อยลง เมื่อทำการปรับปรุงได้อย่างถูกต้องแล้วก็จะทำให้ได้จุดตัดออกมาอย่างถูกต้อง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงจุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม A,B และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่ได้อธิบายมาข้างต้นจะเห็นว่า ความแม่นยำของเวลาเป็นหัวใจของระบบทีเดียว ดังนั้นบนดาวเทียมจีพีเอส จึงมีนาฬิกาเชิงอะตอมที่มีความแม่นยำสูงบรรจุอยู่ถึงสี่เครื่อง นาฬิกา เหล่านี้จะถูกปรับตั้งให้มีความแม่นยำอยู่ตลอดเวลาโดยสถานีควบคุมภาคพื้นดิน

จากแนวความคิดที่กล่าวมานี้ ถ้าเครื่องรับสัญญาณอยู่บนพื้นโลกจะทำให้เครื่องรับทราบว่าตัวมันห่างจากดาวเทียมเท่าใด เสมือนกับได้ระยะทางด้านหนึ่งของสามเหลี่ยมแล้ว คือด้าน ด้านที่สองของสามเหลี่ยมคือ

เครื่องรับจะทราบได้โดยดาวเทียมจะส่งข้อมูลมาบอกว่ามันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด ดังนั้น เครื่องรับจะคำนวณได้ว่า ตัวมันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด

ปัญหาต่อมาก็คือ ตำแหน่งที่บอกออกมานั้นเราจะรู้ได้อย่างไรว่ามันคือที่ไหนบนโลกนี้ ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดระบบอ้างอิงให้มัน การกำหนดใดๆ ก็ตามให้เปรียบเทียบกับระบบอ้างอิงที่กำหนดขึ้นนี้ ในบทต่อไปจะกล่าวถึงระบบอ้างอิงที่ใช้ในระบบจีพีเอส

2.4 สัญญาณจากดาวเทียม จีพีเอส

จากที่ผ่านมาข้างต้นว่า ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับจะหารจากความแตกต่างของเวลาที่ดาวเทียมส่งมากับเวลาที่เครื่องรับได้คูณด้วยความเร็วแสง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสัญญาณต่างๆ ที่ส่งออกจากดาวเทียมมาให้เครื่องรับบนพื้นโลก

จากรูปที่ 5.2 ดาวเทียมจะส่งรหัสออกมาในรูปแบบของสัญญาณ เมื่อเครื่องรับได้รับรหัสนี้จะทราบว่ารหัสนี้ใช้เวลาในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนานเท่าใดและเป็นรหัสที่ส่งมาจากดาวเทียมดวงใด เมื่อนำเวลานี้มาคูณด้วยความเร็วแสงก็จะทำให้คำนวณหาระยะทางระหว่าเวลาดาวเทียวกับเครื่องรับได้

รูปที่ 2.10 แสดงแนวความคิดในการหาระยะห่างจากดาวเทียมกับเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

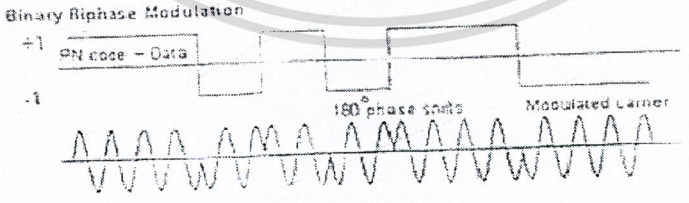
ด้วยเหตุนี้ความแม่นยำในการกำหนดพิกัดของระบบจีพีเอสจะขึ้นอยู่กับฐานเวลาเป็นสำคัญ ฐานเวลาที่อยู่บนดาวเทียมจีพีเอสได้มาจากนาฬิกาเชิงอะตอม ตัวอย่างเช่น BLOCK II จะมีนาฬิกาเชิงอะตอม แบบรูบิเดียมสองเครื่อง และ แบบซีเซียมสองเครื่อง ทำให้ความผิดพลาดต่อวันน้อยมาก หรือกล่าวง่ายๆ ว่านาฬิกาจะเดินพลาดไป 1 วินาที เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 160,000 ปี

2.5 ความถี่ที่ดาวเทียม จีพีเอส ส่งมายังโลก

ดาวเทียมจีพีเอสจะใช้สัญญาณจากนาฬิกาเชิงอะตอมสร้างความถี่พื้นที่ในแบนด์ L เป็น 10.23 เมกกะเฮิร์ด แล้วสร้างคลื่นพาห์ในแบนด์ L1 และ L2 โดยการคูณความถี่พื้นฐานด้วย 154 และ 120 ดังนั้นความถี่ของคลื่นพาห์ในแบนด์ L1 จะเท่ากับ 1576.42เมกกะเฮิร์ด ความถี่ของคลื่นพาห์ในแบนด์ L2 จะเท่ากับ1227.60 เมกกะเฮิร์ด รหัสต่างๆ จะถูกกำหนดขึ้นจากความถี่พื้นฐานทั้งสิ้น แสดงได้ดังนี้

องค์ประกอบ	**ความถี่ (MHz)**		
ความถี่พื้นฐาน	fo	=	10.23
คลื่นพาห์ L1	152 fo	=	1576.42
คลื่นพาห์ L2	120 fo	=	1227.60
พี – โค้ด (P-code)	fo	=	10.23
ซี/เอส – โค้ด (C/A – code)	fo/10	=	1.023
ข้อมูลในการนำร่อง	fo/204.600	=	0.00005

โค้ดหรือรหัสทั้งสอง (C/A และ P) ถูกกำหนดอยู่ในรูปสัญญาณพัลส์ สัญญาณพัลส์เหล่านี้จะถูกผสมกับคลื่นพาส์ในลักษณะของไบนารี ไบเฟส มอดูเลชั่น (Binary Biphase Modulation) ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การผสมสัญญาณแบบไบนารี ไบเฟส มอดูเลชั่น

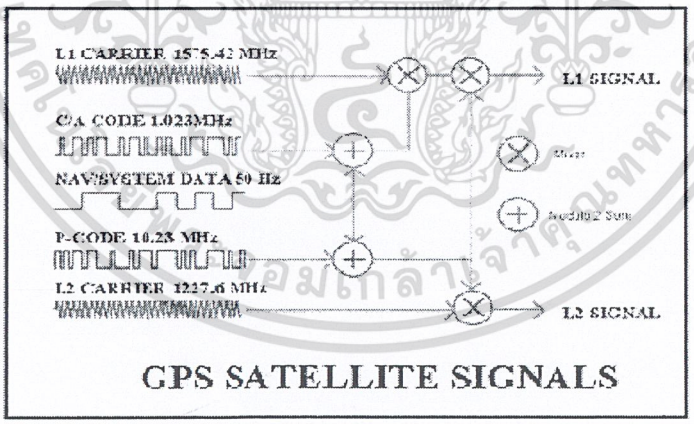
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 รหัสที่ดาวเทียม จีพีเอส ส่งมายังพื้นโลก

2.6.1 C/A – code (Coarse Acquisition) ถูกผสมออกมากับคลื่นพาห์ในแบนด์ L1 เท่านั้น รหัสซูโด แรนดอม นอยส์ (Pseudo Random Noise , PRN) ขนาด 1 เมกกะเฮิร์ด ชุดหนึ่งที่ซ้ำๆกัน รหัสที่คล้ายนอยส์นี้จะถูกส่งมาทางแบนด์ L1 ในลักษณะของการกระจายสเปคตรัม (Spread spectrum) ตลอดช่วงแบนด์วิดธ์ 1 เมกกะเฮิร์ด รหัส C/A จะซ้ำเดิมทุกๆ 1023 บิท ดาวเทียมแต่ละดวงจะมารหัส PRN ของรหัส C/A ที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นรหัส PRN มาเป็นตัวแยกดาวเทียมแต่ละดวง

2.6.2 P-code (Precise) จะถูกผสมออกมากับคลื่นพาห์ทั้งในแบนด์ L1 และ L2 รหัส P คือ PRN ขนาด 10 เมกกะเฮิร์ด ชุดหนึ่งที่มีความยาวมากๆ (7 วัน) สัญญาณนี้จะทำให้เครื่องรับสับสนในการคำนวณค่าต่างๆ สำหรับผู้ได้รับอนุมัติให้ใช้สัญญาณนี้จะต้องมีชิพพิเศษที่เรียกว่า AOC (Auxiliary Ourput Chip) ต่อใช้กับเครื่องรับจึงจะใช้งานได้อย่างถูกต้อง

2.6.3 ข้อมูลนำร่อง (Navigation Message) ข้อมูลนำร่องเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 50 เฮิร์ด เป็นบิทของข้อมูลที่ใช้บอก วงจรของดาวเทียม ข้อมูลการแก้ไขเวลา และตัวแปรอื่นๆ ของระบบ ข้อมูลนำร่องจะถูกนำมาผสมสัญญาณของรหัส C/A เพื่อส่งออกมาทางแบนด์ L1 และผสมสัญญาณของรหัส P เพื่อส่งออกมาทางแบนด์ L2 การผสมสัญญาณของข้อมูลนำร่องเข้ากับ C/A หรือ P โค้ด จะเป็นแบบการบวกแบบมอดโดโล 2 (Modulo-2 addition) ดังรูป 2.12 ผลที่ได้จึงนำไปผสมสัญญาณต่อไป



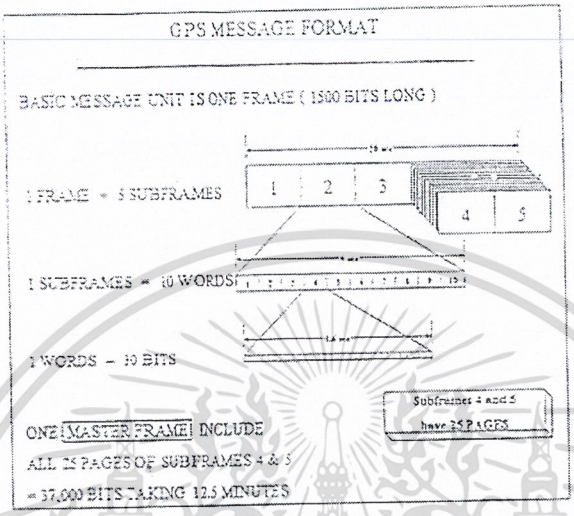
รูปที่ 2.12 แสดงสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมจีพีเอส

โดยข้อมูลนำร่องที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังเครื่องรับ จะถูกแบ่งออกเป็นเฟรม (Frame) ดังรูป 2.13 จะเห็นว่าหนึ่งเฟรมมีความยาวบิทข้อมูลเท่ากับ 1500 บิท ดังนั้นแต่ละเฟรมใช้เวลาทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1500 / 50 หรือ 30 วินาที ในหนึ่งเฟรมยังแบ่งออกเป็นเฟรมย่อย (subframe) ได้ 5 เฟรมย่อย ใช้ชื่อเป็น เฟรมย่อยที่ 1 ถึง 5 แต่ละเฟรมย่อยแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 เวิร์ด โดยหนึ่งเวิร์ดประกอบด้วยบิทข้อมูล 30 บิท



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของการส่งข้อมูลของจีพีเอส

ข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อยที่ส่งมาใช้ระบุรายละเอียดที่แตกต่างกัน แต่ละเฟรมย่อยเริ่มด้วยเวิร์ดพิเศษ คือ TLM (Telemetry Word) และ HOW (Hand-over Word)

เวิร์ด TML ประกอบด้วยข้อมูล 8 แรกที่มีรูปแบบคงที่ใช้เป็นรูปแบบในการซิงโครไนซ์ และข้อมูลอีก 14 บิท สำหรับแสดงสถานะในการอัพโหลดข้อมูลขึ้นสู่ดาวเทียม ข้อมูลในการทำการตรวจสอบการทำงานและข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

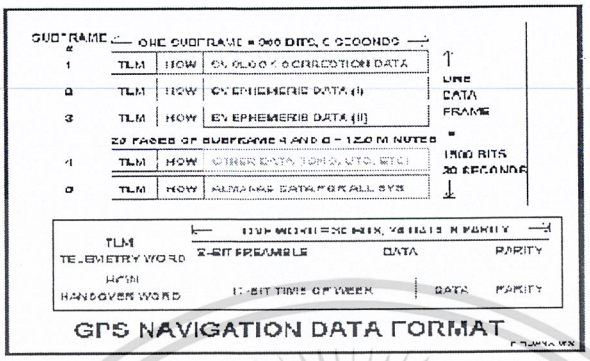
เวิร์ด HOW ใช้เก็บค่าๆ หนึ่งเรียกว่า Z-count ซึ่งจะเปลี่ยนไปทุกๆ 6 วินาที Z-count เป็นจำนวนที่แสดงจำนวนนับทีละ 1.5 วินาที โดยเริ่มนับ 0 ตั้งแต่เที่ยงคืนของวันเสาร์เป็นต้นไปจนครบหนึ่งสัปดาห์ (ตามระบบเวลาของจีพีเอส) ค่านับสูงสุดคือ 403200 (403200*1.5 = 604800 วินาที = 168 ชั่วโมง = 7 วัน) ค่านี้จะถูกนำไปใช้คำนวณหาและแทรกตาม P-code ตัวเลขอีกตัวหนึ่งใน HOW จะถูกนำมาคูณ 4 เพื่อหาจุดเริ่มต้นของเฟรมย่อยถัดไป นอกจากนี้ HOW ยังมีหมายเลขแต่ละเฟรมย่อยเก็บอยู่ รวมถึงแฟลกแสดงสถานะต่างๆ

เฟรมย่อยที่ 1 ประกอบด้วย สัมประสิทธิ์ในการแก้ค่าเวลาที่ผิดพลาด อายุของข้อมูล และแฟลกต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50348

เฟรมย่อยที่ 2 และ 3 ประกอบด้วยข้อมูลที่ แสดงถึงวงโคจรของดาวเทียม (ephemeris)



รูปที่ 2.14 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อย

เฟรมย่อยที่ 4 แสดงค่าของรูปแบบจำลองของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ข้อมูลของ UTC (Coordinated Universal Timer) แฟลกแสดงถึงการเข้ารหัส P-code

เฟรมย่อยที่ 5 แสดงรายละเอียดคร่าวๆ ของตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียวแต่ละดวง โดยอาศัยสัญญาณนี้จะทำให้เครื่องรับเองทราบว่ามีดาวเทียมดวงใดบ้างที่มองเห็น เมื่อแทร็กได้ดวงใดดวงหนึ่งงแล้ว การแทร็กดวงอื่นๆจะทำได้ง่ายขึ้น

2.7 การให้บริการของระบบจีพีเอส

การแบ่งกลุ่มการให้บริการใช้ความแม่นยำมาเป็นตัวกำหนด ในปัจจุบันนี้ได้แบ่งการให้บริการแยกออกเป็นสองประเภทคือ

2.7.1 การให้บริการที่มีความแม่นยำสูง (Precision Position Code , PPS) สำหรับใช้ในกิจการทหารหรือพลเรือนที่ได้รับอนุมัติใช้งานเท่านั้น ความแม่นยำที่คาดว่าจะได้รับคือ

- ความแม่นยำทางด้านแนวนอน 17.8 เมตร
- ความแม่นยำทางด้านแนวตั้ง 27.7 เมตร
- ความแม่นยำของเวลา 100 นาโนวิทาที

สาเหตุที่พลเรือนทั่วๆไปไม่สามารถใช้บริการที่มีความแม่นยำสูงได้เนื่องจากผู้ควบคุมระบบ (DoD)ได้เข้ารหัสข้อมูลเอาไว้ทำให้เครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสที่มีขายในท้องตลาดทั่วๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่สามารถทำการถอดรหัสสัญญาณต่างๆที่รับได้อย่างถูกต้องจึงทำให้การคำนวณต่างๆ ผิดพลาดจนเชื่อถือไม่ได้

2.7.2 การให้บริการตามรูปแบบมาตรฐาน (Standart Position Service , SPS) ใช้สำหรับกิจการทางด้านพลเรือน โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและใช้งานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ความแม่นยำถูกทำให้ลดลงโดยกระบวนการที่เรียกว่า Selecrive Availability ภายใต้การควบคุมของ DoD ความแม่นยำที่คาดว่าจะได้รับคือ

- ความแม่นยำทางด้านแนวนอน 100 เมตร
- ความแม่นยำทางด้านแนวตั้ง 156 เมตร
- ความแม่นยำของเวลา 167 นาโนวิทาที

2.8 ผลของการใส่ SA เพื่อลดความแม่นยำลง

การใส่ SA เป็นการลดความแม่นยำในการใช้งานทางด้านพลเรือนลง โดยทำให้ข้อมูลที่ส่งออกมาจากดาวเทียมเปลี่ยนแปลงไปมาในลักษณะที่ไม่แน่นอน

ในปัจจุบันนี้ได้พยายามมีการผลักดันให้ยกเลิกการลดค่าความผิดพลาดลงจากเดิม โดยให้เหตุผลว่า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลขจัดออกไปได้เกือบหมด นอกจากนั้นระบบกลอนนาสซึ่งเป็นระบบนำร่องของรัสเซียให้ความผิดพลาดเพียง 50 เมตร เท่านั้น

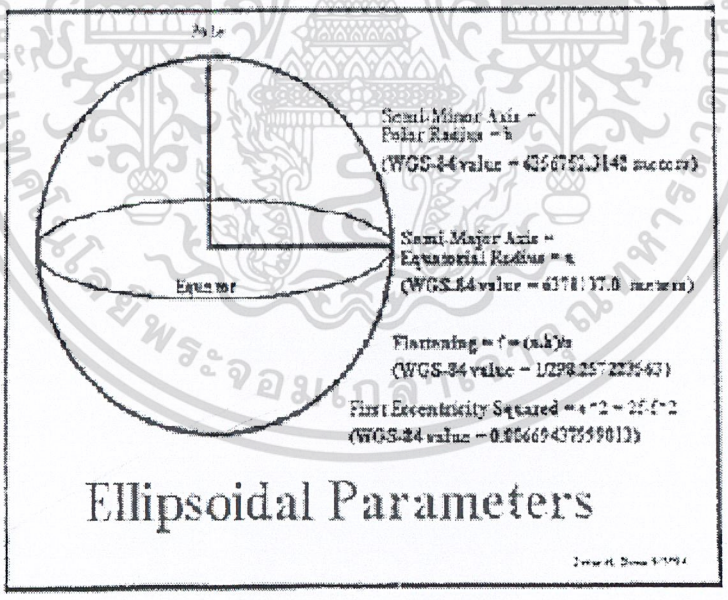
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
จีโอเดติค ดาตัม

จีโอเดติค ดาตัม คือ การกำหนดระดับอ้างอิงที่ใช้อธิบายขนาดและรูปร่างของโลก ว่าควรมีลักษณะอย่างไร ในสมัยโบราณถือว่าโลกแบน ดังนั้นระนาบอ้างอิงจึงเป็นเพลนระนาบ ต่อมาพบว่า โลกเป็นทรงกลม ระบบอ้างอิงจึงเปลี่ยนเป็นทรงกลมตามไปด้วย จนภายหลังพบว่ารูปร่างของโลกใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเป็นแบบ เอลลิพซอยด์ (ellipsoid) และใช้มาถึงปัจจุบันนี้ เมื่อผนวกเข้ากับการกำหนดระบบพิกัดอ้างอิงก็จะทำให้กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกได้อย่างแม่นยำ

3.1 การอ้างอิงโดยเอลลิพซอยด์ (Reference Ellipsoids)

รูปแบบจำลองแบบเอลลิพซอยด์ (ellipsoid) ถือว่าพื้นผิวโลกราบเรียบและมีโครงสร้างเกือบเป็นทรงกลม(ป่องกลางคล้ายผลส้ม แต่เพื่อความสะดวกจะวาดเป็นวงกลมแทน) การอ้างอิงใด ๆ บนพื้นผิวจะทำผ่านสองแกนคือ Semi-Major Axis คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังเส้นอีเควเตอร์ และ Semi-Minor Axis ซึ่งก็คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังขั้ว

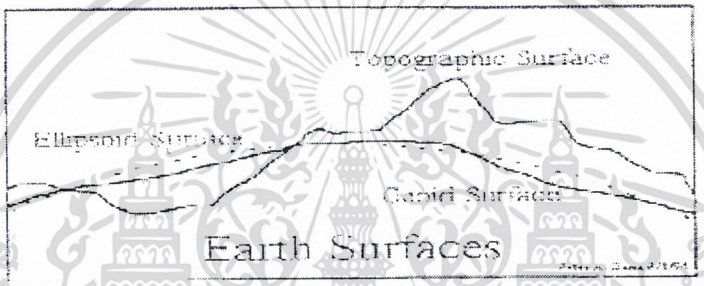


รูปที่ 3.1 ตัวแปรของเอลลิพซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก (Earth Surface Model)

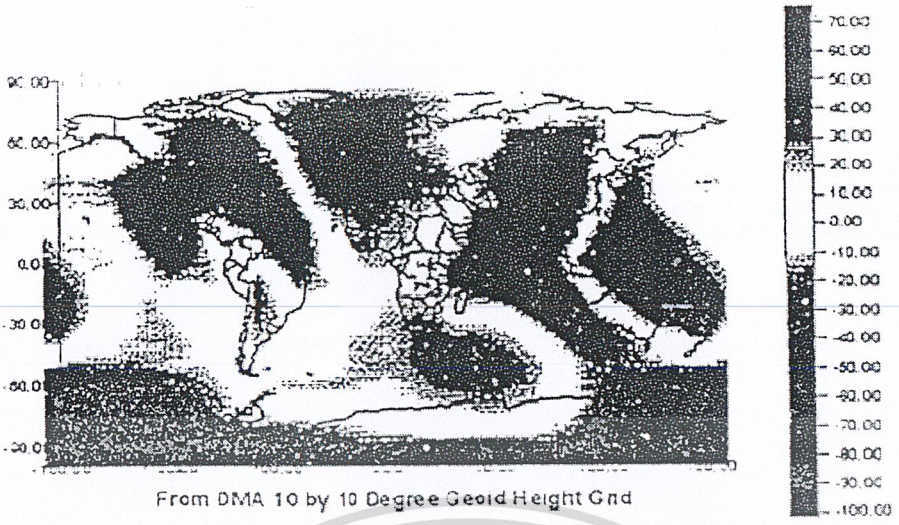
รูปแบบจำลองพื้นผิวโลกที่ถูกต้องมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับ ระบบนำร่อง การสำรวจ และการทำแผนที่ แต่เนื่องจากพื้นผิวโลกมีความสูงต่ำไม่เท่ากัน นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมตลอดเวลา ดังนั้นรูปแบบจำลองจึงมีหลายแบบด้วยกัน รูปแบบจำลองสภาพทางภูมิประเทศและระดับน้ำทะเลมีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผิวโลก ในขณะที่รูปแบบจำลองทางด้านแรงโน้มถ่วงและจีออยด์ (Geoid) มีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงและระดับน้ำทะเลเฉพาะส่วนของพื้นโลก รูปแบบจำลองต่าง ๆ เหล่านี้ถูกสร้างเปรียบเทียบหรืออ้างอิงร่วมกับเอลลิพซอยด์



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก

การจำลองพื้นผิวแบบโทโพกราฟฟิค (Topographic Surface) ของโลกจะแสดงพื้นผิวจริงของแผ่นดินและทะเล ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ส่วนการจำลองพื้นผิวแบบจีออยด์นั้นจะเป็นการจำลองพื้นผิวที่แสดงค่าสนามแรงโน้มถ่วงของโลกที่ทัดเทียมระดับความสูงของน้ำทะเลเฉลี่ย (mean sea level) จีออยด์จะเป็นพื้นผิวอ้างอิงหลักในการกำหนดความสูง ตัวอย่างดังรูป 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงระดับของจีออยด์

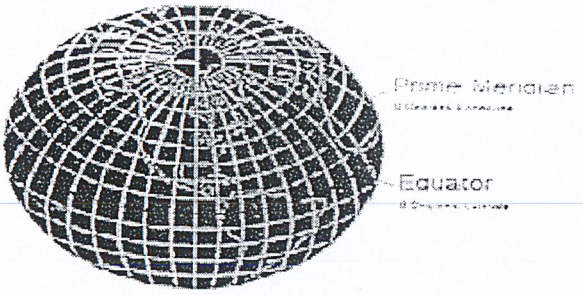
3.3 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้งานทั่วไป (Global Coordinate System)

เมื่อเรามีรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโลกแล้ว ต่อไปจะต้องกำหนดพิกัดอ้างอิงขึ้นมาเพื่อใช้กำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก มิฉะนั้นเราจะไม่ทราบว่า เราอยู่ที่ใดบนโลก ทำนองเดียวกัน ถ้าระนาบอ้างอิงแตกต่างกันออกไป พิกัดที่ได้จะแตกต่างกันออกไปด้วย ระบบที่ใช้ในการอ้างอิงมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละประเทศจะใช้แตกต่างกันออกไป ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเกี่ยวข้องกับระบบจีพีเอสเท่านั้น

3.3.1 Latitude , Longitude , Height

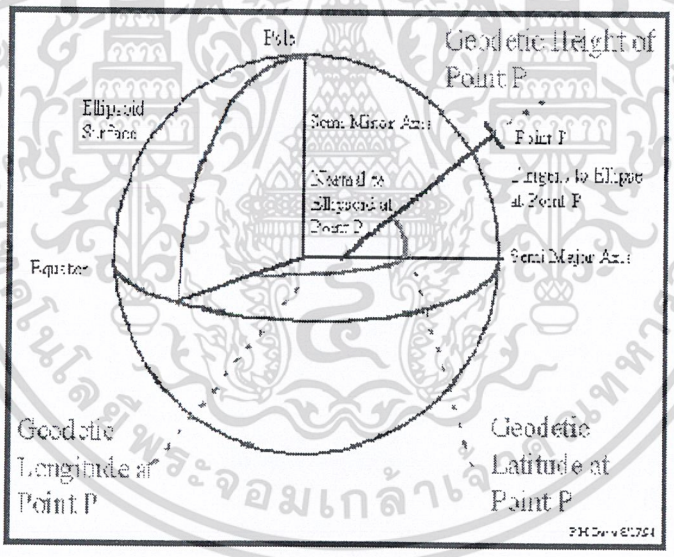
ถือเป็นระบบพิกัดที่ใช้ร่วมกันมากที่สุดในโลก โดยกำหนดให้ระนาบอ้างอิง(Reference plane)ได้มาจาก ระนาบอีเควเตอร์ และ ไพรม์ เมอริเดียน (Prime Meridian) ที่วางตั้งฉากกันดังรูป 3.4 สามารถจินตนาการได้ว่าโลกเสมือนผลแตงโมที่วางอยู่ กับพื้นแล้วหันทางด้านขั้วของแตงโมขึ้นฟ้า จากนั้นให้นึกต่อว่า ที่กึ่งกลางลูกแตงโมมีเส้น ๆ หนึ่ง ลากยาวรอบลูกแตงโมโดยลากขนานกับพื้นที่แตงโมวางอยู่ เส้นนี้คือ เส้นอีเควเตอร์ ถ้าใช้มีดผ่าแตงโมตามแนวเส้นนี้ แล้วยกแตงโมครึ่งบนออก สิ่งที่มองเห็นคือเนื้อแตงโมที่เป็นพื้นผิววงกลมแบนราบ นั่นคือ ระนาบของอีเควเตอร์ นั่นเอง ทำนองเดียวกัน ถ้าเราผ่าแตงโมในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของอีเควเตอร์ ระนาบที่ได้เรียกเป็นระนาบของ ไพรม์ เมอริเดียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการกำหนดเส้นไพรม์ เมอริเดียนและเส้นอีเควเตอร์

การกำหนดว่าจุด P มีค่าเป็นเท่าใดให้ดูจากตัวอย่างดังรูปที่ 3.5

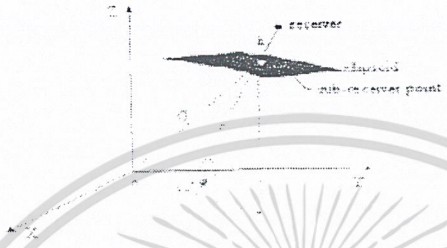


รูปที่ 3.5 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองติจูด และความสูง

จากรูปที่แสดงไว้ สมมติว่าเครื่องรับสัญญาณอยู่ที่จุด P เมื่อลากเส้นมาตั้งฉากกับเส้นสัมผัสกับพื้นผิวเอลลิพซอยด์ (sub-receiver point ในรูปที่ 3.6) แล้วต่อเส้นนี้ไปตัดกับระนาบอีเคว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอร์ มุมที่เกิดจากเส้นที่ลากมากับระนาบอีเควเตอร์เรียกว่า Geodetic Latitude และ ถ้าถือว่าเส้นที่ลากมาจากจุด P เป็นระนาบ ๆ หนึ่งที่ตั้งฉากกับระนาบอีเควเตอร์ มุมที่ระนาบ ๆ นี้กระทำกับระนาบอ้างไพรม์ เมอริเดียน เรียก Geodetic Longitude ส่วนความยาวของเส้น h เรียก Geodetic Height

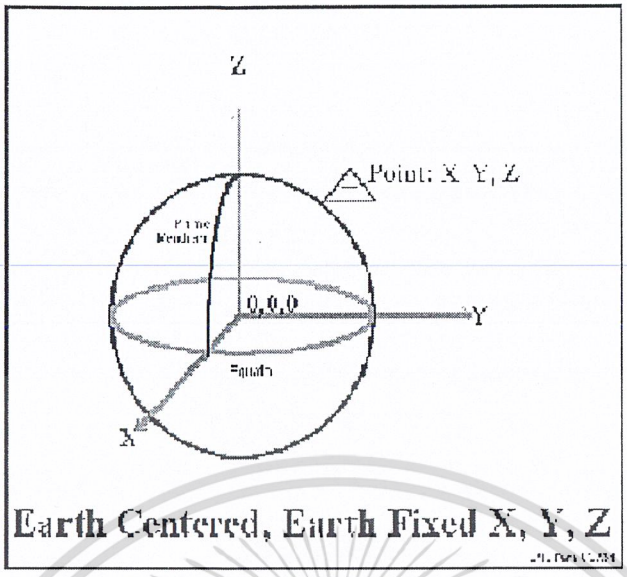


รูปที่ 3.6 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองติจูด และ ความสูง

3.3.2 Earth Centered , Earth Fixed X,Y,Z

ระบบนี้เป็นการกำหนดพิกัดแบบสามมิติเช่นกัน โดยถือว่าจุดศูนย์กลางมวลของโลกเป็นจุดศูนย์กลางของเอลลิพซอยด์ จากจุดนี้แกน Z จะชี้มายังขั้วโลกเหนือ (ตามแนวแกนหมุนของโลก) แกน X จะชี้มายังจุดตัดกันของเส้นไพรม์ เมอริเดียน กับ เส้นอีเควเตอร์และแกน Y จะตั้งฉากกับแกน X ดังนั้น แต่ละจุดที่กำหนดขึ้นมาจะต้องมีองค์ประกอบของค่า X,Y,Z อยู่ด้วยเสมอ ระบบนี้จะใช้อ้างอิงในระบบจีพีเอสเป็นหลัก แล้วจึงทำการคำนวณจากค่า X,Y,Z มาเป็นค่า Latitude , Longitude , Height ในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



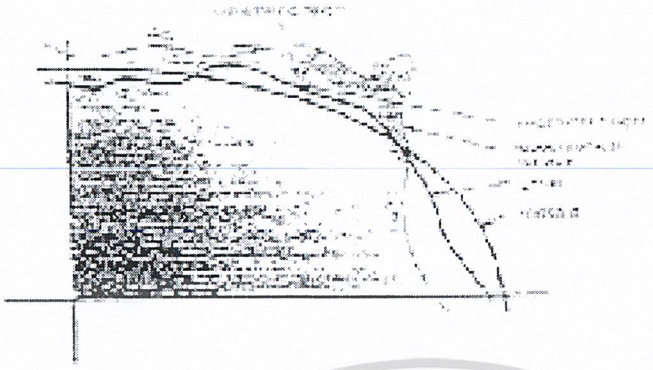
รูปที่ 3.7 แสดงระบบ ECEF X,Y,Z

3.4 ข้อสับสนของความสูง

สมมติว่า มีเครื่องมือที่สามารถบอกตำแหน่ง ละติจูด ลองติจูด ความสูง ออกมาได้ ค่าละติจูด ลองติจูด ที่ได้เป็นค่าที่มีนิยามแน่นอนไม่สับสน แต่ค่าความสูงจะมีความสับสนได้ง่าย โดยทั่วไปตามความคิดของผู้ใช้งานจะคิดว่าเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (mean sea level) แต่จากรูปที่ผ่านมาในระบบละติจูด ลองติจูด จะหมายถึงความสูงจากพื้นผิวเอลลิพซอยด์ซึ่งเป็นรูปแบบการจำลองมาจากคณิตศาสตร์ ส่วนในระบบ ECEF XYZ จะหมายถึงความสูงของเครื่องรับ ณ ตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางโลกออก ไปเท่าใดซึ่งแน่นอนจะต้องอยู่ในรูปของ XYZ

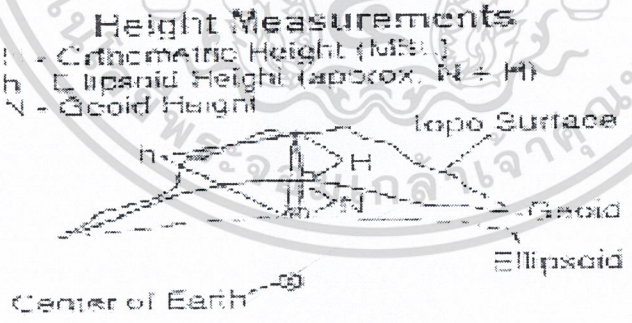
ในทางกลับกัน ถ้ากล่าวว่า “ส่วนสูงที่สุดของยอดเขา Elbert ในมลรัฐโคโรลาโดสูง 14,433 ฟิต” เคยคิดหรือไม่ว่าความสูงนี้วัดจากจุดอ้างอิงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบความสูงเหนือเอลลิพซอยด์และจีออยด์

จากรูปที่ 3.8 เส้น orthometic height คือ เส้นความสูงที่นับจากเส้นจีออยด์ ส่วนเส้น ellipsoidal height ก็คือเส้นความสูงที่วัดจากเอลลิพซอยด์ ซึ่งก็คือ geodetic height นั่นเอง ถ้าระบุความสูงออกมาลอย ๆ ผู้ใช้มักคิดว่าเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ย หรือ กล่าวง่าย ๆ ว่า เป็น orthometic height แต่ความสูงจากเครื่องจีพีเอสจะเป็น ellipsoidal height หรืออยู่ในรูปของ XYZ เท่านั้น



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในแบบต่าง ๆ

จากรูป 3.9 จะเขียนได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = h - N$$

เมื่อ H คือ orthometic height

h คือ ellipsodal height

N คือ geoid height

Good height คือผลต่างของ orthometic height กับ ellipsoidal height ที่จุด ๆ หนึ่ง ดังนั้นการใช้จีพีเอสวัดความสูงต้องระวังให้ดีว่า ความสูงที่ได้นั้นเป็นแบบใด

3.5 สรุปความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการที่ผ่านมา

จากที่ผ่านมา เครื่องรับจะทำการวัดระยะทางจากดาวเทียมถึงตัวมันได้โดยอาศัย เวลา * ความเร็วแสง การวัดระยะทางในลักษณะนี้ ระยะทางที่ได้เรียก ซูโดเร้นจ์ (Pseudo range) จากนั้น เครื่องรับจะรับข้อมูลที่ส่งจากดาวเทียมที่เรียกว่า อีเฟมมาริส (Ephemaris) ข้อมูลนี้จะบอกให้ทราบว่าดาวเทียมมีวงโคจรอย่างไร ทำให้เครื่องรับทราบว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด คอมพิวเตอร์ในเครื่องรับจะคำนวณได้ว่า ตำแหน่งของมันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าไร โดยอาศัยรูปจำลองทางคณิตศาสตร์เอลลิพ-ซอยด์ พิกัดอ้างอิง และดาตัม จะทำให้เครื่องรับสามารถคำนวณตำแหน่งในระบบ ECEF XYZ หรือค่าละติจูด ลองติจูด ความสูง ออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้นทำให้เราทราบว่าจีพีเอสมีหลักการอย่างไรบ้างในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส, ทราบว่าผลที่ได้จากการประมวลนั้นแสดงออกมาในรูป ละติจูด ลองติจูด ความสูง เวลา ฯลฯ

โครงงานการประยุกต์ใช้งานจีพีเอสนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการทำโครงงาน จากการศึกษาพบว่าเครื่องรับจีพีเอสบางรุ่นนั้นสามารถที่จะนำข้อมูลต่างๆ ติดต่อระหว่าเครื่องรับด้วยกันและยังสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลเองหรือประยุกต์เข้ากับโปรแกรมเฉพาะเพื่อใช้งานในด้านอื่นๆ นอกจากการแสดงผลค่าละติจูด ลองติจูด ความสูง เพียงอย่างเดียวเช่น การทำ Car Navigation . การหาความเร็วและความเร่งจากการใช้ข้อมูลชองเครื่องรับจีพีเอส , การทำแผนที่ เป็นต้น

แต่การที่จะติดต่อระหว่างเครื่องรับจีพีเอสกับคอมพิวเตอร์ได้นั้น ทั้งเครื่องรับจีพีเอสและคอมพิวเตอร์นั้นต้องพูดภาษาเดียวกัน เข้าใจภาษาที่ใช้ติดต่อกันจึงสามารถติดต่อกันได้ ถ้าไม่เข้าใจก็ไม่สามารถติดต่อกันได้

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาภาษามาตรฐานสำหรับการติดต่อสื่อสารในระบบนำร่อง ผลที่ได้คือ NMEA 0180 โดย NMEA ย่อมาจาก National Marine Electronics Association เป็นหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานนี้ขึ้น NMEA 0180 ได้กำหนดรูปแบบในการส่งข้อมูลละติจูด ลองติจูด กำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลและข้อมูลอื่นๆ ในการนำร่อง ต่อมาได้มีการแก้ไข NMEA 0180 ใหม่ ให้มีประโยชน์และใช้ได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น นั่นคือมาตรฐาน NMEA 0183 ซึ่งใช้ได้กับอุปกรณ์ทั้งหมดในปัจจุบันนี้

มาตรฐาน NMEA 0183 เป็นชื่อเรียกสำหรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลในรูปแบบ “ ประโยค ” ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบซึ่งจะกล่าวต่อไป

พารามิเตอร์ของ NMEA 0183

- ในการส่งข้อมูล 1 ไบต์ จะประกอบด้วย 7 บิท ASC II ใน 8 บิทโดยบิทสำคัญมากที่สุด (บิทที่ 7) จะถูกกำหนดให้เป็น 0
- มีหนึ่งบิทเริ่ม (start bit) และหนึ่งบิทสิ้นสุด (stop bit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไม่มีพาริตี้บิท
- มี Bayd rate : 4800 bps

ภาษาของ NMEA 0183 ถึงแม้จะมีมากแต่ก็ไม่ยากที่จะเข้าใจ โดยแต่ละประโยคจะเริ่มต้นด้วย " $ " และสิ้นสุดด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่ < CR > <LF > ในแต่ละประโยคมีความยาวได้มากสุด 80 ตัวอักษร ระหว่างเริ่มต้นและสิ้นสุดของประโยคเป็นข้อมูล แต่ละข้อมูลจะถูกแยกจะถูกแยกจากกันด้วยเครื่องหมาย " , "

ข้อมูลชุดแรกของทุกๆ ประโยค (Field 0) เริ่มด้วย 2 ตัวอักษรที่แสดงถึงอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลมา (talker) ตามด้วย 3 ตัวอักษรที่แสดงว่าใช้รูปแบบประโยคใดแต่ตามด้วยข้อมูลที่ต่างกันไปตามรูปแบบประโยค

ตัวอย่างของ 2 ตัวอักษรที่แสดงถึง อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลมา

LC	Loran-C
GP	GPS
TR	Transit SATNAV
AP	Autopilot
HC	Magnetic heading compass
RA	Radar

4.1 <u>รูปแบบประโยคมาตรฐานพอสังเขป</u>

GLL – Geographic Position , latitude / Longitude

แสดงตำแหน่งละติจูด ลองติจูด และเวลา

$ - -GLL , lll.ll , a , yyy.yy , b , hhmmss.ss

lll.ll = ตำแหน่งละติจูด (Latitude of position)

a = N or S

yyy.yy = ตำแหน่งลองติจูด (Longitide of position)

b = E or W

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC (UTC of position)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GGA - Global positioning System Fix Data

แสดงเวลา ตำแหน่งและข้อมูลดงที่ต่างๆ สำหรับเครื่องรับจีพีเอส

$- -GGA , hhmmss.ss , lll.ll , a , yyy.yy , b , x , xx , x.x , M , x.x , M , x.x , xxxx

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC (UTC of position)

lll.ll = ตำแหน่งละติจูด (Latitude of position)

a = N or S

b = E or W

x = ชี้บอกคุณภาพของ GPS (0 = no fix , 1 = GPS fix , 2 = Dif.GPS fix)

xx = จำนวนของดาวเทียมที่ใช้

x.x = ความเที่ยงตรงในแนวนอน (horizontal dilution of precision)

x.x = ระยะความสูงของสายอากาศเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

M = หน่วยความสูงของสายอากาศ , เมตร

x.x = Geoidal separation

M = หน่วยของ Geoidal separation , เมตร

x.x = อายุของข้อมูลดิฟเฟอเรนเชียลจีพีเอส , วินาที

xxxx = แอดเดรสของดิฟเฟอเรนเชียลจีพีเอส

STN – Multiple Data ID

ประโยคนี้จะถูกส่งก่อนประโยคอื่นๆ ที่เครื่องรับต้องการเพื่อกำหนดแหล่งที่ถูกต้องของข้อมูลในระบบ

$ - - STN , xx

xx = เลขแอดเดรสของเครื่องที่ส่งข้อมูลมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRF - TRANSIT Fiz Data

แสดงเวลา , วัน , ตำแหน่ง และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเดินทาง

$- -TRF , hhmmss.ss , xxxxxx , lll.ll , a , yyy.yy , b , x.x , x.x , x.x , x.x , x.x ,

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC (UTC of position)

xxxxxx = Date : dd/mm/yy

lll.ll = ตำแหน่งละติจูด (Latitude of position)

a = N or S

yyy.yy = ตำแหน่งลองติจูด (Longitide of position)

b = E or W

x.x = มุมเงย (Elevation angle)

x.x = จำนวนของการย้ำ (Number of iterations)

x.x = Number of Doppler intervals

x.x = ระยะทางที่ทันสมัย (Update distance)

x.x = แอดเดรสของดาวเทียม

VRW – Dual Ground / water speed

แสดงข้อมูลความเร็วของคลื่นและความเร็วพื้นฐาน

$ - - VBM , x.x , x.x , A , x.x , x.x , A

x.x = Longitudinal water speed , knots

x.x = Transvers water speed , knots

A = Status : water speed

x.x = Longitudinal ground speed , knots

x.x = Transvers ground speed , knots

A = Status : ground speed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ZDA – Time & Date

แสดงเวลา UTC , วัน , เดือน , ปี และเวลาท้องถิ่นในแต่ละเขต

$ - - ZDA , hhmmss.ss , x.x , x.x , xxxx . xx , x.x

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC (UTC of position)

xx = วัน , 01 ถึง 31

xx = เดือน , 10 ถึง 12

xxxx = ปี

xx = เวลาเขตท้องถิ่น , นาที

VTG – Track Made Good and Ground Speed

แสดงเส้นทางที่เป็นจริงและความเร็วที่สัมพันธ์กับพื้น

$ - - VTG , x.x , T , x.x , M , x.x , N , x.x , K

x.x , T = Track , degrees True

x.x , M = Track , degrees Magnetic

x.x , M = Speed , knots

x.x , K = Speed , KM / hr

รูปแบบของประโยคที่ได้กล่าวมานี้เป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น แต่ส่วนใหญ่ที่นิยมมาประยุกต์ใช้มีเพียง GGA , GLL , ZDA เป็นต้น ในเครื่องรับแต่ละยี่ห้อ แต่ละรุ่น ก็มีเอาท์พุทเป็นรูปแบบประโยคที่แตกต่างกันออกไปซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

ตัวอย่างรูปแบบประโยคของ NMEA 0183

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Field # : 0 1 2 3 4

Sentence : $ GPGLL , 4001.74 , N , 07409.43 , W < CR > < LF >

ประโยคจะเริ่มต้นด้วย $ ตามด้วย 2 ตัวอักษรที่แสดงถึงเครื่องที่ส่งข้อมูลในที่นี้คือ จีพีเอส (GP) และตามด้วยรหัสรูปแบบของประโยค GLL ที่แสดงตำแหน่งละติจูด ลองติจูด

ใน Field 1 แสดงละติจูด

Field 2 แสดงว่าเหนือหรือใต้

Field 3 แสดงลองติจูด

Field 4 แสดงว่าตะวันออกหรอตะวันตก

จากตัวอย่างสามารถอ่านได้ว่า " จีพีเอสแสดงตำแหน่งในละติจูด / ลองติจูด : 40 องศา 1.74 ลิปดาเหนือ , 74 องศา 9.43 ลิปดาตะวันตก " และสิ้นสุดประโยคด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่

4.2 <u>รูปแบบประโยคของเครื่องรับแต่ละรุ่น</u>

เครื่องรับ	เอาท์พุต
Eagle Explorer Ver 1.1 ,1.2,1.3 And Eagle AccuNav	APB , GLL , RMC , RMB
Eagle Explorer Ver 1.4	APB , GGA , GLL , GSA , GSV , RMC
Gramin – 45 (XL) and Gramin GPS – II Plus	BOD , GGA , GLL , GSA , GSV , RMC , RMB , RTE , WPL
Gramin – 12 XL Ver 3.02	GGA , GSA , GSV , RMC , RMB , RTE , WPL
Lowrance Global Map Sport	APB , GGA , GLL , GSA , GSV , RMC
Magellan 4000	APA , GLL , BEC , GGA , APB , VTG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถทราบว่าเครื่องรับที่มีอยู่นั้นให้เอาท์พุทอะไรบ้าง ทำให้สามารถเลือกประโยคให้เหมาะสมกับที่ต้องการนำไปประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์

5.1 เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (The Vector 2X Compass Module)

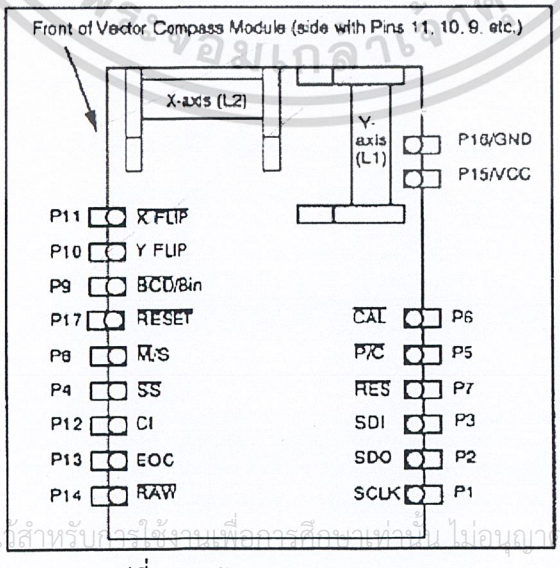
เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ เป็นเข็มทิศ 2 แกน ที่ราคาถูกโดยใช้เทคโนโลยีของการเนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า Vector 2X นี้มีความถูกต้องแม่นยำสูง , ใช้พลังงานต่ำ และราคาถูกในขนาดที่เล็กกะทัดรัด

5.2 ข้อมูลทั่วไปของ Vector 2X

- ความแม่นยำ 2 องศา และความแน่วแน่ 1 องศา
- ขนาดเล็กกะทัดรัด 1.50 x 1.30 x 0.39 ลูกบาศก์นิ้ว 0.3 ปอนด์
- ใช้กำลังไฟต่ำเพียง 5 โวลต์ กระแสน้อยกว่า 10 มิลลิแอมป์
- แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุท รวมทุกพอร์ท -0.3 ถึง V_{dd} + 0.3 V
- แรงดันไฟฟ้าด้านเอาท์พุท รวมทุกพอร์ท -0.3 ถึง V_{dd} + 0.3 V
- พอร์ตเอาท์พุต สามารถจ่ายและรับได้ 5 มิลลิแอมป์

5.3 ลักษณะทางกายภาพ

รูปที่ 5.1 และตารางที่ 5.1 แสดงตำแหน่งขาต่างๆ ของ Vectort 2X ซึ่งใช้พอร์ตขนานในการสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ โดยข้อมูลทางเอาต์พุตสามารถเลือกได้ว่าจะให้ออกมาเป็น BCD หรือ Binary และข้อมูลเอาต์พุตแบบขนาน (SDO) เป็น tri-stated เมื่อไม่ได้เลือกใน Slave mode



รูปที่ 5.1 Vector 2X Board Layout

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIN	MAME	DISCRIPTION	INPUT / OUTPUT
P1	SCLK	Serial Clock Input	INPUT / OUTPUT
P2	SDO	Serial Data Output	OUTPUT
P3	SDI	Serial Data Input	ไม่ต่อ
P4	SS	Slave Select	INPUT
P5	P/C	Poll / Continous	INPUT
P6	CAL	Calibrate Select	INPUT
P7	RES	Resolution	INPUT
P8	M/S	Master / Slave Select	INPUT
P9	BCD/Bin	BCD / Bin Select	INPUT
P10	Y FLIP	Flip Y-axis direction	INPUT
P11	X FLIP	Flip X-axis direction	INPUT
P12	CI	Calibrateindicator signal	OUTPUT
P13	EOC	End of Conversion signal	
P14	RAW	RAW Data mode Select	INPUT
P15	VCC	5 Volt power input	
P16	GND	Power Supply Ground	
P17	RESET	Reset	INPUT

ตารางที่ 5.1 Function ของ Vector 2X

ขา X FLIP และ Y FLIP ใช้ในการกลับค่าทิศทางในแนวแกน X และ Y เป็น 180องศา โดย X FLIP กลับทิศทางเหนือ- ใต้ ส่วน Y FLIP กลับทิศทาง ตะวันออก-ตะวันตก ใน MODE ปกติ X FLIP =1 และ Y FLIP =0

ขา RES ปกติจะลง ground นอกเสียจากว่า output จะมีความแม่นยำจะสูงกว่า ซึ่งอยู่ใน Raw MODE หรือในปริเวณที่มีสนามแม่เหล็กอ่อน ใน Master MODE และ Slave MODE โดย ความแม่นยำสูงสุด Output 2.5 Hz และความแม่นยำต่ำสุด คือ 5Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา P/C,CAL.RESET,SS จะต้องอยู่ในสถาวะ High เมื่อเปิดเครื่อง โดย 4 port นี้มีความต้านทาน pull up ภายในอยู่ 100 kohm และ จะต้องต่อเข้ากับport 2 ทิศทาง และ Vector 2X และสามารถรีเซ็ตได้โดยใช้ขา Reset

Vectot 2X ใน Sleep MODE จะใช้กระแสไฟฟ้าต่ำมาก น้อยกว่า 1mA ใน Sleep MODE และ น้อยกว่า 10mA ใน MODE ใช้งาน

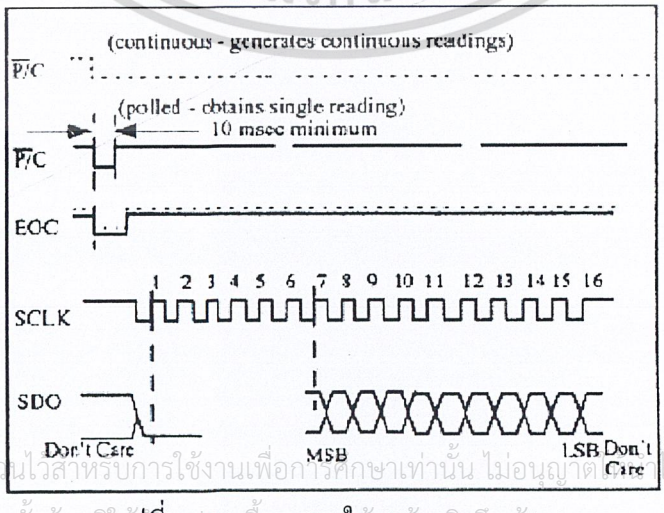
5.4 MODE ต่างๆ ของVector 2X

Vector 2x สามารถ ใช้ได้ 3 MODE : Master MODE , Slave MODE และ RAW MODE โดยอธิบายได้ดังนี้

A) Master MODE

ใน MODE นี้ Vector 2X จะส่ง สัญญาณนาฬิกา ที่มีข้อมูลแบบขนาน โดยจะอนุญาติให้ Vector 2x ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ เช่น Serial to Parallel Shift Regiter โดยไม่ต้องใช้ Processor เมื่อ ใช้งานใน Master MODE ขา EOC จะมีขอบขาขึ้นบ่งบอกว่า ข้อมูล 16 bit ได้ถูกส่งแล้ว และ SDO จะไม่เป็น Tri-state ใน MODE นี้

จากรูปที่ 5.2 แสดง Diagram เวลาเมื่อ Vector 2X ถ้าจะใช้งานใน Master MODE ขา M/S จะต้องมีสถาวะต่ำ เพื่อให้เป็น Master MODE และขา SS ไม่ได้ถูกต่อขา P/C ต้องการข้อมูลจาก Vector 2X และ ขา EOC ใช้จำกัดขอบเขตข้อมูล โดยป้อน Pulse ให้ขา P/C มีสถาวะต่ำอย่างน้อย 10 msec ให้เข็มทิศอ่านข้อมูล 1ครั้ง ขา EOC นั้นเป็นขอบเขตของข้อมูลที่อ่านมาได้ โดยข้อมูลมีความแม่นยำประมาณต่ำสุด 5 Hz และสูงสุด 2.5 Hz ขา SCLK เป็น Output ให้ Vector 2X ใน Master MODE เป็น Pulse 16 bit ขนาด 4 Hz ถ้า P/C มีสถาวะต่ำ ก็จะมีการอ่านข้อมูลใหม่อีกรอบ โดย 6 บิตแรก จากขา SDO จะเป็น 0 ในทุกๆ Bin และ BCD MODE แต่ bit ต่อมา 1 bit จะเป็น 0 ที่ Bin MODE



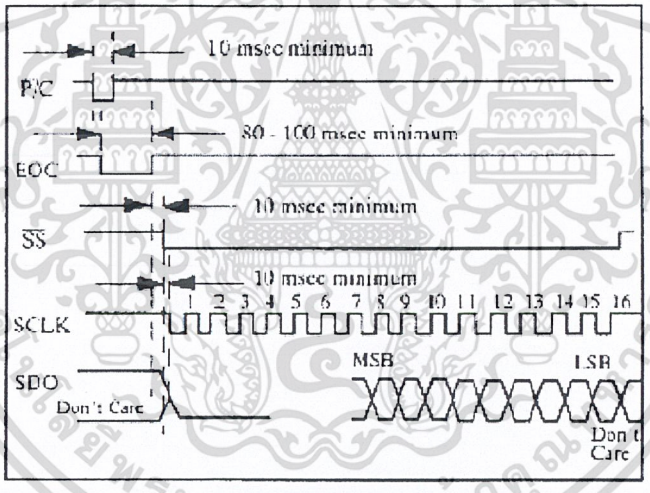
รูปที่ 5.2 Vector 2X ใน Master mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B) Slave MODE

Vector 2X ใน Slave MODE สามารถทำได้โดยให้ขา M/S เป็นวงจรหรือ อยู่ในสถาวะสูง ใน Slave MODE นี้สามารถ นำไปต่อ port ขนาน กับอุปกรณ์ตัวอื่นได้ ขา SDO เป็น Tri-state จนกระทั่งเมื่อต้องการข้อมูลจะทำให้ ขา SS เป็นสถาวะ ต่ำ ในระหว่างที่มีการอ่านข้อมูล ขา EOC อยู่ในสถาวะขอบขาขึ้นเพื่อแจ้งว่า Vector 2X ได้ทำการคำนวณ เสร็จเรียบร้อยแล้ว

จากรูปที่ 5.3 เป็น diagram เวลาของ Vector 2X ใน Slave MODE โดยขา SCLK เป็น input ซึ่งต้องใช้ Processor เพื่อนำข้อมูลออกที่ขา SDO โดยความถี่สุงสุดที่เป็นไปได้ คือ 1 MHz โดย Clock 16 bit จะต้องป้อนเข้าที่ขา SCLK เพื่อที่จะได้ข้อมูลออกมา แต่ข้อมูลยังคงอยู่ใน Vector 2X เมื่อขา P/C ในสถาวะต่ำ ในSlave MODE Output ออกมา 1 ครั้ง จนกว่าจะ มีClock มาอีก ความกว้างของ Pulse ที่ขา 10 msec เวลาระหว่างขอบขึ้นของขา EOC และขอบขาลงขา SS ควรจะมากกว่า 10msec ข้อมูล Output จะขึ้นอยู่กับขอบขาลงของขา SCLK และขอบขาขึ้นของแต่ละPulse จากขา SCLK โดย FSB จะเป็น 0 ที่ Bin MODE

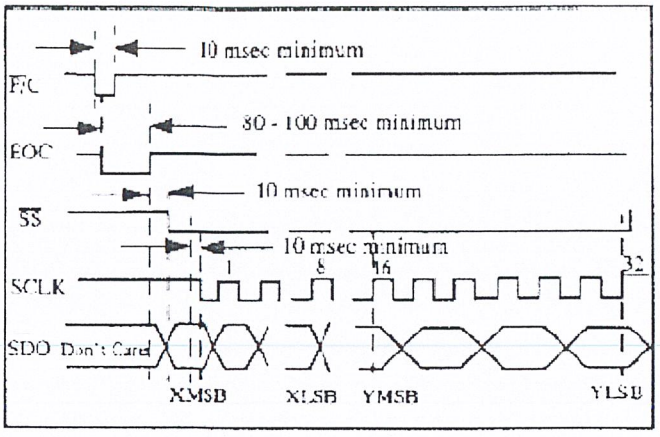


รูปที่ 5.3 Vector 2X ใน Slave mode

C) RAW MODE

ข้อมูลแบบ RAW มีได้ใน Slave MODE แต่ไม่มีใน Master MODE ขา SCLK เป็น Input ของ RAW MODE ในรูปที่ 4แสดง Diagram เวลาของ Raw MODE ขา M/S จะต้องเปิดวงจรหรือไม่ก็ อยู่ในสถาวะสูง และ ขา RAW จะต้องอยู่ในสถาวะต่ำ ข้อมูลที่ได้จะอยู่ใน Bin mode เท่านั้น มีอยู่ ด้วยกัน 4 Byte (32 bit) output ที่ได้เป็นตัวเลข 16 bit โดยที่ 2 byte แรกจะได้เลข binary ของ X-axis และ 2 byte ต่อมา ได้เลข binary ของ Y – axis ค่าทั้ง 16 bit สำหรับ X – axis และ Y-axis ไม่ได้มาจากสเกลแม่เหล็ก

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 Vextor 2X ใน RAW Mode

5.5 รูปแบบของเอาท์พุท จาก Vextor 2X

Vextor 2X เป็น อุปกรณ์ใช้สื่อสารในลักษณะ พอร์ตขนาน โดย เอาท์พุท สามารออกมาได้เป็น 3 รูปแบบคือ

1) BCD (Binary coded decimal)
2) Binary เลขฐาน 2
3) RAW output

โดยที่ 6 บิทแรก เป็น 0 สำหรับ mode BCD และ 7 บิท แรกเป็น 0 สำหรับ mode Bin หลังจากนั้น บิทต่อมาเรียก most significant bit (MSB) ส่วน บิทสุดท้าย เรียก least significant bit (LSB)

ตัวอย่าง 359 องศา

BCD bit : 000000 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 แปลงค่าได้เป็น

200 100 80 40 20 10 8 4 2 1

MSB LSB

ดังนั้น 200+100 +40 +10 +8 +1 = 359 องศา

BCD bit : 000000 1 0 1 1 0 0 1 1 1 แปลงค่าได้เป็น

256 128 64 32 16 8 4 2 1

MSB LSB

ดังนั้น 256 +64 +32 +4 +2 +1 = 359 องศา

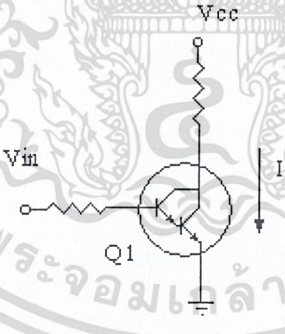
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง

6.1 การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง

โดยความสามารถพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วไม่สามารถนำไปขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูงโดยตรงได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านความสามารถในการจ่ายกระแส ดังนั้น หากต้องการนำเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูงภายนอก จะต้องมรวงจรบัฟเฟอร์ทำหน้าที่จ่ายการแสให้เพียงพอแก่ความต้องการของอุปกรณ์เอาท์พุทนั้น อย่างไรก็ตาม ในส่วนของวงจรบัฟเฟอร์ นั้นก็มีขีดความสามารถในการจ่ายกระแสได้ระดับหนึ่งเท่านั้น กรณีที่ต้องการจ่ายพลังงานสูงจะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสสูงโดยเฉพาะ เรียกอุปกรณ์เหล่านี้ว่า อุปกรณ์ขับ หรือ ไดรเวอร์ (Driver) สำหรับโหลดที่ต้องการกระแสสูงมากๆ ทำให้ต้องมีการแยกระบบกราวด์ ของระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ออกจากวงจรเอาต์พุต เพื่อลดสัญญาณรบกวน และเพื่อป้องกันการย้อนกลับของแรงดันและกระแสสูงที่อาจเข้ามาทำความเสียหายแก่ไมโครคอนโทรลเลอร์

6.2 การใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันขับโหลดกระแสสูง



รูป 6.1 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน

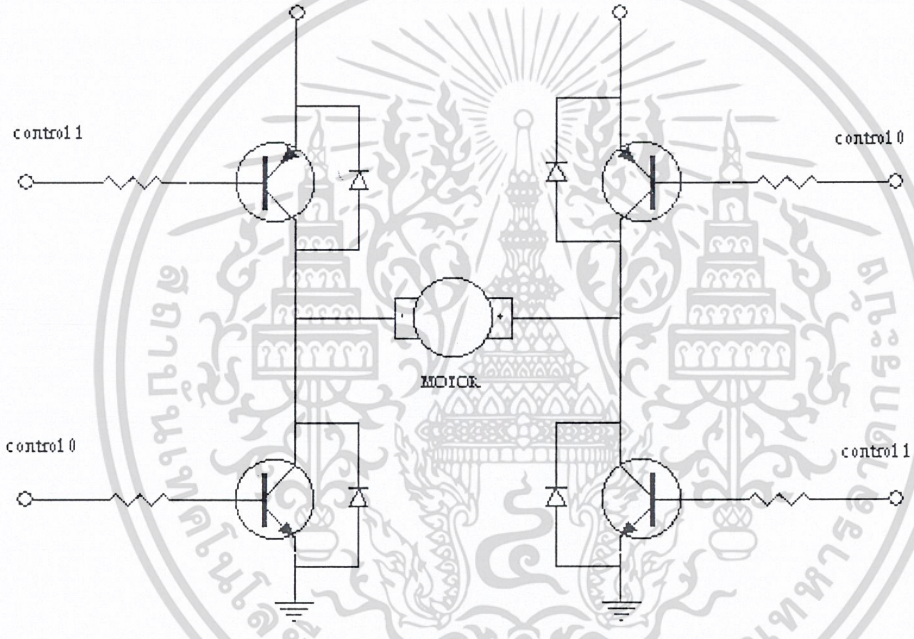
โดยการนำทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อกันแบบดาร์ลิงตัน ทำให้สามารถขับเอาต์พุตได้สูงและมีความเร็วในการทำงานสูงด้วย

จากวงจร ทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันสามารถขับกระแสได้สูงด้วยการต่อกับเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแสเพียงตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 วงจรขับกำลังมอเตอร์กระแสตรง แบบ H

วงจรขับกำลังแบบนี้จะทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ทั้งสองทิศทาง โดยการหมุนในแต่ละทิศทางต้องทำให้ ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นคู่ โดยทำให้ทรานซิสเตอร์ 1,3 ทำงาน และทรานซิสเตอร์ 2,4 ไม่ทำงาน จะทำให้มอเตอร์หมุนด้านหนึ่ง และถ้าให้ทรานซิสเตอร์ 2,4 ทำงาน และทรานซิสเตอร์ 1,3 ไม่ทำงาน ก็จะทำให้ มอเตอร์ หมุนอีกด้านหนึ่ง โดยมีข้อกำหนดคือต้องไม่ให้ทรานซิสเตอร์ ทั้ง 4 ตัวทำงานพร้อมกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรทำให้วงจรเสียหายได้ ไดโอดทั้ง 4 ตัวต่อไว้เพื่อให้กระแสรั่วไหลที่ค้างอยู่ในมอเตอร์ขณะที่หยุดทำงานแล้วสามารถไหลผ่านได้

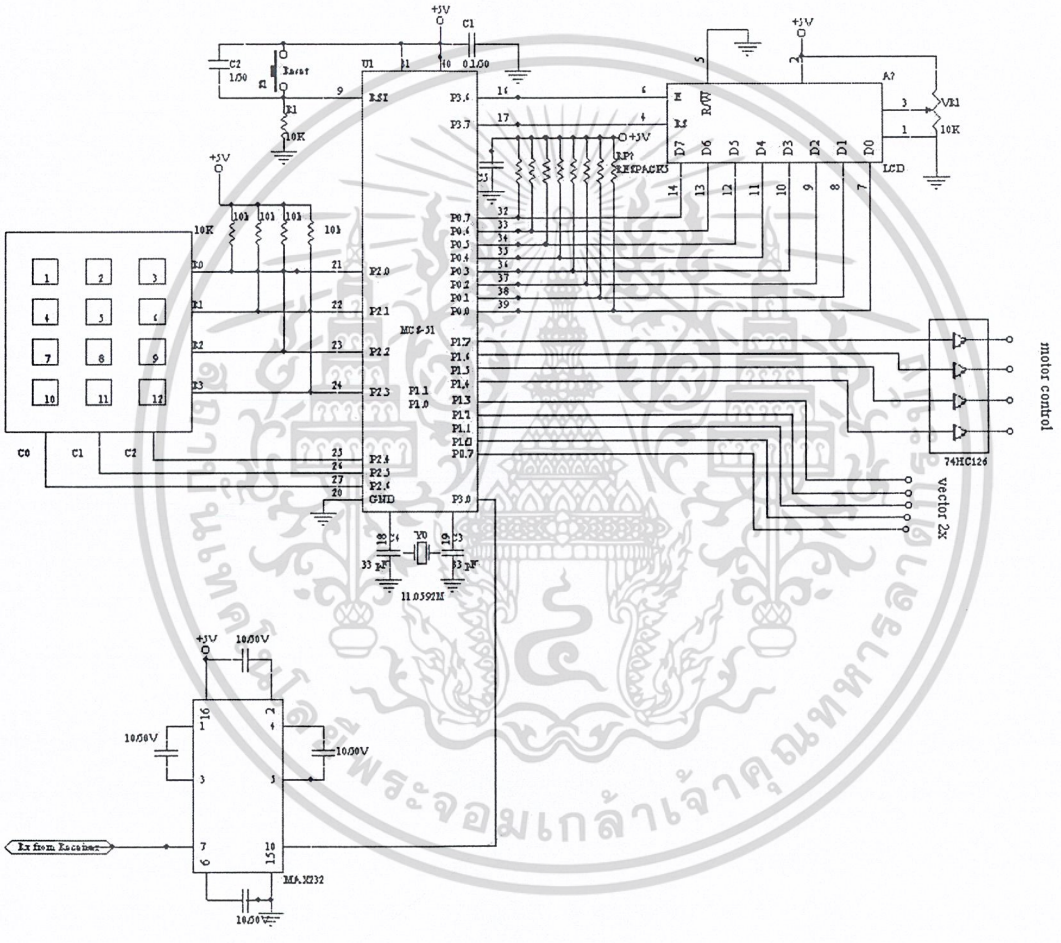


รูปที่ 6.2 วงจรขับกำลัง แบบ H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

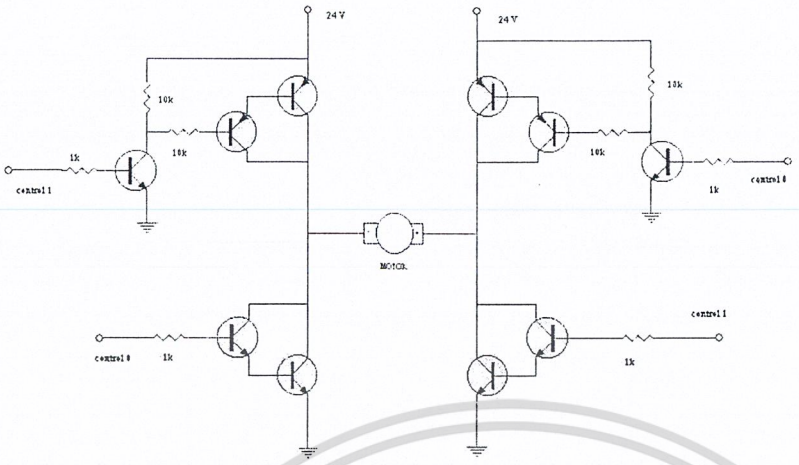
บทที่ 7
การสร้างและการออกแบบ

7.1 วงจรการควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 7.1 วงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 วงจรในส่วนของการขับมอเตอร์

วงจรที่ใช้เป็นวงจรซึ่งประกอบด้วยส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS –51 ต่อวงจร Keypad , LCD , วงจรขับกระแสซึ่งนำไปควบคุมมอเตอร์ , เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ , ไอซีปรับระดับแรงดันในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม มาตรฐาน RS-232 และ วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันจาก decoder ของมอเตอร์

การต่อวงจรขับมอเตอร์เป็นการต่อแบบ H โดยทรานซิสเตอร์ต่อแบบดาร์ลิงตัน ทำให้มีอัตราขยายสูงขึ้น ซึ่งการต่อวงจรแบบ H จะทำให้สามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้ทั้ง 2 ทิศทาง

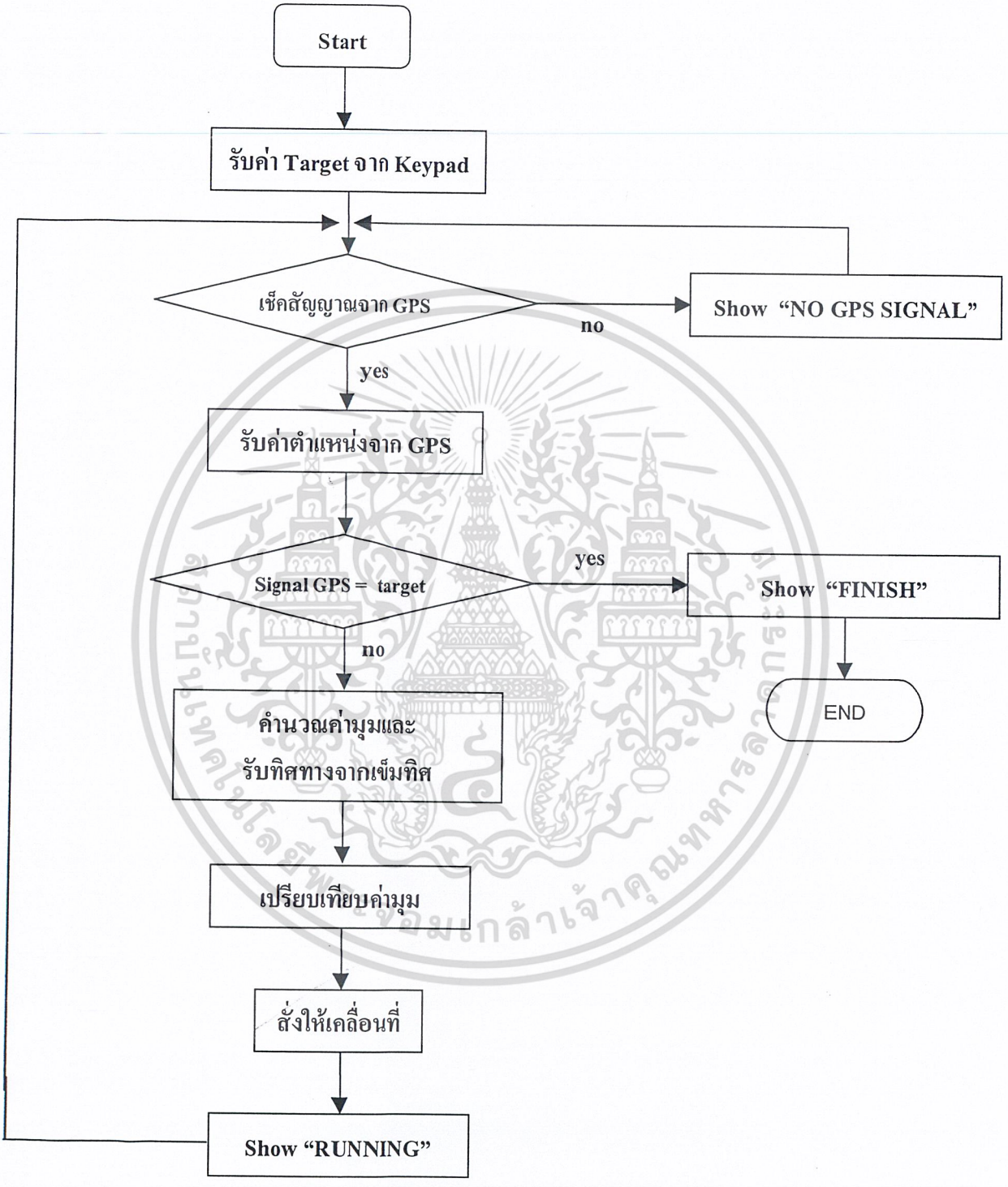
7.2 ลักษณะของหุ่นยนต์

ทำการสร้างรถซึ่งมีลักษณะของล้อขับเคลื่อนเป็นแบบ ตีนตะขาบ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ 2 ตัว ในล้อแต่ละข้าง มอเตอร์แต่ละตัวขับเคลื่อนล้อหลักล้อเดียว ซึ่งมีจุดหมุนอยู่กึ่งกลางของตัวรถ ล้อแต่ละข้างสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระจากตัวถัง ทำให้ขณะที่รถเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง ล้อทั้งสองข้างจะยังคงติดพื้นถึงแม้ว่าพื้นจะเอียงก็ตาม ซึ่งจะช่วยให้รถมีกำลังในการขับเคลื่อนได้ดีขึ้น วัสดุที่ใช้ทำจากโลหะเป็นส่วนใหญ่เพื่อความคงทนแข็งแรง สายพานของตีนตะขาบทำจากสายพานลำเลียงที่ทำจากโลหะซึ่งจะมีความแข็งแรงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถเขียน flow chart ได้ดังนี้



รูปที่ 7.3 โฟล์วชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเริ่มจากให้ microcontroller รับค่าพิกัดเป้าหมายจากผู้ใช้ ซึ่งระหว่างนั้นจะตรวจสอบด้วยว่าพิกัดที่ป้อนเข้ามาผิดจากรูปแบบจริงหรือไม่ จากนั้น microcontroller จะรับข้อมูลจาก เครื่องรับ GPS ซึ่งต้องตรวจสอบว่าสัญญาณที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณที่ใช้งานได้หรือไม่ โดยถ้า เครื่องรับ GPS ไม่สามารถรับข้อมูลของดาวเทียมได้อย่างน้อย 4 ดวง จะถือว่าสัญญาณที่ได้รับไม่สามารถนำมาใช้งานได้ และจะแสดงงผลทางจอ LCD ว่า "NO GPS SIGNAL" แต่ถ้าเครื่องรับ สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ อย่างน้อย 4 ดวง สัญญาณที่รับได้ก็จะเป็นสัญญาณที่ใช้งานได้จริง เมื่อตรวจสอบได้ว่าสัญญาณที่รับได้เป็นสัญญาณจริงแล้ว microcontroller จึงจะรับข้อมูลจาก GPS (ละติจูด ลองติจูด และ เวลาปัจจุบัน) แล้วนำละติจูดและลองติจูด มาเปรียบเทียบกับพิกัดเป้าหมายที่รับจากผู้ใช้ ถ้าไม่ตรงกัน จึงสั่งให้รถเคลื่อนที่ แต่ถ้าตรงกันก็จะสั่งให้รถหยุด แล้วแสดงผลผ่านจอ LCD ว่า "FINISH"

ในการสั่งให้รถเคลื่อนที่นั้น โปรแกรมจะคำนวณทิศทางที่จะไปยังเป้าหมาย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับทิศทางปัจจุบันที่รับมาจากเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์และสั่งให้รถเลี้ยว โดยให้เลี้ยวไปในทิศที่ใกล้กว่า ซึ่งระหว่างนี้จะแสดงผลทางจอLCD ว่า "RUNNING" หลังจากนั้นจึงจะไปรับค่าจาก GPS แล้วนำมาเปรียบเทียบอีก โปรแกรมจะทำงานวนอย่างนี้เรื่อยไปจนกว่า พิกัดที่รับมาและพิกัดเป้าหมายจะเท่ากัน จึงจะหยุดทำงาน

การรับข้อมูลจาก keypad จะให้เทคนิคสแกนคีย์ โดยตรวจสอบการกดแป้นแล้วดูว่าเป็นการกดเลขอะไร หลังจากนั้นจะตรวจสอบการปล่อยแป้นกดเมื่อมีการปล่อยแป้นกดแล้วจึงจะส่งข้อมูลให้โปรแกรมหลักต่อไป ซึ่งจะทำให้ลดผลของการกดแป้นค้างไว้ได้

การสั่งงานให้รถวิ่งนั้น ใช้ข้อมูลจากพอร์ต 1 จำนวน 2 บิท ต่อมอเตอร์ 1 ตัว เป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว ซึ่งต่ออยู่กับมอเตอร์ในลักษณะวงจรขับแบบ H ซึ่งทำให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ทั้งสองทิศทาง ดังนั้นในการเลี้ยวเพื่อเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ จะทำให้มอเตอร์ทั้งสองตัวหมุนสวนทางกัน และรถจะเลี้ยวโดยที่หมุนตัวอยู่กับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
การทดสอบ

8.1 การทดสอบการคำนวณทิศทาง

โดยการสมมติให้โปรแกรมรับค่าจีพีเอสเป็นพิกัดคงที่ ที่ ละติจูด N 13’46.000 และ ลองกิจูด E 100’43.000 แล้วกดค่าพิกัดเป้าหมาย จะได้ผลการคำนวณทางจอ LCD ดังนี้

ละติจูด	ลองกิจูด	ทิศทาง
N 13’45.000	E 100’43.000	179
N 13’46.000	E 100’44.000	89
N 13’47.000	E 100’43.000	00
N 13’46.000	E 100’42.000	270
N 13’45.000	E 100’42.00	224
N 13’47.000	E 100’42.000	315
N 13’47.000	E 100’44.000	44
N 13’45.000	E 100’44.000	135

ตารางที่ 7.1 ผลการคำนวณทิศทาง

7.2 การทดสอบการเดินของรถ

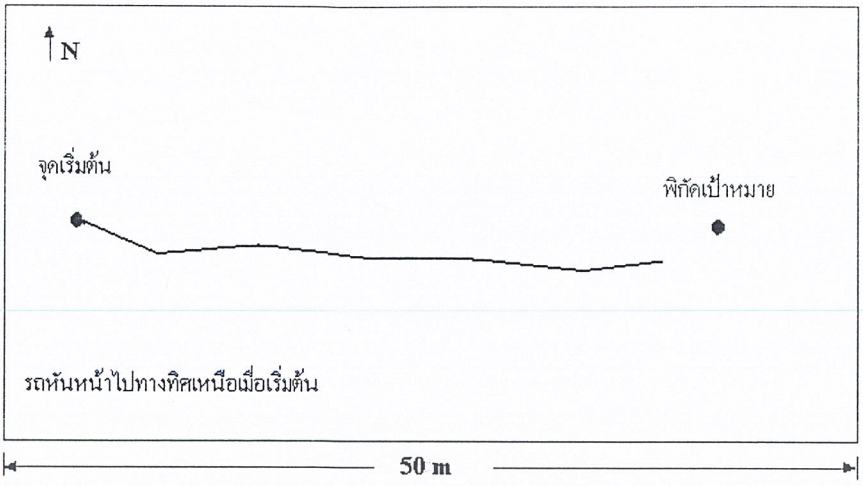
โดยการกำหนดจุดพิกัดเป้าหมาย ซึ่งอยู่ห่างจากจุดเริ่มต้นประมาณ 50 เมตร ไปทางทิศตะวันออก และหันหน้ารถไปในทิศทางต่างๆ กัน ซึ่งได้แก่ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันออก ผลการทดสอบเป็นดังนี้

1) เมื่อให้รถหันหน้าไปทางทิศเหนือ และพิกัดเป้าหมายเป็น

ละติจูด : N 13’43.465 ลองกิจูด : E 100’46.182

จะได้เส้นทางการเดินของรถเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

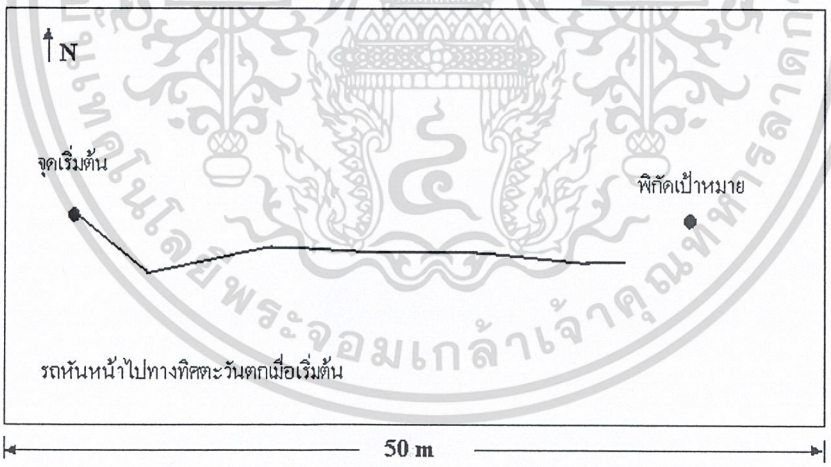


รูปที่ 8.1 รถหันหน้าไปทางทิศเหนือเมื่อเริ่มต้น

2) เมื่อให้รถหันหน้าไปทางทิศตะวันตก และพิกัดเป้าหมายเป็น

ละติจูด : N 13’43.465 ลองกิจูด : E 100’46.182

จะได้เส้นทางการเดินของรถเป็นดังนี้



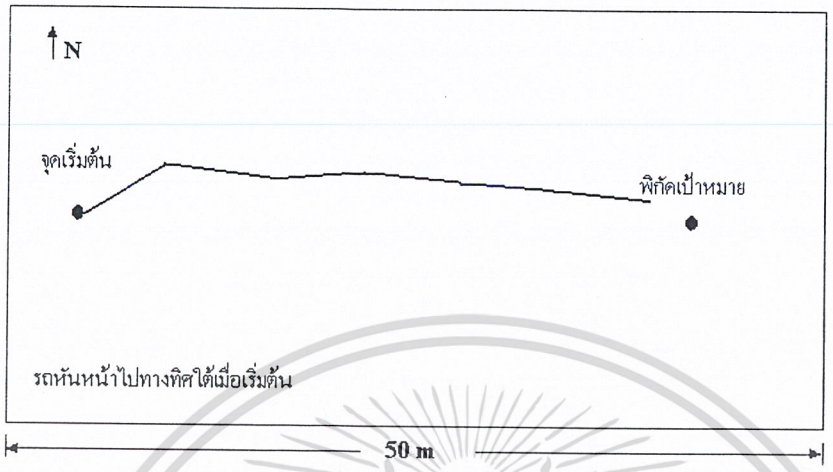
รูปที่ 8.2 รถหันหน้าไปทางทิศตะวันตกเมื่อเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อให้รถหันหน้าไปทางทิศใต้ และพิกัดเป้าหมายเป็น

ละติจูด : N 13’43.465 ลองกิจูด : E 100’46.182

จะได้เส้นทางการเดินของรถเป็นดังนี้

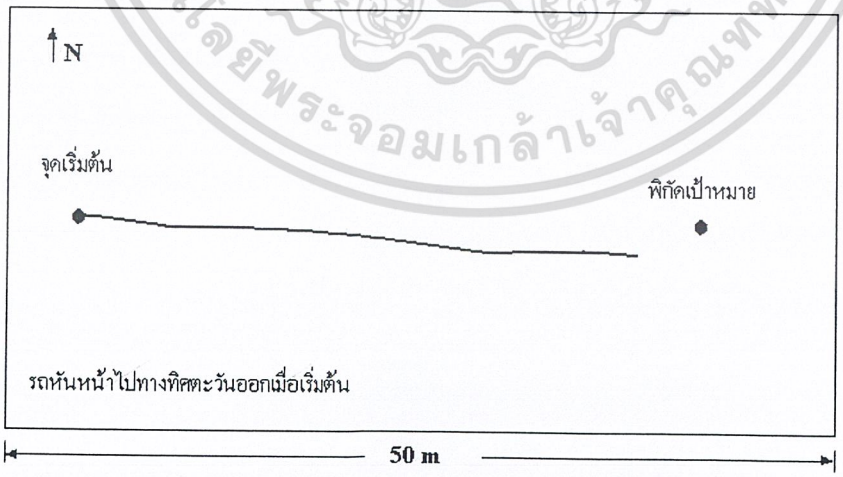


รูปที่ 8.3 รถหันหน้าไปทางทิศใต้เมื่อเริ่มต้น

4) เมื่อให้รถหันหน้าไปทางทิศใต้ และพิกัดเป้าหมายเป็น

ละติจูด : N 13’43.465 ลองกิจูด : E 100’46.182

จะได้เส้นทางการเดินของรถเป็นดังนี้



รูปที่ 8.4 รถหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเมื่อเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
การทดสอบ

รถสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่กำหนดได้ ถึงแม้ว่าทิศทางเริ่มต้นจะไม่เหมือนกัน โดยจากตำแหน่งเริ่มต้น รถจะทำการเลี้ยวไปยังทิศทางเป้าหมายทันทีที่คำนวณข้อมูลเรียบร้อย โดยโปรแกรมกำหนดให้รถเลี้ยวเกินทิศทางที่เป็นจริงไปเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากถ้ากำหนดให้น้อยกว่าหรือเท่ากับทิศทางจริงพอดี อาจทำให้เลี้ยวไปไม่พอ แต่การกำหนดให้เลี้ยวเกิน จะทำให้เกิดการปรับทิศทางจนพอดีได้ ในการเลี้ยวครั้งต่อๆมา

การตรวจสอบว่ารถเคลื่อนที่ถึงพิกัดเป้าหมายแล้วหรือยัง จะไม่ใช้ทศนิยมหลักสุดท้ายมาคิดเนื่องจากถ้ากำหนดให้ตรวจสอบทศนิยมหลักสุดท้ายด้วยอาจจะทำให้รถไม่สามารถตรวจสอบและหยุดรถได้เนื่องจากเป็นการยากที่ทั้งละติจูดและลองกิจูดจะตรงกับพิกัดเป้าหมายได้อย่างพอดี เนื่องจากความผิดพลาดของระบบจีพีเอสเอง ซึ่งอาจทำให้รถเลี้ยววนไปมาโดยไม่สามารถตรวจสอบการหยุดได้ ดังนั้น การไม่ตรวจสอบทศนิยมหลักสุดท้ายจะทำให้เป็นการตรวจสอบว่ารถเคลื่อนที่ถึงบริเวณเป้าหมายหรือยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. กฤษดา ใจเย็น และ คณะ, เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภานนอกผ่านพอร์ตอนุกรม, inex, 2540
2. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51, inex, 2540
3. www.trimble.com/gps
4. www.chipcenter.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VECTOR 2X and 2XG
ELECTRONIC COMPASS MODULES
Complete App. Notes

Vector modules are low-cost, 2-axis compass and magnetic sensor modules suitable for OEM applications. Using Precision Navigation's patented magneto-inductive magnetometer technology (United States Patent #4,851,775), the Vector modules deliver high accuracy, low power, and low cost in small packages.

VECTOR 2X MODULE FEATURES

- Accuracy = 2°
- Small size and weight: 1.50" x 1.30" x 0.39"; 0.3oz.
- Low power requirement: single-sided 5-volt (regulated) supply
- Low resolution output is 5 Hz; high resolution output is 2.5Hz
- Input voltage on all I/O ports: -0.3 to V_{DD} +0.3 volts
- Output voltage on all I/O ports: -0.3 to V_{DD} +0.3 volts
- Output ports can source or sink 5 mA
- 3-wire serial output format (Motorola SPI- and National Microwire-compatible) makes for easy installation into OEM systems
- Hard iron calibration
- Raw uncalibrated output option
- Pin-selectable Binary-Coded Decimal (BCD) or Binary output format
- Polled or continuous mode options
- Master or slave capability for data clock generation
- Operating temperature range: -20°C to 70°C
- Storage temperature range: -30°C to 90°C

VECTOR 2XG offers the above features, plus:

- Dynamic tilt range of ±15°
- Small size: 1.50" x 1.30" x 1.025"

POSSIBLE APPLICATIONS

- GPS system backup azimuth data
- Remote terrestrial antenna direction indicators
- Auto and industrial navigation systems
- Consumer and hobbyist markets
- Survey instruments
- Laboratory equipment
- Robotics systems
- Azimuth indicators
- Vehicle detection
- Detection of magnetic fields or materials

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE OF CONTENTS

OVERVIEW
Introduction to the Vector Series of Modules
Difference between the V2X and the V2XG
The V2X
The V2XG
Features and Specifications
Front of the Vector
Basic Outputs
Protection Against the Elements
Coatings, RTV
Housings
Compass Calibration
Power Considerations
Magnetic Fields
Vibration
Temperature
Output Formats
Raw Outputs
Other Things to Keep in Mind

OPERATING MODES
Master Mode
Slave Mode
RAW Mode

PINS
Pin Descriptions

COMMON PROBLEMS

APPLICATIONS FOR THE VECTOR
Serial-to-Parallel Conversion
Vector 2X Connected to a Motorola Processor
Vector 2X Connected to an Intel-type Processor

CALIBRATION COMPUTATIONS

WARRANTY

APPENDICES
Schematics for Applications
Sample SPI-read code

INTRODUCTION TO THE VECTOR SERIES OF MODULES

PNI makes two modules in the Vector series: the Vector 2X ("V2X") and the Vector 2XG. Other than the gimbal feature of the Vector 2XG, operation of the V2X and the V2XG is the same. Therefore, these Application Notes are for both the V2X and the V2XG. The term "Vector" is used when the statement applies to either module. **Before using a Vector module, please review these Notes carefully to understand the features and limitations.** Besides these Application Notes, PNI does *not* provide any other information (such as sample software for controlling a microprocessor) for applications of the Vector modules.

DIFFERENCE BETWEEN THE V2X AND THE V2XG

The V2X

The V2X is a 2-axis magnetometer that measures the magnetic field in a single plane. This plane is the plane created by its two sensors, which are perpendicular to each other on the board. To calculate heading accurately, a compass must measure the Earth's field in the plane which is level. "Level" means the plane parallel to the surface of a glass of water --- even though the glass tilts, the water's surface will remain "level."

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If the V2X is not level, the calculated heading will have errors related to the tilt of the board from level. Tilt is the pitch and/or roll of the board. The amount of error varies depending on where you are on the Earth. For example, in Mountain View, CA, for each 1° of tilt, there would be about 3° of heading error. In Greenland, for 1° of tilt, there can be about 10° of heading error. The U.S. Geological Survey in Menlo park, CA, publishes maps which relate the error values for various parts of the world. Therefore, try to mount the V2X as level as possible within the host system. For systems that do not require precise heading information when the compass is tilted, the V2X is a cost-effective solution.

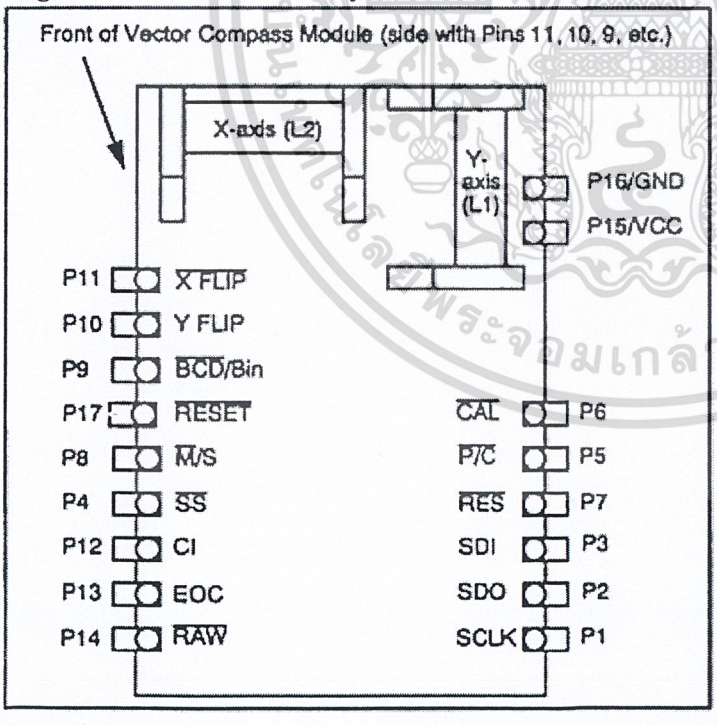
The V2XG

The V2XG uses mechanical gimbals to minimize the effect of tilt in compass applications. The V2XG has gimbals on its two sensors so that when its board is tilted up to 15° from level, its sensors swing back to level, which allows the V2XG to maintain its compass heading accuracy over that tilt range. Therefore, the V2XG is more suitable as a compass than a 2-axis magnetometer.

FEATURES AND SPECIFICATIONS

A board layout of the Vector is shown in Figure 1 below. The pin programmability allows users to set up the compass for their specific needs. The Vector uses a synchronous serial port for communication to the host device (compatible with Motorola SPI, QSPI, and National Microwire). The output data format is pin-selectable between BCD and binary mode, and the serial data output (SDO) is tri-stated when the unit is not selected in Slave mode.

Figure 1: Vector Board Layout



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Front of Vector

When the Vector is used as a compass, heading is calculated with respect to the front of the Vector. The direction the front faces is the heading.

These Notes define the "front" of the Vector as the side of the Vector with nine pins, which are all right next to each other (these pins are $\overline{\text{XFLIP}}$, YFLIP, $\overline{\text{BCD}}$/Bin, $\overline{\text{RESET}}$, $\overline{\text{M}}$/S, $\overline{\text{SS}}$, CI, EOC, and $\overline{\text{RAW}}$). This also assumes that the Vector is mounted with the "pins down," which means that the pins (Pin 1 through 17) would stick in the ground if you set the Vector down on the ground. The V2XG can only be mounted with the pins down so its sensors will swing on the gimbals properly.

To make a different side of the Vector the "front," you need to determine whether XFLIP or YFLIP should be low or high. To mount the V2X with the "pins up" --- the sensor coils would hit the ground if you put it on the ground with the pins up --- you need to determine whether XFLIP or YFLIP should be low or high.

Basic Outputs

The Vector can output either **heading** (also called yaw or azimuth) of the compass module or the **raw outputs** of the two sensors on the board --- these outputs are related to the magnetic field.

- The heading is output in degrees in either binary coded decimal (BCD) or binary output format.
- There are two raw outputs related to the magnetic field. We call one raw output the "X" axis and the other raw output the "Y" axis of the magnetic field. The X-axis reading and the Y-axis reading from the two sensors (the coils) on the Vector are unitless.

PROTECTION AGAINST THE ELEMENTS

Coatings, RTV

The Vector does not have a conformal coating. You can apply one (any standard conformal coating should be fine) to protect the Vector from moisture. However, because the V2XG has mechanical gimbals, any coating should not be put on the gimbals. Also, dust or other particles may get into the moving parts and compromise performance. Therefore, the V2XG should be mounted in a sealed housing for maximum performance. Note that RTV and similar "potting" substances applied to the crystal or the sensors themselves should not hurt the Vector. Adding conformal coating or potting material will only void the warranty (if any applies) if the coating or potting material interferes with repair or otherwise damages the Vector.

Housings

Our customers choose a variety of materials for housings. The housing material should not have a magnetic field and should not shield the module from magnetic fields from the host system or the Earth. Plastic and aluminum are examples of suitable housing materials; note also that screws and other parts of the housing should also be non-ferrous. We do not recommend or offer any particular housing because our customers have very different requirements.

Compass Calibration

When used as a compass, the Vector can calibrate for constant magnetic fields in the host system. However, the Vector cannot calibrate for magnetic fields which are not constantly in the same place with respect to the Vector. For example, in a car, the Vector can subtract the car's magnetic field from the total magnetic field to calculate the Earth's magnetic field (and therefore, heading). However, it cannot correct for a truck driving by. See the description of the "CAL" pin for how to calibrate the Vector.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTE: **The Vector does not have non-volatile memory** (such as EEPROM), so when the power is turned off, it loses its calibration settings. To maintain the calibration settings, the Vector can be kept in "sleep mode" (with a power of 2.5 volts) or the host system can calculate calibration values and headings.

POWER CONSIDERATIONS

POWER SUPPLY. The minimum and maximum supply voltages are standard TTL: 5 V ±0.25 V (or 4.75 V to 5.25 V). The minimum and maximum voltages (for input and output pins) are also standard TTL (4.75 V to 5.25 V). The voltage for the change of state (from "0" to "1") of input and output pints is standard CMOS: less than 1.35 V is a zero, and greater than 3.15 V is a one.

MASTER MODE. When running in master mode, the Vector draws about 6.0 mA; when idle the Vector draws about 300 µA; and with power of 2.5 V, the Vector draws about 100 µA.

SLAVE OR RAW MODE. When running in slave or RAW mode, the Vector draws about 4 mA at the 5 Hz poll rate; when idle the Vector draws about 100 µA; and with power of 2.5 V, the Vector draws about 30 µA.

SLEEP MODE. The Vector is in "sleep mode" when P/C, EOC, and SS are all high because the Vector is inactive. You can lower the power from 5 V to 2.5 V to maintain the calibration information in the Vector; if the power is lower than 2.5 V, the Vector loses the calibration information.

POWER CONSERVATION. If the Vector must be turned off entirely to conserve power in a certain application, you have two options if calibration is needed. Either (1) calibrate the Vector each time it is powered up (which is undesirable in most applications) or (2) have the host system calculate the calibration values and store them in the host's own non-volatile memory. if the host calculates the calibration settings, the host system must also do the heading calculations because the calibration values cannot be fed back into the Vector.

MAGNETIC FIELDS

The Vector calibrates for constant magnetic fields in the host system as long as they do not saturate the sensors. An example of a "host system" is a vehicle where the Vector is mounted on the dashboard.

Static (unchanging) fields create "hard-iron" distortion. These fields can be mathematically modeled as a constant offset when they are always in the same place with respect to the Vector. This means the Vector can compensate for hard iron in the host system because the Vector is mounted within the host system. Note that the farther the Vector is from a source of a magnetic field, the better.

Magnetic fields from sources which are not part of the host system will interfere with the calculation of compass heading. Thus, the Vector can calibrate for its host, but it cannot compensate for some other vehicle driving by or for a steel bridge. For example, the calculated heading can be thrown off a few degrees by a small car that drives about 10 feet away from the Vector.

The Vector cannot be calibrated for magnetic fields that are not static (such as an A/C motor). Its simple calibration routine also cannot compensate for "soft-iron" distortion, which is created by ferrous metals. Soft-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

iron materials distort the magnetic field in different ways when they point in different directions in the Earth's field. If a compass is strapped to a piece of soft-iron and the compass/soft-iron combination is pointed in different directions, the compass measures different offsets from the soft-iron. With hard-iron, the compass measures a constant offset. The effect of soft-iron cannot be modeled as a constant. Therefore, the Vector needs to be as far away from sources of soft-iron distortion as possible --- even a few centimeters of separation can be helpful, as the strength of the field is inversely proportional to the square of the distance.

VIBRATION

Vibration may cause the V2X to tilt because the V2X has no moving parts. We do not have test data on the effects of vibration (that is, we know that some amount of shaking will harm the board, but we do not have test data to show exactly what that amount is). The V2XG also has not been tested in vibration. The mechanically damped gimbal is designed to minimize the effects of vibration.

TEMPERATURE

The temperature range for operation of the Vector (-20°C to 70°C is based on the specifications of the components of the module. The temperature range for storage is -30°C to 90°C.

OUTPUT FORMATS

The Vector has a synchronous serial port for communication with a host system. This port is compatible with Motorola SPI, QSPI and National Microwire. The output can be (1) BCD (binary coded decimal), (2) Binary, or (3) Raw Output. For BCD, the first six bits are zeroes; for Binary, the first seven bits are zeroes. After these zeroes, the first bit out of the Vector is the most significant bit (MSB), and the last bit out is the least significant bit (LSB). The following are examples of BCD and Binary outputs for 359 degrees:

```
OOUTPUT EXAMPLES:

BCD bits   000000    1    1    0    1    0    1    1    0    0    1

where the BCD bits represent the following values:
                   200  100   80   40   20   10    8    4    2    1
                   MSB                                             LSB

                                and 200 + 100 + 40 + 10 + 8 + 1 = 359 degrees.

Binary bits   000000    1    0    1    1    0    0    1    1    1

where the binary bits represent the following values:
                        256  128   64   32   16    8    4    2    1
                        MSB                                     LSB

                                and 256 + 64 + 32 + 4 + 2 + 1 = 359 degrees.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RAW OUTPUTS

Form of Raw Output

The "raw" outputs are the measurements of magnetic field from the Vector's two sensors. One is called the "X" axis and the other is the "Y" axis. The serial data output from SDO is 32 bits. The first 16 bits are X, and the last 16 are Y. The first bit of each of X and Y indicates the sign (+ or -) of the number. X and Y are signed binary numbers from -32,000 to +32,000.

Uses for Raw Outputs

1) Compass heading: From the X and Y magnetic sensor measurements, heading is derived as follows: X divided by Y is the tangent of the heading angle (with respect to north), so the heading angle equals the arctangent (X/Y).

2) Calibrated magnetometers: To relate the raw magnetic sensor X and Y outputs from the V2X to μTesla (or Gauss or another unit), you have to calculate the relationship between magnetic field (e.g., in μTesla or Gauss) and the output from a particular sensor. Each sensor must be calibrated separately; you cannot assume the output from the X-axis sensor in a certain field will be exactly the same as the output from the Y-sensor. The sensors are linear over their operating range, so the formula for magnetic field from a sensor is of the form:

$$X \text{ in magnetic field units} = A1 * (X \text{ from sensor}) + B1$$

To find the constants A1 and B1, place the X-axis sensor in a known magnetic field (e.g., 50 μTesla) so that the long axis of the X sensor is parallel to the field. This value from the X sensor is S1. Then do the same thing in another known magnetic field (e.g., 70 μTesla) to get X2. Use these two known fields and the two measured values from the sensor (X1 and X2) to solve for A1 and B1 using the following two equations:

$$50\ \mu T = A1 * X1 + B1$$

$$70\ \mu T = A1 * X2 + B1$$

For the Y sensor, there is a similar equation:

$$Y\ \mu Tesla = A2 * (Y \text{ from sensor}) + B2$$

Perform similar measurements with the Y sensor in two known magnetic fields to calculate A2 and B2.

NOTE: when the sensors are used in this configuration, the V2X can measure magnetic fields in the range of ±200 μT.

OTHER THINGS TO KEEP IN MIND

- All four of $\overline{P/C}$, $\overline{SS}$, $\overline{CAL}$ and $\overline{RESET}$ must be *high* during power-up. If any of these is low during power-up, the Vector will not operate properly --- it will "hang."
- You can toggle $\overline{RESET}$ after power-up to start the Vector operating properly, but when you reset it, $\overline{P/C}$, $\overline{SS}$ and $\overline{CAL}$ must be high.
- $\overline{RESET}$, $\overline{SS}$, SCLK and $\overline{P/C}$ must be connected to bi-directional I/Os set to inputs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- For sleep mode (to draw the least power), $\overline{SS}$ and $\overline{P/C}$ must be high.
- $\overline{P/C}$, $\overline{SS}$, $\overline{CAL}$, $\overline{RESET}$, $\overline{RES}$, $\overline{M/S}$, BCD/BIN, YFLIP, and $\overline{XFLIP}$ are internally pulled up with 100 kohm resistors. All I/O pins have 15mF capacitors. The voltage for the change of state (from "0" to "1") of input and output pins is standard CMOS: less than 1.35 V is a zero and greater than 3.15 V is a one.

OPERATING MODES

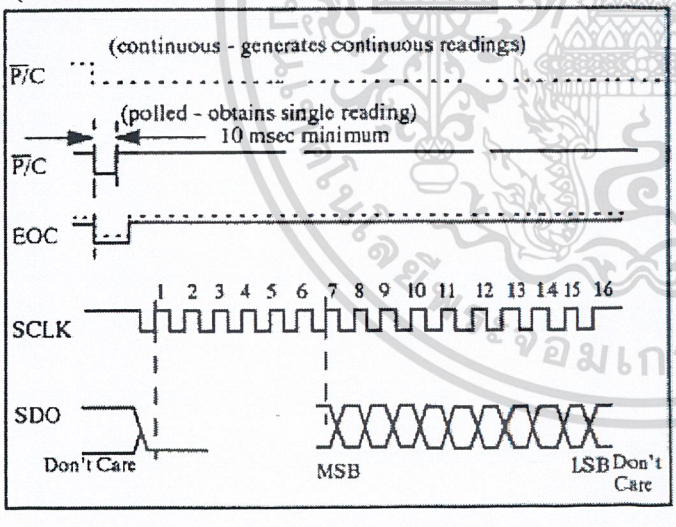
The Vector can operate in three different modes:

- Master Mode
- Slave Mode
- RAW Mode (Slave Mode with RAW outputs)

MASTER MODE

In Master Mode, the Vector generates its own clock (SCLK), which can be an output to clock the host system. You can use master mode to load data into devices such as serial-to-parallel shift registers without a host processor. The serial data output (SCO) is never tri-stated in Master Mode. The V2X can be either polled once or sampled continuously. See Figure 2 below for the timing diagram for master mode --- the dotted line is for continuous outputs; the solid line is for polling the Vector once.

Figure2: Data Clock Timing Diagram (Master Mode 16-bit Data Format)



To put the vector into Master mode:

1. Tie the $\overline{M/S}$ pin low. $\overline{RAW}$ should be high (or not connected).
2. $\overline{SS}$ should be high or not connected.
3. $\overline{BCD}$/Bin should be low for BCD, take it high for Binary output format.
4. For resolution, see the $\overline{RES}$ pin description below.
5. To ask the Vector for output:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

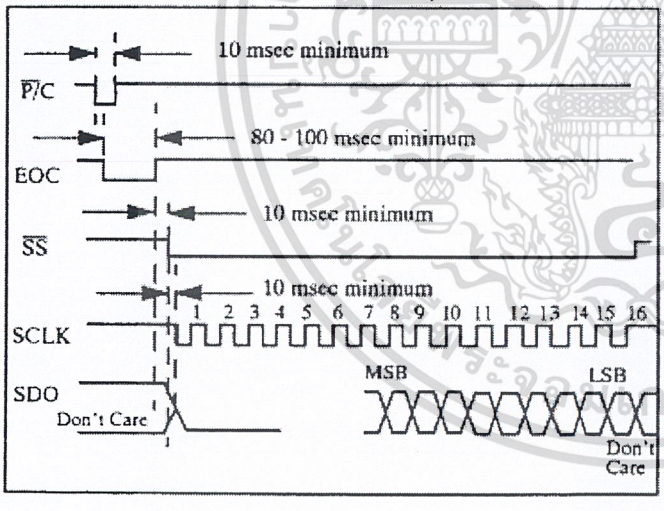
- Pulse $\overline{P}$/C low (for at least 10 msec) to poll (ask) the Vector for one reading.
- Hold $\overline{P}$/C low continuously to have the Vector output data continuously.

6. The Vector calculates the output:
   For a single output request (when $\overline{P}$/C is pulsed for at least 10 msec), after $\overline{P}$/C drops low, the Vector drops EOC low, and then the Vector calculates the output and then EOC goes high.
   - For continuous output (when $\overline{P}$/C is always low), the Vector drops EOC low, and then the Vector calculates the output and then EOC goes high.
7. After the Vector calculates the heading *and while EOC is high*, SCLK is an output of 16 clock pulses at a rate of 4 KHz.
8. After the Vector calculates the heading and while EOC is high, SDO is the heading output; see "Outputs" above.
9. After providing the output:
   - If $\overline{P}$/C was pulsed for one reading, after the Vector gives one output (in BCD or Binary), it goes back into sleep mode until the next time it is polled.
   - If $\overline{P}$/C is low continuously, the Vector automatically will start the cycle over again.

SLAVE MODE

In Slave Mode, the host must clock the data out of the Vector, so the host must provide the clock (SCLK) as an input. The host clock *should not go faster than 1 MHz* (i.e., the maximum rate for clocking out data is 1 Mhz). The timing diagram is shown below.

Figure 3: Data Clock Timing Diagram (Slave Mode 16-bit Data Format)



To put the Vector in Slave Mode:

1. Tie the $\overline{M}$/S pin high. $\overline{RAW}$ should also be tied high (or not connected).
2. BCD/Bin should be tied low for BCD and high for Binary output.
3. For resolution, see the $\overline{RES}$ pin description below.
4. Request a reading:
   - If $\overline{P}$/C and $\overline{SS}$ are not tied together, pulse $\overline{P}$/C low (for *at least* 10 msec) to poll the Vector for one reading. There is no maximum time for holding $\overline{P}$/C low, but $\overline{P}$/C *must be raised again before $\overline{SS}$ is dropped low* (for clocking out data). NOTE: $\overline{SS}$ must be high before $\overline{P}$/C is dropped

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

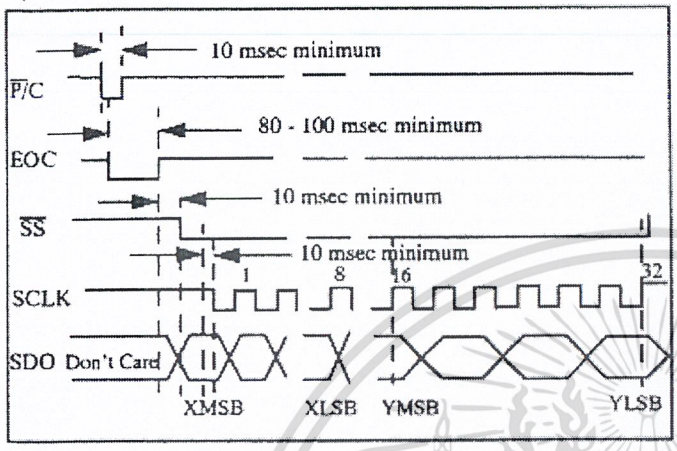
low (until at least 10 msec after EOC goes high).
    - If $\overline{P}/C$ and $\overline{SS}$ are tied together, pulse $\overline{P}/C$ (and $\overline{SS}$) low until the last bit of data is clocked out from SDO.
5. The Vector calculates heading while EOC is low (when EOC later goes high, the data will be ready to be output).
    - After $\overline{P}/C$ is dropped low, the Vector drops EOC low.
    - After the Vector completes its calculation of the output, the Vector takes EOC high. NOTE: $\overline{P}/C$ *must be high before EOC will go high.*
6. After EOC goes high, wait *at least* 10 msec, and then take $\overline{SS}$ low. $\overline{SS}$ must be low while the data is clocked out.
7. SCLK has to receive 16 complete clocks (NOTE: *SCLK should not be more than 1 Mhz*) to clock out the data. The process goes like this:
    - *Before* taking SCLK low, $\overline{SS}$ must be low for a period of time, which depends on your system (e.g., this time was 5 msec in one application. You may have to change this time in your system), then ...
    - Take SCLK low, then ...
    - Take SCLK high, and *then* read the first bit from SDO.
    - Take SCLK through 7 more complete cycles (SCLK goes low, SCLK goes high, read SDO), then ...
    - If your system requires, it may need to wait a period of time, which depends on the system (e.g., this time was 5 msec in one application. You may have to change this time in your system), then ...
    - Take SCLK through 8 more complete cycles (SCLK goes low, SCLK goes high, read SDO). Therefore, when SCLK goes high for the 16th time, the last bit is read from SDO, and SCLK will stay high until the next heading is ready to be clocked out.
    - NOTE: Data is read out which SCLK is *high* (data is valid on the rising edge of SCLK), and there must be 16 rising and 16 falling edges or the Vector will hang.
8. The last bit must be clocked out of the V2X within 20 µsec of SCLK being raised for the last time. The first 15 bits can be clocked out at any time; there can be any delay between bits.
9. After the data is clocked out, take $\overline{SS}$ high again. The Vector goes back into sleep mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RAW MODE

The RAW Mode is actually the slave mode with raw outputs. The timing is the same as for the slave mode, but SCLK needs 32 clocks (instead of the 16 clocks of slave mode). The timing diagram is shown below.

Figure 4: RAW Data Mode Format
(Slave Mode only, 16-bit Data Format)



To put the Vector in RAW mode:

1. Tie RAW low, and tie the M/S pin high (or do not connect M/S) for slave mode with raw output. BCD/Bin should not be high or not connected.
2. P/C, SS and SCLK work the same as in slave mode, except that SCLK requires 32 clocks (instead of 16 clocks).
    - Before each byte (8 bits) is read out, your system may need to wait a period of time, which depends on your system (e.g., this time was 5 msec in one application; you may have to change this time in your system).
    - NOTE: Data is read out while SCLK is *high* (data is valid on the rising edge of SCLK). NOTE ALSO: SCLK should not be more than 1 MHz. The first 31 bits can be read at any time. The last bit must be read within 20 µsec of SCLK being raised.
3. The output is in binary as four bytes (for a total of 32 bits). The output is two signed 16-bit integers.
    - The first 16-bit integer is the binary number of the X-axis field. The first bit out is the sign bit, and then comes the most significant bit of this integer. The sixteenth bit out is the least significant bit of this integer.
    - The second 16-bit integer is the binary number of the Y-axis field. The seventeenth bit out is the sign and the eighteenth bit is the most significant bit of this integer. The thirty-second bit out is the least significant bit of this integer.
    - These two binary numbers to not have *units* (that is, they are unitless). They are each from -32,000 to +32,000. These numbers do not require units (such as tesla) in the calculation of heading because one is divided into the other, so the units are irrelevant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PINS

The pins of the Vector have the following functions:

Vector Pins	Function
P1	SCLK
P2	SDO
P3	SDI (never connected)
P4	$\overline{\text{Slave Select}}$
P5	$\overline{\text{Poll}}$/Cont
P6	$\overline{\text{CAL}}$
P7*	$\overline{\text{Resolution}}$
P8	$\overline{\text{Master}}$/Slave
P9	$\overline{\text{BCD}}$/BIN
P10	Y FLIP
P11	$\overline{\text{XFLIP}}$
P12	Cal Indicator
P13	EOC
P14	$\overline{\text{RAW}}$
P15	Power (+5 volts)
P16	Ground
P17	$\overline{\text{RESET}}$

*The pinout in Figure 1 is the correct pinout of the board. On some Vector boards, Pin 7 ($\overline{\text{RES}}$) is mislabeled as an additional "P4" (Pin 4 is also labeled as "P4" on these boards). The $\overline{\text{RES}}$ pin is the pin between P/C and SDI.

PIN DESCRIPTIONS

Following are descriptions of the pins' functions, states and related pins (in alphabetical order by function):

$\overline{\text{BCD}}$/BIN. The $\overline{\text{BCD}}$/BIN pin chooses between binary coded decimal and output formats.
$\overline{\text{BCD}}$/BIN pin should be low for binary coded decimal (BCD) output format.
$\overline{\text{BCD}}$/BIN pin should be high for binary output format.
$\overline{\text{RAW}}$ must be high for either BCD or binary output in master or slave mode.
For raw outputs, $\overline{\text{RAW}}$ is low, and $\overline{\text{BCD}}$/BIN must be high or not connected.

$\overline{\text{CAL}}$. The Calibration pin is used to calibrate the Vector.
P/C must be high during calibration.
$\overline{\text{CAL}}$ is high while the Vector is operating (and is not being calibrated).
To calibrate the Vector, (1) point the host system (with the Vector mounted in it) in any direction; (2) take $\overline{\text{CAL}}$ low for at least 10msec; (3) take $\overline{\text{CAL}}$ back high; (4) rotate the host system (with the Vector mounted in it) 180° (so it is facing the opposite direction and is again level); (5) take $\overline{\text{CAL}}$ low for at least 10 msec again; and (6) take $\overline{\text{CAL}}$ back high to complete calibration.
TO ABORT calibration or to clear a previous calibration, pulse the $\overline{\text{CAL}}$ pin low (for at least 10 msec) twice *without* moving the Vector.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CI. The Calibrate Indicator pin indicates when the Vector is in calibration mode.
The CI pin goes high after $\overline{\text{CAL}}$ is pulsed low (for at least 10 msec) the first time. After $\overline{\text{CAL}}$ is pulsed again, CI goes low again to indicate the Vector is no longer in calibration mode.

EOC. The EOC pin works as follows:
In master mode, EOC drops low after the Vector is polled by dropping $\overline{\text{P}}$/C low (EOC drops low about 4-5 msec after $\overline{\text{P}}$/C is dropped). After the Vector calculates the heading, *EOC goes high* and then the clock (SCLK) is an output (16 clock pulses at a rate of 4 Hz) and SDO is also an output.
In slave mode or RAW mode, the end of convert pin indicates that the Vector has completed all calculations. EOC drops low after the Vector is polled by dropping $\overline{\text{P}}$/C low (EOC drops low about 4-5 msec after $\overline{\text{P}}$/C is dropped low). When EOC goes high again (after about 80-100 msec), the data is ready to be retrieved.
In slave or RAW mode, after EOC goes high to indicate the end of conversion, wait at least 10 msec before dropping $\overline{\text{SS}}$ low.

GRD. The Ground pin must be tied to ground.

$\overline{\text{M/S}}$. The $\overline{\text{Master/Slave}}$ pin selects between master and slave mode.
For master mode, $\overline{\text{M/S}}$ is low, and $\overline{\text{SS}}$ should not be connected.
For slave mode, $\overline{\text{M/S}}$ is high.
For RAW mode, $\overline{\text{M/S}}$ is high and $\overline{\text{RAW}}$ is tied low.

$\overline{\text{P}}$/C. The $\overline{\text{Poll}}$/Continuous pin asks the Vector for data when it is pulled low.
$\overline{\text{P}}$/C must be low *for at least 10 msec* to poll the Vector for one reading.
$\overline{\text{P}}$/C must be high during power-up, calibration (CAL) and RESET.
In master mode, keep $\overline{\text{P}}$/C low for the Vector to continuously output data.
In slave or RAW mode, $\overline{\text{P}}$/C must be high before $\overline{\text{SS}}$ goes low for clocking out the data (if $\overline{\text{P}}$/C and $\overline{\text{SS}}$ are not tied together).

POWER. The Power pin must be tied high to +5 Volts (±0.25 Volts) for operation. To maintain calibration settings in sleep mode, power must be greater than 2.5 V. A low battery may cause the output to drift.

$\overline{\text{RAW}}$. The $\overline{\text{RAW}}$ pin selects raw outputs of the X and Y magnetometer readings. The RAW mode is a slave mode with raw outputs.
For RAW mode, $\overline{\text{RAW}}$ must be tied low.
$\overline{\text{M/S}}$ must be high (or not connected) for raw outputs.
$\overline{\text{BCD/Bin}}$ must be high (or not connected) for raw outputs.
Data is only available in *binary* output format in RAW mode; see the description of raw outputs above.

$\overline{\text{RES}}$. The $\overline{\text{Resolution}}$ pin determines how much resolution the Vector gets in its calculations of heading.
To sample the Vector faster, $\overline{\text{RES}}$ is grounded for low resolution --- the Vector is usually set for low resolution so that it can be sampled faster.
choose high resolution ($\overline{\text{RES}}$ high) for areas with weak magnetic field strength.
$\overline{\text{RES}}$ can be low or high in Master, Slave or RAW mode.
The actual sample rate of the Vector depends on the magnetic field (whether $\overline{\text{RES}}$ is high or low). The Vector will operate more slowly in strong magnetic fields. From experiments, the slowest sample rate in low resolution mode is 5 Hz, and it can go up to about 10 Hz. The slowest rate in high resolution mode is 2.5 Hz, and it can go up to about 5 Hz.
The accuracy specification for the Vector is for the high resolution mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESET. The RESET pin resets the Vector. Use RESET when the Vector enters an unknown state or hangs; e.g., if the outputs are outside of the expected range (such as 0° to 359°), the Vector should be reset.
During normal operation, RESET is high.
To reset the Vector, take RESET low for *at least* 10 msec (and then take RESET high again). The P/C, SS and CAL pins *must be* high during the reset pulse.
If the P/C, SS, CAL and RESET pins are not all *high* at power-up, toggle RESET after power-up to start the Vector operating properly.
After RESET is pulsed low, wait *at least* 500 msec before taking P/C low to poll the Vector.
Resetting the Vector will clear any calibration data stored by the Vector. After reset, a new calibration should be done.

SCLK. The Serial Clock pin is either an input or an output.
In master mode, SCLK is an output; the rate is 4 Khz.
In slave mode, SCLK is an input, and data must be read from the Vector *when SCLK is high* (data is valid on the rising edge of SCLK). The maximum rate for clocking out data is 1 Mhz. There is no minimum time that the data is valid, so you can wait as long as you want before clocking out a bit of data.
In slave mode, the Vector must receive 16 falling and 16 rising edges of the clock (32 of each in RAW mode) to clock out the data before it is polled again (unless it is RESET before the next time it is polled again).

SDO. The Serial Data Out pin is the output pin. See the description of the Outputs above.
In slave mode or RAW mode, data must be read from SDO *when SCLK is high* (data is valid on the rising edge of SCLK).

SDI. The Serial Data In pin is no used, so it does not need to be connected.

SS. The Slave Select pin is not connected in master mode. SS can be tied to P/C in slave mode, but this ties up the serial port for the entire time that SS is low. Assuming SS and P/C are *not* tied together in slave mode:
SS cannot be low before P/C is dropped low to poll the Vector (otherwise the Vector will hang).
SS must be high which the Vector is doing calculations (while P/C is low and while EOC is low).
P/C must be high before SS is dropped low. That is, pulse P/C for at least 10 msec to poll the Vector, but make sure you take P/C high before dropping SS low to clock out data.
After EOC goes high, wait at least 10 msec before dropping SS low so data can be clocked out.
After SS is taken low, you may need to wait a short time (e.g., 5 msec) before dropping SCLK low to clock the data out (SDO).

XFLIP. The XFLIP pin flips the X axis. For operation of the Vector with its pins down (see the discussion of the "front of Vector" above) for outputs from 0° to 360° going from North (0°) to East (90°) to South (180°) to West (270°), XFLIP should be high.
Use XFLIP and YFLIP to choose the "front" of the board. See discussion of the "front" above for more detail.

YFLIP. The Y FLIP pin flips the Y axis. For operation of the Vector with its pins down for outputs from 0° to 360° going from North (0°) to East (90°) to South (180°) to West (270°), YFLIP should be low.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMMON PROBLEMS

PROBLEM 1:

The X-component or Y-component of the RAW output is always zero or is always -1; or in slave mode, the output is constant.

Common Cause #1: $\overline{P}$/C is not high before $\overline{SS}$ is taken low.
Common Cause #2: The host system does not have the correct timing for reading the output. Most often, the Vector is not receiving 16 (32 in RAW mode) complete clock cycles to output the data.
Common Cause #3: A sensor coil is broken and needs to be replaced. Call the company you purchased the product from for instructions on returning the unit for repair. *Do not return any product to PNI before calling PNI.*

PROBLEM 2:

When the Vector is stationary, the output drifts more than 2 or 3 degrees. You should not see more than 2 or 3 degrees of drift while the Vector is stationary.

Common Cause #1: A low battery may cause the output to drift. Make sure the power is a regulated +5 V.
Common Cause #2: The host system does not have the correct timing for reading the output. Most often, the Vector is not receiving 16 (32 in RAW mode) complete clock cycles to output the data.

APPLICATIONS FOR THE VECTOR

Typical compass applications for the Vector are described below; they demonstrate how to connect the Vector to various types of circuits and *are not intended to be finished designs.* For magnetometer applications, the V2X should be in Slave Mode.

NOTE: For the schematics shown in Figures A1 to A3 of Appendix A, the battery is used to maintain RAM data, so hard iron calibration is not lost during powerdown of circuit. Regulated +5 V is still required for operation of the Vector.

Serial-to-Parallel Conversion
Vector Connected to a Motorola Processor
Vector Connected to an Intel-type Processor

SERIAL-TO-PARALLEL CONVERSION

The circuit described here is a Vector with serial-to-parallel shift registers and an LED display. The schematic for this application is shown as Figure A1 in Appendix A.

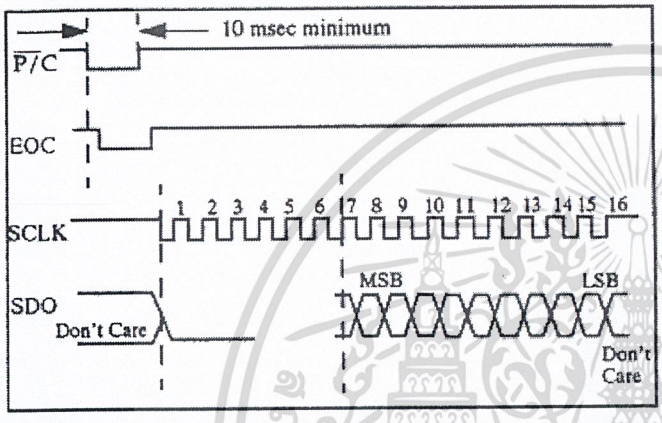
The Vector is used in the following configuration:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inputs:	$\overline{M}/S = 0$	Master Mode operation
	$\overline{BCD}/Bin = 0$	BCD output format
	$\overline{RES} = 0$	Low resolution
	$\overline{XFLIP}$ = open	X normal
	Y FLIP = 0	Y normal
	$\overline{RAW}$ = open	Not RAW magnetometer output mode

Figure 5 illustrates the timing diagram for this arrangement.

Figure 5: Timing Diagram for Connecting Vector with Serial-to-Parallel Shift Registers



In this configuration, the Vector is ready to output data to the shift registers when the $\overline{P}/C$ pin is grounded. If $\overline{P}/C$ is held low continuously, the heading data should be ready out entirely before the Vector outputs the next reading. SDO of the Vector is connected to the serial input of the shift registers, which converts the serial data stream to a parallel format. The data from the Vector is clocked with the SCLK signal, and the format is most significant bit (MSB) first. Ten bits are required to indicate 0 to 359 degrees (BCD), and the first six bits are always sent as zeroes. The parallel outputs of the shift registers are connected to two 8-bit latches. When $\overline{P}/C = 0$, the Vector acquires heading information and outputs the data when the calculations are complete. The data at the output of the latches is BCD-formatted data which can be connected to an LCD or LED through the appropriate display driver ICs. The Vector acquires and outputs heading data for as long as the $\overline{P}/C$ pin is pulled low; when the $\overline{P}/C$ pin is pulled high, the Vector finishes the last heading, outputs the data and then returns to sleep mode.

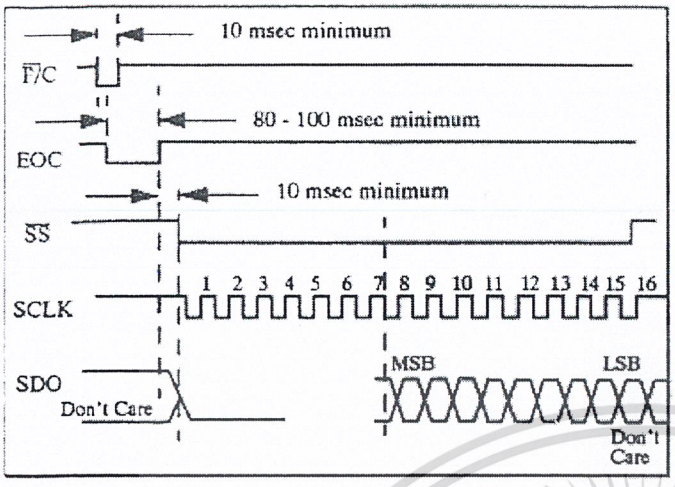
VECTOR CONNECTED TO A MOTOROLA PROCESSOR

The Vector can be connected to a Motorola 68HC705C8 processor, or similar Intel-type processor, with a synchronous serial bus. A good discussion on SPI can be found in any Motorola Microprocessor, Microcontroller and Peripheral Data handbook. Some SPI read code can be found In Appendix B; its corresponding schematic is shown in Figure B1. PNI does not provide any other sample code.

Figure 6 shows the timing diagram for this connection; the schematic is presented in Figure A2 of Appendix A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 6: Timing Diagram for Connecting Vector to a Motorola or Intel-Type Processor



As shown in Figure A2, the Vector shares the serial bus with a MC14489P display driver. The SCLK line from the processor is connected to both the display driver and the Vector; SDO is connected to PD2/MISO (master in, slave out) and SDI is not connected. The processor requests heading data from the Vector, retrieves the data, reformats the data into BCD format suitable for the display driver, then outputs the data to the display driver (the output from the Vector in this case is set to Binary output mode, but it can also be set to BCD format if so desired).

The Vector is used in the following configuration:

Inputs:	$\overline{M/S}$ = open	Slave Mode operation
	$\overline{BCD/Bin}$ = open or closed	Either format
	$\overline{RES}$ = 0 or 1	Depending on application
	$\overline{XFLIP}$ = open	X normal
	Y FLIP = 0	Y normal
	$\overline{RAW}$ = open	Not RAW magnetometer output mode

These settings set the Vector to Slave Mode. X-axis and Y-axis are in the normal positions, and the input to the $\overline{RES}$ pin determines resolution.

The Motorola processor was set to acquire data from the Vector at a rate of 0.5 second per data request. The processor updates the display and goes into a wait mode until 0.5 second elapses, then it repeats the cycle. The $\overline{P/C}$ pin is used to tell the Vector how to acquire new heading data. The $\overline{SS}$ pin and the $\overline{P/C}$ pin are connected to different ports of the processor, which allows the processor to tal to other devices on the bus while the Vector calculates heading.

The Vector wakes up from sleep mode on the falling edge of $\overline{P/C}$. The EOC pin drops when the Vector starts to acquire data; the rising edge on the EOC pin indicates heading data has been acquired, and the Vector returns to sleep mode. $\overline{P/C}$ must be high before $\overline{SS}$ goes low. At this point the data is available at the serial port (SDO) of the Vector; the processor must now drop $\overline{SS}$ low to retrieve the data and provide 16 complete clocks (16 falling *and* 16 rising edges) to retrieve the data. In slave mode, SCLK must be supplied by the processor to output the data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The data is valid on each rising edge of the 16 clock pulses of SCLK. The processor must supply the SCLK pin with the serial data clock; 16 complete clocks (16 falling and 16 rising edges) are required to transfer all of the data from the Vector. After the 16th clock elapses, the processor must raise $\overline{SS}$, which allows the Vector to return to sleep mode and prepare for the next cycle of $\overline{P}$/C readings.

VECTOR CONNECTED TO AN INTEL-TYPE PROCESSOR

Some applications may employ the Vector to control a stepper motor to keep the orientation of the directional component of the system constant with the direction of the compass. In this configuration, the Vector is connected to a non-SPI processor (see Figure A3 of Appendix A). To start the Vector, the host drops $\overline{P}$/C for 10 msec and raises it again, which initiates the compass data acquisition process. The EOC line drops soon after the falling edge of $\overline{P}$/C and returns to a high state when the heading calculation is complete; at this time, the data is ready and can be retrieved from the Vector by dropping $\overline{SS}$ and providing 16 complete clocks to SCLK.

The data is valid on each rising edge of the 16 clock pulses of SCLK. The processor must supply the SCLK pin with the serial data clock (see Figure 6 for timing diagram). The data from the Vector appears at SDO and must be logically ORed with the accumulator, then shifted right eight times for each byte.

An alternate method for connecting the Vector to a host processor is illustrated in Figure A4 of Appendix A; this configuration can be used if there are no other serial devices to be connected.

The $\overline{P}$/C pin and the $\overline{SS}$ pin are connected together to reduce the number of I/O pins required. The EOC pin can be connected to the processor to signal the processor that the data is ready to be clocked out using SCLK. This application ties up the serial port for the entire time the Vector is calculating the heading. The $\overline{P}$/C pin is keps low until the data is retrieved only because it is tied together to the $\overline{SS}$ pin. Toggling $\overline{P}$/C before the data is completely output causes the Vector to overwrite the old data, even if there is untransmitted data from the previous conversion.

CALIBRATION COMPUTATIONS

The Vector does not have non-volatile memory (such as EEPROM). Therefore, when the power is turned off, it loses its calibration settings. To save the calibration settings so that it does not have to be calibrated each time it is powered up, your host system can calculate the calibration values and store them in its non-volatile memory. This means that your host system will also do the heading calculations during normal operation of the compass.

To calibrate the Vector:

1. Set the Vector to operate in RAW mode with raw outputs, and place the Vector in the host system (where it will operate). The Vector should be as level as possible during calibration and operation (e.g., place it on the dashboard of a car).
2. Point the host system (e.g., the car) in any direction (e.g., 50°) and take a reading of the raw X and Y values. Point the host system in the opposite direction (e.g., 230°) and take another reading of the raw X and Y values. These two directions should be different by 180° for the best calibration (i.e., you have just taken two readings in directions that are 180° apart, so you have two X and Y values from

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the sensors).
   - Assume (X_1, Y_1) and (X_2, Y_2) are the two readings of magnetic field that you took.
3. In operating the compass, as you move the Vector so its heading changes, you will use the readings of raw X and Y to calculate heading.
   - Assume (X_n, Y_n) is the actual output from the Vector for a particular direction.
4. The actual reading of (X_n, Y_n) is made up of the Earth's magnetic field (X_e, Y_e) and a constant offset (X_0, Y_0):
   (A) $X_n = X_e + X_0 \quad Y_n = Y_e + Y_0$
   where:
   (X_e, Y_e) is the Earth's magnetic field. These are the values, which are used to calculate heading. (X_0, Y_0) is the constant offset which results from the local magnetic field of the system in which the Vector is mounted.
5. Solve for the Earth's magnetic field by subtracting the constant offset values from both sides:
   (B) $X_e = X_n - X_0 \quad Y_e = Y_n - Y_0$
6. The hard-iron offsets (X_0, Y_0) are the same at both (X_1, Y_1) and (X_2, Y_2). The Earth's magnetic field at (X_1, Y_1) is opposite the Earth's magnetic field at (X_2, Y_2) --- because they are 180° apart --- so adding (X_1, Y_1) and (X_2, Y_2) gives:
   (C) $X_1 + X_2 = 2X_0 \quad Y_1 + Y_2 = 2Y_0$
7. Solve equation (C) for the constant offset values, X_0 and Y_0, which you store in the host's nonvolatile memory:
   (D) $X_0 = (X_1 + X_2)/2 \quad Y_0 = (Y_1 + Y_2)/2$
8. For each reading (X_n, Y_n) from the Vector, your system calculates the heading (angle A_e) with (X_e, Y_e):
   $A_e = \text{ARCTANGENT}(X_e/Y_e) = \tan^{-1}(X_e/Y_e)$
   where:
   $X_e = X_n - X_0 \quad Y_e = Y_n - Y_0$

   (NOTE: This equation for A_e assumes the arctangent function goes from 0° to 359°.)

WARRANTY

LIMITED WARRANTY - UNITED STATES CUSTOMERS

Precision Navigation, Inc. ("PNI") warrants each Vector 2X or Vector 2XG module purchased by a person or entity ("Buyer") in the United States directly from PNI ("Product") against defects in materials and workmanship for a period of NINETY (90) DAYS from the date of original purchase of the Product by Buyer.

This warranty does not apply if the damage was caused by accident, abuse, misuse or misapplication of the Product or by service or alteration of the Product by anyone (including but not limited to the Buyer) other than PNI; if the Product has been modified (including but not limited to application of solder to any part of the Product), serviced or altered by anyone without the written permission of PNI; or if the Buyer cannot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

provice proof of original purchase from PNI.

PNI's liability is limited (at PNI's sole election) to (1) refund of Buyer's purchase price for the Product (without interest), (2) repair of the Product, or (3) replacement of the Product, provided, however, that for any such refund, repair, or replacement first the Buyer must contact PNI for a return material authorization number ("RMA") which will be issued in PNI's sole discretion, and then the Product must be reutnred to PNI during the warranty period, transportation, shipping, and insurance charges prepaid, with (a) its RMA, (b) acceptable documentation of purchase from PNI, and (c) a complete description of the defect.

THE WARRANTY AND REMEDIES SET FORTH ABOVE ARE EXCLUSIVE AND IN LIEU OF ALL OTHERS, AND PNI MAKES NO OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS, EXPRESS OR IMPLIED, AND WITHOUT LIMITING THE FOREGOING, PNI SPECIFICALLY DISCLAIMS ANY AND ALL IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING WITHOUT LIMITATION WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. No PNI distributor, agent or employee (or any other person or entity) is authorized to make any modification, extension or addition to this warranty.

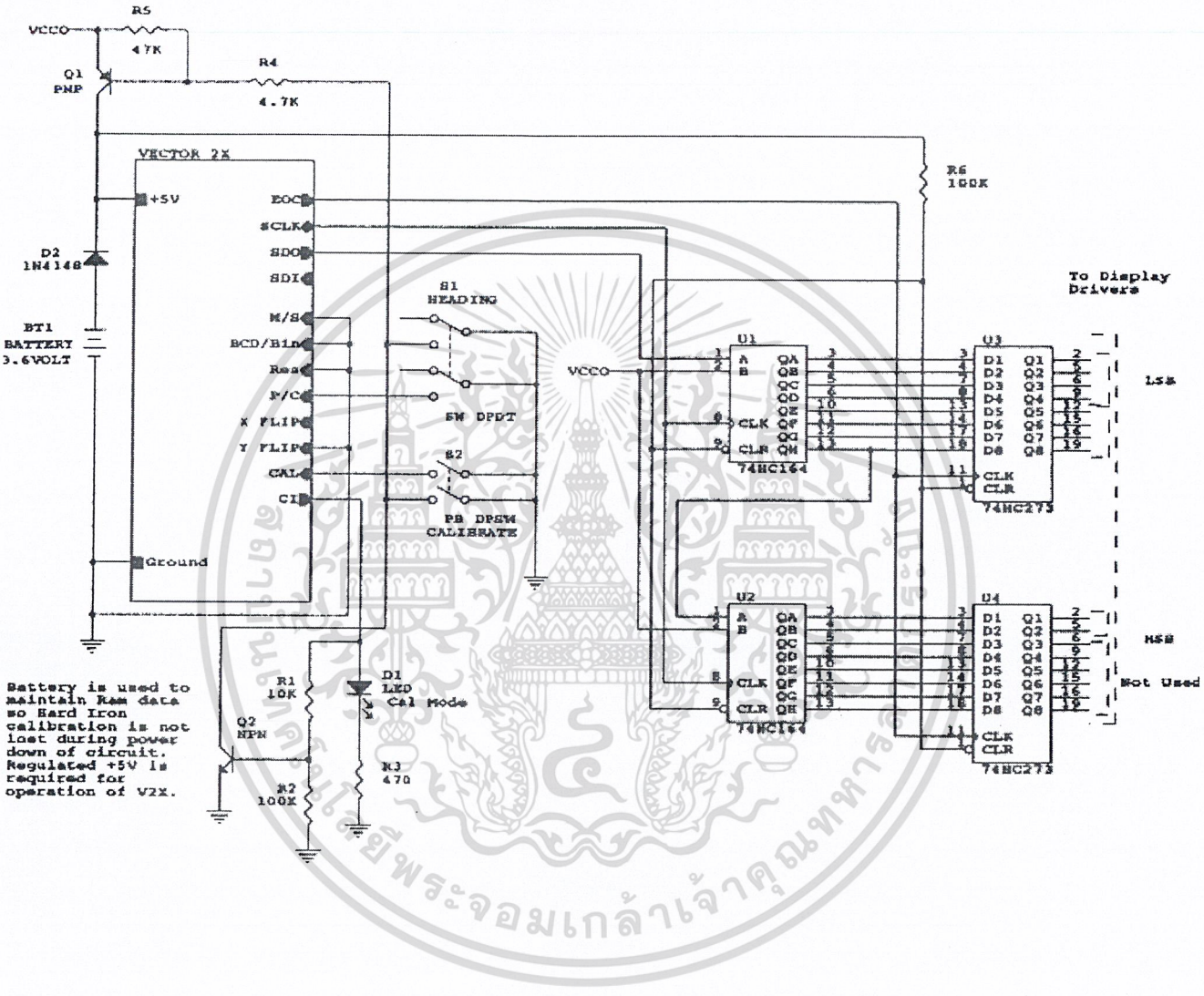
PNI SHALL NOT BE LIABLE OR RESPONSIBLE FOR ANY INDIRECT, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, OR SPECIAL DAMAGES OF ANY KIND, INCLUDING WITHOUT LIMITATION LOSS OF PROFIT, PROMOTIONAL OR MANUFACTURING EXPENSES, OVERHEAD, BUSINESS INTERRUPTION OR LOSS OF GOODWILL, RESULTING FROM ANY BREACH OF WARRANTY OR UNDER ANY OTHER LEGAL THEORY. Some states do not allow the exclusion or limitation of incidental or consequential damages or exclusion of limited warranties, so the above exclusions or limitations may not apply to you. This warranty gives you specific legal rights, and you may also have other rights that vary from state to state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX A

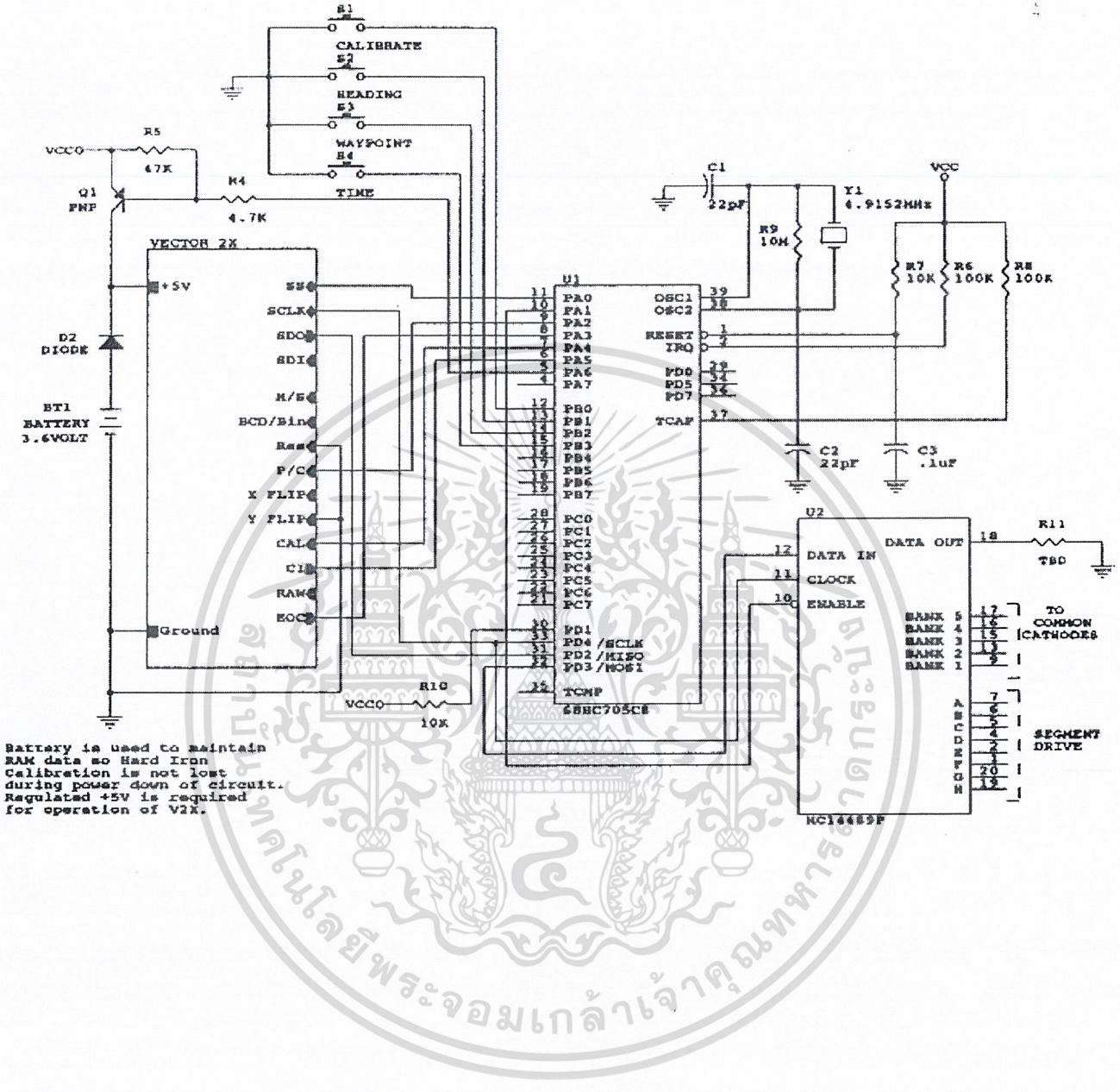
SCHEMATICS FOR *APPLICATIONS FOR THE VECTOR*

Figure A1: Schematic for Connecting Vector 2X with Serial-to-Parallel Shift Registers



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure A2: Schematic for Connecting Vector 2X to a Motorola Processor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure A3: Schematic for Connecting Vector 2X to an Intel-Type Processor

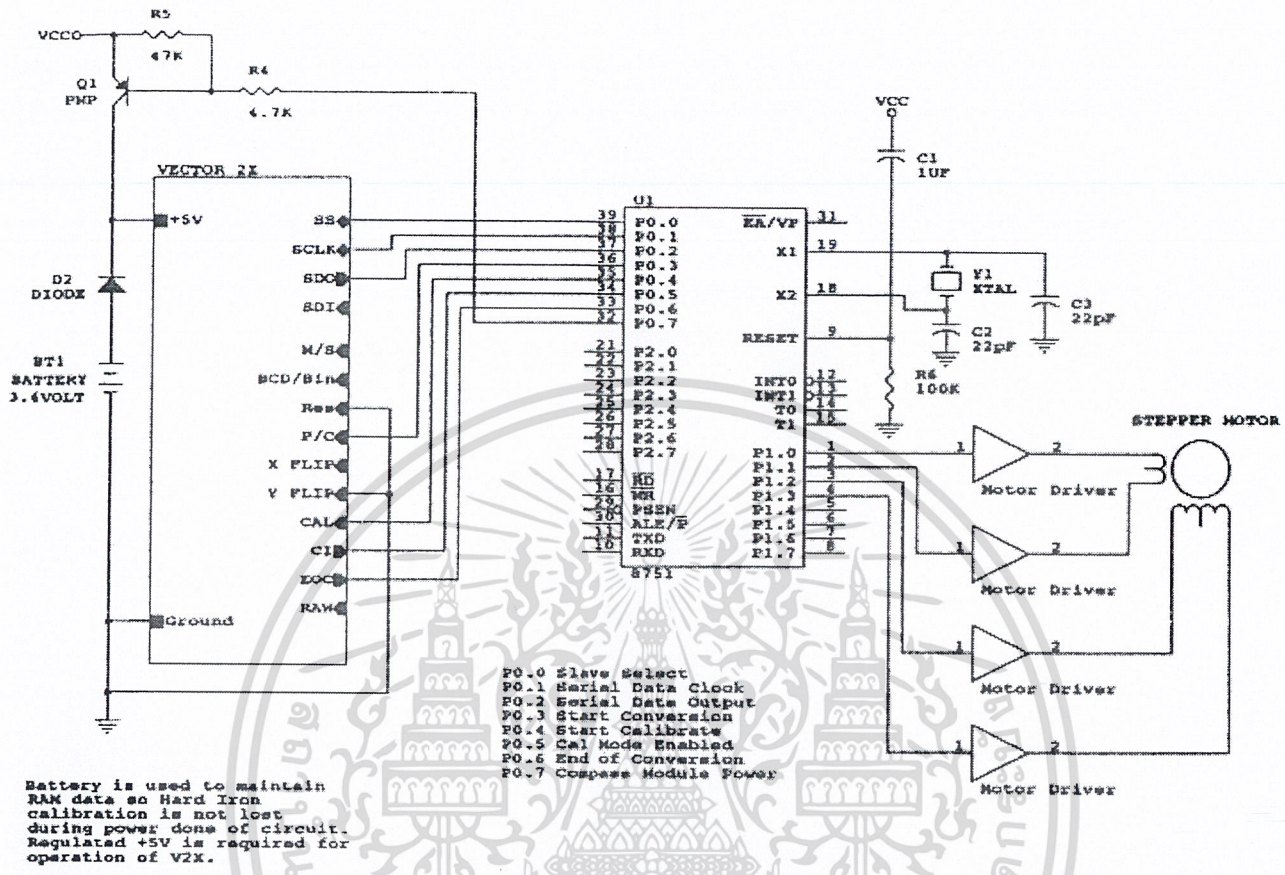
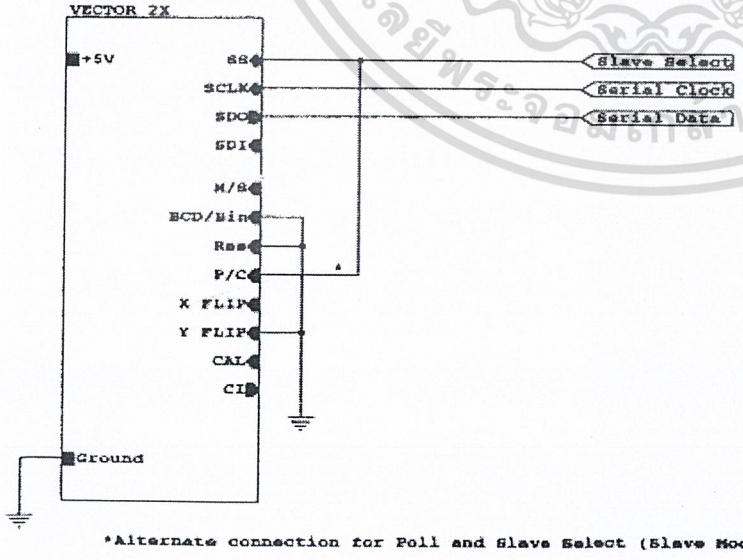


Figure A4: Schematic for Alternate Method of Connecting Vector 2X to an Intel-Type Processor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX B

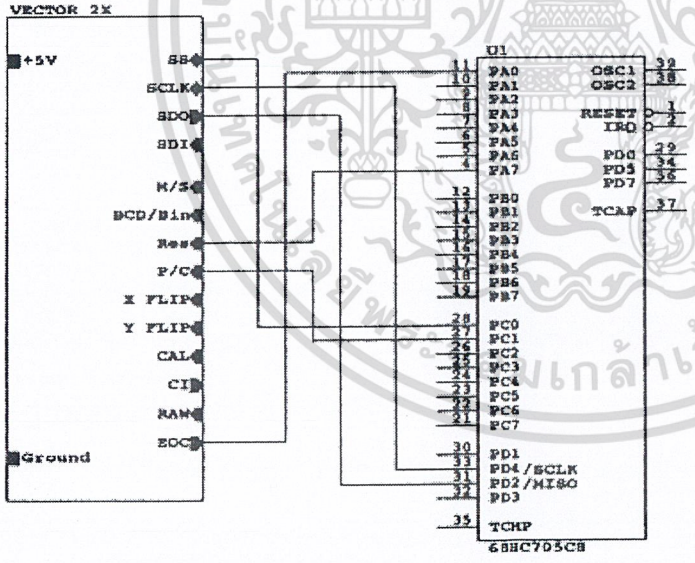
SAMPLE SPI-READ CODE

```
*Sample SPI read code for Motorola 68HC705 family
*                                  processor
* Note:  Not executable with schematics shown in
*              the Application Notes appendix!
************************************************
*  SPI - Master mode (68HC705)
*  Port A:  Input
*     A0:  EOC from V2X (End of Conversion)
*     A7:  RES relect (Resolution Select)
*
*  Port C1:  Slave select bar to V2X
*     C0:  SS (Slave Select [bar]) to V2X
*     C7:  P/C (Poll/Continuous [bar])
************************************************
*  Equates
        EOC   equ   0     ;EOC input to processor
        RES   equu  7     ;Resolution select
        SS    equ   0     ;Slave select from processor
        POLL  equ   1     ;Poll/Continuous control
************************************************
*RAM Location
        org   $050        ;ORG RAM

BYTE1           rmb   1     ;high order byte temp storage
BYTE2           rmb   1     ;low order byte temp storage
************************************************
*ROM Location
        org   $200        ;ORG ROM
*  slave_read - read teh 2 bytes of data from the V2X
   over the SPI port
*  data is returned in byte1, byte2
************************************************
slave_read:
*Start V2X to acquire heading
   bclr poll,portc        ;drop POLL line to compass
   jsr delay10msec        ;wait awhile ~10 msec
   bset poll,portc        ;raise POLL line after 10 msec

*Wait for V2X to complete conversion for heading data
   jsr   waiteoc          ;not wait for EOC to go high

*Retrieve data from V2X
   bclr 1,portc           ;lower SS line to enable xfer
   tst SPSR               ;see if SPI is clear
   sta SPDR               ;write to SPDR to start SPI xfer

*Wait for data transfer to complete
rspiflpl:
   brclr 7,spsr,rspiflpl       ;keep looping till SPI
                               ;xfer done

*Get the first data byte
   lda SPDR               ;
   sta BYTE1              ;put in BYTE1 ref
   jsr   delayinterb      ;delay between bytes
   clra                   ;set a = 0

*Start transfer of second byte
   sta SPDR               ;write to SPI

*Wait for data transfer to complete
rspiflp2:
   brclr 7,spsr,rspiflp2       ;keep looping till done

*Get the second data byte
   lda SPDR               ;get second byte
   sta byte2              ;

************************************************
*  Waiteoc:  after the poll has been strobed, wait
   for the eoc to go high to mark end of measurements
   and computations
************************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
waiteoc:
   brclr   EOC,Porta,waiteEOC     ;branch if EOC bit is
                                  ;clear; keep looping
                                  ;till EOC returns high
   rts

************************************************
*   Delay 10msec - delay 10 milliseconds
*   uses a & x registers for delay countdown
************************************************

delay 10 msec:
         ldx   #!20    ;20 passes of olp: delay loop
         bra   olp
olp:
         lda   #!156   ;156 x 3 µsec delay
ilp:
         deca
         bne   ilp
         decx
         bne   olp
         rts

************************************************
*   delayinterb - delay about 160µ between bytes read
*   in order to give time to SPI to lead second byte.
************************************************

delayinterb:
         lda   #!50    ;50 x 3 µsec delay
         bra   olp
dilp:
         deca
         bne   dilp
         rts
```

Figure B1: Schematic for SPI read Code Example



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้