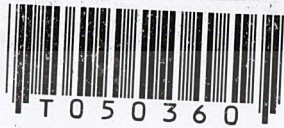


การประยุกต์ใช้งานจีพีเอสในอากาศยานไร้คนขับ

GPS APPLICATION FOR UAV



โดย
นายชาติวิตร ชารินเจริญ
นายยุทธกิจ หินมะลิ
นายศตวรรษ จันทรัตน์

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน...50360..

วัน,เดือน,ปี 13 พ.ค. 2547

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้งานจีพีเอสในอากาศยานไร้คนขับ

GPS APPLICATION FOR UAV

จัดทำโดย นายชาลีวิตร ธารินเจริญ 43015769
นายยุทธกิจ หินมะลิ 43015781
นายศตวรรษ จันทรัตน์ 43015786

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร ปิติเขต สุรักษา
อาจารย์ บุญยัชนะ ภูระหงษ์
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและประยุกต์การใช้งานระบบการหาตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม (Global positioning system) หรือที่เรียกว่า จีพีเอส กับอากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดยการนำข้อมูลจากจีพีเอสที่มีรูปแบบเป็น NMEA 0183 แล้วนำตำแหน่งมาควบคุมการเดินทางของอากาศยานไร้คนขับและแสดงตำแหน่งปัจจุบันซึ่งเป็นข้อมูล ละติจูด ลองจิจูดรวมถึงเวลาปัจจุบัน จากการทำงานดังกล่าวสามารถจำลองการเดินทางของอากาศยานลงบนรถจำลอง เพื่อลดค่าใช้จ่ายทางการบิน

สำหรับโครงการนี้เห็นได้ว่า สามารถนำจีพีเอสที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปมาพัฒนาเพื่อใช้ในการนำร่องยานพาหนะซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

GPS APPLICATION FOR UAV

Mr. Chaleewit Tharinjareern

Mr. Yuttakij Hinmali

Mr. Satawat Jantararat

Mr.Piticades suruksa(advisor)

Mr.Bunchana Phurahong(advisor)

Education Year 2002

ABSTRACT

This paper is report for “ ProjectII ” subject. This subject’s purposes make the students enable to design. It’s make circuit and used electronics instrument correctly. The report will show about “Global positioning system” and applications. Those are how we developed this system in the past. How it works and how to specific location, and application to UAV or other vehicles. The report will tell how to used NMEA 0183 data to developing hardware to control and vehicles navigation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ

การประยุกต์ใช้งานจีพีเอสในอากาศยานไร้คนขับ
GPS APPLICATION FOR UAV

ชื่อนักศึกษา

นายชาติวิตร ธารินเจริญ 43015769
นายยุทธกิจ หินมะติ 43015781
นายศตวรรษ จันทรัตน์ 43015786

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร ปิติเขต สุริรักษา

ปริญญา

อาจารย์ บุญยชนะ ภูระหงษ์

สาขาวิชา

อุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชา

เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา

วิศวกรรมสารสนเทศ

2545

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปริญญา
นิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
()

.....กรรมการ
()

.....กรรมการ
()

.....กรรมการ
()

.....กรรมการ
()

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้งานจีพีเอสในอากาศยานไร้คนขับ

(GPS APPLICATION FOR UAV)

ผู้จัดทำ

นายชาติวิตร ธารินเจริญ 43015769

นายยุทธกิจ หินมะลิ 43015781

นายศตวรรษ จันทรัตน์ 43015786

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ บุญชนะ ภูระหงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ทางผู้ทำต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา และ อาจารย์บุญยชนะ ภูระหงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ ที่คอยให้คำแนะนำ คำชี้แนะ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผู้เขียนเอกสาร หนังสือ และตำราอ้างอิงต่างๆทุกท่าน ที่ผู้จัดทำได้นำข้อมูล มาทำโครงการนี้จนเป็นผลสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาของผู้จัดทำ ที่ได้ให้อุปการะผู้จัดทำ ช่วยเหลือและให้กำลังใจ แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ ชมรมเครื่องบินเล็กบังคับวิทยุมีนบุรี ครูฝึกการบิน และสมาชิกชมรม ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือรวมทั้งเอื้อเฟื้อสถานที่ในการฝึกบินและทดลองบิน

ขอขอบคุณ พี่ๆทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาตลอดจน เพื่อนๆที่ให้คำแนะนำ แนวทางในการทำงาน การเขียนโปรแกรมตลอดจนอุปกรณ์ในการทำงาน

ขอขอบคุณภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ผู้จัดทำได้มีโอกาสเข้ามาศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้

สุดท้ายนี้ ทางผู้จัดทำขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำชี้แนะ คำปรึกษา คำแนะนำ และประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้จัดทำ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำ

นายชาติวิตร ชารินเจริญ

นายยุทธกิจ หินมะลิ

นายศตวรรษ จันทร์ตัน

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ระบบนำร่อง (Navigation system)	1
1.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุ (Radionavigation system)	2
บทที่ 2 ระบบ GPS	6
2.1 ความเป็นมาของระบบ GPS	6
2.2 ภาพรวมของระบบ GPS	6
2.3 การเข้ารหัสอย่างละเอียดและความสามารถเลือกหาได้ (precise code and selective availablity)	7
2.4 กลอนนาส (GLONASS)	7
บทที่ 3 พื้นฐานของการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม	12
3.1 แนวความคิดเบื้องต้นในการระบุพิกัดของจีพีเอส	12
บทที่ 4 จีโอดีคิตาคัม	18
4.1 การอ้างอิงโดย เอลลิปซอยด์ (Reference Ellipsoids)	18
4.2 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก (Earth Surface Model)	19
4.3 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้งานทั่วไป (Global Coordinate System)	20
4.4 ข้อสับสนของความสูง	23
4.5 สรุปความเข้าใจหลักการที่ผานมา	25
บทที่ 5 การให้บริการของจีพีเอสและสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส	26
5.1 การให้บริการของระบบจีพีเอส	26
5.2 ผลของการใส่ SA เพื่อลดความแม่นยำลง	26
5.3 สัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส	27
5.4 ความถี่ที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก	28
5.5 รหัสที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก	29

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 6 การหาตำแหน่งและเวลาจากจีพีเอส	32
6.1 การแยกรหัสในเครื่องรับ (Code Phase Tracking)	32
6.2 การนำร่องโดยใช้การวัดระยะทางแบบซูดอ (Pseudo - Range Navigation)	34
บทที่ 7 มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร	39
7.1 รูปแบบประโยชน์มาตรฐานพอสังเขป	40
บทที่ 8 แนวคิดในการออกแบบและการสร้าง	42
8.1 แนวคิดในการออกแบบ	42
8.2 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์	42
8.3 โครงสร้างของซอฟต์แวร์	47
บทที่ 9 การทดลองและผลการทดลอง	52
9.1 การทดลองตำแหน่งจากจีพีเอสโมดูล	52
9.2 การทดลองการเคลื่อนที่ของรถไปยังตำแหน่งเป้าหมาย	53

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงการนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุแบบแอกทีฟ และแบบพาสซีฟ	2
รูปที่ 1.2 แสดงระบบไอเมกา	4
รูปที่ 1.3 ระบบทรานสิต	4
รูปที่ 2.1 แสดงวงโคจรของจีพีเอส (a) และ กลอนนาส (b)	9
รูปที่ 2.2 แสดงการทดลองวัดพิคคองท์ของระบบกลอนนาส	9
รูปที่ 2.3 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างระบบจีพีเอส กับกลอนนาส	10
รูปที่ 3.1 แสดงการหาความยาวของ Y เมื่อทราบความยาวของ X,Z และมุมต่างๆ	12
รูปที่ 3.2 การหาพิคคองท์ในระบบจีพีเอส	12
รูปที่ 3.3 ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมมีรัศมี 22,000 กิโลเมตร	13
รูปที่ 3.4 แสดงการตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม	13
รูปที่ 3.5 แสดงการตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม	14
รูปที่ 3.6 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B	15
รูปที่ 3.7 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป	15
รูปที่ 3.8 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A,B และ C ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป	16
รูปที่ 3.9 แสดงจุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม A,B และ C	16
รูปที่ 4.1 ตัวแปรของเอลลิปซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ WGS-84	18
รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก	19
รูปที่ 4.3 แสดงระดับของจีออยด์	20
รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดเส้นไพรม์ เมอริเดียนและเส้นอีควเตอร์	21
รูปที่ 4.5 แสดงการกำหนดพิคคองท์แบบ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง	21
รูปที่ 4.6 แสดงการกำหนดพิคคองท์แบบ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง	22
รูปที่ 4.7 แสดงระบบ ECEF X,Y,Z	23
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบความสูงเมื่อเอลลิปซอยด์และจีออยด์	24
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในแบบต่างๆ	24

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5.1 แสดงการลดค่าความผิดพลาด	27
รูปที่ 5.2 แสดงแนวความคิดในการหาระยะห่างจากดาวเทียมกับเครื่องรับ	27
รูปที่ 5.3 การผสมสัญญาณแบบไบนารีไบเฟส มอดูเลชัน	29
รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมจีพีเอส	30
รูปที่ 5.5 แสดงโครงสร้างของการส่งข้อมูลของจีพีเอส	30
รูปที่ 5.6 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อย	31
รูปที่ 6.1 แสดงการกำหนดรหัส C/A	32
รูปที่ 6.2 แสดงรหัส PRN บางส่วน	33
รูปที่ 6.3 แสดงการไม่สัมพันธ์กันของรหัส PRN Code	33
รูปที่ 6.4 แสดงรหัสบางส่วนที่เข้ากันไม่ได้	34
รูปที่ 6.5 แสดงความเข้ากันได้ทั้ง PRN	34
รูปที่ 6.6 แสดงระยะทางแบบซูโด	35
รูปที่ 6.7 แสดงสมการคำนวณระยะทางแบบซูโด	36
รูปที่ 6.8 ตัวอย่างการหาค่า ของ Pseudo-range navigation	37
รูปที่ 6.9 แสดงการเปลี่ยนจากพิกัด ECEF XYZ พิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinate)	39
รูปที่ 8.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงงาน	42
รูปที่ 8.2 แสดงวงจรรภาคควบคุม(Microcontroller Unit)	45
รูปที่ 8.3 วงจรส่วนแสดงผลโดยใช้ LCD	46
รูปที่ 8.4 วงจรอินเตอร์เฟสไมโครคอนโทรลเลอร์กับ GPS	46
รูปที่ 8.5 ภาพตัวรถเมื่อประกอบส่วนต่าง	47
รูปที่ 8.6 โปรแกรมแสดงโปรแกรมหลัก	49
รูปที่ 8.7 โปรแกรมแสดงการรับค่าจากจีพีเอส	50
รูปที่ 8.8 โปรแกรมส่วนประมวลผลหาทิศทางในการเคลื่อนที่	51
รูปที่ 9.1 แสดงข้อมูลที่รับได้จากเครื่องรับจีพีเอส	52
รูปที่ 9.2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถตามผลการทดลองในตารางที่ 9.1	53
รูปที่ 9.2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถตามผลการทดลองในตารางที่ 9.2	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง จีพีเอส กับกลอนนาส	8
ตารางที่ 9.1 ผลของการทดลองการเคลื่อนที่ครั้งที่ 1	53
ตารางที่ 9.2 ผลของการทดลองการเคลื่อนที่ครั้งที่ 2	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ระบบนำร่อง (Navigation system)

ระบบนำร่อง (Navigation system) สามารถนิยามได้ว่า คือระบบที่สามารถนำยานพาหนะ จากที่หนึ่งซึ่งรู้ตำแหน่งแน่นอนแล้ว ไปยังอีกที่หนึ่ง โดยกำหนดเส้นทางจะการเดินทางให้ จาก ความหมายนี้เมื่อมีการนำทางหรือนำร่องเกิดขึ้น ระบบนำร่องนอกจากจะบอกเราว่าขณะนี้เราอยู่ที่ ไດแล้วยังจะต้องบอกเราด้วยว่าเราจะไปจากจุด ที่เราอยู่ไปยังที่หมายได้อย่างไร ระบบนำร่อง สามารถแบ่งอย่างกว้างๆ ออกได้ 5 วิธีการ ดังนี้

1.1.1 Piloting เป็นระบบการนำทางที่มีมาแต่โบราณ การกำหนดเส้นทางต่างๆ เป็นการ อาศัยการ สังเกตจากสภาพทางภูมิศาสตร์เป็นหลัก เช่น หมูบ้าน ภูเขาแม่น้ำ ต้นไม้ใหญ่ๆ เป็นต้น ผู้เดินทางจะอาศัยสภาพทางภูมิศาสตร์เหล่านี้มาเป็นตัวกำหนดว่าจะเดินทางไปในทางทิศใด ดังนั้น ถ้าสภาพทางภูมิศาสตร์เปลี่ยนแปลงไปปัญหาจะเกิดขึ้นกับการนำทางทันที

1.1.2 Dead reckoning เป็นระบบการนำทางที่อาศัยการวัดความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปจาก เดิม และทำการวัดต่อเนื่องกัน ไปเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้มาผนวกเข้ากับแผนการเดินทางที่ทราบอยู่ แล้วระบบนี้เริ่มเป็นที่รู้จักกันในปี 1927

1.1.3 Celestial navigation เป็นระบบการนำทางโดยอาศัยการหาค่าตำแหน่งบนพื้นโลก เทียบกับเทหวัตถุบนฟากฟ้าอัน ได้แก่ กลุ่มดาวหรือดวงจันทร์ เป็นต้น

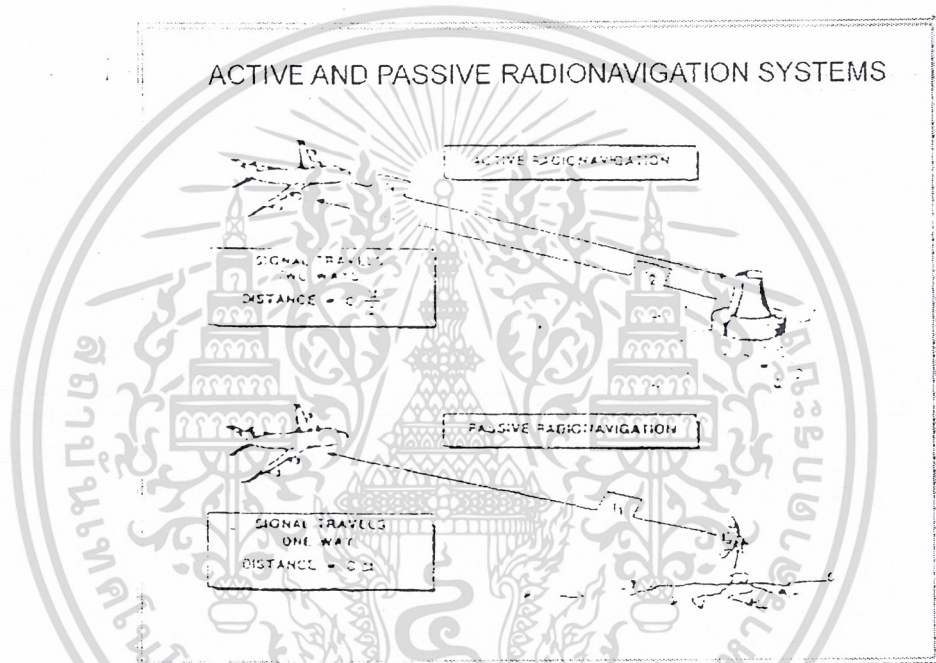
1.1.4 เป็นระบบการนำทางโดยอาศัยการหาค่าตำแหน่งบนพื้นโลก จากเครื่องมือหลาย อย่างประกอบกัน เช่น มิเตอร์วัดความเร็ว เข็มทิศ ใจโรสโคป เป็นต้น ระบบนี้มักถูกใช้ร่วมกับ ระบบนำร่องโดยอาศัย คลื่นวิทยุเพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น

1.1.5 Electronic or radionavigation เป็นระบบการนำทางที่อาศัยการคำนวณหาระยะ ทางบนพื้นโลกจากเครื่องมือที่ใช้วัดเวลาที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางจากแหล่งกำเนิดมาถึงเครื่อง รับ การนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแอคทีฟ (active radionavigation) และ แบบแพสซีฟ (Passive radionavigation)

ระบบแอคทีฟ สามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า เป็นระบบสองทิศทาง ตัวอย่างใน รูปที่ 1.1 การกระทำโดยเครื่องบินส่งสัญญาณในรูปของพัลส์ความถี่ f_1 ไปยังสถานีนี้ส่ง ไกลออกไป เมื่อสถานีส่งรับสัญญาณในรูปของพัลส์ที่ได้มันจะส่งกลับไปยังเครื่องบินในความถี่ที่ต่างจาก เดิมในที่นี้คือ f_2 ดังนั้นเมื่อเครื่องรับสัญญาณในเครื่องบินนำสัญญาณ f_2 ที่รับได้มาเปรียบเทียบกับ

เวลาจริงในปัจจุบันจะได้เวลาที่ต่างกันออกไปเป็น dt ดังนั้นระยะห่างระหว่างเครื่องบินกับสถานีส่ง จะมีค่าเท่ากับ $(dt/2)*c$ เมื่อ c เป็นความเร็วของแสง

ระบบแพสซีฟ ถือเป็นระยะทิศทางเดียว ทำโดยเครื่องบินรับสัญญาณในรูปแบบของ พัลส์ความถี่ f_1 จากสถานีส่งที่ไกลออกไป เมื่อเครื่องบินนำสัญญาณ f_1 ที่รับได้มาเปรียบเทียบกับ เวลาจริงในปัจจุบันจะได้เวลาที่แตกต่างกันออกไปเป็น dt ดังนั้นระยะห่างระหว่างเครื่องบินกับ สถานีส่งจะมีค่าเท่ากับ $dt*c$ ระบบนี้จะเป็นพื้นฐานการนำร่อง จีพีแอส (GPS: Global Positioning System) ที่จะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 1.1 แสดงการนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุแบบแอคทีฟ และแบบพาสซีฟ

1.2 ระบบนำร่องที่อาศัยคลื่นวิทยุ (Radionavigation system)

1.2.1 ระบบนำร่อง โดยอาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนพื้นโลก

ระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนโลกมักแยกออกเป็นสองระบบด้วยกัน คือ ระบบหาทิศทางคลื่นวิทยุ (Radio direction finding (RDF) system) กับระบบไฮเพอร์โบลิก (Hyperbolic system)

ระบบหาทิศทางของคลื่นวิทยุ สามารถอธิบายได้ง่ายๆ คือ ผู้ใช้งานปรับเครื่องรับให้ตรงกับ สถานีส่งวิทยุที่รู้พิกัดอยู่ก่อนแล้ว จากนั้นใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้าช่วยก็จะทำให้ทราบ ตำแหน่งของผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฮเปอร์โบลิกจะทำความเข้าใจยากขึ้นเล็กน้อย ระบบนี้จะใช้พิกัดที่ถูกส่งออกมาจากสถานีส่งวิทยุหลายสถานี แต่ละจุดของทุกๆ จุดที่แตกต่างกันระหว่างสัญญาณวิทยุจากสถานีที่แตกต่างกันจะจัดวางตัวกันอยู่ในรูปแบบของไฮเปอร์โบลาร์หลายๆ เส้น และเส้นที่ประกอบมาจากจุดหลายๆ จุดเหล่านี้จะถูกสร้างไว้บนแผนที่ที่ผู้ใช้มีอยู่ ผู้ใช้ต้องใช้เครื่องรับฟังสัญญาณวิทยุเพื่อหาว่าขณะนี้ตำแหน่งของตนเองอยู่ที่เส้นไฮเปอร์โบลิกเส้นใหม่ออกมาเมื่อเทียบกับสถานีใหม่ที่ตนเองรับฟังอยู่ ถ้าเส้นไฮเปอร์โบลิกสองเส้นนี้ตัดกัน จุดนั้นคือพิกัดที่ตนเองอยู่ นอกจากนั้นยังมีการนำเฟสของสัญญาณวิทยุมาทำการคำนวณเพื่อกำหนดพิกัดให้แม่นยำขึ้น ตัวอย่างของระบบต่างๆ เหล่านี้ได้แก่

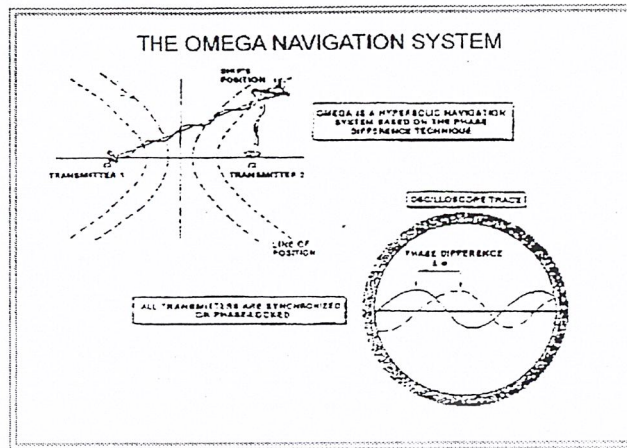
เดคคา (DECCA) เป็นระบบนำร่องแบบระบบไฮเปอร์โบลิกที่ใช้ความถี่ต่ำ (low-frequency) ลักษณะการใช้งานจะเป็นการเปรียบเทียบเฟส (phase) ของคลื่นวิทยุที่รับได้จากหลายๆ สถานี บริเวณใช้งานอยู่ทางยุโรปตะวันตก บางส่วนของแคนาดา อ่าวเปอร์เซีย และท่าเรือเบงกอล

จี (GEE) เป็นระบบของประเทศอังกฤษ คล้ายๆ กับระบบ โรแลน แต่ใช้คลื่น VHF ข้อจำกัดของระบบนี้คือ รัศมีการทำการอยู่ในช่วงที่สายตอมองเห็น (line-of-sight)

โรแลน-เอ (LORAND-A) เป็นระบบที่พัฒนามาตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่สอง โดย MIT คำว่า LORAND มาจาก LOng-Range-Navigation สร้างมาเพื่อใช้เป็นระบบนำร่องที่มีความแม่นยำให้กับกองทัพเรือและอากาศ ใช้คลื่นวิทยุในย่านความถี่ 1850 Hz - 1950 Hz รัศมีการไกลประมาณ 600 ไมล์

โรแลน-ซี (LORAND-C) ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1950 ปัจจุบันยังคงใช้งานอยู่อย่างกว้างขวาง และได้ขยายระบบออกไปครอบคลุมพื้นที่หลายๆ ประเทศ การทำงานของระบบเป็นแบบพัลส์ไฮเปอร์โบลิก ใช้ความถี่อยู่ในช่วง 90 KHz - 110KHz

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

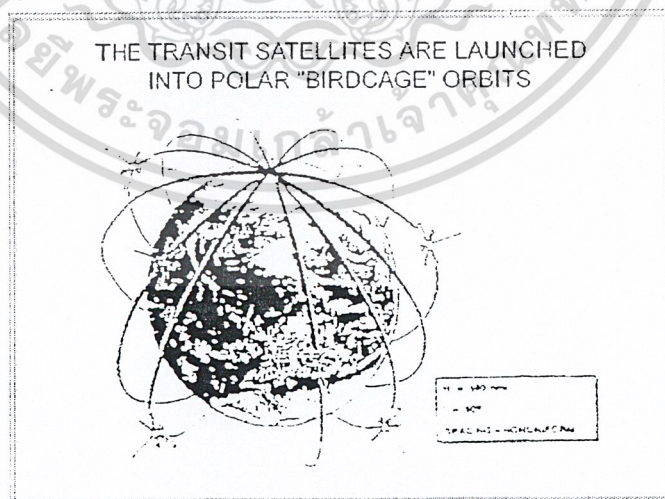


รูปที่ 1.2 แสดงระบบ โอเมกา

1.2.2 ระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่มีสถานีส่งบนอากาศ

ข้อเสียของระบบนำร่องที่มีสถานีส่งอยู่บนพื้นผิวโลกก็คือ บริเวณที่ใช้งานจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะที่ทำให้การใช้งานมีขีดจำกัด เพื่อให้การใช้งานครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น จึงได้พัฒนาระบบให้มีสถานีส่งเป็นดาวเทียมโคจรอยู่เหนือพื้นผิวโลกด้วยระยะห่างที่คงที่ค่าหนึ่ง

ทรานสิต (TRANSIT: SATNAV) ถือเป็นระบบแรกที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งมีรูปแบบวงโคจรดังรูปที่ 1.3 ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาโดย John Hopkins Applied Physics Laboratory เพื่อใช้เป็นระบบนำร่องของเรือเดินทะเล ผู้ใช้งานสามารถหาตำแหน่งของตัวเองได้ โดยใช้หลักการ ครอปเพบอร์ (droppler) ของสัญญาณวิทยุที่เลื่อนออกไป (shift) สัญญาณวิทยุนี้จะถูกส่งออกมาจากดาวเทียม ความแม่นยำอยู่ในระดับความผิดพลาดประมาณ 200-300 เมตร



รูปที่ 1.3 ระบบทรานสิต

จากการใช้งานระบบทรานสิตพบว่ายังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น การให้บริการยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ณ จุดๆ หนึ่ง จะเห็นดาวเทียมดวงหนึ่งๆ อยู่ประมาณ 10-15 นาทีเท่านั้น ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้การนำร่องไม่ต่อเนื่องกันไปอย่างตลอดเวลา เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่อยู่บนพื้นโลกการระบุพิกัดจะผิดพลาดมากยิ่งขึ้น และระบบนี้ยังให้การนำร่องแบบสองมิติเท่านั้น

ไทเมชัน (TIMATION) ระบบถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1972 โดย (Naval Research Laboratory (NRL) จุดมุ่งหมายเพื่อทำหน้าที่รับรองการกำหนดพิกัดโดยการใช้เวลาและความถี่ (Time and Frequency Transfer) คิวเทียมดวงแรกถูกบรรจุไว้ด้วยตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ผลึกควอตซ์ (Quartz crystal oscillator) ที่มีความแม่นยำมาก ต่อมาได้ส่งดวงที่สองขึ้นไป และใช้นาฬิกาเชิงอะตอม (Atomic clock) บรรจุไว้แทน คิวเทียมดวงที่สามถือเป็นดวงที่ใช้จำลองการทำงานและเทคโนโลยีของ GPS ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ระบบนาฬิกาสตาร์จีพีเอส (NAVSTAR GPS: NAVigation-Satellite Timing And Ranging Global Positioning System) ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของ U.S. Department of Defense (DoD) ระบบนาฬิกาสตาร์จีพีเอส ถือได้ว่าเป็นระบบนำร่องโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากกลุ่มดาวเทียมโคจรอยู่เหนือพื้นโลกที่ใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งสัญญาณออกมาเพื่อให้กองกำลังนั้นจะอยู่ที่ใดบนพื้นโลก หรือใกล้พื้นผิวโลก จะหยุดนิ่งอยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ก็ตาม ในปัจจุบันนี้ทางด้านพลเรือนได้มีการใช้ระบบนำร่องโดยอาศัยดาวเทียมนาฬิกาสตาร์จีพีเอสกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะระบบนำร่องที่ติดตั้งในรถยนต์เพื่อแสดงพิกัดตัวเองบนแผนที่เป็นสิ่งที่หลายๆ ประเทศทุ่มเงินทำการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ร่วมกันในเชิงพาณิชย์

บทที่ 2

ระบบ GPS

2.1 ความเป็นมาของระบบ GPS

ดาวเทียมด้าน GPS ถูกปล่อยสู่อวกาศครั้งแรกในปี 1983 ใช้เป็นเพียงระบบนำร่องในขั้นต้นให้กับเครื่องบินเมื่อกลุ่มดาวเทียม GPS มีการขยายตัวมากขึ้น พื้นที่การครอบคลุมก็มากขึ้น และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องสำหรับการตรวจสอบแบบ 2 มิติ (ละติจูด, ลองจิจูด และระดับความสูง) ซึ่งระบบสมบูรณ์จริงๆ จะต้องใช้กลุ่มดาวเทียมปฏิบัติงานถึง 21 ดวง และดาวเทียมสำรองบนวงโคจรอีก 3 ดวง

2.2 ภาพรวมของระบบ GPS

ดังที่กล่าวแล้วว่า ระบบ GPS นี้อาศัยกลุ่มดาวเทียม 21 ดวง และดาวเทียมสำรองอีก 3 ดวง ในระนาบของอวกาศ โคจรทั้งหมด 6 ระนาบ ซึ่งจะสามารถใช้ในการนำร่องทั้งทางภาคพื้นดิน ในทะเล และในอากาศ ระบบ GPS จะทำการปรับค่าตัวเลขบอกตำแหน่งของวัตถุใน 3 มิติอย่างสม่ำเสมอ (ละติจูด, ลองจิจูด และระดับความสูง) และทำการวัดอัตราเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ได้ในเวลาใดเวลาหนึ่ง

ระบบ GPS นี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

Space Segment

จะประกอบไปด้วยดาวเทียมที่อยู่ห่างจากโลกประมาณ 11,000 ไมล์ สำหรับประสานงานกับดาวเทียม 4 ดวงหรือมากกว่าที่สามารถถูกเห็นได้อย่างพร้อมกันจากบริเวณใดๆ บนพื้นผิวโลก ขึ้นไปดาวเทียมจะต้องลอยตัวอยู่สูงเพียงพอที่สัญญาณจากระบบภาคพื้นดินไม่สามารถรบกวนได้ เช่น ระบบบนภาคพื้นดิน LORAN-C และ OMEGA

Control Segment

จะประกอบไปด้วย สถานีควบคุมหลัก (Mastercontrol station), 5 สถานีแจ้งผล (Monitor station) และ 3 เสา อากาศภาคพื้นดิน (Ground antennas) ซึ่งจะถูกจัดวางอยู่ทั่วโลก สถานีแจ้งผลจะใช้เครื่องรับ GPS ในการติดตามดาวเทียมทั้งหมดที่สามารถมองเห็นได้ และรวบรวมข้อมูลของระยะทางจากการถ่ายทอดของดาวเทียม โดยสถานีแจ้งผลจะส่งข้อมูลที่รวบรวมได้จากดาวเทียมไปยังสถานีควบคุมหลัก ซึ่งจะคำนวณวงโคจรของดาวเทียมอย่างแม่นยำ ข้อมูลจะถูกจัดเป็นรูปแบบเข้ากับข้อมูลนำร่อง (Navigation messages) ที่ถูกปรับเปลี่ยนไปสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังดาวเทียมแต่ละดวงโดยผ่านเสาอากาศภาคพื้นดิน

User Segment

จะประกอบด้วย เครื่องรับ ส่วนประมวลผลและงานสายอากาศ ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ทางภาคพื้นดิน ในทะเลหรืออากาศ สามารถที่จะรับการถ่ายทอดของกลุ่มดาวเทียม GPS และคำนวณตำแหน่ง, ความเร็ว และเวลาได้อย่างแม่นยำ

2.3 การเข้ารหัสอย่างละเอียดและความสามารถเลือกหาได้ (precise code and selective availability)

ระบบการนำร่อง (navigation system) ซึ่งใช้เครื่องรับแบบอย่างเดียวกับเป็นแบบพาสซีฟ (passive radionavigation) จะถูกนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการปฏิบัติงานที่เป็นความลับ เช่น เครื่องบินโจรสลัด, จรวด เป็นต้น นอกจากนี้เพื่อเป็นการป้องกันการใช้งาน GPS ในทางที่ไม่ถูกต้อง จึงต้องมีการเข้ารหัสป้องกัน ซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ P-Code และ C/A Code

การเข้ารหัสแบบ P-Code (per-cise) เป็นการเข้ารหัสที่ใช้ได้เฉพาะผู้ใช้ที่เป็นรัฐบาลสหรัฐเท่านั้น ส่วนการเข้ารหัสแบบ C/A Code (coarse-acquisition) เป็นการเข้ารหัสที่พอหาได้เพื่อการใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไป

การเข้ารหัสแบบ P-Code ต้องใช้เครื่องรับทางทหารที่มีลักษณะเฉพาะพิเศษสำหรับการรับรวมทั้งมีรหัสผ่าน (password) มีความแม่นยำในระยะ 17.8 เมตร หรือน้อยกว่า 50 ฟุต ภายใต้สภาวะการหักเห ส่วนสัญญาณที่เข้ารหัสแบบ C/A Code ซึ่งพอหาใช้งานได้ทั่วไปนั้น ซึ่งจะให้ข้อมูลของตำแหน่งที่มีความแม่นยำภายในระยะ 30 เมตร หรือประมาณ 100 ฟุต เนื่องจากความเที่ยงตรงของการบอกตำแหน่งสำหรับผู้ทั่วไปค่อนข้างมากเท่ากับทางทหาร ดังนั้นทางสหรัฐจึงได้มีการออกแบบระบบที่จะลดความเที่ยงตรงของการเข้ารหัสแบบ C/A Code ซึ่งเรียกว่าความสามารถเลือกหาได้ (selective availability หรือ S/A) ซึ่งได้เพิ่มโอกาสการผิดพลาดไปเป็นที่ระยะ 100 เมตร หรือ ประมาณ 330 ฟุต แทนของเดิม

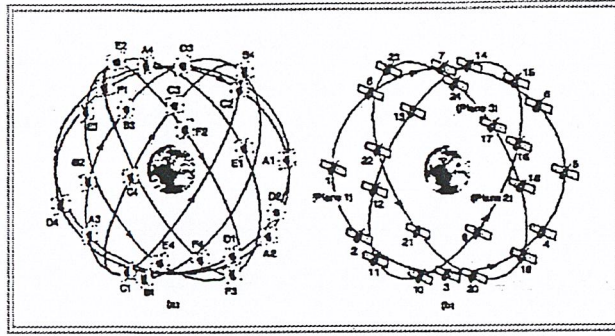
2.4 กลอนนาส (GLONASS)

กลอนนาส (Global]nay Navigatsionnay Sputnikovaya Sistema, GLONASS) เป็นระบบนำร่องของรัสเซียที่มีสถานีส่งสัญญาณ โคจรอยู่เหนือพื้นโลก เช่นเดียวกับระบบจีพีเอส การจัดวางระบบมีลักษณะคล้ายๆ กันคือ มีทั้งส่วนที่อยู่ในอวกาศ ส่วนที่เป็นสถานีควบคุมบนพื้นโลกและส่วนผู้ใช้ สำหรับตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างระบบจีพีเอส และกลอนนาส

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง จีพีเอส กับกลอนนาส

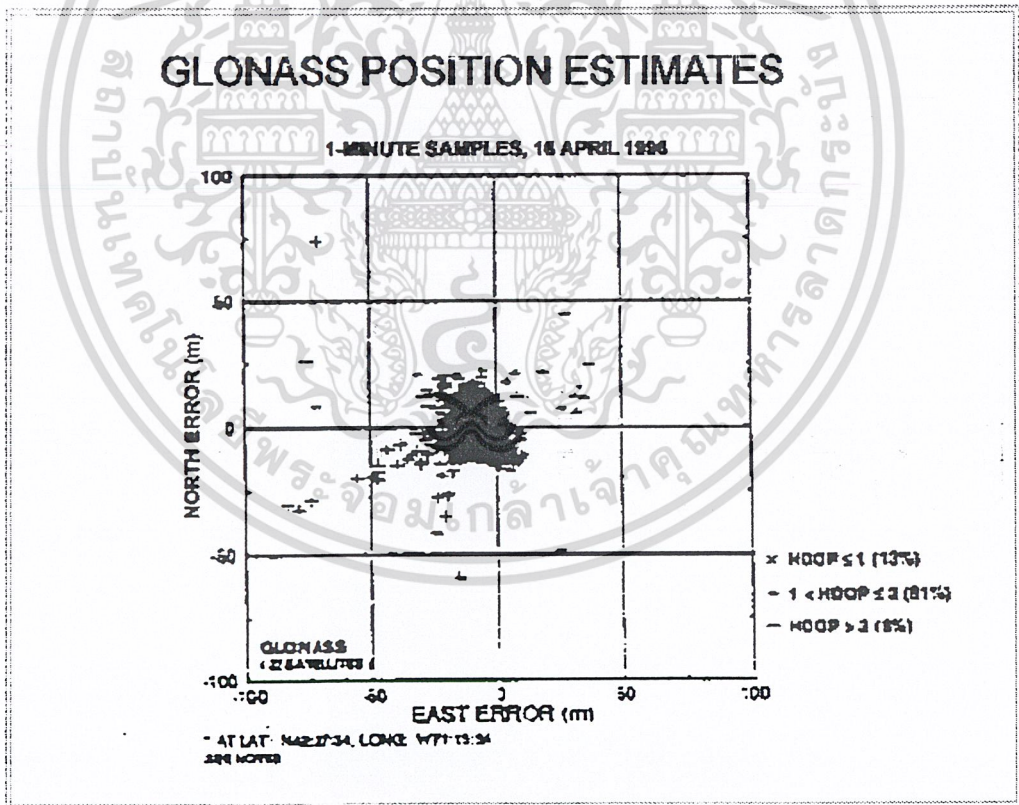
	จีพีเอส	กลอนนาส
รูปแบบวงโคจร		
จำนวนดาวเทียม	24	24
จำนวนระนาบวงโคจร	6	3
มุมเอียงวงโคจร(องศา)	55	56.8
รัศมีวงโคจร(กิโลเมตร)	26,560	25,510
วงรอบ(ชั่วโมง นาที)	11.58	11.16
คุณสมบัติของสัญญาณ		
คลื่นพาห้	L1:1575.42 L2:1227.60	L2 (1602+0.5625n) L2(1246+0.4375n) N=1,2,3.....24
รหัส	CDMA	FDMA
ความถี่ของรหัส	C/A CODE L1 P CODE L1,L2 C/A CODE : 1.023 PCODE : 10.23	C/A CODE L1 P CODE L1,L2 C/A CODE :0.511 PCODE :5.11
มาตรฐานที่ใช้		
ระบบพิกัด	WGS-84	SGS-85(PZ-90)
ระบบเวลา	UTC(USNO)	UTC(SU)
ความแม่นยำ		
แนวตั้ง(เมตร)	100	100
แนวนอน(เมตร)	140	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงวงโคจรของจีพีเอส (a) และ กลอนนาส (b)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่า ระบบของจีพีเอส และ กลอนนาสจะคล้ายกันมาก ส่วนใหญ่ที่ต่างกัน คือ จำนวนวงโคจร (จีพีเอส คือ 6 และ กลอนนาส คือ 3 ดังรูปที่ 2.1) การเข้ารหัสของสัญญาณ (จีพีเอส เป็นแบบ CDMA และ กลอนนาสเป็นแบบ FDMA) และอัตราการส่งสัญญาณ (chipping rate) ในขณะที่ จีพีเอสจะมี S/A เพื่อลดความแม่นยำลง แต่ระบบกลอนนาสยังไม่มีกำหนดให้ใช้ S/A เมื่อทำการทดสอบโดยการวัดสัญญาณที่พิกัดคงที่แห่งหนึ่ง โดย Lincoln Laboratory, MIT พบว่าความไม่แน่นอนของพิกัดเป็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการทดลองวัดพิกัดคงที่ของระบบกลอนนาส

โดยอาศัยตัวเลข URE (User Range Error) มาระบุค่าความผิดพลาด (ตัวเลข URE ได้มา

จากการถอดรหัสดูของผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ที่ไม่ขึ้นแก่กัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

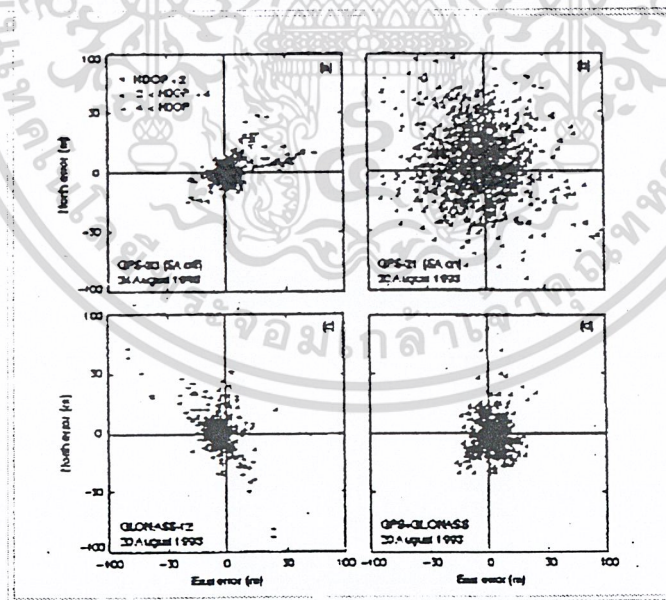
เช่นความผิดพลาดของค่า ephemeris ความไม่แน่นอนในการโคจรของดาวเทียม ความผิดพลาดทางด้านเวลา ความผิดพลาดในการรบกวนในเครื่องรับ และค่า S/A (ของระบบจีพีเอส) จะประมาณได้ว่า

ระบบจีพีเอสที่ไม่ใส่ S/A	URE = 7 เมตร
ระบบจีพีเอสที่ใส่ S/A	URE = 25 เมตร
ระบบกลอนาส	URE = 10 เมตร

สำหรับการใช้งานของผลเรือนที่ไม่มีระบบคิฟเฟอเรนเชียลเข้าช่วย (stand alone) ระบบกลอนาสเป็นระบบที่น่าสนใจทีเดียว

ในปัจจุบันนี้ ไม่มีการพัฒนาเครื่องรับให้สามารถใช้งานทั้งสองระบบร่วมกัน ขอให้พิจารณาจากรูปที่ 2.3

รูป (a) เป็นการกระจายของความผิดพลาดในการวัดพิกัดในระบบจีพีเอสเมื่อไม่ใช้ S/A
รูป (b) เป็นการกระจายของความผิดพลาดในการวัดพิกัดในระบบจีพีเอสเมื่อใช้ S/A
รูป (c) เป็นการกระจายของความผิดพลาดในการวัดพิกัดในระบบกลอนาส
คังรูปเมื่อเทียบรูป (a) กับ (c) แล้วระบบจีพีเอสจะให้ความแม่นยำใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเทียบระหว่าง (b) กับ (c) แล้วจะพบว่าระบบกลอนาสให้ความแม่นยำกว่า



รูปที่ 2.3 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างระบบจีพีเอส กับกลอนาส

แต่ถ้ากล่าวถึงเสถียรภาพของระบบแล้ว ระบบจีพีเอสทั้งนี้เนื่องจากในปี ที่ผ่านมาพบว่า ระบบกลอนาสยังคงมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการส่งสัญญาณ การเปลี่ยนระบบพิกัด บางครั้งสัญญาณขาดหายไป เป็นต้น ดังนั้นการใช้ระบบกลอนาสเพียงอย่างเดียวจึงถือว่าการเสี่ยงเกินกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป และเมื่อนำทั้งสองระบบมาใช้งานร่วมกันในลักษณะที่พลเรือนใช้งาน โดยทั่วไป ผลการทดลองที่ได้จะเป็นดังรูป (d)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

พื้นฐานของการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม

ในหัวข้อนี้เป็นการอธิบายถึงพื้นฐานการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม เพื่อให้เข้าใจถึงระบบที่ใช้กันว่า มีขีดจำกัดอย่างไร และจำเป็นต้องรู้อะไรบ้าง เพื่อจะได้ทำความเข้าใจระบบจีพีเอสได้ดีขึ้น

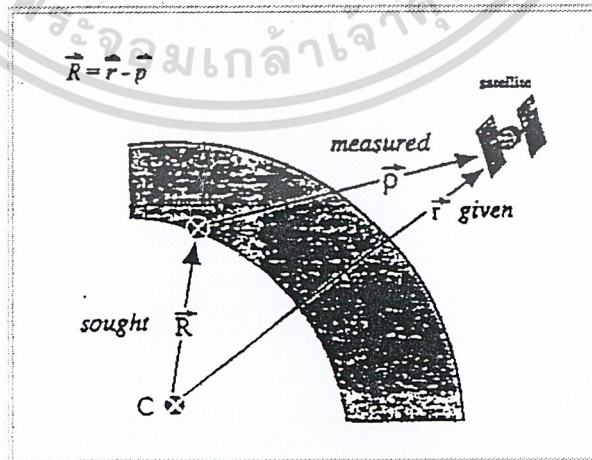
3.1 แนวความคิดเบื้องต้นในการระบุพิกัดของจีพีเอส

ในวิชาเรขาคณิตพื้นฐานที่เคยศึกษามาเกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยม ทำให้ทราบว่า ถ้ารูปลิ้นรอบรูปสามเหลี่ยม และมุมภายในรูปสามเหลี่ยม จะสามารถหาเส้นที่สามได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่น สมมุติว่ามีรูปสามเหลี่ยมทางเรขาคณิตอย่างง่ายดังรูป 5.1 โดยอาศัยความรูปร่างเบื้องต้นจะเขียนได้ว่า $Y^2=Z^2-X^2$ หรือกล่าวได้ง่ายๆ ว่าถ้ารู้ความยาวของ Z และ X และมุมต่างๆ แล้วจะหาค่าความยาวของ Y ได้



รูปที่ 3.1 แสดงการหาความยาวของ Y เมื่อทราบความยาวของ X,Z และมุมต่างๆ ทำนองเดียวกัน จะอาศัยแนวคิดนี้ในการกำหนดพิกัดบนพื้นผิวโลกของระบบจีพีเอสได้ ดัง

รูปที่ 3.2

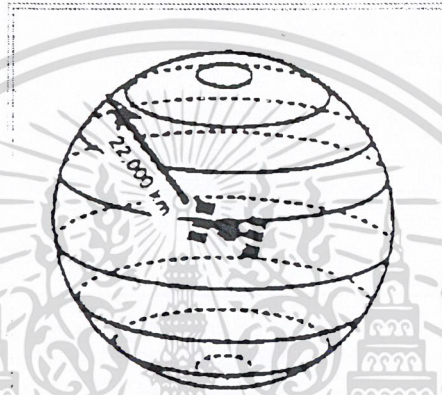


รูปที่ 3.2 การหาพิกัดในระบบจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

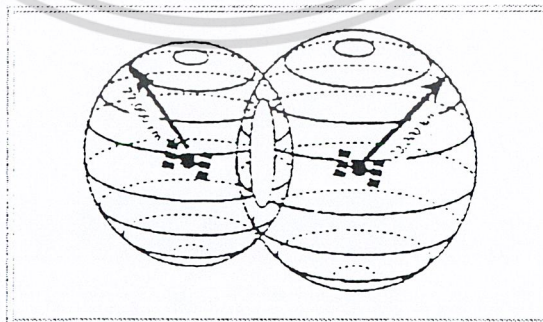
จากรูปที่ 3.2 ถือว่าจุด C เป็นศูนย์กลางของโลก สายอากาศ (antenna) อยู่ที่พื้นผิวโลก ดาวเทียมลอยอยู่เหนือพื้นผิวโลก เครื่องรับที่ต่ออยู่กับสายอากาศสามารถวัดได้ว่า ดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศเท่าใด (P) และดาวเทียมส่งข้อมูล มาบอกเครื่องรับว่า ตัวมันห่างจากจุด C เท่าใด (r) ตัวเครื่องรับก็จะหาได้ว่าตำแหน่งของสายอากาศอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย คือ $R=r-P$ (เป็นเวกเตอร์)

ประเด็นต่อมาก็คือ เครื่องรับมีหลักการในการวัดระยะห่างระหว่างตัวมันกับดาวเทียมอย่างไร ในช่วงแรกขอสมมุติว่า ดาวเทียมดวงแรกโคจรอยู่เหนือพื้นผิวโลก 22,000 กิโลเมตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมมีรัศมี 22,000 กิโลเมตร

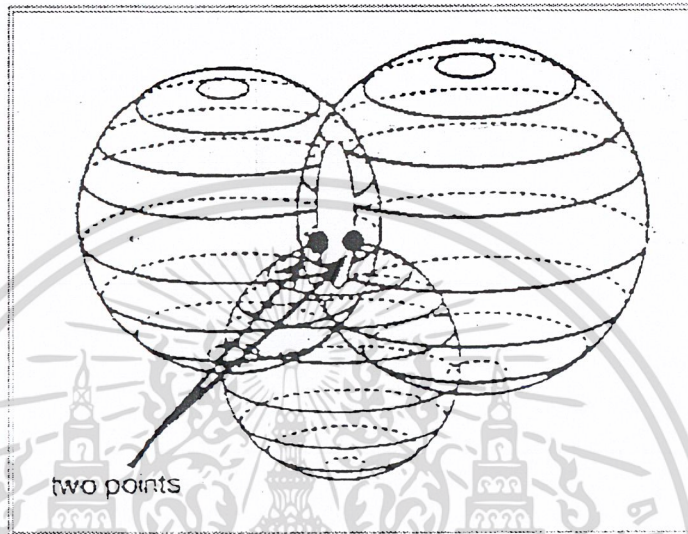
จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าเครื่องรับที่อยู่บนพื้นผิวโลก อาจจะมีบริเวณใดก็ได้บนพื้นผิวทรงกลมที่สร้างขึ้นมามีรัศมีรอบดาวเทียม เพราะเราไม่รู้ว่าที่จุดใดของทรงกลมและอยู่กับพื้นผิวโลก รู้แต่เพียงว่าจะมีอยู่จุดหนึ่งเท่านั้นที่สัมผัสกับพื้นผิวโลก ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงหนึ่ง โคจรอยู่เหนือพื้นดิน 23,000 กิโลเมตร เราก็จะสามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสองมีการตัดกัน ผลที่ได้จะเป็นวงกลมเล็กๆ เกิดขึ้น เครื่องรับน่าจะอยู่ที่ใดที่หนึ่งในวงกลมนี้ ซึ่งยังคงเป็นพื้นที่ที่กว้างเกินไป



รูปที่ 3.4 แสดงการตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

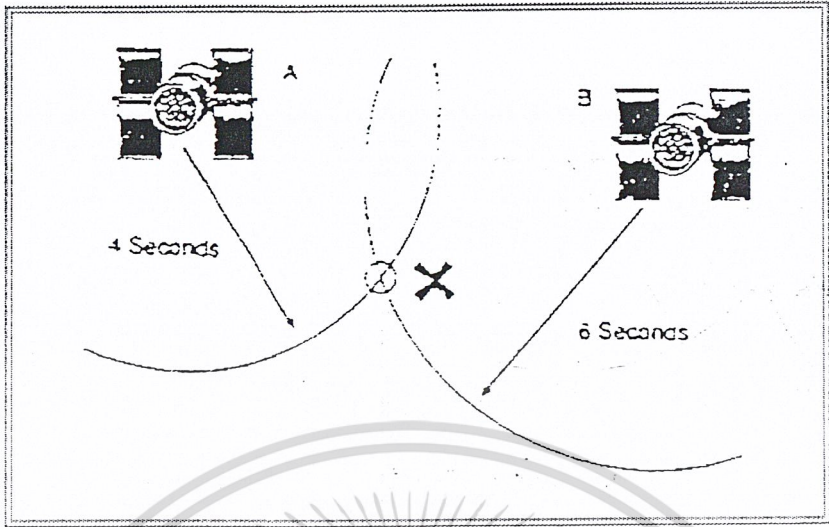
ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงเป็นดวงที่สาม โคจรอยู่เหนือพื้น โลก 24,000 กิโลเมตร ก็สามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสามมีการตัดกันผลที่ได้จะเป็นจุดสองจุดที่ขอบของวงกลมเล็กๆ เครื่องรับน่าจะอยู่จุดใดจุดหนึ่งในสองจุดนี้ แต่จะมีจุดเดียวเท่านั้นที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎี (ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยอาศัยคณิตศาสตร์เข้าช่วย)



รูปที่ 3.5 แสดงการตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม

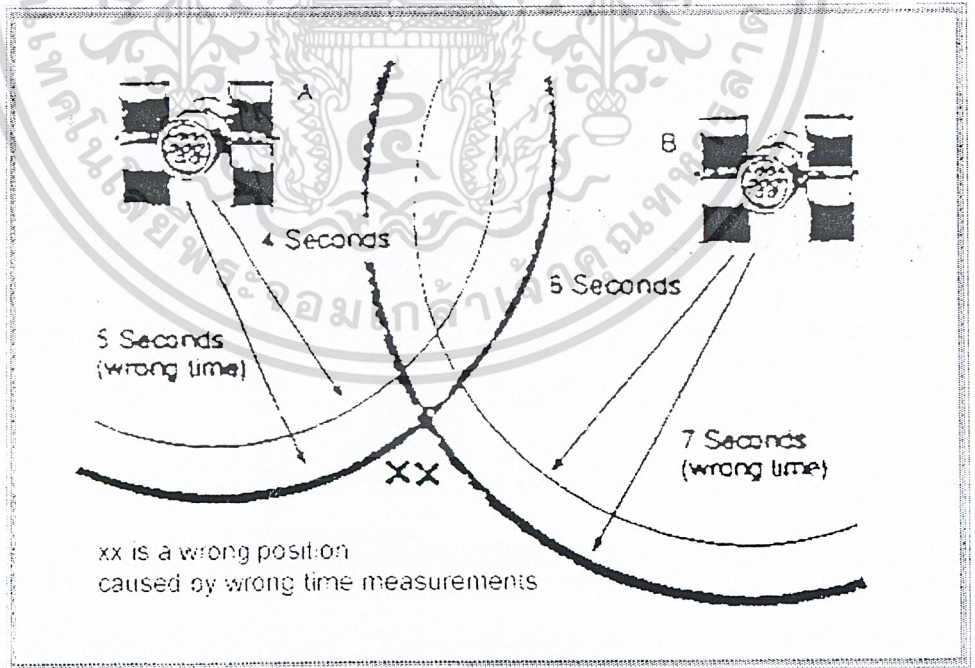
ประเด็นถัดมาลองมาคิดว่า ตัวเครื่องรับสัญญาณจะรู้ว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศของเครื่องรับเป็นระยะทางเท่าใดได้อย่างไร โดยหลักการแล้ว ถ้าวาดเส้นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง ดังนั้นถ้าสมมุติว่า ดาวเทียมส่งข้อมูล ABC ออกมาจากดาวเทียมเมื่อเวลา 8.00 นาฬิกา แล้วเครื่องรับรับข้อมูล ABC ได้เวลา 8.01 นาฬิกา แสดงว่าข้อมูลใช้เวลาเดินทางจากดาวเทียมมายังสายอากาศใช้เวลา 1 นาที เมื่อนำค่านี้คูณด้วยความเร็วของแสง ก็จะทำให้ได้ระยะทางออกมาเช่นเดียวกัน

ดังนั้นแทนที่เราจะบอกเป็นระยะทางว่าดาวเทียม โคจรอยู่สูงจากพื้นผิว โลกกี่กิโลเมตร เราอาจบอกเป็นเวลาที่ก็ได้ เช่น ดาวเทียมสองดวงอยู่ห่างจากสายอากาศ 4 และ 6 วินาที เพื่อให้ง่ายขึ้นจะมองทรงกลมที่สมมุติขึ้นมาล้อมรอบดาวเทียมแค่สองมิติเป็นวงกลมล้อมรอบดาวเทียม A และ B และ สมมุติว่าเกิดจุดตัดกันออกมาที่ จุด X ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B

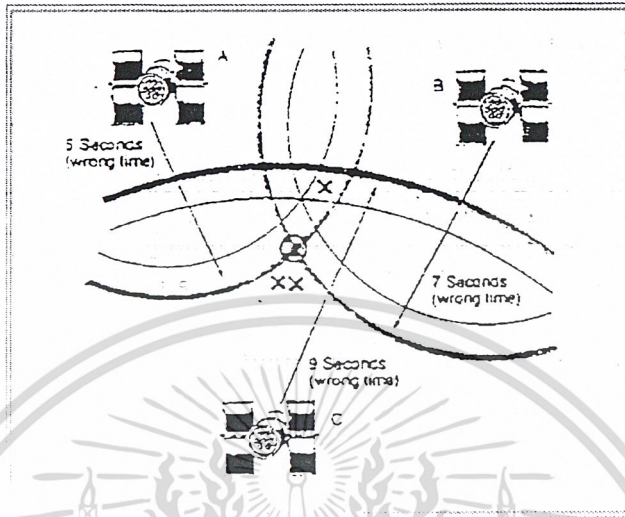
แต่ถ้าเวลาที่วัดได้เกิดการผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็น จะด้วยสาเหตุใดก็ตาม เช่น ดาวเทียม A จาก 4 วินาที เป็น 5 วินาที และดาวเทียม B จาก 6 วินาทีเป็น 7 วินาที ผลที่เกิดขึ้นก็คือ แทนที่จะเกิดจุดตัดขึ้นที่จุด X กลับเกิดที่ จุด XX ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A และ B ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

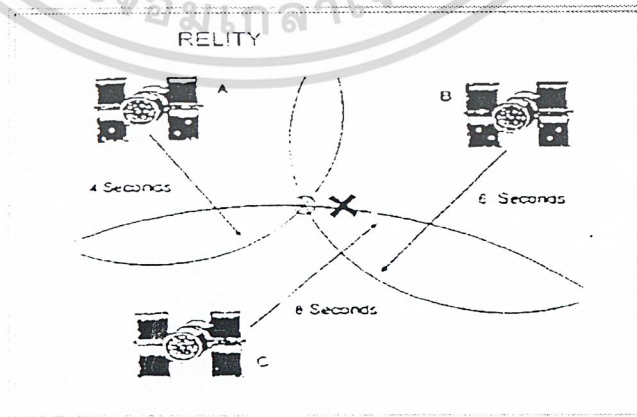
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าจะใช้ดาวเทียมดวงที่สาม (ดาวเทียม C) เข้าช่วย เพื่อหาตำแหน่งที่แน่นอนดังกล่าวมาแล้วในตอนต้น ถ้าเวลาผิดพลาดไปก็จะเกิดจุดตัดที่ผิดพลาดขึ้นมาเช่นกัน ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงจุดตัดกันของดาวเทียม A,B และ C ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าจุดที่ถูกต้องตามที่ต้องการในครั้งแรกก็คือ จุด X ซึ่งจะเป็นจุดตัดจุดเดียวเท่านั้น ไมโคร โปรเซสเซอร์ในเครื่องรับจะเริ่มทำการปรับค่าความผิดพลาดของเวลาของดาวเทียมแต่ละดวง การทำเช่นนี้จำเป็นต้องอาศัยดาวเทียมอีกดวงหนึ่งเข้าช่วยเพื่อทำการปรับตั้ง เวลาในเครื่องรับให้แม่นยำขึ้น จากนั้นจึงทำการขยับเวลาที่ทำการวัดได้จากดาวเทียมแต่ละดวงเพื่อทำการลดค่าผิดพลาดให้น้อยลง เมื่อทำการปรับได้อย่างถูกต้องแล้วก็จะทำให้ได้จุดตัดออกมาอย่างถูกต้องดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงจุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม A,B และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่อธิบายมาข้างต้นจะเห็นว่า ความแม่นยำของเวลาเป็นหัวใจของระบบที่เดียว ดังนั้นบนดาวเทียมจีพีเอส จึงมีนาฬิกาเชิงอะตอมที่มีความแม่นยำสูงบรรจุอยู่ถึงสี่เครื่อง นาฬิกาเหล่านี้จะถูกปรับตั้งให้มีความแม่นยำอยู่ตลอดเวลาโดยสถานีควบคุมภาคพื้นดิน

จากแนวความคิดที่กล่าวมานี้ ถ้าเครื่องรับสัญญาณอยู่บนพื้นโลกจะทำให้เครื่องรับทราบเวลาที่ตัวมันห่างจากดาวเทียมเท่าใด เสมือนกับได้ระยะทางด้านหนึ่งของสามเหลี่ยมแล้ว คือด้าน P ด้านที่สองของสามเหลี่ยมคือ r เครื่องรับจะทราบได้โดยดาวเทียมจะส่งข้อมูลมาบอกว่ามันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด ดังนั้น เครื่องรับจะคำนวณได้ว่า ตัวมันอยู่ห่างจะจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด

ปัญหาต่อมาก็คือ ตำแหน่งที่บอกออกมา นั้นเราจะรู้ได้อย่างไรว่ามันคือที่ไหนบนโลกนี้ ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดระบบอ้างอิงให้มัน การกำหนดใดๆ ก็ตามให้เปรียบเทียบกับระบบอ้างอิงที่กำหนดขึ้นนี้ ในบทความต่อไปจะกล่าวถึงระบบอ้างอิงที่ใช้ในระบบจีพีเอส



บทที่ 4

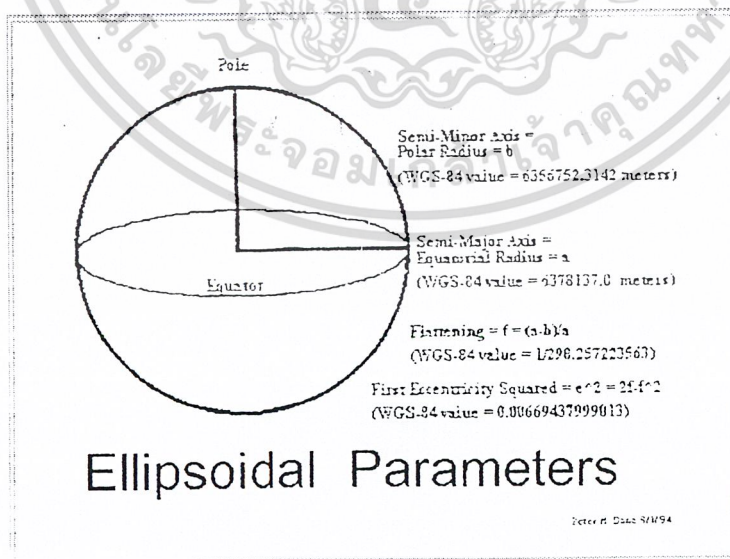
จีโอดีค ดาต้า

เนื่องจากพิกัดที่ได้จากเครื่องจีพีเอส มักอยู่ในรูปแบบ ลูติคจุด, ลองติจูด หรือค่าตัวแปร XYZ การกำหนดค่าดาต้าผิด จะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นอย่างมาก

จีโอดีค ดาต้า คือ การกำหนดระบบอ้างอิงที่ใช้อธิบายขนาดและรูปร่างของโลก ว่าควรมีลักษณะอย่างไร ในสมัยโบราณถือว่าโลกแบนดังนั้นระนาบอ้างอิงจึงเป็นเพนระนาบ ต่อมาพบว่าโลกเป็นทรงกลม ระบบอ้างอิงจึงถูกเปลี่ยนเป็นทรงกลมตามไปด้วย จนกระทั่งพบว่ารูปร่างของโลกที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเป็นแบบ เอลลิปซอยด์ (ellipsoid) และใช้มาจนถึงปัจจุบันนี้ เมื่อผนวกเข้ากับระบบการกำหนดพิกัดอ้างอิงก็จะทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกได้อย่างแม่นยำ

4.1 การอ้างอิงโดย เอลลิปซอยด์ (Reference Ellipsoids)

รูปแบบจำลองแบบเอลลิปซอยด์ (ellipsoid) ถือว่าพื้นผิวโลกราบเรียบและมีโครงสร้างเกือบเป็นทรงกลม (ป่องกลางคล้ายผลส้ม แต่เพื่อความสะดวกจะกลายเป็นวงกลมแทน) การอ้างอิงใดๆ บนพื้นผิวจะทำผ่านสองแกนคือ Semi-Major Axis คือเส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังเส้นอีควาเตอร์ และ Semi-Miner Axis ซึ่งก็คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังขั้ว

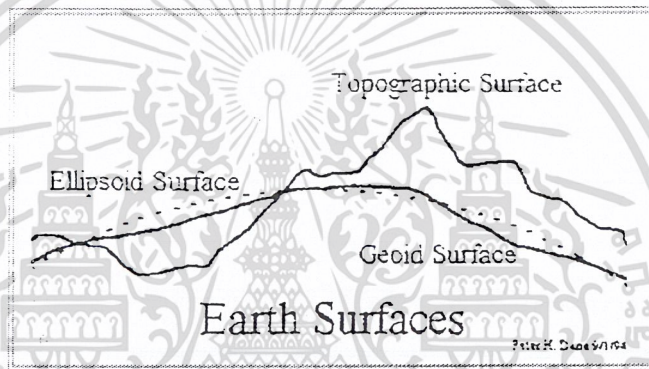


รูปที่ 4.1 ตัวแปรของเอลลิปซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ WGS-84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

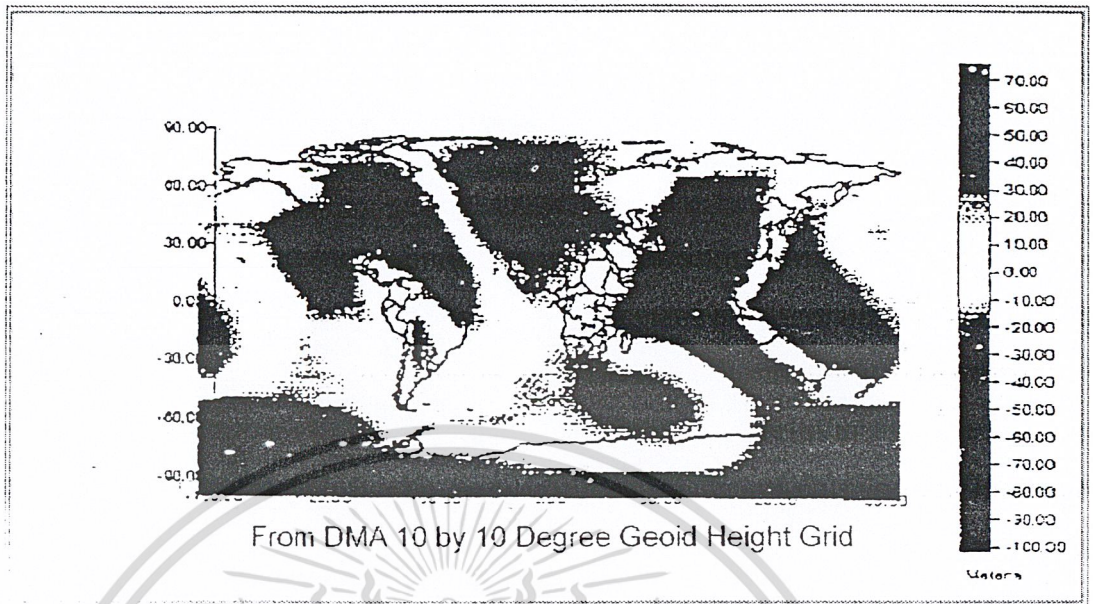
4.2 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก (Earth Surface Model)

รูปแบบจำลองของพื้นผิวโลกที่ถูกต้องมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับ ระบบนำร่อง การสำรวจ และการทำแผนที่ แต่เนื่องจากพื้นผิวโลกมีความสูงต่ำไม่เท่ากัน นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมตลอดเวลา ดังนั้นรูปแบบจำลองจึงมีหลายแบบด้วยกัน รูปแบบจำลองสภาพทางภูมิประเทศและระดับน้ำทะเลมีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงกายภาพของผิวโลก ในขณะที่รูปแบบจำลองทางด้านแรงโน้มถ่วงและจีโออยด์ (Geoid) มีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงและระดับน้ำทะเลเฉพาะส่วนของพื้นโลก รูปแบบจำลองต่างๆ เหล่านี้ถูกสร้างเปรียบเทียบหรืออ้างอิงร่วมกับเอลลิปซอยด์



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก

การจำลองพื้นผิวแบบโทโพกราฟฟิก (Topographic Surface) ของโลกจะแสดงพื้นผิวจริงของแผ่นดินและทะเล ในช่วงเวลาหนึ่งๆ ส่วนการจำลองพื้นผิวแบบจีโออยด์นั้นจะเป็นการจำลองพื้นผิวที่แสดงค่าสนามแรงโน้มถ่วงของโลกที่ตัดเทียบระดับความสูงของน้ำทะเลเฉลี่ย (mean sea level) จีโออยด์จะเป็นพื้นผิวอ้างอิงหลักในการกำหนดความสูงจุด ตัวอย่างดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงระดับของจีโออยด์

4.3 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้กันทั่วไป (Global Coordinate System)

เมื่อเรามีรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโลกแล้ว ต่อไปจะต้องกำหนดพิกัดอ้างอิงขึ้นมาเพื่อใช้กำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก มิฉะนั้นเราจะไม่ทราบว่า เราอยู่ที่ใดบนโลก ทำนองเดียวกันถ้าระนาบอ้างอิงแตกต่างกันออกไป พิกัดที่ได้จะแตกต่างกันออกไปด้วย ระบบที่ใช้ใ้การอ้างอิงมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละประเทศจะใช้แตกต่างกันออกไป ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเกี่ยวข้องกับระบบจีทีเอสเท่านั้น

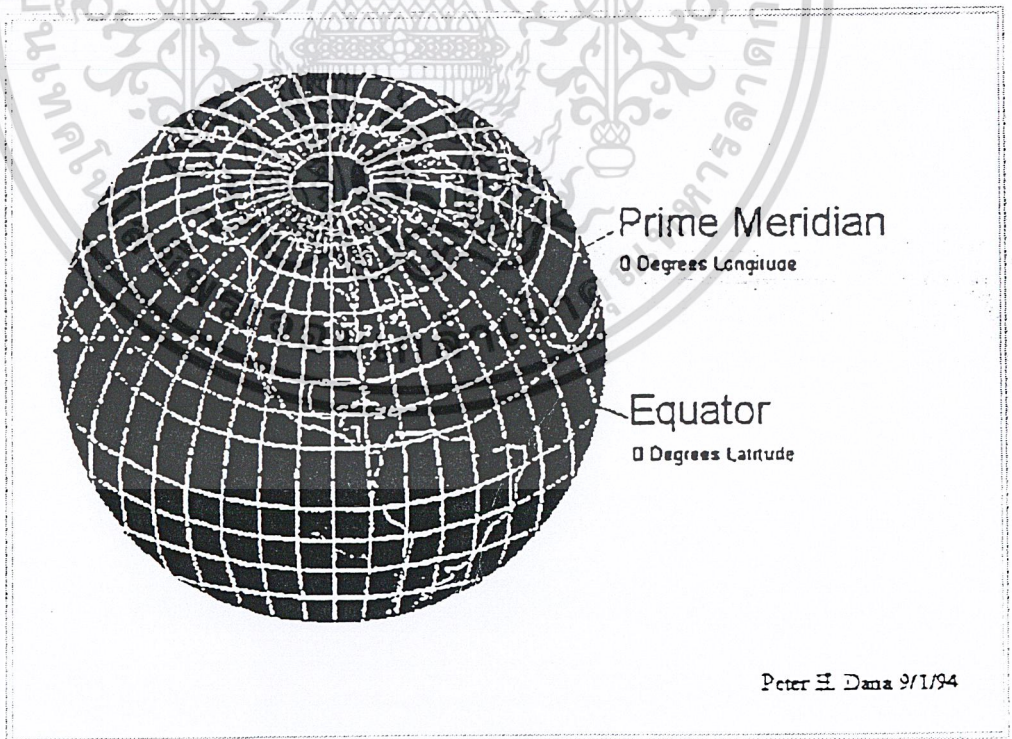
4.3.1 Latitude, Longitude, Height

ถือเป็นระบบพิกัดที่ใช้ร่วมกันมากที่สุดในโลก โดยกำหนดให้ระนาบอ้างอิง (Reference plane) ได้มาจาก ระนาบอีควีเตอร์ และไพรม์ เมอริเดียน (Prime Meridian) ที่วางตั้งฉากกันดังรูป 4.4 สามารถจินตนาการได้ว่า โลกเสมือนผลแดงโมที่วางอยู่ กับพื้นแล้วหันทางด้านขั้วของแดงโมขึ้นฟ้าจากนั้นให้นำต่อว่า ที่กึ่งกลางลูกแดง โมมีเส้นๆ หนึ่ง ลากขารอบลูกแดง โมโดยลากขนานกับพื้นที่แดง โมวางอยู่ เส้นนี้คือ เส้นอีควีเตอร์ ถ้าใช้มีคค่าแดง โมตามแนวเส้นนี้ แล้วยกแดง มครึ่งบนออก สิ่งที่มองเห็นคือเนื้อแดง โมที่เป็นพื้นผิววงกลมแบนราบ นั่นคือ ระนาบของอีควีเตอร์นั่นเอง ทำนองเดียวกัน ถ้าเราค่าแดง โมในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของอีควีเตอร์ ระนาบที่ได้เรียกเป็นระนาบของไพรม์ เมอริเดียน

กันถ้าระนาบอ้างอิงแตกต่างกันออกไป พิกัดที่ได้จะแตกต่างกันออกไปด้วย ระบบที่ใช้ใจการอ้างอิงมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละประเทศจะใช้แตกต่างกันออกไป ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเกี่ยวข้องกับระบบจีพีเอสเท่านั้น

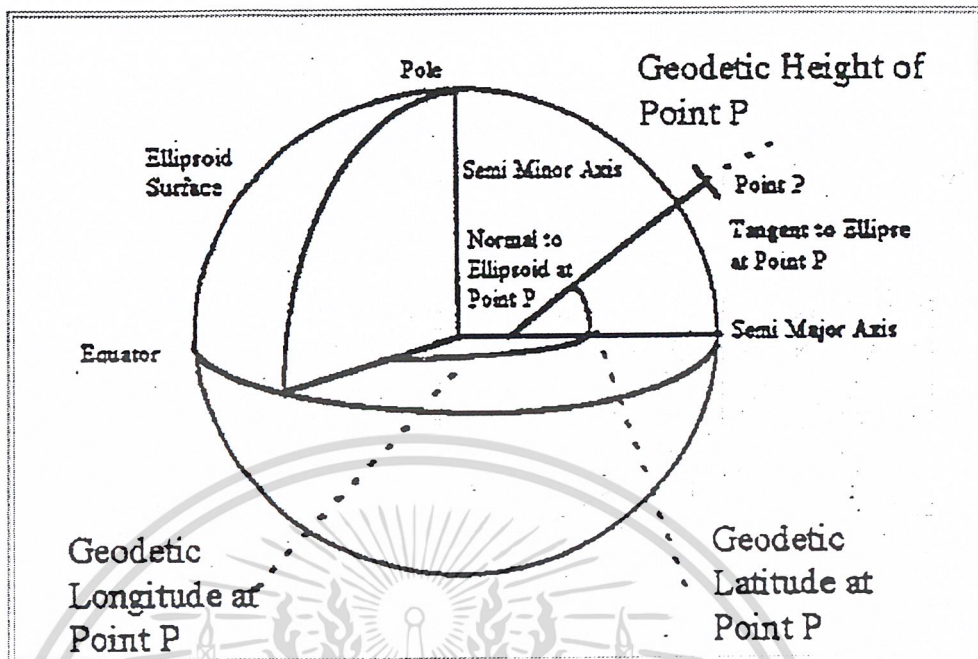
4.3.1 Latitude, Longitude, Height

ถือเป็นระบบพิกัดที่ใช้ร่วมกันมากที่สุดในโลก โดยกำหนดให้ระนาบอ้างอิง (Reference plane) ได้มาจาก ระนาบอีควาเตอร์ และ ไพรม์ เมอริเดียน (Prime Meridian) ที่วางตั้งฉากกันดังรูป 4.4 สามารถจินตนาการได้ว่าโลกเสมือนผลแดงโมที่วางอยู่ กับพื้นแล้วหันทางด้านขั้วของแดงโม ขึ้นฟ้าจากนั้นให้นำต่อว่า ที่กึ่งกลางลูกแดงโมมีเส้นๆ หนึ่ง ลากขารอบลูกแดงโม โดยลากขนานกับพื้นที่แดงโมวางอยู่ เส้นนี้คือ เส้นอีควาเตอร์ ถ้าใช้มีค่าแดงโมตามแนวเส้นนี้ แล้วยกแดงโมครึ่งบน ออก สิ่งที่มองเห็นคือเนื้อแดงโมที่เป็นพื้นผิววงกลมแบนราบ นั่นคือ ระนาบของอีควาเตอร์นั่นเอง ทำนองเดียวกัน ถ้าเรามำแดงโมในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของอีควาเตอร์ ระนาบที่ได้เรียกเป็น ระนาบของไพรม์ เมอริเดียน



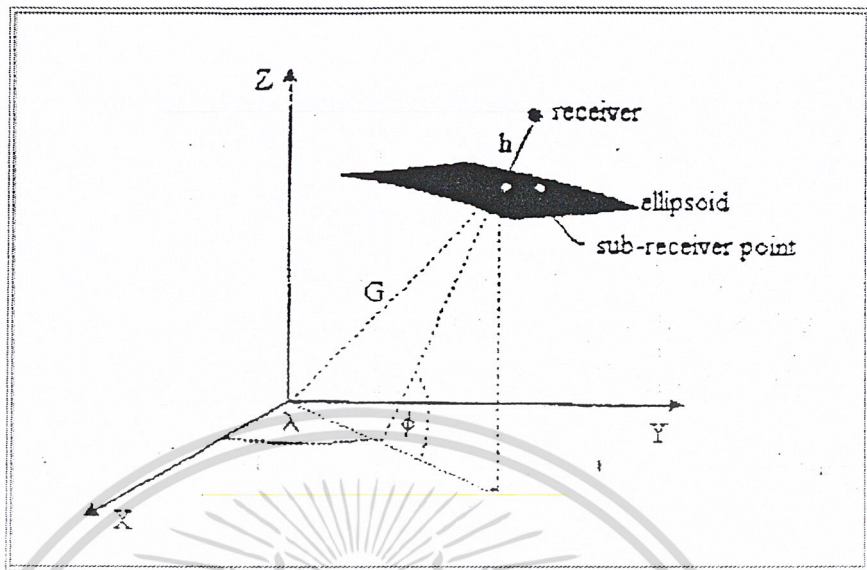
รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดเส้นไพรม์ เมอริเดียนและเส้นอีควาเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารกำหนดค่าจุด มีค่าเป็นเท่าใดให้ดูจากตัวอย่างดังรูปที่ 4.5 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง

จากรูปที่แสดงไว้สมมติว่าเครื่องรับสัญญาณอยู่ที่จุด P เมื่อลากเส้นมาตั้งฉากกับเส้นสัมผัสกับพื้นผิวเอลลิปซอยด์ (sub-receiver point ในรูปที่ 4.6) แล้วต่อเส้นนี้ไปตัดระนาบอีควเอเตอร์มุมที่เกิดจากเส้นที่ลากมาที่ระนาบอีควเอเตอร์เรียกว่า Geodetic Latitude และ ถ้าถือว่าเส้นที่ลากมาจากจุด P เป็นระนาบๆ หนึ่งที่ตั้งฉากกับระนาบอีควเอเตอร์มุมที่ระนาบๆ นี้กระทำกับระนาบอ้างอิงไพรม์ เมอริเดียน เรียก Geodetic Longitude ส่วนความยาวของเส้น h เรียก Geodetic Height

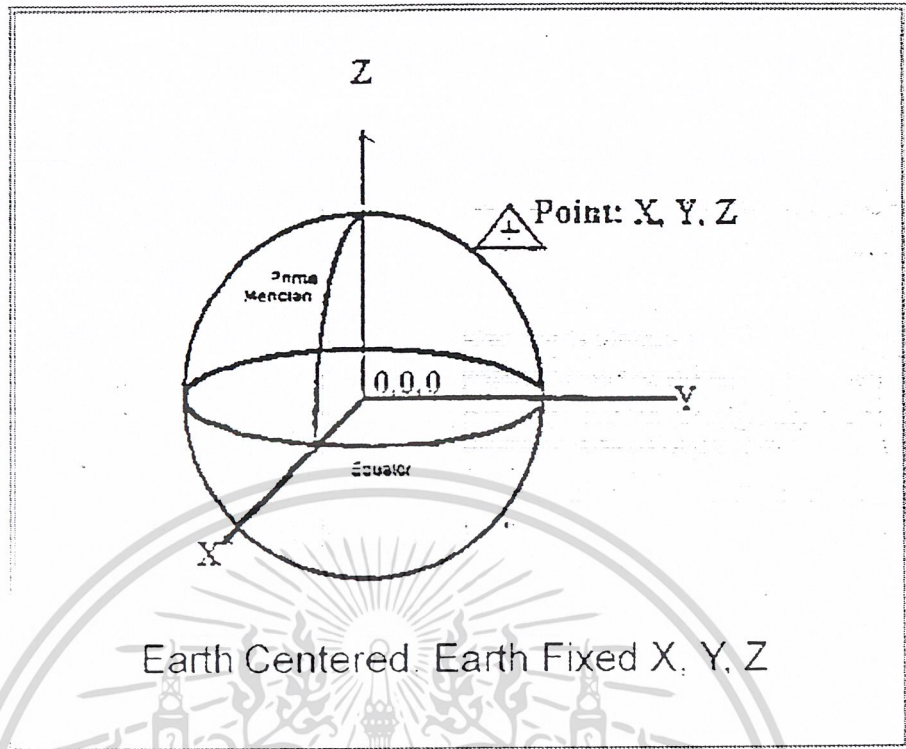


รูปที่ 4.6 แสดงการกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง

4.3.2 Earth Centered Earth Fixed X,Y,Z

ระบบนี้เป็นการกำหนดพิกัดแบบสามมิติเช่นกัน โดยถือว่าจุดศูนย์กลางมวลของโลกเป็นจุดศูนย์กลางของเอลลิพซอยด์ จากจุดนี้แกน Z จะชี้มายังขั้วโลกเหนือ (ตามแนวแกนหมุนของโลก) แกน X จะชี้มายังจุดตัดกันของเส้นไพรม์ เมริเดียน กับเส้นอีควเอเตอร์ และ แกน Y จะตั้งฉากกับแกน X ดังนั้นแต่ละจุดที่กำหนดขึ้นมาจะต้องมีองค์ประกอบของค่า X,Y,Z อยู่ด้วยเสมอ ระบบนี้จะใช้อ้างอิงในระบบจีพีเอสเป็นหลัก แล้วจึงทำการคำนวณจากค่า X,Y,Z มาเป็นค่า Latitude Longitude, Height ในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

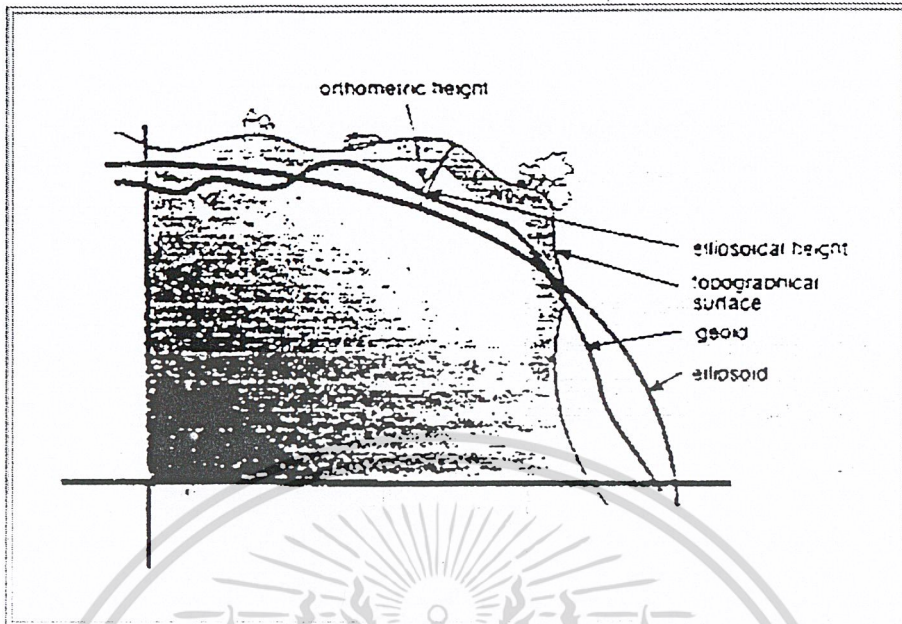


รูปที่ 4.7 แสดงระบบ ECEF X,Y,Z

4.4 ข้อสับสนของความสูง

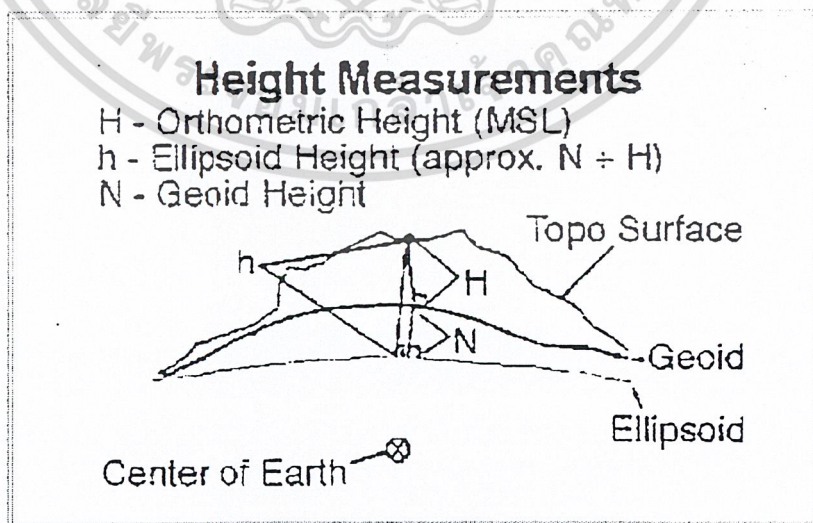
สมมติว่ามีเครื่องมือที่สามารถบอกตำแหน่ง ละติจูด ลองจิจูด ความสูง ออกมาได้ ค่าละติจูด ลองจิจูด ที่ได้เป็นค่าที่มีนิยามแน่นอนไม่สับสน แต่ค่าความสูงจะมีความสับสนได้ง่าย โดยทั่วไปตามความคิดของผู้ใช้งานจะคิดว่าเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (mean sea level) แต่จากรูปที่ผ่านมาในระบบละติจูด ลองจิจูด จะหมายถึงความสูงจากพื้นผิวเอลลิพซอยด์ซึ่งเป็นรูปแบบการจำลองมาจากคณิตศาสตร์ ส่วนในระบบ ECEF XYZ จะหมายถึงความสูงของเครื่องรับ ณ. ตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางโลกออกไปเท่าใดซึ่งแน่นอนจะต้องอยู่ในรูปของ XYZ

ในทางกลับกัน ถ้ากล่าวว่ “ส่วนสูงที่สุดของยอดเขา Elbert ในมลรัฐโคโรลาโดสูง 14,433 ฟิต” เคยคิดหรือไม่ว่าความสูงนี้วัดจากจุดอ้างอิงใด?



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบความสูงเหมือนเอลลิปซอยด์และจีโออยด์

จากรูปที่ 4.8 เส้น orthometric height คือ เส้นความสูงที่นับจากเส้นจีโออยด์ ส่วนเส้น ellipsoidal height ก็คือเส้นความสูงที่วัดจากเอลลิปซอยด์ ซึ่งก็คือ geodetic height นั่นเอง ถ้าระบุความสูงออกมาลอยๆ ผู้ใช้มักจะคิดว่าเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ย หรือ กล่าวง่ายๆ ว่าเป็น orthometric height แต่ความสูงจากเครื่องจีพีเอสจะเป็น ellipsoidal height หรืออยู่ในรูปของ XYZ เท่านั้น



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.9 จะเขียนได้ว่า

$$H = h - N$$

เมื่อ H คือ orthometric height

h คือ ellipsoidal height

N คือ geoid height

geoid height คือผลต่างของ orthometric height กับ ellipsoidal height ที่จุดๆ หนึ่ง ดังนั้น การใช้จีพีสวัดความสูงต้องระวังให้ดีว่า ความสูงที่ได้นั้นเป็นแบบใด

4.5 สรุปความเข้าใจหลักการที่ผ่านมา

จากที่ผ่านมา เครื่องรับจะทำการวัดระยะทางจากดาวเทียมถึงตัวมันได้โดยอาศัย เวลา * ความเร็วแสง การวัดระยะทางในลักษณะนี้ ระยะทางที่ได้เรียก ซูโคเรนจ์ จากนั้นเครื่องรับจะรับข้อมูลที่ส่งจากดาวเทียมที่เรียกว่า อีเฟมมาริส ข้อมูลนี้จะบอกให้ทราบว่าดาวเทียมมีวงโคจรอย่างไร ทำให้เครื่องรับทราบว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางโลกเท่าไร โดยอาศัยรูปจำลองทางคณิตศาสตร์เอลลิปซอยด์ ฟิกัดอ้างอิง และคาตัม จะทำให้เครื่องรับสามารถคำนวณตำแหน่งในระบบ ECEF XYZ หรือค่าละติจูด ลองจิจูด ความสูง ออกมาได้

บทที่ 5

การให้บริการของจีพีเอสและสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

ระบบจีพีเอสถูกสร้างมาจากหน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา จุดมุ่งหมายหลักคือให้บริการแก่หน่วยงานทางทหาร ต่อมาได้เปิดให้พลเรือนใช้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย แต่ได้แยกบริการออกเป็นสองกลุ่ม

5.1 การให้บริการของระบบจีพีเอส

การแบ่งกลุ่มการให้บริการใช้ความแม่นยำมาเป็นตัวกำหนด ในปัจจุบันนี้ได้แบ่งการให้บริการแยกออกเป็นสองประเภทคือ

5.1.1 การให้บริการที่มีความแม่นยำสูง (Precision Position Code, PPS) สำหรับใช้ในกิจการทหารหรือพลเรือนที่ได้รับอนุมัติใช้งานเท่านั้น ความแม่นยำที่คาดว่าจะได้รับคือ

ความแม่นยำทางด้านแนวนอน	17.8	เมตร
ความแม่นยำทางด้านแนวตั้ง	27.7	เมตร
ความแม่นยำของเวลา	100	นาโนวินาที

สาเหตุที่พลเรือนทั่วไปไม่สามารถใช้บริการที่มีความแม่นยำสูงได้เนื่องจากทาสู้ควบคุมระบบ (DoD) ได้เข้ารหัสข้อมูลเอาไว้ ทำให้เครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสที่มีขายในท้องตลาดทั่วไป ไม่สามารถทำการถอดรหัสสัญญาณต่างๆ ที่รับได้อย่างถูกต้อง จึงทำให้การคำนวณต่างๆ ผิดพลาดจนเชื่อถือไม่ได้

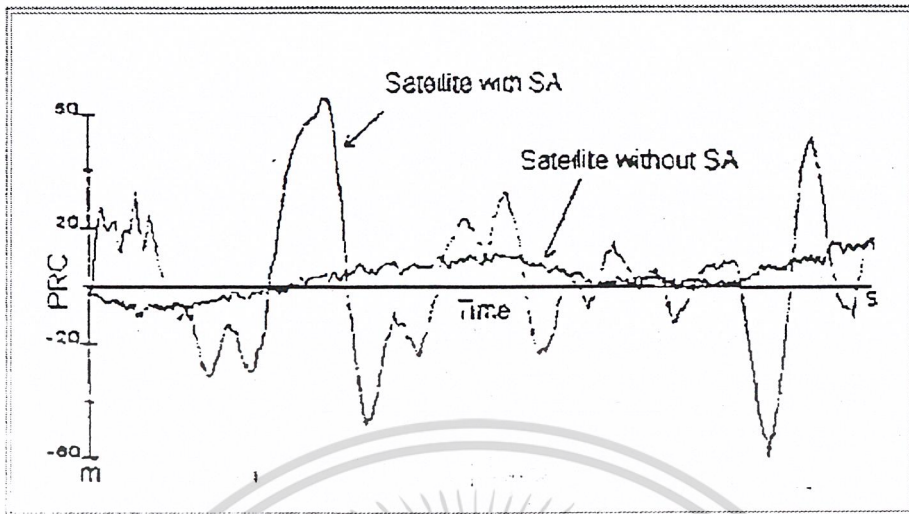
5.1.2 การให้บริการตามรูปแบบมาตรฐาน (Standart Position Service, SPS) ใช้สำหรับกิจการด้านพลเรือน โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและใช้งานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ความแม่นยำถูกทำให้ลดลงโดยกระบวนการที่เรียกว่า Selective Availability ภายใต้การควบคุมของ DoD ความแม่นยำที่คาดว่าจะได้รับคือ

ความแม่นยำทางด้านแนวนอน	100	เมตร
ความแม่นยำทางด้านแนวตั้ง	156	เมตร
ความแม่นยำของเวลา	167	นาโนวินาที

5.2 ผลของการใส่ SA เพื่อลดความแม่นยำลง

การใส่ SA เป็นการลดความแม่นยำในการใช้งานทางด้านพลเรือนลง โดยทำให้ข้อมูลที่ส่งออกมาจากดาวเทียมเปลี่ยนแปลงไปมาในลักษณะที่ไม่แน่นอนดังรูป 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

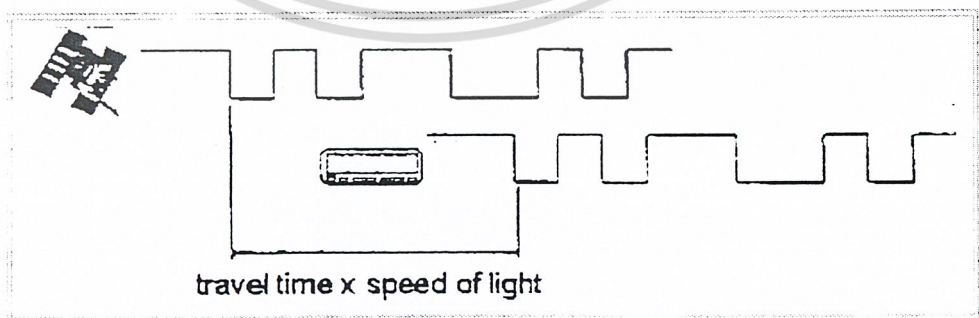


ในปัจจุบันนี้ได้พยายามมีการผลักดันให้ยกเลิกการลดค่าความผิดพลาดจากเดิม โยคให้เหตุผลว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถใช้เทคนิคดีเฟนเซิลชจัดออกไปได้เกือบหมด นอกจากนี้ระบบกลอนนาสซึ่งเป็นระบบนำร่องของรัสเซียให้ความผิดพลาดเพียง 50 เมตร เท่านั้น

5.3 สัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

จากที่ผ่านมาข้างต้นว่า ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับจะหารได้จากความแตกต่างของเวลาที่ดาวเทียมส่งมากับเวลาที่เครื่องรับ ได้คูณด้วยความเร็วแสง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสัญญาณต่างๆ ที่ส่งออกจากดาวเทียมมาให้เครื่องรับบนพื้นโลก

จากรูปที่ 5.2 ดาวเทียมจะส่งรหัสออกมาในรูปแบบของสัญญาณ เมื่อเครื่องรับได้รับรหัสนี้จะทราบว่ารหัสนี้ใช้เวลาในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนานเท่าใดและเป็นรหัสที่ส่งมาจากดาวเทียมดวงใด เมื่อนำเวลานี้มาคูณด้วยความเร็วแสงก็จะทำให้คำนวณหาระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับได้



รูปที่ 5.2 แสดงแนวความคิดในการหาระยะห่างจากดาวเทียมกับเครื่องรับ

ด้วยเหตุนี้ความแม่นยำในการกำหนดพิกัดของระบบจีพีเอสจะขึ้นอยู่กับฐานเวลาเป็นสำคัญ

ฐานเวลาที่อยู่บนดาวเทียมจีพีเอสได้มาจากนาฬิกาเซซาร์อะตอม ตัวอย่างเช่น BLACK II จะมีนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

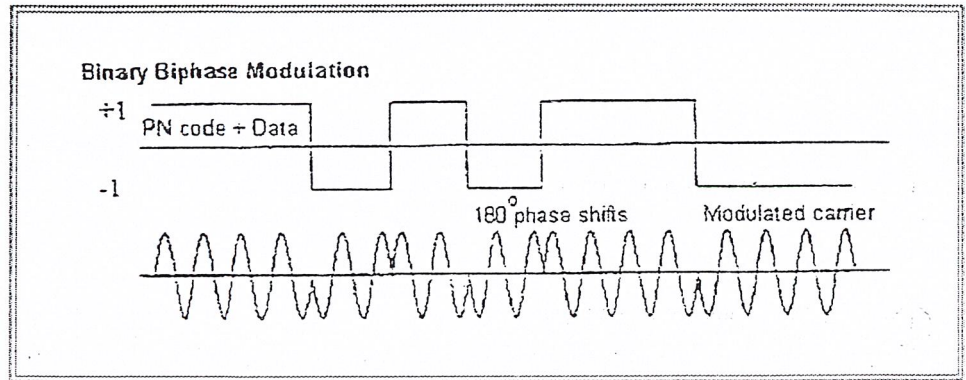
เชิงอะตอมแบบรูบิเดียมสองเครื่อง และ แบบซีเซียมสองเครื่อง ทำให้ความผิดพลาดต่อวันน้อยมาก หรือกล่าวง่ายๆ ว่า นาฬิกาจะเดินพลาดไป 1 วินาที เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 160,000 ปี

5.4 ความถี่ที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก

ดาวเทียมจีพีเอสจะใช้สัญญาณจากนาฬิกาเงินอะตอมสร้างควมถี่พื้นฐานในแบนด์ L เป็น 10.23 เมกกะเฮิร์ต แล้วสร้างคลื่นพาห์ในแบนด์ L1 และ L2 โดยการคูณควมถี่พื้นฐานด้วย 154 และ 120 ดังนั้นควมถี่ของคลื่นพาห์ในแบนด์ L1 จะเท่ากับ 1576.42 เมกกะเฮิร์ต ควมถี่ของคลื่นพาห์ใน แบนด์ L2 จะเท่ากับ 1227.60 เมกกะเฮิร์ต รหัสต่างๆ จะถูกกำหนดขึ้นจากควมถี่พื้นฐานทั้งสิ้น แสดงได้ดังนี้

องค์ประกอบ	ควมถี่	(MHz)
ควมถี่พื้นฐาน	f_0	= 10.23
คลื่นพาห์ L1	$154f_0$	= 1576.42
คลื่นพาห์ L2	$120f_0$	= 1227.60
พี-โค้ด	f_0	= 10.23
ซี/เอ-โค้ด	$f_0/10$	= 1.023
ข้อมูลในการนำร่อง	$f_0/204.600$	= 0.00005

โค้ดหรือรหัสทั้งสอง (C/A และ P) ถูกกำหนดอยู่ในรูปของสัญญาณพัลส์ สัญญาณพัลส์เหล่านี้จะถูกผสมกับคลื่นพาห์ในลักษณะของไบนารี ไบเฟส มอดูเลชัน (Binary Biphase Modulation) ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การผสมสัญญาณแบบไบนารี ไบเฟส มอดูเลชัน

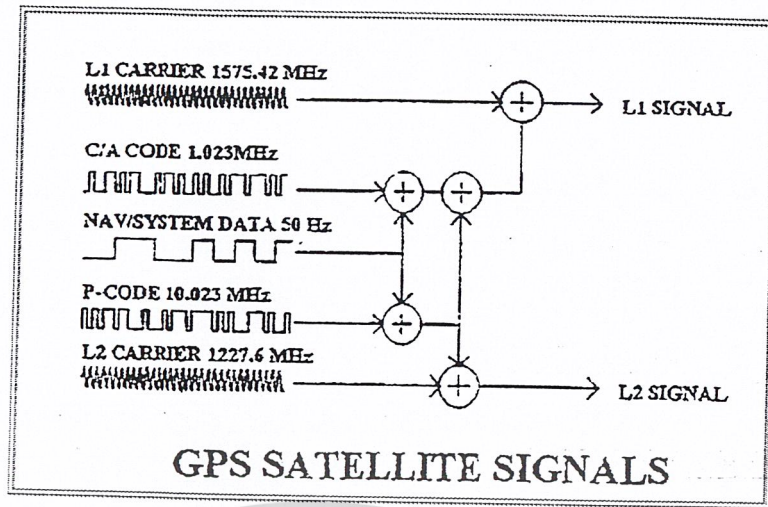
5.5 รหัสที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังพื้นโลก

รหัสที่ผสมมากับคลื่นพาห้สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

5.5.1 C/A Code, (Coarse Acquisition) ถูกผสมออกมากับคลื่นพาห้ในแบนด์ L1 เท่านั้น รหัสซูด แรนดอม นอยส์ (Pseudo Random Noise, PRN) ขนาด 1 เมกกะเฮิร์ตซุดหนึ่งี่ซ้ำๆ กับรหัสที่คล้ายมอยส์นี้จะถูกส่งออกมาทางแบนด์ L1 ไสลักษณะของการกระจายสเปคตรัม (Spread spectrum) ตลอดช่วงแบนด์วิธ 1 เมกกะเฮิร์ต รหัส C/A จะซ้ำเดิมทุกๆ 1023 บิต ดาวเทียมแต่ละดวงจะมีรหัส PRN ของรหัส C/A ที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นรหัส PRN มาเป็นตัวแยกดาวเทียมแต่ละดวง

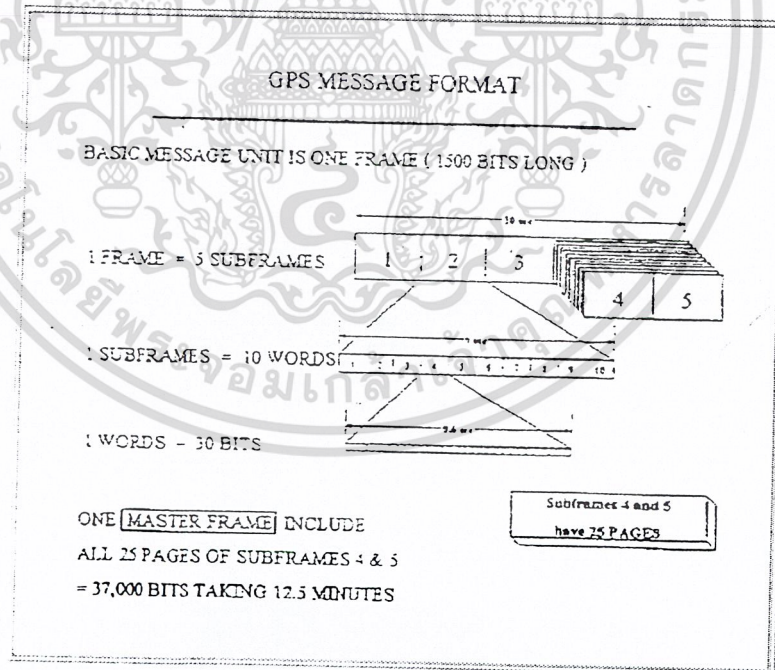
5.5.2 P- Code, (Precise) จะถูกผสมออกมากับคลื่นพาห้ทั้งในแบนด์ L1 และ L2 รหัส P คือ PRN ขนาด 10 เมกกะเฮิร์ตซุดหนึ่งี่มีความยาวมากๆ (7 วัน) สัญญาณนี้จะทำให้เครื่องรับสับสนใจการคำนวณค่าต่างๆ สำหรับผู้ได้รับอนุมัติให้สัญญาณนี้จะต้องมีชิพพิเศษที่เรียกว่า AOC (Auxiliary Output Chip) ต่อใช้ร่วมกับเครื่องรับจึงจะใช้งานได้อย่างถูกต้อง

5.5.3 ข้อมูลนำร่อง (Navigation Message) ข้อมูลนำร่องเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 50 เฮิร์ต เป็นบิตของข้อมูลที่ใ้บอก วงจรของดาวเทียม ข้อมูลการแก้ไขเวลา และตัวแปรอื่นๆ ของระบบ ข้อมูลนำร่องจะถูกนำมาผสมสัญญาณของรหัส C/A เพื่อส่งออกมาทางแบนด์ L1 และผสมสัญญาณของรหัส P เพื่อส่งออกมาทางแบนด์ L2 การผสมสัญญาณของข้อมูลนำร่องเข้ากับ C/A หรือ P โค้ด จะเป็นแบบการบวกแบบ มอ โด โล 2 (Modulo-2 addition) ดังรูป 5.4 ผลที่ได้จึงนำไปผสมสัญญาณต่อไป



รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากดาวเทียมจีพีเอส

โดยข้อมูลนำร่องที่ดาวเทียมจีพีเอสส่งมายังเครื่องรับ จะถูกแบ่งออกเป็นเฟรม (frame) ดังรูป 5.5 จะเห็นว่าหนึ่งเฟรมมีความยาวบิตข้อมูลเท่ากับ 1,500 บิต ดังนั้นแต่ละเฟรมใช้เวลาทั้งสิ้น 1,500/50 หรือ 30 วินาที ในหนึ่งเฟรมยังแบ่งออกเป็นเฟรมย่อย ได้ 5 เฟรมย่อย (subframe) ใช้ชื่อเป็นเฟรมย่อยที่ 1 ถึง 5 แต่ละเฟรมย่อยแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 เวิร์ด โดยหนึ่งเวิร์ดประกอบด้วยบิตข้อมูล 30 บิต



รูปที่ 5.5 แสดงโครงสร้างของการส่งข้อมูลของจีพีเอส

ข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อยที่ส่งมาใช้ระบุรายละเอียดที่แตกต่างกัน แต่ละเฟรมย่อยเริ่มด้วยเวิร์ดพิเศษ คือ TLM (Telemetry Word) และ HOW (Hand - Over Word) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวิร์ด TLM ประกอบด้วยข้อมูล 8 แรกที่มีรูปแบบคงที่ใช้เป็นรูปแบบในการซิงโครไนซ์ (Pattern Synchronized) และข้อมูลอีก 14 บิตสำหรับแสดงสถานะในการอัปเดตข้อมูลขึ้นสู่ดาวเทียม ข้อมูลในการทำการตรวจสอบการทำงานและข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

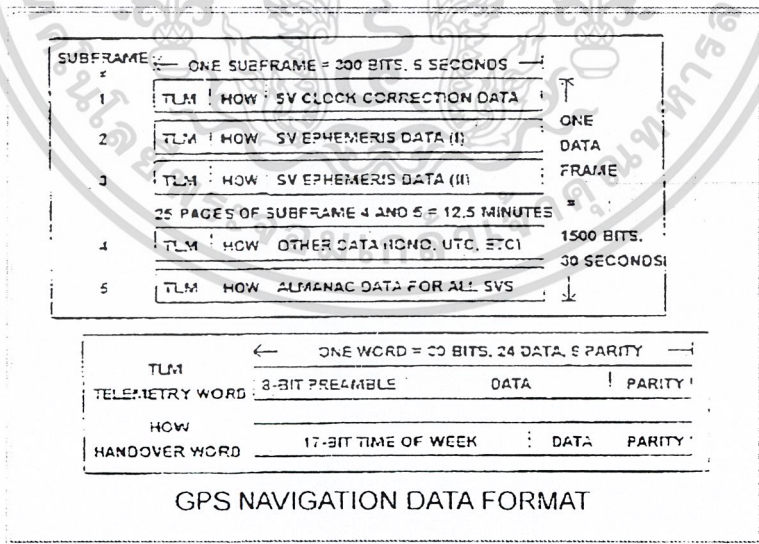
เวิร์ด HOW ใช้เก็บค่าๆ หนึ่งที่เรียกว่า Z-count ซึ่งจะเปลี่ยนไปทุกๆ 6 วินาที Z-count เป็นจำนวนที่แสดงจำนวนนับที่ละ 1.5 วินาที โดยเริ่มนับ 0 ตั้งแต่เที่ยงคืนของวันเสาร์เป็นต้นไปจนครบหนึ่งสัปดาห์ (ตามระบบเวลาของจีพีเอส) คำนับสูงสุดคือ 403,200 ($403,200 - 1.5 = 604,800$ วินาที = 168 ชั่วโมง = 7 วัน) ค่านี้จะถูกนำไปใช้คำนวณหาและแทร็คตาม P-code ตัวเลขอีกตัวหนึ่งใน HOW จะถูกนำมาคูณ 4 เพื่อหาจุดเริ่มต้นของเฟรมย่อยถัดไป นอกจากนี้ HOW ยังมีหมายเลขแต่ละเฟรมย่อยเก็บอยู่ รวมถึงแฟล็กแสดงสถานะต่างๆ

เฟรมย่อยที่ 1 ประกอบด้วย สัมประสิทธิ์ในการแก้ค่าเวลาที่ผิดพลาด อายุของข้อมูลและแฟล็กต่างๆ

เฟรมย่อยที่ 2 และ 3 ประกอบด้วยข้อมูลที่แสดงถึงวงโคจรของดาวเทียม (ephemeris)

เฟรมย่อยที่ 4 แสดงค่าของรูปแบบจำลองของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (ionosphere model) ข้อมูลของ UTC (Coordinated Universal Timer) แฟล็กแสดงถึงการเข้ารหัส P-code

เฟรมย่อยที่ 5 แสดงรายละเอียดคร่าวๆ ของตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงโดยอาศัยสัญญาณนี้จะทำให้เครื่องรับเองทราบว่ามีความเที่ยมดวงใดบ้างที่มองเห็น เมื่อแทร็คได้ดวงใดดวงหนึ่งแล้ว การแทร็คดวงอื่นๆ จะทำได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 5.6 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละเฟรมย่อย

บทที่ 6

การหาตำแหน่งและเวลาจากจีพีเอส

ในหัวข้อนี้จะแยกรหัสต่างๆ ในเครื่องรับให้ชัดเจนมากขึ้น

6.1 การแยกรหัสในเครื่องรับ (Code Phase Tracking)

การแยกรหัส PRN หรือ C/A เครื่องรับจีพีเอสจะสร้างรหัส C/A จำลองแบบขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ ตัวสร้างรหัสดังกล่าวอาจเป็นวงจรทางอาร์คแวร์จำพวกรีจิสเตอร์เลื่อนบิตหรือทำการคำนวณรหัสดังกล่าวไว้ในหน่วยความจำของเครื่องรับก็ได้ทั้งนี้แล้วแต่ผู้ออกแบบว่าจะเลือกใช้แบบใด

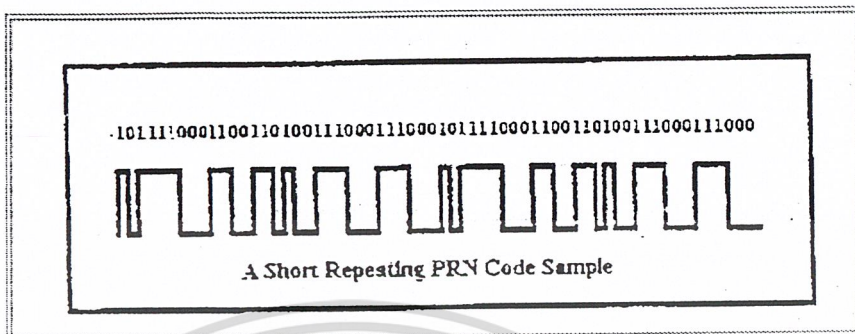
ตัวสร้างรหัส C/A ภายในเครื่องรับจีพีเอสจะสร้างรหัส C/A ที่แตกต่างกันออกไปโดยอาศัยการเลื่อนแท็ป รีจิสเตอร์เลื่อนบิตจะทำการเลื่อนบิตออกมาตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมอยู่รหัส C/A ที่กำหนดในปัจจุบันเป็นดังรูป 8.1 จะเห็นว่าคาบเทียบแต่ละดวงจะมีรหัส C/A เฉพาะตัวไม่ซ้ำกัน

GPS C/A Code Assignments		
SV PRN ID	G2 Phase Codes	First 10 Chips
1	2 & 6	1100100000
2	3 & 7	1110010000
3	4 & 8	1111001000
4	5 & 9	1111100100
5	1 & 9	1001011010
6	2 & 10	1100101101
7	1 & 8	1001011001
8	2 & 9	1100101100
9	3 & 10	1110010110
10	2 & 9	1101000100
11	3 & 4	1110100010
12	5 & 6	1111101000
13	6 & 7	1111101000
14	7 & 8	1111110100
15	8 & 9	1111111001
16	9 & 10	1111111110
17	1 & 4	1001101110
18	2 & 5	1100110111
19	3 & 6	1110011011
20	4 & 7	1111001101
21	5 & 8	1111100110
22	6 & 9	1111110011
23	1 & 3	1000110011
24	4 & 6	1111000110
25	5 & 7	1111100011
26	6 & 8	1111110001
27	7 & 9	1111111000
28	8 & 10	1111111100
29	1 & 6	1001010111
30	2 & 7	1100101011
31	3 & 8	1110010101
32	4 & 9	1111001010

รูปที่ 6.1 แสดงการกำหนดรหัส C/A

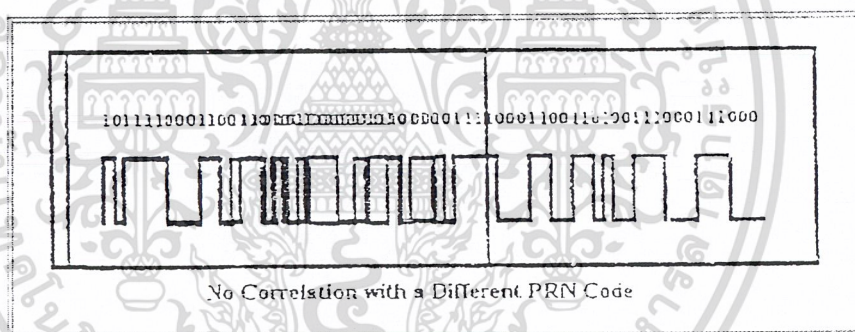
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับจีพีเอสจะเลื่อนรหัสที่สร้างขึ้นจากตัวสร้างรหัสไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจับคู่กับรหัสที่ได้จากดาวเทียมได้พอดี สมมุติว่ารหัสที่เข้ามาเป็นดังรูปที่ 6.2



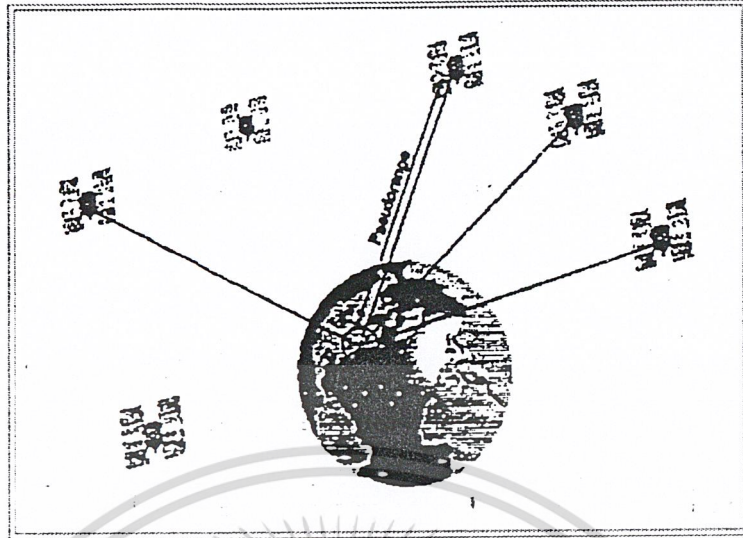
รูปที่ 6.2 แสดงรหัส PRN บางส่วน

ในกรณีที่การจับคู่แล้วถ้ารหัสระหว่าง PRN ที่สร้างขึ้นแตกต่างกันได้จากดาวเทียม ผลที่ได้จะเข้าคู่กันไม่ได้ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงการไม่สัมพันธ์กันของรหัส PRN Code

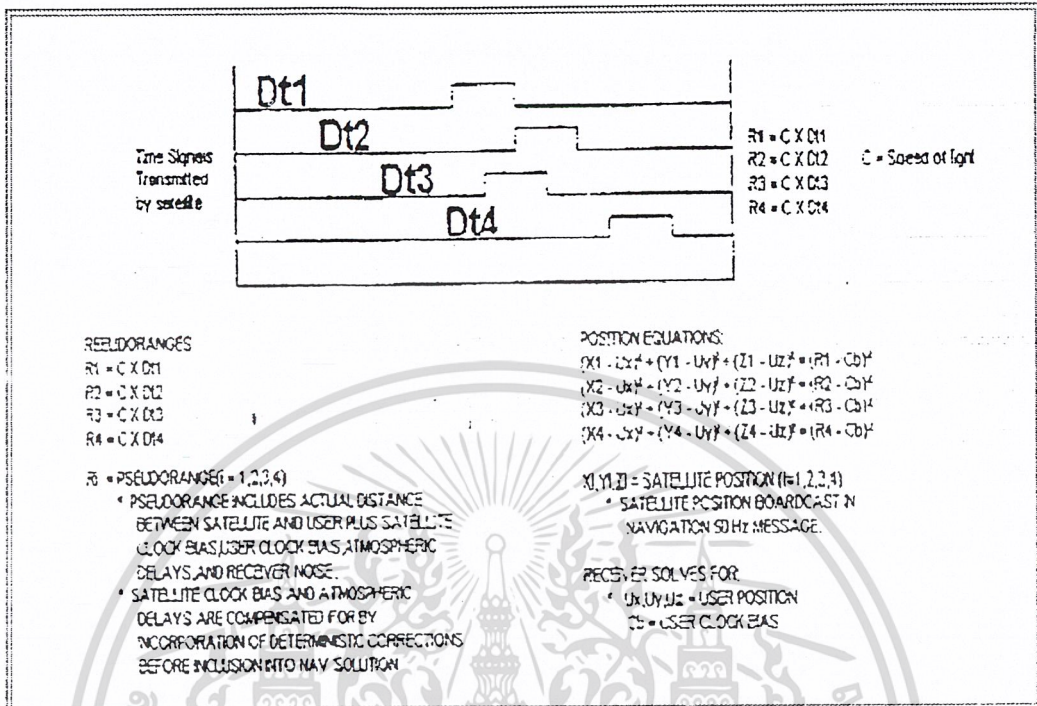
เมื่อเครื่องรับสร้างรหัสได้บางส่วนที่คล้ายกับที่ได้จากดาวเทียม จะเห็นว่ารหัสเริ่มเหมือนกันมากขึ้น ทำให้สามารถเห็นความชัดเจนของสัญญาณได้บ้าง ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.6 แสดงระยะทางแบบซูด

ในการคำนวณหาระยะทางซูด ตัวเครื่องรับจะทำการเปรียบเทียบจากรหัส PRN ที่ได้จากดาวเทียมกับรหัส PRN ที่สร้างขึ้นภายในตัวเครื่องรับว่ามีเวลาต่างกันอยู่เท่าใด (Time of arrival, TOA) ซึ่งจะเป็นเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับ เมื่อคูณค่านี้ด้วยความเร็วแสงจะได้ระยะทางออกมา ระยะทางที่คำนวณได้นี้เป็นผลรวมระหว่าง ระยะทางจากสายอากาศของดาวเทียมจีพีเอสมาถึงเครื่องรับ, การไข่อัตเวลาที่ดาวเทียม, การไข่อัตเวลาที่เครื่องรับของผู้ใช้, การหน่วงเวลาเนื่องจากผลของชั้นบรรยากาศไอโอทอสเฟียร์ และสัญญาณรบกวนของเครื่องรับ

ในการคำนวณหาระยะทางแบบซูดนั้น ใช้ดาวเทียม 3 ดวง จากรูป 6.7 จากสมการ Position Equation จะเห็นว่า ตัวแปรของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณนั้นจะมี 3 ตัวแปร เมื่อรวมกับ Clock bias ด้วยจะกลายเป็น 4 ตัวแปร ดังนั้นจึงต้องใช้ดาวเทียม 4 มาคำนวณ



รูปที่ 6.7 แสดงสมการคำนวณระยะทางแบบซูโด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GPS Pseudorange (Navigation Example - Peter H. Dana - 5/23/85)

Satellite (SV) coordinates in ECEF XYZ from Ephemeric Parameters and SV Time

$SVx_0 := 15524471.175$	$SVy_0 := -16649826.222$	$SVz_0 := 13512272.387$	SV 15
$SVx_1 := -2204058.534$	$SVy_1 := -23297905.465$	$SVz_1 := 11917038.105$	SV 27
$SVx_2 := 16680243.357$	$SVy_2 := -3069625.561$	$SVz_2 := 20378551.047$	SV 31
$SVx_3 := 14799931.395$	$SVy_3 := 21425358.24$	$SVz_3 := -6069947.224$	SV 7

Satellite Pseudorange in meters (from C/A code epochs in milliseconds)

$$P_0 := 89491.728 \quad P_1 := 133930.337 \quad P_2 := 283098.653 \quad P_3 := 24454.421 \quad \text{Range} + \text{Receiver Clock Bias}$$

Receiver Position Estimate in ECEF XYZ

$$Rx := -730000 \quad Ry := -5440000 \quad Rz := 3230000$$

For Each of 4 SVs $i := 0..3$

Range from Receiver Position Estimate to SVs (R_i) and Array of Observed - Predicted Ranges

$$R_i := \sqrt{(SVx_i - Rx)^2 + (SVy_i - Ry)^2 + (SVz_i - Rz)^2} \quad L_i := \text{mod}[(R_i) \cdot 299792.458] - P_i$$

Compute Directional Derivatives for XYZ and Time

$$Dx_i := \frac{SVx_i - Rx}{R_i} \quad Dy_i := \frac{SVy_i - Ry}{R_i} \quad Dz_i := \frac{SVz_i - Rz}{R_i} \quad Dt_i := -1$$

Solve for Correction to Receiver Position Estimate

$$A := \begin{bmatrix} Dx_0 & Dy_0 & Dz_0 & Dt_0 \\ Dx_1 & Dy_1 & Dz_1 & Dt_1 \\ Dx_2 & Dy_2 & Dz_2 & Dt_2 \\ Dx_3 & Dy_3 & Dz_3 & Dt_3 \end{bmatrix} \quad dR := (A^T A)^{-1} A^T L \quad dR = \begin{bmatrix} -3186.359 \\ -3791.978 \\ 1192.917 \\ 12345.66 \end{bmatrix}$$

Apply Corrections to Receiver XYZ and Compute Receiver Clock Bias Estimate

$$Rx := Rx + dR_0 \quad Ry := Ry + dR_1 \quad Rz := Rz + dR_2 \quad \text{Time} := dR_3$$

$$Rx = -733186.359 \quad Ry = -5443791.978 \quad Rz = 3231192.817 \quad \text{Time} = 12345.66$$

รูปที่ 6.8

ตัวอย่างการหาค่า ของ Pseudo-range navigation เป็นดังรูปที่ 6.8

จากตัวอย่างข้างต้นได้คำตอบเป็นพิกัด XYZ ซึ่งสามารถแปลงเป็นพิกัด ละติจูด ลองจิจูด และความสูงได้จากสมการดังรูปที่ 6.9

Coordinate Conversion

Cartesian (ECEF X, Y, Z) and Geodetic (Latitude, Longitude, and Height)

$$X = (N + h) \cos \phi \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cos \phi \sin \lambda$$

$$Z = [N(1 - e^2) + h] \sin \phi$$

where:

ϕ, λ, h = geodetic latitude, longitude, and height above ellipsoid
 X, Y, Z = Earth Centered Earth Fixed Cartesian Coordinates
and:

$$N(\phi) = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi} = \text{radius of vertical in prime meridian}$$

a = semi-major earth axis (ellipsoid equatorial radius)
 b = semi-minor earth axis (ellipsoid polar radius)

$$f = \frac{a - b}{a}$$

$$e^2 = 2f - f^2$$

Direct solution for X, Y, Z from Latitude, Longitude, and Height
Iterative Solution for Latitude, Longitude, and Height from X, Y, Z

Page H. Data 6/27/04

รูปที่ 6.9 แสดงการเปลี่ยนจากพิกัด ECEF XYZ, พิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinate)

บทที่ 7

มาตรฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

จากที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้เราทราบว่าจีพีเอสมีหลักการอย่างไรบ้างในการกำหนดจุดตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส, ทราบว่าผลที่ได้จากการประมวลผลนั้นแสดงออกมาในรูป ละติจูด ลองจิจูด ความสูง เวลา ฯลฯ

โครงการประยุกต์ใช้งานจีพีเอส เพื่อควบคุมยานพาหนะจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ จากการศึกษาพบว่าเครื่องรับจีพีเอส บางรุ่นนั้นสามารถที่จะนำข้อมูลต่างๆ ติดต่อกันระหว่างเครื่องรับด้วยกันและยังสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลเองหรือประยุกต์เข้ากับโปรแกรมเฉพาะเพื่อใช้งานในด้านอื่นๆ นอกจากการแสดงค่า ละติจูด ลองจิจูด ความสูง เวลา เพียงอย่างเดียวเช่น การทำ Car navigation การหาความเร็วและอัตราเร่งจากจีพีเอส การทำแผนที่ เป็นต้น

แต่การที่จะติดต่อกันระหว่างเครื่องรับจีพีเอส กับคอมพิวเตอร์นั้น ทั้งเครื่องรับจีพีเอสและคอมพิวเตอร์ จะต้องพูดภาษาเดียวกัน เข้าใจภาษาที่จะติดต่อกันจึงจะสามารถติดต่อกันได้ ถ้าไม่เข้าใจก็ติดต่อกันไม่ได้

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาภาษามาตรฐานสำหรับการติดต่อสื่อสารในระบบนำร่องจะใช้มาตรฐานโดยทั่วไปคือ มาตรฐาน NMEA 0180 โดย NMEA ย่อมาจาก National Marine Electronics Association เป็นหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานนี้ขึ้น NMEA 0180 ได้กำหนดรูปแบบในการส่งข้อมูลละติจูด ลองจิจูด กำหนดความเร็วในการรับส่งข้อมูลและข้อมูลอื่นๆในการนำร่อง ต่อมาได้มีการแก้ไข NMEA 0180 ใหม่ ให้มีประโยชน์และใช้ได้อย่างกว้างขวางขึ้น นั่นคือมาตรฐาน NMEA 0183 ที่ใช้ได้กับอุปกรณ์ทั้งหมดในปัจจุบันนี้

มาตรฐาน NMEA 0183 เป็นชื่อเรียกสำหรับการข้อมูลในรูปแบบ "ประโยค" ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบซึ่งจะกล่าวต่อไป

พารามิเตอร์ของ NMEA 0183

- ในการส่งข้อมูล 1 ไบต์ จะประกอบด้วย 7 บิต ASCII ใน 8 บิต โดยบิตสำคัญมากที่สุด (บิตที่ 7) จะถูกกำหนดให้เป็น 0
- มีหนึ่งบิตเริ่ม (Start bit) และหนึ่งบิตสิ้นสุด (Stop bit)
- ไม่มีพาริตีบิต
- มีอัตราบอด (Baud rate) 4800 bps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษาของ NMEA 0183 แม้จะมีมากแต่ก็ไม่ยากที่จะเข้าใจ โดยแต่ละประโยคจะเริ่มต้นด้วย \$ และสิ้นสุดที่การขึ้นบรรทัดใหม่ <CR> <LF> ในแต่ละประโยคมีความยาวได้มากที่สุด 80 ตัวอักษร ระหว่างเริ่มต้นและสิ้นสุดของประโยคเป็นข้อมูล (Field of data) แต่ละข้อมูลจะถูกแยกออกจากกันด้วยเครื่องหมาย “,”

ข้อมูลชุดแรกของทุกประโยค (Field 0) เริ่มต้นด้วย 2 ตัวอักษรที่แสดงถึงอุปกรณ์ที่ส่งมา ตามด้วย 3 ตัวอักษรที่แสดงว่าใช้รูปแบบประโยคใด และตามด้วยข้อมูลที่แตกต่างกันไปตามรูปแบบประโยค

ตัวอย่างของ 2 ตัวอักษรที่แสดงถึงอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลมา

LC	LORAN-C
GP	GPS
TR	TRANSIT SATNAV
AP	AUTOPILOT
HC	MAGNETIC HEADING COMPASS
RA	RADAR

7.1 รูปแบบประโยคมาตรฐานพอลังเขป

GLL - Geographic Position latitude , longitude

แสดงตำแหน่ง ละติจูด ลองจิจูด และ เวลา

\$GLL, III.II , a , yyy.yy , b , hhmss.ss**

III.II = ตำแหน่งละติจูด

a = N , S

yyy.yy = ตำแหน่งลองจิจูด

b = E , W

hhmss.ss = ตำแหน่งเวลา UTC Time

GGA - Global positioning system fix data

แสดงเวลา ตำแหน่งและข้อมูลคงที่ต่างๆสำหรับจีพีเอส

\$**GGA , hhmmss.ss , lll.llll , a , yyy.yyyy , b , x , xx , x.x , x.x , M , x.x , M , x.x ,xxxx

hhmmss.ss = ตำแหน่งของ UTC (UTC time)

lll.llll = ตำแหน่งละติจูด

a = N , S

yyy.yyyy = ตำแหน่งลองจิจูด

b = E , W

x = ชื่อคุณภาพของจีพีเอส

xx = จำนวนดาวเทียมที่ใช้

x.x = ความเที่ยงตรงในแนวนอน

x.x = ความสูงของสายอากาศเหนือระดับน้ำทะเล

M = หน่วยของความสูง (เมตร)

x.x = Geoidal separation

M = หน่วยของความสูง Geoidal separation (เมตร)

x.x = อายุของข้อมูล

xxxx = แอคเตอเรสของคิฟเฟอร์เรนเชียต จีพีเอส

ซึ่งในโครงการได้ใช้ข้อมูลข้างต้นคือ GGA มาทำการออกแบบอุปกรณ์เพื่อนำร่องยานพาหนะข้อมูลรูปแบบประโยคที่ได้จากจีพีเอสทั้งหมดแสดงอยู่ในภาคผนวก

ตัวอย่างรูปแบบประโยคที่ใช้งาน

Field # : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

\$GPGGA , 044645 , 3537 . 8333 , N , 13944 . 6667 , E , 0 , 03 , 99 . 9 , 0100

ประโยคจะเริ่มต้นด้วย \$ ตามด้วย 2 ตัวอักษรที่แสดงอยู่ในที่นี้คือ จีพีเอส (GP) และตามด้วยรหัสรูปแบบของประโยค GGA ที่แสดงตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด

ใน Field 1 แสดงละติจูด

Field 2 แสดงว่าเหนือหรือใต้

Field 3 แสดงลองจิจูด

Field 4 แสดงว่าตะวันออก หรือตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

แนวคิดในการออกแบบและการสร้าง

8.1 แนวคิดในการออกแบบ

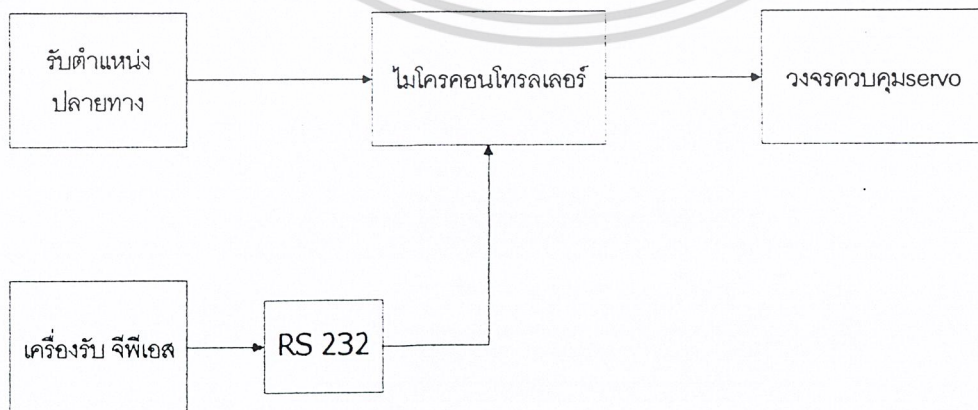
ในการออกแบบอากาศยานไร้คนขับนั้นมีแนวคิดและหลักการทำงานคือ เมื่อนักบินนำอากาศยานไร้คนขับขึ้นบินโดยใช้รีโมทคอนโทรล หรือจอยสติคสำหรับเครื่องบินบังคับวิทยุแล้วนำอากาศยานไปในความสูงที่ปลอดภัย เมื่อมีความสูงที่ปลอดภัยแล้วจึงสามารถใช้งานอุปกรณ์การบินอัตโนมัติได้ โดยมีความสูงคงที่จากอุปกรณ์ ควบคุมความสูง และบินไปยังทิศทางที่ต้องการโดยใช้การประยุกต์การใช้งาน จีพีเอส

ส่วนประกอบที่สำคัญของอากาศยานไร้คนขับ ประกอบด้วย

1. อากาศยานเบาบังคับด้วยวิทยุ
2. ชุดควบคุมระยะไกล (Remote Control)
3. อุปกรณ์การบินอัตโนมัติ (Autopilot)
4. เครื่องรับจีพีเอส

8.2 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

ในส่วนของด้านฮาร์ดแวร์ประกอบ เครื่องรับจีพีเอส ส่วนควบคุมบังคับทิศทาง ส่วนจำลองอากาศยาน(รถพลังลม) และส่วนแสดงผลทางจอแอลซีดี ซึ่งจะเห็นได้ว่าในโครงการนี้ไม่ได้ใช้อากาศยานเบาในการทดลอง เนื่องจากไม่สะดวกในการทดลองและใช้งานซึ่งจะกล่าวต่อไป



รูปที่ 8.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.1 เครื่องรับจีพีเอส

เครื่องรับจีพีเอสนั้นจะใช้เครื่องรับจีพีเอสที่เป็นลักษณะแบบจีพีเอสโมดูลซึ่งมีน้ำหนักเบา และราคาถูกซึ่ง จีพีเอส โมดูล นี้จะมีมาตรฐานในการส่งข้อมูลแบบ NMEA 0183 โดยมีรูปแบบของประโยคตามที่ระบุไว้ในบทที่ 7 โดยในโครงการนี้ได้นำเอาข้อมูลประโยคแบบ GPGLGA นำมาถอดรหัสและตัดเอาข้อมูล ละติจูด ลองจิจูด เพื่อใช้สำหรับการประมวลผลในส่วนควบคุมต่อไป

จีพีเอสโมดูลที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดจะมีพอร์ตสื่อสารที่สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยการอินเตอร์เฟสผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม ข้อมูลหรือสัญญาณของจีพีเอส โมดูล นั้นจะถูกส่งในมาตรฐาน RS-232

เครื่องรับจีพีเอสโมดูลที่ใช้ในโครงการนี้ได้นำจีพีเอสโมดูลของโซนี่อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีอยู่ในท้องตลาด สองรุ่นคือ รุ่น GXB1000 และ GXB2000 โดยรุ่น GXB2000 ที่ใช้อยู่นี้ปรับปรุงพัฒนามาจากรุ่น GXB1000 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสให้ได้คุณภาพมากยิ่งขึ้น โดยคุณสมบัติของจีพีเอสรุ่น GXB2000 จะแสดงในตารางที่ 8.1

คุณสมบัติของเครื่องรับจีพีเอส SONY GXB2000

- สามารถรับสัญญาณได้ถึง 16 ช่องสัญญาณพร้อมกัน
- RF อินพุต
ความถี่ที่รับ 1575.42 เมกะเฮิร์ตซ์, L1 แบนด์ ,C/A Code
อินพุต อิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม
ความไวในการรับสัญญาณน้อยกว่าหรือเท่ากับ -130 dBm
ระบบที่ใช้ในการวัดตำแหน่ง WGS-84
ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง

ตำแหน่ง 100 เมตร 2DRMS

(SA ON, PDOP = 2.5, HDOP = 1.5)

ความเร็ว 0.9 m/s

(SA ON, PDOP = 2.5, HDOP = 1.5)

สถานะสำหรับตำแหน่งการวัด

A) จำกัดค่า DOP ที่

3D : PDDOP \leq 12

2D : HDOP \leq 6

B) มุมเงยไม่ต่ำกว่า 5 หรือมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดข้อมูลและปรับเปลี่ยนเวลาทุก 1 วินาที

ฟังก์ชัน D-GPS ในมาตรฐาน DARC BTA R-003 standard

RTCM 3C104 Version 2.1 (6.8 รูปแบบมาตรฐาน) ในรูปแบบชนิดของข้อมูล 1 รูปแบบจากการคำนวณที่เหมาะสมที่สุด

TTF (Time to first fix) ในสภาวะรับสัญญาณต่อเนื่องได้ 8 ดวงและอยู่ในสภาวะวิสัยทัศนปกติ

Hot Start = 7-20 sec

Warm Start = 33-55 sec

Cold Start = 35-60 sec

Reacquisition Time

ในกรณีที่มีการอินเตอร์รัปต์น้อยกว่า 5 นาที ใช้เวลาย้อนกลับข้อมูล 2-6 วินาที

ในกรณีที่มีการอินเตอร์รัปต์มากกว่า 5 นาที ใช้เวลาย้อนกลับข้อมูล 6-10 วินาที

การเชื่อมต่อทาง RF อินพุต JST : คอนเน็กเตอร์แบบ CN

การเชื่อมต่อ อินพุต/เอาต์พุต JST : SM10B-SRSS (แหล่งจ่าย, โหมคข้อมูล)

ตารางที่ 8.1 คุณสมบัติของเครื่องรับจีพีเอส SONY GXB2000

การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องรับจีพีเอสกับวงจรควบคุมทำได้โดยการต่อวงจรอินเทอร์เฟซพอร์ตอนุกรม RS 232 โดยมีรูปวงจรดังรูปที่ 8.1 และมีคุณสมบัติการติดต่อสื่อสารของข้อมูลดังในตารางที่ 8.2

คุณสมบัติการติดต่อสื่อสารของข้อมูล

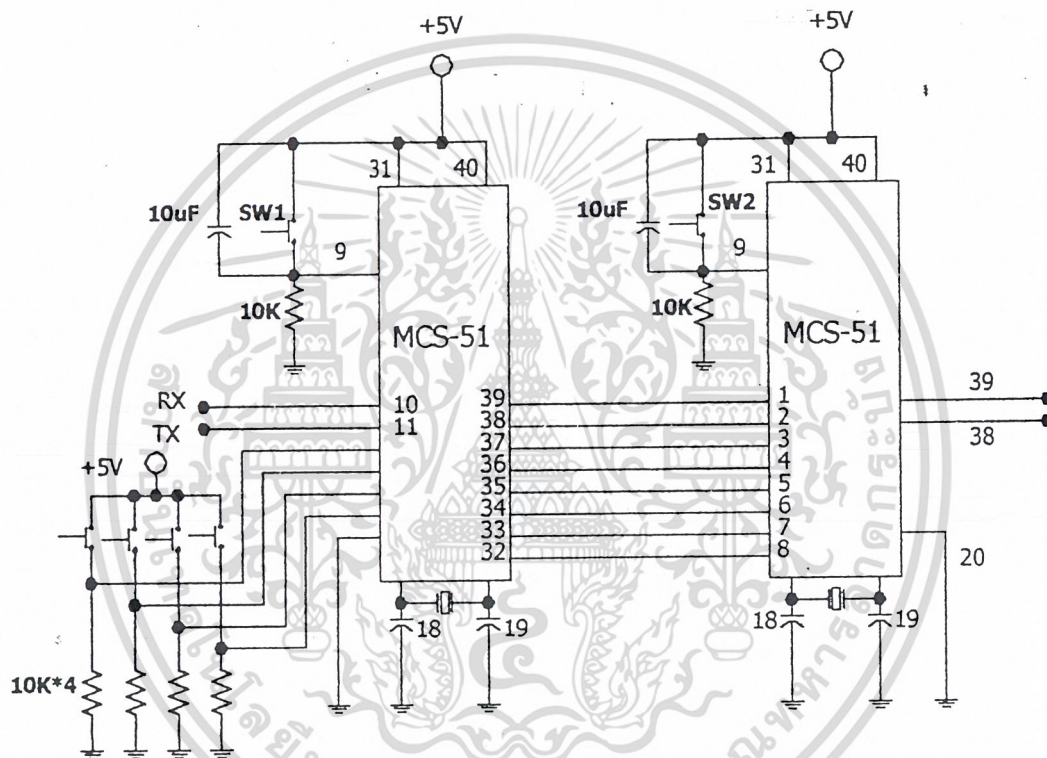
- วิธีการติดต่อสื่อสาร สตาร์ท-สตอปแบบซิงโครไนซ์
- อัตราการส่งข้อมูล 9600 บิตต่อวินาที
- รหัส อินพุต/เอาต์พุต ASCII code
- รูปแบบการติดต่อสื่อสาร Sony / NMEA 0183

ตารางที่ 8.2 คุณสมบัติการติดต่อสื่อสารของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.2 ส่วนวงจรควบคุม (Microcontroller Unit)

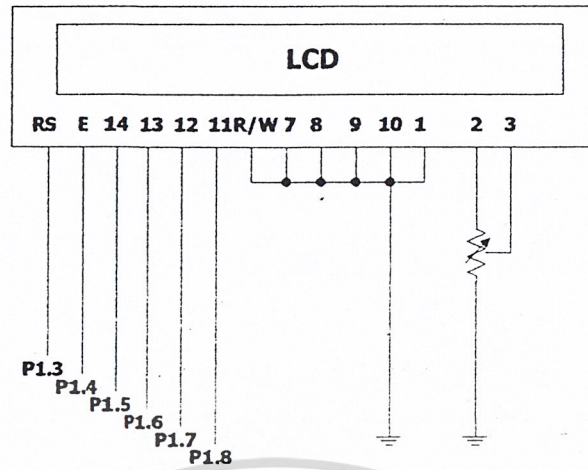
ในส่วนของวงจรควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการรับข้อมูลจากภาครับจีพีเอส แล้วทำการเลือกรูปประโยคข้อมูลตามตัวอย่างที่ผ่านมาเมื่อได้ประโยคที่ต้องการแล้วจึงคัดรูปประโยคให้เหลือเพียงค่า ละติจูด ลองจิจูดแล้วนำค่าที่ได้ไปเก็บไว้เพื่อทำการแสดงผลและเปรียบเทียบค่าและประมวลผลในการเลือกการเดินทาง วงจรของภาคควบคุม(Microcontroller Unit)แสดงไว้ในรูปที่



รูปที่8.2 แสดงวงจรภาคควบคุม(Microcontroller Unit)

8.2.3 ส่วนแสดงผลค่าละติจูดและลองจิจูด

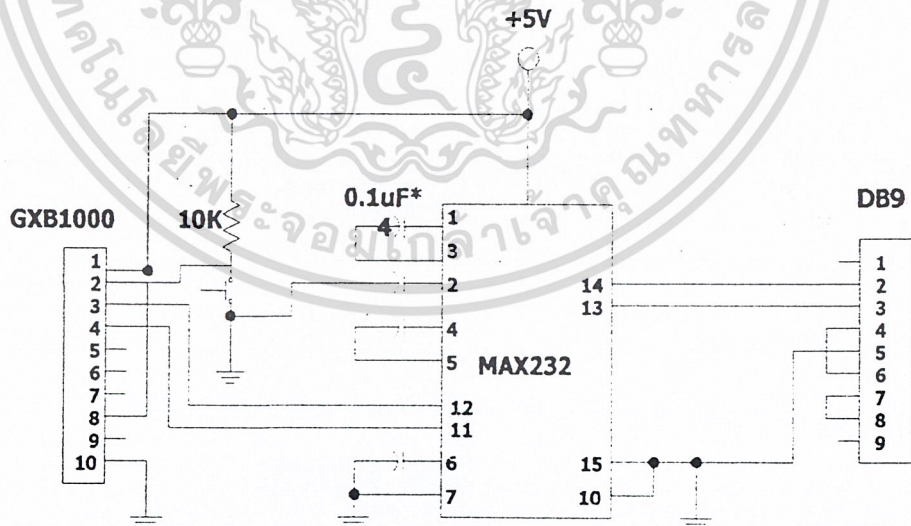
ในส่วนนี้ใช้ LCD ในการแสดงผลโดยต่อกับพอร์ต 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยนำค่าที่ได้จาก GPS มาแสดงผลค่าละติจูดและลองจิจูดเพื่อทราบถึงตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบัน



รูปที่ 8.3 วงจรส่วนแสดงผลโดยใช้ LCD

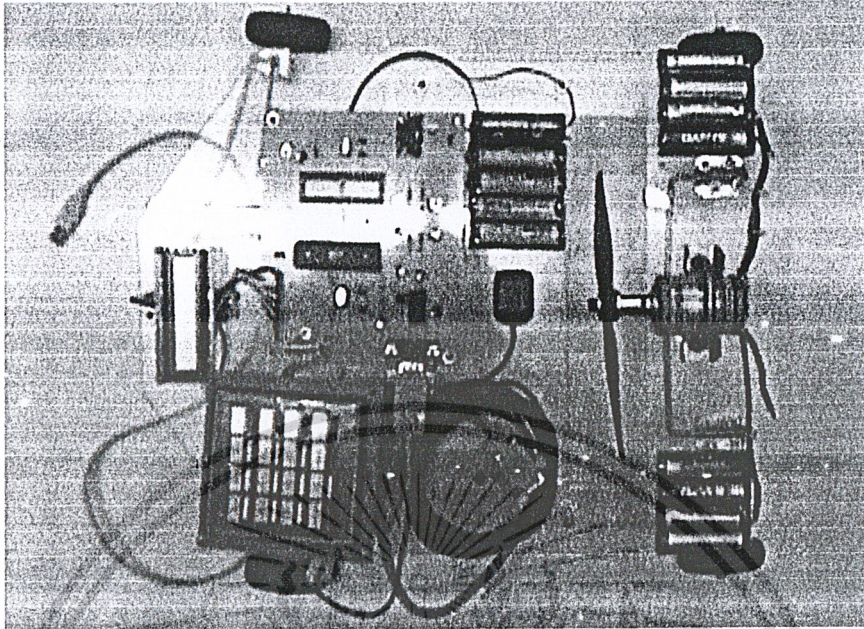
8.2.4 ส่วนอินเตอร์เฟซไมโครคอนโทรลเลอร์กับ GPS

ส่วนของการอินเตอร์เฟซระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ GPS จะใช้ MAX-232 เป็นตัวอินเตอร์เฟซเพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลมาคราฐานเดียวกัน



รูปที่ 8.4 วงจรอินเตอร์เฟซไมโครคอนโทรลเลอร์กับ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.5 ภาพตัวรถเมื่อประกอบส่วนต่าง

8.3 โครงสร้างของซอฟต์แวร์

ในส่วนบทนี้เป็นส่วนของโปรแกรมที่ควบคุมการทำงานโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์ โดยเริ่มจากการรับค่าตำแหน่งที่ต้องการ รับค่าตำแหน่งที่อยู่ในปัจจุบันจากเครื่องรับ จีพีเอส แล้วนำค่าทั้งสองมาเปรียบเทียบเพื่อประมวลผลหาทิศทางที่ต้องการเคลื่อนที่ไป แล้วจึงทำการเคลื่อนที่ แล้วระหว่างการเคลื่อนที่ก็จะรับค่าตำแหน่งที่อยู่ในปัจจุบันจากเครื่องรับ จีพีเอส เข้ามาใช้ในการประมวลผลตลอดจนกระทั่งอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

8.3.1 การแยกกรณีในการหาทิศทางเคลื่อนที่

กำหนดให้

ตำแหน่งที่ต้องการหรือเป้าหมายที่จะไปมีค่าพิกัดละติจูดเป็น x_2 และมีค่าพิกัด

ลองจิจูดเป็น y_2

ตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันมีค่าพิกัดละติจูดเป็น x_1 และมีค่าพิกัดลองจิจูดเป็น y_1

ตำแหน่งที่เริ่มต้นมีค่าพิกัดละติจูดเป็น x_0 และมีค่าพิกัดลองจิจูดเป็น y_0

การแยกกรณีครั้งแรกเปรียบเทียบตำแหน่ง (x_0, y_0) กับ (x_1, y_1)

1. $x_0 = x_1$ และ $y_0 = y_1$

2. $x_0 = x_1$ และ $y_0 > y_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. $x_0 = x_1$ และ $y_0 < y_1$
4. $x_0 > x_1$ และ $y_0 = y_1$
5. $x_0 > x_1$ และ $y_0 > y_1$
6. $x_0 > x_1$ และ $y_0 < y_1$
7. $x_0 < x_1$ และ $y_0 = y_1$
8. $x_0 < x_1$ และ $y_0 > y_1$
9. $x_0 < x_1$ และ $y_0 < y_1$

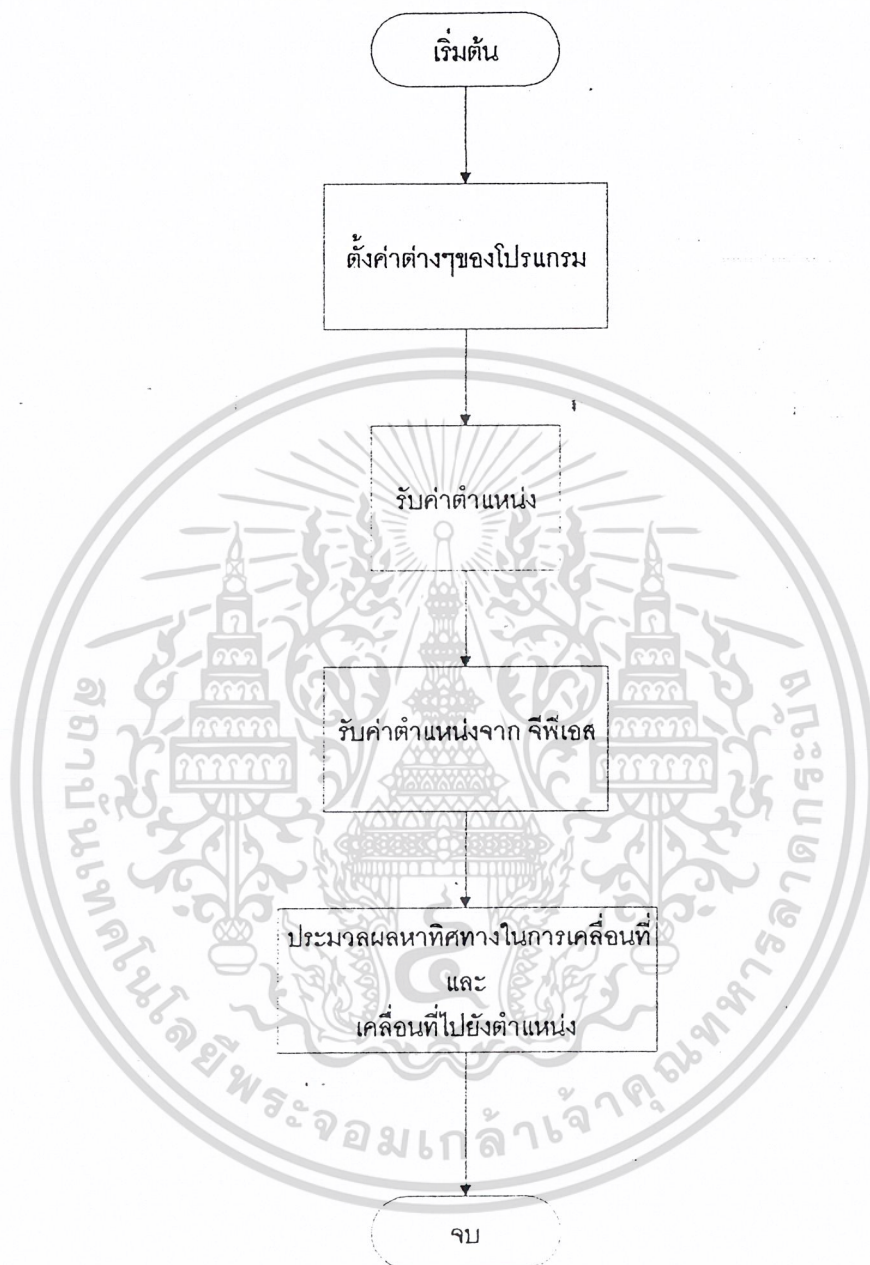
แล้วในแต่ละกรณีที่ได้จากการแยกกรณีมาในครั้งแรกจะแยกกรณีอีกครั้งโดยการเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่ง (x_1, y_1) กับ (x_2, y_2)

1. $x_1 = x_2$ และ $y_1 = y_2$
2. $x_1 = x_2$ และ $y_1 > y_2$
3. $x_1 = x_2$ และ $y_1 < y_2$
4. $x_1 > x_2$ และ $y_1 = y_2$
5. $x_1 > x_2$ และ $y_1 > y_2$
6. $x_1 > x_2$ และ $y_1 < y_2$
7. $x_1 < x_2$ และ $y_1 = y_2$
8. $x_1 < x_2$ และ $y_1 > y_2$
9. $x_1 < x_2$ และ $y_1 < y_2$

ดังนั้นจะพบว่ามีกรณีทั้งหมดที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ $9 \times 9 = 81$ กรณีแต่ละกรณีจะมีการเคลื่อนที่ในทิศทางและลักษณะที่แตกต่างกันไปตามที่กำหนดในโปรแกรม

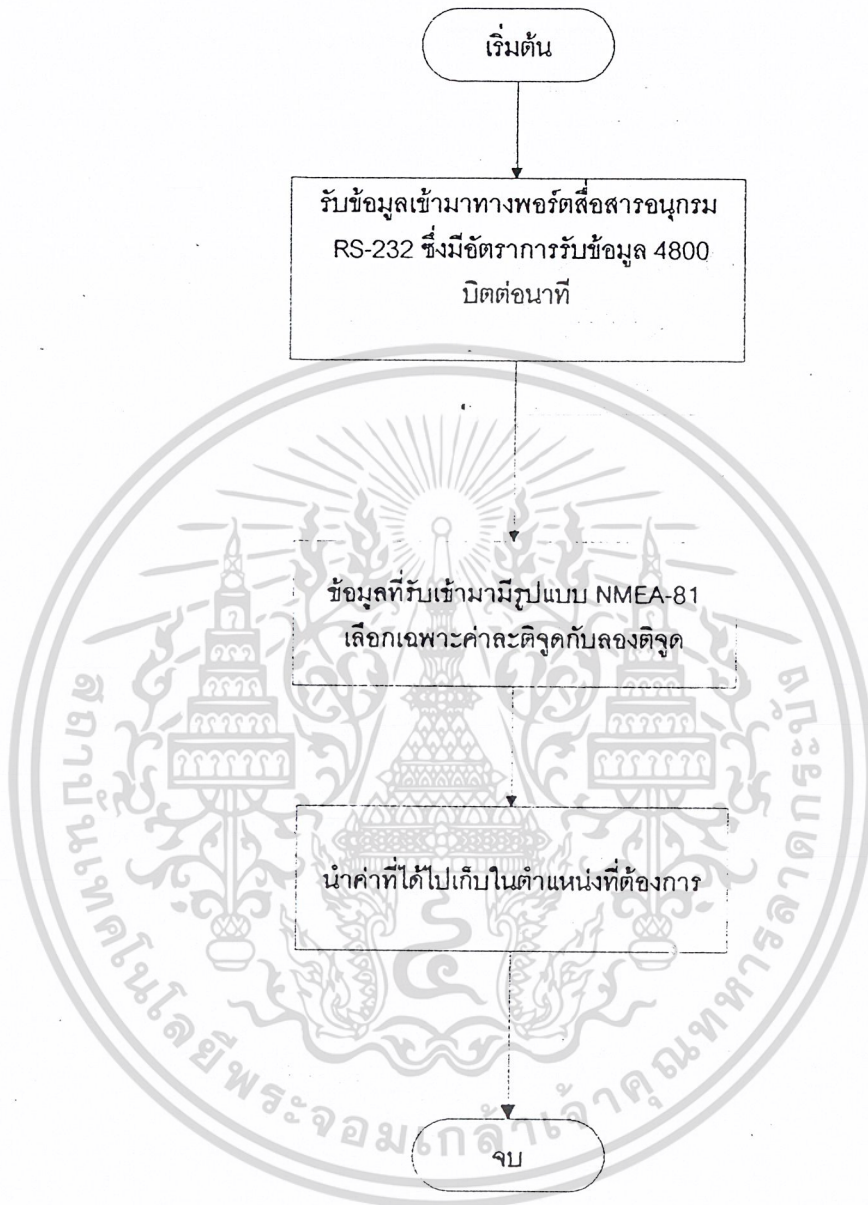
8.3.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ที่กำหนดไว้ตามโปรแกรม

1. จุดเริ่มต้นซึ่งมีหลายกรณีเป็นตัวแปร x_0, y_0 ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งเป้าหมายและตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไปแล้วดำเนินการตามเงื่อนไขของโปรแกรมที่กำหนดไว้



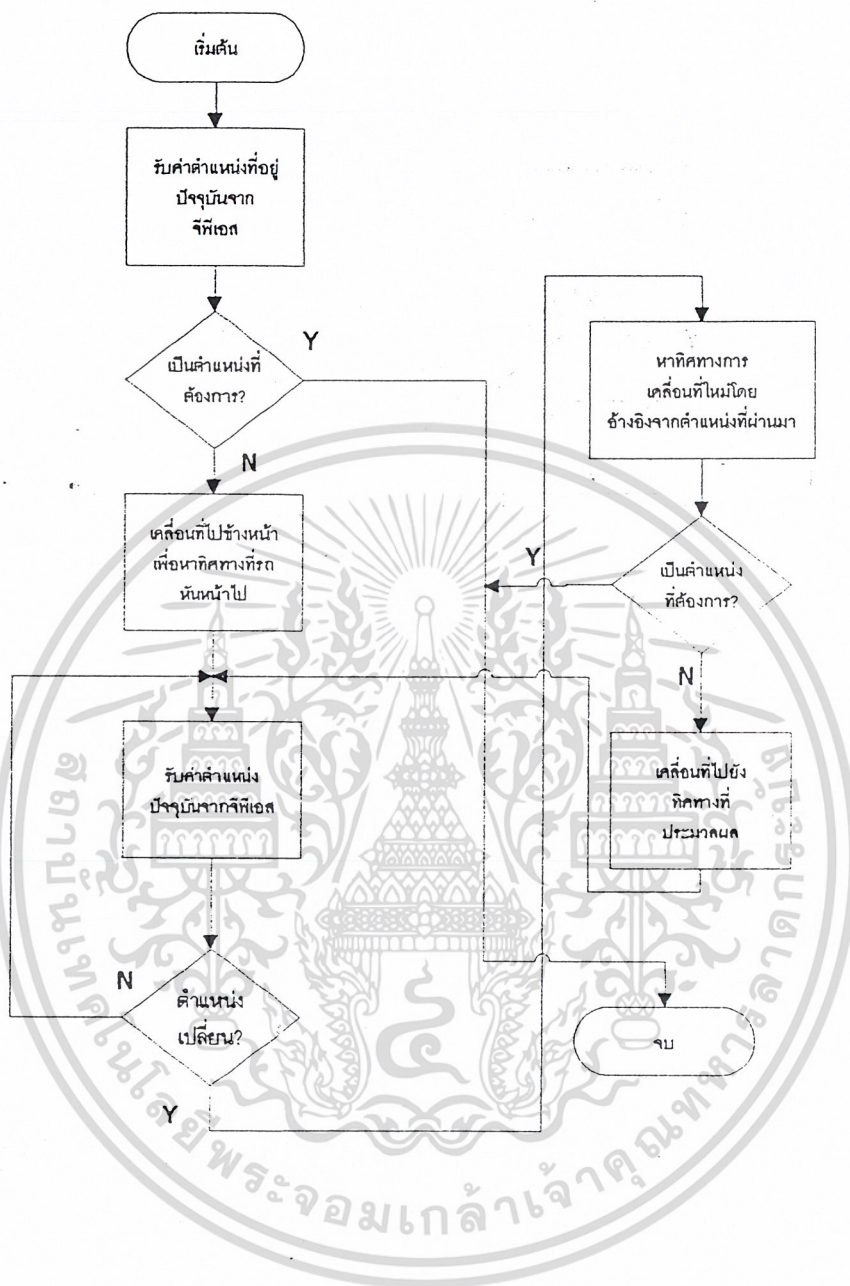
รูปที่ 8.6 โฟร์ชาร์ตแสดงโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.7 โฟร์ชาร์ตแสดงการรับค่าจากจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.8 โพรซัวร์ตส่วนประมวลผลหาทิศทางในการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

การทดลองและผลการทดลอง

9.1 การทดลองตำแหน่งจากจีพีเอสโมดูล

ทำการทดลองโดยเมื่อนำจีพีเอสโมดูล ต่ออินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์พกพาและใช้โปรแกรม Hyper terminal ในระบบปฏิบัติการวินโดวส์ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลที่ส่งออกมาจากจีพีเอสโมดูล ซึ่งทางเครื่องรับจีพีเอสโมดูล จะส่งข้อมูลออกมาทุก 1 วินาที ตามตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไป ข้อมูลจะแสดงให้เห็นดังรูปที่

```

$GPGSV,3,3,09,31,32,188,42*44
$GPVTC,272.5,T,273.0,M,000.1,N,0000.3,K,A*15
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*53
$GPGGA,052112.1343.1317,N,10046.9122,E,1,06,02,65,000007.1,M,-026.8,M,*,*6D
$GPZDA,052113,12,11,2002,+00,00*64
$GPGSV,3,1,09,01,38,333,40,02,58,343,49,03,57,146,45,14,12,135,46*79
$GPGSV,3,2,09,20,38,258,45,21,05,163,31,22,51,003,43,25,28,057,36*7C
$GPGSV,3,3,09,31,32,188,43*45
$GPVTC,272.3,T,272.8,M,000.0,N,0000.1,K,A*19
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*53
$GPGGA,052113,1343.1317,N,10046.9121,E,1,06,02,65,000007.1,M,-026.8,M,*,*6F
$GPZDA,052114,12,11,2002,+00,00*63
$GPGSV,3,1,09,01,38,333,41,02,58,343,49,03,57,146,45,14,12,135,47*79
$GPGSV,3,2,09,20,38,258,45,21,05,163,31,22,51,003,45,25,28,057,39*75
$GPGSV,3,3,09,31,32,188,42*44
$GPVTC,272.0,T,272.5,M,000.0,N,0000.0,K,A*16
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*53
$GPGGA,052114,1343.1316,N,10046.9120,E,1,06,02,65,000007.1,M,-026.8,M,*,*68
$GPZDA,052115,12,11,2002,+00,00*62
$GPGSV,3,1,09,01,38,333,40,02,58,343,49,03,57,146,45,14,12,135,47*78
$GPGSV,3,2,09,20,38,258,45,21,05,163,29,22,51,003,44,25,28,057,39*7D
$GPGSV,3,3,09,31,32,188,43*45
$GPVTC,271.5,T,272.0,M,000.0,N,0000.1,K,A*14

```

รูปที่ 9.1 แสดงข้อมูลที่รับได้จากเครื่องรับจีพีเอส

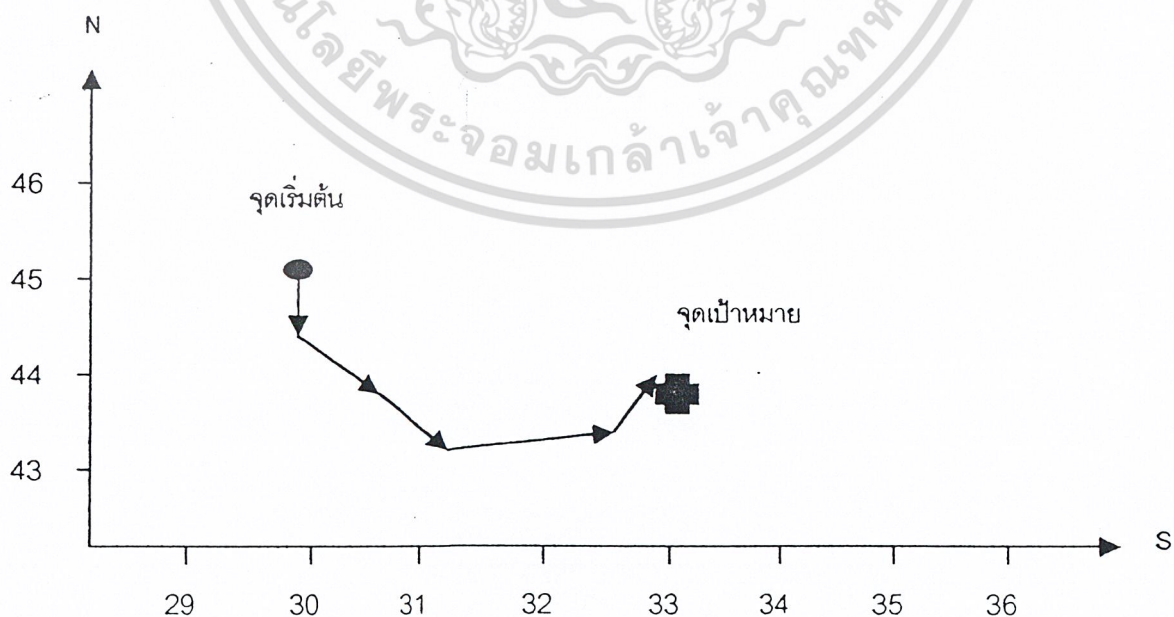
จากรูปที่ เมื่อรับข้อมูลตำแหน่งจากจีพีเอสมาแล้วสามารถนำข้อมูลที่ประกอบด้วยประโยคต่างๆ ตามมาตรฐานการส่งข้อมูลของจีพีเอสซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 7 ในโครงการนี้จะนำข้อมูลในรูปประโยค \$GPGGA ที่บรรจุค่าเวลา ตำแหน่ง ละติจูด ลองจิจูด มาเก็บค่าเพื่อทดลองต่อไป

9.2 การทดลองการเคลื่อนที่ของรถไปยังตำแหน่งเป้าหมาย

ทำการทดลองโดยบันทึกค่าของจุดหมายปลายทางที่จะให้รถเคลื่อนที่ไปไว้ก่อนแล้วเริ่มจากจุดเริ่มต้นที่ต่าง แล้วกันบันทึกค่าละติจูด ลองจิจูด เมื่อรถเคลื่อนที่ไปได้ระยะหนึ่งเพื่อหากรณีในการเคลื่อนที่ โดยการทดลองนี้กำหนดปลายทางไว้ที่ 13. 43.544 N และ 100.46.733 E

ตารางที่ 9.1 ผลของการทดลองการเคลื่อนที่ครั้งที่ 1

ลำดับที่ ของจุด ต่างๆ	ตำแหน่งพิกัดปัจจุบัน		ทิศทางและมุมที่ กำหนด		ทิศทางและมุมของการ เคลื่อนที่ในพื้นที่ทดลอง	
	13.43.XXX N	100.46.YYY E	ทิศทาง	มุม	ทิศทาง	มุม
จุดเริ่มต้น	546	730	ตรง	0	ตรง	0
2	545	730	ซ้าย	45	ซ้าย	30
3	544	731	ซ้าย	45	ซ้าย	60
4	543	732	ซ้าย	90	ซ้าย	90
5	543	733	ซ้าย	90	ซ้าย	75
ปลายทาง	544	733	-	-	-	-



รูปที่ 9.2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถตามผลการทดลองในตารางที่ 9.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่ของ จุดต่างๆ	ตำแหน่งพิกัดปัจจุบัน		ทิศทางและมุมที่ กำหนด		ทิศทางและมุมของการ เคลื่อนที่ในพื้นที่ทดลอง	
	13.43.XXX N	100.46.YYY E	ทิศทาง	มุม	ทิศทาง	มุม
	จุดเริ่มต้น	546	736	ตรง	0	ตรง
2	542	736	ซ้าย	90	ซ้าย	45
3	542	737	ซ้าย	45	ซ้าย	45
4	543	737	ซ้าย	90	ซ้าย	45
5	543	737	ตรง	45	ตรง	0
6	543	738	ซ้าย	90	ซ้าย	45
7	544	737	ตรง	0	ซ้าย	45
8	545	737	ซ้าย	45	ตรง	0
9	545	736	ซ้าย	45	ซ้าย	20
10	545	735	ตรง	0	ซ้าย	30
11	543	735	ขวา	45	ตรง	0
12	545	735	ขวา	90	ขวา	45
13	545	735	ตรง	0	ซ้าย	45
14	545	734	ซ้าย	90	ซ้าย	45
15	545	734	ขวา	45	ขวา	45
16	545	733	ตรง	0	ซ้าย	30
17	545	733	ตรง	0	ตรง	0
18	544	732	ซ้าย	45	ซ้าย	90
19	543	733	ซ้าย	90	ซ้าย	45
20	544	732	ตรง	0	ซ้าย	30
ปลายทาง	544	733	-	-	-	-

ตารางที่ 9.2 ผลของการทดลองการเคลื่อนที่ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการเคลื่อนที่ของรถโดยรถจะเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆแล้วขณะเคลื่อนที่ก็จะรับค่าที่ส่งมาจากจีพีเอสแล้วนำค่าที่ได้มาทำการประมวลผลเพื่อกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ตามที่ตั้งไว้ แต่การเคลื่อนที่นั้นจะมีความคลาดเคลื่อนบ้างอันเนื่องมาจากผลของปัญหาต่างๆ

เช่น

1. เนื่องจากการทดลองโครงการกับเครื่องบินเล็กจะมีค่าใช้จ่ายในการบินแต่ละครั้งสูงและอาจเกิดความเสียหายได้ง่ายอีกทั้งอะไหล่มีราคาแพง จึงจำลองการทำงานด้วยรถพลังลมซึ่งมีหลักการทำงานและควบคุมคล้ายกับเครื่องบินเล็กที่มีความสูงคงที่
2. สภาพพื้นผิวที่ใช้ในการทดลอง จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถโดยจะเห็นได้จากมุมในการเคลื่อนที่ได้จริงกับมุมเคลื่อนที่ที่กำหนดจากกรณีในการเคลื่อนที่จะมีผลมากต่อการเคลื่อนที่ของรถไปยังจุดหมาย
3. ความผิดพลาดที่ได้จากการรับค่าพิกัดของจีพีเอส เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนพอสมควรจากระบบป้องกันและจำนวนดาวเทียมที่รับได้และจุดรับสัญญาณมีสิ่งกีดขวางมากน้อยเพียงใด

แนวทางแก้ปัญหา

- ทำการทดลองกับอากาศยานที่เคลื่อนที่ช้าและไม่เสี่ยงต่อการตก เช่น บอลลูน
- ทำการทดลองในสภาพพื้นผิวที่เรียบไม่มีสิ่งกีดขวาง และมีขนาดใหญ่พอกับการทดลอง
- ใช้เครื่องรับจีพีเอส ที่มีระบบดี-จีพีเอสจะสามารถลดความคลาดเคลื่อนไปมาก

สรุป

จากโครงการนี้สามารถพัฒนาให้ใช้กับเครื่องบินจริงได้ โดยต้องให้โครงการมีความแม่นยำและเชื่อถือได้สูงเพื่อประยุกต์การใช้งานกับกิจกรรมต่างๆ เช่น ทางทหาร สามารถลดการสูญเสียบุคลากรในการปฏิบัติงานในที่มีความเสี่ยงสูง

เอกสารอ้างอิง

1. Elliott D.Kaplan, UNDERSTANDING GPS PRINCIPLES AND APPLICATIONS
2. พนม เพชรจตุพรหมพัฒนกุล ตั้งบวรพิเชษฐ์, พิเชษฐ์ ข้อผกามความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับGPS , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
3. พงษ์ศักดิ์ สุตัมพันธ์ไพบูลย์, ไฮเทคดาวเทียม ตอนGPS ระบบการหาตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม, เรื่องนารูการสื่อสารดาวเทียม
4. วุฒิไกร จิตราวุฒิโชติ, การประยุกต์ใช้งาน GPS ในระบบนำร่องการเคลื่อนที่อัตโนมัติ, เซมิกอน คักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 186 กรกฎาคม 2541
5. Joe Campbell, เรียบเรียงโดย ทวีชัย ฤทธิ์พิพย์, ไขปัญหา RS-232, Second Edition, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
6. GPS12, <http://www.gamin.com/db?Mltab=garmin&Mlval=gps12>
7. NMEA 0183 Multiplex, <http://www.thecapn.com/multiplex.html>
8. Adventure GPS Products: Eagle Expedition II, http://www.gps4fun.com/eag_expd.html
9. GPS Data Manager, <http://www.lowrance.com/software/gdm/Default.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16-Channel GPS Receiver Module

Description

The GXB2000 is a 16-channel GPS receiver module. The GXB2000 is a small and light device, and it includes all the functions required for GPS except for the antenna.

The GXB2000 can be support the various kinds of the portable applications as well as the car navigation system.

Features

- 16-channel GPS receiver capable of simultaneously receiving 16 satellites
- All-in-view measurement
- 2-satellite measurement
- D-GPS (Differential GPS)
 - RTCM SC104 version 2.1
 - DARC BTA R-003 standard
- Low current consumption (270mW, Typ)
- Small and light package type
- The countermeasure of EMI (electromagnetic wave impediment)

Recommended Operating Conditions

- Supply voltage (3V spec.) V_{DD} 3.0 to 3.6 V
- (5V spec.) V_{CC} 4.5 to 5.5 V
- Operating temperature T_{opr} -40 to +85 °C

GPS (Global Positioning System) is the position measurement system that the U.S. control and operate. It have some possibility of the position measurement deterioration that depends on the working GPS. It dose not gurantee the standard,etc in this material including the case above.

Sony reserves the right to change products and specifications without prior notice. This information does not convey any license by any implication or otherwise under any patents or other right. Application circuits shown, if any, are typical examples illustrating the operation of the devices. Sony cannot assume responsibility for any problems arising out of the use of these circuits.

Specification

Specification of reception unit

Reception method		Parallel 16 channels
RF input	Reception frequency	1575.42MHz L1 band, C/A code
	Characteristics impedance	50Ω
	Reception sensitivity	-130dBm or less (Sony's recommended antenna input level)
Positioning system		WGS-84
Positioning accuracy	Position	100m 2DRMS (SA ON, PDOP = 2.5, HDOP = 1.5)
	Velocity	0.9m/s (SA ON, PDOP = 2.5, HDOP = 1.5)
Positioning condition		A) DOP limit 3D: PDOP ≤ 12 2D: HDOP ≤ 6 B) Elevation mask: 5° or more
Follow-up performance	Velocity	500km/h or less
	Acceleration	2G or less
Measured data update time		Every 1s
D-GPS function		DARC BTA R-003 standard RTCM SC104 version 2.1 (6 of 8 format) Using type 1 data for correct calculation
Measurement method		All-in-view measurement 2-satellite measurement

TTF (No signal break) *1

Hot Start (time, position, with ephemeris and almanac)

7 to 20s

Warm Start (time, position, without ephemeris, with almanac)

33 to 50s

Cold Start (time, position, without ephemeris and almanac)

35 to 60s

Reacquisition Time (interrupt recovery time)

The case of the interrupt less than 5 minutes 2 to 6s

The case of the interrupt more than 5 minutes 6 to 10s

*1 Condition: The case of meeting positioning condition and receiving 8 satellites continuously and normally.

Conditions of Cold Start

Abnormal RAM data and abnormal RTC data for the command input

RF input connector

JST: CN connector

I/O connector (Power supply, data mode)

JST: SM10B-SRSS

Communication Specification

Communication method	Start-stop synchronization
Transfer rate input/output	9600bps
Electric level	TTL level
I/O code	ASCII code
Communication format	Sony/NMEA0183 switching possible

Electrical Specification

Supply voltage (3V spec.)	3.1 to 3.6V Ripple 50mVp-p or less
(5V spec.)	4.5 to 5.5V Ripple 50mVp-p or less
Current consumption	82mA typ. (Vcc = 3.3V, 25°C)
Backup supply voltage	1.8 to 3.0V
current	30μA typ. (+B = 3.0V, 25°C) 70μA max. (+B = 3.0V, 85°C)
Pre-amplifier power supply	2.7 to 3.6V, 10 to 30mA
Operating temperature	-40 to +85°C

I/O Connector Pin

Pin Configuration

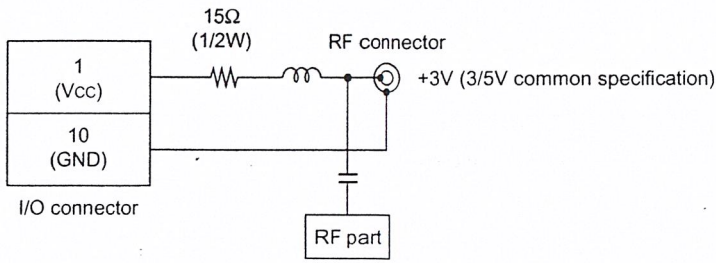
Pin No.	Symbol	I/O	Description
1	Vcc	—	Main power supply.
2	RESET	I	Reset input for initializing the reception unit.
3	TXD0	O	Measured data output.
4	RXD0	I	Command input.
5	RXD1	I	D-GPS data input.
6	MODE	I	Communication format switching pin. (L = Sony, H = NMEA0183)
7	NC	—	No connection.
8	+BU	—	Power supply for backup.
9	NC	—	Fixed H level.
10	GND	—	GND

Electrical Characteristics

(T_{opr} = -40 to +85°C)

Item	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Applicable pins
Supply voltage	3V spec.	V _{DD}	3.0	3.3	3.6	V	1
	5V spec.	V _{CC}	4.5	5.0	5.5		
Input voltage	H level	V _{IH}	0.7V _{DD}		5.5	V	2, 4, 5
	L level	V _{IL}			0.2V _{DD}		
Output voltage	H level	V _{OH}	I _{OH} = -4mA	V _{DD} - 0.8		V	3
	L level	V _{OL}	I _{OL} = 4mA		0.4		
Backup supply voltage			1.8		3.0	V	8
Current consumption at backup		+BU = 3V	5	30	70	μA	8

Antenna Pre-amplifier Power Supply Circuit



Sony Recommend Antenna Specification

Antenna part

- Center frequency 1575.42MHz
- Polarization Right handed circular polarization
- Gain -5dBi or more (5° ≤ Angle of elevation)
- Axis ratio 3dB typ. (Angle of elevation = 90°)

Pre-amplifier part

- Gain 22dB or more (without cable loss)
- Noise figure (NF) 2.5dB or less

All-round specification (antenna + pre-amplifier + cable loss)

- Gain 17dBi or more (Angle of elevation = 90°)
- Output impedance 50Ω
- Output VSWR 2.0 or less
- Supply voltage 2.8 to 3.2V
- Current consumption 30mA or less

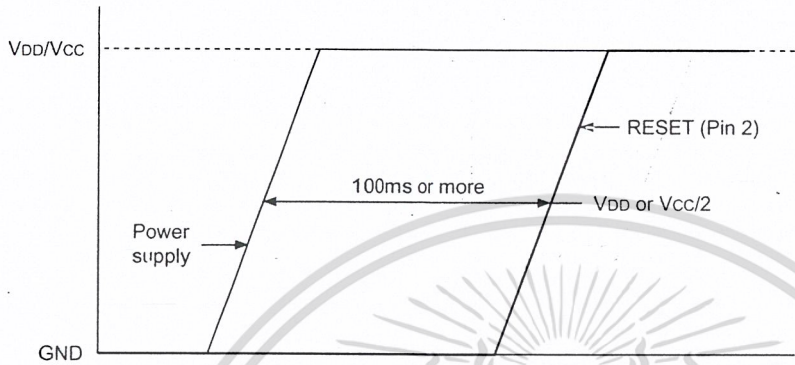
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reception Unit Initialization and Operation

The GXB2000 operation is started by setting the reset input signal RESET (Pin 2) for the reception unit initialization to high level. The timing should satisfy the conditions noted below.

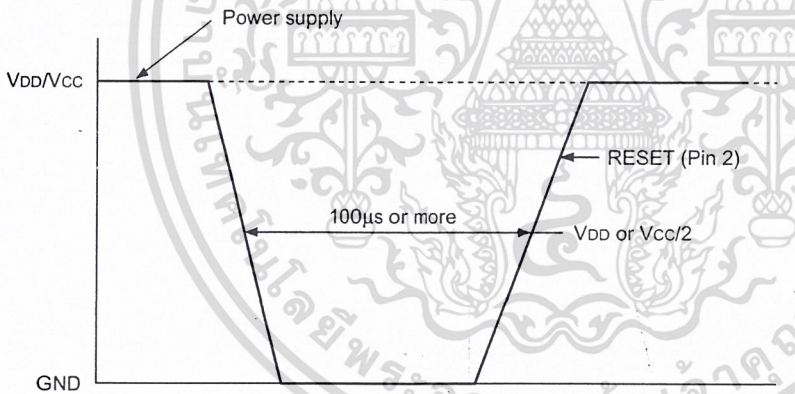
During Power-on (power-on reset)

$V_{DD} = 3.0$ to $3.6V$, $V_{CC} = 4.5$ to $5.5V$, temperature = -40 to $+85^{\circ}C$



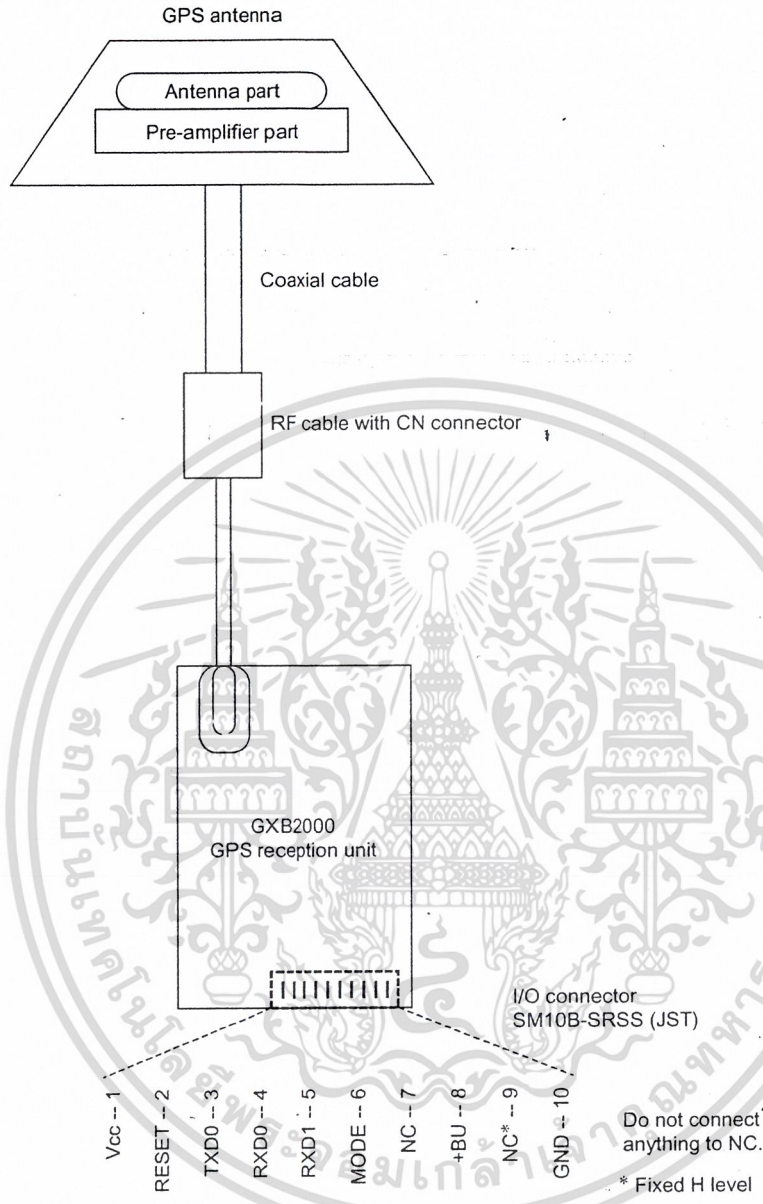
Initialization During Operation

$V_{DD} = 3.0$ to $3.6V$, $V_{CC} = 4.5$ to $5.5V$, temperature = -40 to $+85^{\circ}C$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

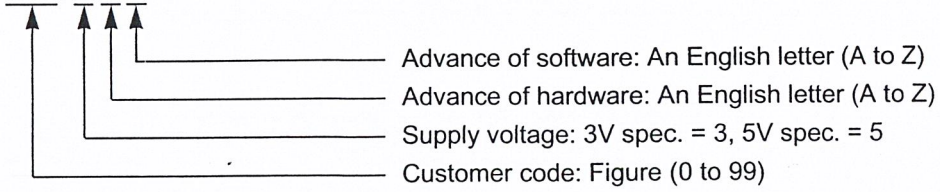
GXB2000 GPS Reception Unit Composition



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification of form name

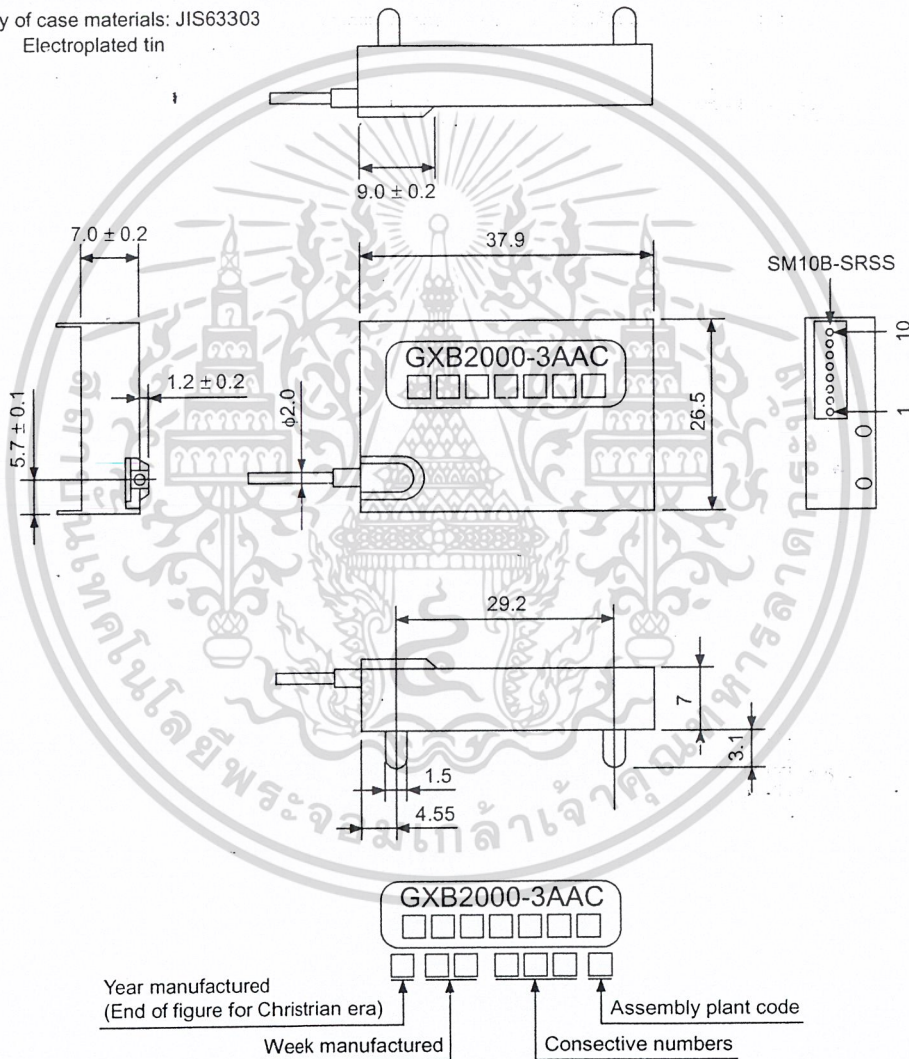
GXB20○○-□□□C



Package Outline

Unit: mm

Quality of case materials: JIS63303
Electroplated tin



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GPS Receiver
NMEA-0183 Input/Output Specifications

Contents

1. I/O Data Input/Output Specifications	SS-2
2. NMEA Output Specifications	SS-11
3. D-GPS Data Input Specifications	SS-27



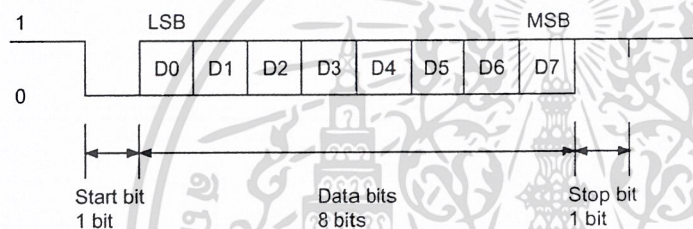
1. I/O Data Input/Output Specifications

1-1. Communication

1-1-1. Serial input/output communication method

Interface:	Asynchronous serial interface (UART)
I/O channel:	CH0
Baud rate:	4800bps
Start bit:	1 bit
Data bits:	8 bits
Stop bit:	1 bit
Parity bit:	None
Communication control signal:	None
Output period:	Approximately 1s

1-1-2. Asynchronous serial interface



1-2. Almanac Data Output

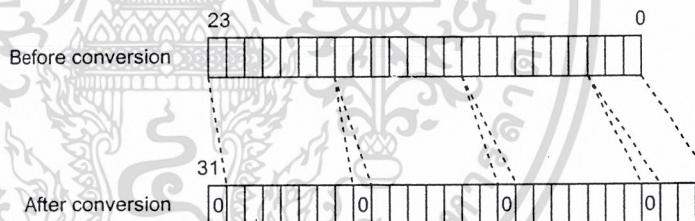
No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
1	10100100	Header		A4
2	0xxxxxxx			
.	.			
.	.			
.	.			
44	0xxxxxxx			
45	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After the receiver receives an almanac output request, it transmits a response and then outputs the almanac data. The above format is for 1 subframe of the almanac data, and 64 frames of this data are sent in succession. Almanac communication data is sent by dividing the original data into 7-bit sections.

The almanac data stored in the GPS receiver memory has the configuration shown below. Normally each word of the almanac data has 6-bit parity, but this is eliminated when the data is stored in the memory. In addition, a 16-bit checksum is added in consideration of communication.

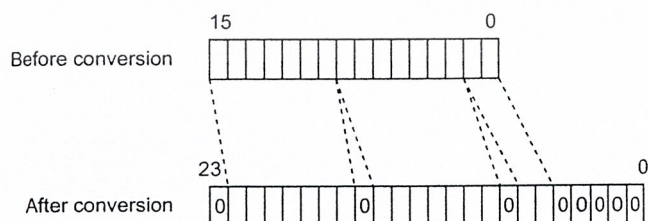
WORD1	24 bits
WORD2	24 bits
WORD3	24 bits
WORD4	24 bits
WORD5	24 bits
WORD6	24 bits
WORD7	24 bits
WORD8	24 bits
WORD9	24 bits
WORD10	24 bits
Checksum	16 bits

(1) Relationship between word data and communication data



(2) Relationship between checksum and communication data

The relationship between the above data and the communication data is shown to the right.



1-3. Input Commands

1-3-1. TM command (receiver clock setting)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10100000	Header	—	A0
2	0xxxxxxx	Year	1999	0F
3	0xxxxxxx			4F
4	0xxxxxxx	Month	10	0A
5	0xxxxxxx	Date	29	1D
6	0xxxxxxx	Hour	8	08
7	0xxxxxxx	Minute	46	2E
8	0xxxxxxx	Second	59	3B
9	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-2. PT command (receiver latitude and longitude initial value settings)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10100001	Header	—	A1
2	0xxxxxxx	Latitude Resolution: 0.01" South latitude is two's complement notation. Value range: 32400000 to -32400000	North latitude 87° 29' 10.24" (= -314950.24")	0F
3	0xxxxxxx			02
4	0xxxxxxx			26
5	0xxxxxxx			70
6	0xxxxxxx			Longitude Resolution: 0.01" West longitude is two's complement notation. Value range: 64800000 to -64800000
7	0xxxxxxx	6B		
8	0xxxxxxx	1C		
9	0xxxxxxx	1D		
10	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-3. SK command (receiver geodesic system parameter setting)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10100010	Header	—	A2
2	0xxxxxxx	Geodesic system Value range: 0 to 25	18	.12
3	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-4. AMI command (receive almanac data)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10100011	Header	—	A3
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response. The NAVI (PC) side receives this command and then sends the almanac data to the GPS side.

1-3-5. AMO command (transmit almanac data)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10100100	Header	—	A4
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response, followed by the almanac data.

1-3-6. CD command (initialize almanac data area and cold start)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10100101	Header	—	A5
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-7. SR command (wait 400ms and hot start)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10100110	Header	—	A6
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-8. EL command (angle of elevation limit value setting)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10100111	Header	—	A7
2	0xxxxxxx	Angle of elevation Resolution: 1° Value range: 0 to 90°	56°	38
3	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-9. BC command (clear DARC receive data)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10101000	Header	—	A8
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-10. DG command (D-GPS on/off setting)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10101001	Header	—	A9
2	0xxxxxxx	D-GPS on/off setting 0: Off 1: On	1	01
3	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-11. GS command (4 DOP threshold value settings (up to 99 (63HEX) max.))

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10101010	Header	—	AA
2	0xxxxxxx	PDOP threshold value when D-GPS is on	64	00
3	0xxxxxxx			40
4	0xxxxxxx	HDOP threshold value when D-GPS is on	50	00
5	0xxxxxxx			32
6	0xxxxxxx	PDOP threshold value when D-GPS is off	135	01
7	0xxxxxxx			07
8	0xxxxxxx	HDOP threshold value when D-GPS is off	114	00
9	0xxxxxxx			72
10	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-12. DMD command (DARC data input mode)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10101011	Header	—	AB
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-13. DMR command (RTCM data input mode)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10101100	Header	—	AC
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-14. EX command (expanded output mode on/off)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10101101	Header	—	AD
2	0xxxxxxx	Expanded output on/off setting 0: Off 1: On	1	01
3	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-15. SW command (eliminate ephemeris and warm start)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10101110	Header	—	AE
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-16. TC command (current time mode setting)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10101111	Header	—	AF
2	0xxxxxxx	Current time mode setting 0: UTC 1: JST	1	01
3	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-17. CH command (satellite No. setting during manual setting)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	11000000	Header	—	C0
2	0xxxxxxx	Satellite Nos. for 16 channels Value range: 1 to 64 0 is invalid.	9	09
3	0xxxxxxx		5	05
4	0xxxxxxx		18	12
5	0xxxxxxx		1	01
6	0xxxxxxx		20	14
7	0xxxxxxx		2	02
8	0xxxxxxx		6	06
9	0xxxxxxx		12	0C
10	0xxxxxxx		—	—
11	0xxxxxxx		—	—
12	0xxxxxxx		—	—
13	0xxxxxxx		—	—
14	0xxxxxxx		—	—
15	0xxxxxxx		—	—
16	0xxxxxxx		—	—
17	0xxxxxxx		—	—
18	11011010		Terminator. "Z" + 80HEX	—

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-18. LF command (D-GPS valid time setting)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	11000111	Header	—	C7
2	0xxxxxxx	D-GPS valid time Resolution: s		
3	0xxxxxxx			
4	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.

1-3-19. EPI command (receive ephemeris data)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	11001101	Header	—	CD
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response. The NAVI (PC) side receives this command and then sends the ephemeris data to the GPS side.

1-3-20. EP0 command (transmit ephemeris data)

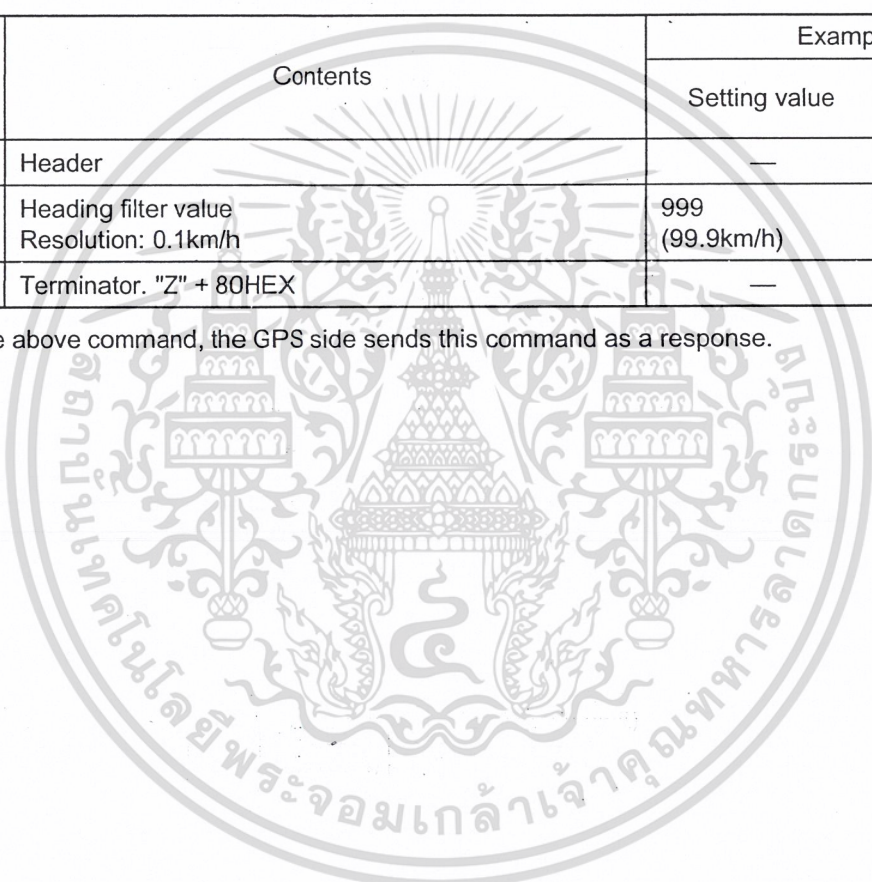
No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	11001110	Header	—	CE
2	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response, followed by the ephemeris data.

1-3-21. VF command (heading filter value setting)

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Input data (HEX)
1	10110001	Header	—	B2
2	0xxxxxxx	Heading filter value	999 (99.9km/h)	07
3	0xxxxxxx	Resolution: 0.1km/h		67
4	11011010	Terminator. "Z" + 80HEX	—	DA

After receiving the above command, the GPS side sends this command as a response.



2. NMEA Output Specifications

2-1. Output Messages

2-1-1. GPGGA message

No.	BIT 76543210	Contents	Example		
			Setting value	Output data (HEX)	
1	00100100	Header "\$"	Fixed	24	
2	01000111	Address field "G" "P" "G" "G" "A"	Fixed	47	
3	01010000			50	
4	01000111			47	
5	01000111			47	
6	01000001			41	
7	01001100			","	Fixed
8	xxxxxxxx	UTC time	06:22:43	00	
9	xxxxxxxx	Hour (10's digit)		36	
10	xxxxxxxx	Hour (1's digit)		32	
11	xxxxxxxx	Minute (10's digit)		32	
12	xxxxxxxx	Minute (1's digit)		34	
13	xxxxxxxx	Second (10's digit)		33	
14	01001100	","	Fixed	2C	
15	xxxxxxxx	Latitude	36° 03.979'	33	
16	xxxxxxxx	Degree (10's digit)		36	
17	xxxxxxxx	Degree (1's digit)		30	
18	xxxxxxxx	Minute (10's digit)		33	
19	00101110	Minute (1's digit)		2E	
20	xxxxxxxx	Minute (0.1's digit)		39	
21	xxxxxxxx	Minute (0.01's digit)		37	
22	xxxxxxxx	Minute (0.001's digit)		39	
23	01001100	","		Fixed	2C
24	xxxxxxxx	Latitude direction "N" or "S"		North latitude	4E
25	01001100	","	Fixed	2C	
26	xxxxxxxx	Longitude	140° 10.296'	31	
27	xxxxxxxx	Degree (100's digit)		34	
28	xxxxxxxx	Degree (10's digit)		30	
29	xxxxxxxx	Degree (1's digit)		31	
30	xxxxxxxx	Minute (10's digit)		30	
31	00101110	Minute (1's digit)		2E	
32	xxxxxxxx	Minute (0.1's digit)		32	
33	xxxxxxxx	Minute (0.01's digit)		39	
34	xxxxxxxx	Minute (0.001's digit)		36	

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
35	01001100	", "	Fixed	2C
36	xxxxxxx	Longitude direction "E" or "W"	West longitude	57
37	01001100	", "	Fixed	2C
38	xxxxxxx	GPS Quality Indicator "0": Invalid "1": GPS measurement "2": D-GPS measurement	D-GPS measurement	32
39	01001100	", "	Fixed	2C
40	xxxxxxx	Number of satellites used for measurement calculation "00" to "12"	7-satellite measurement	30
41	xxxxxxx			37
42	01001100	", "	Fixed	2C
43	xxxxxxx	HDOP 10's digit 1's digit ". " 0.1's digit	1.2	30
44	xxxxxxx			31
45	00101110			2E
46	xxxxxxx			32
47	01001100	", "	Fixed	2C
48	xxxxxxx	Altitude (m) 1,000's digit 100's digit 10's digit 1's digit	23m	30
49	xxxxxxx			30
50	xxxxxxx			32
51	xxxxxxx			33
52	01001100	", "	Fixed	2C
53	01001101	Altitude units "M"	Fixed	4D
54	01001100	", "	Fixed	2C
55	01001100	", "	Fixed	2C
56	01001101	"M"	Fixed	4D
57	01001100	", "	Fixed	2C
58	xxxxxxx	D-GPS data elapsed time (s) 100's digit 10's digit 1's digit	5s	30
59	xxxxxxx			30
60	xxxxxxx			35
61	01001100	", "	Fixed	2C
62	xxxxxxx	D-GPS reference station ID 1,000's digit 100's digit 10's digit 1's digit	0	30
63	xxxxxxx			30
64	xxxxxxx			30
65	xxxxxxx			30
66	00101010	" * "	Fixed	2A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
67	xxxxxxx	Checksum	4A	34
68	xxxxxxx	Hexadecimal upper digits		
		Hexadecimal lower digits		41
69	00001101	Terminator	Fixed	0D
70	00001010	<CR>		
		<LF>		0A

The Geoidal Separation parameter is not output (between No. 54 and No. 55).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-1-2. GPGLL message

No.	BIT 76543210	Contents	Example		
			Setting value	Output data (HEX)	
1	00100100	Header "\$"	Fixed	24	
2	01000111	Address field "G" "P" "G" "L" "L"	Fixed	47	
3	01010000			50	
4	01000111			47	
5	01001100			4C	
6	01001100			4C	
7	01001100			","	Fixed
8	xxxxxxx	Latitude Degree (10's digit)	36° 03.979'	33	
9	xxxxxxx	Degree (1's digit)		36	
10	xxxxxxx	Minute (10's digit)		30	
11	xxxxxxx	Minute (1's digit)		33	
12	00101110	". "		2E	
13	xxxxxxx	Minute (0.1's digit)		39	
14	xxxxxxx	Minute (0.01's digit)		37	
15	xxxxxxx	Minute (0.001's digit)		39	
16	01001100	","		Fixed	2C
17	xxxxxxx	Latitude direction "N" or "S"		North latitude	4E
18	01001100	","		Fixed	2C
19	xxxxxxx	Longitude Degree (100's digit)		140° 10.296'	31
20	xxxxxxx	Degree (10's digit)			34
21	xxxxxxx	Degree (1's digit)			30
22	xxxxxxx	Minute (10's digit)			31
23	xxxxxxx	Minute (1's digit)	30		
24	00101110	". "	2E		
25	xxxxxxx	Minute (0.1's digit)	32		
26	xxxxxxx	Minute (0.01's digit)	39		
27	xxxxxxx	Minute (0.001's digit)	36		
28	01001100	","	Fixed		2C
29	xxxxxxx	Longitude direction "E" or "W"	West longitude		57
30	01001100	","	Fixed		2C
31	xxxxxxx	UTC time Hour (10's digit)	06:22:43	00	
32	xxxxxxx	Hour (1's digit)		36	
33	xxxxxxx	Minute (10's digit)		32	
34	xxxxxxx	Minute (1's digit)		32	
35	xxxxxxx	Second (10's digit)		34	
36	xxxxxxx	Second (1's digit)		33	
37	01001100	","	Fixed	2C	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
38	xxxxxxx	Status "A": Data valid "V": Data invalid	Valid	41
39	00101010	" * "	Fixed	2A
40	xxxxxxx	Checksum Hexadecimal upper digits	4A	34
41	xxxxxxx	Hexadecimal lower digits		41
42	00001101	Terminator <CR>	Fixed	0D
43	00001010	<LF>		0A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-1-3. GPGSA message

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
1	00100100	Header "\$"	Fixed	24
2	01000111	Address field "G"	Fixed	47
3	01010000	"P"		50
4	01000111	"G"		47
5	01010011	"S"		53
6	01000001	"A"		41
7	01001100	", "		Fixed
8	xxxxxxxx	GPS measurement switching mode "M": Manual "A": Auto	Fixed to "A"	41
9	01001100	", "	Fixed	2C
10	xxxxxxxx	GPS measurement mode "1": Invalid "2": 2D measurement "3": 3D measurement	3D measurement	33
11	01001100	", "	Fixed	2C
12	xxxxxxxx	Satellite Nos. used for measurement 1st satellite No. 10's digit		
13	xxxxxxxx	1's digit		
14	01001100	", "		
15 to 17		2nd satellite No.		
18 to 20		3rd satellite No.		
21 to 23		4th satellite No.		
24 to 26		5th satellite No.		
27 to 29		6th satellite No.		
30 to 32		7th satellite No.		
33 to 35		8th satellite No.		
36 to 38		9th satellite No.		
39 to 41		10th satellite No.		
42 to 44		11th satellite No.		
45 to 47		12th satellite No.		
48	xxxxxxxx	PDOP 10's digit	2.4	30
49	xxxxxxxx	1's digit		32
50	00101110	", "		2E
51	xxxxxxxx	0.1's digit		34
52	01001100	", "	Fixed	2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
53	xxxxxxx	HDOP 10's digit	1.2	30
54	xxxxxxx	1's digit		31
55	00101110	". "		2E
56	xxxxxxx	0.1's digit		32
57	01001100	", "	Fixed	2C
58	xxxxxxx	VDOP 10's digit	2.0	30
59	xxxxxxx	1's digit		32
60	00101110	". "		2E
61	xxxxxxx	0.1's digit		30
62	00101010	" * "	Fixed	2A
63	xxxxxxx	Checksum Hexadecimal upper digits	4A	34
64	xxxxxxx	Hexadecimal lower digits		41
65	00001101	Terminator <CR>	Fixed	0D
66	00001010	<LF>		0A

The data length for "Satellite Nos. used for measurement" is variable in order to output the numbers of all the satellites used for position measurement.

2-1-4. GPGSV message

No.	BIT 76543210	Contents	Example				
			Setting value	Output data (HEX)			
1	00100100	Header "\$"	Fixed	24			
2	01000111	Address field "G" "P" "G" "S" "V"	Fixed	47			
3	01010000			50			
4	01000111			47			
5	01010011			53			
6	01010110			56			
7	01001100			","	Fixed	2C	
8	xxxxxxxx	Total number of GPGSV messages "1" to "3"	2	32			
9	01001100	","	Fixed	2C			
10	xxxxxxxx	GPGSV message number "1" to "3"	1	31			
11	01001100	","	Fixed	2C			
12	xxxxxxxx	Number of satellites within field of vision 10's digit 1's digit	08	30			
13	xxxxxxxx			38			
14	01001100	","	Fixed	2C			
15	xxxxxxxx	Information on satellites within field of vision for four satellites Satellite No. 10's digit 1's digit "," Angle of elevation (°) 10's digit 1's digit "," Azimuth (°) 100's digit 10's digit 1's digit "," C/N (dB) 10's digit 1's digit ","	Fixed	2A			
16	xxxxxxxx						
17	01001100						
18	xxxxxxxx						
19	xxxxxxxx						
20	01001100						
21	xxxxxxxx						
22	xxxxxxxx						
23	xxxxxxxx						
24	01001100						
25	xxxxxxxx						
26	xxxxxxxx						
27	01001100						
28 to 40					Information for 2nd satellite		
41 to 53					Information for 3rd satellite		
54 to 56					Information for 4th satellite		
67	00101010				" * "	Fixed	2A
68	xxxxxxxx				Checksum Hexadecimal upper digits	4A	34
69	xxxxxxxx				Hexadecimal lower digits		41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
70	00001101	Terminator <CR>	Fixed	0D
71	00001010	<LF>		0A

The satellite information for up to four satellites can be sent with a single GPGSV message, so multiple GPGSV messages (up to three messages) are sent when there are four or more satellites within the field of vision. When there are fewer than four satellites, the information for that number of satellites is sent.



2-1-5. GPRMC message

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
1	00100100	Header "\$"	Fixed	24
2	01000111	Address field "G"	Fixed	47
3	01010000	"P"		50
4	01010010	"R"		52
5	01001101	"M"		4D
6	01000011	"C"		43
7	01001100	", "		Fixed
8	xxxxxxx	UTC time Hour (10's digit)	06:22:43	00
9	xxxxxxx	Hour (1's digit)		36
10	xxxxxxx	Minute (10's digit)		32
11	xxxxxxx	Minute (1's digit)		32
12	xxxxxxx	Second (10's digit)		34
13	xxxxxxx	Second (1's digit)		33
14	01001100	", "	Fixed	2C
15	xxxxxxx	Status "A": Data valid "V": Data invalid	Valid	41
16	01001100	", "	Fixed	2C
17	xxxxxxx	Latitude Degree (10's digit)	36° 03.979'	33
18	xxxxxxx	Degree (1's digit)		36
19	xxxxxxx	Minute (10's digit)		30
20	xxxxxxx	Minute (1's digit)		33
21	00101110	". "		2E
22	xxxxxxx	Minute (0.1's digit)		39
23	xxxxxxx	Minute (0.01's digit)		37
24	xxxxxxx	Minute (0.001's digit)		39
25	01001100	", "		Fixed
26	xxxxxxx	Latitude direction "N" or "S"	North latitude	4E
27	01001100	", "	Fixed	2C
28	xxxxxxx	Longitude Degree (100's digit)	140° 10.296'	31
29	xxxxxxx	Degree (10's digit)		34
30	xxxxxxx	Degree (1's digit)		30
31	xxxxxxx	Minute (10's digit)		31
32	xxxxxxx	Minute (1's digit)		30
33	00101110	". "		2E
34	xxxxxxx	Minute (0.1's digit)		32
35	xxxxxxx	Minute (0.01's digit)		39
36	xxxxxxx	Minute (0.001's digit)		36

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
37	01001100	", "	Fixed	2C
38	xxxxxxx	Longitude direction "E" or "W"	West longitude	57
39	01001100	", "	Fixed	2C
40	xxxxxxx	Speed (knots) 100's digit	20knot/h	30
41	xxxxxxx	10's digit		32
42	xxxxxxx	1's digit		30
43	00101110	". "		2E
44	xxxxxxx	0.1's digit		30
45	01001100	", "	Fixed	2C
46	xxxxxxx	Heading (°) 100's digit	48.5°	30
47	xxxxxxx	10's digit		34
48	xxxxxxx	1's digit		38
49	00101110	". "		2E
50	xxxxxxx	0.1's digit		35
51	01001100	", "	Fixed	2C
52	xxxxxxx	Date 10's digit	July 13, 1999	31
53	xxxxxxx	1's digit		33
54	xxxxxxx	Month 10's digit		30
55	xxxxxxx	1's digit		37
56	xxxxxxx	Year 10's digit		39
57	xxxxxxx	1's digit		39
58	01001100	", "		Fixed
59	01001100	", "	Fixed	2C
60	00101010	" * "	Fixed	2A
61	xxxxxxx	Checksum Hexadecimal upper digits	4A	34
62	xxxxxxx	Hexadecimal lower digits		41
63	00001101	Terminator <CR>	Fixed	0D
64	00001010	<LF>		0A

The Magnetic Variation parameter is not output.
(between No. 58 and No. 59, and between No. 59 and No. 60)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-1-6. GPVTG message

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
1	00100100	Header "\$"	Fixed	24
2	01000111	Address field "G"	Fixed	47
3	01010000	"P"		50
4	01010110	"V"		56
5	01010100	"T"		54
6	01000111	"G"		47
7	01001100	", "		Fixed
8	xxxxxxx	Heading (°) 100's digit	48.5°	30
9	xxxxxxx	10's digit		34
10	xxxxxxx	1's digit		38
11	00101110	". "		2E
12	xxxxxxx	0.1's digit		35
13	01001100	", "	Fixed	2C
14	01010100	"T"	Fixed	54
15	01001100	", "	Fixed	2C
16	01001100	", "	Fixed	2C
17	01001101	"M"	Fixed	4D
18	01001100	", "	Fixed	2C
19	xxxxxxx	Speed (knots) 100's digit	20knot/h	30
20	xxxxxxx	10's digit		32
21	xxxxxxx	1's digit		30
22	00101110	". "		2E
23	xxxxxxx	0.1's digit		30
24	01001100	", "	Fixed	2C
25	01001110	"N"	Fixed	4E
26	01001100	", "	Fixed	2C
27	xxxxxxx	Speed (km/h) 100's digit	20km/h	30
28	xxxxxxx	10's digit		32
29	xxxxxxx	1's digit		30
30	00101110	". "		2E
31	xxxxxxx	0.1's digit		30
32	01001100	", "	Fixed	2C
33	01001011	"K"	Fixed	4B
34	00101010	" * "	Fixed	2A
35	xxxxxxx	Checksum Hexadecimal upper digits	4A	34
36	xxxxxxx	Hexadecimal lower digits		41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
37	00001101	Terminator <CR>	Fixed	0D
38	00001010	<LF>		0A

The Course Over Ground and Degree Magnetic parameters are not output.
(between No. 15 and No. 16)



2-1-7. GPZDA message

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
1	00100100	Header "\$"	Fixed	24
2	01000111	Address field "G" "P" "Z" "D" "A"	Fixed	47
3	01010000			50
4	01011010			5A
5	01000100			44
6	01000001			41
7	01001100			","
8	xxxxxxxx	UTC time Hour (10's digit)	06:22:43	00
9	xxxxxxxx	Hour (1's digit)		36
10	xxxxxxxx	Minute (10's digit)		32
11	xxxxxxxx	Minute (1's digit)		32
12	xxxxxxxx	Second (10's digit)		34
13	xxxxxxxx	Second (1's digit)		33
14	01001100	","	Fixed	2C
15	xxxxxxxx	Date 10's digit 1's digit	13th	31
16	xxxxxxxx			33
17	01001100	","	Fixed	2C
18	xxxxxxxx	Month 10's digit 1's digit	July	30
19	xxxxxxxx			37
20	01001100	","	Fixed	2C
21	xxxxxxxx	Year 10's digit 1's digit	1999	39
22	xxxxxxxx			39
23	01001100	","	Fixed	2C
24	01001100	","	Fixed	2C
25	00101010	"*"	Fixed	2A
26	xxxxxxxx	Checksum Hexadecimal upper digits Hexadecimal lower digits	4A	34
27	xxxxxxxx			41
28	00001101	Terminator <CR>	Fixed	0D
29	00001010	<LF>		0A

The Local Zone Description parameter is not output.
(between No. 23 and No. 24, and between No. 24 and No. 25)

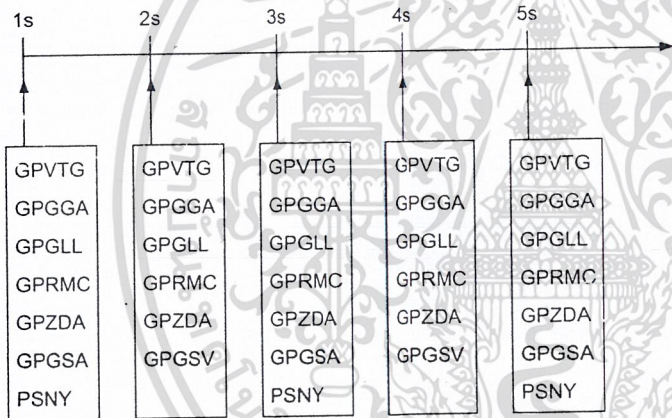
2-1-8. PSNY message (manufacturer expanded output)

No.	BIT 76543210	Contents	Example		
			Setting value	Output data (HEX)	
1	00100100	Header "\$"	Fixed	24	
2	01010000	Address field "P"	Fixed	50	
3	01010011	"S"		53	
4	01011110	"N"		5E	
5	01011001	"Y"		49	
6	01001100	", "		Fixed	2C
7	xxxxxxxx	Preamplifier status "0": Normal "1": Open "2": Shorted	Open	31	
8	01001100	", "	Fixed	2C	
9	xxxxxxxx	Geodesic system "0" to "25"	WGS-84	30	
10	xxxxxxxx			30	
11	01001100	", "	Fixed	2C	
12	xxxxxxxx	Angle of elevation limit (°) 10's digit	5°	30	
13	xxxxxxxx			1's digit	35
14	01001100	", "	Fixed	2C	
15	xxxxxxxx	Speed limit (km/h) 100's digit	500km/h	35	
16	xxxxxxxx			10's digit	30
17	xxxxxxxx			1's digit	30
18	01001100	", "	Fixed	2C	
19	xxxxxxxx	PDOP limit (D-GPS on) 10's digit	4	30	
20	xxxxxxxx			1's digit	34
21	01001100	", "	Fixed	2C	
22	xxxxxxxx	HDOP limit (D-GPS on) 10's digit	6	30	
23	xxxxxxxx			1's digit	36
24	01001100	", "	Fixed	2C	
25	xxxxxxxx	PDOP limit (D-GPS off) 10's digit	4	30	
26	xxxxxxxx			1's digit	34
27	01001100	", "	Fixed	2C	
28	xxxxxxxx	HDOP limit (D-GPS off) 10's digit	6	30	
29	xxxxxxxx			1's digit	36

No.	BIT 76543210	Contents	Example	
			Setting value	Output data (HEX)
30	00101010	" * "	Fixed	2A
31	xxxxxxx	Checksum	4A	34 41
32	xxxxxxx	Hexadecimal upper digits Hexadecimal lower digits		
33	00001101	Terminator	Fixed	0D 0A
34	00001010	<CR> <LF>		

2-2. Output Timing

1s period: GPVGTG, GPGGA, GPGLL, GPRMC, GPZDA
 2s period: GPGSA, PSNY, GPGSV



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

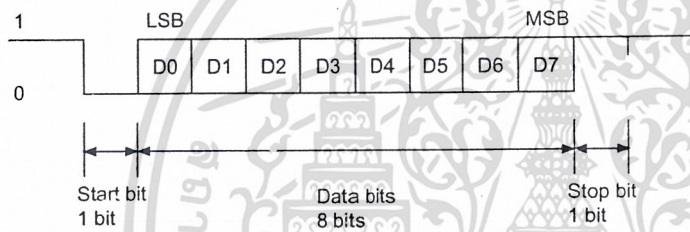
3. D-GPS Data Input Specifications

3-1. Communication

3-1-1. Serial input communication method

Interface: Asynchronous serial interface (UART)
 I/O channel: CH1
 Baud rate: 9600bps
 Start bit: 1 bit
 Data bits: 8 bits
 Stop bit: 1 bit
 Parity bit: None
 Communication control signal: None
 Input period: 1s or more

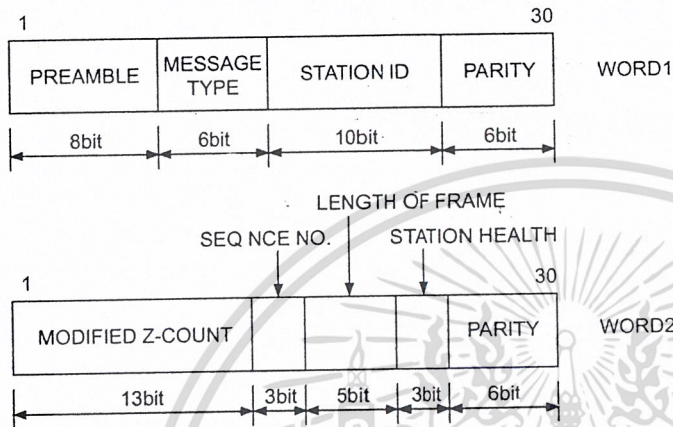
3-1-2. Asynchronous serial interface



3-2. RTCM Data Input

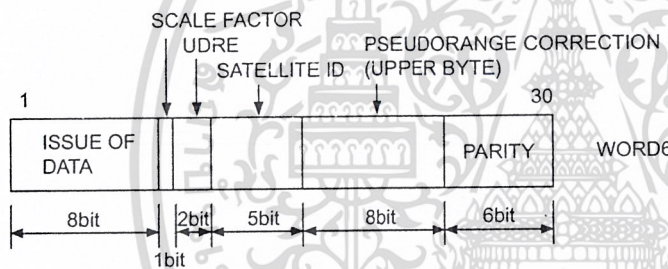
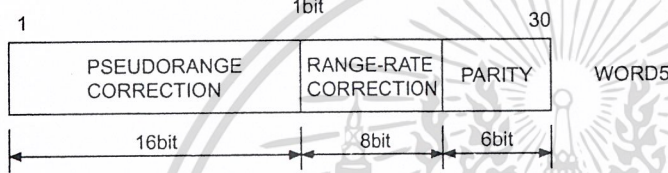
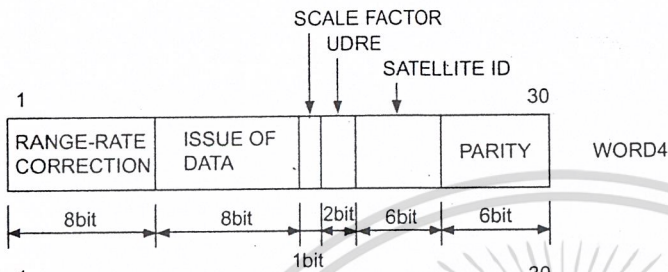
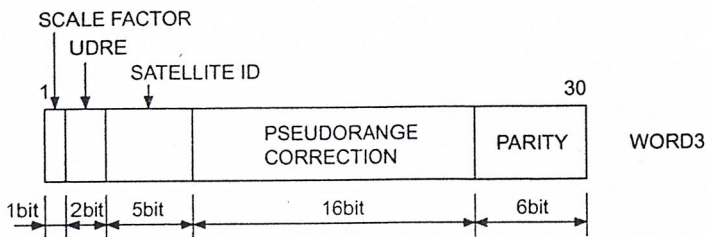
RTCM data input conforms to the RTCM SC-104 format and supports message type 1. The message type shared header and message type 1 format are shown below. These data are sent in the "6 of 8" format. In this format, each word is divided into 6-bit units, the bits are reordered so that the LSB comes first and the MSB comes last, and then "01" is added to the head of the bits.

3-2-1. Message type shared header



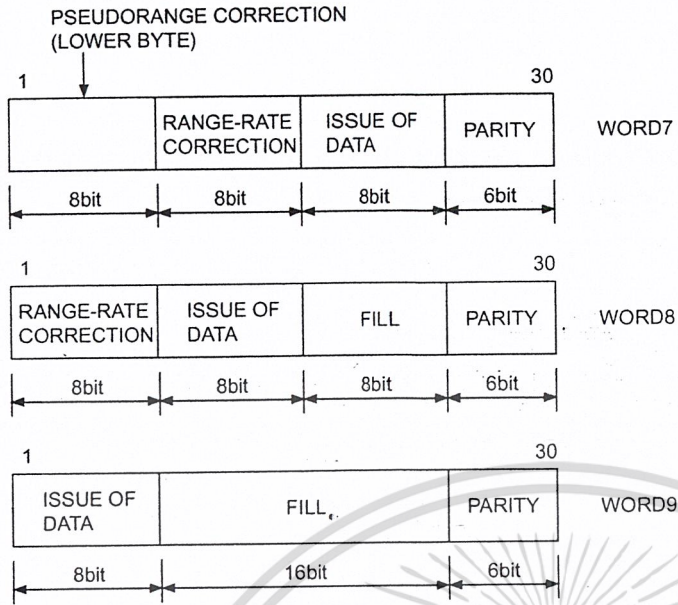
- PREAMBLE: Preamble
- MESSAGE TYPE: Message type
- STATION ID: Reference station ID No.
- PARITY: Error correction code
- MODIFIED Z-COUNT: Modified Z-count
- SEQ NCE NO.: Frame sequence No.
- LENGTH OF FRAME: Frame length
- STATION HEALTH: Reference station health

3-2-2. Message type 1 (differential GPS correction value)



- SCALE FACTOR: Pseudorange correction value scale factor
- UDRE: User differential range error index
- SATELLITE ID: Satellite ID No.
- PSEUDORANGE CORRECTION: Pseudorange correction value
- RANGE-RATE CORRECTION: Pseudorange rate-of-change correction value
- ISSUE OF DATA: Data issue No.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FILL: Dummy bit

