

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



การระบุตำแหน่งผ่านโมเด็มแสดงผลโดยคอมพิวเตอร์
GPS VIA MODEM DISPLAYED ON COMPUTER



ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 54934
วันเดือนปี - 1 เม.ย. 2548

6.....
1.....

การระบุตำแหน่งผ่านโมเด็มแสดงผลโดยคอมพิวเตอร์
GPS VIA MODEM DISPLAYED ON COMPUTER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การระบุตำแหน่งผ่านโมเด็มแสดงผลโดยคอมพิวเตอร์

GPS VIA MODEM DISPLAYED ON COMPUTER

ผู้จัดทำ

1. นาย วรวิทย์ กุ่มทวีกิจ 43010374
2. นาย วัฒนา ปรีเปรม 43010389

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระบุตำแหน่งผ่านโมเด็มแสดงผลโดยคอมพิวเตอร์
GPS VIA MODEM DISPLAYED ON COMPUTER

โดย นายวรวิทย์ คู่มทวักจ 43010374
นายวัฒนา ปรีเปรม 43010389

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

ระบบ GPS เป็นระบบการหาตำแหน่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพสูงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายแบบ เช่น ระบบการบอกตำแหน่ง, ระบบนำร่อง, งานสำรวจ ตลอดจนงานด้านการทหาร เป็นต้น โดย GPS สามารถคำนวณหาตำแหน่ง และเวลาได้โดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียม โดยมีเครื่องรับสัญญาณ GPS เป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับใช้รับสัญญาณข้อมูลจากดาวเทียม การศึกษานี้เป็นการศึกษาในส่วนของระบบตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุและนำมาแสดงออกทางจอภาพของคอมพิวเตอร์

ABSTRACT

Global Positioning System is widely used in many applications with high performance; such as positioning, navigation, surveying, military, and etc. The GPS receiver is the most important part for receiving the data stream from GPS satellites. The GPS receiver can calculate for position and time. This study concerns about the transferring position from GPS to display on computer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวความคิดในการทำปริญญาโท	1
1.2 เนื้อหาโดยสังเขปของปริญญาโท	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 โครงสร้างของระบบ จีพีเอส	6
2.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส	6
2.1.2 สถานีควบคุม	7
2.1.3 ส่วนของผู้ใช้	10
2.2 การให้บริการของ จีพีเอส	13
2.2.1 การบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ	13
2.2.2 การบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน	14
2.3 ทฤษฎีการปฏิบัติงานของ ระบบจีพีเอส	14
2.3.1 ลักษณะของสัญญาณ จีพีเอส	14
2.3.2 รูปแบบความถี่และการมอดูเลชัน	17
2.3.3 การสร้างขบวนรหัส โดยตรงของรหัส พาร์เอี้ยน	21
2.3.4 ขบวนการนำร่อง	24
2.4 การทำงานของเครื่องรับ จีพีเอส	25
2.4.1 การเลือกดาวเทียม	25
2.4.2 การรับสัญญาณดาวเทียม	26
2.4.3 การแยกรหัสในเครื่องรับ	29
2.4.4 การนำร่องโดยใช้กรวดระยะทางแบบไฮโด	32
2.4.5 การหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ	34
2.4.6 ความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ จีพีเอส	40
2.5 ระบบพิกัดของ จีพีเอส	44
2.5.1 แนวความคิดในการระบุพิกัด ของจีพีเอส	44
2.5.2 การอ้างอิงโดยเอลลิปซอยด์	49
2.5.3 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก	50
2.5.4 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้ทั่วไป	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 มาตรฐาน NMEA และ โพรโตคอล ที่ใช้ในการสื่อสารของ จีพีเอส	58
2.6.1 มาตรฐาน NMEA	58
2.6.2 การอินเตอร์เฟสทางไฟฟ้า	58
2.6.3 มาตรฐาน NMEA 0183	58
2.6.4 มาตรฐาน NMEA 183	59
2.6.5 รูปแบบประโยคของ NMEA	59
2.7 TCP/IP,OSI Model กับระบบเครือข่าย	62
2.8 การส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์	76
2.8.1 สายเคเบิลของ RS-232	76
2.8.2 ขาต่างๆ ของ RS-232	76
2.8.3 Null Modem Cable	78
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	80
3.1 หลักการออกแบบ	80
3.2 การออกแบบการแสดงผลออกทางมอนิเตอร์	81
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	88
4.1 กล่าวนำ	88
4.2 การทดลองเครื่องรับ จีพีเอส	88
4.2.1 ข้อมูลที่ จีพีเอสส่งออกมา	92
4.3 ผลการทดลองในส่วนของการส่ง	93
4.3.1 สัญญาณข้อมูลจาก จีพีเอส	93
4.3.2 ขั้นตอนการเซตการส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมฝั่ง Client	94
4.4 ผลการทดลองการแสดงผลออกจอภาพ	96
4.4.1 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกทางจอภาพ	96
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	101
5.1 สรุปผลการทดลอง	101
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	101
ภาคผนวก ก. วงจรรวม	
ภาคผนวก ข. โปรแกรมแสดงผล	
ภาคผนวก ค. รายละเอียดอุปกรณ์	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 วงโคจรของจีพีเอส (a) และ กลอนนาส (b)	5
รูปที่ 2.2 การทดลองวัดพิคตคงที่ของระบบกลอนนาส	5
รูปที่ 2.3 กลุ่มดาวเทียมในระบบ จีพีเอส	6
รูปที่ 2.4 ภาพฉายในระนาบของวง โคจรดาวเทียม	7
รูปที่ 2.5 ภาพรวมของสถานีควบคุม	8
รูปที่ 2.6 สถานีที่ตั้งสถานีควบคุม จีพีเอส	9
รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบหลักของเครื่องรับจีพีเอส	10
รูปที่ 2.8 เครื่องรับแบบเอสพีเอสทั่วไป	11
รูปที่ 2.9 โครงสร้างสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส	15
รูปที่ 2.10 เอสเอ (ส่วนประกอบทางความคลาดเคลื่อนของนาฬิกา), ดาวเทียม #28 , ธันวาคม 2535	16
รูปที่ 2.11 ผลกระทบของ เอสเอ เมื่อรวมกับความคลาดเคลื่อนทางอิพีเมอริส	16
รูปที่ 2.12 โครงสร้างจีพีเอสสำหรับเอสหนึ่ง	18
รูปที่ 2.13 รหัสจีพีเอสรวมกันข้อมูล	18
รูปที่ 2.14 การมอดูเลชันคลื่นพาห้แอลหนึ่ง ของจีพีเอส	19
รูปที่ 2.15 จีพีเอสโค้ดเจนนอเรเตอร์	21
รูปที่ 2.16 ซีเอโค้ด เจนเนอเรเตอร์	23
รูปที่ 2.17 การสร้างสเปคตรัมเปิดรับและการสร้างสัญญาณขึ้น	26
รูปที่ 2.18 ระบบการแทรกคิงของเครื่องรับจีพีเอสทั่วไป	27
รูปที่ 2.19 การกำหนดรหัส ซีเอโค้ด	30
รูปที่ 2.20 รหัส พีอาร์เอ็น บางส่วน	30
รูปที่ 2.21 การไม่สัมพันธ์กันของรหัส พีอาร์เอ็น ที่สร้างขึ้นกับที่ได้จากดาวเทียม	31
รูปที่ 2.22 รหัสบางส่วนที่เข้ากันได้	31
รูปที่ 2.23 ความเข้ากันได้ทั้ง พีอาร์เอ็น	31
รูปที่ 2.24 ระยะเวลาแบบซูด	32
รูปที่ 2.25 สมการการคำนวณระยะเวลาแบบซูด	33
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างการหาค่าของ ซูดเรนจ์	33
รูปที่ 2.27 การเปลี่ยนจากพิคต ECEF XYZ พิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geodetic coordinate)	34
รูปที่ 2.28 รหัสที่สร้างขึ้นเพื่อหาวลการเดินทางของคลื่นที่มาจกดาวเทียม	35
รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาระบบกับเวลาของดาวเทียมและของผู้ใช้	36
รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ทางเวลาในการวัดระยะเวลา	42
รูปที่ 2.31 ความคลาดเคลื่อนทางอิพีเมอริส	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.32 การหาความยาวของ วย เมื่อทราบความยาวของ เอกซ์, แชนด์ และค่ามุมต่าง ๆ	44
รูปที่ 2.33 การหาพิทักคในระบอบ จีทีเอส	44
รูปที่ 2.34 ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมมีรัศมี 22,000 กิโลเมตร	45
รูปที่ 2.35 การตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม	46
รูปที่ 2.36 การตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม	46
รูปที่ 2.37 จุดตัดกันของดาวเทียม เอ และ บี	47
รูปที่ 2.38 จุดตัดกันของดาวเทียม เอ และ บี ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป	47
รูปที่ 2.39 จุดตัดกันของดาวเทียม เอ, บี, ซี ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป	48
รูปที่ 2.40 จุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม เอ, บี, ซี	48
รูปที่ 2.41 ตัวแปรของเอลลิปซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ WGS-84	49
รูปที่ 2.42 รูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก	50
รูปที่ 2.43 ระดับของจีออยด์	50
รูปที่ 2.44 การกำหนดเส้นป้อมี มอริเดียนและเส้นเอ็กวาเตอร์	52
รูปที่ 2.45 การกำหนดพิทักคแบบละติจูด ลองจิจูด และความสูง	53
รูปที่ 2.46 การกำหนดพิทักคแบบ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง	53
รูปที่ 2.47 ระบบ อีจีอีเอฟ เอกซ์, วย, แชนด์	54
รูปที่ 2.48 รูปจำลองของโลกที่เป็นวงรี	55
รูปที่ 2.49 การเปรียบเทียบความสูงเหนือเอลลิปซอยด์และจีออยด์	57
รูปที่ 2.50 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในรูปแบบต่าง ๆ	57
รูปที่ 2.51 โครงสร้างของ OSI 7-Layer Reference Model	63
รูปที่ 2.52 การรับส่งข้อมูลของ OSI -Layer Model	63
รูปที่ 2.53 การแบ่งกลุ่มของ OSI 7-Layer Model	64
รูปที่ 2.54 การรับส่งข้อมูลแต่ละชั้นของ OSI 7-Layer Model	67
รูปที่ 2.55 โพรโตคอล TCP/IP เมื่อเทียบกับ OSI 7-Layer Model	68
รูปที่ 2.56 ตัวอย่าง Encapsulation ของข้อมูล FTP เทียบกับ TCP/IP Layer	71
รูปที่ 2.57 รูปแบบของ IP Datagram ประกอบด้วยส่วน Header และ Payload	72
รูปที่ 2.58 รูปแบบของ TCP Packet ซึ่งมีฟิลด์ Acknowledgement Number และข้อมูล Checksum	74
รูปที่ 2.59 รูปแบบของ UDP Packet จะมีฟิลด์ข้อมูลส่วน Header น้อยมากและไม่มีส่วน	75
ตรวจสอบข้อมูล	
รูปที่ 2.60 การติดต่อระหว่างโพรโตคอลในชั้นของ Host-to-Host Layer และ Internet work Layer	75
รูปที่ 2.61 แสดงการต่อสายตรง ของ อาร์เอส = 232 อย่างง่าย	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.62 การต่อสายสลับของ อาร์เอส – 232 หรือ Null Modem Cable81	78
รูปที่ 2.63 การต่อสายตรงจาก ดีบี – 25 ไปยัง ดีบี – 9	79
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของ GPS VIA MODEM DISPLAYED ON COMPUTER	80
รูปที่ 3.2 แสดง Flow Chart ของการส่งข้อมูลจีพีเอสไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์	83
รูปที่ 3.3 แสดง Flow Chart ของการแสดงผลออกทางมอนิเตอร์	85
รูปที่ 3.4 แสดงการ Mapping ค่า ละติจูด, ลองจิจูด เป็น พิกเซล	86
รูปที่ 4.1 ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ จีพีเอส	89
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการเปิดโปรแกรม ไฮเปอร์เทอร์มินอล และเซตค่า	90
รูปที่ 4.3 ประโยคต่าง ๆ ที่ จีพีเอส ส่งออกมา	91
รูปที่ 4.4 จีพีเอส โมดูล	93
รูปที่ 4.5 สัญญาณจาก จีพีเอส โมดูล	94
รูปที่ 4.6 เซตค่าต่างๆ ใน โปรแกรมฝั่ง Client	95
รูปที่ 4.7 ขอบเขตการค้นหามูลค่าเทียบกับแผนที่	96
รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกทางจอภาพบริเวณภาควิศวกรรมโทรคมนาคม	97
รูปที่ 4.9 ภาพขยายตำแหน่งบริเวณตึกโทรคมนาคม	97
รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกทางจอภาพบริเวณอาคารเรียนรวมคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ตึก 6 ชั้น)	98
รูปที่ 4.11 ภาพขยายตำแหน่งบริเวณอาคารเรียนรวมคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ตึก 6 ชั้น)	98
รูปที่ 4.12 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกทางจอภาพบริเวณโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์	99
รูปที่ 4.13 ภาพขยายตำแหน่งบริเวณโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์	99
รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกทางจอภาพบริเวณตึก 12 ชั้น	100
รูปที่ 4.15 ภาพขยายตำแหน่งบริเวณตึก 12 ชั้น	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง จีพีเอส กับ กลอนนาส	4
ตารางที่ 2.2 โครงสร้างสัญญาณจีพีเอส	20
ตารางที่ 2.3 ค่าเริ่มต้นของขบวนการรหัสและค่าไค้คเฟสประจำตัวดาวเทียม สำหรับรหัส ซีเอ ไค้ค และรหัส พี	22
ตารางที่ 2.4 สถานะเริ่มต้นและพหุนามของจีพีเอส ไค้คเงินเนอเรเตอร์	24
ตารางที่ 2.5 การระบุโปรโตคอลที่ทำงานใน Layer ข้างบนซึ่งผืนกอลงมาใน IP Datagram	73
ตารางที่ 4.1 การบันทึกค่าต่าง ๆ ของ จีพีเอส	92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิดในการทำปฏิญานิพนธ์

ในปัจจุบันยุคสมัยของการสื่อสารข้อมูลจัดได้ว่าเป็นยุคแห่งเทคโนโลยี ซึ่งมีการพัฒนาระบบสื่อสารโทรคมนาคมและเทคโนโลยีต่างๆ ขึ้นมามากมายหลายรูปแบบ สำหรับ จีพีเอส (GPS : Global Positioning System) ก็เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในการบอกตำแหน่ง ซึ่งในสมัยก่อนยังไม่มีเครื่องมือที่ใช้บอกตำแหน่งและทิศทาง จะมีเพียงเข็มทิศเท่านั้นที่ใช้บอกทิศทาง สำหรับจีพีเอสมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถบอกพิกัดตำแหน่ง , ทิศทาง , ความสูงและความเร็ว รวมทั้งข้อมูลต่างๆของดาวเทียมได้ สำหรับการให้ประโยชน์จากจีพีเอส นั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้งานจะนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างไร เช่น จีพีอาร์เอส (GPRS : General Package Radio Service) จะนำเอา จีพีเอส ไปประยุกต์ใช้งานกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งสามารถบอกพิกัดตำแหน่งบนเครื่องโทรศัพท์นั่นเอง สำหรับปฏิญานิพนธ์นี้ได้นำเอาจีพีเอสไปประยุกต์ใช้ในการบอกพิกัดตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุ ซึ่งการใช้ประโยชน์นั้นขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะนำไปประยุกต์ใช้กับอะไร เช่นนำไปใช้เพื่อดูว่าบุคคลนั้นเดินทางออกนอกเส้นทางที่กำหนดหรือไม่ แต่ปฏิญานิพนธ์นี้ได้มุ่งเน้นไปทางบอกพิกัดตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุว่าอยู่ที่ตำแหน่งใดในแผนที่และกำหนดตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุที่ต้องการทราบได้

ส่วนประกอบของ GPS via Modem Displayed on Computer ที่สร้างขึ้นนี้ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลัก คือ

1. เครื่องรับจีพีเอส ทำหน้าที่คำนวณพิกัดตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุจากดาวเทียม
2. กล้องส่ง ทำหน้าที่ส่งข้อมูลต่างๆ ที่จีพีเอสคำนวณได้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต
3. กล้องรับ ทำหน้าที่รับข้อมูลต่างๆ ที่จีพีเอสคำนวณมาแสดงผลทางมอนิเตอร์

1.2 เนื้อหาโดยสังเขปของปฏิญานิพนธ์

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงเหตุผลที่นำจีพีเอส มาใช้ในการค้นหาตำแหน่งบุคคลหรือวัตถุ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ เป็นการกล่าวถึง ทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในการทำปฏิญานิพนธ์นี้คือ ทฤษฎีของจีพีเอส ทฤษฎีการส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง เป็นส่วนของการออกแบบ เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลผ่านทางระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและการแสดงผลของตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุที่รับได้จากจีพีเอสออกทางจอภาพคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง ซึ่งจะกล่าวถึงการทดลองโดยสรุปของปฏิญานิพนธ์ที่ได้จัดทำขึ้นมาและทำการวัดและบันทึกผลในแต่ละขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์ และบทสรุปปัญหาโดยจะกล่าวถึงผลการทดลอง สรุปผลการทดลองของ
การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ภาคผนวก ก. วงจรรวม

ภาคผนวก ข. โปรแกรมแสดงผล

ภาคผนวก ค. รายละเอียดอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีหรือหลักการ

สิ่งที่มนุษย์เราต้องใช้ตั้งแต่เริ่มเดินทางรอบโลก คือ สิ่งที่ช่วยบอกเราได้ว่ากำลังเดินทางไปยังตำแหน่งใด ๆ บางท่านอาจคิดว่าเป็นเรื่องธรรมดา ที่มนุษย์เราน่าจะมีเครื่องมืออะไรสักอย่างที่ใช้งานได้มานานแล้ว ก่อนที่จะมีระบบ จีพีเอส (GPS:Global Positioning System) เรายังไม่เคยมีเครื่องมือที่นำมาใช้บอกตำแหน่งและทิศทางที่สมบูรณ์เลยจะมีก็เพียงแต่เข็มทิศเท่านั้นที่ใช้บอกทิศทาง มนุษย์เรามีวิวัฒนาการการบอกทางมาตั้งแต่สมัยแรกด้วยวิธีสังเกตจากดวงดาว ซึ่งใช้การ ได้ดีเพราะดาวอยู่ห่างจากโลกเรามากทำให้สามารถมองเห็นกลุ่มดาวจากที่ต่าง ๆ ในบริเวณกว้างได้แต่การวัดดาวทำได้เฉพาะตอนกลางคืนและต้องเป็นคืนที่ท้องฟ้าแจ่มใสเท่านั้น เครื่องมือที่ทันสมัยในยุคอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมนุษย์ได้สร้างขึ้นสำหรับการเดินเรือแบบใหม่ชื่อระบบโลว์รอน (LORAN) ที่ใช้คลื่นวิทยุซึ่งติดตั้งตามพื้นที่ส่วนต่าง ๆ และอีกระบบต่อมาใช้ดาวเทียมเหมือนระบบ จีพีเอส คือ ระบบที่เรียกว่า ทรานส์ซิดซีสเทม (TRANSIT SYSTEM) หรือ แซทแนฟ (SATNAV) ทั้งสองระบบนี้กล่าวมาข้างต้นนี้ปัจจุบันได้ยกเลิกการใช้งานแล้ว เนื่องจากมีข้อบกพร่องในการบอกตำแหน่งคือในส่วนของระบบโลว์รอนนั้นสามารถที่จะบอกตำแหน่งได้เพียงบริเวณหนึ่ง ๆ เท่านั้นไม่สามารถที่จะนำการบอกตำแหน่งได้ครอบคลุมทั้งหมด ส่วนระบบทรานส์ซิดซีสเทมนั้นสามารถที่จะบอกตำแหน่งครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าแต่ก็มีข้อบกพร่อง คือ วงโคจรดาวเทียมของระบบอยู่ในระดับต่ำและมีจำนวนน้อยเกินไปและเนื่องจากระบบทรานส์ซิดซีสเทมใช้วิธีการวัดคลื่นแบบดอปเปลอร์ (Doppler) ซึ่งถ้ามีการเคลื่อนไหวน เครื่องรับสัญญาณเพียงเล็กน้อยก็จะเกิดความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งไปได้มากกระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ดำเนินโครงการโกลบอลโพสิชันนิ่ง ซิสเทม (Global Positioning System) หรือ จีพีเอสขึ้นมา โดยจีพีเอสจะใช้ดาวเทียมจำนวน 24 ดวง โคจรอยู่ในระดับสูงที่พ้นจากชั้นบรรยากาศของโลกและวิธีการที่สามารถให้ความถูกต้อง เพียงพอที่จะใช้บอกตำแหน่งได้ทุกแห่งบนโลกตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

จากการนำมาใช้งานจริงจะให้ความถูกต้องสูงโดยที่ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตำแหน่งทางราบต่ำกว่า 50 เมตร และถ้าวัดแบบวิธี "อนุพันธ์" (Differential) จะให้ความถูกต้องถึงระดับเซนติเมตร จากการพัฒนาทางด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทำให้สามารถผลิตเครื่องรับ จีพีเอส ที่มีขนาดเล็กลง และมีราคาถูกต่ำกว่าเครื่องรับระบบทรานส์ซิดซีสเทม เดิมเป็นอันมาก ปัจจุบันมีการนำ จีพีเอส มาใช้งานในหลายสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับงานสำรวจ อาทิ เช่น ภูมิศาสตร์ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การนำจีพีเอส มาใช้ในการกำหนดขอบเขตและจุดที่แน่นอนของป่าสงวนและอุทยานแห่งชาติ ในการบอกตำแหน่งเพื่อให้ออกงานวงรอบการใช้ จีพีเอส ในการสำรวจภูมิประเทศเพื่อทำแผนที่เส้นชั้นความสูง และงานวนรอบ หรือแม้แต่การนำจีพีเอสมาใช้ตรวจสอบรายละเอียดความถูกต้องของงานโครงข่ายสามเหลี่ยม และงานวงรอบ เป็นต้น นอกจากนี้ก็ยังมีระบบ การค้นหาที่มีลักษณะเดียวกันกับ จีพีเอส อีกแบบหนึ่งซึ่งเป็นของประเทศรัสเซีย นั่นคือ ระบบ กลอนนาส (Glonass)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

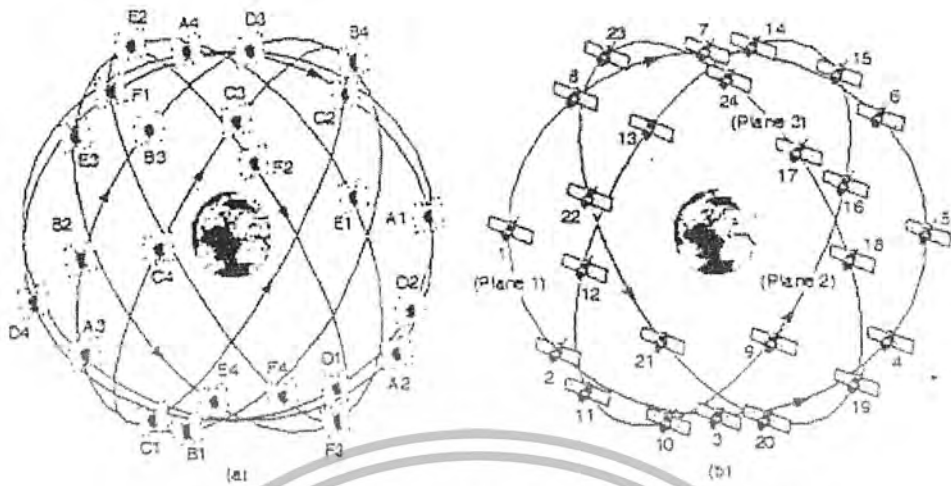
กลอนนาส (Glonass)

กลอนนาส (GLONASS : Global 'Naya Navigation Naya Sputnikovaya Sistema) เป็นระบบนำร่องของรัสเซียที่มีสถานีส่งสัญญาณโคจรอยู่เหนือพื้นโลก เช่นเดียวกับระบบ จีพีเอส การจัดวางระบบที่มีลักษณะคล้ายๆกันคือมีทั้งส่วนที่อยู่ในอวกาศ ส่วนที่เป็นสถานีควบคุมบนพื้นโลก และส่วนผู้ใช้สำหรับตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างระบบ จีพีเอส และกลอนนาส

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง จีพีเอส กับ กลอนนาส

รูปแบบวงโคจร	จีพีเอส	กลอนนาส
จำนวนดาวเทียม	24	24
จำนวนระนาบของวงโคจร	6	3
มุมเอียงวงโคจร(องศา)	55	56.8
รัศมีวงโคจร (กิโลเมตร)	26,560	25,510
วงรอบ (ชั่วโมง : นาที)	11 : 58	11 : 16
คุณสมบัติของสัญญาณ	จีพีเอส	กลอนนาส
คลื่นพาห์ (มอดูเลชัน)	L1 : 1,575.42 L2 : 1,227.60	L2 : (1,602 + 0.5625n) L2 : (1,246 + 0.4375n)
รหัส	CDMA C/A code on L1 P code on L1,L2	FDMA C/A code on L1 P code on L1,L2
ความถี่ของรหัส	C/A code : 1.023 P code : 10.23	C/A code : 0.511 P code : 5.11
มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง	จีพีเอส	กลอนนาส
ระบบพิกัด	WGS - 84	SGS - 85 (PZ - 90)
ระบบเวลา	UTC(USNO)	UTC (SU)
ความแม่นยำตามที่ออกแบบไว้	จีพีเอส	กลอนนาส
ตามแนวตั้ง (เมตร)	100	100
ตามแนวนอน (เมตร)	140	150

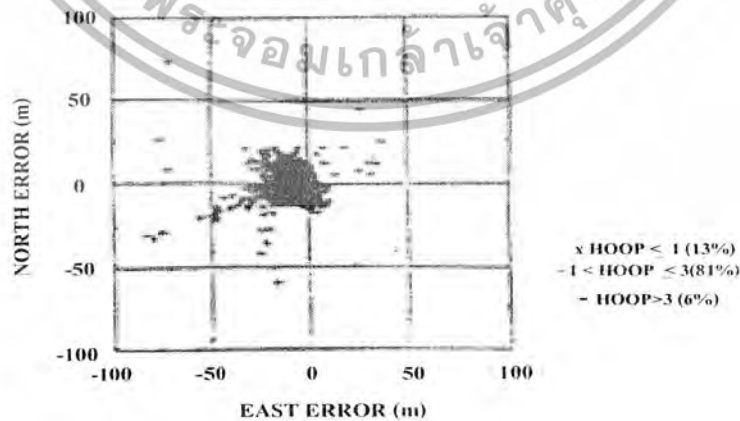
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 วงโคจรของจีพีเอส (a) และ กลอนาส (b)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่า ระบบของจีพีเอส และกลอนาสจะคล้ายกันมาก ส่วนใหญ่ที่ต่างกันคือ จำนวนวงโคจร (จีพีเอส คือ 6 และกลอนาส คือ 3 ดังรูปที่ 2.1) การเข้ารหัสของสัญญาณ จีพีเอสเป็นแบบ ซีดีเอ็มเอ และ กลอนาสเป็นแบบ เอดีเอ็มเอ และอัตราการส่งสัญญาณ ในขณะที่ จีพีเอสจะมี เอสเอ (S/A) เพื่อลดความแม่นยำลง แต่ระบบกลอนาสยังไม่มีการกำหนดให้ใช้ เอสเอ เมื่อทำการทดสอบโดยการวัดสัญญาณที่พิกัดที่ตั้งหนึ่งโดย สิ้นกลอน แลสมอลนาโตรี เอ็มไอทีพบจากความไม่แน่นอนของพิกัดเป็นดังรูปที่ 2.2

GLONASS POSITION ESTIMATES
1 - MINUTE SAMPLES, 16 APRIL 19 96



รูปที่ 2.2 การทดลองวัดพิกัดที่ตั้งของระบบกลอนาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 โครงสร้างของระบบ จีพีเอส

ระบบ จีพีเอส ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนของกลุ่มดาวเทียม (Space Segment) , ส่วนสถานีควบคุม (Operation Control Segment) และส่วนของผู้ใช้ (User Equipment Segment)

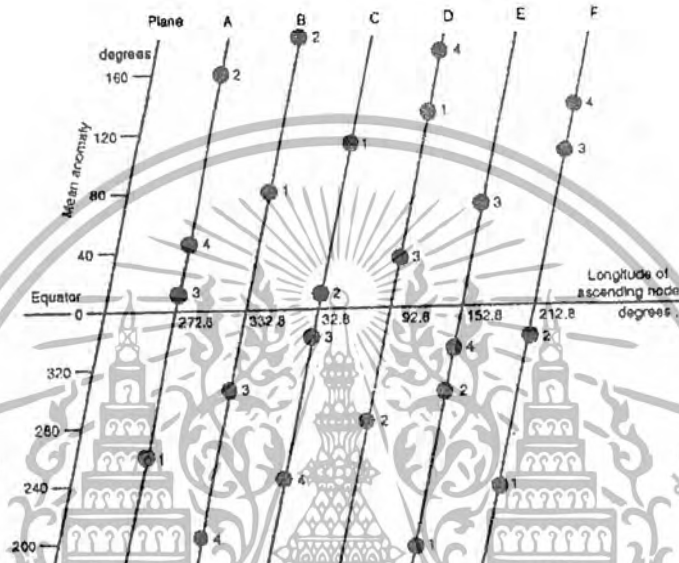
2.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียม จีพีเอส

ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง ในวงโคจรเซมิซิงโครนัส (Semi Synchronous Orbit) ดาวเทียมจะถูกจัดในวงโคจร 6 ระนาบ และมีดาวเทียม 4 ดวงในแต่ละระนาบ โดยระนาบวงโคจรจะมีมุมเอียง 55 องศา เทียบกับเส้นศูนย์สูตรของโลก ความสูงของวงโคจรประมาณ 22,000 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก ดังรูปที่ 2.3



ดาวเทียมจะโคจรครบ 1 รอบ โดยใช้เวลาประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที ดาวเทียมจึงจะถูกลำเลียงในระนาบวงโคจร 4 ดวงขึ้นไป สำหรับการบอกตำแหน่งที่จะต้องสังเกตได้ ณ ทุก ๆ ที่บนโลกดาวเทียมจะส่งสัญญาณเพื่อการวัดระยะทาง (Ranging Signal บน 2 ความถี่ แอลหนึ่ง (L- Band : Link 1 (L1)) ที่ 1575.42 เมกกะเฮิร์ตซ์และแอลสอง (Link 2 :L2) ที่ 1227.6 เมกกะเฮิร์ตซ์ สัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งด้วยเทคนิค สเปกตรัมแผ่กระจาย (Spread Spectrum) โดยใช้รหัสที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ รหัส ซีเอโค้ด (C/A : Coarse/Acquisition Code) ที่มีความถี่ 1.023 เมกกะเฮิร์ตซ์ บน แอลหนึ่ง และรหัส พีวายโค้ด (precision Code) ความถี่ 10.23 เมกกะเฮิร์ตซ์ บนทั้ง แอลหนึ่ง และ แอลสอง ทั้งรหัส ซีเอโค้ด และ รหัส พี สามารถถูกใช้เพื่อบอกระยะทางระหว่างดาวเทียมกับผู้ใช้งานได้ แต่ตามปกติ รหัส พีจะถูกเข้ารหัสไว้และสามารถถูกใช้เพื่อบอกระยะทางระหว่างทางการเท่านั้น รหัส พี ที่ถูกเข้ารหัสอีกครั้งจะเรียกว่ารหัสวาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนข่าวสารการนำร่อง (Navigation Message) คือข้อมูลไบอัสสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม (Satellite Clock Bias Data) ข้อมูลอีพีมอริส (Satellite Ephemeris Data) สำหรับดาวเทียมที่ส่งสัญญาณข้อมูลเพื่อใช้ในการแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดจากการเดินทางผ่านบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Signal Propagation Correction Data) นั่นมีข้อมูลอัลมาแนกของดาวเทียม (Satellite Almanac Data) และดาวเทียมทุกดวงในกลุ่มส่วนสถานีควบคุม (Operation Control Segment)



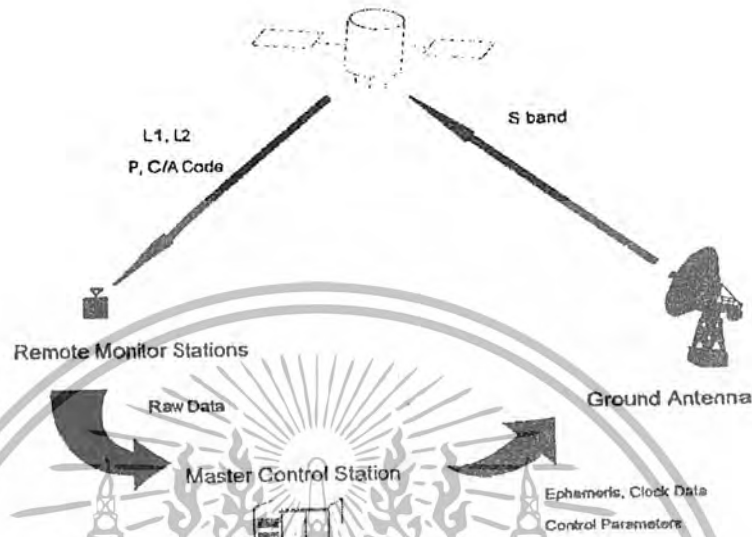
รูปที่ 2.4 ภาพฉายในระนาบของวงโคจรดาวเทียม

2. 1.2 สถานีควบคุม

มีหน้าที่รับผิดชอบการทำงานของดาวเทียม จีพีเอส เช่น การรักษาดำเน่งของดาวเทียม (Station Keeping) ตรวจสอบสภาพและสถานะของระบบต่าง ๆ บนดาวเทียม แผงเซลล์แสงอาทิตย์ระดับพลังงานของแบตเตอรี่ การเปิดดาวเทียมสำรอง ปรับปรุงข้อมูลเวลา ข้อมูลอีพีมอริส ข้อมูลอัลมาแนกและตัวชี้ค่าอื่นๆในข่าวสารการนำร่อง วันละครั้งหรือตามแต่ความจำเป็นค่าอีพีมอริสพารามิเตอร์ คือ ข้อมูลที่แม่นยำของวงโคจรดาวเทียมที่จะปรับปรุงทุก ๆ 4 - 6 ชั่วโมง ข้อมูลข่าวสารการนำร่องสามารถเก็บไว้ได้อย่างน้อย 14 - 210 วัน ปรับปรุงทุก ๆ 4 - 6 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับดาวเทียมแต่ละรุ่นข้อมูลอัลมาแนกเป็นสับเซตของอีพีมอริสพารามิเตอร์ ที่ไม่เที่ยงตรงมาก จะประกอบไปด้วย 7 พารามิเตอร์จากอีพีมอริส 15 ตัว ซึ่งใช้ในการทำนายตำแหน่งโดยประมาณของดาวเทียมและการรับสัญญาณ นอกจากนี้ส่วนสถานีควบคุมจะทำการวัด ซูโดเรน (Pseudo Range) และเดลตาเรนจ์ (Delta Range) เพื่อกำหนดคัมพริแก้ไขเวลา , ข้อมูลอัลมาแนก และ ข้อมูลอีพีมอริส ส่วนสถานีควบคุมประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station :MCS) สถานีสังเกตการณ์ (Monitor Station : MS) และงานสายอากาศภาคพื้นดิน (Ground Antenna : GA)



รูปที่ 2.5 ภาพรวมของสถานีควบคุม

การปฏิบัติงานของส่วนสถานีควบคุม

พิจารณารูปที่ 2.5 สถานีควบคุมหลัก เอ็มเอกซ์ซี จะเป็นศูนย์กลางการทำงานในส่วนควบคุม ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศฟอร์คอนรัฐโคโลราโด ส่วนสถานีสังเกตการณ์จะติดตามดาวเทียมที่ผ่านสถานีโดยการวัดซูโดเรนจ์และเดตาเรนจ์ การวัดนี้จะทำกับความถี่ของดาวเทียม ทั้ง แอลหนึ่ง และ แอลสอง ข้อมูลดิบที่ได้ร่วมกับข่าวสารการนำร่องและข้อมูลสภาพอากาศท้องถิ่น จะถูกส่งไปยังสถานีควบคุมหลักโดยผ่านระบบสื่อสารดาวเทียมของทหาร หรือ ระบบสื่อสารอื่นๆ

การทำงานของสถานีควบคุมหลัก

หน้าที่ของสถานีควบคุมหลัก คือ ประมวลผลข้อมูลที่รวบรวมได้จากสถานีสังเกตการณ์เพื่อกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม ข้อมูลอัลมาแนต ข้อมูลอีพีเมอร์ริส โดยเริ่มจากการแก้ไขค่าซูโดเรนจ์ที่เกิดจากความล่าช้าเนื่องจากผ่านชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ และ โทรโปสเฟียร์ ของทุกสถานีสังเกตการณ์จากนั้นจึงนำไปผ่านคาลมานฟิลเตอร์ (Kalman Filter) เพื่อให้ค่า อีพีเมอร์ริสและค่า การเคลื่อนของสัญญาณนาฬิกา (Clock Offset) ที่แม่นยำโดยฟิลเตอร์จะถูกอัปเดตทุก ๆ 15 นาทีร่วมกับตำแหน่งของดาวเทียมที่ถูกคำนวณในระบบโคออร์ดิเนตแบบอีซีอีเอฟ (ECEF: Earth Center Earth Fixed) หน้าที่ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการทำงานของสถานีควบคุมหลัก คือ ทยอยควบคุมความน่าเชื่อถือของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบโดยจะควบคุมดูแลสัญญาณนาฬิกาทั้งหมด การอัปเดตข้อมูลจีพีเอสและการส่งสัญญาณอื่น ๆ
ให้ถูกต้อง



รูปที่ 2.6 สถานที่ตั้งสถานีควบคุม จีพีเอส

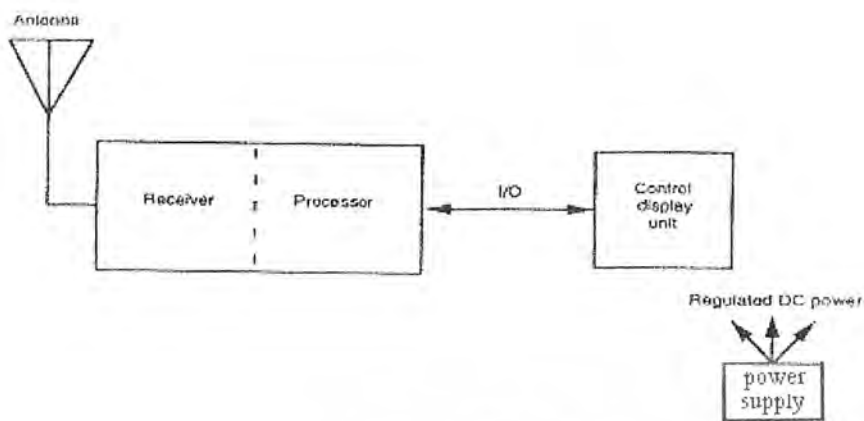
สถานีสังเกตการณ์

จะมีเครื่องรับ จีพีเอส ทั้ง 2 ถวามที่ แตสถานี แต่ละเอดสอง ซึ่งจะนำการวัดซูโดรอนจ์ และ
เคลตาเรนจ์ ของดาวเทียมแต่ละดวงที่สังเกตขึ้นอย่างต่อเนื่องและนำมาพิภวซ์เชื่อม 2 ตัว อังอิงกับเวลา
ของระบบจีพีเอส สัญญาณดาวเทียมจะมีการหักเหและล่าช้าในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโปส
เฟียร์ ความล่าช้าจากชั้นไอโอโนสเฟียร์หาได้จากการรับความถี่ทั้งสองของเครื่องรับในสถานีสังเกตการณ์
ส่วนอุณหภูมิ ความดัน ความชื้น จะถูกส่งไปยังสถานีควบคุมหลักโดยกรมอุตุนิยมวิทยาของสหรัฐอเมริกา
เพื่อหาความล่าช้าเนื่องจาก โทรโปสเฟียร์ ในแต่ละสถานีสังเกตการณ์

สายอากาศภาคพื้นดิน (Ground Antenna)

จะทำหน้าที่ส่งคำสั่งและข้อมูลการนำร่องรวมทั้งข้อมูลอื่นๆที่เรียกว่าทีทีแอนด์ซี
(TT&C :Telemetry , Tracking and Command) ซึ่งเตรียมโดยสถานีควบคุมหลัก สำหรับดาวเทียมแต่ละ
ดวงข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังสายอากาศภาคพื้นดิน และเก็บไว้จนกว่าดาวเทียมจะผ่านมาโดยส่งผ่าน
คลื่นความถี่ย่าน เอสแบนด์ (S-Band) สายอากาศจะตั้งอยู่กับสถานีสังเกตการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบหลักของเครื่องรับจีพีเอส

2.1.3 ส่วนของผู้ใช้ (User Equipment Segment)

เครื่องรับ จีพีเอส จะรับสัญญาณแอสแซนด์ที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมและนำมาคำนวณหาตำแหน่ง ความเร็วและเวลาของเครื่องรับ ในปัจจุบันนี้เครื่องรับ จีพีเอส มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา

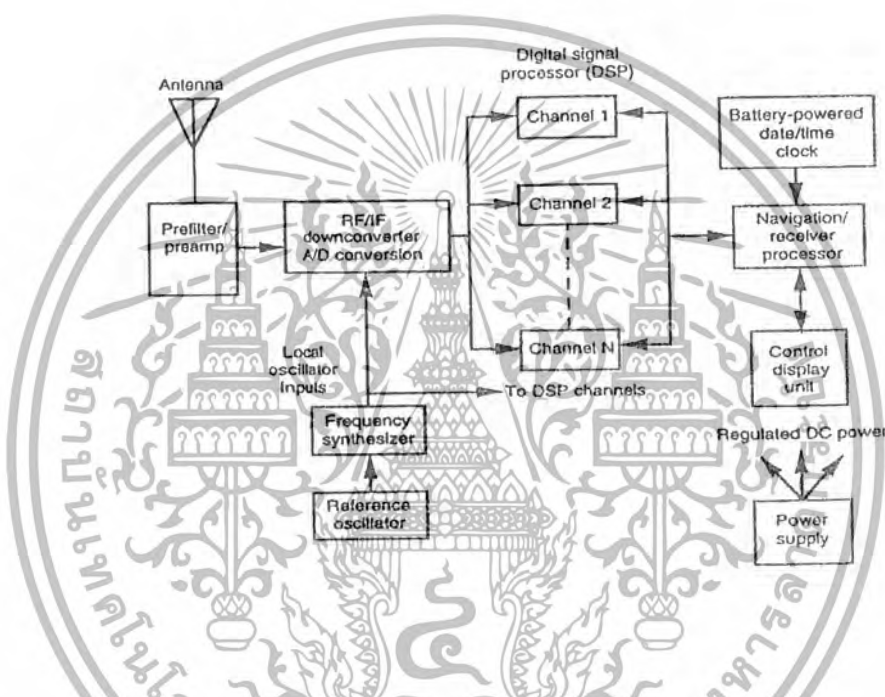
คุณลักษณะของเครื่องรับ จีพีเอส

บล็อกไออะแกรมของชุดเครื่องรับ จีพีเอส จะเห็นไปตามรูปที่ 2.7 ชุดอุปกรณ์รับประกอบไปด้วย 5 ส่วน คือ สายอากาศ, เครื่องรับ, โปรเซสเซอร์, อุปกรณ์ อินพุต / เอาท์พุท และ แหล่งจ่ายไฟ

1. สายอากาศ สัญญาณจากดาวเทียมจะถูกรับเข้ามาผ่านสายอากาศ ซึ่งจะเป็นสายอากาศที่มี โพลารไรซ์ของคลื่นแบบวงกลมหมุนขวาและรับได้ในช่วงเกือบครึ่งวงกลมโดยตั้งไปจะครอบคลุม 160 องศา โดยมีกำลังขยายต่าง ๆ ตั้งแต่ประมาณ 2.5 dBic ที่จุดสูงสุดของกำลังขยายไปจนถึง 0 dBic ที่มุม เอลเวชัน 10 องศาข้างใต้มุม 10 องศา นี้กำลังขยายจะเป็นลบ เนื่องจากสัญญาณดาวเทียมเป็นแบบวงกลม หมุนขวา สายอากาศแบบไดโพลหรือเฮลิคัล หรือรูปแบบอื่น ๆ ที่ใช้งานได้จึงเหมาะสม เครื่องรับ จีพีเอส ที่ แทรครหัส พีวายโค้ด ที่อยู่ทั้งใน แอสหนึ่ง และ แอสสอง ต้องการแบนด์วิดธ์ 20.46 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับ ทั้งสองความถี่ ถ้าเครื่องรับแทรกเฉพาะรหัส ซีเอโค้ด ที่อยู่บน แอสหนึ่ง สายอากาศและเครื่องรับจะต้องมี แบนด์วิดธ์อย่างน้อย 2.046 เมกะเฮิรตซ์ รูปแบบของสายอากาศที่ใช้มีหลาย ๆ รูปแบบ การเลือกใช้ สายอากาศนั้น โดยรวม ๆ แล้วดูจากค่าอากาศนั้น โดยรวม ๆ แล้วดูจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ สายอากาศ เช่น เกนแพทเทิร์น ขนาดของพื้นที่ที่ติดตั้ง คุณสมบัติทางเอโรไดนามิก ฯลฯ การเลือกใช้ สายอากาศยังต้องคำนึงถึงความต้านทานเนื่องจากการรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ ด้วย

2. เครื่องรับ ชนิดของเครื่องรับพื้นฐานในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ เครื่องรับที่แทรกทั้งรหัส พีวาย โค้ดและรหัสซีเอโค้ดและเครื่องรับที่แทรกเฉพาะรหัส ซีเอโค้ด ผู้ใช้แบบ พีพีเอส โดยทั่วไปจะใช้ เครื่องรับที่แทรกรหัส พีวายโค้ดบน แอสหนึ่ง และ แอสสอง เครื่องรับแบบนี้จะเริ่มทำงานโดยการแทรก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัส ซีเอโค้ด บน แอลหนึ่ง แล้วสับเปลี่ยนมาทำการแทรกรหัส พีวายโค้ด บน แอลหนึ่ง และ แอลสอง การแทรกรหัส วาย นี้ จะทำกับเครื่องรับที่มีอุปกรณ์คริปโตการฟฟิค (Cryptographic Equipment) เท่านั้น ถ้าสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมถูกเอนคริปและเครื่องรับไม่มีอุปกรณ์คริปโตการฟฟิคที่เหมาะสม เครื่องรับจะทำการแทรกรหัส ซีเอโค้ด บน แอลหนึ่ง เป็นหลัก ผู้รับแบบ เอสพีเอส จะใช้เครื่องรับที่แทรกรหัส ซีเอโค้ด บน แอลหนึ่ง เพียงอย่างเดียว เนื่องจาก แอลหนึ่ง เป็นเพียงความถี่เดียวที่ส่งรหัส ซีเอโค้ด นอกจากนี้เครื่องรับสองชนิดนี้แล้วยังมีเครื่องรับแบบอื่นๆ อีก เช่น เครื่องรับแบบ โค้ดเรด ซึ่งเครื่องรับแบบนี้จะทำการแทรกรหัส ซีเอโค้ด บน แอลหนึ่ง และเฟสของคลื่นพาห้บนความถี่แอลหนึ่งและแอลสอง ทำให้ได้ความถูกต้องจากการวัดสูง



รูปที่ 2.8 เครื่องรับแบบเอสพีเอสทั่วไป

เครื่องรับส่วนใหญ่จะมีช่องสัญญาณหลายช่อง โดยที่แต่ละช่องสัญญาณจะแทรกสัญญาณจากดาวเทียมดวงเดียว บล็อกโคเดอแกรมแบบง่าย ๆ ของเครื่องรับเอสพีเอสแบบหลายช่องสัญญาณเป็นดังรูปที่ 2.8 สัญญาณย่านความถี่วิทยุจากดาวเทียมจะถูกกรองเพื่อลดการรบกวนจากสัญญาณอาร์เอฟอื่นๆ นอกย่านความถี่ต่อจากฟิลเตอร์นั้นจะตามด้วยปริแอมพลิฟายเออร์เพื่อขยายสัญญาณ สัญญาณอาร์เอฟ จะถูกควาน์ตอเนอเวอร์เตอร์เป็นสัญญาณอินเตอร์มิเดียตฟริควนซี หรือ สัญญาณไอเอฟในเครื่องรับสมัยใหม่ สัญญาณ ไอเอฟ จะถูกสุมตัวอย่างและทำการดิจิตไลซ์โดย เอชดี คอนเวอร์เตอร์อัตราการสุมตัวอย่างโดยทั่วไปจะเป็นแปดถึงสิบสองเท่าของอัตราชีพของรหัส พ็อาร์เอ็น (1.023 เมกกะเฮิร์ตซ์ สำหรับ ซีเอโค้ด ใน แอลหนึ่ง และ 10.23 เมกกะเฮิร์ตซ์ สำหรับ พีวาย ใน แอลหนึ่ง และ แอลสอง) อัตราการสุมตัวอย่างน้อยที่สุดจะเป็นสองเท่าของแบนด์วิดธ์สูงสุดของข่าวสารเพื่อเป็นไปตามไนส์ควิตส์ สำหรับเครื่องรับที่แทรกเฉพาะรหัส ซีเอโค้ด แบนด์วิดธ์สูงสุดของข่าวสารจะมากกว่า 2 เมกกะเฮิร์ตซ์ ในเครื่องรับที่แทรกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัส พีวาย แบนด์วิดท์สูงสุดของข่าวสารจะมากกว่า 20 เมกะเฮิร์ตซ์ แชมเปิลจะถูกส่งต่อไปยังดิจิทัลซิกแนลโปรเซสเซอร์ ดิจิทัลซิกแนลโปรเซสเซอร์จะมี เอ็นแซมเบิลของสัญญาณที่ขนานกัน เพื่อการแทรกสัญญาณคลื่นพาห์และรหัสพร้อม ๆ กัน ได้จากดาวเทียม เอ็น ดาว (ในเครื่องรับปัจจุบัน เอ็น มีค่าตั้งแต่ 5 ถึง 12) แต่ละช่องสัญญาณจะบรรจุโค้ดแตรคกิ้งลูป และแครี่เรียแตรคกิ้งลูปเพื่อแทรกรหัสและคลื่นพาห์ ซึ่ง ก็คือการคิมอดูเลตข่าวสารการนำร่องนั่นเองช่องสัญญาณจะกำหนดการวัดที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ซูโดเรนจ์, เลตทาเรนจ์ และ อินทิเกรตคอปเปอร์ ขึ้นอยู่กับการทำงาน ค่าที่วัดได้และข่าวสารการนำร่องที่ถูกคิมอดูเลตออกมาจะส่งต่อไปยังโปรเซสเซอร์

3. โปรเซสเซอร์ของเครื่องรับ จะทำการควบคุมและสั่งงานให้เครื่องรับทำงานตามลำดับการปฏิบัติงานเริ่มจากการค้นหาสัญญาณตามด้วยการแตรคและการดึงข้อมูลออกมานอกจากนั้น โปรเซสเซอร์จะให้ผลลัพธ์ของตำแหน่ง ความเร็วและเวลา พีวีที ของเครื่องรับจากค่าที่วัดได้จากเครื่องรับในการใช้งานบางอย่างอาจมีโปรเซสเซอร์แยกกัน เพื่อกำหนดหาผลลัพธ์ พีวีที และใช้งานในการนำร่องอื่น ๆ โปรเซสเซอร์ส่วนใหญ่จะให้ผลลัพธ์ พีวีที ด้วยความถี่ 1 เฮิร์ตซ์ เป็นพื้นฐาน อย่างไรก็ตามเครื่องรับที่ถูกออกแบบสำหรับงานเกี่ยวกับการบินจะต้องมีความถูกต้องแม่นยำ และการตอบสนองเร็วกว่าโดยทั่วไปแล้วต้องการการคำนวณผลลัพธ์ พีวีที ที่อัตราอย่างน้อย 5 เฮิร์ตซ์ ผลลัพธ์ที่คำนวณออกมาได้และข้อมูลการนำร่องที่แก้ไขข้อ จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น

4. อุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุท เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประสานงานกับเครื่องรับจีพีเอสและผู้ใช้ อุปกรณ์ ไอโอ แบบพื้นฐานอยู่ 2 ชนิด คือ รวมอยู่ในตัวเครื่องและภายนอก อุปกรณ์ ไอโอ จะเป็นส่วนควบคุมและแสดงผล (CDU :Control Display Unit) ซีดียู จะให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลเข้าและแสดงสถานะ พารามิเตอร์การนำร่องต่าง ๆ เครื่องรับขนาดมือถือหรือขนาดเล็กจะมี ซีดียู รวมอยู่ในตัวเครื่องในกรณีติดตั้งแบบอื่น ๆ อุปกรณ์ ไอโอ จะถูกรวมไว้ในแผงควบคุมร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ นอกจากนี้งานบางอย่างต้องทำงานร่วมกับเซนเซอร์อื่น ๆ ในการอินเทอร์เฟซเพื่อป้อน ไอโอ และส่งข้อมูล เอาต์พุทออก อินเทอร์เฟซที่มีอยู่ทั่วไปคือ ARINC 429, MIL-STD 1553B, RS-232 และ RS422

5. แหล่งจ่ายไฟ มีทั้งแบบที่อยู่ในตัวเครื่องรับเองหรือแบบภายนอก หรือทั้งสองแบบรวมกัน อัลคาไลน์แบตเตอรี่หรือลิเทียมแบตเตอรี่ ใช้สำหรับแหล่งจ่ายภายใน เช่น ในเครื่องรับจีพีเอส แบบมือถือ แหล่งจ่ายไฟภายนอกใช้สำหรับงานที่เครื่องรับ จีพีเอส ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เครื่องรับแบบที่เป็นการ์ดที่ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือ ที่ติดตั้งในเรือเครื่องบิน นอกจากนี้การใช้แบตเตอรี่ภายในก็เพื่อรักษาข้อมูลที่เก็บไว้ใน เมมโมรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การให้บริการจีพีเอส (GPS Service)

มีอยู่ 2 ระดับ คือ บริการบอกตำแหน่งแบบสมบูรณหรือพีพีเอส (PPS :Precise Positioning Service) และบริการบอกตำแหน่งแบบมาตรฐานหรือ เอสพีเอส (SPS : Standard Positioning Service)

2.2.1 บริการบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ (Precise Positioning Service : PPS)

พีพีเอส เป็นบริการที่ให้ตำแหน่ง ความเร็ว และเวลาที่ถูกต้องเฉพาะผู้ที่ได้รับ อนุญาตให้ใช้งาน เท่านั้น พีพีเอสจะเน้นไปในทางการทหาร การได้รับอนุญาตให้ใช้ พีพีเอส นั้น จะพิจารณาโดย U.S Military User , NATO Military User และกองทัพอื่น ๆ หรือพลเรือน เช่น Australian Defense Forces, U.S. Defense Mapping Agency พีพีเอสจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 16 เมตร (16 meters Spherical Error Probable – SEP (3-D,50%) Position Accuracy) และความผิดพลาดทางด้านเวลาไม่เกิน 100 นาโนเซค (100ns (one sigma) Universal Coordinated Time (UTC) Time Transfer Accuracy) แต่ผู้ใช้งานที่ไม่ได้รับอนุญาตและจะให้ค่าประมาณ 37 เมตร (3 – D , 95%) และ 197 นาโนเซค (95%) ภายใต้เงื่อนไขการทำงานโดยปกติของระบบเครื่องรับแบบพีพีเอสสามารถให้ความถูกต้องของความเร็วมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.2 เมตรต่อวินาที (0.2 m/s 3-D Velocity Accuracy) ได้แต่ก็ขึ้นกับ การออกแบบเครื่องรับด้วย

การเอกซเซส พีพีเอส ถูกควบคุมโดยเทคนิค คริปโตกราฟฟิค 2 อย่างคือ เอสเอ (SA :Selective Availability) และ เอเอส (A-S : Anti-Spoofing) เอสเอจะใช้ในการลดความถูกต้องของ จีพีเอส ทั้งการบอกตำแหน่ง ความเร็ว เวลา แต่ผู้ใช้ที่ไม่ได้รับอนุญาต เอสเอจะทำงานโดยใส่ค่าผิดพลาดสุโดแรนดอมให้กับสัญญาณดาวเทียมเอสเอ จะมีผลบนดาวเทียมทุกดวงเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ใช้ที่ไม่ได้รับอนุญาตนำสัญญาณไปใช้วิเคราะห์ได้ซึ่งถูกต้องสมบูรณ ซึ่งเทคนิคนี้จะนำเอาเอนคริปท์ รหัสพีพีเอสที่เข้ารหัสในรหัสซีเอโค้ด จะไม่มีการทำแบบนี้

เอนคริปท์ชั้นคีย์ และเทคนิคเฉพาะจะถูกรหัสให้กับผู้ใช้ พีพีเอส ซึ่งจะทำได้สามารถจัดผลของ เอสเอ และ เอสเอ ออกไป และทำให้ ได้รับความแม่นยำสูงสุดของ จีพีเอส พีพีเอสซึ่งไม่มีคริปโตกราฟฟิค ที่ถูกต้องจะมีประสิทธิภาพเหมือนเครื่องรับเอสพีเอส และเครื่องรับพีพีเอส สามารถใช้ได้กับทั้ง รหัสพีวาย หรือ รหัส ซีเอโค้ด หรือกับทั้งคู่ ความถูกต้องสูงสุดของ จีพีเอสจะได้รับจากการใช้ รหัส พีวาย บนทั้งความถี่ แอลหนึ่ง และ แอลสอง เครื่องรับซึ่งสามารถใช้รหัส พีวาย ได้นั้นมักจะใช้รหัส ซีเอโค้ด เพื่อเริ่มต้นการรับสัญญาณดาวเทียม จีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 บริการบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน (Standard Positioning Service : SPS)

เอสพีเอส เป็นบริการที่ให้ความถูกต้องน้อยกว่า แต่จะใช้ได้กับผู้ใช้งานทั้งหมดในสภาวะปกติ ระดับของ เอสเอส จะถูกควบคุมเพื่อให้ค่าความถูกต้องในแนวเส้นขอบฟ้า 100 เมตร (100m (95% Horizontal Accuracy) มีค่าประมาณ 156 เมตร (3D- 95%) เครื่องรับเอสพีเอสมีความสามารถด้านความถูกต้องของเวลาประมาณ 337 นาโนเซค (95% ของ UTC Time Transfer Accuracy) การลดความถูกต้องของระบบสามารถเพิ่มขึ้นได้ถ้ามีความจำเป็น เช่น ในยามมีศึกสงครามโดย ประธานาธิบดีสหรัฐอเมริกาที่อำนาจ สั่งการผ่าน ยูเอส เนชันแนล คอมมานด์ ออโตริตี้ (U.S National Command Authority) เพื่อเปลี่ยนระดับของ เอสเอส เป็นระดับอื่นนอกเหนือจากในยามสงบบริการเอสพีเอส นั้นมีไว้ให้พลเรือนทั่วไปใช้งาน และให้กองทัพใช้ในยามสงบ

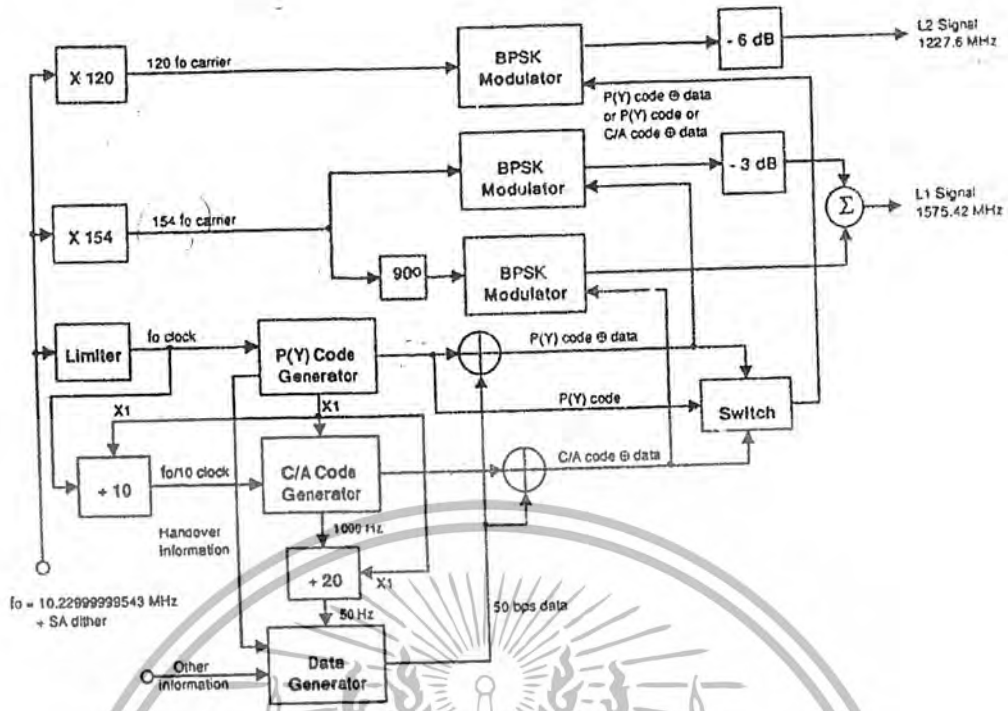
2.3 ทฤษฎีการปฏิบัติงานของระบบ จีพีเอส (GPS Theory of Operation)

สัญญาณวัดระยะทาง (Rangin code) ที่ส่งมาจากดาวเทียมนั้น จะทำให้เครื่องรับจีพีเอสสามารถวัดเวลาการเดินทางของสัญญาณและทราบระยะทางระหว่างดาวเทียมกับผู้ใช้ ข่าวสารการนำร่องจะให้ข้อมูล เพื่อการคำนวณหาตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวงที่เวลาของการส่งสัญญาณจากข้อมูลเหล่านี้ โคออร์ดิเนตของตำแหน่งผู้ใช้และค่าคลื่อนล้าของสัญญาณนาฬิกาของผู้ใช้ (User Clock Offset) จะถูกคำนวณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ (Simultaneous Equation) ซึ่งตามปกติจะต้องการดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อการบอกตำแหน่งในสามมิติในวิสัย (In view) ของเครื่องรับในเวลาเดียวกัน

2.3.1 ลักษณะของสัญญาณ จีพีเอส

ดาวเทียม จีพีเอส จะส่งสัญญาณมาบนความถี่พาห้ 2 ความถี่ (ย่าน แอลแอมแบนด์) เรียกว่า ความถี่ แอลหนึ่ง และ แอลสอง ความถี่พาห้จะถูกมอดูเลตด้วยวิธี สปรัดสเปกตรัม กัรบรหัสข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยขบวนการรหัส PRN(Pseudo Random Noise) ที่เป็นเอกลักษณ์ของดาวเทียมแต่ละดวงและข้อมูล ข่าวสารการนำร่อง ดาวเทียมทุกดวงส่งความถี่พาห้ที่เหมือนกันแต่สัญญาณจะไม่รบกวนกันเนื่องเพราะว่าการมอดูเลชันของรหัสพ็อไรอื่นที่เป็นเอกลักษณ์ของดาวเทียมแต่ละดวงและทุกๆขบวนการของรหัสพ็อไรอื่น ของดาวเทียมแต่ละดวงจะไม่มีความสัมพันธ์กันเลยที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสามารถถูกแยกและตีเทคได้โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า ซีดีเอ็มเอ (CDMA : Code Division Multiple Access)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

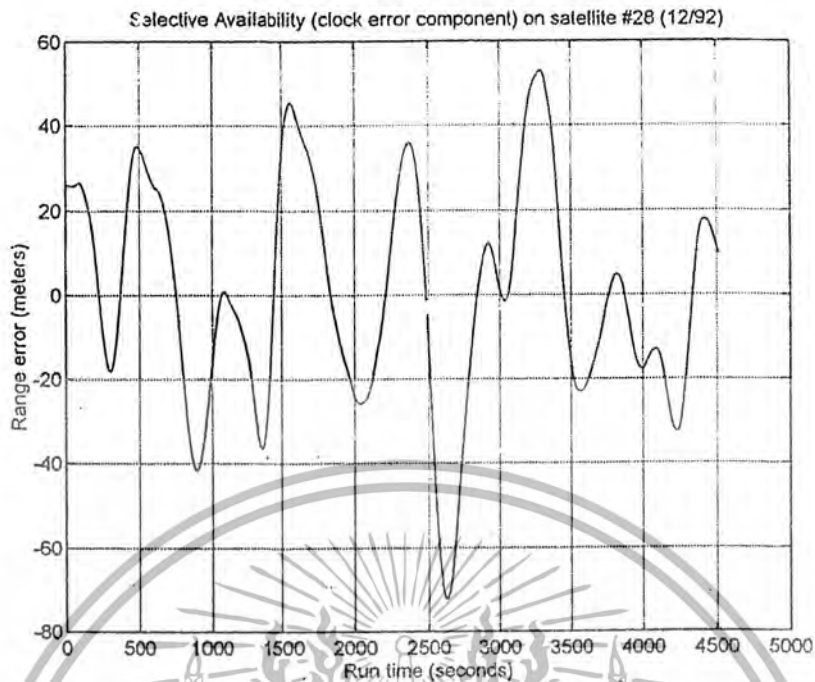


รูปที่ 2.9 โครงสร้างสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

Selective Availability (SA)

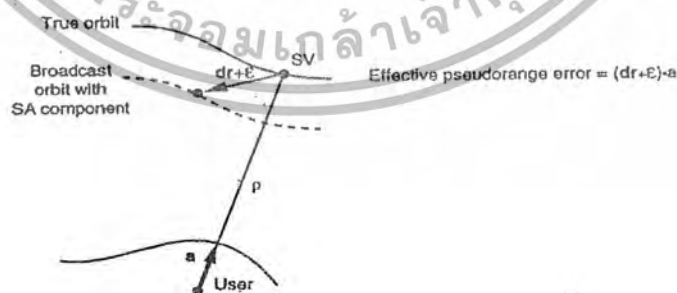
ต้นกำเนิดความผิดพลาดที่ใหญ่ที่สุดสำหรับผู้ใช้งานจีพีเอส คือ เอสเอ โดย เอสเอ จะถูกตั้งใจให้เกิดขึ้นโดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาเพื่อลดความแม่นยำของผู้ใช้งานเอสเอเริ่มใช้งานอย่างเป็นทางการในวันที่ 25 มีนาคม 2533 การลดความแม่นยำนั้นทำได้โดยการจัดการกับข้อมูลซีพีเอมที่ส่งออกมา (ส่วนประกอบทางความคลาดเคลื่อนของวงโคจร) และการสั่นสะเทือนของนาฬิกาบนดาวเทียม (ส่วนประกอบทางความคลาดเคลื่อนของนาฬิกา) บนดาวเทียมส่วนประกอบทางความคลาดเคลื่อนของวงโคจรเป็น ϵ และแทนส่วนประกอบทางความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเป็น δ ผลของเอสเอโดยการสั่นสะเทือนของนาฬิกาบนดาวเทียมจะเห็นได้ในการรบกวนที่แปรผันตามเวลาของซูโดเรนจ์ในรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนแสดงแนวโน้มซึ่งประกอบด้วยการออสซิลเลตที่ไม่แน่นอน ที่มีคาบเวลา 4 ถึง 12 นาที กัมการเปลี่ยนแปลงของความคลาดเคลื่อนของซูโดเรนจ์ภายในช่วง 70 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 เอสเอ (ส่วนประกอบทางความคลาดเคลื่อนของนาฬิกา) ดาวเทียม #28, ธันวาคม 2535

ผลของ เอสเอ ที่กระทำโดยการจัดการกับข้อมูลอีพีเมอริส สามารถทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งของดาวเทียมของผู้ใช้ ความคลาดเคลื่อนจะสามารถทำให้เกิดขึ้นได้หลายแบบเนื่องจากข้อมูลอีพีเมอริสมีพารามิเตอร์ อยู่ 15 ส่วนประกอบทางความคลาดเคลื่อนของวงโคจร ϵ จะเป็นผลรวมทางเวกเตอร์ ของความคลาดเคลื่อนของอีพีเมอริส ที่มีอยู่กับส่วนประกอบทางวงโคจร เอสเอที่โปรเจกต์ลงบนเวกเตอร์ที่เกิดจาก ไลน์ออฟไซต์ของดาวเทียมมายังผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 2.11



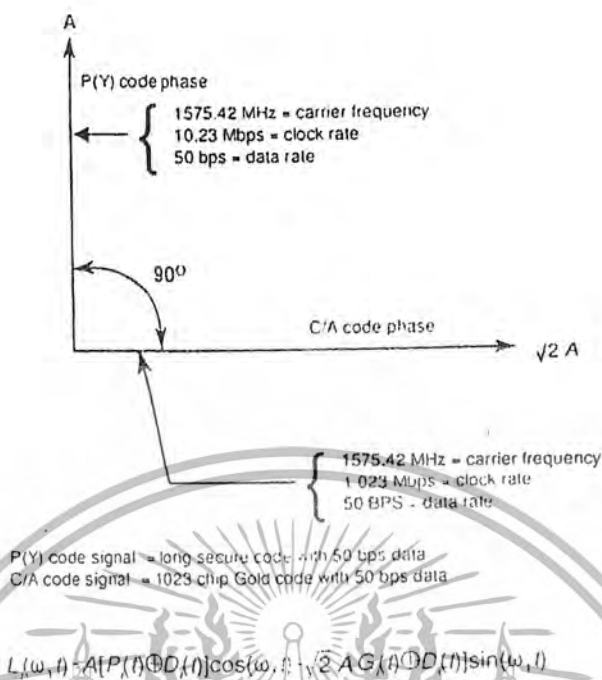
รูปที่ 2.11 ผลกระทบของ เอสเอ เมื่อรวมกับความคลาดเคลื่อนทางอีพีเมอริส

ในปัจจุบันนี้ได้พยายามมีการผลักดันให้ยกเลิกการลดค่าความผิดพลาดลงจากเดิม โดยให้เหตุผลว่า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถใช้เทคนิคดีเฟอเรนเชียลชดเชยจัดออกไปได้เกือบหมด นอกจากนั้นระบบกลอนนาส ซึ่งเป็นระบบนำร่องของรัสเซียให้ความผิดพลาดเพียง 50 เมตรเท่านั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 รูปแบบของความถี่และการมอดูเลชัน

จากรูปที่ 2.12 ความถี่ แอลหนึ่ง (154f_c) ถูกมอดูเลตด้วยรหัส พีโออาร์เอ็น 2 รูปแบบ (รวมทั้งข้อมูลข่าวสารการนำร่อง) คือ ซีเอโค้ด (C/A-Code : Coarse/Acquisition Code) และ พีโค้ด (P-Code : Precision Code) ความถี่ แอลสอง (120f_c) ถูกมอดูเลตด้วยรหัส พีโออาร์เอ็น เพียง 1 รูปแบบ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง โหมดของรหัสพี จะมีโหมดที่ไม่มีการมอดูเลตกับข้อมูลความถี่อ้างอิงเอฟศูนย์ จะมีค่า 10.23 เมกกะเฮิร์ตซ์ รหัสซีเอโค้ดจะมีชิพปีงเรด 1.023×10^6 ชิพ/วินาที (เอฟศูนย์ / 10 = 1.023 เมกกะเฮิร์ตซ์) และรหัสพี จะมีชิพปีงเรด 10.23×10^6 ชิพ/วินาที (เอฟศูนย์ = 10.23 เมกกะเฮิร์ตซ์) คำว่า “ชิพ” ใช้แทนคำว่า “บิต” เพื่อแสดงว่าไม่มีข้อมูลข่าวสารในรหัส พีโออาร์เอ็น

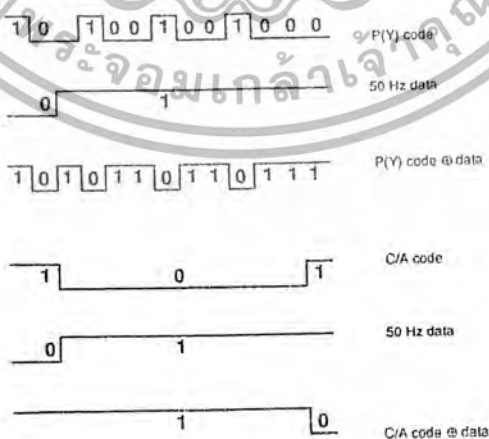
รหัสพี สามารถปฏิเสธผู้ใช้แบบ เอสพีเอส เมื่อส่วนควบคุมทำให้โหมด Anti-Spoofing (AS) ในดาวเทียมทำงาน เมื่อเอส ทำงานรหัสพี จะถูกเข้ารหัสเป็นรหัสวาย (รหัสวายจะมีชิพปีงเรด เดียวกับรหัสพี) ดังนั้นเราจึงมักใช้ตัวย่อสำหรับรหัส Precision Code ว่า รหัสพีวาย, เอสเอส นี้จะปฏิเสธการเข้าถึงรหัสพี โดยผู้ใช้แบบ เอสพีเอส ทั้งรหัสซีเอโค้ดและรหัสพีวาย ในความถี่พาห์แอลหนึ่งและแอลสองจะถูกรบกวนจากเอสเอ โดยเอสเอจะสร้างความผิดพลาดสุโดรบนคอมพิวเตอร์ทั้งการวัดสุโดรบนจ็และคลคคาเรนจ็ ค่าผิดพลาดเอสเอ นี้สามารถขจัดออกไปได้ในผู้ใช้แบบที่พีเอสแต่ผู้ใช้แบบเอสพีเอสจะไม่สามารถแก้ไขได้นอกจากนั้น เอสเอ ยังจะทำให้มีความผิดพลาดในข้อมูลอีพีเมอริส และ อัลมาแนคของดาวเทียมที่ส่งมาอีกด้วยสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งของผู้ใช้แบบเอสพีเอส ในรูปที่ 2.12 จะสังเกตว่าข้อมูล 50 บิต/วินาทีจะถูกรวมกับทั้งรหัส ซีเอโค้ด และรหัส พีวาย ก่อนการมอดูเลชันกับคลื่นพาห์ แอลหนึ่ง การรวมกันนี้ใช้กระบวนการ เอกซ์คูร์ซีฟออร์ กับอัตราการส่งบิตจะไม่สามารถเกินกว่าชิพปีงเรด ของพีโออาร์เอ็น โค้ดได้เนื่องจากซีเอ โค้ดเอกซ์คูร์ซีฟออร์กับข้อมูล และพีวายโค้ดเอกซ์คูร์ซีฟออร์กับข้อมูลที่ทำงานแบบซิงโครนัส การมอดูเลตชันจะไว้แบบ ไบนารีเฟสซีฟต์คีย์อิงโมดหนึ่งมีทั้งพีวายโค้ดเอกซ์คูร์ซีฟออร์กับข้อมูลถูกมอดูเลต โดยที่เฟสของข้อมูลตรงกันกับซีเอ โค้ดเอกซ์คูร์ซีฟออร์กับข้อมูลดังนั้นซีเอ โค้ดเอกซ์คูร์ซีฟออร์กับข้อมูลที่มอดูเลตแล้วกับพีวายโค้ดเอกซ์คูร์ซีฟออร์กับข้อมูลจะต่างเฟสกัน 90 องศา ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างจีพีเอสด้วยรีเลย์แอนเทนนา

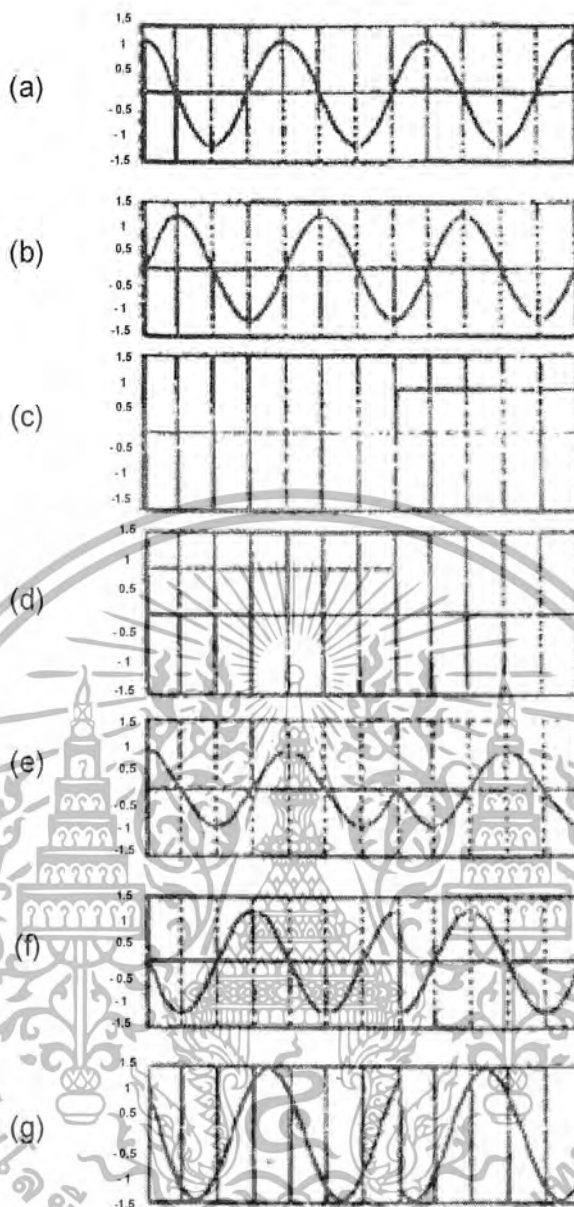
รูปที่ 2.13 แสดงผลของซีอีโอโค้ดเอกซ์ลูซีฟเฟออร์กับข้อมูล และพีวายโค้ดเอกซ์ลูซีฟเฟออร์กับข้อมูล

กระบวนการเอกซ์ลูซีฟเฟออร์ จะสมมูลกับกับไบนารีมีลดีฟลิเคชันของค่า 1 บิต 2 ค่า ด้วยเหตุนี้กระบวนการนี้จึงสมมูลกับกระบวนการมอดูเลชันแบบไบนารีเฟสพิกซ์อีกด้วย มันจะมีช่วงคาบเวลาของรหัสซีอีโอโค้ด 20,460 ช่วงใน 1 ช่วงคาบเวลาของข้อมูล ดังนั้นจำนวนครั้งที่เฟสสามารถเปลี่ยนไปจำนวนรหัสพีอาร์เอ็น เนื่องจากการมอดูเลตลับข้อมูลจะสัมพันธ์กัน



รูปที่ 2.13 รหัสจีพีเอสรวมกับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การมอดูเลตคลื่นพาห้ แอลหนึ่ง ของจีพีเอส

(a) คลื่นพาห้ แอลหนึ่ง เฟส 0 องศา (b) คลื่นพาห้ แอลหนึ่ง เฟส 90 องศา (c) พัลส์โค้ดแอสซุซึฟออร์กับ ข้อมูล (d) ซีเอโค้ดแอสซุซึฟออร์กับ ข้อมูล (e) พัลส์โค้ด แอสซุซึฟออร์กับ ข้อมูลมอดูเลชันแบบไบนารี เฟสซิปิย์บนคลื่นพาห้ แอลหนึ่ง เฟส 0 องศาการลดทอน 3 เดซิเบล (f) ซีเอโค้ด แอสซุซึฟออร์กับ ข้อมูลมอดูเลชันแบบไบนารีเฟสซิปิย์บนคลื่นพาห้แอลหนึ่ง (g) คลื่นพาห้แอลหนึ่ง ที่มอดูเลตเรียบร้อยแล้วรูปที่ 2.14 แสดงรูปร่างของคลื่นสัญญาณก่อนและหลังการมอดูเลชันกับพัลส์โค้ดแอสซุซึฟออร์กับข้อมูล และซีเอโค้ดแอสซุซึฟออร์กับข้อมูลในแอลหนึ่ง จะมีคลื่นพาห้ 154 ไซเคิลต่อ พัลส์โค้ด และ 1,540 ต่อ ซีเอโค้ดซิปิย์ดังนั้นการเลื่อนเฟสในแอลหนึ่งจะมีความสัมพันธ์กันคลื่นพาห้ความถี่แอลสอง(1,227.60 เมกกะเฮิร์ตซ์) สามารถถูกมอดูเลตโดยทั้ง พัลส์โค้ดแอสซุซึฟออร์กับข้อมูล และซีเอโค้ดแอสซุซึฟออร์กับข้อมูลหรือรหัสพัลส์โค้ดที่ไม่มีข้อมูลได้ทุกอย่างขึ้นกับการเลือกของส่วนควบคุมรหัสพัลส์โค้ด และรหัสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเอไอโค้ดจะไม่ปรากฏพร้อมกันบน แอลสอง และ แอลหนึ่ง โดยทั่วไปส่วนควบคุมจะเลือก พีวายไอโค้ดเอ็กซ์
 คูซีฟอว์กับข้อมูลในแอลสองจะมีคลื่นพาห์ 120 ไชเกิล ต่อพีวายไอโค้ดซิปดั่งนั้น การเลื่อนเฟสในแอลสอง
 ดั่งตารางที่ 2.2 สรุปโครงสร้างของสัญญาณจีพีเอสบนแอลหนึ่งและแอลสอง

Signal Priority	Primary	Secondary
Signal designation	L1	L2
Carrier frequency (Hz)	$1,575.42 \times 10^6$	$1,227.60 \times 10^6$
PRN codes (chips/sec)	$P(Y) = 10.23 \times 10^6$ and $C/A = 1.023 \times 10^6$	$P(Y) = 10.23 \times 10^6$ or $C/A = 1.023 \times 10^6$
Navigation message data modulation (bps)	50	50 ¹

*The code usually selected by the control segment on L2 is P(Y)-code.
¹The 50-Hz navigation data message is usually modulated on L2 P(Y)-code, but can be turned off by the control segment to improve jamming performance. There are three possibilities: P(Y)-code with data, P(Y)-code with no data, and C/A-code with data.

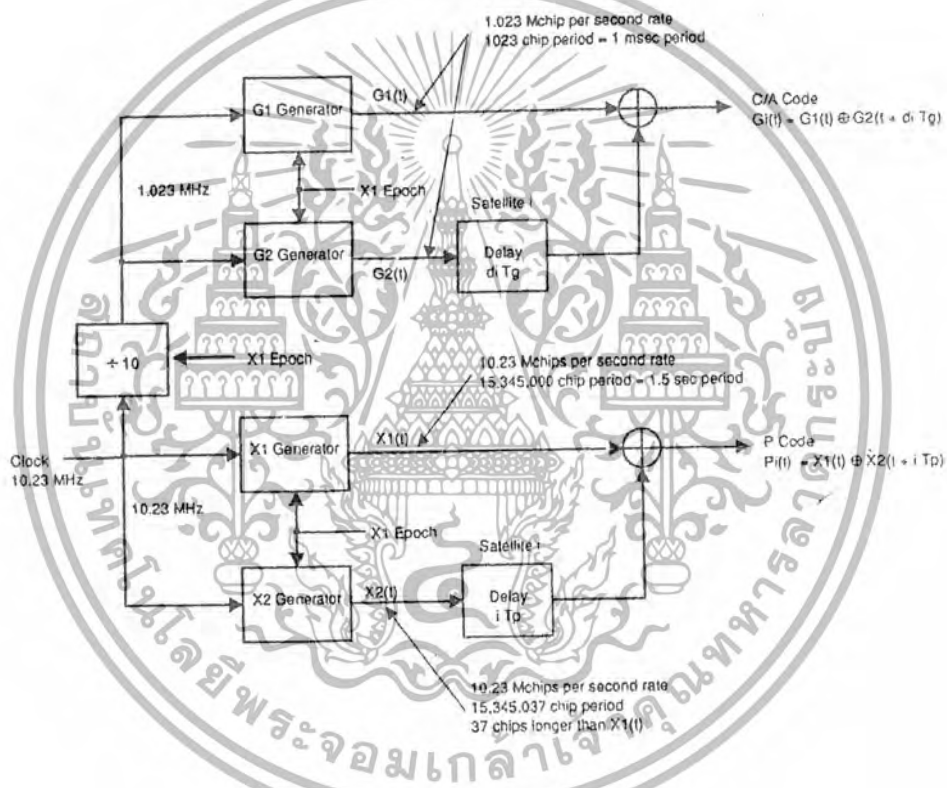
ตารางที่ 2.2 โครงสร้างสัญญาณจีพีเอส

ในดาวเทียมแต่ละดวงจะมีมาตรฐานของอะตอมมีมากกว่า 1 มาตรฐานเพื่อช่วยปรับปรุง ความ
 นำเชื่อถือแต่จะมีเพียงมาตรฐานเดียวเท่านั้นที่จะถูกเลือกจากส่วนควบคุมให้เป็นความถี่อ้างอิงในดาวเทียม
 ตัวอย่างเช่น ในดาวเทียม ब्ल็อค II และ III จะมีมาตรฐานนาฬิกา 2 อันผู้ใช้ระบบจีพีเอสจะเข้าถึงสัญญาณ
 ได้ทั้ง แอลหนึ่ง และ แอลสอง ทำให้ได้ความถูกต้องอย่างเต็มที่จากจีพีเอส ผู้ใช้แบบพีพีเอสจะมีอัลกอริธึม
 คือ มีอุปกรณ์ที่ใช้บรหัส วย พิเศษต่อแชนแนล (เรียกว่า Auxiliary Output Chip : AOC) และ คีย์เพ็ทจะ
 ได้รับการเข้าถึงรหัสช่วยการจีพีเอสสาย โค้ดจะปฏิเสธ การเข้าถึงโดยตรงกับพีซีไอของเครื่องรับจีพีเอส
 แบบเอสพีเอสซึ่งจะทำให้ลดความน่าจะเป็นที่ฝ่ายข้าศึกจะนำสัญญาณ ไปใช้ได้แต่อย่างไรก็ตามฝ่าย
 เดียวกันที่ใช้เครื่องรับแบบ เอสพีเอส ก็จะถูกปฏิเสธไปด้วย

ใน แอลสอง มักจะไม่ใช้ซีเอไอโค้ดทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากการปฏิเสธการทำงานแบบ 2 ความถี่ให้กับ
 ผู้ใช้แบบ เอสพีเอส เมื่อส่วนควบคุมสั่งให้เอสทำงาน ดังนั้นด้วยเหตุนี้ผู้ใช้แบบ เอสพีเอส จะถูกจำกัดให้
 ใช้แอลหนึ่ง ซีเอไอโค้ดทำให้ผู้ใช้แบบ เอสพีเอส ใช้ความถี่ได้เพียงความถี่เดียว จึงจำเป็นต้องจำลองการตีเลข
 ที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ขึ้นมาแทนที่การวัดค่าโดยตรง ซึ่งทำให้มีความถูกต้องน้อยกว่า

2.3.3 การสร้างขบวนรหัสโดยตรงของรหัสพีอาร์เอ็น (Direct Sequence PRN Code Generation)

รูปที่ 2.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการสร้างขบวนรหัสโดยตรงของรหัส พีอาร์เอ็น ที่ใช้ในจีพีเอส เพื่อนำไปใช้กับเทคนิค ซีดีเอ็มเอ รหัสพีอาร์เอ็นแต่ละแบบที่ได้มาจากโค้ดเจเนอเรเตอร์ 2 ตัวในแต่ละแบบโดยโค้ดเจเนอเรเตอร์ตัวที่สองของแต่ละแบบ จะมีเอาท์พุทที่ดีเลย์เมื่อเทียบกับตัวแรกจากนั้นมันจะรวมกันโดยวงจรเอกซ์คูซีฟออร์กับจำนวนของดีเลย์เมื่อเทียบกับตัวแรกจากนั้นมันจะรวมกัน โดยวงจรเอกซ์คูซีฟออร์กับจำนวนของดีเลย์จะแปรผันได้เกี่ยวกับจำนวนพีอาร์เอ็นของดาวเทียม ในกรณีของการดีเลย์ของพีอาร์เอ็นโค้ดจะมีค่าเหมือนจำนวนพีอาร์เอ็นส่วนซีโอโค้ดดีเลย์ จะมีค่าเป็นเอกลักษณ์ขึ้นอยู่กับดาวเทียมแต่ละดวง ค่าดีเลย์ เหล่านี้สรุปไว้ในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.15 จีพีเอสโค้ดเจเนอเรเตอร์

จีพีเอส ซีโอโค้ด คือ โค้ดที่สำคัญที่มีความยาวของขบวนรหัสเป็น 1,023 บิต (Chip) มีคาบเวลาเป็น 1 มิลลิเซค (เนื่องจากมีชิฟปีงเรดของ ซีโอโค้ดคือ 1.023 เมกกะเฮิร์ตซ์) รูปที่ 2.16 แสดงสถาปัตยกรรมการออกแบบเจเนอเรเตอร์ที่สร้างรหัส ซีโอโค้ด มันจะมี 10 บิต ชิฟทรีจิสเตอร์ จีหนึ่ง และ จีสอง ซึ่งสร้างสัญญาณรบกวนสุโด(PN ; Pseudonoise) โค้ดได้สูงสุดมีความยาว $2^{10} - 1 = 1,023$ บิต (สถานะหนึ่งที่ชิฟทรีจิสเตอร์จะไม่มีอะไร คือ เป็นศูนย์ทั้งหมด) เราจะอธิบายวิธีการออกแบบลิเนียร์โค้ดเจเนอเรเตอร์โดยใช้วิธีของพหุนามซึ่งมีรูปแบบเป็น $1 + x^i$, เมื่อ x^i คือข้อมูลในช่องที่ i ของชิฟทรีจิสเตอร์ซึ่งจะถูกนำเข้าไปเป็นอินพุทของเอกซ์คูซีฟออร์และ 1 หมายถึง เอาท์พุทของแอดเดออร์จะถูกป้อนในช่องแรกใน ซีโอโค้ด เจเนอเรเตอร์จะต้องการให้ พีคแม็ลแค็ปของจีหนึ่ง ชิฟทรีจิสเตอร์ถูกต่อกับสแตจ 3 และ 10 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์สเตจนี้จะถูกรวมกับแต่ละสเตจอื่น ๆ ด้วยวงจรถอดรหัสซีฟออร์และป้อนกลับมาที่สเตจ 1 พหุนามที่ใช้อธิบายสถาปัตยกรรมของซีฟที่รีจิสเตอร์นี้คือ $G1 = 1 + x^3 + x^{10}$ พหุนามและสถานะเริ่มต้นสำหรับทั้ง ซีเอโค้ด และพีโค้ดเจเนอเรเตอร์ ถูกสรุปเอาไว้แสดงในตาราง 2.3 ซีเอโค้ด ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของดาวเทียมแต่ละดวงจะเห็นผลมาจากการเอกซ์คูซีฟออร์กันระหว่างขบวนเอาต์พุต ซึ่ง ดีเลย์ ของ จีสอง และขบวนเอาต์พุตโดยตรงของ จีหนึ่ง ผลของ ดีเลย์ ใน จีสองพีเอ็นโค้ดจะเกิดขึ้นโดยการ เอกซ์คูซีฟออร์ตำแหน่งที่ถูกเลือกของแทป 2 อัน ซึ่งเอาต์พุตของมันจะเรียกว่า จีสอง ทั้งนี้ เนื่องจากว่าขบวนรหัส พีอาร์เอ็น มีคุณสมบัติที่ว่าเมื่อรวมกับสัญญาณของตัวเองที่ซีฟต์เฟสไปจะเกิดเฟสขึ้นมาโดยที่สัญญาณไม่เปลี่ยนแปลงหน้าที่ของแทป 2 อันบน จีสองซีฟตรีจิสเตอร์ในรูปที่ 2.16 คือใช้ซีฟต์เฟสของโค้ดใน จีสอง เมื่อเทียบกับเฟสของโค้ดใน จีหนึ่ง โดยไม่ต้องการซีฟตรีจิสเตอร์เพิ่มเติมในการทำดีเลย์นี้แต่ละค่าของ ซีเอโค้ด พีอาร์เอ็นนัมเบอร์ จะเกี่ยวข้องกับตำแหน่งของแทป 2 อันบน จีสอง

SV PRN Number	C/A-Code Tap Selection	C/A-Code Delay (Chips)	P-Code Delay (Chips)	First 10 C/A-Chips (Octal)*	First 12 P-Chips (Octal)
1	2 @ 6	5	1	1440	4444
2	3 @ 7	6	2	1620	4000
3	4 @ 8	7	3	1710	4222
4	5 @ 9	8	4	1744	4333
5	1 @ 9	17	5	1133	4377
6	2 @ 10	18	6	1455	4355
7	1 @ 8	139	7	1131	4344
8	2 @ 9	140	8	1454	4340
9	3 @ 10	141	9	1626	4342
10	2 @ 3	251	10	1504	4343
11	3 @ 4	252	11	1642	"
12	5 @ 6	254	12	1750	"
13	6 @ 7	255	13	1764	"
14	7 @ 8	256	14	1772	"
15	8 @ 9	257	15	1775	"
16	9 @ 10	258	16	1776	"
17	1 @ 4	469	17	1156	"
18	2 @ 5	470	18	1467	"
19	3 @ 6	471	19	1633	"
20	4 @ 7	472	20	1715	"
21	5 @ 8	473	21	1746	"
22	6 @ 9	474	22	1763	"
23	1 @ 3	509	23	1063	"
24	4 @ 6	512	24	1706	"
25	5 @ 7	513	25	1743	"
26	6 @ 8	514	26	1761	"
27	7 @ 9	515	27	1770	"
28	8 @ 10	516	28	1774	"
29	1 @ 6	859	29	1127	"
30	2 @ 7	860	30	1453	"
31	3 @ 8	861	31	1625	"
32	4 @ 9	862	32	1712	"
33†	5 @ 10	863	33†	1745	"
34†	4 @ 10	950‡	34	1713‡	"
35†	1 @ 7	947	35	1134	"
36†	2 @ 8	948	36	1456	"
37†	4 @ 10	950‡	37	1713‡	4343

*In the octal notation for the first 10 chips of the C/A-code as shown in this column, the first digit (1) represents a "1" for the first chip and the last three digits are the conventional octal representation of the remaining 9 chips. For example, the first 10 chips of the SV PRN number 1 C/A-code are 1100100000.

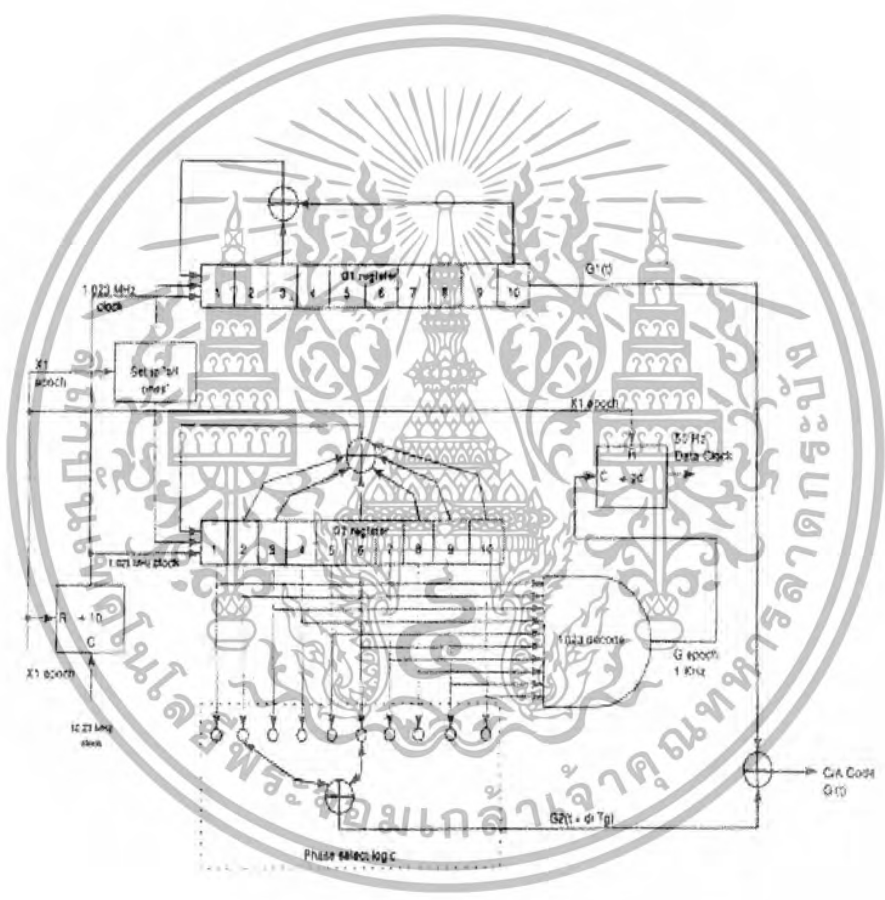
†PRN codes 33 through 37 are reserved for other uses (e.g., ground transmitters).

‡C/A-codes 34 and 37 are identical.

ตารางที่ 2.3 ค่าเริ่มต้นของขบวนรหัสและค่าโค้ดเฟสประจำตัวดาวเทียมสำหรับรหัส ซีเอโค้ด และรหัส พี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 จะอธิบายการรวมกันของแท็บ ในแต่ละค่าของ พิวาร์เอ็นนัมเบอร์และแสดงค่า ดีเลย์ ของ ซีเอโค้ด พิวาร์เอ็นนัมเบอร์ 32 ค่าแรกจะใช้สำหรับส่วนของดาวเทียม(Space Segment) พิวาร์เอ็น 33 และ พิวาร์เอ็น 37 จะถูกใช้สำหรับด้านอื่น เช่น (GTs : Ground Transmitters) จีทีเอส จะถูกใช้ระหว่างเฟส I (Concept Demonstration Phase) ของจีทีเอส เพื่อยืนยันการทำงานและความถูกต้องของระบบก่อนที่จะปล่อยดาวเทียม และในการรวมกันกับดาวเทียมดวงล่าสุด จีที ซีเอโค้ด 37 และ 37 จะเหมือนกันตารางที่ 2.3 ยังแสดง 10 ซิฟแรกของรหัส ซีเอโค้ด และ 12 ซิฟแรกของรหัส พี ในแบบเลขฐานแปดโดยเริ่มที่จุดเริ่มของสปีด้าห์ ตัวอย่างเช่น ขบวนการไบนารีสำหรับ 10 ซิฟแรกของรหัสซีเอโค้ดที่มีพิวาร์เอ็น หมายเลข 5 คือ 1001011011 และสำหรับ 12 ซิฟแรกของรหัส P ที่มี พิวาร์เอ็น หมายเลข 5 คือ 100011111111



รูปที่ 2.16 ซีเอโค้ด เจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Register	Polynomial	Initial State
C/A code C1	$1+x^3+x^{10}$	1111111111
C/A code C2	$1+x^2+x^3+x^6+x^8+x^9+x^{10}$	1111111111
Pcode X1A	$1+x^6+x^8+x^{11}+x^{12}$	001001001000
Pcode X1B	$1+x^1+x^2+x^5+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{12}$	010101010100
Pcode X2A	$1+x^1+x^3+x^4+x^5+x^6+x^7+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{12}$	100100100101
Pcode X2B	$1+x^2+x^3+x^4+x^8+x^9+x^{12}$	010101010100

ตารางที่ 2.4 สถานะเริ่มต้นและพหุนามของจีพีเอสโค้ดเจเนอเรเตอร์

2.3.4 ข่าวสารการนำร่อง (Navigation Data Message)

ข่าวสารการนำร่องมีความถี่ 50 เฮิรตซ์จะขึ้นอยู่กับทั้งรหัสบิทยโค๊ดและรหัสซีเอโค๊ด มันจะมีข้อมูลที่เป็นเอกลักษณ์ของดาวเทียมที่ส่งสัญญาณและข้อมูลที่วไปของดาวเทียมทุกดวง ข้อมูลที่บรรจุอยู่ในข้อมูลข่าวสารการนำร่องมีดังนี้

- เวลาของการส่งข้อมูล (Time of Transmission of the Message)
- แชนด์โอเวอร์เวิร์ด (Hand Over Word (HOW) for the Transition from C/A code to P(Y) code tracking)
- ข้อมูลการแก้ไขสัญญาณนาฬิกา (Clock Correction)
- ข้อมูลอีเพอริส
- ข้อมูลสุขภาพของดาวเทียมส่งสัญญาณ (Health data for the transmitting satellite)
- ข้อมูลอัลมานัค (Almanac and health data for all satellites)
- ค่าโคเอฟฟิเชียนต์สำหรับแบบจำลองชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Coefficients for the ionospheric delay model)
- ค่าโคเอฟฟิเชียนต์เพื่อการคำนวณเวลายูทีซี (Coefficients to calculate UTC)

ข้อมูลข่าวสารการนำร่องจะประกอบด้วย 25 เฟรมของข้อมูลแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็น 5 เฟรมย่อย (Subframe) ซึ่งมี 300 บิตต่อ 1 เฟรมย่อยมีอัตราส่ง 50 เฮิรตซ์ จะใช้เวลา 6 นาทีในการรับ มีรูปแบบเหมือนกันทั้ง 25 เฟรมและใช้เวลา 12.5 นาทีเพื่อที่จะรับทั้ง 25 เฟรม เฟรมย่อยที่ 1, 2, 3 มีรูปแบบของข้อมูลเหมือนกันทั้ง 25 เฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟรมย่อยที่ 1 บรรจุข้อมูลการแก้ไขสัญญาณนาฬิกาสำหรับดาวเทียมที่ส่ง และมีพารามิเตอร์ ที่อธิบายถึงความแม่นยำและสภาพของสัญญาณ

เฟรมย่อยที่ 2 , 3 บรรจุอีพีมอริสพารามิเตอร์ (Ephemeris Parameter) เพื่อที่จะใช้คำนวณหาตำแหน่งของดาวเทียม สำหรับใช้ในสมการบอกตำแหน่ง

เฟรมย่อยที่ 4 และ 5 มีข้อมูลซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตลอด 25 เฟรม เป็นข้อมูลสามัญของดาวเทียมทั้งหมด และเครื่องรับไม่จำเป็นต้องรับอย่างรวดเร็ว ข้อมูลเหล่านี้คือ

- ข้อมูลอัลมาแนค (Almanac data and low – precision clock correction)
- ข้อมูลสุขภาพแบบง่ายและสถานะโครงสร้าง (Simplified health and configuration status for every satellite)
- ข่าวสารที่เป็นตัวอักษร (User text message)
- ค่าโคเอฟฟิเชียนต์สำหรับแบบจำลองชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และการคำนวณเวลายูทีซี (Coefficient for the ionospheric model and UTC calculation)

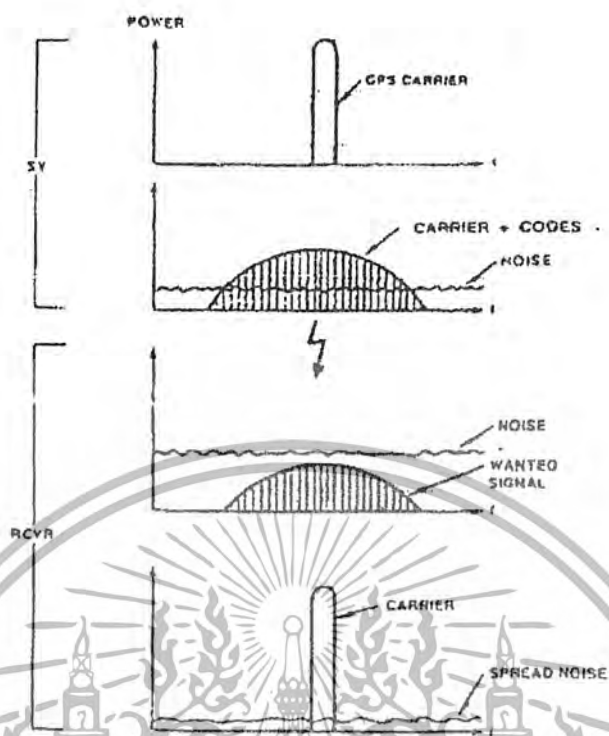
2.4 การทำงานของเครื่องรับจีพีเอส

2.4.1 การเลือกดาวเทียม (Satellite Selection)

กระบวนการแทรกคลิง จะเริ่มต้นโดย เครื่องรับจะหาว่าดาวเทียมดวงไหนที่เห็นได้ในการแทรกคลิง ถ้าเครื่องรับสามารถตัดสินใจมองเห็นดาวเทียมได้ทันที มันจะเล็งดาวเทียมเป้าหมายเพื่อจะทำการแทรกคลิง และเริ่มกระบวนการรับสัญญาณการมองเห็นดาวเทียม (Satellite Visibility) จะตัดสินใจจากข้อมูลอัลมาแนค (จีพีเอส Satellite Almanac) และค่าการประมาณ (หรือ user input) เริ่มต้นของเวลาและตำแหน่งของเครื่องรับ ซึ่งถ้าเครื่องรับไม่มีค่าเหล่านี้เก็บไว้ มันจะเริ่มทำการสำรวจท้องฟ้า (Search the sky) ซึ่งจะค้นหาซูโดเรนดอมนอยส์ ซึ่งก็คือรหัสเอไอดีจันลือคได้จากดาวเทียมดวงหนึ่งที่อยู่ในวิสัยเมื่อดาวเทียมถูกแทรกเรียบร้อยแล้ว เครื่องรับจะสามารถดึงเอาข้อมูลจันลือค และ ได้รับค่าปัจจุบันของข้อมูล อัลมาแนคเช่นเดียวกับสถานะสุขภาพของดาวเทียมที่เหลือทั้งหมดในกลุ่ม การเลือกดาวเทียมนั้นขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมของเครื่องรับมันอาจจะเลือกกลุ่มที่ดีที่สุดจากดาวเทียมที่มองเห็น หรือใช้ดาวเทียมที่มีสุขภาพดีทั้งหมดเพื่อใช้พิจารณาหาตำแหน่ง ความเร็ว และ เวลา ผลจากการคำนวณมักจะมี ความถูกต้องมากกว่าการใช้ดาวเทียม 4 ดวงถึงแม้ว่ามันจะต้องการความซับซ้อนของเครื่องรับและการประมวลผลมากกว่า

เครื่องรับส่วนใหญ่จะแทรกคลิงดาวเทียมมากกว่า 4 ดวงแต่น้อยกว่าที่เห็นในวิสัยทั้งหมดซึ่งเนื่องจากการประนีประนอมระหว่างความซับซ้อน ความถูกต้อง และความแข็งแรงของเครื่องรับที่ใช้วิธีเลือกกลุ่มที่ดีที่สุดก็ทำเช่นเดียวกันโดยขึ้นอยู่กับการประมาณความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

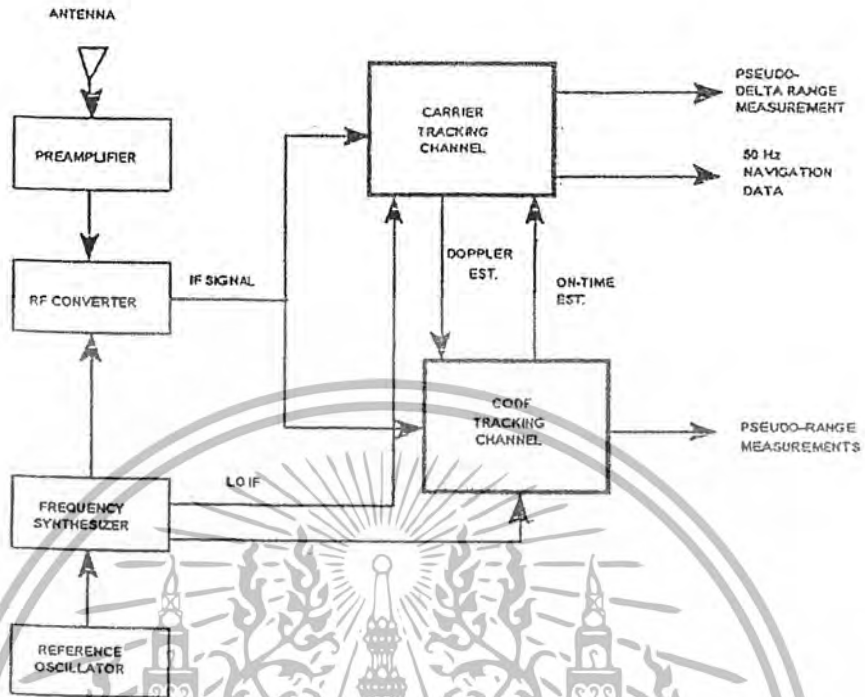


รูปที่ 2.17 การสร้างสเปกตรัมแพร่และการสร้างสัญญาณค้นหา

2.4.2 การรับสัญญาณดาวเทียม (Satellite Signal Acquisition)

กำลังของสัญญาณดาวเทียมที่พื้นผิวโลกจะมีค่าต่ำกว่าระดับของเสียงรบกวน เนื่องจากการมอดูเลตสัญญาณ โดยวิธีสเปกตรัมแพร่ ความสูงของวงโคจรและกำลังส่งของดาวเทียม เพื่อที่จะนำสัญญาณกลับมา เครื่องรับจะใช้เทคนิคโคดคอรี่เลชัน โดยจะสร้างสัญญาณเลียนแบบสัญญาณที่รับเข้ามา และนำมาจัดให้ตรงกับสัญญาณที่ได้รับ โดยเครื่องรับจะเลื่อนสัญญาณเลียนแบบให้ตรงกับสัญญาณดาวเทียมเมื่อได้เกิดการตรงกันสัญญาณก็จะถูกคอมเพรสสัญญาณกลับเป็นความถี่พาห้ต้นกำเนิดดังรูปที่ 2.17 ความล่าช้าของสัญญาณ ในรหัสของเครื่องรับ คือ เวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ ทำให้ได้ระยะทางออกมา(ระยะทางจากค่าความล่าช้านี้ เรียกว่า ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) เพราะว่ามันยังไม่ใช่ระยะทางที่แท้จริง เนื่องจากยังไม่ได้ลบค่าไบอัสของสัญญาณนาฬิกา (Clock Bias) ของเครื่องรับออกไป) เครื่องรับโดยปกติจะใช้เทคนิค เฟสล็อกคูลูป เพื่อซิงค์โคโรไนซ์สัญญาณที่เครื่องรับสร้างขึ้นภายในกับสัญญาณที่ได้รับจากดาวเทียมก็คิวดแทรกคิงคูลูป จะใช้คิวดแทรกคิงคูลูปทั้งสองจะช่วยกันและกันเพื่อที่จะได้รับและแทรกสัญญาณดาวเทียมแสดงดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ระบบการแทรกคั้งของเครื่องรับจีพีเอสทั่วไป

สัญญาณอาร์เอฟ ที่ได้รับจะถูกแปลงเป็นคอนเวอร์ต์ ผ่านความถี่ ไอเอฟ 2 ค่า ลงจนเป็นความถี่ที่ใกล้เคียงกับแบนด์แชนด์ซึ่งจะสามารถถูกแซมเปิ้ลโดย เอพิดคอนเวอร์ชันอินเฟสแซมเปิ้ลและควอดรแชนด์แซมเปิ้ลจะถูกใช้เพื่อรักษาข้อมูลของเฟสในสัญญาณที่ได้รับแซมเปิ้ลจะมี 2 บิตเพื่อลดค่าการสูญเสียของคอนเวอร์ต์ อัตราการแซมเปิ้ลจึงต้องมีค่ามากกว่าอัตราชีพของรหัส สำหรับรหัส เอ็นอาร์เอส คือ มีค่ามากกว่า 10.23 เมกะเฮิร์ตซ์ สำหรับรหัส พีวายโค้ด เมื่อให้แน่ใจว่าเฟสของสัญญาณที่ได้รับจะยังรักษาความถี่ตัวเดิมออกมา ทั้งหมดจะมาจากกลุ่มของตัวส่งกระจายสัญญาณที่ได้มาจากตัวผลิตความถี่หลักของเครื่องรับในเอพิดคอนเวอร์ชันที่ตามมาเมื่อวงจรเฟสเฟสโรเดชั่น ซึ่งทำให้สามารถแทรกสัญญาณดาวเทียมได้อย่างแม่นยำ

โค้ดแทรกคั้ง (Code Tracking)

โค้ดแทรกคั้งรูป (Code Tracking Loop) จะใช้เพื่อกำหนดการวัดชุดโคเรนจ์ระหว่าง ดาวเทียมจีพีเอสกับเครื่องรับ โดยมันจะสร้างสัญญาณเลียนแบบรหัส ซีเอโค้ด ของดาวเทียมเป้าหมาย ค่าประมาณค่าดอปเปลอร์จะถูกนำออกไปโดยวงจรเฟสโรเดชั่นก่อนถึงคอร์เรเลเตอร์ เพื่อที่จะจัดสัญญาณที่ได้รับให้ตรงกับสัญญาณเลียนแบบที่สร้างขึ้น สัญญาณเลียนแบบจะถูกนำมาเทียบกับสัญญาณที่ได้รับมาอย่างเป็นระบบ ตามปกติผลลัพธ์ของคอร์เรเลเตอร์จะถูกรวม 1 ถึง 10 มิลลิเซคถ้าไม่สามารถจับการคอร์เรเลตได้ เฟสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของรหัสที่สร้างขึ้นจะถูกส่งผ่านไป 1 ชิป ถ้าไม่สามารถจับการคอรีเลตได้หลังจากรหัสทั้งหมดถูกค้นหาแล้ว คอปเปลอร์จะถูกปรับและการประมวลจะกระทำซ้ำต่อไปเรื่อยๆจนกระทั่งทำการคอรีเลตสำเร็จการซิงโครไนเซชันรหัสจะถูกเริ่มรักษาไว้โดยจะคอรีเลตสัญญาณที่ได้รับกับรหัสที่เกิดขึ้นเร็วกว่าปกติ (With Chip and Codes) ระบบป้อนกลับง่าย ๆ นี้จะรักษารหัสให้ตรงไว้ที่ตำแหน่งที่ถูกต้องในการที่จะนำคลื่นพาห้ซึ่งยังคงมอดูเลตอยู่กับข้อมูลการนำร่องกลับมา (Prompt code) จะถูกหักออกได้จากสัญญาณที่เข้ามาความล่าช้าที่เครื่องรับต้องเพิ่มให้กับสัญญาณเลียนแบบเพื่อให้การซิงโครไนซ์สำเร็จคุณกับความเร็วของแสงคือ การวัดซูดเรนจ์ (Pseudorange measurement) เมื่อคลื่นพาห้ถูกสร้างขึ้นใหม่อีกครั้งหนึ่งความถี่ศูนย์กลางของโค้ดเลียนแบบจะถูกปรับโดยใช้การวัดทางคอปเปลอร์จากแตรกิ้งกรุปเพื่อให้ได้ความถี่ที่แม่นยำและลือกลับสัญญาณที่รับเข้ามาซึ่งจะทำให้ได้การวัดซูดเรนจ์ที่แม่นยำมากกว่าแบนด์วิดท์ของโค้ดแตรกิ้งกรุป โดยปกติมีค่า 0.1 เฮิรตซ์ ซึ่งแสดงว่าการวัดอย่างอิสระจะสามารถทำได้ในช่วงเวลาประมาณ 10 วินาที

การแตรกิ้งพาห้และการดีเทกข้อมูล (Carrier Tracking and Data Detection)

เครื่องรับแตรกิ้งพาห้ของดาวเทียมโดยปรับตัวตั้งคราะห้ความถี่ให้สร้างเฟสที่คงที่ มีผลลัพธ์ของโค้ดแตรกิ้งกรุปนั้น จะมีเฟสที่คงที่และจะถูกใช้เพื่อคำนวณเฟสของคลื่นพาห้และคอปเปลอร์บิตข้อมูลจะถูกจับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของเฟสของสัญญาณที่รับได้แบบดีวิทซ์ ของโค้ดแตรกิ้งกรุป โดยปกติเท่ากับ 6 เฮิรตซ์ สำหรับเครื่องรับทางทหารในกรรชนส่งทางอากาศ คอปเปลอร์ ถูกวัดเพื่อที่จะหาค่าประมาณของความเร็วยสัมพันธ์ระหว่างเครื่องรับ (ใน 3 มิติ) บวกกับ โค้ดแตรก ที่ถูกสร้างโดยเครื่องรับของแตรกิ้งกรุปจะใช้ช่วยโค้ดแตรกิ้งกรุป เพื่อให้แน่ใจว่าการแตรกโค้ดจะสามารถรักษาไว้ได้ ซึ่งระบบการแตรก code แบบง่าย ๆ จะไม่สามารถที่จะลือกลับไปได้

การดีมอดูเลตข้อมูล (Data Demodulation)

เมื่อแตรกิ้งพาห้แตรกิ้งกรุป ถูกลือส ข้อมูลการนำร่อง 50 เฮิรตซ์ จะสามารถถูกอ่านออกมาได้แต่ละซึบเฟรมของข้อมูลการนำร่องจะเริ่มด้วยพรีแอมเบิล ซึ่งอยู่ในเทเลเมตรีแตรกิ้งที่จะทำให้เครื่องรับสามารถตรวจพบส่วนเริ่มต้นของแต่ละซึบเฟรมซึ่งแต่ละซึบเฟรมจะถูกห้ด้วยบิตที่อยู่ใน แสนโอเวอร์เวอร์ด (How) ที่จะทำให้เครื่องรับ ดีโค้ดข้อมูลใน ซึบเฟรมได้

P(Y) Code Signal Acquisition

รหัสซีเอ โค้ดซึ่งยาว 1 มิลลิเซคจะทำให้ค้นหาข้อมูลได้สำหรับโค้ดคอรีเลชันนั้นแคบถึงแม้ว่าเครื่องรับต้องค้นหาจากท้องฟ้า เพื่อจะหาดาวเทียมดวงแรก อย่างไรก็ตามรหัส พีวายโค้ด ซึ่งมีความเร็วมากถึง 10.23 เมกกะเฮิรตซ์ ไม่สามารถใช้เทคนิคเดียวกันได้เครื่องรับต้องรู้เวลาที่แม่นยำเพื่อจะเริ่มการทำงานของโค้ดเจนนอร์เรเตอร์ ภายในไม่กี่ร้อยชิพของคอรีเรชันพ้อยต์ของสัญญาณที่รับเข้ามาแสน โอเวอร์เวอร์ดซึ่งอยู่ในข้อมูลการนำร่องจะบอกเวลาของดาวเทียมและพีวายโค้ดเครื่องรับรหัส พีวายโค้ด อาจพยายามจะรับรหัส พีวายโค้ด อาจพยายามจะรับรหัส พีวายโค้ด โดยตรง โดยไม่มีการรับรหัส ซีเอโค้ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนแรกถ้ามันมีข้อมูลที่ยอมรับได้ของตำแหน่งเวลา และ แชนแนลไลท์ อีพีเอ็มอีวีเอส จากข้อมูลการนำร่องใหม่การช่วยเหลือจากภายนอกหรือเทคนิคการรับสัญญาณที่เพิ่มขึ้น มักจะต้องการเพื่อใช้ในการรับรหัส พีวายโค้ด โดยตรง

การคำนวณหา PVT (PVT Calculation)

เมื่อเครื่องรับเก็บข้อมูล ซูโดเรนจ์ , เคลด้าเรนจ์ และข้อมูลการนำร่องจากดาวเทียม 4 ดวง (หรือมากกว่า) ได้แล้ว มันจะคำนวณหา พีวีทีข้อมูลการนำร่องแต่ละอันจะบรรจุ ข้อมูล ของดาวเทียมที่ส่ง ซึ่งจะทำให้เครื่องรับสามารถคำนวณตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง ณ เวลาที่สัญญาณถูกส่งออกมาได้ ข้อมูลอีพีเอ็มอีวีเอส จะใช้ได้ประมาณ 4 ชั่วโมง จะมี ข้อมูล ใหม่ถูกส่งมาจากดาวเทียมตามมาซึ่งจะส่งทุก ๆ 2 ชั่วโมงเครื่องรับจะเก็บการของ ซูโดเรนจ์ 4 ค่าพร้อมกันซึ่งจะมีตำแหน่งใน 3 มิติ และ คล็อกออฟเซตเป็นตัวไม่ทราบค่า 4 ค่า แต่ละสมการมาจากหลักที่ว่า ระยะจริง (ผลต่างระหว่าง ซูโดเรนจ์ และ คล็อกออฟเซต ของเครื่องรับ) จะเท่ากับระยะทางระหว่างดาวเทียมที่รู้ตำแหน่งกับตำแหน่งที่ไม่ทราบของเครื่องรับ ซึ่งแสดงดังสมการข้างล่าง

$$R = c\Delta t - C_b = \sqrt{(x - u_x)^2 + (y - u_y)^2 + (z - u_z)^2}$$

สมการข้างต้นคือสมการแบบง่ายที่ใช้ได้จริงในเครื่องรับจีพีเอสเครื่องรับจะได้รับการแก้ไขความถูกต้องจากข้อมูลการนำร่อง ซึ่งจะนำไปใช้กับซูโดเรนจ์ คือ การแก้ไขความถูกต้องของ แชนแนลไลท์ คล็อกออฟเซต , รีลทิวส์ติกเอฟเฟ็ค , สัญญาณที่เดินทางผ่านไอโอโนสเฟียร์และเกิดการดีเลย์

เครื่องรับแบบ สองความถี่ (Dual-Frequency) สามารถวัด ดีเลย์ ระหว่าง แอลหนึ่ง และ แอลสอง พีวายโค้ด เพื่อคำนวณ ไอโอ โนสเฟียร์ ลอว์รีชันเครื่องรับแบบ ความถี่เดียว (single-Frequency) ทั้งรหัส ซีโอโค้ดและรหัสพีวายโค้ดจะใช้พารามิเตอร์ที่ถูกส่งมาในข้อมูลการนำร่อง เพื่อใช้ในไอโอโนสเฟียร์ โมเดล ความเร็ว (ใน 3 มิติ) ของเครื่องรับและ ความถี่ที่ถูกเซตไว้และ จะถูกคำนวณโดยใช้สมการคล้าย ๆ กัน โดยใช้ เคลด้าเรนจ์ แทน ซูโดเรนจ์

2.4.3 การแยกรหัสในเครื่องรับ (Code Phase Tracking)

การแยกรหัส พีอาร์เอ็น หรือ ซีโอโค้ด เครื่องรับจีพีเอส จะสร้างรหัส ซีโอโค้ด จำลองแบบขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ ตัวสร้างรหัสจำลองขึ้นมาอาจเป็นวงจรทางฮาร์ดแวร์ จำพวกรีจิสเตอร์เลื่อนบิตหรือทำการคำนวณรหัสทั้งกลุ่มเอาไว้ในหน่วยความจำของเครื่องรับก็ได้ ทั้งนี้แล้วแต่ผู้ออกแบบว่าจะเลือกใช้แบบใดตัวสร้างรหัส ซีโอโค้ด ภายในเครื่องรับจีพีเอสจะสร้างรหัส ซีโอโค้ด ที่แตกต่างกันออกไปโดยอาศัยการเลือกเท็ป รีจิสเตอร์เลื่อนบิตจะทำการเลื่อนชิฟออกมาตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมอยู่ รหัส ซีโอโค้ด จะเห็นว่าดาวเทียมแต่ละดวงจะมีรหัส ซีโอโค้ด เฉพาะตัวไม่ซ้ำกัน

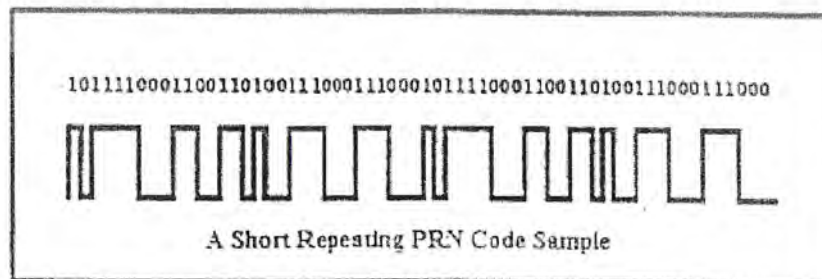
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GPS C/A Code Assignments

SV PRN ID	G2 Phase Taps	First 10 Chips
1	2 & 6	1100100000
2	3 & 7	1110010000
3	4 & 8	1111001000
4	5 & 9	1111100100
5	1 & 9	1001011011
6	2 & 10	1100101101
7	1 & 8	1001011001
8	2 & 9	1100101100
9	3 & 10	1110010110
10	2 & 3	1101000100
11	3 & 4	1110100010
12	5 & 6	1111101000
13	6 & 7	1111110100
14	7 & 8	1111111010
15	8 & 9	1111111101
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 2.19 การกำหนดรหัส ซีไอโค้ด

เครื่องรับจีพีเอสจะเลื่อนรหัสที่สร้างขึ้นจากตัวสร้างรหัสไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งจับคู่กับรหัสที่ได้จากดาวเทียมได้พอดี สมมุติว่ารหัสที่เข้ามาเป็นดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 รหัส พีอาร์เอ็น บางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

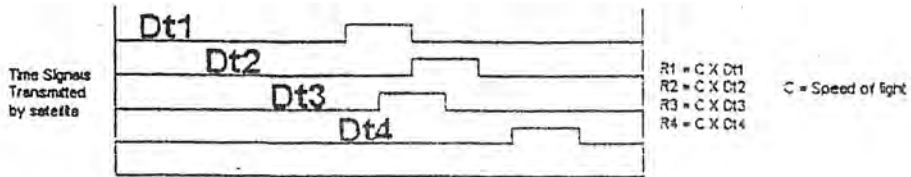
2.4.4 การนำร่องโดยใช้การวัดระยะทางแบบ ชูโด (Pseudo Range Navigation)

ระยะทางแบบชูโด หมายถึง ระยะทางจากสายอากาศของเครื่องรับไปยังดาวเทียมเป็นการวัดที่ได้จากการคำนวณเอาจากเวลาที่สัญญาณเดินทางจากดาวเทียมมาถึงสายอากาศ แล้วคูณด้วยความเร็วแสง ดังนั้นระยะทางที่ได้จะเป็นการรวมเอาค่าต่าง ๆ อันได้แก่ ค่าที่ใช้ใบ้ออสค่าที่ไม่ทราบค่าแน่นอน เช่น การหน่วงเวลาของชั้นบรรยากาศ เป็นต้น เอาไว้ด้วย ตัวอย่างระยะทางแบบชูโด คือ รูปที่ 2.26



รูปที่ 2.24 ระยะทางแบบชูโด

ในการคำนวณหาระยะทางชูโด ตัวเครื่องรับจะทำการเปรียบเทียบจากรหัสพีอาร์เอ็นที่ได้จากดาวเทียมกับรหัสพีอาร์เอ็นที่สร้างขึ้นภายในตัวเครื่องรับว่ามีเวลาต่างกันอยู่เท่าใด (TOA : Time of Arrival) ซึ่งจะเป็นเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับเมื่อคูณค่านี้ด้วยความเร็วแสงจะได้ระยะทางออกมา ระยะทางที่คำนวณได้นี้ เป็นผลรวมระหว่างระยะทางจากสายอากาศของดาวเทียมจีพีเอสมาถึงเครื่องรับ , การใบ้อเวลาที่ดาวเทียม , การใบ้อเวลาที่เครื่องรับของผู้ใช้ , การหน่วงเวลาเนื่องจากผลของชั้นบรรยากาศเอทโมสเฟียร์และสัญญาณรบกวนของเครื่องรับ ในการคำนวณหาระยะทางแบบชูโดนั้นจะใช้ดาวเทียม 3 ดวง จากรูปที่ 2.26 จะเห็นว่าตัวแปรของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณนั้นจะมี 3 ตัวแปร เมื่อรวมกับ คล็อก ใบ้อส ด้วยจะกลายเป็น 4 ตัวแปร ดังนั้นจึงต้องใช้ดาวเทียม 4 ดวงมาคำนวณ



REUDORANGES
 R1 = C X Dt1
 R2 = C X Dt2
 R3 = C X Dt3
 R4 = C X Dt4

POSITION EQUATIONS:
 $(X1 - Ux)^2 + (Y1 - Uy)^2 + (Z1 - Uz)^2 = (R1 - Cb)^2$
 $(X2 - Ux)^2 + (Y2 - Uy)^2 + (Z2 - Uz)^2 = (R2 - Cb)^2$
 $(X3 - Ux)^2 + (Y3 - Uy)^2 + (Z3 - Uz)^2 = (R3 - Cb)^2$
 $(X4 - Ux)^2 + (Y4 - Uy)^2 + (Z4 - Uz)^2 = (R4 - Cb)^2$

Ri = PSEUDORANGE(i = 1,2,3,4)
 * PSEUDORANGE INCLUDES ACTUAL DISTANCE BETWEEN SATELLITE AND USER PLUS SATELLITE CLOCK BIAS, USER CLOCK BIAS, ATMOSPHERIC DELAYS, AND RECEIVER NOISE.
 * SATELLITE CLOCK BIAS AND ATMOSPHERIC DELAYS ARE COMPENSATED FOR BY INCORPORATION OF DETERMINISTIC CORRECTIONS BEFORE INCLUSION INTO NAV. SOLUTION

Xi, Yi, Zi = SATELLITE POSITION (i=1,2,3,4)
 * SATELLITE POSITION BROADCAST IN NAVIGATION SD Hz MESSAGE.

RECEIVER SOLVES FOR:
 * Ux, Uy, Uz = USER POSITION
 * Cb = USER CLOCK BIAS

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างการคำนวณระยะทางแบบซูโด

GPS Pseudorange Navigation Example - Peter H. Dana - 5/28/65

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

$SVx_0 := 16524471.175$	$SVy_0 := -16649826.222$	$SVz_0 := 13512272.387$	SV 15
$SVx_1 := 2304058.534$	$SVy_1 := 23287906.456$	$SVz_1 := 11917038.105$	SV 27
$SVx_2 := 16680243.357$	$SVy_2 := -3069626.961$	$SVz_2 := 20378551.047$	SV 31
$SVx_3 := 14799931.395$	$SVy_3 := 21426356.24$	$SVz_3 := -6069947.224$	SV 7

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

$P_0 := 89491.728$ $P_1 := 133930.337$ $P_2 := 283098.633$ $P_3 := 34454.421$ Range + Receiver Clock Bias

Receiver Position Estimate in ECEF XYZ

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

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

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

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

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

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

Apply Corrections to Receiver XYZ and Compute Receiver Clock Bias Estimate

$Rx := Rx + dR_0$ $Ry := Ry + dR_1$ $Rz := Rz + dR_2$ Time := dR_3

$Rx = -733186.359$ $Ry = -5443791.978$ $Rz = 3231192.917$ Time = 12345.66

รูปที่ 2.26 ตัวอย่างการหาค่าของ ซูโดเรนจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างข้างต้นได้คำตอบเป็นพิกัด xyz ซึ่งสามารถแปลงเป็นพิกัด ละติจูด ลองจิจูดและความสูงได้จากสมการข้างล่างดังรูปที่ 2.27

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

Peter H. Dana 8/27/94

รูปที่ 2.27 การเปลี่ยนจากพิกัดจาก ECEF เป็น XYZ

2.4.5 การหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ

โดยทางทฤษฎีนั้น การหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนั้นจะสมมุติว่าสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียมและเครื่องรับนั้นซิงโครนัสกับเวลา แต่ในความเป็นจริงไม่ได้เป็นเช่นนั้น

- เราให้
- u เป็น เวกเตอร์ตำแหน่งของเครื่องรับบน โคออร์ดิเนตแบบ ECEF
 - r เป็นระยะทางจากเครื่องรับไปยังดาวเทียม
 - s เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของเครื่องรับบน โคออร์ดิเนตแบบ ECEF

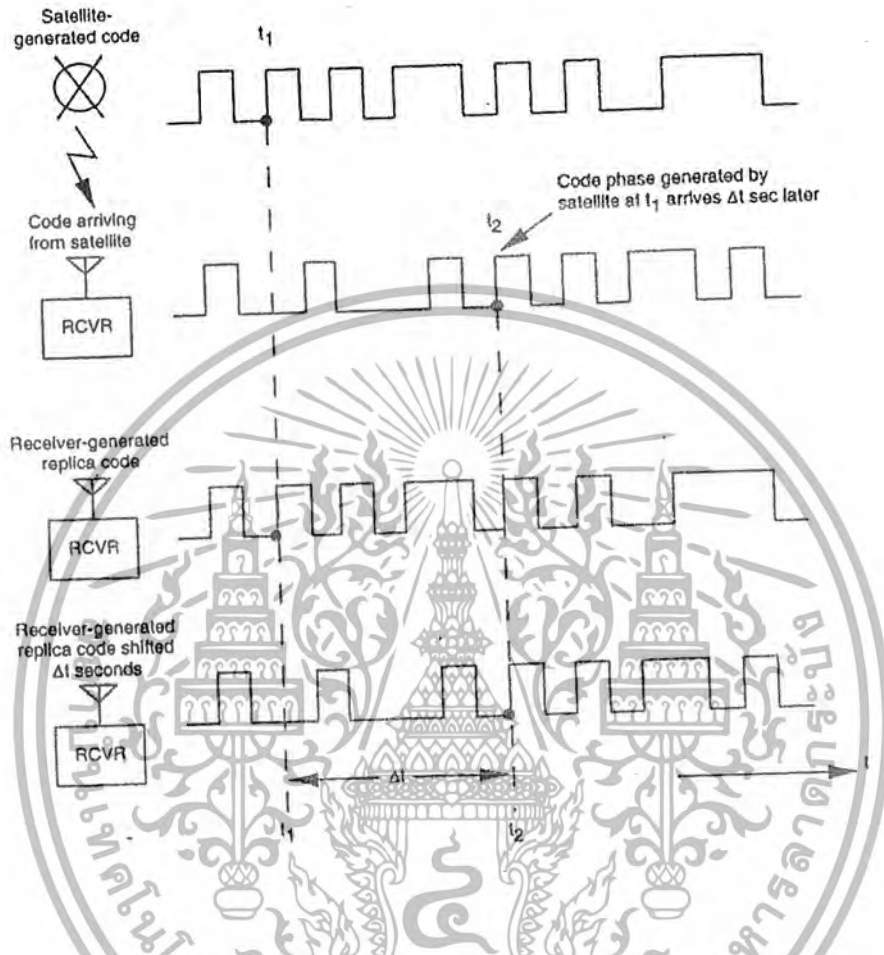
u, r, s แสดงได้ในรูป ดังนั้นเราจะได้

$$r = s - u$$

$$\|r\| = \|s - u\| \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

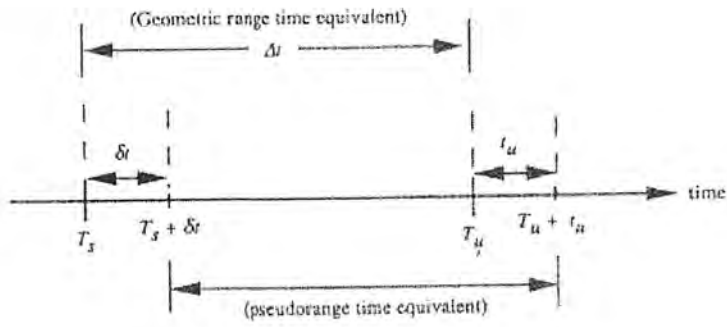
ระยะ r นั้น คำนวณได้จากการเดินทางของคลื่นจากดาวเทียมสู่เครื่องรับ โดยกระบวนการวัดเวลานั้นจะแสดงในรูป



รูปที่ 2.28 รหัสที่สร้างขึ้นเพื่อหาเวลาการเดินทางของคลื่นที่มาจากดาวเทียม

เวลาของรหัสที่เกิดขึ้น ในดาวเทียมที่เวลา t_1 จะมาถึงเครื่องรับที่เวลา t_2 ดังนั้นการเดินทางจะได้เป็น Δt ในเครื่องรับรหัสที่มีลักษณะเหมือนกับที่ส่งมาจากดาวเทียมจะถูกสร้าง และนำไปเทียบกับสัญญาณที่ได้รับจากดาวเทียมโดยทำการเลื่อนเฟสของรหัสไปจนเกิดการคอร์รีเลต ถ้าสัญญาณนาฬิกาของทั้งเครื่องรับและดาวเทียมซิงโครนัสกับเวลาของระบบ Δt ที่ได้จะมีความถูกต้องแต่เวลาของเครื่องรับโดยทั่วไปจะมีค่าผิดพลาดกับเวลารวมถึงเวลาบนดาวเทียมก็มีข้อผิดพลาดด้วยเช่นกัน ดังนั้นระยะเวลาที่ได้จากการคำนวณโดยใช้เวลาที่ได้ในสภาวะจริงนั้นจะไม่ถูกต้อง จึงเรียกว่าซูโดเรนจ์ ดังรูปที่ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาระบบกับเวลาของดาวเทียมและของผู้ใช้

จากรูปที่ 2.29 เราจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\text{Geometric range, } r = c(T_u - T_s) = c\Delta t \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \text{pseudorange} &= c[(T_u + t_u) - (T_s + \delta t)] \\ &= c(T_u - T_s) + c(t_u - \delta t) \\ &= r + c(t_u - \delta t) \end{aligned} \quad (2.3)$$

และจะได้ความสัมพันธ์กับสมการ โดยจะได้สมการ

$$\rho - c(t_u - \delta t) = \|s - u\| \quad (2.4)$$

นาฬิกาบนดาวเทียมจะถูกปรับให้ตรงกับเวลาระบบโดยสถานีภาคพื้นดินส่งค่าการแก้ไขให้กับดาวเทียม δt จึงถูกตัดออกไปและจะได้

$$\rho - ct_u = \|s - u\| \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

ในการหา x_u, y_u, z_u และ t_u ของเครื่องรับต้องใช้ดาวเทียม 4 ดวงในการแก้สมการหาคำตอบจากความสัมพันธ์ในหัวข้อก่อน

$$\rho_i = \|s - u\| + ct_u \quad (2.6)$$

เราสามารถกระจายได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \rho_1 &= \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + ct_u \\ \rho_2 &= \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + ct_u \\ \rho_3 &= \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + ct_u \\ \rho_4 &= \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + ct_u \end{aligned} \quad (2.7)$$

โดย ρ_i คือ ระยะชุกโคโรนจี้ที่ได้จากดาวเทียมดวงที่ i

สมการนอนลิเนียร์เหล่านี้มีวิธีแก้หลายวิธี เช่นการใช้การหาค่าชันและอาร์ทำให้เป็นลิเนียร์โดยใช้ทฤษฎีลาตอร์ในการทำให้ถึนลิเนียร์นั้นจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือจะใช้ค่าพิกัด x_u, y_u, z_u จากการประมาณการเข้าช่วยชุกโคโรนจี้ของตำแหน่งที่ได้จากการประมาณจะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \rho_i &= \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + ct_u \\ &= f(x_u, y_u, z_u, t_u) \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} \rho_i &= \sqrt{\left(x_i - x_u\right)^2 + \left(y_i - y_u\right)^2 + \left(z_i - z_u\right)^2} + ct_u \\ &= f\left(x_u, y_u, z_u, t_u\right) \end{aligned} \quad (2.9)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและเวลาจริง ตำแหน่งและเวลาที่เกิดจากการประมาณจะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} x_u &= x_u + \Delta x_u \\ y_u &= y_u + \Delta y_u \\ z_u &= z_u + \Delta z_u \\ t_u &= t_u + \Delta t_u \end{aligned} \quad (2.10)$$

ดังนั้นเขียนสมการได้ว่า

$$f\left(x_u + \Delta x_u, y_u + \Delta y_u, z_u + \Delta z_u, t_u + \Delta t_u\right) \quad (2.11)$$

ฟังก์ชันนี้สามารถกระจายออกมาได้โดยอนุกรมเทเลอร์จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x_u + \Delta x_u, y_u + \Delta y_u, z_u + \Delta z_u, t_u + \Delta t_u) = f(x_u, y_u, z_u, t_u) + \frac{\partial f(x_u, y_u, z_u, t_u)}{\partial x_u} \Delta x_u + \frac{\partial f(x_u, y_u, z_u, t_u)}{\partial y_u} \Delta y_u + \frac{\partial f(x_u, y_u, z_u, t_u)}{\partial z_u} \Delta z_u + \frac{\partial f(x_u, y_u, z_u, t_u)}{\partial t_u} \Delta t_u + \dots$$

$$\frac{\partial f(x_u, y_u, z_u, t_u)}{\partial x_u} = \frac{x_i - x_u}{r_i}$$

$$\frac{\partial f(x_u, y_u, z_u, t_u)}{\partial y_u} = \frac{y_i - y_u}{r_i}$$

$$\frac{\partial f(x_u, y_u, z_u, t_u)}{\partial z_u} = \frac{z_i - z_u}{r_i}$$

$$\frac{\partial f(x_u, y_u, z_u, t_u)}{\partial t_u} = c$$

(2.12)

นำสมการ 2.8 – 2.7 แล้วแทนค่าสมการ 2.12 จะได้

$$\rho_i - \rho_u = \frac{x_i - x_u}{r_i} \Delta x_u + \frac{y_i - y_u}{r_i} \Delta y_u + \frac{z_i - z_u}{r_i} \Delta z_u - c \Delta t_u \tag{2.13}$$

$$\Delta \rho_i = \rho_i - \rho_u$$

$$a_{xi} = \frac{x_i - x_u}{r_i}$$

กำหนดให้

$$a_{yi} = \frac{y_i - y_u}{r_i} \tag{2.14}$$

$$a_{zi} = \frac{z_i - z_u}{r_i}$$

แทนค่า 2.14 ใน 2.13 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \Delta\rho_1 &= a_{x1}\Delta x_u + a_{y1}\Delta y_u + a_{z1}\Delta z_u - c\Delta t_u \\
 \Delta\rho_2 &= a_{x2}\Delta x_u + a_{y2}\Delta y_u + a_{z2}\Delta z_u - c\Delta t_u \\
 \Delta\rho_3 &= a_{x3}\Delta x_u + a_{y3}\Delta y_u + a_{z3}\Delta z_u - c\Delta t_u \\
 \Delta\rho_4 &= a_{x4}\Delta x_u + a_{y4}\Delta y_u + a_{z4}\Delta z_u - c\Delta t_u
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

จะแก้สมการ $\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u$ และ Δt_u โดยวิธีทางเมทริกซ์ดังนี้ ซึ่งจะทำให้เราสามารถนำไปใช้หา
ระยะจริงต่อไป

$$\Delta\rho = \begin{bmatrix} \Delta\rho_1 \\ \Delta\rho_2 \\ \Delta\rho_3 \\ \Delta\rho_4 \end{bmatrix} = \mathbf{H} \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ a_{x3} & a_{y3} & a_{z3} & 1 \\ a_{x4} & a_{y4} & a_{z4} & 1 \end{bmatrix} \Delta x = \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \\ -c\Delta t_u \end{bmatrix}$$

$$\Delta\rho = \mathbf{H}\Delta x$$

$$\Delta x = \mathbf{H}^{-1}\Delta\rho$$

จากสมการ 2.15

$$\Delta\rho_1 = a_{x1}\Delta x_u + a_{y1}\Delta y_u + a_{z1}\Delta z_u - c\Delta t_u$$

$$\Delta\rho_2 = a_{x2}\Delta x_u + a_{y2}\Delta y_u + a_{z2}\Delta z_u - c\Delta t_u$$

$$\Delta\rho_3 = a_{x3}\Delta x_u + a_{y3}\Delta y_u + a_{z3}\Delta z_u - c\Delta t_u$$

$$\Delta\rho_4 = a_{x4}\Delta x_u + a_{y4}\Delta y_u + a_{z4}\Delta z_u - c\Delta t_u$$

เราจะแก้สมการหา $\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u$ และ Δt_u โดยวิธีทางเมทริกซ์ ดังนี้ ซึ่งจะทำให้เราสามารถ
นำไปใช้หาระยะจริงได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\rho = \begin{bmatrix} \Delta\rho_1 \\ \Delta\rho_2 \\ \Delta\rho_3 \\ \Delta\rho_4 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ a_{x3} & a_{y3} & a_{z3} & 1 \\ a_{x4} & a_{y4} & a_{z4} & 1 \end{bmatrix} \quad \Delta x = \begin{bmatrix} \Delta x'' \\ \Delta y'' \\ \Delta z'' \\ -c\Delta t'' \end{bmatrix}$$

$$\Delta\rho = H \Delta x$$

$$\Delta x = H^{-1} \Delta\rho$$

2.4.6 ความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ จีพีเอส

การแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนของจีพีเอส ความแม่นยำของตำแหน่ง , ความเร็ว และการซิงโครไนซ์กับเวลาของระบบ จีพีเอส ซึ่งเครื่องรับของผู้ใช้จะไม่ได้ขึ้นกับส่วนประกอบหลายด้าน โดยทั่วไป ประสิทธิภาพความถูกต้องของ จีพีเอส จะขึ้นกับคุณสมบัติของการวัดสัญญาณ เช่นเดียวกับกับข้อมูลจีพีเมอริสของดาวเทียม เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของความคลาดเคลื่อนที่มีต่อความแม่นยำ เรามักจะสันนิษฐานในเบื้องต้นว่า ต้นกำเนิดความคลาดเคลื่อนสามารถกำหนดไว้ในสัญญาณของดาวเทียมแต่ละดวงและถูกมองว่าตามความเป็นจริงจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสมมูล (equivalent error) ขึ้นในค่า สัญญาณความแม่นยำที่ผลจริงของค่าสัญญาณจะเรียกว่า ค่า ยูอีอาร์อี (UERE :User – Equivalent Rent Error)ค่ายูอีอาร์อีในดาวเทียมจะถูกพิจารณาว่าเป็นผลรวมทางสถิติจากการกระจายของค่าคลาดเคลื่อนซึ่งเนื่องมาจากดาวเทียม ความผิดพลาดส่วนประกอบของความคลาดเคลื่อนจะถูกพิจารณาอย่างอิสระและส่วนประกอบ ยูอีอาร์อี ของดาวเทียมจะถูกพิจารณาว่ามีค่าประมาณเป็น ซีโรมีนเกาส์เซียน แรนดอมวารีเอเบิล ที่ในการแปรผันของมันจะถูกกำหนดว่าเป็นผลบวกของการแปรผันแต่ละส่วนในส่วนประกอบของ มันค่า ยูอีอาร์อี มักจะถูกสรุปว่าไม่ขึ้นกับอะไรและถูกแจกจ่ายออกมาเหมือน ๆ กันจากดาวเทียมหนึ่งไปยังอีกดวง อย่างไรก็ตามในบางครั้งการสันนิษฐานนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมค่าความคลาดเคลื่อนในการแก้ปัญหาทางจีพีเอสสามารถประมาณได้จากสูตร

(ค่าความคลาดเคลื่อนในการแก้ปัญหาทางจีพีเอส) = (ส่วนประกอบทางเรขาคณิต)*(ส่วนประกอบทางความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ)

ภายใต้การสันนิษฐานอย่างเหมาะสมส่วนประกอบทางความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ ก็คือค่ายูอีอาร์อีของดาวเทียม ส่วนประกอบทางเรขาคณิตจะแสดงองค์ประกอบที่มีผลกระทบกับค่าความคลาดเคลื่อน ในการแก้ปัญหาทางจีพีเอสมาจากเรขาคณิตของตำแหน่งผู้ใช้และดาวเทียม โดยทั่วไปจะเรียกว่า ดีโอพี (DOP : dilution of precision)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความคลาดเคลื่อนของซูโดเรนจ์ ผลกระทบของค่าออฟเซตของสัญญาณนาฬิกาในเครื่องรับ และดาวเทียมกับต้นกำเนิดความผิดพลาดหลาย ๆ อย่างจะทำให้การวัดระยะทางเรขาคณิตระหว่างผู้ใช้กับความเทียมผิดพลาดได้ สัญญาณดาวเทียมจะมีอัตราดีเลย์เนื่องจากว่ามันต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ นอกจากนั้น การสะท้อน เช่น มัลติพาท , เอสเอ และ ผลกระทบทางอุปกรณ์ระหว่างศูนย์กลางเฟส ของเสาเครื่องรับกับโด้คคอร์เลชันอาจจะหน่วงหรือเร่งสัญญาณ ค่าออฟเซตทั้งหมดของเวลาเนื่องจากผลกระทบเหล่านี้

$$\delta t_D = \delta t_{atm} + \delta t_{noise \& res} + \delta t_{mp} + \delta t_{hw} + \delta t_{SA} \quad (2.16)$$

ซึ่ง

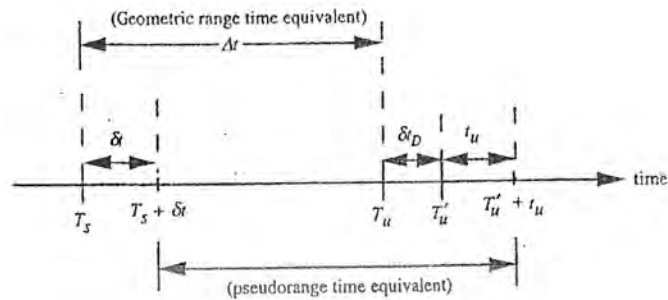
- δt_{atm} = ดีเลย์เนื่องจากชั้นบรรยากาศ
- $\delta t_{noise \& res}$ = สัญญาณรบกวน ในเครื่องรับ และค่าออฟเซต
- δt_{mp} = มัลติพาทออฟเซต
- δt_{hw} = ค่าออฟเซตของฮาร์ดแวร์
- δt_{SA} = เอสเอ ดีกราดลาชัน

เวลาสมมูลที่ใช้กับซูโดเรนจ์ คือ ผลต่างระหว่างนาฬิกาในเครื่องรับและ เวลาที่ได้รับสัญญาณ กับ นาฬิกาบนดาวเทียม ณ เวลาที่สัญญาณถูกส่งออกมา ความสัมพันธ์นี้ถูกแสดงในรูปที่ 2.31

ซึ่ง

- Δt = เวลาสมมูลที่ใช้กับระยะทางจริง
- T_v = เวลาของระบบที่สัญญาณออกจกดาวเทียม
- T_u = เวลาของระบบที่สัญญาณมาถึงเครื่องรับของผู้ใช้โดยปราศจาก δt_d
- T'_u = เวลาของระบบที่สัญญาณมาถึงเครื่องรับโดยรวม δt_d
- δt = ค่า offset ของนาฬิกาในดาวเทียมจากเวลาของระบบ (ล่วงหน้าเป็น + , ดีเลย์

เป็น-)



รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ทางเวลาในการวัดระยะทาง

t_u = ค่า offset ของนาฬิกาในเครื่องรับจากเวลาของระบบ
 $T_s + \delta t$ = นาฬิกาของดาวเทียม ณ เวลาที่สัญญาณออกจากดาวเทียม
 $T_u' + t_u$ = นาฬิกาของเครื่องรับของผู้ใช้ ณ เวลาที่สัญญาณมาถึงเครื่องรับ
 c = ความเร็วแสง
 สังเกตได้ว่า ซูโดเร인지 ρ คือ

$$\begin{aligned}
 \rho &= c[(T_u' + t_u) - (T_s + \delta t)] \\
 &= c(T_u' - T_s) + c(t_u - \delta t) \\
 &= c(T_u' + \delta t_p - T_s) + c(t_u - \delta t) \\
 &= r + c(t_u - \delta t + \delta t_p)
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

ถ้า r คือ ระยะทางจริง จะได้ว่า

$$r = c(T_u' - T_s) = c\Delta t
 \tag{2.18}$$

ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาบนดาวเทียม ในดาวเทียมจะมีนาฬิกาอะตอมซึ่งควบคุมการทำงานต่าง ๆ รวมทั้งการสร้างสัญญาณด้วยถึงแม้ว่านาฬิกาอะตอมจะมีความเที่ยงตรงสูงก็อาจมีความผิดพลาดได้ประมาณ 1 มิลลิเซ็ค ขึ้นไปจากระบบเวลาของจีพีเอส (ค่าออฟเซต 1 มิลลิเซ็คนั้นเปลี่ยนเป็นความคลาดเคลื่อนได้ถึง 300 กิโลเมตรของซูโดเร인지) สถานีควบคุมหลักจะคำนวณและส่งพารามิเตอร์ในการแก้ไขเวลาของนาฬิกาให้กับดาวเทียมเพื่อให้ดาวเทียมใช้เป็นข้อมูลการนำร่องครั้งต่อไป พารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกใช้ที่เครื่องรับ โพลีโนเมียลอันดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

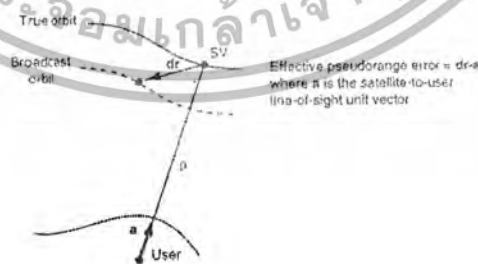
$$\delta(t) = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oc}) + a_{f2}(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r \quad (2.19)$$

ซึ่ง

a_{f0}	=	คล็อกไบอัส (วินาที)
a_{f1}	=	คล็อกดริฟ
a_{f2}	=	ฟรีควนซีดริฟ
t_{oc}	=	เวลาอ้างอิงของ ข้อมูลคล็อก (วินาที)
t	=	เวลาปัจจุบันของ อีพอช (วินาที)
Δt_r	=	การแก้ไขเนื่องจากปรากฏการณ์สัมพัทธภาพ (วินาที)

การแก้ไข Δt_r จะขจัดความคลาดเคลื่อนในส่วนส่วนของปรากฏการณ์สัมพัทธภาพซึ่งจะกล่าวในภายหลัง อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ทางด้านบน เป็นการประมาณในเฉพาะส่วนความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาบนดาวเทียมเท่านั้น

ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์อีพีเมอร์ริส การประมาณข้อมูลอีพีเมอร์ริสจะทำอย่างดีที่สุดสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งจะถูกลำดับและอิทธิพลที่เกิดความคลาดเคลื่อนกับพารามิเตอร์ข้อมูลการนำร่องอื่น ๆ สำหรับการส่งครั้งต่อไปให้ผู้ใช้แต่อย่างไรก็ตามเช่นเดียวกับในกรณีของนาฬิกาบนดาวเทียมการแก้ไขนี้ก็เป็น การประมาณและยังคงมีความคลาดเคลื่อนเหลืออยู่ความคลาดเคลื่อนนี้ คือ เวกเตอร์ที่แสดงในรูปที่ 2.31 แมกนิจูดของความผิดพลาดนี้เข้าใจว่าเป็นความคลาดเคลื่อนของ ซูโดเรนจ์ ที่เกิดจากการโปรเจกต์เวกเตอร์ลงบนเวกเตอร์ ไลน์ออฟไซต์ ของความคลาดเคลื่อนของผู้ใช้



รูปที่ 2.31 ความคลาดเคลื่อนทางอีพีเมอร์ริส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ระบบพิกัดอ้างอิงของ จีพีเอส

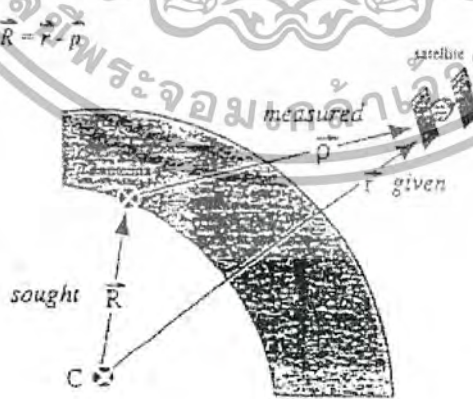
2.5.1 แนวความคิดเบื้องต้นในการระบุพิกัดของ จีพีเอส

ในวิชาเรขาคณิตพื้นฐานที่เคยศึกษามาเกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยม ทำให้ทราบว่าถ้ารู้เส้นรอบรูปสามเหลี่ยมและมุมภายในรูปสามเหลี่ยม จะสามารถหาเส้นที่สามได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่าง เช่น สมมุติว่ามีรูปสามเหลี่ยมทางเรขาคณิตอย่างง่ายดังรูปที่ 2.32 โดยอาศัยความรู้เบื้องต้นจะเขียนได้ว่า $y^2 = z^2 - x^2$ หรือกล่าวได้ง่าย ๆ ว่า ถ้ารู้ความยาวของ แชนด์ และ เอกซ์ และมุมต่าง ๆ แล้วจะหาค่าความยาวของวายได้



รูปที่ 2.32 การหาความยาวของ ยาย เมื่อทราบความยาวของ เอกซ์, แชนด์ และค่ามุมต่าง ๆ

ทำนองเดียวกันจะอาศัยแนวคิดนี้ในการกำหนดพิกัดบนพื้นผิวโลกของระบบ จีพีเอส ได้ ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 การหาพิกัดในระบบ จีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.33 ถือว่าจุด ซี เป็นศูนย์กลางของโลก สายอากาศ อยู่ที่พื้นผิวโลก ดาวเทียมลอยอยู่เหนือพื้นผิวโลก เครื่องรับที่ต่ออยู่กับสายอากาศสามารถวัดได้ว่า ดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศเท่าใด (P) และดาวเทียมส่งข้อมูลมาบอกเครื่องรับว่า ตัวมันห่างจากจุด ซี เท่าใด (r) ตัวเครื่องรับก็จะหาได้ว่าตำแหน่งของสายอากาศอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใดโดยอาศัย สมการทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย คือ

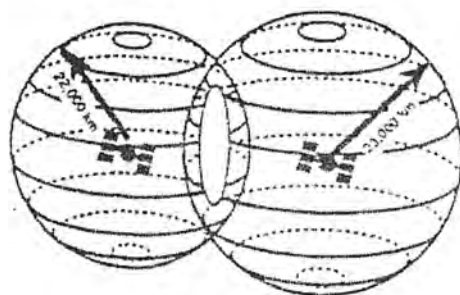
$$\vec{R} = \vec{r} - \vec{p}$$

ประเด็นต่อมาคือเครื่องรับมีหลักการในการวัดระยะห่างระหว่างตัวมันกับดาวเทียมอย่างไรในช่วงแรกขอสมมุติว่า ดาวเทียมดวงแรกโคจรอยู่เหนือพื้นโลก 22,000 กิโลเมตร ดังรูปที่ 2.34

รูปที่ 2.34 ทรงกลมจำลองที่สร้างล้อมรอบดาวเทียมที่มีรัศมี 22,000 กิโลเมตร

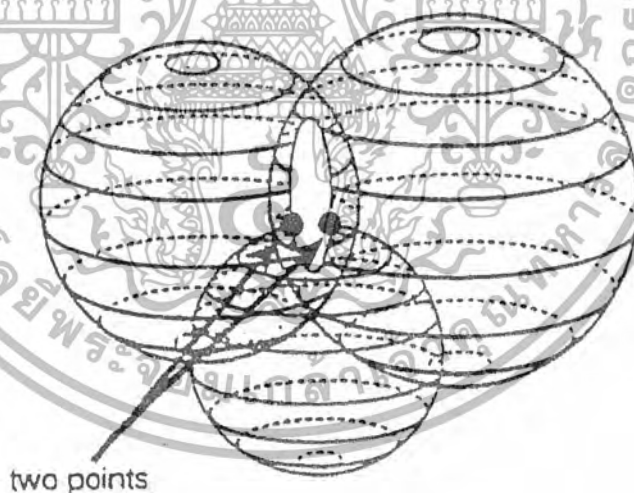
จากรูปที่ 2.35 จะเห็นว่าเครื่องรับที่อยู่บนพื้นผิวโลก อาจอยู่ที่บริเวณใดก็ได้บนพื้นผิวทรงกลมที่สร้างขึ้นมาล้อมรอบดาวเทียม เพราะเราไม่รู้ว่่าที่จุดใดของทรงกลมและอยู่กับพื้นผิวโลกรู้แต่เพียงว่าจะมีอยู่จุดหนึ่งเท่านั้นที่สัมผัสกับพื้นผิวโลก ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงหนึ่งโคจรอยู่เหนือพื้นดิน 23,000 กิโลเมตร เราก็จะสร้างทรงกลมได้อีกอีกหนึ่งถ้าทรงกลมทั้งสองมีการตัดกันผลที่ได้จะเป็นวงกลมเล็ก ๆ เกิดขึ้น เครื่องรับน่าจะอยู่ที่ใดที่หนึ่งในวงกลมนี้ ซึ่งยังคงเป็นพื้นที่ที่กว้างเกิน 100 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 การตัดกันของทรงกลมสองทรงกลม

ถ้ามีดาวเทียมอีกดวงเป็นดวงที่สาม โคจรอยู่เหนือพื้นโลก 24,000 กิโลเมตรก็สามารถสร้างทรงกลมได้อีกลูกหนึ่ง ถ้าทรงกลมทั้งสามมีการตัดกันผลที่ได้จะเป็นจุดสองจุดที่ขอบของวงกลมเล็กๆ เครื่องรับน่าจะอยู่จุดใดจุดหนึ่งบนสองจุดนี้ มันจะมีจุดเดียวกันนั้นที่เก็บไปได้ในทางทฤษฎี (ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยอาศัยคณิตศาสตร์เข้าช่วย)



รูปที่ 2.36 การตัดกันของทรงกลมสามทรงกลม

ประเด็นถัดมาลองมาคิดว่าตัวเครื่องรับสัญญาณจะรู้ว่าดาวเทียมอยู่ห่างจากสายอากาศของเครื่องรับเป็นระยะทางเท่าใดอย่างไร โดยหลักการแล้วถือว่าคลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสงดังนั้นถ้าสมมุติว่าดาวเทียมส่งข้อมูล เอบีซี ออกมาจากดาวเทียมเมื่อเวลา 8.00 นาฬิกา แล้วเครื่องรับรับข้อมูล เอบีซี ได้เวลา 8.01 นาฬิกาแสดงว่าข้อมูลใช้เวลาเดินทางจากดาวเทียมมายังสายอากาศใช้เวลา 1 นาที เมื่อนำค่านี้คูณด้วยความเร็วของแสงก็จะทำให้ได้ระยะทางออกมาเช่นเดียวกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นแทนที่เราจะบอกเป็นระยะทางว่าดาวเทียมโคจรอยู่สูงจากพื้นผิวโลกกี่กิโลเมตร เราอาจบอกเป็นเวลาที่ก็ได้ เช่นดาวเทียมสองดวงอยู่ห่างจากสายอากาศ 4 และ 6 วินาที เพื่อให้ง่ายขึ้นจะมองทรงกลมที่สมมุติขึ้นมาล้อมรอบดาวเทียมแต่ละดวงมิติเป็นวงกลมล้อมรอบดาวเทียม เอ และ บี และสมมุติว่าเกิดจุดตัดกันออกมาที่จุด เอกซ์ ดังรูปที่ 2.37

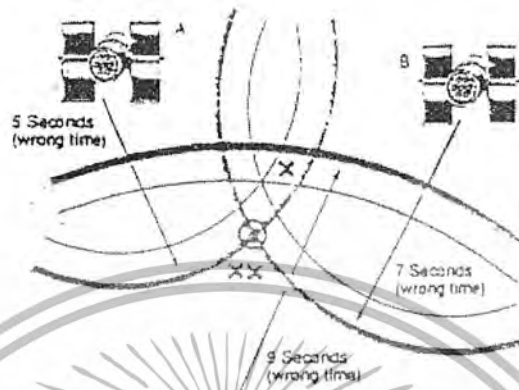


แต่ถ้าเวลาที่วัดได้เกิดการผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็นจะด้วยสาเหตุใดก็ตาม เช่น ดาวเทียม เอ จาก 4 วินาที เป็น 5 วินาที และดาวเทียม บี จาก 6 วินาทีเป็น 7 วินาที ผลที่เกิดขึ้นก็คือ แทนที่จะเกิดจุดตัดกันที่จุด X กลับเกิดที่จุด XX ดังรูปที่ 2.38

รูปที่ 2.38 จุดตัดกันของดาวเทียม A และ B ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

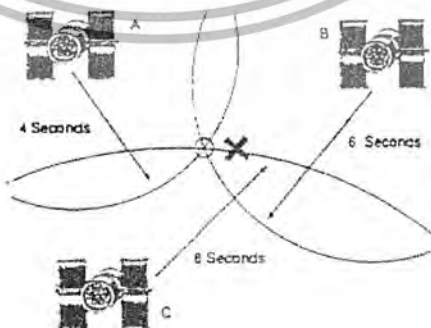
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าจะใช้ดาวเทียมดวงที่สาม (ดาวเทียม ซี) เข้าช่วยเพื่อหาดำแหน่งที่แน่นอนดังกล่าวมาแล้วในตอนต้น ถ้าเวลาผิดพลาดไปก็จะเกิดจุดตัดที่ผิดพลาดขึ้นมาเช่นกัน ดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 จุดตัดกันของดาวเทียม เอ,บี,ซี ในกรณีที่เวลาผิดพลาดไป

จากรูปที่ 2.39 จะเห็นว่าจุดที่ถูกต้องตามที่ต้องการในครั้งแรกก็คือจุด เอกซ์ ซึ่งเป็นจุดตัดจุดเดียวเท่านั้น ไมโครโปรเซสเซอร์ในเครื่องรับจะเริ่มทำการรับค่าความผิดพลาดของเวลาของดาวเทียมแต่ละดวง การทำงานนี้จำเป็นต้องอาศัยดาวเทียมอีกดวงหนึ่งเข้าช่วยเพื่อทำการปรับตั้งเวลาในเครื่องรับให้แม่นยำขึ้น จากนั้นจึงทำการขยับเวลาที่ทำการวัดได้จากดาวเทียมแต่ละดวงเพื่อทำการลดค่าผิดพลาดให้น้อยลง เมื่อทำการปรับได้อย่างถูกต้องแล้วก็จะทำให้ได้จุดตัดออกมาอย่างถูกต้อง ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 จุดตัดกันอย่างถูกต้องของดาวเทียม เอ,บี,ซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

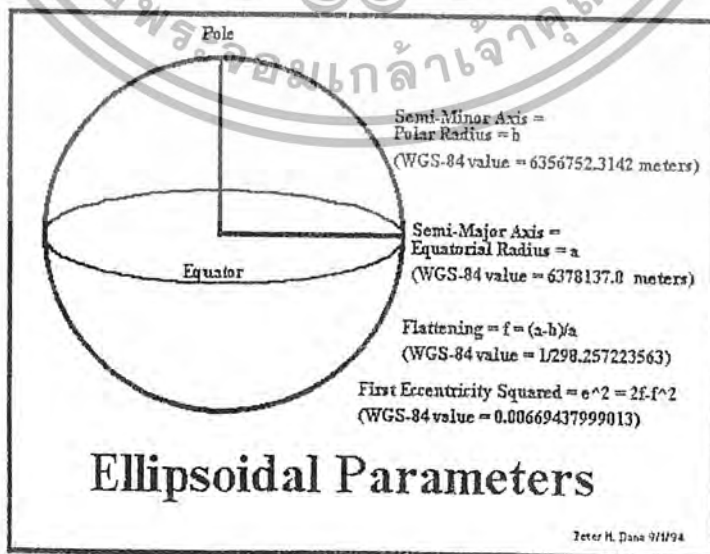
จากที่ได้อธิบายมาข้างต้นจะเห็นว่าความแม่นยำของเวลาเป็นหัวใจของระบบที่เดียว ดังนั้นบนดาวเทียมจีพีเอสจึงมีนาฬิกาอะตอมที่มีความแม่นยำสูงบรรจุอยู่ถึง 4 เครื่อง นาฬิกาเหล่านี้จะถูกปรับตั้งให้มีความแม่นยำอยู่ตลอดเวลาโดยสถานีควบคุมภาคพื้นดิน จากแนวความคิดที่กล่าวมานี้ถ้าเครื่องรับรับสัญญาณอยู่บนพื้นโลกจะทำให้เครื่องรับทราบว่าตัวมันห่างจากดาวเทียมเท่าใดเหมือนกับได้ระยะทางด้านหนึ่งของสามเหลี่ยมแล้ว คือด้าน พี ด้านที่สองของสามเหลี่ยมคือ อาร์ เครื่องรับจะทราบได้โดยดาวเทียมจะส่งข้อมูลมาบอกว่ามันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด ดังนั้น เครื่องรับจะคำนวณได้ว่าตัวมันอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเท่าใด

เนื่องจากพิกัดที่ได้จากเครื่องจีพีเอสมักจะอยู่ในรูปของ ละติจูด , ลองจิจูด หรือค่าตัวแปร X,Y,Z การกำหนดค่าค่าดัดแปลงจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นอย่างมาก

จีโอดีคิลาตัม คือ การกำหนดระบบอ้างอิงที่ใช้อธิบายขนาดและรูปร่างของโลก ว่าควรมีลักษณะอย่างไรในสมัยโบราณถือว่าโลกแบน ดังนั้นระนาบอ้างอิงจึงเป็นแผนระนาบต่อมาพบว่าโลกเป็นทรงกลม ระบบอ้างอิงจึงถูกเปลี่ยนเป็นทรงกลมตามไปด้วยจนภายหลังพบว่ารูปร่างของโลกที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเป็นแบบเอลลิปซอยด์ และใช้มาจนถึงปัจจุบันนี้ เมื่อผนวกเข้ากับระบบการกำหนดพิกัดอ้างอิงก็จะทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกได้อย่างแม่นยำ

2.5.2 การอ้างอิงโดยเอลลิปซอยด์ (Reference Ellipsoids)

รูปแบบจำลองแบบเอลลิปซอยด์ (Ellipsoid) ถือว่าพื้นผิวโลกแบนเรียบและมีโครงสร้างเกือบเป็นทรงกลม (ป่องกลางกลัวย่นเล็กน้อย แต่เพื่อความสะดวกจะวาดเป็นวงกลมแทน) การอ้างอิงใด ๆ บนพื้นผิวจะทำผ่านสองแกน คือ เซมิเมเจอร์เอกซ์ซีส คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังเส้น เอ็กวเอเตอร์ และ เซมิไมเนอร์ แอกซ์ซีส ซึ่งก็คือ เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของโลกมายังขั้ว

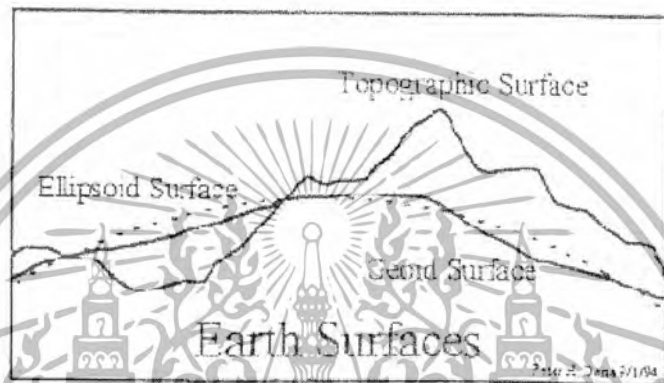


รูปที่ 2.41 ตัวแปรของเอลลิปซอยด์ที่กำหนดตามมาตรฐานของ WGS-84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นผิดไปขอชี้แจงขอโทษเป็นการด่วน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

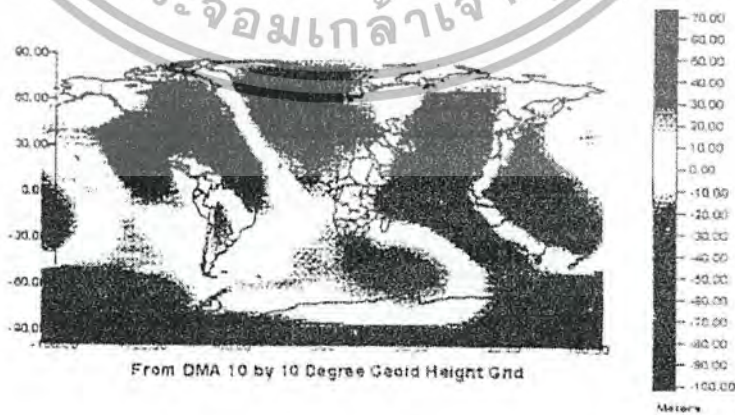
2.5.3 รูปแบบจำลองพื้นผิวโลก (Earth Surface Model)

รูปแบบจำลองของพื้นผิวโลกที่ถูกต้องมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบนำร่องการสำรวจ และ การทำแผนที่ แต่เนื่องจากพื้นผิวโลกมีความสูงต่ำไม่เท่ากัน นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม ตลอดเวลา ดังนั้นรูปแบบจำลองจึงมีหลายแบบด้วยกันรูปแบบจำลองสภาพทางภูมิประเทศและ ระดับน้ำทะเลมีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผิวโลกในขณะที่รูปแบบการจำลองทางด้าน แรงโน้มถ่วงและจีโอซดมีไว้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงและระดับน้ำทะเลเฉพาะส่วนของพื้น โลกรูปแบบจำลองต่าง ๆ เหล่านี้ถูกสร้างเปรียบเทียบหรืออ้างอิงร่วมกับเอลลิปซอยด์



รูปที่ 2.42 รูปแบบจำลองของพื้นผิวโลก

การจำลองพื้นผิวแบบโทโพกราฟฟีลเซอร์เฟส ของโลกจะแสดงพื้นผิวจริงของแผ่นดินและทะเล ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ส่วนการจำลองพื้นผิวแบบจีโอซดนั้นจะเป็นการจำลองพื้นผิวที่แสดงค่าสนามแรงโน้ม ถ่วงของโลกที่ตัดเทียบระดับความสูงของน้ำทะเลเฉลี่ย (Mean Height Level) จีโอซดจะเป็นพื้นผิวอ้างอิงหลัก ในการกำหนดความสูง ตัวอย่างดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 ระดับของจีโอซด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ระบบพิกัดอ้างอิงที่ใช้งานทั่วไป (Global Coordinate System)

เมื่อเรามีรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโลกแล้วต่อไปจะต้องกำหนดพิกัดอ้างอิงขึ้นมา เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก มิฉะนั้นเราจะไม่ทราบว่าเราอยู่ที่ใดบนโลกนั่นเอง ยกเว้นถ้าเราระนาบอ้างอิงแตกต่างกันออกไป พิกัดที่ได้จะแตกต่างกันออกไปด้วยระบบที่ใช้ในการอ้างอิงมีหลายแบบด้วยกัน แต่ละประเทศจะใช้แตกต่างกันออกไปในที่นี้จะกล่าวเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับระบบจีพีเอสเท่านั้น ในการที่จะได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ จากการนำร่องด้วยดาวเทียมจำเป็นจะต้องมีระบบพิกัดอ้างอิงเพื่อความแม่นยำเพียงอย่างเดียวของทั้งดาวเทียมและเครื่องรับซึ่งโดยทั่วไปจะบอกด้วย เวกเตอร์ของตำแหน่งและความเร็วของเครื่องรับในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ซึ่งใช้กันมี 2 แบบ คือ

1. อินเนอร์เชียล (Inertial)
2. โรเตติง (Rotating)

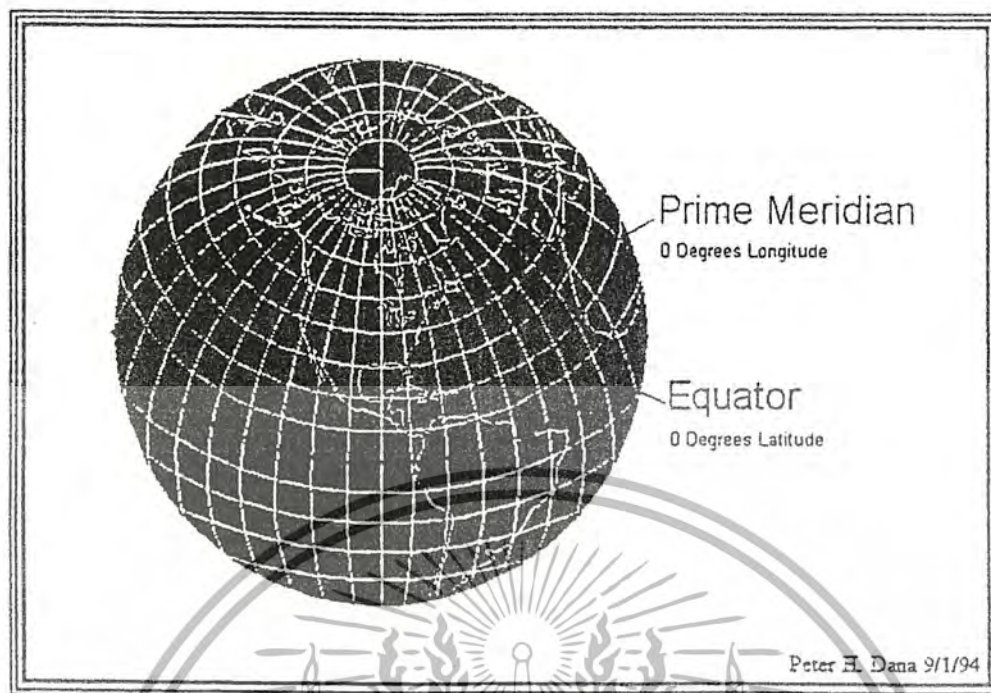
1. ระบบโคออร์ดิเนตแบบ(ECI : Earth Centered Inertial)

ในระบบนี้กำหนดให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลของโลกและเป็นระบบเฉื่อย ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของดาวเทียมที่โคจรรอบโลกจึงอยู่ในรูปแบบที่สมมติว่าระบบอ้างอิงไม่มีความเร่งเป็นไปตามสมการของนิวตัน โดยทั่วไปจะกำหนดให้ระนาบ เอกซ์-แอส เป็นระนาบศูนย์สูตร โดยทิศทางบวกเอกซ์จะชี้ไปยังทิศ เวอร์นอลอควิน็อด แทนบวกเซด ดังกล่าวกับระบบเอกซ์-แอสในทิสซ์วโลก เอ็น และแกน บวกเอ็กซ์จะเลื้อยให้ขึ้นไปตามกลุ่มอ็อกวา ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบที่เกิดจากการเคลื่อนที่ที่ผิดปกติของโลก แรงดึงดูดของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ต่อการหมุนรอบที่เส้นศูนย์สูตรของโลกทำให้ระนาบศูนย์สูตรมีการเคลื่อนที่ที่เทียบเท่ากับทรงกลมที่องศา ส่งผลให้แกนบวกเซดเคลื่อนที่ไปด้วยการแก้ปัญหาทำได้โดยกำหนดทิศทางแกนหันของแกนที่ค่าเฉพาะต่าง ๆ กันตามเวลาของ ดีฟอส ระบบ อีซีไอของจีพีเอสกำหนดการหันของระนาบศูนย์สูตรที่ 1200 เสดอาร์, ยูทีซี ในวันที่ 1 มกราคม 2000 เป็นอ้างอิง

2. Latitude , Longitude , Height

ถือเป็นระบบพิกัดที่ใช้ร่วมกันมากที่สุดในโลก โดยกำหนดให้ระนาบอ้างอิง (Reference Plane) ได้มาจากระนาบ อีควาเตอร์ และ ไพรมี่เมอร์เดียน ที่วางตั้งจาก ดังรูปที่ 2.44 สามารถจินตนาการได้ว่าโลกเสมือนผลแดงโมที่วางอยู่กับพื้นแล้วหันทางด้านข้างของแดงโมขึ้นฟ้า จากนั้นให้นึกต่อว่าที่กึ่งกลางลูกแดงโมมีเส้น ๆ หนึ่ง ลากยาวรอบลูกแดงโมโดยลากขนานกับพื้นที่แดงโมที่วางอยู่ เส้นนี้ คือ เส้นอีควาเตอร์ ถ้าใช้มีดผ่าแดงโมตามแนวเส้นนี้แล้วยกแดงโมครึ่งบนออกสิ่งที่มองเห็นคือเนื้อแดงโมที่เป็นพื้นผิววงกลมแบนราบนั่นคือ ระนาบของอีควาเตอร์นั่นเอง ระนาบของ ไพรมี่เมอร์เดียน

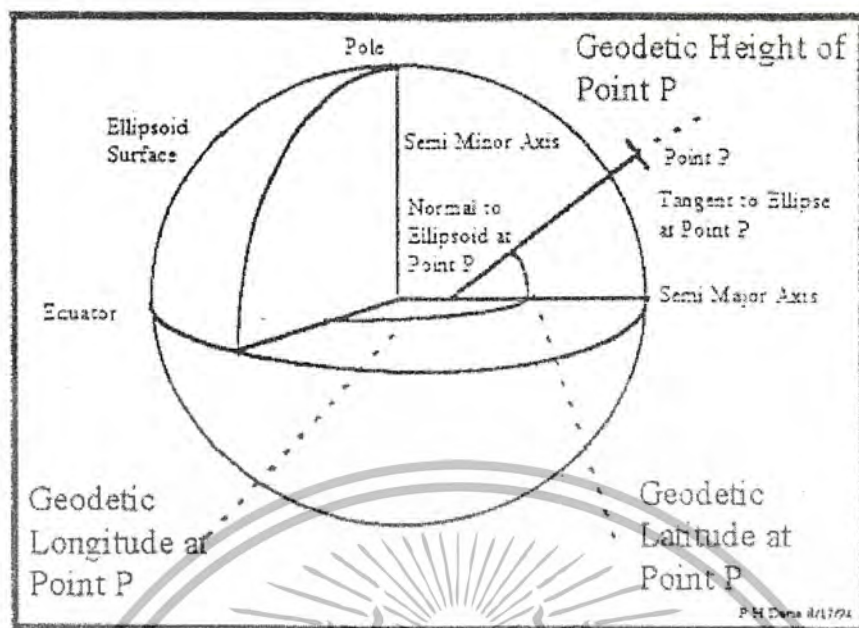
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.44 การกำหนดเส้นไพรม์ เมริเดียนและเส้นอีเควเตอร์

การกำหนดว่าจุด พี มีค่าเป็นเท่าใดให้ดูจากตัวอย่างดังรูปที่ 2.45. จากรูปที่แสดงไว้สมมุติว่าเครื่องรับสัญญาณอยู่ที่จุด พี เมื่อลากเส้นมาตั้งฉากกับเส้นสัมผัสกับพื้นผิวเอกลิปโซอิดในรูปที่ 2.46 แล้วต่อเส้นนี้ไปตัดระนาบอีเควเตอร์มุมที่เกิดจากเส้นที่ลากมาตั้งกับระนาบอีเควเตอร์เรียกว่า จีโอเดติก ลอนจิจูด และถ้าถือว่าเส้นที่ลากมาจากจุด พี เป็นระนาบ ๆ หนึ่งที่ตั้งฉากกับระนาบอีเควเตอร์มุมที่ระนาบ ๆ นี้กระทำกับระนาบอ้างอิงไพรม์ เมริเดียน เรียก จีโอเดติก ลอนจิจูด ส่วนความยาวของเส้น เอส เรียก จีโอเดติก ความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 การกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด สองจุด และความสูง

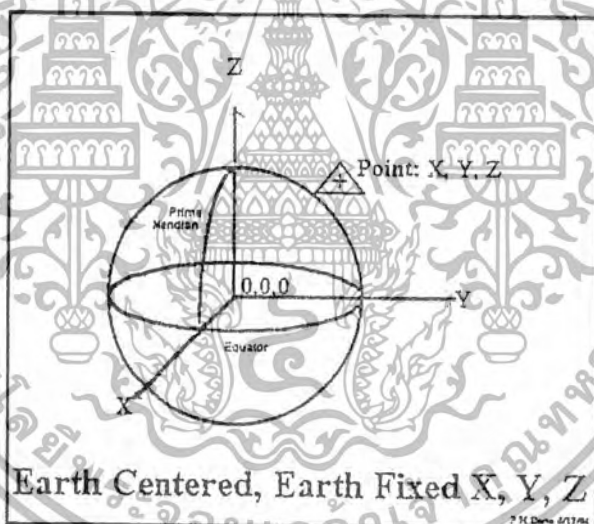


รูปที่ 2.46 การกำหนดพิกัดแบบ ละติจูด สองจุด และความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบโคออร์ดิเนตแบบ (ECEF : Earth Center Earth Fixed)

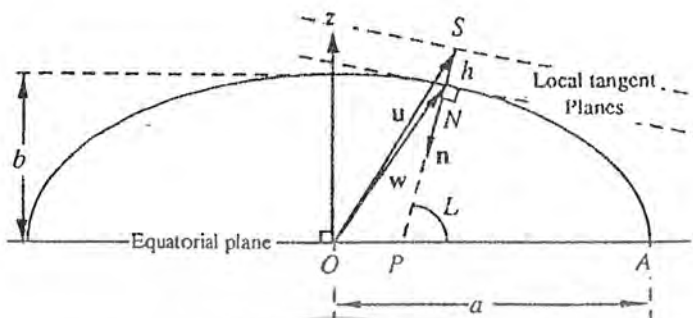
เป็นระบบพิกัดซึ่งจะมีการหมุนไปพร้อมกับโลกและสามารถแปลงเป็นค่าละติจูด ลองจิจูดและความสูงได้โดยง่ายโดยกำหนดให้ระนาบศูนย์สูตรเป็นระนาบ เอกซ์วาย เช่นเดียวกับระบบ อีซีไอ แต่ทิศทาง บวกเอกซ์ จะชี้ไปยังเส้นลองจิจูด 0 องศา และทิศทาง บวกวาย จะชี้ไปยังลองจิจูด 90 องศา ดังนั้นทั้งแกน เอกซ์ และ แกน ยาย จะหมุนไปพร้อม ๆ กับโลก ส่วนแกน แซดตั้งฉากกับระนาบ เอกซ์วาย (ชี้ขั้วโลกเหนือ) ซึ่งเป็นไปตามกฎมือขวาด้วยวิธีนี้ก่อนที่จะคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับจึงต้องทำการแปลงข้อมูลอีพีเมอร์ิซของดาวเทียมจาก อีซีไอ ใน อีซีอีเอฟ เมื่อได้ค่าโคออร์ดิเนตของเครื่องรับในระบบ อีซีอีเอฟ แล้วจึงทำการแปลงพิกัดให้อยู่ในรูปละติจูด ลองจิจูดและความสูง เอกซ์ , ยาย , แซด เป็นการกำหนดพิกัดแบบสามมิติเช่นกันโดยถือว่าจุดศูนย์กลางมวลของโลกเป็นจุดศูนย์กลางของเอลลิปซอยด์ จากจุดนี้ แกน แซด จะชี้มายังขั้วโลกเหนือ (ตามแนวแกนหมุนของโลก) แกน เอกซ์ จะชี้มายังจุดตัดกันของเส้นไพรี่ เมอริเดียนกับเส้นอีควาเตอร์และ แกน ยาย จะตั้งฉากกับ แกน เอกซ์ ดังนั้นแต่ละจุดที่กำหนดขึ้นมาจะต้องมีองค์ประกอบของค่า เอกซ์ , ยาย , แซด มาเป็นค่า ละติจูด , ลองจิจูด และ ความสูง ในภายหลัง



รูปที่ 2.47 ระบบ อีซีอีเอฟ เอกซ์, ยาย, แซด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระบบ World Geodetic System (WGS-84)



รูปที่ 2.48 รูปจำลองของโลกที่เป็นวงรี

ก่อนที่จะทำการแปลงเอกซ์, าย, เขต ให้อยู่ในรูป ละติจูด ลองจิจูด และความสูง จำเป็นต้องกำหนดแบบจำลองของโลกขึ้นมาก่อน ซึ่งแบบจำลองมาตรฐานของโลกที่ใช้ในระบบ จีพีเอส คือ ดัชนีลยูจีเอส-84 ของกระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา ที่จะกำหนดให้โลกเป็นวงรีดังรูปที่ 2.48 โดยมีรัศมีที่ระนาบศูนย์สูตร $a = 6,378,137$ กิโลเมตร เรียกว่า เซมิเมเจอร์ เอกซ์ซิส แกนที่ตั้งฉากกับระนาบศูนย์สูตรเรียกว่า เซมิไมเนอร์ เอกซ์ซิส $b = 6,356,752.3142$ กิโลเมตร ดังนั้นค่าความรีของโลก (Eccentricity : e) และค่าความแบน (Flattening : f) กำหนดโดย

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

$$f = 1 - \frac{b}{a}$$

พารามิเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายลักษณะของรูปโกลกาวรี คือ Second Eccentricity : e' กำหนดโดย

$$e' = \sqrt{\frac{a^2}{b^2} - 1} = \frac{a}{b} e$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดพิกัดของผู้ใช้ : ลองจิจูด ละติจูด และความสูง

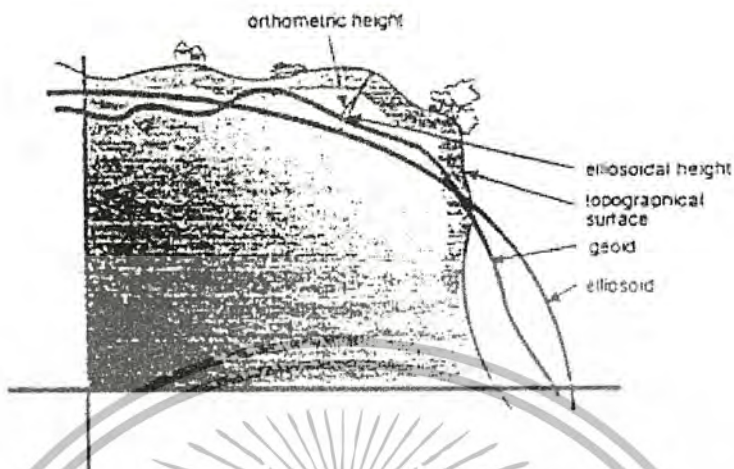
ระบบพิกัด อีซีอีเอฟ ใช้แบบจำลองของโลกในแบบ ดัชนีเบ็ลลูจีเอส-84 ดังแสดงข้างต้นโดยมีจุดโอ เป็นจุดศูนย์กลางของโลก ทำให้เราสามารถหาค่า ลองจิจูด ละติจูด และความสูง เมื่อเทียบกับแบบจำลองนี้ได้ ซึ่งค่าต่าง ๆ นี้เรียกว่า จีโอดิคัล เมื่อทราบเวกเตอร์ตำแหน่งของเครื่องรับ $u = (x_u, y_u, z_u)$ ในระบบ อีซีอีเอฟ เราจะคำนวณค่า จีโอดิคัล ลองจิจูด (λ) ซึ่งมุมระหว่างผู้ให้กับแกน เอกซ์ วัดตามระนาบเอกซ์วายได้ดังนี้

$$\lambda = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y_u}{x_u}\right) & x_u \geq 0 \\ 180^\circ + \arctan\left(\frac{y_u}{x_u}\right) & x_u < 0 \text{ and } y_u \geq 0 \\ -180^\circ + \arctan\left(\frac{y_u}{x_u}\right) & x_u < 0 \text{ and } y_u < 0 \end{cases}$$

ข้อสังเกตของความสูง

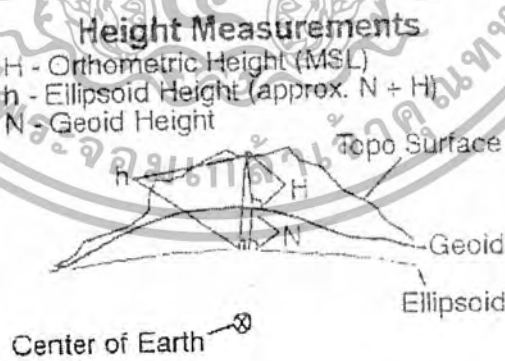
สมมุติว่ามีเครื่องมือที่สามารถบอกตำแหน่ง ละติจูด ลองจิจูด และความสูงออกมาได้ ค่าละติจูด ลองจิจูด ที่ได้เป็นค่าที่มีนิยามแน่นอนไม่สับสน แต่ค่าความสูงจะมีความสับสนได้ง่าย โดยทั่วไปตามความคิดของผู้ใช้งานจะคิดว่าเป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) แต่จากรูปที่ผ่านมาในระบบละติจูด ลองจิจูด จะหมายถึงความสูงจากพื้นผิวเอลลิพซอยด์ ซึ่งเป็นรูปแบบการจำลองมาจากคณิตศาสตร์ ส่วนในระบบอีซีอีเอฟ เอกซ์วายแซด จะหมายถึงความสูงของเครื่องรับ ณ ตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางโลกออกไปเท่าใดซึ่งแน่นอนจะต้องอยู่ในรูปของ เอกซ์วายแซด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.49 การเปรียบเทียบความสูงเหนือเอลลิปซอยด์และจีโออยด์

จากรูปที่ 2.49 เส้นความสูงที่นับจากเส้นจีโออยด์ (Orthometric Height) ส่วนเส้น ความสูงที่วัดจาก เอลลิปซอยด์ (Ellipsoidal Height) ซึ่งก็คือความสูงที่วัดจากจีไอเดคตินั่นเอง ถ้าระบุความสูงออกมาลอย ๆ ผู้ใช้มักคิดว่า เป็นความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเล็กน้อย หรือ กลางง่าย ๆ ถ้าเป็นความสูงออร์ทอเมตริกแต่ความ สูงจากเครื่องรับจีพีเอส จะเป็น เส้น ความสูงที่วัดจากเอลลิปซอยด์ หรืออยู่ในรูปของเอกซ่ายแซดเท่านั้น



รูปที่ 2.50 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงในแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.50 จะเขียนได้ว่า

$$H = h - N$$

เมื่อ H คือ เป็นความสูงอเทอมติก

h คือ ความสูงที่วัดจากเอลลิปซอยด์

N คือ ความสูงที่วัดจากจีโอเดติก

ความสูงที่วัดจากจีโอเดติกคือ ผลต่างของ ความสูงอเทอมติกกับ ความสูงที่วัดจากเอลลิปซอยด์ ที่จุด ๆ หนึ่ง ดังนั้นการใช้จีทีเอส วัดความสูงต้องระวังให้ได้ว่าความสูงที่ได้นั้นเป็นแบบใด

2.6 มาตรฐาน NMEA และ โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของ จีทีเอส

2.6.1 มาตรฐาน NMEA (NMEA standard)

คือ การอินเตอร์เฟสทางไฟฟ้าและ โปรโตคอลการรับส่งข้อมูลสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ การเดินเรือ (NMEA ยังมีมาตรฐานสำหรับการสื่อสาร ในงานอื่นๆ ด้วย)

โดย NMEA ย่อมาจาก The National Electronic Association ซึ่งการศึกษาและพัฒนาอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ทางน้ำ

2.6.2 การอินเตอร์เฟสทางไฟฟ้า (Electrical Interface)

มาตรฐานนี้สามารถที่ใช้เป็นระบบที่มีตัวส่ง (talker) เดียวและมีตัวรับ (listener) สายที่แนะนำให้ ใช้เป็นแบบชนิดควิสท์แทร็คโดยต่อกราวด์ที่ตัวส่งเท่านั้นมาตรฐานไม่ได้กำหนดชนิด คอนเนคเตอร์ (connector) ใดๆ

2.6.3 มาตรฐาน NMEA - 0183

มาตรฐานที่เอทพุดจะเป็นแบบ อีไอเอ - 422I และมีสายสัญญาณ 2 เส้น, เอ และมีโวลเตจบน เส้น เอ จะเป็นเหมือนกันสาย ทีทีแอล เดียวแบบเดิมขณะที่ บี โวลเตจจะกลับทางกันกับ เอ เช่น เอ เป็น +5 บี จะเป็นกราวด์ ในการใช้งาน, สายเพียงสายเดียว คือสาย เอ ในอีไอเอ - 422 อาจถูกใช้เชื่อมต่อกับ อาร์ เอส - 232 อินพุทของเครื่องคอมพิวเตอร์ในมาตรฐาน เอ็นเอ็มอีเอ - 0183 ตัวอักษรที่ใช้คือแอสกี ซึ่ง สามารถพิมพ์ได้ เอ็นเอ็มอีเอ - 0183 นั้นข้อมูลจะถูกส่งด้วยอัตรา 4800 บอร์ด ข้อมูลจะถูกส่งในรูปของ ประโยค แต่ละประโยคเริ่มต้นด้วย \$ ตัวอักษรที่ตามมาอีกสองตัวคือ เซ็นเทน ไอดีหรือตัวกำหนดรูปแบบ ประโยคหรือจะเรียกว่าชื่อประโยค (sentence name) ตามด้วยฟิลด์ข้อมูลจำนวนหนึ่งซึ่งถูกแบ่งแยกโดย เครื่องหมายคอมม่า (,) และสิ้นสุดด้วยเครื่องหมายเช็คซัม (check sum) ที่สามารถเลือกได้ว่าจะมีหรือไม่มี และจบลงด้วยแควร์เรียรีเทอร์นและไลน์ฟีด (carrier return/line feed) ซึ่งประโยคจะมีตัวอักษรถึง 82 ตัว รวมกับ \$ และ แควร์เรียรีเทอร์นและไลน์ฟีด

ถ้าข้อมูลสำหรับฟิลด์ไม่สามารถหาได้ ฟิลด์จะถูกเว้นข้ามไปแต่คอมม่าที่ทำหน้าที่แบ่งฟิลด์ยังคง ถูกส่งไปโดยไม่เว้นช่องว่าง เพราะว่าในแต่ละฟิลด์มีความยาวไม่คงที่หรือไม่มีข้อมูลเครื่องรับจะระบุ ตำแหน่งของฟิลด์ของข้อมูลที่ต้องการ โดยการนับเครื่องหมายคอมม่าเช็คซัมที่เลือกได้ว่าจะมีหรือไม่มี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วย “ * ” และ 2 บิตของเลขฐาน 16 แทนการ เอ็กซ์คูซีฟออร์ของตัวอักษรทั้งหมดแต่ไม่รวม “\$” และ “ * ” ในการใช้งานจะมีความต้องการใช้เช็คซัมในบางประโยคในมาตรฐานจะอนุญาตแต่ละผู้ผลิตในการนิยามรูปแบบประโยคผู้ผลิตในการนิยามรูปแบบประโยค ประโยคเหล่านี้เริ่มต้นด้วย “\$PG” และตัวอักษรสามตัว ที่ตามมาเป็นไอดีที่ถูกกำหนดมาจากโรงงานตามด้วยข้อมูลซึ่งจะไปตามรูปแบบทั่วไปของประโยคมาตรฐาน

2.6.4 โปรโตคอล NMEA 183

เอ็นเอ็มอีเอ คือ โปรโตคอลมาตรฐาน ถูกนำมาใช้โดยเครื่องรับ จีพีเอส เพื่อส่งข้อมูล เอ็นเอ็มอีเอ เอาท์พุทจะเป็นโปรโตคอล อีไอเอ - 422 เอ แต่เราสามารถนำไปใช้ร่วมงานกับ อาร์เอส-232 ได้โดยอัตราการส่งข้อมูลเป็น 4800 บิตต่อวินาที , 8 คาต่าบิต , ไม่มีพาริตีบิต แต่มี หนึ่งสตอบบิต และ ประโยคของ เอ็นเอ็มอีเอ 0183 จะเป็น แอสกี ทั้งหมดแต่ละประโยคจะเริ่มต้นด้วย “\$” และจบลงด้วย “<CR><LF>” และข้อมูลจะถูกแบ่งขั้นด้วย “.” เครื่องรับ จีพีเอส บางตัวไม่ส่งฟิลด์ข้อมูลเช็คซัม ถูกเพิ่มเข้าไป (ในบางกรณี) ส่วนที่ตามหลัง S คือ แอดเดรสฟิลด์ aacc aa คือ device id. GP ใช้เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นข้อมูล จีพีเอส การส่ง device id. ตามปกติแล้วเลือกได้ ccc คือ รูปแบบประโยค

2.6.5 รูปแบบประโยคของ NMEA

RMB

SGPRMB,A,x,x,a,c -- cc,d -- d,III,IIe,yyyy,yy,f,g,h,i,j,*kk

RMB = เป็นข่าวสารที่น้อยที่สุดในกรณีร้อง (Recommended Minimums Navigation information)

- 1 = สถานะของข้อมูล (V=การเตือนเครื่องรับในการนำร่อง (navigation receiver warning))
- 2 = ความคลาดเคลื่อนของครอสแทรค (Cross track error) ในหน่วยไมล์
- 3 = ทิศทางที่ต้องเบนเข็มไป (Direction to steer) (L or R) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อน
- 4 = หมายเลขเริ่มต้นของเวย์พอยท์ (waypoint)
- 5 = หมายเลขของเวย์พอยท์ปลายทาง
- 6 = ละติจูดของเวย์พอยท์ปลายทาง
- 7 = เหนือหรือใต้
- 8 = ลองจิจูดของเวย์พอยท์เป้าหมาย
- 9 = ตะวันออกหรือตะวันตก
- 10 = ระยะทางไปยังปลายทางในหน่วย ไมล์
- 11 = แบริ่ง (มุมที่ทำกับปลายทาง)ในหน่วยองศา
- 12 = ความเร็วในการเข้าถึงเป้าหมาย (Destination closing velocity) ในหน่วย นีเอต
- 13 = สถานะเมื่อเข้ามาถึง (Arrival status) (A= เข้าถึงหรือผ่านไปอย่างตั้งฉาก)
- 14 = เช็คซัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RMC

\$GPRMC,hhmmss.ss,A,llll.ll,a,yyyy.yy,a,x.x,x.x,ddmmyy,x.x,a*hh

RMC = ข้อมูลเฉพาะของจีพีเอส / ทรานสมิชั่นน้อยที่สุดที่จำเป็น (Recommended Minimum Specific GPS / TRANSIT Data)

1 = เวลาปัจจุบันในระบบ ยูทีซี

2 = สถานะของข้อมูล

3 = ละติจูด

4 = ทิศเหนือหรือใต้

7 = ความเร็วหน่วย นอต

8 = มุมที่วัดจากทิศเหนือ

9 = วันเดือนปี

10 = ความแปรปรวนเนื่องจากสนามแม่เหล็ก

11 = ตะวันออกหรือตะวันตก

12 = เช็คซิม

GGA

\$GPGGA,hhmmss.ss,llll.ll,s,yyyy.yy,a,x.xx,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx*hh

GGA = ข้อมูลเฉพาะของระบบจีพีเอส Global Positioning System Fix Data

1 = ตำแหน่งของ ยูทีซี

2 = ละติจูด

3 = ทิศเหนือหรือใต้

4 = ลองจิจูด

5 = ตะวันออกหรือตะวันตก

6 = รั้งถึงคุณภาพของระบบจีพีเอส (0 = invalid ; 1 = จีพีเอส fix ; 2 = diff.จีพีเอส fix)

7 = จำนวนดาวเทียมที่ใช้

8 = เฮสติโอพี (Horizontal dilution of position)

9 = ความสูงของสายอากาศ เหนือกว่า/ต่ำกว่า ระดับน้ำทะเล

10 = หน่วยความสูงของสายอากาศ (เมตร)

11 = ค่าความแตกต่างระหว่างระบบ คัมเบิ้ลยูจีเอส-84 กับระบบจีออซด์

12 = ความต่างของจีออซด์

13 = ระยะเวลาตั้งแต่อัปเดตข้อมูลครั้งสุดท้ายจากสถานีอ้างอิง

14 = หมายเลขประจำสถานีอ้างอิง

15 = เช็คซิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VGT

SSPVGT,t,T,,,s.ss,N,s.ss,K*hh

- VGT = มุมที่ทำกับทิศเหนือจริงและความเร็ว (Actual track made good and speedover ground)
- 1 = มุมที่ทำกับทิศเหนือ
- 2 = อักษร 'T' แสดงว่ามุมที่วัดเทียบกับทิศเหนือ
- 3 = ไม่ใช่
- 4 = ไม่ใช่
- 5 = ความเร็วหน่วยนอต
- 6 = อักษร 'N' แสดงความเร็วในหน่วยนอต
- 7 = ความเร็วหน่วย กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 8 = อักษร 'T' แสดงความเร็วในหน่วย กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 9 = เช็คซิม

GSA

\$GPGSA,A,3,19,28,14,18,27,22,31,39,,,,,1.7,1.0,1.3*35

- GSA = โหมดการทำงานของเครื่องรับจีพีเอส, ดาวเทียมที่ใช้ในการนำร่องและ ค่า ดีโอพี (GPS receiver operating mode, SVS used for navigation, DOP values)
- 1 = โหมด
M = Manual, ให้ผู้ใช้เลือกว่าจะใช้ 2 มิติ หรือ 3 มิติ
A = Automatic, 2 มิติ, 3 มิติ
- 2 = โหมด
1 = ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้
2 = 2 มิติ
3 = 3 มิติ
- 3-14 = หมายเลขของดาวเทียมที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง (เป็น 0 สำหรับพีดี้ที่ไม่ใช่)
- 15 = พีดี้โอพี
- 16 = เฮสติโอพี
- 17 = วีดีโอพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GSV

\$GPGSV,4,1,13,02,02,213,,03,-3,000,,11,00,121,,14,13,172,05*67

GSV = จำนวนของดาวเทียมที่มองเห็น, หมายเลข พีอีเอชเอ็น ,เอเลเวชัน, อาซิมุท และค่าเอสเอ็นอาร์ (Number of SVs in view, PRN numbers , elevation , azimuth & SNR values.)

- 1 = จำนวนหมายเลขของข่าวสารทั้งหมดของข้อมูลนี้ใน 1 รอบ
- 2 = หมายเลขข่าวสาร
- 3 = จำนวนทั้งหมดของดาวเทียมที่อยู่ในฟิลล์
- 4 = หมายเลข พีอีเอชเอ็น ของดาวเทียม
- 5 = มุมเอเลเวชันหรือมุมเขยมีค่าสูงสุด 90 องศา
- 6 = มุมอาซิมุททำกับขั้วเหนือมีค่า 0- 359 องศา
- 7 = ค่าเอสเอ็นอาร์ มีค่า 0-99 เดซิเบล (เมื่อไม่มีเครื่องหมาย)
- 8-11 = ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมดวงที่สอง, เหมือนกับฟิลด์ 4-7
- 12-15 = ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมดวงที่สาม, เหมือนกับฟิลด์ 4-7

2.7 TCP/IP,OSI Model กับระบบเครือข่าย

OSI Model

เมื่อคอมพิวเตอร์ของเรามีการรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นๆ การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์หลายๆเครื่องเข้าด้วยกันเป็นระบบเครือข่ายก็เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กันละระบบหรือคนละขั้วก็ถือเป็นสิ่งที่ทำได้ยากในยุคแรกๆ ของการสื่อสารข้อมูล เนื่องจากขาดมาตรฐานส่วนกลางที่จำเป็นต้องใช้ในการรับส่งข้อมูลเพราะแต่ละขั้วก็จะมีมาตรฐานของตนเองซึ่งเข้ากันไม่ได้กับขั้วอื่น ทำให้ผู้ใช้ต้องผูกติดอยู่กับผู้ผลิตแต่ละขั้ว และเป็นขีดจำกัดในการเชื่อมต่อทำให้ไม่สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กันละชนิดได้ ระบบคอมพิวเตอร์ในยุคนี้จึงเป็นระบบปิด (Closed System)

ปัญหานี้ทำให้เกิดหน่วยงานกำหนดมาตรฐานสากลขึ้น คือ International Standards Organization (ISO) เพื่อจัดการกำหนดโครงสร้างทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ในการสื่อสารข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ระบบหนึ่ง ไปยังอีกระบบหนึ่งๆ รับส่งไปยังคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบเดียวกันหรือต่างระบบไปได้อย่างอิสระ โดยไม่ขึ้นกับผู้ผลิตอย่างที่เ็นอยู่ในอดีต ซึ่งเป็นการทำงานแบบที่เรียกว่า ระบบเปิด (Open System) เราเรียกโครงสร้างของมาตรฐานการรับส่งข้อมูลนี้ว่า Open System Interconnection หรือ OSI ซึ่งจัดทำขึ้นราวกลางปี ค.ศ. 1970 และใช้อ้างอิงมาจนถึงยุคปัจจุบัน

OSI ได้กำหนดให้การสื่อสารข้อมูลระบบคอมพิวเตอร์หนึ่ง ไปยังอีกระบบหนึ่งแบ่งออกเป็น 7 ชั้นตอนย่อยๆ ซึ่งคอมพิวเตอร์ทั้งสองระบบจะต้องมีชั้นตอนทั้ง 7 นี้เหมือนกัน เราเรียกการสื่อสารข้อมูลนี้ว่า OSI 7-Layer Reference Model ดังแสดงในรูปที่ 2.51

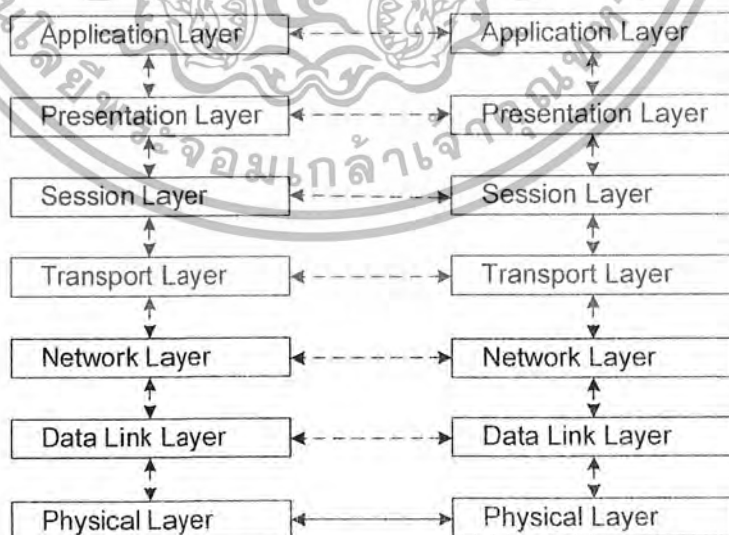
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Layer
Presentation Layer
Session Layer
Transport Layer
Network Layer
Data Link Layer
Physical Layer

รูปที่ 2.51 โครงสร้างของ OSI 7-Layer Reference Model

สำหรับโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลที่กำหนดขึ้นมีคุณสมบัติดังนี้คือ แต่ละชั้นของการสื่อสารข้อมูลเราเรียกว่า Layer หรือ ชั้น ซึ่งในการสื่อสารข้อมูลจะประกอบด้วยชั้นย่อยๆ 7 ชั้น ในแต่ละชั้นหรือแต่ละ Layer จะเสมือนเชื่อมต่อกับชั้นที่ติดกันข้างบนของคอมพิวเตอร์อีกด้านหนึ่ง ส่วนการเชื่อมต่อกันจริงๆ จะมีเพียงชั้นที่ 1 หรือ Layer 1 ซึ่งเป็นชั้นล่างสุดเท่านั้นที่มีการรับส่งข้อมูลเกิดขึ้นผ่านสายส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ระบบ ส่วนชั้นอื่นๆจะไม่ได้เชื่อมต่อกันจริงๆ เพียงแต่ทำงานเสมือนกับการติดต่อรับส่งข้อมูลกับกลไกในชั้นเดียวกันของคอมพิวเตอร์อีกด้านหนึ่งเท่านั้น

คุณสมบัติข้อที่สองของ OSI 7-Layer Model ก็คือ แต่ละชั้นที่ทำกรรับส่งข้อมูลจะมีการติดต่อรับส่งข้อมูลกับชั้นที่อยู่ติดกับตัวเองเท่านั้น จะติดต่อรับส่งข้อมูลข้ามกระโดดไปชั้นอื่นๆในคอมพิวเตอร์ของตัวเองไม่ได้ การส่งข้อมูลจะได้ลำดับชั้นลงมาจนถึงชั้นที่ 1 ไล่ขึ้นไปจนถึงชั้นที่ 7 ตามลำดับ ลำดับชั้นการส่งข้อมูลชั้นที่ 7 จะเสมือนเชื่อมต่อไปกับลำดับชั้นการรับข้อมูลในชั้นที่ 7 ของคอมพิวเตอร์อีกด้านหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.52

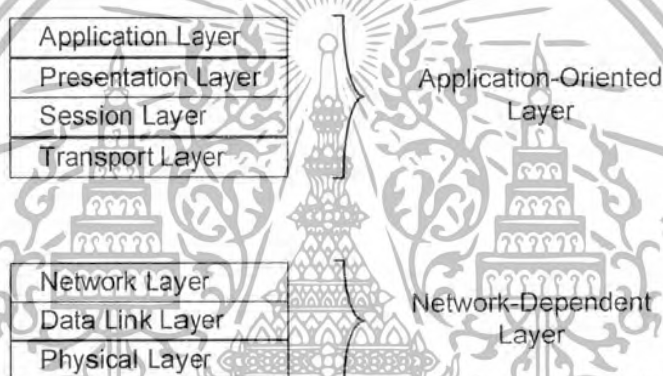


รูปที่ 2.52 การรับส่งข้อมูลของ OSI 7-Layer Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ใช้ หรือ User จะติดต่อรับส่งข้อมูลผ่านทางชั้นที่ 7 ซึ่งอยู่ด้านบนสุดของ OSI 7-Layer Model เท่านั้น ในทางทฤษฎีแล้วแต่ละชั้นของการรับส่งข้อมูลจะมีฟังก์ชันการทำงานที่แน่นอนและจากกันอย่างเด็ดขาด สามารถที่จะนำแต่ละชั้นของแต่ละบริษัทมาเชื่อมต่อกันอย่างไม่มีขีดจำกัดได้ แต่ในทางปฏิบัตินั้น OSI 7-Layer Model จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มแรกได้แก่ 7,6,5,4 ทำหน้าที่เชื่อมต่อรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมประยุกต์ให้รับส่งข้อมูลกับฮาร์ดแวร์ที่อยู่ชั้นล่างได้อย่างถูกต้องเรียกว่า Application-Oriented Layers ซึ่งเกี่ยวข้องกับซอฟต์แวร์เป็นหลัก โดย 4 ชั้นด้านบนนี้มักจะเป็นซอฟต์แวร์ของบริษัทหนึ่งรวมอยู่อย่างเบ็ดเสร็จในโปรแกรมเดียว จะแยกออกจากกันเป็นชั้นๆ เพื่อใช้โปรแกรมบริษัทอื่นได้ลำบาก หรือในบางกรณีอาจทำไม่ได้เลย

กลุ่มที่ 2 จะเป็นชั้นล่าง ได้แก่ชั้นที่ 3,2,1 ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับส่งข้อมูลผ่านสายส่งและควบคุมการรับส่งข้อมูล, ตรวจสอบความผิดพลาด รวมทั้งเลือกเส้นทางที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์เป็นหลักเรียกว่า Network-Dependent Layers ดังแสดงในรูปที่ 2.53



รูปที่ 2.53 การแบ่งกลุ่มของ OSI 7-Layer Model

สำหรับในส่วนของ 3 ชั้นล่างสุด หรือชั้นที่ 1,2,3 นั้นเนื่องจากเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์และโปรแกรมควบคุมฮาร์ดแวร์เป็นหลัก ทำให้สามารถแยกแต่ละชั้นออกจากกันได้ง่ายและใช้ผลิตภัณฑ์ของต่างบริษัทกันในแต่ละชั้นได้อย่างไม่มีปัญหา

OSI 7-Layer Model ที่แบ่งการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์สองระบบออกเป็น 7 ชั้นนั้น แต่ละชั้นมีชื่อเรียกและหน้าที่การทำงานดังนี้

ชั้นที่ 7 Application Layer

เป็นชั้นที่อยู่บนสุดของกระบวนการรับส่งข้อมูล ทำหน้าที่เชื่อมต่อผู้ใช้เข้ากับระบบคอมพิวเตอร์ โดยรับคำสั่งต่างๆ จากผู้ใช้ให้ระบบคอมพิวเตอร์แปลความหมาย และทำงานตามคำสั่งที่ได้รับในระดับโปรแกรมประยุกต์ เช่น แปลความหมายของการกดปุ่มบนเมาส์ให้เป็นคำสั่งในการคัดลอกเพิ่มข้อมูลหรือดึงข้อมูลออกมาแสดงผลบนจอภาพ เป็นต้น ซึ่งการแปลคำสั่งจากผู้ใช้ส่งให้กับคอมพิวเตอร์รับไปทำงานนี้ต้องแปลออกมาถูกต้องตามกฎ (Syntax) ที่ใช้ในระบปฏิบัติกรของคอมพิวเตอร์นั้นๆ ตัวอย่างเช่น ถ้ามีการคัดลอกเพิ่มข้อมูลเกิดขึ้นในระบบ คำสั่งที่ใช้จะต้องสร้างเพิ่มได้อย่างถูกต้อง มีชื่อเพิ่มว่าไม่เกินเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนที่ระบบปฏิบัติการใช้อยู่ และชื่อแฟ้มต้องประกอบด้วยตัวอักษรตามที่กำหนด ไม่มีอักษรต้องห้าม เป็นต้น สิ่งต่างๆเหล่านี้จะเกิดขึ้นในชั้นที่ 7 ของการสื่อสารข้อมูล รวมทั้งฟังก์ชันในการเชื่อมต่อรับส่งข้อมูลระหว่างชั้นที่ 7 กับชั้นที่ 6 ด้วย

ชั้นที่ 6 Presentation Layer

เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ตกลงกับคอมพิวเตอร์อีกด้านหนึ่งว่า การรับส่งข้อมูลในระดับ โปรแกรมประยุกต์จะมีขั้นตอนและข้อบังคับอย่างไร ข้อมูลที่ทำการรับส่งกันในชั้นที่ 6 นี้จะอยู่ในรูปแบบของข้อมูลชั้นสูง ซึ่งอยู่ในรูปแบบของคำสั่งที่มีกฎ (Syntax) บังคับอย่างแน่นนอน เช่น ในการคัดลอกแฟ้มข้อมูลก็จะมีขั้นตอนย่อยประกอบกัน คือ สร้างแฟ้มที่กำหนดขึ้นมาเสียก่อน จากนั้นจึงเปิดแฟ้มแล้วทำการรับข้อมูลจากปลายทางมาเก็บลงในแฟ้มดังกล่าว โดยเนื้อหาของข้อมูลที่ทำการรับส่งระหว่างกัน ก็คือคำสั่งของขั้นตอนย่อยๆนั่นเอง คำสั่งเหล่านี้จะต้องหมายถึงว่าจะไปทำอะไรบ้างและถูกต้องตามกฎด้วย นอกจากนี้ในชั้นที่ 6 ยังทำหน้าที่แปลความหมายของคำสั่งที่ได้รับจากชั้นที่ 7 ให้เป็นคำสั่งระดับปฏิบัติการเพื่อส่งให้ชั้นที่ 5 ต่อไปอีกด้วย

ชั้นที่ 5 Session Layer

ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะในการรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ด้านที่รับส่งแลกเปลี่ยนข้อมูลกันให้มีความสอดคล้องกัน (Synchronization) และกำหนดวิธีการที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล เช่น อาจจะเป็นในลักษณะสลับกันส่ง (Half Duplex) หรือรับส่งข้อมูลพร้อมกันทั้ง 2 ด้าน (Full Duplex) ซึ่งในชั้นที่ 5 นี้จะเป็นชั้นที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลในลักษณะดังกล่าว ข้อมูลที่รับส่งกันในชั้นที่ 5 นี้จะอยู่ในรูปของ Dialog หรือประโยคของข้อมูลที่สนทนาโต้ตอบกันระหว่างด้านรับและด้านส่ง โดยไม่ได้มองเป็นคำสั่งอย่างในชั้นที่ 6 เช่น เมื่อผู้รับได้รับข้อมูลส่วนแรกจากผู้ส่ง ก็จะโต้ตอบกลับไปให้ผู้ส่งรู้ว่าได้รับข้อมูลส่วนแรกเรียบร้อยแล้ว และพร้อมที่จะรับข้อมูลส่วนที่สองต่อไป คล้ายกับการสนทนาโต้ตอบกันระหว่างผู้รับและผู้ส่งนั่นเอง

ชั้นที่ 4 Transport Layer

ทำหน้าที่เชื่อมต่อการรับส่งข้อมูลระดับสูงของชั้นที่ 5 (ซึ่งมองข้อมูลอยู่ในรูปของ Dialog) มาเป็นข้อมูลที่รับส่งกันในระดับฮาร์ดแวร์ เช่น แปลงค่าหรือชื่อของคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายให้เป็น Network Address พร้อมทั้งเป็นชั้นที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลขาดปลายด้านส่งถึงปลายด้านรับข้อมูล ให้ข้อมูลมีการไหลลื่นตลอดเส้นทางตามจังหวะที่ควบคุมจากชั้นที่ 5 โดยในชั้นที่ 4 นั้นจะเป็นรอยต่อระหว่างการรับส่งข้อมูลของซอฟต์แวร์กับฮาร์ดแวร์ การรับส่งข้อมูลของระดับสูงจะถูกแยกฮาร์ดแวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูลที่ชั้นที่ 4 นี้ และจะไม่มีส่วนใดผูกติดกับฮาร์ดแวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูลในระดับล่าง ดังนั้นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูลในระดับสูงที่อยู่ข้างบน (ตั้งแต่ชั้นที่ 4 ขึ้นไปถึงชั้นที่ 7) ได้ง่ายหน้าที่อีกประการของชั้นที่ 4 คือ การควบคุมคุณภาพของการรับส่งข้อมูลให้มีมาตรฐานในระดับที่ตกลงไว้ของทั้งสองฝ่าย และการคัดข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ ให้เหมาะสมกับลักษณะการทำงานของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในเครือข่าย เช่น หากชั้นที่ 5 ต้องการส่งข้อมูลที่มีความยาวมากเกินกว่าที่ระบบเครือข่ายจะส่งได้ ชั้นที่ 4 ก็จะทำหน้าที่ตัดข้อมูลเป็นส่วนย่อยๆแล้วส่งไปให้ผู้รับ ข้อมูลที่ได้รับปลายทางก็จะถูกนำมาต่อกันที่ชั้นที่ 4 ของด้านผู้รับแล้วส่งให้ชั้นที่ 5 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นที่ 3 Network Layer

ทำหน้าที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ของด้านรับและด้านส่งเข้าหากันผ่านระบบเครือข่าย พร้อมทั้งเลือกหรือกำหนดเส้นทางที่จะใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน และส่งผ่านข้อมูลที่ได้รับ ไปยังอุปกรณ์ในเครือข่ายต่างๆ จนกระทั่งถึงปลายทาง ในชั้นที่ 3 นี้ข้อมูลที่รับส่งกันจะอยู่ในรูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่เรียกว่า Packet หรือ Frame ซึ่งข้อมูลที่ชั้นที่ 4,5,6,7 มองเห็นเป็นคำสั่งและ Dialog ต่างๆนั้นจะถูกแปลงและผนึกรวมอยู่ในรูปแบบของ Packet หรือ Frame ที่มีเพียงที่อยู่ของผู้รับ , ผู้ส่ง, ลำดับการรับส่งและส่วนของข้อมูลเท่านั้น ตัวเนื้อหาของข้อมูลจะไม่มีผลใดๆในการรับส่งข้อมูลเลย ไม่ว่าข้อมูลในระดับสูงจะเป็นวิดีโอ, ภาพ, เสียง หรือข้อมูลใดก็ตาม แต่ในชั้นที่ 3 จะมองข้อมูลทั้งหมดเป็น Packet หรือ Frame เท่านั้น หน้าที่อีกประการหนึ่งของชั้นที่ 3 นี้คือการทำ Call Setup หรือเรียกติดต่อกับคอมพิวเตอร์ปลายทางก่อนการรับส่งข้อมูล และทำการ Call Clearing หรือยกเลิกการติดต่อเมื่อการรับส่งข้อมูลจบลงแล้ว ในกรณีที่การรับส่งข้อมูลนั้นต้องมีการติดต่อกันก่อน

ชั้นที่ 2 Data Link Layer

เป็นชั้นที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อการรับส่งข้อมูลในระดับฮาร์ดแวร์ โดยเมื่อมีการสั่งให้รับข้อมูลจากในชั้นที่ 3 ลงมา ชั้นที่ 2 จะทำหน้าที่แปลคำสั่งให้เป็นคำสั่งควบคุมฮาร์ดแวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูล ทำการตรวจสอบข้อผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลระดับฮาร์ดแวร์ และแก้ไขข้อผิดพลาดที่ตรวจพบนั้น ข้อมูลที่อยู่ในชั้นที่ 2 นี้จะอยู่ในรูปของ Frame คือกลุ่มของข้อมูลที่บรรจุตามข้อบังคับของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล เช่น ถ้าฮาร์ดแวร์ที่ใช้เป็น Ethernet LAN ข้อมูลก็จะมีรูปร่างของ Frame ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐานของ Ethernet หากว่าฮาร์ดแวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูลเป็นชนิดอื่น เช่น Token Ring LAN หรือ Fiber Distributed Data Interface (FDDI) รูปร่างของ Frame ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลก็จะเปลี่ยนไปตามมาตรฐานนั้นๆ

ชั้นที่ 1 Physical Layer

เป็นชั้นล่างสุดของชั้นตอนในการรับส่งข้อมูลของ OSI 7-Layer Reference Model ซึ่งเป็นชั้นเดียวที่มีการเชื่อมต่อกันทางกายภาพระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 ระบบที่ทำการรับส่งข้อมูลกัน ในชั้นที่ 1 นี้จะกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของฮาร์ดแวร์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ระบบ เช่น สายที่ใช้รับส่งข้อมูลจะเป็นแบบไหน, ข้อต่อหรือปลั๊กที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลมีมาตรฐานอย่างไร, ใช้ไฟกี่โวลต์, ความเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็นเท่าใด, สัญญาณที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลในสายมีรูปร่างอย่างไร ข้อมูลในชั้นที่ 1 นี้ จะมองเห็นเป็นการรับส่งข้อมูลที่ละบิตเรียงต่อกันไป โดยไม่มีการพิจารณาเรื่องความหมายของข้อมูลเลย การรับส่งจะส่งข้อมูล "0" หรือ "1" ไปให้คอมพิวเตอร์ด้านรับข้อมูลในระดับฮาร์ดแวร์เท่านั้น หากการรับส่งข้อมูลมีปัญหาเนื่องจากฮาร์ดแวร์ เช่น สายสัญญาณที่ใช้รับส่งข้อมูลขาด, อุปกรณ์เสียหาย ก็จะเป็นหน้าที่ของชั้นที่ 1 นี้เช่นกันที่จะตรวจสอบและแจ้งข้อผิดพลาดนั้นให้ชั้นอื่นๆที่อยู่เหนือขึ้นไปทราบ

ในการรับส่งข้อมูลใน OSI 7-Layer Model นั้น ข้อมูลจากชั้นบนสุด คือชั้นที่ 7 เมื่อถูกส่งไปในชั้นถัดลงไป ข้อมูลเดิมก็จะถูกผนวกรวมกับข้อมูลที่ใช้ควบคุมของแต่ละชั้นซ้อนๆกันเป็นลำดับเท่ากับจำนวนชั้นที่ผ่านลงไป ตัวอย่างเช่น Application Data เมื่อถูกส่งลงไปยังชั้นถัดไปก็จะถูกผนึกด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งนไวสำหรับการทำงานของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดจะถูกผนึกอยู่ในส่วนที่เป็นข้อมูลของ IP เหมือนกับที่แต่ละชั้นของ OSI 7-Layer Model ผนึกข้อมูลอยู่ในชั้นถัดไปนั่นเอง

ถึงแม้ว่า TCP/IP จะไม่ได้มีการแบ่งชั้นของการสื่อสารข้อมูลตรงตาม OSI 7-Layer Model และไม่ได้เป็นมาตรฐานเดียวกัน แต่ OSI ก็ออกแบบมาให้เปิดกว้างและเข้ากันได้ดีกับ TCP/IP โดย TCP จะเทียบได้กับประมาณชั้นที่ 4 ของ OSI และ IP จะเทียบได้กับประมาณชั้นที่ 3 ของ OSI แม้ว่าจะไม่ลงตัวตรงกันพอดีนัก แต่ก็สามารถเชื่อมต่อทำงานด้วยกันได้ ทำให้มาตรฐานของ OSI สามารถนำ TCP/IP มาใช้งานร่วมกันได้เป็นอย่างดี เมื่อเรากลับไปมองมาตรฐานของ OSI 7-Layer Model ที่เปิดกว้างให้เราเลือกใช้มาตรฐานต่างๆของแต่ละชั้นมาใช้งานร่วมกันแล้ว จะพบว่าข้อกำหนดมาตรฐานของ OSI ได้ับรรควัตถุประสงค์เป็นอย่างดี คือเราสามารถเลือกอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เครือข่ายและโปรแกรมควบคุมในชั้นที่ 1 และ 2 จากบริษัทใดก็ได้มาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน แล้วนำ TCP/IP ซึ่งมีใช้งานกันอย่างแพร่หลายมาใช้ในชั้นที่ 4 และ 3 ตามลำดับ ส่วนชั้นที่ 5 ถึงชั้นที่ 7 จะเป็นแอปพลิเคชันที่ต้องการการอ้างอิงอุปกรณ์ในเครือข่าย

แนวความคิดหลักของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ก็คือ การเชื่อมโยงอุปกรณ์เข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะ เป็นเครื่อง Server (หรือที่เรียกว่า Host) และอุปกรณ์ในเครือข่ายอื่นๆ เช่น Router, Printer เพื่อให้สามารถใช้อุปกรณ์ร่วมกันได้ หรือไม่สามารถส่งข้อมูลไปมาระหว่างกันได้ถูกต้อง เมื่อมีการเชื่อมต่อกันแล้วก็จำเป็นต้องมีการกำหนดหรือระบุเลขหมายของอุปกรณ์ทุกชิ้นทุกชนิดในเครือข่าย เพื่อให้อ้างอิงได้โดยไม่ซ้ำกันเพราะถ้าซ้ำกันแล้วการรับส่งข้อมูลอาจจำไม่ได้ถึงมือผู้รับ ได้อย่างถูกต้อง เลขหมายดังกล่าวจะเรียกว่า แอดเดรส (Address) หรือเลขหมายประจำตัวที่มีข้อกำหนดเป็นมาตรฐาน ซึ่งในการใช้งานโพรโตคอล TCP/IP ที่เชื่อมโยงเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เลขหมายที่ใช้ส่งถึงกันจะใช้เป็นตัวเลขที่เรียกว่า IP Address หรือหมายเลข IP

หมายเลข IP ถูกกำหนดขึ้นมาให้เป็นหมายเลขอ้างอิงประจำตัวของอุปกรณ์ต่างๆที่เชื่อมต่ออยู่ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการกำหนดหมายเลข IP ให้แต่ละเครื่องหรือแต่ละอุปกรณ์นี้จะต้องไม่ซ้ำกัน ซึ่งหมายเลข IP นี้จะไม่ถูกผูกติดกับตัวฮาร์ดแวร์แต่อย่างใด จึงสามารถกำหนดใหม่หรือแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีการเปลี่ยนตัวฮาร์ดแวร์ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ แตกต่างกับหมายเลข MAC Address (Media Access Control Address) ซึ่งเป็นหมายเลขประจำตัวของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในเครือข่ายค่า MAC Address จะถูกกำหนดจากบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ตั้งแต่เริ่มผลิต เช่น อุปกรณ์ Network Interface Card (NIC) จะมีค่า MAC Address ประจำตัวที่ไม่ซ้ำกันและไม่สามารถแก้ไขได้ เป็นการระบุค่าอ้างอิง ของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ในระดับล่างสุด (Physical Layer) ของกลไกการรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย ถ้าจะใช้หมายเลข MAC Address สำหรับระบุอ้างอิงกันในเครือข่ายแล้วจะเกิดปัญหา มาก เมื่อมีการเปลี่ยนหรือเคลื่อนย้ายต้องทำการกำหนดระบบเครือข่ายใหม่ การที่หมายเลข IP ถูกใช้อ้างอิงในการติดต่อกันด้วยโพรโตคอล TCP/IP เพราะการใช้หมายเลข IP จะยืดหยุ่นและคล่องตัวกว่า

การทำงานของโพรโตคอล IP จำเป็นต้องอาศัยหมายเลข IP นี้เพื่อระบุและอ้างอิงถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ต่ออยู่ในเครือข่ายว่าจะเป็น Web Server, Mail Server, Router หรืออื่นๆ หมายเลข IP จะเป็นค่าตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด 32 บิต ถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนละ 8 บิต และคั่นแต่ละส่วนด้วยเครื่องหมายจุด ดังนั้นในแต่ละส่วนจะมีค่าตั้งแต่ 0-255

ค่าของหมายเลข IP จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ความหมาย คือ ค่าของหมายเลขอุปกรณ์ในเครือข่าย (Host Address) และค่าของหมายเลขเครือข่าย (Network Address) ตัวอย่างเช่น มีเครื่อง Server เชื่อมต่ออยู่ในเครือข่าย 2 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องมี IP Address คือ 205.144.78.2 และ 205.144.78.3 เครื่องทั้งสองมีหมายเลขเครือข่ายเหมือนกัน คือ 205.144.78 แสดงว่าเครื่องทั้งสอง ต่อเชื่อมอยู่ในเครือข่ายเดียวกัน มีหมายเลขเครื่องที่แตกต่างกันคือ 2 และ 3 ตามลำดับ

เพื่อไม่ให้การกำหนดแจกจ่ายหมายเลข IP ซ้ำซ้อนกัน จึงมีหน่วยงานกลางทำหน้าที่กำหนดหมายเลข IP และแจกจ่ายให้แต่ละองค์กร ได้ใช้งาน คือ หน่วยงาน Inter NIC บริษัทหรือองค์กรที่ต้องการหมายเลข IP

Data Packet

เมื่อมีการรับหรือส่งข้อมูลกันในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้น ตัวข้อมูลจะถูกทำให้มีขนาดเล็กลง โดยแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ เรียกว่า Data Packet หรือ Datagram ซึ่งการจัดแบ่งข้อมูลให้เป็นส่วนย่อยลงนี้มีประโยชน์คือ ทำให้เครือข่ายนั้นสามารถรองรับการติดต่อและรับส่งข้อมูลกันได้อย่างราบรื่นไม่ติดขัด หรือพบปัญหาเครือข่ายทำงานช้าเมื่อมีการรับส่งข้อมูลขนาดใหญ่ เนื่องจากสายสัญญาณเชื่อมโยงเป็นสื่อที่ต้องแบ่งกันใช้งาน นอกจากนี้การแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ ยังทำให้สามารถเพิ่มกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่มีปลายทาง และแก้ไขข้อมูลผิดพลาดหรือตกหล่นได้โดยง่ายอีกด้วย

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าสายสัญญาณเป็นสิ่งที่ต้องใช้งานร่วมกัน เมื่อมีอุปกรณ์ใดต้องการส่งข้อมูล อุปกรณ์อื่นก็ต้องรอให้การส่งข้อมูลนั้นเสร็จสิ้นเสียก่อนจึงสามารถส่งข้อมูลของตนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการส่งข้อมูลขนาดใหญ่ ถ้าไม่มีการแบ่งข้อมูลให้เป็นส่วนเล็กกลงเพื่อทยอยส่งไปยังปลายทางซึ่งเป็นการแบ่งเวลาให้อุปกรณ์อื่นๆ ได้ใช้สัญญาณแล้ว เครือข่ายนั้นก็จะเกิดปัญหาติดขัดได้ ทั้งนี้เมื่อ Datagram ถูกส่งไปยังปลายทางแล้ว ก็จะมีการนำมารวมข้อมูลย่อยเหล่านี้ให้กลับคืนสู่สภาพเดิมได้ต่อไป

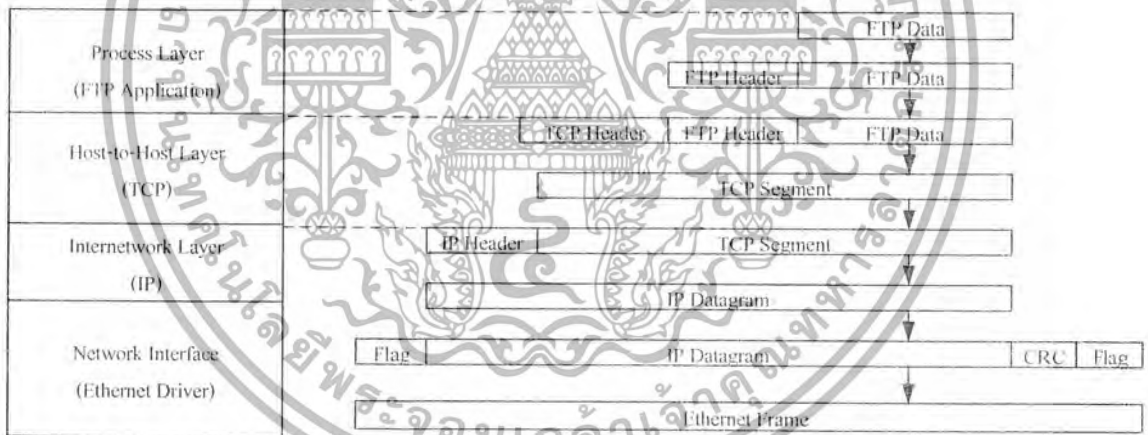
ประโยชน์อีกประการหนึ่งในการแยกข้อมูลให้เป็นส่วนย่อยๆ คือ การแก้ไขและตรวจสอบข้อมูลที่เสียหายในการส่งข้อมูล จะสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการส่งข้อมูลผ่านสายสัญญาณต่างๆ เรามักจะพบปัญหาสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณขาดหายระหว่างการส่งอยู่บ่อยๆ ทำให้ข้อมูลที่ส่งไปยังผู้รับไม่ถูกต้องครบถ้วน ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ เนื่องจากข้อมูลที่ถูกแบ่งเป็น Datagram จะมีขนาดเล็กลงทำให้สามารถเพิ่มการตรวจสอบการรับส่งข้อมูลนั้นได้ดีขึ้น เช่น เทคนิคการคำนวณ (Check - Sum) จะคำนวณค่าของข้อมูลที่ส่งไปและรับได้ ถ้าตรงกันก็แสดงว่าการรับส่ง Datagram นั้นถูกต้อง แต่ถ้าผลการคำนวณไม่ตรงกัน ด้านผู้รับข้อมูลก็จะส่งสัญญาณมาเพื่อให้ส่งเฉพาะ Datagram นั้นใหม่อีกครั้ง โดยไม่ต้องส่งข้อมูลทั้งหมดมาอีก ทำให้สามารถแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวข้อมูลที่ถูกแยกออกเป็น Data Packet หรือ Datagram นี้จะมีลักษณะเป็นข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Stream Byte) คือมีการกำหนดลำดับก่อนหลังของข้อมูลเพื่อให้ประกอบข้อมูลย่อยคืนสู่สภาพเดิมได้อย่างถูกต้อง และมีรูปแบบหรือฟอร์แมต (Format) ที่แน่นอนคือ Datagram จะประกอบด้วยส่วนของ Header และส่วนของตัวข้อมูล (Body) โดยในส่วนของ Header จะมีข้อมูลต่างๆที่ระบุที่อยู่ปลายทางที่ต้องส่งข้อมูลไป, หมายเลขต้นทางที่ส่งข้อมูลมา, ค่าบอกขนาดความยาวของ Datagram นี้และข้อมูลอื่นๆสำหรับในส่วนของBody อาจจะเป็นเนื้อหาข้อมูลใดๆเช่น ข้อความใน E-mail , เพิ่มข้อมูลบางส่วน หรืออาจจะ เป็น Datagram ของข้อมูลในรูปแบบอื่นๆที่ถูกผนึก (Encapsulation) มาด้วย เป็นต้น ซึ่ง Datagram ที่ใช้ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนี้จะเรียกว่า IP Datagram

Encapsulation

ก่อนที่ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ก็จะต้องถูกแยกเป็นส่วนย่อยๆที่เรียกว่า Datagram และถูกผนึกหรือทำ Encapsulation เข้าไปกับโปรโตคอล IP หรือเรียกว่าเป็น IP Datagramก่อนจึงจะส่งผ่านไปบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ เนื่องจากโปรโตคอล IP มีข้อมูลในการระบุเส้นทางการส่งผ่านข้อมูลไปยังปลายทางได้นั่นเอง ผนึกข้อมูลหนึ่ง ไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งนี้เป็นกลไกที่สำคัญของการใช้งานโปรโตคอล TCP/IP มาก โดยขบวนการที่ใช้จะมีขั้นตอนคร่าวๆดังรูปที่ 2.56



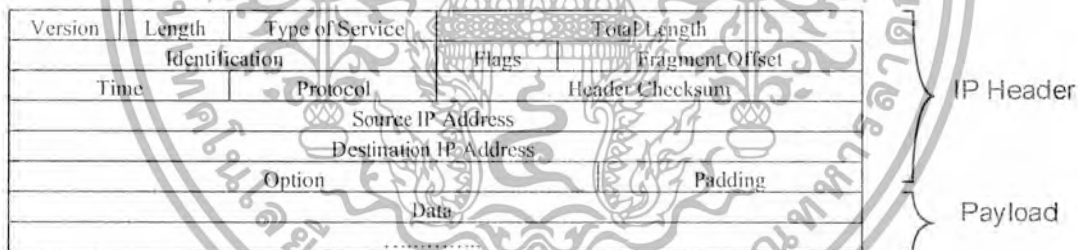
รูปที่ 2.56 ตัวอย่าง Encapsulation ของข้อมูล FTP เทียบกับ TCP/IP Layer

จากรูปที่ 2.56 เริ่มต้นมีการใช้งานโปรแกรมรับส่งข้อมูล เช่น เมื่อเรียกโปรแกรม FTP โปรแกรมแอปพลิเคชันจะเตรียมข้อมูลเพื่อส่งผ่านไปบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหลังจากประมวลผล FTP เตรียมข้อมูลและแยกส่วนเป็น FTP Data หรือ FTP Datagram แล้วจะมีส่วนของ FTP Header เพิ่มเข้าไปในส่วนของข้อมูล เมื่อมาถึงชั้น Transport หรือ Host-to-Host Layer ซึ่งโปรโตคอล TCP เป็นผู้รับผิดชอบจะมีการสร้าง TCP Segment โดยการเพิ่มส่วนของ TCP Header เข้าไปและมีการผนึกส่วนของ FTP Datagram รวมกัน จากนั้น TCP Segment นี้จะถูกส่งต่อไปยัง Layer ระดับล่างลงไปคือ Internet work เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Layer ในชั้นนี้โปรโตคอล IP จะทำงานโดยการเพิ่มส่วน IP Header รวมกันกับ TCP Segment เข้าไป เรียกว่าเป็น IP Datagram ก็เป็นการเสริมชั้นขั้นตอนการผนึกหรือ Encapsulation ข้อมูลจากระดับบนสุดลงมา เพื่อให้ส่งผ่าน IP Datagram นี้ไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ และในชั้นสุดท้ายก่อนที่จะส่ง Datagram ออกไปยังสายสัญญาณ ในชั้น Network Interface จะมีการแปลงข้อมูลและเพิ่มส่วน Error Correction และ Flag เพื่อให้การส่งข้อมูลนั้นไม่ผิดพลาด จากนั้นก็แปลงข้อมูลเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งผ่านสายสัญญาณที่เชื่อมโยงอยู่ต่อไป ซึ่งจากตัวอย่างนี้มีการส่งผ่านข้อมูลไปในเครือข่ายแบบ Ethernet ดังนั้นในชั้นสุดท้ายข้อมูลก็จะถูกแปลงเป็น Ethernet Frame เสียก่อน

IP Datagram

จากกระบวนการ Encapsulation นี้เราทราบว่าข้อมูลในการติดต่อกันไม่ว่าจะเป็นเนื้อความในอีเมลหรือไฟล์ที่ส่งไปมา จะถูกผนึกข้อมูลหรือ Encapsulated ไปเป็นรูปของ IP Datagram และสุดท้ายก็จะแปลงเป็น Ethernet Frame หรือ Frame ข้อมูลในรูปแนวอื่นคุณลักษณะการเชื่อมต่อทางกายภาพ เช่น Ethernet หรือ Token Ring เป็นต้น เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลออกสู่เครือข่ายและข้ามเครือข่ายไปสู่อินเทอร์เน็ตได้ ตัวข้อมูลที่ถูกแปลงมาเป็น IP Datagram นี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วน IP Header ที่มีขนาด 32 บิตและส่วนเนื้อหาของข้อมูลที่เรียกว่า Payload ขนาดของ IP Datagram มีขนาดไม่แน่นอน และมีลักษณะตามรูปที่ 2.57



รูปที่ 2.57 รูปแบบของ IP Datagram ประกอบด้วยส่วน Header และ Payload

ส่วนของ IP Header มีการแบ่งย่อยเพื่อระบุตัวแปรในการใช้งานต่างๆดังนี้

Version มีขนาด 4 บิตถูกกำหนดค่าเป็น 4 กรณีที่ใช้หมายเลข IP เป็น IPv4 ในอนาคตจะมีค่าเป็น 6 เมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้ IPv6

Length มีขนาด 4 บิต ซึ่งเป็นค่าความยาวของ IP Header นี้

Type of Service เป็นฟิลด์ข้อมูลขนาด 8 บิต เพื่อบอกให้ทราบว่า จะดำเนินการกับข้อมูลนี้อย่างไร เช่น Low Delay, High Throughput เป็นต้น แต่การใช้งานจริงอุปกรณ์ Router ที่ส่งผ่านข้อมูลจะไม่สนใจข้อมูลนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Total Length มีขนาด 16 บิต เก็บข้อมูลแสดงค่าความยาวสุทธิของ IP Datagram นี้เป็นจำนวนบิต ดังนั้นขนาดของ IP Datagram จะมีความยาวได้ไม่เกิน 2^{16} หรือ 65,535 บิต ซึ่งในส่วนของ IP Header จะมีขนาดอย่างน้อย 20 บิต ดังนั้นเนื้อหาข้อมูลหรือ Payload ของ IP Datagram ใดๆ จะมีขนาดไม่เกิน 65,515 บิต และในการส่งผ่านข้อมูลกันในอินเทอร์เน็ต ตัว IP Datagram จะมีขนาดเล็กที่สุดที่ 576 บิต ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดที่ไม่สามารถแยกย่อยลงไปกว่านี้ได้อีก

Identification เป็นข้อมูลที่บอกให้ทราบว่า IP Datagram นั้นมาจากที่ใด โดยเฉพาะกรณีข้อมูลที่ถูกรวบรวมแยกออกเป็นส่วนย่อยๆ แล้ว

Flags, Fragment Offset เป็นส่วนข้อมูลที่ใช้ระบุแยกและรวมข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลที่ถูกรวบรวมเป็นข้อมูลย่อย (Fragment) สามารถกลับมารวมกันใหม่ตามลำดับได้อย่างถูกต้อง

Time หรือ Time to Live เป็นข้อมูลแสดงจำนวนเวลามากที่สุดของ IP Datagram นี้ที่จะสามารถส่งผ่านเครือข่ายไปยังปลายทางได้ โดยมีหน่วยเป็นวินาที และตามปกติจะมีค่าเป็น 32 โดยในระหว่างที่ข้อมูล IP Datagram ถูกส่งผ่าน Router ตัว Router ก็จะต้องลดค่า Time to Live ลง 1 ค่าเสมอ ทำให้สามารถนำค่า Time นี้ไปใช้นับจำนวนเครือข่ายที่ IP Datagram นี้ถูกส่งผ่านไปยังปลายทางได้ ซึ่งเรียกว่า Hop Count

Protocol เป็นข้อมูลการระบุโปรโตคอลที่ทำงานใน Layer ข้างบนซึ่งผนึกลงใน IP Datagram ซึ่งตัวอย่างของโปรโตคอลในชั้นบนที่ถูกผนึกมาใน IP นี้ก็ได้แก่ โปรโตคอล ICMP, TCP, UDP เป็นต้น ส่วนค่าที่อยู่ในฟิลด์นี้จะเห็นตัวเลขตามตารางที่ 2.5

โปรโตคอล	ค่าที่กำหนดในฟิลด์	คำอธิบาย
ICMP	1	Internet Control Message Protocol
TCP	6	Transmission Control Protocol
BGP	8	Border Gateway Protocol
UDT	7	User Datagram Protocol
OSPF	9	Open Shortest Path First

ตารางที่ 2.5 การระบุโปรโตคอลที่ทำงานใน Layer ข้างบนซึ่งผนึกลงใน IP Datagram

Header Checksum เป็นส่วนของข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เฉพาะส่วนของ IP Header โดยไม่เกี่ยวข้องกับส่วนของ Payload ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลนี้ โปรโตคอล IP จะทำหน้าที่ในการคำนวณและตรวจสอบ โดยกรณีที่เกิดความผิดพลาดของข้อมูล IP Datagram นั้นจะถูกยกเลิกหรือไม่รับข้อมูลเข้ามาใช้งาน

Source IP Address เป็นส่วนเก็บข้อมูลของหมายเลข IP ต้นทางที่ IP Datagram นี้ถูกส่งมา

Destination IP Address เป็นส่วนเก็บข้อมูลของหมายเลข IP ปลายทางที่เป็นผู้รับข้อมูล IP Datagram นี้

Options เป็นฟิลด์เก็บข้อมูลที่มีขนาดไม่แน่นอน ใช้สำหรับกำหนดค่าตัวแปร ส่วนประกอบปลีกย่อย ซึ่งส่วนใหญ่ไม่มีนำไปใช้งาน

Padding ทำหน้าที่เป็นส่วนข้อมูลเติมเต็มเพื่อให้ IP Header เต็มครบ 32 บิต

ซึ่งเป็นผลมาจาก Options ที่มีขนาดไม่แน่นอนนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

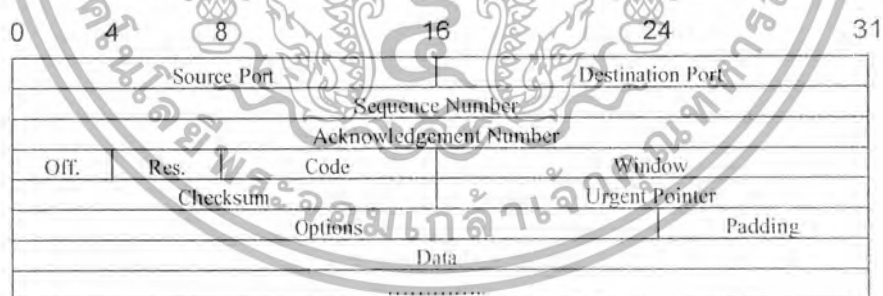
โปรโตคอล TCP

โปรโตคอล TCP (Transmission Control Protocol) เป็นโปรโตคอลที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ Stream-Oriented Protocol หมายความว่า การรับส่งข้อมูลจะไม่คำนึงถึงปริมาณข้อมูลที่จะส่งไป แต่จะแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ ก่อน แล้วจึงจะส่งไปยังปลายทางอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับข้อมูล ในกรณีที่ข้อมูลส่วนใดส่วนหนึ่งหายไป ก็จะส่งข้อมูลส่วนนั้นใหม่อีกครั้ง สำหรับปลายทางก็จะทำหน้าที่จัดเรียงส่วนของข้อมูล Datagram ใหม่ให้ต่อเนื่องกันและประกอบกันเป็นข้อมูลทั้งหมดได้ ซึ่งจะแยกข้อมูลที่ไม่ถูกต้องออก ดังนั้นแอปพลิเคชันหรือกระบวนการใดที่อาศัยการส่งผ่านข้อมูลด้วยโปรโตคอล TCP จะต้องใช้หน่วยความจำและขนาดของช่องสัญญาณมากกว่า UDP

การติดต่อระหว่างกันจะต้องเป็นแบบ Connection-Oriented คือต้องมีการสร้างการติดต่อกันเป็น Session ทั้ง 2 ด้านเสียก่อน แล้วจึงจะรับข้อมูลไปได้พร้อมกัน (Full Duplex) เหมือนกับการใช้โทรศัพท์ติดต่อกัน ซึ่งในระหว่างการติดต่อนั้น แม้ว่าฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งหรือทั้งสองฝ่ายเงียบไป คือไม่พูดอะไรเป็นเวลานานๆ แต่การเชื่อมโยงระหว่างกันทั้งสองด้านยังคงมีอยู่ ไม่ขาดไปจนกว่าฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งจะวางสาย เช่นเดียวกับการติดต่อกันด้วยกลไกโปรโตคอล TCP เมื่อแอปพลิเคชันต้องการส่งผ่านข้อมูลจะใช้งานโปรโตคอลที่เหมาะสมในชั้น Process Layer ติดต่อกันและมีการสร้างช่องส่งข้อมูลผ่าน Port ที่กำหนดขึ้นเพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยังโปรโตคอล TCP

ในระหว่างการรับส่งข้อมูลนี้ ตัวโปรโตคอล TCP จะทำการเทียบขนาดการตรวจสอบทานข้อมูล (Acknowledgment) เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องไม่ผิดพลาดไปจากเดิม โดยการส่งสัญญาณตรวจสอบทานข้อมูลและส่งข้อมูลให้ใหม่อีกครั้ง ถ้าปลายทางไม่ได้รับหรือเกิดความผิดพลาดขึ้น

ความน่าเชื่อถือของการส่งผ่านข้อมูลโดยโปรโตคอล TCP จะมีความดีกว่า แต่ต้องอาศัยทรัพยากรของระบบมากกว่าในการทำงานเช่นกัน

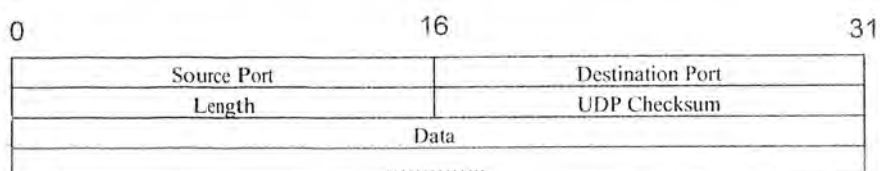


รูปที่ 2.58 รูปแบบของ TCP Packet ซึ่งมีฟิลด์ Acknowledgement Number และข้อมูล Checksum

โปรโตคอล UDP

ใน Host-to-Host Layer นอกจากจะมีโปรโตคอล TCP ทำงานแล้ว ก็ยังมีโปรโตคอล UDP (User Datagram Protocol) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันอยู่แล้ว ในการรับส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล UDP จะเป็นแบบที่ทั้งสองด้านไม่จำเป็นต้องอาศัยการสร้างช่องทางเชื่อมต่อกัน (Connectionless) ระหว่างเครื่อง Server กับเครื่องที่ขอใช้บริการ (Client) โดยไม่ต้องแจ้งให้ฝ่ายรับข้อมูลเตรียมรับข้อมูลเหมือนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

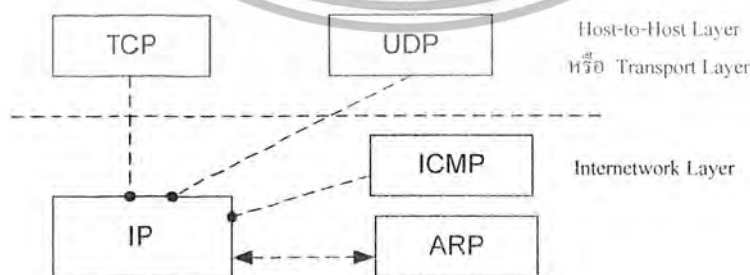
โพรโทคอล TCP และไม่มีกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนในการรับส่งข้อมูลนั้นๆ ด้วย เนื่องจากโพรโทคอล UDP ไม่มีสัญญาณตรวจสอบทานข้อมูลในการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง และไม่มีการส่งข้อมูลอีกในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของการส่งข้อมูล เมื่อเป็นเช่นนี้แอปพลิเคชันหรือกระบวนการใดที่ต้องอาศัยโพรโทคอล UDP ในการส่งผ่านข้อมูลก็อาจจะต้องสร้างกระบวนการตรวจสอบข้อมูลขึ้นมาเอง



รูปที่ 2.59 รูปแบบของ UDP Packet จะมีฟิลด์ข้อมูลส่วน Header น้อยมากและไม่มีส่วนตรวจสอบข้อมูล

โพรโทคอล IP

โพรโทคอล IP ทำหน้าที่ให้บริการส่งผ่านข้อมูลที่มาจาก Host-to-Host Layer เพื่อส่งข้ามไปยังเครือข่ายใดๆ ได้อย่างถูกต้อง แม้ว่าจะมีเครือข่ายเชื่อมต่อกันอยู่ในอินเทอร์เน็ตเป็นล้านๆ เครือข่ายก็ตาม เนื่องจากโพรโทคอล IP มีข้อมูลตำแหน่ง IP ปลายทางที่จะส่งข้อมูลไปให้ โดยทำงานร่วมกับอุปกรณ์ Router เพื่อส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายออกไปได้ ตัวโพรโทคอล IP จะทำงานแบบ Packet Switching คือมีการส่งข้อมูลผ่านสวิตช์ไปยังปลายทาง โดยข้อมูลจะเดินทางไปยังเครือข่ายต่างๆ ผ่านสวิตช์นี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงปลายทาง ตัวอย่างหรือสวิตช์นี้อาจจะเป็น Gateway หรือ Router ในระบบเครือข่ายก็ได้ ซึ่งในข้อมูลของโพรโทคอล IP จะมีข้อมูลของหมายเลข IP ปลายทางที่จะส่งข้อมูลไปและเมื่อถึงเครือข่ายปลายทางแล้วจะมีกลไกแปลงหมายเลข IP ให้เป็นหมายเลขฮาร์ดแวร์ประจำเครื่องที่ถูกต้องอีกทีหนึ่งด้วย โพรโทคอล ARP ความรูปที่ 2.60 ที่จะแสดงการติดต่อกันระหว่างโพรโทคอลในชั้นของ Host-to-Host Layer และ Internet work Layer



รูปที่ 2.60 การติดต่อระหว่างโพรโทคอลในชั้นของ Host-to-Host Layer และ Internet work Layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์

2.8.1 สายเคเบิลของ อาร์เอส - 232

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมของคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่า อาร์เอส - 232 นั้นใช้กันมากในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์กับโมเด็ม คอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วงแบบต่าง ๆ เช่น เมาส์เครื่องพิมพ์บางชนิดที่ใช้พอร์ตอนุกรมรวมทั้งอุปกรณ์วัดสัญญาณต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์ก็มักรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง อาร์เอส - 232 นี้ การส่งข้อมูลแบบอนุกรมจึงมักเป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายวิธีหนึ่ง

มาตรฐานของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้นี้ ได้มีการกำหนดขึ้นมาเพื่อให้คอมพิวเตอร์ต่างยี่ห้อกันหรืออุปกรณ์ต่อพ่วงแต่ละชนิดส่งข้อมูลกันได้ เมื่อทำตามมาตรฐานนี้โดยไม่สนใจว่าคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์นั้นจะผลิตมาจากที่ใดโดยมีการกำหนดรายละเอียดในการรับส่งข้อมูล เช่น ข้อต่อที่ใช้เป็นแบบใด มีสัญญาณที่ใช้กี่เส้นแต่ละสัญญาณทำหน้าที่อย่างไร และใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าใดในการรับส่งข้อมูล ความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะเป็นเช่นไรบ้าง ใช้ข้อมูลกี่บิตในการรับส่งข้อมูล ฯลฯ อุปกรณ์หรือคอมพิวเตอร์ก็จะทำตามมาตรฐานนี้ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างไม่มีปัญหา

2.8.2 ขาต่างๆ ของ อาร์เอส - 232

เริ่มจากหัวข้อต่อระหว่างสายเคเบิลทั้งสองปลายจะไว้ข้อต่อแบบ 25 ขา รูปร่างหน้าตาคล้ายตัว ดีมีชื่อเรียกว่า ดีบี - 25 กำหนดการใช้เช่นเอาไว้ทั้งหมด 22 ขา ไม่ได้ใช้ 3 ขา สัญญาณแต่ละขาจะทำตามหน้าที่ของมันตามที่กำหนดไว้แต่ตามปกติแล้วในการรับส่งข้อมูลทั่วไปเราใช้สัญญาณประมาณ 8 ถึง 9 เส้น เท่านั้นพอ สัญญาณที่เหลือไม่นำมาใช้เนื่องจากว่าสัญญาณบางเส้นเป็นสัญญาณที่ทำกรรับส่งข้อมูลและควบคุมและช่องสัญญาณสำรอง บางเส้นปล่อยว่างไว้และบางเส้นใช้สำหรับงานพิเศษบางอย่างเท่านั้น สายเคเบิลที่ใช้รับส่งข้อมูลส่วนมากใช้สายเพียง 8 - 9 เส้นเท่านั้นจากข้อต่อ 25 ขา สัญญาณแต่ละเส้นเรียงลำดับดังนี้คือ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 20 กัน 22 โดยที่ขา 1 นั้นมันไม่จำเป็นต้องต่อใช้งานจึงเหลือ

ดีบี - 9 และ ดีบี - 25

จากการที่ข้อต่อ 29 ขาเราใช้งานจริง ๆ เพียง 9 ขา เท่านั้นเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ ๆ จึงได้ลดข้อต่อมาเป็น 9 ขาแทนซึ่งเราเรียกข้อต่อแบบนี้ว่า ดีบี - 9 การใช้ข้อต่อที่เป็นแบบ ดีบี - 9 นี้ มีข้อดีหลายอย่างคือ ขนาดเล็กกะทัดรัดราคาของข้อต่อถูกกว่าข้อต่อแบบ ดีบี - 25 การต่อของสายเคเบิลง่ายขึ้น การใช้งานคล่องตัวกว่า ดีบี - 25 สัญญาณต่างๆ ของข้อต่อแบบ ดีบี - 9 บางเส้นจะตรงกับที่ใช้ใน ดีบี - 25 ดังที่แสดงในตารางเปรียบเทียบเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ ไอพีเอ็มเอทีและรุ่นใหม่ ๆ มักจะใช้ข้อต่อแบบดีบี - 9 สำหรับการรับส่งข้อมูลอนุกรมทั้งนั้น แต่อุปกรณ์ต่อพ่วงส่วนมากยังคงใช้ข้อต่อแบบ ดีบี - 25 อยู่เราจึงต้องใช้สายเคเบิลที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองด้านในการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีบี – 9 pin	ดีบี – 25 pin	Assignment/ Function
1	8	carrier detect
2	3	receive data
3	2	transmit data
4	20	data terminal ready
5	7	signal ground
6	6	data set ready
7	4	request to send
9	22	ring indicator

สายเคเบิลของการรับส่งข้อมูลอนุกรมแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือสายตรงและสายสลับที่ต้องมีสายสองแบบนี้เพราะว่าการเชื่อมต่อการส่งข้อมูลสองกรณี คือ คอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์เพื่อรับส่งข้อมูลกันสายสัญญาณรับส่งข้อมูลต้องสลับไปสลับกัน เพื่อให้สัญญาณส่งของตัวแรกไปเข้าสัญญาณรับของตัวที่สอง เราจึงเรียกสายเคเบิลแบบนี้ว่าสายสลับส่วนการต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับอุปกรณ์ต่อพ่วงนั้นสายสัญญาณของอุปกรณ์ซึ่งต่อพ่วง เช่น โมเด็ม มีกัลลัมสายหรือรับไว้ภายในแล้วสายเคเบิลจากคอมพิวเตอร์จึงต่อเข้าโดยตรงกับอุปกรณ์ได้เลยเราจึงเรียกสายเคเบิลแบบนี้ว่าสายตรงกรณีที่ว่าจอรอุปกรณ์ต่อพ่วงไม่ได้สลับสายไว้ภายใน เราจึงต้องใช้สายสลับต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์นั้น ๆ ไม่จำเป็นต้องใช้สายตรงเสมอไป



รูปที่ 2.61 แสดงการต่อสายตรง ของ อาร์เอส – 232 อย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อสายเคเบิลสายตรงนั้นไม่ยุ่งยากเท่าไรนักเนื่องจากสัญญาณแต่ละเส้นตามเบอร์ต่าง ๆ ของ ดีบี - 25 จะเชื่อมเข้าหากันโดยตรงทั้ง 8 เส้น หรือ 9 เส้น ตามสัญญาณที่ใช้อย่างที่กล่าวไว้ในตอนต้นเพียงเท่านี้ก็สามารรถส่งข้อมูลได้ การที่สัญญาณรับส่งข้อมูลและสัญญาณควบคุมต่อเข้าสู่ของมัน โดยตรงๆทำให้สายเคเบิลนี้ทำได้ง่าย ๆ โดยใช้ข้อต่อโดยไม่ต้องบัดกรีและเคเบิลแบบผ่าน (ribbon cable) เท่านั้น

2.8.3 NULL Modem Cable

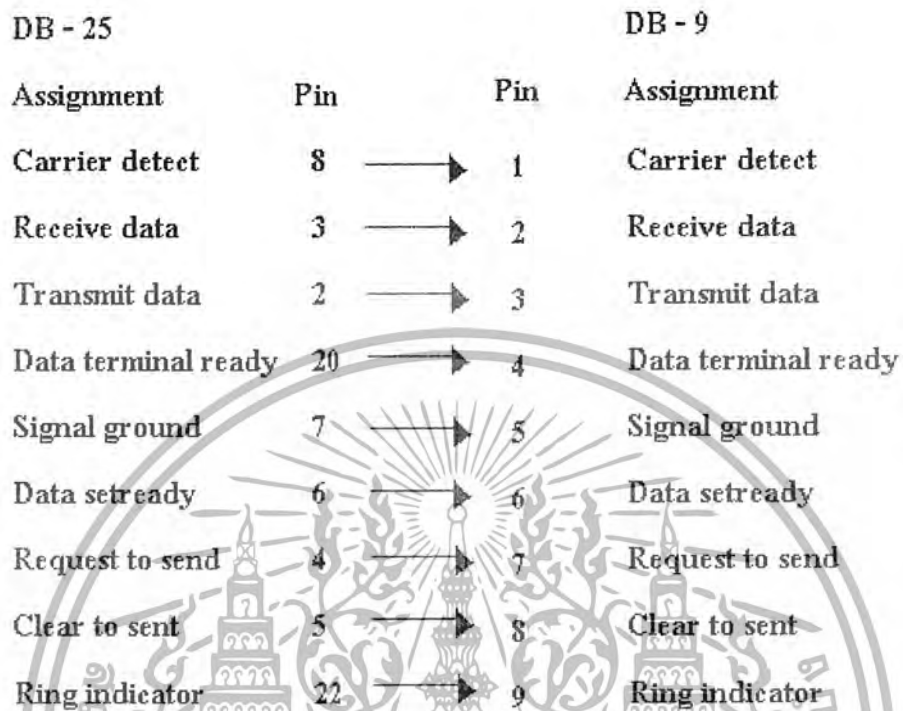
สำหรับสายเคเบิลแบบสลับสัญญาณรับส่งข้อมูลและสัญญาณควบคุม ต้องเชื่อมต่อสลับให้ถูกต้องของมันจึงสามารถรับส่งข้อมูลได้ ขา 2 กับขา 3 ต่อสลับกันให้สัญญาณส่งไปเข้าขารับข้อมูล และขา 4 กับขา 5 ต่อสลับกันเป็นการทำให้คอมพิวเตอร์ทั้งสองรู้ว่าอีกฝ่ายหนึ่งพร้อมที่จะรับส่งข้อมูลหรือไม่โดยขาที่ 7 ต่อถึงกันโดยตรงเพราะเป็นกราวด์ของแต่ละด้านขาที่ 6 กับ 8 ต่อเข้าหากันแล้วไปต่อกับขา 20 ของอีกด้านหนึ่งเพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าได้ต่อเข้ากับอีกด้านหนึ่งแล้วสายสลับบางที่อาจต่อแตกต่างจากที่ว่าเป็นแต่ก็ทำให้สัญญาณควบคุมถูกต้องเหมือนกัน แผนผังการต่อสายสลับแสดงดังรูปที่ 2.62



รูปที่ 2.62 การต่อสายสลับของ อาร์เอส - 232 หรือ Null Modem Cable

สายสลับนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า นัลโมเด็ม ซึ่งหมายถึงการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สองเครื่องโดยไม่ผ่านโมเด็มนั่นเอง ข้อดีของการใช้สายเคเบิลโดยไม่ผ่านโมเด็มก็คือเราสามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วเท่ากับ 9600 บิต/วินาที ไปจนถึงความเร็วเท่ากับ 19200 บิต/วินาที ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ในระยะทางไกล ๆ ซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่าการส่งข้อมูลผ่านโมเด็มมากเช่นใช้ในการรับส่งไฟระหว่างคอมพิวเตอร์กับปริ้นเตอร์เป็นส่วนการเชื่อมต่อระหว่าง ดีบี - 25 กับ ดีบี - 9 นั้นเราก็เปรียบเทียบกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อในแบบ ดีบี - 25 กับ ดีบี - 9 โดยดูจากชื่อของสัญญาณที่ต่อเข้าหากันเป็นหลักและจะต่อตามเบอร์ของแต่ละขาเข้ากันโดยตรง



รูปที่ 2.63 การต่อสายตรงจาก ดีบี - 25 ไปยัง ดีบี - 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 หลักการออกแบบ

การออกแบบ GPS VIA MODEM DISPLAYED ON COMPUTER นั้นจะนำจีพีเอส (GPS : Global Positioning System) มาติดตั้งกับวัตถุหรือบุคคลที่ต้องการทราบตำแหน่ง ซึ่งจีพีเอสโมดูลจะทำการคำนวณตำแหน่งของบุคคลดังกล่าวแล้วส่งข้อมูลออกมา ซึ่งจะมีข้อมูลเป็นดิจิทัลซึ่งมีความเร็ว 4.8 กิโลบิต/วินาที และเราจะนำข้อมูลจากจีพีเอสมาทำการส่งผ่านโมเด็มของคอมพิวเตอร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้วคอมพิวเตอร์ทางด้านรับก็จะนำเอาข้อมูลที่ได้อามาประมวลผลโดยใช้ ไมโครซอฟต์แวร์ วิชวลเบสิก 6 เป็นตัวนำข้อมูลที่ได้อามาแสดงผลออกทางจอภาพซึ่งในปฏิญานิพนธ์นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

1. ภาคส่ง ซึ่งจะประกอบไปด้วย
 - 1.1 จีพีเอสโมดูล
 - 1.2 คอมพิวเตอร์
 - 1.3 โมเด็มโทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคล (Personal Communication Telephone : PCT)
 - 1.4 โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล
2. ภาครับ ซึ่งจะประกอบไปด้วย
 - 2.1 คอมพิวเตอร์ที่ถูกเซทเป็น เซิร์ฟเวอร์ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

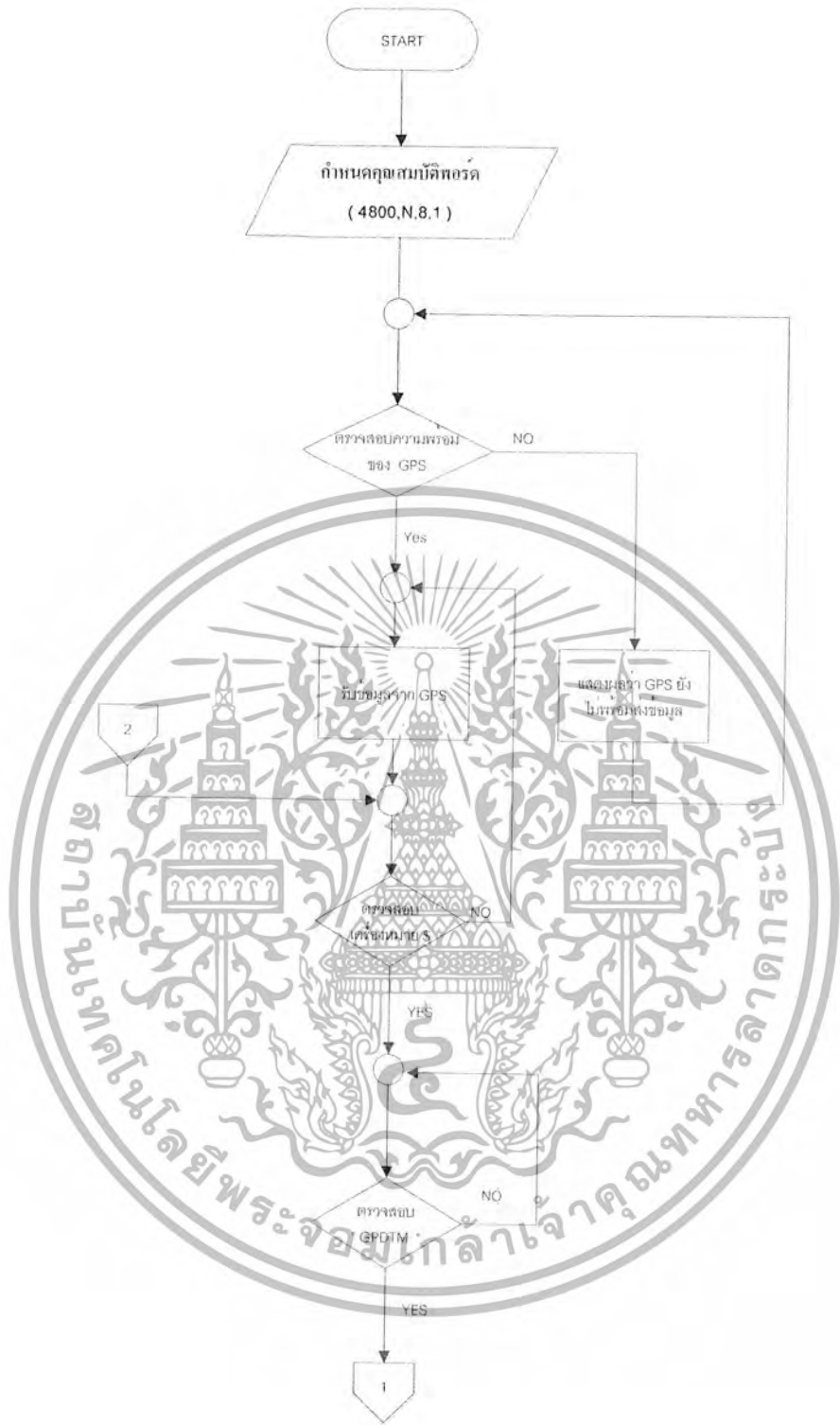


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของ GPS VIA MODEM DISPLAYED ON COMPUTER

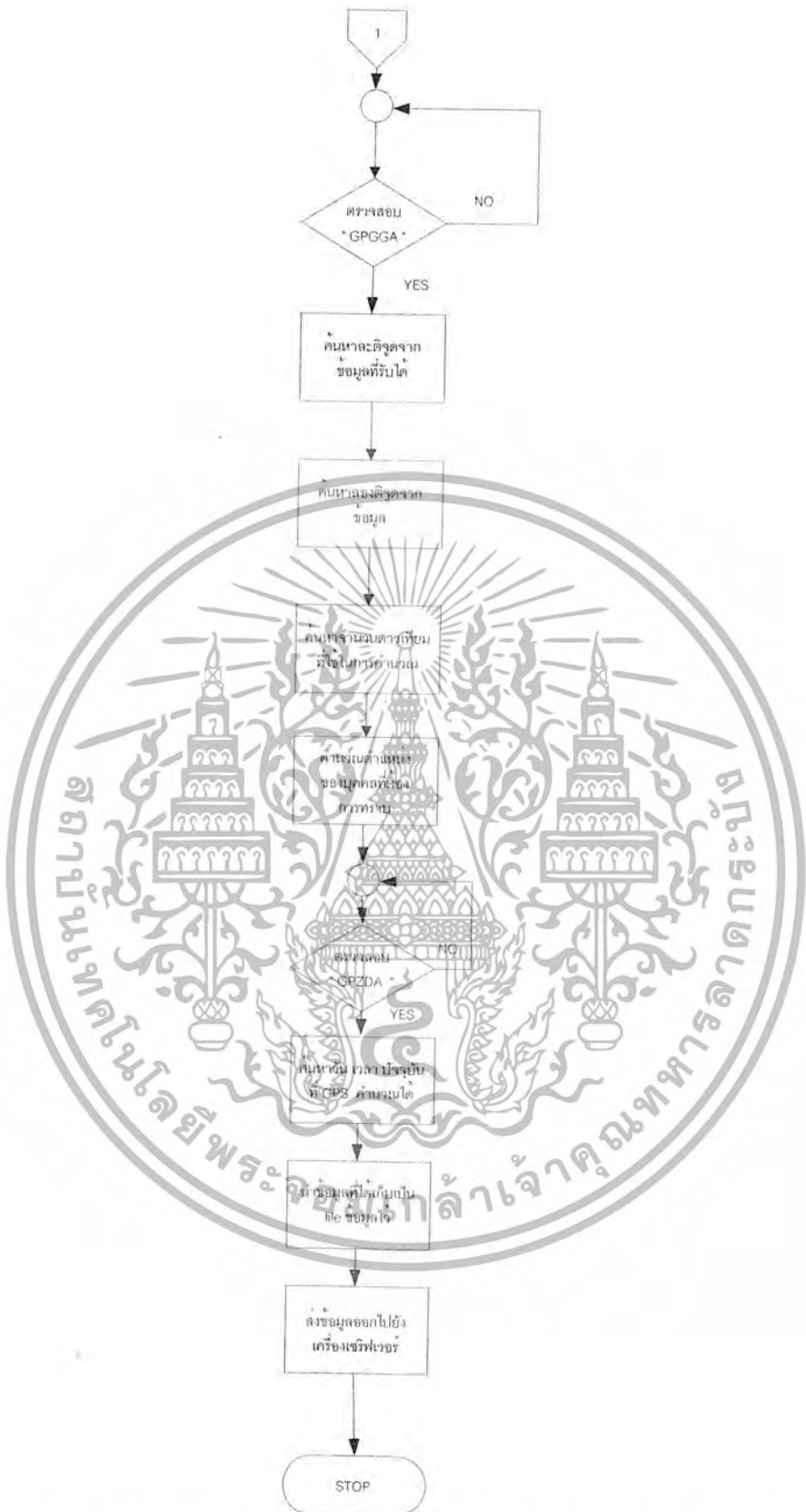
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบการแสดงผลออกทางมอนิเตอร์

การแสดงผลเราจะใช้ ไมโครซอฟต์ วิวลเบสิก 6 ในการออกแบบโปรแกรม เพื่อนำข้อมูลจากจีพีเอสมาแสดงผล ซึ่งในการทดลองนี้ เราจะใช้แผนที่ของ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้ในการออกแบบโปรแกรมเราต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของการติดต่อสื่อสารข้อมูลกันระหว่างไมโครซอฟต์ วิวลเบสิก กับ จีพีเอส โดยผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมซึ่งต้องมีความเร็วในการส่ง ข้อมูลเป็น 4800 บิต / วินาที , n คือ จำนวนข้อมูลที่จะเข้ามาเป็นจำนวน n บิต , ซึ่งข้อมูลจะมีขนาด 8 บิต / ซิมไบล ข้อมูลที่จีพีเอสส่งมานั้นจะเป็นรหัสแอสกีเมื่อทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของการติดต่อสื่อสารระหว่าง ไมโครซอฟต์ วิวลเบสิก กับ จีพีเอสแล้ว ขั้นตอนถัดมาที่จะทำการรับข้อมูลโดยข้อมูลที่รับได้จะถูกแปรค่าเป็นรหัสแอสกีเรียบร้อยแล้ว โดยข้อมูลของจีพีเอสจะขึ้นต้นด้วย “\$” ซึ่งเป็นตัวบอกว่าเป็นจุดเริ่มต้นของประโยคใหม่ของข้อมูลที่เราได้ทำการกำหนดไว้ในตอนแรกก็คือ \$GPGGA และ \$GPZDA ซึ่งข้อมูลแต่ละชุดที่ประกอบอยู่ในแต่ละประโยคมีความหมายที่แตกต่างกันออกไปเมื่อเราตรวจพบแล้วเราก็จะทำการเก็บข้อมูลเหล่านั้นลงบนโน้ตแพด (Notepad) แล้วทำการส่งข้อมูลเหล่านั้นผ่านโมเด็มของ โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล (PCT) ซึ่งคอมพิวเตอร์ทางด้านรับก็จะสามารถรับข้อมูลดังกล่าวได้จากเครื่องข่ายอินเทอร์เน็ต แล้วเราก็ใช้ไมโครซอฟต์ วิวลเบสิก 6 ทำการตรวจสอบข้อมูลก่อนที่จะทำการดึงข้อมูลออกมาแสดงผลที่มอนิเตอร์ซึ่งก็คือ สะติจูด, สองจิตูด, วัน เวลา ณ ปัจจุบัน โดยอาศัยการเทียบเวลามาจากดาวเทียมนั่นเองและแสดงการใช้ความถี่ในถ่วงจำนวนจำนวนที่ดวง แล้วนำค่าต่าง ๆ ที่ได้ไปแสดงผลออกทางมอนิเตอร์โดยแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสัญลักษณ์จากการนำค่า สะติจูด สองจิตูด ไปคำนวณนั่นเอง

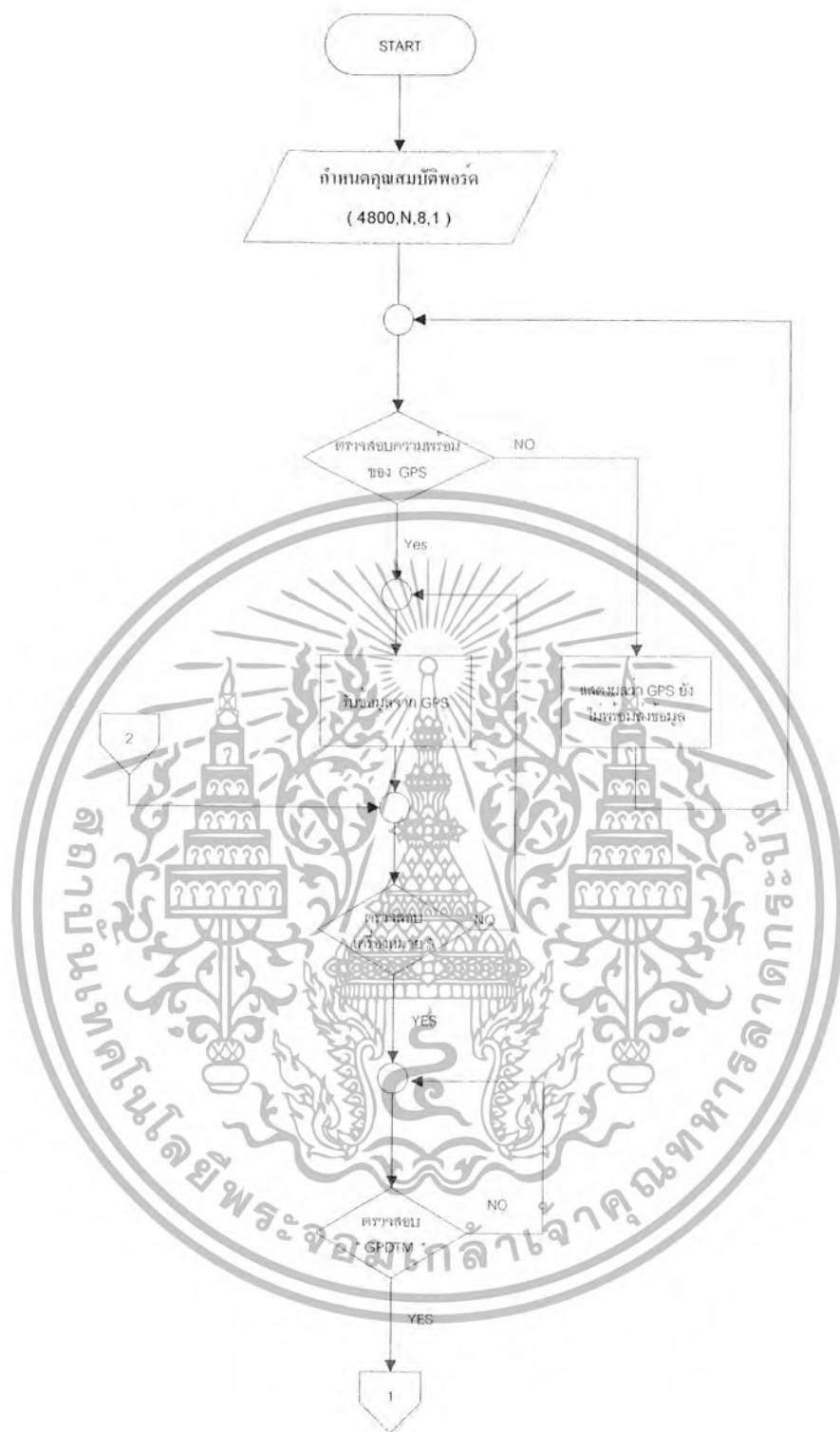


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

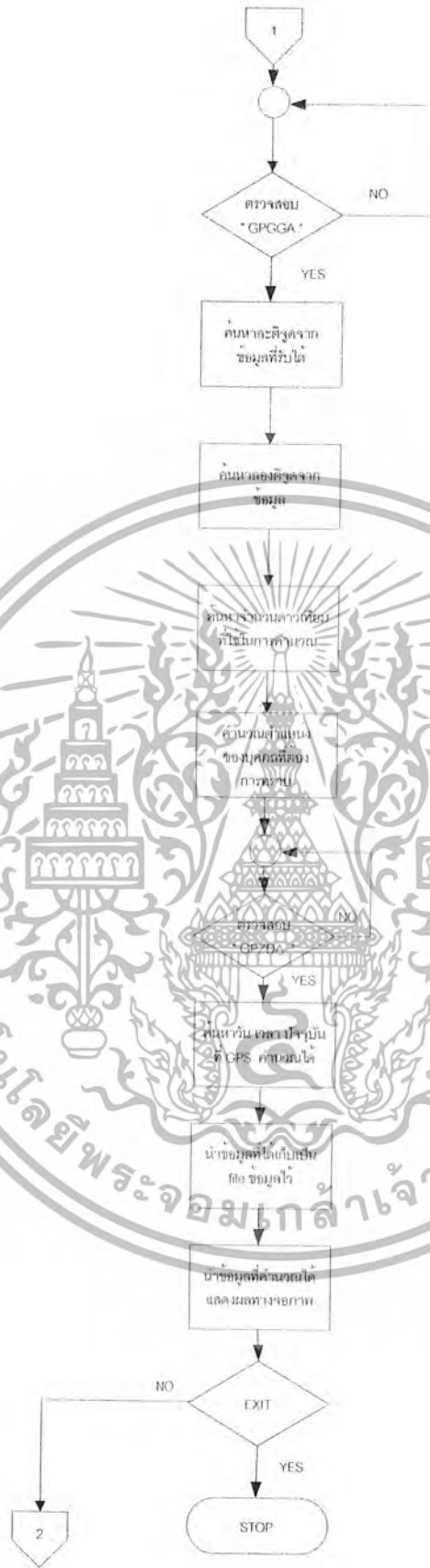


รูปที่ 3.2 แสดง Flow Chart ของการส่งข้อมูลจีพีเอสไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

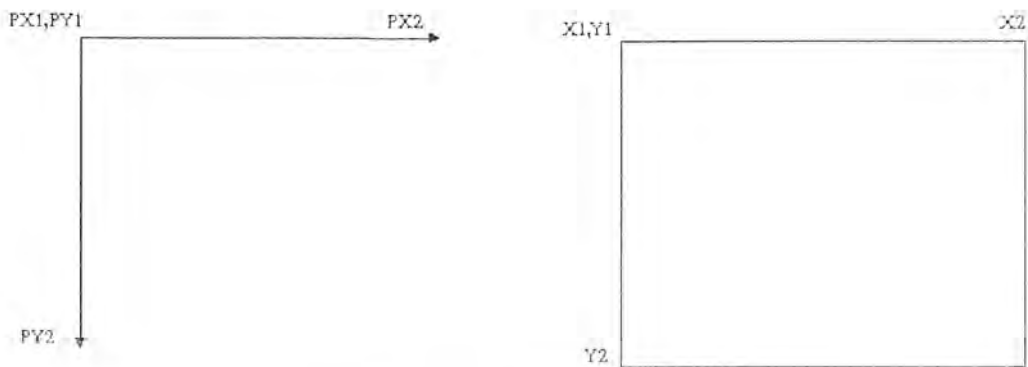


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดง Flow Chart ของการแสดงผลออกทางมอนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงการ Mapping ค่า ละติจูด , ลองจิจูด เป็น พิกเซล

ข้อมูลที่ จีทีเอส ส่งมาจะมีค่าเป็น ละติจูด และ ลองจิจูด ซึ่งมอนิเตอร์จะทราบเพียงพิกเซลเท่านั้นเราจึงจำเป็นต้องมีวิธีการ แมพिंगค่าละติจูดและลองจิจูด ให้อยู่ในรูปพิกเซลก่อนเพื่อให้สามารถแสดงออกทางมอนิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งหลักการคิดตำแหน่งของรอยบนพื้นมอนิเตอร์มีดังนี้ ปกติมอนิเตอร์จะเริ่มค้นจากมุมบนซ้ายเป็นจุดเริ่มต้นของพิกเซลแล้วเคลื่อนแกนจากบนลงล่างและจากซ้ายไปขวาซึ่งจะมีค่าพิกเซลเพิ่มขึ้น ซึ่งในการแสดงตำแหน่งของวัตถุออกทางมอนิเตอร์นั้น เราต้องกำหนดขอบเขตของการแสดงผลตามแผนที่ที่เราได้ทำการจัดเตรียมไว้ โดยเราต้องทราบค่าของ ละติจูด และ ลองจิจูด 3 ค่าดังรูป 3.4 ซึ่งก็คือ $PX1$, $PX2$, $PY1$, $PY2$ นั่นเอง

$PX1$ คือ ค่าลองจิจูด เริ่มต้น

$PX2$ คือ ค่าลองจิจูด สิ้นสุดของขอบเขตแสดงผล

$PY1$ คือ ค่าละติจูด เริ่มต้น

$PY2$ คือ ค่าลองจิจูด สิ้นสุดของขอบเขตแสดงผล

$X1$ คือ ตำแหน่งพิกเซลเริ่มต้นของจอภาพ

$X2$ คือ ตำแหน่งพิกเซลสุดท้ายของจอภาพซ้ายสุด

$Y1$ คือ ตำแหน่งพิกเซลเริ่มต้นของจอภาพ

$Y2$ คือ ตำแหน่งพิกเซลสุดท้ายของจอภาพล่างสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบเราจะทำการหาอัตราส่วนระหว่างผลต่างของพิกเซล (ทางแกน X) หารด้วยผลต่างของสองจุด และผลต่างของพิกเซล (ทางแกน X) หารด้วยผลต่างของละติจูด ซึ่งเราจะได้ค่าคงที่ออกมา ดังสมการ

$$K1 = \text{Abs}((Y2-Y1)/(PY2-PY1))$$

$$K2 = \text{Abs}((X2-X1)/(PX2-PX1))$$

ซึ่งค่าคงที่ K1 และ K2 จะเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการแปลงค่าจากละติจูดและลองจิจูด มาเป็นพิกเซลในแนวแกน X และ แกน Y เมื่อเราให้ ตัวแปร Z เป็นตัวแปรที่ จีพีเอส แสดงค่าของสองจุดที่แท้จริงของวัตถุและ O เป็นตัวแปรที่ จีพีเอสแสดงค่าของละติจูด ที่แท้จริงของวัตถุซึ่งสามารถแปลงค่าที่ได้เป็น พิกเซล ได้คือ

$$X = \text{Abs}(((o - px1) * k2)) + x1$$

$$Y = \text{Abs}(((z - py1) * k1)) + y1$$

เมื่อเราได้ค่า X และ Y ที่แปลงเป็นพิกเซลเรียบร้อยแล้วก็สามารถนำไปแสดงตำแหน่งของวัตถุที่มอนิเตอร์ ซึ่งจะเห็นว่าขอบเขตของการค้นหาวัตถุนั้นจะขึ้นอยู่กับแผนที่ที่แท้จริงนั่นเอง แต่ถ้าวัตถุเกิดเคลื่อนที่ออกจากแผนที่ไปซึ่งอยู่นอกขอบเขตของการคำนวณแล้วตำแหน่งของวัตถุที่แสดงบนจอจะหายไป เนื่องจากการคำนวณที่ได้เกินขอบเขตของการแสดงที่ตนเองแต่ข้อมูลที่รับได้จะยังคงถูกตั้งอยู่ซึ่งถ้าต้องการแสดงผลได้ โดยที่ขอบเขตการค้นหาหากถือว่าเป็นต้องทราบ ละติจูด และลองจิจูดที่อยู่นอกขอบเขตด้วยนั่นเอง

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

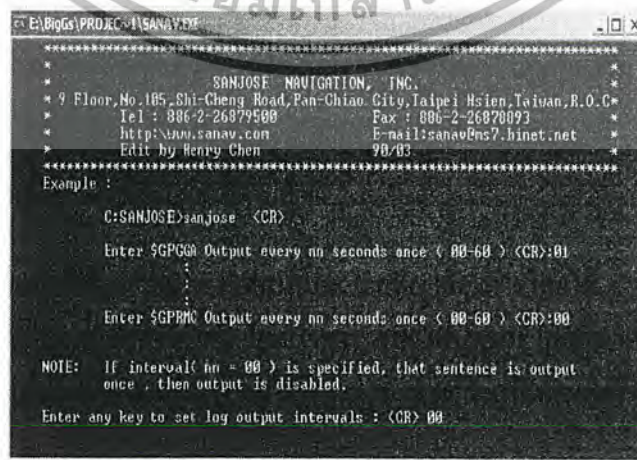
บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทดลองและผลการทดลอง ขั้นตอนแรกจะทำทดลองคุณสมบัติเบื้องต้นของจีพีเอส โดยจะนำจีพีเอสมาต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์แล้วใช้ โปรแกรม ไฮเปอร์เทอร์มินอล ของวินโดวส์แสดงผลของแต่ละประโยคที่ จีพีเอส ส่งออกมาและบันทึกค่าที่วัดได้จากการคำนวณของจีพีเอสว่าเที่ยงตรงเพียงใดจากนั้นทำการวัดสัญญาณที่รับมาจาก จีพีเอส ดูว่ามีลักษณะสัญญาณอย่างไร การทดลองในส่วนของภาคส่งซึ่งประกอบไปด้วย จีพีเอสโมดูล, คอมพิวเตอร์แบบพกพา, โมเด็มโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล, โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล ส่วนในภาครับจะประกอบไปด้วย คอมพิวเตอร์ซึ่งต่อระบบอินเตอร์เน็ต ซึ่งหลังจากนั้นจะทำการทดลองการส่งตำแหน่งขวัตฤกษ์ด้วยจีพีเอสออกทางจอภาพ

4.2 การทดลองเครื่องรับ จีพีเอส

ในการทดลองเครื่องรับจีพีเอสจะใช้โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอลของวินโดวส์มาใช้ในการตรวจสอบข้อมูลจีพีเอสส่งมา

ขั้นตอนในการทดลอง

1. ทำการเซตอัพจีพีเอสให้แสดงผลตามประโยคที่เราต้องการโดยใช้ SANAV.EXE ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของจีพีเอส โดยเราสามารถกำหนดประโยคที่เราต้องการและระยะเวลาที่จะให้จีพีเอสส่งข้อมูลออกมาซึ่งสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ 00 – 60 วินาที และพอร์ตสื่อสารที่จะใช้งาน ดังรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
> Correct enter format : xx      Note : ( xx = 00-60 numerics) <
> Error  enter format : x x or  xxx or any alphabets symbol <
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Enter $GPGGA Output every nn seconds once ( 00-60 ) <CR>:01
Enter $GPZDA Output every nn seconds once ( 00-60 ) <CR>:01
Enter $GPGLL Output every nn seconds once ( 00-60 ) <CR>:01
Enter $GPVTG Output every nn seconds once ( 00-60 ) <CR>:01
Enter $GPGSA Output every nn seconds once ( 00-60 ) <CR>:01
Enter $GPGSU Output every nn seconds once ( 00-60 ) <CR>:01
Enter $GPRMC Output every nn seconds once ( 00-60 ) <CR>:01

Please select comport ( 1 or 2 ) : <CR> 1_

```

```

C:\DOCUMENTS\F\BigGis\Desktop\SANAV.EXE
will send:$PTEC,CPint,CGA01,ZDA01,GLL01,VTG01,CSA01,CSU01,RMC01,die00*66
Sun Mar 21 17:58:19 2004

Check CM44 GIS RECEIVER output

$GPGSU,COUNTER:14
$GPGGA,COUNTER:7
$GPZDA,COUNTER:6
$GPGLL,COUNTER:6
$GPGSA,COUNTER:6
$GPVTG,COUNTER:6

$GPGLL,1343.6500,N,10046.5600,E,0,M,5.1
$GPGSA,A,1,00.00,00.00,00.00,00.00*76
$GPGSU,3,1,12,05,00,163,31,06,49,223,31,09,47,135,31,10,06,0
$GPGSU,3,2,12,17,35,100,29,18,20,113,31,21,39,339,33,22,08,2
$GPVTG,T,M,N,N,M*2C
$GPRMC,A,04,00,000,N,00,0000,E,0.00,00,000015.9,M,026.
Press ESC to stop this program

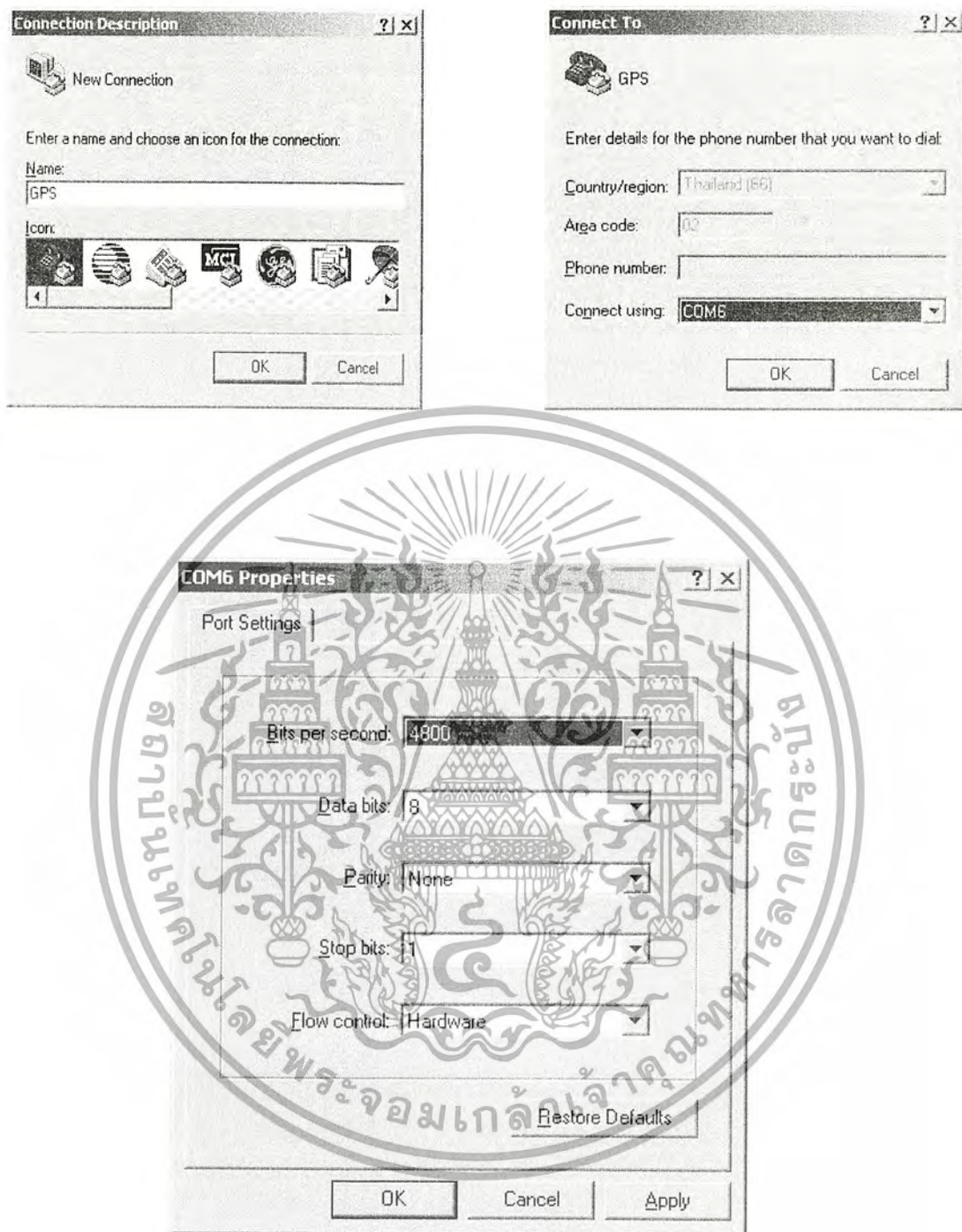
```

รูปที่ 4.1-ซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของจีพีเอส

2. เปิดโปรแกรม ไฮเปอร์เทอร์มินอล โดยกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

Bitrate	=	4800
Data bit	=	8
Parity	=	None
Stopbit	=	1

เมื่อกำหนดค่าการติดต่อสื่อสารพอร์ตยูเอสบีดีรูปที่ 4.2 เรียบร้อยแล้วก็จะสามารถรับข้อมูลจากจีพีเอสได้ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งออกมาเป็นประโยคต่าง ๆ ดังรูป 4.3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการเปิดโปรแกรม ไฮเปอร์เทอมินอล และเซตค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

# 6 - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000
$GPGSV,3,1,10,05,26,082,31,09,14,035,45,14,34,310,33,15,64,277,42*70
$GPUTM,W8
$GPGI
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*53
$GPGSV,3,2,10,18,52,056,44,21,47,173,31,22,45,356,37,23,26,334,29*7000,-00008.1,
$GPGSV,3,1,10,05,26,083
$GPGSV,3,3,10,25,30,224,31,30,34,132,31*7C7,03,2004,+00,00*6C26,083,31,09,15,035
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*530,W,W84*53,29,21,48,174,29,22,44,356,2
$GPGGA,140909,1343.6505,N,10046.5557,E,1,04,05,13,-00008.0,M,-026.8,M.,=736,334,
$GPGSV,3,1,10,05,26,082,29,09,14,035,43,14,34,310,37,15,64,277,42*71
$GPGSV,3,2,10,18,52,056,44,21,47,173,31,22,45,356,35,23,26,334,29*7E
$GPGSV,3,3,10,25,30,224,31,30,34,132,33*7E
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*53
$GPGGA,140910,1343.6507,N,10046.5560,E,1,04,05,13,-00008.0,M,-026.8,M.,=7C
$GPDZD,140911,17,03,2004,+00,00*6C
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*53
$GPGLL,1343.6507,N,10046.5560,E,140910,A,A*4F
$GPGSA,A,3,09,15,18,22,.....,05,13,03,36,03,87*3B
$GPGSV,3,1,10,05,26,082,29,09,14,035,44,14,34,310,37,15,64,277,42*76
$GPGSV,3,2,10,18,52,056,43,21,47,173,31,22,45,356,38,23,26,334,31*70
$GPGSV,3,3,10,25,30,224,27,30,34,132,31*7B
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*53
$GPGGA,140911,1343.6507,N,10046.5562,E,1,04,05,13,-00008.0,M,-026.8,M.,=7F
$GPDZD,140912,17,03,2004,+00,00*6F
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*53
$GPGLL,1343.6507,N,10046.5562,E,140911,A,A*4D
$GPGSA,A,3,09,15,18,22,.....,05,13,03,36,03,87*3B
$GPGSV,3,1,10,05,26,082,31,09,14,035,44,14,34,310,36,15,64,277,42*7E
$GPGSV,3,2,10,18,52,056,43,21,47,173,29,22,45,356,37,23,26,334,29*72
$GPGSV,3,3,10,25,30,224,29,30,34,132,29*7C
$GPDTH,W84,00.0000,N,00.0000,W,W84*53
$GPGGA,140912,1343.6509,N,10046.5569,E,1,03,04,23,-00009.0,M,-026.8,M.,=76
$GPDZD,140913,17,

```

รูปที่ 4.3 ประโยคต่างๆ ที่ใช้เพื่อส่งออกมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ข้อมูลที่ จีทีเอสส่งออกมา

เป็นการบันทึกค่าพิกัดต่าง ๆ ของ จีทีเอส ที่ทำการบันทึกทุก ๆ 1 นาที ในขณะที่อยู่นิ่งเป็นเวลา 20 นาที ตั้งแต่เวลา 15.00 ถึง 15.20 น. วันที่ 5 กันยายน 2546

สภาพภูมิอากาศ : มีเมฆค่อนข้างมาก

เวลา	ละติจูด	ลองจิจูด	จำนวนดาวเทียมที่รับได้
15.00	13° 43.6862'	100° 46.5713'	3
15.01	13° 43.6857'	100° 46.5705'	2
15.02	13° 43.6588'	100° 46.5676'	3
15.03	13° 43.6814'	100° 46.5679'	4
15.04	13° 43.6699'	100° 46.5675'	4
15.05	13° 43.6715'	100° 46.5678'	3
15.06	13° 43.6669'	100° 46.5682'	3
15.07	13° 43.6635'	100° 46.5695'	3
15.08	13° 43.6517'	100° 46.5699'	4
15.09	13° 43.6574'	100° 46.5683'	4
15.10	13° 43.6549'	100° 46.5679'	3
15.11	13° 43.6504'	100° 46.5663'	3
15.12	13° 43.6472'	100° 46.5650'	3
15.13	13° 43.6599'	100° 46.5645'	3
15.14	13° 43.6569'	100° 46.5641'	3
15.15	13° 43.6539'	100° 46.5620'	3
15.16	13° 43.6539'	100° 46.5619'	2
15.17	13° 43.6400'	100° 46.5588'	2
15.18	13° 43.6381'	100° 46.5589'	3
15.19	13° 43.6460'	100° 46.5610'	3
15.20	13° 43.6465'	100° 46.5627'	3

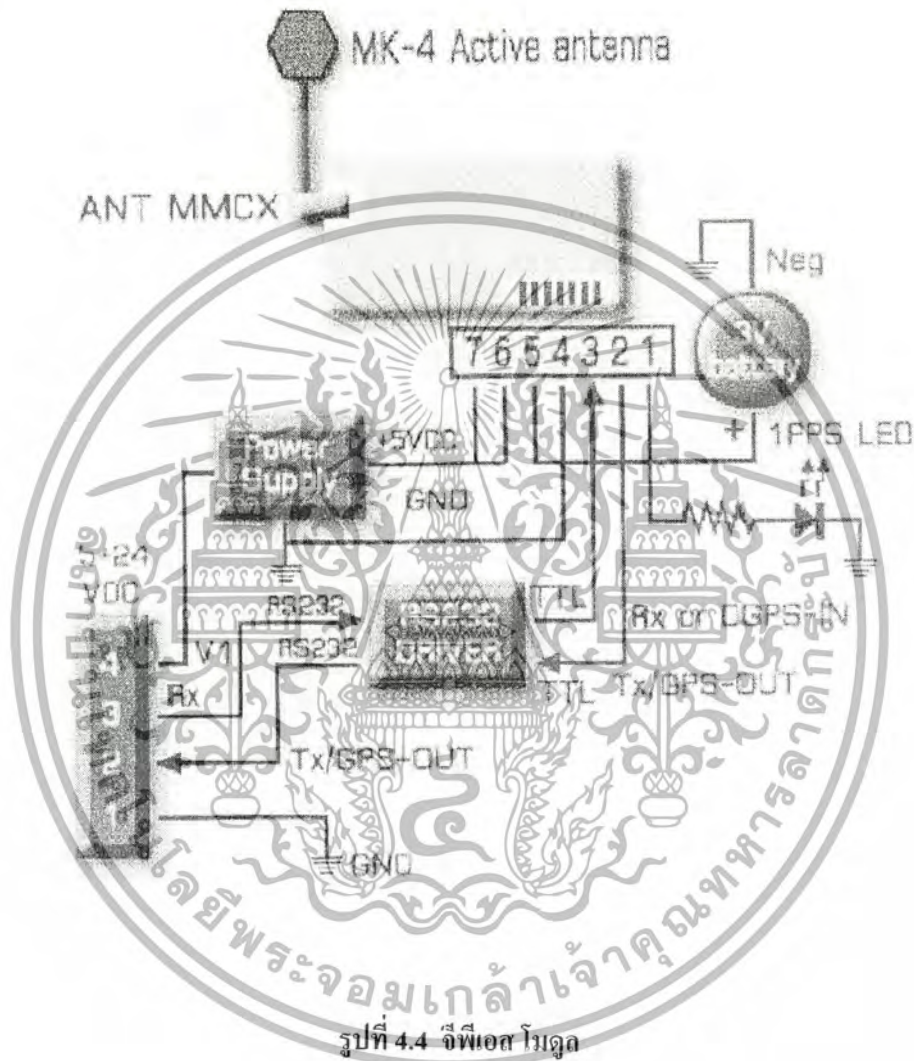
ตารางที่ 4.1 การบันทึกค่าต่าง ๆ ของ จีทีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองในส่วนของภาคส่ง

4.3.1. สัญญาณข้อมูลจาก จีพีเอส

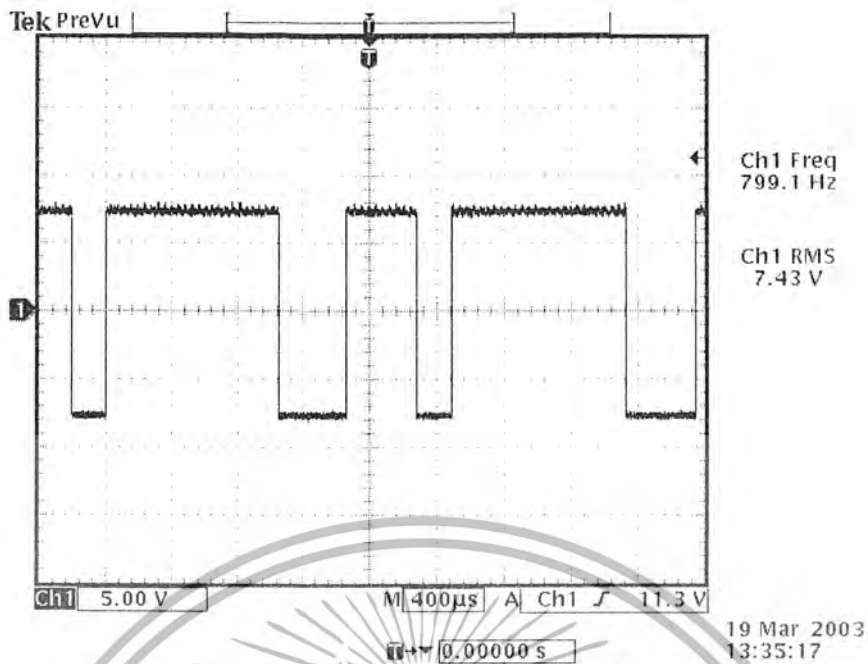
ส่วนนี้จะเป็นส่วนของการวัดสัญญาณจาก จีพีเอสโมดูล ซึ่งจะเป็นสัญญาณที่จะถูกส่งผ่าน โมเด็ม ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 จีพีเอส โมดูล

ทำการวัดสัญญาณที่ขา 3 ซึ่งเป็นพอร์ตสื่อสารอนุกรมของจีพีเอสโมดูล ข้อมูลที่ได้จะเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มี บิตเรต 4800 บิต/วินาที ดังรูปที่ 4.5 จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ขา 2 (RXA) ไม่จำเป็นต้องใช้ก็ได้ในกรณีของการส่งข้อมูลระหว่าง จีพีเอส กับ พอร์ตสื่อสารอนุกรมของคอมพิวเตอร์ เพราะว่าขา 2 นี้จะทำหน้าที่กำหนดการทำงานของจีพีเอสในขั้นตอนแรกเท่านั้นซึ่งหลังจากนั้นก็ไม่ต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH1 แสดงสัญญาณที่จีพีเอส ส่งออกมา
รูปที่ 4.5 สัญญาณจาก จีพีเอส โมดูล

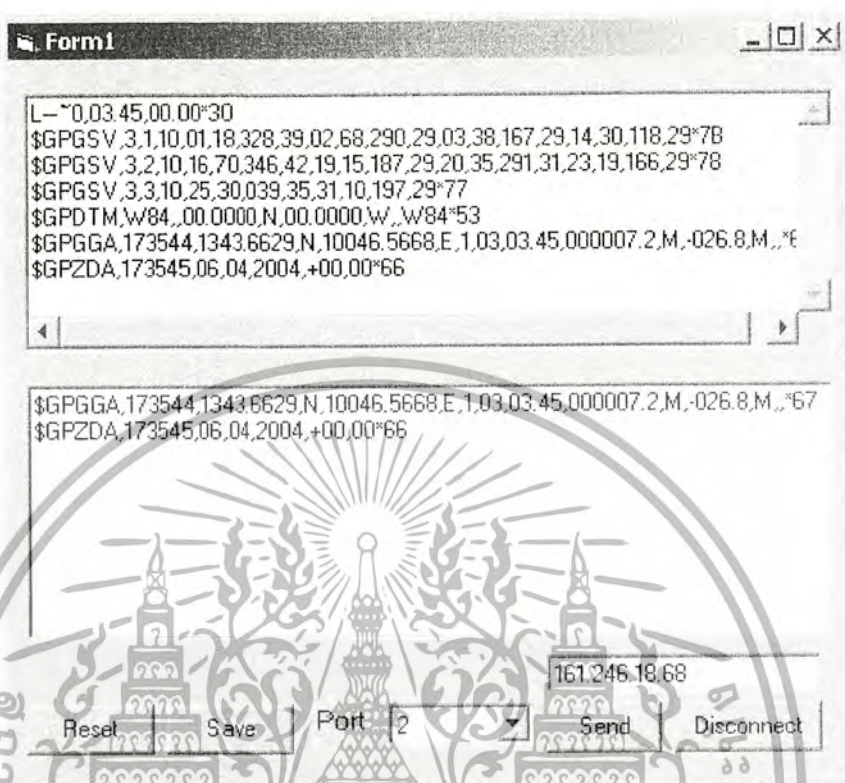
4.3.2 ขั้นตอนการเซตการส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมฝั่ง Client

เปิดโปรแกรมวิซวลเบสิกที่ได้ทำการออกแบบมา โดยทำการกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

Port : 1 (ขึ้นอยู่กับ Port ที่ผู้ใช้ได้กำหนดไว้)
Server IP Address : 161.246.18.68 (IP ของเครื่องเซิร์ฟเวอร์)

จากนั้นทำการติดต่อกับเครื่องเซิร์ฟเวอร์และส่งข้อมูลจีพีเอสจะถูกส่งออกไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์โดยอัตโนมัติดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

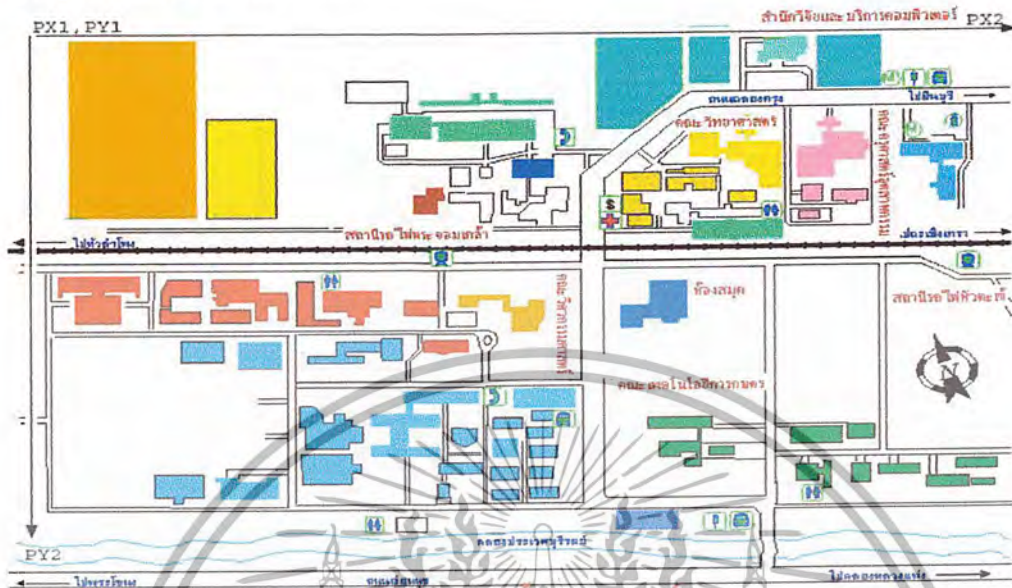


รูปที่ 4.6 เขตค่าต่างๆ ในโปรแกรมฝั่ง Client

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองการแสดงผลออกจอภาพ

ในการทดลองเราต้องทราบขอบเขตของการค้นหาก่อนซึ่งได้ทำการวัดหาค่าหนึ่งละติจูดลองจิจูดทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ



รูปที่ 4.7 ขอบเขตการค้นหาบุคคลเทียบกับแผนที่

PX1 = 100.7708916667° E คือ ค่าลองจิจูด เริ่มต้น โดยทำการวัดที่ศูนย์กีฬาพระจอมเกล้าลาดกระบัง

PY1 = 13.7313916667° N คือ ค่าละติจูดเริ่มต้น โดยทำการวัดที่ศูนย์กีฬาพระจอมเกล้าลาดกระบัง

PX2 = 100.7806083° E คือ ค่าลองจิจูด สิ้นสุดของขอบเขตแสดงผล โดยทำการวัดที่สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์

PY2 = 13.724725° N คือ ค่าลองจิจูด สิ้นสุดของขอบเขตแสดงผล โดยทำการวัดที่วัดปลูกศรัทธา

X1 = 0 คือ ตำแหน่งพิกเซลเริ่มต้นของจอภาพ

Y1 = 0 คือ ตำแหน่งพิกเซลเริ่มต้นของจอภาพ

X2 = 750 คือ ตำแหน่งพิกเซลสุดท้ายของจอภาพซ้ายสุด

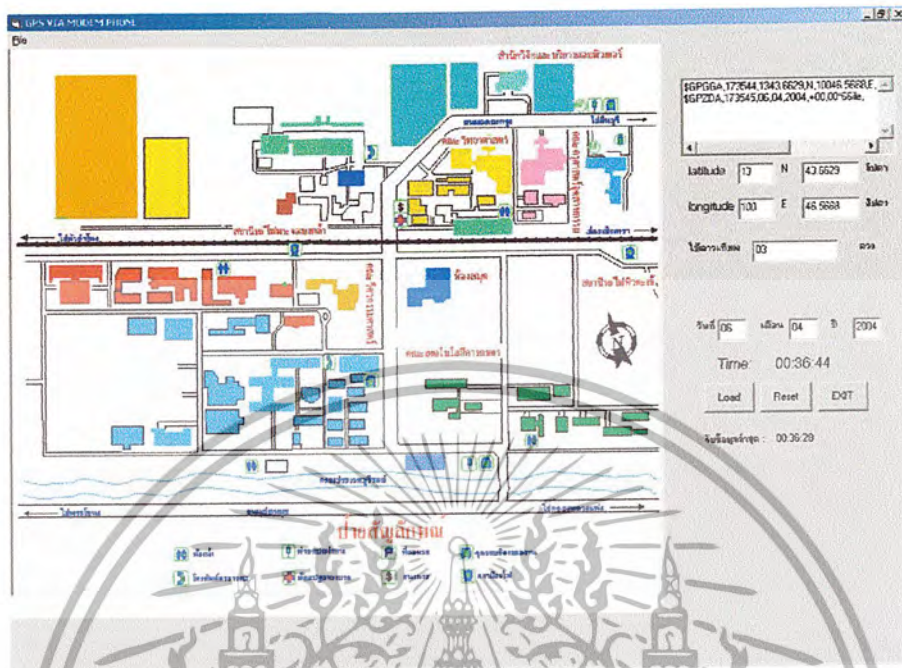
Y2 = 550 คือ ตำแหน่งพิกเซลสุดท้ายของจอภาพล่างสุด

4.4.1 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกทางจอภาพ

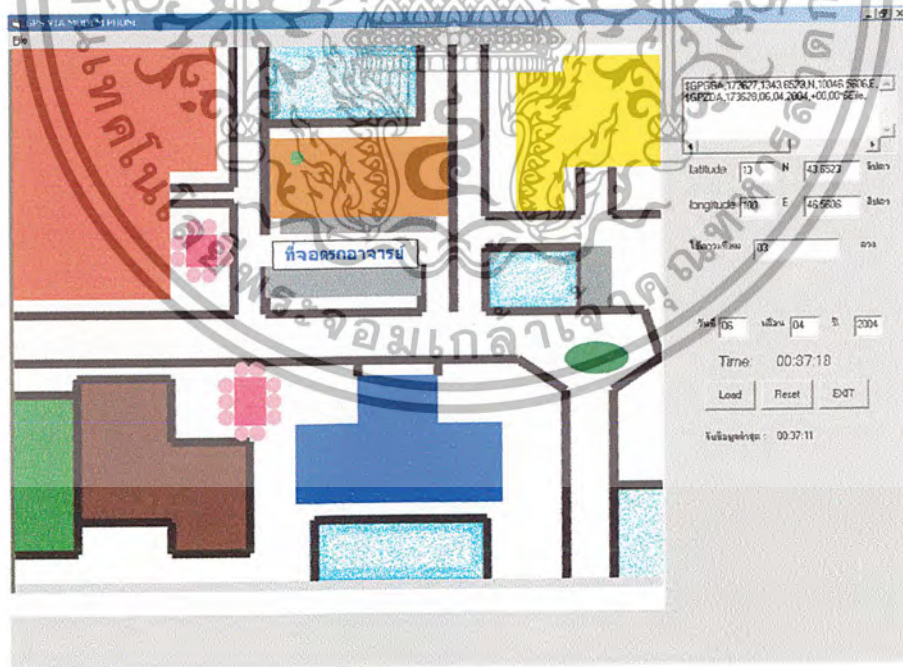
ในส่วนของการแสดงตำแหน่งของบุคคลทางจอภาพจะทำการแสดงตำแหน่งของวัตถุ โดยนำจีพีเอสโมดูลไปติดไว้กับวัตถุซึ่งจีพีเอสจะคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของบุคคลแล้วส่งข้อมูลมาทาง โมเด็มของโทรศัพท์มายังคอมพิวเตอร์ด้านรับคอมพิวเตอร์ด้านรับก็จะนำข้อมูลที่ได้อามาประมวลผลแล้วแสดงตำแหน่งของวัตถุออกทางจอภาพ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของจีพีเอสจะสามารถค้นหาพิกัดตำแหน่งต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ๆ ได้ทั่วโลกก็ตามแต่ในการทดลองนี้คุณสมบัติของจีพีเอสได้ถูกจำกัดขอบเขตของการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองค้นหาตำแหน่งของวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

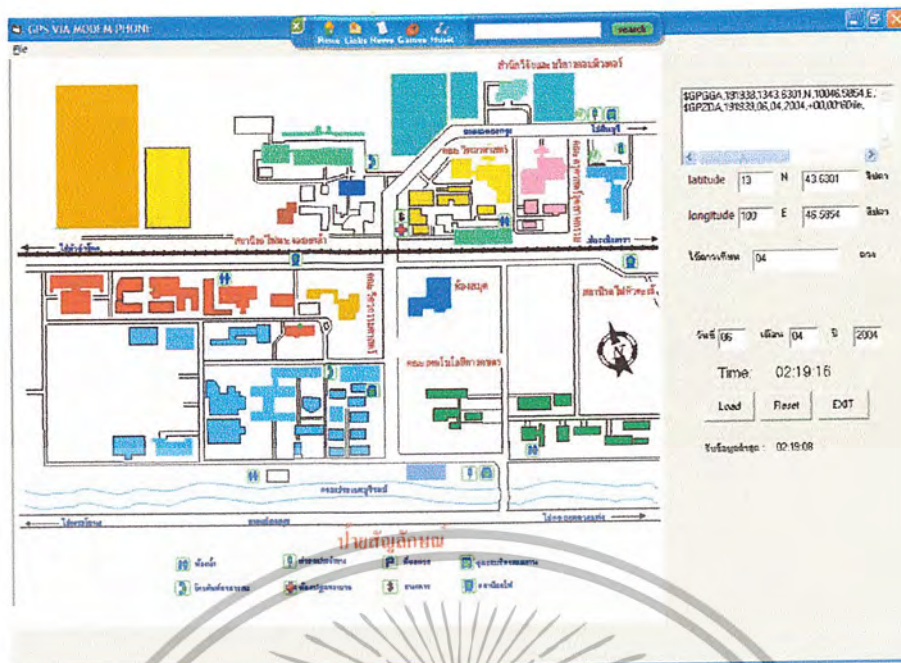


รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกจากภาพถ่ายบริเวณภาคควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

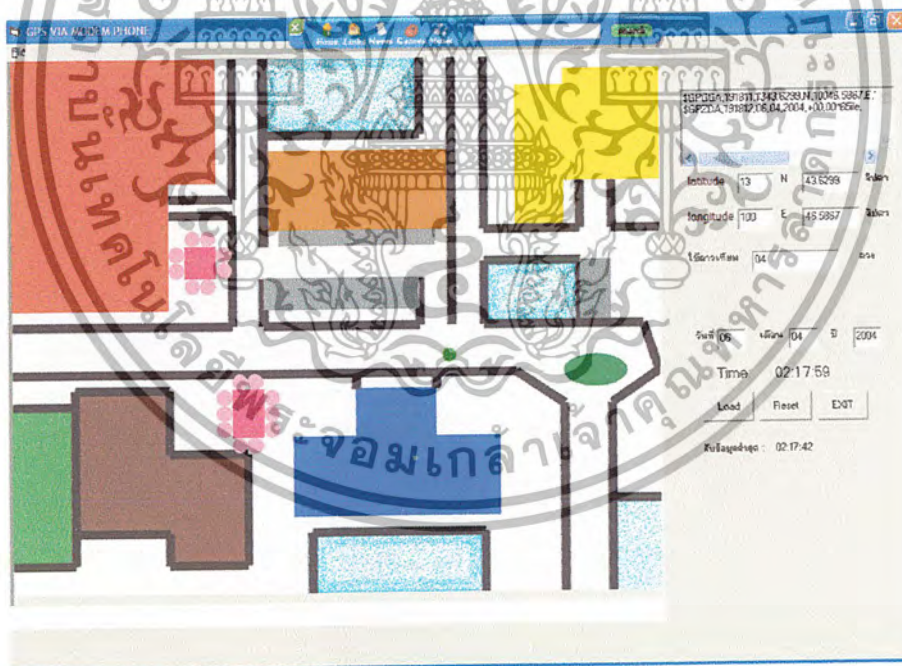


รูปที่ 4.9 ภาพขยายตำแหน่งบริเวณตึกโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

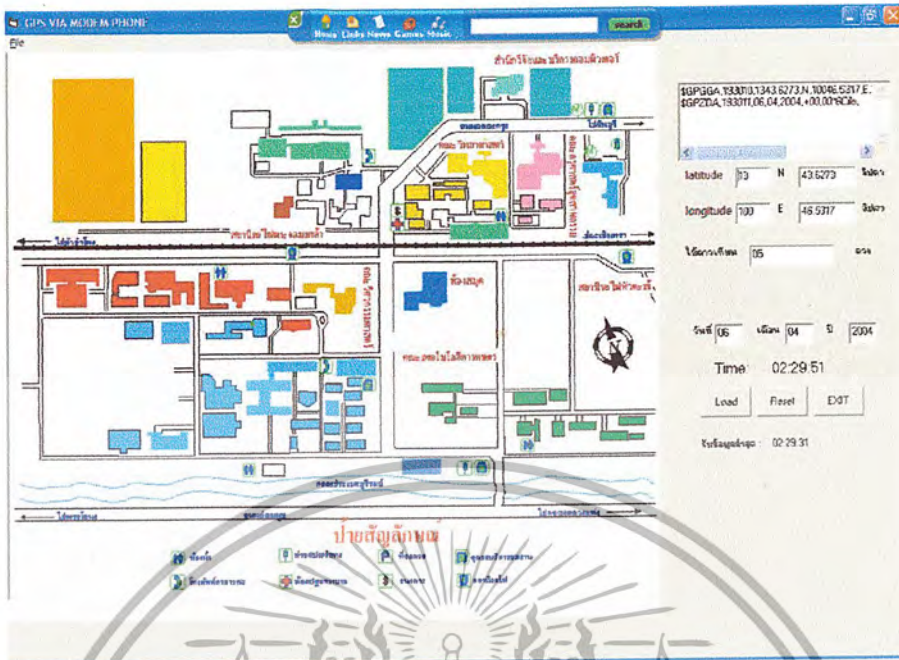


รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกทางจอภาพบริเวณ อาคารเรียนรวมคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ตึก 6 ชั้น)

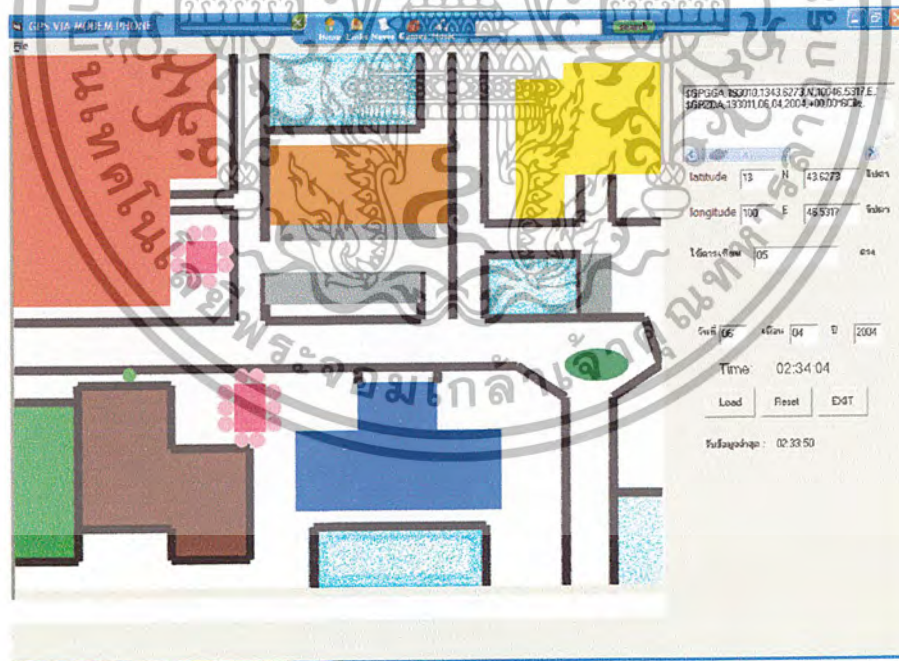


รูปที่ 4.11 ภาพขยายตำแหน่งบริเวณอาคารเรียนรวมคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ตึก 6 ชั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

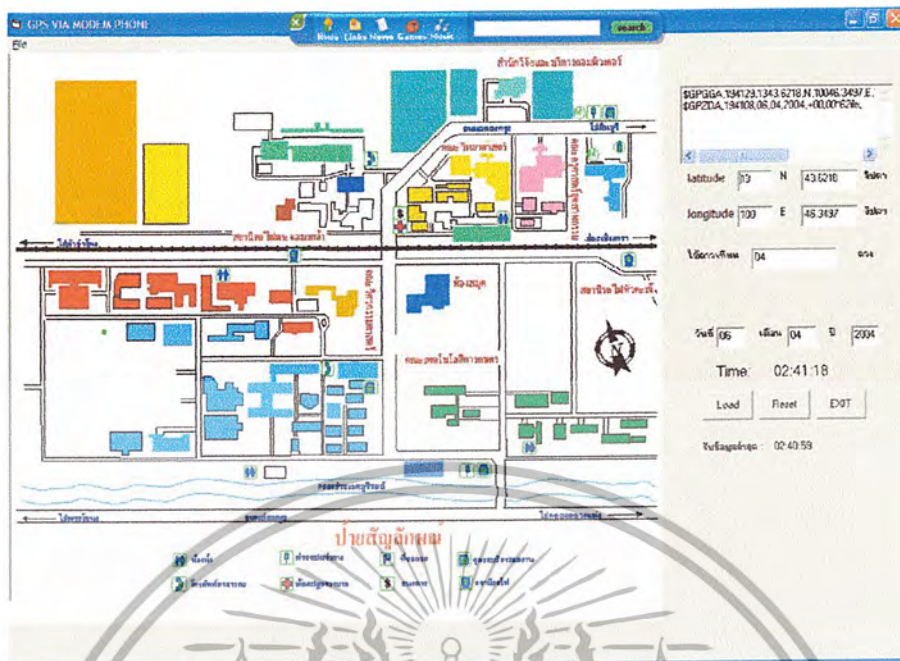


รูปที่ 4.12 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกทางจอภาพบริเวณโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์

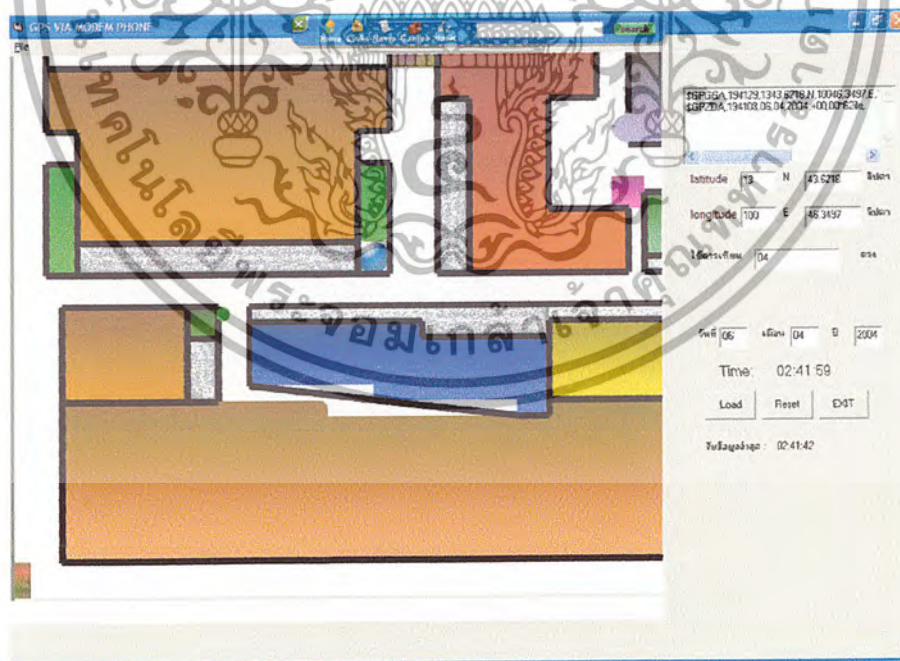


รูปที่ 4.13 ภาพขยายตำแหน่งบริเวณโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งของบุคคลออกจากทางออกบริเวณตึก12ชั้น



รูปที่ 4.15 ภาพขยายตำแหน่งบริเวณตึก12ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการระบุตำแหน่งวัตถุด้วย จีพีเอส นั้น ได้แบ่งขั้นตอนในการทดลองเป็นสามส่วน คือ การทดลองในส่วนของการส่งซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลจากจีพีเอสโมดูล และการส่งข้อมูลผ่าน โมเด็มโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล ในส่วนที่สองนั้นเป็นการทดลองในส่วนของการรับซึ่งประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ถูกเซตอัปให้เป็นเซิร์ฟเวอร์และต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และส่วนสุดท้ายจะเป็น การทดลองในส่วนของการแสดงผลออกจอภาพซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้คือ ในส่วนของการส่ง นั้นเราจะนำสัญญาณจากจีพีเอสโมดูลมาทำการส่งผ่านโมเด็มโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล และผลการ ทดลองในส่วนที่สองคือ การทดลองในส่วนของการรับจะนำเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ถูกเซตอัปให้เป็น เซิร์ฟเวอร์และต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมาทำการรับข้อมูลและประมวลผลด้วยไมโครซอฟต์ วิซวลเบสิก 6 ในส่วนของการทดลองการแสดงผลออกจอภาพนั้นได้ทำการปรับสเกลตำแหน่งของวัตถุเป็นจุด โดยที่ไม่ มีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง เพราะว่าการแสดงผลออกจอภาพนั้นถูกกำหนดขอบเขตของการ แสดงผล โดยค่านั่งซึ่งสามารถส่งได้ในระยะทางใด ๆ ก็ได้ที่อยู่ในบริเวณที่กำหนดไว้ และการบอก ตำแหน่งโดยใช้ จีพีเอสนี้ ข้อมูลจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียมที่จีพีเอสใช้ในการคำนวณ ซึ่งจำนวนดาวเทียมที่น้อยที่สุดที่ จีพีเอส ควรรับได้ คือ 3 ดวงและจำนวนดาวเทียมที่ จีพีเอส รับได้นั้นก็ ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและตำแหน่งของเครื่องรับด้วย

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

1. ความสามารถในการรับสัญญาณของ จีพีเอส ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ
2. สายอากาศของ จีพีเอส ต้องอยู่ในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นท้องฟ้า
3. ต้องกำหนดขอบเขตของแผนที่ที่ใช้แสดงผลก่อนอื่นซึ่งต้องทราบตำแหน่งพิกัดที่แท้จริงของขอบแผนที่
4. เครื่องรับจีพีเอสต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวงจึงจะให้ข้อมูลที่มีความแม่นยำเพียงพอ
5. แผนที่ที่ใช้ในการแสดงผล มีมาตราส่วนไม่ถูกต้องทำให้การแสดงผลเกิดการกลาดเคลื่อนไปบ้าง
6. ระบบการทำงานต้องอาศัยเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จึงทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองด้านต้องต่อกับ เครือข่ายอินเทอร์เน็ต

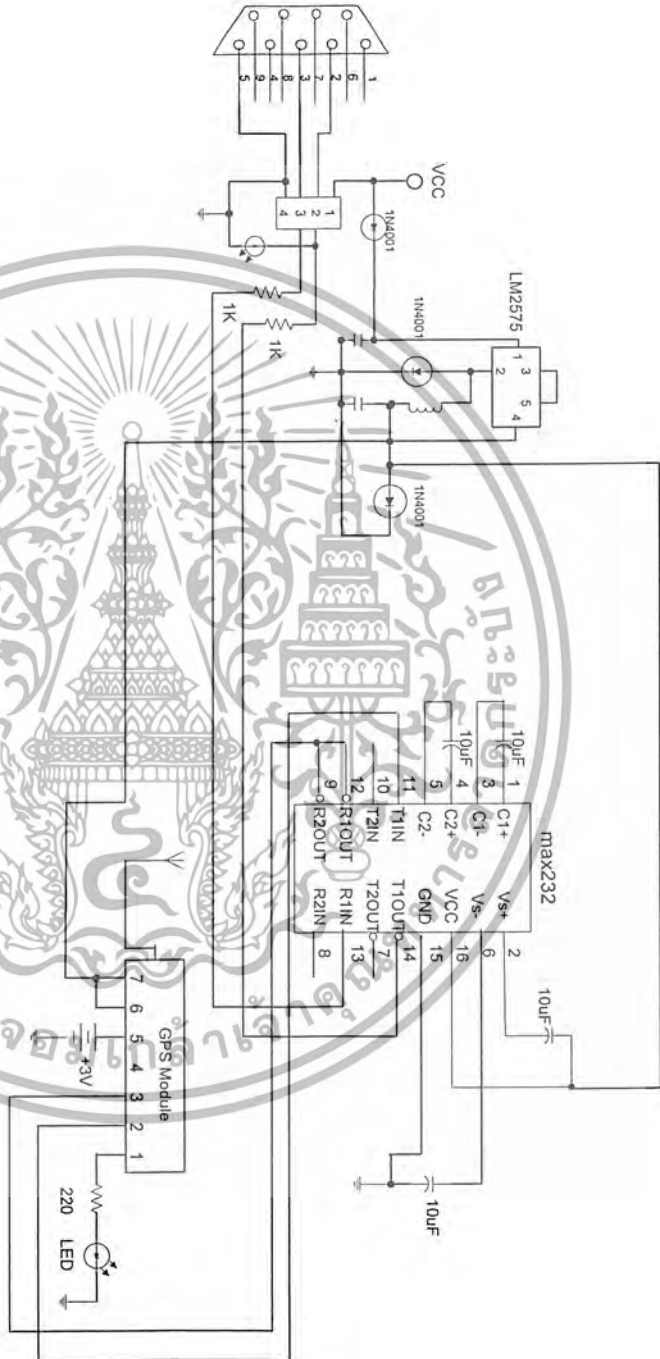
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

วงบรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code Client

```
Private Sub Combol_click()  
If MSComm1.PortOpen = True Then  
    MSComm1.PortOpen = False  
    End If  
    MSComm1.CommPort = Combol.ListIndex + 1  
    MSComm1.PortOpen = True  
  
End Sub  
  
Private Sub Command1_Click()  
MSComm1.PortOpen = Not MSComm1.PortOpen  
Text1.Text = ""  
End Sub  
  
Private Sub cmdSend_Click()  
    Dim FName_Only As String  
    Dim txtFileName As String  
    If (Text2.Text <> "Server IP Address") And (Text2.Text <> "") Then  
        tcpClient.Connect Text2.Text, 1256  
    Else: MsgBox "Please input Server IP Address."  
    End If  
  
    Pause 3000  
    txtFileName = "gps.txt"  
    If tcpClient.State <> sckClosed Then  
        FName_Only$ = GetFileName(txtFileName)  
        SendFile FName_Only$  
    End If  
    Pause 3000  
    tcpClient.Close  
End Sub  
Private Sub cmdDisconnect_Click()  
    MSComm1.PortOpen = False  
    Form_Load  
End Sub  
Private Sub Command2_Click()  
    RichTextBox1.SaveFile "gps.txt", rtfText  
End Sub  
  
Private Sub Form_Load()  
On error GoTo errorHandler  
MSComm1.Settings = "4800,n,8,1"  
  
MSComm1.InputLen = 1  
MSComm1.RThreshold = 1  
Combol.AddItem "1"  
Combol.AddItem "2"  
Combol.AddItem "3"  
Combol.AddItem "4"  
Combol.AddItem "5"  
Combol.AddItem "6"  
Combol.AddItem "7"  
Combol.AddItem "8"  
  
errorHandler:  
Exit Sub  
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
If MSComm1.PortOpen = True Then
    MSComm1.PortOpen = False
End If

End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
Dim txtlen As Integer
Dim i As Integer
Dim t1, e1, t2, e2 As Variant
Dim rt1, rt2 As String
t1 = 0
e1 = 0
t2 = 0
e2 = 0
Text1.Text = Text1.Text & MSComm1.Input
txtlen = Len(Text1.Text)
t1 = InStr(1, Text1.Text, "$GP6GA", vbTextCompare)
If t1 <> 0 Then
    e1 = InStr(t1, Text1.Text, vbCrLf, vbTextCompare)

    rt1 = Mid(Text1.Text, t1, e1)
End If

If e1 <> 0 Then
    t2 = InStr(1, Text1.Text, "$GR3DA", vbTextCompare)
    If t2 <> 0 Then
        e2 = InStr(t2, Text1.Text, vbCr, vbTextCompare)

        rt2 = Mid(Text1.Text, t2, e2)
    End If
    If e2 <> 0 Then
        MSComm1.PortOpen = False
    End If
End If
End If
End If
If Len(Text1.Text) = Text1.MaxLength Then
    MSComm1.PortOpen = False
End If

RichTextBox1.Text = rt1

End Sub

Private Sub Text3_Change()
MSComm1.PortOpen = False
MSComm1.CommPort = Text3.Text
MSComm1.PortOpen = True
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Command1_Click
Command2_Click
cmdSend_Click
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code Server

```
Private Sub loadGPS()  
Dim FileSize As String  
Dim OneLine As String  
Dim test2 As String  
Dim test3 As String  
  
Dim Data As Variant  
Dim head As Variant  
Dim lat2 As Variant  
Dim aa1 As Variant  
Dim aa2 As Variant  
Dim aa3 As Variant  
Dim lng As Variant  
Dim bb1 As Variant  
Dim bb2 As Variant  
Dim bb3 As Variant  
Dim lat As Variant  
Dim z As Variant  
Dim o As Variant  
  
Dim k1 As Single  
Dim k2 As Single  
Dim X As Single  
Dim Y As Single  
  
Dim g(5) As String  
Dim l(1) As String  
Dim time As String  
Dim sat As String  
  
Dim i As Integer  
  
Const px1 = 100.7708916667  
Const py1 = 13.7313916667  
Const py2 = 13.7241  
Const px2 = 100.7802  
  
Const x1 = 16  
Const y1 = 24  
Const x2 = 546  
Const y2 = 515  
  
Const apx1 = 100.7752  
Const apy1 = 13.7277666666667  
Const apx2 = 100.77695  
Const apy2 = 13.7267333333333  
  
Const ax1 = 0  
Const ay1 = 0  
Const ax2 = 704  
Const ay2 = 584  
  
Const apxx1 = 100.7719166666667  
Const apyy1 = 13.7278166666667  
Const apxx2 = 100.7736166666667  
Const apyy2 = 13.7262666666666
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Const axx1 = 0
Const ayy1 = 0
Const axx2 = 704
Const ayy2 = 584
```

```
Dim ak1 As Single
Dim ak2 As Single
Dim akk1 As Single
Dim akk2 As Single
Dim aX As Single
Dim aY As Single
Dim aaX As Single
Dim aaY As Single
```

```
Form1.Show
```

```
Picture2.Visible = False
Picture4.Visible = False
Picture5.Visible = False
```

```
Label111.Visible = False
Label118.Visible = False
Label119.Visible = False
Label120.Visible = False
Label121.Visible = False
Label122.Visible = False
Label128.Visible = False
Label129.Visible = False
Label130.Visible = False
Label132.Visible = False
Label137.Visible = False
Label141.Visible = False
Label142.Visible = False
Label143.Visible = False
Label144.Visible = False
Label145.Visible = False
Label146.Visible = False
Label147.Visible = False
Label148.Visible = False
Label149.Visible = False
```

```
Close
Open "gps.txt" For Input As #1
FileSize = LOF(1)
Text2.Text = Input(FileSize, #1)
Close #1
test = Text2.Text
```

```
FoundPos% = InStr(8, test, ",")
```

```
test2 = Mid(test, FoundPos% + 1, 29)
Text3.Text = Left(test2, 2)
Text1.Text = Mid(test2, 3, 7)
Text4.Text = Mid(test2, 13, 3)
Text6.Text = Mid(test2, 16, 7)
Text5.Text = Right(test2, 2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Const axx1 = 0
Const ayy1 = 0
Const axx2 = 704
Const ayy2 = 584
```

```
Dim ak1 As Single
Dim ak2 As Single
Dim akk1 As Single
Dim akk2 As Single
Dim aX As Single
Dim aY As Single
Dim aaX As Single
Dim aaY As Single
```

```
Form1.Show
```

```
Picture2.Visible = False
Picture4.Visible = False
Picture5.Visible = False
```

```
Label11.Visible = False
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Label22.Visible = False
Label28.Visible = False
Label29.Visible = False
Label30.Visible = False
Label32.Visible = False
Label37.Visible = False
Label41.Visible = False
Label42.Visible = False
Label43.Visible = False
Label44.Visible = False
Label45.Visible = False
Label46.Visible = False
Label47.Visible = False
Label48.Visible = False
Label49.Visible = False
```

```
Close
```

```
Open "gps.txt" For Input As #1
FileSize = LOF(1)
Text2.Text = Input(FileSize, #1)
Close #1
test = Text2.Text
```

```
FoundPos% = InStr(8, test, ",")
```

```
test2 = Mid(test, FoundPos% + 1, 29)
Text3.Text = Left(test2, 2)
Text1.Text = Mid(test2, 3, 7)
Text4.Text = Mid(test2, 13, 3)
Text6.Text = Mid(test2, 16, 7)
Text5.Text = Right(test2, 2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

FoundPos% = InStr(2, test, "$")
test3 = Mid(test, FoundPos%, 24)
Text7.Text = Mid(test3, 15, 2)
Text8.Text = Mid(test3, 18, 2)
Text9.Text = Mid(test3, 21, 4)

```

```

aa1 = Text3.Text
aa2 = Text1.Text
aa3 = aa1 + (aa2 / 60)

```

```

bb1 = Text4.Text
bb2 = Text6.Text
bb3 = bb1 + (bb2 / 60)

```

```

z = aa3
o = bb3

```

```

k1 = Abs((y2 - y1) / (py2 - py1))
k2 = Abs((x2 - x1) / (px2 - px1))
ak1 = Abs((ay2 - ay1) / (apy2 - apy1))
ak2 = Abs((ax2 - ax1) / (apx2 - apx1))
akk1 = Abs((ayy2 - ayy1) / (apyy2 - apyy1))
akk2 = Abs((axx2 - axx1) / (apxx2 - apxx1))

```

```

If InStr(z, ",") <= 1 Then
X = Abs(((o - px1) * k2)) + x1
aX = Abs(((o - apx1) * ak2)) + ax1
aaX = Abs(((o - apxx1) * akk2)) + axx1

```

```
Else
```

```
End If
```

```
If InStr(o, ",") <= 1 Then
```

```
Y = Abs(((z - py1) * k1)) + y1
aY = Abs(((z - apy1) * ak1)) + ay1
aaY = Abs(((z - apyy1) * akk1)) + ayy1

```

```
Else
```

```
End If
```

```
l(1) = Mid(Text5.Text, 1, 1)
```

```
If InStr(l(1), ".") = 1 Then
```

```
Else
```

```
Picture1.PSet (X, Y), QBColor(10)
Picture2.PSet (aX, aY), QBColor(10)
Picture5.PSet (aaX, aaY), QBColor(10)

```

```
End If
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Command1_Click()  
loadGPS  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
Form1.Show
```

```
Picture2.Visible = False  
Picture4.Visible = False  
Picture5.Visible = False  
Label11.Visible = False  
Label18.Visible = False  
Label19.Visible = False  
Label20.Visible = False  
Label21.Visible = False  
Label22.Visible = False  
Label28.Visible = False  
Label29.Visible = False  
Label30.Visible = False  
Label32.Visible = False  
Label37.Visible = False  
Label41.Visible = False  
Label42.Visible = False  
Label43.Visible = False  
Label44.Visible = False  
Label45.Visible = False  
Label46.Visible = False  
Label47.Visible = False  
Label48.Visible = False  
Label49.Visible = False
```

```
tcpServer.LocalPort = Port
```

```
tcpServer.Listen
```

```
bInconnection = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub tcpServer_ConnectionRequest(ByVal requestID As Long)  
On Error GoTo IDERROR  
If tcpServer.State <> sckClosed Then tcpServer.Close  
tcpServer.Accept requestID 'Make the connection  
bInconnection = True  
Exit Sub
```

```
IDERROR:
```

```
End Sub
```

```
Private Sub tcpServer_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
```

```
Dim Command As String
```

```
Dim NewArrival As String
```

```
Dim Data As String
```

```
Static DataCnt As Long
```

```
Command4_Click
```

```
tcpServer.GetData NewArrival$, vbString
```

```
Command = EvalData(NewArrival$, 1)
```

```
Data$ = EvalData(NewArrival$, 2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Select Case Command$
Case "OpenFile"
    Dim FName As String

    FName$ = App.Path & "\" & Data$
    Open FName$ For Binary As #1

Case "CloseFile"
    Close #1
    Label51.Caption = Label38.Caption
    tcpServer.Close
    Pause 3000
    tcpServer.Listen

    loadGPS

Case Else
    Put #1, , NewArrival$
End Select
End Sub
Private Sub Dir1_Change()
End Sub
Private Sub Drive1_Change()
Dir1.Path = Drive1.Drive
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Command2.Visible = True
Command2.Enabled = False

End Sub

Private Sub Command3_Click()
Form4.Show
Form1.Enabled = False

End Sub
Private Sub Command4_Click()
Picture1.Cls
Picture2.Cls
Picture4.Top = 432
Picture4.Left = 688
Picture5.Cls

End Sub

Private Sub Image1_Click()
Beep
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

```
Picture2.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image1_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label14.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image10_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label28.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image11_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label29.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image12_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label30.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image13_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label32.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image14_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label32.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image15_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label37.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image17_Click()
```

```
Beep
```

```
Picture2.Visible = False
```

```
Picture5.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image17_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Label16.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image18_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label41.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image19_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label42.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image2_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label16.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image20_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label43.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image21_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label44.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image22_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label45.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image23_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label11.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image24_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label46.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image25_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label47.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image26_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Label48.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image27_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label49.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image3_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label15.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image4_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label18.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image5_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label19.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image6_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label20.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image7_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label20.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image8_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label22.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Image9_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label21.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub next_Click()
```

```
Form4.Show
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Form1.Enabled = False  
End Sub
```

```
Private Sub nprint_Click()  
Form1.PrintForm  
End Sub
```

```
Private Sub nreset_Click()  
Picture1.Cls  
Picture3.Top = 520  
Picture3.Left = 715  
Picture2.Cls  
Picture5.Cls  
Picture4.Top = 432  
Picture4.Left = 688  
End Sub
```

```
Private Sub nsave_Click()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Picture1_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label14.Visible = False  
Label15.Visible = False  
Label16.Visible = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Picture2_Click()  
Picture2.Visible = False  
Beep
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Picture5_Click()  
Picture5.Visible = False
```

```
Beep  
End Sub
```

```
Private Sub Picture2_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X  
As Single, Y As Single)  
Label18.Visible = False  
Label19.Visible = False  
Label20.Visible = False  
Label21.Visible = False  
Label22.Visible = False  
Label28.Visible = False  
Label29.Visible = False  
Label30.Visible = False  
Label32.Visible = False  
Label37.Visible = False  
Label47.Visible = False  
Label48.Visible = False  
Label49.Visible = False  
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub Picture5_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, X
As Single, Y As Single)
Label11.Visible = False
Label41.Visible = False
Label42.Visible = False
Label43.Visible = False
Label44.Visible = False
Label45.Visible = False
Label46.Visible = False

```

```
End Sub
```

```

Private Sub Timer1_Timer()
Label38.Caption = Format(Now, "hh:mm:ss")
End Sub

```

```

Private Sub Timer2_Timer()
Dim FileSize As String
Dim OneLine As String
Dim test2 As String
Dim test3 As String

```

```

Dim Data As Variant
Dim head As Variant
Dim lat2 As Variant
Dim aa1 As Variant
Dim aa2 As Variant
Dim aa3 As Variant
Dim lng As Variant
Dim bb1 As Variant
Dim bb2 As Variant
Dim bb3 As Variant
Dim lat As Variant
Dim z As Variant
Dim o As Variant

```

```

Dim k1 As Single
Dim k2 As Single
Dim X As Single
Dim Y As Single

```

```

Dim g(5) As String
Dim l(1) As String

```

```

Dim time As String
Dim sat As String

```

```

Dim i As Integer
Const py1 = 13.7313916667
Const py2 = 13.7241
Const px2 = 100.7802
Const x1 = 16
Const y1 = 24
Const x2 = 546
Const y2 = 515

```

```

Const apx1 = 100.7752
Const apy1 = 13.72776666666667
Const apx2 = 100.77695
Const apy2 = 13.72673333333333

```

```
Const ax1 = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Const ay1 = 0
Const ax2 = 704
Const ay2 = 584
```

```
Const apxx1 = 100.771916666667
Const apyy1 = 13.7278166666667
Const apxx2 = 100.773616666667
Const apyy2 = 13.7262666666666
```

```
Const axx1 = 0
Const ayy1 = 0
Const axx2 = 704
Const ayy2 = 584
```

```
Dim ak1 As Single
Dim ak2 As Single
Dim akk1 As Single
Dim akk2 As Single
Dim aX As Single
Dim aY As Single
Dim aaX As Single
Dim aaY As Single
```

```
Form1.Show
```

```
Picture2.Visible = False
Picture4.Visible = False
Picture5.Visible = False
Label11.Visible = False
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Label22.Visible = False
Label28.Visible = False
Label29.Visible = False
Label30.Visible = False
Label32.Visible = False
Label37.Visible = False
Label41.Visible = False
Label42.Visible = False
Label43.Visible = False
Label44.Visible = False
Label45.Visible = False
Label46.Visible = False
Label47.Visible = False
Label48.Visible = False
Label49.Visible = False
```

```
Close
```

```
Open "gps.txt" For Input As #1
FileSize = LOF(1)
Text2.Text = Input(FileSize, #1)
test = Text2.Text
```

```
FoundPos% = InStr(8, test, ",")
```

```
test2 = Mid(test, FoundPos% + 1, 29)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

Text3.Text = Left(test2, 2)
Text1.Text = Mid(test2, 3, 7)
Text4.Text = Mid(test2, 13, 3)
Text6.Text = Mid(test2, 16, 7)
Text5.Text = Right(test2, 2)

FoundPos% = InStr(2, test, "$")
test3 = Mid(test, FoundPos%, 24)
Text7.Text = Mid(test3, 15, 2)
Text8.Text = Mid(test3, 18, 2)
Text9.Text = Mid(test3, 21, 4)

```

```

aa1 = Text3.Text
aa2 = Text1.Text
aa3 = aa1 + (aa2 / 60)
bb1 = Text4.Text
bb2 = Text6.Text
bb3 = bb1 + (bb2 / 60)

z = aa3

o = bb3
k1 = Abs((y2 - y1) / (py2 - py1))
k2 = Abs((x2 - x1) / (px2 - px1))
ak1 = Abs((ay2 - ay1) / (apy2 - apy1))
ak2 = Abs((ax2 - ax1) / (apx2 - apx1))
akk1 = Abs((ayy2 - ayy1) / (apyy2 - apyy1))
akk2 = Abs((axx2 - axx1) / (apxx2 - apxx1))

If InStr(z, ",") <= 1 Then
    X = Abs(((z - px1) * k2)) + x1
    aX = Abs(((z - apx1) * ak2)) + ax1
    aaX = Abs(((z - apxx1) * akk2)) + axx1
Else
End If

If InStr(o, ",") <= 1 Then
    Y = Abs(((z - py1) * k1)) + y1
    aY = Abs(((z - apy1) * ak1)) + ay1
    aaY = Abs(((z - apyy1) * akk1)) + ayy1
Else
End If

i(1) = Mid(Text5.Text, 1, 1)

If InStr(i(1), ".") = 1 Then

Else
    Picture1.PSet (X, Y), QBColor(10)

    Picture2.PSet (aX, aY), QBColor(10)

    Picture5.PSet (aaX, aaY), QBColor(10)

End If

```

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
รายละเอียดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chronos MK-4 Mini GPS Antenna

Compact & Sensitive GPS Antenna with Excellent Signal Amplification for Mobile Applications

The MK-4 is the most diminutive GPS antenna currently available on the market. Its state-of-the-art technology allows for the small size without any loss in performance. With good coverage almost all the way to the horizon, it performs excellently in areas where there is overhead foliage or within the "urban canyon" environment. The MK-4 also performs well in the presence of electromagnetic interference.

Featuring a diminutive/rugged enclosure and its unparalleled performance, makes the MK-4 compatible with almost every model of GPS receiver on the market and provides an excellent alternative for a vast range of GPS applications including AVL, Vehicle Navigation, Aviation, and Military.

Features

Diminutive & rugged construction allows for military and other applications demanding high degree of confidentiality
Ultra-high sensitivity
Module board available for embedded applications
Various colors upon request
Ideal for PDA, HPC, and other computing devices in GPS applications
Fully weatherproof
Excellent temperature stability

Applications

AVL
Car Navigation
Vehicle Tracking
Weather Balloon
Security Surveillance
External Antenna for Handheld GPS/ PDA
HPC

Specifications

Physical

Construction Polycarbonate radome on metal base
Dimension 33.95mm (L) x 25.20mm (W) x 10.60mm (H)
Weight 30 grams (excluding cable & connector)
Colour of Radome Standard in dark grey, other colours available upon request
Standard Mounting Magnet or screw mount

Antenna Element

Centre Frequency 50 Ohm
Polarization R.H.C.P. (Right Hand Circular Polarization)
Absolute Gain at Zenith +5 dBi typically
Gain at 10° Elevation -1 dBi typically
Axial Ratio 3 dB max.
Output VSWR 1.5 max.
Output Impedance 50Ohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Impedance 50Ohm

Low Noise Amplifier

Centre Frequency 1575.42 MHz, ± 1.023 MHz
Gain 24 dB typically
Band Width 2 MHz min
Noise Figure 1.5 max
Out Band Attenuation 20dB min. @F0 ± 50 MHz
Supply Voltage 3 to 5V DC
Current Consumption 11 mA ± 1 mA
VSWR 1.5 max
Output Impedance 50 Ohm

Cable & Connector

RF Cable 3 meter RG174/U (standard), other lengths are available
Pulling Strength 6 kg/5 sec. with moulded plastics on connector end for strain relief
Connector Available BNC, TNC, FME (to be adapted), GT5, MCX (OSX), SMA, SMB or SMC
in straight or right angle type
Optional Adapters FME~MCX, FME~BNC, FME~SMA, FME~SMB, FME~TNC

Overall Performance (Antenna Element, LNA & Cable)

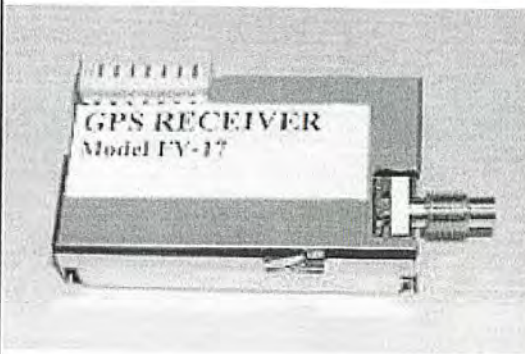
Centre Frequency 1575.42 MHz
Gain 24 dB min
Noise Figure 2.0 max
Bandwidth 2 MHz
Axial Ratio 3 dB max
VSWR 1.5 max
Output Impedance 50 Ohm

Environmental

Operating Temperature -30 °C to +85 °C
Storage Temperature -40 °C to +90 °C
Relative Humidity 95% non-condensing
Waterproof 100% waterproof

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FV-17
GPS receiver



- GPS Unit
- EMBEDDED APPLICATION
- MARINE PLOTTER
- CAR NAVIGATION
- (AVL SYSTEMS)
- PERSONAL NAVIGATION
- AVIONICS NAV AIDS LAND SURVEYOR
- GPS SENSOR HANDHELD

FV-17 GPS Module Specification

PERFORMANCE:

Architecture: 12 channels
Receiver Frequency: L1, 1575.42 MHz
C/A code: 1.023 MHz chip rate

ELECTRICAL CHARACTERISTICS:

Input Voltage: +5Vdc +/-5%
Power Consumption (typical): 77mA typical
Backup: +2.5Vdc to +5.5Vdc

TIME TO FIRST FIX:

Warm start average: <13 sec
Cold start average: <105 sec

INTERFACE I/O:

Compatibility: One full duplex serial TTL ports
Data Rate: 4800kbps
Format: NMEA-0183, version 2.3
NMEA-0183: GGA, GLL, GSA, GSV, RMC & VTG
Default: GGA, ZDA, DTM, GSV & VTG
DGPS: RTCM SC-104, version 2.1

RECEIVER ACCURACY:

Position: 15 meters CEP
Velocity: 0.1 meters/second
Time: 1 microsecond synchronized to GPS time

DGPS ACCURACY:

Position: 1 to 5 meters, typical
Velocity: 0.05 meters/second, typical
DGPS input baud rate: 9.6kbps

Time-1PPS Pulse:

Level: TTL
Pulse duration: 1 sec
Time reference: At the pulse negative edge

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเวลาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measurements: Aligned to GPS second, +/- 1 microsecond

DYNAMIC CONDITIONS:

Altitude: 18,000 meters (60,000 feet) max.
Velocity: 515 meters/second(1000 knots) max.
Acceleration: $>49\text{m/s}^2$ (sustained tracking)
Jerk: 20 meters/second max.
Datum: WGS-84 plus 100+ user defined

ENVIRONMENTAL/CHARACTERISTICS:

Operating range: -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
Storage range: -55°C to $+100^{\circ}\text{C}$
Board size: 44 mm(L) x 26 mm(W) x 10 mm(H)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIM

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

General Description

The MAX220-MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12V$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than $5\mu W$. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

Portable Computers
Low-Power Modems
Interface Translation
Battery-Powered RS-232 Systems
Multidrop RS-232 Networks

Features

Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering Information continued at end of data sheet.
*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μF)	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAX220-MAX249

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V _{CC})	.....-0.3V to +6V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	..440mW
Input Voltages		16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C)	...696mW
T _{IN}	.....-0.3V to (V _{CC} - 0.3V)	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	.....762mW
R _{IN} (Except MAX220)	.....±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	.....762mW
R _{IN} (MAX220)	.....±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	.....800mW
T _{OUT} (Except MAX220) (Note 1)	.....±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	.....640mW
T _{OUT} (MAX220)	.....±13.2V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	.....800mW
Output Voltages		18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	.....842mW
T _{OUT}	.....±15V	Operating Temperature Ranges	
R _{OUT}	.....-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	MAX2__AC__, MAX2__C__	.....0°C to +70°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	.....Continuous	MAX2__AE__, MAX2__E__	.....-40°C to +85°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		MAX2__AM__, MAX2__M__	.....-55°C to +125°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	.....842mW	Storage Temperature Range	.....-65°C to +160°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	.....889mW	Lead Temperature (soldering, 10sec)	.....+300°C

Note 1: Input voltage measured with T_{OUT} in high-impedance state, SHDN or V_{CC} = 0V.

Note 2: For the MAX220, V₊ and V₋ can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

(V_{CC} = +5V ±10%, C1-C4 = 0.1μF, MAX220, C1 = 0.047μF, C2-C4 = 0.33μF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 TRANSMITTERS						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND		±5	±8		V
Input Logic Threshold Low				1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High	All devices except MAX220		2	1.4		V
	MAX220: V _{CC} = 5.0V		2.4			
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation			5	40	μA
	SHDN = 0V, MAX222/242, shutdown, MAX220			±0.01	±1	
Output Leakage Current	V _{CC} = 5.5V, SHDN = 0V, V _{OUT} = ±15V, MAX222/242			±0.01	±10	μA
	V _{CC} = SHDN = 0V, V _{OUT} = ±15V			±0.01	±10	
Data Rate				200	116	kb/s
Transmitter Output Resistance	V _{CC} = V ₊ = V ₋ = 0V, V _{OUT} = ±2V		300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	V _{OUT} = 0V		±7	±22		mA
RS-232 RECEIVERS						
RS-232 Input Voltage Operating Range					±30	V
RS-232 Input Threshold Low	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}	0.8	1.3		V
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}		1.8	2.4	V
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V _{CC} = 5V, no hysteresis in shdn.		0.2	0.5	1	V
	MAX243			1		
RS-232 Input Resistance			3	5	7	kΩ
TTL/CMOS Output Voltage Low	I _{OUT} = 3.2mA			0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA		3.5	V _{CC} - 0.2		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V _{OUT} = GND		-2	-10		mA
	Sinking V _{OUT} = V _{CC}		10	30		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

($V_{CC} = +5V \pm 10\%$, $C_1-C_4 = 0.1\mu F$, MAX220, $C_1 = 0.047\mu F$, $C_2-C_4 = 0.33\mu F$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	$\overline{SHDN} = V_{CC}$ or $\overline{EN} = V_{CC}$ ($\overline{SHDN} = 0V$ for MAX222), $0V \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$			± 0.05	± 10	μA
\overline{EN} Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
\overline{EN} Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V_{CC} Supply Current ($\overline{SHDN} = V_{CC}$), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3k Ω load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	$T_A = +25^\circ C$		0.1	10	μA
		$T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$		2	50	
		$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$		2	50	
		$T_A = -55^\circ C$ to $+125^\circ C$		35	100	
\overline{SHDN} Input Leakage Current	MAX222/242				± 1	μA
\overline{SHDN} Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
\overline{SHDN} Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	$C_L = 50pF$ to $250pF$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $V_{CC} = 5V$, $T_A = +25^\circ C$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/ μs
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t_{PHLT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	μs
		MAX220		4	10	
	t_{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
		MAX220		5	10	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t_{PHLR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	μs
		MAX220		0.6	3	
	t_{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
		MAX220		0.8	3	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t_{PHLS}	MAX242		0.5	10	μs
	t_{PLHS}	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t_{ER}			125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t_{DR}			160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time (\overline{SHDN} goes high), Figure 4	t_{ET}		MAX222/242, 0.1 μF caps (includes charge-pump start-up)		250	μs
Transmitter-Output Disable Time (\overline{SHDN} goes low), Figure 4	t_{DT}		MAX222/242, 0.1 μF caps		600	ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	$t_{PHLT} - t_{PLHT}$		MAX222/232A/233A/242/243		300	ns
			MAX220		2000	
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	$t_{PHLR} - t_{PLHR}$		MAX222/232A/233A/242/243		100	ns
			MAX220		225	

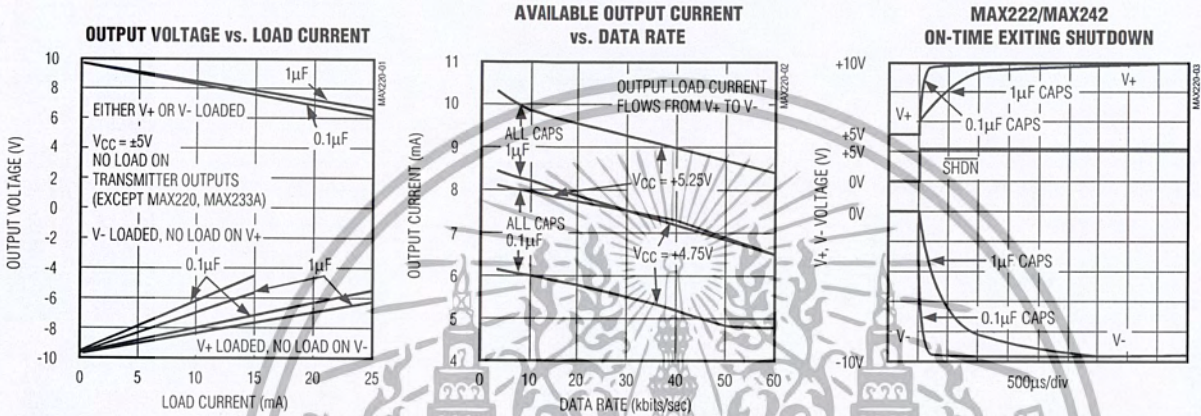
Note 3: MAX243 R_{2OUT} is guaranteed to be low when R_{2IN} is $\geq 0V$ or is floating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

Typical Operating Characteristics

MAX220/MAX222/MAX232A/MAX233A/MAX242/MAX243



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX223/MAX230-MAX241

V _{CC}.....-0.3V to +6V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C).....800mW
V ₊(V _{CC} - 0.3V) to +14V	24-Pin Wide SO (derate 11.76mW/°C above +70°C).....941mW
V ₋+0.3V to -14V	28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C).....1W
Input Voltages	44-Pin Plastic FP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....889mW
T _{IN}.....-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	14-Pin CERDIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....727mW
R _{IN}.....±30V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....800mW
Output Voltages	20-Pin CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....889mW
T _{OUT}.....(V ₊ + 0.3V) to (V ₋ - 0.3V)	24-Pin Narrow CERDIP
R _{OUT}.....-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	(derate 12.50mW/°C above +70°C).....1W
Short-Circuit Duration, T _{OUT}.....Continuous	24-Pin Sidebrazed (derate 20.0mW/°C above +70°C).....1.6W
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)	28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C).....762mW
14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....800mW	Operating Temperature Ranges
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C).....842mW	MAX2...C.....0°C to +70°C
20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....889mW	MAX2...E.....-40°C to +85°C
24-Pin Narrow Plastic DIP	MAX2...M.....-55°C to +125°C
(derate 13.33mW/°C above +70°C).....1.07W	Storage Temperature Range.....-65°C to +160°C
24-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....500mW	Lead Temperature (soldering, 10sec).....+300°C
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C).....762mW	

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230-MAX241

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, V_{CC} = +5V ±10%; MAX233/MAX235, V_{CC} = 5V ±5%, C1-C4 = 1.0μF; MAX231/MAX239, V_{CC} = 5V ±10%; V₊ = 7.5V to 13.2V; T_A = T_{MIN} to T_{MAX}; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to ground		±5.0	±7.3		V
V _{CC} Power-Supply Current	No load, T _A = +25°C	MAX232/233		5	10	mA
		MAX223/230/234-238/240/241		7	15	
		MAX231/239		0.4	1	
V ₊ Power-Supply Current		MAX231		1.8	5	mA
		MAX239		5	15	
Shutdown Supply Current	T _A = +25°C	MAX223		15	50	μA
		MAX230/235/236/240/241		1	10	
Input Logic Threshold Low	T _{IN} ; EN, SHDN (MAX233); EN, SHDN (MAX230/235-241)				0.8	V
Input Logic Threshold High		T _{IN}		2.0		V
		EN, SHDN (MAX223); EN, SHDN (MAX230/235/236/240/241)		2.4		
Logic Pull-Up Current	T _{IN} = 0V			1.5	200	μA
Receiver Input Voltage Operating Range			-30		30	V

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230—MAX241 (continued)

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, $V_{CC} = +5V \pm 10\%$; MAX233/MAX235, $V_{CC} = 5V \pm 5\%$, $C1-C4 = 1.0\mu F$; MAX231/MAX239, $V_{CC} = 5V \pm 10\%$; $V+ = 7.5V$ to $13.2V$; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 Input Threshold Low	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)	0.8	1.2		V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V (R4IN, R5IN)	0.6	1.5		
RS-232 Input Threshold High	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$	Normal operation SHDN = 5V (MAX223) SHDN = 0V (MAX235/236/240/241)		1.7	2.4	V
		Shutdown (MAX223) SHDN = 0V, EN = 5V (R4IN, R5IN)		1.5	2.4	
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$, no hysteresis in shutdown		-0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance	$T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$		3	5	7	k Ω
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 1.6mA$ (MAX231/232/233), $I_{OUT} = 3.2mA$				0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1mA$		3.5	$V_{CC} - 0.4$		V
TTL/CMOS Output Leakage Current	$0V \leq R_{OUT} \leq V_{CC}$; EN = 0V (MAX223); EN = V_{CC} (MAX235-241)			0.05	± 10	μA
Receiver Output Enable Time	Normal operation	MAX223		600		ns
		MAX235/236/239/240/241		400		
Receiver Output Disable Time	Normal operation	MAX223		900		ns
		MAX235/236/239/240/241		250		
Propagation Delay	RS-232 IN to TTL/CMOS OUT; $C_L = 150pF$	Normal operation SHDN = 0V (MAX223)				μs
		I _{PHLS}	0.5	4	10	
		I _{PLHS}	6	40	40	
Transition Region Slew Rate	MAX223/MAX230/MAX234-241, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		3	5.1	30	V/ μs
	MAX231/MAX232/MAX233, $T_A = +25^\circ C$, $V_{CC} = 5V$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $C_L = 50pF$ to $2500pF$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$			4	30	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V+ = V- = 0V$, $V_{OUT} = \pm 2V$		300			Ω
Transmitter Output Short-Circuit Current				± 10		mA

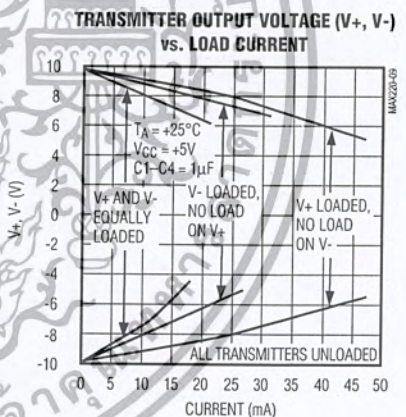
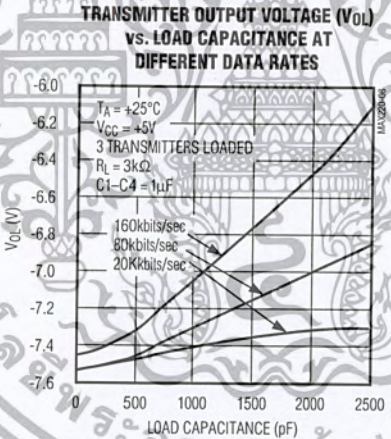
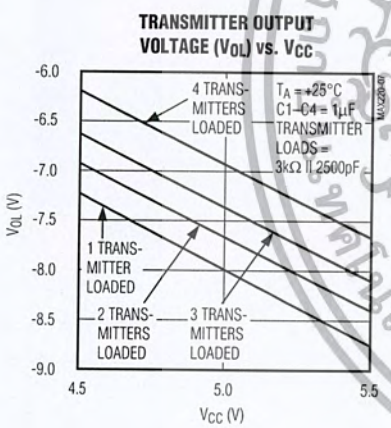
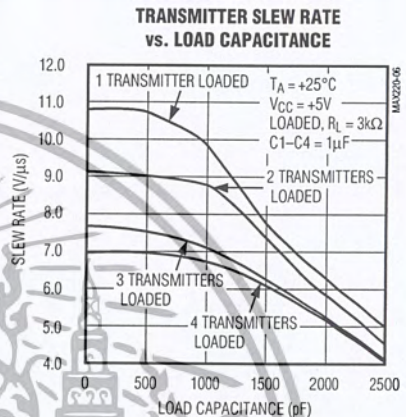
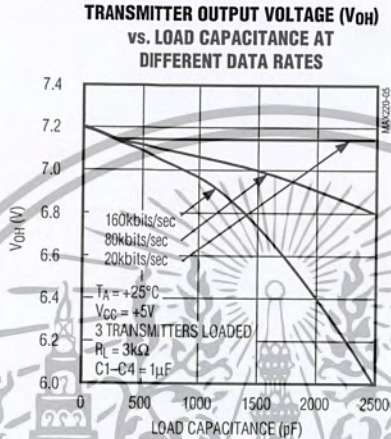
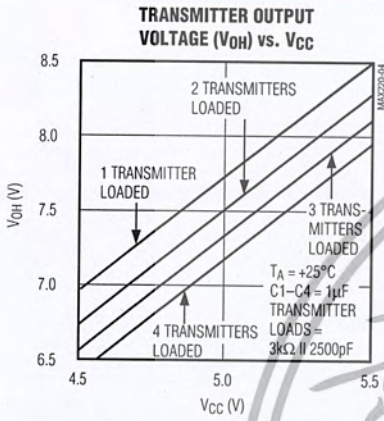
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

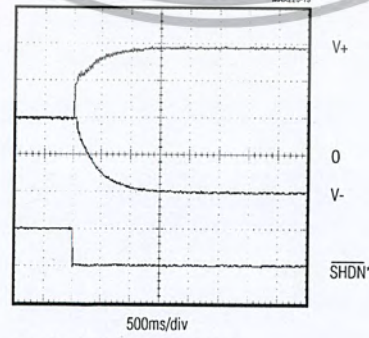
Typical Operating Characteristics

MAX223/MAX230-MAX241

MAX220-MAX249



V_+ , V_- WHEN EXITING SHUTDOWN ($1\mu\text{F}$ CAPACITORS)



*SHUTDOWN POLARITY IS REVERSED FOR NON MAX241 PARTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX225/MAX244—MAX249

Supply Voltage (V_{CC})	-0.3V to +6V	Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ\text{C}$)	
Input Voltages		28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$)	1W
T_{IN} , ENA, ENB, ENR, ENT, ENRA, ENRB, ENTA, ENTB	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)	40-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$)	611mW
R_{IN}	$\pm 25V$	44-Pin PLCC (derate 13.33mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$)	1.07W
T_{OUT} (Note 3)	$\pm 15V$	Operating Temperature Ranges	
R_{OUT}	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)	MAX225C_, MAX24_C_	0 $^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$
Short Circuit (one output at a time)		MAX225E_, MAX24_E_	-40 $^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$
T_{OUT} to GND	Continuous	Storage Temperature Range	-65 $^\circ\text{C}$ to $+160^\circ\text{C}$
R_{OUT} to GND	Continuous	Lead Temperature (soldering, 10sec)	$+300^\circ\text{C}$

Note 4: Input voltage measured with transmitter output in a high-impedance state, shutdown, or $V_{CC} = 0V$.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244—MAX249

(MAX225, $V_{CC} = 5.0V \pm 5\%$; MAX244—MAX249, $V_{CC} = +5.0V \pm 10\%$, external capacitors C1—C4 = 1 μF ; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 TRANSMITTERS					
Input Logic Threshold Low			1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High		2	1.4		V
Logic Pull-Up/Input Current	Tables 1a-1d	Normal operation	10	50	μA
		Shutdown	± 0.01	± 1	
Data Rate	Tables 1a-1d, normal operation		120	64	kbits/sec
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3k Ω to GND	± 5	± 7.5		V
Output Leakage Current (shutdown)	Tables 1a-1d	ENA, ENB, ENT, ENTA, ENTB = V_{CC} , $V_{OUT} = \pm 15V$	± 0.01	± 25	μA
		$V_{CC} = 0V$, $V_{OUT} = \pm 15V$	± 0.01	± 25	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V_+ = V_- = 0V$, $V_{OUT} = \pm 2V$ (Note 4)	300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	$V_{OUT} = 0V$	± 7	± 30		mA
RS-232 RECEIVERS					
RS-232 Input Voltage Operating Range				± 25	V
RS-232 Input Threshold Low	$V_{CC} = 5V$	0.8	1.3		V
RS-232 Input Threshold High	$V_{CC} = 5V$		1.8	2.4	V
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$	0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance		3	5	7	k Ω
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 3.2mA$		0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1.0mA$	3.5	$V_{CC} - 0.2$		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing $V_{OUT} = GND$	-2	-10		mA
	Shrinking $V_{OUT} = V_{CC}$	10	30		
TTL/CMOS Output Leakage Current	Normal operation, outputs disabled, Tables 1a-1d, $0V \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$, ENR_ = V_{CC}		± 0.05	± 0.10	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244-MAX249 (continued)

(MAX225, $V_{CC} = 5.0V \pm 5\%$; MAX244-MAX249, $V_{CC} = +5.0V \pm 10\%$, external capacitors C1-C4 = $1\mu F$; $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} ; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLY AND CONTROL LOGIC						
Operating Supply Voltage		MAX225	4.75		5.25	V
		MAX244-MAX249	4.5		5.5	
V_{CC} Supply Current (normal operation)	No load	MAX225		10	20	mA
		MAX244-MAX249		11	30	
	$3k\Omega$ loads on all outputs	MAX225		40		
		MAX244-MAX249		57		
Shutdown Supply Current	$T_A = +25^\circ C$			8	25	μA
	$T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}				50	
Control Input	Leakage current				± 1	μA
	Threshold low			1.4	0.8	V
	Threshold high		2.4	1.4		
AC CHARACTERISTICS						
Transition Slew Rate	$C_L = 50pF$ to $2500pF$, $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$, $V_{CC} = 5V$, $T_A = +25^\circ C$, measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		5	10	30	V/ μs
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t_{PHLT}			1.3	3.5	μs
	t_{PLHT}			1.5	3.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 2	t_{PHLR}			0.6	1.5	μs
	t_{PLHR}			0.6	1.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (low-power mode), Figure 2	t_{PHLS}			0.6	10	μs
	t_{PLHS}			3.0	10	
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	$t_{PHLT} - t_{PLHT}$			350		ns
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	$t_{PHLR} - t_{PLHR}$			350		ns
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t_{ER}			100	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t_{DR}			100	500	ns
Transmitter Enable Time	t_{ET}	MAX246-MAX249 (excludes charge-pump start-up)		5		μs
		MAX225/MAX245-MAX249 (includes charge-pump start-up)		10		ms
Transmitter Disable Time, Figure 4	t_{DT}			100		ns

Note 5: The 300Ω minimum specification complies with EIA/TIA-232E, but the actual resistance when in shutdown mode or $V_{CC} = 0V$ is $10M\Omega$ as is implied by the leakage specification.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

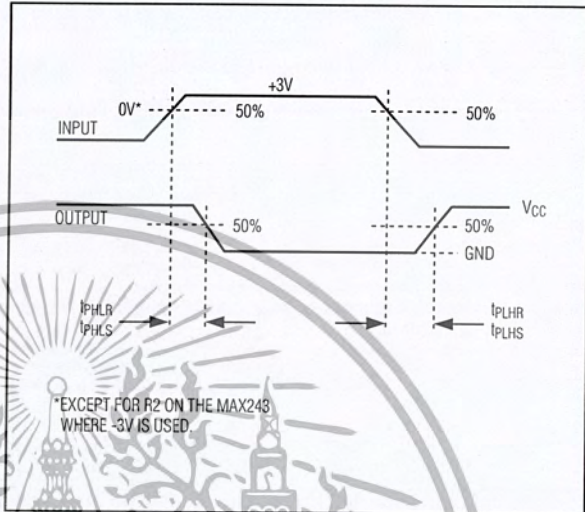
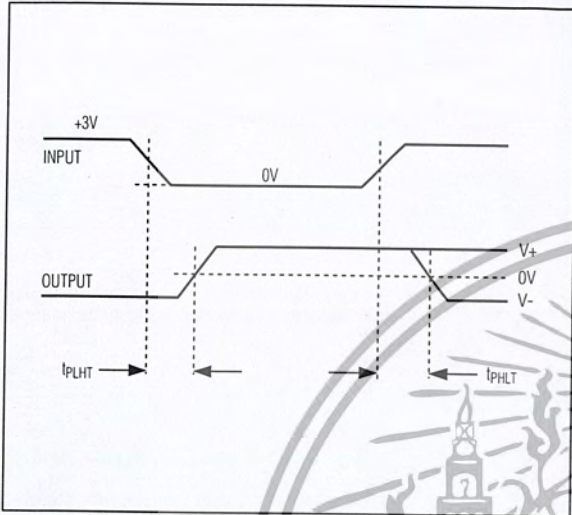


Figure 1. Transmitter Propagation-Delay Timing

Figure 2. Receiver Propagation-Delay Timing

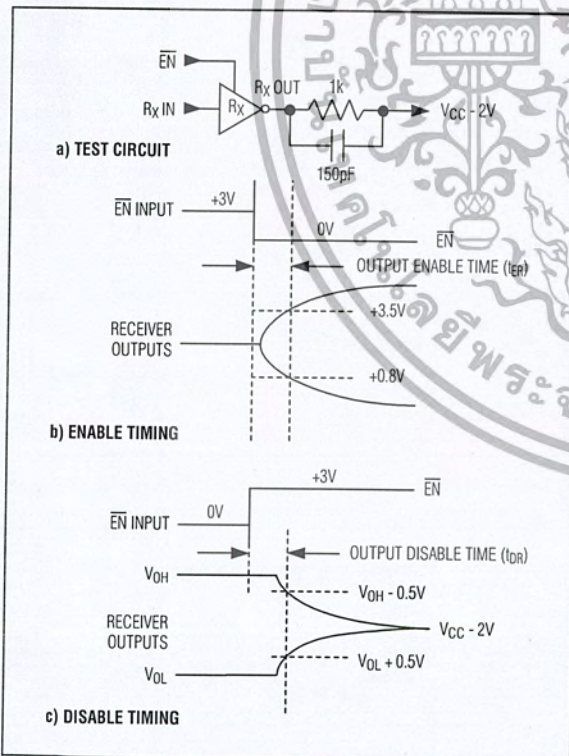


Figure 3. Receiver-Output Enable and Disable Timing

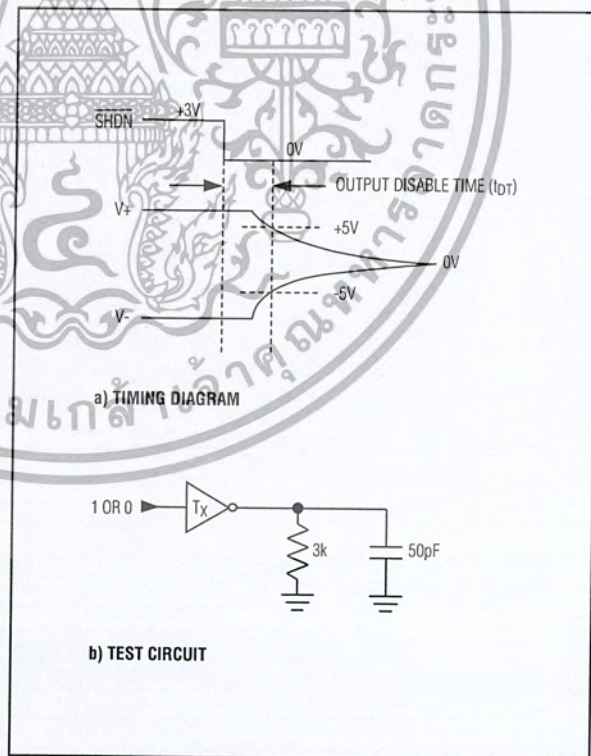


Figure 4. Transmitter-Output Disable Timing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

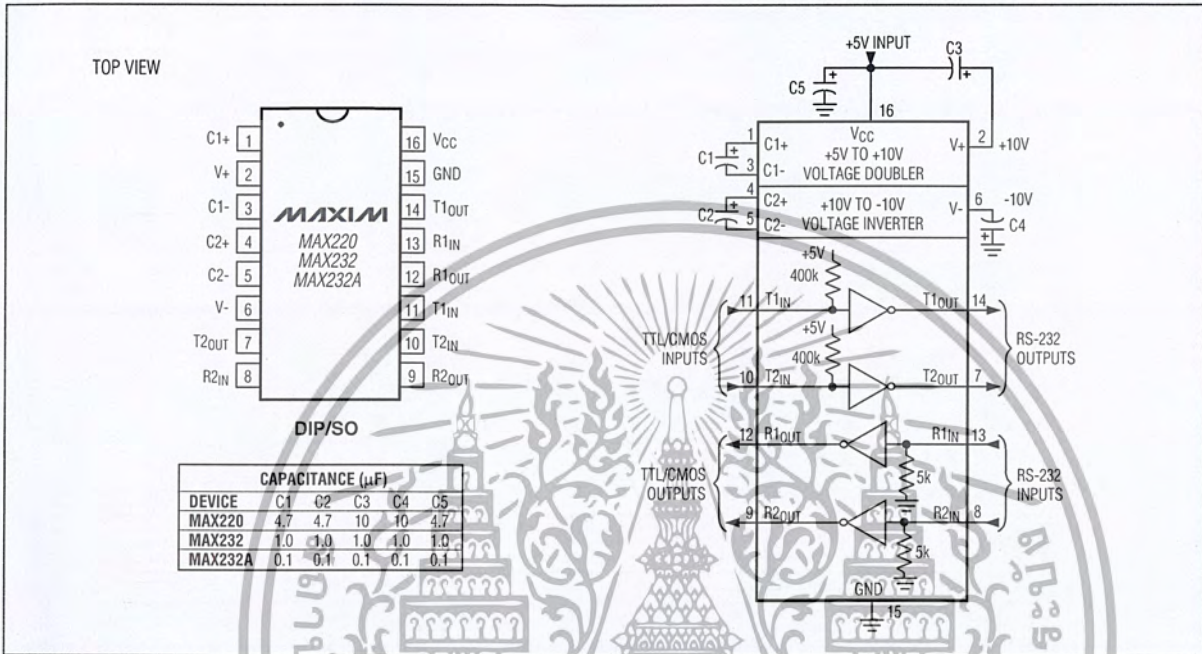


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

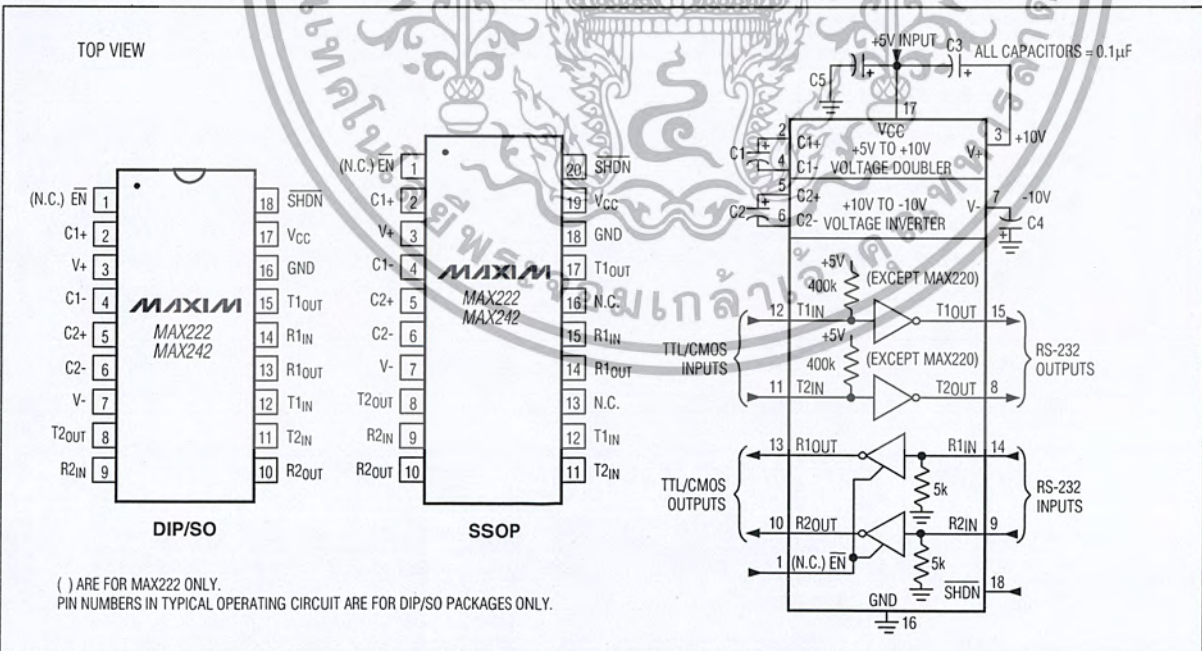


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เมธี มานันตพงศ์, อิศรา เพชรเลิศอนันต์ , “การศึกษาเกี่ยวกับเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส”, ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาโทรคมนาคม , 2541
- [2] ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ, “หลักการระบบสื่อสาร”, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2539
- [3] L.C. Larijani, “GPS for everyone”, American Interface Corporation , New York . 1998
- [4] E. D.Kaplan , “Understanding GPS”, Artech House , Boston , 1996
- [5] P. J.G. Teunissen , A. Kleusberg , “GPS for geodesy” .Springer. Berlin . 1998



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้