

# การควบคุมเส้นทางรถที่ด้วยระบบ GPS

(Car Navigator With GPS System)



จัดทำโดย

1. นายพนพฤทธิ รัตนเทวมาตย์ เลขประจำตัว 38014223
2. นายภูพาน อัครราช เลขประจำตัว 38014380
3. นายมรรคพล สุขสว่าง เลขประจำตัว 38014394

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์

ปริญญานิพนธ์นี้ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

ณ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ณ

ปีการศึกษา 2541

เลขที่.....  
เลขทะเบียน.....  
วันที่, เดือน, ปี 27 ก.ย. 2542

ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ชื่อโครงการ การควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยระบบ GPS

ผู้จัดทำ

- |              |              |             |          |
|--------------|--------------|-------------|----------|
| 1. นายนพฤทธิ | รัตนเทวมาตย์ | เลขประจำตัว | 38014223 |
| 2. นายภูพาน  | อัคราช       | เลขประจำตัว | 38014380 |
| 3. นายมรรคพล | สุขสว่าง     | เลขประจำตัว | 38014394 |



โครงการนี้ทำการตรวจสอบแล้ว อนุญาตให้ทำการสอบได้

  
.....  
(อาจารย์สุมิตร พนาอุคมทรัพย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญาพนธ์ การควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยระบบ GPS

นักศึกษา นายนพฤทธิ์ รัตนเทวมาศย์  
นายภูพาน อัคราช  
นายมรรคพล สุขสว่าง

อาจารย์ผู้ควบคุม อาจารย์สุมิตร พนาอุคมทรัพย์

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541



ปัจจุบันนี้ ความสนใจในการทำงานและประยุกต์ใช้ระบบดาวเทียม GPS มีเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย อีกทั้งสามารถนำมาใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน โดย GPS สามารถบอกตำแหน่งของ ละติจูด, ลองจิจูด และความเร็วปัจจุบันต่อผู้ใช้ได้ โครงการควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยระบบ GPS นี้จึงนำคุณสมบัติดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งาน โปรแกรมรับค่าตำแหน่งปัจจุบันจาก GPS และทำการคำนวณหาเส้นทางที่ระยะทางสั้นที่สุดในการเดินทาง ไปยังจุดหมาย ค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณอัน ได้แก่ ทิศทาง และระยะทาง หาได้จาก การสำรวจด้วย GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Car Navigator With GPS System	
<b>Student</b>	Mr. Noparit	Rattanatawamart
	Mr. Puparn	Akaraj
	Mr. Mukapol	Suksawang
<b>Thesis Advisor</b>	Mr. Sumit	Panaudomsup
<b>Level of Study</b>	Bachelor of Engineering in Control Engineering	
<b>Department</b>	Control Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	
<b>Year</b>	1998	



### Abstract

Recently, An interested in work and applied with GPS (Global Position System) has been increased. Because there are High Technology and useable in daily life. GPS can show the details of Latitude, Longitude, Velocity and Height (3 direction).

This "Car Navigator With GPS System" Project will use there properties of GPS. Program will receive the position of user form GPS and calculate the shortest way to target.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ ที่ได้ให้คำปรึกษาด้วยความ เป็นกันเอง รวมถึงอาจารย์ทุกๆท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้มาจนถึงทุกวันนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆใน ภาควิชาคอนโทลทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจให้ความช่วยเหลือมาตลอด รวมถึงเพื่อนๆที่ๆน้องๆชุมนุม MUSIC ทุก คนและชาวข้ามเมฆ ขอขอบคุณเสียด้อมที่ให้ยืมสแกนเนอร์ ขอขอบคุณ โต๊ะที่ให้ยืมห้องทำงาน ขอขอบคุณธีร์ ไซซ เศษ สำหรับเพลงที่ช่วยขับเคลื่อนงานสำเร็จ และยิ่งไปกว่านั้นหลวงพี่ทศที่ทำให้กลุ่มทำงานนี้มีโอกาสเข้าวัด เหมือนคนอื่นบ้าง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรักและดูแลตราบจนถึงทุกวันนี้ ขอบพระคุณที่ ให้โอกาสทางการศึกษา และให้โอกาสได้เป็นคนดีของสังคม



คณะผู้จัดทำ  
 นายณพัทธ์ รัตนเทวมาศย์  
 นายภูพาน อัคราช  
 นายมรรคพล สุขสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ภาพรวมของระบบ	3
2.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียม	3
2.1.2 ส่วนของสถานีควบคุม	5
2.1.3 ส่วนของผู้ใช้	6
2.2 การให้บริการของระบบ GPS	8
2.2.1 การบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ	8
2.2.2 การบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน	8
2.3 ลักษณะของสัญญาณดาวเทียมในระบบ GPS	8
2.3.1 Coarse/Acquisition Code (C/A)	9
2.3.2 P-Code	9
2.3.3 ข่าวสารการนำร่อง	10
2.4 การทำงานของเครื่องรับสัญญาณ GPS	11
2.4.1 การเลือกดาวเทียม	11
2.4.2 การรับสัญญาณดาวเทียม	12
2.4.3 การถอดรหัสข้อมูล	12
2.5 การคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ	13
2.5.1 การระบุตำแหน่งโดยสัญญาณดาวเทียม	13
2.5.2 ระบบพิกัดอ้างอิง	15
2.6 การหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ	17
2.7 การผิดพลาดทางระบบ GPS	19
2.7.1 Ephemeris Data Errors	19
2.7.2 Satellite Clock Errors	19
2.7.3 Security Signals	19
2.7.4 Ionosphere Errors	20
2.7.5 Troposphere Errors	20
2.7.6 Multipath Errors	20
2.7.7 Receiver Errors	20
2.7.8 ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการจับกลุ่มกันของดาวเทียมที่ใช้ นำร่อง	20

	หน้า
2.8 มาตรฐาน NMEA และ โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของจีพีเอส	22
2.8.1 มาตรฐาน NMEA (NMEA Standard)	22
2.8.2 มาตรฐาน NMEA-183	23
2.8.3 โปรโตคอล NMEA-183	23
บทที่3 การนำระบบจีพีเอสมาใช้ในการควบคุมเส้นทางการเดินรถ	28
3.1 การทดสอบการทำงานของเครื่อง GPS	28
บทที่4 การคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด	30
4.1 Concept ของวิธี Floyd's Algorithm	30
4.2 ตัวอย่างของ Floyd's Algorithm	32
บทที่5 โครงสร้างโปรแกรม	33
5.1 โครงสร้างโปรแกรม	33
5.2 โปรแกรมในส่วนของการเก็บข้อมูล	33
5.3 โปรแกรมในส่วนของการคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุด	37
5.4 โปรแกรมในส่วนของการแสดงตำแหน่งปัจจุบัน	40
บทที่6 หลักการทำงานของโปรแกรม	42
บทที่7 สรุปการทำงานและการพัฒนา	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	47

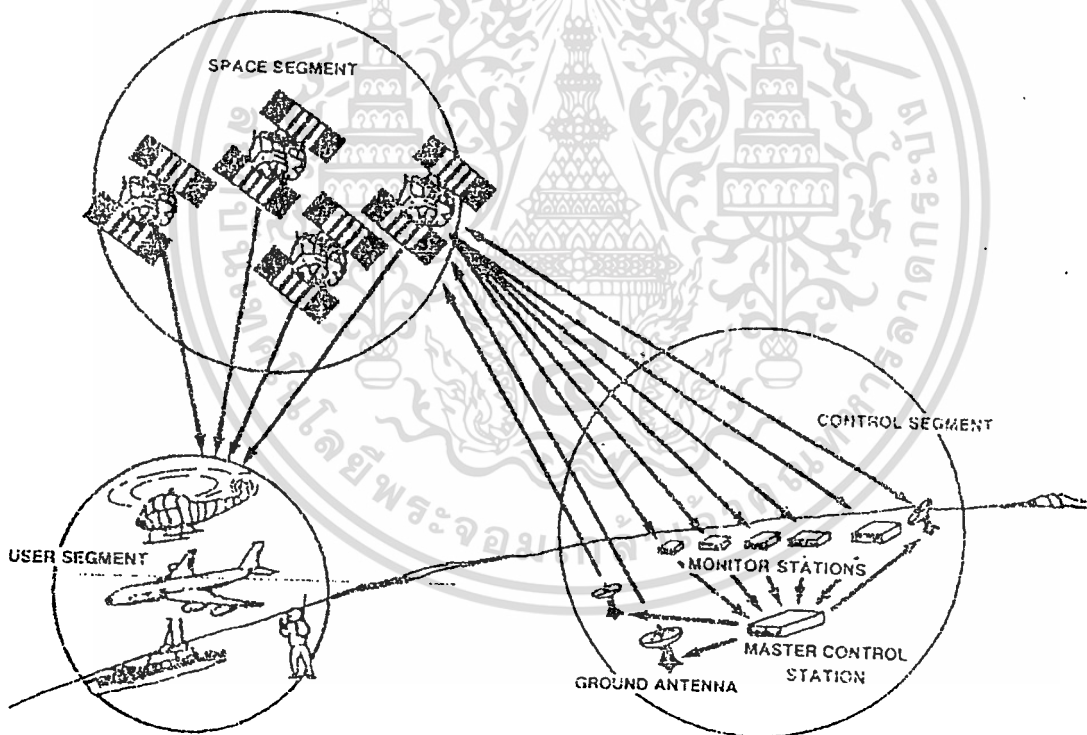
## สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1-1	การใช้งานระบบ GPS	1
2-1	ภาพรวมของระบบ GPS	3
2-2	กลุ่มดาวเทียมจีพีเอสโดยมีระนาบวงโคจร 6 ระนาบแต่ละระนาบมีดาวเทียม 4 ดวง	3
2-3	ภาพฉายของระนาบวงโคจรดาวเทียม ณ เวลาหนึ่ง	4
2-4	การทำงานในส่วนควบคุม	5
2-5	สถานที่ตั้งของสถานีควบคุม	6
2-6	การประยุกต์ใช้งานในส่วนของผู้ใช้	7
2-7	สัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียม	9
2-8	Spectrum ความถี่ของสัญญาณจากดาวเทียม	10
2-9	ข่าวสารการนำร่อง	11
2-10	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณ GPS	12
2-11	การถอดรหัสข้อมูลข่าวสารการนำร่อง	13
2-12	การตัดกันของระนาบห่างจากดาวเทียมอันเป็นตำแหน่งของเครื่องรับ	14
2-13	ภาพจำลองระบบ ECEF	15
2-14	ภาพจำลองของโลกที่เป็นวงรีในแบบ WGS-84	16
2-15	การกำหนดพิกัดแบบละติจูด, ลองจิจูดและความสูง	19
2-16	POOR GDOP	21
2-17	ผลของ POOR GDOP แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การตัดกันที่กว้างมาก	21
2-18	GOOD GDOP	22
2-19	ผลของ GOOD GDOP แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การตัดกันที่แคบลง	22
4-1	ลักษณะของกราฟ	30
4-2	กราฟแบบมีทิศทางและมีการกำหนดค่าบนออร์ซ	31
4-3	ค่า Matrix A ที่ได้รับการวน 3 รอบ	31
5-1	ภาพตารางเกี่ยวกับข้อมูลแผนที่	34
5-2	ภาพตารางเกี่ยวกับข้อมูล Node	35
5-3	ภาพตารางเกี่ยวกับข้อมูลเส้นทางและระยะทาง	36
5-4	โปรแกรมในส่วนของการเลือกตำแหน่งปลายทาง	37
5-5	การเลือกตำแหน่งปลายทางที่ได้มีการกำหนดชื่อไว้แล้ว	38
5-6	แสดงตำแหน่งที่ได้เลือกแล้ว	39
5-7	โปรแกรมส่วนการคำนวณเส้นทางที่สั้นที่สุด	40
5-8	การทำงานของโปรแกรมในส่วนของการแสดงตำแหน่งปัจจุบัน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1 บทนำ

ระบบบอกตำแหน่งบนพื้นโลกโดยใช้ดาวเทียมนำพาสตาร์ หรือ จีพีเอส (The Global Positioning System (GPS)) เป็นระบบบอกพิกัดตำแหน่งอ้างอิงกับพื้นโลก โดยการส่งคลื่นวิทยุจากดาวเทียมในอวกาศมายังภาคพื้นดิน และใช้ความต่างของเวลาในการส่ง-รับสัญญาณระหว่างดาวเทียม (อย่างน้อย 4 ดวง) กับตัวรับสัญญาณ ในการคำนวณหาตำแหน่ง, ความเร็วและเวลา (Position, Velocity, Time) ให้กับผู้ใช้งานทั้งทางบก, ทางทะเล, ทางอากาศ และทางอวกาศ ตามปกติระบบจีพีเอส จะมีการใส่รหัสเพื่อให้เกิดความผิดพลาดเล็กน้อย เนื่องจากเดิมที่ผู้คิดค้นคือทางกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา นั้นต้องการนำระบบนี้มาใช้ในทางการทหาร แต่เนื่องจากที่ระบบนี้เป็นระบบเปิดคือสัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งออกมา โดยที่ผู้ใช้ทั่วไปสามารถรับและนำมาใช้ได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการใช้งานในทางที่ผิด จึงมีการใส่รหัสเพื่อให้ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นจะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ระบบจีพีเอสประกอบด้วย 3 ระบบหลัก คือ ส่วนของกลุ่มดาวเทียม (Space Segment), ส่วนสถานีควบคุม (Control Segment) และส่วนของผู้ใช้งาน (User segment)



รูปที่ 1-1 แสดงภาพการใช้งานระบบ GPS

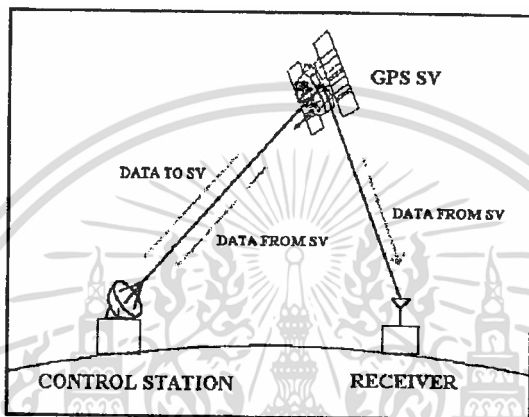
ส่วนของดาวเทียม ประกอบด้วยหมู่ดาวเทียมนำพาสตาร์ 24 ดวงครอบคลุมพื้นที่รอบโลก โดยแต่ละดวงจะทำหน้าที่ กระจายสัญญาณรหัสย่าน RF และส่งข้อมูลข่าวสารการนำร่อง (Navigation Data Message) ส่วนของสถานีควบคุมจะประกอบด้วยเครือข่ายสำหรับการติดตามดาวเทียม (Network of Monitoring) และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกอื่นๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงสัญญาณและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 ภาพรวมของระบบ (System Overview)

ระบบ จีพีเอส ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

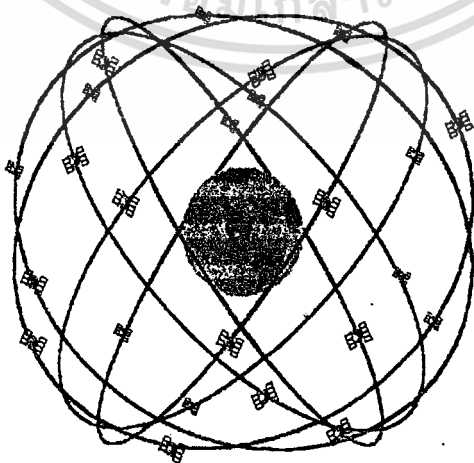
- 2.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียม (Space Segment)
- 2.1.2 ส่วนสถานีควบคุม (Operation Control Segment)
- 2.1.3 ส่วนของผู้ใช้ (User Receiving Segment)



รูปที่ 2-1 แสดงภาพรวมของระบบจีพีเอส

#### 2.1.1 ส่วนของกลุ่มดาวเทียม (Space Segment)

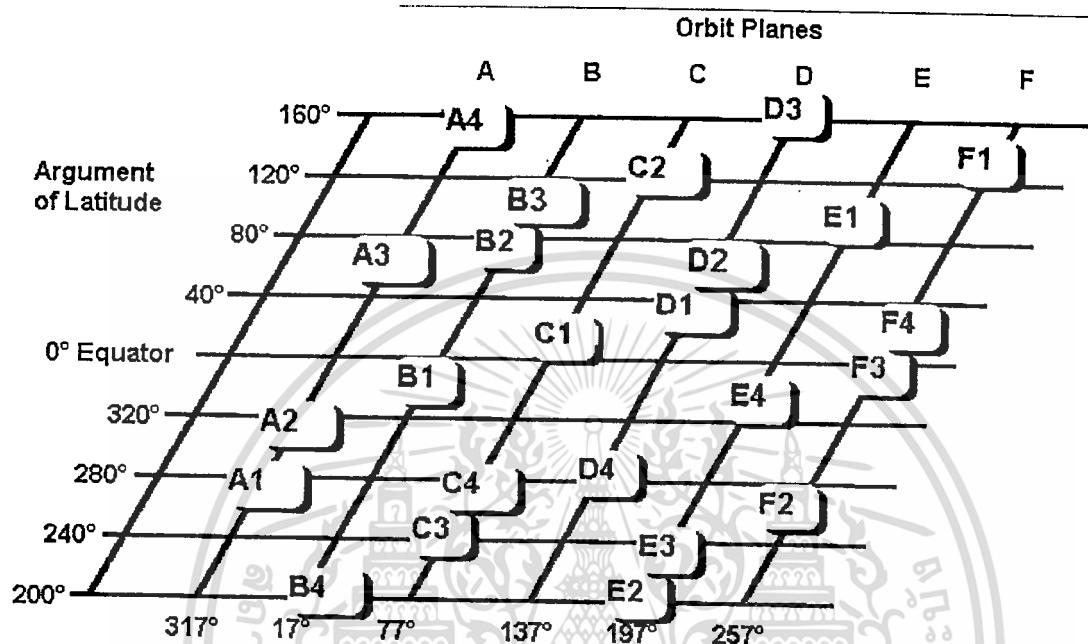
ส่วนของกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส ประกอบด้วยกลุ่มดาวเทียมนาฟตาร์ 24 ดวง ในวงโคจรเซมิซิงโครนัส (Semi-Synchronous Orbit) (ประมาณ 12 ชั่วโมง) ดาวเทียมจะถูจัดใน 6 ระนาบวงโคจร ซึ่งจะมีดาวเทียม 4 ดวง ในแต่ละระนาบวงโคจรจะมีมุมเอียง (Inclination Angles) 55 องศาสัมพันธ์กับเส้นศูนย์สูตร (Equator) ของโลกและดาวเทียม โดยจะมีความสูงเฉลี่ยของการโคจร 20,000 กิโลเมตร (10911 Nautical Miles) เหนือผิวโลก



รูปที่ 2-2 แสดงกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส โดยมีระนาบวงโคจร 6 ระนาบแต่ละระนาบจะมีดาวเทียมอยู่ 4 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทางวิชาการที่จัดทำขึ้นโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียมจะโคจร 1 รอบใช้เวลาประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที โดยจะวนตามเส้นทางเหนือขั้วโลกซ้ำกัน ทุกๆ 23 ชั่วโมง 56 นาที ผู้ใช้อยู่บน ตำแหน่งคงที่บนพื้นดิน จะเห็นดาวเทียมดวงเดิมในแต่ละวันผ่านเส้นทางเดิมใน ท้องฟ้า แต่ดาวเทียมจะขึ้นและตกเร็วขึ้น 4 นาที ในแต่ละวันเนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง ดาวเทียมจะถูกวาง ตำแหน่งในระบบวงโคจรที่จะทำให้ดาวเทียม 4 ดวงในระนาบนั้น สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดสังเกตได้ในทุกๆ ที่ บนโลก



รูปที่ 2-3 แสดงภาพฉายของระนาบวงโคจรดาวเทียม ๗ เวลาหนึ่ง

เพื่อความสะดวกในการอ้างถึงดาวเทียม จะมีวิธีการอ้างถึง 3 วิธี คือ

- กำหนดด้วยอักษร A-F ให้กับระนาบในแต่ละระนาบและ 1-4 ให้กับดาวเทียมในระนาบ
- กำหนดโดยใช้หมายเลขดาวเทียมนาฟสตาร์ ที่ถูกกำหนดโดย U.S. Air Force ในการบ่งชี้ดาวเทียม
- กำหนดโดยใช้รหัสสุโดเรนดอม (Pseudorandom Code) ดาวเทียมแต่ละดาวจะมีรหัสสุโดเรนดอมที่ไม่

เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ความต่างนี้ในการอ้างถึงดาวเทียมได้

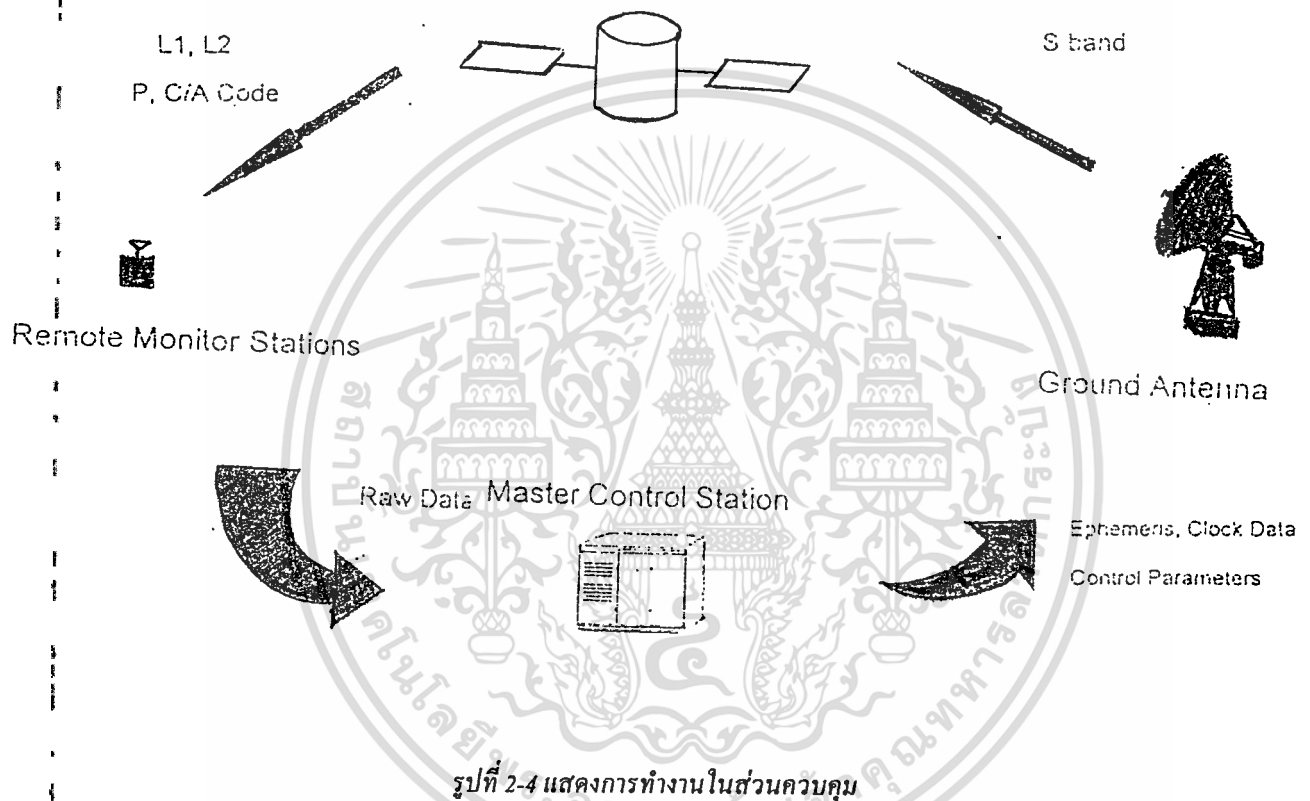
ดาวเทียมจะส่งสัญญาณเพื่อวัฏระยะทางออกมาในบนความถี่ D-Band 2 ย่าน คือ Link1 (L1) ที่ 1575.42 MHz และ Link2 (L2) ที่ 1227.6 MHz สัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งโดยใช้เทคนิคสเปกตรัมกระจาย (Spread-Spectrum) โดยใช้รหัสที่แตกต่างกันอยู่ 2 รหัส คือ รหัส C/A (coarse/acquisition code) ที่มีความถี่ 1.023 MHz บน L1 และรหัส P (Precision code) ความถี่ 10.23 MHz บนทั้ง L1 และ L2 รหัส C/A และรหัส P นี้ สามารถถูกใช้เพื่อ บอกระยะทางระหว่างดาวเทียมกับผู้ใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตาม ปกติรหัส P จะถูกเข้ารหัสไว้ และสามารถที่จะ ไขบอกระยะทาง ระหว่างทางการเท่านั้น รหัส P ที่ถูกเข้ารหัสสัญญาณอีกครั้งเรียกว่ารหัส Y ส่วนข่าวสารการนำร่อง (Navigation Message) คือข้อมูลไบนารีสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม (Satellite Clock-Data) ข้อมูลอีพีมอริส (Satellite Ephemeris Data) สำหรับดาวเทียมที่ส่งสัญญาณข้อมูลที่ใส่แก้ไขข้อผิดพลาด ที่เกิดจากการเดินทางผ่าน ชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere Signal-Propagation Correction Data) ข้อมูลอัลแมนซ์ของดาวเทียม (Satellite Almanac Data) สำหรับดาวเทียมทุกดวงในกลุ่ม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 ส่วนของสถานีควบคุม (Operation Control Segment)

ส่วนของสถานีควบคุมมีส่วนรับผิดชอบการทำงานของดาวเทียม จีพีเอส เช่นการรักษาตำแหน่งดาวเทียม (Station Keeping), ตรวจสอบและระบบต่างๆบนดาวเทียม, ตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell), ระดับพลังงานของแบตเตอรี่, การเปิดดาวเทียมสำรอง, ปรับปรุงข้อมูลเวลา, ข้อมูลอีพีมอริส (Ephemeris), ข้อมูลอัลมาแนค (Almanac) และตัวชี้ค่าอื่นๆ ในข่าวสารการนำร่องวันละครั้ง หรือตามแต่ความจำเป็น

ส่วนควบคุมประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สถานีสังเกตการณ์ (Monitor Station) สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station) และจานสายอากาศภาคพื้นดิน (Ground Antenna)



รูปที่ 2-4 แสดงการทำงานในส่วนควบคุม

#### 2.1.2.1 สถานีสังเกตการณ์ (Monitor Station)

สถานีสังเกตการณ์จะมีเครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส ทั้ง 2 ความถี่ (L1 และ L2) โดยจะทำการวัดค่าซูโดเรนจ์ และ เคลตาเรนจ์ ของแต่ละดาวเทียมที่ผ่านสถานีและมีนาฬิกา Cesium 2 ตัวที่ตั้งเวลาเพื่อใช้ในการอ้างอิงกับเวลาของระบบจีพีเอส

สัญญาณจากดาวเทียมที่ส่งมาถึงสถานีสังเกตการณ์ นั้นมีการหักเหและล่าช้าในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และ โทรโปสเฟียร์ เรียกการล่าช้านี้ว่าไอโอโนสเฟียร์ดีเลย์ (Ionosphere Delay) และโทรโปสเฟียร์ดีเลย์ (Tropospheric Delay) การล่าช้านี้จะทำให้เกิดการผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งการแก้ไขนั้นสถานีสังเกตการณ์จะรวบรวมข้อมูลจากสัญญาณที่ได้รับทั้ง 2 ความถี่ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และจะส่งไปยังสถานีควบคุมหลักโดยกรมอวกาศของสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดและหาข้อมูลที่ต้องใช้ต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2.2 สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station)

สถานีควบคุมหลักมีหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูล ที่ได้รับจากสถานีสังเกตการณ์เพื่อตรวจสอบและกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม ข้อมูลอัลมาแนค ข้อมูลอีพีเมอร์สิสให้ถูกต้อง โดยเริ่มจากแก้ไขค่าจูโดเรนต์ที่เกิดจากการล่าช้าเนื่องจากการผ่านชั้นบรรยากาศ ของทุก ๆ สถานีสังเกตการณ์จากนั้น จึงนำไปผ่านคาลมานฟิลเตอร์ (Kalman Filter) เพื่อให้ได้ค่า อีพีเมอร์สิสและค่าการเหลื่อมของสัญญาณนาฬิกาที่ถูกต้อง โดยฟิลเตอร์จะถูกอัปเดตทุกๆ 15 นาทีด้วยค่าตำแหน่งของดาวเทียมที่ถูกคำนวณในระบบโคออดิเนตแบบเอิร์ธเซนเตอร์เอิร์ธฟิกซ์ (Earth-Center Earth-Fixed (ECEF) ) สถานีควบคุมหลักจะเป็นศูนย์กลางในการทำงานของส่วนควบคุม ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศ Falcon, Colorado Spring, CO. ส่วนสถานีสังเกตการณ์จะกระจายอยู่ตามที่ต่างๆ เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมในย่าน L-Band และจะส่งสัญญาณเดือนไปยังสถานีควบคุมหลักภายใน 60 วินาทีหากตรวจพบความผิดปกติ



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

รูปที่ 2-5 แสดงสถานที่ตั้งของสถานีควบคุม

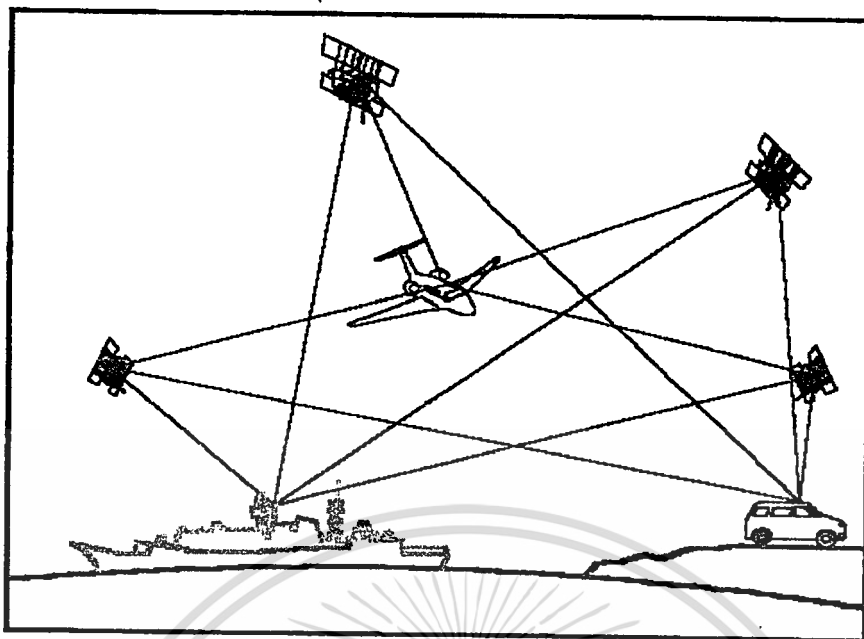
### 2.1.2.3 สายอากาศภาคพื้นดิน (Ground Uplink Antenna Facility)

ส่วนของสถานีสายอากาศภาคพื้นดินจะทำการส่งคำสั่ง ข้อมูลการนำร่อง และข้อมูลอื่นๆที่เรียกว่า TT&C (Telemetry, Tracking and Command) ซึ่งเตรียมพร้อมโดยสถานีควบคุมหลักสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังสถานีสายอากาศภาคพื้นดิน และเก็บไว้จนกว่าดาวเทียมดวงที่ต้องการส่งข้อมูล จะผ่านมาโดยจะส่งผ่านคลื่นความถี่ S-Band โดยสถานีสายอากาศจะตั้งอยู่คู่กับสถานีสังเกตการณ์

### 2.1.3 ส่วนของผู้ใช้ (User Receiving Segment)

ในส่วนของผู้ใช้ นั้น ส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องรับสัญญาณจีทีเอส โดยจะรับสัญญาณ L-Band ที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมและนำมาคำนวณเพื่อหาค่าตำแหน่ง, ความเร็วและเวลา (Position, Velocity, Time) ของเครื่องรับ จากนั้นจะนำค่าไปประยุกต์ใช้งานตามแต่ลักษณะการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6 แสดงการประยุกต์ใช้งานในส่วนของผู้ใช้

ส่วนประกอบหลักของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส จะประกอบไปด้วย สายอากาศ, เครื่องรับ (Receiver), โปรเซสเซอร์, อุปกรณ์อินพุต-เอาต์พุต

#### 2.1.3.1 สายอากาศ (Antenna)

สัญญาณดาวเทียมจะถูกรับเข้ามาผ่านสายอากาศ ดังนั้นควรจะเป็นสายอากาศที่มีโพลาไรซ์ของคลื่นแบบวงกลมหมุนวนขวา (Right Hand Circular Polarized) และรับได้ในช่วงครึ่งวงกลม เนื่องจากสัญญาณจากดาวเทียมเป็นแบบหมุนวนขวาเสาอากาศแบบโคนิคอลเฮลิคซ์ (Conical Helix Antenna) จึงเหมาะสมเครื่องรับจีพีเอสที่แทรกครหัส P(Y) ที่อยู่ทั้งใน L<sub>1</sub> และ L<sub>2</sub> สายอากาศและเครื่องรับต้องมีแบนด์วิดท์ 20.46 MHz ถ้าเครื่องรับแทรกสัญญาณ C/A ที่อยู่ใน L<sub>1</sub> สายอากาศและเครื่องรับต้องมีแบนด์วิดท์ 2.046 MHz

#### 2.1.3.2 เครื่องรับ (Receiver)

เครื่องรับจะรับสัญญาณเอนาลอกจากสายอากาศ แล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ A/D คอนเวอร์เตอร์ โดยอัตราการสุ่มตัวอย่างทั่วไปจะเป็นแปดถึงสิบสองเท่าของอัตราการชิพของรหัส PRN (1.023 MHz สำหรับรหัส C/A ใน L<sub>1</sub> และ 10.23 MHz สำหรับ P(Y) ใน L<sub>1</sub> และ L<sub>2</sub>) โดยอัตราการสุ่มตัวอย่างน้อยที่สุดจะเป็นสองเท่าของแบนด์วิดท์สูงสุดของข่าวสาร สำหรับเครื่องรับที่แทรกเฉพาะรหัส C/A แบนด์วิดท์สูงสุดของข่าวสารจะมากกว่า 2 MHz ในเครื่องรับที่แทรกรหัส P(Y) แบนด์วิดท์สูงสุดของข่าวสารจะมากกว่า 20 MHz ข้อมูลหลังการแซมปลิงจะถูกส่งต่อไปยังดิจิตอลซิกเนลโปรเซสเซอร์ (Digital Signal Processor (DSP) เพื่อทำการตีโมดูลิตข้อมูลข่าวสารออกจากคลื่นพาหะ ค่าที่วัดได้และข่าวสารการนำร่องจะถูกส่งต่อไปยัง โปรเซสเซอร์

#### 2.1.3.3 โปรเซสเซอร์ (Processor)

โปรเซสเซอร์จะทำการควบคุมการทำงานของเครื่องรับ โดยเริ่มจากค้นหาสัญญาณ, แทรคสัญญาณและดึงข้อมูลออกจากสัญญาณ จากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าตำแหน่ง ความเร็วและเวลาของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับ (PVT) ในเครื่องรับสัญญาณส่วนใหญ่จะได้ค่า PVT ด้วยความถี่ 1 Hz แต่ในเครื่องรับ ที่ใช้ในด้าน การควบคุมบินจะต้องการความถูกต้องและผลตอบสนองที่เร็วกว่า ด้วยความถี่อย่างน้อย 5 Hz

#### 2.1.3.4 อุปกรณ์อินพุต-เอาต์พุต (Input-Output Element)

อุปกรณ์อินพุต-เอาต์พุต เป็นอุปกรณ์อินเทอร์เฟซระหว่างชุดเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสกับผู้ใช้ อุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต จะทำการในส่วนของการควบคุมและแสดงผล แสดงสถานะและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามลักษณะที่ถูกรวบรวมมา โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์อินพุต-เอาต์พุตจะถูกรวมไว้กับแผงควบคุม แต่ในเครื่องรับขนาดพกพาอุปกรณ์อินพุต-เอาต์พุต จะถูกรวมเข้าไว้กับเครื่องรับสัญญาณเพื่อความสะดวก ในการใช้งาน

### 2.2 การให้บริการของระบบจีพีเอส (GPS Services)

ในการให้บริการระบบจีพีเอสนี้แบ่งการให้บริการออกเป็นสองระดับ คือ การบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ์ (Precise Positioning Service (PPS) ) และการบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน (Standard Positioning Service (SPS) )

#### 2.2.1 การบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ์ (Precise Positioning Service (PPS) )

การให้บริการแบบ PPS เป็นบริการที่ให้ตำแหน่ง, ความเร็ว, เวลาที่ถูกต้องเฉพาะผู้ใช้งานที่ได้รับอนุญาต เท่านั้น การบริการ PPS จะเน้นไปในทางทหาร โดยจะต้องได้รับการอนุมัติจาก U.S. Department of Defense (DOD) ผู้ที่ได้รับอนุญาต เช่น U.S. Military, NATO Military และกองทัพอื่นๆ หรือพลเรือน เช่น Australian Defense Forces, U.S. Defense Mapping Agency การบริการแบบ PPS จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 16 เมตร (3-D, 50%) และผิดพลาดทางเวลาไม่เกิน 100 ns และเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสสามารถให้ความถูกต้องของความเร็วคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.2 m/s (ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องรับ)

การแอคเซส (Access) ข้อมูล PPS จะใช้เทคนิคการเข้ารหัส (Cryptographic) 2 อย่าง คือ SA (Selective Availability) และ AS (Anti-Spoofing) เทคนิค SA จะทำการลดค่าความถูกต้องของข้อมูล PVT โดยจะใส่ค่าความผิดพลาดสุโดแรนดอม (Pseudorandom Error) ให้กับสัญญาณดาวเทียมส่วนเทคนิค AS จะเอนคริป (Encrypt) สัญญาณรหัส P ให้เป็นสัญญาณในรหัส Y

Encryption Key และเทคนิคเฉพาะอื่น ๆ จะถูกจัดให้เฉพาะผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาต ทำให้ SA และ AS ไม่เป็นผล เครื่องรับจะได้ประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากระบบจีพีเอส จะได้ผลดีที่สุดถ้าใช้รหัส P(Y) บนทั้ง L1 และ L2 ในการคำนวณ

#### 2.2.2 การบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน (Standard Positioning Service (SPS) )

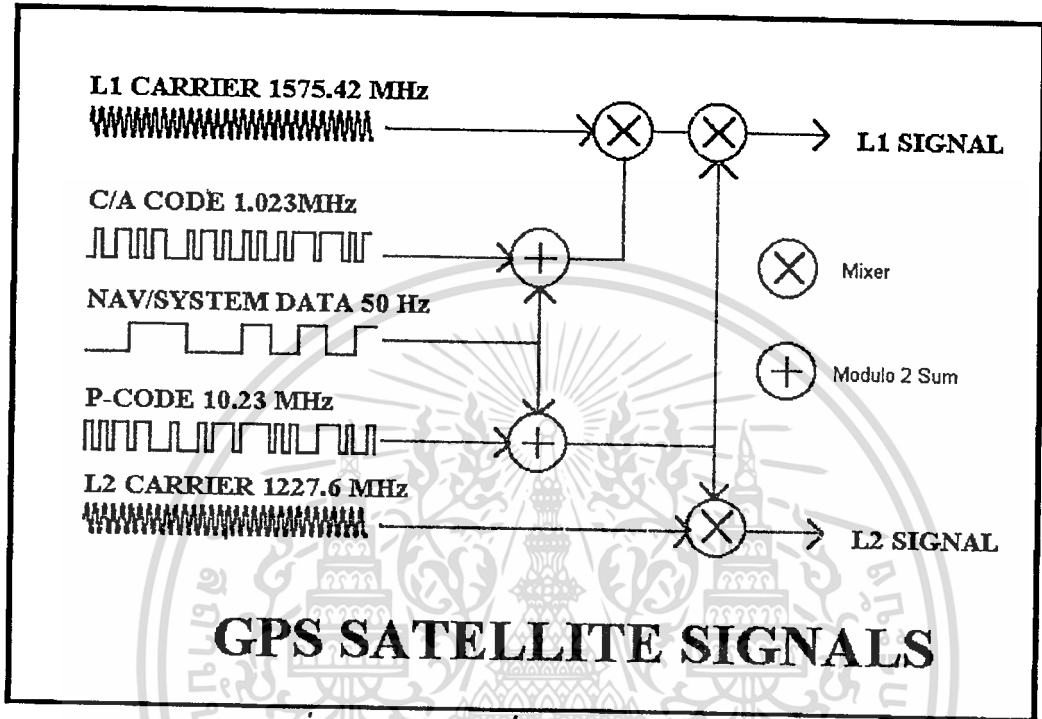
ระบบ GPS เป็นระบบที่ผู้ใช้บริการสามารถใช้สัญญาณ L1 ได้เพียงอย่างเดียวในการหาพิกัด GPS เป็นบริการที่ให้ความถูกต้องน้อยกว่า แต่จะใช้งานได้กับผู้ใช้ทั้งหมดในช่วงเวลาที่ไม่มีสงครามระดับของ SA จะถูกควบคุมเพื่อให้ค่าความถูกต้องในแนว 100 m (100 m, 95%) และ 337 ns (337 ns, 95%) แต่ในช่วงเวลาสงครามอาจมีการลดค่าความถูกต้องลง เนื่องจากความมั่นคงได้โดยประธานาธิบดีสหรัฐอเมริกาเท่านั้น

### 2.3 ลักษณะของสัญญาณจากดาวเทียมในระบบจีพีเอส (GPS Satellite Signal)

ดาวเทียมจะส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟสองความถี่ออกมา โดยความถี่ทั้งสองนี้จะทำหน้าที่เป็นคลื่นพาหะ คือ สัญญาณความถี่พาหะ L1 (1575.42 MHz ) และ L2 (1227.60 MHz) ความถี่พาหะจะถูกมอดูเลตโดยสเปกตรัมแปรผันสุโดแรนดอม ประกอบด้วย ขบวนการของรหัส PRN (Pseudorandom Noise) ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของดาวเทียม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละดวง และข้อมูลข่าวสารการนำร่อง ควาทิคมทุกดวงส่งคลื่นความถี่พาหะที่เหมือนกัน (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> Carrier Signal) แต่สัญญาณไม่รบกวนกันเป็นเพราะรหัส PRN ที่มีมอดูเลตเข้าไป ดังนั้นสัญญาณจากควาทิคมดวงใดๆ สามารถถูกแยกได้โดยใช้เทคนิคย้อนกลับ เรียกเทคนิคนี้ว่า Code Division Multiple Access (CDMA) โดยการที่เครื่องรับจะจำลองรหัส PRN ของควาทิคมดวงที่ต้องการเพื่อทำการตีมอดูเลต



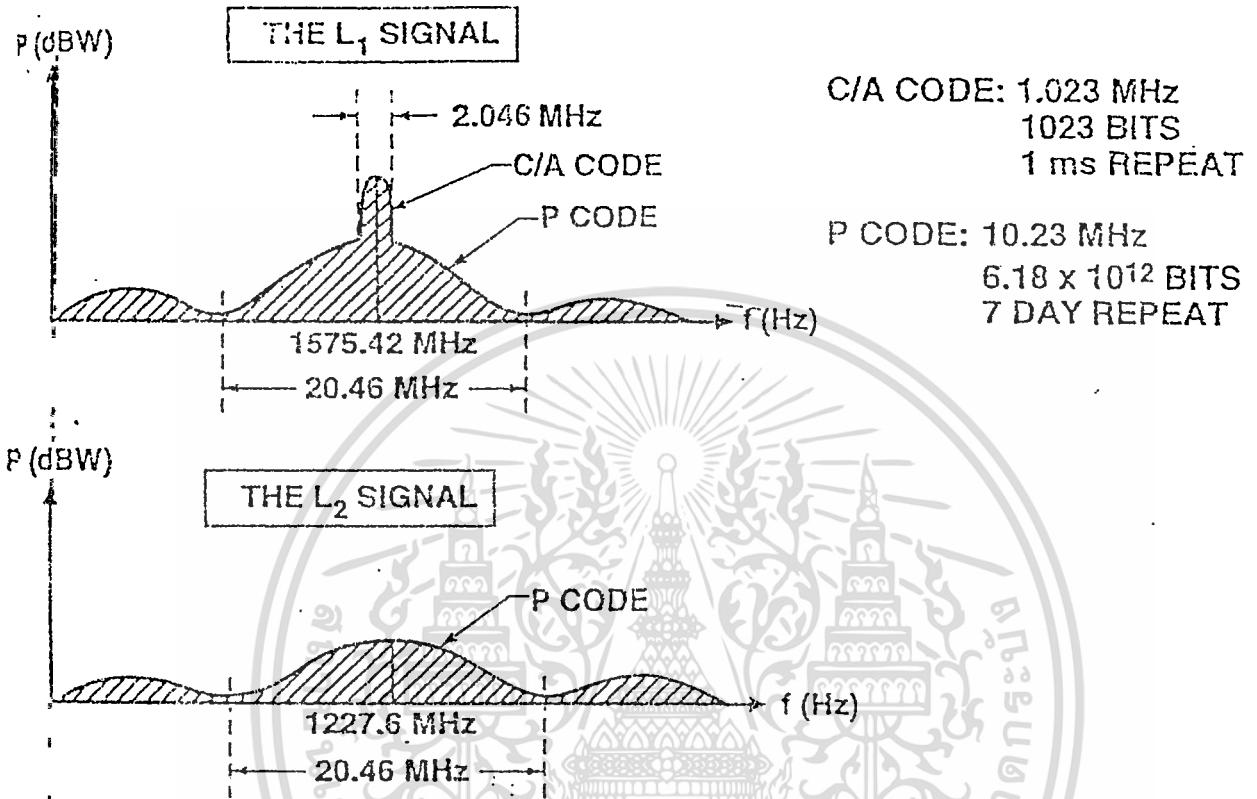
รูปที่ 2-7 แสดงสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากควาทิคม

สัญญาณพาหะ L<sub>1</sub> จะถูกมอดูเลตโดยรหัส PRN 2 อัน และมอดูเลตกับรหัสข้อมูลข่าวสารแบบ Binary Phase Shift Key (BPSK) โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปวิธีการกระจายแถบความถี่ (Spread Spectrum) ส่วนสัญญาณพาหะ L<sub>2</sub> จะถูกมอดูเลตโดยรหัส PRN 1 อัน และข้อมูลข่าวสาร โดยสรุปรหัสที่ถูกมอดูเลตกับคลื่นพาหะมีอยู่ 3 ชนิด คือ

2.3.1 Coarse/Acquisition Code (C/A) เป็นข้อมูลรหัส PRN มีลักษณะเป็นไบนารี (Binary Code) มีความถี่ 1.023 MHz ขนาดความยาว 1024 bits มีคาบเวลา 1 ms รหัส C/A จะถูก Exclusive-OR กับข้อมูลข่าวสารการนำร่องก่อนที่จะส่งออกจากควาทิคมโดยมอดูเลชันกับพาหะ L<sub>1</sub> เพียงอย่างเดียว ทำให้ผู้ใช้บริการระบบ SPS ไม่สามารถคำนวณความล่าช้าของสัญญาณอันเนื่องมาจากบรรยากาศชั้น Ionosphere ได้อย่างละเอียดเพราะต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทนสัญญาณ L<sub>2</sub> รหัส C/A จะถูกเข้ารหัสด้วยเทคนิค SA เพื่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นเล็กน้อย สาเหตุเนื่องมาจากปัญหาความมั่นคง

2.3.2 P-Code เป็นข้อมูลรหัส PRN แบบไบนารี มีความถี่ 1.023 MHz ขนาดยาว 7 วัน โดยจะเริ่มใหม่ทุกๆ เทียงคืนวันเสาร์-อาทิตย์ รหัส P-Code จะเหมือนกับรหัส C/A คือถูก Exclusive-OR กับข้อมูลข่าวสารการนำร่องแต่จะถูกมอดูเลตกับทั้งคลื่นพาหะ L<sub>1</sub> และ L<sub>2</sub> ทำให้ผู้ใช้บริการแบบ PSP สามารถใช้คลื่นทั้งสองคำนวณความล่าช้าอันเนื่องมาจากบรรยากาศได้อย่างละเอียด รหัส P-Code จะถูกเข้ารหัสเช่นเดียวกับรหัส C/A แต่รหัส P-Code จะถูกเข้ารหัสด้วยเทคนิค AS ด้วยและจะเรียกเปลี่ยนเป็นรหัส P(Y)-Code เขาท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## GPS Spread Spectrum Signal



รูปที่ 2-8 แสดงภาพ Spectrum ความถี่ของสัญญาณจากดาวเทียม

2.3.3 ข่าวสารการนำร่อง (Navigation Message) ข่าวสารการนำร่องมีความถี่ 50 Hz จะรวมอยู่ทั้งในรหัส P(Y) และ C/A ด้วยวิธี Exclusive-OR ข่าวสารการนำร่องจะมีข้อมูลเอกลักษณ์ของดาวเทียมดวงที่ส่งสัญญาณ และข้อมูลทั่วไปของดาวเทียม ดังนี้

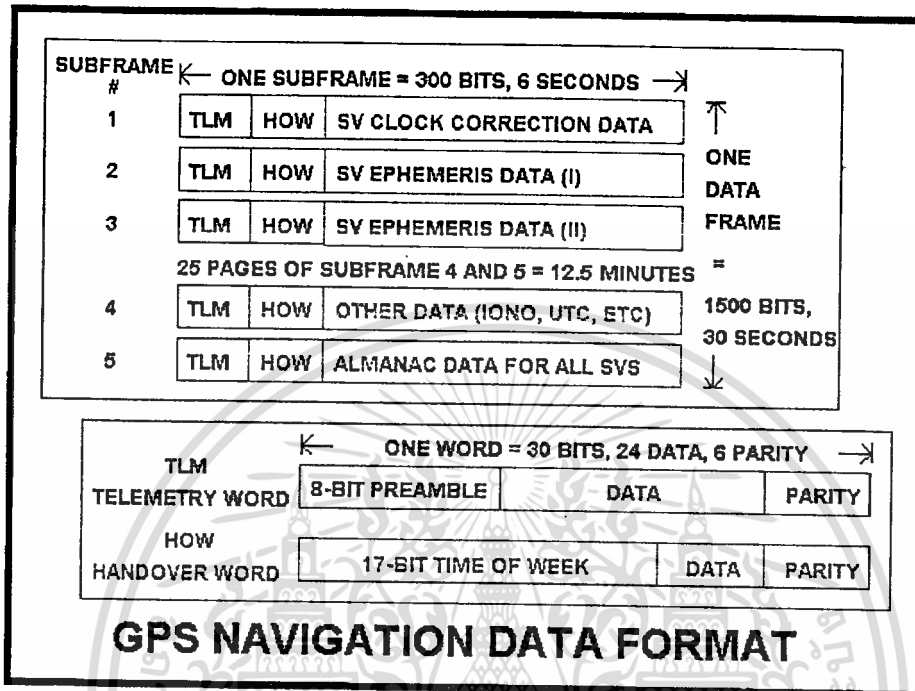
- เวลาขณะที่ส่งข้อมูลออกจากดาวเทียม (time of transmission of the message)
- Hand-Over Word (HOX) for the transition from C/A-Code to P(Y)-Code tracking
- ข้อมูลการแก้ไขสัญญาณนาฬิกา (Clock Correction)
- ข้อมูลอีพีมอริส
- ข้อมูลแสดงสถานะของดาวเทียมส่งสัญญาณ (Health data for the Transmitting satellite)
- ข้อมูลอัลมาแนค (Almanac and Health data for all satellite)
- ค่าโคแอฟฟิเชียนต์สำหรับจำลองชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Coefficients for the Ionosphere delay model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- ค่าโคแอฟฟิเชียนต์เพื่อคำนวณเวลา UTX (Coefficients to calculate UTC)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข่าวสารการนำร่องจะประกอบด้วย 25 เฟรมข้อมูล แต่ละเฟรมมี 1500 บิต โดยแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งเป็น 5 เฟรมย่อย เฟรมย่อยละ 300 บิต ข้อมูลในเฟรมย่อยที่ 1-3 ในแต่ละเฟรมจะเหมือนกัน ใช้เวลาในการรับข้อมูลทั้งหมดของเฟรมย่อย 6 วินาที



รูปที่ 2-9 แสดงภาพข่าวสารการนำร่อง

เฟรมย่อยที่ 1 จะบรรจุข้อมูลการแก้ไขสัญญาณนาฬิกาสำหรับดาวเทียมที่ส่ง และมีพารามิเตอร์บ่งบอกถึงความแม่นยำและสภาพของสัญญาณ

เฟรมย่อยที่ 2,3 จะบรรจุพารามิเตอร์ (Ephemeris parameter) เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของดาวเทียม สำหรับคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับต่อไป

เฟรมย่อยที่ 4,5 จะเป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตลอด 25 เฟรม โดยจะบรรจุข้อมูลแสดงสถานะของดาวเทียม ข้อมูลอัลมาแนค ข้อมูล UTC และข้อมูลจำลองสถานะของบรรยากาศ

HOW จะมีข้อมูลที่บอกถึงเวลาของดาวเทียมและเวลาของรหัส P(Y) ที่มีคาบเวลายาวถึง 7 วัน เพื่อให้เครื่องรับสามารถใช้ในการถอดรหัส P(Y)

TLM จะมีข้อมูลเริ่มต้นที่ช่วยให้เครื่องรับสามารถใช้ในการ detect ข้อมูลเริ่มต้นในแต่ละเฟรมย่อย

## 2.4 การทำงานของเครื่องรับสัญญาณ GPS (GPS Receiver Operation)

### 2.4.1 การเลือกดาวเทียม (Satellite Tracking Selection)

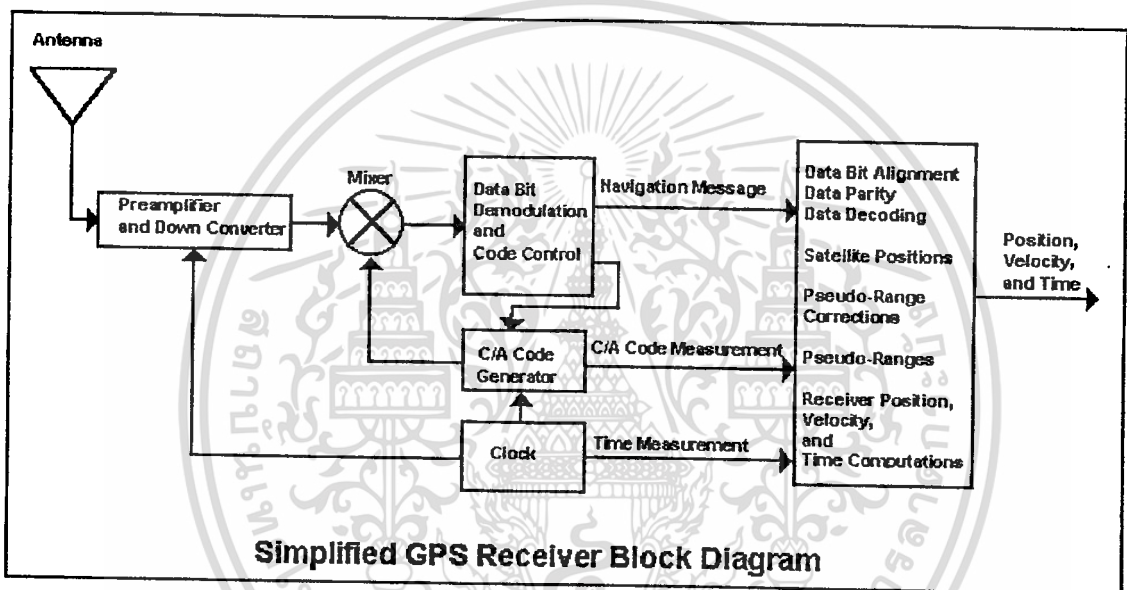
กระบวนการแทรกสัญญาณจะเริ่มโดย เครื่องรับจะหาว่าดาวเทียมดวงไหนที่เป็นไปได้ในการแทรกสัญญาณ โดยจะทำการค้นหารหัส C/A ของดาวเทียมที่อยู่ในวิสัยและล็อกสัญญาณดาวเทียมดวงนั้น เมื่อดาวเทียมถูกแทรกเครื่องรับจะสามารถหาค่าข้อมูลการนำร่อง, ค่าอัลมาแนคและข้อมูลแสดงสถานะของดาวเทียมทั้งหมด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการเลือกดาวเทียมของเครื่องรับจะต้องใช้ข้อมูลจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงในการคำนวณ เครื่องรับอาจ รับข้อมูลทุกดวงในพีสัยมาทำการคำนวณเลขก็ได้ แต่เครื่องรับส่วนใหญ่จะทำการเลือกดาวเทียมไม่มากเกินไป ในการคำนวณเนื่องจากปัญหาการยุ่งยากในการคำนวณและต้นทุน ดังนั้น ในการเลือกดาวเทียมที่จะรับข้อมูลเครื่องรับอาจเลือกจากข้อมูลสถานะดาวเทียมที่ดีที่สุดที่ได้จากสัญญาณแทรกดาวเทียมดวงแรก หรืออาจเลือกจากดาวเทียมที่ได้สัญญาณก่อนเลขก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

#### 2.4.2 การรับสัญญาณดาวเทียม (Satellite Signal Acquisition)

สัญญาณของดาวเทียมที่ส่งออกมาเมื่อมาถึงเครื่องรับ สัญญาณที่ได้จะมีกำลังอ่อน และจะถูกรบกวนโดย noise เครื่องรับจึงจำเป็นต้องทำการจำลองสัญญาณที่ได้รับเข้ามา และนำมาเรียงให้ตรงกับสัญญาณดาวเทียม จากนั้น จึงทำการคอมพิวเตอร์กลับมาให้เป็นสัญญาณจริง เรียกวิธีการนี้ว่า เทคนิค Cod Correlation

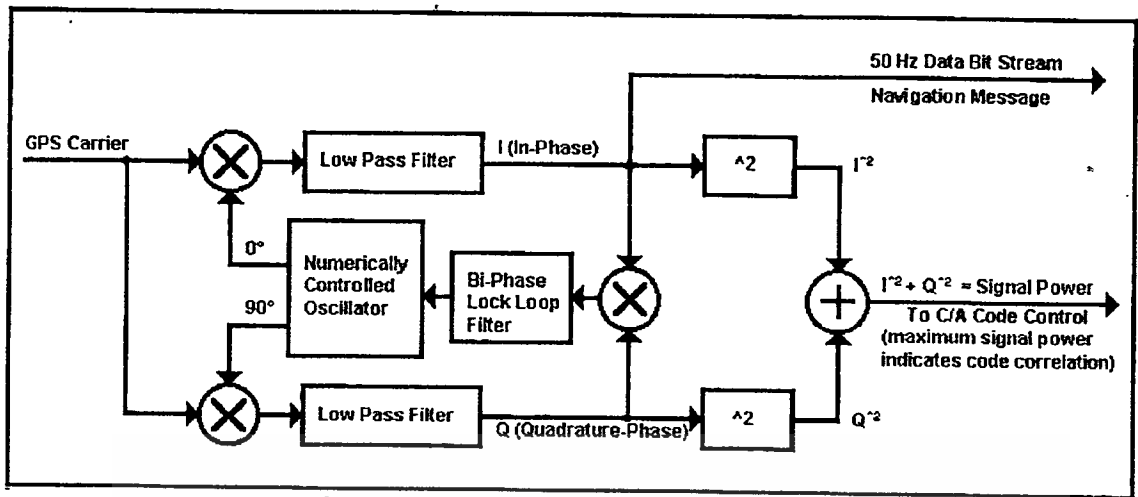


รูปที่ 2-10 แสดงภาพบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณ GPS

#### 2.4.3 การถอดรหัสข้อมูล (Data Detection)

ข้อมูลที่เครื่องรับสัญญาณได้รับจากดาวเทียม เป็นข้อมูลที่มีกรรมมอดูเลตกันของคลื่นพาหะรหัส C/A รหัส P(Y) และข้อมูลข่าวสาร ในการถอดคลื่นพาหะจะใช้ Low Pass Filter เพื่อแยกเอาคลื่นพาหะออก เครื่องรับจะใช้ตัวตั้งคราะห์ความถี่สร้างเฟสที่คงที่ และใช้เทคนิคเฟสล็อกลูป (phase-locked-loop) ในการล็อกข้อมูล (เรียก Carrier Tracking Loop) ไว้เพื่อการ detect สัญญาณ ส่วนการถอดรหัส C/A ออกจะทำการสร้างสัญญาณ C/A จำลองขึ้นจากคุณลักษณะของดาวเทียมแต่ละดวง เพื่อกำหนดและล็อกข้อมูล รหัส C/A (เรียก Code Tracking Loop) แล้วจึงทำการแยกรหัส C/A ออกมา ส่วนรหัส P(Y) นั้น เนื่องจากมีความยาวคาบสัญญาณถึง 7 วัน จึงใช้วิธี phase Lock Loop ไม่ได้ จึงใช้ข้อมูลที่อยู่ใน HOW ในการทราบเวลาที่แน่นอนในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-11 แสดงภาพการถอดรหัสข้อมูลข่าวสารการนำร่อง

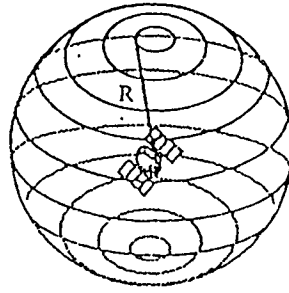
## 2.5 การคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ

GPS เป็นระบบการวัดพิสัยทางเดียวที่มีเครื่องส่งสัญญาณอยู่ในความถี่ที่หมุนรอบโลกอยู่ในอวกาศ ถึงแม้ว่าดาวเทียมจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง เครื่องรับจะติดตามดาวเทียมที่อยู่ในพิสัยและประมาณค่าพารามิเตอร์ วงโคจรดาวเทียม ซึ่งทำให้สามารถคำนวณหาค่าตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมในระบบอ้างอิงกับแกนโลก (Earth Center-Earth Fixed Reference System (ECEF) ข้อมูลนี้เรียกว่า Ephemeris หรือเวกเตอร์ตำแหน่งของดาวเทียมต่อเวลา ผู้ใช้ที่ต้องการหาตำแหน่งในสามมิติ คือ ละติจูด ลองจิจูด และความสูง ต้องวัดสัญญาณ GPS จากดาวเทียมสามดวง และคำนวณเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณ (Transit Time) จากแต่ละดาวเทียมมาถึงผู้ใช้จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างดาวเทียมสามดวงและเครื่องรับในแนวแกนสามแกน จึงสามารถหาค่าแกนทั้งสามได้ แต่กรณีนี้สิ่งสำคัญที่สุดคือ เวลาของทั้งเครื่องรับสัญญาณ GPS และเวลาเครื่องส่งสัญญาณจะต้องมีความแม่นยำสูงและจะต้องตรงกันหมด (ซิงโครไนส์กัน) แต่ในความเป็นจริงสัญญาณจากเครื่องส่ง (ดาวเทียม) จะมีวิธีการแก้สัญญาณเวลาให้ถูกต้องจากสถานีควบคุมหลักแต่เครื่องรับสัญญาณในแต่ละเครื่องไม่สามารถควบคุมให้มีเวลาที่เที่ยงตรงได้ ดังนั้นจึงมีการเพิ่มความสัมพันธ์ในด้านความต่างของเวลาขึ้นมาอีกค่า จึงต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มอีก 1 ดวง ดังนั้นระบบนำร่อง GPS จึงมีความจำเป็นต้องใช้สัญญาณจากดาวเทียม ในการคำนวณอย่างน้อย 4 ดวง

### 2.5.1 การระบุตำแหน่งโดยสัญญาณดาวเทียม

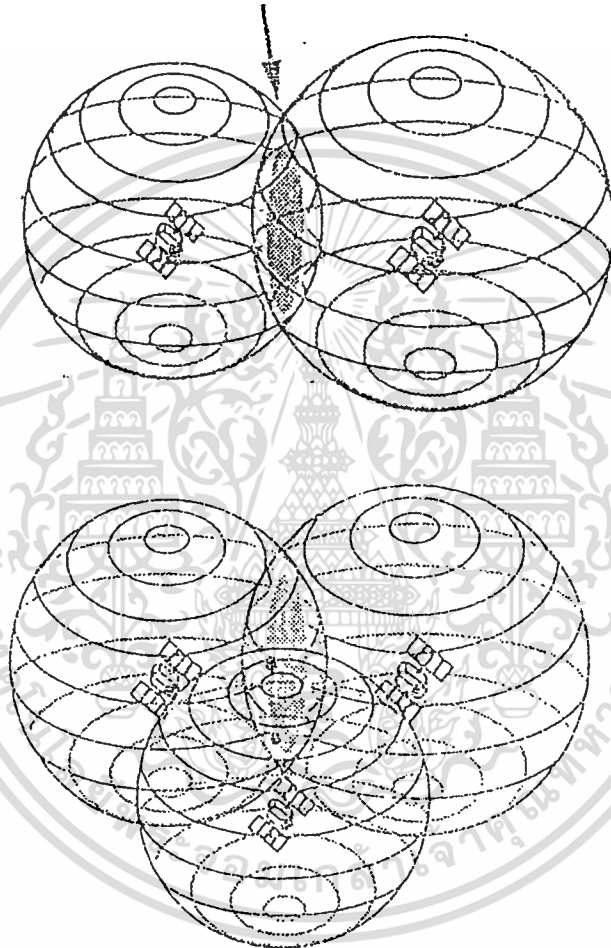
สัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียมดวงหนึ่งจะมีข้อมูลของเวลาขณะส่งจากสัญญาณนาฬิกาแบบความถี่รวมอยู่ด้วย เมื่อสัญญาณมาถึงเครื่องรับจะสามารถทราบเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณจากระบบนาฬิกาของเครื่องรับที่ซิงโครไนส์กับของระบบ ดังนั้นเมื่อเราทราบว่าความเร็วของสัญญาณดาวเทียมมีค่าประมาณเท่ากับความเร็วแสง คือ  $3 \times 10^8$  m/s จึงสามารถหาระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณได้ โดยสัญญาณจากดาวเทียม 1 ดวง จะทราบว่าเครื่องรับอยู่บนผิวทรงกลมที่มีรัศมีเป็นระยะห่างของดาวเทียมและเครื่องรับ

(a)



(b)

Plane of intersection



รูปที่ 2-12 แสดงภาพการตัดกันของระนาบห่างจากควาเทียมอันเป็นตำแหน่งของเครื่องรับ

ถ้าทำการวัดระยะจากควาเทียมดวงที่ 2 พร้อมๆกัน จะได้พื้นที่ตำแหน่งของเครื่องรับบนเส้นรอบวงกลม ซึ่งเกิดจากการตัดกันของทรงกลมดังกล่าว และถ้าเพิ่มสัญญาณจากควาเทียมดวงที่ 3 ก็จะได้ตำแหน่งของผู้ใช้ 2 ตำแหน่งที่เกิดจากการตัดกันของทรงกลมทั้ง 3 ตำแหน่งที่เหลือเพียง 2 ตำแหน่งโดยตำแหน่งที่อยู่ด้านบนจะเป็นตำแหน่งที่ลอยอยู่ ดังนั้น ณ ตำแหน่งด้านล่างที่เกิดจากการตัดกันของทรงกลมทั้ง 3 จะเป็นตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องรับสัญญาณ สำหรับผู้ใช้ที่อยู่บนผิวโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

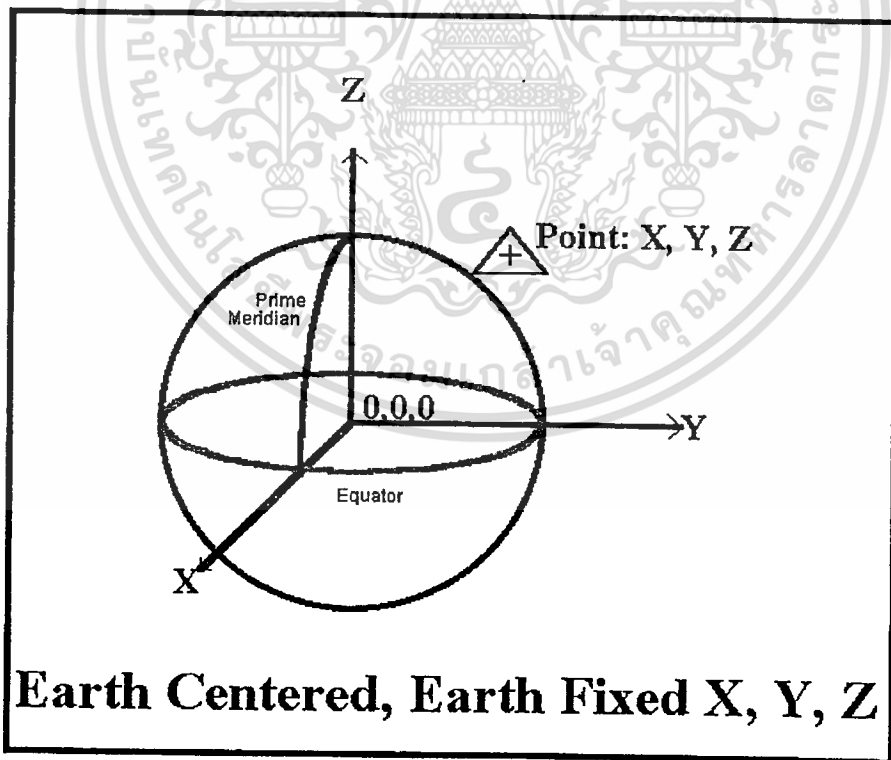
## 2.5.2 ระบบพิกัดอ้างอิง

ในการที่จะได้มาค่าต่างๆจากการนำร่องด้วยดาวเทียมจำเป็นต้องมีระบบพิกัดอ้างอิง เพื่อความเป็นหนึ่งเดียวของทั้งดาวเทียมและเครื่องรับ โดยทั่วไปจะบอกด้วยแวกเตอร์ของตำแหน่งและความเร็วของเครื่องรับ ระบบพิกัดที่เขียน ซึ่งใช้กันมี 2 แบบ คือ inertial และ rotating

### 2.5.2.1 ระบบโคออดิเนตแบบ Earth Centered Inertial (ECI)

ในระบบนี้กำหนดให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลของโลกและเป็นระบบเฉื่อย ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก จึงอยู่ในรูปแบบที่สมมติว่าระบบ ECI ไม่มีความเร่งเป็นไปตามสมการของนิวตัน โดยทั่วไปจะกำหนดให้ระนาบ XY เป็นระนาบศูนย์สูตร (equatorial plane) โดยทิศทาง +Y จะเลือกให้เป็นไปตามกฎมือขวา ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบนี้เกิดจากการเคลื่อนที่ที่ผิดปกติของโลก แรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์ต่อการหมุนออกที่เส้นศูนย์สูตรของโลก ทำให้ระนาบศูนย์สูตรมีการเคลื่อนที่ที่เทียบกับทรงกลมท้องฟ้า ส่งผลให้แกน -Z เคลื่อนไปด้วย การแก้ปัญหานี้โดยการกำหนดทิศทางแกนที่ค่าเฉพาะต่างๆ กันตามเวลา (epoch) ระบบ ECI ของจีพีเอส กำหนดการหันของระนาบศูนย์สูตรที่ 1200 hr. UTC ในวันที่ 1 ม.ค. 2000 เป็นอ้างอิง

### 2.5.2.2 ระบบโคออดิเนตแบบ Earth Centered-Earth Fixed (ECEF)

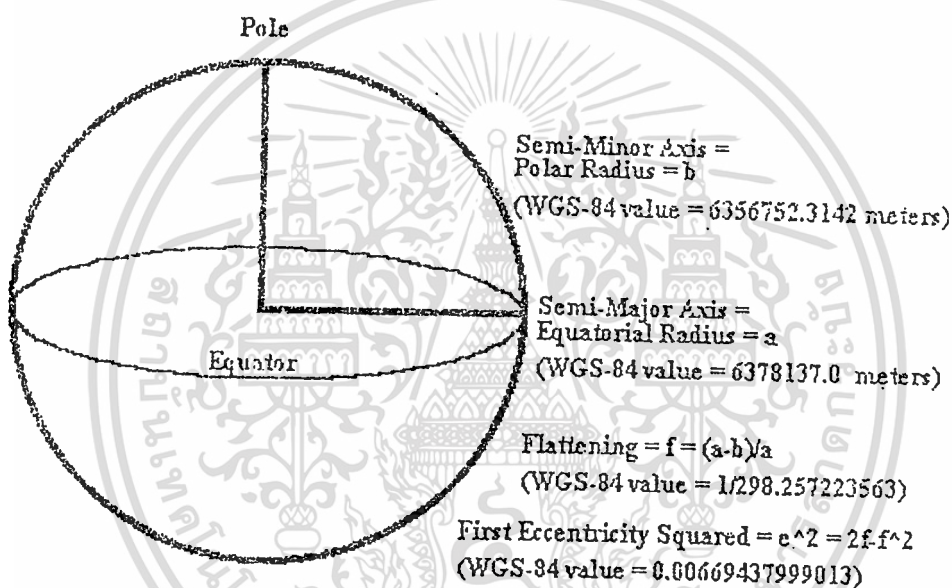


รูปที่ 2-13 แสดงภาพจำลองระบบ ECEF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นระบบพิกัดซึ่งจะมีการหมุนไปพร้อมกับโลก และสามารถแปลงเป็นค่าละติจูด, ลองจิจูด และความสูงได้โดยง่าย โดยกำหนดเป็นระนาบศูนย์สูตรเป็นระบบ XY เช่นเดียวกับระบบ ECI แต่ทิศทาง +X จะชี้ไปยังเส้นลองจิจูด 0 องศา และทิศทาง +Y จะชี้ไปยังลองจิจูด 90 องศา ดังนั้นทั้งแกน X และ Y จะหมุนไปพร้อมกับโลก ส่วนแกน Z จะเป็น + กับระนาบ XY (ขั้วโลกเหนือ) เป็นไปตามกฎมือขวา ด้วยวิธีนี้ก่อนการคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับ จึงต้องทำการแปลงข้อมูลลิพีมอร์สของดาวเทียมจากแบบ ECI เป็น ECEF เมื่อได้ค่าโดยออคินเดซของเครื่องรับในระบบ ECEF แล้วจึงทำการแปลงพิกัดให้อยู่ในรูป ละติจูด, ลองจิจูด และความสูง

### 2.5.2.3 ระบบ World Geodetic System (WGS-84)



## Ellipsoidal Parameters

รูปที่ 2-14 รูปแบบจำลองของโลกที่เป็นวงรีในแบบ WGS-84

ก่อนที่จะทำการแปลง  $x, y, z$  ให้อยู่ในรูปละติจูด, ลองจิจูด และความสูงจำเป็นต้องกำหนดแบบจำลองโลกขึ้นมาก่อน ซึ่งแบบจำลองมาตรฐานของโลกที่ใช้ในระบบจีทีเอส คือ WGS-84 ของกระทรวงกลาโหมสหรัฐ ซึ่งกำหนดให้โลกเป็นรูปวงรี ดังแสดงในรูปที่ 2-13 โดยมีรัศมีที่ระนาบศูนย์สูตร  $a=6378.137$  km. เรียกว่า "semi-major axis" แกนที่ตั้งฉากกับระนาบศูนย์สูตรเรียกว่า "semi-minor axis"  $b=6356.7523142$  km. ดังนั้นค่าความรีของโลก (Eccentricity,  $e$ ) และค่าความแบน (Flattening,  $f$ ) จะกำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \quad : \text{สมการที่ 2.1}$$

$$f = 1 - \frac{b}{a} \quad : \text{สมการที่ 2.2}$$

ระบบพิกัด ECEF ใช้แบบจำลองของโลกในแบบ WGS-84 ดังแสดงข้างต้นโดยมีจุด 0 เป็นจุดศูนย์กลางของโลก ทำให้สามารถหาค่าลองจิจูด, ละติจูดและความสูงเมื่อเทียบกับแบบจำลองนี้ได้ โดยค่าต่างๆนี้เรียกว่า จีออติคติก (geodetic) เมื่อทราบเวกเตอร์ตำแหน่งของ receiver  $U = (X_u, Y_u, Z_u)$  ในระบบ ECEF เราจะคำนวณค่าจีออติคติก ( $X$ ) เป็นมุมระหว่างผู้ใช้กับแกน  $X$  วัดตามระนาบ  $XY$  ได้ดังนี้

$$\lambda = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y_u}{x_u}\right) & , x_u \geq 0 \\ 180^\circ + \arctan\left(\frac{y_u}{x_u}\right) & , x_u < 0, y_u \geq 0 \\ -180^\circ + \arctan\left(\frac{y_u}{x_u}\right) & , x_u < 0, y_u < 0 \end{cases} \quad : \text{สมการที่ 2.3}$$

ในสมการ 2.3 เครื่องหมายแสดงว่าเป็น ลองจิจูดตะวันตก ส่วนค่า  $\phi$  และ  $h$  จะกำหนดด้วยเวกเตอร์  $1$  หน่วย (ที) ดังรูป 2.13 สังเกตว่าค่า  $h$  จะคิดเทียบกับวงรี WGS-84 ไม่ใช่เทียบกับระดับน้ำทะเลดังแสดง ในแผนที่ต่างๆ ไป

### 2.6 การหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ

โดยทางทฤษฎีนั้นการคำนวณหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนั้นจะสมมติว่าสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียมและขอเครื่องรับนั้น ซิงโครนัสกับเวลาของระบบการหาค่าตำแหน่งดาวเทียมจะใช้ระบบ ECEF ในการหาข้อมูล โดยเรียกข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมนี้ว่าข้อมูลอีฟิเมอร์ริส (Ephemeris) โดยข้อมูลที่ได้อาจจะเป็นข้อมูลเวกเตอร์ตำแหน่งดาวเทียมต่อเวลา ผู้ใช้จะใช้ข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมในการกำหนดตำแหน่งดาวเทียม เพื่อหาจุดตัดอันเป็นตำแหน่งของเครื่องรับ ผู้ใช้ต้องการหาค่าตำแหน่งใน 3 มิติ คือ ละติจูด, ลองจิจูด และความสูงจึงต้องรับสัญญาณดาวเทียม 3 ดวง เพื่อหาค่าตำแหน่งเครื่องส่งสัญญาณ (ตำแหน่งดาวเทียม)  $(X_i, Y_i, Z_i)$  รวมถึงเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณ  $(\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3)$  ดังนั้นจะได้สมการขึ้นมา 3 สมการและมีตัวแปรที่ต้อการ 3 ตัว คือตำแหน่งของผู้ใช้  $(U_x, U_y, U_z)$  จะสามารถหาได้จาก การแก้สมการทั้งสามสมการ

$$\begin{aligned} \sqrt{(x_1 - u_x)^2 + (y_1 - u_y)^2 + (z_1 - u_z)^2} &= R_1 = c\Delta t_1 \\ \sqrt{(x_2 - u_x)^2 + (y_2 - u_y)^2 + (z_2 - u_z)^2} &= R_2 = c\Delta t_2 \\ \sqrt{(x_3 - u_x)^2 + (y_3 - u_y)^2 + (z_3 - u_z)^2} &= R_3 = c\Delta t_3 \end{aligned} \quad : \text{สม การที่ 2.4}$$

เอกสารนี้โดย R คือระยะทางที่วัดได้ และ c คือค่าความเร็วสัญญาณมีค่าเท่ากับความเร็วแสงนำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สมการนี้เกิดขึ้นได้ยากในความเป็นจริง เนื่องจากสัญญาณเวลาของเครื่องรับทั่วไปไม่จริงตรงกับระบบ ดังนั้นระหว่างเครื่องรับและดาวเทียมจึงมีการอ้างอิงเวลาที่ต่างกัน เวลาที่วัดได้จากเครื่องรับจึงประกอบด้วยสองส่วนคือเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณ โดยเทียบจากระบบ(เวลาดาวเทียมเนื่องจากดาวเทียมมีการปรับเวลาให้จริงตรงกับระบบเสมอ  $\Delta t$ , เวลาที่เปลี่ยนไปของเครื่องรับ  $\Delta T$  ดังนั้นระยะทางที่วัดได้เป็น  $R = c(\Delta t + \Delta T)$

ระยะที่วัดได้นี้เรียกว่าระยะเทียม (Pseudorange) และเปลี่ยนเป็นใช้สัญลักษณ์  $\rho$  แทนระยะจริง ความแตกต่างของระยะจริงกับระยะซูดเรนจ์ คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากระยะทางที่เกิดขึ้นโดยความไม่ตรงกันของนาฬิกาของเครื่องส่งและเครื่องรับ แต่ยังคงกำหนดให้นาฬิกาของเครื่องส่งจากดาวเทียมซึ่งโครนอสกันหมดเวลาที่ไมเท่ากันนี้เรียกว่าไบแอส (Bias) ค่านี้เป็นพารามิเตอร์ไม่ทราบค่าที่เพิ่มเข้ามา จึงทำให้ต้องทำการรับค่าสัญญาณเพิ่มจากดาวเทียมอีกทีหนึ่ง คงเพื่อสร้างสมการเพิ่มในการแก้พารามิเตอร์เวลาไบแอส

$$\begin{aligned}\sqrt{(x_1 - u_x)^2 + (y_1 - u_y)^2 + (z_1 - u_z)^2} &= R_1 = c(\Delta t_1 + \Delta T) \\ \sqrt{(x_2 - u_x)^2 + (y_2 - u_y)^2 + (z_2 - u_z)^2} &= R_2 = c(\Delta t_2 + \Delta T) \quad : \text{สมการที่ 2.5} \\ \sqrt{(x_3 - u_x)^2 + (y_3 - u_y)^2 + (z_3 - u_z)^2} &= R_3 = c(\Delta t_3 + \Delta T) \\ \sqrt{(x_4 - u_x)^2 + (y_4 - u_y)^2 + (z_4 - u_z)^2} &= R_4 = c(\Delta t_4 + \Delta T)\end{aligned}$$

จากค่าที่หาได้นั้นจะต้องแปลงเพื่อให้อยู่ในรูปข้อมูล Latitude, Longitude และ height เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้งานต่อเนื่องจากเป็นระบบที่เป็นสากลกว่า การแปลงจะอาศัยสูตร

$$\begin{aligned}\phi &= a \tan\left(\frac{Z + e^2 b \sin^3 \theta}{p - e^2 a \cos^3 \theta}\right) \\ \lambda &= a \tan 2(Y, X) \quad : \text{สมการที่ 2.6} \\ h &= \frac{p}{\cos(\phi)} - N(\phi)\end{aligned}$$

โดยที่  $\phi, \lambda, h$  คือค่า Latitude, Longitude และ height ตามลำดับ

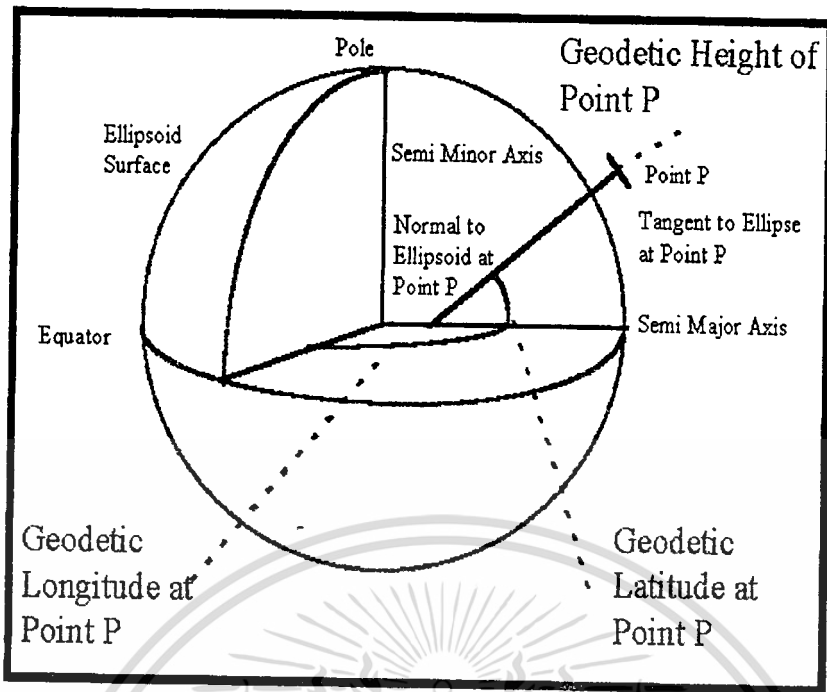
ค่า X, Y, Z คือค่าของ  $U_x, U_y, U_z$  ตามลำดับโดยใช้ระบบ ECEF

$$\begin{aligned}N(\phi) &= \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}}, \quad p = \sqrt{X^2 + Y^2} \\ \theta &= a \tan\left(\frac{Za}{pb}\right), \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad : \text{สมการที่ 2.7}\end{aligned}$$

โดยที่ a คือค่า semi-major earth axis

b คือค่า semi-minor earth axis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-15 แสดงภาพการกำหนดพิกัดแบบละติจูด, ลองจิจูด และความสูง

## 2.7 การผิดพลาดในระบบ GPS

แม้ว่าระบบ GPS จะถูกพัฒนาให้มีความถูกต้องในระบบการนำร่องทั่วโลกก็ตามนั้น แต่ระบบ GPS ยังคงมีค่าความผิดพลาดมากพอสมควร โดยความผิดพลาดนี้มีสาเหตุมาจาก

**2.7.1 Ephemeris Data Error** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากตำแหน่งของดาวเทียม GPS เกิดจากการเฉไปของวงโคจรดาวเทียม เมื่อข้อมูล GPS ไม่ได้ส่งตำแหน่งที่ถูกต้องของดาวเทียม จะมีผลความผิดพลาดไปถึงการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ ค่าความผิดพลาดนี้จะถูกแก้ไขโดยข้อมูลควบคุมจากสถานีควบคุมหลัก ดังนั้น ถ้าไม่มีการแก้ไขจากสถานีควบคุม ข้อมูลจะมีการผิดพลาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่จากรายงานใน ค.ศ.1984 แสดงว่าสำหรับการทำงานไม่เกิน 24 ชั่วโมงค่าความผิดพลาดอันเนื่องมาจากค่าอีพิเมอร์สิมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2.1 เมตร

**2.7.2 Satellite Clock Errors** ในเครื่องส่งสัญญาณ GPS ที่ดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ จำเป็นต้องมีนาฬิกาอะตอมมิก (Cesium and Rubidium Oscillators) ซึ่งมีความแม่นยำสูงและจะต้องซิงโครไนส์กับนาฬิกาของระบบ แต่ในความเป็นจริงสัญญาณของดาวเทียมจะถูกแก้ไขโดยสถานีควบคุมหลักในซิงโครไนส์กับระบบโดยตลอด แต่นาฬิกาของเครื่องรับนั้นยากที่จะทำการแก้ไข จึงต้องมีการชดเชยการคำนวณโดยใช้สัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มในการคำนวณด้านเวลา

**2.7.3 Security Signal** ความผิดพลาดเป็นความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด สาเหตุเกิดจากการที่ทางสหรัฐอเมริกาได้ใส่รหัสข้อมูล SA ลงในสัญญาณดาวเทียมทุกดวง ค่าความคลาดเคลื่อนจาก SA นั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนทางเวลาประมาณ 10 นาที ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางระยะทางเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร ผู้ใช้ทั่วไปที่ไม่ใช่หน่วยงานใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ SPS จะมีสัญญาณ SA รวมอยู่ด้วยทำให้เกิดความผิดพลาด แต่ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ระบบ PPS จะไม่มีความผิดพลาดจากรหัส SA

**2.7.4 Ionosphere Errors** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ผิดพลาดรองมาจากสาเหตุของ SA ทำให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณดาวเทียม เกิดเนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศ Ionosphere สัญญาณจากดาวเทียมเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้จะไม่สามารถเดินทางได้เท่ากับความเร็วแสง การเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะมีความล่าช้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในชั้นนี้ และแปรผกผันตรงกับ  $1/f$  ผู้ใช้ทั้งหมดจะมีค่าความคลาดเคลื่อนในความล่าช้าในชั้น Ionosphere

**2.7.5 Troposphere Errors** เป็นสิ่งหนึ่งที่ทำให้ความเร็วแสงเฉไป โดยที่ความแปรปรวนของอุณหภูมิของความดันและความชื้น ทั้งหมดนี้ทำให้ความเร็วแสงของสัญญาณแปรปรวนไปทั้งหมด สำหรับผู้ใช้ทั่วไปค่าความผิดพลาดนี้จะอยู่ประมาณ 1 เมตร

**2.7.6 Multipath Errors** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจากการส่งสัญญาณของดาวเทียม GPS ไปกระทบผิวสะท้อนก่อนที่จะไปถึงผู้รับ เช่น สะท้อนผิวของตึกหรือผิวของน้ำ โดยผลกระทบนี้มีแนวโน้มที่มากขึ้นในที่ที่เครื่องรับอยู่หนึ่ง ๆ ใกล้กับผิวสะท้อนที่ใหญ่มาก ๆ ความผิดพลาดที่พบมากที่สุดประมาณ 15 เมตร การแก้ไขความผิดพลาดนี้คือการต่อเสาอากาศ (Antenna) ให้กับเครื่องรับสัญญาณ

**2.7.7 Receiver Errors** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะของเครื่องรับสัญญาณอันเนื่องมาจากความร้อนภายในเครื่องรับสัญญาณ, ประสิทธิภาพ Software ของเครื่องรับ และจำนวนช่องรับสัญญาณแต่เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาจนความผิดพลาดลักษณะนี้มีค่าน้อยมาก

**2.7.8 ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการจับกลุ่มของดาวเทียมที่ใช้สำรอง (Geometric Dilution of Precision)** ความผิดพลาดนี้เกิดจากการหาระยะทางซูโรเนจของเครื่องรับ การเลือกกลุ่มดาวเทียมจะเป็นองค์ประกอบหลัก มีการใช้ค่า ๆ หนึ่งเป็นตัวแสดงถึงคุณภาพของผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจาก การกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส ค่านี้คือ ไดลูชัน ออฟ พรีซิชัน (Dilution of Precision (DOP) ค่าของ DOP มักถูกอธิบายในเทอมต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับสัญญาณที่ได้จากการจับกลุ่มดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งของ เครื่องรับสัญญาณเทอมต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่

GDOP - Geometrical Dilution of Precision

PDOP - Position Dilution of Precision (3-D) บางทีเรียก Sere DOP

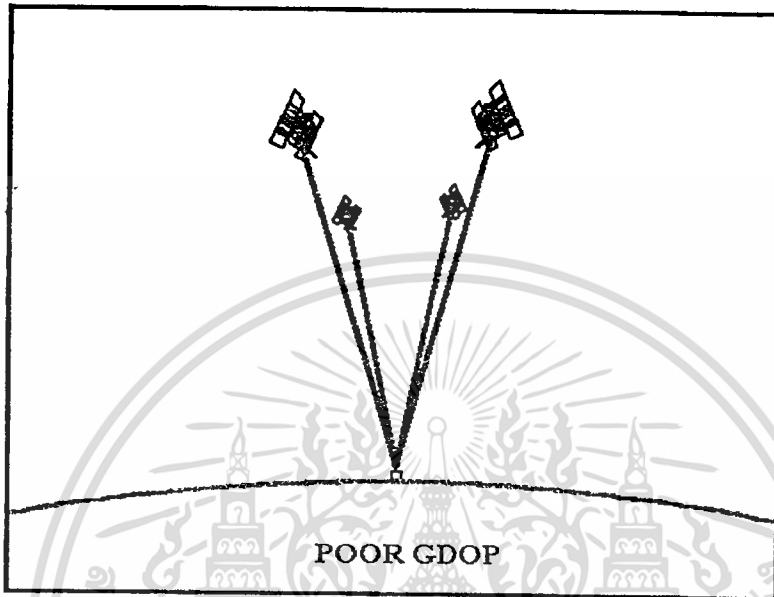
HDOP - Horizontal Dilution of Precision (Latitude, Longitude)

VDOP-Vertical Dilution of Precision (Height)

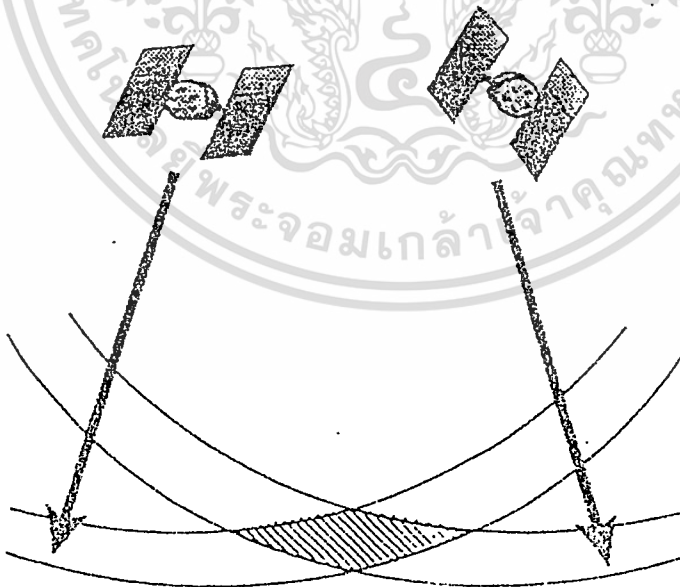
TDOP-Time Dilution of Precision (Time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

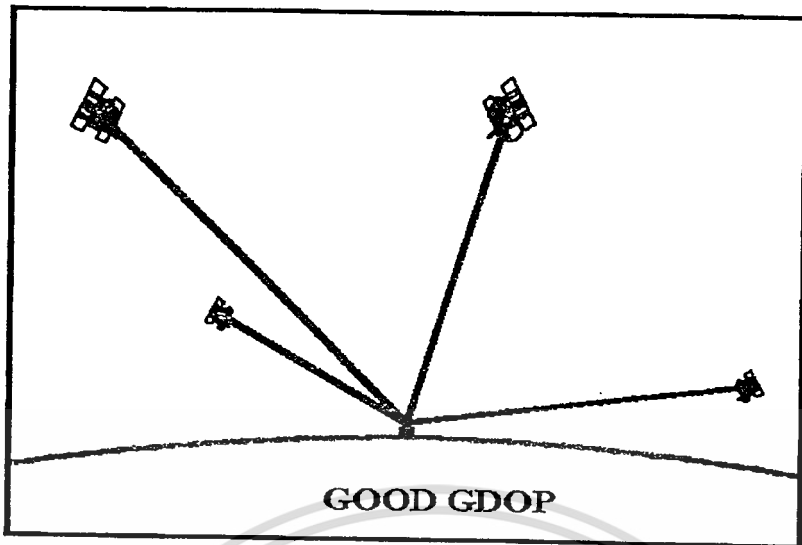
ตัวที่มักจะนำมาพิจารณาได้แก่ ค่าจีโอเมตริก ไคลอชัน ออฟ พรีซิชั่น (Geometric Dilution of Precision (GDOP) จะแสดงถึงการจัดวางตัวของดาวเทียมสี่ดวงที่ทำกับเครื่องรับสัญญาณ ถ้าค่า GDOP มีค่ามาก พิกัดที่ได้จากเครื่องรับอาจผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็นมากเช่นเดียวกัน ตัวอย่างของการจัดกลุ่มดาวเทียมที่ทำให้ GDOP มีค่าดีและไม่ดีเป็นดังรูปที่ 2-16 ถึง 2-19



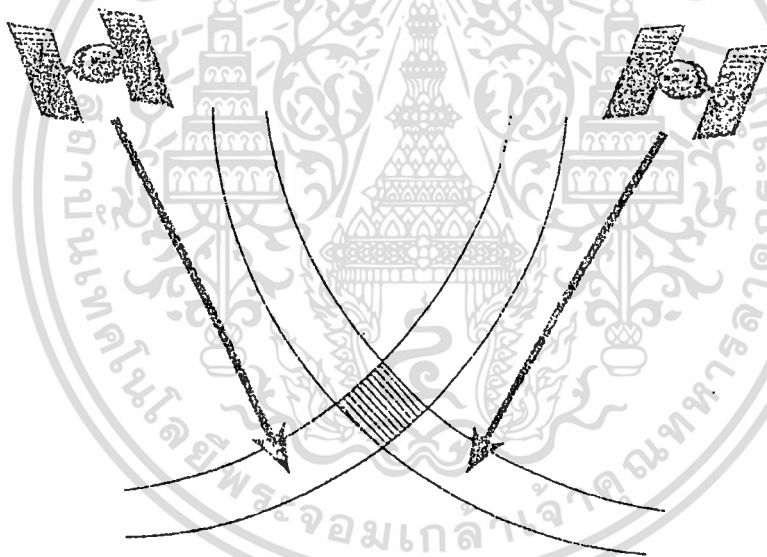
รูปที่ 2-16 แสดงภาพ POOR GDOP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานเทคโนโลยีการขนส่งทางอากาศของประเทศไทย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-18 แสดง GOOD GDOP



รูปที่ 2-19 ผลของ GOOD GDOP แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การตัดกันที่แคบลง

## 2.8 มาตรฐาน NMEA และโปรโตคอลที่ ใช้งานการสื่อสารของจีพีเอส

### 2.8.1 มาตรฐาน NMEA (NMEA Standard)

มาตรฐาน NMEA คือการอินเตอร์เฟซทางไฟฟ้าและโปรโตคอลการส่งข้อมูล สำหรับใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์การเดินเรือ (NMEA ยังมีมาตรฐานสำหรับการสื่อสารในแบบอื่นๆด้วย) โดย NMEA ย่อมาจาก National Marine Electronics Association ซึ่งทำการศึกษาและพัฒนาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทางน้ำขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.2 มาตรฐาน NMEA-183

มาตรฐานที่เอาท์พุทจะเป็นแบบที่มีตัว EIA - 422 และมีสายสัญญาณ 2 เส้น, A และ B โวลเตจบนเส้น A จะเป็นเหมือนกับสาย TTL เดียวแบบเดิม ขณะที่ B โวลเตจจะกลับทางกันกับ A เช่น A เป็น +5, B จะเป็นกราวด์ในการใช้งาน, สายเพียงสายเดียวคือสาย A ใน EIA-422 อาจจะถูกใช้เชื่อมต่อกับ RS-232 อินพุทของเครื่องคอมพิวเตอร์

ในมาตรฐาน NMEA-183, ตัวอักษรที่ใช้คือ ASCII Text ซึ่งสามารถพิมพ์ได้ (รวมไปถึง Carriage Return and Line Feed) NMEA-183 นั้น ข้อมูลจะถูกส่งด้วยอัตรา 4800 baud ข้อมูลจะถูกส่งในรูปของประโยค (Sentences) แต่ละประโยคเริ่มต้นด้วย \$ ตัวอักษรตัวที่ตามมาอีก 2 ตัว คือ talker ID หรือ Device ID เช่น GP ใช้เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นข้อมูล GPS ตัวอักษรที่ตามมาอีก 3 ตัว คือ Sentence ID คือตัวกำหนดรูปแบบประโยค (Sentence Formatter) หรือจะเรียกว่า ชื่อประโยค (Sentence Name) ตามมาด้วยฟิลด์ข้อมูลจำนวนหนึ่ง โดยถูกแบ่งแยกด้วยเครื่องหมายคอมม่า(,) และสิ้นสุดด้วยเช็คซัม (checksum) ที่สามารถเลือกได้ว่าจะมีหรือไม่ และจะจบลงด้วยแครีเรียเทิร์น (carriage return/line feed) ประโยคอาจจะมีตัวอักษรถึง 82 ตัวซึ่งรวมกับ \$ และ CR/LF แล้ว

ถ้าข้อมูลสำหรับฟิลด์ไม่สามารถหาได้ ฟิลด์จะถูกเว้นข้ามไป แต่คอมม่าซึ่งทำหน้าที่แบ่งฟิลด์ยังคงถูกส่งไปโดยไม่เว้นช่องว่าง เพราะในแต่ละฟิลด์มีความยาวไม่คงที่หรือ ไม่มีข้อมูล เครื่องรับจะระบุตำแหน่งของฟิลด์ข้อมูลที่ต้องการ โดยการนับเครื่องหมายคอมม่าเช็คซัม ที่เลือกได้ว่าจะมีหรือไม่ ประกอบด้วย "\*" และ 2 บิตของเลขฐาน 16 (2 hex diits) แทนการ Exclusive-OR ของตัวอักษรทั้งหมด แต่ไม่รวม "\$" และ "\*" ในการใช้งานจะมีความต้องการใช้เช็คซัมในบางประโยค

ในมาตรฐานจะอนุญาตแต่ละผู้ผลิตในการนิยามรูปแบบประโยค ประโยคเหล่านี้เริ่มต้นด้วย "SP" และตัวอักษรสามตัวที่ตามด้วยเป็น manufacturer ID ตามด้วยข้อมูลตามรูปแบบทั่วไปของประโยคมาตรฐาน

### 2.8.3 โพรโตคอล NMEA-183

NMEA คือโพรโตคอลมาตรฐานถูกนำมาใช้เครื่อง GPS เพื่อส่งข้อมูล NMEA เอาท์พุทจะเป็นโพรโตคอล EIA-422A แต่เราสามารถนำไปใช้ร่วมงานกับ RS-232 ได้โดยใช้อัตราการส่งข้อมูล 4800 bps, 8 คาต่อบิต, ไม่มีพาริตีบิตและมีหนึ่งสตอปบิต (stop bit (8N1)) ประโยคของ NMEA-183 จะเป็นแอสกีทั้งหมด แต่ละประโยคจะเริ่มต้นด้วยคอลล่าชาซีน (\$) และจบลงด้วย carriage return/line feed (<CR><LF>) ข้อมูลจะถูก ขึ้นด้วยคอมม่าเครื่องรับ GPS บางอันจะไม่ส่งบางฟิลด์ (field) ข้อมูลเช็คซัมถูกเพิ่มเข้าไป ส่วนที่ตามหลัง \$ คือแอสกีฟิลด์ aacc โดย aa คือ device id GP ใช้บ่งเพื่อบ่งชี้ว่าข้อมูล GPS จะส่ง device id ตามปกติและเลือกได้ ccc คือรูปแบบประโยค (sentence formatter) เรียกว่า sentence name

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปแบบประโยคของ NMEA

### RMB

\$GPRMB, A,x.x,a,c-c,d-d,lll.ll,e,yyyy.yy,f,g.g,h.h,i.i,j\*kk

- RMB =ข่าวสารที่น้อยที่สุดที่จำเป็นในการนำร่อง (Recommended Minimum Navigation Information)
- 1 =สถานะของข้อมูล V=การเตือนเครื่องรับในการนำร่อง (navigation receiver warning)
  - 2 =ความคลาดเคลื่อนของครอสแทรค (Crosstrack error) ในหน่วย nautical miles
  - 3 =ทิศทางที่ต้องเบนเข็มไป (Direction to steer) (L or R) เพื่อแก้ไขความคลาด
  - 4 =หมายเลขของเวย์พอยท์ (waypoint) เริ่มต้น
  - 5 =หมายเลขของเวย์พอยท์ปลายทาง
  - 6 =ละติจูดของเวย์พอยท์ปลายทาง
  - 7 =N or S (เหนือหรือใต้)
  - 8 =ลองจิจูดของเวย์พอยท์จุดหมาย
  - 9 =E or R (ตะวันออกหรือตะวันตก)
  - 10 =ระยะทางไปยังปลายทางในหน่วย nautical miles
  - 11 =แบร์ริง (Bearing) (มุมที่ถ่าลิ่งทำกับปลายทาง) ในหน่วยองศา
  - 12 =ความเร็วในการเข้าถึงจุดหมาย (Destination closing velocity) ในหน่วย knot
  - 13 =สถานะเมื่อเข้าถึง (arrival status) (A = เข้าถึงหรือผ่านไปอย่างตั้งฉาก)
  - 14 =เช็คซั้ม

### RMC

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

- RMC =ข้อมูลเฉพาะของจีพีเอส/ทรานซิทน้อยที่สุดที่จำเป็น (Recommended Minimum Specific GPS/TRANSIT Data)
- 1 =เวลาขณะปัจจุบันในระบบ UTC
  - 2 =สถานะของข้อมูล (V=การเตือนเครื่องรับในการนำร่อง) (navigation receiver warning)
  - 3 =ละติจูด
  - 4 =N or S (เหนือหรือใต้)
  - 5 =ลองจิจูด
  - 6 =E or W (ตะวันออก หรือ ตะวันตก)
  - 7 =ความเร็วหน่วยนอต
  - 8 =มุมที่วัดจากทิศเหนือ
  - 9 =มุมที่วัดจากทิศเหนือ
  - 10 =ความแปรปรวนเนื่องจากสนามแม่เหล็ก
  - 11 =E or W (ตะวันออก หรือ ตะวันตก)
  - 12 =เช็คซั้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**GGA**

\$GPGGA,hhmmss.ss,IIII.II,a,yyyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,xxxx\*hh

GGA =ข้อมูลเฉพาะของระบบจีพีเอส Global Positioning System Fix Data

1 =UTC of position

2 =ละติจูด

3 =N or S (เหนือ หรือ ใต้)

4 =ลองจิจูด

5 =E or W (ตะวันออก หรือตะวันตก)

6 =ค่าซึ่งชี้ถึงคุณภาพของระบบจีพีเอส (0=invalid; 1=GPS fix; 2=Diff. GPS fix)

7 =จำนวนดาวเทียมที่ใช้

8 =HDOP (Horizontal dilution of position)

9 =ความสูงของสายอากาศเหนือกว่า/ต่ำกว่า ระดับน้ำทะเล

10 =เมตร (หน่วยความสูงของสายอากาศ)

11 =ค่าความแตกต่างระหว่างระบบ WGS-84 กับ ระบบจีออซด์

12 =เมตร (ความต่างของจีออซด์)

13 =ระยะเวลาตั้งแต่อัปเดตข้อมูลครั้งสุดท้ายจากสถานีอ้างอิง

14 =หมายเลขประจำสถานีอ้างอิง

15 =เช็คซัม

**VIG**

\$GPVTG,t,T,,,s.ss,K\*hh

VTG =มุมที่ทำกับทิศเหนือจริง ๆ และความเร็ว (Actual Track made good and speed over ground)

1 =มุมที่ทำกับทิศเหนือ

2 =อักษร 'T' แสดงว่ามุมที่ทำกับทิศเหนือ

3 =ไม่ใช่

4 =ไม่ใช่

5 =ความเร็วหน่วยนอต

6 =อักษร 'T' แสดงความเร็วในหน่วยนอต

7 =ความเร็วหน่วย km/h

8 =อักษร 'K' แสดงความเร็วในหน่วย km/h

9 =เช็คซัม

**RMA**

\$GPRMA,A<IIII.II,N,IIII.II,W,,,ss.s,ccc,vv.v,W\*hh

RMA รนี้ =ข้อมูลการนำร่องจากตำแหน่งปัจจุบัน (Navigation data from present Position)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1 =สถานะข้อมูล
- 2 =ละติจูด
- 3 =N/S (เหนือ/ใต้)
- 4 =ลองจิจูด
- 5 =W/E (ตะวันออก/ตะวันตก)
- 6 =ไม่ใช่
- 7 =ไม่ใช่
- 8 =ความเร็วหน่วยนอต
- 9 =Course over ground
- 10 =ค่าความผันแปร
- 11 =ค่าความผันแปร E/W
- 12 =เช็คซั่ม

#### GSA

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

GSA =โหมดการทำงานของเครื่องรับจีพีเอส, ดาวเทียมที่ใช้ในการนำร่องและค่า DOP (GPS receiver operating mode, SVs used for navigation, and DOP values)

1 =โหมด

M = Manual, ให้ผู้ใช้เลือกว่าจะใช้ 2 มิติหรือ 3 มิติ

A = Automatic, 3 มิติ/2 มิติ

2 =โหมด

1 = ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้

2 = 2 มิติ

3 = 3 มิติ

3-14 =หมายเลขของดาวเทียมที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง (เป็น 0 สำหรับฟิลด์ที่ไม่ได้ใช้)

15 =PDOP

16 =HDOP

17 =VDOP

#### GSV

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

GSV =จำนวนของดาวเทียมที่มองเห็น, หมายเลข PRN, เอลเวจันมุมอาซิมุส และค่า SNR (Number of SVs in view. PRN number. elevation. azimuth & SNR value.)

1 =จำนวนหมายเลขของข่าวสารทั้งหมดของหมายเลขนี้ใน 1 รอบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2 =หมายเลขข่าวสาร
- 3 =จำนวนทั้งหมดของดาวเทียมที่มีอยู่ในพิสัย
- 4 =หมายเลข PRN ของดาวเทียม
- 5 =มุมเอเวเลชัน (Elevation) หรือมุมเงยมีค่าสูงสุด 90 องศา
- 6 =มุมอาซิมูท (Azimuth) ทำกับขั้วเหนือมีค่า 000-359 องศา
- 7 =ค่า SNR มีค่า 00-99 dB (0 เมื่อไม่มีการแทรกกั๊ง)
- 8-1 =ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมที่สอง , เหมือนกับฟิลด์ 4-7
- 12-15 =ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมดวงที่สอง, เหมือนกับฟิลด์ 4-7
- 16-19 =ข่าวสารเกี่ยวกับดาวเทียมดวงที่สี่, เหมือนกับฟิลด์ 4-7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 การนำระบบ GPS มาใช้ในการควบคุมเส้นทางเดินรถ

ปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณ GPS ได้ถูกพัฒนาจนมีขนาดเล็กจนสามารถพกพาได้ และได้ถูกพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในลักษณะส่วนบุคคล เครื่องรับสัญญาณ GPS ของบริษัท GARMIN รุ่น 12XL ถูกออกแบบเพื่อนำมาใช้ในการเดินทางในภูเขา แต่มีฟังก์ชันในการรับข้อมูลจากภายนอก และส่งข้อมูลโดยใช้พอร์ตสำหรับรับ-ส่งข้อมูลทางดิจิทัล ในโครงการควบคุมเส้นทางเดินรถจึงจะนำเครื่องรับตัวนี้มาใช้ในค่านระบบสัญญาณจากดาวเทียม GPS

#### 3.1 การทดสอบการทำงานของเครื่อง

เครื่องรับสัญญาณ GPS รุ่น 12XL นี้ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาด AA 4 ก้อน มีจอ LCD เป็นอุปกรณ์เอาต์พุต มีฟังก์ชันในการทำงานหลายอย่างด้วยกัน โดยฟังก์ชันหลัก ๆ คือสามารถแสดงค่า Latitude, Longitude และค่าความเร็ว ได้จากการทดลองวัดค่า Latitude, Longitude ณ เวลาต่าง ๆ ในแต่ละวัน ได้ว่า

วันที่	เวลา	สถานที่	Latitude	Longitude	
3 ต.ค. 2541	10.20	หน้าตึก B	N 13'43'541"	E 100'46'737"	
	10.32	สถานีรถไฟ	N 13'43'498"	E 100'46'816"	
	10.47	หน้าตึกโยธา	N 13'43'493"	E 100'46'657"	
	11.25	หน้าโรงอาหารสถาปัตย์	N 13'43'339"	E 100'46'728"	
	11.25	หน้าห้องสมุดใหญ่	N 13'43'555"	E 100'46'897"	
	11.33	พระรูป	N 13'43'719"	E 100'46'897"	
	15.29	หน้าตึก B	N 13'43'519"	E 100'46'737"	
	15.35	สถานีรถไฟ	N 13'43'590"	E 100'46'803"	
	16.02	หน้าตึกโยธา	N 13'43'496"	E 100'46'655"	
	16.45	หน้าโรงอาหารสถาปัตย์	N 13'43'339"	E 100'46'728"	
	17.14	หน้าห้องสมุดใหญ่	N 13'43'554"	E 100'46'869"	
	17.35	พระรูป	N 13'43'723"	E 100'46'875"	
	10 ต.ค. 2541	10.20	หน้าตึก B	N 13'43'551"	E 100'46'737"
		10.32	สถานีรถไฟ	N 13'43'591"	E 100'46'815"
10.47		หน้าตึกโยธา	N 13'43'493"	E 100'46'657"	
11.25		หน้าโรงอาหารสถาปัตย์	N 13'43'339"	E 100'46'728"	
11.25		หน้าห้องสมุดใหญ่	N 13'43'557"	E 100'46'868"	
11.33		พระรูป	N 13'43'721"	E 100'46'881"	

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15.29	หน้าตึก B	N 13'43'519"	E 100'46'747"
15.35	สถานีรถไฟ	N 13'43'593"	E 100'46'818"
16.02	หน้าตึกโยธา	N 13'43'494"	E 100'46'624"
16.45	หน้าโรงอาหารสถาปัตย์	N 13'43'380"	E 100'46'735"
17.14	หน้าห้องสมุดใหญ่	N 13'43'550"	E 100'46'876"
17.35	พระรูป	N 13'43'725"	E 100'46'874"

ตารางที่ 3-1 แสดง latitude, longitude ที่ได้ทำการทดลองวัด

จากตารางจะเห็นว่าค่า Latitude และ Longitude ที่วัดได้ในแต่ละครั้งมีค่าผิดพลาดเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสาเหตุมาจากการเลือกกลุ่มดาวเทียมที่ใช้ในการคำนวณค่าที่ต่างกันของเครื่องรับ ทำให้ค่าที่ได้ต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่วนค่าความสูงนั้น ได้ทดลองทำการวัดที่ความสูงต่างๆกันพบว่ามีความผิดพลาดมาก สาเหตุพอสรุปได้ว่ามาจากกรณีเดียวกันคือ การเลือกกลุ่มดาวเทียม ซึ่งจากการเลือกกลุ่มดาวเทียมที่ต่างกันนี้จะทำให้มุมที่ตัดกันของพิวทรงกลมสมมุติ้นั้น ตัดกันคนละมุมจึงได้ค่าความสูงที่ต่างกัน ประกอบกับอุปกรณ์ตัวนี้ผู้ผลิตมุ่งเน้นในการผลิตเพื่อใช้ในการเดินภูเขา จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์ด้านความสูงที่ถูกต้อง ผู้ผลิตจึงไม่ใส่ใจในการแก้ไข

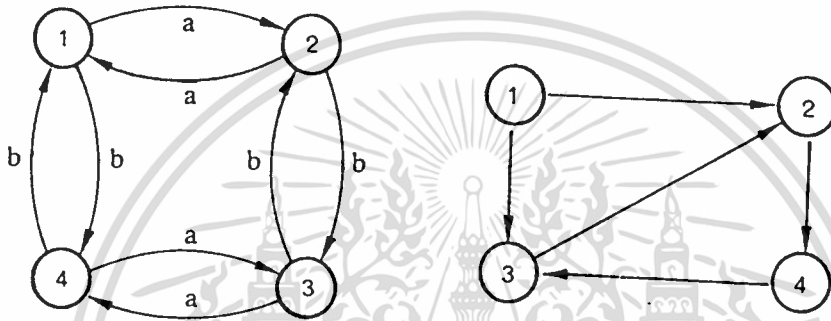
ค่าความเร็วนั้น ได้ทดลองวัดโดยนั่งอยู่บนรถแล้วทำการวัดได้ผลที่ถูกต้องแต่ในตอนเปลี่ยนแปลงความเร็ว กระทั่งหันเครื่องไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตามได้ จึงสรุปได้ว่าความเร็วที่ได้น่าจะเป็นการหาความเร็วเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 2-3 วินาทีเท่านั้น มิได้เป็นการหาความเร็ว ณ วินาทีใดวินาทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 การคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

เนื่องจากโครงการนี้ เป็นโครงการที่ต้องการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ในการเดินทางจากตำแหน่งของผู้ส่งแก่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ความรู้ทางด้านโครงสร้างข้อมูล โดยเฉพาะเรื่องกราฟมาใช้ในการทำงาน

ลักษณะของกราฟ ที่จุดใดๆจะเรียกว่าเวอร์ทิกซ์ (Vertices) และเส้นระหว่างเวอร์ทิกซ์ เรียกว่าอาร์ช(Arcs) หรืออาจเรียก Vertices ว่า Node และเรียกอาร์ชว่า Directed Line



รูปที่ 4.1 ลักษณะของกราฟ

โดยการทำงานในโครงการนี้ การหาทางเดินที่สั้นที่สุดใช้วิธี ของ Floyd

### 4.1 Concept ของวิธี Floyd

กำหนดให้ระยะสั้นที่สุดระหว่าง Node I และ Node J คือ  $A[i,j]$ ; แต่ในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่สมบูรณ์จะต้องวน Loop หาให้ครบทุก Node(k Node) ถ้า  $A^k[i,j]$  คือระยะที่สั้นที่สุดระหว่าง Node I และ Node J ในการวนหาครั้งที่ k'th

จะได้ว่า

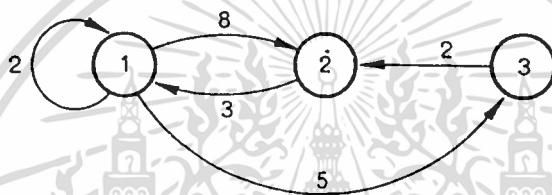
$$A^k[i,j] = \min \begin{cases} A^{(k-1)}[i,j] \\ A^{(k-1)}[i,k] + A^{(k-1)}[k,j] \end{cases}$$

ซึ่งจะเห็นว่าในการเขียน Program จะเป็นลักษณะ Recursion คือ มีการเรียก Program ตัวมันเองอีกครั้ง โดยเงื่อนไขในการหลุดจาก Loop คือ เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $A[i,j] = 0$  ; ระยะห่างระหว่างตัวมันเองเท่ากับ 0  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการของ Floyd เราจะได้ Array  $[i,j]$  มาหนึ่งชุดสามารถใช้หาเส้นทางที่สั้นที่สุดได้ โดยค่าของ  $[i,j]$  นี้จะแสดงถึงโหนดสุดท้ายก่อนจะถึงโหนด  $j$  ที่ทำให้ระยะทางจากโหนด  $i$  ไปยังโหนด  $j$  สั้นที่สุด สมมุติให้ค่าที่ได้แสดงโหนด  $k$  เราจะได้ว่าจากโหนด  $i$ , โหนด  $k$  เป็นโหนดสุดท้ายก่อนถึงโหนด  $j$  ที่ทำให้ระยะทางจากโหนด  $i$  ไปยังโหนด  $j$  สั้นที่สุด ดังนั้นถ้าเราขยับไปดูที่ค่า  $[i,k]$  ก็จะได้โหนดที่ทำให้ระยะทางที่สั้นที่สุดจากโหนด  $i$  ไปยังโหนด  $k$  สั้นที่สุด

ถ้าเราทำซ้ำไปเรื่อยๆ เราจะได้ค่าโหนดที่ทำให้ระยะทางที่ใช้ สั้นที่สุดเริ่มจากโหนด  $j - k$  ขยับไปเรื่อยๆ จนถึงโหนด  $i$  ซึ่งค่าสุดท้าย  $[i,z]$  จะให้ค่าเป็น 0 อันหมายถึงโหนด  $z$  เป็นโหนดที่อยู่ติดกับโหนด  $i$  และเป็นโหนดที่ทำให้ระยะทางจากโหนด  $i$  ไปยังโหนด  $j$  สั้นที่สุด



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟแบบมีทิศทางและมีการกำหนดค่าบนอาร์ช

	1	2	3
1	0	8	5
2	3	0	$\infty$
3	$\infty$	2	0

$A_0[i, j]$

	1	2	3
1	0	8	5
2	3	0	8
3	$\infty$	2	0

$A_1[i, j]$

	1	2	3
1	0	8	5
2	3	0	8
3	5	2	0

$A_2[i, j]$

	1	2	3
1	0	7	5
2	3	0	8
3	5	2	0

$A_3[i, j]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.3 แสดงค่าเมตริกซ์  $A$  ที่ได้รับการวน 3 รอบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ตัวอย่างของ Floyd's Algorithm (ด้วย ภาษา Pascal)

```

Procedure      Floyd(Var A: array[1..n,1..n] of real);
                C:array[1..n,1..n] of real;
Var
                i,j,k:integer;
Begin
                for I:= 1 to n do
                        for j:= 1 to n do
                                A[i,j]:= C[i,j];
                for i:= 1 to n do
                        A[i,i] := 0
                for k:= 1 to n do
                        for i:= 1 to n do
                                for j:= 1 to n do
                                        if (A[i,k]+A[k,j] < A[i,j]) then
                                                A[i,j]:= A[i,k]+A[k,j];
End;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 โครงสร้างโปรแกรม

### 5.1 โครงสร้างโปรแกรม

โปรแกรม GPS Project นี้เขียนขึ้นเพื่อช่วยในการนำร่องอัตโนมัติ โดยจะสามารถแสดงพิกัดของผู้ใช้ (ละติจูด, ลองจิจูด, ความเร็ว, ความสูง) โดยเมื่อเราทำการต่อเครื่องรับสัญญาณ GPS เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ โปรแกรมจะทำการรับประโยค โปรโตคอล NMEA จากเครื่องรับ GPS และทำการแยกข้อมูลออกมา จากนั้นจึงนำข้อมูลออกแสดงผลบนแผนที่ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงตำแหน่งตนเองได้อย่างชัดเจน และโปรแกรมยังมีความสามารถในการช่วยเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด (สภาพการเดินทางที่สั้นที่สุด) ให้กับผู้ใช้โปรแกรม

ในการทำงานของโปรแกรม GPS Project จะทำการกำหนดตำแหน่ง (Node) ต่างๆบนแผนที่เพื่อใช้ในการคำนวณหาเส้นทาง (Arcs) โดยใช้การคำนวณตามทฤษฎีของ Floyd (Floyd's Algorithm) ในการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

ในการทำงานในส่วนของโปรแกรมการทำงาน ใช้โปรแกรม BORLAND C++ BUILDER เวอร์ชัน 1 ในการเขียน ซึ่งมีการแบ่งโครงสร้างการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการเก็บข้อมูล, ส่วนของการคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุด(ระยะสั้นที่สุด) และส่วนการแสดงผลตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้งาน

### 5.2 โปรแกรมในส่วนของการเก็บข้อมูล

ในการเขียนโปรแกรม GPS Project นี้จำเป็นต้องมีฐานข้อมูลในการแสดงการทำงานและตรวจสอบการทำงาน อันได้แก่ ข้อมูลของแผนที่, ข้อมูลของละติจูด-ลองจิจูด, ข้อมูลของตำแหน่งในแต่ละตำแหน่ง

ในการทำงานของโปรแกรม GPS Project นี้ ได้ทำการรวบรวมข้อมูล และบันทึกข้อมูลไว้ เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการทำงาน โดยใน BORLAND C++ BUILDER V.1 นี้มีฟังก์ชันรูปแบบการบันทึกข้อมูลแบบตารางเพื่อช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูล ในโปรแกรม GPS Project นี้ได้จำแนกฐานข้อมูลออกเป็น 3 ตารางเพื่อใช้ในการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยตารางจะแบ่งเป็น ตารางที่เก็บรวบรวมเกี่ยวกับแผนที่ (Map Data), ตารางที่เก็บรวบรวมเกี่ยวกับตำแหน่งของจุดต่างๆ (Node Data) และตารางที่เก็บรวบรวมเกี่ยวกับเส้นทาง(ระยะทาง)ในการเดินทางจากตำแหน่งต่างๆ (Distance Data) โดยใช้โปรแกรม Database Desktop ของ BORLAND C++ BUILDER V.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Database Desktop - [Table : :project:mapdata.DB]

File Edit View Table Record Tools Window Help

mapdata	Map	FileName	Latitude	NorS	Longitude	EorW	XPixel	YPixel
1	101.00	00000000	1,340.02	N	10,044.98	E	0.00	0.00
2	102.00	00000500	1,340.02	N	10,045.77	E	0.00	500.00
3	103.00	00001000	1,340.02	N	10,046.56	E	0.00	1,000.00
4	104.00	00001500	1,340.02	N	10,047.35	E	0.00	1,500.00
5	105.00	00002000	1,340.02	N	10,048.14	E	0.00	2,000.00
6	201.00	05000000	1,341.15	N	10,044.98	E	500.00	0.00
7	202.00	05000500	1,341.15	N	10,045.77	E	500.00	500.00
8	203.00	05001000	1,341.15	N	10,046.56	E	500.00	1,000.00
9	204.00	05001500	1,341.15	N	10,047.35	E	500.00	1,500.00
10	205.00	05002000	1,341.15	N	10,048.14	E	500.00	2,000.00
11	301.00	10000000	1,342.28	N	10,044.98	E	1,000.00	0.00
12	302.00	10000500	1,342.28	N	10,045.77	E	1,000.00	500.00
13	303.00	10001000	1,342.28	N	10,046.56	E	1,000.00	1,000.00
14	304.00	10001500	1,342.28	N	10,047.35	E	1,000.00	1,500.00
15	305.00	10002000	1,342.28	N	10,048.14	E	1,000.00	2,000.00
16	401.00	15000000	1,343.41	N	10,044.98	E	1,500.00	0.00
17	402.00	15000500	1,343.41	N	10,045.77	E	1,500.00	500.00
18	403.00	15001000	1,343.41	N	10,046.56	E	1,500.00	1,000.00
19	404.00	15001500	1,343.41	N	10,047.35	E	1,500.00	1,500.00
20	405.00	15002000	1,343.41	N	10,048.14	E	1,500.00	2,000.00
21	501.00	20000000	1,344.54	N	10,044.98	E	2,000.00	0.00
22	502.00	20000500	1,344.54	N	10,045.77	E	2,000.00	500.00
23	503.00	20001000	1,344.54	N	10,046.56	E	2,000.00	1,000.00
24	504.00	20001500	1,344.54	N	10,047.35	E	2,000.00	1,500.00
25	505.00	20002000	1,344.54	N	10,048.14	E	2,000.00	2,000.00

รูปที่ 5-1 แสดงตารางเกี่ยวกับข้อมูลแผนที่

ตารางในรูปที่ 5-1 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับแผนที่โดยใน Column Map จะเป็นรายการข้อมูลในลักษณะ ที่ต่อกันเป็นแผนที่ใหญ่ Column Files Name จะแสดงชื่อ file รูปของแผนที่โดยจะเก็บในลักษณะข้อมูล BitMap Column Latitude, NorS, Longitude, EorW จะเป็นข้อมูล ณ ตำแหน่งมุมบนของรูปแต่ละรูป Column XPixel, YPixel จะแสดงข้อมูล ณ ตำแหน่งมุมบนขวาในหน่วยของ pixels ขณะเมื่อต่อกันเป็นแผนที่รูปใหญ่

Database Desktop - [Table : project.nodedata.DB]

File Edit View Table Record Tools Window Help

nodedata	NodeNo	Latitude	Longitude	Name	Map	XPxel	YPxel
	1.00	1,340.03	10,045.19		101.00	5.00	130.00
2	2.00	1,340.44	10,045.25		101.00	185.00	170.00
3	3.00	1,340.37	10,045.50		101.00	160.00	330.00
4	4.00	1,341.21	10,046.25	AirportG1	202.00	530.00	810.00
5	5.00	1,340.54	10,045.57		101.00	235.00	380.00
6	6.00	1,340.52	10,045.71		101.00	220.00	470.00
7	7.00	1,340.60	10,045.27		101.00	260.00	180.00
8	8.00	1,341.18	10,045.81		202.00	515.00	530.00
9	9.00	1,341.07	10,046.25		102.00	465.00	800.00
10	10.00	1,340.02	10,046.39		102.00	5.00	890.00
11	11.00	1,341.00	10,046.51		102.00	435.00	970.00
12	12.00	1,341.12	10,046.53	AirportG2	102.00	490.00	978.00
13	13.00	1,341.00	10,046.54		102.00	430.00	985.00
14	14.00	1,341.78	10,046.63		203.00	780.00	1,050.00
15	15.00	1,341.89	10,046.68		203.00	830.00	1,080.00
16	16.00	1,342.06	10,046.70		203.00	905.00	1,085.00
17	17.00	1,342.26	10,046.72		203.00	995.00	1,105.00
18	18.00	1,342.12	10,046.47		202.00	930.00	940.00
19	19.00	1,342.21	10,046.13	AirportG3	202.00	970.00	730.00
20	20.00	1,342.14	10,047.16		203.00	940.00	1,380.00
21	21.00	1,342.76	10,046.78		203.00	1,215.00	1,145.00
22	22.00	1,342.96	10,046.81		303.00	1,305.00	1,160.00
23	23.00	1,342.82	10,046.55		302.00	1,240.00	995.00
24	24.00	1,342.84	10,046.53		302.00	1,250.00	985.00
25	25.00	1,342.95	10,046.53		302.00	1,305.00	980.00
26	26.00	1,342.02	10,046.55		302.00	1,330.00	990.00
27	27.00	1,342.39	10,046.53		302.00	1,495.00	985.00
28	28.00	1,343.38	10,046.42		302.00	1,490.00	925.00
29	29.00	1,343.49	10,047.31		403.00	1,545.00	1,530.00
30	30.00	1,343.45	10,046.25		402.00	1,520.00	805.00
31	31.00	1,343.41	10,046.07		402.00	1,490.00	595.00
32	32.00	1,343.36	10,045.81		302.00	1,480.00	530.00

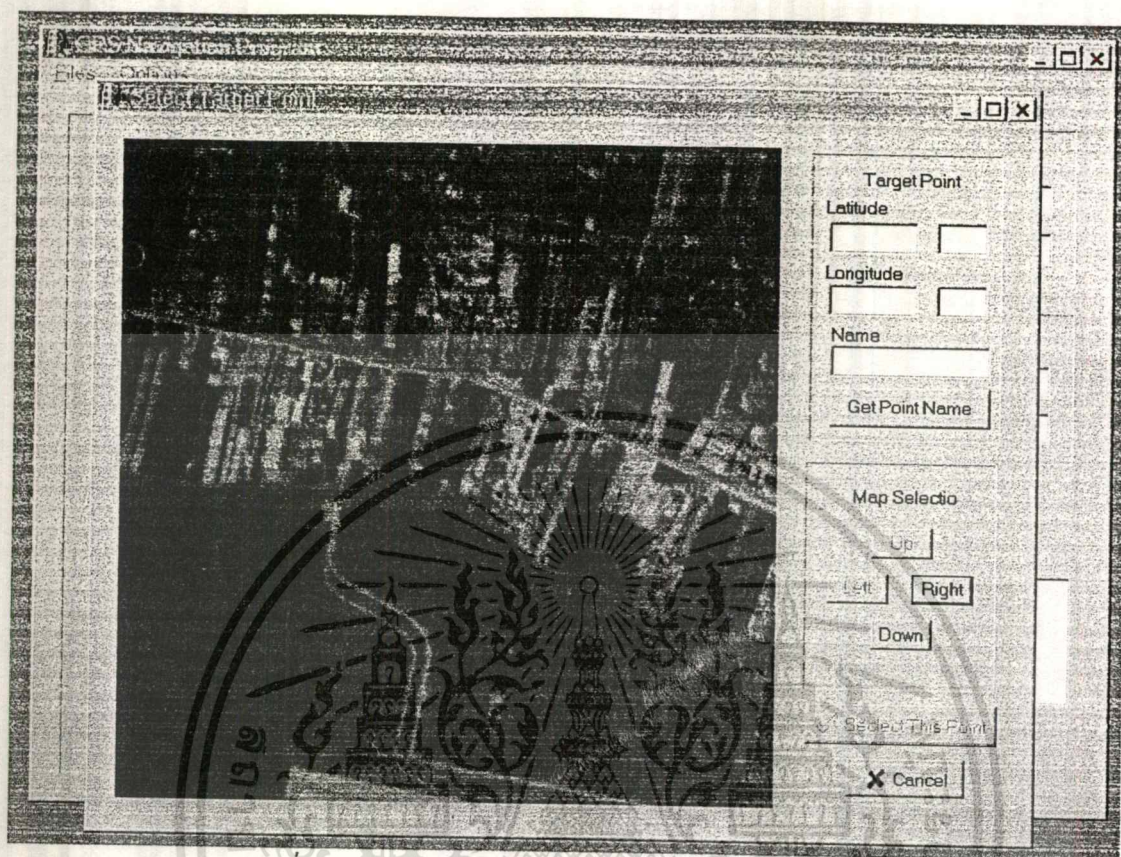
Record 1 of 83

รูปที่ 5-2 แสดงตารางเกี่ยวกับข้อมูล Node

ตารางในรูปที่ 5-2 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับ Node ต่างๆ โดยใน Column NodeNo จะเป็นข้อมูลหมายเลขของแต่ละโหนด (Node Index) , ใน Column Latitude , Longitude เป็นค่าแสดงตำแหน่งของแต่ละ Node ในระบบพิกัดองศา Column Name แสดงชื่อของโหนดเฉพาะที่มีการใส่ค่าไว้ Column Map จะเป็นข้อมูลที่บอกให้รู้ว่าโหนดแต่ละโหนดอยู่บนแผนที่ส่วนไหน Column XPixel , YPixel จะแสดงตำแหน่งของโหนด แต่ละโหนดในระบบ Pixel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

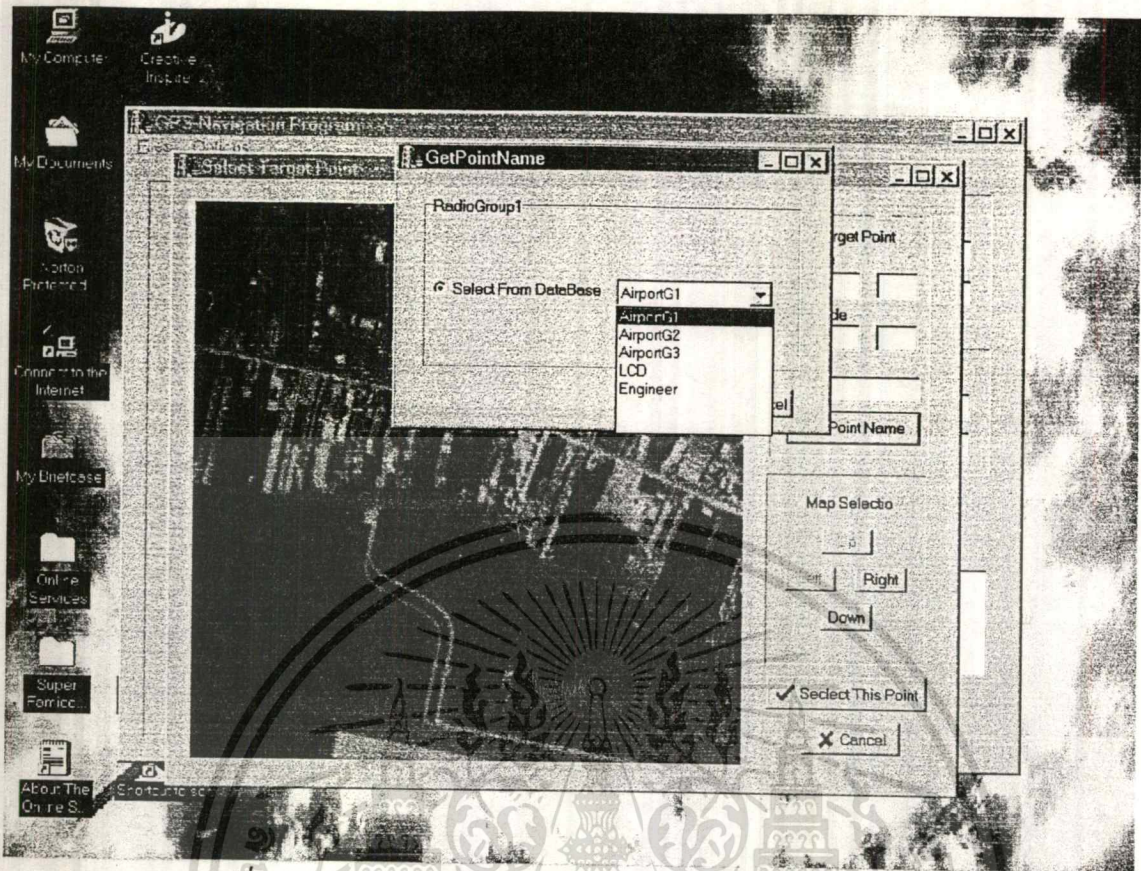
### 5.3 โปรแกรมในส่วนของการคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุด



รูปที่ 5-4 แสดงโปรแกรมในส่วนของการเลือกเส้นทางปลายทาง

ในการคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุดจะมีหน้าต่างให้เลือกกำหนดจุดหมายปลายทางได้ โดยสามารถใช้ Map Selection ในการเลื่อนแผนที่ และในส่วนของ Target Point จะแสดงตำแหน่งที่ถูกเลือกโดยในการเลือก ควรจะเลือกตำแหน่งที่อยู่บนเส้นทางการเดินรถ เนื่องจากไม่งั้นแล้วจะได้เส้นทางที่คำนวณออกมาเบนออกไปจาก ถนน ในการเลือกเป้าหมายเราอาจจะเลือกจากจุดที่เคยกำหนดชื่อได้โดยใช้ส่วนของ Get Point Name ในการเลือก

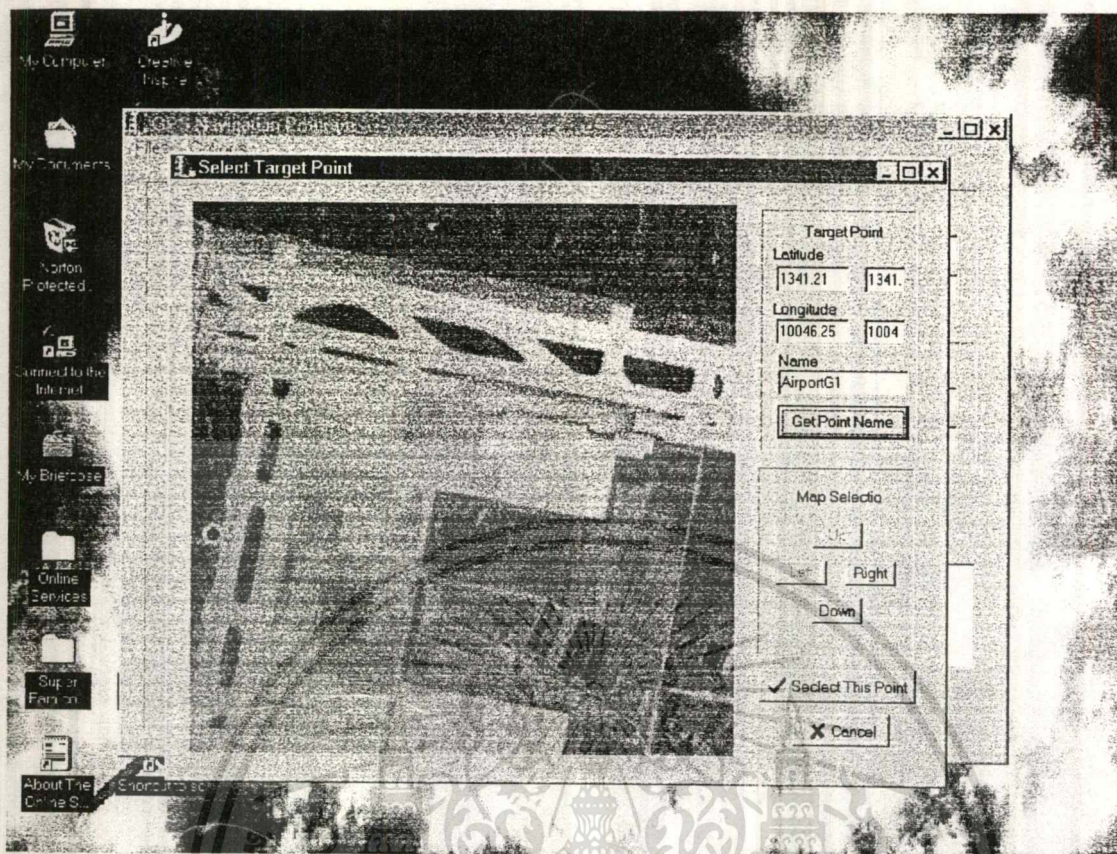
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงภาพการเลือกตำแหน่งปลายทางที่ได้มีการกำหนดชื่อไว้แล้ว

หลังจากเลือกตำแหน่งจากส่วนที่เคยกำหนดชื่อไว้แล้วนั้น โปรแกรมจะทำการเรียกข้อมูลรูปและแสดงตำแหน่งเป้าหมายขึ้นมา โดยจะแสดงพิกัดในระบบของศาให้ด้วย

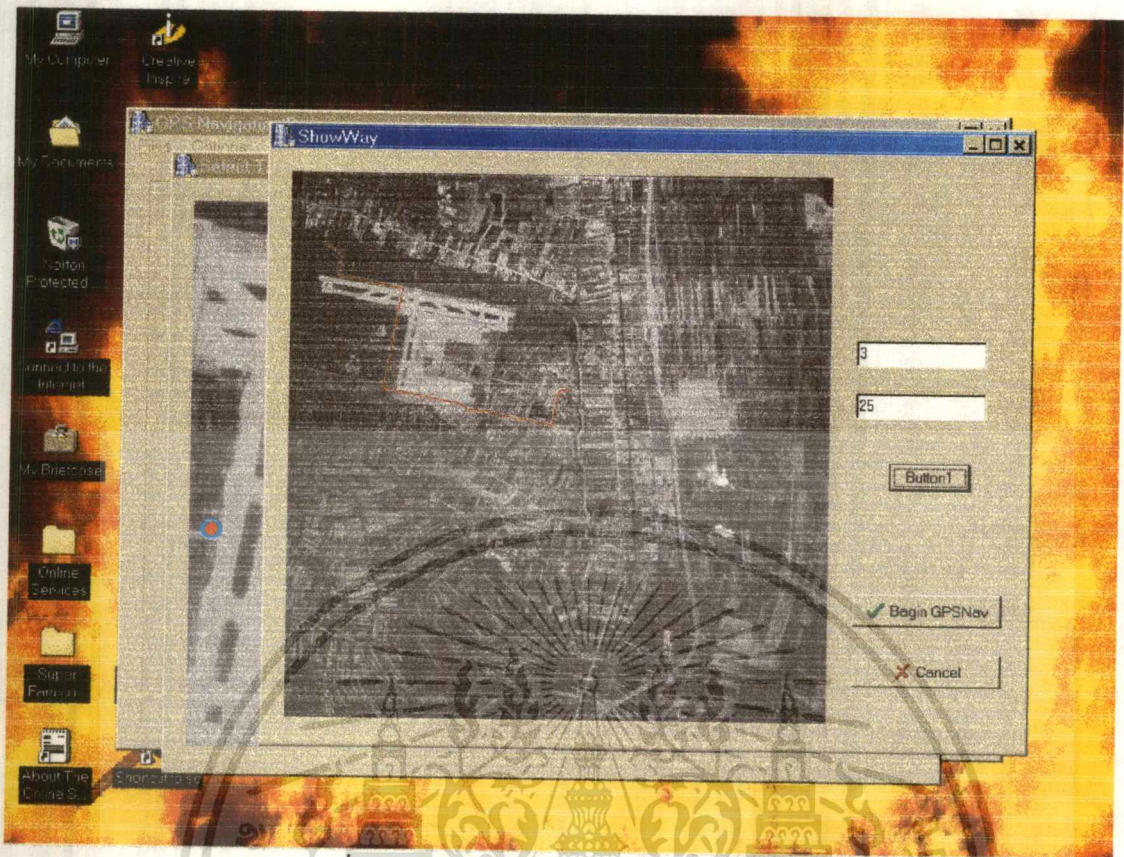
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-6 แสดงภาพตำแหน่งที่เลือกแล้ว

หลังจากที่เลือกตำแหน่งเรียบร้อยแล้วเลือกส่วนของ Select This Point โปรแกรมจะแสดงในส่วนของการคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุดออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงภาพการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

หลังจากเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดแล้ว สามารถเข้าสู่โปรแกรมในส่วนของ การแสดงตำแหน่งปัจจุบันได้ โดยการเลือกในส่วนของ Begin GPSNav

#### 5.4 โปรแกรมในส่วนของ การแสดงตำแหน่งปัจจุบัน

ในส่วนของโปรแกรมแสดงตำแหน่งปัจจุบัน โปรแกรมจะทำการรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม (Serial Communication Port) และนำข้อมูลที่ได้นั้น (เป็นข้อมูลแสดงสถานะปัจจุบันเช่น ตำแหน่งปัจจุบันในพิกัดองศา เวลา ความเร็ว ความสูง) มาทำการแยกและคำนวณแสดงออกมาในส่วนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงภาพการทำงานของโปรแกรมในส่วนของการแสดงตำแหน่งปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6 หลักการทำงานของโปรแกรม

ในการทำงานของโปรแกรมนั้น เมื่อเรียกโปรแกรมขึ้นมาโปรแกรมจะยังไม่มีการกระทำใดๆจนกว่าจะมีการกำหนดจุดจุดหมายปลายทางโดยการเลือกที่ Files -> Start Processes หรือการเรียกโดยใช้ Hot Keys หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการเรียกโปรแกรมในส่วนการเลือกเป้าหมายขึ้นมา

โปรแกรมในส่วนของการเลือกเป้าหมาย จะมีส่วนของแผนที่ เป็นภาพขนาด 500x500 pixels แสดงขึ้นมาโดยภาพแผนที่จะเป็นภาพที่ถูกแบ่ง 1 ใน 25 ส่วนจากแผนที่ใหญ่ทั้งหมดที่มีฐานข้อมูล ภาพแผนที่แรกที่ถูกส่งออกมาจะเป็นภาพแผนที่ในส่วนของมุมบนขวาสุดของแผนที่ใหญ่ ในการเรียกภาพแผนที่ขึ้นมาจะกระทำโดยใช้ชื่อแผนที่ในตารางแผนที่ (mapdata) โดยการใช้ ค่าในฟิลด์ map เป็นตัวกำหนด (ค่าในฟิลด์ map จะมีค่าในเชิงเมตริกซ์ คือ [i,j] จะมีค่า ij เช่นในตำแหน่ง [1,2] จะมีค่า 0102 หรือ 102) ดังนั้นเมื่อมีการกระทำในส่วนของการเลือกแผนที่ (Map Selection) เราสามารถทำการทางเลขคณิตกับค่าในฟิลด์ map เพื่อใช้ในการกำหนดภาพที่จะเรียกออกมาได้ เช่น ถ้ามีการเพิ่มค่าในเทอมของ column จะทำการเพิ่มค่าให้ฟิลด์ map เป็นจำนวน 1 ในทำนองเดียวกันถ้าลดค่าในเทอม column จะลดค่าในฟิลด์ map ลง 1 เช่นกัน ถ้ามีการเพิ่มค่าในส่วน of row ก็จะเพิ่มค่าในฟิลด์ map ขึ้นเป็นจำนวน 100 และลดค่าลง 100 ถ้ามีการลดค่าในเทอมของ row โดยจะทำการตรวจสอบว่าสุดเขตของแผนที่แล้วหรือไม่ เพื่อกำหนดให้ไม่สามารถทำการเลื่อนแผนที่เลขขอบแผนที่ที่มีอยู่ได้

ในการกำหนดเป้าหมายสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ สามารถเลือกเป้าหมายจากการกำหนดเองโดยใช้ mouse เลือกจุดจากแผนที่ได้เลข หรือเลือกจากโหนดที่เคยกำหนดไว้แล้วโดยการเลือกที่ Get Point Name โปรแกรมจะเรียกโปรแกรมในส่วนของการเลือกโหนดจากคาด้าเบสมาใช้ขึ้นมา

ในส่วนของการเลือกโหนดเป้าหมายจากคาด้าเบสนั้น โปรแกรมจะเรียกใช้งานตารางในส่วน of nodedata ที่มีฟิลด์ name ในการกำหนดชื่อโหนดมาใช้โดยจะแสดงแต่เฉพาะโหนดที่ได้เคยทำการกำหนด ชื่อไว้แล้วมาให้เลือกเท่านั้น เมื่อผู้ใช้โปรแกรมได้ทำการเลือกโหนดจุดหมายได้แล้ว โปรแกรมจะส่งข้อมูลไปยังโปรแกรมในส่วนเลือกจุดหมาย พร้อมทั้งเรียกแผนที่โดยใช้ฟิลด์ map จากตาราง nodedata ไปเปรียบเทียบกับฟิลด์ map ในตาราง mapdata พร้อมแสดงตำแหน่ง

หลังจากที่ผู้ใช้โปรแกรมเลือกตำแหน่งจุดหมายแล้ว จะสามารถเลือกในส่วน Select This Point เพื่อทำการยืนยันตำแหน่งปลายทาง พร้อมให้โปรแกรมทำการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

ในการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด เมื่อผู้ใช้โปรแกรมเลือกเป้าหมายแล้ว ในกรณีทีเลือกจากโหนดที่มีอยู่แล้วในคาด้าเบสจะไม่มีปัญหาในการทำงานเนื่องจากมีข้อมูลเส้นทางในตาราง distance อยู่แล้ว แต่ในกรณีทีเลือกโดยกำหนดจุดหมายเองนั้น โปรแกรมไม่สามารถคำนวณหาเส้นทางได้เนื่องจากจุดหมายทีเลือกไม่มีข้อมูลอยู่ในตาราง distance ดังนั้นจะต้องทำการเชื่อมโหนดจุดหมายกับโหนดที่มีอยู่ในตาราง distance ก่อนเช่นเดียวกับการกำหนดจุดเริ่มต้น ข้อมูลที่รับจากเครื่อง GPS นั้น จุดเริ่มต้นจะไม่เป็นโหนดที่มีในฐานข้อมูล เช่นเดียวกัน

ในการเลือกโหนดปลายทางนั้น ค่าที่ได้จากการใช้ mouse คลิก จะได้ค่าเป็น pixel (X,Y) โดยค่า pixel ที่ได้นี้จะเป็นตำแหน่งที่ mouse คลิกในกรอบของแผนที่ที่แสดงอยู่ ดังนั้นต้องแปลงเป็น pixel ในตำแหน่งของกรอบแผนที่รวมทั้งหมดโดยการบวกค่าของ pixel แสดงตำแหน่งของแผนที่เทียบกับแผนที่ใหญ่ (ในฟิลด์ XPixel,YPixel ของ mapdata) เมื่อได้ตำแหน่ง pixel เทียบแผนที่ใหญ่แล้วจะทำการคำนวณหาโหนดที่สามารถเชื่อมได้ โดยกำหนด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้โหนดที่สามารถเชื่อมได้ต้องเป็นโหนดที่มีถนนเชื่อมกันเท่านั้น จากข้อมูลในตาราง distance เราจะมีโหนดที่เชื่อมถึงกัน (มีถนนถึงกัน) ดังนั้นถ้าเราทราบ pixel ของถนนที่ใช้เชื่อมกันแล้ว เราจะสามารถเทียบกับ pixel จุดหมายว่า โหนดจุดหมายนั้นมีถนนเชื่อมหรือไม่และเชื่อมกับโหนดใดได้ เราสามารถที่จะทำได้โดยอาศัยที่ว่ากำหนดให้ถนนจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่งจะต้องเป็นเส้นตรง ดังนั้น เราสามารถอาศัยสมการเส้นตรงในการคำนวณหา Pixel ถนนที่ถึงเส้นได้

สูตรของสมการเส้นตรง

$$(y - y_1) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

โดยที่  $x, y$  คือค่า pixel ของโหนดจุดหมาย

$x_1, y_1$  คือค่า pixel ของโหนดแรกที่เชื่อมติดกัน

$x_2, y_2$  คือค่า pixel ของโหนดที่สองที่เชื่อมติดกัน

จากสูตรสมการเส้นตรง ถ้าเราเพิ่มค่า  $x$  จากโหนดแรกที่ใช้คำนวณที่ละ 1 จะได้ค่า  $y$  ที่เป็นคู่ลำดับแสดงเส้นทางถนนเชื่อมโหนดทั้งสอง ในกรณีนี้เราทราบว่าโหนดทั้งสองเชื่อมกันแน่นอนแล้วดังนั้น เป้าหมายในการหาว่าโหนดจุดหมายอยู่บนถนนหรือไม่นั้น ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบถนนทั้งเส้น ตรวจสอบเพียงแค่ตำแหน่ง pixel ของจุดหมายก็เพียงพอ แต่ในความเป็นจริงเนื่องด้วยบนหน้าจอคอมพิวเตอร์มิได้แสดงให้รู้ถึง pixel ดังนั้นผู้ใช้โปรแกรมมีอาจเลือกเป้าหมายให้ตรงถนนแน่นอนได้ ดังนั้นเราจะอนุญาตให้สามารถกำหนดห่างจากถนนได้ไม่เกิน 5 pixels ในการคำนวณจึงต้องตรวจสอบค่า  $x$  ในช่วง  $[x-5, x+5]$  และค่า  $y$  ที่ได้ต้องอยู่ในช่วง  $[y-5, y+5]$  ถ้าค่าของช่วงที่ได้มีค่าของตำแหน่งจุดหมาย ย่อมแสดงว่าจุดหมายอยู่บนถนนเส้นนั้น จากนั้นจึงทำการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยคำนวณเส้นทางจาก

สูตรระยะทางจากจุดถึงจุด

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

โดยที่  $x_1, y_1$  คือค่า pixel ของโหนดจุดหมาย

$x_2, y_2$  คือค่า pixel ของโหนดที่จะทำการเชื่อม

จะได้ระยะทางจากโหนดจุดหมายไปยังโหนดที่ทำการเชื่อมเป็น pixel ต้องทำการเปลี่ยนเป็นค่าระยะทางโดย 1 pixel เท่ากับ 6 เมตร (จากการคำนวณกับแผนที่) จะได้ระยะทางจากโหนดจุดหมายไปยังโหนดที่เชื่อมซึ่งมีพื้นฐานข้อมูลออกมาสองค่า และในการหาโหนดเริ่มต้นก็จำเป็นต้องทำเช่นเดียวกันแต่แค่ข้อมูลของโหนดเริ่มต้นมีค่าเป็นองศา ดังนั้นต้องแปลงเป็นค่า pixel ก่อน โดย 1 pixel เท่ากับ 0.00256 องศา

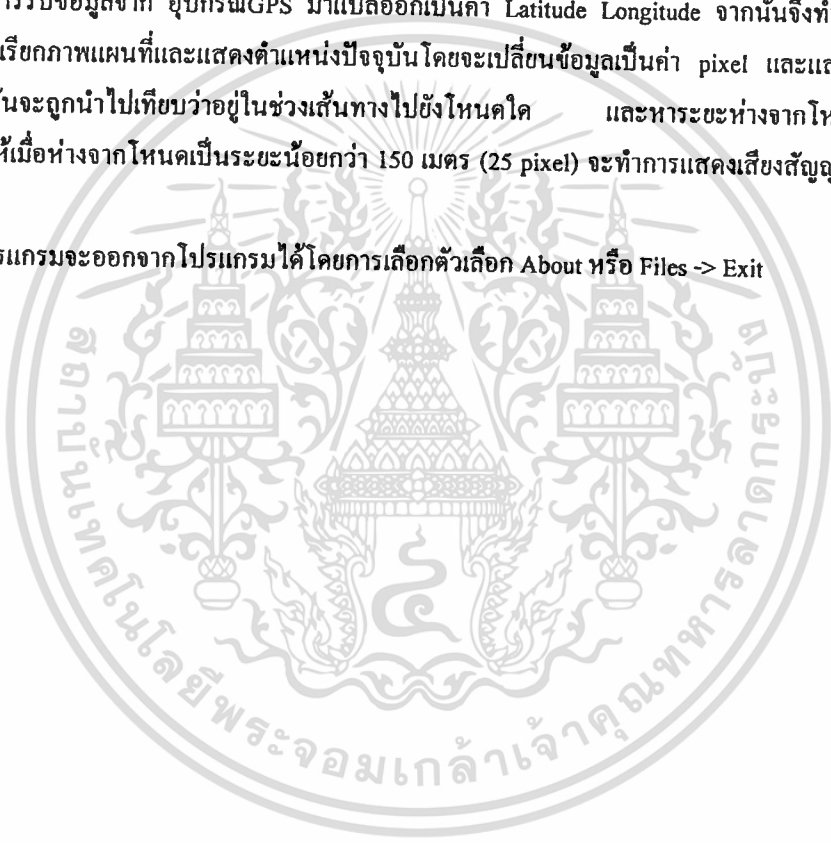
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจะต้องทำการคำนวณจากจุดเริ่มต้น(โหนดที่เชื่อมกับจุดเริ่มต้นแล้วจึงบวกค่าไปยังจุดเริ่มต้นที่หลัง)มายัง จุดหมาย(โหนดที่เชื่อมกับจุดหมายแล้วจึงบวกค่าไปยังจุดหมายที่หลัง) ดังจะได้เส้นทางทั้งหมด 4 เส้นทางเปรียบเทียบหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

ในการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดนั้น เมื่อเรียกโปรแกรมขึ้นมา โปรแกรมจะทำการคำนวณเส้นทางที่สั้นที่สุดจากข้อมูลในฐานะข้อมูลด้วยวิธีของ Floyd และเก็บค่าไว้ใน Array Final จากนั้นจะเริ่มทำการหาโหนดเส้นทาง จากจุดหมายไปยังจุดเริ่มต้นแล้วเก็บใน Array Stack จากนั้นทำการแสดงเส้นทางที่ได้คำนวณแล้วให้ดูโดยการลากเส้นทางที่เลือกบนแผนที่เป็นเส้นสีแดงโดยใช้คำสั่ง moveto และ lineto

ถ้าผู้ใช้โปรแกรมตกลงใช้เส้นทางนี้ ให้ผู้ใช้เลือกตัวเลือก Begin GPSNav ในการเริ่มการทำงานในส่วนแสดงตำแหน่งปัจจุบัน โดยโปรแกรมจะปิดตัวเองไปจนถึงโปรแกรมแรกที่เริ่มใช้และส่งข้อมูล Array Stack จากนั้นโปรแกรมจะทำการรับข้อมูลจาก อุปกรณ์GPS มาแปลงออกเป็นค่า Latitude Longitude จากนั้นจึงทำการเทียบกับฐานข้อมูลในการเรียกภาพแผนที่และแสดงตำแหน่งปัจจุบัน โดยจะเปลี่ยนข้อมูลเป็นค่า pixel และแสดงบนแผนที่ ค่าตำแหน่งปัจจุบันจะถูกนำไปเทียบกับว่าอยู่ในช่วงเส้นทางไปยังโหนดใด และหารระยะห่างจากโหนดโดยใช้ค่า XPixel กำหนดให้เมื่อห่างจากโหนดเป็นระยะน้อยกว่า 150 เมตร (25 pixel) จะทำการแสดงเสียงสัญญาณเพื่อเตือนว่าถึงทางแยก

ผู้ใช้โปรแกรมจะออกจากโปรแกรมได้โดยการเลือกตัวเลือก About หรือ Files -> Exit



## บทที่ 7 สรุปการทำงานและการพัฒนา

การทำงานของโครงการนี้สามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ถึงกระนั้นก็มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ  
 ดังเช่น

- การรับสัญญาณของเครื่องรับ GPS มีค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากค่า CODE ที่ทำให้สัญญาณเกิด  
 ERROR

- สัญญาณจากดาวเทียม GPS มีค่าอ่อนทำให้หลายครั้งสัญญาณไม่ต่อเนื่อง เพราะการทำงานของเครื่องรับ  
 GPS จำเป็นต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมถึง 3 ดวง

- ขอบเขตของแผนที่เส้นทางของโครงการนี้ครอบคลุมเพียงแค่พื้นที่รอบเขตลาดกระบังเท่านั้น จึงมี  
 ขอบเขตการใช้งาน โปรแกรมจำกัด

- ส่วนของโปรแกรมจำเป็นต้องรันบน PC ทำให้ขาดความสะดวกในการใช้งาน

### แนวทางการพัฒนาในอนาคต

- หากสามารถขยายของประสิทธิภาพของเสาอากาศรับสัญญาณของเครื่อง GPS ได้จะทำให้การทำงานมี  
 ความสามารถมากขึ้น อาจสามารถทำงานในที่อับสัญญาณได้

- ถ้าสามารถขยายขอบเขตของแผนที่ให้ครอบคลุมบริเวณกว้างกว่านี้ จะสามารถสร้างขอบเขตใช้งานได้มี  
 ประโยชน์มากขึ้น

- เราสามารถนำหลักการการทำงานของโครงการนี้ประยุกต์ใช้เป็นระบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ โดยนำค่าละติจูด,  
 ลองจิจูดจากเครื่อง GPS มาควบคุมการเคลื่อนที่ไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยการเขียนโปรแกรมในส่วนของการ  
 ควบคุมการขับเคลื่อน แล้วส่งออกจากคอมพิวเตอร์ไปยัง โปรเซสเซอร์ในส่วนขับเคลื่อนของอุปกรณ์ขับเคลื่อนที่  
 พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- Kaplan, Elliot D ,ed.1996,Understanding GPS : Principles and Application. Boston: Artech House Publisher
- GPS Overview  
<http://www.utexas.students/depts/gcraft/notes/gps/gps.html>
- GPS Standard & Signal Specification  
<http://www.naveen.useg.mil/GPS/reports/reports.html>
- NMEA-0183  
<ftp://sundae.friumf.ca/pub/peter/nmeafaq.txt>
- DAVID WELLS, GUIDE TO GPS POSITIONING, FREDERICTON NEW BRUSWICK, CANADA.
- GPS 25 XL GPS SENSOR BOARD TECHNICAL SPECIFICATION, GARMIN INTERNATIONAL, INC.
- พ.อ. เจนวิทย์ เหลืองอร่าม, การเขียนโปรแกรมสำหรับ Windows ด้วย Borland C++ 4, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
- กนก กุศลมาตย์นุกูล, ไกรวุฒิ มั่นเสถียรสิน, คู่มือการเขียนโปรแกรม Delphi 4, บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด
- John Willey & Sons, A SECOND COUSE IN COMPUTER SCIENCE WITH PASCAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

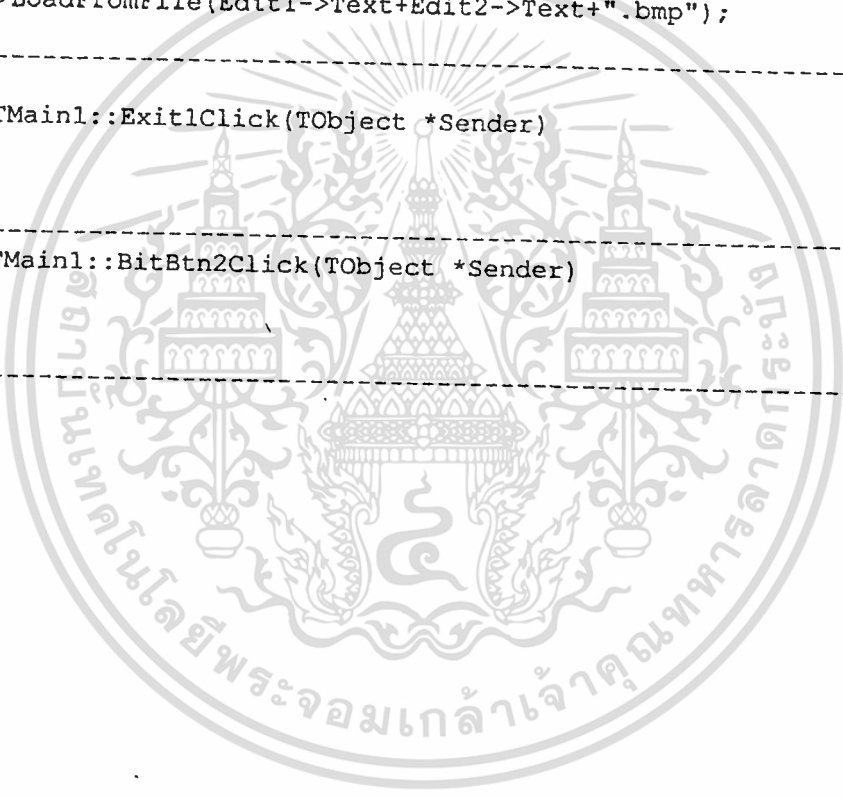
```
//-----  
#include <vcl\vcl.h>  
#pragma hdrstop  
//-----  
USEFORM("main.cpp", Main1);  
USERES("GPSNav.res");  
USEFORM("target.cpp", TargetPoint);  
USEFORM("way.cpp", ShowWay);  
USEFORM("name.cpp", GetPointName);  
//-----  
WINAPI WinMain(HINSTANCE, HINSTANCE, LPSTR, int)  
{  
    try  
    {  
        Application->Initialize();  
        Application->CreateForm(__classid(TMain1), &Main1);  
        Application->CreateForm(__classid(TTargetPoint), &TargetPoint);  
        Application->CreateForm(__classid(TShowWay), &ShowWay);  
        Application->CreateForm(__classid(TGetPointName), &GetPointName);  
        Application->Run();  
    }  
    catch (Exception &exception)  
    {  
        Application->ShowException(&exception);  
    }  
    return 0;  
}  
//-----
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//-----
#include <vcl\vcl.h>
#pragma hdrstop

#include "main.h"
#include "Target.h"
#include "way.h"
//-----
#pragma resource "*.dfm"
TMain1 *Main1;
//-----
__fastcall TMain1::TMain1(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
}
//-----
void __fastcall TMain1::StartNewWay1Click(TObject *Sender)
{
TargetPoint->ShowModal();
}
//-----
void __fastcall TMain1::BitBtn1Click(TObject *Sender)
{
Image1->Picture->LoadFromFile(Edit1->Text+Edit2->Text+".bmp");
}
//-----
void __fastcall TMain1::Exit1Click(TObject *Sender)
{
Main1->Close();
}
//-----
void __fastcall TMain1::BitBtn2Click(TObject *Sender)
{
Main1->Close();
}
//-----
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <vcl\vcl.h>
#pragma hdrstop

#include "target.h"
#include "way.h"
#include "name.h"
//-----
#pragma resource "*.dfm"
TTargetPoint *TargetPoint;
div t x;
int mapindex;
//-----
__fastcall TTargetPoint::TTargetPoint(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
}
//-----
void __fastcall TTargetPoint::Button3Click(TObject *Sender)
{
    Shapel->Visible=false;
    MapTable->Open();
    mapindex=mapindex-1;
    MapTable->IndexFieldNames="Map";
    MapTable->SetKey();
    MapTable->FieldByName("Map")->AsInteger=mapindex;
    MapTable->GotoKey();
    Image1->Picture->LoadFromFile(MapTable->Fields[1]->AsString+".bmp");
    x=div(MapTable->Fields[0]->AsInteger,100);
    if(x.rem==1) Button3->Enabled=false;
    Button4->Enabled=true;
    MapTable->Close();
}
//-----
void __fastcall TTargetPoint::Button4Click(TObject *Sender)
{
    Shapel->Visible=false;
    MapTable->Open();
    mapindex=mapindex+1;
    MapTable->IndexFieldNames="Map";
    MapTable->SetKey();
    MapTable->FieldByName("Map")->AsInteger=mapindex;
    MapTable->GotoKey();
    Image1->Picture->LoadFromFile(MapTable->Fields[1]->AsString+".bmp");
    x=div(MapTable->Fields[0]->AsInteger,100);
    if(x.rem==5) Button4->Enabled=false;
    Button3->Enabled=true;
    MapTable->Close();
}
//-----
void __fastcall TTargetPoint::Button1Click(TObject *Sender)
{
    Shapel->Visible=false;
    MapTable->Open();
    mapindex=mapindex-100;
    MapTable->IndexFieldNames="Map";
    MapTable->SetKey();
    MapTable->FieldByName("Map")->AsInteger=mapindex;
    MapTable->GotoKey();
    Image1->Picture->LoadFromFile(MapTable->Fields[1]->AsString+".bmp");
    x=div(MapTable->Fields[0]->AsInteger,100);
    if(x.quot==1) Button1->Enabled=false;
    Button2->Enabled=true;
    MapTable->Close();
}
//-----
void __fastcall TTargetPoint::Button2Click(TObject *Sender)
{
    Shapel->Visible=false;
    MapTable->Open();
    mapindex=mapindex+100;
    MapTable->IndexFieldNames="Map";
    MapTable->SetKey();
    MapTable->FieldByName("Map")->AsInteger=mapindex;

```

```

MapTable->GotoKey();
Image1->Picture->LoadFromFile(MapTable->Fields[1]->AsString+".bmp");
x=div(MapTable->Fields[0]->AsInteger,100);
if(x.quot==5)Button2->Enabled=false;
Button1->Enabled=true;
MapTable->Close();
}
//-----

```

```

void __fastcall TTargetPoint::FormCreate(TObject *Sender)
{

```

```

MapTable->Open();
MapTable->IndexFieldNames="Map";
MapTable->SetKey();
MapTable->FieldByName("Map")->AsInteger=101;
MapTable->GotoKey();
Image1->Picture->LoadFromFile(MapTable->Fields[1]->AsString+".bmp");
Button1->Enabled=false;
Button3->Enabled=false;
MapTable->Close();
mapindex=101;
}
//-----

```

```

void __fastcall TTargetPoint::Image1MouseDown(TObject *Sender, TMouseButton Button,
TShiftState Shift, int X, int Y)
{

```

```

//recieve mousedownpoint

```

```

TPoint P,Q;

```

```

P.x=X;

```

```

P.y=Y;

```

```

Q=ClientToScreen(P);

```

```

char xCoord[40];

```

```

char yCoord[40];

```

```

itoa(Q.x,xCoord,10);

```

```

itoa(Q.y,yCoord,10);

```

```

AnsiString yString(yCoord);

```

```

AnsiString xString(xCoord);

```

```

//show lat,long of point

```

```

Edit5->Text="";

```

```

MapTable->Open();

```

```

MapTable->IndexFieldNames="Map";

```

```

MapTable->SetKey();

```

```

MapTable->FieldByName("Map")->AsInteger=mapindex;

```

```

MapTable->GotoKey();

```

```

Edit1->Text=((xString-TargetPoint->Top)*0.00226)+MapTable->Fields[2]->AsString;

```

```

Edit3->Text=((yString-TargetPoint->Left)*0.00158)+MapTable->Fields[4]->AsString;

```

```

Edit2->Text=MapTable->Fields[3]->AsString;

```

```

Edit4->Text=MapTable->Fields[5]->AsString;

```

```

MapTable->Close();

```

```

//Draw point

```

```

Shapel->Top=StrToInt(yString-TargetPoint->Top-15);

```

```

Shapel->Left=StrToInt(xString-TargetPoint->Left+7);

```

```

Shapel->Visible=true;

```

```

BitBtn1->Enabled=true;
}
//-----

```

```

void __fastcall TTargetPoint::BitBtn1Click(TObject *Sender)
{

```

```

ShowWay->ShowModal();
}
//-----

```

```

void __fastcall TTargetPoint::Button5Click(TObject *Sender)
{

```

```

GetPointName->ShowModal();

```

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ย้ำทั้งห้ามีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
include <vcl\vcl.h>
#pragma hdrstop
```

```
include "name.h"
include "target.h"
```

```
pragma resource "*.dfm"
```

```
GetPointName *GetPointName;
```

```
fastcall TGetPointName::TGetPointName(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
```

```
void __fastcall TGetPointName::BitBtn2Click(TObject *Sender)
```

```
GetPointName->Close();
```

```
void __fastcall TGetPointName::BitBtn1Click(TObject *Sender)
```

```
int temp1,temp xpixel,temp ypixel;
```

```
Query1->Open();
```

```
TLocateOptions SearchOptions;
```

```
SearchOptions<<loCaseInsensitive;
```

```
Query1->Locate("Name",DBLookupComboBox1->KeyValue,SearchOptions);
```

```
TargetPoint->Edit5->Text=Query1->Fields[3]->AsString;
```

```
TargetPoint->Edit1->Text=Query1->Fields[1]->AsString;
```

```
TargetPoint->Edit3->Text=Query1->Fields[2]->AsString;
```

```
temp1=Query1->Fields[4]->AsInteger;
```

```
temp ypixel=Query1->Fields[6]->AsInteger;
```

```
temp xpixel=Query1->Fields[5]->AsInteger;
```

```
Query1->Close();
```

```
TargetPoint->MapTable->Open();
```

```
TargetPoint->MapTable->Locate("Map",temp1,SearchOptions);
```

```
TargetPoint->Edit2->Text=TargetPoint->MapTable->Fields[2]->AsString;
```

```
TargetPoint->Edit4->Text=TargetPoint->MapTable->Fields[4]->AsString;
```

```
TargetPoint->Image1->Picture->LoadFromFile(TargetPoint->MapTable->Fields[1]->AsString+".bmp");
```

```
TargetPoint->Shapel->Top=(temp ypixel-TargetPoint->MapTable->Fields[7]->AsInteger);
```

```
TargetPoint->Shapel->Left=(temp xpixel-TargetPoint->MapTable->Fields[6]->AsInteger);
```

```
TargetPoint->Shapel->Visible=true;
```

```
TargetPoint->MapTable->Close();
```

```
GetPointName->Close();
```

```
void __fastcall TGetPointName::DBLookupComboBox1Click(TObject *Sender)
```

```
BitBtn1->Enabled=true;
```

```
TargetPoint->BitBtn1->Enabled=true;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----
#include <vcl\vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "way.h"
//-----
#pragma resource "*.dfm"
TShowWay *ShowWay;

float Weight[220][220], A[220][220], Final[220][220], stack[188];
int NumNode;

```

```

//-----
__fastcall TShowWay::TShowWay(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
}
//-----

```

```

//Function To Find Matix of Best Lowest Weight Way
//-----

```

```

void shorttest(void)
{

```

```

int i, j, k;
for(i=1; i<84; i++)
{
for(j=1; j<84; j++)
{
A[i][j]=Weight[i][j];
Final[i][j]=0;
}
}
for(i=1; i<84; i++)
{
A[i][i]=0;
}
for(k=1; k<84; k++)
{
for(i=1; i<84; i++)
{
for(j=1; j<84; j++)
{
if ((A[i][k]+A[k][j])<A[i][j])
{
A[i][j]=A[i][k]+A[k][j];
Final[i][j]=k;
}
}
}
}
}
}
//-----

```

```

void __fastcall TShowWay::BitBtn2Click(TObject *Sender)

```

```

ShowWay->Close();
//-----

```

```

void __fastcall TShowWay::FormCreate(TObject *Sender)

```

```

int i, j;
for(i=1; i<84; i++)
{
for(j=1; j<84; j++)
{
Weight[i][j]=999;
}
}
DistanceTable->Open();
for(i=1; i<183; i++)
{

```

```

Weight[DistanceTable->Fields[1]->AsInteger][DistanceTable->Fields[2]->AsInteger]=Distan

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    for(i=1;i<84;i++)
    {
        Weight[i][i]=0;
    }
    shorttest();
}
//-----

void __fastcall TShowWay::Button1Click(TObject *Sender)
{
    int first,last,temp;
    int count,result;

    first=StrToInt(Edit1->Text);
    last=StrToInt(Edit2->Text);
    count=1;
    result=1;
    temp=last;
    stack[1]=last;
    while(result!=0)
    {
        count=count+1;
        stack[count]=Final[first][temp];
        temp=stack[count];
        result=stack[count];
    }
    NodeTable->Open();
    NodeTable->IndexFieldNames="NodeNo";
    NodeTable->SetKey();
    NodeTable->FieldByName("NodeNo")->AsInteger=first;
    NodeTable->GotoKey();
    Canvas->Pen->Color=clRed;
    Canvas->MoveTo(NodeTable->Fields[5]->AsInteger/5+20,NodeTable->Fields[6]->AsInteger/5+20);
    while(count!=0)
    {
        result=stack[count];
        NodeTable->IndexFieldNames="NodeNo";
        NodeTable->SetKey();
        NodeTable->FieldByName("NodeNo")->AsInteger=result;
        NodeTable->GotoKey();
        Canvas->LineTo(NodeTable->Fields[5]->AsInteger/5+20,NodeTable->Fields[6]->AsInteger/5+20);
        count--;
    }
}
//-----

void __fastcall TShowWay::BitBtn1Click(TObject *Sender)
{
    ShowWay->Close();
}
//-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้