

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การลดความผิดพลาดทางตำแหน่งของผู้ใช้จีพีเอส
โดยวิธีการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม**

**ERROR REDUCTION FOR GPS USER'S POSITION BY SATELLITE'S
POSITION ADAPTING TECHNIQUE**



**กัลปวีร์ คล้ายดวง
KALRATH KHLAIDUANG**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2542

ISBN 974-622-535-9

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**33392**
วัน, เดือน, ปี.....**2 ส.ค. 2542**

เอกสารนี้ยังไม่ได้ผ่านการตรวจสอบให้ถูกต้องก่อนใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักหอสมุดกลาง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ERROR REDUCTION FOR GPS USER'S POSITION BY SATELLITE'S
POSITION ADAPTING TECHNIQUE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1999

ISBN 974-622-535-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเทคโนโลยีบัณฑิตวิทยาลัยด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดความผิดพลาดทางตำแหน่งของผู้ใช้จีพีเอสโดยวิธีการปรับแก้ค่าตำแหน่ง ดาวเทียม
นักศึกษา	นายกล้าปรีฐ คล้ายดวง
รหัสประจำตัว	38061240
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กนก เจริญพงษ์เวช

บทคัดย่อ

ในการใช้งานระบบดาวเทียมนำร่องจีพีเอสในโหมดมาตรฐาน มีความเที่ยงตรงในการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานอยู่ในระดับความผิดพลาดเฉลี่ย 100 เมตร สาเหตุที่ทำให้เกิดการผิดพลาดประการสำคัญคือ การเข้ารหัส Selective Availability (SA) ซึ่งกระทำโดยวิธีการที่ทำให้ฐานเวลาของดาวเทียมผิดพลาด และทำให้ค่าข้อมูลทางตำแหน่งของดาวเทียมผิดพลาด เป็นผลให้ค่าระยะพิสัยเทียม (pseudorange) ผิดพลาดขึ้น

เพื่อลดความผิดพลาด เนื่องจากสาเหตุดังกล่าว ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบข้อมูลทางตำแหน่งของดาวเทียมที่รับมา เปรียบเทียบกับฟังก์ชันแนววงโคจรของดาวเทียม และทำการปรับปรุงค่าตำแหน่งให้สอดคล้องกับฟังก์ชันดังกล่าว ก่อนทำการคำนวณหาตำแหน่งเครื่องรับต่อไป ทั้งนี้โดยใช้วิธีประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยสุด (Least Square estimation) ในการสร้างฟังก์ชันจากข้อมูลการโคจรของดาวเทียม ร่วมกับหลักการออปติไมเซชันในการหาค่าตำแหน่งของดาวเทียมที่เหมาะสม ดังนั้นตำแหน่งของเครื่องรับภายหลังจากการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม จะมีความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้น

Thesis Title	Error Reduction for GPS User's Position by Satellite's Position Adapting Technique
Student	Mr. Kalrath Khlaiduang
Student ID.	38061240
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	1999
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kanok Janchitrapongvej

ABSTRACT

In the Standard Positioning Service (SPS) of Global Positioning System (GPS) application provides the typical positioning accuracy of 100 m. (rms) in each axis. The enormous error is made by Selective Availability (SA) which uses dithering of satellite clock and manipulation of the broadcast ephemeris data so that the pseudorange is corrupted randomly.

In order to reduce the error caused by SA, this thesis proposes that the received satellite's position checking process compare to the satellite's orbit function and improves the accuracy of the received satellite's position corresponding with this function before the receiver's position computation. The method of Least Square estimation is applied to formulate the function from the satellite's orbit data along with the application of the optimization theory to search for the suitable position of the received satellite. Therefore, the less error position of receiver after using this technique can be obtained.

กิตติกรรมประกาศ

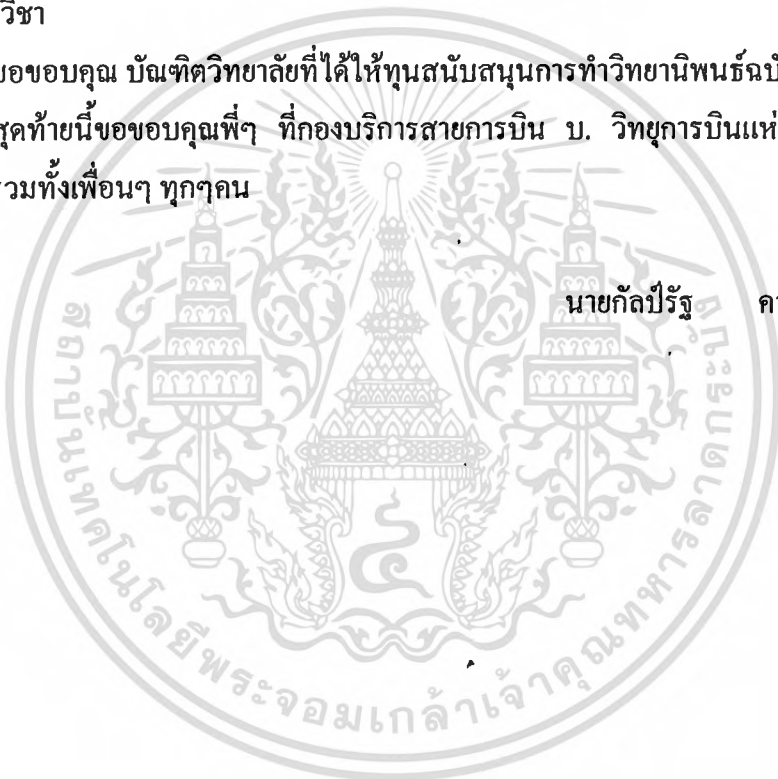
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ. ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย ที่ได้อนุญาตให้ผู้วิจัยลาศึกษาในขณะศึกษารายวิชา

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ๆ ที่กองบริการสายการบิน บ. วิทยุการบินแห่งประเทศไทย ที่ให้กำลังใจ รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคน

นายกมลปรีรัฐ

คล้ายดวง



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	1
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ระบบดาวเทียมจีพีเอส	3
2.1 องค์ประกอบของ GPS	3
2.1.1 ส่วนอวกาศ	4
2.1.2 ส่วนควบคุม	5
2.1.3 ส่วนผู้ใช้งาน	7
2.2 หลักการหาตำแหน่งของ GPS	9
2.2.1 แนวความคิด	9
2.2.2 ระบบพิกัดอ้างอิง	12
2.3 องค์ประกอบของสัญญาณ	14
2.3.1 ข่าวสารการนำร่อง	16
2.4 แหล่งกำเนิดค่าความผิดพลาดในการหาตำแหน่ง	18
2.4.1 ความผิดพลาดของฐานเวลาบนดาวเทียม	20
2.4.2 ความผิดพลาดจากการทำนายข้อมูลephemeris	20
2.4.3 รหัส Selective Availability (SA)	20
2.4.4 ผลกระทบจาก relativistic	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.5 ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศ	22
2.4.6 ผลกระทบจาก สัญญาณรบกวนในเครื่องรับ และความสามารถในการ แยกสัญญาณ	22
2.4.7 ผลกระทบจากการบังสัญญาณและคลื่นมัลติพาธ	22
2.5 วิธีจีพีเอสผลต่าง	23
บทที่ 3 วิธีการถอดโมเด็มด้วยวิธีเน็คกาทีฟเกรเดียนต์	25
3.1 วิธีเกรเดียนต์	25
3.1.1 หลักการของเกรเดียนต์เวกเตอร์	25
3.1.2 คุณสมบัติของเกรเดียนต์เวกเตอร์	26
3.1.3 วิธีการคำนวณเชิงเลข	29
3.2 วิธีตัวคูณ Lagrange	31
3.2.1 คุณสมบัติ	32
บทที่ 4 วิธีการลดความผิดพลาดโดยการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม	36
4.1 หลักการ	36
4.2 ขั้นตอนการคำนวณ	36
4.2.1 การหาค่าตำแหน่งเครื่องรับ โดยวิธีเน็คกาทีฟเกรเดียนต์	37
4.2.2 การปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม โดยใช้ตัวคูณ Lagrange	40
บทที่ 5 ฟังก์ชันของวงโคจรดาวเทียม	44
5.1 ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งดาวเทียม	44
5.2 การปรับปรุงข้อมูล	50
5.3 การสร้างฟังก์ชันอธิบายวงโคจร	74
5.3.1 การสร้างฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด	74
5.3.2 เปรียบเทียบความเที่ยงตรงของการประมาณฟังก์ชัน	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 ผลการคำนวณ	85
6.1 ความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชัน	85
6.2 การจำลองผลของ SA และการปรับแก้	104
6.3 ผลการคำนวณพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับ	117
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	121
7.1 ปัญหาและอุปสรรค	121
7.2 ข้อเสนอแนะ	122
เอกสารอ้างอิง	123
ภาคผนวก	125
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้คำนวณ	126
ภาคผนวก ข. ข้อมูลที่ใช้โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต	146
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์	161
ประวัติผู้เขียน	162

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแบ่งส่วนของข้อมูล	17
5.1 แสดงข้อมูลของดาวเทียมหมายเลข PRN 01 วันที่ 1 ตุลาคม 1997	46
5.2 แสดงข้อมูลของดาวเทียมหมายเลข PRN 01 วันที่ 1 ตุลาคม 1997 หลังทำการปรับปรุง.....	50
5.3 แสดงข้อมูลของดาวเทียมหมายเลข PRN 02 วันที่ 1 ตุลาคม 1997 ก่อนและหลังทำการปรับปรุง	54
5.4 แสดงข้อมูลของดาวเทียมหมายเลข PRN 03 วันที่ 1 ตุลาคม 1997 ก่อนและหลังทำการปรับปรุง	57
5.5 แสดงข้อมูลของดาวเทียมหมายเลข PRN 04 วันที่ 1 ตุลาคม 1997 ก่อนและหลังทำการปรับปรุง	61
5.6 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 01 วันที่ 1 ตุลาคม 1997	74
5.7 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 02 วันที่ 1 ตุลาคม 1997	78
5.8 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 04 วันที่ 1 ตุลาคม 1997	81
6.1 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 02	85
6.2 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 04	88
6.3 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 09	91
6.4 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 18	95
6.5 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 24	98
6.6 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 27	101

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.7 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 02	104
6.8 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 02	105
6.9 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 04	107
6.10 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 04	107
6.11 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 09	109
6.12 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 09	109
6.13 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 18	111
6.14 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 18	111
6.15 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 24	113
6.16 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 24	113
6.17 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 27	115
6.18 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 27	115
6.19 ข้อมูลพิกัดตำแหน่งของจุดอ้างอิง	117
6.20 ข้อมูลพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมและระยะพิสัยที่เครื่องรับ	117
6.21 ตำแหน่งพิกัดเครื่องรับที่คำนวณได้ ก่อนการปรับค่าตำแหน่งดาวเทียม	117
6.22 ข้อมูลพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมภายหลังการปรับแก้ค่า	118
6.23 ตำแหน่งพิกัดเครื่องรับที่คำนวณได้ หลังการปรับค่าตำแหน่งดาวเทียม	118

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของระบบจีพีเอส	3
2.2 ส่วนควบคุมระบบ	4
2.3 ดาวเทียมจีพีเอส	4
2.4 การจัดวงโคจรของระบบ	5
2.5 ตำแหน่งที่ตั้งของส่วนควบคุม	5
2.6 โครงสร้างของเครื่องรับ	7
2.7 ส่วนประกอบภายในภาครับ	9
2.8 วงกลม 2 วงตัดกันที่จุด A และ B	10
2.9 วงกลมวงที่สามเพื่อกำหนดตำแหน่ง	10
2.10 ระยะเวลาที่คลาดเคลื่อนทำให้กำหนดตำแหน่งผิดพลาด	11
2.11 การตัดกันของทรงกลม 2 รูป	11
2.12 การตัดกันของทรงกลม 3 รูป	12
2.13 จำลองการหาตำแหน่งของเครื่องรับ	12
2.14 พิกัด ECEF	13
2.15 ตำแหน่งดาวเทียมในระบบพิกัด ECEF	13
2.16 แบบจำลองลองลูกโลก	14
2.17 การผสมสัญญาณระหว่างรหัสกับคลื่นพาหะ	15
2.18 แผนผังการสร้างสัญญาณ ในดาวเทียม	15
2.19 สัญญาณที่ได้หลังการผสมสัญญาณ	16
2.20 รูปแบบของข้อมูลที่ส่ง	18
2.21 ค่าเวลาต่างๆที่ทำให้เกิดระยะพิสัยเทียม	19
2.22 ระยะพิสัยเทียมที่เกิดจากข้อมูลephemeris	20
2.23 ระยะพิสัยเทียมที่เกิดจากข้อมูลephemerisและ SA	21
2.24 ผลของ SA ที่มีต่อระยะพิสัย	21
2.25 การเกิดมัลติพาท	23
2.26 การทำงานในแบบ DGPS	24
3.1 เกรเดียนต์เวคเตอร์	26

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.2 เวกเตอร์สัมผัสบนพื้นผิว	26
3.3 ทิศทางการเคลื่อนที่	30
3.4 f และ g มีอนุพันธ์ย่อยต่อเนื่องที่ (x_0, y_0)	31
3.5 เส้นโค้ง γ ตัดขวางเส้นโค้ง $f(x,y) = C$ ที่จุด (x_0, y_0)	32
3.6 ลักษณะฟังก์ชันที่สอดคล้องตามเงื่อนไขต่างๆ	33
4.1 โคออร์ดิเนตบนการคำนวณทั้งหมด	37
4.2 โคออร์ดิเนตบนการคำนวณซ้ำ	40
4.3 กระบวนการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม	43
5.1 ลักษณะวงโคจรของ SV 1 แบบ 3 มิติที่ได้จากข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง	49
5.2 ลักษณะวงโคจรของ SV 1 แบบ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง	49
5.3 ลักษณะวงโคจรของ SV 1 แบบ 3 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	53
5.4 ลักษณะวงโคจรของ SV 1 แบบ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	54
5.5 ลักษณะวงโคจรของ SV 2 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	64
5.6 ลักษณะวงโคจรของ SV 3 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	65
5.7 ลักษณะวงโคจรของ SV 4 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	65
5.8 ลักษณะวงโคจรของ SV 7 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	66
5.9 ลักษณะวงโคจรของ SV 9 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	66
5.10 ลักษณะวงโคจรของ SV 10 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	67
5.11 ลักษณะวงโคจรของ SV 14 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	67
5.12 ลักษณะวงโคจรของ SV 18 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	68
5.13 ลักษณะวงโคจรของ SV 22 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	68
5.14 ลักษณะวงโคจรของ SV 24 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	69
5.15 ลักษณะวงโคจรของ SV 27 แบบ 3 มิติและ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง	69
5.16 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ A	70
5.17 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ B	70
5.18 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ C	71

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.19 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ D	71
5.20 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ E	72
5.21 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ F	72
5.22 ระนาบวงโคจรทั้งหมดที่ได้จากข้อมูล	73
5.23 การเบี่ยงเบนวงโคจรจากข้อมูลในแต่ละวัน	73
6.1 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียม PRN 02	106
6.2 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียม PRN 04	108
6.3 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียม PRN 09	110
6.4 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียม PRN 18	112
6.5 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียม PRN 24	114
6.6 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียม PRN 27	116
6.7 การทดลองใช้งานเครื่องรับจีพีเอส	119
6.8 เครื่องรับจีพีเอส	119
6.9 เสาอากาศรับสัญญาณ	120
6.10 ลักษณะการติดตั้งเสาอากาศ	120

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้งานระบบดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งเป็นระบบดาวเทียมสำหรับการนำร่อง หาตำแหน่งพิกัด กำลังได้รับความนิยมมากขึ้น แต่การใช้งานในกลุ่มผู้ใช้งานทั่วไป มีความผิดพลาด เนื่องจากการเข้ารหัส SA (Selective Availability) ของกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นผู้ควบคุมระบบ ทำให้มีความเที่ยงตรงเฉลี่ยระดับ 100 เมตร[1] การเข้ารหัส SA กระทำได้ โดย 2 วิธีคือ การทำให้ฐานเวลาของดาวเทียมเบี่ยงเบนไป ส่วนอีกวิธีคือ การเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ใช้สำหรับคำนวณหาตำแหน่งของดาวเทียม การแก้ไขความผิดพลาด ในปัจจุบันใช้วิธีจีพีเอสผลต่าง (DGPS) โดยจะต้องเปรียบเทียบข้อมูลกับสถานีอ้างอิง ซึ่งต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมในการรับ-ส่งข้อมูล และใช้งานได้ดีภายในรัศมีที่เครื่องรับจีพีเอสของผู้ใช้งาน สามารถติดต่อกับสถานีอ้างอิงเท่านั้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากวิธีการเพิ่มระดับความเที่ยงตรง โดยใช้วิธีจีพีเอสผลต่าง เป็นวิธีการที่ต้องใช้ฮาร์ดแวร์ สำหรับการส่งข้อมูลกันระหว่าง ผู้ใช้งานกับสถานีอ้างอิง และยังถูกจำกัดพื้นที่การใช้งาน ในรัศมีการติดต่อของผู้ใช้งานกับสถานีอ้างอิงอีกด้วย ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จึงนำเสนอวิธีการทางคณิตศาสตร์ ร่วมกับการคำนวณบนคอมพิวเตอร์ โดยเป็นการปรับปรุงผลกระทบที่เกิดจากการเข้ารหัส SA ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของตำแหน่งดาวเทียม และยังเป็นแนวทางแก้ปัญหาความเที่ยงตรงเกี่ยวกับข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมอีกด้วย

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ใช้วิธีการประมาณค่าสร้างฟังก์ชันที่ใช้อธิบายวงโคจรของดาวเทียมในแต่ละดวง ที่มีความเที่ยงตรงเป็นตัวอ้างอิง ซึ่งข้อมูลทางพิกัดตำแหน่งดาวเทียมสามารถสืบค้นได้จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยหน่วยงาน National Imagery and Mapping Agency (NIMA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นผู้ให้ข้อมูล ถ้าค่าตำแหน่งของดาวเทียมที่เครื่องรับจีพีเอส รับมา มีความผิดพลาดโดยออกนอกแนวฟังก์ชันที่สร้างขึ้น ก็จะคำนวณหาค่าตำแหน่งใหม่ที่สอดคล้องกับฟังก์ชันของวงโคจรดาวเทียมดวงนั้นได้ โดยใช้หลักการทางออปติไมเซชัน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการนำเสนอหลักการ ดังนั้นผลการคำนวณและทดสอบ จะได้มาจากการจำลองแบบ (simulation) โดยสร้างฟังก์ชันเพื่อใช้อธิบายวงโคจรของดาวเทียมที่มีความเที่ยงตรงสูง ทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าความเที่ยงตรงของตำแหน่งเครื่องรับจีพีเอส ทั้งก่อนและหลังการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียมได้



บทที่ 2

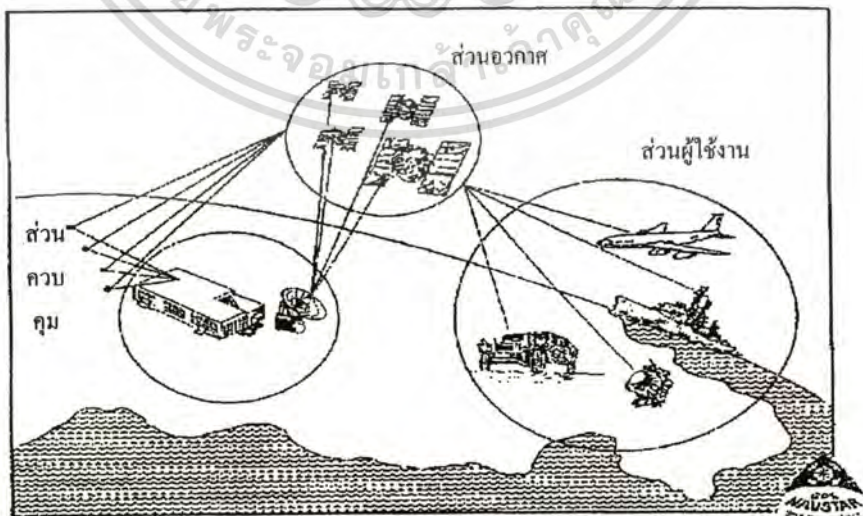
ระบบดาวเทียมจีพีเอส

ระบบดาวเทียมจีพีเอส (Global Positioning System(GPS)) เป็นระบบดาวเทียมบอกพิกัดตำแหน่ง ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีความแม่นยำสูง และสามารถให้บริการกับผู้ใช้ในที่ต่างๆทั่วโลก ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมในการใช้งานอย่างกว้างขวาง การใช้งานแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ โหมดละเอียด (Precise Positioning Service (PPS)) กับโหมดมาตรฐาน (Standard Positioning Service(SPS)) ซึ่งผู้ใช้ในโหมดละเอียดจะเป็นผู้ที่ได้รับอนุญาตจากกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาเท่านั้น ส่วนโหมดมาตรฐานจะถูกใช้โดยผู้ใช้ทั่วไป ซึ่งมีความเที่ยงตรงต่ำกว่าแบบแรก

ในบทนี้จึงได้แนะนำเกี่ยวกับส่วนประกอบ, หลักการต่างๆ ของระบบที่ใช้ เพื่อให้ผู้ที่สนใจมีความเข้าใจเพิ่มขึ้นดังมีรายละเอียดตามหัวข้อต่อไปนี้

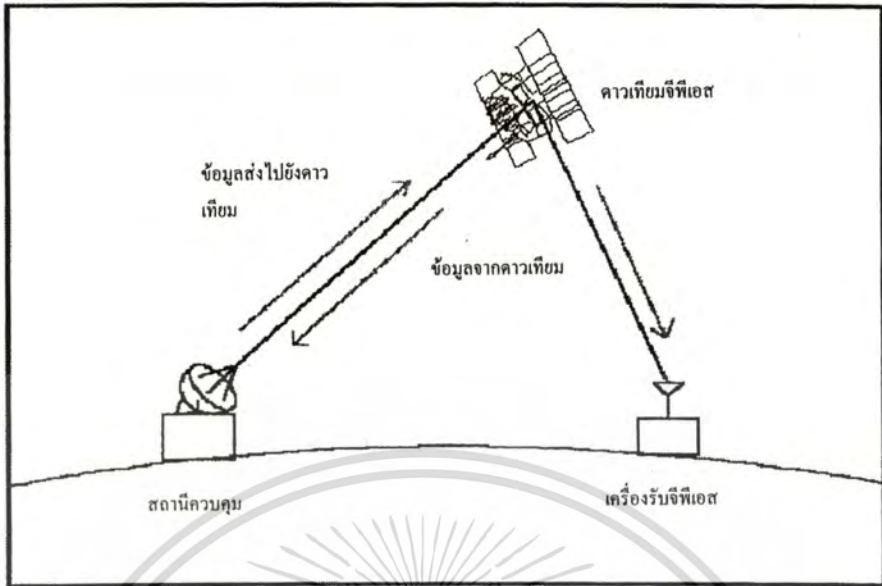
2.1 องค์ประกอบของระบบจีพีเอส

ระบบจีพีเอส ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ส่วนอวกาศ (space segment) ส่วนควบคุม (control segment) และส่วนผู้ใช้งาน (user segment)



ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบของระบบจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ส่วนควบคุมระบบ

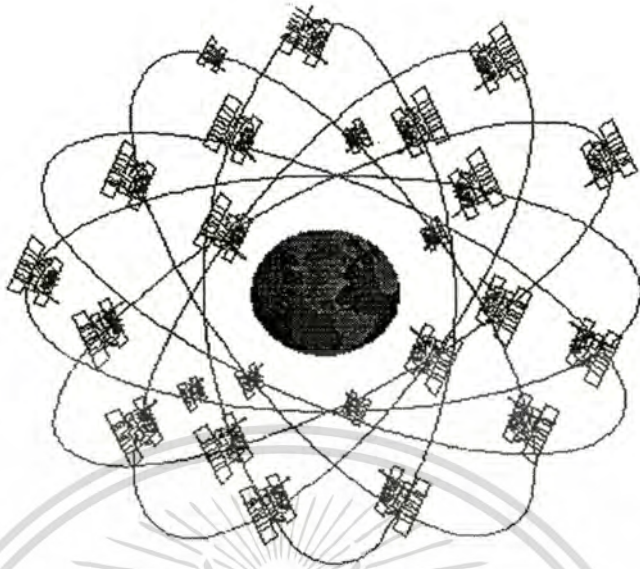
2.1.1 ส่วนอวกาศ (space segment)

ในส่วนนี้ เป็นกลุ่มของดาวเทียม ที่มีอยู่ทั้งหมด 24 ดวง แบ่งวงโคจรเป็น 6 วง ซึ่งจะมีมุมต่างกัน 60 องศา และแต่ละวงโคจรมีมุมเอียงกับแนวเส้นศูนย์สูตร 55 องศา ดังนั้นจะมีดาวเทียมอยู่ 4 ดวง ในแต่ละวงโคจร ภาพที่ 2.4 แสดงการจัดวงโคจรของดาวเทียมในระบบ

ดาวเทียมแต่ละดวง โคจรด้วยความเร็ว 3.9 กิโลเมตร/วินาที มีคาบเวลาโคจร 43,080 วินาที หรือประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที รัศมีวงโคจรจากจุดศูนย์กลางโลกประมาณ 26,600 กิโลเมตร บนดาวเทียมจะส่งสัญญาณด้วยความถี่ 2 ความถี่ คือ 1575.42 MHz (L1) และ 1227.6 MHz (L2)



เอกสารนี้ **ภาพที่ 2.3 ดาวเทียมจีทีเอส** การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 การจัดวงโคจรของระบบ

2.1.2 ส่วนควบคุม (control segment)

ในส่วนควบคุม มีหน้าที่ควบคุม ใฝาคู และรักษาดำเนินการดาวเทียมให้อยู่ในวงโคจร รวมทั้งสถานะของตัวดาวเทียม ระดับพลังงาน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ปรับปรุงข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการบอกตำแหน่ง ซึ่งส่วนควบคุม ยังแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆได้คือ สถานีควบคุมหลัก (master control station(MCS)) สถานีใฝาคู (monitor station) และเสาอากาศภาคพื้นดิน(ground antenna)



ภาพที่ 2.5 ตำแหน่งที่ตั้งของส่วนควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.5 แสดงที่ตั้งส่วนต่างๆของส่วนควบคุม มีสถานีควบคุมหลักเป็นศูนย์กลาง สถานีเฝ้าดู จะติดตามดาวเทียมที่ผ่านเข้ามา โดยการวัดระยะพิสัย ซึ่งกระทำได้โดยใช้ความถี่ เชื่อมโยงขาลง (downlink) ทั้ง L1 และ L2 ข้อมูลต่างๆ รวมถึง ข่าวสารในการบอกตำแหน่ง (navigation message) ที่รับได้นี้ จะส่งต่อไปยังมีสถานีควบคุมหลัก ผ่านทางระบบดาวเทียมสื่อสารทางทหาร หรือ โดยระบบสื่อสารภาคพื้นดินอื่นๆ

สถานีควบคุมหลักจะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้เพื่อควบคุมการส่งข้อมูล (payload) การนำร่องดาวเทียม ซึ่งข้อมูลจากสถานีเฝ้าดูทุกๆสถานีทั้งหมดใช้สำหรับจัดรูปแบบข้อมูล clock correction ของดาวเทียม ข้อมูล ephemeris และข้อมูล almanac สำหรับดาวเทียมแต่ละดวง

2.1.2.1 สถานีเฝ้าดู

สถานีเฝ้าดูจะจัดรูปแบบส่วนประกอบข้อมูล ของส่วนควบคุม และมีเครื่องรับจีพีเอสแบบ 2 ความถี่ (L1/L2) เพื่อวัดระยะพิสัยจากดาวเทียมที่รับ นอกจากนี้ยังมีนาฬิกาซีเซียม 2 เครื่องเป็นตัวอ้างอิงกับเวลาของระบบจีพีเอส

การส่งสัญญาณจากดาวเทียมถูกหักเหและถูกหน่วงเวลาจากชั้นบรรยากาศ ดังนั้นสถานีเฝ้าดู ซึ่งมีเครื่องรับจีพีเอสแบบ 2 ความถี่ ทำให้สถานีควบคุมหลักสามารถกำหนดค่าเวลาการหน่วงสัญญาณ จากชั้นบรรยากาศ ภายในขอบเขตที่สถานีเฝ้าดูรับสัญญาณได้ ส่วนข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ ความกดดันบรรยากาศ และความชื้นยังถูกส่งให้กับสถานีควบคุมหลัก โดยกรมอุตุนิยมวิทยาของสหรัฐอเมริกา เพื่อช่วยกำหนดค่าหน่วงเวลาเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ภายในขอบเขต สถานีเฝ้าดูแต่ละแห่ง ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 5 แห่ง และอนาคตจะมีที่แหลมคานาเวรัลอีกแห่ง[2]

2.1.2.2 เสาอากาศภาคพื้นดิน

เสาอากาศภาคพื้นดินเป็นตัวเก็บคำสั่งและการควบคุมต่างๆสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง ที่มาจากสถานีควบคุมหลัก จนกว่าดาวเทียมที่ระบุนิวโคจรผ่านมา ก็จะส่งข้อมูลไปยังดาวเทียมด้วยความถี่ย่าน s-band เสาอากาศภาคพื้นดินตั้งอยู่บริเวณเดียวกับสถานีเฝ้าดู ทั้ง 5 แห่งและที่ แหลมคานาเวรัล

2.1.2.3 สถานีควบคุมหลัก

หน้าที่หลักของสถานีควบคุมหลักคือการประมวลผลข้อมูลที่มาจาก สถานีเฝ้าดูต่างๆ เพื่อประมาณค่าฐานนาฬิกาของดาวเทียมจีพีเอส ข้อมูล ephemeris และ almanac โดยการประมวลผลเริ่มต้นด้วยการแก้ค่าการวัดระยะพิสัยเทียม ที่เกิดจากการหน่วงเวลาของชั้นบรรยากาศให้ถูกต้อง จากนั้นผลที่ได้จะนำไปประมวลผล เพื่อจัดรูปข้อมูล satellite ephemeris ที่มีความแม่นยำ และแก้ไขค่าออฟเซตของนาฬิกาของดาวเทียม โดย epoch-state Kalman filter ซึ่งเป็นตัวกรองที่คงค่า ephemeris ไว้ ตัวกรองนี้จะถูกปรับปรุงข้อมูลทางตำแหน่งของดาวเทียมทุกๆ 15 นาที ซึ่งค่า ephemeris ที่ประมาณได้ และค่าออฟเซตของนาฬิกาของดาวเทียมจะมีความเที่ยงตรง ตำแหน่งของดาวเทียมและค่าการปรับแก้ค่าการวัดระยะพิสัยเทียม (clock correction) จะต้องถูกทำนายในแบบเดินหน้า (forward prediction)

โดยใช้แบบจำลองของดาวเทียมและสภาพแวดล้อม แบบจำลองนี้เป็นเซตของสมการเชิงอนุพันธ์ที่อธิบายถึงพฤติกรรมทางกายภาพของดาวเทียม รวมทั้งแรงต่างๆที่กระทำต่อดาวเทียม เช่นแรงโน้มถ่วงของโลก ดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ เป็นต้น

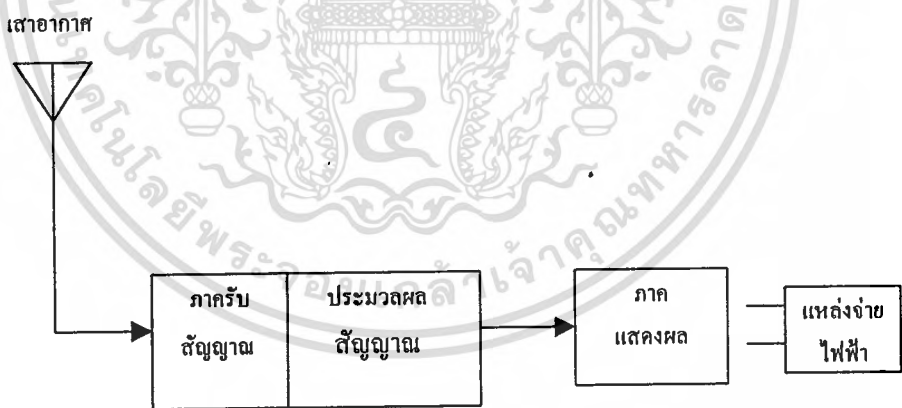
คาบเวลาที่ใช้ในการทำนายข้างต้น เป็นเวลาประมาณ 4 หรือ 6 ชั่วโมง ในแต่ละคาบเวลา ข้อมูลของตำแหน่งดาวเทียมตามระบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่ทำนายไว้ จะถูกแปลงเป็นค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับวงโคจร 15 ค่า ดังนั้นค่าของข้อมูล ephemeris จะใช้ได้ภายในเวลาดังกล่าวเท่านั้น นอกจากนี้ข้อมูลเกี่ยวกับนาฬิกา และข้อมูล almanac ก็ถูกทำนายขึ้นเช่นกัน

สถานีควบคุมหลักยังทำหน้าที่เฝ้าดูความเชื่อถือได้ของระบบ ซึ่งต้องรับรองว่าข้อมูลทั้งหมดที่จะส่งไปยังดาวเทียมมีความถูกต้อง

2.1.3 ส่วนผู้ใช้งาน

ในส่วนนี้จะรวมไปถึงผู้ใช้งานทางภาคพื้นดิน การเดินเรือในทะเล มหาสมุทร การบิน กล่าวได้ว่าผู้ใช้งานจะอยู่ที่ใดก็ได้ ที่เครื่องรับจีพีเอสสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้พร้อมๆกัน 3-4 ดวง

แผนผังของชุดเครื่องรับจีพีเอสแสดงดังภาพที่ 2.6 ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 5 ส่วนคือ เสาอากาศ เครื่องรับ ส่วนประมวลผล ส่วนรับ-ส่งข้อมูล และแหล่งจ่ายไฟฟ้า



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของเครื่องรับ

2.1.3.1 เสาอากาศ

เสาอากาศทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณจากดาวเทียมซึ่งมีโพลาริไรซ์เป็นแบบหมุนขวา (right-hand circularly polarize) มีแพทเทิร์นครอบคลุมใกล้เชิงรูปครึ่งทรงกลม โดยทั่วไปจะครอบคลุมเป็นมุม 160 องศา และมีอัตราขยายประมาณ 2.5 dBic[2] ที่จุดยอด และอัตราขยายเข้าใกล้ 1 ที่มุม 90 องศา (เสาอากาศแบบนี้ที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 อธิบายได้เป็น 0 dBic = 0dB เมื่อเทียบกับเสาอากาศไอโซโทรปิกที่มีโพลาริไรซ์เป็นแบบหมุน) ดังนั้น เสาอากาศที่เหมาะสมกับสัญญาณดาวเทียม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะนี้คือ โคนิคอล เฮลิคซ์ (conical helix) เครื่องรับจีพีเอสในโหมดละเอียด (P(Y)-code) ที่ต้องรับความถี่ทั้ง L1 , L2 ต้องมีแบนด์วิดท์ 20.46 MHz แต่ถ้าเป็นเครื่องรับจีพีเอสในโหมดมาตรฐาน (C/A-code) ต้องมีแบนด์วิดท์ อย่างน้อย 2.046 MHz สำหรับเสาอากาศที่ติดตั้งบนอากาศยาน ซึ่งต้องการขนาดเล็ก และมีแรงดันอากาศต่ำจะใช้เสาอากาศแบบไมโครสตริป (microstrip) การออกแบบเสาอากาศจึงต้องคำนึงถึงรูปแบบการขยาย ลักษณะพื้นที่ติดตั้งและเสถียรภาพทางเฟส เป็นต้น

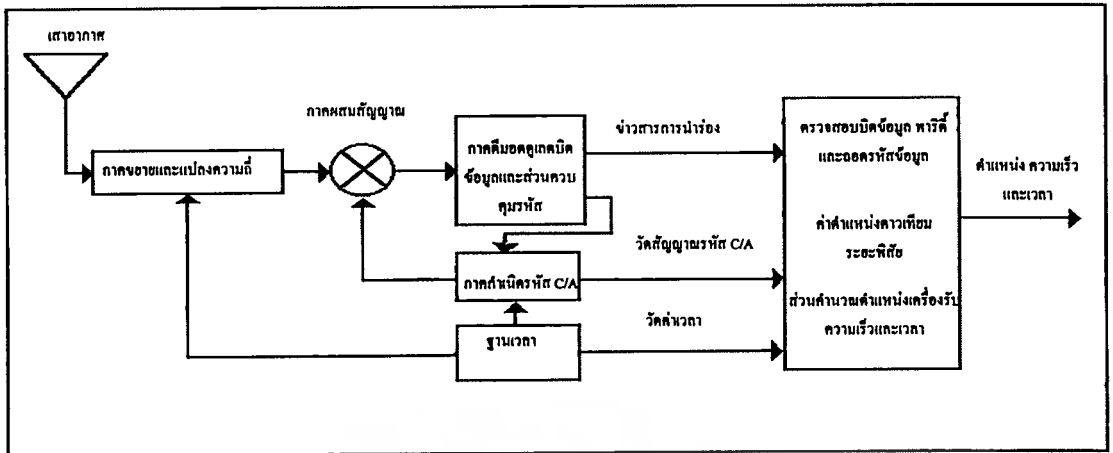
2.1.3.2 เครื่องรับ

โดยทั่วไป เครื่องรับจะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบที่รับได้ทั้ง P(Y)-code และ C/A-code อีกแบบหนึ่งจะรับได้เฉพาะ C/A-code ผู้ใช้งานในโหมดละเอียด สามารถรับ P(Y)-code ได้ที่ความถี่ L1 และ L2 การทำงานของเครื่องรับเริ่มจากรับ C/A code จากความถี่ L1 จากนั้นจะเปลี่ยนไปรับ P(Y)-code ที่ความถี่ L1 หรือ L2 แต่ถ้าเป็นเครื่องรับในโหมดมาตรฐานก็จะคงรับ C/A code ที่ ความถี่ L1 ตามเดิม นอกจากนี้ยังมีเครื่องรับแบบอื่นๆ เช่นเครื่องรับที่รับความถี่ L2 โดยจะไม่รับ P(Y)-code ซึ่งเป็นเครื่องรับที่รับ C/A code จากความถี่ L1 และสามารถรับเฟสสัญญาณทั้งของ L1 และ L2 ประโยชน์ของการวัดเฟสสัญญาณจะอธิบายในส่วนอื่นต่อไป

เครื่องรับส่วนใหญ่มีหลายช่องสัญญาณ โดยแต่ละช่องจะรับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมสัญญาณ RF CDMA ที่รับได้จะถูกกรองโดยวงจรกรองความถี่ผ่านเพื่อลดการรบกวนจากความถี่ย่านอื่นและจะถูกขยายที่ภาคขยายต่อไป จากภาพที่ 2.7 สัญญาณ RF จะแปลงลงเป็นสัญญาณ IF ที่ภาค RF/IF downconverter และเปลี่ยนจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยมีอัตราการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (sampling rate) ปกติอยู่ที่ 8-12 เท่าของอัตราของ PRN code (1.023 MHz สำหรับ L1 C/A-code และ 10.23 MHz สำหรับ L1 และ L2 P(Y)-code) อัตราการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ ที่ต่ำที่สุดจะมีค่าแบนด์วิดท์ของ stopband เป็น 2 เท่า เพื่อให้เป็นไปตามหลักของไนควิสต์ เครื่องรับในโหมดมาตรฐานจะมีค่าแบนด์วิดท์ของ stopband มากกว่า 2 MHz ส่วนเครื่องรับในโหมดละเอียดจะมากกว่า 20 MHz การสุ่มตัวอย่างเกิน (oversampling) จะทำให้เครื่องรับมีความไวต่อ A/D quantization noise ลดลง สัญญาณที่ได้สุ่มตัวอย่างจะส่งต่อไปยังภาคประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital signal processor (DSP)) ที่มีหลายช่องสัญญาณเพื่อสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมหลายดวงได้พร้อมกัน (เครื่องรับในปัจจุบันมี 5-12 ช่องสัญญาณ) ในแต่ละช่องสัญญาณจะมีรูปในการติดตามรหัสกับคลื่นพาหะ เพื่อวัดรหัสและเฟสของสัญญาณ และยังทำการหาค่าของข้อมูลของข้อความการนำทาง เพื่อนำไปประมวลผล

2.1.3.3 ส่วนประมวลผล

ส่วนประมวลผลใช้ในการควบคุม , สั่งการเครื่องรับ นอกจากนี้ยังคำนวณหาตำแหน่ง , ความเร็วและเวลา (position, velocity and time (PVT)) จากการวัดสัญญาณของเครื่องรับ



ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบภายในภาครับ

2.1.3.4 ส่วนรับ-ส่งข้อมูล

ในส่วนนี้ทำหน้าที่อินเตอร์เฟซระหว่างเครื่องรับและผู้ใช้งาน ตัวอย่างได้แก่ ส่วนควบคุมและแสดงผล (control display unit) ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลจากการแสดงสถานะ ข้อมูลการนำทาง และเครื่องรับบางแบบยังสามารถอินเตอร์เฟซกับเครื่องมืออื่นๆ เช่นตัวตรวจจับ (sensor) ในการใช้งานอื่นๆ อีกด้วย

2.1.3.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้า

แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้มีทั้งแบบที่อยู่ในชุดเครื่องรับ แบบที่ต้องต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกและแบบที่มีทั้ง 2 อย่างรวมกัน เครื่องรับแบบมือถือนิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์หรือลิเทียม ขณะที่เครื่องรับที่ติดตั้งตามเครื่องบิน เรือ จะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีอยู่ผ่านเครื่องแปลงไฟฟ้า (ac-dc converter ,dc-dc regulator) โดยปกติจะต้องมีแบตเตอรี่เพื่อรักษาข้อมูลในหน่วยความจำแบบแรม ในขณะที่เกิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าขัดข้อง

2.2 หลักการหาตำแหน่งของ GPS

2.2.1 แนวความคิด

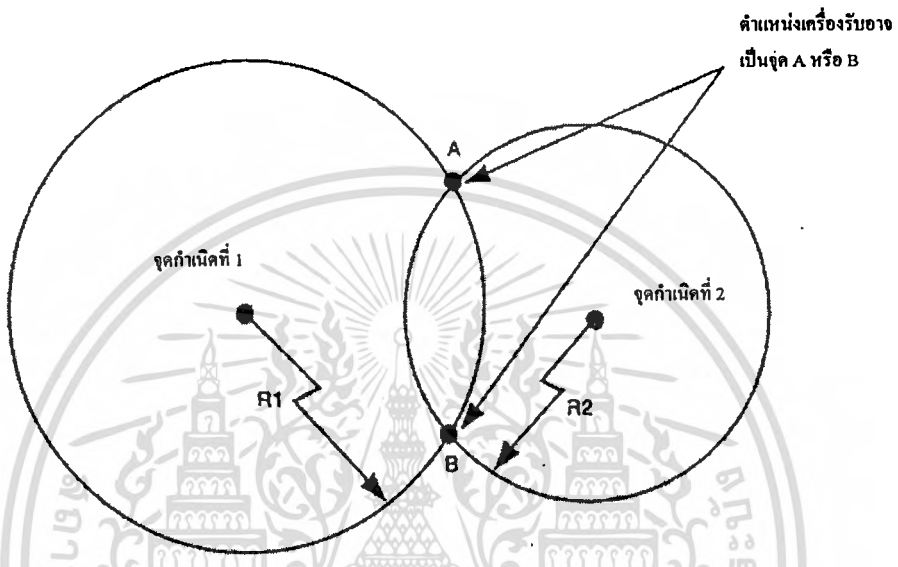
GPS ใช้หลักการของเวลาที่สัญญาณจากดาวเทียมเดินทางมายังเครื่องรับในการคำนวณตำแหน่ง เมื่อเวลาที่สัญญาณใช้เวลาเดินทางคูณด้วยความเร็วในการเดินทางก็จะได้เป็นระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ

จากภาพที่ 2.8 ต้นกำเนิดสัญญาณ 2 จุด เมื่อคำนวณเวลาที่สัญญาณ เดินทาง ได้ระยะทาง R1 และ R2 ตามลำดับ ดังนั้นตำแหน่งของเครื่องรับจะเป็นที่จุด A หรือ B ที่เกิดจากการตัดกันของวงกลมรัศมี R1 และ R2 ตามลำดับ และเมื่อสามารถรับสัญญาณจากต้นกำเนิดสัญญาณที่สาม ก็

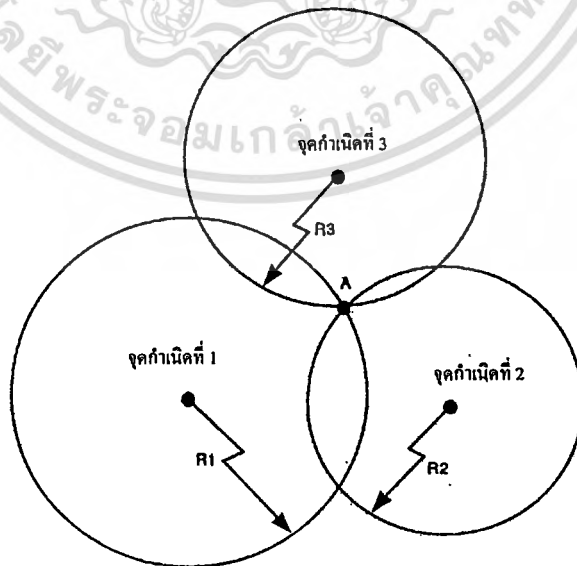
สามารถทราบตำแหน่งของเครื่องรับได้ ดังภาพที่ 2.9 ซึ่งในที่นี้สมมุติว่าเครื่องส่งและเครื่องรับมีฐาน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบโฆษณาระยะขึ้นต้นการศึ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาหรือนาฬิกาที่มีเสถียรภาพสูงและซิงโครไนซ์กัน นอกจากนี้ ตำแหน่งของต้นกำเนิดสัญญาณ ยังต้องทราบแน่นอนอีกด้วย

แต่ถ้าให้สัญญาณที่ส่งจากต้นกำเนิดสัญญาณทั้งสามถูกหน่วงเวลาออกไปเป็นเวลาเท่าๆ กัน โดยให้ \mathcal{E} แทนระยะทางที่เพิ่มขึ้น ในภาพที่ 2.10 เห็นได้ว่า เกิดจุดตัดแบ่งเป็นจุด E,C และ D แทนที่จะเป็นจุด A ทำให้การบอกตำแหน่งผิดพลาดได้

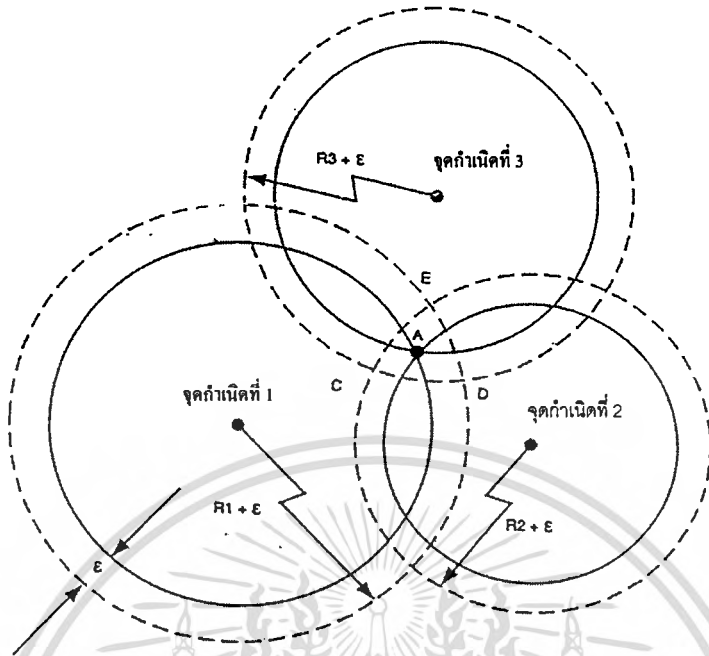


ภาพที่ 2.8 วงกลมสองวงตัดกันที่จุด A และ B



ภาพที่ 2.9 วงกลมวงที่สามเพื่อกำหนดตำแหน่ง

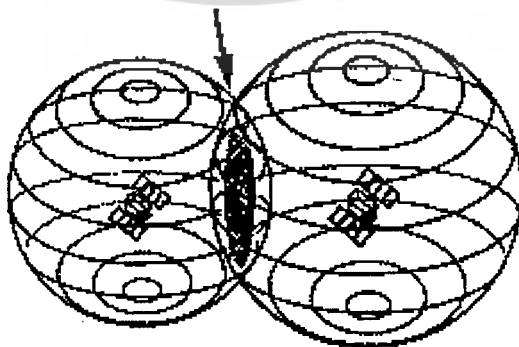
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 ระยะพิสัยที่คลาดเคลื่อนทำให้กำหนดตำแหน่งผิดพลาด

ในการจำลองในลักษณะ 3 มิติ ดังภาพที่ 2.11 รูปทรงกลมแสดงระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ โดยดาวเทียมจะอยู่ในจุดศูนย์กลางทรงกลม ตำแหน่งของเครื่องรับจะอยู่บริเวณผิวของทรงกลม ซึ่งจากภาพ ตำแหน่งของเครื่องรับจะอยู่บริเวณแนวขอบที่ทรงกลมทั้งสองตัดกัน (บริเวณที่แรเงา) ส่วนภาพที่ 2.12 เมื่อรับสัญญาณจากดาวเทียม 3 ดวง ทรงกลมจากดาวเทียมดวงที่ 3 ทำให้เกิดจุดตัด 2 จุด ซึ่งตำแหน่งเครื่องรับจะอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งของจุดตัดนี้ การจำลองการตำแหน่งของเครื่องรับแสดงดังภาพที่ 2.13

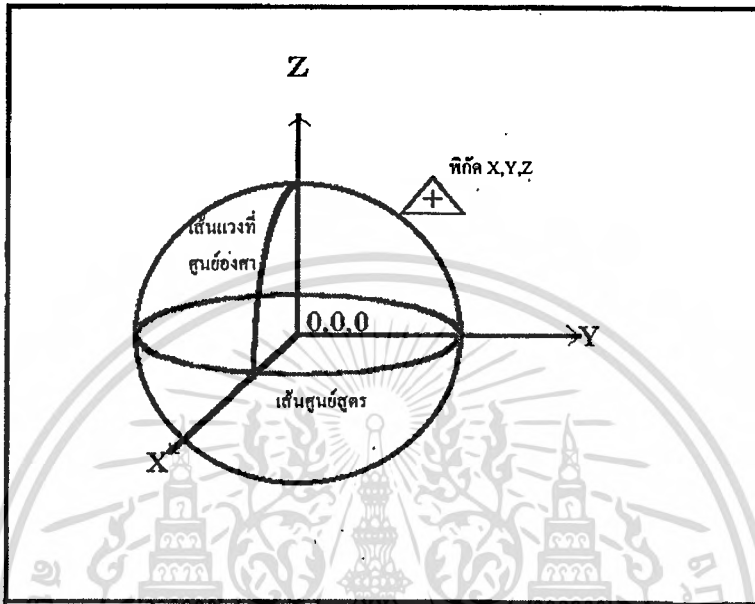
บริเวณที่มีสัญญาณจากดาวเทียมทั้ง 2 ดวง



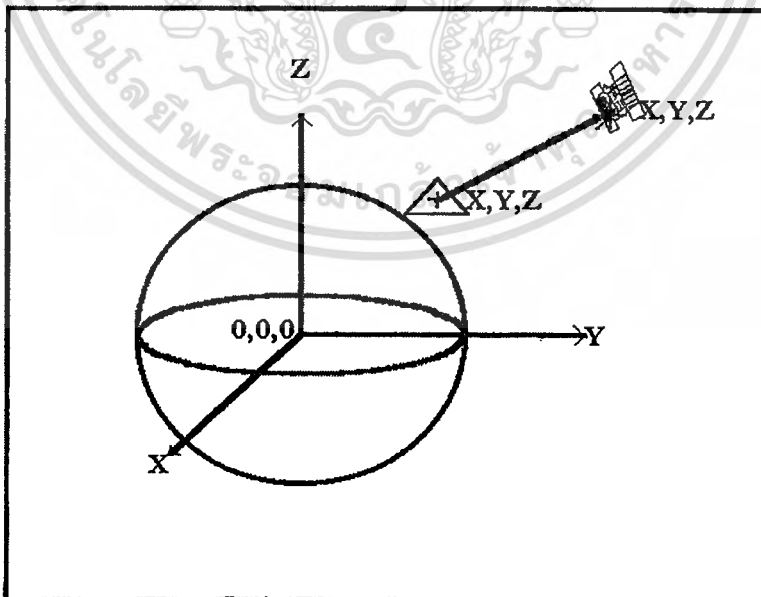
ภาพที่ 2.11 การตัดกันของทรงกลม 2 รูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

y อยู่ที่เส้นแวงที่ 90 องศาตะวันออก ดังนั้นแกนทั้งสองจะหมุนไปพร้อมกับโลก แกน z จะตั้งฉากกับระนาบ $x-y$ ในทิศทางโลกเหนือทางภูมิศาสตร์ (คือจุดที่เส้นแวงบรรจบกันที่ขั้วโลกเหนือ) ดังภาพที่ 2.14 และ 2.15



ภาพที่ 2.14 พิกัด ECEF

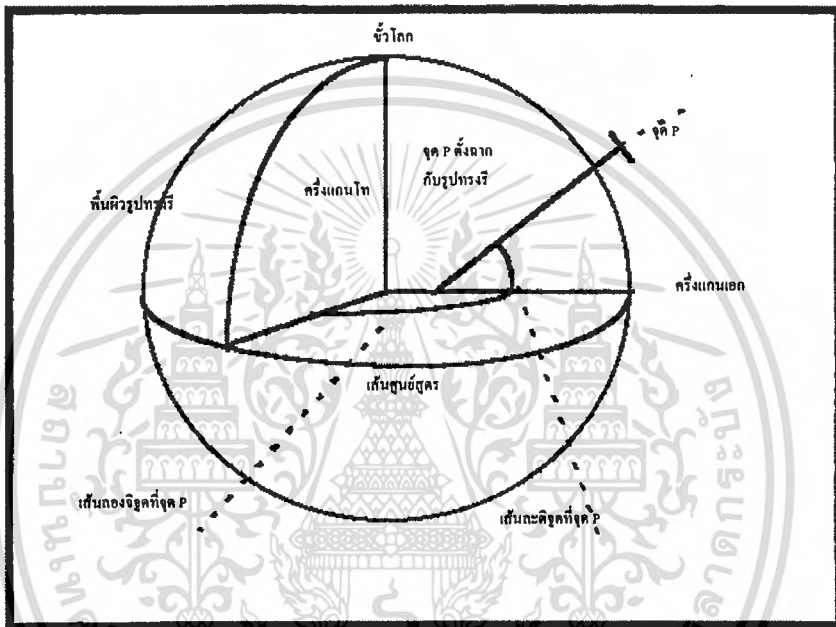


ภาพที่ 2.15 ตำแหน่งดาวเทียมในระบบพิกัด ECEF

ก่อนการคำนวณตำแหน่งเครื่องรับจะต้องมีการแปลงพิกัดจากระบบ ECI ไปเป็น ECEF จากข้อมูล ephemeris ที่ดาวเทียมส่งมาเพื่อคำนวณตำแหน่งของดาวเทียม
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้าของเรา

2.2.2.3 ระบบ World Geodetic System (WGS-84)

เป็นแบบจำลองกายภาพลูกโลกมาตรฐานของกระทรวงกลาโหมของอเมริกา โดยจำลองโลกเป็นรูปทรงรี ดังแสดงในภาพที่ 2.16 ในแบบจำลองนี้ ภาพที่ได้จากการตัดในแนวขนานกับระนาบเส้นศูนย์สูตร จะเป็นรูปวงกลมที่มีรัศมี 6,378.137 กิโลเมตร ซึ่งเป็นรัศมีเฉลี่ยในแนวเส้นศูนย์สูตร และเมื่อตัดในแนวตั้งฉากกับระนาบเส้นศูนย์สูตร จะได้เป็นรูปวงรี โดยมีแกนเอกยาวเท่ากับรัศมีเฉลี่ยในแนวเส้นศูนย์สูตร ส่วนแกนโท (แกน z) มีความยาว 6,356.7523142 กิโลเมตร



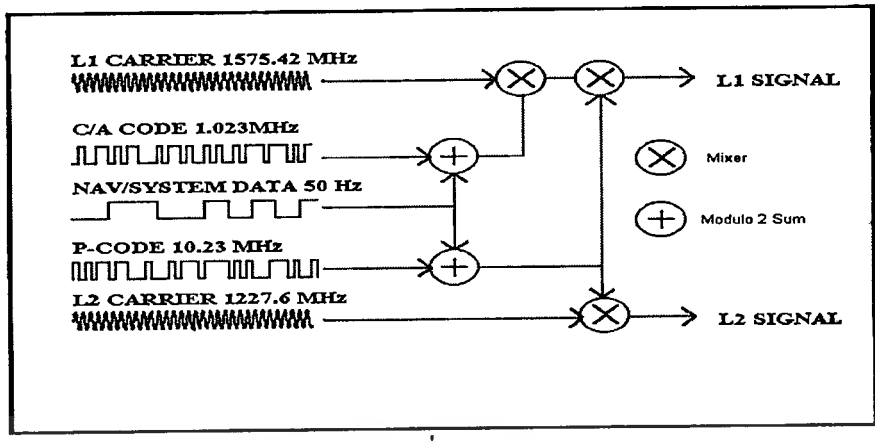
ภาพที่ 2.16 แบบจำลองลูกโลก

2.3 องค์ประกอบของสัญญาณ

โครงสร้างของสัญญาณ แสดงเป็นแผนผัง ดังภาพที่ 2.17 ความถี่พาหะ L1 (154 f_c) ถูกผสมสัญญาณกับ รหัส Pseudo Random Noise (PRN) 2 รหัส(รวมกับข้อมูลข่าวสารในการนำร่อง) คือรหัส C/A กับรหัส P ส่วนความถี่พาหะ L2 (120 f_c) จะถูกผสมสัญญาณกับรหัสเพียง 1 รหัส

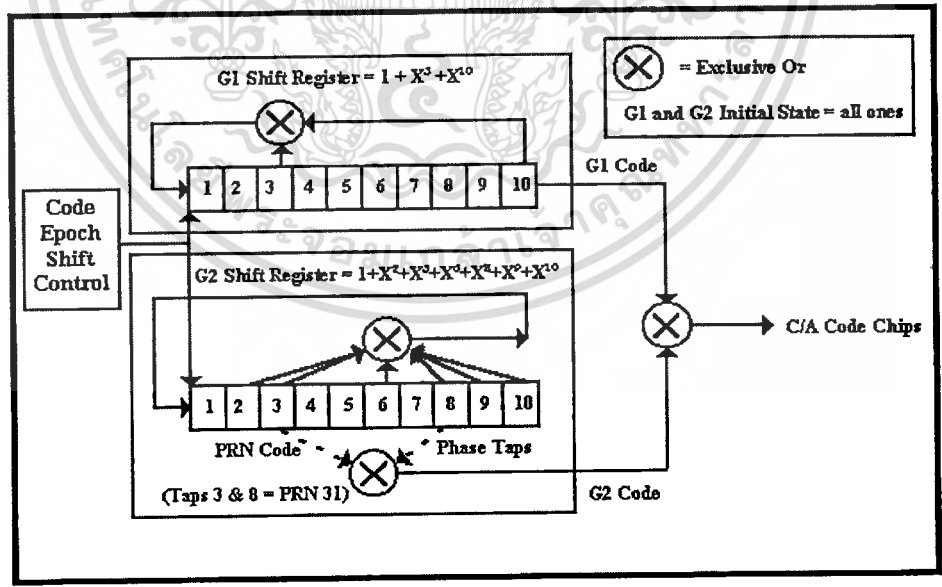
ตามปกติสัญญาณอ้างอิง f_c มีความถี่ 10.23 MHz ขณะวัดบนพื้นโลก เพื่อชดเชยผลกระทบจาก relativistic (ดูรายละเอียดหัวข้อ 2.4.4) เอาต์พุตของความถี่มาตรฐาน(ขณะปรากฏที่ดาวเทียมคือ 10.23 MHz) มีออฟเซต $\frac{\Delta f}{f}$ ที่ -4.467×10^{-10} โดย Δf มีค่าเท่ากับ -4.57×10^{-3} Hz f_c มีค่าเท่ากับ 10.2299999543 MHz [2] ที่เครื่องรับจีพีเอส บนพื้นโลก รหัส C/A มีอัตราของการชีพอยู่ที่ 1.023×10^6 ชีพ/วินาที ($f_c/10 = 1.023$ MHz) และรหัส P มีอัตราของการชีพอยู่ที่ 10.23×10^6 ชีพ/วินาที ($f_c = 10.23$ MHz) (ใช้คำว่า "ชีพ" แทน "บิต" สำหรับรหัส PRN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



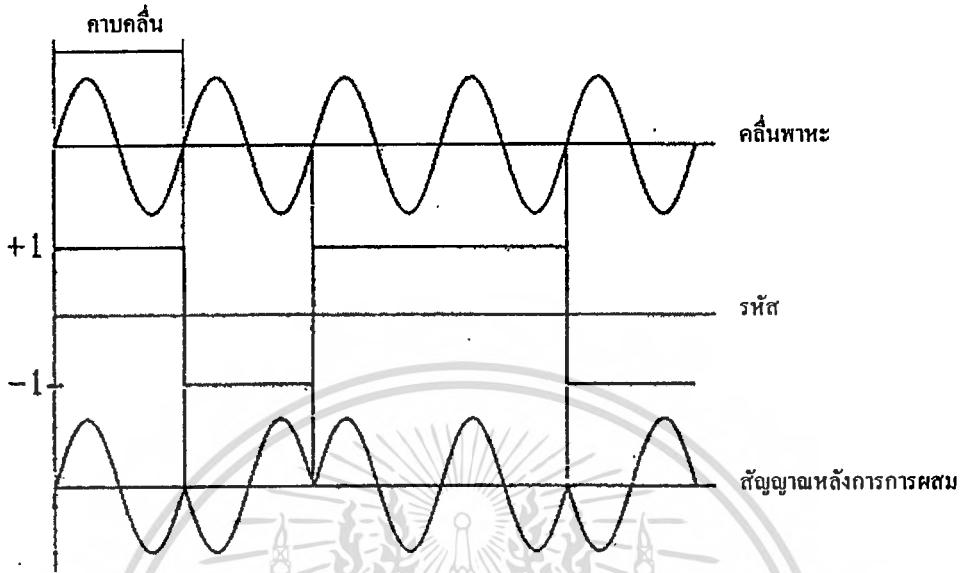
ภาพที่ 2.17 การผสมสัญญาณระหว่างรหัสกับคลื่นพาหะ

จากภาพที่ 2.17 ข้อมูลที่อัตรา 50 บิตต่อวินาที ถูกรวมเข้าทั้งรหัส C/A และรหัส P ก่อนการผสมสัญญาณกับความถี่พาหะ L1 การรวมสัญญาณจะใช้กระบวนการแบบ 2 มอดูโล , ⊕ เมื่อรหัส C/A ⊕ กับข้อมูล และรหัส P ⊕ กับข้อมูลกันแบบเชิงโคโรไนซ์ อัตราบิตจะไม่เกินอัตราการชีพของรหัส PRN ภาพที่ 2.18 แสดงแผนผังการสร้างรหัส C/A ในดาวเทียมซึ่งเกิดจากรหัสย่อย 2 รหัส คือ G1 และ G2 กระทำต่อกันแบบเอ็กซ์คลูซีฟ-ออร์(Exclusive Or) ส่วนการผสมสัญญาณใช้การผสมแบบ biphas shift key (BPSK) การรวมสัญญาณแสดงดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.18 แผนผังการสร้างสัญญาณในดาวเทียม

ในภาพที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณก่อนและหลังการผสมสัญญาณแบบ BPSK โดยสัญญาณข้อมูลจะเป็นตัวกำหนดให้สัญญาณความถี่พาหะกลับเฟส 180 องศา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจิก



ภาพที่ 2.19 สัญญาณที่ได้หลังการผสมสัญญาณ

ความถี่พาหะ L2 (1,227.60 MHz) สามารถผสมสัญญาณกับรหัส P ⊕ ข้อมูล หรือรหัส C/A ⊕ ข้อมูล หรือกับรหัส P อย่างเดียวก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนควบคุมเป็นผู้เลือก อย่างไรก็ตาม ทั้ง รหัส P และรหัส C/A จะไม่เกิดขึ้นพร้อมกันบน ความถี่พาหะ L2 ดังในกรณีของ L1 โดยปกติ ส่วนควบคุมจะเลือกที่ รหัส P ⊕ ข้อมูล

ผู้ใช้งานในโหมดละเอียด สามารถเข้าถึงสัญญาณทั้งหมด ทั้ง L1 และ L2 เพื่อการใช้งานอย่างแม่นยำ โดยมี อัลกอริทึมที่จัดไว้เพื่อกำจัดความผิดพลาดและเข้าถึงรหัส P และโดยที่ไม่มีรหัส C/A บนความถี่ L2 ดังนั้นจึงเป็นการจำกัดผู้ใช้งานในโหมดมาตรฐาน ให้ใช้ที่ความถี่ L1 จากผลลัพธ์ดังกล่าว ผู้ใช้งานในโหมดมาตรฐานที่ความถี่เดียว จึงต้องจำกัดการหน่วงสัญญาณจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แทนการวัด ซึ่งทำให้มีความเที่ยงตรงน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม ก็มีเครื่องรับแบบสองความถี่โดยไม่มีการถอดรหัส P ให้กับผู้ใช้งานในโหมดมาตรฐาน เพื่อวัดค่าการหน่วงสัญญาณจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

2.3.1 ข่าวสารการนำร่อง

ข่าวสารการนำร่องจะบรรจุรายละเอียดเกี่ยวกับฐานเวลาของดาวเทียม วงโคจรของดาวเทียม สถานะของดาวเทียมและข้อมูลการปรับปรุงต่างๆ ซึ่งโครงสร้างแสดงดังตารางที่ 2.1 ข่าวสารทั้งหมดประกอบด้วย 1500 บิต ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 เฟรมย่อย (subframe) ทุกๆเฟรมย่อยจะถูกส่งเป็นเวลา 6 วินาที บรรจุไปด้วย เวิร์ด (word) 10 เวิร์ดๆ ละ 30 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การแบ่งส่วนของข้อมูล

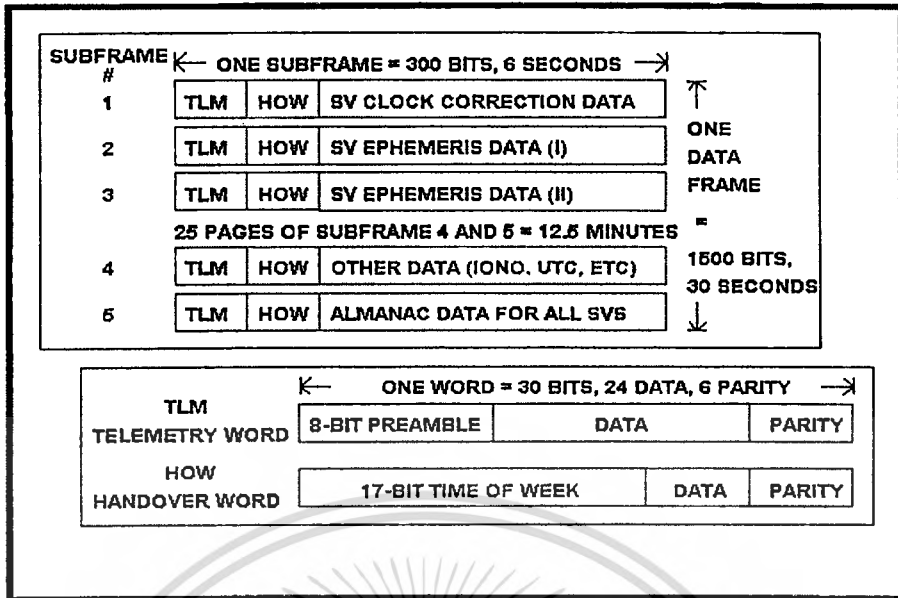
ประเภท	จำนวนบิต	เวลาในการส่ง
ข้อมูลข่าวสารทั้งหมด	1500	30 วินาที
ซัปดาห์เฟรม (1-5)	300	6 วินาที
เวิร์ด	30	0.6 วินาที

ในแต่ละเฟรมย่อย เริ่มต้นด้วยเทเลเมทรี เวิร์ด (telemetry word ,TLM) ที่บรรจุรูปแบบของการจิงโครไนซ์ เวิร์ดที่สองในแต่ละเฟรมย่อยเป็น แฮนด์-โอเวอร์ เวิร์ด (hand-over word ,HOW) ในเฟรมย่อย เฟรมแรกจะบรรจุลำดับจำนวนสัปดาห์ทางจีพีเอส (GPS week number) การทำนายค่าความเที่ยงตรงทางระยะของผู้ใช้งาน การเตือนเกี่ยวกับสถานะของดาวเทียม และอายุของข้อมูล การประมาณค่าการหน่วงเวลากลุ่มของสัญญาณ และค่าสัมประสิทธิ์ ในการจำลองแบบการแก้ไขฐานเวลาของดาวเทียม (satellite clock correction)

ในเฟรมย่อยที่สองและสาม จะส่งข้อมูล ephemeris ของดาวเทียม ส่วนเฟรมย่อยที่สี่และห้า จะแบ่งข้อมูลข่าวสารออกเป็น 25 หน้า โดยส่งครั้งละ 1 หน้า ดังนั้นจะต้องใช้เวลาส่งทั้งหมด 12.5 นาทีจึงจะได้ข้อมูลทั้งหมดครบ

ข้อมูลในเฟรมย่อยที่สี่จำนวนหลายหน้าจะถูกจองไว้ สำหรับการใช้งานทางทหาร ส่วนที่เหลือเป็นข่าวสารทางสภาพชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ข้อมูลเวลา UTC แพลกต่างๆและข้อมูล almanac ซึ่งเป็นข้อมูลทางวงโคจรที่มีความเที่ยงตรงต่ำสำหรับดาวเทียมทั้งหมด หน้าต่างๆในเฟรมย่อยที่ห้า ส่วนใหญ่เป็นข้อมูล almanac และสถานะทางสถานะของดาวเทียม 24 ดวงแรกในวงโคจร ซึ่งหน้าต่างๆในเฟรมย่อยสี่และห้า จะถูกส่งโดยดาวเทียมแต่ละดวง ดังนั้นการรับสัญญาณจากดาวเทียมเพียงดวงเดียว จะสามารถรับข้อมูล almanac ของดาวเทียมดวงอื่นๆ ทั้งหมดในวงโคจรได้

จากภาพที่ 2.20 แสดงให้เห็นถึงการจัดรูปแบบข้อมูลที่ส่งมาจากดาวเทียม ซึ่งในส่วนของ TLM แบ่งออกเป็น ส่วน preamble จำนวน 8บิต ส่วนข้อมูล และส่วนพาริตี 6 บิต ในขณะที่ส่วน HOW แบ่งออกเป็น ส่วนของเวลาของสัปดาห์จำนวน 17 บิต ส่วนข้อมูล และส่วนพาริตี 6 บิต ซึ่งเวิร์ดทั้งสอง จะอยู่ตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละเฟรมย่อย



ภาพที่ 2.20 รูปแบบของข้อมูลที่ส่ง

2.4 แหล่งกำเนิดค่าความผิดพลาดในการหาดำแหน่ง

ในหัวข้อนี้ อธิบายถึงแหล่งกำเนิดค่าความผิดพลาดที่สำคัญ ในระบบได้แก่ ฐานเวลาของดาวเทียมและเครื่องรับ การหน่วงเวลาสัญญาณที่ส่งมาของชั้นบรรยากาศ การสะท้อนของสัญญาณ และผลของ SA เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดค่าระยะพิสัยเทียมขึ้น โดยค่าเวลาออฟเซตที่เกิดจากแหล่งกำเนิดทั้งหมดคือ

$$t_D = \delta t_{atm} + \delta t_{noise \& res} + \delta t_{mp} + \delta t_{hw} + \delta t_{SA} \tag{2.1}$$

โดยที่ δt_{atm} = เวลาที่ถูกหน่วงโดยชั้นบรรยากาศ

$\delta t_{noise \& res}$ = เวลาที่ถูกหน่วงโดยสัญญาณรบกวนที่เครื่องรับและเรสโซลูชันออฟเซต

δt_{mp} = เวลาที่ถูกหน่วงโดยการสะท้อนของสัญญาณ

δt_{hw} = เวลาที่ถูกหน่วงโดยออฟเซตของอุปกรณ์ของเครื่องรับ

δt_{SA} = เวลาที่ถูกหน่วงโดยรหัส SA

ค่าเวลาที่ก่อระยะพิสัยเทียมระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าฐานเวลาที่เครื่องรับ เมื่อทำการรับสัญญาณ กับค่าฐานเวลาที่ดาวเทียมเมื่อทำการส่งสัญญาณ สามารถแสดงดังภาพที่ 2.21 โดยที่

Δt = ช่วงเวลาทางเรขาคณิต

T_r = ค่าเวลาในระบบ ขณะสัญญาณส่งจากดาวเทียม

T_u = ค่าเวลาในระบบ ขณะสัญญาณเดินทางถึงเครื่องรับ โดยปราศจาก δt_D
 (ทางทฤษฎี)

T'_u = ค่าเวลาในระบบ ขณะสัญญาณเดินทางถึงเครื่องรับ โดยรวมค่า δt_D

δt = ค่าเวลาออฟเซตในฐานเวลาบนดาวเทียมที่ต่างจากเวลาของระบบ

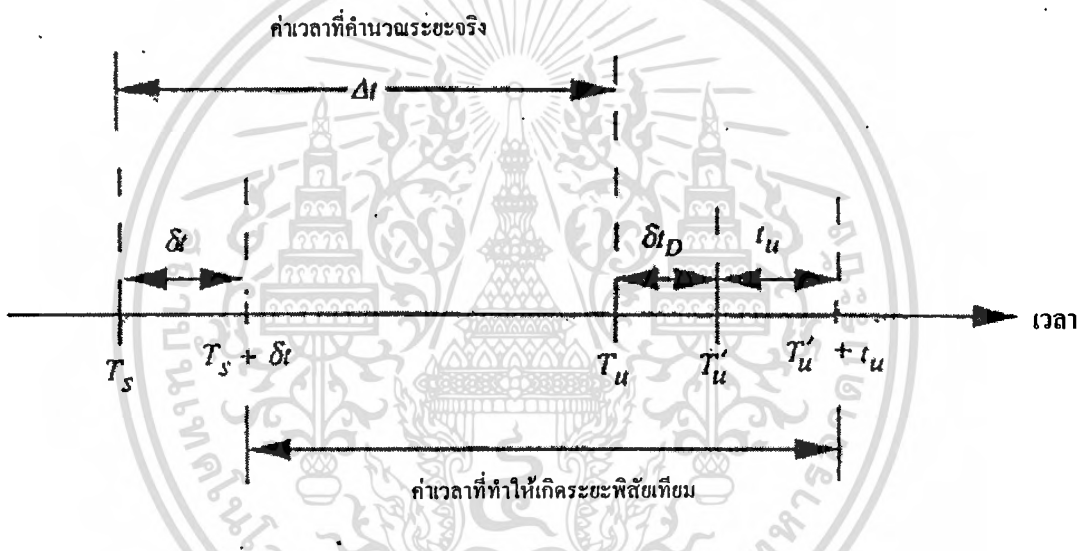
t_u = ค่าเวลาออฟเซตในฐานเวลาในเครื่องรับที่ต่างจากเวลาของระบบ

$T_s + \delta t$ = ค่าเวลาที่อ่านได้ของดาวเทียม ขณะสัญญาณส่งจากดาวเทียม

$T'_u + t_u$ = ค่าเวลาที่อ่านได้ของเครื่องรับ ขณะสัญญาณเดินทางถึงเครื่องรับ

ให้

c = ค่าความเร็วของแสง



ภาพที่ 2.21 ค่าเวลาต่างๆที่ทำให้เกิดระยะพิสัยเทียม

สามารถหาระยะพิสัยเทียม ρ ได้ดังนี้

$$\rho = c[(T'_u + t_u) - (T_s + \delta t)]$$

$$\rho = c(T'_u - T_s) + c(t_u - \delta t)$$

$$\rho = c(T_u + \delta t_D - T_s) + c(t_u - \delta t)$$

$$\rho = r + c(t_u - \delta t + \delta t_D)$$

โดยที่ r เป็นระยะทางจริง โดย

$$r = c(T_u - T_s)$$

(2.2)

$$r = c \cdot \Delta t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

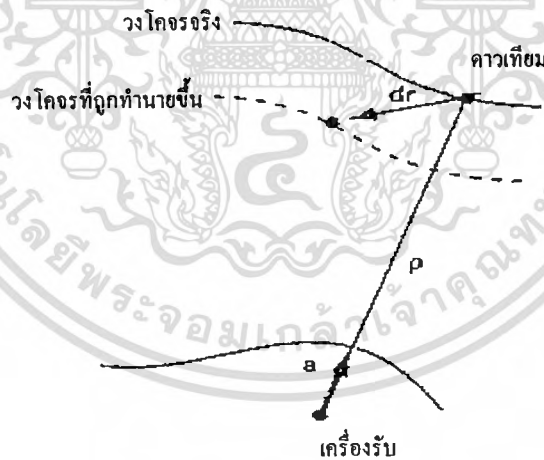
ในที่นี้จะอธิบายแหล่งกำเนิดค่าระยะพิสัยเทียมที่สำคัญๆ ซึ่งในส่วนของออฟเซตของอุปกรณ์ของเครื่องรับ , $\delta_{i,w}$ ที่ได้กล่าวถึงไว้ จะไม่ขออธิบายเนื่องจากมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดอื่นๆ

2.4.1 ความผิดพลาดของฐานเวลาบนดาวเทียม

บนดาวเทียมจะมีนาฬิกาอะตอม ซึ่งควบคุมการทำงานเกี่ยวกับฐานเวลา รวมถึงการสร้างสัญญาณ แม้ว่านาฬิกาเหล่านี้มีเสถียรภาพสูงมาก แต่ค่า δ_i สามารถเบี่ยงเบนไปจากค่าเวลาของระบบประมาณ 1 ms (คิดเป็นระยะพิสัยเทียมผิดพลาดประมาณ 300 กิโลเมตร) สถานีควบคุมหลักเป็นตัวกำหนดและส่งค่าพารามิเตอร์เพื่อแก้ค่านาฬิกาให้ถูกต้อง ให้กับดาวเทียมเพื่อแก้ไขข้อมูลการนำร่อง

2.4.2 ความผิดพลาดจากการทำนายข้อมูล ephemeris

การประมาณค่าอย่างถูกต้องของข้อมูล ephemeris จะต้องได้รับการคำนวณ และส่งไปยังดาวเทียมแต่ละดวง พร้อมกับพารามิเตอร์ข้อมูลในการนำทาง อย่างไรก็ตามในกรณีของการประมาณค่าข้อมูลการแก้ฐานเวลาบนดาวเทียมให้ถูกต้อง ซึ่งยังคงมีความผิดพลาดอยู่ ทำให้เกิดระยะพิสัยเทียมขึ้น แสดงดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 ระยะพิสัยเทียมที่เกิดจากข้อมูลephemeris

2.4.3 รหัส Selective Availability (SA)

SA เป็นแหล่งกำเนิดความผิดพลาดมากที่สุด โดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ดำเนินการ เพื่อลดความเที่ยงตรงในการหาตำแหน่งของผู้ใช้งานทั่วไป การลดความเที่ยงตรงจะกระทำโดยการแก้ไขข้อมูล ephemeris (ทำให้เกิดความผิดพลาดทางวงโคจร) และโดยการแก้ฐานเวลาของดาวเทียม (ทำให้เกิดความผิดพลาดของฐานเวลา)

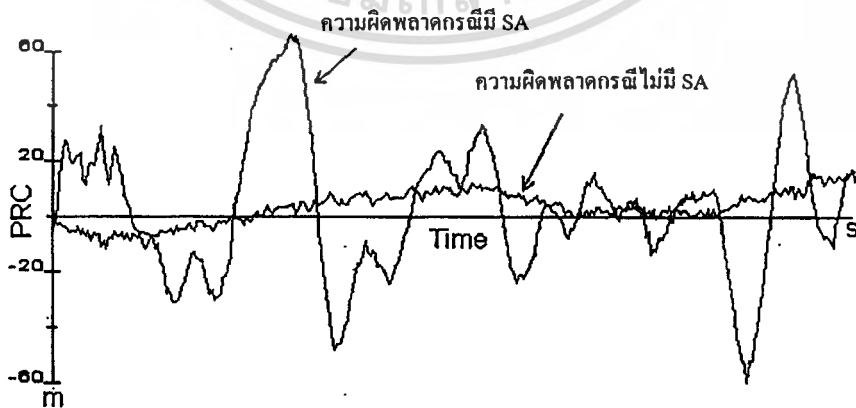
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SA ที่เกิดจากการแก้ฐานเวลาของดาวเทียม อาจก่อให้เกิดระยะพิสัยเทียมได้ถึง 70 เมตร[2] การแก้ไขโดยการสร้างแบบจำลองอธิบายพฤติกรรม ส่วน SA จากการแก้ไขข้อมูล ephemeris ซึ่งทำให้เครื่องรับ กำหนดตำแหน่งของดาวเทียมผิดพลาดไป พารามิเตอร์ของข้อมูล ephemeris มี 15 ค่า ดังนั้นการกำหนดค่าผิดพลาดจึงกระทำได้หลายทาง ระยะพิสัยเทียมที่ได้ยังเป็นผลรวมทางเวกเตอร์ระหว่าง ความผิดพลาดจากการทำนายข้อมูล ephemeris กับความผิดพลาดจากการแก้ไขข้อมูล ephemeris ดังแสดงในภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 ระยะพิสัยเทียมที่เกิดจากข้อมูล ephemeris และ SA

ผลจาก SA ที่เกิดขึ้นจากการแก้ฐานเวลาของดาวเทียม และจากการแก้ไขข้อมูล ephemeris แสดงดังภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 ผลของ SA ที่มีต่อระยะพิสัย

2.4.4 ผลกระทบจาก relativistic

ผลกระทบทาง relativistic เกิดจาก เมื่อแหล่งกำเนิดสัญญาณ (ในที่นี้คือ ดาวเทียม) หรือเครื่องรับกำลังเคลื่อนที่ โดยที่ทั้งแหล่งกำเนิดกับเครื่องรับตั้งอยู่ในบริเวณที่มีแรงโน้มถ่วงแตกต่างกัน ทำให้มีผลกระทบต่อฐานเวลาของดาวเทียม

เมื่อดาวเทียม เดินทางถึงจุดโคจรใกล้สุดจากโลก (perigee) ดาวเทียมจะมีความเร็วสูงขึ้น และแรงโน้มถ่วงต่ำลง ทั้งสองเหตุการณ์นี้ ทำให้ฐานเวลาบนดาวเทียมช้าลง ในทางตรงกันข้าม เมื่อดาวเทียมเดินทางถึงจุดโคจรไกลสุดจากโลก (apogee) ดาวเทียมจะมีความเร็วต่ำลงและแรงโน้มถ่วงจะสูงขึ้น ทั้งสองเหตุการณ์ ทำให้ฐานเวลาบนดาวเทียมเร็วขึ้น

2.4.5 ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศ

ความเร็วของการแพร่กระจายคลื่นในตัวกลาง อธิบายได้จากค่าดัชนีการหักเหของตัวกลาง ในส่วนผลกระทบจากชั้นบรรยากาศนี้ สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

2.4.5.1 ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นตัวกลางแบบกระจายตามความถี่ (dispersive medium) อยู่เหนือพื้นโลกระหว่าง 70-1,000 กิโลเมตร ซึ่งภายในชั้นบรรยากาศนี้ รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้โมเลกุลของก๊าซแตกตัว และปลดปล่อยอิเล็กตรอนอิสระออกมา ซึ่งมีผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสด้วย

2.4.5.2 ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

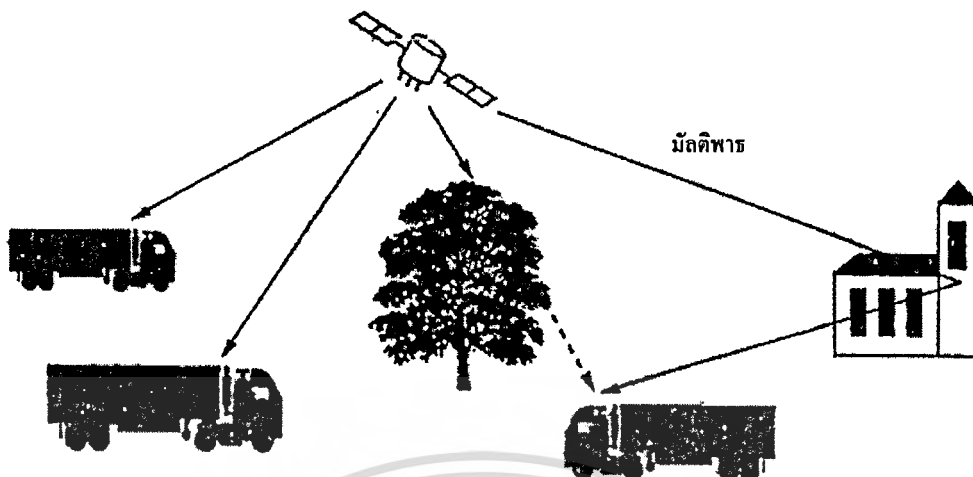
ชั้นบรรยากาศนี้ อยู่ต่ำกว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นตัวกลางแบบไม่กระจายตามความถี่ สำหรับที่ความถี่ต่ำกว่า 15 GHz ภายในชั้นบรรยากาศนี้ คลื่นพาหะของจีพีเอส และสัญญาณข่าวสาร (รหัส PRN และข้อมูลในการนำร่อง) ที่อยู่ใน L1 และ L2 จะถูกหน่วงเวลาตามการแพร่กระจายคลื่นในอากาศว่าง การหน่วงเวลาดังกล่าว เป็นฟังก์ชันของดัชนีการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์

2.4.6 ผลกระทบจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับและความสามารถในการแยกสัญญาณ

ความผิดพลาดจากการวัด อาจเกิดขึ้นได้ สาเหตุสำคัญของความผิดพลาดในการวัดค่าระยะพิสัยเทียม ได้แก่ สัญญาณรบกวนเชิงความร้อน, jitter สาเหตุรองลงมา คือ ความสามารถในการแยกสัญญาณของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ รวมทั้งเสถียรภาพของ ออสซิลเลเตอร์

2.4.7 ผลกระทบจากการบังสัญญาณและคลื่นมัลติพาธ (multipath)

คลื่นผสมเป็นสาเหตุหลักอย่างหนึ่ง ในกระบวนการวัดสัญญาณ เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณเดินทางมายังเครื่องรับ โดยจากการสะท้อนของสัญญาณที่ตกกระทบกับวัตถุ เช่นตึก , ยานพาหนะ ดังแสดงในภาพที่ 2.25 คลื่นมัลติพาธไม่เพียงทำให้ รหัส PRN และข้อมูลในการนำร่องซึ่งถูกผสมลงบนพาหะ ผิดเพี้ยนไป แต่ยังรวมไปถึงเฟสของคลื่นพาหะของตัวเองต้องผิดเพี้ยนด้วย ซึ่งในกรณีที่ร้ายแรงจะทำให้เครื่องรับ สูญเสียการติดตามสัญญาณไป



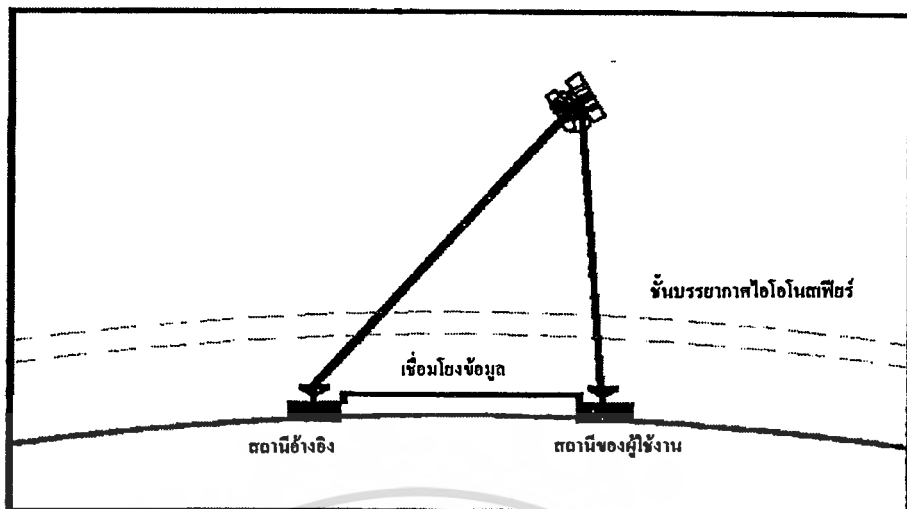
ภาพที่ 2.25 การเกิดมัลติพาท

2.5 วิธีจีพีเอสผลต่าง (Differential GPS)

เนื่องจากการใช้งานระบบ GPS ในโหมดมาตรฐาน มีความเที่ยงตรงเฉลี่ย 100 เมตร[2] ในแนวนอน และ 156 เมตร[2] ในแนวตั้ง ในการใช้งานบางอย่าง จำเป็นต้องมีความเที่ยงตรงสูง เช่น หน่วยงานรักษาความปลอดภัยชายฝั่งทะเล ของอเมริกา ยอมให้มีการผิดพลาดได้ระหว่าง 8-20 เมตร ในการนำร่องเรือ ในท่าเรือบางแห่ง ดังนั้นจึงมีการใช้ DGPS เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงแก่เครื่องรับ GPS

ในรูปแบบพื้นฐานของ DGPS จะมีเครื่องรับ GPS เครื่องหนึ่งเรียกว่า เครื่องรับอ้างอิงซึ่ง ทราบตำแหน่งที่ตั้งอย่างถูกต้อง แม่นยำอยู่แล้ว ส่วนเครื่องรับ GPS อื่นๆ เป็นของผู้ใช้งาน เครื่องรับอ้างอิง หรือสถานีอ้างอิงจะนำสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสมาคำนวณ โดยที่ตัวเครื่องรับทราบ ตำแหน่งที่ตั้งอย่างถูกต้องอยู่แล้ว จึงสามารถคำนวณระยะพิสัยเทียมของดาวเทียมแต่ละดวงได้ ระยะพิสัยเทียมที่คลาดเคลื่อนนี้ เรียกว่า " ไบอัส " จากนั้น สถานีอ้างอิงจะส่งค่าไบอัสต่างๆ ซึ่งเรียกว่า differential correction ไปยังเครื่องรับจีพีเอสของผู้ใช้งานที่อยู่ในพื้นที่ติดต่อกับ เครื่องรับจีพีเอสของผู้ใช้งานจะนำ differential correction ไปปรับปรุงความเที่ยงตรงทางตำแหน่งของตัวเอง

จากภาพที่ 2.26 สถานี Local Area DGPS (LADGPS) ให้บริการแก่เครื่องรับ ภายในระยะทางใกล้ๆ ในที่นี้จะใช้เครื่องรับ VHF datalink ซึ่งระยะทางจะถูกจำกัดด้วยระยะที่สถานีอ้างอิง สามารถติดต่อกับเครื่องรับในระยะเส้นระดับสายตา (line of sight)



ภาพที่ 2.26 การทำงานในแบบ DGPS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการออปติไมเซชัน

3.1 วิธีเกรเดียนต์

3.1.1 หลักการของเกรเดียนต์เวกเตอร์

เวกเตอร์ของอนุพันธ์ย่อยอันดับหนึ่ง ซึ่งเรียกว่าเกรเดียนต์ ใช้ในการหาดำแหน่งทิศทางในสเปซ (space) ขนาด n มิติ อัตราสูงสุดของการปรับปรุงค่าของฟังก์ชัน ได้จากการเคลื่อนไปตามทิศทางของ เกรเดียนต์ ซึ่งอธิบายต่อไปดังนี้

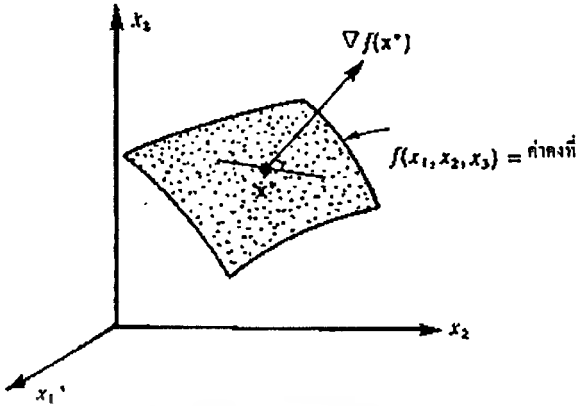
พิจารณาฟังก์ชัน $f(x)$ ที่มีตัวแปร n ตัวคือ x_1, x_2, \dots, x_n อนุพันธ์ย่อยของฟังก์ชัน $f(x)$ เทียบกับ x_1 ที่จุด x^* คือ $\partial f(x^*)/\partial x_1$, อนุพันธ์ย่อยของฟังก์ชัน $f(x)$ เทียบกับ x_2 ที่จุด x^* คือ $\partial f(x^*)/\partial x_2$, จนกระทั่งถึงค่า x_n ให้ c_i แทนอนุพันธ์ย่อยของ $f(x)$ เทียบกับ x_i ที่จุด x^* ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$c_i = \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_i} \quad ; i = 1 \text{ ถึง } n \quad (3.1)$$

เพื่อความสะดวก เราจัดอนุพันธ์ย่อย $\partial f(x^*)/\partial x_1, \partial f(x^*)/\partial x_2, \dots, \partial f(x^*)/\partial x_n$, ลงในเวกเตอร์หลัก (column vector) เรียกว่า เกรเดียนต์เวกเตอร์ดังนี้

$$\nabla f(x^*) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_n} \end{bmatrix} = \left[\frac{\partial f(x^*)}{\partial x_1} \quad \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_2} \quad \dots \quad \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_n} \right]^T \quad (3.2)$$

T เป็นทรานโพสของเวกเตอร์แถว (row vector) ถ้ากล่าวในเชิงเรขาคณิตแล้ว เกรเดียนต์เวกเตอร์ จะตั้งฉากกับระนาบสัมผัส ที่จุด x^* ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งเป็นฟังก์ชัน 3 ตัวแปร โดยชี้ไปในทิศทางการเพิ่มขึ้นสูงสุดของฟังก์ชัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ ดังจะกล่าวถึงต่อไป



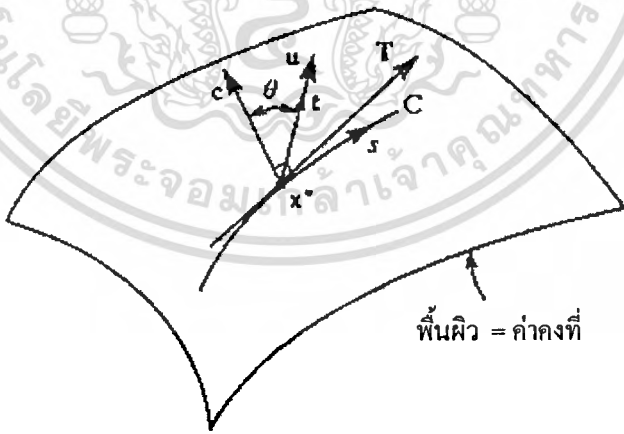
ภาพที่ 3.1 เกรเดียนต์เวกเตอร์

3.1.2 คุณสมบัติของเกรเดียนต์เวกเตอร์

เกรเดียนต์เวกเตอร์ของฟังก์ชันสเกลาร์ $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ซึ่งกำหนดเป็นเวกเตอร์หลัก ดังสมการที่ 3.2 เพื่อให้ดูง่าย เราใช้เวกเตอร์ c เพื่อแทนเกรเดียนต์ของฟังก์ชันสเกลาร์ $f(x)$ เกรเดียนต์เวกเตอร์ มีคุณสมบัติหลายข้อดังนี้

คุณสมบัติข้อ 1

เกรเดียนต์เวกเตอร์ c ของฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ที่จุด $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ จะตั้งฉากกับระนาบสัมผัสของพื้นผิวที่ $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ มีค่าคงที่



ภาพที่ 3.2 เวกเตอร์สัมผัสบนพื้นผิว

ภาพที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าพื้นผิว $f(x)$ เป็นค่าคงที่ ให้ x^* เป็นจุดใดๆ บนพื้นผิว C เป็นส่วนโค้งใดๆ บนพื้นผิวที่ผ่านจุด x^* และ T เป็นเวกเตอร์สัมผัส ที่กระทำต่อส่วนโค้ง C ที่จุด x^* และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยใดๆ และ c คือ เกรเดียนต์เวกเตอร์ที่จุด x^* จากคุณสมบัติ เวกเตอร์ c และ T จะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังนั้นจากผลคูณแบบจุด , $c \cdot T = 0$

พิสูจน์ ให้ส่วนโค้ง C บนพื้นผิว $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ เท่ากับค่าคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ให้ส่วนโค้งนี้ผ่านจุด $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ ให้ s เป็นส่วนประกอบใดๆ ไปตาม C ดังนั้น เวกเตอร์สัมผัส T ขนาดหนึ่งหน่วย ไปตามแนว C ที่จุด x^* มีสมการคือ

$$T = \left[\frac{\partial x_1}{\partial s} \quad \frac{\partial x_2}{\partial s} \quad \dots \quad \frac{\partial x_n}{\partial s} \right]^T \quad (3.3)$$

เนื่องจาก $f(x) =$ ค่าคงที่ อนุพันธ์ของ f ไปตามส่วนโค้ง C เป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\frac{df}{ds} = 0 \quad (3.4)$$

ใช้กฎลูกโซ่ (Chain rule) ของการหาอนุพันธ์

$$\frac{df}{ds} = \frac{\partial f}{\partial x_1} \frac{\partial x_1}{\partial s} + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \frac{\partial x_n}{\partial s} = 0 \quad (3.5)$$

จากสมการ 3.5 สามารถจัดอยู่ในรูปของเวกเตอร์ หลังจากที่กำหนดให้ $\partial f / \partial x_i$ และ $\partial x_i / \partial s$ (จากสมการ 3.3) เป็นส่วนประกอบของเกรเดียนต์ และเวกเตอร์สัมผัสขนาดหนึ่งหน่วย ได้โดย

$$c \cdot T = 0, \quad c^T T = 0$$

เนื่องจากผลคูณแบบจุด (Dot product) ของเกรเดียนต์เวกเตอร์ c กับเวกเตอร์สัมผัส T เป็นศูนย์ ดังนั้นเวกเตอร์ทั้งสองจะตั้งฉากกัน แต่ T เป็นเวกเตอร์สัมผัสที่จุด x^* ดังนั้น c จึงตั้งฉากกับระนาบสัมผัส ที่พื้นผิว $f(x) =$ ค่าคงที่ ที่จุด x^*

คุณสมบัติข้อ 2

ค่าของเกรเดียนต์ แทนด้วยทิศทางของอัตราสูงสุด สำหรับการเพิ่มของฟังก์ชัน $f(x)$ ที่จุด x^*

พิสูจน์ ให้ u เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางใดๆ แต่ไม่สัมผัสกับพื้นผิว ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ให้ ϵ เป็นพารามิเตอร์ตามทิศทาง u อนุพันธ์ของ $f(x)$ ในทิศทาง u ที่จุด x^* ได้จาก

$$\frac{df}{dt} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{f(x + \epsilon u) - f(x)}{\epsilon} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ε เป็นค่าเล็กๆ ใช้นุกรมเทย์เลอร์กระจายได้

$$f(x + \varepsilon u) = f(x) + \varepsilon \left[u_1 \frac{\partial f}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial f}{\partial x_2} + \dots + u_n \frac{\partial f}{\partial x_n} \right] + 0(\varepsilon)^2 \quad (3.7)$$

เมื่อ u_i เป็นส่วนประกอบของเวกเตอร์หนึ่งหน่วย u และ $0(\varepsilon^2)$ เป็นพจน์ของอันดับ ε^2 เขียนสมการใหม่ได้

$$f(x + \varepsilon u) - f(x) = \sum_{i=1}^n u_i \frac{\partial f}{\partial x_i} + 0(\varepsilon)^2 \quad (3.8)$$

แทนสมการ 3.8 ลงในสมการ 3.6 และทำการลิมิต(limit) จะได้

$$\frac{df}{dt} = \sum_{i=1}^n u_i \frac{\partial f}{\partial x_i} = c \cdot u = c^T u \quad (3.9)$$

ใช้ทฤษฎีผลคูณแบบจุด (Dot product) จะได้ว่า

$$\frac{df}{dt} = \|c\| \|u\| \cos \theta \quad (3.10)$$

เมื่อ θ เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ c และเวกเตอร์ u จากสมการที่ 3.10 จะมีค่าสูงสุด เมื่อ $\theta = 0$ หรือ 180° เมื่อ $\theta = 0$ เวกเตอร์ u ตามทิศทาง c จะได้ $\cos \theta = 1$ ดังนั้น df/dt จะแทนด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดของฟังก์ชัน เมื่อ $\theta = 0$ ในทำนองเดียวกัน เมื่อ $\theta = 180^\circ$ เวกเตอร์ u จะอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับเวกเตอร์ c ดังนั้น df/dt จะแทนด้วยอัตราการลดลงสูงสุดของฟังก์ชัน เมื่อ $\theta = 180^\circ$

จากคุณสมบัติข้อที่หนึ่งของเกรเดียนต์ เวกเตอร์ ถ้าเคลื่อนย้ายทิศทางจาก $f(x) =$ ค่าคงที่ ค่าของฟังก์ชัน จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับ การเคลื่อนที่ไปยังทิศทางอื่นๆ ถ้าเคลื่อนย้ายทิศทาง ไปตามทิศทาง T ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าฟังก์ชัน เมื่อ T เป็นเส้นสัมผัสกับพื้นผิว ดังภาพที่ 3.2

คุณสมบัติข้อ 3

อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x)$ ที่จุด x^* ใดๆ เป็นขนาดของเกรเดียนต์ เวกเตอร์ พิสูจน์ เมื่อ u เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย ค่าสูงสุดของ df/dt ได้จาก

$$\max \left| \frac{df}{dt} \right| = \|c\| \quad (3.11)$$

จากคุณสมบัติเหล่านี้ แสดงให้เห็นว่า เกรเดียนต์ เวกเตอร์ที่จุด x^* ใดๆ แทนทิศทางของการเพิ่มขึ้นสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x)$ และอัตราการเพิ่มขึ้นเป็นขนาดของเวกเตอร์

3.1.3 วิธีการคำนวณเชิงเลข (Numerical method)

การคำนวณเชิงเลขสำหรับการออกแบบเพื่อหาจุด optimum นั้น ในขั้นแรกต้องกำหนดจุดเริ่มต้น จากนั้นจึงคำนวณหาจุดต่อไป โดยเมื่อได้จุดต่อไปแล้ว จึงนำจุดที่ได้มาคำนวณซ้ำ (iterative) จนกระทั่งได้จุดที่ดีที่สุดที่ทำให้สภาวะที่ออกแบบดีที่สุด กระบวนการคำนวณซ้ำ (iterative process) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{เขียนในรูปเวกเตอร์ : } x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)} ; k = 0, 1, 2, \dots \quad (3.12)$$

$$\text{เขียนในรูปส่วนประกอบ : } x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + \Delta x_i^{(k)} ; k = 0, 1, 2, \dots \quad (3.13)$$

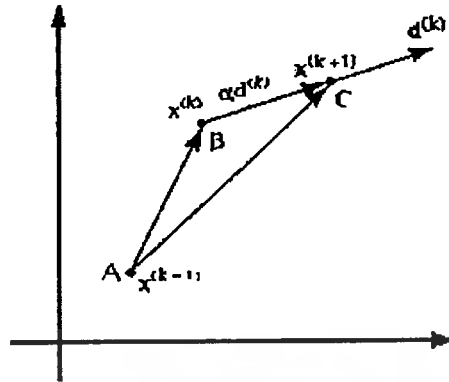
$i = 1 \text{ ถึง } n$

จากสมการ (3.12) และ (3.13) k แทนจำนวนครั้งของการคำนวณซ้ำ i แทนจำนวนของตัวแปร, $x^{(0)}$ เป็นจุดเริ่มต้นของการคำนวณ $\Delta x^{(k)}$ แทนการเปลี่ยนแปลงจำนวนน้อยๆ ของการออกแบบในปัจจุบัน จากกระบวนการคำนวณซ้ำ จะกระทำอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งได้สภาวะที่ดีที่สุด การคำนวณค่า $\Delta x^{(k)}$ ขึ้นอยู่กับฟังก์ชัน และค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชัน ที่จุดของการออกแบบ ในการคำนวณหา $\Delta x^{(k)}$ สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

$$\Delta x^{(k)} = \alpha_k d^{(k)} \quad (3.14)$$

เมื่อ $d^{(k)}$ เป็นทิศทางที่คำนวณ จากการเคลื่อนที่ใน design space และ α_k เป็นค่าสเกลาร์ ซึ่งมีค่าเป็นบวกในทิศทางเดียวกัน เรียกว่าขนาดระยะ (step size) ดังนั้น การคำนวณหา $\Delta x^{(k)}$ จะแยกออกเป็นสองส่วนคือ การคำนวณหาทิศทางเคลื่อนที่ และการคำนวณหาความยาวของขนาดระยะ กระบวนการของการเคลื่อนที่จากจุดแรกไปยังจุดถัดไป แสดงดังภาพที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 ทิศทางการเคลื่อนที่

จากภาพที่ 3.3 A เป็นจุดเริ่มต้น B เป็นจุดออกแบบปัจจุบัน (current design) $d^{(k)}$ เป็นทิศทางที่คำนวณได้ และ α เป็นขนาดระยะ ดังนั้น เมื่อเพิ่ม $\alpha d^{(k)}$ ต่อจากจุดออกแบบปัจจุบัน ก็จะได้จุด C ใน design space จากนั้นกระบวนการทั้งหมดจะกระทำซ้ำ โดยจุด C เป็นจุดออกแบบปัจจุบันแทน

ในกระบวนการคำนวณซ้ำข้างต้น สามารถเขียนเป็นอัลกอริทึมทั่วไป ซึ่งใช้ได้ทั้งแบบมีเงื่อนไข (constraint) และแบบไม่มีเงื่อนไข (unconstraint) ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประมาณค่าจุดเริ่มต้น $x^{(0)}$ ตั้งค่าตัวนับการคำนวณซ้ำ $k = 0$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณทิศทาง $d^{(k)}$ ใน design space ในการคำนวณนี้ต้องใช้ค่าของฟังก์ชันออกแบบ และเกรเดียนต์ของฟังก์ชัน สำหรับปัญหาแบบไม่มีเงื่อนไข และกรณีปัญหาแบบมีเงื่อนไขจะต้องมีค่าของฟังก์ชันเงื่อนไขและเกรเดียนต์ของฟังก์ชันเงื่อนไขด้วย

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบการลู่เข้า (convergence) ของอัลกอริทึม ถ้าลู่เข้าก็จะสิ้นสุดกระบวนการคำนวณ ถ้ายังไม่ลู่เข้า ก็ทำการคำนวณซ้ำต่อ

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าขนาดระยะ α_k

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณจุดออกแบบใหม่จาก

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \alpha_k d^{(k)} \quad (3.15)$$

ตั้งค่า $k = k + 1$ จากนั้นกลับไปกระทำซ้ำที่ขั้นตอนที่สอง ทำตามกระบวนการดังที่กล่าวมาจนกว่าจะสิ้นสุด

3.2 วิธีตัวคูณLagrange

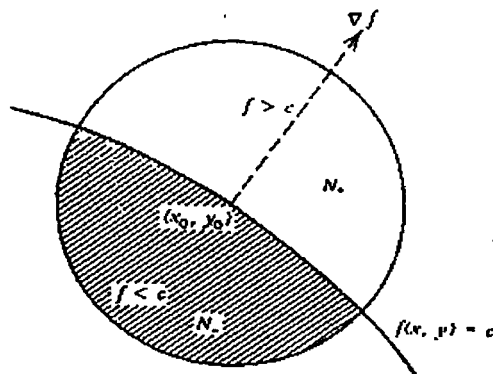
ในการออกแบบหาจุดที่ดีที่สุด โดยมากจะมีปัญหาเงื่อนไขต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การหาค่าต่ำสุดของ $f(x,y)$ ที่สอดคล้องกับเงื่อนไข $g(x,y) = 0$ ดังนั้น โดยสมมุติว่ามีจุดต่ำสุดอยู่ที่ (x_0, y_0) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นว่า ถ้าเกรเดียนต์ ∇g ของ g ไม่เป็นศูนย์ที่ (x_0, y_0) แล้ว ∇f จะเป็นผลคูณของ ∇g ที่จุดนี้ นั่นคือ

$$\nabla f + \lambda \nabla g = 0 \text{ ที่ } (x_0, y_0) \quad (3.16)$$

หรือเขียนได้ว่า

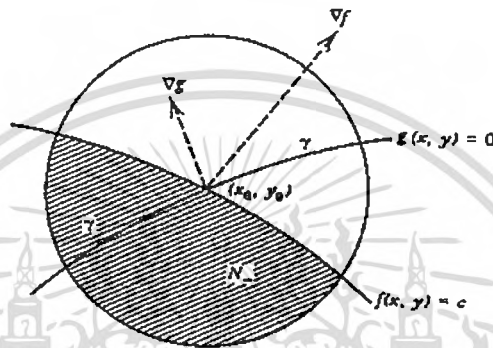
$$f_x + \lambda g_x = 0, \quad f_y + \lambda g_y = 0 \text{ ที่ } (x_0, y_0) \quad (3.17)$$

ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ ตัวคูณLagrange (Lagrange multiplier) หนึ่ง ถ้า f และ g มีอนุพันธ์ย่อยต่อเนื่องใกล้จุด ที่ (x_0, y_0) คุณสมบัติตัวคูณ Lagrange จาก (3.16) สามารถได้มาตามหลักเรขาคณิต คือ ถ้า $\nabla f = 0$ ที่ (x_0, y_0) ดังนั้นสมการ (3.16), (3.17) จะถูกต้องเมื่อ $\lambda = 0$ และถ้าสมมุติว่า $\nabla f \neq 0$ ที่จุดนี้ โดยกำหนดให้ $c = f(x_0, y_0)$ ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ในวงกลม N ของ (x_0, y_0) เส้นโค้ง $f(x,y) = c$ แบ่งเซต N ในจุดที่ $f(x,y) < c$ ออกจากเซต N_+ ที่ $f(x,y) > c$ สมมุติว่า เลือก N จำนวนน้อยๆ ที่ทำให้ f มีค่าต่ำสุดที่ (x_0, y_0) สัมพันธ์กับจุดทั้งหมด บนเส้นโค้ง γ ซึ่งกำหนดจาก $g(x,y) = 0$



ภาพที่ 3.4 f และ g มีอนุพันธ์ย่อยต่อเนื่องที่ (x_0, y_0)

ต่อไปจะแสดงให้เห็นว่า เกรเดียนต์ ∇f และ ∇g ไม่เป็นเชิงเส้นต่อกัน ซึ่งถ้า ∇f และ ∇g ไม่เป็นเชิงเส้นต่อกันแล้ว เส้นโค้ง γ จะตัดขวางเส้นโค้ง $f(x,y) = c$ ที่จุด (x_0, y_0) ดังภาพที่ 3.5 ในที่นี้มีจุด (x,y) ของ γ ในบริเวณ N ซึ่งจุดเหล่านี้มีคุณสมบัติคือ $f(x,y) < c = f(x_0, y_0)$ ตรงกันข้ามกับคุณสมบัติ ในการทำให้ค่าฟังก์ชันต่ำสุดที่จุด (x_0, y_0) นั่นคือที่จุด (x_0, y_0) เกรเดียนต์ของ ∇f และ ∇g ไม่เป็นเชิงเส้นต่อกัน ดังแสดงไว้ในสมการ (3.16), (3.17) ดังนั้น เกรเดียนต์ ∇f ของ f ที่จุด (x_0, y_0) จะตั้งฉากกับเส้นโค้ง γ ที่จุด (x_0, y_0)



ภาพที่ 3.5 เส้นโค้ง γ ตัดขวางเส้นโค้ง $f(x,y) = c$ ที่จุด (x_0, y_0)

จากข้างต้น สามารถสรุปเป็นคุณสมบัติ ดังจะกล่าวถึงต่อไปนี้

3.2.1 คุณสมบัติ

คุณสมบัติที่ 1

สมมุติให้จุด (x_0, y_0) เป็นจุดที่ทำให้ $f(x,y)$ ต่ำสุด โดยมีเงื่อนไข $g(x,y) = 0$ และถ้ากำหนดต่อไปว่า $(g_x, g_y) \neq (0,0)$ ที่จุด (x_0, y_0) เราเขียนได้ว่า

$$F(x, y) = f(x, y) + \lambda g(x, y) \quad (3.18)$$

ดังนั้น

$$F_x(x_0, y_0) = 0, \quad F_y(x_0, y_0) = 0 \quad (3.19)$$

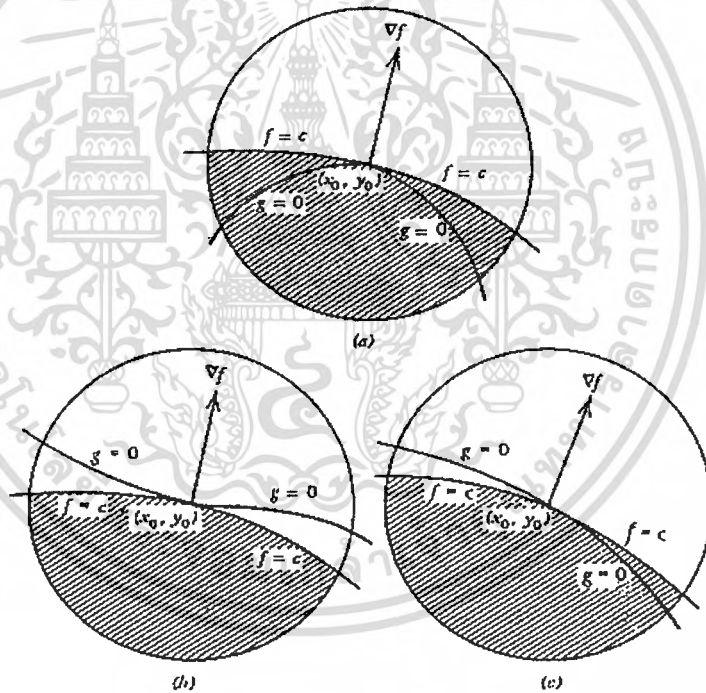
นอกจากนี้

$$F''(x_0, y_0; h, k) = F_{xx}(x_0, y_0)h^2 + 2F_{xy}(x_0, y_0)hk + F_{yy}(x_0, y_0)k^2 \geq 0 \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ สำหรับ $(h, k) \neq (0,0)$ ดังนั้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g'(x_0, y_0; h, k) = g_x(x_0, y_0)h + g_y(x_0, y_0)k = 0 \quad (3.21)$$

สมการที่ (3.19) กำหนดเป็นตัวคูณอันดับหนึ่ง ดังอธิบายข้างต้น , กำหนดว่า ส่วนโค้ง $f(x, y) = c$ และ $g(x, y) = 0$ สัมผัสกันที่จุด (x_0, y_0) แต่เหตุผลเพียงเท่านี้ ไม่สามารถยืนยันได้ว่าจุด (x_0, y_0) เป็นคำตอบของปัญหานี้ ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นจากโคออร์ดิเนตของภาพที่ 3.6 ในภาพ 3.6 (a) (x_0, y_0) ทำให้ f มีค่าสูงสุดบนเส้นโค้ง $g = 0$ ในภาพ 3.6(b) (x_0, y_0) สามารถหาค่าต่ำสุดของ f ได้บนเส้น $g = 0$ และในภาพ 3.6 (c) (x_0, y_0) สามารถหาได้ทั้งค่าต่ำสุดหรือสูงสุดของ f ได้บนเส้น $g = 0$ ซึ่งจะเห็นว่าภาพที่ 3.6(b) เป็นภาพที่สอดคล้องในการหาค่าต่ำสุดที่จุด (x_0, y_0) ซึ่งเมื่ออธิบายในเชิงวิเคราะห์ ก็จะได้ดังสมการที่ (3.20) และ (3.21)



ภาพที่ 3.6 ลักษณะฟังก์ชันที่สอดคล้องตามเงื่อนไขต่างๆ

คุณสมบัติที่ 2

สมมุติให้จุด x_0 เป็นจุดที่ทำให้ $f(x)$ ต่ำสุด โดยมีเงื่อนไข $g_\alpha(x) = 0$ ($\alpha = 1, \dots, m < n$) และกำหนดต่อไปให้ x_0 เป็นจุด normal ซึ่งเมตริกซ์

$$\left(\frac{\partial g_\alpha(x_0)}{\partial x^i} \right) \quad (\alpha = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n) \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มี m แรงค์ ดังนั้น จะมีตัวคูณ $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ และถ้าเรากำหนดให้

$$F = f + \lambda_1 g_1 + \dots + \lambda_m g_m \quad (3.23)$$

เมื่อ $\nabla F(x_0) = 0$, นั่นคือ

$$\frac{\partial F}{\partial x^i} = \frac{\partial f}{\partial x^i} + \sum_{\alpha=1}^m \lambda_\alpha \frac{\partial g_\alpha}{\partial x^i} = 0 \quad \text{ที่ } x = x_0 \quad (3.24)$$

นอกจากนี้

$$F''(x_0, h) \geq 0 \quad (3.25)$$

สำหรับการหาผลเฉลย ที่ $h \neq 0$ ของสมการ

$$g'_\alpha(x_0, h) = \langle \nabla g_\alpha(x_0), h \rangle = 0 \quad (\alpha = 1, \dots, m) \quad (3.26)$$

ตัวคูณ $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ เรียกว่า ตัวคูณ Lagrange (Lagrange multipliers) และ พจน์ F จัดเป็น ฟังก์ชันลากรางจ์ ผลลัพธ์หาได้ดังนี้ จากเมตริกซ์ (3.22) มี m แรงค์ ยืนยันได้ว่า ผลเฉลย h ของ สมการ (3.26) เป็นเวกเตอร์สัมผัสของพื้นผิว $g_\alpha(x) = 0$ ที่ $x = x_0$ ซึ่งหมายความว่า ถ้าเวกเตอร์ h สอดคล้องกับสมการ (3.26) จะมีส่วนโค้ง $x(t)$ ($-\delta < t < \delta$) บนพื้นผิว $g_\alpha(x) = 0$ ดังนั้น $x(0) = x_0$ และ $x'(0) = h$ โดยที่ $x' = dx/dt$ ตามส่วนโค้งนี้ ฟังก์ชัน f เป็นฟังก์ชันของ t ; $w(t) = f[x(t)]$ เมื่อ $w(0) = f(x_0)$ ฟังก์ชัน $w(t)$ มีค่าต่ำสุดที่ $t=0$ ดังนั้น $w'(0) = 0$ ค่าของ w' ใน พจน์ของ f หาได้จากสูตร

$$w'(0) = f'[x(0), x'(0)] = f'(x_0, h) = \langle \nabla f(x_0), h \rangle = 0 \quad (3.27)$$

สมการนี้ ใช้กับเวกเตอร์สัมผัส h ทั้งหมด นั่นคือ สำหรับเวกเตอร์ h ทั้งหมดจะได้ว่า

$$g'_\alpha(x_0, h) = \langle \nabla g_\alpha(x_0), h \rangle = 0 \quad (\alpha = 1, \dots, m) \quad (3.28)$$

ผลลัพธ์ได้จากเกรเดียนต์ $\nabla f(x_0)$ ตั้งฉากกับเวกเตอร์สัมผัส h ทั้งหมด และตั้งฉากกับพื้นผิว $g_\alpha(x) = 0$ ที่ x_0 เมื่อระยะสัมผัส (tangent space) มายังพื้นผิวนี้ กำหนดได้จาก ผลเฉลย h ของสมการที่ (3.28) , เกรเดียนต์ $\nabla g_1(x_0), \dots, \nabla g_m(x_0)$ จะสร้าง ระยะตั้งฉากมายังพื้นผิว ที่ $x = x_0$ ด้วยเหตุนี้ $\nabla f(x_0)$ จึงเป็นการรวมแบบเชิงเส้น $\nabla f(x_0) = \mu_1 \nabla g_1(x_0) + \mu_2 \nabla g_2(x_0) + \dots + \mu_m \nabla g_m(x_0)$ ของ $\nabla g_1(x_0), \dots, \nabla g_m(x_0)$ เพื่อให้ตรงกันกับสัญลักษณ์ข้างต้น เราให้ $\lambda_\alpha = -\mu_\alpha$ จากนั้นเขียนสมการใหม่ได้

$$\nabla f(x_0) + \lambda_1 \nabla g_1(x_0) + \lambda_2 \nabla g_2(x_0) + \dots + \lambda_m \nabla g_m(x_0) = 0$$

ให้ $F = f + \sum_\alpha \lambda_\alpha g_\alpha$ เราจะได้ว่า

$$\nabla F(x_0) = \nabla f(x_0) + \sum_\alpha \lambda_\alpha \nabla g_\alpha(x_0) = 0 \quad (3.29)$$

ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (3.24) เมื่อเมตริกซ์ (3.22) มี m แรงค์ เกรเดียนต์ $\nabla g_1(x_0), \dots, \nabla g_m(x_0)$ ต่างเป็นอิสระต่อกัน
 สภาวะที่ได้อธิบายไว้ในคุณสมบัติที่สองนี้ เป็นสภาวะที่จำเป็นสำหรับการหาค่าต่ำสุด โดยถูกกำหนดสภาวะเงื่อนไขไว้

บทที่ 4

วิธีการลดความผิดพลาดทางตำแหน่งโดยการปรับแก้ค่า ตำแหน่งดาวเทียม

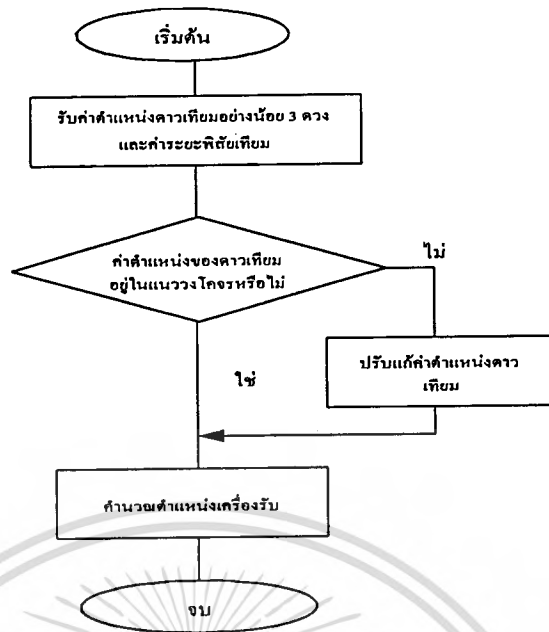
จากสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดทางตำแหน่งของผู้ใช้งานจีพีเอส ดังอธิบายในหัวข้อที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า สาเหตุหลักคือการเข้ารหัส SA ซึ่งแบ่งออกได้สองกระบวนการ คือการแก้ไขข้อมูลฐานเวลาของดาวเทียม ส่วนกระบวนการที่สอง เป็นการแก้ไขข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งโคจรของดาวเทียม ในการปรับปรุงความเที่ยงตรงจะแบ่งวิธีการออกเป็นส่วนๆตามสาเหตุที่เกิด ในส่วนที่เกิดจากกระบวนการแรกนั้น ได้มีความพยายาม ใช้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ต่างๆ เช่นแบบจำลองเกาส์-มาร์คอฟ (Gauss-Markov) อันดับที่สอง[3] แบบจำลองออโตรีเกรสซีฟ (Autoregressive)[3] เป็นต้น ซึ่งไม่ได้ผลที่ดีในระยะยาว ในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้จึงเน้นการปรับปรุงความเที่ยงตรงอันเกิดจาก กระบวนการที่สอง ดังจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

4.1 หลักการ

โดยใช้กระบวนการตามหลักออปติไมเซชัน โดยตรวจสอบค่าตำแหน่งดาวเทียมที่รับมา ว่าอยู่ในแนววงโคจรหรือไม่ ซึ่งเมื่อค่าตำแหน่งไม่อยู่ในแนววงโคจร ก็จะคำนวณหาตำแหน่งใหม่ที่อยู่ในแนววงโคจร ซึ่งกระทำตามกระบวนการดังกล่าวจนครบอย่างน้อย 3 ดวง (เมื่อนำผลจากค่าเวลาออฟเซตที่เครื่องรับมาคำนวณ) ก็จะนำค่าตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง ไปคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับต่อไป

4.2 ขั้นตอนการคำนวณ

ในการคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส ข้อมูลอินพุตที่ต้องการคือ ค่าตำแหน่งของดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง และค่าระยะทางระหว่างดาวเทียมแต่ละดวงมายังเครื่องรับ ซึ่งค่าตำแหน่งของดาวเทียมจะนำมาเข้ากระบวนการปรับแก้ค่า โดยคำนวณหาระยะทางที่น้อยที่สุดจากค่าตำแหน่งเดิม ไปยังฟังก์ชันวงโคจร เมื่อคำนวณครบแล้วก็จะคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับ กระบวนการดังกล่าวสามารถเขียนเป็นโคอะแกรมดังนี้



ภาพที่ 4.1 ไคอะแกรมขั้นตอนการคำนวณทั้งหมด

ในกระบวนการปรับแก้ค่าตำแหน่ง และกระบวนการคำนวณตำแหน่งเครื่องรับจะอธิบายโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

4.2.1 การหาตำแหน่งเครื่องรับโดยวิธีเน็คกาทีฟเกรเดียนต์

จากหัวข้อ 2.4 กล่าวถึงแหล่งกำเนิดระยะพิสัยเทียม และสมการในการหาระยะพิสัยเทียม ซึ่งมีค่าเวลาออฟเซต (t_u) เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นในการคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับใน 3 มิติ (x_u, y_u, z_u) โดยมีค่า t_u จะต้องใช้การวัดค่าระยะพิสัยเทียม และค่าตำแหน่งของดาวเทียม 4 ดวงมาคำนวณ ดังสมการ

$$\rho_j = \|s_j - u\| + c \cdot t_u \quad (4.1)$$

เมื่อ j คือดาวเทียมดวงที่ j สมการที่ (4.1) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + c \cdot t_u \quad (4.2)$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + c \cdot t_u \quad (4.3)$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + c \cdot t_u \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_4 = \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + c \cdot t_u \quad (4.5)$$

เมื่อ x_j, y_j, z_j แทนตำแหน่งของดาวเทียม j ใน 3 มิติ x_u, y_u, z_u แทนตำแหน่งของเครื่องรับใน 3 มิติ

จากสมการที่ (4.2) ถึง (4.5) สามารถเขียนในรูป $f(x_u, y_u, z_u, t_u)$ ซึ่งค่าตำแหน่งของเครื่องรับ และค่าเวลาออฟเซตที่ยังไม่ทราบค่า จะพิจารณาเป็นส่วนประกอบของตัวแปรต่างๆที่ถูกประมาณค่าขึ้น รวมกับส่วนเปลี่ยนแปลง ดังนี้

$$\begin{aligned} x_u &= \bar{x}_u + \Delta x_u \\ y_u &= \bar{y}_u + \Delta y_u \\ z_u &= \bar{z}_u + \Delta z_u \\ t_u &= \bar{t}_u + \Delta t_u \end{aligned} \quad (4.6)$$

สามารถเขียนได้เป็น

$$f(x_u, y_u, z_u, t_u) = f(\bar{x}_u + \Delta x_u, \bar{y}_u + \Delta y_u, \bar{z}_u + \Delta z_u, \bar{t}_u + \Delta t_u) \quad (4.7)$$

ใช้อนุกรมเทย์เลอร์อันดับหนึ่ง เพื่อให้สมการเป็นเชิงเส้น ดังนี้

$$\begin{aligned} f(\bar{x}_u + \Delta x_u, \bar{y}_u + \Delta y_u, \bar{z}_u + \Delta z_u, \bar{t}_u + \Delta t_u) &= f(\bar{x}_u, \bar{y}_u, \bar{z}_u, \bar{t}_u) + \frac{\partial f(\bar{x}_u, \bar{y}_u, \bar{z}_u, \bar{t}_u)}{\partial \bar{x}_u} \Delta x_u + \\ &\frac{\partial f(\bar{x}_u, \bar{y}_u, \bar{z}_u, \bar{t}_u)}{\partial \bar{y}_u} \Delta y_u + \frac{\partial f(\bar{x}_u, \bar{y}_u, \bar{z}_u, \bar{t}_u)}{\partial \bar{z}_u} \Delta z_u + \\ &\frac{\partial f(\bar{x}_u, \bar{y}_u, \bar{z}_u, \bar{t}_u)}{\partial \bar{t}_u} \Delta t_u \end{aligned} \quad (4.8)$$

ในอนุพันธ์ย่อยแต่ละพจน์ ได้ผลลัพธ์คือ

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(\bar{x}_u, \bar{y}_u, \bar{z}_u, \bar{t}_u)}{\partial \bar{x}_u} &= -\frac{x_j - \bar{x}_u}{r_j} \\ \frac{\partial f(\bar{x}_u, \bar{y}_u, \bar{z}_u, \bar{t}_u)}{\partial \bar{y}_u} &= -\frac{y_j - \bar{y}_u}{r_j} \\ \frac{\partial f(\bar{x}_u, \bar{y}_u, \bar{z}_u, \bar{t}_u)}{\partial \bar{z}_u} &= -\frac{z_j - \bar{z}_u}{r_j} \end{aligned} \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\mathcal{F}(\bar{x}_u, \bar{y}_u, \bar{z}_u, \bar{t}_u)}{\bar{\alpha}_u} = c$$

$$\text{โดยที่ } \bar{r}_j = \sqrt{(x_j - \bar{x}_u)^2 + (y_j - \bar{y}_u)^2 + (z_j - \bar{z}_u)^2}$$

นำสมการที่ (4.9) ลงไปแทนในสมการที่ (4.8) ได้ดังนี้

$$\rho_j = \bar{\rho}_j - \frac{x_j - \bar{x}_u}{r_j} \Delta x_u - \frac{y_j - \bar{y}_u}{r_j} \Delta y_u - \frac{z_j - \bar{z}_u}{r_j} \Delta z_u + c \cdot \Delta t_u \quad (4.10)$$

นำสมการที่ (4.10) มาจัดใหม่ ได้สมการที่ (4.11) ดังนี้

$$\bar{\rho}_j - \rho_j = \frac{x_j - \bar{x}_u}{r_j} \Delta x_u + \frac{y_j - \bar{y}_u}{r_j} \Delta y_u + \frac{z_j - \bar{z}_u}{r_j} \Delta z_u - c \cdot \Delta t_u \quad (4.11)$$

$$\Delta \rho_j = \bar{\rho}_j - \rho_j$$

$$a_{xj} = \frac{x_j - \bar{x}_u}{\bar{r}_j}$$

ให้

$$a_{yj} = \frac{y_j - \bar{y}_u}{\bar{r}_j}$$

$$a_{zj} = \frac{z_j - \bar{z}_u}{\bar{r}_j}$$

(4.12)

แทนค่าสมการที่ (4.12) ลงในสมการที่ (4.11) ดังนั้นจากสมการของความสัมพันธ์สี่ตัว สามารถจัดสมการที่ (3.11) ลงเป็นเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_2 \\ \Delta \rho_3 \\ \Delta \rho_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & 1 \\ a_{x3} & a_{y3} & a_{z3} & 1 \\ a_{x4} & a_{y4} & a_{z4} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \\ -c \cdot \Delta t_u \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

หรือเขียนแทนด้วย

$$\Delta \rho = H \Delta x \quad (4.14)$$

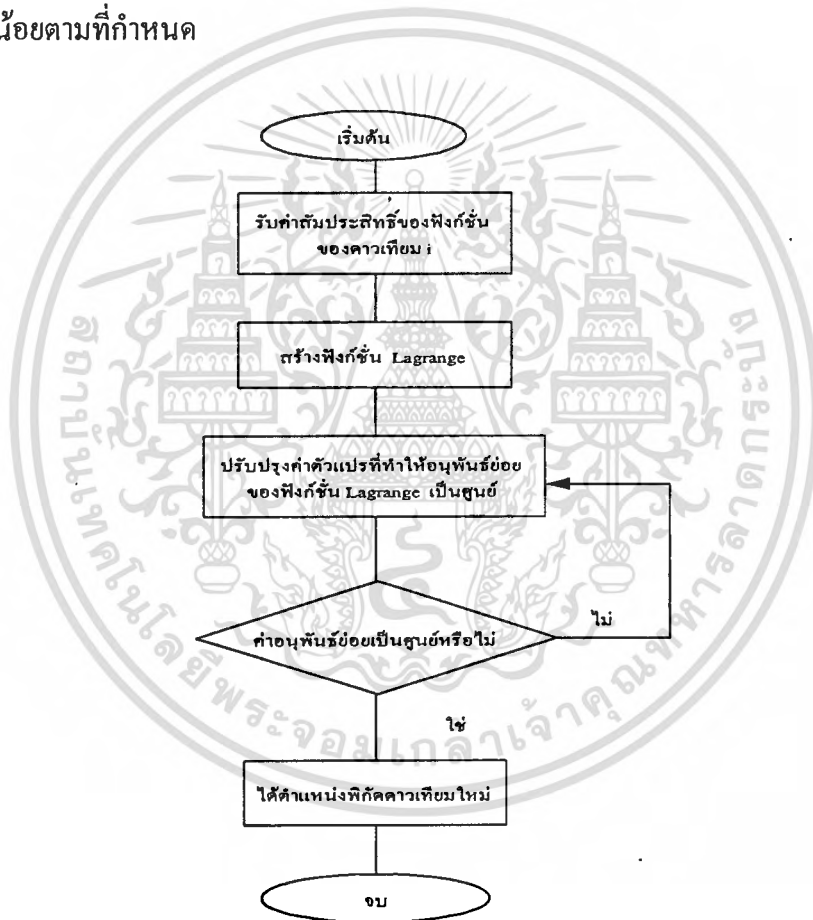
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\rho = H\Delta x \quad (4.14)$$

Δx คือค่าการเปลี่ยนแปลงในแต่ละส่วนประกอบ ของการออกแบบปัจจุบัน ซึ่งหาได้จาก

$$\Delta x = H^{-1} \cdot \Delta\rho \quad (4.15)$$

เมื่อได้ค่าการเปลี่ยนแปลงแล้ว จึงนำมาคำนวณจุดออกแบบใหม่ ตามสมการที่ (4.6) ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงนี้ เป็นไปตามสมการที่ (4.14) กระบวนการคำนวณซ้ำจะดำเนินไปจนกระทั่ง ค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยตามที่กำหนด



ภาพที่ 4.2 ไคอะแกรมกระบวนการคำนวณซ้ำ

4.2.2 การปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียมโดยใช้ตัวคูณ Lagrange

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นขั้นตอนแรก เมื่อเครื่องรับ ได้ค่าตำแหน่งดาวเทียมแต่ละดวงแล้วในที่นี้ ฟังก์ชันที่ใช้ในการหาค่าต่ำสุด คือสมการระยะทางระหว่างค่าตำแหน่งดาวเทียมที่รับมา กับแนววงโคจร ดังสมการที่ (4.16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x_j, y_j, z_j เป็นตำแหน่งของดาวเทียม j

จากสมการที่ (4.16) เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ค่าต่ำสุดของฟังก์ชันดังกล่าว จึงใช้สมการยกกำลังสองแทน ซึ่งได้ดังสมการที่ (4.17)

$$f(x, y, z) = (x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 \quad (4.17)$$

โดยที่มีเงื่อนไขบังคับ เป็นฟังก์ชันอริบายวงโคจรของดาวเทียม (ซึ่งอธิบายโดยละเอียดในบทที่

5) ดังสมการ

$$z(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_jy^n \quad (4.18)$$

หรือ

$$Z = \sum_{n=0}^N \sum_{i=0}^n \left[\left(a_{(n+i)} + \frac{n(n-1)}{2} \right) \cdot x^{n-i} \cdot y^i \right]$$

สมการที่ (4.18) ซึ่งเป็นโพลิโนเมียลสองตัวแปรกำลัง n เป็นสมการที่ใช้ประมาณฟังก์ชันของวงโคจรดาวเทียม จากสมการที่ (4.17) และ (4.18) สร้างฟังก์ชัน Lagrange ได้

$$F(x, y, z, \lambda) = (x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 + \lambda(a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_jy^n - Z) \quad (4.19)$$

เพื่อความสะดวก เราเขียนสมการที่ (4.19) ใหม่ ดังนี้

$$F(x, y, z, \lambda) = (x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 + \lambda q \quad (4.20)$$

โดยที่ $q = (a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_jy^n - Z)$

ทำการหาอนุพันธ์ย่อยของฟังก์ชัน Lagrange เพื่อหาค่าตัวแปร ที่ทำให้ฟังก์ชัน มีค่าเป็นศูนย์ จากสมการที่ (4.20) หาอนุพันธ์ย่อยเทียบกับตัวแปร x, y, z, λ ตามลำดับดังนี้

$$F'(x, y, z, \lambda) = \begin{bmatrix} 2(x - x_j) + \lambda q'_x \\ 2(y - y_j) + \lambda q'_y \\ 2(z - z_j) - \lambda \\ q \end{bmatrix} = 0 \quad (4.21)$$

ให้ G แทน F' จากนั้น การหาค่าตัวแปรที่ทำให้สมการที่ (3.21) เป็นศูนย์ หาได้จากสมการ $G^{(k+1)}(x, y, z, \lambda) = G^{(k)}(x, y, z, \lambda) + G'^{(k)}(x, y, z, \lambda)(\Delta G^{(k)}(x, y, z, \lambda))$ (4.22)

ให้สมการด้านซ้ายมือเป็นศูนย์ เขียนสมการใหม่ได้

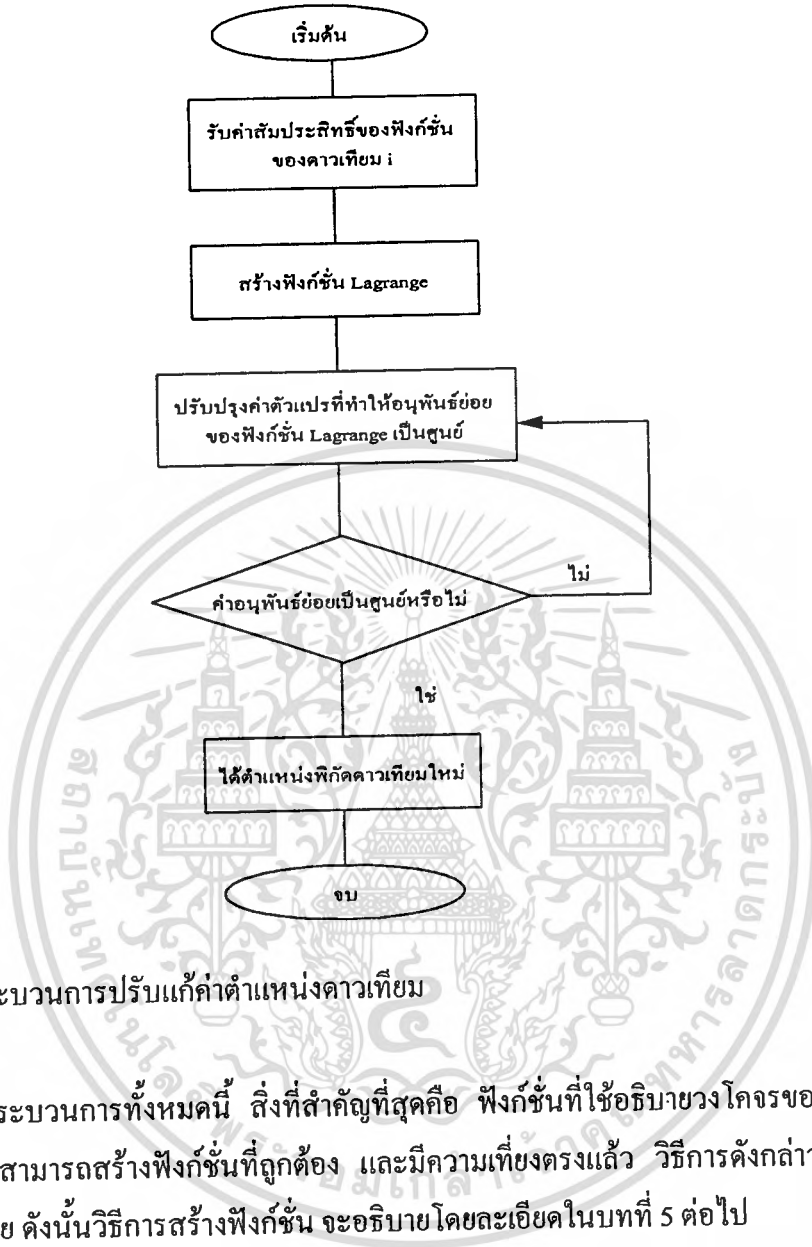
$$G'^{(k)}(x, y, z, \lambda) \cdot \Delta G^{(k)}(x, y, z, \lambda) = -G^{(k)}(x, y, z, \lambda) \quad (4.23)$$

จากสมการที่ (4.23) จัดอยู่ในรูปเมตริกซ์ ได้

$$\begin{bmatrix} 2 + \lambda q''_{xx} & \lambda q''_{xy} & 0 & q'_x \\ \lambda q''_{yx} & 2 + \lambda q''_{yy} & 0 & q'_y \\ 0 & 0 & 2 & -1 \\ q'_x & q'_y & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 2(x - x_j) + \lambda q'_x \\ 2(y - y_j) + \lambda q'_y \\ 2(z - z_j) - \lambda \\ q \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

ทำการแก้สมการ เพื่อหาค่า การเปลี่ยนแปลงในการออกแบบปัจจุบัน และทำการคำนวณซ้ำ ซึ่งอยู่ในรูปแบบเดียวกันกับ สมการที่ (4.13)จนถึงสมการที่ (4.15) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการคำนวณซ้ำแล้ว ค่าที่ได้คือ ค่าพิกัด x, y, z และ λ โดยที่เราต้องการเฉพาะค่าพิกัด x, y, z ซึ่งเป็นค่าตำแหน่งของดาวเทียมที่เราทำการปรับแก้ค่าแล้วนั่นเอง

จากกรรมวิธีดังกล่าว เมื่อได้ค่าตำแหน่งใหม่ของดาวเทียมแต่ละดวงครบแล้ว จึงทำการคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับตามหัวข้อ 4.2.1 ต่อไป โค้ดอะแกรมตามภาพที่ 4.3 แสดงกระบวนการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม



ภาพที่ 4.3 กระบวนการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม

จากกระบวนการทั้งหมดนี้ สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ฟังก์ชันที่ใช้อธิบายวงโคจรของดาวเทียมในแต่ละดวง ถ้าไม่สามารถสร้างฟังก์ชันที่ถูกต้อง และมีความเที่ยงตรงแล้ว วิธีการดังกล่าวจะไม่มี ความถูกต้องตามไปด้วย ดังนั้นวิธีการสร้างฟังก์ชัน จะอธิบายโดยละเอียดในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 5

ฟังก์ชันของวงโคจรดาวเทียม

จากบทที่แล้ว ได้อธิบายวิธีการลดค่าความผิดพลาดในการ คำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส จะเห็นว่าปัจจัยสำคัญที่สุด อยู่ที่ฟังก์ชันที่ใช้อธิบายวงโคจรของดาวเทียม ดังนั้นในบทนี้ จึงได้กล่าวถึง ข้อมูลต่างๆ และวิธีการสร้างฟังก์ชัน โดยละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

5.1 ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งดาวเทียม

เนื่องจากเอกสารอ้างอิง [4] เป็นเพียงแนวความคิดเท่านั้น ในความเป็นจริง วงโคจรทั้งหมด ระบุของดาวเทียมทั้งหมด ไม่สมมาตรกัน แม้แต่ในวงโคจรระนาบเดียวกัน วิธีโคจรของดาวเทียม แต่ละดวงก็ยังไม่สมมาตรกัน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้ปรับปรุง โดยใช้ตำแหน่งของดาวเทียมจริง ที่โคจรในแต่ละดวง มาสร้างเป็นฟังก์ชัน โดยข้อมูลนี้เป็นของหน่วยงาน NIMA ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถดาวน์โหลด จากอินเทอร์เน็ตได้ ข้อมูลจะจัดอยู่ในรูปแบบ SP3 โดยมี โหมดใช้งาน 2 แบบ คือ โหมด P และโหมด V, โหมด P จะบอกค่าตำแหน่งทั้งแนวแกน x, y, z มีหน่วยเป็นกิโลเมตร ส่วนหลักสุดท้าย จะบอกค่า clock correction มีหน่วยเป็นไมโครวินาที ส่วนในโหมด V จะบอกเป็นความเร็วในแต่ละทิศทาง มีหน่วยเป็นเดซิเมตรต่อวินาที ส่วนหลักสุดท้าย จะบอกค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ clock correction มีหน่วยเป็น 10^{-4} ไมโครวินาทีต่อวินาที ในที่นี้จะใช้ข้อมูลในโหมด P ซึ่งมีความสะดวกกว่า

ข้อมูลต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างที่ได้ดาวน์โหลดจากอินเทอร์เน็ต ซึ่งนำมาแสดงเพียงบางส่วนเท่านั้น ในรายละเอียดเกี่ยวกับรูปแบบ SP3 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก

```
#aV1998 1 15 0 0 .00000000 96 DD+AD WGS84 FIT NIMA
## 940 345600.00000000 900.00000000 50828 .00000000000000
+ 27 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 14 15 16 17 18 19
+ 21 22 23 24 25 26 27 29 30 31 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

```

++      0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%cc cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
%cc cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* NIMA, ST. LOUIS,MO.
/* EPHEMERIS COMPUTED FROM 3 DAYS OF DATA
/* CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
/* CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
* 1998 1 15 0 0 .00000000
P 1 10730.764443 19291.382543 14905.174241 37.131092
V 1 -16941.625861 -8233.448803 23031.777316 .009256
P 2 80.322473 -17457.723130 20289.281097 -444.761146
V 2 22084.002887 -11944.729547 -11146.774299 -.017967
P 3 22919.095308 13336.441515 2.709826 89.863494
V 3 -1562.802435 2786.308812 -31592.877189 .045111
P 4 -5948.037917 -23742.127552 -10016.282597 6.468278
V 4 2673.917041 -12827.471092 28629.521464 .021411
P 5 -23870.896894 10958.523999 3783.188531 131.131895
V 5 2407.286447 -5354.668726 30890.563669 .023704
P 6 -9878.025535 11704.639408 -21594.935855 -.163188
V 6 -23364.082325 -14869.443869 2351.469219 -.014614
P 7 -10117.344544 -18937.174184 16060.243336 766.110078
V 7 17964.271093 8583.980322 21481.613845 .000009
P 8 -9894.861126 20972.543030 12721.601817 406.329766
V 8 -1635.873941 -16737.738587 25550.487327 .597294
P 9 -15020.295384 7044.089372 20608.080307 -26.145067
V 9 -811.954764 -26471.585417 8748.501134 -.023259
P 10 -18810.613005 -4060.815008 -18332.268398 17.431542
V 10 19670.385021 -12514.605888 -17274.314269 .006491

```

ในที่นี้จะนำเสนอข้อมูลของดาวเทียมเป็นบางดวงเท่านั้น จากข้อมูลที่ได้ในหนึ่งวันจะได้จุด
 พิกัดตำแหน่งทั้งสิ้น 96 จุด ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งเป็นข้อมูลของดาวเทียมหมายเลข 1 วันที่ 1 ตุลาคม
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 1997 ถ้านำจุดทั้งหมดมาทำการวาด จะได้ดังภาพที่ 5.1
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลของดาวเทียม หมายเลข PRN 01 วันที่ 1 ตุลาคม 1997

อันดับของข้อมูล	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
1	20859.05828	-16426.37888	-403.972616
2	20868.12584	-16075.60332	-3239.027736
3	20667.19058	-15503.73856	-6018.197582
4	20288.62454	-14692.34417	-8693.393985
5	19769.06324	-13630.6783	-11218.201285
6	19147.89427	-12316.31816	-13548.701170
7	18465.64325	-10755.46332	-15644.260662
8	17762.32102	-8962.906678	-17468.267455
9	17075.79791	-6961.671451	-18988.79747
10	16440.2704	-4782.325978	-20179.20059
11	15884.88243	-2462.001394	-21018.592030
12	15432.55721	-43.149571	-21492.238725
13	15099.08737	2427.910448	-21591.832245
14	14892.52041	4902.600428	-21315.642314
15	14812.86456	7331.781747	-20668.547594
16	14852.12662	9667.47768	-19661.943143
17	14994.67986	11864.55091	-18313.52674
18	15217.94623	13882.26994	-16646.968921
19	15493.36435	15685.703	-14691.474112
20	15787.60326	17246.8852	-12481.242492
21	16063.97188	18545.71435	-10054.84427
22	16283.96672	19570.54228	-7454.519592
23	16408.89538	20318.44061	-4725.418649
24	16401.51077	20795.13379	-1914.797243
25	16227.59133	21014.60475	928.816387
26	15857.40552	20998.39196	3756.467802
27	15267.004	20774.60806	6519.620269
28	14439.29047	20376.7208	9170.981680
29	13364.83117	19842.14544	11665.300795
30	12042.37364	19210.70441	13960.120255
31	10479.05663	18523.01399	16016.475179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 10479.05663 เพื่อการสื่อสาร 18523.01399 ไม่อนุญาต 16016.475179 ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

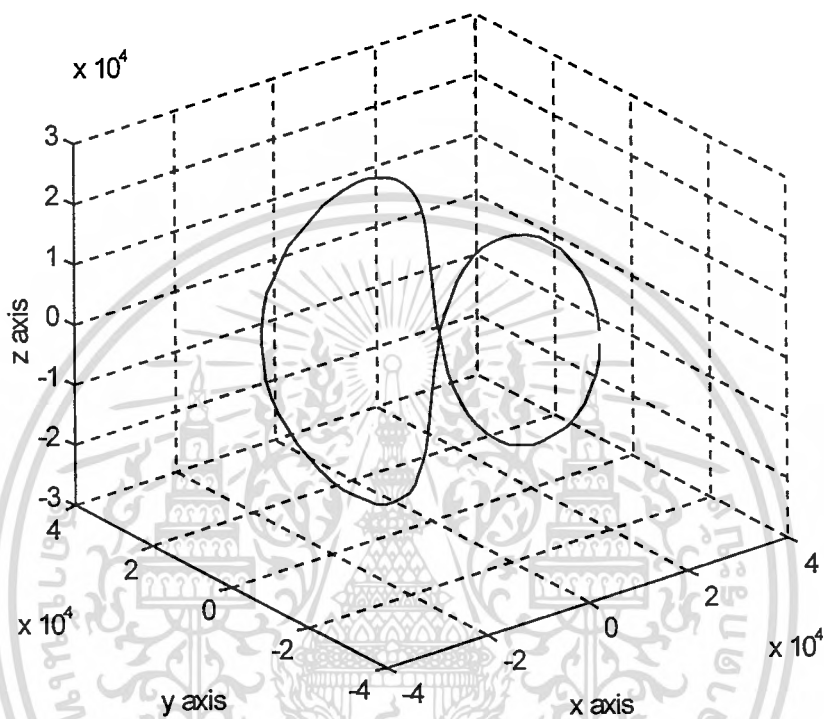
อันดับของข้อมูล	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
32	8690.304685	17818.85989	17799.527485
33	6699.412991	17135.62306	19279.127527
34	4536.838907	16506.8147	20430.295993
35	2239.22753	15960.77443	21233.620346
36	-151.792259	15519.57954	21675.561298
37	-2590.996719	15198.20507	21748.665992
38	-5031.090191	15003.96515	21451.685602
39	-7424.306518	14936.25593	20789.596094
40	-9724.030606	14986.60963	19773.521855
41	-11886.38104	15139.05771	18420.562861
42	-13871.69581	15370.79049	16753.527091
43	-15645.86647	15653.08931	14800.570910
44	-17181.47091	15952.49746	12594.751350
45	-18458.6622	16232.187	10173.495390
46	-19465.77896	16453.4708	7577.992749
47	-20199.65307	16577.40311	4852.520040
48	-20665.60124	16566.4081	2043.705651
49	-20877.09889	16385.87342	-800.253855
50	-20855.14681	16005.64686	-3630.413616
51	-20627.35307	15401.37651	-6397.923145
52	-20226.76409	14555.64028	-9054.877226
53	-19690.48908	13458.81823	-11555.159641
54	-19058.17075	12109.67049	-13855.263833
55	-18370.36212	10515.59521	-15915.074497
56	-17666.87351	8692.553078	-17698.594355
57	-16985.15579	6664.658744	-19174.601122
58	-16358.78491	4463.452733	-20317.220805
59	-15816.10915	2126.880727	-21106.405040
60	-15379.1141	-301.980833	-21528.302109
61	-15062.55174	-2776.403209	-21575.513530
62	-14873.36901	-5247.629769	-21247.230604
63	-14810.45924	-7666.582051	-20549.247975

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

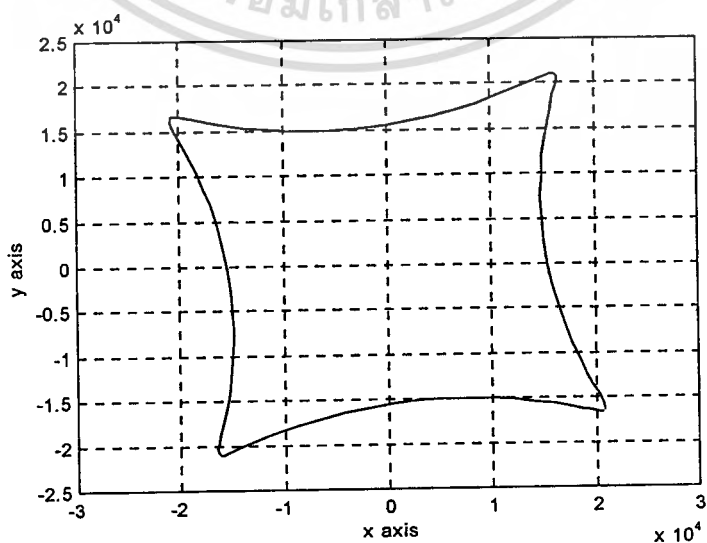
อันดับของข้อมูล	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
64	-14864.74605	-9985.579845	-19493.854020
65	-15019.59596	-12160.00714	-18099.600609
66	-15251.54206	-14149.85811	-16390.957470
67	-15531.28861	-15921.10266	-14397.858863
68	-15824.95496	-17446.81834	-12155.152513
69	-16095.5076	-18708.04574	-9701.962703
70	-16304.32216	-19694.33567	-7080.980987
71	-16412.81215	-20403.96905	-4337.699168
72	-16384.0595	-20843.84395	-1519.599952
73	-16184.38222	-21029.0373	1324.678973
74	-15784.7783	-20982.06127	4146.191721
75	-15162.18989	-20731.84655	6896.526592
76	-14300.54011	-20312.49405	9528.629489
77	-13191.50387	-19761.84567	11997.594844
78	-11834.98467	-19119.93021	14261.411680
79	-10239.28101	-18427.3449	16281.653807
80	-8420.937643	-17723.63443	18024.104491
81	-6404.288582	-17045.72844	19459.30739
82	-4220.710075	-16426.49606	20563.036876
83	-1907.612092	-15893.47068	21316.682223
84	492.793986	-15467.79169	21707.541277
85	2934.905937	-15163.40192	21729.020470
86	5371.267859	-14986.52974	21380.739007
87	7754.177855	-14935.47471	20668.536110
88	10037.3077	-15000.70473	19604.381147
89	12177.27543	-15165.26121	18206.187480
90	14135.11327	-15405.45807	16497.531845
91	15877.57667	-15691.84907	14507.282180
92	17378.2458	-15990.42863	12269.137972
93	18618.37755	-16264.02179	9821.088433
94	19587.47531	-16473.81197	7204.795190
95	20283.55339	-16580.94906	4464.907566

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

อันดับของข้อมูล	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
96	20713.08449	-16548.1767	1648.320017



ภาพที่ 5.1 ลักษณะวงโคจรของ SV1 แบบ 3 มิติที่ได้จากข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง



ภาพที่ 5.2 ลักษณะวงโคจรของ SV1 แบบ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้งานเฉพาะภายในหน่วยงานราชการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 5.1 และ 5.2 จะเห็นว่าภาพที่ได้ ไม่เป็นวงโคจรที่สมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลที่ได้มา เป็นระบบ ECEF ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 1 เมื่อแนวเส้นรุ้ง เส้นแวง ที่กำหนดแกน x,y หมุนไปตามการโคจรของตัวเองของโลก ดังนั้น ที่เวลาต่าง ๆ กัน จุดพิกัดที่กำหนดแกน x,y จะเปลี่ยนไป

5.2 การปรับปรุงข้อมูล

ในการนำข้อมูลมาใช้จะต้องมีการปรับปรุงข้อมูล โดยคำนวณจากอัตราการหมุนของโลกมีการเปลี่ยนแปลงมุมต่อหน่วยเวลาอย่างไร จากข้อมูลในภาคผนวก โลกมีความเร็วในการหมุนรอบตัวเองอยู่ที่ $7.2921151467 \times 10^{-5}$ เรเดียน/วินาที ใช้โปรแกรม ephemeris ในภาคผนวก ทำการปรับปรุงข้อมูลในหนึ่งวัน ได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงข้อมูลของดาวเทียม หมายเลข PRN 01 วันที่ 1 ตุลาคม 1997 หลังทำการปรับปรุง

อันดับของข้อมูล	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
1	20859.05828	-16426.37888	-403.972616
2	21877.46983	-14672.42351	-3239.027736
3	22518.56433	-12665.42287	-6018.197582
4	22770.73379	-10439.68129	-8693.393985
5	22629.0917	-8033.396624	-11218.20129
6	22095.59455	-5488.009583	-13548.70117
7	21179.04115	-2847.487982	-15644.26066
8	19894.94709	-157.5583735	-17468.26746
9	18265.29517	2535.100794	-18988.79747
10	16318.16468	5183.689234	-20179.20059
11	14087.24559	7742.12196	-21018.59203
12	11611.24615	10165.85691	-21492.23873
13	8933.205121	12412.69652	-21591.83225
14	6099.721737	14443.547	-21315.64231
15	3160.118895	16223.12019	-20668.54759
16	165.5561356	17720.56379	-19661.94314
17	-2831.88968	18910.00775	-18313.52674
18	-5780.15757	19771.01627	-16646.96892
19	-8628.130989	20288.93721	-14691.47411
20	-11326.54353	20455.14306	-12481.24249

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

อันดับของข้อมูล	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
21	-13828.84444	20267.16001	-10054.84427
22	-16092.00782	19728.68423	-7454.519592
23	-18077.27099	18849.48674	-4725.418649
24	-19750.7894	17645.21076	-1914.797243
25	-21084.19769	16137.0673	928.816387
26	-22055.06844	14351.43654	3756.467802
27	-22647.26296	12319.38439	6519.620269
28	-22851.17023	10076.10434	9170.98168
29	-22663.83269	7660.296045	11665.3008
30	-22088.9593	5113.49234	13960.12026
31	-21136.82838	2479.346886	16016.47518
32	-19824.08415	-197.1055072	17799.52749
33	-18173.43231	-2870.203853	19279.12753
34	-16213.24125	-5494.419641	20430.29599
35	-13977.05628	-8025.107977	21233.62035
36	-11503.03516	-10419.24048	21675.5613
37	-8833.313639	-12636.10983	21748.66599
38	-6013.310608	-14637.99625	21451.6856
39	-3090.982565	-16390.7869	20789.59609
40	-116.0378059	-17864.53958	19773.52186
41	2860.878896	-19033.98262	18420.56286
42	5789.019885	-19878.94348	16753.52709
43	8618.374773	-20384.69913	14800.57091
44	11300.50501	-20542.24194	12594.75135
45	13789.36031	-20348.45564	10173.49539
46	16042.06405	-19806.19682	7577.992749
47	18019.65467	-18924.27868	4852.52004
48	19687.76991	-17717.35499	2043.705651
49	21017.26129	-16205.70373	-800.253855
50	21984.72648	-14414.91176	-3630.413616
51	22572.94831	-12375.46353	-6397.923145
52	22771.23029	-10122.23891	-9054.877226

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับครูในโรงเรียนเอกชนที่ศึกษาแผนกมัธยมศึกษาตอนต้นเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

อันดับของข้อมูล	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
53	22575.62024	-7693.927398	-11555.15964
54	21989.01528	-5132.367736	-13855.26383
55	21021.14404	-2481.823975	-15915.0745
56	19688.42411	211.7891774	-17698.59436
57	18013.6956	2901.717489	-19174.60112
58	16025.83425	5541.199389	-20317.22081
59	13759.25055	8084.302974	-21106.40504
60	11253.2836	10486.75123	-21528.30211
61	8551.501271	12706.71892	-21575.51353
62	5700.920263	14705.58506	-21247.2306
63	2751.161418	16448.6259	-20549.24798
64	-246.4426451	17905.63448	-19493.85402
65	-3239.769725	19051.45476	-18099.60061
66	-6176.841552	19866.42012	-16390.95747
67	-9006.750117	20336.68823	-14397.85886
68	-11680.55872	20454.46693	-12155.15251
69	-14152.16053	20218.12783	-9701.962703
70	-16379.07873	19632.20717	-7080.980987
71	-18323.19404	18707.29579	-4337.699168
72	-19951.38721	17459.82201	-1519.599952
73	-21236.08635	15911.73385	1324.678973
74	-22155.71116	14090.08817	4146.191721
75	-22695.00844	12026.55626	6896.526592
76	-22845.27561	9756.85628	9528.629489
77	-22604.47087	7320.124004	11997.59484
78	-21977.21107	4758.233592	14261.41168
79	-20974.6597	2115.080671	16281.65381
80	-19614.30935	-564.1602624	18024.10449
81	-17919.66402	-3233.792141	19459.30739
82	-15919.82804	-5848.353757	20563.03688
83	-13649.00912	-8363.369191	21316.68222
84	-11145.94381	-10736.07759	21707.54128

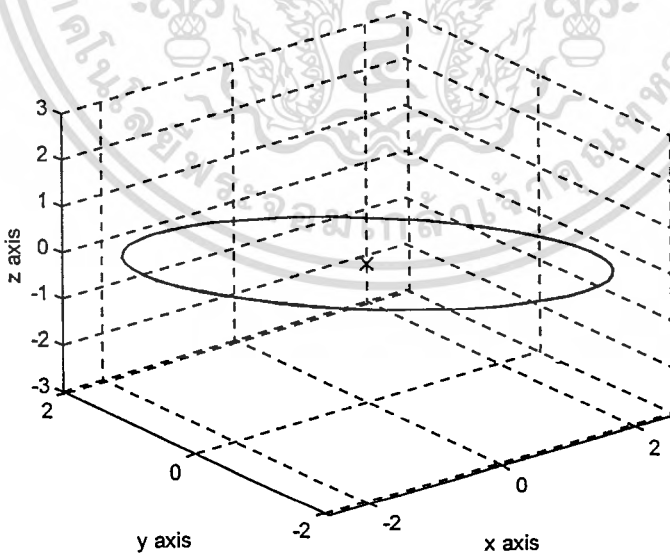
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกรใช้ศึกษาเท่านั้น 21707.54128

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

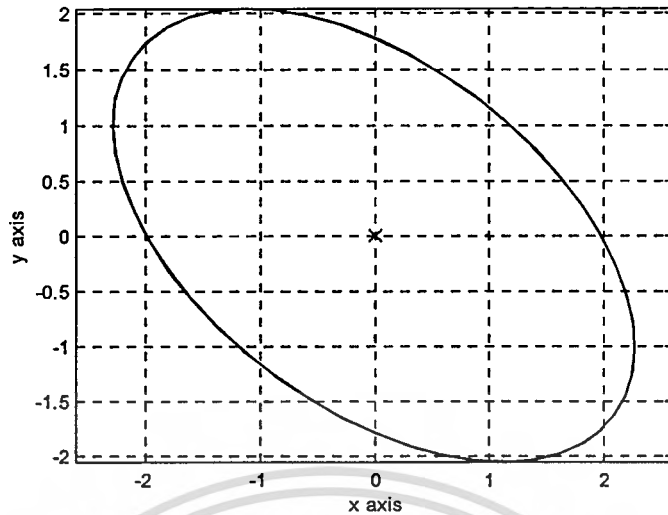
อันดับของข้อมูล	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
85	-8453.254388	-12926.13325	21729.02047
86	-5616.746466	-14896.26635	21380.73901
87	-2684.657458	-16612.8954	20668.53611
88	293.1338593	-18046.68282	19604.38115
89	3265.925778	-19173.02567	18206.18748
90	6183.028774	-19972.47407	16497.53185
91	8994.605565	-20431.07043	14507.28218
92	11652.50386	-20540.60342	12269.13797
93	14111.06922	-20298.77122	9821.088433
94	16327.92512	-19709.24988	7204.79519
95	18264.70719	-18781.66343	4464.907566
96	19887.73849	-17531.45399	1648.320017

จากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางที่ 5.2 มาวาดอีกครั้ง จะได้ลักษณะวงโคจรของดาวเทียมหมายเลข 01 ดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 ลักษณะวงโคจรของ SV1 แบบ 3 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.4 ลักษณะวงโคจรของ SV1 แบบ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำข้อมูลจากดาวเทียมมาแสดงเป็นบางดวงเท่านั้น เนื่องจากมีวิธีการปรับปรุงข้อมูล วิธีเดียวกัน โดยจะใช้ข้อมูลของดาวเทียมหมายเลข 1,2,3,4 ตามลำดับ ตารางที่ 5.3 ถึง 5.5 แสดงค่าพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมหมายเลขดังกล่าว ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล และหลังทำการปรับปรุงข้อมูล

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลของดาวเทียม หมายเลข PRN 02 วันที่ 1 ตุลาคม 1997 ก่อนและหลังทำการปรับปรุงข้อมูล

อันดับของข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 2 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 2 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
1	-13041.35699	9849.598155	-20421.68942	-13041.35699	9849.598155	-20421.68942
2	-13753.01253	7481.779822	-20992.54495	-14214.07446	6563.723796	-20992.54495
3	-14587.9817	5113.302411	-21186.61419	-15131.73284	3160.021008	-21186.61419
4	-15532.92958	2792.270552	-21002.07825	-15779.05456	-300.1887361	-21002.07825
5	-16567.22817	563.574561	-20444.11796	-16145.89003	-3755.116601	-20444.11796
6	-17663.78905	-1532.680906	-19524.67632	-16227.31604	-7143.722314	-19524.67632
7	-18790.16101	-3462.518683	-18262.083588	-16023.6171	-10406.86704	-18262.08359
8	-19909.83829	-5199.152447	-16680.564295	-15540.15834	-13488.37743	-16680.5643
9	-20983.71833	-6723.737679	-14809.647671	-14787.1616	-16336.0012	-14809.64767
10	-21971.64468	-8025.791708	-12683.503630	-13779.39812	-18902.24034	-12683.50363
11	-22833.9707	-9103.279228	-10340.225845	-12535.81211	-21145.05439	-10340.22585
12	-23533.08258	-9962.373362	-7821.082028	-11079.08969	-23028.43091	-7821.082028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการค้าภายใต้ลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 2 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 2 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
13	-24034.82543	-10616.91428	-5169.749368	-9435.187063	-24522.82503	-5169.749368
14	-24309.78287	-11087.59729	-2431.550439	-7632.830381	-25605.47319	-2431.550439
15	-24334.36883	-11400.92998	347.297856	-5702.998617	-26260.58868	347.297856
16	-24091.69897	-11588.00374	3120.412526	-3678.398674	-26479.44813	3120.412526
17	-23572.21793	-11683.12827	5841.942673	-1592.940441	-26260.37861	5841.942673
18	-22774.06769	-11722.37992	8467.232614	518.7823132	-25608.65509	8467.232614
19	-21703.19094	-11742.11448	10953.446792	2622.000788	-24536.31719	10953.44679
20	-20373.17099	-11777.49436	13260.154702	4682.266598	-23061.91338	13260.1547
21	-18804.81785	-11861.07771	15349.875002	6665.931706	-21210.17901	15349.875
22	-17025.5165	-12021.5142	17188.578444	8540.611387	-19011.6536	17188.57844
23	-15068.35955	-12282.38802	18746.149357	10275.62915	-16502.24108	18746.14936
24	-12971.09255	-12661.24475	19996.805042	11842.44262	-13722.71524	19996.80504
25	-10774.90459	-13168.83311	20919.471831	13215.04915	-10718.17197	20919.47183
26	-8523.101459	-13808.58739	21498.115602	14370.36941	-7537.428429	21498.1156
27	-6259.702456	-14576.36999	21722.023439	15288.60639	-4232.369503	21722.02344
28	-4028.004584	-15460.48664	21586.031872	15953.57657	-857.2414156	21586.03187
29	-1869.160357	-16441.97952	21090.695870	16353.00849	2532.106692	21090.69587
30	179.183434	-17495.1954	20242.391568	16478.80331	5879.031405	20242.39157
31	2084.138495	-18588.61731	19053.344771	16327.25037	9126.950316	19053.34477
32	3818.672973	-19685.93908	17541.576620	15899.19009	12220.23793	17541.57662
33	5362.51094	-20747.35289	15730.757722	15200.1157	15105.15337	15730.75772
34	6702.79419	-21731.01022	13649.962546	14240.20472	17730.78748	13649.96255
35	7834.473497	-22594.60802	11333.317167	13034.27164	20050.0137	11333.31717
36	8760.404761	-23297.04344	8819.535606	11601.6336	22020.42284	8819.535606
37	9491.135812	-23800.074	6151.343033	9965.882676	23605.21899	6151.343033
38	10044.38163	-24069.91557	3374.788036	8154.560453	24774.05057	3374.788036
39	10444.19921	-24078.70872	538.450779	6198.733814	25503.74894	538.450779
40	10719.88745	-23805.78563	-2307.440953	4132.474369	25778.9463	-2307.440953
41	10904.65176	-23238.67515	-5111.970518	1992.248391	25592.54577	-5111.970518
42	11034.08617	-22373.79263	-7824.543549	-183.7715105	24946.01937	-7824.543549
43	11144.53745	-21216.77456	-10395.924616	-2356.457318	23849.5146	-10395.92462

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกองทัพอากาศและอาจมีการแก้ไขข้อมูลโดยไม่แจ้งให้ทราบล่วงหน้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 2 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 2 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
44	11271.42359	-19782.43355	-12779.269247	-4486.519536	22321.75641	-12779.26925
45	11447.58426	-18094.32841	-14931.119366	-6535.32143	20389.73957	-14931.11937
46	11701.74078	-16183.96329	-16812.330169	-8465.688855	18088.21487	-16812.33017
47	12057.13872	-14089.64936	-18388.898335	-10242.69037	15458.98144	-18388.89834
48	12530.43782	-11855.08041	-19632.665152	-11834.36318	12550.00604	-19632.66515
49	13130.90087	-9527.688464	-20521.873382	-13212.36266	9414.397378	-20521.87338
50	13859.91753	-7156.856271	-21041.563075	-14352.51682	6109.26892	-21041.56308
51	14710.88172	-4792.069698	-21183.798566	-15235.27139	2694.527542	-21183.79857
52	15669.42272	-2481.093905	-20947.726053	-15846.01645	-768.3737361	-20947.72605
53	16713.97308	-268.253642	-20339.467793	-16175.29045	-4217.68123	-20339.46779
54	17816.64028	1807.110189	-19371.864820	-16218.86273	-7592.549626	-19371.86482
55	18944.33662	3711.946919	-18064.084708	-15977.69988	-10834.18416	-18064.08471
56	20060.11166	5420.518482	-16441.114120	-15457.82515	-13886.89101	-16441.11412
57	21124.6255	6915.105954	-14533.157779	-14670.08271	-16699.01692	-14533.15778
58	22097.69837	8186.383798	-12374.965932	-13629.82031	-19223.76527	-12374.96593
59	22939.87233	9233.460175	-10005.111758	-12356.5048	-21419.88139	-10005.11176
60	23613.92435	10063.59512	-7465.238573	-10873.28491	-23252.20517	-7465.238573
61	24086.27508	10691.62007	-4799.294423	-9206.514955	-24692.09326	-4799.294423
62	24328.24514	11139.09189	-2052.769044	-7385.25187	-25717.71635	-2052.769044
63	24317.11849	11433.22178	728.054654	-5440.736503	-26314.23946	728.054654
64	24036.98168	11605.62509	3496.825134	-3405.868341	-26473.89436	3496.825134
65	23479.31636	11690.94098	6207.815907	-1314.681	-26195.95411	6207.815907
66	22643.33161	11725.37284	8816.583617	798.1757644	-25486.61904	8816.583617
67	21536.03087	11745.20012	11280.587578	2897.943315	-24358.82337	11280.58758
68	20172.01653	11785.31115	13559.769170	4950.247679	-22831.97008	13559.76917
69	18573.04223	11877.80429	15617.090334	6921.577355	-20931.6005	15617.09033
70	16767.33017	12050.70144	17419.030856	8779.744015	-18689.00375	17419.03086
71	14788.67638	12326.81423	18936.044130	10494.32505	-16140.76949	18936.04413
72	12675.37269	12722.79848	20142.970699	12037.08693	-13328.28617	20142.9707
73	10468.97898	13248.42751	21019.408210	13382.3881	-10297.18607	21019.40821
74	8212.983389	13906.10917	21550.03545	14507.55962	-7096.737429	21550.03545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 2 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 2 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
75	5951.391935	14690.66511	21724.886930	15393.26078	-3779.18375	21724.88693
76	3727.291809	15589.38389	21539.573412	16023.80632	-399.030354	21539.57341
77	1581.434701	16582.35211	20995.442180	16387.46047	2987.720931	20995.44218
78	-449.112396	17643.0595	20099.670101	16476.69203	6324.386948	20099.6701
79	-2332.201458	18739.26525	18865.281272	16288.38349	9554.464348	18865.28127
80	-4041.676714	19834.10367	17311.080649	15823.98643	12622.53035	17311.08065
81	-5558.243782	20887.39801	15461.494985	15089.61448	15475.17382	15461.49499
82	-6870.096216	21857.14159	13346.312993	14096.06487	18061.94385	13346.31299
83	-7973.267604	22701.09681	11000.318081	12858.76004	20336.29964	11000.31808
84	-8871.685978	23378.45453	8462.809239	11397.60121	22256.5414	8462.809239
85	-9576.917817	23851.48972	5777.008867	9736.727884	23786.69895	5777.008867
86	-10107.6012	24087.14557	2989.360309	7904.179193	24897.35196	2989.360309
87	-10488.58122	24058.47641	148.722614	5931.456589	25566.35378	148.722614
88	-10749.77504	23745.88237	-2694.524751	3852.990786	25779.43085	-2694.524751
89	-10924.80816	23138.07415	-5489.449214	1705.520439	25530.63079	-5489.449214
90	-11049.47637	22232.71635	-8185.581346	-472.6056141	24822.59551	-8185.581346
91	-11160.09913	21036.71117	-10733.952670	-2642.186315	23666.64068	-10733.95267
92	-11291.83795	19566.10073	-13088.124534	-4763.966495	22082.62949	-13088.12453
93	-11477.0572	17845.58515	-15205.176002	-6799.452076	20098.63683	-15205.176
94	-11743.80489	15907.67316	-17046.618916	-8711.717495	17750.40836	-17046.61892
95	-12114.48559	13791.50138	-18579.210458	-10466.18007	15080.62817	-18579.21046
96	-12604.78843	11541.37564	-19775.63741	-12031.31708	12138.01682	-19775.63741

ตารางที่ 5.4 แสดงข้อมูลของดาวเทียม หมายเลข PRN 03 วันที่ 1 ตุลาคม 1997 ก่อนและหลังทำการปรับปรุงข้อมูล

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 3 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 3 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
1	9407.939912	-20913.52887	-13530.724391	9407.939912	-20913.52887	-13530.72439
2	10591.85699	-21706.88503	-11208.052254	11992.63421	-20965.51972	-11208.05225
3	11544.94507	-22362.83624	-8693.928860	14372.51715	-20659.45188	-8693.92886

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และข้อมูลในเอกสารนี้เป็นข้อมูลที่ไม่เปิดเผยต่อสาธารณะ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 3 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 3 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
4	12275.55871	-22843.15702	-6031.286165	16506.92018	-20000.51876	-6031.286165
5	12799.64749	-23113.41852	-3265.589373	18359.32602	-18999.90104	-3265.589373
6	13139.96025	-23144.37651	-444.078234	19897.98375	-17674.58521	-444.078234
7	13324.99475	-22913.17545	2385.022480	21096.44754	-16047.08682	2385.02248
8	13387.73225	-22404.32251	5173.311237	21934.03037	-14145.08231	5173.311237
9	13364.20528	-21610.3937	7873.024187	22396.16468	-12000.95439	7873.024187
10	13291.95303	-20532.44415	10437.842888	22474.66366	-9651.25751	10437.84289
11	13208.42326	-19180.1054	12823.682300	22167.87782	-7136.111059	12823.6823
12	13149.38214	-17571.36434	14989.446042	21480.74318	-4498.529532	14989.44604
13	13147.39344	-15732.03032	16897.736116	20424.71903	-1783.699712	16897.73612
14	13230.42619	-13694.90878	18515.504761	19017.61488	961.7836635	18515.50476
15	13420.64566	-11498.71129	19814.636729	17283.30813	3690.71151	19814.63673
16	13733.43558	-9186.741818	20772.451148	15251.35567	6356.070185	20772.45115
17	14176.69109	-6805.408291	21372.113240	12956.50474	8911.853744	21372.11324
18	14750.41192	-4402.615442	21602.947471	10438.11012	11313.86457	21602.94747
19	15446.61324	-2026.100057	21460.645256	7739.466579	13520.48812	21460.64526
20	16249.55993	278.227571	20947.362063	4907.067434	15493.42756	20947.36206
21	17136.31676	2467.871904	20071.700693	1989.801488	17198.38463	20071.70069
22	18077.59464	4505.20839	18848.57959	-961.8976767	18605.67342	18848.57959
23	19038.86104	6358.750677	17298.987267	-3896.934955	19690.75514	17298.98727
24	19981.67187	8004.179005	15449.626086	-6764.453379	20434.68284	15449.62609
25	20865.17282	9425.089202	13332.451196	-9514.733381	20824.44698	13332.4512
26	21647.71113	10613.43273	10984.112376	-12100.07456	20853.21431	10984.11238
27	22288.49386	11569.63054	8445.308927	-14475.64297	20520.45491	8445.308927
28	22749.22666	12302.35657	5760.069604	-16600.26734	19831.95439	5760.069604
29	22995.66755	12828.00018	2974.971325	-18437.16889	18799.71059	2974.971325
30	22999.03364	13169.82965	138.311761	-19954.61033	17441.71689	138.311761
31	22737.20458	13356.89122	-2700.748070	-21126.4518	15781.63646	-2700.74807
32	22195.67501	13422.68843	-5493.054528	-21932.60331	13848.37412	-5493.054528
33	21368.21832	13403.69564	-8190.328549	-22359.36563	11675.55478	-8190.328549
34	20257.23594	13337.76561	-10746.012810	-22399.65404	9300.919212	-10746.01281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 3 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 3 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
35	18873.77919	13262.49537	-13116.083034	-22053.10212	6765.649355	-13116.08303
36	17237.24363	13213.61527	-15259.808725	-21326.04485	4113.636759	-15259.80873
37	15374.74912	13223.46515	-17140.450036	-20231.38333	1390.708369	-17140.45004
38	13320.23084	13319.61715	-18725.879083	-18788.33517	-1356.175615	-18725.87908
39	11113.27753	13523.69854	-19989.115894	-17022.077	-4079.737041	-19989.11589
40	8797.76296	13850.45953	-20908.771031	-14963.2872	-6733.193778	-20908.77103
41	6420.323641	14307.12098	-21469.38892	-12647.59831	-9271.05838	-21469.38892
42	4028.741586	14893.02603	-21661.687821	-10114.9701	-11649.90828	-21661.68782
43	1670.293539	15599.60739	-21482.694097	-7408.994839	-13829.11518	-21482.6941
44	-609.871028	16410.67042	-20935.770431	-4576.147081	-15771.52257	-20935.77043
45	-2770.262564	17302.97977	-20030.538917	-1664.990945	-17444.06113	-20030.53892
46	-4774.438015	18247.12626	-18782.701695	1274.642299	-18818.29329	-18782.7017
47	-6592.19041	19208.64036	-17213.763030	4192.493107	-19870.87921	-17213.76303
48	-8200.498151	20149.30943	-15350.658031	7038.71598	-20583.95778	-15350.65803
49	-9584.199789	21028.64872	-13225.294343	9764.712343	-20945.43734	-13225.29434
50	-10736.3703	21805.4704	-10874.014216	12323.94134	-20949.19226	-10874.01422
51	-11658.38589	22439.49149	-8336.985362	14672.69631	-20595.16261	-8336.985362
52	-12359.67599	22892.9199	-5657.529887	16770.83518	-19889.35543	-5657.529887
53	-12857.17225	23131.95891	-2881.401491	18582.45355	-18843.74755	-2881.401491
54	-13174.47615	23128.17292	-56.021846	20076.4899	-17476.09103	-56.021846
55	-13340.77654	22859.66259	2770.312238	21227.25338	-15809.62385	2770.312238
56	-13389.55855	22312.00426	5549.238683	22014.86527	-13872.6897	5549.238683
57	-13357.15269	21478.91697	8233.144438	22425.60664	-11698.27204	8233.144438
58	-13281.1793	20362.63072	10775.971287	22452.16574	-9323.449292	10775.97129
59	-13198.94805	18973.94021	13134.000131	22093.78008	-6788.778848	13134.00013
60	-13145.87363	17331.9405	15266.600756	21356.26984	-4137.619303	15266.60076
61	-13153.96918	15463.4526	17136.934350	20251.96066	-1415.401224	17136.93435
62	-13250.47594	13402.1591	18712.596487	18799.49579	1331.142047	18712.59649
63	-13456.68323	11187.48097	19966.188996	17023.53915	4054.771133	19966.189
64	-13786.98561	8863.236947	20875.810001	14954.37311	6708.551721	20875.81
65	-14248.2155	6476.13538	21425.452570	12627.39631	9246.666256	21425.45257

เอกสารนี้เป็นเอกสารราชการ... ห้ามเผยแพร่... หากมีข้อผิดพลาด... กรุณาแจ้ง...

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 3 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 3 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
66	-14839.27896	4074.155589	21605.303761	10082.52886	11625.21207	21605.30376
67	-15551.11084	1704.880187	21411.937394	7363.534312	13802.97168	21411.93739
68	-16366.95289	-586.157552	20848.395670	4517.269194	15742.1411	20848.39567
69	-17262.94593	-2757.047389	19924.156680	1592.872842	17409.00252	19924.15668
70	-18209.01434	-4770.935658	18654.986973	-1359.088479	18774.52819	18654.98697
71	-19170.0094	-6597.262496	17062.680534	-4287.50784	19814.90371	17062.68053
72	-20107.06756	-8212.754115	15174.687852	-7141.638056	20511.95998	15174.68785
73	-20979.13045	-9602.130969	13023.641012	-9871.9894	20853.50471	13023.64101
74	-21744.56669	-10758.50388	10646.783039	-12431.20751	20833.54665	10646.78304
75	-22362.83136	-11683.4426	8085.311819	-14774.9145	20452.40716	8085.311819
76	-22796.09686	-12386.71462	5383.650861	-16862.49699	19716.71692	5383.650861
77	-23010.79004	-12885.70509	2588.660852	-18657.82557	18639.29717	2588.660852
78	-22978.97424	-13204.54198	-251.192752	-20129.89187	17238.92802	-251.192752
79	-22679.52097	-13372.9622	-3086.699875	-21253.35095	15540.00845	-3086.699875
80	-22099.02485	-13424.96506	-5868.776981	-22008.95904	13572.11509	-5868.776981
81	-21232.42562	-13397.30768	-8549.332436	-22383.89892	11369.46875	-8549.332436
82	-20083.31315	-13327.90315	-11082.109636	-22371.98759	8970.319985	-11082.10964
83	-18663.90429	-13254.18578	-13423.492202	-21973.76382	6416.265855	-13423.4922
84	-16994.69321	-13211.50842	-15533.256720	-21196.45517	3751.511716	-15533.25672
85	-15103.7903	-13231.63535	-17375.259913	-20053.82714	1022.09229	-17375.25991
86	-13025.97624	-13341.38949	-18918.048845	-18565.91866	-1724.933222	-18918.04885
87	-10801.50925	-13561.50626	-20135.384544	-16758.67088	-4442.297232	-20135.38454
88	-8474.732226	-13905.73792	-21006.671395	-14663.45715	-7083.33662	-21006.6714
89	-6092.534004	-14380.24162	-21517.286571	-12316.52438	-9602.788496	-21517.28657
90	-3702.723901	-14983.27379	-21658.805662	-9758.356321	-11957.55576	-21658.80566
91	-1352.381232	-15705.20085	-21429.122509	-7032.970782	-14107.43034	-21429.12251
92	913.75796	-16528.82477	-20832.46294	-4187.163124	-16015.76308	-20832.46294
93	3054.81683	-17430.00965	-19879.293677	-1269.708834	-17650.07031	-19879.29368
94	5035.140213	-18378.58451	-18586.129277	1669.461728	-18982.5684	-18586.12928
95	6825.45373	-19339.48728	-16975.241054	4580.103345	-19990.62881	-16975.24105
96	8403.777344	-20274.10621	-15074.273496	7412.497635	-20657.14731	-15074.2735

ตารางที่ 5.5 แสดงข้อมูลของดาวเทียม หมายเลข PRN 04 วันที่ 1 ตุลาคม 1997 ก่อนและหลังทำการ
ปรับปรุงข้อมูล

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 4 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 4 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
1	-15018.05535	8914.785423	20156.823391	15018.05535	8914.785423	20156.82339
2	-17072.71362	8119.179677	18816.565942	-17568.43078	6982.039031	18816.56594
3	-19004.53881	7482.390422	17156.601962	-19820.3686	4930.684567	17156.60196
4	-20768.84225	6993.436591	15205.153061	-21735.63252	2795.575567	15205.15306
5	-22324.92748	6633.81921	12995.332917	-23281.62811	612.9737675	12995.33292
6	-23637.5228	6378.380316	10564.609619	-24431.93985	-1580.042541	10564.60962
7	-24678.02211	6196.42008	7954.199022	-25166.77372	-3746.184389	7954.199022
8	-25425.48818	6053.030796	5208.397	-25473.29839	-5848.563942	5208.396969
9	-25867.38061	5910.598437	2373.859105	-25345.87904	-7851.303656	2373.859105
10	-25999.98058	5730.415995	-501.162064	-24786.19886	-9720.133937	-501.162064
11	-25828.49505	5474.348307	-3367.612359	-23803.2644	-11422.97028	-3367.612359
12	-25366.83462	5106.485507	-6176.451943	-22413.29245	-12930.46072	-6176.451943
13	-24637.07137	4594.721936	-8879.479939	-20639.47767	-14216.49453	-8879.479939
14	-23668.59475	3912.199318	-11430.154709	-18511.64186	-15258.66299	-11430.15471
15	-22496.99542	3038.557261	-13784.396288	-16065.76782	-16038.66384	-13784.39629
16	-21162.71742	1960.940668	-15901.357080	-13343.4227	-16542.64089	-15901.35708
17	-19709.52853	674.722194	-17744.146823	-10391.07801	-16761.45168	-17744.14682
18	-18182.86661	-816.091684	-19280.497940	-7259.335623	-16690.85648	-19280.49794
19	-16628.12505	-2498.790561	-20483.357907	-4002.07126	-16331.62339	-20483.35791
20	-15088.94379	-4352.232577	-21331.396027	-675.5092876	-15689.54557	-21331.39603
21	-13605.57327	-6347.452552	-21809.413207	2662.755635	-14775.36836	-21809.41321
22	-12213.3762	-8448.585339	-21908.644842	5954.772574	-13604.62553	-21908.64484
23	-10941.52757	-10614.07092	-21626.948785	9143.265185	-12197.38615	-21626.94879
24	-9811.965766	-12798.09592	-20968.872602	12172.65955	-10577.91524	-20968.8726
25	-8838.637867	-14952.21597	-19945.596770	14990.08854	-8774.253655	-19945.59677
26	-8027.070583	-17027.09538	-18574.753193	17546.35215	-6817.724366	-18574.75319
27	-7374.284872	-18974.29512	-16880.121247	19796.81385	-4742.374308	-16880.12125
28	-6869.058176	-20748.03765	-14891.206463	21702.21408	-2584.362695	-14891.20646
29	-6492.523684	-22306.87761	-12642.709792	23229.38347	-381.3079905	-12642.70979
30	-6219.081907	-23615.21122	-10173.898070	24351.84098	1828.393089	-10173.89807

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 4 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 4 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
31	-6017.586763	-24644.56367	-7527.888723	25050.2644	4006.26044	-7527.888723
32	-5852.756922	-25374.6032	-4750.863776	25312.824	6114.424937	-4750.863776
33	-5686.753959	-25793.84198	-1891.229810	25135.37347	8116.307972	-1891.22981
34	-5480.862185	-25899.99728	1001.258411	24521.49553	9977.272469	1001.258411
35	-5197.201332	-25700.00027	3876.392426	23482.4033	11665.23256	3876.392426
36	-4800.402524	-25209.6548	6684.404507	22036.70175	13151.21041	6684.404507
37	-4259.18026	-24452.96232	9376.844412	20210.01668	14409.83027	9376.844412
38	-3547.738151	-23461.14267	11907.42	18034.50113	15419.74157	11907.42194
39	-2646.953741	-22271.39205	14232.800158	15548.23173	16163.9648	14232.80016
40	-1545.297283	-20925.42928	16313.325969	12794.50879	16630.15572	16313.32597
41	-239.45054	-19467.88886	18113.686574	9821.075424	16810.78555	18113.68657
42	1265.396126	-17944.62432	19603.482500	6679.271716	16703.23617	19603.4825
43	2955.577396	-16400.98759	20757.709830	3423.139981	16309.81129	20757.70983
44	4809.313869	-14880.14988	21557.146312	108.4971805	15637.66571	21557.14631
45	6797.384223	-13421.52692	21988.637825	-3208.009787	14698.65608	21988.63783
46	8884.08155	-12059.36649	22045.28	-6469.850937	13509.11744	22045.28337
47	11028.4167	-10821.54939	21726.518218	-9621.547991	12089.57073	21726.51822
48	13185.52291	-9728.646428	21038.096230	-12609.58377	10464.36681	21038.09623
49	15308.20928	-8793.264432	19991.973303	-15383.27376	8661.273518	19991.9733
50	17348.60558	-8019.703384	18606.095142	-17895.58819	6711.011935	18606.09514
51	19259.83825	-7403.935703	16904.093227	-20103.91393	4646.749183	16904.09323
52	20997.67638	-6933.906959	14914.893784	-21970.74631	2503.554637	14914.89378
53	22522.08764	-6590.146057	12672.245293	-23464.30145	317.8272415	12672.24529
54	23798.64757	-6346.661765	10214.170896	-24559.041	-1873.298388	10214.1709
55	24799.7503	-6172.092292	7582.352832	-25236.10124	-4032.559015	7582.352832
56	25505.57606	-6031.065411	4821.456891	-25483.62009	-6123.174623	4821.456891
57	25904.77897	-5885.718829	1978.405745	-25296.95587	-8109.456434	1978.405745
58	25994.86849	-5697.324282	-898.389097	-24678.79317	-9957.402246	-898.389097
59	25782.26889	-5427.95459	-3759.826049	-23639.13222	-11635.27002	-3759.826049
60	25282.05251	-5042.130623	-6556.931408	-22195.15942	-13114.12057	-6556.931408
61	24517.35476	-4508.385153	-9241.684175	-20370.99883	-14368.32028	-9241.684175

เอกสารนี้เป็นเอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

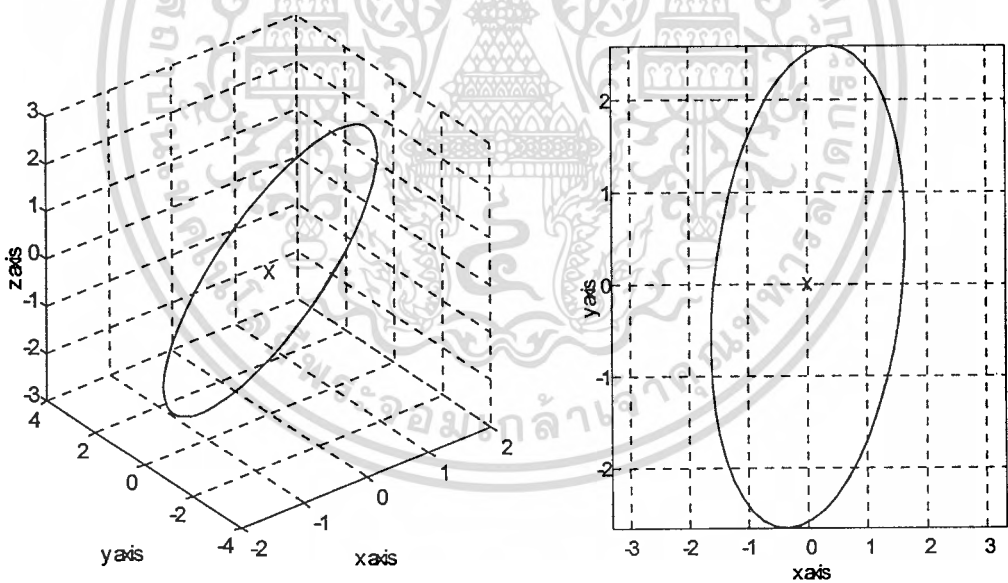
ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 4 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 4 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
62	23518.49063	-3800.682849	-11767.834700	-18197.34535	-15375.99473	-11767.8347
63	22321.80402	-2899.640217	-14091.703592	-15710.98318	-16119.42479	-14091.70359
64	20968.29175	-1793.496157	-16172.946966	-12954.19453	-16585.37704	-16172.94697
65	19502.0533	-478.792574	-17975.27	-9974.066105	-16765.36103	-17975.27401
66	17968.62483	1039.264828	-19467.103093	-6821.703008	-16655.80733	-19467.10309
67	16413.26139	2746.783424	-20622.143008	-3551.361941	-16258.16093	-20622.14301
68	14879.2339	4621.502984	-21419.887054	-219.5176365	-15578.88646	-21419.88705
69	13406.20823	6633.448659	-21846.008581	3116.121513	-14629.383	-21846.00858
70	12028.77069	8745.895326	-21892.648434	6397.631008	-13425.80823	-21892.64843
71	10775.15956	10916.60814	-21558.586536	9567.901975	-11988.81348	-21558.58654
72	9666.254304	13099.31242	-20849.292141	12571.66708	-10343.19317	-20849.29214
73	8714.863997	15245.33606	-19776.849784	15356.50014	-8517.454403	-19776.84978
74	7925.344704	17305.36006	-18359.760688	17873.76895	-6543.314072	-18359.76069
75	7293.561954	19231.20761	-16622.622241	20079.52147	-4455.13296	-16622.62224
76	6807.200241	20977.60014	-14595.691043	21935.2866	-2289.297874	-14595.69104
77	6446.406974	22503.80978	-12314.337852	23408.7726	-83.56418143	-12314.33785
78	6184.744312	23775.14167	-9818.405404	24474.44849	2123.627715	-9818.405404
79	5990.409363	24764.18662	-7151.482425	25113.99637	4293.847875	-7151.482425
80	5827.672138	25451.79429	-4360.109180	25316.62592	6389.369829	-4360.10918
81	5658.471672	25827.72867	-1492.931347	25079.24555	8373.846927	-1492.931347
82	5444.104549	25890.98125	1400.179945	24406.48821	10212.95834	1400.179945
83	5146.936686	25649.73135	4269.023666	23310.59336	11875.01212	4269.023666
84	4732.068975	25120.95766	7063.961912	21811.14985	13331.49401	7063.961912
85	4168.890015	24329.71938	9736.792919	19934.70747	14557.55224	9736.792919
86	3432.454587	23308.13822	12241.587682	17714.26759	15532.41049	12241.58768
87	2504.634401	22094.12395	14535.475319	15188.66542	16239.70287	14535.47532
88	1374.997435	20729.89601	16579.364059	12401.85814	16667.72694	16579.36406
89	41.383568	19260.36036	18338.586725	9402.134147	16809.61235	18338.58673
90	-1489.843529	17731.405523	19783.461621	6241.259459	16663.404691	19783.46162
91	-3203.875524	16188.18375	20889.761779	2973.577502	16232.06544	20889.76178
92	-5077.864255	14673.44257	21639.087462	-344.9217783	15523.39045	21639.08746

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

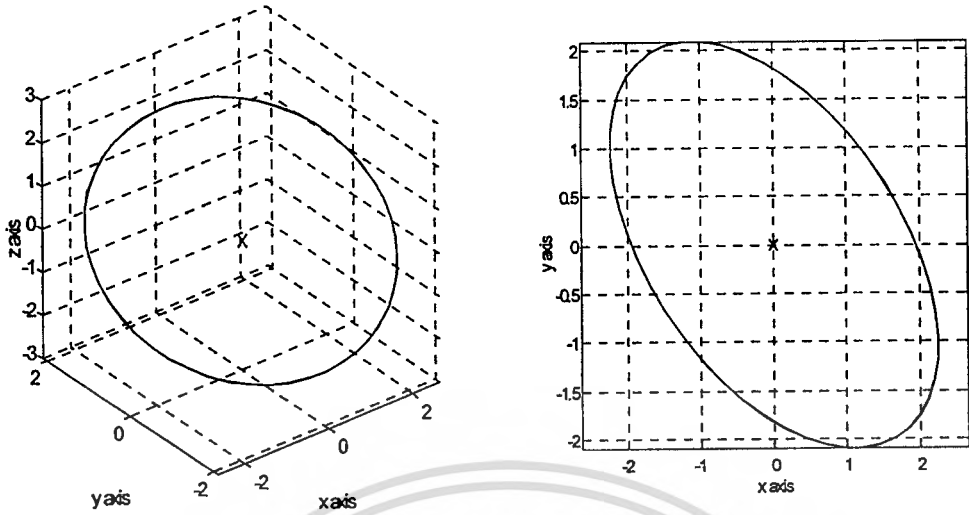
อันดับของ ข้อมูล	ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 4 ก่อนทำการปรับปรุงข้อมูล			ค่าพิกัดของดาวเทียม SV 4 หลังทำการปรับปรุงข้อมูล		
	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z	พิกัดในแนวแกน X	พิกัดในแนวแกน Y	พิกัดในแนวแกน Z
93	-7081.63479	13225.96895	22019.138686	-3657.547837	14549.85051	22019.13869
94	-9178.678137	11879.20331	22023.886115	-6907.855609	13328.35828	22023.88612
95	-11327.38515	10660.07325	21653.640193	-10040.57765	11879.96701	21653.64019
96	-13482.47486	9588.088556	20915.019618	-13002.52913	10229.50666	20915.01962

ภาพที่ 5.5 ถึง 5.15 แสดงการวาดแนววงโคจรของดาวเทียมหมายเลขต่างๆ ทั้งในแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ

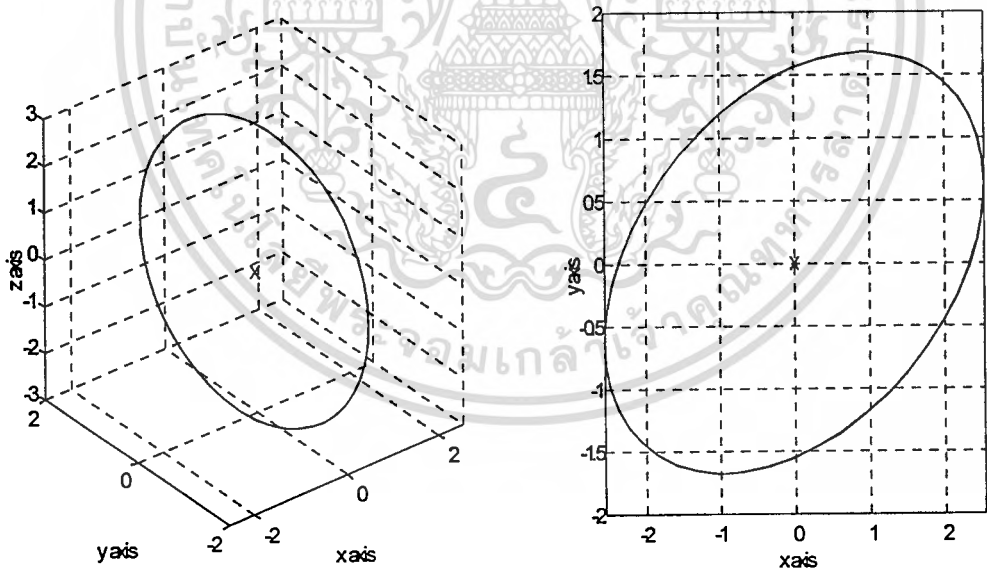


ภาพที่ 5.5 ลักษณะวงโคจรของ SV2 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

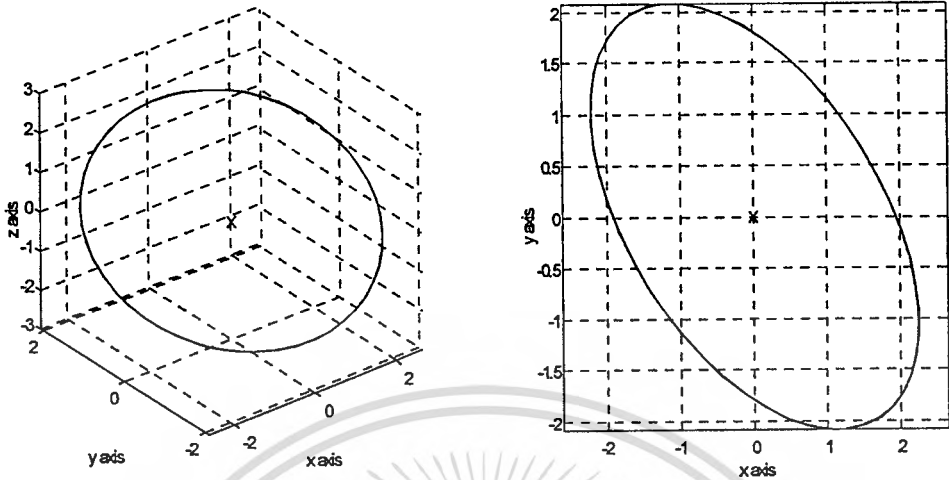


ภาพที่ 5.6 ลักษณะวงโคจรของ SV3 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

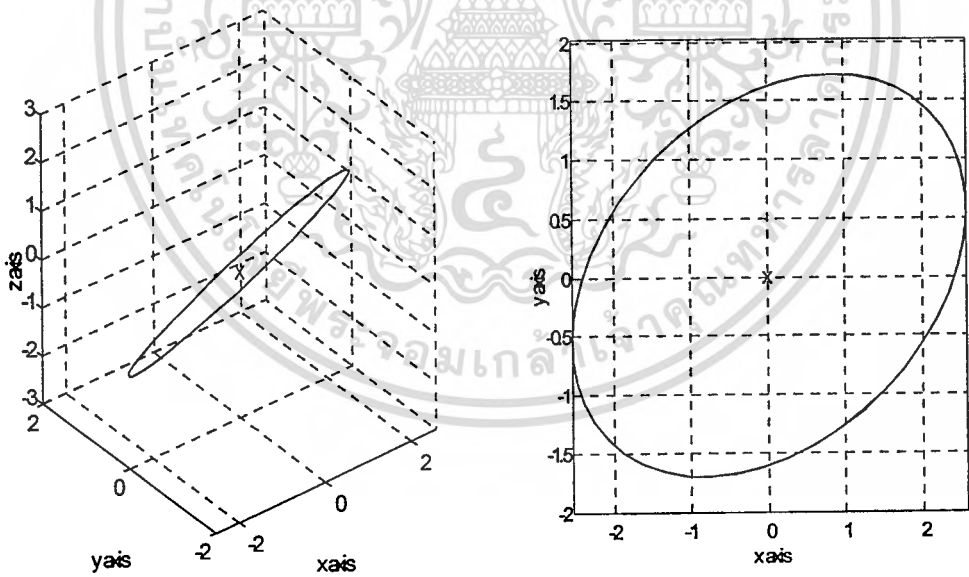


ภาพที่ 5.7 ลักษณะวงโคจรของ SV4 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

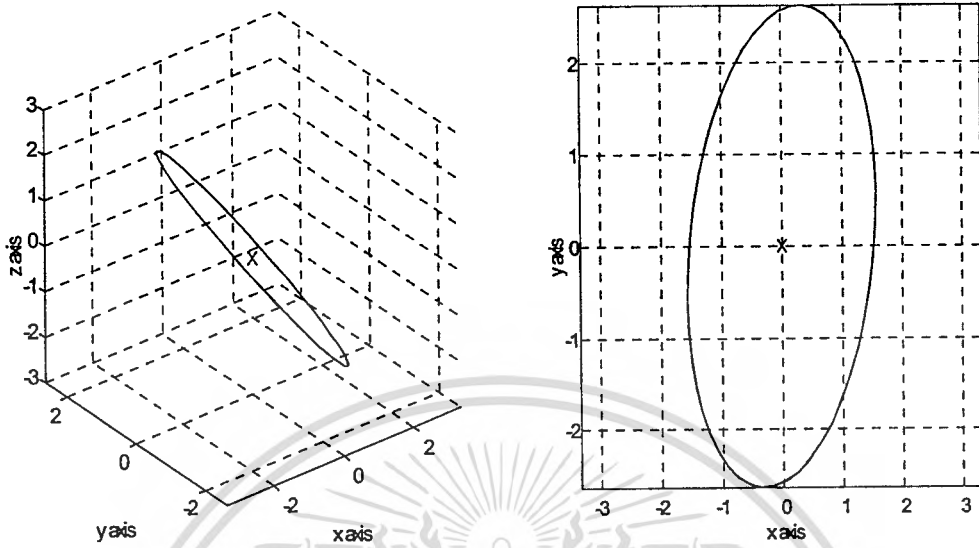


ภาพที่ 5.8 ลักษณะวงโคจรของ SV7 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

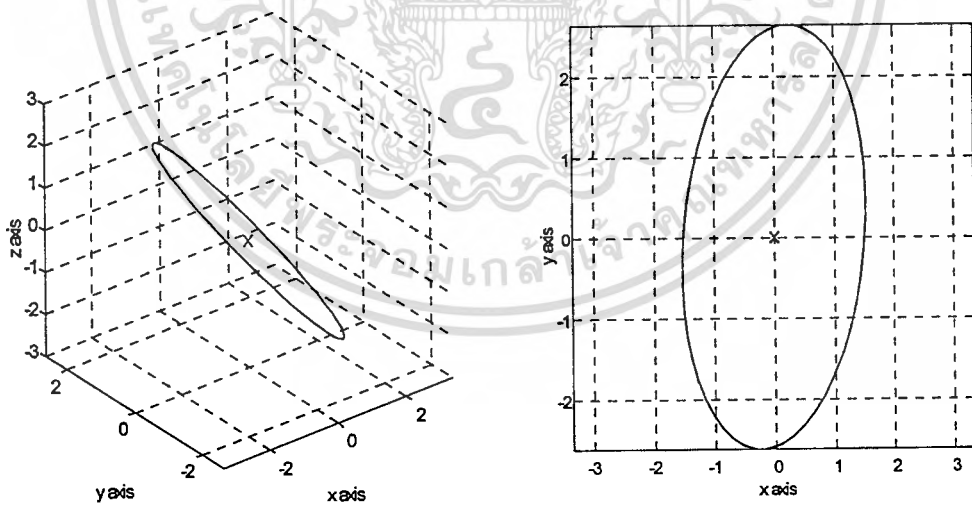


ภาพที่ 5.9 ลักษณะวงโคจรของ SV9 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

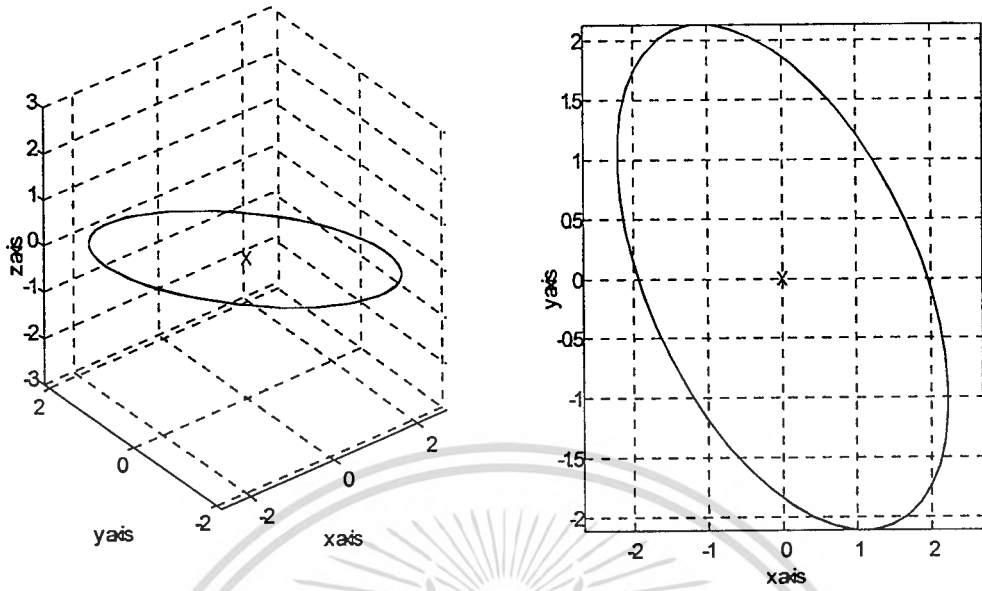


ภาพที่ 5.10 ลักษณะวงโคจรของ SV10 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

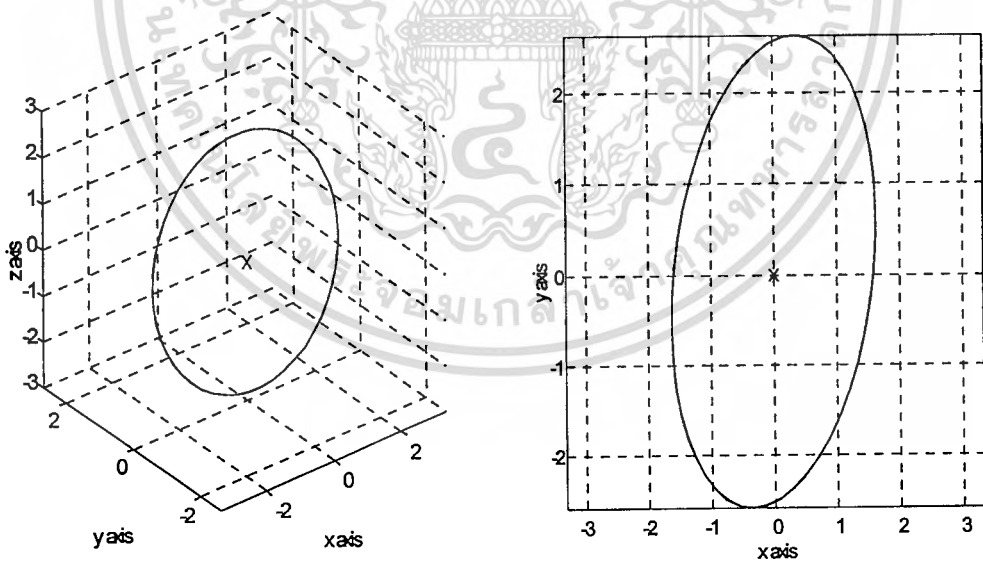


ภาพที่ 5.11 ลักษณะวงโคจรของ SV14 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

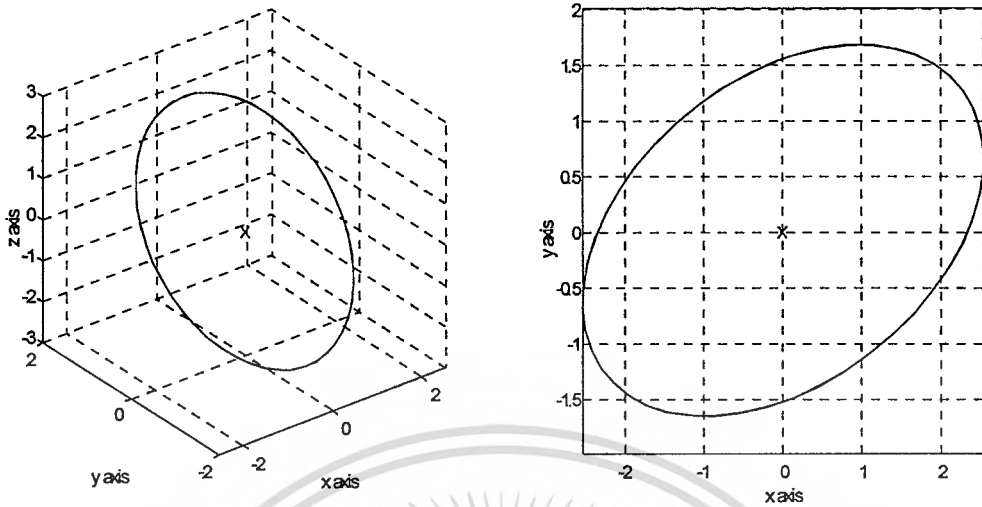


ภาพที่ 5.12 ลักษณะวงโคจรของ SV18 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

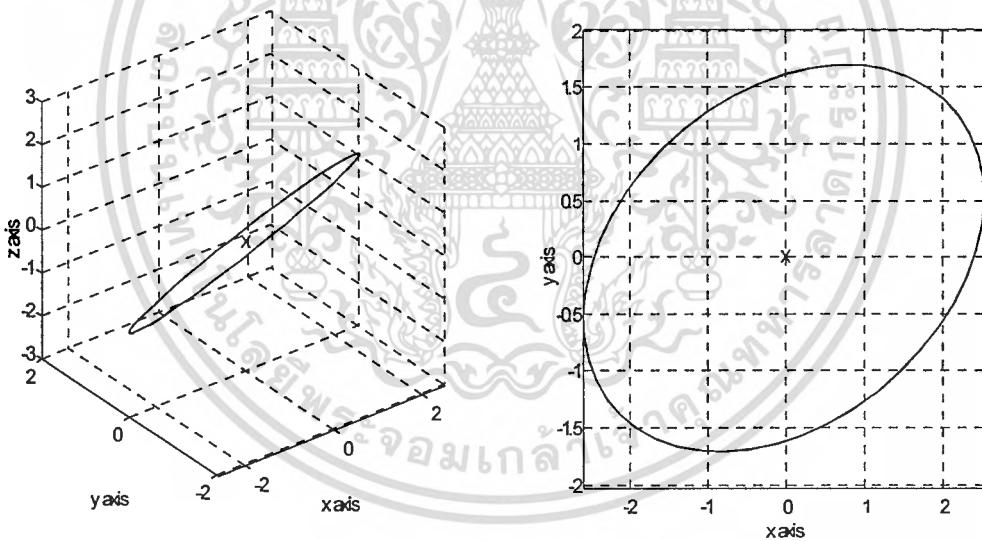


ภาพที่ 5.13 ลักษณะวงโคจรของ SV22 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.14 ลักษณะวงโคจรของ SV24 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

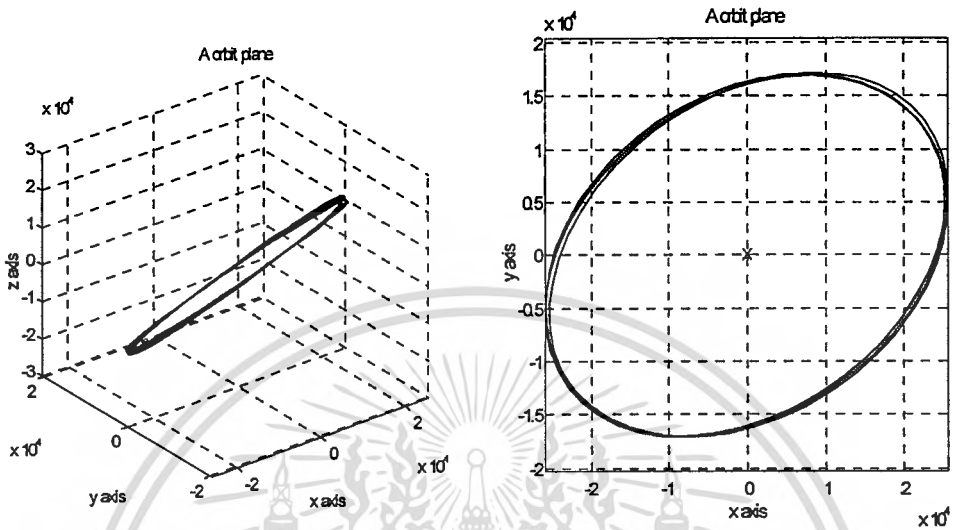


ภาพที่ 5.15 ลักษณะวงโคจรของ SV27 แบบ 3 มิติ และ 2 มิติที่ได้จากข้อมูลหลังทำการปรับปรุง

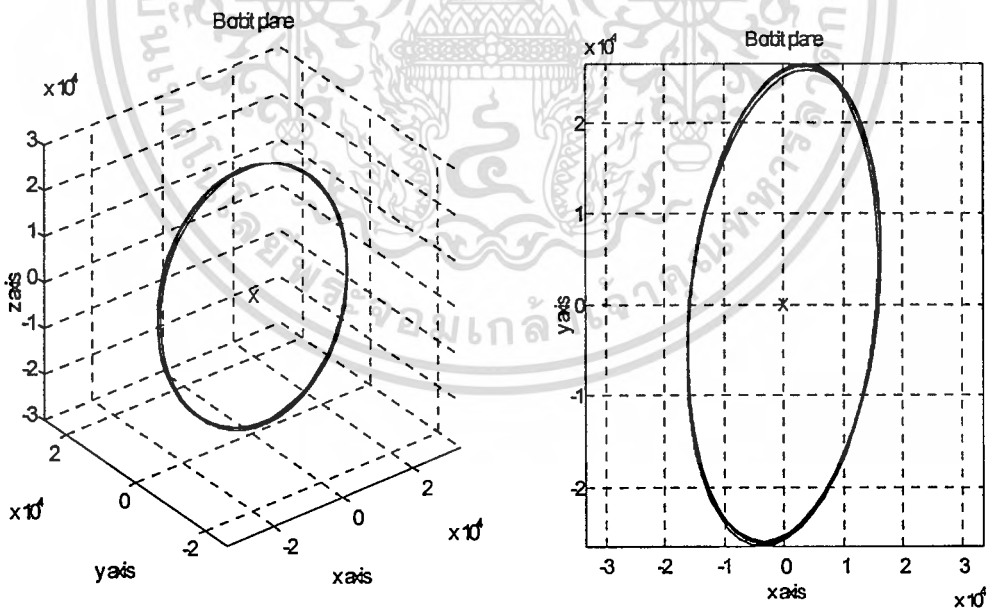
ภาพที่ 5.16 ถึง 5.21 แสดงเนาววงโคจรของดาวเทียมที่อยู่ในเนาวระนาบเดียวกัน ทั้งแบบ 3 มิติ และ 2 มิติ เพื่อแสดงให้เห็นว่าดาวเทียมที่อยู่ในระนาบวงโคจรเดียวกัน ต่างก็มีวงโคจรที่ไม่สมมาตรกัน โดยที่ ระนาบ A ประกอบด้วย SV หมายเลข PRN 19,25,27,09 ระนาบ B ประกอบด้วย SV หมายเลข PRN 02,22,05,30 ระนาบ C ประกอบด้วย SV หมายเลข PRN 31,07,06,03 ระนาบ D ประกอบด้วย SV หมายเลข PRN 17,15,24,04 ระนาบ E ประกอบด้วย SV หมายเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRN 14,16,21,23,10 และระนาบ F ประกอบด้วย SV หมายเลข PRN 18,26,01,29,13 ทั้งนี้ หมายเลข PRN อ้างอิงจากข้อมูลในภาคผนวก

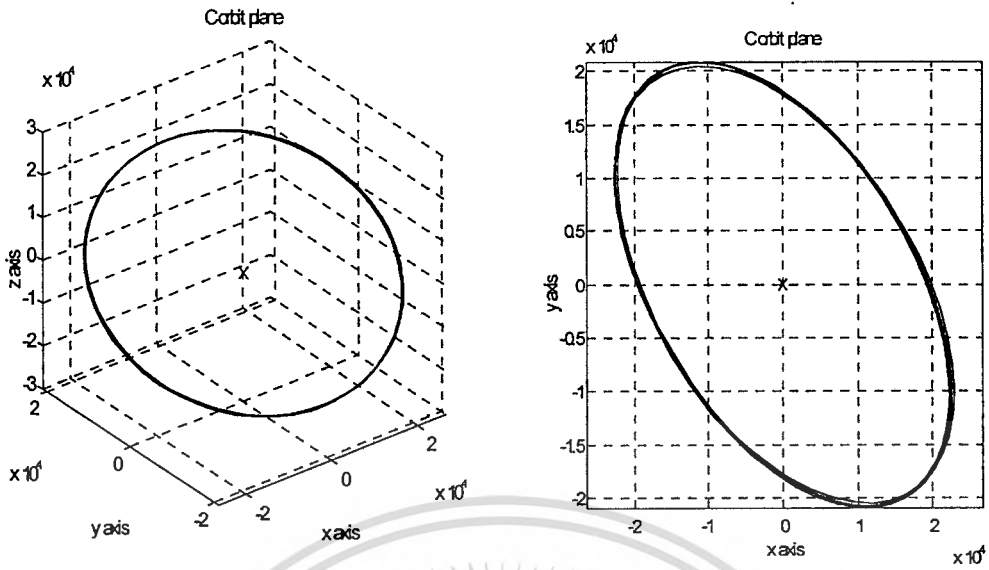


ภาพที่ 5.16 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ A

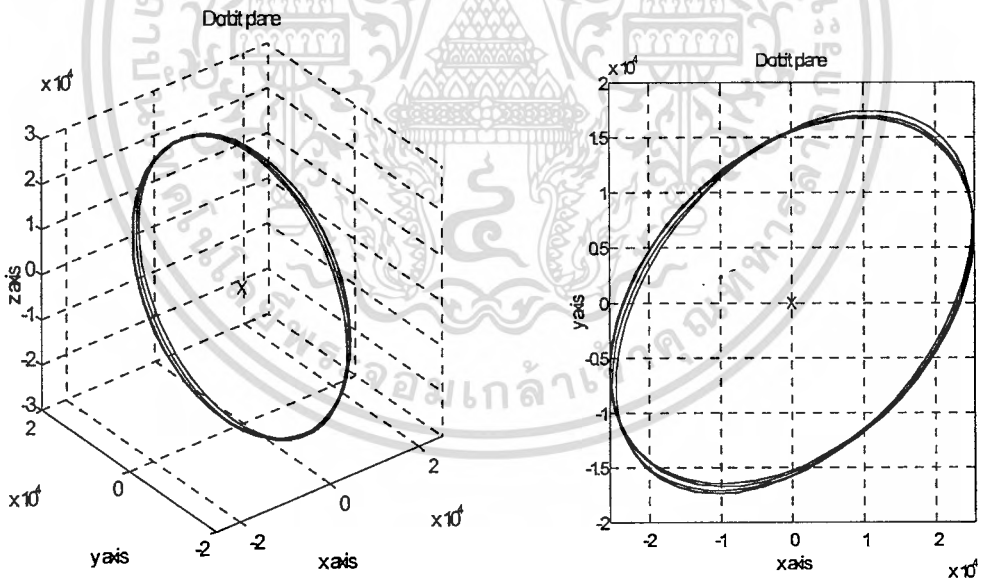


ภาพที่ 5.17 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่ระนาบ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

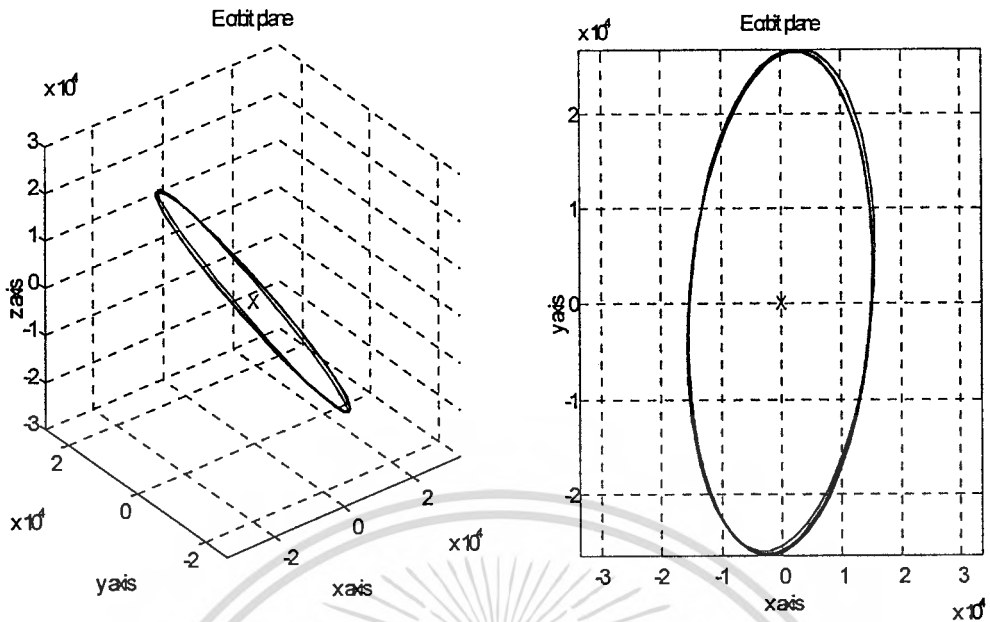


ภาพที่ 5.18 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ C

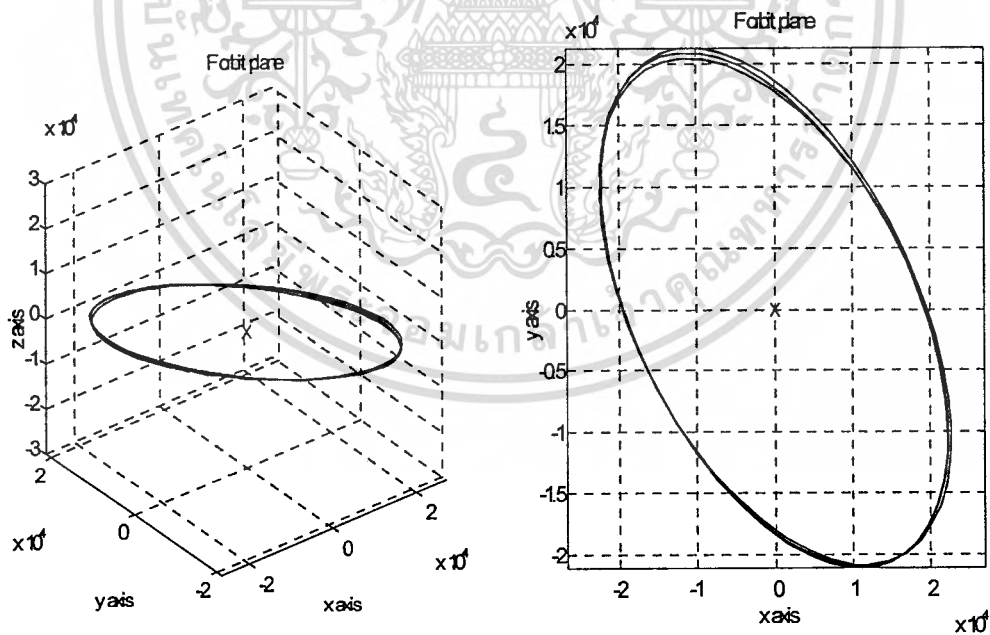


ภาพที่ 5.19 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

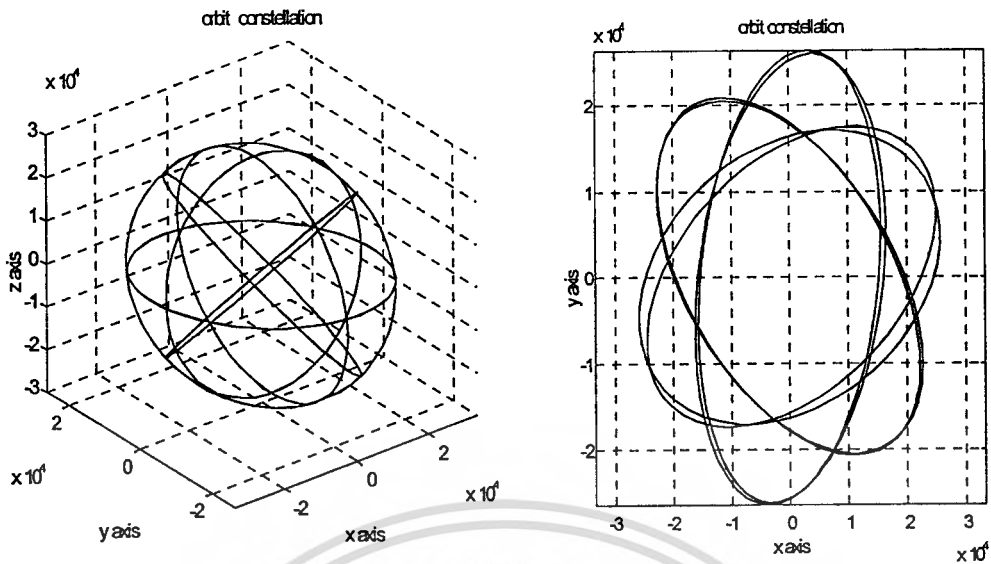


ภาพที่ 5.20 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ E



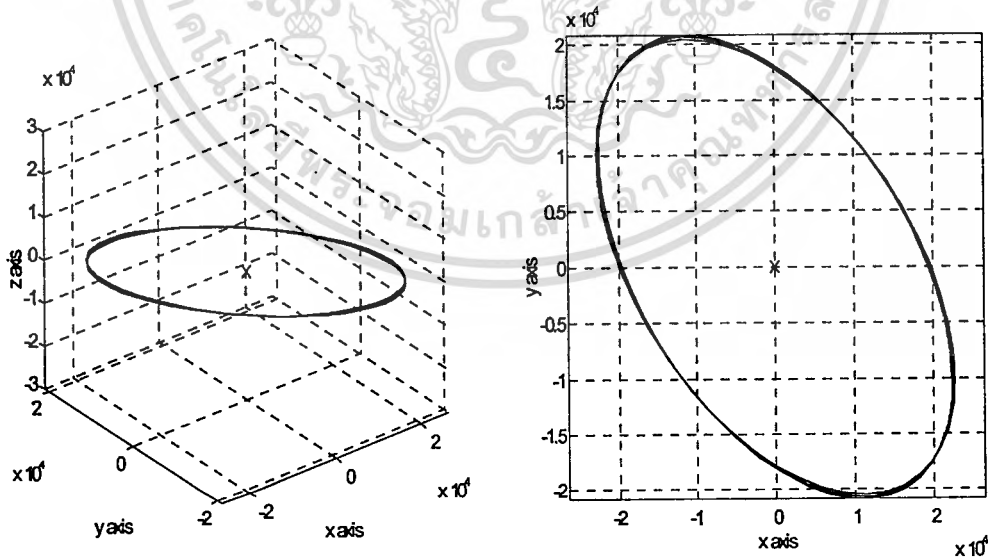
ภาพที่ 5.21 วงโคจรของดาวเทียมทั้งหมดที่อยู่ในระนาบ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.22 ระนาบวงโคจรทั้งหมดที่ได้จากข้อมูล

จากทั้งหมดที่ได้แสดงเป็นข้อมูลที่ได้ในหนึ่งวันเท่านั้น และเป็นที่ยอมรับกันว่า โลกหมุนโดยใช้เวลาประมาณ 23.9345 ชั่วโมง ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้ซึ่งเทียบเวลาเป็น 24 ชั่วโมง ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อน เป็นสาเหตุให้แนววงโคจรที่ได้ในแต่ละวันไม่สมมาตรกัน ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 5.23 ซึ่งเป็นข้อมูลของดาวเทียมหมายเลข PRN 01 วันที่ 1, 2 และ 3 ตุลาคม 1997



ภาพที่ 5.23 การเบี่ยงเบนวงโคจรจากข้อมูลในแต่ละวัน

จากภาพที่ 5.23 เห็นได้ว่าแนววงโคจรค่อยๆเบี่ยงเบนออกไป ทำให้มีผลต่อการสร้าง ฟังก์ชันอธิบายวงโคจร ที่แต่ละวันจะแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามเรายังสามารถปรับปรุงข้อมูลได้อีก โดยต้องทราบค่าเวลาที่โลกใช้ในการหมุนรอบตัวเองที่เที่ยงตรง ก็จะสามารถคำนวณได้ว่าข้อมูลค่าตำแหน่งในแต่ละวันมีมุมต่างกันเท่าใด และทำการปรับปรุงข้อมูล เพื่อสร้างฟังก์ชันล่วงหน้าได้

5.3 การสร้างฟังก์ชันอธิบายวงโคจร

5.3.1 การสร้างฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square)

ในการประมาณค่าฟังก์ชัน จากกลุ่มข้อมูลพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมหลังจากการปรับปรุงข้อมูล ซึ่งมีทั้งหมด 96 จุดข้อมูลใน 1 วัน จะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยสร้างเป็นพหุนามของฟังก์ชันสองตัวแปร โดยประมาณค่าพิกัดแนวแกน z ขึ้นจากข้อมูลพิกัดแกน x และ y ดังสมการ

$$z(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + \dots + a_jy^n$$

หลักการของการประมาณค่าวิธีนี้คือ เลือกค่าสัมประสิทธิ์ของสมการดังกล่าวแล้วทำให้ผลบวกของค่าเบี่ยงเบนยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ a_0-a_j คำนวณได้จากโปรแกรม Leastsq.c จากภาคผนวก

5.3.2 เปรียบเทียบความเที่ยงตรงของการประมาณฟังก์ชัน

จากการทดลอง โดยการใช้สมการพหุนามอันดับต่างๆ ซึ่งกำหนดให้ฟังก์ชันมีระดับความเที่ยงตรงอยู่ที่ผิดพลาดไม่เกิน 10 เมตร พบว่าต้องใช้สมการพหุนามอันดับที่ 40 จากค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้ นำมาคำนวณกลับ โดยแทนค่าตัวแปร x และ y ลงในฟังก์ชันที่ประมาณได้ ตรวจสอบค่า z ที่คำนวณขึ้นจากการประมาณค่าเทียบกับค่าจริงจากข้อมูล ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม

PRN 01 วันที่ 1 ตุลาคม 1997

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
1	20859.05828	-16426.37888	-403.972616	-403.9764281	3.812051516
2	21877.46983	-14672.42351	-3239.027736	-3239.027809	0.072726898
3	22518.56433	-12665.42287	-6018.197582	-6018.19723	-0.352256446
4	22770.73379	-10439.68129	-8693.393985	-8693.394437	0.452276994
5	22629.0917	-8033.396624	-11218.20129	-11218.20078	-0.504545374
6	22095.59455	-5488.009583	-13548.70117	-13548.70156	0.39468955

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมการขนส่งทางอากาศ มีลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
7	21179.04115	-2847.487982	-15644.26066	-15644.26089	0.225916238
8	19894.94709	-157.5583735	-17468.26746	-17468.26597	-1.483939019
9	18265.29517	2535.100794	-18988.79747	-18988.79963	2.163844362
10	16318.16468	5183.689234	-20179.20059	-20179.20133	0.741889528
11	14087.24559	7742.12196	-21018.59203	-21018.58391	-8.115052935
12	11611.24615	10165.85691	-21492.23873	-21492.24555	6.829649721
13	8933.205121	12412.69652	-21591.83225	-21591.82463	-7.611181971
14	6099.721737	14443.547	-21315.64231	-21315.6427	0.383758114
15	3160.118895	16223.12019	-20668.54759	-20668.54936	1.766909649
16	165.5561356	17720.56379	-19661.94314	-19661.9422	-0.942443268
17	-2831.88968	18910.00775	-18313.52674	-18313.52675	0.006307604
18	-5780.15757	19771.01627	-16646.96892	-16646.96901	0.084430388
19	-8628.130989	20288.93721	-14691.47411	-14691.47421	0.097218067
20	-11326.54353	20455.14306	-12481.24249	-12481.24235	-0.142624031
21	-13828.84444	20267.16001	-10054.84427	-10054.84437	0.097563353
22	-16092.00782	19728.68423	-7454.519592	-7454.519519	-0.073006826
23	-18077.27099	18849.48674	-4725.418649	-4725.418769	0.119995171
24	-19750.7894	17645.21076	-1914.797243	-1914.796895	-0.347789254
25	-21084.19769	16137.0673	928.816387	928.8172187	-0.831724106
26	-22055.06844	14351.43654	3756.467802	3756.467795	0.007360898
27	-22647.26296	12319.38439	6519.620269	6519.620103	0.166377148
28	-22851.17023	10076.10434	9170.98168	9170.981904	-0.224119082
29	-22663.83269	7660.296045	11665.3008	11665.30066	0.134382784
30	-22088.9593	5113.49234	13960.12026	13960.11992	0.331473332
31	-21136.82838	2479.346886	16016.47518	16016.47658	-1.397274102
32	-19824.08415	-197.1055072	17799.52749	17799.5258	1.681102643
33	-18173.43231	-2870.203853	19279.12753	19279.12498	2.544784367
34	-16213.24125	-5494.419641	20430.29599	20430.30721	-11.21819196
35	-13977.05628	-8025.107977	21233.62035	21233.60619	14.15523682
36	-11503.03516	-10419.24048	21675.5613	21675.5476	13.70134685
37	-8833.313639	-12636.10983	21748.66599	21748.66365	2.338536947

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยระบบอัตโนมัติของกองทัพอากาศไทยภายใต้โครงการความร่วมมือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
38	-6013.310608	-14637.99625	21451.6856	21451.68357	2.030728527
39	-3090.982565	-16390.7869	20789.59609	20789.59881	-2.711476363
40	-116.0378059	-17864.53958	19773.52186	19773.5207	1.151395765
41	2860.878896	-19033.98262	18420.56286	18420.56265	0.214336385
42	5789.019885	-19878.94348	16753.52709	16753.52766	-0.567894926
43	8618.374773	-20384.69913	14800.57091	14800.57047	0.442854492
44	11300.50501	-20542.24194	12594.75135	12594.75156	-0.210151072
45	13789.36031	-20348.45564	10173.49539	10173.49544	-0.051662415
46	16042.06405	-19806.19682	7577.992749	7577.992384	0.364559767
47	18019.65467	-18924.27868	4852.52004	4852.520787	-0.747317259
48	19687.76991	-17717.35499	2043.705651	2043.703926	1.724641313
49	21017.26129	-16205.70373	-800.253855	-800.2504979	-3.357104382
50	21984.72648	-14414.91176	-3630.413616	-3630.41389	0.273906769
51	22572.94831	-12375.46353	-6397.923145	-6397.923294	0.148748255
52	22771.23029	-10122.23891	-9054.877226	-9054.876877	-0.349264664
53	22575.62024	-7693.927398	-11555.15964	-11555.16015	0.508759986
54	21989.01528	-5132.367736	-13855.26383	-13855.2633	-0.536152209
55	21021.14404	-2481.823975	-15915.0745	-15915.0745	-0.000353176
56	19688.42411	211.7891774	-17698.59436	-17698.59587	1.517358747
57	18013.6956	2901.717489	-19174.60112	-19174.598	-3.1188373
58	16025.83425	5541.199389	-20317.22081	-20317.2222	1.392507887
59	13759.25055	8084.302974	-21106.40504	-21106.41138	6.339357392
60	11253.2836	10486.75123	-21528.30211	-21528.29578	-6.330190797
61	8551.501271	12706.71892	-21575.51353	-21575.52205	8.518011077
62	5700.920263	14705.58506	-21247.2306	-21247.22858	-2.022598958
63	2751.161418	16448.6259	-20549.24798	-20549.24709	-0.883660775
64	-246.4426451	17905.63448	-19493.85402	-19493.85475	0.734420144
65	-3239.769725	19051.45476	-18099.60061	-18099.60062	0.01222763
66	-6176.841552	19866.42012	-16390.95747	-16390.95733	-0.138912376
67	-9006.750117	20336.68823	-14397.85886	-14397.85883	-0.030077715
68	-11680.55872	20454.46693	-12155.15251	-12155.15262	0.105632064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
69	-14152.16053	20218.12783	-9701.962703	-9701.962618	-0.085340464
70	-16379.07873	19632.20717	-7080.980987	-7080.981055	0.068083796
71	-18323.19404	18707.29579	-4337.699168	-4337.699044	-0.123649158
72	-19951.38721	17459.82201	-1519.599952	-1519.600421	0.468778156
73	-21236.08635	15911.73385	1324.678973	1324.678196	0.776529531
74	-22155.71116	14090.08817	4146.191721	4146.191836	-0.114619941
75	-22695.00844	12026.55626	6896.526592	6896.526689	-0.096667981
76	-22845.27561	9756.85628	9528.629489	9528.629273	0.21592826
77	-22604.47087	7320.124004	11997.59484	11997.59505	-0.20625147
78	-21977.21107	4758.233592	14261.41168	14261.41191	-0.2278885
79	-20974.6597	2115.080671	16281.65381	16281.65222	1.587578635
80	-19614.30935	-564.1602624	18024.10449	18024.10731	-2.816599357
81	-17919.66402	-3233.792141	19459.30739	19459.30782	-0.432637065
82	-15919.82804	-5848.353757	20563.03688	20563.02675	10.12814431
83	-13649.00912	-8363.369191	21316.68222	21316.69969	-17.4638523
84	-11145.94381	-10736.07759	21707.54128	21707.55207	-10.79255841
85	-8453.254388	-12926.13325	21729.02047	21729.02317	-2.698347409
86	-5616.746466	-14896.26635	21380.73901	21380.74002	-1.017185086
87	-2684.657458	-16612.8954	20668.53611	20668.53374	2.369996863
88	293.1338593	-18046.68282	19604.38115	19604.38251	-1.366653002
89	3265.925778	-19173.02567	18206.18748	18206.1874	0.080878343
90	6183.028774	-19972.47407	16497.53185	16497.53142	0.428432601
91	8994.605565	-20431.07043	14507.28218	14507.28263	-0.453382323
92	11652.50386	-20540.60342	12269.13797	12269.13766	0.311726515
93	14111.06922	-20298.77122	9821.088433	9821.088525	-0.091817234
94	16327.92512	-19709.24988	7204.79519	7204.795423	-0.232983542
95	18264.70719	-18781.66343	4464.907566	4464.906842	0.724223128
96	19887.73849	-17531.45399	1648.320017	1648.322446	-2.42918143

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม

PRN 02 วันที่ 1 ตุลาคม 1997

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
1	-13041.35699	9849.59816	-20421.6894	-20421.68916	-0.257233485
2	-14214.07446	6563.7238	-20992.545	-20992.54501	0.06492262
3	-15131.73284	3160.02101	-21186.6142	-21186.61441	0.217879967
4	-15779.05456	-300.188736	-21002.0783	-21002.07827	0.014814477
5	-16145.89003	-3755.1166	-20444.118	-20444.11794	-0.014080878
6	-16227.31604	-7143.72231	-19524.6763	-19524.67633	0.011062501
7	-16023.6171	-10406.867	-18262.0836	-18262.08358	-0.003499151
8	-15540.15834	-13488.3774	-16680.5643	-16680.56429	-0.002086062
9	-14787.1616	-16336.0012	-14809.6477	-14809.64767	0.002398801
10	-13779.39812	-18902.2403	-12683.5036	-12683.50363	-0.000587891
11	-12535.81211	-21145.0544	-10340.2259	-10340.22584	-0.001518284
12	-11079.08969	-23028.4309	-7821.08203	-7821.08203	0.001831946
13	-9435.187063	-24522.825	-5169.74937	-5169.749366	-0.002166779
14	-7632.830381	-25605.4732	-2431.55044	-2431.550448	0.009360604
15	-5702.998617	-26260.5887	347.297856	347.297814	0.041991889
16	-3678.398674	-26479.4481	3120.412526	3120.412504	0.022469682
17	-1592.940441	-26260.3786	5841.942673	5841.942703	-0.029638993
18	518.7823132	-25608.6551	8467.232614	8467.232589	0.025471318
19	2622.000788	-24536.3172	10953.44679	10953.44679	0.000231781
20	4682.266598	-23061.9134	13260.1547	13260.15475	-0.049057727
21	6665.931706	-21210.179	15349.875	15349.87493	0.069883055
22	8540.611387	-19011.6536	17188.57844	17188.57845	-0.005579665
23	10275.62915	-16502.2411	18746.14936	18746.14939	-0.037104064
24	11842.44262	-13722.7152	19996.80504	19996.80505	-0.006839709
25	13215.04915	-10718.172	20919.47183	20919.47177	0.060962782
26	14370.36941	-7537.42843	21498.1156	21498.11564	-0.041448861
27	15288.60639	-4232.3695	21722.02344	21722.02337	0.073570963
28	15953.57657	-857.241416	21586.03187	21586.03176	0.108147374
29	16353.00849	2532.10669	21090.69587	21090.69588	-0.010029877
30	16478.80331	5879.03141	20242.39157	20242.39157	-0.006026779

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสำนักงานเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
31	16327.25037	9126.95032	19053.34477	19053.34476	0.006003412
32	15899.19009	12220.2379	17541.57662	17541.57662	-0.003650169
33	15200.1157	15105.1534	15730.75772	15730.75772	-3.93602E-05
34	14240.20472	17730.7875	13649.96255	13649.96255	-0.000326675
35	13034.27164	20050.0137	11333.31717	11333.31717	0.001815977
36	11601.6336	22020.4228	8819.535606	8819.535605	0.001365101
37	9965.882676	23605.219	6151.343033	6151.34304	-0.00735465
38	8154.560453	24774.0506	3374.788036	3374.788024	0.012305463
39	6198.733814	25503.7489	538.450779	538.4507236	0.055434078
40	4132.474369	25778.9463	-2307.44095	-2307.440995	0.042267992
41	1992.248391	25592.5458	-5111.97052	-5111.970497	-0.021290208
42	-183.7715105	24946.0194	-7824.54355	-7824.543548	-0.001475646
43	-2356.457318	23849.5146	-10395.9246	-10395.92461	-0.002990869
44	-4486.519536	22321.7564	-12779.2693	-12779.26925	0.006293607
45	-6535.32143	20389.7396	-14931.1194	-14931.11945	0.082224938
46	-8465.688855	18088.2149	-16812.3302	-16812.32999	-0.18217349
47	-10242.69037	15458.9814	-18388.8983	-18388.89839	0.051765911
48	-11834.36318	12550.006	-19632.6652	-19632.6654	0.250854895
49	-13212.36266	9414.39738	-20521.8734	-20521.87364	0.261044716
50	-14352.51682	6109.26892	-21041.5631	-21041.56295	-0.121832716
51	-15235.27139	2694.52754	-21183.7986	-21183.79837	-0.194806182
52	-15846.01645	-768.373736	-20947.7261	-20947.72605	0.001888215
53	-16175.29045	-4217.68123	-20339.4678	-20339.4678	0.0083893
54	-16218.86273	-7592.54963	-19371.8648	-19371.86481	-0.009976564
55	-15977.69988	-10834.1842	-18064.0847	-18064.08471	0.004581852
56	-15457.82515	-13886.891	-16441.1141	-16441.11412	0.00106303
57	-14670.08271	-16699.0169	-14533.1578	-14533.15778	-0.002297079
58	-13629.82031	-19223.7653	-12374.9659	-12374.96593	0.001096684
59	-12356.5048	-21419.8814	-10005.1118	-10005.11176	0.001040246
60	-10873.28491	-23252.2052	-7465.23857	-7465.238571	-0.001712555
61	-9206.514955	-24692.0933	-4799.29442	-4799.294425	0.002380879

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
62	-7385.25187	-25717.7164	-2052.76904	-2052.769031	-0.013380829
63	-5440.736503	-26314.2395	728.054654	728.0546982	-0.044229508
64	-3405.868341	-26473.8944	3496.825134	3496.825148	-0.014042841
65	-1314.681	-26195.9541	6207.815907	6207.815878	0.028958706
66	798.1757644	-25486.619	8816.583617	8816.583651	-0.033545096
67	2897.943315	-24358.8234	11280.58758	11280.58756	0.015420365
68	4950.247679	-22831.9701	13559.76917	13559.76913	0.035402625
69	6921.577355	-20931.6005	15617.09033	15617.09041	-0.071575912
70	8779.744015	-18689.0038	17419.03086	17419.03084	0.016583729
71	10494.32505	-16140.7695	18936.04413	18936.04409	0.037576009
72	12037.08693	-13328.2862	20142.9707	20142.97071	-0.006650372
73	13382.3881	-10297.1861	21019.40821	21019.40826	-0.052652741
74	14507.55962	-7096.73743	21550.03545	21550.0354	0.043175799
75	15393.26078	-3779.18375	21724.88693	21724.88703	-0.095599353
76	16023.80632	-399.030354	21539.57341	21539.5735	-0.091616476
77	16387.46047	2987.72093	20995.44218	20995.44216	0.016625884
78	16476.69203	6324.38695	20099.6701	20099.6701	0.001723255
79	16288.38349	9554.46435	18865.28127	18865.28128	-0.004466352
80	15823.98643	12622.5304	17311.08065	17311.08065	0.00366098
81	15089.61448	15475.1738	15461.49499	15461.49499	-0.000323772
82	14096.06487	18061.9439	13346.31299	13346.31299	0.000455883
83	12858.76004	20336.2996	11000.31808	11000.31808	-0.002382884
84	11397.60121	22256.5414	8462.809239	8462.809239	-0.000185267
85	9736.727884	23786.699	5777.008867	5777.00886	0.007159157
86	7904.179193	24897.352	2989.360309	2989.360327	-0.017847029
87	5931.456589	25566.3538	148.722614	148.7226728	-0.058790046
88	3852.990786	25779.4309	-2694.52475	-2694.524717	-0.033971494
89	1705.520439	25530.6308	-5489.44921	-5489.449239	0.024747806
90	-472.6056141	24822.5955	-8185.58135	-8185.581342	-0.00414285
91	-2642.186315	23666.6407	-10733.9527	-10733.95268	0.009286159
92	-4763.966495	22082.6295	-13088.1245	-13088.12451	-0.022116964

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และข้อมูลทั้งหมดนี้เป็นข้อมูลที่ไม่สามารถเปิดเผยได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y(กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
93	-6799.452076	20098.6368	-15205.176	-15205.17594	-0.064546679
94	-8711.717495	17750.4084	-17046.6189	-17046.61912	0.203434472
95	-10466.18007	15080.6282	-18579.2105	-18579.21033	-0.126819769
96	-12031.31708	12138.0168	-19775.6374	-19775.63722	-0.185296814

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 04 วันที่ 1 ตุลาคม 1997

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y(กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
1	9407.939912	-20913.52887	-13530.72439	-13530.72409	-0.303083283
2	11992.63421	-20965.51972	-11208.05225	-11208.05257	0.312472367
3	14372.51715	-20659.45188	-8693.92886	-8693.928522	-0.337625622
4	16506.92018	-20000.51876	-6031.286165	-6031.286471	0.306035821
5	18359.32602	-18999.90104	-3265.589373	-3265.589182	-0.190539042
6	19897.98375	-17674.58521	-444.078234	-444.0768414	-1.392631508
7	21096.44754	-16047.08682	2385.02248	2385.02286	-0.380384081
8	21934.03037	-14145.08231	5173.311237	5173.311004	0.233070856
9	22396.16468	-12000.95439	7873.024187	7873.024417	-0.23035405
10	22474.66366	-9651.25751	10437.84289	10437.84256	0.328521561
11	22167.87782	-7136.111059	12823.6823	12823.68275	-0.44751936
12	21480.74318	-4498.529532	14989.44604	14989.44577	0.26860639
13	20424.71903	-1783.699712	16897.73612	16897.7358	0.320147178
14	19017.61488	961.7836635	18515.50476	18515.50512	-0.362683727
15	17283.30813	3690.71151	19814.63673	19814.63675	-0.023809563
16	15251.35567	6356.070185	20772.45115	20772.45225	-1.10139412
17	12956.50474	8911.853744	21372.11324	21372.11056	2.679837349
18	10438.11012	11313.86457	21602.94747	21602.95781	-10.33576058
19	7739.466579	13520.48812	21460.64526	21460.64294	2.316347356
20	4907.067434	15493.42756	20947.36206	20947.36163	0.433422298
21	1989.801488	17198.38463	20071.70069	20071.70267	-1.981094636
22	-961.8976767	18605.67342	18848.57959	18848.57731	2.287248829
23	-3896.934955	19690.75514	17298.98727	17298.98889	-1.618531556

ตารางที่ 5.8(ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
24	-6764.453379	20434.68284	15449.62609	15449.62538	0.702083361
25	-9514.733381	20824.44698	13332.4512	13332.4512	-0.000685446
26	-12100.07456	20853.21431	10984.11238	10984.11281	-0.431384266
27	-14475.64297	20520.45491	8445.308927	8445.308275	0.652011668
28	-16600.26734	19831.95439	5760.069604	5760.070295	-0.690655949
29	-18437.16889	18799.71059	2974.971325	2974.970813	0.512080718
30	-19954.61033	17441.71689	138.311761	138.308353	3.407961163
31	-21126.4518	15781.63646	-2700.74807	-2700.74955	1.479925639
32	-21932.60331	13848.37412	-5493.054528	-5493.053519	-1.009232826
33	-22359.36563	11675.55478	-8190.328549	-8190.329177	0.628460896
34	-22399.65404	9300.919212	-10746.01281	-10746.01269	-0.121846663
35	-22053.10212	6765.649355	-13116.08303	-13116.08245	-0.58553464
36	-21326.04485	4113.636759	-15259.80873	-15259.81021	1.483292258
37	-20231.38333	1390.708369	-17140.45004	-17140.44759	-2.441435551
38	-18788.33517	-1356.175615	-18725.87908	-18725.8826	3.518930908
39	-17022.077	-4079.737041	-19989.11589	-19989.11197	-3.923405287
40	-14963.2872	-6733.193778	-20908.77103	-20908.76959	-1.442186556
41	-12647.59831	-9271.05838	-21469.38892	-21469.418	29.07231355
42	-10114.9701	-11649.90828	-21661.68782	-21661.72039	32.5666279
43	-7408.994839	-13829.11518	-21482.6941	-21482.69901	4.912134144
44	-4576.147081	-15771.52257	-20935.77043	-20935.76171	-8.718881664
45	-1664.990945	-17444.06113	-20030.53892	-20030.54445	5.530707003
46	1274.642299	-18818.29329	-18782.7017	-18782.69978	-1.910095082
47	4192.493107	-19870.87921	-17213.76303	-17213.76309	0.060109809
48	7038.71598	-20583.95778	-15350.65803	-15350.6585	0.473160894
49	9764.712343	-20945.43734	-13225.29434	-13225.29447	0.124349406
50	12323.94134	-20949.19226	-10874.01422	-10874.014	-0.220074024
51	14672.69631	-20595.16261	-8336.985362	-8336.985678	0.316246697
52	16770.83518	-19889.35543	-5657.529887	-5657.529518	-0.369409806
53	18582.45355	-18843.74755	-2881.401491	-2881.401888	0.397198649
54	20076.4899	-17476.09103	-56.021846	-56.0232335	1.387500959

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
55	21227.25338	-15809.62385	2770.312238	2770.31205	0.187559264
56	22014.86527	-13872.6897	5549.238683	5549.238845	-0.162273553
57	22425.60664	-11698.27204	8233.144438	8233.144244	0.193666766
58	22452.16574	-9323.449292	10775.97129	10775.97162	-0.332422403
59	22093.78008	-6788.778848	13134.00013	13133.99958	0.551401924
60	21356.26984	-4137.619303	15266.60076	15266.60128	-0.519232948
61	20251.96066	-1415.401224	17136.93435	17136.93436	-0.008599721
62	18799.49579	1331.142047	18712.59649	18712.59644	0.045987525
63	17023.53915	4054.771133	19966.189	19966.18841	0.585087923
64	14954.37311	6708.551721	20875.81	20875.80985	0.148437765
65	12627.39631	9246.666256	21425.45257	21425.45388	-1.306123915
66	10082.52886	11625.21207	21605.30376	21605.29339	10.37355241
67	7363.534312	13802.97168	21411.93739	21411.94144	-4.048609822
68	4517.269194	15742.1411	20848.39567	20848.39451	1.155242491
69	1592.872842	17409.00252	19924.15668	19924.15582	0.861986738
70	-1359.088479	18774.52819	18654.98697	18654.98874	-1.763668406
71	-4287.50784	19814.90371	17062.68053	17062.67895	1.580165415
72	-7141.638056	20511.95998	15174.68785	15174.68877	-0.914893503
73	-9871.9894	20853.50471	13023.64101	13023.64074	0.267768099
74	-12431.20751	20833.54665	10646.78304	10646.78281	0.224147396
75	-14774.9145	20452.40716	8085.311819	8085.312389	-0.570177372
76	-16862.49699	19716.71692	5383.650861	5383.650067	0.793992543
77	-18657.82557	18639.29717	2588.660852	2588.661817	-0.964994246
78	-20129.89187	17238.92802	-251.192752	-251.1892739	-3.478130309
79	-21253.35095	15540.00845	-3086.699875	-3086.698901	-0.973807522
80	-22008.95904	13572.11509	-5868.776981	-5868.777945	0.963765624
81	-22383.89892	11369.46875	-8549.332436	-8549.33163	-0.805669324
82	-22371.98759	8970.319985	-11082.10964	-11082.11008	0.444713166
83	-21973.76382	6416.265855	-13423.4922	-13423.49241	0.20513975
84	-21196.45517	3751.511716	-15533.25672	-15533.25553	-1.19372473
85	-20053.82714	1022.09229	-17375.25991	-17375.26238	2.467324364

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยกรมการแผนที่ทหารบก. เพื่อใช้ในการปฏิบัติงานเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
86	-18565.91866	-1724.933222	-18918.04885	-18918.04457	-4.272656629
87	-16758.67088	-4442.297232	-20135.38454	-20135.39077	6.223887547
88	-14663.45715	-7083.33662	-21006.6714	-21006.66848	-2.916933506
89	-12316.52438	-9602.788496	-21517.28657	-21517.25557	-31.00043695
90	-9758.356321	-11957.55576	-21658.80566	-21658.77458	-31.07714319
91	-7032.970782	-14107.43034	-21429.12251	-21429.12258	0.069105174
92	-4187.163124	-16015.76308	-20832.46294	-20832.46932	6.385232262
93	-1269.708834	-17650.07031	-19879.29368	-19879.28843	-5.247926621
94	1669.461728	-18982.5684	-18586.12928	-18586.13169	2.410656336
95	4580.103345	-19990.62881	-16975.24105	-16975.24048	-0.57473479
96	7412.497635	-20657.14731	-15074.2735	-15074.27335	-0.14729335

จากตารางข้างต้น แสดงให้เห็นว่า ฟังก์ชันที่ประมาณได้มีความเที่ยงตรงสูง ซึ่งมีเพียงบางจุดเท่านั้นที่เกินจากเงื่อนไข ดังนั้นเราจึงประมาณค่าโดยใช้โพลีโนเมียล อันดับที่ 40

บทที่ 6

ผลการคำนวณ

6.1 ความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชัน

ตารางที่ 6.1 ถึง 6.6 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันของวงโคจร ในวันที่ 16 มกราคม 1998 เพื่อตรวจสอบว่ามีความผิดพลาดเท่าใด ซึ่งแสดงค่าของดาวเทียม PRN ที่ 02 ,04 ,09,18,24 และ 27 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม

PRN 02

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
1	619.005303	-17754.14763	20001.54469	20001.54768	-2.982372094
2	3717.748072	-18645.9509	18739.79134	18739.7904	0.945768955
3	6753.439513	-19221.79522	17160.46897	17160.46906	-0.094054464
4	9673.887129	-19469.78278	15288.43413	15288.43421	-0.08177341
5	12428.16405	-19383.44179	13153.8629	13153.86284	0.057194008
6	14967.51986	-18961.98607	10791.87691	10791.87693	-0.027790838
7	17246.30244	-18210.4853	8242.058181	8242.058136	0.044875952
8	19222.87091	-17139.93211	5547.851699	5547.851816	-0.116860587
9	20860.47642	-15767.19364	2755.858437	2755.858174	0.263109207
10	22128.08486	-14114.83751	-84.973377	-84.97404593	0.66892844
11	23001.11399	-12210.82575	-2924.246028	-2924.246138	0.110268301
12	23462.05732	-10088.0746	-5711.080944	-5711.080866	-0.077997395
13	23500.96845	-7783.883525	-8395.135033	-8395.135049	0.016458826
14	23115.78307	-5339.242482	-10927.63727	-10927.63715	-0.116481752
15	22312.46056	-2798.032509	-13262.41498	-13262.41561	0.626382327
16	21104.93378	-206.1400426	-15356.87774	-15356.87644	-1.301589989
17	19514.86322	2389.489827	-17172.92709	-17172.92755	0.459081978
18	17571.20005	4941.832637	-18677.76236	-18677.76572	3.356263201
19	15309.57047	7404.766028	-19844.55704	-19844.54956	-7.4799614
20	12771.50149	9734.023034	-20652.98533	-20652.99119	5.859703051

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
21	10003.51456	11888.08846	-21089.58538	-21089.61081	25.43374165
22	7056.117642	13829.01288	-21147.95253	-21147.95818	5.656783211
23	3982.729547	15523.12335	-20828.76324	-20828.76071	-2.531796475
24	838.5703322	16941.61506	-20139.6369	-20139.63864	1.737695604
25	-2320.449163	18061.01424	-19094.84833	-19094.84777	-0.558840157
26	-5438.808736	18863.50784	-17714.90834	-17714.90824	-0.101191489
27	-8462.405226	19337.14123	-16026.03271	-16026.0329	0.196831296
28	-11339.50283	19475.88922	-14059.52148	-14059.52133	-0.147544432
29	-14021.5914	19279.60968	-11851.07084	-11851.07093	0.093901253
30	-16464.14205	18753.8913	-9440.038976	-9440.038935	-0.041415427
31	-18627.25404	17909.80876	-6868.68559	-6868.685563	-0.02657229
32	-20476.19113	16763.59918	-4181.402281	-4181.402427	0.146302698
33	-21981.80918	15336.27348	-1423.948506	-1423.947938	-0.568254832
34	-23120.87896	13653.17565	1357.295218	1357.296156	-0.93781989
35	-23876.31037	11743.50151	4116.047805	4116.047713	0.091806439
36	-24237.28483	9639.787028	6806.815278	6806.815102	0.176292907
37	-24199.30331	7377.374823	9385.541268	9385.541637	-0.36878211
38	-23764.15689	4993.865453	11810.21768	11810.21725	0.4275319
39	-22939.8262	2528.558909	14041.45415	14041.45435	-0.192419611
40	-21740.31527	21.89015423	16043.0058	16043.00622	-0.418431093
41	-20185.42369	-2485.138416	17782.25891	17782.25796	0.952151855
42	-18300.46026	-4951.52551	19230.67454	19230.67473	-0.184764148
43	-16115.89962	-7336.838823	20364.18913	20364.19032	-1.185078446
44	-13666.98254	-9601.780659	21163.57091	21163.57025	0.661785907
45	-10993.25958	-11708.74942	21614.72958	21614.74282	-13.23282651
46	-8138.077192	-13622.39441	21708.97582	21709.0007	-24.87622092
47	-5148.005323	-15310.16043	21443.22565	21443.2225	3.150661643
48	-2072.205794	-16742.81737	20820.14376	20820.13956	4.199565093
49	1038.258426	-17894.96845	19848.21849	19848.21615	2.338619956
50	4131.171466	-18745.52901	18541.76036	18541.76133	-0.969453628
51	7153.966669	-19278.16627	16920.81568	16920.81547	0.203708528

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
52	10054.57637	-19481.68843	15010.98655	15010.98653	0.019548382
53	12782.31987	-19350.37037	12843.14967	12843.1497	-0.031443173
54	15288.81667	-18884.20223	10453.06727	10453.06726	0.012106055
55	17528.90823	-18089.04664	7880.886733	7880.886762	-0.028638318
56	19461.56794	-16976.69098	5170.527836	5170.527724	0.112336534
57	21050.77547	-15564.78265	2368.961398	2368.96175	-0.352174522
58	22266.32952	-13876.63758	-474.612471	-474.6118289	-0.642134694
59	23084.57112	-11940.91607	-3309.67296	-3309.672931	-0.028602894
60	23488.99013	-9791.164627	-6085.355125	-6085.355166	0.04105977
61	23470.68883	-7465.227895	-8751.470645	-8751.470673	0.027928952
62	23028.68052	-5004.540442	-11259.5448	-11259.54483	0.030072123
63	22170.00565	-2453.314293	-13563.83883	-13563.83826	-0.572480971
64	20909.65539	142.3566745	-15622.32551	-15622.32709	1.575201153
65	19270.29954	2735.449738	-17397.58634	-17397.58502	-1.323058405
66	17281.82472	5278.994899	-18857.6011	-18857.59868	-2.419334139
67	14980.69602	7727.054517	-19976.40479	-19976.41285	8.055745288
68	12409.16352	10035.67077	-20734.59258	-20734.58263	-9.954658733
69	9614.340399	12163.75257	-21119.66007	-21119.63546	-24.6059007
70	6647.184094	14073.87694	-21126.1732	-21126.17047	-2.728045351
71	3561.414148	15732.98473	-20755.76955	-20755.77131	1.759294627
72	412.4008226	17112.95552	-20016.99884	-20016.99724	-1.596888363
73	-2743.942995	18191.0529	-18925.01631	-18925.01701	0.704233305
74	-5852.237059	18950.23635	-17501.14679	-17501.14674	-0.047817508
75	-8858.650892	19379.34157	-15772.34008	-15772.33995	-0.125339625
76	-11711.84238	19473.13519	-13770.53968	-13770.53981	0.129339964
77	-14363.80262	19232.25348	-11531.98716	-11531.98705	-0.104757526
78	-16770.59702	18663.03685	-9096.483222	-9096.483292	0.070356557
79	-18892.99721	17777.27372	-6506.624988	-6506.624974	-0.01399667
80	-20697.00256	16591.8673	-3807.036296	-3807.036189	-0.107084787
81	-22154.25319	15128.43932	-1043.605345	-1043.606035	0.689556611
82	-23242.33918	13412.88306	1737.259003	1737.258146	0.857281657

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
83	-23945.01191	11474.87746	4489.343596	4489.343809	-0.212514605
84	-24252.30467	9347.371958	7167.313808	7167.313875	-0.06676554
85	-24160.5698	7066.050551	9727.358717	9727.358399	0.318302565
86	-23672.43935	4668.781385	12127.79619	12127.79667	-0.484730976
87	-22796.71546	2195.057174	14329.63663	14329.63626	0.368417599
88	-21548.19563	-314.569913	16297.10495	16297.10472	0.229169106
89	-19947.43696	-2819.056131	17998.12052	17998.1215	-0.985077847
90	-18020.46212	-5277.434802	19404.73486	19404.73437	0.489477467
91	-15798.4084	-7649.384116	20493.52632	20493.52538	0.944920836
92	-13317.12054	-9895.792436	21245.95021	21245.95045	-0.237867889
93	-10616.68669	-11979.31921	21648.64183	21648.6253	16.53279082
94	-7740.916841	-13864.94878	21693.6687	21693.64613	22.57078947
95	-4736.76251	-15520.53344	21378.72696	21378.73293	-5.971956646
96	-1653.677207	-16917.32073	20707.27577	20707.27792	-2.151754799

ตารางที่ 6.2 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม PRN 04

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
1	-5885.282314	-24046.15391	-9307.525959	-9307.52596	0.000540588
2	-4039.250796	-25295.77531	-6611.346036	-6611.346035	-0.001459048
3	-2122.883804	-26104.94171	-3800.018182	-3800.018183	0.000903363
4	-169.5879346	-26460.05147	-922.572716	-922.5727235	0.007542782
5	1786.659653	-26355.51061	1970.913044	1970.913039	0.005440528
6	3711.921896	-25793.79283	4830.216017	4830.216018	-0.000963621
7	5572.905359	-24785.34956	7605.861841	7605.861842	-0.000677254
8	7337.544825	-23348.37498	10249.99507	10249.99507	0.000532588
9	8975.558084	-21508.43386	12717.20878	12717.20878	-0.000267636
10	10458.96118	-19297.96313	14965.31888	14965.31888	0.000118416
11	11762.53571	-16755.65972	16956.07057	16956.07057	6.25333E-06
12	12864.24127	-13925.76923	18655.76596	18655.76596	-0.000149392

ตารางที่ 6.2 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
13	13745.56742	-10857.29055	20035.80468	20035.80468	0.0003191
14	14391.8212	-7603.112571	21073.13076	21073.13076	-0.000147465
15	14792.34742	-4219.099098	21750.58143	21750.58143	8.14793E-05
16	14940.68013	-763.137741	22057.13524	22057.13524	0.001754902
17	14834.62503	2705.831604	21988.05838	21988.05838	0.003171621
18	14476.27315	6128.793895	21544.94967	21544.94967	0.001033928
19	13871.94726	9447.627578	20735.68584	20735.68584	-0.001718262
20	13032.08299	12606.05131	19574.26974	19574.26973	0.000690586
21	11971.04735	15550.5362	18080.58509	18080.58509	0.001111278
22	10706.89775	18231.17162	16280.06211	16280.06211	-0.002044348
23	9261.085148	20602.47338	14203.25907	14203.25907	0.000329975
24	7658.105533	22624.12369	11885.36576	11885.36576	0.001292978
25	5925.104224	24261.63284	9365.635167	9365.635168	-0.001445809
26	4091.438103	25486.91338	6686.750805	6686.750805	2.03101E-05
27	2188.201372	26278.75796	3894.137645	3894.137644	0.000624962
28	247.7209568	26623.21292	1035.225552	1035.225556	-0.004488072
29	-1696.971741	26513.84066	-1841.325045	-1841.32504	-0.005208527
30	-3612.685471	25951.86472	-4686.424658	-4686.424658	-0.000424476
31	-5466.622298	24946.19279	-7451.37195	-7451.371951	0.001249613
32	-7226.930991	23513.3145	-10088.6744	-10088.6744	-0.000437463
33	-8863.2518	21677.07227	-12552.85947	-12552.85947	-0.000881561
34	-10347.24353	19468.30578	-14801.26271	-14801.26271	0.000921363
35	-11653.08352	16924.37239	-16794.77899	-16794.77899	7.79821E-05
36	-12757.93126	14088.54854	-18498.56291	-18498.5629	-0.000586806
37	-13642.34628	11009.31928	-19882.6644	-19882.6644	0.00058849
38	-14290.6517	7739.565992	-20922.58662	-20922.58661	-0.000102129
39	-14691.23516	4335.664454	-21599.75336	-21599.75336	-0.000728489
40	-14836.77991	856.5082251	-21901.87525	-21901.87525	0.002487358
41	-14724.41996	-2637.525634	-21823.20496	-21823.20497	0.004829093
42	-14355.81465	-6085.649487	-21364.67436	-21364.67436	0.001054271
43	-13737.13944	-9427.756048	-20533.90818	-20533.90818	-0.001092004

ตารางที่ 6.2 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y(กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
44	-12878.99186	-12605.50558	-19345.11213	-19345.11213	-0.000925526
45	-11796.21304	-15563.38708	-17818.83564	-17818.83564	-0.000110661
46	-10507.62773	-18249.73125	-15981.61283	-15981.61283	0.001081957
47	-9035.707403	-20617.65373	-13865.48798	-13865.48797	-0.000299738
48	-7406.16307	-22625.90845	-11507.43486	-11507.43486	-0.000620806
49	-5647.476192	-24239.63307	-8948.681894	-8948.681894	-0.000407085
50	-3790.377649	-25430.971	-6233.957373	-6233.957375	0.001600009
51	-1867.285931	-26179.55755	-3410.671001	-3410.670999	-0.001792444
52	88.28347459	-26472.8614	-528.049299	-528.0492911	-0.007945599
53	2042.324881	-26306.37585	2363.756715	2363.756719	-0.004495
54	3960.952813	-25683.65862	5214.572951	5214.57295	0.001324589
55	5811.003686	-24616.2219	7975.094478	7975.094478	0.000383148
56	7560.617061	-23123.27831	10597.75115	10597.75115	-0.000473876
57	9179.785724	-21231.35105	13037.53053	13037.53052	0.000309094
58	10640.86506	-18973.75932	15252.74371	15252.74371	-0.000194059
59	11919.03348	-16389.99187	17205.7216	17205.7216	8.1396E-05
60	12992.69712	-13524.98338	18863.43114	18863.43114	7.52676E-05
61	13843.83354	-10428.30893	20198.00349	20198.00349	-0.000305794
62	14458.27047	-7153.312851	21187.16771	21187.16771	0.000207456
63	14825.89706	-3756.187734	21814.58593	21814.58593	-0.000242753
64	14940.80628	-295.0197644	22070.08758	22070.08758	-0.002029724
65	14801.36819	3171.184425	21949.8018	21949.8018	-0.003138695
66	14410.23467	6583.474503	21456.18869	21456.18869	-0.000504308
67	13774.27712	9883.922846	20597.97115	20597.97115	0.001665487
68	12904.45924	13016.56728	19389.97012	19389.97012	-0.001089578
69	11815.64749	15928.31769	17852.84687	17852.84687	-0.000681796
70	10526.36264	18569.81466	16012.75688	16012.75687	0.002097189
71	9058.475913	20896.22902	13900.92044	13900.92044	-0.000823436
72	7436.85401	22867.9918	11553.1159	11553.1159	-0.000914867
73	5688.957657	24451.44469	9009.102231	9009.102229	0.00152242
74	3844.39874	25619.40169	6311.978142	6311.978142	-0.000378687

ตารางที่ 6.2 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
75	1934.461737	26351.61338	3507.486055	3507.486055	-0.000172615
76	-8.404354959	26635.12594	643.269802	643.2697969	0.005071488
77	-1951.116835	26464.52811	-2231.904045	-2231.90405	0.004698466
78	-3860.505501	25842.08001	-5068.95052	-5068.95052	-7.75421E-05
79	-5703.866339	24777.71954	-7819.28469	-7819.284689	-0.001144067
80	-7449.514279	23288.94301	-10435.64181	-10435.64181	0.000677924
81	-9067.326181	21400.55901	-12872.88615	-12872.88615	0.000678715
82	-10529.26487	19144.31585	-15088.7949	-15088.7949	-0.001025066
83	-11809.87488	16558.40566	-17044.80329	-17044.80329	0.000166192
84	-12886.74052	13686.85019	-18706.69691	-18706.69691	0.000447176
85	-13740.89715	10578.77608	-20045.23754	-20045.23754	-0.00063631
86	-14357.18687	7287.589646	-21036.70932	-21036.70932	0.000297168
87	-14724.55072	3870.064056	-21663.37306	-21663.37306	0.000548406
88	-14836.25003	385.3539373	-21913.81774	-21913.81773	-0.003100747
89	-14690.01125	-3106.045238	-21783.20014	-21783.20014	-0.004572911
90	-14288.08966	-6543.373693	-21273.36536	-21273.36535	-0.000516473
91	-13637.24901	-9866.699036	-20392.84354	-20392.84354	0.001104924
92	-12748.65634	-13018.00125	-19156.72086	-19156.72086	0.000883021
93	-11637.69257	-15942.22869	-17586.38547	-17586.38547	-0.000100847
94	-10323.6822	-18588.30289	-15709.15231	-15709.15231	-0.001041331
95	-8829.546677	-20910.05087	-13557.77358	-13557.77358	0.000523448
96	-7181.388614	-22867.04501	-11169.84452	-11169.84452	0.000399776

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่ง ดาวเทียม

PRN 09

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
1	-15042.83996	6397.216472	20808.66175	20808.66175	-0.000541719
2	-15435.4957	2960.963609	21315.29297	21315.29297	-0.000167491
3	-15560.29637	-526.6983923	21451.96348	21451.96348	0.004128745

ตารางที่ 6.3 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y(กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
4	-15415.77836	-4005.271995	21217.26886	21217.26886	0.002098613
5	-15005.16119	-7414.736989	20616.26028	20616.26029	-0.001998543
6	-14336.24163	-10696.59172	19660.28785	19660.28785	0.000162173
7	-13421.20974	-13794.84569	18366.73678	18366.73678	0.001106992
8	-12276.39353	-16656.94782	16758.66554	16758.66554	-0.001429179
9	-10921.93933	-19234.63724	14864.35635	14864.35635	-0.000162043
10	-9381.436038	-21484.70578	12716.7889	12716.7889	0.001982056
11	-7681.491302	-23369.66371	10353.04884	10353.04884	-0.001372587
12	-5851.267941	-24858.3026	7813.682486	7813.682486	-0.000475227
13	-3921.988828	-25926.15088	5142.009049	5142.009047	0.001902872
14	-1926.418103	-26555.81948	2383.401357	2383.401363	-0.005984599
15	101.673591	-26737.23638	-415.454355	-415.4543428	-0.012190615
16	2128.052631	-26467.77008	-3207.309564	-3207.309559	-0.005263683
17	4118.567717	-25752.24283	-5945.105951	-5945.105953	0.001944415
18	6039.690409	-24602.83549	-8582.720159	-8582.720159	0.000216391
19	7859.044529	-23038.88635	-11075.69213	-11075.69213	-0.001638222
20	9545.91837	-21086.58683	-13381.92864	-13381.92864	0.000818343
21	11071.75372	-18778.57766	-15462.37383	-15462.37383	0.000432282
22	12410.60586	-16153.44959	-17281.63871	-17281.63871	-0.000947745
23	13539.56875	-13255.15333	-18808.58162	-18808.58162	-5.52169E-05
24	14439.15943	-10132.3243	-20016.83166	-20016.83166	-0.000316383
25	15093.65601	-6837.528565	-20885.24718	-20885.24718	0.000683148
26	15491.38328	-3426.437548	-21398.30124	-21398.30124	-0.001510797
27	15624.94033	43.05956563	-21546.38648	-21546.38647	-0.008719064
28	15491.36463	3511.795356	-21326.03173	-21326.03172	-0.007737511
29	15092.22752	6920.303538	-20740.02358	-20740.02358	0.000650821
30	14433.65656	10209.82435	-19797.42673	-19797.42674	0.002590547
31	13526.281	13323.32029	-18513.49822	-18513.49822	-0.001829253
32	12385.09791	16206.48491	-16909.49215	-16909.49215	-0.001498232
33	11029.25763	18808.72581	-15012.35347	-15012.35347	0.002360426
34	9481.769152	21084.10193	-12854.30173	-12854.30173	0.000298783

ตารางที่ 6.3 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
35	7769.127836	22992.1945	-10472.30826	-10472.30826	-0.001739071
36	5920.869845	24498.89112	-7907.473299	-7907.4733	0.001444071
37	3969.060157	25577.06321	-5204.312467	-5204.312467	0.000164679
38	1947.722942	26207.11838	-2409.965109	-2409.965102	-0.007067878
39	-107.7746677	26377.41213	426.660261	426.6602693	-0.008253239
40	-2161.372687	26084.50588	3255.785603	3255.785605	-0.002224703
41	-4176.988032	25333.26272	6027.688425	6027.688424	0.000839408
42	-6119.188786	24136.77643	8693.631307	8693.631307	-6.80025E-05
43	-7953.857386	22516.13386	11206.7744	11206.7744	-0.001120991
44	-9648.82738	20500.01599	13523.04973	13523.04973	-0.000240413
45	-11174.47912	18124.14706	15601.97726	15601.97726	0.000869513
46	-12504.28109	15430.60587	17407.4045	17407.4045	-0.000664863
47	-13615.26541	12467.01641	18908.15393	18908.15393	-0.000315648
48	-14488.42799	9285.638389	20078.56551	20078.56551	0.001539927
49	-15109.04641	5942.379561	20898.92473	20898.92473	0.0008859
50	-15466.9109	2495.753371	21355.77023	21355.77023	-0.000379402
51	-15556.4662	-994.1947542	21442.07815	21442.07815	-0.004373787
52	-15376.86455	-4466.969498	21157.32367	21157.32367	-0.001348513
53	-14931.93194	-7862.694493	20507.42309	20507.42309	0.002022565
54	-14230.05168	-11123.14803	19504.56214	19504.56214	-0.000567441
55	-13283.97075	-14192.74788	18166.91829	18166.91829	-0.000831446
56	-12110.53557	-17019.46996	16518.28639	16518.28639	0.001588235
57	-10730.36467	-19555.68779	14587.61805	14587.61805	-0.000324485
58	-9167.466114	-21758.9225	12408.48583	12408.48584	-0.001756241
59	-7448.808098	-23592.49513	10018.48378	10018.48378	0.001706708
60	-5603.850785	-25026.07527	7458.575618	7458.575618	-0.000107563
61	-3664.047681	-26036.12204	4772.402092	4772.402093	-0.001461532
62	-1662.324364	-26606.21488	2005.558206	2005.558199	0.007340583
63	367.4578111	-26727.27318	-795.14905	-795.149062	0.011967525
64	2391.045825	-26397.66489	-3582.45257	-3582.452574	0.003942174
65	4374.340016	-25623.20513	-6309.37709	-6309.377088	-0.002169533

ตารางที่ 6.3 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y(กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
66	6283.933495	-24417.04669	-8929.982216	-8929.982216	0.000277652
67	8087.639623	-22799.46482	-11400.08787	-11400.08787	0.001456846
68	9755.001512	-20797.53946	-13677.97382	-13677.97382	-0.001052047
69	11257.77759	-18444.73833	-15725.04506	-15725.04506	-0.000136227
70	12570.39736	-15780.40528	-17506.45518	-17506.45518	0.000890277
71	13670.38162	-12849.15849	-18991.67946	-18991.67946	1.48909E-05
72	14538.72109	-9700.204234	-20155.03004	-20155.03004	0.000310421
73	15160.20796	-6386.572934	-20976.10487	-20976.10487	-0.00080454
74	15523.71419	-2964.284945	-21440.16275	-21440.16275	0.002412937
75	15622.41117	508.5445639	-21538.41663	-21538.41663	0.009312587
76	15453.92513	3972.651193	-21268.23772	-21268.23773	0.006730827
77	15020.42333	7368.604961	-20633.26374	-20633.26374	-0.001492317
78	14328.62652	10637.81799	-19643.40511	-19643.40511	-0.002133313
79	13389.74419	13723.56032	-18314.74459	-18314.74459	0.002228945
80	12219.33023	16571.96638	-16669.327	-16669.327	0.000931169
81	10837.05781	19133.01297	-14734.83813	-14734.83813	-0.002468889
82	9266.414486	21361.44897	-12544.17376	-12544.17376	0.000241479
83	7534.319995	23217.65582	-10134.90293	-10134.90294	0.001497827
84	5670.671591	24668.41855	-7548.632251	-7548.632249	-0.001760732
85	3707.823948	25687.5875	-4830.280949	-4830.28095	0.000654328
86	1680.012755	26256.61291	-2027.279788	-2027.279796	0.007783341
87	-377.2667455	26364.9366	811.290715	811.2907073	0.007678671
88	-2427.913302	26010.22888	3635.604612	3635.604611	0.001494113
89	-4435.890916	25198.46213	6396.017496	6396.017497	-0.000843213
90	-6365.902571	23943.81733	9043.995041	9043.995041	0.000235825
91	-8184.050855	22268.42454	11533.02162	11533.02162	0.001170461
92	-9858.470149	20201.94284	13819.46791	13819.46791	-2.55573E-05
93	-11359.91593	17780.99012	15863.39769	15863.39769	-0.000770345
94	-12662.29806	15048.43706	17629.29581	17629.29581	0.000831563
95	-13743.14691	12052.58315	19086.70215	19086.70215	2.61402E-05
96	-14584.00301	8846.235298	20210.7391	20210.7391	-0.001543587

ตารางที่ 6.4 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชัน ที่ได้จากข้อมูลตำแหน่ง

ดาวเทียม PRN 18

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y(กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
1	8760.283196	-13058.34775	-21633.15349	-21633.14375	-9.73719137
2	11672.47773	-11222.79824	-21285.02082	-21285.02029	-0.533633276
3	14387.9653	-9198.122548	-20578.12559	-20578.12766	2.062866497
4	16860.89079	-7018.383764	-19524.25222	-19524.25067	-1.553014717
5	19049.35669	-4720.244794	-18140.93269	-18140.93365	0.963619584
6	20916.0999	-2342.39418	-16451.18539	-16451.18467	-0.719497995
7	22429.10631	75.06216565	-14483.17181	-14483.17214	0.329707042
8	23562.15417	2491.23659	-12269.77354	-12269.77355	0.018325835
9	24295.27758	4865.115433	-9848.092731	-9848.092611	-0.119906553
10	24615.14135	7156.226773	-7258.88032	-7258.880415	0.094668215
11	24515.31874	9325.311307	-4545.89723	-4545.897182	-0.048459069
12	23996.46421	11334.98659	-1755.215467	-1755.215491	0.023888184
13	23066.37415	13150.39409	1065.532668	1065.532611	0.056580533
14	21739.92956	14739.81768	3867.947223	3867.947264	-0.04120889
15	20038.91668	16075.26189	6603.683414	6603.683386	0.027505084
16	17991.72322	17132.97772	9225.291263	9225.291265	-0.002353016
17	15632.9107	17893.92409	11687.05722	11687.05725	-0.025985196
18	13002.66579	18344.15339	13945.83168	13945.83163	0.048469703
19	10146.13696	18475.1105	15961.82541	15961.8255	-0.092439306
20	7112.665698	18283.83613	17699.3576	17699.3573	0.294682553
21	3954.924883	17773.06694	19127.53824	19127.539	-0.757522325
22	727.9798475	16951.22728	20220.86841	20220.86785	0.556816576
23	-2511.709509	15832.31004	20959.74326	20959.73896	4.298190187
24	-5707.324958	14435.6465	21330.8446	21330.87892	-34.31944254
25	-8802.7422	12785.56869	21327.41239	21327.46603	-53.64188836
26	-11743.57586	10910.97001	20949.38735	20949.37959	7.765059476
27	-14478.19362	8844.773366	20203.42053	20203.41546	5.0695246
28	-16958.67657	6623.31818	19102.74874	19102.75504	-6.303184741
29	-19141.7041	4285.680221	17666.93903	17666.93597	3.063940671
30	-20989.34392	1872.939754	15921.50824	15921.50895	-0.707977915

ตารางที่ 6.4 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
31	-22469.7304	-572.585163	13897.42742	13897.42742	-0.000658248
32	-23557.61781	-3008.122845	11630.52362	11630.5236	0.026974135
33	-24234.79859	-5391.232152	9160.794013	9160.794014	-0.000753927
34	-24490.38077	-7680.569814	6531.648865	6531.648861	0.003902208
35	-24320.92216	-9836.625151	3789.101448	3789.101467	-0.019150486
36	-23730.42306	-11822.40796	980.923051	980.9230015	0.04949942
37	-22730.18207	-13604.07725	-1844.218632	-1844.218618	-0.014137528
38	-21338.52305	-15151.5007	-4637.62027	-4637.620283	0.012770123
39	-19580.40323	-16438.73677	-7351.386493	-7351.386501	0.008470587
40	-17486.91449	-17444.43395	-9939.241557	-9939.241525	-0.031655516
41	-15094.69121	-18152.14347	-12357.29613	-12357.29617	0.04437874
42	-12445.23863	-18550.54391	-14564.75814	-14564.7581	-0.038519712
43	-9584.195867	-18633.57791	-16524.5786	-16524.5786	-0.001661407
44	-6560.547848	-18400.50251	-18204.02526	-18204.02535	0.097556349
45	-3425.799606	-17855.85585	-19575.17842	-19575.17815	-0.265132671
46	-233.1258945	-17009.34382	-20615.34517	-20615.34559	0.429760411
47	2963.491752	-15875.65104	-21307.38912	-21307.38887	-0.246311865
48	6110.12927	-14474.18053	-21639.97411	-21639.97036	-3.755466904
49	9153.775092	-12828.7273	-21607.72102	-21607.73039	9.374111068
50	12043.16611	-10967.09065	-21211.27742	-21211.2764	-1.021856505
51	14729.59526	-8920.630547	-20457.30042	-20457.29933	-1.085010173
52	17167.68172	-6723.773285	-19358.35331	-19358.3544	1.09263289
53	19316.09504	-4413.471995	-17932.71705	-17932.71629	-0.766161523
54	21138.22443	-2028.627726	-16204.118	-16204.11867	0.678378134
55	22602.78449	390.5226552	-14201.37376	-14201.37337	-0.394194535
56	23684.34868	2803.045056	-11957.95981	-11957.95988	0.061467652
57	24363.80172	5167.965822	-9511.500001	-9511.500078	0.07688829
58	24628.70214	7444.940316	-6903.185456	-6903.185371	-0.085474873
59	24473.54671	9594.923407	-4177.12737	-4177.127426	0.056409327
60	23899.92888	11580.83199	-1379.650613	-1379.650571	-0.042061456
61	22916.58421	13368.18885	1441.463255	1441.463297	-0.042297614

ตารางที่ 6.4 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
62	21539.3172	14925.73654	4237.773383	4237.773342	0.040987055
63	19790.80556	16226.00937	6961.005498	6961.005534	-0.035839885
64	17700.28003	17245.85138	9563.892697	9563.892681	0.016163153
65	15303.08045	17966.86851	12001.01613	12001.01612	0.011251745
66	12640.09147	18375.80331	14229.62936	14229.62939	-0.0346803
67	9757.064663	18464.82195	16210.4493	16210.44923	0.078226309
68	6703.836636	18231.7044	17908.39651	17908.39682	-0.314709983
69	3533.456128	17679.93064	19293.26747	19293.26646	1.013673323
70	301.2361323	16818.65804	20340.32277	20340.32429	-1.522845874
71	-2936.25037	15662.58762	21030.77602	21030.77842	-2.394886589
72	-6122.210166	14231.71976	21352.17086	21352.12938	41.4808489
73	-9200.682566	12551.00286	21298.6356	21298.5878	47.8001779
74	-12117.58176	10649.8815	20871.0083	20871.02118	-12.88346653
75	-14821.70528	8561.753327	20076.82834	20076.82942	-1.077270925
76	-17265.68564	6323.346648	18930.19428	18930.18963	4.64994008
77	-19406.86396	3974.032748	17451.49112	17451.49397	-2.850664466
78	-21208.06613	1555.08868	15666.99393	15666.99306	0.873324293
79	-22638.26551	-891.0725309	13608.35786	13608.35798	-0.116178556
80	-23673.1189	-3321.686855	11312.0073	11312.00728	0.016977321
81	-24295.36655	-5694.421975	8818.43952	8818.439539	-0.019108562
82	-24495.09081	-7968.141057	6171.459632	6171.459621	0.011188701
83	-24269.8316	-10103.63195	3417.364714	3417.364708	0.006026089
84	-23624.56068	-12064.28784	604.095618	604.0956633	-0.045285903
85	-22571.52016	-13816.72742	-2219.625524	-2219.625542	0.01806162
86	-21129.93306	-15331.34443	-5005.154685	-5005.154666	-0.019447179
87	-19325.59672	-16582.77928	-7704.766118	-7704.766119	0.000597469
88	-17190.37097	-17550.30704	-10272.45876	-10272.45879	0.025807781
89	-14761.57467	-18218.13868	-12664.71617	-12664.71613	-0.047735618
90	-12081.30458	-18575.63418	-14841.20924	-14841.20929	0.056079216
91	-9195.690856	-18617.42789	-16765.43275	-16765.43271	-0.032103079
92	-6154.103185	-18343.46778	-18405.26898	-18405.26893	-0.055123445

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
93	-3008.321007	-17758.97157	-19733.47291	-19733.47316	0.246060586
94	188.3192737	-16874.30335	-20728.07526	-20728.07475	-0.507264108
95	3381.788128	-15704.77499	-21372.70088	-21372.7014	0.527525601
96	6518.226649	-14270.37714	-21656.80095	-21656.80576	4.810903587

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม

PRN 24

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
1	-12502.0665	-13011.61352	-19274.28974	-19274.28974	-0.003694095
2	-11406.4609	-15949.65674	-17712.0817	-17712.0817	0.001487377
3	-10111.55577	-18609.0483	-15840.33624	-15840.33624	-0.000180939
4	-8640.433976	-20944.17011	-13692.48113	-13692.48113	-0.000446848
5	-7019.154677	-22915.35732	-11306.6234	-11306.6234	0.000255709
6	-5276.253905	-24489.5431	-8724.815266	-8724.815265	-0.00071778
7	-3442.210268	-25640.76732	-5992.263216	-5992.26322	0.004192685
8	-1548.887867	-26350.54443	-3156.498224	-3156.498214	-0.009693304
9	371.0319034	-26608.09012	-266.524831	-266.5248002	-0.030750258
10	2284.618685	-26410.40905	2628.03432	2628.034336	-0.016067371
11	4159.251598	-25762.24885	5477.783172	5477.783168	0.004059574
12	5963.158918	-24675.92775	8234.372522	8234.372522	-0.000255447
13	7665.931262	-23171.04487	10851.28396	10851.28396	-0.001494867
14	9239.001842	-21274.0829	13284.56739	13284.56739	0.001865513
15	10656.0884	-19017.9142	15493.52369	15493.52369	-0.001542197
16	11893.59261	-16441.22077	17441.32585	17441.32585	0.00057504
17	12930.95344	-13587.83916	19095.57288	19095.57288	0.000806785
18	13750.95204	-10506.04053	20428.77251	20428.77251	-0.00231942
19	14339.96581	-7247.756028	21418.74892	21418.74891	0.001865227
20	14688.17028	-3867.757083	22048.97294	22048.97294	0.001916925
21	14789.68727	-422.7998646	22308.81234	22308.81235	-0.008298548
22	14642.67817	3029.256998	22193.70005	22193.70007	-0.011290865
23	14249.38142	6430.352417	21705.21854	21705.21854	-0.000652617

ตารางที่ 6.5 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
24	13616.09297	9723.131335	20851.09855	20851.09855	0.004546993
25	12753.08918	12851.85207	19645.13074	19645.13074	-0.001526185
26	11674.49133	15763.28222	18106.98875	18106.98875	-0.001743672
27	10398.07142	18407.57208	16261.96304	16261.96303	0.003837552
28	8944.999566	20739.09363	14140.60534	14140.60534	-0.002031875
29	7339.533644	22717.2321	11778.28452	11778.28452	-0.00276268
30	5608.653029	24307.1165	9214.656026	9214.656022	0.003742757
31	3781.639117	25480.27459	6493.048704	6493.048706	-0.002126645
32	1889.606745	26215.19769	3659.774654	3659.774652	0.002175687
33	-35.00799732	26497.80061	763.369985	763.3699718	0.013206271
34	-1958.996536	26321.76274	-2146.223325	-2146.223331	0.005926908
35	-3848.954519	25688.7378	-5018.521847	-5018.521845	-0.001534366
36	-5671.876389	24608.42131	-7803.396432	-7803.396432	0.000402037
37	-7395.756304	23098.46798	-10451.98221	-10451.98221	-0.000699669
38	-8990.182891	21184.25429	-12917.58401	-12917.58401	-0.000346226
39	-10426.91454	18898.48534	-15156.5572	-15156.5572	0.001485687
40	-11680.42168	16280.64963	-17129.14334	-17129.14334	-0.001044637
41	-12728.38269	13376.3295	-18800.24029	-18800.24029	-9.43606E-05
42	-13552.12082	10236.37999	-20140.08721	-20140.08721	0.000575442
43	-14136.97087	6915.992492	-21124.84708	-21124.84708	0.000398565
44	-14472.56594	3473.663952	-21737.0714	-21737.0714	-0.000158218
45	-14553.03692	-29.90499138	-21966.03531	-21966.0353	-0.009557591
46	-14377.11985	-3532.957024	-21807.93489	-21807.93488	-0.011247656
47	-13948.16873	-6973.843271	-21265.94234	-21265.94234	0.003767317
48	-13274.07447	-10292.17915	-20350.11902	-20350.11903	0.002818559
49	-12367.093	-13429.96438	-19077.1903	-19077.19031	0.003083217
50	-11243.58821	-16332.64224	-17470.18978	-17470.18978	-0.001699468
51	-9923.697414	-18950.07571	-15557.98411	-15557.98411	0.00056698
52	-8430.928947	-21237.42135	-13374.69213	-13374.69213	0.000132214
53	-6791.702751	-23155.8853	-10959.01423	-10959.01423	5.23387E-05
54	-5034.845589	-24673.34983	-8353.489331	-8353.489331	0.000198969

ตารางที่ 6.5 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y(กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
55	-3191.053043	-25764.86284	-5603.697398	-5603.697394	-0.004018263
56	-1292.330317	-26412.98631	-2757.42573	-2757.425743	0.013306732
57	628.5765475	-26608.00371	136.183621	136.18359	0.031049445
58	2538.748189	-26347.98896	3027.488719	3027.488707	0.012397436
59	4405.648303	-25638.74261	5867.189859	5867.189864	-0.004647496
60	6197.660142	-24493.60283	8607.14549	8607.145489	0.001239334
61	7884.595605	-22933.14022	11201.15031	11201.15031	0.000793061
62	9438.170605	-20984.74667	13605.66565	13605.66565	-0.001615172
63	10832.44152	-18682.12887	15780.494	15780.494	0.001732336
64	12044.19855	-16064.7174	17689.39108	17689.39108	-0.001081787
65	13053.31276	-13177.00206	19300.61016	19300.61016	-0.00023713
66	13843.0342	-10067.80382	20587.37445	20587.37444	0.002161687
67	14400.23912	-6789.493435	21528.27422	21528.27423	-0.002513009
68	14715.62465	-3397.166281	22107.58606	22107.58606	-0.000929404
69	14783.84973	52.21739127	22315.51175	22315.51174	0.009647136
70	14603.62099	3500.717688	22148.33501	22148.335	0.010313969
71	14177.7226	6890.316767	21608.49399	21608.49399	-0.000794459
72	13512.98916	10163.82772	20704.56808	20704.56808	-0.004146436
73	12620.22079	13265.80092	19451.17717	19451.17717	0.002313327
74	11514.03981	16143.41752	17868.79251	17868.79251	0.000821043
75	10212.68875	18747.35882	15983.45807	15983.45807	-0.00370548
76	8737.769981	21032.63948	13826.42268	13826.42267	0.002999131
77	7113.927751	22959.39165	11433.68372	11433.68372	0.001694067
78	5368.474639	24493.5859	8845.44495	8845.444954	-0.003578408
79	3530.96524	25607.67477	6105.4922	6105.492197	0.002750855
80	1632.721381	26281.14406	3260.493186	3260.49319	-0.004054226
81	-293.6854233	26500.9573	359.229409	359.2294223	-0.013318104
82	-2214.987041	26261.87956	-2548.229217	-2548.229213	-0.004314693
83	-4097.798477	25566.6682	-5411.394092	-5411.394094	0.001552054
84	-5909.214004	24426.12022	-8180.256728	-8180.256727	-0.000552565
85	-7617.408043	22858.96853	-10806.19929	-10806.19929	0.000966366

ตารางที่ 6.5 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
86	-9192.22809	20891.62306	-13242.89785	-13242.89785	-5.23248E-05
87	-10605.76638	18557.75641	-15447.19817	-15447.19817	-0.001316292
88	-11832.89666	15897.73817	-17379.9435	-17379.9435	0.001252945
89	-12851.76293	12957.92647	-19006.73392	-19006.73392	-0.000223443
90	-13644.20749	9789.829843	-20298.59822	-20298.59822	-0.000424163
91	-14196.12735	6449.156708	-21232.56078	-21232.56078	-0.00057945
92	-14497.74965	2994.773279	-21792.08898	-21792.08898	0.00094153
93	-14543.819	-512.4059968	-21967.40958	-21967.40959	0.010928963
94	-14333.69212	-4010.569564	-21755.68645	-21755.68646	0.009633028
95	-13871.33804	-7438.174175	-21161.05599	-21161.05599	-0.005135961
96	-13165.24455	-10735.09735	-20194.52067	-20194.52067	-0.001187911

ตารางที่ 6.6 แสดงค่าความเที่ยงตรงของการประมาณค่าฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม
PRN 27

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
1	-1517.844187	-26153.61504	1248.772955	1248.772967	-0.011925415
2	561.4161382	-26174.31943	-1601.272611	-1601.272601	-0.010217256
3	2630.647061	-25727.3866	-4422.70925	-4422.709251	0.000617856
4	4652.925203	-24821.20885	-7165.194436	-7165.194438	0.002307325
5	6592.284431	-23472.64329	-9779.96694	-9779.966939	-0.001366877
6	8414.418324	-21706.62846	-12220.79767	-12220.79767	-0.000808972
7	10087.33633	-19555.62819	-14444.87153	-14444.87153	0.001717088
8	11581.95757	-17058.92225	-16413.57887	-16413.57887	-0.000332687
9	12872.62921	-14261.76775	-18093.19948	-18093.19947	-0.0013816
10	13937.55965	-11214.45806	-19455.46646	-19455.46646	0.001303915
11	14759.16029	-7971.307193	-20478.00243	-20478.00243	-0.000426051
12	15324.293	-4589.587834	-21144.62501	-21144.625	-0.000760714
13	15624.4237	-1128.449626	-21445.52271	-21445.52272	0.003155401
14	15655.68471	2352.157757	-21377.30636	-21377.30636	0.002684733
15	15418.85143	5792.535256	-20942.94334	-20942.94334	0.000296099
16	14919.23956	9134.240621	-20151.58484	-20151.58484	-0.000564515

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
17	14166.53106	12321.03547	-19018.29687	-19018.29687	-0.000152711
18	13174.53678	15299.76188	-17563.70697	-17563.70697	0.000273842
19	11960.90431	18021.14032	-15813.57816	-15813.57816	-0.000166342
20	10546.77901	20440.48339	-13798.32151	-13798.32151	-2.37865E-06
21	8956.426023	22518.32199	-11552.45786	-11552.45786	0.000296589
22	7216.819911	24220.9424	-9114.038181	-9114.038181	0.000238554
23	5357.20839	25520.8338	-6524.031109	-6524.031108	-0.001049372
24	3408.65541	26397.04656	-3825.685102	-3825.685102	-0.000243086
25	1403.568448	26835.46192	-1063.871771	-1063.871776	0.005387953
26	-624.7857922	26828.97389	1715.583895	1715.58389	0.005220676
27	-2642.773493	26377.58355	4466.581203	4466.581204	-0.00094915
28	-4616.890062	25488.40588	7143.424437	7143.424438	-0.000711838
29	-6514.257196	24175.58867	9701.501706	9701.501705	0.00118708
30	-8303.116985	22460.14242	12097.95689	12097.95689	-0.000345161
31	-9953.319029	20369.68007	14292.34912	14292.34912	-0.00049947
32	-11436.79604	17938.06502	16247.2935	16247.2935	0.000577635
33	-12728.02264	15204.96613	17929.07589	17929.07588	0.000218928
34	-13804.45149	12215.31899	19308.23341	19308.23341	-0.000521089
35	-14646.91972	9018.693613	20360.09148	20360.09148	-0.000125192
36	-15240.01816	5668.570176	21065.24668	21065.24668	1.81688E-05
37	-15572.41491	2221.52655	21409.98431	21409.9843	0.002292067
38	-15637.12436	-1263.656288	21386.61834	21386.61833	0.005456108
39	-15431.71235	-4726.961737	20993.74176	20993.74176	0.002887079
40	-14958.42868	-8108.16544	20236.37502	20236.37502	-0.000853095
41	-14224.25821	-11347.90739	19126.00171	19126.00171	-0.000250208
42	-13240.88352	-14388.78857	17680.48206	17680.48205	0.000322142
43	-12024.55347	-17176.46897	15923.83734	15923.83734	-0.000199468
44	-10595.85448	-19660.7411	13885.90182	13885.90181	0.000612851
45	-8979.384185	-21796.55104	11601.84243	11601.84243	-0.000376636
46	-7203.330533	-23544.93805	9111.551447	9111.551449	-0.001512085
47	-5298.96269	-24873.86454	6458.921837	6458.921835	0.002432485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X (กิโลเมตร)	Y (กิโลเมตร)	Z จริง (กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ (ก.ม.)	ค่าผิดพลาด (เมตร)
48	-3300.043987	-25758.90968	3691.020034	3691.020033	0.000745867
49	-1242.18033	-26183.80372	857.175445	857.1754323	0.012667097
50	837.8794914	-26140.78468	-1991.990312	-1991.990321	0.008860803
51	2902.972973	-25630.76518	-4805.568446	-4805.568444	-0.001562814
52	4916.262584	-24663.30373	-7533.374751	-7533.374749	-0.001832839
53	6841.963599	-23256.38227	-10126.94024	-10126.94024	0.001613724
54	8646.041396	-21435.99834	-12540.45393	-12540.45393	0.000418848
55	10296.86016	-19235.58674	-14731.63348	-14731.63348	-0.001763228
56	11765.76729	-16695.29123	-16662.50288	-16662.50288	0.000782049
57	13027.60086	-13861.1103	-18300.06049	-18300.06049	0.001064757
58	14061.11093	-10783.94429	-19616.82581	-19616.82581	-0.001404696
59	14849.28877	-7518.571859	-20591.25776	-20591.25776	0.000826869
60	15379.60171	-4122.583799	-21208.04217	-21208.04217	0.000280223
61	15644.13437	-655.3006178	-21458.25025	-21458.25025	-0.003437253
62	15639.63922	2823.301984	-21339.37329	-21339.37329	-0.00232209
63	15367.5023	6253.638662	-20855.24165	-20855.24164	-9.01251E-05
64	14833.63049	9577.513332	-20015.83797	-20015.83797	0.000574571
65	14048.26862	12739.05719	-18837.01598	-18837.01598	4.47142E-05
66	13025.75437	15685.59498	-17340.13645	-17340.13645	-0.000237402
67	11784.21948	18368.43176	-15551.63205	-15551.63205	0.000193853
68	10345.24531	20743.55481	-13502.51232	-13502.51232	-5.39985E-05
69	8733.480122	22772.2478	-11227.81917	-11227.81917	-0.000315135
70	6976.225092	24421.6157	-8766.042208	-8766.042208	-0.00014722
71	5102.995015	25665.02016	-6158.502373	-6158.502374	0.00121833
72	3145.059078	26482.42572	-3448.711117	-3448.711117	-0.000341729
73	1134.966415	26860.6576	-681.711577	-681.711571	-0.005962267
74	-893.9394302	26793.57165	2096.592603	2096.592607	-0.004451771
75	-2908.013376	26282.13679	4840.115668	4840.115667	0.001402204
76	-4873.805446	25334.42998	7503.27048	7503.27048	0.000299902
77	-6758.55768	23965.54306	10041.64674	10041.64674	-0.001111988
78	-8530.697561	22197.4005	12412.68154	12412.68154	0.000526951

ตารางที่ 6.6 (ต่อ)

ลำดับข้อมูล	X(กิโลเมตร)	Y(กิโลเมตร)	Z จริง(กิโลเมตร)	Z จากค่าประมาณ(ก.ม.)	ค่าผิดพลาด(เมตร)
79	-10160.32391	20058.48675	14576.31667	14576.31667	0.000355971
80	-11619.68059	17583.48164	16495.63614	16495.63614	-0.000643222
81	-12883.61272	14812.80277	18137.47678	18137.47678	-7.48762E-05
82	-13929.99922	11792.05395	19473.00331	19473.00331	0.000515499
83	-14740.15491	8571.380357	20478.2385	20478.2385	8.14238E-05
84	-15299.19411	5204.73202	21134.53776	21134.53776	-0.000112463
85	-15596.34757	1749.039807	21428.99669	21428.9967	-0.002848011
86	-15625.22353	-1736.689641	21354.77952	21354.77952	-0.00548801
87	-15384.00386	-5192.350381	20911.35605	20911.35606	-0.002223471
88	-14875.56613	-8557.772056	20104.63536	20104.63536	0.000996006
89	-14107.52345	-11773.79657	18946.98515	18946.98515	4.53748E-05
90	-13092.17488	-14783.37635	17457.1279	17457.1279	-0.000228187
91	-11846.36115	-17532.67061	15659.90727	15659.90727	0.000143333
92	-10391.22292	-19972.11346	13585.92176	13585.92176	-0.000657344
93	-8751.861577	-22057.4256	11271.02656	11271.02656	0.000682183
94	-6956.906105	-23750.54072	8755.709461	8755.70946	0.001249673
95	-5037.992921	-25020.41849	6084.351108	6084.351111	-0.002938607
96	-3029.169343	-25843.71777	3304.385134	3304.385133	0.000885296

จากข้อมูลข้างต้น เห็นได้ว่าค่าฟังก์ชันที่ประมาณได้ มีความเที่ยงตรงสูง จึงสามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชัน เพื่อปรับแก้ค่าตำแหน่งของดาวเทียมได้ ดังแสดงให้เห็นในหัวข้อต่อไป

6.2 การจำลองผลของ SA และการปรับแก้

ในส่วนนี้ เราได้ทำการจำลองผลของ SA ที่ทำให้เกิดระยะพิสัยเทียม ของวันที่ 16 มกราคม 1998 โดยแสดงค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 02,04 และ 09 ที่เบี่ยงเบนไปจากตำแหน่งจริง ทั้งก่อนและหลังกระบวนการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียมแล้ว แสดงค่าทุกๆ 1 ชั่วโมงตามเวลา GMT ดังแสดงในตารางที่ 6.7 ถึง 6.12

ตารางที่ 6.7 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 02

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	619.015303	-17754.1506	20001.56469	-17.1758

ตารางที่ 6.7 (ต่อ)

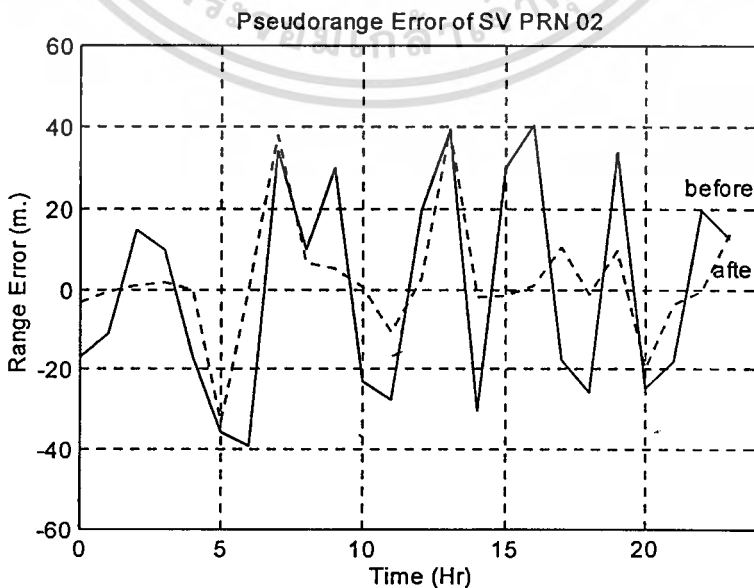
เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
1:00	12428.16805	-19383.4488	13153.8709	-10.9597
2:00	20860.47042	-15767.1806	2755.840437	14.44231
3:00	23500.96045	-7783.88053	-8395.130033	9.691025
4:00	19514.87322	2389.500827	-17172.94009	-17.0346
5:00	10003.53056	11888.10046	-21089.61538	-35.7094
6:00	-2320.460163	18061.03424	-19094.88233	-39.2628
7:00	-14021.5714	19279.60068	-11851.03284	33.96711
8:00	-21981.80018	15336.27048	-1423.940506	9.509277
9:00	-24199.29531	7377.304823	9385.531268	29.79072
10:00	-20185.43369	-2485.15042	17782.28091	-23.0566
11:00	-10993.27058	-11708.7604	21614.75258	-27.735
12:00	1038.240426	-17894.9604	19848.20049	19.41032
13:00	12782.30087	-19350.3554	12843.11067	39.00448
14:00	21050.80047	-15564.7957	2368.992398	-30.5112
15:00	23470.67083	-7465.2209	-8751.435645	29.88111
16:00	19270.28954	2735.429738	-17397.54034	40.13315
17:00	9614.345399	12163.76057	-21119.67507	-17.6404
18:00	-2743.960995	18191.0629	-18925.04031	-25.9727
19:00	-14363.79262	19232.23348	-11531.95516	33.69465
20:00	-22154.27319	15128.45032	-1043.660345	-24.8405
21:00	-24160.5808	7066.065551	9727.370717	-18.1009
22:00	-19947.43096	-2819.04013	17998.10052	19.42487
23:00	-10616.68269	-11979.3142	21648.63083	12.64682

ตารางที่ 6.8 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่ง ของดาวเทียม PRN 02

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	619.015367	-17754.14057	20001.55527	-3.45801
1:00	12428.16151	-19383.44346	13153.86395	-0.55144
2:00	20860.48089	-15767.18959	2755.841053	0.704835
3:00	23500.9658	-7783.885928	-8395.135275	1.586164
4:00	19514.86039	2389.498962	-17172.92934	-0.20105
5:00	10003.53056	11888.10083	-21089.61229	-33.3942

ตารางที่ 6.8 (ต่อ)

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
6:00	-2320.456735	18061.00786	-19094.85255	0.646093
7:00	-14021.57353	19279.59129	-11851.03672	37.91079
8:00	-21981.80647	15336.26637	-1423.945572	6.435982
9:00	-24199.31861	7377.309976	9385.538379	5.009798
10:00	-20185.41687	-2485.149502	17782.26423	0.576944
11:00	-10993.26394	-11708.75317	21614.73876	-10.7734
12:00	1038.240777	-17894.9727	19848.21225	2.473977
13:00	12782.30976	-19350.34133	12843.12241	39.27258
14:00	21050.77821	-15564.77747	2368.991274	-1.82059
15:00	23470.69767	-7465.231741	-8751.447882	-1.41084
16:00	19270.31843	2735.433589	-17397.56665	0.876741
17:00	9614.346092	12163.76525	-21119.63713	10.51598
18:00	-2743.959092	18191.04537	-18925.02279	-1.13646
19:00	-14363.80023	19232.25854	-11531.95904	9.80331
20:00	-22154.27036	15128.44553	-1043.661755	-19.8617
21:00	-24160.56648	7066.06414	9727.367669	-3.81787
22:00	-19947.44507	-2819.041307	17998.11463	-0.51846
23:00	-10616.68242	-11979.31389	21648.63024	13.37481



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 6.1 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 02
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.9 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 04

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	-5885.272314	-24046.15091	-9307.500959	16.596
1:00	1786.650653	-26355.50061	1970.890044	12.26775
2:00	8975.570084	-21508.44086	12717.24878	-26.8018
3:00	13745.57042	-10857.29055	20035.77468	12.8768
4:00	14834.63003	2705.840604	21988.09038	42.24123
5:00	11971.05735	15550.5402	18080.63009	-36.7581
6:00	5925.100224	24261.63084	9365.600167	-22.3599
7:00	-1696.970741	26513.83566	-1841.320045	-22.5415
8:00	-8863.2408	21677.07027	-12552.81547	44.01726
9:00	-13642.35028	11009.33028	-19882.7004	33.09852
10:00	-14724.43096	-2637.530634	-21823.24996	-44.7344
11:00	-11796.22004	-15563.39008	-17818.89064	-37.4048
12:00	-5647.460192	-24239.63007	-8948.641894	38.26896
13:00	2042.330881	-26306.38085	2363.770715	18.17325
14:00	9179.780724	-21231.35005	13037.51053	26.45959
15:00	13843.82354	-10428.30093	20197.98349	-31.323
16:00	14801.36019	3171.180425	21949.7508	28.94493
17:00	11815.65049	15928.32769	17852.88687	-32.8468
18:00	5688.967657	24451.45069	9009.160231	23.2158
19:00	-1951.100835	26464.52011	-2231.874045	21.57473
20:00	-9067.330181	21400.57001	-12872.90015	-32.2299
21:00	-13740.90015	10578.78608	-20045.27254	-32.0159
22:00	-14690.00025	-3106.040238	-21783.15514	37.86023
23:00	-11637.69057	-15942.22069	-17586.37047	34.9204

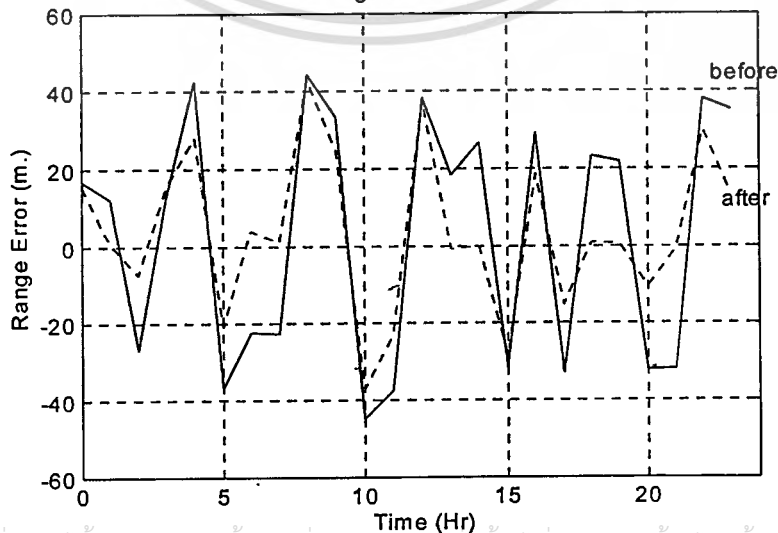
ตารางที่ 6.10 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 04

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	-5885.269136	-24046.14491	-9307.513634	15.45258
1:00	1786.652075	-26355.51234	1970.890466	0.469204
2:00	8975.56181	-21508.42539	12717.2362	-7.52738
3:00	13745.56715	-10857.3095	20035.77406	15.45986
4:00	14834.62546	2705.822287	21988.02524	28.03607

ตารางที่ 6.10 (ต่อ)

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด
5:00	11971.03923	15550.5508	18080.60863	-20.8153
6:00	5925.128142	24261.61873	9365.644986	4.065641
7:00	-1696.993508	26513.83727	-1841.339431	0.990507
8:00	-8863.232689	21677.05073	-12552.81997	42.60486
9:00	-13642.348	11009.30372	-19882.63935	24.36926
10:00	-14724.41779	-2637.539701	-21823.24962	-37.0259
11:00	-11796.21709	-15563.38144	-17818.87186	-22.9055
12:00	-5647.453571	-24239.61421	-8948.637627	37.09621
13:00	2042.303649	-26306.37958	2363.741447	-0.70858
14:00	9179.777818	-21231.36209	13037.51877	-0.31803
15:00	13843.84309	-10428.31974	20198.02872	-28.3474
16:00	14801.36901	3171.171851	21949.78068	18.42592
17:00	11815.64168	15928.32703	17852.86504	-15.1563
18:00	5688.950894	24451.4511	9009.086026	1.042962
19:00	-1951.104386	26464.53098	-2231.874579	0.527301
20:00	-9067.324975	21400.56316	-12872.9025	-10.8535
21:00	-13740.89927	10578.7697	-20045.24077	-0.99602
22:00	-14690.01428	-3106.021373	-21783.16558	29.5731
23:00	-11637.69372	-15942.22395	-17586.36898	13.32223

Pseudorange Error of SV PRN 04



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 6.2 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 04
 ไม่ว่าจะผิดตรงไหน อีกทีห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.11 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 09

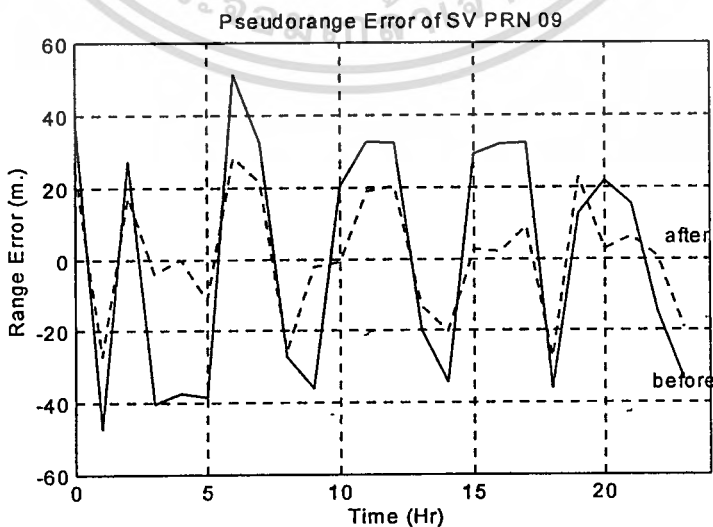
เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	-15042.83096	6397.210472	20808.62075	39.04681
1:00	-15005.16619	-7414.740989	20616.29528	-47.4686
2:00	-10921.93033	-19234.63024	14864.32635	27.1137
3:00	-3921.990828	-25926.15588	5142.060049	-40.2271
4:00	4118.577717	-25752.25083	-5945.145951	-37.3872
5:00	11071.76072	-18778.58066	-15462.39683	-38.544
6:00	15093.65001	-6837.520565	-20885.21718	51.06421
7:00	15092.22052	6920.300538	-20740.00158	32.04159
8:00	11029.26063	18808.73081	-15012.38047	-27.2191
9:00	3969.066157	25577.07021	-5204.344467	-36.2235
10:00	-4176.980032	25333.26072	6027.670425	20.07528
11:00	-11174.47012	18124.13706	15601.92726	32.64128
12:00	-15109.04441	5942.370561	20898.90073	32.3539
13:00	-14931.94094	-7862.700493	20507.44009	-19.9633
14:00	-10730.37067	-19555.69079	14587.66805	-34.1591
15:00	-3664.040681	-26036.11504	4772.362092	29.12382
16:00	4374.330016	-25623.20013	-6309.35009	31.9521
17:00	11257.77059	-18444.73033	-15725.03506	32.36995
18:00	15160.21096	-6386.580934	-20976.14587	-36.0988
19:00	15020.42033	7368.600961	-20633.24074	12.64807
20:00	10837.05081	19133.00097	-14734.82013	21.56008
21:00	3707.820948	25687.5805	-4830.235949	15.46616
22:00	-4435.900916	25198.47013	6396.040496	-14.9036
23:00	-11359.92093	17780.99812	15863.42069	-33.7478

ตารางที่ 6.12 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 09

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	-15042.84309	6397.203967	20808.6316	24.95388
1:00	-15005.15856	-7414.745706	20616.29418	-27.2621
2:00	-10921.94327	-19234.62708	14864.33547	17.36968
3:00	-3921.997379	-25926.14602	5142.048671	-4.16001
4:00	4118.571746	-25752.23488	-5945.137708	-0.02451

ตารางที่ 6.12 (ต่อ)

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
5:00	11071.75128	-18778.57856	-15462.39414	-11.371
6:00	15093.65858	-6837.506282	-20885.21626	28.47754
7:00	15092.22904	6920.286198	-20740.0008	21.43938
8:00	11029.25809	18808.73974	-15012.38105	-25.733
9:00	3969.072482	25577.05736	-5204.343307	-2.269
10:00	-4176.965108	25333.27096	6027.67388	-0.9541
11:00	-11174.47832	18124.14663	15601.94665	18.72438
12:00	-15109.04955	5942.363376	20898.90135	20.30725
13:00	-14931.93047	-7862.69862	20507.43963	-13.1658
14:00	-10730.37136	-19555.68081	14587.65932	-20.159
15:00	-3664.039906	-26036.1259	4772.373063	2.486441
16:00	4374.338632	-25623.20902	-6309.354535	1.826515
17:00	11257.78598	-18444.72627	-15725.03806	8.902775
18:00	15160.20655	-6386.588958	-20976.13623	-27.7156
19:00	15020.42685	7368.578187	-20633.24131	22.86055
20:00	10837.06207	19133.01511	-14734.82747	2.647306
21:00	3707.824046	25687.58938	-4830.23633	6.321596
22:00	-4435.899051	25198.45548	6396.036072	0.47661
23:00	-11359.91158	17781.00037	15863.42136	-19.2616



ภาพที่ 6.3 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียม PRN 09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.13 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 18

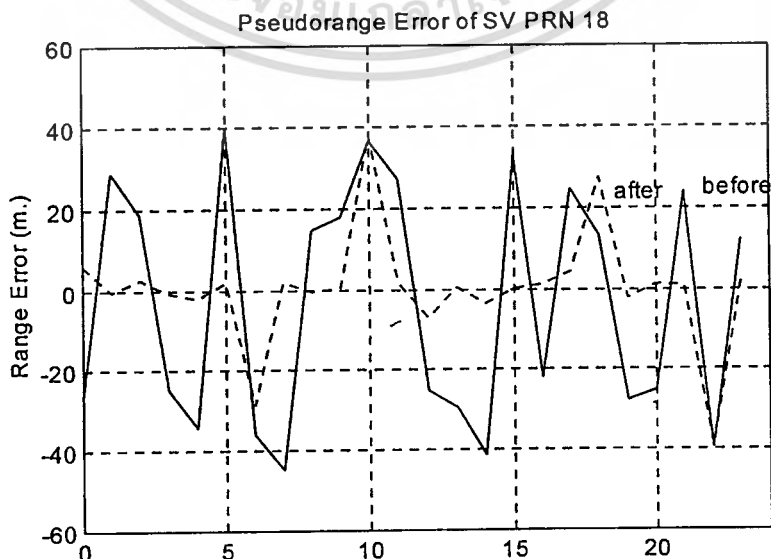
เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	8760.290196	-13058.35075	-21633.17349	-26.4559
1:00	19049.35069	-4720.240794	-18140.91069	28.81045
2:00	24295.27058	4865.110433	-9848.052731	18.37135
3:00	23066.38015	13150.40509	1065.552668	-24.8023
4:00	15632.9157	17893.93009	11687.08722	-34.3988
5:00	3954.920883	17773.06094	19127.51024	39.87568
6:00	-8802.7502	12785.57069	21327.43639	-36.0746
7:00	-19141.7141	4285.685221	17666.99903	-44.9344
8:00	-24234.79059	-5391.230152	9160.780013	14.61733
9:00	-22730.18007	-13604.07025	-1844.200632	17.66968
10:00	-15094.68121	-18152.14047	-12357.25113	36.41624
11:00	-3425.790606	-17855.85085	-19575.12042	26.93268
12:00	9153.780092	-12828.7353	-21607.74102	-25.1302
13:00	19316.10504	-4413.480995	-17932.74705	-29.363
14:00	24363.81072	5167.975822	-9511.555001	-41.2365
15:00	22916.58021	13368.18585	1441.450255	32.97745
16:00	15303.09545	17966.87551	12001.03513	-22.0319
17:00	3533.450128	17679.92564	19293.25047	24.60468
18:00	-9200.680566	12551.00086	21298.6256	13.21151
19:00	-19406.87096	3974.040748	17451.51012	-27.7659
20:00	-24295.37055	-5694.430975	8818.48052	-25.1173
21:00	-22571.51516	-13816.72042	-2219.600524	23.68246
22:00	-14761.58067	-18218.14568	-12664.77617	-39.4934
23:00	-3008.320007	-17758.96657	-19733.46091	12.2991

ตารางที่ 6.14 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 18

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	8760.282309	-13058.34066	-21633.15043	6.232665
1:00	19049.36184	-4720.23611	-18140.93048	-0.64018
2:00	24295.28562	4865.111904	-9848.067298	2.716963
3:00	23066.36782	13150.40636	1065.542026	-0.95367
4:00	15632.91105	17893.9289	11687.0545	-2.24998

ตารางที่ 6.14 (ต่อ)

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
5:00	3954.913241	17773.07217	19127.53302	1.999792
6:00	-8802.756654	12785.58507	21327.43216	-28.7463
7:00	-19141.70045	4285.688093	17666.93806	2.022986
8:00	-24234.80425	-5391.223688	9160.78573	-0.59047
9:00	-22730.1846	-13604.07458	-1844.201317	0.404693
10:00	-15094.67176	-18152.12709	-12357.26246	37.79447
11:00	-3425.772758	-17855.85978	-19575.17714	1.746067
12:00	9153.782736	-12828.72439	-21607.72845	-7.22022
13:00	19316.09374	-4413.476684	-17932.71666	0.433369
14:00	24363.79454	5167.991644	-9511.514313	-3.54392
15:00	22916.58933	13368.18108	1441.453335	0.032961
16:00	15303.08113	17966.86176	12001.02291	1.117393
17:00	3533.440292	17679.93379	19293.26152	4.361977
18:00	-9200.663833	12550.99073	21298.6171	27.24857
19:00	-19406.86256	3974.047484	17451.49268	-2.22639
20:00	-24295.35703	-5694.424136	8818.460594	1.248523
21:00	-22571.52405	-13816.72337	-2219.601403	0.809876
22:00	-14761.58331	-18218.16843	-12664.74549	-39.0641
23:00	-3008.320064	-17758.97569	-19733.46688	1.827004



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่า ภาพที่ 6.4 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 18

ตารางที่ 6.15 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 24

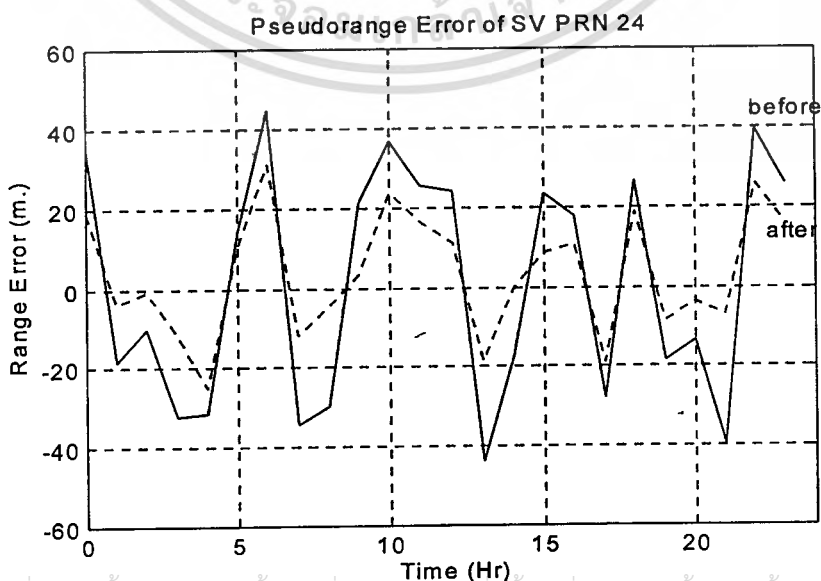
เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	-12502.0661	-13011.6005	-19274.2507	35.34258
1:00	-7019.16068	-22915.3603	-11306.6404	-18.4665
2:00	371.0409034	-26608.1001	-266.559831	-10.4746
3:00	7665.940262	-23171.0509	10851.30096	-32.0449
4:00	12930.96044	-13587.8452	19095.60088	-31.4788
5:00	14789.68027	-422.790865	22308.80034	14.01002
6:00	12753.08018	12851.84207	19645.08574	44.42757
7:00	7339.540644	22717.2401	11778.31052	-34.3082
8:00	-35.0179973	26497.80961	763.420985	-29.6059
9:00	-7395.7503	23098.45798	-10451.9622	21.14197
10:00	-12728.3757	13376.3205	-18800.2003	36.84452
11:00	-14553.0309	-29.9009914	-21966.0053	25.51425
12:00	-12367.085	-13429.9604	-19077.1753	24.04615
13:00	-6791.71075	-23155.8903	-10959.0602	-43.9037
14:00	628.5805475	-26608.0107	136.198621	-17.4024
15:00	7884.590605	-22933.1302	11201.12531	23.49564
16:00	13053.30676	-13177.0001	19300.58016	17.65166
17:00	14783.85573	52.22439127	22315.54475	-28.0438
18:00	12620.21079	13265.79592	19451.15717	26.73624
19:00	7113.935751	22959.40065	11433.70072	-18.5403
20:00	-293.695423	26500.9603	359.270409	-13.529
21:00	-7617.41504	22858.97053	-10806.2303	-39.5183
22:00	-12851.7559	12957.92047	-19006.7009	39.49127
23:00	-14543.811	-512.400997	-21967.3906	25.87067

ตารางที่ 6.16 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 24

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	-12502.0661	-13011.60052	-19274.2507	18.78847
1:00	-7019.160677	-22915.36032	-11306.6404	-4.11616
2:00	371.0409034	-26608.10012	-266.559831	-0.92276
3:00	7665.940262	-23171.05087	10851.30096	-11.7012
4:00	12930.96044	-13587.84516	19095.60088	-25.1185

ตารางที่ 6.16 (ต่อ)

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
5:00	14789.68027	-422.7908646	22308.80034	10.22483
6:00	12753.08018	12851.84207	19645.08574	31.20039
7:00	7339.540644	22717.2401	11778.31052	-12.1179
8:00	-35.01799732	26497.80961	763.420985	-4.71182
9:00	-7395.750304	23098.45798	-10451.9622	3.266893
10:00	-12728.37569	13376.3205	-18800.2003	23.67637
11:00	-14553.03092	-29.90099138	-21966.0053	16.471
12:00	-12367.085	-13429.96038	-19077.1753	10.93272
13:00	-6791.710751	-23155.8903	-10959.0602	-18.7202
14:00	628.5805475	-26608.01071	136.198621	-0.22355
15:00	7884.590605	-22933.13022	11201.12531	8.755791
16:00	13053.30676	-13177.00006	19300.58016	10.66313
17:00	14783.85573	52.22439127	22315.54475	-19.1311
18:00	12620.21079	13265.79592	19451.15717	18.75552
19:00	7113.935751	22959.40065	11433.70072	-8.79429
20:00	-293.6954233	26500.9603	359.270409	-3.68428
21:00	-7617.415043	22858.97053	-10806.2303	-7.2447
22:00	-12851.75593	12957.92047	-19006.7009	25.77446
23:00	-14543.811	-512.4009968	-21967.3906	15.68895



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาของเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 6.5 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 24
 ไม่วาทกรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.17 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดเนื่องจาก SA ของดาวเทียม PRN 27

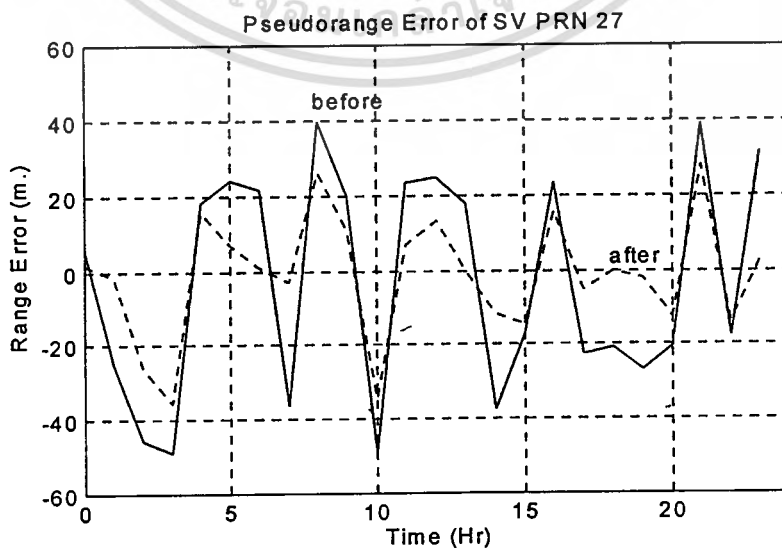
เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	-1517.840187	-26153.61004	1248.760955	5.788787
1:00	6592.294431	-23472.65029	-9779.99794	-25.518
2:00	12872.63721	-14261.77475	-18093.25048	-46.0761
3:00	15624.4307	-1128.458626	-21445.58271	-49.0349
4:00	14166.52506	12321.02747	-19018.28087	18.25523
5:00	8956.420023	22518.31099	-11552.43586	24.03109
6:00	1403.560448	26835.45292	-1063.822771	21.56773
7:00	-6514.260196	24175.59867	9701.562706	-36.5084
8:00	-12728.01564	15204.96013	17929.03589	39.69529
9:00	-15572.41091	2221.52055	21409.97131	20.02038
10:00	-14224.26521	-11347.91739	19126.03171	-49.1788
11:00	-8979.380185	-21796.54504	11601.83043	23.35689
12:00	-1242.17533	-26183.80072	857.121445	24.7835
13:00	6841.960599	-23256.37727	-10126.92524	17.86269
14:00	13027.60986	-13861.1213	-18300.09249	-37.4422
15:00	15644.14037	-655.3126178	-21458.26725	-17.5623
16:00	14048.26062	12739.05019	-18837.00098	23.36727
17:00	8733.488122	22772.2568	-11227.84117	-22.6879
18:00	1134.975415	26860.6656	-681.731577	-20.8626
19:00	-6758.56668	23965.55406	10041.69974	-26.9437
20:00	-12883.62072	14812.81177	18137.48978	-20.5581
21:00	-15596.34057	1749.030807	21428.95169	38.81176
22:00	-14107.53045	-11773.80557	18946.99915	-17.8063
23:00	-8751.852577	-22057.4206	11271.00056	31.61159

ตารางที่ 6.18 พิกัดตำแหน่งและระยะพิสัยที่ผิดพลาดหลังการปรับค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 27

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
0:00	-1517.836318	-26153.61439	1248.764054	1.526348
1:00	6592.284855	-23472.63878	-9779.981617	-1.54576
2:00	12872.62246	-14261.77355	-18093.23781	-26.1177
3:00	15624.42575	-1128.468517	-21445.56444	-35.7054
4:00	14166.53002	12321.02854	-19018.28012	15.66336

ตารางที่ 6.18 (ต่อ)

เวลา	พิกัดแนวแกน X	พิกัดแนวแกน Y	พิกัดแนวแกน Z	ระยะพิสัยที่ผิดพลาด(เมตร)
5:00	8956.424671	22518.32516	-11552.43706	6.744787
6:00	1403.539604	26835.46352	-1063.844908	0.967317
7:00	-6514.27296	24175.57025	9701.544938	-2.86209
8:00	-12728.02256	15204.95794	17929.04383	26.19133
9:00	-15572.41602	2221.511402	21409.9716	10.85968
10:00	-14224.25771	-11347.9316	19126.03546	-34.5922
11:00	-8979.368591	-21796.54876	11601.84295	6.985527
12:00	-1242.173253	-26183.79196	857.1365977	13.34489
13:00	6841.958854	-23256.38625	-10126.93441	-0.03444
14:00	13027.59817	-13861.11134	-18300.07856	-11.7427
15:00	15644.13508	-655.3124318	-21458.2676	-14.7256
16:00	14048.26627	12739.05344	-18836.99822	15.53351
17:00	8733.483799	22772.24224	-11227.8398	-5.11374
18:00	1134.978779	26860.65678	-681.7280051	-0.11791
19:00	-6758.57837	23965.53222	10041.66393	-1.96089
20:00	-12883.61291	14812.80726	18137.49135	-12.4803
21:00	-15596.34849	1749.031637	21428.96198	28.0037
22:00	-14107.52345	-11773.80395	18946.99996	-13.9198
23:00	-8751.864826	-22057.4299	11271.00929	2.717179



เอกสารนี้ ภาพที่ 6.6 ระยะพิสัยที่ผิดพลาดก่อนและหลังการปรับข้อมูลค่าตำแหน่งของดาวเทียม PRN 27 การคำนวณ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ผลการคำนวณพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับ

ในส่วนนี้ได้ทำการทดลองคำนวณหาค่าความเที่ยงตรงทางพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับ ทั้งก่อนและหลังการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม โดยใช้เครื่องรับดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งผลิตโดยบริษัท โมโตโรล่า รุ่น VP oncore เพื่อใช้หาค่าตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งเป็นจุดที่สมมุติว่ามีความถูกต้อง และ หมายเลขดาวเทียมที่รับมา โดยนำค่าที่ได้ มาใช้ประกอบกับการจำลองแบบการเกิดผลกระทบจาก SA

ตารางที่ 6.19 ถึง 6.23 แสดงค่าอ้างอิง และข้อมูลก่อนและหลังการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม รวมทั้งค่าพิกัดของเครื่องรับที่คำนวณได้ ที่เวลา (GMT) ต่างๆเพื่อเปรียบเทียบผล ดังนี้

ตารางที่ 6.19 ข้อมูลพิกัดตำแหน่งของจุดอ้างอิง

อันดับจุดทดสอบ	สถานที่	พิกัด Geodetic		ตำแหน่งพิกัด ECEF (กิโลเมตร)		
		ละติจูด	ลองจิจูด	X	Y	Z
1	ถ.ฉลองกรุง ลาดกระบัง	13:44:30.5	100:47:36.9	-1160.4716	6087.1087	1505.2487
2	สามแยกพัฒนาการ	13:42:57	100:39:50	-1146.8160	6090.3901	1502.4573
3	แยกเกษมราษฎร์ ถ.พระรามสี่	13:43:00.7	100:34:17.8	-1137.00077	6092.2028	1502.567

ตารางที่ 6.20 ข้อมูลพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมและระยะพิสัยที่เครื่องรับ

อันดับจุดทดสอบ	เวลา (GMT)	หมายเลข PRN ของดาวเทียมที่รับมา	พิกัดตำแหน่งดาวเทียมที่รับ ก่อนปรับแก้ค่า(กิโลเมตร)			ระยะพิสัย (กิโลเมตร)
			X	Y	Z	
1	08:15	02	-23120.86403	13653.16683	1357.29434	23227.7151
		04	-10347.2255	19468.2719	-14801.23697	23007.7275
		24	-1958.9976	26321.7780	-2146.2245	20576.9801
2	08:45	02	-24237.2595	9639.7769	6806.80817	23956.2973
		04	-12757.9130	14088.5283	-18498.5364	24470.98985
		24	-5671.8737	24608.4097	-7803.3927	21213.0281
3	09:15	02	-23764.14542	4993.8629	11810.21198	24888.5957
		09	1947.72478	26207.1435	-2409.9674	20722.77144
		24	-8990.1728	21184.2305	-12917.5695	22302.0905

ตารางที่ 6.21 ตำแหน่งพิกัดเครื่องรับที่คำนวณได้ ก่อนการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม

อันดับจุดทดสอบ	ตำแหน่งพิกัดเครื่องรับ(กิโลเมตร)			ระยะผิดพลาด (เมตร)
	X	Y	Z	
1	-1160.444	6087.1384	1505.3211	82.97
2	-1146.7798	6090.3988	1502.4849	46.34
3	-1136.9626	6092.2338	1502.6235	74.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.22 ข้อมูลพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมภายหลังการปรับแก้ค่า

อันดับจุดทดสอบ	หมายเลข PRN ของดาวเทียมที่รับมา	พิกัดตำแหน่งดาวเทียมที่รับ หลังปรับแก้ค่า (กิโลเมตร)		
		X	Y	Z
1	02	-23120.87899	13653.17567	1357.29497
	04	-10347.2527	19468.2865	-14801.2358
	24	-1958.9948	26321.763	-2146.2241
2	02	-24237.2591	9639.7856	6806.8152
	04	-12757.9343	14088.5346	-18498.5355
	24	-5671.8804	24608.4174	-7803.3920
3	02	-23764.154	4993.8676	11810.2192
	09	1947.7190	26207.1193	-2409.9680
	24	-8990.1912	21184.2464	-12917.5719

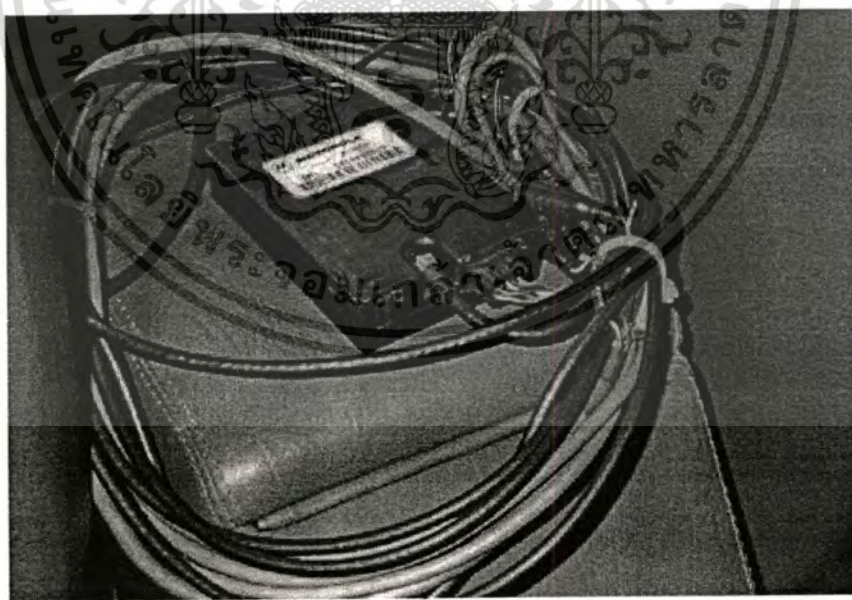
ตารางที่ 6.23 ตำแหน่งพิกัดเครื่องรับที่คำนวณได้ หลังการปรับค่าตำแหน่งดาวเทียม

อันดับจุดทดสอบ	ตำแหน่งพิกัดเครื่องรับ (กิโลเมตร)			ระยะผิดพลาด (เมตร)
	X	Y	Z	
1	-1160.4691	6087.1169	1505.2915	43.65
2	-1146.7843	6090.4015	1502.4746	37.87
3	-1136.9924	6092.2050	1502.5806	16.12

จากผลที่ได้ จะเห็นว่าตำแหน่งของเครื่องรับภายหลังการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม มีความถูกต้องมากขึ้น ภาพที่ 6.7 ถึง 6.10 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองประกอบการจำลองแบบ

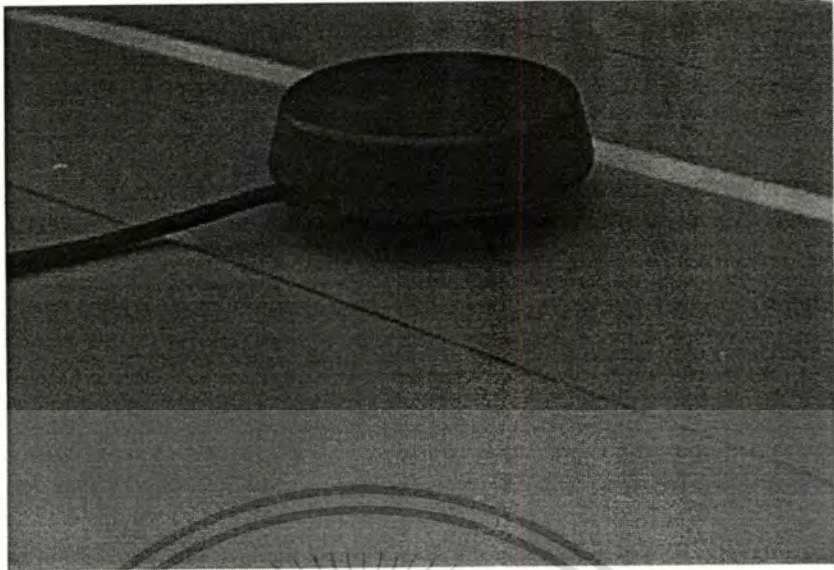


ภาพที่ 6.7 การทดลองใช้งานเครื่องรับจีพีเอส

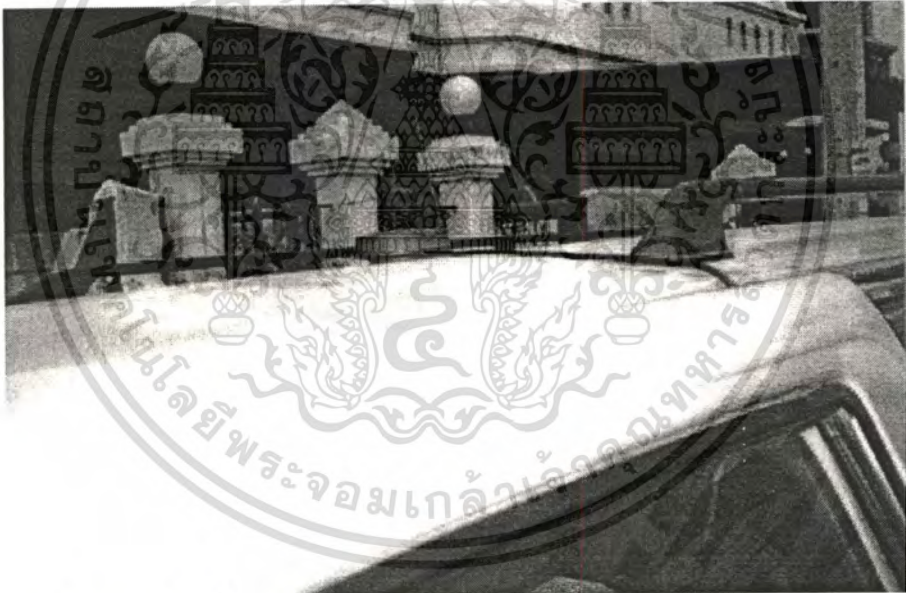


ภาพที่ 6.8 เครื่องรับจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.9 เสาอากาศรับสัญญาณ



ภาพที่ 6.10 ลักษณะการติดตั้งเสาอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอวิธีการ ลดค่าความผิดพลาดในการหาพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส โดยอาศัยการคำนวณตามหลักการออปติไมเซชัน ทั้งนี้เนื่องจากการใช้งานระบบดาวเทียมจีพีเอสในการหาพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้งานทั่วไป ยังมีความผิดพลาดสูง สาเหตุของความผิดพลาดที่สำคัญเกิดจากการเข้ารหัส Selective Availability (SA) โดยการเข้ารหัสดังกล่าว กระทำโดย 2 กระบวนการคือ การทำให้ฐานเวลาของดาวเทียมเบี่ยงเบนไป และการทำให้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งทางวงโคจรดาวเทียมเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทั้งสองกระบวนการมีผลต่อค่าระยะพิสัยระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอส

ในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ ได้มุ่งเน้นไปที่ การปรับปรุงข้อมูลพิกัดตำแหน่งของดาวเทียม เพื่อให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น โดยใช้การประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square estimation) ในการประมาณค่าฟังก์ชัน มาอธิบายวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส ที่มีความเที่ยงตรงสูง ซึ่งทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่า ข้อมูลพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมที่เครื่องรับ มีความคลาดเคลื่อนจากแนววงโคจรเท่าใด และสามารถปรับปรุงค่าให้สอดคล้องกับฟังก์ชันของแนววงโคจรดาวเทียมได้

จากผลการคำนวณ โดยการจำลองแบบการเกิด SA และการคำนวณปรับปรุงค่า เห็นได้ว่า หลังการปรับแก้ค่าตำแหน่งพิกัดดาวเทียมแล้ว สามารถลดค่าผิดพลาดของระยะพิสัยเทียม ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับลงได้ ดังนั้นการคำนวณหาตำแหน่งของผู้ใช้งาน ก็มีความผิดพลาดน้อยลงตามไปด้วย

7.1 ปัญหาและอุปสรรค

อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ยังเป็นปัญหาในการนำวิธีการดังกล่าวไปใช้ คือการทำนาย,การประมาณฟังก์ชันล่วงหน้า เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้ประมาณค่าฟังก์ชันในแต่ละวัน เป็นข้อมูลที่อ้างอิงกับระบบ Earth-Centered Earth-Fixed (ECEF) โดยเทียบกับเวลา GMT 24 ชั่วโมง แต่ในความเป็นจริง โลกมีการโคจรรอบตัวเป็นเวลาน้อยกว่า 24 ชั่วโมง ดังนั้นฟังก์ชันที่ประมาณค่าในแต่ละวัน จึงไม่เท่ากัน ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 หัวข้อที่ 5.2 ของวิทยานิพนธ์ ทั้งนี้ได้คำนวณอัตราการหมุนของโลกโดยอาศัยข้อมูล [2]

7.2 ข้อเสนอแนะ

สิ่งที่ต้องนำมาแก้ไขคือ ต้องมีข้อมูลที่มีความถูกต้องเกี่ยวกับการใช้เวลาหมุนรอบตัวเองของโลก ซึ่งจะสามารถนำไปปรับแก้ข้อมูลก่อนทำการประมาณค่าฟังก์ชัน ดังนั้นเราจะสามารถประมาณค่าฟังก์ชันล่วงหน้าได้ นอกจากนี้ วิธีการประมาณค่าฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดต้องใช้อันดับของโพลีโนเมียลสูง ทำให้การคำนวณต้องใช้เวลามาก แนวทางแก้ไขสามารถกระทำโดยใช้การประมาณค่าแบบอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาคำนวณ



เอกสารอ้างอิง

- [1] Mar J., Lev J.H. "Simulations of the positioning accuracy of integrated vehicular navigation system." IEE Proc. Radar, Sonar Navigation , vol. 143, no. 2, April 1996. pp. 121-128.
- [2] Elliott D. Kaplan. **Understanding GPS Principles and Application**. London : Artech House. 1996.
- [3] Spiker J., Parkinson B. **Global Positioning System Theory and Application**. vol.1, Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol.63, 1996.
- [4] กัลปรัฐ คล้ายดวง และคณะ. " การลดความผิดพลาดทางตำแหน่งของผู้ใช้ GPS โดยวิธีปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 20 ณ โรงแรมโซลทวินทาวเวอร์ กรุงเทพฯ 13-14 พฤศจิกายน 2540. หน้า 227-232.
- [5] กัลปรัฐ คล้ายดวง, กนก เจริญพงษ์เวช. " การบ่งตำแหน่งจากดาวเทียม GPS โดยวิธีเนกาทีฟเกรเดียนต์." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 19 ณ โรงแรมเจริญธานี จ.ขอนแก่น 7-8 พฤศจิกายน 2539. หน้า CM62-CM66.
- [6] ธนิตพงษ์ วิบูลยานนท์. " การประมาณฟังก์ชันชาน์กำลังสองโดยวิธีเนกาทีฟเกรเดียนต์ด้วยการกำหนดโพลเริ่มต้น." การประชุมวิชาการทางไฟฟ้า 9 สถาบัน, ครั้งที่ 14 ม.สงขลานครินทร์. 2534.
- [7] บุญรักษา สุนทรธรรม. ดาราศาสตร์ทั่วไป. เล่ม1. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [8] William R. Michalson. "Ensuring GPS Navigation Integrity Using Receiver Autonomous Integrity Monitoring." IEEE AES systems Magazine, Oct. 1995. pp. 31-34.
- [9] **GPS Interface Control Document ICD-GPS-200** . Navtech Seminar & Navtech Book and Software Store . Feb. 1995.
- [10] Bradford W. Parkison. "History and Operation of Navstar, the Global Positioning System." IEEE Trans. Aerospace and electronic systems, vol. 30, no. 4, Oct. 1994. pp. 1145-1161
- [11] Hofmann-Wellenhof B.et. al. **Global Positioning System Theory and Practice**. New York : Springer-Verlag Wien. 1994.
- [12] **Jasbir S. Arora. Introduction to Optimum Design**. McGraw-Hill. 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] John Greory, Cantian Lin. **Constrained Optimization in the Calculus of Variation and Optimal Control Theory**. New York : Van Nostrand Reinhold. 1992.
- [14] Thomas R., Cuthbert Jr. **Optimization Using Personal Computers**. New York : John Wiley & Sons. 1987.
- [15] Rao SS. **Optimization Theory and Application**. 2nd Ed. New Delhi : Wiley Eastern Limited. 1994.
- [16] Gordon S.G. Beveridge, Robert S. Schechter. **Optimization Theory and Practice**. McGraw-Hill. 1989.
- [17] NIMA. "Satellite Geodesy SP3 Format Description." [Online]. Available :
<http://164.214.2.59/GandG/sat.html>.
- [18] University of Texas. "Global Positioning System Overview." [Online]. Available :
<http://www.utexus.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>. 1999.
- [19] UNSO. "Block II Satellite Information ." [On line]. Available :
<http://tycho.unso.navy.mil/gps.html>. Nov. 1998.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Least Square Estimation Program//
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>

main()
{

double B[1000];
double* A[1000];

double w9 ;
int m = 96 ,N = 40;
/* m = number of datum , N = degree of polynomial */
int i,n,k,j,cn,c,r,nn ;
double x[96],y[96],z[96],zapp[96],zerr[96],po;

/* reading data from file */
FILE *fp,*f1;
double pos[96][4];
clrscr();

if((fp = fopen("pos.txt","rb"))==NULL) {
    printf("Cannot open file\n");
    exit(0);
}

fseek(fp,SEEK_SET,0);

```

```

for(i=0;i<96;i++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```

for(j=0;j<4;j++)

```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        fscanf(fp,"%lf",&po);
        pos[i][j] = po ;
    }
    fclose(fp);

    // Allocate large size array of double //
for (i=0; i<1000; i++) {
    if ((A[i] = (double*) malloc(sizeof(double) * 1000)) == NULL){
        printf("Cannot allocate array!");
        return;
    }
}

for(i=0;i<96;i++)
{
    x[i] = pos[i][1]/10;
    y[i] = pos[i][2]/10;
    z[i] = pos[i][3]/10;
}
for(i=0;i<96;i++)
{ printf("%d %2.14lf %2.14lf %2.14lf\n",i+1,x[i],y[i],z[i]);
  if((i+1)%12 == 0)
  { getch();
    clrscr();
  }
}

/* cn = coefficient number */
cn = 0;
for(i=0;i<=N;i++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

clrscr();

printf("cn = %d\n",cn);

/*Finish computing for coefficient number*/

printf("Computing for coefficient ,please wait..\n");

/* reset A&B matrix */
for(i=0;i<cn;i++)
{ for(j=0;j<cn;j++)
  {
    A[i][j] = 0;
  }
  B[i] = 0;
}

/*Computing B matrix*/
c = 0;
for(n=0;n<=N;n++)
{ for(i = 0;i<=n;i++)
  { for(k=0;k< m;k++)
    {
      B[c] = B[c]+(z[k]*pow(x[k],(n-i))*pow(y[k],i));
    }
    c = c+1;
  }
}

/*Display B-matrix*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆก็ตามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    printf("B[%d] = %lf\n" ,k,B[k]);
}
getch();
clrscr();

/*Computing A matrix*/
r = 0;
for(nn=0;nn<=N;nn++)
{ for(j=0;j<=nn;j++)
{
    c = 0;
    for(n=0;n<=N;n++)
    {
        for(i=0;i<=n;i++)
        {
            for(k=0;k<m;k++)
            {
                A[r][c] = A[r][c] + ( pow (x[k],(n-i))* pow(y[k],i)* pow(x[k],
(nn-j))* pow(y[k],j));
            }
            c = c+1;
        }
    }
    r = r+1;
}
}

/*Display A-matrix*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

for(j=0;j<cn;j++)
{
    printf("%8.2lf",A[i][j]);
    if (j == cn-1)
        printf("\n");
}

}

getch();
clrscr(); /*

printf("Starting Cholesky program\n");

/* Cholesky program */
n = cn;
for(i=1;i<=n-1;i++)
{
    A[i][0] = A[i][0]/A[0][0];
}
printf("Computing A[i][0] completely\n");
getch();
for(k=1;k<n-1;k++)
{
    w9 = 0;
    for(j=0;j<k;j++)
    {
        w9 = w9+(A[k][j]*A[k][j]*A[j][j]);
    }
    A[k][k] = A[k][k]-w9 ;

    printf("A[%d][%d] = %lf\n",k,k,A[k][k]);
    for(i=k+1;i<=n-1;i++)

```

```

    {
        w9 = 0;
        for(j=0;j<k;j++)
            {
                w9 = w9+(A[i][j]*A[k][j]*A[j][j]);
            }
        A[i][k] = (A[i][k]-w9)/A[k][k];
    }
}

printf("Press any key to continue\n");
getch();
for(i=1;i<=n-1;i++)
    {
        w9 = 0;
        for(j=0;j<i;j++)
            {
                w9 = w9+(A[i][j]*B[j]);
            }
        B[i] = B[i]-w9;
    }

B[n-1] = B[n-1]/A[n-1][n-1];
for(i=n-2;i>=0;i--)
    {
        w9 = 0;
        for(j=i+1;j<=n-1;j++)
            {
                w9 = w9+(A[j][i]*B[j]);
            }
        B[i] = (B[i]/A[i][i])-w9;
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*Finish computing Cholesky program */
clrscr();
printf("Finish computing the result from Cholesky program \n");
printf("Saving the result from Cholesky program into file\n");
/*Save the result from Cholesky program
f1 = fopen("Bresult.text","w");
for(k=0;k<cn;k++)
{
    fprintf(f1,"B[%d] = %.20lf\n" ,k,B[k]);
}

fclose(f1);
printf("Press any key to continue...\n");
getch(); */

/* reset Zapp & Zerr matrix */
for(i=0;i<96;i++)
{
    zapp[i] = 0;
    zerr[i] = 0;
}

/*Computing Z-approximated & Z-error*/
for(k=0;k<96;k++)
{
    c = 0;
    for(n=0;n<=N;n++)
    { for(i = 0;i<=n;i++)
        {
            zapp[k] = zapp[k]+(B[c]*pow(x[k],[n-i])*pow(y[k],i));
            c = c+1;
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    zerr[k] = z[k] - zapp[k];
}
clrscr();
/*Display Z-approximation & Z-error */
for(k=0;k<96;k++)
{
    printf("zapp[%d] = %2.20f    zerr[%d] = %2.20fn",k+1,zapp[k],k+1,zerr[k]*pow
(10,8);
    if((k+1)%10 == 0)
    { getch();
    clrscr();
    }
}
getch();
return;
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% Lagrange Program
% Search for new position of satellite
%x,y,z = received satellite's position in each axis (km.)
format long E

% Read coefficient of polynomial from file
k = 1;
C = zeros(861,1);
fid = Fopen('C:\coeff.txt','rt');
fseek(fid,0,-1);
while k < 861
C(k) = fscanf(fid,'%s');
k = k+1;
end
Fclose(Fid);
x = -1.13599309255173 /10; y = 1.77810101169622 /10; z = 1.58634206870000 /10; L = 0;
e = x; f = y; g = z;

N = 40;
% N = degree of polynomial
dx = 1; dy = 1; dz = 1; dL = 1;
grad = [ dx dy dz dL ];
itr = 1;
while sqrt(dx^2 + dy^2 + dz^2 + dL^2) > 10^(-10)
    n = 0; j = 1; F = 0; dFx = 0; dFy = 0; dFxx = 0; dFyy = 0; dFxy = 0; dFyx = 0;
    while n <= N
        i = 0;
        while i <= n
            F = F + (C(j)*x^(n-i))*y^i;
            if n-i > 0
                dFx = dFx + C(j)*(n-i)*(y^i)*x^(n-i-1);
                if i > 0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    dFxy = dFxy + C(j)*i*y^(i-1)*x^(n-i-1);
end;
if n-i-1 > 0
    dFxx = dFxx + C(j)*(y^i)*x^(n-i-1)*(n-i-1)*x^(n-i-2);
end;
end;
if i > 0
    dFy = dFy + C(j)*i*(x^(n-i))*y^(i-1);
    if n-i > 0
        dFyx = dFyx + C(j)*i*(x^(n-i))*y^(i-1)*(n-i)*x^(n-i-1);
    end;
    if i-1 > 0
        dFyy = dFyy + C(j)*i*(x^(n-i))*y^(i-1)*(i-1)*y^(i-2);
    end;
end;
i = i+1; j = j+1;
end;
n = n+1;
end;

```

$G = [2*(x-e) + L*dF_x ; 2*(y-f) + L*dF_y ; 2*(z-g) - L ; F - z] ;$

```

A = [2+L*dFxx    L*dFxy    0    dFx ;
     L*dFyx    2+L*dFyy    0    dFy ;
     0         0         2    -1 ;
     dFx      dFy      -1    0 ];

```

$B = (-1)*G;$

% Cholesky

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
n = 4 ; ไม่ว่าจะพิมพ์กี่ครั้ง อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i = 2;
while i < n+1
    A(i,1) = A(i,1)/A(1,1);
i = i+ 1;
end
k = 2;
while k < n
    w9 = 0; j = 1;
    while j < k
        w9 = w9 + A(k,j)*A(k,j)*A(j,j) ;
        j = j+1 ;
    end ;
    A(k,k) = A(k,k)- w9;
    i = k+1;
    while i < n+1
        w9 = 0; j = 1;
        while j < k
            w9 = w9 + A(i,j)*A(k,j)*A(j,j) ;
            j = j+1;
        end
        A(i,k) = (A(i,k) - w9)/A(k,k) ;
        i = i+1 ;
    end;
    k = k+1 ;
end
w8 = 0; j = 1;
while j < n
    w8 = w8+A(n,j)*A(n,j)*A(j,j);
    j = j+1;
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while i < n+1
  w9 = 0; j = 1;
  while j < i
    w9 = w9+A(i,j)*B(j) ;
    j = j+1 ;
  end;
  B(i) = B(i)-w9;
i = i+1;
end;
B(n) = B(n)/A(n,n);
i = n-1;
while i > 0
  w9 = 0; j = i+1;
  while j < n+1
    w9 = w9+A(j,i)*B(j) ;
    j = j+1;
  end;
  B(i) = B(i)/A(i,i)-w9;
i = i-1;
end;

grad = B ;

x = x+grad(1); y = y+grad(2); z = z+grad(3); L = L+grad(4);
dx = grad(1) ; dy = grad(2) ; dz = grad(3) ; dL = grad(4) ;
itr = itr+1;
if itr > 50
  dx = 0; dy = 0; dz = 0; dL = 0;
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 % Display new position of satellite (x 10⁴ km.)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$x = x*10, y = y*10, z = z*10$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%GPS Receiver's Position Computation Program
```

```
%SV ecef coordinates (X , Y ,Z) for the four satellites involved (m.)
```

```
format long E;
```

```
d=[ -23120878.99 13653175.67 1357294.97;
    -10347252.7 19468286.5 -14801235.8;
    -1958994.8 26321763 -2146224.1];
```

```
%
```

```
prgps=[23227715.1 23007727.5 20576980.1]
```

```
%
```

```
phat=[0 0 0];
```

```
dphat=[1 1 1];
```

```
k=0;
```

```
while sqrt(dphat(1)^2+dphat(2)^2+dphat(3)^2)>0.1,k
```

```
%
```

```
rhat(1)=norm(d(1,:)-phat)
```

```
rhat(2)=norm(d(2,:)-phat)
```

```
rhat(3)=norm(d(3,:)-phat)
```

```
pause
```

```
%
```

```
dc(:,1)=(phat(1)-d(:,1))./(rhat(:))
```

```
dc(:,2)=(phat(2)-d(:,2))./(rhat(:))
```

```
dc(:,3)=(phat(3)-d(:,3))./(rhat(:))
```

```
%
```

```
drhat=rhat-prgps;
```

```
dphat=inv(dc)*drhat';
```

```
%
```

```
phat(1)=phat(1)-dphat(1);phat(2)=phat(2)-dphat(2);phat(3)=phat(3)-dphat(3);
```

```
dphat,phat,pause
```

```
k=k+1;
```

```
if k>10
```

```
dphat=0
```

```
end
```

```
end
```

```
%phat =GPS Receiver's Position
```

%Ephemeris Program for data improvement

format long

k = 1;

%d = coordinate of satellite's position

d = [20859.058282 -16426.378876 -403.972616;

20868.125838 -16075.603315 -3239.027736;

20667.190584 -15503.738556 -6018.197582;

20288.624541 -14692.344173 -8693.393985;

19769.063240 -13630.678300 -11218.201285;

19147.894266 -12316.318161 -13548.701170;

18465.643246 -10755.463320 -15644.260662;

17762.321022 -8962.906678 -17468.267455;

17075.797907 -6961.671451 -18988.797470 ;

16440.270399 -4782.325978 -20179.200588 ;

15884.882429 -2462.001394 -21018.592030;

15432.557213 -43.149571 -21492.238725;

15099.087371 2427.910448 -21591.832245;

14892.520412 4902.600428 -21315.642314;

14812.864560 7331.781747 -20668.547594;

14852.126623 9667.477680 -19661.943143;

14994.679864 11864.550906 -18313.526740 ;

15217.946226 13882.269938 -16646.968921;

15493.364346 15685.703000 -14691.474112;

15787.603264 17246.885196 -12481.242492;

16063.971883 18545.714354 -10054.844269 ;

16283.966720 19570.542278 -7454.519592;

16408.895383 20318.440612 -4725.418649;

16401.510772 20795.133790 -1914.797243;

16227.591331 21014.604749 928.816387;

15857.405518 20998.391959 3756.467802;

15267.003999 20774.608061 6519.620269;

เอกสารนี้ 14439.290467 20376.720795 9170.981680; ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13364.831165 19842.145435 11665.300795;
 12042.373640 19210.704409 13960.120255;
 10479.056626 18523.013993 16016.475179;
 8690.304685 17818.859886 17799.527485;
 6699.412991 17135.623061 19279.127527;
 4536.838907 16506.814703 20430.295993;
 2239.227530 15960.774431 21233.620346;
 -151.792259 15519.579544 21675.561298;
 -2590.996719 15198.205074 21748.665992;
 -5031.090191 15003.965145 21451.685602;
 -7424.306518 14936.255928 20789.596094;
 -9724.030606 14986.609627 19773.521855;
 -11886.381038 15139.057712 18420.562861;
 -13871.695813 15370.790494 16753.527091;
 -15645.866465 15653.089309 14800.570910;
 -17181.470907 15952.497456 12594.751350;
 -18458.662196 16232.186999 10173.495390;
 -19465.778957 16453.470795 7577.992749;
 -20199.653066 16577.403113 4852.520040;
 -20665.601235 16566.408098 2043.705651;
 -20877.098886 16385.873416 -800.253855;
 -20855.146808 16005.646857 -3630.413616;
 -20627.353065 15401.376510 -6397.923145;
 -20226.764086 14555.640284 -9054.877226;
 -19690.489075 13458.818226 -11555.159641;
 -19058.170747 12109.670488 -13855.263833;
 -18370.362118 10515.595209 -15915.074497;
 -17666.873511 8692.553078 -17698.594355;
 -16985.155793 6664.658744 -19174.601122;
 -16358.784913 4463.452733 -20317.220805;
 -15816.109151 2126.880727 -21106.405040;
 -15379.114104 -301.980833 -21528.302109;

-15062.551738 -2776.403209 -21575.513530;
 -14873.369009 -5247.629769 -21247.230604;
 -14810.459237 -7666.582051 -20549.247975;
 -14864.746051 -9985.579845 -19493.854020;
 -15019.595960 -12160.007135 -18099.600609;
 -15251.542057 -14149.858114 -16390.957470;
 -15531.288610 -15921.102662 -14397.858863;
 -15824.954958 -17446.818337 -12155.152513;
 -16095.507598 -18708.045743 -9701.962703;
 -16304.322155 -19694.335672 -7080.980987;
 -16412.812152 -20403.969046 -4337.699168;
 -16384.059496 -20843.843953 -1519.599952;
 -16184.382224 -21029.037296 1324.678973 ;
 -15784.778304 -20982.061274 4146.191721;
 -15162.189890 -20731.846550 6896.526592;
 -14300.540114 -20312.494054 9528.629489;
 -13191.503871 -19761.845672 11997.594844;
 -11834.984665 -19119.930207 14261.411680;
 -10239.281006 -18427.344904 16281.653807;
 -8420.937643 -17723.634427 18024.104491;
 -6404.288582 -17045.728436 19459.307388 ;
 -4220.710075 -16426.496062 20563.036876;
 -1907.612092 -15893.470677 21316.682223;
 492.793986 -15467.791687 21707.541277;
 2934.905937 -15163.401919 21729.020470;
 5371.267859 -14986.529737 21380.739007;
 7754.177855 -14935.474713 20668.536110;
 10037.307699 -15000.704727 19604.381147;
 12177.275432 -15165.261213 18206.187480;
 14135.113266 -15405.458070 16497.531845;
 15877.576671 -15691.849074 14507.282180;
 17378.245798 -15990.428631 12269.137972;

```
18618.377551 -16264.021792 9821.088433;
19587.475308 -16473.811974 7204.795190;
20283.553389 -16580.949056 4464.907566;
20713.084490 -16548.176704 1648.320017];
```

```
res = zeros(96,4);
pos = zeros(96,4);
while k < 97
x = d(k,1);
y = d(k,2);
z = d(k,3);

r = sqrt((x^2+y^2+z^2));
res(k,1) = res(k,1)+k ; res(k,2) = res(k,2)+r;

%Computing longitude (phi) angle
phi = atan(y/x);
phi = phi*180/pi;
if x < 0
    phi = phi+180+(3.760266794661*(k-1));
else
    phi = phi+(3.760266794661*(k-1));
end

%l = phi;
res(k,3) = res(k,3)+phi;

%Computing(theta)
thta = acos(z/r);
thta = thta*180/pi ;
res(k,4) = res(k,4)+thta ;
```

```

thta = thta*pi/180;
phi = phi*pi/180;
xn = r*sin(thta)*cos(phi);
yn = r*sin(thta)*sin(phi);
zn = r*cos(thta);
pos(k,1) = pos(k,1)+k ; pos(k,2) = pos(k,2)+xn;
pos(k,3) = pos(k,3)+yn; pos(k,4) = pos(k,4)+zn;
k = k+1;
end
pos = pos/10000 ;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ใช้โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NIMA

Satellite Geodesy SP3 Format Description

Effective date July 31, 1996

The SP3 Enhanced Format used by NIMA St. Louis Geodesy & Geophysics:

The SP3 format is presented here in both the position (P) mode and the velocity (V) mode. We will be using the format finalized by the National Geodetic Survey. The SP3 format is precise to 1mm and 1 picosecond. If velocity is included, its precision is $10E-4$ mm/sec and $10E-4$ picoseconds/s.

The following four modifications were made to the SP3 format upon completion of a one year open period for customer feedback.

1. Version Identification:

On line one, character two, there is now a single version identification character. The first released version has been designated version 'a'. Subsequent versions will use the lower case letters in alphabetical order.

2. Position/Velocity Mode Flag:

The proposed formats did not accommodate velocity data on the theory that it can be derived from the positional data. Although it is true that velocity data can be computed from positional data--accurate to a few microns per second or better--there are arguments why velocity will be needed, explicitly, in some situations. On line one, character three, there is now a single flag to indicate if the SP3 file will comprise only positional data (P) or both position and velocity data (V).

III. Position/Velocity Mode P:

In the proposal, the first character on the lines containing the x, y, z, and clock correction values was "V" for "vehicle". Now the first character will be "P" for position.

IV. Position/Velocity Mode V:

When the position/velocity mode flag is set to "V" each position line for a given satellite is followed by a velocity line for the same satellite. The velocity components are given in decimeters/s and have a precision of $10E-14$ mm/sec. The last column of a velocity line is the rate of change of clock correction given in units of $10E-4$ microsec/s. The precision of this parameter is $10E-16$ s/s.

In addition to the above four changes, we have added a marker to designate the locations of clock events. This marker is an 'E' located in column 75 of the position line for a satellite. This field will normally be blank.

The following is the format for the "enhanced" SP3:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

```

1 #aV1995 7 6 0 0 .00000000 95 DD WGS84 FIT NIMA
2 ## 808 345600.00000000 900.00000000 49904 0.00000000000000
3 25 1 2 4 5 6 7 9 12 14 15 16 17 18 19 20 21 22
4 23 24 25 26 27 28 29 31 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
13 %c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
14 %c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
15 %f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
16 %f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
17 %i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 %i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19 /* NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY - ST. LOUIS, MO
20 /* CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
21 /* CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
22 /* CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
23 * 1995 7 6 0 0 0.00000000
24 P 3 5675.974300 -20087.366600 15925.186400 390.882890
25 V 3 11770.882098 -17082.412288 -25886.520572 -0.018200
26 P 6 23632.832300 -2977.533900 -12020.603600 -360.124560
27 V 6 15131.230694 -408.639605 30078.626573 -0.126824
28 .
29 .
30 .
31 .
32 .
33 .
34 * 1995 7 6 23 45 0.00000000
35 P 5 22721.264000 6410.266900 12471.202600 390.531600
36 V 5 -15904.711714 -2251.614786 29267.682323 -0.010385
37 .
38 .
39 .
40 .
41 .
42 .
43 P 31 7959.613800 11594.443100 22555.304100 374.898980
44 V 31 -28468.129094 -547.559209 10363.116726 0.019231

```

SP3(Enhanced) Format:

Line One:
('#aV',i4,i3,f12.8,6x,'96 DD WGS84 FIT NIMA')
Column1 Symbol #

2 Version Identifier a
3 Pos/Vel Mode Flag P or V

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4-7 Year Start 1995
 8 Unused -
 9-10 Month Start _7
 11 Unused -
 12-13 Day of Month Start _6
 14 Unused -
 15-16 Hour Start _0
 17 Unused -
 18-19 Minute Start _0
 20 Unused -
 21-31 Second Start _0.00000000
 32 Unused -
 33-39 Number of Epochs ____96
 40 Unused -
 41-45 Data Used DD
 46 Unused -
 47-51 Coordinate System WGS84
 52 Unused -
 53-55 Orbit Type FIT
 56 Unused -
 57-60 Agency NIMA

Line Two:

('##',i5,f16.8,f15.8,i6,f16.13)

Column1-2 Symbols ##
 3 Unused -
 4-7 GPS Week _808
 8 Unused -
 9-23 Seconds of Week 345600.00000000
 24 Unused -
 25-38 Epoch Interval ____900.00000000
 39 Unused -
 40-44 Mod Julian Day Start 49904
 45 Unused -
 46-60 Fractional Day 0.000000000000

Line Three:

('',i5,3x,17i3)

Column1-2 Symbols
 3-4 Unused -
 5-6 Number of Sats ____25
 7-9 Unused -
 10-12 Sat #1 Id ____1
 13-15 Sat #2 Id ____2
 * * *
 * * *
 * * *
 58-60 Sat #17 Id _22

Line Four:

('',8x,17i3)

Column1-2 Symbols -
 3-9 Unused -
 10-12 Sat #18 Id _23
 13-15 Sat #19 Id _24
 * * *
 * * *

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

58-60 Sat #34 Id __0

Line Five:

(" ,8x,17i3)

(Same as Line Four for Sats 35 to 51)

Line Six:

(" ,8x,17i3)

(Same as Line Four for Sats 52 to 68)

Line Seven:

(" ,8x,17i3)

(Same as Line Four for Sats 69 to 85)

Line Eight:

(" ,7x,17i3)

Column1-2 Symbols

3-9 Unused

10-12 Sat #1 Accuracy __0

13-15 Sat #2 Accuracy __0

*

*

*

*

*

*

*

*

*

58-60 Sat #17 Accuracy __0

Line Nine:

(" ,7x,17i3)

(Same as Line Eight for Sats 18 to 34)

Line Ten:

(" ,7x,17i3)

(Same as Line Eight for Sats 35 to 51)

Line Eleven:

(" ,7x,17i3)

(Same as Line Eight for Sats 52 to 68)

Line Twelve:

(" ,7x,17i3)

(Same as Line Eight for Sats 69 to 85)

Lines Thirteen and Fourteen:

(' %c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc')

Column1-2 Symbols %c

3 Unused

—

4-5 2 characters

cc

6 Unused

—

7-8 2 characters

cc

9 Unused

—

10-12 3 characters

ccc

13 Unused

—

14-16 3 characters

ccc

17 Unused

—

18-21 4 characters

cccc

22 Unused

—

23-26 4 characters

cccc

27 Unused

—

28-31 4 characters

cccc

```

32  Unused          -
33-36 4 characters  - cccc
37  Unused          -
38-42 5 characters  - ccccc
43  Unused          -
44-48 5 characters  - ccccc
49  Unused          -
50-54 5 characters  - ccccc
55  Unused          -
56-60 5 characters  - ccccc
    
```

Lines Fifteen and Sixteen:

```

(%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.0000000000000000)
Column1-2 Symbols      %f
3  Unused              -
4-13 10 column float   - _0.0000000
14  Unused              -
15-26 12 column float  - _0.000000000
27  Unused              -
28-41 14 column float  - _0.00000000000
42  Unused              -
43-60 18 column float  - _0.000000000000000
    
```

Lines Seventeen and Eighteen:

```

(%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0)
Column1-2 Symbols      %i
3  Unused              -
4-7 4 column integer   - ___0
8  Unused              -
9-12 4 column integer  - ___0
13  Unused              -
14-17 4 column integer - ___0
18  Unused              -
19-22 4 column integer - ___0
23  Unused              -
24-29 6 column integer - ____0
30  Unused              -
31-36 6 column integer - ____0
37  Unused              -
38-43 6 column integer - ____0
44  Unused              -
45-50 6 column integer - ____0
51  Unused              -
52-60 9 column integer - _____0
    
```

Lines Nineteen to Twenty-two:

```

(* CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC)
Column1-2 Symbols      /*
3  Unused              -
4-60 Comments          - CC...CC
    
```

Line Twenty-three (The Epoch Header Record):

```

(*,i6,4i3,f12.8)
Column1-2 Symbol      * _
3  Unused              -
4-7  Year Start        - 1995
8  Unused              -
9-10 Month Start      -
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ การใช้งานเอกสารนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11 Unused -
 12-13 Day of Month Start _6
 14 Unused -
 15-16 Hour Start _0
 17 Unused -
 18-19 Minute Start _0
 20 Unused -
 21-31 Second Start -_0.00000000

Line Twenty-four (The Position and Clock Record):

('P',i3,4f14.6)

Column1	Position	P
2-4	Vehicle Id	_3
5-18	x coordinate (km)	___5675.974300
19-32	y coordinate (km)	__-20087.366600
33-46	z coordinate (km)	___15925.186400
47-60	clock (microseconds)	_____390.882890

Line Twenty-five (The Velocity Record):

('V',i3,4f14.6)

Column1	Velocity	V
2-4	Vehicle Id	_3
5-18	x coordinate (dm/sec)	___11770.882098
19-32	y coordinate (dm/sec)	__-17082.412288
33-46	z coordinate (dm/sec)	__-25886.520572
47-60	Rate of change of Clock Correction (0.0001 microsec/sec)	_____ -0.018200

(Line Twenty-four will include an 'E' in column 75 to designate an Event in the Position and Clock Record.) ('P',i3,4f14.6,14x,'E')

(Lines Twenty-four and Twenty-five repeat for each vehicle in the epoch.)

(Epoch Headers in Line Twenty-three repeat for each new epoch with vehicle position and velocity records following.)

(Last line in file) EOF

Point of contact for this page: L. Rowe
 Last updated by L. Rowe June 8, 1998

UNITED STATES NAVAL OBSERVATORY (USNO)
AUTOMATED DATA SERVICE (ADS)

BLOCK II SATELLITE INFORMATION

GPS OPERATIONAL SATELLITES (BLOCK II/IIA/IIR)

The operational GPS satellites are designated BLOCK II, BLOCK IIA and BLOCK IIR.

The BLOCK II satellites, space vehicle numbers (SVN) 13 through 21, are the first full scale operational satellites developed by Rockwell International. Block II satellites were designed to provide 14 days of operation without contact from the Control Segment (CS). The Block IIs were launched from February 1989 through October 1990.

The BLOCK IIA satellites, SVNs 22 through 40, are the second series of operational satellites, also developed by Rockwell International. Block IIA satellites were designed to provide 180 days of operation without contact from the CS. During the 180 day autonomy, degraded accuracy will be evident in the navigation message. Since November 1990, 18 of the 19 Block IIAs have been launched.

The design life of the Block II/IIA satellite is 7.3 years; each contain four atomic clocks: two Cesium (Cs) and two Rubidium (Rb); and have the Selective Availability (SA) and Anti-Spoof (A-S) capabilities. The Block II/IIA satellites are launched from Cape Canaveral Air Force Station, Florida, aboard the Delta II medium launch vehicle (MLV).

The BLOCK IIR satellites, SVNs 41 through 62, are the operational replenishment satellites developed by Lockheed Martin and will carry the GPS well into the next century. Block IIR satellites are designed to provide at least 14 days of operation without contact from the CS and up to 180 days of operation when operating in the autonomous navigation (AUTONAV) mode. Full accuracy will be maintained using a technique of ranging and communication between the Block IIR satellites. The cross-link ranging will be used to estimate and update the parameters in the navigation message of each Block IIR satellite without contact from the CS. The design life of the Block IIR satellite is 7.8 years; each will contain three atomic clocks: two Rb and one Cs; and have the SA and A-S capabilities.

LAUNCHES

The successful launch of a Block IIR satellite, PRN13/SVN43, occurred on July 23, 1997 at 0343 UT.

CURRENT BLOCK II/IIA/IIR SATELLITES

LAUNCH ORDER	PRN	SVN	LAUNCH DATE	FREQ STD	US SPACE PLANE	COMMAND **
-----------------	-----	-----	----------------	-------------	-------------------	------------

II-1	14	14	14 FEB 89	Cs	E1	19802
II-2	02	13	10 JUN 89	Cs	B3	20061
II-3	16	16	18 AUG 89	Cs	E5	20185
II-4	19	19	21 OCT 89	Rb	A4	20302
II-5	17	17	11 DEC 89	Cs	D3	20361
II-6	18	18	24 JAN 90	Cs	F3	20452

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*II-7	20	20	26 MAR 90			20533
II-8	21	21	02 AUG 90	Cs	E2	20724
II-9	15	15	01 OCT 90	Cs	D2	20830
IIA-10	23	23	26 NOV 90	Cs	E4	20959
IIA-11	24	24	04 JUL 91	Rb	D1	21552
IIA-12	25	25	23 FEB 92	Cs	A2	21890
*IIA-13	28	28	10 APR 92			21930
IIA-14	26	26	07 JUL 92	Rb	F2	22014
IIA-15	27	27	09 SEP 92	Cs	A3	22108
IIA-16	01	32	22 NOV 92	Cs	F1	22231
IIA-17	29	29	18 DEC 92	Rb	F4	22275
IIA-18	22	22	03 FEB 93	Rb	B1	22446
IIA-19	31	31	30 MAR 93	Cs	C3	22581
IIA-20	07	37	13 MAY 93	Cs	C4	22657
IIA-21	09	39	26 JUN 93	Cs	A1	22700
IIA-22	05	35	30 AUG 93	Cs	B4	22779
IIA-23	04	34	26 OCT 93	Rb	D4	22877
IIA-24	06	36	10 MAR 94	Cs	C1	23027
IIA-25	03	33	28 MAR 96	Cs	C2	23833
IIA-26	10	40	16 JUL 96	Cs	E3	23953
IIA-27	30	30	12 SEP 96	Cs	B2	24320
IIA-28	08	38	06 NOV 97	Rb	A5	25030
***IIR-1	42		17 JAN 97			
IIR-2	13	43	23 JUL 97	Rb	F5	24876

* Satellite is no longer in service.

** US SPACE COMMAND, previously known as the NORAD object number;
also referred to as the NASA Catalog number. Assigned at
successful launch.

*** Unsuccessful launch.

 SVN PRN

- 13 02 Launched 10 JUN 89; Set usable 10 AUG 89; Operates on Cs std
- 14 14 Launched 14 FEB 89; Set usable 15 APR 89; Operates on Cs std
 Unusable 29 AUG 92 2030 UT to 01 SEP 92 1425 UT due to the
 failure of its operational frequency standard and change
 to its second Cs frequency standard.
- 15 15 Launched 01 OCT 90; Set usable 15 OCT 90; Operates on Cs std
 Unusable 10 NOV 92 1604 UT to 13 NOV 92 1910 UT due to
 change in operational Cs frequency standards.
- 16 16 Launched 18 AUG 89; Set usable 14 OCT 89; Operates on Cs std
 Unusable 07 JAN 91 1200 UT to 09 JAN 91 1639 UT due to
 change in operational frequency standard from Rb to Cs.
 Unusable 06 FEB 96 0556 UT to 21 FEB 96 1648 UT due to
 change in operational Cs frequency standards.
- 17 17 Launched 11 DEC 89; Set usable 06 JAN 90; Operates on Cs std
- 18 18 Launched 24 JAN 90; Set usable 14 FEB 90; Operates on Cs std
 Unusable 07 MAY 96 0406 UT to 09 MAY 96 1737 UT due to
 change in operational Cs frequency standards.
- 19 19 Launched 21 OCT 89; Set usable 23 NOV 89; Operates on Rb std
 Unusable 16 OCT 94 0545 UT to 19 OCT 94 1354 UT due to
 change in operational frequency standard from Cs to Rb.
 The course acquisition (C/A) code deficiency problem on
 PRN19 was corrected effective 4 JAN 94 at 0000 UT;
 performance no longer degraded.
 Unusable 30 DEC 94 0536 UT to 04 JAN 95 1740 UT due to
 change in operational Rb frequency standards.
- 20 20 Launched 26 MAR 90; Set usable 18 APR 90; no longer in service
 Unusable 06 AUG 94 0000 UT to 17 AUG 94 1908 UT due to
 change in operational frequency standard from Cs to Rb.
 Unusable 13 JAN 96 0937 to 1355 UT due to change in
 operational frequency standard from Rb to Cs.

Set unusable 21 MAY 96 at 2242 UT and will not return to service.

Boosted out of the GPS constellation 13 Dec 96.

- 21 21 Launched 02 AUG 90; Set usable 22 AUG 90; Operates on Cs std
Unusable 07 OCT 96 1430 UT to 10 OCT 96 2152 UT due to
change in operational Cs frequency standards.
- 22 22 Launched 03 FEB 93; Set usable 04 APR 93; Operates on Rb std
Unusable 07 OCT 98 1102 UT to 14 OCT 98 2229 UT due to
change in operational frequency standard from Cs to Rb.
- 23 23 Launched 26 NOV 90; Set usable 10 DEC 90; Operates on Cs std
Unusable 04 JAN 91 1600 UT to 06 JAN 91 2049 UT due to
change in operational Cs frequency standards.
- 24 24 Launched 04 JUL 91; Set usable 30 AUG 91; Operates on Rb std
Unusable 23 JAN 94 1745 UT to 01 FEB 94 1516 UT due to
change in operational frequency standard from Cs to Rb.
Unusable 01 JUL 95 0750 UT to 07 JUL 95 2223 UT due to
change in operational Rb frequency standards.
- 25 25 Launched 23 FEB 92; Set usable 24 MAR 92; Operates on Cs std
Unusable 01 DEC 93 1904 UT to 05 DEC 93 1941 UT due to
change in operational frequency standard from Rb to Cs
on 02 DEC 93.
Unusable 07 JAN 95 1938 UT to 12 JAN 95 1821 UT due to
change in operational Cs frequency standards.
- 26 26 Launched 07 JUL 92; Set usable 23 JUL 92; Operates on Rb std
Unusable 10 Mar 98 1541 UT to 16 Mar 98 1818 UT due to
change in operational frequency standard from Cs to Rb.
- 27 27 Launched 09 SEP 92; Set usable 30 SEP 92; Operates on Cs std
- 28 28 Launched 10 APR 92; Set usable 25 APR 92; No longer in service.
Unusable beginning 04 NOV 96 1634 UT and will remain unusable
until further notice (NANU 179-96309)

Removed from broadcast almanac of all GPS satellites 15 AUG 97.

(General Message/28 Aug 97)

29 29 Launched 18 DEC 92; Set usable 05 JAN 93; Operates on Rb std
Unusable 21 MAY 97 1504 UT to 31 MAY 97 0355 UT due to
change in operational frequency standard from Cs to Rb.

30 30 Launched 12 SEP 96; Set usable 01 OCT 96; Operates on Cs std

31 31 Launched 30 MAR 93; Set usable 13 APR 93; Operates on Cs std
Unusable 17 JAN 95 1705 UT to 25 JAN 95 2013 UT due to
change in operational frequency standard from Cs to Rb
on 18 JAN 95.

The MCS and P-code users experienced intermittent lock
on the L2 navigation signal of PRN31 from 13 Apr 93 2053 UT
to 16 Jun 93 0824 UT. Since corrective maintenance was
performed on 16 Jun 93, the MCS has not experienced lock
problems on PRN31's L2 navigation signal.

Change in operational frequency standard from Rb to Cs
on 23 JUL 97.

32 01 Launched 22 NOV 92; Set usable 11 DEC 92; Operates on Cs std
Unusable 28 JAN 93 2000 to 2200 UT for maintenance and changed
the Pseudo Range Number (PRN) from 32 to 01.

Unusable 03 MAY 95 0604 UT to 12 MAY 95 1528 UT due to
change in operational frequency standard from Cs to Rb.

Unusable 16 AUG 96 1655 UT to 22 AUG 96 1620 UT due to
change in operational frequency standard from Rb to Cs.

33 03 Launched 28 MAR 96; Set usable 12 APR 96; Operates on Cs std

34 04 Launched 26 OCT 93; Set usable 22 NOV 93; Operates on Rb std
Unusable 13 Sep 98 1728 UT to 21 Sep 98 2214 UT due to
change in operational frequency standard from Cs to Rb.

35 05 Launched 30 AUG 93; Set usable 28 SEP 93; Operates on Cs std

36 06 Launched 10 MAR 94; Set usable 28 MAR 94; Operates on Cs std
Unusable 27 Apr 95 1447 UT to 3 May 95 0541 UT due to
change in operational frequency standard from Rb to Cs.

37 07 Launched 13 MAY 93; Set usable 16 JUN 93; Operates on Cs std

Unusable 30 MAR 94 0730 UT to 04 APR 94 1330 UT due to

change in operational Cs frequency standards.

38 08 Launched 06 NOV 97; Set usable 18 DEC 97; Operates on Rb std

39 09 Launched 26 JUN 93; Set usable 21 JUL 93; Operates on Cs std
Unusable 15 Oct 93 1200 UT to 07 Dec 93 1940 UT due to testing

40 10 Launched 16 JUL 96; Set usable 15 AUG 96; Operates on Cs std
Unusable 28 Nov 96 2018 UT to 01 Dec 96 2325 UT due to
change in operational frequency standard from Rb to Cs.

43 13 Launched 23 JUL 97; Set usable 31 Jan 98; Operates on Rb std

PERIODIC MAINTENANCE AND MANEUVERS

The backup cesiums on-board each Block II/IIA satellite require periodic, approximately twice per year, pumping of the beam tube to maintain working order. This maintenance requires, on average, 18 hours of unusable time for each satellite.

Once per year each satellite requires a stationkeeping maneuver, also referred to as repositioning or Delta-V, to move the satellite back to its original orbital position. The satellites have a tendency to "drift" from their assigned orbital positions, one reason being the earth's gravitational pull. These maneuvers require, on average, 12 hours of unusable time for each satellite.

CURRENT GPS CONSTELLATION

The current GPS constellation consists of 27 Block II/IIA/IIR satellites.

The first operational, Block II, satellite was launched in February 1989.

For information concerning: CURRENT STATUS see file . . . GPSTD

GPS SYSTEM see file . . . GPSSY

TIME TRANSFER see file . . . GPSTT

BLOCK I see file . . . GPSB1

-

File GPSB2

last updated

Mon Nov 9 16:34:00 UTC 1998



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

- [1] กัลป์รัฐ กล้ายดวง,กนก เจนจิระพงศ์เวช.“ การบ่งตำแหน่งจากดาวเทียม GPS โดยวิธี เน็คกาทีฟเกรเดียนต์.” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19 ณ โรงแรม เจริญธานี จ . ขอนแก่น 7-8 พฤศจิกายน 2539 หน้า CM62-CM66
- [2] กัลป์รัฐ กล้ายดวง และคณะ. “ การลดความผิดพลาดทางตำแหน่งของผู้ใช้ GPS โดยวิธีการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม.” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20 ณ โรงแรมโซลทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร 13-14 พฤศจิกายน 2540 หน้า 227-232



ประวัติผู้เขียน

นายกล้าปรีฐ คัล้ายดวง เกิดเมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2515 สำเร็จการศึกษา
 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอม
 เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2536

เริ่มทำงาน ที่กองบริการสายการบิน บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย ในตำแหน่ง
 วิศวกร เมื่อปี พ.ศ. 2537 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกรระบบ ระดับ 5 กองบริการสายการบิน
 บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย กระทรวงคมนาคม

