

การเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลดาวเทียมเพื่อให้อ่านได้ด้วยเครื่อง IBM-PC

SATELLITE DATA FORMAT CHANGING FOR PERSONAL COMPATIBLE
MICROCOMPUTER STANDARD

จินัย วรวัจน์
YINAI VORRAWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของผลการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ค.ศ. 2542

ISBN 974-622-424-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลดาวเทียมเพื่อให้อ่านได้ด้วยเครื่อง IBM-PC

SATELLITE DATA FORMAT CHANGING FOR PERSONAL COMPATIBLE
MICROCOMPUTER STANDARD



วินัย วรวัฒน์

VINAI VORRAWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-424-7

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 33369
วัน, เดือน, ปี..... 2 ส.ค. 2542

**SATELLITE DATA FORMAT CHANGING FOR PERSONAL COMPATIBLE
MICROCOMPUTER STANDARD**

VINAI VORRAWAT

**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 974-622-424-7

COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลดาวเทียมเพื่อให้อ่านได้ด้วยเครื่อง IBM PC
นักศึกษา	นายวินัย วรรณ
รหัสประจำตัว	37061155
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

ข้อมูลดาวเทียมเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญที่สุด ใช้สำหรับทรัพยากรธรรมชาติดาวเทียม JERS-1 บรรทุกเครื่องมือสังเกตการณ์ 2 ชิ้น ได้แก่ Synthetic Aperture Radar (SAR) และ Optical Sensor (OPS) นอกจากนี้แล้วยังมีดาวเทียม ADEOS ใช้สำหรับสังเกตการณ์จากญี่ปุ่นซึ่งให้ความละเอียดของภาพ 16 เมตรของ sensor AVNIR (Advance near infrared radiometer) ข้อมูลจากดาวเทียมทั้ง 2 ดวง มีไว้เพื่อให้คนไทยใช้แต่ควรเปลี่ยนรูปแบบจาก CCT ไปเป็น CD ROM สำหรับผู้ใช้งานต่างจังหวัด

วิทยานิพนธ์นี้ขอเสนอเทคนิคการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลดาวเทียมเพื่อให้ใช้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลใน CD ROM และแก้ไขข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิต โดยใช้ข้อมูล GPS

Thesis Title Satellite data format changing for personal compatible microcomputer standard
Student Mr. Vinai Vorrawat
Student ID 37061155
Degree Master of Engineering in Electrical Engineering
Programme Electrical Engineering
Year 1999
Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Kobchai Dejhan

ABSTRACT

Satellite data are the most important obtained from natural resource and management, which carry two kinds of observation equipment, the Synthetic Aperture Radar (SAR) and the optical sensor (OPS). In addition, the ADEOS is another earth observation satellite from JAPAN. The ADEOS also provides high resolution image in visible and near infrared spectral region for such application.

This thesis presents a technique of satellite data format changing to personal computer standard in CD-ROM and geometric correction using GPS data.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ขอขอบคุณอาจารย์กอบชัย เดชหาญ อาจารย์ฟูศักดิ์ ชิวสุวิทย์ ที่ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ได้ให้คำแนะนำด้านการศึกษาแก่ผู้เขียน และให้ใช้อุปกรณ์การทำวิจัย คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแนะนำเอกสารที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย และพ่อ แม่ และ ผู้มีพระคุณที่สนับสนุนให้มีโอกาสได้รับการศึกษา จนถึงปัจจุบัน

อีกทั้งครูอาจารย์ที่ให้ความรู้และแนวทางในการทำงาน และ งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จล่วงตามเป้าหมาย และอาจารย์สมยศ จุณณะปิยะที่ให้คำแนะนำในการทำงาน

วินัย วรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
อักษรย่อ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	1
1.2 หลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์	2
1.3 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 การแก้ข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิต	3
2.1 สาเหตุที่ต้องทำการแก้ไขปรับความคลาดเคลื่อนของภาพ	3
2.2 วิธีการแก้ไขความคลาดเคลื่อนในเชิงเรขาคณิต	4
2.3 ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต	6
2.3.1 ฟังก์ชันความถูกต้องเชิงเรขาคณิต	6
2.3.2 วิธีการแก้ไขเชิงเรขาคณิต	7
2.3.2.1 Systematic correction	7
2.3.2.2 Non systematic correction	7
2.3.3 ความผิดพลาดของแบบ	7
2.4 การทำแผนที่	11
2.4.1 ความเร็วของกระจกสแกน	11
2.4.2 Profile and panoramic distortion	11
2.4.3 Mirror velocity	11
2.4.4 Panoramic distortion	11
2.4.5 ความเพี้ยนจากการกวาดเป็นแนวเฉียง	12
2.4.6 ความเพี้ยนจากความเร็วของยานอวกาศ	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.7 ความเพี้ยนเนื่องจากการหมุนของโลก	12
2.4.6 Perspective Geometry distortion	12
2.4.7 ความผิดพลาดเนื่องจากการกวาดแนวเฉียง	12
2.5 ความผิดพลาดเนื่องจากความเร็วของยานอวกาศ	14
2.6 ความเพี้ยนเนื่องจากการหมุนของโลก	14
2.7 แผนที่จากอวกาศ	16
2.7.1 ชนิดของโปรเจกชัน	17
2.7.2 The Earth as an Ellipsoid	18
2.7.3 Mercator Projection	18
2.7.4 Transverse Mercator Projection	19
2.8 ระบบการหาดำแหน่งบนพื้นโลก	20
2.9 การติดตามดาวเทียมและหา data relay	21
2.10 MASSIVELY PARALLEL PROCESSOR	21
2.11 รีแซมปลิง	23
2.11.1 การประมาณค่า	24
2.11.2 การรีแซมปลิงค่าที่ใกล้ที่สุด	25
2.11.3 การประมาณค่าแบบ ไบลิเนียร์	25
2.11.4 ประมาณค่าแบบ (Cubic Convolution interpolation)	26
2.11.5 Nearest neighbor	27
2.12 Cubic Convolution	27
บทที่ 3 การหาดำแหน่งพิกัดด้วย GPS	29
3.1 ความเป็นมาแผนงานของระบบ GPS	30
3.2 ลักษณะทั่วไปของ GPS	31
3.3 ส่วนควบคุม	36
3.4 ส่วนผู้ใช้	37
3.5 วิธีการรังวัดสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS	39
3.5.1 การรังวัดวิธี Pseudorange	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.2 การรังวัดโดยวิธี Phase measurement	40
3.5.3 การรังวัดโดยวิธี Doppler frequency shift	41
3.6 เทคนิคการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมระบบ GPS	41
3.7 วิธีการกำหนดตำแหน่ง	42
3.8 ผลการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS	43
3.9 คุณลักษณะเปรียบเทียบของดาวเทียมระบบ GPS ในงานสำรวจ	46
3.10 การเปรียบเทียบระหว่างดาวเทียมระบบ GPS กับ TRANSIT	47
3.11 พัฒนาการของ GPS	47
บทที่ 4 ผลการทดลองเปรียบเทียบการแก้แบบเดิมเปรียบเทียบกับแผนที่และ GPS	49
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	62
บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก	73
ประวัติผู้เขียน	87

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 Image Error Source and Sensor Data Compensation for LANDSAT multispectral Scanner.....	5
2.2 แสดงแหล่งกำเนิดและค่าผิดพลาดสามารถแยกค่าผิดพลาดทางเรขาคณิตจากการผิดพลาดทางความถี่.....	6
2.3 ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต.....	7
2.4 ภาพจากอวกาศและการแปลง.....	8
2.5 ใช้ Linear interpolation in the mapping operation.....	8
2.6 Output to input Mapping concept.....	9
2.7 ฟังก์ชันการ โปรเซส.....	9
2.8 การแก้ความผิดเพี้ยนของระบบ MSS	10
2.9 Polyclinic projection of the Western Hemisphere.....	19
2.10 Macerator projection of the world.....	20
2.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบ โปรเซสภาพ.....	22
2.12 การใช้ Mapping polynomial ที่ตำแหน่งในภาพแสดงเครื่องหมายในตาราง.....	24
2.13 การกำหนดตารางความสว่างของจุดภาพโดยใช้	25
2.14 Cubic Convolution Interpolation.....	28
3.1 ที่มาของดาวเทียมระบบ GPS.....	31
3.2 กลุ่มดาวเทียมระบบ GPS.....	32
3.3 ส่วนต่างๆของ GPS.....	33
3.4 ดาวเทียมระบบ GPS	33
3.5 โครงสร้างของดาวเทียมระบบ GPS.....	34
3.6 Pseudorange and Phase measurement.....	40
3.7 สมการระยะ PSEUDORANGE.....	41
3.8 การกำหนดตำแหน่งแบบสามบรรณและสามพันธ์.....	43
3.9 ลำดับขั้นการคำนวณหาค่าพิกัด.....	44
3.10 การเปรียบเทียบดาวเทียมระบบ GPS กับ TRANSIT.....	47
4.1 ข้อมูลดาวเทียม ADEOS ที่รับจากดาวเทียมโดยตรง.....	55
4.2 ข้อมูลดาวเทียม ADEOS ที่แก้ข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิตด้วย GPS.....	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.3 แผนที่กรุงเทพบริเวณที่แก้ไขข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิตด้วย GPS (GCP).....	56
4.4 ดาวเทียม ADEOS ที่แก้ไขข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิตเปรียบเทียบกับแผนที่.....	57
4.5 DIFFERENCE EXTRACTED ROADS.....	57
4.6 ค่าที่ได้จากการอ่านแผนที่ / GPS LONGTITUDE.....	58
4.7 ค่าที่อ่านจากแผนที่ / GPS LATTITUDE.....	59
4.8 ค่าที่อ่านจากแผนที่ / GPS LONGTITUDE/LATTITUDE.....	60
4.9 ค่าที่อ่านจากแผนที่ / GPS LATTITUDE / LONGTITUDE ERROR.....	61
4.10 GPS/LONGTITUDE.....	62
4.11 ค่าที่อ่านจากแผนที่ LONGTITUDE.....	63
4.12 ค่าที่อ่านจาก GPS/LATITUDE.....	64
4.13 ค่าที่อ่านจากแผนที่ / LATTITUDE.....	65
4.14 กรุงเทพ จากดาวเทียม ADEOS ระบบ AVNIR.....	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การกำหนดการปล่อยดาวเทียมระบบ GPS.....	36
3.2 ดาวเทียมระบบ GPS บนวงโคจรปัจจุบัน (สิงหาคม พ.ศ. 2533 NAVSTAR GPS).....	37
3.3 แสดงคุณลักษณะของ GPS ในปัจจุบันและอนาคต.....	47
4.1 การเปรียบเทียบค่าที่วัดจาก GPS กับแผนที่ 1:50,000.....	50
4.2 ค่าพิกัด LONGTITUDE / LATTITUDE ที่ทำกราฟ.....	59

อักษรย่อ

OPS : OPTICAL SENSOR

SAR : SYNTHETIC APERTURE RADAR

GPS : GLOBAL POSITION SYSTEM

GCP : GROUND CONTROL POINT

AVNIR : ADVANCE NEAR INFRARED RADIOMETER

TM : THEMATIC MAPPER

MSS : MULTISPECTRAL SCANNER

UTM : UNIVERSAL TRANSVERSE MECAATOR

CC : CUBIC CONVOLUTION

NN : NEAREST NEIGHBOR

บทที่ 1

บทนำ

ข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ปัจจุบันทรัพยากรของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากการกระทำของมนุษย์และมีการเปลี่ยนแปลงจากธรรมชาติ เช่น การเผาป่าเพื่อเพิ่มเนื้อที่เพาะปลูกมากขึ้นหรือการระเบิดหินเพื่อนำถนนมาสร้างทางสิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างไม่ในการทำลายภูมิประเทศทำให้อากาศร้อนขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของทรัพยากรธรรมชาติทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงบนพื้นโลกเราจึงใช้ดาวเทียมเพื่อสำรวจการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว แต่การนำข้อมูลดาวเทียมมาใช้มักเกิดความยุ่งยากซับซ้อนจึงขอเสนอการเก็บข้อมูลลงบน CD เพื่อให้คอมพิวเตอร์ IBM-PC โดยใช้พื้นที่จังหวัดกรุงเทพฯ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานของผู้วิจัยต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เนื่องจากข้อมูลดาวเทียม มักจะมีความยุ่งยากในการใช้งาน จึงเก็บข้อมูลให้อยู่ใน Harddisk และบันทึกลงบน CD ในรูปแบบ TIF format, JPEG format เพื่อให้ผู้ใช้ Windows บน PC ใช้งานได้ และสามารถอ่านและวิเคราะห์ได้ จึงเป็นการดีที่หน่วยงานที่มีงบประมาณจำกัด นำไปใช้งานได้ และผู้สนใจสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Borland C++, Photoshop เช่น การทำ Enhancement, classification, filter และอื่นๆ บนเครื่อง PC ที่ใช้กันได้ ข้อมูลภาพดาวเทียมที่จะเก็บลง CD จะเป็นของดาวเทียม JERS-1, ADEOS, MOS-1 เป็นต้น ข้อมูลดิบของภาพถ่ายดาวเทียมที่รับมาจะยังไม่ได้รับการแก้ไขความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric error) ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำวิธีการแก้ไขความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตโดยอาศัยจุดควบคุมทางภาคพื้นดิน (Ground control points) ที่ได้จากข้อมูลภาคสนามของเครื่อง GPS

1.2 หลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์

โดยปกติภาพถ่ายดาวเทียมที่สถานีภาคพื้นดินจัดบริการให้กับผู้ใช้นั้นมักจะอยู่ในรูปของ เทปแม่เหล็ก ซึ่งทำให้มีขีดจำกัดกับหน่วยงานเล็กๆที่จะนำไปใช้งานดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ เสนอการจัดเก็บข้อมูลในรูปของแผ่น CD ซึ่งจะทำให้หน่วยงานต่างๆที่มีเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ปกติมักจะมีเครื่องอ่าน CD อยู่ด้วยสามารถนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไปใช้งานได้อย่างสะดวกและ กว้างขวาง โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่บันทึกลงบนแผ่น CD นี้จะถูกทำการแก้ไขความผิดพลาด เชิงเรขาคณิต โดยอาศัยค่าตำแหน่งพิกัดจุดควบคุมทางภาคพื้นดินจากเครื่อง GPS ที่ได้จากการออก ภาคนาม ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จะทำการเปรียบเทียบกับวิธีการยังคงใช้อยู่ ซึ่งได้ค่าตำแหน่งพิกัดของ จุดควบคุมทางภาคพื้นดินจากแผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 สำหรับการรีแซมปลิงข้อมูลภาพหลัง การแก้ไขความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตจะ ใช้การสอดแทรก (interpolate) ด้วย โพลี โนเมียลอันดับที่ สอง

1.3 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงหัวข้อดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 บทนำ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ หลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์ รายละเอียดใน วิทยานิพนธ์
- บทที่ 2 การแก้ Geometric correction วิธีการแก้ความถูกต้องของภาพเชิงเรขาคณิตของภาพ แหล่งกำเนิดของภาพจาก Radiometry แหล่งที่มาของความผิดพลาดของภาพจาก การแผ่รังสี การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลผลกระทบต่อ บรรยากาศ ความต้องการสำหรับการแก้ไขภาพ
- บทที่ 3 การแก้ Geometric correction ที่เสนอโดยใช้ GPS เป็นตัวกำหนดจุดควบคุมภาคพื้น ดิน Ground control point
- บทที่ 4 ผลการทดลองเปรียบเทียบการแก้ไขแบบเทียบกับแผนที่ และเทียบกับ GPS
- บทที่ 5 สรุป

บทที่ 2

การแก้ไขผิดพลาดเชิงเรขาคณิต

การแก้ไขความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตของข้อมูลดาวเทียม เป็นการปรับแก้ข้อมูลดาวเทียมมีค่าพิกัดแผนที่ที่ถูกต้องกับข้อเท็จจริงบนพื้นโลก สาเหตุความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตของข้อมูลดาวเทียมดาวเทียม LANDSAT ระบบ MSS(Multispectral Scanner), TM(Thematic Mapper) และดาวเทียม JERS-1 ระบบ OPS(optical sensor), SAR(Synthetic aperture radar) โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

Nonsystematic Distortion เป็นความบิดเบือนของข้อมูลที่เกิดจากการทรงตัว ความสูงและความเร็วของยานอวกาศไม่คงที่ ความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุนี้ไม่สามารถรู้ว่าจะเกิดเมื่อใด โดยปกติความเร็วของยานอวกาศจะไม่คงที่ของดาวเทียม JERS-1, LANDSAT จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกับแนวโคจรของดาวเทียมส่วนลักษณะการทรงตัวและความสูงไม่คงที่จะทำให้เกิดความบิดเบือนของข้อมูลลักษณะ เช่น roll, pitch, yaw ทำให้ตำแหน่งของจุดภาพบนข้อมูลดาวเทียมคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งบนพื้นผิวโลก

Systematic Distortion เป็นความคลาดเคลื่อนของข้อมูลดาวเทียม JERS-1 ระบบ OPS (Optical Sensor) ที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอและสามารถรู้ล่วงหน้าได้คือเกิดจากความเอียงของอุปกรณ์กวาดรับข้อมูลความเร็วไม่คงที่และกระจกกวาดรับข้อมูลและมุมการกวาดรับข้อมูล จากการตรวจสอบพบว่าความเร็วของกระจกขณะเริ่มต้นและสิ้นสุดการกวาดรับเกิดความคลาดเคลื่อนของดาวเทียมขณะที่อุปกรณ์กำลังกวาดรับข้อมูล สาเหตุของมุมกวาดรับข้อมูลมีขนาดเล็ก สำหรับดาวเทียม LANDSAT เนื่องจากมุมกวาดรับแต่ละข้างมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตยังเกิดจากสาเหตุอื่นๆ เช่นความโค้งของผิวโลก การหมุนของโลก และแนวการโคจรของดาวเทียม

2.1 สาเหตุที่ต้องทำการแก้ไขปรับความคลาดเคลื่อนของภาพ

การปรับ แก้ความคลาดเคลื่อนของภาพทางเรขาคณิตเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุดทั้งนี้เพราะข้อมูลภาพดาวเทียมจะนำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่างๆ ที่ต้องการความถูกต้องเชิงเรขาคณิตเป็นอย่างสูงเช่น ข้อมูลภาพจากดาวเทียมมีความผิดเพี้ยน (distortion) อันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น ระดับความสูงของดาวเทียม (Altitude) การทรงตัวของดาวเทียม (Attitude) ความเร็วในการโคจร

ความสูงของดาวเทียม (Altitude) การทรงตัวของดาวเทียม (Attitude) ความเร็วในการโคจร (Velocity) การหมุนของโลก (Earth Rotation) ความโค้งของผิวโลก (Panoramic Distortion) การอ้างอิงค่าพิกัดแผนที่ (Map Projection) ซึ่งทำให้ข้อมูลภาพจากดาวเทียมมีความผิดเพี้ยนไป รวมเรียกทั้งหมดว่า เป็นความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric Error) หากมิได้แก้ไขข้อมูลภาพ ให้อุปกรณ์แล้วก็จะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการทำแผนที่ การติดตามหาดำแหน่งและพื้นที่ป่าไม้ถูกทำลาย การคำนวณหาพื้นที่เพาะปลูก การปฏิรูปที่ดินเพื่อการเกษตร การหาแหล่งแร่ และอื่นๆ เป็นต้น

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในภาพให้ถูกต้องการปรับแก้ในเชิงเรขาคณิตซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด

2.2 วิธีการแก้ไขความคลาดเคลื่อนในเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction Approach)

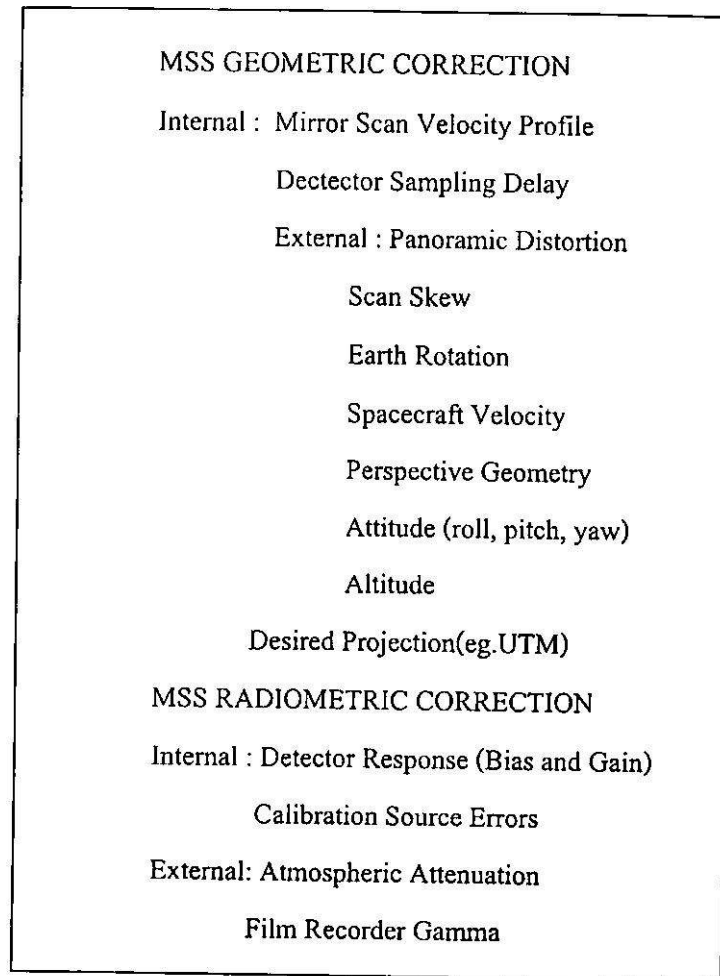
การแก้ไขความคลาดเคลื่อนในเชิงเรขาคณิตของภาพดาวเทียมมี 2 วิธี คือ

2.2.1) การแก้ไขโดยใช้ชุดข้อมูลที่วัดได้จากดาวเทียมที่เรียกว่า Telemetry Data หรือ (Ephemeris Data)

2.2.2) การแก้ไขโดยใช้ข้อมูลที่วัดได้จากดาวเทียม ประกอบกับการใช้จุดควบคุมจากแผนที่ (Ground Control Points หรือ GCP)

ข้อมูลภาพบนโลกที่รับจากเซนเซอร์ของยานอวกาศผลเกิดจาก electronic, geometric, machanic และ radiometric distortion จะเกิดค่าผิดพลาดของข้อมูลเกิดจาก การลดขนาดของข้อมูลที่ไม่ได้ทำการ Correction นอกเหนือจากนี้ (overview) วิธีการทำ correction โดยใช้เทคนิค Optical Processing techniques รูปแบบที่เป็น Digital ที่เปลี่ยนรูปแบบและคุณภาพของข้อมูล

ข้อมูลภาพที่ทำ Correction มีการกำหนดค่าผิดพลาดทั้งภายนอกและภายในซึ่งได้จากการวัดค่าผิดพลาดภายในเกิดจากผลของ Sensor โดยทั่วไป systematic และ stationary มีค่าคงที่ และกำหนดจากการปรับ Calibration กับเครื่องมือวัด ค่าผิดพลาดและคุณลักษณะของภาพซึ่งเปลี่ยนแปลงกำหนดจาก ground control point และการ tracking ข้อมูลสำหรับทำ Correction ข้อมูลค่าความผิดเพี้ยนที่รับได้



ภาพที่ 2.1 ข้อผิดพลาดของภาพและแก้ไขข้อมูลเซนเซอร์ของดาวเทียม LANDSAT
Multispectral Scanner (MSS)

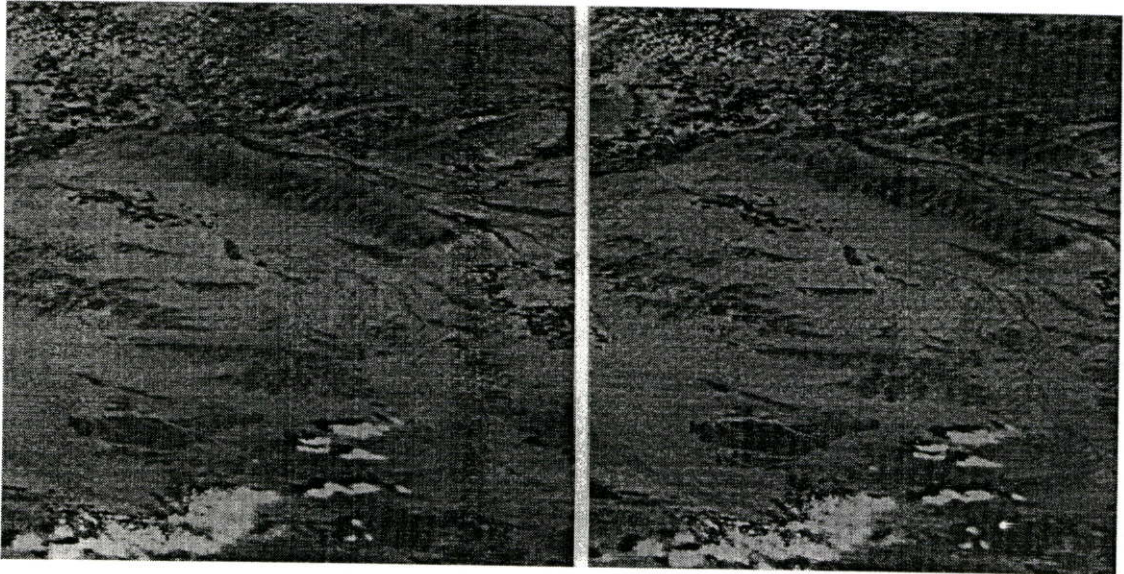
ระบบ

ความถูกต้องทางเรขาคณิตของภาพ (GEOMETRIC CORRECTION)

ภายใน	ความเร็วลมของกระจกที่กวาด Detector Sampling Delay
ภายนอก	การกวาดมุมกว้างของเซนเซอร์ การสแกนเป็นแนวเฉียง Scan Skew การหมุนของโลก ความเร็วของยานอวกาศ เรขาคณิตแบบเปอร์สเปคทีฟ การทรงตัวของดาวเทียม (roll, Pitch, yaw) การออกแบบการชี้การชี้ตรงแผนที่ Desired Projection (eg. UTM)

การแก้ไขเชิงรังสีของระบบ MSS

ภายใน	ผลกระทบกับดีเทคเตอร์ (Bias and gain) แหล่งกำเนิดเกิดการเปลี่ยนแปลง Calibration Source Errors
ภายนอก	การลดทอนในบรรยากาศชั้นแอสโมสเฟียส์ Atmospheric Attenuation การบันทึกลงบนฟิล์ม Film Recorder Gamma



ภาพที่ 2.2 แสดงแหล่งกำเนิดและค่าผิดพลาดของภาพสามารถแยกความแตกต่างและค่าผิดพลาดทางเรขาคณิตจากการผิดพลาดทางความถี่

2.3 ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต (Geometric correction)

ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตในระบบ MSS (Multispectral Scanner) ใช้วิธีการวัดความผิดพลาด และใช้ Geometric correction function และ resampling ของข้อมูลอินพุทที่รับจากค่า output intensity

2.3.1 ฟังก์ชันความถูกต้องเชิงเรขาคณิต (Geometric correction function) ภาพจากดาวเทียม ที่ทำการ transform โดยใช้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิตของข้อมูลภาพระบบ MSS (Multispectral Scanner) ดังรูป 2.8 ข้อมูลภาพ ทางด้านอินพุทเป็นข้อมูลดิจิทัลซึ่งแทนโดยการผิวยื่นเชิงเรขาคณิต one dimension perspective projection ที่ทำกับพื้นผิวโลก ภาพเอาต์พุทเชิง

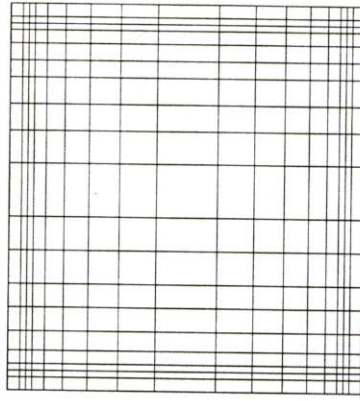
เรขาคณิตของแผนที่ที่กำกับพื้นผิวดำแหน่ง GCP เป็นตำแหน่งของพื้นดิน GCP เป็นตำแหน่งของ ภาพอินพุท และพื้นที่บนแผนที่เป็น cylinder tangents ใช้แบบรูปแบบหาค่าผิดพลาดทั้งหมดนี้ ซึ่ง สามารถทำนายหรือกำหนดจากข้อมูล Tracking ตำแหน่ง GCP บนแผนที่จากแผนที่จากอวกาศบน ระนาบ tangent ผ่านจุดที่มีความสัมพันธ์กับแผนที่หรือระนาบ tangent จากอวกาศที่กำหนดจุดบน พื้นโลก ตามธรรมชาติตำแหน่ง GCP ที่รับในระนาบ tangent ใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของความ สูง ตามตัวเลขตำแหน่ง GCP ที่รับในระนาบ Tangent ซึ่งใช้หาค่าการวางตัวของระดับความสูง ทำให้เกิดความผิดพลาดจากแผนที่ ที่ใช้ในงานที่ต้องการความถูกต้องของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่รับ จากอวกาศ ต่อไปการหาค่าความถูกต้องของจุดภาพเอาที่พุทแบบ interpolation โครงสร้างแบบตา รางดั่งนั้นมุมทั้ง 4 ที่ ทำตารางบนแผนที่ต้องการหาค่าความถูกต้องของฟังก์ชันของจุดภายในกำหนด ตำแหน่งเครื่องหมายในภาพดังรูป 2.7

2.3.2 วิธีการแก้ไขเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction Approach) ในรายละเอียดที่ทำการ หาค่าความถูกต้องเชิงตั้งเชิงเรขาคณิต ให้ข้อมูลแสดงค่าผิดพลาดแบบ modelling space to space mapping, resampling techniques และผลของความถูกต้องเชิงเรขาคณิตจากการทดสอบ

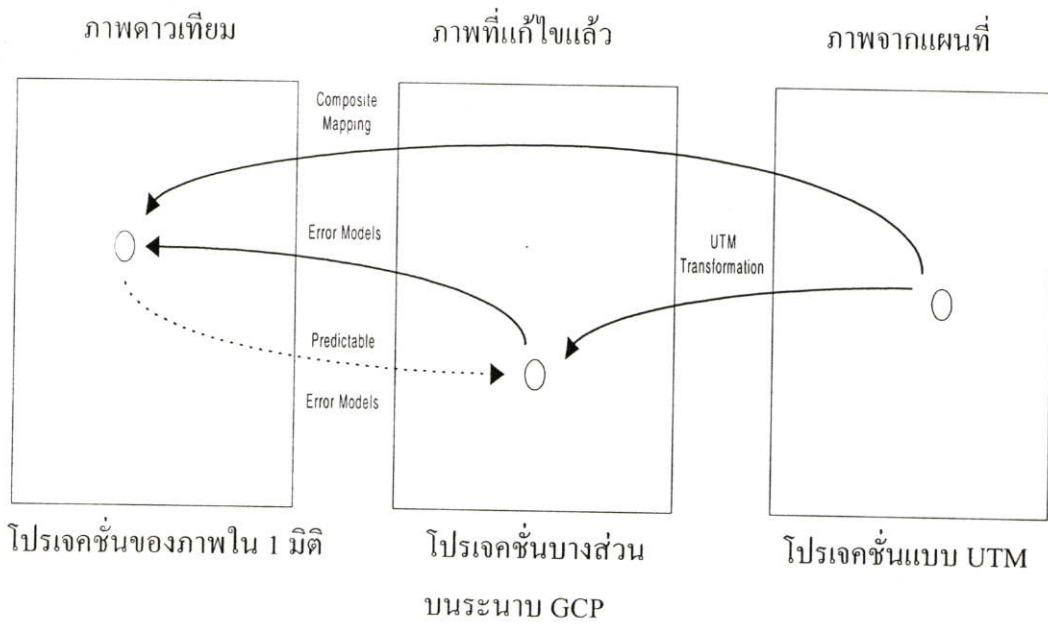
2.3.2.1 Systematic correction การปรับความคลาดเคลื่อนในระบบ Sensor ซึ่งมี หลายลักษณะจะใช้ดังนี้ ephemeris data คือ ข้อมูลสถานะระบบดาวเทียมในขณะถ่ายภาพ

2.3.2.2 Non systematic correction

2.3.3 รูปแบบของความผิดพลาด (Error Modeling) ซึ่งอธิบายค่าผิดพลาดในภาพอินพุทมี 2 อย่าง สามารถคำนวณจากข้อมูลที่วัดจากยานอวกาศ ephemeris data ซึ่งเป็นค่าผิดพลาดภายใน เซนเซอร์เนื่องจากความถูกต้องของตำแหน่งพิกัด GCP ไม่เพียงพอ (ดังภาพที่ 2.8) ซึ่งเป็นผลจาก ความเร็วของเซนเซอร์ที่ใช้ในการถ่ายภาพไม่คงที่ ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinearities) การผิดพลาด เนื่องจากความโค้งของโลกและการถ่ายภาพเป็นแนวเฉียง ความเร็วในการโคจรของดาวเทียม การหมุนรอบตัวเองของโลก perspective geometry ซึ่งเกิดความแตกต่างเชิงเรขาคณิต และความ แตกต่างของค่าภายในและภายนอกภาพที่ 2.7 ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนค่าความสูงของยาน อวกาศ ที่รู้ค่าผิดพลาดโดยใช้สมการคณิตศาสตร์วิเคราะห์รูปแบบที่ผิดพลาดประมวลผลรูปแบบที่ ผิดพลาดดังภาพที่ 2.7 กระบวนการผิดพลาดในภาพ จุดควบคุม (X_p, Y_p) ระหว่างที่ภาพไม่เป็นเชิง เส้นและค่าผิดพลาดตามแนวขวางซึ่งปรับให้ถูกต้องโดยสมการ



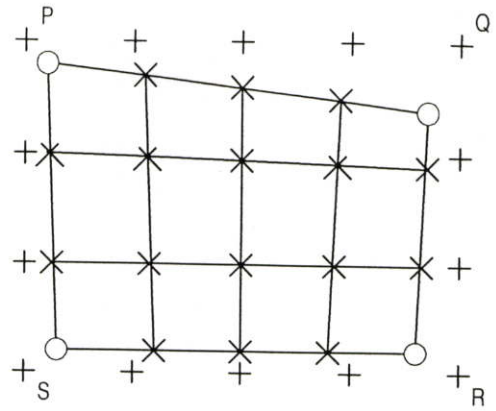
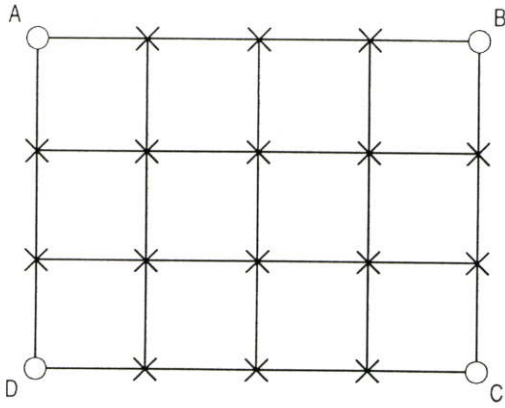
ภาพที่ 2.3 ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต (RBV radiometric correction zones)



ภาพที่ 2.4 ภาพจากอวกาศและการแปลง (MSS image spaces and transformations)

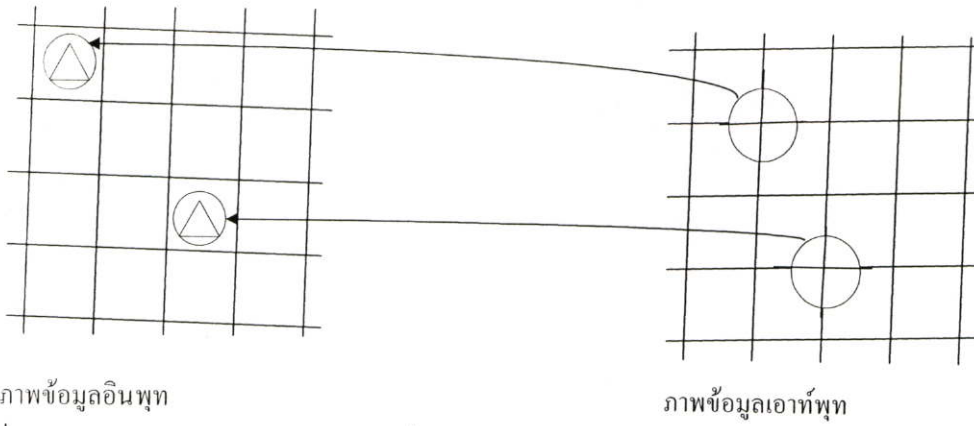
ภาพที่แก้ไขแล้ว

ภาพดาวเทียมที่ยังไม่ได้แก้ไข

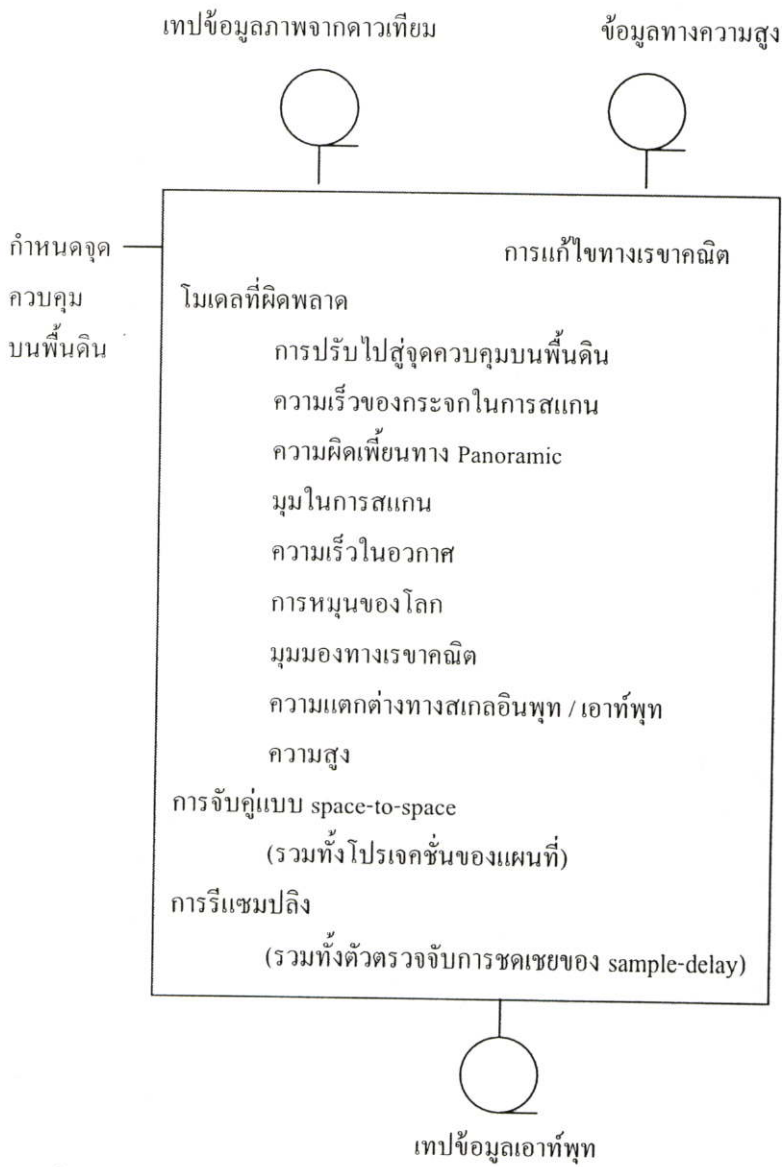


- ตำแหน่งที่กำหนดด้วยฟังก์ชันการจับคู่ (Mapping Function)
- × ตำแหน่งที่กำหนดด้วยการประมาณค่าเชิงเส้น (Linear Interpolation)
- + จุดของภาพที่เป็นข้อมูลอินพุต

ภาพที่ 2.5 การทำแผนที่โดย Linear interpolation

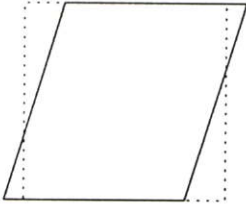


ภาพที่ 2.6 หลักการของการจับคู่จากแผนที่ ไปยังภาพจากดาวเทียม



ภาพที่ 2.7 ฟังก์ชันการประมวลผล (Preprocessing function Flow)

การหาค่าความผิดเพี้ยนจากข้อมูลที่ติดตาม

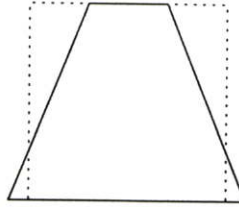


การหมุนของโลก

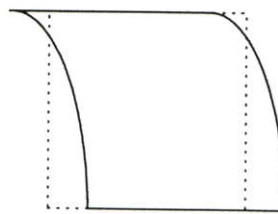


ความเร็วของยานอวกาศ

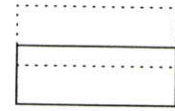
การหาค่าความผิดเพี้ยนจากจุดควบคุมบนพื้นดิน



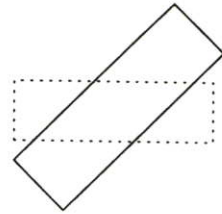
การเปลี่ยนแปลงทางความสูง



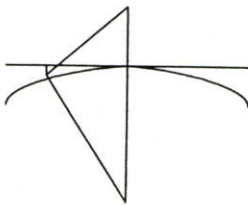
การเปลี่ยนแปลงมุมโค้ง



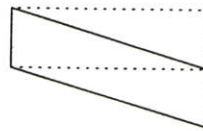
การเปลี่ยนแปลงระดับ



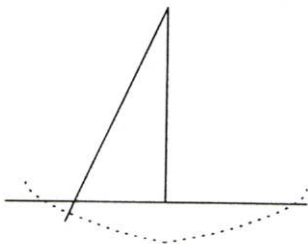
การเปลี่ยนแปลงทิศทาง



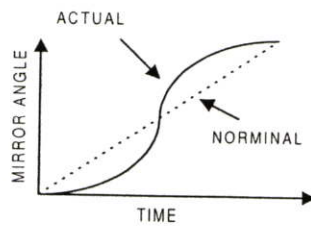
โปรเจกชันตามภูมิประเทศ



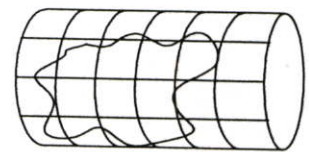
SCAN SKEW
มุมในการสแกน



ความผิดเพี้ยนทาง panoramic



การเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระจก



โปรเจกชันของแผนที่

ภาพที่ 2.8 การแก้ความผิดเพี้ยนของระบบ MSS (MSS Geometric Distortion)

2.4 การทำแผนที่ (Mapping Operation)

การปรับจุดควบคุมพื้นดิน (Adjustment to ground control) ตำแหน่งจุดควบคุมทั้งหมดที่ใช้บนแผนที่จากการสำรวจรูปทรง (latitude, longitude) ของเส้นและตัวอย่าง coordinate ในศูนย์กลางของอวกาศที่กำหนดบนภาพดาวเทียม

2.4.1 ความเร็วของกระจก scan (Mirror scan velocity) เป็นความเร็วในการสแกนของกระจกบนยานอวกาศ

2.4.2 Profile and panoramic distortion เป็นความผิดเพี้ยนของภาพเนื่องจากการหมุนของโลก ทำให้เห็นภาพเป็นแนวเฉียง

2.4.3 Mirror velocity กระจกสแกนของ MSS เป็นคุณลักษณะ nonlinear sweep ตั้งแต่ข้อมูลตัวอย่างภายในของเวลา อัตราการปรับกระจกทำให้เกิดข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิต

2.4.4 Panoramic distortion ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้เปลี่ยนแปลงตามเวลา อย่างไรก็ตามระยะทางจากพื้นดินที่มีส่วนของ tangent ของมุม Scan ผลของผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตในภาพระบบทรงกระบอก ดาวเทียม LANDSAT มุม X เป็น Tangent ของดาวเทียมแต่ละดวง Track ตามทิศทางเป็นบวกของยานอวกาศ Y althogornol ที่มุม X เป็นบวกของการสแกน นั่นคือ (X_1, Y_1) เป็นค่า lines อินพุต และตัวอย่างแทน coordinate ก่อนแบบ error modeling สับสคริปค่า X และ Y

กระบวนการประมวลผลค่าผิดเพี้ยนในภาพที่ควบคุมตำแหน่ง (X_1, Y_1) กระจกที่กวาดไม่เป็นเชิงเส้น และค่าผิดเพี้ยนทางแนวขวางซึ่งทำความถูกต้องโดยสมการ

$$Y_2 = I_s H_0 / S \tan [K_0 + \phi + Y_1(K_1 + 2\gamma/I_s) + K_2 Y_1^2 + K_3 Y_1^3] \quad (2.1)$$

I_s	เป็นจำนวน lines image input
H_0	เป็นค่าความสูงของยานอวกาศ (เมตร)
S	เป็นความกว้างของการกวาด (เมตร)
K_0, K_1, K_2, K_3	เป็นพารามิเตอร์ของกระจก
γ	เป็นมุมกระจก MSS สูงสุด (radians)
ϕ	เป็นมุม (องศา)

ϕ เป็นค่าของมุมที่ใช้ accurate roll (ตั้ง step j) กำหนดจากความโค้งของผิวโลกคือมุม roll เป็นผลจากการปรับตำแหน่งจุดควบคุมซึ่งปรับภาพปรับแบบ least square ประเมินค่าความสูง

2.4.5 ความเพี้ยนจากการกวาดเป็นแนวเฉียง (Scan Skew distortion) ระยะเวลาที่กระจก MSS ถ่ายภาพ ขานอวกาศจะถ่ายตามแนวพื้นดิน การกวาดภาพจะเป็นแนวตัดขวาง ทำให้เกิด ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต cross scan distortion โดย scan skew ทำให้ถูกต้องโดย

$$X_2 = X_1 + \sigma Y_2 \quad (2.2)$$

เมื่อ σ เป็นค่าคงที่ กำหนดโดย จำนวนของการกวาดเฉียง scan skew

2.4.6 ความเพี้ยนจากความเร็วของยานอวกาศ (spacecraft velocity distortion) ถ้ายานอวกาศแยกจากพื้นดิน โดยกำหนดจำนวนของ Successive mirror sweeps change เกิดความเพี้ยน along track scale ความผิดพลาดของการติดตามถ่ายภาพของยานอวกาศหาโดย

$$X_3 = (1 + \Delta V/V) X_2 \quad (2.3)$$

เมื่อ $\Delta V/V$ เป็น ค่าผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับจากดาวเทียมเพราะความเร็วไม่คงที่

2.4.7 ความเพี้ยนเนื่องจากการหมุนของโลก (Earth rotation distortion) ความผิดพลาดจากการหมุนของโลก ระบบ MSS มีจังหวะต่อเนื่องจากการหมุนของโลกและเซนเซอร์ที่ถ่ายภาพในแนวขวาง โดยกระจกที่กวาดไม่อยู่ทางทิศตะวันตก ทำให้เกิดการเพี้ยนอย่างต่อเนื่อง ความผิดพลาดจากการกวาดของดาวเทียมระหว่างที่โลกหมุนหาค่าความถูกต้องโดยใช้รูปแบบ

$$Y_3 = Y_2 - X_3 \alpha_{ER} \quad (2.4)$$

เมื่อ α_{ER} เป็น ค่าสัมประสิทธิ์จากการหมุนของโลกของค่าที่วัดจากดาวเทียม

Altitude modeling ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดความผิดพลาดจากการหมุนของโลกเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องกับการกวาดในแต่ละช่วงที่ไม่ต่อเนื่องใน X ความแตกต่างของเศษส่วนของจุดภาพ (pixel) จาก line ถึง line ดังนั้น จากส่วนอินทิกรัลที่หาค่าความถูกต้องของแผนที่จากอวกาศ ค่าความถูกต้องใช้ในการทำ resampling

2.4.8 ความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิตแบบเพอร์สเปกทีฟ (Perspective Geometry Distortion) Perspective Projection ใช้สำหรับวิเคราะห์หาส่วนภาพดาวเทียม LANDSAT แทนด้วยจุดที่ project

บนโลก บนระนาบ Tangent ที่โลก ข้อมูล เซนเซอร์ แทนด้วย perspective projective projection จุดที่ใช้ระนาบ Tangent ทำให้ระบบ MSS เกิด along scan distortion ค่าผิดพลาดของการถ่ายภาพที่พื้นโลก และค่า panoramic distortion ที่ถูกต้องหาโดยใช้สมการ

$$Y_4 = [1 - KY_3^2 - K^2Y_3^4] Y_3 \quad (2.5)$$

เมื่อ K เป็น $-S^2/2H_0R_0I_s^2$

R_0 เป็นค่ารัศมีของโลก ที่ตรงข้ามกับยานอวกาศ (เมตร) และ S , H_0 และ I_s หาค่า g ค่าความแตกต่าง ความผิดพลาด อินพุตและเอาต์พุต ทำให้ถูกต้องโดย

$$X_c = [O_L / I_L] X_3 \quad (2.6)$$

$$Y_c = [O_s / I_s] Y_4 \quad (2.7)$$

O_L, O_s = จำนวนของเส้นและ Samples ต่อเส้นในภาพเอาต์พุต

I_L, I_s = จำนวนของเส้นและการแซมปลิงต่อเส้นในภาพอินพุต

X_c, Y_c = พิกัดจุดควบคุมในภาพอินพุตของระบบที่เกิดการผิดพลาด

2.4.9 ความผิดพลาดเนื่องจากการกวาดแนวเฉียง ระหว่างเวลาที่กระจก MSS สแกนแบบบวก ยานอวกาศจะกวาดตามแนวพื้นดิน ตัดกับพื้นดินเป็นแนวเส้นเฉียง ทำให้เกิดความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตตามรอยตัดขวาง ค่าความผิดพลาด Cross scan ที่กวาดเป็นแนวเฉียงหาค่าความถูกต้องตามสมการที่ 2.2

2.5 ความผิดพลาดเนื่องจากความเร็วของยานอวกาศ

ถ้าความเร็ว ของยานอวกาศซึ่งถ่ายภาพตามแนวพื้นดิน โดยจำนวนที่คงที่ของกระจก ที่กวาดเกิดการเปลี่ยนแปลง สร้าง along track scale distortion Along track distortion โดยความเร็วของดาวเทียมที่เกิดค่าผิดพลาด

2.6 ความเพี้ยนเนื่องจากการหมุนของโลก (Earth rotation distortion)

ระบบ MSS ทำการกวาดหลายครั้งเนื่องจากโลกหมุนไม่พอดีกับเซนเซอร์ และการกวาดเป็นแนวเฉียง โดยกระจกกวาดเอียงไปทางทิศตะวันตกทีละน้อย ทำให้เกิดความเพี้ยนตลอดแนวซึ่งหาได้จากการกวาดเนื่องจากการหมุนของโลก หาค่าความถูกต้องโดย

ความสูงของ modeling ประกอบด้วย ความผิดพลาดเนื่องจากการหมุนของโลกเป็น Continuous function ของ X ตามความแตกต่างของฟังก์ชัน อย่างไรก็ตาม actual fact ทำให้เกิด distortion continuous function ของการกวาด กับค่าความสูง พิจารณาแกนของระบบเซนเซอร์ที่กระทำกับพื้นโลก และอื่นๆ กับความเร็วของยานอวกาศทำให้เกิดความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต ระบบ MSS ค่าความสูง (time history contributes) ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่าง step a และภาพอินพุตที่ถูกต้อง Control points ความสูงกับข้อมูล AMS ในภาพที่ใช้การ correction แบบ least-squares estimation การประมาณข้อมูลทั้งหมด แบบทั่วไปที่รับจากข้อมูลข้างนอก I เวลาสำหรับคำนวณจุดควบคุมมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$t = t \text{ integer position ของ } (X_i/6) \quad (2.8)$$

เมื่อ t เป็นจำนวนการกวาด ของกระจกต่อนาทีมุม roll แต่ละจุดคำนวณ

จากสมการ 2.1 ถึง 2.6 , 2.7 เป็นค่า step h ใช้ค่า (X_c, Y_c) pitch , yaw และความสูงที่ใช้คำนวณใน step hall เป็นผลของ สัมประสิทธิ์ที่ผลิตขึ้น ในจากข้อมูลที่ได้รับ จุดควบคุมตำแหน่งความถูกต้องของความสูงด้วยสมการ

$$X_A = X_C + \psi Y_C + \theta H_{PX} \quad (2.9)$$

$$Y_A = Y_C (1 + \Delta H/H_0) - \Phi (H_P^2 + Y_C^2) H_{PY} \quad (2.10)$$

$$H_{PX} = H_0 I_L / G \quad (2.11)$$

$$H_{PY} = H_0 I_S / S \quad (2.12)$$

G เป็น ค่าความสูงของภาพ (เมตร)

คำนวณพิกัด (X_A, Y_A) และคำนวณพิกัดจุดควบคุม ค่าพิกัดสุดท้ายที่ต่างกันหาโดย

$$X_Y = X_A + D_X \quad (2.13)$$

$$X_Y = Y_A + D_Y \quad (2.14)$$

สมการ 2.1 ถึง 2.16 คุณลักษณะของความผิดเพี้ยนในภาพ เนื่องจากการกวาดตามแนวทางยาวเกิดความเพี้ยนตามทางที่เปลี่ยนและ samples delay ความเพี้ยนและการหาค่าความถูกต้องของ lines ใน การ รีแซมปลิงกับสมการของ map projection สมการให้ค่าผิดพลาด

2.7 โปรเจกชันของแผนที่ (Map Projection)

อย่างไรก็ตาม ได้มีการแสดงการเปลี่ยนรูปกลับจากนอกรอวกาศเป็นในอวกาศที่ใช้คู่มือค่าที่เกี่ยวข้องกับเวลาซึ่งไม่รู้การคำนวณค่าในจุดภาพ ถ้าค่าเวลาที่ใช้ในเปลี่ยนแปลงการดูข้างนอกรอวกาศและในอวกาศ ใน การสร้างเปลี่ยนรูป ความแม่นยำในอินพุท / เอาท์พุท ของอวกาศ การต่อกับแผนที่ที่มีความเที่ยงตรงจากอินพุท / เอาท์พุทของอวกาศ มีกระบวนการดังนี้

-จุดกริดสี่เหลี่ยมของจุดนอกรอวกาศหาจากจุดพิกัด 4 จุดที่อยู่รอบๆ โดยวิธีหาสัมประสิทธิ์ความเที่ยงตรงแบบ bilinear interpolation กับ เอาท์พุทกับตำแหน่งอินพุทอวกาศค่าสัมประสิทธิ์พิกัดของจุด 4 จุด

-ใช้สมการของ UTM หรือใช้ แผนที่อื่นๆ ของภาพเอาท์พุท จุดกริดใช้ในการแปลงพิกัด (latitude และ longitude) เมื่อ ค่า Tangent จุดศูนย์กลางภาพ

-จุดสี่เหลี่ยมที่เป็นตารางที่ถ่ายจากยานอวกาศ กำหนดความถูกต้องของตำแหน่งโดย Bilinear interpolation ที่ใช้พิกัดในอวกาศรอบๆ จุดตารางสี่เหลี่ยม ซึ่งไม่ทำให้ภาพเปลี่ยนแปลง

-แม้ว่าสมการของ UTM หรือใช้ในการถ่ายแผนที่ ของภาพเอาท์พุท จุดตารางจากการแปลงพิกัดเกี่ยวกับรูปร่างและเนื้อที่เปลือกโลก (latitude, longitude) และจุดศูนย์กลางภาพ

-ตาราง Tangent ที่ใช้ทำแผนที่ จากภาพในอวกาศ โดยแผนที่อินพุทและเอาท์พุท

-จุดควบคุมที่เป็นอินพุทจะถูกจับคู่ไปยัง output space โดยใช้ค่าการแปลงของอินพุทไปเป็นเอาท์พุท

-ค่าผลต่างระหว่าง nominal และจุดกริดที่จับคู่กันจะใช้ปรับค่าพิกัดของ input space ในลักษณะเชิงเส้นและขั้นตอนนี้จะถูกทำซ้ำ ในทางปฏิบัติความต้องการของ input space ในลักษณะ

non uniform array ซึ่งจับคู่กับจุดเอาทพุทที่เป็นกริดบนพื้นที่จะเกิดขึ้นไม่เกิน 2 iterate ควรจะสังเกตว่าค่าการแปลงอินพุทไปเป็น output ที่ถูกต้องจะต้องมีการปรับแก้ข้อมูลที่มีความผิดพลาด ยกเว้นในกรณีของ line length, sample delay และอัตราส่วนของความผิดพลาดจากการหมุนของโลก ซึ่งรวมกับค่าผิดพลาดที่ความถี่สูง (ทุกๆ ช่วงสแกน) ในฟังก์ชันรีแซมปลิงด้วยค่าอ้างอิงของขั้นตอน 2.7.2 ก่อนหน้านี้ควรจะกล่าวได้ว่า map project จะไม่รวมกับค่าผิดพลาดทางเรขาคณิตจริงๆ แต่มันก็ใช้การแปลงทางเรขาคณิตของข้อมูลอินพุทและต้องสามารถเข้าร่วมกับการดำเนินการเดียวกันที่สามารถชดเชยค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่มีอยู่ได้ในปัจจุบันใช้ซอฟต์แวร์ของ NASA ที่ร่วมกับ Hot line Oblique Mercator (HOM) และ Space Oblique Mercator (SOM) และโปรเจกชันของการจับคู่

2.7.1 ชนิดของโปรเจกชัน มีการพิจารณาโปรเจกชันของแผนที่หลายชนิด equal-area หรือ โปรเจกชันสมมูลของโลกจะนำมาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ในการหาสภาพทางภูมิศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับพื้นดิน ความหนาแน่น และความคล้ายคลึง ใน equal-area projection เช่น Albers Equal-Area Conic เปรียบเทียบที่วางบนส่วนหนึ่งของแผนที่ปกคลุมพื้นที่บนพื้นโลกเช่นเดียวกับเหรียญเดียวกันในส่วนอื่นๆ ของแผนที่ ขนาด รูปร่าง มุม และสเกล จะต้องผิดเพี้ยนไปในบางส่วนของแผนที่ดังกล่าว แต่ในบางเส้นบนแผนที่ชนิด equal-area จะใช้ได้ดีเท่ากับโปรเจกชันแบบอื่นๆ ซึ่งไม่มีการผิดเพี้ยนชนิดใดๆ เลย เรียกว่า “standard line” ซึ่งอาจจะเป็น เส้นเมริเดียนหนึ่งหรือสองเส้นขนานกัน แนวเส้นซึ่งถือว่าเป็นจุด โดยทั่วไปมักจะใช้ใน mapping แบบ larger-scale ซึ่งถือว่าเป็น conform (orthomorphic) projection เช่น Transverse Mercator และ Lambert Conform Conic คำว่า conform หมายถึง ความถูกต้องในด้านรูปร่าง แต่ไม่เหมือนกับคำว่า “equal area” เป็นการประยุกต์ใช้หลักการพื้นฐานของ conform เพียงแค่ส่วนที่เป็น infinitesimal ของแผนที่ มุมที่แต่ละจุดจะถูกแก้ไข ดังนั้น local scale ในทุกๆ ทิศทาง รอบๆ จุดใดๆ จะมีค่าคงที่ ดังนั้นผู้ใช้แผนที่สามารถวัดระยะทางและทิศทางระหว่างจุดใกล้ๆ ด้วยค่าผลต่างค่าน้อยๆ แผนที่แบบ conform อาจยังคงใช้เพื่อเตรียมความเหมาะสมในส่วนเล็กๆ ของ conform map อื่นๆ ซึ่งได้ถูกขยายหรือลดขนาด เป็นชนิด non-conform projection ที่ต้องทำการกำหนดขนาดใหม่ให้ดีๆ เมื่อพื้นที่ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบเล็กๆ จำนวนมาก ความผิดเพี้ยนในรูปร่างของพื้นที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วยอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธี conform projection แบบ Mercator เนื่องจากจะใช้กันอย่างแพร่หลายในชั้นเรียนโดยเฉพาะในอดีต เนื่องจากไม่มีความผิดเพี้ยนทางด้านมุม เส้นดัดขนานของ meridian ที่มุมทางด้านขวามือใน conform projection ยังคงเกิดขึ้นบนพื้นโลก “Standard line” ยังคงนำไปประยุกต์ใช้กับ conform map เพื่อขจัด scale และ area-distortion ตามแนวเส้นเหล่านี้ และเพื่อลดความผิดเพี้ยนในที่อื่นๆ ด้วย

บาง map projection เช่น Azimuthal Equidistant จะไม่เป็นทั้ง equal-area และ conform แต่เป็น linear scale ที่ถูกแก้ไขไปตามแนวเส้นทั้งหมดจากจุดศูนย์กลาง ไปตามเส้น meridian หรือไป

ตามรูปแบบพิเศษอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีการตกลงกันทางด้าน projection เกือบจะมีข้อจำกัดทั้งหมดสำหรับ small-scale mapping ซึ่งใช้เพื่อปรับสมดุลในสเกลของความผิดเพี้ยน พื้นที่ และขนาด

Projection มักจะถูกจำแนกตามชนิดของพื้นผิวบนโลกซึ่งอาจจะเกิดการ map ถ้ารูปทรงทรงกระบอกหรือโคนที่แทนที่รอบๆ โลกไม่ปัดล้อน (unroll) เราจะได้แนวคิดเกี่ยวกับโปรเจกชันของทรงกระบอกหรือโคน เช่น Mercator และ Lambert Conform Conic ตามลำดับ ถ้าแกนของโคนหรือ ทรงกระบอกร่วมกันเป็นแกน polar ของโลก projection จะมีค่าเท่ากับ space straight meridian ขนานกับ โปรเจกชันของทรงกระบอกและครอบคลุมโลก เส้นขนานที่ตัดกับ meridian ที่มุมทางขวามือของแผนที่ จะเป็นเส้นตรงบนทรงกระบอก และเป็นส่วนโค้งของวงกลมบนโคน ระยะห่างของเส้นขนานไม่ค่อยจะเกิด projection ระบาย tangent ที่วางตัวกับพื้นโลกที่ขั้วของโปรเจกชันบนมุมอะซิมุทสเกลยังคงเป็นค่าคงที่ตามแนวเส้นขนานกับละติจูดแต่ละเส้นบนทรงกระบอกปกติโคนหรือ polar azimuth projection แต่มันจะไม่เปลี่ยนแปลงจากเส้นละติจูดหนึ่งไปเป็นอีกเส้นหนึ่ง ทิศทางของทุกๆ จุดจะถูกแก้ไข ดังเห็นได้จากจุดศูนย์กลางที่โปรเจกชันของมุมอะซิมุท

ถ้ารูปทรงกระบอกหรือ โคนเป็น secant แทน tangent ของโลก แนวคิดในการโปรเจกชันจะมี 2 เส้นแทนเส้นเดียวที่ให้ค่าจริงกับสเกล มีการวนกลับของทรงกระบอกบริเวณ meridian นำไปสู่การแปลงค่าโปรเจกชัน โดยการวางระนาบ tangent ไปยัง Equator แทนที่ขั้วซึ่งเป็นลักษณะของเส้นศูนย์สูตรของผลจากโปรเจกชันของมุมอะซิมุท มุมเอียงของทรงกระบอก โคน หรือ ระนาบจะเกี่ยวข้องกับจุดอื่นๆ บนโลก ซึ่งนำไปสู่โปรเจกชันแบบเส้นตรง และ meridian และเส้นขนานก็ไม่มากกว่าเส้นตรงหรือ ส่วนโค้งของวงกลมที่เป็นลักษณะปกติ เส้นตรงจะมีสเกลคงที่ที่ไม่สอดคล้องกับการหมุน

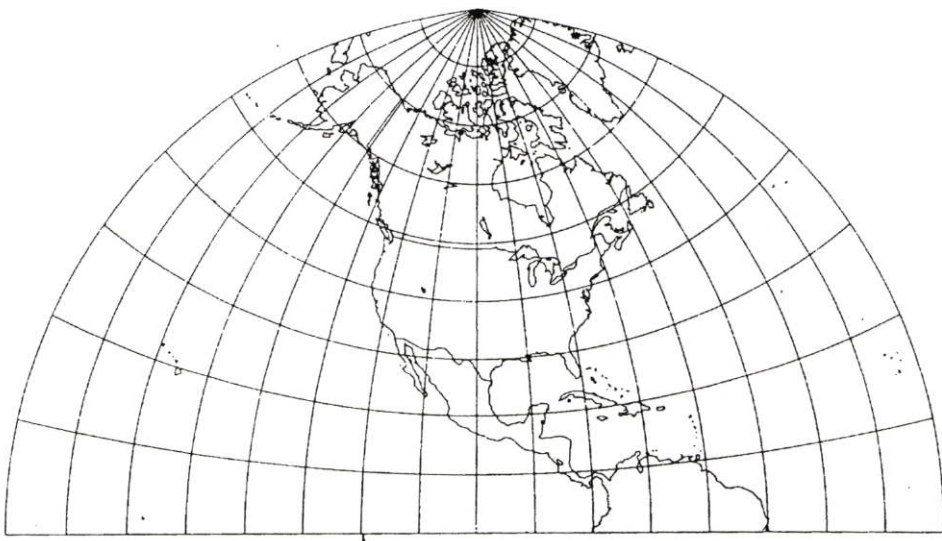
2.7.2 The Earth as an Ellipsoid สำหรับแผนที่ที่มีสเกลน้อยกว่า 1:5,000,000 ซึ่งครอบคลุมพื้นที่มากกว่าพื้นที่ของสหรัฐอเมริกา ความผิดเพี้ยนจากการ mapping โลกแบบทรงกลมบนกระดาษจะมีค่ามากกว่าค่าการแก้ไขที่เพิ่มเติมเข้ามาเพื่อชดเชยรูปทรงแบบวงรีของโลก การแก้ไขดังกล่าวอาจจะไม่ต้องทำก็ได้ รูปวงรีควรจะใช้กับ mapping ชนิด large scale ในพื้นที่เล็กๆ หรือใช้กับ strip แบบแคบๆ สำหรับพื้นที่ดังกล่าว พื้นที่ด้านแบนของโลกมักจะทำให้ความผิดเพี้ยนมีค่าน้อยกว่าการใช้รูปทรงกลมแทนรูปวงรี

การเลื่อนค่าวิธีหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่งอาจจะไม่ต้องนำมาพิจารณาได้ ในแผนที่แบบ large scale เหนือพื้นที่ที่ทำการโปรเจกชัน และตำแหน่งของเส้น meridian และเส้นขนาน ผลกระทบที่มากกว่านั้นก็คือ การแปลงค่า latitude และ longitude สำหรับทุกๆ จุดบนแผนที่เนื่องจากการเปลี่ยนค่าของข้อมูล การเปลี่ยนตำแหน่งดังกล่าวของรูปวงรีจะมีส่วนสัมพันธ์กับโลก ด้วยเหตุผลดังกล่าวสามารถกล่าวถึงมุมของ USGS quadrangle กล่าวได้ว่าเป็น “North American Datum 1927” หรือ “1983” ซึ่งมีความสำคัญกับค่าพารามิเตอร์ของแผนที่ที่ทำการโปรเจกชันในนิยามพื้นฐานของแผนที่เหล่านี้

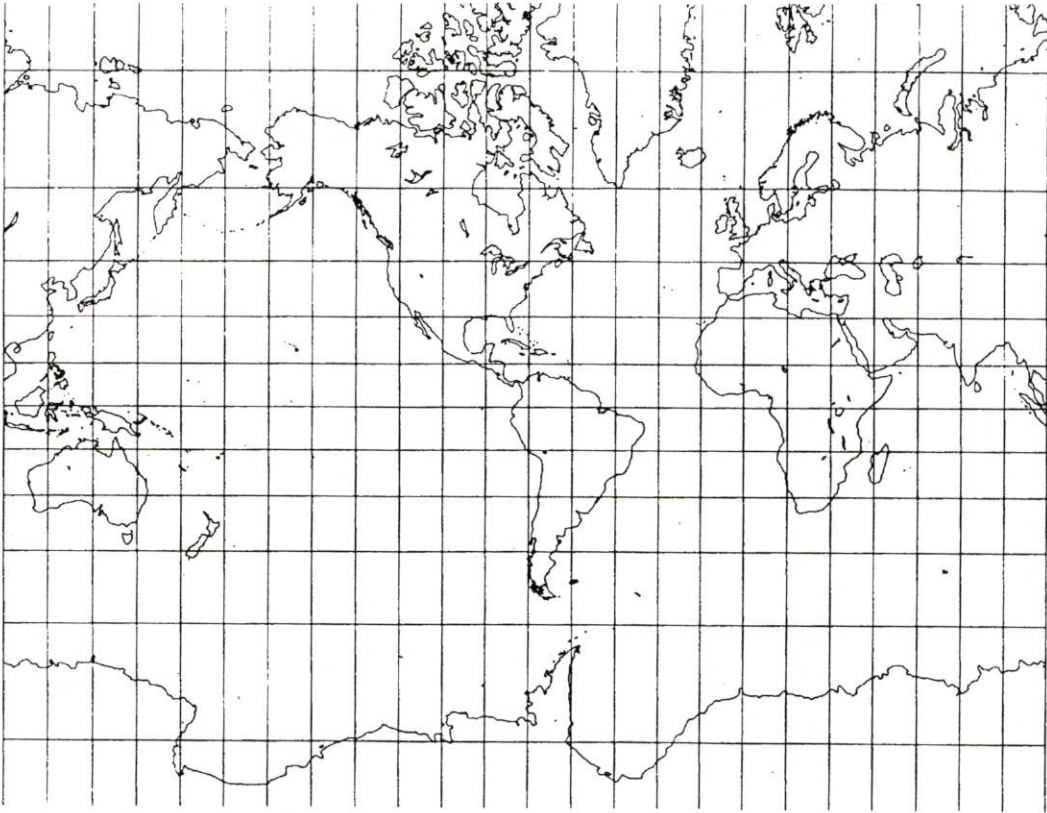
2.7.3 Mercator Projection รู้จักกันดีที่สุดในทุกๆ โพรเจกชันถูกนำเสนอโดย Mercator เพื่อวัตถุประสงค์ในการนำร่องเรือในปี ค.ศ. 1569 เนื่องจากแนวเส้นตรงที่คงที่ของมุมแบร์ริงของจิมทิส ถูกพล็อตเป็นแนวเส้นตรง วิธีนี้ยังใช้ได้และถูกต้องกับแผนที่บริเวณที่อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตร เป็นลักษณะของโปรเจกชันแบบรูปทรงกระบอก ในแต่ละสเปซของเส้นตรงจะมีเส้นขนานกับเส้นศูนย์สูตรใน Mercator จะเพิ่มสเกลห่างจากเส้นศูนย์สูตร โปรเจกชันของ Mercator ของโลก

USGS ได้ใช้โปรเจกชัน Mercator ในการสร้างแผนที่บางส่วนของมหาสมุทรแปซิฟิก ของ Indonesia และยังคงใช้เป็นส่วนหนึ่งของส่วนภายนอกของระบบสุริยจักรวาลที่ได้ทำแผนที่เทียบกับวันที่ไว้ จากดวงจันทร์ของดาวเสาร์ในบางกรณี การเลือกสเกลยังประยุกต์ใช้เส้นขนานมาตรฐานวางตามแนวสมมาตรทางเหนือและใต้ของเส้นศูนย์สูตร รูปร่างของแผนที่จะไม่เปลี่ยนแปลง สเกลตามแนวเส้นศูนย์สูตรยังคงทำการแก้ไขถ้าสเกลจึงแผนที่มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย

2.7.4 Transverse Mercator Projection การหมุนทรงกระบอกของ Mercator เพื่อให้มันวางตัวแบบ tangent (หรือ secant) ตามแนวเส้น meridian ของโลก จะมีความสำคัญกับโปรเจกชันชนิด Transverse Mercator รูป 2.10 เป็น Transverse Mercator Projection ของ Western Hemisphere ศูนย์กลางของ meridian เส้นศูนย์สูตร และแต่ละ meridian ค่ามุม 90° จากศูนย์กลาง meridian จะเป็นเส้นตรง meridian อื่นๆ และเส้นขนานจะเป็นโค้งเชิงซ้อนสำหรับทรงกลมและวงรีปกติจุดศูนย์กลางของ meridian จะเป็นสเกลคงที่แต่ตามปกติจะลดลงจาก nominal map scale ไปยังการวัดแผนที่ ส่วนที่เหลือที่ให้ความสมดุลทางค่าผิดพลาด สเกลค่าคงที่ของเส้นตรงจะเป็นเส้นตรงที่ขนานกับจุดศูนย์กลางของ meridian ของทรงกลม และเกือบจะเป็นเส้นตรงสำหรับวงรี เมื่อ scale factor ไปตามศูนย์กลางของ meridian มีค่าลดลง แนวเส้นที่แท้จริงของสเกลจะสมมาตรกับศูนย์กลางของเส้น meridian



ภาพที่ 2.9 การทำแผนที่ Polyconic projection ของซีกโลกทางตะวันตก



ภาพที่ 2.10 การทำ Mercator projection ของโลก

Lambert ได้นำเสนอ โปรเจกชันบนทรงกลมใน ค.ศ.1772 แต่ Gauss และต่อมา Kriiger ได้ปรับปรุงทางคณิตศาสตร์ในการหารูปแบบของวงรีไม่มีการพิจารณาโปรเจกชันจนกระทั่งศตวรรษที่ 20 เมื่อมีการยอมรับ mapping แบบ topographic ในยุโรป ภายใต้ชื่อ Gauss Kriiger และในสหรัฐอเมริกาสำหรับ State Plane Coordinate System of States ในแนวเหนือและใต้ของ Universal Transverse Mercator หรือ UTM projection และระบบกริด UTM มีข้อจำกัดพิเศษ 2 ข้อคือ

- ศูนย์กลาง scale factor is 0.996

- โลกแบ่งออกเป็น 6 โซน แต่ละ 6 องศา ลองจิจูด จุดศูนย์กลางเมริเดียนที่ๆ 6 องศา แทนโดย 117th WEST

2.8 ระบบการหาตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS)

รัฐบาลของสหรัฐได้ปรับปรุงระบบการส่งและค้นหาตำแหน่งของดาวเทียมที่เรียกกันทั่วไปว่า Global Positioning system (GPS) ซึ่งทำหน้าที่ปรับปรุงตำแหน่งการของการวาง

เซนเซอร์ที่เราใช้

เป็นสิ่งที่คาดหวังในระบบว่า ระบบจะต้องป้อนข้อมูลโดยตรงไปยังระบบประมวลผลภาคพื้นดินให้ถูกต้องภายใต้สภาวะทางแนวความคิดทางด้าน การระบุตำแหน่งที่ตั้งของดาวเทียม สามารถหาความถูกต้องได้ในระยะ 10 ถึง 20 เมตร เครื่องมือของดาวเทียมประกอบไปด้วย ดาวเทียมโคจรจำนวน 18 ถึง 24 ดวง แต่ละดวงจะใช้เวลาความเร็วที่คงที่ ตัวประมวลผลภาคพื้นดินอย่างเป็นคาบจะทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไข ข้อมูล ทางด้านเวลาและทำการคำนวณ ephemeris ของดาวเทียมอย่างถูกต้องด้วยโปรแกรมที่เหมาะสมจะทำให้ผู้ใช้สามารถคำนวณตำแหน่งและความเร็วได้จากการวัด Doppler shift และผลต่างของค่าเวลา (clock timing differential) ในระบบจะมุ่งคาดหวังทางด้านการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงใน ค.ศ. 1980 ซึ่งให้ข้อมูลค่าตำแหน่งที่ต้องการใช้เพื่อสนับสนุนการแก้ไขและการประมวลผลภาพอย่างถูกต้องและอาจจะนำไปใช้ลดอัตราการส่งข้อมูลของ GPS ด้วย

2.9 การติดตามดาวเทียมและหา data relay

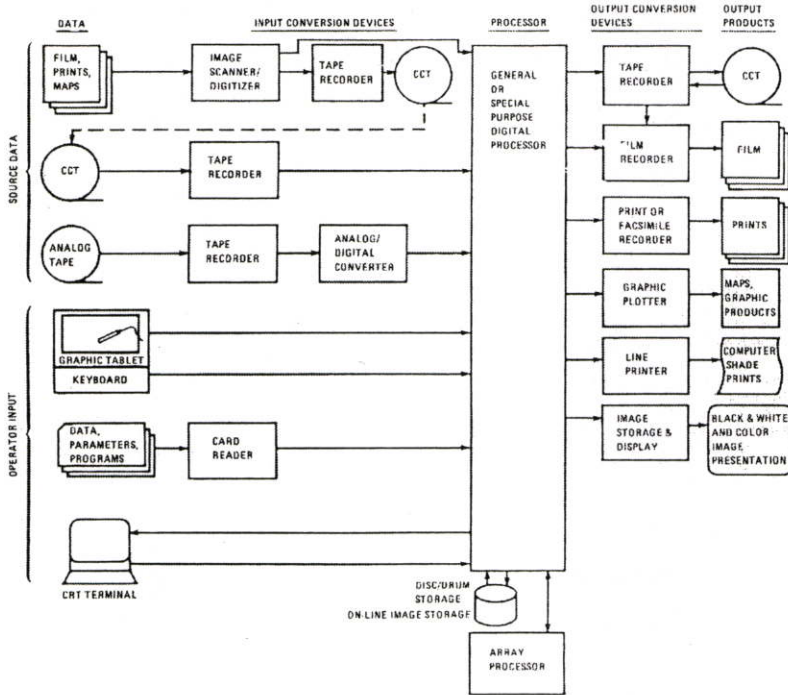
การติดตามและหา data relay ดาวเทียมของ NASA (TDRSS) เป็นเซ็ทของการติดต่อสื่อสารในวงโคจรของดาวเทียมซึ่งสามารถได้ข้อมูล data relay จากอุปกรณ์เซนเซอร์ของดาวเทียมที่ส่งไปยังภาคพื้นดินที่อัตราส่งข้อมูลความเร็ว 100,000,000 บิตต่อวินาที ข้อดีของระบบนี้คือ

- 1) ลดจำนวนสถานีภาคพื้นดินที่ใช้รับข้อมูล
- 2) ไม่ต้องการใช้อุปกรณ์บนที่กเทป on-board
- 3) ลดอัตราการหน่วงระหว่างเวลาเมื่อได้รับข้อมูลและเวลาที่ผู้ใช้

2.10 การประมวลผลแบบขนานแบบ MASSIVELY

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบเก่าจะทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลภาพจะส่งมาแบบขนาน โดยใช้ Sensor ที่มีประสิทธิภาพเพื่อสร้างข้อมูลที่อัตราความเร็ว 100,000,000 บิตต่อวินาที นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบการพัฒนาความสามารถที่ความเร็วสูงมากๆ ของคอมพิวเตอร์ดิจิทัลสำหรับงานเฉพาะทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบปัจจุบันนี้เราสนใจภายใต้การพัฒนาของ NASA Massively Parallel Processor เครื่องมือเหล่านี้ใช้อุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์ ขนาด 128x128 array ที่ทำการประมวลผลพร้อมๆ กับจำนวน 128x128 array ต่อจุดภาพ

ซึ่งสามารถใช้แสดงภาพเพิ่มเติม, ภาพผลต่าง, การเน้นภาพ (enhancement) และการดึงข้อมูลภาพได้
 ความเร็วในการประมวลผลที่คาดไว้อยู่ที่หลายพันล้านคำสั่งต่อวินาที



ภาพที่ 2.11 แผนภาพของระบบประมวลผลภาพ (image processing system)

มีข้อสรุป หลายข้อที่สามารถแบ่งเป็นหัวข้อของภาพเรขาคณิตแบบดิจิทัลและการแก้ไขดังนี้

สิ่งที่ก่อให้เกิดประโยชน์ เนื่องจากธรรมชาติของอุปกรณ์เซนเซอร์ชนิดดิจิทัลและความซับซ้อนของเทคนิคการดึงเอาข้อมูลออกมีข้อดีกับการแก้ไขอุปกรณ์เซนเซอร์หรือการใช้ตัวประมวลผลดิจิทัลในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทางเรขาคณิตมากกว่าเทคนิคทาง Electro-optical การแก้ไขและตัดแปลงเซนเซอร์ของข้อมูลสามารถสร้างได้โดยไม่ลดคุณภาพของข้อมูล ตลอดจนผลในการปรับปรุงศักยภาพในการดึงข้อมูล

ความถูกต้องน่าเชื่อถือ การแก้ไขข้อมูลเซนเซอร์แบบดิจิทัลในทางเรขาคณิตมีค่าน้อยกว่าส่วนของรูปและการคงค่าของ sensor radiometry ไม่มีความผิดพลาดทาง radiometric หรือความสูญเสียเกิดขึ้น (เกิดในการประมวลผล Electro-optical กับการแปลงข้อมูล และการสร้างภาพหลายชนิด)

Throughput ระบบการสร้างการประมวลผลภาพสามารถใช้เตรียมการประมวลผลของข้อมูลที่ได้จากการสังเกตบนพื้นโลกความเร็วสูงได้ ตัวประมวลผลสัญญาณชนิดไมโครโปรแกรมเป็นสัดส่วนที่สัมพันธ์กับค่าใช้จ่ายมีความสัมพันธ์กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบเก่าซึ่งให้ผลการทำงานของระบบที่น่าเชื่อถือ

ความยืดหยุ่นได้ อุปกรณ์ประมวลผลดิจิทัลเตรียมการประมวลผลและการทำงานที่สามารถยืดหยุ่นได้ การแก้ไข, การปรับปรุงภาพ enhancement, mosaicking และการดึงข้อมูล สามารถทำได้ด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ชนิดดิจิทัลแอนะล็อกประสงค์โดยการเลือกซอฟต์แวร์ที่มี routine การประมวลผลภาพที่เหมาะสมมาทำงานควบคู่ไปด้วย

ค่าใช้จ่าย ด้วยการลดค่าใช้จ่ายทางด้านเทคโนโลยีดิจิทัลลงอย่างรวดเร็ว และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น การใช้อุปกรณ์ดิจิทัลคอมพิวเตอร์ได้มีส่วนช่วยเป็นอย่างมากในหลายๆ ปีที่ผ่านมา และได้มีการยอมรับกันทั่วไปในมหาวิทยาลัยหลายๆ แห่ง หน่วยงานของรัฐบาล และทางภาคอุตสาหกรรม รวมทั้งผู้ใช้งานอื่นๆ ด้วย

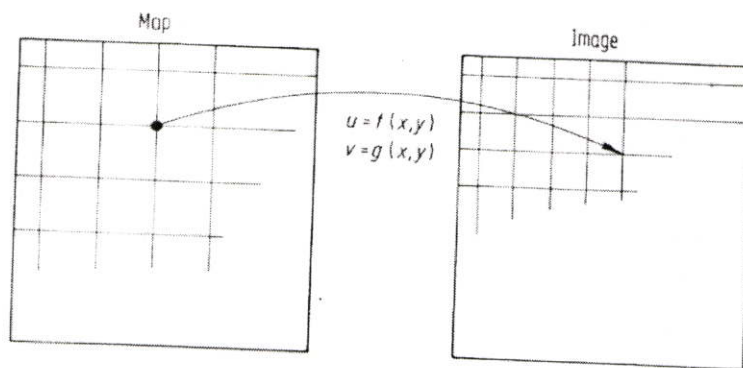
เทคโนโลยีที่สะดวกสบาย ในอดีตอุปกรณ์ดิจิทัลคอมพิวเตอร์สำหรับระบบประมวลผลภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบดิจิทัลคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลภาพจะถูกนำมาพิจารณาเฉพาะทางซึ่งยังไม่สามารถใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ เนื่องจากธรรมชาติของข้อมูลจะจำกัดให้ทำการส่งแบบขนาน และการประมวลผลข้อมูลดิจิทัลทำการประมวลผลแบบอนุกรมนั่นเอง อย่างไรก็ตามมีข้อดีของอุปกรณ์เช่นเซอร์ที่ให้ข้อมูลดิจิทัลแบบอนุกรม และฮาร์ดแวร์ทางดิจิทัลให้ประสิทธิภาพการประมวลผลแบบขนาน ดังนั้นการแปลง รวมทั้งวงจรความเร็วสูงและอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพได้มีผลกระทบโดยตรงกับเทคโนโลยีการประมวลผลภาพซึ่งพบว่ามีแนวโน้มว่าจะมีผลไปยังระบบการประมวลผลภาคพื้นดินทางด้านข้อมูลที่เกิดขึ้นได้จากพื้นโลกในอนาคตซึ่งจะใช้เทคนิคและเทคโนโลยีแบบดิจิทัล

2.11 รีแซมปลิง (Resampling)

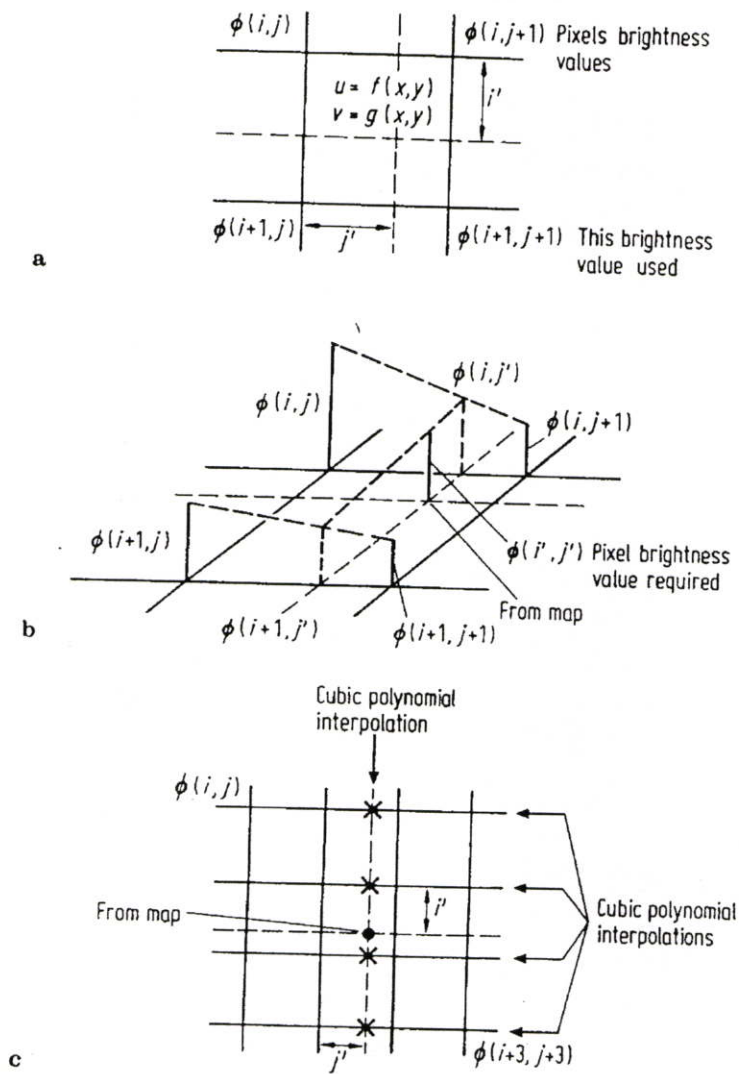
การรีแซมปลิง เป็นการหาค่าเฉลี่ยในการแปลงทางเรขาคณิต (อาจจะเป็น image rectification หรือ temporal registration) ซึ่งได้ทำการประยุกต์ใช้กับข้อมูลอินพุต เมื่อสมาชิกของ output space ถูกจับคู่ใน space ของข้อมูลที่ถูกแซมปลิงของ input data array ตำแหน่งของข้อมูลโดยทั่วไปจะไม่อยู่ภายใต้ค่าของ input data samples ดังนั้น input space จะต้องนำทาท่า รีแซมปลิงที่ตำแหน่งของ output element เพื่อให้ได้ค่าของ output data วิธีในการรีแซมปลิงทั้ง 2 วิธีมักจะใช้ใน ปัจจุบันคือ Nearest Neighbor (NN) และ Cubic Convolution (CC) ได้มีการกำหนดโพลีโนเมียลในการจับคู่โดยใช้จุดควบคุมบนพื้นดินในขั้นตอนถัดไปซึ่งจะใช้หาจุดในภาพที่สอดคล้องกับแต่ละตำแหน่งในตารางของจุดภาพที่ได้ระบุไว้ก่อนก่อนหน้านี้เหนือแผนที่ ช่องว่างของตารางดังกล่าวจะ

ถูกสอดคล้องกับขนาดของจุดภาพที่ต้องการในภาพที่ถูกแก้ไขแล้วและไม่จำเป็นต้องเป็นส่วนเดียวกับความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิตที่เกิดขึ้นในตอนแรกในการสมมุติตำแหน่งของจุดภาพจะสอดคล้องกับจุดศูนย์กลางของจุดภาพของภาพ ดังนั้นจุดภาพเหล่านี้จะถูกแปลงอย่างง่าย ๆ ไปเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมในตารางแสดงที่ใช้สร้างภาพ กรณีนี้สอดคล้องกับภาพที่ 2.14

2.11.1 การประมาณค่า (Interpolation) ดังที่ได้กล่าวไว้ล่วงหน้า จุดศูนย์กลางของตารางการระบุ จุดภาพของตารางจะไม่มีกรโปรเจกไปยังตำแหน่งศูนย์กลางของจุดภาพโดยตรงในภาพดังแสดงในรูป 2.14 และการตัดสินใจบางประการต้องพิจารณาให้สอดคล้องโดยคำนึงถึงค่าความสว่างของจุดภาพซึ่งควรจะถูกเลือกไว้เพื่อแทนที่ในตารางใหม่มีเทคนิค 3 ประการที่สามารถนำมาใช้ได้ในช่วงตอนนี้คือ



ภาพที่ 2.12 การใช้ Mapping polynomial ที่ตำแหน่งในภาพแสดงเครื่องหมายในตาราง



ภาพที่ 2.13 การกำหนดตารางความสว่างของจุดภาพโดยใช้ (a) Nearest neighbor resampling (b) bilinear interpolation และ (c) cubic convolution interpolation, I, j และค่า v และ u

2.11.2 การรีแซมปลิงค่าที่ใกล้ที่สุด (Nearest neighbor Resampling) การเลือกค่าพิกเซลอย่างง่ายที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ใกล้จุดภาพมากที่สุดแสดงไว้ในรูป 2.13 a จุดภาพดังกล่าวจะถูกส่งไปยังตำแหน่งของตารางที่สอดคล้องกันวิธีนี้เป็นเทคนิคที่ใช้ได้ผลดีถ้าหากภาพใหม่ถูกจำแนกไว้แล้วเนื่องจากภาพประกอบไปด้วยความสว่างของจุดภาพเดิมมีการจัดวางตัวของจุดภาพใหม่อย่างง่ายเพื่อให้ได้เรขาคณิตของภาพอย่างถูกต้อง

2.11.3 การประมาณค่าแบบไบลิเนียร์ (Bilinear interpolation) ใช้ในการประมาณค่าเชิงเส้น 3 ตัวบนพิกเซล 4 ค่าที่อยู่รอบๆจุดในภาพที่สอดคล้องกับตำแหน่งของตารางแสดงที่กำหนดให้ขั้นตอนนี้ได้มีการยกตัวอย่างดังภาพ 2.13 b การประมาณค่าเชิงเส้น 2 ค่า จะหาตามแนวเส้นสแกน

เพื่อหาตัวประมาณค่า $\phi(i+1, j')$ และ $\phi(i+1, j)$ ดังแสดงไว้ในสมการกำหนดโดย

$$\phi(i, j') = j' \phi(i, j+1) + (i-j) \phi(i, j) \quad (2.15)$$

$$\phi(i+1, j') = j' \phi(i+1, j+1) + (1-j') \phi(i+1, j) \quad (2.16)$$

เมื่อ ϕ เป็นค่าความสว่างของจุดภาพ (i', j') เป็นตำแหน่งซึ่งหาค่าประมาณเพื่อให้ได้ความสว่างที่ต้องการตำแหน่งที่ได้คือการวัดตาม (i, j) และสมมุติระยะของตารางใน 2 ทิศทาง ชั้นตอนสุดท้ายจะทำการประมาณค่าเชิงเส้นบน $\phi(i, j')$ และ $\phi(i+1, j')$ ได้ค่า

$$\phi(i', j') = (1-i') \{j' \phi(i, j+1) + (1-j')\} + i' \{j' \phi(i+1, j+1) + (1-j') \phi(i+1, j)\} \quad (2.17)$$

2.11.4 การประมาณค่าแบบ (Cubic Convolution interpolation) สมการดังกล่าวเป็นการประมาณค่าในแต่ละส่วนของเส้นตรง 4 เส้นจากจุดภาพ 4 ตัวในภาพ 2.13 c เพื่อให้ได้ตัวประมาณค่า 4 ตัวคือ

$$\phi(i, j'), \phi(i+1, j'), \phi(i+2, j'), \phi(i+3, j') \quad (2.18)$$

ซึ่งจะสามารถประมาณค่าตามแนวตั้งแสดงเป็น

$$\begin{aligned} \phi(i', j') = & i' \{i' [i' \{ \phi(i+3, j') - \phi(i+2, j') + \phi(i+1, j') - \phi(i, j') \} \\ & + [\phi(i+2, j') - \phi(i+3, j') - 2\phi(i+1, j') + 2\phi(i, j')]] \\ & + [\phi(i+2, j') - \phi(i, j')]] \} \\ & + \phi(i+1, j') \end{aligned} \quad (2.19)$$

การประมาณค่าแบบ Cubic Convolution หรือการรีแซมปลิงได้ผลรับคือภาพที่ถูกปรับให้มีความต่อเนื่องชัดเจน (smooth) และมีมักจะใช้กันบ่อยสำหรับวิธีนี้ถ้ารับผลสุดท้ายนำไปใช้กับวิธี Photointerpretation อย่างไรก็ดีเนื่องจากวิธีนี้ให้ค่าจุดภาพในตารางแสดงที่มีค่าความสว่างซึ่งได้จากการประมาณค่าจากข้อมูลเดิมวิธีนี้ไม่มีการบ่งบอกว่าถ้าการจําแนกตามความสว่างที่เปลี่ยนไปจะมีผลค่าการ radiance ที่แท้จริงจากเซนเซอร์ของดาวเทียมมากน้อยเพียงใด

ใช้จุดภาพล้อมรอบ 16 ตัว โพลีโนเมียลแบบ Cubic เป็นการกำหนดค่าไปตามเส้นตรง 4 เส้น จาก 4 จุดภาพ ดังแสดงในภาพ 2.13 c เพื่อแสดงรูปแบบของการประมาณค่า 4 ตัว โพลีโนเมียลแบบ Cubic ตัวที่ 5 เป็นการระบุค่าผ่านค่าความสว่างที่มีตำแหน่งในตารางแสดงที่ สอดคล้องกัน

รูปแบบของโพลีโนเมียลที่แท้จริงจะให้การประมาณค่าเพื่อใช้ในการประมาณค่าเพื่อใช้หารูปแบบในทฤษฎีการแซมปลิงและเกี่ยวข้องกับการสร้างฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง(เช่นการประมาณค่าจากชุดของข้อมูลแซมปลิงอัลกอริทึมที่ใช้แสดงการประมาณค่าแบบ Cubic Convolution คือ

$$\begin{aligned} \phi(i, j') &= j' \{ j' [\phi(i, j+3) - \phi(i, j+2) + \phi(i, j+1) - \phi(i, j)] \\ &\quad + [\phi(i, j+2) - \phi(i, j+3) - 2\phi(i, j+1) + 2\phi(i, j)] \\ &\quad + [\phi(i, j+2) - \phi(i, j)] \} \\ &\quad + \phi(i, j+1) \end{aligned} \quad (2.20)$$

2.11.5 Nearest neighbor ซึ่งของวิธีการนี้บ่งบอกถึงการรีแซมปลิงอย่างง่าย ๆ เพื่อหาค่า input image sampling ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตำแหน่งของ output space และระบุค่าความเข้มของ output pixel sampling สำหรับแต่ละ input line การรีแซมปลิงค่า nearest neighbor จะทำกับจุดก่อนเมื่อ output pixel column ตัดกับ input pixel line โดยการคำนวณหาจุดที่แทนค่าการ interpolate ซึ่งมักจะมีค่า 0.5 pixel ในแต่ละ input line จะสามารถแบ่งเป็น line segment จะสามารถแปลงไปเป็น intermediate line buffer ได้โดยตรง

ข้อมูลภาพที่มีการรีแซมปลิงในระนาบจาก Intermediate line buffer จะถูกแบ่งออกเป็น line segment อีกครั้งซึ่งทุกๆ pixel ภายใน กำหนด input line segment ไว้ว่างตัวภายในค่า 0.5 pixel (วัดในแนวตั้ง output space) ของ output line ที่กำหนด input line segment สัมพันธ์กับ output line เดียวกันคือ จะแปลงเป็นลำดับจาก intermediate line buffer ที่รวมกันอยู่ไปเป็น output line

2.12 การทำคอนโวลูชันแบบคิวบิก Cubic convolution

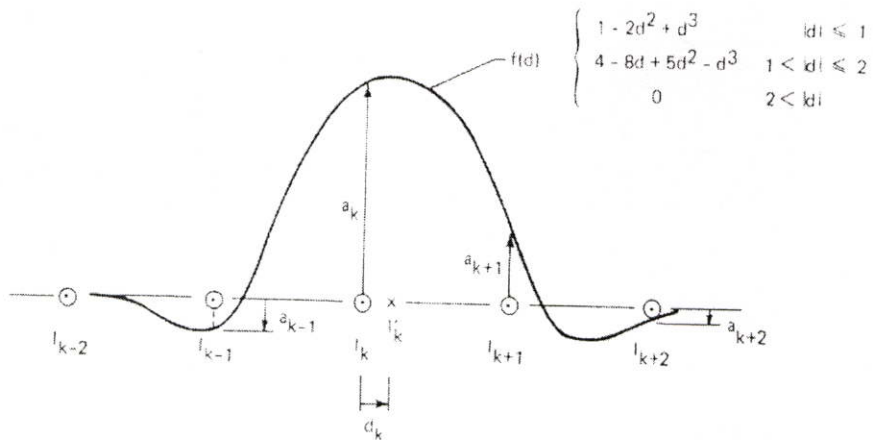
เหมือนวิธีการรีแซมปลิงแบบ NN, วิธี cubic convolution จะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก ทำการรีแซมปลิงในแนวนอนหรือไปตาม input line ขั้นตอนที่สอง ทำการรีแซมปลิงในแนวตั้งไปยัง output pixel ตำแหน่งสุดท้าย ขั้นตอนการแซมปลิงทั้ง 2 จะใช้ รูปแบบที่เกี่ยวข้องของ cubic interpolation algorithm กำหนด โดย

$$I'_k = I_k + d_k(I_{k+1} - I_{k-1} + d_k(2I_{k-1} - 2I_k + I_{k+1} - I_{k+2} + d_k(I_{k+2} - I_{k+1} + I_k - I_{k-1}))) \quad (2.21)$$

เมื่อ I'_k เป็น ข้อมูลภาพ output ที่ทำการ interpolation ด้วย K^{th} แซมปลิง

I_k เป็น ข้อมูลภาพของ K^{th} แซมปลิง

d_k เป็น การขจัดแบบ normalized ระหว่าง I'_k และ I_k ($0 < d_k \leq 1$)



$$l'_k = a_{k-1} l_{k-1} + a_k l_k + a_{k+1} l_{k+1} + a_{k+2} l_{k+2}$$

ภาพที่ 2.14 การอินเตอร์โพลชิ้นคอนโวลูชันแบบคิวบิก (Interpolation convolution cubic)

บทที่ 3

การหาตำแหน่งพิกัดด้วย GPS

ในการสำรวจเพื่อทำแผนที่ภูมิประเทศนั้น จำเป็นจะต้องมีระบบพิกัดอ้างอิง เพื่อที่จะสามารถกำหนดตำแหน่งและความสูงของรายละเอียดที่ได้ถ่ายทอดจากพื้นผิวภูมิประเทศลงบนแผนที่ตามข้อกำหนดความถูกต้องเพื่อจะนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ ดังนั้น ในการดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการสำรวจหรือแผนที่ตามความต้องการดังกล่าว ก่อนอื่นจะต้องมีชุดหลักฐานดาวที่มีค่าพิกัดที่ยอมรับได้ วิธีการหาค่าพิกัดชุดหลักฐานที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป ได้แก่ การทำสามเหลี่ยม และการวงรอบจุด ซึ่งอาศัยวิธีการรังวัดมุมและระยะ แล้วคำนวณค่าพิกัดสัมพันธ์ต่อเนื่องกันไป

การสำรวจเพื่อวางชุดหลักฐานดังกล่าวมีความจำเป็นมากขึ้นในปัจจุบันและจะต้องเพิ่มปริมาณให้มีจำนวนเพียงพอกับความต้องการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีรายละเอียดหนาแน่นและมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็ว การกำหนดตำแหน่งโดยวิธีการแบบเดิมนั้น นั่นคือวิธีการสามเหลี่ยม การวงรอบ และการระดับ มีขีดความสามารถที่จะดำเนินงานในปีละเพียงไม่กี่หมุด เพราะปัญหาด้าน วิธีการ กำลังพล และเครื่องมือ ปัจจุบัน การกำหนดตำแหน่งสามารถทำได้โดยวิธีการกำหนดตำแหน่งโดยวิธีการรังวัดจากดาวเทียมทรานสิท (TRANSIT) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าวิธีคออปเปลอร์ซึ่งเป็นวิธีการกำหนดตำแหน่งโดยอาศัยดาวเทียม ระบบนี้เริ่มปฏิบัติการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 เป็นวิธีการที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ปฏิบัติการได้ทุกสภาพอากาศ และยังสามารถรังวัดได้แบบอิสระโดยไม่ต้องโยงยึดค่าจากหมุดที่ทราบค่าแล้ว จึงทำให้ลดขั้นตอนการปฏิบัติงานไปได้อย่างมากเป็นผลให้สามารถดำเนินงานได้อย่างรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายแม้เครื่องมือจะมีราคาค่อนข้างสูง แต่เมื่อพิจารณาถึงผลงานที่ได้รับก็จะเห็นว่าคุ้มค่ากับการลงทุน อย่างไรก็ตาม ดาวเทียมระบบ TRANSIT จะสิ้นสุดในอนาคตกอนโกส (พ.ศ. 2537) และมีระบบดาวเทียมชนิดใหม่ขึ้นมา นั่นคือ ดาวเทียมระบบ GPS (Global Position System)

GPS เป็นระบบดาวเทียมที่ใช้ในการเดินเรือ (Navigation) ซึ่งใช้ในการแทนที่ดาวเทียมระบบ TRANSIT ที่ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ หลักการรังวัดเพื่อหาตำแหน่งจากดาวเทียมก็คือมีสถานีภาคพื้นดินที่คอยติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียมอยู่ตลอดเวลาทำให้ทราบค่าวงโคจรหรือตำแหน่งของดาวเทียมขณะเวลาต่างๆ ข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรจะถูกบันทึกไว้ในตัวของดาวเทียมและส่งข้อมูลนี้กลับมาในรูปของคลื่นวิทยุความถี่สูงถ้าหากต้องการทราบค่าตำแหน่งของจุดใดก็นำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ไปตั้ง ณ จุดนั้น และนำข้อมูลที่รังวัดได้มาคำนวณหาตำแหน่งของจุดที่เครื่องมือรับสัญญาณตั้งอยู่ต่อไป

GPS มีข้อดีอยู่หลายประการ เมื่อเทียบกับระบบ TRANSIT ตัวอย่างประการแรกเช่น GPS สามารถใช้งานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ณ ทุกหนทุกแห่งบนผิวโลก ประการที่สองความละเอียดถูกต้องของระบบ TRANSIT หลายเท่า กล่าวคือ ความละเอียดถูกต้องของระบบ TRANSIT ประมาณ 1 เมตร แต่จากผลการปฏิบัติงานของระบบ GPS เป็นเซนติเมตรที่ได้ในตอนนี้ความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งอยู่ในระดับเซนติเมตรเท่านั้น

3.1 ความเป็นมาแผนงานของระบบ GPS

ในระหว่าง พ.ศ. 2513 ได้มีการกำหนดตำแหน่งมากมายทั้งทางอากาศและทางทะเล เช่น เรดาร์ เครื่องมือเหล่านี้อาศัยระบบแรงเฉื่อย (Inertial Navigation System) รวมทั้งดาวเทียมระบบ TRANSIT แต่ละชนิดนั้นยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาแพงตลอดจนขีดจำกัดมาก เช่น ระบบปฏิบัติการครอบคลุมพื้นที่ ความละเอียดถูกต้องสูงและจำนวนผู้ใช้ที่จะสามารถใช้ได้อย่างพร้อมกันเป็นต้น

ในปี พ.ศ.2516 กระทรวงกลาโหมสหรัฐได้จัดตั้งสำนักงานแผนงานร่วม (Joint program office JPO) ขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ในการพัฒนาทดสอบ กำหนดความต้องการ และใช้ระบบการและใช้ในการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม โดยให้กองทัพเรือ และกองทัพอากาศ ทำการพัฒนาระบบร่วมกัน ดังนั้น จึงได้เกิดแนวหลักการ NAVIGATION, satellite, Timing, and Ranging (NAVSTAR) Global position system (GPS) ขึ้นซึ่งมักจะเรียกสั้นๆ ว่า ระบบดาวเทียม GPS

GPS เป็นระบบดาวเทียมที่ใช้คลื่นวิทยุในการกำหนดตำแหน่งของอาวุธนำวิถี และหาเวลาได้ทุกสภาพอากาศ ขีดความสามารถต่างๆ ที่ GPS ทำได้อย่างยอดเยี่ยมนับว่าเป็นประโยชน์อย่างมหาศาลกับผู้ใช้ ตัวอย่างเช่น มีผู้ใช้อย่างไม่จำกัดจำนวนที่สามารถใช้ระบบนี้ได้โดยพร้อมกัน ค่าพิภคที่ได้ก็เป็นค่าในระบบอ้างอิงที่ใช้กันแพร่หลายทั่วโลก GPS ยังขจัดปัญหาความแออัดของผู้ใช้ระบบและการจำกัดเฉพาะผู้ที่มีสิทธิ์ใช้ระบบเท่านั้น โดยระบบนี้จะอนุญาตให้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถใช้ระบบ GPS ได้อย่างเสรี

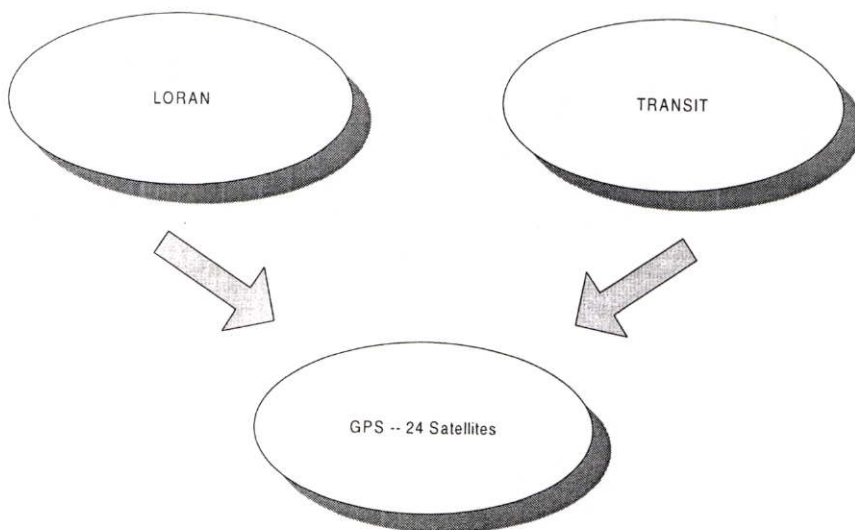
GPS เป็นระบบที่ให้บริการในกิจกรรมด้านต่างๆ หลายด้านของสหรัฐ ดำเนินงานโดยสำนักงานแผนงานร่วม (JPO) โดยมีกองทัพอากาศ เป็นองค์กรบริหารงาน มีหน่วยงานและองค์กรต่างๆร่วมอยู่ใน JPO ได้แก่ กองทัพอากาศ กองทัพบก กองทัพเรือ หน่วยงานนาวิกโยธิน หน่วยงานแผนที่ กรมการขนส่ง และองค์กรสนธิสัญญาป้องกันแอตแลนติกเหนือ มีองค์กร (Aerospace corporation) ทำหน้าที่ในการสนับสนุนด้านวิศวกรรมและสนับสนุนส่วนรวม

จุดเริ่มต้นของแผนงานนี้ ได้ก่อกำเนิดเมื่อ สิงหาคม พ.ศ. 2522 โดยเป็นผลมาจากมติของ DSARC II (Defense system acquisition review council) ทำให้มีการเดินหน้าจากนั้นยอมรับหลักการ (concept validation phase) ไปสู่ขั้นพัฒนาด้านวิศวกรรมเต็มรูปแบบ (Full scale engineering

development –FSED) ซึ่งขั้น FSED นี้ได้ทำให้ระบบ GPS ใช้อย่างกว้างขวางสมบูรณ์ขึ้นและเริ่มกำหนดในรายละเอียด เกี่ยวกับขีดความสามารถในการปฏิบัติการและสนับสนุนตลอดจนแผนทดสอบและประเมินผลการพัฒนาและการปฏิบัติงานขั้นต้น (Developmental and initial operation Test and Evaluation – DT & E/IO & E) ขั้น FSED นี้จะนำไปสู่การพัฒนาการและผลผลิตอันเป็นดาวเทียมปฏิบัติการซึ่งพร้อมที่จะปล่อยขึ้นสู่วงโคจรและปฏิบัติงานต่อไป

NAVSTAR GPS

GPS - - The Replacement For LORAN and TRANSIT



ภาพที่ 3.1 ที่มาของดาวเทียมระบบ GPS

3.2 ลักษณะทั่วไปของ GPS

เมื่อการปฏิบัติการของระบบ GPS สมบูรณ์แล้ว กลุ่มดาวเทียม (constellation) GPS จะประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 18 ดวงและอะไหล่อีก 3 ดวงอยู่บนวงโคจรโดยจะโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมงต่อ 1 รอบ กลุ่มดาวเทียมที่อยู่ในระหว่างการปฏิบัติการนี้จะปรากฏบนท้องฟ้าให้ผู้ใช้ได้อย่างน้อย 4 ดวงตลอดเวลา กล่าวได้ว่า เมื่อผู้ใช้งานต้องการกำหนดตำแหน่งจำเป็นต้องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงพร้อมกัน ดาวเทียม GPS จะส่งข้อมูลมายังผู้ใช้ด้วยความถี่ 2 ความถี่ L1 และ L2 ความถี่อ้างอิง L1 จะมีค่า 1575.42 MHz , L2 = 1227.60 MHz การรังวัดทั้งสองความถี่ผู้ใช้สามารถแก้ความล่าช้าของการกระจายในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้ คลื่นความถี่ทั้งสองจะโมดูละ

(Modulate) ออกมาเป็น 2 รหัสความถี่ L1, L2 จะถูกแปลงสัญญาณเพื่อส่งข้อมูล (Modulate) ออกเป็น 2 code คือ P code ที่ให้การรังวัดอย่างละเอียด และ C/A code (Coarse/acquisition) ซึ่งสามารถรังวัดได้ง่าย และส่งผ่านไปยัง P code ทั้งสองรหัส นี้สร้างขึ้นบนดาวเทียม ใช้อาศัย Pseudo random noise P code เป็น code ยาว modulate 10.23 MHz ต่อวินาที (MBS) ซ้ำ ทุก 267 วัน แต่ผู้เข้าถึงรหัสนี้ได้ยาก C/A code เป็น code ยาว modulate 1.023 เมกกะไบต์ต่อวินาที และซ้ำทุกๆ 1/1000 วินาที แต่ให้การรังวัดที่หยาบกว่า P code สัญญาณ L1 และ L2 modulate ด้วยความเร็ว 50 บิต /วินาที (BPS) สามารถหารยะ (pseudorange) ไปยังดาวเทียมได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่เครื่องรับจากดาวเทียมที่รับได้ระบบ GPS ในทางปฏิบัติแล้วใช้ในการนำวิถี 2 ประเภทดังนี้คือ

1) ความละเอียดถูกต้องสูง (Precise position service-PPS) ซึ่งสัญญาณของ PPS เป็นชนิด P code เป็นของหน่วยงานทางทหารของสหรัฐ และพันธมิตรบางประเทศเท่านั้น หน่วยงานเอกชนของสหรัฐบางหน่วยอาจใช้ระบบ PPS ได้หากเพื่อพิทักษ์ผลประโยชน์ของชาติต้องมีการรักษาความปลอดภัยที่ดีพอและไม่สามารถหาเครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องสูงมาแทนได้ประเภทที่สอง

2) มีระดับความละเอียดถูกต้องน้อยกว่า ผู้ใช้ C/A code โดยทั่วไปการบริการนี้เรียกว่า SPS (standard positioning service)

18 ดาวเทียม

6 วงโคจร

มุมเอียง 55 องศา

สูงจากโลก 20,200 กิโลเมตร

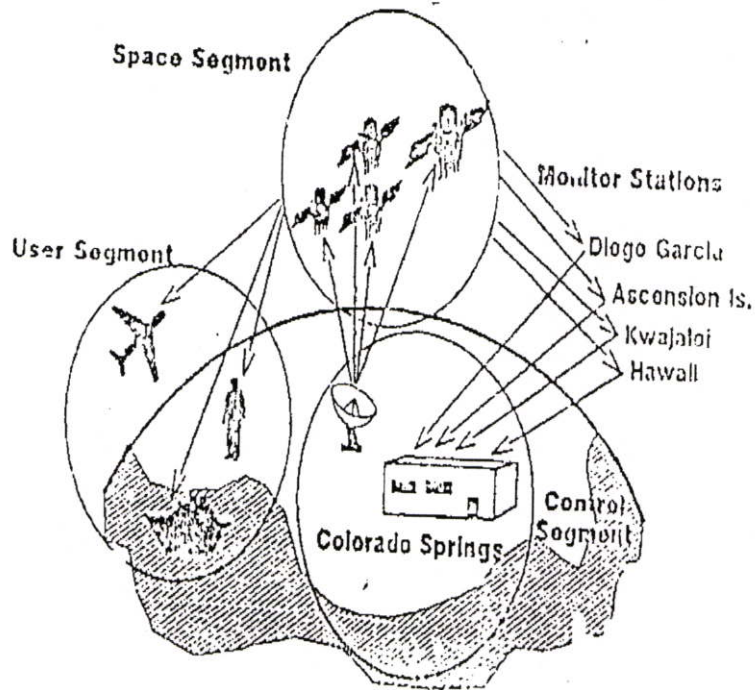
โคจร 12 ชั่วโมงต่อรอบ

5 HOUR ABOVE HORIZON

GPS แบ่งระบบออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนอวกาศ (space segment) ส่วนควบคุม (control segment) ส่วนผู้ใช้ (user segment)

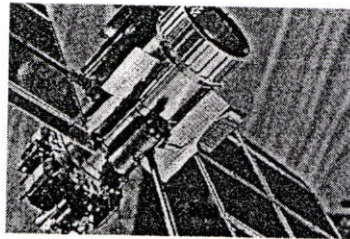
THE GPS System

NAVSTAR GPS



ภาพที่ 3.2 ส่วนต่างๆของ GPS

ส่วนอวกาศ (Space segment)

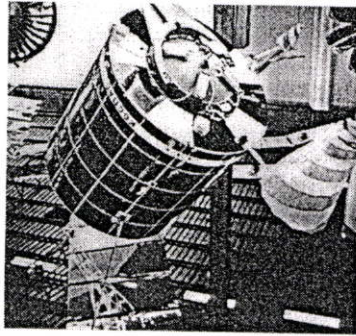


ภาพที่ 3.3 ดาวเทียมระบบ GPS

ใน BLOCK 1 กลุ่มดาวเทียม GPS ประกอบด้วยดาวเทียม 7 ดวง ซึ่งอยู่ในวิจัยและการพัฒนาระบบ ดาวเทียม 4 ดวงแรก ปล่อยขึ้นสู่วงจร เมื่อปี 2521 และดวงสุดท้ายขึ้นไปเมื่อเดือน ตุลาคม 2528 ดาวเทียม จำนวน 10 ใน 11 ดวงของ BLOCK 1 นี้ปล่อยขึ้นสู่วงโคจรได้สำเร็จจากฐานทัพอากาศ Vandenberg ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ดาวเทียมจำนวน 7 ดวง (คือ NAVSTARs หมายถึง 3, 4, 6, 8, 9, 10 และ 11) ซึ่งกำลังปฏิบัติการอยู่ขณะนี้ ให้ข้อมูลการนำวิถีที่น่าเชื่อถือมาก และดาวเทียมกลุ่มนี้ได้รับการออกแบบให้อายุการใช้งานมากกว่า 5 ปีรายละเอียดที่สำคัญของดาวเทียมใน

BLOCK I มีการใช้ Cesium และ Rubidium ในการผลิตความถี่มาตรฐานที่คงที่ได้สำเร็จ โดยมีความเที่ยงตรงของระยะเวลาค่อนข้างสูง (คลาดเคลื่อน 2-3 ส่วนใน 10^{13} ต่อวัน) ภารกิจหลักของการทดสอบกลุ่มดาวเทียมใน BLOCK I นี้ก็เพื่อที่จะสนับสนุนในด้านการพัฒนาและการปฏิบัติการขั้นต้น (DT & E/IO & E) ของเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมใน BLOCK I ได้รับการออกแบบให้ปฏิบัติการครอบคลุมพื้นที่ Army Yuma Proving Ground ที่ Yuma รัฐ Arizona โดยกลุ่มดาวเทียมแบ่งออกเป็น 2 ระนาบ แต่ละระนาบแยกกัน 120 องศา และทำมุมเอียงกับเส้นศูนย์สูตร 63 องศา

เนื่องจากการปรับปรุงแผนงานตามนโยบายของ DSARC II กลุ่มดาวเทียมปฏิบัติการได้ลดลงจาก 24 ดวง เป็น 18 ดวง โดยจัดกลุ่มอยู่บนระนาบ 6 ระนาบอย่างเป็นระเบียบ แต่ละระนาบอย่างเป็นระเบียบแต่ละระนาบเอียงทำมุม 55 องศา กับเส้นศูนย์สูตร วงจรโคจรของดาวเทียมซึ่งมีลักษณะเกือบเป็นวงกลม



ภาพที่ 3.4 โครงสร้างของดาวเทียมระบบ GPS

มีความสูงประมาณ 20,183 กิโลเมตร (10,898 ไมล์ทะเล) และโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง ต่อ 1 รอบแต่ละรอบโคจรทำมุม 60 องศาซึ่งกันและกัน แต่ละระนาบมีดาวเทียม 3 ดวงแต่ละดวงทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน ระยะห่างของดาวเทียม (Phasing) จากระนาบหนึ่งไปยังอีกระนาบหนึ่งทำมุม 40 องศาตัวอย่างเช่น ดาวเทียมดวงหนึ่งบนระนาบหนึ่งจะอยู่ข้างหน้าของดาวเทียมอีกดวงหนึ่งบนระนาบข้างเคียง ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกทำมุม 40 องศา (โคจรจากทิศใต้ไปทิศเหนือ) นอกจากนี้ยังมีดาวเทียมอะไหล่ 3 ดวงบนวงโคจรบรรจุอยู่บนระนาบหนึ่งเว้นระนาบหนึ่งเพื่อที่จะให้กลุ่มดาวเทียมทำงานได้สมรรถผลตลอดเวลา ทำงานทดแทนทันที ในกรณีที่ดาวเทียม ทำงานขัดข้องและเพื่อการครอบคลุมพื้นที่และความละเอียดถูกต้องสำหรับผู้ใช้ ที่อยู่ในพื้นที่จำกัดด้วยสภาพภูมิศาสตร์

สำหรับใน BLOCK II ปัจจัยทางวงโคจรจะทำให้ดาวเทียมโคจรผ่านในแต่ละวันเพิ่มขึ้นผลอันนี้ประกอบกับการทดแทนอย่างรวดเร็วของดาวเทียมอะไหล่จะทำให้ผู้ใช้บนพื้นผิวโลกทั่วโลก (มีมุมเปิดรับสัญญาณ 5 องศาขึ้นไป) จะสามารถเห็นดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงตลอดเวลา อย่างไรก็ตามสาเหตุจากสภาพทางเรขาคณิตที่ไม่ดีพออาจทำให้พื้นที่บางแห่งปฏิบัติการได้จำกัดน้อยลง

สามารถรั้งวัดในระยะเวลาสั้นๆ ของแต่ละวัน จึงมีการปรับแผนในเวลาต่อมาให้มีดาวเทียม 21 ดวง และอะไหล่อีก 3 ดวงบนวงโคจรและสามารถทำงานได้ทั่วโลก ตลอดเวลาที่มีความละเอียดสูง เมื่อพิจารณาใน BLOCK II มีการปล่อยดาวเทียม ขึ้นสู่อวกาศ โดยระบบขนส่งทางอวกาศ (Space transportation system - STS) หรือกระสวยอวกาศอยู่ที่ Kenedy space center แหลม Canaveral รัฐ Florida สามารถบันทึกดาวเทียมได้ 1-3 ดวงแล้วปล่อยสู่วงโคจรต่อไป ดาวเทียมสามารถทำงานได้ใน 2 สัปดาห์ หลังจากปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรแล้ว เกิดการระเบิดของยาน Challenger วันที่ 26 มกราคม 2529 เป็นผลให้การปล่อยดาวเทียมใน BLOCK II ช้าลงต่อไป จะปล่อยดาวเทียม ใน BLOCK II เดือนตุลาคม 2530 เลื่อนเป็น สิงหาคม 2530 จึงเป็นการดีที่มีการทำงานนี้เริ่มต้นขึ้น บนสำนักงานร่วม (JPO) ยังศึกษาวิธีปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรต่อไป

3.3 ส่วนควบคุม (Control segment)

ระบบควบคุมการปฏิบัติการ (Operation control system -OCS) ได้เริ่มทำการตั้งแต่เดือนกันยายน 1985 โดยประกอบด้วยสถานีควบคุมหลัก (Master control Station - MSC) 1 สถานี สถานีรับส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (Ground Antenna- GA) 3 สถานี และสถานีโครงข่ายรับสัญญาณ (Monitor Station - MS) 5 สถานี ตั้งอยู่กระจายทั่วสหรัฐ คือที่โคโรราโด ในแต่ละสถานีโครงข่ายรับสัญญาณจะมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมซึ่งใช้ความถี่มาตรฐานจาก Gesium ทำการรั้งวัดติดตามดาวเทียม GPS และสถานีเหล่านี้ได้ทำการสำรวจหาค่าพิกัดอย่างละเอียดโดยหน่วยงานแผนที่ (DMA) แต่ละสถานีจะทำการรวบรวมข้อมูลระยะ pseudo-range 1.5 นาที่ กับข้อมูลบรรยากาศชั้น Ionosphere และข้อมูลสภาพทางอุตุนิยมวิทยา เพื่อนำมาทำการคำนวณหาข้อมูลจากการรั้งวัดที่เรียบเสมอกันทุกๆ ช่วง 15 นาที่ แล้วสถานีโครงข่ายจะส่งข้อมูลนี้ไปยังสถานีควบคุมหลัก (MCS) ซึ่งตั้งอยู่ร่วมกับ Consolidated space operation center CEOS อยู่ในฐานทัพอากาศ Falcon สถานีควบคุมหลักนี้ จะทำการประมวลผลข้อมูลทำการรั้งวัดที่เรียบดี แล้วในช่วง 15 นาที่ ด้วย Kalman Filter เพื่อหาค่าวงโคจรและทำนายเวลาของดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้จะป็นข้อมูลการนำวิถี ที่ส่งกลับขึ้นไปยังดาวเทียม ข้อมูลที่ส่งกลับไปยังดาวเทียมนี้ ถูกส่งผ่านจากสถานีควบคุมหลักไปยังหนึ่งในสามสถานีรับส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (GA) ที่เหมาะสมซึ่งตั้งอยู่ที่ Kwajalien, Diego Garclia และ Ascension สถานีเหล่านี้จะมีเครื่อง S-Band ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณไปยังดาวเทียม ดาวเทียมแต่ละดวงจะได้รับข้อมูลการนำวิถีจากสถานีรับส่งสัญญาณภาคพื้นดินทุกๆ 8 ชั่วโมงแต่ถ้าหากระบบควบคุมการทำงานเกิดการขัดข้อง ข้อมูลการนำวิถีซึ่งได้เก็บไว้จากครั้งก่อนจะถูกเรียกออกมาใช้ โดยที่ดาวเทียมแต่ละดวง จะสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการทำนายวงโคจรล่วงหน้าได้ถึง 14 วัน แต่ความละเอียดถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งจะลดลงไปอย่างมาก กองทัพเรือ และหน่วยงาน

แผนที่ (DMA) ได้ช่วยเหลือระบบควบคุมปฏิบัติการ (OCS) โดยให้ข้อมูลเกี่ยวกับระบบเวลาสากล (universal time) ร่วมกับข้อมูลเวลาของ GPS และให้ข้อมูล เกี่ยวกับการวางตัวของโลก (Earth orientation) เพื่อให้สถานีควบคุมหลักใช้ในการคำนวณวงโคจรของดาวเทียม (GPS ephemerides) นอกจากนี้ กองทัพอากาศ ยังได้พยายามใช้ธาตุ Cesium กับนาฬิกาที่ฐานทัพอากาศ Falcon ซึ่งจะทำให้ระบบเวลาของ GPS มีความละเอียดถูกต้องสูง และในอนาคตก็จะใช้ Hydrogen maser แทนธาตุ Cesium อันจะทำให้ระบบเวลามีความละเอียดถูกต้องสูงยิ่งขึ้นไปอีก

ตารางที่ 3.1 การกำหนดการปล่อยดาวเทียมระบบ GPS

GPS Launch Schedule

2532		2533		2534	
February	SV14	January	SV18	January	SV26
June	SV2	March	SV19	February	SV27
August	SV16	May	SV20	March	SV28
October	SV15	June	SV21	April	SV29
December	SV17	July	SV22	May	SV30
-	-	September	SV23	June	SV31
-	-	October	SV24	July	SV32
-	-	December	SV25	August	SV33
6 orbits at 55° longitude at the equator with 4 SV's per orbit				September	SV34
				October	SV35

3.4 ส่วนผู้ใช้ (user segment)

ส่วนผู้ใช้ของสำนักงานแผนงานร่วม (JPO) มีหน้าที่รับผิดชอบในการพัฒนาเครื่องรับสัญญาณ ที่ใช้ในทางราชการทหารซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งบนบกในทะเล หรือบนอากาศยานชุดเครื่องรับสัญญาณจะประกอบด้วย ชุดเสาอากาศ ส่วนรับสัญญาณ ส่วนประมวลผลข้อมูล และหน่วยควบคุมการแสดงผล ชุดเครื่องรับสัญญาณจะคำนวณตำแหน่งโดยใช้พื้นหลักอ้างอิง VGS 84 (World Geodetic system) โดยมีจุดศูนย์กลางมวลสารของโลกเป็นจุดศูนย์กลางกำเนิดซึ่งค่าพิกัดตำแหน่งบนระบบนี้จะสามารถแปลงเป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานท้องถิ่นอื่นๆ ได้ถึง 46 ระบบหรืออาจแปลงให้

ตารางที่ 3.2 ดาวเทียมระบบ GPS บนวงโคจรปัจจุบัน (สิงหาคม พ.ศ. 2533) NAVSTAR GPS

Current Satellites

Block 1		Block 2	
Sat/Vehicle	Launch	Sat/Vehicle	Launch
6	10-07-2521	14	02-14-2532
9	04-26-2523	2	06-10-2532
11	07-14-2526	16	08-18-2532
13	06-13-2527	19	10-21-2532
12	09-08-2527	17	12-01-2532
3	10-09-2528	18	01-18-2533
		20	03-25-2533
		21	08-01-2533

สิงหาคม 2533

เป็นระบบ UTM ก็ได้ หน่วยงานนี้การทดสอบและประเมินผลของการพัฒนาระบบเครื่องรับสัญญาณอย่างกว้างขวาง ผลการทดสอบนี้จะเป็นตัวชี้ถึงปัญหาตลอดจนข้อบกพร่องต่างๆ และได้พยายามแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านี้เรื่อยมานอกจากนี้ยังได้ทำการพัฒนาความน่าเชื่อถือของโปรแกรมการทดสอบ วิเคราะห์ และแก้ไขโปรแกรม ตลอดจนการรับประกันเครื่องมือ เป้าหมายที่สำคัญของความหมายในการพัฒนาเครื่องมือรับสัญญาณก็คือ ความต้องการที่จะทำให้เครื่องมือรับสัญญาณมีรูปแบบที่มาตรฐาน คือ รูปแบบของเครื่องมือควรจะต้องเป็นไปตามความต้องการของหน่วยงานและองค์กรต่างๆ ในกระทรวงกลาโหมสหรัฐ (DOD) คือมีลักษณะที่เรียบง่ายสามารถสับเปลี่ยนทดแทนกันได้ สามารถทราบค่าตำแหน่งได้ ณ เวลาขณะรั้งวัดและให้ค่าความละเอียดถูกต้องสูงด้วยการพัฒนาขั้นต่อไปของเครื่องรับสัญญาณ คือสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบการนำวิถีโดยอาศัยระบบแรงเฉื่อย (inertial Navigation system) มีระบบเวลาที่ละเอียดถูกต้องสูงและปฏิบัติงานแบบสัมพัทธ์ (Differential Mode)

ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ต่างๆ ได้พยายามผลิตเครื่องออกสู่ท้องตลาดเป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละชนิดนั้นก็มีความลักษณะแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปแล้วเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้รหัสในการวัด และแบบที่ไม่ใช้รหัส (codeless)

เครื่องรับสัญญาณแบบใช้รหัส C/A และ P code เป็นเครื่องที่ใช้งานสำรวจและการนำวิถีในเครื่องรับแบบนี้จะผลิตรหัสที่เหมือนกับของดาวเทียมขึ้นเองภายในเครื่องรับรหัสที่ผลิตขึ้นนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้รับจากดาวเทียมเมื่อปรับจุดเริ่มต้นของรหัสให้ตรงกันได้แล้วก็ทำให้รู้ระยะเวลาที่แน่นอนเมื่อสัญญาณมาถึงเครื่องรับและนำไปคำนวณหา Pseudorange ได้ขณะเดียวกันก็สามารถถอดรหัสจากสัญญาณที่รับได้เพื่อแยกเอาส่วนที่เป็นข้อมูลดาวเทียมและส่วนที่เป็นคลื่นส่งออกมา คลื่นส่งที่แยกออกมาได้ถูกส่งต่อไปยังวงจรที่เรียกว่า Carrier tracking loop เปรียบเทียบกับคลื่นที่ผลิตขึ้นมาโดยวิธีนี้ทำให้รู้ค่า phase ของสัญญาณที่ส่งออกมาได้อย่างถูกต้อง

เนื่องจาก C/A code เปิดให้พลเรือนใช้ได้ฟรี เครื่องรับที่ใช้ในกิจการพลเรือนส่วนใหญ่จึงเป็นแบบที่ใช้ C/A code และ คลื่นส่ง L1 มีเพียงเครื่อง TI 4100 เท่านั้นที่ใช้ P code และ ใช้ได้กับทั้งคลื่นส่ง L1 และ L2 ตัวอย่างเครื่องรับแบบใช้รหัสที่มีอยู่ในท้องตลาด ได้แก่ JMR Sat Trak MAGNAVOX MX 4400 COLLINS NAVCORE I TRIMBLE 4000S GPS Surveyor และ WILD - MAXNAVOX WM 101

เครื่องรับแบบไม่ใช้รหัส (Codeless) ใช้วิธีวัด phase shift ของคลื่นส่งหรือวัดระยะเวลาที่คลื่นเดินทางมาถึงเปรียบเทียบกัน ในวิธีนี้ เราจะไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับเวลาและข้อมูลดาวเทียมอื่นๆ เลย จึงกำหนดตำแหน่งแบบอิสระ (single-point position) ไม่ได้ การกำหนดตำแหน่งสัมพันธ์กระทำได้จากวิเคราะห์ข้อมูลที่วัดได้ภายหลังจากทำการรังวัดเสร็จแล้วโดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของดาวเทียมมาประกอบด้วย ดังนั้นเครื่องรับแบบนี้จึงนำไปใช้ด้วยการนำวิถีไม่ได้ ตัวอย่างเครื่องรับสัญญาณแบบไม่ใช้รหัสได้แก่ Micrometer VI000 Micrometer II และ ISTAC-SERIES GPS POSITIONER Model 2002

3.5 วิธีการรังวัดสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS

การรังวัดดาวเทียม GPS มีวิธีให้เลือกใช้ได้ 3 วิธีคือ

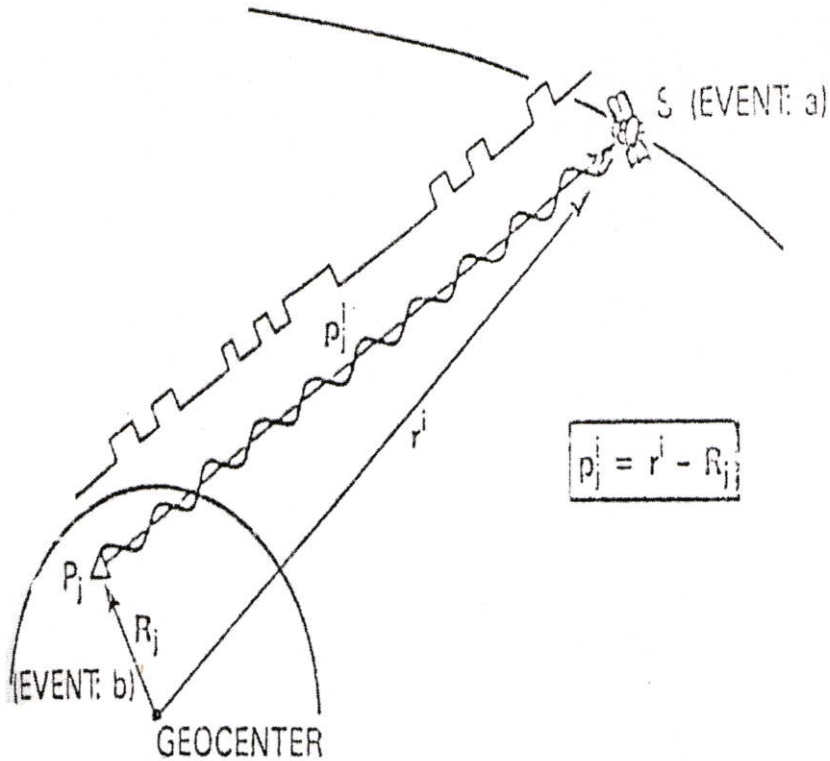
- 3.5.1 Pseudorange
- 3.5.2 Phase measurement
- 3.5.3 Doppler frequency shift

3.5.1 การรังวัดวิธี Pseudorange

Pseudorange คือระยะทางระหว่างจุดที่กำลังพิจารณากับดาวเทียม หลักการในการคำนวณหาตำแหน่งของจุดโดยวิธีนี้ต้องการหาระยะอย่างน้อย 3 เส้น (ระยะไปยังดาวเทียม 3 ดวง) โดยอาศัยลักษณะในทางเรขาคณิตตำแหน่งของจุดที่ต้องการคือ จุดตัดของรูปทรงกลม 3 รูปที่มีตำแหน่งของดาวเทียมเป็นจุดศูนย์กลางและมีรัศมีเท่ากับที่วัดได้ระยะทางจากจุดที่ตั้งเครื่องรับสัญญาณถึงดาวเทียม ได้จากการวัดเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ โดยการใช้ C/A code หรือ P code ที่มีอยู่ในคลื่นส่ง ในขณะที่ดาวเทียมส่งกระจายคลื่นวิทยุออกมานั้นจะมีสัญญาณเวลาที่บอกเวลาที่แน่นอน ในขณะที่คลื่นลูกนั้นส่งออกมาจากดาวเทียม ถ้านำเวลาดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับเวลาในขณะนั้นที่ได้รับสัญญาณนั้นจากพื้นดินจะทำให้เรารู้เวลาที่คลื่นเดินทางลงมาและถ้านำเวลานี้มาคูณด้วยความเร็วของคลื่นส่ง ก็จะได้ระยะทางจาก เครื่องรับถึงดาวเทียมทั้งนี้เวลาของดาวเทียมกับเวลาของเครื่องรับก็จะต้องตั้งเวลาให้ตรงกันด้วย แต่เนื่องจากการตั้งเวลาของเครื่องรับให้ตรงกับเวลาของดาวเทียมเป็นเรื่องที่กระทำได้ยากมากผลต่างของเวลาที่นำมาใช้คำนวณระยะทางจึงมีความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาของเครื่องรับสัญญาณแฝงอยู่ซึ่งทำให้ระยะที่คำนวณได้ไม่ใช่ระยะที่แท้จริงด้วยเหตุนี้ระยะเวลาที่วัดได้ในที่นี้จึงเรียกว่า Pseudorange ในทางปฏิบัติเราสมมุติให้ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเป็นตัวไม่ทราบค่าเพิ่มขึ้นอีกตัวหนึ่งในสมการแล้ววัดระยะเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 4 โดยวิธีนี้จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งและความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาให้ได้ในคราวเดียวกัน

3.5.2 การรังวัดโดยวิธี Phase measurement

วิธีนี้เป็นบางส่วนเท่านั้น สิ่งทีวัดนั้นเรียกว่า Phase shift ได้จากการเปรียบเทียบคลื่นส่งที่รับได้ กับคลื่นที่ผลิตขึ้นเองภายในเครื่องรับ Phase shift นี้ เป็นเพียงส่วนหนึ่งของคลื่นลูกหนึ่ง คือระยะเวลาที่วัดได้โดยวิธีการนี้มีค่าน้อยกว่า 19 ซม. ในคลื่น L1 และน้อยกว่า 24 ซม. ในคลื่น L2 ตอนแรกจะไม่ทราบจำนวนเต็มของผลต่างคลื่น ระหว่างคลื่นที่ผลิตจากเครื่องรับและคลื่นที่ดาวเทียมส่งมาว่าเป็นเท่าใด ในการประมวลผลข้อมูลซอฟต์แวร์ที่ใช้จะต้องมีความสามารถในการคำนวณหาตัวไม่ทราบค่านี้ได้ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับต่อไป



ภาพที่ 3.5 การวัดเฟสและ Pseudorange

3.5.3 การร้งวัดโดยวิธี (Doppler frequency shift)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กับระบบ Transit เรียกหลักการนี้ว่า Doppler effect นั่นคือ ในขณะที่ดาวเทียมกำลังเคลื่อนที่โดยมีความเร็วสัมพันธ์เมื่อเทียบกับเครื่องรับนั้นความถี่ของสัญญาณที่เครื่องรับได้จะสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อดาวเทียมเคลื่อนที่เข้าหาเครื่องรับเป็นความถี่สูงสุด เมื่อดาวเทียมอยู่ไกลที่สุดความถี่จะเริ่มลดลงเมื่อดาวเทียมห่างออกไปซึ่งอาศัยหลักการของ Doppler effect ดังนั้น เครื่องรับจะผลิตสัญญาณความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ที่รับได้

3.6 เทคนิคการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมระบบ GPS

เป็นการกำหนดตำแหน่งของจุดบนพื้นโลกที่ใช้ตำแหน่งละติจูด ลองจิจูดที่อ่านได้จากเครื่อง GPS เป็นตัวบอกตำแหน่งเปรียบเทียบกับข้อมูลดาวเทียม ADEOS ระบบ AVNIR และข้อมูลดาวเทียม JERS 1 ระบบ OPS (Optical Sensor) เปรียบเทียบกับแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 และกำหนดตำแหน่งลงบนแผนที่การเดินรถของปี 2540

U_x, U_y, U_z Unknown also C_a , clock bias

$$(X_1 - U_x)^2 + (Y_1 - U_y)^2 + (Z_1 - U_z)^2 = (R_1 - C_B)^2$$

$$(X_2 - U_x)^2 + (Y_2 - U_y)^2 + (Z_2 - U_z)^2 = (R_2 - C_B)^2$$

$$(X_3 - U_x)^2 + (Y_3 - U_y)^2 + (Z_3 - U_z)^2 = (R_3 - C_B)^2$$

$$(X_4 - U_x)^2 + (Y_4 - U_y)^2 + (Z_4 - U_z)^2 = (R_4 - C_B)^2$$

ภาพที่ 3.6 สมการระยะ PSEUDORANGE

3.7 วิธีการกำหนดตำแหน่ง

เราแบ่งการกำหนดตำแหน่งออกเป็น การกำหนดตำแหน่งสถิตย์ (static) และการกำหนดตำแหน่งจลน์ (kinematic) ในการกำหนดตำแหน่งสถิตย์นั้นเครื่องรับจะถูกลวางอยู่ตำแหน่งกับที่วิธีนี้ใช้เมื่อต้องการค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องสูงโดยที่ความเร็วของการวัดและการคำนวณตำแหน่งที่มีความสำคัญเป็นอันดับรองลงมา ส่วนการกำหนดตำแหน่งจลน์ (kinematic) เครื่องรับอยู่ในสถานะที่กำลังเคลื่อนที่ ในกรณีนี้การคำนวณตำแหน่งให้รู้ได้ในทันที (real time) เป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก การหาตำแหน่งจลน์นำมาประยุกต์ใช้กับการนำวิถีที่ต้องการค่าพิกัดแบบสัมบูรณ์ด้วยเหตุนี้วิธีการวัดจึงเป็นวิธีวัดแบบ Pseudorange ที่วัดระยะจากดาวเทียม 4 ดวงในขณะเดียวกันในการนำวิถีบางครั้งมีการคำนวณค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ เนื่องจากงานนี้เป็นการหาตำแหน่งของเครื่องรับเครื่องหนึ่งเปรียบเทียบกับอีกเครื่องหนึ่ง จึงจำเป็นต้องมีคลื่นวิทยุเชื่อมโยงระหว่างเครื่องรับทั้งสองนี้เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่วัดได้มาเปรียบเทียบเพื่อคำนวณหาตำแหน่งได้ในทันที วิธีการกำหนดตำแหน่งในลักษณะนี้ประยุกต์ใช้ในการขุดเจาะหาน้ำมัน และใช้ในการควบคุมการลากจูงเรือไปตามร่องน้ำ

ในงานสำรวจ การกำหนดตำแหน่งเป็นการกำหนดตำแหน่งสถิตย์ เนื่องจากความถูกต้องมีความสำคัญเหนือกว่าเวลา การกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์ในระบบพิกัดของโลก เรียกว่า Single-point

positioning วิธีการรังวัดอาจจะเป็นวิธีการแบบใดแบบหนึ่งที่กำลังกล่าวมาแล้วในข้อ 4 วิธีการรังวัดดาวเทียม GPS ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้

ในการสำรวจทางจีโอเดติก (geodetic surveying) ใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งสัมพัทธ์ (relative point positioning) หรือ interferometry ตามวิธีการนี้ต้องใช้เครื่องรับอย่างน้อยสองเครื่องทำการรับสัญญาณจากดาวเทียมในเวลาเดียวกัน วิธีการวัดแบบ interferometry เป็นวิธีการที่ใช้วัดความยาวของเส้นฐานหรือผลต่างค่าพิกัดระหว่างจุด 2 จุดวิธีการวัดให้ความถูกต้องของการวัดที่สูงมาก จุดที่วางเครื่องรับจะต้องทำการรังวัดไปที่ดาวเทียมดวงเดียวกัน นั่นหมายความว่าที่จุดทั้งสองจะต้องมองเห็นดาวเทียมได้ในขณะเดียวกัน ในกรณีนี้ทำให้มีขีดจำกัดว่าเส้นที่ทำกรวัดด้วยวิธีนี้จะมีความยาวไม่เกิน 4,000 กิโลเมตรซึ่งข้อจำกัดนี้ไม่มีผลต่องานสำรวจของประเทศไทยแต่อย่างใด หลังจากการรังวัดข้อมูลที่จุดทั้งสอง จะถูกนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคำนวณหาค่าผลต่างพิกัด X, Y, Z หรือองค์ประกอบของเส้นฐาน (baseline components) นั่นเอง การวัดวิธีนี้ถ้าหากจุดที่วางเครื่องรับจุดหนึ่งเป็นจุดที่รู้ค่าพิกัดจะสามารถคำนวณหาค่าพิกัดของจุดทั้งสองได้

การรังวัดที่วัดมาเพื่อใช้ในการคำนวณอาจเป็นได้ทั้งผลต่างเวลา (เปรียบเทียบกับผลต่าง pseudorange) หรือผลต่างของ phase ที่จุดทั้งสอง

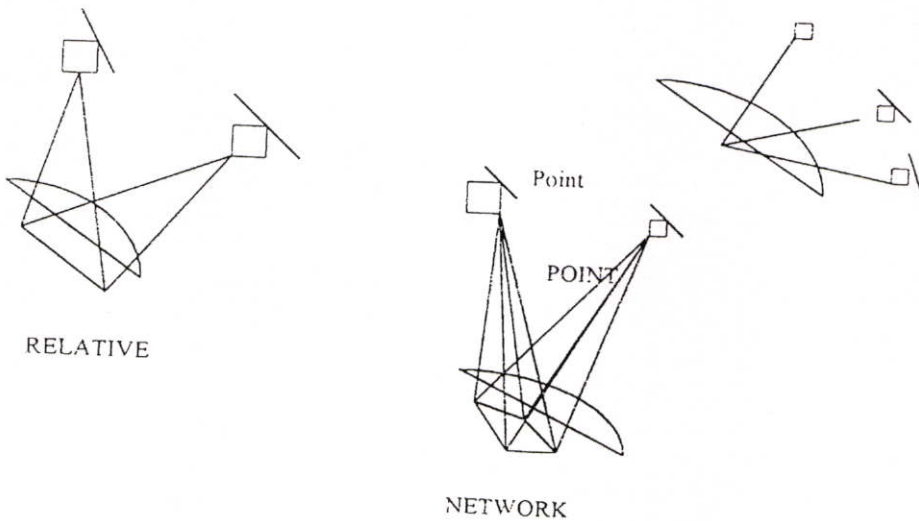
3.8 ผลการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS

ค่าพิกัดที่วัดจาก GPS เป็นค่าพิกัดฉาก 3 มิติที่มีจุดกำเนิดอยู่ที่ศูนย์กลางมวลสารของโลก (WGS 84) โดยทั่วไปแล้วค่าที่นำไปใช้งานจะเป็นค่าพิกัดที่อยู่ในระบบพิกัดของประเทศหรือของรัฐ เช่นประเทศไทยใช้ค่าระบบพิกัด UTM (Universal Transverse Mercator) ซึ่งเป็นการฉายตำแหน่งของจุดในระบบสามมิติลงบนระนาบราบด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ การแปลงค่าพิกัดจาก GPS เป็นค่าพิกัดของประเทศประกอบด้วยการคำนวณ 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นแรก เป็นการแปลงจากพื้นหลักฐานดาวเทียม (WGS 84) ไปเป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์ที่อ้างอิงกับรูปทรงรีที่ประเทศใช้อยู่ เช่น ประเทศไทยใช้รูปทรงรีเอเวอเรสต์ (INDIAN 1975 DATUM)

ขั้นที่สองเป็นการแปลงจากระบบพิกัดภูมิศาสตร์เป็นระบบพิกัดกริดการแปลงค่าพิกัดในขั้นแรก เราจำเป็นต้องรู้ว่าเป็นจุดศูนย์กลางของรูปทรงรีที่ใช้ อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางมวลสารของโลกมากน้อยเพียงใดถ้าหากเราไม่รู้ความสัมพันธ์นี้หรือเรียกว่าไม่รู้ค่าพารามิเตอร์ของการแปลงเราก็สามารถคำนวณหาได้โดยการนำเครื่องรับสัญญาณ GPS ไปวางตามจุดต่างๆ ที่มีค่าพิกัดในระบบของประเทศอยู่แล้วจากการค่าพิกัดในระบบ GPS และค่าพิกัดในระบบของประเทศนำมาคำนวณหา

พารามิเตอร์ของการแปลงได้โดยวิธีการที่เรียกว่า การแปลงค่าพิกัด (Transformation) ผลที่ได้จากการแปลงค่าพิกัดในขั้นนี้ คือ ค่าละติจูด ลองจิจูด และความสูงเหนือรูปวงรี ในทางปฏิบัติความสูงเหนือรูปวงรีนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยเพราะการทำงานโดยทั่วไป ความสูงที่วัดได้และทุกคนรู้จักเป็นความสูงเหนืออออเดซี (Geoid) หรือที่เรียกว่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางนั่นเอง ดังนั้นเพื่อให้ความสูงที่คำนวณได้นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่จึงจำเป็นต้องแปลงความสูงเหนือรูปวงรีไปเป็นความสูงเหนืออออเดซี ในขั้นนี้ต้องรู้ความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงรีที่ใช้กับอียอดด์ที่จุดนั้นซึ่งเกี่ยวข้องกับสนามแรงดึงดูดของโลกเพราะอียอดด์นั้นคือ พื้นผิวที่มีศักย์ภาพแรงดึงดูดเท่ากันทุกจุด ระยะห่างระหว่างรูปทรงรีกับอียอดด์เรียกว่า Geodetic undulation

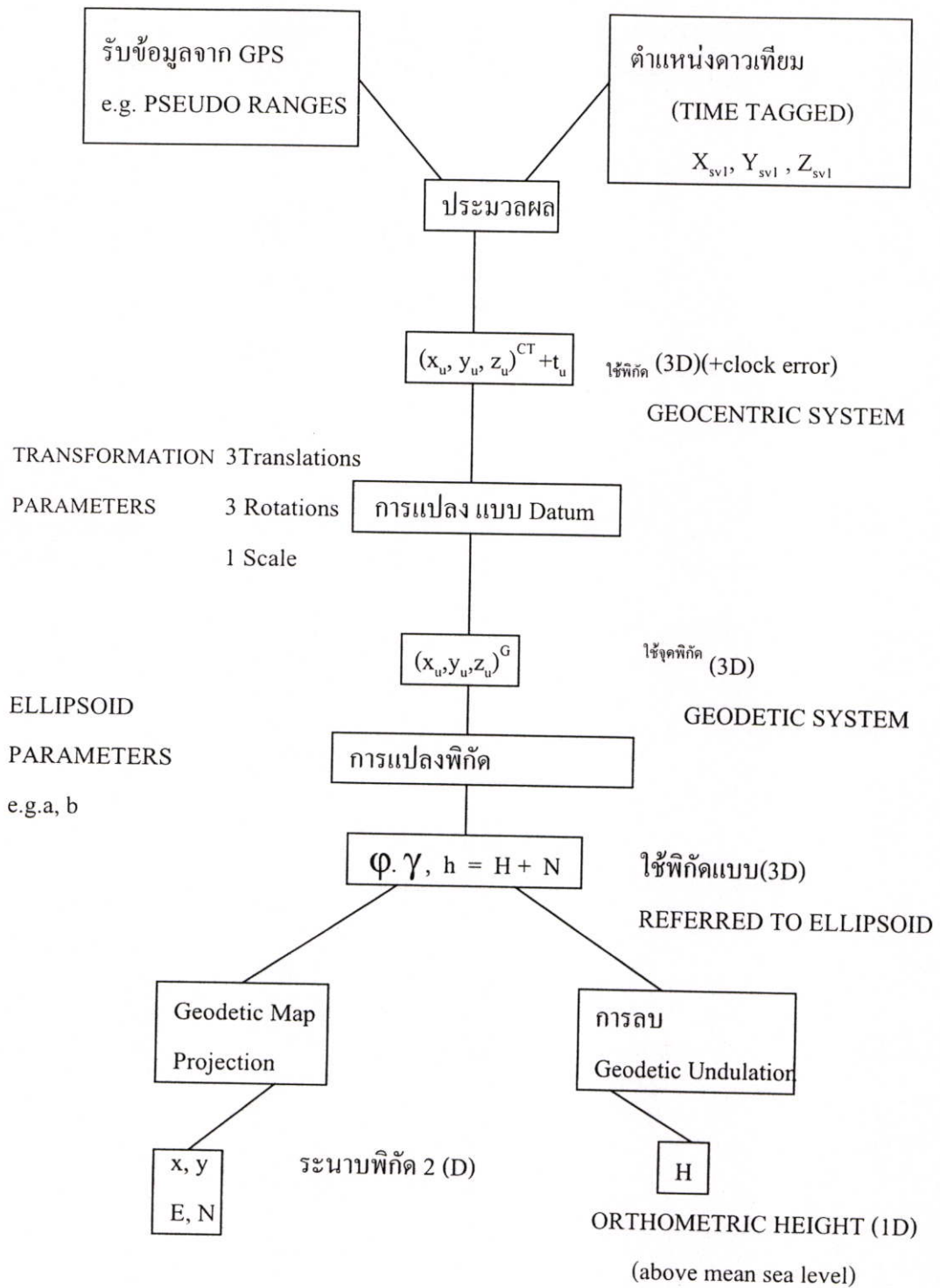


ภาพที่ 3.7 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์และสัมพันธ์

การแปลงค่าพิกัดในขั้นสองเป็นการแปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ไปเป็นระบบพิกัดกริดซึ่งมีสูตรทางคณิตศาสตร์ที่แน่นอนทั้งนี้ขึ้นกับโปรเจกชันของแต่ละประเทศ ดังนั้น การคำนวณในขั้นนี้จึงไม่มีอะไรยุ่งยากเพราะ โปรเจกชันแต่ละชนิดมีสูตรทางคณิตศาสตร์ที่แน่นอนอยู่แล้ว

จึงจะเห็นได้ว่าหลังจากการแปลงสองข้างบนนี้สิ่งที่เราได้ก็คือค่าพิกัดทางราบและความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางซึ่งเป็นระบบพิกัดที่นักสำรวจคุ้นเคยและใช้งานอยู่ในชีวิตประจำวัน

ตำแหน่งจุด GPS



CAUTION: Local system may be incompatible.

ภาพที่ 3.8 ลำดับขั้นการคำนวณหาค่าพิกัด

3.9 คุณลักษณะเปรียบเทียบของดาวเทียมระบบ GPS ในงานสำรวจ

ในปัจจุบันการกำหนดตำแหน่งด้วย GPS เพียงเป็นจุดเริ่มต้นเท่านั้นเรายังต้องการประสบการณ์จากการทำงานที่จะช่วยให้การทำงานรังวัดได้รับผลสำเร็จอย่างเต็มที่ เริ่มแรก GPS จะเข้ามามีบทบาทในงานอียอดเซซี และงานรังวัดขั้นสูงก่อน จากนั้นจะถูกพัฒนาให้เข้ามามีบทบาทในงานรังวัดควบคุมในชั้นของงานที่ต่ำลงมา และจนกระทั่งงานในงานเก็บรายละเอียดของแผนที่

1. เป็นการกำหนดตำแหน่งที่ได้ค่าพิกัด แบบ 3 มิติ คือ ได้ค่าทั้งแนวราบและแนวตั้งในเวลาเดียวกัน
2. จุดรังวัดบนพื้นดินไม่จำเป็นต้องมองเห็นซึ่งกันและกันและกันจึงช่วยประหยัดเวลาในการทำงานที่ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการสำรวจเบื้องต้น (Reconnaissance)
3. การทำงานไม่ขึ้นกับสภาพลมฟ้าอากาศเพราะ GPS ใช้งานได้ทุกสภาพอากาศและใช้ได้ตลอด 24 ชั่วโมง
4. ตำแหน่งที่หาได้มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์เดียวกันทั้งหมด (homogenous accuracy) นั่นคือ ไม่มีการกระจายความคลาดเคลื่อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งจะมีผลทำให้ตำแหน่งของหมุดในโครงข่ายมีความละเอียดถูกต้องไม่เท่ากัน
5. ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงรูปร่างของโครงข่ายว่าอยู่จุดต่างๆ จะมีการยึดเหนี่ยวของรูป (strength of figure) มากน้อยแค่ไหน เหมือนกับที่ต้องคำนึงถึงตามวิธีการรังวัดแบบเดิมนั่นคือ จะเลือกจุดที่ไหนก็ได้แล้วแต่ความสะดวกที่จะนำไปใช้งานต่อไป
6. เมื่อมีดาวเทียมครบ 18 ดวงเต็มตามโครงการที่ทำให้ใช้ในการกำหนดตำแหน่งได้ตลอด 24 ชั่วโมง ย่อมจะนำมาใช้ประโยชน์ในการติดตามความเคลื่อนไหวของจุดได้อย่างต่อเนื่อง เช่นการบิดตัวของเขื่อน การเคลื่อนตัวของเปลือกโลก (crystal movement) เป็นต้น
7. ทำให้สามารถปรับแก้โครงข่ายในแบบสามมิติได้ ในทางทฤษฎีการปรับแก้แบบสามมิติจะได้ ความถูกต้องของตำแหน่งดีกว่าการปรับแก้แบบแยกเป็นค่าพิกัดทางราบและความสูงตามวิธีการแบบเดิม
8. สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ เวลาที่ใช้ในการรังวัดเพื่อหาตำแหน่งรวดเร็วกว่าการรังวัดแบบเดิมมาก ปัจจุบันการรังวัดด้วย GPS ใช้เวลาไม่เกินหนึ่งชั่วโมงต่อหนึ่งจุด

3.10 การเปรียบเทียบระหว่างดาวเทียมระบบ GPS กับ TRANSIT

คุณลักษณะของดาวเทียมระบบ GPS กับ TRANSIT ต้องงานสำรวจทางอ้อมเดซีและการทำแผนที่นั้นใกล้เคียงกันมากเนื่องจากอาศัยวิธีการที่ว่า ใช้ดาวเทียมส่งคลื่นวิทยุลงมายังพื้นโลกทำให้สามารถขจัดปัญหาซึ่งเกิดขึ้นกับการสำรวจแบบธรรมดา (CONVENTIONAL SURVEY) ได้

สิ่งที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน คุณลักษณะทางเทคนิคของระบบทั้งสอง สิ่งที่เหนือกว่าของ GPS ก็คือ การที่สามารถปฏิบัติงานได้ตลอดเวลาและความละเอียดถูกต้องที่สูงกว่าดังจะเห็นได้จากภาพการเปรียบเทียบข้างล่างนี้

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบดาวเทียมระบบ GPS กับ TRANSIT

6 ดาวเทียม	18 ดาวเทียม
สูง 1100 กิโลเมตร	สูง 2 0200 กิโลเมตร
โคจร 1 รอบ 107 นาที	โคจร 1 รอบ 12 ชั่วโมง
รับข้อมูลทุก 1-1.5 ชั่วโมง	Continuous observations
coarse gravity model range difference	Refined gravity model
—	Pseudo range
—	Phase measurement
150 and 400 MHz	1575 and 1227 MHz
ความถูกต้องเป็นเมตร	ความถูกต้องเป็นเซ็นติเมตร
ต้องการ 2 วัน	ต้องการ 1 ชั่วโมง

3.11 พัฒนาการของ GPS

ตารางจาก well et al. (1986) ต่อไปนี้ จะช่วยในการมองเห็นทิศทางการพัฒนา GPS ได้ชัดเจนนั้นคือคอลลัมน์ทั้งสองที่แสดงคุณลักษณะของเครื่องรับสัญญาณ GPS ที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน (ปี 1986) คอลลัมน์ที่สามคาดถึงความเป็นไปได้ในปี ค.ศ. 1990 เมื่อการดำเนินงานของ GPS เต็มรูปแล้ว คอลลัมน์นี้มีระดับความเชื่อได้ราว 50 % ส่วนคอลลัมน์สุดท้าย เป็นจินตนาการที่นักวิทยาศาสตร์อยากจะพัฒนาให้ GPS ใช้งานได้ข้อมูลในคอลลัมน์นี้มีระดับความเชื่อได้เพียง 20 %

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณลักษณะของGPS ในปัจจุบันและอนาคต

คุณลักษณะ	ปี 1986	ปี 1990	จินตนาการของความ เป็นไปได้
ราคา	20000 ถึง 300,000	50,000 ถึง 20,000	10
น้ำหนัก	5 ถึง 300 กิโลกรัม	กระเป๋าหิ้ว	สวมได้บนข้อมือ
พลังงานที่ใช้	ไฟ AC, DC นอกและ ในเครื่อง	DC ในเครื่อง	ถ่านนาฬิกา
เวลาในการรีเซ็ต	10-20 นาที	15 นาที	1/1,000 วินาที
คำนวณหาตำแหน่งได้ ทันที	ไม่ได้	ได้	ได้
ความถูกต้อง	น้อยกว่า 1 ppm หรือ 10 ซม.	0.01 ppm หรือ 2-3 ซม.	1 mm.

ปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อความละเอียดถูกต้องระบบ GPS ในงานสำรวจ

1. คุณภาพของหมุดหลักฐานเดิมซึ่งจะใช้เป็นจุดควบคุม
2. ความไม่ประณีตในการตั้งเสาอากาศและตั้งให้ตรงหัวหมุด
3. รูปลักษณะของโครงข่ายในงานสำรวจ
4. ระยะเวลาในการรีเซ็ตและจำนวนดาวเทียมที่รีเซ็ต
5. รูปลักษณะทางเรขาคณิตของกลุ่มดาวเทียม
6. ความละเอียดถูกต้องของข้อมูลวงโคจรดาวเทียม (ephemeris)
7. การแก้สภาพบรรยากาศชั้น ไอโอโนสเฟียร์และโทรโปสเฟียร์
8. การแปลงค่าระบบพิกัดจาก GPS ไปยังพื้นหลักฐานท้องถิ่น (local datum)
9. การที่ไม่ทราบค่าที่แน่นอนของ geoid-spheroid separation

บทที่ 4

ผลการทดลองการแก้ไขแบบเดิม

เปรียบเทียบกับแผนที่และ GPS

ข้อผิดพลาดทางเรขาคณิตในภาพถ่ายดาวเทียมปรากฏขึ้นระหว่างการถ่ายภาพวิธีการเดิม สำหรับการแก้ไขข้อผิดพลาดที่ใช้ลักษณะเด่น เช่น การตัดกันของถนน เหล่านี้รู้จักกันว่า เป็น GCP ซึ่งจะต้องเห็นเด่นชัดบนภาพถ่ายดาวเทียมและบนแผนที่อ้างอิง พิกัด GCP จากภาพและแผนที่จะถูกปรับแต่งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้ทำให้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตของภาพมีความถูกต้อง อย่างไรก็ตามบางประเทศที่พัฒนา การก่อสร้างบนพื้นดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่การปรับปรุงแผนที่จะทำทุกๆ 10 ปีหรือ 20 ปี ดังนั้นแผนที่จึงไม่ทันสมัยพอที่จะปรับปรุงให้ถูกต้องทางเรขาคณิตอย่างแม่นยำ วิทยานิพนธ์ขอเสนอการใช้ GPS (Global positioning system) ซึ่งจะได้มาซึ่งพิกัดของ GCP แทนแผนที่ ซึ่งจะให้ความถูกต้องทางเรขาคณิตมากกว่าในรูปของพื้นที่รอบๆถนนที่มีการจัดสร้างใหม่

จุดควบคุมทางภาคพื้นดินมีความสำคัญและจำเป็นยิ่งต่อการแก้ไขอย่างแม่นยำดังนั้นจุดพิกัดที่ได้รับจาก GPS จึงแม่นยำกว่าทางภาคพื้นดินพวกเราขอเสนอการใช้ GPS ในการทดลองนี้ใช้การแก้ไขแบบเดิมเปรียบเทียบกับแผนที่ที่มีอยู่แล้ว และเทียบกับข้อมูลที่ได้จากระบบ GPS

ข้อมูลดาวเทียม ADEOS ระบบ AVNIR ถ่ายวันที่ 10 มกราคม 2540 ดังแสดงในภาพ 4.2 บริเวณที่ใช้คือเขตคลองเตย เขตคลองตัน เขตพระโขนง เขตปทุมวัน การใช้ภาพจากดาวเทียม JERS-1 ระบบ OPS (Optical Sensor) Resolution 18.3 เมตร x 24.2 เมตรและภาพถ่ายดาวเทียม ADEOS ระบบ AVNIR (Advance Near Infrared Radiometer) Resolution 16 เมตร x 16 เมตร แก้ไขแผนที่ 1:50,000 จะมีการสะท้อนของถนนเป็นสีขาว ดินไม้สะท้อนเป็นสีแดง แม่น้ำ และทะเลสะท้อนเป็นสีดำ ค่าที่อ่านได้จาก GPS ได้สามารถบอกจุดพิกัดละเอียดกว่าแผนที่ จากการวัดอ่านได้ 2 แบบ คือ UTM มีหน่วยเป็นเมตร และแบบ แลตติจูด ลองจิจูด มีหน่วยเป็นองศา จึงแปลงเป็นเมตรก่อนแล้วทำกราฟตามที่รู้กันว่านั่น จุดควบคุมที่แม่นยำทางภาคพื้นดินมีความสำคัญและจำเป็นยิ่งต่อการแก้ไขอย่างแม่นยำ ดังนั้นจุดพิกัดที่ได้รับจาก GPS จึงมีความแม่นยำกว่าจุดพิกัดที่ได้รับจากแผนที่เพราะความหยาบของมาตราส่วนของแผนที่โดยเปรียบเทียบกับแผนที่จุดควบคุมภาคพื้นดินเพิ่มมากขึ้นสามารถได้รับจาก GPS เพราะถนนที่สร้างใหม่ซึ่งยังไม่ปรากฏในแผนที่ดังนั้นถ้าการแก้ไขข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิตโดยใช้ GPS จะถูกต้องมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบภาพเพราะเราใช้เครื่อง

คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อประมวลภาพ ดังนั้นขนาดของภาพจึงจำกัดในที่นี้ภาพขนาด 1593 x 1137 จุดภาพ ถูกนำมาใช้สาธิต

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1. GPS รุ่น Magellan Mark V
2. แผนที่กรมแผนที่ทหารมาตราส่วน 1:50,000
3. ข้อมูลภาพดาวเทียม ADEOS ระบบ AVNIR 10 JAN1996
4. คอมพิวเตอร์ 486 DX 33 HD 1.7 GB Program PhotoShop 4.0, Program Borland 3.0
5. Sun SPARC 10
6. Media Conversion
7. อุปกรณ์รับภาพดาวเทียม JERS-1
8. คอมพิวเตอร์ VAX 4200 โดยใช้ Program Process ภาพ

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าที่วัดจาก GPS กับแผนที่ 1 : 50,000

จุดวัด ตำแหน่ง	GPS (UTM)	แผนที่ (UTM)	ค่าผิดพลาด (UTM)
1 สี่แยกกล้วย- น้ำไท	6-71-340E, 47-15-16-408N	6-71-600E, 47-15-16-150N	260E -258N
2 สุขุมวิท 50 ตัด กับทางด่วน(1)	6-72-408E, 47-15-15-407N	6-72-800E, 47-15-15-250N	392E -157N
3(2)	6-72-271E, 47-15-15-579N	6-72-810E, 47-15-15-250N	539E -329N
4(3)	6-72-075E, 47-15-15-728N	6-72-810E, 47-15-15-250N	735E -478N
5(4)	6-72-200E, 47-15-15-683N	6-72-900E, 47-15-15-250N	-700E -433N
6 ข้ามตลาดกล้วย น้ำไท	6-71-255E, 47-15-16-433N	6-71-125E, 47-15-16-150N	-130E -283N

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

จุดวัด ตำแหน่ง	GPS (UTM)	แผนที่ (UTM)	ค่าผิดพลาด (UTM)
7 สี่แยกกล้วย น้ำโท	6-71-230E, 47-15-16-470N	6-71-600E, 47-15-16-150N	370E -320N
8 จุดลงทางด่วน สุขุมวิท50(1)	6-72-128E, 47-15-14-050N	6-72-250E, 47-15-14-100N	122E 050N
9(2)	6-72-114E, 47-15-15-099N	6-72-250E, 47-15-14-100N	136E 1001N
10(3)	6-72-114E, 47-15-15-099N	6-72-250E, 47-15-14-100N	136E 1001N
11(4)	6-72-119E, 47-15-15-074N	6-72-250E, 47-15-14-100N	141E 1026N
12 สุขุมวิท 50	6-72-408E, 47-15-14-607N	6-73-410E, 47-15-15-500N	1002E -1107N
13(2)	6-72-271E, 47-15-15-579N	6-73-400E, 47-15-15-500N	1129E -79N
14 (3)	6-72-075E, 47-15-15-728N	6-73-045E, 47-15-15-500N	1030E -228N
15 (4)	6-72-200E, 47-15-15-683N	6-73-400E, 47-15-15-500N	1200E -183N
16 สี่แยกประเวศ	6-83-592E, 47-15-17-531N	6-83-100E, 47-15-17-200N	-492E -331N
17 สี่แยก คลองตัน(1)	6-73-025E, 47-15-19-650N	6-73-045E, 47-15-19-450N	20E -200N
18 (2)	6-73-085E, 47-15-19-655N	6-73-075E, 47-15-19-400N	-10E -255N
19 สี่แยกบางนา (1)	6-73-754E, 47-15-12-117N	6-74-175E, 47-15-12-150N	1579E 33N

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

จุดวัด ตำแหน่ง	GPS (UTM)	แผนที่ (UTM)	ค่าผิดพลาด (UTM)
20(2)	6-73-823E, 47-15-12-140N	6-74-125E, 47-15-12-200N	1698E 60N
21(3)	6-73-759E, 47-15-12-117N	6-74-75E, 47-15-12-200N	1759E 83N
22(4)	6-74-071E, 47-15-12-215N	6-74-075E, 47-15-12-220N	4E 5N
23(5)	6-73-829E, 47-15-12-106N	6-74-075E, 47-15-12-220N	-754E 114N
24(6)	6-74-031E, 47-15-12-215N	6-74-075E, 47-15-12-220N	44E 5N
25(7)	6-73-623E, 47-15-12-018N	6-74-075E, 47-15-12-220N	-548E -202N
26 ปากซอยเขมา (1)	6-73-433E, 47-15-19-465N	6-74-200E, 47-15-19-050N	-233E -578N
27(2)	6-74-980E, 47-15-21-628N	6-74-150E, 47-15-19-050N	-830E -2578N
28(3)	6-74-982E, 47-15-21-605N	6-74-150E, 47-15-19-050N	-832E -2555N
29 ปากซอย สุขุมวิท103(1)	6-74-029E, 47-15-12-774N	6-74-010E, 47-15-12-800E	-19E 26N
30(2)	6-74-980E, 47-15-12-628N	6-74-375E, 47-15-12-500N	-605E -128N
31(3)	6-74-982E, 47-15-21-605N	6-74-350E, 47-15-12-500N	-623E -9105N
32(4)	6-75-991E, 47-15-21-615N	6-74-375E, 47-15-12-500N	-1616E -9115N
33 แยกพระราม 9 ป้อมตำรวจ(1)	6-73-718E, 47-15-20-249N	6-73-600E, 47-15-20-725N	-118E 476N

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

จุดวัด ตำแหน่ง	GPS (UTM)	แผนที่ (UTM)	ค่าผิดพลาด(UTM)
34 ทางไปราม(2)	6-73-579E, 47-15-20-306N	6-73-775E, 47-15-20-040N	196E -226N
35 ทางไป กรมผังเมือง(3)	6-73-577E, 47-15-20-394N	6-73-725E, 47-15-20-030N	148E -364N
36 ปากซอย สุขุมวิท 71	13-42-7865N 100-35-6528E,	13-42-7400N, 100-35-7100E	
37 ปากซอย สุขุมวิท 48	13-42-687N, 100-34-7092E	13-42-15N, 100-35-7800E	
39 (2)	6-83-592E, 47-15-17-531N	6-83-100E, 47-15-17-200N	
40 (3)	13-43-32E, 100-41-88E	13-43-20N, 100-42-10E	
41 ได้ทางด่วน	13-42-63N, 100-35-90E	13-42-10N, 100-35-00E	
42 จุดได้ทางด่วน พระโขนง	13-42-63N, 100-35-80E	13-42-10N, 100-35-00E	
43(2)	13-42-68N, 100-35-83E	13-42-10N, 100-35-00E	
44 ปากซอย สุขุมวิท 23	13-44-28N, 100-33-66E	13-44-25N, 100-35-70E	
45(2)	13-44-13N, 100-33-65E	13-44-25N, 100-33-70E	
46 สุขุมวิท 25	13-44-11N, 100-23-79E	13-44-95N, 100-33-53E	
47 สุขุมวิท21(1)	13-44-11N, 100-23-64E	13-04-76N, 100-33-10E	
48 (2)	13-44-23N, 100-33-65E	13-44-75N 100-33-15E	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

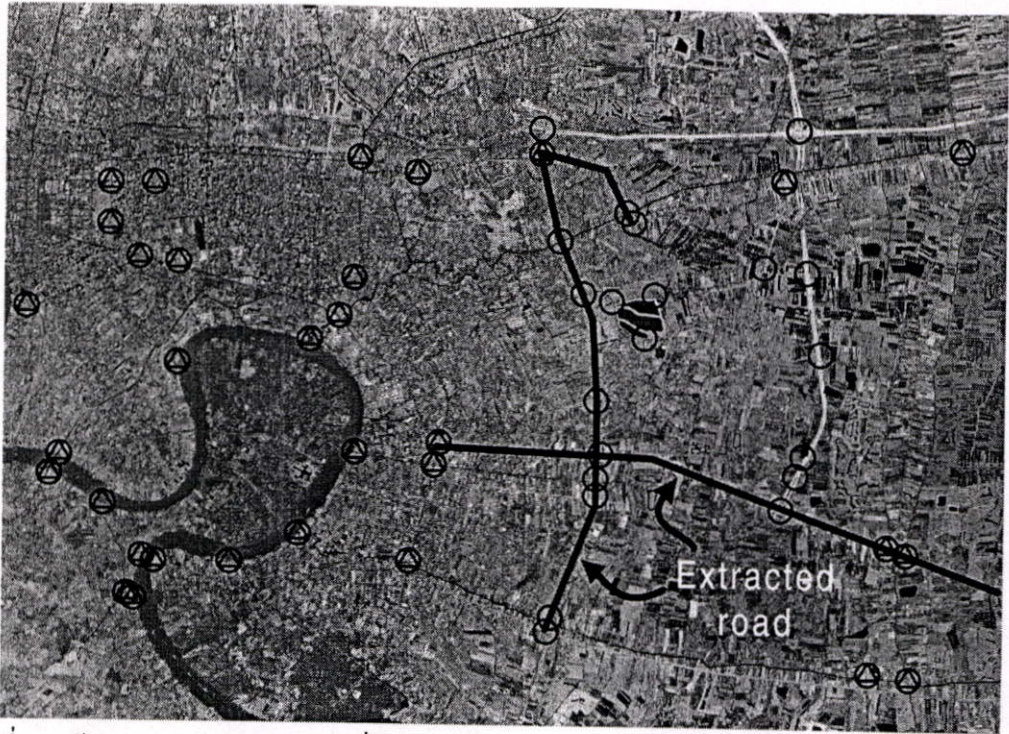
จุดวัด ตำแหน่ง	GPS (LAT, LONG)	แผนที่ (LAT, Long)	ค่าผิดพลาด
49(3)	13-44-18N, 100-33-68E	13-44-75N, 100-33-05E	
50(4)	13-44-17N, 100-33-69E	13-44-76N, 100-33-07E	
51 สวนลุมพินี	13-43-79N, 100-32-23E -58mALT	13-43-40N, 100-32-20E	
52 โรงแรม ดุสิตธานี	13-48-80N, 100-32-27E 528ALT	13-43-40N, 100-32-25E	
53 โรบินสัน- สีลม	13-43-84N, 100-32-31E 785mAlt	13-43-05N, 100-32-42E	
54 ฟุ่งตรงข้าม โรงแรมดุสิต	13-43-80N, 100-32-27E 583mAlt	13-43-70N, 100-32-30E	
55 โรงพยาบาล จุฬาฯ	13-43-76N, 100-32-20E 37Alt	13-43-70N, 100-32-30E	
56 ปากซอย สุขุมวิท 50(1)	13-42-39N, 100-36-03E 47Alt	13-42-50N, 100-36-37E	
57(2)	13-42-39N, 100-36-02E 45Alt	13-42-48N, 100-36-40E	
58(3)	13-42-34N, 100-35-90E 22Alt	13-42-48N, 100-36-40E	
59(4)	13-42-35N, 100-35-83E 183mAlt	13-42-75N, 100-35-42E	
60 ปากซอย พระราม 4	13-42-85, 100-35-56E 49mALT	13-42-45N, 100-35-45E	
61(2)	13-42-87N, 100-35-56E 95mAlt	13-42-35N, 100-35-45E	
62 ถนนหลัง สวนลุมพินี (1)	13-44-07N, 100-32-35E 14Alt	13-44-70N, 100-32-70E	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

จุดวัด ตำแหน่ง	GPS (LAT, LONG)	แผนที่ LAT, LONG	ค่าผิดพลาด
63(2)	13-44-06N, 100-32-32E 221mAlt	13-44-50N, 100-32-70E	
64 ใต้ทางด่วน สุขุมวิท(1)	13-44-53N, 100-33-11E 185mAlt	13-44-45N, 100-33-14E	
65 ด้านพระ- พรหมโรงแรม เอราวัณ	13-44-69N, 100-32-44E131mALT	13-40-55N, 100-32-45E	
66 ห้างไทยไดมา รัฐประชาสงค์	13-44-74N, 100-32-43E142mAlt	13-44-65N, 100-32-45E	
67 สีแยกเวสต์ เทรคเซนเตอร์	13-44-65N 100-32-42E 174mAlt	13-44-40N 100-32-38E	
68 โรงพยาบาล ตำรวจ	13-44-71N 100-32-45E 16mAlt	13-44-24N 100-32-58E	
69 สุขุมวิท 23(1)	13-44-13N 100-33-78E 72mAlt	13-44-80N 100-33-15E	
70(2)	13-44-11N 100-33-79E	13-44-80N 100-33-15E	
71 ห้างโรบินสัน อโศก	13-43-84N 100-32-31E785mAlt	13-43-03N 100-32-35E	
72 ศาลาแดงฝั่ง โรงพยาบาลจุฬา	13-43-76N, 100-32-20E	13-43-07N, 100-32-45E	
73 แยกอโศก(1)	13-44-23N, 100-33-64E56Alt	13-44-45N, 100-33-55E	
74(2)	13-44-26N, 100-33-64E82mAlt	13-44-55N, 100-33-57E	
75(3)	13-44-18N, 100-33-68E25Alt	13-44-15N, 100-33-55E	
76(4)	13-44-17N, 100-33-69E	13-44-10N, 100-33-57E	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

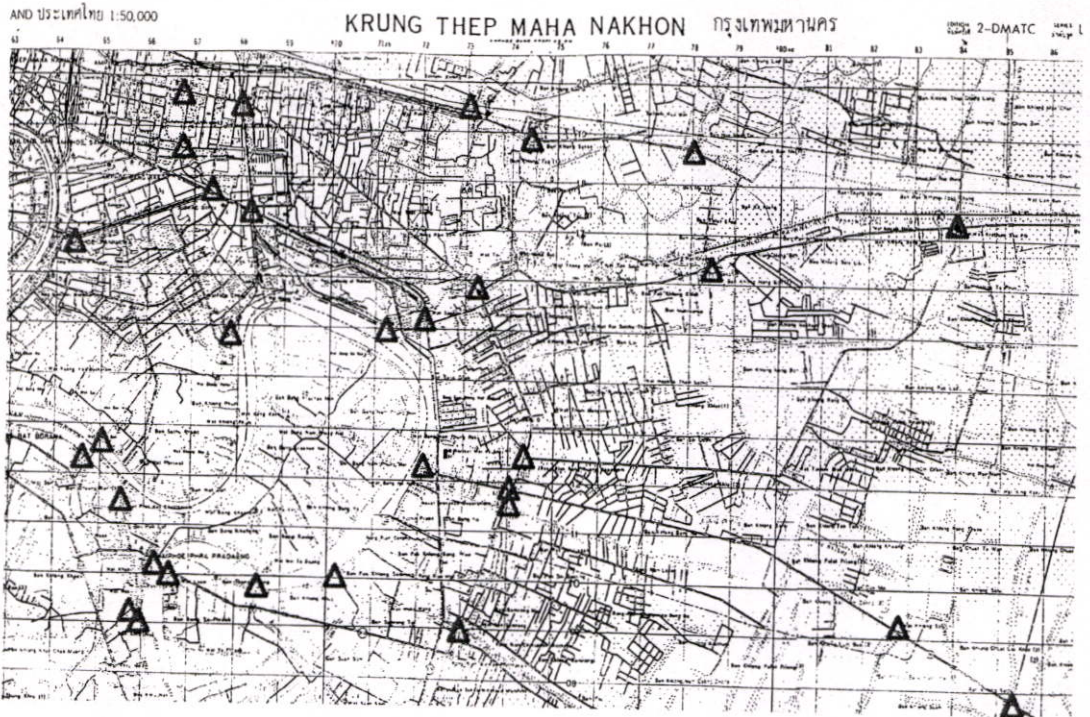
จุดวัด ตำแหน่ง	GPS (UTM)	แผนที่ (UTM)	ค่าผิดพลาด (UTM)
77 โกลีทางด่วน สุขุมวิท	13-44-53N, 100-33-11E185Alt	13-44-50N, 100-33-05E	
78 ปากซอย สุขุมวิท 31	13-44-0030N, 100-33-03980E 119mAlt	13-44-0045N, 100-33-5600E	
79 โรงพยาบาล จุฬาฯ	13-43-79N, 100-32-23E 58mAlt	13-43-10N, 100-32-45E	
80 มุม AVON แยกไปรามฯ(4)	6-73-614E, (เมตร) 47-15-20-390N (เมตร)	6-73-750E, (เมตร) 47-15-20-060N	136E(เมตร) -330N(เมตร)
81 สะพานแยก ถนนศรีนครินทร์	47-15-16-729N, 6-77-693E176 m Alt	47-15-16-700N, 6-78-300E	-29N 1124E
81 ท่าเรือวัดขจร ศรี	47-15-16-901N, 6-77-636E	47-15-16-550N, 6-77-800E	-351N 164E
82 สี่แยกศรี- นครินทร์ (1)	6-77-726E, 47-15-16-569N	6-77-450E, 47-15-16-350N	286E 199N
83(2)	6-77-853E, 47-15-16-566N 30Alt	6-77-450E, 47-15-16-380N	403E 186N
84(3)	6-77-859E, 47-15-16-632N	6-77-436E, 47-15-16-480N	-403E -152N
85 มุม AVON (4)	6-73-614E, 47-15-20-390N	6-73-750E, 47-15-20-060N	136E -330N



ภาพที่ 4.1 ข้อมูลดาวเทียม ADEOS ที่รับจากดาวเทียมโดยตรง 10 มกราคม 2540



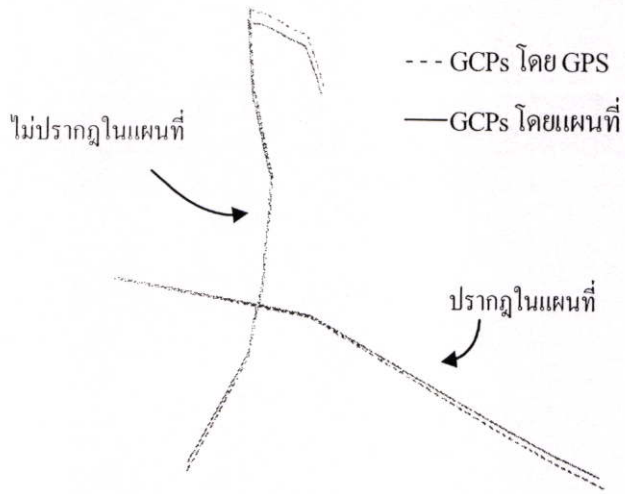
ภาพที่ 4.2 ข้อมูลดาวเทียม ADEOS ที่แก้ไขผิดพลาดเชิงเรขาคณิตด้วย GPS 10 มกราคม 2540



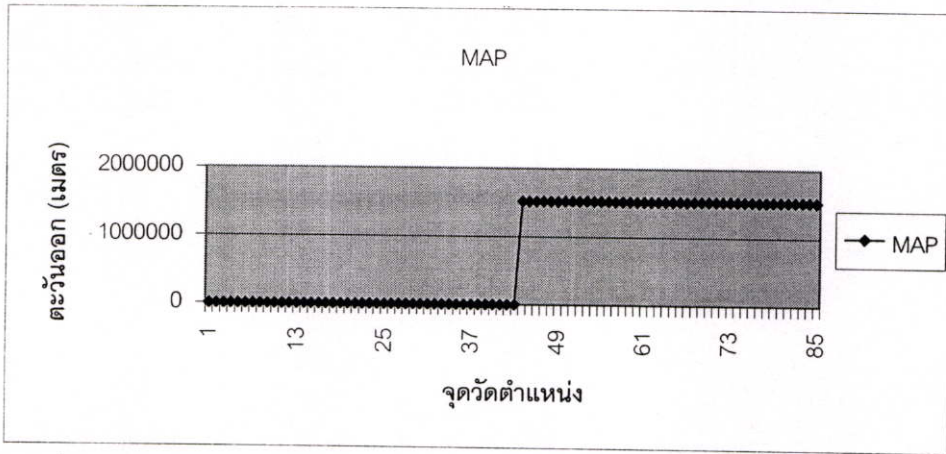
ภาพที่ 4.3 แผนที่กรุงเทพมหานครบริเวณที่แก้ไขข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิตด้วย GPS (Δ GCP)



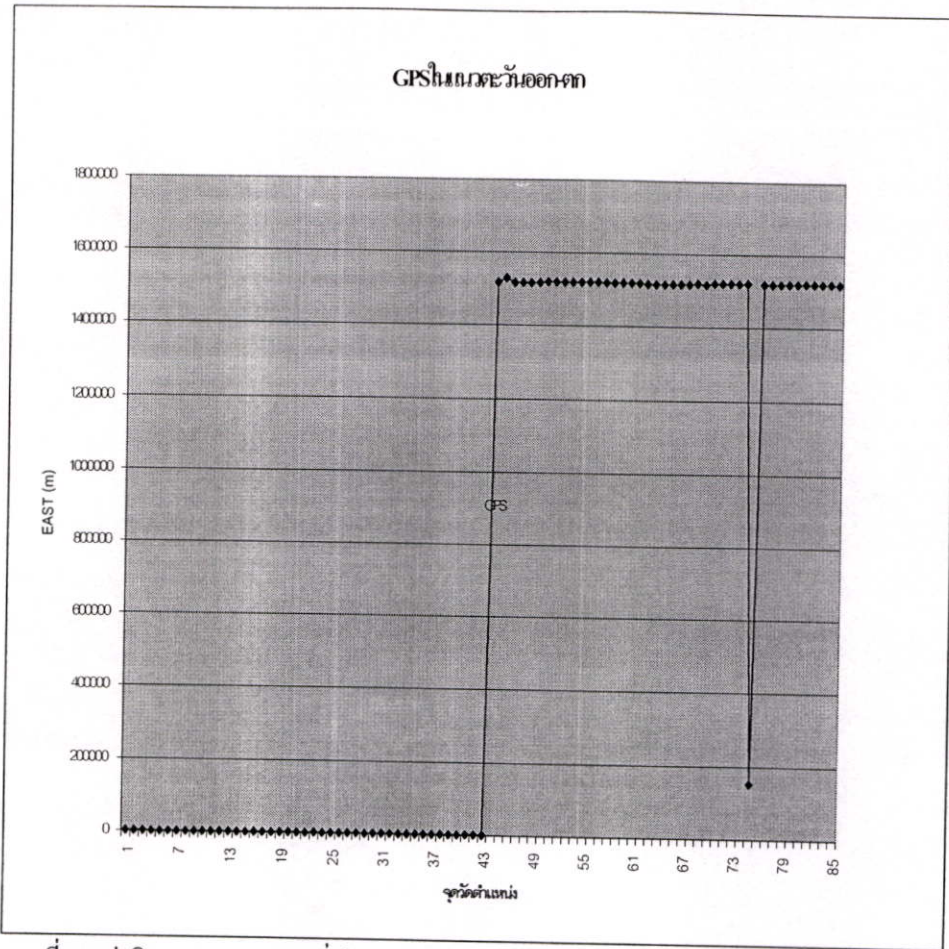
ภาพที่ 4.4 ภาพดาวเทียม ADEOS ที่แก้ไขข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิตเปรียบเทียบกับแผนที่



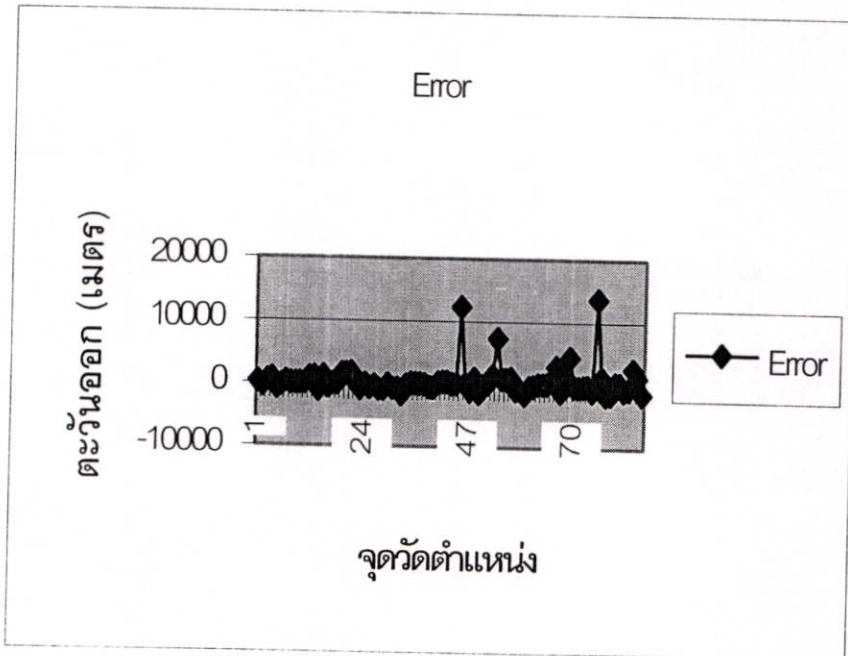
ภาพที่ 4.5 ความแตกต่างของตำแหน่งถนนที่วัดจาก GPS และแผนที่ ปรากฏในแผนที่



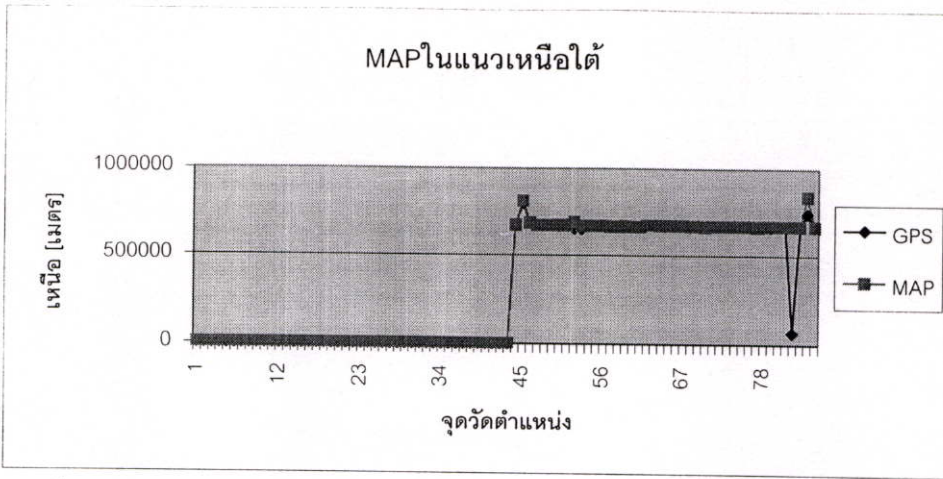
ภาพที่ 4.6 MAP ในแนวตะวันออก-ตะวันตก



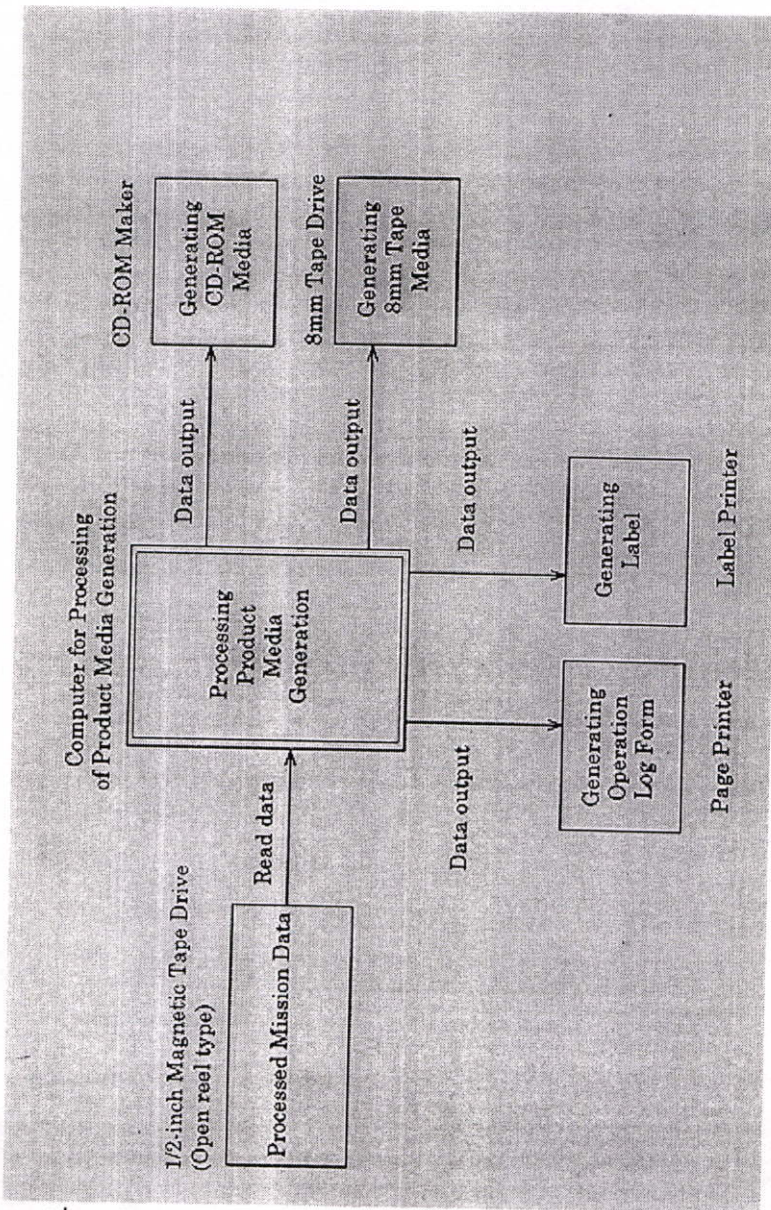
ภาพที่ 4.7 ค่าผิดพลาดของ แผนที่ ในแนวตะวันออก-ตะวันตก



ภาพที่ 4.8 GPS ในแนวเหนือ-ใต้



ภาพที่ 4.9 Map ในแนวเหนือ-ใต้



ภาพที่ 4.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงจากเทปแม่เหล็ก (CCT) ไปเป็น CD-ROM

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

จากการทดลองใช้ข้อมูลดาวเทียม JERS-1 ระบบ OPS ข้อมูลดิบ Raw Data Path 126 Row278 บริเวณกรุงเทพข้อมูลขนาด 8 บิตมี resolution 18.3 เมตร x 24.2 เมตร และข้อมูลดาวเทียม ADEOS ระบบ AVNIR แบบ Multispectral มี resolution 16 เมตร ที่ทำการแก้ไขข้อผิดพลาดทางเรขาคณิตแล้วมาบันทึกลงบน CD รูปแบบ TIF Format มาอ่านบนเครื่อง IBM-PC โดยใช้โปรแกรม Photoshop และนำข้อมูลที่ได้มาทำการแก้ไขข้อผิดพลาดทางเรขาคณิตอีกครั้งโดยหาพิกัดแบบ Longitude, Latitude (coordinate) โดยวัดค่าพิกัดตรงจุดที่เห็นชัดบนภาพถ่ายดาวเทียมแต่ไม่เห็นบนแผนที่ มาเป็นจุดพิกัดอ้างอิง GCP (Ground control point) เปรียบเทียบกับค่าที่อ่านจากแผนที่กรมแผนที่ทหาร ที่ใช้มาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งใช้กันมาเกือบ 30 ปีทำขึ้นในปี 2512 และใช้สมการทางคณิตศาสตร์ second order ของ transform polynomial จากสมการ

$$U=a_0+a_1x+a_2y+a_3xy+a_4x+a_5y \quad (5.1)$$

$$V=b_0+b_1x+b_2y+b_3xy+b_4x+b_5y \quad (5.2)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ a_0 ถึง a_5 และ b_0 ถึง b_5 โดยใช้ Least mean square error จากค่าสัมประสิทธิ์ที่อ่านจากการหาค่าผิดพลาดทางเรขาคณิต, ในการทดลองเรื่อง GEOMETRIC CORRECTION BY GPS โดยใช้ computer VAX VT4200 ทำการโปรแกรม level 3 แบบ Precision Geocoded และนำมาบันทึกลงบน CD จะได้ผลการทดสอบเพื่อแก้ไขความบิดเบือนทางเรขาคณิต เพื่อให้ผลการจำแนกข้อมูลมีความถูกต้องยิ่งขึ้นยังช่วยให้การวิเคราะห์ พื้นที่ใดๆก็ตามสามารถกระทำได้โดยความสะดวกมากขึ้นจึงจำเป็นที่จะให้สอดคล้องกับ โปรแกรมที่มีอยู่แล้วในการเทปข้อมูล CCT (Computer Compatible Tape)

ในระบบ BSQ FORMAT และเปลี่ยนเป็น TIF FORMAT ด้วยโปรแกรม ESIPAGE หรือ VISTA ที่ใช้งานบน workstation SUN 20 เสร็จแล้วอ่านด้วย PC และนำค่าที่ได้จาก GPS มาคำนวณดังสมการ ทำให้ความถูกต้องมากขึ้นอีกในการทดลองนี้เราใช้พื้นที่ไม่กว้างมากนักคือเห็นชัดบนภาพจากดาวเทียม ADEOS มาเทียบกับแผนที่ กรมแผนที่ทหารที่ใช้กันมานานผลคือจะได้แผนที่ ที่มีความทันสมัยขึ้นและใช้กับข้อมูลที่เป็นจริง เช่น ถนนที่สร้างใหม่ ดิถุ ในปัจจุบันของกรุงเทพ ค่าพิกัดจาก GPS ที่สำรวจมีมากกว่า 85 จุดของกรุงเทพที่สำรวจและมีค่าพิกัดมาคำนวณ แบบ least square หรือ Interpolation นำเอา PC มาใช้ให้เป็นประโยชน์สูงสุดและสามารถใช้งานหน่วยงานที่อยู่ใน

ต่างจังหวัดได้และสามารถใช้กับข้อมูลขนาด 4200x4500 จุดภาพได้ จำนวน 4 Band ขนาดข้อมูล 75 x 75 กิโลเมตร มี resolution 18 x 18 เมตรของดาวเทียม JERS-1 ข้อมูลดาวเทียมที่ทำการ โปรเซสแล้วจะเก็บใน Harddisk ของเครื่องคอมพิวเตอร์ VAX VT4200 ของบริษัท MDA ประเทศแคนาดาส่วนการแก้ไขผิดพลาดทางเรขาคณิตเราใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม JERS-1 ของกรุงเทพแบบข้อมูลดิบ (Row Data) และข้อมูลแก้ไขผิดพลาดทางเรขาคณิตแล้ว Precision georeferenced มากำหนดจุดพิกัดบนถนนที่ตัดกันและปรากฏบนภาพถ่ายดาวเทียมแต่ไม่ปรากฏบนแผนที่จากค่าที่อ่านได้จาก GPS เป็นค่าอ้างอิง GCP ป้อนให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการคำนวณดังสมการข้างบน การคำนวณสัมประสิทธิ์จะอาศัยหลักการคำนวณหาค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีความผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุด (least square error method) และจำเป็นต้องเลือกค่า x , y และ U , V ที่จำเป็น จากการวัดค่าที่อ่านจาก GPS บางค่าจะบอกความสูงของตำแหน่งที่วัดเราไม่นำมาใช้เพราะเราใช้แกน X กับแกน Y แผนที่ที่ใช้หยาบบอกตำแหน่งได้ถูกต้องระดับหนึ่งค่าที่วัดอาจเกิดความผิดพลาดได้เนื่องจากยื่นคนละตำแหน่งกับค่าที่อ่านในแผนที่ ข้อมูลจากดาวเทียมเห็นข้อรายละเอียดในปี 2541 ชัดเจนแต่หยาบแต่ครอบคลุมพื้นที่ 80 กิโลเมตร X 80 กิโลเมตรจึงมองไม่เห็นจุดที่วัด

ถนนและเส้นทางต่างๆ

ถนนสายหลัก ถนนสายรอง ทั้งที่เป็นพื้นถนนแข็ง(ลาดยางหรือคอนกรีต) และเป็นพื้นถนนอ่อน ขนาดกว้างหนึ่งทางวิ่งหรือตั้งแต่สองทางวิ่งขึ้นไปสามารถมองเห็นจากภาพถ่ายดาวเทียม ADEOS ได้อย่างชัดเจนยิ่งถ้าเป็นเส้นทางใหม่ เช่น ทางด่วน จะเห็นแนวทางได้อย่างชัดเจนเพราะให้การสะท้อนแสงดี ข้อมูลดาวเทียมมีขีดจำกัดในการใช้งานการนำมาใช้จะต้องพิจารณาความเหมาะสมผู้ใช้ตามหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องควรศึกษาทดลองให้เข้าใจว่าสิ่งใดควรใช้ภาพถ่ายดาวเทียมสิ่งใดไม่ควรใช้และประเมินผลนำมาพิจารณาใช้ประโยชน์ในสายงานหรือหน่วยงานของตนงานบางอย่างไม่สามารถนำมาใช้งานได้ งานบางอย่างใช้ได้แต่ถ้าต้องการงานที่มีความละเอียดถูกต้องควรใช้รูปถ่ายทางอากาศบางครั้งใช้คู่กันเพื่อเสริมแก้ปัญหาได้

ความถูกต้องทางตำแหน่ง

ขึ้นอยู่กับวิธีการหรือเครื่องมือที่ใช้งานหากใช้เครื่องมือ Optical transfer device ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มรายละเอียดที่เกิดขึ้นใหม่ลงในแผนที่เดิม โดยอาศัยรายละเอียดที่มีอยู่เดิมในแผนที่สรุปได้ว่าความละเอียดถูกต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่อไปนี้

ระดับการแก้ไขของภาพดาวเทียมที่นำมาใช้ การโปรเซสภาพดาวเทียม ADEOS, JERS-1 ในระดับต่างๆตั้งแต่ข้อมูลดิบจนถึงระดับการแก้ไขทางเรขาคณิตให้มีความละเอียดในตำแหน่งที่ดีการแก้ไขแผนที่โดยใช้ GPS จะต้องใช้อยู่กับข้อมูลดิบที่ยังไม่แก้ไขผิดพลาดทางเรขาคณิต และภาพที่แก้ไขผิดพลาดทางเรขาคณิต

ผลการทบทับบรรยากาศ

บรรยากาศทำให้เกิดผลในการกระจายและลดทอนสัญญาณ แม้ว่าจะไม่ใช่ตัวที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดของสัญญาณ แต่ก็ได้มีการใช้เทคนิคและวิธีการที่ได้พัฒนาเพื่อการชดเชยข้อมูลของตัวเซนเซอร์ในผลดังกล่าว ผลดังกล่าวมักจะเกี่ยวข้องกับการขจัดเอาผลของ first order ด้วยการเพิ่มเกน หรือ ในทางตรงข้าม คือ เลือกแบนด์ที่มีความยาวคลื่นสั้นลงกว่าเดิม

ความต้องการสำหรับการแก้ไขภาพ

ข้อมูลหลักที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจระยะไกลในการดึงข้อมูลภาพและการควบคุมข้อมูลก็คือการพิจารณาคุณลักษณะทางเรขาคณิตของภาพอย่างเหมาะสม การประยุกต์ใช้จะมีผลกับการประมวลผลภาพ จะต้องมีส่วนไขดังต่อไปนี้

ภาพที่ใช้สามารถประยุกต์ใช้กับภาพสามมิติ การทำแผนที่ (cartography) การใช้ที่ดินทางภูมิศาสตร์ และด้านอื่นๆ ภาพที่นำมาใช้ต้องมีความถูกต้องทางเรขาคณิตสูง

ในการประยุกต์เกี่ยวข้องกับการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงหรือการปรับปรุงภาพ ซึ่งอาจได้จากการ บวก ลบ หรือคูณ ชุดข้อมูลภาพเข้าด้วยกัน สำหรับภาพดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้กับการวางแผนการใช้ที่ดิน, ทางการเกษตร, อุทกวิทยา, ป่าไม้ และด้านอื่นๆ

การประยุกต์ใช้จะเกี่ยวข้องกับ องค์ประกอบของภาพเหนือพื้นที่กว้างๆ ครอบคลุมพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกัน เพื่อใช้ในการพิจารณา ลักษณะของพื้นที่ เทียบกับชุดข้อมูล ณ ที่ บริเวณตำแหน่งเดียวกัน

Geometric correction

ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตในระบบ MSS ใช้วิธีการวัดความผิดพลาด และใช้ Geometric correction function และ resampling ของข้อมูลอินพุทที่รับจากค่า output intensity

Geometric correction function

ภาพจากดาวเทียม ที่ทำการ transform โดยใช้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิตของข้อมูลภาพระบบ MSS ข้อมูลภาพที่รับจากดาวเทียม LANDSAT เป็นข้อมูลดิจิทัลซึ่งแทนโดยการผัดเขียนเชิงเรขาคณิต one dimension perspective projection ที่ทำกับพื้นผิวโลก ภาพเออร์ทพุทเชิงเรขาคณิตของแผนที่ที่ทำกับพื้นผิว ตำแหน่ง GCP เป็นตำแหน่งของพื้นดิน

GCP's เป็นตำแหน่งของภาพ และพื้นที่บนแผนที่เป็น cylinder tangents ใช้แบบโมเดลหาค่าผิดพลาดทั้งหมดนี้ ซึ่งสามารถทำนายหรือกำหนดจากข้อมูลแทร็กกิ้ง ตำแหน่ง GCP บนแผนที่จากแทนที่จากอวกาศบนระนาบ tangent ผ่านจุดที่มีความสัมพันธ์กับแผนที่หรือระนาบ tangent จากอวกาศที่กำหนดจุดบนพื้นโลก ตามธรรมดาตำแหน่ง GCP ที่รับในระนาบ tangent

ใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของความสูง ตามตัวเลขตำแหน่ง GCP ที่รับในระนาบ Tangent ซึ่งใช้หาค่าการวางตัวของระดับความสูง ทำให้เกิดความผิดพลาดจากแผนที่ ที่ใช้ในงานที่ต้องการความถูกต้อง ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ได้รับจากอวกาศ

ต่อไปการหาค่าความถูกต้องของจุดภาพจากดาวเทียมแบบ interpolation โครงสร้างแบบตาราง ดังนั้นมุมทั้ง 4 ที่ทำตารางบนแผนที่ต้องหาค่าความถูกต้องของฟังก์ชันของจุดภายในกำหนดตำแหน่งเครื่องหมายในภาพ

ความต้องการสำหรับการแก้ไขภาพ

ข้อมูลหลักที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจระยะไกลในการดึงข้อมูลภาพและการควบคุมข้อมูลก็คือการพิจารณาคูณลักษณะทางเรขาคณิตของภาพอย่างเหมาะสม การประยุกต์ใช้จะมีผลกับการประมวลผลภาพ จะต้องมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

ภาพที่ใช้สามารถประยุกต์ใช้กับภาพสามมิติ การทำแผนที่ (catography) การใช้ที่ดินทางภูมิศาสตร์ และด้านอื่นๆ ภาพที่นำมาใช้ต้องมีความถูกต้องทางเรขาคณิตสูง

ในการประยุกต์เกี่ยวข้องกับการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงหรือการปรับปรุงภาพ ซึ่งอาจได้จากการ บวก ลบ หรือคูณ ชุดข้อมูลภาพเข้าด้วยกัน สำหรับภาพดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้กับการวางแผนการใช้ที่ดิน, ทางการเกษตร, อุทกวิทยา, ป่าไม้ และด้านอื่นๆ การประยุกต์ใช้จะเกี่ยวข้องกับ องค์ประกอบของภาพเหนือพื้นที่ที่กว้างๆ ครอบคลุมพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกัน เพื่อใช้ในการพิจารณา ลักษณะของพื้นที่ เทียบกับชุดข้อมูล ณ ที่ บริเวณตำแหน่งเดียวกัน

หลักการของการประมวลผลข้อมูล (Data Processing concept)

ในการประมวลผล ด้วยคอมพิวเตอร์นั้น มีขั้นตอนและวิธีการ พอที่จะกล่าวดังต่อไปนี้ การสำรวจและวิเคราะห์ระบบงานปัจจุบัน ต้องทำการสำรวจ และวิเคราะห์ถึงความต้องการของผู้ใช้ในการที่จะเปลี่ยนจากระบบปัจจุบันมาเป็นระบบที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แทน เพื่อที่จะทราบขอบเขตของงานที่จะนำมาเข้าเครื่องและเป็นการประมาณว่าควรจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดไหนที่จะเหมาะสมกับงานและการลงทุน ซึ่งบางลักษณะของงาน หลังจากที่ทำการศึกษาแล้วไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ที่จะนำเครื่องมาใช้เพราะปริมาณงานมีน้อยยังสามารถที่จะนำคนมาทำแทนได้ แต่สำหรับงานทางด้าน Remote sensing เหมาะอย่างยิ่งที่จะนำเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และวิจัยเพราะเหตุว่าปริมาณข้อมูลมีมาก ถ้าใช้คนทำจะเสียเวลามาก และไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ทันกับเหตุการณ์

การออกแบบระบบระบบงาน

หลังจากที่ทำการสำรวจและวิเคราะห์ระบบงานเก่าแล้ว ก็เช่นทำการออกแบบ ระบบงานใหม่ที่ใช้เครื่อง Computer โดยกำหนดรูปแบบของข้อมูลเพื่อที่จะจัดเก็บข้อมูลได้อย่างระเอียด กำหนดการไหลของข้อมูล (Data flow) ว่าควรจะมาทางไหนและจะผ่านไปทางไหน ออกแบบรายงานต่างๆ จากข้อมูลที่ได้มา เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ (user) กำหนดการออกแบบโปรแกรมสั่งงานเพื่อให้พนักงานเขียนโปรแกรมเขียนตามที่ออกแบบไว้จัดระเบียบของแฟ้มข้อมูลได้เพื่อให้ง่ายและสะดวกในการใช้สอยอ้างอิง สิ่งต่างๆ เหล่านี้ยังมีอีกมากที่ต้องคำนึงถึง เพื่อให้การออกแบบcomputer ประสบผลสำเร็จและใช้งานได้ดี

การเขียนโปรแกรมสั่งงาน

เป็นหน้าที่ของพนักงาน เขียน โปรแกรม (Programmer) จะต้องทำการเขียนโปรแกรมตามผู้วางระบบได้วางไว้ โดยใช้โปรแกรมอะไรก็ขึ้นก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ทำ เช่นงานทางด้าน Process ภาพทาง Computer จะใช้โปรแกรม PASCAL ถ้าเป็นงานที่คำนวณทางวิทยาศาสตร์จะใช้โปรแกรม Borland C++

การทดสอบและการแก้ไขผิดพลาด

หลังจากที่เขียนโปรแกรม และ Compile เสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการทดสอบความถูกต้องว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นนั้น เป็นไปตามความต้องการหรือเปล่า ทำงานได้ถูกต้องไม่มีข้อผิดพลาดใดๆ เกิดขึ้น ขั้นตอนนี้เป็นกรนำโปรแกรมต่างๆ ในระบบมาทำการทำงานเชื่อมโยงการทำงานติดต่อกัน ถ้ามีโปรแกรมไหนผิดก็จะทำให้ข้อมูลต่างๆ ในระบบผิดไปด้วย เพราะข้อมูลจะถูกถ่ายทอดจากโปรแกรมหนึ่ง ไปยังอีกโปรแกรมหนึ่ง จึงต้องทำการทดสอบจนเกิดความมั่นใจว่า ทุกอย่างเป็นไปตามที่ได้วางระบบไว้ ไม่มีข้อผิดพลาดใดๆ เกิดขึ้นจึงจะผ่านขั้นตอนต่อไป

การเปลี่ยนระบบ (System conversion procedure)

ขั้นตอนนี้ก็คือเป็นขั้นตอนที่สำคัญ คือการเปลี่ยนระบบจากระบบปัจจุบัน (Manual system) มาเป็นระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลต่างๆ ให้นำอยู่ในรูปของข้อมูลคอมพิวเตอร์ เช่น การเปลี่ยนระบบจากข้อมูลภาพมาเป็นข้อมูลที่อยู่ในเทปแม่เหล็ก CCT ซึ่งทางภาษาคอมพิวเตอร์เรียกว่า "Machine Readable Format " หลังจากทำการเปลี่ยนแปลง แล้วต้องทำการตรวจสอบให้ละเอียดถูกต้อง เพื่อป้องกันมิให้ข้อมูลผิดพลาดเกิดขึ้น ในการถ่ายเทข้อมูล

การทำงานคู่ขนาน (Parallel Run)

เป็นขั้นตอน ที่จะทำให้เกิดความมั่นใจในระบบ ใหม่ เป็นการทำงานควบคู่กันไปในระบบเก่า เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลของงานที่ทางคอมพิวเตอร์ได้นำออกมาว่าถูกต้องสมบูรณ์ทุกประการตามความต้องการของผู้ใช้หรือไม่ ถ้ามีข้อผิดพลาดจะได้ทำการ แก้ไขข้อมูลให้ถูกต้อง การทำงานคู่ขนานนี้ จะทำจนกระทั่ง ผู้ใช้เกิดความมั่นใจจึงจะเลิกใช้ระบบเก่า เพราะการทำงานแบบนี้จะสิ้นเปลือง แรงงานมาก และรวมทั้งค่าใช้จ่ายด้วย

ส่งเสริมการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้งาน

ท่านได้ทราบถึงวิธีการ และขั้นตอนต่างๆ ของการประมวลผลข้อมูลแล้วว่าค่อนข้างจะสลับซับซ้อนพอสมควร ในการที่จะติดตั้ง ระบบใดระบบหนึ่ง ให้ใช้งานได้ อย่างสมบูรณ์แบบ จะต้องพึงพาดองค์ประกอบ หลายๆ อย่างนำมาประสมประสานกัน การที่นำระบบเครื่องคอมพิวเตอร์มาติดตั้งใช้งานนั้น ต้องประกอบไปด้วย องค์ประกอบต่อไปนี้ จะขาดอย่างใดอย่างหนึ่งมิได้

บุคลากร

บุคลากรจัดว่าเป็นองค์กรที่สำคัญยิ่ง การทำงาน สิ่งใดจะสำเร็จลงได้ ก็ด้วยบุคคลที่คอยดูแลสั่งงาน ยิ่งได้บุคคลที่มีคุณภาพสูงงานที่ผลิตออกมาย่อมต้องมีประสิทธิภาพสูงด้วยงานทางด้านคอมพิวเตอร์มีความแตกต่างจากงานทั่วไป ซึ่งต้องการบุคคลที่มีความชำนาญในหลายๆด้านเข้ามาบริหารและดำเนินงานร่วมกัน เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ความชำนาญซึ่งกันและกันการจัดองค์กรภายในศูนย์ประมวลผลนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของงานภายในองค์การต่างๆ ว่ามีขนาดเล็กใหญ่แค่ไหนในที่นี้จะกล่าวถึงตำแหน่งของบุคลากรที่จำเป็นจะต้องมีเท่ากัน

EDP MANAGER

ผู้จัดการศูนย์คอมพิวเตอร์ มีหน้าที่รับผิดชอบ พอจะกล่าวได้โดยสังเขปคือ

- ติดต่อกับบริษัทผู้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ในการเตรียมสถานที่และติดตั้งเครื่อง
- เตรียมสถานที่เช่น ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ
- ติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อบริการทางด้านข้อมูล, รายงาน
- จัดทำตารางเวลาการใช้เครื่อง
- ควบคุมดูแลบริหารศูนย์
- จัดเตรียมการฝึกอบรมให้ผู้ใช้ และผู้ได้บังคับบัญชา
- จัดเตรียมงบประมาณการใช้ครุภัณฑ์ และวัสดุสิ้นเปลือง

ระบบการวิเคราะห์ (System Analysis)

- พนักงานวิเคราะห์ระบบงาน ทำหน้าที่วิเคราะห์และออกแบบ ระบบงาน ที่จะนำมาใช้กับ เครื่องคอมพิวเตอร์ ให้คำแนะนำกับผู้ใช้ จัดขั้นตอนในการประมวลผลข้อมูล วางผังการใช้งานของ ผู้ใช้ ออกแบบรายงานต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ บุคคลผู้ี้ต้องมีความรู้ทางด้าน Application และต้องผ่านงานทางด้านคอมพิวเตอร์มาพอสมควร

คนเขียนโปรแกรม (Programmer)

พนักงานเขียนคำสั่ง ทำหน้าที่เขียนคำสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงาน ตามที่พนักงานวิเคราะห์ได้ออกแบบไว้ พนักงานเขียนคำสั่งจะต้องมีความชำนาญในภาษาต่างๆ ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ตนจะต้องเขียน การใช้ภาษานั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ของงานและความถนัดของผู้เขียนด้วย

Computer operator

พนักงานควบคุมเครื่อง ทำหน้าที่ควบคุมสั่งงานให้เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำงาน ตามขั้นตอนที่วางไว้ คอยป้อนข้อมูลเข้าเครื่อง จัดเก็บรายงานที่พิมพ์ออกมาจากเครื่อง ทำหน้าที่ได้ตอบแก้ไขข้อผิดพลาด ระหว่างที่สั่งให้เครื่องทำงาน คอยรายงานข้อขัดข้องของเครื่อง ทำหน้าที่ได้ตอบแก้ไขข้อผิดพลาด ให้ช่างทราบ เพื่อที่จะทำการซ่อมบำรุง

key punch operator พนักงานป้อนข้อมูลทำหน้าที่ป้อนข้อมูลเข้าเครื่อง Computer โดยตรง เป็นขั้นตอนพื้นฐาน โดยป้อนทางคีย์บอร์ด เป็นการแปลงข้อข้อมูลเพื่อให้คอมพิวเตอร์อ่านได้ พนักงานจะต้องมีความรู้จึงจะทำงานนี้ได้

Hardware เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องมีอุปกรณ์อะไรบ้าง ก็แล้วแต่ความจำเป็นของงาน และผู้ที่ติดตั้งคอมพิวเตอร์เห็นสมควร เช่น ตู้เทป (Tape drive) เทปแม่เหล็ก CCT (computer compatible Tape) เครื่องอ่านเทป (CCT Drive) , Hard Disk , Land Card ,Modem เครื่องควบคุมการสื่อสาร (Data communication processor), จอภาพ (CRT Unit)

Software เป็นคำสั่งที่ใช้ทับศัพท์ คือคำสั่งที่ป้อนให้กับเครื่องทำงานตามลำดับ ที่เขียนขึ้นด้วยภาษา PASCAL, C++ แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

System software

เป็น โปรแกรมที่ผู้ผลิตสร้างขึ้น เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้ผลิตให้มาพร้อมกับการติดตั้งเครื่อง เช่น

Operating System

Language Compilers

Data Base management

Utilities

Application Software

เป็น Software ที่ผู้ใช้พัฒนาขึ้นเองเพื่อให้เครื่องทำงาน ตามวัตถุประสงค์และสามารถที่จะนำไปติดต่อกับเครื่องอื่นได้ ไม่เจาะจงเครื่องใดเครื่องหนึ่งใช้ภาษา PASCAL

ขั้นตอนการประมวลผล

ขั้นตอนการประมวลผลที่จะกล่าวถึง 3 ขั้นตอนหลัก นับแต่ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง เรียงใหม่จนกระทั่งข้อมูลขาออกถูกนำไปทำระบบฐานข้อมูล

การปรับปรุงแต่งข้อมูลให้สมบูรณ์ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูล (Pre-processing)

ขบวนการต่างๆประกอบด้วย

- Radiometric correction คือการแก้ไขระดับสีเทา ซึ่งอาจผิดพลาดได้จาก ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ ทางความเข้มของแสงในการกวาดภาพรับข้อมูลของดาวเทียม หรือจากมุม แสงอาทิตย์ (sun angle) ที่ต่างกัน หรือจาก การแตกต่างกัน หรือเกิดจากการแตกกระจายของสนามแม่เหล็ก ผ่านผ่านชั้นบรรยากาศ ประโยชน์ที่ได้รับจากการแก้ระดับสีเทา คือ การเปรียบเทียบข้อมูลบริเวณเดียวกันที่ถูกบันทึกจากวันและฤดูต่างกันเวลา(temporal analysis) และการต่อภาพของบริเวณข้างเคียงที่ได้จากต่างวันกัน (Mosaiking)
- Geometric Correction การแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิตเกิดขึ้นเนื่องจาก ความโค้งของผิวโลก ความเร็วในการหมุนรอบตัวเอง และความบกพร่องของอุปกรณ์ในขณะที่รับสัญญาณ ประโยชน์ที่ได้รับคือ ทำให้การคำนวณหาพื้นที่ของประเภทข้อมูล ได้ถูกต้องมากขึ้น ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่ง ของ จุดพิกัดทางพื้นดิน(Ground control point) ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น ท้ายสุดหากผนวกกระบวนการ grid fitting เข้าไปด้วยจะสามารถสร้างภาพดาวเทียมให้สอดคล้องกับแผนที่ ที่ใช้มาตรฐานที่เรียกว่า Universal Transverse Mercator
- Enhancement การเน้นประเภทข้อมูลที่สนใจ ซึ่งกรรมวิธีนี้ ก็แล้วแต่นิยามของ การประมวลผลข้อมูล ในสาขาต่างๆ เช่นการเอาระดับสีเทา ของจุดภาพข้างเคียง มาลบกันเพื่อเน้นอาณาเขตของข้อมูลประเภทเดียวกัน(boundary) การปรับค่าสีเทาโดยแทนสัญลักษณ์ตัวอักษรต่างกันและสีต่างกัน (graytoneadjustment)หรือการสร้างวิธีการตัดสินใจความแตกต่างของประเภทข้อมูลที่เรียกว่า Decision tree algorithm
- Registration การซ้อนภาพจากดาวเทียมต่างดวงกันหรือข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมดวงเดียวกันแต่ต่างปี ในการทำ bench marking หากมีระบบ โปรแกรมและเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่พอ

- ก็นำข้อมูลระบบ OPS จากสองเพิ่มข้อมูลมาทำการซ้อนกันในการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่ต้องผ่านการแก้ข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิตและให้จุดพิกัดที่แน่นอน (ground control point) ซ้อนกันมากที่สุด ประโยชน์ก็คือทำให้ สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้ละเอียดมากขึ้นและเป็นการประมวลผลแบบอัตโนมัติ

Image Correlation โดยอาศัยความรู้ทางสถิติช่วยในการแยกในการแยกประเภทข้อมูลที่ต้องการจำแนกให้มีความแตกต่างเชิงสถิติ (Statistical separability) ซึ่งช่วยในการตัดสินใจเบื้องต้นว่า การประมวลผล โดยละเอียดในขั้นตอนถัดไปนั้นจะทำได้หรือไม่

ขบวนการวิเคราะห์และจำแนกข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis and Classification Process)

ขบวนการนี้มีองค์ประกอบหลักอยู่ 3 ขั้นตอนคือ

- Data Compression (Statistical Analysis and Classification Process)

ข้อมูลระบบ MSS (Multispectral Scanner) นั้นมีอยู่ 4 ช่วงคลื่นแทนค่าข้อมูลของวัตถุเดียวกันบนระนาบที่มี 4 มิติ ทำอย่างไรจึงเลือกมิติที่ถูกต้อง และให้มีความสำคัญของข้อมูลประเภทที่จะทำการวิเคราะห์มากที่สุด วิธีนี้จะทำได้ หากมีความเข้าใจเรื่อง (Image transformation) แต่จะต้องใช้คอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมากฉะนั้นจึงไม่มีความนิยมมากนัก

- Statistical classification เป็นขบวนการแรกสุดที่ผู้เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ภาพหลักเลข(digital image analysis) นิยมใช้กันมาก

- Clustering Approach เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเริ่มต้นจาก จุดข้อมูลตัวอย่างที่เราทราบประเภทแล้ว และให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ขยายอาณาบริเวณนั้นออกไปเรื่อยๆ จนขยาย ต่อไปอีกไม่ได้ วิธีนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในเรื่องของป่าไม้

การตกแต่งข้อมูลหลังการจำแนกประเภทข้อมูลแล้ว (Post processing)

การตกแต่งภาพหลังจากการวิเคราะห์ย่อมมีความจำเป็นด้วยเหตุของความไม่ต่อเนื่องของจุดภาพตัวอย่างเช่นเส้นถนน หรือขอบของสิ่งก่อสร้างซึ่งข้อมูลแต่ละจุดภาพแทนค่าด้วยพื้นที่สีเหลี่ยมผืนผ้าขนาด 56 x 79 ตารางเมตร วิธีเหล่านี้ได้แก่

Spectral Synthesis การเลือกจุดภาพข้างเคียงที่เป็นไปได้และน่าจะเป็นประเภทข้อมูลเดียวกันเพื่อความต่อเนื่อง หลักการดังกล่าว ประกอบด้วย ทิศทางของข้อมูลที่ถูกจำแนกและความเป็นไปได้ในเชิงสถิติ

Texture synthesis การเลือกจุดภาพข้างเคียงที่อยู่ภายใต้สภาวะของข้อมูลประเภทเดียวกัน เช่น ภายใต้การวิเคราะห์พบว่า ส่วนใดส่วนหนึ่งของอาณาของอาณาบริเวณ ป่าไม้สักมีจุดภาพ 2-3 จุด ถูกจำแนกเป็นป่าไม้เต็งรังเตี้ย เมื่อเป็นเช่นนั้นจุดภาพนั้นควรแทนป่าไม้สักมากกว่า ข้อคิดในวิธีนี้คือ พื้นที่ของ ขอบเขต ที่สนใจ นั้นมีประเภทข้อมูลประเภทใดและมีค่าความเป็นไปได้ในเชิงสถิติ

เท่าใด จะเห็นได้ว่านับแต่ได้ข้อมูลระบบ MSS จากศูนย์บริการข้อมูลจนกระทั่งทำการประมวลผล นั้น ผู้ทำการประมวลผลต้องเข้าใจคุณสมบัติของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของประเภทข้อมูลที่สนใจ และเลือกขั้นตอนการประมวลผลให้เหมาะสมกับองค์ประกอบแวดล้อม มิฉะนั้นแล้ว จะต้องลงทุน ในการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างไม่คุ้มค่าเกินความจำเป็น

บรรณานุกรม

- [1] กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวง
วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2538. เอกสารประกอบการฝึกอบรม การวิเคราะห์
ภาพถ่ายจากดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. ห้องประชุมบุญนาค อาคารสำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- [2] N. Colwell, N. Robert et. al, **MANUAL OF REMOTESENSING.**, Vol.1, 2nd ed.,
The Sheridan Press. Virginia, 1983.
- [3] L. Richards, A. John , **Remote Sensing Digital Image Analysis.**,2nd ed.,
Springer-Verlag, Germany,1993.
- [4] F. Cheevasuvit, K. Dejhan, "Geometric correction by GPS, " Proc . Of 18TH Asian
Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. P 16-1 – P 16-5,
October 20-24, 1997

ภาคผนวก

โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์

```
#include <stdio.h>
#include <graphics.h>
#include <conio.h>
#include <alloc.h>
#include <stdlib.h>
#include <mem.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

#define uc unsigned char
#define TRUE 1

int Size=7;

float *x1,*x2,*y1,*y2;//RAWGPS
float *u,*v;//pels
float *x,*y;//MeterGPS

void fillxygps(void);
void allocmemory(void);

typedef struct{
    char id[2];
    long filesize;
    int reserved[2];
    long headersize;
    long infoSize;
    long width;
    long depth;
```

```

    int biPlanes;
    int bits;
    long biCompression;
    long biSizeImage;
    long biXPelsPerMeter;
    long biYPelsPerMeter;
    long biClrUsed;
    long biClrImportant;
}BMPHEAD;

typedef struct {
    char BLUE;
    char GREEN;
    char RED;
    char reserved;
}BMPPALETTE;

uc huge *data;
void gauss(int n,double a[][11]);

int maxx,maxy,maxt=10,mode;
/* CSL/c6-1.c  Gauss Elimination */
/*      a[i][j] : matrix element, a(i,j)
           n : order of matrix
           eps : machine epsilon
           det : determinant          */

void gauss(n, a)
int n;  double a[][11];
{
int i, j, jc, jr, k, kc, nv, pv;
double det, eps, ep1, eps2, r, temp, tm, va;

```

```

eps = 1.0; ep1 = 1.0 ;      /* eps = Machine epsilon */
while( ep1 > 0 ){
    eps = eps/2.0; ep1 = eps*0.98 + 1; ep1 = ep1 - 1;
}
eps = eps*2;    eps2 = eps*2;
printf( "      Machine epsilon=%g \n", eps );
det = 1;        /* Initialization of determinant */
for( i = 1; i <= (n - 1); i++){
    pv = i;
    for( j = i + 1; j <= n; j++){
        if( fabs( a[pv][i] ) < fabs( a[j][i] ) ) pv = j;
    }
    if( pv != i ){
        for( jc = 1; jc <= (n + 1); jc++){
            tm = a[i][jc]; a[i][jc] = a[pv][jc]; a[pv][jc] = tm;
        }
        det = -det;
    }
    if( a[i][i] == 0 ){      /* Singular matrix */
        printf( "Matrix is singular.\n" ); exit(0);
    }
    for( jr = i + 1; jr <= n; jr++){ /* Elimination of below-diagonal. */
        if( a[jr][i] != 0 ){
            r = a[jr][i]/a[i][i];
            for( kc = i + 1; kc <= (n + 1); kc++){
                temp = a[jr][kc];
                a[jr][kc] = a[jr][kc] - r*a[i][kc];
                if( fabs( a[jr][kc] ) < eps2*temp ) a[jr][kc] = 0.0;
            }
            /*      If the result of subtraction is smaller than
            *      2 times machine epsilon times the original
            *      value, it is set to zero. */
        }
    }
}

```

```

    }
}
}
for( i = 1; i <= n; i++ ) {
    det = det*a[i][i];      /* Determinant is calculated. */
}
if( det == 0 ){
    printf( "Matrix is singular. (det==0)\n" );  exit(0);
}
else{
    /* Backward substitution starts. */
    a[n][n+1] = a[n][n+1]/a[n][n];
    for( nv = n - 1; nv >= 1; nv-- ){
        va = a[nv][n+1];
        for( k = nv + 1; k <= n; k++ ) {va = va - a[nv][k]*a[k][n+1];}
        a[nv][n+1] = va/a[nv][nv];
    }
    printf( "      Determinant = %g\n", det );
    return;
}
}

int huge detect256(void){
    printf(" 0 = 320 * 200\n");
    printf(" 1 = 640 * 350\n");
    printf(" 2 = 640 * 480\n");
    printf(" 3 = 800 * 600\n");
    printf(" 4 = 1024 * 768\n");
    //printf("\n\nSelect mode -> ");scanf("%d",&mode);
    mode=2;
    return mode;
}

```

```

void opengraph(void) {
int gd,gm;
installuserdriver("svga256",detect256);
gd = DETECT;
initgraph(&gd,&gm," ");
maxx=getmaxx();
maxy=getmaxy();
}

long lread(FILE *fh, uc huge *data, long imgsize){
long   buf=imgsize;
while (imgsize > 32768L)
{
if(fread(data,1,32768L,fh) != 32768L)
return 0;
imgsize -= 32768L;
data += 32768L;
}
if (fread(data,1,imgsize, fh) != imgsize)
return 0;
return buf;
}

void allocmemory(void){
if ((u = (float *) malloc(Size*sizeof(float))) == NULL)
{
printf("\nNot enough memory");
exit(1);
}
if ((v = (float *) malloc(Size*sizeof(float))) == NULL) {
printf("\nNot enough memory");
}
}

```

```

    exit(1);
}
if ((x = (float *) malloc(Size*sizeof(float))) == NULL) {
    printf("\nNot enough memory");
    exit(1);
}
if ((y = (float *) malloc(Size*sizeof(float))) == NULL) {
    printf("\nNot enough memory");
    exit(1);
}
if ((x1 = (float *) malloc(Size*sizeof(float))) == NULL)
{
    printf("\nNot enough memory");
    exit(1);
}
if ((x2 = (float *) malloc(Size*sizeof(float))) == NULL) {
    printf("\nNot enough memory");
    exit(1);
}
if ((y1 = (float *) malloc(Size*sizeof(float))) == NULL) {
    printf("\nNot enough memory");
    exit(1);
}
if ((y2 = (float *) malloc(Size*sizeof(float))) == NULL) {
    printf("\nNot enough memory");
    exit(1);
}
}

void fillxygps(void){
    x1[0]=73;x2[0]=25; y1[0]=19;y2[0]=650; u[0]=602; v[0]=146;//0
    x1[1]=42;x2[1]=50; y1[1]=35;y2[1]=97; u[1]=613; v[1]=316;//1

```

```

x1[2]=83;x2[2]=592; y1[2]=17;y2[2]=531; u[2]=1243;v[2]=265;//2
x1[3]=71;x2[3]=230; y1[3]=16;y2[3]=470; u[3]=520; v[3]=320;//3
x1[4]=71;x2[4]=817; y1[4]=15;y2[4]=702; u[4]=494; v[4]=384;//4
x1[5]=71;x2[5]=779; y1[5]=15;y2[5]=614; u[5]=543; v[5]=356;//5
x1[6]=72;x2[6]=785; y1[6]=16;y2[6]=284; u[6]=665; v[6]=570;//6
}

```

```

void change(void){
int i;
allocmemory();
fillxygps();
for(i=0;i<3;i++)
{
x[i]=x1[i]*1000+x2[i];
y[i]=y1[i]*1000+y2[i];
printf("\n%d x=%5.1f y=%5.1f",i,x[i],y[i]);
}
getch();
}

```

```

void main(int argc,char *argv[]){
int          i,j,bytes;
BMPHEAD     bmp;
BMPPALETTE  pal[256];
long        xsize,ysize;
FILE        *fh;
unsigned char buff[7000];

//Var for Geometric Correction
//4 point
//UV=pixel coordinate
//XY=gps coordinate

```

```

//int          U[]={1,2,3,4},V[]={1,120,230,140};
//int          X[]={14,43,4,145},Y[]={7,228,29,140};

int _i, _r;

//number of result coefficient
static n = 4;

//number of Ground Control Point
#define p 4

/*
static float a_init[10][11] = {{ 0,-1, 2, 0},
                               {-2, 2,-1, 0},
                               {-2, 4, 3, 1}};
*/

static double a[10][11];
float aout[4],bout[4];

void gauss();
//static int _aini = 1;

float sum,sumu,sumv,sumuu,sumvv,sumuv,sumx,sumy,sumux,sumuy,sumvx,sumvy;
int xout,yout;
char filein[20];

clrscr();
////////////////////////////////////
change();
//if(argc<2) printf("%s <filename.bmp>",argv[0]),exit(1);
sprintf(filein,"sattel.bmp");

```

```

//reading input bmp file
//if((fh=fopen(argv[1],"rb"))==NULL) printf("\nFile not found"),exit(1);
if((fh=fopen(filein,"rb"))==NULL) printf("\nFile not found"),exit(1);

if(fread((char *)&bmp,1,(long)sizeof(BMPHEAD),fh) != sizeof(BMPHEAD))
{
    printf("fread HEADER error");
    exit(1);
}

for(i=0;i<256;i++)
if(fread(&pal[i],1,(long)sizeof(BMPPALETTE),fh) != sizeof(BMPPALETTE))
{
    printf("fread PALETTE error");
    exit(1);
}

//opengraph();

//for(x=0;x<256;x++)
// setrgbpalette(x,pal[x].RED>>2, pal[x].GREEN>>2, pal[x].BLUE>>2);

xsize=bmp.width;
ysize=bmp.depth;

bytes=xsize;
//must be and even WORD size (%2byte)
if(bytes & 0x0003)
{
    bytes |= 0x0003;
    ++bytes;
}

```

```

}

//prepare associated matrix
sum=sumu=sumv=sumuu=sumvv=sumuv=sumx=sumy=sumux=sumuy=sumvx=sumvy=0;
for(i=0;i<p;i++)
{
    sum++;
    sumu+=u[i];
    sumv+=v[i];
    sumuu+=u[i]*u[i];
    sumvv+=v[i]*v[i];
    sumuv+=u[i]*v[i];
    sumx+=x[i];
    sumy+=y[i];
    sumux+=u[i]*x[i];
    sumuy+=u[i]*y[i];
    sumvx+=v[i]*x[i];
    sumvy+=v[i]*y[i];
}

//find coeff of group a
a[1][1]=sum;
a[1][2]=sumu;
a[1][3]=sumv;
a[1][4]=sumx;

a[2][1]=sumu;
a[2][2]=sumuu;
a[2][3]=sumuv;
a[2][4]=sumux;

a[3][1]=sumv;

```

```

a[3][2]=sumuv;
a[3][3]=sumvv;
a[3][4]=sumvx;

//closegraph();
printf("\n");
for( i = 1; i <= n; i++ )
{
    for(j = 1; j <= n+1; j++ )
    {
        //a[i][j]=a_init[i-1][j-1];
        printf( " %13.5e", a[i][j] );
    }
    printf( "\n" );
}

gauss( n, a );
printf( " Solution\n" );
printf( "-----\n" );
printf( "   i   x(i)\n" );
printf( "-----\n" );
for( i = 1; i <= n; i++ )
{
    aout[i-1]=a[i][n+1];
    if(aout[i-1]==0) aout[i-1]=0.0001;
    printf( " %5d %16.6e\n", i, a[i][n+1] );
}
printf( "-----\n\n" );
//getch();

//find coeff of group b

```

```

a[1][4]=sumy;
a[2][4]=sumuy;
a[3][4]=sumvy;

for( i = 1; i <= n; i++ )
{
    for(j = 1; j <= n+1; j++ )
    {
        //a[i][j]=a_init[i-1][j-1];
        printf( " %13.5e", a[i][j] );
    }
    printf( "\n" );
}

gauss( n, a );
printf( " Solution\n" );
printf( "-----\n" );
printf( "   i   x(i)\n" );
printf( "-----\n" );
for( i = 1; i <= n; i++ )
{
    bout[i-1]=a[i][n+1];
    if(bout[i-1]==0) bout[i-1]=0.0001;
    printf( " %5d %16.6e\n", i, a[i][n+1] );
}
printf( "-----\n\n" );

//transform coordinate
/*for(y=0;y<ysize;y++)
{
    fread(&buff[0],sizeof(char),bytes,fh);

```

```
for(x=0;x<xsize;x++)
{
    xout=aout[0]+aout[1]*x+aout[2]*y + 0.5;
    yout=bout[0]+bout[1]*x+bout[2]*y + 0.5;
    if(xout<0) xout=0;
    if(xout>=xsize) xout=xsize-1;
    if(yout<0) yout=0;
    if(yout>=ysize) yout=ysize-1;
    putpixel(xout,yout,buff[x]);
}
}
*/

fclose(fh);
getch();
getch();

//closegraph();
printf("%ld %ld",xsize,ysize);
}
```

ประวัติผู้เขียน

นายวินัย วรรณันท์ เกิดวันที่ 10 กรกฎาคม 2505 ที่โรงพยาบาลหัวเฉียว จังหวัดกรุงเทพ การศึกษา พ.ศ. 2523-2424 โรงเรียนกรุงเทพช่างกล พ.ศ. 2524 – 2527 วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตพระนครเหนือ (ปวช.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2528–2530 วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตพระนครเหนือ (ปวส.) สาขาอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2532–2534 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรมปัจจุบันทำงานที่สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 5