จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการสิ่งประดิษฐ์
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงาน

ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์

ตุลาคม 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการสิ่งประดิษฐ์
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงาน

ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์

ตุลาคม 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุมัติเงินทุนสนับสนุนโครงการสิ่งประดิษฐ์ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภชในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ นอกจากนี้ข้าพเจ้ายังขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นต่อโครงการวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่
เลขทะเบียน 013476
วัน, เดือน, ปี 25 ม.ค. 51

ชื่อโครงการ ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง

ชื่อผู้ดำเนินการ ผศ. ดร. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์

เดือนและปีที่ทำเสร็จ ตุลาคม 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูงจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสขึ้น ข้อมูลจีพีเอสที่ถูกเก็บโดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัดได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินระดับความสามารถของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ในซอฟต์แวร์จะใช้ข้อมูลวงโคจรและค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงในการปรับลดค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและนาฬิกาดาวเทียม สำหรับผู้ใช้ที่มีข้อมูลแบบความถี่เดียว จะใช้แบบจำลองค่าสังเกตของรหัสและเฟสที่ปราศจากผลของไอโอโนสเฟียร์ในการลดการล่าช้าของคลื่นสัญญาณเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในกรณีที่มีข้อมูลแบบสองความถี่ จะใช้แบบจำลองค่าสังเกตของเฟสจากคลื่นทั้งสองความถี่ที่ปราศจากผลของไอโอโนสเฟียร์ ค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับ ค่าเลขปริศนา จะทำการประมาณค่าโดยใช้วิธี Extended Kalman Filtering ข้อมูลจีพีเอสที่ใช้ในการทดสอบได้ถูกตัดเป็นส่วนๆ โดยมีความยาวของข้อมูลตั้งแต่ 5 10 15 และ 30 นาที จากนั้นจึงทำการประมวลผลข้อมูลแต่ละส่วนด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้ค่าพิกัด ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้ข้อมูลเพียง 15 นาที สามารถให้ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่ 2.27 เมตร และ 0.95 เมตร สำหรับข้อมูลแบบความถี่เดียวและสองความถี่ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Project Title GPS Precise Point Positioning Software

Name of the Investigator Assistant Professor Dr. Chalermchon Satirapod

Month and Year October 2006

Abstract

This research aims to develop GPS Precise Point Positioning software. The GPS data collected from the geodetic GPS receiver were used to assess the level of performance of the developed software. The precise orbit and precise satellite clock corrections were introduced into the software to reduce the orbit and satellite clock errors. For single-frequency users, ionosphere-free code and phase observations were constructed to mitigate the ionospheric delay, while ionosphere-free phase combinations were used when the dual-frequency data are available. The remaining errors (i.e. receiver clock error, ambiguity term) are estimated using Extended Kalman Filtering technique. Tested GPS data were cut into 5-min, 10-min, 15-min and 30-min data segments. Each data segment was individually processed with the developed PPP software to produce final coordinates. With the use of only 15-min data spans, results show that horizontal positioning accuracies obtained from single-frequency and dual-frequency data are 2.27 m and 0.95 m, respectively.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อภาษาไทย	iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iv
รายการตารางประกอบ	vi
รายการรูปประกอบ	vii
1. บทนำ	1
2. แนวความคิดของการประดิษฐ์	2
3. วิธีการประดิษฐ์	8
4. หลักการทำงานและองค์ประกอบของซอฟต์แวร์	9
5. ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบซอฟต์แวร์	13
6. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล	15
7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	17
รายการอ้างอิง	18
ภาคผนวก ก	20
ภาคผนวก ข	26

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการประดิษฐ์	9
ตารางที่ 2 หน้าที่และชื่อไฟล์ต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์	11
ตารางที่ 3 ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลสองความถี่	16
ตารางที่ 4 ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลความถี่เดียว	16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่ 1 ขั้นตอนการคำนวณ Kalman filtering 6
รูปที่ 2 ขั้นตอนการคำนวณ Extended Kalman filtering 7
รูปที่ 3 ภาพรวมการทำงานของซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูง 10
รูปที่ 4 แสดงการตั้งเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมบนดาดฟ้าตึกวิทยานิเวศน์ 14
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 5 ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Garmin รุ่น 12XL และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ 15
ในการจัดเก็บข้อมูลสัญญาณดาวเทียม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. บทนำ

ในปัจจุบันงานรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System) ได้มีบทบาทอย่างมากในงานสำรวจและการทำแผนที่ ทั้งนี้เนื่องจากงานรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS มีข้อได้เปรียบในการทำงานเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรังวัดแบบดั้งเดิม (Traditional surveying techniques) หลายประการ ดังเช่น สามารถทำงานได้ทั้งกลางวันและกลางคืน มีความสะดวกรวดเร็วในการทำงานสนามและยังสามารถให้ค่าความถูกต้องได้หลายระดับตั้งแต่ระดับเซนติเมตรจนถึงหลายสิบเมตร (ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งวิธีการทำงานสนามที่ใช้) โดยปกติการทำงานด้วยจีพีเอส มีหลักการหาตำแหน่ง 2 แบบคือ การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (single point positioning or absolute positioning) และการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (differential positioning or relative positioning) โดยที่ความถูกต้องของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวมีข้อจำกัดจากความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ และความคลาดเคลื่อนของการหักเหในชั้นบรรยากาศ ด้วยเหตุผลนี้ผู้ใช้งานส่วนใหญ่จึงนิยมใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์เพื่อที่จะกำจัดและลดค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ โดยความถูกต้องของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสถานีฐานกับตำแหน่งที่รังวัดที่เรียกว่า ความยาวเส้นฐาน (Baseline length) โดยที่ถ้าความยาวของเส้นฐานมากจะมีผลให้ความถูกต้องที่ได้ลดลงซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีนี้

อย่างไรก็ดีในปัจจุบันได้มีหน่วยงาน International GPS Service (IGS) ซึ่งได้จัดเตรียมข้อมูลของวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง (precise satellite orbit) และค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง (precise satellite clock correction) ไว้บนอินเตอร์เน็ตโดยผู้ที่ต้องการใช้ข้อมูลดังกล่าวสามารถเข้าไปดาวน์โหลดข้อมูลได้อย่างเสรี ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำมาทำการคำนวณหาค่าตำแหน่งจุดเดี่ยวพบว่าได้ค่าความถูกต้องสูงขึ้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning หรือ PPP) จึงทำให้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์เป็นที่น่าสนใจอีกครั้ง อย่างไรก็ดีซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถประมวลผลวิธีการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูงได้ เนื่องจากขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลวิธีดังกล่าวมีความสลับซับซ้อน จึงทำให้คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงขึ้นเองเพื่อประโยชน์หลายประการ เช่น นำมาใช้ประกอบในการเรียนการสอนทั้งระดับปริญญาบัณฑิตและมหาบัณฑิต นำมาใช้เป็นซอฟต์แวร์พื้นฐานสำหรับงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีจีพีเอส อีกทั้งยัง

สามารถนำผลที่ได้ไปใช้สร้างจุดควบคุมสำหรับการปรับแก้ภาพดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงหรือทำข้อมูลแผนที่ที่มีประสิทธิภาพต่อไป

2. แนวความคิดของการประดิษฐ์

คณะผู้วิจัยมีแนวคิดของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูงโดยอาศัยทั้งข้อมูลซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่งซึ่งมีสมการทางคณิตศาสตร์แสดงในหน่วยระยะทางดังนี้ (Leick, 2004; Rizos, 1997; Teunissen and Kleusberg, 1998)

$$P(Li) = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion\,Li} + \varepsilon \qquad (1)$$

$$\Phi(Li) = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion\,Li} + \lambda i \cdot Ni + \varepsilon \qquad (2)$$

โดยที่

$P(Li)$ คือซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

$\Phi(Li)$ คือข้อมูลเฟสที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง Li (เมตร)

ρ คือระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)

c คือความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

dt คือความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

dT คือความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)

d_{orb} คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)

d_{trop} คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)

$d_{ion\,Li}$ คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง Li (เมตร)

λi คือความยาวคลื่นของคลื่นส่ง Li (เมตร)

Ni คือเลขปริศนา ของคลื่นส่ง Li (ลูกคลื่น)

ε คือความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวน (Noise) (เมตร)

แนวคิดของ PPP จะเกี่ยวข้องกับการลดความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่ปรากฏในสมการที่ (1) และ (2) ดังนี้

- เทอม dt และ d_{orb} โดยใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงและค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงจากหน่วยงาน IGS โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลแบบ Final product ซึ่ง

มีความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งดาวเทียมและค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมในระดับต่ำกว่า 5 **เซนติเมตรและ** 0.1 นาโนวินาทีตามลำดับ (IGS, 2006)

- **เทอม** d_{trop} โดยการใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ **ร่วมกับ** Mapping Function โดยมีสมการของเทอม d_{trop} ดังนี้

$$d_{trop} = d^{z}_{dry} \cdot m_{dry} + d^{z}_{wet} \cdot m_{wet} \tag{3}$$

โดยที่

d_{trop} **คือ**ความคลาดเคลื่อนที่เกิดในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

d^{z}_{dry} **คือ** dry zenith path delay

d^{z}_{wet} **คือ** wet zenith path delay

m_{dry} **คือ** mapping function **ของส่วนประกอบแห้ง**

m_{wet} **คือ** mapping function **ของส่วนประกอบชื้น**

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์แบบ Saastamoinen model **รายละเอียดศึกษาเพิ่มเติมได้จาก** Saastamoinen (1971) **ร่วมกับ** Niell Mapping Function **รายละเอียดศึกษาเพิ่มเติมได้จาก** Niell (1996)

- เทอม $d_{ion\,L3}$

ในกรณีที่ใช้ข้อมูลสองความถี่ใช้แบบจำลอง Ionosphere-free phase combination และ Ionosphere-free code combination โดยการสร้างสมการขึ้นจากการผสมผสานกันระหว่างข้อมูล L1 และ L2 ดังนี้ (Leick, 2004; Rizos, 1997; Teunissen and Kleusberg, 1998)

$$P(L3) = \frac{f_1^2 \cdot P(L1) - f_2^2 \cdot P(L2)}{f_1^2 - f_2^2} \tag{4}$$

$$\Phi(L3) = \frac{f_1^2 \cdot \Phi(L1) - f_2^2 \cdot \Phi(L2)}{f_1^2 - f_2^2} \tag{5}$$

โดยที่

$P(L3)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการผสมผสานกันระหว่างข้อมูลการวัดรหัสของคลื่นส่ง L1 และ L2 (Ionosphere-free code combination) (เมตร)

$\Phi(L3)$ คือ ข้อมูลเฟสที่ได้จากการผสมผสานกันระหว่างข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง L1 และ L2 (Ionosphere-free phase combination) (เมตร)

f_1, f_2 คือ ความถี่ของคลื่นส่ง L1 และ L2 ตามลำดับ (Hz)

ในกรณีที่ใช้ข้อมูลความถี่เดียวจะเลือกใช้แบบจำลอง จำลอง Ionosphere-free code and phase โดยแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นการสร้างสมการขึ้นใหม่ จากการใช้สมการพื้นฐานในการหาระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณด้วยซูโดเรนจ์ (สมการที่ 1) และการวัดเฟสของคลื่นส่ง (สมการที่ 2) มาบวกกันและหารด้วย 2 (Witchayangkoon, 2000) ซึ่งจะแสดงได้ดังสมการ

$$\in p(L1) = \frac{P(L1) + \Phi(L1)}{2} \qquad (6)$$

โดยที่

$\in p(L1)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จาก Ionosphere-free code and phase (เมตร)

$P(L1)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของรหัสของคลื่นส่ง L1 (เมตร)

$\Phi(L1)$ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง L1 (เมตร)

จากการใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนดังที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดทำให้ สามารถกำจัดเทอม dt , d_{orb} , d_{trop} และ $d_{ion/1,i}$ ออกจากสมการ (1) และ (2) เทอมที่เหลือได้แก่ ค่าเลขปริศนาของดาวเทียมแต่ละดวง และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ รวมทั้งค่าพิกัดเครื่องรับสัญญาณซึ่งแฝงอยู่ในเทอมของระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ เทอมต่างๆที่กล่าวมานี้จะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในสมการ ซึ่งจะต้องทำการประมาณค่าต่อไป การแก้สมการเพื่อหาค่าตัวแปรดังกล่าวจะใช้การประมาณค่าด้วยวิธี Extended Kalman Filtering แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนการคำนวณของวิธีดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้ (ผู้อ่านสามารถอ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก Strang and Borre, 1997 และ Wetch and Bishop, 2006)

Kalman filtering เป็นเทคนิคการประมาณค่าที่เหมาะสมในการประมาณค่าคลาดเคลื่อนน้อยสุด โดยการใช้ recursive algorithm กับข้อมูลการรังวัดที่สอดคล้องกับเวลาและเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น หลักการที่สำคัญของ Kalman filtering ได้แก่ Filtering คือการประมาณค่า state vector ณ ขณะเวลาปัจจุบันด้วยข้อมูลการรังวัด ณ ขณะเวลาก่อนหน้า และ Prediction คือการประมาณค่า state

vector ณ ขณะเวลาถัดไปด้วยข้อมูล ณ ขณะเวลาปัจจุบัน โดยที่ state vector คือ เวกเตอร์ที่มีสมาชิกเป็นตัวแปรไม่ทราบค่าที่เราต้องการแก้สมการเพื่อหาค่า และมีสมการเกี่ยวเนื่องกับเวลาดังนี้

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \tag{7}$$

สอดคล้องกับเวกเตอร์ค่าสังเกต (measurement vector) z ดังนี้

$$z_k = H_k x_k + v_k \tag{8}$$

โดยที่

w_k คือ system noises

v_k คือ measurement noises

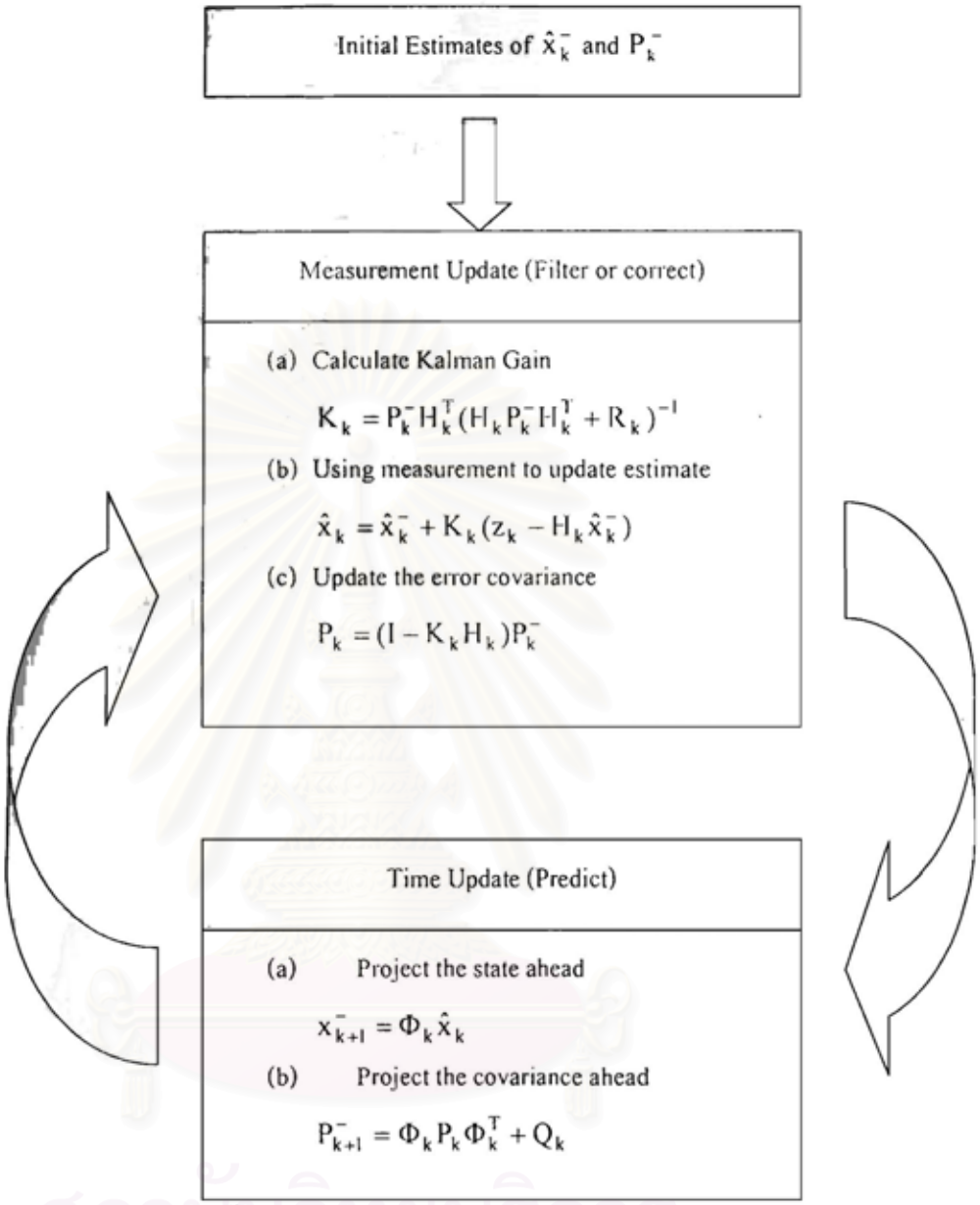
k คือ เวลา ณ ขณะนั้น

Φ คือ transition matrix

H คือ measurement connection matrix

เทอม H คือ อนุพันธ์ย่อย(partial derivative) ของสมการค่าสังเกตที่ทำนายไว้ (predicted measurements) เทียบกับตัวแปรซึ่งต้องคำนวณทุกๆ ขณะเวลา k ขั้นตอนการคำนวณด้วย Kalman filtering จะเกี่ยวข้องกับ Kalman Gain (K) , covariance update(P_k) และ prediction (P_{k+1}^-) ในขั้นตอน time update และ measurement update ดังแสดงในรูปที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 ขั้นตอนการคำนวณ Kalman filtering (Witchayangkoon, 2000)

ในกรณีที่เวกเตอร์ค่าสังเกตและ state vector ไม่ได้มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ทำให้เกิดวิธี Extended Kalman Filtering (EKF) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนแต่มีประสิทธิภาพในการจัดการกับระบบสมการที่ไม่ใช่เชิงเส้น โดย State vector (x) จะมีสมการเกี่ยวเนื่องกับเวลาดังนี้

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \tag{9}$$

สอดคล้องกับเวกเตอร์ค่าสังเกต z ดังนี้

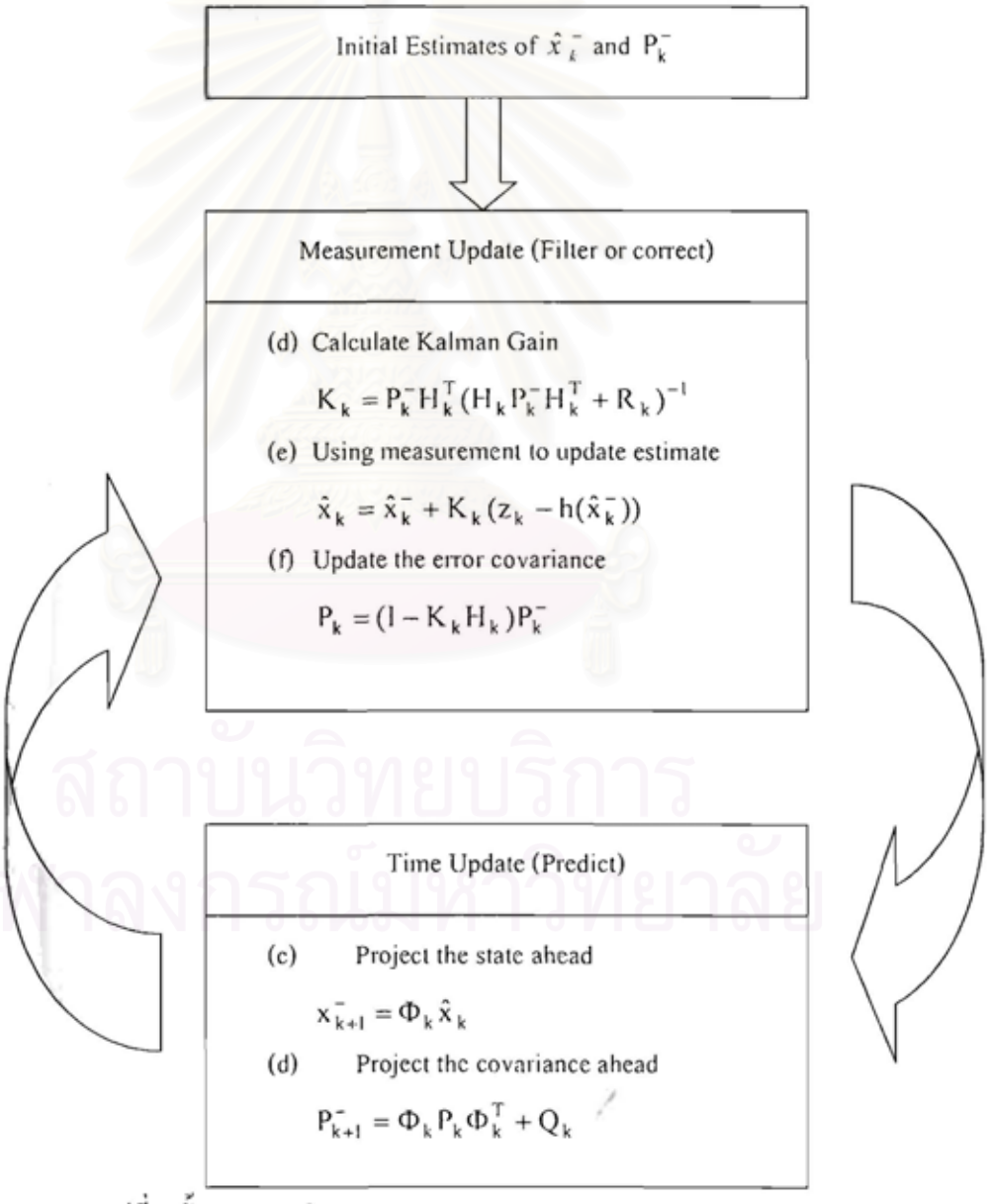
$$z_k = h(x_k) + v_k \tag{10}$$

ทำให้สมการ (9) และ (10) เป็นสมการเชิงเส้นดังนี้

$$x_{k+1} = \Phi_k \hat{x}_k + w_k \tag{11}$$

$$z_k = \tilde{z}_k + H(x_k - \tilde{x}_k) + v_k \tag{12}$$

เมื่อ H คือ อนุพันธ์ย่อยของเวกเตอร์ค่าสังเกต z เทียบกับเวกเตอร์ x ขั้นตอนการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการคำนวณ Extended Kalman filtering (Witchayangkoon, 2000)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากแนวคิดและเทคนิคการลดค่าคลาดเคลื่อนที่กล่าวมาในข้างต้นจะเห็นได้ว่าการพัฒนาซอฟต์แวร์จำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้หลายด้านดังเช่น เทคนิคการประมาณค่าด้วยวิธี Extended Kalman Filtering รูปแบบมาตรฐานข้อมูลจีพีเอส การคำนวณตำแหน่งดาวเทียม แบบจำลองค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ เป็นต้น ซึ่งองค์ความรู้พื้นฐานเหล่านี้บางส่วนก็มีอยู่ในหนังสือจีพีเอสทั่วไปหลายเล่ม เช่น Hofmann-Wellenhof et al (2001), Leick (2004), Rizos (1997), Teunissen & Kleusberg (1998) เป็นต้น และบางส่วนก็จะได้จากบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้การพัฒนาซอฟต์แวร์ดังกล่าวก็ยังเกี่ยวพันไปถึงการเรียนรู้รูปแบบคำสั่งและภาษาคอมพิวเตอร์ ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกที่จะใช้ภาษา Matlab ในการพัฒนาซอฟต์แวร์เนื่องจาก Matlab เป็นภาษาที่เรียนรู้ได้ง่ายจึงเอื้อต่อการใช้ซอฟต์แวร์ในการเรียนการสอนและการทำวิจัยต่อไปในอนาคต

3 วิธีการประดิษฐ์

ขั้นตอนและวิธีการประดิษฐ์มีดังนี้ (ดูตารางที่ 1 ประกอบ)

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คณะผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย ดร บุญทรัพย์ เป็นต้นแบบในการพัฒนา โดยต้องทำความเข้าใจกับวิธีการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานในการคำนวณที่อยู่ในหนังสือหลายเล่ม
2. ศึกษารูปแบบข้อมูลนำเข้าได้แก่ ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX และข้อมูลของแบบจำลองแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ จากเอกสารอ้างอิงที่มีอยู่ นอกจากนี้ยังเป็นการหาแนวทางการพัฒนาส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้สำหรับซอฟต์แวร์ที่กำลังจะพัฒนาขึ้น
3. ดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์
4. เก็บข้อมูลจากภาคสนามเพื่อนำมาทดสอบซอฟต์แวร์
5. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นกับซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่มีอยู่
6. จัดทำคู่มือการใช้งานซอฟต์แวร์
7. เขียนบทความวิชาการตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่สิ่งประดิษฐ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

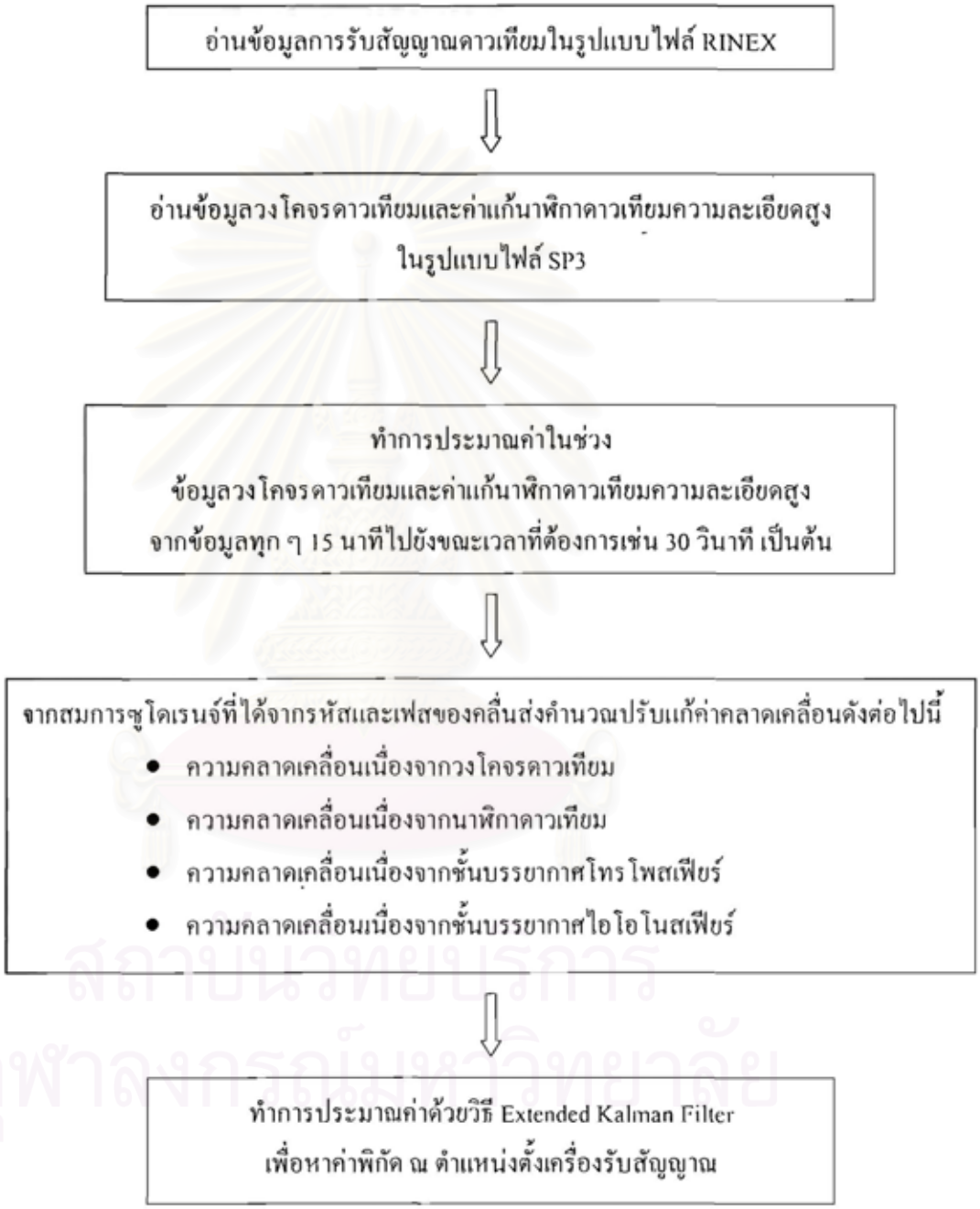
ตารางที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการประดิษฐ์

ลำดับ	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	เดือนที่											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
2	ศึกษารูปแบบข้อมูลนำเข้าที่ต้องใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์												
3	ดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์												
4	เก็บข้อมูลจากภาคสนามเพื่อนำมาทดสอบซอฟต์แวร์												
5	เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์												
6	จัดทำคู่มือการใช้งานซอฟต์แวร์												
7	เขียนบทความวิชาการตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่สิ่งประดิษฐ์												

4. หลักการทำงานและองค์ประกอบของซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูง มีขั้นตอนการทำงานโดยเริ่มจากการอ่านข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX (รายละเอียดของรูปแบบไฟล์ RINEX observation ได้ถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ข.) เพื่อนำข้อมูลซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและเฟสของคลื่นส่งในทุก ๆ ขณะเวลามาจัดเก็บเป็นรูปแบบที่ต้องการนำไปใช้งานต่อไป โดยจะมีการจำแนกข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ จากนั้นจะทำการอ่านข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูง เพื่อนำข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมและค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมมาจัดเก็บในรูปแบบที่ต้องการ หลังจากนั้นจะทำการประมาณค่าในช่วงข้อมูลดังกล่าวจากข้อมูลทุก ๆ 15 นาทีไปยังขณะเวลาที่ต้องการเช่น ทุก ๆ 30 วินาทีเป็นต้น ตามด้วยการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่จะต้องใช้ในการคำนวณในทุก ๆ ขณะเวลา 30 วินาที เช่น ความเร็วโดยประมาณของดาวเทียมแต่ละดวงในแต่ละขณะเวลา เป็นต้น จากนั้นทำการสร้างสมการค่าสังเกตจากข้อมูลซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและเฟสของคลื่นส่ง คำนวณปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ พร้อมทั้งทำการประมาณค่าด้วยวิธี Extended

Kalman Filtering เพื่อหาค่าตำแหน่งดาวเทียม ณ ตำแหน่งตั้งเครื่องรับสัญญาณ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าพิกัดในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก ภาพรวมการทำงานของโปรแกรมดูได้จากรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาพรวมการทำงานของซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูง

สำหรับซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB จะเป็น script-file ที่มีนามสกุล .m ประกอบไปด้วยไฟล์ที่พัฒนาขึ้นจากซอฟต์แวร์การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงเดิมที่

เขียนด้วยโปรแกรม Mathcad ของ Witchayangkoon (2000) และบางส่วนใช้ subroutine สำเร็จรูปจาก Constellation Toolbox โดยจากไฟล์ทั้งหมดสามารถแบ่งกลุ่มตามหน้าที่ในการทำงานได้ 5 กลุ่มและแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยไฟล์ดังแสดงในตารางที่ 2 สำหรับที่มาของไฟล์จะแทนด้วยสัญลักษณ์ซึ่งมีความหมายดังนี้

- (-) คือไฟล์ที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเอง
- (w) คือไฟล์ที่พัฒนามาจากซอฟต์แวร์การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Mathcad (Witchayangkoon, 2000)
- (c) คือไฟล์ของ Constellation Toolbox

ตารางที่ 2 หน้าที่และชื่อไฟล์ต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์

กลุ่มที่ / หน้าที่	ชื่อไฟล์	ที่มา
กลุ่มที่ 1 ทำหน้าที่อ่านข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX มาจัดเก็บในรูปแบบที่ต้องการ	Rd_rnx_o.m	(c)
	Rd_rnx_processor.m	(-)
	readRinex.m	(w)
	Refrinex	(c)
	RepNaN.m	(w)
	Rd_rnx_ow.m	(-)
กลุ่มที่ 2 ทำหน้าที่อ่านข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงมาจัดเก็บในรูปแบบที่ต้องการ	FormSP3.m	(w)
	IntpSP3clk.m	(w)
	ReadSP3.m	(w)
	SP3_processor.m	(w)
กลุ่มที่ 3 ทำหน้าที่ประมาณค่าในช่วงข้อมูลจากหน่วยงาน IGS จากข้อมูลทุก ๆ 15 นาทีไปยังขณะเวลาที่ต้องการเช่น เวลาทุก ๆ 30 วินาที เป็นต้น	Az.m	(w)
	Azimuth.m	(w)
	Constant_OMC.m	(w)
	Ecef2llh.m	(w)
	LG.m	(w)
	LG_CLK.m	(w)
	LG_interp.m	(w)
	LG_processor.m	(-)
	LG_SP3.m	(w)

ตารางที่ 2 หน้าที่และชื่อไฟล์ต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์ (ต่อ)

กลุ่มที่ / หน้าที่	ชื่อไฟล์	ที่มา
กลุ่มที่ 3 ทำหน้าที่ประมาณค่าในช่วงข้อมูลจากหน่วยงาน IGS จากข้อมูลทุก ๆ 15 นาที ไปยังขณะเวลาที่ต้องการเช่น เวลาทุก ๆ 30 วินาที เป็นต้น	LG_XYZ.m	(w)
	prodd.m	(w)
	SatPo.m	(w)
	SHZD.m	(w)
	SP3_interp.m	(w)
	SVCLK.m	(w)
	SVOFFSUN.m	(w)
	SWZD.m	(w)
	XCLK.m	(w)
	XYZ.m	(w)
กลุ่มที่ 4 ทำหน้าที่คำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ และทำการประมาณค่าด้วยวิธี Extended Kalman Filter เพื่อหาค่าพิกัดดาวเทียม	Clkphiall.m	(w)
	EKF.m	(w)
	EKF_processor.m	(-)
	H4DOPs.m	(w)
	MatrixHhZ.m	(w)
	NiellMF.m	(w)
	PhiPPhiT.m	(w)
	Tropo1.m	(-)
	typeobs.m	(-)
กลุ่มที่ 5 คือไฟล์ที่ไม่ถูกจัดอยู่ใน 4 กลุ่มก่อนหน้าโดยจะเป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่ทั่ว ๆ ไปรวมถึงไฟล์ที่มีการใช้ร่วมกันระหว่างกลุ่มเช่น SPPP_processor.m และ DPPP_processor.m เป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่สั่งงานโปรแกรมทั้งหมด หรือ Constant_global.m เป็นไฟล์ของค่าคงที่ที่ใช้ในซอฟต์แวร์ เป็นต้น	Constant_global.m	(w)
	Ecef2lla.m	(c)
	Err_chk.m	(c)
	Gps2utc.m	(c)
	Gps2sec.m	(c)
	SPPP_processor.m	(-)
	DPPP_processor.m	(-)
	Utc2gps.m	(c)
	Utc2leap.m	(c)

สำหรับรายละเอียดการทำงานในแต่ละไฟล์รวมถึงข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ในแต่ละไฟล์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในวิธีใช้ที่อยู่ภายในแต่ละไฟล์ โดยในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของไฟล์หลัก ๆ ที่ใช้ในการทำงานเท่านั้น

5. ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบซอฟต์แวร์

ในการทดสอบซอฟต์แวร์จะแบ่งการทดสอบเป็นสองกรณีตามข้อมูลที่ใช้คือ ข้อมูลจีพีเอสสองความถี่และข้อมูลจีพีเอสความถี่เดียว ในการทดสอบซอฟต์แวร์กับข้อมูลจีพีเอสทั้งสองกรณีจำเป็นต้องใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงชนิด Final products ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html และเนื่องจากข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงที่ได้จากทาง IGS มีเพียงข้อทุก ๆ 15 นาทีเท่านั้น ในขณะที่ข้อมูลในงานวิจัยเป็นข้อมูลการรับสัญญาณที่ทุกๆ 30 วินาที ดังนั้นจึงจำเป็นที่เราจะต้องเลือกวิธีการประมาณค่าในช่วงจากข้อมูลทุกๆ 15 นาทีไปยังข้อมูลทุกๆ 30 วินาที วิธีการประมาณค่าที่นำมาใช้ควรมีความถูกต้องดีกว่า 5 เซนติเมตร เพื่อรักษาระดับความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมเดิม ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมาณค่ามีหลายวิธีและให้ค่าความถูกต้องของผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ วิธีการประมาณค่าในช่วงด้วยสมการโพลิโนเมียลของ Lagrange ด้วยการใช้จำนวนดีกรีที่เหมาะสมพบว่าผลลัพธ์ของวงโคจรดาวเทียมที่ได้ให้ความละเอียดถูกต้องดีกว่า 5 เซนติเมตร รายละเอียดเพิ่มเติมศึกษาได้จาก ภัคพงศ์ หอมเนียม และ เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ (2546) สำหรับรายละเอียดของข้อมูลจีพีเอสทั้งสองกรณีมีดังนี้

5.1 ข้อมูลจีพีเอสสองความถี่

ในการทดสอบกับข้อมูลแบบสองความถี่ จะใช้ไฟล์ DPPP_processor.m สำหรับการประมวลผลข้อมูล โดยข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น SR530 ที่บริเวณดาดฟ้าตึกวิทยานิเวศน์ ซึ่งตั้งอยู่ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างวันที่ 25 ถึงวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2545 ดังแสดงในรูปที่ 4 ในแต่ละวันจะเป็นข้อมูลการรับสัญญาณตั้งแต่เวลา 00:00:00 – 24:00:00 ในระบบเวลา UTC โดยกำหนดอัตราการบันทึกข้อมูลเป็น 30 วินาที

รูปที่ 4 แสดงการตั้งเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมบนดาดฟ้าตึกวิทยานิเวศน์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

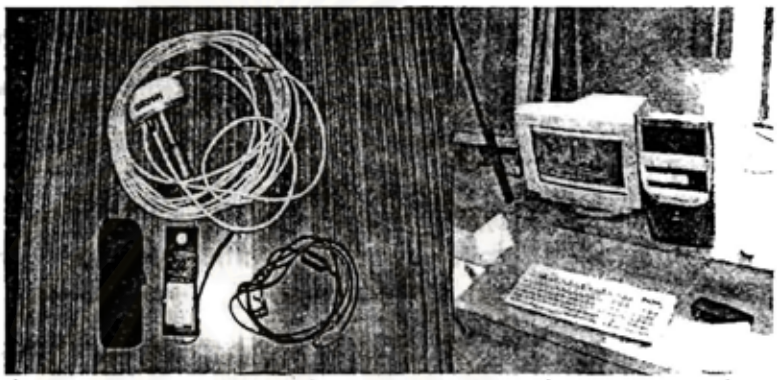
การเปรียบเทียบการประมวลผลข้อมูลจะทำที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมต่างๆ ดังเช่น 5 นาที , 10 นาที, 15 นาที และ 30 นาที ดังนั้นข้อมูลการรับสัญญาณ จะถูกตัดแบ่งย่อยตามช่วงเวลาที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น การประมวลผลข้อมูลช่วงเวลา 5 นาที คณะผู้วิจัยจะทำการตัดข้อมูลการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมงออกเป็นชุด ๆ ละ 5 นาทีได้จำนวน 288 ชุดข้อมูล

5.2 ข้อมูลจีพีเอสความถี่เดียว

ในการทดสอบกับข้อมูลแบบความถี่เดียว จะใช้ไฟล์ SPPP_processor.m สำหรับการประมวลผลข้อมูล โดยข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการวิจัยได้ทำการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิตที่สถานีรับสัญญาณดาวเทียม CU03 บนดาดฟ้าตึกศัลวิธานนิเทศ ในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 7 ตุลาคม 2547 ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบมือถือยี่ห้อ GARMIN รุ่น 12XL ร่วมกับเสาอากาศแบบภายนอก ข้อมูลการรับสัญญาณด้วยเครื่องรับสัญญาณจะถูกตัดแบ่งเป็นชุดข้อมูลตามช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียม ที่เวลา 5 นาที 10 นาที 15 นาที และ 30 นาที จากนั้นจึงทำการประมวลผลข้อมูลแต่ละชุดอย่างเป็นอิสระด้วยซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูงที่อาศัยข้อมูลความถี่เดียวที่พัฒนาขึ้น โดยกำหนดการในแต่ละวันจะรับสัญญาณตั้งแต่เวลา 00:00:00 – 24:00:00 UTC โดยกำหนดอัตราการบันทึกเป็นทุก 30 วินาที

เนื่องจากเครื่อง Garmin 12XL ไม่มีอุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูลในตัวเอง การรับสัญญาณด้วยเครื่อง Garmin 12XL จำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ร่วมกับซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยในการบันทึกข้อมูล (ดู

รูปที่ 5 ประกอบ) อีกทั้งในการเก็บข้อมูลของ Garmin 12 XL จะไม่สามารถกำหนดอัตราการบันทึกข้อมูลได้ เนื่องจากเครื่องมือจะทำการรับข้อมูลทุกๆ วินาที จึงต้องมาทำการเลือกข้อมูลเป็นทุก 30 วินาทีในภายหลัง เนื่องจากมีปัญหาเรื่องแบตเตอร์รี่ในระหว่างการทดลองทำให้สามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 22 ชั่วโมง ข้อมูลทั้ง 22 ชั่วโมงถูกนำมาตัดเป็นชุดๆ ชุดละ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที และ 30 นาที



รูปที่ 5 ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Garmin รุ่น 12XL และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลสัญญาณดาวเทียม

6. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล

6.1 การหาค่าพิกัดอ้างอิง

ค่าพิกัดอ้างอิงของของสถานีที่เก็บข้อมูลทุกสถานี จะหาได้จากการส่งข้อมูลการรังวัดด้วยเครื่องรับแบบสองความถี่ตลอด 24 ชั่วโมงไปประมวลผลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตจากบริการของทาง AUSPOS เนื่องจากค่าความถูกต้องที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมแบบสถิตตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า 10 มิลลิเมตรในทางราบ และ 10-20 มิลลิเมตรในทางดิ่ง (Dawson et al, 2001 และ เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ 2546) ค่าพิกัดของสถานีที่เก็บข้อมูลทุกสถานีที่ได้จากบริการ AUSPOS จะถูกใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลต่อไป

6.2 การเปรียบเทียบผล

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นค่าพิกัดที่อยู่บนพื้นหลักฐาน ITRF2000 เช่นเดียวกันกับค่าพิกัดอ้างอิง อย่างไรก็ดีเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าพิกัดทั้งหมดจะถูกแปลงค่าเป็นระบบพิกัดฉาก UTM ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำมาหาค่าต่างกับค่าพิกัดอ้างอิงเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้ โดยแสดงค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ในทางราบ (Horizontal Error) และทางด้านความสูงหรือ

ในที่นี้จะเรียกว่าค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง (Vertical Error) ซึ่งแทนด้วย dH และ dV ตามลำดับ โดยค่าคลาดเคลื่อนทางราบสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$dH = \sqrt{dE^2 + dN^2} \qquad (7)$$

โดยที่

dE คือค่าคลาดเคลื่อนทางระยะตะวันออก (เมตร)

dN คือค่าคลาดเคลื่อนทางระยะเหนือ (เมตร)

จากการประมวลผลข้อมูลอย่างอิสระที่ละชุด ผลที่ได้ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงและค่าทางสถิติต่างๆที่ได้จากการทดสอบทั้งสองกรณีสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลสองความถี่

เครื่องรับสัญญาณ	ความยาวข้อมูลที่ใช้	ความถูกต้องของตำแหน่งทางราบ (เมตร)
Leica รุ่น SR530	5 นาที	1.11
	10 นาที	1.03
	15 นาที	0.95
	30 นาที	0.80

ตารางที่ 4 ค่าความถูกต้องของตำแหน่งทางราบที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลความถี่เดียว

เครื่องรับสัญญาณ	ความยาวข้อมูลที่ใช้	ความถูกต้องของตำแหน่งทางราบ (เมตร)
Garmin รุ่น 12XL ร่วมกับเสาอากาศแบบภายนอก	5 นาที	2.41
	10 นาที	2.28
	15 นาที	2.27
	30 นาที	2.29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการนำเข้าข้อมูล วิธีการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง รวมไปจนถึงการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงซึ่งมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งสูงระดับเซนติเมตร ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ค่าความถูกต้องที่ดีกว่า 1 เมตร เมื่อใช้ข้อมูลแบบสองความถี่และใช้ข้อมูลยาว 15 นาที และให้ค่าความถูกต้องที่ดีกว่า 2.5 เมตร เมื่อใช้ข้อมูลแบบความถี่เดียวและใช้ข้อมูลเพียง 5 นาที

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้จะถูกนำไปใช้เป็นประกอบการเรียนการสอนของวิชาเรียนในหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นพื้นฐานของงานวิจัยทั้งในระดับมหาบัณฑิตและดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจต่อไป ผู้อ่านสามารถอ่านรายละเอียดของวิธีการใช้งานซอฟต์แวร์ได้ในภาคผนวก ก.

ผลงานที่เกิดจากการใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาเป็นพื้นฐานในการทำวิจัยในรูปบทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ 2 บทความ บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในที่ประชุมระดับนานาชาติ 1 บทความและบทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในที่ประชุมระดับชาติอีก 1 บทความ ดังนี้

Satirapod C. and Homniam P. (2006) GPS Precise Point Positioning Software for Ground Control Point Establishment in Remote Sensing Applications, *Journal of Surveying Engineering (ASCE)*, 132(1), 11-14.

Satirapod C. and Kriengkraiwasin S. (2006) Performance of Open Source Precise Point Positioning Software Using Single-frequency GPS Data, *Journal of Planetary Geodesy Artificial Satellites (In press)*.

สมชาย เกรียงไกรศิน และ เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ พ.ศ. 2548, การประเมินความถูกต้องของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูงโดยใช้ข้อมูลจีพีเอสความถี่เดียว การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ 14-16 ธันวาคม.

Satirapod C. and Kriengkraiwasin S. (2006) Performance of Single-frequency GPS Precise Point Positioning, Proceedings of MapAsia2006 conference, Bangkok, Thailand, 29 August-1 September, Paper 19.

แม้ว่าผู้วิจัยจะสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ให้ประมวลผลข้อมูลจีพีเอสได้ แต่ซอฟต์แวร์ดังกล่าวก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานบางประการ ดังนี้

- ในกรณีของการประมวลผลข้อมูลแบบความถี่เดียว จะไม่สามารถจะประมวลผลข้อมูลที่มีคลื่นหลุดได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางทฤษฎี การปรับแก้คลื่นหลุดในข้อมูลความถี่เดียวยังเป็นงานวิจัยที่ยังต้องทำต่อไปในอนาคต
- ข้อมูลดาวเทียมที่นำมาใช้ในการประมวลผล จะต้องเป็นข้อมูลที่ต่อเนื่องกันตลอดช่วงเวลา เช่น ช่วงเวลา 15 นาที หากดาวเทียมดวงใดมีข้อมูลไม่ครบทั้งช่วงเวลา 15 นาที ดาวเทียมดวงนั้นจะถูกตัดทิ้งออกจากการคำนวณ ฉะนั้นผู้ใช้ที่ต้องการประมวลผลกับข้อมูลที่มีช่วงการรับสัญญาณนานกว่า 30 นาที อาจจะพบกับปัญหาที่มีจำนวนดาวเทียมน้อยกว่า 4 ดวง

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับงานที่จะทำต่อไปในอนาคตคือ หาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและซ่อมแซมคลื่นหลุดในข้อมูลจีพีเอสแบบความถี่เดียวสำหรับการประมวลผลจุดเดี่ยว เพื่อให้ซอฟต์แวร์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

Dawson, J., Govind, R. and Manning, J. (2001) "The AUSLIG Online GPS Processing System (AUSPOS)" Available from: http://www.ga.gov.au/geodesy/sgc/wwwgps/ [2006, July 26].

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtengger, H. and Collins, J. (2001). "GPS Theory and Practice. (5th edition)" Springer-Verlag, New York, 389.

IGS (2006) IGS product web page Available from: http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html [2006, August 9]

Leick, A. (2004). "GPS Satellite Surveying. (2nd edition)" John Wiley & Sons, Inc., New York, 435.

Niell, A. E. (1996). "Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay at Radio Wavelengths." Journal of Geophysical Research, 101(B2), 3227-3246.

Rizos, C. (1997). "Principles and practice of GPS surveying." School of Surveying and Spatial Information Systems (formerly School of Geomatic Engineering), The University of New South Wales, Sydney, Australia, 555.

Saasamoinen, J. (1971). "Atmospheric Correction for the Troposphere and Stratosphere in Radio Ranging of Satellite." Int. Symp. on the Use of Artificial Satellite, Henriksen (ed.), 3rd Washington, 247-251.

Strang, G. and Borre, K. (1997) "Linear Algebra, Geodesy and GPS." USA: Wellesley-Cambridge Press.

Teunissen, P.J.G. and Kleusberg, A. (1998). "GPS for Geodesy." Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 650.

Welch, G. and Bishop G. (2006) "An Introduction to Kalman Filter [Online]." Department of Comaputer Science, University of North Carolina at Chapel Hill. Available from: http://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf [2006, August 9].

Witchayangkoon, B. (2000). "Elements of GPS Precise Point Positioning." Doctoral dissertation, Department of Spatial Information Science and Engineering, Graduate School, University of Maine, 265.

เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ พ.ศ. 2546, การเปรียบเทียบการให้บริการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ 18-20 พฤศจิกายน.

ภัคพงศ์ หอมเนียม และ เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ พ.ศ. 2546, การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าในช่วงของตำแหน่งดาวเทียมจีพีเอส การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ กรุงเทพฯ 18-20 พฤศจิกายน.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การใช้งานซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูง

การใช้งานซอฟต์แวร์ทำได้โดยการติดตั้งโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 6.5 ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการเปิดโปรแกรมจะพบกับหน้าต่างคำสั่ง เนื่องจากโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมในลักษณะ interactive mode ดังนั้นสามารถพิมพ์คำสั่งสำหรับการประมวลผลได้โดยตรงหลังจากการ copy directory และ file ที่อยู่ใน CD ทั้งหมดลงใน drive C: ของคอมพิวเตอร์ จากนั้นให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรม MATLAB

จากนั้น ก็จะเกิดหน้าต่างของโปรแกรม MATLAB ชื่อว่า MATLAB Command Window ขึ้นดังภาพ

2. ทำการอ้างอิงตำแหน่งที่อยู่ของโปรแกรม

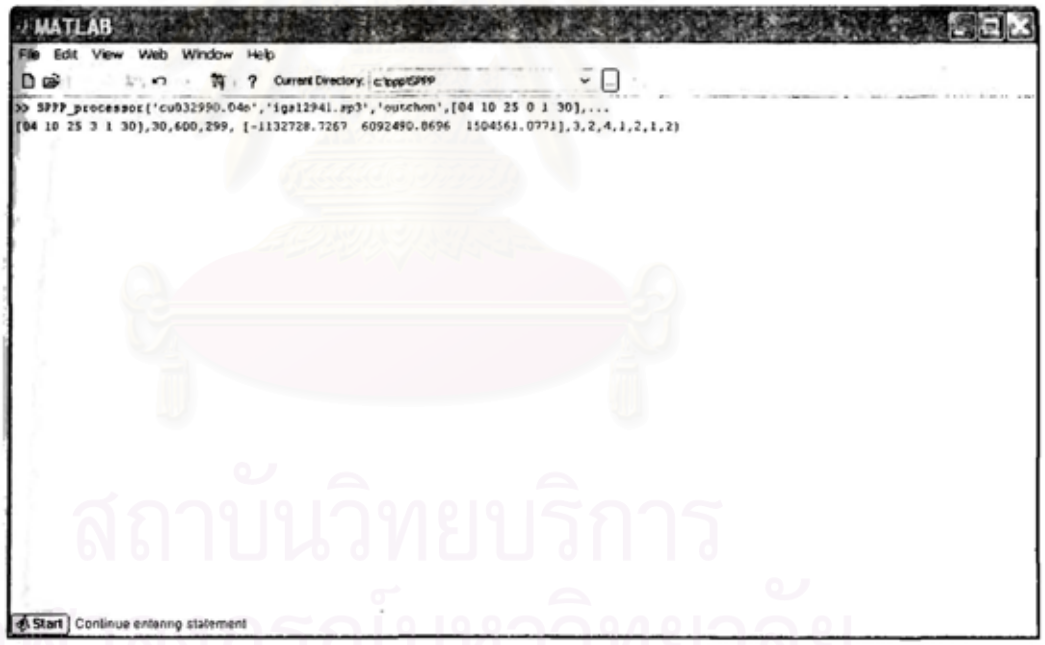
โดยการเลือกที่ File >> Set Path จากนั้นก็จะเกิดหน้าต่างของ Path Browser ขึ้น จากนั้นให้ทำการเลือกตำแหน่งของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ โดยการเลือกที่ Add folder ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณอยู่ที่ 'C:\PPP' เมื่อทำการเพิ่มเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ให้ save และทำการปิดหน้าต่าง Path Browser

3. ทำการประมวลผลข้อมูล

ให้ทำการเตรียมข้อมูล RINEX observation file และ precise orbit file ที่ต้องการจะประมวลผลไว้ภายใต้ C:\PPP

ในกรณีที่ต้องการจะประมวลผลข้อมูลเครื่องรับแบบความถี่เดียวให้ย้าย directory มาที่ cd C:\PPP\SPPP จากนั้นให้พิมพ์คำสั่งและข้อมูลนำเข้าดังตัวอย่างในภาพด้านล่าง โดยที่เครื่องหมาย ... ในภาพหมายถึงการขึ้นบรรทัดใหม่ในการพิมพ์คำสั่งเท่านั้นเพื่อให้สามารถเห็นคำสั่งทั้งหมดในหน้าเดียว ซึ่งโดยปกติแล้วเราสามารถพิมพ์คำสั่งเป็นบรรทัดเดียวต่อเนื่องกันไปโดยไม่ต้องขึ้นบรรทัดใหม่ ซึ่งคำสั่งที่ใช้มีรูปแบบดังนี้

SPPP_processor(rinex_file, sp3_file, save_file, sep,lep, obs_rate, session_time, doy, x, trop, type, minsat, type_f, igsdata, Lo_C1, Lo_L1)



ในกรณีที่ต้องการจะประมวลผลข้อมูลเครื่องรับแบบความถี่สองความถี่ให้ย้าย directory มาที่ cd C:\PPP\DPPP จากนั้นให้พิมพ์คำสั่งและข้อมูลนำเข้าดังตัวอย่างในภาพด้านล่าง ซึ่งคำสั่งที่ใช้มีรูปแบบดังนี้

DPPP_processor(rinex_file,sp3_file,save_file,scp,lep,obs_rate,session_time,doy,x,trop,type,mins at,CSD)

โดยที่ข้อมูลนำเข้ามีรายละเอียดแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางแสดงรายละเอียดและตัวอย่างของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการประมวลผล

ชื่อข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด
rinex_file	คือชื่อไฟล์ของข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX
sp3_file	คือชื่อไฟล์ของข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมความละเอียดสูงในรูปแบบไฟล์ SP3
Save_file	คือชื่อไฟล์ที่ใช้ในการเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโดยผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในชื่อ Save_file.txt
Sep	คือเวลาเริ่มต้นสำหรับการประมวลผล เป็นเมตริกซ์ขนาด 1x6 มีรูปแบบดังนี้ [ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที วินาที]
lep	คือเวลาสิ้นสุดสำหรับการประมวลผล เป็นเมตริกซ์ขนาด 1x6 มีรูปแบบดังนี้ [ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที วินาที]
obs_rate	คือเลือกอัตราการบันทึกข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ในการประมวลผล เช่น

ชื่อข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด
	ต้องการข้อมูลทุก ๆ 30 วินาทีหรือข้อมูลทุก ๆ 60 วินาที เป็นต้น
session_time	คือช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลเช่น 5 นาที 10 นาที หรือ 15 นาทีเป็นต้น โดยการให้ค่ามีหน่วยเป็นวินาที เช่นต้องการประมวลผลข้อมูลตลอด 60 นาทีแปลงเป็นวินาทีเท่ากับ 3600 วินาที
doy	คือลำดับที่ในหนึ่งปีของวันที่ใช้ในการประมวลผล เช่นวันที่ 1 มกราคมจะมีค่าเท่ากับ 1 และวันที่ 1 กุมภาพันธ์ จะมีค่าเท่ากับ 32 เป็นต้น
x	คือค่าพิกัดของตำแหน่งเครื่องรับโดยประมาณในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก มีหน่วยเป็นเมตร เป็นเมตริกซ์ขนาด 1x3 มีรูปแบบดังนี้ [ทิศทางในแกนX, ทิศทางในแกนY, ทิศทางในแกนZ]
trop	คือการเลือกวิธีคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ มี 3 กรณีดังนี้ trop = 1 เป็นการกำหนดให้เทอม d_{trop} เป็นตัวแปรไม่ทราบค่าอีกหนึ่งตัวที่ต้องทำการประมาณค่าด้วยวิธี EKF trop = 2 เป็นการคำนวณค่า d_{trop} จากแบบจำลอง Saastamoinen เท่านั้น เพื่อใช้เป็นค่าปรับแก้ในสมการซูโดเรนจ์ trop = 3 เป็นการคำนวณค่า d_{trop} จากแบบจำลอง Saastamoinen และ Niell Maping Function เพื่อใช้เป็นค่าปรับแก้ในสมการซูโดเรนจ์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้กรณี trop = 3
type	คือการกำหนดค่า transition matrix (Φ) มี 2 กรณีดังนี้คือ Type = 1 กำหนดค่าให้กับ transition matrix (Φ) Type = 2 กำหนดให้ transition matrix เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ type = 2
Minsat	คือจำนวนดาวเทียมน้อยสุดที่ยอมให้ในแต่ละชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล ในงานวิจัยนี้เลือกใช้จำนวนดาวเทียมน้อยที่สุดที่ยอมให้คือ 4 ดวง
CSD	คือการทำ Cycle Slip Detection and Fixing มี 2 กรณีดังนี้ CSD = 0 ไม่มีการทำ Cycle Slip Detection and Fixing; CSD = 1 มีการทำ Cycle Slip Detection and Fixing ในงานวิจัยนี้ใช้ CSD = 0
type_f	เนื่องจากในการวิจัยมีการเลือกใช้ข้อมูลจากเครื่องมือแบบ 2 ความถี่ กับ

ชื่อข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด
	เครื่องแบบความถี่เดียว จึงต้องมีการแยกประเภทข้อมูลว่าได้มาจากเครื่องจีพีเอสแบบไหน โดย type_f =1 จะเป็นข้อมูลจากเครื่องความถี่เดียว และข้อมูลที่ดาวน์โหลดมาจากอินเตอร์เน็ต ถ้า type_f = 2 0 จะเป็นข้อมูลที่ได้มาจากเครื่อง 2 ความถี่เท่านั้น ในงานวิจัยนี้จะใช้ Leica RS530 และจากตัวอย่างจะเป็นข้อมูลที่ดาวน์โหลดมาจากสถานีฐานที่เลือกไว้ ไม่ใช่ข้อมูลที่มาจากเครื่อง 2 ความถี่ ดังนั้นจึงใช้ type_f = 1
Igsdata	เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย มาจากข้อมูลหลายแหล่ง ทำให้รูปแบบของ Rinex File แตกต่างกันในรายละเอียดของข้อมูล จึงต้องมีการกำหนดชนิดของข้อมูล โดย igsdata = 1 เป็นข้อมูลที่มาจากการดาวน์โหลดข้อมูลจากสถานีฐาน ของ igs Igs = 2 จะเป็นข้อมูลจากแหล่งอื่น ในตัวอย่างจะใช้ igs= 1
Lo_C1	เนื่องจากข้อมูล Rinex File ที่ได้ของแต่ละแหล่งข้อมูล จะมีการเรียงตำแหน่งของข้อมูลที่แตกต่างกันจึงต้องมีการกำหนดตำแหน่ง เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ในการคำนวณ โดย Lo_C1 จะเป็นตำแหน่งของข้อมูล รหัส ว่าอยู่ตำแหน่งที่เท่าไหร่
Lo_L1	จะเป็นตำแหน่งของข้อมูล เฟส ว่าอยู่ตำแหน่งที่เท่าไหร่

สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์จะถูกบันทึกลงบนไฟล์มีนามสกุล .txt ดังแสดงในภาพด้านล่าง โดยมีรายละเอียดของผลลัพธ์ดังนี้

- no. คือหมายเลขชุดข้อมูล
- Start time คือเวลาเริ่มต้นของชุดข้อมูลมีรูปแบบดังนี้คือ ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที และวินาที
- Last time คือเวลาสิ้นสุดของชุดข้อมูลมีรูปแบบดังนี้คือ ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที และวินาที
- NumSV คือจำนวนดาวเทียมที่ใช้ตลอดชุดข้อมูล
- X-m คือพิกัดของตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณตามแกน X ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก มีหน่วยเป็น เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Y-m คือพิกัดของตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณตามแกน Y ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก มีหน่วยเป็น เมตร
- Z-m คือพิกัดของตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณตามแกน Z ในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก มีหน่วยเป็น เมตร

แสดงตัวอย่างไฟล์ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์

C:\PPP\outchon_DPPP.txt

File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help

	Start time	Last time	NumSV	X-m	Y-m	Z-m
2	2004 10 25 0 1 30	2004 10 25 0 11 0	8	-1132730.427	6092496.984	1504564.240
3	2004 10 25 0 11 30	2004 10 25 0 21 0	7	-1132728.743	6092491.294	1504563.024
4	2004 10 25 0 21 30	2004 10 25 0 31 0	7	-1132729.446	6092492.464	1504563.313
5	2004 10 25 0 31 30	2004 10 25 0 41 0	7	-1132729.140	6092490.978	1504563.314
6	2004 10 25 0 41 30	2004 10 25 0 51 0	8	-1132729.061	6092490.774	1504563.280
7	2004 10 25 0 51 30	2004 10 25 1 1 0	8	-1132728.907	6092490.405	1504563.244
8	2004 10 25 1 1 30	2004 10 25 1 11 0	8	-1132729.067	6092490.804	1504563.254
9	2004 10 25 1 11 30	2004 10 25 1 21 0	8	-1132729.266	6092491.095	1504563.232
10	2004 10 25 1 21 30	2004 10 25 1 31 0	8	-1132729.123	6092490.197	1504563.028
11	2004 10 25 1 31 30	2004 10 25 1 41 0	6	-1132729.076	6092489.885	1504562.746
12	2004 10 25 1 41 30	2004 10 25 1 51 0	6	-1132728.651	6092489.776	1504562.870
13	2004 10 25 1 51 30	2004 10 25 2 1 0	5	-1132728.397	6092490.821	1504562.816
14	2004 10 25 2 1 30	2004 10 25 2 11 0	5	-1132728.162	6092489.749	1504562.296
15	2004 10 25 2 11 30	2004 10 25 2 21 0	5	-1132728.398	6092489.117	1504562.376
16	2004 10 25 2 21 30	2004 10 25 2 31 0	5	-1132727.401	6092488.061	1504562.017

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รูปแบบข้อมูลไฟล์ RINEX Observation

RINEX VERSION 2.10 FORMAT DEFINITIONS AND EXAMPLES

GPS OBSERVATION DATA FILE - HEADER SECTION DESCRIPTION

	HEADER LABEL (Columns 61-80)	DESCRIPTION	FORMAT
	RINEX VERSION / TYPE	- Format version (2.10) - File type ('O' for Observation Data) - Satellite System: blank or 'G': GPS 'R': GLONASS 'S': Geostationary signal payload 'T': NNSS Transit 'M': Mixed	F9.2,11X, A1,19X, A1,19X
	PGM / RUN BY / DATE	- Name of program creating current file - Name of agency creating current file - Date of file creation	A20, A20, A20
*	COMMENT	Comment line(s)	A60
	MARKER NAME	Name of antenna marker	A60
*	MARKER NUMBER	Number of antenna marker	A20
	OBSERVER / AGENCY	Name of observer / agency	A20,A40
	REC # / TYPE / VERS	Receiver number, type, and version (Version: e.g. Internal Software Version)	3A20
	ANT # / TYPE	Antenna number and type	2A20
	APPROX POSITION XYZ	Approximate marker position (WGS84)	3F14.4
	ANTENNA: DELTA H/E/N	- Antenna height: Height of bottom surface of antenna above marker - Eccentricities of antenna center relative to marker to the east and north (all units in meters)	3F14.4
	WAVELENGTH FACT L1/2	- Default wavelength factors for L1 and L2 1: Full cycle ambiguities 2: Half cycle ambiguities (squaring) 0 (in L2): Single frequency instrument - zero or blank The default wavelength factor line is required and must preceed satellite-specific lines.	2I6, I6
*	WAVELENGTH FACT L1/2	- Wavelength factors for L1 and L2 1: Full cycle ambiguities 2: Half cycle ambiguities (squaring) 0 (in L2): Single frequency instrument - Number of satellites to follow in list for which these factors are valid. - List of PRNs (satellite numbers with system identifier) These opional satellite specific lines may follow, if they identify a state different from the default values. Repeat record if necessary.	2I6, I6, 7(3X,A1,I2)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# / TYPES OF OBSERV	- Number of different observation types stored in the file - Observation types If more than 9 observation types: Use continuation line(s) The following observation types are defined in RINEX Version 2.10: L1, L2: Phase measurements on L1 and L2 C1 : Pseudorange using C/A-Code on L1 P1, P2: Pseudorange using P-Code on L1,L2 D1, D2: Doppler frequency on L1 and L2 T1, T2: Transit Integrated Doppler on 150 (T1) and 400 MHz (T2) S1, S2: Raw signal strengths or SNR values as given by the receiver for the L1,L2 phase observations Observations collected under Antispoofing are converted to "L2" or "P2" and flagged with bit 2 of loss of lock indicator (see Table A2). Units : Phase : full cycles Pseudorange : meters Doppler : Hz Transit : cycles SNR etc : receiver-dependent The sequence of the types in this record has to correspond to the sequence of the observations in the observation records	I6, 9(4X,A2) 6X,9(4X,A2)	
* INTERVAL	Observation interval in seconds	F10.3	*
TIME OF FIRST OBS	- Time of first observation record (4-digit-year, month,day,hour,min,sec) - Time system: GPS (=GPS time system) GLO (=UTC time system) Compulsory in mixed GPS/GLONASS files Defaults: GPS for pure GPS files GLO for pure GLONASS files	5I6,F13.7, 5X,A3	
* TIME OF LAST OBS	- Time of last observation record (4-digit-year, month,day,hour,min,sec) - Time system: Same value as in TIME OF FIRST OBS record	5I6,F13.7, 5X,A3	*
* RCV CLOCK OFFS APPL	Epoch, code, and phase are corrected by applying the realtime-derived receiver clock offset: 1=yes, 0=no; default: 0=no Record required if clock offsets are reported in the EPOCH/SAT records	I6	*
* LEAP SECONDS	Number of leap seconds since 6-Jan-1980 Recommended for mixed GPS/GLONASS files	I6	*
* # OF SATELLITES	Number of satellites, for which observations are stored in the file	I6	*
* PRN / # OF OBS	PRN (sat.number), number of observations for each observation type indicated in the "# / TYPES OF OBSERV" - record. If more than 9 observation types: Use continuation line(s) This record is (these records are) repeated for each satellite present in the data file	3X,A1,I2,9I6 6X,9I6	*
END OF HEADER	Last record in the header section.	60X	

GPS OBSERVATION DATA FILE - DATA RECORD DESCRIPTION		
OBS. RECORD	DESCRIPTION	FORMAT
EPOCH/SAT or EVENT FLAG	- Epoch : - year (2 digits, padded with 0 if necessary) - month,day,hour,min, - sec	1X,I2.2, 4(1X,I2), F11.7,
	- Epoch flag 0: OK 1: power failure between previous and current epoch >1: Event flag	2X,I1,
	- Number of satellites in current epoch - List of PRNs (sat.numbers with system identifier, see 5.1) in current epoch - receiver clock offset (seconds, optional)	I3, 12(A1,I2), F12.9
	If more than 12 satellites: Use continuation line(s)	32X, 12(A1,I2)
	If epoch flag 2-5:	
	- Event flag: 2: start moving antenna 3: new site occupation (end of kinem. data) (at least MARKER NAME record follows) 4: header information follows 5: external event (epoch is significant, same time frame as observation time tags)	[2X,I1,]
	- "Number of satellites" contains number of special records to follow. Maximum number of records: 999	[I3]
	- For events without significant epoch the epoch fields can be left blank	
	If epoch flag = 6: 6: cycle slip records follow to optionally report detected and repaired cycle slips (same format as OBSERVATIONS records; slip instead of observation; LLI and signal strength blank or zero)	
OBSERVATIONS	- Observation | rep. within record for - LLI | each obs.type (same seq - Signal strength | as given in header)	m(F14.3, I1, I1)
	If more than 5 observation types (=80 char): continue observations in next record.	
	This record is (these records are) repeated for each satellite given in EPOCH/SAT - record.	
	Observations: Phase : Units in whole cycles of carrier Code : Units in meters Missing observations are written as 0.0 or blanks.	
	Phase values overflowing the fixed format F14.3 have to be clipped into the valid interval (e.g. add or subtract 10**9), set LLI indicator.	
	Loss of lock indicator (LLI). Range: 0-7 0 or blank: OK or not known Bit 0 set : Lost lock between previous and current observation: cycle slip possible Bit 1 set : Opposite wavelength factor to the	

		one defined for the satellite by a previous WAVELENGTH FACT L1/2 line. Valid for the current epoch only.	
		Bit 2 set : Observation under Antispoofing (may suffer from increased noise)	
		Bits 0 and 1 for phase only.	
		Signal strength projected into interval 1-9: 1: minimum possible signal strength 5: threshold for good S/N ratio 9: maximum possible signal strength 0 or blank: not known, don't care	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย