



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ทุนสิ่งประดิษฐ์
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงาน

ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอส

โดย

เฉลิมชนม์ สติระพจน์

จพ
วศ 15
012350

ตุลาคม ๒๕๔๗

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการสิ่งประดิษฐ์
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช



รายงาน

ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอส

โดย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉлимชนม์ สติระพจน์

ตุลาคม 2547

I 21903633

26 ต.ค. 2549

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุมัติเงินสนับสนุน โครงการสิ่งประดิษฐ์ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภชในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ นอกจากนี้ข้าพเจ้ายังขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นต่อโครงการวิจัยนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่	สป ๑๕ 15
เลขทะเบียน	๐123๕๐
วัน, เดือน, ปี	๒๙๓๕.๔๘

ชื่อโครงการ ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอส

ชื่อผู้ดำเนินการ ศศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์

เดือนและปีที่ทำเสร็จ ตุลาคม 2547

บทคัดย่อ

ในการทำงานสำรวจรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสทั่วไปที่มีการประมวลผลแบบภายหลัง ผู้ใช้งานจะต้องมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสอย่างน้อยสองเครื่องและซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลที่มาพร้อมกับเครื่องรับสัญญาณ ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่มาพร้อมกับเครื่องรับสัญญาณนั้นมักจะมีทางเลือกให้ผู้ใช้สามารถทำงานได้ในหลายลักษณะและครบถ้วน เช่น การประมวลผลเส้นฐาน การปรับแก้โครงข่าย และการแปลงค่าพิกัด และทั้งยังมีส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ที่ใช้งานง่าย อย่างไรก็ตามซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ก็ยังมีข้อด้อยบางประการคือ ไม่มีการเปิดเผยวิธีการประมวลผลที่อยู่ในตัวซอฟต์แวร์ นอกจากนี้ยังไม่เปิดให้ผู้ใช้สามารถเพิ่มวิธีการประมวลผลใหม่ๆ เข้าไปในตัวซอฟต์แวร์ ข้อด้อยเหล่านี้จึงเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางที่ผู้ที่จะเข้ามาศึกษาเกี่ยวกับจีพีเอสในการทำความเข้าใจถึงวิธีการและขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสและนักวิจัยทางด้านจีพีเอสในการทดลองวิธีการประมวลผลใหม่ๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอสรหัสเปิดขึ้นมาโดยเฉพาะด้านการศึกษาและวิจัย งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอสที่ใช้ภาษา Matlab ซึ่งมีจุดมุ่งหมายสำหรับใช้ในงานด้านการศึกษาและงานวิจัย ในการทดสอบขีดความสามารถของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ได้ทำการประมวลผลข้อมูลจริงหลายชุดข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นและนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ SKI-pro ผลการเปรียบเทียบโดยรวมแสดงให้เห็นว่าค่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับเดียวกันกับค่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้จากซอฟต์แวร์ SKI-Pro

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Project Title GPS Baseline Processing Software

Name of the Investigator Assistant Professor Dr. Chalermchon Satirapod

Month and Year October 2004

Abstract

In the conventional scenario for GPS surveying based on the post-processing mode, this requires the users to have a minimum of two sets of GPS receiver hardware as well as the associated GPS processing software package. The commercial software tends to come equipped with a full suite of options (i.e. baseline processing, network adjustment and coordinate transformation) and has a common easy-to-user interface. Nevertheless, there are some disadvantages of using the commercial software. Many data processing algorithms used in the commercial software remain unrevealed. In addition, the introduction of new processing algorithms into the commercial software is impossible. These shortcomings become a barrier to GPS newcomers in understanding algorithms used in GPS data processing steps and to GPS researchers in experimenting new data processing algorithms. Development of an open source GPS baseline processing software is therefore needed especially for education and research. This research aims to develop a simple Matlab-based GPS baseline processing software that is intended for educational and research purposes. To demonstrate the capability of the developed Matlab-based GPS baseline processing software, real data sets were processed with the developed software, and the results of processing were compared with the results obtained from the commercial SKI-Pro software. The overall results show that the accuracy of GPS coordinates obtained from the developed software is at the same level as the SKI-Pro software.

สภามหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อภาษาไทย	iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iv
รายการตารางประกอบ	vi
รายการรูปประกอบ	vii
1. บทนำ	1
2. แนวความคิดของการประดิษฐ์	2
3. วิธีการประดิษฐ์	7
4. หลักการทำงานและองค์ประกอบของซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอส	8
5. การทดสอบและการใช้งาน	11
4. การอภิปรายผล	13
5. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	14
รายการอ้างอิง	15
ภาคผนวก	16
ภาคผนวก ก	17
ภาคผนวก ข	24
ภาคผนวก ค	28

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการประดิษฐ์	8
ตารางที่ 2 แสดงหน้าที่และชื่อไฟล์ต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์	10
ตารางที่ 3 ผลการประมวลผลเส้นฐานที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นและซอฟต์แวร์	13

SKI-Pro version 2.5



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่ 1 ภาพรวมการทำงานของซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีทีเอส

9



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1. บทนำ

ในปัจจุบันงานรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System) ได้มีบทบาทอย่างมากในงานสำรวจและการทำแผนที่ ทั้งนี้เนื่องจากงานรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS มีข้อได้เปรียบในการทำงานเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรังวัดแบบดั้งเดิม (Traditional surveying techniques) หลายประการ ดังเช่น สามารถทำงานได้ทั้งกลางวันและกลางคืน มีความสะดวกรวดเร็วในการทำงานสนามและยังสามารถให้ค่าความถูกต้องได้หลายระดับตั้งแต่ระดับเซนติเมตรจนถึงหลายสิบลเมตร (ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งวิธีการทำงานสนามที่ใช้) ในการให้ค่าความถูกต้องในระดับเซนติเมตรนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบรังวัดและซอฟต์แวร์ที่มีความสลับซับซ้อนในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งซอฟต์แวร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างแพง ทั้งยังไม่เปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานได้ศึกษาและทำความเข้าใจถึงขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในซอฟต์แวร์ กอปรกับการเรียนการสอนและการทำวิจัยทางด้านงานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสในปัจจุบันได้มีการเปิดกว้างมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากได้มีการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ๆ เกิดขึ้นอย่างมากและได้มีการเผยแพร่องค์ความรู้ต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้น ในรูปของซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open source software) จึงทำให้คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาซอฟต์แวร์เปิดรหัสที่สามารถนำมาใช้ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสขึ้นเองเพื่อประโยชน์หลายประการ เช่น เป็นการลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศเพียงอย่างเดียว ประหยัดค่าใช้จ่ายที่จะต้องจัดซื้อซอฟต์แวร์จีพีเอสเชิงพาณิชย์มาใช้ อีกทั้งสามารถนำมาใช้ในการเรียนการสอนและการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีจีพีเอสของมหาวิทยาลัยในอนาคต

ซึ่งเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายท่านได้เผยแพร่ขบวนการหรือวิธีการใหม่ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสในรูปแบบของโปรแกรมเปิดรหัสที่อยู่ในภาษาคอมพิวเตอร์ที่หสากหลาย (เช่น C, C++, Basic, Perl, Fortran และ Matlab เป็นต้น) ดังที่ปรากฏอยู่ในคอลัมน์ GPS Toolbox (<http://www.ngs.noaa.gov/gps-toolbox/>) ในวารสารที่ชื่อ GPS Solutions อย่างไรก็ตามก็ยังไม่มียักวิจัยท่านใดที่เผยแพร่ซอฟต์แวร์ชุดสมบูรณ์ที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง จึงทำให้นักวิจัยหลักได้เริ่มพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสขึ้นสำหรับงานวิจัยในช่วงของการลาศึกษาต่อระดับปริญญาเอก ดังที่มีผลงานปรากฏอยู่ใน Satirapod et al (2001a), Satirapod et al (2001b) และ Satirapod (2002) แต่เนื่องมาจากข้อจำกัดเรื่องเวลาจึงยังไม่สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ชุดนั้นให้เสร็จ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์ดังกล่าวให้สามารถที่จะนำมาใช้ในงานด้านการเรียนการสอนและการทำวิจัยในอนาคต

2. แนวความคิดของการประดิษฐ์

แนวคิดพื้นฐานในการประดิษฐ์ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีทีเอสนั้นจะใช้หลักการของ การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีสถิตอย่างรวดเร็ว (*Rapid static relative positioning*) ซึ่งการหา ตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีสถิตอย่างรวดเร็ว นั้นเหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องในระดับ เซนติเมตร ในการหาตำแหน่งด้วยวิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย สองเครื่องในการทำงานและผลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของค่าระยะทางระหว่างจุดสองจุดหรือที่ เรียกว่า *เส้นฐาน (Baseline)* ค่าความถูกต้องของเส้นฐานที่ดีจะดีขึ้นเป็นอย่างมากถ้าขบวนการที่ เรียกว่า *Ambiguity Resolution* นั้นประสบความสำเร็จ ซึ่งกระบวนการ *Ambiguity Resolution* นั้น เป็นการเปลี่ยนข้อมูลเฟสของคลื่นส่งให้เป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมจีทีเอส ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงถึงระดับมิลลิเมตร และทำให้สามารถนำเอาระยะทางที่ได้ไปใช้ในการ คำนวณหาเส้นฐานที่มีความถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตรได้ โดยค่าที่รังวัดได้จากการรับสัญญาณ ดาวเทียมจีทีเอส และนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาตำแหน่งที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ *ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)* และ *เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)* อย่างไรก็ตามสำหรับงานที่ต้องการค่าความ ละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตรจะต้องใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งในการประมวลผลเท่านั้น ซึ่ง การวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับเป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาว เทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นความถี่ f_c ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานั้น แยกออกเป็นสองส่วนคือ *ส่วนของคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part)* กับส่วนที่ไม่เต็มรอบ (*Fractional part*) ในการรับสัญญาณนั้นเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของ คลื่นส่งที่ส่งลงมา จำนวนเต็มรอบสามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยจำนวนเต็มนี้มี ชื่อเรียกว่า *Ambiguity* หรือ *เลขปริศนา* โดยสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสคือ

$$\Phi^j_i(t) = \frac{1}{\lambda} \rho^j_i(t) + N^j_i + f^j \Delta\delta^j_i(t) + \Delta r^j - d_{ion} + d_{trop} \quad (1)$$

โดยที่

- Φ^j_i คือ ค่า carrier phase ที่วัดได้ในหน่วยของลูกคลื่นจากดาวเทียม j
- λ คือ ความยาวคลื่น
- ρ^j_i คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียม j กับเครื่องรับสัญญาณ i
- N^j_i คือ ค่า ambiguity ระหว่างดาวเทียม j กับเครื่องรับสัญญาณ i
- f คือ ความถี่ของสัญญาณจากดาวเทียม
- Δr^j คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม j

d_{ion} คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

d_{trop} คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์

$\Delta\delta^j(t)$ คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม j และนาฬิกาเครื่องรับสัญญาณ i

และจาก

$$\Delta\delta^j(t) = \delta_i(t) - \delta^j(t)$$

จะได้ว่า

$$\Phi^j_i(t) + f\delta^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho^j_i(t) + N^j_i + f^j\delta_i(t) + \Delta r^j - d_{ion} + d_{trop} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่รับได้จากดาวเทียมจีทีเอสนั้นเจือปนไปด้วยค่าความคลาดเคลื่อนหลายชนิด ซึ่งเราสามารถจำแนกค่าความคลาดเคลื่อนออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ดังนี้

- ความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (*Satellite-Dependent Biases*) ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียมและค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม
- ความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณ (*Receiver-Dependent Biases*) ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ
- ความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ (*Signal Propagation Biases*) ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งชั้นไอโอโนสเฟียร์และชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลายวิถี (*Multipath*) และค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุด (*Cycle Slip*)

เมื่อพิจารณาถึงค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆที่เกิดขึ้นกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง จึงจำเป็นต้องหาวิธีการขจัดหรือลดค่าความคลาดเคลื่อนที่มีอยู่ในข้อมูลให้หมดไปให้ได้มากที่สุดวิธีการที่ใช้ในการขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือเทคนิคการหาค่าต่าง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

- การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง(ระหว่างจุด)

การหาค่าต่างแบบนี้จะสามารถขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโปสเฟียร์ กล่าวคือเป็นการหาค่าต่างระหว่างจุดสองจุดและดาวเทียมหนึ่งดวง เช่น ระหว่างจุด A และจุด B และดาวเทียม j จากสมการที่ (2) สามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสที่จุด A และ B ได้ดังนี้

$$\Phi_{A}^j(t) + f^j \delta^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{A}^j(t) + N_{A}^j + f^j \delta_{A}^j(t) + \Delta r^j - d_{ion} + d_{trop} \quad (2)$$

$$\Phi_{B}^j(t) + f^j \delta^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{B}^j(t) + N_{B}^j + f^j \delta_{B}^j(t) + \Delta r^j - d_{ion} + d_{trop} \quad (3)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างจุด โดยนำสมการที่ (3) ลบด้วยสมการที่ (2) จะได้สมการดังนี้

$$\Phi_{B}^j(t) - \Phi_{A}^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\rho_{B}^j(t) - \rho_{A}^j(t)] + N_{B}^j - N_{A}^j + f^j [\delta_{B}^j(t) - \delta_{A}^j(t)] \quad (4)$$

สามารถเขียนสมการที่ (4) โดยย่อได้ดังนี้

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j + f^j \delta_{AB}^j(t) \quad (5)$$

โดยที่

$$\Phi_{AB}^j(t) = \Phi_{B}^j(t) - \Phi_{A}^j(t)$$

$$\rho_{AB}^j(t) = \rho_{B}^j(t) - \rho_{A}^j(t)$$

$$N_{AB}^j = N_{B}^j - N_{A}^j$$

$$\delta_{AB}^j(t) = \delta_{B}^j(t) - \delta_{A}^j(t)$$

- การหาค่าต่างครั้งที่สอง

การหาค่าต่างแบบนี้จะสามารถจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์, และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ กล่าวคือเป็นการหาค่าต่างระหว่างจุดสองจุดและดาวเทียมสองดวง เช่น ระหว่างจุด A, B และดาวเทียม j, k ซึ่งจากสมการที่ (5) จะได้

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j + f^j \delta_{AB}^j(t) \quad (6)$$

$$\Phi_{AB}^k(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k + f^k \delta_{AB}^k(t) \quad (7)$$

การหาค่าต่างครั้งที่สองนั้น ได้จากการเอาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง(สมการที่ (6) และ (7))มาหักลบกัน ได้ดังนี้

$$\Phi^k_{AB}(t) - \Phi^j_{AB}(t) = \frac{1}{\lambda} [\rho^k_{AB}(t) - \rho^j_{AB}(t)] + N^k_{AB} - N^j_{AB} \quad (8)$$

โดยสามารถเขียนโดยย่อได้ดังนี้

$$\Phi^{jk}_{AB}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho^{jk}_{AB}(t) + N^{jk}_{AB} \quad (9)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \Phi^{jk}_{AB}(t) &= \Phi^k_B(t) - \Phi^j_B(t) - \Phi^k_A(t) + \Phi^j_A(t) \\ \rho^{jk}_{AB}(t) &= \rho^k_B(t) - \rho^j_B(t) - \rho^k_A(t) + \rho^j_A(t) \\ N^{jk}_{AB} &= N^k_B - N^j_B - N^k_A + N^j_A \end{aligned}$$

- การหาค่าต่างครั้งที่สาม

เป็นการหาผลต่างระหว่างค่าต่างครั้งที่สองสองค่า มีประโยชน์คือใช้ในการตรวจหาและประมาณค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุด ซึ่งถ้านำข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุดมาหาค่าต่างครั้งที่สามจะได้ว่าค่า N^{jk}_{AB} ที่เวลา t_1 และ t_2 จะมีค่าที่ต่างกันเนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุดทำให้ค่า N^{jk}_{AB} ต่างกัน เมื่อนำมาหาค่าต่างก็จะได้ค่าประมาณของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุดดังกล่าว ซึ่งจากสมการ (9) ถ้าไม่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุด จะได้ว่า

$$\Phi^{jk}_{AB}(t_1) = \frac{1}{\lambda} \rho^{jk}_{AB}(t_1) + N^{jk}_{AB} \quad (10)$$

$$\Phi^{jk}_{AB}(t_2) = \frac{1}{\lambda} \rho^{jk}_{AB}(t_2) + N^{jk}_{AB} \quad (11)$$

เมื่อนำสมการที่ (11) ลบกับสมการที่ (10) จะได้

$$\Phi^{jk}_{AB}(t_2) - \Phi^{jk}_{AB}(t_1) = \frac{1}{\lambda} [\rho^{jk}_{AB}(t_2) - \rho^{jk}_{AB}(t_1)] \quad (12)$$

โดยสามารถเขียนโดยย่อได้ดังนี้

$$\Phi^{jk}_{AB}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} \rho^{jk}_{AB}(t_{12}) \quad (13)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \Phi^{jk}_{AB}(t_{12}) = & + \Phi^k_B(t_2) - \Phi^j_B(t_2) - \Phi^k_A(t_2) + \Phi^j_A(t_2) \\ & - \Phi^k_B(t_1) + \Phi^j_B(t_1) + \Phi^k_A(t_1) - \Phi^j_A(t_1) \\ \rho^{jk}_{AB}(t_{12}) = & + \rho^k_B(t_2) - \rho^j_B(t_2) - \rho^k_A(t_2) + \rho^j_A(t_2) \\ & - \rho^k_B(t_1) + \rho^j_B(t_1) + \rho^k_A(t_1) - \rho^j_A(t_1) \end{aligned}$$

ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุดที่มีอยู่ในข้อมูลจีทีเอสจะถูกตรวจหาโดยใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สามและทำการซ่อมแซมข้อมูลก่อนที่จะเริ่มทำการประมวลผลข้อมูล ในขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลจะใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สองในการขจัดค่าความคลาดเคลื่อน หลังจากที่ได้ใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สองแล้ว เรายังสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ที่หลงเหลือจากการใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สองได้โดยใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่มีอยู่ เช่น ใช้แบบจำลอง Klobuchar สำหรับลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และใช้แบบจำลอง Hopfield หรือ Saastamoinen สำหรับลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

หลังจากที่ได้ใช้แบบจำลองมาตรฐานในการลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศที่หลงเหลือจากการใช้เทคนิคค่าต่างครั้งที่สอง เราสามารถหาค่าความยาวเส้นฐานที่ถูกต้องสูงได้โดยใช้ข้อมูลค่าต่างครั้งที่สองที่ได้ปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศแล้วมาคำนวณด้วยวิธีลีสทส์แควร์ (Least-squares)

จากแนวคิดและเทคนิคต่างๆ ที่กล่าวมาในข้างต้นจะเห็นได้ว่าการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีทีเอสจำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้หลายด้านดังเช่น เทคนิคการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีลีสทส์แควร์ รูปแบบมาตรฐานข้อมูลจีทีเอส การคำนวณตำแหน่งดาวเทียม แบบจำลองค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ เป็นต้น ซึ่งองค์ความรู้พื้นฐานเหล่านี้บางส่วนก็มีอยู่ในหนังสือจีทีเอสทั่วไปหลายเล่ม เช่น Hofmann-Wellenhop et al (1997), Leick (1995), Rizos (1997), Teunissen & Kleusberg (1998) เป็นต้น และบางส่วนก็จะได้จากบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้การพัฒนาซอฟต์แวร์ดังกล่าวก็

ยังเกี่ยวพันไปถึงการเรียนรู้รูปแบบคำสั่งและภาษาคอมพิวเตอร์ ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกที่จะใช้ภาษา Matlab ในการพัฒนาซอฟต์แวร์เนื่องจากมีเหตุผลสนับสนุนหลายประการดังนี้

- ซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นตั้งแต่ต้นโดยตัวนักวิจัยนั้นใช้ภาษา Matlab
- Matlab เป็นภาษาที่เรียนรู้ได้ง่ายจึงเอื้อต่อการใช้ซอฟต์แวร์ในการเรียนการสอนและการทำวิจัยต่อไปในอนาคต
- Matlab เป็นภาษาที่เป็นที่นิยมใช้จึงมีโอกาที่จะสามารถนำเอาขบวนการและวิธีการใหม่ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยท่านอื่นเข้ามาผนวกกับซอฟต์แวร์ที่กำลังจะพัฒนาขึ้นโดยง่ายและสะดวก

3 วิธีการประดิษฐ์

ขั้นตอนและวิธีการประดิษฐ์มีดังนี้ (คูตารางที่ 1 ประกอบ)

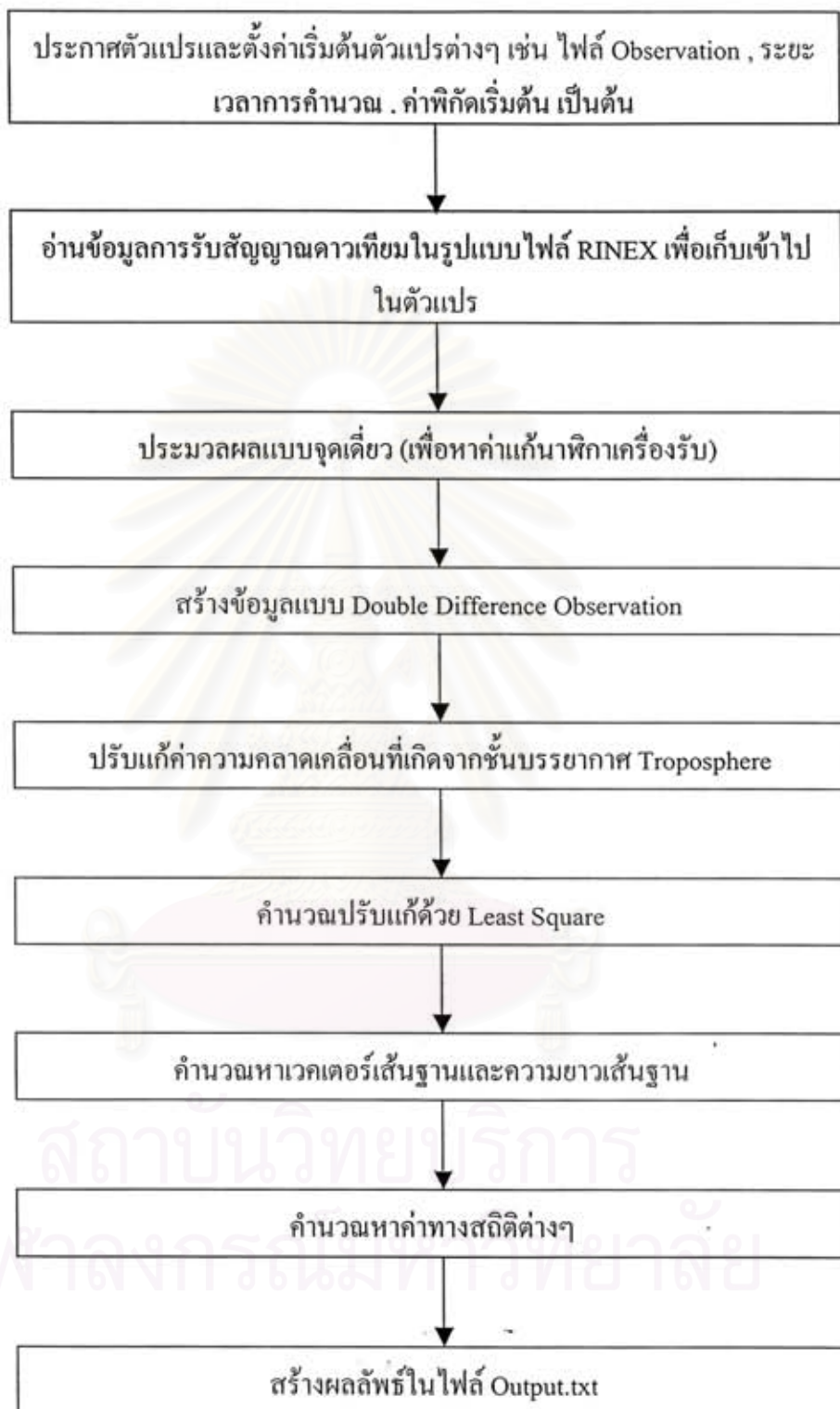
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คณะผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยหัวหน้าโครงการวิจัยเป็นต้นแบบในการพัฒนา ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเป็นการถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้ช่วยวิจัย โดยต้องทำความเข้าใจกับวิธีการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานในการคำนวณที่อยู่ในหนังสือหลายเล่ม
2. ศึกษารูปแบบข้อมูลนำเข้าได้แก่ ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX และข้อมูลของแบบจำลองแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ จากเอกสารอ้างอิงที่มีอยู่ นอกจากนี้ยังเป็นการหาแนวทางการพัฒนาส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้สำหรับซอฟต์แวร์ที่กำลังจะพัฒนาขึ้น
3. ดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์
4. เก็บข้อมูลจากภาคสนามเพื่อนำมาทดสอบซอฟต์แวร์
5. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นกับซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่มีอยู่
6. จัดทำคู่มือการใช้งานซอฟต์แวร์
7. เขียนบทความวิชาการตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่สิ่งประดิษฐ์

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการประดิษฐ์

ลำดับ	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	เดือนที่											
		ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย
		46	46	46	46	46	46	47	47	47	47	47	47
1	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■	■	■	■								
2	ศึกษารูปแบบข้อมูลนำเข้าที่ต้องใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์			■	■								
3	ดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์					■	■	■					
4	เก็บข้อมูลจากภาคสนามเพื่อนำมาทดสอบซอฟต์แวร์								■				
5	เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากซอฟต์แวร์									■	■		
6	จัดทำคู่มือการใช้งานซอฟต์แวร์										■	■	
7	เขียนบทความวิชาการตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่สิ่งประดิษฐ์											■	■

4. หลักการทำงานและองค์ประกอบของซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีทีเอส

ซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีทีเอสมีขั้นตอนทำงาน โดยในขั้นแรกต้องทำการตั้งค่าตัวแปรเริ่มต้นก่อน เช่น ชื่อไฟล์คำสั่งเกต ระยะเวลาการคำนวณ ค่าพิกัดเริ่มต้น เป็นต้น จากนั้นทำการอ่านข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX เพื่อนำเข้าข้อมูลในส่วนหัวของไฟล์คำสั่งเกต (ชนิดของข้อมูล , ความสูงของเครื่องรับ เป็นต้น) แล้วจึงทำการอ่านข้อมูลการรับสัญญาณเพื่อเปรียบเทียบหาข้อมูล ณ. เวลาเดียวกัน จากนั้นนำข้อมูล ณ. เวลานั้นมาประมวลผลแบบจุดเดี่ยวเพื่อทำการแก้ค่า่านาฬิกาเครื่องรับ ทำการสร้างข้อมูลแบบ Double Difference Observation แล้วเก็บรวมกันไว้ในตัวแปรเพื่อนำไปใช้ต่อไป คำนวณปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยคำนวณค่าแก้ที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ แล้วหักออกจากระยะระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับที่คำนวณได้ จากนั้นนำค่าจาก Double Difference Observation ที่เก็บไว้ในตัวแปรมาทำการคำนวณด้วยหลักการ Least Square รวมถึงหาค่าทางสถิติต่างๆ พร้อมทั้งทำการคำนวณหาค่า ambiguity ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อทำการ fixed ambiguity คำนวณหาเวกเตอร์เส้นฐานและความยาวเส้นฐานและค่าทางสถิติต่างๆที่เกิดจากการคำนวณ สุดท้ายสร้างผลลัพธ์ในไฟล์ Output.txt โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าพิกัดในระบบพิกัดฉากยึดติดโลก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความยาวเส้นฐาน เป็นต้น ภาพรวมการทำงานของโปรแกรมดูได้จากรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมการทำงานของซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอส

สำหรับซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB จะเป็น script-file ที่มีนามสกุล .m โดยจากไฟล์ทั้งหมดสามารถแบ่งกลุ่มตามหน้าที่ในการทำงานได้ 5 กลุ่มและแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยไฟล์ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงหน้าที่และชื่อไฟล์ต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์

กลุ่มที่ / หน้าที่	ชื่อไฟล์
<p>กลุ่มที่ 1</p> <p>ทำหน้าที่อ่านข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบไฟล์ RINEX เพื่อเก็บเข้าไปในตัวแปร</p>	<p>Anheader.m</p> <p>Fepoch_0.m</p> <p>Get_eph.m</p> <p>Grabdata.m</p>
<p>กลุ่มที่ 2</p> <p>ทำหน้าที่ประมวลผล เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพิกัด, ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ, การสร้างข้อมูลแบบ Double Difference Observation, รวมถึงการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ Troposphere</p>	<p>B_point.m</p> <p>Bancroft.m</p> <p>ECEF2LLA.m</p> <p>ECEF2NED.m</p> <p>ENU2XYZ.m</p> <p>Get_rho.m</p> <p>Sum_norm.m</p> <p>Satpos.m</p> <p>Tropo.m</p> <p>Tropo1.m</p>
<p>กลุ่มที่ 3</p> <p>ทำหน้าที่คำนวณค่าที่ใช้ในการปรับแก้ด้วย Least Square, ค่าทางสถิติต่างๆ, คำนวณหาค่า ambiguity ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อทำการ fixed ambiguity</p>	<p>AandL.m</p> <p>Accum0.m</p> <p>Lambda.m</p> <p>Minque.m</p> <p>Outfixresidual.m</p> <p>Outfloatresidual.m</p> <p>Outresidual.m</p>

ตารางที่ 2 แสดงหน้าที่และชื่อไฟล์ต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์ (ต่อ)

กลุ่มที่ / หน้าที่	ชื่อไฟล์
กลุ่มที่ 4	GPS_time.m
คือ ไฟล์ที่ไม่ถูกจัดอยู่ใน 3 กลุ่มก่อนหน้าโดยจะเป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่ทั่ว ๆ ไปรวมถึงไฟล์ที่มีการใช้ร่วมกันระหว่างกลุ่มเช่น Proc_dd.m เป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่ส่งงานโปรแกรมทั้งหมด หรือ In.m เป็นไฟล์ของค่าคงที่ที่ใช้ในซอฟต์แวร์ เป็นต้น	In1.m
	In2.m
	In3.m
	In4.m
	In5.m
	In6.m
	Julday.m
	Proc_dd.m
	Rinexe.m

สำหรับรายละเอียดการทำงาน ในแต่ละไฟล์รวมถึงข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ในแต่ละไฟล์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในวิธีใช้ที่อยู่ภายในแต่ละไฟล์ โดยในส่วนนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของไฟล์หลัก ๆ ที่ใช้ในการทำงานเท่านั้น

5. การทดสอบและการใช้งาน

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีทีเอสทีที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลจีทีเอสทีจริงที่ได้มาจากการออกสนามและที่ได้มาจากการติดต่อขอข้อมูลจากแหล่งอื่นจำนวนหลายชุดข้อมูล ทั้งนี้เพื่อเป็นการทดสอบขีดความสามารถของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยจึงทำการประมวลผลข้อมูลจีทีเอสทีที่ได้รับได้จากเครื่องรับต่างยี่ห้อและต่างรุ่นกันด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นและซอฟต์แวร์ SKI-Pro version 2.5 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่เป็นที่แพร่หลายและยอมรับทั่วโลก เพื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกัน ข้อมูลจีทีเอสทีที่นำมาประมวลผลเส้นฐานแต่ละเส้นจะมีความยาว 10 นาทีและมีอัตราถี่ของการเก็บข้อมูลที่ 15 วินาที โดยรายละเอียดของข้อมูลแต่ละชุดมีดังนี้

- ข้อมูลชุดที่ 1 ใช้เครื่องรับยี่ห้อ Leica รุ่น SR399 ความยาวเส้นฐาน โดยประมาณ 870 เมตร (มีจำนวนดาวเทียม 7 ดวง)
- ข้อมูลชุดที่ 2 ใช้เครื่องรับยี่ห้อ Leica รุ่น CRS1000 ความยาวเส้นฐาน โดยประมาณ 2,660 เมตร (มีจำนวนดาวเทียม 6 ดวง)

- ข้อมูลชุดที่ 3 ใช้เครื่องรับยี่ห้อ Trimble รุ่น 4000SSE ความยาวเส้นฐานโดยประมาณ 13,300 เมตร (มีจำนวนดาวเทียม 6 ดวง)
- ข้อมูลชุดที่ 4 ใช้เครื่องรับยี่ห้อ Ashtech รุ่น Z-XII ความยาวเส้นฐาน โดยประมาณ 215 เมตร (มีจำนวนดาวเทียม 6 ดวง)
- ข้อมูลชุดที่ 5 ใช้เครื่องรับยี่ห้อ Leica รุ่น SR530 ความยาวเส้นฐาน โดยประมาณ 1,975 เมตร (มีจำนวนดาวเทียม 7 ดวง)
- ข้อมูลชุดที่ 6 ใช้เครื่องรับยี่ห้อ Leica รุ่น SR530 ความยาวเส้นฐาน โดยประมาณ 300 เมตร (มีจำนวนดาวเทียม 4 ดวง)
- ข้อมูลชุดที่ 7 ใช้เครื่องรับยี่ห้อ Leica รุ่น SR530 ความยาวเส้นฐาน โดยประมาณ 360 เมตร (มีจำนวนดาวเทียม 5 ดวง)

ผลที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3 คอลัมน์แรกของตารางจะเป็นชุดข้อมูลที่นำมาประมวลผล คอลัมน์ที่สองจะเป็นการระบุซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผลว่าใช้ SKI-Pro หรือซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจากโครงการนี้ คอลัมน์ที่สามถึงห้าจะเป็นค่าความยาวเส้นฐานตามแกน X, Y และ Z ตามลำดับ ส่วนคอลัมน์ที่หกจะเป็นค่าความยาวเส้นฐาน

ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานแต่ละเส้นด้วยซอฟต์แวร์ SKI-Pro version 2.5 ปรากฏใน ภาคผนวก ก และผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานแต่ละเส้นด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นปรากฏใน ภาคผนวก ข และในส่วนของการใช้งาน ผู้อ่านสามารถศึกษารายละเอียดต่างๆและวิธีการใช้งานซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นได้ใน ภาคผนวก ก



ตารางที่ 3 ผลการประมวลผลเส้นฐานที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นและซอฟต์แวร์ SKI-Pro version 2.5

ชุดข้อมูล	ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล	ΔX (ม.)	ΔY (ม.)	ΔZ (ม.)	ความยาวเส้นฐาน (ม.)
1	SKI-Pro	44.2165	525.0665	692.8947	870.4901
	พัฒนาขึ้น	44.2150	525.0675	692.8947	870.4906
2	SKI-Pro	-23.8956	-2185.1990	-1515.7038	2659.5157
	พัฒนาขึ้น	-23.8957	-2185.1991	-1515.7037	2659.5158
3	SKI-Pro	8372.1011	8339.9717	6097.5761	13297.6554
	พัฒนาขึ้น	8372.1003	8339.9627	6097.5769	13297.6496
4	SKI-Pro	-50.9140	-136.2463	-159.5912	215.9275
	พัฒนาขึ้น	-50.9148	-136.2451	-159.5907	215.9264
5	SKI-Pro	285.2082	521.9946	-1883.3194	1975.0225
	พัฒนาขึ้น	285.2085	521.9973	-1883.3191	1975.0230
6	SKI-Pro	109.7194	-64.3138	276.3682	304.2269
	พัฒนาขึ้น	109.7184	-64.3125	276.3683	304.2263
7	SKI-Pro	101.9683	-79.7814	332.3331	356.6622
	พัฒนาขึ้น	101.9686	-79.7819	332.3330	356.6623

4. การอภิปรายผล

เนื่องจากขั้นตอนการทดสอบซอฟต์แวร์นั้นได้ใช้ข้อมูลจีทีเอสที่รับได้จากเครื่องรับต่างยี่ห้อและต่างรุ่นกันมาประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งเป็นการแสดงขีดความสามารถของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นว่าสามารถอ่านและประมวลผลข้อมูล RINEX ที่ได้จากเครื่องรับต่างชนิดกันได้ (โดยปกติ RINEX ที่ได้จากเครื่องรับต่างชนิดกันจะมีความแตกต่างกันในรายละเอียดบางอย่าง) นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ปรากฏอยู่ในตารางที่ 3 ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าค่าความยาวเส้นฐานที่ได้จากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมีความใกล้เคียงกับค่าความยาวเส้นฐานที่ได้จากซอฟต์แวร์ SKI-Pro ในระดับมิลลิเมตร

5. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการนำเข้าข้อมูล วิธีการประมวลผลเส้นฐานจีพีเอส รวมไปถึงการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอสแบบสถิติอย่างรวดเร็ว ผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากซอฟต์แวร์ SKI-Pro version 2.5 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ค่าความถูกต้องในระดับเดียวกันกับซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้จะถูกนำไปใช้เป็นประกอบการเรียนการสอนของวิชาเรียนในหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นพื้นฐานของงานวิจัยทั้งในระดับมหาบัณฑิตและดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจต่อไป ผลงานที่เกิดจากการใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาเป็นพื้นฐานในการทำวิจัยในรูปบทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ 1 บทความและบทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติอีก 1 บทความ ดังนี้

Satirapod, C., Wang, J. and Rizos, C. (2003) Comparing different GPS data processing techniques for modeling residual systematic errors, *Journal of Surveying Engineering (ASCE)*, 129(4), 129-135.

เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2547 ซอฟต์แวร์รหัสเปิดสำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอส, วิศวกรรมสาร (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์ฉบับเดือนพฤศจิกายน).

ถึงแม้ว่าผู้วิจัยจะสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ให้ประมวลผลข้อมูลจีพีเอสได้ แต่ซอฟต์แวร์ดังกล่าวก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานบางประการ ดังนี้

- ยังไม่สามารถจะประมวลผลข้อมูลที่มีคลื่นหลุดได้ ผู้วิจัยได้พยายามเพิ่มส่วนนี้เข้าไปในซอฟต์แวร์ แต่ยังไม่สำเร็จเนื่องจาก โปรแกรมมีความสลับซับซ้อนจึงไม่สามารถทำให้เสร็จสิ้นในระยะเวลาที่มีอย่างจำกัดได้ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์นี้ต่อไป
- ช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลเส้นฐาน จะต้องมิจำนวนดาวเทียมคงที่ตลอดช่วง ฉะนั้นผู้ใช้จะต้องทำการ remove ดาวเทียมบางดวงที่มีข้อมูลไม่ต่อเนื่องตลอดช่วงการรับสัญญาณ (ผู้วิจัยได้เพิ่ม option ที่ใช้ในการ remove ดาวเทียมไว้ในซอฟต์แวร์แล้ว สามารถดูรายละเอียดได้ใน ภาคผนวก ค)

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับงานที่จะทำต่อไปในอนาคตคือเพิ่มเติมในส่วนของการตรวจจับและซ่อมแซมคลื่นหลุดในข้อมูลจีพีเอส เพื่อให้ซอฟต์แวร์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J. (1997) *Global Positioning System: Theory and Practice*, 4th edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 389pp.
- Leick, A. (1995) *GPS Satellite Surveying*, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 560pp.
- Rizos, C. (1997) Principles and Practice of GPS Surveying, Monograph 17, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, 555pp.
- Satirapod, C., Wang, J. & Rizos, C. (2001a) A New Stochastic Modelling Procedure for Precise Static GPS Positioning, *Zeitschrift fur Vermessungswessen*, 126(6), 365-373.
- Satirapod, C., Ogaja, C., Wang, J. & Rizos, C. (2001b) An Approach to GPS analysis incorporating Wavelet Decomposition. *Artificial Satellites*, 36(2), 27-35.
- Satirapod, C. (2002) Improving the GPS Data Processing Algorithm for Precise Static Relative Positioning, *PhD thesis*, School of Surveying and Spatial Information Systems, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 131pp.
- Teunissen, P.J.G. and Kleusberg, A. (1998) *GPS for Geodesy*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 650pp.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานแต่ละเส้นด้วยซอฟต์แวร์ SKI-Pro version 2.5

ข้อมูลชุดที่ 1 (Leica SR399)

```
#####
#      GE_PS  PROJECT  SETTINGS      #
#####

Processing software : SKI-Pro Application V2.5
Processing kernel   : PSI version 3.20.
General header      :
Project name        : test_CU_software
Coordinate system   : WGS84
Time                : All results in local time (GPS +7.00 hr)

#####
#      GE_PP  PROCESSING  PARAMETERS  #
#####

Cut-off angle (deg)      : 15
Tropospheric model      : Saastamoinen
Ionospheric model       : No model
Solution type           : Standard
Ephemeris               : Broadcast
Data used               : Automatic
Frequency               : L1
Limit to resolve ambiguities (km) : 20
Rms threshold           : Automatic
Sampling rate (sec)     : 15
Cycle slip detection    : Phase check & loss lock flag
Min. time to fix amb. - L1 only (min) : 9

Use stochastic modelling : No

BL_FC.1  FINAL  COORDINATES
-----
Rov:GPS2 Ref:GPS1 Amb:Y Proc: L1 phase 06/08/1996 10:53:15
Cartesian :
  X -2361206.1962 m   Y  4838428.1570 m   Z -3408596.4178 m
  dX  44.2165 m     dY  525.0665 m     dZ  692.8947 m
  sX  0.0008 m     sY  0.0012 m     sZ  0.0009 m
Geodetic :
  Lat 32 30 45.96137 S   Lon 116 00 46.38692 E   h  147.4473 m
  dLat 26.86241         dLon -10.34574         dh  9.0840 m
  sLat 0.0006 m        sLon 0.0005 m        sh  0.0014 m
Distance :
  Slope 870.4901 m     sSlope 0.0006 m
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ข้อมูลชุดที่ 2 (Leica CRS1000)

```
#####
# GE_PS PROJECT SETTINGS
#####
```

```
Processing software : SKI-Pro Application V2.5
Processing kernel   : PSI version 3.20.
General header      :
Project name        : test_CU_software
Coordinate system   : WGS84
Time                : All results in local time (GPS +7.00 hr)
```

```
#####
# GE_PP PROCESSING PARAMETERS
#####
```

```
Cut-off angle (deg) : 15
Tropospheric model  : Saastamoinen
Ionospheric model   : No model
Solution type       : Standard
Ephemeris           : Broadcast
Data used           : Automatic
Frequency           : L1
Limit to resolve ambiguities (km) : 20
Rms threshold       : Automatic
Sampling rate (sec) : 15
Cycle slip detection : Phase check & loss lock flag
Min. time to fix amb. - L1 only (min) : 9

Use stochastic modelling : No
```

BL_FC.1 FINAL COORDINATES

```
-----
Rov:LATH Ref:UNSW (Pillar 19) Amb:Y Proc: L1 phase 10/12/1999 07:30:00
Cartesian :
  X -4644496.1126 m   Y 2547792.1720 m   Z -3540550.4788 m
  dX -23.8956 m     dY -2185.1990 m     dZ -1515.7038 m
  sX 0.0010 m       sY 0.0007 m       sZ 0.0011 m
Geodetic :
  Lat 33 56 05.95163 S   Lon 151 15 09.06849 E   h 151.7758 m
  dLat -59.48112         dLon 1 15.03086         dh -8.9903 m
  sLat 0.0005 m         sLon 0.0004 m         sh 0.0014 m
Distance :
Slope 2659.5157 m   sSlope 0.0005 m
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลชุดที่ 3 (Trimble 4000SSE)

```
#####
#      GE_PS PROJECT SETTINGS      #
#####
```

```
Processing software : SKI-Pro Application V2.5
Processing kernel  : PSI version 3.20.
General header     :
Project name       : test_CU_software
Coordinate system  : WGS84
Time               : All results in local time (GPS +7.00 hr)
```

```
#####
#      GE_PP PROCESSING PARAMETERS  #
#####
```

```
Cut-off angle (deg)      : 15
Tropospheric model      : Saastamoinen
Ionospheric model       : No model
Solution type           : Standard
Ephemeris               : Broadcast
Data used               : Automatic
Frequency               : L1
Limit to resolve ambiguities (km) : 20
Rms threshold           : Automatic
Sampling rate (sec)     : 15
Cycle slip detection    : Phase check & loss lock flag
Min. time to fix amb. - L1 only (min) : 9

Use stochastic modelling : No
```

BL_FC.1 FINAL COORDINATES

```
-----
Rov:Citybeach R215 Ref:Curtin Universit Amb:Y Proc:L1 phase 12/18/1996 18:21:00
Cartesian :
  X -2355858.0280 m Y 4878553.6194 m Z -3354862.4369 m
  dX 8372.1011 m dY 8339.9717 m dZ 6097.5761 m
  sX 0.0007 m sY 0.0023 m sZ 0.0011 m
Geodetic :
  Lat 31 56 25.79925 S Lon 115 46 33.38175 E h 52.9882 m
  dLat 3 54.25338 dLon - 7 05.41823 dh 43.9499 m
  sLat 0.0007 m sLon 0.0015 m sh 0.0020 m
Distance :
Slope 13297.6554 m sSlope 0.0014 m
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลชุดที่ 4 (Ashtech Z X-II)

```
#####
# GE_PS PROJECT SETTINGS
#####
```

```
Processing software : SKI-Pro Application V2.5
Processing kernel  : PSI version 3.20.
General header     :
Project name       : test_CU_software
Coordinate system  : WGS84
Time               : All results in local time (GPS +7.00 hr)
```

```
#####
# GE_PP PROCESSING PARAMETERS
#####
```

```
Cut-off angle (deg) : 15
Tropospheric model  : Saastamoinen
Ionospheric model   : No model
Solution type       : Standard
Ephemeris           : Broadcast
Data used           : Automatic
Frequency           : L1
Limit to resolve ambiguities (km) : 20
Rms threshold       : Automatic
Sampling rate (sec) : 15
Cycle slip detection : Phase check & loss lock flag
Min. time to fix amb. - L1 only (min) : 9

Use stochastic modelling : No
```

BL_FC.1 FINAL COORDINATES

```
Rov:N573 Ref:BASE Amb:Y Proc: L1 phase 06/07/1999 11:40:00
```

```
Cartesian :
```

```
 X -2363960.5340 m Y 4870567.3637 m Z -3361093.3312 m
 dX -50.9140 m dY -136.2463 m dZ -159.5912 m
 sX 0.0006 m sY 0.0007 m sZ 0.0006 m
```

```
Geodetic :
```

```
 Lat 32 00 20.27327 S Lon 115 53 23.67476 E h 249.7066 m
 dLat - 6.11997 dLon 4.01155 dh -0.5084 m
 sLat 0.0006 m sLon 0.0005 m sh 0.0008 m
```

```
Distance :
```

```
Slope 215.9275 m sslope 0.0004 m
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลชุดที่ 5 (Leica SR530)

```
#####
# GE_PS PROJECT SETTINGS
#####
```

```
Processing software : SKI-Pro Application V2.5
Processing kernel  : PSI version 3.20.
General header     :
Project name       : test_CU_software2
Coordinate system  : WGS84
Time               : All results in local time (GPS +7.00 hr)
```

```
#####
# GE_PP PROCESSING PARAMETERS
#####
```

```
Cut-off angle (deg) : 15
Tropospheric model  : Saastamoinen
Ionospheric model   : No model
Solution type       : Standard
Ephemeris           : Broadcast
Data used           : Automatic
Frequency           : L1
Limit to resolve ambiguities (km) : 20
Rms threshold       : Automatic
Sampling rate (sec) : 15
Cycle slip detection : Phase check & loss lock flag
Min. time to fix amb. - L1 only (min) : 9
Use stochastic modelling : No
```

BL_FC.1 FINAL COORDINATES

```
Rov:KM27 Ref:BM2 Amb:Y Proc: L1 phase 09/03/2003 08:30:00
Cartesian :
  X -1137936.4243 m Y 6092405.0405 m Z 1500925.0248 m
  dX 285.2082 m dY 521.9946 m dZ -1883.3194 m
  sX 0.0007 m sY 0.0022 m sZ 0.0007 m
Geodetic :
  Lat 13 42 05.91062 N Lon 100 34 47.17561 E h -29.3606 m
  dLat - 1 03.08872 dLon -12.52106 dh 1.2414 m
  sLat 0.0006 m sLon 0.0009 m sh 0.0021 m
Distance :
Slope 1975.0225 m sSlope 0.0007 m
```





ข้อมูลชุดที่ 6 (Leica SR530)

```
#####  
#      GE_PS  PROJECT  SETTINGS      #  
#####
```

```
Processing software : SKI-Pro Application V2.5  
Processing kernel  : PSI version 3.20.  
General header    :  
Project name      : CU_GPS  
Coordinate system  : WGS84  
Time              : All results in local time (GPS +7.00 hr)
```

```
#####  
#      GE_PP  PROCESSING  PARAMETERS  #  
#####
```

```
Cut-off angle (deg) : 15  
Tropospheric model  : Saastamoinen  
Ionospheric model   : No model  
Solution type       : Standard  
Ephemeris           : Broadcast  
Data used           : Automatic  
Frequency           : L1  
Limit to resolve ambiguities (km) : 20  
Rms threshold       : Automatic  
Sampling rate (sec) : 15  
Cycle slip detection : Phase check & loss lock flag  
Min. time to fix amb. - L1 only (min) : 9  
  
Use stochastic modelling : No
```

BL_FC.1 FINAL COORDINATES

```
-----  
Rov:cu09 Ref:cu03 Amb:Y Proc: L1 phase 08/18/2004 12:45:00  
Cartesian :  
  X -1132620.2552 m   Y  6092431.1097 m   Z  1504837.3049 m  
  dX  109.7194 m   dY -64.3138 m   dZ  276.3682 m  
  sX  0.0103 m   sY  0.0220 m   sZ  0.0013 m  
Geodetic :  
  Lat 13 44 16.89815 N   Lon 100 31 53.07252 E   h -22.6497 m  
  dLat 9.37903   dLon -3.19924   dh -15.2763 m  
  sLat 0.0046 m   sLon 0.0061 m   sh 0.0231 m  
Distance :  
Slope 304.2269 m   sSlope 0.0074 m
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลชุดที่ 7 (Leica SR530)

```
#####
# GE_PS PROJECT SETTINGS
#####
```

```
Processing software : SKI-Pro Application V2.5
Processing kernel  : PSI version 3.20.
General header     :
Project name       : CU_GPS
Coordinate system  : WGS84
Time               : All results in local time (GPS +7.00 hr)
```

```
#####
# GE_PP PROCESSING PARAMETERS
#####
```

```
Cut-off angle (deg) : 15
Tropospheric model  : Saastamoinen
Ionospheric model   : No model
Solution type       : Standard
Ephemeris           : Broadcast
Data used           : Automatic
Frequency           : L1
Limit to resolve ambiguities (km) : 20
Rms threshold       : Automatic
Sampling rate (sec) : 15
Cycle slip detection : Phase check & loss lock flag
Min. time to fix amb. - L1 only (min) : 9

Use stochastic modelling : No
```

BL_FC.1 FINAL COORDINATES

```
-----
Rov:sta 22 Ref:cu03 Amb:Y Proc: L1 phase 08/18/2004 13:07:30
Cartesian :
  X -1132628.0063 m Y 6092415.6421 m Z 1504893.2698 m
  dX 101.9683 m dY -79.7814 m dZ 332.3331 m
  sX 0.0011 m sY 0.0029 m sZ 0.0010 m
Geodetic :
  Lat 13 44 18.77366 N Lon 100 31 53.42027 E h -22.7545 m
  dLat 11.25454 dLon - 2.85149 dh -15.3811 m
  sLat 0.0005 m sLon 0.0008 m sh 0.0031 m
Distance :
  Slope 356.6622 m sSlope 0.0006 m
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลที่ได้จากการประมวลผลเส้นฐานแต่ละเส้นด้วยซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอสที่พัฒนาขึ้น

ข้อมูลชุดที่ 1 (Leica SR399)

```

Station 1:c:\cugps\data\Gps11601.960
Station 2:c:\cugps\data\Gps21601.960
Base sat : 18
Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Sats elev: 62.3 36.2 27.6 32.5 42.3 62.0 22.7
Sats azi : 263.5 328.5 129.7 31.8 195.9 127.3 219.8
Obs.length:10.0 mins Sampling rate: 15 secs Offset: 0.0 mins
xxxxxxx Proc_dd is used xxxxxxxx
Ambiguity parameters
  10.0  8.0
   5.0  8.0
   8.0  5.0
 -14.0 -10.0
 -40.0 -40.0
  21.0  27.0
@@@ Original measurements @@@
      F-ratio  Fx/Fo  Ws  Fx2/Fx1
Std.VCV : 5.121 1.345 17.666 15.964
Baseline vectors(dX,dY,dZ): 44.2150 525.0675 692.8947
Std of baseline vectors : 0.0008 0.0013 0.0010
Baseline vectors(dN,dE,dH): 827.4970 -270.0391 -9.0257
Std of baseline vectors : 0.0005 0.0006 0.0016
Baseline length: 870.4906
Computing time : 0.51 seconds PDOP:1.7

```

ข้อมูลชุดที่ 2 (Leica CRS1000)

```

Station 1:c:\cugps\data\uns92850.990
Station 2:c:\cugps\data\lath2850.990
Base sat : 4
Sats used: 4 5 7 8 9 24
Sats elev: 64.3 29.3 34.6 32.3 55.3 40.5
Sats azi : 27.6 218.5 318.6 221.7 195.9 91.0
Obs.length:10.0 mins Sampling rate: 15 secs Offset: 0.0 mins
xxxxxxx Proc_dd is used xxxxxxxx
Ambiguity parameters
 -71.0 -69.0
 -68.0 -69.0
 -64.0 -62.0
 -63.0 -61.0
  14.0  15.0
@@@ Original measurements @@@
      F-ratio  Fx/Fo  Ws  Fx2/Fx1
Std.VCV : 2.864 1.135 8.270 14.212
Baseline vectors(dX,dY,dZ): -23.8957 -2185.1991 -1515.7037
Std of baseline vectors : 0.0011 0.0007 0.0012
Baseline vectors(dN,dE,dH): -1832.9363 1926.9866 9.5453
Std of baseline vectors : 0.0004 0.0005 0.0016
Baseline length: 2659.5158
Computing time : 0.21 seconds PDOP:1.7

```


ข้อมูลชุดที่ 3 (Trimble 4000SSE)

```

Station 1:c:\cugps\data\trim1.960
Station 2:c:\cugps\data\trim2.960
Base sat : 15
Sats used: 15 7 14 16 18 29
Sats elev: 81.9 18.9 53.3 24.0 17.9 78.3
Sats azi : 11.3 214.5 233.4 198.5 140.5 166.6
Obs.length:10.0 mins Sampling rate: 15 secs Offset: 0.0 mins
xxxxxxx Proc_dd is used xxxxxxxx
Ambiguity parameters
-6114148.0 -6114149.0
-1618396.0 -1618396.0
-6267191.0 -6267192.0
-7747838.0 -7747840.0
-7088933.0 -7088933.0
#### Original measurements ####
      F-ratio  Fx Fo  Ws  Fx2/Fx1
Std.VCV : 4.078 1.279 13.853 13.926
Baseline vectors(dX,dY,dZ): 8372.1003 8339.9627 6097.5769
Std of baseline vectors : 0.0011 0.0036 0.0015
Baseline vectors(dN,dE,dH): 7209.3644 -11173.7032 -30.0743
Std of baseline vectors : 0.0024 0.0008 0.0031
Baseline length: 13297.6496
Computing time : 0.23 seconds PDOP: 4.6

```

ข้อมูลชุดที่ 4 (Ashtech Z-XII)

```

Station 1:c:\cugps\data\base.990
Station 2:c:\cugps\data\rove.990
Base sat : 2
Sats used: 2 27 19 7 10 13
Sats elev: 83.5 32.4 19.0 15.4 51.8 71.3
Sats azi : 48.0 306.1 337.9 65.4 156.6 351.6
Obs.length:10.0 mins Sampling rate: 15 secs Offset: 0.0 mins
xxxxxxx Proc_dd is used xxxxxxxx
Ambiguity parameters
-482313.0 -482314.0
-704811.0 -704813.0
2812480.0 2812479.0
-284589.0 -284590.0
-198088.0 -198088.0
#### Original measurements ####
      F-ratio  Fx Fo  Ws  Fx2/Fx1
Std.VCV : 2.178 1.450 6.005 4.593
Baseline vectors(dX,dY,dZ): -50.9148 -136.2451 -159.5907
Std of baseline vectors : 0.0014 0.0011 0.0007
Baseline vectors(dN,dE,dH): -188.5133 105.2933 0.5111
Std of baseline vectors : 0.0009 0.0008 0.0014
Baseline length: 215.9264
Computing time : 0.23 seconds PDOP: 4.1

```

ข้อมูลชุดที่ 5 (Leica SR530)

```

Station 1: c:\cugps\data\BM2_2460.030
Station 2: c:\cugps\data\KM272460.030
Base sat : 21
Sats used: 21 6 9 14 15 17 18
Sats elev: 70.6 32.5 56.2 22.8 24.8 53.5 32.7
Sats azi : 94.6 244.7 4.7 203.7 121.6 332.8 112.5
Obs.length: 10.0 mins Sampling rate: 15 secs Offset: 0.0 mins
xxxxxxx Proc_dd is used xxxxxxxx
Ambiguity parameters
 18.0 20.0
 -2.0 -5.0
-14.0 -9.0
 -5.0 -2.0
-12.0 -15.0
 -4.0 -2.0
@@@ Original measurements @@@
      F-ratio  Fx/F0  Ws  Fx2/Fx1
Std.VCV : 4.068 1.191 13.987 17.887
Baseline vectors(dX,dY,dZ): 285.2085 521.9973 -1883.3191
Std of baseline vectors : 0.0009 0.0031 0.0009
Baseline vectors(dN,dE,dH): -1938.8571 -376.2290 -0.9364
Std of baseline vectors : 0.0013 0.0007 0.0031
Baseline length: 1975.0230
Computing time : 0.38 seconds PDOP:1.9

```

ข้อมูลชุดที่ 6 (Leica SR530)

```

Station 1: c:\cugps\data\cu03n.040
Station 2: c:\cugps\data\cu09n.040
Base sat : 25
Sats used: 25 14 16 30
Sats elev: 53.1 38.3 26.7 33.3
Sats azi : 144.6 65.4 254.9 36.3
Obs.length: 10.0 mins Sampling rate: 15 secs Offset: 0.0 mins
xxxxxxx Proc_dd is used xxxxxxxx
Ambiguity parameters
 10.0 9.0
 33.0 34.0
-26.0 -27.0
@@@ Original measurements @@@
      F-ratio  Fx/F0  Ws  Fx2/Fx1
Std.VCV : 2.276 1.003 5.303 45.003
Baseline vectors(dX,dY,dZ): 109.7184 -64.3125 276.3665
Std of baseline vectors : 0.0110 0.0236 0.0013
Baseline vectors(dN,dE,dH): 288.2398 -96.1142 15.2821
Std of baseline vectors : 0.0065 0.0049 0.0248
Baseline length: 304.2263
Computing time : 0.52 seconds PDOP:4.5

```

ข้อมูลชุดที่ 7 (Leica SR530)

```

Station 1: c:\cugps\data\cu03n.040
Station 2: c:\cugps\data\cu22n.040
Base sat : 22
Sats used: 22 14 16 25 30
Sats elev: 53.6 39.7 36.9 50.7 26.2
Sats azi : 311.3 52.4 255.2 127.8 44.1
Obs. length: 10.0 mins Sampling rate: 15 secs Offset: 0.0 mins
xxxxxxx Proc_dd is used xxxxxxxx
Ambiguity parameters
 9.0 9.0

```

```

      42.0      43.0
     -7.0     -6.0
    -55.0    -55.0
@@@ Original measurements @@@
      F-ratio  Fx/Fo  Ws  Fx2/Fx1
Std. VCV   : 2.319  1.044  7.147  20.704
Baseline vectors (dX,dY,dZ):  101.9686  -79.7819  332.3330
Std of baseline vectors   :    0.0013    0.0029    0.0011
Baseline vectors (dN,dE,dH):  345.8788  -85.6673  15.3916
Std of baseline vectors   :    0.0010    0.0006    0.0031
Baseline length:      356.6623
Computing time :      0.20 seconds      PDOP: 3.2
-----

```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

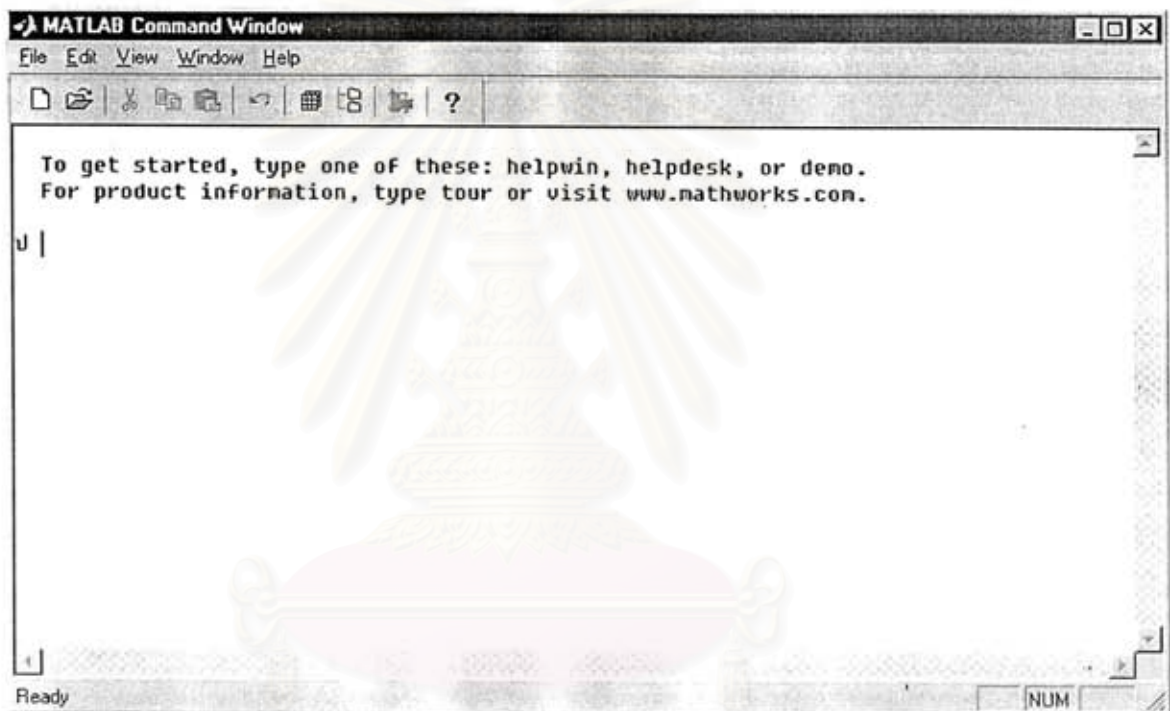
ภาคผนวก ก

รายละเอียดและวิธีการใช้งานซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลเส้นฐานจีพีเอสที่พัฒนาขึ้น

การติดตั้งให้ copy directory และ file ที่อยู่ใน CD ทั้งหมดลงใน drive C: ของคอมพิวเตอร์ โดยผู้ใช้งานจะต้องมี Software Matlab 5.3 อยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว จากนั้นให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

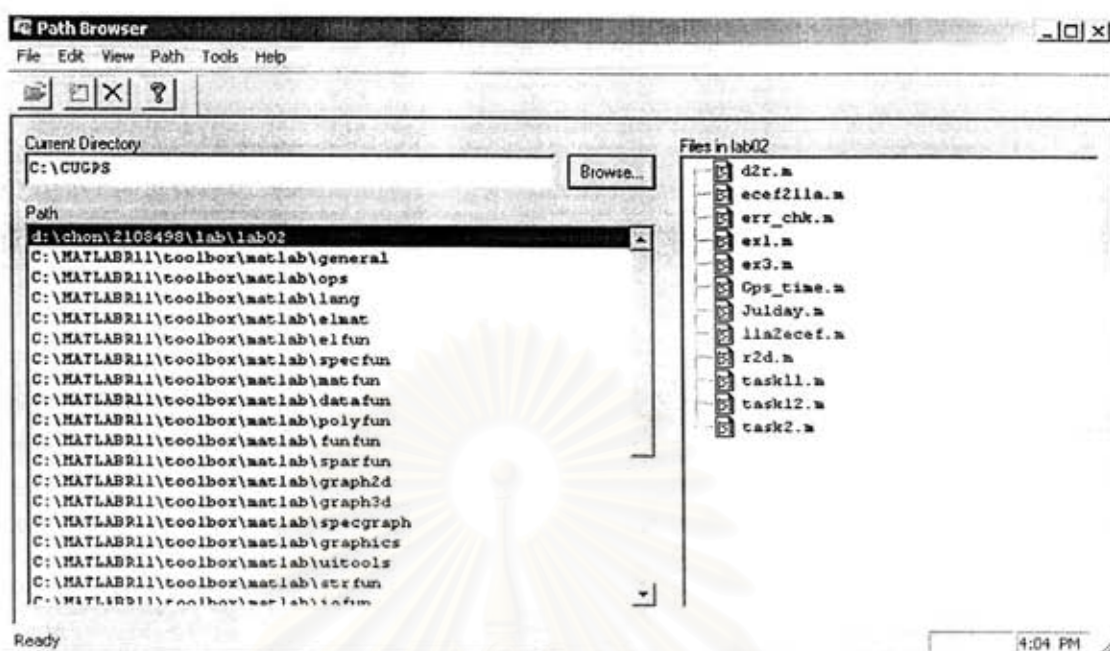
1. เปิดโปรแกรม MATLAB 5.3

จากนั้น ก็จะเกิดหน้าต่างของโปรแกรม MATLAB 5.3 ชื่อว่า MATLAB Command Window ขึ้นดังภาพ



2. ทำการอ้างอิงตำแหน่งที่อยู่ของโปรแกรม

โดยการเลือกที่ File >> Set Path... หรือ เลือกที่ icon  จากนั้นก็จะเกิดหน้าต่างของ Path Browser ขึ้นดังภาพ



ทำการเลือกตำแหน่งของ โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ โดยการเลือกที่ Browse... ซึ่งในที่นี้จะสมมติว่า โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณอยู่ที่ 'C:\CUGPS'

เมื่อทำการเลือกเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ให้ปิดหน้าต่าง Path Browser


3. สร้าง ephemeris file

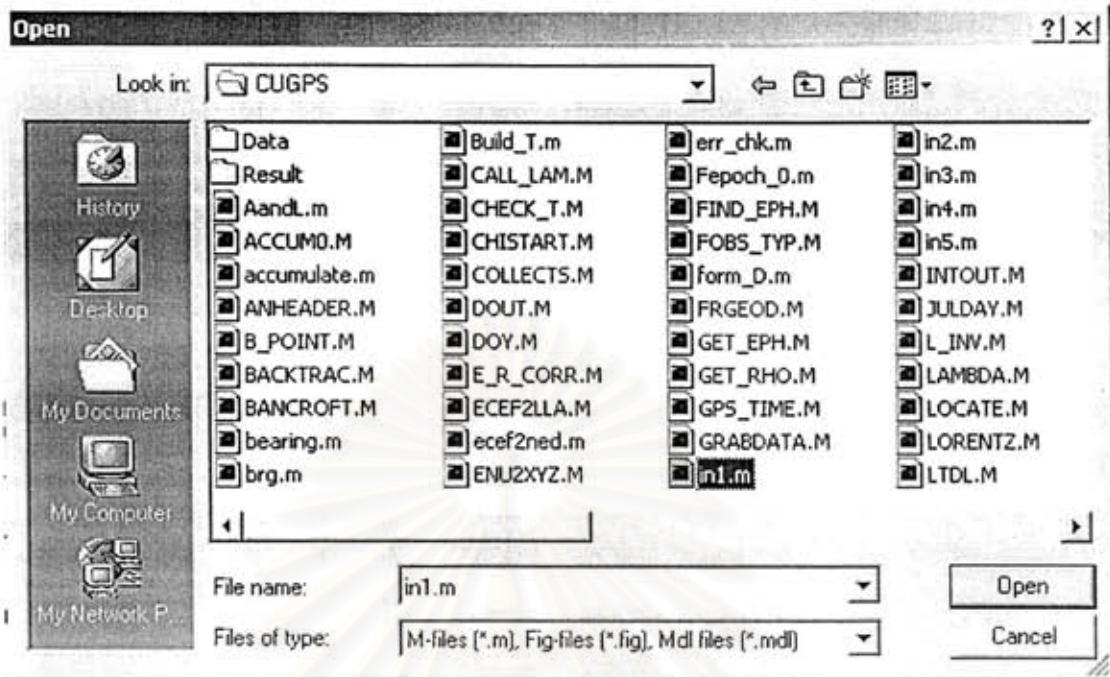
หลังจากนั้นต้องทำการสร้าง ephemeris file จากข้อมูล rinex ที่มีนามสกุล .xxn โดยการเรียกคำสั่ง rinexe เช่น สมมติว่า ถ้าข้อมูลที่ต้องการจะทำการคำนวณ มีไฟล์ rinex ที่มีนามสกุล .xxn คือ pta.96n ซึ่งอยู่ใน โฟลเดอร์ 'C:\CUGPS\Data' ดังนั้นเราจะสร้าง ephemeris file ได้โดยการ ใช้คำสั่ง

```
rinexe('C:\CUGPS\Data\BM2_2460.03n','pat.nav')
```

ผลที่ได้ก็คือ เราจะได้ไฟล์ pat.nav เป็น ephemeris file และจะถูกเก็บไว้ที่โฟลเดอร์ 'C:\CUGPS' โดยอัตโนมัติ ซึ่งเราจะได้นำมาใช้ในการคำนวณต่อไป

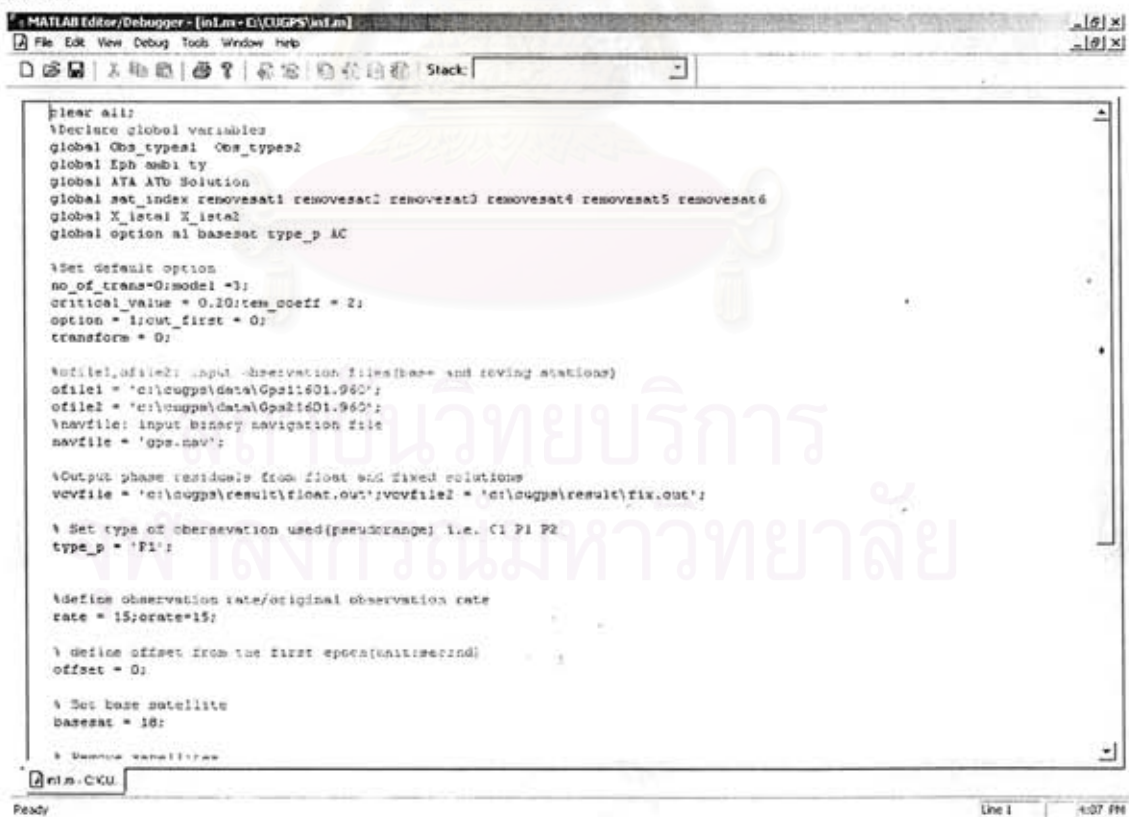
4. สร้างไฟล์ parameter เบื้องต้น

หลังจากนั้น ทำการสร้างไฟล์สำหรับค่า parameter เบื้องต้น โดยอาศัยไฟล์ค่า parameter เบื้องต้นของเดิม โดยการเลือกที่ File >> Open... หรือเลือกที่ icon  ก็จะเกิดหน้าต่าง Open ขึ้น แล้วจึงทำการเลือกไฟล์ค่า parameter เบื้องต้นที่ชื่อว่า in1.m ดังภาพ



เมื่อทำการเลือกไฟล์ in1.m แล้วก็จะเกิดหน้าต่างของ MATLAB Editor/Debugger ของไฟล์ in1.m ขึ้น

ดังภาพ



ให้ทำการตั้งค่า parameter เบื้องต้นต่างๆ โดยมีตัวอย่างของรหัส (Code) และคำอธิบายดังต่อไปนี้

```

clear all;
%Declare global variables %เป็นการประกาศตัวแปร
global Obs_types1 Obs_types2
global Eph ambi ty
global ATA ATb Solution
global sat_index removesat1 removesat2 removesat3 removesat4
removesat5 removesat6
global X_ista1 X_ista2
global option al_basesat type_p AC

%Set default option %เป็นการตั้งค่า default
no_of_trans=0;model =3;
critical_value = 0.20;tem_coeff = 2;
option = 1;cut_first = 0;
transform = 0;

%เป็นการระบุตำแหน่งและชื่อไฟล์ของข้อมูลที่ต้องการคำนวณ
%ofile1,ofile2: input observation files(base and roving stations)
ofile1 = 'c:\cugps\data\Gps11601.960';
ofile2 = 'c:\cugps\data\Gps21601.960';
%navfile: input binary navigation file
navfile = 'gps.nav';

%เป็นการระบุตำแหน่งและชื่อไฟล์ของไฟล์ที่เป็นค่าเศษเหลือ (residuals)
%Output phase residuals from float and fixed solutions
vcvfile = 'c:\cugps\result\float.out';vcvfile2 =
'c:\cugps\result\fix.out';

% เป็นการระบุชนิดของข้อมูล
% Set type of observeation used(pseudorange) i.e. C1 P1 P2
type_p = 'P1';

% เป็นการระบุอัตราถี่ของข้อมูลที่จะประมวลผลและอัตราถี่ของข้อมูลดิบ
%define observation rate/original observation rate
rate = 15;orate=15;

% เป็นการระบุค่า offset จากข้อมูล epoch แรก
% define offset from the first epoch(unit:second)
offset = 0;

% เป็นการระบุดาวเทียมที่ใช้เป็น reference
% Set base satellite
basesat = 18;

% เป็นการระบุหมายเลขดาวเทียมที่ต้องการตัดออกจากการประมวลผล
% Remove satellites
removesat1 = 0;removesat2 = 0;removesat3 = 0;removesat4 =
0;removesat5 = 0;removesat6 = 0;

% เป็นการระบุความยาวของข้อมูลที่จะประมวลผล
%set the length of observeations to be processed (unit: second)

```

```

len= 600;

% เป็นการระบุตำแหน่งและชื่อไฟล์ของไฟล์ output
%Baseline result
vcvmat = 'c:\cugps\result\output.txt';

% เป็นการระบุค่าพิกัดตั้งต้นของสถานีทั้งสอง
%Initial coordinates
X_istal=[-2361250.4127;      4837903.0905;      -3409289.3125];%gps data
X_ista2=X_istal+[44.2434;      525.0140;      692.9310];%gps data

% เป็นการเลือก tropospheric model ที่ใช้ปรับแก้ 1 = Saastamoinen; 2 = Hopfield
%Tropospheric model (1 = Saastamoinen; 2 = Hopfield)
tropomodel=1;

%เริ่มทำการประมวลผลข้อมูล
%start processing
proc_dd;

```

หลังจากนั้นให้ทำการบันทึก โดยเลือกที่ File >> Save As... และใส่ชื่อที่ต้องการ

จากนั้นให้ทำการเลือกไฟล์เดสก์ทอปที่ใช้บันทึก และควรเป็น ไฟล์เดสก์ทอปเดียวกับที่โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณอยู่ ซึ่งในที่นี้ก็คือ 'C:\CUGPS' นั่นเอง ต่อไปให้ใส่ชื่อของไฟล์โดยสมมติให้ใช้ชื่อว่า in.m แล้วกดปุ่ม Save ก็เป็นการเสร็จการสร้างไฟล์สำหรับค่า parameter เบื้องต้น

สำหรับตัวอย่างของไฟล์ค่า parameter เบื้องต้นอื่นๆ สามารถดูได้จากไฟล์ที่ชื่อว่า in แล้วตามด้วยตัวเลขที่มีนามสกุล เป็น .m

5. ทำการคำนวณ

โดยที่หน้าต่างของ MATLAB Command Window ให้พิมพ์คำว่า

```
in;
```

เพื่อเรียกโปรแกรมคำนวณ ซึ่งเมื่อทำการคำนวณแล้วก็จะเกิดผลดังนี้

```

» in1
Computing...
Epoch: 1 Time: 532410.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 2 Time: 532425.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 3 Time: 532440.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 4 Time: 532455.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 5 Time: 532470.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 6 Time: 532485.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 7 Time: 532500.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 8 Time: 532515.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 9 Time: 532530.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 10 Time: 532545.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 11 Time: 532560.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 12 Time: 532575.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 13 Time: 532590.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 14 Time: 532605.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24

```



```

Epoch: 15 Time: 532620.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 16 Time: 532635.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 17 Time: 532650.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 18 Time: 532665.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 19 Time: 532680.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 20 Time: 532695.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 21 Time: 532710.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 22 Time: 532725.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 23 Time: 532740.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 24 Time: 532755.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 25 Time: 532770.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 26 Time: 532785.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 27 Time: 532800.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 28 Time: 532815.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 29 Time: 532830.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 30 Time: 532845.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 31 Time: 532860.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 32 Time: 532875.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 33 Time: 532890.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 34 Time: 532905.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 35 Time: 532920.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 36 Time: 532935.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 37 Time: 532950.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 38 Time: 532965.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 39 Time: 532980.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Epoch: 40 Time: 532995.0 Sats used: 18 29 27 14 4 19 24
Vector from 1 to 2: 44.2150 525.0675 692.8947
Ratio values: 5.12 1.35 17.67 15.96
Baseline vectors (dN, dE, dH): 827.4970 -270.0391 -9.0257
Std of baseline vectors : 0.0005 0.0006 0.0016
Baseline length: 870.4906
»

```

จากนั้นให้เข้าไปดูผลที่ C:\CUGPS\RESULT\output.txt

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



