

การคัดเลือกดาวเทียม GNSS ที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์โดยการ
ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม



นายสุรเชษ ศรีนารา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

OPTIMIZATION OF GNSS SATELLITE COMBINATION IN KINEMATIC POSITIONING
MODE WITH AIDING OF GENETIC ALGORITHM

Mr. Surachet Srinara



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การคัดเลือกดาวเทียม GNSS ที่มีความเหมาะสมสำหรับ
การหาตำแหน่งแบบจลน์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิง
พันธุกรรม

โดย

นายสุรเชษ ศรีนารา

สาขาวิชา

วิศวกรรมสำรวจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ์ ชื่อนิติไพศาล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ธีรทัต เจริญกาศัญญา)

สุรเชษ ศรีนารา : การคัดเลือกดาวเทียม GNSS ที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม. (OPTIMIZATION OF GNSS SATELLITE COMBINATION IN KINEMATIC POSITIONING MODE WITH AIDING OF GENETIC ALGORITHM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 80 หน้า.

พื้นฐานของการหาตำแหน่งที่มีความละเอียดถูกต้องสูงจะใช้การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง โดยมีหลายเทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไปเพื่อให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ทางตำแหน่งที่มีความละเอียดถูกต้องสูง ได้แก่ เทคนิคการหาค่าต่างของข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง โดยเทคนิคค่าต่างครั้งที่สองถือว่าเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ เพื่อลดหรือขจัดค่าคลาดเคลื่อนและสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่เจือปนอยู่ในข้อมูลออกไป แต่อย่างไรก็ตาม ค่าคลาดเคลื่อนและสัญญาณรบกวนต่าง ๆ บางค่ายังคงเหลืออยู่ในข้อมูลและไม่สามารถขจัดออกไปได้ ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนเหล่านี้เองที่เป็นสาเหตุทำให้ผลลัพธ์ทางตำแหน่งที่ได้ไม่อาจจะมี ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้ โดยอีกหนึ่งเทคนิคสำคัญก็คือ ขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี ซึ่งถือว่ามีค่าสำคัญมากสำหรับการแปลงข้อมูลเฟสคลื่นส่งเป็นระยะที่มีความละเอียดถูกต้อง ในบางกรณีการเลือกบางชุดข้อมูลออกไปก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผล สามารถให้ค่าผลลัพธ์ทางตำแหน่งที่น่าเชื่อถือมากกว่าการเลือกใช้ข้อมูลทั้งหมด โดยทั่วไปขบวนการนี้จะดำเนินการคัดเลือกด้วยมือ ซึ่งอาศัยการสุ่มลองผิดลองถูก และวนซ้ำจนกว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นที่น่าพึงพอใจ ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างใช้ทั้งเวลา และต้องการผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ แนวทางสำหรับขจัดปัญหาเหล่านี้ คือ การเลือกใช้วิธีการที่มีความ สอดคล้องและเหมาะสมเข้ามาช่วย เช่น เทคนิคการหาค่าที่มีความเหมาะสมอย่างวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) โดย GA เป็นขั้นตอนวิธีของการค้นหาารูปแบบของคำตอบที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับแต่ละปัญหา ที่ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของหลักการวิวัฒนาการตามธรรมชาติ โดยจุดประสงค์ของการศึกษานี้คือนำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียม GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ ผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถคัดเลือกดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสม และปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีได้ดีขึ้น โดยที่ระยะเส้นฐาน 2.1 กิโลเมตร มีอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มได้เกือบ 100% ในขณะที่อัตราการประมาณค่าเลขปริศนาเป็นเลขจำนวนเต็ม ที่ระยะเส้นฐาน 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร มีค่าประมาณ 88% และ 68% ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5570426021 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS: GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM / KINEMATIC POSITIONING /
GENETIC ALGORITHM / AMBIGUITY RESOLUTION

SURACHET SRINARA: OPTIMIZATION OF GNSS SATELLITE COMBINATION IN
KINEMATIC POSITIONING MODE WITH AIDING OF GENETIC ALGORITHM.
ADVISOR: PROF.CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D., 80 pp.

The basic of high precision positioning is to use carrier phase-based differential positioning. There are techniques to obtain high precision positioning results, such as, data differencing techniques. Ambiguity resolution double differencing (DD) technique is widely used in commercial GNSS software packages to reduce many of errors or biases that contaminated in the observations data. However, some of errors or biases still remain in the DD observations. The remaining errors can cause bad or unreliable positioning results. Another important technique is to resolve the ambiguities to their correct integer values, which is very crucial for calculating the high accuracy distance. In some case, the removal of some observations before data processing step can provide more reliable positioning results than the use of all data. Generally, this procedure is carried out manually that based on trial and error and iterative procedure until the obtained results are satisfied that rather takes a lot of time and requires an experienced user. The way to overcome this problem is to use the aid of the suitable method, such as, optimization technique as genetic algorithm (GA). The GA is the global optimum search algorithm that based on natural evolution. The aim of this paper is to present a method with aiding of GA to optimize the selection of the best GNSS satellite combination in kinematic positioning mode. The obtained results reveal that the use of GA can get the best GNSS satellite combination and improve the success rate of ambiguity resolution. At 2.1 km baseline the success rate was nearly 100%, while the success rates at 13.0 km and 19.6 km were approximately 88% and 68% respectively.

Department: Survey Engineering

Student's Signature

Field of Study: Survey Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นอย่างดี พร้อมทั้งตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สันติธรรมนันท ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ์ ชื่อนิติไพศาล และ ดร.ธีทัต เจริญกาลัญญาตา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ระหว่างศึกษาครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่, บริษัท อัลทิเมท โปซิชั่นนิ่ง จำกัด และบริษัท ทริมเบล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุน เอื้อเพื่อข้อมูลดาวเทียม ตลอดจนให้คำปรึกษาและแนะนำสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า รวมถึงพี่ ๆ เพื่อน ๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ให้ข้อมูล คำแนะนำและแลกเปลี่ยนความรู้ในระหว่างการศึกษา ข้าพเจ้าขอมอบคุณงามความดีอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแต่บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา.....	3
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แนวคิดพื้นฐานของงานวิจัย.....	6
2.2 ระบบดาวเทียมนำหน GNSS (Global Navigation Satellite Systems).....	7
2.2.1 ระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System).....	9
2.2.1.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment).....	10
2.2.1.2 ส่วนควบคุม (Control Segment).....	13
2.2.1.3 ส่วนผู้ใช้ (User Segment).....	14
2.2.2 ระบบดาวเทียม GLONASS (Global Navigation Satellite System).....	15
2.2.2.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment).....	15
2.2.2.2 ส่วนควบคุม (Control Segment).....	18
2.2.2.3 ส่วนผู้ใช้ (User Segment).....	18
2.3 สมการค่าสังเกต (Observation Equation).....	19

2.3.1	ซูโดเรนจ์ (Pseudorange).....	19
2.3.2	เฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase)	20
2.4	เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสัมพัทธ์	23
2.4.1	การรังวัดแบบสถิต (Static)	24
2.4.2	การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static)	24
2.4.3	การรังวัดแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic: RTK).....	24
2.4.4	การรังวัดแบบจลนในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK: NRTK).....	26
2.4.5	การรังวัดแบบจลนโดยการประมวลผลในภายหลัง (Post Processing Kinematic: PPK).....	27
2.5	วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA).....	28
2.5.1	การเข้ารหัส (Encoding)	30
2.5.1.1	Binary Encoding.....	30
2.5.1.2	Value Encoding.....	30
2.5.2	ประชากร (Population).....	31
2.5.2.1	การสร้างประชากรเริ่มต้น (The Initial Population Generation).....	31
2.5.2.2	ขนาดของประชากร (The Population Size).....	31
2.5.3	ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operators).....	31
2.5.3.1	การคัดเลือก (Selection).....	31
2.5.3.2	การผสมพันธุ์ (Crossover).....	33
2.5.3.3	การกลายพันธุ์ (Mutation)	34
2.5.4	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function).....	34
2.6	การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (Constrained Optimization with Genetic Algorithm).....	35
2.6.1	การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัด (Constrained Optimization) ..	35
2.6.2	วิธีฟังก์ชันลงโทษ (Penalty Function Method).....	36
2.7	งานวิจัยที่ผ่านมา	37

2.7.1 การปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีด้วยเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ.....	37
2.7.2 การปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดยการใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA).....	38
บทที่ 3 การดำเนินงาน.....	39
3.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับการประมวลผล	40
3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม.....	43
3.2.1 รูปแบบของประชากร (Population Type).....	45
3.2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function).....	46
3.3 การประมวลผลข้อมูล	48
3.3.1 การประมวลผลข้อมูลแบบจลนโดยการประมวลผลในภายหลัง.....	49
3.3.2 การประมวลผลข้อมูลแบบจลนโดยการประมวลผลในภายหลังร่วมกับการประยุกต์ใช้ GA.....	50
3.4 การวิเคราะห์และประเมินผลของการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับการประมวลผลข้อมูลแบบจลน.....	51
3.5 การทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี.....	52
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	53
4.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution)	54
4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่ง	55
4.3 ผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี.....	60
4.3.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover.....	63
4.3.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งเกิดจากการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover.....	64
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	70
5.1.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution: AR)	70

5.1.2 ผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลข จำนวนเต็มตามทฤษฎี.....	71
5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ	72
รายการอ้างอิง	73
ภาคผนวก.....	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	80



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 รายละเอียดของสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	4
ตารางที่ 2.1 วงโคจรดาวเทียม GPS ในปัจจุบัน	10
ตารางที่ 2.2 คลื่นสัญญาณดาวเทียม GPS ในปัจจุบัน	12
ตารางที่ 2.3 วงโคจรดาวเทียม GLONASS ในปัจจุบัน	16
ตารางที่ 2.4 คลื่นสัญญาณดาวเทียม GLONASS ในปัจจุบัน	17
ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฟังก์ชัน GA บนซอฟต์แวร์ MATLAB	44
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบไบนารีและความหมาย	46
ตารางที่ 4.1 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ	53
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ	54
ตารางที่ 4.3 แสดงผลเฉลี่ยของค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัดเปรียบเทียบกันระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม	59
ตารางที่ 4.4 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี UPNT	60
ตารางที่ 4.5 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี BGOK	61
ตารางที่ 4.6 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี SV01	62
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ	63
ตารางที่ 4.8 แสดงผลเฉลี่ยของค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัดเปรียบเทียบกันระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ	68

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงตำแหน่งโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	3
รูปที่ 2.1 ส่วนต่าง ๆ ในระบบดาวเทียม GNSS (GNSS Segments)	8
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนพื้นฐานของระบบดาวเทียม GNSS	8
รูปที่ 2.3 ส่วนอวกาศของระบบดาวเทียม GPS	10
รูปที่ 2.4 แสดงวิวัฒนาการของคลื่นสัญญาณดาวเทียม GPS	12
รูปที่ 2.5 ส่วนควบคุมของระบบดาวเทียม GPS	13
รูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้งาน GPS	14
รูปที่ 2.7 ส่วนอวกาศของระบบดาวเทียม GLONASS	15
รูปที่ 2.8 แสดงวิวัฒนาการของคลื่นสัญญาณดาวเทียม GLONASS	17
รูปที่ 2.9 ส่วนควบคุมของระบบดาวเทียม GLONASS	18
รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณของรหัสเพื่อหาระยะเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับเครื่องรับสัญญาณ	19
รูปที่ 2.11 แสดงหลักการวัดระยะเฟสของคลื่นส่ง (Principle of Carrier Phase Measurement)	21
รูปที่ 2.12 แสดงการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)	23
รูปที่ 2.13 แสดงเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที	25
รูปที่ 2.14 แสดงการรังวัดแบบจลน์ในทันทีในสนาม	25
รูปที่ 2.15 แสดงเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบโครงข่ายสถานีฐาน	26
รูปที่ 2.16 แสดงเทคนิคการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง	27
รูปที่ 2.17 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการเชิงพันธุกรรม	29
รูปที่ 2.18 แสดงการเข้ารหัสแบบไบนารี (Binary Encoding)	30
รูปที่ 2.19 แสดงการเข้ารหัสแบบแทนค่า (Value Encoding)	30
รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างขนาดของประชากร (Population Size)	31
รูปที่ 2.21 แสดงขั้นตอนพื้นฐานของการคัดเลือก (Selection)	32
รูปที่ 2.22 แสดงการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection)	33
รูปที่ 2.23 ตัวดำเนินการ Crossover	33
รูปที่ 2.24 ตัวดำเนินการ Mutation	34
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	39
รูปที่ 3.2 แสดงที่ตั้งโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย	40
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการแปลงข้อมูลเป็น RINEX ซอฟต์แวร์ Convert To RINEX	41
รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างไฟล์ข้อมูล RINEX ของสถานี SV01 ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Convert To RINEX	41
รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างการใช้ซอฟต์แวร์ TEQC ในการตัดแบ่งช่วงข้อมูล	42

รูปที่ 3.6	แสดงตัวอย่างช่วงข้อมูลของสถานี SV01 ที่ได้จากซอฟต์แวร์ TEQC	42
รูปที่ 3.7	ผังขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับการประมวลผล ข้อมูลแบบ PPK	43
รูปที่ 3.8	แสดงตัวอย่างชุดคำสั่งที่ถูกนำเข้าประมวลผลในซอฟต์แวร์ RTKPOST	45
รูปที่ 3.9	การแทนดาวเทียมแต่ละดวงในแต่ละตำแหน่งบิตสตรีม	45
รูปที่ 3.10	ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล	48
รูปที่ 3.11	แสดงหน้าต่างของฟังก์ชัน RTKPOST สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูล	49
รูปที่ 3.12	แสดงการกำหนดค่าต่าง ๆ บนฟังก์ชัน RTKPOST	49
รูปที่ 3.13	แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยฟังก์ชัน RTKPOST	50
รูปที่ 3.14	แสดงตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้ บนซอฟต์แวร์MATLAB	51
รูปที่ 4.1	แสดงการเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวล ผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ	55
รูปที่ 4.2	แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี UPNT (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)	56
รูปที่ 4.3	แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี BGOK (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)	56
รูปที่ 4.4	แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี SV01 (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)	57
รูปที่ 4.5	แสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี UPNT	58
รูปที่ 4.6	แสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี BGOK	58
รูปที่ 4.7	แสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี SV01	59
รูปที่ 4.8	แสดงการเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวล ผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ	64
รูปที่ 4.9	แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี UPNT (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)	65
รูปที่ 4.10	แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี BGOK (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)	65

รูปที่ 4.11 แสดงค่าผลต่างในฟังก์ชัน E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี SV01 (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)	66
รูปที่ 4.12 แสดงค่า RMSE ในฟังก์ชัน E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี UPNT	67
รูปที่ 4.13 แสดงค่า RMSE ในฟังก์ชัน E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี BGOK	67
รูปที่ 4.14 แสดงค่า RMSE ในฟังก์ชัน E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการ ประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี SV01	68



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันงานด้านสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมโดยเฉพาะการนำหนและการระบุพิกัดตำแหน่งได้ถูกนำมาใช้เพื่อการวางแผนและปฏิบัติงาน ตลอดจนการศึกษาและพัฒนาสำหรับงานด้านต่าง ๆ และในช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีด้านการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการกำหนดค่าเฉพาะขึ้นมาที่มีชื่อว่า Global Navigation Satellite Systems (GNSS) เพื่อให้ครอบคลุมกว้างมากขึ้นโดยมิได้จำกัดเฉพาะระบบดาวเทียม Global Positioning System (GPS) เพียงระบบเดียว (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) ทั้งนี้เพื่อให้ระบบมีความทันสมัยและตอบสนองความต้องการในการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายเพิ่มมากขึ้น โดยมีเป้าหมายสำคัญ คือ การปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GPS โดยการใช้ระบบอื่นเข้ามาช่วย เช่น GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS), GALILEO, COMPASS, Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) และ Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS) เป็นต้น ส่งผลทำให้ระบบ GNSS มีข้อได้เปรียบหลายประการมากกว่าการเลือกใช้ข้อมูล GPS เพียงแหล่งเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้สำหรับงานที่ต้องการหาตำแหน่งแบบเคลื่อนที่ เช่น ระบบติดตามรถยนต์ เรือ และเครื่องบิน การสำรวจและทำแผนที่ เป็นต้น ซึ่งอาศัยการหาตำแหน่งแบบสัมพันธ์ด้วยวิธีจลน์ (Kinematic Positioning) โดยเฉพาะเทคนิค Real-time Kinematic (RTK) เป็นที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว และสามารถแสดงค่าพิกัดตำแหน่ง ณ ตำแหน่งของผู้ใช้ โดยทันทีทันใด

โดยทั่วไปความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ จำนวนดาวเทียม เรขาคณิตของดาวเทียม สถานะของดาวเทียม ระยะเวลา ขนาดของค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ความยาวของเส้นฐาน และสภาพแวดล้อมในขณะที่รับสัญญาณ เป็นต้น (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) บ่อยครั้งที่ต้องทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรคโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น บริเวณเขตเมืองที่มีตึกสูง, หุบเขา หรือต้นไม้ขึ้นหนาแน่น เป็นต้น ซึ่งแน่นอนว่าไม่อาจทำให้ข้อมูลทางตำแหน่งที่น่าเชื่อถือและมีความถูกต้องได้ และแม้ว่าระบบดาวเทียม GNSS จะทำให้เราสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้มากขึ้นส่งผลทำให้มีจำนวนข้อมูลเพิ่มมากขึ้นและเพียงพอสำหรับการประมวลผลหาค่าพิกัดตำแหน่ง แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลเหล่านี้ไม่อาจจะมีความถูกต้องสมบูรณ์โดยทั้งหมด ส่งผลทำให้ค่าข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้ไม่มีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องมากพอสำหรับงานที่ต้องการได้ โดยทั่วไปแนวทางสำหรับปรับปรุงความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งให้ดีขึ้น ได้แก่ การปรับแก้ ขจัดหรือลดค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่เจือปนอยู่ในข้อมูลออกไปเพื่อความถูกต้องของเส้นฐาน (Baseline) ที่ดีขึ้น โดยขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution, AR) ถือเป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญ โดยที่ขบวนการ AR จะต้องประสบผลสำเร็จ สามารถหาค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีความถูกต้องได้ เพื่อแปลงข้อมูลเฟสของคลื่นส่งให้เป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมที่มีความละเอียดถูกต้อง

สำหรับใช้ในการคำนวณหาเส้นฐานที่มีความถูกต้อง และนำมาสู่ความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีขึ้น

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษา พัฒนาและปรับปรุงวิธีการ เทคนิค และแบบจำลองต่าง ๆ สำหรับใช้ในการปรับแก้ ลดหรือขจัดค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่เจือปนอยู่ในข้อมูลออกไป เพื่อความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานหาพิกัดตำแหน่งแบบจลน์ (Kinematic Positioning) ได้แก่ การศึกษาผลของการใช้โครงข่ายสถานีอ้างอิง GPS ร่วมกับวิธี Linear Combination method กับ Integrated Method สำหรับความยาวเส้นฐานปานกลาง (Han and Rizos 2000), การศึกษาเปรียบเทียบผลของวิธี LMS (Local-Minima Search) ระหว่างข้อมูล GPS เพียงแหล่งเดียวกับข้อมูล GPS, GLONASS (Pratt et al. 1998) การศึกษาผลของการใช้โครงข่ายสถานีอ้างอิง GPS, GLONASS ร่วมกับการใช้แบบจำลองสหสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ สำหรับการหาตำแหน่งแบบ Real-time ที่มีผลต่อขบวนการ AR และการศึกษาเปรียบเทียบผลของเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ สำหรับการหาตำแหน่งแบบ Real-time โดยใช้โครงข่ายสถานีอ้างอิง GPS, GLONASS (Dai et al. 2001) เป็นต้น จากตัวอย่างการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นถึงการใช้เทคนิคและวิธีการต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งให้ดีขึ้น โดยนอกเหนือจากเทคนิควิธีการต่าง ๆ ข้างต้น วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) ถือเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากในงานวิจัย โดยเป็นขั้นตอนวิธีของการค้นหาชุดคำตอบที่มีความเป็นไปได้ เหมาะสมและสอดคล้องกับแต่ละปัญหา ซึ่งเลียนแบบมาจากวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ และเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา GA ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการสำรวจด้วยดาวเทียม โดยกลุ่มของนักวิจัยหลายท่าน โดยเฉพาะเกี่ยวกับการปรับปรุงขบวนการ AR ยกตัวอย่าง เช่น การศึกษาเปรียบเทียบผลของรูปแบบการเข้ารหัสและการปรับปรุง GA ที่มีผลต่อขบวนการ AR ของข้อมูล GPS (Liu et al. 2005), (Liu et al. 2010) และการศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ GA ในการคัดเลือกดาวเทียม GPS กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ ที่มีผลต่อขบวนการ AR (Srinuandee et al. 2012) เป็นต้น

โดยในงานวิจัยนี้จะขอเสนอวิธีการคัดเลือกข้อมูล โดยทำการคัดเลือกข้อมูลดาวเทียมระบบ GNSS (GPS, GLONASS) บางชุดข้อมูลออกไปก่อนนำเข้าสู่ขบวนการประมวลผล โดยประยุกต์ใช้ GA เพื่อคัดเลือกดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีจลน์โดยการประมวลผลภายหลัง (Post-processing Kinematic, PPK) เพื่อปรับปรุงขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีให้ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี สำหรับการประยุกต์ใช้ GA ร่วมกับการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีจลน์โดยใช้ข้อมูล GPS และ GLONASS

1.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้ GA

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

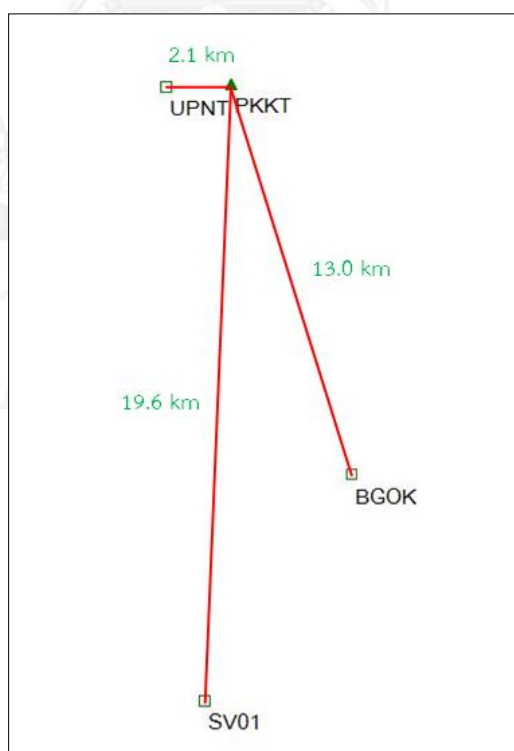
ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา ได้แก่ การศึกษาเปรียบเทียบผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยเลือกใช้การประมวลผลข้อมูลมาตรฐานแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post-Processing Kinematic, PPK)

1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาที่ใช้ในการวิจัย

ขอบเขตพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล

1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้แก่ ข้อมูลโครงข่ายสถานีของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS แบบสองความถี่ มีสถานี PKKT เป็นสถานีอ้างอิง (Base station) และสถานี UPNT, BGOK และ SV01 เป็นสถานีผู้ใช้ (Roving station) ระยะของเส้นฐานโดยประมาณ 2.1, 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บแบบสถิติ ที่อัตราการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ของวันที่ 8 มิถุนายน 2556 และถูกแบ่งออกเป็น 24 คาบเวลา ๆ ละ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 1.1 แสดงตำแหน่งโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดของสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

สถานี	สถานที่ตั้ง	แหล่งที่มา	รูปแสดงที่ตั้งสถานี
PKKT	ดาดฟ้า ชั้น 9 สำนักงาน ที่ดินจังหวัดนนทบุรี สาขา ปากเกร็ด, หมู่บ้านเมืองทอง ธานี ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี	กรมที่ดิน	
UPNT	ดาดฟ้า ชั้น 9 อาคารบริษัท อัลติเมท โฟซิชั่นนิ่ง จำกัด, 1/285 ต.บางพูด อ.ปาก เกร็ด จ.นนทบุรี	บริษัท อัลติเมท โฟซิชั่นนิ่ง จำกัด	
BGOK	ดาดฟ้า ชั้น 23 อาคาร โอลิมเปียไทยทาวเวอร์ ถ.รัชดาภิเษก แขวงสามเสน นอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร	บริษัท ทริมเบิล (ประเทศไทย) จำกัด	
SV01	ดาดฟ้า ชั้น 4 อาคารศาลิวิธานนิเทศ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	นายสุรเชษ ศรีนารา	

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีจลน์และการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม
- 1.4.2 เก็บรวบรวม ตรวจสอบและจัดเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการประมวลผล
- 1.4.3 ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม กำหนดองค์ประกอบของ GA ให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับการศึกษาวิจัย
- 1.4.4 ประมวลผลข้อมูล โดยแยกการประมวลผลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประมวลผลมาตรฐาน และการประมวลผลมาตรฐานโดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม
- 1.4.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธี
- 1.4.6 ทดลองหาแนวทางปรับปรุงผลของการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม
- 1.4.7 สรุปผลการศึกษาพร้อมข้อเสนอแนะ เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยโดยละเอียดจะมีการนำเสนอต่อไปในบทที่ 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถค้นหาดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีจลน์
- 1.5.2 สามารถปรับปรุงขอบเขตการหาค่าเลขปริศนาเป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีให้ดีขึ้น

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดพื้นฐานของงานวิจัย

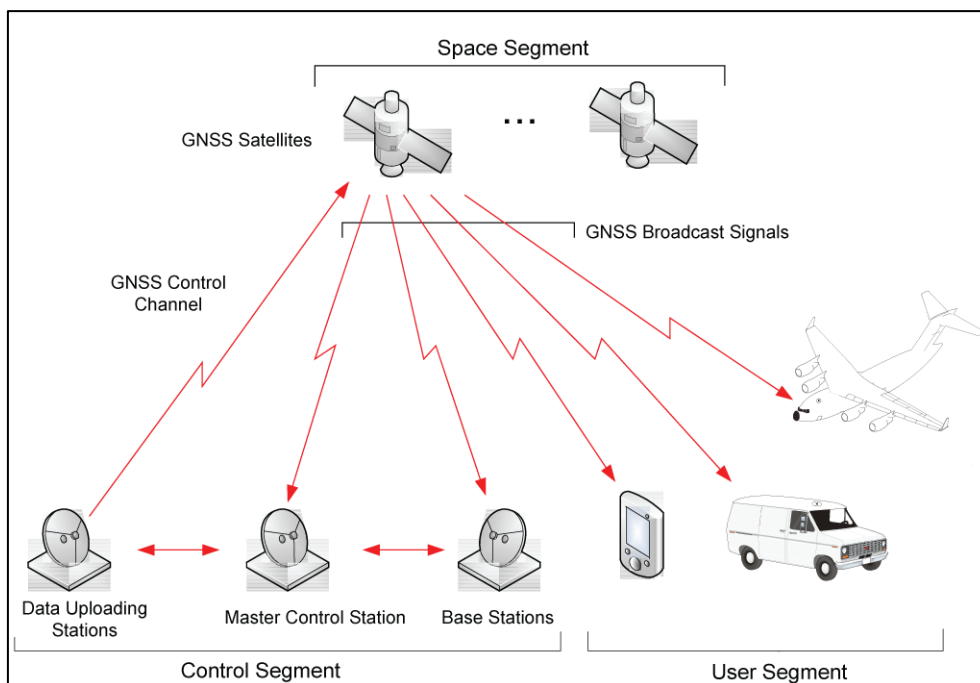
เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ ถือเป็นเทคนิคการรังวัดที่แพร่หลายและนิยมใช้กันทั่วไป โดยเทคนิคการรังวัดชนิดนี้แบ่งออกเป็น 3 เทคนิคย่อย ได้แก่ การรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematic: RTK), การรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK: NRTK) และการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post Processing Kinematic: PPK) ซึ่งแต่ละเทคนิควิธีต่างก็มีทั้งข้อดี และข้อจำกัด ดังนั้นการเลือกใช้แต่ละเทคนิคก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากผู้ใช้งานต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีขึ้น วิธีการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง หรือ PPK เป็นเทคนิคการรังวัดที่ได้รับการยอมรับว่ามีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าทั้งเทคนิค RTK และ NRTK เนื่องจากการนำข้อมูลมาทำการประมวลผลในภายหลัง ทำให้ค่าพิกัดตำแหน่ง ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการจะไม่สามารถแสดงได้ในทันที ดังนั้นจึงให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีกว่า ซึ่งหลักการทำงานของเทคนิคการรังวัดแบบ PPK นี้ มีการทำงานในสนามคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที แต่แตกต่างกันที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สื่อสารที่รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งาน และค่าพิกัดตำแหน่งจะต้องรอจนกว่าการประมวลผลในภายหลังเสร็จก่อน อย่างไรก็ตามการทำงานรังวัดในสภาพพื้นที่ราบเรียบ และไม่มีสิ่งกีดขวาง ค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ อาจส่งผลต่อค่าตำแหน่งทางราบ และทางดิ่งค่อนข้างน้อย แต่บ่อยครั้งที่ต้องทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรคโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น บริเวณเขตเมืองที่มีตึกสูง, หุบเขา หรือต้นไม้ขึ้นหนาแน่น เป็นต้น ซึ่งแน่นอนว่าไม่อาจจะให้ข้อมูลทางตำแหน่งที่น่าเชื่อถือและมีความถูกต้องได้ และแม้ว่าระบบดาวเทียม GNSS จะทำให้เราสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้มากขึ้นส่งผลทำให้มีจำนวนข้อมูลเพิ่มมากขึ้น และเพียงพอสำหรับการประมวลผลหาค่าพิกัดตำแหน่ง แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลเหล่านี้ไม่อาจจะมีความถูกต้องสมบูรณ์โดยทั้งหมด ส่งผลทำให้ค่าข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้ไม่มีความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องมากพอสำหรับงานที่ต้องการได้ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution, AR) ซึ่งถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดได้

ดังนั้นการที่สามารถเลือกกลับข้อมูลดาวเทียมบางดวงที่ไม่มีความสมบูรณ์ หรือไม่มีความจำเป็นออกไปก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผล ทำให้ขบวนการ AR เป็นผลสำเร็จ และให้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งอาจจะให้ค่าผลลัพธ์ทางตำแหน่งที่ดีกว่าการเลือกใช้ข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเทคนิควิธีการที่มีความเหมาะสม และสอดคล้อง สำหรับใช้ในการเลือกกลับข้อมูลดาวเทียม GNSS (GPS/GLONASS) บางชุดออกไป เพื่อให้ได้กลุ่มของดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับการหาตำแหน่งแบบ PPK ซึ่งน่าจะเพิ่มประสิทธิภาพของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีให้ดีขึ้น

2.2 ระบบดาวเทียมนำหน GNSS (Global Navigation Satellite Systems)

โดยทั่วไปแล้วค่าความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้รับจาก GPS ขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียม และเรขาคณิตของดาวเทียมในขณะที่รับสัญญาณ เป็นต้น ในงานที่สามารถเลือกตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณและเวลาที่รับสัญญาณได้นั้นการเลือกใช้ข้อมูลจาก GPS เพียงแหล่งเดียวก็คงเพียงพอ แต่ในบางสถานการณ์ไม่สามารถเลือกได้ เช่น การทำงานในบริเวณที่เต็มไปด้วยตึกสูง บริเวณหุบเขาที่มีต้นไม้หนาแน่น หรือไม่ว่าจะเป็นในบริเวณเหมืองที่มีสิ่งต่าง ๆ มากีดขวางสัญญาณ ซึ่งในสภาวะการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้เองเป็นตัวทำให้จำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้นั้นไม่เพียงพอต่อการหาตำแหน่ง หรือถ้าเพียงพอก็ไม่อาจจะให้ข้อมูลทางตำแหน่งที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสูงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องที่จะต้องมีระบบดาวเทียมอื่นเข้ากับ GPS เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ประกอบกับในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีทางการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเทคโนโลยีด้านการสำรวจที่มีชื่อว่า Global Navigation Satellite System หรือเรียกย่อว่า GNSS เพื่อให้ครอบคลุมกว้างมากขึ้นโดยไม่ได้จำกัดเฉพาะระบบดาวเทียม GPS เพียงระบบเดียว โดยประกอบไปด้วยระบบดาวเทียม GLONASS ของรัสเซีย และระบบดาวเทียม GALILEO ของกลุ่มสหภาพยุโรปก็เป็นส่วนหนึ่งของระบบ GNSS และในอนาคตอันใกล้อีกหลายระบบ เช่น ดาวเทียม COMPASS ของจีน ดาวเทียม QZSS ของญี่ปุ่น และดาวเทียม IRNSS ของอินเดีย เป็นต้น โดยส่วนต่าง ๆ และขั้นตอนพื้นฐานในระบบดาวเทียม GNSS จากรูปที่ 2.1 และ 2.2 ประกอบ

จากการทำงานร่วมกันระหว่างระบบดาวเทียม GPS และระบบดาวเทียมอื่น อาทิเช่น ระบบดาวเทียม GLONASS และระบบดาวเทียม GALILEO เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานร่วมกันของดาวเทียมระบบ GPS และ GLONASS ผลจากการทำงานร่วมกันของดาวเทียมระบบ GPS และ GLONASS ส่งผลทำให้มีจำนวนดาวเทียมที่มีสภาพพร้อมใช้งานเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถรับสัญญาณได้อย่างน้อย 12 ดวง ในทุกที่และทุกเวลา มีความต่อเนื่องในการใช้งาน เพราะดาวเทียมแต่ละระบบเป็นอิสระจากกัน ทำให้มีโอกาสน้อยมากที่ทุกระบบจะใช้งานไม่ได้พร้อมกัน เพิ่มการกระจายตัวและทำให้เรขาคณิตของดาวเทียมดีขึ้น ค่า DOP ลดลง ช่วยปรับปรุงความถูกต้องทางตำแหน่งและความน่าเชื่อถือเพราะจำนวนดาวเทียมที่มากขึ้นทำให้ข้อมูลมีมากขึ้นส่งผลให้การหาตำแหน่งมีความถูกต้องสูงและรวดเร็วขึ้น ลดผลกระทบจากข้อจำกัดเรื่องสภาพแวดล้อมในขณะที่ทำการรังวัด และลดเวลาในการรังวัดให้สั้นลง เพิ่มประสิทธิภาพในการรังวัดแบบ RTK เป็นต้น ผลจากการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของดาวเทียมระบบ GPS ให้ดียิ่งขึ้น ส่งผลทำให้ระบบ GNSS มีข้อได้เปรียบหลาย ๆ ข้อมากกว่าการเลือกใช้ข้อมูลจาก GPS เพียงอย่างเดียวทำให้มีการใช้ GNSS กันอย่างแพร่หลายในงานด้านต่าง ๆ ในปัจจุบัน (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) และ (Kleusberg 1990) โดยในหัวข้อย่อยถัดไปผู้วิจัยจะขออธิบายในส่วนของระบบดาวเทียมประกอบไปด้วย GPS และ GLONASS ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละระบบดังนี้



รูปที่ 2.1 ส่วนต่าง ๆ ในระบบดาวเทียม GNSS (GNSS Segments)

(<http://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-1-gnss-overview/section-1/>)

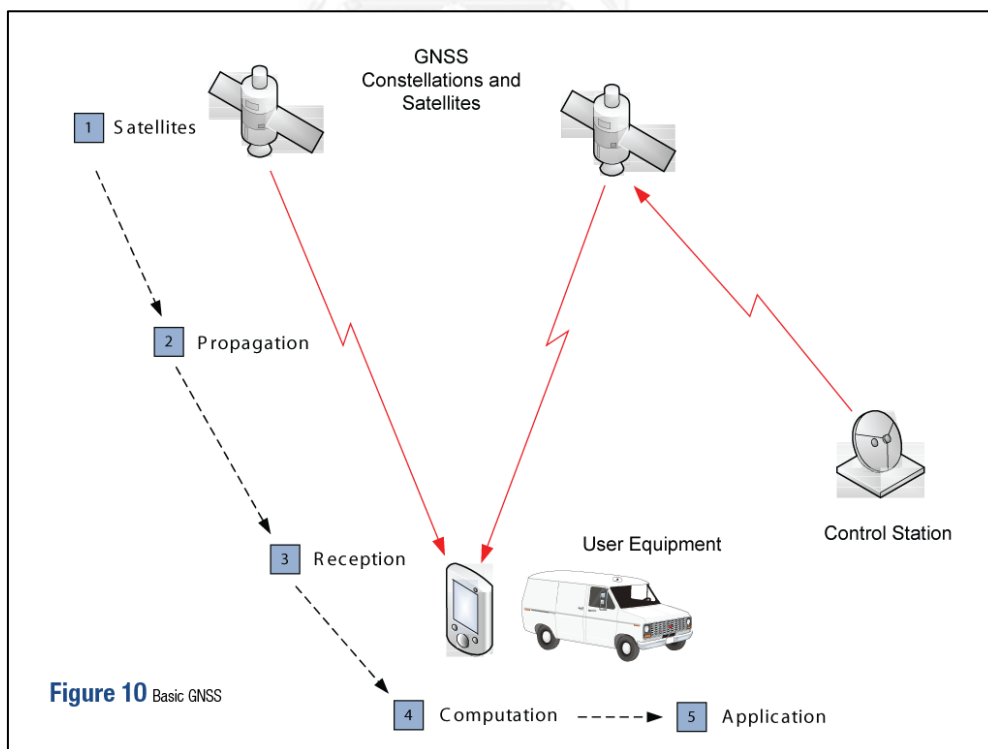


Figure 10 Basic GNSS

รูปที่ 2.2 ขั้นตอนพื้นฐานของระบบดาวเทียม GNSS

(<http://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-2-basic-gnss-concepts/>)

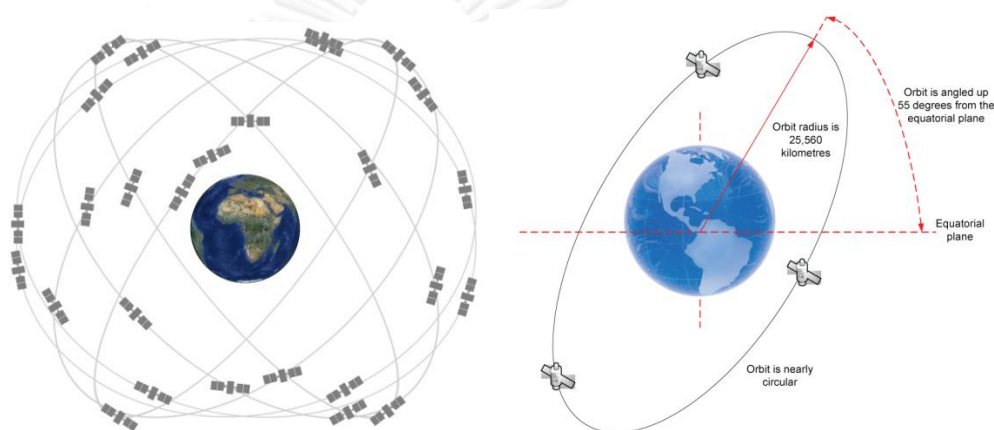
2.2.1 ระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System)

ระบบดาวเทียม GPS เป็นระบบที่ใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณดาวเทียม ถูกพัฒนาขึ้นโดยกระทรวงกลาโหม (Department of Defense) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1957 ซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับที่สหภาพโซเวียตได้ทำการปล่อยดาวเทียมสปุตนิก (Sputnik Satellite) ขึ้นสู่อวกาศ โดยเริ่มแรกระบบดาวเทียมนำร่องที่ได้รับการพัฒนาและนำขึ้นสู่อวกาศ เรียกว่า ระบบทรานซิต (Transit) แต่ยังคงจำกัดเรื่องการใช้โดยอนุญาตให้ใช้งานได้เฉพาะรัฐบาล และเอกชนบางราย ไม่อนุญาตให้พลเรือน หรือบุคคลทั่วไปใช้งาน ต่อมาในปี ค.ศ. 1973 กระทรวงกลาโหมได้เริ่มพัฒนาระบบดาวเทียม GPS โดยพัฒนาต่อจากระบบทรานซิต โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาระบบดาวเทียมนำหนนี้เพื่อให้เป็นระบบที่สามารถใช้หาพิกัดตำแหน่งได้ในทุกสภาพอากาศ ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง และใช้ได้ทั่วโลก โดยเริ่มแรกถูกออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านทหารเป็นหลัก แต่ก็ยอมให้พลเรือนใช้ได้บางส่วน ต่อมาในปี ค.ศ. 1978 กลุ่มดาวเทียม GPS กลุ่มแรกก็ได้ถูกปล่อยขึ้นสู่อวกาศ และมีจำนวนดาวเทียมเต็มวงโคจรทั้งหมด 24 ดวง ในปี ค.ศ. 1993 และในปีเดียวกันนี้เองรัฐบาลของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประกาศให้มีการเลือกใช้นโยบายเลือกปฏิบัติ (Policy of Selective Availability, SA) ผลจากนโยบายนี้ทำให้ค่าความถูกต้องที่ได้รับจากการบริการทางตำแหน่งแบบมาตรฐานแยกลงไปอยู่ที่ประมาณ 100 เมตร (ตำแหน่งทางราบ) และ 156 เมตร (ตำแหน่งทางตั้ง) จากนั้นในปี ค.ศ. 2000 ประธานาธิบดีบิล คลินตัน ของสหรัฐอเมริกาได้ประกาศยกเลิกการใช้นโยบายเลือกปฏิบัติ ส่งผลทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งนั้นดีขึ้นกว่าเดิมมาก (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

ระบบดาวเทียม GPS ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนอวกาศ (Space Segment) ส่วนควบคุม (Control Segment) และส่วนผู้ใช้ (User Segment) ซึ่งแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กัน โดยเริ่มจากส่วนควบคุมที่มีสถานีติดตามภาคพื้นดินที่กระจายอยู่ทั่วโลกทำหน้าที่คอยติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ทำให้สามารถคำนวณวงโคจร และตำแหน่งของดาวเทียมในขณะเวลาต่าง ๆ ได้ จากนั้นส่วนควบคุมจะทำการทำนายวงโคจร และตำแหน่งของดาวเทียมทุกดวงในระบบล่วงหน้าแล้วส่งข้อมูลเหล่านี้ไปกลับยังส่วนอวกาศ ดาวเทียมก็จะส่งข้อมูลเหล่านี้ออกมาพร้อมกับคลื่นวิทยุกลับมายังโลก เมื่อผู้ใช้ต้องการที่จะทราบตำแหน่งของจุดใด ๆ ก็เพียงแค่นำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปตั้งให้ตรงกับตำแหน่งจุดที่ต้องการ รายละเอียดในแต่ละส่วนแสดงดังนี้

2.2.1.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment)

ส่วนอวกาศของระบบดาวเทียม GPS ประกอบด้วยตัวดาวเทียม และสัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียม ในปัจจุบันมีดาวเทียม GPS อยู่ในวงโคจรถึง 33 ดวง (ดวงที่พร้อมใช้งาน 30 ดวง ดวงที่กำลังอยู่ในช่วงทดสอบอีก 2 ดวง และดวงที่ซ่อมบำรุงอีก 1 ดวง ข้อมูล ณ. วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2557) ซึ่งโคจรอยู่ในวงโคจร 6 ระนาบ โดยทุกระนาบทำมุมกับระนาบศูนย์สูตรประมาณ 55 องศา และมีมุมระหว่างกันประมาณ 60 องศา โดยที่มวงโคจรเหนือพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร และมีคาบการโคจรประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที (หรือประมาณครึ่งวันดาราคติ) จากรูปที่ 2.3 และตารางที่ 2.1 ประกอบ



รูปที่ 2.3 ส่วนอวกาศของระบบดาวเทียม GPS

(<http://www.gps.gov/systems/gps/space/>)

(<http://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-3-satellite-systems/gps/>)

ตารางที่ 2.1 วงโคจรดาวเทียม GPS ในปัจจุบัน

รายละเอียด	GPS
จำนวนดาวเทียม (ดวง)	33
จำนวนระนาบวงโคจร	6
ระนาบทำมุมกับระนาบศูนย์สูตร (องศา)	55
มุมระหว่างระนาบ (องศา)	60
วงโคจรเหนือพื้นโลก (กิโลเมตร)	20,200
คาบการโคจร	11 ชั่วโมง 58 นาที

คลื่นสัญญาณ

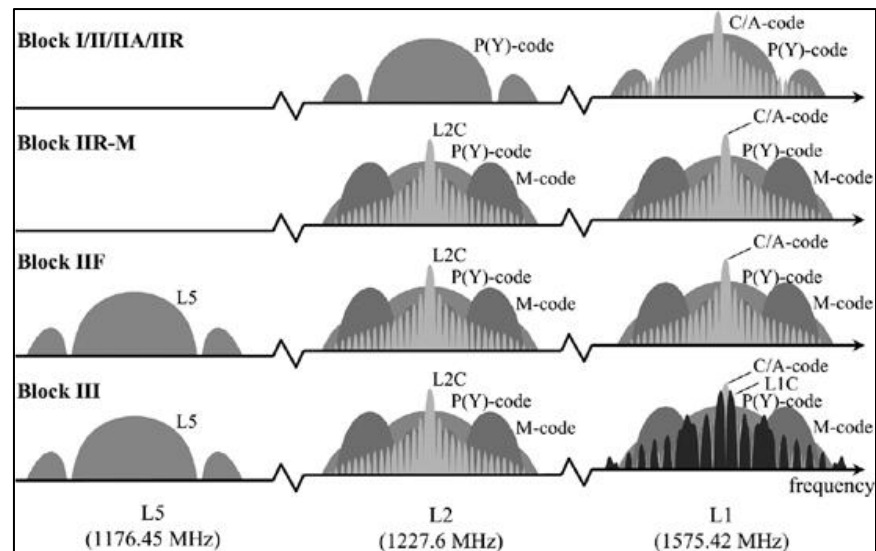
โดยทั่วไปคลื่นสัญญาณดาวเทียม GPS เป็นคลื่นวิทยุที่มี 2 ความถี่ คือ 1572.42 เมกะเฮิรตซ์ เรียกว่าคลื่น L1 และ 1227.60 เมกะเฮิรตซ์ เรียกว่าคลื่น L2 มีความยาวคลื่นประมาณ 19.03 เซนติเมตร และ 24.42 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีความถี่เป็น 154 เท่า และ 120 เท่าของความถี่พื้นฐานตามลำดับ โดยคลื่นสัญญาณวิทยุทั้งสองจะถูกกล้ำสัญญาณ (Modulation) ด้วยรหัสและข้อมูลการนำหนดาวเทียม (Navigation Message) ซึ่งรหัสที่ใช้ในการกล้ำสัญญาณประกอบด้วยรหัส C/A (Clear Access or Coarse Acquisition Code) และรหัส P (Precise Code) ซึ่งมีความถี่ 1.023 เมกะเฮิรตซ์ และ 10.23 เมกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ และมีความยาวคลื่น 300 เมตร และ 30 เมตร โดยรหัสที่เปิดให้พลเรือนใช้ได้ อย่างเสรี คือ รหัส C/A ในขณะที่รหัส P จะเก็บไว้ใช้เฉพาะในวงการทหาร และบางหน่วยงานของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาเท่านั้น โดยในคลื่น L1 จะถูกกล้ำสัญญาณด้วยรหัสทั้ง 2 ชนิด ในขณะที่คลื่น L2 จะถูกกล้ำสัญญาณเพียงรหัส P เท่านั้น ส่วนข้อมูลการนำหนดาวเทียมนั้นจะมีทั้งในคลื่น L1 และ L2

ปัจจุบันคลื่นสัญญาณดาวเทียม GPS นอกเหนือจากคลื่น L1 และ L2 ข้างต้นแล้วยังประกอบไปด้วย คลื่น L2C และคลื่น L3 (บางทีอาจจะเรียกว่าคลื่น L5) โดยที่คลื่น L2C เป็นผลจากดาวเทียม BLOCK IIR(M) ที่ได้ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศในช่วงปี พ.ศ. 2548-2552 ที่ได้มีการออกแบบคลื่น L2 เดิม ที่มีความถี่ 1227.60 เมกะเฮิรตซ์ ให้มีการกล้ำสัญญาณด้วยรหัส C/A และข้อมูลนำหนดาวเทียมที่ประกอบด้วยค่าแก่ต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นแล้ว ยังมีการกล้ำสัญญาณด้วยรหัส M (Military Code) ทั้งในคลื่น L1 และ L2 โดยเรียกคลื่นสัญญาณใหม่นี้ว่า คลื่น L2C ซึ่งส่งผลทำให้ผู้ใช้ทั่วไปเมื่อใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ โดยสามารถรับคลื่นสัญญาณได้ทั้ง L1 และ L2 ที่ถูกกล้ำสัญญาณด้วยรหัส C/A นั้นได้รับค่าความถูกต้องมากขึ้นหรืออาจจะเทียบเท่ากับค่าความถูกต้องที่ได้จากรหัส P ของทางการทหาร คลื่นความถี่ใหม่อีกตัว คือ คลื่น L3 หรือ L5 ซึ่งมีความถี่ 1176.45 เมกะเฮิรตซ์ และมีความยาวคลื่น 25.48 เซนติเมตร (115 เท่าของความถี่พื้นฐาน) คลื่นดังกล่าวนี้ถูกกล้ำด้วยรหัส C/A และข้อมูลดาวเทียม โดยมีผลกับดาวเทียม BLOCK IIF ที่ได้ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศในปี พ.ศ. 2553 ที่ผ่านมา คลื่นสัญญาณ GPS ในปัจจุบัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ในส่วนของคลื่นสัญญาณ GPS ในอนาคตนั้นจะมีการออกแบบให้สามารถทำงานร่วมกันระหว่างดาวเทียม GPS และระบบดาวเทียมนำหนอื่น ๆ ได้ในอนาคต ผลที่ได้จะสามารถปรับปรุงการรับสัญญาณแบบเคลื่อนที่สำหรับประยุกต์ใช้งานในเมืองใหญ่และที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดีขึ้น คลื่นสัญญาณนี้ถูกเรียกว่าคลื่น L1C โดยใช้ความถี่ 1575.42 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีความถี่เดียวกับคลื่น L1 จะมีผลกับดาวเทียม GPS IIIA ที่จะถูกปล่อยขึ้นไปในปี พ.ศ. 2559

ในส่วนของการคัดแยกคลื่นสัญญาณ หลังจากทีดาวเทียม GPS ทุกดวงทำการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณวิทยุทั้ง L1 และ L2 และคลื่นสัญญาณใหม่ที่มีความถี่เดียว แต่มีรหัส C/A-Code และ P-Code ที่แตกต่างกันออกไปในดาวเทียมแต่ละดวง เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS จะทำการคัดแยกคลื่นสัญญาณที่เข้ามาทั้งหมดจากการตรวจหารหัส

ที่ถูกกล้ำสัญญาณเทียบกับรหัสที่อยู่ในเครื่องรับ เพื่อแยกข้อมูลของดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งขั้นตอนการคัดแยกนี้ถูกเรียกว่า CDMA (Code Division Multiple Access) ซึ่งรายละเอียดคลื่นสัญญาณดาวเทียม GPS ในปัจจุบัน แสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.4 แสดงวิวัฒนาการของคลื่นสัญญาณดาวเทียม GPS

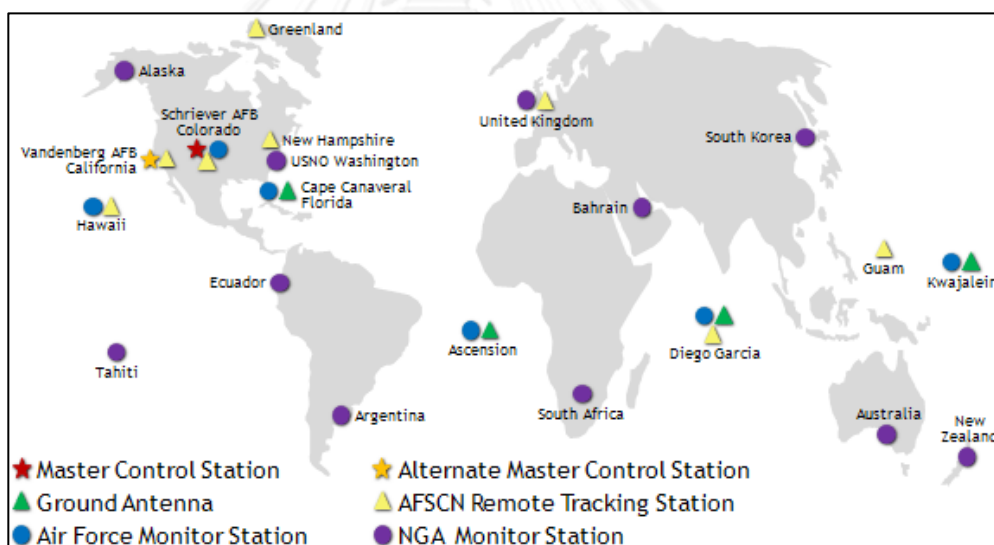
(https://ieeexplore.ieee.org/ieee_pilot/articles/96jproc12/jproc-CHegarty-2006090/article.html)

ตารางที่ 2.2 คลื่นสัญญาณดาวเทียม GPS ในปัจจุบัน

รายละเอียด	GPS
ความถี่ของคลื่นสัญญาณ	L1 = 1,575.42 MHz L2 = 1,227.60 MHz L5 = 1,176.45 MHz
รหัส	ต่างกันออกไปในแต่ละดวง L1 : P-Code, C/A-Code, M-Code L2 : P-Code, C/A-Code, M-Code L5 : C/A-Code
ความถี่ของรหัส	P-Code : 10.23 MHz C/A-Code : 1.023 MHz M-Code : 5.115 MHz

2.2.1.2 ส่วนควบคุม (Control Segment)

ในปัจจุบันส่วนควบคุมของระบบดาวเทียม GPS ประกอบด้วยโครงข่ายสถานีภาคพื้นดินที่ตั้งกระจายอยู่ตามทีต่าง ๆ ทั่วโลก ที่ซึ่งจำเป็นต่อการติดตามดาวเทียม การคำนวณวงโคจรดาวเทียม การดูแลและควบคุมส่วนอวกาศ โดยมีสถานีควบคุมหลัก (Master Control Station) อยู่ที่เมือง Colorado Springs สถานีนี้เป็นสถานีที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลทั้งหมด (ข้อมูลวงโคจรดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้เวลาดาวเทียมหรือข้อมูลอื่น ๆ) สถานีภาคพื้นดินอีก 4 แห่ง หรือเรียกว่า สถานีอัปโหลด (Upload Station) ตั้งอยู่ที่ Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein, Cape Canaveral และยังคงเชื่อมต่อกับสถานีโครงข่ายควบคุมดาวเทียมของกองทัพอากาศสหรัฐอีก 8 แห่ง เป็นสถานีที่คอยส่งข้อมูลที่คำนวณได้จากสถานีควบคุมหลักไปยังดาวเทียม และส่วนสถานีภาคพื้นดินสุดท้ายเรียกว่า สถานีติดตาม (Monitor Station) อีกกว่า 16 แห่ง ซึ่งทำหน้าที่คอยติดตามดาวเทียม ตั้งอยู่ที่เมือง Hawaii, Alaska และ USNO Washington เป็นต้น รายละเอียดตำแหน่งสถานีภาคพื้นดินแสดงดังรูปที่ 2.5



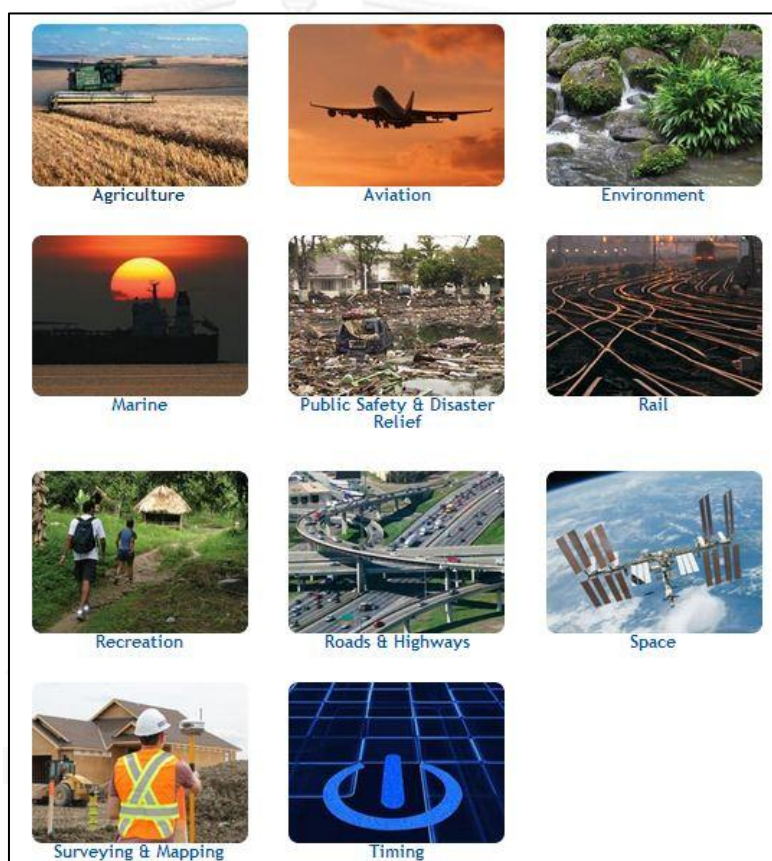
รูปที่ 2.5 ส่วนควบคุมของระบบดาวเทียม GPS

(<http://www.gps.gov/systems/gps/control/>)

สรุปหน้าที่หลักสำคัญของส่วนควบคุมในระบบดาวเทียม GPS คือ คำนวณวงโคจรดาวเทียม และข้อมูลค่าแก้เวลาดาวเทียม โดยที่ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมจะเป็นค่าพิกัดฉากแบบคาร์ทีเซียนจะอยู่บนพื้นหลักฐานอ้างอิง World Geodetic System (WGS84) และอ้างอิงกับเวลาจีพีเอส (GPS Time) ซึ่งใช้นาฬิกาอะตอมหลายเรือนที่ติดตั้งอยู่บนสถานีควบคุมหลักอยู่ที่เมือง Colorado Springs (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

2.2.1.3 ส่วนผู้ใช้ (User Segment)

ส่วนผู้ใช้ประกอบด้วยทุก ๆ ส่วนไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ตัวเครื่องรับสัญญาณ หรือวิธีการประมวลผลที่อยู่ในรูปของซอฟต์แวร์ จากการพัฒนาในส่วน ของเครื่องรับสัญญาณและวิธีการประมวลผลนั้นเป็นไปอย่างรวดเร็วมากทั้งในส่วนของผู้ใช้ ฝายทหารและฝายพลเรือน โดยมีโครงการวิจัยและพัฒนาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมุ่งเน้นให้เครื่องรับ สัญญาณและวิธีการประมวลผลมีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องสูงขึ้น อีกทั้งยังมี คุณสมบัติที่หลากหลายมากขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ที่หลากหลาย ส่งผล ทำให้เทคโนโลยี GPS ในปัจจุบันได้อยู่และกลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของเรา ดูรูปที่ 2.6 ประกอบ



รูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้งาน GPS
(<http://www.gps.gov/applications/>)

จากรูป 2.6 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน GPS ในด้านต่าง ๆ ที่มีผลต่อสภาพ เศรษฐกิจ ได้แก่ การทำการเกษตร, การก่อสร้าง, การทำเหมืองแร่, การสำรวจ, การจัดการ ระบบการขนส่ง และอื่น ๆ เป็นต้น

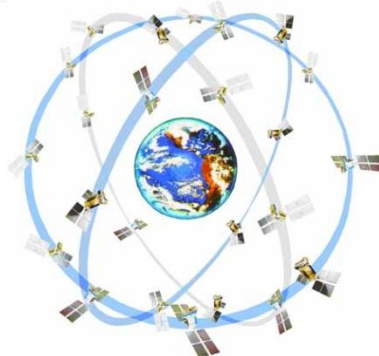
2.2.2 ระบบดาวเทียม GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)

ระบบดาวเทียม GLONASS ย่อมาจาก GLObal' naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema ในภาษารัสเซีย หรือ GLObal NAVigation Satellite System ในภาษาอังกฤษ แรกเริ่มถูกพัฒนาขึ้นโดยสหภาพโซเวียต (Soviet Union) ในช่วงปีทศวรรษ 1960-1970 สำหรับใช้ในทางการทหาร โดยดาวเทียมกลุ่มแรกของระบบถูกปล่อยขึ้นสู่วงโคจรเมื่อ มกราคม ค.ศ. 1984 และในปี ค.ศ. 1996 มีดาวเทียมบนวงโคจรทั้งหมด 24 ดวง แต่แล้วจำนวนของดาวเทียมที่สามารถใช้งานได้ก็ถูกลดจำนวนลง เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจทำให้ขาดแคลนเงินทุนสนับสนุนท้ายที่สุดในปี ค.ศ. 2001 เหลือดาวเทียมที่สามารถใช้งานได้เพียงแค่ 6-8 ดวงเท่านั้น โดยภายหลังการล่มสลายของสหภาพโซเวียต ซึ่งปัจจุบันกลายเป็นสหพันธรัฐรัสเซีย ได้มีองค์การอวกาศของรัสเซียทำหน้าที่ควบคุมดูแลการพัฒนาและปรับปรุงระบบดาวเทียม GLONASS (Rizos 2010), (Eissfeller et al. 2007) และ (Dawoud 2011)

ระบบดาวเทียม GLONASS ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนหลัก ๆ คล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS คือ ส่วนอวกาศ (Space Segment) ส่วนควบคุม (Control Segment) และส่วนผู้ใช้ (User Segment) โดยในแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กันและมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

2.2.2.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment)

ในปัจจุบันมีดาวเทียม GLONASS อยู่ในวงโคจรทั้งหมด 29 ดวง ดวง (ดวงที่พร้อมใช้งาน 24 ดวง, ดวงที่กำลังอยู่ในช่วงทดสอบอีก 1 ดวง, ดวงสำรองอีก 3 ดวง และดวงที่กำลังอยู่ในช่วงการทดสอบอีก 1 ดวง ข้อมูล ณ. วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2557) ซึ่งโคจรอยู่ในวงโคจร 3 ระนาบ แต่ละระนาบมีดาวเทียม 8 ดวง โดยทุกระนาบทำมุมกับระนาบศูนย์สูตรประมาณ 64.8 องศา และมีมุมระหว่างกันประมาณ 120 องศา โดยที่มีวงโคจรเหนือพื้นโลกประมาณ 19,100 กิโลเมตร (อยู่ต่ำกว่าวงโคจรของดาวเทียม GPS ประมาณ 1,100 กิโลเมตร) และมีคาบการโคจรประมาณ 11 ชั่วโมง 15 นาที ดुरुบที่ 2.7 และตารางที่ 2.3 ประกอบ



รูปที่ 2.7 ส่วนอวกาศของระบบดาวเทียม GLONASS

(<http://www.oosa.unvienna.org/oosa/en/SAP/gnss/icg/videos.html>)

ตารางที่ 2.3 วงโคจรดาวเทียม GLONASS ในปัจจุบัน

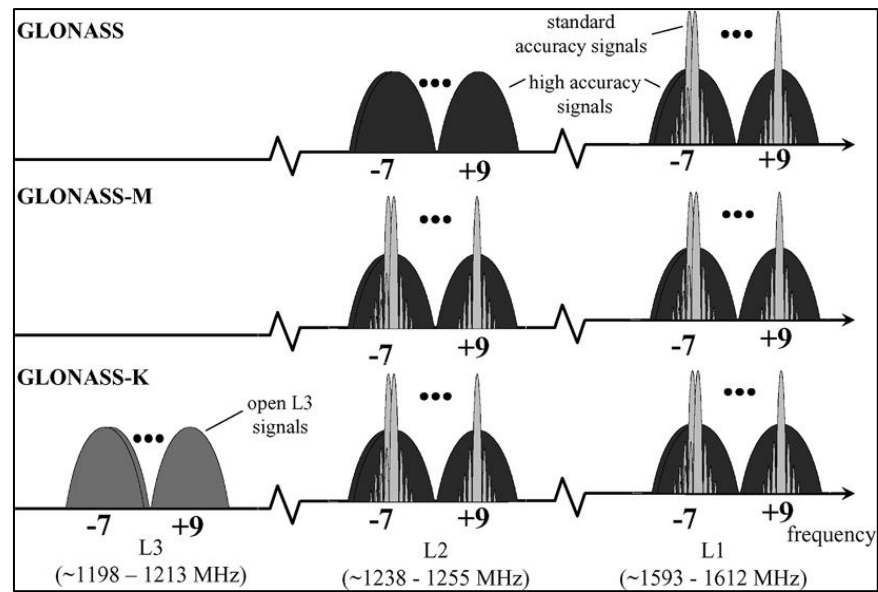
รายละเอียด	GLONASS
จำนวนดาวเทียม (ดวง)	29
จำนวนระนาบวงโคจร	3
ระนาบทำมุมกับระนาบศูนย์สูตร (องศา)	64.8
มุมระหว่างระนาบ (องศา)	120
วงโคจรเหนือพื้นโลก (กิโลเมตร)	19,100
คาบการโคจร	11 ชั่วโมง 15 นาที

คลื่นสัญญาณ

คลื่นสัญญาณดาวเทียม (Satellite Signals) ของทั้งดาวเทียม GPS และ GLONASS มีโครงสร้างคลื่นสัญญาณวิทยุที่ใกล้เคียงกัน และดาวเทียมมีการแพร่สัญญาณด้วยคลื่นสัญญาณวิทยุที่มีสองความถี่ คือ L1 และ L2 โดยคลื่นสัญญาณวิทยุเหล่านี้จะถูกกล้ำสัญญาณด้วยรหัส C/A-Code และ P-Code และข้อมูลดาวเทียม โดยที่ความถี่ L1 ถูกกล้ำสัญญาณด้วยรหัส C/A-Code และ P-Code ในขณะที่ความถี่ L2 จะถูกกล้ำสัญญาณด้วยรหัส P-Code (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

คลื่นสัญญาณดาวเทียม GLONASS ในปัจจุบัน ความถี่ L2 สามารถกล้ำสัญญาณได้ทั้ง C/A-Code และ P-Code ได้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากดาวเทียม GLONASS-M ที่ได้รับการออกแบบ พัฒนาและปรับปรุง และปล่อยขึ้นสู่อวกาศ เมื่อ ธ.ค. 2546 และในอนาคตอันใกล้ ดาวเทียม GLONASS-K จะมีการเพิ่มคลื่นสัญญาณใหม่ (L3 = 1,204.704 MHz) ที่จะสามารถใช้งานได้ทั้งระบบ FDMA และ CDMA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการทำงานร่วมกันกับดาวเทียมระบบอื่นให้ดียิ่งขึ้น (Kleusberg 1990), (Rizos 2010) และ (Eissfeller et al. 2007) รายละเอียดคลื่นสัญญาณดาวเทียม GLONASS ในปัจจุบัน แสดงในตารางที่ 2.4

ในส่วนของการคัดแยกคลื่นสัญญาณของดาวเทียม GLONASS จะแตกต่างจากดาวเทียม GPS ที่ดาวเทียมทุกดวงจะทำการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณวิทยุที่มีความถี่เดียว แต่มีรหัส C/A-Code และ P-Code ที่แตกต่างกันออกไปในดาวเทียมแต่ละดวง เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS จะทำการคัดแยกคลื่นสัญญาณที่เข้ามาทั้งหมด จากการตรวจหารหัสที่ถูกกล้ำสัญญาณเทียบกับรหัสที่อยู่ในเครื่องรับ เพื่อแยกข้อมูลของดาวเทียมแต่ละดวง ขั้นตอนการคัดแยกนี้ถูกเรียกว่า CDMA (Code Division Multiple Access) ในขณะที่ดาวเทียม GLONASS ดาวเทียมทั้งหมดจะทำการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณวิทยุที่หลายความถี่ตามจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่มี แต่มีรหัส C/A-Code และ P-Code ที่เหมือนกันทุกดวง เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GLONASS จะทำการคัดแยกคลื่นสัญญาณวิทยุที่เข้ามาทั้งหมด จากความถี่ที่แตกต่างกันของแต่ละช่องสัญญาณ (n = จำนวนช่องสัญญาณความถี่ ปัจจุบันมีทั้งหมด 24 ช่องสัญญาณ) ซึ่งขั้นตอนการคัดแยกนี้ถูกเรียกว่า FDMA (Frequency Division Multiple Access)



รูปที่ 2.8 แสดงวิวัฒนาการของคลื่นสัญญาณดาวเทียม GLONASS

(http://ieeexplore.ieee.org/ieee_pilot/articles/96jproc12/jproc-CHegarty-2006090/article.html)

ตารางที่ 2.4 คลื่นสัญญาณดาวเทียม GLONASS ในปัจจุบัน

รายละเอียด	GLONASS
ความถี่ของคลื่นสัญญาณ	L1: $(1,602 + n \times 9/16)$ MHz L2: $(1,246 + n \times 7/16)$ MHz L3: $(1,204.704 + n \times 0.4230)$ MHz $n =$ จำนวนช่องสัญญาณ ($n = 1, 2, 3, \dots, 24$)
รหัส	เหมือนกันในทุกดวง L1: P-Code, C/A-Code L2: P-Code, C/A-Code L3: P-Code, C/A-Code
ความถี่ของรหัส	P-Code : 5.11 MHz C/A-Code : 0.511 MHz

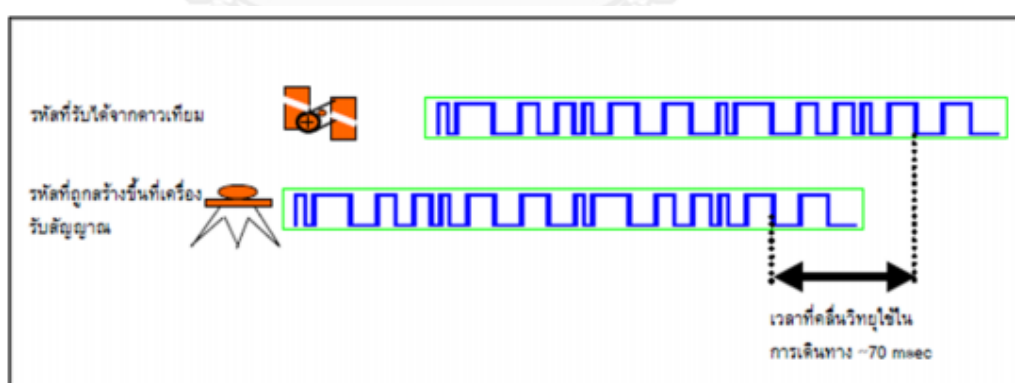
ให้หลายบริษัทได้ทำการผลิตเครื่องรับสัญญาณให้มีขนาดเล็กลง ราคาถูกลง (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) มีขีดความสามารถที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งาน ร่วมกับระบบดาวเทียมอื่น ๆ ประกอบกับในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ใช้ระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับระหว่าง GPS และ GLONASS ส่งผลให้สามารถปรับปรุงความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องทางตำแหน่ง อีกทั้งยังสามารถใช้งานได้หลากหลายพื้นที่มากขึ้น (Kleusberg 1990) ปัจจุบันยังได้มีการนำเทคโนโลยี GNSS ติดตั้งภายในตัวเครื่องโทรศัพท์มือถือรุ่นใหม่ (สมาร์ทโฟน), ระบบติดตามยานพาหนะ (รถยนต์ เรือ และเครื่องบิน) และมีการให้บริการข้อมูลต่าง ๆ บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแก่ผู้ใช้ที่สนใจ เป็นต้น

2.3 สมการค่าสังเกต (Observation Equation)

โดยทั่วไปค่าที่รังวัดได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม และนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาตำแหน่งที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase) ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลทั้ง 2 ชนิด มีดังนี้

2.3.1 ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)

ซูโดเรนจ์ คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ โดยหาได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งลงมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น โดยทำการเลื่อนรหัสทั้งสองไปมาจนกระทั่งได้รหัสที่ตรงกัน ดังรูปที่ 2.10 ประกอบ โดยค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสอง คือ ระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ



รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณของรหัสเพื่อหาระยะเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

ดังนั้น เมื่อนำความเร็วของคลื่นวิทยุ หรือความเร็วแสงคูณด้วยระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้เดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ เรียกว่า “ซูโดเรนจ์” ซึ่งระยะทางที่ได้นี้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนไปจาก

ระยะทางจริง สาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนหลายชนิด ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนวงโคจร ดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกา และความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) สมการสำหรับการวัดซูโดเรนจ์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1 (Xu 2007)

$$R_r^s(t_r, t_e) = \rho_r^s(t_r, t_e) - c(\delta t_r - \delta t_s) + \delta_{orbit} + \delta_{iono} + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{mul} + \varepsilon \quad (2.1)$$

โดยที่

R_r^s	คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัสจากดาวเทียม (s) ถึงเครื่องรับ (r) (เมตร)
ρ_r^s	คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียม (s) ถึงเครื่องรับ (r) (เมตร)
t_e	คือ เวลาขณะที่คลื่นถูกส่งออกมาจากดาวเทียม (วินาที)
t_r	คือ เวลาขณะที่คลื่นถึงเครื่องรับ (วินาที)
c	คือ ความเร็วของคลื่นส่ง หรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
δt_s	คือ ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
δt_r	คือ ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
δ_{orbit}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
δ_{iono}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
δ_{trop}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
δ_{tide}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากแรงแผ่นดิน และแรงจากมหาสมุทร (Earth Tide and Ocean Loading) (เมตร)
δ_{mul}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร)
ε	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร)

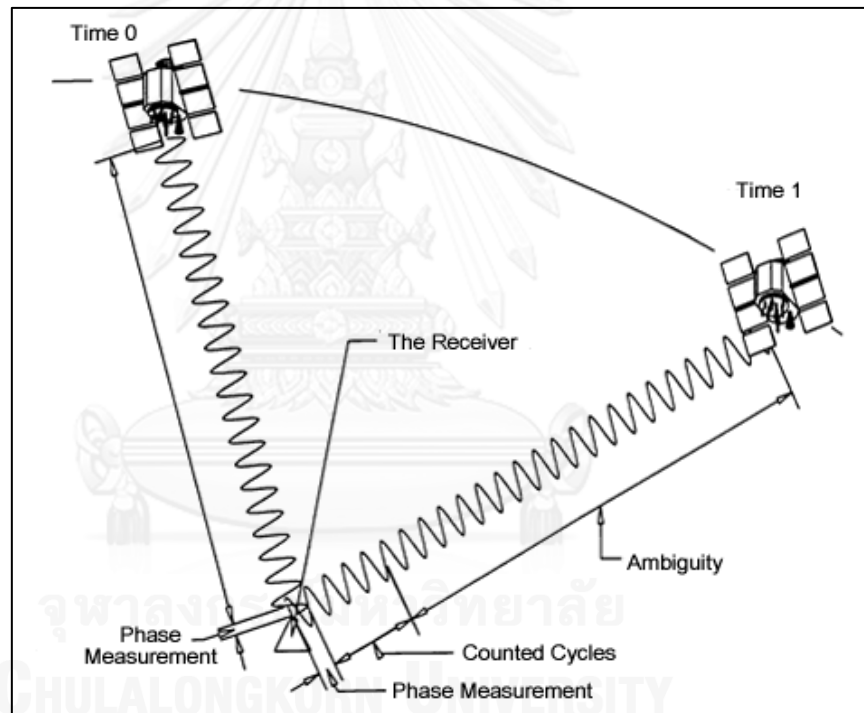
2.3.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase)

โดยทั่วไปสำหรับงานรังวัดด้วยดาวเทียมที่ต้องการค่าความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร จะใช้การประมวลผลโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง โดยการวัดเฟสของคลื่นส่งนั้นจะเป็นการวัดเปรียบเทียบ หรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมาเทียบกับเฟสของคลื่นส่งที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น ทั้งนี้คลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานั้นสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของคลื่นที่เป็นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) กับ ส่วนของคลื่นที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) ดูรูปที่ 2.11 ประกอบ

ในการรับสัญญาณเครื่องรับสัญญาณสามารถวัดส่วนของคลื่นที่ไม่เต็มรอบของลูกคลื่นลูกสุดท้ายได้ในทันที ในปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณสามารถวัดค่าส่วนของคลื่นที่ไม่เต็ม

รอบ หรือค่าเศษเหลือของลูกคลื่นได้ละเอียดมากถึง 1 ใน 100 ส่วนของความยาวคลื่นของคลื่นส่ง ซึ่งเทียบเท่ากับค่าความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร

ในขณะที่จำนวนลูกคลื่นในส่วนที่เป็นจำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่ถูกส่งลงมา เรียกว่า จำนวนลูกคลื่นปริศนา (Integer Cycle Ambiguity) หรือเลขปริศนา (Ambiguity) สามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลังในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล เรียกขั้นตอนนี้ว่า ขบวนการหาค่าเลขปริศนา (Ambiguity Resolution: AR) โดยทั่วไปขบวนการประมาณค่าเลขปริศนา สามารถประมาณค่าได้ 2 แบบ ได้แก่ การประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity-float solution) และการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity-fixed solution) ซึ่งการประมาณค่าแบบหลังนี้เป็นที่ยอมรับกันว่าให้ความถูกต้องสูงกว่าแบบแรก และเป็นที่ยอมรับใช้ในซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ทั่วไป (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)



รูปที่ 2.11 แสดงหลักการวัดระยะเฟสของคลื่นส่ง (Principle of Carrier Phase Measurement) (<http://www.intechopen.com/>)

จากรูป 2.11 แสดงหลักการของการวัดระยะด้วยเฟสของคลื่นส่ง โดยการนำค่าเลขปริศนา (Ambiguity) ที่ได้คูณด้วยความยาวคลื่น บวกกับค่าที่ได้จากการวัดส่วนย่อยของลูกคลื่น (Phase Measurement) และจำนวนลูกคลื่นที่เครื่องรับสัญญาณรับได้ (Counted Cycles) ที่คูณด้วยความยาวคลื่นแล้วเข้าไปจะได้ระยะทางรวมระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียม โดยทั้งนี้ส่วนที่มีความสำคัญมากก็คือ ขบวนการ AR ซึ่งจะต้องประมวลผลหาว่าจำนวนคลื่นเต็มรอบนี้เป็นเท่าใด จึงจะทำให้ได้ระยะทางที่มีความละเอียดถูกต้อง และเมื่อ

นำมาคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งเครื่องรับจึงจะได้ตำแหน่งที่มีความถูกต้อง สมการสำหรับการวัดเฟสของคลื่นส่ง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.2 (Xu 2007)

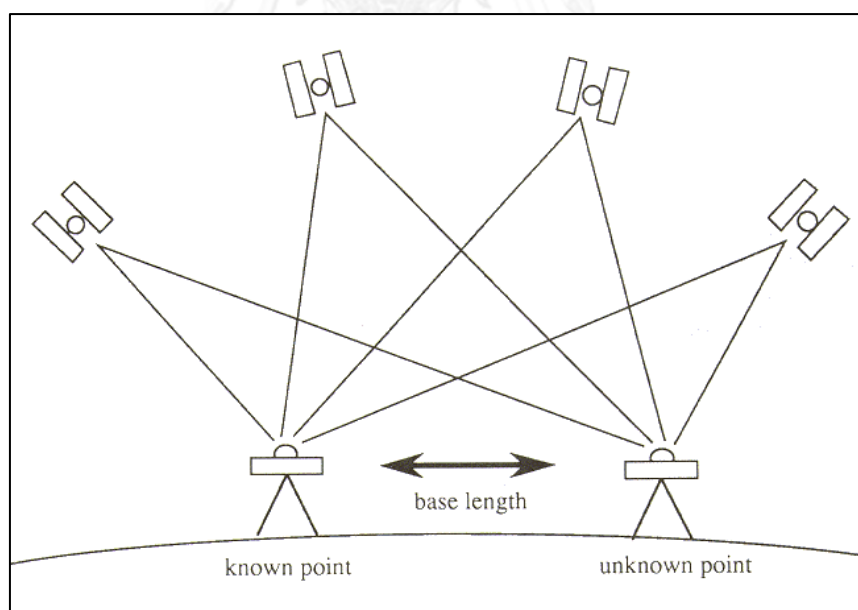
$$\lambda\phi_r^s(t_r) = \rho_r^s(t_r, t_e) - c(\delta t_r - \delta t_s) + \lambda N_r^s + \delta_{orbit} - \delta_{iono} + \delta_{trop} + \delta_{tide} + \delta_{mul} + \varepsilon \quad (2.2)$$

โดยที่

ϕ_r^s	คือ ชูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่งจากดาวเทียม (s) ถึงเครื่องรับ (r) (เมตร)
ρ_r^s	คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียม (s) ถึงเครื่องรับ (r) (เมตร)
t_e	คือ เวลาขณะที่คลื่นถูกส่งออกมาจากดาวเทียม (วินาที)
t_r	คือ เวลาขณะที่คลื่นถึงเครื่องรับ (วินาที)
c	คือ ความเร็วของคลื่นส่ง หรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
δt_s	คือ ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
δt_r	คือ ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
δ_{orbit}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
δ_{iono}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
δ_{trop}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
δ_{tide}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากแรงแผ่นดิน และแรงจากมหาสมุทร (Earth Tide and Ocean Loading) (เมตร)
δ_{mul}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร)
ε	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในชูโดเรนจ์ที่วัดได้ของคลื่นส่ง (เมตร)
λ	คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)
N_r^s	คือ ค่าเลขปริศนาของคลื่นส่ง หรือ Ambiguity (หน่วยนับ)

2.4 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสัมพัทธ์

โดยทั่วไปหลักการหาตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning) และการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) ซึ่งโดยทั่วไปวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์เป็นวิธีการที่ยอมรับกันโดยทั่วไป และนิยมใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูงมากกว่าการหาตำแหน่งแบบจุดเดียว โดยการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้จะใช้ตำแหน่งสัมบูรณ์อย่างน้อยหนึ่งจุดที่ทราบค่า คำนวณหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่น ๆ การหาตำแหน่งด้วยวิธีการนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบตำแหน่งของจุดหนึ่งเทียบกับอีกจุดหนึ่ง หรือเป็นเส้นฐานที่มีทิศทางระหว่างจุดที่นำเครื่องรับสัญญาณทั้งสองไปตั้งรับสัญญาณ หลักการทำงานของ การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ คือ จำเป็นต้องมีเครื่องรับสัญญาณแบบรังวัดอย่างน้อย 2 เครื่องขึ้นไป โดยนำเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่หนึ่งไปวางไว้ ณ ตำแหน่งหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว เรียกว่า สถานีฐาน (Base Station) หรือสถานีอ้างอิง (Reference station) ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่เหลือจะถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด เรียกว่า สถานีผู้ใช้งาน (User Station) หรือสถานีจร (Roving station) การหาค่าพิกัดตำแหน่งจุดต่าง ๆ ด้วยวิธีนี้เครื่องรับสัญญาณที่ทั้งสถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน จากรูปที่ 2.12 ประกอบ วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับข้อมูลซูโดเรนจ์ และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง แต่ในที่นี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งเท่านั้น เนื่องจากเป็นวิธีการที่ให้ค่าความถูกต้องสูงกว่า



รูปที่ 2.12 แสดงการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

(<http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~wataru/lecture/rsgis/rsnote/cp6/cp6-8.htm>)

วิธีการรังวัดในสนามของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ใช้กันในปัจจุบันสามารถแบ่งได้ และมีรายละเอียดในแต่ละวิธีดังนี้

2.4.1 การรังวัดแบบสถิต (Static)

วิธีการรังวัดแบบสถิตนี้มีหลักการการทำงาน คือ ใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องรับเครื่องแรกจะถูกวางไว้ ณ ตำแหน่งหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว (สถานีฐาน) ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่เหลือจะถูกนำไปวางรับสัญญาณ ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการหาพิกัด (สถานีผู้ใช้งาน) ทั้งนี้เครื่องรับสัญญาณทั้งสองจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 4 ดวง และต้องตั้งอยู่กับที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1-2 ชั่วโมง ค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากวิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้อง ตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร ถึง 2.5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 20 กิโลเมตร) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

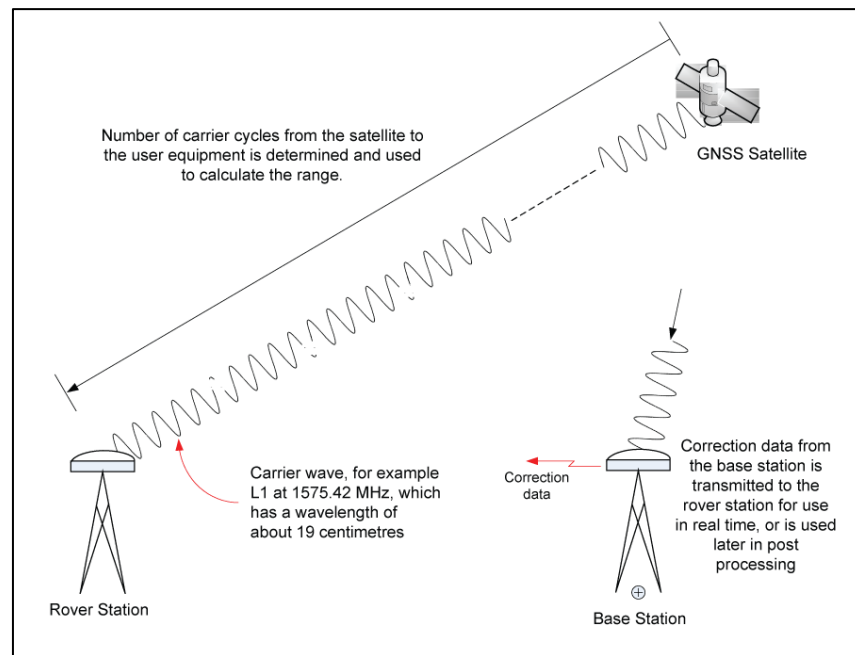
2.4.2 การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static)

วิธีการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็วนี้มีหลักการการทำงานเหมือนกับวิธีการรังวัดแบบสถิตทุกประการ แตกต่างกันที่ระยะเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณจะสั้นลงเหลือประมาณ 10-20 นาที โดยวิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องอยู่ระหว่าง 1-3 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

2.4.3 การรังวัดแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic: RTK)

วิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลนในทันที หรือมักถูกเรียกว่า RTK นั้น มีความคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบสถิต คือ ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 สองเครื่อง โดยเครื่องหนึ่งถูกวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว (สถานีฐาน) ส่วนเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่สองจะถูกวางไปวางรับสัญญาณ ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด (สถานีผู้ใช้งาน) แต่ในกรณีของการหาตำแหน่งแบบจลนในทันทีนี้สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่สองได้ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารระหว่างเครื่องรับสัญญาณทั้งสอง ซึ่งอาจเป็นเครื่องรับและส่งคลื่นวิทยุ หรือโทรศัพท์มือถือ รวมไปถึงอุปกรณ์ที่สามารถติดต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตได้ สำหรับใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งาน โดยเป็นการส่งข้อมูลจากจุดที่ทราบค่าพิกัดตำแหน่งแล้วไปยังจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดตำแหน่ง เมื่อเครื่องรับของสถานีผู้ใช้งานได้รับข้อมูลแล้วก็จะนำไปประมวลผลร่วมกัน และแสดงค่าพิกัดออกมาอย่างทันทีทันใด ณ ตำแหน่งนั้น ๆ

การหาพิกัดตำแหน่งจุดต่าง ๆ ด้วยวิธีนี้ เครื่องรับสัญญาณที่สถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 5 ดวง ทั้งนี้เครื่องรับสัญญาณที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น วิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1-5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2549) รูปที่ 2.13 และ 2.14 ตามลำดับ ประกอบ



รูปที่ 2.13 แสดงเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที

(<http://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-4-advanced-gnss-concepts/real-time-kinematic-rtk/>)



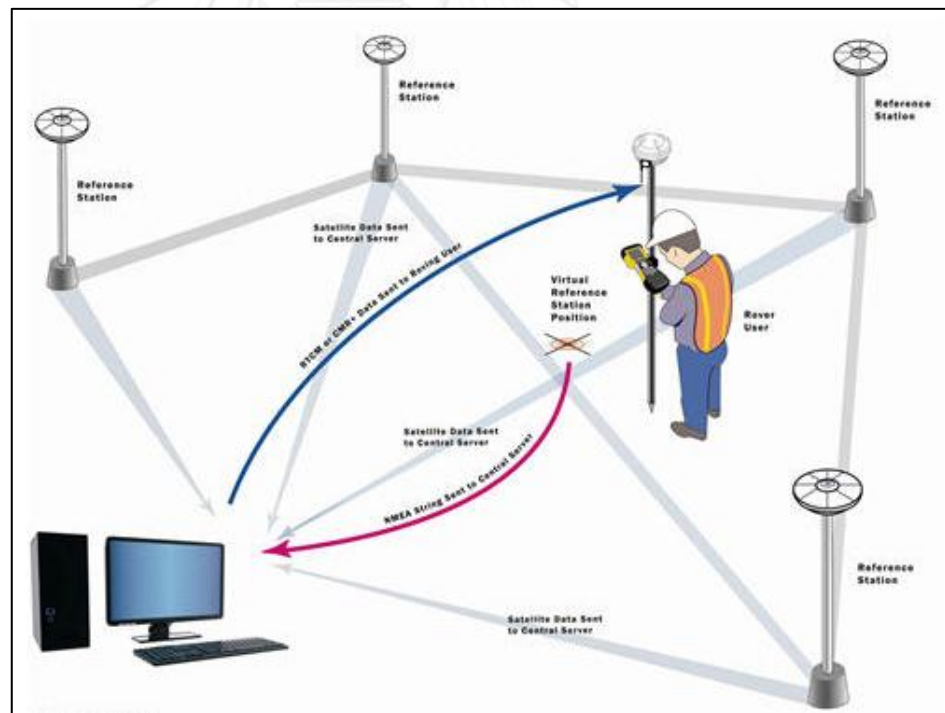
รูปที่ 2.14 แสดงการรังวัดแบบจลน์ในทันทีในสนาม (ซ้าย: สถานีฐาน, ขวา: สถานีผู้ใช้งาน)

(<http://www.azwater.gov/AzDWR/Hydrology/Geophysics/GPS.htm>)

เทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการรังวัดค่อนข้างเร็ว สามารถประมวลผลข้อมูลในขณะที่กำลังรับสัญญาณได้พร้อมกันทำให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งในทันที แต่ก็มีข้อจำกัด คือ ความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดที่ได้จะลดลงเมื่อระยะเส้นฐานระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น (ธีรทัต เจริญกาัญญา ตา และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2552)

2.4.4 การรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK: NRTK)

วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน หรือเรียกว่า NRTK นี้ถูกออกแบบมาเพื่อปรับปรุงและแก้ไขข้อจำกัดของเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันทีในเรื่องของความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดที่จะลดลงเมื่อระยะทางระหว่างสถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น การทำงานในสนามคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที แต่แตกต่างกันที่องค์ประกอบของเทคนิคการรังวัดนี้ประกอบด้วย สถานีฐานถาวร, ศูนย์ควบคุมกลาง และสถานีผู้ใช้งาน หลักการทำงานจะเริ่มจากสถานีฐานถาวรที่มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัดคุณภาพสูงชนิดหลายความถี่อย่างน้อย 3 สถานี ที่ติดตั้งในสถานที่ที่มีความมั่นคงถาวร สภาพพื้นที่โดยรอบปราศจากสิ่งกีดขวาง รวมถึงมีการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตตลอดเวลาเพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมส่วนกลางในทันที เมื่อศูนย์ควบคุมส่วนกลางได้รับข้อมูลมาจากทุกสถานีฐานถาวรแล้วจะทำการประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่าแก้คลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ แล้วส่งให้สถานีผู้ใช้งานต่อไป โดยผู้ใช้งานสามารถใช้เครื่องรับสัญญาณเพียงเครื่องเดียวไปวางตามตำแหน่งจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดในพื้นที่ระบบเครือข่ายสถานีฐานให้บริการ จากรูปที่ 2.15 ประกอบ

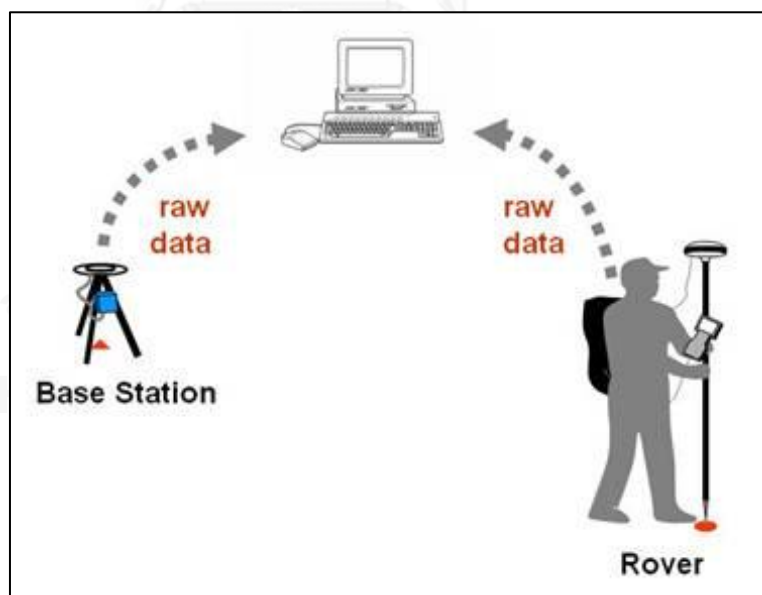


รูปที่ 2.15 แสดงเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน
(<http://seilemapsupport.files.wordpress.com/2012/05/vrs-by-trimble.jpg>)

ข้อดีของเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันทีแบบเดิม คือ มีผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่มีน้อยกว่า โดยจะถูกขจัดในขั้นตอนของการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งเนื่องจากผลของความคลาดเคลื่อนที่มีน้อยลง จึงเพิ่มประสิทธิภาพของการหาค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎี ทำให้ขบวนการประมาณค่าเลขปริศนานั้นทำได้ง่ายกว่า รวดเร็วกว่า และมีความน่าเชื่อถือมากกว่า ส่งผลทำให้การหาตำแหน่งของสถานีผู้ใช้งานสามารถทำได้รวดเร็วกว่า และมีความน่าเชื่อถือมากกว่าด้วย

2.4.5 การรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post Processing Kinematic: PPK)

วิธีการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง หรือเรียกว่า PPK นี้มีการทำงานในสนามคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที แต่แตกต่างกันตรงที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งาน และค่าพิกัดตำแหน่งไม่สามารถแสดงได้ในทันที ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการได้ โดยทั้งนี้จะต้องรอจนกว่าจะทำการประมวลผลข้อมูลในภายหลังเสร็จก่อน ซึ่งหมายถึงค่าพิกัดตำแหน่งที่ดีกว่า ดังนั้นเทคนิคการรังวัดนี้จึงได้รับการยอมรับว่ามีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าทั้งเทคนิค RTK และ NRTK ดูรูปที่ 2.16 ประกอบ



รูปที่ 2.16 แสดงเทคนิคการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง
(<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/canadian-spatial-reference-system/about-spatial>)

2.5 วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)

จากทฤษฎีวิวัฒนาการของชาร์ล ดาร์วิน (Charles Darwin's Theory of Natural Evolution) ในปี ค.ศ. 1859 วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต และกลไกทางชีววิทยา ค่อย ๆ พัฒนาโดยอยู่บนหลักการของกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ที่ส่งผลทำให้สิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืช หรือสัตว์ที่มีความเหมาะสมกว่าสามารถดำรงชีวิตและสืบพันธุ์ต่อไปได้ (Survival of The Fittest) สิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันในระบบนิเวศอาจจะอาศัยอยู่ร่วมกันและในขณะเดียวกันก็มีการต่อสู้ แข่งขันเพื่อได้มาซึ่งอาหารและที่อยู่อาศัย สิ่งมีชีวิตที่แข็งแกร่งกว่าสามารถปรับตัวต่อสู้ และแย่งชิงเพื่อได้มาซึ่งทรัพยากรที่มากกว่าก็จะมีแนวโน้มที่จะสามารถดำรงชีวิตและสืบพันธุ์ต่อไปได้ในอนาคต แต่ในขณะที่สิ่งมีชีวิตที่อ่อนแอกว่าที่ไม่อาจปรับตัว ต่อสู้ หรือแย่งชิงทรัพยากรมาได้ก็มีแนวโน้มที่จะไม่สามารถดำรงชีวิตและสืบพันธุ์ต่อไปได้ในอนาคต โดยคุณลักษณะเด่นของสิ่งมีชีวิตที่มีความเหมาะสมมากกว่านี้จะถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อ ๆ ไปส่งผลทำให้รุ่นถัด ๆ ไปมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้จากสิ่งมีชีวิตที่เราเห็นอยู่ในปัจจุบันนั้นล้วนแล้วแต่เป็นผลมาจากการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่ซึ่งต้องใช้เวลาในการค่อย ๆ พัฒนานับล้าน ๆ ปี

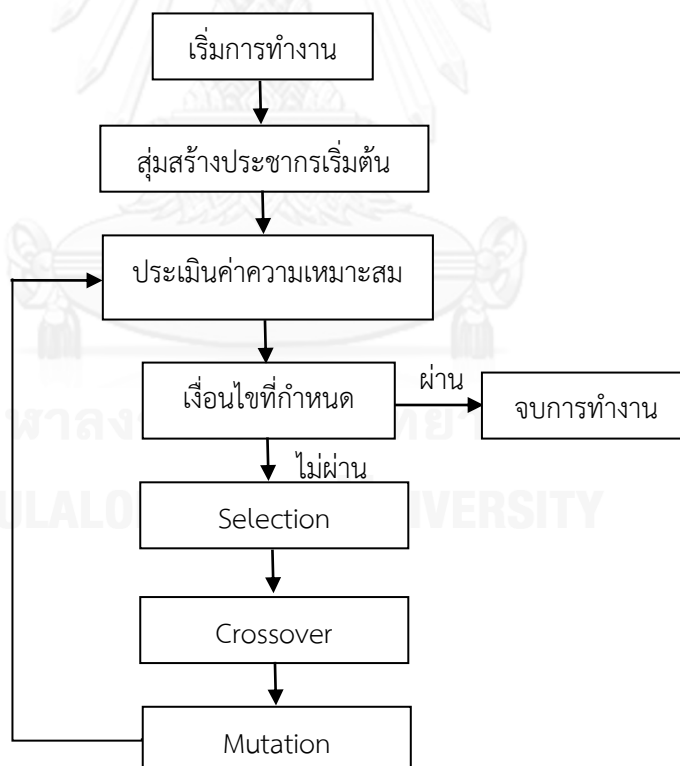
วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) ได้ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นโดยศาสตราจารย์จอห์น ฮอลแลนด์ ณ มหาวิทยาลัยมิชิแกน สหรัฐอเมริกา ในช่วงปีทศวรรษ 1960-1970 โดยศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวิวัฒนาการ (Evolution Strategies), การสร้างโปรแกรมเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Programming) และศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการปรับตัวที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ตลอดจนพัฒนารูปแบบแนวทางถึงความเป็นไปได้ในการนำกลไกเหล่านี้เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งในปี ค.ศ. 1975 ศาสตราจารย์จอห์น ฮอลแลนด์ ได้เขียนหนังสือที่มีชื่อว่า Adaptation in Natural and Artificial Systems ซึ่งภายในหนังสือเล่มนี้เขาได้อธิบายเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีวิวัฒนาการสำหรับแก้ไขปัญหาและกรอบเชิงทฤษฎีสำหรับการปรับตัวภายใต้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Melanie 1999)

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) คือ ขั้นตอนวิธีของการค้นหาที่อยู่บนกลไกของกระบวนการเลือกสรรโดยธรรมชาติ เป็นขั้นตอนของการวนซ้ำเพื่อพยายามค้นหาชุดคำตอบที่ดีและเหมาะสมที่สุด ดูรูปที่ 2.17 ประกอบ

ขั้นตอนพื้นฐานของ GA สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เริ่มจากการสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) ของชุดคำตอบที่เป็นไปได้และมีความสอดคล้องกับแต่ละปัญหา โดยในแต่ละชุดคำตอบที่เหล่านี้จะถูกเข้ารหัสเหมือนกับโครโมโซมที่ประกอบไปด้วยยีนส์
2. ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) ของแต่ละโครโมโซมในประชากร ค่าเหมาะสมนี้แสดงถึงความสามารถในการอยู่รอดและมีส่วนในการสร้างรุ่นถัดไป โดยค่าความเหมาะสมนี้ได้มาจากการถอดรหัสของแต่ละโครโมโซมและประเมินด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)
3. ตรวจสอบตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยทั่วไปเงื่อนไขที่กำหนดสามารถจะเป็นตัวเลขของจำนวนรอบของการสร้างรุ่นถัดไป (Generation) ได้

4. หากไม่ผ่านเงื่อนไขที่กำหนด กลุ่มของประชากรใหม่จะถูกสร้างขึ้น โดยการวนซ้ำตามขั้นตอนต่อไปนี้จะจนกว่าประชากรใหม่จะแล้วเสร็จ
 - 4.1 [Selection] สุ่มคัดเลือกคู่ของโครโมโซมพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ โดยอาศัยวิธีการสุ่มเลือกตามสัดส่วนค่าความเหมาะสม ซึ่งจะเลือกโครโมโซมแต่ละตัวตามค่าความเหมาะสมยิ่งโครโมโซมที่มีค่าเหมาะสมมากก็ยิ่งมีโอกาสถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีค่าเหมาะสมน้อยกว่า
 - 4.2 [Crossover] นำโครโมโซมพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ที่ได้มาทำการผสมพันธุ์กันเพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นลูก
 - 4.3 [Mutation] นำโครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จาก Crossover มาทำการปรับปรุงพันธุ์โดยการกลายพันธุ์
 - 4.4 นำโครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จาก Mutation มาเก็บไว้ในกลุ่มประชากรใหม่
5. แทนที่ประชากรปัจจุบันด้วยประชากรใหม่ ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) ของแต่ละโครโมโซมในประชากรใหม่นี้ตามข้อ 2
6. ตรวจสอบตามเงื่อนไขที่กำหนด หากผ่านเงื่อนไขที่กำหนดให้หยุด และจบการทำงาน
7. หากยังไม่ผ่านเงื่อนไขที่กำหนดก็ทำการวนซ้ำจนกว่าจะผ่านเงื่อนไขที่กำหนด



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Srinuandee et al. 2012)

ในปัจจุบันวิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้ในการแก้ไข ปัญหาและสร้างแบบจำลองเชิงวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ และเพื่อประสิทธิผลของการค้นหาชุดคำตอบที่

เป็นไปได้และสอดคล้องกับปัญหา การกำหนดตัวแปรและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องถือได้ว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก ตัวอย่างองค์ประกอบสำคัญของ GA ได้แก่ การเข้ารหัส (Encoding), ประชากรเริ่มต้น (Initial Population), ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function), ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operators) และพารามิเตอร์ (Parameters) เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดขององค์ประกอบสำคัญต่าง ๆ มีดังนี้

2.5.1 การเข้ารหัส (Encoding)

การเข้ารหัส คือ กระบวนการของการแทนค่าในแต่ละยีนส์ โดยสามารถใช้ทั้งบิต (Bits) ตัวเลข (Numbers) และอาร์เรย์ (Arrays) เป็นต้น ซึ่งการเข้ารหัสจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและสอดคล้องกับแต่ละปัญหาเป็นหลัก ยกตัวอย่างรูปแบบการเข้ารหัส ได้แก่ การเข้ารหัสแบบไบนารี (Binary Encoding) และการเข้ารหัสแบบแทนค่า (Value Encoding) เป็นต้น มีรายละเอียดในแต่ละรูปแบบดังนี้

2.5.1.1 Binary Encoding

เป็นรูปแบบการเข้ารหัสที่นิยมใช้กันมาก โดยทั่วไปเรียกว่า Binary String หรือ Bit String โดยในแต่ละตำแหน่งของยีนส์ของโครโมโซม (แต่ละบิตใน String) จะถูกแทนด้วย 0 หรือ 1 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบไบนารีแสดงในรูปที่ 2.18

Chromosome 1	1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0
Chromosome 2	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0

รูปที่ 2.18 แสดงการเข้ารหัสแบบไบนารี (Binary Encoding)
(Sivanandam and Deepa 2008)

2.5.1.2 Value Encoding

เป็นรูปแบบการเข้ารหัสโดยที่ในแต่ละตำแหน่งของยีนส์บนโครโมโซมจะถูกแทนด้วยค่าบางค่า ที่สามารถเชื่อมโยงไปยังปัญหาได้ เช่น จำนวนจริง จำนวนเต็ม และตัวอักษร เป็นต้น โดยทั่วไปรูปแบบการเข้ารหัสแบบนี้จะใช้กับปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อน และมีความเฉพาะ ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบแทนค่าแสดงในรูปที่ 2.19

Chromosome A	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Chromosome B	ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT
Chromosome C	(back), (back), (right), (forward), (left)

รูปที่ 2.19 แสดงการเข้ารหัสแบบแทนค่า (Value Encoding)
(Sivanandam and Deepa 2008)

2.5.2 ประชากร (Population)

ประชากร คือ กลุ่มของโครโมโซมที่กำลังทำการทดสอบ หรือสนใจ ซึ่งโครโมโซมแต่ละตัวจะถูกกำหนดและมีลักษณะรูปแบบที่ต่างกันไป โดยมี 2 ส่วนสำคัญที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับประชากร ได้แก่ การสร้างประชากรเริ่มต้น (The Initial Population Generation) และขนาดของประชากร (The Population Size) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.2.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น (The Initial Population Generation)

การสร้างประชากรเริ่มต้นจะต้องคำนึงความหลากหลายของรูปแบบยีนส์ภายในโครโมโซมแต่ละตัวด้วย เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาชุดคำตอบที่ต้องการ โดยทั่วไปนั้นประชากรเริ่มต้นจะถูกสุ่มสร้างขึ้น

2.5.2.2 ขนาดของประชากร (The Population Size)

สำหรับแต่ละและทุก ๆ ปัญหา ขนาดของประชากรจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของแต่ละปัญหาเป็นสำคัญ ขนาดของประชากรที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้นเพิ่มประสิทธิภาพอย่างมากในการค้นหาชุดคำตอบที่ต้องการ แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องการหน่วยความจำ และใช้เวลาคำนวณข้างนานด้วย โดยทั่วไปนิยมกำหนดขนาดของประชากรประมาณ 100 แต่อย่างไรก็ตามขนาดของประชากรนี้ก็สามารปรับเปลี่ยนได้ ตามความเหมาะสมและความต้องการของผู้ใช้ จากรูปที่ 2.20 ประกอบ

Population	Chromosome 1	1 1 1 0 0 0 1 0
	Chromosome 2	0 1 1 1 1 0 1 1
	Chromosome 3	1 0 1 0 1 0 1 0
	Chromosome 4	1 1 0 0 1 1 0 0

รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างขนาดของประชากร (Population size)

(Sivanandam and Deepa 2008)

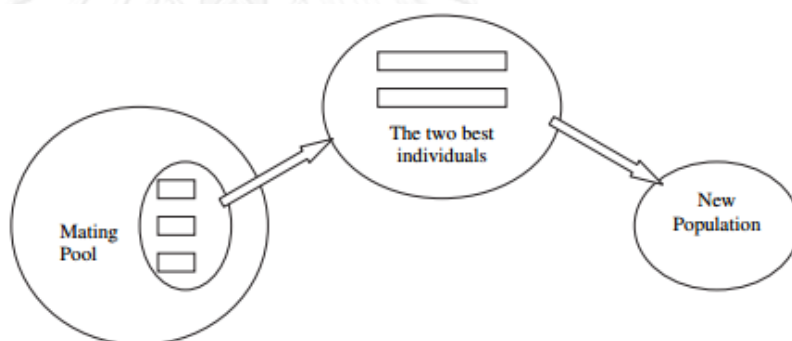
2.5.3 ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operators)

เป็นกระบวนการขั้นตอนของการปรับปรุงพันธุ์ ถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในวิธีการเชิงพันธุกรรม ประกอบด้วยการคัดเลือก (Selection), การผสมพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) มีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

2.5.3.1 การคัดเลือก (Selection)

การคัดเลือก คือ กระบวนการคัดเลือกโครโมโซมตัวพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์จากประชากรสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ หลังจากการเข้ารหัสขั้นตอนต่อไปคือจะมีวิธีการอย่างไรในการคัดเลือกโครโมโซมที่จะนำมาสร้างโครโมโซมรุ่นลูกและรุ่นลูก

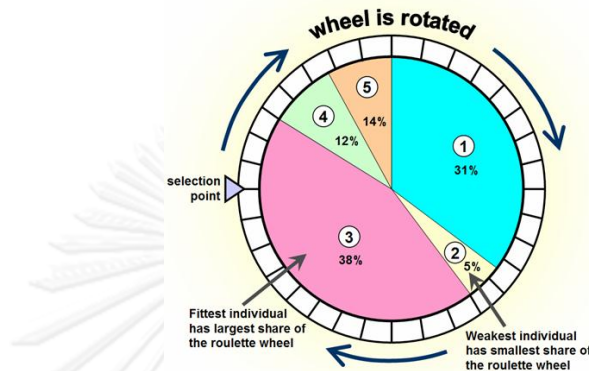
ที่จะสร้างต้องมีจำนวนเท่าไร จุดประสงค์ของการคัดเลือก คือ ให้ความสำคัญกับโครโมโซมตัวที่มีความเหมาะสมมากกว่าในประชากรโดยคาดหวังว่าโครโมโซมรุ่นลูก (Offspring) ที่ได้จะมีความเหมาะสมมากขึ้น โดยโครโมโซมจะถูกเลือกจากประชากรเริ่มต้นไปเป็นโครโมโซมตัวพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์สำหรับการสืบพันธุ์ วิธีการที่เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ทั่วไปโดยอาศัยทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกโครโมโซมจากประชากรโดยอาศัยค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงก็จะมีแนวโน้มที่จะถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยกว่า แต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงและให้ความสำคัญเรื่องของความหลากหลายของโครโมโซมที่ถูกเลือกประกอบด้วย ซึ่งมีผลต่ออัตราการวิวัฒนาการของ GA ยกตัวอย่างเทคนิควิธีการคัดเลือกที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ Roulette Wheel Selection (เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด), Random Selection, Rank Selection, Tournament Selection, Boltzmann Selection และ Stochastic Universal Sampling เป็นต้น (Melanie 1999) และ (Sivanandam and Deepa 2008) ตัวอย่างขั้นตอนพื้นฐานของการคัดเลือกแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงขั้นตอนพื้นฐานของการคัดเลือก (Selection)
(Sivanandam and Deepa 2008)

ตัวอย่างเทคนิควิธีการคัดเลือกที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) เป็นเทคนิคการคัดเลือกที่ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับเทคนิควิธีอื่น โดยบนวงล้อจะถูกแบ่งออกเป็นช่อง หรือพื้นที่ที่มีขนาดต่างๆ ตามสัดส่วนค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว ซึ่งขนาดของพื้นที่บนวงล้อจะหาได้จากอัตราส่วนของค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัวในประชากรเทียบกับผลรวมค่าความเหมาะสมของโครโมโซมทั้งหมด ถ้าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะมีสัดส่วนของพื้นที่บนวงล้อมากทำให้มีโอกาสที่จะถูกเลือกไปสู่รุ่นถัดไปได้มาก ในขณะที่โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำจะมีสัดส่วนของพื้นที่บนวงล้อน้อยทำให้มีโอกาสที่จะถูกเลือกน้อย การคัดเลือกจะเริ่มจากกำหนดจุดคงที่หนึ่งจุด เรียกจุดนี้ว่า “Wheel’s marker หรือ Selection point” แล้วทำการสุ่มค่าเพื่อจะทำการหมุนวงล้อ โดยหลังจากหมุนวงล้อตามค่าที่สุ่มมาได้ เมื่อวงล้อหยุด

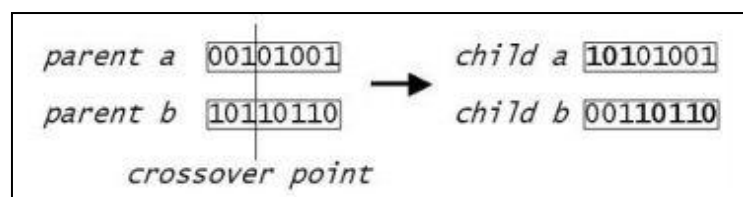
หมูนหาก Selection point ตกอยู่ภายใต้ตำแหน่งของโครโมโซมใด โครโมโซมตัวนั้นจะถูกคัดเลือกไปเป็นโครโมโซมของประชากรรุ่นถัดไป จากนั้นทำการหมุนวงล้อ โดยการสุ่มต่อไปเพื่อคัดเลือกโครโมโซมจนกระทั่งครบตามจำนวนครั้ง โดยที่จำนวนครั้งของการหมุนวงล้อนี้จะเท่ากับจำนวนโครโมโซมที่อยู่ในประชากร (Melanie 1999) จากรูปที่ 2.22 ประกอบ



รูปที่ 2.22 แสดงการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection)
(<http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007g02.php/>)

2.5.3.2 การผสมพันธุ์ (Crossover)

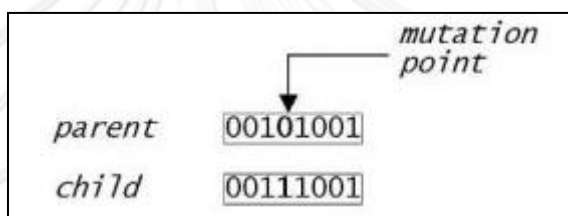
เป็นกระบวนการขั้นตอนของการนำโครโมโซมพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์มาปรับปรุงพันธุ์ โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งจุดบนโครโมโซม (ตำแหน่งจุดของการเกิด Crossover ที่เกิดจากการสุ่มเลือกบนโครโมโซม ซึ่งอาจจะมี 1 จุด หรือมากกว่า) ในท้ายที่สุดทั้งก่อนและหลังตำแหน่ง Crossover จะมีการตัดลอกและแลกเปลี่ยนค่าของทั้ง 2 โครโมโซมกลายเป็นโครโมโซมรุ่นลูก แต่ในบางกรณีที่ไม่มี Crossover เกิดขึ้นโครโมโซมรุ่นลูกก็จะทำการคัดลอกยีนส์ทั้งหมดของโครโมโซมตัวพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์มาแทน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover (Crossover Probability, P_c) โดย P_c ทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 60-95 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ไม่มี Crossover เกิดขึ้น หมายความว่า P_c เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ โดย Crossover ถูกสร้างขึ้นด้วยความคาดหวังที่ว่าโครโมโซมใหม่ที่จะเกิดขึ้นนี้จะนำเอาบางส่วน หรือข้อดีของโครโมโซมเดิมมาเพื่อปรับปรุงให้โครโมโซมใหม่ที่ได้ดีกว่าเดิม (Sivanandam and Deepa 2008) จากรูปที่ 2.23 ประกอบ



รูปที่ 2.23 ตัวดำเนินการ Crossover (Bräunl 2008)

2.5.3.3 การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์ คือ กระบวนการขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าบางค่าของโครโมโซมที่ได้หลังจากการเกิด Crossover โดย Mutation นั้นเหมือนกับตัวดำเนินการพื้นฐานที่ช่วยทำหน้าที่สร้างความหลากหลายให้กับโครโมโซมภายในประชากร แต่อย่างไรก็ตามการเกิด Mutation ไม่ได้เกิดขึ้นบ่อยนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าที่น่าจะเป็นของการเกิด Mutation (Mutation Probability, P_m) โดยทั่วไป P_m จะอยู่ที่ประมาณ $1/L$ (L คือ ความยาวของโครโมโซม) หรือประมาณ 0-1 เปอร์เซ็นต์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้า P_m เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ค่าทุกค่าบนโครโมโซมจะถูก Mutation ทั้งหมด ตรงกันข้ามหาก P_m เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ค่าทุกค่าบนโครโมโซมจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง ก็จะทำกับโครโมโซมที่ได้จาก Crossover (Sivanandam and Deepa 2008) ดูรูปที่ 2.24 ประกอบ



รูปที่ 2.24 ตัวดำเนินการ Mutation (Bräunl 2008)

2.5.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

สำหรับชุดคำตอบในแต่ละปัญหาที่ต้องการนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง มีรูปแบบวิธีการที่อธิบาย และแสดงให้เห็นคุณลักษณะของแต่ละชุดคำตอบนั้น ๆ โดยที่ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) มีเป้าหมาย คือ ประเมินความเหมาะสมของแต่ละชุดคำตอบ (Solution) ซึ่งค่าที่ได้จากการประเมินจะอยู่ในรูปของตัวเลข ที่ซึ่งแสดงถึง ความเหมาะสมและคุณลักษณะของแต่ละชุดคำตอบที่เป็นไปได้เหล่านั้นถึงความสามารถว่ามี มากน้อยเพียงใดสำหรับการแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะต้องถูกสร้างขึ้นโดยให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเงื่อนไขในแต่ละปัญหาเป็นหลัก (Bräunl 2008)

2.6 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (Constrained Optimization with Genetic Algorithm)

จากหัวข้อ 2.5 ได้อธิบายในส่วนของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) ว่าเป็นกระบวนการวิธีการหาค่าที่มีความเหมาะสมที่สุดโดยอยู่บนพื้นฐานของการเลือกสรรตามธรรมชาติ โดยมีประชากรคือกลุ่มของโครโมโซม โดยที่ในแต่ละโครโมโซมจะถูกแทนด้วยชุดคำตอบที่เป็นไปได้สำหรับปัญหานั้น ๆ การทำงานของ GA จะเป็นการสร้างและประเมินผลโครโมโซมในแต่ละรุ่นโดยใช้ฟังก์ชันการประเมินผลวนซ้ำไปจนกว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

โดยในปัจจุบัน GA ได้ถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายสำหรับใช้ในการแก้ไขปัญหาในงานด้านต่าง ๆ ได้แก่ วิทยาศาสตร์, วิศวกรรมศาสตร์, คณิตศาสตร์ และการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ เป็นต้น ปัญหาที่พบโดยส่วนใหญ่สำหรับงานทางด้านต่าง ๆ เหล่านี้เกี่ยวข้องกับหาค่าที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดแบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดหรืออยู่ภายใต้ข้อจำกัด (Constrained Optimization) โดยเริ่มแรก GA สามารถประยุกต์ใช้โดยตรงกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบที่ไม่มีเงื่อนไขบังคับหรือไม่ได้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดเท่านั้น แต่สำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันแบบที่มีเงื่อนไขบังคับหรืออยู่ภายใต้ข้อจำกัดนั้นไม่อาจจะหาได้โดยฟังก์ชันปกติ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้บางเทคนิควิธีการเพิ่มเติมเข้ามาช่วย โดยในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคนิควิธีการต่าง ๆ ได้ถูกนำเสนอขึ้นมาเพื่อใช้ในการจัดการกับปัญหาแบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดใน GA หลายวิธีด้วยกัน โดยเทคนิควิธีการส่วนใหญ่ที่ได้นำเสนอมิชอบกพร่องหลายอย่าง บางเทคนิควิธีการก็ให้ชุดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้หรือต้องการตัวแปรหรือพารามิเตอร์เพิ่มเติม โดยวิธีการที่เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันโดยทั่วไปในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อจัดการกับเงื่อนไขข้อจำกัดคือการใช้ฟังก์ชันลงโทษ (Penalty Function) ซึ่งลงโทษชุดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) โดยการปรับลดค่าเหมาะสมของชุดคำตอบเหล่านี้ในสัดส่วนตามระดับการละเมิดเงื่อนไขข้อจำกัด (Constraint Violation) ของแต่ละชุดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้เหล่านั้น รายละเอียดในส่วนของเทคนิควิธีการจัดการกับเงื่อนไขข้อจำกัดในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีดังนี้

2.6.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัด (Constrained Optimization)

จุดประสงค์ของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ฟังก์ชัน $f(x)$ มีค่ามากที่สุดหรือน้อยที่สุด โดยฟังก์ชันที่นำมาหาค่าที่เหมาะสมนี้จะถูกเรียกว่า “ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)” ทั้งนี้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะแปรตามตัวแปรหลาย ๆ ตัว เช่น

$$f(x, y) \text{ หรือ } f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

ตัวแปร x, y หรือ $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ที่เป็นตัวแปรต้นนี้เรียกว่า ตัวแปรควบคุม (Control Variables) ดังนั้นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ของตัวแปรต้นเหล่านี้ เพื่อจะทำให้เกิดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าที่เหมาะสมที่สุด แต่ปัญหาส่วนใหญ่ในตัวแปรต้นแต่ละค่า $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ อาจจะมีเงื่อนไขข้อจำกัด (Constraint) โดยเงื่อนไขที่กำหนดเพิ่มเติมของตัวแปรต้นแต่ละตัวอาจเกิดโดยธรรมชาติของตัวแปรต้นนั้น เช่น $x_1 \geq 0$

โดยทั่วไปการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดจะถูกเขียนให้อยู่ในรูปสมการไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Optimization Problem) ดังนี้

$$\text{Min } f(\bar{x}) \quad \bar{x} = (x_1, \dots, x_n)^t \in F \subseteq S \subseteq R^n$$

Subject to

$$g_i(\bar{x}) \leq 0 \quad i = 1, \dots, q$$

$$h_j(\bar{x}) = 0 \quad j = q + 1, \dots, m$$

โดยที่

$\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)^t$ คือ เวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ (Vector of Decision Variables)

$f(\bar{x})$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

F คือ ขอบเขตที่เป็นไปได้ (Feasible Region)

S คือ พื้นที่การค้นหาทั้งหมด (Whole Search Space)

2.6.2 วิธีฟังก์ชันลงโทษ (Penalty Function Method)

สำหรับการจัดการกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมแบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัด (Constrained Optimization Problem) ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เทคนิควิธีการต่าง ๆ ได้ถูกนำเสนอขึ้นมาหลายวิธีเพื่อใช้จัดการกับเงื่อนไขข้อจำกัดในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม วิธีฟังก์ชันลงโทษเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย โดยจะทำการแปลงปัญหาแบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดให้เป็นแบบที่ไม่มีเงื่อนไขข้อจำกัด โดยสามารถแสดงได้ทั้งในรูปแบบการบวก และการคูณ ดังนี้

$$\text{eval}(\bar{x}) = \begin{cases} f(\bar{x}), & \bar{x} \in F \\ f(\bar{x}) + p(\bar{x}), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\text{eval}(\bar{x}) = \begin{cases} f(\bar{x}), & \bar{x} \in F \\ f(\bar{x})p(\bar{x}), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.4)$$

โดยที่

$\text{eval}(\bar{x})$ แทนด้วยฟังก์ชันการประเมินผล (Evaluation Function)

$f(\bar{x})$ แทนด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$p(\bar{x})$ แทนด้วยพจน์การปรับลดหรือลงโทษ (Penalty Term)

โดยทั่วไปวิธีฟังก์ชันลงโทษจะเป็นเทคนิควิธีการที่ใช้การหาค่า x ที่ทำให้คำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) หรือ $f(\bar{x})$ มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งลงโทษจุดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) โดยทำการปรับลดค่าเหมาะสมของจุดคำตอบเหล่านี้ในสัดส่วนตามระดับการละเมิดเงื่อนไขบังคับ (Constraint Violation) ของแต่ละจุดคำตอบ โดยอาศัยพจน์การปรับลด (Penalty Term) หรือ $p(\bar{x})$ ที่ถูกเพิ่มเติมเข้าไปในฟังก์ชันปกติ (Yeniay 2005)

2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา

2.7.1 การปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีด้วยเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ

(Han and Rizos 2000) ได้ศึกษาผลของการใช้โครงข่ายสถานีอ้างอิง GPS ร่วมกับวิธี Linear Combination method กับ Integrated Method สำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ที่มีความยาวเส้นฐานปานกลาง (<100 km) ผลการศึกษาที่ได้พบว่าค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม GPS (Orbit bias) และการล่าช้าเนื่องจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay) สามารถจัดออกไปได้ แต่ในส่วนของค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี (Multipath Error) และการล่าช้าเนื่องจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ (Tropospheric delay) สามารถลดให้มีค่าน้อยลงได้ นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงอัตราการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

(Pratt et al. 1998) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของวิธี LMS (Local-Minima Search) ระหว่างใช้ข้อมูล GPS เพียงแหล่งเดียวกับข้อมูล GPS, GLONASS ผลการศึกษาที่ได้พบว่าการใช้ข้อมูล GPS, GLONASS ร่วมกันสามารถปรับปรุงอัตราการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังช่วยลดอัตราการค้นหาโดยเฉลี่ยได้มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูล GPS เพียงแหล่งเดียว

(Dai et al. 2001) ได้ศึกษาผลของการใช้โครงข่ายสถานีอ้างอิง GPS, GLONASS ร่วมกับการใช้แบบจำลองสหสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ สำหรับการหาตำแหน่งแบบ Real-time ที่มีผลต่อขบวนการ AR ผลการศึกษาที่ได้พบว่าขบวนการค้นหาค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มสามารถถูกแก้ไข ปรับปรุงและมีความน่าเชื่อถือที่ดีขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศของกลุ่มดาวเทียมที่สามารถหาค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มได้ยังสามารถใช้ทำนายค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศสำหรับกลุ่มของดาวเทียมดวงอื่นที่ขึ้นมาใหม่ได้อีกด้วย

(Dai et al. 2001) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ สำหรับการหาตำแหน่งแบบ Real-time โดยใช้โครงข่ายสถานีอ้างอิง GPS, GLONASS ผลการศึกษาที่ได้พบว่าการใช้โครงข่ายสถานีอ้างอิง GPS, GLONASS สามารถลดค่าคลาดเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับระยะทาง (Distance-dependent biases) ได้อย่างมากทั้งในข้อมูลชุดโตนเรนจ์และข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ณ ตำแหน่งสถานีผู้ใช้ และในส่วนของผลที่ได้จากเทคนิค วิธีการต่าง ๆ นั้นให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

2.7.2 การปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดย การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA)

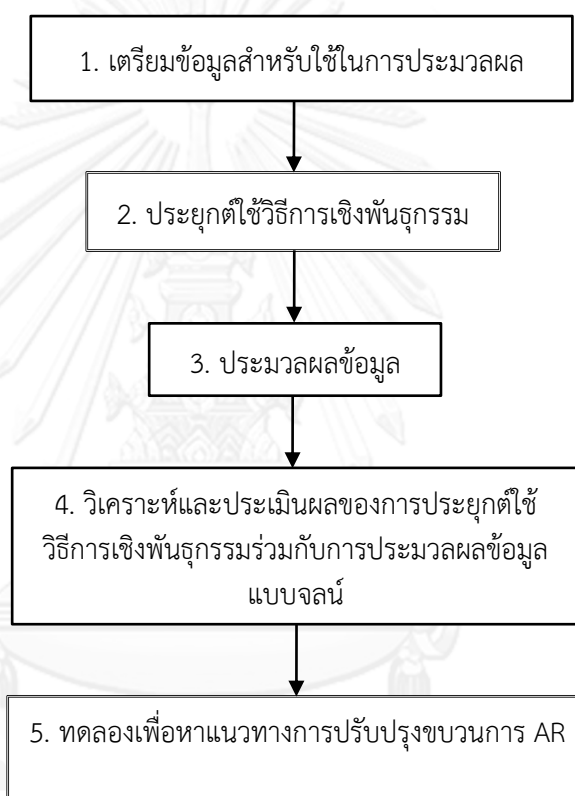
(Liu et al. 2005) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการประยุกต์ใช้ GA ระหว่างการเข้ารหัสแบบ Binary Code และ Real Code ที่มีผลต่อขบวนการหาค่าเลขปริศนา (Ambiguity Resolution, AR) ของข้อมูล GPS ที่มีความยาวเส้นฐานสั้น ผลการศึกษาที่ได้พบว่าทั้ง Binary Code และ Real Code มีความสามารถในการปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎีได้ โดยที่อัตราการเร็วในการลู่เข้าหาค่าตอบของ Binary Code สามารถทำได้ดีกว่า Real Code แต่ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จาก Real Code มีความน่าเชื่อถือมากกว่า เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการเข้ารหัสแบบ Real Code ไม่ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของค่าเริ่มต้น ตรงกันข้ามกับ Binary Code ที่ต้องอาศัยค่าความถูกต้องของการประมาณค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนจริงเป็นค่าเริ่มต้น

(Liu et al. 2010) ได้ศึกษาผลของขบวนการ AR โดยใช้ข้อมูล GPS ที่ 1 ขณะเวลารับสัญญาณ (Single Epoch) ร่วมกับการประยุกต์ใช้ GA โดยมีการออกแบบและปรับปรุง GA ขึ้นใหม่ ได้แก่ ปรับปรุงการเข้ารหัส Real Code, ตัวดำเนินการ GA, พารามิเตอร์ต่าง ๆ และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นต้น ผลการศึกษาที่ได้พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากข้อมูล 1 ขณะเวลารับสัญญาณ (Single Epoch) กับข้อมูลหลายขณะเวลารับสัญญาณ (Multi-Epoch) ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และสามารถปรับปรุงอัตราของการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลจากการปรับปรุง GA ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือขึ้น

(Srinuandee et al. 2012) ได้ศึกษาผลของการคัดเลือกข้อมูล โดยทำการตัดข้อมูลดาวเทียม GPS บางดวงออกไปก่อนนำเข้าสู่การประมวล โดยประยุกต์ใช้ GA เพื่อคัดเลือกดาวเทียม GPS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีจลน์ ผลการศึกษาพบว่า การประยุกต์ใช้ GA ประสบความสำเร็จในการคัดเลือกดาวเทียมที่มีความเหมาะสมที่สุด ที่ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีดีขึ้นกว่าเดิมถึง 5 จากทั้งหมด 24 คาบเวลา (Session) แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียม GPS ทั้งหมดที่รับสัญญาณได้นั้น ไม่อาจจะให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีเสมอไป ในบางกรณีการเลือกลบข้อมูลดาวเทียมบางดวงออกไปอาจจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งกว่า

บทที่ 3 การดำเนินงาน

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยเป็นการประมวลผลแบบสัมพันธ์ด้วยวิธีจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post-Processing Kinematic, PPK) โดยใช้ข้อมูล GPS และ GLONASS ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.1

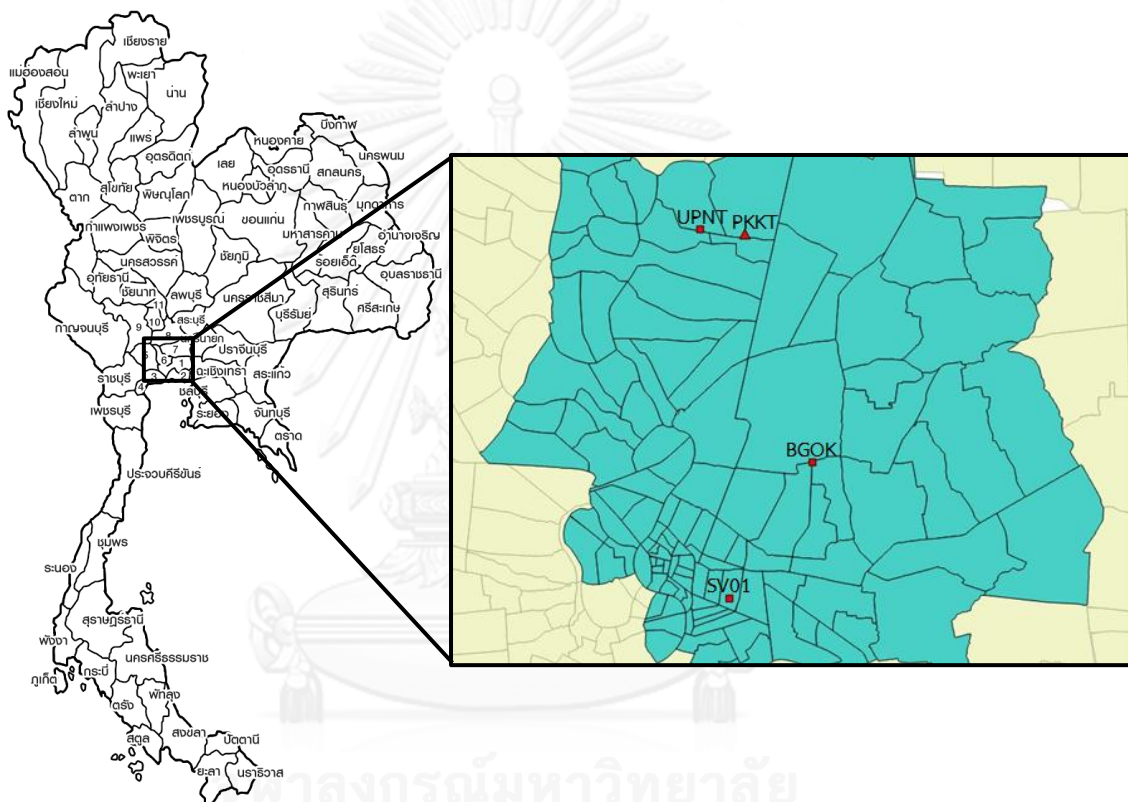


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

จากขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1 ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงหัวข้อ 3.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการประมวลผล หัวข้อ 3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม หัวข้อ 3.3 การประมวลผลข้อมูล หัวข้อ 3.4 การวิเคราะห์และประเมินผลของการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์ และหัวข้อ 3.5 การทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงขบวนการประมวลผลค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี ดังมีรายละเอียดในแต่ละหัวข้อดังนี้

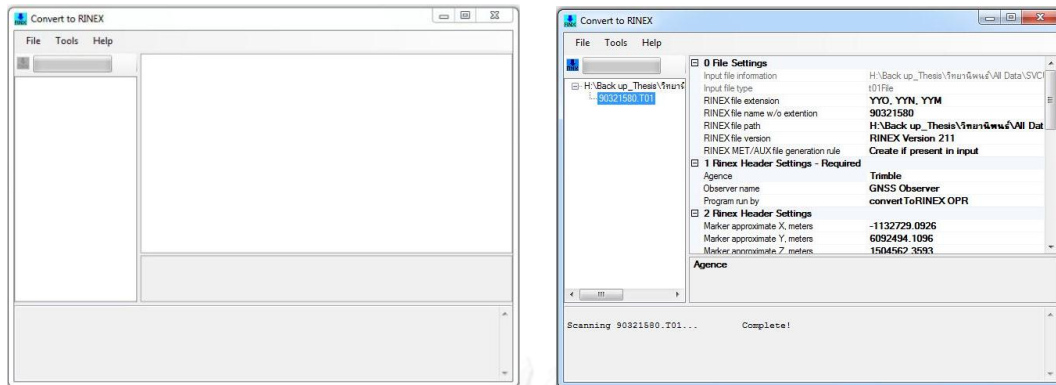
3.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการประมวลผล

เป็นการจัดเตรียมข้อมูลต่าง ๆ โดยประกอบด้วยข้อมูลดาวเทียม GPS และ GLONASS เพื่อให้พร้อมใช้สำหรับการประมวลผล โดยข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ถูกจัดเก็บแบบสถิติที่อัตราการบันทึกทุกๆ 1 วินาที ของวันที่ 8 มิถุนายน พ.ศ. 2556 ในช่วงเวลา 00:00:00-23:59:59 ซึ่งได้จากโครงข่ายสถานีของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS แบบสองความถี่ โดยมีสถานี PKKT เป็นสถานีฐาน (Base station) และสถานี UPNT, BGOK และ SV01 เป็นสถานีผู้ใช้ (Roving station) มีระยะเส้นฐานโดยประมาณ 2.1, 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

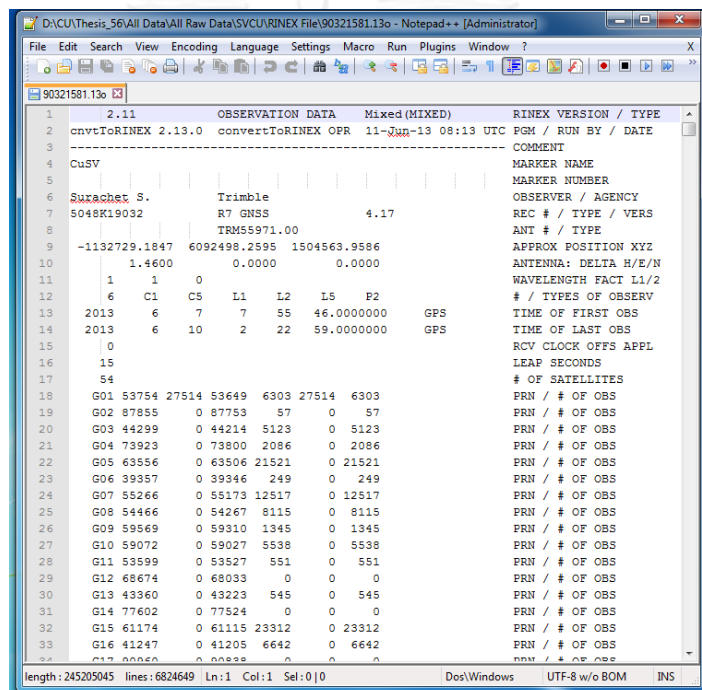


รูปที่ 3.2 แสดงที่ตั้งโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย

จากรูป 3.2 ข้อมูลทั้ง 4 สถานีข้างต้น ประกอบไปด้วยข้อมูลรั้งวัด 24 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อสะดวกและง่ายสำหรับนำไปประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ทั่วไป ไฟล์ข้อมูลทั้งหมดถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ RINEX (Receiver Independent Exchange Format) โดยใช้ซอฟต์แวร์ Convert To RINEX จากรูปที่ 3.3 ประกอบ จากนั้นทำการจัดเตรียมข้อมูลขั้นตอนสุดท้ายให้พร้อมสำหรับการประมวลผลข้อมูล โดยทำการแบ่งข้อมูลในแต่ละสถานีออกเป็นช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลลัพธ์ในแต่ละช่วงข้อมูลที่ช่วงเวลาต่างกัน โดยผู้วิจัยได้กำหนดให้ช่วงข้อมูลที่จะทำการทดสอบนี้ แบ่งออกเป็น 24 ช่วงข้อมูล หรือคาบเวลา โดยมีช่วง หรือคาบเวลาละ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการแปลงข้อมูลเป็น RINEX จากซอฟต์แวร์ Convert To RINEX



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างไฟล์ข้อมูล RINEX ของสถานี SV01 ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Convert To RINEX

สำหรับการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 24 ช่วง หรือคาบเวลา (Session) ช่วงละ 1 ชั่วโมงนั้น ใน การศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ TEQC สำหรับใช้ในการตัดแบ่งช่วงข้อมูล ซึ่งแต่ละช่วงข้อมูลที่ได้จากซอฟต์แวร์ข้างต้น ชื่อไฟล์ข้อมูลที่ได้จะถูกเรียงตามลำดับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ a ถึง x ใน ลำดับท้ายสุดหลังจากชื่อสถานีและลำดับจำนวนวัน ตามลำดับ ยกตัวอย่างในกรณีสถานี SV01 เช่น SV01159a.13o และ SV01159b.13o เป็นต้น ซึ่งลำดับตัวอักษรภาษาอังกฤษข้างต้น หมายถึง คาบเวลา (Session) ที่ 1 ถึง 24 ตามลำดับ ตัวอย่างการใช้ซอฟต์แวร์ TEQC และช่วงข้อมูลที่ได้จาก ตัดแบ่งโดยใช้ซอฟต์แวร์ TEQC แสดงดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Administrator>cd c:\teqc

c:\teqc>dir
Volume in drive C has no label.
Volume Serial Number is 1A3A-942D

Directory of c:\teqc

04/11/2014  01:56 AM  <DIR>          .
04/11/2014  01:56 AM  <DIR>          ..
06/11/2013  03:19 PM                294,368  90321581.13g
06/11/2013  03:19 PM                252,720  90321581.13n
06/11/2013  03:19 PM                245,205,045  90321581.13o
03/15/2013  01:47 PM                1,537,331  teqc.exe
                4 File(s)    247,209,464 bytes
                2 Dir(s)    44,387,069,952 bytes free

c:\teqc>teqc +obs + -thin 1h sv01 90321581.13o_

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe - teqc +obs + -thin 1h sv01
C:\Users\Administrator>cd c:\teqc

c:\teqc>dir
Volume in drive C has no label.
Volume Serial Number is 1A3A-942D

Directory of c:\teqc

04/11/2014  01:56 AM  <DIR>          .
04/11/2014  01:56 AM  <DIR>          ..
06/11/2013  03:19 PM                294,368  90321581.13g
06/11/2013  03:19 PM                252,720  90321581.13n
06/11/2013  03:19 PM                245,205,045  90321581.13o
03/15/2013  01:47 PM                1,537,331  teqc.exe
                4 File(s)    247,209,464 bytes
                2 Dir(s)    44,387,069,952 bytes free

c:\teqc>teqc +obs + -thin 1h sv01 90321581.13o
teqc: creating file 'sv01158h.13o' ...
! Notice ! receiver designation 'R7 GNSS' does not match any in
table
teqc: creating file 'sv01158i.13o' ...
teqc: creating file 'sv01158j.13o' ...
teqc: creating file 'sv01158k.13o' ...
teqc: creating file 'sv01158l.13o' ...
teqc: creating file 'sv01158m.13o' ...
teqc: creating file 'sv01158n.13o' ...
teqc: creating file 'sv01158o.13o' ...
teqc: creating file 'sv01158p.13o' ...
teqc: creating file 'sv01158q.13o' ...
teqc: creating file 'sv01158r.13o' ...

```

รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างการใช้ซอฟต์แวร์ TEQC ในการตัดแบ่งช่วงข้อมูล

```

C:\Users\Administrator\Desktop\งานเขียนวิทยานิพนธ์\SV01159b.13o - Notepad++ [Administrator]
File Edit Search View Encoding Language Settings Macro Run Plugins Window ?

SV01159b.13o
1 2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION /
2 teqc 2013Mar15 20130626 10:22:35UTCPOG / RUN BY / D
3 MSXP|Iax86-Pii|bcc32 5.0|MSWin95->XP|486/DX+ COMMENT
4 teqc 2013Mar15 20130626 10:20:09UTCCOMMENT
5 CuSV MARKER NAME
6 Surachet S. Trimble OBSERVER / AGENC
7 5048K19032 R7 GNSS 4.17 REC # / TYPE / V
8 0 RCV CLOCK OFFS A
9 TRM55971.00 ANT # / TYPE
10 -1132729.1847 6092498.2595 1504563.9586 APPROX POSITION
11 1.4600 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H
12 1 1 WAVELENGTH FACT
13 6 C1 C5 L1 L2 L5 P2 CARRIER PHASE MEASUREMENTS: PHASE SHIFTS REMOVED
14 1.0000 INTERVAL
15 CARRIER PHASE MEASUREMENTS: PHASE SHIFTS REMOVED COMMENT
16 15 LEAP SECONDS
17 2013 6 8 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OB
18 END OF HEADER
19 13 6 8 0 0 0.0000000 0 12G14G18G21G22G24G25G31R06R07R09R10R22
20 22416065.164 6 117797115.591 6
21 20898638.742 7 109823050.845 7
22 21356826.250 6 112230805.738 6
23 21528551.695 7 113133289.437 7
24 24651658.359 5 129545176.969 5
25 22308701.602 6 117232973.525 6
26 21808619.578 7 114605028.758 7
27 21582911.195 7 115170589.235 7
28 20488230.547 6 107666347.079 6 83895902.81445
29 20488235.10945
30 22021868.297 6 115725638.299 6
31 20823726.547 7 109429369.670 7
32 22166812.594 6 118286362.024 6
33 20345133.672 7 108908945.203 7
34
35

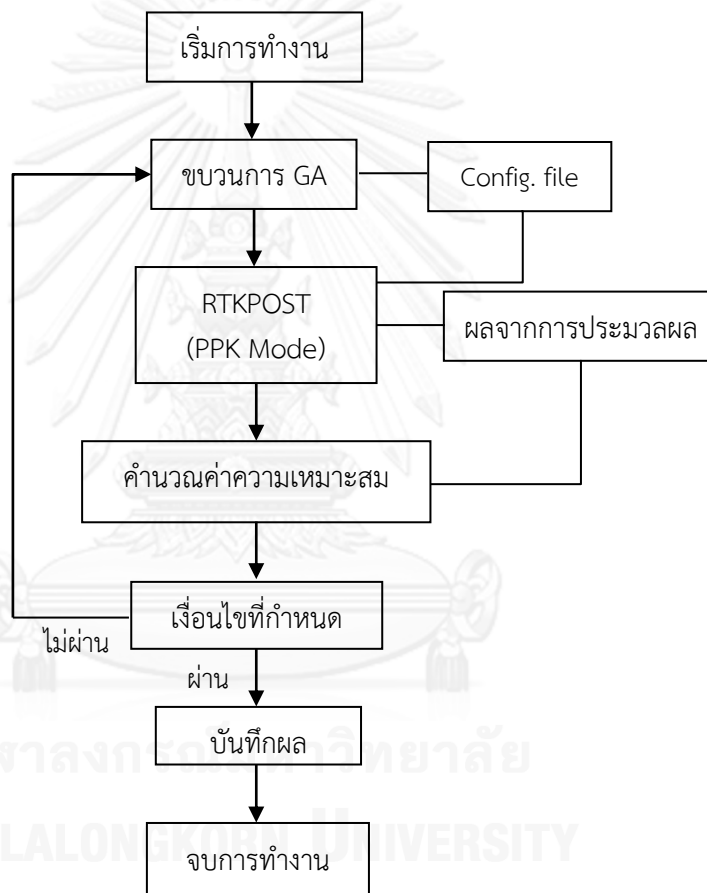
Normal text file length: 2474505 lines: 82282 Ln:1 Col:1 Sel:0/0 Dos:Windows UTF-8 w/o BOM INS

```

รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างช่วงข้อมูลของสถานี SV01 ที่ได้จากซอฟต์แวร์ TEQC

3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

ในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายขั้นตอนของการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ร่วมกับการประมวลผลข้อมูลมาตรฐานแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post-Processing Kinematic, PPK) เพื่อคัดเลือกกลุ่มดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ โดยในการศึกษานี้ส่วนของวิธีการเชิงพันธุกรรม ผู้วิจัยได้เลือกใช้ฟังก์ชัน Genetic Algorithm (GA) จากซอฟต์แวร์ MATLAB 2012 ในขณะที่การประมวลผลแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง หรือ PPK ได้เลือกใช้ฟังก์ชัน RTKPOST จากซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2 ผังขั้นตอนรายละเอียดการประยุกต์ใช้ GA ร่วมกับการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผังขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับการประมวลผลข้อมูลแบบ PPK

จากรูป 3.7 แสดงผังลำดับขั้นตอนการประยุกต์ใช้ GA เพื่อคัดเลือกให้ได้กลุ่ม หรือชุดดาวเทียมที่มีความเหมาะสมสำหรับการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์ โดยผู้วิจัยได้ทำการกำหนดองค์ประกอบ หรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในขั้นตอนเชิงพันธุกรรมบนซอฟต์แวร์ MATLAB รายละเอียดแสดงดังในตารางที่ 3.1 โดยเริ่มแรกในส่วนของการเข้ารหัสกลุ่มดาวเทียมได้กำหนดให้หมายเลขดาวเทียม GPS และ GLONASS (Satellite Vehicle Number: SVN) แต่ละดวงแทนด้วยตำแหน่งบิตในสตริงตามลำดับ ด้วยเลขฐานสอง “1” หรือ “0” ซึ่งบ่งบอกถึงสถานะของดาวเทียมแต่ละดวงว่า

“พร้อมใช้งาน” หรือ “ไม่พร้อมใช้งาน” ตามลำดับ โดยบิตสตริง (Bit String) ที่ได้นี้จะหมายถึงชุดคำตอบหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ และกลุ่มของชุดคำตอบเหล่านี้เองจะถูกเรียกว่า ประชากรเริ่มต้น หลังจากการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้น ชุดคำตอบทั้งหมดจะถูกนำเข้าสู่ฟังก์ชัน RTKPOST เพื่อทำการประมวลผล และผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการประมวลผลจะถูกประเมินและให้คะแนนความเหมาะสม โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ (3.1) ออกมาเป็นค่าตัวเลข ซึ่งค่าตัวเลข หรือค่าคะแนนดังกล่าวนี้แสดงถึงว่าชุดคำตอบ หรือกลุ่มดาวเทียมเหล่านี้มีความสามารถมากน้อยเพียงใดสำหรับการประมวลค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็ม ชุดคำตอบทั้งหมดจะถูกนำมาจัดเก็บไว้ในประชากรชุดใหม่ และถูกนำเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงพันธุในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อสุ่มสร้างชุดคำตอบใหม่ที่ น่าจะมีกลุ่มดาวเทียมที่มีความเหมาะสมมากขึ้น โดยผ่านตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม เริ่มจากการคัดเลือก (Selection) ชุดคำตอบในประชากรมาทีละ 1 คู่ โดยอาศัยค่าคะแนนความเหมาะสมของแต่ละชุดคำตอบที่ได้จากการประเมิน โดยหากชุดคำตอบ หรือกลุ่มดาวเทียมใดมีค่าเหมาะสมที่ดีกว่าก็จะมีแนวโน้มมากกว่าที่จะถูกนำมาใช้ในการประมวลผล โดยหลังจากได้ชุดคำตอบคู่ที่มีความเหมาะสมแล้ว ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม ได้แก่ Crossover และ Mutation ตามลำดับ จะดำเนินการสุ่มสร้างชุดคำตอบใหม่ โดยชุดคำตอบที่ได้นี้จะถูกถอดรหัสเป็นรายชื่อกลุ่มดาวเทียมดวงที่จะต้องทำการคัดออกและถูกแนบอยู่ในชุดคำสั่งที่มีการกำหนดและตั้งค่าต่าง ๆ บนซอฟต์แวร์ RTKPOST ตัวอย่างชุดคำสั่งที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8 ในส่วนของการประมวลผลข้อมูลฟังก์ชัน RTKPOST จะนำชุดคำสั่งนี้ โดยจะสั่งการให้ทำการตัดชุดข้อมูลของกลุ่มดาวเทียมตามรายชื่อหมายเลขดาวเทียมที่แนบมาออกไป และดำเนินการประมวลผลตามขั้นตอนปกติโดยใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากชุดคำสั่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลนี้จะถูกประเมินค่าความเหมาะสมโดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยขั้นตอนการประยุกต์ใช้ GA ร่วมกับการประมวลผลแบบ PPK นี้จะวนซ้ำและดำเนินต่อเนื่องไปจนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยเงื่อนไขในการศึกษาวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีค่าเป็นจำนวนรุ่นของการสร้างชุดคำตอบ (Number of Generation) เท่ากับ 30 รุ่น ทั้งนี้เมื่อผ่านขั้นตอนเป็นไปตามที่เงื่อนไขกำหนดแล้ว ชุดคำตอบที่ดีที่สุดที่อยู่ในกลุ่มประชากรปัจจุบันก็คือกลุ่มของดาวเทียมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประมวลผลแบบ PPK ณ คาบเวลานั้น ๆ

ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฟังก์ชัน GA บนซอฟต์แวร์ MATLAB

GA Setting	Value	คำอธิบาย
Population Type	Bit String	รูปแบบการเข้ารหัสดาวเทียมด้วยเลขฐานสอง
Population Size	20	กลุ่มของจำนวนชุดคำตอบทั้งหมดที่ใช้
Number of Generation	30	เงื่อนไขที่ใช้ในการหยุดการทำงาน
Initial Population	[1,1,1,.....,1] _{1x56}	กลุ่มของชุดคำตอบ หรือประชากรเริ่มต้น
Selection Function	Roulette	ฟังก์ชันการคัดเลือกชุดคำตอบ
Crossover Rate	0.8	ค่าอัตราการเกิด หรือความน่าจะเป็น Crossover
Crossover Function	Two Point	ตำแหน่งจุดของการเกิด Crossover
Mutation Rate	0.01	ค่าอัตราการเกิด หรือความน่าจะเป็น Mutation
Objective Function	@ObjFunc	ฟังก์ชันประเมินค่าเหมาะสมของชุดคำตอบ

```

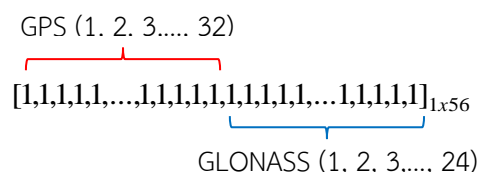
1 # rtkpost options (2013/07/11 06:43:41, v.2.4.2)
2
3 pos1-posmode      =kinematic # (0:single,1:dgps,2:kinematic,3:static,4:
4 pos1-frequency    =11+12      # (1:11,2:11+12,3:11+12+15,4:11+12+15+16,5:
5 pos1-soltype      =combined  # (0:forward,1:backward,2:combined)
6 pos1-elmask       =10         # (deg)
7 pos1-snrmask_r    =on         # (0:off,1:on)
8 pos1-snrmask_b    =on         # (0:off,1:on)
9 pos1-snrmask_L1   =0,0,0,0,0,0,0,0
10 pos1-snrmask_L2   =0,0,0,0,0,0,0,0
11 pos1-snrmask_L5   =0,0,0,0,0,0,0,0
12 pos1-dynamics     =off        # (0:off,1:on)
13 pos1-widecorr     =off        # (0:off,1:on)
14 pos1-ionopt       =brdc       # (0:off,1:brdc,2:sbas,3:dual-freq,4:est-st
15 pos1-pxopt        =sbas       # (0:off,1:sbas,2:sbas,3:est-std,4:est-std
16 pos1-gateph       =brdc       # (0:brdc,1:precise,2:brdc+sbas,3:brdc+s
17 pos1-posopt1      =off        # (0:off,1:on)
18 pos1-posopt2      =off        # (0:off,1:on)
19 pos1-posopt3      =off        # (0:off,1:on)
20 pos1-posopt4      =off        # (0:off,1:on)
21 pos1-posopt5      =off        # (0:off,1:on)
22 pos1-exclsat      =2 7 8 28 29 30 31 32 R1 R2 R4 R5 R7 R10 R11 R12 R14 R1
23 pos1-navsys       =5          # (1:gps+2:sbas+4:gal+8:gal+16:gzs+32:comp
24 pos2-armode       =continuous # (0:off,1:continuous,2:instantaneous,3:fix
25 pos2-gloarmode    =on         # (0:off,1:on,2:auto)
26 pos2-arthres      =3         #
27 pos2-axlockcnt    =0         #
28 pos2-axismask     =0         # (deg)
29 pos2-axminfix     =10        # (deg)
30 pos2-elmaskhold   =0         # (deg)
31 pos2-aroutcnt     =5         #
32 pos2-maxage       =30        # (s)
33 pos2-synctool     =off       # (0:off,1:on)
34 pos2-slipthres    =0.05      # (m)

```

รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างชุดคำสั่งที่ถูกนำเข้าประมวลผลในซอฟต์แวร์ RTKPOST

3.2.1 รูปแบบของประชากร (Population Type)

การกำหนดรูปแบบการเข้ารหัสสำหรับประชากรถือว่าเป็นอีกรงค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งต้องมีรูปแบบที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับแต่ละปัญหานั้น ๆ โดยในการศึกษาวิจัยนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมที่สุด ดาวเทียมทั้งหมดจะถูกเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง หรือแบบไบนารี (Binary Encoding) ดาวเทียมแต่ละดวงจะถูกแทนด้วย “1” หรือ “0” แสดงถึงสถานะของดาวเทียมแต่ละดวง “พร้อมใช้งาน” หรือ “ไม่พร้อมใช้งาน” ตามลำดับ โดยที่หมายเลขดาวเทียม (Satellite Vehicle Number, SVN) แต่ละดวงจะถูกแทนด้วยตำแหน่งของบิตในสตริง และมีความยาวของบิตสตริงเท่ากับ 56 (เรียงลำดับจาก GPS 32 ดวง และ GLONASS 24 ดวง ตามลำดับ) ดูรูปที่ 3.9 และตารางที่ 3.2 ประกอบ



รูปที่ 3.9 การแทนดาวเทียมแต่ละดวงในแต่ละตำแหน่งบิตสตริง

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบไบนารีและความหมาย

Bits String	ความหมาย
[1,1,1,.....,1] _{1x56}	ดาวเทียมทั้งหมดถูกนำมาประมวลผล
[1,0,1,.....,0] _{1x56}	เฉพาะดาวเทียมดวงที่มีค่าเท่ากับ 1 เท่านั้น ที่จะถูกนำมาประมวลผล
[0,0,0,.....,0] _{1x56}	ดาวเทียมทั้งหมดไม่ได้ถูกนำมาประมวลผล

3.2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบที่มีความสำคัญมากต่อประสิทธิภาพของการค้นหาชุดคำตอบในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยในการศึกษาวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ (3.1) เพื่อประเมินให้คะแนน หรือค่าความเหมาะสมสำหรับแต่ละชุดคำตอบ หรือกลุ่มดาวเทียมที่มีความเป็นไปได้

$$Fitness = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (3.1)$$

โดยที่

n = จำนวนพารามิเตอร์ความเหมาะสม (Number of Fitness Parameter)

x = พารามิเตอร์ความเหมาะสม (Fitness Parameter)

w = น้ำหนักของพารามิเตอร์ความเหมาะสม (Weight of Fitness Parameter)

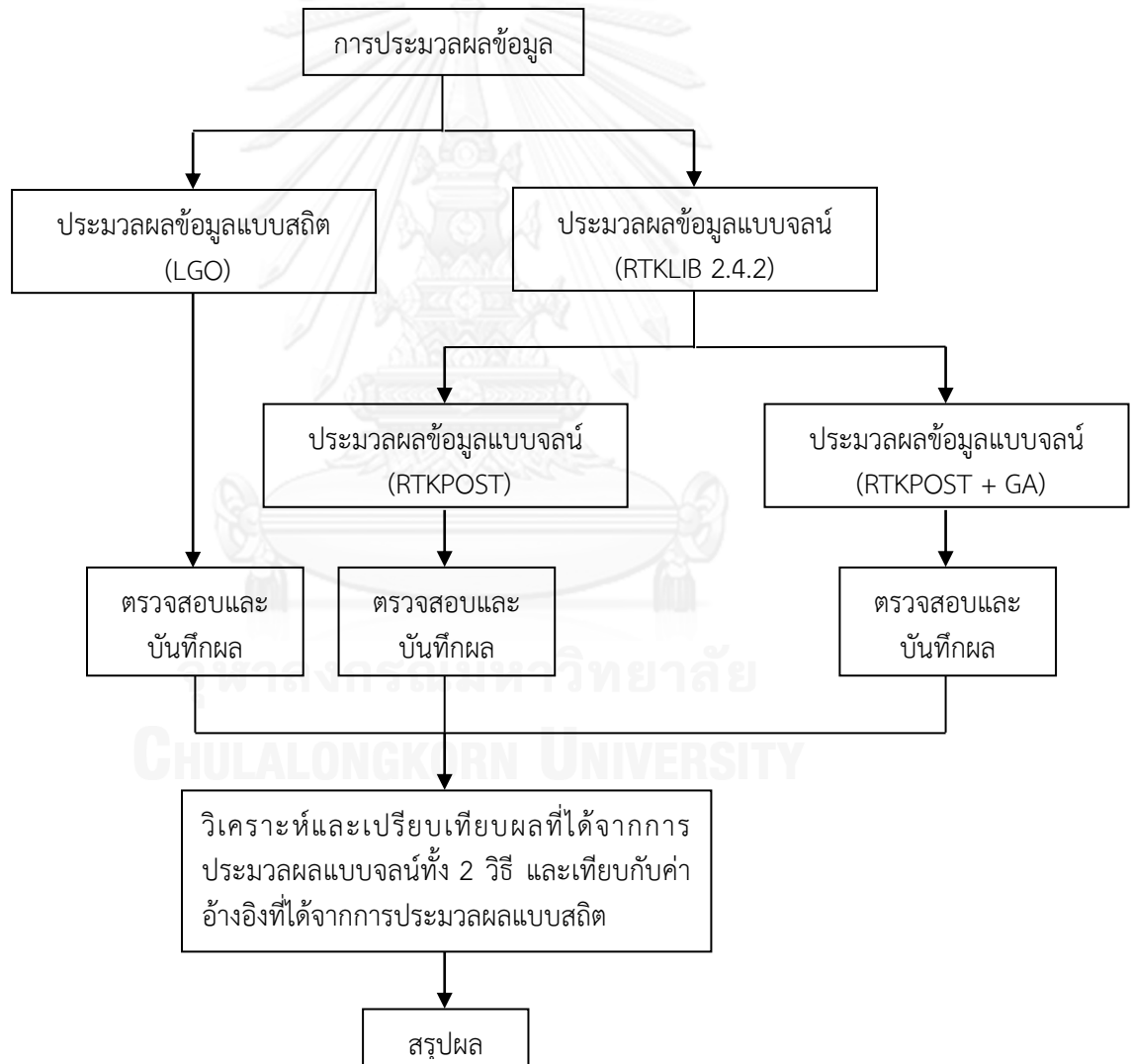
หลังจากที่ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมได้ทำการสุ่มคัดเลือกกลุ่มดาวเทียมดวงที่จำเป็นจะต้องคัดออก โดยรายชื่อของกลุ่มดาวเทียมดังกล่าวจะแนบมากับชุดคำสั่ง ๆ หนึ่ง โดยซอฟต์แวร์ RTKPOST จะนำชุดคำสั่งที่ได้นี้สั่งการให้ตัดชุดข้อมูลของกลุ่มดาวเทียมดังกล่าวออกไปแล้วทำการประมวลผล ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการประมวลผลนั้นมีมากมายหลายค่าด้วยกัน อาทิเช่น ค่าพิกัดตำแหน่ง (XYZ), จำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการประมวลผล, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และผลของการประมาณค่าเลขปริศนา เป็นต้น โดยค่าผลลัพธ์ที่เป็นที่สนใจและใช้ในการศึกษานี้ คือ ผลของการประมาณค่าเลขปริศนา ซึ่งประกอบด้วย จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (Number of Ambiguity-Fixed Solution), จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนจริง (Number of Ambiguity-Float Solution) และจำนวนของค่าเลขปริศนาที่ถูกคำนวณในทันที (Number of Instantaneous Solution) ตามลำดับ ค่าผลลัพธ์ข้างต้นนี้ได้ถูกกำหนดให้เป็นพารามิเตอร์ความเหมาะสม (Fitness Parameter) โดยมีจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (Ambiguity-Fixed Solution) เป็นพารามิเตอร์ความเหมาะสมหลักที่ใช้ในการพิจารณาและประเมินค่าเหมาะสมของการสุ่มเลือกเพื่อให้ได้กลุ่มของดาวเทียมในระบบ GNSS (GPS และ GLONASS) ดวงที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งค่าคะแนนของแต่ละชุดคำตอบ หรือกลุ่ม

ของดาวเทียมที่ได้จะถูกประเมินโดยฟังก์ชันที่เรียกว่า ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) โดยฟังก์ชันประเมินค่าเหมาะสมที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นผลรวมของจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม, จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนจริง และจำนวนของค่าเลขปริศนาที่ถูกคำนวณในทันที ตามลำดับ แต่เนื่องจากภายในฟังก์ชันข้างต้นประกอบไปด้วยหลายตัวแปร ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรเหล่านี้ เพื่อจะทำให้เกิดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งแต่ตัวแปรแต่ละค่ามีเงื่อนไขข้อจำกัด (Constraint) ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดให้จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนเต็มเป็นตัวแปร หรือพารามิเตอร์ความเหมาะสมหลักที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าที่เหมาะสมที่สุด และผลบวก หรือผลรวมของค่าจำนวนเลขปริศนาของตัวแปรทั้ง 3 จะต้องไม่เกิน 3600 (จำนวน Epoch ในแต่ละคาบเวลา (Session)) ซึ่งจากฟังก์ชันปกติข้างต้นที่ได้ออกแบบไม่สามารถจะหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเทคนิควิธีการอื่นเพิ่มเติมเข้ามาช่วย

โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิควิธีการอย่างวิธีฟังก์ชันลงโทษ (Penalty Function Method) ดังแสดงในสมการ (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ (Yeniay 2005) เข้ามาช่วยเนื่องจากเป็นเทคนิควิธีที่ง่าย และไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยสามารถแสดงฟังก์ชันประเมินค่าเหมาะสม ได้ดังสมการ (3.1) โดยเป็นการเพิ่มเติมในส่วนของพจน์การปรับลด (Penalty Term) ซึ่งเป็นการคูณค่าคงที่ค่า ๆ หนึ่งในส่วนตามเงื่อนไขกำหนดของตัวแปร หรือพารามิเตอร์ ค่าคงที่นี้เรียกว่า ค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ (Weight of Parameter) หรือแทนด้วย w โดยค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ได้ถูกนำมาใช้เพื่อปรับลดค่าเหมาะสมของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity-Float Solution) และค่าเลขปริศนาที่ถูกคำนวณในทันที (Instantaneous Solution) ตามลำดับ โดยทั่วไปสำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะนิยมใช้การหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้มีค่าน้อยที่สุด จึงได้กำหนดให้มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1, 10 และ 100 ตามลำดับ สำหรับค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (Ambiguity-Fixed Solution), ค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity-Float Solution) และค่าเลขปริศนาที่ถูกคำนวณในทันที (Instantaneous Solution) ตามลำดับ ค่าความเหมาะสมของแต่ละชุดคำตอบที่ได้จะมีเพียงค่าเดียว โดยเป็นค่าที่ได้จากผลรวมถ่วงน้ำหนักจากสมการข้างต้น

3.3 การประมวลผลข้อมูล

ในส่วนของการประมวลผลเริ่มแรกนั้นจะนำข้อมูล 24 ชั่วโมง ของแต่ละสถานีที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ ประกอบด้วย สถานี UPNT, สถานี BGOK และสถานี SV01 มาทำการประมวลผลแบบสถิต (Static Mode) ซึ่งขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ Leica Geomatic Office (LGO) ค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องอยู่ในระดับมิลลิเมตรนี้จะถูกใช้เป็นค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง (Reference Coordinate) สำหรับใช้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจลน์ โดยในส่วนของการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ประมวลผลข้อมูลมาตรฐานแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง และประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ผังรายละเอียดการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.10

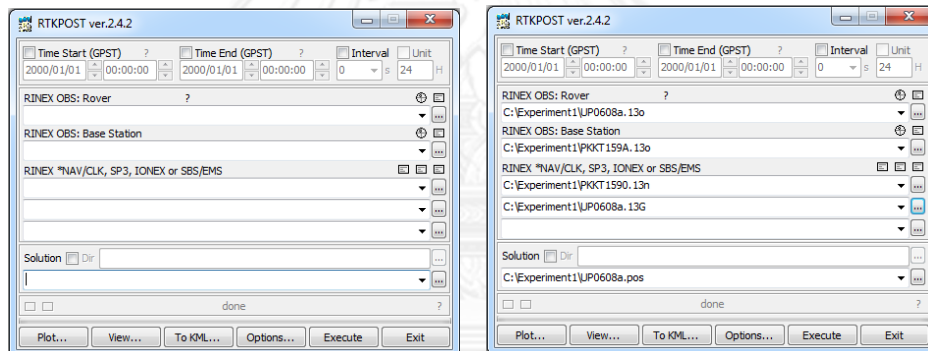


รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล

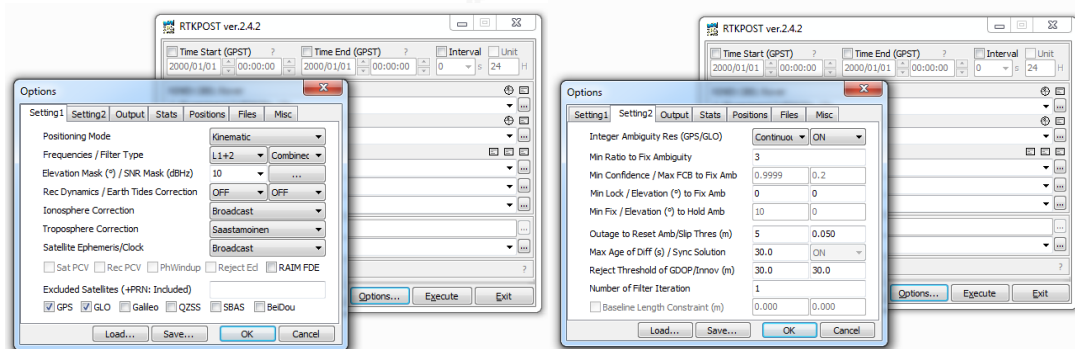
โดยในส่วนของตัวอย่างหน้าต่างซอฟต์แวร์, การกำหนดตั้งค่าต่างที่ใช้สำหรับการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post-Processing Kinematic) หรือ PPK และการประมวลผลข้อมูลแบบ PPK ร่วมกับการประยุกต์ใช้ GA ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

3.3.1 การประมวลผลข้อมูลแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง

การประมวลผลข้อมูลแบบจลน์วิธีนี้ได้เลือกใช้ฟังก์ชัน RTKPOST จากซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2 โดยในส่วนของขั้นตอนก่อนการประมวลผลจะต้องกำหนดและตั้งค่าพารามิเตอร์พื้นฐานต่าง ๆ ก่อน ลำดับต่อมาก็เป็นในส่วนของการนำเข้าไฟล์ข้อมูลรังวัดทั้งสถานีฐาน และสถานีผู้ใช้งาน รวมไปถึงไฟล์ข้อมูลนำหนดาวเทียมของ GPS และ GLONASS ณ คาบเวลา (Session) นั้น ๆ ที่กำลังพิจารณา ขั้นตอนสุดท้าย คือ การสั่งให้ซอฟต์แวร์ทำงาน โดยกดตรงปุ่ม Execute ด้านล่าง สำหรับตัวอย่างรูปร่างหน้าต่างของซอฟต์แวร์, การกำหนดตั้งค่าพื้นฐานต่าง ๆ และผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล ดูรูปที่ 3.11, 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ ประกอบ



รูปที่ 3.11 แสดงหน้าต่างของฟังก์ชัน RTKPOST สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูล



รูปที่ 3.12 แสดงการกำหนดค่าต่าง ๆ บนฟังก์ชัน RTKPOST

```

C:\UP0608a\pos
RTKPOST ver.2.4.2
# program : RTKPOST ver.2.4.2
# inp file : C:\Experiment1\UP0608a.13o
# inp file : C:\Experiment1\UP06159a.13o
# inp file : C:\Experiment1\UP06159b.13o
# inp file : C:\Experiment1\UP0608a.13o
# obs start : 2013/06/08 00:00:00.0 GPST (week1743 518400.0s)
# obs end : 2013/06/08 00:59:59.0 GPST (week1743 521999.0s)
# pos mode : kinematic
# freqs : L1+L2
# solution : combined
# elev mask : 10.0 deg
# dynamics : off
# vldcorcr : off
# ionos opt : broadcast
# tropo opt : saastamoinen
# ephemeris : broadcast
# navl sys : gps glonass
# amb res : continuous
# amb glo : on
# val thres : 3.0
# antennal : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
# antennaz : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
# ref pos : -1132704.0345 6087758.7296 1523587.0825
#
# (x/y/z-ecsf=WGS84,Q=1:fix,2:float,3:stas,4:dpps,5:single,6:ppp,na=# of satellites)
# GPST x-ecsf(m) y-ecsf(m) z-ecsf(m) Q na sdx(m) sdy(m) sdz(m) sdx(m) sdy(m) sdz(m) age(s) ratio
2013/06/08 00:00:00.000 -1130676.0402 6088143.4210 1523506.4924 1 14 0.0050 0.0110 0.0044 -0.0047 0.0052 -0.0026 0.00 22.6
2013/06/08 00:00:01.000 -1130676.0405 6088143.4227 1523506.4928 1 14 0.0050 0.0110 0.0033 -0.0053 0.0053 -0.0017 0.00 22.5
2013/06/08 00:00:02.000 -1130676.0385 6088143.4191 1523506.4909 1 14 0.0050 0.0111 0.0031 -0.0050 0.0055 -0.0016 0.00 22.4
2013/06/08 00:00:03.000 -1130676.0410 6088143.4127 1523506.4890 1 14 0.0045 0.0110 0.0039 -0.0048 0.0052 -0.0016 0.00 22.3
2013/06/08 00:00:04.000 -1130676.0428 6088143.4162 1523506.4900 1 14 0.0043 0.0110 0.0044 -0.0049 0.0049 -0.0017 0.00 22.2
2013/06/08 00:00:05.000 -1130676.0413 6088143.4123 1523506.4871 1 14 0.0044 0.0110 0.0040 -0.0048 0.0052 -0.0019 0.00 22.1
2013/06/08 00:00:06.000 -1130676.0403 6088143.4107 1523506.4876 1 14 0.0045 0.0111 0.0037 -0.0047 0.0051 -0.0016 0.00 22.0
2013/06/08 00:00:07.000 -1130676.0426 6088143.4099 1523506.4868 1 14 0.0045 0.0110 0.0037 -0.0051 0.0054 -0.0024 0.00 21.9
2013/06/08 00:00:08.000 -1130676.0401 6088143.4109 1523506.4881 1 14 0.0047 0.0111 0.0035 -0.0050 0.0050 -0.0011 0.00 21.8
2013/06/08 00:00:09.000 -1130676.0374 6088143.4144 1523506.4907 1 14 0.0035 0.0078 0.0024 -0.0037 0.0036 0.0007 0.00 3.0
2013/06/08 00:00:10.000 -1130676.0353 6088143.4087 1523506.4874 1 14 0.0033 0.0078 0.0035 -0.0034 0.0037 -0.0019 0.00 3.3
2013/06/08 00:00:11.000 -1130676.0337 6088143.4014 1523506.4854 1 14 0.0033 0.0078 0.0029 -0.0035 0.0036 -0.0019 0.00 3.5
2013/06/08 00:00:12.000 -1130676.0358 6088143.4105 1523506.4883 1 14 0.0035 0.0078 0.0030 -0.0037 0.0037 -0.0012 0.00 3.8
2013/06/08 00:00:13.000 -1130676.0362 6088143.4110 1523506.4893 1 14 0.0032 0.0078 0.0031 -0.0036 0.0036 -0.0016 0.00 4.0
2013/06/08 00:00:14.000 -1130676.0339 6088143.4021 1523506.4878 1 14 0.0033 0.0078 0.0031 -0.0034 0.0036 -0.0017 0.00 4.3
2013/06/08 00:00:15.000 -1130676.0345 6088143.4127 1523506.4897 1 14 0.0033 0.0078 0.0035 -0.0034 0.0036 -0.0019 0.00 4.5
2013/06/08 00:00:16.000 -1130676.0352 6088143.4046 1523506.4872 1 14 0.0031 0.0078 0.0033 -0.0034 0.0035 -0.0018 0.00 4.6
2013/06/08 00:00:17.000 -1130676.0362 6088143.4084 1523506.4891 1 14 0.0031 0.0078 0.0032 -0.0034 0.0036 -0.0018 0.00 4.7
2013/06/08 00:00:18.000 -1130676.0343 6088143.4055 1523506.4888 1 14 0.0033 0.0078 0.0038 -0.0033 0.0036 -0.0024 0.00 4.9
2013/06/08 00:00:19.000 -1130676.0347 6088143.4059 1523506.4892 1 14 0.0031 0.0077 0.0030 -0.0035 0.0038 -0.0027 0.00 5.1
2013/06/08 00:00:20.000 -1130676.0366 6088143.4142 1523506.4910 1 14 0.0034 0.0078 0.0027 -0.0037 0.0038 -0.0010 0.00 5.2

```

รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยฟังก์ชัน RTKPOST

3.3.2 การประมวลผลข้อมูลแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลังร่วมกับการประยุกต์ใช้ GA

เป็นการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้ GA โดยขั้นตอนการทำงานร่วมกันจะถูกดำเนินการบนซอฟต์แวร์ MATLAB 2012 โดยในส่วนของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมได้เลือกใช้ฟังก์ชัน Genetic Algorithm ภายหลังจากที่ขบวนการ GA ทำการสุ่มคัดเลือกรหัสคำตอบ หรือกลุ่มดาวเทียมดวงที่น่าจะมีความเหมาะสมและเป็นไปได้มาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ลำดับต่อมาในขั้นตอนการประมวลผลจะเรียกใช้ฟังก์ชัน `rx2rtkp` ซึ่งเป็น Command User Interface หรือ CUI ของการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์ในภายหลัง จากซอฟต์แวร์ RTKLIB ที่ทำงานและสามารถเรียกใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการ DOS หรือ Command line โดยจะทำการเรียกไฟล์ข้อมูลรังวัดของสถานีฐาน และสถานีผู้ใช้งาน รวมไปถึงไฟล์ข้อมูลนำหนดาวเทียมของ GPS และ GLONASS เข้ามาประมวลผลร่วมกับชุดคำสั่งต่าง ๆ และแสดงค่าผลลัพธ์ รวมไปถึงประเมินให้ค่าคะแนนความเหมาะสมสำหรับแต่ละชุดคำตอบ หรือกลุ่มดาวเทียมดวงดังกล่าวโดยอัตโนมัติตามคาบเวลา (Session) ที่ได้กำหนดให้ทำการประมวลผลสำหรับสถานีนั้น ๆ กระบวนการทำงานข้างต้นจะวนซ้ำ และดำเนินต่อไปจนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลร่วมกับการประยุกต์ใช้ GA บนซอฟต์แวร์ MATLAB ดูรูปที่ 3.14 ประกอบ

The screenshot shows the MATLAB R2012a environment. The main window is the Editor, displaying a script named 'myObjFunc.m'. The script contains MATLAB code for running a genetic algorithm (GA) on a fitness function. The code includes comments and several lines of MATLAB syntax, such as `dos('rmx2rtkp -ti 60 -k "c:\experiment\conf2run.con" "c:\experiment\T2_3280K.100" "c:\experiment\KU_3280K.100"')` and `fitness = 3600`. The Command Window at the bottom shows the output of the fitness function, displaying `fitness = 3600` and `sata =` followed by a list of values: `1 2 3 9 11 12 14 16 17 18 20 24 26 27 28 29 31 R2 R5 R9 R11 R13 R15 R23 R24`. The interface also shows a file explorer on the left and a variable browser on the right.

รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้ GA บนซอฟต์แวร์ MATLAB

3.4 การวิเคราะห์และประเมินผลของการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์

จากผลลัพธ์ที่ได้มาจากการประมวลผลในหัวข้อ 3.3 ในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์และประเมินผลระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลมาตรฐานแบบจลน์เทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยประกอบด้วย

3.4.1 การเปรียบเทียบอัตราของการประมาณค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity-fixed solution) ของแต่ละสถานีที่ระยะเส้นฐานต่าง ๆ โดยอยู่ในรูปแบบตารางหรือกราฟแสดงผลเพื่อแสดงผลการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลทั้ง 2 แบบ

3.4.2 การเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่ง โดยค่าพิกัดที่ใช้จะอยู่ในระบบพิกัดกริด UTM (UTM Grid System) มีองค์ประกอบของระบบพิกัด คือ E, N และค่าระดับความสูงเหนือทะเลปานกลาง (MSL) แทนด้วย H สำหรับค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลทั้ง 2 แบบนี้จะถูกนำมาเทียบกับค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิงของแต่ละสถานีที่ระยะความยาวเส้นฐานต่าง ๆ เพื่อหาขนาดของค่าคลาดเคลื่อนในองค์ประกอบต่าง ๆ (E, N และ H ตามลำดับ) ผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในรูปแบบตารางหรือกราฟแสดงผลพร้อมทั้งแสดงค่าทางสถิติต่าง ๆ เช่น รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นต้น เพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพวิธีการที่นำเสนอ

3.5 การทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี

เป็นการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution, AR) โดยทำการปรับปรุงขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) โดยทดลองปรับเปลี่ยนตัวแปร หรือพารามิเตอร์ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมบางตัว เพื่อหาแนวทางที่จะสามารถทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือมากขึ้น ตัวอย่างพารามิเตอร์พื้นฐานในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ได้แก่ ความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover (Crossover Probability) หรืออัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate), ความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation (Mutation Probability) หรืออัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate), ขนาดของประชากร (Population Size), การคัดเลือก (Selection) และการเข้ารหัส (Encoding) เป็นต้น

โดยทั่วไปพารามิเตอร์ที่นิยมทำการปรับเปลี่ยน ได้แก่ อัตราการเกิด Crossover และอัตราการเกิด Mutation เป็นต้น โดยที่ความน่าจะเป็น หรืออัตราการเกิด Crossover จะอยู่ที่ประมาณ 60-95 เปอร์เซ็นต์ หรือ 0.6-0.95 ในขณะที่ความน่าจะเป็น หรืออัตราการเกิด Mutation จะอยู่ที่ประมาณ 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ หรือ 0.005-0.01 ซึ่งการกำหนดค่าความน่าจะเป็นเหล่านี้จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสม และมีความสอดคล้องกับแต่ละปัญหาที่กำลังทดสอบเป็นสำคัญ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ส่วนใหญ่จะนิยมปรับเปลี่ยนในส่วนของอัตราการเกิด Crossover มากกว่า Mutation บางกรณีกำหนดให้ไม่มีอัตราการเกิด Mutation เกิดขึ้น หรือมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้อย ผลจากการทดสอบและเปรียบเทียบผลของการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover ในหลาย ๆ ปัญหา โดยมีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดตั้งแต่ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 พบว่าอัตราการเกิด Crossover ที่มีค่าเท่ากับ 0.8 ให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ อัตราการเกิด Crossover ที่มีค่าเท่ากับ 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้ ขั้นตอนผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้อัตราการเกิด Crossover มีค่าเท่ากับ 0.8 ซึ่งเป็นค่าที่ได้รับการยอมรับว่ามีความเหมาะสมสำหรับปัญหาโดยทั่วไป ทั้งนี้เพื่อเป็นการพิสูจน์ และทดลองเพื่อจะหาแนวทางการปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ GA จึงได้มีการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover ให้มีค่าเท่ากับ 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบอยู่ในส่วนของผลการทดลอง และบทสรุป รายละเอียดการกำหนดค่าต่าง ๆ ของ GA บน MATLAB ของงานวิจัยนี้ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาการคัดเลือกดาวเทียม GNSS ที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบ
จลน์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ได้ผลการศึกษาดังหัวข้อต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างการประมวลผล
มาตรฐานและการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ

Session	UPNT (BL=2.1 km)		BGOK (BL=13.0 km)		SV01 (BL=19.6 km)	
	RTKPOST	RTKPOST+GA	RTKPOST	RTKPOST+GA	RTKPOST	RTKPOST+GA
1	3600	3600	3083	3429	2890	3597
2	3590	3600	2780	3600	2995	3135
3	3600	3600	77	3600	3165	3546
4	3581	3600	0	3529	410	2782
5	3600	3600	0	3599	219	2407
6	3574	3600	0	3600	1062	2578
7	3600	3600	0	3117	334	2880
8	3504	3600	986	1046	985	3025
9	3409	3595	0	2980	0	2660
10	3443	3600	0	3600	90	2956
11	3545	3545	0	3169	7	1183
12	3347	3600	0	3599	0	2072
13	3388	3600	0	2408	0	2218
14	3496	3496	0	2387	0	2116
15	3587	3600	0	564	75	1560
16	3508	3600	0	3308	0	462
17	3600	3600	542	3600	0	2220
18	3600	3600	202	3600	255	2760
19	3582	3582	633	3600	617	3010
20	3519	3600	73	3593	1773	2695
21	3584	3600	2631	3600	3041	3432
22	3600	3600	0	3600	1024	1024
23	3600	3600	2271	3142	899	1143
24	3600	3600	768	3600	558	3527

4.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution)

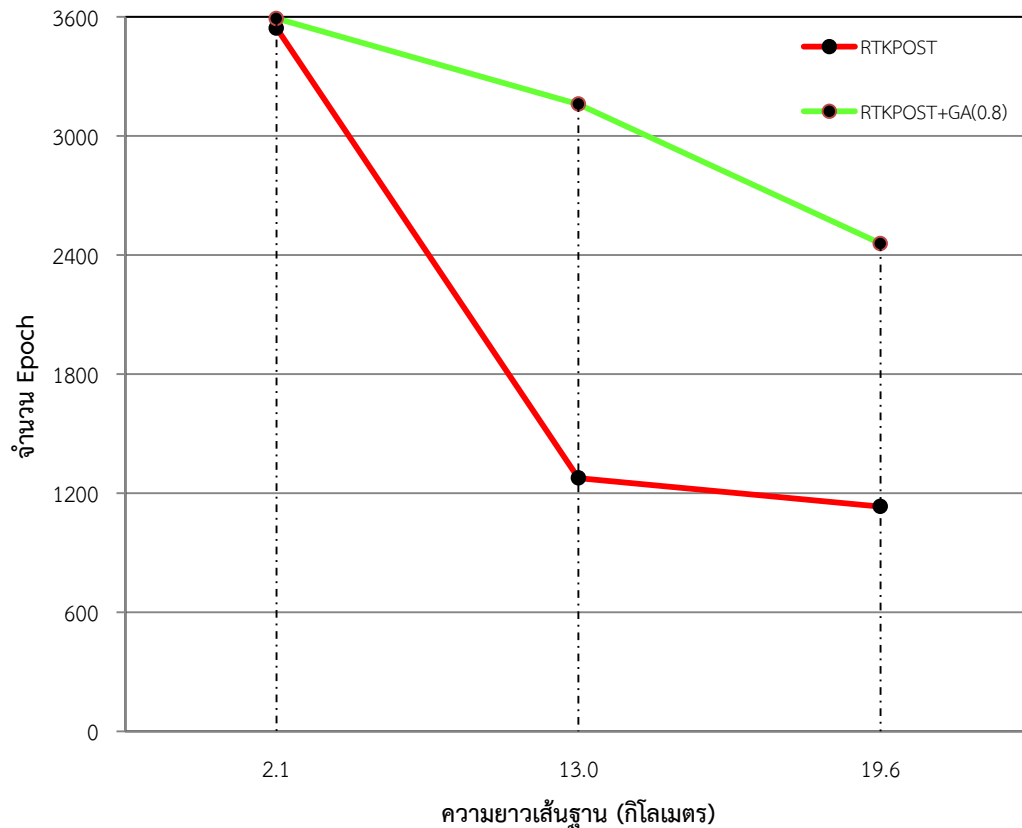
จากข้อมูลในตาราง 4.1 ข้างต้น แสดงจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (Ambiguity-Fixed Solution) ที่ได้จากการประมวลผลทั้ง 2 วิธี ในแต่ละคาบเวลา (Session) ของแต่ละสถานีที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ โดยในหัวข้อนี้ผลของขบวนการ Ambiguity Resolution จะถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบให้เห็นประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการ รายละเอียดข้อมูลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ

สถานี	ระยะเส้นฐาน (กิโลเมตร)	No. of Epoch	RTKPOST	RTKPOST+GA	ผลการปรับปรุง
UPNT	2.1	3600x24 =86400	85057 (98.45%)	86218 (99.79%)	ดีขึ้น (1.34%)
BGOK	13.0	3600x24 =86400	14046 (16.26%)	75870 (87.81%)	ดีขึ้น (71.56%)
SV01	19.6	3600x24 =86400	20399 (23.61%)	58988 (68.27%)	ดีขึ้น (44.66%)

จากข้อมูลในตาราง 4.2 จะเห็นได้ชัดว่าการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นส่งผลทำให้อัตราการประมาณค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มดีขึ้นกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานี BGOK และ SV01 ที่สามารถปรับปรุงอัตราการ Fix Ambiguity ได้ดีขึ้นถึง 71.56% และ 44.66% ตามลำดับ ในขณะที่สถานี UPNT สามารถปรับปรุงได้ขึ้นเล็กน้อย 1.34%

จากข้อมูลในตารางข้างต้นสามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ของแต่ละสถานีที่ระยะความยาวเส้นฐานต่าง ๆ ระหว่างวิธีการที่นำเสนอและวิธีการประมวลผลมาตรฐาน ได้ดังรูปที่ 4.1 โดยที่แกนนอนแสดงความยาวเส้นฐานเป็น Baseline มีหน่วยเป็นกิโลเมตร และแกนตั้งแสดงข้อมูลหน่วยเวลาเป็น Epoch โดยเส้น “สีแดง” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐาน ในขณะที่เส้น “สีเขียว” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม



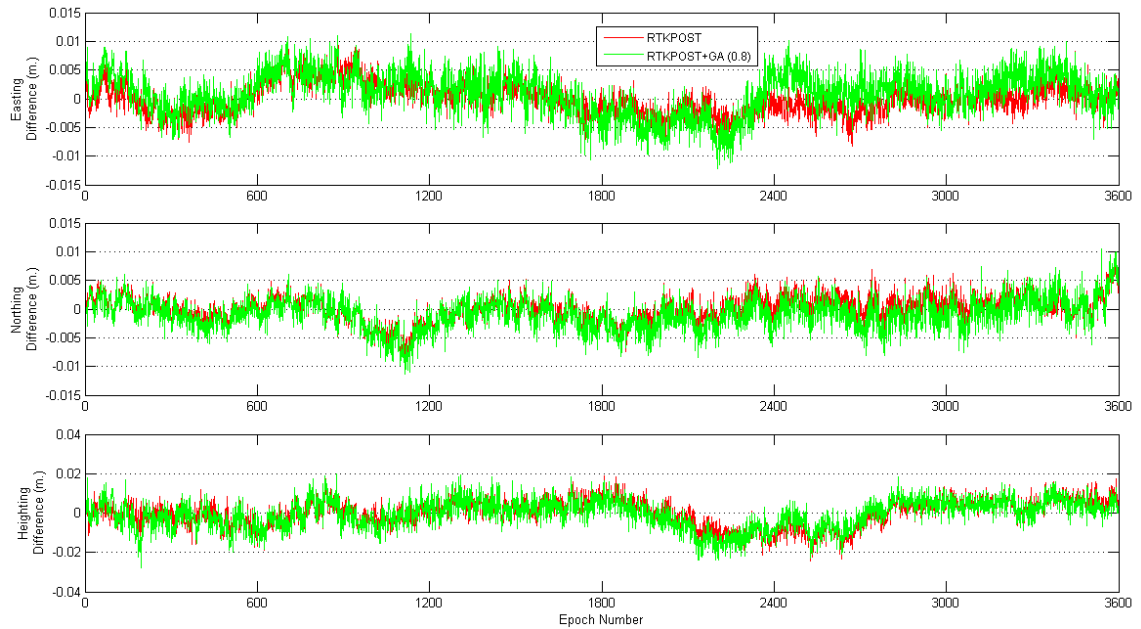
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ

จากรูป 4.1 จะเห็นได้ชัดว่าวิธีการที่นำเสนอคือการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นสามารถปรับปรุงอัตราการ Fix Ambiguity ให้ดีขึ้นในทุก ๆ สถานีที่ความยาวเส้นฐานเดียวกันที่ได้ทำการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานี BGOK และ SV01 ที่มีความยาวเส้นฐาน 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ

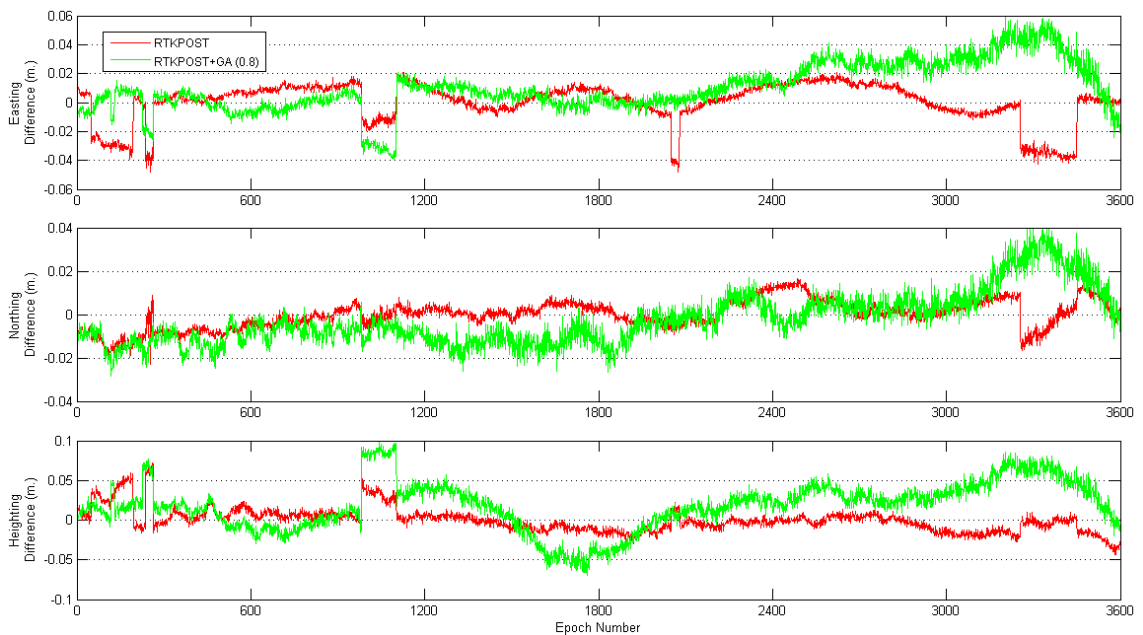
4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่ง

เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงของแต่ละสถานี ทั้งนี้ค่าพิกัดตำแหน่งที่ใช้จะอยู่ในระบบพิกัดกริด UTM (UTM Grid System) โดยขนาดของค่าคลาดเคลื่อน หรือค่าต่างของพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ตามลำดับ ของแต่ละสถานีที่ความยาวเส้นฐาน 2.1, 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ แสดงออกมาในรูปแบบกราฟเปรียบเทียบผล โดยที่แกนนอนแสดงข้อมูลเรียงตามหน่วยเวลาเป็น Epoch และแกนตั้งแสดงขนาดของผลต่างในองค์ประกอบต่าง ๆ ของพิกัด UTM (E, N และ H ตามลำดับ) มีหน่วยเป็นเมตร โดยเส้น "สีแดง" แทนด้วยค่าผลต่างที่ได้มาจากการประมวลผลมาตรฐาน ในขณะที่เส้น "สีเขียว"

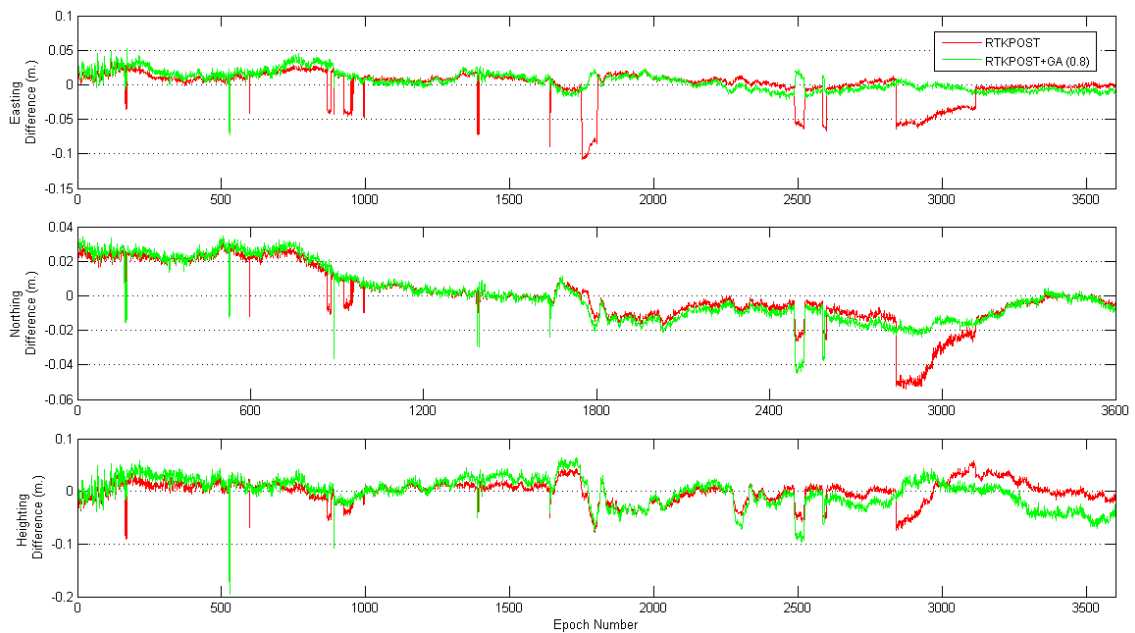
แทนด้วยค่าผลต่างที่ได้มาจากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี UPNT (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



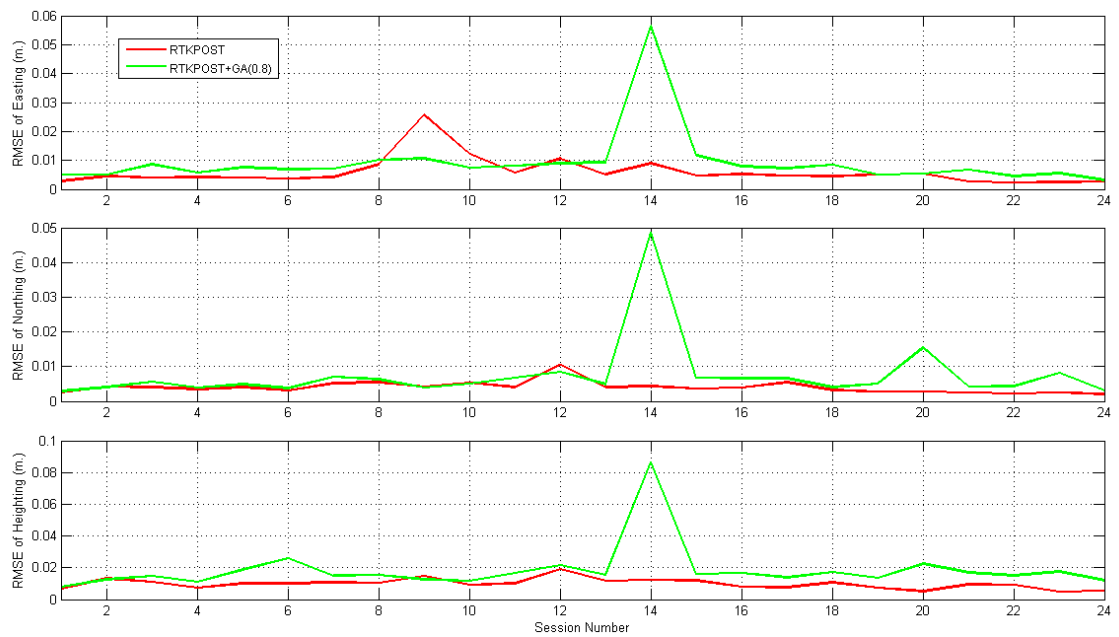
รูปที่ 4.3 แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี BGOK (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



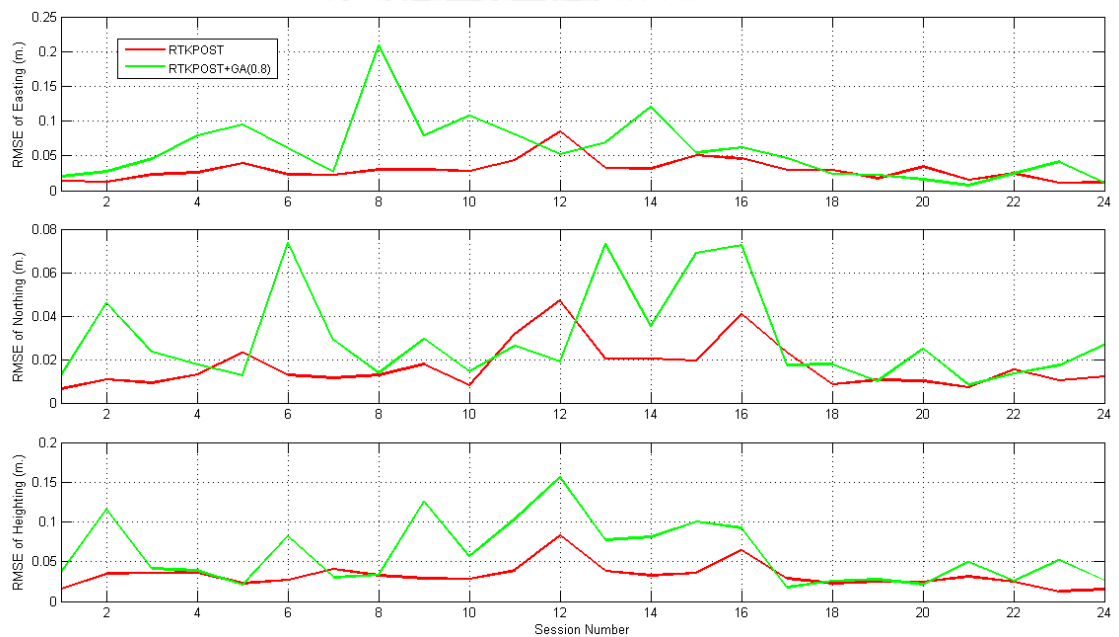
รูปที่ 4.4 แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี SV01 (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)

จากรูป 4.2, 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าต่างพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยที่ความยาวเส้นฐาน 2.1 กิโลเมตร (สถานี UPNT) ค่าผลต่างพิกัดที่ได้จากทั้ง 2 วิธี มีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเดียวกัน โดยมีการแกว่งของพิกัดตำแหน่งไม่เกิน 2 เซนติเมตร โดยประมาณ ในขณะที่ความยาวเส้นฐาน 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร (สถานี BGOK และสถานี SV01) ค่าผลต่างพิกัดที่ได้จากทั้ง 2 วิธี เริ่มมีการแกว่งของพิกัดตำแหน่งที่แตกต่างกัน และมีขนาดที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

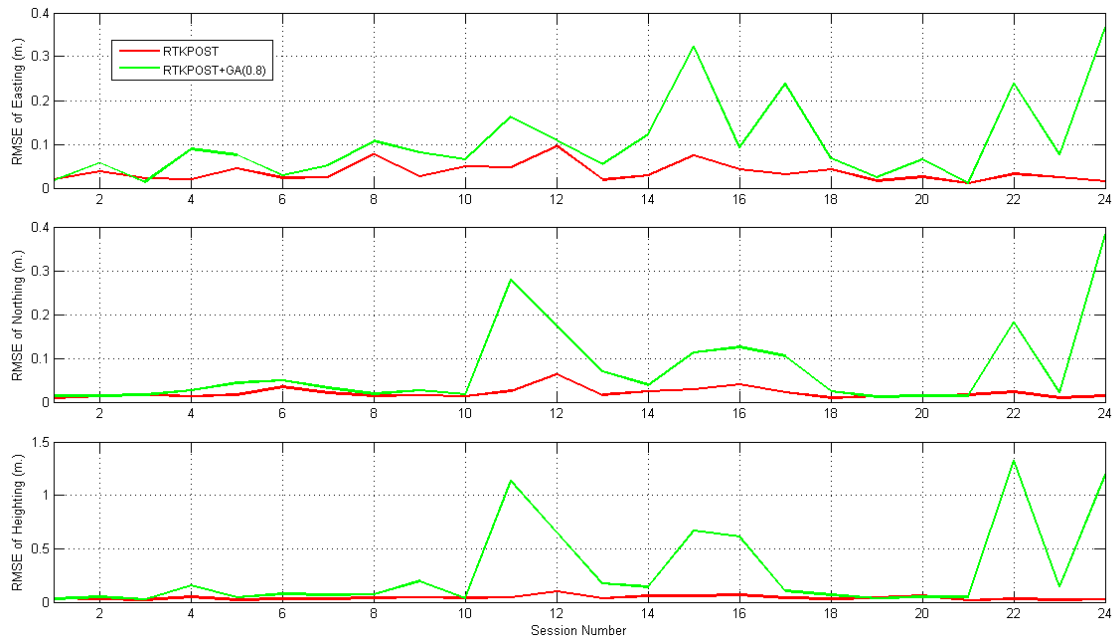
จากรูปข้างต้นนี้เป็นเพียงตัวอย่างของบางช่วงข้อมูลที่มีความยาวเส้นฐานต่าง ๆ ที่ถูกเลือกนำมาแสดงเท่านั้น เนื่องจากมีหลายช่วงข้อมูล หรือหลายคาบเวลา (Session) การเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานกับวิธีการที่นำเสนอขึ้น จำเป็นจะต้องมีการนำวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วยในการอธิบาย และสรุปลักษณะของข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ได้ โดยในส่วนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้รากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เพื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของค่าต่าง หรือค่าคลาดเคลื่อนทางพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลทั้ง 2 วิธี เทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงของแต่ละสถานี โดยค่า RMSE ในองค์ประกอบพิกัดทางราบ E, N และทางตั้ง H สำหรับความยาวเส้นฐาน 2.1, 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ โดยที่แกนนอนแสดงจำนวนช่วงข้อมูลที่ได้ทำการประมวลผลเป็น Session Number และแกนตั้งแสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ตามลำดับ มีหน่วยเป็นเมตร โดยเส้น “สีแดง” แทนด้วยค่า RMSE ของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐาน ในขณะที่เส้น “สีเขียว” แทนด้วยค่า RMSE ของผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม



รูปที่ 4.5 แสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี UPNT



รูปที่ 4.6 แสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี BGOK



รูปที่ 4.7 แสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA สำหรับสถานี SV01

จากรูป 4.5, 4.6 และ 4.7 ค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัดที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ สามารถสรุปเป็นตารางแสดงผลเฉลี่ยของค่า RMSE ในพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ตามลำดับ เปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA รายละเอียดข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลเฉลี่ยของค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัดเปรียบเทียบกันระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

Station	Baseline (km)	RMSE (RTKPOST)			RMSE (RTKPOST+GA)		
		ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
UPNT	2.1	0.006	0.004	0.010	0.009	0.008	0.019
BGOK	13.0	0.030	0.017	0.033	0.058	0.029	0.060
SV01	19.6	0.035	0.020	0.040	0.106	0.076	0.296

จากข้อมูลในตาราง 4.3 จะเห็นได้ว่าที่ความยาวเส้นฐาน 2.1 และ 13.0 กิโลเมตร ค่าเฉลี่ยของค่า RMSE มีขนาดเป็น 2 เท่า โดยประมาณของผลที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐาน ในขณะที่ความยาวเส้นฐาน 19.6 กิโลเมตร มีขนาดเป็น 3, 4 และ 7 เท่า โดยประมาณสำหรับพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ตามลำดับ ของการประมวลผลมาตรฐาน โดยผลของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานนั้นมีความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องดีว่าการประยุกต์ใช้ GA ทุกความยาวเส้นฐานที่ทำการทดสอบ

4.3 ผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี

ผลจากการทดลองปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ผลลัพธ์ที่ได้แสดงจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี โดยรายละเอียดข้อมูลสำหรับแต่ละสถานีที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ค่าต่าง ๆ สำหรับสถานี UPNT

Session	RTKPOST	RTKPOST+GA		
		CR=0.8	CR=0.6	CR=0.4
1	3600	3600	3600	3600
2	3590	3600	3600	3600
3	3600	3600	3600	3600
4	3581	3600	3600	3600
5	3600	3600	3600	3600
6	3574	3600	3600	3600
7	3600	3600	3600	3600
8	3504	3600	3600	3504
9	3409	3595	3597	3600
10	3443	3600	3600	3600
11	3545	3545	3600	3535
12	3347	3600	3600	3600
13	3388	3600	3600	3600
14	3496	3496	3600	3600
15	3587	3600	3600	3600
16	3508	3600	3600	3600
17	3600	3600	3600	3188
18	3600	3600	3600	3470
19	3582	3582	3599	3600
20	3519	3600	3600	3600
21	3584	3600	3600	3600
22	3600	3600	3290	3600
23	3600	3600	3600	3600
24	3600	3600	3600	3600

ตารางที่ 4.5 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ค่าต่าง ๆ สำหรับสถานี BGOK

Session	RTKPOST	RTKPOST+GA		
		CR=0.8	CR=0.6	CR=0.4
1	3083	3429	3600	3600
2	2780	3600	3600	3600
3	77	3600	3600	3599
4	0	3529	3487	3600
5	0	3599	3377	3600
6	0	3600	3426	3600
7	0	3117	0	3600
8	986	1046	3600	3600
9	0	2980	3600	3403
10	0	3600	3600	3481
11	0	3169	855	2793
12	0	3599	3503	3223
13	0	2408	1357	1564
14	0	2387	3600	2164
15	0	564	3600	1831
16	0	3308	3217	3403
17	542	3600	3600	3349
18	202	3600	2221	3600
19	633	3600	3576	3600
20	73	3593	3593	3537
21	2631	3600	3600	3600
22	0	3600	3600	3600
23	2271	3142	3555	3600
24	768	3600	3358	3600

ตารางที่ 4.6 แสดงผลเปรียบเทียบจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ค่าต่าง ๆ สำหรับสถานี SV01

Session	RTKPOST	RTKPOST+GA		
		CR=0.8	CR=0.6	CR=0.4
1	2890	3597	3591	3599
2	2995	3135	3347	3481
3	3165	3546	3377	2105
4	410	2782	3175	3315
5	219	2407	3573	3585
6	1062	2578	3598	3271
7	334	2880	2666	3366
8	985	3025	3496	2981
9	0	2660	2413	3244
10	90	2956	3568	3556
11	7	1183	808	277
12	0	2072	1248	1354
13	0	2218	1911	1603
14	0	2116	1657	2854
15	75	1560	1193	1598
16	0	462	1008	1341
17	0	2220	972	2676
18	255	2760	2722	3355
19	617	3010	3569	3193
20	1773	2695	3323	1583
21	3041	3432	3338	3461
22	1024	1024	3565	3454
23	899	1143	3141	2941
24	558	3527	3425	3172

จากข้อมูลในตาราง 4.4, 4.5 และ 4.6 ข้างต้น แสดงจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีสำหรับแต่ละสถานีที่มีความยาวเส้นฐานต่าง ๆ เปรียบเทียบกันระหว่างอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate: CR) ค่าต่าง ๆ โดยในส่วนของกราฟวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ มีรายละเอียดอธิบายในหัวข้อที่ 4.3.1 และ 4.3.2 ตามลำดับ

4.3.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover

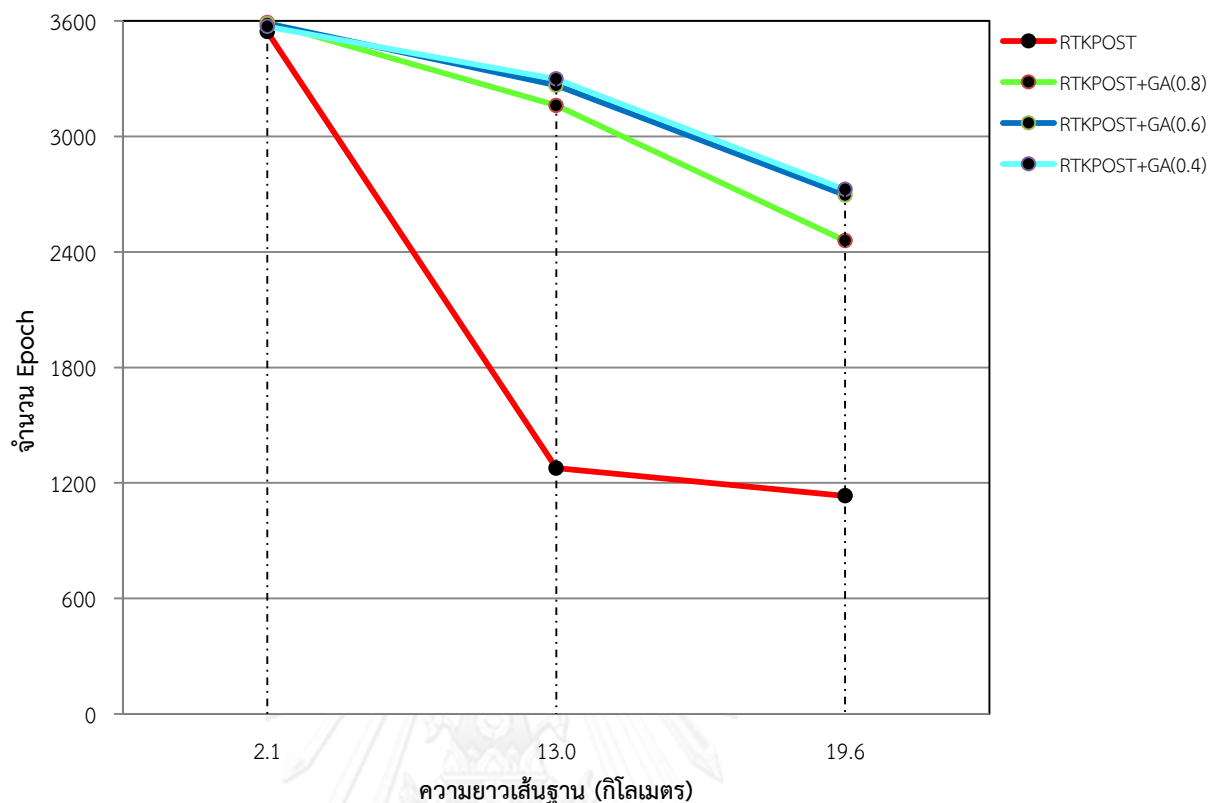
เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่อัตราการเกิด Crossover มีค่าเท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 สำหรับแต่ละสถานีที่มีความยาวเส้นฐาน 2.1, 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ค่าต่าง ๆ

สถานี	ระยะเส้นฐาน (กิโลเมตร)	No. of Epoch	RTKPOST	RTKPOST+GA			ผลการ ปรับปรุง เฉลี่ย
				CR=0.8	CR=0.6	CR=0.4	
UPNT	2.1	3600x24 =86400	85057 (98.45%)	86218 (99.79%)	86086 (99.64%)	85697 (99.19%)	ดีขึ้น (1.09%)
BGOK	13.0	3600x24 =86400	14046 (16.26%)	75870 (87.81%)	75125 (86.95%)	79147 (91.61%)	ดีขึ้น (72.53%)
SV01	19.6	3600x24 =86400	20399 (23.61%)	58988 (68.27%)	64684 (74.87%)	65365 (75.65%)	ดีขึ้น (49.32%)

จากข้อมูลในตาราง 4.7 เมื่อสังเกตค่าเฉลี่ยของจำนวนค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม ที่อัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.6 และ 0.4 จะเห็นได้ว่าการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.8 นั้น ยังคงส่งผลทำให้มีอัตราการ Fix Ambiguity ที่ดีขึ้นกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐาน และมีอัตราการ Fix Ambiguity ที่ดีขึ้นตามลำดับ เมื่ออัตราการเกิด Crossover มีค่าลดลง (ยกเว้นที่ความยาวเส้นฐาน 2.1 กิโลเมตร) โดยเฉลี่ยสามารถปรับปรุงอัตราการ Fix Ambiguity ได้ดีขึ้น 1.09% , 72.53% และ 49.32% ที่ความยาวเส้นฐาน 2.1, 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่าอัตราการ Fix Ambiguity ไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญระหว่างอัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.6 และ 0.4 กับอัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.8 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ทุกความยาวเส้นฐาน

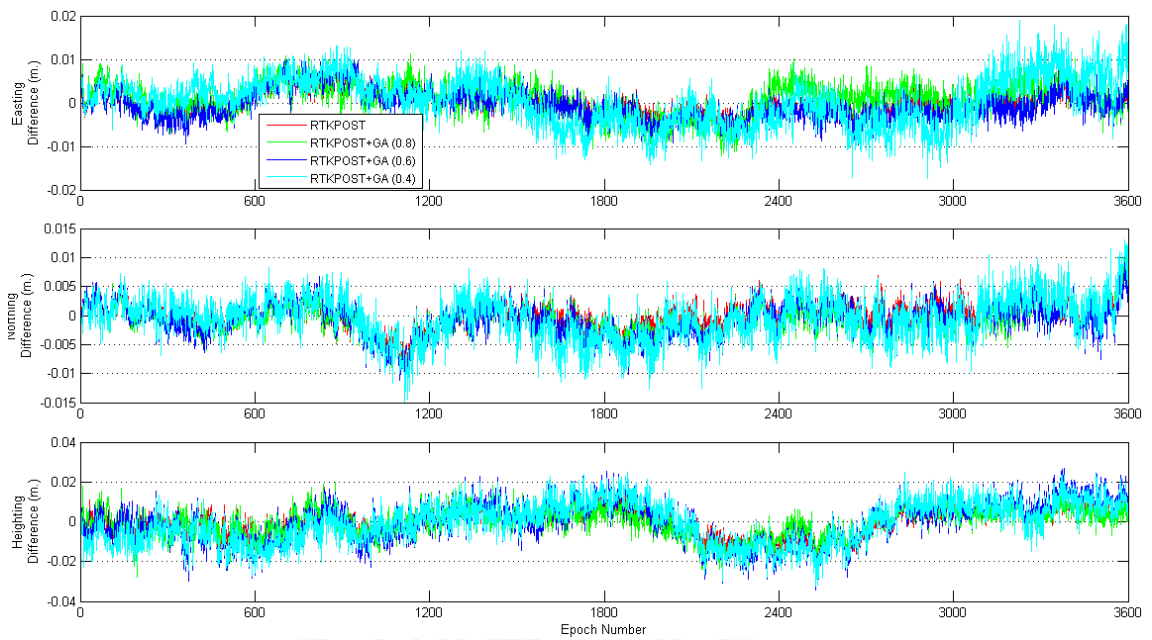
จากข้อมูลในตารางข้างต้น ผู้ทำการวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของขบวนการ Ambiguity Resolution ของแต่ละสถานีที่มีความยาวเส้นฐานต่าง ๆ ระหว่างการประมวลผลมาตรฐาน และการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (ที่อัตราการเกิด Crossover ค่าต่าง ๆ) แสดงในรูปของกราฟเปรียบเทียบผล ดังรูปที่ 4.8 ประกอบ โดยที่แกนอนแสดงความยาวเส้นฐานเป็น Baseline มีหน่วยเป็นกิโลเมตร และแกนตั้งแสดงข้อมูลจำนวนหน่วยเวลาเป็น Epoch Number โดยเส้น “สีแดง” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐาน ในขณะที่เส้น “สีเขียว”, “สีน้ำเงิน” และ “สีฟ้า” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมโดยมีอัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ



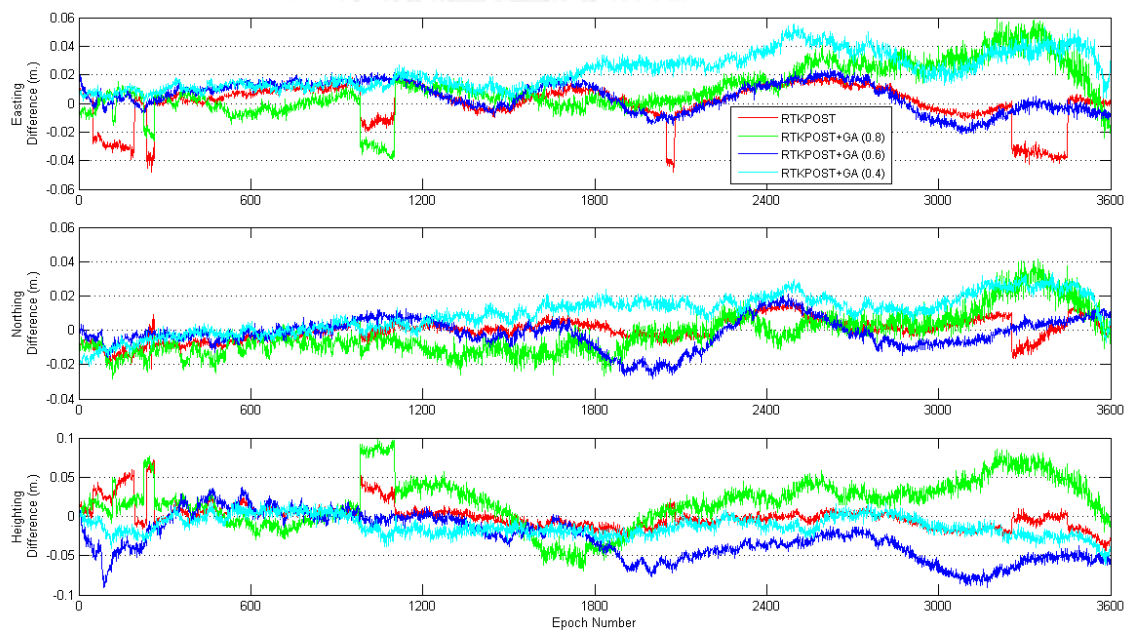
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานกับการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ

4.3.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งเกิดจากการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover

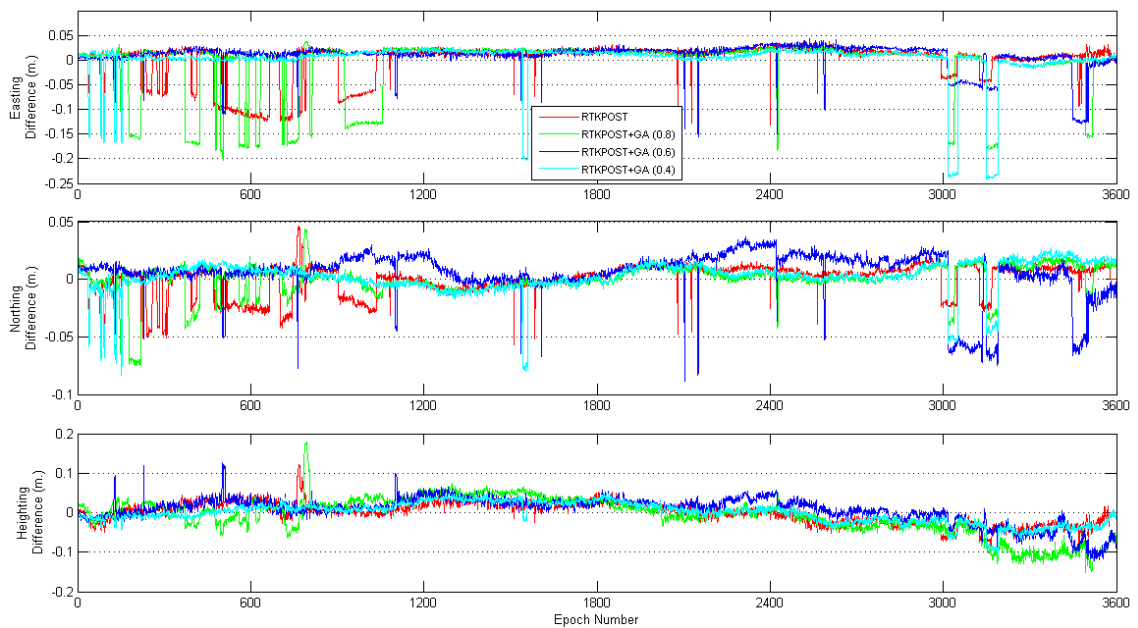
เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิง โดยทำการหาขนาดของค่าคลาดเคลื่อน หรือค่าต่างพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ที่ความยาวเส้นฐาน 2.1, 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ แสดงตัวอย่างค่าผลต่างพิกัดของบางคาบเวลา (Session) สำหรับความยาวเส้นฐานต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ โดยที่แกนนอนแสดงข้อมูลเรียงตามหน่วยเวลาเป็น Epoch และแกนตั้งแสดงขนาดของผลต่างในองค์ประกอบพิกัดทางราบ E, N และทางตั้ง H ตามลำดับ มีหน่วยเป็นเมตร โดยเส้น "สีแดง" แทนด้วยผลของค่าต่างที่ได้มาจากการประมวลผลมาตรฐาน ในขณะที่เส้น "สีเขียว", "สีน้ำเงิน" และ "สีฟ้า" แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมโดยมีอัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี UPNT (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



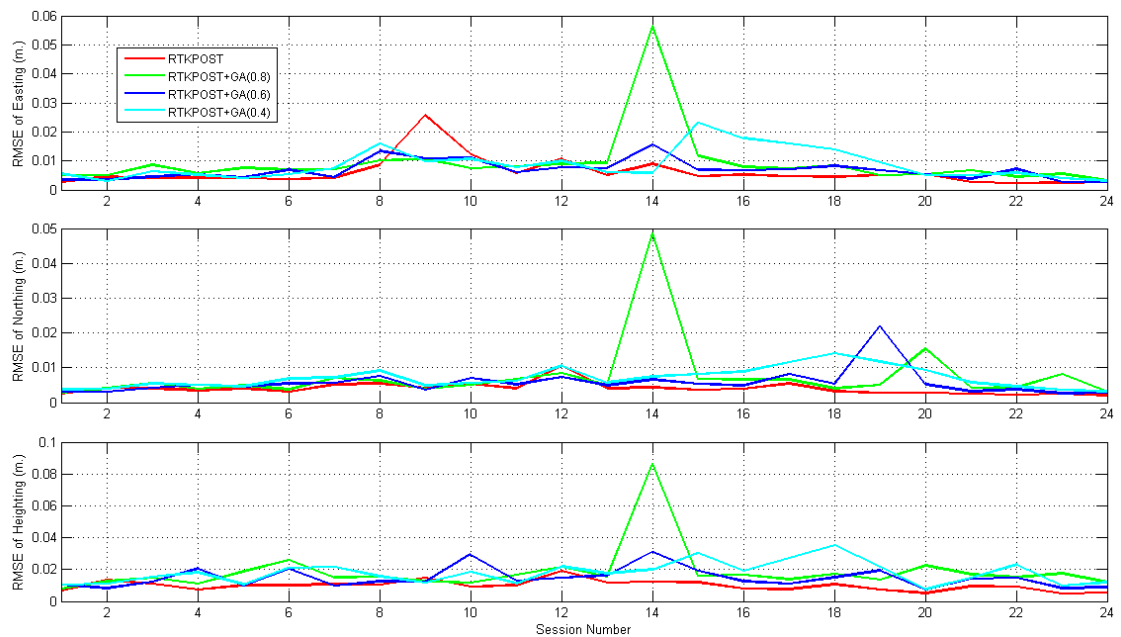
รูปที่ 4.10 แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี BGOK (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



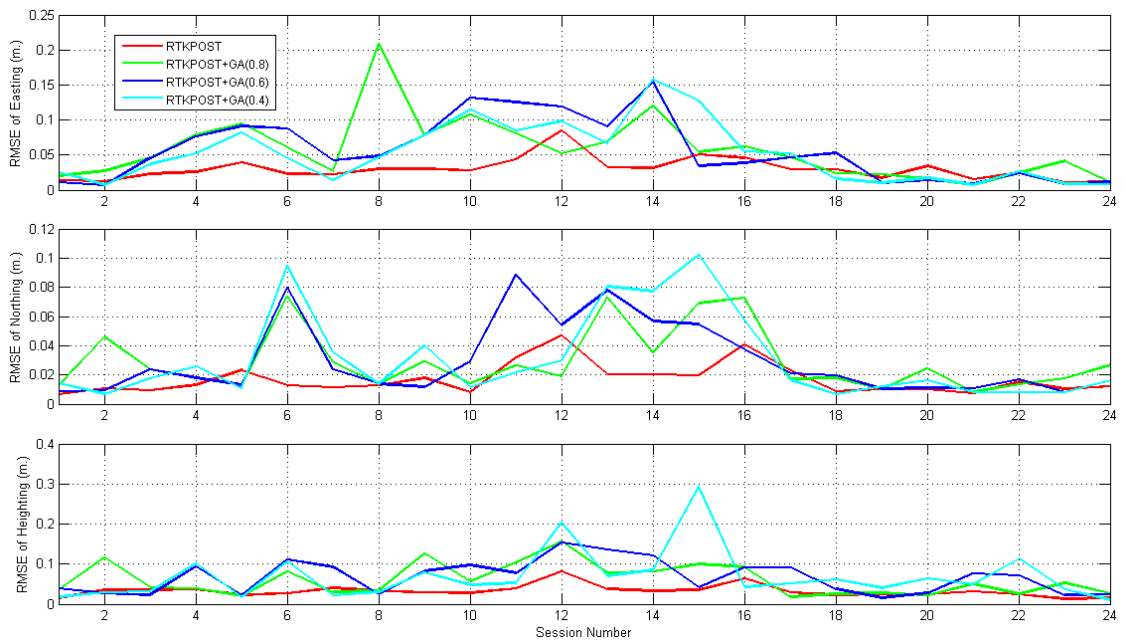
รูปที่ 4.11 แสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี SV01 (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)

จากรูป 4.9, 4.10 และ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่าต่างพิกัดตำแหน่งที่ได้จากทั้งการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ค่าต่าง ๆ นั้น ที่ความยาวเส้นฐาน 2.1 กิโลเมตร (สถานี UPNT) ค่าผลต่างพิกัดที่ได้จากทั้ง 2 วิธี มีค่าที่ใกล้เคียงและมีแนวโน้มเดียวกัน ในขณะที่ความยาวเส้นฐาน 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร (สถานี BGOK และสถานี SV01) ค่าผลต่างพิกัดที่ได้จากทั้ง 2 วิธี โดยเฉพาะค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประยุกต์ใช้ GA ที่อัตราการเกิด Crossover ค่าต่าง ๆ นั้นมีการแกว่งของพิกัดตำแหน่งที่แตกต่างกันและมีขนาดที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ในพิกัดทางราบ E, N และทางตั้ง H ตามลำดับ

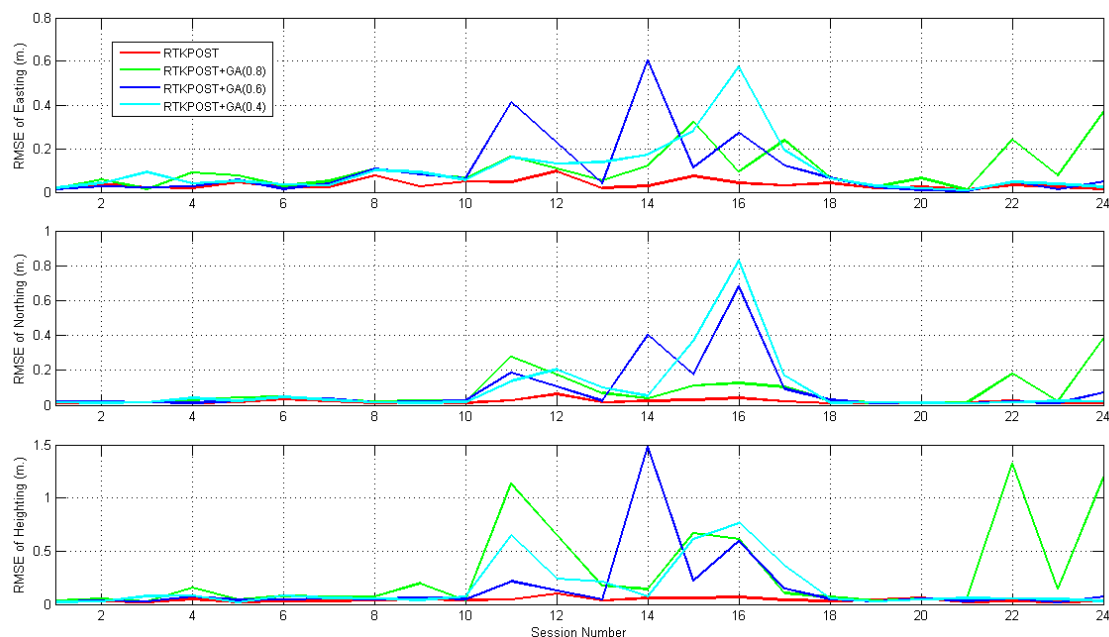
จากรูปข้างต้นนี้เป็นเพียงตัวอย่างของบางช่วงข้อมูลที่มีความยาวเส้นฐานที่ต่าง ๆ ที่ถูกเลือกนำมาแสดงเท่านั้น เนื่องจากมีหลายช่วงข้อมูล การเปรียบเทียบค่าพิกัดตำแหน่งระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานกับผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover ค่าต่าง ๆ ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้รากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เพื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของค่าต่าง หรือค่าคลาดเคลื่อนทางพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลทั้ง 2 วิธี เทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงของแต่ละสถานี โดยค่า RMSE ในองค์ประกอบพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H สำหรับความยาวเส้นฐาน 2.1, 13.0 และ 19.6 กิโลเมตรตามลำดับ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ โดยที่แกนนอนแสดงจำนวนช่วงข้อมูลที่ได้ทำการประมวลผลเป็น Session Number และแกนตั้งแสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ตามลำดับ มีหน่วยเป็นเมตร โดยเส้น “สีแดง” แทนด้วยค่า RMSE ของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐาน ในขณะที่เส้น “สีเขียว”, “สีน้ำเงิน” และ “สีฟ้า” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมโดยมีอัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 แสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี UPNT



รูปที่ 4.13 แสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี BGOK



รูปที่ 4.14 แสดงค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ สำหรับสถานี SV01

จากรูป 4.12, 4.13 และ 4.14 ค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ สามารถสรุปเป็นตารางแสดงผลเฉลี่ยของค่า RMSE เป็นพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H เปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA (ที่อัตราการเกิด Crossover มีค่าเท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงผลเฉลี่ยของค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัดเปรียบเทียบกันระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA ที่มีอัตราการเกิด Crossover ต่าง ๆ

Station	Baseline (km)	$\Delta E, N, H$	RTKPOST	RTKPOST+GA		
				CR=0.8	CR=0.6	CR=0.4
UPNT	2.1	ΔE	0.006	0.009	0.007	0.007
		ΔN	0.004	0.008	0.006	0.006
		ΔH	0.010	0.019	0.015	0.015
BGOK	13.0	ΔE	0.030	0.058	0.057	0.052
		ΔN	0.017	0.029	0.030	0.031
		ΔH	0.033	0.060	0.067	0.069
SV01	19.6	ΔE	0.035	0.106	0.102	0.101
		ΔN	0.020	0.076	0.086	0.092
		ΔH	0.040	0.296	0.149	0.156

จากข้อมูลในตาราง 4.8 ซึ่งแสดงผลเฉลี่ยของค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัดเปรียบเทียบกันระหว่าง พบว่าที่ความยาวเส้นฐาน 2.1 และ 13.0 กิโลเมตร ผลเฉลี่ยของค่า RMSE ในพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ที่อัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงและมีแนวโน้มเดียวกัน โดยมีขนาดเป็น 2 เท่า โดยประมาณของผลที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐาน ในขณะที่ความยาวเส้นฐาน 19.6 กิโลเมตร ผลเฉลี่ยของค่า RMSE ในพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N ที่อัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดเป็น 3 และ 4 เท่า โดยประมาณของผลที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐาน ยกเว้นพิกัดทางตั้ง H แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่าค่า RMSE ในองค์ประกอบพิกัดตำแหน่งทางราบและทางตั้งไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญระหว่างอัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.6 และ 0.4 กับอัตราการเกิด Crossover เท่ากับ 0.8 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ทุกความยาวเส้นฐาน

ดังนั้นจากตารางข้างต้น อาจจะสามารถสรุปได้ว่าการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover ค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์นั้นให้ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของตำแหน่งทางราบและทางตั้งที่ดีกว่าการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ในทุก ๆ ความยาวเส้นฐานที่ทำการทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการคัดเลือกดาวเทียม GNSS ที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบ จลน์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลข จำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution: AR)

เนื่องจากขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution, AR) หรืออาจเรียกว่าขบวนการ AR นั้นถือเป็นหัวใจสำคัญอีก อันหนึ่งที่มีผลต่อค่าความถูกต้องของค่าพิกัดตำแหน่ง ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า เลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มนี้ในการวิเคราะห์ทดสอบความสัมพันธ์กับความยาวเส้นฐาน ที่ระยะต่าง ๆ เทียบกันระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานและการประยุกต์ใช้ GA จาก การศึกษาพบว่าขบวนการ AR นั้นมีความสัมพันธ์อย่างมากกับความยาวเส้นฐาน เนื่องจาก อัตราการ Fix Ambiguity ที่ได้จากการประมวลผลนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวเส้น ฐานเพิ่มมากขึ้น แต่ทั้งนี้ผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นสามารถปรับปรุง ขบวนการ AR ในทุกความยาวเส้นฐานที่ทำการทดสอบได้ดีขึ้นกว่าวิธีการประมวลผล มาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความยาวเส้นฐาน 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร โดยสามารถ ปรับปรุงอัตราการ Fix Ambiguity ได้ดีขึ้นถึง 71.56% และ 44.66% ตามลำดับ ในขณะที่ ความยาวเส้นฐาน 2.1 กิโลเมตร สามารถปรับปรุงได้ดีขึ้นเล็กน้อย 1.34% จากผลการ ทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียม GNSS (GPS, GLONASS) ทั้งหมดที่ รับสัญญาณได้นั้น ไม่อาจจะให้ค่าผลลัพธ์ของขบวนการ AR ที่ดีเสมอไป ในบางกรณีการ เลือกกลับข้อมูลดาวเทียมบางดวงออกไปทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งกว่า แต่อย่างไรก็ตามในส่วน ของค่าพิกัดตำแหน่งทางราบและทางตั้งที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอ คือ การประยุกต์ใช้ GA ใน การสุ่มคัดเลือกกลุ่มดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการประมวลผลข้อมูลแบบ จลน์กลับให้ค่าที่แยกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ ซึ่งขัดกับทฤษฎีที่ว่าหาก ขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาประสบความสำเร็จ โดยมีจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลข จำนวนเต็มที่เพิ่มขึ้นแล้วนั้น ก็จะส่งผลให้ได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ สัญญาณที่มีความละเอียดถูกต้องมากขึ้น นำมาสู่ค่าพิกัดตำแหน่งที่มีความน่าเชื่อถือและ ความถูกต้องที่ดีขึ้นด้วย โดยเมื่อทำการพิจารณาถึงผลของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ไม่เป็นไปตาม ทฤษฎี หรือตามที่คาดหวังนั้น หลัก ๆ อาจจะมีสาเหตุอันประกอบไปด้วย ได้แก่ ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการให้คะแนนความเหมาะสมสำหรับกลุ่มดาวเทียมที่ได้จากการสุ่มเลือก โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมไม่ได้ครอบคลุมตัวแปร หรือปัจจัยที่ซึ่งมีผลต่อค่าพิกัดตำแหน่ง ส่งผลให้กลุ่มดาวเทียมที่ไม่มีความเหมาะสมมากพอ และซอฟต์แวร์ RTKPOST ที่ใช้ในการ

ประมวลผลอาจมีความบกพร่อง หรือผิดพลาดในส่วนของขบวนการประมวลค่าเลขปริศนา โดยอาจจะรายงานผลการประมวลค่าเลขปริศนาที่ได้ไม่เป็นไปตามจริง เป็นต้น

5.1.2 ผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงขบวนการประมวลค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี

จากการทดลองเพื่อหาแนวทางปรับปรุงขบวนการประมวลค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็ม (Ambiguity Resolution) พบว่าปัจจัยเรื่องการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover จากเดิม 0.8 เป็น 0.6 และ 0.4 ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้น ยังคงมีผลต่อขบวนการประมวลค่าเลขปริศนาที่ดีกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐาน โดยเฉพาะสามารถปรับปรุงอัตราการ Fix Ambiguity ได้ดีขึ้น 1.09% , 72.53% และ 49.32% ที่ความยาวเส้นฐาน 2.1, 13.0 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ แต่ในส่วนของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ พบว่าค่าพิกัดตำแหน่งทางราบและทางดิ่งที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์นั้น ยังคงมีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีกว่าการประยุกต์ใช้ GA ทุก ๆ อัตราการเกิด Crossover ที่ทำการทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยเรื่องการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover ไม่มีผล หรือไม่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงในส่วนของคุณค่าพิกัดตำแหน่งเลย โดยสาเหตุที่ค่าพิกัดตำแหน่งมีค่าคลาดเคลื่อนที่มากกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานอาจจะมาจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ไม่ได้ออกแบบให้ครอบคลุมตัวแปรและพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่มีผลต่อค่าพิกัดตำแหน่งมากพอ แต่ในส่วนของเปรียบเทียบผลที่อัตราการเกิด Crossover ค่าต่าง ๆ ผลของขบวนการประมวลค่าเลขปริศนา และค่าพิกัดตำแหน่งทางราบและทางดิ่งที่ได้จากการปรับเปลี่ยนดังกล่าว จากการทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ

ดังนั้นจากการศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกกลุ่มของดาวเทียม GNSS ที่ประกอบไปด้วยข้อมูลดาวเทียม GPS และ GLONASS ดวงที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถปรับปรุงขบวนการประมวลค่าเลขปริศนา (Ambiguity Resolution) หรือขบวนการ AR ได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ แต่การประยุกต์ใช้ GA ไม่ได้ปรับปรุงในส่วนของคุณค่าพิกัดตำแหน่งทางราบและทางดิ่ง เมื่อเทียบกับการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ที่ให้ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.8 เป็น 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ ขบวนการ AR และค่าพิกัดตำแหน่งทางราบและทางดิ่งที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยผลลัพธ์ที่ได้กับผลลัพธ์ที่คาดหวัง คือ การที่สามารถปรับปรุงการประมวลค่าเลขปริศนาได้ดีขึ้นน่าที่จะทำได้ค่าพิกัดตำแหน่งที่ดีขึ้น ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการประเมินผลชุดคำตอบจำเป็นต้องมีการออกแบบและเลือกใช้ให้มีความเหมาะสม และสอดคล้องครอบคลุมตัวแปรและปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าพิกัดตำแหน่งร่วมด้วย รวมไปถึงซอฟต์แวร์ประมวลผลข้อมูลที่ใช้เลือกใช้จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานการประมวลผล และขั้นตอนการทำงานภายในซอฟต์แวร์

ด้วย เพื่อหากผลลัพธ์ที่ได้มีปัญหา หรือเกิดข้อผิดพลาดไม่เป็นไปตามทฤษฎีเกิดขึ้นขณะทำการทดลอง ความรู้ความเข้าใจข้างต้นจะสามารถช่วยให้สามารถอธิบายและสรุปผลการทดลองนั้น ๆ ได้ดีขึ้น

5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัด

1.) ข้อจำกัดของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย มีช่วงความยาวเส้นฐานที่ค่อนข้างแตกต่างกัน และไม่ค่อยหลากหลายเท่าที่ควร อาจจะไม่สะท้อนให้เห็นผลของการปรับปรุงขบวนการ Ambiguity Resolution ในแต่ละช่วงความยาวเส้นฐานอื่น ๆ ได้

ข้อเสนอแนะ

1.) กรณีการปรับปรุงขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม นอกเหนือจากปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover อาจมีการทดสอบเพิ่มเติม เช่น อัตราการเกิด Mutation หรือการกำหนดค่าน้ำหนักให้กับแต่ละพารามิเตอร์ความเหมาะสม เป็นต้น และทำการทดสอบกับแต่ละช่วงความยาวเส้นฐาน โดยอาจจะต้องมีการใช้ข้อมูลที่มีช่วงความยาวเส้นฐานที่มากขึ้น

2.) กรณีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการประเมินค่าเหมาะสมสำหรับแต่ละชุดคำตอบนั้นถูกออกแบบโดยพิจารณาเฉพาะค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มเท่านั้น ซึ่งอาจจะไม่ครอบคลุมตัวแปรปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งจึงส่งผลทำให้ค่าฟังก์ชันค่าเหมาะสมทั้งทางราบและทางตั้งที่ได้ อาจเกิดค่าคลาดเคลื่อน ดังนั้นในขั้นตอนของการประเมินค่าเหมาะสม อาจต้องมีการออกแบบและเพิ่มเติมฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยมีการพิจารณาในส่วนของค่าตัวแปรปัจจัยนั้น ๆ นอกเหนือจากค่าเลขปริศนา (Ambiguity) เข้าไปในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วย เพื่อปรับเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของตำแหน่งทางราบและตั้งให้ดีขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (พ.ศ. 2549). เอกสารประกอบคำสอนวิชางานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง.

ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 165 หน้า.

ธีรทัต เจริญกาลัญญูตา และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (พ.ศ. 2552). การประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในพื้นที่โดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย: ผลการศึกษาเบื้องต้น. วิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 23 ฉบับที่ 70, 45-56.

ภาษาอังกฤษ

Bräunl, T. (2008). Embedded Robotics: Mobile Robot Design & Applications with Embedded Systems. 3th ed, Springer.

Dai, L., S. Han, J. Wang and C. Rizos (2001). "A study on GPS/GLONASS multiple reference station techniques for precise real-time carrier phase-based positioning." In Proceedings of ION GPS: pp. 392-403.

Dai, L., J. Wang, C. Rizos and S. Han (2001). "Real-time carrier phase ambiguity resolution for GPS/GLONASS reference station networks." In Proceedings Int. Symp. on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation: pp. 5-8.

Dawoud, S. (2011). GNSS Principles and Comparison. Potsdam University.

Eissfeller, B., G. Ameres, V. Kropp and D. Sanroma (2007). "Performance of GPS, GLONASS and Galileo." Photogrammetric Week: pp. 185-199.

Han, S. and C. Rizos (2000). "An instantaneous ambiguity resolution technique for medium-range GPS kinematic positioning." Navigation 47(1): pp. 17-31.

Kleusberg, A. (1990). Comparing GPS and GLONASS. University of New Brunswick.

Liu, Z., J. Liu, W. Jiang, T. Li and H. Liu (2005). "Ambiguity Resolution of Double-Difference GPS Short Baseline Using Genetic Algorithms." International Conference on Space Information Technology: pp. 422-427.

Liu, Z., W. Xiong, Z. Kang, H. Zhang and M. Qu (2010). "GPS Ambiguity Resolution of Single Epoch Data Using Genetic Algorithms." International Conference on Natural Computation: pp. 2365-2368.

Melanie, M. (1999). An Introduction to Genetic Algorithms. 5th ed, MIT Press.

Pratt, M., B. Burke and P. Misra (1998). "Single-epoch integer ambiguity resolution with GPS-GLONASS L1-L2 Data." In Proceedings of ION GPS Vol. 11: pp. 389-398.

Rizos, C. (2010). Manual of Geospatial Science and Technology: GPS, GNSS and the Future. 2nd ed, CRC Press.

Sivanandam, S. N. and S. N. Deepa (2008). Introduction to Genetic Algorithms, Springer.

Srinuandee, P., C. Satirapod, C. Ogaja and H. Lee (2012). "Optimization of Satellite Combination in Kinematic Positioning Mode with the Aid of Genetic Algorithm." Artificial Satellites, Vol. 47(Issue 2): pp.35-46.

Xu, G. (2007). GPS Theory: Algorithms and Applications. 2nd ed, Springer.

Yeniay, Ö. (2005). "Penalty Function Method for Constrained Optimization with Genetic Algorithms." Mathematical and Computational Applications, Vol. 10, No.1: pp. 45-56.

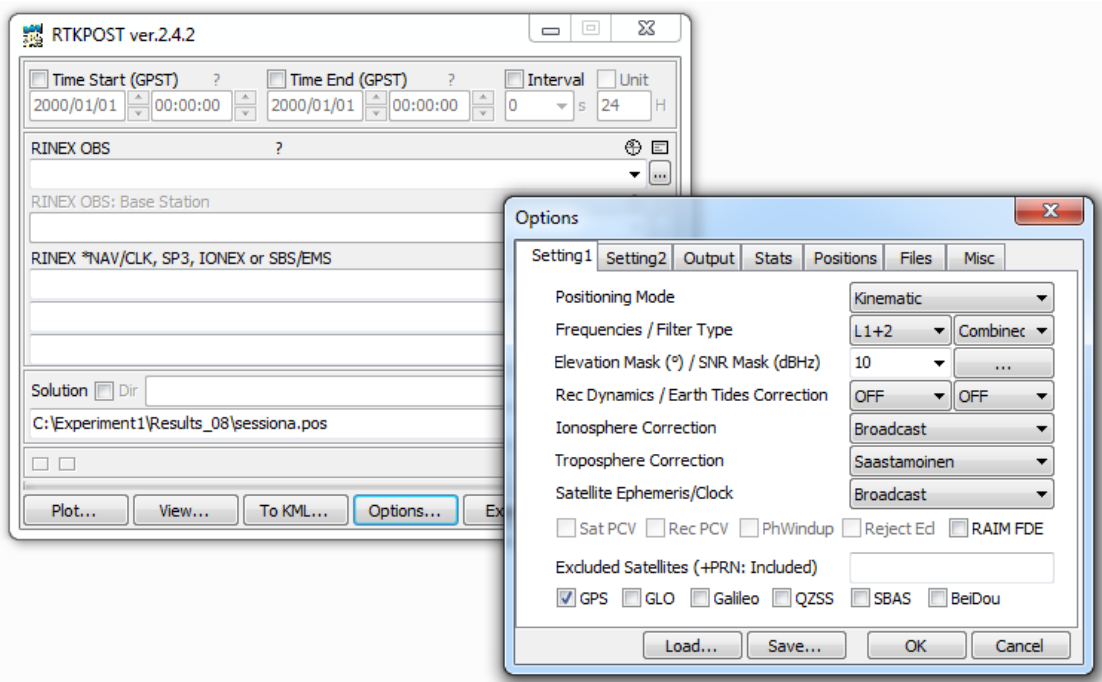


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

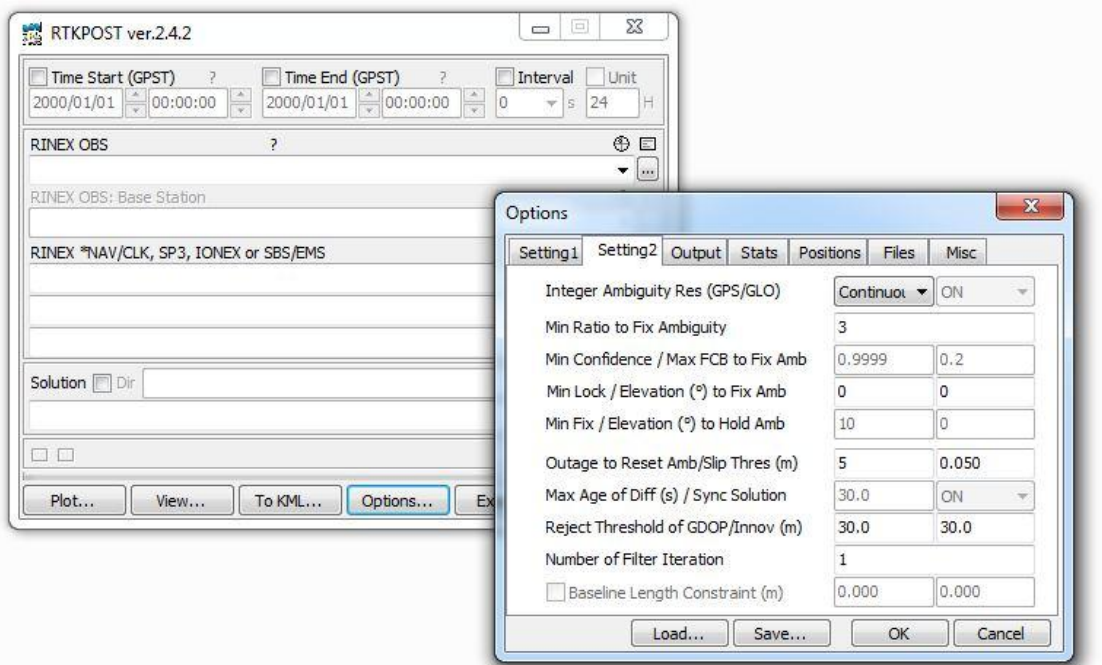


ภาคผนวก

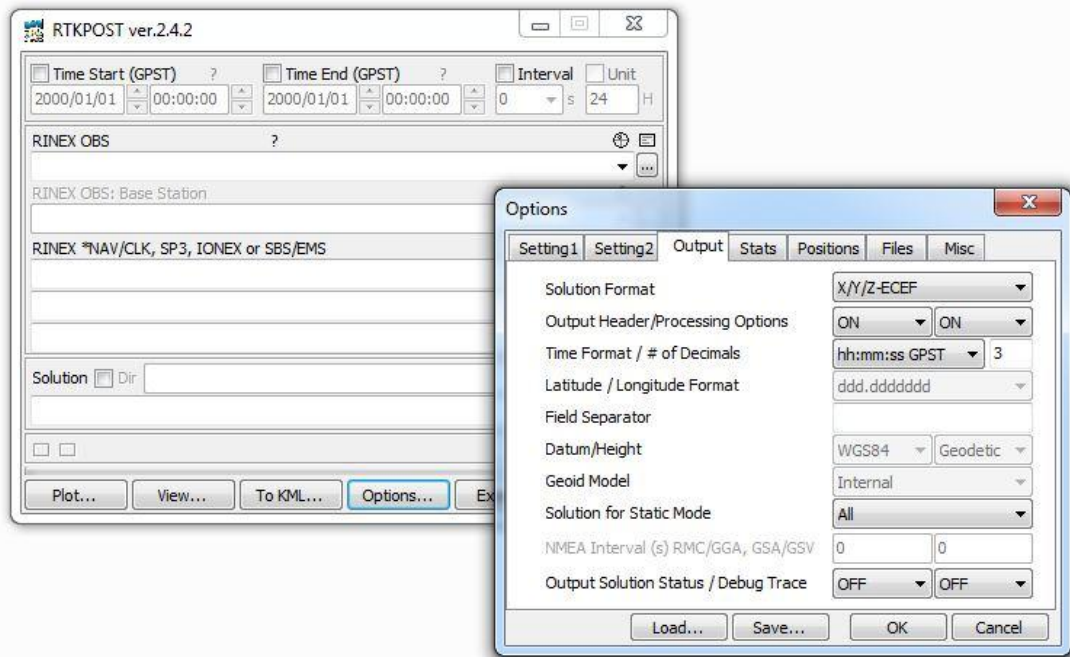
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



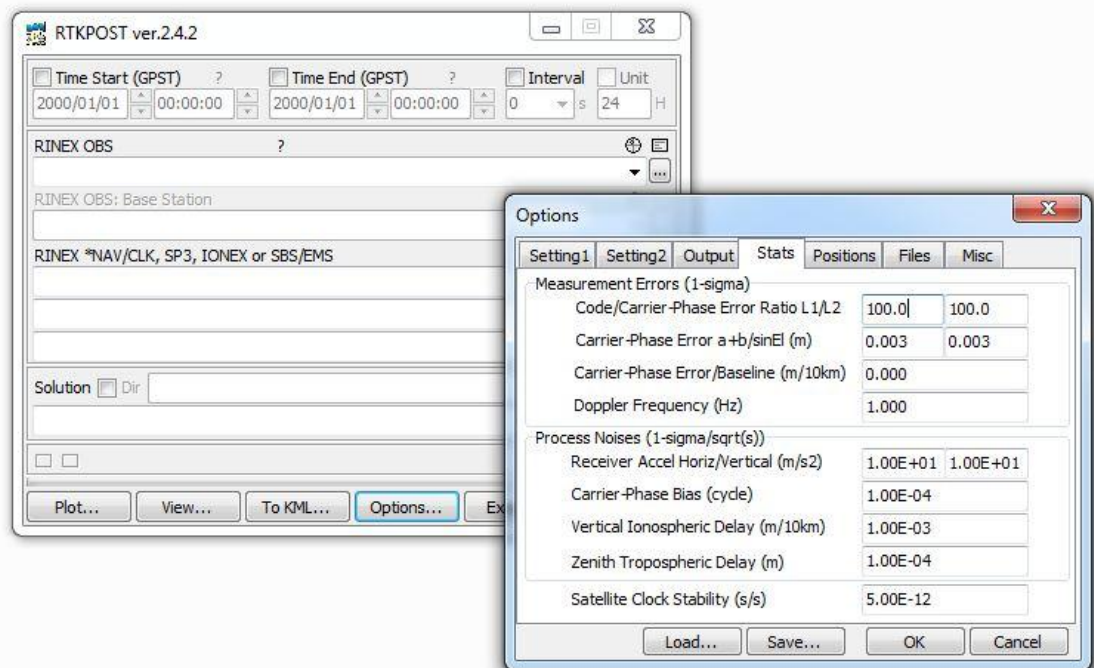
แสดงการกำหนดค่าต่าง ๆ บนซอฟต์แวร์ RTKPOST (Setting1)



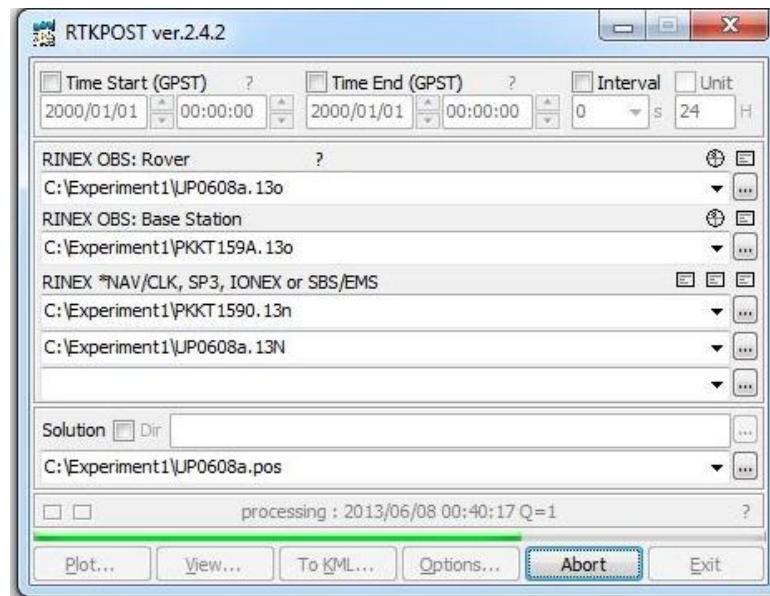
แสดงการกำหนดค่าต่าง ๆ บนซอฟต์แวร์ RTKPOST (Setting2)



แสดงการกำหนดค่าต่าง ๆ บนซอฟต์แวร์ RTKPOST (Output)



แสดงการกำหนดค่าต่าง ๆ บนซอฟต์แวร์ RTKPOST (Stats)



แสดงการประมวลผลข้อมูลบนซอฟต์แวร์ RTKPOST

```

D:\CUNThesis_56\All Results\RTKPOST\Exp1_PKUP\JP0608a.pos
Find
% program : RTKPOST ver.2.4.2
% inp file : C:\Experiment4\JP0608a.13o
% inp file : C:\Experiment4\PKKT159A.13o
% inp file : C:\Experiment3\PKKT1590.13n
% inp file : C:\Experiment4\JP0608a.13g
% obs start : 2013/06/08 00:00:00.0 GPST (week1743 S18400.0s)
% obs end : 2013/06/08 00:59:59.0 GPST (week1743 S21999.0s)
% pos mode : kinematic
% freqs : L1+L2
% solution : combined
% elev mask : 10.0 deg
% dynamics : off
% tidecorr : off
% ionos opt : broadcast
% tropo opt : saescamlinen
% spheroid : broadcast
% navi sys : gps glonass
% smb res : continuous
% smb glo : on
% val thres : 3.0
% antenna1 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% antenna2 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% ref pos : -1132704.0345 6087788.7296 1523587.0825
%
% k/y/z-ecof=WGS84,Q=1;fix,2;float,3;sbas,4;dpps,5;single,6;ppp,ns# of satellites)
% GPST x-ecof(m) y-ecof(m) z-ecof(m) Q ns sdx(m) sdy(m) sdz(m) sdx(m) sdy(m) sdz(m) sdx(m) sdy(m) sdx(m) age(s) ratio
2013/06/08 00:00:00.000 -1130676.0402 6088143.4210 1523506.4924 1 14 0.0050 0.0110 0.0044 -0.0047 0.0052 -0.0026 0.00 22.6
2013/06/08 00:00:01.000 -1130676.0405 6088143.4227 1523506.4926 1 14 0.0050 0.0110 0.0033 -0.0053 0.0053 -0.0017 0.00 22.5
2013/06/08 00:00:02.000 -1130676.0385 6088143.4191 1523506.4909 1 14 0.0050 0.0111 0.0031 -0.0050 0.0055 -0.0016 0.00 22.4
2013/06/08 00:00:03.000 -1130676.0410 6088143.4127 1523506.4890 1 14 0.0045 0.0110 0.0039 -0.0048 0.0052 -0.0016 0.00 22.3
2013/06/08 00:00:04.000 -1130676.0428 6088143.4162 1523506.4900 1 14 0.0043 0.0110 0.0044 -0.0049 0.0049 -0.0017 0.00 22.2
2013/06/08 00:00:05.000 -1130676.0413 6088143.4123 1523506.4871 1 14 0.0044 0.0110 0.0040 -0.0048 0.0052 -0.0019 0.00 22.1
2013/06/08 00:00:06.000 -1130676.0403 6088143.4107 1523506.4876 1 14 0.0045 0.0111 0.0037 -0.0047 0.0051 -0.0016 0.00 22.0
2013/06/08 00:00:07.000 -1130676.0426 6088143.4099 1523506.4865 1 14 0.0045 0.0110 0.0037 -0.0051 0.0054 -0.0024 0.00 21.9
2013/06/08 00:00:08.000 -1130676.0401 6088143.4109 1523506.4881 1 14 0.0047 0.0111 0.0035 -0.0050 0.0050 -0.0011 0.00 21.8
2013/06/08 00:00:09.000 -1130676.0374 6088143.4144 1523506.4907 1 14 0.0035 0.0078 0.0024 -0.0037 0.0036 0.0007 0.00 3.0
2013/06/08 00:00:10.000 -1130676.0353 6088143.4087 1523506.4874 1 14 0.0033 0.0078 0.0035 -0.0034 0.0037 -0.0019 0.00 3.3
2013/06/08 00:00:11.000 -1130676.0337 6088143.4014 1523506.4854 1 14 0.0033 0.0078 0.0029 -0.0035 0.0036 -0.0019 0.00 3.5
2013/06/08 00:00:12.000 -1130676.0358 6088143.4105 1523506.4883 1 14 0.0035 0.0078 0.0030 -0.0037 0.0037 -0.0012 0.00 3.8
2013/06/08 00:00:13.000 -1130676.0362 6088143.4110 1523506.4893 1 14 0.0032 0.0078 0.0031 -0.0036 0.0036 -0.0016 0.00 4.0
2013/06/08 00:00:14.000 -1130676.0339 6088143.4021 1523506.4878 1 14 0.0033 0.0078 0.0031 -0.0034 0.0036 -0.0017 0.00 4.3
2013/06/08 00:00:15.000 -1130676.0345 6088143.4127 1523506.4897 1 14 0.0033 0.0078 0.0035 -0.0034 0.0036 -0.0019 0.00 4.5
2013/06/08 00:00:16.000 -1130676.0352 6088143.4046 1523506.4872 1 14 0.0031 0.0078 0.0033 -0.0034 0.0035 -0.0018 0.00 4.6
2013/06/08 00:00:17.000 -1130676.0362 6088143.4084 1523506.4891 1 14 0.0031 0.0078 0.0032 -0.0034 0.0036 -0.0018 0.00 4.7
2013/06/08 00:00:18.000 -1130676.0343 6088143.4055 1523506.4866 1 14 0.0033 0.0078 0.0038 -0.0033 0.0036 -0.0024 0.00 4.9
2013/06/08 00:00:19.000 -1130676.0347 6088143.4093 1523506.4902 1 14 0.0031 0.0077 0.0030 -0.0035 0.0038 -0.0017 0.00 5.1
2013/06/08 00:00:20.000 -1130676.0366 6088143.4142 1523506.4910 1 14 0.0034 0.0078 0.0027 -0.0037 0.0038 -0.0010 0.00 5.2
2013/06/08 00:00:21.000 -1130676.0380 6088143.4139 1523506.4901 1 14 0.0035 0.0078 0.0022 -0.0036 0.0037 0.0011 0.00 5.4

```

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากประมวลผลมาตรฐานด้วยซอฟต์แวร์ RTKPOST

```

C:\Experiment1\confZrun.con - Notepad++ [Administrator]
File Edit Search View Encoding Language Settings Macro Run Plugins Window ?
confZrun.con
1 # rtkpost options (2013/07/11 06:49:41, v.2.4.2)
2
3 post1-posmode =kinematic # (0:single,1:dgps,2:kinematic,3:static,4:movindgss,5:fixed,6:ppp-kin,7:ppp-static)
4 post1-frequency =l1+l2 # (1:l1,2:l1+l2,3:l1+l2+l5,4:l1+l2+l5+l6,5:l1+l2+l5+l6+l7)
5 post1-solmask =combined # (0:forward,1:backward,2:combined)
6 post1-elmask =10 # (deg)
7 post1-snrmask_r =on # (0:off,1:on)
8 post1-snrmask_b =on # (0:off,1:on)
9 post1-snrmask_L1 =0,0,0,0,0,0,0,0
10 post1-snrmask_L2 =0,0,0,0,0,0,0,0
11 post1-snrmask_L5 =0,0,0,0,0,0,0,0
12 post1-dynamics =off # (0:off,1:on)
13 post1-tidcorr =off # (0:off,1:on)
14 post1-ionocorr =broad # (0:off,1:broad,2:sbas,3:dual-freq,4:est-sbas,5:ionex-tes,6:gss-bxsc,7:gss-lsx,8:vtec_sf,9:vtec_ef,10:gssg)
15 post1-zionocorr =sbas # (0:off,1:sbas,2:sbas,3:est-sbas,4:est-zionocorr)
16 post1-precise =broad # (0:broad,1:precise,2:broad+sbas,3:broad+gssg,4:broad+gssg+com)
17 post1-posopt1 =off # (0:off,1:on)
18 post1-posopt2 =off # (0:off,1:on)
19 post1-posopt3 =off # (0:off,1:on)
20 post1-posopt4 =off # (0:off,1:on)
21 post1-posopt5 =off # (0:off,1:on)
22 post1-exclstats =5 9 10 11 16 17 18 22 23 24 25 26 28 29 30 R12
23 post1-navsys =5 # (1:gps+2:sbas+4:glon+8:gal+16:gss+32:comp)
24 post2-armode =continuous # (0:off,1:continuous,2:instantaneous,3:fix-and-hold)
25 post2-gloarmode =on # (0:off,1:on,2:autocal)
26 post2-arthres =3
27 post2-rtlockcnt =0
28 post2-rtlocksk =0 # (deg)
29 post2-rtminfix =10 # (deg)
30 post2-elmaskhold =0 # (deg)
31 post2-rtoutcnt =5
32 post2-maxage =30 # (s)
33 post2-syncsol =off # (0:off,1:on)
34 post2-rtlpthres =0.05 # (m)
35 post2-rtl10msd =30 # (m)
36 post2-rtl3dop =30
Normal text file length: 4302 lines: 101 Ln: 22 Col: 67 Sel: 0 | 0 Dos/Windows ANSI as UTF-8 INS

```

ตัวอย่างไฟล์ชุดคำสั่ง (Configuration file) ที่ได้จากขบวนการ GA เพื่อนำเข้าซอฟต์แวร์ RTKPOST

```

C:\Experiment1\Results_08\sessiona.poc
Find
% program : RTKLIB ver.2.4.2
% inp file : c:\experiment4\UP0608a.13o
% inp file : c:\experiment4\PRM159a.13o
% inp file : c:\experiment4\PRM1590.13m
% inp file : c:\experiment4\UP0608a.13g
% obs start : 2013/06/08 00:00:00.0 GPST (week1743 518400.0s)
% obs end : 2013/06/08 00:59:59.0 GPST (week1743 521999.0s)
% pos mode : kinematic
% freqs : L1+L2
% solution : combined
% elev mask : 10.0 deg
% dynamics : off
% tidcorr : off
% lonos opt : broadcast
% tropo opt : saesteminin
% ephemeris : broadcast
% nav1 sys : gps glonass
% amb res : continuous
% amb glo : on
% val thres : 3.0
% antenna1 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% antenna2 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% ref pos : -1132704.0345 6087758.7296 1523587.0825
%
% (x/y/z-ecsf=WGS84,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% GPST x-ecsf(m) y-ecsf(m) z-ecsf(m) Q ns sdx(m) sdy(m) sdz(m) sdx(m) sdy(m) sdz(m) sdx(m) sdy(m) sdx(m) age(s) ratio
2013/06/08 00:00:00.000 -1130676.0408 6088143.4186 1523506.4905 1 10 0.0072 0.0154 0.0051 -0.0081 0.0083 -0.0039 0.00 40.2
2013/06/08 00:00:01.000 -1130676.0425 -1130676.0425 6088143.4207 1523506.4914 1 10 0.0073 0.0155 0.0062 -0.0081 0.0077 -0.0041 0.00 40.1
2013/06/08 00:00:02.000 -1130676.0382 6088143.4132 1523506.4878 1 10 0.0071 0.0154 0.0059 -0.0082 0.0078 -0.0040 0.00 40.1
2013/06/08 00:00:03.000 -1130676.0429 6088143.4107 1523506.4870 1 10 0.0072 0.0154 0.0051 -0.0082 0.0083 -0.0041 0.00 40.0
2013/06/08 00:00:04.000 -1130676.0443 6088143.4170 1523506.4891 1 10 0.0072 0.0155 0.0059 -0.0082 0.0078 -0.0040 0.00 39.9
2013/06/08 00:00:05.000 -1130676.0445 6088143.4131 1523506.4870 1 10 0.0072 0.0154 0.0052 -0.0081 0.0082 -0.0043 0.00 39.8
2013/06/08 00:00:06.000 -1130676.0434 6088143.4117 1523506.4872 1 10 0.0073 0.0155 0.0060 -0.0081 0.0081 -0.0041 0.00 39.7
2013/06/08 00:00:07.000 -1130676.0491 6088143.4236 1523506.4876 1 10 0.0051 0.0110 0.0043 -0.0058 0.0056 -0.0028 0.00 3.0
2013/06/08 00:00:08.000 -1130676.0494 6088143.4278 1523506.4895 1 10 0.0051 0.0110 0.0036 -0.0058 0.0058 -0.0028 0.00 3.1
2013/06/08 00:00:09.000 -1130676.0419 6088143.4197 1523506.4907 1 10 0.0051 0.0110 0.0042 -0.0058 0.0056 -0.0029 0.00 3.3
2013/06/08 00:00:10.000 -1130676.0422 6088143.4174 1523506.4893 1 10 0.0051 0.0110 0.0042 -0.0058 0.0056 -0.0031 0.00 3.5
2013/06/08 00:00:11.000 -1130676.0394 6088143.4075 1523506.4878 1 10 0.0051 0.0110 0.0042 -0.0057 0.0056 -0.0029 0.00 3.8
2013/06/08 00:00:12.000 -1130676.0396 6088143.4114 1523506.4880 1 10 0.0049 0.0110 0.0040 -0.0058 0.0055 -0.0030 0.00 4.0
2013/06/08 00:00:13.000 -1130676.0366 6088143.4124 1523506.4910 1 10 0.0051 0.0110 0.0042 -0.0058 0.0056 -0.0028 0.00 4.2
2013/06/08 00:00:14.000 -1130676.0355 6088143.4065 1523506.4900 1 10 0.0050 0.0110 0.0043 -0.0058 0.0056 -0.0029 0.00 4.4
2013/06/08 00:00:15.000 -1130676.0371 6088143.4109 1523506.4893 1 10 0.0052 0.0110 0.0040 -0.0058 0.0056 -0.0028 0.00 4.6
2013/06/08 00:00:16.000 -1130676.0379 6088143.4103 1523506.4894 1 10 0.0051 0.0109 0.0043 -0.0058 0.0056 -0.0029 0.00 4.8
2013/06/08 00:00:17.000 -1130676.0373 6088143.4080 1523506.4893 1 10 0.0050 0.0109 0.0037 -0.0058 0.0058 -0.0029 0.00 4.9
2013/06/08 00:00:18.000 -1130676.0353 6088143.4050 1523506.4898 1 10 0.0052 0.0109 0.0038 -0.0058 0.0057 -0.0028 0.00 5.1
2013/06/08 00:00:19.000 -1130676.0384 6088143.4059 1523506.4892 1 10 0.0051 0.0109 0.0041 -0.0058 0.0056 -0.0030 0.00 5.3
2013/06/08 00:00:20.000 -1130676.0393 6088143.4178 1523506.4914 1 10 0.0050 0.0109 0.0036 -0.0058 0.0057 -0.0029 0.00 5.5
2013/06/08 00:00:21.000 -1130676.0383 6088143.4126 1523506.4891 1 10 0.0050 0.0110 0.0042 -0.0057 0.0056 -0.0028 0.00 5.7

```

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากประมวลผลมาตรฐานด้วยซอฟต์แวร์ RTKPOST + GA

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นายสุรเชษ ศรีนารา

วันเดือนปีเกิด: 19 ธันวาคม 2531

คุณวุฒิทางการศึกษา:

พ.ศ. 2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย

นเรศวร

ประสบการณ์การทำงาน:

พ.ศ. 2554 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา

ผลงานทางวิชาการ:

สุรเชษ ศรีนารา และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2556) “การคัดเลือกดาวเทียมในระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม” การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2556, 25-27 ธันวาคม 2556, อิมแพ็ค ฟอรั่ม เมืองทองธานี