

การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสม
สำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล GPS GLONASS และ COMPASS

นางสาวอัศวินี วงษ์สุวรรณ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Application of Genetic Algorithm with Optimization of GNSS Satellite Combination in
Kinematic Positioning Mode: Case Study in GPS GLONASS and COMPASS

Miss Assawinee Wongsuwan



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 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล GPS GLONASS และ COMPASS

โดย

นางสาวอัศวินี วงษ์สุวรรณ

สาขาวิชา

วิศวกรรมสำรวจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรรเพชญ์ ชื่อนิธิไพศาล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ธีทัต เจริญกาลัญญาตา)

อัศวินี วงษ์สุวรรณ : การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล GPS GLONASS และ COMPASS (Application of Genetic Algorithm with Optimization of GNSS Satellite Combination in Kinematic Positioning Mode: Case Study in GPS GLONASS and COMPASS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 141 หน้า.

เทคนิคการหาตำแหน่งแบบจลน์ด้วยดาวเทียมระบบ GNSS ถือเป็นเทคนิคการรังวัดที่แพร่หลายและนิยมใช้กันทั่วไป ซึ่งวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่งเป็นวิธีที่ยอมรับกันและนิยมใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง อย่างไรก็ตามการทำงานรังวัดในสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรคโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น บริเวณเขตเมืองที่มีตึกสูง, หุบเขา หรือ ต้นไม้ขึ้นหนาแน่น เป็นต้น ส่งผลให้ไม่อาจจะให้ข้อมูลทางตำแหน่งที่น่าเชื่อถือและมีความถูกต้องมากพอสำหรับงานที่ต้องการได้ จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งส่งผลต่อขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution, AR) ซึ่งถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดในการคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ การเลือกข้อมูลดาวเทียมบางดวงที่ไม่มีความสมบูรณ์ หรือไม่มี ความจำเป็นออกไปก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผล สามารถให้ค่าผลลัพธ์ทางตำแหน่งที่น่าเชื่อถือกว่าการเลือกใช้ข้อมูลทั้งหมด โดยทั่วไปจะใช้วิธีการคัดเลือกด้วยมือ ซึ่งเป็นวิธีการสุ่มลองผิดลองถูก และวนซ้ำ จนกว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นที่น่าพึงพอใจ เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างใช้ทั้งเวลา และ ต้องการผู้ซึ่งมีความเชี่ยวชาญ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว เทคนิคการหาค่าที่มีความเหมาะสมด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) จึงเป็นอีกทางเลือกในการประยุกต์ใช้ในการค้นหา รูปแบบของคำตอบที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับแต่ละปัญหา ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของหลักการ วิวัฒนาการตามธรรมชาติ โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อนำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการเชิง พันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบ จลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล GPS GLONASS และ COMPASS โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถคัดเลือกดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมและ ปรับปรุงอัตราค่าประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีได้ดีขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5570569121 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

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

ASSAWINEE WONGSUWAN: Application of Genetic Algorithm with Optimization of GNSS Satellite Combination in Kinematic Positioning Mode: Case Study in GPS GLONASS and COMPASS. ADVISOR: PROF. CHALERMCHON SATIRAPOD, 141 pp.

The kinematic GNSS positioning mode has been widely used in many applications. There are techniques to obtain high precision positioning results. The relative positioning method based on a carrier phase-based differential positioning is accepted and widely used for applications requiring high accuracy positioning results. However, in less favorable observing environments (i.e. urban areas with the tall buildings, valley or crowded trees), the remaining errors can cause bad or unreliable positioning results. Another technique is to resolve the ambiguities to their correct integer values, which is very important for calculating a high accuracy distance between a satellite and a receiver. The removal of some unreliable observations data before data processing step can provide reliable positioning results. Generally, this procedure is carried out manually. This step can be considered as a trial-and-error process. The user has to re-process over and over until getting a satisfactory result. The manual method is a time-consuming process that requires the skills of an experienced user. In order to avoid this problem, a suitable method should be used, such as, optimization technique as genetic algorithm (GA). The GA is the global optimum search algorithm 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 (case study in GPS GLONASS and COMPASS). The obtained results reveal that the aiding of GA can provide the best GNSS satellite combination (case study in GPS GLONASS and COMPASS) and improve the success rate of ambiguity resolution.

Department: Survey Engineering

Student's Signature

Field of Study: Survey Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นอย่างดี พร้อมทั้งตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ์ ชื่อนิธิไพศาล และ ดร.ธีทัต เจริญกาลัญญาตา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน รวมไปถึง นายสุรเชษ ศรีนารา ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ระหว่างศึกษาครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ สำนักงานที่ดินจังหวัดนนทบุรี, กรมโยธาธิการและผังเมือง, บริษัท อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท ฮอลิสต์วูดอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุน เอื้อเพื่อข้อมูลดาวเทียม ตลอดจนให้คำปรึกษาและแนะนำสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

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

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	18
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	18
1.2 วัตถุประสงค์.....	21
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	21
1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา.....	21
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาที่ใช้ในการวิจัย.....	21
1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	21
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	24
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	24
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	25
2.1 แนวคิดพื้นฐานของงานวิจัย.....	25
2.2 ระบบดาวเทียมนำหน GNSS (Global Navigation Satellite Systems).....	26
2.2.1 ระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System).....	27
2.2.1.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment).....	28
2.2.1.2 ส่วนควบคุม (Control Segment).....	32
2.2.1.3 ส่วนผู้ใช้งาน (User Segment).....	34

2.2.2 ระบบดาวเทียม GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)	35
2.2.2.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment).....	35
2.2.2.2 ส่วนควบคุม (Control Segment)	38
2.2.2.3 ส่วนของผู้ใช้งาน (User Segment).....	38
2.2.3 ระบบดาวเทียม BeiDou/Compass.....	39
2.2.3.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment)	40
2.2.3.2 ส่วนควบคุม (Control Segment)	42
2.2.3.3 ส่วนของผู้ใช้งาน (User Segment).....	43
2.3 วิธีการวัดด้วยดาวเทียมจากสมการค่าสังเกต (Observation Equation)	45
2.3.1 ชูโดเรนจ์ (Pseudorange).....	45
2.3.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase).....	46
2.4 เทคนิคในการวัดด้วยดาวเทียมแบบสัมพัทธ์.....	48
2.4.1 การวัดแบบสถิต (Static).....	51
2.4.2 การวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static)	52
2.4.3 การวัดแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic: RTK)	52
2.4.4 การวัดแบบจลนในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK: NRTK).....	53
2.4.5 การวัดแบบจลนโดยการประมวลผลในภายหลัง (Post Processing Kinematic: PPK).....	54
2.5 วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA).....	55
2.5.1 การเข้ารหัส (Encoding).....	56
2.5.1.1 การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง หรือ Binary Encoding.....	56
2.5.1.2 การเข้ารหัสแบบแทนค่า หรือ Value Encoding:.....	56
2.5.2 ประชากรเริ่มต้น (Initial Population).....	57

2.5.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function).....	57
2.5.4 ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operators).....	58
2.5.4.1 การคัดเลือก (Selection).....	58
2.5.4.2 การผสมพันธุ (Crossover)	59
2.5.4.3 การกลายพันธุ (Mutation).....	59
2.6 พารามิเตอร์ (Parameters).....	60
2.6.1 ความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover หรือ Crossover Probability :.....	60
2.6.2 ความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation หรือ Mutation Probability :.....	60
2.6.3 จำนวนของประชากรในแต่ละรุ่น หรือ Population Size.....	60
2.7 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA).....	61
2.8 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	62
2.8.1 การปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีด้วย เทคนิคและวิธีการต่าง ๆ	62
2.8.2 ประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดยการประยุกต์ใช้วิธีการ เชิงพันธุกรรม Genetic Algorithm, GA).....	64
2.8.3 การศึกษาการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตรา การเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกันในการประยุกต์ใช้วิธีการเชิง พันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA).....	66
บทที่ 3 การดำเนินงาน.....	67
3.1 การเก็บรวบรวม ตรวจสอบและจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการประมวลผล	68
3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA).....	74
3.3 การประมวลผลข้อมูล	80
3.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการ ประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA).....	84

3.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ทางสถิติด้วยการทดสอบ t-test.....	87
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	91
4.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate).....	95
4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate).....	101
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	110
5.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution: AR).....	110
5.2 สรุปผลการศึกษา	112
5.3 ข้อเสนอแนะ	113
รายการอ้างอิง.....	114
ภาคผนวก	116
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	141

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 รายละเอียดของสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	23
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบดาวเทียมแต่ละระบบในระบบดาวเทียมนำหน GNSS (GPS, GLONASS และ COMPASS/BeiDou).....	44
ตารางที่ 3.1 การเข้ารหัสดาวเทียม GNSS (GPS, GLONASS และ COMPASS) แบบไบนารี.....	75
ตารางที่ 3.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฟังก์ชัน Genetic Algorithm บนซอฟต์แวร์ MATLAB.....	79
ตารางที่ 3.3 การกำหนดค่าบนซอฟต์แวร์ RTKLIB2.4.2.....	81
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบจำนวนการFix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานี SV01 (BL=3.8 km.) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4.....	88
ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบความแปรปรวน F-Test Two-Sample for Variances.....	88
ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบ t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances.....	90
ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบจำนวนค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน SV01 (BL=3.8 km.) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน.....	91
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบจำนวนค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน DPT9 (BL=6.7 km.) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน.....	93
ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบจำนวนค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน LAND (BL=23.2 km.) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน.....	94
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบจำนวนและอัตราการFix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA)	

ที่ความยาวเส้นฐานต่างๆที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน.....95



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตำแหน่งโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	22
รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบวงโคจรของดาวเทียมแต่ละระบบในระบบดาวเทียมนำหน GNSS.....	27
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบ GPS (GPS segments).....	28
รูปที่ 2.3 ระนาบวงโคจรดาวเทียมจีพีเอส (GPS Satellite Orbit).....	29
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของคลื่นสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS).....	30
รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของคลื่นสัญญาณในดาวเทียมจีพีเอส (GPS) รุ่นต่างๆ.....	32
รูปที่ 2.6 ส่วนควบคุมของระบบดาวเทียม GPS (GPS Control Segment).....	33
รูปที่ 2.7 ส่วนอวกาศของระบบดาวเทียม GLONASS (GLONASS Space Segment).....	36
รูปที่ 2.8 วิวัฒนาการของคลื่นสัญญาณดาวเทียมโกลนาส (GLONASS).....	37
รูปที่ 2.9 ส่วนควบคุมของระบบดาวเทียม GLONASS หรือGLONASS Ground Segment.....	38
รูปที่ 2.10 วงโคจรดาวเทียมในระบบ Compass	40
รูปที่ 2.11 คลื่นความถี่ของระบบดาวเทียมCompass เทียบกับระบบดาวเทียมGalileo.....	41
รูปที่ 2.12 คลื่นความถี่ของระบบดาวเทียมCompass เทียบกับระบบดาวเทียม Galileo และระบบดาวเทียม GLONASS.....	42
รูปที่ 2.13 สถานีตรวจสอบและติดตามภาคพื้นดินของดาวเทียมCompass.....	43
รูปที่ 2.14 หลักการวัดระยะเฟสของคลื่นส่ง.....	47
รูปที่ 2.15 การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning).....	49
รูปที่ 2.16 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning).....	50
รูปที่ 2.17 การรังวัดแบบสถิต.....	51
รูปที่ 2.18 เทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในพื้นที่โดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK: NRTK).....	54
รูปที่ 2.19 เทคนิควิธีการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง.....	55
รูปที่ 2.20 โครโมโซม (Chromosome) และยีนส์ (Gene) ที่เป็นส่วนประกอบของโครโมโซม.....	56
รูปที่ 2.21 การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง หรือBinary Encoding.....	56
รูปที่ 2.22 การเข้ารหัสแบบแทนค่า หรือValue Encoding.....	57
รูปที่ 2.23 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection).....	58
รูปที่ 2.24 การผสมพันธุ (Crossover).....	59

รูปที่ 2.25 การกลายพันธุ์ (Mutation).....	59
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างจำนวนของประชากรในแต่ละรุ่น หรือ Population Size.....	60
รูปที่ 2.27 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการเชิงพันธุกรรม(GA).....	62
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	68
รูปที่ 3.2 ที่ตั้งโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย.....	69
รูปที่ 3.3 สถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย.....	70
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล RINEX ของสถานี ESRI (Base Station) ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Convert To RINEX.....	71
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล RINEX ของสถานี SV01 (User Station) ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Convert To RINEX.....	72
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างช่วงข้อมูล DPT9A.15๐ และ DPT9B.15๐ ของสถานี DPT9.....	73
รูปที่ 3.7 ผังขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับการประมวลผลข้อมูลแบบ PPK....	74
รูปที่ 3.8 การแทนดาวเทียม GNSS (GPS, GLONASS และ COMPASS) แต่ละดวงในแต่ละตำแหน่ง ปิดสตริง.....	75
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างชุดคำสั่งที่ถูกนำเข้าไปประมวลผลในซอฟต์แวร์ RTKPOST 2.4.2.....	78
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล.....	80
รูปที่ 3.11 การกำหนดค่าต่าง ๆ บนซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2 โดยใช้ฟังก์ชัน RTKPOST.....	82
รูปที่ 3.12 การกำหนดค่าต่าง ๆ บนซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2 โดยใช้ฟังก์ชัน RTKPOST สำหรับใช้ ในการประมวลผลข้อมูลสถานีDPT9 (ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร).....	82
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยฟังก์ชัน RTKPOSTสำหรับการ ประมวลผลข้อมูลสถานีDPT9 (ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร).....	83
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างขณะทำการประมวลผลด้วยวิธีการประมวลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้ วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) บนซอฟต์แวร์ MATLAB 2014.....	85
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้การประมวลผลด้วยวิธีการประมวลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้ วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) บนซอฟต์แวร์ MATLAB 2014.....	86
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผล มาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิง พันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 ตาม ลำดับ.....	98

รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ.....99

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ.....100

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ.....100

รูปที่ 4.5 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ต่าง ๆ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง).....102

รูปที่ 4.6 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ต่าง ๆ สำหรับสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง).....102

รูปที่ 4.7 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ต่าง ๆ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง).....103

รูปที่ 4.8 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง).....104

รูปที่ 4.15 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง).....108

รูปที่ 4.16 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง).....108



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

วิธีการเชิงพันธุกรรมมีลักษณะการทำงานเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยอิงหลักการคัดเลือกตามธรรมชาติของดาร์วิน (Darwin's theory of natural selection) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยใช้หลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติจากการจำลองแนวคิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยเป็นการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือวิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นขั้นตอนของการวนซ้ำเพื่อพยายามค้นหาชุดคำตอบที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด ซึ่งปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสามารถพบได้จากหลายสาขาวิชา ในงานรังวัดก็เช่นกัน เนื่องจากในปัจจุบันอย่างที่ทราบกันว่าเทคโนโลยีด้านการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างมากจากอดีตจึงได้กำหนดคำเฉพาะขึ้นมา นั่นก็คือ GNSS หรือ Global Navigation Satellite System เพื่อให้ครอบคลุมถึงระบบดาวเทียมที่มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS เกิดขึ้นอีกหลายระบบ เช่น GLONASS และ COMPASS เป็นต้น (Chen, Huang et al. 2009) การมีระบบดาวเทียมที่มากขึ้นซึ่งถือเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม ผลจากการที่มีจำนวนดาวเทียมมากขึ้นทำให้มีข้อมูลที่ได้จากการรังวัดมีมากขึ้นและนำไปสู่การหาตำแหน่งได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องสูง ช่วยในการทำงานสำรวจในพื้นที่ที่เป็นอุปสรรคหรือมีสิ่งกีดขวางในการทำงาน ซึ่งส่งผลให้การใช้งานดาวเทียมระบบ GNSS มีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบดาวเทียม GPS เพียงระบบเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่งเป็นวิธีที่ยอมรับกันและนิยมใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง รวมถึงงานที่ต้องการหาตำแหน่งแบบเคลื่อนที่ เช่น ในงานติดตามรถยนต์ เครื่องบิน และเรือ รวมถึงงานสำรวจและทำแผนที่ ที่นิยมใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีจลน์ โดยทั่วไปความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้ขึ้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ จำนวนดาวเทียม เรขาคณิตของดาวเทียม สถานะของดาวเทียม ระยะเวลา ขนาดของค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ความยาวของเส้นฐาน และสภาพแวดล้อมในขณะที่ได้รับสัญญาณ เป็นต้น (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) แต่อย่างไรก็ตามการรังวัดข้อมูลไม่อาจจะมีความถูกต้องสมบูรณ์โดยทั้งหมด ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้ไม่มีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องมากพอสำหรับงานที่ต้องการได้ โดยขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution, AR) ถือเป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญถือเป็นแนวทางสำหรับปรับปรุงความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งให้ดีขึ้น โดยที่ขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีนั้นจะต้องประสบผลสำเร็จ สามารถหา

ค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีความถูกต้องได้ เพื่อแปลงข้อมูลเฟสของคลื่นส่งให้เป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมที่มีความละเอียดถูกต้อง (สุรเชษ ศรีนารา 2557) จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้วิธีการเชิงพันธุกรรมมีส่วนช่วยในการหาค่าที่มีความเหมาะสมในขั้นตอนของกระบวนการคัดเลือกข้อมูลก่อนที่จะนำเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผล เนื่องจากในบางกรณีการเลือกลบข้อมูลบางชุดออกไปก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการประมวลผลอาจจะให้ค่าผลลัพธ์ทางตำแหน่งที่ดีและน่าเชื่อถือมากกว่าการประมวลผลข้อมูลทั้งหมด

จากที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาและปรับปรุงเทคนิค วิธีการ และแบบจำลองต่างๆ สำหรับใช้ขจัด หรือลดค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่เจือปนอยู่ในข้อมูล ในงานด้านสำรวจจริงวัดด้วยดาวเทียม ตลอดจนศึกษาและเปรียบเทียบผลของแต่ละเทคนิควิธี เช่น Verhagen and Teunissen (2014) ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการหาค่าเลขปริศนาด้วยดาวเทียมระบบ GPS และกลุ่มดาวเทียม Beidou ผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าปัญหาการมองเห็นดาวเทียมต่ำ (bad satellite visibility) สามารถแก้ไขได้โดยการใช้กลุ่มดาวเทียมสองกลุ่ม และปัญหาสัญญาณรบกวน (noise) ที่มีค่าสูงจะมีผลกระทบขนาดใหญ่ต่อ single GNSS แต่จะส่งผลกระทบเพียงเล็กน้อยเมื่อใช้ GPS ร่วมกับ Beidou, Odolinski, Teunissen et al. (2013) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการรวมระบบ Beidou +GPS และระบบ Beidou, GPS เพียงระบบเดียว (ระบบเดี่ยวๆที่ไม่มีการรวมกัน) โดยการเปรียบเทียบอัตราการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็ม ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบการทำงานร่วมกันช่วยปรับปรุงอัตราการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มได้ดียิ่งขึ้น , Xiaoyu Shi, Benyin Yuan et al. (2013) ได้ทำการศึกษาขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มของการรวมระบบดาวเทียม GPS GLONASS และ COMPASS จากการศึกษาพบว่าการทำงานร่วมกันของดาวเทียมทั้งสามระบบให้ผลขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มที่ดีกว่าการใช้งานดาวเทียมเพียงระบบเดียว รวมถึง Chen, Huang et al. (2009) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของ Beidou-2 / Compass กับ GPS ในภูมิภาคเอเชีย เพื่อปรับปรุงข้อมูลทางตำแหน่งให้น่าเชื่อถือมีความถูกต้องมากขึ้น ในสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรค (บริเวณเขตเมืองที่มีตึกสูง, หุบเขา หรือต้นไม้ขึ้นหนาแน่น) เป็นต้น และไม่กี่สิบปีที่ผ่านมาวิธีการประมาณค่าได้ถูกพัฒนาขึ้นหลายวิธี ในกลุ่มของวิธีการประมาณค่า นั้น วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) นับได้ว่าเป็นวิธีแรกๆที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับปัญหาการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านสำรวจจริงวัดด้วยดาวเทียม ได้มีนักวิจัยหลายท่านได้นำพื้นฐานวิธีการเชิงพันธุกรรมเข้ามาประยุกต์ใช้ได้แก่ Liu, Liu et al. (2005) และ Liu, Xiong et al. (2010) ได้ศึกษารูปแบบการเข้ารหัสและการปรับปรุง GA ที่มีผลต่อขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎีของข้อมูล GPS จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผลจากการปรับปรุงวิธีการเชิงพันธุกรรม ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือขึ้น

และ Srinuandee, Satirapod et al. (2012) ได้ศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ GA เพื่อคัดเลือกดาวเทียม GPS ดวงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียม GPS ทั้งหมดที่รับสัญญาณได้นั้น ไม่อาจจะให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีเสมอไป โดยในบางกรณีการเลือกลบข้อมูลดาวเทียมบางดวงออกไปก่อนการประมวลผลอาจจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งกว่า รวมไปถึง สุรเชษ ศรีนารา (2557) ได้เสนอวิทยานิพนธ์เรื่องการคัดเลือกดาวเทียม GNSS ที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม GPS และ GLONASS โดยพบว่าการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นสามารถปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีในทุกความยาวเส้นฐานที่ทำการทดสอบได้ดีขึ้นกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์เพียงอย่างเดียว เป็นต้น โดยในส่วนของ การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นได้มีการศึกษาการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกันในการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เช่น Bäck (1993) ได้ศึกษาหาค่าอัตราการกลายพันธุ์ (Mutation rate) ที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหาทางพันธุกรรม (Genetic Search) โดยพบว่าค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation ที่มีค่าเท่ากับ $1/L$ นั้นเป็นค่าที่มีความเหมาะสมและดีที่สุด และยังให้ผลเช่นนี้ในกรณีที่มีค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover rate) และเมื่อจำนวนของ Crossover point มีค่าน้อยกว่า dimension ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (ซึ่งถือเป็นกรณีปกติทั่วไป) ผลจากการเกิด Crossover นั้นจะมีค่าน้อยมาก รวมไปถึง Srinivas and Patnaik (1994) ได้ศึกษาการผลของปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover (Crossover Probability) และค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation (Mutation Probability) ในวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) โดยค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover หรือ P_c และค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation หรือ P_m นั้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ Fitness function ในการพิจารณาค่าความเหมาะสมของแต่ละปัญหา โดยค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover หรือ P_c อยู่ในช่วง 0.0-1.0 และค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation หรือ P_m อยู่ในช่วง 0.0-0.5 โดยผลการศึกษาพบว่าเมื่อค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover มีค่าน้อยและค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation ที่มีค่ามาก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการคัดเลือกแบบสุ่ม หรือ random search และเมื่อมีค่า P_c และ P_m ที่ต่ำจะให้ค่าความเหมาะสมที่มาก ในขณะที่เดียวกันนั้นจะได้ค่าความเหมาะสมที่ต่ำเมื่อกำหนดค่า P_c และ P_m ที่มีค่ามาก เป็นต้น

โดยในงานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS (GPS ,GLONASS และ COMPASS) ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบ

จลน์ โดยเทคนิคการประมวลผลในภายหลัง (Post-Processing Kinematic, PPK) เพื่อปรับปรุง อัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีให้ดีขึ้น โดยในส่วนของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมมีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี สำหรับการประยุกต์ใช้ วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน ร่วมกับการประมวลผลแบบสัมพัทธ์ ด้วยวิธีจลน์โดยใช้ข้อมูล GPS, GLONASS และ COMPASS

1.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

1.3.1.1 ศึกษาเปรียบเทียบผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

1.3.1.2 ใช้การประมวลผลข้อมูลมาตรฐานแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post-Processing Kinematic, PPK)

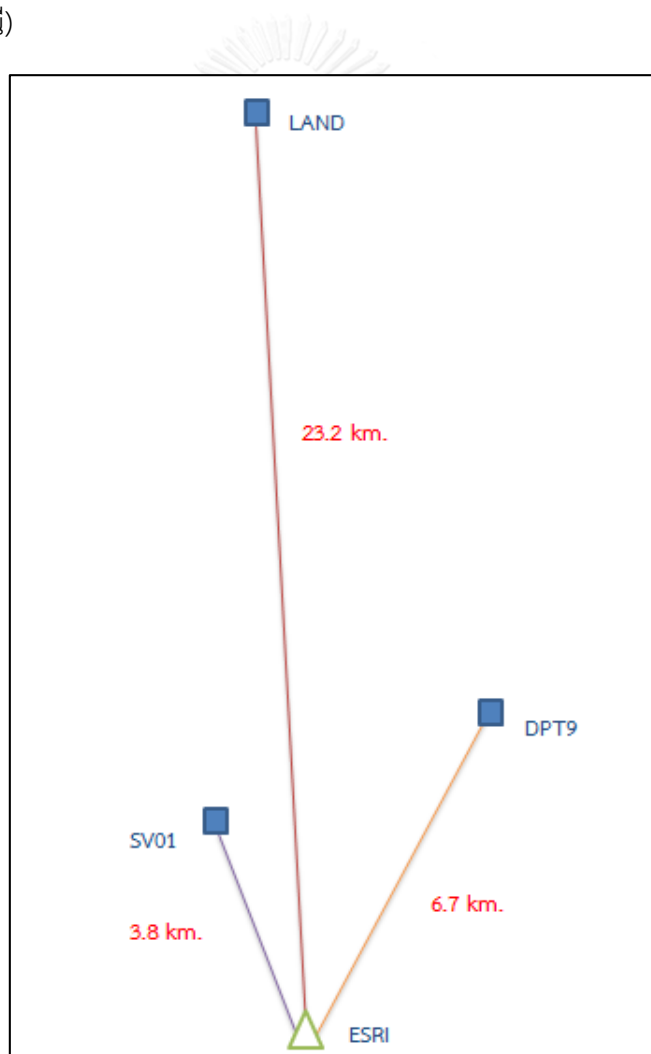
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาที่ใช้ในการวิจัย

ขอบเขตพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล

1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย





ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้แก่ ข้อมูลโครงข่ายสถานีของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS โดยใช้เครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver , Leica Viva GS15 Receiver และเครื่อง Trimble R10 ซึ่งมีสถานี ESRI (ดาตฟ้า อาคารซีดีจีเฮ้าส์) เป็นสถานีฐาน (Base Station) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver ส่วน

สถานี SV01 (ดาดฟ้า ชั้น 4 อาคารศัลยกรรมนิเทศ) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS15 Receiver สถานี DPT9 (ดาดฟ้า ชั้น15 อาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Trimble R10 และ สถานี LAND (ดาดฟ้า อาคารอาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน เมืองทองธานี) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Trimble R10 เป็นสถานีผู้ใช้ (User Station) ระยะของเส้นฐานโดยประมาณ 3.8, 6.7 และ 23.2 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บแบบสถิติ ที่อัตราการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของวันที่ 6 มกราคม 2558 ณ สถานี SV01(ดาดฟ้า ชั้น 4 อาคารศัลยกรรมนิเทศ) วันที่ 10 มกราคม 2558 ณ สถานี DPT9 (ดาดฟ้า ชั้น15 กรมโยธาธิการและผังเมือง) และวันที่ 7 มกราคม 2558 ณ สถานีสถานี LAND (ดาดฟ้า อาคารอาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน เมืองทองธานี)



รูปที่ 1.1 ตำแหน่งโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดของสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ชื่อสถานี	สถานที่ตั้ง/แหล่งที่มา	หมายเหตุ
ESRI	<p>ตาดฟ้า อาคารซีดีจี 202 ถนนนาง ลิ้นจี่ แขวงช่องนนทรี เขตยาน นาวา กรุงเทพฯ 10120</p> <p>บริษัท อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด.</p>	
SV01	<p>ตาดฟ้า ชั้น 4 อาคารศลิวิธาน นิเทศ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p> <p>นางสาวอัศวีณี วงษ์สุวรรณ นาย สุขสันต์ ชัยยะวงค์</p>	
DTP9	<p>ตาดฟ้า ชั้น15 กรมโยธาธิการ และผังเมือง 224 ถนนพระราม 9 แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320</p> <p>นางสาวอัศวีณี วงษ์สุวรรณ นาย สุขสันต์ ชัยยะวงค์</p>	
LAND	<p>ตาดฟ้า อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบล บางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัด นนทบุรี 11120</p> <p>นางสาวอัศวีณี วงษ์สุวรรณ นาย สุขสันต์ ชัยยะวงค์</p>	

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม และการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีจลน์

1.4.2 เก็บรวบรวม ตรวจสอบและจัดเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการประมวลผลโดยใช้ข้อมูลโครงข่ายสถานีของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS มีสถานี ESRI (ดาตไฟฟ้า อาคารซีดีจีเฮ้าส์) เป็นสถานีฐาน (Base Station) ส่วนสถานี SV01 (ดาตไฟฟ้า ชั้น 4 อาคารศัลยกรรมนิเทศ) สถานี DPT9 (ดาตไฟฟ้า ชั้น15 อาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง) และ สถานี LAND (ดาตไฟฟ้า อาคารอาคารรังวัด และทำแผนที่ กรมที่ดิน เมืองทองธานี) เป็นสถานีผู้ใช้ (User Station)

1.4.3 ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) กำหนดองค์ประกอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับการศึกษาวิจัย

1.4.4 ประมวลผลข้อมูล โดยแยกการประมวลผลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

1.4.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

1.4.6 สรุปผลการศึกษาพร้อมข้อเสนอแนะ เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยโดยละเอียดจะมีการนำเสนอต่อไปในบทที่ 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถค้นหาดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีจลน์

1.5.2 สามารถปรับปรุงขบวนการหาค่าเลขปริศนาเป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีให้ดีขึ้น โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดพื้นฐานของงานวิจัย

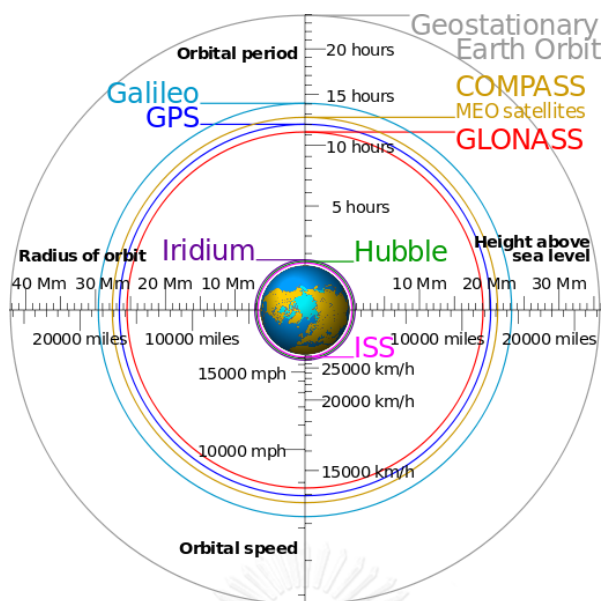
เป็นที่ทราบกันดีว่าในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างมากจากอดีต จึงส่งผลให้ในปัจจุบันได้มีการกำหนดค่าเฉพาะขึ้นมานั้นก็คือ GNSS หรือ Global Navigation Satellite System เพื่อให้ครอบคลุมถึงระบบดาวเทียมที่มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันอีกหลายระบบ โดยผลจากการที่มีจำนวนดาวเทียมมากขึ้นนั้นทำให้มีข้อมูลที่ได้จากการรังวัดที่มากขึ้นและช่วยในการหาตำแหน่งได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องสูงขึ้นไปกว่าเดิม ช่วยแก้ปัญหาข้อจำกัดในการทำงานสำรวจรังวัดในพื้นที่ที่เป็นอุปสรรคหรือมีสิ่งกีดขวางในการทำงาน โดยผลจากการที่มีระบบดาวเทียมที่มากขึ้นถือเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูงนั้นวิธีที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือเทคนิคการหาตำแหน่งแบบจลน์ด้วยดาวเทียมระบบ GNSS โดยใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ซึ่งเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์นี้แบ่งออกได้หลายเทคนิคย่อย ซึ่งแต่ละเทคนิควิธีนั้นมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ในการเลือกใช้แต่ละเทคนิคขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะในงานที่ผู้ใช้งานต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดียิ่งขึ้น วิธีการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post Processing Kinematic) หรือ PPK ถือได้ว่าเป็นเทคนิคการรังวัดที่เป็นที่ยอมรับว่ามีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งมาก และอีกปัจจัยที่มีความสำคัญซึ่งถือเป็นแนวทางสำหรับปรับปรุงความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งให้ดีขึ้นนั้นก็คือ ขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution, AR) โดยที่ขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีนั้นจะต้องประสบผลสำเร็จ สามารถหาค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีความถูกต้องได้ แต่อย่างไรก็ตามการรังวัดข้อมูลไม้อาจจะมีความถูกต้องสมบูรณ์โดยทั้งหมด ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้ไม่มีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องมากพอสำหรับงานที่ต้องการได้

ดังนั้นสำหรับวิธีการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post Processing Kinematic) หรือ PPK การเลือกข้อมูลดาวเทียมบางดวงที่ไม่มีความสมบูรณ์ หรือไม่มีความจำเป็นออกไปก่อน นำเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผล อาจจะเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีให้ดีขึ้นได้ โดยวิธีการดังกล่าวนี้สามารถให้ค่าผลลัพธ์ทางตำแหน่งที่น่าเชื่อถือกว่าการเลือกใช้ข้อมูลทั้งหมด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการหาค่าที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับแต่ละปัญหา ในการเลือกข้อมูลจากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GNSS กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม GPS GLONASS และ COMPASS บาง

ชุดข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ออกไปก่อนขั้นตอนการประมวลผลเพื่อให้ได้กลุ่มของดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมที่สุด

2.2 ระบบดาวเทียมนำหน GNSS (Global Navigation Satellite Systems)

หากกล่าวถึงระบบนำทางดาวเทียม คนส่วนใหญ่มักจะเข้าใจว่า คือ GPS เพียงอย่างเดียว แต่ในความเป็นจริงแล้ว GPS เป็นเพียงชื่อเรียกระบบนำร่องดาวเทียมที่ถูกสร้างขึ้นโดยสหรัฐอเมริกา เท่านั้น หน่วยงานด้านอวกาศจึงได้นิยามความหมายของระบบนำร่องดาวเทียมให้เป็นสากลว่า GNSS หรือ Global Navigation Satellite System เพื่อให้ครอบคลุมถึงระบบดาวเทียมที่มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS เกิดขึ้นอีกหลายระบบ เนื่องจากในปัจจุบันหลายๆประเทศได้ให้ความสำคัญกับการมีระบบดาวเทียมนำร่องเป็นของตัวเอง เพื่อใช้ประโยชน์ทั้งในด้านความมั่นคง ระบบขนส่ง และการแพทย์ รวมถึงการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ดูรูปที่ 2.1 ประกอบ) ไม่ว่าจะเป็น ระบบดาวเทียม GLONASS ที่ถูกพัฒนาโดยประเทศสหพันธรัฐรัสเซีย ระบบดาวเทียม Galileo ที่ถูกพัฒนาโดยกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป ระบบดาวเทียม Compass ที่ถูกพัฒนาโดยสาธารณรัฐประชาชนจีน ระบบดาวเทียม QZSS ที่ถูกพัฒนาโดยประเทศญี่ปุ่น และระบบดาวเทียม IRNSS ที่ถูกพัฒนาโดยสาธารณรัฐอินเดีย เป็นต้น และยังรวมถึงเทคโนโลยีเครื่องส่งสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดิน (Pseudo lite) และเทคโนโลยี Inertial Navigation System (INS) ด้วย ซึ่งในอนาคตทุกระบบสามารถใช้งานร่วมกันได้และจะทำให้การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) ระบบ GNSS จะนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาความถูกต้องทางตำแหน่งที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากการทำงานร่วมกันระหว่างระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับระบบดาวเทียมอื่นๆส่งผลให้มีจำนวนดาวเทียมที่มีสภาพพร้อมใช้งานเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ได้ค่าทางตำแหน่งที่ดีขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ข้อมูลจาก GPS เพียงอย่างเดียว เพราะจำนวนดาวเทียมที่มากขึ้นทำให้ข้อมูลมีมากขึ้นส่งผลให้การหาตำแหน่งมีความถูกต้องสูงและลดเวลาในการทำการรังวัดทำให้การทำงานมีรวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดผลกระทบจากข้อจำกัดเรื่องสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรคในขณะทำการรังวัดเช่นกัน ส่งผลทำให้ระบบ GNSS มีข้อได้เปรียบมากกว่าการเลือกใช้ข้อมูลจาก GPS เพียงอย่างเดียวทำให้มีการใช้ GNSS กันอย่างแพร่หลายในงานด้านต่าง ๆ ในปัจจุบัน (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

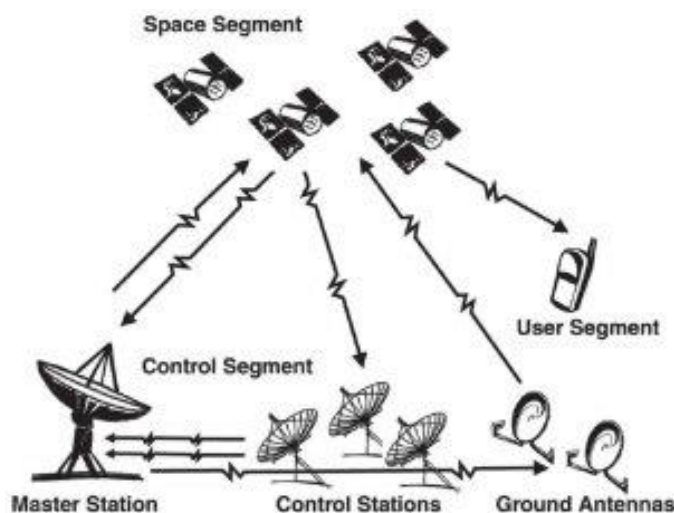


รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบวงโคจรของดาวเทียมแต่ละระบบในระบบดาวเทียมนำหน GNSS
(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b4/Comparison_satellite_navigation_orbits.svg/512px-Comparison_satellite_navigation_orbits.svg.png)

2.2.1 ระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System)

ระบบดาวเทียม GPS ถูกพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหม (Department of defense) ประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 ซึ่งถูกพัฒนามาจากระบบTRANSIT ซึ่งเป็นระบบนำวิถีของกองทัพเรือสหรัฐ โดยในช่วงแรกถูกออกแบบให้ใช้ประโยชน์ทางการทหารเป็นหลัก แต่ก็ยอมให้พลเรือนใช้ได้บางส่วน ระบบGPS มีข้อดีเมื่อเทียบกับระบบTRANSITและเป็นที่ยอมรับเนื่องจาก ระบบ GPS ถูกพัฒนาให้เป็นระบบที่สามารถใช้หาตำแหน่งได้ในทุกสภาพอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมงและใช้ได้ ณ ทุกจุดทั่วโลก รวมถึงใช้เวลาในการรังวัดน้อยกว่าระบบTRANSIT หลายเท่า ผลจากการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวนี้ช่วยประสิทธิภาพของการหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม GPS รวมถึงการพัฒนาวิธีการพัฒนาวิธีการทำงานรังวัดในภาคสนาม ทำให้มีการใช้งาน GPS กันอย่างแพร่หลายในงานด้านต่างๆของฝ่ายพลเรือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านการสำรวจรังวัดและการทำแผนที่ที่ต้องการค่าความถูกต้องสูง โดยก่อนที่จะมีการพัฒนาระบบจีพีเอส (GPS: Global Positioning System) ขึ้นนั้น สหรัฐอเมริกาได้ดำเนินโครงการพัฒนาระบบนำร่องที่เกี่ยวข้องกับการใช้ดาวเทียมถึง 3 โครงการ ประกอบด้วย ทราเนลิต (TRANSIT) ไทเมชัน(TIMATION) และโปรแกรม 621B

ระบบดาวเทียม GPS ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนอวกาศ (Space segment) ส่วนควบคุม (Control segment) และส่วนผู้ใช้ (User segment) โดยในแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กัน (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) จากรูป 2.2 ประกอบ ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



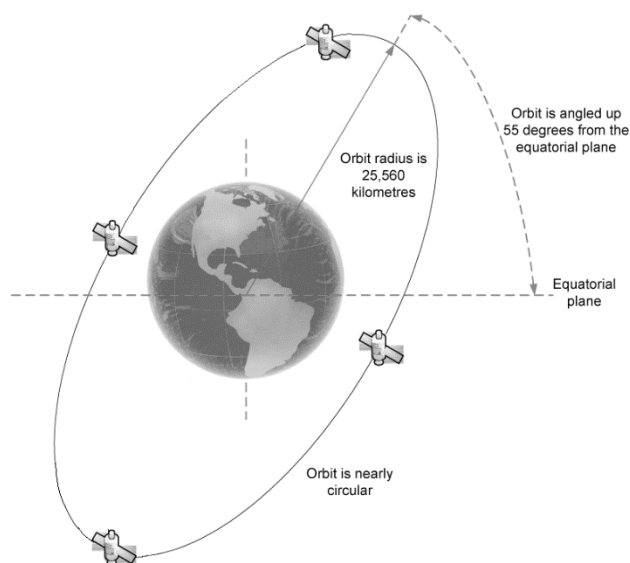
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบ GPS (GPS segments)

(https://kornkanok122.files.wordpress.com/2015/03/gps_segments1.jpg)

2.2.1.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment)

ส่วนอวกาศของระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS) เป็นส่วนที่อยู่บนอวกาศซึ่งประกอบด้วยตัวดาวเทียม และสัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียม ซึ่งในปัจจุบันระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS) มีจำนวนดาวเทียมทั้งหมด 32 ดวง ซึ่งประกอบไปด้วย ดาวเทียมดวงที่พร้อมใช้งาน 31 ดวง และดาวเทียมดวงที่ซ่อมบำรุงอีก 1 ดวง (ข้อมูล ณ วันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015) ซึ่งโคจรอยู่ในวงโคจร 6 ระนาบ โดยทุกระนาบเอียงทำมุมกับระนาบศูนย์สูตรประมาณ 55 องศา และมีมุมระหว่างกันประมาณ 60 องศา โดยที่มีวงโคจรเหนือพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร การวางวงโคจรในลักษณะดังกล่าวจะส่งผลให้มีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงอยู่บนท้องฟ้าทุกๆ จุดบนพื้นผิวโลก ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง และดาวเทียมจีพีเอส (GPS) มีคาบการโคจรประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที (หรือประมาณครึ่งวันดาราคติ) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) จากรูปที่ 2.6 ประกอบ โดยดาวเทียมจีพีเอส (GPS) แต่ละดวงจะมีนาฬิกาดาวเทียมหรือที่เรียกว่านาฬิกาอะตอมมิค ซึ่งนาฬิกาดาวเทียมนี้เป็นหัวใจสำคัญที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำของการคำนวณตำแหน่งพิกัดในเครื่องรับสัญญาณจีพี

เอส (GPS Receiver) ที่รับสัญญาณบนโลก โดยดาวเทียมจะใช้นาฬิกาอะตอมมิกที่เป็นนาฬิกาซีเซียม (Cesium Atomic Clock) 2 เรือน หรือนาฬิการูบิเดียม (Rubidium Atomic Clock) 2 เรือน ทำให้เวลามาตรฐานของดาวเทียมมีความถูกต้องสูงมาก และนาฬิกาชุดนี้ยังใช้ในการควบคุมความถี่ของคลื่นส่ง รวมถึงรหัสที่ใช้ในระบบดาวเทียมทั้งหมดอีกด้วย ดูรูปที่ 2.3 ประกอบ



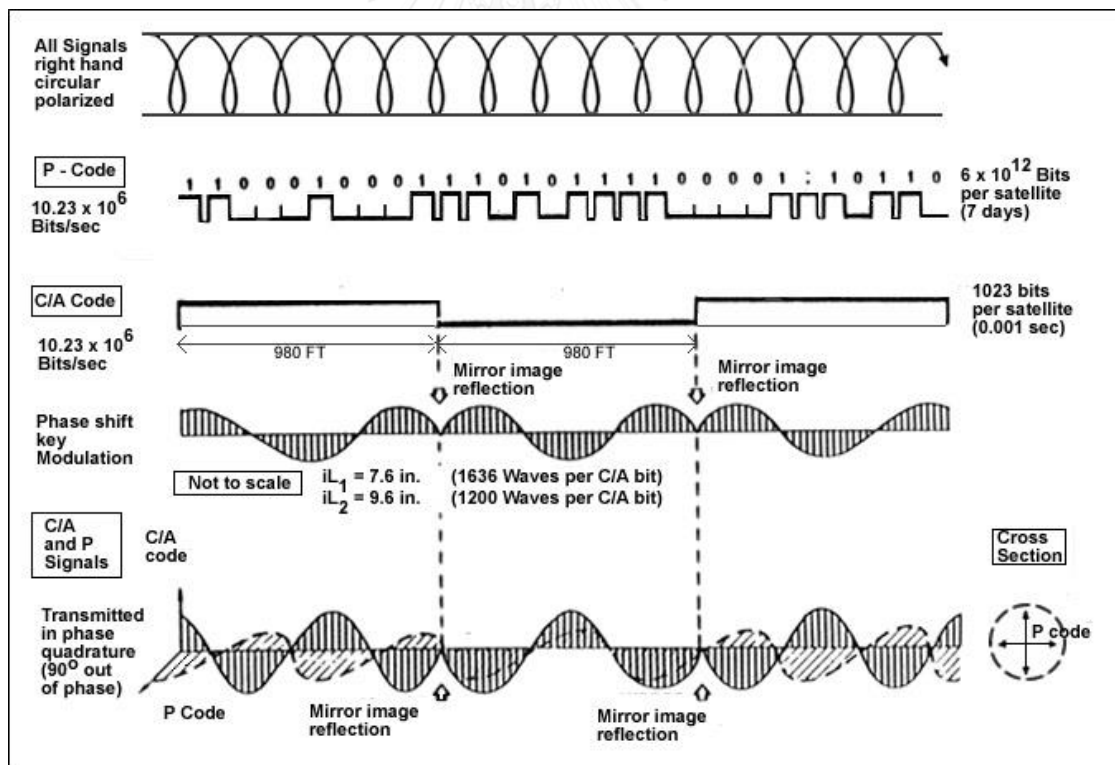
รูปที่ 2.3 ระนาบวงโคจรดาวเทียมจีพีเอส (GPS Satellite Orbit)

(<http://www.novatel.com/assets/Intro-to-GNSS/Figures/Figure25.png>)

คลื่นสัญญาณดาวเทียม (Signal Satellites)

ในอดีตหน่วยงานด้านความมั่นคงของสหรัฐอเมริกาได้ออกแบบให้ข้อมูลนำร่องที่ถูกเผยแพร่โดยดาวเทียมจีพีเอส (GPS) นั้น จำเป็นที่จะต้องถูกเข้ารหัสไว้ โดยมีวัตถุประสงค์สองประการ คือ เพื่อป้องกันการเข้าถึงและการกวนสัญญาณ และใช้สัญญาณรหัสสำหรับคำนวณค่า TOA (Time of Arrival) โดยคลื่นสัญญาณของดาวเทียมจีพีเอส (GPS) เป็นคลื่นวิทยุที่มี 2 ความถี่ซึ่งประกอบไปด้วย คลื่น L1 ที่มีความถี่ 1572.42 เมกะเฮิรตซ์ มีความยาวคลื่นประมาณ 19.03 เซนติเมตร และ คลื่น L2 ที่มีความถี่ 1227.60 เมกะเฮิรตซ์ มีความยาวคลื่นประมาณ 24.42 เซนติเมตร ซึ่งคลื่น L1 มีความถี่เป็น 154 เท่าของความถี่พื้นฐาน และคลื่น L2 มีความถี่เป็น 120 เท่าของความถี่พื้นฐาน โดยความถี่พื้นฐานมีค่าความถี่ 10.23 เมกะเฮิรตซ์ คลื่นวิทยุ L1 และ L2 ที่ถูกเผยแพร่โดยดาวเทียมจีพีเอสดังกล่าวนี้ จะถูกกล่าสัญญาณ หรือ Modulation ด้วยรหัสและข้อมูลการนำหนดาวเทียม (Navigation Message)

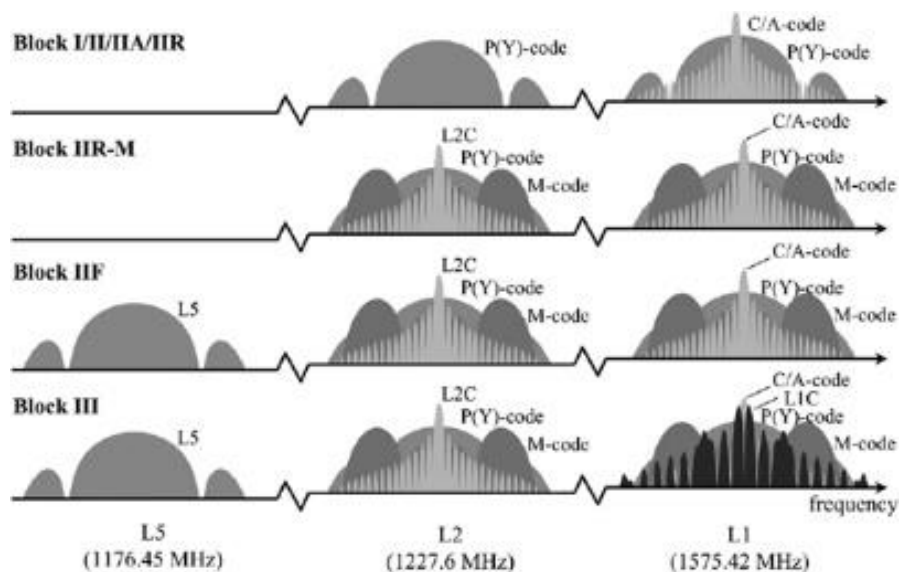
เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น รหัสที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลนำร่อง มี 2 รหัส คือ รหัส C/A (Clear Access or Coarse Acquisition Code) และรหัส P(Y) หรือ P (Precise Code) โดยรหัส C/A (Clear Access or Coarse Acquisition Code) เป็นรหัสที่เปิดเผย และเปิดให้เครื่องรับจีพีเอสของพลเรือนสามารถเข้าถึงได้อย่างเสรี ในขณะที่รหัส P(Y) หรือ P (Precise Code) เป็นรหัสที่ไม่เปิดเผย จะเปิดให้เฉพาะในวงการทหารและหน่วยงานความมั่นคงเท่านั้นที่เข้าถึงได้เท่านั้น ซึ่งในสภาวะสงคราม รหัส P จะถูกเข้ารหัสอีกชั้นหนึ่ง โดยการใช้รหัส W และได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นรหัส Y ซึ่งรหัส C/A (Clear Access or Coarse Acquisition Code) มีความถี่ 1.023 เมกะเฮิรตซ์ และมีความยาวคลื่น 300 เมตร มีคาบเวลา 1 ใน 1,000 วินาที ส่วนรหัส P (Precise Code) มีความถี่ 10.23 เมกะเฮิรตซ์ และมีความยาวคลื่น 30 เมตร มีคาบเวลา 267 วัน โดยในคลื่น L1 จะถูกกล้ำสัญญาณ (Modulation) ด้วยรหัสทั้งรหัส C/A และรหัส P(Y) หรือ P ส่วนคลื่น L2 จะถูกกล้ำสัญญาณ (Modulation) เพียงแค่รหัส P เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ส่วนข้อมูลการนำหนดาวเทียม (Navigation Message) นั้นจะมีทั้งในคลื่น L1 และ L2 จากรูปที่ 2.4 ประกอบ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของคลื่นสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS)

(http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureB_6/images/5.gif)

จากข้อกำหนดของสัญญาณจีพีเอสที่ผู้ใช้พลเรือนสามารถเข้าถึงรหัส C/A ได้เพียงความถี่เดียว (ในคลื่น L1) ได้ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของผู้ใช้ที่เป็นพลเรือน และนอกจากนี้แรงกดดันจากหลายองค์กรโดยเฉพาะจากองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ ICAO หรือ International Civil Aviation Organization และ FAA (Federal Aviation Administration) ส่งผลให้รัฐบาลสหรัฐอเมริกาทำการศึกษาปรับปรุงโครงสร้างสัญญาณจีพีเอสขึ้นมาใหม่ โดยมีจุดประสงค์หลักของการพัฒนาอยู่ตรงที่เพิ่มสองความถี่ที่พลเรือนสามารถเข้าถึงได้ โดยสองความถี่ที่กล่าวถึงนั้นไม่ถือเป็นความถี่ใหม่ทั้งหมด เนื่องจากมีการปรับปรุงให้ความถี่ L2 จะถูกกล้ำสัญญาณ (Modulation) ด้วยรหัสทั้งรหัส C/A และรหัส P(Y) หรือ P และถูกแพร่ออกมาตลอดเวลาเหมือนกับคลื่นสัญญาณความถี่ L1 ซึ่งแต่เดิมนั้นความถี่ L2 จะถูกกล้ำสัญญาณ (Modulation) เพียงแค่รหัส P เพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยคลื่นสัญญาณความถี่ L2 ที่มีการปรับปรุงขึ้นมาใหม่นี้ มีชื่อเรียกว่า "L2C" ที่มีความถี่ 1227.60 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งจะถูกแพร่จากดาวเทียมจีพีเอสรุ่น Block IIR-M ที่ถูกยิงขึ้นสู่อวกาศในปี ค.ศ.2005 ผลจากการปรับปรุงคลื่นสัญญาณ L2C นี้ส่งผลทำให้ผู้ใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ที่เป็นพลเรือนทั่วไปสามารถรับคลื่นสัญญาณได้ทั้ง L1 และ L2 ที่ถูกกล้ำสัญญาณ (Modulation) ด้วยรหัส C/A นั้นได้รับค่าความถูกต้องมากขึ้นหรืออาจจะได้รับค่าความถูกต้องเทียบเท่ากับค่าความถูกต้องที่ได้จากรหัส P ของทางการทหาร และดาวเทียมจีพีเอสรุ่นล่าสุด Block IIF ถูกยิงขึ้นสู่อวกาศในปี ค.ศ.2008 มีการปรับปรุงคลื่นสัญญาณสำหรับความถี่ที่สองเป็นความถี่ใหม่ที่เรียกว่า "L5" โดยมีความถี่อยู่ที่ 1176.45 เมกะเฮิรตซ์ และมีความยาวคลื่น 25.48 เซนติเมตร หรือคิดเป็น 115 เท่าของความถี่พื้นฐาน ซึ่งเป็นความถี่ที่อยู่ในแถบความถี่สากลที่ใช้เฉพาะกับการนำร่องอากาศยาน ด้วยสัญญาณวิทยุ (ARNS: aeronautical radio navigation service) ซึ่งคลื่นสัญญาณ L5 นี้จะถูกกล้ำสัญญาณ (Modulation) ด้วยรหัส C/A และข้อมูลดาวเทียม จากการพัฒนาที่ส่งผลให้จีพีเอสมีความเข้มแข็งและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประยุกต์ใช้งานด้านการบินพาณิชย์ ซึ่งที่ผ่านมาในอดีตนั้นจีพีเอสยังมีข้อด้อยในการใช้ประโยชน์ในงานด้านนี้อยู่ การปรับปรุงสัญญาณดาวเทียมนี้นอกจากการเพิ่มขีดความสามารถในการเข้าถึงให้แก่ผู้ใช้ที่เป็นพลเรือนแล้ว ยังมีการเพิ่มโครงสร้างสัญญาณจีพีเอสใหม่นั้นนั้นก็คือมีการเพิ่มรหัส M หรือ military code ขึ้นบนคลื่นสัญญาณความถี่ L1 และคลื่นสัญญาณความถี่ L2C สำหรับผู้ใช้ที่เป็นทหารหรือทำงานด้านความมั่นคงของสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ ระบบนำร่องจีพีเอสในดาวเทียมรุ่นที่ 3 หรือที่เรียกว่า Block III ที่เกิดจากความร่วมมือกันระหว่างสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกา ซึ่งจะมีการปรับปรุงสัญญาณความถี่ L1 หรือที่เรียกว่า "L1C" ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้ความถี่ 1575.42 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีความถี่เดียวกันกับคลื่น L1 โดยระบบนำร่องจะมีการสื่อสารกันระหว่างดาวเทียมจีพีเอสร่วมกับดาวเทียมเฉพาะ ที่ทำหน้าที่ดูแลคุณภาพและประสิทธิภาพในการให้บริการผู้ใช้ โดยวิวัฒนาการของคลื่นสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS) แสดงได้ดังรูปที่ 2.5

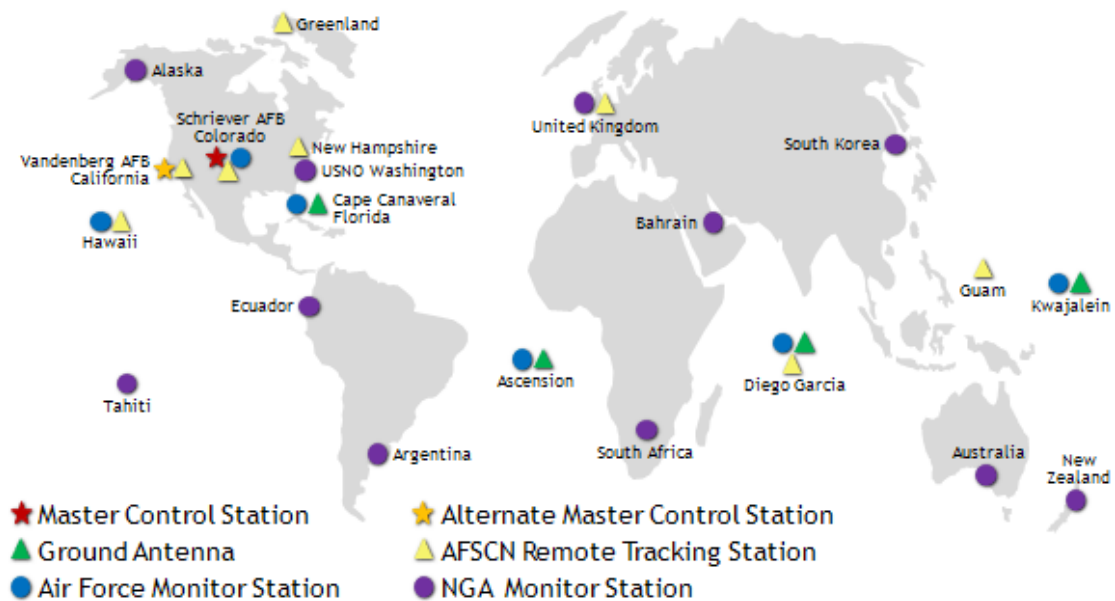


รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของคลื่นสัญญาณในดาวเทียมจีพีเอส (GPS) รุ่นต่างๆ
(https://ieeexplore.ieee.org/ieeepilot/articles/96jproc12/jproc-CHegarty-2006090/assets/img/article_1/fig_3/small.jpg)

2.2.1.2 ส่วนควบคุม (Control Segment)

ส่วนควบคุมในระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS) มีหน้าที่รับผิดชอบในการปฏิบัติงานของระบบทั้งหมด โดยหน้าที่หลักที่สำคัญ คือ คำนวณวงโคจรดาวเทียม และข้อมูลค่าแก้ไขนาฬิกาดาวเทียม โดยที่ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมจะเป็นค่าที่กักตุนแบบคาร์ทีเซียนจะอยู่บนพื้นหลักฐานอ้างอิง World Geodetic System (WGS84) และอ้างอิงกับเวลาจีพีเอส (GPS Time) ซึ่งใช้นาฬิกาอะตอมหลายเรือนที่ติดตั้งอยู่บนสถานีควบคุมหลักอยู่ที่เมือง Colorado Springs (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) โดยส่วนของการควบคุม(Control Segment) นั้นสามารถแบ่งออกได้ดังนี้(ดูรูปที่ 2.6 ประกอบ)สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station :MCS) จำนวน 1 สถานี

- สถานีควบคุมหลักสำรอง (Alternate Master Control Station) จำนวน 1 สถานี
- สถานีควบคุมการส่งสัญญาณ (Command and Control Antennas) จำนวน 12 สถานี
- สถานีติดตาม (Monitoring station: MS) จำนวน 16 สถานี



รูปที่ 2.6 ส่วนควบคุมของระบบดาวเทียม GPS (GPS Control Segment)

(<http://i.lb.ua/055/36/5374b1e086ce9.jpeg>)

- **สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station :MCS)** : ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศฟอลคอน (Falcon Air Force Base) ในเมืองโคโลราโดสปริงส์ (Colorado Springs) มลรัฐโคโลราโดของสหรัฐอเมริกา มีหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลวงโคจรดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้เวลา นาฬิกาดาวเทียมหรือข้อมูลอื่น ๆ และส่งข้อมูลนำหนหรือ Navigation messages เพื่อให้แน่ใจว่าดาวเทียมมีสภาพพร้อมในการใช้งานและมีค่าตำแหน่งของดาวเทียมที่ถูกต้อง
- **สถานีติดตาม (Monitoring station :MS)** : ตั้งกระจายอยู่รอบโลก ณ หมู่เกาะควาจาเลียน (Kwajalein Island) ประเทศฟิลิปปินส์ หมู่เกาะดิเอโกการ์เซีย (Diego Garcia Island) ในมหาสมุทรอินเดีย หมู่เกาะแอสเซนชัน (Ascension Island) ในมหาสมุทรแอตแลนติก และหมู่เกาะฮาวาย (Hawaii Island) ในมหาสมุทรแปซิฟิก สถานีติดตาม(Monitoring station :MS) มีหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลชั้นบรรยากาศ การรบกวน ระยะเวลา คลื่น และสัญญาณการนำหนของดาวเทียม โดยติดตามกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส เมื่อดาวเทียมโคจรผ่านสถานี

และส่งข้อมูลของดาวเทียมไปยังสถานีควบคุมหลัก (Master Control Station :MCS)

- **สถานีส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (Ground Antennas) :** มีหน้าที่ในการสื่อสารกับกลุ่มดาวเทียม จีพีเอส เพื่อส่งคำสั่งและทำการควบคุมจากสถานีควบคุมหลักไปยังกลุ่มดาวเทียมโดยมี 4 สถานีที่ตั้งอยู่ที่เดียวกันกับสถานีติดตามนั่นก็คือ หมู่เกาะควาจาเลียน (Kwajalein Island) ที่ประเทศฟิลิปปินส์ หมู่เกาะดิเอโกการ์เซีย (Diego Garcia Island) ในมหาสมุทรอินเดีย หมู่เกาะแอสเซนชัน (Ascension Island) ในมหาสมุทรแอตแลนติก และหมู่เกาะฮาวาย (Hawaii Island) ในมหาสมุทรแปซิฟิก และ Cape Canaveral

2.2.1.3 ส่วนผู้ใช้งาน (User Segment)

ประกอบด้วยผู้ใช้ในส่วนของพลเรือนและทหาร รวมถึงการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมซึ่งติดตั้งอยู่บนพื้นดิน บนยานพาหนะเช่น รถยนต์ เรือ หรือเครื่องบิน ซึ่งนอกจากจะหมายถึงผู้ใช้งานระบบ GPS รวมถึงฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งจะครอบคลุมไปถึงวิธีการคำนวณ และปรับแก้ข้อมูลต่างๆ รวมถึงเทคนิควิธีการต่างๆ ที่ช่วยให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของการรับสัญญาณที่ดีขึ้น และค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้น เพื่อให้บรรลุถึงความละเอียดถูกต้องสูงในงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ในแง่ของส่วนผู้ใช้งานความคืบหน้าคือพยายามที่จะลดขนาด และปริมาณของความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัด เช่น ความคลาดเคลื่อนในข้อมูลดาวเทียมหรือที่เรียกว่า Ephemeris และความคลาดเคลื่อนของเวลาทั้งในส่วนของนาฬิกาดาวเทียม และเครื่องรับสัญญาณ รวมถึงความคลาดเคลื่อนอันเนื่องจากการหักเหของคลื่นในชั้นบรรยากาศ เป็นต้น ให้มีค่าคลาดเคลื่อน โดยประโยชน์และการประยุกต์ใช้ระบบจีพีเอส มีมากมายเช่น การใช้ประโยชน์ด้านการคมนาคมขนส่งคือช่วยในการนำทาง การติดตามการเคลื่อนที่ของยานพาหนะรวมทั้งติดตามการเคลื่อนที่ของคน สัตว์ และสิ่งของ ครอบคลุมถึงการบริหารจัดการคมนาคมขนส่ง ประโยชน์ด้านการสำรวจรังวัด ทำแผนที่รวมถึงการจัดสร้างฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์และสนับสนุนการให้บริการข้อมูลข่าวสารเชิงตำแหน่งหรือ Location Based Service โดยช่วยในการปรับปรุงแก้ไขความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม รวมไปถึงประโยชน์ในด้านการเกษตรคือช่วยในการควบคุมเครื่องจักรกลในภาคเกษตรกรรม

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) หรือประเทศรัสเซียในปัจจุบันนั่นเอง โดยระบบดาวเทียม GLONASS เริ่มถูกพัฒนาขึ้นในช่วงปีทศวรรษ 1960-1970 เพื่อแข่งขันกับระบบดาวเทียม GPS และสำหรับใช้ในทางการทหาร โดยดาวเทียมกลุ่มแรกของระบบถูกปล่อยขึ้นสู่วงโคจรเมื่อ มกราคม ค.ศ. 1984 และในปี ค.ศ. 1996 โดยได้มีการวางแผนให้มีจำนวนดาวเทียมในวงโคจรทั้งหมด 24 ดวง แต่แล้วจำนวนของดาวเทียมที่สามารถใช้งานได้ก็ถูกลดจำนวนลง เนื่องจากสาเหตุเศรษฐกิจที่ทางรัสเซียได้ประสบปัญหาอยู่ในช่วงที่มีการพัฒนาระบบดาวเทียม GLONASS ทำให้ขาดแคลนเงินทุนสนับสนุนทำที่สุดในปี ค.ศ. 2001 จึงทำให้ไม่สามารถส่งดาวเทียมขึ้นไปในวงโคจรได้ตามแผนที่เคยวางไว้ ทำให้เหลือดาวเทียมที่สามารถใช้งานได้ 6-8 ดวงเท่านั้น (Rizos 2010) และในปัจจุบันระบบดาวเทียม GLONASS มีจำนวนดาวเทียมทั้งหมด 28 ดวงในวงโคจร ประกอบไปด้วยดาวเทียมดวงที่พร้อมใช้งาน 24 ดวง, ดาวเทียมดวงที่อยู่ในช่วงของการทดสอบ 2 ดวง และดาวเทียมดวงที่อยู่ในช่วงของการทดลองโคจรอีก 2 ดวง โดยเป็นข้อมูล ณ วันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015 ซึ่งระบบดาวเทียม GLONASS ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนหลัก ๆ คล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS คือ ส่วนอวกาศ (Space Segment) ส่วนควบคุม (Control Segment) และส่วนผู้ใช้ (User Segment) โดยในแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กัน

2.2.2.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment)

ในปัจจุบันมีดาวเทียม GLONASS อยู่ในวงโคจรทั้งหมด 28 ดวงในวงโคจร ประกอบไปด้วยดาวเทียมดวงที่พร้อมใช้งาน 24 ดวง, ดาวเทียมดวงที่อยู่ในช่วงของการทดสอบ 2 ดวง และดาวเทียมดวงที่อยู่ในช่วงของการทดลองโคจรอีก 2 ดวง โดยเป็นข้อมูล ณ วันที่ 1 เมษายน ค.ศ. 2015 ซึ่งโคจรอยู่ในระนาบวงโคจร 3 ระนาบ แต่ละระนาบมีดาวเทียมทั้งหมด 8 ดวง โดยทุกระนาบทำมุมกับระนาบศูนย์สูตรประมาณ 64.8 องศา และมีมุมระหว่างกันประมาณ 120 องศา โดยที่มีวงโคจรเหนือพื้นโลกประมาณ 19,100 กิโลเมตร วงโคจรนี้อยู่ต่ำกว่าวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส (GPS) ประมาณ 1,100 กิโลเมตร และมีคาบการโคจรประมาณ 11 ชั่วโมง 15 นาที รูปที่ 2.7 ประกอบ



รูปที่ 2.7 ส่วนอวกาศของระบบดาวเทียม GLONASS (GLONASS Space Segment)

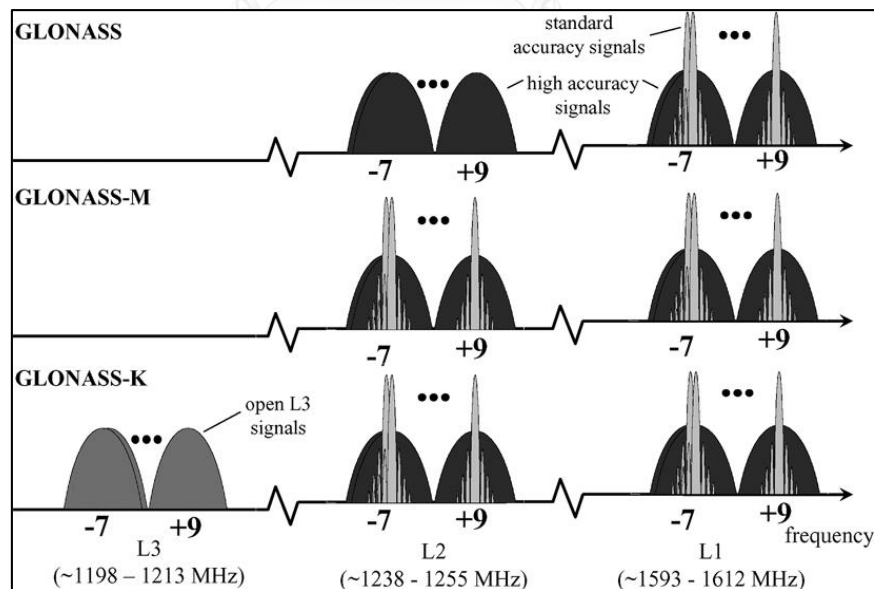
(<http://www.navipedia.net/images/5/5d/GlonassConstellation.JPG>)

วิวัฒนาการของดาวเทียม GLONASS เริ่มจากการสร้างกลุ่มดาวเทียมรุ่นต้นแบบหรือPrototypes ขึ้นทั้งหมดจำนวน 18 ดวงโดยดาวเทียมกลุ่มแรกของดาวเทียม GLONASS ถูกเรียกว่า Block I หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาและสร้างดาวเทียม GLONASS-M ซึ่งเป็นระบบดาวเทียม GLONASS ที่สองที่ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศดวงแรกในปี ค.ศ. 2003. หลังจากนั้นได้มีการสร้างดาวเทียม GLONASS-K ซึ่งถือเป็นกลุ่มดาวเทียม GLONASS รุ่นที่สามตามมา

คลื่นสัญญาณดาวเทียม (Signal Satellites)

คลื่นสัญญาณดาวเทียม (Satellite Signals) ของทั้งดาวเทียม GPS และ GLONASS มีโครงสร้างของคลื่นสัญญาณวิทยุที่ใกล้เคียงกันโดยดาวเทียมจะมีการแพร่สัญญาณด้วยคลื่นสัญญาณวิทยุที่มีสองความถี่เช่นเดียวกับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส(GPS) คือคลื่นสัญญาณ L1 และคลื่นสัญญาณ L2 นั้นเอง โดยคลื่นสัญญาณวิทยุเหล่านี้จะถูกกล้ำสัญญาณหรือModulation ด้วยรหัส C/A-Code และ P-Code และข้อมูลดาวเทียม โดยที่ความถี่คลื่นสัญญาณ L1 ถูกกล้ำสัญญาณหรือModulation ด้วยรหัส C/A-Code และ P-Code แต่คลื่นสัญญาณความถี่ L2 นั้นจะถูกกล้ำสัญญาณหรือModulation ด้วยรหัส P-Code เพียงอย่างเดียว (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) จากการออกแบบ พัฒนาและปรับปรุงดาวเทียม GLONASS-M ทำให้คลื่นสัญญาณดาวเทียม GLONASS ในคลื่นสัญญาณความถี่ L2 สามารถกล้ำสัญญาณหรือModulation ได้ทั้งรหัส C/A-Code และรหัส P-Code ได้ และดาวเทียม GLONASS-K ได้มีการเพิ่มคลื่นสัญญาณใหม่ คือคลื่นสัญญาณ L3 ที่มี

ความถี่เท่ากับ 1,204.704 เมกะเฮิร์ตซ ทำให้สามารถใช้งานได้ทั้งระบบ FDMA และ CDMA ถือเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการทำงานร่วมกันกับดาวเทียมระบบอื่นให้ดียิ่งขึ้น (Rizos 2010) และใน ส่วนของการคัดแยกคลื่นสัญญาณของดาวเทียม GLONASS นั้น ดาวเทียม GLONASS ทั้งหมด จะทำการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณวิทยุที่หลายความถี่ตาม จำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่มีโดยมีรหัส C/A-Code และรหัส P-Code ที่เหมือนกันทุกดวง และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GLONASS จะทำการคัดแยกคลื่นสัญญาณวิทยุที่เข้ามา ทั้งหมด จากความถี่ที่แตกต่างกันของแต่ละช่องสัญญาณ โดยที่จำนวนช่องสัญญาณความถี่ ในปัจจุบันมีทั้งหมด 24 ช่องสัญญาณเราจะเรียกขั้นตอนการคัดแยกนี้ว่า FDMA หรือ Frequency Division Multiple Access โดยการคัดแยกคลื่นสัญญาณของดาวเทียม GLONASS มีแตกต่างจากการคัดแยกคลื่นสัญญาณของดาวเทียม GPS ตรงที่การคัดแยก คลื่นสัญญาณของดาวเทียม GPS นั้นดาวเทียมทุกดวงจะทำการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณ วิทยุที่ความถี่เดียว แต่ประกอบไปด้วยรหัส C/A-Code และ P-Code ที่แตกต่างกันออกไป ในดาวเทียมแต่ละดวง จะพบว่าเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS จะทำการคัดแยก คลื่นสัญญาณที่เข้ามาทั้งหมด เพื่อแยกข้อมูลของดาวเทียมแต่ละดวง จากการตรวจหารหัสที่ ถูกกล้ำสัญญาณหรือ Modulation เทียบกับรหัสที่อยู่ในเครื่องรับ เราเรียกขั้นตอนการคัด แยกนี้ว่า CDMA หรือ Code Division Multiple Access

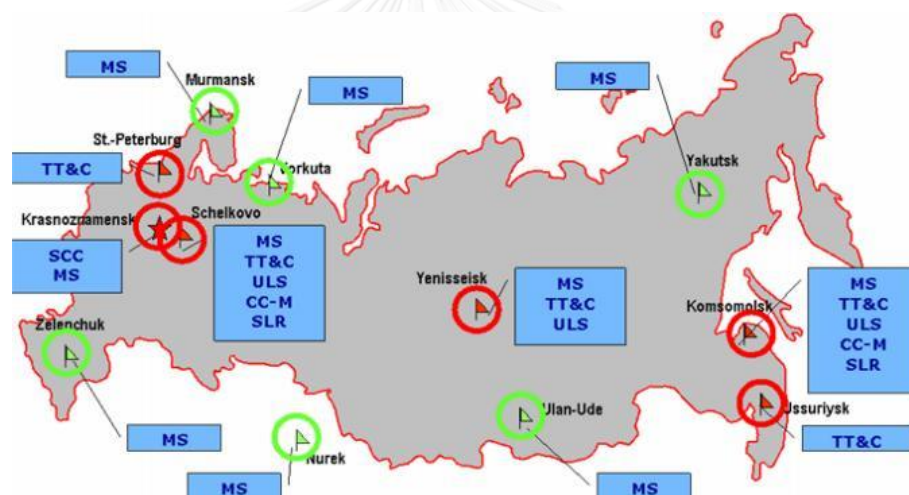


รูปที่ 2.8 วิวัฒนาการของคลื่นสัญญาณดาวเทียมโกลนาส (GLONASS)

(https://ieeexplore.ieee.org/ieeepilot/articles/96jproc12/jproc-CHegarty-2006090/assets/img/article_1/fig_5/large.jpg)

2.2.2.2 ส่วนควบคุม (Control Segment)

ส่วนควบคุมของระบบดาวเทียม GLONASS หน้าที่หลักที่สำคัญของส่วนควบคุม (Control Segment) ในระบบดาวเทียม GLONASS นั้นมีความคล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS นั่นก็คือ การคำนวณวงโคจรดาวเทียมและข้อมูลค่าแก้ไขนาฬิกาดาวเทียม ส่วนควบคุม (Control Segment) ในระบบดาวเทียม GLONASS ประกอบด้วยศูนย์ควบคุมระบบ หรือ System Control Centre จำนวน 1 สถานีตั้งอยู่ที่เมือง Krasnoznamensk ทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลทั้งหมด ในลักษณะเช่นเดียวกันกับสถานีควบคุมหลักของดาวเทียมในระบบ GPS ศูนย์ควบคุมระบบถูกเชื่อมต่อกับโครงข่ายสถานีติดตามและสถานีอัปโหลด ที่ตั้งกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศรัสเซีย ซึ่งมีหน้าที่ในการติดตามสถานะของดาวเทียมแต่ละดวงในวงโคจรรวมถึงการส่งข้อมูลค่าแก้ต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากศูนย์ควบคุมไปยังดูรูปที่ 2.9 ประกอบ



รูปที่ 2.9 ส่วนควบคุมของระบบดาวเทียม GLONASS หรือ GLONASS Ground Segment

(http://www.navipedia.net/index.php/GLONASS_Ground_Segment)

2.2.2.3 ส่วนของผู้ใช้งาน (User Segment)

ในส่วนของผู้ใช้สามารถแบ่งกลุ่มออกเป็นผู้ใช้ฝ่ายทหาร และผู้ใช้ฝ่ายพลเรือน เช่นเดียวกับระบบดาวเทียมจีพีเอส จากการพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว และเพื่อตอบสนองความต้องการในปัจจุบัน โดยระบบดาวเทียม GLONASS ถือเป็นระบบดาวเทียมที่มีผู้ใช้งานเลือกใช้รองมาจากระบบดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งกลุ่มผู้ใช้ฝ่ายพลเรือนซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มผู้ใช้งานที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากมีกลุ่มของผู้ใช้ที่หลากหลาย การพัฒนาเพื่อให้ผู้ใช้งาน

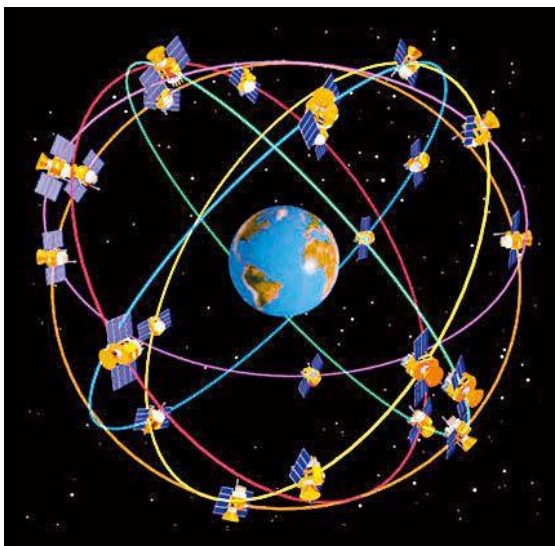
โดยทั่วไปสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลทางตำแหน่งได้นั้นเป็นเหตุให้หลายบริษัทได้ทำการผลิตเครื่องรับสัญญาณให้มีขนาดเล็กลงและมีราคาที่ถูกลงกว่าในอดีต (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) และเพิ่มขีดความสามารถของเครื่องรับสัญญาณให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับรองรับการใช้งานร่วมกันกับระบบดาวเทียมอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับพัฒนาเพื่อการประยุกต์ใช้ระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกันระหว่าง ระบบดาวเทียมGPS และ ระบบดาวเทียม GLONASS เพื่อการปรับปรุงความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องทางตำแหน่ง ให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังเพิ่มความหลากหลายของพื้นที่ในการใช้งานให้มากขึ้นด้วย การประยุกต์ใช้งานในส่วนของผู้ใช้งาน (User Segment) ในปัจจุบันนั้นได้มีการพัฒนาในส่วนการนำประโยชน์จากระบบดาวเทียม GLONASS มาใช้งานร่วมกับเทคโนโลยี GNSS เช่นการใช้งานในโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน ตลอดจนระบบติดตามยานพาหนะ เช่นรถยนต์ เรือ และเครื่องบิน เป็นต้น

2.2.3 ระบบดาวเทียม BeiDou/Compass

ระบบดาวเทียม Compass เป็นระบบดาวเทียมแบบนำหนระบบที่ 2 ซึ่งวางแผนและพัฒนาขึ้นโดยสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยในช่วงแรกเปิดให้บริการครอบคลุมเฉพาะประเทศจีนและประเทศใกล้เคียงเท่านั้น แต่มีเป้าหมายในระยะยาวที่จะทำพื้นที่การให้บริการครอบคลุมทั่วทั้งโลก เหมือนกับระบบดาวเทียม GPS และ GLONASSและคาดว่าในปี ค.ศ. 2020 จะสามารถให้บริการได้สมบูรณ์และเต็มระบบครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่ว ซึ่งระบบดาวเทียม Compass มีการเปิดให้บริการไว้ 2 ระดับ คือ การให้บริการสำหรับพลเรือนแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย โดยมีค่าความถูกต้องอยู่ในระดับ 10 เมตร และการให้บริการสำหรับผู้ที่เป็นเจ้าหน้าที่ของรัฐและในทางการทหารเท่านั้นโดยจะให้ค่าความถูกต้องที่สูง

โดยมีการส่งดาวเทียมดวงแรกขึ้นสู่อวกาศในวันที่ 30 ตุลาคม ค.ศ. 2000 คือดาวเทียม BeiDou-1A จากนั้นดาวเทียมดวงที่สองก็ถูกปล่อยสู่อวกาศตามมาในวันที่ 20 ธันวาคม ค.ศ. 2000 โดยดาวเทียมดวงที่สองนี้มีชื่อว่า BeiDou-1B และในวันที่ 25 พฤษภาคม ค.ศ. 2003 ได้มีการส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศอีกครั้งซึ่งดาวเทียมดวงที่สามนี้เป็นดาวเทียมสำรองที่มีชื่อว่า ดาวเทียม BeiDou-1C ในขณะที่การให้บริการดาวเทียมที่มากขึ้นและมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในภูมิภาคเอเชีย ดาวเทียม Compass ถูกพัฒนา ผลิต และเปิดตัวโดย China Aerospace Science and Technology Corporation (CASTC) โดยดาวเทียมสองดวงแรกของระบบดาวเทียม Compass ได้ถูกส่งขึ้นไปในวงโคจรตั้งแต่วันที่ 14 และ 15 เมษายน ในปีค.ศ. 2009 ตามลำดับ ซึ่งดาวเทียมดวงแรกในระบบ Compass คือ Compass-M1 และดาวเทียมในระบบ Compass ดวงที่สองคือ Compass-G2

ในอนาคตเมื่อระบบครบสมบูรณ์ครอบคลุมทั่วทั้งโลกแล้ว จะมีจำนวนดาวเทียมในระบบ Compass อยู่ในวงโคจรประมาณ 35 ดวง ซึ่งประกอบด้วยดาวเทียม MEO 27ดวง , ดาวเทียม IGSO 3 ดวงและ ดาวเทียม GEO 5 ดวง ณ ตำแหน่งที่ $58.75^{\circ} E$, $80^{\circ} E$, $110.5^{\circ} E$, $140^{\circ} E$ และ $160^{\circ} E$ ตามลำดับ (Chen, Huang et al. 2009)



รูปที่ 2.10 วงโคจรดาวเทียมในระบบ Compass (ดาวเทียม MEO 27ดวง, ดาวเทียม IGSO 3 ดวง และ ดาวเทียม GEO 5 ดวง)

(<http://www.23yy.com/upload/2015/03/14/3d72bd22-ce5b-441b-b77a-80470226257f.jpg>)

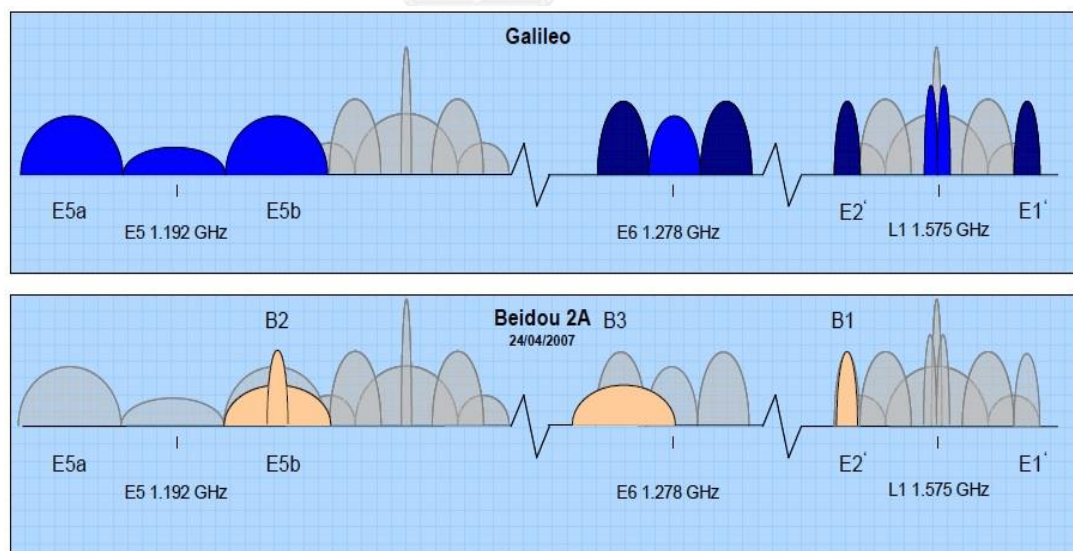
2.2.3.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment)

ในอนาคตเมื่อระบบดาวเทียม Compass ครบสมบูรณ์ครอบคลุมทั่วทั้งโลกแล้ว จะมีจำนวนดาวเทียมในระบบ Compass อยู่ในวงโคจรประมาณ 35 ดวง ซึ่งประกอบด้วยดาวเทียม MEO (Medium Earth Orbit) 27ดวง (24+สำรอง3ดวง) โคจรอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 21,528 กิโลเมตร , ดาวเทียม IGSO (Inclined Geosynchronous Orbit) 3 จำนวนดวง โคจรในระดับความสูง 35,786 กิโลเมตร และ ดาวเทียม GEO (Geostationary orbit) หรือดาวเทียมค้างฟ้า จำนวน 5 ดวง โคจรอยู่ที่ระดับความสูง 35,786 กิโลเมตร ณ ตำแหน่งที่ $58.75^{\circ} E$, $80^{\circ} E$, $110.5^{\circ} E$, $140^{\circ} E$ และ $160^{\circ} E$ ตามลำดับ (Chen, Huang et al. 2009) โดยดาวเทียม MEO (Medium Earth Orbit) โคจรทำมุมเอียง 55° กับระนาบเส้นศูนย์สูตร มี 3 ระนาบวงโคจร (ระนาบละ 8 ดวง) โคจรรอบโลกใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง

53 นาที ในขณะที่ดาวเทียม GEO (Geostationary orbit) แต่ละดวงโคจรทำมุมที่แตกต่างกันคือ ณ ตำแหน่ง 58.75°E , 80°E , 110.5°E , 140°E และ 160°E ตามลำดับ(Chen, Huang et al. 2009) และดาวเทียม IGSO (Inclined Geosynchronous Orbit) มีระนาบวงโคจรจะทำมุมเอียง 55° กับระนาบเส้นศูนย์สูตรเป็นมุม และแต่ละระนาบจะทำมุม 120° คือ ณ ตำแหน่ง 98°E , 218°E และ 338°E

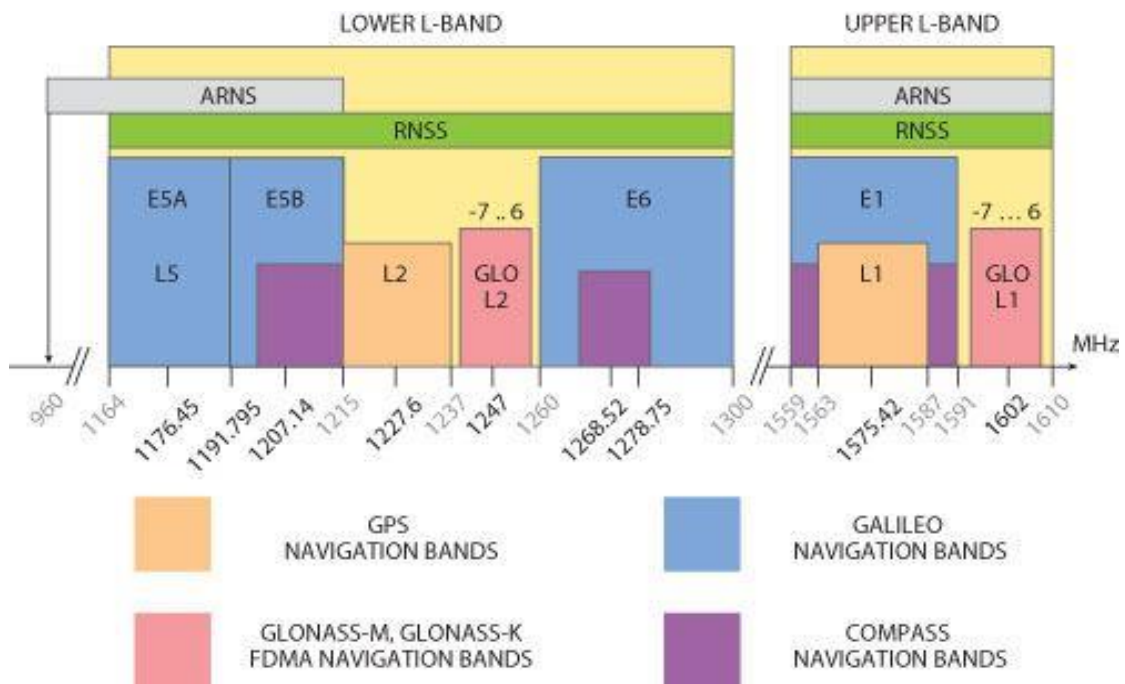
คลื่นสัญญาณดาวเทียม (Signal Satellites)

ย่านความถี่ของระบบดาวเทียม Compass ที่ได้ระบุเป็น B1, B2, และ B3 โดย B1 มีย่านความถี่เท่ากับ 1,559.052 – 1,591.788 MHz ส่วน B2 มีย่านความถี่เท่ากับ 1,166.22 – 1,217.37 MHz และ B3 มีย่านความถี่เท่ากับ 1,250.618 – 1,286.423 MHz ซึ่งย่านสัญญาณคลื่นความถี่ของระบบดาวเทียม Compass ของประเทศจีนที่ได้ระบุไว้ในปี ค.ศ. 2010 โดยฝ่ายบริหารระบบดาวเทียม GNSS แห่งชาติจีนถูกจัดอยู่ในย่านความถี่ E1, E2, E5B, และ E6 โดยทับซ้อนกับสัญญาณของดาวเทียม Galileo ที่ถูกพัฒนาโดยกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป แต่ปรากฏว่าดาวเทียม Compass ของประเทศจีนได้ใช้คลื่นความถี่ย่าน E1, E2, E5B และ E6 เป็นประเทศแรก



รูปที่ 2.11 คลื่นความถี่ของระบบดาวเทียม Compass เทียบกับระบบดาวเทียม Galileo

(http://www.researchgate.net/profile/Stefan_Wallner3/publication/266214837_Compass_Signal_Structure_and_First_Measurements/links/54b38b960cf28ebe92e2ea58.pdf)

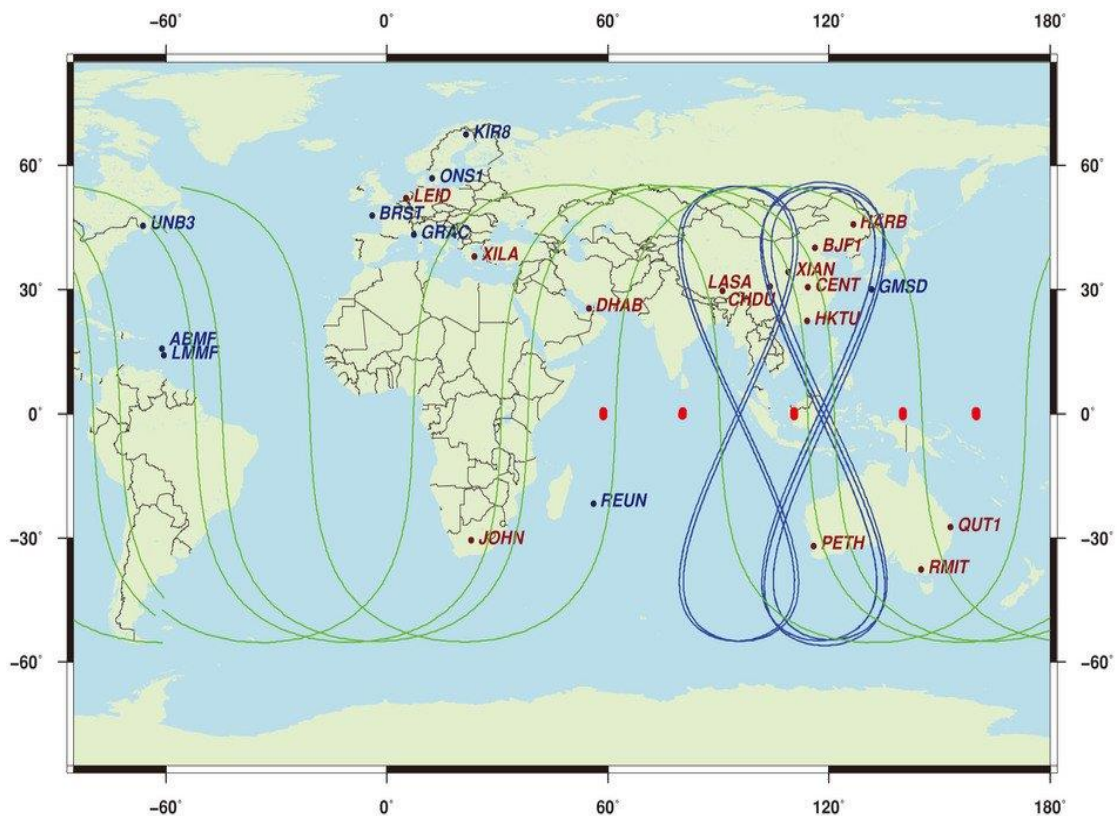


รูปที่ 2.12 คลื่นความถี่ของระบบดาวเทียม Compass เทียบกับระบบดาวเทียม Galileo และระบบดาวเทียม GLONASS

(<http://www.microwavejournal.com/ext/resources/images/Figures/2012/May/5M34-F1x500.jpg>)

2.2.3.2 ส่วนควบคุม (Control Segment)

โดยมีส่วนควบคุม (Control Segment) ของ Compass ประกอบด้วย สถานีควบคุมหลักหนึ่งสถานี สถานีอัปโหลดสองสถานี และสถานีตรวจสอบ 30 สถานี โดยหน้าที่ของสถานีควบคุมหลัก (Master Control Station) คือควบคุมและประมวลผลข้อมูลที่รับได้จากสถานีตรวจสอบเพื่อสร้างข้อมูลนำหนของดาวเทียมแต่ละดวง ส่วนหน้าที่ของสถานีอัปโหลดข้อมูล (Upload Station) คือการอัปโหลดการแก้ไขวงโคจรของดาวเทียมและข้อมูลนำหนของดาวเทียมไปยังกลุ่มดาวเทียม Compass และหน้าที่ของสถานีตรวจสอบ (Monitor Station) คือเก็บข้อมูลการโคจรของกลุ่มดาวเทียม Compass ที่ผ่านสถานีตรวจสอบทุกครั้ง โดยข้อมูลการติดตาม (tracking data) จะถูกเก็บรวบรวมโดยสถานีตรวจสอบ 5 สถานีใน สิงคโปร์, ซิดนีย์, เพิร์ธ (Perth), เนกะชิมะ (Tanegashima) และเซไน (Chennai) นอกจากนี้ยังมีข้อมูล multi-GNSS observations จากสถานีอ้างอิงในคาซัน (Kazan) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการ IGS MGEX (Chen, Huang et al. 2009) ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สถานีตรวจสอบและติดตามภาคพื้นดินของดาวเทียมCompass

(จุดสีแดงแทนดาวเทียมGEO, เส้นสีฟ้าแทนดาวเทียม IGSO และเส้นสีเขียวแทนดาวเทียม MEO)
 (http://www.nature.com/srep/2014/140415/srep04692/fig_tab/srep04692_F1.html)

2.2.3.3 ส่วนของผู้ใช้งาน (User Segment)

ในส่วนของผู้ใช้งาน (User Segment) ยังไม่เป็นที่สนใจของผู้ใช้งาน โดยทั่วไป เนื่องจากเป็นระบบดาวเทียมที่อยู่ในช่วงของการพัฒนา โดยในปัจจุบันผู้ที่สนใจใช้งานส่วนใหญ่เป็นกลุ่มนักวิจัยที่ศึกษาระบบดาวเทียม Compass เพื่อเป็นการประเมินประสิทธิภาพ รวมถึงการประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบดาวเทียมอื่นๆในระบบดาวเทียมนำหน GNSS

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบดาวเทียมแต่ละระบบในระบบดาวเทียมนำหน GNSS (GPS, GLONASS และ COMPASS/BeiDou)

	GPS	GLONASS	COMPASS/BeiDou
จำนวนดาวเทียมปัจจุบัน	32	24	14(5GEO, 5IGSO, 4MEO)
จำนวนดาวเทียมที่ ออกแบบไว้	32	24	35 (5 GEO, 3 IGSO, 27 MEO)
จำนวนระนาบโคจร	6	3	3 (MEO)
มุมเอียงของระนาบโคจร	55°	65°	55° (MEO & IGSO)
ความสูงวงโคจร (กิโลเมตร)	20,180	19,100	27,528 (MEO)
เวลาโคจร	11h 58m	11h 15m	12h 53m (MEO)
เวลาอ้างอิง	GPST UTC(USNO)	UTC(SU)	BDT UTC(NTSC)
ระบบพิกัด	WGS 84	PZ 90	CGCS 2000
Ephemerides	Kepler Elements and temporal variations	Geocentric Cartesian Coordinate and temporal variations	Kepler Elements and temporal variations
Ephemeris update	Every 2h	Every 2h	Every 30min
Message length	12.5 min	2.5 min	12 min (and 6 min)

2.3 วิธีการวัดด้วยดาวเทียมจากสมการค่าสังเกต (Observation Equation)

ค่าสังเกตที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งมี 2 ชนิดที่สำคัญ คือ ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)

ซูโดเรนจ์ คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณที่วัดจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ โดยหาได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งออกจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น ทำให้ทราบระยะเวลาที่คลื่นสัญญาณดาวเทียมเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ จากนั้นนำความเร็วของคลื่นส่งวิทยุคูณกับเวลา จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ นั่นก็คือ “ซูโดเรนจ์” แต่ซูโดเรนจ์ที่วัดได้นี้จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริง เนื่องจากรหัสสัญญาณที่ส่งจากดาวเทียมนั้นได้มาจากนาฬิกาของดาวเทียม ในขณะที่รหัสสัญญาณที่สร้างขึ้นในเครื่องรับสัญญาณ ได้มาจากนาฬิกาของเครื่องรับสัญญาณ โดยทำการเลื่อนรหัสทั้งสองไปมาจนกระทั่งได้รหัสที่ตรงกัน โดยค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสอง คือ ระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ ซูโดเรนจ์จึงมีความคลาดเคลื่อนของเวลาอันเนื่องมาจากความแตกต่างของนาฬิกาทั้งสอง ส่งผลให้ซูโดเรนจ์ที่วัดได้จึงมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริง นอกจากนี้ซูโดเรนจ์ยังมีคลาดเคลื่อนอื่นๆขึ้นอยู่กับค่าคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมและค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศที่คลื่นสัญญาณเดินทางผ่าน (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) การวัดซูโดเรนจ์หาได้จากสมการที่ 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)

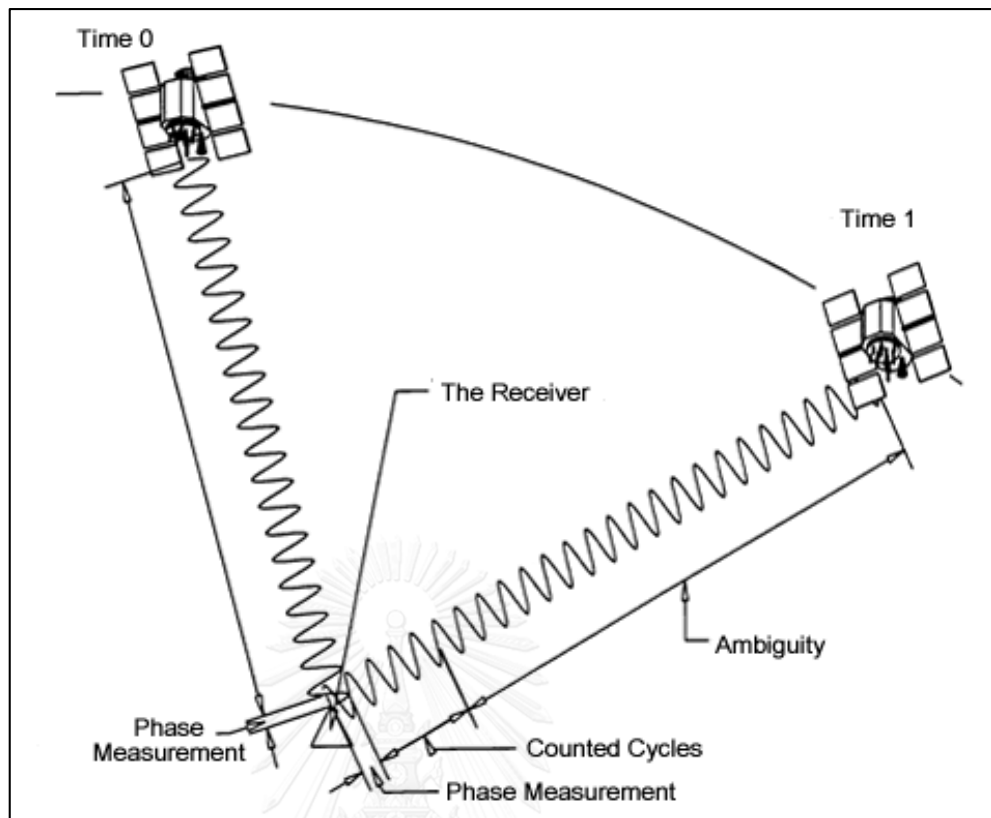
δt_s คือ ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

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)
\mathcal{E}	คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร)

2.3.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase)

โดยการวัดเฟสของคลื่นส่งนั้นใช้สำหรับงานรังวัดด้วยดาวเทียมที่ต้องการค่าความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร โดยการประมวลผลด้วยการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งนั้นคือการวัดเปรียบเทียบค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งสัญญาณลงมาเทียบกับเฟสของคลื่นส่งที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น โดยคลื่นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกคือ ส่วนของสัญญาณคลื่นที่เป็นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) ซึ่งจำนวนลูกคลื่นในส่วนที่เป็นจำนวนเต็มรอบของคลื่นสัญญาณส่งที่ถูกส่งลงมา เรียกว่า จำนวนลูกคลื่นปริศนา (Integer Cycle Ambiguity) หรือเลขปริศนา (Ambiguity) นั่นเอง อีกส่วนคือส่วนของสัญญาณคลื่นที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549) จากรูปที่ 2.14 ประกอบ การคำนวณหาจำนวนลูกคลื่นปริศนา (Integer Cycle Ambiguity) หรือเลขปริศนา (Ambiguity) สามารถคำนวณได้จากขบวนการหาค่าเลขปริศนา (Ambiguity Resolution: AR) ที่เป็นการคำนวณในภายหลังในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล โดยทั่วไปขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาแบ่งการประมาณค่าได้ 2 แบบ คือการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity-float solution) และการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity-fixed solution) ซึ่งการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity-fixed solution) เป็นที่ยอมรับกันว่าให้ความถูกต้องสูงกว่าการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity-float solution) และเป็นที่ยอมรับใช้ในซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ทั่วไป (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)



รูปที่ 2.14 หลักการวัดระยะเฟสของคลื่นส่ง

(<http://www.intechopen.com/source/html/39780/media/image5.png>)

จากรูป 2.14 แสดงถึงหลักการของการวัดระยะด้วยเฟสของคลื่นส่ง โดยคำนวณการวัดระยะด้วยเฟสของคลื่นส่งจากการนำค่าเลขปริศนา (Ambiguity) ที่ได้คูณด้วยความยาวคลื่น จากนั้นนำมาบวกกับค่าที่ได้จากการวัดส่วนย่อยของลูกคลื่น (Phase Measurement) และจำนวนลูกคลื่นที่เครื่องรับสัญญาณรับได้ (Counted Cycles) ที่คูณด้วยความยาวคลื่นแล้วเข้าไปแล้วจะได้ระยะทางรวมระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมกับดาวเทียม โดยทั้งนี้ส่วนที่มีความสำคัญมากก็คือ ขบวนการ Ambiguity Resolution: AR ซึ่งจะต้องประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบ ผลจากการคำนวณนี้ทำให้ได้ระยะทางที่มีความละเอียดถูกต้อง ส่งผลให้สามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งเครื่องรับที่มีความถูกต้อง 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)

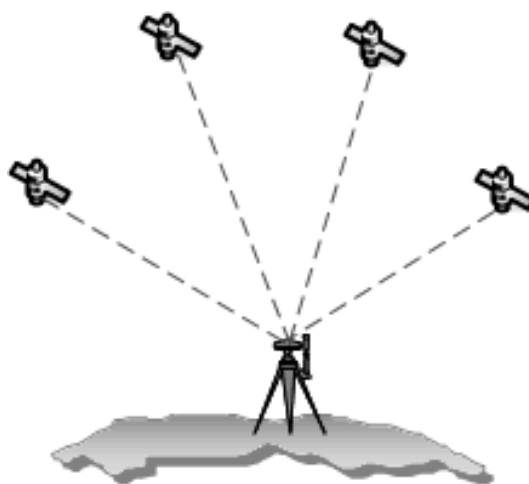
λ คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)

N_r^s คือ ค่าเลขปริศนาของคลื่นส่ง หรือ Ambiguity (หน่วยนับ)

2.4 เทคนิคในการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสัมพัทธ์

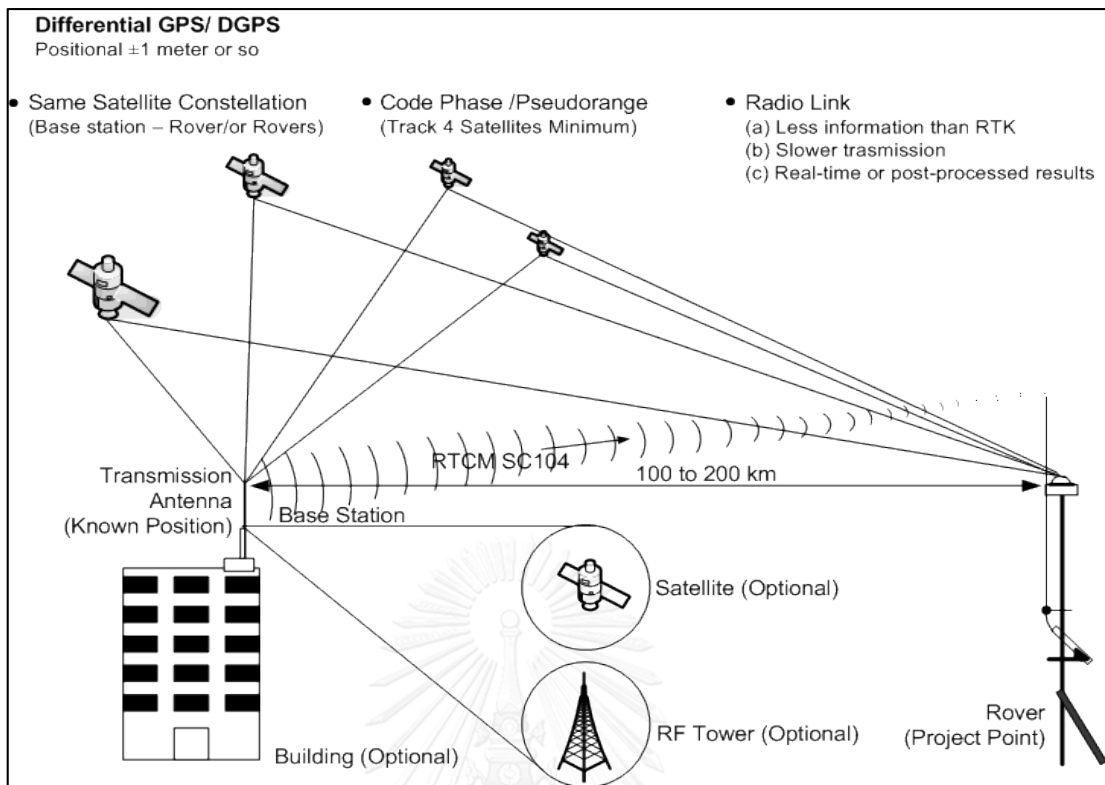
โดยทั่วไปสำหรับงานที่ต้องการค่าความถูกต้องตำแหน่งที่สูงจะใช้การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase-based differential positioning) โดยเทคนิคการวัดข้อมูลเฟสของคลื่นส่งเป็นการเปรียบเทียบค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา จึงเป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องสูง ในปัจจุบันการทำงาน

รังวัดเพื่อการหาพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียมกำลังเป็นที่นิยมและแพร่หลายมากขึ้น โดยการหาตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning) หรือการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning) ซึ่งเป็นการหาตำแหน่งของจุดเดียวโดยวิธีนี้ต้องการเครื่องรับแบบนำหนเพียงเครื่องเดียว ในการรังวัดจำนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปวางที่จุดที่ต้องการหาค่าตำแหน่ง หลังจากนั้นเมื่อเครื่องรับสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ครบ 4 ดวง จะแสดงค่าพิกัดตำแหน่งได้ในทันที ซึ่งค่าความถูกต้องของการหาตำแหน่งจุดเดียวโดยใช้รหัส C/A อยู่ในเกณฑ์ประมาณ +10 ถึง 25 เมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งค่อนข้างมาก และวิธีที่สองคือการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) ถือเป็นวิธีการหาตำแหน่งที่ยอมรับกันโดยทั่วไป และนิยมใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูงมากกว่าการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ โดยการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์หรือที่บางคนเรียกว่า Differential Positioning นี้จะเป็นการหาตำแหน่งเปรียบเทียบระหว่างสองจุด โดยใช้ตำแหน่งสัมบูรณ์อย่างน้อยหนึ่งจุดที่ทราบค่า คำนวณหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่น ๆ วัตถุประสงค์ของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์คือ ต้องการให้ได้ความถูกต้องของตำแหน่งเครื่องรับที่ดีขึ้นกว่าการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์มีหลักการทำงานที่สำคัญคือ 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 **รูปที่ 2.15** ประกอบ



รูปที่ 2.15 การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning)

(http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureB_12/images/1.gif)



รูปที่ 2.16 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

(http://nptel.ac.in/courses/105104100/lectureB_12/images/2b.gif)

เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์(Relative Positioning) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการรังวัดในสนาม โดยทั่วไปสำหรับงานที่ต้องการค่าความถูกต้องตำแหน่งที่สูงจะใช้การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase-based differential positioning) โดยเทคนิคการวัดข้อมูลเฟสของคลื่นส่งเป็นการเปรียบเทียบค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา จึงเป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องสูง ในปัจจุบันการทำงานรังวัดเพื่อการหาพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียมกำลังเป็นที่นิยมและแพร่หลายมากขึ้น เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ใช้กันในปัจจุบัน สามารถแบ่งได้ และมีรายละเอียดในแต่ละวิธีดังนี้

2.4.1 การรังวัดแบบสถิต (Static)

วิธีการรังวัดแบบสถิตเป็นวิธีพื้นฐานของการวัดระยะโดยใช้คลื่นส่ง วิธีนี้มีหลักการทำงาน คือ ใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อยสองเครื่อง โดยเครื่องรับสัญญาณเครื่องแรกจะถูกวางไว้ ณ ตำแหน่งหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วหรือที่เรียกว่าสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่เหลือจะถูกนำไปวางรับสัญญาณ ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดหรือเรียกว่าสถานีผู้ใช้งาน ทั้งนี้เครื่องรับสัญญาณทั้งสองจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 4 ดวง และต้องตั้งอยู่กับที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้มีข้อมูลของการวัดระยะที่เพียงพอที่จะใช้ในการประมวลผลเพื่อหาจำนวนคลื่นเต็มรอบที่ไม่สามารถวัดได้ ซึ่งโดยหลักการพบว่าวิธีการหาตำแหน่งนี้ใช้การหาตำแหน่งสัมพันธ์ของจุดสองจุดที่อยู่ห่างกันเป็นระยะทางยาวได้แต่การใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์หรือซอฟต์แวร์ของโรงงานผลิตเครื่องรับสัญญาณนั้น กำหนดระยะทางสูงสุดที่ให้ความถูกต้องได้ตามข้อกำหนดของเครื่องรับสัญญาณที่ระยะทางประมาณ 20-30 กิโลเมตร เท่านั้น ค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากวิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้อง ตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร ถึง 2.5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 20 กิโลเมตร) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)



รูปที่ 2.17 การรังวัดแบบสถิต

2.4.2 การรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว (Rapid Static)

วิธีการรังวัดแบบสถิตอย่างเร็วนี้มีหลักการทำงานเหมือนกับวิธีการรังวัดแบบสถิตทุกประการ คือ ใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อยสองเครื่อง โดยเครื่องรับสัญญาณเครื่องแรกจะถูกวางไว้ ณ ตำแหน่งหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วหรือที่เรียกว่าสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่เหลือจะถูกนำไปวางรับสัญญาณ ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดหรือเรียกว่าสถานีผู้ใช้งาน ทั้งนี้เครื่องรับสัญญาณทั้งสองจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 4 ดวง แต่แตกต่างกันจากวิธีการรังวัดแบบสถิตตรงที่ต้องการข้อมูลน้อยกว่าทำให้ใช้ระยะเวลาในการรับสัญญาณจะสั้นลงเหลือประมาณ 10-20 นาที โดยวิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องสำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตรอยู่ระหว่าง 1-3 เซนติเมตร (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

2.4.3 การรังวัดแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic: RTK)

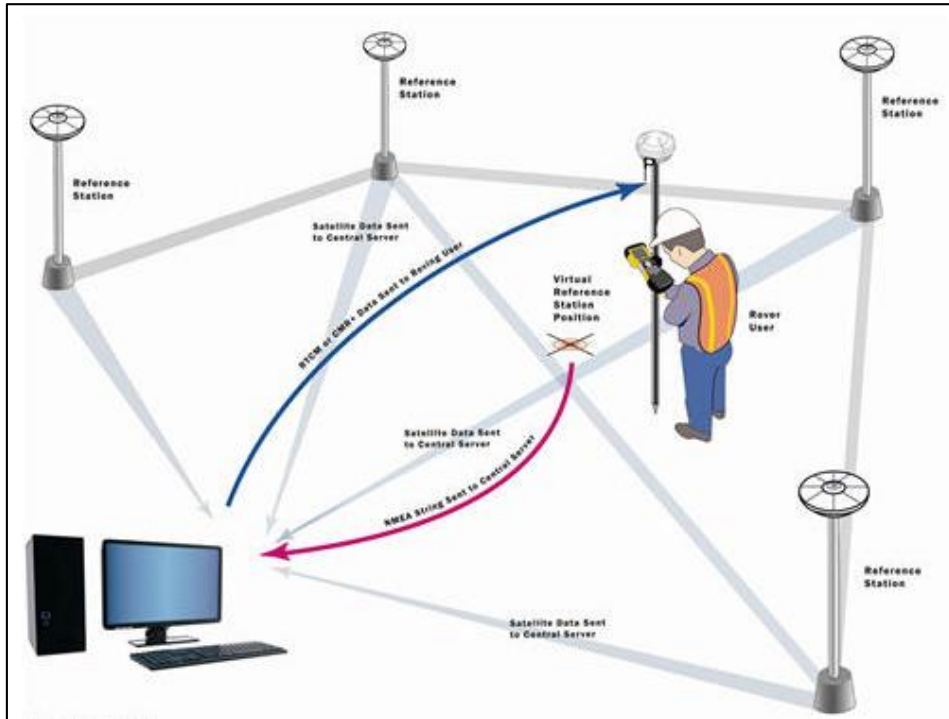
วิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic) หรือมักถูกเรียกย่อว่า RTK นั้น มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการรังวัดค่อนข้างเร็ว สามารถประมวลผลข้อมูลในขณะที่กำลังรับสัญญาณได้พร้อมกันส่งผลทำให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งในทันที แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่อง ความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดที่ได้โดยจะลดลงเมื่อระยะเส้นฐานระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น (ธีรทัต เจริญกาลัญญา และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2552) วิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลนในทันที มีหลักการรังวัดที่ความคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบสถิตนั่นก็คือ ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อยสองเครื่อง โดยเครื่องหนึ่งถูกวางไว้บนตำแหน่งหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วหรือที่เรียกว่าสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่เหลือจะถูกนำไปวางรับสัญญาณ ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดหรือเรียกว่าสถานีผู้ใช้งาน แต่แตกต่างจากวิธีการรังวัดแบบสถิตคือในกรณีของการหาตำแหน่งแบบจลนในทันทีนี้สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่สองได้ ในกรณีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารระหว่างเครื่องรับสัญญาณทั้งสอง ซึ่งอุปกรณ์สื่อสารนั้นอาจเป็นเครื่องรับและส่งคลื่นวิทยุ หรือโทรศัพท์มือถือ ตลอดจนอุปกรณ์ที่สามารถติดต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตได้ วิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลนในทันทีจะค่าพิกัดตำแหน่งได้ทันทีในสนามการหาค่าพิกัดตำแหน่งจุดต่าง ๆ ด้วยวิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลนในทันที เครื่องรับสัญญาณที่สถานีฐานและเครื่องรับสัญญาณที่สถานีผู้ใช้งานต้อง

รับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อยจำนวน 5 ดวง ที่สำคัญเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น สำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร วิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1-5 เซนติเมตร (เฉลิมชนม์ สติระพจน์ พ.ศ. 2549)

2.4.4 การรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK: NRTK)

วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK) หรือเรียกสั้นๆว่า NRTK มีข้อดีคือมีผลกระทบของความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่น้อยกว่าเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันทีแบบเดิมหรือRTK ซึ่งความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่จะถูกขจัดในขั้นตอนของการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่ง โดยวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน(NRTK)นี้ถูกพัฒนาออกมาเพื่อปรับปรุงและแก้ไขข้อจำกัดของเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที(RTK) ส่งผลให้วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน(NRTK) นั้นสามารถลดข้อจำกัดในเรื่องของความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดเมื่อมีระยะทางระหว่างสถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การหาค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎีนั้นมีประสิทธิภาพและทำให้ขบวนการประมวลค่าเลขปริศนาทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าโดยมีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที(RTK) ซึ่งเป็นผลจากการที่มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยลง ช่วยให้การหาตำแหน่งของสถานีผู้ใช้งานสามารถทำได้รวดเร็ว และมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นด้วยวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน(NRTK) นั้นมีองค์ประกอบของเทคนิคที่ประกอบด้วย สถานีฐานถาวร, ศูนย์ควบคุมกลาง และสถานีผู้ใช้งาน ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที(RTK) แต่การทำงานในสนามของวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน(NRTK) มีคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที(RTK) โดยหลักการทำงานของวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน(NRTK) จะเริ่มจากสถานีฐานถาวรที่มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัดคุณภาพสูงชนิดหลายความถี่ อย่างน้อย 3 สถานี ที่ติดตั้งในที่ตั้งที่ถาวรซึ่งสภาพพื้นที่โดยรอบไม่มีสิ่งกีดขวางและมีอินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับระบบตลอดเวลาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมส่วนกลางได้ในทันที เมื่อศูนย์ควบคุมส่วนกลางได้รับข้อมูลมาจากทุกสถานีฐานถาวรหลังจากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อคำนวณหาตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ เพื่อส่งให้สถานีผู้ใช้งานต่อไป เมื่อผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพิกัดสามารถทำได้โดยใช้เครื่องรับ

สัญญาณเพียงเครื่องเดียวไปวางตามตำแหน่งจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดที่อยู่ในพื้นที่ระบบเครือข่ายของสถานีฐานให้บริการ ดังรูปที่ 2.18ประกอบ



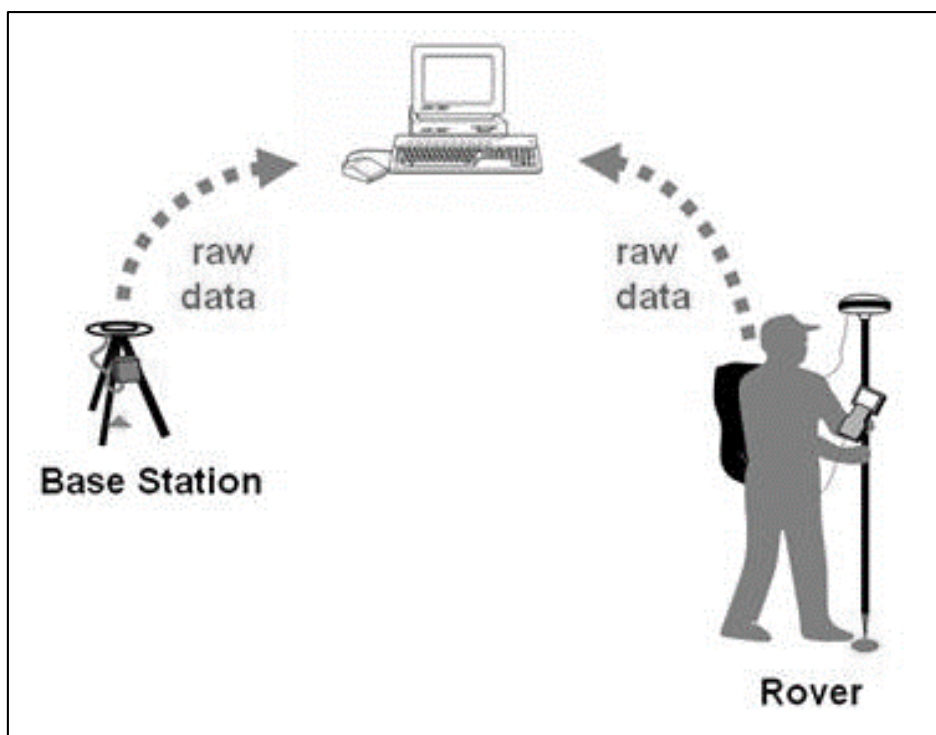
รูปที่ 2.18 เทคนิคการรังวัดแบบจลนินในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network-Based RTK: NRTK)

(http://water.usgs.gov/osw/gps/images/trimble_lg.jpg)

2.4.5 การรังวัดแบบจลนินโดยการประมวลผลในภายหลัง (Post Processing Kinematic: PPK)

วิธีการรังวัดแบบจลนินโดยการประมวลผลในภายหลัง(Post Processing Kinematic) หรือที่เรียกสั้นๆว่า PPK นี้มีความแตกต่างจากวิธีการรังวัดแบบจลนินในทันที(RTK) ตรงที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งาน และค่าพิกัดตำแหน่งไม่สามารถแสดงได้ในทันที ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการได้การทำงานในสนามคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบจลนินในทันที(RTK) เพื่อใช้รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งาน แต่วิธีการรังวัดแบบจลนินโดยการประมวลผลในภายหลังนั้นไม่สามารถแสดงค่าพิกัดตำแหน่ง ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการในทันทีได้โดยจะต้องรอจนกว่าจะทำการประมวลผลข้อมูลในภายหลังเสร็จก่อนจึงจะได้ค่าตำแหน่งจุดที่ต้องการ แต่วิธีการรังวัดแบบจลนินโดยการประมวลผลในภายหลังดีกว่าวิธีการรังวัดแบบจลนินในทันที(RTK) ตรงที่ได้ค่าพิกัด

ตำแหน่งที่ดีกว่าและวิธีการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลังเป็นที่ยอมรับว่ามีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าทั้งเทคนิค RTK และ NRTK ดูรูปที่ 2.19 ประกอบ



รูปที่ 2.19 เทคนิควิธีการรังวัดแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง

(http://www.geom4me.com/wp-content/uploads/2014/10/rtk_image2_e.jpg)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5 วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA)

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) เป็นวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยใช้หลักการคัดเลือกตามธรรมชาติโดยจากแบบจำลองวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตจาก “ทฤษฎีการวิวัฒนาการ” ของ Charles Darwin โดย John Holland และนักศึกษาจากมหาวิทยาลัยมิชิแกน สหรัฐอเมริกาได้ร่วมกันคิดค้นและพัฒนาวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) ขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2513-2517 โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการทางธรรมชาติของพันธุกรรมและนำกลไกการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โดยหลักการของวิธีการเชิงพันธุกรรมก็คือ สิ่งมีชีวิตทั้งหมดทุกชนิดนั้นมีลักษณะที่ดีและไม่ดี แต่การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมนั้นจะถ่ายทอดลักษณะที่ดีไปสู่ประชากรรุ่นถัดไป ทำให้

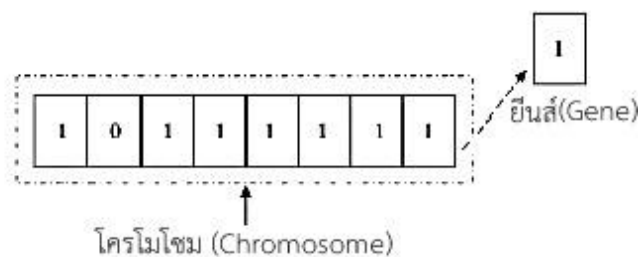
ได้สิ่งมีชีวิตรุ่นใหม่ที่มีลักษณะที่ดีขึ้นจากรุ่นพ่อแม่ ในส่วนของลักษณะที่ไม่ดีนั้นจะไม่ถูกนำมาพิจารณา

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) เป็นการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และซับซ้อนโดยอาศัยขั้นตอนวิธีของการค้นหาที่อยู่บนกลไกของกระบวนการเลือกสรรโดยธรรมชาติ เป็นขั้นตอนของการวนซ้ำ เพื่อพยายามค้นหาชุดคำตอบที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด

องค์ประกอบที่สำคัญวิธีการเชิงพันธุกรรมประกอบด้วย 5 ส่วนที่สำคัญดังนี้

2.5.1 การเข้ารหัส (Encoding)

การเข้ารหัส (Encoding) เป็นขั้นตอนการแปลงทางเลือกในการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ให้อยู่ในรูปแบบโครโมโซม โดยการเข้ารหัส (Encoding) สามารถเป็นได้หลายรูปแบบ ขึ้นกับความแตกต่างของปัญหาที่เราสนใจ (ดูรูปที่ 2.20 ประกอบ)



รูปที่ 2.20 โครโมโซม (Chromosome) และยีนส์ (Gene) ที่เป็นส่วนประกอบของโครโมโซม

ตัวอย่างการเข้ารหัสได้แก่

2.5.1.1 การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง หรือ Binary Encoding: เป็นรูปแบบการเข้ารหัสที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นรูปแบบโครโมโซมเริ่มแรกที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยในแต่ละตำแหน่งของยีนส์ของโครโมโซมหรือแต่ละบิตใน String จะถูกแทนด้วย 0 หรือ 1

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 2.21 การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง หรือ Binary Encoding

2.5.1.2 การเข้ารหัสแบบแทนค่า หรือ Value Encoding: เป็นรูปแบบการเข้ารหัสโดยที่ทุกตำแหน่งของยีนส์บนโครโมโซมจะถูกแทนด้วยค่าบางค่า ที่สามารถเชื่อมโยงไปยังปัญหาได้ อาจเป็นได้ทั้ง จำนวนจริง จำนวนเต็ม และตัวอักษร

ถือเป็นรูปแบบการเข้ารหัสที่ถูกใช้กับปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อน และมีความพิเศษบางอย่าง

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

รูปที่ 2.22 การเข้ารหัสแบบแทนค่า หรือ Value Encoding

2.5.2 ประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

เป็นการกระทำที่ต้องทำเป็นลำดับแรกก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการของขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม เป็นลักษณะที่เป็นต้นแบบหรือต้นกำเนิดในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยประชากรต้นกำเนิดเกิดจากการสุ่มเลือก(Random)จากกลุ่มประชากรทั้งหมดที่มีอยู่ โดยคำนึงถึงความหลากหลายของรูปแบบยีนส์ภายในโครโมโซมแต่ละตัว โดยขนาดของประชากรจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหานั้นๆ ถ้าขนาดของประชากรนั้นมีขนาดใหญ่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาชุดคำตอบที่เราต้องการได้ แต่การที่มีประชากรขนาดใหญ่นั้นก็ต้องการหน่วยความจำที่มากตามมาเช่นกัน และใช้เวลาในการค้นหาชุดคำตอบค่อนข้างนานด้วยเช่นกัน

2.5.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการบ่งชี้ค่าความเหมาะสมเพื่อใช้ประเมินว่าแต่ละทางเลือกนั้นมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการแก้ปัญหาได้ดีเพียงใด โดยให้ผลลัพธ์เป็นค่าตัวเลขที่บ่งบอกถึงความเหมาะสม หากค่าที่ได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่เราต้องการนั้นแสดงว่าคำตอบชุดนี้มีลักษณะที่ดีเหมาะสมที่จะใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์แม่พันธุ์ในการสร้างประชากรรุ่นถัดไป โดยวิธีการหาค่าความเหมาะสมนั้นจะใช้สมการที่สอดคล้องกับปัญหานั้นๆ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) แสดงได้ดังสมการที่ (2.3)

$$Fitness = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (2.3)$$

โดยที่

n = จำนวนพารามิเตอร์ความเหมาะสม (Number of Fitness Parameter)

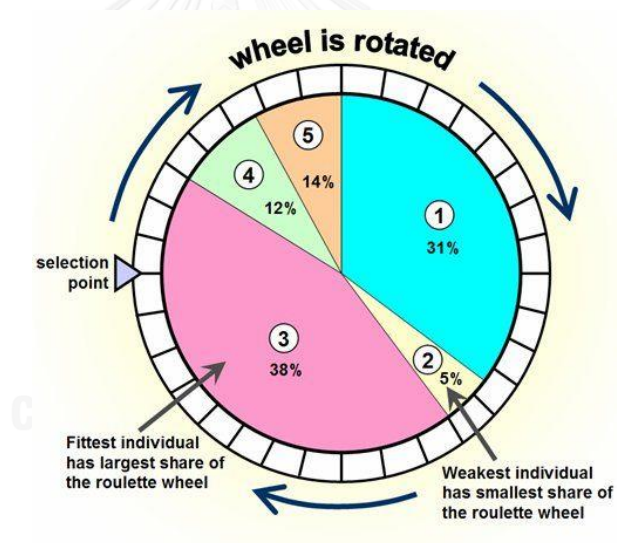
x = พารามิเตอร์ความเหมาะสม (Fitness Parameter)

w = น้ำหนักของพารามิเตอร์ความเหมาะสม (Weight of Fitness Parameter)

2.5.4 ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operators)

ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operators) เป็นการดำเนินงานเพื่อให้เกิดวิวัฒนาการที่ได้มาซึ่งคำตอบที่ดีขึ้น ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ดังนี้

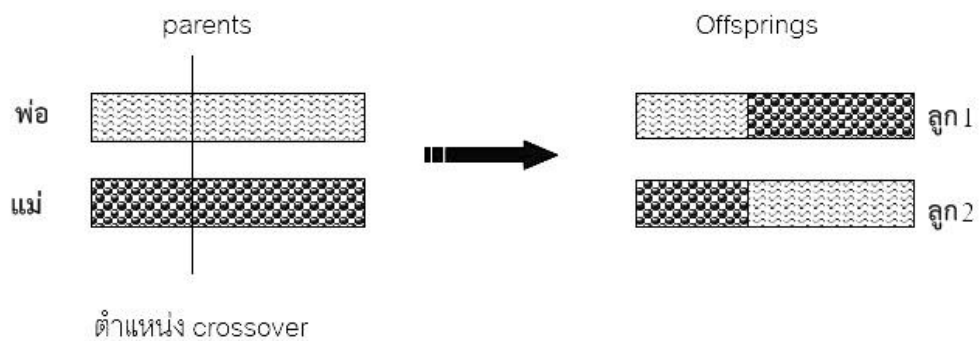
2.5.4.1 การคัดเลือก (Selection) : เป็นการคัดเลือกโครโมโซมคู่พ่อพันธุ์แม่พันธุ์ในการสืบสายพันธุ์หรือที่เรียกว่าParent ซึ่งวิธีการเชิงพันธุกรรมจะทำงานโดยสนับสนุนให้โครโมโซมที่มีความเหมาะสมมากกว่ามีโอกาสในการถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีความเหมาะสมน้อยกว่า เทคนิคการคัดเลือกที่นิยมใช้กันและง่ายที่สุดคือ การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต(Roulette Wheel Selection) ที่เป็นการคัดเลือกแบบให้ค่าน้ำหนักความเหมาะสมในแต่ละโครโมโซม ข้อควรระวังของการคัดเลือกคือต้องให้ทุกๆโครโมโซมมีโอกาสถูกเลือกไม่ว่าจะมีค่าความเหมาะสมมากน้อยเพียงใดก็ตาม



รูปที่ 2.23 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection)

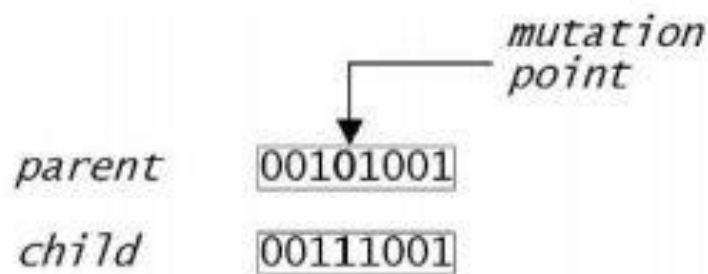
(<http://ribbons.com/onlinegames/img/72768-roulette-wheel-method-for-ga.jpg>)

2.5.4.2 การผสมพันธุ์ (Crossover) : เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ในการแก้ปัญหาที่เช่นกันการเกิด Crossover จะทำให้เกิดความหลากหลายของคำตอบที่ได้ทำให้เราสามารถเลือกคำตอบที่มีความเหมาะสมกับปัญหาที่เราต้องการแก้ได้มากที่สุด



รูปที่ 2.24 การผสมพันธุ์ (Crossover)

2.5.4.3 การกลายพันธุ์ (Mutation) : เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นหลังจากการ Crossover นั่นก็คือได้รุ่นลูกที่เกิดจากการผสมจากรุ่นพ่อแม่แล้ว จึงนำรุ่นลูกมาเข้าสู่กระบวนการกลายพันธุ์เป็นกระบวนการที่นำผลจากการ Crossover มาดำเนินการต่อเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งของยีนส์ที่ถูกกำหนดจากการสุ่มโดยเปลี่ยนค่าจากค่าเดิมเป็นค่าใหม่ ทำให้เกิดลักษณะใหม่ๆเกิดขึ้น และทำให้เกิดวิวัฒนาการขึ้นนั่นเอง สำหรับการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานั้น Mutation จะทำหน้าที่ในการป้องกันความผิดพลาดของวิธีการแก้ปัญหานั้นทั้งหมด โดยจะเข้าไปดำเนินการเฉพาะปัญหาที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหานั้นๆ



รูปที่ 2.25 การกลายพันธุ์ (Mutation) (Bräunl 2008)

2.6 พารามิเตอร์ (Parameters)

พารามิเตอร์ (Parameters) พื้นฐานที่สำคัญของขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม ประกอบด้วย 3 ตัว คือ

2.6.1 ความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover หรือ Crossover

Probability : มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 จากการทดลองพบว่า โดยทั่วไปค่าความเหมาะสมของความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover ส่วนใหญ่อยู่ที่ 60%-95% โดยทั่วไปจะกำหนดค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover ในช่วง 0.00 - 1.0 (Bäck 1993)

2.6.2 ความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation หรือ Mutation

Probability : มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 จากการทดลองพบว่า โดยทั่วไปค่าความเหมาะสมของความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation ส่วนใหญ่อยู่ประมาณ $1/l$ (l คือ ความยาวของ โครโมโซมหรือบิตสตริง กำหนดค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation ในช่วง 0.005-0.01 (Bäck 1993)

2.6.3 จำนวนของประชากรในแต่ละรุ่น หรือ Population Size :

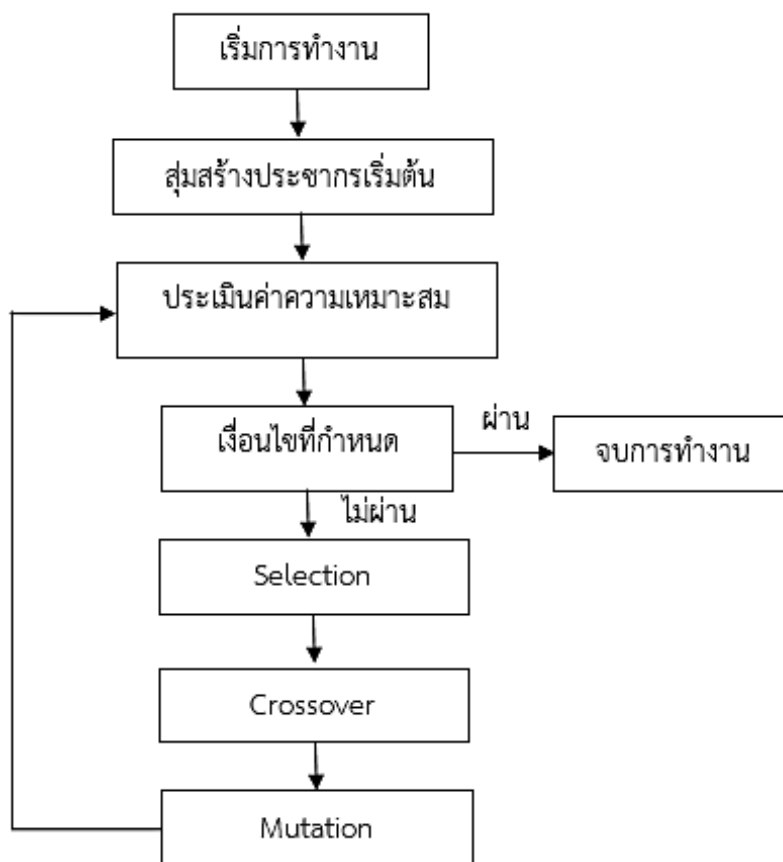
จำนวนของประชากรในแต่ละรุ่นถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาในการประมวลผลที่มากและส่งผลให้การทำงานช้าลง

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 2.26 ตัวอย่างจำนวนของประชากรในแต่ละรุ่น หรือ Population Size

2.7 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA)

ขั้นตอนพื้นฐานของ GA สามารถสรุปได้ดังนี้ โดยเริ่มขั้นตอนแรกจากการสร้างประชากรเริ่มต้นหรือ Initial Population ที่มีความสอดคล้องกับปัญหาและเป็นชุดคำตอบที่เป็นไปได้ โดยการสร้างประชากรเริ่มต้นจะถูกเข้ารหัสที่เหมือนกับโครโมโซมโดยโครโมโซม (Chromosome) จะประกอบไปด้วยยีน (Gene) เมื่อได้ประชากรเริ่มต้นแล้วจึงทำการประเมินค่าความสามารถในการอยู่รอดและมีส่วนในการสร้างรุ่นถัดไปหรือเป็นการประเมินค่าความเหมาะสมหรือที่เรียกว่า Fitness Evaluation ของแต่ละโครโมโซมในประชากรที่ถูกสร้างขึ้น การประเมินค่าความเหมาะสมทำได้โดยการถอดรหัสของแต่ละโครโมโซมในประชากรจากนั้นประเมินด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) จากนั้นทำการตรวจสอบตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยทั่วไปเงื่อนไขจะถูกกำหนดเป็นตัวเลขของจำนวนรอบของการสร้างรุ่นถัดไป (Generation) ได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาตามเงื่อนไขแล้วพบว่าไม่ผ่านเงื่อนไขที่กำหนด จะทำการสร้างกลุ่มของประชากรขึ้นมาใหม่ โดยการสร้างประชากรใหม่นี้จะทำตามขั้นตอนและวนซ้ำตามขั้นตอนจนกว่าประชากรใหม่จะแล้วเสร็จ โดยมีขั้นตอนดังนี้คือเริ่มจากสุ่มคัดเลือกคู่ของโครโมโซมพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์หรือที่เรียกว่า “Selection” เป็นการคัดเลือกจากการสุ่มเลือกตามสัดส่วนของค่าความเหมาะสม คือเมื่อโครโมโซมที่มีค่าเหมาะสมที่มากก็ยังมีโอกาสที่จะถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีค่าเหมาะสมน้อยกว่านั่นเอง เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการคัดเลือกก็นำโครโมโซมพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ที่ได้มาทำการผสมพันธุ์กันหรือที่เรียกว่า “Crossover” เพื่อใช้สร้างโครโมโซมรุ่นลูก เมื่อได้โครโมโซมรุ่นลูกก็นำโครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จากขั้นตอนการ Crossover มาทำการปรับปรุงพันธุ์หรือ Mutation โดยวิธีการกลายพันธุ์ นำโครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จาก Mutation มาเก็บไว้ในกลุ่มประชากรใหม่ เมื่อทำตามขั้นตอนและวนซ้ำตามขั้นตอนจนได้ประชากรใหม่แล้วทำการแทนที่ประชากรปัจจุบันด้วยประชากรใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นจากนั้นเริ่มขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) ของแต่ละโครโมโซมในประชากรที่ถูกสร้างขึ้นใหม่อีกครั้ง เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสมแล้วจึงทำการตรวจสอบเงื่อนไขตามที่กำหนดซึ่งเมื่อผ่านเงื่อนไขที่กำหนดให้หยุด และจบการทำงาน แต่ถ้าตรวจสอบเงื่อนไขตามที่กำหนดแล้วยังไม่ผ่านเงื่อนไขที่กำหนดก็ทำการวนซ้ำจนกว่าจะผ่านเงื่อนไขที่กำหนด ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการเชิงพันธุกรรม(GA) (Srinuandee, Satirapod et al. 2012)

2.8 งานวิจัยที่ผ่านมา

2.8.1 การปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีด้วย

เทคนิคและวิธีการต่าง ๆ

Verhagen and Teunissen (2014) ได้ทำการประเมินผลการประสิทธิภาพของกระบวนการหาค่าเลขปริศนาด้วยระบบGPSและกลุ่มดาวเทียม Beidou ที่ขึ้นอยู่กับทางเลือกของระบบ (GPS, Beidou หรือGPS + Beidou) รั้งวัดแบบความถี่เดียว และสองความถี่ ผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าปัญหาการมองเห็นดาวเทียมต่ำ(bad satellite visibility)สามารถแก้ไขได้โดยการใช้กลุ่มดาวเทียมสองกลุ่ม และปัญหาสัญญาณรบกวน (noise) ที่มีค่าสูงจะมีผลกระทบขนาดใหญ่ต่อsingle GNSS แต่จะส่งผลกระทบเพียงเล็กน้อยเมื่อใช้GPSร่วมกับBeidou และการใช้งานดาวเทียมBuidou หากพื้นที่ที่สนใจอยู่ในภูมิภาคAsia-Pacific การใช้เพียงBeidou เพียงอย่างเดียวก็เพียงพอสำหรับการทำงานในงานเส้นฐานสั้น

Lu, Li et al. (2013) ได้ทำการศึกษาขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี(AR) เป็นขั้นตอนสำคัญในการตรวจสอบความสำเร็จในการหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง (carrier phase measurements) ของระบบนำหนผ่านดาวเทียมเช่น Beidou โดยงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี(AR) ให้ดีขึ้นในการใช้งานBeidou บนพื้นฐานแนวคิด“virtual baseline” โดย long-short baseline methodแบบใหม่ ที่เอาชนะข้อจำกัดของวิธีการแบบดั้งเดิมที่จำเป็นต้องใช้ เส้นฐานสั้นที่มีความยาวน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นของสัญญาณ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสำเร็จของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี(AR) ที่ถูกนำมาวิเคราะห์โดย virtual baseline length เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี(AR) การศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขได้ดำเนินการเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการนี้โดยกำหนด virtual short baseline = 0.09 m, length ratio = 11.11 และ noise level of non-differenced carrier phase measurements = 1% of a cycle โดยวิธีการนี้สามารถประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีสำหรับทุกข้อมูล 454epoch ความเที่ยงตรงของ heading และ pitch anglesคือ 0.0717° และ 0.0574° ตามลำดับ

Odolinski, Teunissen et al. (2013) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการรวมระบบ Beidou +GPS และระบบ Beidou ,GPSเพียงระบบเดียว(ระบบเดี่ยวๆที่ไม่มีการรวมกัน) การเปรียบเทียบจะเกี่ยวข้องกับอัตราการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็ม การวัดความละเอียดถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการประมาณค่าพารามิเตอร์ GNSS โดยทำการเปรียบเทียบ single-frequency , multiple-frequencies และ cut-off angles ที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบการทำงานร่วมกันช่วยปรับปรุงอัตราการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็ม ,การมองเห็นดาวเทียมและความน่าเชื่อถือให้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับระบบเดี่ยว(ระบบเดี่ยวๆที่ไม่มีการรวมกัน) โดยการรวมระบบ Beidou +GPSแบบ single-frequency ที่ cut-off angle 30° มีอัตราการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มเป็น100% และเมื่อเปรียบเทียบกับsingle-frequency ของระบบเดี่ยวที่ cut-off angle 35° พบว่ามีอัตราการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มอยู่ระหว่าง9% (L1 GPS) ถึงมากที่สุดที่ 59% (B2 Beidou)

Chen, Huang et al. (2009) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของ Beidou-2/Compass กับGPSในภูมิภาคเอเชีย เพื่อปรับปรุงข้อมูลทางตำแหน่งให้น่าเชื่อถือมีความถูกต้องมากขึ้นในสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรค (บริเวณเขตเมืองที่มีตึกสูง, หุบเขา หรือต้นไม้ขึ้นหนาแน่น) โดยใช้ค่าการมองเห็นดาวเทียมและ ค่าDOP ของแต่ละระบบและของการรวมสองระบบเป็นดัชนีชี้วัดในการประเมินผลการปฏิบัติงานซึ่งพบว่า ในGPS ค่าการมองเห็นดาวเทียมดีขึ้นจาก 8-10 (global) เป็น 11-17 (regional) และค่า GDOP ดีขึ้นจาก 1.72-2.55(global) เป็น1.73-2.34 (regional) ดาวเทียม

Compass ค่าการมองเห็นดาวเทียม ดีขึ้นจาก 8-17 (global) เป็น 11-17 (regional) และค่า GDOP ดีขึ้นจาก 1.72-2.55 (global) เป็น 1.73-2.34 (regional) แสดงให้เห็นว่า การใช้งานดาวเทียม Beidou-2 / Compass สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานที่เหนือกว่าในภูมิภาคเอเชีย เมื่อเทียบกับ GPS ในแง่ของค่าการมองเห็นดาวเทียม, ค่า DOP และปรับปรุงข้อมูลทางตำแหน่งให้น่าเชื่อถือมีความถูกต้องมากขึ้นในสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรค (บริเวณเขตเมืองที่มีตึกสูง, หุบเขา หรือต้นไม้ขึ้นหนาแน่น)

Pratt, Burke et al. (1998) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของวิธี Local-Minima Search ระหว่างใช้ข้อมูล GPS เพียงระบบเดียวกับข้อมูล GPS ร่วมกับ GLONASS ผลการศึกษาที่ได้พบว่าการใช้ข้อมูล GPS ร่วมกับ GLONASS สามารถปรับปรุงอัตราการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ และยังช่วยลดอัตราการค้นหาเฉลี่ยได้มากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูล GPS เพียงแหล่งเดียว

Xiaoyu Shi, Benyin Yuan et al. (2013) ได้ทำการศึกษาขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มของการรวมระบบดาวเทียม GPS GLONASS และ COMPASS จากการศึกษาพบว่าการทำงานร่วมกันของดาวเทียมทั้งสามระบบให้ผลขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มที่ดีกว่าการใช้งานดาวเทียมเพียงระบบเดียว ซึ่งเป็นผลมาจากการรับดาวเทียมได้จำนวนมากขึ้น โดยการรวมระบบดาวเทียมเข้าด้วยกันช่วยเพิ่มจำนวนดาวเทียมเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ระบบดาวเทียม GPS เพียงระบบเดียว และทำให้เรขาคณิตดาวเทียมมีค่าที่ดีขึ้น จึงเป็นสาเหตุที่ส่งผลต่อการปรับปรุงค่าความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8.2 ประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม Genetic Algorithm, GA)

Liu, Liu et al. (2005) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการประยุกต์ใช้ GA ระหว่างการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง และแบบ Real Code ที่มีผลต่อขบวนการหาค่าเลขปริศนา (Ambiguity Resolution, AR) ของข้อมูล GPS ที่มีความยาวเส้นฐานสั้น ผลการศึกษาที่ได้พบว่าทั้งเข้ารหัสแบบเลขฐานสองและแบบ Real Code มีความสามารถในการปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎีได้ ซึ่งอัตราการความเร็วในการลู่ออกหาคำตอบของเข้ารหัสแบบเลขฐานสองสามารถทำได้ดีกว่าแบบ Real Code แต่ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบ Real Code มีความน่าเชื่อถือมากกว่า เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการเข้ารหัสแบบ Real Code ไม่ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของค่าเริ่มต้น ส่วนการเข้ารหัสแบบเลขฐานสองต้องอาศัยค่าความถูกต้องของการประมาณค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนจริงเป็นค่าเริ่มต้น

Liu, Xiong et al. (2010) ได้ศึกษาผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนา (Ambiguity Resolution, AR) โดยใช้ข้อมูล GPS แบบ Single Epoch ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยมีการออกแบบและปรับปรุง วิธีการเชิงพันธุกรรมขึ้นใหม่คือ ปรับปรุงการเข้ารหัส Real Code, ตัวดำเนินการวิธีการเชิงพันธุกรรม, พารามิเตอร์ต่าง ๆ และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นต้น ผลการศึกษาที่ได้พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากข้อมูล Single Epoch กับข้อมูล Multi-Epoch ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และสามารถปรับปรุงอัตราของการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลจากการปรับปรุงวิธีการเชิงพันธุกรรม ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือขึ้น

Srinuandee, Satirapod et al. (2012) ได้ศึกษาผลของการคัดเลือกข้อมูล โดยทำการตัดข้อมูลดาวเทียม GPS บางดวงออกไปก่อนนำเข้าสู่การประมวล โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียม GPS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีจลน์ ผลการศึกษาพบว่า การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมส่งผลสำเร็จในการคัดเลือกดาวเทียมที่มีความเหมาะสมที่สุด ทำให้สามารถช่วยปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีให้ดีขึ้นกว่าเดิมถึง 5 คาบเวลา (Session) จากทั้งหมด 24 คาบเวลา (Session) แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียม GPS ทั้งหมดที่รับสัญญาณได้นั้น ไม่อาจจะให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีเสมอไป โดยในบางกรณีการเลือกลบข้อมูลดาวเทียมบางดวงออกไปก่อนการประมวลผลอาจจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งกว่า

สุรเชษ ศรีนารา (2557) ได้เสนอวิทยานิพนธ์เรื่องการคัดเลือกดาวเทียม GNSS ที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม GPS และ GLONASS พบว่าขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีมีความสัมพันธ์กับความยาวของเส้นฐาน ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนจากอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีที่ได้จากการประมวลผลมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวเส้นฐานเพิ่มมากขึ้น แต่ในการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นสามารถปรับปรุงขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีในทุกความยาวเส้นฐานที่ทำการทดสอบได้ดีขึ้นกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานเพียงอย่างเดียว และการเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียม GPS และ GLONASS ทั้งหมดที่รับสัญญาณได้นั้น ไม่ได้ให้ค่าผลลัพธ์ของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีที่ดีเสมอไป ในบางกรณีการเลือกลบข้อมูลดาวเทียมบางดวงที่ไม่เหมาะสมออกไปทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งกว่า

2.8.3 การศึกษาการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกันในการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)

Bäck (1993) ได้ศึกษาหาค่าอัตราการกลายพันธุ์(Mutation rate) ที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหาทางพันธุกรรม(Genetic Search) เป็นการศึกษาเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพของบิตสตริงเดี่ยว (single bit string) โดยวิธีการของวนซ้ำเพื่อหาการกลายพันธุ์(mutation) และการคัดเลือก (selection) ที่ดีที่สุด ซึ่งค่าอัตราการกลายพันธุ์(Mutation rate)ที่มีความเหมาะสมนั้นจะเกี่ยวข้องกับความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์(Mutation Probability) แต่ค่าที่ถูกใช้ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) โดยทั่วไปนั้นค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation มีค่าเท่ากับ $1/L$ (เมื่อ L คือค่าความยาวของบิตสตริง) และจากผลการศึกษาพบว่าค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation ที่มีค่าเท่ากับ $1/L$ นั้นเป็นค่าที่มีความเหมาะสมและดีที่สุด และยังให้ผลเช่นนี้ในกรณีที่มีค่าอัตราการเกิดCrossover (Crossover rate) และเมื่อจำนวนของCrossover point มีค่าน้อยกว่าdimension ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (ซึ่งถือเป็นเรื่องปกติ) ผลจากการเกิดCrossoverนั้นจะมีค่าน้อยมาก

Srinivas and Patnaik (1994) ได้ศึกษาการผลของปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการเกิดCrossover (Crossover Probability)และค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation (Mutation Probability) ในวิธีการเชิงพันธุกรรม(Genetic Algorithm : GA) โดยค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover (Crossover Probability) หรือ P_c และค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation (Mutation Probability) หรือ P_m นั้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับFitness function ในการพิจารณาค่าความเหมาะสมของแต่ละปัญหา โดยค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover หรือ P_c อยู่ในช่วง 0.0-1.0 และค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation หรือ P_m อยู่ในช่วง 0.0-0.5 โดยผลการศึกษาพบว่าเมื่อค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover มีค่าน้อยและค่าความน่าจะเป็นของการเกิด Mutationที่มีค่ามาก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากวิธีการเชิงพันธุกรรม(Genetic Algorithm : GA) เป็นการคัดเลือกแบบสุ่ม หรือ random search และเมื่อมีค่า P_c และ P_m ที่ต่ำจะให้ค่าความเหมาะสมที่มาก ในขณะที่เดียวกันนั้นจะได้ค่าความเหมาะสมที่ต่ำเมื่อกำหนดค่า P_c และ P_m ที่มีค่ามาก จากผลการทดลองยังพบว่าจะได้ค่าที่ดีที่สุดเมื่อไม่มีการเกิด Crossover และกำหนดให้มีการเกิด Mutation ที่น้อย ในทางกลับกันทุกค่าของค่าความเหมาะสมที่ได้นั้นจะมีค่าน้อยกว่าค่าความเหมาะสมเฉลี่ย(average fitness value) ของประชากรทั้งหมดที่มีการกำหนดค่า $P_m = 0.5$

บทที่ 3

การดำเนินงาน

จากวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม(GA) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน ซึ่งใช้วิธีการประมวลผลแบบสัมพันธ์ด้วยวิธีจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post-Processing Kinematic, PPK) โดยใช้ข้อมูล GPS, GLONASS และ COMPASS ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน ประมวลผลและวิเคราะห์ ดังนี้

- ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม และการหาตำแหน่งแบบสัมพันธ์ด้วยวิธีจลน์

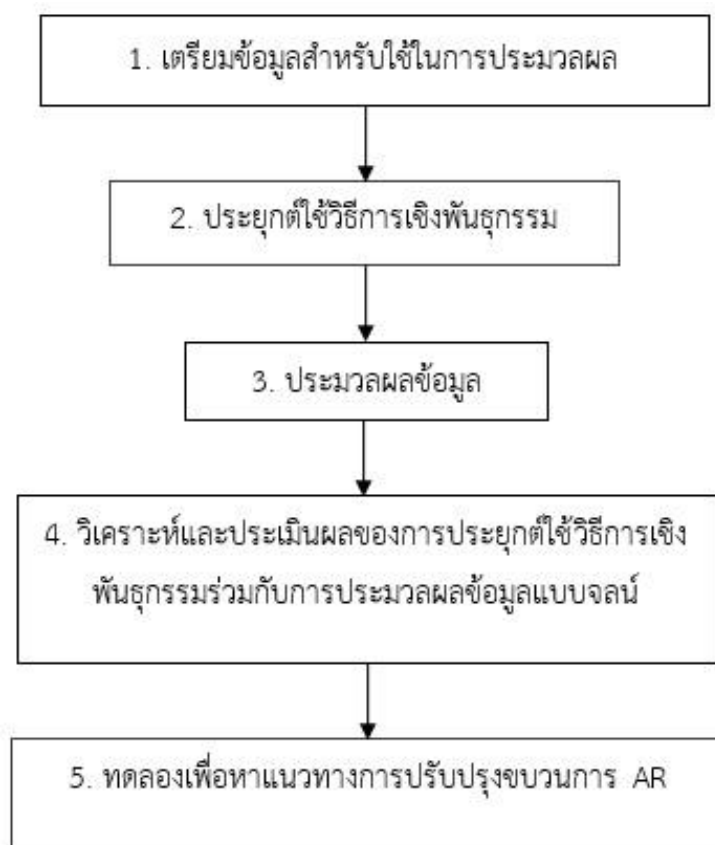
- เก็บรวบรวม ตรวจสอบและจัดเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการประมวลผลโดยใช้ข้อมูลโครงข่ายสถานีของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS โดยใช้เครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver , Leica Viva GS15 Receiver และเครื่อง Trimble R10 ซึ่งมีสถานี ESRI (ดาตฟ้า อาคารซีดีจีเฮ้าส์) เป็นสถานีฐาน (Base Station) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver ส่วนสถานี SV01 (ดาตฟ้า ชั้น 4 อาคารศาลวิธานนิเทศ) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS15 Receiver สถานี DPT9 (ดาตฟ้า ชั้น15 อาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Trimble R10 และ สถานี LAND (ดาตฟ้า อาคารอาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน เมืองทองธานี) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Trimble R10 เป็นสถานีผู้ใช้ (User Station)

- ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) กำหนดองค์ประกอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับการศึกษาวิจัย

- ประมวลผลข้อมูล โดยแยกการประมวลผลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

- วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

จากขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยข้างต้น (ดูรูปที่ 3.1 ประกอบ) ในบทที่ 3 นี้จะอธิบายถึง หัวข้อ 3.1 การเก็บรวบรวม ตรวจสอบและจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการประมวลผล หัวข้อ 3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) หัวข้อ 3.3 การประมวลผลข้อมูล หัวข้อ 3.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA)

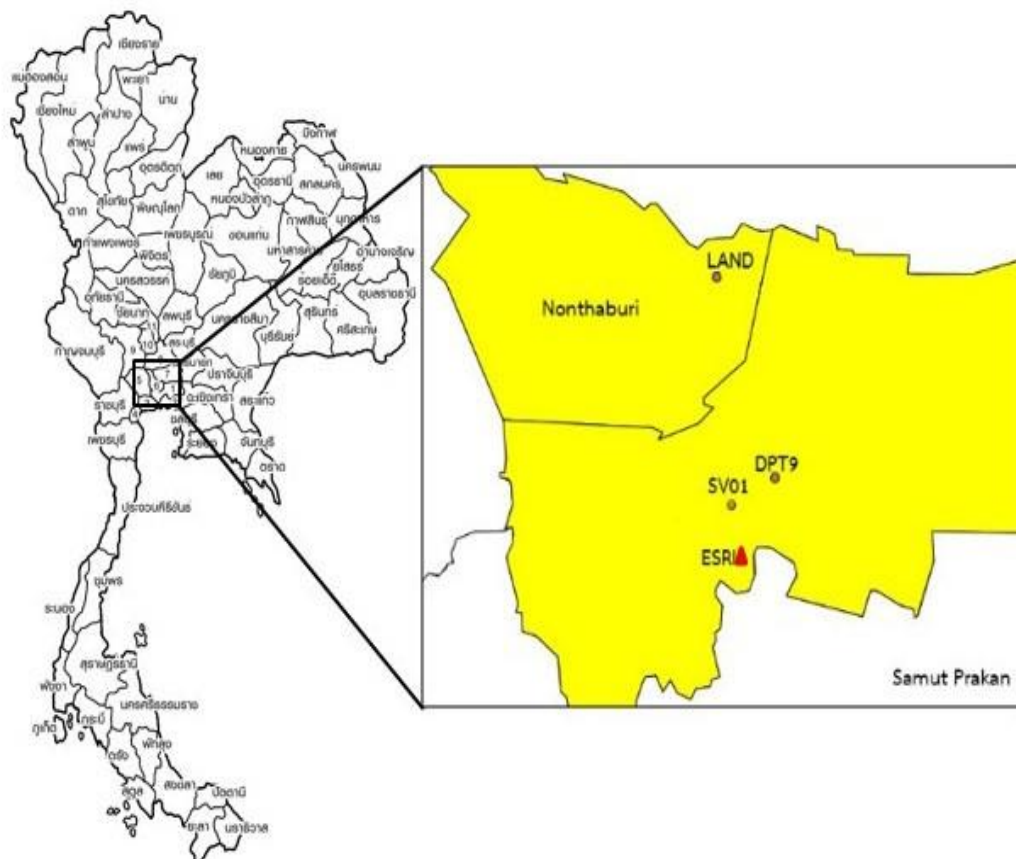


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวม ตรวจสอบและจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการประมวลผล

การจัดเตรียมข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้พร้อมใช้สำหรับการประมวลผลด้วยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูล GPS, GLONASS และ COMPASS ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้แก่ ข้อมูลโครงข่ายสถานีของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS โดยใช้เครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver , Leica Viva GS15 Receiver และเครื่อง Trimble

R10 ซึ่งมีสถานี ESRI (ดาวฟ้า อาคารซีทีจีเฮ้าส์) เป็นสถานีฐาน (Base Station) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver ส่วนสถานี SV01 (ดาวฟ้า ชั้น 4 อาคารศัลยกรรมนิเทศ) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS15 Receiver สถานี DPT9 (ดาวฟ้า ชั้น15 อาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Trimble R10 และ สถานี LAND (ดาวฟ้า อาคารอาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน เมืองทองธานี) ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ Trimble R10 เป็นสถานีผู้ใช้ (User Station) ระยะของเส้นฐานโดยประมาณ 3.8, 6.7 และ 23.2 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บแบบสถิติ ที่อัตราการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของวันที่ 6 มกราคม 2558 ณ สถานี SV01(ดาวฟ้า ชั้น 4 อาคารศัลยกรรมนิเทศ) วันที่ 10 มกราคม 2558 ณ สถานี DPT9 (ดาวฟ้า ชั้น15 กรมโยธาธิการและผังเมือง) และวันที่ 7มกราคม 2558 ณ สถานีสถานี LAND (ดาวฟ้า อาคารอาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน เมืองทองธานี) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 ที่ตั้งโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.3 สถานีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย

จากรูป 3.2 และ 3.3 ข้อมูลทั้ง 4 สถานีคือ สถานี ESRI (ตาดฟ้า อาคารซีดีจีเฮ้าส์) เป็นสถานีฐาน (Base Station) ส่วนสถานี SV01 (ตาดฟ้า ชั้น 4 อาคารศัลยกรรมนิเทศ) สถานี DPT9 (ตาดฟ้า ชั้น 15 อาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง) และ สถานี LAND (ตาดฟ้า อาคารอาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน เมืองทองธานี) เป็นสถานีผู้ใช้ (User Station)

ข้อมูลจากการรังวัดประกอบไปด้วยข้อมูลรังวัด 24 ชั่วโมง เพื่อสะดวกและง่ายสำหรับนำไปประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ทั่วไป โดยไฟล์ข้อมูลทั้งหมดถูกแปลงโดยใช้ซอฟต์แวร์ Convert To RINEX เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบของ RINEX (Receiver Independent Exchange Format) รูปที่ 3.4 ประกอบ

```

13      1.0220      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
14 G 12 C1C L1C D1C S1C C2W L2W D2W S2W C5Q L5Q D5Q S5Q      SYS / # / OBS TYPES
15 R 8 C1C L1C D1C S1C C2P L2P D2P S2P      SYS / # / OBS TYPES
16 C 8 C1I L1I D1I S1I C7I L7I D7I S7I      SYS / # / OBS TYPES
17 DBHZ      SIGNAL STRENGTH UNIT
18      1.000      INTERVAL
19 2015 01 05 10 43 12.00000000 GPS      TIME OF FIRST OBS
20 2015 01 05 23 59 59.00000000 GPS      TIME OF LAST OBS
21 0      RCV CLOCK OFFS APPL
22 G L2S -0.250000      SYS / PHASE SHIFT
23 G L2X -0.250000      SYS / PHASE SHIFT
24 R L2P 0.250000      SYS / PHASE SHIFT
25 E L8Q -0.250000      SYS / PHASE SHIFT
26 24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 6 GLONASS SLOT / FRQ #
27 R09 -2 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1 GLONASS SLOT / FRQ #
28 R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2 GLONASS SLOT / FRQ #
29 C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000      GLONASS COD/PHS/BIS
30 16 16 1694 7      LEAP SECONDS
31      END OF HEADER
32 > 2015 01 05 10 43 12.00000000 0 19
33 G04 23780557.852 124967669.78017 -348.538 44.250 23780560.111 97377414.24815
34 G14 22201827.727 116671389.90117 352.248 46.400 22201824.505 90912759.42016
35 G16 23741259.943 124761166.38317 3726.159 44.050 23741261.888 97216503.67015
36 G18 22460792.593 118032256.75617 -2986.297 43.850 22460793.898 91973188.80915
37 G22 20357750.274 106980697.77218 -1210.298 48.850 20357745.448 83361563.09617
38 G25 23017783.218 120959269.21517 -2657.485 42.250 23017784.470 94253980.88816
39 G31 21018822.821 110454659.50118 -1265.749 48.600 21018819.267 86068553.96217
40 G32 23054835.823 121153983.75817 2821.080 45.400 23054834.164 94405697.30416
41 R01 20102119.269 107457344.35217 -902.968 45.250 20102128.004 83577967.70716
42 R02 20264578.108 108135671.71418 2708.108 48.150 20264584.230 84105549.63617
43 R12 20519607.913 109612063.97917 -2726.351 42.100 20519615.529 85253855.36116
44 R13 20262267.645 108199373.75717 607.729 44.650 20262275.453 84155101.90217
45 C01 37497068.398 195257073.45416 14.490 39.600 37497061.430 150985127.55117

```

Normal text length: 167143779 lines: 1224274 Ln: 1 Col: 1 Sel: 0 | 0 Dos\Windows UTF-8 w/o BOM INS

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล RINEX ของสถานี ESRI (Base Station) ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Convert To RINEX

จากนั้นทำการจัดเตรียมข้อมูลขั้นตอนสุดท้ายให้พร้อมสำหรับการประมวลผลข้อมูล โดยทำการแบ่งข้อมูลในแต่ละสถานีออกเป็นช่วงเวลาต่าง ๆ โดยกำหนดให้ช่วงข้อมูลที่ใช้ทำการทดสอบนี้แบ่งออกเป็น 24 ช่วงข้อมูล หรือคาบเวลา (Session) โดยมีช่วง หรือคาบเวลาละ 1 ชั่วโมง เพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลลัพธ์ในแต่ละช่วงข้อมูลที่ช่วงเวลาต่างกัน

```

13      1.2280      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
14 G 12 C1C L1C D1C S1C C2W L2W D2W S2W C5Q L5Q D5Q S5Q SYS / # / OBS TYPES
15 R 8 C1C L1C D1C S1C C2P L2P D2P S2P SYS / # / OBS TYPES
16 C 8 C1I L1I D1I S1I C7I L7I D7I S7I SYS / # / OBS TYPES
17 DBHZ SIGNAL STRENGTH UNIT
18 INTERVAL
19 2015 01 07 00 00 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
20 2015 01 07 17 30 37.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
21 0 RCV CLOCK OFFS APPL
22 G L2S -0.25000 SYS / PHASE SHIFT
23 G L2X -0.25000 SYS / PHASE SHIFT
24 R L2P 0.25000 SYS / PHASE SHIFT
25 E L8Q -0.25000 SYS / PHASE SHIFT
26 24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 6 GLONASS SLOT / FRQ #
27 R09 -2 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1 GLONASS SLOT / FRQ #
28 R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2 GLONASS SLOT / FRQ #
29 C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000 GLONASS COD/PHS/BIS
30 16 16 1694 7 LEAP SECONDS
31 END OF HEADER
32 > 2015 01 07 00 00 0.0000000 0 21
33 G02 22122148.289 116252688.94908 -182.625 48.300 22122141.764 90586461.19905
34 G05 21056901.042 110654755.80408 1989.703 49.650 21056897.518 86224488.13706
35 G06 22608864.244 118810404.25007 -1418.490 46.700 22608864.114 92579538.61906
36 G10 20419663.369 107306066.32908 -1593.679 50.200 20419660.230 83615103.04806
37 G12 22475977.239 118112067.43807 2300.691 47.550 22475972.946 92035361.44405
38 G17 22271545.912 117037817.50908 -579.445 48.800 22271543.436 91198297.71606
39 G28 23528251.445 123641786.55806 -3558.628 38.300 23528249.988 96344233.26803
40 R06 22037631.399 117597024.95507 -3322.052 44.900 22037635.935 91464359.60106
41 R07 19437564.809 104050807.71308 15.162 49.600 19437567.270 80928411.90607
42 R08 20972043.622 112304327.08207 3580.414 46.250 20972045.641 87347813.51506
43 R12 22522396.004 120310581.42906 -732.890 39.250 22522400.734 93574923.16605
44 R21 21753348.761 116406610.32407 438.366 44.950 21753352.483 90538492.28706
45 R22 22129944.108 118131117.69207 1629.474 45.650 22129947.258 91879766.91006

```

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล RINEX ของสถานี SV01 (User Station) ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Convert To RINEX

สำหรับการแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 24 ช่วง หรือคาบเวลา (Session) ช่วงละ 1 ชั่วโมงนั้น ใน การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการตัดแบ่งช่วงข้อมูลแบบ Manual จากข้อมูลที่ได้จากซอฟต์แวร์ข้างต้น โดยทำ การเลือกตัดข้อมูล RINEX ช่วงละ 1 ชั่วโมงของแต่ละสถานีผ่านทางโปรแกรม Notepad++ จากนั้น ที่ตั้งชื่อไฟล์ข้อมูลที่ได้เรียงตามลำดับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ A ถึง X ในลำดับท้ายสุดหลังจากชื่อ สถานีตามลำดับ ยกตัวอย่างในกรณีสถานี DPT9 เช่น DPT9A.15๐ และ DPT9B.15๐ เป็นต้น ซึ่ง ลำดับตัวอักษรภาษาอังกฤษข้างต้น หมายถึงคาบเวลา (Session) ที่ 1 ถึง 24 ตามลำดับ ตัวอย่างช่วง ข้อมูลที่ได้จากตัดแบ่ง แสดงดังรูปที่ 3.6

```

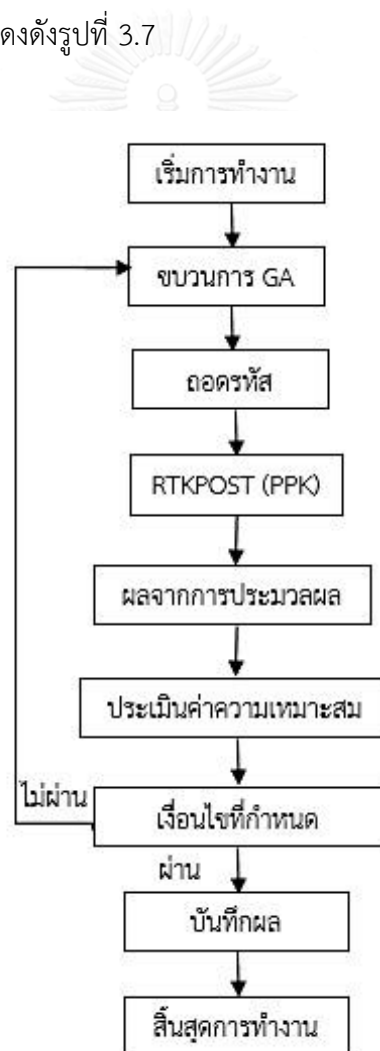
3.02 OBSERVATION DATA Mixed(MIXED) RINEX VERSION / TYPE
cnvtToRINEX 2.19.0 convertToRINEX OPR 12-Jan-15 02:54 UTC PGM / RUN BY / DATE
COMMENT
sv3 MARKER NAME
MARKER NUMBER
MARKER TYPE
GEODETTIC
GNSO Observer Trimble OBSERVER / AGENCY
5312431550 R10 REC # / TYPE / VERS
TRMR10 NONE ANT # / TYPE
-1136980.0255 6091174.3899 1506867.6655 APPROX POSITION XYZ
1.4770 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
R 6 C1C C2C C2P L1C L2C L2P SYS / # / OBS TYPES
G 8 C1C C2W C2X CSX L1C L2W L2X L5X SYS / # / OBS TYPES
C 4 C2I C7I L2I L7I SYS / # / OBS TYPES
2015 1 9 9 38 49.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
2015 1 12 2 18 16.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
0 RCV CLOCK OFFS APPL
16 LEAP SECONDS
67 # OF SATELLITES
C01232764232764232764232764 FRN / # OF OBS
C02232768232768232768232768232768 FRN / # OF OBS
C03232768232768232768232768232768 FRN / # OF OBS
C04232645232593232593232593232593 FRN / # OF OBS
C0523275823275232327523232749 FRN / # OF OBS
C06232768232741232759232703 FRN / # OF OBS
C07232768232768232768232768 FRN / # OF OBS
C08224736224714224716224704 FRN / # OF OBS
C09232737232648232698232463 FRN / # OF OBS
C10232768232768232768232768 FRN / # OF OBS
C11 71778 71748 71752 71726 FRN / # OF OBS
C12 84738 84718 84721 84685 FRN / # OF OBS
C14 61567 61547 61551 61527 FRN / # OF OBS
G01 59559 59540 59557 59559 59559 59540 59557 59559 FRN / # OF OBS
G02 84320 84320 0 0 84320 84320 0 0 FRN / # OF OBS

```

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างช่วงข้อมูล DPT9A.15๐ และ DPT9B.15๐ ของสถานี DPT9

3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA)

หัวข้อนี้เป็นการอธิบายขั้นตอนของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกันโดยการประมวลผลในภายหลัง (Post-Processing Kinematic, PPK) เพื่อคัดเลือกกลุ่มดาวเทียม GNSS (GPS, GLONASS และ COMPASS) ดวงที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ ในส่วนของวิธีการเชิงพันธุกรรมจะใช้ฟังก์ชัน Genetic Algorithm (GA) จากซอฟต์แวร์ MATLAB 2014 ในขณะที่การประมวลผลแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Post-Processing Kinematic) หรือ PPK นั้นได้เลือกใช้ฟังก์ชัน RTKPOST จากซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2 ฟังก์ชันตอนรายละเอียดการประยุกต์ใช้ GA ร่วมกับการประมวลผลข้อมูลแบบจลน์ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันตอนการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับการประมวลผลข้อมูลแบบ PPK

จากรูป 3.7 แสดงผังลำดับขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เพื่อคัดเลือกให้ได้กลุ่มหรือชุดดาวเทียมที่มีความเหมาะสมสำหรับมาตรฐานแบบจลน์ สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.2.1 ทำการกำหนดองค์ประกอบ หรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) บนซอฟต์แวร์ MATLAB 2014 โดยเริ่มแรกในส่วนของการเข้ารหัสกลุ่มดาวเทียม GNSS (GPS, GLONASS และ COMPASS) ได้กำหนดให้หมายเลขดาวเทียม GPS, GLONASS และ COMPASS (Satellite Vehicle Number: SVN) ดาวเทียมทั้งหมดจะถูกเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง โดยการแทนค่าด้วย “1” หรือ “0” เป็นการบอกความ “พร้อมใช้งาน” หรือ “ไม่พร้อมใช้งาน” ของดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งหมายถึงชุดคำตอบหนึ่งที่เป็นไปได้ และกลุ่มของชุดคำตอบเหล่านี้คือ ประชากรเริ่มต้น ในการศึกษาเราใช้ข้อมูลจาก GPS GLONASS และ COMPASS ซึ่งกำหนดเป็นความยาวของบิตสตริงได้เท่ากับ 70 โดยเรียงลำดับจาก GPS 32 ดวง , GLONASS 24 ดวง และ COMPASS 14 ดวง โดยเฉพาะดาวเทียมดวงที่มีค่าเท่ากับ 1 เท่านั้น ที่จะถูกนำมาประมวลผล ส่วนดาวเทียมดวงที่มีค่าเท่ากับ 0 ดาวเทียมนั้นจะไม่ได้ถูกนำมาประมวลผล การแทนดาวเทียมแต่ละดวงในแต่ละตำแหน่งบิตสตริง แสดงดังรูปที่ 3.7 และตารางที่ 1



รูปที่ 3.8 การแทนดาวเทียม GNSS (GPS, GLONASS และ COMPASS) แต่ละดวงในแต่ละตำแหน่งบิตสตริง

ตารางที่ 3.1 การเข้ารหัสดาวเทียม GNSS (GPS, GLONASS และ COMPASS) แบบไบนารี

Bits String	ความหมาย
[1,1,1,.....,1] _{1x70}	ดาวเทียมทั้งหมดถูกนำมาประมวลผล
[1,0,1,.....,0] _{1x70}	เฉพาะดาวเทียมดวงที่มีค่าเท่ากับ 1 เท่านั้น ที่จะถูกนำมาประมวลผล
[0,0,0,.....,0] _{1x70}	ดาวเทียมทั้งหมดไม่ได้ถูกนำมาประมวลผล

3.2.2 หลังจากทำการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้น โดยชุดคำตอบทั้งหมดจะถูกนำเข้าสู่ฟังก์ชัน RTKPOST และทำการประมวลผล โดยผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการประมวลผลจะถูกประเมินค่าความเหมาะสมโดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการบ่งชี้ค่าความเหมาะสมเพื่อใช้ประเมินว่าแต่ละทางเลือกนั้นมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการแก้ปัญหาได้ดีเพียงใด โดยให้ผลลัพธ์เป็นค่าตัวเลขที่บ่งบอกถึงความเหมาะสมหรือที่เรียกว่า Fitness Value โดยฟังก์ชันความเหมาะสมนี้จะมีความแตกต่างกันไปซึ่งขึ้นกับแต่ละปัญหา ในงานวิจัยนี้เราสนใจศึกษาพารามิเตอร์ความเหมาะสม (Fitness Parameter) ดังนี้

- จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (Number of Ambiguity-fixed solution)
- จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนจริง (Number of Ambiguity-float solution)
- จำนวนของค่าเลขปริศนาอื่นๆ (Number of Instantaneous solution)

ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการประมวลผลมาตรฐานซึ่งเรากำหนดให้พารามิเตอร์ความเหมาะสมหลักที่ใช้ในการพิจารณาคือจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (Number of Ambiguity-fixed solution) เราจึงจำเป็นต้องใช้วิธีฟังก์ชันลงโทษ (Penalty function method) มาปรับลดค่าความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ในส่วนองจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนจริง (Number of Ambiguity-float solution) และจำนวนของค่าเลขปริศนาอื่นๆ (Number of Instantaneous solution) โดยการคูณค่าคงที่ตามสัดส่วนของเงื่อนไขที่กำหนดให้กับตัวแปร ซึ่งค่าคงที่นี้เราเรียกว่า “ค่าน้ำหนัก” ของพารามิเตอร์ ทำให้สามารถพิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้โดยการหาค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการ

$$\text{Fitness Value} = \text{ค่าที่ได้จาก Objective Function}$$

โดยปัญหาการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมเรากำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Objective Function} = & (\text{จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม} \times \text{ค่าน้ำหนัก}_1) \\ & + (\text{จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนจริง} \times \text{ค่าน้ำหนัก}_2) \\ & + (\text{จำนวนของค่าเลขปริศนาอื่นๆ} \times \text{ค่าน้ำหนัก}_3) \end{aligned}$$

สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

โดยที่

n = จำนวนพารามิเตอร์ความเหมาะสม (Number of Fitness Parameter)

x = พารามิเตอร์ความเหมาะสม (Fitness Parameter)

w = น้ำหนักของพารามิเตอร์ความเหมาะสม (Weight of Fitness Parameter)

โดยทั่วไปในปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นจะนิยมใช้การหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้มีค่าน้อย

$$\begin{aligned} \text{Objective Function} = \text{Fitness} = & (\text{จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม} \times 1) \\ & + (\text{จำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนจริง} \times 10) \\ & + (\text{จำนวนของค่าเลขปริศนาอื่นๆ} \times 100) \end{aligned}$$

ที่สุด โดยการค่าน้ำหนักเท่ากับ 1, 10 และ 100 ตามลำดับ สำหรับค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม (Ambiguity-Fixed Solution), ค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity-Float Solution) และค่าเลขปริศนาอื่นๆ (Instantaneous Solution) ตามลำดับ สุดท้ายเราจะได้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสม ดังนี้

โดยการพิจารณาค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นเราพิจารณาจากผลรวมที่ได้จาก Objective Function ที่เรากำหนดไว้ข้างต้น โดยผลรวมของค่าเลขปริศนาทั้ง 3 ค่าดังกล่าวต้องมีค่าไม่เกิน 3600 เนื่องจากในการประมวลผล เราทำการเก็บค่าข้อมูลรังวัด 24 ชั่วโมง ที่อัตราการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาทีจากนั้นเราแบ่งค่าข้อมูลเป็น 24 ช่วง หรือคาบเวลา (Session) โดยช่วงละ 1 ชั่วโมง ซึ่งมี 3600 Epoch ในแต่ละช่วงหรือคาบเวลา (Session) นั่นเอง ได้ผลลัพธ์เป็นค่าตัวเลข ที่แสดงถึงความสามารถของชุดคำตอบ หรือกลุ่มดาวเทียมในการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี

- 3.2.4 ในส่วนของการประมวลผลข้อมูลฟังก์ชัน RTKPOST จะนำชุดคำสั่งนี้ โดยจะสั่งการให้ทำการตัดชุดข้อมูลของกลุ่มดาวเทียม GNSS (GPS, GLONASS และ COMPASS) ตามรายชื่อหมายเลขดาวเทียมที่แนบมาออกไป หลังจากนั้นดำเนินการประมวลผลตามขั้นตอนปกติโดยใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากชุดคำสั่ง
- 3.2.5 นำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลฟังก์ชัน RTKPOST ไปประเมินค่าความเหมาะสม โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) โดยขั้นตอนการประยุกต์ใช้ วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) ร่วมกับการประมวลผลแบบ Post-Processing Kinematic หรือ PPK นี้จะวนซ้ำและดำเนินต่อเนื่องไปจนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งการศึกษานี้ได้กำหนดให้หาค่าเป็นจำนวนรุ่นของการสร้างชุดคำตอบ (Number of Generation) เท่ากับ 30 รุ่น และ กำหนด stall generation limit เท่ากับ 15 เมื่อขั้นตอนเป็นไปตามที่เงื่อนไขกำหนดแล้ว ชุดคำตอบที่ดีที่สุดที่อยู่ในกลุ่มประชากรปัจจุบัน ก็คือกลุ่มของดาวเทียมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประมวลผลแบบ Post Processing Kinematic หรือ PPK ณ คาบเวลานั้น ๆ

ตารางที่ 3.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฟังก์ชัน Genetic Algorithm บนซอฟต์แวร์ MATLAB

GA Setting	Value	คำอธิบาย
Population Type	Bit String	รูปแบบการเข้ารหัสดาวเทียมด้วยเลขฐานสอง
Population Size	20	กลุ่มของจำนวนชุดคำตอบทั้งหมดที่ใช้
Number of Generation	30	เงื่อนไขที่ใช้ในการหยุดการทำงาน
Stall Generation Limit	15	เงื่อนไขที่ใช้ในการหยุดการทำงาน
Initial Population	[1,1,1,.....,1] _{1x70}	กลุ่มของชุดคำตอบ หรือประชากรเริ่มต้น
Selection Function	Roulette	ฟังก์ชันการคัดเลือกชุดคำตอบ
Crossover Rate	0.4, 0.6 และ 0.8	ค่าอัตราการเกิด หรือความน่าจะเป็น Crossover
Crossover Function	Two Point	รูปแบบของการเกิด Crossover
Mutation Rate	0, 0.005, 0.0075 และ 0.01	ค่าอัตราการเกิด หรือความน่าจะเป็น Mutation
Mutation Function	mutationuniform	รูปแบบของการเกิด Mutation
Objective Function	@ObjFunc	ฟังก์ชันประเมินค่าเหมาะสมของชุดคำตอบ

หมายเหตุ การกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 และการกำหนดค่าอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0.01 นั้นเป็นค่ามาตรฐาน (Default value) ใน Genetic Algorithm Options บนซอฟต์แวร์ MATLAB

3.3 การประมวลผลข้อมูล

ในส่วนของการประมวลผลข้อมูลมาตรฐานแบบจลน์ จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ประมวลผลข้อมูลมาตรฐานแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Processing Kinematic : PPK) และประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยการประมวลผลข้อมูล 24 ชั่วโมงของแต่ละสถานีที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ ประกอบด้วย สถานีSV01 (ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร) , สถานีDPT9 (ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร) และสถานีLAND (ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร) โดยรายละเอียดการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.10



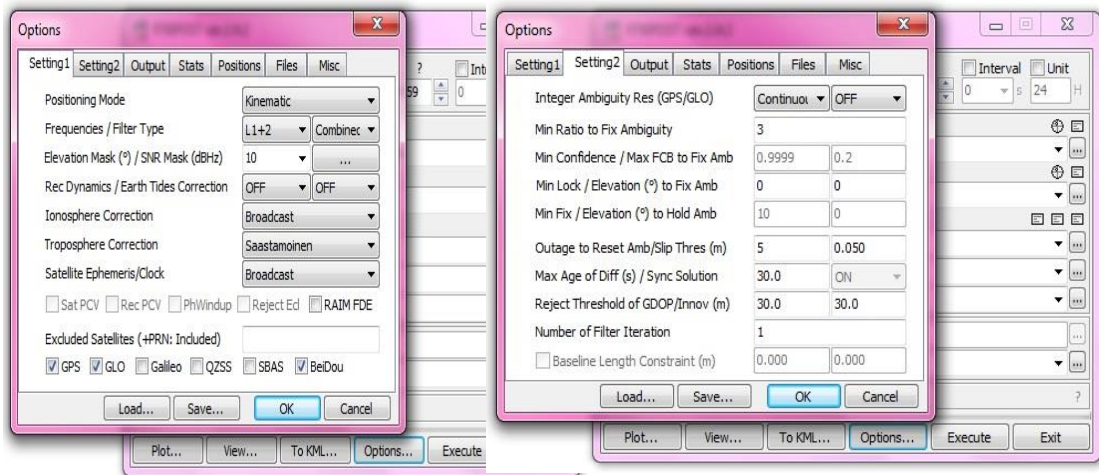
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล

ในส่วนของการประมวลผลข้อมูลมาตรฐานแบบจลน์โดยการประมวลผลในภายหลัง (Processing Kinematic: PPK) โดยใช้ซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 ทำการกำหนดและตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆก่อนการประมวลผล แสดงดังตารางที่ 3.3 และ รูปที่ 3.11

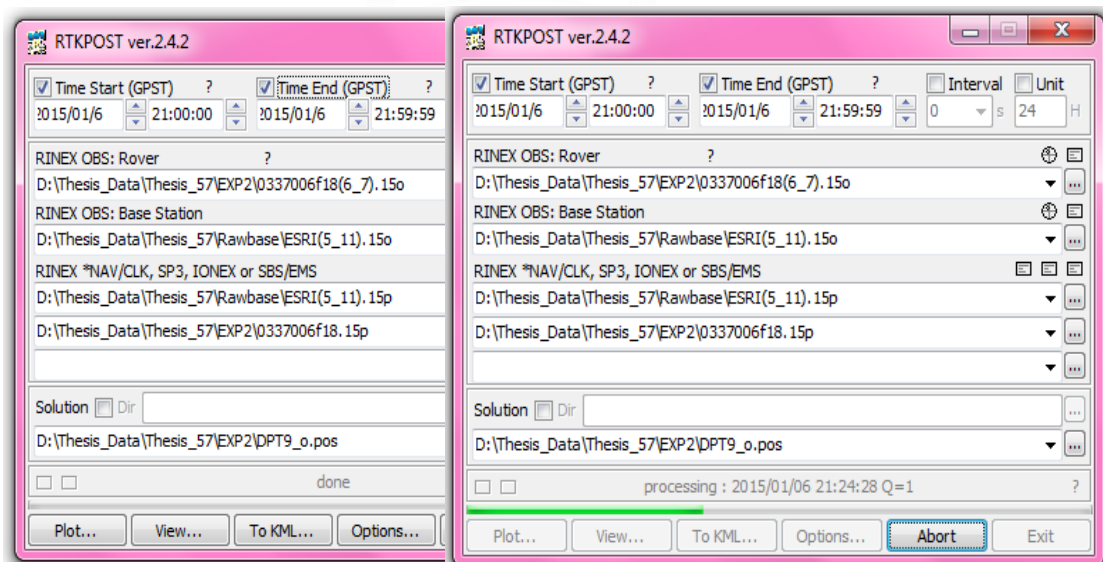
ตารางที่ 3.3 การกำหนดค่าบนซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2

คำสั่ง	การกำหนดค่า
การกำหนดค่า Setting1	
-Positioning Mode	Kinematic
-Frequencies/Filter Type	L1+L2 Solution : Combined
-Elevation Mask(°)/SNR MASK (dBHz)	10.0 deg
-Rec Dynamic/Earth Tides Correction	Dynamics : OFF Tidecorr : OFF
- Ionosphere Correction	Broadcast
- Troposphere Correction	Saastamoinen
-Satellite Ephemeris/ Clock	Broadcast
-Excluded Satellites (+PRN: Included)	Navigation System: GPS, GLONASS,BeiDou
การกำหนดค่า Setting2	
- Integer Ambiguity Resolution	Continuous , OFF
- Min Ratio to Fix Ambiguity	Default value: 3.0
- Min Confidence to Fix Amb. /Max FCB to Fix Amb.	0.9999 , 0.2
- Min Lock / Elevation(°) to Fix Ambiguity	Default value: 0, 0
- Min Fix / Elevation(°) to Hold Ambiguity	Default value: 10, 0
-Outage to Reset Ambiguity/ Slip Thres (m)	Default value: 5, 0.05
-Max Age of Differential(s)/ Sync Solution	Default value: 30 , ON
-Reject Threshold of GDOP/ Innov. (m)	Default value: 30, 30
-Number of Filter Iteration	Default value: 1



รูปที่ 3.11 การกำหนดค่าต่าง ๆ บนซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2 โดยใช้ฟังก์ชัน RTKPOST

3.3.2 นำเข้าไฟล์ข้อมูลที่ทำกรรังวัดมาทั้งสถานีฐาน ในการศึกษาครั้งนี้คือ สถานีESRI และสถานีผู้ใช้งาน ในการศึกษาครั้งนี้คือสถานีSV01 (ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร), สถานีDPT9 (ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร) และสถานีLAND (ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร) รวมไปถึงไฟล์ข้อมูลนำหนดาวเทียมของ GPS, GLONASS และ COMPASS ของสถานีสถานีผู้ใช้งานที่เราต้องการประมวลผล แล้วทำการกดตรงปุ่ม Execute ด้านล่าง เพื่อสั่งให้ซอฟต์แวร์ RTKLIB ทำงาน แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การกำหนดค่าต่าง ๆ บนซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2 โดยใช้ฟังก์ชัน RTKPOST สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลสถานีDPT9 (ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร)

3.3.3 รोजนโปรแกรมประมวลผลเรจ จากน้กกดปุ่มView เพื่อเปิดหน้าต่าแสดงผลที่ได้จากการประมวลผลโดยดอใช้ฟังก์ชัน RTKPOST แสดงดงรูปที่ 3.13

```

D:\Thesis_Data\Thesis_57\EXP2\DPT9_o.pos
Find Read... Option... Close
* program : RIKPOST ver.2.4.2
* inp file : D:\Thesis_Data\Thesis_57\EXP2\0337006f18(6_7).15o
* inp file : D:\Thesis_Data\Thesis_57\Rawbase\ESRI(5_11).15o
* inp file : D:\Thesis_Data\Thesis_57\Rawbase\ESRI(5_11).15p
* inp file : D:\Thesis_Data\Thesis_57\EXP2\0337006f18.15p
* obs start : 2015/01/06 21:00:00.0 GPST (week1826 248400.0s)
* obs end : 2015/01/06 21:59:59.0 GPST (week1826 251999.0s)
* pos mode : kinematic
* freqs : L1+L2
* solution : combined
* elev mask : 10.0 deg
* dynamics : off
* tidecorr : off
* ionos opt : broadcast
* tropo opt : saastamoinen
* ephemeris : broadcast
* navi 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 : -1134100.6942 6093149.4776 1501098.1841
*
* (x/y/z-ecef=WGS84,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
* GPST x-ecef(m) y-ecef(m) z-ecef(m) Q ns sdx(m) sdy(m)
2015/01/06 21:00:00.000 -1132727.1275 6092481.4330 1504565.7985 2 6 0.5538 1.1103
2015/01/06 21:00:01.000 -1132728.2682 6092486.0647 1504570.1760 2 6 0.1214 0.4380
2015/01/06 21:00:02.000 -1132726.8940 6092481.0714 1504565.1814 2 6 0.0448 0.1525
2015/01/06 21:00:03.000 -1132726.8396 6092480.8758 1504564.9890 2 6 0.0459 0.1567
2015/01/06 21:00:04.000 -1132726.8478 6092480.8969 1504565.0270 2 6 0.0462 0.1570
2015/01/06 21:00:05.000 -1132726.8101 6092480.7623 1504564.8785 2 6 0.0461 0.1574
2015/01/06 21:00:06.000 -1132726.7953 6092480.7063 1504564.8112 2 6 0.0460 0.1571
2015/01/06 21:00:07.000 -1132726.8107 6092480.7708 1504564.8864 2 6 0.0464 0.1587

```

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยฟังก์ชัน RTKPOST สำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลสถานีDPT9 (ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร)

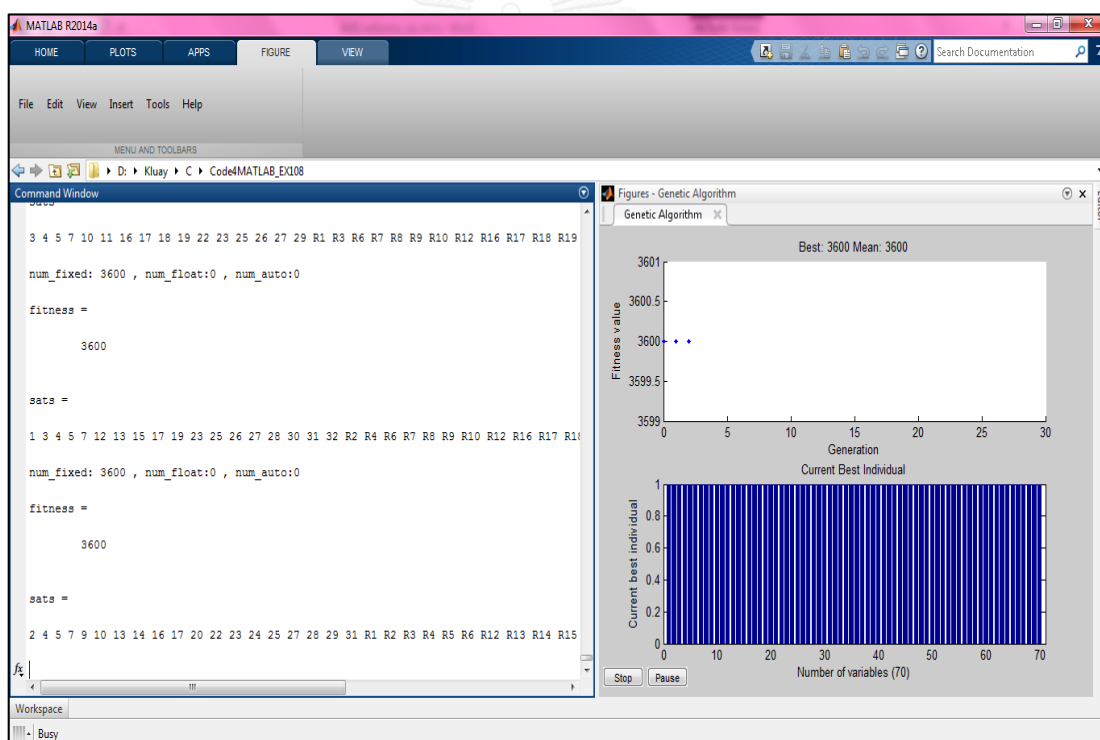
3.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA)

ในการพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในหัวข้อ 3.3 เราจะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยพิจารณา

- เปรียบเทียบผลของขบวนการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี ที่ระยะเส้นฐานต่างๆ ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยในส่วนของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน
- เปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งเพื่อหาขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยในส่วนของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

โดยมีสถานี ESRI (ดาดฟ้า อาคารซีดีจีเฮ้าส์) เป็นสถานีฐาน (Base Station) ส่วนสถานี SV01 (ดาดฟ้า ชั้น 4 อาคารศัลยกรรมนิเทศ) สถานี DPT9 (ดาดฟ้า ชั้น15 อาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง) และ สถานี LAND (ดาดฟ้า อาคารอาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน เมืองทองธานี) เป็นสถานีผู้ใช้ (User Station) ระยะของเส้นฐานโดยประมาณ 3.8, 6.7 และ 23.2 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยในส่วนของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกันในงานวิจัยนี้มีกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 ตามลำดับ และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ เนื่องจากความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover หรือ Crossover Probability มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 จากการทดลองของงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าโดยทั่วไปค่าความเหมาะสมของความน่าจะเป็นของการเกิด Crossover ส่วนใหญ่อยู่ที่ 60%-

95% ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดค่าน่าจะเป็นของการเกิด Crossover ในช่วง 0.00 - 1.0 (Bäck 1993) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 นั้นเป็นค่ามาตรฐาน (Default value) ใน Genetic Algorithm Options บนซอฟต์แวร์ MATLAB และความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation หรือ Mutation Probability มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 จากการทดลองของงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าโดยทั่วไปค่าความเหมาะสมของความน่าจะเป็นของการเกิด Mutation ส่วนใหญ่อยู่ประมาณ $1/l$ (l คือ ความยาวของโครโมโซมหรือบิตสตริง กำหนดค่าน่าจะเป็นของการเกิด Mutation ในช่วง 0.005-0.01 (Bäck 1993) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0.01 นั้นเป็นค่ามาตรฐาน (Default value) ใน Genetic Algorithm Options บนซอฟต์แวร์ MATLAB การประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) บนซอฟต์แวร์ MATLAB 2014 แสดงดังในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างขณะทำการประมวลผลด้วยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) บนซอฟต์แวร์ MATLAB 2014

เมื่อรอนหน้าต่างการทำงานบนหน้า Command Window บนซอฟต์แวร์ MATLAB แสดงผลเท่ากับ 0 (result=0) และหน้าต่างการทำงานของ Figures-Genetic Algorithm ปิดลง นั้น แสดงว่าการประมวลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) บนซอฟต์แวร์ MATLAB 2014 ได้เสร็จสิ้นลง จะได้ผลจากการประมวลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่ถูกบันทึกไว้ในชื่อไฟล์ sessiona ถึง sessionx ดังแสดงในรูปที่ 3.15

```

13 % tidecorr : off
14 % sgnos opt : broadcast
15 % rxdop opt : ssastrammines
16 % spheris : broadcast
17 % rsv% sv% : 000 0000000
18 % amb% sv% : continuous
19 % amb% sv% : on
20 % val% thres : 3.0
21 % antenna1 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
22 % antenna2 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
23 % ref pos : -1134102.5947 6093159.5330 1501095.8182
24 %
25 % (x/y/z-ecsf=WGS84,Q=1:fix,2:float,3:svcs,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
26 % GPST x-ecsf(m) y-ecsf(m) z-ecsf(m) Q svcs svdx(m) svdy(m) svdz(m) svdxy(m) svdyz(m) svdxx(m) age(s) ratio
27 2015/01/10 17:00:00.000 -1136980.1042 6091174.4498 1506869.2391 1 5 0.0127 0.0344 0.0058 0.0181 0.0087 0.0024 0.00 9.0
28 2015/01/10 17:00:01.000 -1136980.1117 6091174.4377 1506869.2398 1 5 0.0127 0.0344 0.0057 0.0181 0.0087 0.0022 0.00 9.0
29 2015/01/10 17:00:02.000 -1136980.1177 6091174.4179 1506869.2382 1 5 0.0127 0.0344 0.0056 0.0181 0.0088 0.0023 0.00 9.0
30 2015/01/10 17:00:03.000 -1136980.1093 6091174.4288 1506869.2391 1 5 0.0127 0.0344 0.0055 0.0181 0.0087 0.0022 0.00 9.0
31 2015/01/10 17:00:04.000 -1136980.1096 6091174.4317 1506869.2370 1 5 0.0127 0.0344 0.0056 0.0182 0.0088 0.0021 0.00 9.0
32 2015/01/10 17:00:05.000 -1136980.1075 6091174.4459 1506869.2387 1 5 0.0127 0.0344 0.0057 0.0182 0.0088 0.0021 0.00 9.0
33 2015/01/10 17:00:06.000 -1136980.1102 6091174.4319 1506869.2375 1 5 0.0127 0.0344 0.0054 0.0182 0.0088 0.0017 0.00 9.0
34 2015/01/10 17:00:07.000 -1136980.1065 6091174.4345 1506869.2401 1 5 0.0127 0.0345 0.0054 0.0182 0.0088 0.0021 0.00 9.0
35 2015/01/10 17:00:08.000 -1136980.1042 6091174.4462 1506869.2400 1 5 0.0127 0.0345 0.0056 0.0182 0.0089 0.0025 0.00 9.0
36 2015/01/10 17:00:09.000 -1136980.1095 6091174.4320 1506869.2365 1 5 0.0127 0.0345 0.0055 0.0182 0.0087 0.0022 0.00 9.0
37 2015/01/10 17:00:10.000 -1136980.1032 6091174.4460 1506869.2390 1 5 0.0127 0.0345 0.0057 0.0182 0.0087 0.0026 0.00 9.0
38 2015/01/10 17:00:11.000 -1136980.1084 6091174.4502 1506869.2406 1 5 0.0127 0.0345 0.0054 0.0182 0.0087 0.0022 0.00 8.9
39 2015/01/10 17:00:12.000 -1136980.1140 6091174.4355 1506869.2376 1 5 0.0127 0.0345 0.0054 0.0182 0.0088 0.0020 0.00 8.9
40 2015/01/10 17:00:13.000 -1136980.1115 6091174.4323 1506869.2364 1 5 0.0128 0.0345 0.0055 0.0182 0.0087 0.0023 0.00 8.9
41 2015/01/10 17:00:14.000 -1136980.1148 6091174.4322 1506869.2405 1 5 0.0128 0.0346 0.0055 0.0182 0.0086 0.0022 0.00 8.9
42 2015/01/10 17:00:15.000 -1136980.1071 6091174.4541 1506869.2386 1 5 0.0128 0.0346 0.0055 0.0183 0.0087 0.0021 0.00 8.9
43 2015/01/10 17:00:16.000 -1136980.1099 6091174.4425 1506869.2413 1 5 0.0090 0.0245 0.0039 0.0129 0.0061 0.0017 0.00 3.0
44 2015/01/10 17:00:17.000 -1136980.1117 6091174.4424 1506869.2395 1 5 0.0090 0.0245 0.0039 0.0129 0.0061 0.0017 0.00 3.0
45 2015/01/10 17:00:18.000 -1136980.1072 6091174.4373 1506869.2401 1 5 0.0128 0.0346 0.0057 0.0182 0.0087 0.0024 0.00 8.9
46 2015/01/10 17:00:19.000 -1136980.1095 6091174.4414 1506869.2397 1 5 0.0128 0.0346 0.0054 0.0183 0.0086 0.0023 0.00 8.9
47 2015/01/10 17:00:20.000 -1136980.1089 6091174.4397 1506869.2400 1 5 0.0090 0.0245 0.0040 0.0129 0.0061 0.0015 0.00 3.0

```

รูปที่ 3.15 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้การประมวลผลด้วยวิธีการประมวลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) บนซอฟต์แวร์ MATLAB 2014

3.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ทางสถิติด้วยการทดสอบ t-test

เมื่อได้ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075, 0.01 สำหรับแต่ละสถานีที่มีความยาวเส้นฐานโดยประมาณ 3.8, 6.7 และ 23.2 กิโลเมตร ตามลำดับ จากหัวข้อ 3.1 แล้วจากนั้นทำการพิจารณาผลของค่าความแตกต่างของค่าของขบวนการ Ambiguity Resolution จากทั้งสองวิธี และเปรียบเทียบผลของค่าความแตกต่างของค่าของขบวนการ Ambiguity Resolution จากการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075, 0.01 ตามลำดับ โดยการทดสอบทางสถิติ t-test มีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 เมื่อได้ผลลัพธ์จากการประมวลผลเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution (ดังตารางในบทที่ 4) ในกรณีการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ t-test จากผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยเริ่มจากต้องตรวจสอบดูว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่ โดยใช้ F-Test Two-Sample for Variances โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยที่ σ_1^2 และ σ_2^2 คือ ความแปรปรวนของผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และความแปรปรวนของผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ตามลำดับ ดังตัวอย่างตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบจำนวนการFix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานี SV01 (BL=3.8 km.) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4

Session	RTKPOST	Mean Of CR=0.4	Session	RTKPOST	CR=0.4
1	986	3454.5	13	3375	3597.25
2	903	3600	14	3264	3594
3	1466	3600	15	2933	3600
4	1605	3583.5	16	215	3597.75
5	2752	3545.75	17	325	3599
6	2315	3379.75	18	414	3600
7	2549	3485	19	1967	3588
8	3019	3481.5	20	2501	3529.25
9	1396	3402	21	0	2671
10	3600	3600	22	0	3156.25
11	3600	3600	23	0	3328.5
12	1852	3580.5	24	0	3020

ทำการทดสอบF-Test Two-Sample for Variances ได้ผลการทดสอบความแปรปรวน F-Test Two-Sample for Variances ดังนี้

ตารางที่3. 5 ผลการทดสอบความแปรปรวน F-Test Two-Sample for Variances

F-Test Two-Sample for Variances		
	RTKPOST	CR=0.4
Mean	1741.348	3466.913
Variance	1669783	53930.19
Observations	23	23
df	22	22
F	30.96193	
P(F<=f) one-tail	7.42E-12	
F Critical one-tail	2.357881	

จากตารางที่ 3.6 สามารถตีความผลการทดสอบความแปรปรวน F-Test Two-Sample for Variances ได้ดังนี้

- จากค่า $P(F \leq f)$ one-tail = $7.42E-12$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าครึ่งหนึ่งของระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.025 โดยพบว่าค่า $P(F \leq f)$ one-tail น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ จึงปฏิเสธสมมติฐาน สรุบได้คือ ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่ม มีค่าไม่เท่ากัน
- จากค่า $F = 30.96193$ เปรียบเทียบกับค่า F Critical one-tail = 2.357881 พบว่า ค่า F มากกว่า ค่า F Critical one-tail จึงปฏิเสธสมมติฐาน นั่นคือ ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่ม มีค่าไม่เท่ากัน
- จากการทดสอบพบว่าความแปรปรวนของการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานี SV01 (BL=3.8 km.) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 มีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม โดยใช้ t-test แบบ Two-Sample Assuming Unequal Variances

3.5.1 จากการทดสอบ F-Test Two-Sample for Variances เพื่อตรวจสอบดูว่าข้อมูลจากผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ว่ามีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่แล้วนั้น ให้ทำการทดสอบ t-test ตามผลที่ได้จากการทดสอบ F-Test Two-Sample for Variances ในที่นี้ได้ผลการทดสอบ F-Test Two-Sample for Variances พบว่าให้ใช้ t-Test แบบ Two-Sample Assuming Unequal Variances โดยมีขั้นตอนดังนี้

ทำการทดสอบ t-Test แบบ Two-Sample Assuming Unequal Variances โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \mu_1^2 = \mu_2^2$$

$$H_0: \mu_1^2 \neq \mu_2^2$$

โดยที่ μ_1^2 และ μ_2^2 คือ ค่าเฉลี่ยของผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และความแปรปรวนของผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ตามลำดับ ได้ผลการทดสอบ t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบ t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
	RTKPOST	CR=0.4
Mean	1741.348	3466.913
Variance	1669783	53930.19
Observations	23	23
Hypothesized Mean Difference	0	
df	23	
t Stat	-6.30322	
P(T<=t) one-tail	9.86E-07	
t Critical one-tail	2.068658	
P(T<=t) two-tail	1.97E-06	
t Critical two-tail	2.397875	

จากตารางที่ 3.7 สามารถตีความผลการทดสอบ t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances ได้ดังนี้

- จากค่า $P(T \leq t)$ two-tail = $1.97E-06$ พบว่า มีค่าน้อยกว่า ระดับนัยสำคัญ = 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน นั่นคือ ผลของค่าเฉลี่ยของผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
- จากค่า t Stat = -6.30322 เปรียบเทียบกับค่า t Critical two-tail = 2.397875 พบว่า ค่า t Stat (โดยไม่พิจารณาเครื่องหมาย) มากกว่าค่า t Critical two-tail จึงปฏิเสธสมมติฐาน นั่นคือ ผลของค่าเฉลี่ยของผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล GPS GLONASS และ COMPASS โดยในส่วนของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ทำการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.2 โดยใช้ฟังก์ชัน RTKPOST และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075, 0.01 สำหรับสถานี SV01 (ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร) , สถานี DPT9 (ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร) และสถานี LAND (ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร) ทำการประมวลผลข้อมูลร่วมกับการประยุกต์ใช้ GA บนซอฟต์แวร์ MATLAB 2014 ได้ผลการศึกษาดังหัวข้อต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบจำนวนค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน SV01 (BL=3.8 km.) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	RTKPOST	SV01 (BL=3.8 km.)											
		CR = 0.4				CR = 0.6				CR = 0.8			
		MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01
1	986	3551	3551	3116	3600	3551	3551	3551	3551	3551	3520	3551	3551
2	903	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
3	1466	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3385	3600	3600
4	1605	3600	3593	3600	3541	3593	3580	3580	3580	3600	3593	3600	3600
5	2752	3600	3600	3383	3600	3152	3466	3600	3600	3600	3383	3600	3600
6	2315	3179	3600	3242	3498	3498	3113	3600	3600	3600	3314	3600	3600
7	2549	3524	3406	3505	3505	3546	3553	3453	3406	3546	3524	3546	3546
8	3019	3589	3546	3309	3482	3596	3429	3589	3384	3596	3238	3596	3596
9	1396	3551	3438	3380	3239	3581	3581	3584	3461	3397	3471	3600	3397
10	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
11	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
12	1852	3600	3600	3600	3522	2921	3555	3599	3599	3542	3555	3600	3600

Session	RTKPOST	SV01 (BL=3.8 km.)											
		CR = 0.4				CR = 0.6				CR = 0.8			
		MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01
13	3375	3600	3589	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3565	3560	3600	3600
14	3264	3595	3581	3600	3600	2921	3600	3572	3592	3594	3565	3600	3600
15	2933	3600	3600	3600	3600	3593	3597	3596	3600	3596	3600	3599	3600
16	215	3597	3594	3600	3600	3600	3600	3595	3600	3600	3600	3594	3559
17	325	3600	3598	3598	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3589	3589
18	414	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3575	3600
19	1967	3553	3599	3600	3600	3557	3400	3546	3569	3599	3481	3552	3560
20	2501	3522	3577	3522	3496	3522	3440	3522	3560	3577	3577	3401	3401
21	0	2050	2119	3288	3227	2226	2176	2006	2050	3227	2176	2117	3288
22	0	3189	3189	3108	3139	2055	3189	3076	2055	3064	3108	3189	3139
23	0	2710	3600	3600	3404	3420	2557	3404	1107	2557	2710	3420	3600
24	0	3225	2951	2679	3225	3225	2559	1456	3225	2250	1821	2352	2611
%AR	47.50	95.67	96.45	95.98	97.31	93.47	93.92	94.36	92.29	95.41	92.80	95.70	97.27



ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบจำนวนค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีสฐาน DPT9 (BL=6.7 km.) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	RTKPOS T	DPT9 (BL=6.7 km.)											
		CR = 0.4				CR = 0.6				CR = 0.8			
		MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01
1	765	3600	3600	3600	3594	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
2	2767	3556	3600	3600	3600	3391	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
3	980	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
4	2858	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
5	324	3543	3600	3600	3600	3599	3599	3600	3600	3599	3600	3600	3600
6	574	2259	2467	2935	3600	1901	1901	2936	2936	1946	1946	1946	2482
7	2770	3446	3446	3446	3446	2691	3446	3446	3223	3446	3446	3446	3446
8	0	3600	3593	3582	3582	3594	3599	3593	3491	3600	3593	3593	3600
9	2113	3600	3556	3594	3345	3594	3600	3600	3378	3514	3600	3600	3390
10	3385	3599	3600	3600	3600	3600	3599	3599	3600	3599	3451	3450	3600
11	3344	3600	3594	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
12	3527	3599	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3599	3600	3600	3600
13	3599	3600	3600	3600	3600	3184	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
14	3599	3599	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3599	3599	3599	3600
15	2395	3600	3600	3600	3599	3599	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
16	0	3600	3599	3600	3600	3599	3600	3600	3600	3599	3600	3600	3600
17	0	3600	3600	3599	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3599	3599	3600
18	950	3600	3511	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3599	3600	3600	3599
19	865	3600	3600	3534	3599	3600	3537	3600	3600	3600	3600	3600	3599
20	1742	3600	3600	3600	3600	2312	3600	3600	3599	3600	3559	3559	3599
21	2120	3599	3600	3600	3600	3600	3600	3599	3600	3600	3154	2831	3600
22	2968	3600	3518	3600	3593	3600	3587	3600	3600	3600	3600	3600	3600
23	9	3594	3600	3593	3600	3594	3594	3593	3594	3594	3594	3594	3593
24	351	3595	3598	3597	3598	3597	3592	3593	3593	3596	3600	3599	3599
%AR	48.62	98.14	98.24	98.94	99.49	94.74	97.75	99.03	98.40	97.79	97.15	96.78	98.27

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบจำนวนค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐานLAND (BL=23.2 km.) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	RTKPOS T	LAND (BL=23.2 km.)											
		CR = 0.4				CR = 0.6				CR = 0.8			
		MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01
1	0	851	1049	686	452	795	795	1101	1123	851	851	851	851
2	0	2115	837	994	525	1182	1182	850	1182	1523	1523	1523	1523
3	574	2325	2064	560	1323	1678	2340	2340	1678	2340	2340	2340	2340
4	877	2357	409	340	1899	349	2439	695	349	1444	1444	1444	676
5	200	683	969	550	678	737	896	968	737	969	969	969	234
6	119	563	745	772	444	563	745	524	563	563	698	698	463
7	0	739	930	916	735	480	131	220	480	739	1683	173	739
8	0	1683	549	1016	2731	1016	308	733	1016	260	3202	1683	749
9	0	3202	2567	1226	1532	3598	2858	2195	3598	2195	3600	3232	1581
10	0	3600	3600	3600	3600	3588	2244	3600	3600	3600	3587	3593	3010
11	3295	3600	3600	3600	3600	3599	3599	3587	3600	3600	3600	3599	3600
12	3573	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
13	3591	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3561	3600	3600	3600	3599	3600
14	3599	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
15	3598	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3599	3600	3600
16	3588	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
17	0	3599	3600	3597	3600	3600	3600	3597	3600	3599	3599	3593	3599
18	163	3600	2886	3600	3599	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
19	95	3595	1680	3595	2010	2674	2781	2886	2886	2693	2738	3595	2321
20	665	1353	1315	1535	1034	1535	1861	1880	1752	1752	1511	940	1535
21	136	3600	2454	3600	3600	3600	3348	3600	1794	3600	3600	1299	3600
22	0	2577	3589	2275	3207	3600	3514	3514	3600	2374	2331	2655	2635
23	2494	3600	2580	3600	3597	3600	3600	3589	3597	3597	3600	3600	3443
24	537	3046	1933	2460	3210	3313	1294	2460	2196	1729	2460	1325	2196
%AR	31.37	74.87	63.61	65.42	68.72	70.73	68.44	69.10	68.23	68.32	75.12	67.95	65.62

จากข้อมูลในตาราง 4.1, 4.2, 4.3 ข้างต้นแสดงผลการเปรียบเทียบจำนวนค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) แต่ละสถานีฐานที่มีความยาวเส้นฐานต่างๆ ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน โดยในส่วนของกราฟวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ มีรายละเอียดอธิบายในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

4.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมวลผลค่าเลขปริศนาที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate)

จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075, 0.01 สำหรับแต่ละสถานีที่มีความยาวเส้นฐานโดยประมาณ 3.8, 6.7 และ 23.2 กิโลเมตร ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่ความยาวเส้นฐานต่างๆที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

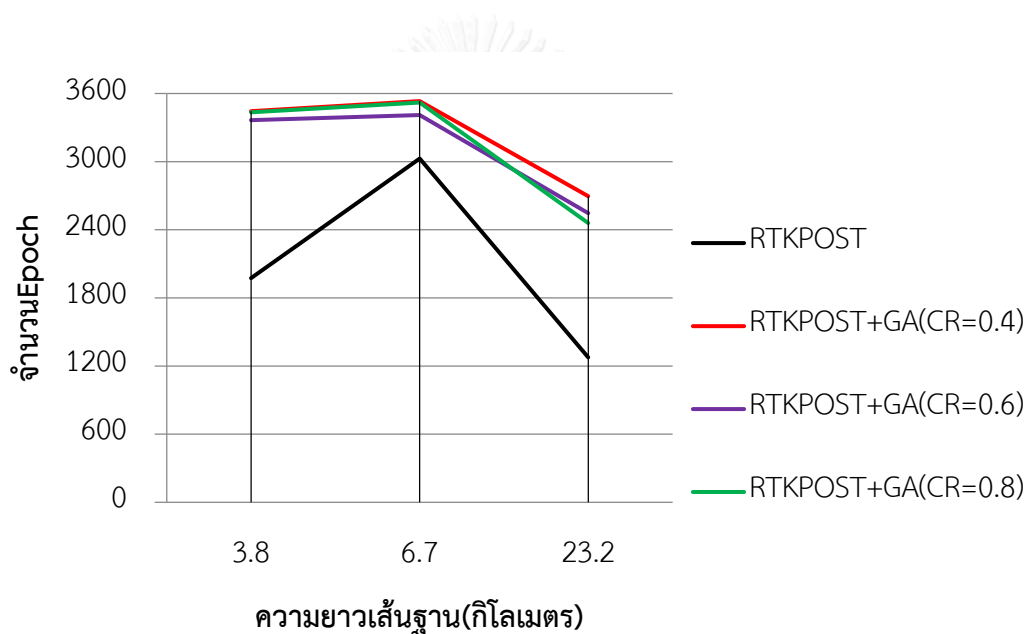
Station		SV01	DPT9	LAND	
		(BL=3.8 km.)	(BL=6.7 km.)	(BL=23.2 km.)	
No. of Epoch		3600×24 = 86400	3600×24 = 86400	3600×24 = 86400	
RTKPOST		41037 (47.50%)	42005 (48.62%)	27104 (31.37%)	
RTKPOST + GA	CR = 0.4	MR=0	82661 (95.67%)	84789 (98.14%)	64688 (74.87%)
		MR=0.005	83331 (96.45%)	84882 (98.24%)	54956 (63.61%)
		MR=0.0075	82930 (95.98%)	85480 (98.94%)	56522 (65.42%)
		MR=0.01	84078 (97.31%)	85956 (99.49%)	59376 (68.72%)

Station			SV01	DPT9	LAND
			(BL=3.8 km.)	(BL=6.7 km.)	(BL=23.2 km.)
RTKPOST + GA	CR = 0.6	MR=0	80757 (93.47%)	81855 (94.74%)	61107 (70.73%)
		MR=0.005	81146 (93.92%)	84454 (97.75%)	59135 (68.44%)
		MR=0.0075	81529 (94.36%)	85559 (99.03%)	59700 (69.10%)
		MR=0.01	79739 (92.29%)	85014 (98.40%)	58951 (68.23%)
	CR = 0.8	MR=0	82435 (95.41%)	84490 (97.79%)	59028 (68.32%)
		MR=0.005	80181 (92.80%)	83941 (97.15%)	61798 (75.12%)
		MR=0.0075	82681 (95.70%)	83616 (96.78%)	61798 (67.95%)
		MR=0.01	84037 (97.27%)	84907 (98.27%)	56695 (65.62%)
ผลการปรับปรุงเฉลี่ย			มากขึ้น 47.55%	มากขึ้น 49.27%	มากขึ้น 37.47%

จากข้อมูลในตาราง 4.4 เมื่อสังเกตค่าเฉลี่ยของจำนวนค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ส่งผลให้มีอัตราการ Fix- Ambiguity ที่ดีขึ้นกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ โดยจำนวนและอัตราการ Fix- Ambiguity ที่เป็นผลสำเร็จ ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) พบว่าที่สถานี SV01 (ระยะเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร) มีอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์เป็น 47.50% และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 เป็น 95.67%, 96.45%, 95.98%, 97.31%, 93.47%, 93.92%, 94.36%, 92.29%, 95.41%, 92.80%, 95.70% และ 97.27% ตามลำดับ โดยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) สามารถปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีดีขึ้นเฉลี่ย 47.55% ที่สถานี DPT9 (ระยะเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร) มีอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์เป็น 48.62% และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6,

และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 เป็น 98.14%, 98.24%, 98.94%, 99.49%, 94.74%, 97.75%, 99.03%, 98.40%, 97.79%, 97.15%, 96.78% และ 98.27% ตามลำดับ วิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) สามารถปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีดีขึ้นเฉลี่ย 49.27% และที่สถานี LAND (ระยะเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร) มีอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์เป็น 31.37% และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 เป็น 74.87%, 63.61%, 65.42%, 68.72%, 70.73%, 68.44%, 69.10%, 68.23%, 68.32%, 75.12%, 67.95% และ 65.62% ตามลำดับ วิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) สามารถปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีดีขึ้นเฉลี่ย 37.47% และพบว่าที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 และ 6.7 กิโลเมตร ที่มีกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 มีจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ที่เป็นผลสำเร็จของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ดีที่สุดที่การกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0.01, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ ส่วนที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร ที่มีกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 มีจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ที่เป็นผลสำเร็จของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ดีที่สุดที่การกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0 และ 0.005 ตามลำดับ

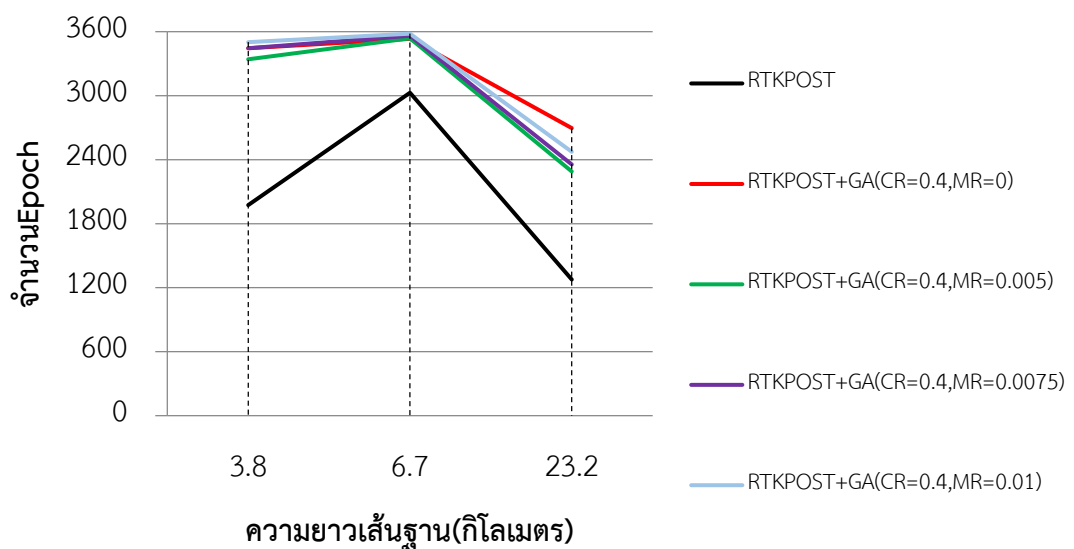
จากข้อมูลในตารางข้างต้น ผู้ทำการวิจัยได้เปรียบเทียบจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่ความยาวเส้นฐานต่างๆที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ที่แตกต่างกัน แสดงในรูปของกราฟเปรียบเทียบผล ดังรูปที่ 4.1 โดยที่แกนนอนแสดงความยาวเส้นฐานเป็น Baseline มีหน่วยเป็นกิโลเมตร และแกนตั้งแสดงข้อมูลจำนวนหน่วยเวลาเป็น Epoch Number โดยเส้น “สีดำ” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ ในขณะที่เส้น “สีแดง”, “สีเขียว” และ “สีม่วง” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยมีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 ตามลำดับ



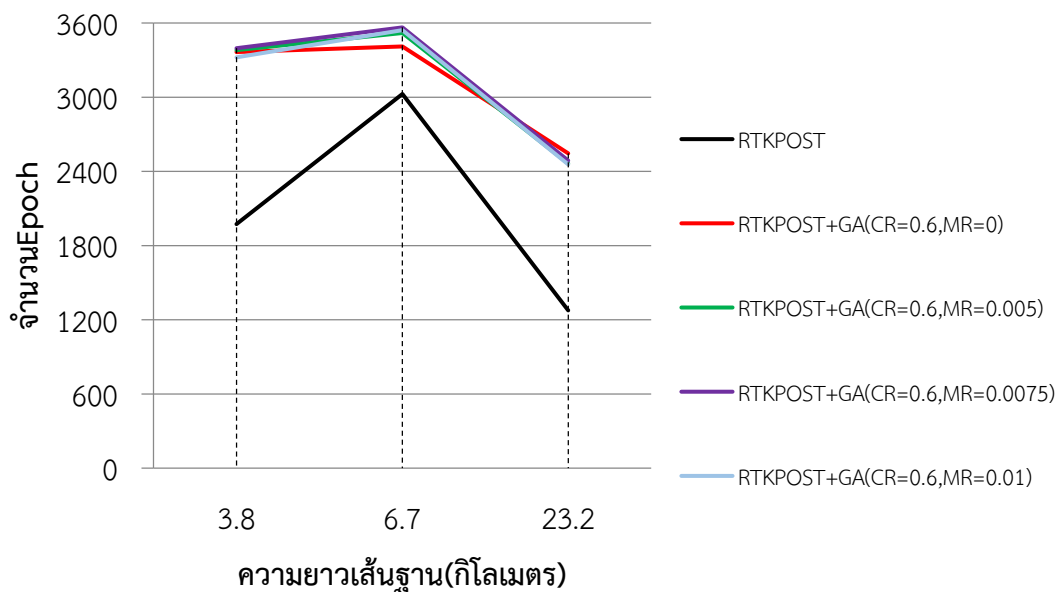
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ

และจากข้อมูลในตารางข้างต้น ผู้ทำการวิจัยได้เปรียบเทียบจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่ความยาวเส้นฐานต่างๆที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน แสดงในรูปของกราฟเปรียบเทียบผล ดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ประกอบ โดยที่แกนนอนแสดงความยาวเส้น

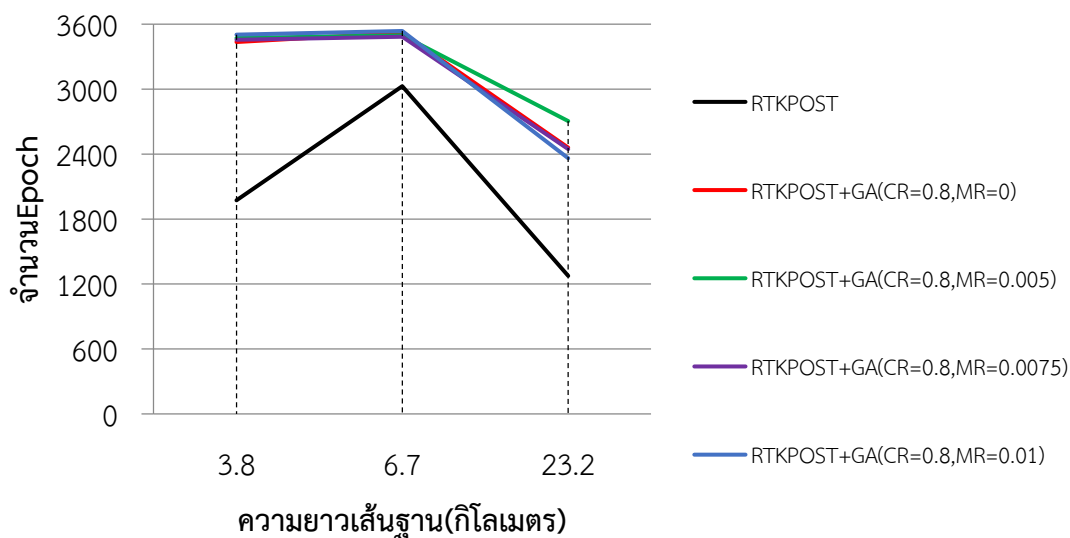
ฐานเป็น Baseline มีหน่วยเป็นกิโลเมตร และแกนตั้งแสดงข้อมูลจำนวนหน่วยเวลาเป็น Epoch Number โดยเส้น “สีดำ” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ ในขณะที่เส้น “สีแดง”, “สีเขียว”, “สีม่วง” และ “สีฟ้า” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยมีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ

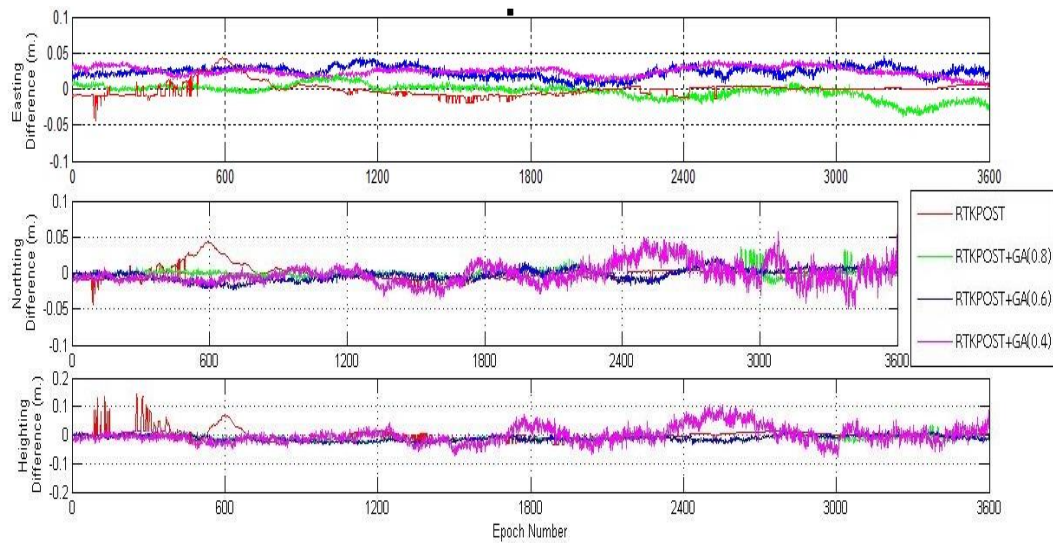


รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลของขบวนการ Ambiguity Resolution ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ

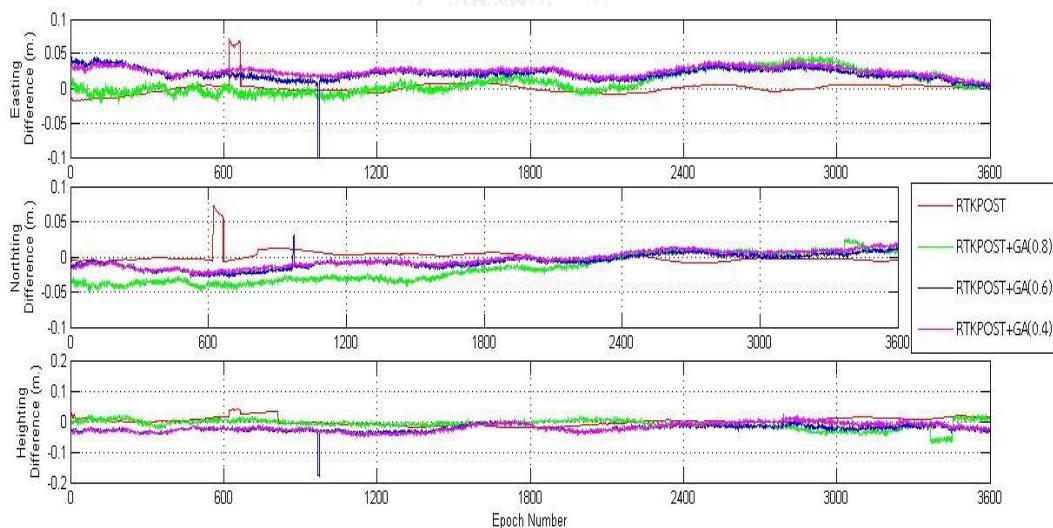
จากรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 พบว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ให้ผลของเส้นกราฟแสดงอัตราการ Fix Ambiguity ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีอัตราการ Fix Ambiguity ที่มากกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์สำหรับทุกๆเส้นฐานและทุกๆการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่ทำการทดลอง และยังพบว่าทุกๆการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ได้ผลอัตราการ Fix Ambiguity ที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเดียวกัน นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าที่สถานี SV01 และสถานีDPT9 ที่มีความยาวเส้นฐานเท่ากับ 3.8 และ 6.7 กิโลเมตร ตามลำดับ นั้นมีอัตราการ Fix Ambiguity ที่มากกว่าสถานี LAND ที่มีความยาวเส้นฐานเท่ากับ 23.2 กิโลเมตรเป็นอย่างมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขบวนการ Ambiguity Resolution: AR นั้นมีความสัมพันธ์อย่างมากกับความยาวเส้นฐาน เนื่องจากอัตราการ Fix Ambiguity ที่ได้จากการประมวลผลนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวเส้นฐานเพิ่มมากขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ทำการสำรวจว่ามีอุปสรรคหรือมีสิ่งกีดขวางในการทำงานหรือไม่เช่น ดึกสูง ต้นไม้ใหญ่ เป็นต้น โดยผลจากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) นั้นสามารถปรับปรุงขบวนการ Ambiguity Resolution: AR ในทุกความยาวเส้นฐานที่ทำการทดสอบได้ดีขึ้นกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์

4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate)

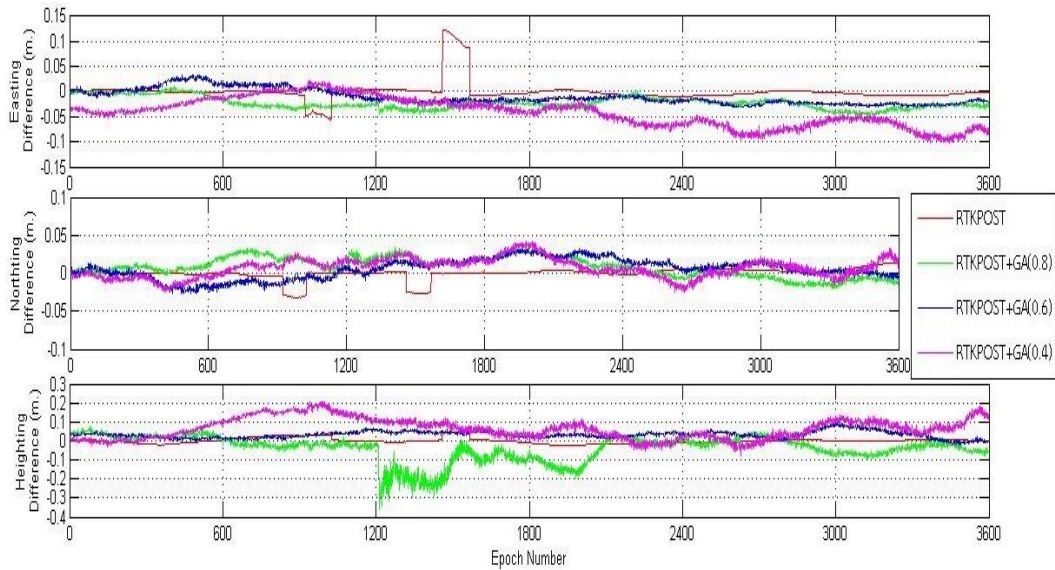
การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) เทียบกับค่าพิกัดอ้างอิง โดยทำการหาขนาดของค่าคลาดเคลื่อน หรือค่าต่างพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8, 6.7 และ 23.2 กิโลเมตร ตามลำดับ แสดงตัวอย่างค่าผลต่างพิกัดของบางคาบเวลา (Session) สำหรับความยาวเส้นฐานต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ โดยที่แกนนอนแสดงข้อมูลเรียงตามหน่วยเวลาเป็น Epoch และแกนตั้งแสดงขนาดของผลต่างในองค์ประกอบพิกัดทางราบ E, N และทางตั้ง H ตามลำดับ มีหน่วยเป็นเมตร โดยในรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ โดยเส้น "สีแดง" แทนด้วยผลของค่าต่างที่ได้มาจากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ในขณะที่เส้น "สีเขียว", "สีน้ำเงิน" และ "สีม่วงแดง" แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยมีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ต่าง ๆ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลาามาแสดง)



รูปที่ 4.6 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ต่าง ๆ สำหรับสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลาามาแสดง)



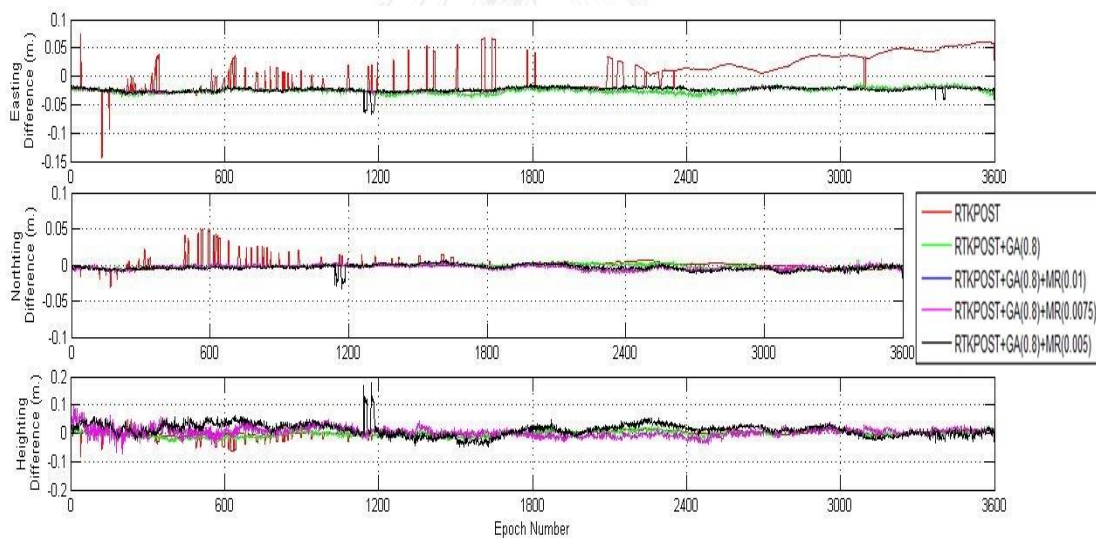
รูปที่ 4.7 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ต่าง ๆ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)

จากรูป 4.5, 4.6 และ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าต่างพิกัดตำแหน่งที่ได้จากทั้งแสดงค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ค่าต่าง ๆ นั้น พบว่าที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 (สถานี SV01) , 6.7 (สถานี DPT9) และ 23.2 กิโลเมตร (สถานี LAND) ได้ค่าผลต่างพิกัดทางราบ E, N และความสูง H ที่ได้จากทั้งจากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) มีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเดียวกัน โดยค่าต่างพิกัดทางราบ E, N และความสูง H มีค่าต่างกันในระดับเซนติเมตร ในส่วนค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่อัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ที่ 0.8, 0.6, 0.4 นั้นมีการแกว่งของพิกัดตำแหน่งที่จุดใกล้เคียงกันโดยการแกว่งนั้นมีแนวโน้มเดียวกัน

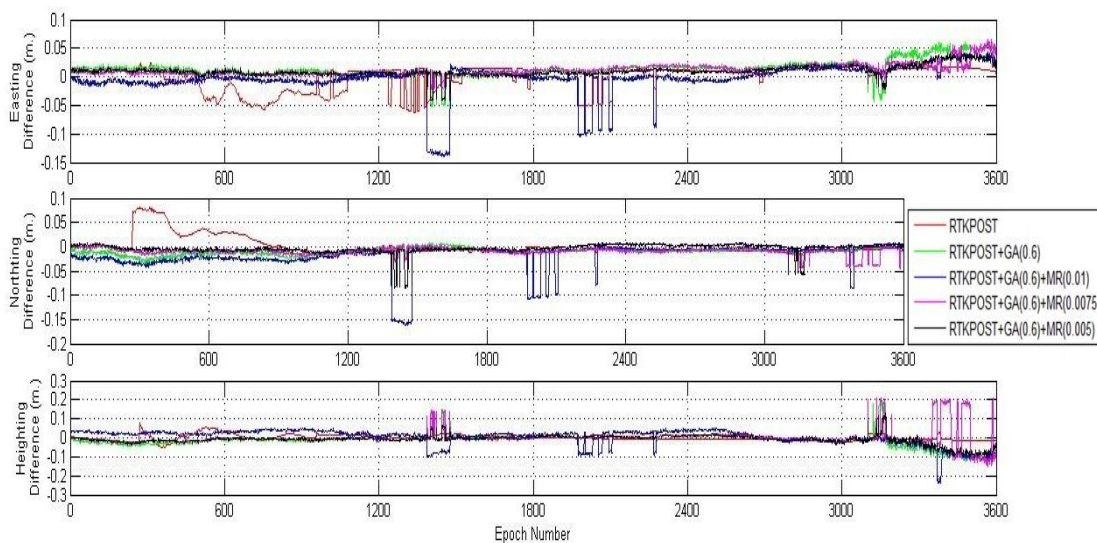
ส่วนการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลระหว่างการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) เทียบกับค่าพิกัดอ้างอิง โดยทำการหาขนาดของค่าคลาดเคลื่อน หรือค่าต่างพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8, 6.7 และ 23.2 กิโลเมตร ตามลำดับ แสดงตัวอย่างค่าผลต่างพิกัดของบางคาบเวลา (Session) สำหรับความยาวเส้นฐานต่าง ๆ

โดยมีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ, อัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ และ อัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ ได้ดังรูปที่ 4.8 , 4.9 , 4.10 , 4.11 , 4.12 , 4.13 , 4.14 , 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ

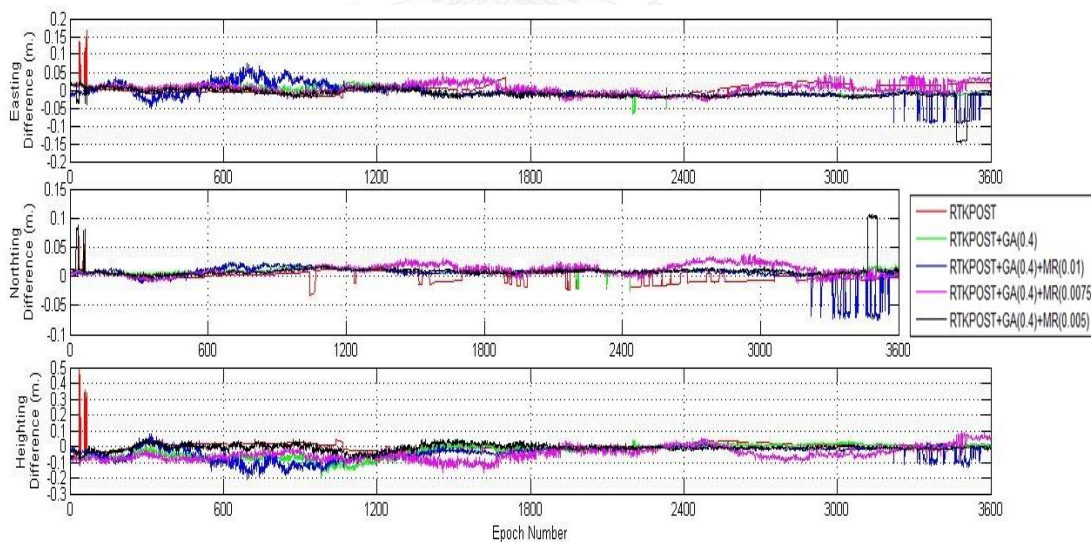
โดยที่แกนนอนแสดงข้อมูลเรียงตามหน่วยเวลาเป็น Epoch และแกนตั้งแสดงขนาดของผลต่างในองค์ประกอบพิกัดทางราบ E, N และทางตั้ง H ตามลำดับ มีหน่วยเป็นเมตร โดยในรูปที่ 4.8 , 4.9 , 4.10 , 4.11 , 4.12 , 4.13 , 4.14 , 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ เป็นกราฟแสดงค่าต่างพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ที่มีที่ความยาวเส้นฐาน 3.8, 6.7 และ 23.2 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยเส้น “สีแดง” แทนด้วยผลของค่าต่างที่ได้มาจากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ในขณะที่เส้น “สีเขียว”, “สีน้ำเงิน”, “สีม่วงแดง” และ “สีดำ” แทนด้วยค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA)



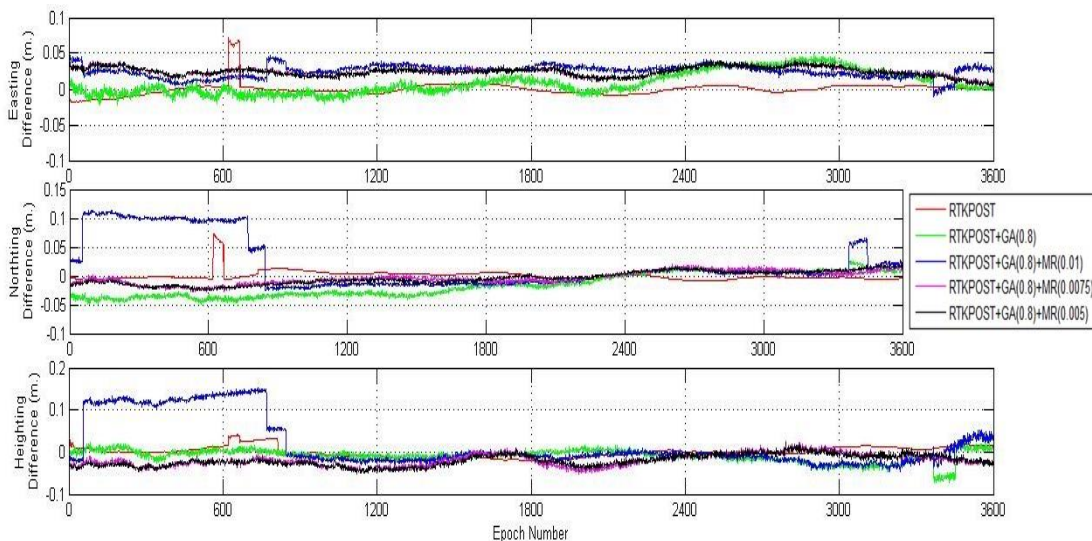
รูปที่ 4.8 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



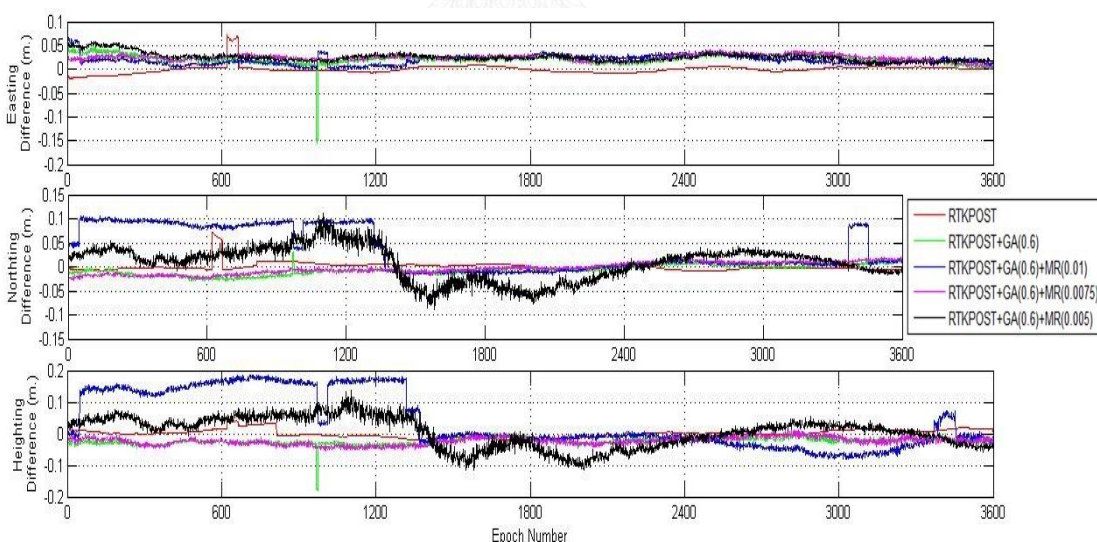
รูปที่ 4.9 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



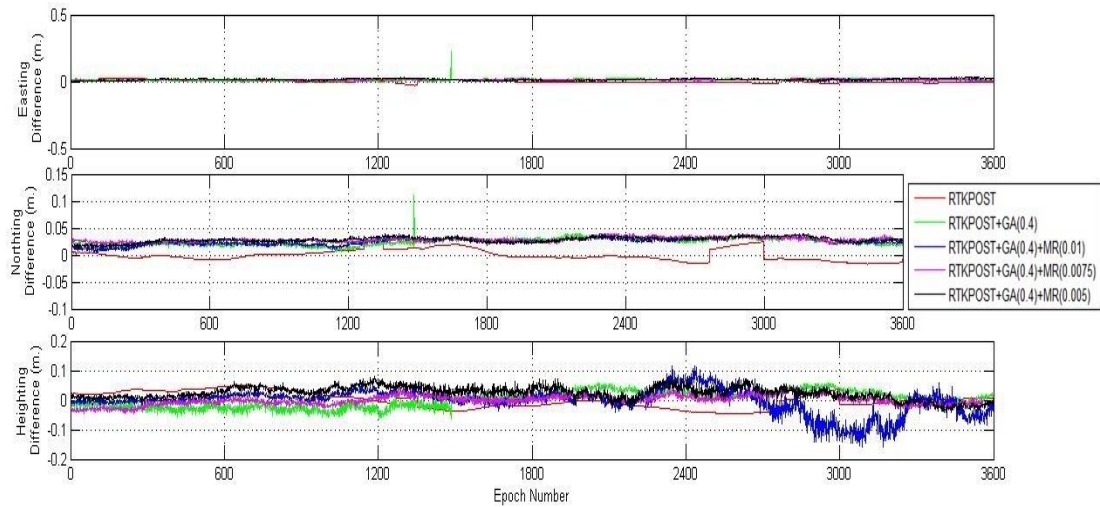
รูปที่ 4.10 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



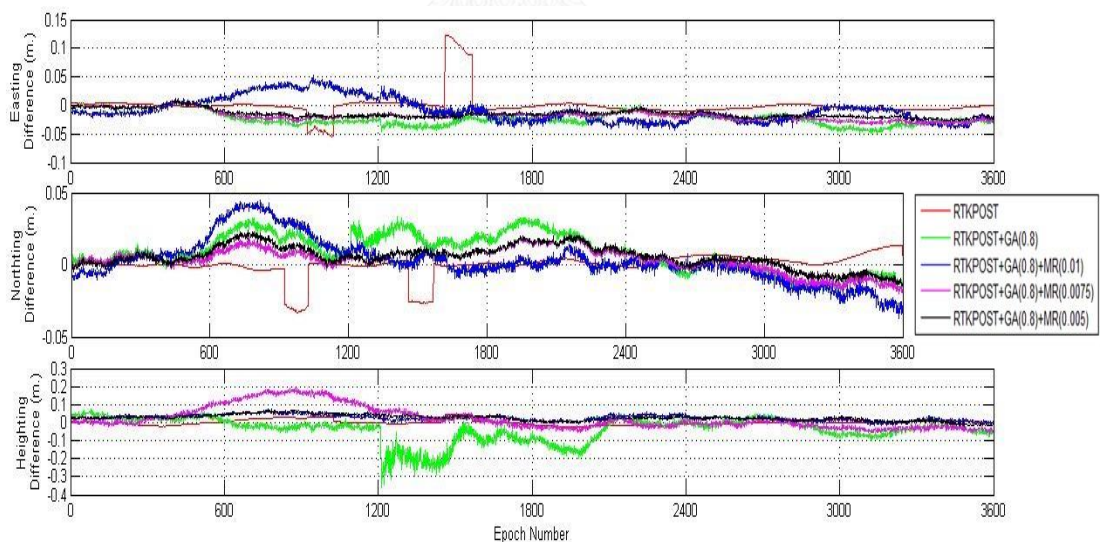
รูปที่ 4.11 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



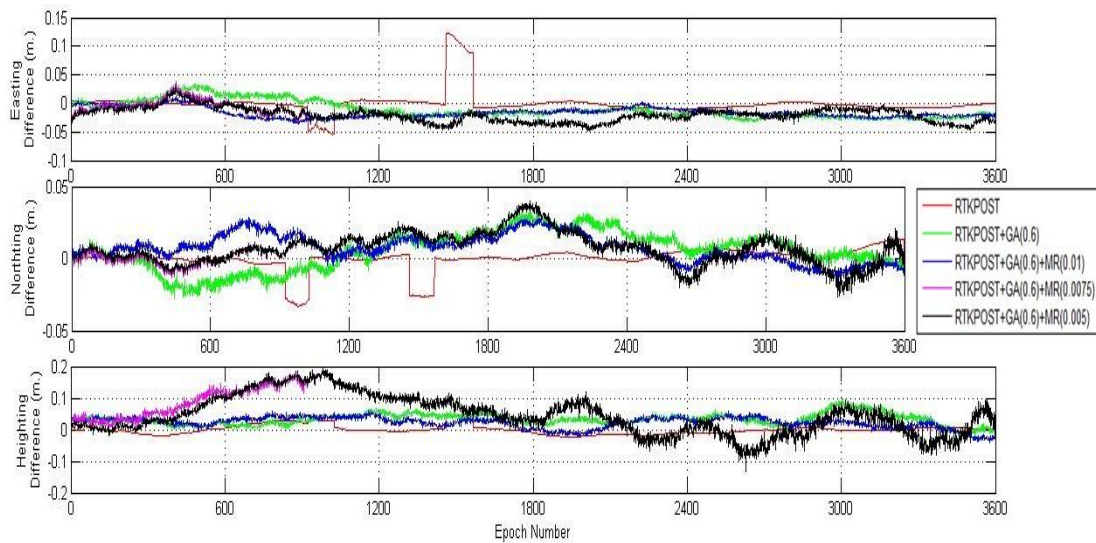
รูปที่ 4.12 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



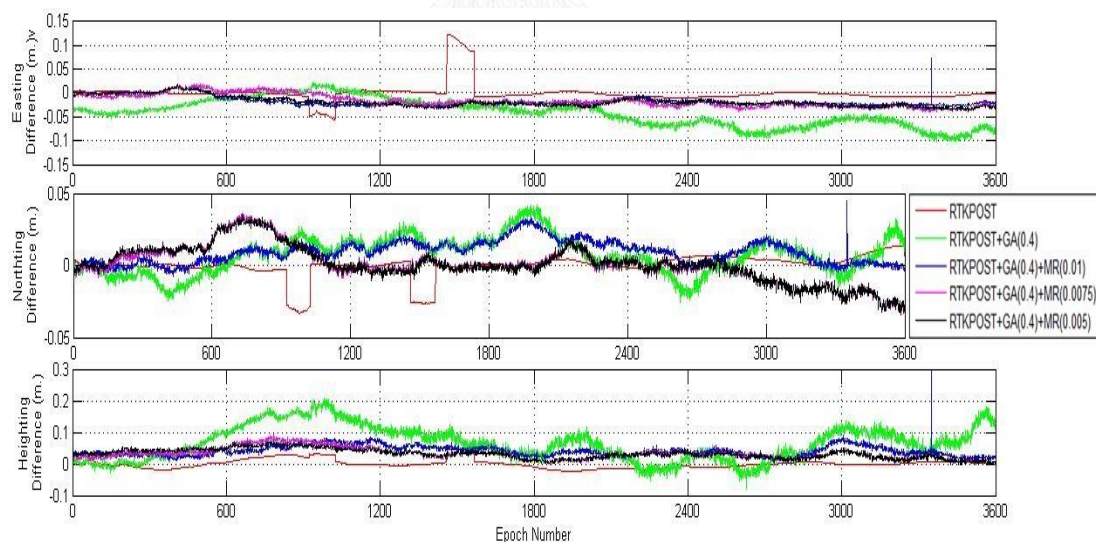
รูปที่ 4.13 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



รูปที่ 4.14 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



รูปที่ 4.15 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)



รูปที่ 4.16 ค่าผลต่างในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร (เลือกบางคาบเวลามาแสดง)

จากรูป 4.8 , 4.9 , 4.10 , 4.11 , 4.12 , 4.13 , 4.14 , 4.15 และ 4.16 จะเห็นได้ว่าค่าผลต่างพิกัดทางราบ E, N และความสูง H ที่ได้การประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่ความยาวเส้นฐานต่างๆที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ นั้นพบว่าค่าผลต่างพิกัดทางราบ E, N และความสูง H ที่ได้จากทั้งจากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์กับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) มีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเดียวกันทุกความยาวเส้นฐาน มีการแกว่งในระดับเซนติเมตร และที่ยาวเส้นฐาน 3.8 (สถานี SV01) และ 6.7 (สถานี DPT9) จะมีค่าผลต่างพิกัดทางราบ E, N และความสูง H ที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเดียวกัน ส่วนที่ยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร (สถานี LAND) จะมีค่าผลต่างพิกัดทางราบ E, N และความสูง H มากกว่าที่ยาวเส้นฐาน 3.8 (สถานี SV01) และ 6.7 (สถานี DPT9) โดยค่าผลต่างพิกัดทางราบ E, N และความสูง H วิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) กำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ นั้นมีการแกว่งของพิกัดตำแหน่งที่จุดใกล้เคียงกันโดยการแกว่งนั้นมีแนวโน้มเดียวกัน ในส่วนของการเปรียบเทียบค่าพิกัดตำแหน่งระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่ความยาวเส้นฐานต่างๆที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8, 0.6 และ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ ในขั้นตอนวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) นั้นจะใช้รากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เพื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของค่าต่าง หรือค่าคลาดเคลื่อนทางพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลจากทั้งวิธีการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) เทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงในแต่ละสถานี โดยค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ พบว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์มีความแตกต่างกับวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และ การกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน และการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์นั้นให้ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของตำแหน่งทางราบและทางตั้งที่ดีกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ในทุก ๆ ความยาวเส้นฐานที่ทำการทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution: AR)

จากการศึกษาพบว่าขบวนการ Ambiguity Resolution: AR นั้นมีความสัมพันธ์อย่างมากกับความยาวเส้นฐาน เนื่องจากอัตราการ Fix Ambiguity ที่ได้จากการประมวลผลนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวเส้นฐานเพิ่มมากขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ทำการสำรวจว่ามีอุปสรรคหรือมีสิ่งกีดขวางในการทำงานหรือไม่เช่น ตึกสูง ต้นไม้ใหญ่ เป็นต้น ซึ่งผลจากการที่มีจำนวนดาวเทียมมากขึ้นทำให้มีข้อมูลที่ได้จากการรังวัดมีมากขึ้นและนำไปสู่การหาตำแหน่งได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องสูง ช่วยในการทำงานสำรวจในพื้นที่ที่เป็นอุปสรรคหรือมีสิ่งกีดขวางในการทำงาน เนื่องจากขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution, AR) ถือเป็นหัวใจสำคัญอีกอันหนึ่งที่มีผลต่อค่าความถูกต้องของค่าพิกัดตำแหน่ง โดยผลจากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) นั้นสามารถปรับปรุงขบวนการ Ambiguity Resolution: AR ในทุกความยาวเส้นฐานที่ทำการทดสอบได้ดีขึ้นกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ โดยจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ที่เป็นผลสำเร็จ ระหว่างวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) พบว่าที่สถานี SV01 (ระยะเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร) มีอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์เป็น 47.50% และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 เป็น 95.67%, 96.45%, 95.98%, 97.31%, 93.47%, 93.92%, 94.36%, 92.29%, 95.41%, 92.80%, 95.70% และ 97.27% ตามลำดับ โดยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) สามารถปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีดีขึ้นเฉลี่ย 47.55% ที่สถานี DPT9 (ระยะเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร) มีอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์เป็น 48.62% และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover

Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 เป็น 98.14%, 98.24%, 98.94%, 99.49%, 94.74%, 97.75%, 99.03%, 98.40%, 97.79%, 97.15%, 96.78% และ 98.27% ตามลำดับ วิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) สามารถปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีดีขึ้นเฉลี่ย 49.27% และที่สถานี LAND (ระยะเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร) มีอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีโดยวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์เป็น 31.37% และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 เป็น 74.87%, 63.61%, 65.42%, 68.72%, 70.73%, 68.44%, 69.10%, 68.23%, 68.32%, 75.12%, 67.95% และ 65.62% ตามลำดับ วิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) สามารถปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีดีขึ้นเฉลี่ย 37.47% และพบว่าที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 และ 6.7 กิโลเมตร ที่มีกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 มีจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ที่เป็นผลสำเร็จของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ดีที่สุดที่การกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0.01, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ ส่วนที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร ที่มีกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 มีจำนวนและอัตราการ Fix Ambiguity ที่เป็นผลสำเร็จของวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ดีที่สุดที่การกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0 และ 0.005 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียม GPS GLONASS และ COMPASS หรือ GNSS ทั้งหมดที่รับสัญญาณได้นั้น ไม่อาจจะให้ค่าผลลัพธ์ของขบวนการ Ambiguity Resolution: AR ที่ดีเสมอไป ในบางกรณีการเลือกข้อมูลดาวเทียมบางชุดข้อมูลออกไปก่อนนำเข้าสู่การประมวล โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) เพื่อคัดเลือกให้ได้ดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ สามารถช่วยปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีได้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับการเลือกนำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ขบวนการประมวลผล แต่ในบางกรณีถ้าผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ได้ค่าที่ต่ำกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ ให้เลือกใช้ผลที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่เท่าเดิมไม่ทำให้ผลที่ได้แย่ง

แต่อย่างไรก็ตามในส่วนของค่าพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ที่ได้จากการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ในการสุ่มคัดเลือกกลุ่ม

ดาวเทียมดวงที่มีความเหมาะสมที่สุดนั้นให้ค่าที่แยกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ ซึ่งขัดกับทฤษฎีที่ว่าหากขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาประสบผลสำเร็จและมีจำนวนของค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็มเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งที่มีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องที่ดีขึ้นตามมาด้วย โดยเมื่อทำการพิจารณาถึงผลของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎีและตามที่คาดหวังนั้น อาจจะมีสาเหตุอันหลายประการ เช่น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมสำหรับกลุ่มดาวเทียม GPS GLONASS และ COMPASS หรือ GNSS ที่ได้จากการสุ่มเลือกโดยขั้นตอนวิธีประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม(GA) ไม่ครอบคลุมตัวแปร หรือปัจจัยที่ซึ่งมีผลต่อค่าพิกัดตำแหน่งส่งผลให้กลุ่มดาวเทียมที่ได้ที่ไม่มีความเหมาะสมมากพอ

5.2 สรุปผลการศึกษา

จากการวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4, 0.6, และ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.005, 0.0075 และ 0.01 ตามลำดับ นั้น มีผลต่อขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาที่ดีกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ แต่ในส่วนของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ พบว่าค่าพิกัดตำแหน่งทางราบ E, N และทางตั้ง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์นั้น ยังคงมีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ทุก ๆ อัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่ทำการทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยเรื่องการปรับเปลี่ยนอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยไม่มีผลหรือไม่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงในส่วนของค่าพิกัดตำแหน่งให้ดีขึ้น โดยสาเหตุที่ค่าพิกัดตำแหน่งมีค่าคลาดเคลื่อนที่มากกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์อาจเป็นผลมาจาก ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ไม่ได้ถูกออกแบบให้ครอบคลุมตัวแปรและพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีผลต่อค่าพิกัดตำแหน่งมากพอ โดยพบว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ในส่วนของการเปรียบเทียบผลที่มีการกำหนดอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน ซึ่งผลของขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นจำนวนเต็มและค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากจากการทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) สามารถปรับปรุงอัตราการประมาณค่าเลขปริศนา

ให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎีดีขึ้นกว่าการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ แต่การประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์นั้นให้ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของตำแหน่งทางราบและทางตั้งที่ดีกว่าวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ในทุก ๆ ความยาวเส้นฐานที่ทำการทดลอง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการประเมินผลชุดคำตอบ จำเป็นต้องมีการออกแบบและเลือกใช้ให้มีความเหมาะสม และสอดคล้องครอบคลุมตัวแปรและปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าพิกัดตำแหน่งร่วมด้วย ซึ่งจากผลที่ได้นั้นขัดกับผลลัพธ์ที่คาดหวัง คือ เมื่อทำการปรับปรุงการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎีได้ดีขึ้น ส่งผลให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งที่ดีขึ้นตามมาด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1.) ควรมีความหลากหลายของช่วงความยาวเส้นฐาน เพื่อสะท้อนให้เห็นผลของการปรับปรุงขบวนการ Ambiguity Resolution: AR ในช่วงความยาวเส้นฐานที่แตกต่างกันได้
- 2.) วิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ในขั้นตอนของการประเมินค่าเหมาะสม อาจต้องมีการออกแบบและเพิ่มเติมฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยมีการพิจารณาในส่วนของค่าตัวแปรปัจจัยนั้น ๆ นอกเหนือจากการพิจารณาเฉพาะค่าเลขปริศนาที่เป็นเลขจำนวนเต็ม เข้าไปในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วย เพื่อปรับเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของตำแหน่งทางราบ E, N และตั้ง H ให้ดีขึ้น
- 3.) ควรมีการศึกษาโดยใช้ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บแบบจลน์ (Kinematic) เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นผลของการปรับปรุงขบวนการ Ambiguity Resolution: AR รวมไปถึง ค่าความถูกต้องและค่าความน่าเชื่อถือ ระหว่างการใช้ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บแบบจลน์และแบบสถิต
- 4.) ควรมาการตรวจสอบค่าความละเอียดถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA)

รายการอ้างอิง

Bäck, T. (1993). "Optimal Mutation Rates in Genetic Search." in: Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, S. Forrest (ed.) (Morgan Kaufmann, San Mateo, CA): pp.2-8.

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

Chen, H. C., et al. (2009). "The performance comparison between GPS and BeiDou-2/COMPASS: A perspective from Asia." Journal of the Chinese institute of engineers: pp.679–689.

Liu, Z., et al. (2005). "Ambiguity Resolution of Double-Difference GPS Short Baseline Using Genetic Algorithms." International Conference on Space Information Technology: pp. 422-427.

Liu, Z., et al. (2010). "GPS Ambiguity Resolution of Single Epoch Data Using Genetic Algorithms." International Conference on Natural Computation: pp. 2365-2368.

Lu, L., et al. (2013). "Virtual baseline method for Beidou attitude determination – An improved long-short baseline ambiguity resolution method." Advances in Space Research 51(6): 1029-1034.

Odolinski, R., et al. (2013). "Quality Analysis of a Combined COMPASS /BeiDou-2 and GPS RTK Positioning Model." IGNSS Symposiu.

Pratt, M., et al. (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.

Srinivas, M. and L. M. Patnaik (1994). "Adaptive probabilities of crossover and mutation in Genetic Algorithm." IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics: pp.656-667.

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

Verhagen, S. and P. J. G. Teunissen (2014). "Ambiguity resolution performance with GPS and BeiDou for LEO formation flying." Advances in Space Research 54(5): 830-839.

Xiaoyu Shi, et al. (2013). "Research and Implementation of Ambiguity Resolution for Combined GPS/GLONASS/COMPASS Positioning." Lecture Notes in Electrical Engineering Vol. 245: pp.469-477.

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

เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (พ.ศ. 2549). เอกสารประกอบคำสอนวิชางานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 165 หน้า.

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

สุรเชษ ศรีนารา (2557). การคัดเลือกดาวเทียมในระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก ตารางค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ เปรียบเทียบกันระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยมีอัตราการเกิด Crossover(Crossover Rate) ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน SV01 (BL=3.8) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	SV01 (BL=3.8)														
	CR=0.8														
	RTKPOST			MR=0			MR=0.005			MR=0.0075			MR=0.01		
	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
1	0.049	0.020	0.081	0.049	4.174	5.825	0.824	4.169	5.844	0.785	4.174	5.825	0.785	4.174	5.825
2	0.024	0.005	0.017	0.024	4.247	5.686	0.654	4.247	5.686	0.653	4.247	5.685	0.653	4.247	5.685
3	0.034	0.007	0.014	0.034	4.288	5.193	0.572	4.272	5.212	0.579	4.288	5.193	0.579	4.288	5.193
4	0.028	0.012	0.060	0.028	4.239	5.380	0.625	4.239	5.379	0.625	4.239	5.380	0.625	4.239	5.380
5	0.014	0.006	0.023	0.014	4.223	5.432	0.644	4.227	5.399	0.648	4.223	5.432	0.648	4.223	5.432
6	0.037	0.029	0.088	0.037	4.274	5.419	0.672	4.270	5.401	0.680	4.274	5.419	0.680	4.274	5.419
7	0.021	0.019	0.016	0.021	4.212	5.369	0.624	4.215	5.380	0.637	4.212	5.369	0.637	4.212	5.369
8	0.014	0.009	0.026	0.014	4.229	5.370	0.653	4.238	5.340	0.636	4.229	5.370	0.636	4.229	5.370
9	0.036	0.033	0.063	0.036	4.235	5.388	0.595	4.219	5.399	0.593	4.235	5.373	0.597	4.235	5.388
10	0.052	0.011	0.034	0.052	4.232	5.395	0.639	4.232	5.395	0.640	4.231	5.401	0.640	4.231	5.401
11	0.057	0.016	0.030	0.057	4.235	5.395	0.636	4.232	5.374	0.639	4.234	5.377	0.638	4.233	5.389
12	0.020	0.010	0.019	0.020	4.261	5.117	0.365	4.265	5.132	0.366	4.264	5.117	0.366	4.264	5.117
13	0.033	0.025	0.043	0.033	4.258	5.236	0.499	4.261	5.251	0.500	4.261	5.239	0.500	4.261	5.239
14	0.030	0.007	0.010	0.030	4.256	5.356	0.633	4.258	5.370	0.633	4.258	5.362	0.633	4.258	5.362
15	0.039	0.024	0.077	0.039	4.318	5.392	0.663	4.317	5.387	0.655	4.317	5.393	0.655	4.317	5.393
16	0.021	0.004	0.014	0.021	4.155	5.337	0.600	4.155	5.335	0.601	4.155	5.337	0.601	4.155	5.338
17	0.008	0.004	0.005	0.008	4.539	7.686	0.526	4.541	7.685	0.530	4.551	7.686	0.530	4.551	7.688
18	0.031	0.028	0.048	0.031	4.924	10.035	0.451	4.928	10.035	0.459	4.947	10.036	0.459	4.947	10.038
19	0.032	0.012	0.056	0.032	4.781	9.494	0.310	4.780	9.492	0.312	4.782	9.492	0.320	4.782	9.534
20	0.032	0.019	0.079	0.032	4.788	9.429	0.314	4.788	9.429	0.317	4.786	9.414	0.316	4.791	9.398
21	0.050	0.016	0.060	0.050	4.704	9.798	0.559	4.701	9.792	0.563	4.701	9.787	0.557	4.705	9.785
22	0.102	0.025	0.070	0.102	4.621	10.168	0.805	4.615	10.156	0.808	4.617	10.161	0.798	4.618	10.171
23	0.060	0.046	0.066	0.060	4.817	10.032	0.352	4.818	10.031	0.365	4.826	10.020	0.370	4.825	10.024
24	0.046	0.012	0.042	0.046	4.772	9.502	0.402	4.753	9.489	0.359	4.772	9.496	0.375	4.784	9.495
RMSE เฉลี่ย	0.036	0.017	0.043	0.036	4.408	6.768	0.567	4.406	6.766	0.566	4.409	6.765	0.567	4.410	6.768

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน SV01 (BL=3.8) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	SV01 (BL=3.8)														
	CR=0.6														
	RTKPOST			MR=0			MR=0.005			MR=0.0075			MR=0.01		
	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
1	0.049	0.020	0.081	0.049	0.049	5.825	0.785	4.174	5.825	0.785	4.174	5.825	0.785	4.174	5.825
2	0.024	0.005	0.017	0.024	0.024	5.686	0.657	4.245	5.676	0.657	4.245	5.676	0.655	4.247	5.660
3	0.034	0.007	0.014	0.034	0.034	5.218	0.574	4.275	5.218	0.574	4.275	5.218	0.579	4.288	5.193
4	0.028	0.012	0.060	0.028	0.028	5.379	0.623	4.253	5.357	0.623	4.253	5.357	0.627	4.238	5.383
5	0.014	0.006	0.023	0.014	0.014	5.412	0.647	4.224	5.432	0.648	4.223	5.432	0.648	4.223	5.432
6	0.037	0.029	0.088	0.037	0.037	5.414	0.655	4.275	5.427	0.680	4.274	5.419	0.680	4.274	5.419
7	0.021	0.019	0.016	0.021	0.021	5.369	0.624	4.215	5.380	0.637	4.212	5.369	0.637	4.212	5.369
8	0.014	0.009	0.026	0.014	0.014	5.370	0.638	4.233	5.380	0.636	4.229	5.372	0.641	4.230	5.366
9	0.036	0.033	0.063	0.036	0.036	5.367	0.590	4.241	5.368	0.595	4.237	5.361	0.596	4.233	5.368
10	0.052	0.011	0.034	0.052	0.052	5.397	0.637	4.231	5.392	0.630	4.234	5.390	0.638	4.228	5.382
11	0.057	0.016	0.030	0.057	0.057	5.381	0.638	4.235	5.379	0.637	4.232	5.374	0.637	4.233	5.379
12	0.020	0.010	0.019	0.020	0.020	5.116	0.365	4.265	5.132	0.366	4.268	5.129	0.365	4.265	5.123
13	0.033	0.025	0.043	0.033	0.033	5.240	0.499	4.261	5.243	0.500	4.262	5.243	0.498	4.261	5.240
14	0.030	0.007	0.010	0.030	0.030	5.363	0.633	4.257	5.354	0.634	4.256	5.356	0.631	4.256	5.358
15	0.039	0.024	0.077	0.039	0.039	5.392	0.661	4.317	5.393	0.661	4.318	5.392	0.662	4.317	5.387
16	0.021	0.004	0.014	0.021	0.021	5.338	0.599	4.153	5.340	0.600	4.155	5.338	0.600	4.155	5.337
17	0.008	0.004	0.005	0.008	0.008	7.688	0.525	4.540	7.688	0.527	4.548	7.671	0.528	4.549	7.673
18	0.031	0.028	0.048	0.031	0.031	10.038	0.451	4.928	10.035	0.454	4.942	10.005	0.456	4.943	10.009
19	0.032	0.012	0.056	0.032	0.032	9.506	0.313	4.786	9.485	0.311	4.781	9.494	0.314	4.781	9.497
20	0.032	0.019	0.079	0.032	0.032	9.430	0.318	4.790	9.432	0.323	4.792	9.406	0.308	4.787	9.416
21	0.050	0.016	0.060	0.050	0.050	9.813	0.563	4.704	9.796	0.551	4.710	9.789	0.552	4.704	9.806
22	0.102	0.025	0.070	0.102	0.102	10.196	0.808	4.617	10.161	0.779	4.628	10.171	0.795	4.621	10.196
23	0.060	0.046	0.066	0.060	0.060	10.020	0.353	4.817	10.032	0.366	4.823	10.023	0.370	4.825	10.024
24	0.046	0.012	0.042	0.046	0.046	9.421	0.366	4.786	9.495	0.364	4.766	9.407	0.383	4.785	9.421
RMSE เฉลี่ย	0.036	0.017	0.043	0.036	0.036	6.766	0.563	4.409	6.767	0.564	4.410	6.759	0.566	4.409	6.761

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน SV01 (BL=3.8) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	SV01 (BL=3.8)														
	CR=0.4														
	RTKPOST			MR=0			MR=0.005			MR=0.0075			MR=0.01		
	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
1	0.049	0.020	0.081	0.785	4.174	5.825	0.785	4.174	5.825	0.778	4.177	5.789	0.789	4.168	5.793
2	0.024	0.005	0.017	0.656	4.247	5.696	0.656	4.247	5.702	0.648	4.246	5.696	0.649	4.227	5.631
3	0.034	0.007	0.014	0.579	4.288	5.193	0.579	4.288	5.193	0.579	4.288	5.193	0.574	4.275	5.218
4	0.028	0.012	0.060	0.624	4.253	5.362	0.625	4.239	5.379	0.620	4.239	5.372	0.630	4.234	5.383
5	0.014	0.006	0.023	0.650	4.223	5.416	0.648	4.223	5.432	0.633	4.222	5.382	0.650	4.223	5.416
6	0.037	0.029	0.088	0.668	4.264	5.410	0.680	4.274	5.419	0.662	4.257	5.382	0.678	4.274	5.414
7	0.021	0.019	0.016	0.624	4.215	5.380	0.619	4.221	5.385	0.632	4.208	5.369	0.632	4.208	5.369
8	0.014	0.009	0.026	0.636	4.229	5.372	0.629	4.228	5.390	0.644	4.227	5.351	0.634	4.232	5.360
9	0.036	0.033	0.063	0.595	4.240	5.374	0.592	4.243	5.390	0.608	4.236	5.390	0.584	4.243	5.360
10	0.052	0.011	0.034	0.640	4.222	5.378	0.636	4.228	5.385	0.636	4.230	5.393	0.637	4.231	5.393
11	0.057	0.016	0.030	0.637	4.232	5.374	0.637	4.231	5.368	0.637	4.233	5.379	0.637	4.231	5.375
12	0.020	0.010	0.019	0.370	4.262	5.127	0.366	4.264	5.117	0.370	4.262	5.127	0.363	4.257	5.128
13	0.033	0.025	0.043	0.501	4.260	5.243	0.500	4.260	5.237	0.501	4.260	5.244	0.498	4.257	5.241
14	0.030	0.007	0.010	0.633	4.258	5.360	0.634	4.257	5.358	0.633	4.258	5.362	0.633	4.257	5.353
15	0.039	0.024	0.077	0.655	4.317	5.380	0.662	4.317	5.387	0.667	4.322	5.405	0.665	4.316	5.385
16	0.021	0.004	0.014	0.600	4.154	5.337	0.599	4.153	5.340	0.601	4.155	5.340	0.600	4.154	5.337
17	0.008	0.004	0.005	0.525	4.541	7.686	0.529	4.549	7.688	0.528	4.548	7.674	0.528	4.548	7.673
18	0.031	0.028	0.048	0.451	4.928	10.035	0.458	4.945	10.036	0.456	4.940	10.009	0.456	4.943	10.009
19	0.032	0.012	0.056	0.312	4.781	9.495	0.314	4.782	9.501	0.315	4.780	9.499	0.315	4.780	9.499
20	0.032	0.019	0.079	0.315	4.783	9.434	0.314	4.788	9.429	0.311	4.789	9.416	0.308	4.787	9.418
21	0.050	0.016	0.060	0.562	4.700	9.797	0.561	4.702	9.795	0.558	4.702	9.786	0.553	4.703	9.794
22	0.102	0.025	0.070	0.808	4.617	10.161	0.808	4.617	10.161	0.805	4.615	10.156	0.798	4.618	10.171
23	0.060	0.046	0.066	0.352	4.818	10.031	0.370	4.825	10.024	0.370	4.825	10.024	0.366	4.823	10.023
24	0.046	0.012	0.042	0.383	4.785	9.421	0.392	4.804	9.396	0.367	4.786	9.489	0.383	4.785	9.421
RMSE เฉลี่ย	0.036	0.017	0.043	0.565	4.408	6.762	0.566	4.411	6.764	0.565	4.408	6.759	0.565	4.407	6.757

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน DPT9 (BL=6.7) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	DPT9 (BL=6.7)														
	CR=0.8														
	RTKPOST			MR=0			MR=0.005			MR=0.0075			MR=0.01		
	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
1	0.012	0.061	0.017	0.008	4.651	9.698	0.025	4.665	9.662	0.025	4.665	9.662	0.011	4.652	9.706
2	0.025	0.011	0.204	0.074	4.730	9.411	0.074	4.730	9.411	0.074	4.730	9.411	0.077	4.738	9.432
3	0.035	0.249	0.136	0.115	4.816	8.881	0.115	4.816	8.881	0.115	4.816	8.881	0.112	4.815	8.878
4	0.012	0.006	0.013	1.204	2.326	5.065	1.204	2.326	5.065	1.204	2.326	5.065	1.890	3.727	4.157
5	0.032	0.044	0.111	0.011	4.770	9.268	0.005	4.767	9.246	0.005	4.767	9.246	0.005	4.767	9.246
6	0.059	0.050	0.087	0.167	4.597	9.220	0.005	4.767	9.246	0.005	4.767	9.246	0.005	4.767	9.246
7	0.012	0.029	0.022	0.151	4.687	9.173	0.167	4.597	9.220	0.167	4.597	9.220	0.089	4.614	9.241
8	0.013	0.026	0.037	0.136	4.761	9.256	0.151	4.687	9.173	0.151	4.687	9.173	0.094	4.676	9.166
9	0.009	0.082	0.013	0.018	4.840	9.353	0.155	4.749	9.252	0.155	4.749	9.252	0.135	4.762	9.259
10	0.010	0.015	0.027	0.056	4.727	9.377	0.025	4.827	9.342	0.026	4.827	9.342	0.027	4.804	9.379
11	0.020	0.031	0.062	0.040	4.749	9.402	0.051	4.735	9.366	0.055	4.732	9.373	0.047	4.735	9.363
12	0.042	0.011	0.029	0.067	4.738	9.368	0.063	4.734	9.361	0.063	4.734	9.361	0.055	4.733	9.361
13	0.064	0.008	0.068	0.060	4.735	9.390	0.068	4.737	9.363	0.068	4.737	9.363	0.065	4.738	9.368
14	0.031	0.008	0.136	0.053	4.732	9.369	0.051	4.737	9.388	0.051	4.737	9.388	0.063	4.733	9.400
15	0.031	0.062	0.136	0.026	4.695	9.276	0.052	4.734	9.380	0.052	4.734	9.380	0.060	4.731	9.390
16	0.037	0.097	0.071	0.099	4.687	10.654	0.054	4.732	9.372	0.054	4.732	9.372	0.056	4.728	9.381
17	0.013	0.421	0.009	0.152	4.454	9.341	0.097	4.690	10.651	0.097	4.690	10.651	0.093	4.693	10.664
18	0.042	0.151	0.054	0.142	4.696	8.367	0.152	4.453	9.345	0.152	4.453	9.345	0.152	4.453	9.341
19	0.033	0.029	0.019	0.069	4.792	9.279	0.079	4.805	9.300	0.079	4.805	9.300	0.071	4.791	9.293
20	0.004	0.048	0.005	0.037	4.760	9.220	0.038	4.754	9.206	0.038	4.754	9.206	0.030	4.743	9.227
21	0.008	0.114	0.009	0.185	4.837	9.145	0.166	4.835	9.155	0.173	4.836	9.159	0.194	4.850	9.186
22	0.003	0.014	0.010	0.053	4.773	9.223	0.053	4.773	9.223	0.053	4.773	9.223	0.055	4.770	9.228
23	0.004	0.219	0.011	1.080	5.730	9.835	1.080	5.730	9.835	1.080	5.730	9.835	1.081	5.730	9.837
24	0.002	0.119	0.010	0.009	4.518	9.259	0.009	4.517	9.258	0.006	4.518	9.262	0.008	4.519	9.258
RMSE เฉลี่ย	0.023	0.079	0.054	0.167	4.658	9.159	0.164	4.662	9.196	0.164	4.662	9.197	0.186	4.719	9.167

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน DPT9 (BL=6.7) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	DPT9 (BL=6.7)														
	CR=0.6														
	RTKPOST			MR=0			MR=0.005			MR=0.0075			MR=0.01		
	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
1	0.012	0.061	0.017	0.025	4.665	9.662	0.027	4.665	9.704	0.018	4.645	9.728	0.011	4.652	9.706
2	0.025	0.011	0.204	0.090	4.724	9.449	0.074	4.726	9.412	0.070	4.735	9.446	0.079	4.735	9.456
3	0.035	0.249	0.136	0.117	4.809	8.865	0.111	4.817	8.882	0.111	4.816	8.881	0.119	4.816	8.872
4	0.012	0.006	0.013	1.269	2.616	6.694	7.160	2.092	6.583	1.503	4.976	11.811	1.204	4.661	11.154
5	0.032	0.044	0.111	0.011	4.770	9.268	0.011	4.770	9.268	0.005	4.766	9.243	0.005	4.767	9.246
6	0.059	0.050	0.087	0.123	4.608	9.238	0.123	4.608	9.238	0.077	4.635	9.275	0.077	4.635	9.275
7	0.012	0.029	0.022	0.231	4.687	9.151	0.071	4.689	9.216	0.178	4.651	9.136	0.134	4.710	9.236
8	0.013	0.026	0.037	0.137	4.761	9.262	0.132	4.757	9.287	0.144	4.762	9.254	0.136	4.764	9.274
9	0.009	0.082	0.013	0.023	4.830	9.338	0.027	4.815	9.367	0.025	4.827	9.338	0.022	4.789	9.402
10	0.010	0.015	0.027	0.055	4.737	9.365	0.047	4.735	9.361	0.054	4.738	9.363	0.045	4.738	9.355
11	0.020	0.031	0.062	0.056	4.738	9.373	0.056	4.735	9.366	0.057	4.735	9.366	0.055	4.733	9.364
12	0.042	0.011	0.029	0.066	4.735	9.374	0.064	4.738	9.368	0.068	4.737	9.364	0.064	4.735	9.376
13	0.064	0.008	0.068	0.169	4.717	9.296	0.060	4.736	9.389	0.058	4.738	9.388	0.067	4.741	9.381
14	0.031	0.008	0.136	0.058	4.726	9.382	0.053	4.733	9.361	0.058	4.730	9.380	0.055	4.730	9.380
15	0.031	0.062	0.136	0.026	4.697	9.278	0.024	4.695	9.271	0.024	4.692	9.275	0.025	4.695	9.273
16	0.037	0.097	0.071	0.105	4.689	10.656	0.099	4.696	10.638	0.097	4.690	10.630	0.097	4.683	10.667
17	0.013	0.421	0.009	0.153	4.451	9.343	0.154	4.453	9.344	0.151	4.453	9.340	0.153	4.453	9.345
18	0.042	0.151	0.054	0.138	4.695	8.373	0.138	4.695	8.375	0.140	4.697	8.361	0.138	4.695	8.371
19	0.033	0.029	0.019	0.069	4.793	9.289	0.064	4.797	9.283	0.072	4.790	9.274	0.066	4.801	9.263
20	0.004	0.048	0.005	0.039	4.640	9.372	0.037	4.756	9.208	0.040	4.757	9.216	0.044	4.758	9.230
21	0.008	0.114	0.009	0.191	4.826	9.132	0.187	4.823	9.122	0.186	4.840	9.145	0.191	4.840	9.155
22	0.003	0.014	0.010	0.051	4.771	9.214	0.057	4.772	9.222	0.055	4.773	9.209	0.047	4.778	9.216
23	0.004	0.219	0.011	1.081	5.732	9.842	1.078	5.734	9.836	1.084	5.730	9.822	1.078	5.734	9.836
24	0.002	0.119	0.010	0.016	4.516	9.255	0.010	4.518	9.239	0.006	4.516	9.245	0.007	4.517	9.242
RMSE เฉลี่ย	0.023	0.079	0.054	0.179	4.664	9.228	0.411	4.648	9.222	0.178	4.768	9.437	0.163	4.757	9.420

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน DPT9 (BL=6.7) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	DPT9 (BL=6.7)														
	CR=0.4														
	RTKPOST			MR=0			MR=0.005			MR=0.0075			MR=0.01		
	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
1	0.012	0.061	0.017	0.025	4.665	9.662	0.009	4.651	9.720	0.009	4.651	9.719	0.010	4.653	9.738
2	0.025	0.011	0.204	0.082	4.723	9.459	0.073	4.731	9.428	0.075	4.734	9.444	0.073	4.731	9.428
3	0.035	0.249	0.136	0.116	4.815	8.867	0.115	4.816	8.881	0.115	4.826	8.854	0.114	4.808	8.866
4	0.012	0.006	0.013	1.650	7.832	8.737	1.717	4.578	13.498	1.247	1.614	14.019	0.798	3.829	8.754
5	0.032	0.044	0.111	0.015	4.766	9.290	0.005	4.767	9.246	0.005	4.767	9.246	0.005	4.766	9.243
6	0.059	0.050	0.087	0.126	4.607	9.229	0.090	4.614	9.240	0.070	4.609	9.209	0.107	4.571	9.279
7	0.012	0.029	0.022	0.053	4.704	9.169	0.178	4.651	9.136	0.181	4.638	9.159	0.108	4.682	9.172
8	0.013	0.026	0.037	0.131	4.755	9.230	0.138	4.754	9.246	0.143	4.770	9.275	0.137	4.760	9.260
9	0.009	0.082	0.013	0.025	4.827	9.342	0.022	4.718	9.477	0.027	4.829	9.342	0.031	4.823	9.401
10	0.010	0.015	0.027	0.044	4.738	9.360	0.046	4.733	9.382	0.044	4.733	9.358	0.044	4.737	9.355
11	0.020	0.031	0.062	0.053	4.732	9.375	0.055	4.732	9.362	0.055	4.733	9.364	0.064	4.734	9.360
12	0.042	0.011	0.029	0.065	4.737	9.368	0.067	4.738	9.369	0.065	4.736	9.374	0.063	4.730	9.390
13	0.064	0.008	0.068	0.057	4.739	9.389	0.060	4.736	9.391	0.057	4.738	9.390	0.060	4.736	9.391
14	0.031	0.008	0.136	0.056	4.729	9.380	0.056	4.728	9.382	0.051	4.726	9.364	0.056	4.728	9.381
15	0.031	0.062	0.136	0.025	4.695	9.271	0.025	4.696	9.273	0.025	4.695	9.271	0.027	4.695	9.280
16	0.037	0.097	0.071	0.104	4.689	10.660	0.098	4.690	10.644	0.093	4.693	10.664	0.098	4.695	10.637
17	0.013	0.421	0.009	0.152	4.453	9.342	0.152	4.453	9.345	0.151	4.456	9.345	0.152	4.453	9.346
18	0.042	0.151	0.054	0.133	4.696	8.396	0.140	4.695	8.364	0.135	4.692	8.374	0.138	4.697	8.374
19	0.033	0.029	0.019	0.069	4.790	9.285	0.069	4.793	9.289	0.075	4.797	9.291	0.063	4.778	9.285
20	0.004	0.048	0.005	0.037	4.754	9.221	0.034	4.754	9.229	0.039	4.753	9.209	0.037	4.760	9.220
21	0.008	0.114	0.009	0.186	4.840	9.145	0.189	4.832	9.122	0.194	4.842	9.160	0.187	4.823	9.122
22	0.003	0.014	0.010	0.050	4.772	9.216	0.061	4.772	9.212	0.051	4.772	9.224	0.062	4.763	9.230
23	0.004	0.219	0.011	1.081	5.732	9.842	1.084	5.731	9.852	1.081	5.730	9.837	1.081	5.729	9.840
24	0.002	0.119	0.010	0.009	4.518	9.259	0.006	4.523	9.238	0.009	4.515	9.244	0.005	4.518	9.244
RMSE เฉลี่ย	0.023	0.079	0.054	0.181	4.888	9.312	0.187	4.745	9.514	0.166	4.627	9.531	0.147	4.717	9.316

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน LAND (BL=23.2) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	LAND (BL=23.2)														
	CR=0.8														
	RTKPOST			MR=0			MR=0.005			MR=0.0075			MR=0.01		
	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
1	0.016	0.015	0.052	0.189	4.916	9.343	0.177	4.853	9.236	0.177	4.853	9.236	0.335	4.783	9.722
2	0.073	0.049	0.111	0.555	4.771	11.058	0.555	4.771	11.058	0.555	4.771	11.058	0.555	4.771	11.058
3	0.187	0.045	0.123	0.432	4.909	10.009	0.432	4.909	10.009	0.432	4.909	10.009	0.432	4.909	10.009
4	0.115	0.121	0.308	0.234	4.825	8.761	0.234	4.825	8.761	0.234	4.825	8.761	0.303	4.823	8.384
5	0.148	0.115	0.204	0.471	4.969	9.776	0.471	4.969	9.776	0.471	4.969	9.776	0.591	5.028	8.867
6	0.175	0.145	0.268	0.641	5.114	9.102	0.375	4.872	10.956	0.375	4.872	10.956	0.435	5.052	8.817
7	0.107	0.096	0.098	0.336	4.542	8.951	0.867	4.535	10.001	0.793	4.604	10.579	0.357	4.912	10.380
8	0.126	0.115	0.289	0.525	4.697	9.388	0.384	4.474	10.055	0.384	4.474	10.055	0.434	4.735	9.561
9	0.107	0.113	0.063	0.189	4.916	9.343	0.177	4.853	9.236	0.177	4.853	9.236	0.335	4.783	9.722
10	0.118	0.118	0.100	0.306	4.685	9.497	0.322	4.689	9.497	0.318	4.699	9.489	0.323	4.723	9.491
11	0.144	0.187	0.123	0.317	4.837	9.336	0.313	4.834	9.344	0.314	4.833	9.346	0.316	4.833	9.347
12	0.187	0.118	0.152	0.315	4.839	9.326	0.298	4.849	9.355	0.318	4.844	9.312	0.323	4.835	9.333
13	0.162	0.072	0.285	0.312	4.835	9.345	0.315	4.836	9.340	0.313	4.836	9.326	0.310	4.833	9.343
14	0.087	0.043	0.147	0.321	4.837	9.362	0.321	4.838	9.352	0.322	4.834	9.364	0.322	4.834	9.360
15	0.052	0.016	0.184	0.330	4.840	9.356	0.325	4.844	9.323	0.323	4.846	9.309	0.329	4.839	9.348
16	0.046	0.059	0.207	0.330	4.848	9.359	0.327	4.846	9.351	0.327	4.846	9.351	0.327	4.846	9.351
17	0.007	0.007	0.016	0.142	3.877	9.745	0.143	3.875	9.751	0.142	3.882	9.745	0.151	3.863	9.810
18	0.021	0.008	0.015	0.127	3.640	10.216	0.134	3.643	10.281	0.131	3.645	10.278	0.142	3.646	10.281
19	0.020	0.007	0.014	0.699	4.712	11.315	0.686	4.692	11.315	0.691	4.701	11.320	0.655	4.702	11.304
20	0.033	0.009	0.012	0.243	4.212	9.064	0.209	4.264	8.997	0.201	4.285	8.976	0.136	4.297	8.985
21	0.012	0.006	0.010	0.126	4.466	8.889	0.126	4.466	8.889	0.235	4.498	9.015	0.126	4.466	8.889
22	0.008	0.007	0.018	0.069	4.253	8.572	0.115	4.275	8.308	0.039	4.286	8.312	0.085	4.248	8.574
23	0.052	0.012	0.044	0.154	4.474	8.915	0.125	4.481	8.823	0.124	4.481	8.822	0.124	4.485	8.826
24	0.026	0.018	0.017	0.210	4.482	9.175	0.140	4.591	8.932	0.244	4.431	8.932	0.204	4.572	8.901
RMSE เฉลี่ย	0.085	0.062	0.119	0.315	4.646	9.467	0.315	4.628	9.581	0.318	4.628	9.607	0.319	4.659	9.486

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน LAND (BL=23.2) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

Session	LAND (BL=23.2)														
	CR=0.6														
	RTKPOST			MR=0			MR=0.005			MR=0.0075			MR=0.01		
	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
1	0.016	0.015	0.052	0.189	4.688	9.334	0.327	4.788	9.361	0.018	4.916	9.728	0.011	4.688	9.334
2	0.073	0.049	0.111	0.445	4.658	9.483	0.445	4.658	9.483	0.070	4.978	9.446	0.079	4.658	9.483
3	0.187	0.045	0.123	0.480	4.908	10.086	0.432	4.909	10.009	0.111	4.909	8.881	0.119	4.908	10.086
4	0.115	0.121	0.308	0.119	4.976	8.369	0.185	4.756	8.459	1.503	5.076	11.811	1.204	4.976	8.369
5	0.148	0.115	0.204	0.349	4.859	9.292	0.562	5.127	9.136	0.005	5.193	9.243	0.005	4.859	9.292
6	0.175	0.145	0.268	0.665	5.110	9.093	0.248	4.093	7.723	0.077	4.610	9.275	0.077	5.110	9.093
7	0.107	0.096	0.098	0.301	5.348	10.324	0.666	4.842	10.105	0.178	4.914	9.136	0.134	5.348	10.324
8	0.126	0.115	0.289	0.532	4.738	9.391	0.420	4.646	9.669	0.144	4.687	9.254	0.136	4.738	9.391
9	0.107	0.113	0.063	0.189	4.688	9.334	0.327	4.788	9.361	0.025	4.916	9.338	0.022	4.688	9.334
10	0.118	0.118	0.100	0.318	4.716	9.463	0.319	4.688	9.464	0.054	4.683	9.363	0.045	4.685	9.497
11	0.144	0.187	0.123	0.313	4.833	9.336	0.315	4.834	9.338	0.057	4.842	9.366	0.055	4.830	9.340
12	0.187	0.118	0.152	0.318	4.844	9.312	0.321	4.836	9.333	0.068	4.839	9.364	0.064	4.841	9.308
13	0.162	0.072	0.285	0.317	4.837	9.349	0.317	4.837	9.347	0.058	4.830	9.388	0.067	4.835	9.336
14	0.087	0.043	0.147	0.322	4.834	9.363	0.321	4.831	9.358	0.058	4.830	9.380	0.055	4.835	9.361
15	0.052	0.016	0.184	0.318	4.837	9.321	0.321	4.843	9.309	0.024	4.846	9.275	0.025	4.845	9.330
16	0.046	0.059	0.207	0.323	4.846	9.373	0.327	4.846	9.350	0.097	4.846	10.630	0.097	4.848	9.362
17	0.007	0.007	0.016	0.143	3.878	9.738	0.142	3.877	9.746	0.151	3.876	9.340	0.153	3.877	9.746
18	0.021	0.008	0.015	0.139	3.643	10.287	0.129	3.642	10.300	0.140	3.642	8.361	0.138	3.641	10.277
19	0.020	0.007	0.014	0.673	4.642	11.386	0.686	4.746	11.310	0.072	4.627	9.274	0.066	4.627	11.391
20	0.033	0.009	0.012	0.136	4.297	8.985	0.152	4.293	9.444	0.040	4.422	9.216	0.044	4.212	9.064
21	0.012	0.006	0.010	0.102	4.439	8.915	0.114	4.468	8.906	0.186	4.439	9.145	0.191	4.508	9.197
22	0.008	0.007	0.018	0.034	4.296	8.288	0.039	4.298	8.269	0.055	4.298	9.209	0.047	4.296	8.288
23	0.052	0.012	0.044	0.125	4.481	8.823	0.124	4.481	8.822	1.084	4.495	9.822	1.078	4.474	8.913
24	0.026	0.018	0.017	0.166	4.577	8.852	0.166	4.577	8.853	0.006	4.591	9.245	0.007	4.572	8.901
RMSE เฉลี่ย	0.085	0.062	0.119	0.292	4.665	9.396	0.308	4.613	9.352	0.178	4.679	9.437	0.163	4.662	9.417

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่สถานีฐาน LAND (BL=23.2) ที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

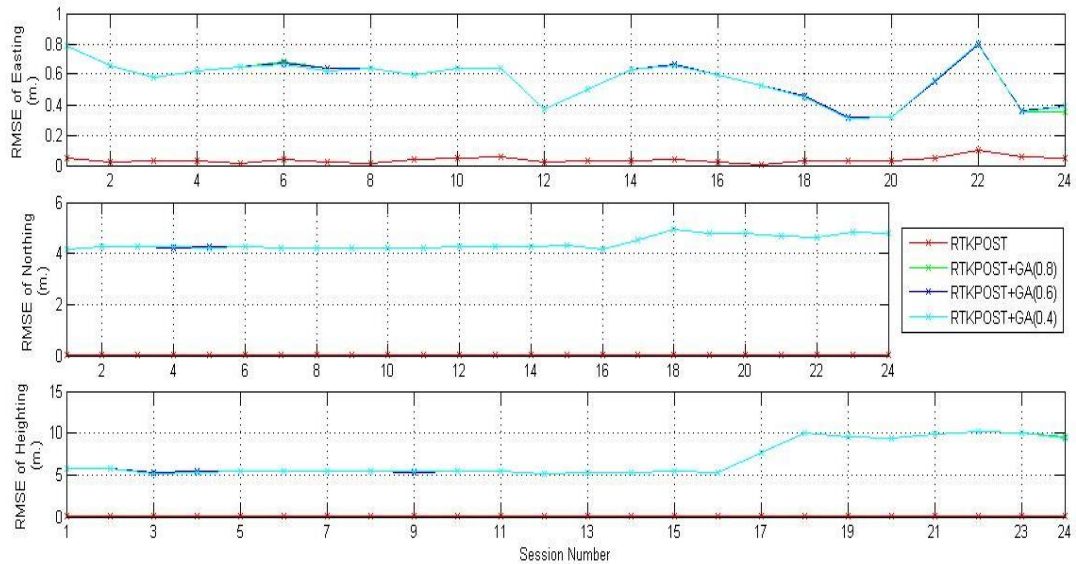
Session	LAND (BL=23.2)														
	CR=0.4														
	RTKPOST			MR=0			MR=0.005			MR=0.0075			MR=0.01		
	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH	ΔE	ΔN	ΔH
1	0.016	0.015	0.052	0.177	4.853	9.236	0.101	4.866	9.209	0.202	4.869	9.719	0.193	4.653	9.345
2	0.073	0.049	0.111	0.628	4.828	9.407	0.345	4.810	9.726	0.218	4.909	9.444	0.221	4.731	10.373
3	0.187	0.045	0.123	0.506	4.945	10.072	0.559	4.838	10.403	0.369	5.251	8.854	0.542	4.808	10.203
4	0.115	0.121	0.308	0.074	5.027	8.524	0.114	4.766	9.221	0.093	4.890	14.019	0.201	3.829	8.341
5	0.148	0.115	0.204	0.460	4.958	9.352	0.471	4.969	9.776	0.111	5.252	9.246	0.498	4.766	9.720
6	0.175	0.145	0.268	0.641	5.114	9.102	0.248	4.093	7.723	0.577	5.009	9.209	0.454	4.571	9.014
7	0.107	0.096	0.098	0.417	5.220	9.597	0.853	5.050	10.278	0.484	4.916	9.159	0.106	4.682	9.276
8	0.126	0.115	0.289	0.384	4.474	10.055	0.619	4.699	9.657	0.532	4.738	9.275	0.232	4.760	9.691
9	0.107	0.113	0.063	0.177	4.853	9.236	0.101	4.866	9.209	0.202	4.869	9.342	0.193	4.823	9.345
10	0.118	0.118	0.100	0.319	4.680	9.532	0.306	4.685	9.497	0.319	4.691	9.358	0.306	4.737	9.497
11	0.144	0.187	0.123	0.316	4.831	9.350	0.315	4.830	9.340	0.310	4.826	9.364	0.315	4.734	9.340
12	0.187	0.118	0.152	0.316	4.842	9.328	0.315	4.841	9.308	0.314	4.839	9.374	0.315	4.730	9.308
13	0.162	0.072	0.285	0.313	4.839	9.331	0.312	4.835	9.336	0.311	4.835	9.390	0.312	4.736	9.336
14	0.087	0.043	0.147	0.322	4.834	9.360	0.322	4.834	9.358	0.322	4.833	9.364	0.322	4.728	9.359
15	0.052	0.016	0.184	0.327	4.840	9.342	0.324	4.842	9.327	0.321	4.842	9.271	0.320	4.695	9.300
16	0.046	0.059	0.207	0.315	4.851	9.353	0.316	4.851	9.352	0.327	4.846	10.664	0.329	4.695	9.377
17	0.007	0.007	0.016	0.128	3.867	9.793	0.142	3.877	9.746	0.130	3.869	9.345	0.142	4.453	9.746
18	0.021	0.008	0.015	0.112	3.641	10.320	0.131	3.648	10.286	0.133	3.648	8.374	0.132	4.697	10.295
19	0.020	0.007	0.014	0.691	4.701	11.320	0.667	4.627	11.391	0.691	4.701	9.291	0.621	4.778	11.383
20	0.033	0.009	0.012	0.265	4.329	9.596	0.208	4.293	8.951	0.124	4.272	9.209	0.419	4.760	9.444
21	0.012	0.006	0.010	0.102	4.439	8.915	0.114	4.542	9.013	0.102	4.439	9.160	0.102	4.823	8.915
22	0.008	0.007	0.018	0.109	4.277	8.300	0.080	4.285	8.303	0.065	4.254	9.224	0.041	4.763	8.301
23	0.052	0.012	0.044	0.124	4.481	8.822	0.127	4.495	8.858	0.125	4.481	9.837	0.153	5.729	8.913
24	0.026	0.018	0.017	0.167	4.577	8.876	0.121	4.445	8.879	0.140	4.591	9.244	0.214	4.518	8.878
RMSE เฉลี่ย	0.085	0.062	0.119	0.308	4.679	9.422	0.300	4.620	9.423	0.272	4.695	9.531	0.278	4.717	9.446

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยของค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัดระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่ความยาวเส้นฐานต่างๆที่มีการกำหนดค่าอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) และอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) ที่แตกต่างกัน

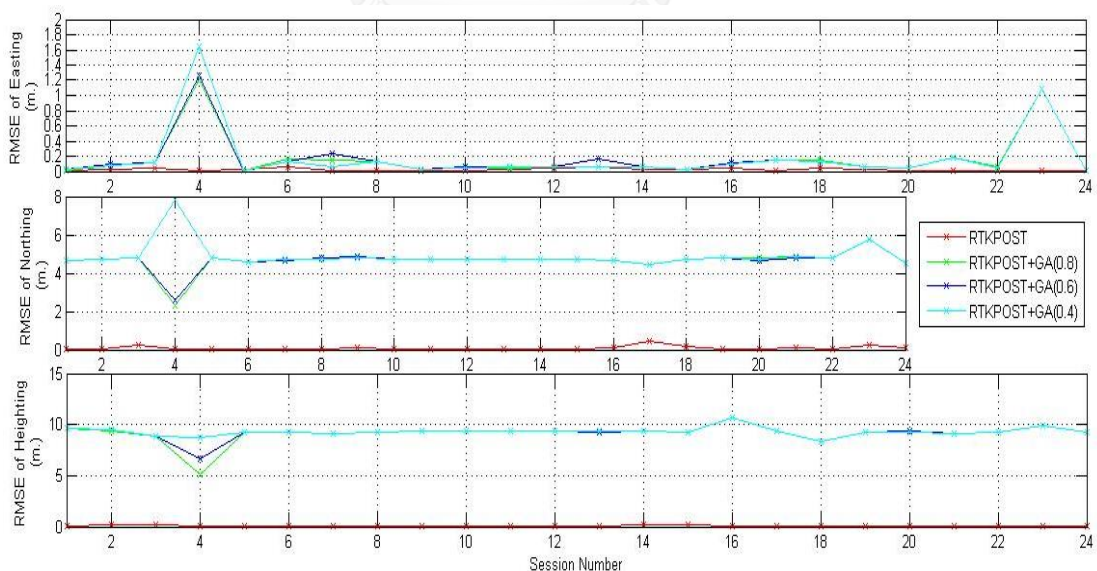
Station	ค่าเฉลี่ย RMSE	RTKPOST	RTKPOST+GA											
			CR = 0.8				CR = 0.6				CR = 0.4			
			MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01	MR=0	MR=0.005	MR=0.0075	MR=0.01
SV01 3.8 km	ΔE	0.036	0.564	0.567	0.566	0.567	0.566	0.563	0.564	0.566	0.565	0.566	0.565	0.565
	ΔN	0.017	4.408	4.406	4.409	4.410	4.410	4.409	4.410	4.409	4.408	4.411	4.408	4.407
	ΔH	0.043	6.678	6.766	6.765	6.768	6.766	6.767	6.759	6.761	6.762	6.764	6.759	6.757
DPT9 6.7 km	ΔE	0.023	0.167	0.164	0.164	0.186	0.179	0.411	0.178	0.163	0.181	0.187	0.166	0.147
	ΔN	0.079	4.658	4.662	4.662	4.719	4.664	4.648	4.768	4.757	4.888	4.745	4.627	4.717
	ΔH	0.054	9.159	9.196	9.197	9.167	9.228	9.222	9.437	9.420	9.312	9.514	9.531	9.316
LAND B23.2 km	ΔE	0.085	0.315	0.315	0.318	0.319	0.292	0.308	0.178	0.163	0.308	0.300	0.272	0.278
	ΔN	0.062	4.646	4.628	4.628	4.659	4.666	4.613	4.679	4.662	4.679	4.620	4.695	4.717
	ΔH	0.119	9.467	9.581	9.607	9.486	9.396	9.352	9.437	9.417	9.422	9.423	9.531	9.446



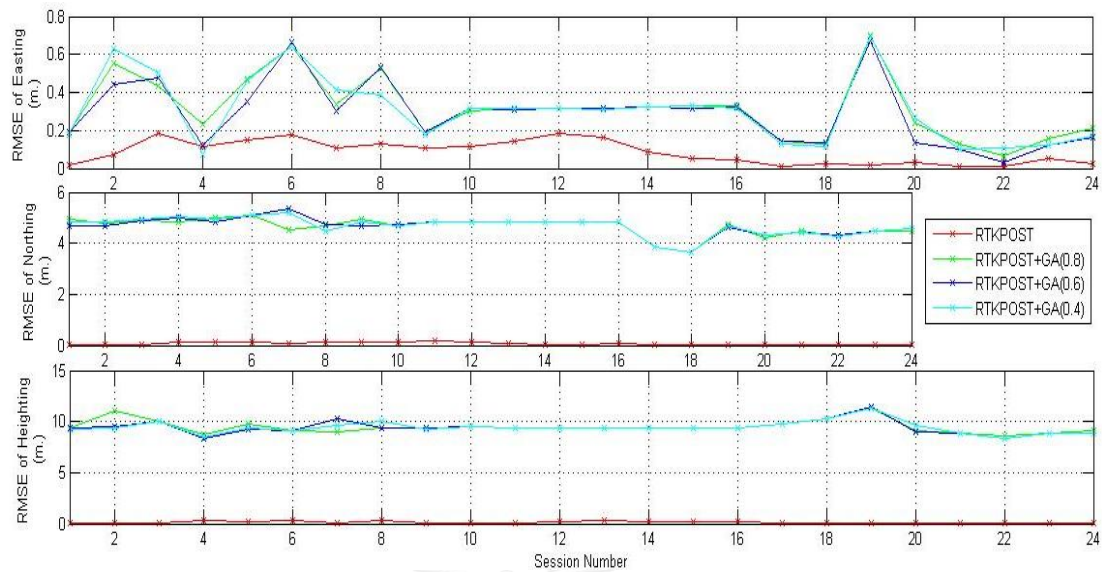
ภาคผนวก ข กราฟค่า RMSE ในแต่ละองค์ประกอบพิกัด ที่ความยาวเส้นฐานต่าง ๆ เปรียบเทียบกันระหว่างการประมวลผลมาตรฐานและวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยมีอัตราการเกิด Crossover(Crossover Rate) ที่แตกต่างกัน



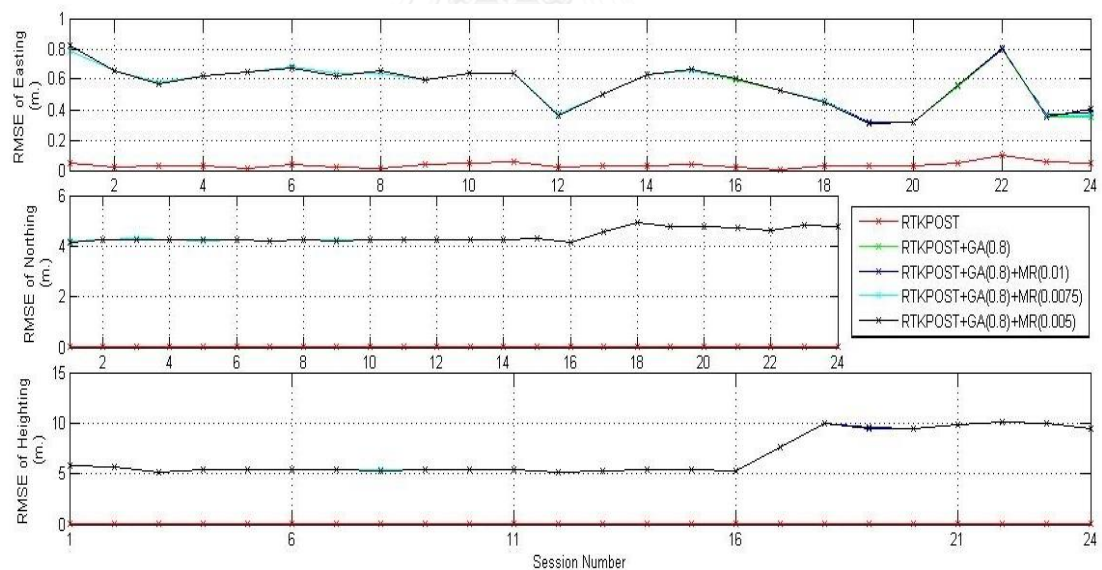
กราฟที่ 1 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ต่าง ๆ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร



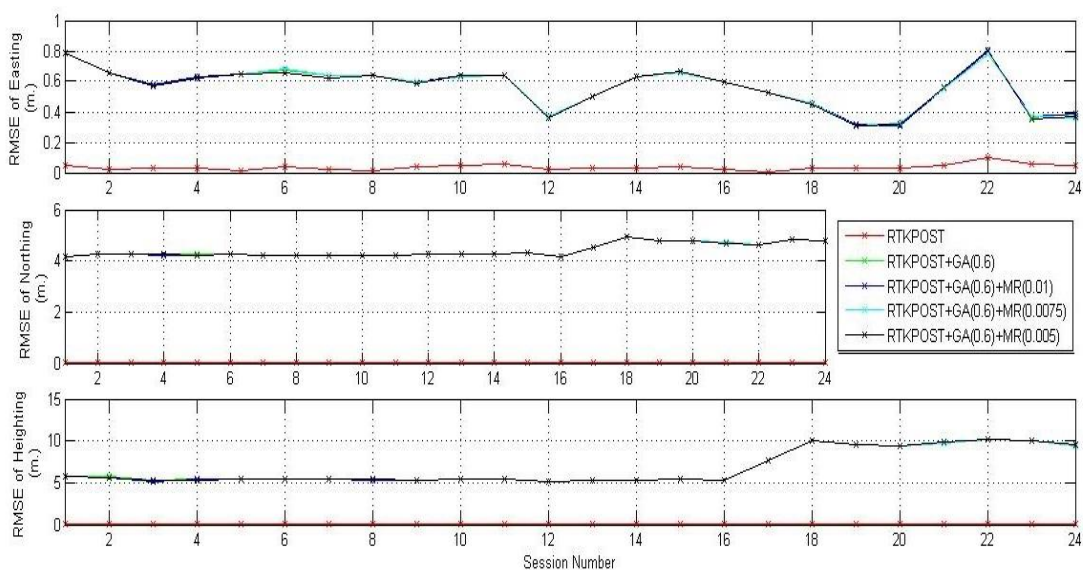
กราฟที่ 2 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ต่าง ๆ สำหรับสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร



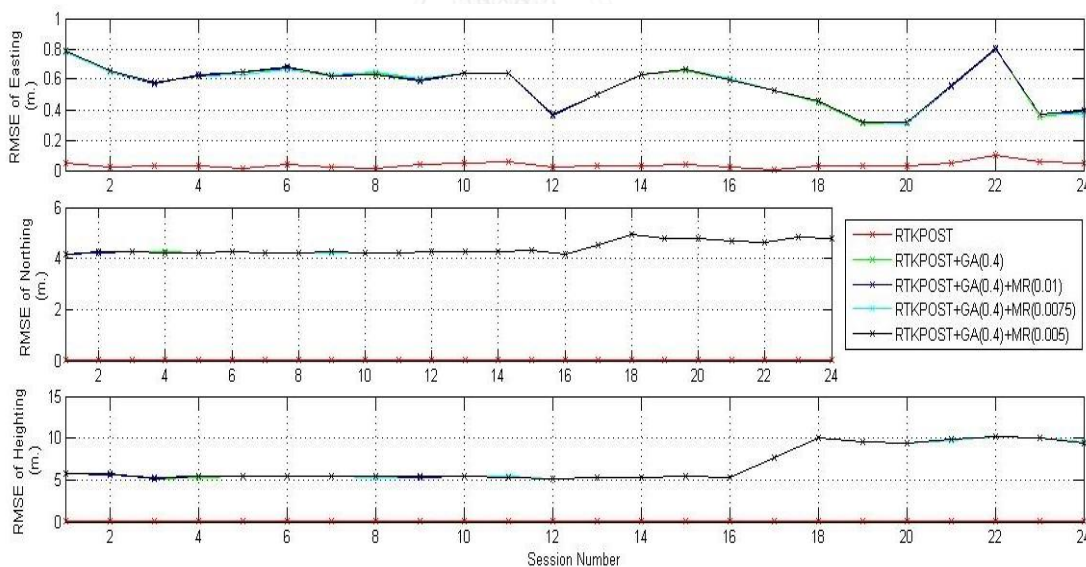
กราฟที่ 3 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) ต่าง ๆ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร



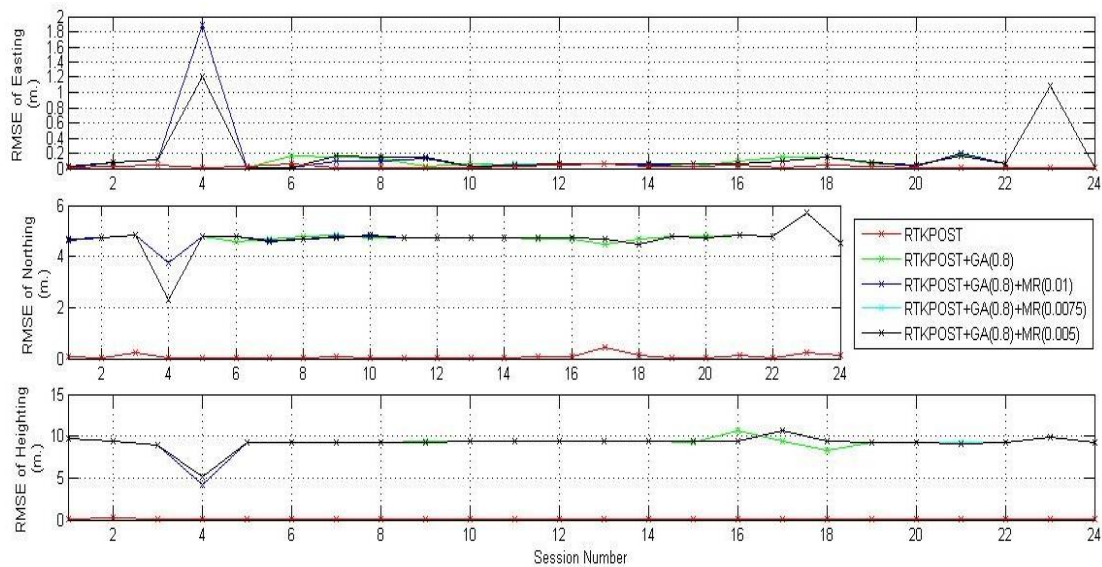
กราฟที่ 4 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.01, 0.0075 และ 0.005 ตามลำดับ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร



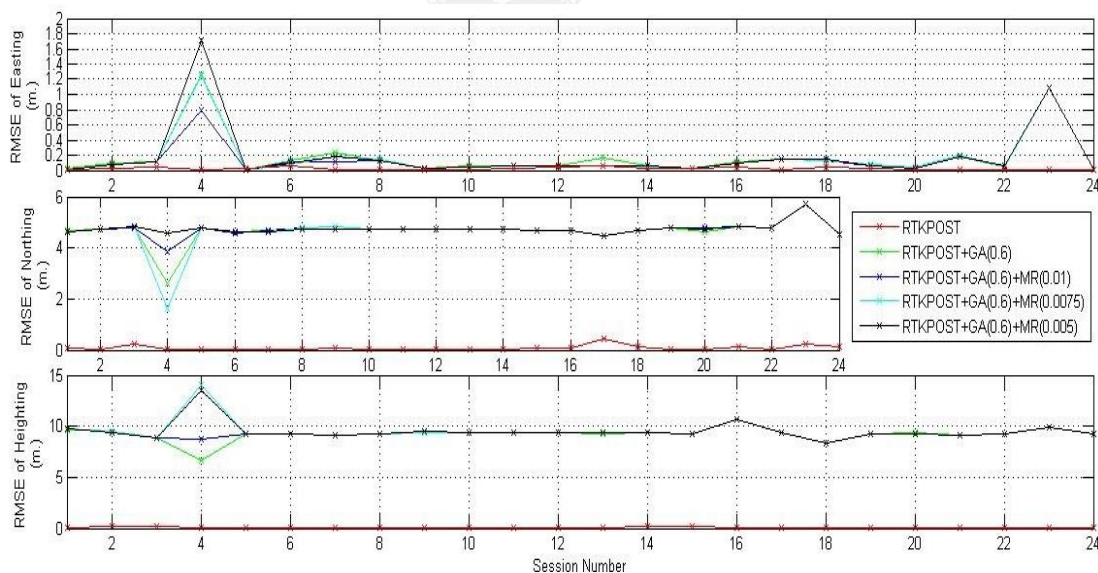
กราฟที่ 5 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.01, 0.0075 และ 0.005 ตามลำดับ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร



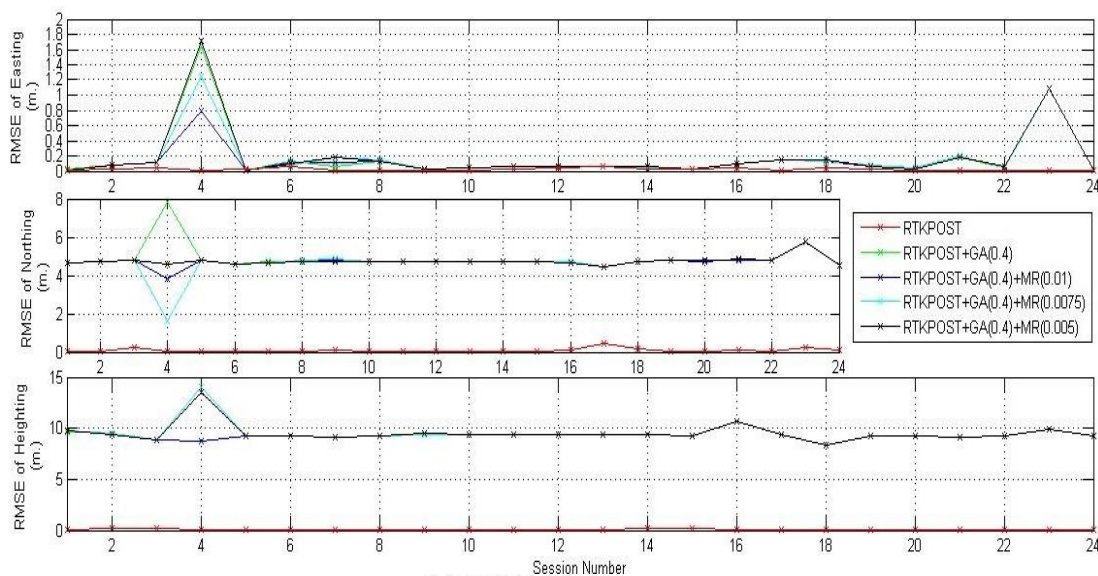
กราฟที่ 6 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.01, 0.0075 และ 0.005 ตามลำดับ สำหรับสถานี SV01 ที่ความยาวเส้นฐาน 3.8 กิโลเมตร



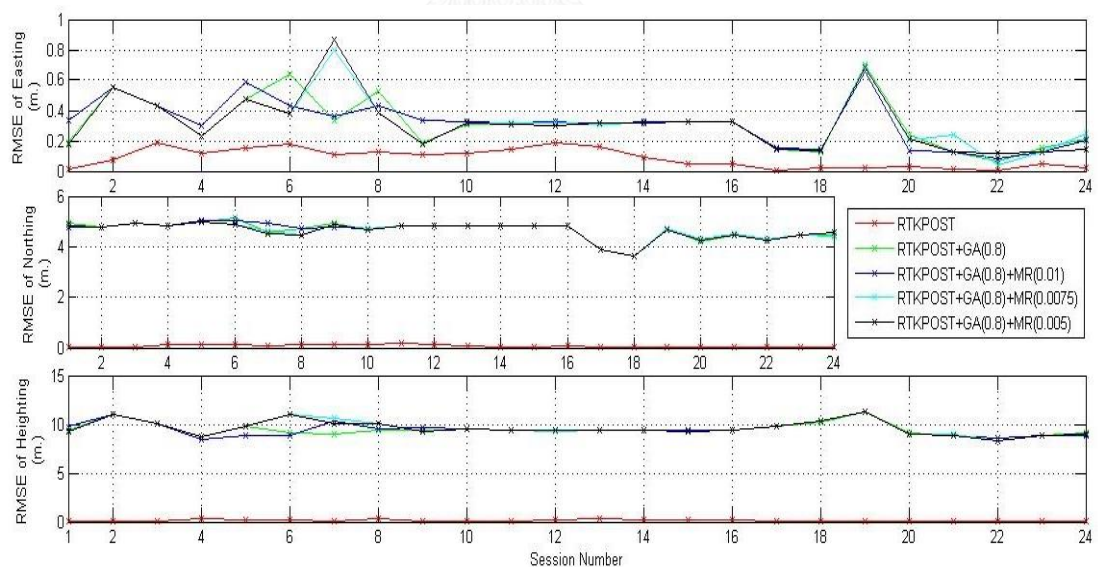
กราฟที่ 7 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.01, 0.0075 และ 0.005 ตามลำดับ สำหรับสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร



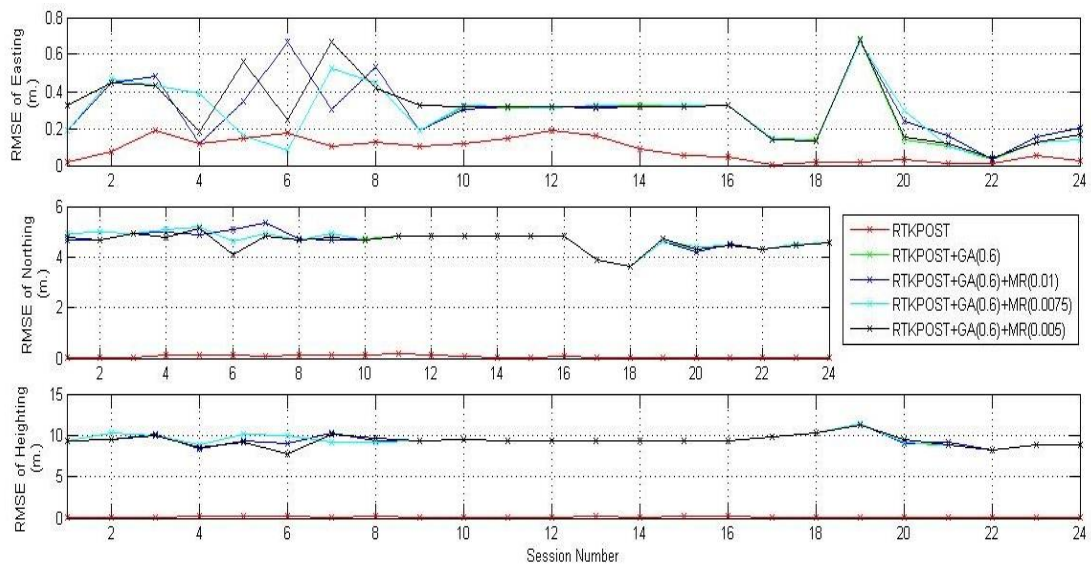
กราฟที่ 8 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.01, 0.0075 และ 0.005 ตามลำดับ สำหรับสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร



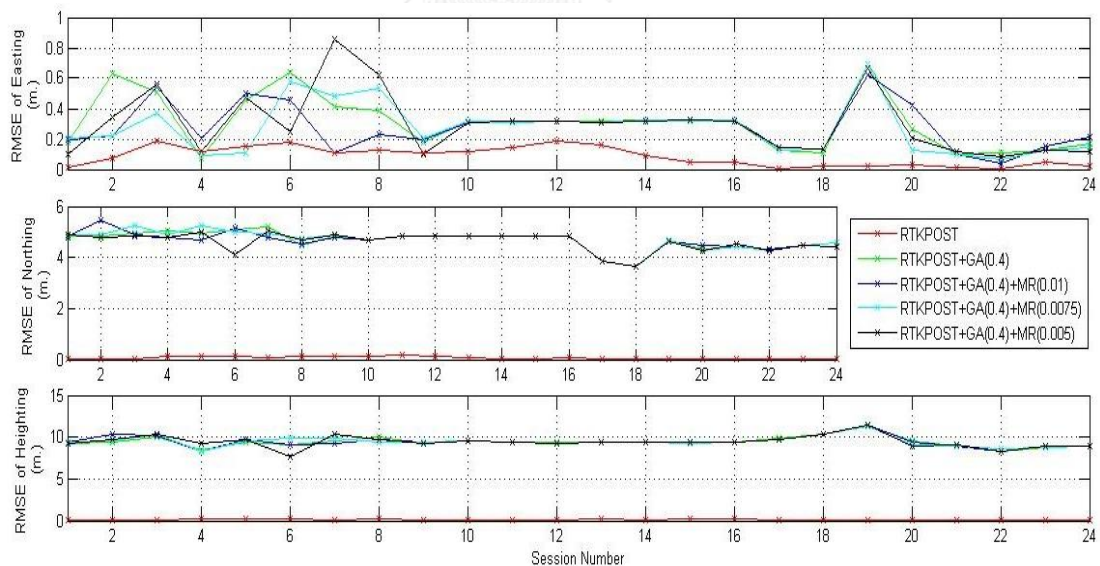
กราฟที่ 9 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.01, 0.0075 และ 0.005 ตามลำดับ สำหรับสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐาน 6.7 กิโลเมตร



กราฟที่ 10 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.8 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.01, 0.0075 และ 0.005 ตามลำดับ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร



กราฟที่ 11 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.6 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.01, 0.0075 และ 0.005 ตามลำดับ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร



กราฟที่ 12 ค่า RMSE ในพิกัด E, N และความสูง H ที่ได้จากวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ และวิธีการประมวลผลมาตรฐานแบบจลน์ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ที่มีอัตราการเกิด Crossover (Crossover Rate) เท่ากับ 0.4 โดยกำหนดอัตราการเกิด Mutation (Mutation Rate) เท่ากับ 0, 0.01, 0.0075 และ 0.005 ตามลำดับ สำหรับสถานี LAND ที่ความยาวเส้นฐาน 23.2 กิโลเมตร

ภาคผนวก ค อุปกรณ์ (Equipment) และซอฟต์แวร์ (Software) ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver







เครื่องรับสัญญาณ GNSS (Leica Viva GS10 Receiver) ที่ใช้ในงานวิจัย





(<http://idsurveying.com/image/cache/data/VivaGS10-500x500.jpg>)

เครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver ได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำงานวิจัยจาก บริษัท อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด โดยเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver ถูกติดตั้งไว้ที่ สถานี ESRI บนดาดฟ้า อาคารซีดีจีเฮ้าส์ ทำหน้าที่เป็นสถานีฐาน (Base Station)

ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS10 Receiver (www.leica-geosystems.com)

Technical Specifications

Leica GS10 GNSS Receiver 	Leica GS10 Single Frequency	Leica GS10 Performance	Leica GS10 Professional	Leica GS10 Unlimited	
Supported GNSS Systems					
GPS L2	○	●	●	●	
GPS L5	○	○	●	●	
GLONASS	○	○	●	●	
Galileo	○	○	●	●	
BeiDou	○	○	○	●	
RTK Performance					
DGPS / RTCM	○	●	●	●	
RTK up to 5 km	○	●	●	●	
RTK unlimited	○	●	●	●	
Network RTK	○	●	●	●	
Leica Lite RTK	○	○	●	●	
SmartLink (L-band)	○	○	○	●	
Position Update & Data Recording					
5 Hz positioning	●	●	●	●	
20 Hz positioning	○	●	●	●	
Raw data logging	●	●	●	●	
RINEX logging	○	○	●	●	
NMEA out	○	○	●	●	
Additional Features					
RTK Reference Station functionality	○	●	●	●	
	● = Standard	○ = Optional			
GNSS Performance					
	GNSS technology	Leica patented SmartTrack technology: ● Advanced measurement engine ● Jamming resistant measurements ● High precision pulse aperture multipath correlator for pseudorange measurements ● Excellent low elevation tracking ● Very low noise GNSS carrier phase measurements with $c 0.5\text{ mm}$ precision ● Minimum acquisition time			
	No. of channels	120 / 500+ channels			
	Max. simultaneous tracked satellites	Up to 60 satellites simultaneously on two frequencies			
	Satellite signals tracking	● GPS: L1, L2, L2C, L5 ● GLONASS: L1, L2 ● Galileo: E1, E5a, E5b, Alt-BOC ● BeiDou: B1, B2 ● QZSS: L1, L2, L5 ● L-band ● SBAS: WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS			
	GNSS measurements	Fully independent code and phase measurements of all frequencies ● GPS: carrier phase full wave length, Code (C/A, P, C Code) ● GLONASS: carrier phase full wave length, Code (C/A, P narrow Code) ● Galileo: carrier phase full wave length, Code ● BeiDou: carrier phase full wave length, Code			
	Reacquisition time	<math>< 1\text{ sec}</math>			
Position latency	Typically 0.02 sec				
GNSS Antennas					
	Standard Survey Antennas				
	Types	AS10 (triple frequency antenna)	A505 (single frequency antenna)		
	GNSS technology	SmartTrack	SmartTrack		
	Satellite signal tracking	GPS: L1, L2, L5 GLONASS, Galileo, BeiDou	GPS: L1, Galileo: L1, Galileo: E1, BeiDou: B1		
	Ground plane	Built-in ground plane	Built-in ground plane		
	Dimensions (diameter x height)	170 mm x 62 mm	170 mm x 62 mm		
	Weight	0.44 kg	0.44 kg		
	Gain	29±3 dbi	Typically 27 dbi		
	Temperature operating / storage	-40° C to +70° C / -55° C to +85° C			
	Humidity	100%			
	Protection against water, sand and dust	IP68 according to IEC60529 and MIL-STD 810G Method 506.5 I, MIL-STD 810G Method 510.5 I and MIL-STD 810G Method 512.5 I			
	Drops & topple over	Withstands 1.5 m drop onto hard surfaces and survives topple over from a 2 m pole onto hard surfaces			
	Vibration	Withstands vibrations during operation on large civil construction machines compliance with ISO9022-36-08 and MIL-STD 810G Method 514.6-Cat24			
	Chole-ring Antennas				
Types	AR25				
Satellite signal tracking	GPS: L1, L2, L5 GLONASS, Galileo, BeiDou				
Design	Dorne Margolin, J.R. design				
Protection radome	Optional				
Dimensions (diameter x height)	380 mm x 200 mm				
Weight	7.6 kg				
Gain	Typically 40 dbi				
Measurement Performance & Accuracy					
	Accuracy (rms) Code Differential with DGPS / RTCM ²	Typically 25 cm (rms)			
	Accuracy (rms) with Real-time-Kinematic (RTK) ¹				
	Standard of compliance	Compliance with ISO17123-8			
	Single baseline (<math>< 30\text{ km}</math>)	Horizontal: 8 mm + 1 ppm Vertical: 15 mm + 1 ppm			
	Network RTK	Horizontal: 8 mm + 0.5 ppm Vertical: 15 mm + 0.5 ppm			
	Accuracy (rms) with Post Processing³				
	Static (phase) with long observations	Horizontal: 3 mm + 0.1 ppm Vertical: 3.5 mm + 0.4 ppm			
	Static and rapid static (phase)	Horizontal: 3 mm + 0.5 ppm / Vertical: 5 mm + 0.5 ppm			
	Kinematic (phase)	Horizontal: 8 mm + 1 ppm / Vertical: 15 mm + 1 ppm			
	On-the-fly (OTF) Initialisation				
	RTK technology	Leica SmartCheck technology			
	Reliability of OTF initialisation	Better than 99.99% ²			
	Time for initialisation	Typically 4 sec ⁴			
	OTF range	Up to 70 km ²			
Network RTK					
Supported RTK network solutions	VRS, FKP, iMAX				
Supported RTK network standards	MAC (Master Auxiliary Concept) approved by RTCM SC 104				

Leica GS10 GNSS Receiver		
Hardware 	Weight & Dimensions	
	Weight (GS10)	1.20 kg
	Weight	5.40 kg standard RTK backpack rover including GFU RTK device, controller, batteries, pole and bracket
	Dimension (GS10)	212 mm x 166 mm x 79 mm
	Environmental Specifications	
	Temperature, operating	-40° C to +65° C, compliance with ISO9022-10-08, ISO9022-11-special, MIL STD 810G Method 502.5 II, MIL STD 810G Method 501.5 II
	Temperature, storage	-40° C to +80° C, compliance with ISO9022-10-08, ISO9022-11-special, MIL STD 810G Method 502.5 I, MIL STD 810G Method 501.5 I
	Humidity	100%, compliance with ISO9022-13-06, ISO9022-12-04 and MIL STD 810G Method 507.5 I
	Proof against: water, sand and dust	IP68 according IEC60529 and MIL STD 810G Method 506.5 I, MIL STD 810G Method 510.5 I and MIL STD 810G Method 512.5 I Protected against blowing rain and dust Protected against temporary submersion into water (max. depth 1.4 m)
	Vibration	Withstands strong vibration during operating, compliance with ISO9022-36-08 and MIL STD 810G Method 514.6-Cat.24
	Drops	Withstands 1.0 m drop onto hard surfaces
	Functional shock	40 g / 15 to 23 msec, compliance with MIL STD 810G Method 516.6 I No loss of lock to satellite signal when used on a pole set-up and submitted to pole bumps up to 150 mm
	Power & Electrical	
	Supply voltage	Nominal 12 V DC Range 10.5 - 28V DC
	Power consumption	Typically: 3.2 W, 270 mA
	Internal power supply	Recharge & removable Li-ion battery, 6 Ah / 7.4V, 2 batteries fit into receiver
	Internal power supply, operation time	<ul style="list-style-type: none"> • 15.00 h receiving RTK data with standard radio² • 13.00 h transmitting RTK data with standard radio⁴ • 14.00 h RTK via GSM / GPRS connection⁴ Using 2 internal batteries
	External power supply	Rechargeable external NiMH battery 9 Ah / 12V
	Certifications	Compliance to: FCC, CE Local approvals (as IC Canada, C-Tick Australia, Japan, China)
	Memory & Data Recording 	Memory
Memory medium		Removable SD card: 1 GB
Data capacity		1 GB is typically sufficient for about GPS & GLONASS (8+4 satellites) • 280 days raw data logging at 15 s rate
Data Recording		
Type of data		Onboard recording of: • Leica GNSS raw data • RINEX data
Recording rate	Up to 20 Hz	
User Interface 	Buttons	<ul style="list-style-type: none"> • ON / OFF button • Function button
	Button functionality	Function button: • Easy switch between Rover / Base mode • Easy "Here" positioning functionality
	Led status indicator	Bluetooth®, position, RTK status, data logging, detailed power status
	Additional user interface	Integrated web interface functionality provides full status indicator and configuration options
Communications 	Communication ports	2x serial RS232 Lemo 1x USB / RS232 Lemo 1x Spin Lemo external power 1x Bluetooth® port, Bluetooth® v 2.00 + EDR, class 2
	Simultaneous data links	<ul style="list-style-type: none"> • Up to 3 data links can be attached and used simultaneously • 2 real-time output interfaces via independent ports, providing identical or different RTK / RTCM formats
	External Data Links	
	Radio modems	<ul style="list-style-type: none"> • Support of any suitable UHF / VHF radio • Satel radio in Leica GFU housing, fully sealed and protected, IP67 • Pacific Crest PDL in Leica GFU housing, fully sealed and protected, IP67
	GSM / UMTS / CDMA phone modems	<ul style="list-style-type: none"> • Support of any suitable GSM / GPRS / UMTS / CDMA modem • Cinterion PX58 in Leica GFU housing, fully sealed and protected, IP67 • DynDNS service support – Base station supports up to 10 rovers via TCP/IP
	Landline phone modems	• Support of any suitable landline phone modem
	Communication Protocols	
	Real-time data formats for data transmission and reception	Leica proprietary formats (Leica, Leica 4G) CMR, CMR+
	Real-time data formats according RTCM standard for data transmission and reception	RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, RTCM 3.2 MSM Full support of RTCM 3 Transformation Message
	NMEA output	NMEA 0183 V 4.00 and Leica proprietary

2. เครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS15 Receiver






เครื่องรับสัญญาณ GNSS (Leica Viva GS15 Receiver) ที่ใช้ในงานวิจัย

(<http://idsurveying.com/image/cache/data/VivaGS15-500x500.jpg>)





เครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS15 Receiver ได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำงานวิจัยจาก บริษัท อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด โดยเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS15 Receiver ถูกติดตั้งไว้ที่ สถานี SV01 (ตาดฟ้า ชั้น 4 อาคารศลิษานนิเทศ) ในวันที่ 6 มกราคม 2558

ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของเครื่องรับสัญญาณ Leica Viva GS15 Receiver (www.leica-geosystems.com)

Technical Specifications

Leica GS15 GNSS Receiver 	Leica GS15 Single Frequency	Leica GS15 Performance	Leica GS15 Professional	Leica GS15 Unlimited
Supported GNSS Systems				
GPS L2	○	●	●	●
GPS L5	○	○	●	●
GLONASS	○	○	●	●
Galileo	○	○	●	●
BeiDou	○	○	○	●
RTK Performance				
DCPS/ RTCM	○	●	●	●
RTK up to 5 km	○	●	●	●
RTK unlimited	○	●	●	●
Network RTK	○	●	●	●
Leica Lite RTK	○	○	●	●
SmartLink (L-band)	○	○	○	●
Position Update & Data Recording				
5 Hz positioning	●	●	●	●
20 Hz positioning	○	●	●	●
Raw data logging	●	●	●	●
RINEX logging	○	○	●	●
NMEA out	○	○	●	●
Additional Features				
RTK Reference Station functionality	○	●	●	●
● = Standard ○ = Optional				
GNSS Performance 	GNSS technology		Leica patented SmartTrack technology: • Advanced measurement engine • Jamming resistant measurements • High precision pulse aperture multipath correlator for pseudorange measurements • Excellent low elevation tracking • Very low noise GNSS carrier phase measurements with ± 0.5 mm precision • Minimum acquisition time	
	No. of channels		120 / 500+ ¹ channels	
	Max. simultaneous tracked satellites		Up to 60 satellites simultaneously on two frequencies	
	Satellite signals tracking		• GPS: L1, L2, L2C, L5 • GLONASS: L1, L2 • Galileo: E1, E5a, E5b, Alt-BOC • BeiDou: B1, B2 • QZSS: L1, L2, L5 ² • L-band • SBAS: WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS	
	GNSS measurements		Fully independent code and phase measurements of all frequencies • GPS: carrier phase full wave length Code (C/A, P, C Code) • GLONASS: carrier phase full wave length Code (C/A, P, narrow Code) • Galileo: carrier phase full wave length Code • BeiDou: carrier phase full wave length Code	
	Reacquisition time		<math>< 1</math> sec	
	Position latency		Typically 0.02 sec	
	Accuracy (rms) Code differential with DCPS / RTCM		Typically 25 cm	
	DCPS / RTCM		Typically 25 cm	
	Accuracy (rms) with Real-time Kinematic (RTK) ²			
Standard of compliance		Compliance with ISO17123-B		
Single baseline (≤ 30 km)		Horizontal: 8 mm + 1 ppm Vertical: 15 mm + 1 ppm		
Network RTK		Horizontal: 8 mm + 0.5 ppm Vertical: 15 mm + 0.5 ppm		
Accuracy (rms) with Post Processing ²				
Static (phase) with long observations		Horizontal: 3 mm + 0.1 ppm Vertical: 3.5 mm + 0.4 ppm		
Static and rapid static (phase)		Horizontal: 3 mm + 0.5 ppm Vertical: 5 mm + 0.5 ppm		
Kinematic (phase)		Horizontal: 8 mm + 1 ppm Vertical: 15 mm + 1 ppm		
On-the-fly (OTF) Initialization				
RTK technology		Leica SmartCheck technology		
Reliability of OTF Initialization		Better than 99.99% ²		
Time for initialization		Typically 4 sec ²		
OTF range		Up to 70 km ²		
Network RTK				
Supported RTK network solutions		VRS, FKP, IMAK		
Supported RTK network standards		IMAK (Master Auxiliary Concept) approved by RTCM SC 104		
Measurement Performance & Accuracy 				

¹ The Unlimited series has free future upgrade to 500+ channels.
² Support of QZSS is implemented and will be provided through firmware updates

Leica GS15 GNSS receiver		
Hardware 	Weight & Dimensions	
	Weight [GS15]	1.34 kg
	Weight	3.30 kg standard RTK rover including slot RTK device, controller, batteries pole and bracket
	Dimension [GS15] (diameter x height)	196 mm x 198 mm
	Environmental Specifications	
	Operating temperature	-40° C to +65° C, compliance with ISO9022-10-08, ISO9022-11-special, MIL STD 810G Method 502.5 II, MIL STD 810G Method 501.5 II
	Storage temperature	-40° C to +80° C, compliance with ISO9022-10-08, ISO9022-11-special, MIL STD 810G Method 502.5 I, MIL STD 810G Method 501.5 I
	Humidity	100%, compliance with ISO9022-13-06, ISO9022-12-04 and MIL STD 810G Method 507.5 I
	Proof against water, sand and dust	IP68 according to IEC60529 and MIL STD 810G Method 506.5 I, MIL STD 810G Method 510.5 I and MIL STD 810G Method 512.5 I Protected against blowing rain and dust Protected against temporary submersion into water (max. depth 1.4 m)
	Vibration	Withstands strong vibration during operating, compliance with ISO9022-3e-08 and MIL STD 810G Method 514.e Cat.24
	Drops	Withstands 1.0m drop onto hard surfaces
	Functional shock	40 g / 15 to 23 msec, compliance with MIL STD 810G Method 516.a I No loss of lock to satellite signal when used on a pole set-up and submitted to pole bumps up to 150 mm
	Topple over	Withstands topple over from a 2m survey pole onto hard surfaces
	Power & Electrical	
	Supply voltage	Nominal 12V DC Range 10.5 – 28V DC
	Power consumption	Typically: 3.2 W, 270 mA
	Internal power supply	Recharge & removable Li-Ion battery 2.6Ah / 7.4 V, 2 batteries fit into receiver
	Internal power supply, operation time	• 10.00 h receiving RTK data with standard radio ¹ • 9.00 h transmitting RTK data with standard radio ¹ • 7.50 h RTK via GSM/GPRS connection ¹ Using 2 internal batteries
	External power supply	Rechargeable external NiMH battery 9Ah/ 12 V
	Certifications	Compliance to: FCC, CE Local approvals (as IC Canada, C-Tick Australia, Japan, China)
Memory & Data Recording 	Memory	
	Memory medium	Removable SD Card: 1GB
	Data capacity	1 GB is typically sufficient for about GPS & GLOMSS (8+4 satellites) 280 days raw data logging at 15 s rate
	Data Recording	
Type of data	Onboard recording of: • Leica GNSS raw data • RINEX data	
Recording rate	Up to 20 Hz	
User Interface 	Buttons	
	Buttons	• ON / OFF button • Function button
	Button functionality	Function button: • Easy switch between Rover / Base mode • Easy "Here" positioning functionality
	Led status indicator	Bluetooth®, position, RTK status, data logging, detailed power status
Additional user interface	Additional web interface functionality provides full status indicator and configuration options	
Communications 	Communication ports	
	Communication ports	1x serial RS232 Lemo 1x USB / RS232 Lemo 1x UART serial & USB (for removable internal RTK device) 1x Bluetooth® port, Bluetooth® v2.00+ EDR, class 2
	No. of simultaneous data links	• Up to 3 data links can be attached and used simultaneously • 2 real-time output interfaces via independent ports, providing identical or different RTK/RTCM formats
	Built-in Data Links	
	Radio modems	• Fully integrated, fully sealed receive / transmit radios • User exchangeable device • SATEL, Pacific Crest and TrimTalk support • 390 – 470 MHz bandwidth • Transmit power: 0.5 – 1.0 W
	UHF antenna options	• Fully integrated UHF antenna • External UHF antenna connector (Type QN)
	GSM / UMTS phone modem	• Fully integrated, fully sealed 3.5G phone modem • User exchangeable device • Tri-Band UMTS / HSDPA: 850 / 1900 / 2100 MHz • Quad-Band GSM / GPRS: 850 / 900 / 1800 / 1900 MHz • DynDNS service support – Base station supports up to 10 rovers via TCP/IP
	CDMA phone modem	• Fully integrated, fully sealed CDMA phone modem • User exchangeable device • Dual-Band CDMA 1XRTT (800 / 1900 MHz)
	GSM / UMTS / CDMA antenna options	• Integrated GSM / UMTS / CDMA antenna • External GSM / UMTS / CDMA antenna connector (Type QN)
	External Data Links	
	Radio modems	Support of any suitable UHF / VHF radio
	GSM / UMTS / CDMA phone modems	Support of any suitable GSM / GPRS / UMTS / CDMA modem
	Landline phone modems	Support of any suitable landline phone modem
	Communication Protocols	
	Real-time data formats for data transmission and reception	Leica proprietary formats (Leica, Leica 4G) OMR, OMR+
	Real-time data formats according RTCM standard for data transmission and reception	RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, RTCM 3.2 MSM Full support of RTCM 3 TransformationMessage
NMEA output	NMEA 0183 V 4.00 and Leica proprietary	

3. เครื่องรับสัญญาณ Trimble R10



เครื่องรับสัญญาณ GNSS (Trimble R10) ที่ใช้ในงานวิจัย

(<http://www.stp-rus.com/wp-content/uploads/2015/04/trimble-r10.jpg>)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Trimble R10 ได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำงานวิจัยจาก บริษัท ทริมเบิล (ประเทศไทย) จำกัด โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Trimble R10 ถูกติดตั้งไว้ที่ สถานี DPT9 (ตาดฟ้า ชั้น15 อาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง) ในวันที่ 10 มกราคม 2558

ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของเครื่องรับสัญญาณ Trimble R10

(http://img.directindustry.com/pdf/repository_di/14795/trimble-r10-gnss-system-365045_1.jpg)

DATASHEET

TRIMBLE R10 GNSS SYSTEM

KEY FEATURES

Cutting-edge **Trimble HD-GNSS** processing engine

Precise position capture with **Trimble SurePoint** technology

New **Trimble xFill** technology provides RTK coverage during connection outages

Advanced satellite tracking with **Trimble 360** receiver technology

Sleek ergonomic design for easier handling



A NEW LEVEL OF PRODUCTIVITY

The first of its kind, the new Trimble® R10 System is designed to help surveying professionals work more effectively. With powerful new technologies like Trimble HD-GNSS, Trimble SurePoint™, and Trimble xFill™ integrated into a new sleek design, this powerful system goes beyond comprehensive GNSS support to ensure surveyors have the ability to collect more accurate data faster and easier—no matter what the job or the environment.

TRIMBLE HD-GNSS PROCESSING ENGINE A new generation of core positioning technology

Integrated into the Trimble R10 is the advanced Trimble HD-GNSS processing engine. This ground-breaking technology transcends traditional fixed/float techniques to provide a more accurate assessment of error estimates than traditional GNSS technology, especially in challenging environments. Markedly reduced convergence times as well as high position and precision reliability enable surveyors to collect measurements with confidence while reducing their occupation time.

TRIMBLE SUREPOINT TECHNOLOGY Simplifying the survey workflow

Trimble SurePoint technology incorporated into the Trimble R10 system provides users with faster measurements, increased accuracy, and greater quality control.

An Electronic Bubble

The Trimble R10 system employs an electronic bubble that appears on the Trimble controller display. With this new eBubble, all measurement information is displayed in one place and users don't have to switch focus from the controller screen to the pole bubble to check that the pole is plumb.

Rapid, Accurate Measurement

Trimble SurePoint technology displays the eBubble in green when the pole is plumb, clearly indicating that an accurate measurement is possible. The system constantly monitors pole tilt for the user. If a point is measured with pole tilt beyond a user-defined setting, Trimble Access™ software will alert the user and prompt them to accept or discard the point. SurePoint even uses the pole tilt as a controlling input. After a point is measured, tilting the pole causes the system to automatically prepare to measure the next point.

Data Traceability

As insurance that all of your data is traceable, the Trimble R10 can record the pole tilt information for measured points. These records include the pole tilt angle and the distance on the ground represented by that pole tilt angle.

TRIMBLE 360 RECEIVER TECHNOLOGY Future Proof Your Investment

Powerful Trimble 360 receiver technology in the Trimble R10 supports signals from all existing and planned GNSS constellations and augmentation systems. With two integrated Trimble Maxwell™ 6 chips the Trimble R10 offers an unparalleled 440 GNSS channels. Trimble delivers business confidence with a sound GNSS investment for today and long into the future.

TRIMBLE xFILL TECHNOLOGY

More continuous surveying, less downtime

Continue surveying without interruption when you temporarily lose connection to your base station or Trimble VRS™ network. Leveraging a worldwide network of Trimble GNSS reference stations and satellite datalinks, Trimble xFill works to seamlessly 'fill in' for gaps in your RTK or VRS correction stream.

ERGONOMICALLY DESIGNED Easier Handling and Operation

As the smallest and lightest integrated receiver in its class, the Trimble R10 system is ergonomically designed to provide the surveyor with effortless handling and operation. Designed for ease of use, the progressive design incorporates a more stable center of mass at the top of the range pole, while its sleeker, taller profile provides the durability and reliability for which Trimble is known.

The Trimble R10 receiver incorporates a quick release adaptor for simple and safe removal of the receiver from the range pole. Additionally, the quick release adaptor ensures a solid, stable connection between the range pole and receiver.

AN INTELLIGENT SOLUTION

Advanced features combined with the powerful technology in the Trimble R10 make this the most intelligent GNSS system on the market today.

Smart GNSS Antenna

Survey with confidence—the Trimble R10 system's GNSS antenna tracks GNSS and SBAS signal bands. Its Trimble Stealth™ Ground Plane mitigates multipath signals by using electrical resistance to keep unwanted signals from reaching the antenna element.

Smart Battery

A smart lithium-ion battery inside the Trimble R10 system delivers extended battery life and more reliable power. A built-in LED display allows the user to quickly check remaining battery life.

Advanced Communication Capabilities

The Trimble R10 system uses the latest mobile phone technology to receive VRS corrections and connect to the Internet from the field. Then, access Trimble Connected Community to send or receive documents while away from the office. Using WiFi, easily connect to the Trimble R10 system using a laptop or smartphone to configure the receiver without a Trimble controller.

The Trimble system of hardware and software that's known and trusted

Bring the power and speed of the Trimble R10 system together with trusted Trimble software solutions, including Trimble Access and Trimble Business Center, to get the most complete, intelligent solution.

Trimble Access field software provides specialized and customized workflows to make surveying tasks quicker and easier while enabling teams to communicate vital information between field and office in real-time. Back in the office, users can seamlessly process data with Trimble Business Center office software.

The Trimble R10 GNSS system, a new era of surveying productivity beyond GNSS for professional surveyors.



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นางสาวอัศวินี วงษ์สุวรรณ

วันเดือนปีเกิด: 14 พฤศจิกายน 2532

คุณวุฒิทางการศึกษา:

พ.ศ. 2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลงานทางวิชาการ:

ผลงานประชุมทางวิชาการ

1. อัศวินี วงษ์สุวรรณ และเฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2558) “การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล GPS GLONASS และ COMPASS” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, 8-10 กรกฎาคม 2558

2. Assawinee Wongsuwan, Chalermchon Satirapod and Octavian Andrei (2015) "Application of Genetic Algorithm with Optimization of GNSS Satellite Combination in Kinematic Positioning Mode: Case Study in GPS GLONASS and COMPASS" ACRS 2015: The 36th Asian Conference on Remote Sensing, October 19-23, 2015