

การประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ตโฟนสำหรับการประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Accuracy Assessment of smartphone for high precise GNSS application



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

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ตโฟนสำหรับการ
	ประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง
โดย	ร.ท.เชาวลิต เนตรทองกลาง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธีทัต เจริญกมลัญญา)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ทยาทิพย์ ทองตัน)	

เชาวลิต เนตรทองกลาง : การประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ทโฟนสำหรับการ
ประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง. (Accuracy Assessment of smartphone
for high precise GNSS application) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 บริษัท Google ได้ออกมาประกาศข่าวการรั่วข้อมูลดิบจาก
สัญญาณ GNSS (Global Navigation Satellite Systems) ด้วยสมาร์ทโฟน (smartphone) ในระบบ
Android เวอร์ชัน 7.0 เป็นครั้งแรกที่ผู้พัฒนาระบบ Android สามารถเข้าถึงข้อมูลการรั่ววัด (Android
GNSS raw measurement) ที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งได้ทั้ง 2 ชนิด คือ เฟสของคลื่นส่ง (Carrier
phase) และซูโดเรนจ์ (Pseudorange) ถือเป็นจุดเริ่มต้นในการหาตำแหน่งความแม่นยำด้วยสมาร์ทโฟน
แต่ข้อจำกัดคือ ผู้ผลิตต่างไม่เปิดเผยข้อมูลตำแหน่งที่แท้จริงของศูนย์กลางการรับคลื่นส่งและตำแหน่งของ
เสาอากาศเครื่องรับคลื่นส่งสัญญาณ GNSS ที่ติดตั้งอยู่ภายในสมาร์ทโฟน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหา
ศูนย์กลางการรับสัญญาณ GNSS ในสมาร์ทโฟนยี่ห้อ เสี่ยวหมี่ (Xiaomi) รุ่น Mi8 และประสิทธิภาพใน
การระบุตำแหน่งของเสาอากาศ โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดที่ได้จาก
เครื่องรับสัญญาณ GNSS ยี่ห้อ Trimble รุ่น R10 ณ จุดทดสอบเดียวกัน บนตาดฟ้าของอาคาร ด้วย
วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ โดยใช้สถานีอ้างอิงรับสัญญาณ GNSS แบบต่อเนื่อง (GNSS
Continuously Operating Reference Stations; CORS) ของกรมที่ดินที่อยู่ใกล้ที่สุดเป็นสถานีฐาน
(base station) ระยะเส้นฐานประมาณ 5.3 กิโลเมตร ประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ CHC
Geomatics Office: CGO V1.0.6 ผลจากการศึกษาพบว่า ศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8
โดยประมาณจะอยู่ถัดจากกึ่งกลางขอบด้านบนสุดมาทางซ้ายประมาณ 2.8 เซนติเมตร และลึกจากขอบ
ด้านบนสุดลงมา 0.9 เซนติเมตร และมีค่า RMSE (Root Mean Square Error) ทางราบและทางตั้งสูงสุด
2.9 และ 6.3 เซนติเมตร ตามลำดับ

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6070441221 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: raw GNSS measurements, CORS, relative positioning, antenna phase center

Chaowalit Netthonglang : Accuracy Assessment of smartphone for high precise GNSS application . Advisor: Prof. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D.

In May 2016, Google announced the availability of GNSS (Global Navigation Satellite Systems) raw measurements from Android 7.0 Raw GNSS measurements using Android devices are the starting point of determining precise positioning using a Smartphone. But the limitation is that information on GNSS antenna phase center or antenna locations embedded within the Smartphone. This thesis aims to find out Xiaomi Mi8's GNSS antenna phase center and the performances of the antenna position are determined from its computed positioning accuracy and later compared its position with the positioning results from the surveyed GNSS receiver; Trimble R10. The observed positions are identical, located on a building roof and applied the same positioning, positioning accuracy can be achieved by relative, whereby the nearest Department of Lands Continuously Operating Reference Stations (DOL CORS) is used as a referenced base station, baseline length is approximately 5.3 km. The positioning results are achieved from a commercial GNSS processing software; CHC Geomatics Office (CGO) version 1.0.6. The demonstrated results are that the Mi8 GNSS antenna phase center is located on the top of the Smartphone and approximately 2.8 cm towards the left hand-side from the centre, offset from the top edge 0.9 cm, and the RMSE (Root Mean Square Error) horizontal and vertical, maximum 2.9 and 6.3 cm respectively.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ด้วยได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลักที่ได้ให้แนวความคิด และคำแนะนำในการแก้ปัญหาต่าง ๆ รวมทั้งตรวจสอบ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์, อ.ดร.ธีทัต เจริญ กาลัญญูตา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.ทยาทิพย์ ทองตัน กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย จาก สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่ได้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จโดยสมบูรณ์ รวมถึงคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำ ตลอดจนปลูกฝังจิตวิญญาณของความเป็นนักสำรวจแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ พันเอก เอี่ยมเกียรติ เจริญสม นายทหารฝ่ายเทคนิค กรมแผนที่ทหาร และ พันเอก จิตรกร ไบรักษา ผู้อำนวยการกองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร รวมทั้งข้าราชการ ประจำกองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหารทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องรับ สัญญาณ GNSS Trimble R10 และ Trimble 5700 ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ กรมที่ดิน ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนข้อมูลการรังวัดจาก GNSS CORS ซึ่งใช้เป็นฐานอ้างอิงในการประมวลผลสำหรับผลงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ เพื่อน พี่ น้อง ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยแนะนำแนวทางการศึกษาและแนวทางการดำเนินการ จัดทำวิทยานิพนธ์ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาว และเรืออากาศตรีหญิง กรกนก ม่วงศิลป์ รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนและมอบความรัก ความอบอุ่นและกำลังใจที่ดี ให้แก่ข้าพเจ้า เสมอมา ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและต่อ ประเทศชาติสืบต่อไป

เชาวลิต เนตรทองกลาง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.3.1 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	3
1.4 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	5
1.5 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการศึกษา.....	6
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดสัญญาณดาวเทียม.....	6
1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษา.....	6
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 แนวคิดพื้นฐาน.....	9
2.2 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phasebased differential positioning).....	10

2.3 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)	11
2.4 เทคนิคค่าต่าง (Differencing technique)	12
2.4.1 การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single differencing)	12
2.4.2 การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing)	14
2.4.3 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing).....	15
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา	24
3.1 การหาค่าพิกัดหมุดอ้างอิง	27
3.2 การทดสอบความยาวของเส้นฐานระยะสั้น (short baseline).....	28
3.3 การหาศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8.....	29
3.4 ทำการทดสอบตำแหน่งโดยประมาณของศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ที่ คำนวณได้.....	30
3.5 เปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิง.....	31
บทที่ 4 ผลการศึกษา	33
4.1 ผลค่าพิกัดหมุดอ้างอิง	33
4.2 ผลการทดสอบความยาวเส้นฐานระยะสั้น (short baseline).....	34
4.3 การแสดงตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 เทียบกับค่าพิกัดหมุดอ้างอิง	34
4.4 ผลการประมาณตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6	35
4.5 ตัวอย่างผลการทดสอบตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ที่คำนวณได้ด้วย ซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6	36
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	38
5.1 อภิปรายผล	38
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	41
5.3 ข้อจำกัด	41

5.4 ข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม.....	47
รายการอ้างอิง	48
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติทั่วไปเกี่ยวกับการนำทาง และการหาตำแหน่งของสมาร์ตโฟน Mi8.....	52
ภาคผนวก ข. แอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger.....	53
ภาคผนวก ค. ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session ในการหาศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8.....	55
ภาคผนวก ง. ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session ในการทดสอบตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8 ที่คำนวณได้.....	57
ประวัติผู้เขียน.....	60

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงผลค่าพิกัดหมุดอ้างอิงที่ประมวลผลจากซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6.....	33
ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบ short baseline ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6.....	34
ตารางที่ 3 อัตราส่วนจำนวน session ที่ Fixed Solution ได้ ต่อจำนวน session ทั้งหมด ทั้ง 2 กรณี	36
ตารางที่ 4 แสดงค่า RMSE ทาง Easting, Northing และ Up ของทั้ง 2 กรณีการทดสอบ.....	37
ตารางที่ 5 แสดงค่า RMSE 2D และ 3D ของทั้ง 2 กรณีการทดสอบ.....	37
ตารางที่ 6 ค่า RMSE ทาง Easting, Northing และ Up ก่อน – หลัง การคำนวณหาตำแหน่งศูนย์กลาง การรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8.....	39
ตารางที่ 7 ค่า RMSE 2D และ 3D ก่อน – หลัง การคำนวณหาตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งใน สมาร์ทโฟน Mi8.....	39
ตารางที่ 8 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 17 มีนาคม 2562 จำนวน 12 session.....	55
ตารางที่ 9 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 18 มีนาคม 2562 จำนวน 9 session (Fixed Solution จำนวน 7 session).....	55
ตารางที่ 10 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 19 มีนาคม 2562 จำนวน 10 session.....	56
ตารางที่ 11 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 14 มิถุนายน 2562 จำนวน 12 session (Fixed Solution จำนวน 11 session) ระหว่างสมาร์ทโฟน Mi8 - PKKT.....	57
ตารางที่ 12 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 14 มิถุนายน 2562 จำนวน 12 session (Fixed Solution จำนวน 11 session) ระหว่างสมาร์ทโฟน Mi8 – DPT9.....	58
ตารางที่ 13 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 14 กรกฎาคม 2562 จำนวน 9 session ระหว่าง สมาร์ทโฟน Mi8 – PKKT.....	58
ตารางที่ 14 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 14 กรกฎาคม 2562 จำนวน 9 session ระหว่าง สมาร์ทโฟน Mi8 – DPT9.....	59

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงลักษณะและสภาพโดยรอบบริเวณดาดฟ้าของอาคารพักสวัสดิการฯ	4
รูปที่ 2 แสดงที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา, สถานี PKKT และสถานี DTP9.....	5
รูปที่ 3 แสดงพัฒนาการข้อมูลทางตำแหน่งจาก API 23 ถึง API 24 ในสมาร์ทโฟนระบบแอนดรอยด์	10
รูปที่ 4 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์	11
รูปที่ 5 แสดงเทคนิคค่าต่างลักษณะต่าง ๆ	12
รูปที่ 6 การหาค่าต่างครั้งที่สอง	15
รูปที่ 7 การหาค่าต่างครั้งที่สาม	16
รูปที่ 8 ลักษณะของการวางสมาร์ทโฟน Nexus 9 ขณะรังวัดสัญญาณฯ และพื้นที่ศึกษา.....	17
รูปที่ 9 ลักษณะของการวาง u-blox รุ่น NEO-7P ขณะรังวัดสัญญาณฯ และพื้นที่ศึกษา.....	18
รูปที่ 10 ลักษณะของการวางสมาร์ทโฟน Mi8 ขณะรังวัดสัญญาณฯ พื้นโล่ง (a) และพื้นปกคลุมด้วยอาคาร (b).....	19
รูปที่ 11 a เป็นการรับสัญญาณฯ ได้จากรับสัญญาณ และ b เป็นการรับสัญญาณฯ บริเวณขอบของดาดฟ้า	20
รูปที่ 12 แสดงผลทางตำแหน่งที่ได้จากคลื่น L1 และ L5 สำหรับกลุ่มดาวเทียม GPS และ Galileo 20	
รูปที่ 13 เสาอากาศของโทรศัพท์มือถือ 1. เสาอากาศ GSM/WCDMA 2.เสาอากาศ Wi-Fi/Bluetooth combined ceramic chip และ 3. เสาอากาศ GPS	21
รูปที่ 14 ตำแหน่งของเสาอากาศ GPS ในโทรศัพท์มือถือ	21
รูปที่ 15 ตำแหน่งของเสาอากาศ GPS ในโทรศัพท์มือถือ	22
รูปที่ 16 ภาพประกอบของเสาอากาศ GPS ใน Palm Pre	22
รูปที่ 17 ประเภทและตำแหน่งของเสาอากาศของ Samsung Galaxy S	23
รูปที่ 18 แสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	24

รูปที่ 19 แสดงการติดตั้ง Geo++ RINEX Logger ขั้นตอนที่ 1 - 4	25
รูปที่ 20 แสดงการทำงาน Geo++ RINEX Logger ขั้นตอนที่ 5 - 7.....	26
รูปที่ 21 แสดงการทำงาน Geo++ RINEX Logger ขั้นตอนที่ 8 - 12	27
รูปที่ 22 การรังวัดหาค่าพิกัดหมุดอ้างอิงด้วยเครื่อง Trimble R10	28
รูปที่ 23 ลักษณะการวางสมาร์ตโฟน Mi8 ขณะรังวัดในการทดสอบ short baseline ที่ระยะ 5 เมตร	29
รูปที่ 24 การปรับแก้ภาพถ่ายของสมาร์ตโฟน Mi8 ให้มีค่าพิกัด ด้วยโปรแกรม Global Mapper 19	30
รูปที่ 25 การทดสอบตำแหน่งโดยประมาณของศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8 (กรณีที่ 1)	31
รูปที่ 26 การทดสอบตำแหน่งโดยประมาณของศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8 (กรณีที่ 2)	31
รูปที่ 27 การประมวลผลและการปรับแก้โครงข่ายด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6	33
รูปที่ 28 แสดงผลค่าพิกัดของสมาร์ตโฟน Mi8 อยู่ในวงกลมรัศมี 5 เซนติเมตร จากค่าพิกัดหมุดอ้างอิง	35
รูปที่ 29 แสดงผลตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8 จากซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6	35
รูปที่ 30 แสดงค่า RMSE ทางราบของ 2 กรณีการวางที่ความยาวเส้นฐาน 5.3 และ 19.6 กม.....	40
รูปที่ 31 แสดงค่า RMSE ทางตั้งของ 2 กรณีการวางที่ความยาวเส้นฐาน 5.3 และ 19.6 กม.....	40
รูปที่ 32 ตัวอย่างการงานรังวัดหมุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ GCP ด้วย geodetic receiver..	42
รูปที่ 33 ตัวอย่างการงานรังวัดหมุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ GCP ด้วย handheld	42
รูปที่ 34 แสดงตัวอย่างยี่ห้อและรุ่นของสมาร์ตโฟนที่สามารถรังวัดสัญญาณในช่วงคลื่น L1/L5 ได้..	43
รูปที่ 35 ตำแหน่งสถานีฐาน (CORS Stations) ในประเทศไทย	44
รูปที่ 36 การทดสอบ ground plane antenna จาก แผ่นพลาสติกอะคริลิกหนา 2 เซนติเมตร	45
รูปที่ 37 การวัดค่าความสูงกรณีการวางสมาร์ตโฟน Mi8 ลงบนขาตั้งกล้องที่ประยุกต์เข้ากับจานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST	46

รูปที่ 38 สมาร์ทโฟน Mi8 52

รูปที่ 39 แอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger 53

รูปที่ 40 ตัวอย่างของรูปแบบของหัวไฟล์ RINEX (HEADER RINEX) ของแอปพลิเคชัน Geo ++
RINEX Logger 2.1.3 ที่รังวัดจากสมาร์ทโฟน Mi8 54

รูปที่ 41 ไฟล์ RINEX ของแอปพลิเคชัน Geo ++ RINEX Logger 2.1.3 ที่รังวัดจากสมาร์ทโฟน Mi8
..... 54



1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แนวโน้มในการพัฒนาการทางด้านเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนำทางสากล (Global Navigation Satellite Systems: GNSS) ในปัจจุบันพบว่าราคาของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะถูกลง อีกทั้งขนาดของเครื่องรับสัญญาณก็จะเล็กลง และจะมีขีดความสามารถที่สูงมากขึ้น ซึ่งได้ถูกนำมาติดตั้งไว้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น นาฬิกาข้อมือ Personal Digital Assistant (PDA) และโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลทางตำแหน่งได้อย่างสะดวก และในงานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตร เช่น งานรังวัดเพื่องานควบคุมและทำแผนที่ งานตรวจจัดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างทางวิศวกรรม งานวัดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก รวมถึงงานควบคุมเครื่องจักรกลในการทำเกษตรกรรมนั้น ถือว่าเป็นตลาดที่ไม่ใหญ่มากนัก เพราะมีกลุ่มผู้ใช้งานในวงจำกัด ประกอบกับความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีขีดความสามารถสูง และเป็นที่แน่นอนว่าราคาของเครื่องรับสัญญาณฯ จะมีราคาสูงมากเมื่อเทียบกับราคาของเครื่องรับแบบพกพา ขณะที่งานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเมตรหรือหลายเมตรนั้น ไม่จำเป็นที่ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณฯ ที่มีราคาแพง ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GNSS นี้กับงานที่หลากหลาย เช่น งานติดตามพาหนะ (vehicle tracking) งานหาตำแหน่งของผู้ใช้มือถือ (mobile positioning) ซึ่งถือว่าเป็นตลาดที่ใหญ่ เพราะมีกลุ่มผู้ใช้งานที่หลากหลาย (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548)

ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 (ค.ศ.2016) เป็นต้นมา ที่บริษัท Google ได้มีการเผยแพร่ข้อมูลข่าวเกี่ยวกับความสำเร็จในการรังวัดข้อมูลดิบ (raw measurement) จากสัญญาณ GNSS ด้วยสมาร์ทโฟน (smartphone) ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) เวอร์ชัน 7.0 ในขณะนั้น เป็นครั้งแรกที่ผู้พัฒนาระบบ Android สามารถเข้าถึงข้อมูลการรังวัด (Android GNSS raw measurement) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาตำแหน่งได้ทั้ง 2 ชนิด คือ เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase) และซูโดเรนจ์ (Pseudorange) ถือเป็นจุดเริ่มต้นและโอกาสในการหาตำแหน่งความละเอียดสูงจากระบบดาวเทียม GNSS ด้วยสมาร์ทโฟน (European GNSS Agency [GSA], 2017) และเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2561 (ค.ศ.2018) ที่ผ่านมา บริษัทสมาร์ทโฟน เสียวหมี่ (Xiaomi) ได้เปิดตัวสมาร์ทโฟนรุ่นใหม่ของ Xiaomi รุ่น Mi8 (Xiaomi, 2018) หรือเรียกว่า “สมาร์ทโฟน Mi8” ที่ติดตั้งเครื่องรับสัญญาณ GNSS (GNSS chipset) รุ่นใหม่ล่าสุดของบริษัท Broadcom รุ่น BCM47755 ไว้ในสมาร์ทโฟน Mi8 (Broadcom, 2017) สามารถรองรับสัญญาณ GNSS แบบสองความถี่ (L1/L5-E1/E5) และเป็น

สมาร์ทโฟนรุ่นเดียวในขณะนั้นที่ติดตั้ง GNSS chipset รุ่นนี้ ที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งอยู่ที่ประมาณ 30 เซนติเมตร (Murfin, 2017) ขณะเดียวกันได้มีผู้พัฒนาแอปพลิเคชันบอกตำแหน่งสำหรับสมาร์ทโฟนระบบ Android (Android Location) ที่สามารถบันทึกข้อมูลดิบจากสัญญาณ GNSS แบบสองความถี่และส่งออกไฟล์ข้อมูลดิบในรูปแบบของ RINEX (Receiver Independent Exchange) เวอร์ชัน 3.03 (Gurtne, 2014) จึงทำให้การคำนวณหาตำแหน่งมีความถูกต้องและแม่นยำเพิ่มมากขึ้น ด้วยวิธีการประมวลผลในภายหลัง (post-processing) อย่างไรก็ตามในงานสำรวจนั้นไม่ว่าจะทำการรังวัดด้วยอุปกรณ์ชนิดใดก็ตามย่อมมีค่าคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ สำหรับงานสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม นั้น สามารถจำแนกค่าคลาดเคลื่อนได้เป็น 4 กลุ่ม คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม (Satellite-Dependent errors) ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Receiver-Dependent errors) ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ (Signal Propagation errors) และค่าคลาดเคลื่อนอื่น ๆ (Other errors) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548) และเช่นเดียวกันกับการรังวัดสัญญาณดาวเทียมในสมาร์ทโฟน ในกลุ่มของค่าความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งสาเหตุหนึ่งมาจากผู้ผลิตต่างไม่ได้เปิดเผยข้อมูลตำแหน่งที่แท้จริงของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ (Antenna phase center) และตำแหน่งของเสาอากาศ (antenna location) ที่ติดตั้งอยู่ภายในสมาร์ทโฟน เพราะโดยทั่วไปแล้วข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากสัญญาณดาวเทียม จะเป็นระยะทางที่วัดระหว่างจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวส่งคลื่นสัญญาณการเดินทางด้วยวิทยุ (Radio navigation) จากดาวเทียมกับจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Rothacher et al., 1990) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบตำแหน่งของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน เพื่อวางหรือติดตั้งให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟนตรงกับตำแหน่งกึ่งกลางหัวหมุดพอดี ในขณะที่รังวัด

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ทโฟนสำหรับการประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง โดยเลือกศึกษาตัวอย่างของปัญหาจากสมาร์ทโฟน Mi8 ในการหาจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ และประเมินความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของเสาอากาศ โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิงที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ GNSS ยี่ห้อ Trimble รุ่น R10 (Trimble, 2019) ณ จุดทดสอบเดียวกัน บนดาดฟ้าของอาคาร ใช้การรับสัญญาณ GNSS แบบสถิต (Static positioning) ในการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase-based differential positioning) กำหนดให้สถานีอ้างอิงรับสัญญาณ GNSS แบบต่อเนื่อง (GNSS Continuously Operating Reference Stations: CORS) ที่อยู่ห่างจากพื้นที่ศึกษาไม่เกิน 20 กิโลเมตร เป็นสถานีฐาน (base station) และใช้การประมวลผลเส้นฐานเดี่ยว (Single baseline processing) เพื่อหาค่าพิกัดสมาร์ทโฟน Mi8 ด้วย

ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ (Commercial software) CHC Geomatics Office (CGO 1.0.6) (CHC-NAV, 2014)

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 หาจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน Mi8

1.2.2 เปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิง (Ground truth)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

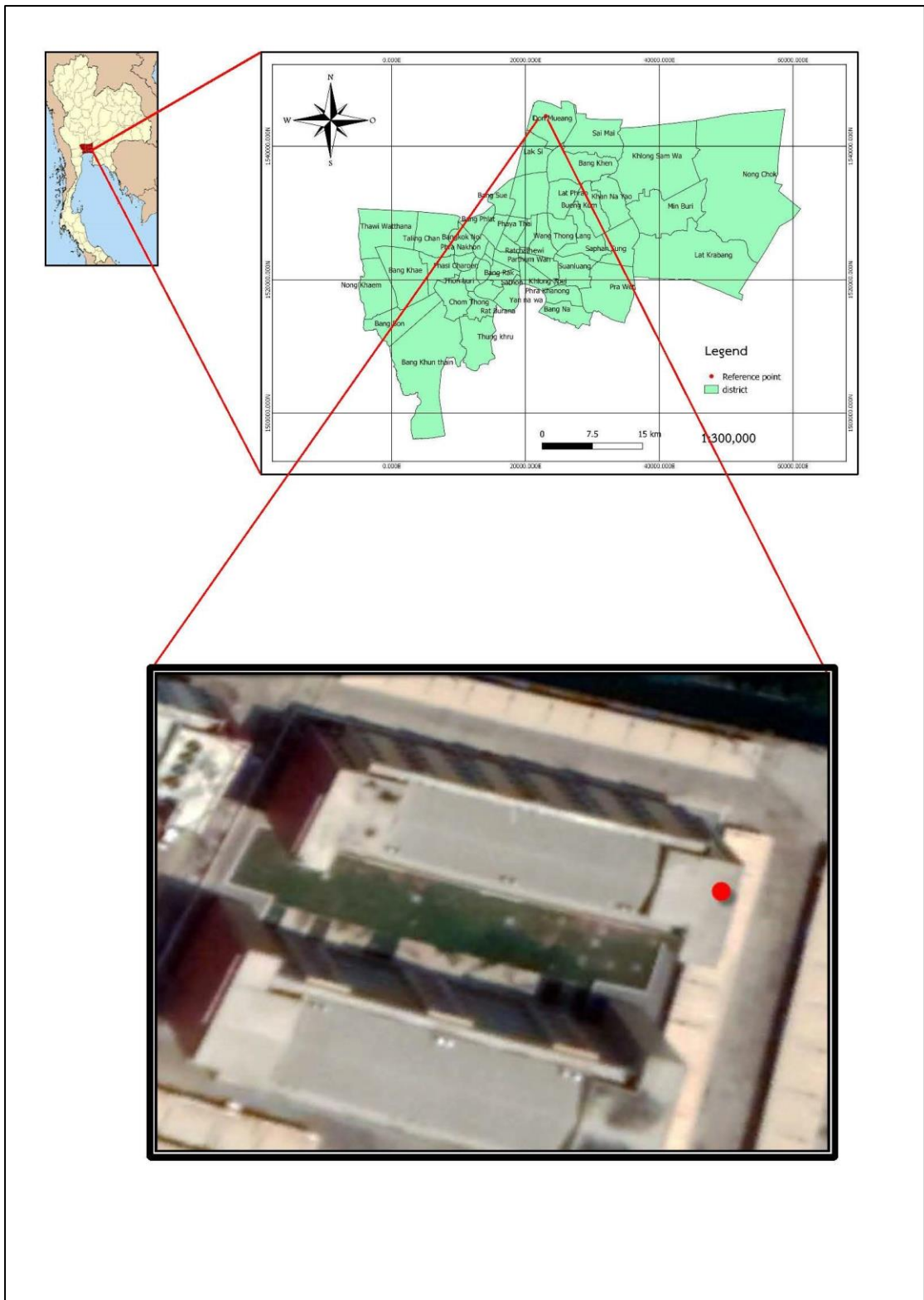
1.3.1 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1.1 หาจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน Mi8 จากข้อมูลการรังวัดด้วยวิธี static แบบสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐาน PKKT และสมาร์ทโฟน Mi8 ประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ CHC Geomatics Office (CGO 1.0.6)

1.3.1.2 เปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิงจากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

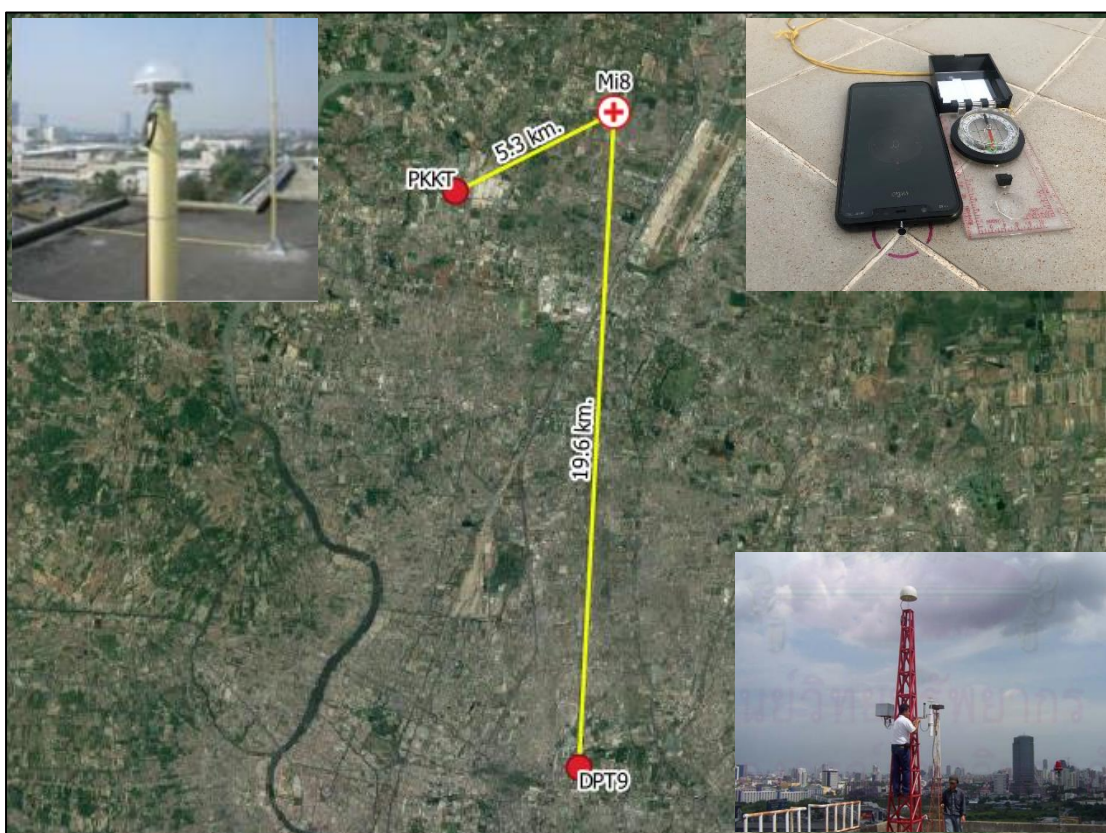
1.3.2.1 ตั้งอยู่ที่ ละติจูด 13.933655° เหนือ ลองจิจูด 100.584168° ตะวันออก บนดาดฟ้าอาคารพักสวัสดิการกองบัญชาการกองทัพไทย อาคาร 61 ฟุ่งสีกัน 4 ถนนสรองประภา แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร เป็นพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าพิกัดของสมาร์ทโฟน Mi8



รูปที่ 1 แสดงลักษณะและสภาพโดยรอบบริเวณดาดฟ้าของอาคารพักสวัสดิการฯ

1.3.2.2 สถานี PKKT ติดตั้งอยู่ชั้นบนสุดของอาคารรังวัดและทำแผนที่ อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี เป็นสถานี GNSS CORS ของกรมที่ดินที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ศึกษามากที่สุด โดยมีระยะห่างประมาณ 5.3 กิโลเมตร ใช้เป็นสถานีฐาน

1.3.2.3 สถานี DPT Rama 9 (DPT9) ติดตั้งอยู่ชั้นบนสุดของอาคารกรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 9 แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร เป็นสถานี GNSS CORS ของกรมโยธาธิการและผังเมืองอยู่ห่างจากพื้นที่ศึกษาประมาณ 19.6 กิโลเมตร ใช้เป็นสถานีฐาน



รูปที่ 2 แสดงที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา, สถานี PKKT และสถานี DTP9

1.4 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1.4.1 ข้อมูลการรังวัด static รับสัญญาณทุก ๆ (Epoch) 15 วินาที จาก Trimble R10 (GNSS/หลายความถี่) และ Trimble 5700 (Trimble, 2001) (GPS/ สองความถี่; L1/L2)

1.4.2 ข้อมูลการรังวัด static รับสัญญาณทุก ๆ 1 วินาที จากสมาร์ทโฟน Mi8 โดยใช้แอปพลิเคชันบอกตำแหน่งชื่อ “Geo++ RINEX Logger” (Geo++ GmbH, 2019) ในการบันทึกและส่งออกข้อมูลจากการรังวัดในรูปแบบของไฟล์ RINEX (GNSS/ สองความถี่; L1/L5-E1/E5)

1.4.3 ข้อมูลการรังวัด static รับสัญญาณทุก ๆ 15 วินาที จากสถานี PKKT และ DPT9 ดาวเทียมโหนดจากเว็บไซต์ของกรมที่ดิน <http://dol-rtknetwork.com:8090/login.aspx>

1.4.4 ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Broadcast รายวัน ดาวเทียมโหนดจากเว็บไซต์ <http://www.gnsscalendar.com>

1.5 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการศึกษา

1.5.1 CHC Geomatics Office (CGO V1.0.6)

1.5.2 Quantum GIS (Qgis 3.4.8) (QGIS, 2019)

1.5.3 Global Mapper 19 (Global Mapper, 2018)

1.5.4 Microsoft Office 2016

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดสัญญาณดาวเทียม

1.6.1 เครื่องรับสัญญาณ GNSS Trimble R10

1.6.2 เครื่องรับสัญญาณ GPS Trimble 5700

1.6.3 สมาร์ทโฟน Mi8

1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษา

1.7.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.7.2 ศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา

1.7.3 กำหนดพื้นที่ศึกษา

1.7.4 กำหนดหมุดอ้างอิง เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8

- โดยใช้ Trimble R10 รังวัดสัญญาณดาวเทียมด้วยวิธี static ในการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1 คาบการรังวัด (session) โดยใช้สถานี PKKT และ DTP9 เป็นสถานีฐาน แล้วประมวลผลและการปรับแก้โครงข่าย (Network adjustment) ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

1.7.5 การทดสอบความยาวของเส้นฐานระยะสั้น (short baseline)

- เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระยะเส้นฐาน (baseline) ที่ได้จากเสาอากาศเครื่องรับในสมาร์ทโฟน Mi8 โดยวางบนพื้น ให้กึ่งกลางของขอบด้านบนสุดของสมาร์ทโฟน Mi8 ทับกึ่งกลางหัวมุดทดสอบพอดี และชี้เข้าหาสถานีฐานตามแนวของเส้นฐาน ใช้ Trimble 5700 เป็นสถานีฐาน ใช้ตลับเมตรวัดระยะจากสถานีฐานถึงสมาร์ทโฟน Mi8 ให้ได้ความยาว 5 เมตร (Bilich & Mader, 2010) จากนั้นรับสัญญาณฯ แบบ static ในการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ และประมวลผลเส้นฐานระยะสั้นด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

1.7.6 หาจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน Mi8

- ประมวลผลเส้นฐานเดี่ยวด้วยซอฟต์แวร์ CGO V1.0.6 ที่ได้จากข้อมูลการรังวัดด้วยวิธี static แบบสัมพัทธ์ ระหว่างสถานีฐาน PKKT กับสมาร์ทโฟน Mi8 โดยวางให้กึ่งกลางของขอบด้านบนสุดของสมาร์ทโฟน Mi8 ทับกึ่งกลางหัวมุดทดสอบพอดีและชี้ไปทางทิศเหนือ ใช้เวลาในการรับข้อมูล 1 ชั่วโมง/session
- ทำการปรับแก้ (Rectified) ภาพถ่ายของสมาร์ทโฟน Mi8 ให้มีค่าพิกัด ในระบบพิกัดยูทีเอ็มโซน 47 N (Universal Transverse Mercator; UTM) โดยใช้ค่าพิกัดหมุดอ้างอิงในข้อ 1.7.4 ในการตรึงค่าพิกัด (Georeference) ด้วยโปรแกรม Global Mapper 19 แล้วส่งออกไฟล์เป็นนามสกุล .tif
- นำค่าพิกัดของสมาร์ทโฟน Mi8 ที่ได้จากข้อ 1.7.4 และ 1.7.6 มาแสดงค่าพิกัด (plot) ลงบนภาพถ่ายของสมาร์ทโฟน Mi8 นามสกุล.tif ด้วยโปรแกรม Qgis3.4.2 เพื่อนำตำแหน่งของค่าพิกัดที่ปรากฏบนภาพถ่ายฯ ไปทดสอบหาจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน Mi8
- ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน Mi8 โดยประมาณ ได้จากการค่าเฉลี่ยค่าพิกัดทาง Easting (E) และ Northing (N) ในข้อ 1.7.6

1.7.7 เปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิง

- ทหารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) (Sanz Subirana et al., 2013) เทียบกับค่าพิกัดหมุดอ้างอิงหลังจกได้ตำแหน่งโดยประมาณของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน Mi8

1.7.8 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

1.7.9 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบวิธีการหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ และประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งของเสาอากาศและ GNSS chipset ในสมาร์ทโฟน Mi8 เมื่อเทียบกับ Trimble R10

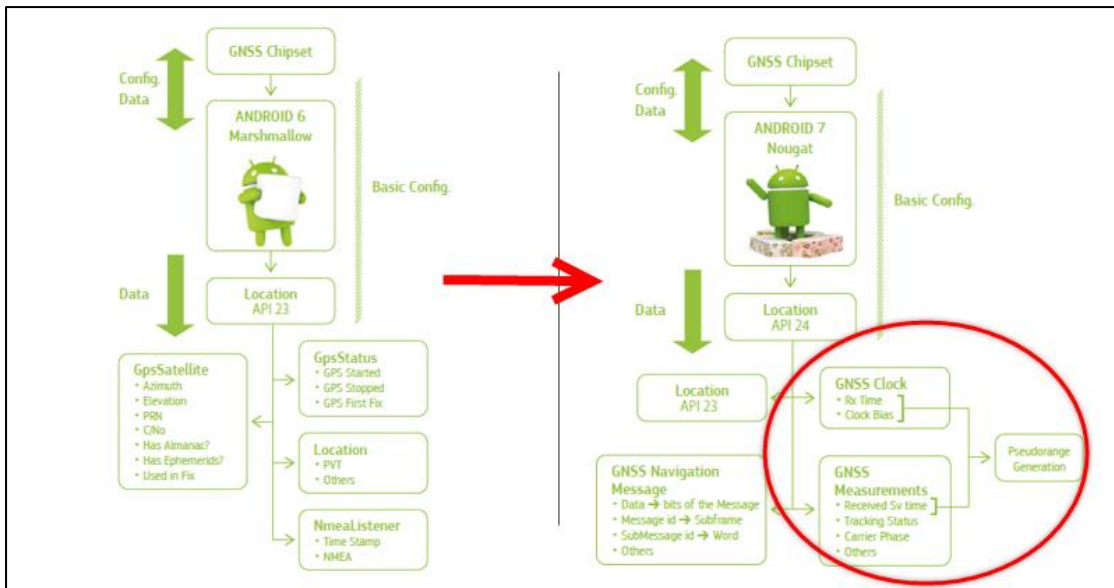
1.4.2 สามารถประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟน Mi8 ร่วมกับขาตั้งกล้อง (Tripod) ในการรังวัดสัญญาณ GNSS ที่ให้ค่าความถูกต้องอยู่ในระดับเดซิเมตรหรือต่ำกว่าเมตร จากการประมวลผลด้วยตัวซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6



บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดพื้นฐาน

หลังจากเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2559 เป็นต้นมา ที่ทางบริษัท Google ได้มีประกาศออกมาว่า สมาร์ทโฟน ในระบบปฏิบัติการของ Android เวอร์ชัน 7.0 ที่มี Location Application Programming Interface level 24 (API 24) ในขณะนั้น โดยที่ API จะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการเข้าถึงและส่งออกไฟล์ข้อมูลการรังวัดสัญญาณ GNSS ได้ ในลักษณะของ Android GNSS raw measurements ทั้งในรูปแบบของรหัส (C/A code) และคลื่นส่ง (carrier phase) ซึ่งก่อนหน้านี้จะเป็น Android เวอร์ชัน 6.0 (API 23) ที่ไม่สามารถเข้าถึงและส่งออกไฟล์ข้อมูลการรังวัดสัญญาณ GNSS ได้ แต่สำหรับ Android เวอร์ชัน 7.0 (API 24) เพียงผู้ใช้งานติดตั้งแอปพลิเคชันชื่อ “GNSSLogger V 2.0.0.1” ลงบนสมาร์ทโฟนพร้อมทั้งซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลชื่อ “GNSS Analysis App V 2.6.3.0” ที่สามารถประมวลผลคลื่นสองความถี่ L1/L5 ได้ โดยติดตั้งลงในคอมพิวเตอร์ได้ทั้งระบบปฏิบัติการ Linux, Windows และ macOS (Android Developers, 2019) นับได้ว่าเป็นครั้งแรกที่ผู้พัฒนาแอปพลิเคชันของ Location API สามารถทำให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลการรังวัดสัญญาณ GNSS ได้ และถือเป็นจุดเริ่มต้นในการเพิ่มประสิทธิภาพในการตำแหน่งความละเอียดสูงด้วยสมาร์ทโฟน โดยการนำไฟล์ข้อมูลจากการรังวัดดิบ (GNSS raw measurements) ไปประมวลผลด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การประมวลผลในภายหลัง (post-processing solution) ทั้งการรังวัดแบบสถิต (static positioning) และแบบจลน์ (kinematic positioning) ได้ แต่สำหรับอุปสรรคในช่วงแรกนั้นข้อจำกัดของแอปพลิเคชัน GNSSLogger V 2.0.0.1 ที่พบอย่างแรกคือ ไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดไม่ได้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ RINEX หรือ NMEA (National Marine Electronics Association) แต่จะอยู่ในรูปของ log file นามสกุล .txt และอย่างที่สองคือ ความเข้าใจในหลักการเกี่ยวกับการหาตำแหน่งด้วยการรังวัดสัญญาณ GNSS ของผู้พัฒนาแอปพลิเคชัน (European GNSS Agency [GSA], 2017) แต่ในปัจจุบันมีแอปพลิเคชันของ Android ที่สามารถบันทึกและส่งออกข้อมูลดิบการรังวัดสัญญาณ GNSS (Android GNSS raw measurements) ในรูปแบบของไฟล์ RINEX (Gurtne, 2014) และรองรับสมาร์ทโฟนที่มี GNSS chipset ในการรับคลื่นสัญญาณดาวเทียมแบบสองความถี่ได้ อย่างเช่น แอปพลิเคชัน “Geo++ RINEX Logger” และ “rinex ON” (Nottingham Scientific Ltd [NSL], 2019) เป็นต้น



รูปที่ 3 แสดงพัฒนาการข้อมูลทางตำแหน่งจาก API 23 ถึง API 24 ในสมาร์ทโฟนระบบแอนดรอยด์

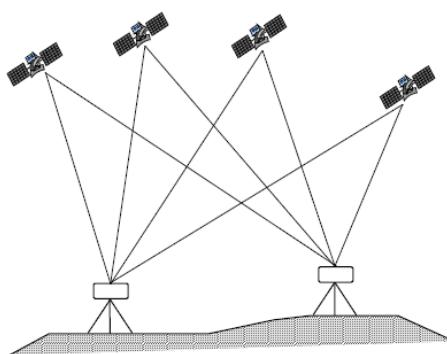
การใช้สมาร์ทโฟนในการรังวัดด้วยข้อมูลเฟสของคลื่นส่งสองความถี่ในปัจจุบัน ในการหาค่าพิกัดทางตำแหน่งด้วยดาวเทียม สามารถทำได้เช่นเดียวกันกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS (GNSS geodetic receiver) กำลังเป็นที่นิยมและแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากสามารถนำข้อมูลดิบที่ได้จากการรังวัดไปประมวลผลในภายหลังได้ และมีโอกาสทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากสมาร์ทโฟนถูกต้องในระดับเดซิเมตรหรือเซนติเมตรได้ หากขบวนการหาค่าเลขปริศนาของคลื่นส่งเป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity Resolution) สามารถหาค่าได้อย่างถูกต้อง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2 การหาค่าตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase based differential positioning)

การหาค่าตำแหน่งที่ละเอียดถูกต้องสูงจำเป็นต้องใช้การหาค่าตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง การลดหรือขจัดค่าคลาดเคลื่อนที่มีอยู่ในข้อมูลถือเป็นหัวใจสำคัญของการได้มาซึ่งความถูกต้องในระดับมิลลิเมตรถึงเซนติเมตร เทคนิคค่าต่างเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในการลดและขจัดค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เทคนิคค่าต่างครั้งที่สองกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งถือเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไปว่าให้ค่าความถูกต้องสูง ดังนั้นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่จึงใช้เทคนิคค่าต่างครั้งที่สองในการสร้างสมการค่าสังเกตสำหรับการประมวลผลข้อมูลต่อไป หัวใจสำคัญอีกอันหนึ่งที่มีผลต่อค่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้รับคือขั้นตอนของการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่า Ambiguity Resolution (AR) เนื่องจากการใช้เทคนิคค่า

ต่างครั้งที่สองกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งนั้นเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไปตั้งนั้นจึงใคร่ขอยกกรณีของสมการค่าสังเกตที่ได้จากเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สองมาประกอบการอธิบาย หากสมมุติว่าเส้นฐานมีขนาดสั้น (< 20 กิโลเมตร) ค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิดถูกขจัดออกไปจากการหาค่าต่าง (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548)



รูปที่ 4 การหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์
ที่มา: (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548)

2.3 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)

สำหรับงานที่ต้องการค่าความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตรจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งในการประมวลผล ซึ่งการวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับเป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมา กับเฟสของคลื่นความถี่ f_0 ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานั้นแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) กับส่วนที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) ในการรับสัญญาณนั้นเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่ส่งลงมา จำนวนเต็มรอบสามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยจำนวนเต็มนี้มีชื่อเรียกว่า Ambiguity หรือ เลขปริศนา โดยสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่งคือ (Leick, 2004; Rizos, 1997; Teunissen & Kleusberg, 1998)

$$\varphi = \rho + \Delta r - d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta r - \Delta\delta s) + dm\varphi + \varepsilon\varphi + \lambda N \quad (2.1)$$

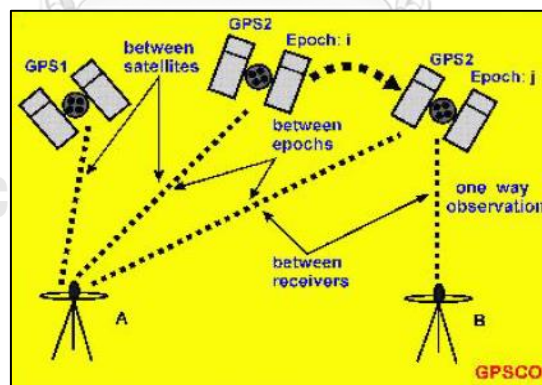
โดยที่

- φ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง (เมตร)
- ρ คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
- Δr คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
- d_{ion} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)

$dtrop$	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
c	คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
$\Delta\delta r$	คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
$\Delta\delta s$	คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
dmp	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (เมตร)
$\epsilon\phi$	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในชุดโคเรนจ์ที่วัดได้ของคลื่นส่ง (เมตร)
λ	คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)
N	คือ Ambiguity หรือ เลขปริศนา ของคลื่นส่ง

2.4 เทคนิคค่าต่าง (Differencing technique)

การหาค่าต่างสามารถทำได้ 3 ลักษณะคือ ระหว่างเครื่องรับ (Between receivers) ระหว่างดาวเทียม (Between satellites) และระหว่างเวลา (Between epochs) จากรูปที่ 4 ประกอบ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปมักจะมีการจำแนกเทคนิคการหาค่าต่างตามจำนวนครั้งของการหาค่าต่าง และเทคนิคการหาค่าต่างที่เป็นที่นิยมใช้กันกว้างขวางนั้นมีอยู่สามแบบคือ การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single differencing) การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing) และการหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing) โดยมีรายละเอียดดังนี้ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)



รูปที่ 5 แสดงเทคนิคค่าต่างลักษณะต่าง ๆ

ที่มา: (Rizos, 1997)

2.4.1 การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single differencing)

จะเป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างเพียงหนึ่งครั้ง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสามลักษณะดังภาพที่ 4 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1.1 ค่าต่างระหว่างเครื่องรับ (Between-Receiver differences)

การหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับเป็นการนำเอาค่าที่วัดได้จากดาวเทียมเดียวกันที่จุดสองจุดมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A และจุด B ซึ่งทั้งสองจุดสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 และจากสมการ (2) หากรวมค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์เป็นหนึ่งเทอม d_{atmos} และสมมติว่าไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวนในข้อมูล เราสามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่รับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 ที่จุด A และ B อย่างง่ายได้ดังนี้

$$\phi_A^1 = \rho_A^1 + \Delta_r^1 + d_{atmosA} + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^1) + \lambda N_A^1 \quad (2.2)$$

$$\phi_B^1 = \rho_B^1 + \Delta_r^1 + d_{atmosB} + c(\Delta\delta_B - \Delta\delta^1) + \lambda N_B^1 \quad (2.3)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ โดยนำสมการ (2.2) ลบด้วยสมการ (2.3) จะได้

$$\phi_A^1 - \phi_B^1 = \rho_A^1 - \rho_B^1 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta_B) + \lambda(N_A^1 - N_B^1) \quad (2.4)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ ทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ โดยประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเครื่องรับทั้งสองหรือที่เรียกกันว่า ระยะเส้นฐาน (Baseline length) เรียกการหาค่าต่างแบบนี้ว่า “การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง” (Single difference)

2.4.1.2 ค่าต่างระหว่างดาวเทียม (Between-Satellite differences)

การหาค่าต่างระหว่างดาวเทียมเป็นการนำเอาค่าที่วัดได้จากจุดเดียวกันไปยังดาวเทียมต่างดวงกันมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A ซึ่งสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 และ 2 ได้พร้อมกัน สามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่จุด A ไปยังดาวเทียมหมายเลข 1 และ 2 ได้ดังนี้

$$\phi_A^1 = \rho_A^1 + \Delta_r^1 + d_{atmosA}^1 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^1) + \lambda N_A^1 \quad (2.5)$$

$$\phi_A^2 = \rho_A^2 + \Delta_r^2 + d_{atmosA}^2 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^2) + \lambda N_A^2 \quad (2.6)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างดาวเทียม โดยนำสมการ (4) ลบด้วยสมการ (5) จะได้

$$\phi_A^1 - \phi_A^2 = \rho_A^1 - \rho_A^2 + \Delta_r^1 - \Delta_r^2 + \Delta d_{atmos} + c(\Delta\delta^2 - \Delta\delta^1) + \lambda(N_A^1 - N_A^2) \quad (2.7)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ

2.4.1.3 ค่าต่างระหว่างเวลา (Between-Epoch differences)

การหาค่าต่างระหว่างเวลาเป็นการนำเอาค่าที่วัดได้ที่จุดเดียวกัน ไปยังดาวเทียมดวงเดียวกันแต่ต่างเวลากันมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A ซึ่งสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 โดยรับข้อมูล 2 ขณะเวลา เราสามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่จุด A ไปยังดาวเทียมหมายเลข 1 ณ เวลา t_0 และ t_1 ได้ดังนี้

$$\phi_A^1(t_0) = \rho_A^1(t_0) + \Delta r^1(t_0) + d_{amosA}^1(t_0) + c(\Delta\delta_A(t_0) - \Delta\delta^1(t_0)) + \lambda N_A^1(t_0) \quad (2.8)$$

$$\phi_A^1(t_1) = \rho_A^1(t_1) + \Delta r^1(t_1) + d_{amosA}^1(t_1) + c(\Delta\delta_A(t_1) - \Delta\delta^1(t_1)) + \lambda N_A^1(t_1) \quad (2.9)$$

ในกรณีที่ไม่มีเกิดการเกิดคลื่นหลุด (Cycle slip) ระหว่าง t_0 และ t_1 ค่า $\lambda N_A^1(t_0)$ จะเท่ากับ $\lambda N_A^1(t_1)$ ดังนั้นเมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างเวลาโดยนำสมการ (7) ลบด้วยสมการ (8) จะได้

$$\phi_A^1(t_0) - \phi_A^1(t_1) = \rho_A^1(t_0) - \rho_A^1(t_1) + \Delta r^1(t_0) - \Delta r^1(t_1) + c(\Delta\delta_A(t_0) - \Delta\delta^1(t_0)) - c(\Delta\delta_A(t_1) - \Delta\delta^1(t_1)) \quad (2.10)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถจัดเลขปริศนา และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ออกไปได้มาก โดยที่ประสิทธิภาพผลในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับความห่างของช่วงเวลาทั้งสอง อย่างไรก็ตามในการเก็บข้อมูลจีพีเอสมักจะมีการกำหนดอัตราการขึ้นของข้อมูลไว้ไม่เกิน 30 วินาที ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าการหาค่าต่างระหว่างเวลาสามารถใช้จัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ออกไปได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศนั้นค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับอัตราการขึ้นของข้อมูล

2.4.2 การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing)

เป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างสอง ครั้ง กล่าวคือเป็นการหาค่าต่างระหว่างจุดสองจุดและดาวเทียมสองดวง เช่น ระหว่างจุด A, B และดาวเทียม 1, 2 ซึ่งหากเปลี่ยนหมายเลขดาวเทียมในสมการ (3) จากหมายเลข 1 เป็น 2 จะได้

$$\phi_A^2 - \phi_B^2 = \rho_A^2 - \rho_B^2 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta_B) + \lambda(N_A^2 - N_B^2) \quad (2.11)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างครั้งที่สอง โดยนำสมการ (3) ลบด้วยสมการ (10) จะได้

$$(\phi_A^1 - \phi_B^1) - (\phi_A^2 - \phi_B^2) = (\rho_A^1 - \rho_B^1) - (\rho_A^2 - \rho_B^2) + \lambda(N_A^1 - N_B^1) - \lambda(N_A^2 - N_B^2) \quad (2.12)$$

สามารถเขียนย่อ ๆ ได้ดังนี้

$$\phi_{AB}^{12} = \rho_{AB}^{12} + \lambda N_{AB}^{12} \quad (2.13)$$

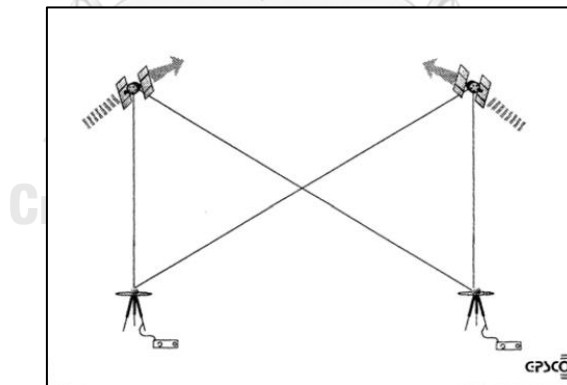
โดยที่

$$\phi_{AB}^{12} = (\phi_A^1 - \phi_B^1) - (\phi_A^2 - \phi_B^2)$$

$$\rho_{AB}^{12} = (\rho_A^1 - \rho_B^1) - (\rho_A^2 - \rho_B^2)$$

$$\lambda N_{AB}^{12} = \lambda(N_A^1 - N_B^1) - \lambda(N_A^2 - N_B^2)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จะสามารถจัดค่าความคลาดเคลื่อน ที่เกิดจากนาฬิกา ดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ เช่นเดียวกันกับการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ ประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับระยะเส้นฐาน ดังภาพที่ 4 แสดงการหาค่าต่างครั้งที่สอง



รูปที่ 6 การหาค่าต่างครั้งที่สอง

ที่มา: (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2546)

2.4.3 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing)

เป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างสามครั้ง กล่าวคือเป็นการนำเอาค่าต่างครั้งที่สอง ระหว่างเวลาสองเวลามาหาค่าต่างกัน ซึ่งหากใส่เวลา t_0 และ t_1 ในสมการ (12) จะได้

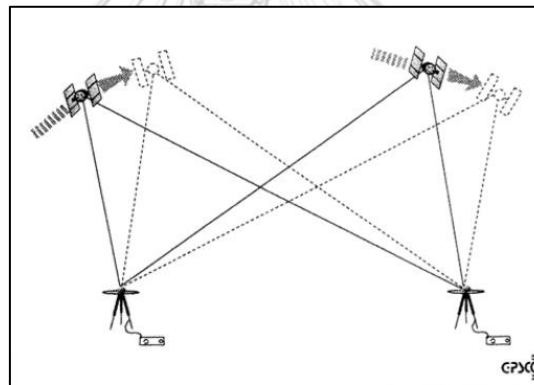
$$\phi_{AB}^{12}(t_0) = \rho_{AB}^{12}(t_0) + \lambda N_{AB}^{12}(t_0) \quad (2.14)$$

$$\phi_{AB}^{12}(t_1) = \rho_{AB}^{12}(t_1) + \lambda N_{AB}^{12}(t_1) \quad (2.15)$$

หากไม่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดคลื่นหลุด เมื่อนำสมการ (13) ลบกับสมการ (14) จะได้

$$\phi_{AB}^{12}(t_0) - \phi_{AB}^{12}(t_1) = \rho_{AB}^{12}(t_0) - \rho_{AB}^{12}(t_1) \quad (2.16)$$

จากสมการ (15) จะเห็นได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิดได้ถูกขจัดออกไปจากข้อมูล อย่างไรก็ตามก็ตีผลเสียของการหาค่าต่างครั้งที่สามก็คือ ระดับสัญญาณรบกวนในข้อมูลนั้นเพิ่มขึ้น และยังทำให้เรขาคณิตของการหาดำแหน่งยังแย่ลงด้วย (Rizos, 1997) ด้วยเหตุนี้จึงไม่นิยมใช้ค่าต่างครั้งที่สามมาเป็นสมการค่าสังเกตในการหาดำแหน่งที่ถูกต้องสูงด้วยจีพีเอส อย่างไรก็ตามก็ตีค่าต่างครั้งที่สามมักถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจหาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุด เนื่องจากถ้านำข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุดมาหาค่าต่างครั้งที่สามจะพบว่าค่า N_{AB}^{12} ที่เวลา t_0 และ t_1 จะมีค่าแตกต่างกัน ภาพที่ 5 แสดงการหาค่าต่างครั้งที่สาม



รูปที่ 7 การหาค่าต่างครั้งที่สาม

ที่มา: (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2546)

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมาได้มีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ทโฟนสำหรับการประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง

Realini et al. (2017) ได้มีการทดสอบรับวัดสัญญาณดาวเทียมด้วยระบบ GNSS เพื่อหาดำแหน่งความละเอียดสูง จาก สมาร์ทโฟน และ u-blox สำหรับสมาร์ทโฟน ดังกล่าวคือ Nexus 9 ผลิตโดยบริษัท Google ใช้ GNSS chipset ของ BCM4752 สำหรับรับสัญญาณดาวเทียม และมีเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมเป็นแบบภายใน ขณะที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม u-blox เป็นรุ่น EVK-6T เสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมเป็นแบบภายนอก รุ่น ANN-MS (patch antenna) ในการ

รับสัญญาณดาวเทียมนั้น อุปกรณ์ทั้งสองถูกวางลงบนพื้นในแนวราบบนดาดฟ้า ในการประมวลผลใช้ซอฟต์แวร์ goGPS MATLAB ด้วยวิธีสัมพัทธ์ (relative positioning) การรังวัดแบบสถิต (Static Survey) ในเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid static survey) ในเวลา 15 นาที/คาบการรังวัด (session) จำนวน 6 session โดยอ้างอิงกับสถานี CORS จำนวน 5 สถานี ที่ระยะของเส้นฐานในการทดสอบตั้งแต่ระยะใกล้ที่สุดคือ 10 เมตร และไกลที่สุด 8 กิโลเมตร ในการทดสอบครั้งนี้จะใช้เฉพาะคลื่นสัญญาณ GPS ความถี่ L1 เท่านั้น โดยที่ Nexus 9 จะบันทึกข้อมูลการรังวัดด้วยแอปพลิเคชัน Geo++ RINEXLogger ในรูปแบบของไฟล์ RINEX จากผลการทดสอบในการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว พบว่า Nexus 9 มีค่าความถูกต้องในระดับเดซิเมตร เนื่องจาก การหาค่าเลขปริศนาไม่สำเร็จ (ambiguity float) และในส่วนของ u-blox มีค่าความถูกต้องในระดับต่ำกว่าเซนติเมตร เนื่องจากการหาค่าเลขปริศนาสำเร็จ (ambiguity fixed) และความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับ Nexus 9 นั้น อาจเกิดจากการไม่ทราบตำแหน่งของเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมภายในเครื่อง



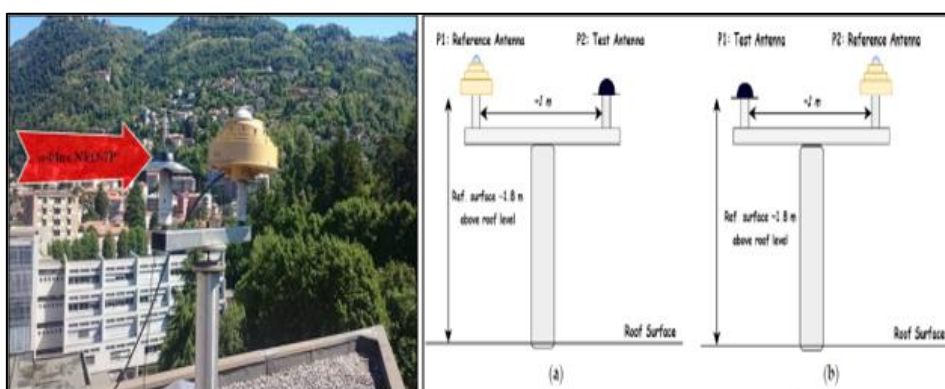
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 8 ลักษณะของการวางสมาร์ทโฟน Nexus 9 ขณะรังวัดสัญญาณฯ และพื้นที่ศึกษา

ที่มา: (Realini et al., 2017)

Biagi et al. (2018) ได้มีการวัดสอบแบบสัมพัทธ์เพื่อหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของเสาอากาศรับสัญญาณ GNSS (Phase Center Corrections: PCC) ของเครื่อง u-blox รุ่น NEO-7P โดยหาค่าแก้ของ antenna Phase Center Offset (PCO) และ antenna Phase Center Variations (PCV) เฉพาะคลื่นสัญญาณ GPS ความถี่เดียว (L1) ด้วยวิธีการประมวลผลเส้นฐานระยะสั้น (short baseline) ระหว่างเสารับสัญญาณทดสอบ (NEO-7P) กับเสารับสัญญาณอ้างอิง (Leica AR25) ทั้ง 2 เครื่องถูกวางไว้บนแท่งเหล็กที่มีระยะห่างกันระหว่างเสาอากาศ (baseline) เท่ากับ 1 เมตร ที่ความสูง 1.8 เมตร อยู่บนดาดฟ้าของอาคาร แล้วรับสัญญาณดาวเทียม จำนวน 2 session ละ 24 ชั่วโมงแล้วสลับตำแหน่งเสาอากาศในการทดสอบ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ขณะการรับ

สัญญาณดาวเทียมของ NEO-7P นั้น จะถูกวางลงในแนวราบบนท่อนเหล็ก และทำการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Bernese SW 5.2 ผลจากทดสอบพบว่า ค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียม ทิศเหนือ (N) ทิศตะวันออก (E) และทางตั้ง (Up) มีค่าเท่ากับ 4.2 มิลลิเมตร 2.4 มิลลิเมตร และ 3.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อนำค่าแก้ทั้ง 3 ไปทดลองใช้ ปรากฏว่าสามารถแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนของเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมของ NEO-7P ได้ โดยเฉพาะค่าในทางตั้ง (Up)



รูปที่ 9 ลักษณะของการวาง u-blox รุ่น NEO-7P ขณะรังวัดสัญญาณฯ และพื้นที่ศึกษา
ที่มา: (Biagi et al., 2018)

Robustelli et al. (2019) ล่าสุดได้มีการประเมินประสิทธิภาพของคลื่นสัญญาณ GNSS แบบสองความถี่ (L1/E1 และ L5/E5) ของสมาร์ทโฟน Mi8 ที่ได้ติดตั้ง GNSS chipset ของบริษัท Broadcom รุ่น BCM47755 นอกจากนั้นได้ติดตั้งแอปพลิเคชัน rinex ON ลงบน Mi8 ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลการรังวัดในรูปแบบของไฟล์ RINEX ได้ จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพข้อมูลการรังวัดแบบสองความถี่ของ Mi8 เปรียบเทียบกับเครื่องรับสัญญาณ Dual Constellation (GPS/GLONASS) แบบ Geodetic Receiver สองความถี่ (L1/L2) ยี่ห้อ TOPCON รุ่น GRS-1 ในขณะที่รับสัญญาณดาวเทียมนั้น Mi8 จะถูกยึดติดเข้ากับกึ่งกลางของ Bipod ในแนวตั้ง โดยที่ส่วนบนสุด Bipod เป็นเสาอากาศของ TOPCON PG-A1 สำหรับการประเมินประสิทธิภาพข้อมูลการรังวัดได้แก่ เรื่องการสะท้อนของคลื่นแต่ละความถี่ (multipath) ของดาวเทียม GPS และ Galileo และเปรียบเทียบค่า carrier-to-noise density (C/N0) ในสถานที่ต่างกันคือ ในที่โล่ง และพื้นที่อาคารปกคลุม (พื้นที่เมือง) นอกจากนี้แล้วยังได้ทดสอบหาค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ทั้งทางราบและทางตั้ง ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต (Static Survey) จุดเดี่ยว (single-point positioning) พบว่า สำหรับคลื่น E5 ค่า RMSE ในทางราบเท่ากับ 4.57 เมตร คลื่น E1/L1

RMSE ทั้งทางราบและทางตั้ง เท่ากับ 5.36 เมตร และการรังวัดแบบสถิต แบบสัมพัทธ์ (relative positioning) ใช้ข้อมูลของ (carrier phase) ความถี่เดียว (L1) ค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง เท่ากับ 1.02 และ 1.95 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 10 ลักษณะของการวางสมาร์ทโฟน Mi8 ขณะรังวัดสัญญาณฯ พื้นโล่ง (a) และพื้นปกคลุมด้วยอาคาร (b)

ที่มา: (Robustelli et al., 2019)

Wu et al. (2019) ได้ศึกษาการหาตำแหน่งด้วยสมาร์ทโฟน Mi 8 โดยใช้คลื่นความถี่ L1/L5 จากระบบดาวเทียม GPS และ E1/E5 จากดาวระบบเทียม Galileo จากเทคนิคการประมวลผลจุดเดียวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP) ด้วยซอฟต์แวร์ RTKLIB และ GAMP ทั้งแบบสถิต (static) และแบบจลน์ (kinematic) พบว่าผลจากการการประมวลผลจุดเดียวความละเอียดสูง แบบสถิต มีค่า RMSE ทาง E, N และ U เท่ากับ 21.8, 4.1 และ 11.0 เซนติเมตร ตามลำดับ และแบบจลน์มีค่าความต่างจากเครื่องรับสัญญาณอ้างอิง (geodetic receiver) ประมาณ 3-5 เมตร



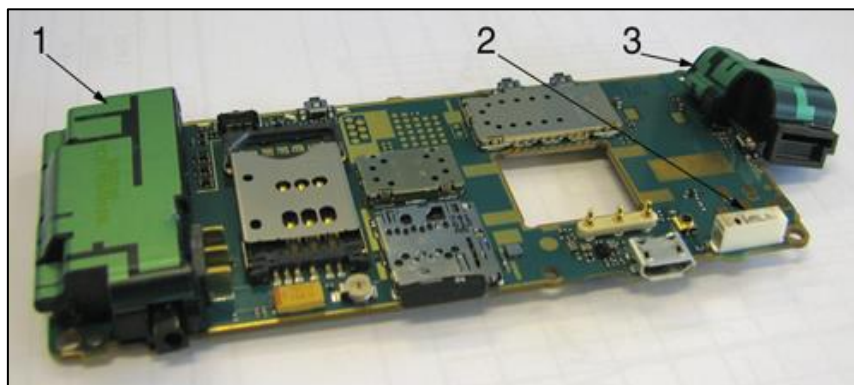
รูปที่ 11 a เป็นการรับสัญญาณ ใต้จันรับสัญญาณ และ b เป็นการรับสัญญาณ บริเวณขอบของดาดฟ้า
ที่มา: (Wu et al., 2019)

Dabove and Pietra (2019) ได้ศึกษาการหาตำแหน่งด้วยสมาร์ทโฟน Mi8 ด้วยเทคนิคการ
รังวัดแบบจลน์ในทันทีแบบเส้นฐานเดี่ยว (single-base Real-Time Kinematic (RTK) positioning)
โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี คือ ใช้เครื่องรับสัญญาณ geodetic receiver เป็นสถานีฐาน
และใช้สมาร์ทโฟน Mi8 เป็นสถานีฐาน (Master) ให้สมาร์ทโฟนเป็นสถานีจร (Rover) พบว่า ในกรณี
ที่ geodetic receiver เป็นสถานีฐาน ค่าความแม่นยำ (standard deviation) ของสมาร์ทโฟน Mi8
อยู่ในระดับต่ำกว่าเซนติเมตร และเมื่อใช้สมาร์ทโฟน Mi8 เป็นสถานีฐาน (ใช้เฉพาะกลุ่มดาวเทียม
GPS และ Galileo และคลื่น L1+L5) ได้ค่าความแม่นยำประมาณ 2 เซนติเมตร ทั้งทางราบและทาง
ตั้ง และค่าความแม่นยำเท่ากับ 3 และ 2 เซนติเมตร ในทางราบและทางตั้งตามลำดับ ในกรณีใช้
เฉพาะความถี่ L1 ผลที่ได้จากการศึกษานี้มาจากวิธีการแบบ FLOAT solutions เท่านั้น แต่ค่าความ
ถูกต้องที่ได้ทั้ง 3 มิติยังมีค่าน้อยกว่า 1 เมตร

Positioning results considering the GPS+ Galileo constellations.						
	L1			L1 + L5		
Component	Mean [m]	std [m]	RMS [m]	Mean [m]	std [m]	RMS [m]
East	0.131	0.011	0.132	0.332	0.008	0.332
North	0.931	0.033	0.932	0.298	0.015	0.298
Up	-1.049	0.017	1.049	-1.526	0.019	1.526

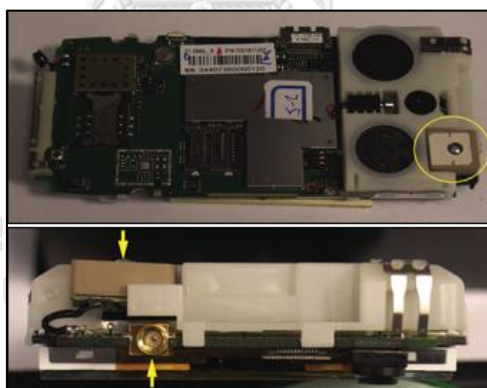
รูปที่ 12 แสดงผลทางตำแหน่งที่ได้จากคลื่น L1 และ L5 สำหรับกลุ่มดาวเทียม GPS และ Galileo

Haddrell et al. (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเสาอากาศ GPS ของโทรศัพท์มือถือ พบว่าตำแหน่งเสาอากาศ GPS และ GSM (Global System for Mobile Communications) จะอยู่ตรงข้ามกัน โดยที่ตำแหน่งของเสาอากาศ GPS จะอยู่ด้านบนของโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 13 เสาอากาศของโทรศัพท์มือถือ 1. เสาอากาศ GSM/WCDMA 2.เสาอากาศ Wi-Fi/Bluetooth combined ceramic chip และ 3. เสาอากาศ GPS

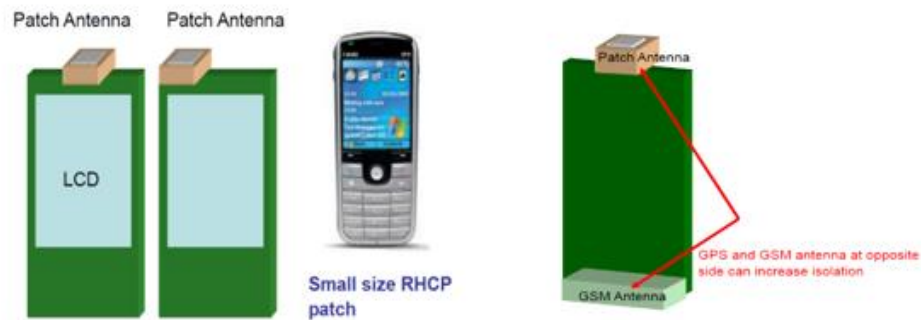
ที่มา: (Haddrell et al., 2010)



รูปที่ 14 ตำแหน่งของเสาอากาศ GPS ในโทรศัพท์มือถือ

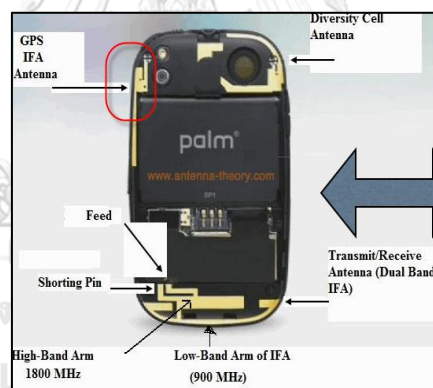
ที่มา: (Haddrell et al., 2010)

INPAQ (2010) ได้กล่าวถึง ตำแหน่งของเสาอากาศ GPS ของโทรศัพท์มือถือมักจะอยู่ที่ด้านบนสุดของ PCB (Printed Circuit Board) และจะอยู่ที่กึ่งกลางด้านบน (top center) หรือด้านบนซ้าย-ขวา (top side) ของโทรศัพท์มือถือ และตำแหน่งเสาอากาศ GPS และ GSM (Global System for Mobile Communications) ควรที่จะอยู่ตรงข้ามกัน เพื่อป้องกันการเกิดข้อผิดพลาดในการรับสัญญาณ



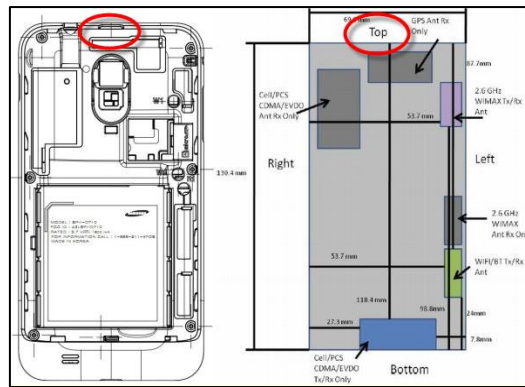
รูปที่ 15 ตำแหน่งของเสาอากาศ GPS ในโทรศัพท์มือถือ
ที่มา: (INPAQ, 2010)

Bevelacqua (2016) ได้กล่าวว่า คนส่วนใหญ่มักจะจับใช้งานโทรศัพท์มือถือที่บริเวณปลายด้านล่าง ดังนั้นจึงต้องการออกแบบให้ตำแหน่งเสาอากาศ GPS อยู่ทางด้านบนของอุปกรณ์



รูปที่ 16 ภาพประกอบของเสาอากาศ GPS ใน Palm Pre
ที่มา: (Bevelacqua, 2016)

Bevelacqua (2016) ได้กล่าวว่า เสาอากาศชนิด Planar Inverted-F (PIFA) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในตลาดของสมาร์ทโฟน เช่น Samsung Galaxy S สมาร์ทโฟนในระบบ Android ตำแหน่งของเสาอากาศ GPS (1.575 GHz) อยู่ด้านบน

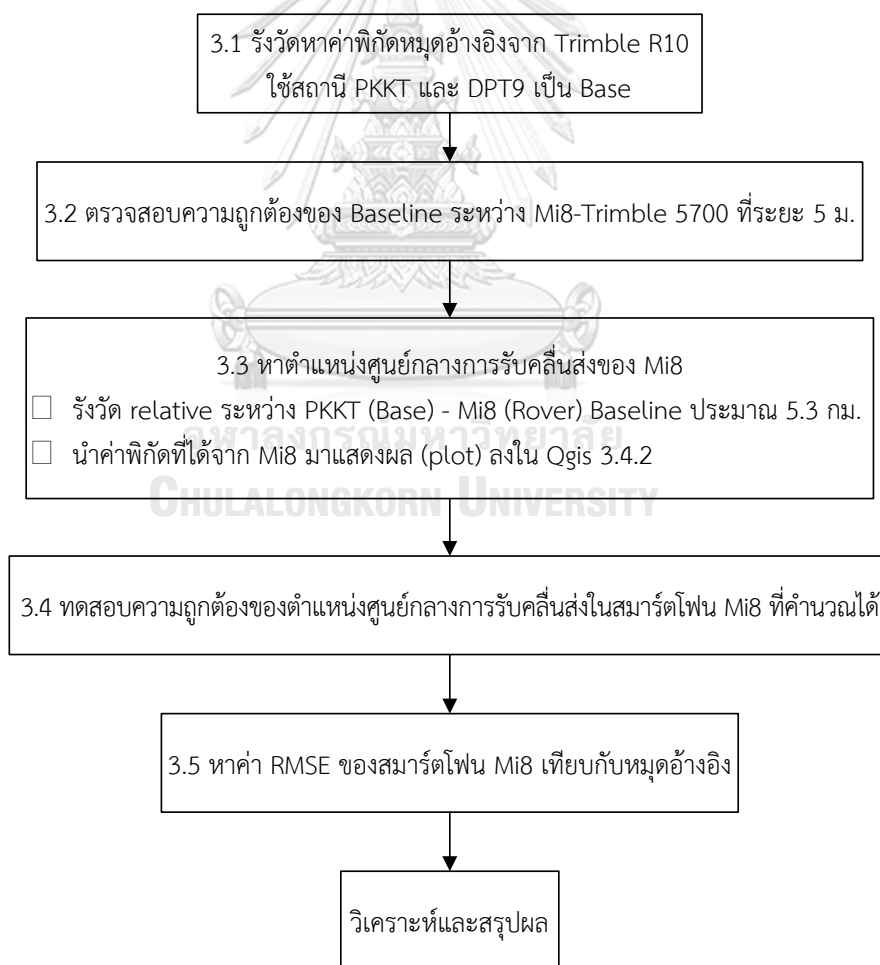


รูปที่ 17 ประเภทและตำแหน่งของเสาอากาศของ Samsung Galaxy S
ที่มา: (Bevelacqua, 2016)



บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา

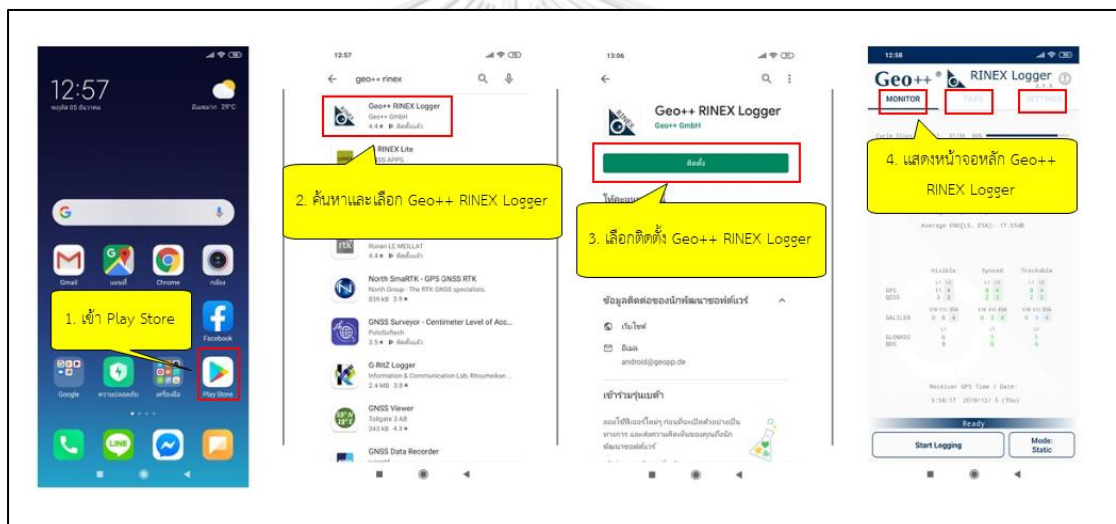
ในการประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ทโฟนสำหรับการประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง มีขั้นตอนการดำเนินงาน 5 ขั้นตอน ดังรูปที่ 17 โดยเลือกศึกษาตัวอย่างของปัญหาจากสมาร์ทโฟน Mi8 ในการหาจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ และประเมินความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของเสาอากาศ โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิงที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ GNSS Trimble R10 ณ จุดทดสอบเดียวกัน บนดาดฟ้าของอาคาร ใช้การรับสัญญาณ GNSS แบบสถิต ในการหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง กำหนดให้สถานี CORS ที่อยู่ห่างจากพื้นที่ศึกษาไม่เกิน 20 กิโลเมตร เป็นสถานีฐาน และใช้การประมวลผลเส้นฐานเดียว เพื่อหาค่าพิกัดสมาร์ทโฟน Mi8 ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6



รูปที่ 18 แสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

และก่อนที่จะดำเนินการศึกษาตาม 5 ขั้นตอนดังกล่าวนี้ เนื่องจากในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกศึกษาตัวอย่างของปัญหาจากสมาร์ทโฟน Mi8 ซึ่งเป็นการรังวัดสัญญาณฯ ด้วยสมาร์ทโฟน จำเป็นต้องมีขั้นตอนและเทคนิคต่าง ๆ เพิ่มเติม ดังนี้

- 1) ใช้สมาร์ทโฟน Mi8 เข้า Google Play Store
- 2) พิมพ์ค้นหาและเลือกแอปพลิเคชันบอกตำแหน่งชื่อ “Geo++ RINEX Logger”
- 3) เลือกติดตั้ง Geo++ RINEX Logger 2.1.1 และ 2.1.2 (เวอร์ชันขณะดำเนินการศึกษา) ปัจจุบันเป็นเวอร์ชัน 2.1.3 อัปเดตเมื่อ 23 กรกฎาคม 2562 (ข้อมูลเมื่อ 5 ธันวาคม 2562 จาก <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.geopp.rinexlogger&hl=th>)
- 4) แสดงหน้าจอหลัก Geo++ RINEX Logger 2.1.3 มี 3 หน้าจอ ได้แก่ MONITOR, FILES และ SETTING ตามลำดับ

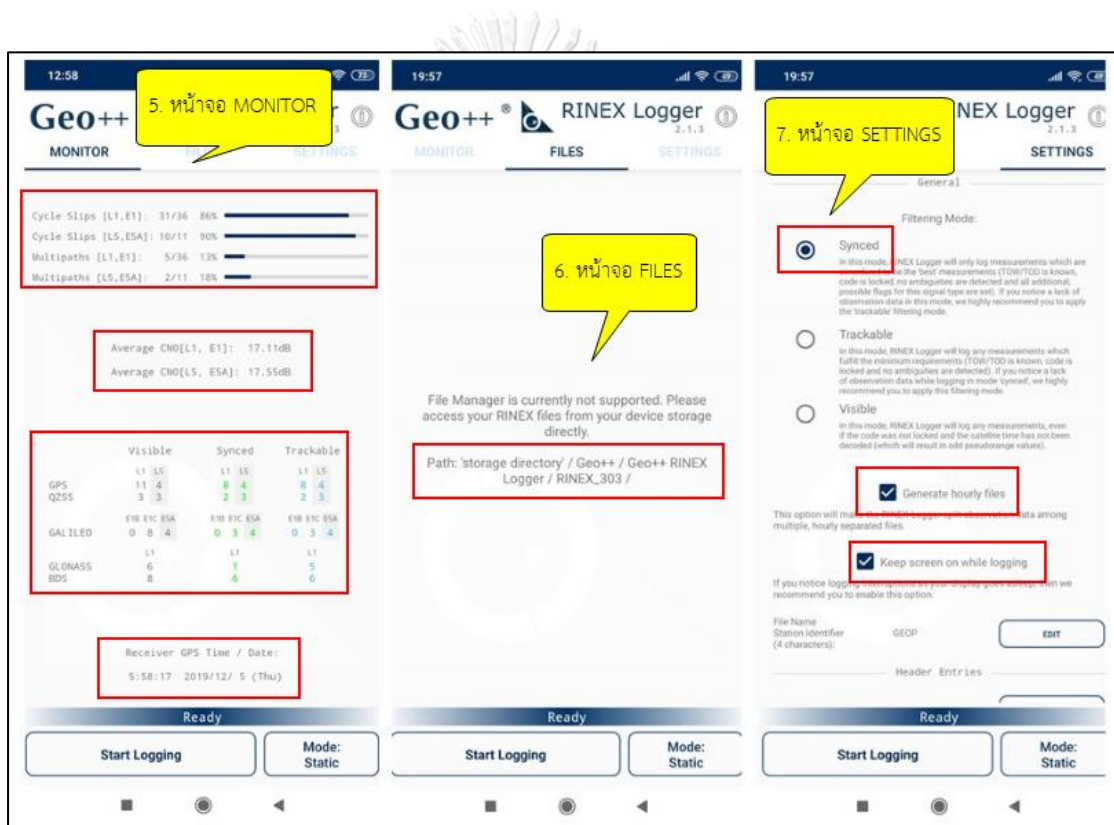


รูปที่ 19 แสดงการติดตั้ง Geo++ RINEX Logger ขั้นตอนที่ 1 - 4

- 5) หน้าจอ MONITOR จะแสดงผลข้อมูล Cycle Slips, Multipaths, ค่าเฉลี่ยของ C/N0 (carrier-to-noise density) ของคลื่นสัญญาณ L1/E1 และ L5/E5, สถานะในการรับสัญญาณ GNSS, และวัน - เวลาของเครื่องรับสัญญาณฯ (Receiver GPS Time/Date) ขณะทำการรังวัดสัญญาณฯ
- 6) หน้าจอ FILES จะแสดงที่อยู่ (Path) การจัดเก็บข้อมูลไฟล์ RINEX ซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลโดยการเชื่อมต่อสายเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ตาม storage directory: / Geo++ / Geo++ RINEX Logger / RINEX_303 และข้อมูลไฟล์ RINEX ที่ได้นี้ถูกตั้งค่าให้มีการบันทึก

ข้อมูลการรังวัดทุก ๆ 1 วินาที รวมถึงการตัดมุม (Elevation Mask) ในการรับสัญญาณ GNSS ผู้ใช้ไม่สามารถเปลี่ยนได้

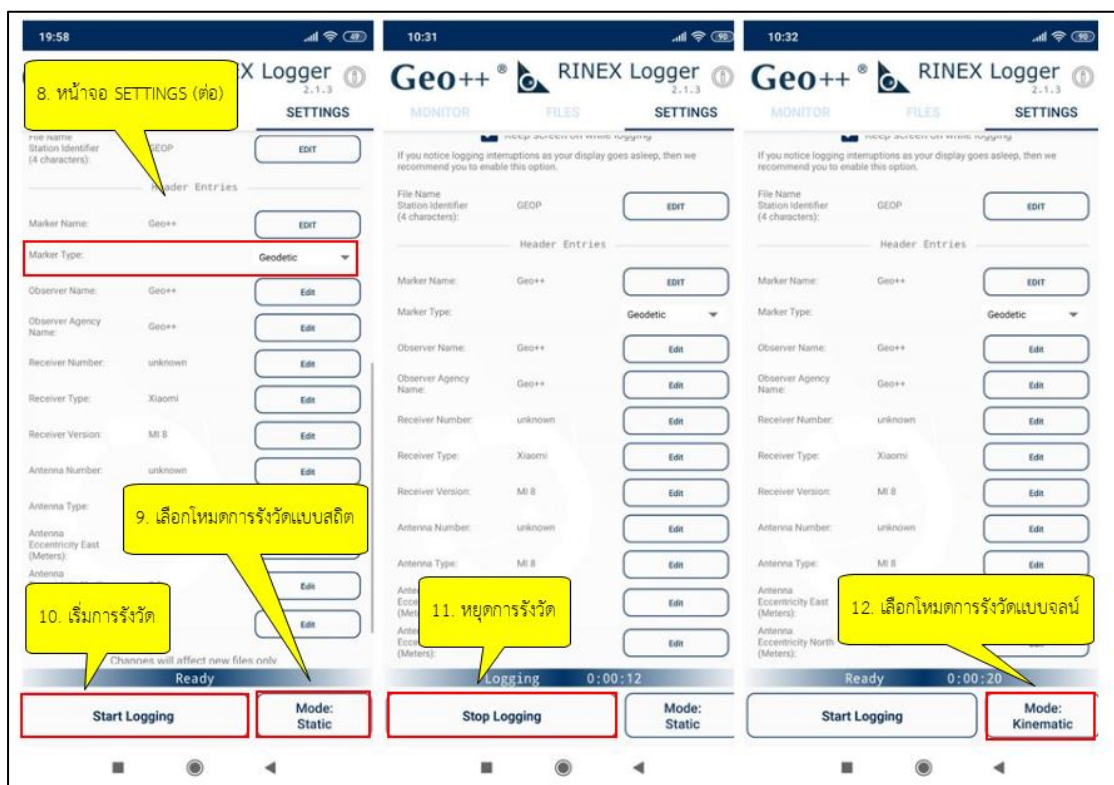
- 7) หน้าจอ SETTING จะเป็นการตั้งค่าในการรังวัด โดยเลือกที่ Synced > Generate hourly ไฟล์จะถูกตัด (split) ทุก ๆ 1 ชั่วโมงตามเลขเข็มนาฬิกา เช่น เริ่มการรังวัดเวลา UTC 01:30 ไฟล์จะตัดครั้งแรกที่เวลา 02:00, 03:00, 04:00, ... ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหยุดการรังวัด (หากต้องการให้ไฟล์ยาวต่อเนื่องโดยไม่มีการตัดแบบรายชั่วโมง ทำได้โดยการไม่เลือก Generate hourly) > Keep screen on while logging เนื่องจากแอปพลิเคชันนี้จะหยุดการบันทึกข้อมูลการรังวัด เมื่อหน้าจอดับไป จึงจำเป็นต้องให้หน้าจอทำงานตลอดการรังวัด



รูปที่ 20 แสดงการทำงาน Geo++ RINEX Logger ขั้นตอนที่ 5 - 7

- 8) หน้าจอ SETTING (ต่อ) สำหรับรายการทั้งหมดที่มีคำว่า EDIT สามารถป้อนข้อมูลได้ทั้งหมดซึ่งจะไปปรากฏในส่วนหัวของไฟล์ RINEX แต่ในรายการ Marker Type ให้เลือกเป็น Geodetic ซึ่งจะเหมือนกับรูปแบบทั่วไปของไฟล์ RINEX ที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ Geodetic receiver (หากไม่มีการแก้ไขหรือป้อนข้อมูลใหม่ ส่วนหัวของไฟล์ RINEX จะเป็นไปตาม Defaults ของแอปพลิเคชัน)

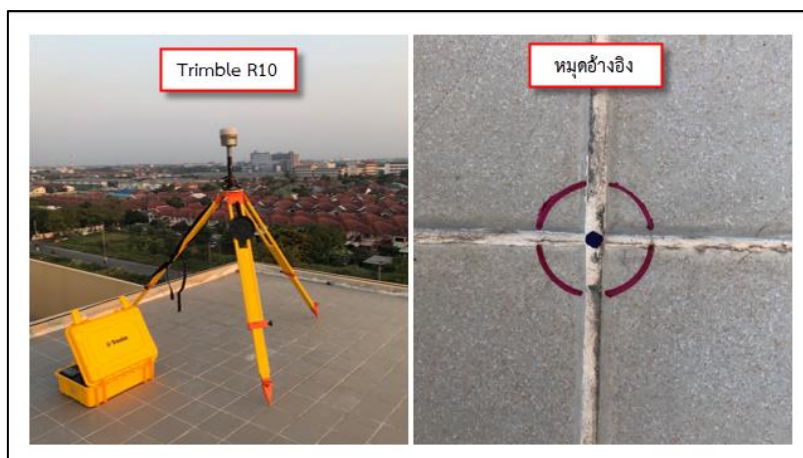
- 9) เลือก Mode: Static เพื่อใช้งานในโหมดของรังวัดแบบสถิต
- 10) เลือก Start Logging เพื่อเริ่มการรังวัด
- 11) เลือก Stop Logging เพื่อหยุดการรังวัด และสามารถเข้าไปดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลการรังวัดได้ตามขั้นตอนในข้อที่ 6
- 12) สามารถเปลี่ยนโหมดการใช้งานให้เป็นแบบจลน์ได้ โดยกดเลือก Mode: Static 1 ครั้ง โหมดการใช้งานจะสลับเป็น Mode: Kinematic



รูปที่ 21 แสดงการทำงาน Geo++ RINEX Logger ขั้นตอนที่ 8 – 12

3.1 การหาค่าพิกัดหมุดอ้างอิง

ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Trimble R10 ในการรังวัด static นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1 session โดยใช้สถานี PKKT และ DTP9 เป็นสถานีฐาน ประมวลผลและการปรับแก้โครงข่ายด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6 (ข้อมูลการรังวัดวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2562 UTC 12:00-14:00 (Coordinated Universal Time; UTC) ในระบบเวลาร่วมสากล



รูปที่ 22 การรังวัดหาค่าพิกัดหมุดอ้างอิงด้วยเครื่อง Trimble R10

3.2 การทดสอบความยาวของเส้นฐานระยะสั้น (short baseline)

เป็นขั้นตอนในการตรวจสอบค่าความถูกต้องของระยะเส้นฐานที่ได้จากเสาอากาศเครื่องรับในสมาร์ทโฟน Mi8 โดยวางลงบนพื้นให้กึ่งกลางของขอบด้านบนสุดของสมาร์ทโฟน Mi8 ทับกึ่งกลางหัวหมุดทดสอบพอดีและชี้เข้าหาสถานีฐานตามแนวของเส้นฐาน ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Trimble 5700 เป็นสถานีฐาน วัดระยะจากสถานีฐานถึงสมาร์ทโฟน Mi8 ให้ได้ความยาว 5 เมตร (Bilich & Mader, 2010) จากนั้นรังวัดด้วยวิธี static แบบสัมพัทธ์ และประมวลผลเส้นฐานระยะสั้นด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6 โดยมีห้วงเวลาในการทดสอบ short baseline ดังนี้

วันที่ 3 มีนาคม 2562

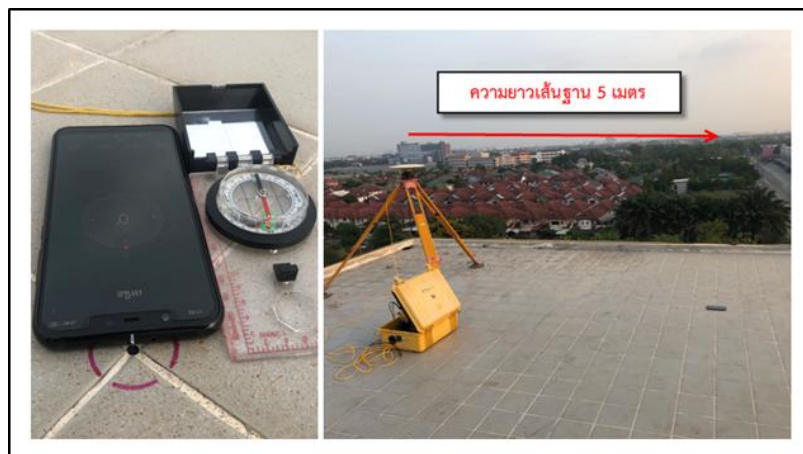
session 1: รับข้อมูล 10 ชั่วโมง UTC 13:00-23:00

วันที่ 4 มีนาคม 2562

session 1: รับข้อมูล 3 ชั่วโมง UTC 01:00-04:00

และวันที่ 4 มีนาคม 2562

session 2: รับข้อมูล 9 ชั่วโมง UTC 10:40-19:40



รูปที่ 23 ลักษณะการวางสมาร์ทโฟน Mi8 ขณะรังวัดในการทดสอบ short baseline ที่ระยะ 5 เมตร

3.3 การหาศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8

3.3.1 ประมวลผลเส้นฐานเดี่ยว (Single baseline processing) ทั้งหมดที่ได้จากการรังวัดด้วยวิธี static แบบสัมพัทธ์ระหว่างสมาร์ทโฟน Mi8 และสถานีฐาน PKKT (เนื่องจาก PKKT เป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับพื้นที่การศึกษามากที่สุดประมาณ 3.5 กิโลเมตร) ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6 โดยวางสมาร์ทโฟน Mi8 ลงบนพื้นให้กึ่งกลางของขอบด้านบนสุดของสมาร์ทโฟน Mi8 ทับกึ่งกลางหัวมุมทดสอบพอดีและชี้ไปทางทิศเหนือ ใช้เวลาในการรับข้อมูล 1 ชั่วโมง/session จำนวน 31 session ดังนี้

วันที่ 17 มีนาคม 2562

รับข้อมูล 12 session UTC 11:00-23:00

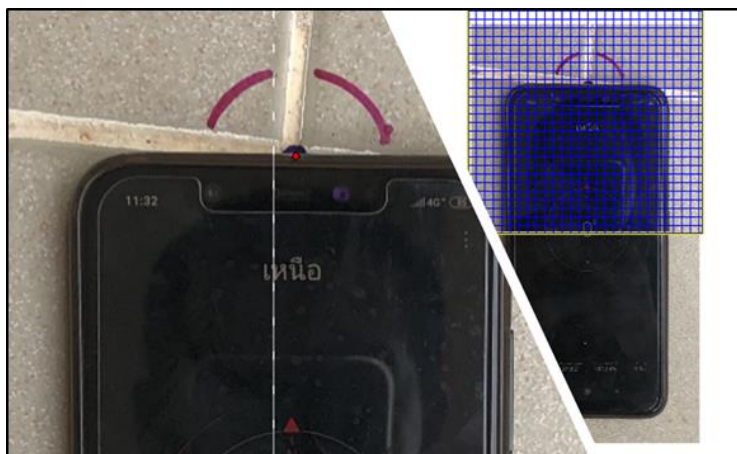
วันที่ 18 มีนาคม 2562

รับข้อมูล 9 session UTC 13:00-23:00

และวันที่ 19 มีนาคม 2562

รับข้อมูล 10 session UTC 12:00-22:00

3.3.2 ทำการปรับแก้ภาพถ่ายของสมาร์ทโฟน Mi8 ให้มีค่าพิกัด ในระบบพิกัดยูทีเอ็มโซน 47 N โดยใช้ค่าพิกัดหมุดอ้างอิงในข้อ 3.1 ในการตรึงค่าพิกัดด้วยโปรแกรม Global Mapper 19 แล้วส่งออกไฟล์เป็นนามสกุล .tif



รูปที่ 24 การปรับแก้ภาพถ่ายของสมาร์ทโฟน Mi8 ให้มีค่าพิกัด ด้วยโปรแกรม Global Mapper 19

3.3.3 นำค่าพิกัดของสมาร์ทโฟน Mi8 ที่ได้จากข้อ 3.1 และ 3.3.1 มาแสดงค่าพิกัด (plot) ลงบนภาพถ่ายของสมาร์ทโฟน Mi8 นามสกุล.tif ด้วยโปรแกรม Qgis3.4.2 เพื่อนำตำแหน่งของค่าพิกัดที่ปรากฏบนภาพถ่ายฯ ไปทดสอบหาจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน Mi8

3.3.4 ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน Mi8 โดยประมาณ ได้จากการค่าเฉลี่ยค่าพิกัดทาง Easting และ Northing ในข้อ 3.3.1

3.4 ทำการทดสอบตำแหน่งโดยประมาณของศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ที่คำนวณได้

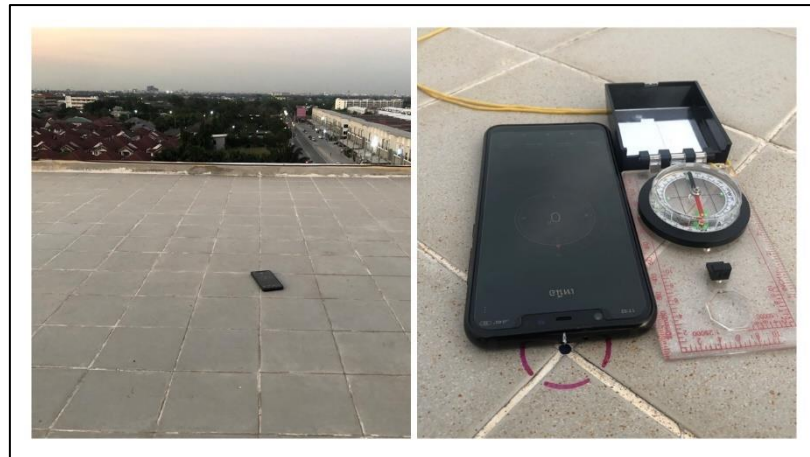
โดยวางให้ตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ที่คำนวณได้ให้ทับกึ่งกลางหัวหมุดทดสอบพอดี แบ่งเป็น 2 กรณี คือ 1.) วางสมาร์ทโฟน Mi8 ลงบนพื้นกระเบื้อง 2.) วางสมาร์ทโฟน Mi8 ลงบนขาตั้งกล้อง (tripod) ณ ตำแหน่งของหมุดอ้างอิง จากนั้นรังวัดด้วยวิธี static แบบสัมพัทธ์ ระหว่างสมาร์ทโฟน Mi8 กับสถานีฐาน PKKT และ DPT9 ที่มีความยาวของเส้นฐานประมาณ 5.3 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ และประมวลผลเส้นฐานเดียวเพื่อหาตำแหน่ง โดยใช้ซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6 ใช้เวลาในการรับข้อมูล session ละ 1 ชั่วโมง ดังนี้

วันที่ 14 มิถุนายน 2562 (กรณีที่ 1 วางบนพื้นกระเบื้อง)

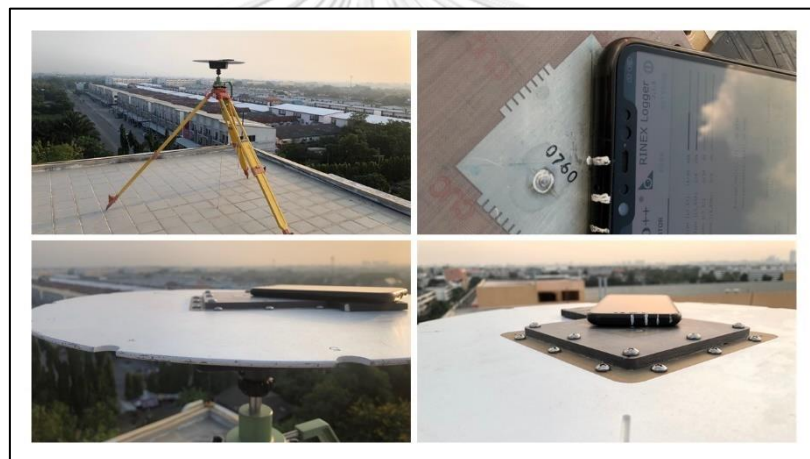
รับข้อมูล 13 session UTC 10:00-22:00

และวันที่ 14 กรกฎาคม 2562 (กรณีที่ 2 วางบนขาตั้งกล้อง)

รับข้อมูล 9 session UTC 03:00-12:00



รูปที่ 25 การทดสอบตำแหน่งโดยประมาณของศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 (กรณีที่ 1)



รูปที่ 26 การทดสอบตำแหน่งโดยประมาณของศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 (กรณีที่ 2)

3.5 เปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิง

เปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิง หลังจากทราบตำแหน่งโดยประมาณของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ทโฟน Mi8 แล้ว โดยวิธีหาค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่ง จากสูตรดังต่อไปนี้

$$RMS_E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i^2} \quad (3.1)$$

$$RMS_N = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta N_i^2} \quad (3.2)$$

$$RMS_U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta U_i^2} \quad (3.3)$$

$$RMS_{2D} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta E_i^2 + \Delta N_i^2)} \quad (3.4)$$

$$RMS_{3D} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta E_i^2 + \Delta N_i^2 + \Delta U_i^2)} \quad (3.5)$$

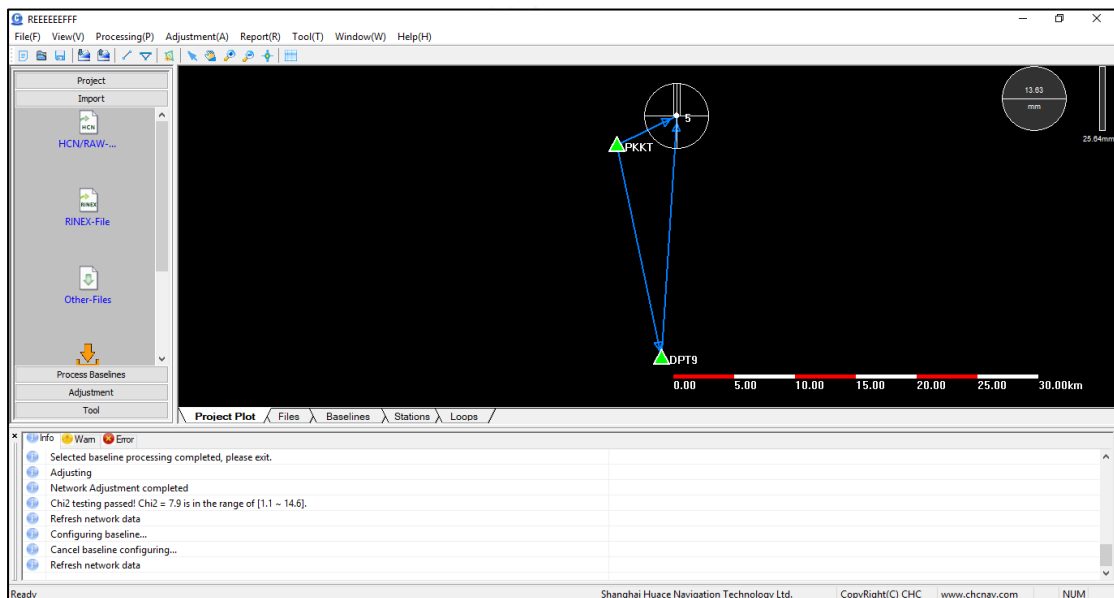
โดยที่ RMS_E , RMS_N , RMS_U คือ ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่งทางตะวันออก (east), ทางเหนือ (north) และทางตั้ง (up) ตามลำดับ RMS_{2D} คือ ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่งทางราบ RMS_{3D} ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่งทั้งทางราบและทางตั้ง n คือ จำนวนของผลทางตำแหน่ง ΔE_i , ΔN_i และ ΔU_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งทางตะวันออก, ทางเหนือ และทางตั้ง ตามลำดับ และ i คือ ผลทางตำแหน่งในแต่ละ session (Sanz Subirana et al., 2013)

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ผลค่าพิกัดหมุดอ้างอิง

ค่าพิกัดหมุดอ้างอิง ทางราบอ้างอิงจากระบบพิกัดกริดแบบยูทีเอ็มโซน 47 N และค่าทางตั้งอ้างอิงจากแบบจำลองย็อยด์ความละเอียดสูงของประเทศไทย (Thai geoid model 2017: TGM2017) ที่ได้จากการประมวลผลและการปรับแก้โครงข่ายด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6



รูปที่ 27 การประมวลผลและการปรับแก้โครงข่ายด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

สถานี	Northing (m.)	Easting (m.)	Height (m.)
PKKT	1538584.432	666394.281	43.075
DPT9	1521382.987	670087.492	67.363
หมุดอ้างอิง	1540956.091	671142.334	25.818

ตารางที่ 1 แสดงผลค่าพิกัดหมุดอ้างอิงที่ประมวลผลจากซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

4.2 ผลการทดสอบความยาวเส้นฐานระยะสั้น (short baseline)

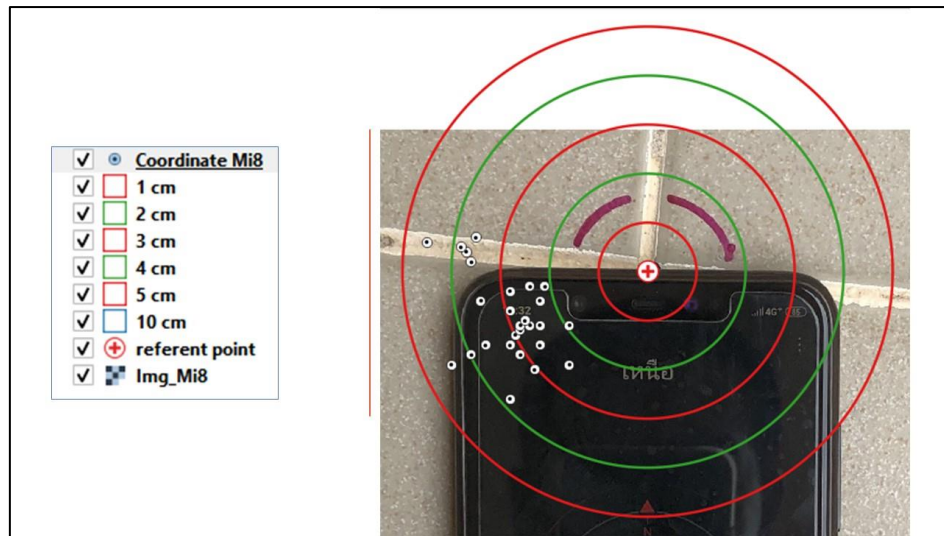
ผลการทดสอบความยาวเส้นฐานที่ระยะ 5 เมตร (ตลับเมตร) ระหว่าง Trimble 5700 และ สมาร์ทโฟน Mi8 จากการประมวลผลเส้นฐานด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

วันที่ - session	ความยาวเส้นฐาน (ม.) (ตลับเมตร)	ความยาวเส้นฐาน (ม.) (CGO V1.0.6)	ค่าความต่าง (ม.)
3/3/2562 - session 1	5.000	4.996	0.004
4/3/2562 - session 2	5.000	4.998	0.002
4/3/2562 - session 1	5.000	4.968	0.032

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบ short baseline ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

4.3 การแสดงตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 เทียบกับค่าพิกัดหมุดอ้างอิง

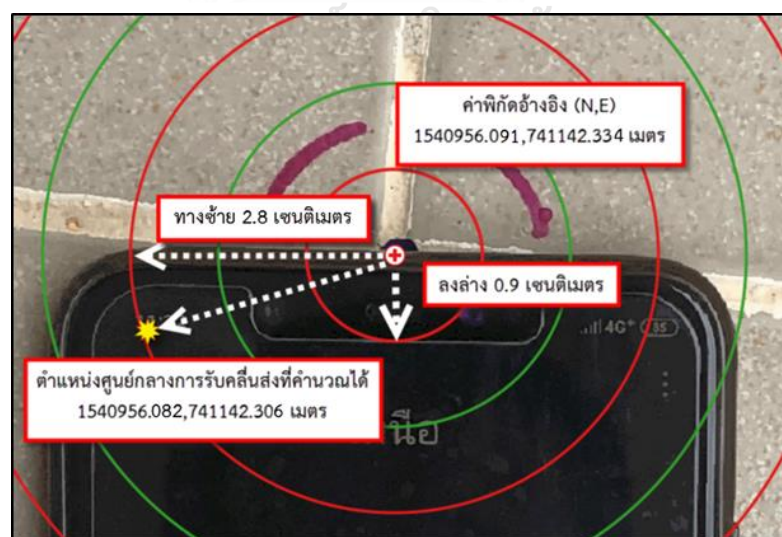
ข้อมูลจากการรังวัดด้วยวิธี static แบบสัมพัทธ์ ระหว่างสถานีฐาน PKKT กับสมาร์ทโฟน Mi8 เมื่อวางให้กึ่งกลางของขอบด้านบนสุดของสมาร์ทโฟน Mi8 ทับกึ่งกลางหัวหมุดทดสอบพอดีและชี้ไปทางทิศเหนือ ใช้เวลาในการรับข้อมูล 1 ชั่วโมง/session ทั้งหมดจำนวน 31 session ในวันที่ 17,18 และ 18 มีนาคม 2562 ประมวลผลเส้นฐานเดี่ยวด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6 จากนั้นนำมาแสดงผล (plot) ค่าพิกัดด้วยโปรแกรม Qgis 3.4.2 เพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 พบว่า ซอฟต์แวร์สามารถคำนวณหาเลขปริศนาได้ (Fixed Solution) ทั้งหมดจำนวน 29/ 31 session (รายละเอียดตามภาคผนวก ค.) มีค่า $RMSE_E = 0.029$ ม., $RMSE_N = 0.013$ ม., $RMSE_{UP} = 0.042$ ม., $RMSE_{2D} = 0.032$ ม. และ $RMSE_{3D} = 0.052$ ม.



รูปที่ 28 แสดงผลค่าพิกัดของสมาร์ทโฟน Mi8 อยู่ในวงกลมรัศมี 5 เซนติเมตร จากค่าพิกัดหมุดอ้างอิง

4.4 ผลการประมาณตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

ได้จากการเฉลี่ยค่าพิกัดทาง Easting และ Northing ที่ได้จากข้อ 4.3.2 จำนวน 27 ค่า (รายละเอียดตามภาคผนวก ค.) พบว่าศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 โดยประมาณ จะอยู่ถัดจากกึ่งกลางของขอบด้านบนสุดมาทางซ้ายประมาณ 2.8 เซนติเมตร และมีระยะลึกจากขอบด้านบนสุดลงมาในแนวตั้งประมาณ 0.9 เซนติเมตร



รูปที่ 29 แสดงผลตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 จากซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

4.5 ตัวอย่างผลการทดสอบตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ที่คำนวณได้ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6

4.5.1 กรณีที่ 1 วางสมาร์ทโฟน Mi8 ลงบนพื้นกระเบื้อง


- ทำการรังวัดสถิติ จำนวน 12 session ในวันที่ 14 มิถุนายน 2562 โดยให้ตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ที่คำนวณได้ ทับกึ่งกลางหัวหมุดทดสอบพอดี ประมวลผลเส้นฐานระหว่างสมาร์ทโฟน Mi8 กับสถานี PKKT และสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐานประมาณ 5.3 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ (รายละเอียดตามภาคผนวก ง.)

4.5.2 กรณีที่ 2 วางสมาร์ทโฟน Mi8 ลงบนขาตั้งกล้อง (Tripod) ประยุกต์เข้ากับงานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST


- ทำการรังวัดสถิติ จำนวน 9 session ในวันที่ 14 กรกฎาคม 2562 โดยให้ตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ที่คำนวณได้ ทับกึ่งกลางหัวหมุดทดสอบพอดี ประมวลผลเส้นฐานระหว่างสมาร์ทโฟน Mi8 กับสถานี PKKT และสถานี DPT9 ที่ความยาวเส้นฐานประมาณ 5.3 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ (รายละเอียดตามภาคผนวก ง.)

สถานี	อัตราส่วนจำนวน session ที่ Fixed Solution / session ทั้งหมด	
	กรณีที่ 1 (วางบนพื้น)	กรณีที่ 2 (วางบนขาตั้งกล้อง)
Mi8 – PKKT (5.3 กม.)	11/12	9/9
Mi8 - DPT9 (19.6 กม.)	11/12	9/9

ตารางที่ 3 อัตราส่วนจำนวน session ที่ Fixed Solution ได้ ต่อจำนวน session ทั้งหมด ทั้ง 2 กรณี

ค่า RMSE (ม.) ของซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6				
	baseline 5.3 กม.		baseline 19.6 กม.	
	กรณีที่ 1 (พื้น)	กรณีที่ 2 (Tripod)	กรณีที่ 1 (พื้น)	กรณีที่ 2 (Tripod)
Easting	0.004	0.011	0.017	0.027
Northing	0.010	0.005	0.009	0.009
Up	0.035	0.035	0.044	0.063

ตารางที่ 4 แสดงค่า RMSE ทาง Easting, Northing และ Up ของทั้ง 2 กรณีการทดสอบ

ค่า RMSE (ม.) ของซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6				
	baseline 5.3 กม.		baseline 19.6 กม.	
	กรณีที่ 1 (พื้น)	กรณีที่ 2 (Tripod)	กรณีที่ 1 (พื้น)	กรณีที่ 2 (Tripod)
2D	0.011	0.012	0.019	0.029
3D	0.037	0.057	0.048	0.093

ตารางที่ 5 แสดงค่า RMSE 2D และ 3D ของทั้ง 2 กรณีการทดสอบ

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

จากผลการดำเนินการวิจัยและทดสอบทางสถิติในการการประเมินค่าความถูกต้องของสมาร์ตโฟนสำหรับการประยุกต์ใช้งาน GNSS ความแม่นยำสูง สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

5.1.1 การทดสอบความยาวของเส้นฐานที่ระยะ 5 เมตร (short - baseline testing) มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาตำแหน่งศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ตโฟน Mi8 ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้พบว่า เมื่อวางโดยให้กึ่งกลางของขอบด้านบนสุดของสมาร์ตโฟน Mi8 ทับกึ่งกลางหัวมุมทดสอบพอดีและชี้เข้าหาสถานีฐานตามแนวของเส้นฐานนั้น ผลที่ได้เป็นไปตามเอกสารและแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษาและค้นคว้าไว้ก่อนทำการทดสอบ คือตำแหน่งจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศในสมาร์ตโฟนจะอยู่บริเวณขอบด้านบนของสมาร์ตโฟน ตามผลการทดสอบในข้อ 4.2 และสำหรับผลในวันที่ 4 มีนาคม 2562 ที่ได้จากการรังวัดสถิติต่อเนื่อง 9 ชั่วโมง จำนวน 1 session พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของเส้นฐานอยู่ 3.2 เซนติเมตรนั้น อาจเกิดได้ 2 สาเหตุคือ อย่างแรกเกิดจากคุณภาพของเสาอากาศเครื่องรับสัญญาณฯ ภายในสมาร์ตโฟน Mi8 เป็นแบบ low cost antenna เป็นโพลาริเซอร์เชิงเส้น (linear polarizer) ที่มีความเสถียรต่างจากเสาอากาศรับสัญญาณแบบ geodetic antenna ที่โพลาริเซอร์เป็นวงกลม (Circularly Polarized) และอย่างที่สองอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดในบางแกนโดยเฉพาะค่าพิกัดในแนวแกนตั้งที่มีขนาดใหญ่จนทำให้การคำนวณความยาวเส้นฐานของซอฟต์แวร์นั้นผิดไป

5.1.2 การหาตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8 ใช้วิธีการประมวลผลเส้นฐานเดี่ยวระหว่างสถานีฐาน PKK1 และสมาร์ตโฟน Mi 8 ซึ่งเป็นสถานีฐานที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ศึกษามากที่สุดมีระยะห่างประมาณ 5.3 กิโลเมตร จากข้อมูลการรังวัดสถิติ จำนวน 31 session ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6 โดยวิธีการเฉลี่ยค่าพิกัดทาง Easting และ Northing ที่ได้จากการประมวลผลและตัดค่าผิดปกติออกไปก่อนแล้ว พบว่าศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8 โดยประมาณ จะอยู่ถัดจากกึ่งกลางของขอบด้านบนสุดมาทางซ้ายประมาณ 2.8 เซนติเมตร (แนว Easting) และมีระยะลึกจากขอบด้านบนสุดลงมาในแนวตั้งประมาณ 0.9 เซนติเมตร (แนว Northing) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ RMSE ก่อนการคำนวณหาตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8 คือ ทาง Easting เท่ากับ 2.9 เซนติเมตร และทาง Northing เท่ากับ 1.3 เซนติเมตร

5.1.3 ผลจากการปรับตำแหน่งการวางโดยให้ตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ตโฟน Mi8 ที่คำนวณได้ ทับกึ่งกลางหัวมุมทดสอบพอดี พบว่า ค่า RMSE มีค่าลดลง ดังตารางที่ 6 และ 7

ค่า RMSE (ม.) ตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8			
CGO	baseline 5.3 กม.		
	ก่อนการคำนวณ	หลังการคำนวณ	ค่าความต่าง
Easting	0.029	0.004	-0.025
Northing	0.013	0.010	-0.003
Up	0.042	0.035	-0.007

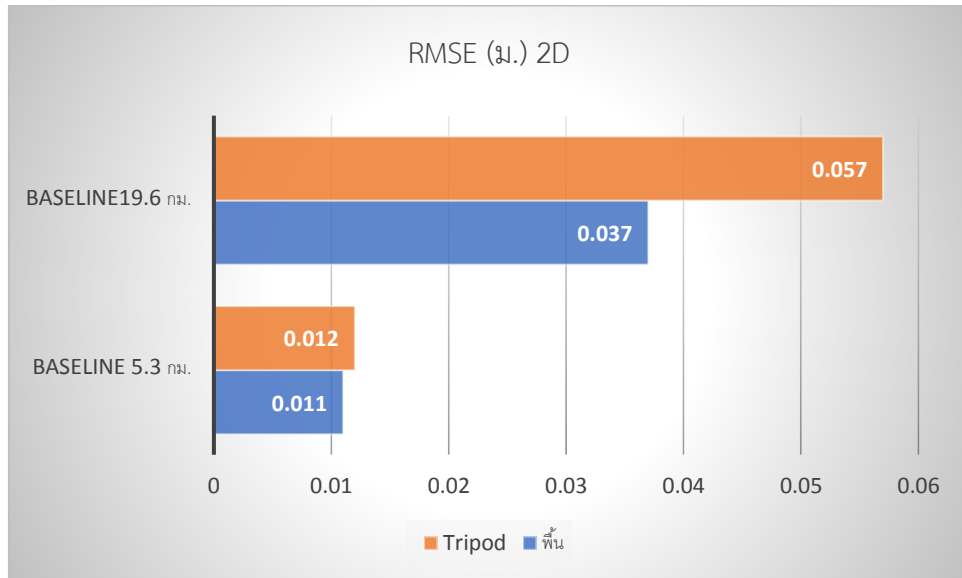
ตารางที่ 6 ค่า RMSE ทาง Easting, Northing และ Up ก่อน – หลัง การคำนวณหาตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8

ค่า RMSE (ม.) ตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8			
CGO	baseline 5.3 กม.		
	ก่อนการคำนวณ	หลังการคำนวณ	ค่าความต่าง
2D	0.032	0.011	-0.021
3D	0.052	0.037	-0.015

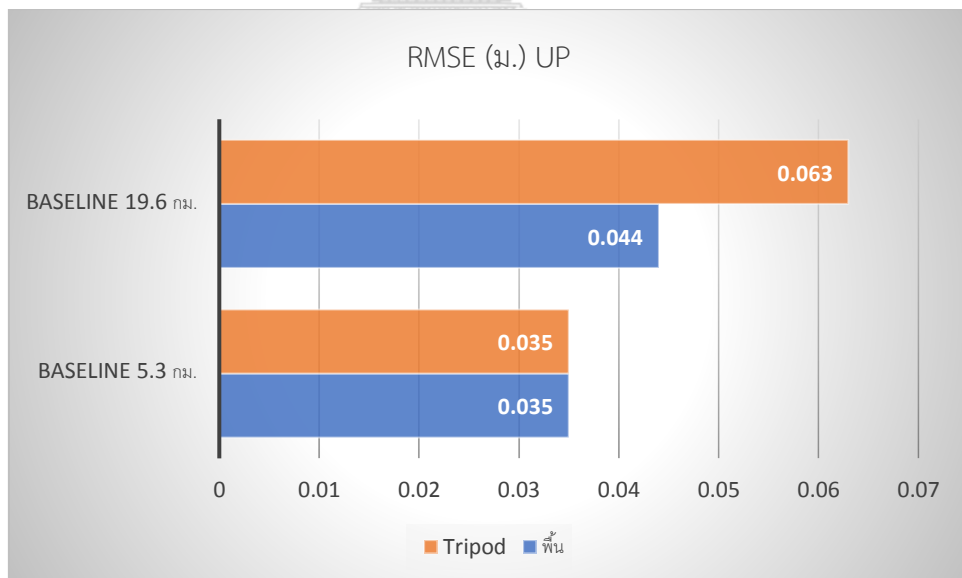
ตารางที่ 7 ค่า RMSE 2D และ 3D ก่อน – หลัง การคำนวณหาตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8

5.1.4 ตัวอย่างของผลการทดสอบตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ที่คำนวณได้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ วางสมาร์ทโฟน Mi8 ลงบนพื้นกระเบื้องและบนลงบนขาตั้งกล้องที่ประยุกต์เข้ากับจานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST ประมวลผลเส้นฐานเดี่ยว 2 ระยะการทดสอบ คือ สมาร์ทโฟน Mi8 – สถานี PKKT และสถานี DPT9 ความยาวเส้นฐานประมาณ 5.3 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6 ทั้ง 2 กรณี พบว่าค่า RMSE เพิ่มขึ้นตามระยะความยาวเส้นฐาน และค่า RMSE ทางราบ กรณีวางสมาร์ทโฟนลงบนพื้นกระเบื้องจะมีค่าน้อยกว่ากรณีวางบนขาตั้งกล้อง ดังรูปที่ 30 สำหรับค่า RMSE ทางตั้ง ทั้ง 2 กรณีการวางจะมีค่า

เท่ากันที่ความยาวเส้นฐาน 5.3 กิโลเมตร และกรณีวางสมาร์ตโฟนลงบนพื้นกระเบื้องจะมีค่าน้อยกว่ากรณีวางบนขาตั้งกล้องที่ความยาวเส้นฐาน 19.6 กิโลเมตร ดังรูปที่ 31



รูปที่ 30 แสดงค่า RMSE ทางราบของ 2 กรณีการวางที่ความยาวเส้นฐาน 5.3 และ 19.6 กม.



รูปที่ 31 แสดงค่า RMSE ทางตั้งของ 2 กรณีการวางที่ความยาวเส้นฐาน 5.3 และ 19.6 กม.

5.2 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัย พบว่า ตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 โดยประมาณ จะอยู่ ถัดจากกึ่งกลางของขอบด้านบนสุดมาทางซ้ายประมาณ 2.8 เซนติเมตร และลึกจากขอบด้านบนสุดลงมาในแนวตั้งประมาณ 0.9 เซนติเมตร จากนั้นทำการทดสอบตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8 ที่คำนวณได้ โดยการประมวลผลเส้นฐานเดี่ยว 2 ระยะ คือ 5.3 และ 19.6 กิโลเมตร ด้วยซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6 ทั้ง 2 กรณีในการวางคือ บนพื้นกระเบื้องและบนลงบนขาตั้งกล้องที่ประยุกต์เข้ากับงานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST ผลจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากสมาร์ทโฟน Mi8 กับค่าพิกัดหมุดอ้างอิง มีค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง สูงสุด 2.9 และ 6.3 เซนติเมตร ตามลำดับ

5.3 ข้อจำกัด

5.3.1 ในการใช้สมาร์ทโฟน Mi8 รังวัดสัญญาณฯ ควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0°C และสูงกว่า 40°C ตามคำแนะนำในคู่มือการใช้

5.3.2 ไม่ควรรังวัดสัญญาณฯ ด้วยสมาร์ทโฟน Mi8 ขณะฝนตก เพราะอุปกรณ์และชิ้นส่วนไม่กันน้ำอาจได้รับความเสียหายได้

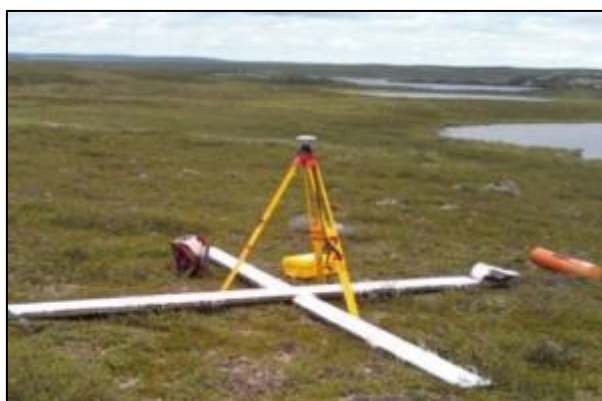
5.3.3 ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบเฉพาะพื้นที่เปิดโล่ง บริเวณคาเฟ่ของอาคารเท่านั้น และใช้สถานีฐานอ้างอิงเพียง 2 สถานีคือ PKKT และ DPT9 ซึ่งมีความยาวเส้นฐาน 2 ระยะ คือ 5.3 และ 19.6 กิโลเมตร ตามลำดับ และใช้เฉพาะซอฟต์แวร์ CGO 1.0.6 ในการประมวลผลเท่านั้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาการวิจัยครั้งต่อไปในอนาคตนั้น อาจเป็นการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของการรังวัดด้วยสมาร์ทโฟนโดยเฉพาะค่าความถูกต้องการรังวัดค่าพิกัด ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้แสดงตัวอย่างค่าความถูกต้องในการระบุพิกัดอยู่ในระดับเซนติเมตร ทั้งทางราบและทางตั้ง จากการรังวัดด้วยสมาร์ทโฟน Mi8 ทั้ง 2 กรณีในการวางคือ บนพื้นกระเบื้องและบนลงบนขาตั้งกล้องที่ประยุกต์เข้ากับงานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST ที่ความยาวของเส้นฐานไม่เกิน 20 กิโลเมตร อาจเป็นข้อมูลทางเลือกในการประยุกต์ใช้ให้เข้ากับงานที่ต้องการความถูกต้องทางตำแหน่งในเกณฑ์ระดับเดียวกันนี้ เช่น

งานรังวัดหมุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ GCP (Ground Control Point) เพื่อใช้ในการปรับแก้ภาพถ่ายทางอากาศ ในงานบินถ่ายภาพจาก Drone ทำให้ภาพถ่ายใน block ที่ได้มีความถูกต้องสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพถ่ายที่บิน (Ground Sampling Distance:

GSD) ที่ได้จากการวางแผนหรือกำหนดให้ 3 ปัจจัยหลัก ๆ ที่นอกเหนือจากคุณภาพของกล้องถ่ายและอุปกรณ์อื่น ๆ แล้ว คือ 1. ความสูงบิน (flight height) 2. ค่าความถูกต้องของ GCP ทางราบ และ 3. ค่าความถูกต้องของ GCP ทางตั้ง สำหรับการรังวัด GCP สามารถทำได้ทั้งในรูปแบบ Static และ RTK (Real-time kinematic) แต่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือรับสัญญาณฯ ที่มีคุณภาพและราคาสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานรังวัด GCP



รูปที่ 32 ตัวอย่างการงานรังวัดหมุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ GCP ด้วย geodetic receiver มา: (<https://www.photosat.ca/resources/guidelines-stereo-satellite-ground-control-targets/untitled-g2/>)



รูปที่ 33 ตัวอย่างการงานรังวัดหมุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ GCP ด้วย handheld ที่มา: (<https://www.westhawaii.com/2019/04/14/hawaii-news/volcano-update/recent-ground-control-survey-helps-finalize-usgs-lava-thickness-map/>)

และงานด้านอื่น ๆ ที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเดียวกันกับผลที่ได้จากการวิจัย เช่น เพื่อใช้ประโยชน์ในการลดภาระที่ต้องแบกหามเครื่องเครื่องรับสัญญาณฯ ขนาดใหญ่และค่อนข้างหนักในกรณีจำเป็นต้องรังวัดในพื้นที่ยากลำบากหรือสูงชัน นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามก็ดีเพื่อเป็นการพัฒนางานวิจัยนี้ควรเพิ่มเติมดังนี้

5.4.1 เพิ่มรุ่นหรือเปลี่ยนรุ่นของสมาร์ทโฟนในการรังวัด ได้จากเว็บไซต์

<https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss> (ข้อมูลเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม 2562)

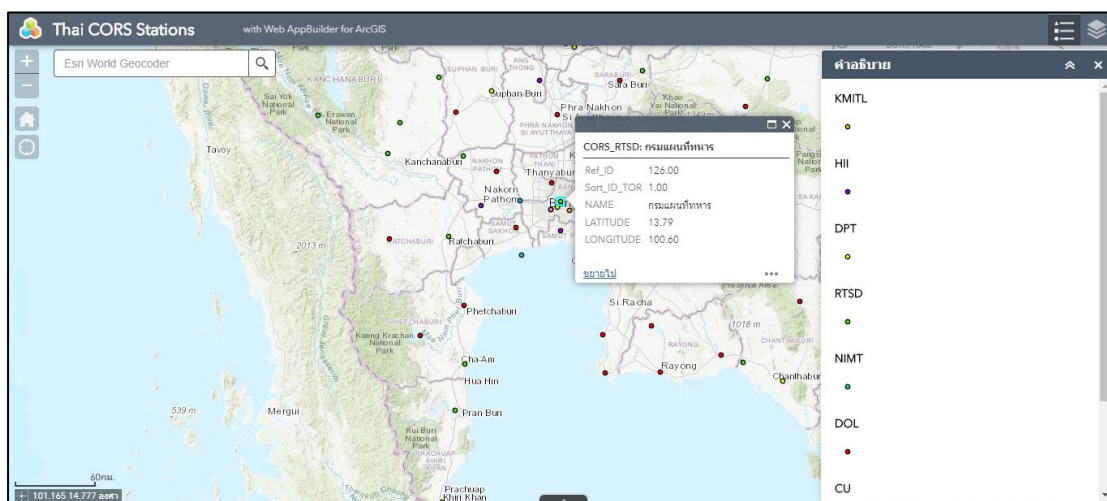
Model	Android version	AGC	Nav messages	ADR (carrier phase)	L5	Global systems
Xiaomi Mi 9	9.0	yes	no	no	yes	GPS GLO GAL BDS QZS
Samsung Galaxy Note 10+	9.0	yes	no	no	yes	GPS GLO GAL
Samsung Galaxy Note 10	9.0	yes	no	no	yes	GPS GLO GAL
Samsung Galaxy S10e	9.0	yes	no	no	no	GPS GLO GAL
Samsung Galaxy S10+	9.0	yes	no	no	no	GPS GLO
Samsung Galaxy S10	9.0	yes	no	no	no	GPS GLO GAL

รูปที่ 34 แสดงตัวอย่างยี่ห้อและรุ่นของสมาร์ทโฟนที่สามารถรังวัดสัญญาณในช่วงคลื่น L1/L5 ได้

ที่มา: (<https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>)

5.4.2 เพิ่มระยะของเสัฐานจาก base station ให้ไกลมากกว่า 20 กิโลเมตร เพื่อศึกษาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มระยะเสัฐานสำหรับการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยสมาร์ทโฟน และทดลองใช้สถานีฐานอ้างอิง (CORS Stations) ของหน่วยงานอื่นนอกจากในงานวิจัยนี้ (กรมที่ดิน และกรมโยธาธิการและผังเมือง) เช่น กรมแผนที่ทหาร, สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) เพื่อศึกษาความต่างค่าพิกัดของสมาร์ทโฟนที่ได้จากสถานีฐานของแต่ละหน่วยงาน ปัจจุบันสถานีฐานอ้างอิง

พร้อมให้บริการรวมกันมากกว่า 200 สถานี ทั่วประเทศ ข้อมูลจากเว็บไซต์ <https://gnss-portal.rtsd.mi.th/portal/apps/sites/#/gnss> (ข้อมูลเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม 2562)



รูปที่ 35 ตำแหน่งสถานีฐาน (CORS Stations) ในประเทศไทย
ที่มา: (<https://gnss-portal.rtsd.mi.th/portal/apps/sites/#/gnss>)

5.4.3 เปลี่ยนแอปพลิเคชันบอกตำแหน่งในการรังวัดที่สามารถบันทึกข้อมูลดิบจากการรังวัดในรูปแบบไฟล์ RINEX และสามารถดาวน์โหลดและติดตั้งผ่าน Google Play Store ได้เช่นเดียวกับ Geo++ RINEX Logger คือ rinex ON ซึ่งมีรายละเอียดและคุณสมบัติการใช้งานตามเว็บไซต์ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eu.nsl.rinexON&hl=th> (ข้อมูลเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม 2562)

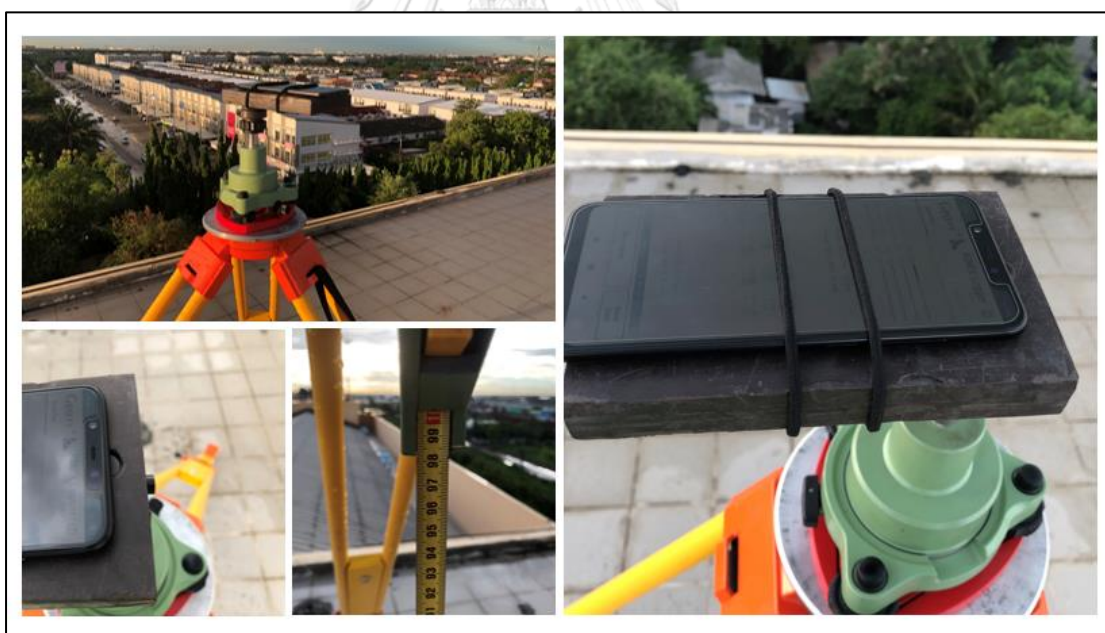
5.4.4 ลดช่วงเวลาในการรังวัดให้น้อยกว่าการในงานวิจัยครั้งนี้ ที่เป็นการรังวัดแบบ static ใช้เวลา 1 ชั่วโมง/session อาจทำการทดสอบที่เวลา 15 30 45 นาที /session เพื่อเป็นการประหยัดเวลา โดยการเปลี่ยนวิธีการรังวัดจากแบบ static มาเป็นแบบ Rapid หรือ Fast Static หรือการรังวัดแบบ สถิติอย่างรวดเร็ว และปัจจุบันในแอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger สามารถรังวัดแบบ kinematic ได้แล้ว

5.4.5 เปลี่ยนซอฟต์แวร์ในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ CGO 1.0.6 ประมวลผลเพียงซอฟต์แวร์เดียว ซึ่งสามารถใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์อื่นประมวลผลได้ เช่น TBC (Trimble Business Center) ของบริษัท Trimble, Leica Infinity Survey Software ของบริษัท Leica และ Topcon Tool ของบริษัท Topcon เป็นต้น และซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส - Open Source Software (OSS) อย่าง RTKLIB เป็นต้น

5.4.5 เปลี่ยนพื้นที่ศึกษา เนื่องจากการทำวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะบนดาดฟ้าของอาคารซึ่งเป็นพื้นที่เปิดโล่งไม่มีสิ่งบดบังสัญญาณ หากมีการศึกษาครั้งต่อไปอาจเปลี่ยนพื้นที่ศึกษาให้เหมือนกับพื้นที่

5.4.6 ควรเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูล และให้มีความต่อเนื่องของข้อมูล เช่น 1 สัปดาห์ หรือ 1 เดือน ที่มีข้อมูลทั้งกลางวันและกลางคืน ซึ่งในงานวิจัยนี้ข้อมูลส่วนใหญ่จะมีเฉพาะในเวลากลางคืน และสำหรับการเก็บข้อมูลในเวลากลางวันนั้น จะต้องระมัดระวังเรื่องอุณหภูมิของเครื่องสมาร์ทโฟนให้ดีหากร้อนเกินไป อาจทำให้อุปกรณ์และข้อมูลการรังวัดได้รับความเสียหายได้ และที่สำคัญควรหลีกเลี่ยงสภาพอากาศที่เป็นฝนตก

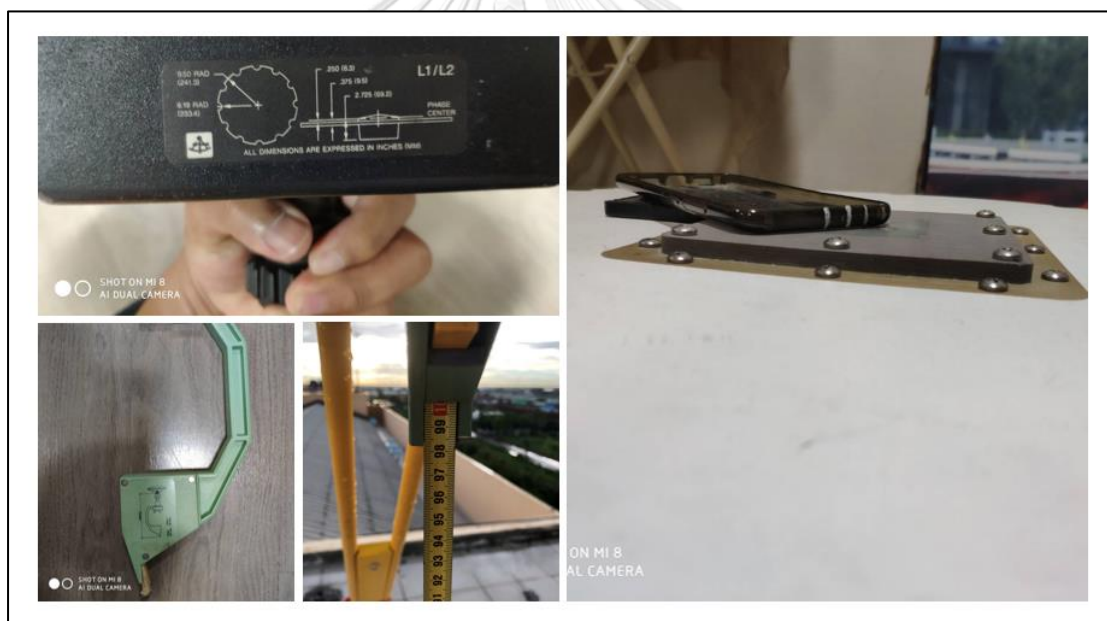
5.4.7 วัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็น ground plane antenna เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเกิดคลื่นสะท้อน (Multipath Errors) จากการรังวัดด้วยสมาร์ทโฟน Mi8 คือจานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST และวัสดุที่ไม่ควรใช้เป็น ground plane antenna ได้แก่ แผ่นพลาสติกอะคริลิก (acrylic plastic) ที่บดแสงความหนา 2 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นพลาสติกเรียบคล้ายแผ่นไม้ เนื่องจากผู้วิจัยได้เคยทำการทดสอบใช้วัสดุดังกล่าวแล้วค่าพิกัดที่ได้มีการกระจายตัวมากที่สุดในหลักเมตร จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการศึกษา



รูปที่ 36 การทดสอบ ground plane antenna จาก แผ่นพลาสติกอะคริลิกหนา 2 เซนติเมตร

5.4.8 การวัดค่าความสูงกรณีการวางสมาร์ทโฟน Mi8 ลงบนขาตั้งกล้องที่ประยุกต์เข้ากับจานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST เป็นการวัดความสูงในแนวตั้งผ่านชุดตะขอวัด

ความสูง (Hook) ของบริษัท Leica โดยที่ความยาวจาก ARP (Antenna Reference Point) ถึงปลายตะขอยาว 36 เซนติเมตร ดังนั้นค่าความสูงที่วัดได้จะต้องบวกเพิ่มอีก 36 เซนติเมตร และงานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST มีระยะจาก ARP ถึง APC (Antenna Phase Center) เท่ากับ 6.92 เซนติเมตร บวกกับความคลาดเคลื่อนของเกลียวที่หมุนยึดติดกับงานไม่แนบสนิทเป็นช่องว่างประมาณ 2 มิลลิเมตร ดังนั้น การวัดค่าความสูงกรณีการวางสมาร์ทโฟน Mi8 ลงบนขาตั้งกล้องที่ประยุกต์เข้ากับงานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST เป็นการวัดความสูงในแนวตั้งที่วัดได้จะต้องบวกด้วยค่าคงที่ 7.12 เซนติเมตร เป็นค่าความสูงจากหัวหมุดที่ต้องการทราบค่าถึง APC หรือ ความสูงของ Antenna Phase Center Height เช่น อ่านค่าความสูงจาก Hook ได้ 1.300 เพราะฉะนั้นจะได้ความสูง Antenna Phase Center Height เท่ากับ $1.300 + 0.0712 = 1.371$ เมตร



รูปที่ 37 การวัดค่าความสูงกรณีการวางสมาร์ทโฟน Mi8 ลงบนขาตั้งกล้องที่ประยุกต์เข้ากับงานรับสัญญาณ GPS ของ Trimble รุ่น 4000ST/SST

บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2546). การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสเบื้องต้น (แปลและเรียบเรียง). In 1 (Ed.), (pp. 156). กรุงเทพฯ: พิมพ์ที่โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2548). เอกสารประกอบคำสอนวิชางานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. In. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2549). เอกสารประกอบคำสอนวิชางานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. In. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Andriod Developers (2019, March 12, 2019). Raw GNSS Measurements. Retrieved January 13, 2019 from <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>
- Bevelacqua, J. (2016, 2 June 2019). Antenna-Theory Retrieved January 13, 2019 from <http://www.antenna-theory.com>
- Biagi, L., Grec, F.-C., Fermi, A., & Negretti, M. (2018). Relative antenna calibration for mass-market GNSS receivers:A case study. Retrieved Access
- Bilich, A., & Mader, G. L. (2010). GNSS absolute antenna calibration at the national geodetic survey. 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation. Retrieved Access
- Broadcom (2017). Third-Generation GNSS Location Hub with Dual Frequency Support. Retrieved from <https://www.broadcom.com/products/wireless/gnss-gps-socs/bcm47755#overview>
- CHC-NAV (2014, January 13, 2014). CGO Software - New post-processing solution. From CHCNav Retrieved January 13, 2019 from <http://www.chcnv.com/index.php/about/newsdetail?id=71&cid=6&ctype=10>
- Dabove, P., & Pietra, V. D. (2019). Single-Baseline RTK Positioning Using Dual-Frequency GNSS Receivers Inside Smartphones. sensors. doi:10.3390/s19194302
- European GNSS Agency [GSA]. (2017). USING GNSS RAW MEASUREMENTS ON ANDROID DEVICES. from https://www.gsa.europa.eu/system/files/reports/gnss_raw_measurement_web_0.pdf

- Geo++ GmbH (2019). Google play, Geo++ RINEX Logger. Retrieved January 13, 2019 from <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.geopp.rinexlogger>
- Global Mapper (2018). Getting Started Guide. Retrieved January 13, 2019 from <https://www.bluemarblegeo.com/docs/guides/global-mapper-19-getting-started-guide-en.pdf>
- Gurtne, W. (2014). The Receiver Independent Exchange Format Version 3.03. Retrieved from <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/206482558-RINEX-3-03-Release-Notes>
- Haddrell, T., Phocas, M., & Ricquier, N. (2010). Mobile-Phone GPS Antennas Can They Be Better. Retrieved January 13, 2019 from <http://www.gpsworld.com>
- INPAQ, T. (2010, 1 June 2010). GPS Patch Antenna [INPAQ Technology Co., LTD]. Retrieved January 13, 2019 from <http://www.inpaq.com.tw>
- Leick, A. (2004). GPS Satellite Surveying. In 3 (Ed.), (pp. 435). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Murfin, T. (2017). Big news from Broadcom: 30-cm positioning for consumers. from <https://www.gpsworld.com/big-news-from-broadcom-30-cm-positioning-for-consumers/>
- Nottingham Scientific Ltd [NSL] (2019, May 9, 2019). Google play, rinex ON. Retrieved Oct 13, 2019 from <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eu.nsl.rinexON&hl=th>
- QGIS (2019). QGIS A Free and Open Source Geographic Information System. Retrieved January 13, 2019 from <https://www.qgis.org/en/site/>
- Realini, E. C., S.Pertusini, & L.Sampietro, D. (2017). Precise GNSS Positioning Using Smart Devices. *Sensors* (Basel), 17(10). doi:10.3390/s17102434
- Rizos, C. (1997). Principles and Practice of GPS Surveying, Monograph 17. In. The University of New South Wales: School of Geomatic Engineering.
- Robustelli, U., Baiocchi, V., & Pugliano, G. (2019). Assessment of Dual Frequency GNSS Observations from a Xiaomi Mi 8 Android Smartphone and Positioning Performance Analysis. *Electronics*, 8(1). doi:10.3390/electronics8010091
- Rothacher, M., Beulter, G., Gurtner, W., Schneider, D., Wiget, A., Geiger, A., & Kahle, H. G. (1990). The role of atmosphere in small GPS networks, Second International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System. In (pp. 581-598). Ottawa, Ontario.

- Sanz Subirana, J., Juan Zomoza, J. M., & Hernández-Pajares, M. (2013). GNSS Data processing. In *Fundamentals and Algorithms* (Vol. 1, pp. 2200). ESA Communications: Noordwijk, The Netherlands.
- Teunissen, P. J. G., & Kleusberg, A. (1998). *GPS for Geodesy*, Springer-Verlag. In (pp. 650). Berlin Heidelberg New York.
- Trimble (2001, January 2001). 5700 GPS Receiver User Guide. Retrieved January 13, 2019 from <http://produkter.geoteam.dk/Manualer/5700/5700User.pdf>
- Trimble (2019). Trimble R10 Integrated GNSS System. Retrieved January 13, 2019 from http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-889531/TrimbleR10_Model-2_GNSSReceiver_UserGuide.pdf
- Wu, Q., Sun, M., Zhou, C., & Zhang, P. (2019). Precise Point Positioning Using Dual-Frequency GNSS Observations on Smartphone. *Sensors* (Basel). doi:10.3390/s19092189
- Xiaomi (2018). Mi 8 The 2018 Xiaomi Flagship. Retrieved January 13, 2019 from <https://www.mi.com/th/mi8/>



ภาคผนวก ก. คุณสมบัติทั่วไปเกี่ยวกับการนำทาง และการหาตำแหน่งของสมาร์ทโฟน Mi8



รูปที่ 38 สมาร์ทโฟน Mi8

ที่มา: (<https://www.sanook.com/hitech/1453333/gallery/596981/>)

การนำทางและการหาตำแหน่ง

สมาร์ทโฟน Mi8 ได้ติดตั้งชิปเซ็ตในการรับสัญญาณ GNSS ใหม่ล่าสุดของบริษัท Broadcom รุ่น BCM47755 ไว้ภายในสมาร์ทโฟน Mi8 ซึ่งสามารถรับสัญญาณฯ ในแบบความถี่คู่

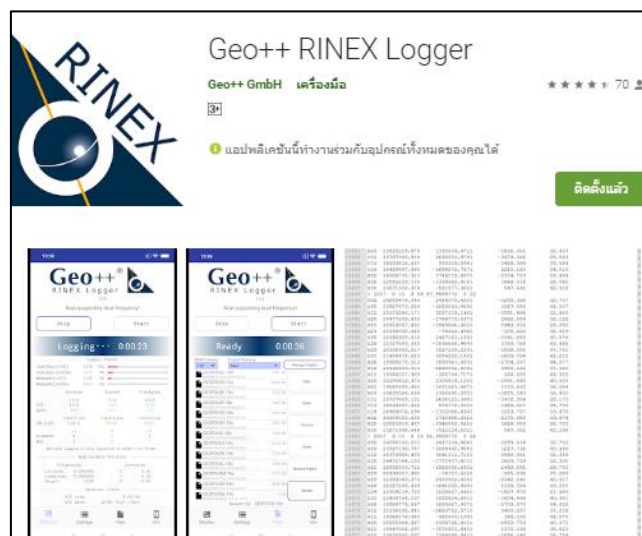
- GPS : L1+L5
- Galileo : E1+E5a
- QZSS : L1+L5
- GLONASS : L1
- Beidou : B1

ขนาด

- ยาว: 154.9 มม.
- กว้าง: 74.8 มม.
- ความหนา: 7.6 มม.
- น้ำหนัก: 175 กรัม

(ที่มา: <https://www.mi.com/th/mi8/specs>)

ภาคผนวก ข. แอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger



รูปที่ 39 แอปพลิเคชัน Geo++ RINEX Logger

ที่มา: (<https://play.google.com/store/apps/details?id=de.geopp.rinexlogger&hl=th>)

Geo ++ RINEX Logger ใช้ได้กับแอนดรอยด์ตั้งแต่เวอร์ชัน 7.0 หรือสูงกว่า และใช้ได้กับ API level ล่าสุดในปัจจุบันสำหรับบันทึกข้อมูลดิบจากการรับวัด GNSS จากอุปกรณ์ในรูปแบบของไฟล์ RINEX บันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที รองรับ GPS / GLONASS / GALILEO / BDS / QZSS ในช่วงคลื่น L1 / L5 / E1B / E1C / E5A (ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์เครื่องรับ) สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่สามารถติดตั้งแอปพลิเคชัน Geo ++ RINEX Logger ที่เว็บไซต์ Android raw GNSS measurements: <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss.html> ข้อมูลทั่วไป ดังนี้

- อัปเดตครั้งล่าสุดเมื่อ 23 กรกฎาคม 2562
- ขนาด 2.5M
- การติดตั้ง 5,000+
- เวอร์ชันปัจจุบัน 2.1.3 (RINEX 3.03)
- นักพัฒนาซอฟต์แวร์ ไปที่เว็บไซต์ android@geopp.de

(ที่มา:<https://play.google.com/store/apps/details?id=de.geopp.rinexlogger&hl=th>)

```

1 | 3.03 OBSERVATION DATA M: Mixed RINEX VERSION / TYPE
2 | Geo++ RINEX Logger Geo++ 20191027 105942 UTC PGM / RUN BY / DATE
3 | ***** COMMENT
4 | This file was generated by the Geo++ RINEX Logger App COMMENT
5 | for Android devices (Version 2.1.3). If you encounter COMMENT
6 | any issues, please send an email to android@geopp.de COMMENT
7 | ***** COMMENT
8 | Geo++ MARKER NAME
9 | GEODETIC MARKER TYPE
10 | Geo++ OBSERVER / AGENCY
11 | unknown Xiaomi MI 8 REC # / TYPE / VERS
12 | unknown MI 8 ANT # / TYPE
13 | -1137278.2639 6086300.1588 1525047.6590 APPROX POSITION XYZ
14 | 0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
15 | 8 CIC L1C L1D L1E L1F L1G L1H L1I L1J L1K L1L L1M L1N L1O L1P L1Q L1R L1S L1T L1U L1V L1W L1X L1Y L1Z L1AA L1AB L1AC L1AD L1AE L1AF L1AG L1AH L1AI L1AJ L1AK L1AL L1AM L1AN L1AO L1AP L1AQ L1AR L1AS L1AT L1AU L1AV L1AW L1AX L1AY L1AZ L1BA L1BB L1BC L1BD L1BE L1BF L1BG L1BH L1BI L1BJ L1BK L1BL L1BM L1BN L1BO L1BP L1BQ L1BR L1BS L1BT L1BU L1BV L1BW L1BX L1BY L1BZ L1CA L1CB L1CC L1CD L1CE L1CF L1CG L1CH L1CI L1CJ L1CK L1CL L1CM L1CN L1CO L1CP L1CQ L1CR L1CS L1CT L1CU L1CV L1CW L1CX L1CY L1CZ L1DA L1DB L1DC L1DD L1DE L1DF L1DG L1DH L1DI L1DJ L1DK L1DL L1DM L1DN L1DO L1DP L1DQ L1DR L1DS L1DT L1DU L1DV L1DW L1DX L1DY L1DZ L1EA L1EB L1EC L1ED L1EE L1EF L1EG L1EH L1EI L1EJ L1EK L1EL L1EM L1EN L1EO L1EP L1EQ L1ER L1ES L1ET L1EU L1EV L1EW L1EX L1EY L1EZ L1FA L1FB L1FC L1FD L1FE L1FF L1FG L1FH L1FI L1FJ L1FK L1FL L1FM L1FN L1FO L1FP L1FQ L1FR L1FS L1FT L1FU L1FV L1FW L1FX L1FY L1FZ L1GA L1GB L1GC L1GD L1GE L1GF L1GG L1GH L1GI L1GJ L1GK L1GL L1GM L1GN L1GO L1GP L1GQ L1GR L1GS L1GT L1GU L1GV L1GW L1GX L1GY L1GZ L1HA L1HB L1HC L1HD L1HE L1HF L1HG L1HH L1HI L1HJ L1HK L1HL L1HM L1HN L1HO L1HP L1HQ L1HR L1HS L1HT L1HU L1HV L1HW L1HX L1HY L1HZ L1IA L1IB L1IC L1ID L1IE L1IF L1IG L1IH L1II L1IJ L1IK L1IL L1IM L1IN L1IO L1IP L1IQ L1IR L1IS L1IT L1IU L1IV L1IW L1IX L1IY L1IZ L1JA L1JB L1JC L1JD L1JE L1JF L1JG L1JH L1JI L1JJ L1JK L1JL L1JM L1JN L1JO L1JP L1JQ L1JR L1JS L1JT L1JU L1JV L1JW L1JX L1JY L1JZ L1KA L1KB L1KC L1KD L1KE L1KF L1KG L1KH L1KI L1KJ L1KK L1KL L1KM L1KN L1KO L1KP L1KQ L1KR L1KS L1KT L1KU L1KV L1KW L1KX L1KY L1KZ L1LA L1LB L1LC L1LD L1LE L1LF L1LG L1LH L1LI L1LJ L1LK L1LL L1LM L1LN L1LO L1LP L1LQ L1LR L1LS L1LT L1LU L1LV L1LW L1LX L1LY L1LZ L1MA L1MB L1MC L1MD L1ME L1MF L1MG L1MH L1MI L1MJ L1MK L1ML L1MN L1MO L1MP L1MQ L1MR L1MS L1MT L1MU L1MV L1MW L1MX L1MY L1MZ L1NA L1NB L1NC L1ND L1NE L1NF L1NG L1NH L1NI L1NJ L1NK L1NL L1NO L1NP L1NQ L1NR L1NS L1NT L1NU L1NV L1NW L1NX L1NY L1NZ L1OA L1OB L1OC L1OD L1OE L1OF L1OG L1OH L1OI L1OJ L1OK L1OL L1OM L1ON L1OO L1OP L1OQ L1OR L1OS L1OT L1OU L1OV L1OW L1OX L1OY L1OZ L1PA L1PB L1PC L1PD L1PE L1PF L1PG L1PH L1PI L1PJ L1PK L1PL L1PM L1PN L1PO L1PP L1PQ L1PR L1PS L1PT L1PU L1PV L1PW L1PX L1PY L1PZ L1QA L1QB L1QC L1QD L1QE L1QF L1QG L1QH L1QI L1QJ L1QK L1QL L1QM L1QN L1QO L1QP L1QQ L1QR L1QS L1QT L1QU L1QV L1QW L1QX L1QY L1QZ L1RA L1RB L1RC L1RD L1RE L1RF L1RG L1RH L1RI L1RJ L1RK L1RL L1RM L1RN L1RO L1RP L1RQ L1RR L1RS L1RT L1RU L1RV L1RW L1RX L1RY L1RZ L1SA L1SB L1SC L1SD L1SE L1SF L1SG L1SH L1SI L1SJ L1SK L1SL L1SM L1SN L1SO L1SP L1SQ L1SR L1SS L1ST L1SU L1SV L1SW L1SX L1SY L1SZ L1TA L1TB L1TC L1TD L1TE L1TF L1TG L1TH L1TI L1TJ L1TK L1TL L1TM L1TN L1TO L1TP L1TQ L1TR L1TS L1TT L1TU L1TV L1TW L1TX L1TY L1TZ L1UA L1UB L1UC L1UD L1UE L1UF L1UG L1UH L1UI L1UJ L1UK L1UL L1UM L1UN L1UO L1UP L1UQ L1UR L1US L1UT L1UU L1UV L1UW L1UX L1UY L1UZ L1VA L1VB L1VC L1VD L1VE L1VF L1VG L1VH L1VI L1VJ L1VK L1VL L1VM L1VN L1VO L1VP L1VQ L1VR L1VS L1VT L1VU L1VV L1VW L1VX L1VY L1VZ L1WA L1WB L1WC L1WD L1WE L1WF L1WG L1WH L1WI L1WJ L1WK L1WL L1WM L1WN L1WO L1WP L1WQ L1WR L1WS L1WT L1WU L1WV L1WW L1WX L1WY L1WZ L1XA L1XB L1XC L1XD L1XE L1XF L1XG L1XH L1XI L1XJ L1XK L1XL L1XM L1XN L1XO L1XP L1XQ L1XR L1XS L1XT L1XU L1XV L1XW L1XX L1XY L1XZ L1YA L1YB L1YC L1YD L1YE L1YF L1YG L1YH L1YI L1YJ L1YK L1YL L1YM L1YN L1YO L1YP L1YQ L1YR L1YS L1YT L1YU L1YV L1YW L1YX L1YY L1YZ L1ZA L1ZB L1ZC L1ZD L1ZE L1ZF L1ZG L1ZH L1ZI L1ZJ L1ZK L1ZL L1ZM L1ZN L1ZO L1ZP L1ZQ L1ZR L1ZS L1ZT L1ZU L1ZV L1ZW L1ZX L1ZY L1ZZ
20 | 2019 10 27 11 0 0.00000000 0 25 TIME OF FIRST OBS
21 | 24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 6 GLONASS SLOT / FRQ #
22 | R09 -2 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1 GLONASS SLOT / FRQ #
23 | R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2 GLONASS SLOT / FRQ #
24 | G L1C SYS / PHASE SHIFT
25 | G L50 -0.250000 SYS / PHASE SHIFT
26 | R L1C SYS / PHASE SHIFT
27 | E L1B SYS / PHASE SHIFT
28 | E L1C +0.500000 SYS / PHASE SHIFT
29 | E L50 -0.250000 SYS / PHASE SHIFT
30 | C L2I SYS / PHASE SHIFT
31 | J L1C SYS / PHASE SHIFT
32 | J L50 -0.250000 SYS / PHASE SHIFT
33 | CIC 0.0000 CIP 0.0000 C2C 0.0000 C2F 0.0000 GLONASS COD/PHS/BIS
34 | END OF HEADER
35 | > 2019 10 27 11 0 0.00000000 0 25
36 | C07 36403660.570 189563395.707 -268.123 25.174
37 | C08 40521749.776 -1444.761 16.814

```

รูปที่ 40 ตัวอย่างของรูปแบบของหัวไฟล์ RINEX (HEADER RINEX) ของแอปพลิเคชัน Geo ++ RINEX Logger 2.1.3 ที่รังวัดจากสมาร์ทโฟน Mi8

```

31 | J L1C SYS / PHASE SHIFT
32 | J L50 -0.250000 SYS / PHASE SHIFT
33 | CIC 0.0000 CIP 0.0000 C2C 0.0000 C2F 0.0000 GLONASS COD/PHS/BIS
34 | END OF HEADER
35 | > 2019 10 27 11 0 0.00000000 0 25
36 | C07 36403660.570 189563395.707 -268.123 25.174
37 | C08 40521749.776 -1444.761 16.814
38 | C09 37540262.517 195482013.553 221.200 29.496
39 | C19 22296483.366 116103640.934 1331.701 35.897
40 | C29 26767927.150 -253.056 24.592
41 | E02 23415588.825 123049758.720 48.293 30.324 23415594.521 91887835.394
42 | E03 24301483.933 127705166.508 697.826 34.674 24301492.027 95364283.813
43 | E05 25630087.660 134687029.943 -1105.463 32.227 25630096.683 100578011.536
44 | E08 25015175.086 131476663.196 1669.477 26.997 25015183.779 96180663.118
45 | E25 24300613.967 127856330.673 -2449.411 33.890 24300621.062 95478574.431
46 | G01 24926853.398 130991493.687 -405.124 26.226 24926859.694 97918348.421 -302.581 28.022
47 | G10 21529307.271 84488625.2511 -2214.917 33.773
48 | G14 22261518.871 116995044.039 618.581 31.597
49 | G16 22693865.164 119257114.993 3107.652 28.952
50 | G22 24511541.513 129809056.639 2659.044 30.009
51 | G25 23569280.127 123857437.292 -3820.477 28.048 23569296.615 92490954.2691 -2628.911 23.681
52 | G26 20752308.176 109054113.584 1508.945 37.129 20752310.275 81436533.350 1126.806 38.179
53 | G29 25233324.633 132601942.513 334.522 28.422
54 | G31 21334709.588 112114654.784 -1893.365 37.468
55 | G32 21890425.274 115034963.581 -146.204 37.213 21890428.572 85902759.964 -109.158 31.353
56 | J01 36741222.981 193076377.244 571.119 32.808 36741227.178 144180458.781 426.472 33.724
57 | J02 40258970.595 211562304.151 -1281.408 33.770 40258976.590 157984872.466 -956.926 29.834
58 | R02 19901292.422 106197128.584 -283.792 34.317
59 | R03 21134852.446 113136482.933 2693.318 32.532
60 | R13 19552473.590 106545129.295 -2576.888 29.830
61 | > 2019 10 27 11 0 1.00000000 0 24
62 | C07 36403709.736 189563663.725 -268.017 25.104
63 | C09 37540219.647 195481792.000 221.553 29.251
64 | C19 22296226.444 116102309.452 1331.482 35.602
65 | C29 26767972.418 -254.584 24.377
66 | E02 23415579.831 123049710.698 48.022 30.043 23415585.527 91887799.508
67 | E03 24301350.825 127704469.591 697.917 34.431 24301357.720 95363762.649

```

รูปที่ 41 ไฟล์ RINEX ของแอปพลิเคชัน Geo ++ RINEX Logger 2.1.3 ที่รังวัดจากสมาร์ทโฟน Mi8

ภาคผนวก ค. ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session ในการหาศูนย์กลางการรับคลื่นส่งในสมาร์ทโฟน Mi8

วันที่ 17 มีนาคม 2562 12 session UTC 11:00-23:00						
session	Latitude	Longitude	Ellipsoid Height (m)	North (m)	East (m)	Height (m)
1	13°56'01.07205"N	100°35'02.95082"E	-4.663	1540956.076	671142.306	25.866
2	13°56'01.07172"N	100°35'02.95082"E	-4.680	1540956.065	671142.306	25.849
3	13°56'01.07198"N	100°35'02.95089"E	-4.683	1540956.074	671142.308	25.846
4	13°56'01.07213"N	100°35'02.95087"E	-4.677	1540956.078	671142.307	25.852
5	13°56'01.07229"N	100°35'02.95082"E	-4.665	1540956.083	671142.306	25.864
6	13°56'01.07243"N	100°35'02.95083"E	-4.679	1540956.087	671142.306	25.850
7	13°56'01.07216"N	100°35'02.95089"E	-4.688	1540956.079	671142.308	25.841
8	13°56'01.07219"N	100°35'02.95095"E	-4.676	1540956.080	671142.310	25.853
9	13°56'01.07235"N	100°35'02.95063"E	-4.696	1540956.085	671142.300	25.833
10	13°56'01.07221"N	100°35'02.95105"E	-4.668	1540956.080	671142.312	25.860
11	13°56'01.07206"N	100°35'02.95104"E	-4.696	1540956.076	671142.312	25.833
12	13°56'01.07263"N	100°35'02.95058"E	-4.653	1540956.093	671142.298	25.876

ตารางที่ 8 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 17 มีนาคม 2562 จำนวน 12 session

วันที่ 18 มีนาคม 2562 9 session UTC 13:00-23:00						
session	Latitude	Longitude	Ellipsoid Height (m)	North (m)	East (m)	Height (m)
1	13°56'01.07201"N	100°35'02.95055"E	-4.685	1540956.074	671142.298	25.844
2	13°56'01.07266"N	100°35'02.95168"E	-4.634	1540956.094	671142.331	25.894
3	Float	Float	Float	Float	Float	Float
4	Float	Float	Float	Float	Float	Float
5	13°56'01.07435"N	100°35'02.95054"E	-4.716	1540956.146	671142.297	25.813
6	13°56'01.07270"N	100°35'02.95054"E	-4.687	1540956.095	671142.297	25.841
7	13°56'01.07279"N	100°35'02.95059"E	-4.668	1540956.098	671142.299	25.861
8	13°56'01.07275"N	100°35'02.95025"E	-4.682	1540956.097	671142.289	25.846
9	13°56'01.07272"N	100°35'02.95049"E	-4.675	1540956.096	671142.296	25.854

ตารางที่ 9 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 18 มีนาคม 2562 จำนวน 9 session

(Fixed Solution จำนวน 7 session)

วันที่ 19 มีนาคม 2562 10 session UTC 12:00-22:00						
session	Latitude	Longitude	Ellipsoid Height (m)	North (m)	East (m)	Height (m)
1	13°56'01.07192"N	100°35'02.95124"E	-4.671	1540956.072	671142.318	25.858
2	13°56'01.07189"N	100°35'02.95100"E	-4.672	1540956.071	671142.311	25.857
3	13°56'01.07194"N	100°35'02.95043"E	-4.578	1540956.072	671142.294	25.951
4	13°56'01.07208"N	100°35'02.95066"E	-4.668	1540956.076	671142.301	25.861
5	13°56'01.07244"N	100°35'02.95107"E	-4.691	1540956.088	671142.313	25.837
6	13°56'01.07220"N	100°35'02.95091"E	-4.683	1540956.080	671142.308	25.846
7	13°56'01.07224"N	100°35'02.95092"E	-4.708	1540956.081	671142.309	25.821
8	13°56'01.07246"N	100°35'02.95096"E	-4.686	1540956.088	671142.310	25.843
9	13°56'01.07235"N	100°35'02.95102"E	-4.678	1540956.085	671142.312	25.851
10	13°56'01.07218"N	100°35'02.95123"E	-4.695	1540956.080	671142.318	25.833

ตารางที่ 10 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 19 มีนาคม 2562 จำนวน 10 session



ภาคผนวก ง. ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session ในการทดสอบตำแหน่งศูนย์กลางการรับคลื่นส่งใน
สมาร์ตโฟน Mi8 ที่คำนวณได้

วันที่ 14 มิถุนายน 2562 12 session UTC 10:00-22:00 (กรณีที่ 1) Mi8 - PKKT						
session	Latitude	Longitude	Ellipsoid Height (m)	North (m)	East (m)	Height (m)
1	13°56'01.07250"N	100°35'02.95207"E	-4.668	1540956.090	671142.343	25.861
2	13°56'01.07268"N	100°35'02.95104"E	-4.684	1540956.095	671142.312	25.845
3	13°56'01.07248"N	100°35'02.95163"E	-4.711	1540956.089	671142.330	25.817
4	13°56'01.07233"N	100°35'02.95230"E	-4.658	1540956.084	671142.350	25.870
5	13°56'01.07246"N	100°35'02.95152"E	-4.687	1540956.088	671142.327	25.842
6	Float	Float	Float	Float	Float	Float
7	13°56'01.07313"N	100°35'02.95206"E	-4.702	1540956.109	671142.343	25.826
8	13°56'01.07266"N	100°35'02.95180"E	-4.678	1540956.095	671142.335	25.850
9	13°56'01.07265"N	100°35'02.95178"E	-4.671	1540956.094	671142.335	25.858
10	13°56'01.07234"N	100°35'02.95184"E	-4.659	1540956.085	671142.336	25.870
11	13°56'01.07239"N	100°35'02.95135"E	-4.697	1540956.086	671142.322	25.831
12	13°56'01.07258"N	100°35'02.95167"E	-4.680	1540956.092	671142.331	25.849

ตารางที่ 11 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 14 มิถุนายน 2562 จำนวน 12 session
(Fixed Solution จำนวน 11 session) ระหว่างสมาร์ตโฟน Mi8 - PKKT

วันที่ 14 มิถุนายน 2562 12 session UTC 10:00-22:00 (กรณีที่ 1) Mi8 - DPT9						
session	Latitude	Longitude	Ellipsoid Height (m)	North (m)	East (m)	Height (m)
1	13°56'01.07356"N	100°35'02.95169"E	-4.751	1540956.122	671142.332	25.778
2	13°56'01.07286"N	100°35'02.95193"E	-4.781	1540956.101	671142.339	25.747
3	13°56'01.07275"N	100°35'02.95177"E	-4.776	1540956.097	671142.334	25.753
4	13°56'01.07330"N	100°35'02.95096"E	-4.785	1540956.114	671142.310	25.744
5	13°56'01.07282"N	100°35'02.95132"E	-4.744	1540956.099	671142.321	25.784
6	Float	Float	Float	Float	Float	Float
7	13°56'01.07363"N	100°35'02.95192"E	-4.720	1540956.124	671142.338	25.808
8	13°56'01.07282"N	100°35'02.95185"E	-4.748	1540956.099	671142.337	25.780
9	13°56'01.07290"N	100°35'02.95184"E	-4.730	1540956.102	671142.336	25.799
10	13°56'01.07256"N	100°35'02.95203"E	-4.705	1540956.091	671142.342	25.824
11	13°56'01.07256"N	100°35'02.95152"E	-4.744	1540956.091	671142.327	25.784
12	13°56'01.07282"N	100°35'02.95154"E	-4.743	1540956.099	671142.327	25.786

ตารางที่ 12 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 14 มิถุนายน 2562 จำนวน 12 session
(Fixed Solution จำนวน 11 session) ระหว่างสมาร์ตโฟน Mi8 – DPT9

วันที่ 14 กรกฎาคม 2562 9 session UTC 03:00-12:00 (กรณีที่ 2) Mi8 - PKKT						
session	Latitude	Longitude	Ellipsoid Height (m)	North (m)	East (m)	Height (m)
1	13°56'01.07285"N	100°35'02.95173"E	-4.669	1540956.100	671142.333	25.860
2	13°56'01.06667"N	100°35'02.96122"E	-5.979	1540955.912	671142.619	24.550
3	13°56'01.07297"N	100°35'02.95156"E	-4.709	1540956.104	671142.33	25.819
4	13°56'01.07260"N	100°35'02.95189"E	-4.605	1540956.09	671142.34	25.924
5	13°56'01.07275"N	100°35'02.95155"E	-4.732	1540956.097	671142.327	25.796
6	13°56'01.07276"N	100°35'02.95151"E	-4.655	1540956.097	671142.326	25.873
7	13°56'01.07289"N	100°35'02.95193"E	-4.655	1540956.102	671142.339	25.873
8	13°56'01.07272"N	100°35'02.95179"E	-4.712	1540956.096	671142.335	25.816
9	13°56'01.07331"N	100°35'02.95190"E	-4.637	1540956.115	671142.338	25.892

ตารางที่ 13 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 14 กรกฎาคม 2562 จำนวน 9 session ระหว่าง
สมาร์ตโฟน Mi8 – PKKT

วันที่ 14 กรกฎาคม 2562 9 session UTC 03:00-12:00 (กรณี 2) Mi8 - DPT9						
session	Latitude	Longitude	Ellipsoid Height (m)	North (m)	East (m)	Height (m)
1	13°56'01.07255"N	100°35'02.95212"E	-4.677	1540956.091	671142.345	25.851
2	13°56'01.07301"N	100°35'02.95235"E	-4.752	1540956.105	671142.351	25.777
3	13°56'01.07390"N	100°35'02.95180"E	-4.745	1540956.13	671142.33	25.784
4	13°56'01.07351"N	100°35'02.95205"E	-4.629	1540956.12	671142.34	25.900
5	13°56'01.07281"N	100°35'02.95157"E	-4.808	1540956.099	671142.328	25.720
6	13°56'01.07409"N	100°35'02.95153"E	-4.741	1540956.138	671142.327	25.788
7	13°56'01.07331"N	100°35'02.95200"E	-4.726	1540956.115	671142.341	25.803
8	13°56'01.07309"N	100°35'02.95191"E	-4.811	1540956.108	671142.338	25.718
9	13°56'01.07285"N	100°35'02.95358"E	-4.643	1540956.101	671142.388	25.886

ตารางที่ 14 ข้อมูลค่าพิกัดในแต่ละ session วันที่ 14 กรกฎาคม 2562 จำนวน 9 session ระหว่าง
สมาร์ตโฟน Mi8 - DPT9



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ร.ท.เชาวลิต เนตรทองกลาง
วัน เดือน ปี เกิด	18 สิงหาคม พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	จ.นครราชสีมา
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมสำรวจ กงงวิชา วิศวกรรมสำรวจ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
ที่อยู่ปัจจุบัน	183/2596 อาคารพักสวัสดิการกองบัญชาการกองทัพไทย อาคาร 61 พุ่งสี กัน 4 ถ.สรงประภา แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร
ผลงานตีพิมพ์	บทความตีพิมพ์ 1: เชาวลิต เนตรทองกลาง1 ทยาทิพย์ ทองตัน2 เฉลิมชนม์ สธิระพจน์1 (2562) "การหาดำแหน่งที่มีความแม่นยำจาก GNSS ด้วย สมาร์ตโฟน" การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิศาสตร์สารสนเทศ แห่งชาติ ประจำปี 2562: GEOINFOTECH 2019 เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2562 ณ ห้อง Sapphire 105-107 อิมแพค เมืองทองธานี กรุงเทพมหานคร บทความตีพิมพ์ 2: Chaowalit Netthonglang1 Thayathip Thongtan2 Chalermchon Satirapod1 "GNSS Precise Positioning Determinations Using Smartphones" 2019 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS) Royal Orchid Sheraton Hotel and Towers Bangkok, Thailand November 11 - 14, 2019