การปรับปรุงความถูกต้องของการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยจีพีเอส โดยการใช้วิธี MINQUE สำหรับการประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม

นางสาวมยุรา ล้วนเส้ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVING THE ACCURACY OF SINGLE POINT POSITIONING GPS USING MINQUE PROCEDURE FOR AN ESTIMATION OF VARIANCE COVARIANCE MATRIX

Miss Mayura Luansang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

490722

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงความถูกต้องของการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยจีพีเอส โดยการใช้วิธี MINQUE สำหรับการประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม
โดย	นางสาวมยุรา ล้วนเส้ง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรรเพชญ ชื้อนิธิไพศาล)

มยุรา ล้วนเส้ง : การปรับปรุงความถูกต้องของการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยจีพีเอส โดยการใช้วิธี MINQUE สำหรับการประมาณค่าเมทริกซ์ของความแปรปรวนร่วม (IMPROVING THE ACCURACY OF SINGLE POINT POSITIONING GPS USING MINQUE PROCEDURE FOR AN ESTIMATION OF VARIANCE COVARIANCE MATRIX) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, จำนวนหน้า 73 หน้า.

จากการที่ปัจจุบัน การรังวัดพิกัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งสูง ในการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงจำเป็นต้องมีการกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแบบจำลองสโตคาสติกให้ถูกต้องและใกล้เคียงความเป็นจริงให้มากที่สุด เทคนิคการคำนวณหาค่าต่างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ เนื่องจากสามารถขจัดค่าคลาดเคลื่อนต่างๆได้หลายตัว อย่างไรก็ดีก็ยังมีความคลาดเคลื่อนบางตัวที่หลงเหลืออยู่ในข้อมูลจีพีเอส ซึ่งมีผลทำให้ค่าพิกัดที่คำนวณได้ยังมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ ยังมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้ผลลัพธ์มีค่าความถูกต้องและความน่าเชื่อถือสูงขึ้นด้วยการปรับปรุงแบบจำลองสโตคาสติค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การเลือกใช้แบบจำลองสโตคาสติคที่เหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูงด้วยจีพีเอส ซึ่งทำการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยการใช้แบบจำลองสโตคาสติก 3 กรณี คือ การให้น้ำหนักค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน การให้น้ำหนักเรื่องมุมสูงของดาวเทียม และการให้น้ำหนักโดยใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าได้จากการใช้วิธีการที่เรียกว่า MINQUE (Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation)

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลถูกนำมาตัดแบ่งเป็นช่วงระยะเวลา 5 นาที, 10นาที, 15 นาที, 30 นาที และ 60 นาที ข้อมูลแต่ละชุดจะถูกประมวลผลด้วยแบบจำลองสโตคาสติก 3 กรณีดังกล่าวข้างต้น แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละแบบจำลองสโตคาสติกมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงที่ได้จากการประมวลผลด้วยบริการ AUSPOS ผลการทดสอบสมมติฐานในกรณีศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าระหว่างแบบจำลองสโตคาสติกทั้งสามกรณีให้ผลที่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต ม.ล. มยุรา ล้วนเส้ง

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

4670440621 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD : GPS / PRECISE POINT POSITIONING / STOCHASTIC MODEL / LEAST-SQUARE / MINQUE

MAYURA LUANSANG : IMPROVING THE ACCURACY OF SINGLE POINT POSITIONING GPS USING MINQUE PROCEDURE FOR AN ESTIMATION OF VARIANCE COVARIANCE MATRIX. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.DR. CHALERMCHON SATIRAPOD, 73 pp.

Nowadays, GPS has become an important tool for high accuracy positioning applications. In order to ensure high accuracy positioning results, both the functional model and the stochastic model must be correctly defined. Data differencing techniques are extensively used for constructing the functional model because they can eliminate many biases. However, some unmodelled biases still remain in the GPS observables that cause errors in the coordinate results. It is, however possible to further improve the accuracy and reliability of GPS results through an enhancement of the stochastic model. This research aims to investigate an appropriate stochastic model used in Least-squares processing for the GPS Precise Point Positioning technique. Three different stochastic models; Equal weight for all measurements, weight dependent on a satellite elevation and weight estimated from the MINQUE (Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation) method, have been implemented in the Least-squares processing. The data set was segmented into 5 min, 10 min, 15 min, 30 min and 60 min sessions. Each session data sets was then processed using the three different weighting schemes, and the results obtained from each stochastic model were compared with the reference coordinates processing from the AUSPOS service. Based on the hypothesis test performed in this study, the three stochastic models produce results that are not statistically different.

Department Survey Engineering Student's signature Mayura Luansang

Field of study Survey Enngineering Advisor's signature Chalermchon Satirapod

Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรรเพชญ ชื้อนิธิไพศาล ที่ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบคุณนายภัคพงศ์ หอมเนียม นายสมชาย เกรียงไกรวศิน และ นายนรสีห์ นิลเพชรพลอย ที่ช่วยเหลือข้าพเจ้าในการให้คำอธิบายความหมายในโปรแกรมต่างๆที่นำมาใช้ในการวิจัย รวมถึงคำแนะนำและกำลังใจจากเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆทุกคน

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

ท้ายนี้ขอมอบความดีในวิทยานิพนธ์นี้แด่บิดา-มารดา พี่ชาย-น้องชายของข้าพเจ้า และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.4. ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5.วิธีดำเนินการและลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย	3
บทที่ 2 แนวเหตุผลและแนวคิดที่สำคัญ	
2.1. แนวคิดเกี่ยวกับการประมวลผลจุดเดี่ยวที่ให้ค่าความละเอียดสูง (Precise Point Positioning : PPP)	4
2.2 . แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	6
2.2.1 วิธีการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด	7
2.2.2 ค่าประมาณเริ่มต้นในวิธีกำลังสองน้อยที่สุด	9
2.3. แนวคิดเกี่ยวกับแบบจำลองสโตคาสติก	10
2.3.1 แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตเท่ากัน	10
2.3.2 แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม (Satellite Elevation)	10
2.3.3 แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกต จากการประมาณค่าเศษเหลือด้วยวิธีการ MINQUE	11
บทที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล	
3.1. ข้อมูลนำเข้า	14
3.2. ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณ	15
3.3. การประมวลผลข้อมูล	16
บทที่ 4 การประมวลผลข้อมูลและการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้	
4.1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด	19

หน้า

4.1.1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 21
4.1.2. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 34
4.1.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE..... 47
4.2 การเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั้งสามกรณี..... 60
4.3 การทดสอบทางสถิติของค่าความถูกต้องระหว่างข้อมูลแต่ละชุด..... 62
4.3.1 การทดสอบทางสถิติของค่าความถูกต้องทางราบ 63
4.3.2 การทดสอบทางสถิติของค่าความถูกต้องทางดิ่ง 65
บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการวิจัย 68
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 70
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 70
รายการอ้างอิง 71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 73

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	แสดงรายละเอียดข้อมูลวงโคจรดาวเทียม/ค่าแก้นาฬิกาดาวเทียมของหน่วยงาน IGS IGS (2007)	15
ตารางที่ 3.2	แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลการรับสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมง ผ่านบริการ AUSPOS ในแต่ละวัน.....	16
ตารางที่ 3.3	แสดงจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม.....	17
ตารางที่ 4.1	ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	21
ตารางที่ 4.2	ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	24
ตารางที่ 4.3	ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	26
ตารางที่ 4.4	ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	28
ตารางที่ 4.5	ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	30
ตารางที่ 4.6	ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10นาที, 15 นาที, 30นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน	32
ตารางที่ 4.7	ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม.....	34
ตารางที่ 4.8	ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม.....	37

หน้า

ตารางที่ 4.9 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 39
ตารางที่ 4.10 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 41
ตารางที่ 4.11 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 43
ตารางที่ 4.12 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10นาที, 15 นาที, 30นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 45
ตารางที่ 4.13 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE..... 47
ตารางที่ 4.14 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE..... 50
ตารางที่ 4.15 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE..... 52
ตารางที่4.16 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE..... 54
ตารางที่ 4.17 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE..... 56

หน้า

ตารางที่ 4.18 ค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10นาที, 15 นาที, 30นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE..... 58

ตารางที่ 4.19 ค่าความถูกต้องทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม (หน่วย – เมตร)..... 60

ตารางที่ 4.20 ค่าความถูกต้องทางราบและทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (หน่วย – เมตร) 62

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางราบ)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียม..... 64

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางราบ)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE 64

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางราบ)ระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE 65

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางดิ่ง)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียม 66

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางดิ่ง)ระหว่างกรณีที่ 1 การให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากันและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE 66

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบสมมติฐาน(ค่าความถูกต้องทางดิ่ง)ระหว่างกรณีที่ 2 การให้น้ำหนักจากมุมสูงของดาวเทียมและกรณีที่ 3 การใช้เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ประมาณค่าจากวิธี MINQUE 67

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.1 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 22

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 5 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 23

รูปที่ 4.3 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 24

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 10 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 25

รูปที่ 4.5 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 26

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 27

รูปที่ 4.7 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 28

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 30 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 29

รูปที่ 4.9 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 30

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 60 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 31

หน้า

รูปที่ 4.11 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10นาที, 15 นาที, 30นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตทุกตัวเท่ากัน..... 33

รูปที่ 4.12 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 35

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 5 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 36

รูปที่ 4.14 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 37

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 10 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 38

รูปที่ 4.16 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 15 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 39

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 40

รูปที่ 4.18 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 41

หน้า

รูปที่ 4.19 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 30 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 42

รูปที่ 4.20 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 43

รูปที่ 4.21 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 60 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 44

รูปที่ 4.22 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10นาที, 15 นาที, 30นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากมุมสูงของดาวเทียม..... 46

รูปที่ 4.23 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE 48

รูปที่ 4.24 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 5 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE..... 49

รูปที่ 4.25 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 10 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE 50

รูปที่ 4.26 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 10 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE..... 51

หน้า

รูปที่ 4.27 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE 52

รูปที่ 4.28 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 15 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE 53

รูปที่ 4.29 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 30 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE 54

รูปที่ 4.30 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 30นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE 55

รูปที่ 4.31 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธีMINQUE 56

รูปที่ 4.32 กราฟแสดงจำนวนดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 60 นาที จากการประมวลผลด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักของค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE 57

รูปที่ 4.33 กราฟแท่งแสดงค่าทางสถิติของค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม 5 นาที, 10นาที, 15 นาที, 30นาที และ 60 นาทีประมวลผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อใช้แบบจำลองสโตคาสติกแบบให้น้ำหนักค่าสังเกตจากค่าเศษเหลือด้วยวิธี MINQUE 58

หน้า

รูปที่ 4.34 กราฟแท่งแสดงค่าRMSE ทางราบในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณทั้ง 3 กรณี 60

รูปที่ 4.35 กราฟแท่งแสดงค่าRMSE ทางดิ่งในแต่ละชุดข้อมูลที่ช่วงเวลาการรับสัญญาณทั้ง 3 กรณี 61