

การศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณต่อตำแหน่ง
สถานีภาคพื้นดินที่ใช้งานบนดาวเทียมไทยคม 3

STUDY ON RELATION OF SIGNAL VARIATION TO EARTH STATION
LOCATION USING ON THAICOM-3 SATELLITE

บรรพต เคลือบพวงพิสัย
BUNPHOT CLEARPAUNGPIITH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545
ISBN 974-643-979-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณต่อตำแหน่ง
สถานีภาคพื้นดินที่ใช้งานบนดาวเทียมไทยคม 3

STUDY ON RELATION OF SIGNAL VARIATION TO EARTH STATION
LOCATION USING ON THAICOM-3 SATELLITE

บรรพต เคลียพวงพิทย์

BUNPHOT CLEARPAUNGPIETH



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-979-8

**STUDY ON RELATION OF SIGNAL VARIATION TO EARTH STATION
LOCATION USING ON THAICOM-3 SATELLITE**

BUNPHOT CLEARPAUNGPITH

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL
ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2002

ISBN 974-648-979-8

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของ สัญญาณต่อตำแหน่งสถานีภาคพื้นดินที่ใช้งานบนดาว เทียมไทยคม 3
นักศึกษา	นายบรรพต เคลือบวงพิทย์
รหัสประจำตัว	43061074
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเปลี่ยนแปลงกำลังขาของกับตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินที่ส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมไทยคม 3 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่ไม่ทราบที่มาในระบบดาวเทียม โดยได้ทำการศึกษาสัญญาณที่ใช้งานจริงบนดาวเทียมไทยคม 3 ซึ่งมีที่ตั้งของสถานีส่งที่เมืองคูไบ ประเทศสหรัฐอเมริกาหับอิเมิเรตส์ซึ่งทราบตำแหน่งลองจิจูดและลองจิจูด เริ่มจากการเก็บบันทึกระดับกำลังขาของสัญญาณและตำแหน่งดาวเทียมในเดือนกุมภาพันธ์ 2545 ณ สถานีดาวเทียมไทยคม จ. นนทบุรี ซึ่งค่ากำลังที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามการเคลื่อนตัวของดาวเทียมในกรอบควบคุม (Station Keeping Box) เนื่องจากแบบรูปการกระจายคลื่นของจานสายอากาศ (Antenna Pattern) เป็นฟังก์ชันของมุมกวาดและมุมเงย เมื่อนำฟังก์ชันของแบบรูปการกระจายคลื่นของจานสายอากาศที่ส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมมาวิเคราะห์กับค่ามุมนอกแกนหลัก (Off Axis) ที่เปลี่ยนไปของจานสายอากาศ จะพบว่าระดับและคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังขาของสถานีส่ง ณ ตำแหน่งต่างๆ กันบนพื้นโลกจะมีระดับและลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการเปรียบเทียบระดับการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังขาจาก สัญญาณที่ใช้งานจริงกับระดับการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังขาจากการคำนวณพบว่ามีคุณสมบัติและมีความใกล้เคียงกันอย่างมาก ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินที่เป็นสาเหตุของสัญญาณรบกวนที่ไม่ทราบตำแหน่ง ซึ่งได้แสดงวิธีการประยุกต์ใช้งานไว้ในตอนท้ายของวิทยานิพนธ์

Thesis Title	Study on Relation of Signal Variation to Earth Station Location Using on Thaicom-3 Satellite
Student	Mr.Bunphot Clearpaungpith
Student ID	43061074
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Narong Hemakon

ABSTRACT

This thesis describes the study on the relation between the power variation of downlink signal and the location of earth station that using on Thaicom-3 satellite, the geostationary satellite. The actual carrier on Thaicom-3 is taken into account by which the uplink location is at Dubai, United State Arab Emirates. The study starting by recording the downlink power of signal in February 2002 at Thaicom Satellite Station, Nonthaburi. The received power will be varied along the movement of satellite in the station keeping box. At each location of earth station will give difference in pattern of power variation due to the characteristic of antenna radiation pattern. The comparison between the calculated power variation and the actual calculation has been obtained and found that both calculation and actual are corresponding to each other. The result of study is an importance guideline to locate the location of unknown interference source. The application to locate the uplink station location is also described.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากการได้รับคำแนะนำจากท่านอาจารย์ รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ให้การชี้แนะในการทำวิจัยรวมถึงการนำเสนอบทความทางวิชาการต่างๆ ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคุณแม่ชุติมา เคลือบพวงพิทย์ผู้ให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกๆ ท่านที่สั่งสอนให้ความรู้แนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์อย่างสูงต่อการวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณจิโรจน์ ศรีนามวงศ์ อดีตผู้จัดการฝ่ายบริการลูกค้าและเครือข่าย บ. ชินแซทเทลไลท์ ผู้ให้โอกาสผู้วิจัยได้ศึกษาต่อระดับปริญญาโท ณ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณคุณศมาธร เทียนกิ่งแก้ว ผู้จัดการฝ่ายบริการลูกค้าและเครือข่าย และ ดร. ธนพงษ์ ณ ระนอง ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมดาวเทียม ผู้ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาประจำห้องแลปดาวเทียมทุกท่านที่ให้คำแนะนำต่างๆ ตั้งแต่ผู้วิจัยเริ่มเข้าศึกษา ณ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกระทั่งเสร็จสิ้นการทำวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริการลูกค้าและเครือข่าย ฝ่ายควบคุมดาวเทียม ฝ่ายวิศวกรรมดาวเทียม ฝ่ายวิศวกรรมสื่อสาร และนักเคราะห์วงโคจร บริษัทชินแซทเทลไลท์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำระหว่างผู้วิจัยทำการเก็บบันทึกข้อมูล ณ สถานีดาวเทียมไทยคม

และขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บรรพต เคลือบพวงพิทย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ในการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4.1 การเก็บบันทึกข้อมูลสัญญาณที่กำลังศึกษา.....	3
1.4.2 การเปลี่ยนข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน.....	3
1.4.3 การคำนวณหาระดับการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อน ตัวของดาวเทียมและแบบรูปการกระจายคลื่นของงานสายอากาศส่ง.....	4
บทที่ 2	
การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในระบบดาวเทียม.....	5
2.1 การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโดยการวัดเวลาประวิงและเฟสประวิง...5	
2.2 การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน โดยการศึกษาความสัมพันธ์ของการ เปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณต่อตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน.....	8
บทที่ 3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณและตำแหน่ง สถานีภาคพื้นดิน.....	10
3.1 ระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล.....	10
3.2 การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเนื่องจกการเคลื่อนตัวของดาวเทียม.....	12
3.3 หลักการประมาณฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	14

สารบัญ (ต่อ)

3.4	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของงานสายอากาศ.....	17
3.5	การคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังขาตั้งที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม...	21
3.5.1	การวิเคราะห์หามุมที่เคลื่อนออกนอกแกนหลักของลำปีม.....	21
3.5.2	การคำนวณมุมกวาดและมุมเงย.....	24
บทที่ 4	ผลการศึกษาระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม3...	28
4.1	ผลการเก็บบันทึกข้อมูลกำลังของสัญญาณที่ใช้งานบนดาวเทียมไทยคม 3.....	29
4.2	ผลการคำนวณกำลังของสัญญาณโดยอาศัยข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม3.....	32
บทที่ 5	การประยุกต์เพื่อหาแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน.....	42
5.1	ตำแหน่งบนพื้นผิวโลกที่สามารถส่งสัญญาณมายังดาวเทียมมายังดาวเทียมไทยคม 3.....	42
5.2	การคำนวณการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณที่ส่งจากสถานีภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งต่างๆ.....	44
บทที่ 6	สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1	สรุปผลวิจัย.....	48
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	49
	เอกสารอ้างอิง.....	51
	ภาคผนวก ก.....	52
	ภาคผนวก ข.....	60
	ภาคผนวก ค.....	66
	ภาคผนวก ง.....	68

สารบัญ(ต่อ)

ภาคผนวก จ.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	78

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ข้อมูลตำแหน่งควาเทียมไทยคม 3 ระหว่างวันที่ 24 – 26 กุมภาพันธ์ 2545.....	33
4.2 ข้อมูลตำแหน่งควาเทียมไทยคม 3 ระหว่างวันที่ 24 – 26 กุมภาพันธ์ 2545 ตามพิกัดเชิงแกน.....	37
6.1 สรุปข้อเปรียบเทียบระหว่างการหาดำแหน่งโดยการวัดเวลาประวิงและเฟสประวิง กับการหาโดยการวัดระดับการเปลี่ยนแปลง.....	50

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบการหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโดยใช้ดาวเทียม 2 ดวง และสถานีอ้างอิง 2 สถานี.....	5
2.2 ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของระบบการหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน โดยใช้ดาวเทียม 2 ดวง.....	7
2.3 ตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่คำนวณได้ ณ เมืองชินทราประเทศโปรตุเกส.....	8
2.4 ระบบเก็บบันทึกข้อมูลค่ากำลังของสัญญาณดาวเทียม.....	9
3.1 ระบบตรวจวัดสัญญาณที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลกำลังของสัญญาณและข้อมูลดาวเทียม...11	
3.2 การเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม 3 จากการใช้ระบบติดตามบันทึกตำแหน่งดาวเทียม ระหว่างวันที่ 11 ถึง 14 มกราคม 2544 ณ สถานีดาวเทียมไทยคม จ. นนทบุรี.....	13
3.3 ดาวเทียมเคลื่อนตัวออกจากแกนลำบีมหลักทำให้สัญญาณถูกส่งด้วยอัตราขยายเท่ากับ $G(\theta)$	13
3.4 ระดับกำลังของสัญญาณขาลงที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม (10 – 12 มกราคม 2544, สถานีดาวเทียมไทยคม จ. นนทบุรี).....	14
3.5 ระดับกำลังของสัญญาณจากรูปที่ 3.4 หลังจากทำการประมาณ โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	17
3.6 การคำนวณแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในสนามระยะไกลของแผ่นสะท้อนวงกลม.....	17
3.7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.8 เมตร.....	19
3.8 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.4 เมตร.....	20
3.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.8 เมตร.....	20
3.10แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4.5 เมตร.....	21
3.11 ดาวเทียมเคลื่อนตัวออกจากแกนลำบีมหลักจากจุด P_0 ไปยังจุด P_1 ทำให้เกิดเวกเตอร์ \vec{P}_1	22
3.12 a) มุมกวาดและมุมเงย b) สามเหลี่ยมสำหรับคำนวณมุมเงย.....	25
4.1 คลื่นพาที่ส่งสัญญาณจากเมืองคูไบประเทศสหรัฐอเมริกาหับอิมิเลขี่ใช้งานบนทรานสปอนเดอร์ ที่ 3E ดาวเทียมไทยคม.....	28
4.2 กำลังของคลื่นพาที่ทำการศึกษานบันทึกที่ระหว่าง 24 – 26 กุมภาพันธ์ 2545.....	29
4.3 กำลังที่เก็บบันทึกจากรูปที่ 4.2 หลังจากผ่านกรรมวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	30
4.4 กำลังของสัญญาณ Telemetry ดาวเทียมไทยคม 3 ที่เก็บบันทึกที่ระหว่าง 24 – 26 กุมภาพันธ์ 2545.....	30

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 สัญญาณ Telemetry ของดาวเทียมไทยคม 3.....	31
4.6 ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากอณูภูมิของ LNA เทียบกับค่าปกติ.....	31
4.7 เปรียบเทียบกำลังของคลื่นพาห้จากรูปที่ 4.3 ก่อนและหลังจากชดเชยค่าความผิดพลาดเนื่องจากการขยายสัญญาณของ LNA จากรูปที่ 4.6.....	32
4.8 การเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม 3 จากตารางที่ 4.1 โดยแสดงตำแหน่งที่งานสายอากาศชี้ไปยังดาวเทียม.....	36
4.9 มุมนอกแกนลำบีมที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม.....	39
4.10 อัตราขยายสัมพัทธ์ของงานสายอากาศที่ส่งเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม.....	39
4.11 กำลังคลื่นพาห้ที่ได้จากการคำนวณ.....	40
4.12 เปรียบเทียบกำลังคลื่นพาห้ระหว่างที่วัดได้จริง (เส้นมีปม) กับที่ได้จากการคำนวณ (เส้นเรียบ).....	40
5.1 a) การคำนวณตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินที่สามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมได้ b) ขอบเขตมุมมองจุดของสถานีภาคพื้นดินที่สามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมไทยคม 3 ได้.....	43
5.2 ผลการรัน โปรแกรมเปรียบเทียบกำลังที่ละติจูดและลองจิจูดต่างๆ เทียบกับค่าที่วัดได้จริง.....	45
5.3 ผลจากการรัน โปรแกรมเพื่อหาตำแหน่งบนพื้น โลกที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงกำลังสอดคล้องกับที่วัดได้จริงโดยเส้นประแสดงตำแหน่งเหล่านั้น.....	46
5.4 เปรียบเทียบตำแหน่งจริง (Target) ที่ส่งสัญญาณมายังดาวเทียมกับที่ได้จากการคำนวณซึ่งวางตัวตามแนวเส้นประ (Predicted).....	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารโทรคมนาคมผ่านดาวเทียมถือได้ว่ามีบทบาทสำคัญต่อระบบการสื่อสารโทรคมนาคมเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่โครงข่ายโทรคมนาคมระบบอื่นๆ ไม่สามารถเข้าถึงได้ ความเชื่อมโยงโครงข่ายที่ ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายอย่าง เช่น เป็นดาวเทียมที่โคจรรอบโลกด้วยความเร็วเท่ากับการหมุนของโลก ทำให้เสมือนว่าดาวเทียมอยู่นิ่งเทียบกับจุดใดๆ บนพื้นผิวโลก จึงไม่มีความจำเป็นที่งานสาขาอากาศใดๆ ที่มีแนวการเล็งไปยังดาวเทียมต้องติดตั้งระบบติดตาม (Tracking) ที่มีความซับซ้อนเหมือนดาวเทียมวงโคจรอื่นๆ นอกจากนี้ยังง่ายต่อการติดตั้งงานสาขาอากาศรับ-ส่งอีกด้วย แต่ด้วยความสะดวกในการใช้งานนี้เอง ทำให้มีผู้ลักลอบส่งสัญญาณขึ้นใช้งานบนดาวเทียมโดยมิได้รับอนุญาตจากผู้ให้บริการดาวเทียม ซึ่งถือว่าสัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณแปลกปลอม หรือเป็นสัญญาณรบกวนเมื่อความถี่ตรงกับสัญญาณที่ใช้งานอยู่แล้ว ผู้ให้บริการดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าทุกรายต่างตระหนักถึงปัญหาเหล่านี้ และได้มีการศึกษาหาวิธีที่จะคำนวณตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินที่ส่งสัญญาณรบกวนขึ้นมาจากจริงจัง ซึ่งวิธีที่ได้นำมาใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การวัดการประวิงเฟสและการประวิงเวลาของสัญญาณ เพื่อคำนวณหาตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดิน ซึ่งสามารถคำนวณตำแหน่งที่ให้ความแม่นยำระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามการหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีนี้ก็มีข้อจำกัดหลายอย่าง ได้แก่ จะต้องมีการคำนวณตำแหน่งที่รับสัญญาณรบกวนได้อย่างน้อย 2 สถานี, จะต้องมีความถี่ที่สามารถรับเอาสัญญาณรบกวนได้อย่างน้อย 2 ดวง, ต้องทราบข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียม 2 ทั้งสองดวง และ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นต้องสามารถแยกเฟสได้

ในความเป็นจริงแล้ว โอกาสที่สัญญาณรบกวนจะถูกส่งไปยังดาวเทียม 2 ดวงที่มีตำแหน่งวงโคจรห่างกันและรับสัญญาณได้ในเวลาเดียวกันมีน้อยมาก และเป็นการยากที่จะสามารถทราบข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียมดวงอื่น เนื่องจากดาวเทียมแต่ละดวงส่วนใหญ่จะถูกควบคุมโดยผู้ให้บริการที่ต่างกันและมักจะ ไม่เปิดเผยข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียม ดังนั้นสัญญาณรบกวนที่มีระดับกำลังต่ำจะ ไม่ถูกส่งขึ้นไปบนดาวเทียมข้างเคียง หรือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นสัญญาณที่ไม่สามารถแยกเฟสและการประวิงได้เช่น คลื่นต่อเนื่อง (Continuous Wave) วิธีการดังกล่าวก็ไม่สามารถคำนวณหาตำแหน่งสัญญาณรบกวนได้ จึงมีความจำเป็นต้องมีการหาหลักการหรือวิธีการอื่นเพื่อใช้หาตำแหน่งของสถานีที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน ซึ่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอหลักการดังกล่าว

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ในการศึกษา

ในบทวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงแนวทางในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดิน โดยทำการศึกษาระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ส่งจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับการเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม 3 ซึ่งเป็นดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างมุมนอกแกนหลักของจานสายอากาศที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม ทำให้ระดับกำลังของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงด้วย ระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เกิดขึ้นจะแปรเปลี่ยนตามตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินบนพื้นโลก โดยได้ทำการวัดและบันทึกที่ระดับกำลังของสัญญาณที่ทำการศึกษา แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หา ระดับการเปลี่ยนแปลงของกำลัง โดยอาศัยข้อมูลตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดของดาวเทียมมาช่วย ในการวิเคราะห์และคำนวณหาตำแหน่งบนพื้นโลกที่คาดว่าเป็นจุดที่สัญญาณถูกส่งขึ้นมาบนดาวเทียม ผลที่ได้จากการวัดและการคำนวณจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงๆ ของสถานี ซึ่งจะกล่าวถึงค่าความผิดพลาดต่างๆ ที่มีผลต่อการคำนวณหาตำแหน่งสถานีด้วย

1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

เนื่องจากดาวเทียม ณ วงโคจรค้างฟ้าจะถูกแรงจากภายนอกมากระทำ ทำให้ดาวเทียมมีการแกว่งตัวในช่วงแคบๆ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากระดับกำลังของสัญญาณใดๆ ที่เปลี่ยนไปในหนึ่งวันที่ส่งหรือรับด้วยจานสายอากาศที่ไม่มีระบบติดตาม การคำนวณหาตำแหน่งสถานีภาคพื้นดินโดยอาศัยข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเริ่มจากการนำข้อมูลกำลังขาของสัญญาณที่วัดได้ มาทำการหาฟังก์ชันโพลีโนเมียลโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least-Square) ซึ่งจะได้กราฟคุณลักษณะที่เป็นฟังก์ชันโพลีโนเมียลที่มีความเรียบกว่า แล้วทำการหาค่าสูงสุดในหนึ่งวันนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียมในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำได้สามารถระบุตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวเข้าใกล้จุดสูงสุดของแบบรูปกระจายคลื่นของจานสายอากาศ (Radiation Pattern) ที่ส่งสัญญาณขึ้นมาได้ จากนั้นจะทำการคำนวณหาระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเมื่อดาวเทียมเคลื่อนตัวไปที่ตำแหน่งต่างๆ ในกรอบควบคุมดาวเทียม (Station Keeping Box) โดยแทนค่าตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดบนพื้นผิวโลกใดๆ ที่ทำให้ได้กราฟคุณลักษณะและระดับการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังที่ใกล้เคียงกับ กำลังของสัญญาณที่กำลังศึกษามากที่สุด ซึ่งตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้นี้จะจะเป็นตำแหน่งที่ตั้งของสถานีที่ส่งสัญญาณขึ้นมาที่ดาวเทียมนั่นเอง ซึ่งข้อดีของการหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีส่งโดยวิธีนี้ได้แก่ ใช้ดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าเพียงหนึ่งดวง, ใช้สถานีอ้างอิงเพียงหนึ่งสถานี, สามารถใช้กับสัญญาณที่มีระดับกำลังต่ำๆ ได้ และสามารถใช้ได้กับสัญญาณที่ไม่สามารถแยกเฟสได้

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม จะต้องมีสมมติฐานว่างานสายอากาศที่ส่งสัญญาณรบกวนขึ้นมายังระบบดาวเทียมต้องเป็นงานสายอากาศที่ไม่ติดตั้งระบบติดตาม, เป็นงานสายอากาศแบบพาราโบลา และสามารถประมาณขนาดของงานสายอากาศที่ส่งสัญญาณมายังดาวเทียมได้ นอกจากนี้ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณอาจมีได้หลายตำแหน่ง ทั้งนี้สามารถใช้คอนทอร์ G/T ของดาวเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

1.4 ขั้นตอนและขอบเขตการวิจัย

1.4.1 การเก็บบันทึกข้อมูลสัญญาณที่กำลังศึกษา

สัญญาณที่ทำการศึกษาคือสัญญาณที่ใช้งานจริงบนดาวเทียมไทยคม 3 ในย่าน Extended C-band ทำให้สามารถตัดผลกระทบเนื่องจากการลดทอนของฝนที่อาจมีผลต่อการศึกษาวิจัย [7] โดยรับสัญญาณที่ทำการศึกษาด้วยงานสายอากาศขนาด 11 เมตรที่ใช้สำหรับตรวจวัดสัญญาณ และควบคุมดาวเทียมไทยคม 3 ณ สถานีดาวเทียมไทยคม จ. นนทบุรี ซึ่งมีระบบติดตามดาวเทียมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด สัญญาณที่เก็บบันทึกเป็นสัญญาณที่ถูกส่งจากผู้ใช้งานดาวเทียมไทยคมที่มีที่ตั้งของงานสายอากาศ ณ ตำแหน่งที่ทราบค่าแน่นอนบนพื้นโลกที่สามารถมองเห็นดาวเทียมไทยคม 3 ระยะเวลาในการเก็บบันทึกข้อมูลในการศึกษาวิจัยนี้ใช้เวลาในการเก็บบันทึกข้อมูลเพียงช่วงสั้นๆ เนื่องจากผลของข้อมูลจะไม่มีมีความเกี่ยวข้องใดๆ กับฤดูกาล โดยทำการบันทึกระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ ถึง 26 มีนาคม 2545 ข้อมูลจะถูกเก็บเป็นฐานข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ระดับการเปลี่ยนแปลงโดยใช้การโปรแกรมและเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง และในตอนท้ายของวิทยานิพนธ์จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้หลักการนี้เพื่อหาตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินที่ส่งสัญญาณขึ้นมายังดาวเทียม

1.4.2 การเปลี่ยนข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน

เนื่องจากค่ากำลังขาลงที่เก็บไว้ในระบบคอมพิวเตอร์จะไม่มีมีความต่อเนื่องในการวัดและมีค่าขึ้น-ลงตลอดเวลาซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของสัญญาณดาวเทียม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการแปลงข้อมูลที่เก็บบันทึกได้โดยใช้กระบวนการทาง Numerical Method ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้การแปลงให้อยู่ในรูปฟังก์ชันโพลีโนเมียลโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งง่ายต่อการนำมาประยุกต์กับการโปรแกรม และทำให้ได้ฟังก์ชันของการเปลี่ยนแปลงมีความต่อเนื่อง ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปคำนวณในทางคณิตศาสตร์ และง่ายต่อการวิเคราะห์หาจุดสูงสุดต่ำสุดต่อไป

1.4.3 การคำนวณหาระดับการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียมและแบบรูปการกระจายคลื่นของจานสายอากาศส่ง

ค่าลองจิจูดและละติจูดของดาวเทียมที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวเข้าใกล้จุดสูงสุดของแบบรูปการกระจายคลื่นของจานสายอากาศที่ส่งสัญญาณที่กำลังทำการศึกษานั้นจะถูกนำมาใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงสำหรับคำนวณค่ากำลังที่เปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนตัวของดาวเทียมประกอบกับแบบรูปการกระจายคลื่นของจานสายอากาศที่ส่งสัญญาณรบกวนขึ้นไปยังดาวเทียม โดยทำการแทนค่าตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดใดๆ ของสถานีภาคพื้นดินบนพื้นโลก จะทำให้ได้กราฟคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียมที่ต่างกัน

1.4.4 การเปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่ากำลัง

กราฟคุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังที่ได้จากการคำนวณ โดยการแทนค่าละติจูดและลองจิจูดของสถานีภาคพื้นดินใด ๆ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกราฟคุณลักษณะของค่ากำลังที่ได้จากการวัดจริง ซึ่งกราฟที่มีลักษณะใกล้เคียงมากที่สุดจะเป็นกราฟแสดงตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ถูกต้องที่สุดของสถานีพื้นดินที่ส่งสัญญาณที่กำลังศึกษานั้นนั่นเอง

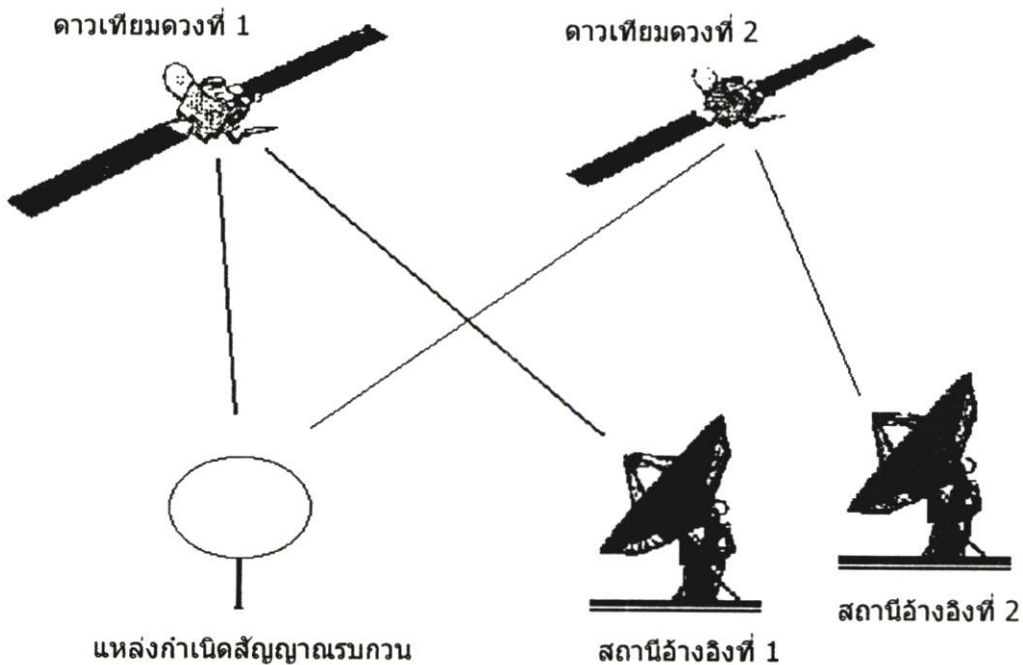
1.4.5 การวิเคราะห์ความผิดพลาดที่มีผลต่อการศึกษา

ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงของสถานีที่ส่งสัญญาณที่กำลังทำการศึกษานั้นยังดาวเทียม ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดที่อาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งจะมีการกล่าวถึงรายละเอียดต่อไปในบทสรุป

บทที่ 2

การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในระบบดาวเทียม

ในบทนี้จะกล่าวถึงการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในระบบดาวเทียม โดยในครั้งแรกจะเป็นวิธีการหาโดยการคำนวณเวลาประวิงและเฟสประวิง ซึ่งเป็นหลักการที่ทำให้บริการดาวเทียมส่วนใหญ่ใช้หาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน [1, 2] ในส่วนที่สองจะอธิบายถึงหลักการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโดยใช้หลักของการวัดระดับสัญญาณที่เกิดจากเคลื่อนตัวของดาวเทียมรวมทั้งระบบที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลที่ใช้ในวิทยา



นิพนธ์เล่มนี้

รูปที่ 2.1 ระบบการหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโดยใช้ดาวเทียม 2 ดวงและสถานีอ้างอิง 2 สถานี

2.1 การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโดยการวัดเวลาประวิงและเฟสประวิง

การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโดยวัดเวลาประวิงและเฟสประวิงอาศัยหลักของการวัดผลต่างของเวลาประวิงและเฟสประวิงที่สัญญาณรบกวนใช้เวลาเดินทางจากพื้นผิวโลก โดยสัญญาณรบกวนต้องถูกรับได้โดยดาวเทียมสองดวงที่โคจร ณ ตำแหน่งต่างกัน และต้องอาศัยสถานีภาคพื้นดินที่อยู่ ณ ตำแหน่งต่างกันสองสถานีเป็นสถานีอ้างอิงเพื่อวัดผลต่างเวลาประวิงและ

เฟสประวิงของทั้งสองสถานีดังแสดงในรูปที่ 2.1 หลักในการวัดอาศัยพื้นฐานของการหาระยะห่างแนวเอียง (Different Slant Range) หรือ DSR และอัตราระยะห่างแนวเอียง (Different Slant Range Rate) หรือ (DSRR) ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของสถานีที่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนและสถานีอ้างอิงทั้งสองสถานี โดย DSR และ DSRR จะเกี่ยวข้องกับผลต่างเวลาของการมาถึง (Time Difference of Arrival) หรือ (TDOA) และ ผลต่างความถี่ของการมาถึง (Frequency Difference of Arrival) DSR และ DSRR มีความสัมพันธ์กับ TDOA และ FDOA ดังนี้ [3]

$$DSR = |r_{s2} - r| - |r_{s1} - r| = cTDOA_{uplink} \quad (2.1)$$

$$DSRR = v_{s2} \cdot u_2 - v_{s1} \cdot u_1 = -(c/f)FDOA \quad (2.2)$$

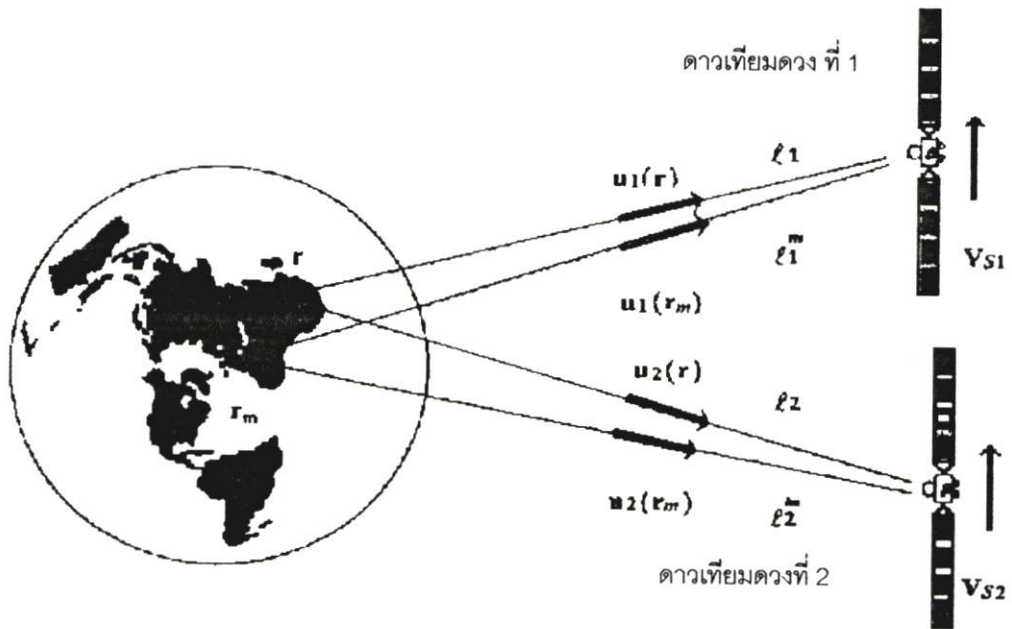
เมื่อ	r	คือ	เวกเตอร์ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน
	r_{si}	คือ	เวกเตอร์ตำแหน่งของดาวเทียมดวงที่ i^{th} ($i = 1, 2$)
	v_{si}	คือ	ความเร็วเวกเตอร์ของดาวเทียมดวงที่ i^{th}
	u_i	คือ	ยูนิตเวกเตอร์จากจุดไปยัง r_{si}
	f	คือ	ความถี่ของสัญญาณ
	c	คือ	ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 2.99792458×10^8 เมตร/วินาที

รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของสถานีส่งสัญญาณและดาวเทียม โดยสัญญาณที่ส่งจากแหล่งกำเนิด r ไปยังดาวเทียมทั้งสองดวงที่ตำแหน่ง r_{s1} และ r_{s2} จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งผ่านไปยังสถานีอ้างอิง r_m

จากความสัมพันธ์ของตำแหน่งของสถานีส่งสัญญาณรบกวนกับ TDOA และ FDOA ในสมการที่ 2.1 และ 2.2 จะต้องทำค่านวนหา TDOA และ FDOA โดยใช้สมการ Cross Ambiguity (CAF) ดังนี้

$$\int_{-T/2}^{T/2} s_1(t) s_2^* (t + \tau) e^{-i2\pi f \tau} dt \quad (2.3)$$

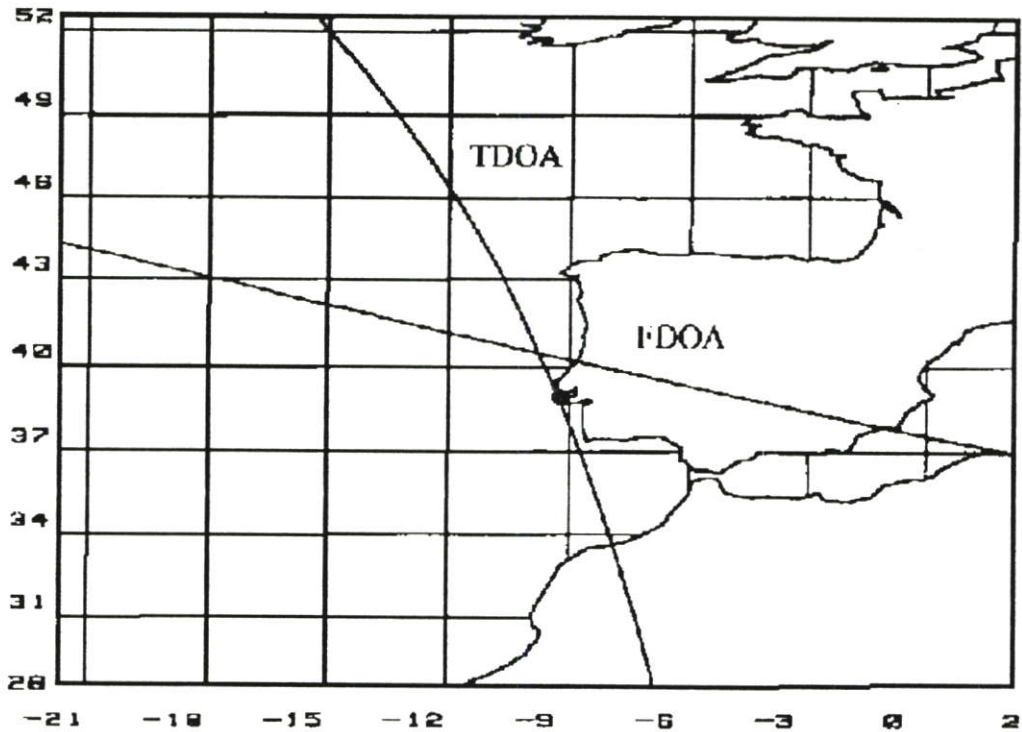
เมื่อ s_1 และ s_2 เป็นแอนเนลโลปของสัญญาณที่ผ่านเส้นทางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ τ และ v เป็นเวลาที่ต่างกัน และความถี่ที่ต่างกันตามลำดับ ส่วน T เป็นช่วงเวลาที่ทำการค่านวน



รูปที่ 2.2 ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของระบบการหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโดยใช้ดาวเทียม 2 ดวง

ค่ามอดุลัส η ตำแหน่งที่สูงที่สุดของ CAF จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงค่า TDOA และ FDOA ที่ถูกต้องมากที่สุดซึ่งเมื่อแทนค่าที่เป็นไปได้ของตำแหน่งของสถานีที่ส่งสัญญาณรบกวนขึ้นไปยังดาวเทียม และทำให้ได้ CAF ที่มากที่สุดตำแหน่งดังกล่าวจะเป็นตำแหน่งที่สันนิษฐานว่าเป็นที่ตั้งของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนนั่นเอง

การใช้หลักในการหาตำแหน่งสัญญาณรบกวนดังที่กล่าวมาได้ถูกนำมาใช้งานจริงในระบบดาวเทียมของยูเทลแซท (EUTELSAT) ซึ่งมีดาวเทียมอยู่ในวงโคจรหลายดวง ทำให้สัญญาณรบกวนสามารถส่งไปยังดาวเทียมได้มากกว่า 2 ดวง ซึ่งผลที่ได้จากการใช้งานพบว่ามีผิดพลาดแตกต่างกันไปซึ่งอาจมีความใกล้เคียงถึง ± 1 กิโลเมตรหรืออาจผิดพลาดถึง ± 500 กิโลเมตร โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจาก Doppler Shift เนื่องจากดาวเทียมมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและเกิดการวัดความเร็วที่ผิดพลาด ในรูปที่ 2.3 แสดงผลการคำนวณตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน โดยจุดตัดระหว่างเส้น TDOA และ FDOA จะเป็นตำแหน่งที่คาดว่าสัญญาณรบกวนถูกส่งขึ้นไปยังดาวเทียม ส่วนจุดในรูปเป็นตำแหน่งจริงของสถานีที่ส่งสัญญาณรบกวนคือที่เมืองชินทราประเทศโปรตุเกส



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนที่คำนวณได้ ณ เมืองจันทรา ประเทศโปรตุเกส

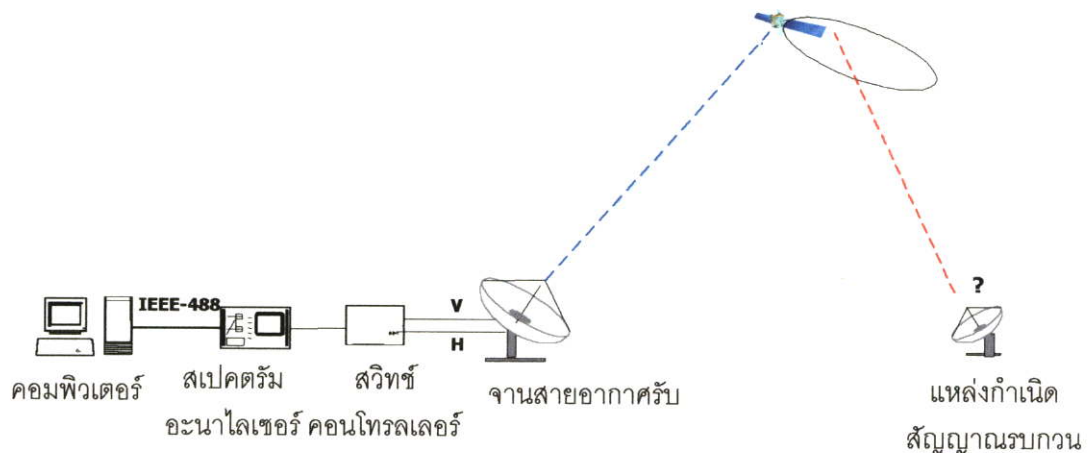
อย่างไรก็ตามก็มีข้อจำกัดหลายอย่างที่ทำให้หลักการนี้ไม่สามารถใช้งานได้ เช่น ถ้าสัญญาณรบกวนมีระดับกำลังที่ต่ำจนไม่สามารถส่งไปถึงยังดาวเทียมอ้างอิงดวงที่สอง หรือสัญญาณที่รับได้ด้วยดาวเทียมดวงที่สองเป็นดาวเทียมต่างระบบกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่ผู้ใช้บริการดาวเทียมต่างระบบมักไม่เปิดเผยข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม นอกจากนี้หลักการนี้ไม่สามารถใช้ได้กับสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นคลื่นต่อเนื่องหรือ CW เนื่องจากไม่สามารถแยกเฟสได้เหมือนสัญญาณรบกวนที่มีการมอดูเลทนั่นเอง

2.2 การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโดยการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณต่อตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน

การหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนโดยการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณต่อตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน เป็นวิธีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ โดยการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับกำลังของสัญญาณ เริ่มจากการเก็บบันทึกข้อมูลกำลังขาลงของสัญญาณรบกวน โดยมีสมมติฐานว่างานสาขาอากาศที่ส่งสัญญาณรบกวนขึ้นไปยังดาวเทียมเป็นสาขาอากาศที่ไม่คิดตั้งระบบติดตามส่วนระบบที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกต้องมั่นใจว่าสามารถลดค่าความผิดพลาดอื่นๆ ที่จะมีผลกระทบต่อผลการคำนวณ กล่าวคืองานสาขาอากาศที่เข้ารับ

สัญญาณต้องเป็นงานสายอากาศที่ติดตั้งระบบติดตามดาวเทียม สัญญาณจากงานสายอากาศรับจะถูกป้อนผ่านไปที่สเปกตรอมอนาไลเซอร์ซึ่งจะต้องมีอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลระหว่างสเปกตรอมอนาไลเซอร์กับระบบคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมสำหรับอ่านข้อมูลค่ากำลังของสัญญาณจากสเปกตรอมอนาไลเซอร์ข้อมูลที่อ่านได้จะถูกเก็บให้อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งทำให้ง่ายแก่การประมวล รูปที่ 2.4 แสดงระบบที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลกำลังสัญญาณที่ทำการศึกษา

เนื่องจากข้อมูลที่ได้อาจจะมีการแกว่งขึ้นลงเนื่องจากปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น น้อยส์ (Noise) ในอากาศ และ น้อยส์ในระบบซึ่งจะมีการแกว่งขึ้นลงประมาณ 1-2 dB ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการประมวลผลข้อมูลให้อยู่ในรูปฟังก์ชัน ซึ่งในที่นี้ใช้กรรมวิธีทางนัมเมอร์คัลแบบกำลังสองน้อยที่สุด (Least-square) [4] จากนั้นจะทำการวิเคราะห์หาแนวการเล็งของงานสายอากาศจากระดับกำลังของสัญญาณที่เก็บบันทึกในแต่ละวัน แล้วทำการคำนวณระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียมเพื่อเทียบกับผลที่ได้จากการวัดต่อไป โดยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะกล่าวในรายละเอียดในบทต่อไป



รูปที่ 2.4 ระบบเก็บบันทึกข้อมูลค่ากำลังของสัญญาณดาวเทียม

บทที่ 3

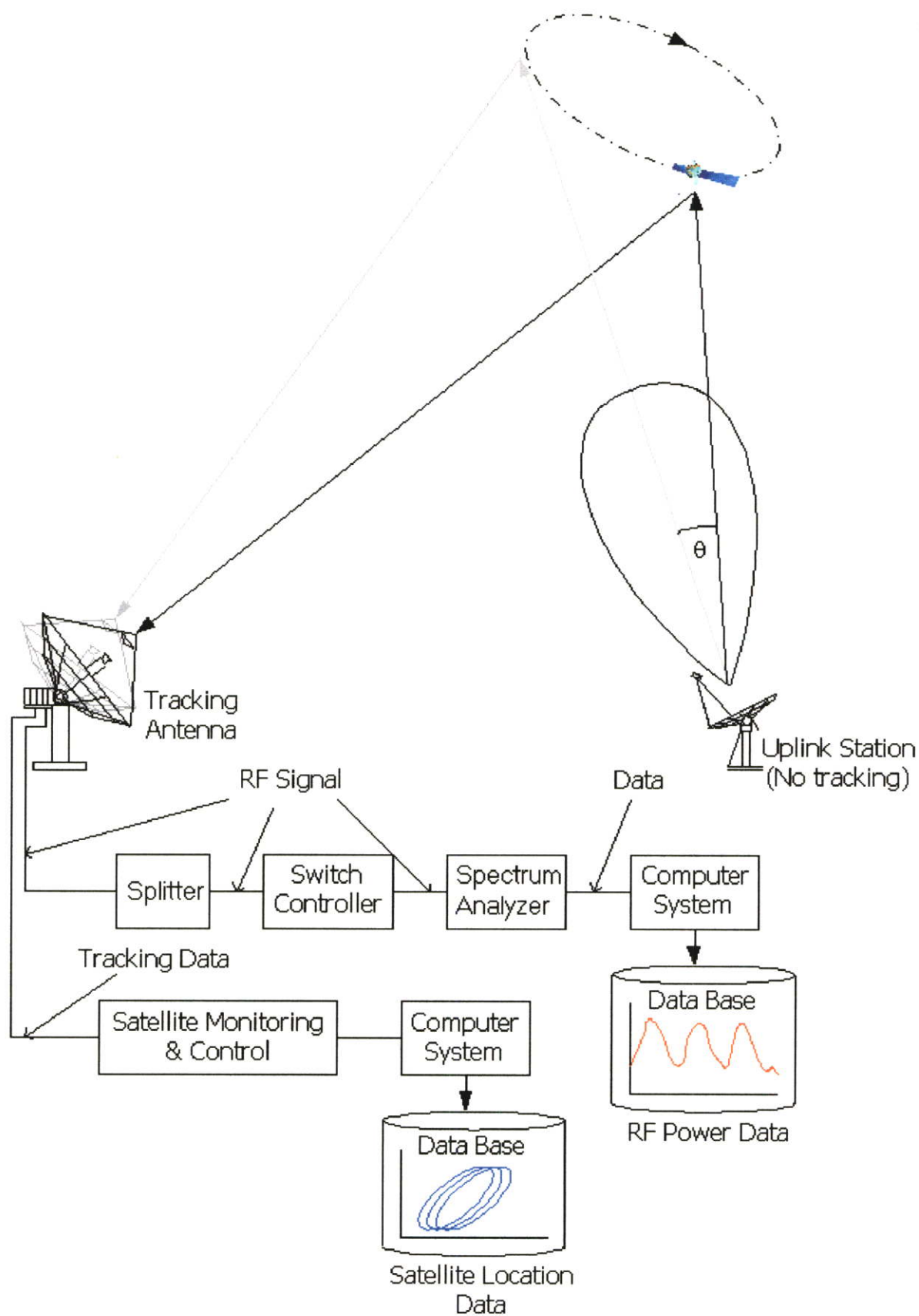
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ และตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณและตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินที่ส่งสัญญาณไปยังดาวเทียม ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ โดยเริ่มจากระบบการเก็บบันทึกข้อมูลกำลังของสัญญาณที่ทำการศึกษา ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามการเคลื่อนตัวของดาวเทียมเนื่องจากแรงภายนอกต่างๆ ที่กระทำกับดาวเทียม [4] ข้อมูลกำลังที่ได้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการกำลังสองน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เรียบขึ้น จากนั้นจะทำการหาค่ากำลังสูงสุดของข้อมูลที่เก็บบันทึกได้เพื่อที่จะกำหนดให้ตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวเข้าสู่กลางแกนหลักของลำบีมงานสายอากาศ ซึ่งจุดนี้ทำให้ทราบแนวการเล็งของงานสายอากาศไปยังดาวเทียม โดยวิเคราะห์จากตำแหน่งของดาวเทียมที่เวลาที่รับสัญญาณ ได้สูงสุดนั่นเอง จากค่าตำแหน่งของสถานีส่งประกอบกับแบบรูปการกระจายคลื่นของสายอากาศส่งของงานสายอากาศ ทำให้ทราบต่อไปได้ว่าเมื่อดาวเทียมเคลื่อนไปที่ตำแหน่งต่างๆ จะได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพลังงานเป็นอย่างไร

3.1 ระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

ในรูปที่ 3.1 แสดงระบบที่ใช้ในการตรวจวัดและเก็บบันทึกข้อมูล โดยงานสายอากาศของสถานีที่ทำการศึกษาคืองานสายอากาศชนิดที่ไม่ติดระบบติดตามดาวเทียม ส่งสัญญาณไปยังดาวเทียม จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งกลับมา และถูกตรวจจับ ณ สถานีดาวเทียมไทยคมโดยใช้งานสายอากาศขนาด 11 เมตรที่ติดตั้งระบบติดตาม สัญญาณ RF ที่ได้จะผ่าน Splitter เพื่อแยกสัญญาณ RF ไปใช้งานอื่นๆ แล้วผ่านมายัง Switch Controller ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเลือกเส้นทางของสัญญาณ RF ที่มาจากงานสายอากาศรับใบอื่นๆ ก่อนส่งเข้า Spectrum Analyzer เพื่อวัดระดับกำลัง ซึ่งข้อมูลของระดับกำลังของสัญญาณที่ทำการศึกษาก็จะถูกเก็บบันทึกลงฐานข้อมูลผ่านระบบคอมพิวเตอร์ ขณะเดียวกันข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมก็ถูกเก็บบันทึกลงฐานข้อมูลเช่นกัน

จากรูปที่ 3.1 พบว่าองค์ประกอบที่จะมีผลต่อระดับสัญญาณในระบบมีเพียงค่ามุม θ เท่านั้น ซึ่งจะมีผลทำให้ระดับกำลังของสัญญาณที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราขยายสัญญาณของงานสายอากาศส่ง ดังนั้นระดับกำลังของสัญญาณที่วัดได้จึงสามารถนำมาวิเคราะห์ได้โดยตรง เสมือนตั้งสมมติฐานว่าตัวแปรอื่นๆ ในระบบมีค่าเท่ากันหมด โดยระดับกำลังที่วัดจากสเปกตรัมอนาลิเซอร์จะมีหน่วยเป็น dBm



รูปที่ 3.1 ระบบตรวจวัดสัญญาณที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลกำลังของสัญญาณและข้อมูลดาวเทียม

อย่างไรก็ตามยังมีตัวแปรในระบบอีกหนึ่งตัวที่มีผลต่อระดับสัญญาณ นั่นคือความไม่คงที่ของการขยายสัญญาณของ LNA ในงานสายอากาศรับ ซึ่งจะเปลี่ยนตามอุณหภูมิในรอบวันโดยปกติจะมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.2 dB ในแต่ละวัน ค่าความเปลี่ยนแปลงของการขยายสัญญาณสามารถหาได้โดยการเก็บบันทึกกำลังของสัญญาณเทเลเมทรี (Telemetry) ที่ส่งมาจากดาวเทียม ซึ่งระดับกำลังของสัญญาณเทเลเมทรีที่ส่งมาจากดาวเทียมจะมีค่าคงที่ ดังนั้นความเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ เทเลเมทรี ที่อ่านได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์จึงเกิดจากความไม่คงที่ของการขยายสัญญาณของ LNA นั่นเอง ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของการขยายสัญญาณของ LNA ต้องถูกนำมาชดเชยกับระดับกำลังของสัญญาณที่กำลังศึกษาด้วยเสมอ

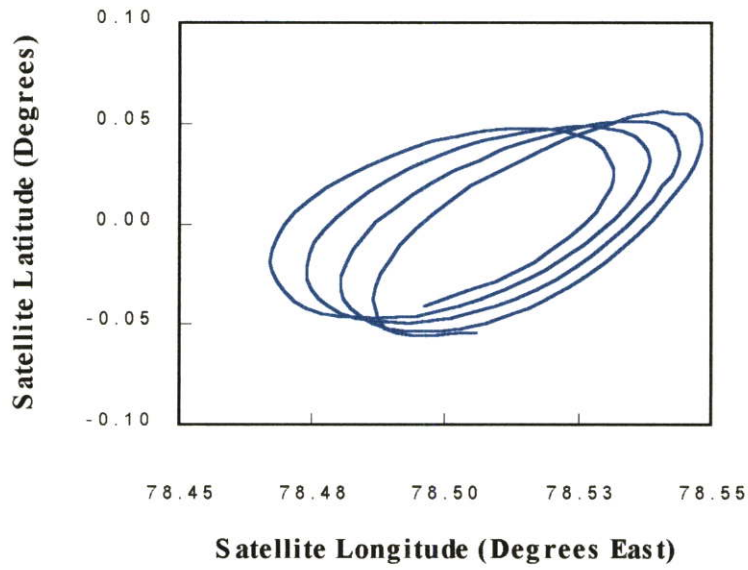
พิจารณากรณีที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวแนวการชี้หลักของงานสายอากาศส่งไปเท่ากับมุม θ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะทำให้สัญญาณถูกลดระดับจากค่าสูงสุดลงเท่ากับ $G_0 - G(\theta)$ ดังนั้นระดับกำลังที่อ่านได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์จะมีค่าเท่ากับ

$$P_{SA} = P_{SA,MAX} - (G_0 - G(\theta)) \quad (3.1)$$

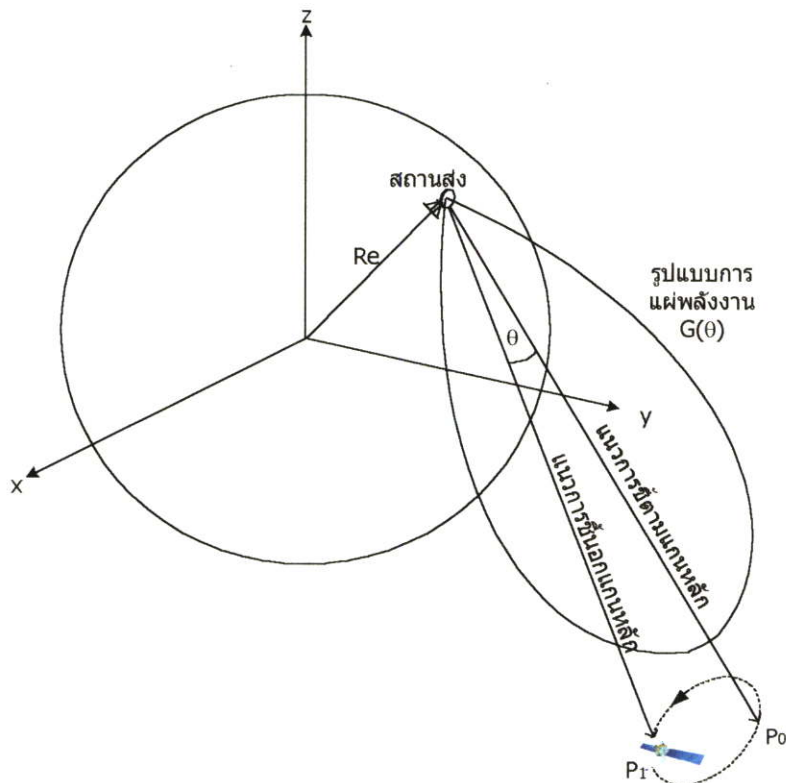
เมื่อ	P_{SA}	คือ ระดับกำลังที่อ่านได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์ เมื่อดาวเทียมเคลื่อนตัวไปทำมุม θ เทียบกับแกนหลักของลำปีมงานสายอากาศส่ง
	$P_{SA,MAX}$	คือ ระดับกำลังสูงสุดที่อ่านได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์ หรือเมื่อดาวเทียมเคลื่อนตัวไปตรงกับแกนหลักของลำปีมของงานสายอากาศส่ง
	G_0	คือ อัตราขยายกำลังของงานสายอากาศส่งที่กลางลำปีม
	$G(\theta)$	คือ อัตราขยายกำลังของงานสายอากาศส่งเมื่อดาวเทียมเคลื่อนตัวไป ทำมุมเท่ากับ θ เทียบกับแกนหลักของลำปีมงานสายอากาศส่ง

3.2 การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม

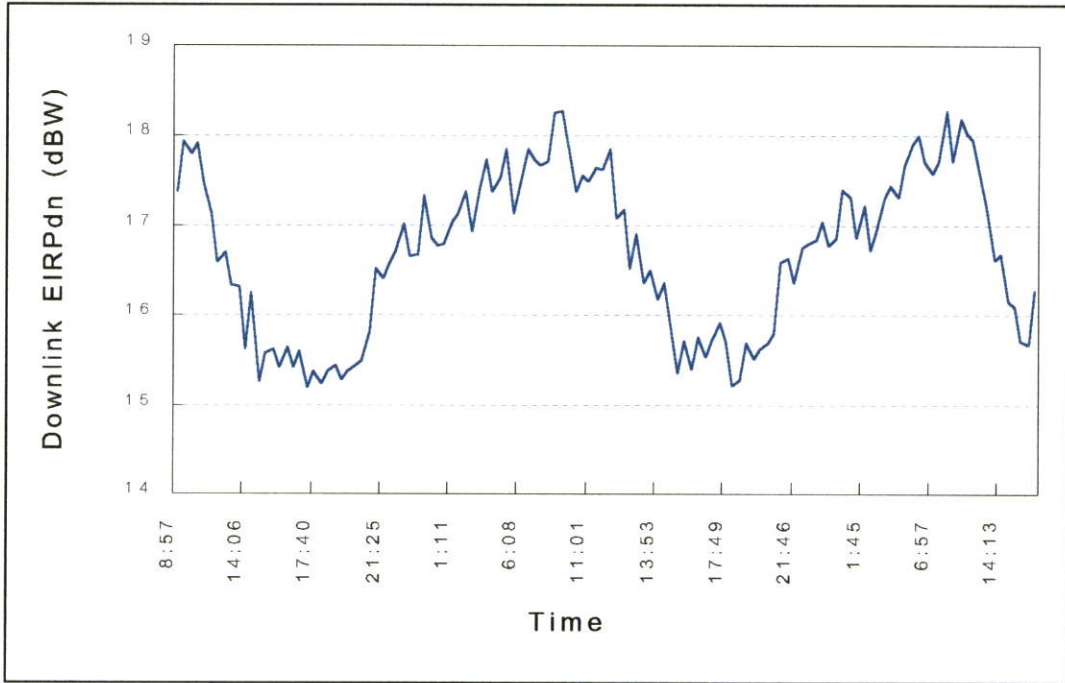
เนื่องจากดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าจะถูกแรงจากภายนอกมากระทำ แรงที่สำคัญได้แก่ แรงเนื่องจากความไม่สมมาตรของมวลโลก, แรงดึงดูดของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ และ แรงเนื่องจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ [5], [7] แรงดังกล่าวจะทำให้ดาวเทียมเกิดการแกว่งตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยแต่ละวงรอบมีช่วงเวลาเท่ากับ 1 วัน ดังนั้นงานสายอากาศหนึ่งที่มีแนวการเล็งไปที่ดาวเทียม ประกอบกับงานสายอากาศมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่แปรตามค่ามุมที่ดาวเทียมเคลื่อนผ่าน ดังนั้นกำลังของสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนตัวของดาวเทียม ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 การเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม 3 จากการใช้ระบบติดตามบนที่กาคำตำแหน่งดาวเทียม ระหว่างวันที่ 11 ถึง 14 มกราคม 2544 ณ สถานีดาวเทียมไทยคม จ. นนทบุรี



รูปที่ 3.3 ดาวเทียมเคลื่อนตัวออกจากแกนลำบีมหลักทำให้สัญญาณถูกส่งด้วยอัตราขยายเท่ากับ $G(\theta)$



รูปที่ 3.4 ระดับกำลังของสัญญาณขาหลังที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม (10 - 12 มกราคม 2544, สถานีดาวเทียมไทยคม จ.นนทบุรี)

จากรูปที่ 3.3 จะพบว่ากำลังของสัญญาณที่รับได้โดยดาวเทียมจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าอัตราขยาย $G(\theta)$ โดยสามารถสังเกตเห็นได้ว่าในรอบหนึ่งวันจะมีจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดเนื่องจากดาวเทียมมีการเคลื่อนตัวเข้าหาและออกจากแนวการตั้งของจานสายอากาศส่ง รูปที่ 3.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับกำลังของสัญญาณเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม ซึ่งพบว่าสัญญาณที่บันทึกได้ มีค่าขึ้นลงและไม่เรียบเนื่องจากมี noise ในระบบ จึงเป็นการยากต่อการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในรูปฟังก์ชันซึ่งง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลและการเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลข้อมูล โดยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการประมาณฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด [4]

3.3 หลักการประมาณฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ถ้ามีข้อมูลจำนวน n จำนวน คือ $[x_i, f(x_i)]$ เมื่อ $i=1, 2, \dots, n$ จะสามารถประมาณฟังก์ชันข้อมูลชุดนี้ในระหว่าง x_1 ถึง x_n ด้วยโพลิโนเมียลดังต่อไปนี้

$$p(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m + \dots \quad (3.2)$$

จากสมการ 3.2 ผลต่างของฟังก์ชัน $p(x_i)$ กับค่าของ $f(x_i)$ ที่จุด x_i มีค่าเท่ากับ

$$r_i = f(x_i) - p(x_i) \quad , \quad i=1,2,\dots,n \quad (3.3)$$

ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ทั้งหมดโดยการดำเนินการแถว ซึ่งจากสมการที่ 3.7 จะสามารถใช้ในการดำเนินการแถวและหลักซึ่งมีรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$x_n = \frac{b_n^{(n)}}{a_{nn}^{(n)}} \quad (3.8)$$

หรือจะได้ว่า

$$x_k = \frac{1}{a_{kk}^{(k)}} \left(b_k^{(k)} - \sum_{j=k+1}^n a_{kj}^{(k)} x_j \right), \quad k = n-1, n-2, \dots, 1 \quad (3.9)$$

โดยสัมประสิทธิ์และค่าคงที่หาได้จาก

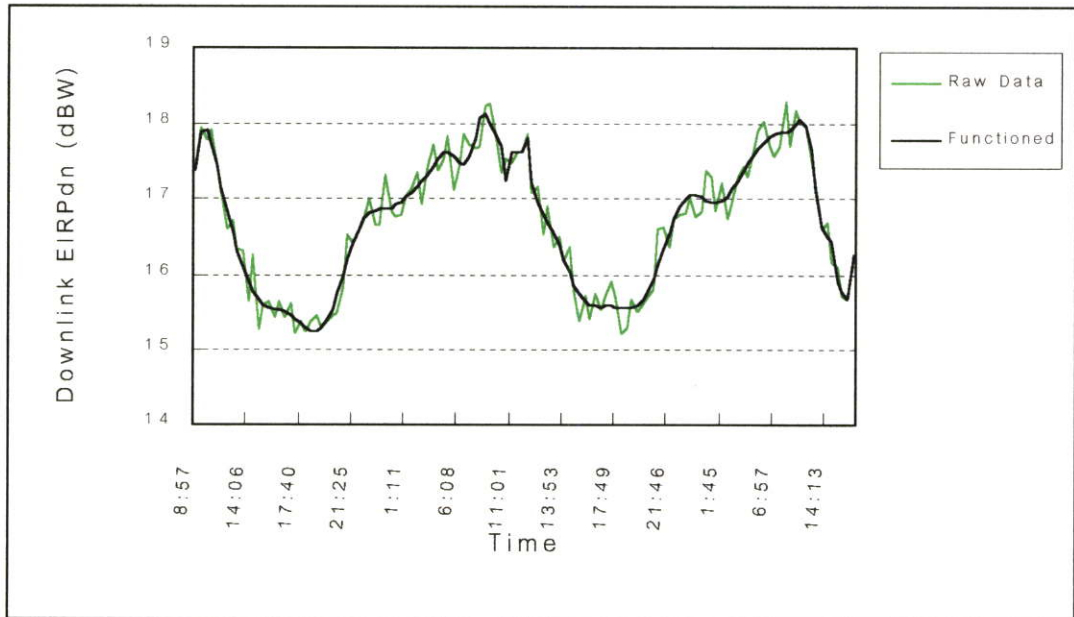
$$a_{ij}^{(k+1)} = a_{ij}^{(k)} - \frac{a_{ik}^{(k)}}{a_{kk}^{(k)}} \cdot a_{kj}^{(k)}, \quad j = k+1, k+2, \dots, n \quad (3.10)$$

$$b_i^{(k+1)} = b_i^{(k)} - \frac{a_{ik}^{(k)}}{a_{kk}^{(k)}} \cdot b_k^{(k)}, \quad i = k+1, k+2, \dots, n \quad (3.11)$$

$, k = 1, 2, \dots, n-1$

เมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์ a_{ij} ลงในสมการ 3.7 ก็จะได้ฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับ m^{th} ซึ่งเป็นฟังก์ชันการประมาณชุดข้อมูลที่เก็บบันทึกนั่นเอง รูปที่ 3.5 แสดงผลของการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน ตัวอย่างซอร์ซโค้ด โปรแกรมวิซวลเบสิกวิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้แสดงในภาคผนวก ก

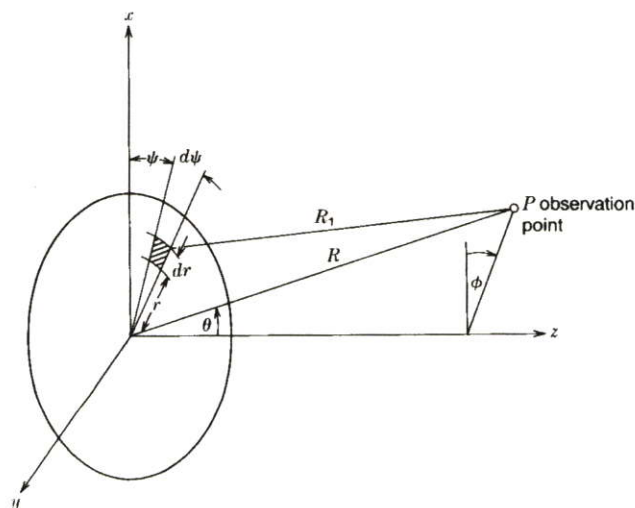
ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะทำให้ได้ชุดข้อมูลใหม่ที่มีความเรียบและง่ายต่อการประมวลผล ฟังก์ชันที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์หาแนวโน้มที่งานสายอากาศซึ่งไปยังดาวเทียมต่อไป



รูปที่ 3.5 ระดับกำลังของสัญญาณจากรูปที่ 3.4 หลังจากทำการประมาณ โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

3.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศ

พิจารณากรณีที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวห่างจากแนวการเล็งที่ทำให้การขยายสูงสุดของจานสายอากาศตั้งฉากแสดงในรูปที่ 3.6 จะพบว่ากำลังที่ถูกส่งขึ้นไปยังดาวเทียมจะลดลงจากแนวการชี้ที่กำลังสูงสุด ซึ่งเป็นฟังก์ชันของมุม θ จานสายอากาศที่ใช้ในระบบดาวเทียมส่วนใหญ่จะใช้แผ่นสะท้อนวงกลม (Circular Aperture) ซึ่งมีหลักในการพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังนี้ [7]



รูปที่ 3.6 การคำนวณแบบรูปการกระจายคลื่นในสนามระยะไกลของแผ่นสะท้อนวงกลม

พิจารณารูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงการกระจายของสนามไฟฟ้า $E(r, \psi)$ เมื่อ r เป็นรัศมีจากจุดศูนย์กลางของแผ่นสะท้อนและ ψ เป็นมุมบนระนาบในระนาบตัดจากแกน x โดยสนามไฟฟ้า ณ จุด P ในสนามระยะไกลที่ห่างจากจุดศูนย์กลางของแผ่นสะท้อนเท่ากับ R กำหนดได้โดย

$$E(R, \theta, \phi) = \frac{A}{R_1} \int_0^{2\pi} \int_0^{r_0} E(r, \psi) e^{-j \frac{2\pi R_1}{\lambda}} dr d\psi \quad (3.12)$$

เมื่อ r_0 เป็นรัศมีของแผ่นสะท้อน

ที่ระยะไกลๆ สามารถประมาณได้ว่า $1/R_1 \cong 1/R$ และนอมอลไลซ์สนามไฟฟ้าโดยไม่คิด Ae^{jkR}/R จะได้ว่า

$$E(\theta, \phi) = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_0} r E(r, \psi) e^{-jkr \sin \theta \cos(\phi - \psi)} dr d\psi \quad (3.13)$$

เมื่อ (R, θ, ϕ) เป็นพิกัดแบบโพลาร์ ณ จุดสนามระยะไกลที่มีจุดศูนย์กลางที่กลางแผ่นสะท้อน

เมื่อกำหนดให้สนาม $E(R, \psi)$ ในสมการที่ 3.13 ให้มีค่าเท่ากับ 1 จะได้

$$E(\theta) = \pi r_0^2 \frac{2J_1(u)}{u} \quad (3.14)$$

เมื่อ

$$u = \frac{2\pi r_0}{\lambda} \sin \theta$$

ทำการนอร์มอลไลซ์ $E(\theta)$ ในสมการที่ 3.14 ให้เป็นอัตราขยาย $G(\theta)$ จะต้องแทน πr_0^2 ด้วย $\sqrt{4\pi A/\lambda^2} = 2\pi r_0/\lambda = \pi D/\lambda$ เมื่อ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นสะท้อน แล้วทำการยกกำลังสองค่า E เนื่องจากเป็นค่ากำลัง จะได้สมการอัตราขยายกำลังของจานสายอากาศดังนี้

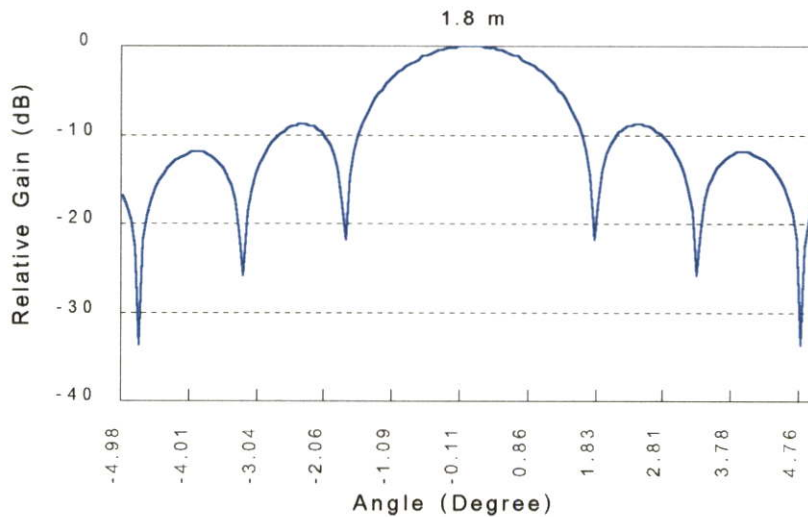
$$G(\theta) = \left(\pi D/\lambda \frac{2J_1(u)}{u} \right)^2 \quad (3.15)$$

เมื่อ $u = \frac{2\pi r_0}{\lambda} \sin \theta$, λ คือความยาวคลื่น และ $J_1(x)$ คือเบสเซลฟังก์ชันลำดับที่ 1 นิยามโดย

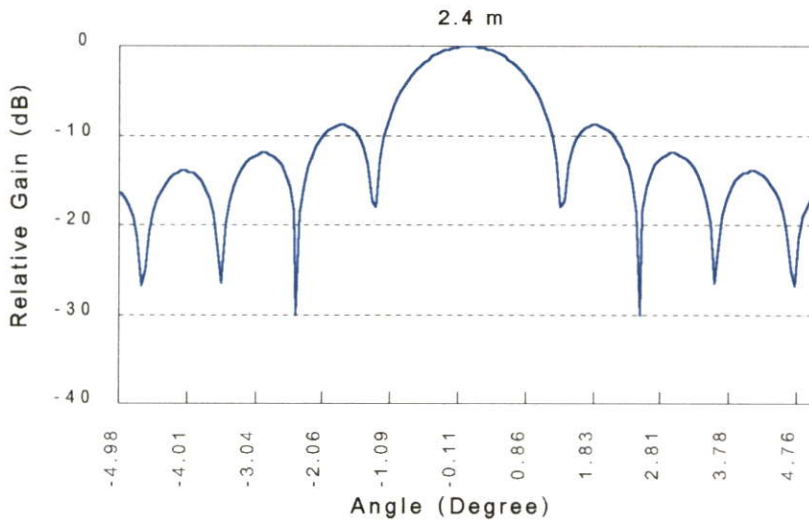
$$J_1(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m (x/2)^{2m+1}}{m!(m+1)!} \quad (3.16)$$

ค่าอัตราขยายกำลังในสมการที่ 3.15 เมื่อเขียนในรูปของลอกกาลิทึมฐานสิบจะได้

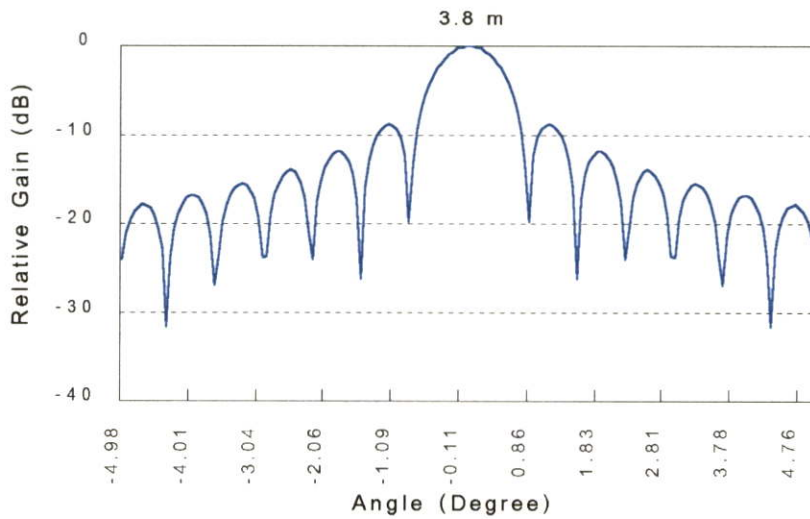
$$G(\theta) = 20 \times \text{Log}_{10} \left(\pi D / \lambda \frac{2J_1(u)}{u} \right) \quad (3.17)$$



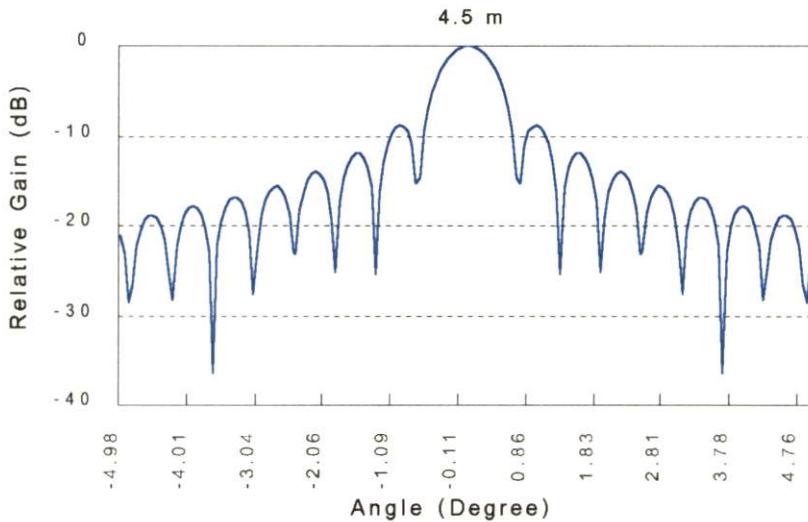
รูปที่ 3.7 รูปแบบการแพร่กระจายกำลังของงานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.8 เมตร



รูปที่ 3.8 รูปแบบการแพร่กระจายกำลังของงานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.4 เมตร



รูปที่ 3.9 รูปแบบการแพร่กระจายกำลังของงานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.8 เมตร



รูปที่ 3.10 รูปแบบการแพร่กระจายกำลังของจานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4.5 เมตร

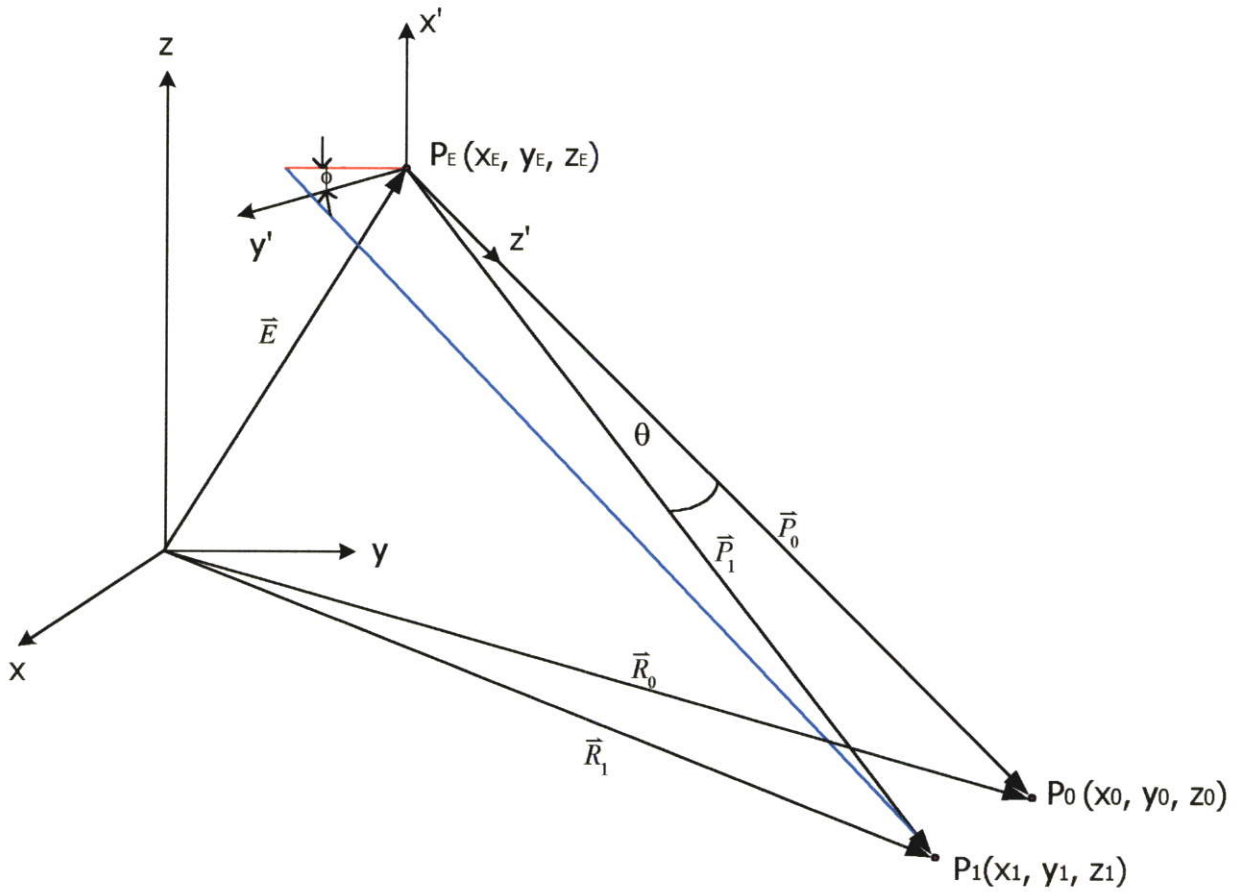
รูปที่ 3.7 ถึง 3.10 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของจานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ ที่ความถี่ 6.5 GHz ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดจานสายอากาศใหญ่ขึ้นลำบีมของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจะแคบลง

3.5 การคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังขาลงที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม

3.5.1 การวิเคราะห์หามุมที่เคลื่อนออกนอกแกนหลักของลำบีม

การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณสามารถคำนวณได้จากข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียมซึ่งข้อมูลนี้สามารถหาได้จากผู้ให้บริการดาวเทียมนั้นๆ โดยจะทราบตำแหน่งละติจูด, ตำแหน่งลองจิจูด, และระยะห่างระหว่างสถานีควบคุมไปยังดาวเทียม จากรูปที่ 3.11 ซึ่งใช้ระบบพิกัดแบบ Earth-Centered Earth-Fixed (ECEF) [11] ซึ่งแกน x และ y จะหมุนไปพร้อมกับโลก เมื่อจุด P_E เป็นจุดที่ตั้งสถานีส่งสัญญาณบนพื้นโลก เวกเตอร์ \vec{P}_0 เป็นเวกเตอร์ที่แสดงแนวการเล็งของจานสายอากาศส่งไปยังดาวเทียม พิจารณากรณีที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวจากแนวการเล็งตามแกนหลักของลำบีมของสถานีส่งสัญญาณจากจุด P_0 ไปยังจุด P_1 ทำให้เกิดเวกเตอร์ \vec{P}_1 เพื่อหาค่ามุมที่เคลื่อนออกนอกแกนหลักของลำบีมหรือ θ ซึ่งเกิดจากเวกเตอร์ \vec{P}_0 และ \vec{P}_1 ต้องอาศัยความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ดังต่อไปนี้ [10]

$$\vec{P}_0 \cdot \vec{P}_1 = P_0 P_1 \cos \theta \quad (3.18)$$



รูปที่ 3.11 ความเข็มเคลื่อนตัวออกจากแกนลำปี่หลักจากจุด P_0 ไปยังจุด P_1 ทำให้เกิด เวกเตอร์ \vec{P}_1

ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า $\vec{P}_0 = \vec{R}_0 - \vec{E}$ และ $\vec{P}_1 = \vec{R}_1 - \vec{E}$ ดังนั้น

$$\vec{P}_0 = (x_0 - x_E)\hat{x} + (y_0 - y_E)\hat{y} + (z_0 - z_E)\hat{z} \quad (3.19a)$$

และ

$$\vec{P}_1 = (x_1 - x_E)\hat{x} + (y_1 - y_E)\hat{y} + (z_1 - z_E)\hat{z} \quad (3.19b)$$

ผลการดำเนินการแบบจุดระหว่างเวกเตอร์ \vec{P}_0 และ \vec{P}_1 จึงมีค่าเท่ากับ

$$\vec{P}_0 \cdot \vec{P}_1 = (x_0 - x_E)(x_1 - x_E) + (y_0 - y_E)(y_1 - y_E) + (z_0 - z_E)(z_1 - z_E) \quad (3.20)$$

แต่ขณะเดียวกัน ขนาดของเวกเตอร์ \vec{P}_0 และ \vec{P}_1 สามารถคำนวณได้จาก

$$P_0 = |\vec{R}_0 - \vec{E}| = \sqrt{(x_0 - x_E)^2 + (y_0 - y_E)^2 + (z_0 - z_E)^2} \quad (3.21a)$$

และ

$$P_1 = |\vec{R}_1 - \vec{E}| = \sqrt{(x_1 - x_E)^2 + (y_1 - y_E)^2 + (z_1 - z_E)^2} \quad (3.21b)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 3.20, 3.21a และ 3.21b จะสามารถคำนวณหาค่ามุม θ ได้โดย

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{(x_0 - x_E)(x_1 - x_E) + (y_0 - y_E)(y_1 - y_E) + (z_0 - z_E)(z_1 - z_E)}{\sqrt{(x_0 - x_E)^2 + (y_0 - y_E)^2 + (z_0 - z_E)^2} \sqrt{(x_1 - x_E)^2 + (y_1 - y_E)^2 + (z_1 - z_E)^2}} \right) \quad (3.22)$$

อย่างไรก็ตามเนื่องจากลักษณะความโค้งของโลกประกอบกับโครงสร้างของงานสายอากาศโดยทั่วไปที่ใช้ในระบบดาวเทียม ค่ามุม θ ที่ได้จะต้องนำมาทำการแก้ไขก่อนการนำไปคำนวณต่อไป รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข โดยคำนวณหาค่ามุมกวาดที่ผ่านการแก้ไขจากสมการต่อไปนี้

$$Az' = 2 \sin^{-1} \left[\sin \left(\frac{Az}{2} \right) / \cos(EI) \right] \quad (3.23)$$

เมื่อ Az และ EI เป็นค่ามุมที่กวาดไปของมุมกวาดและมุมเงยของงานสายอากาศที่ส่งสัญญาณมายังดาวเทียม อัตราส่วนระหว่าง Az' และ Az เรียกว่า ตัวประกอบการแก้ไข (Correction Factor) หรือ f_c

$$f_c = \frac{Az'}{Az} \quad (3.24)$$

ดังนั้นค่ามุม θ จากสมการที่ 3.22 จะต้องนำมาแก้ไขก่อนการนำไปประมวลผลต่อไป ซึ่งจะได้ค่ามุมที่ผ่านการแก้ไขมีค่าเท่ากับ

$$\theta' = f_c \theta \quad (3.25)$$

มุมกวาดและมุมเงยของจานสายอากาศจะขึ้นกับตำแหน่งของจานสายอากาศบนพื้นผิวโลก และตำแหน่งของดาวเทียมซึ่งสามารถคำนวณได้ โดยอาศัยค่าจากตัวแปรดังกล่าว

3.5.2 การคำนวณมุมกวาดและมุมเงย

เนื่องจากดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าจะถูกมองเสมือนว่าอยู่นิ่งเทียบกับจุดใดๆ บนพื้นโลก ด้วยเหตุนี้สถานีภาคพื้นดินใดๆ ที่อยู่ในพื้นที่เส้นแวงการกระจายกำลังของดาวเทียม จะสามารถรับส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมได้โดยการชี้จานสายอากาศไปยังดาวเทียม โดยมุมกวาด A และมุมเงย E แสดงแนวการชี้ของจานสายอากาศ ซึ่งต้องทราบตำแหน่งละติจูด θ_l และลองจิจูด θ_L ของสถานีภาคพื้นดิน และตำแหน่งลองจิจูด θ_s ของดาวเทียมดังแสดงในรูปที่ 3. 12

มุมกวาด (*Azimuth*) นิยามโดยมุมที่วัดตามเข็มนาฬิกาจากทิศเหนือจนถึงแนวการตัดระหว่างระนาบ TMP และระนาบ TSO หรือเส้นที่ผ่านสถานีภาคพื้นดิน ดาวเทียม และจุดศูนย์กลางของโลก มุมกวาด A มีค่าตั้งแต่ 0° จนถึง 360° ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินดังนี้

1. สถานีภาคพื้นดินอยู่ในครึ่งซีกโลกเหนือเส้นศูนย์สูตร

$$\text{สถานีภาคพื้นดินอยู่ตะวันตกของดาวเทียม: } A = 180^\circ - A'$$

$$\text{สถานีภาคพื้นดินอยู่ตะวันออกของดาวเทียม: } A = 180^\circ + A'$$

2. สถานีภาคพื้นดินอยู่ในครึ่งซีกโลกใต้เส้นศูนย์สูตร

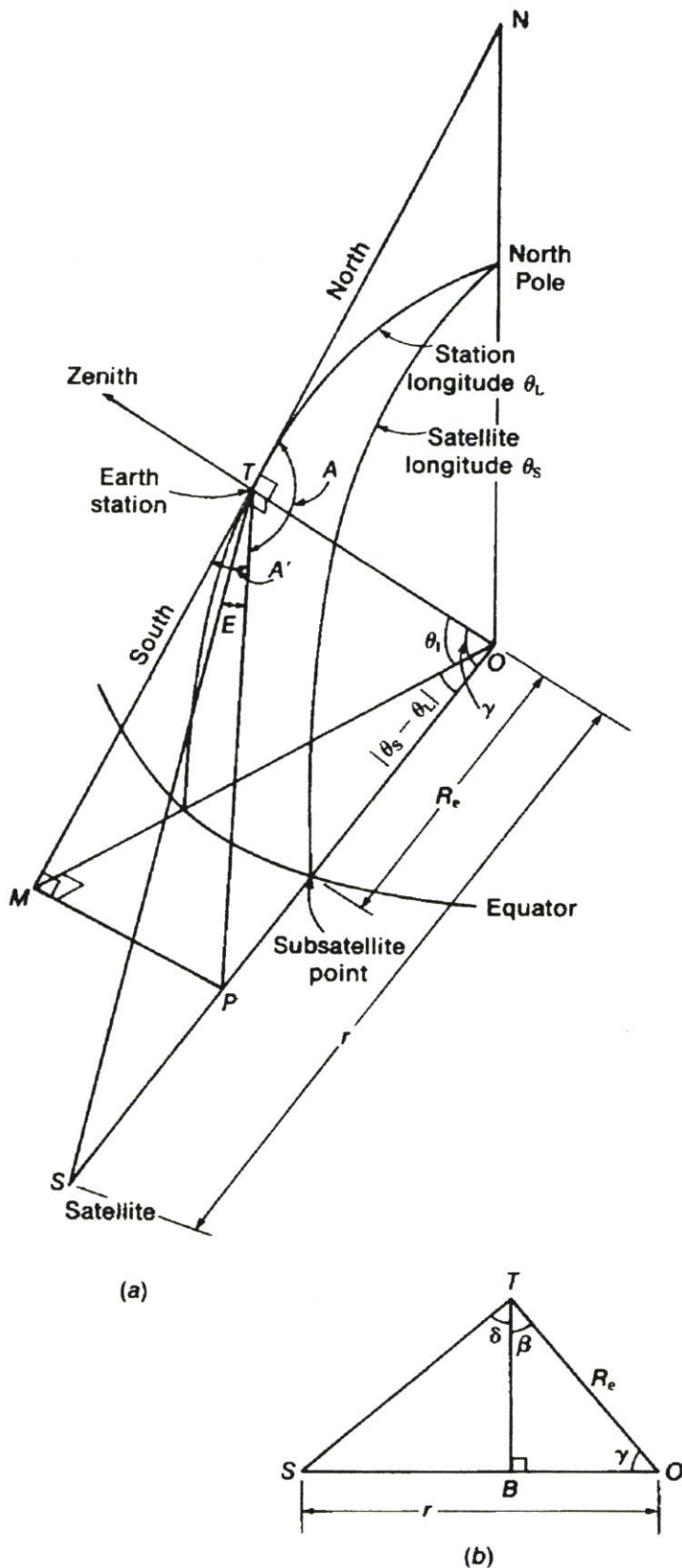
$$\text{สถานีภาคพื้นดินอยู่ตะวันตกของดาวเทียม: } A = A'$$

$$\text{สถานีภาคพื้นดินอยู่ตะวันออกของดาวเทียม: } A = 360^\circ - A'$$

เมื่อ A' คือมุมที่นิยามโดยรูปที่ 3. 12a

มุมเงย (*Elevation*) คือมุมที่นิยามโดยมุมที่เกิดจากผลการตัดระหว่างระนาบแนวนอน TMP กับระนาบ TSO โดยมีข้อสมมติว่าโลกมีรูปทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ R_e ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,378.155 กิโลเมตร จากรูปที่ 3.12a จะได้ว่า

$$\begin{aligned} A' &= \tan^{-1} \left(\frac{MP}{MT} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{MO \tan |\theta_s - \theta_L|}{R_e \tan \theta_l} \right) \end{aligned}$$



รูปที่ 3.12 a) มุมกวาดและมุมเงย b) สามเหลี่ยมสำหรับคำนวณมุมเงย

$$\begin{aligned}
&= \tan^{-1} \left[\frac{(R_e / \cos \theta_i) \tan |\theta_s - \theta_L|}{R_e \tan \theta_i} \right] \\
&= \tan^{-1} \left(\frac{\tan |\theta_s - \theta_L|}{\sin \theta_i} \right) \tag{3.26}
\end{aligned}$$

การคำนวณมุมเงย E เริ่มจากพิจารณาสามเหลี่ยม TSO แสดงในรูปที่ 3.12b โดยค่ามุม E จะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
E &= \beta + \delta - 90^\circ \\
&= (90^\circ - \gamma) + \delta - 90^\circ \\
&= \delta - \gamma \tag{3.27}
\end{aligned}$$

มุม γ สามารถคำนวณจากสามเหลี่ยม TPO ดังนี้

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{R_e}{OP} \right) \tag{3.28}$$

เนื่องจาก $OP = MO / \cos |\theta_s - \theta_L| = R_e / \cos \theta_i \cos |\theta_s - \theta_L|$ ดังที่แสดงในสามเหลี่ยม MPO และ TMO จะได้ว่า

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\cos \theta_i \cos |\theta_s - \theta_L| \right) \tag{3.29}$$

ในการหาค่ามุม δ จากรูปที่ 3.12b กำหนดให้

$$\begin{aligned}
\delta &= \tan^{-1} \left(\frac{SB}{TB} \right) \\
&= \tan^{-1} \left(\frac{r - R_e \cos \gamma}{R_e \sin \gamma} \right) \\
&= \tan^{-1} \left(\frac{r - R_e \cos \theta_i \cos |\theta_s - \theta_L|}{R_e \sin \left[\cos^{-1} \left(\cos \theta_i \cos |\theta_s - \theta_L| \right) \right]} \right) \tag{3.30}
\end{aligned}$$

ดังนั้นค่ามุม E สามารถคำนวณได้โดย

$$E = \tan^{-1} \left(\frac{r - R_e \cos \theta_1 \cos |\theta_s - \theta_L|}{R_e \sin [\cos^{-1} (\cos \theta_1 \cos |\theta_s - \theta_L|)]} \right) - \cos^{-1} (\cos \theta_1 \cos |\theta_s - \theta_L|) \quad (3.31)$$

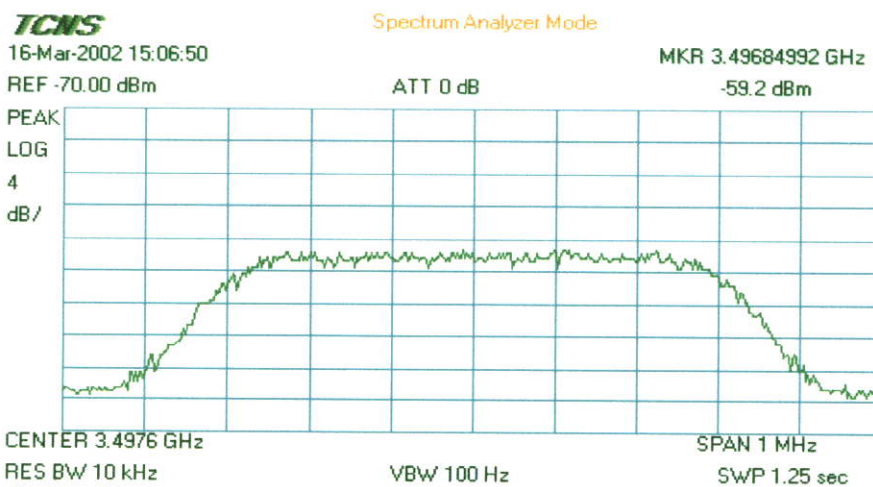
เมื่อ r คือรัศมีวงโคจรดาวเทียมข้างฟ้ามีค่าเท่ากับ 42,164.2 กิโลเมตร

ค่ามุมกวาดและมุมเงยจะถูกนำไปใช้ในการแก้ไขค่ามุมแล้วแทนค่าเพื่อหาค่ามุม θ' ซึ่งเป็นค่ามุมที่ใช้ในการคำนวณมุมนอกแกนหลักและอัตราขยายนอกแกนหลักต่อไป

บทที่ 4

ผลการศึกษาระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม 3

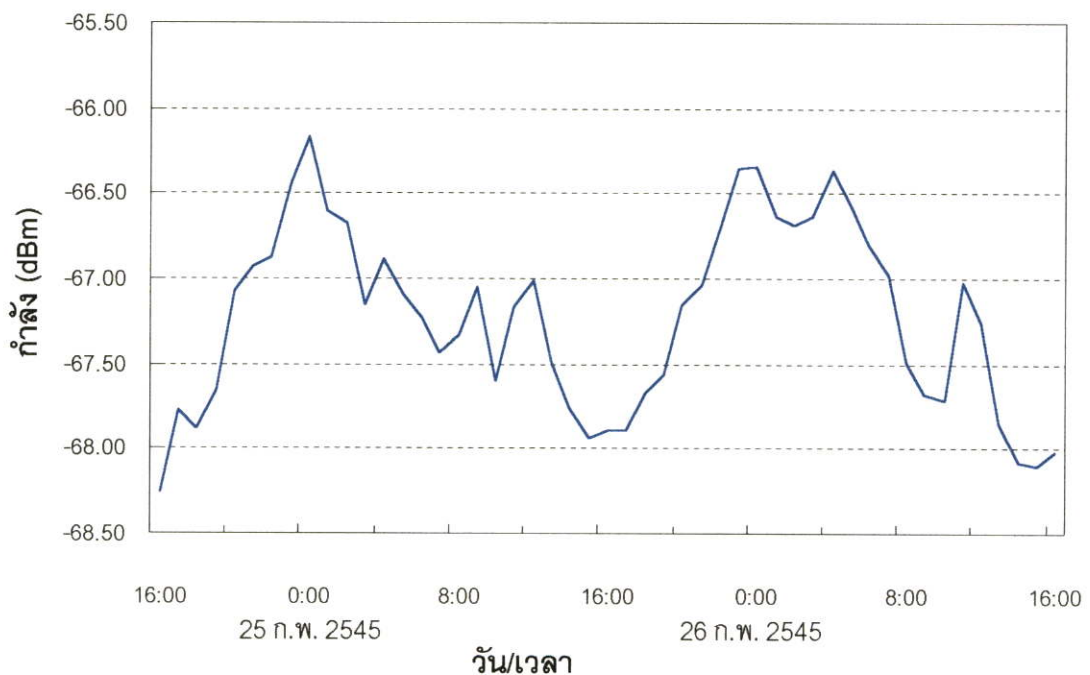
ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงแนวคิดและหลักการในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของดาวเทียมต่อกำลังของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป โดยต้องอาศัยข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียมและข้อมูลกำลังของสัญญาณที่ถูกส่งจากจานสายอากาศนี้ ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาจากการวัดสัญญาณและเก็บบันทึกข้อมูลจริงของคลื่นพาห้ที่ใช้งานบนดาวเทียมไทยคม 3 โดยทำการศึกษาสัญญาณที่ถูกส่งจากเมืองคูไบ ประเทศสหรัฐอเมริกาหับอิมิเรทส์ ละติจูด 25.23° เหนือ ลองจิจูด 55.28° ตะวันออก ส่งสัญญาณที่ความถี่ขาขึ้น 6522.6 MHz และความถี่ขาลง 3497.6 MHz ย่านความถี่ Extended C-band ซึ่งไม่มีผลกระทบจากการลดทอนเนื่องจากฝน [8] จานสายอากาศส่งขนาด 6.3 เมตรแบนด์วิดธ์ 800 kHz ทำการเก็บบันทึกระหว่างวันที่ 24 ถึงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2545 โดยเวลาที่เก็บบันทึกเป็นเวลา GMT ณ สถานีดาวเทียมไทยคม จ. นนทบุรีซึ่งรับสัญญาณขาลงด้วยจานสายอากาศขนาด 11 เมตรที่มีระบบติดตาม รูปที่ 4.1 แสดงคลื่นพาห้ของสัญญาณที่ทำการศึกษา จากนั้นจะทำการคำนวณการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณเดียวกัน โดยอาศัยข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียมและตำแหน่งของสถานีส่งสัญญาณที่กำลังศึกษา เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้จริง



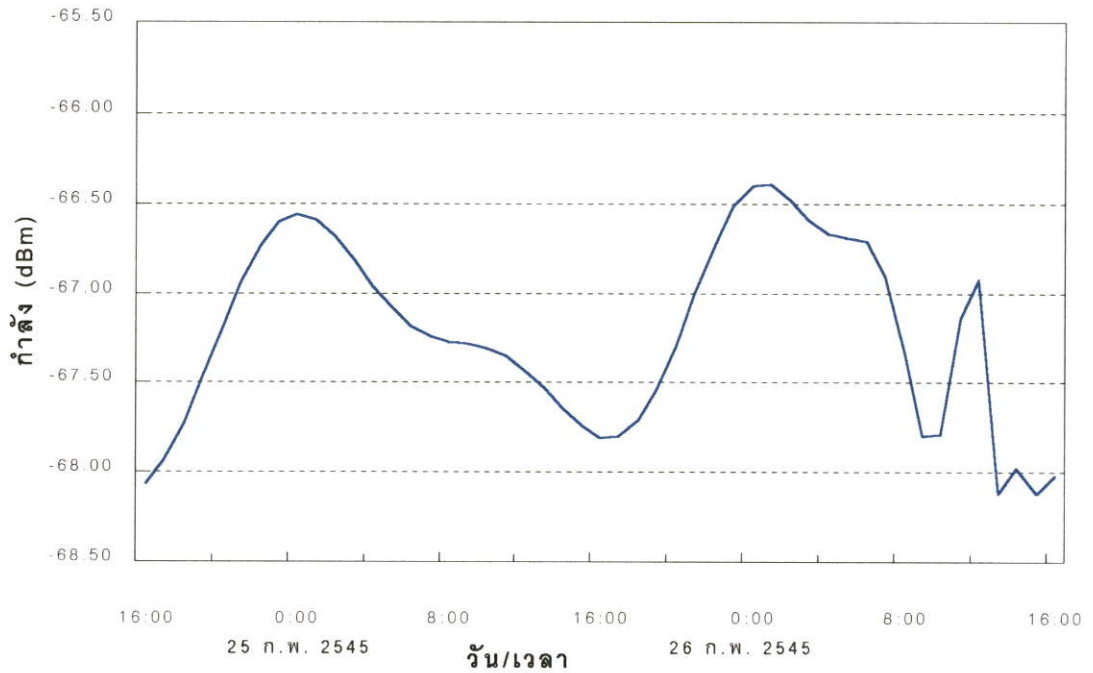
รูปที่ 4.1 คลื่นพาห้ที่ส่งสัญญาณจากเมืองคูไบประเทศสหรัฐอเมริกาหับอิมิเรทส์ ใช้งานบนทรานสปอนเดอร์ 3E ดาวเทียมไทยคม 3

4.1 ผลการเก็บบันทึกข้อมูลกำลังของสัญญาณที่ใช้งานบนดาวเทียมไทยคม 3

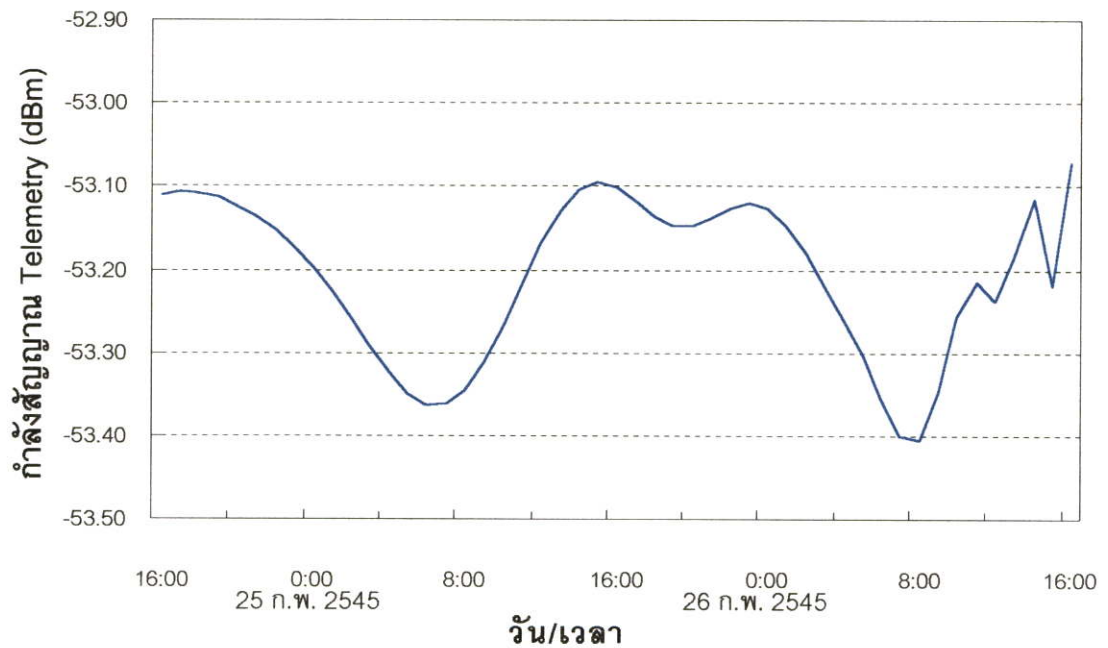
กำลังขาลงของสัญญาณที่ทำการศึกษาวัดโดยใช้ระบบดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะถูกเก็บบันทึกลงในฐานข้อมูล รูปที่ 4.2 แสดงระดับกำลังของสัญญาณที่ทำการศึกษาโดยการเก็บบันทึกข้อมูลระหว่างวันที่ 24 ถึง 26 กุมภาพันธ์ 2545 ซึ่งจะพบว่าระดับของสัญญาณมีการขึ้นลงและไม่เรียบทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงข้อมูลให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ได้อธิบายหลักการในบทที่ 3 ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งมีความเรียบมากกว่าและง่ายต่อการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากค่าที่ได้ต้องนำมาลบค่าความผิดพลาดที่เกิดจาก LNA ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิในรอบหนึ่งวันมีค่าไม่คงที่ กล่าวคือ LNA จะขยายสัญญาณได้ต่ำกว่าค่าปกติที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวัดสัญญาณที่มีค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมงที่ผ่านการขยายโดย LNA เดียวกัน โดยในที่นี้ใช้สัญญาณ เทเลเมทรี จากดาวเทียมไทยคม 3 ซึ่งจะถูกส่งลงมาจกดาวเทียมด้วยกำลังที่คงที่ตลอด 24 ชั่วโมง รูปที่ 4.4 แสดงผลการวัดกำลังขาลงของสัญญาณ เทเลเมทรี ดาวเทียมไทยคม 3 ซึ่งข้อมูลที่แสดงในรูปผ่านกรรมวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแล้ว รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัม ของสัญญาณ เทเลเมทรี ที่ความถี่ 4197.88 MHz จากข้อมูลในรูปที่ 4.4 พบว่ากำลังของสัญญาณเทเลเมทรี มีค่าสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ -53.10 dBm ที่เวลา



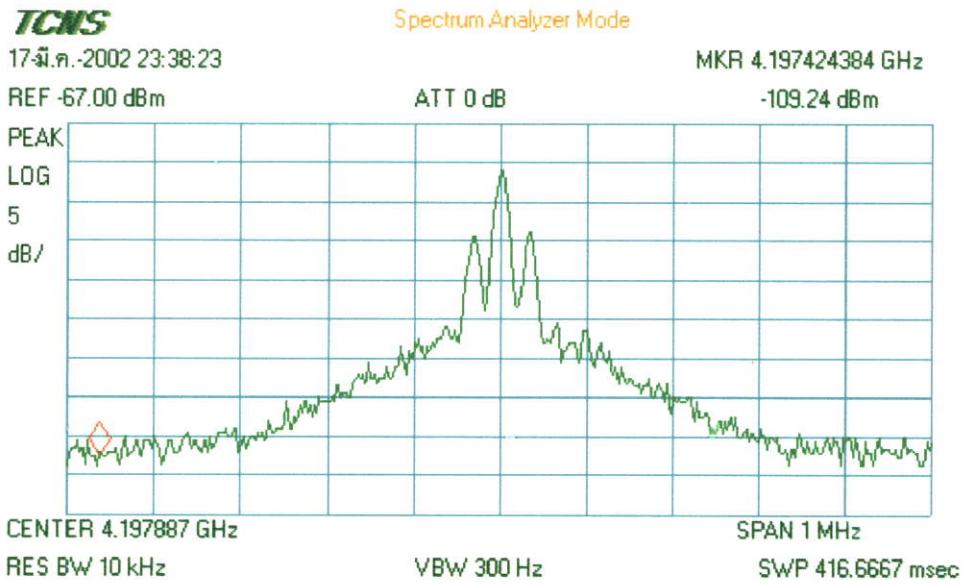
รูปที่ 4.2 กำลังของคลื่นพาห้ที่ทำการศึกษาระหว่างวันที่ 24 - 26 กุมภาพันธ์ 2545



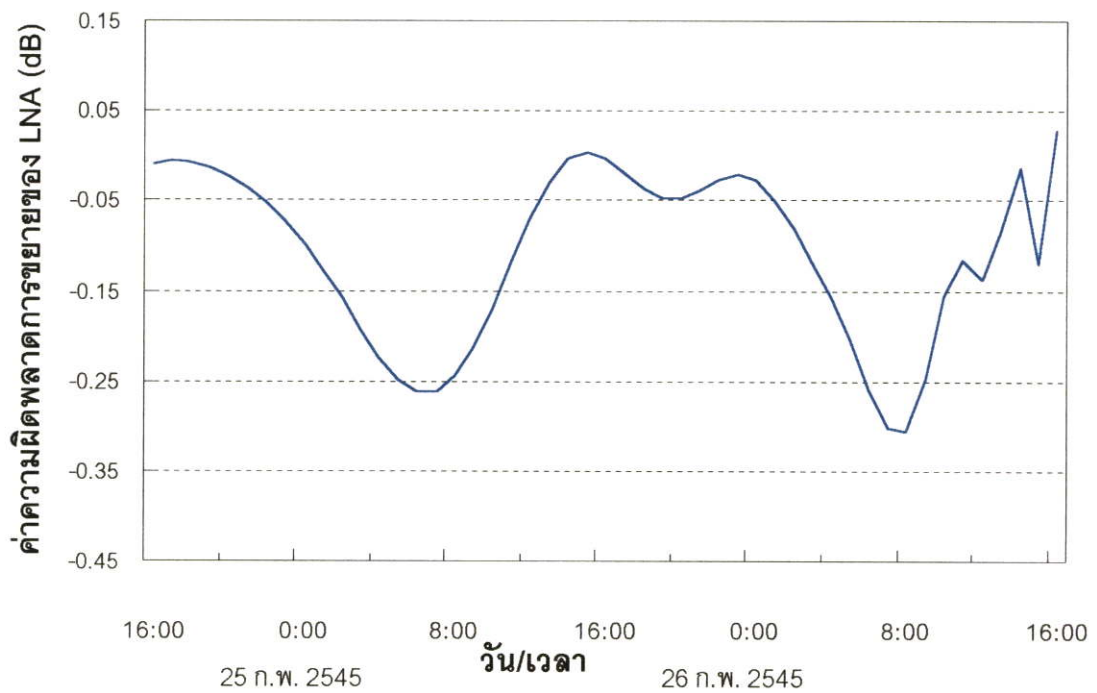
รูปที่ 4.3 กำลังที่เก็บบันทึกจากรูปที่ 4.2 หลังจากผ่านกรรมวิธีกำลังสองน้อยที่สุด



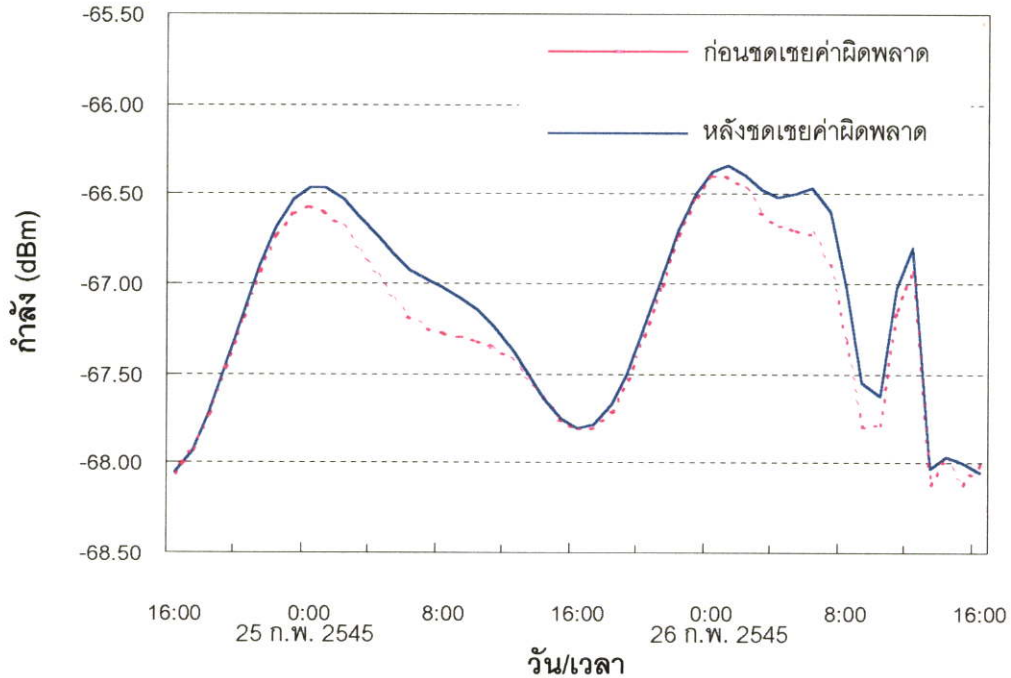
รูปที่ 4.4 กำลังของสัญญาณ เทเลเมทรี ดาวเทียม ไทยคม 3 ที่เก็บบันทึกที่ระหว่าง 24 - 26 กุมภาพันธ์ 2545



รูปที่ 4.5 สัญญาณ เทเลเมทรี ของดาวเทียม ไทยคม 3



รูปที่ 4.6 ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากอณูภูมิของ LNA เทียบกับค่าปกติ



รูปที่ 4.7 เปรียบกำลังของคลื่นพาห้จากรูปที่ 4.3 ก่อนและหลังจากชดเชยค่าความผิดพลาดเนื่องจากการขยายสัญญาณของ LNA จากรูปที่ 4.6

16:00 ของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2545 ซึ่งค่ากำลัง ณ เวลาดังกล่าวนี้จะถูกกำหนดให้เป็นค่าที่ LNA มีการขยายสัญญาณที่อุณหภูมิปกติ ส่วนค่ากำลังที่เวลาอื่นๆ กำหนดให้เป็นค่าที่มีความผิดพลาด คือมีอัตราขยายน้อยกว่าปกติ รูปที่ 4.6 แสดงกราฟของค่าความผิดพลาดของการขยายของ LNA ดังนั้นเพื่อทำให้ค่ากำลังของสัญญาณที่กำลังทำการศึกษาในรูปที่ 4.3 มีค่าที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด จึงต้องทำการลบค่ากำลังในรูปที่ 4.3 ด้วยค่าในรูปที่ 4.6 ซึ่งจะได้ค่ากำลังใหม่ที่มีความถูกต้องมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งเส้นทึบแสดงกำลังของสัญญาณที่กำลังทำการศึกษาลงหลังจากทำการปรับปรุงด้วยการชดเชยค่าความผิดพลาดเนื่องจากการขยายสัญญาณของ LNA

4.2 ผลการคำนวณกำลังของสัญญาณโดยอาศัยข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม 3

ข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียมสามารถนำมาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณที่ทราบตำแหน่งของสถานีที่ส่งสัญญาณนั้นขึ้นมาได้ ซึ่งตำแหน่งของสถานีที่ทำการศึกษาคือ เมืองคูโบประเทศสหรัฐอเมริกาหับมิเรสต์ ลองจิจูด 55.28 ตะวันออก ละติจูด 25.23° เหนือ ส่งสัญญาณที่ความถี่ขาขึ้น 6522.6 MHz และต้องทราบขนาดของจานสายอากาศที่สถานีดังกล่าว คือ 6.3 เมตร นอกจากนี้ต้องทราบว่าจานสายอากาศที่ส่งสัญญาณขึ้นมานั้นมีแนวการชี้ของลำปีมหักไปที่ตำแหน่งใดในอวกาศ โดยประมาณว่าตำแหน่งของดาวเทียมที่ทำให้สามารถรับสัญญาณ

คลื่นพายุไต้ฝุ่นมากที่สุดเป็นตำแหน่งที่งานสายอากาศชี้ไปในอวกาศ ณ ตำแหน่งที่ดาวเทียมโคจรอยู่
 เวลาขณะนั้นๆ ซึ่งจากรูปที่ 4.7 พบว่าที่เวลา 1:00 นาฬิกาของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2545 เป็น
 ตำแหน่งที่สามารถรับสัญญาณได้ค่ากำลังมากที่สุด จึงตั้งสมมติฐานให้ที่เวลาดังกล่าวเป็นตำแหน่ง
 ที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวตรงกับแนวการเล็งของงานสายอากาศส่ง จากตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงตำแหน่ง
 ของดาวเทียมไทยคม 3 ณ เวลาต่างๆ พบว่าตำแหน่งที่งานสายอากาศที่กำลังศึกษาชี้ไปในอวกาศจะ
 ชี้ผ่านตำแหน่งลองจิจูดที่ 78.48° ตะวันออก ละติจูด -0.01° และระยะห่างระหว่างสถานีดาวเทียม
 ไทยคม จ. นนทบุรี ไปยังดาวเทียมที่เวลาเดียวกันมีค่าเท่ากับ 36547.786 กิโลเมตร

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมไทยคม 3 ระหว่างวันที่ 24 - 26 กุมภาพันธ์ 2545

วัน	เวลา (GMT)	ลองจิจูด($^{\circ}$)	ละติจูด($^{\circ}$)	ระยะห่าง (km)
24-Feb-02	16:00	78.57	-0.03	36520.652
24-Feb-02	17:00	78.57	-0.04	36526.078
24-Feb-02	18:00	78.57	-0.04	36531.760
24-Feb-02	19:00	78.56	-0.05	36537.298
24-Feb-02	20:00	78.55	-0.05	36542.259
24-Feb-02	21:00	78.54	-0.04	36546.221
24-Feb-02	22:00	78.53	-0.04	36548.825
24-Feb-02	23:00	78.51	-0.03	36549.821
25-Feb-02	0:00	78.50	-0.02	36549.102
25-Feb-02	1:00	78.48	-0.01	36546.719
25-Feb-02	2:00	78.47	0.01	36542.871
25-Feb-02	3:00	78.46	0.02	36538.105
25-Feb-02	4:00	78.45	0.04	36532.224
25-Feb-02	5:00	78.45	0.05	36526.094
25-Feb-02	6:00	78.46	0.06	36520.187
25-Feb-02	7:00	78.47	0.06	36514.923
25-Feb-02	8:00	78.48	0.06	36510.641
25-Feb-02	9:00	78.49	0.06	36507.573
25-Feb-02	10:00	78.50	0.05	36505.845
25-Feb-02	11:00	78.52	0.04	36505.485
25-Feb-02	12:00	78.53	0.03	36506.445

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

วัน	เวลา (GMT)	ลองจิจูด(°)	ละติจูด(°)	ระยะห่าง (km)
25-Feb-02	13:00	78.54	0.01	36508.626
25-Feb-02	14:00	78.56	-0.01	36511.895
25-Feb-02	15:00	78.56	-0.02	36516.096
25-Feb-02	16:00	78.57	-0.04	36521.047
25-Feb-02	17:00	78.57	-0.05	36526.519
25-Feb-02	18:00	78.57	-0.06	36532.225
25-Feb-02	19:00	78.56	-0.06	36537.810
25-Feb-02	20:00	78.55	-0.06	36542.867
25-Feb-02	21:00	78.54	-0.06	36546.971
25-Feb-02	22:00	78.53	-0.05	36549.736
25-Feb-02	23:00	78.51	-0.04	36550.869
26-Feb-02	0:00	78.50	-0.02	36550.215
26-Feb-02	1:00	78.48	-0.01	36547.786
26-Feb-02	2:00	78.47	0.01	36543.763
26-Feb-02	3:00	78.46	0.03	36538.480
26-Feb-02	4:00	78.45	0.04	36532.384
26-Feb-02	5:00	78.45	0.05	36525.985
26-Feb-02	6:00	78.46	0.06	36519.799
26-Feb-02	7:00	78.47	0.06	36514.299
26-Feb-02	8:00	78.48	0.06	36509.863
26-Feb-02	9:00	78.49	0.06	36506.754
26-Feb-02	10:00	78.51	0.05	36505.107
26-Feb-02	11:00	78.52	0.03	36504.934
26-Feb-02	12:00	78.54	0.02	36506.153
26-Feb-02	13:00	78.55	0.00	36508.610
26-Feb-02	14:00	78.56	-0.01	36512.118
26-Feb-02	15:00	78.57	-0.03	36516.474
26-Feb-02	16:00	78.57	-0.04	36521.468

อย่างไรก็ตามตำแหน่งของดาวเทียมในตารางที่ 4.1 มีลักษณะเป็นพิกัดเชิงขั้ว ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนจากพิกัดเชิงขั้วให้เป็นพิกัดเชิงแกนโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$x_s = R_e \sin(90^\circ - \theta_E) \cos(\phi_E) + r_{SE} \sin(90^\circ - \theta_s) \cos(\phi_s) \quad (4.1a)$$

$$y_s = R_e \sin(90^\circ - \theta_E) \sin(\phi_E) + r_{SE} \sin(90^\circ - \theta_s) \sin(\phi_s) \quad (4.1b)$$

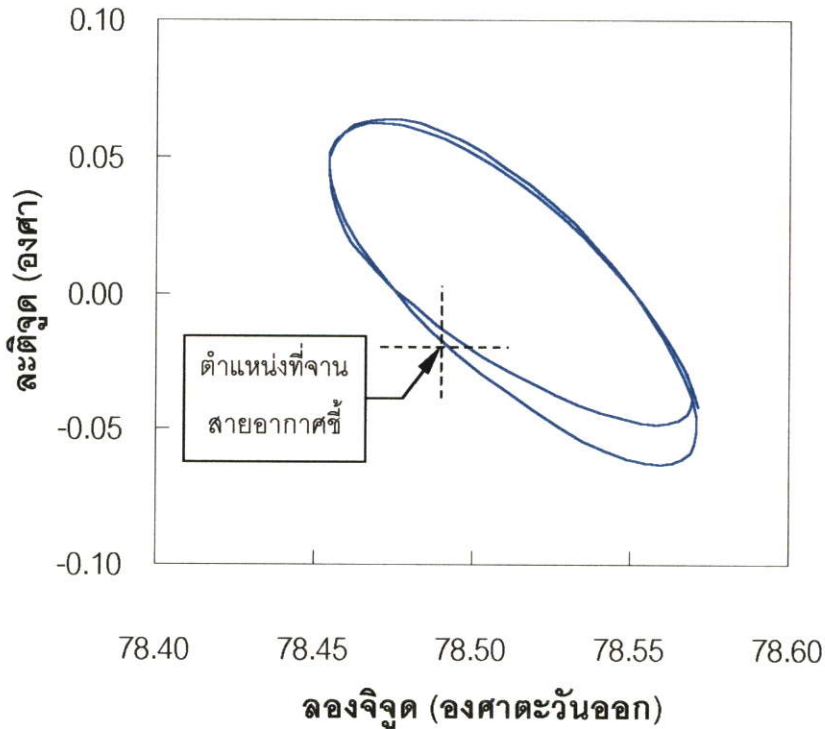
$$z_s = R_e \cos(\theta_E) + r_{SE} \cos(\theta_s) \quad (4.1c)$$

เมื่อ	R_e	คือ รัศมีโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,378.155 กิโลเมตร
	θ_E	คือ ตำแหน่งละติจูดของสถานีดาวเทียมไทยคม
	ϕ_E	คือ ตำแหน่งลองจิจูดของสถานีดาวเทียมไทยคม
	r_{SE}	คือ ระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับสถานีดาวเทียมไทยคมจากตาราง 4.1
	θ_s	คือ ตำแหน่งละติจูดของดาวเทียมจากตารางที่ 4.1
	ϕ_s	คือ ตำแหน่งลองจิจูดของดาวเทียมจากตารางที่ 4.1

โดยที่ x_s , y_s และ z_s เป็นตำแหน่งของดาวเทียมในพิกัดเชิงแกน ตารางที่ 4.2 แสดงผลจากการเปลี่ยนพิกัดตำแหน่งดาวเทียมจากพิกัดเชิงขั้วมาเป็นพิกัดเชิงแกน

รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวในกรอบควบคุมดาวเทียมตามพิกัดละติจูดและลองจิจูดโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 และแสดงตำแหน่งที่งานสายอากาศที่ส่งสัญญาณที่กำลังศึกษาเล็งไปในอวกาศ

โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของการส่งสัญญาณจากงานสายอากาศจากผิวโลกไปยังดาวเทียม ทำให้สามารถแสดงตำแหน่งสถานีส่งสัญญาณดาวเทียม, แนวการเล็งของงานสายอากาศส่งสัญญาณดาวเทียม และ ตำแหน่งของดาวเทียมได้อาศัยเวกเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยเวกเตอร์ \vec{E} แทนเวกเตอร์ตำแหน่งของสถานีส่งสัญญาณอ้างอิงจากจุดศูนย์กลางโลกที่จุดกำเนิดไปยังผิวโลก ดังนั้นเมื่อดาวเทียมมีการเคลื่อนตัว จะทำให้ทราบได้ว่า ณ เวลาต่างๆ ดาวเทียมเคลื่อนตัวออกจากแกนของลำบีมงานสายอากาศส่งไปด้วยมุมกึ่งองศาโดยการใช้องค์การคูณแบบจุด



รูปที่ 4.8 การเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม 3 จากตารางที่ 4.1 โดยแสดงตำแหน่งที่จานสายอากาศชี้ไปยังดาวเทียม

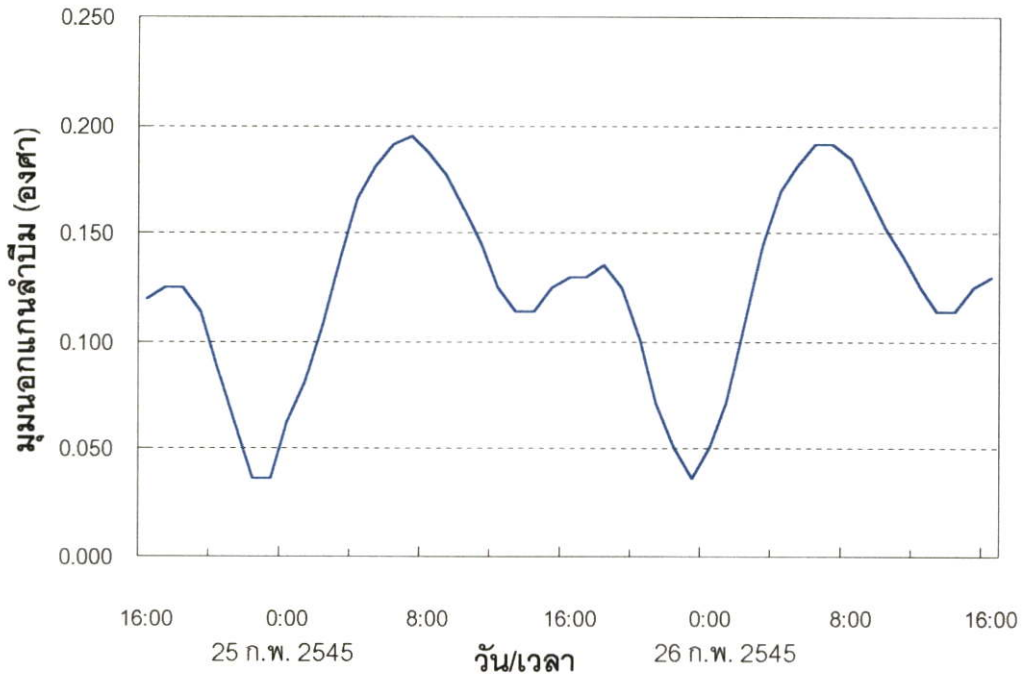
กำหนดให้ตำแหน่งดาวเทียมที่จุด P_0 เป็นตำแหน่งที่จานสายอากาศมีแนวตั้งไปในอวกาศและเป็นทิศของแกนลำปี่มหลักของจานสายอากาศ ส่วนตำแหน่งดาวเทียมที่จุด P_1 เป็นตำแหน่งที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวออกจากแกนของลำปี่มจานสายอากาศเท่ากับ θ องศา ดังนั้นเมื่อนำค่าตำแหน่งของดาวเทียมมาคำนวณหามุมโดยใช้สมการที่ 3.22 จะทำให้หาค่ามุมที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวออกจากแกนของลำปี่มจานสายอากาศ แล้วทำการ Correct ค่ามุมโดยใช้สมการที่ 3.25 ซึ่งจะทำให้ได้ค่ามุม θ' ที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียมดังแสดงในรูปที่ 4.9 เมื่อนำค่ามุมในรูปที่ 4.9 มาแทนลงในสมการที่ 3.17 เพื่อหาอัตราขยายจานสายอากาศที่มุมต่างๆ แล้วทำการหาอัตราขยายสัมพัทธ์โดยการลบอัตราขยายที่คำนวณได้ด้วยค่าอัตราขยายสูงสุด (ที่ $\theta' = 0^\circ$) ก็จะทำให้ได้อัตราขยายสัมพัทธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.10 นำค่าอัตราขยายสัมพัทธ์มาบวกกับกำลังสูงสุดของสัญญาณที่วัดได้นั้นคือ -53.10 dBm ที่เวลา 15:00 ของวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2545 ก็ทำให้สามารถทำนายค่ากำลังที่เปลี่ยนแปลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ส่วนรูปที่ 4.12 เปรียบเทียบระหว่างกำลังของสัญญาณที่ได้จากการวัด และที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีลักษณะการขึ้นลงสอดคล้องกัน และมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมไทยคม 3 ระหว่างวันที่ 24 - 26 กุมภาพันธ์ 2545 ตามพิกัดเชิง
แกน

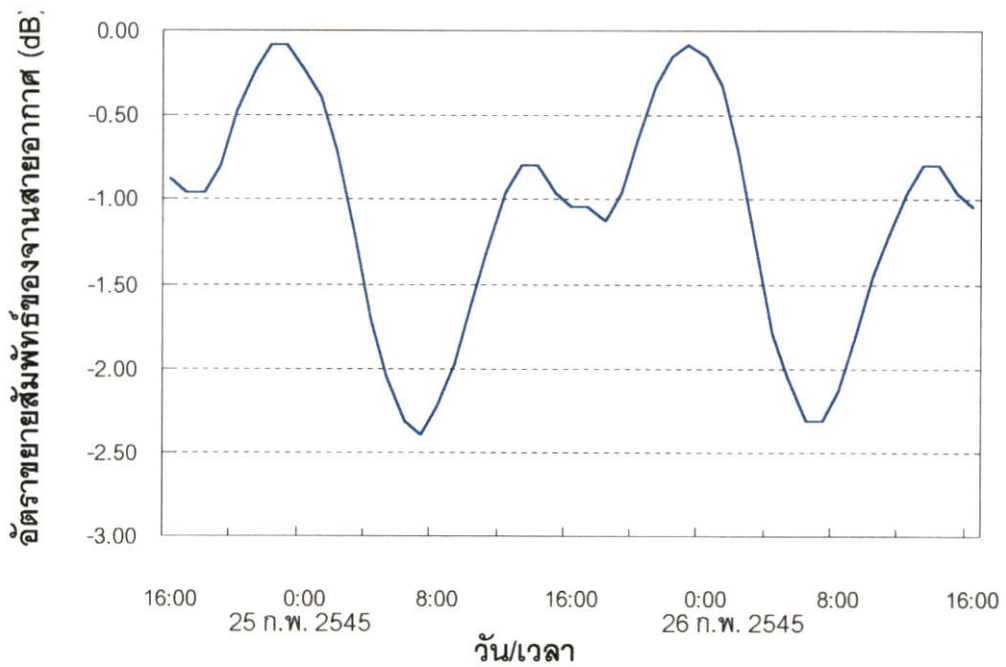
วัน	เวลา (GMT)	x_s (km)	y_s (km)	z_s (km)
24-Feb-02	16:00	5557017.0	41758844.0	1497449.9
24-Feb-02	17:00	5556905.0	41764400.0	1491644.8
24-Feb-02	18:00	5559155.5	41769736.0	1487622.9
24-Feb-02	19:00	5563814.5	41774440.0	1485580.0
24-Feb-02	20:00	5570612.5	41778128.0	1485702.4
24-Feb-02	21:00	5579154.0	41780440.0	1487932.8
24-Feb-02	22:00	5588672.0	41781172.0	1492077.3
24-Feb-02	23:00	5598562.5	41780180.0	1497882.9
25-Feb-02	0:00	5607982.5	41777536.0	1504959.5
25-Feb-02	1:00	5616196.0	41773432.0	1512809.9
25-Feb-02	2:00	5622612.5	41768196.0	1520780.8
25-Feb-02	3:00	5628347.5	41762160.0	1530218.9
25-Feb-02	4:00	5629915.5	41755832.0	1539780.3
25-Feb-02	5:00	5628754.5	41749808.0	1547679.9
25-Feb-02	6:00	5625069.5	41744524.0	1553286.6
25-Feb-02	7:00	5619270.5	41740332.0	1556339.6
25-Feb-02	8:00	5611797.5	41737484.0	1556587.6
25-Feb-02	9:00	5603192.0	41736108.0	1553973.8
25-Feb-02	10:00	5594045.5	41736212.0	1548746.4
25-Feb-02	11:00	5584981.0	41737696.0	1541226.0
25-Feb-02	12:00	5576431.5	41740416.0	1531990.6
25-Feb-02	13:00	5568937.5	41744160.0	1521670.8
25-Feb-02	14:00	5562778.0	41748748.0	1510965.5
25-Feb-02	15:00	5558425.5	41753912.0	1500637.1
25-Feb-02	16:00	5556098.5	41759428.0	1491395.1
25-Feb-02	17:00	5556056.5	41765012.0	1483930.4
25-Feb-02	18:00	5558373.0	41770360.0	1478696.0

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

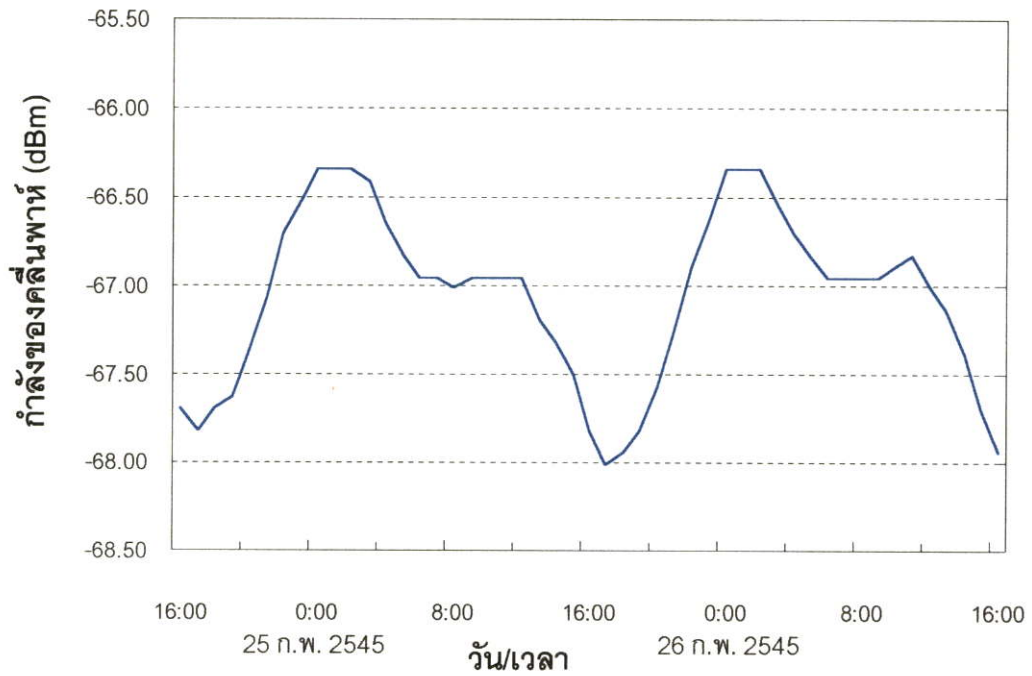
วัน	เวลา (GMT)	x_s (km)	y_s (km)	z_s (km)
25-Feb-02	19:00	5563041.5	41775108.0	1476140.9
25-Feb-02	20:00	5569858.5	41778892.0	1476325.1
25-Feb-02	21:00	5578424.0	41781348.0	1479255.3
25-Feb-02	22:00	5588165.5	41782196.0	1484805.5
25-Feb-02	23:00	5598394.0	41781280.0	1492523.8
26-Feb-02	0:00	5608266.5	41778612.0	1501771.4
26-Feb-02	1:00	5616971.0	41774360.0	1512040.9
26-Feb-02	2:00	5623854.0	41768856.0	1522630.0
26-Feb-02	3:00	5628231.5	41762564.0	1532642.0
26-Feb-02	4:00	5629947.0	41755988.0	1541502.5
26-Feb-02	5:00	5628793.5	41749684.0	1548638.0
26-Feb-02	6:00	5624991.5	41744144.0	1553412.6
26-Feb-02	7:00	5618898.5	41739772.0	1555638.8
26-Feb-02	8:00	5610956.5	41736864.0	1555060.3
26-Feb-02	9:00	5601966.5	41735524.0	1551804.9
26-Feb-02	10:00	5592399.0	41735800.0	1546004.1
26-Feb-02	11:00	5583000.5	41737540.0	1538168.1
26-Feb-02	12:00	5574315.5	41740548.0	1528738.4
26-Feb-02	13:00	5566809.5	41744576.0	1518481.6
26-Feb-02	14:00	5560825.5	41749372.0	1508033.8
26-Feb-02	15:00	5556750.5	41754632.0	1498152.3
26-Feb-02	16:00	5554680.0	41760144.0	1489546.9



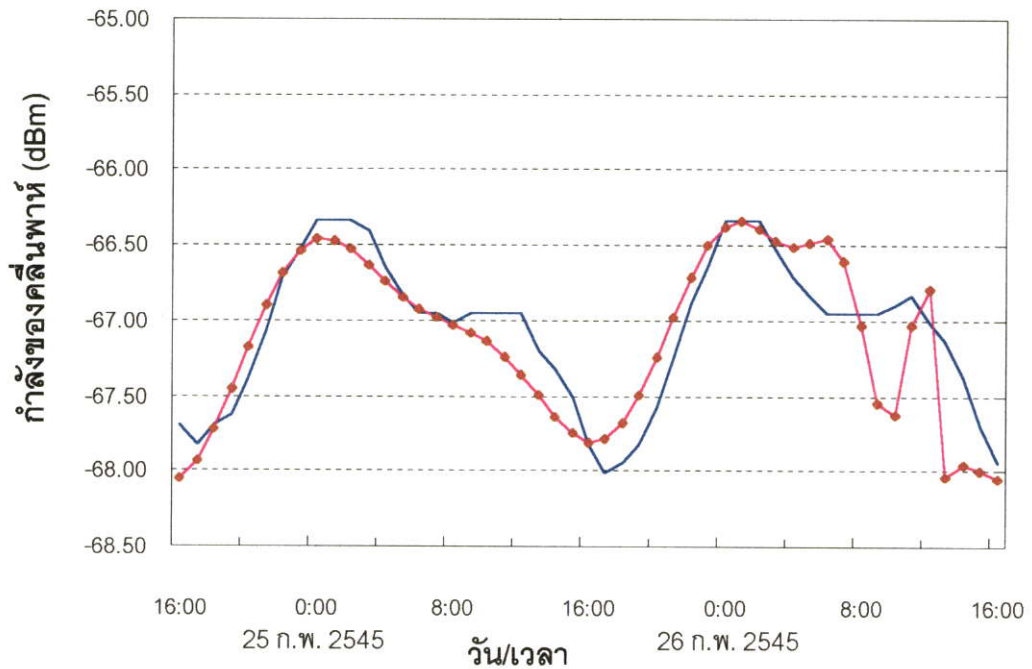
รูปที่ 4.9 มุมนอกแกนลำบีมที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม



รูปที่ 4.10 อัตราขยายสัมพัทธ์ของจานสายอากาศส่งที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม



รูปที่ 4.11 กำลังคลื่นพาร์ที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบกำลังคลื่นพาร์ระหว่างที่วัดได้จริง (เส้นมีปม) กับที่ได้จากการคำนวณ (เส้นเรียบ)

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่าตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินเป็นตัวแปรที่สำคัญที่กำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณดาวเทียม ซึ่งตำแหน่งที่ต่างกันของสถานีส่งสัญญาณดาวเทียมจะทำให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่รับได้ในภาคกลางเปลี่ยนแปลงไปด้วย นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงหลักในการกำหนดแนวการเล็งของจานสายอากาศไปในอวกาศโดยอาศัยข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียมและข้อมูลกำลังของสัญญาณที่กำลังศึกษามาใช้ในการวิเคราะห์ และได้เปรียบเทียบระหว่างกำลังของสัญญาณที่ได้จากการวัดจริง และที่ได้จากการคำนวณว่ามีลักษณะที่การเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกัน ในบทต่อไปจะกล่าวถึงการนำความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินกับระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งของสัญญาณรบกวนที่ไม่ทราบแหล่งที่มาต่อไป

บทที่ 5

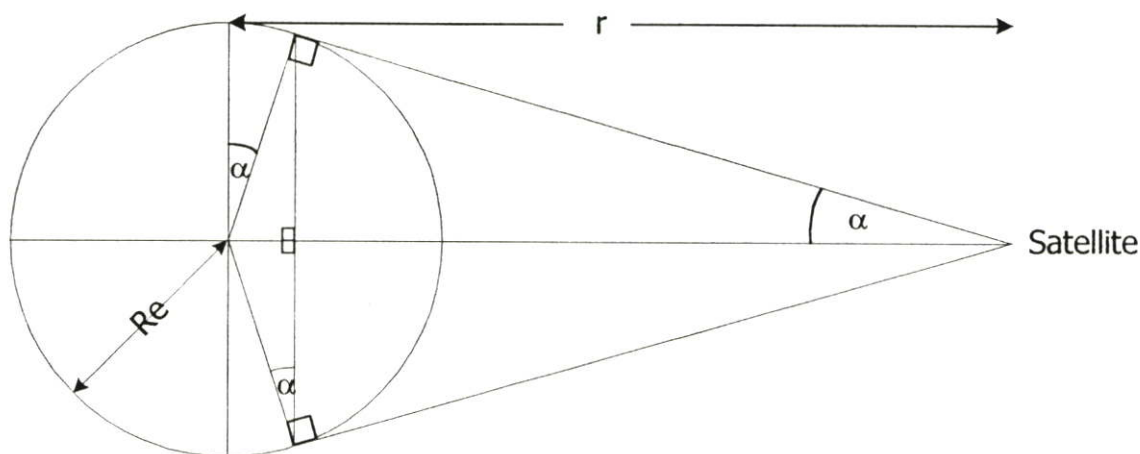
การประยุกต์เพื่อหาแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน

จากบทที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า การเคลื่อนตัวของดาวเทียมมีผลกระทบอย่างไรกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังคลื่นพาห้ นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแบบรูปการแผ่พลังงานของจานสายอากาศภาคพื้นดินกับตำแหน่งของดาวเทียม ซึ่งที่ตำแหน่งต่างกันดาวเทียมจะรับสัญญาณจากจานสายอากาศด้วยค่าอัตราขยายต่างกัน โดยหลักการนี้สามารถนำมาประยุกต์เพื่อหาแหล่งที่มาของสัญญาณแปลกปลอมหรือสัญญาณรบกวนที่ไม่ทราบแหล่งที่มาได้ เนื่องจากในการใช้งานดาวเทียมที่ระดับวงโคจรค้างฟ้าเป็นระบบเปิด ทำให้สถานีภาคพื้นดินที่มีขีดความสามารถเพียงพอสามารถส่งสัญญาณรบกวนมายังระบบดาวเทียมได้ ในบทนี้จะนำผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวของดาวเทียมกับตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินมาประยุกต์ใช้เพื่อหาตำแหน่งของสัญญาณรบกวนที่ไม่ทราบแหล่งที่มา โดยขอบเขตที่จะนำเสนอจะทดสอบกับสถานีส่งสัญญาณดาวเทียมที่ใช้งานจริงบนความถี่ 1413 MHz ซึ่งทราบตำแหน่งที่แน่นอน จากบทที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อระดับการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณคือตำแหน่งของสถานีส่งสัญญาณบนพื้นโลก โดยการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างกำลังของคลื่นพาห้ที่วัดได้จริงกับกำลังของคลื่นพาห้ที่คำนวณได้แบบจุดต่อจุดของตำแหน่งทุกตำแหน่งที่เป็นไปได้บนพื้นโลกที่สามารถส่งสัญญาณมายังดาวเทียมได้ ซึ่งตำแหน่งบนพื้นผิวโลกที่ให้ผลต่างกำลังจากการวัดจริงและจากการคำนวณมีค่าน้อยที่สุด จะกำหนดให้เป็นตำแหน่งของสถานีที่ส่งสัญญาณรบกวนขึ้นมายังดาวเทียม

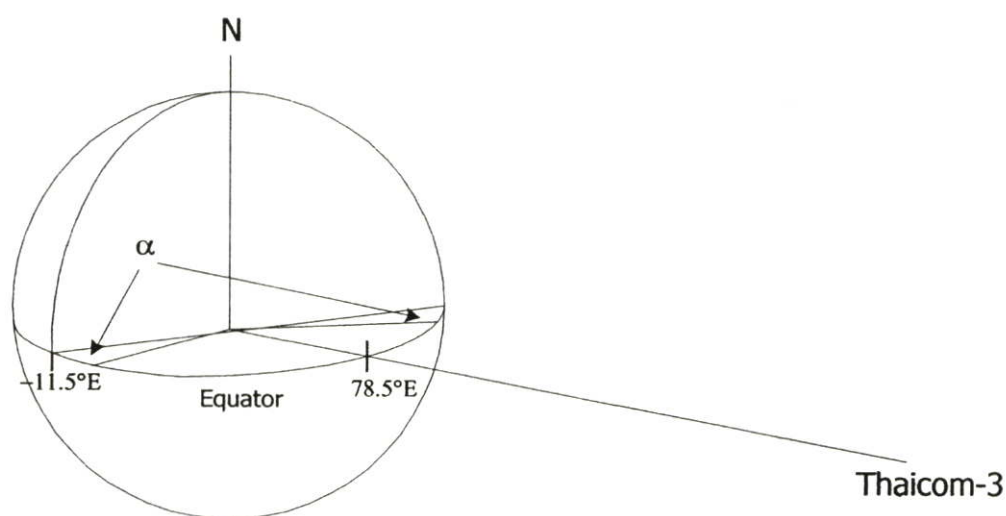
5.1 ตำแหน่งบนพื้นผิวโลกที่สามารถส่งสัญญาณมายังดาวเทียมไทยคม 3

เนื่องจากลักษณะของโลกมีลักษณะเป็นทรงกลม ดังนั้นจึงมีตำแหน่งบางตำแหน่งบนพื้นผิวโลกเท่านั้นที่สามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียม จากรูปที่ 5.1a พบว่าตำแหน่งที่จะสามารถมองเห็นดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าในแนวละติจูดเริ่มตั้งแต่ $90^\circ - \alpha$ องศาเหนือ ไปจนถึง $90^\circ - \alpha$ องศาใต้ ซึ่งมุม α หาได้จาก

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{R_c}{r} \right) \quad (5.1)$$



(a)



(b)

รูปที่ 5.1 a) การคำนวณตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดินที่สามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมได้
 b) ขอบเขตมุมมองจุดของสถานีภาคพื้นดินที่สามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมไทยคม 3 ได้

เมื่อ r คือรัศมีวงโคจรดาวเทียมข้างฟ้ามีค่าเท่ากับ 42,164.2 กิโลเมตร และ R_e คือรัศมีของโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,378.155 กิโลเมตร ดังนั้น α จึงมีค่าเท่ากับ 8.7° ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วสถานีภาคพื้นดินที่จะสามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าได้จะต้องตั้งอยู่ตำแหน่งละติจูดระหว่าง $90^\circ - 8.7^\circ = 81.3^\circ$ เหนือไปจนถึง 81.3° ใต้ นอกเหนือจากตำแหน่งละติจูดดังกล่าวแล้วจะไม่สามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมได้เนื่องจากถูกบังโดยส่วนโค้งของผิวโลก

การพิจารณาค่าแห่งลองจิจูดของสถานีภาคพื้นดินที่สามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมได้ จะแตกต่างจากการพิจารณาค่าแห่งละติจูดเพียงเล็กน้อย โดยต้องทราบค่าแห่งลองจิจูดของดาวเทียมด้วย เช่น ดาวเทียมไทยคม 3 ซึ่งมีค่าแห่งลองจิจูดที่ 78.5° ตะวันออกดังแสดงในรูปที่ 5.1b ค่าแห่งที่สถานีภาคพื้นดินจะสามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมไทยคม 3 ได้จะอยู่ระหว่าง $-11.5^{\circ} + 8.7^{\circ} = -2.8^{\circ}$ ตะวันออก (หรือ 2.8° ตะวันตก) ไปจนถึง $168.5^{\circ} - 8.7^{\circ} = 159.8^{\circ}$ ตะวันออก ซึ่งค่าเหล่านี้ จะถูกนำมากำหนดเป็นค่าแห่งของสถานีภาคพื้นดินสำหรับใช้คำนวณกำลังของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียมต่อไป

5.2 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณที่ส่งจากสถานีภาคพื้นดิน ณ

ตำแหน่งต่างๆ

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3.1 แต่ในบทนี้จะทำการสุ่มตำแหน่งสถานีส่งสัญญาณที่เป็นไปทั้งหมดที่สามารถส่งสัญญาณมายังดาวเทียมไทยคม 3 ได้ เพื่อคำนวณหาค่ามุนอกแกนหลักดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.5 โดยทำการเปลี่ยนตำแหน่งของสถานีที่เป็นไปได้จากพิกัดเชิงขั้วไปเป็นพิกัดเชิงแกน ในภาคผนวก ก. แสดงซอร์ซโค้ดโปรแกรมวิซวลเบสิก สำหรับใช้คำนวณหาค่ากำลัง โดยโปรแกรมจะคำนวณหาระดับกำลังของสัญญาณดาวเทียมเดียวกันกับที่ได้ทำการศึกษาทดลองในบทที่ 4 คือ สัญญาณถูกส่งจากเมืองคูไบ ประเทศสหรัฐอเมริกาอิมิเรทส์ แต่ได้เพิ่มตำแหน่งของสถานีที่เป็นไปได้ที่สามารถส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมไทยคม 3 โดยเริ่มจาก 2.8° ตะวันตกไปจนถึง 159.8° ตะวันออก และ จาก 81.3° เหนือไปจนถึง 81.3° ได้ โดยเพิ่มค่ามุนครั้งละ 0.5° ค่ากำลังที่ได้จากการคำนวณของแต่ละตำแหน่งจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง ผลต่างของกำลังที่น้อยกว่า 0.05 dB ที่เกิดจากการเปรียบเทียบค่าในทุกๆ 1 ชั่วโมง จะถือว่ามีความเท่ากันและถูกนับจำนวนเก็บไว้ โดยเปรียบเทียบระหว่างเวลา 16:00 GMT ของวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2545 ถึงเวลา 16:00 GMT ของวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2545 ดังนั้นถ้าสุ่มเปรียบเทียบทุก 1 ชั่วโมง แต่ละตำแหน่งจะมีจำนวนครั้งที่ถูกสุ่มทั้งหมด 49 ครั้ง ผลจากการรันโปรแกรมทุกๆ ตำแหน่งพบว่า มีการนับสะสมมากที่สุดอยู่ระหว่าง 24-25 ครั้ง ตัวอย่างผลการรันโปรแกรมแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีตำแหน่งบนพื้นผิวโลกที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงกำลังสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดมีหลายตำแหน่ง เมื่อนำตำแหน่งต่างๆ เหล่านี้มาพลอตลงบนแผนที่ จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 โดยเส้นประจะลากผ่านตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ

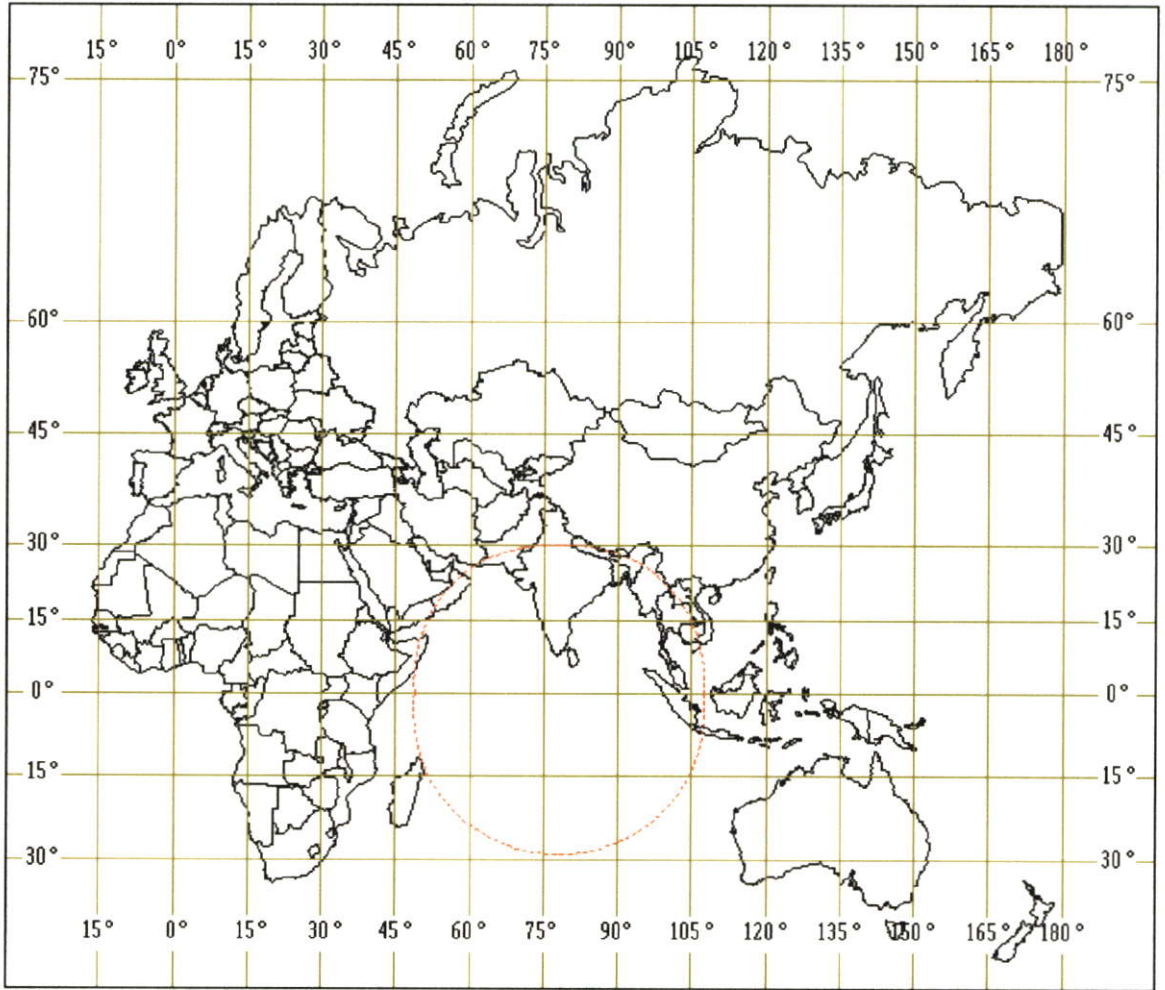
ละติจูด (องศาเหนือ)

	T	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ
1		-18.5	-18.0	-17.5	-17.0	-16.5	-16.0	-15.5	-15.0	-14.5	-14.0	-13.5	-13.0	-12.5	-12.0	-11.5
114	51.5	7	10	11	11	12	14	14	14	13	17	18	21	23	24	24
115	52.0	10	11	12	14	14	14	13	17	18	21	23	24	23	23	22
116	52.5	11	12	14	16	13	16	19	21	23	24	23	23	23	21	21
117	53.0	14	14	14	13	19	19	23	24	23	23	23	21	20	18	20
118	53.5	16	13	17	18	22	24	23	23	23	21	19	18	21	18	18
119	54.0	13	19	19	23	25	23	22	22	21	18	21	18	18	16	13
120	54.5	18	22	24	23	22	23	21	18	20	18	18	16	13	13	14
121	55.0	23	24	23	22	20	18	20	19	18	16	13	13	14	16	14
122	55.5	24	23	23	21	18	21	19	17	14	12	14	16	14	11	9
123	56.0	22	23	20	18	19	18	16	12	13	14	14	11	10	10	11
124	56.5	20	18	20	18	17	14	13	14	14	13	11	10	11	10	9
125	57.0	18	20	18	16	13	13	14	14	11	10	11	10	10	9	8
126	57.5	19	18	16	12	14	16	13	11	10	10	10	9	8	8	5

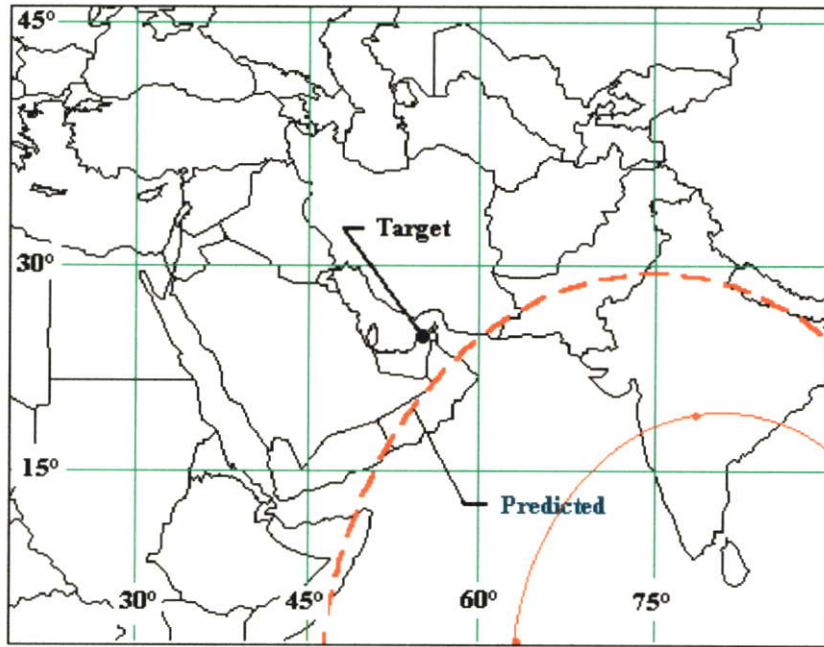
รูปที่ 5.2 ผลการรัน โปรแกรมเปรียบเทียบกำลังที่ละติจูดและลองจิจูดต่างๆ เทียบกับค่าที่วัดได้จริง

ผลที่ได้จากการคำนวณพบว่าตำแหน่งบนพื้นโลกที่ทำให้ระดับการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากการคำนวณสอดคล้องกับระดับการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้จากการวัดมีลักษณะเป็นเส้น เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงของสถานีที่ส่งสัญญาณ คือเมืองคูโบ ประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่ามีค่าห่างกันประมาณ 200 กิโลเมตรดังแสดงในรูปที่ 5.4 เส้นที่บิดด้านล่างแสดงการคำนวณโดยการแทนค่าขนาดงานสายอากาศเท่ากับ 3.8 เมตรจะได้ตำแหน่งที่เป็นพื้นที่ในทะเลเป็นส่วนใหญ่

จากที่กล่าวผ่านมาข้างต้นทำให้ทราบว่า ถ้ามีข้อมูลการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณ และข้อมูลการเคลื่อนตัวของดาวเทียม จะทำให้สามารถคำนวณย้อนกลับไปเพื่อทำนายที่ตั้งของสถานีที่ส่งสัญญาณขึ้นมายังดาวเทียมได้ ดังนั้นเมื่อมีสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแปลกปลอมเกิดขึ้นในระบบดาวเทียม จึงมีความเป็นไปได้ที่จะหาแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ไม่ทราบที่มาได้โดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคู่กับการเคลื่อนตัวของดาวเทียม



รูปที่ 5.3 ผลจากการรันโปรแกรมเพื่อหาตำแหน่งบนพื้นโลกที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงกำลังสอดคล้องกับที่วัดได้จริง โดยเส้นประแสดงตำแหน่งเหล่านั้น



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบตำแหน่งจริง (Target) ที่ส่งสัญญาณมายังดาวเทียม กับที่ได้จากการคำนวณซึ่งวางตัวตามแนวเส้นประ (Predicted)

บทที่ 6

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลวิจัย

ผลจากการศึกษาวิจัยทำให้ทราบว่าสัญญาณจากจานสายอากาศไปยังดาวเทียม สัญญาณขา
ลงที่รับได้คือจานสายอากาศที่ติดตั้งระบบติดตามจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามการเคลื่อนตัว
ของดาวเทียมทั้งในแนวละติจูดและลองจิจูด ซึ่งเกิดจากแรงต่างๆจากภายนอก ปัจจัยที่มีผลต่อระดับ
การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้แก่ขนาดของจานสายอากาศ, ความถี่, แนวการเรียงของจานสาย
อากาศ, การเคลื่อนตัวของดาวเทียม และตำแหน่งของสถานีส่งสัญญาณดาวเทียมบนภาคพื้นดิน ซึ่ง
เมื่อทราบค่าต่างๆ เหล่านี้แล้ว จะทำให้สามารถคำนวณระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ โดย
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณจากแบบรูปการแผ่พลังงานของจานสายอากาศส่ง ซึ่งกำลัง
ของสัญญาณที่ดาวเทียมรับได้จะมีค่าลดลงเมื่อดาวเทียมเคลื่อนตัวออกนอกแกนหลักของลำปี่มจาน
สายอากาศ เนื่องจากจานสายอากาศจะมีอัตราขยายกำลังที่เป็นฟังก์ชันของมุมนอกแกนหลัก ข้อมูล
ตำแหน่งของดาวเทียมจะถูกแปลงให้เป็นค่ามุมที่ดาวเทียมเคลื่อนออกจากแกนหลักแล้วนำมาลบ
ออกจากกำลังสูงสุดที่วัดได้ จะทำให้ได้รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณที่คำนวณที่
จะมีลักษณะสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดจริง เนื่องจากทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการ
คำนวณด้วยค่าจริง ในบทที่ 5 ได้กล่าวถึงการนำหลักการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกำลังของ
สัญญาณมาประยุกต์ใช้ เพื่อหาตำแหน่งของสถานีที่ส่งสัญญาณมายังดาวเทียม โดยตั้งสมมติฐานว่า
ตำแหน่งของสถานีส่งเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า มีเพียงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณ
และข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมไทยคม 3 เท่านั้นที่สามารถเก็บบันทึกได้ จากข้อมูลกำลังของ
สัญญาณทำให้ทราบเวลาที่กำลังมีค่าสูงสุดซึ่งจะสมมติว่าเป็นตำแหน่งที่ดาวเทียมเคลื่อนตัวเข้าสู่
แกนหลักของลำปี่มจานสายอากาศส่ง จากนั้นทำการทดลองสุ่มตำแหน่งบนผิวโลกที่เป็นไปได้ทั้ง
หมดที่จะสามารถส่งสัญญาณมายังดาวเทียมได้ แทนค่าเพื่อหาระดับการเปลี่ยนแปลงกำลังของ
สัญญาณ ระดับการเปลี่ยนแปลงกำลังของสัญญาณที่คำนวณได้ที่มีค่าใกล้เคียงกับ ระดับการเปลี่ยน
แปลงกำลังของสัญญาณที่วัดได้จริงจะกำหนดให้ตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งของสถานีที่ส่งสัญญาณ
มายังดาวเทียม จากการทดลองโดยใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของสัญญาณที่ส่งจาก
เมืองคูไบ ประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่ามีค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งมีลักษณะเป็นแนวเส้น มี
ค่าแตกต่างจากค่าจริงเป็นระยะห่างประมาณ 200 กิโลเมตร ซึ่งถือว่ามีความคลาดเคลื่อนมากหากนำมาใช้
ในการหาตำแหน่งของสถานีส่งที่ตั้งอยู่ภายในประเทศไทย แต่ในทางปฏิบัติแล้วเนื่องจากคอนทิว
ร G/T ของดาวเทียมไทยคม 3 มีรูปแบบการกระจายที่แน่นอน ประกอบกับผู้ใช้จานดาวเทียมไทยคม
3 ที่ส่งสัญญาณจากต่างประเทศมีที่ตั้งของตำแหน่งสถานีที่ห่างกัน และกระจายกันออกไปทั่วทั้ง

ทวีปเอเชีย ยุโรป และออสเตรเลีย ซึ่งสถานีส่งสัญญาณส่วนใหญ่มักตั้งอยู่ในเมืองหลวง หรือเมืองใหญ่ๆ จึงเป็นการง่ายที่จะคะแนนตำแหน่งของสถานีส่งที่มีที่ตั้งอยู่ในต่างประเทศเนื่องจากการใช้งานไม่หนาแน่น

ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการวิจัยมีสาเหตุหลักๆ ได้แก่ การกำหนดแนวการเล็งของจานสายอากาศส่งที่กำหนดจากตำแหน่งดาวเทียม และการกำหนดค่าคงที่รัศมีของผิวโลกซึ่งความเป็นจริงแล้วตำแหน่งแต่ละตำแหน่งบนพื้นผิวโลกจะมีรัศมีจากจุดศูนย์กลางโลกไม่เท่ากัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งค่าคงที่บางค่าเป็นค่าโดยประมาณ เช่น รัศมีของพื้นผิวโลกที่ประมาณจากรัศมีโลกที่ตำแหน่งเส้นศูนย์สูตร ซึ่งในความเป็นจริงแล้วสถานะของโลกไม่สมมาตรดังนั้น ในการนำไปใช้งานจริงจะต้องคำนึงถึงรัศมีของผิวโลกที่ตำแหน่งต่างๆ กันด้วย นอกจากนี้การคำนวณระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอาจมีความผิดพลาดได้ถ้ากำหนดแนวการเล็งของจานสายอากาศส่งไม่ถูกต้อง ซึ่งจากการวิจัยจะกำหนดให้ตำแหน่งของดาวเทียมที่ทำให้สัญญาณมีค่าสูงสุดเป็นตำแหน่งที่จานสายอากาศส่งชี้ไปยังอวกาศ ค่าสูงสุดของสัญญาณที่ได้อาจจะยังไม่ใช่ตำแหน่งพีคของจานสายอากาศส่งจริงๆ ซึ่งต้องอาศัยการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้แนวการเล็งจริงๆ ของจานสายอากาศ ซึ่งจะทำการคำนวณมีความแม่นยำขึ้น สาเหตุอีกประการคือการกำหนดขนาดของจานสายอากาศส่ง เนื่องจากแบบรูปการแผ่พลังงานของจานสายอากาศแต่ละขนาดไม่เท่ากันทำให้การคำนวณอาจไม่ถูกต้องได้ อย่างไรก็ตามขนาดของจานสายอากาศส่งจะมีขนาดมาตรฐานเช่น 1.8 เมตร 2.4 เมตร 3.8 เมตร 4.5 เมตร เป็นต้น ซึ่งการคำนวณแต่ละครั้งอาจจำเป็นต้องทดลองคำนวณหาตำแหน่งโดยแทนค่าขนาดจานสายอากาศขนาดต่างๆ กันแล้ววิเคราะห์ความเป็นไปได้ต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถอาศัยข้อมูลเชิงสถิติในการกำหนดขนาด เช่น จานสายอากาศของสถานีส่งของสถานีภาคพื้นดินที่มีที่ตั้งอยู่ต่างประเทศที่ใช้ส่งสัญญาณบนดาวเทียมไทยคม 3 จะมีขนาด 3.8 เมตรโดยส่วนใหญ่ ในส่วนของความผิดพลาดที่เกิดจากการคำนวณตำแหน่งสามารถประมาณได้จาก G/T คอนทิวรัลของดาวเทียม ซึ่งในบางครั้งผลของการคำนวณตำแหน่งอาจมีแนวเส้นพาดไปยังส่วนที่ค่า G/T ต่ำเกินกว่าสัญญาณจะถูกส่งมายังดาวเทียมได้ หรืออาจมีแนวพาดลงไปยังทะเลซึ่งมีความเป็นไปได้น้อยที่จะมีสถานีส่งสัญญาณมาจากทะเลหรือมหาสมุทร นอกจากนี้ยังอาจคะแนนจากตำแหน่งของเมืองใหญ่ๆ ที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณได้

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการหาตำแหน่งกำหนดสัญญาณรบกวนที่ไม่โดยการวัดเวลาประวิงและเฟสประวิงกับการหาตำแหน่งโดยการวัดระดับการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ

ตารางที่ 6.1 สรุปข้อเปรียบเทียบระหว่างการหาตำแหน่งโดยการวัดเวลาประวิงและเฟสประวิง กับ การหาโดยการวัดระดับการเปลี่ยนแปลง

การหาตำแหน่งโดยการวัดเวลาประวิงและเฟส ประวิง	การหาตำแหน่งโดยการวัดระดับการเปลี่ยนแปลง สัญญาณ
1. อาศัยดาวเทียม 2 ดวง สถานีอ้างอิง 2 สถานี	1. อาศัยดาวเทียม 1 ดวง สถานีอ้างอิง 1 สถานี
2. สัญญาณรบกวนต้องมีกำลังแรงพอที่จะรับได้โดย ดาวเทียมอ้างอิงอีก 1 ดวง	2. สามารถใช้กับสัญญาณรบกวนที่มีกำลังต่ำได้
3. ต้องการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์เพิ่มเติมที่มีความ ซับซ้อนสูง	3. ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่
4. แสดงตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเป็น จุด	4. แสดงตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนเป็นเส้น
5. ความผิดพลาดในการคำนวณเกิดขึ้นจาก <ul style="list-style-type: none"> - การวัด TDOA/FDOA คลาดเคลื่อน - การระบุตำแหน่งดาวเทียมที่คลาดเคลื่อน - TDOA และ FDOA ณ บางตำแหน่งมีแนว ขนานกัน 	5. ความผิดพลาดในการคำนวณเกิดขึ้นจาก <ul style="list-style-type: none"> - การกำหนดตำแหน่งที่งานซึ่งไปยังดาวเทียม - การกำหนดความกว้างลำบีมของแบบรูปงาน สายอากาศ - ความเสถียรของกำลังของสัญญาณที่วัด

การศึกษาระดับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของสัญญาณเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม ที่ได้กล่าวไว้ในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นแนวทางที่สำคัญในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของสถานีที่ส่งสัญญาณแปลกลบหรือส่งสัญญาณรบกวนมายังระบบดาวเทียมอีกวิธี ซึ่งหากลดความผิดพลาดจากการคำนวณที่เกิดขึ้นโดยวิธีที่ได้กล่าวมา ผู้ให้บริการดาวเทียมก็จะสามารถหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้โดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. William Whitfield Smith, Jr. and Paul G. Steffes "A Satellite Interference Location System Using Difference Time and Phase Measurement Techniques", IEEE AES Magazine, March 1991.:3-7.
2. Riccardo Bardelli, David Haworth and Nigel Smith. "Interference Location for The Eutelsat Satellite System", 0-7803-259-5/95, IEEE, 1995.: 1644-1651.
3. Robert J. Ulman and Evaggelos Geraniotis. "Wideband TDOA/FDOA Processing Using Summation of Short-Time CAF's", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 47, No. 12, December 1999.: 3193-3200.
4. Mathew N. O. Sadiku. Numerical techniques in electromagnetics. : CRS Press. 1992.
5. Tri T. Ha. Digital satellite communications. 2nd ed. United State of America : McGraw-Hill. 1990.
6. G. Maral. VSAT networks. Singapore : John Wiley & Sons, Inc. 1995.
7. Pratt, Timothy. Satellite communications. United State of America : John Wiley & Sons, Inc. 1986.
8. Recommendations ITU-R S.465-5. Reference earth-station radiation pattern for use in coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to about 30 GHz. 1993.
9. A. W. Love. Reflector antennas. United State of America : John Wiley & Sons, Inc. 1978.
10. William H, Hayt, Jr. Engineering Electromagnetics. 5th ed. Singapore : McGraw-Hill. 1989.
11. กัลป์รัฐ คล้ายดวง. "การลดความผิดพลาดทางตำแหน่งของผู้ใช้จีพีเอสโดยวิธีปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.

ภาคผนวก ก

Source Code Program Least Square

```
//=====
// โปรแกรมคำนวณการประมาณฟังก์ชันด้วยวิธี Least Square
//=====
// วิธีใช้: 1. คัดลอก Source Code ด้านล่างลงใน Visual Basic Editor
//           ที่อยู่ในโปรแกรม Microsoft Excel
//           2. ใส่ชุดข้อมูลที่จะประมวลผลลง Column B
//           3. เติมหมายเลขใน Column A ตั้งแต่แถวที่ 1 ไปเรื่อยๆ จนเท่ากับจำนวนแถวที่มีใน
//           Column B โดยเริ่มจาก 1 และเพิ่มค่าทีละ 1
//           4. ใน Source Code เปลี่ยนค่าคงที่ของตัวแปล dat ให้เท่ากับจำนวนแถวที่จะ
//           ประมวล (เท่ากับจำนวนแถวข้อมูลใน Column B)
//           5. รันโปรแกรมที่ Sub main()
//           6. ผลการรันจะอยู่ใน Column C ซึ่งเป็นชุดข้อมูลใหม่ที่ผ่านกระบวนการประมวลจาก
//           Column B
//=====
```

Option Explicit

```
Const dat = 63           '// เปลี่ยนจำนวนข้อมูลตรงนี้
Dim a(dat) As Double
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim k As Integer
Dim x(dat, dat) As Double
Dim fx(dat) As Single
Dim m As Single
Dim n As Single
Dim fi As Single
Dim y(dat) As Double
```

Sub main()

```
Call gen_matrix
Call Gaussian_eliminate
Call back_substitute
Call Gaussian_eliminate
Call back_substitute
Call gen_polinomial
End Sub
```

Sub gen_polinomial()

```
Dim pol(dat) As Double
Dim xx As Single
For k = 1 To dat
    xx = Cells(k, 1)
    pol(k) = 0
    For i = 1 To dat
        pol(k) = pol(k) + a(i) * xx ^ (i - 1)
    Next i
    Cells(k, 3) = pol(k)
Next k
```

End Sub

Sub back_substitute()

 a(dat) = y(dat) / x(dat, dat)

 Cells(dat, dat + 5) = a(dat)

 For i = 1 To dat - 1

 a(dat - i) = 0

 For j = 1 To i

 a(dat - i) = a(dat - i) + a(dat - j + 1) * x(dat - i, dat - j + 1)

 Next j

 a(dat - i) = (y(dat - i) - a(dat - i)) / x(dat - i, dat - i)

 Cells(dat - i, dat + 5) = a(dat - i)

 Next i

End Sub

Sub Gaussian_eliminate()

Dim q As Double

For k = 1 To dat - 1

 For i = k + 1 To dat

 q = x(i, k)

 For j = k To dat

 x(i, j) = x(i, j) - q / x(k, k) * x(k, j)

 Cells(i, j + 3) = x(i, j)

 Next j

 y(i) = y(i) - q / x(k, k) * y(k)

 Cells(i, dat + 7) = y(i)

 Next i

Next k

End Sub

Sub gen_matrix()

 For i = 1 To dat

 y(i) = 0

 For j = 1 To dat

 x(i, j) = 0

 For k = 1 To dat

 m = Cells(k, 1)

 x(i, j) = x(i, j) + m ^ (j - 1 + i - 1)

 Next k

 Cells(i, j + 3) = x(i, j)

 fi = Cells(j, 2)

 n = Cells(j, 1)

 y(i) = y(i) + fi * n ^ (i - 1)

 Next j

 Cells(i, dat + 7) = y(i)

 Next i

End Sub

Source Code Program θ

Option Explicit

```
// Bangkok Long= 105.75, Lat= 13.75
Const Pi = 3.14159265358979
Const r = 6378155# // Earth radius
Const zetaE = 90 - 13.75 // 90 - E/S Lat (BKK)
Const phiE = 105.75 // E/S Lon (BKK)

Dim Sr As Single // Slant Range
Dim zetaS As Single // 90 - Sat Lat
Dim phiS As Single // Sat Lon
Dim Rx As Single // Sat Rx
Dim Ry As Single // Sat Ry
Dim Rz As Single // Sat Rz
Dim RR As Single // Sat range from center of earth
```

Sub calzetaG()

```
Dim xInt As Single //Interference Source Location
Dim yInt As Single
Dim zInt As Single

Dim xPeak As Single //Vector of Sat at Main Beam
Dim yPeak As Single
Dim zPeak As Single

Dim xOff As Single //Vector of Sat at Off Beam
Dim yOff As Single
Dim zOff As Single

Dim Dmainx As Single //Vector of main beam
Dim Dmainy As Single
Dim Dmainz As Single

Dim Dmain As Single //Amplitude of direction of main beam

Dim Doffx As Single //Vector of off beam
Dim Doffy As Single
Dim Doffz As Single

Dim Doff As Single //Amplitude of direction of off beam

Dim zetaInt As Single //90 - IntE/S Lat
Dim phiInt As Single //Int E/S Lon

Dim OffAng As Single //Off Angle

Dim G0 As Single //On Axis Gain
```

Dim Goff As Single '//Off angle Gain

Dim GoffR As Single '//Relative off angle Gain

Dim i As Integer

Dim l As Integer

Dim k As Integer

```

'//=====
'//INPUT ALL initialized value here
'//=====
'//carrier#1 power peak on 26-Feb-02 1:00 AM (suspected that main beam is
'//pointing to)
'//carrier#1 U/L from Dubai, Long=55.28, Lat=25.23
'//=====
Const f = 6522600000#
Const c = 299792458#
Const D = 3.8

phiS = 78.4805      '//Sat Long at Peak

xPeak = 5616971      '//Look from Rx at Peak Power
yPeak = 41774360     '//Look from Ry at Peak Power
zPeak = 1512040.875  '//Look from Rz at Peak Power

Dim maxpwr As Single

maxpwr = Cells(1, 18) '//Max power

'//=====
xInt = r * Sin(zetaInt * Pi / 180) * Cos(phiInt * Pi / 180)
yInt = r * Sin(zetaInt * Pi / 180) * Sin(phiInt * Pi / 180)
zInt = r * Cos(zetaInt * Pi / 180)

Dmainx = xPeak - xInt
Dmainy = yPeak - yInt
Dmainz = zPeak - zInt

Dmain = Sqr(Dmainx ^ 2 + Dmainy ^ 2 + Dmainz ^ 2)

'//=====
'//Correction Angle
'//=====
Dim a As Single      '//Main Az
Dim a1 As Single     '//Off Az
Dim z As Single      '// Coorrected Az
Dim e As Double      '//Main EI
Dim e1 As Double     '//Off EI
Dim Slo1 As Single   '//Off Sat Long
Dim Sla1 As Single

```

```

Dim Ela As Double    '//E/S Lat
Dim Elo As Double    '//E/S Long
Dim fc As Single     '//Correction factor

'//=====
'//Cal number of match for each location
'//=====
For l = 2 To 331
    philnt = Cells(l, 20)           '//Row Argument = Long
    For k = 21 To 179
        zetalnt = 90 - Cells(1, k)  '//Column Argunemnt = Lat
        Cells(l, k) = 0             '//Clear
        For i = 2 To 50

            Ela = 90 - zetalnt
            Elo = philnt

            If Ela = 0 Then Ela = 1E-30

            a = Atn(Tan(Abs(phiS - Elo) * Pi / 180) / Sin((Ela) * Pi / 180))
'//Az at main beam

            xOff = Cells(i, 11)
            yOff = Cells(i, 12)
            zOff = Cells(i, 13)

            '// correction =====
            Slo1 = Cells(i, 9)
            Sla1 = Cells(i, 7)
            RR = Cells(i, 14)
            a1 = Atn(Tan(Abs(Slo1 - Elo) * Pi / 180) / Sin((Ela - Sla1) * Pi /
180))
            e1 = Atn((RR - r * Cos((Ela - Sla1) * Pi / 180) * Cos(Abs(Slo1 -
Elo) * Pi / 180)) / (r * Sin(acos(Cos((Ela - Sla1) * Pi / 180) * Cos(Abs(Slo1 -
Elo) * Pi / 180)))) - acos(Cos((Ela - Sla1) * Pi / 180) * Cos(Abs(Slo1 - Elo) * Pi
/ 180))

            z = 2 * asin(Sin(Abs(a - a1) / 2) / Cos(e1))    '// Correct Angle

            If z = 0 Then
                fc = 1
            Else
                fc = z / Abs(a - a1)
            End If

            '//=====
            Doffx = xOff - xlnt
            Doffy = yOff - ylnt
            Doffz = zOff - zlnt

            Doff = Sqr(Doffx ^ 2 + Doffy ^ 2 + Doffz ^ 2)

```

```
OffAng = fc * Arccos((Dmainx * Doffx + Dmainy * Doffy + Dmainz *
Doffz) / (Dmain * Doff)) * 180 / Pi
```

```
If OffAng = 0 Then OffAng = 1E-30
```

```
Dim u As Single
```

```
u = 2 * Pi * (D / 2) * f / c * Sin(OffAng)
```

```
G0 = 20 * Log(0.75 * Abs(2 / (Sin(1E-30 * Pi / 180)) * j(Pi * f * D *
Sin(1E-30 * Pi / 180) / c, 1))) / Log(10)
```

```
Goff = 20 * Log(0.75 * Abs(2 / (Sin(OffAng * Pi / 180)) * j(Pi * f * D *
Sin(OffAng * Pi / 180) / c, 1))) / Log(10)
```

```
GoffR = Goff - G0
```

```
Cells(i, 15) = OffAng
```

```
Cells(i, 16) = Goff
```

```
Cells(i, 17) = GoffR
```

```
Cells(i, 19) = maxpwr + GoffR    '//Cal Power
```

```
Dim diff As Single
```

```
diff = Abs(Cells(i, 18) - Cells(i, 19))
```

```
If diff <= 0.05 Then
```

```
    Cells(l, k) = Cells(l, k) + 1
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
Dim h As Integer
```

```
'If Cells(l, k) >= 15 Then
```

```
'    Cells(l, k) = Cells(l, k) + 1
```

```
'    Cells(52 + h, 17) = zetaInt
```

```
'    Cells(52 + h, 18) = phiInt
```

```
'    Cells(52 + h, 19) = Cells(l, k)
```

```
'    h = h + 1
```

```
' End If
```

```
Next k
```

```
Next l
```

```
End Sub
```

```
Function Arccos(x As Single)
```

```
On Error Resume Next
```

```
If x <> 1 Then
```

```
    Arccos = Atn(-x / Sqr(-x * x + 1)) + 2 * Atn(1)
```

```

Else
  Arccos = 0
End If
End Function

```

```

Function j(x As Single, Order As Single)
  Dim p As Integer
  Dim m As Long
  j = 0
  p = Order

  For m = 0 To 67
    j = j + (-1) ^ m * (x / 2) ^ (2 * m + p) / fac(m) / fac(m + p)
  Next m
End Function

```

```

Function fac(x As Long)
  Dim i As Integer
  fac = 1
  For i = 1 To x
    fac = fac * i
  Next i
End Function

```

```

Function acos(x As Double)
  acos = Atn(-x / Sqr(-x * x + 1)) + 2 * Atn(1)
End Function

```

```

Function asin(x As Double)
  On Error Resume Next
  asin = Atn(x / Sqr(-x * x + 1))
End Function

```

ภาคผนวก ข

3.1.2 Pattern Beam Width Method

PATTERN BEAMWIDTH METHOD (STEPS 1-9)

This procedure is an alternate means of measuring the receive gain of an earth station antenna. It does not depend on the calibration accuracy of an AES or on the radiation characteristics of a satellite. It does require the availability of the manufacturer's in-plant test data: standard deviation of actual reflector surfaces and insertion loss of feed system. Resources required include: spectrum analyzer and, for antennas without angle indicators plumb bob and line, tape measure, inclinometer or protractor (see Figures 4 and 5).

- 1 Point the antenna under test to the peak of the specified satellite beacon signal. Lock the azimuth and elevation axes (apply brakes if applicable). The frequency of the active satellite beacon carriers may be obtained from the IOC, ESS or AVT Engineer.
- 2 The AVT/AES will transmit an unmodulated carrier at the level, polarization and frequency specified in the test schedule. A satellite beacon may also be used in lieu of an AVT/AES transmitted carrier for performing this test. Insure adequate bandwidth considerations when using modulated beacons.
- 3 Release the azimuth brakes and slowly move the antenna counter-clockwise (CCW) until a 3 dB reduction in receive signal level is noted relative to that measured at beam center. Record the azimuth offset (degrees) from beam center and continue to move the antenna CCW until a 10 dB reduction in receive signal is noted relative to that measured at beam center. Again record the azimuth offset from beam center. Repoint the antenna to beam center and lock the azimuth and elevation axes.
- 4 Repeat Step 3, replacing CCW with CW.
- 5 Release the elevation brakes and slowly move the antenna UP in elevation until a 3 dB reduction in receive signal level is noted relative to that measured at beam center. Record the elevation offset (degrees) from beam center and continue to move the antenna UP until a 10 dB reduction in receive signal is noted relative to that measured at beam center. Again record the elevation offset from beam center. Repoint the antenna to beam center and lock the azimuth and elevation axes.
- 6 Repeat Step 5, replacing UP with DOWN.
- 7 For antennas with elevation over azimuth (E/Az) type mounts, a correction is necessary to achieve the azimuth range recorded by AVT. This correction is dependent on the beam center elevation angle. The corrected azimuth displacement angle (Az') is given as:

For example:
 Earth Station Elevation Angle (EL) = 45°
 Az angle recorded by AVT = 12°
 Therefore Az' = 17° (The azimuth angle read from the encoders is ±17° for an azimuth pattern of ±12° recorded by AVT.)

$$Az' = 2 \sin^{-1} \left[\sin \left(\frac{Az}{2} \right) / \cos(El) \right] \text{Degrees}$$

where:
 Az' = Corrected azimuth angle displacement as read from the encoders
 Az = Azimuth angle recorded by AVT.
 El = Elevation angle
- 8 Repeat Steps 3 through 7 above for all available transmit frequencies and the opposite polarization, if required.
- 9 From the data collected above and using the corrected azimuth (Az) values, determine the 3 dB and 10 dB beamwidths for both the azimuth and elevation patterns. (The 3 and 10 dB beamwidths are the angular distance between the upper and lower 3 and 10 dB points measured previously.) The antenna pattern power gain may then be calculated using the procedure described in Section 11, *Calculating Antenna Gain Using 3/10 DB Beamwidths*.

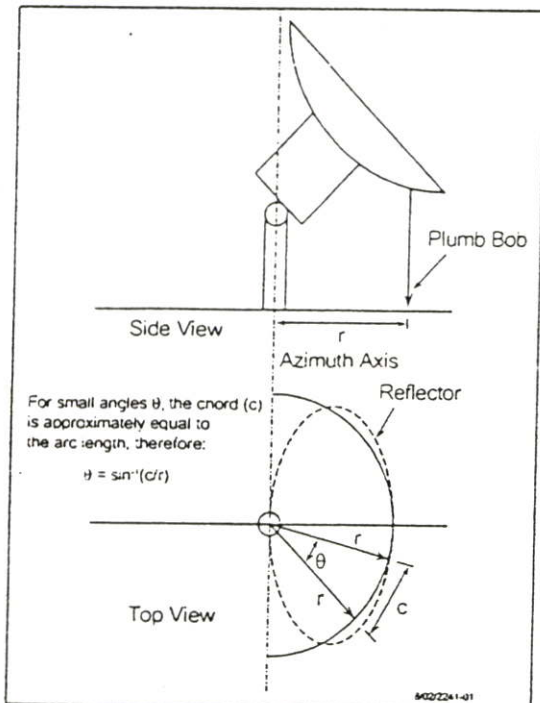


Figure 4 Method of Determining the Azimuth Displacement Angle

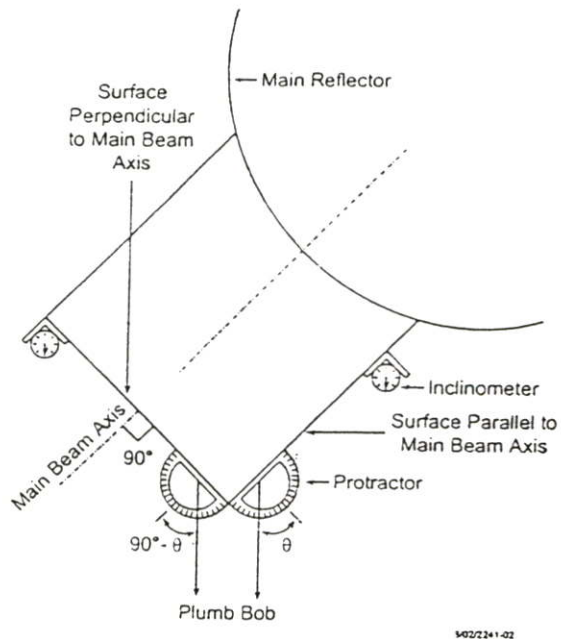


Figure 5 Method of Determining the Elevation Displacement Angle

3.2 Receive System Figure of Merit (G/T)

The G/T of an earth station is the ratio of the receive gain of the earth station antenna to the total noise temperature of the earth station receive system. It is usually measured at the receiver preamplifier (LNA) output and referred to the LNA input. It includes the effects of LNA and receiver noise, interconnecting transmission line loss, VSWR and port-to-port isolation as well as antenna noise. If the value of the antenna receive gain and receiver system noise temperature are known, the G/T can be calculated as:

$$G/T = G_R - 10 \text{ Log SNT}; \text{ or } G/T = G_R \text{ dB} - 10 \text{ log SNT dB/K}$$

where:

- G/T = Receive System Figure of Merit
- G_R = Earth Station Antenna Receive Gain
- SNT = Earth Station Receive System Noise Temperature

NOTE: In some cases, it may be found that the antenna (feed/reflector) unit in use has been previously type approved as a single unit (no LNA). In this case, the earth station antenna receive gain (G_R) is known, but the G/T is not. The unknown in this example, the SNT, can be measured using the procedures under "Noise power Test Set Method".

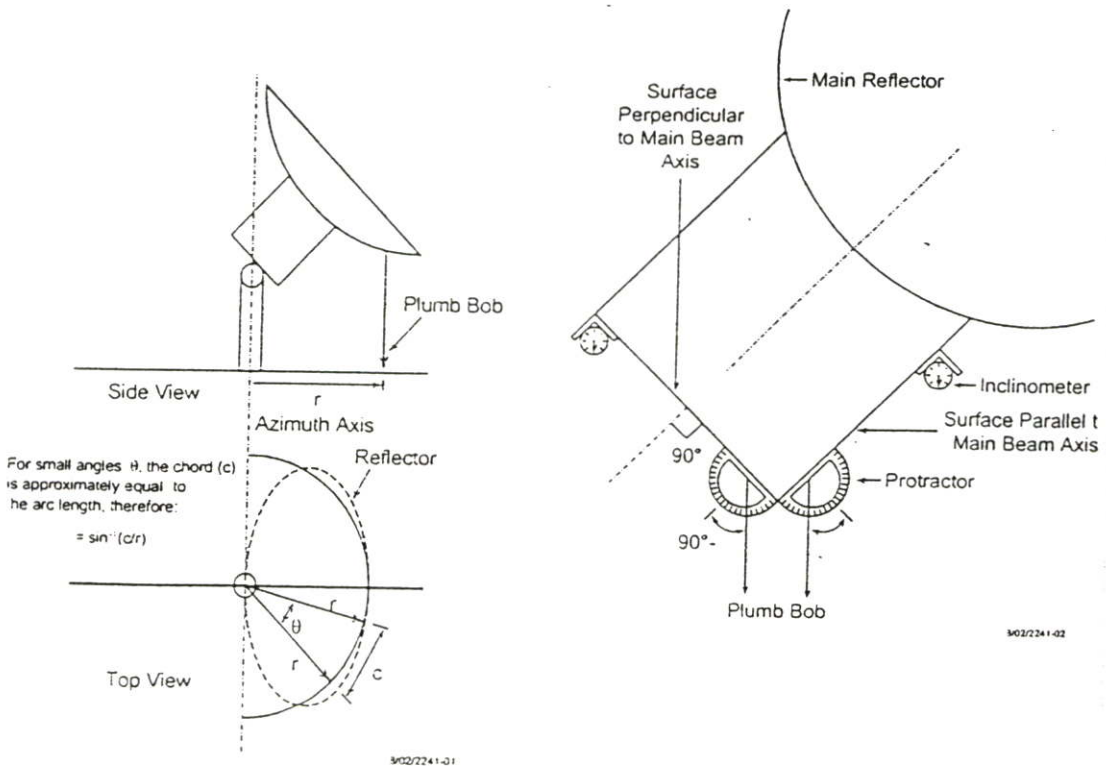
4.1.3 Pattern Beam Width Method

PATTERN BEAM WIDTH METHOD (STEPS 1-9)

This method does not depend on the calibration accuracy of an assisting earth station. It does require the manufacturer's in-plant test data. It also requires the capability of the earth station to accurately measure the relative azimuth and elevation pointing angles.

Calibrated Waveguide Directional Coupler, frequency and coupling factors are to be determined by system needs (2 required for dual polarized antenna feeds). (It is recommended that these waveguide couplers be permanently installed as part of the antenna feed system.) Coaxial couplers may be used if waveguide couplers are not available.

PATTERN BEAM WIDTH METHOD (STEPS 1-9)



PATTERN BEAM WIDTH METHOD (STEPS 1-9)

Figures 4 and 5 illustrate a method to measure the azimuth and elevation angle displacement (Section 3.1.2). Antennas without angular indicators require that displacement angles be determined using a plumb bob and tape measure for azimuth and an inclinometer (or protractor and plumb bob) for elevation.

Equipment: 1) Power Meter with Sensor, 2) Signal Generator, 3) Spectrum Analyzer, and 4) Frequency Counter.

- 1 Point the antenna under test to beam center using the satellite beacon. Lock the azimuth and elevation brakes.
- 2 Under AVT Engineer direction, transmit an unmodulated carrier at a reduced power level at the test frequency and co-polarization specified in the Test Plan. Slowly raise the transmit power level until the AVT Engineer reports a satellite downlink e.i.r.p. equal to that specified in the Test Plan.
- 3 In coordination with the AVT/AES Engineer, release the azimuth brakes and slowly move the antenna counter-clockwise (CCW) until the AVT/AES Engineer reports a 3 dB reduction in receive signal level relative to that measured at beam center. Record the azimuth offset (degrees) from beam center and continue to move the antenna CCW until the AVT/AES Engineer reports a 10 dB reduction in receive signal level relative to that measured at beam center. Again record the azimuth offset from beam center. Repoint the antenna to beam center and lock the azimuth and elevation brakes.
- 4 Repeat Step 3 above for a clockwise (CW) movement of the antenna.
- 5 Repeat Steps 3 and 4 above for elevation replacing CCW with DOWN and CW with UP.
- 6 Repeat Step 5 above for a downward movement of the antenna.
- 7 Repeat Steps 3 through 6 above for all available transmit frequencies. Available frequencies will be provided in the Test Plan.
- 8 Report the data recorded above to the Earth Station Support Section verbally with hardcopy follow up. Be sure to note whether or not the indicated azimuth displacement angles (Az) have been corrected for the elevation angle where the corrected azimuth displacement angle (Az') is given as:

$$Az' = 2 \sin^{-1} \left[\sin \left(\frac{Az}{2} \right) / \cos(EL) \right] \text{ Degrees}$$

where:

Az' = Corrected azimuth angle displacement as read from the encoders

Az = Azimuth angle recorded by AVT.

EL = Elevation angle

For example:

Earth Station Elevation Angle (EL) = 45

Az angle recorded by AVT = 12

Therefore Az' = 17 (The azimuth angle read from the encoders is 17 for an azimuth pattern of 12 recorded by AVT.)

- 9 From the data collected above and using the corrected azimuth (Az) values, determine the 3 dB and 10 dB beamwidths for both the azimuth (AZBW) and elevation (ELBW) patterns. The antenna pattern power gain (G) can then be calculated using the method provided in Section 10 of this document.
-

ภาคผนวก ค

Satellite Name: THAICOM-3 EXTENDED-C (REGIONAL)
 Transponder number: 3E
 Uplink Frequency Range (MHz): 6534.6 - 6536.8 & 6522.2 - 6523 & 6533.4 - 6534.2
 Downlink Frequency Range (MHz): 3509.6 - 3511.8 & 3497.2 - 3498 & 3508.4 - 3509.2
 Uplink Polarization: Horizontal
 Downlink Polarization: Vertical
 Satellite Attenuator Setting (dB): 2
 Allowable EIRP Down at Nonthaburi (dBW): 24.33
 Aggregate Input Backoff (dB): 14.97
 Aggregate Output Backoff (dB): 14.57

Satellite Name: THAICOM-3 EXTENDED-C (REGIONAL)
 Transponder number: 3E
 Uplink Frequency Range (MHz): 6534.6 - 6536.8 & 6522.2 - 6523 & 6533.4 - 6534.2
 Downlink Frequency Range (MHz): 3509.6 - 3511.8 & 3497.2 - 3498 & 3508.4 - 3509.2
 Uplink Polarization: Horizontal
 Downlink Polarization: Vertical
 Satellite Attenuator Setting (dB): 2
 Allowable EIRP Down at Nonthaburi (dBW): 24.33
 Aggregate Input Backoff (dB): 14.97
 Aggregate Output Backoff (dB): 14.57

Car ID	Carrier Type	Tx site	Rx site	Tx Antenna Size (m)	Rx Antenna Size (m)	Information Rate (kbps)	FEC	Mod Type	Uplink frequency (MHz)	Downlink frequency (MHz)	Allocated BW (MHz)	HPA max Power (Watts)	HPA Operate/Crit (Watts)	EIRP up c/sky (dBW)	EIRP down c/sky at Nonthaburi (dBW)
1	SCPC	U.A.E.Dubai	India, Chennai	6.3	4.5	2048	3/4 with RS 188/204	QPSK	6535.7000	3510.7000	2200	700.00	22.37	61.18	19.04
2	SCPC	U.A.E.Dubai	INDIA, Bangalore	6.3	4.5	1024	2/3 with RS 188/204	QPSK	6522.6000	3497.6000	800	700.00	10.25	57.77	15.63
3	SCPC	INDIA, Bangalore	U.A.E.Dubai	4.5	6.3	1024	2/3 with RS 188/204	QPSK	6533.8000	3508.8000	800	700.00	3.23	-19.95	17.96

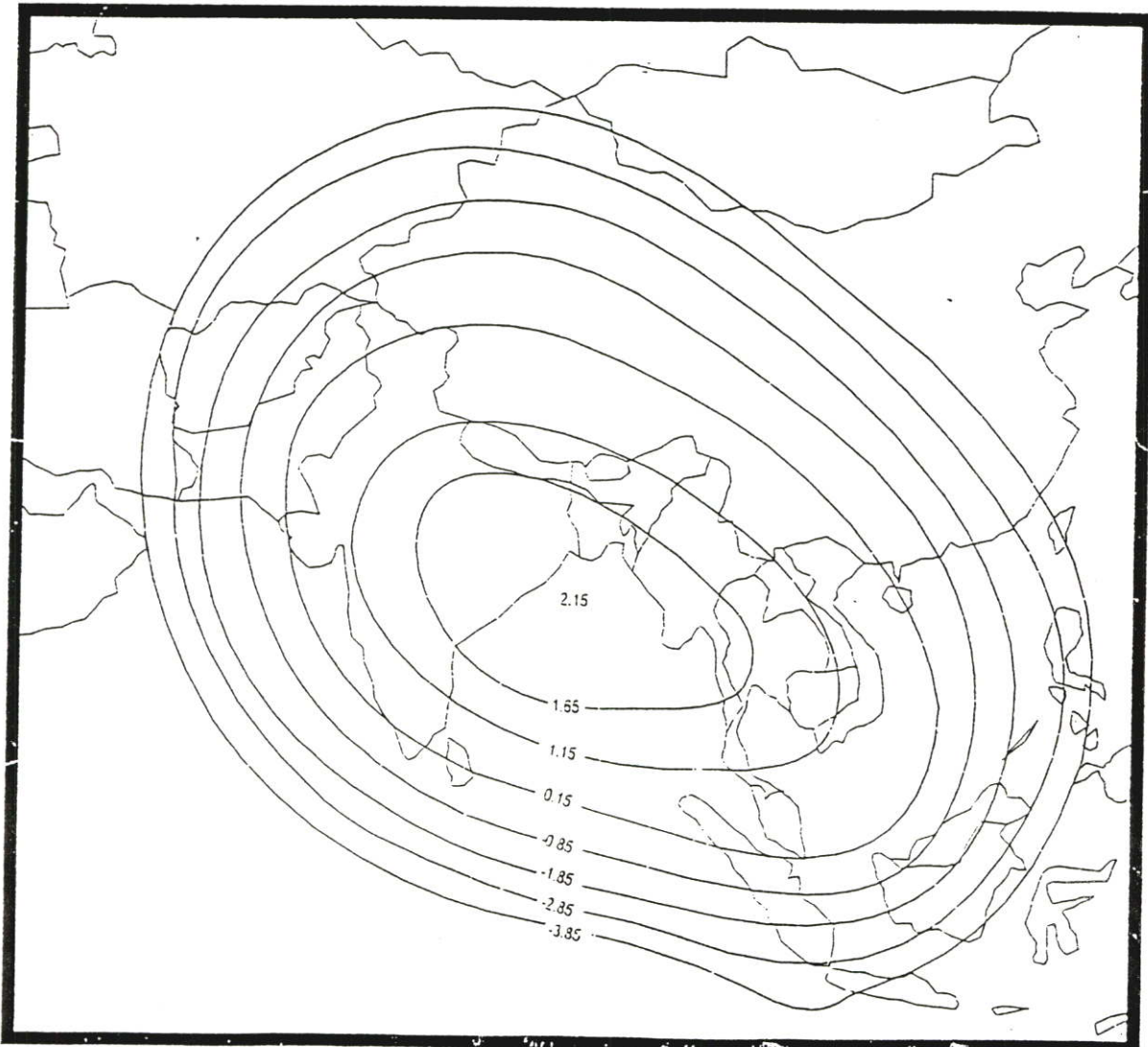
ภาคผนวก ง

THAICOM - 3

C-Band Regional Beam G/T Contours (dB/K)

Communications Subsystem Characteristics

Orbital Location	78.5°E
Date of Service	June, 1997
Number of Transponders	18 (12 Standard + 6 Extended)
Transponder Bandwidth	36 MHz
Receive Side	5,925 - 6,725 MHz (Vertical)
Transmit Side	3,400 - 4,200 MHz (Horizontal)

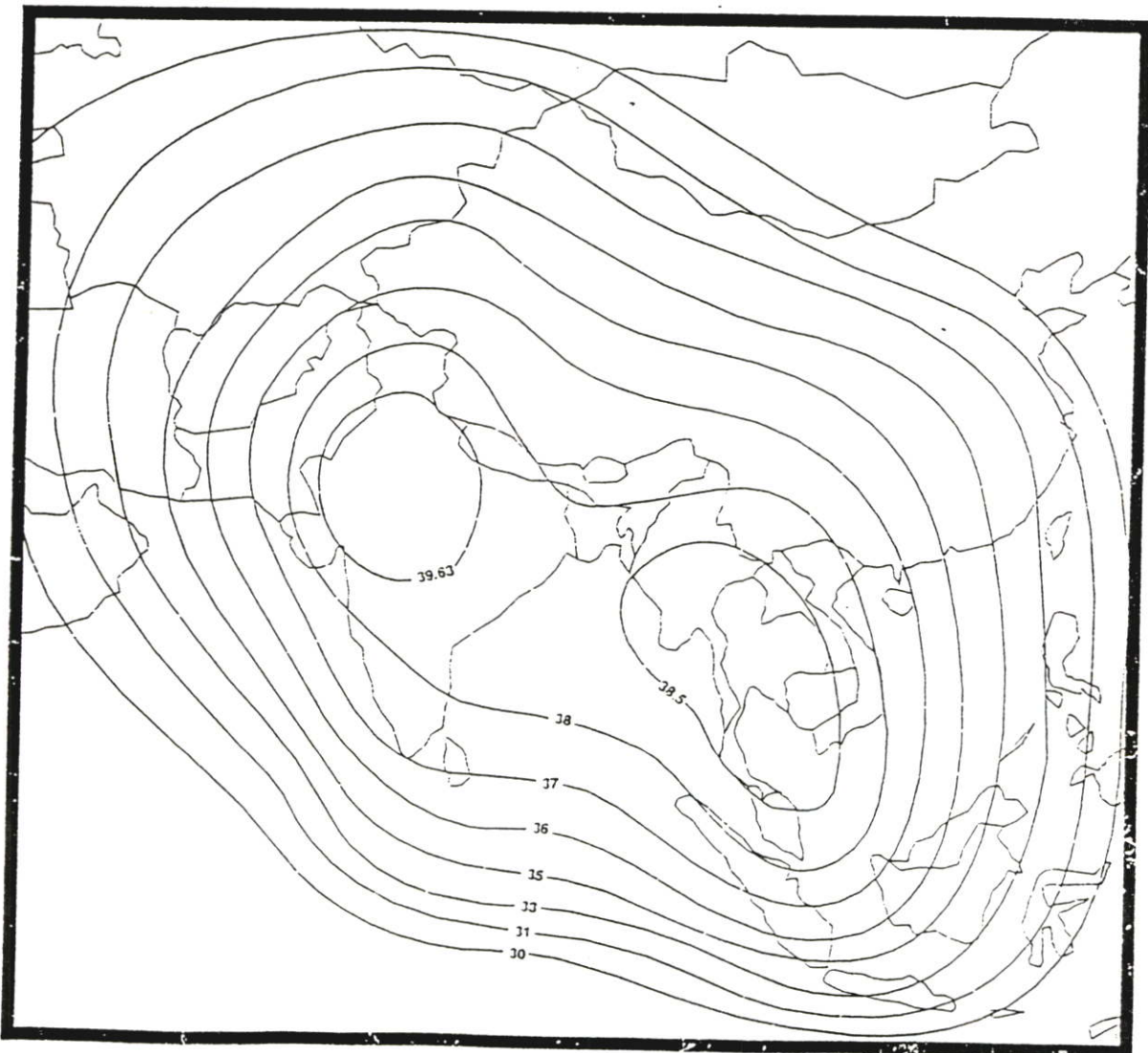


THAICOM - 3

C-Band Regional Beam EIRP Contours (dBW)

Communications Subsystem Characteristics

Orbital Location	78.5°E
Date of Service	June, 1997
Number of Transponders	18 (12 standard + 6 extended)
Transponder Bandwidth	36 MHz
Receive Side	5,925 - 6,725 MHz (Horizontal)
Transmit Side	3,400 - 4,200 MHz (Vertical)



THAICOM-3 PARAMETERS (Extended-C BAND, Global Beam)

1. The range of possible attenuator setting of THAICOM-3 is from 0 dB to 16 dB with 1dB/step.
2. EIRP contour of THAICOM-3 is attached in Figure-1.
3. G/T contour of THAICOM-3 is attached in Figure-2
SFD depends on G/T as defined in the following formula.

$$\text{SFD} = -(76+G/T) - (16- X) \quad \text{dBW/m}^2$$

where X = attenuator setting of the satellite

4. Input and output back-off relation is given as follows :

$$\text{OBO} = (\text{IBO} - \text{Agg. IBO}) + \text{Agg. OBO}$$

where OBO = carrier output back-off
 IBO = carrier input back-off
 Agg. IBO = aggregate input back-off
 Agg. OBO = aggregate output back-off

and

-Single-carrier application per transponder

$$\begin{aligned} \text{Agg. IBO} &= 0 \text{ dB} && \text{per transponder} \\ \text{Agg. OBO} &= 0 \text{ dB} && \text{per transponder} \end{aligned}$$

-Two-carrier application per transponder

$$\begin{aligned} \text{Agg. IBO} &= 2.0 + 10 \cdot \text{LOG}(100/\text{Leased percent}) \text{ dB} && \text{per transponder} \\ \text{Agg. OBO} &= 2.4 + 10 \cdot \text{LOG}(100/\text{Leased percent}) \text{ dB} && \text{per transponder} \\ \text{C/I (Intermodulation)} &= 18 \text{ dB} \end{aligned}$$

-Multiple-carrier application per transponder

$$\begin{aligned} \text{Agg. IBO} &= 5.5 + 10 \cdot \text{LOG}(100/\text{Leased percent}) \text{ dB} && \text{per transponder} \\ \text{Agg. OBO} &= 5.0 + 10 \cdot \text{LOG}(100/\text{Leased percent}) \text{ dB} && \text{per transponder} \\ \text{C/I (Intermodulation)} &= 18 \text{ dB} \end{aligned}$$

Thaicom 3 C-Band Frequency & Polarization Plan

Uplink (MHz) : 5925 - 6425 and 6425 - 6725

Thaicom 3 Standard & Extended C-Band Regional Beam

Horizontal	5945	5985	6025	6065	6105	6145	6185	6225	6265	6305	6345	6385	6425	6465	6505	6545	6585	6625	6665	6705	6745			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
Vertical	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
	5927	5963	5967	6003	6007	6043	6047	6083	5087	6123	6127	6163	6167	6204	6207	6243	6247	6283	6287	6323	6327	6363	6367	6403

Used by Thaicom 2

Horizontal	6430	6470	6510	6550	6590	6630	6670	6710															
1E	2E	3E	4E	5E	6E	7E	8E	9E															
Vertical	1G	2G	3G	4G	5G	6G	7G	8G															
	6432	6468	6472	6508	6512	6548	6552	6588	6592	6628	6632	6668	6672	6708	6712	6748	6752	6788	6792	6828	6832	6868	6872

Thaicom 3 Extended C-Band Global Beam

Downlink (MHz) : 3400 - 3700 and 3700 - 4200

Thaicom 3 Extended C-Band Global Beam

Horizontal	3440	3480	3520	3560	3600	3640	3680							
1G	2G	3G	4G	5G	6G	7G	8G							
Vertical	1E	2E	3E	4E	5E	6E	7E							
	3422	3458	3462	3498	3502	3538	3542	3578	3582	3618	3622	3658	3662	3698

Horizontal	3720	3760	3800	3840	3880	3920	3960	4000	4040	4080	4120	4160													
1V	2V	3V	4V	5V	6V	7V	8V	9V	10V	11V	12V	13V													
Vertical	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H													
	3702	3736	3742	3778	3782	3818	3822	3858	3862	3898	3902	3938	3942	3978	3982	4018	4022	4058	4062	4098	4102	4138	4142	4178	4182

Thaicom 3 Standard & Extended C-Band Regional Beam

Frequency Conversion : Extended C-Band : 3025 MHz

: Standard C-Band : 2225 MHz

TM-TC3 : 4197.875 MHz / 4198.3 MHz

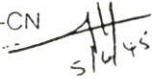
TM-TC2 : 4198.75 MHz / 4199.875 MHz

ภาคผนวก จ

4 มิถุนายน 2545

เรียน DM-SE

สำเนาเรียน DM-CN



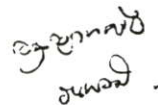
เรื่อง ขออนุญาตนำเสนอข้อมูลไทยคม 3 บางส่วนในวิทยานิพนธ์

เนื่องด้วยกระผม นายบรรพต เคลือบพวงพิทย พนักงานฝ่ายบริการลูกค้าและเครือข่าย ได้ทำวิจัยและวิทยานิพนธ์เรื่อง "การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสัญญาณต่อตำแหน่งสถานีภาคพื้นดินที่ใช้งานบนดาวเทียมไทยคม 3" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาตำแหน่งสัญญาณรบกวนที่ไม่ทราบที่มา (Unknown interference source location) ซึ่งเป็นปัญหาที่ทางฝ่ายต้องประสบอยู่ในปัจจุบัน

ด้วยเหตุนี้ในเนื้อหาของวิทยานิพนธ์บางส่วนมีความจำเป็นต้องอ้างอิงถึงตำแหน่งดาวเทียมไทยคม 3 (Latitude, Longitude, Slant range) โดยได้อ้างอิงตำแหน่งของดาวเทียมระหว่างวันที่ 24 - 26 กุมภาพันธ์ 2545 ดังเอกสารแนบ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดอนุญาต

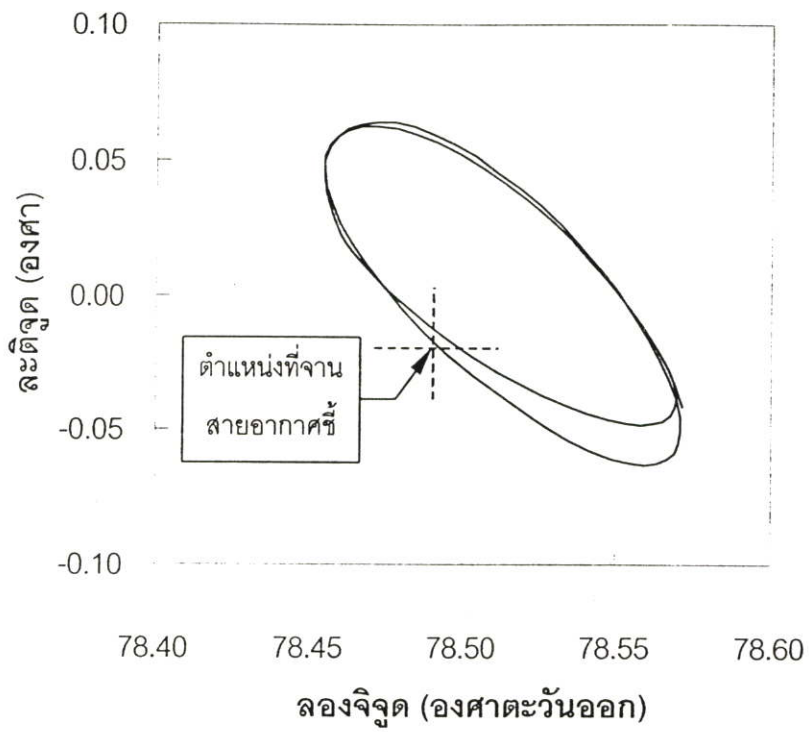
บรรพต เคลือบพวงพิทย



ข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมไทยคม 3 ระหว่างวันที่ 24 - 26 กุมภาพันธ์ 2545

วัน	เวลา (GMT)	ลองจิจูด(°)	ละติจูด(°)	ระยะห่าง (km)
24-Feb-02	16:00	78.57	-0.03	36520.652
24-Feb-02	17:00	78.57	-0.04	36526.078
24-Feb-02	18:00	78.57	-0.04	36531.760
24-Feb-02	19:00	78.56	-0.05	36537.298
24-Feb-02	20:00	78.55	-0.05	36542.259
24-Feb-02	21:00	78.54	-0.04	36546.221
24-Feb-02	22:00	78.53	-0.04	36548.825
24-Feb-02	23:00	78.51	-0.03	36549.821
25-Feb-02	0:00	78.50	-0.02	36549.102
25-Feb-02	1:00	78.48	-0.01	36546.719
25-Feb-02	2:00	78.47	0.01	36542.871
25-Feb-02	3:00	78.46	0.02	36538.105
25-Feb-02	4:00	78.45	0.04	36532.224
25-Feb-02	5:00	78.45	0.05	36526.094
25-Feb-02	6:00	78.46	0.06	36520.187
25-Feb-02	7:00	78.47	0.06	36514.923
25-Feb-02	8:00	78.48	0.06	36510.641
25-Feb-02	9:00	78.49	0.06	36507.573
25-Feb-02	10:00	78.50	0.05	36505.845
25-Feb-02	11:00	78.52	0.04	36505.485
25-Feb-02	12:00	78.53	0.03	36506.445
25-Feb-02	13:00	78.54	0.01	36508.626
25-Feb-02	14:00	78.56	-0.01	36511.895
25-Feb-02	15:00	78.56	-0.02	36516.096
25-Feb-02	16:00	78.57	-0.04	36521.047
25-Feb-02	17:00	78.57	-0.05	36526.519
25-Feb-02	18:00	78.57	-0.06	36532.225
25-Feb-02	19:00	78.56	-0.06	36537.810
25-Feb-02	20:00	78.55	-0.06	36542.867
25-Feb-02	21:00	78.54	-0.06	36546.971

25-Feb-02	22:00	78.53	-0.05	36549.736
25-Feb-02	23:00	78.51	-0.04	36550.869
26-Feb-02	0:00	78.50	-0.02	36550.215
26-Feb-02	1:00	78.48	-0.01	36547.786
26-Feb-02	2:00	78.47	0.01	36543.763
26-Feb-02	3:00	78.46	0.03	36538.480
26-Feb-02	4:00	78.45	0.04	36532.384
26-Feb-02	5:00	78.45	0.05	36525.985
26-Feb-02	6:00	78.46	0.06	36519.799
26-Feb-02	7:00	78.47	0.06	36514.299
26-Feb-02	8:00	78.48	0.06	36509.863
26-Feb-02	9:00	78.49	0.06	36506.754
26-Feb-02	10:00	78.51	0.05	36505.107
26-Feb-02	11:00	78.52	0.03	36504.934
26-Feb-02	12:00	78.54	0.02	36506.153
26-Feb-02	13:00	78.55	0.00	36508.610
26-Feb-02	14:00	78.56	-0.01	36512.118
26-Feb-02	15:00	78.57	-0.03	36516.474
26-Feb-02	16:00	78.57	-0.04	36521.468



การเคลื่อนตัวของดาวเทียมไทยคม 3 จากตารางที่ 4.1 โดยแสดงตำแหน่งที่งานสายอากาศชี้ไปยังดาวเทียม

ประวัติผู้เขียน

นายบรรพ เคลือบพวงพิทย์ เกิดเมื่อวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2517 จากจังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2539

ผลงานวิชาการที่ได้รับยอมรับการตีพิมพ์ได้แก่

1. บรรพด เคลือบพวงพิทย์, ณรงค์ เหมกรณ์. “การปรับแต่งการคำนวณการเชื่อมโยงเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนแบบคลอสโพลาร์ไรเซชันเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม.” การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 39 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กุมภาพันธ์ 2544.
2. Bunphot Clearpaungpith, Narong Hemakon. “Study on relation of cross polarization variation to the earth station location using on Thaicom-3 satellite.” International Symposium on Communication and Information Technology. Chiangmai. November 2001.

ประวัติการทำงาน

ปี พ.ศ. 2540 เข้าทำงานที่บริษัทชินแซทเทลไลท์ ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายบริการลูกค้าและเครือข่าย รับผิดชอบประสานงานการใช้งานดาวเทียม และตรวจวิเคราะห์หาสัญญาณรบกวนในระบบดาวเทียม ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรอาวุโสฝ่ายบริการลูกค้าและเครือข่าย