

การศึกษาคุณลักษณะและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง  
กะทันหันต่อประสิทธิภาพการสื่อสารดาวเทียมย่านความถี่ L

STUDY ON CHARACTERISTICS AND AMPLITUDE SCINTILLATION  
EFFECTS ON L-BAND SATELLITE COMMUNICATION  
SYSTEM PERFORMANCE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาค้นคว้าระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-699-3

การศึกษาคุณลักษณะและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง  
กะทันหันต่อประสิทธิภาพการสื่อสารดาวเทียมย่านความถี่ L

STUDY ON CHARACTERISTICS AND AMPLITUDE SCINTILLATION  
EFFECTS ON L-BAND SATELLITE COMMUNICATION  
SYSTEM PERFORMANCE



อดิศร์ เดชารัตน์  
ADIT DECHARAT

เลข  
0 1290  
2545

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 43282  
น, เดือน, ปี 2.1 ส.ค. 2545

b. 032826  
i. D32 6300

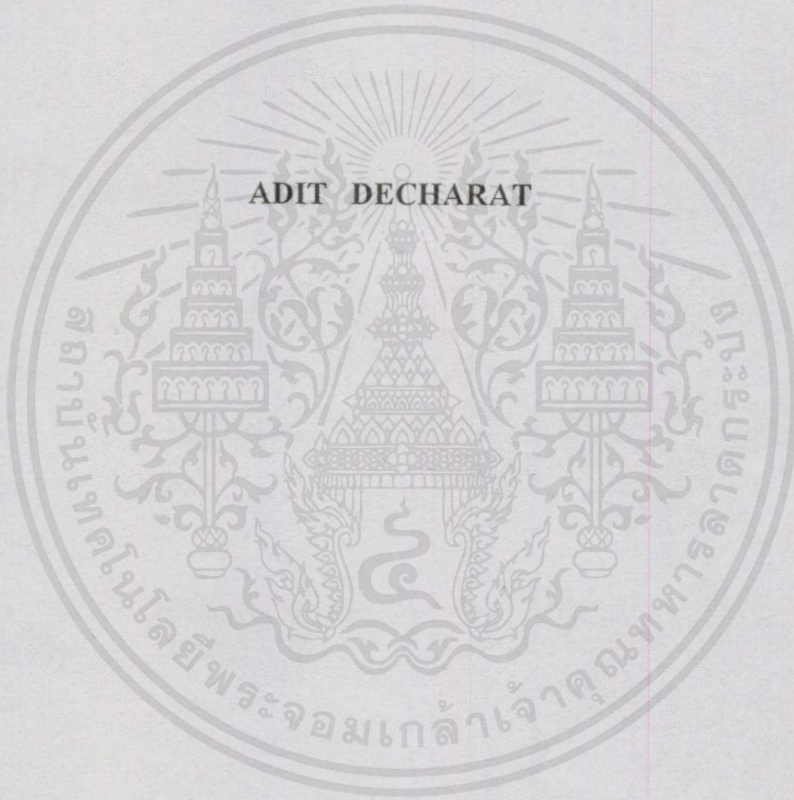
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อ พ.ศ. 2545 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-648-699-3

64103262

**STUDY ON CHARACTERISTICS AND AMPLITUDE SCINTILLATION  
EFFECTS ON L-BAND SATELLITE COMMUNICATION  
SYSTEM PERFORMANCE**



**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**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆที่ระบุข้างต้นอย่างอ้อมถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2002**

**ISBN 974-648-699-3**



**COPYRIGHT 2002**

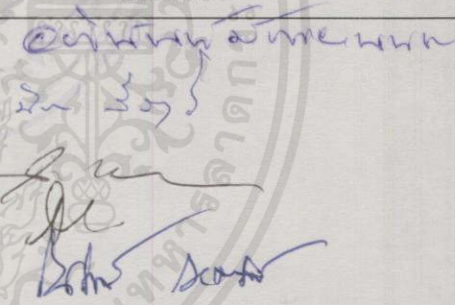
ขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**บัณฑิตวิทยาลัย**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

**หัวข้อวิทยานิพนธ์**      การศึกษาคุณลักษณะและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง  
 กระทันหันต่อประสิทธิภาพการสื่อสารดาวเทียมย่านความถี่ L  
 STUDY ON CHARACTERISTICS AND AMPLITUDE SCINTILLATION  
 EFFECTS ON L-BAND SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM  
 PERFORMANCE

**ชื่อนักศึกษา**            นายอดิสร            เฉชารัตน์  
**รหัสประจำตัว**            41061163  
**ปริญญา**                    วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
**สาขาวิชา**                วิศวกรรมไฟฟ้า  
**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์**    รศ.ณรงค์            เหมกรณ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.อภิรักษ์	มัธยานนท์	
รศ.นิภา	ลีลารุจิ	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
ผศ.ดร.สมผล	โกศลวิตร	
รศ.ณรงค์	เหมกรณ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 1 มีนาคม 2545 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 วันที่.....เดือน.....ปี..... พ.ศ. ๒๕๔๕

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณลักษณะและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันต่อประสิทธิภาพการสื่อสารดาวเทียมย่านความถี่ L
นักศึกษา	นายอดิสร์ เดชารัตน์
รหัสประจำตัว	41061163
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ณรงค์ เทมกรณี

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในสัญญาณดาวเทียมย่าน L-band เพื่อศึกษาคุณลักษณะและประสิทธิภาพของสัญญาณดาวเทียมภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณเมื่อสัญญาณเดินทางผ่านความไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ งานวิจัยนี้ทำการรับสัญญาณดาวเทียมย่าน L-band จากดาวเทียม INMARSAT ที่อยู่เหนือมหาสมุทรอินเดีย (India Ocean Region) และจากดาวเทียมที่อยู่เหนือมหาสมุทรแปซิฟิก (Pacific Ocean Region) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณจากดาวเทียมทั้งสองถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน และศึกษาระดับและความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดตามฤดูกาลที่เกิดขึ้นในปีพ.ศ. 2543-2544 ซึ่งเป็นช่วงวัฏจักรสุริยะสูงสุด ในการศึกษาจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นลักษณะและพฤติกรรมต่างๆของสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันโดยศึกษาตัวอย่างข้อมูลในช่วงเวลาสั้นๆ พิจารณาการแจกแจงความหนาแน่นความน่าจะเป็น การแจกแจงสะสม ลักษณะโครงสร้างทางเวลาและความถี่ โดยพิจารณาฟังก์ชันอัตโนมัติสหสัมพันธ์และสเปกตรัมกำลังสัญญาณตามลำดับ ในการวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาวโดยทำการจำลองลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นจะใช้โมเดลการจำลองของ Moulisley-Vilar ซึ่งจะทำได้โดยการหาฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูล  $\sigma_x$  แล้วนำมาถ่วงน้ำหนักร่วมกับฟังก์ชันความน่าจะเป็นของข้อมูลในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งพารามิเตอร์และการแจกแจงของข้อมูล  $\sigma_x$  สามารถหาจากการแปลงฟังก์ชันความน่าจะเป็นของข้อมูล  $\ln \sigma_x^2$  ซึ่งจะถูกทดสอบสมมติฐานการแจกแจงข้อมูลด้วยการทดสอบแบบไคสแควร์ ในส่วนหลังเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสัญญาณภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน โดยนำฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่ได้จากการจำลองลักษณะทางสถิติของสัญญาณ ไปใช้ในการประมาณหาค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นอัตราบิดเบือนผิดพลาดของการสื่อสาร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันกรณีมอดูเลตแบบไบนารี CPSK และ NCFSK

Thesis Title	Study on Characteristics and Amplitude Scintillation Effects on L-band Satellite Communication System Performance
Student	Mr. Adit Decharat
Student ID.	41061163
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Narong Hemmakorn

### ABSTRACT

This thesis describes about the characteristics of L-band ionospheric scintillation. In order to study the characteristic and performance of satellite communication when satellite signal propagating through the ionospheric irregularities; and to increase the availability of communication through scintillation, the statistical analysis of scintillating signals is required. The observation has been taken at KMITL during solar maximum, 2000-2001, by receiving two L-band signals from INMARSAT satellites located at the India Ocean Region (IOR) and at the Pacific Ocean Region (POR). Scintillation signals received from both satellites are compared together. Two parts of scintillation characteristics are considered. Firstly, the short-term amplitude scintillation analysis is presented such as probability density distribution, cumulative distribution, and also time-frequency structure of amplitude scintillation using autocorrelation and power spectral density respectively. Moreover, long-term amplitude scintillation is characterized by using Mousley-Vilar model. This model can be determined by weighting the short-term PDF of fluctuating signals with the PDF of scintillation intensity values,  $\sigma_x$ . The distribution of these values can be obtained by the transformation of  $\ln \sigma_x^2$  function, which is tested by Chi-square goodness-of-fit test to determine the appropriate distribution that fits best with the distribution of scintillation intensity; consequently, the function of scintillation modeling statistic can be determined. Secondly, using PDF of this modeling function then the theoretical estimation of the average probability of bit error for communication links under scintillation can also be presented for the binary NCFSK and CPSK modulation.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆที่มีเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีถ่านนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีได้นั้น ต้องขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและ  
ทุกๆคนในครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุนให้กำลังใจและให้โอกาสข้าพเจ้ามาโดยตลอด  
ความดีใดๆที่เกิดจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดามารดาของข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษา เอาใจใส่  
และให้ความกรุณาต่อข้าพเจ้าเสมอมาเป็นอย่างดี รวมทั้ง รศ. นิภา ตีลาลูจิ ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้  
ความกรุณาและความเป็นกันเองแก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณ Prof. Dr. Yoshiaki Moriya จาก Tokai  
University, Prof. Dr. Matsuichi Yamada จาก Tokyo University of Technology และ Dr. Hisamitsu  
Minakoshi จาก Communication Research Laboratory, Japan ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับงาน  
วิจัย เทคนิคและแนวคิดต่างๆ รวมถึงแนะนำบทความและหนังสือต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยของ  
ข้าพเจ้า ทั้งนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ท่านอื่นๆในสถาบันแห่งนี้ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้  
แก่ข้าพเจ้า

นอกจากนี้ขอขอบคุณ ผศ. ณัฐ จันทร์ครบ จากมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ที่คอยให้คำ  
ปรึกษามาโดยตลอด ขอขอบคุณ คุณประสิทธิ์ นครราช คุณจิฉิมพร บุญซึก คุณเศรษฐกร กามเมือง  
คุณอำนาจ ขาวเน ในการร่วมสัมมนาแลกเปลี่ยนความรู้ ขอขอบคุณ คุณเอกวิทย์ นักฟ้อน คุณกิตติชัย  
และน้องๆทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยการสื่อสารดาวเทียม สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยี  
สารสนเทศ ห้อง T305 และ ห้อง T301 ภาควิชาโทรคมนาคม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ มอบความ  
สนุกสนานและความสบายใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอดที่ได้ศึกษาปริญญาโท และ ท้ายสุดนี้ขอ  
ขอบคุณ คุณขจิตพรรณ มกระรัช เป็นอย่างยิ่งสำหรับการช่วยเหลือที่ดีมากโดยตลอด

และสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย  
จึงขอขอบคุณมา ณ. ที่นี้ด้วย

ขอความเบิกบานใจจงบังเกิดแก่ท่านทั้งหลายเหล่านี้ด้วยเทอญ

ฝูงชนกำเนิดคล้าย                      คลึงกัน

ใหญ่ย่อมเพศผิวพรรณ                      แผกบัง

ความรู้อาจเรียนทัน                      กันหมด

ยกแต่ชั่วดีกระด้าง                      ห่อนแก่ ฤาไหว (พระราชนิพนธ์ในรัชกาลที่ 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงผู้แต่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อดิศร์ เจริญรัตน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 แนวความคิดและขอบเขตของงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	5
2.1 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	5
2.1.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของกลุ่มก๊าซไอออน.....	5
2.1.2 การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้น บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	7
2.1.2.1 ทฤษฎี.....	8
2.1.2.2 การประมาณของ Rytov.....	11
2.2 ดัชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันและความเข้มของกระบวนการ.....	13
2.3 สรุป.....	13
บทที่ 3 การทดลองและผลการทดลอง.....	15
3.1 การทดลองและอุปกรณ์การทดลอง.....	15
3.2 การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล.....	17
3.3 การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในช่วงเวลาสั้น.....	18
3.3.1 ลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็น.....	18
3.3.2 การแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็น.....	20
3.3.3 โครงสร้างทางเวลาและความถี่.....	22

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 ความเข้มของกระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหัน.....	25
3.4 สรุป.....	26
บทที่ 4 การจำลองลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	28
4.1 การทดสอบความพอดีของการแจกแจงของข้อมูล.....	29
4.2 การจำลองลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	32
4.3 สรุป.....	38
บทที่ 5 การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ที่มีต่อประสิทธิภาพของสัญญาณ.....	39
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\frac{C}{N}$ กับค่า $\frac{E_b}{N_0}$ .....	39
5.2 ค่าส่วนเพื่อการเชื่อมต่อระบบ.....	41
5.3 การประมาณประสิทธิภาพการสื่อสารภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	42
5.4 สรุป.....	46
บทที่ 6 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1 บทสรุปและวิจารณ์.....	47
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยและพัฒนาต่อ.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก เอกสารที่แนบมาให้แก่ผู้สมัครรับรางวัลเพื่อการศึกษาและงานวิจัย.....	51
ไม่ผ่านการพิจารณา ภาคผนวก ก. วิธีการคำนวณหาขนาดรัศมีของขอบเขตเฟสบนพื้นที่หนึ่งๆ.....	52

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข. การหาความยาววิถีระหว่างงานสาขาอากาศไปยังกลุ่มความ ไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน.....	54
ภาคผนวก ค. โปรแกรมการกรองข้อมูลความถี่สูงออกจากข้อมูลความถี่ต่ำ.....	55
ภาคผนวก ง. การปรับแต่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.....	56
ภาคผนวก จ. วิธีการหาฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น.....	60
ภาคผนวก ฉ. สเปกตรัมความหนาแน่นกำลังและค่าอัตราสัมพันธ์ ของสัญญาณกำลัง.....	64
ภาคผนวก ช. การแจกแจงและการทดสอบความพอดีของการแจกแจงข้อมูล แบบโคสแควร์.....	69
ภาคผนวก ซ. ผลของการเคลื่อนที่ของ thermospheric winds ต่อการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างไอโอโนสเฟียร์ในช่วงเดือน equinox และ solstice.....	73
ภาคผนวก ฌ. บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดของระบบการทดลอง.....	15
3.2 เปรอร์เซ็นต์เวลาการแกว่งของแอมพลิจูดที่ระดับต่างๆ.....	18
3.3 ค่าทางสถิติของการแจกแจงแบบสะสมของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกระทันหัน.....	21
4.1 จำนวนอันตรภาคชั้นที่น้อยสุดสำหรับค่า $\alpha = 0.05$ .....	29
4.2 การคำนวณสำหรับการทดสอบความพอดีของการแจกแจงข้อมูล.....	31
5.1 การเพิ่มขึ้นของ $E_b/N_o$ ที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (ที่ค่า BER= $10^{-4}$ ) กรณีการมอดูเลต แบบ NCFSK และ CPSK.....	45
5.2 การเพิ่มขึ้นของ $E_b/N_o$ ที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (ที่ค่า BER= $10^{-4}$ ) กรณีการมอดูเลต แบบ CPSK และกรณีใช้พารามิเตอร์ของข้อมูล IOR และ POR.....	45
ช.1 พื้นที่ใต้กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นปรกติมาตรฐาน.....	71
ช.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ตำแหน่งของการแจกแจงแบบโคสเคอร์.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

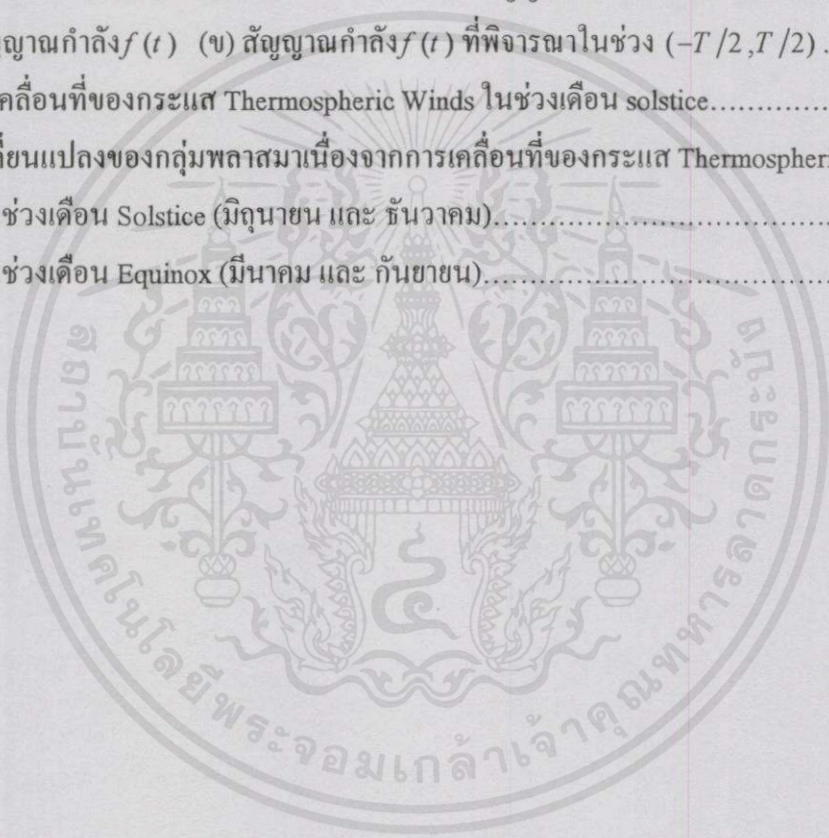
รูปที่	หน้า
2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนกับความสูงเหนือผิวโลกในช่วงกลางวันและกลางคืน.....	5
2.2 ผลกระทบจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลต่อสัญญาณดาวเทียม.....	7
2.3 ความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละบริเวณ.....	8
2.4 ชั้นของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอที่มีขนาด $L$ .....	9
2.5 แผนภาพเฟสเซอร์ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟส.....	10
3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ.....	16
3.2 ตัวอย่างข้อมูลที่นำมากรอความถี่.....	16
(ก) ข้อมูลที่ยังไม่ผ่านการกรอ	
(ข) ข้อมูลการเปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็วที่ผ่านการกรอ	
(ค) ข้อมูลการเปลี่ยนระดับอย่างช้าๆที่ผ่านการกรอ	
3.3 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณที่แต่ละระดับความแรงในแต่ละเดือนของสัญญาณ.....	17
(ก) ข้อมูล IOR (ข) ข้อมูล POR	
3.4 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันทฤษฎีความน่าจะเป็น.....	19
(ก) 22 เมษายน 2543 (ข) 16 มีนาคม 2544 (ค) 22 เมษายน 2543 (ง) 28 เมษายน 2543	
3.5 ตัวอย่างกราฟการแจกแจงสะสมของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	21
3.6 ตัวอย่างของสัญญาณที่มีอัตราของการเปลี่ยนระดับแตกต่างกัน.....	22
3.7 กราฟฟังก์ชันออสซิลเลชันของสัญญาณ IOR และ POR.....	23
3.8 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณ IOR และ POR.....	23
3.9 กราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกับ.....	24
(ก) ค่า peak to peak (ข) ค่าเวลาร่วมนัย	
3.10 จำนวนครั้งการเกิดของค่าเวลาร่วมนัยในแต่ละเดือนของสัญญาณ IOR และ POR.....	24
3.11 การหาค่าความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละช่วง.....	25
3.12 กราฟค่าความแปรปรวนของข้อมูล.....	25
3.13 กราฟความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูล $\sigma_x^2$ .....	26
(ก) ข้อมูล IOR (ข) ข้อมูล POR	

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 กราฟความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูล $\ln \sigma_{\chi}^2$ .....28	
(ก) ข้อมูล IOR (ข) ข้อมูล POR	
4.2 ตัวอย่างข้อมูลค่าสังเกตที่นำมาเรียงเพื่อหาความถี่ของแต่ละอันดับการขึ้น.....30	
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $p(\chi)$ กับขนาดการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $\sigma_{\sigma}$ และ $\sigma_m$ .....35	
(ก) เปลี่ยนค่า $\sigma_{\sigma} = 0.1, 1, 1.5$ และ $2$ ( $\sigma_m$ คงที่)	
(ข) เปลี่ยนค่า $\sigma_m = 0.5, 1, 1.5$ และ $2$ ( $\sigma_{\sigma}$ คงที่)	
4.4 กราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับสัญญาณเทียบกับกราฟทฤษฎีการแจกแจง ความน่าจะเป็น.....36	
(ก) ข้อมูล IOR กราฟหมายเลข 1 เป็นข้อมูลระดับสัญญาณ หมายเลข 3, 4 เป็นกราฟทฤษฎี โดยที่ $\sigma_{\sigma} = 1.089, \sigma_m = 0.753$ และ $\sigma_{\sigma} = 1.089, \sigma_m = 1.032$ ตามลำดับ หมายเลข 2 เป็นกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.192	
(ข) ข้อมูล POR กราฟหมายเลข 1 เป็นข้อมูลระดับสัญญาณ หมายเลข 3, 4 เป็นกราฟทฤษฎี โดยที่ $\sigma_{\sigma} = 0.653, \sigma_m = 1.1$ และ $\sigma_{\sigma} = 1.3, \sigma_m = 0.603$ ตามลำดับ หมายเลข 2 เป็นกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.846	
4.5 กราฟการแจกแจงสะสมของข้อมูลเทียบกับกราฟทฤษฎีการแจกแจงสะสม.....37	
(ก) ข้อมูล IOR หมายเลข 1, 2 คือกราฟทฤษฎีซึ่ง $\sigma_{\sigma} = 1.089, \sigma_m = 0.753$ และ $\sigma_{\sigma} = 1.089, \sigma_m = 1.032$ ตามลำดับ หมายเลข 3 คือกราฟความน่าจะเป็นแบบ ปกติที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.192	
(ข) ข้อมูล POR หมายเลข 1, 2 คือกราฟทฤษฎีซึ่ง $\sigma_{\sigma} = 0.653, \sigma_m = 1.1$ และ $\sigma_{\sigma} = 1.3, \sigma_m = 0.603$ ตามลำดับ หมายเลข 3 คือกราฟความน่าจะเป็นแบบ ปกติที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.846	
5.1 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของค่าเพื่อการเชื่อมต่อระบบเมื่อกราฟคุณลักษณะต่างกัน.....41	
5.2 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของอัตราบิดีผิดพลาดกรณีมอดูเลตแบบ ไบนารี NCFSK และ CPSK โดยการเปลี่ยนค่า $\sigma_m$ .....44	
5.3 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของอัตราบิดีผิดพลาดกรณีมอดูเลตแบบ CPSK โดยการเปลี่ยน ค่า $\sigma_m$ และกรณีของข้อมูลสัญญาณ IOR และ POR.....44	
ก.1 ลักษณะทางเรขาคณิตของขอบเขตเฟรสนัด.....52	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.1 ตำแหน่งดาวเทียมและความยาววิถีจากงานสายอากาศไปยังกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ.....	54
ง.1 ระดับสัญญาณและระดับสัญญาณรบกวนที่ความถี่ใดๆ.....	56
(ก) ณ ตำแหน่งอินพุตของวงจรถยาย (ข) ณ ตำแหน่งเอาต์พุตของวงจรถยาย	
ง.2 บล็อกไดอะแกรมการปรับแต่งของระบบ.....	57
ง.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงของระดับสัญญาณกับระดับไฟกระแสดตรง.....	58
ฉ.1 (ก) สัญญาณกำลัง $f(t)$ (ข) สัญญาณกำลัง $f(t)$ ที่พิจารณาในช่วง $(-T/2, T/2)$ .....	65
ช.1 ผังการเคลื่อนที่ของกระแส Thermospheric Winds ในช่วงเดือน solstice.....	73
ช.2 การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มพลาสมาเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกระแส Thermospheric Winds	
(ก) ในช่วงเดือน Solstice (มิถุนายน และ ธันวาคม).....	74
(ข) ในช่วงเดือน Equinox (มีนาคม และ กันยายน).....	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นการติดต่อสื่อสารที่จำเป็นและใช้กันแพร่หลายอย่างมากในปัจจุบัน แต่เนื่องจากมีปัจจัยทางธรรมชาติเช่น สภาพภูมิอากาศ ชั้นบรรยากาศ มีผลทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งแอมพลิจูดและเฟสเป็นแบบสุ่ม (Random) นำมาซึ่งความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูล เพื่อเป็นการลดความเสียหายหรือผลกระทบเนื่องจากความแปรเปลี่ยนทางธรรมชาติซึ่งมีลักษณะเฉพาะในแต่ละพื้นที่ ข้อมูลการศึกษาคุณลักษณะและการวิเคราะห์ทางสถิติของสัญญาณดาวเทียมภายใต้อิทธิพลของธรรมชาติในแต่ละปีและในแต่ละพื้นที่ จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำการออกแบบหรือวางแผนจัดการระบบการรับส่งสัญญาณดาวเทียมเพื่อให้ได้ประชนสูงสุด และเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบให้มากขึ้น

ระบบสื่อสารดาวเทียมได้รับผลกระทบเมื่อสัญญาณดาวเทียมแพร่กระจายผ่านชั้นบรรยากาศโลก โดยชั้นบรรยากาศโลกที่มีผลกระทบเป็นส่วนใหญ่คือ ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์นั้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเห (Refractive Index) การลดทอน (Absorption) การกระเจิง (Scatter) ของคลื่นเนื่องจากกลุ่มเมฆ กลุ่มฝน และ หิมะ เป็นต้น เริ่มมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นที่มีความถี่มากกว่าย่าน C (4-6 GHz) ขึ้นไป ส่วนผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่า ย่าน C ซึ่งจะทำให้สัญญาณเกิดการหน่วงเวลา (Time delay) สัญญาณเดินทางมาถึงจุดรับช้ากว่าคลื่นทางตรง การเกิดการหมุนแบบฟาราเดย์ (Faraday Rotation) มุมโพลาไรซ์ของสัญญาณเกิดการหมุนไปจากเดิม นอกจากนี้ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกระตันทัน (Scintillation) ซึ่งระดับสัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างรวดเร็วจากระดับปรกติ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับเวลาและลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่แต่ละระดับความสูง โดยโครงสร้างของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนมักถูกพบในชั้น F และ Es ผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระตันทันนั้นมักเกิดขึ้นในช่วงความถี่ 30 MHz - 3 GHz ทั้งนี้ยังอาจเกิดขึ้นในช่วง 4-6 GHz ด้วย การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระตันทันของสัญญาณดาวเทียมย่าน 1-2 GHz (L แบนด์) เป็นผลเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งความรุนแรงของผลกระทบนี้ยังขึ้นกับตำแหน่งละติจูดของพื้นที่ที่ทำการศึกษ ฤดูกาล เวลาในแต่ละวัน มุมเงยของจานสายอากาศรับ และย่านความถี่ที่ใช้งาน งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองและวิจัยการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระตันทัน

ของสัญญาณดาวเทียม INMARSAT ที่ส่งมาจากทั้งสองตำแหน่งคือ เหนือย่านมหาสมุทรอินเดีย (Indian Ocean Region: IOR) และเหนือย่านมหาสมุทรแปซิฟิก (Pacific Ocean Region: POR) ทิศทางการเดินทางของสัญญาณ และมุมเงยของจานสายอากาศรับสัญญาณที่ส่งมาจากแต่ละย่านนี้แตกต่างกัน นั่นคือสัญญาณเดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอต่างกันมีผลทำให้เกิดความแตกต่างกันของลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ผลการทดลองที่ได้นำมาหาค่าคุณลักษณะและการแจกแจงความหนาแน่นความน่าจะเป็นของสัญญาณเพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านดาวเทียม

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันประกอบด้วยการเพิ่มขึ้นและการลดต่ำลงของระดับสัญญาณปรกติ ไม่เฉพาะแค่ค่าการแกว่งของแอมพลิจูดแต่อัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดก็เป็นสิ่งสำคัญในการศึกษาหาผลกระทบที่มีต่อการเชื่อมโยงการสื่อสารผ่านดาวเทียม ดังเช่น

1. การเพิ่มขึ้นอย่างสูงมากของระดับสัญญาณ (Enhancement) เนื่องจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มสัญญาณ Intermodulate Noise ในทรานส-พอนเดอร์ของดาวเทียมที่ใช้ระบบ Multicarrier FDMA
2. การวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับช่วงระยะเวลาการจางหายของสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นสามารถใช้ในการทำนายคุณภาพการติดต่อสื่อสาร เพื่อที่จะทำการประเมินผลกระทบของการสื่อสารดาวเทียมระบบดิจิทัลเมื่อสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน โดยจำเป็นที่จะต้องรู้ทั้งเวลาการจางหายและการแจกแจงของช่วงระยะเวลาการจางหาย ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพระบบ โดยเทียบเปอร์เซ็นต์เวลาการลดลงและเวลาที่ไม่มีเกิดการผิดพลาด (Error Free)
3. การศึกษาทางสถิติของลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ตามเวลา, ฤดูกาล และวัฏจักรสุริยะ นั้น จะเป็นข้อมูลสำคัญในการพิจารณาออกแบบระบบและเวลาการให้บริการการสื่อสารผ่านดาวเทียม

การวัดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันได้เริ่มทำการวัดมานานแล้ว ส่วนใหญ่จะทำการวัดบริเวณ ยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น ซึ่งตั้งอยู่บริเวณละติจูดกลาง แต่ในบริเวณละติจูดศูนย์สูตรซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมอย่างรุนแรงนั้นมีงานวิจัยค่อนข้างน้อย จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษาลักษณะและผลกระทบต่อ การสื่อสารดาวเทียมในบริเวณนี้ด้วย สำหรับการพิจารณาประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้น การประมาณค่าประสิทธิภาพของสัญญาณดิจิทัลโดยอัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate:BER) ในการเชื่อมต่อสัญญาณเมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงเป็นค่าสุ่ม เราจำเป็นต้องทราบฟังก์ชันความน่าจะเป็นของสัญญาณนั้นด้วย หากเราสมมติให้ฟังก์ชันความน่า

จะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดนี้เป็นแบบเรย์ลี (Rayleigh) แบบปรกติ (Normal) หรือไรเซียน (Rician) ซึ่งยังไม่เพียงพอที่จะใช้อธิบายการจางหายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้นในการสื่อสารผ่านดาวเทียมเมื่อคลื่นแพร่กระจายผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศ เพราะว่าความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด  $\sigma_x$  (ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลง) มีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม ดังนั้นจึงทำการหาลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของแอมพลิจูดสัญญาณ  $p(x)$  โดยใช้แบบจำลองของ Moulsey-Vilar เพราะแบบจำลองนี้จะนำความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดมาไขรวมในการหา ซึ่งเมื่อเราได้  $p(x)$  ที่เหมาะสมแล้วเราจะนำไปใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม รวมถึงความใช้สอยได้ของการเชื่อมต่อ (Link Available)[1]

### 1.3 แนวความคิดและขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมและผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของสิ่งรบกวนที่มีผลกระทบต่อระบบสื่อสาร ซึ่งผลกระทบจะรุนแรงมากน้อยต่างกันขึ้นกับตำแหน่งละติจูดและช่วงเวลาที่เกิด การศึกษาจะพิจารณาเกี่ยวกับลักษณะพฤติกรรมและการจำลองลักษณะทางสถิติและประสิทธิภาพของสัญญาณดาวเทียมภายใต้อิทธิพลของความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน L แบนด์ ที่ความถี่ 1539.52 MHz และ 1539.44 MHz ซึ่งรับสัญญาณจากดาวเทียม INMARSAT ย่าน POR และ IOR ตามลำดับ ระดับการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดจะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาการแกว่งสูงสุดและต่ำสุด การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล สเปกตรัมกำลังสัญญาณ ค่าอัตราสหสัมพันธ์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์หาการแจกแจงความหนาแน่นความน่าจะเป็นของช่องสัญญาณที่แอมพลิจูดเกิดการแกว่งขึ้นลงโดยใช้แบบจำลองของ Moulsey & Vilar ซึ่งแบบจำลองนี้จะนำฟังก์ชันความน่าจะเป็นของข้อมูลความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด  $\sigma_x$  มาใช้ในการถ่วงน้ำหนัก โดยข้อมูล  $\sigma_x$  นี้เมื่ออยู่ในรูปของ  $\ln \sigma_x^2$  จะมีลักษณะฟังก์ชันความน่าจะเป็น เป็นแบบปรกติ (Normal Distribution) ซึ่งเราทำการทดสอบความพอดีของการแจกแจงนี้โดยใช้การทดสอบสมมติฐานด้วยไคสแควร์ (Chi Square Hypotesis Test)

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณค่าอัตราบิดผิดพลาดเฉลี่ยจากการจำลองลักษณะทางสถิติของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันได้ รายละเอียดเนื้อหาการวิเคราะห์ผลและการคำนวณต่างๆ มีดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง ลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และกระบวนการการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อ

แอมพลิจูดสัญญาณ นอกจากนี้ยังรวมถึงทฤษฎีการประมาณของ Rytov ซึ่งใช้อธิบายสมการคลื่นที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงเฟสและแอมพลิจูด สุดท้ายจะอธิบายถึงค่าความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันซึ่งแสดงด้วยค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความเข้มของกระบวนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ

บทที่ 3 กล่าวถึง ระบบการทดลองและผลการทดลองของงานวิจัยโดยเปรียบเทียบกันระหว่างสองเส้นทางซึ่งทำการวิเคราะห์สัญญาณที่มีความถี่ย่าน  $L$  ที่มีทิศทางและมุมเงยของการวัดแตกต่างกัน ในช่วงแรกแสดงผลการทดลองทางสถิติของจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณตามฤดูกาลในแต่ละระดับ peak-to-peak ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด หัวข้อถัดมาจะวิเคราะห์สัญญาณที่แอมพลิจูดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในช่วงเวลาสั้นเช่น การหาลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็นและการแจกแจงสะสมของระดับสัญญาณการเปลี่ยนแปลง มีการศึกษาโครงสร้างทางเวลาและความถี่โดยใช้ฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์และความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังสัญญาณเป็นต้น นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอีกด้วย

บทที่ 4 กล่าวถึง การวิเคราะห์สัญญาณของช่วงระยะยาวโดยการจำลองลักษณะทางสถิติของสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างกะทันหันโดยอาศัยฟังก์ชันการแจกแจงทั้งของแอมพลิจูดสัญญาณและความเข้มของกระบวนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ  $\sigma_x^2$  ทั้งนี้ได้มีการทดสอบการแจกแจงของข้อมูล  $\ln \sigma_x^2$  ว่ามีฟังก์ชันการแจกแจงแบบใด โดยหาความพอดีของการแจกแจงข้อมูลด้วยการทดสอบความพอดีแบบไคสแควร์ สุดท้ายกราฟการจำลองลักษณะทางสถิติของสัญญาณจะถูกนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างสองเส้นทางการวัดและลักษณะการแจกแจงตามทฤษฎีต่างๆ

บทที่ 5 กล่าวถึง การคำนวณหาความน่าจะเป็นเฉลี่ยของอัตราผิดพลาดจากฟังก์ชันการจำลองลักษณะทางสถิติของสัญญาณสำหรับการมอดูเลตสัญญาณแบบ CPSK และแบบ NCFSK วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าอัตราผิดพลาดเฉลี่ยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

บทที่ 6 เป็นบทสรุป กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ การเก็บข้อมูลสัญญาณ และข้อเสนอแนะต่างๆสำหรับการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป

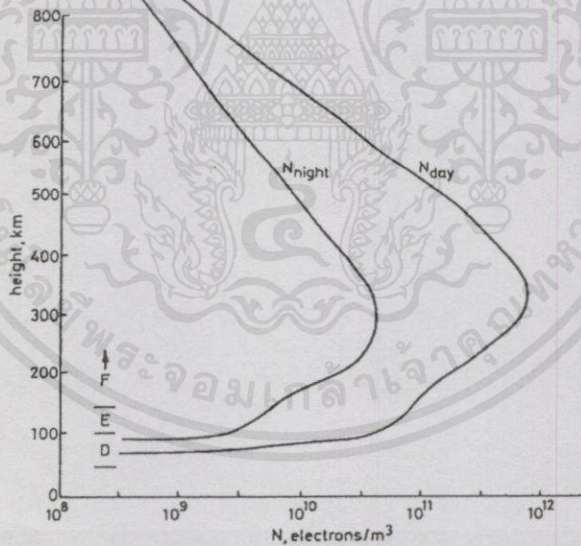
ในส่วนของภาคผนวก ก. กล่าวถึงรัศมีขอบเขตเฟรสเนลแรกที่สัมพันธ์กับขนาดของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิล็กตรอน ภาคผนวก ข. เสนอการหาความยาววิถีระหว่างงานสายอากาศและกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิล็กตรอน ภาคผนวก ค. เป็นตัวอย่างโปรแกรมการกรองข้อมูลความถี่สูงออกจากข้อมูลความถี่ต่ำ ภาคผนวก ง. วิธีปรับแต่งระบบรับสัญญาณดาวเทียม ภาคผนวก จ. กล่าวถึงทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและการหาความหนาแน่นความน่าจะเป็นจากตัวอย่างข้อมูลจริง ภาคผนวก ฉ. ทฤษฎีการหาสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังและค่าอัตโนมัติสัมพันธ์ของสัญญาณกำลัง ภาคผนวก ช. ทฤษฎีการแจกแจงและการทดสอบความพอดีแบบไคสแควร์ และภาคผนวก ซ. กล่าวถึงกระแสการเคลื่อนที่ของ thermospheric winds

## บทที่ 2

# ทฤษฎีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

### 2.1 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นบริเวณชั้นบรรยากาศรอบโลกที่ก๊าซ มีการแตกตัวเป็นไอออนหรือพลาสมาโดยมีสาเหตุหลักเนื่องจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลากลางวันชั้นของการแตกตัวจะปรากฏอยู่ที่ความสูงจากโลกประมาณ 90-1000 กม. ความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนนี้จะมีค่าประมาณ  $10^{10}$ - $10^{12}$  อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เมตร โดยจะมีอยู่ 3 ชั้นหลักๆคือ ชั้น D, E และ F ในช่วงเวลากลางวันชั้น F จะแยกตัวเป็นชั้น F1 และชั้น F2 รูปที่ 2.1 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนเทียบกับระยะความสูงจากผิวโลกในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน โดยในเวลากลางคืนชั้น D จะหายไป การหาคุณลักษณะต่างๆของคลื่นที่แพร่กระจายไปในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะสามารถทำได้โดยการนำสมการแมกซ์เวลล์มาประยุกต์ใช้



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนกับความสูงเหนือผิวโลกในช่วงกลางวันและกลางคืน

#### 2.1.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของกลุ่มก๊าซไอออน

ในก๊าซที่มีการแตกตัวเป็นไอออนนั้นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะมีความสำคัญภายใต้การกระทำของสนามไฟฟ้าที่มีความถี่สูง สมการการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหนึ่งอนุภาค ที่มีมวล  $m$  มีค่าประจุเป็น  $-e$  และมีความเร็ว  $v$  ถูกกระทำภายใต้สนามไฟฟ้า  $\mathcal{E}$  คือ

$$m \frac{dv}{dt} = -e \mathcal{E} \quad (2.1)$$

สำหรับสนามไซนูซอยด์ เราสามารถเขียนได้เป็น

$$j\omega mV = -eE \quad (2.2)$$

สำหรับปริมาณอิเล็กตรอนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรกระแสเหนี่ยวนำในก๊าซไอออนที่แตกตัวจะได้เป็น

$$J = -eN_e V = \frac{N_e e^2}{j\omega m} E \quad (2.3)$$

โดย  $N_e$  คือจำนวนความหนาแน่นอิเล็กตรอน (ต่อลูกบาศก์เมตร) และจากสมการแมกซ์เวลล์จะได้

$$\nabla \times H = j\omega \epsilon_0 E + J = j\omega \epsilon_0 \left( 1 - \frac{N_e e^2}{\omega^2 m \epsilon_0} \right) E \quad (2.4)$$

ซึ่งเราสามารถหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ของก๊าซที่แตกตัวเป็น

$$\kappa = 1 - \frac{N_e e^2}{\omega^2 m \epsilon_0} = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (2.5)$$

$\omega_p$  คือความถี่พลาสมา (Plasma Frequency) โดยที่  $\omega_p = \sqrt{N_e e^2 / m \epsilon_0}$  พารามิเตอร์ของคลื่นนี้จะขึ้นอยู่กับทิศทางของระนาบคลื่นที่กระทำกับสนามแม่เหล็กโลก หรือมุม  $\theta_B$  คลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะจำแนกเป็นสองกรณีหลักคือ (1) มีทิศทางการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กโลก (2) ทิศทางการเคลื่อนที่มีทิศขนานกับสนามแม่เหล็กโลก แต่ในการแพร่กระจายคลื่นนั้นคลื่นสามารถมีมุม  $\theta_B$  ได้หลายทิศทาง จึงเป็นการยากที่จะทำการพิจารณาว่าคลื่นมีลักษณะการเคลื่อนที่ขนานหรือตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กโลก เพื่อเป็นการง่ายต่อการวิเคราะห์จึงมีการประมาณโดยใช้วิธี QL สำหรับการสื่อสารจากอวกาศสู่ภาคพื้นดิน [2] โดยผลที่ได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $n^2 = \kappa$  (2.6)  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $n$  คือค่าดัชนีหักเหของคลื่น

## 2.1.2 การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

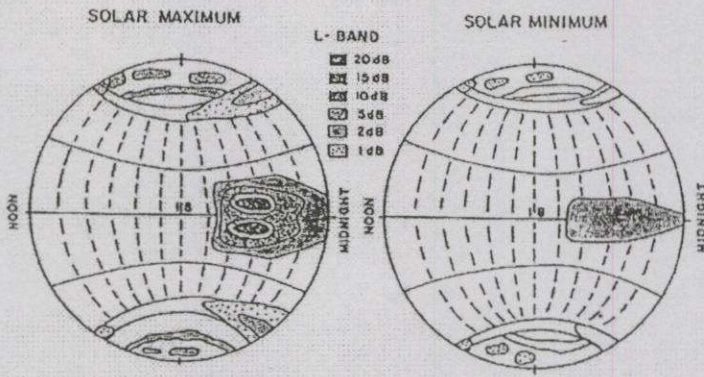
การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Scintillation) เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเมื่อระนาบคลื่นเดินทางผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่มีความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอน ดังรูปที่ 2.2 โดยสัญญาณที่รับได้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งเฟสและแอมพลิจูด ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณนั้นจะขึ้นกับสนามแม่เหล็กโลก วัฏจักรสุริยะ ช่วงเวลาในแต่ละวัน ฤดูกาลและตำแหน่งละติจูด ความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้น F (โดยเฉพาะอยู่ระหว่างความสูง 200-1000 กม.) ซึ่งเป็นชั้นที่มีผลทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันขึ้นบริเวณแถบละติจูดสูงและแถบศูนย์สูตร โดยกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะอยู่ที่ระดับความสูง 250-400 กม. และมักจะเกิดในเวลากลางคืน[3]



รูปที่ 2.2 ผลกระทบจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลต่อสัญญาณดาวเทียม

บริเวณตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแบ่งเป็น 3 บริเวณหลักๆคือ บริเวณศูนย์สูตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่  $\pm 20^\circ$  จากเส้นศูนย์สูตรสนามแม่เหล็กโลก ถัดมาคือบริเวณละติจูดสูงๆและรวมไปถึงพื้นที่แถบขั้วแม่เหล็กโลกด้วย และบริเวณสุดท้ายคือแถบละติจูดกลางและพื้นที่อื่นๆนอกเหนือจากนี้ ณ.บริเวณทั้งสามนี้การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเกิดขึ้นมากที่สุดในเวลากลางคืน โดยที่บริเวณแถบศูนย์สูตรจะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากดวงอาทิตย์ตกดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่สามารถได้ทั้งสงวน อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3. ความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละบริเวณ[4]

### 2.1.2.1 ทฤษฎี

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะนำขนาดและระยะของเฟรสเนลมาทำการพิจารณาด้วย ถ้าเราพิจารณาระยะทาง  $d$  ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ โดยที่ระยะ  $d_T$  และ  $d_R$  เป็นระยะจากเครื่องส่งและระยะจากเครื่องรับตามลำดับ จากภาคผนวก ก. รัศมีของเขต เฟรสเนลที่หนึ่ง  $F_1$  (First Fresnel zone) จะเป็นดังสมการ

$$F_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_T d_R}{d}} \quad (2.7)$$

จากสมการ ถ้าระยะทาง  $d_T$  มีความยาวมากๆเมื่อเทียบกับระยะ  $d_R$  ( $d_T$  มีค่าใกล้เคียงกับ  $d$ ) รัศมีของเฟรสเนลที่หนึ่งจะเป็น

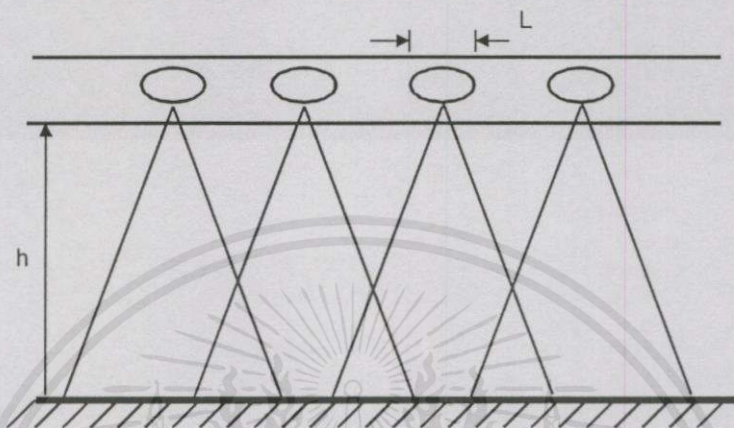
$$F_1 = \sqrt{\lambda d_R} \quad (2.8)$$

ขอบเขตเฟรสเนลจะมีลักษณะเป็นวงกลมเมื่อมองในภาคตัดขวางและมีพื้นที่เป็น  $\pi F_1^2$  ถ้ากลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนมีขนาด  $L$  โดยที่  $L$  มีค่าประมาณเท่ากับ  $F_1$  และที่ความสูง  $h = z$  เหนือเครื่องรับ โดยเมื่อเราเปลี่ยนสัญลักษณ์ สมการ (2.8) จะเป็น

$$\text{เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ } L = \sqrt{\lambda z} \text{ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน (2.9)}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.9) สัญลักษณ์  $L$  จะแทน  $F$ , และ  $z$  จะแทน  $d_R$  ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีหลักพื้นฐานมาจากการพิจารณาการกระเจิงของคลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งมีลักษณะเป็นม่านที่เต็มไปด้วยกลุ่มความไม่สม่ำเสมอรูปวงรี ขนาด  $L$  ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ชั้นของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอที่มีขนาด  $L$

ถ้าให้กลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนเป็น  $\Delta N_e$  ซึ่งก็คือค่าความเบี่ยงเบนของความหนาแน่นกลุ่มอิเล็กตรอน และความเบี่ยงเบนของค่าดัชนีหักเห  $\Delta n$  จะสามารถหาได้จาก [2]

$$\Delta n = -40.3 \frac{\Delta N_e}{f^2} \quad (2.10)$$

ดังนั้นจะได้

$$\overline{(\Delta n)^2} = 1.624 \times 10^3 \frac{(\overline{\Delta N_e})^2}{f^4} \quad (2.11)$$

เครื่องหมายบาร์คือการหาค่าเฉลี่ย การเปลี่ยนแปลงเฟส  $\Delta\phi$  ของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอหนึ่งกลุ่มที่มีขนาด  $L$  คือ

$$\Delta\phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)(L\Delta n) \quad (2.12)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

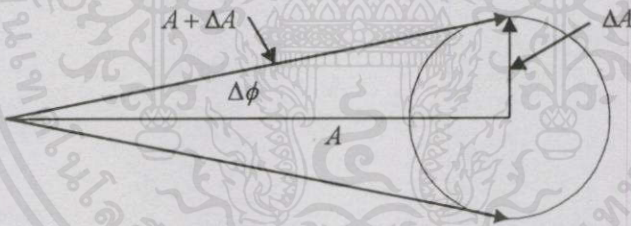
โดยที่  $2\pi/\lambda$  เป็นค่าคงที่เฟส สมการ 2.12 สามารถเขียนในอีกรูปแบบคือ

$$\frac{(\Delta n)^2}{n} = \frac{1}{4\pi^2} r_e^2 \lambda^4 \overline{(\Delta N_e)^2} \quad (2.13)$$

โดยที่  $r_e$  คือรัศมีของอิเล็กตรอน ( $2.82 \times 10^{-15}$  เมตร) ถ้าเราพิจารณาถึงความหนาของชั้น  $D$  ผลรวมของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของการเปลี่ยนแปลงเฟส  $\overline{(\Delta\phi)^2}$  ที่ชั้นความหนา  $D$  และมุมตกกระทบ  $x$  (มุม Zenith) จะเป็น[5]

$$\overline{(\Delta\phi)^2} = 4r_e^2 \lambda^2 \overline{(\Delta N_e)^2} LD \sec x \quad (2.14)$$

การเปลี่ยนแปลงเฟสจะเกิดขึ้นได้ชั้นของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอโดยทันที แต่การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดจะเกิดขึ้นที่ระยะไกลออกไปจากได้ชั้นความไม่สม่ำเสมอนั้น โดยระยะ  $h$  ที่จะทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันขึ้นได้ จะมีค่าเท่ากับระยะของเฟสเนล  $z = L^2/\lambda$  ในทางปฏิบัติถ้า  $h > \pi L^2/\lambda$  จะเริ่มทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน[5] โดยรูปที่ 2.5 เป็นแผนภาพเฟสเซอร์แสดงความเกี่ยวเนื่องของการเปลี่ยนแปลงเฟสและการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด



รูปที่ 2.5 แผนภาพเฟสเซอร์ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟส

จากรูป  $(\Delta A)^2 = (\Delta\phi)^2 A^2$  ดังนั้นจะได้

$$\left(\frac{\overline{\Delta A}}{A}\right)^2 = \overline{(\Delta\phi)^2} \quad (2.15)$$

ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเกิดอย่างเต็มรูปแบบ (Fully Development Case) ดังสมการ 2.18 จากแผนภาพเฟสเซอร์  $\Delta A$  จะเป็นขนาดที่รวมเข้ากับ  $A$  เนื่องจากเฟสเป็นตัวแปรสุ่ม ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดขึ้น จากผลการวัดของ [6] และ [5] จะได้สมการแสดงค่าสำหรับ  $\overline{(\Delta\phi)^2}$  และ  $(\overline{\Delta A}/A)^2$  สำหรับการกระเจิงที่ไม่รุนแรงนั้นสมการจะอยู่

ในรูปของ  $z = \pi L^2/\lambda$  ดังนี้

$$\overline{(\Delta\phi)^2} = 4r_e^2 \lambda^2 \overline{(\Delta N_e)^2} LD \sec x \frac{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{h \sec x}{z} \right)^2}{1 + \left( \frac{h \sec x}{z} \right)^2} \quad (2.16)$$

$$\left( \frac{\Delta A}{A} \right)^2 = 4r_e^2 \lambda^2 \overline{(\Delta N_e)^2} LD \sec x \frac{\frac{1}{2} \left( \frac{h \sec x}{z} \right)^2}{1 + \left( \frac{h \sec x}{z} \right)^2} \quad (2.17)$$

และเมื่อ  $h \sec x \gg z$  จะได้

$$\overline{(\Delta\phi)^2} = \left( \frac{\Delta A}{A} \right)^2 = 2r_e^2 \lambda^2 \overline{(\Delta N_e)^2} LD \sec x \quad (2.18)$$

ผลรวมของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เครื่องรับ ณ. ภาคพื้นดิน จะเป็นการรวมกันขององค์ประกอบของความเข้มสนามไฟฟ้าที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวน อันเนื่องมาจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน กลไกที่ทำให้เกิดความแปรปรวนในความเข้มสนามไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในกลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากการตกกระทบของสนามไฟฟ้า เนื่องจากกระแสเหล่านี้มีความหนาแน่นมากกว่าบริเวณรอบข้าง ดังนั้นกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนนี้จะเปรียบเสมือนสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายเป็นรูปกรวยดังรูปที่ 2.4 โดยความกว้างของลำบีม (Beamwidth) จะประมาณเท่ากับ  $\lambda/L$  ที่ระยะ  $d$  จากจุดสังเกตด้านล่างของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ โดยที่  $d \ll z$  และ  $z$  คือระยะเฟรสเนล (Fresnel Distance) จะมีเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของเฟสและการทับซ้อนของลำคลื่นเพียงจุดเดียว แต่สำหรับระยะทางไกลออกไป พื้นที่ของกรวยลำคลื่นจะทับซ้อนกันมากขึ้น และกลายเป็นเงื่อนไขของการรบกวนซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน

### 2.1.2.2 การประมาณของ Rytov

ทฤษฎีการจำลองการเลี้ยวเบนของคลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันมีอยู่หลายทฤษฎี โดยทฤษฎีที่สมบูรณ์สำหรับทุกเงื่อนไขนั้นยังไม่มี ในการหาคำตอบของสมการคลื่นนั้นจึงใช้ลักษณะการประมาณโดย

กำหนดเงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไป ภายใต้สมมุติฐานที่ว่า (1) ชั้นของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอดีกตรอนมีความหนาแน่นมากเมื่อเทียบกับระยะทางที่คลื่นเดินทางไปยังเครื่องรับ (2) คาบของการเปลี่ยนแปลงในกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะช้ากว่าคาบเวลาของคลื่น และ (3) ขนาดของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่น จากสมการคลื่นสเกลาร์ (Scalar Wave Equation) สมการการแพร่กระจายคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะเป็นดังสมการ

$$(\nabla^2 + k_0^2 n^2) U(\vec{r}) = 0 \quad (2.19)$$

โดย  $U$  จะแสดงถึงองค์ประกอบของความเข้มสนามไฟฟ้า  $k_0 = 2\pi/\lambda_0$  และ  $n$  คือดัชนีการหักเหของคลื่น ปริมาณสเกลาร์  $U$  จะแสดงอยู่ในรูปเวกเตอร์ตำแหน่ง  $r$  ในกรณีที่มีการกระเจิงเกิดไม่รุนแรง การประมาณของ Rytov ในการหาคำตอบของสมการจะหาได้โดยกำหนดให้

$$U(\vec{r}) = U_0(\vec{r}) e^{\psi(\vec{r})} \quad (2.20)$$

$U_0(\vec{r})$  คือองค์ประกอบของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ปราศจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ โดย  $U_0$  เป็นค่าเฉลี่ยของ  $U(\vec{r})$  หรือ  $U_0 = \langle U \rangle$  โดยทั่วไปแล้วฟังก์ชัน  $\psi(\vec{r})$  จะเป็นจำนวนเชิงซ้อนซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\psi(\vec{r}) = \chi + jS \quad (2.21)$$

ค่า  $U$  และ  $U_0$  สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของแอมพลิจูด  $A, A_0$  และ  $\phi, \phi_0$  ได้โดยที่

$$U(\vec{r}) = A e^{j\phi} \quad (2.22)$$

$$U_0(\vec{r}) = A_0 e^{j\phi_0} \quad (2.23)$$

ดังนั้นทำให้ได้ค่า  $\chi$  และ  $S$  ในสมการ (2.21) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\chi = \ln \left( \frac{A}{A_0} \right) \quad (2.24)$$

$$S = \phi - \phi_0 \quad (2.25)$$

ส่วนจริง  $\chi$  ของตัวแปร  $\psi(\vec{r})$  จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าแอมพลิจูดเชิงลอการิทึมของ  $A$  ดังนั้นจึงเรียกค่า  $\chi$  ว่าการเปลี่ยนแปลงของล็อกแอมพลิจูด ส่วนจินตภาพ  $S$  ของ  $\psi(\vec{r})$  แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงทางเฟส

## 2.2 ดัชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันและความเข้มของกระบวนการ

การวัดระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นสามารถวัดได้หลายวิธี โดยวิธีที่ง่ายที่สุดคือ การอ่านค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของระดับสัญญาณที่รับได้ในช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนด เรียกว่า peak to peak แต่เนื่องจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมีความแปรปรวน จึงมีการคำนวณค่าที่สามารถแสดงระดับการเปลี่ยนแปลงได้ละเอียดยิ่งขึ้น ค่าดัชนีการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ใช้โดยทั่วไปคือ ค่าดัชนี  $S_4$  ซึ่งเป็นค่า นอร์มัลไลซ์(Normalize) ของความแปรปรวนของความเข้มสัญญาณ นั่นคืออัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังสัญญาณที่รับ ได้หารด้วยค่าเฉลี่ยของกำลังสัญญาณนั้น

$$S_4 = \frac{\sigma_x}{m_x} \quad (2.26)$$

โดยที่  $\sigma_x$  คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หรือความเข้มของกระบวนการการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด (Scintillation Intensity)  $m_x$  คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Mean Value) โดยสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$m_x = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.27)$$

$$\sigma_x = s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.28)$$

## 2.3 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงลักษณะที่สำคัญของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลทำให้สัญญาณดาวเทียมเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟสอย่างกะทันหัน ลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดและเฟสอย่างกะทันหันนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสถานีสังเกต ช่วงเวลาซึ่งมักจะเกิดในช่วงเวลากลางคืนหลังดวงอาทิตย์ตกดิน นอกจากนี้ยังรวมถึงขนาดรัศมีของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ

ของอิเล็กตรอนโดยพิจารณาจากรัศมีขอบเขตเฟรสเนลที่หนึ่ง และระดับความสูงของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอนี้ด้วยที่จะทำให้ระดับความรุนแรงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแตกต่างกันไป เนื่องจากการวิเคราะห์และทำการทดลองสำหรับการเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกะทันหันนั้นค่อนข้างซับซ้อนในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาเฉพาะแต่กรณีระดับแอมพลิจูดสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเท่านั้น

การประมาณของ Rytov นั้นใช้อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดแอมพลิจูดและเฟสของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน ค่าประมาณ  $\chi$  นี้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าแอมพลิจูดเชิงลอการิทึมของขนาดแอมพลิจูดสัญญาณ  $A$  ซึ่งต่อไปจะถูกนำไปพิจารณาเพื่อคำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของสัญญาณทั้งระยะสั้นและระยะยาวดังจะกล่าวต่อไปในบทที่ 3 และ 4 รวมถึงค่าความเข้มของกระบวนการการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma_x$  ก็เช่นเดียวกัน นอกจากนี้จะเป็นค่าดัชนีหนึ่งที่คำนวณเพื่อแสดงความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแล้ว ค่า  $\sigma_x$  และค่าความแปรปรวน  $\sigma_x^2$  ยังใช้ในการคำนวณหาค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นเพื่อคำนวณหาการจำลองลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณอีกด้วย ดังที่จะได้กล่าวในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การทดลองและผลการทดลอง

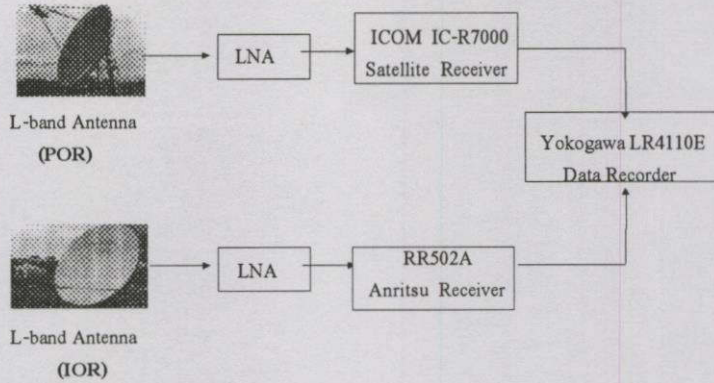
#### 3.1 การทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

การทดลองได้ทำการติดตั้งงานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม INMARSAT-F3 ซึ่งรับสัญญาณย่าน L จากมหาสมุทรแปซิฟิก (POR) และงานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม INMARSAT-F1 ซึ่งอยู่เหนือนมหาสมุทรอินเดีย (IOR) ที่ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ( $100.8^{\circ}$  E Longitude,  $13.7^{\circ}$  N Latitude) ข้อมูล IOR และ POR ที่ทำการบันทึกจะอยู่ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2543 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2544 และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2543 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544 ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่วัฏจักรสุริยะ (Solar cycle) มีค่าสูงสุด รายละเอียดของระบบแสดงดังตาราง 3.1 และบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 จากค่ามุมเงยในตารางที่ 3.1 เราสามารถคำนวณหาความยาววิถีจากงานสายอากาศไปยังกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน โดยจากสมการที่ ข.1 และ ข.2 กำหนดให้ความสูงของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนประมาณ 350 กม. ดังนั้นจะได้ความยาววิถีของการรับสัญญาณจากย่าน IOR และ POR เท่ากับ 494 กม. และ 1917 กม. ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของระบบการทดลอง

ดาวเทียมที่ใช้ในการทดลอง	INM2-F3	INM2-F1
ตำแหน่งดาวเทียม	$178^{\circ}$ E (POR)	$64.5^{\circ}$ E (IOR)
ความถี่	1539.52 MHz	1539.44 MHz
โพลาริเซชัน	RHCP	RHCP
ตำแหน่งของงานสายอากาศรับ	$13.45^{\circ}$ N, $100.48^{\circ}$ E	
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงานรับ	1.8 เมตร	1.2 เมตร
อัตราขยายของงานสายอากาศรับ	27.38 dB	23.86 dB
มุมเงย	$4^{\circ}$	$45^{\circ}$
มุมอะซิมูท	$97^{\circ}$	$252^{\circ}$

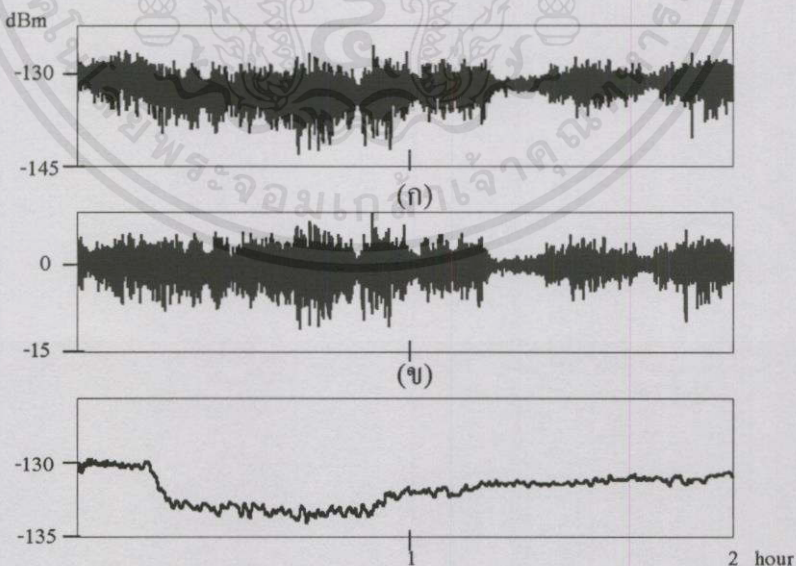
สัญญาณดาวเทียมจะผ่านวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier:LNA) ไปยังเครื่องรับ ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณดาวเทียมเป็นสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกแปลงจากสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลและถูกบันทึกลงในหน่วยความจำด้วยอัตราการซีกค่าตัวอย่าง (Sampling rate) 0.5 Hz ในการวิเคราะห์ปรากฏการณ์



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

การผันแปรของแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้น ได้ทำการพิจารณาค่าแอมพลิจูดหน่วยเป็น เดซิเบล (dB) ในการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากสัญญาณที่เก็บบันทึกเป็นสัญญาณระดับแรงเคลื่อนไฟฟ้า หน่วยเป็นโวลต์ (Volt) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบค่า (Calibrate) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกำลังสัญญาณ (dB) แล้วนำค่าความสัมพันธ์นั้นไปคูณกับค่าระดับแรงเคลื่อน จากภาคผนวก ง. จะทำให้ได้ค่าความแรงของสัญญาณในรูปกำลัง (dBm) ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณนั้นสามารถพิจารณาได้เป็น 2 ส่วนประกอบหลักๆคือ

- (1) การเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆของสัญญาณที่รับได้เนื่องจากการดูดซับสัญญาณของตัวกลางที่คลื่นแพร่ผ่าน หรือการเปลี่ยนแปลงของกำลังส่งสัญญาณ
- (2) การเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของระดับสัญญาณอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากการกระเจิงของคลื่นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มอิเล็กตรอนที่มีการแปรปรวน (Irregularities)

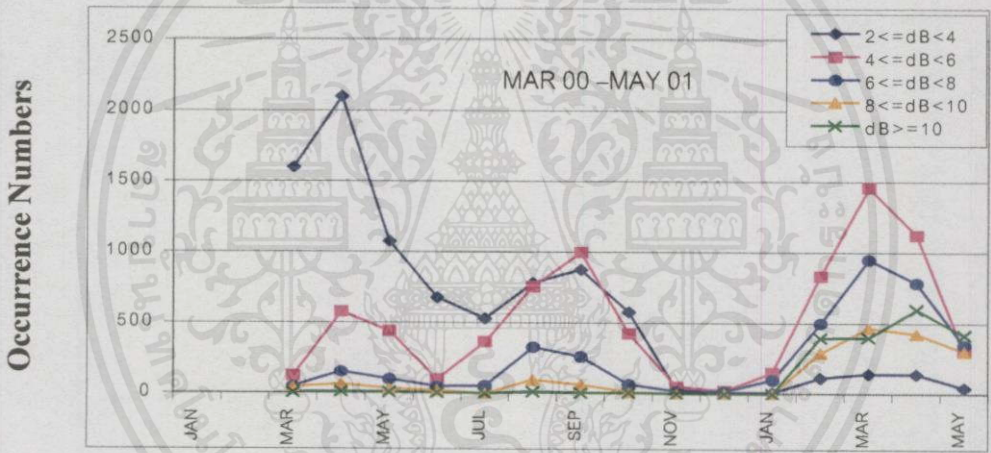


รูปที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลที่นำมากรองความถี่ (ก) ข้อมูลที่ยังไม่ผ่านการกรอง (ข) ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างรวดเร็วที่ผ่านการกรอง (ค) ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างช้าๆที่ผ่านการกรอง

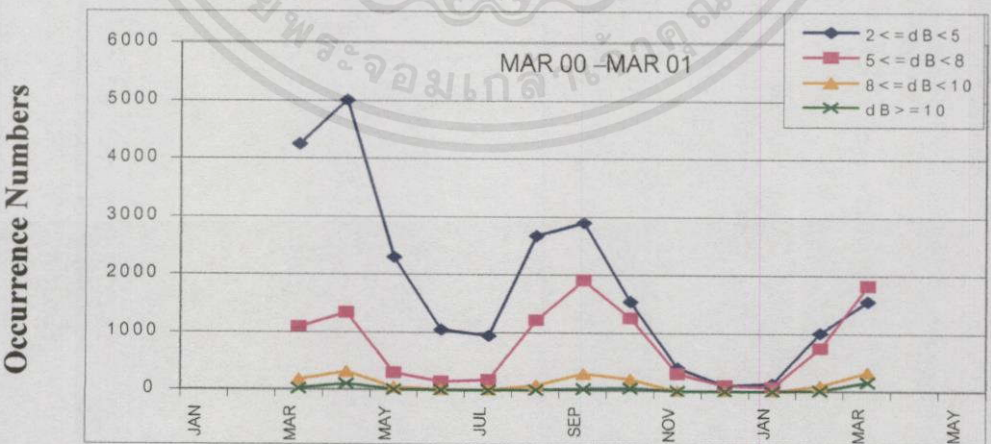
ในการแยกเหตุการณ์ทั้งสองออกจากกัน โดยแยกเอาเฉพาะสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความแปรปรวนของกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ ต้องทำการกรองข้อมูลดิจิทัลที่ได้บันทึกไว้ในส่วนของข้อมูลสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างช้าๆออกไป โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ลักษณะสเปกตรัมกำลังของสัญญาณ [7] ทำให้ทราบค่าพลังงานของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.2-0.4 Hz ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการพิจารณาช่วงความถี่ผ่านของการกรองความถี่ในภาคผนวก ค. ตัวอย่างข้อมูลก่อนและหลังทำการกรองความถี่แสดงดังรูปที่ 3.2

### 3.2 การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในปีหนึ่งๆจะมีสองช่วงที่มีจำนวนครั้งการเกิดค่อนข้างมากคือ ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน และช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม จากการนำข้อมูลมาพิจารณาโดยแบ่งข้อมูลเป็นช่วงๆช่วงละหนึ่งนาทิจ ในแต่ละช่วงทำการหาผลต่าง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณในแต่ละระดับความแรงในแต่ละเดือนของสัญญาณ (ก) ข้อมูล IOR (ข) ข้อมูล POR

ผลต่างของค่าสูงสุดและต่ำสุดแล้วแยกเป็นช่วงความแรงที่มีหน่วยเป็นเดซิเบลค่าต่างๆ จากรูป 3.3 (ก) สำหรับข้อมูล IOR ในปี พ.ศ. 2543 จำนวนครั้งการเกิดจะมากในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมและน้อยลงในเดือนมิถุนายน จำนวนครั้งการเกิดจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและกันยายน แล้วลดน้อยลงอีกครั้งในช่วงเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม จนถึงเดือนมกราคม 2544 แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของย่านนี้จะมีคาบเวลาการเกิดเป็นช่วงสั้นๆ ทั้งช่วงและเกิดอีก แต่จำนวนครั้งของการแกว่งที่ระดับต่างๆ ของสัญญาณจากย่าน POR จะเกิดขึ้นบ่อยมากกว่าเมื่อเทียบกับ IOR โดยจากรูปที่ 3.3 (ข) ข้อมูลย่าน POR ก็มีลักษณะการเกิดตามฤดูกาลคล้ายกันกับข้อมูล IOR ในปี 2543 จำนวนการเกิดจะมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม โดยมีจำนวนการเกิดน้อยลงในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมปี 2544 หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของย่านนี้จะมีคาบเวลาการเกิดที่ติดต่อกันยาวนาน ค่า peak to peak ที่ไม่รุนแรง (น้อยกว่า 8 dB) จะเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่เมื่อเทียบกับเหตุการณ์ที่สัญญาณมีการแกว่งอย่างรุนแรง หากพิจารณาเปอร์เซ็นต์เวลาการเกิดทุก 1 นาทีในแต่ละระดับการแกว่งของแอมพลิจูดสัญญาณแล้วจะพบว่าสำหรับย่านการวัด IOR ค่าเปอร์เซ็นต์เวลาการเกิดของแต่ละระดับการแกว่งจะใกล้เคียงกัน แต่กรณี POR ค่าเปอร์เซ็นต์เวลาการเกิดที่ระดับการแกว่งน้อยๆ จะสูงกว่าที่ระดับการแกว่งแรงๆ มากดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เปอร์เซนต์เวลาการแกว่งของแอมพลิจูดที่ระดับต่างๆ

ระดับแอมพลิจูด IOR (dB)	เปอร์เซนต์เวลา	ระดับแอมพลิจูด POR (dB)	เปอร์เซนต์เวลา
$2 \leq \text{Amplitude} < 4$	36.37 %	$2 \leq \text{Amplitude} < 5$	65.60 %
$4 \leq \text{Amplitude} < 6$	32.34 %	$5 \leq \text{Amplitude} < 8$	28.93 %
$6 \leq \text{Amplitude} < 8$	15.83 %	$8 \leq \text{Amplitude} < 10$	4.34 %
$8 \leq \text{Amplitude} < 10$	7.61 %	$10 \leq \text{Amplitude}$	1.13 %
$10 \leq \text{Amplitude}$	7.84 %		

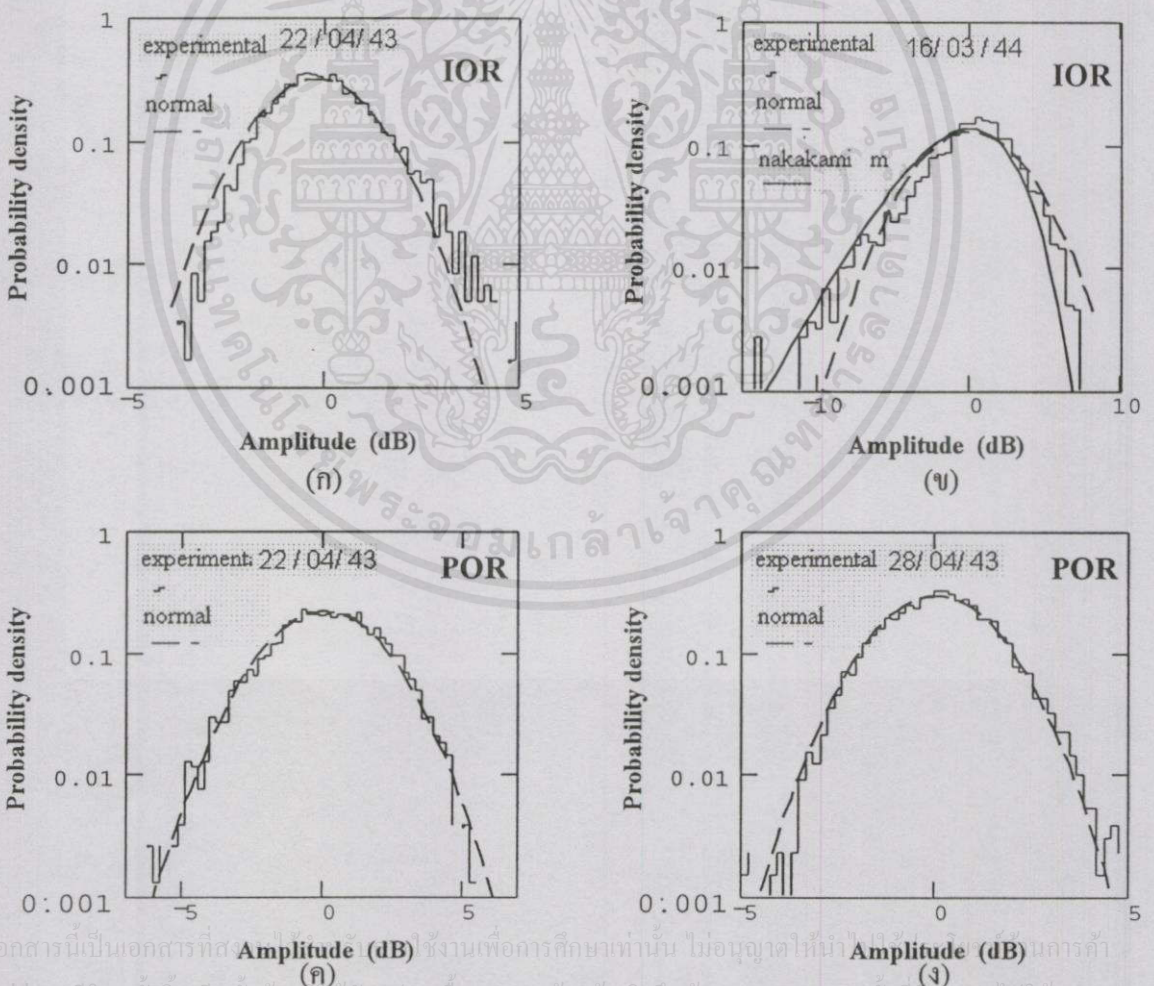
### 3.3 การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันในช่วงเวลาสั้น

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันประกอบด้วยกระบวนการสุ่ม (Random Process) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Non-Stationary) กระบวนการสุ่มนี้จะขึ้นกับเงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยาที่มีการแปรผัน ในทางปฏิบัติความเข้มของกระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันจะแปรผันตามเวลาซึ่งข้อมูลความเข้มของกระบวนการนี้จะถูกนำมาพิจารณาในการหาค่าทางสถิติระยะยาว (Long-term Statistic) อย่างไรก็ตามเราสามารถพิจารณากระบวนการนี้ในลักษณะ

คล้ายจะคงที่ (quasi-stationary) โดยถือว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดนี้เป็นกระบวนการสุ่มแบบคงที่ (stationary) ได้หากพิจารณาในช่วงเวลาที่สั้นเพียงพอที่จะสามารถถือได้ว่ากลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนในช่วงเวลานั้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นเราสามารถแสดงลักษณะทางสถิติของสัญญาณในช่วงเวลาสั้นๆนี้ได้โดยถือว่าความเข้มของกระบวนการ ( $\sigma_x$ ) คงที่

### 3.3.1 ลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็น

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงลักษณะฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density) ของสัญญาณในช่วงเวลาสั้นๆ (Short-term)  $p(x, \sigma_x)$  คือความน่าจะเป็นของค่า  $x$  โดยที่มีเงื่อนไขเป็น  $\sigma_x$  โดยเราจะพิจารณาว่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของข้อมูลในช่วงเวลาสั้นๆนี้มีลักษณะของฟังก์ชันความน่าจะเป็นอย่างไร เพื่อที่จะนำค่าฟังก์ชันนี้ไปใช้รวมกันกับฟังก์ชันความน่าจะเป็นของข้อมูลความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด  $p(\sigma_x)$  ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป ในการพิจารณาลักษณะทางสถิติระยะยาว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันทฤษฎีความน่าจะเป็น

(ก) 22 เมษายน 2543 (ข) 16 มีนาคม 2544 (ค) 22 เมษายน 2543 (ง) 28 เมษายน 2543

จากสมการ (จ.13) เราสามารถนำตัวอย่างข้อมูลมาพล็อตกราฟความหนาแน่นความน่าจะเป็นมาเปรียบเทียบกับกราฟทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบต่างๆ โดยการเลือกตัวอย่างเหตุการณ์การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของทั้งสองย่านการวัดในวันที่ 22 , 28 เมษายน 2543 และวันที่ 16 มีนาคม 2544 ช่วงเวลาเกิดนาน 10 นาที โดยรูปที่ 3.4 จะเป็นกราฟที่พล็อตเทียบกันระหว่างข้อมูลของสัญญาณกับฟังก์ชันความน่าจะเป็น โดยทำการนอร์มัลไลซ์สัญญาณให้มีค่ากลางเป็นศูนย์ และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma_x$  ของฟังก์ชันจะสามารถคำนวณได้จากข้อมูลตามสมการที่ (2.28) ซึ่งจากรูป 3.4 (ก), (ค) และ (ง) ลักษณะของกราฟจะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปรกติ แต่จากรูป 3.4 (ข) ซึ่งเป็นช่วงเหตุการณ์ที่มีการแกว่งอย่างรุนแรง (ประมาณ 28 dB<sub>p,p</sub>) ลักษณะของกราฟทางด้านการจางหายของสัญญาณ (Signal Fading) จะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบนาคากามิแบบ  $m$  (Nakagami- $m$  Distribution) [8] มากกว่าการแจกแจงแบบปรกติ โดยที่ค่า  $m$  มีค่าเท่ากับ

$$2.3 \quad (m = \frac{1}{s_4})$$

### 3.3.2 การแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็น

ในการออกแบบระบบเชื่อมต่อการสื่อสารดาวเทียม (Earth Space Links) นั้น จำเป็นต้องหาค่าเพื่อสัญญาณขาดหาย (Fade margin) เพื่อที่จะแก้ปัญหาการลดลงของคุณภาพการเชื่อมต่ออันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน ในทางปฏิบัติระดับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณจะถูกสนใจและนำมาพิจารณาในระบบการสื่อสารสำหรับหาค่าเพื่อสัญญาณขาดหายค่าเปอร์เซ็นต์เวลาของระดับสัญญาณต่างๆ ในหน่วยเดซิเบลที่มีความน่าสนใจและใช้ในการพิจารณาระบบดังเช่น พีคสูงสุด (Maximum peak), ค่าการจางหายสูงสุด (Maximum fade), ค่า พีคที่ 5% (5% peak) และค่าการจางหาย 95% (95% fade) รวมทั้งค่าความแตกต่างระหว่างระดับสัญญาณที่ 5% และ 95% ซึ่งแสดงได้ถึงพิสัยพลวัตของเครื่องรับ (Receiver Dynamic Range) [9] โดยสามารถอ่านค่าได้จากกราฟการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution)

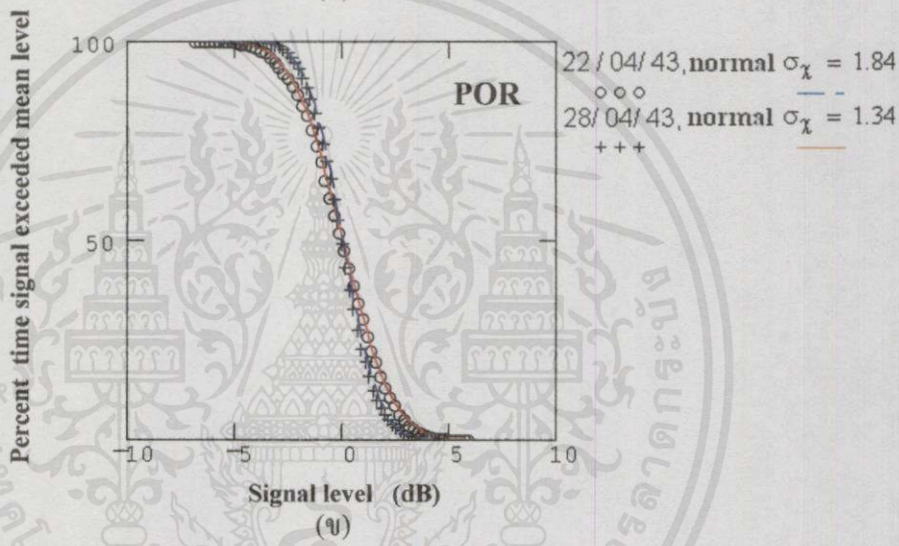
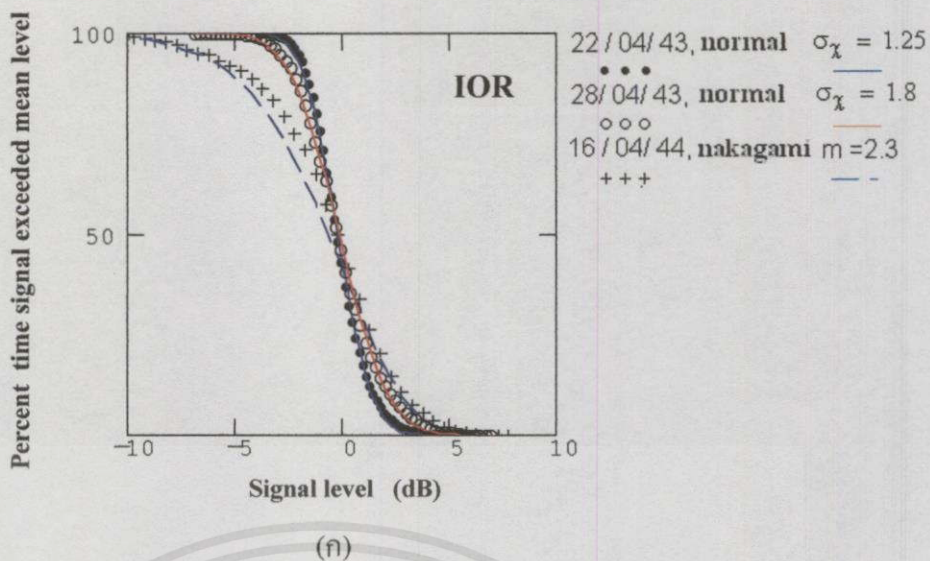
จากฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นเราสามารถที่จะหาฟังก์ชันทฤษฎีการแจกแจงสะสมและนำมาเปรียบเทียบกับการแจกแจงสะสมของข้อมูลระดับสัญญาณซึ่งฟังก์ชันทฤษฎีหาได้จาก

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x p(t) dt \quad (3.1)$$

หรือ

$$P(X \geq x) = \int_x^{\infty} p(t) dt \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งห้ามมิให้คัดลอก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสนำไปใช้  $p(t)$  คือฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูล สมการ (3.1) แสดงถึงเปอร์เซ็นต์เวลาของตัวอย่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด (Percent time of value not exceeded specific



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกราฟการแจกแจงสะสมของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

ตารางที่ 3.3 ค่าทางสถิติของการแจกแจงแบบสะสมของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

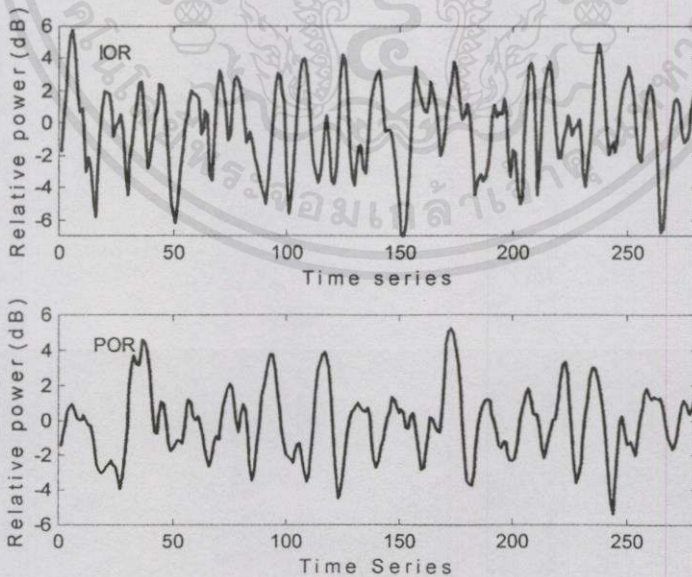
วันที่เกิด	ความเข้ม กระบวนการ	ค่าพีคสูงสุด (dB)	ค่าการจางหาย ต่ำสุด(dB)	ค่าพีคที่ 5% (dB)	ค่าจางหายที่ 95% (dB)
IOR22/04/43	1.25	5.7	-3.6	2.3	-1.8
IOR28/04/43	1.8	6.5	-6.1	3.2	-2.8
IOR16/03/44	2.3	7.6	-21.6	4.5	-5.9
POR22/04/43	1.84	5.9	-6.2	3	+3.1
POR28/04/43	1.34	4.8	-5.5	2.3	-2.1

level) และสมการ (3.2) คือเปอร์เซ็นต์เวลาของตัวอย่างที่มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด (Percent time exceeded) โดยทั่วไปในการสื่อสารดาวเทียมจะนิยมใช้สมการ (3.2) ในการนำเสนอข้อมูล

จากรูปที่ 3.5 แสดงถึงกราฟการแจกแจงสะสมของข้อมูลในรูปที่ 3.4 พล็อตเทียบกับทฤษฎีฟังก์ชันการแจกแจงสะสม [10] จากกราฟจะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะใกล้เคียงกับทฤษฎีการแจกแจงแบบต่างๆ มีเฉพาะข้อมูล IOR วันที่ 16 มีนาคม 2544 เท่านั้นที่ข้อมูลในช่วงระดับสัญญาณ -5 ถึง 0 dB มีความห่างออกจากกราฟที่คำนวณได้จากทฤษฎี ส่วนค่าระดับสัญญาณอื่นๆ ที่ไม่ได้ในช่วง -5 ถึง 0 dB กราฟจะมีลักษณะใกล้เคียงกับทฤษฎี และจากรูปถ้าเราพิจารณาความชันของกราฟร่วมกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma_x$  จะเห็นว่าในตัวอย่างข้อมูลที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อย กราฟจะมีความชันมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างของข้อมูลที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก นั่นคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจะมีผลต่อความชันของกราฟ จากกราฟการแจกแจงสะสมเราสามารถหาค่าที่คสูงสุด, ค่าการจางหายมากที่สุด, ค่าพิคที่ 5% และค่าการจางหายที่ 95% รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.3 ค่าที่ได้นี้สามารถนำไปพิจารณาความน่าจะเป็นที่สัญญาณเกิดการแกว่งเกินกว่าหรือต่ำกว่าระดับสัญญาณเฉลี่ยที่กำหนด และค่าเผื่อสัญญาณเกิดการจางหายของระบบสื่อสารดาวเทียม

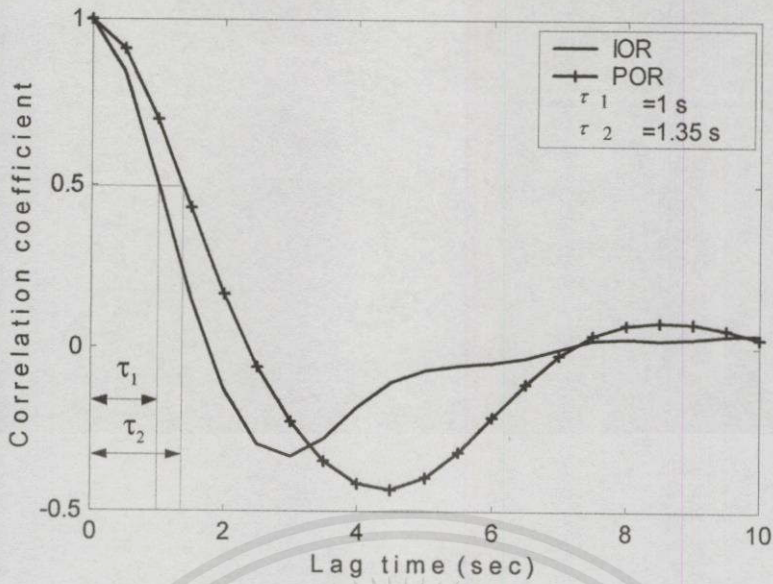
### 3.3.3 โครงสร้างทางเวลาและความถี่

หัวข้อก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในเชิงขนาดว่ามีรูปแบบทางสถิติเปรียบเทียบได้กับฟังก์ชันใด ในการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดนั้น โดยเฉพาะ

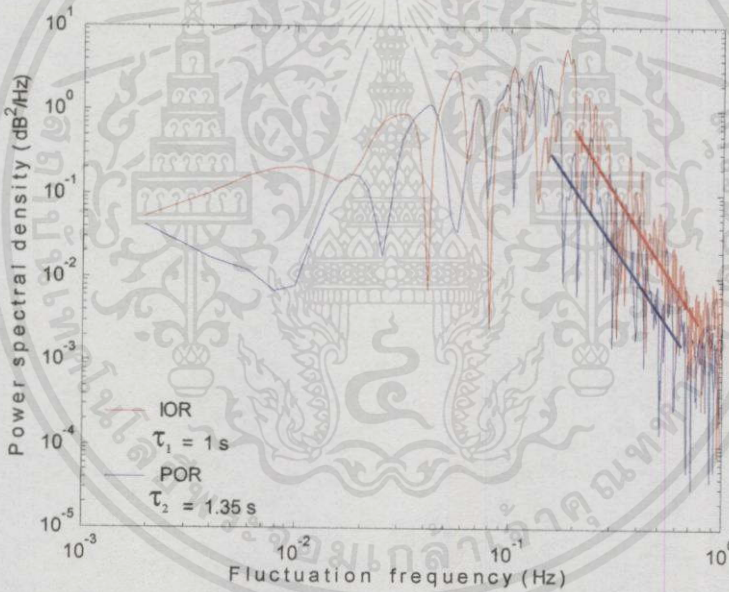


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างของสัญญาณที่มีอัตราของการเปลี่ยนระดับแตกต่างกัน นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



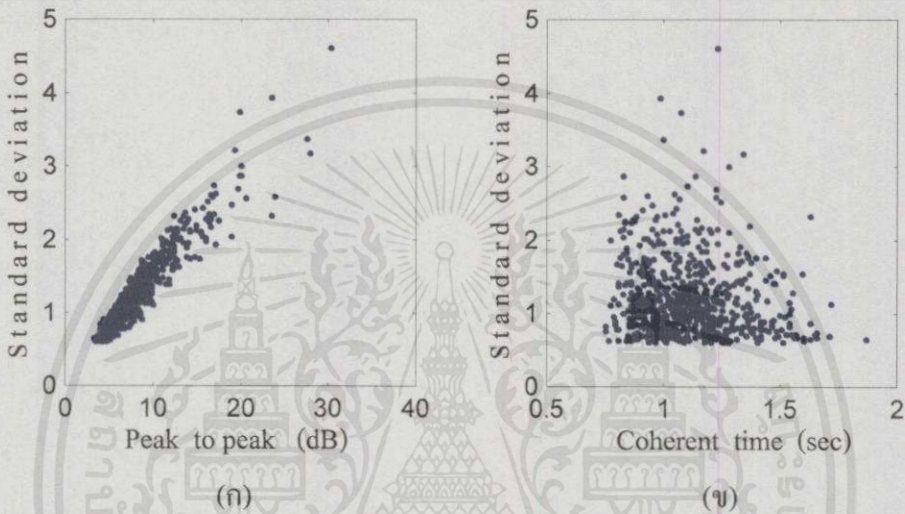
รูปที่ 3.7 กราฟฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์ของสัญญาณ IOR และ POR



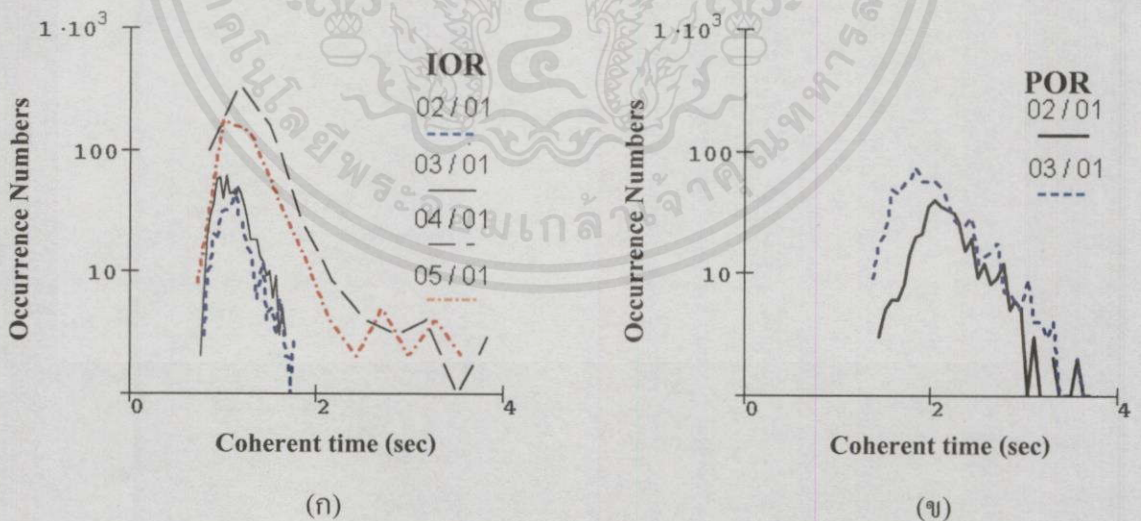
รูปที่ 3.8 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณ IOR และ POR

แต่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางขนาดเท่านั้นที่ถูกนำมาพิจารณา โครงสร้างทางเวลาและความถี่ของสัญญาณก็มักจะถูกนำมาพิจารณาด้วย จากรูปที่ 3.6 พิจารณาช่วงข้อมูลระยะเวลาการเกิดเท่าๆกัน จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนระดับของสัญญาณจะแตกต่างกัน โดยคุณลักษณะที่แตกต่างนี้สามารถแยกแยะได้เป็นปริมาณที่เรียกว่าเวลาร่วมนัย  $\tau_c$  (Coherent Time) ค่าเวลาร่วมนัยนี้จะสามารถหาได้จากการพล็อตกราฟฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์  $R_c$  (Autocorrelation Function) ณ เวลาที่ค่าของฟังก์ชันนี้ลดลงจากค่าหนึ่งหน่วยไปครึ่งหนึ่งนั่นคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเป็น 0.5 หรือ อาจใช้ค่า  $1/e$  [2] โดยเวลานี้จะถือเป็นเวลาร่วมนัย  $\tau_c$  ซึ่งจากสมการที่ ๓.17 เราสามารถพล็อตกราฟฟังก์ชัน

อัตราสัมพันธ์ของข้อมูลดิจิทัลโดยจะได้ผลดังกราฟในรูปที่ 3.7 พิจารณารูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 สัญญาณ IOR จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับที่เร็วกว่าสัญญาณ POR ซึ่งจะเห็นว่าค่า  $\tau_c$  ของสัญญาณ IOR จะน้อยกว่าของ POR หรืออาจกล่าวได้ว่าฟังก์ชันอัตราสัมพันธ์จะมีผลตอบสนองกับอัตราการเปลี่ยนระดับหรือคาบเวลาของสัญญาณ [11,12] จากภาคผนวก จ. ค่าฟังก์ชันความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม  $PSD$  ( Power Spectral Density) จะเป็นคู่ฟูรีเยร์ของฟังก์ชัน  $R_\tau$  และจากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่ากราฟ IOR มีลักษณะแคบกว่าของ POR ซึ่งจะทำให้สเปกตรัมของ IOR มีการแผ่กว้างมากกว่าสเปกตรัมของ POR ดังรูปที่ 3.8 [13]



รูปที่ 3.9 กราฟความสัมพันธ์ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกับ (ก) ค่า peak to peak (ข) ค่าเวลาร่วมนัย



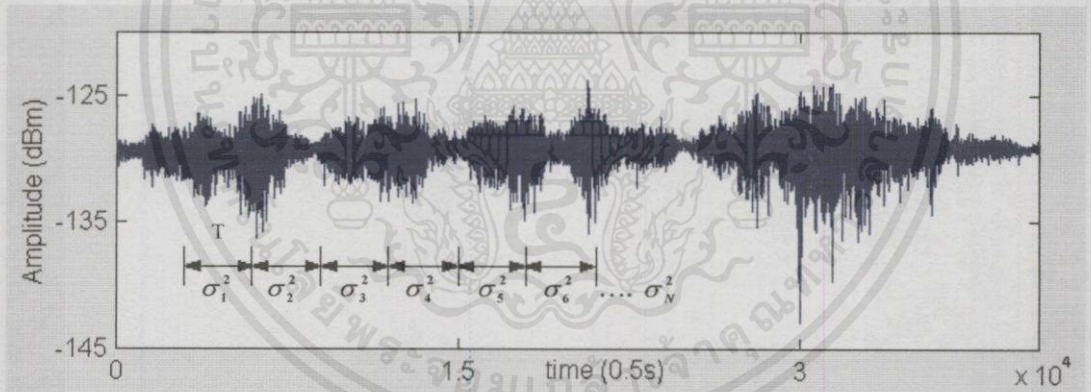
รูปที่ 3.10 จำนวนครั้งการเกิดของค่าเวลาร่วมนัยในแต่ละเดือนของ สัญญาณ IOR และ POR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ และจากการนำข้อมูล  $\sigma_x$  มาพล็อตเทียบกับข้อมูลค่า peak to peak และ  $\tau_c$  จะได้กราฟดังรูปที่ 3.9 โดยรูปที่ 3.9 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า peak to peak กับค่า  $\sigma_x$  ที่จะได้จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ซึ่ง

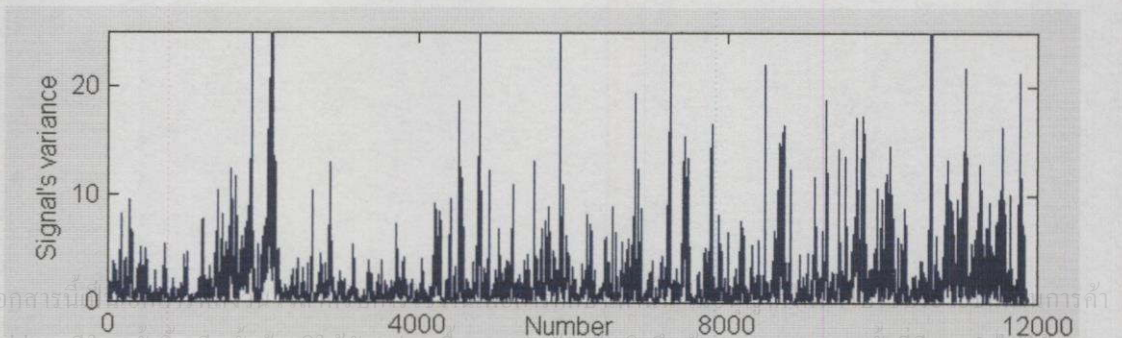
ก็หมายความว่าเมื่อมีการแกว่งอย่างรุนแรง (peak to peak สูงๆ) ก็จะมีผลให้ค่า  $\sigma_x$  เพิ่มสูงขึ้นด้วย รูปที่ 3.9 (ข) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\tau_c$  กับค่า  $\sigma_x$  มีลักษณะการแจกแจงของข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้นหรืออาจกล่าวได้ว่ากรณีการแกว่งอย่างรุนแรงนั้นไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณที่รวดเร็ว ( $\tau_c$  มีค่าน้อยๆ) และจากข้อมูล  $\tau_c$  เมื่อนำมาหาการแจกแจงของจำนวนครั้งที่เกิดจะได้กราฟดังรูปที่ 3.10 จากกราฟที่ 3.10 (ก) ค่า  $\tau_c$  ของข้อมูล IOR ในแต่ละเดือนจะอยู่ในช่วง 0.75 วินาที ถึง 3.833 วินาที โดยค่า  $\tau_c$  ที่พบมากที่สุดในแต่ละเดือนจะอยู่ในช่วง 0.95 วินาที ถึง 1.16 วินาที สำหรับข้อมูล POR ค่า  $\tau_c$  จะอยู่ในช่วง 1.36 วินาที ถึง 3.63 วินาที ค่ามากที่สุดในแต่ละเดือนจะอยู่ในช่วง 1.83 วินาที ถึง 2.03 วินาที

### 3.3.4 ความเข้มของกระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

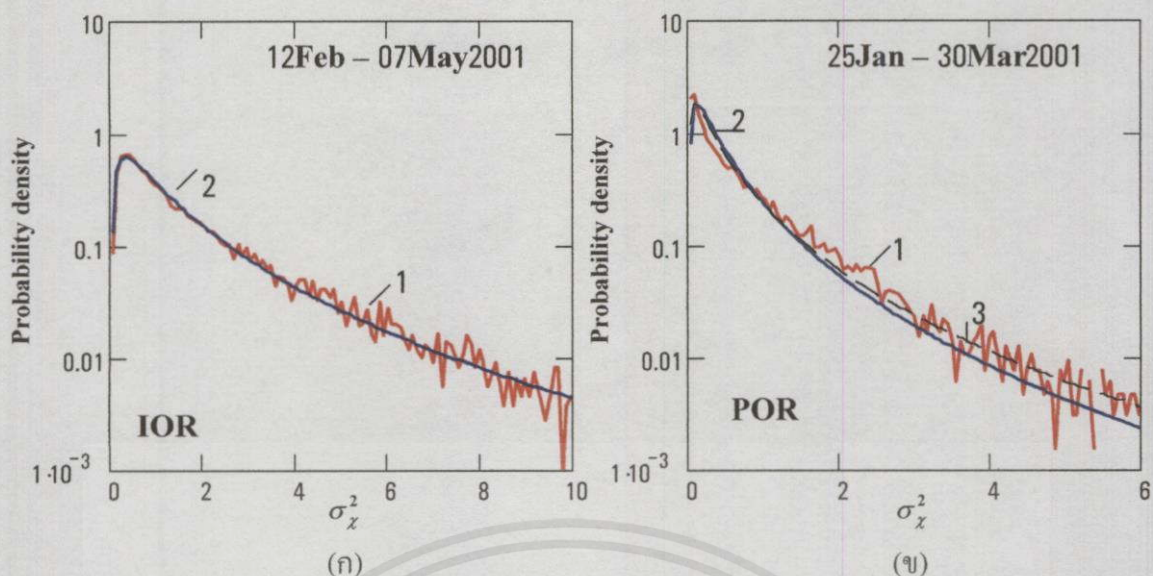
อย่างที่กล่าวมาในข้างต้นแล้วว่าปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิดเนื่องจากกระบวนเคลื่อนที่ผ่านชั้นตัวกลางที่มีความแปรปรวนของกลุ่มความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ซึ่งมีผลทำให้ความแรงของคลื่นที่เครื่องรับ ณ ที่ห่างไกลออกไปเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเป็นค่าตัวแปรสุ่ม โดยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง-



รูปที่ 3.11 การหาค่าความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละช่วง



รูปที่ 3.12 กราฟค่าความแปรปรวนของข้อมูล



รูปที่ 3.13 กราฟความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูล  $\sigma_x^2$  (ก) ข้อมูล IOR (ข) ข้อมูล POR

กระทันหัน  $\sigma_x$  (Scintillation Intensity) ในแต่ละช่วงเวลา  $T$  สั้นๆก็จะมีค่าเป็นตัวแปรสุ่มด้วย นั่นคือกระบวนการนี้ไม่สามารถพิจารณาได้ว่าเป็น (Strictly Stationary) ได้ในการพิจารณาข้อมูลระยะยาว (Long term)[14] ซึ่งสิ่งนี้มีผลต่อสถิติของกระบวนการดังจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4 จากรูปที่ 3.11 เมื่อเรานำข้อมูลมาเรียงต่อกันและทำการแบ่งเป็นช่วง ช่วงๆละ 1 นาทีเท่าๆกัน ในแต่ละช่วงหนึ่งก็จะนำมาหาค่าความแปรปรวน  $\sigma_x^2$  (Variance) ค่าหนึ่ง ซึ่งจากการหาค่าจากข้อมูลระยะยาว เราจะได้ค่า  $\sigma_x^2$  ที่มีการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 3.11 (ข) จากรูปจะเห็นว่าค่า  $\sigma_x^2$  จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงของกระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด และจากข้อมูล  $\sigma_x^2$  นี้เราจะสามารถหาค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นซึ่งได้ดังรูปที่ 3.13 จะเห็นว่ากราฟจะมีลักษณะเป็นฟังก์ชันความหนาแน่นปรกติล็อก (Log-normal Density Function) รูปที่ 3.13 (ก) กราฟหมายเลข 1 เป็นข้อมูลที่ทำการวัดจริงของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณย่าน IOR ในช่วงวันที่ 12 กุมภาพันธ์-7 พฤษภาคม 2544 กราฟหมายเลข 2 คือกราฟที่พล็อตจากทฤษฎีโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยเป็น 1.1 และ 1.046 ตามลำดับ รูปที่ 3.13 (ข) กราฟหมายเลข 1 เป็นข้อมูลจริงย่าน POR ในช่วงวันที่ 25 มกราคม-30 มีนาคม 2544 กราฟหมายเลข 2, 3 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยเป็น 0.971, 0.365 และ 1.1, 0.365 ตามลำดับ

### 3.4 สรุป

บทนี้กล่าวถึงระบบทดลองและการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันโดยทั่วไป การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันมักเกิดขึ้นมากและมีความรุนแรงอยู่ใน

ช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน และช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม สำหรับสัญญาชาน POR จะมีจำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดมากกว่าสัญญาชาน IOR และระดับการแกว่งอย่างรุนแรงเกิดบ่อยครั้งกว่า ในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันในช่วงเวลาสั้นๆ และหาค่า pdf ของระดับสัญญาพบว่าข้อมูลการแกว่งของสัญญาที่มีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปรกติ แต่ในกรณีที่สัญญาที่มีการแกว่งอย่างรุนแรงระดับสัญญาทางด้านกรงหาจะมีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบนาคามี เมื่อพิจารณาการแจกแจงสะสมจะทำให้ทราบค่าเปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆของระดับสัญญาเช่น พีคสูงสุด, ค่าการงหาสูงสุด, ค่าพีคที่ 5% และค่าการงหา 95% โดยค่าความแตกต่างระหว่างระดับสัญญา 2 ค่าสุดท้ายนี้ทำให้ทราบค่าพิสัยพลวัตของเครื่องรับได้

ฟังก์ชันออสทหสัมพันธ์และความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังสัญญานนำมาใช้พิจารณาโครงสร้างทางเวลาและความถี่ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาอย่างกระทันหันตามลำดับ ค่าเวลาร่วมนัยของการวิเคราะห์สัญญา IOR จะมีค่าน้อยกว่าค่าเวลาร่วมนัยสัญญา POR และจากความสัมพันธ์ในเชิงคู่ฟูริเยร์กันมีผลให้สเปกตรัมกำลังสัญญานของสัญญา IOR มีการแผ่กว้างมากกว่าของ POR นั่นคือการเปลี่ยนแปลงระดับแอมพลิจูดสัญญาอย่างกระทันหันของสัญญาชานการวัด IOR จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาเกิดขึ้นเร็วกว่าสัญญาชานการวัด POR

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาเป็นแบบสุ่มทำให้ความเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความเข้มของกระบวนการรวมถึงความแปรปรวนเป็นแบบสุ่มด้วย ค่า  $\sigma_x$  สำหรับเหตุการณ์หนึ่งในช่วงระยะเวลาสั้นๆจะแตกต่างกัน เมื่อทำการหาความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูลความแปรปรวน  $\sigma_x^2$  จะพบว่ากราฟมีการแจกแจงแบบปรกติล็อก ฟังก์ชันการแจกแจงของ  $\sigma_x^2$  จะถูกนำไปพิจารณาร่วมกับฟังก์ชันความน่าจะเป็นระยะสั้น  $p(x, \sigma_x)$  โดยจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

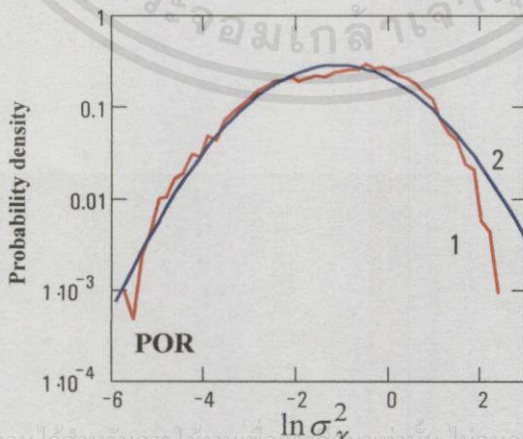
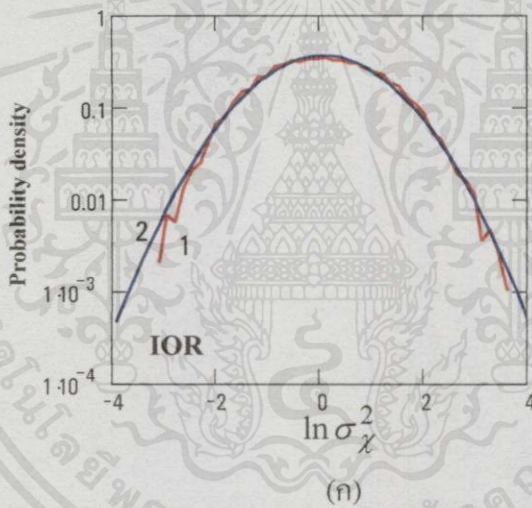
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การจำลองลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

จากข้อกำหนดของ ITU-R [14] แสดงให้เห็นว่าเฉพาะเพียงแค่ข้อมูลของค่าเฉลี่ยสัญญาณที่ได้รับได้อย่างเดียวนั้นยังไม่เพียงพอสำหรับการอธิบายลักษณะประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร จึงควรมีการพิจารณาลักษณะการแปรผันทางเวลาและความถี่ของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณร่วมด้วย

ช่วงค่าพิสัยพลวัต (Dynamic range) ของระดับสัญญาณที่ต้องการจะเป็นตัวช่วยพิจารณาในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบ (System reliability) และในการเลือกพารามิเตอร์ต่างๆของระบบ อาทิเช่น ชนิดของการมอดูเลต, ค่ากำลังส่งสัญญาณเป็นต้น ซึ่งจำเป็นที่เราต้องทราบค่าความเร็วและค่าขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณในการอธิบายเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าการฉีกาทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเปลี่ยนแปลง และ (ข) อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 กราฟความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูล  $\ln \sigma_{\chi}^2$  (ก) ข้อมูล IOR (ข) ข้อมูล POR

นั้นมักจะเก็บบันทึกข้อมูลลำดับเวลา (Time series) ของระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ และมีการอธิบายลักษณะของการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของกระบวนการเฟ้นสุ่ม (Stochastic Process) เพื่อที่จะทำการจำลอง (Modeling) ลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสำหรับใช้ในการนำเสนอการทำนายและศึกษาประสิทธิภาพของระบบ

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงความเข้มของกระบวนการการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันว่ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งจะมีผลต่อสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด จากรูปที่ 3.13 ลักษณะการแจกแจงของ  $\sigma_x^2$  จะเป็นแบบปรกติล็อกซึ่งเมื่อเรานำค่าข้อมูล  $\sigma_x^2$  มาใส่ล็อกธรรมชาติ ( $\log_e$ ) ข้อมูลใหม่ที่ได้มีลักษณะการแจกแจงเป็นแบบปรกติโดยข้อมูล IOR มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น  $\sigma_\sigma = 1.089$  และค่าเฉลี่ยเป็น 0.045 ข้อมูล POR มีค่า  $\sigma_\sigma = 1.3$  และค่าเฉลี่ยเป็น  $-1.009$  ดังแสดงในรูปที่ 4.1(ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งจากภาคผนวก ข. เราสามารถทำการทดสอบการยอมรับของค่าพารามิเตอร์และการแจกแจงเหล่านี้ได้

#### 4.1 การทดสอบความพอดีของการแจกแจงของข้อมูล

การทดสอบความพอดี (Goodness of Fit Test) เป็นการทดสอบเพื่อดูว่าข้อมูลในตัวอย่าง (Sample;  $N$ ) ที่มาจากข้อมูล (Population) มีการแจกแจงตามที่คาดหวังหรือตามที่กำหนดหรือไม่ในที่นี้จะทดสอบการแจกแจงของข้อมูล  $\ln \sigma_x^2$  โดยในตอนแรกจะทำการตั้งสมมติฐาน (Hypothesis) ว่าข้อมูลในตัวอย่างนั้นมาจากข้อมูล  $\ln \sigma_x^2$  ที่มีการแจกแจงแบบปรกติ นั่นคือจากรูปที่ 4.1 การแจกแจงความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูลมีลักษณะคล้ายกับการแจกแจงแบบปรกติ

จากข้อมูล  $\ln \sigma_x^2$  ของ IOR ทำการเลือกตัวอย่างข้อมูลมา 2000 ค่า นั่นคือ  $N = 2000$  ค่า  $s$  และค่า  $\bar{x}$  ของตัวอย่างสามารถหาได้จากสมการ (2.27) และ (2.28) ตามลำดับ โดยจะได้ค่าดังนี้  $s = 0.945$   $\bar{x} = 0.098$  จากตารางที่ 4.1 [15, 16] แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวอย่างกับจำนวนของอันตรภาคชั้น (Class Interval number;  $K$ ) ที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการทดสอบความพอดีแบบไคสแควร์ (Chi-square goodness-of-fit test) ที่ระดับนัยสำคัญ (level of significance ;  $\alpha$ )  $\alpha = 0.05$  ซึ่งจะได้  $K = 39$  นำตัวอย่างข้อมูลมาเรียงลำดับจากน้อยไปมากจะได้ดังรูปที่ 4.2 ค่าความน่าจะเป็นที่สัมพันธ์ในแต่ละอันตรภาคชั้นจะเป็น  $P = 1/K = 0.02564$  โดยตัวเลขที่ถูกขีดเส้นใต้จะเป็นค่าขอบของแต่ละช่วงอันตรภาคชั้น ในตารางที่ 4.2 ค่า  $\alpha_K$  ในหลักที่ 2 จากด้านล่างจะมีค่าเริ่มจาก 0 แล้วเพิ่มเป็นจำนวนเท่าของ  $P$  ค่าขอบเขตของแต่ละอันตรภาคชั้นสำหรับสมมติฐานการแจกแจง

ตารางที่ 4.1 จำนวนอันตรภาคชั้นที่น้อยที่สุดสำหรับค่า  $\alpha = 0.05$  อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$N$	ตั้งแต่ 200	ตั้งแต่ 400	ตั้งแต่ 600	ตั้งแต่ 800	ตั้งแต่ 1000	ตั้งแต่ 1500	ตั้งแต่ 2000
$K$	16	20	24	27	30	35	39

แบบปรกติจะหาโดยนำค่า  $\alpha_K$  ในหลักที่ 2 ไปหาค่าจากตารางที่ ข.1 ซึ่งเป็นตารางของการแจกแจงแบบปรกติมาตรฐาน จะได้ค่า  $z_\alpha$  ในหลักที่ 3 ตามตารางที่ 4.2 ซึ่งจากการแจกแจงแบบปรกติมาตรฐานจะได้  $x = s z_\alpha - \bar{x}$  และจากการหาค่า  $s$  และค่า  $\bar{x}$  ดังนั้นจะได้ค่า  $x$  เป็นดังหลักที่ 4 ในตารางที่ 4.2 จากนั้นนำค่าขอบเขตบน  $x$  ไปแบ่งข้อมูลในรูปที่ 4.2 เพื่อหาค่าความถี่  $f$  ซึ่งจากรูปตัวเลขที่ถูกขีดเส้นใต้จะเป็นตำแหน่งขอบของอันตรภาคชั้น นับจำนวนตัวเลขในแต่ละอันตรภาคชั้นแล้วนำไปใส่ในหลักที่ 5 ของตาราง ค่าความถี่คาดหวัง  $F$  ในตารางที่ 4.2 จะหาได้จาก  $F = \frac{2000}{39} = 51.28$  ซึ่งหลักที่ 7 ในตารางที่ 4.2 จะเป็นค่าผลต่างระหว่างความถี่ของค่าสังเกตกับ

-3.012	-2.063	-1.8	-1.605	-1.477	-1.394	-1.324	-1.249	-1.202	-1.138	-1.088	2.149
-2.604	-2.055	-1.769	-1.59	-1.474	-1.389	-1.321	-1.247	-1.201	-1.134	-1.086	2.179
-2.582	-2.047	-1.756	-1.586	-1.473	-1.386	-1.318	-1.245	-1.197	-1.133	-1.076	2.191
-2.548	-2.024	<u>-1.749</u>	-1.583	-1.471	-1.379	-1.317	-1.244	-1.195	-1.132	-1.076	2.195
-2.512	-2.01	-1.741	-1.565	-1.47	-1.377	-1.312	-1.242	-1.192	-1.131	-1.075	2.271
-2.392	-2.006	-1.737	-1.549	-1.469	-1.377	-1.301	-1.242	-1.191	-1.129	.	2.291
-2.32	-1.995	-1.734	-1.548	-1.465	-1.375	-1.297	-1.238	-1.186	-1.129	.	2.301
-2.313	-1.985	-1.732	-1.546	-1.459	-1.361	-1.296	-1.237	-1.184	-1.127	1.918	2.324
-2.3	-1.964	-1.725	-1.541	-1.456	-1.358	-1.294	-1.233	-1.184	-1.127	1.918	2.342
-2.294	-1.947	-1.722	-1.528	-1.451	-1.357	-1.292	-1.228	-1.181	-1.127	1.929	2.343
-2.231	-1.93	-1.721	-1.524	-1.45	-1.35	-1.291	-1.226	-1.18	-1.125	<u>1.933</u>	2.351
-2.211	-1.91	-1.705	-1.517	<u>-1.446</u>	-1.349	-1.288	-1.222	-1.177	-1.123	1.944	2.391
-2.176	-1.909	-1.701	-1.515	-1.444	-1.349	-1.284	-1.218	-1.173	-1.122	1.98	2.4
-2.165	-1.892	-1.701	-1.514	-1.437	-1.345	-1.284	-1.218	-1.172	-1.122	2.025	2.521
-2.142	-1.892	-1.691	-1.51	-1.425	-1.343	-1.28	-1.218	-1.171	-1.119	2.03	2.576
-2.124	-1.891	-1.667	-1.504	-1.422	-1.342	-1.275	-1.216	-1.166	-1.112	2.038	2.655
-2.112	-1.89	-1.66	-1.501	-1.418	-1.341	-1.269	-1.212	-1.156	-1.103	2.051	2.82
-2.1	-1.889	-1.654	-1.492	-1.417	-1.337	-1.269	-1.212	-1.153	<u>-1.101</u>	2.065	2.968
-2.097	-1.88	-1.65	-1.489	-1.405	-1.335	-1.268	-1.21	-1.151	-1.096	2.1	3.008
-2.095	-1.846	-1.617	-1.487	-1.405	-1.335	-1.265	-1.207	-1.148	-1.095	2.1	3.28
-2.087	-1.843	-1.612	-1.483	-1.401	-1.328	-1.261	-1.205	-1.145	-1.092	2.115	3.3
-2.081	-1.812	-1.607	-1.48	-1.394	-1.325	<u>-1.253</u>	-1.203	-1.144	-1.089	2.123	3.403

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างข้อมูลค่าสังเกตที่นำมาเรียงเพื่อหาความถี่ของแต่ละอันตรภาคชั้น

ตารางที่ 4.2 การคำนวณสำหรับการทดสอบความพอดี

จำนวน อันดับ ชั้น $K$	ขอบเขตบนอันดับภาคชั้น			$f$	$F$	$ F - f $	$\frac{(F - f)^2}{F}$
	$\alpha_K$	$z_\alpha$	$x = sz + \bar{x}$				
1	0.9743	-1.949	-1.7438	48	51.28	3.28	0.2697
2	0.9486	-1.6327	-1.4449	52	51.28	0.72	0.0101
3	0.9230	-1.4261	-1.2496	54	51.28	2.72	0.1442
4	0.8974	-1.267	-1.0993	62	51.28	10.72	2.2409
5	0.8717	-1.135	-0.9745	48	51.28	3.28	0.2097
6	0.8461	-1.023	-0.8687	57	51.28	5.72	0.638
7	0.8204	-0.916	-0.7676	49	51.28	2.28	0.1013
8	0.7948	-0.82	-0.6769	52	51.28	0.72	0.0101
9	0.7692	-0.738	-0.5994	45	51.28	6.28	0.769
10	0.7435	-0.653	-0.519	66	51.28	14.72	4.2253
...	...	...	...	...	...	...	...
30	0.2307	0.738	0.7954	35	51.28	16.28	5.1684
31	0.2051	0.82	0.8729	64	51.28	12.72	3.1551
32	0.1794	0.916	0.9636	49	51.28	2.28	0.1013
33	0.1538	1.023	1.0647	56	51.28	4.72	0.4344
34	0.1282	1.135	1.1705	67	51.28	15.72	4.819
35	0.1025	1.2671	1.2954	56	51.28	4.72	0.4344
36	0.0769	1.4261	1.4456	54	51.28	2.72	0.1442
37	0.0512	1.6327	1.6409	64	51.28	12.72	3.1551
38	0.0256	1.949	1.9398	56	51.28	4.72	0.4344
39	0	-	-	33	51.28	18.28	6.5163
				200	200		42.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ความถี่ค่าคาดหวังในแต่ละอันดับภาคชั้นซึ่งถ้านำมายกกำลังสองแล้วหารด้วยค่า  $F$  จะเป็นดังหลักที่ 8  
 ตามตาราง ผลรวมของค่าในหลักที่ 8 จะทำให้ได้ค่า  $X^2$  ของสมการ (ข.4) เป็น  $X^2 = 42.002$  โดย

จากการเทียบค่ากับตารางที่ ข.2 ที่ค่า  $\alpha = 0.05$ , ค่า  $n = K - 1 - s = 36$  ตามภาคผนวก ข. จะได้  $X^2 \leq \chi_{36;0.05} = 51.00$  ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการยอมรับสมมติฐานในภาคผนวก ข. ดังนั้นสมมติฐานที่ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติจึงเป็นที่ยอมรับที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  สำหรับกรณีของ POR ในทำนองเดียวกันค่า  $X^2 = 44.42$  เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้น ดังนั้นสมมติฐานที่ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติจึงสามารถยอมรับได้ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

#### 4.2 การจำลองลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

กำหนดให้ค่าแอมพลิจูดชั่วขณะใดขณะหนึ่งของสัญญาณที่เครื่องรับเป็น  $A(t)$  และ  $A_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณหรือระดับสัญญาณที่ไม่มีการจางหาย (unfaded signal) จากสมการที่ 2.24 ซึ่งเป็นการประมาณค่าของ Rytov จะได้ค่าความสัมพันธ์เป็น

$$\frac{A(t)}{A_0} = e^{\chi(t)} \quad (4.1)$$

โดย  $\chi(t)$  เป็นค่าสุ่มมีหน่วยเป็นเนเปอร์ และหากทำเป็นหน่วยเดซิเบลจะได้

$$X(t) = 20 \log_{10} \frac{A(t)}{A_0} = 8.686 \chi(t) \quad (\text{dB}) \quad (4.2)$$

โดย  $X(t)$  คือค่าระดับสัญญาณที่รับได้ในหน่วยเดซิเบลหาค่าได้ตามภาคผนวก ง. การพิจารณากระบวนการการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะพิจารณาว่าค่าความเข้มของกระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดจะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะของสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นตลอดแนวการแพร่กระจายคลื่น การที่ค่า  $\sigma_\chi$  มีการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกนำมาพิจารณาในการแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลสัญญาณระยะยาว (long-term statistic)

การจำลองทางสถิติ (Statistical Model) ของกระบวนการการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนี้ได้ถูกนำเสนอโดย Mousley และ Vilar [17] ซึ่งอาศัยหลักพื้นฐานการดัดแปลงลักษณะการจำลองมาจากการแจกแจงแบบปรกติ โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma_\chi$  มีค่าเป็นตัวแปรสุ่ม สมมติให้กระบวนการการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนี้มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ เราสามารถทำการหาค่าคาดหวังทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Expectation) ของความหนาแน่นความน่าจะเป็นของแอมพลิจูดสัญญาณที่เป็นค่าลอการิทึมได้ โดยการนำฟังก์ชันความน่าจะเป็นระยะสั้น  $p(\chi, \sigma_\chi)$  คูณด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความเข้มมีการเปลี่ยนแปลง  $p(\sigma_\chi)$  แล้วทำการอินทิเกรตตลอดช่วงค่าของ  $\sigma_\chi$

$$\langle p(x) \rangle = \int_0^{\infty} p(\sigma_x) p(x, \sigma_x) d\sigma_x \quad (4.3)$$

ซึ่งหมายความว่าฟังก์ชัน  $p(x, \sigma_x)$  จะถูกถ่วงน้ำหนัก (weighting) ด้วยค่าความน่าจะเป็นของการเกิดของค่า  $\sigma_x$  โดยที่  $p(x, \sigma_x)$  เป็นค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นของกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในช่วงสั้น และจากหัวข้อ 3.3.1 ทำให้เราทราบลักษณะฟังก์ชันความน่าจะเป็น  $p(x, \sigma_x)$  ซึ่งแสดงในรูปของฟังก์ชัน  $\sigma_x$  และ  $x$  ดังสมการ

$$p(x, \sigma_x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right) \quad (4.4)$$

โดยที่  $\sigma_x$  ซึ่งเป็นค่าความเข้มของกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เป็นตัวแปรสุ่มอีกค่าหนึ่ง จากรูป 4.1 ก,ข และจากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.1 จะได้ค่าการแจกแจงความน่าจะเป็นของ  $\ln \sigma_x^2$  เป็นแบบปกติ

$$p(\ln \sigma_x^2) = \frac{1}{\sigma_\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln \sigma_x^2 - \ln \sigma_m^2)^2}{2\sigma_\sigma^2}\right] \quad (4.5)$$

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสมการสามารถหาได้จากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ จากสมการค่า  $\sigma_\sigma$  หาจากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล  $\ln \sigma_x^2$  นั่นคือ  $\sigma_\sigma = \sigma(\ln \sigma_x^2)$  และค่า  $\ln \sigma_m^2$  คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล  $\ln \sigma_x^2$  นั่นคือ  $\ln \sigma_m^2 = \overline{\ln \sigma_x^2}$  ( $\sigma_m^2$  คือค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยของค่าการแจกแจงความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด)

เราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นของ  $\sigma_x$  ( $p(\sigma_x)$ ) จากค่าความน่าจะเป็นที่เราทราบอยู่แล้วของ  $\ln \sigma_x^2$  ( $p(\ln \sigma_x^2)$ ) ได้ดังความสัมพันธ์ต่อไปนี้ [18] โดยที่  $y = g(x)$

$$P_y(y) = \frac{P_x(x)}{|g'(x)|} \quad (4.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดย  $P_y(y) =$  ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปร  $y$  ที่ต้องการหา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีเรานำไปใช้

$P_x(x) =$  ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปร  $x$  ที่ทราบค่าอยู่แล้ว (ในที่นี้คือ  $p(\ln \sigma_x^2)$ )

$g'(x) =$  อนุพันธ์ของฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่าง  $x$  และ  $y$

จากความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรคือ  $x = \ln \sigma_x^2$  ถ้าเรากำหนดให้  $y = \sigma_x$  ดังนั้น  $x = \ln y^2$  ซึ่งจะได้

$$y = \sqrt{e^x} = e^{x/2} \quad (4.7)$$

$$g'(x) = \frac{dy}{dx} = \frac{e^{x/2}}{2} = \frac{e^{\frac{\ln \sigma_x^2}{2}}}{2} \quad (4.8)$$

แทนสมการ (4.5) และ (4.8) ลงในสมการ (4.6) จะได้

$$P_y(y) = p(\sigma_x) = \frac{2}{e^{\frac{\ln \sigma_x^2}{2}}} \cdot \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{(\ln \sigma_x^2 - \ln \sigma_m^2)^2}{2\sigma_\sigma^2} \right]$$

$$p(\sigma_x) = \frac{2}{\sigma_x} \cdot \frac{1}{\sigma_\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{(\ln \sigma_x^2 - \ln \sigma_m^2)^2}{2\sigma_\sigma^2} \right] \quad (4.9)$$

และจากสมการ (4.4) และ (4.9) เมื่อนำไปแทนในสมการที่ (4.3) ดังนั้นจะสามารถหาค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันได้เป็น

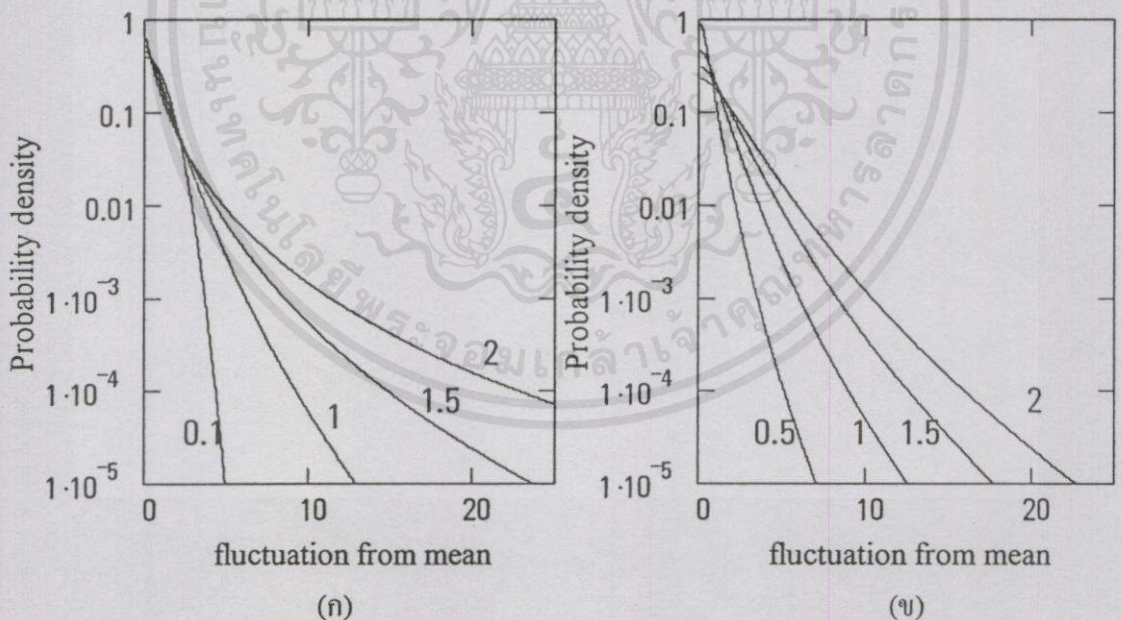
$$\langle p(x) \rangle = \int_0^\infty \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\chi^2}{2\sigma_x}\right) \cdot \frac{2}{\sigma_x} \cdot \frac{1}{\sigma_\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(\ln \sigma_x^2 - \ln \sigma_m^2)^2}{2\sigma_\sigma^2} \right] d\sigma_x$$

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_\sigma \pi} \int_0^\infty \frac{1}{\sigma_x^2} \exp \left[ -\frac{\chi^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(\ln(\sigma_x/\sigma_m))^2}{2\sigma_\sigma^2} \right] d\sigma_x \quad (4.10)$$

สมการที่ (4.10) ไม่สามารถทำให้อยู่ในรูปปิดได้ (close form) โดยสมการนี้จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์สองตัว คือ  $\sigma_\sigma$  และ  $\sigma_m$  (ค่า  $\chi$  ในสมการสามารถเป็นทั้งค่าแอมพลิจูดหรือเดซิเบลก็ได้ โดยใช้สมการที่ (4.2) ในการแปลงค่า) และเมื่อเรานำพารามิเตอร์ทั้งสองมาลองเปลี่ยนค่า โดยให้ตัวใดตัวหนึ่งคงที่ แล้วพล็อตกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.3 จากรูปที่ 4.3 (ก) จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดให้ค่า  $\sigma_m$  เป็นค่าคงที่แล้วเปลี่ยนค่า  $\sigma_\sigma$  กราฟจะแผ่กว้างออกเมื่อค่า  $\sigma_\sigma$  มากขึ้น และจากรูป 4.3 (ข) เมื่อเรากำหนดให้ค่า  $\sigma_\sigma$  คงที่แล้วเปลี่ยนค่า  $\sigma_m$  กราฟจะแผ่กว้างออกเมื่อ  $\sigma_m$  มากขึ้น และจุดสูงสุดของ

กราฟก็จะต่ำลงด้วย

จากสมการ 4.3 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่า  $\sigma_\sigma = \sigma(\ln \sigma_\chi^2)$  จะได้  $\sigma_\sigma = 1.089$  dB และ  $\sigma_\sigma = 1.3$  dB และค่าเฉลี่ย  $\overline{\ln \sigma_\chi^2} = \ln \sigma_m^2$  มีค่าเท่ากับ 0.045 dB และ -1.009 dB สำหรับข้อมูล IOR และ POR ตามลำดับ ดังนั้นค่า  $\sigma_m$  ของทั้ง IOR และ POR จะเป็น  $\sqrt{e^{0.045}} = 1.0227$  และ  $\sqrt{e^{-1.009}} = 0.603$  ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำค่า  $\sigma_\sigma, \sigma_m$  ที่ได้ไปแทนในสมการ 4.10 แล้วนำไปพล็อตเทียบกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดจะได้กราฟดังรูปที่ 4.4 จากรูป 4.4 (ก) กราฟหมายเลข 1 เป็นกราฟที่พล็อตจากข้อมูลระดับสัญญาณ IOR ที่เก็บบันทึก กราฟหมายเลข 4 และ 3 พล็อตตามสมการที่ 4.10 ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่ากราฟหมายเลข 4 จะมีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟหมายเลข 1 ในส่วนของการจางหาย กราฟหมายเลข 3 จะมีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟหมายเลข 1 ในด้านเพิ่มและส่วนยอด ส่วนกราฟหมายเลข 2 เป็นกราฟการแจกแจงแบบปรกติ (สมการ 4.2) โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าเดียวกับข้อมูลระดับสัญญาณ  $\chi$  และมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ กราฟหมายเลข 2 จะห่างจากกราฟหมายเลข 1 มากกว่าทุกๆกราฟ รูปที่ 4.4 (ข) จะเป็นการพล็อตเทียบกราฟของข้อมูลกับทฤษฎีตามสมการที่ 4.10 และกราฟการแจกแจงแบบปรกติเช่นเดียวกับข้างต้น แต่เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลของสัญญาณ POR

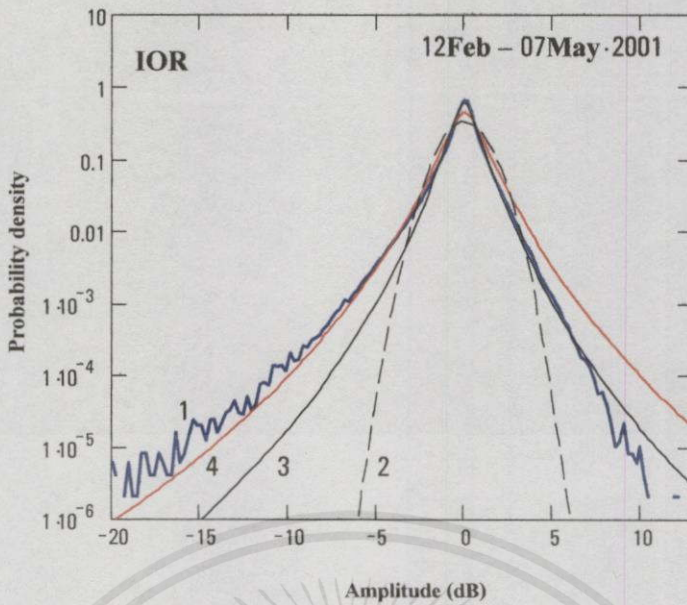


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $p(\chi)$  กับขนาดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณ

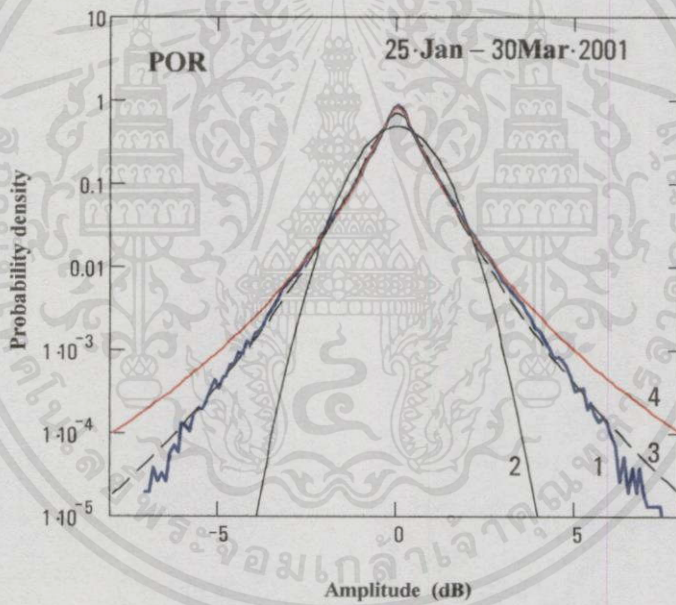
โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $\sigma_\sigma$  และ  $\sigma_m$

(ก) เปลี่ยนค่า  $\sigma_\sigma = 0.1, 1, 1.5$  และ 2 ( $\sigma_m$  คงที่)

(ข) เปลี่ยนค่า  $\sigma_m = 0.5, 1, 1.5$  และ 2 ( $\sigma_\sigma$  คงที่)



(ก)



(ข)

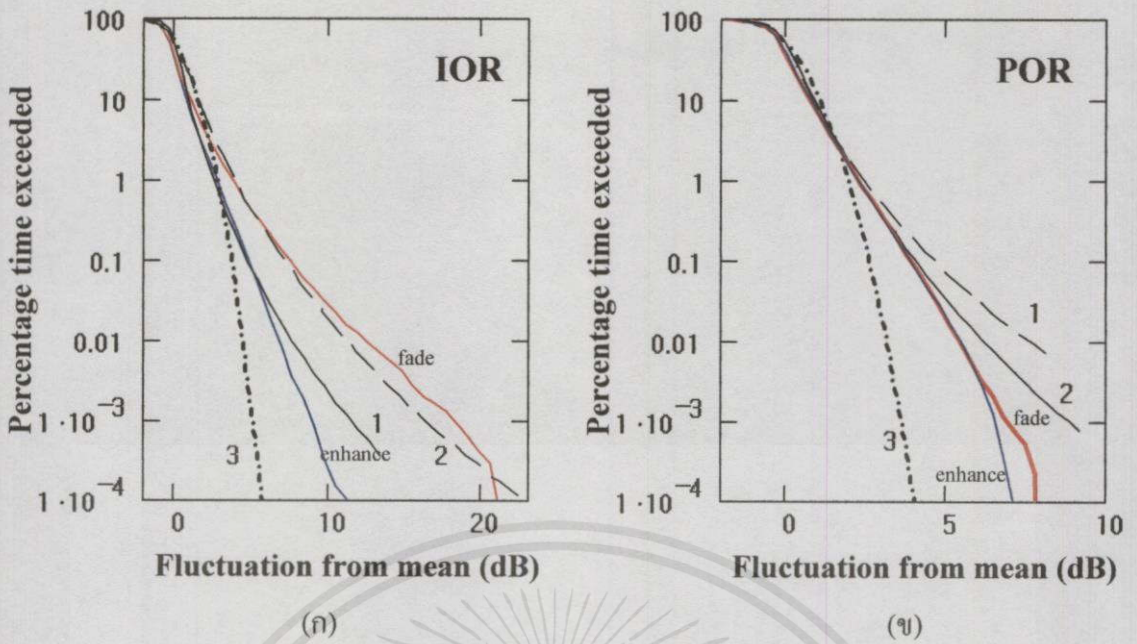
รูปที่ 4.4 กราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับสัญญาณเทียบกับกราฟทฤษฎีการแจกแจงความน่าจะเป็น

(ก) ข้อมูล IOR หมายเลข 1 คือข้อมูลระดับสัญญาณ หมายเลข 3, 4 คือกราฟทฤษฎีซึ่ง  $\sigma_{\sigma} = 1.089, \sigma_m = 0.753$  และ  $\sigma_{\sigma} = 1.089, \sigma_m = 1.032$  ตามลำดับ

หมายเลข 2 คือกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.192

(ข) ข้อมูล POR หมายเลข 1 คือข้อมูลระดับสัญญาณ หมายเลข 3, 4 คือกราฟทฤษฎีซึ่ง  $\sigma_{\sigma} = 0.653, \sigma_m = 1.1$  และ  $\sigma_{\sigma} = 1.3, \sigma_m = 0.603$  ตามลำดับ

หมายเลข 2 คือกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.846



รูปที่ 4.5 กราฟการแจกแจงสะสมของข้อมูลเทียบกับกราฟทฤษฎีการแจกแจงสะสม

- (ก) ข้อมูล IOR หมายเลข 1, 2 คือกราฟทฤษฎีซึ่ง  $\sigma_{\sigma} = 1.089, \sigma_m = 0.753$  และ  $\sigma_{\sigma} = 1.089, \sigma_m = 1.032$  ตามลำดับ หมายเลข 3 คือกราฟความน่าจะเป็นแบบปรกติที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.192
- (ข) ข้อมูล POR หมายเลข 3, 4 คือกราฟทฤษฎีซึ่ง  $\sigma_{\sigma} = 0.653, \sigma_m = 1.1$  และ  $\sigma_{\sigma} = 1.3, \sigma_m = 0.603$  ตามลำดับ หมายเลข 3 คือกราฟความน่าจะเป็นแบบปรกติที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.846

จากหัวข้อ 3.3.2 เราสามารถหาการแจกแจงของระดับสัญญาณได้เป็นดังรูปที่ 4.5 กราฟสีน้ำเงินและแดงคือกราฟด้านเพิ่มและด้านจางหายตามลำดับ หมายเลข 1, 2 คือกราฟจากทฤษฎี หมายเลข 3 คือกราฟการแจกแจงปรกติ จากรูปที่ 4.5 (ก) ข้อมูล IOR กราฟด้านเพิ่มจะใกล้เคียงกับกราฟหมายเลข 1 แต่จะเริ่มห่างออกจากกันที่เปอร์เซ็นต์เวลาและระดับสัญญาณ เท่ากับ 0.06 และ 5 dB ตามลำดับ ส่วนกราฟด้านจางหายกับกราฟหมายเลข 2 จะเริ่มห่างออกไปที่เปอร์เซ็นต์เวลาและระดับสัญญาณ เท่ากับ 0.2 และ 6 dB ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.5 (ข) ข้อมูล POR กราฟหมายเลข 2 จะเริ่มแยกจากกราฟด้านเพิ่มและด้านจางหายที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.2 และระดับสัญญาณเท่ากับ 3.2 dB กราฟหมายเลข 1 จะแยกออกที่เปอร์เซ็นต์เวลาและระดับสัญญาณเท่ากับ 1.8 และ 2 dB ตามลำดับ และเช่นเดียวกันกับกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นของสัญญาณดังรูปที่ 4.4 กรณีกราฟที่มีการแจกแจงแบบปรกติ (กราฟหมายเลข 3) จะมีการแจกแจงของระดับสัญญาณที่เบี่ยงเบนจากค่าปรกติน้อยๆ ใกล้เคียงกับกราฟการแจกแจงแบบอื่นๆ แต่ที่ระดับสัญญาณมีการเบี่ยงเบนจากค่าปรกติมากจะคำนวณค่าการแจกแจงได้ต่ำกว่ากรณีอื่นที่ค่าการเบี่ยงเบนสัญญาณเดียวกัน

### 4.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการจำลองช่องสัญญาณการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันซึ่งเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดสัญญาณในระยะยาว โดยอาศัยการถ่วงน้ำหนักฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นระยะสั้น  $p(x, \sigma_x)$  ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของ  $\sigma_x$  ในรูปของ  $p(\ln \sigma_x^2)$  ซึ่งจะมีการแจกแจงข้อมูลแบบปรกติ โดยมีการทดสอบความพอดีของการแจกแจงข้อมูล  $\ln \sigma_x^2$  ด้วยการทดสอบแบบไคสแควร์ ซึ่งยืนยันว่าการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลนี้มีการแจกแจงแบบปรกติ เมื่อเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลสัญญาณจริงกับการแจกแจงทางทฤษฎีแบบปรกติและกราฟการแจกแจงที่คำนวณได้จากการจำลองช่องสัญญาณแล้ว จะพบว่ากราฟการแจกแจงข้อมูลจริงจะมีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟที่ได้จากการจำลองช่องสัญญาณมากกว่าการแจกแจงแบบปรกติธรรมดา ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการสื่อสารความถี่ผสมขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่จะกล่าวต่อไปในบทที่ 5 นั้น จำเป็นต้องพิจารณาฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจากฟังก์ชันการจำลองช่องสัญญาณ  $p(x)$  ร่วมด้วย

จากบทที่ 3 จะเห็นว่าการแจกแจงทางสถิติของข้อมูลในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งถือว่า  $\sigma_x$  มีค่าคงที่ จะมีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบปรกติและแบบนาคากามิ แต่ในส่วนของข้อมูลระยะยาวค่า  $\sigma_x$  จะมีการเปลี่ยนแปลง การจำลองลักษณะทางสถิตินั้นไม่สามารถใช้ฟังก์ชันการแจกแจงธรรมดาได้ (การแจกแจงแบบปรกติ เรย์ลี หรือ นาคากามิ) การจำลองจะกระทำโดยการเฉลี่ยค่าการแจกแจงความน่าจะเป็นระยะสั้นด้วยการแจกแจงความน่าจะเป็นของ  $\sigma_x$  ซึ่งจะได้ฟังก์ชันใหม่ที่ค่าพารามิเตอร์หาได้จากข้อมูลที่ทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง กะทันหันที่มีต่อประสิทธิภาพของสัญญาณ

ในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ เราจะสนใจระดับของสัญญาณที่ต้องการต่อระดับสัญญาณรบกวน(SNR) เนื่องจากพื้นฐานการออกแบบระบบจะอยู่ที่ความสามารถในการตรวจจับสัญญาณได้เมื่อเกิดสัญญาณรบกวน  $N$  โดยที่ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดยังสามารถยอมรับได้ เมื่อสัญญาณที่เราต้องการในที่นี้เป็นคลื่นพาหะที่ถูกมอดูเลต เรามักจะพูดถึงกำลังเฉลี่ยของคลื่นพาหะต่อสัญญาณรบกวน ( $C/N$ ) หรือ ( $P_r/N$ ) ในรูปของSNRซึ่งเราจะหา ( $P_r/N$ ) ได้ดังสมการ[11]

$$\frac{P_r}{N} = \frac{EIRP \cdot G_r / N}{L_s} \quad (5.1)$$

โดยที่  $EIRP =$  กำลังส่งของสัญญาณ  $P_t \times$  อัตราขยายของสายอากาศด้านส่ง  $G_t$  (dB)

$G_r =$  อัตราขยาย ของสายอากาศด้านรับ (dB)  $L_s =$  free space loss (dB)

ถ้ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้อยู่ในรูปของสัญญาณมอดูเลต(สัญญาณข่าวสาร) เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $C/N$  กับ  $E_b/N_o$  ดังต่อไปนี้

### 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\frac{C}{N}$ กับค่า $\frac{E_b}{N_o}$

อัตราส่วนของกำลังเฉลี่ย  $C$  กับกำลังของสัญญาณรบกวน  $N$  ที่แบนด์วิดท์เดียวกันจะถูกกำหนดให้เป็นอัตราส่วนกำลังคลื่นพาหะต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio)  $C/N$  ค่า  $C/N$  จะเป็นพารามิเตอร์พื้นฐานสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการสื่อสาร ในบางครั้งค่าอัตราส่วนนี้จะถูกกำหนดให้เป็นค่ากำลังคลื่นพาหะต่อความหนาแน่นสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Density Ratio),  $C/N_o$  โดยที่  $N_o$  คือสัญญาณรบกวนต่อ 1 Hz นอร์แมลไลซ์แบนด์วิดท์ สำหรับการสื่อสารดิจิทัล ในการพิจารณาประสิทธิภาพการเชื่อมต่อจะนิยมใช้ค่าพลังงานต่อบิต  $E_b$  มากกว่าค่า  $C$  พลังงานบิตจะหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_b = \frac{C}{f_b} = C \cdot T_b \quad (5.2)$$

โดยที่  $T_b$  = ระยะเวลาในหนึ่งบิต ดังนั้น

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{C}{N_o} \cdot \frac{1}{f_b} \quad (5.3)$$

โดยที่  $E_b$  มีหน่วยเป็นจูล (joules)  $f_b$  คืออัตราบิต (bit/sec) และ  $N_o$  คือค่ากำลังสัญญาณรบกวนต่อเฮิร์ตซ์ สมการที่ (5.3) สามารถจัดให้อยู่ในหน่วยเดซิเบลได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{C}{N} - 10 \log \frac{f_b}{B_e} \quad (5.4)$$

ถ้าแบนด์วิดท์สัญญาณรบกวนของเครื่องรับเป็น  $B_e$  Hz และค่ากำลังสัญญาณรบกวนทั้งหมดที่วัดได้ที่เอาท์พุทของเครื่องรับเป็น  $N$  ดังนั้น

$$N_o = \frac{N (W)}{B_e (Hz)} \quad (5.5)$$

แทนสมการ (5.5) ลงในสมการที่ (5.3) จะได้

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{C}{N} \cdot \frac{B_e}{f_b} \quad (5.6)$$

หรือเขียนใหม่ในหน่วยเดซิเบลได้เป็น

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{C}{N} - 10 \log \frac{f_b}{B_e} \quad (5.7)$$

สมมติให้แบนด์วิดท์สัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับอัตราส่งบิต ดังนั้นสมการที่ (5.7) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\text{เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน} \quad \frac{E_b}{N_o} = \frac{C}{N} \quad (5.8)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

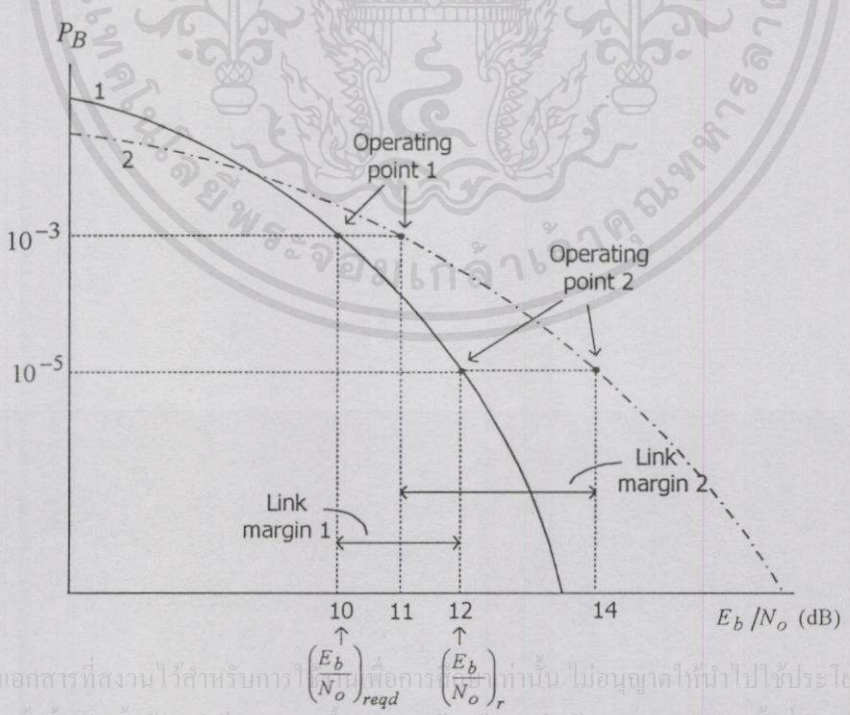
### 5.2 ค่าส่วนเผื่อการเชื่อมต่อระบบ

ค่า  $E_b/N_o$  เป็นค่าพลังงานแต่ละบิตต่อความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณรบกวน ซึ่งค่า  $E_b/N_o$  นี้จะเป็นค่าที่เชื่อมโยงไปหาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดได้ ในการคำนวณหาค่า safety factor หรือค่าส่วนเผื่อการเชื่อมต่อ (Link Margin :M) เราจะกล่าวถึงค่า  $E_b/N_o$  ที่ทำให้ระบบเกิดความน่าจะเป็นของความผิดพลาดซึ่งเรายอมรับได้หรือค่า  $E_b/N_o$  ที่ต้องการ  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{reqd}$  กับค่า  $E_b/N_o$  ที่ปรากฏขึ้นจริงในระบบที่เครื่องรับ  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_r$  จากรูปที่ 5.1

พิจารณาค่า  $P_B$  สองค่าบนกราฟเส้นที่ 1 โดยสมมติให้ที่ค่า  $P_B = 10^{-3}$  เป็นจุดทำงานที่ระบบมีค่าผิดพลาดสูงสุดที่เรายอมรับได้ ซึ่งจากกราฟจะได้ค่า  $E_b/N_o = 10$  dB หรือ  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{reqd} = 10$  dB

ในการออกแบบระบบการเชื่อมต่อ เพื่อที่จะให้ระบบมี safety margin เราจำเป็นต้องทำให้ค่ากำลังที่ปรากฏขึ้นจริงที่เครื่องรับ  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_r$  มีค่ามากกว่า  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{reqd}$  จากตัวอย่างเราทำการออกแบบระบบให้

$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_r = 12$  dB และจากกราฟจะได้  $P_B = 10^{-5}$  ซึ่งคิดหาค่าผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับ นั่นคือระบบมีค่าเผื่อของการเชื่อมต่อเท่ากับ 2 dB โดยค่าเผื่อนี้จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะความสัมพันธ์ของกราฟด้วย จากกราฟเส้นที่ 2 ที่ค่า  $P_B = 10^{-3}, 10^{-5}$  จะได้ค่าส่วนเผื่อเท่ากับ 3 dB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{reqd}$  เพื่อการ  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_r$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไปได้โดยเด็ดขาด อีกทั้งยังมีให้ข้อมูลเบื้องต้น และคำอธิบาย ถึงถึงเจ้าแห่งเอกสารทุกสิ่งที่มีการนำไปใช้  
**รูปที่ 5.1** ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของค่าเผื่อการเชื่อมต่อระบบเมื่อกราฟคุณลักษณะต่างกัน

### 5.3 การประมาณประสิทธิภาพการสื่อสารภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลง

#### แอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาอัตราบิดผิดพลาดของการเชื่อมต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมแบบไบนารี PSK และ FSK ในกรณีที่สัญญาณแพร่กระจายผ่านชั้นบรรยากาศภายใต้ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน โดยทำการสมมติให้แบนด์วิธของสัญญาณ  $W$  น้อยกว่าโคฮีเรนต์แบนด์วิธ ( $W \ll \Delta f_c$ ) และจากหัวข้อที่ผ่านมาที่ได้ทำการศึกษาค่าเวลาร่วมกัน  $\tau_c$  ถ้าเรากำหนดให้ช่วงเวลาบิต  $T_b$  มีค่าน้อยมากๆเมื่อเทียบกับเวลาร่วมกัน ( $T_b \ll \tau_c$ ) จากเงื่อนไขเหล่านี้จะทำให้การลดทอนและการเปลี่ยนเฟสในช่วงหนึ่งสัญลักษณ์ (Symbol) มีความคงที่ ดังนั้นช่องสัญญาณนี้จะสามารถพิจารณาได้เป็นช่องสัญญาณที่มีลักษณะการจางหายอย่างช้าๆ (Slowly Fading Channel) [12]

จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น  $p(\chi)$  ที่เหมาะสมในบทที่ 4 เราสามารถทำการประมาณค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นบิดผิดพลาดได้ โดยกำหนดให้

$$\chi = 20(\log A - \log A_0) \quad (5.9)$$

โดย  $A$  คือสัญญาณชั่วขณะ และ  $A_0$  คือสัญญาณที่ไม่มีการจางหาย ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังของคลื่นพากับสัญญาณรบกวน,  $\gamma$  กับค่า  $A$  จะมีค่าเป็น  $\gamma = \frac{A^2}{2N}$  และสำหรับอัตราส่วนกำลังของคลื่นพากับสัญญาณรบกวนของสัญญาณที่ไม่มีการจางหาย,  $\gamma_0$  ค่าความสัมพันธ์มีค่าเป็น  $\gamma_0 = \frac{A_0^2}{2N}$  โดยที่  $N$  คือกำลังของสัญญาณรบกวนในแบนด์วิธที่เครื่องรับและสมมุติให้  $N$  มีค่าคงที่ และจะเห็นว่า การเปลี่ยนของค่า  $\gamma$  จะเกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า  $A$  อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ดังนั้นจากสมการที่ (5.9) จะได้

$$\begin{aligned} \chi &= 10 \log \frac{A^2}{A_0^2} \\ &= 10 \log \left( \frac{\gamma}{\gamma_0} \right) \end{aligned} \quad (5.10)$$

ดังนั้นจะได้ค่า  $\gamma$  ที่อยู่ในรูปของฟังก์ชัน  $\chi$  คือ

$$\gamma = \gamma_0 10^{\frac{\chi}{10}} \quad (5.11)$$

โดยจากการตรวจจับที่เหมาะสมที่สุด (Optimum detection) ของสัญญาณแบบไบนารี ค่า  $\gamma$  จะเท่ากับอัตราส่วนพลังงานต่อบิตต่อสัญญาณรบกวน  $\frac{E_b}{N_0}$  จากความน่าจะเป็นของอัตราบิดผิดพลาดของการมอดูเลตแบบ FSK แบบไม่ร่วมนัย (Non-Coherent Frequency Shift Keying, NCFSK)[12]

$$P_b(\gamma) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\gamma}{2}\right) \quad (5.12)$$

และความน่าจะเป็นของอัตราบิดผิดพลาดกรณีมอดูเลตแบบ PSK แบบร่วมนัย (Coherent Phase Shift Keying :CPSK)[12] เป็นดังสมการที่ (5.13)

$$P_b(\gamma) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma}) \quad (5.13)$$

สมการที่ (5.12) และ (5.13) คือความน่าจะเป็นของความผิดพลาดโดยมีเงื่อนไขที่ว่าค่า  $\gamma$  ไม่ใช่ตัวแปรสุ่ม แต่ในการที่จะทำการหาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดกรณีค่า  $\gamma$  เป็นตัวแปรสุ่มนั้น ต้องทำการเฉลี่ยค่า  $P_b(\gamma)$  และค่า  $\gamma$  ก่อน ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของอัตราบิดผิดพลาดสำหรับทุกรูปแบบการมอดูเลชันจะกระทำโดยการเฉลี่ยความน่าจะเป็นของอัตราบิดผิดพลาดของช่องสัญญาณที่ไม่มีการจางหายกับค่าทางสถิติของสัญญาณที่มีการจางหาย [12, 19, 20] ซึ่งจากสมการของ  $p(x)$  ในสมการที่ (4.11) จะได้

$$\langle P_b \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} P_b(\gamma_0 10^{\frac{x}{10}}) p(x) dx \quad (5.14)$$

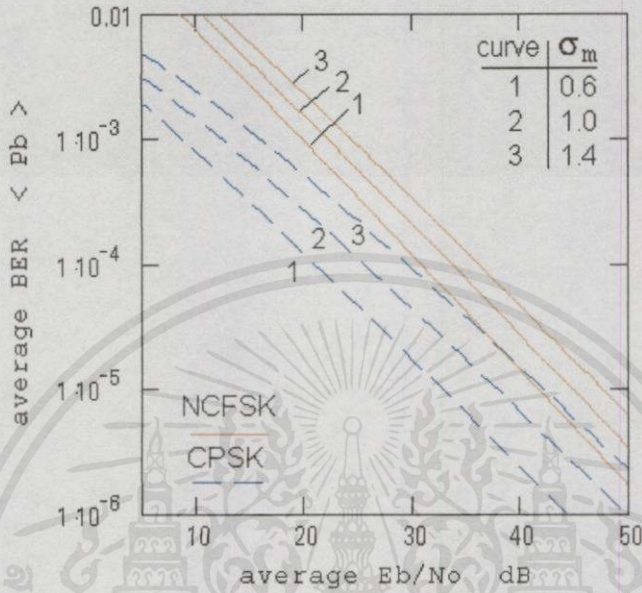
$$\therefore \text{สำหรับ NCFSK} \quad \langle P_b \rangle = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \exp\left(-\frac{\gamma_0 10^{\frac{x}{10}}}{2}\right) \right) p(x) dx \quad (5.15)$$

$$\text{สำหรับ CPSK} \quad \langle P_b \rangle = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\gamma_0 10^{\frac{x}{10}}}\right) \right) p(x) dx \quad (5.16)$$

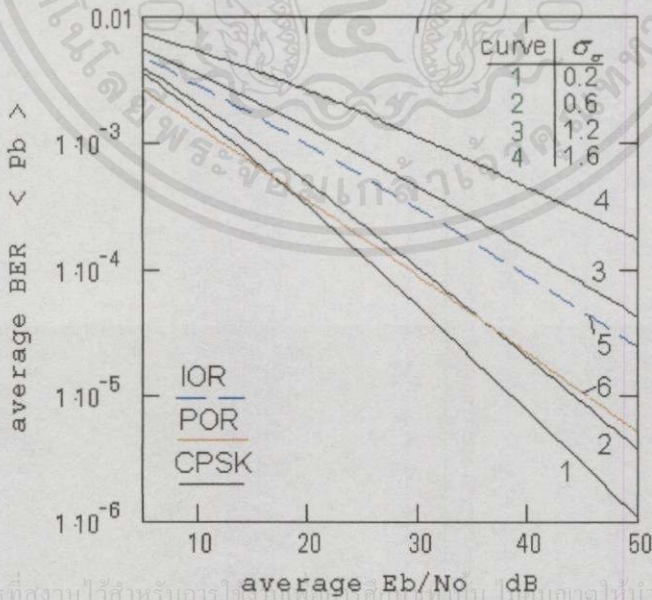
เอาในทำนองเดียวกันค่าเฉลี่ยของ  $\gamma$  จะเป็น เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา  $\infty$  ใดๆถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\langle \gamma \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \gamma_0 10^{\frac{x}{10}} p(x) dx \quad (5.17)$$

เมื่อนำสมการที่ (5.14) และ (5.17) มาพล็อตกราฟพร้อมกันโดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์  $\sigma_m$ ,  $\sigma_\sigma$  และชนิดของการมอดูเลตจะได้ผลการประมาณหาค่าดังรูปที่ 5.2 และ 5.3 จากรูปที่ 5.2 เป็นการมอดูเลตแบบ CPSK และ NCFSK ซึ่งเราจะกำหนดให้ค่า  $\sigma_\sigma$  มีค่าคงที่ และเปลี่ยนค่า  $\sigma_m$



รูปที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของอัตราบิตผิดพลาดกรณีมอดูเลตแบบ ไบนารี NCFSK และ CPSK โดยการเปลี่ยนค่า  $\sigma_m$



รูปที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของอัตราบิตผิดพลาดกรณีมอดูเลตแบบ CPSK โดยการเปลี่ยนค่า  $\sigma_m$  และกรณีของข้อมูลสัญญาณ IOR และ POR

โดยเมื่อค่า  $\sigma_m$  เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง (ค่า  $\langle P_b \rangle$  สูงขึ้น) โดยตารางที่ 5.1 เมื่อทำการเพิ่มค่า  $\sigma_m$  ที่ค่า BER=10<sup>-4</sup> ค่า  $\frac{E_b}{N_0}$  ที่ต้องการจะเพิ่มขึ้นด้วย รูปที่ 5.3 กราฟหมายเลข 1-4 จะเป็นกราฟของกรณีการมอดูเลตแบบ CPFSK โดยให้ค่า  $\sigma_m$  คงที่และเปลี่ยนค่า  $\sigma_\sigma$  แทน กราฟหมายเลข 5, 6 จะเป็นกรณีที่ค่าพารามิเตอร์  $\sigma_\sigma$  และ  $\sigma_m$  ที่หามาจากข้อมูล IOR และ POR ในบทที่ 4 โดยค่าพารามิเตอร์  $\sigma_m$  และ  $\sigma_\sigma$  ของแต่ละข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5.2 และที่ค่า BER=10<sup>-4</sup> ค่า  $\frac{E_b}{N_0}$  ที่ต้องการจะเพิ่มขึ้นตามค่า  $\sigma_\sigma$  ด้วย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 5.2 เช่นกัน

ตารางที่ 5.1 การเพิ่มขึ้นของ  $E_b/N_0$  ที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (ที่ค่า BER=10<sup>-4</sup>) กรณีการมอดูเลตแบบ NCFSK และ CPFSK

การมอดูเลต	$\sigma_\sigma$	$\sigma_m$	$E_b/N_0$
NCFSK	1	0.6	31
	1	1.0	33.9
	1	1.4	36
CPFSK	1	0.6	21.2
	1	1.0	25.5
	1	1.4	29.5

ตารางที่ 5.2 การเพิ่มขึ้นของ  $E_b/N_0$  ที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (ที่ค่า BER=10<sup>-4</sup>) กรณีการมอดูเลตแบบ CPFSK และกรณีใช้พารามิเตอร์ของข้อมูล IOR และ POR

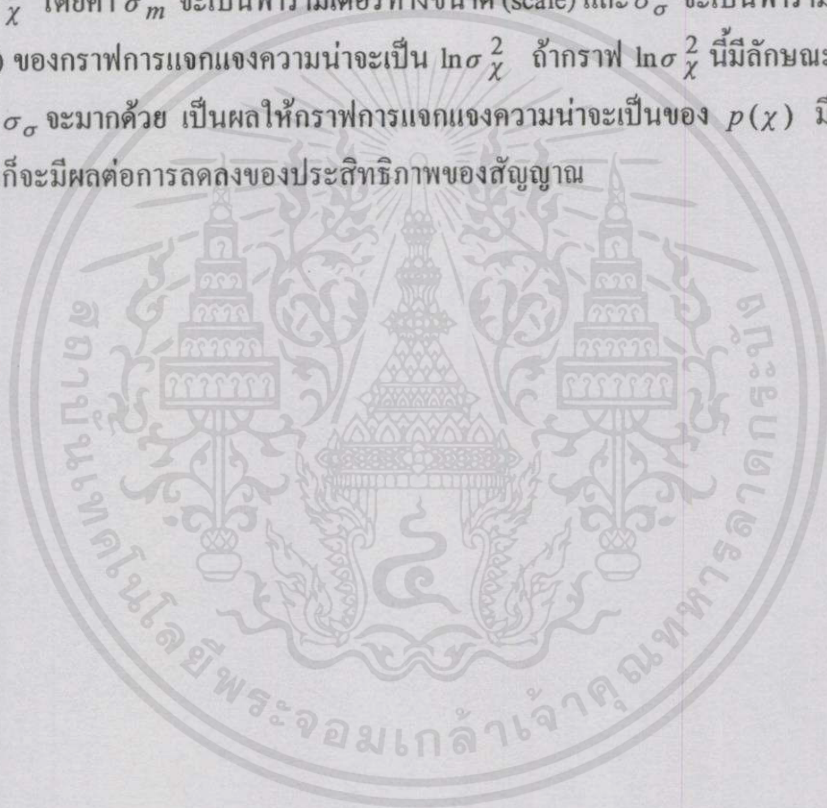
การมอดูเลต	$\sigma_\sigma$	$\sigma_m$	$E_b/N_0$
CPFSK	0.2	0.653	26.5
	0.6	0.653	30
	1.2	0.653	43
	1.6	0.653	55
IOR	1.08	1.03	39
POR	1	0.603	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเปลี่ยนแปลง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

## 5.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการหาค่าส่วนเผื่อของการเชื่อมต่อซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามคุณลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $P_B$  กับ  $E_b/N_0$  ดังนั้นในการวิเคราะห์เราจะทำการหากราฟความสัมพันธ์นี้ก่อน การเพิ่มค่าส่วนเผื่อของการเชื่อมต่อนั้นจะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นการสิ้นเปลืองกำลังงาน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการสื่อสารดาวเทียม

การประเมินประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน โดยการหากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $P_B$  กับ  $E_b/N_0$  เหล่านี้ และจากการศึกษา ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อนั้นคือค่า  $\sigma_\sigma$  และ  $\sigma_m$  ซึ่งหาได้จากข้อมูลของ  $\ln \sigma^2/\chi^2$  โดยค่า  $\sigma_m$  จะเป็นพารามิเตอร์ทางขนาด (scale) และ  $\sigma_\sigma$  จะเป็นพารามิเตอร์ทางรูปทรง (shape) ของกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็น  $\ln \sigma^2/\chi^2$  ถ้ากราฟ  $\ln \sigma^2/\chi^2$  นี้มีลักษณะแผ่ออกมามาก นั่นก็คือค่า  $\sigma_\sigma$  จะมากด้วย เป็นผลให้กราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นของ  $p(\chi)$  มีการแผ่กว้างออกด้วย ซึ่งก็จะมีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพของสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 บทสรุปและวิจารณ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จากการศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน L นี้ พบว่าการแกว่งของระดับแอมพลิจูดนั้น โดยรวมเกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ มีบ้างบางเหตุการณ์ที่ระดับแอมพลิจูดสัญญาณเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลกระทบของชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์และความไม่เสถียรภาพของเครื่องรับสัญญาณ ทั้งนี้มักเกิดขึ้นที่ย่านการวัด POR ซึ่งมีมุมเงยของงานสายอากาศ ( $\theta = 4^\circ$ ) ต่ำกว่ามุมเงยของงานสายอากาศรับของย่านการวัด IOR ( $\theta = 45^\circ$ ) มาก แม้ว่าจำนวนครั้งเกิดการเกิดการเปลี่ยนแปลงของแต่ละระดับแอมพลิจูดของย่านการวัด POR จะสูงกว่า IOR มาก แต่เมื่อคิดตามเปอร์เซ็นต์เวลาพบที่ระดับการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 8 dB (peak-to-peak < 8dB) เกิดมากถึง 94.53 % ส่วนกรณีสัญญาณแกว่งอย่างรุนแรง (peak-to-peak > 8dB) เกิดเพียง 5.47 % สำหรับการวัดย่าน IOR พบว่าที่ระดับการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 8 dB เกิดขึ้น 84.55 % แต่ที่ระดับการแกว่งสัญญาณอย่างรุนแรงนั้นมีเปอร์เซ็นต์เกิดสูงกว่าย่าน POR คือ 15.45 % ของการเกิดทั้งหมด การเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมีความรุนแรงมากขึ้นตามฤดูกาลหรือช่วงเดือน Equinox [21] คือ ช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนซึ่งการเกิดมีความรุนแรงมากที่สุดในช่วงนี้ กับช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม ทั้งนี้เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามกระแสการเคลื่อนที่ของ thermospheric winds ดังที่กล่าวในภาคผนวก ข. สำหรับโครงสร้างทางเวลานั้น จากการศึกษาเวลาร่วมกันจะพบว่าสัญญาณ IOR จะมีการเปลี่ยนระดับที่เร็วกว่าสัญญาณ POR ย่านการวัด POR มีมุมเงยที่ต่ำมาก ๆ ความยาววิถีจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนมายังงานสายอากาศจะมากขึ้นด้วย ( $L_s$  ของ IOR และ POR มีค่าเท่ากับ 494 กม. และ 1,917 กม. ตามลำดับ โดยคำนวณจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนที่ระดับความสูง 350 กม.) องค์ประกอบของสัญญาณที่ถูกทำให้กระเจิงโดยกลุ่มอิเล็กตรอนจะถูกดูดซับไปบางส่วนในชั้นบรรยากาศตลอดการแพร่กระจายคลื่น ทำให้องค์ประกอบของสัญญาณที่มารบกวน (Interference Signal) ที่งานสายอากาศ POR น้อยกว่าของ IOR ซึ่งอาจเป็นผลให้การเปลี่ยนระดับความแรงของสัญญาณช้ากว่าด้วย และค่าเวลาร่วมกัน  $\tau_c$  นี้ยังมีผลต่อการส่งข้อมูลแบบดิจิทัล โดยถ้า  $T_b$  มีค่ามากจนทำให้เงื่อนไข  $T_b \ll \tau_c$  ไม่เป็นจริง จะเป็นผลให้มีการลดทอนของสัญญาณในช่วงระหว่างบิตทำให้ลักษณะบิตที่ตรวจจับได้มีความเพี้ยน และ

ช่องสัญญาณนี้จะไม่สามารถพิจารณาว่าเป็น Slowly Fading Channel ได้ ทำให้การพิจารณาประสิทธิภาพมีความยุ่งยากมากขึ้น

ในการจำลองลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดโดยใช้วิธีจำลองที่เสนอโดย Moulisley & Vilar ค่าฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์สองอย่างคือค่า  $\sigma_m$  และ  $\sigma_\sigma$  ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะหาได้จากข้อมูล  $\ln \sigma_x^2$  ซึ่งเป็นค่าทางสถิติของการแจกแจงความเข้มของกระบวนการ จากข้อมูลที่ทำให้การทดลองพบว่าการจำลองจะเหมาะสมสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบสมมาตร (ข้อมูล POR) แต่ข้อมูล IOR นั้นกราฟทฤษฎีความน่าจะเป็นกับกราฟการแจกแจงข้อมูลของด้านการแกว่งเพิ่มขึ้นของสัญญาณจะมีลักษณะไม่ค่อยใกล้เคียงกัน ถึงอย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติในระบบส่วนใหญ่จะสนใจเฉพาะด้านการจางหายของสัญญาณ (หรือเปอร์เซ็นต์ที่สัญญาณต่ำกว่าระดับปรกติ) จากการจำลองลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่เหมาะสม เราจะนำฟังก์ชัน  $p(x)$  ไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของการสื่อสารภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าความต้องการของ  $E_b/N_o$  ในแต่ละค่า BER นั้นจะแปรผันตามค่าพารามิเตอร์ของ  $\sigma_m$  และ  $\sigma_\sigma$  ซึ่งจากตารางที่ 5.1 และ 5.2 เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่รุนแรงขึ้น ( $\sigma_m$  และ  $\sigma_\sigma$  มากขึ้น) เราจะรักษาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดของระบบให้คงที่ได้ด้วยการเพิ่มค่า  $E_b/N_o$  ให้มากขึ้นด้วย

## 6.2 ปัญหาและข้อเสนอนะในการทำงานวิจัยและพัฒนาต่อ

จากการจำลองลักษณะทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด เราจะได้กราฟการแจกแจงฟังก์ชัน  $p(x)$  ที่สมมาตร เนื่องจากเรานำฟังก์ชันความน่าจะเป็น  $p(\sigma_x)$  มาถ่วงน้ำหนักกับฟังก์ชันความน่าจะเป็น  $p(x, \sigma_x)$  ซึ่งฟังก์ชัน  $p(x, \sigma_x)$  นี้มีลักษณะสมมาตร แต่ในการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่ค่อนข้างรุนแรง การแจกแจงของระดับสัญญาณจะมีลักษณะไม่สมมาตร (รูปที่ 4.4 ก) ซึ่งทำให้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น  $p(x)$  ไม่พอดีกับการแจกแจงข้อมูลในช่วงเพิ่มของสัญญาณ ดังนั้นในการที่จะปรับปรุงฟังก์ชัน  $p(x)$  ให้มีการแจกแจงที่พอดียิ่งขึ้น จึงควรทำการเปลี่ยนฟังก์ชันความน่าจะเป็น  $p(x, \sigma_x)$  ให้เป็นแบบไม่สมมาตร ตัวอย่างเช่นฟังก์ชันการแจกแจงแบบนาคากามิ เป็นต้น จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าผลกระทบของกลุ่มความไม่สมมาตรจะมีลักษณะความรุนแรงที่มีความแตกต่างกันในแนวละติจูดมากกว่าในแนวลองจิจูด ในการศึกษาพฤติกรรมของกลุ่มความไม่สมมาตรให้ละเอียดยิ่งขึ้น จึงควรทำการทดลองวัดสัญญาณในแนวลองจิจูดเดียวกันแต่ละติจูดต่างกัน ตัวอย่างเช่นการทดลองในแนวจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดกรุงเทพฯ และจังหวัดภูเก็ต ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีระบบการวัดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันโดยรับสัญญาณจากดาวเทียมดวงเดียวกัน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Bantin C. and Lyons R. G. "The Evaluation of Satellite Link Availability." IEEE Trans. on Commun., vol. COM-26, Jun 1978. pp. 847-853.
- [2] Warren L. Flock. **Propagation Effects on Satellite Systems at Frequencies below 10 GHz ; A Handbook for Satellite System Design.** NASA Reference Publication 1108. : NASA. 1983.
- [3] Hocutt A. M. "Predictability Ionospheric Scintillation for Satellite Communications." IEEE AES Magazine. April 1999. pp. 11-13.
- [4] Basu S., Mackerzic E. and Basu Su. "Ionospheric Constraints on VHF/UHF Communication Links during Solar Maximum and Minimum Period." Radio Science., vol. 23, 1988. pp. 363-378.
- [5] Booker H. G. "The Role of the Magnetosphere in Satellite and Radio-star Scintillation." Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics., vol. 37, Aug. 1975. pp. 1089-1098.
- [6] Bow hill S. A. "Statistics of a Radio Wave Diffracted by a Random Ionosphere." Journal of Research of NBS., vol. 65D, May-June 1961. pp. 275-292.
- [7] J. E. Allnutt. **Satellite to Ground Radiowave Propagation.** London :Peter Peregrinus.1989.
- [8] Nakagami M. "The m-distribution- A General Formula of Intensity Distribution of Rapid Fading." Statistical Methods in Radio Wave Propagation, New York : Pergamon. 1960. pp 3-36.
- [9] Banerjee P. K., Dabas R. S. and Reddy B. M. "C and L band Transionospheric Scintillation Experiment: Some Results for Applications to Satellite Radio System." Radio Science., vol 27, no. 6, Nov.-Dec. 1992. pp. 955-969.
- [10] Decharat A., Makaratat K., Hemmakorn N. and Junkrob N. "L band Equatorial Scintillation Measurement." Proc. Third International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Bangkok, Thailand, vol. 1, Nov. 2000. pp. 569-572.
- [11] Bernard Sklar. **Digital Communications Fundamentals and Applications.** New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 1988.
- [12] J. G. Proakis. **Digital Communications.** 4<sup>th</sup> Ed. Singapore : McGraw-Hill, Inc. 2001.
- [13] Decharat A., Makaratat K., Hemmakorn N. and Junkrob N. "Observation of L band Equatorial Scintillation." Proc. 2000 Asia – Pacific Symposium on Broadcasting and Communications, Bangkok, Thailand, Dec. 2000. pp. 202-206.

- [14]Recommendations ITU-R PN. 1057. "Probability Distributions Relevant to Radiowave Propagation Modeling." 1994.
- [15]Julius S. Bendat and Allan G. Piersol. **Random Data: Analysis and Measurement Procedures.** New York : John Wiley & Sons, Inc. 1971.
- [16]Williams C. A. Jr."On the Choice of the Number and Width of Classes for Chi-Square Test of Goodness of Fit." American Statistical Association Journal., vol.45, March 1950. pp. 77-86.
- [17]Moulsley T. J. and Vilar E. "Experimental and Theoretical Statistics of Microwave Amplitude Scintillation on Satellite Downlinks." IEEE Trans. on Antennas Propagat., vol. AP-30, Nov. 1982. pp. 1099-1106.
- [18]Athanasios Papoulis. **Probability, Random Variables, and Stochastic Processes.** 3<sup>rd</sup> Ed. Singapore : McGraw-Hill, Inc. 1991.
- [19]Banjo O. P. and Vilar E. "Binary Error Probabilities on Earth-Space Paths Subject to Scintillation Fading." Electron Lett., vol. 21, no. 7, Mar. 1985. pp. 296-297.
- [20]Banjo O. P. and Vilar E. "Measurement and Modeling of Amplitude Scintillations on Low-Elevation Earth-Space Paths and Impact on Communication Systems." IEEE Trans. on Commun., vol. COM-34, no. 8, Aug. 1986. pp. 774-780.
- [21]อรอนงค์ เพชรนิ่ม. "การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรที่มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542
- [22]Kamilo Feher. **Telecommunications Measurements, Analysis, and Instrumentation.** New Jersey : Prentice-Hall. 1987.
- [23]วิวัฒน์ กิรานนท์. วิศวกรรมการสื่อสาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : อักษรสยามการพิมพ์. 2540.
- [24]I. Guttman. and S. S. Wilks. **Introductory Engineering Statistics.** New York : John Wiley & Sons. 1965.
- [25]Hall M. P. M., Barclay L. W. , Editors **Prapagation of Radiowaves .** London. Short Run Press , Ltd. 1996.
- [26]Ondoh T., Marubashi K., Editors. **Wave Submit Course: Science of Space Environment.** Tokyo : Ohmsha, Ltd. 2000.

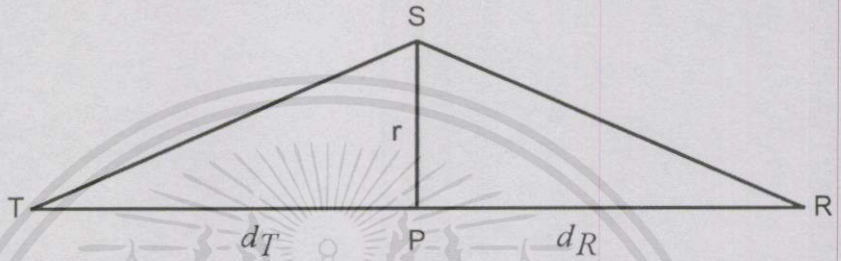
ไม่ว่าคุณกำลังมองหาเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ก.

จากรูปที่ ก.1 ในการหาสมการความสัมพันธ์สำหรับรัศมีของขอบเขตเฟรสเนล เส้นตรง  $TPR$  คือระยะขจัดจากเครื่องส่งที่อยู่ ณ. ตำแหน่ง  $T$  ไปยังเครื่องรับที่อยู่ ณ. ตำแหน่ง  $R$  และเส้นตรง  $TSR$  จะยาวกว่าเส้นตรง  $TPR$  ถ้าเส้นตรง  $TPR + \lambda/2 = TSR$  โดยที่  $\lambda$  คือความยาวคลื่น



รูปที่ ก.1 ลักษณะทางเรขาคณิตของขอบเขตเฟรสเนล

บริเวณที่อยู่ภายในรัศมี  $r$  จะถูกกำหนดให้เป็น ขอบเขตเฟรสเนลที่หนึ่ง โดยในทางปฏิบัติค่า  $r$  จะหมายถึงรัศมีของขอบเขตเฟรสเนลที่หนึ่ง มีสัญลักษณ์เป็น  $F_1$  และถ้า  $F_1 \ll d_T, d_R$  เราสามารถหาค่าประมาณของ  $TS$  และ  $SR$  ได้เป็น

$$TS = \sqrt{d_T^2 + F_1^2} = d_T \left[ 1 + \frac{F_1^2}{2d_T^2} \right] \quad (ก.1)$$

$$SR = \sqrt{d_R^2 + F_1^2} = d_R \left[ 1 + \frac{F_1^2}{2d_R^2} \right] \quad (ก.2)$$

โดยให้  $TPR + \lambda/2 = TSR$  จะได้

$$d_T + d_R + \frac{\lambda}{2} = d_T + d_R + \frac{F_1^2}{2d_T} + \frac{F_1^2}{2d_R} \quad (ก.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
และ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_1^2 = \left( \frac{1}{d_T} + \frac{1}{d_R} \right) = \lambda \quad (\text{ก.4})$$

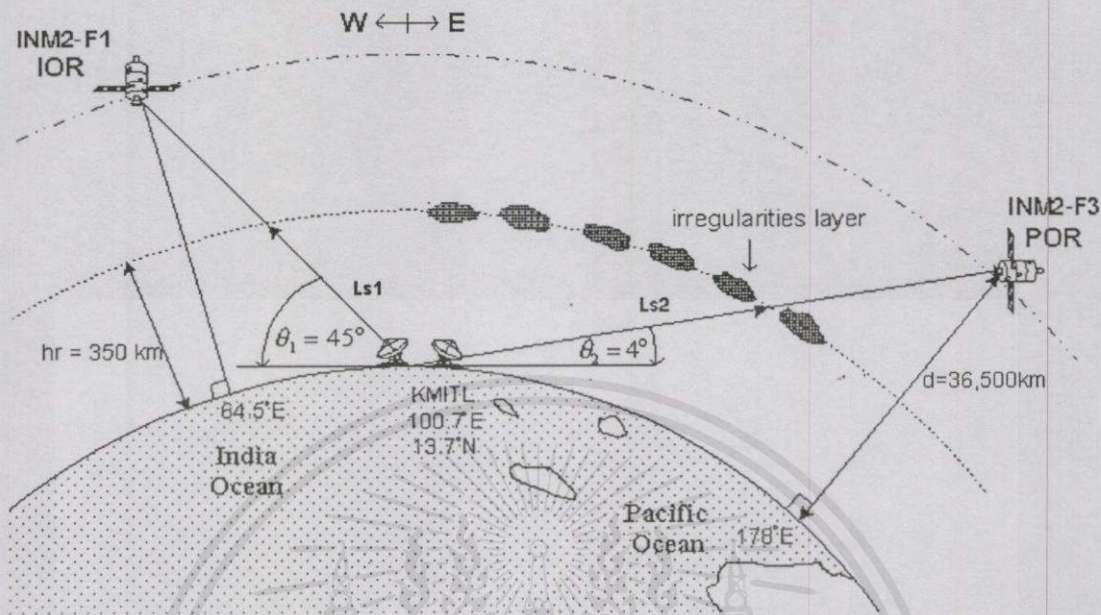
จะได้

$$F_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_T d_R}{d}} \quad (\text{ก.5})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.



รูปที่ ข.1 ตำแหน่งดาวเทียมและความยาววิถีจากงานสายอากาศไปยังกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ

เราสามารถคำนวณความยาววิถี  $L_s$  จากงานสายอากาศไปยังกลุ่มความไม่สม่ำเสมอได้ดังสมการต่อไปนี้อย่างแยกเป็นสองกรณีคือ

ในกรณีที่  $\theta \geq 5^\circ$  จะได้

$$L_s = \left( \frac{h_R - h_s}{\sin \theta} \right) \text{ km} \tag{ข.1}$$

ในกรณีที่  $\theta < 5^\circ$  จะได้

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left( \sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right)^{1/2} + \sin \theta} \text{ km} \tag{ข.2}$$

$\theta$  = มุมเงยของงานสายอากาศ (ดีกรี)

$h_s$  = ความสูงของงานสายอากาศเหนือระดับน้ำทะเล (km)

$h_R$  = ความสูงของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอเหนือระดับน้ำทะเล (km)

$R_e$  = รัศมีประสิทธิผลของโลก (8500 km)

## ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการกรองความถี่ของระดับการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ โดยให้ความถี่ของการซิกค่าตัวอย่างเท่ากับ 2 Hz

```
clear
load D:\scndat\scn2001\Dscn0501\scn0501i\D050501i.txt
x=D050501i(:,3);

n=length(x);
fs=2; %sampling rate

fhz0=[0 0.008 0.01 1];
m10=[1 1 0 0];
mh0=[0 0 1 1];
f0=fhz0/(fs/2);

[b1,a1]=yulewalk(35,f0,m10);
[bh,ah]=yulewalk(35,f0,mh0);
fhz1=linspace(0,fs/2,500);
om1=2*pi*fhz1;
z=exp(sqrt(-1)*om1/fs);

m1=abs(polyval(b1,z)./polyval(a1,z));
mh=abs(polyval(bh,z)./polyval(ah,z));
y1=filter(b1,a1,x); % low freq. component
y2=filter(bh,ah,x); % high freq. component
```

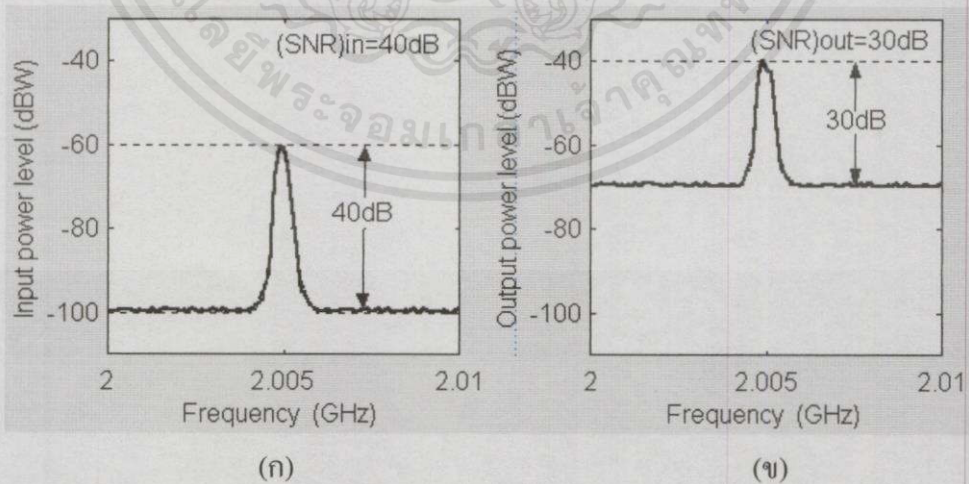
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง.

ในการทดลองวัดสัญญาณดาวเทียมโดยใช้เครื่องรับสัญญาณ เราจะทำการวัดสัญญาณไฟกระแสดตรงที่เอาต์พุตของการควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ (Automatic Gain Control: AGC) ของเครื่องรับ สัญญาณไฟกระแสดตรงนี้จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามระดับของสัญญาณดาวเทียม การที่เราจะทราบค่าระดับสัญญาณไฟกระแสดตรงค่าหนึ่งว่ามีค่าเท่ากับความเร็วของสัญญาณก็เดซิเบลนั้น จะต้องทำการปรับแต่งเพื่อหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างระดับไฟกระแสดตรงของเครื่องรับกับระดับพลังงานของสัญญาณ โดยความสัมพันธ์นี้จะเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละเครื่องรับ ในการปรับแต่ง (Calibration) นั้นทำให้เราทราบไม่เฉพาะแต่ระดับของสัญญาณแต่เรายังสามารถหาค่าระดับของสัญญาณรบกวน โดยสัญญาณรบกวนนี้จะเข้ามาในระบบโดยผ่านทางอุปกรณ์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

### 1. ตัวเลขสัญญาณรบกวน

ตัวเลขสัญญาณรบกวน (Noise Figure: NF) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัญญาณต่อระดับสัญญาณรบกวน (SNR) ที่อินพุตของโครงข่าย (Network) กับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อระดับสัญญาณรบกวนที่เอาต์พุตของโครงข่าย NF จะเป็นตัววัดการลดลงของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อระดับสัญญาณรบกวนเนื่องจากโครงข่าย จากรูปที่ ง.1 แสดงถึงค่า SNR โดยรูป (ก) แสดงถึงค่า SNR ที่ปรากฏที่อินพุตของวงจรขยาย ( $(SNR)_{in}$ ) ที่ความถี่ค่าหนึ่ง โดยระดับสูงสุดของสัญญาณจะ



รูปที่ ง.1 ระดับสัญญาณและระดับสัญญาณรบกวนที่ความถี่ใดๆ (ก) ณ. ตำแหน่งอินพุตของวงจรขยาย (ข) ณ. ตำแหน่งเอาต์พุตของวงจรขยาย

ห่างจากระดับสัญญาณรบกวนอยู่ 40 dB รูปที่ ง.1 (ข) แสดงค่า SNR ที่ปรากฏที่เอาต์พุตของวงจรรขยาย  $(SNR)_{out}$  จะเห็นว่านอกจากวงจรรขยายจะเพิ่มระดับสัญญาณขึ้นไป 20 dB แล้ว (จาก -60 dB เป็น -40 dB) วงจรรขยายยังเพิ่มระดับสัญญาณรบกวนขึ้นอีกด้วย ทำให้ระดับสัญญาณที่เอาต์พุตห่างจากระดับสัญญาณรบกวนอยู่แค่ 30 dB โดยค่า SNR ของสัญญาณด้านอินพุตไปยังเอาต์พุตลดลง 10 dB ซึ่งเท่ากับเป็นการอธิบายว่าวงจรรขยายมีค่าตัวเลขสัญญาณรบกวน 10 dB โดยค่า NF จะเป็นดังสมการ

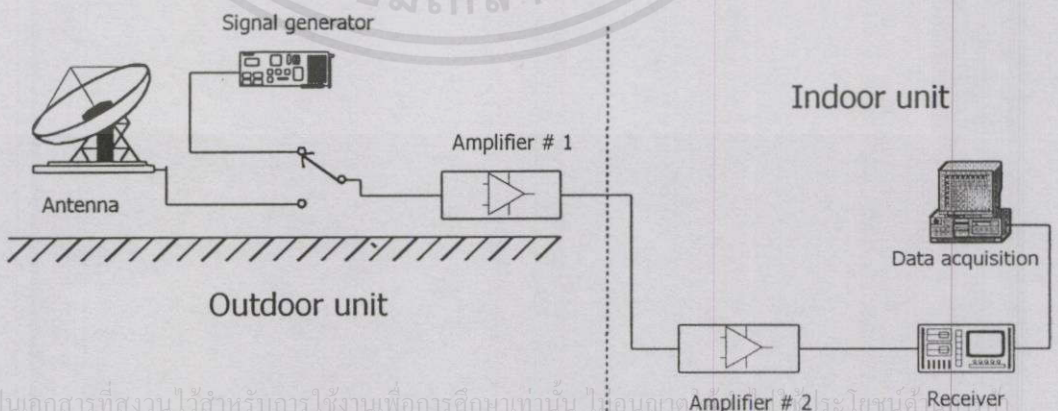
$$NF = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}} \quad (ง.1)$$

จะเห็นว่าถ้าระดับสัญญาณมีค่าต่ำๆ วงจรรขยายจะทำการเพิ่มระดับสัญญาณให้อยู่ในช่วงที่เครื่องรับสามารถตรวจจับได้ แต่ก็จะทำให้ขนาดของ SNR ลดลงด้วย

## 2. การปรับแต่งค่าของการทดลอง

ในการปรับแต่งค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เอาต์พุตของเครื่องรับกับระดับสัญญาณพ่านั้น ควรจะคำนึงถึงการเพิ่มขึ้นของระดับสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ของระบบคือ สายอากาศ สายนำสัญญาณและวงจรรขยาย แต่ในงานปฏิบัตินี้เราอาจจะละเลยสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากสายอากาศ เพื่อเป็นการลดความยุ่งยากในการปรับแต่งค่าได้

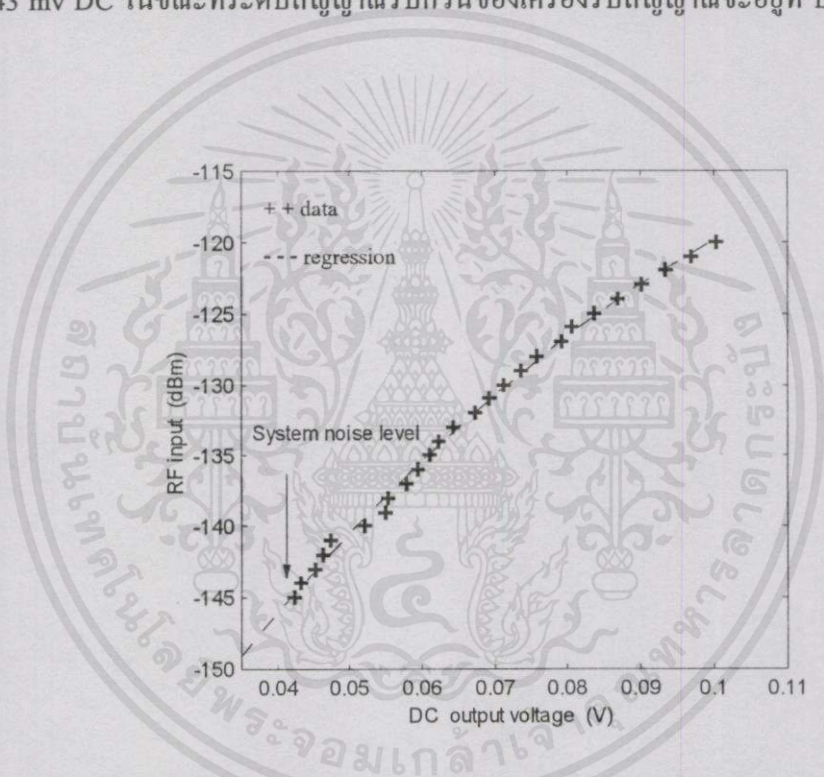
จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อสัญญาณผ่านอุปกรณ์ขยายในแต่ละส่วนจะมีการเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวนตามขึ้นมาด้วย ซึ่งการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนที่เอาต์พุตของเครื่องรับกับระดับสัญญาณของคลื่นพาห์ โดยรวมผลจากสัญญาณรบกวนเนื่องจากวงจรรขยายและสายนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ว่าการแก้ไขทุกสิ่ง ทุกสิ่งให้มีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง.2 บล็อกไดอะแกรมการปรับแต่งของระบบ

สัญญาณเข้าไปด้วยจะแสดงดังรูปที่ ๓.2 จากรูปเราจะตั้งความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) ไปที่ค่าความถี่ค่าหนึ่งคือ 1539.52 MHz และ 1539.44 MHz สำหรับย่านวัด POR และ IOR ตามลำดับ จากนั้นจึงค่อยๆ ปรับระดับความแรงของสัญญาณลงทีละ dBm ในขณะที่เดียวกันก็ทำการบันทึกค่าระดับไฟกระแสดตรงที่เอาต์พุตของ AGC ของเครื่องรับสัญญาณ แล้วทำการลดค่าระดับสัญญาณจนถึงระดับสัญญาณรบกวน (ระดับที่เมื่อปรับค่าความแรง (dBm) แล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณไฟกระแสดตรง) จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงของระดับสัญญาณกับระดับไฟกระแสดตรง โดยวิธีวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์เป็นดังรูปที่ ๓.3 ซึ่งจากการปรับแต่งของระบบนี้จะได้ค่าระดับสัญญาณรบกวนที่ประมาณ 43 mv DC ในขณะที่ระดับสัญญาณรบกวนของเครื่องรับสัญญาณจะอยู่ที่ ประมาณ 2 mv DC



รูปที่ ๓.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงของระดับสัญญาณกับระดับไฟกระแสดตรง

### 3. ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_b/N_o$ กับสัญญาณที่รับได้

จากการแปลง  $C/N_o$  เป็น  $C/N$  ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังของคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนจะได้ดังสมการ

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_o} \cdot 10 \log B_e \quad (๓.2)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจาก [22] จะได้ความสัมพันธ์ของระดับสัญญาณ, NF ของวงจรส่วนหน้า (front end noise figure) และอัตราบิตเป็น

$$\frac{E_b}{N_o} = (\text{RSL}) - (10 \log f_b + 10 \log kT + 30 + F) \quad (ง.3)$$

(dB)      (dBm)                      (dBm)

โดยที่ RSL = ระดับสัญญาณที่รับได้ (dBm) (ป้อนจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ)

$f_b$  = อัตราบิต (b/s)

$k$  =  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K

$T$  = 290 K หรือ  $17^\circ\text{C}$

$kT$  = -174 dBm/Hz ที่  $17^\circ\text{C}$

30 = แฟคเตอร์การเปลี่ยนรูปจาก dBW จาก dBm

$F$  = ตัวเลขสัญญาณรบกวน (dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ.

### 1. การหาค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็น

จากการพิจารณาการวัดค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นของตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกได้ชั่วขณะเวลาใดๆเพียงตัวอย่างเดียว  $x(t)$  ในกระบวนการสุ่มอย่างคงที่ (Stationary (Ergodic) Random Process)  $\{x(t)\}$  ค่าความน่าจะเป็นที่  $x(t)$  มีค่าแอมพลิจูดอยู่ระหว่างค่า  $x \pm (W/2)$  ในช่วงคาบเวลา  $T$  นั่นคือ

$$\begin{aligned} \hat{P}[x, W] &= \text{Prob} \left[ \left[ x - \frac{W}{2} \right] \leq x(t) \leq \left[ x + \frac{W}{2} \right] \right] \\ &= \frac{1}{T} \sum_i \Delta t_i = \frac{T_x}{T} \end{aligned} \quad (จ.1)$$

โดยที่  $\Delta t_i$  คือช่วงเวลาที่  $x(t)$  มีค่าแอมพลิจูดเป็นค่าที่  $i$  th ภายในช่วงแอมพลิจูดที่กำหนดไว้ และ  $T_x = \sum \Delta t_i$  ค่าอัตราส่วน  $T_x/T$  คือค่าอัตราส่วนต่อเวลาทั้งหมดที่  $x(t)$  มีค่าแอมพลิจูดอยู่ในช่วง  $[x - (W/2), x + (W/2)]$  นั่นคือ  $T_x$  จะเป็นฟังก์ชันของแอมพลิจูด  $x$  ค่าความน่าจะเป็นที่หาได้  $\hat{P}[x, W]$  จะมีค่าเป็นค่าความน่าจะเป็นจริง  $P[x, W]$  ได้เมื่อ  $T \rightarrow \infty$  อย่างไรก็ตามค่าความน่าจะเป็นที่ประมาณค่าได้นี้ไม่สามารถหาค่าได้ตรงกับความน่าจะเป็นจริงได้ ดังนั้น

$$P[x, W] = E[\hat{P}[x, W]] = \lim_{T \rightarrow \infty} \hat{P}[x, W] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T_x}{T} \quad (จ.2)$$

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น  $p(x)$

$$p(x) = \lim_{W \rightarrow 0} \frac{P[x, W]}{W} = \lim_{\substack{T \rightarrow \infty \\ W \rightarrow 0}} \frac{\hat{P}[x, W]}{W} = \lim_{\substack{T \rightarrow \infty \\ W \rightarrow 0}} \hat{p}(x) \quad (จ.3)$$

โดยที่

$$\hat{p}(x) = \frac{\hat{P}[x, W]}{W} = \frac{T_x}{TW} \quad (จ.4)$$

เป็นตัวอย่างการหาค่า  $p(x)$  ในเทอมของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น  $p(x)$  ค่าความน่าจะเป็นของ  $x(t)$  ที่มีค่าอยู่ระหว่างสองค่าใดๆของ  $x_1$  และ  $x_2$  หาโดย

$$\text{Prob}[x_1 \leq x \leq x_2] = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx \quad (จ.5)$$

โดยทั่วไป

$$P[x, W] = \text{Prob}\left[x - \frac{W}{2} \leq x(t) \leq x + \frac{W}{2}\right] = \int_{x-(W/2)}^{x+(W/2)} p(\xi) d\xi \quad (จ.6)$$

## 2. ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น

เมื่อพิจารณาข้อมูล  $N$  ค่าของ  $\{x_n\}$  โดยที่  $n = 1, 2, \dots, N$  จากชุดข้อมูล  $x(t)$  ซึ่งเป็นชุดข้อมูลแบบสุ่มอย่างคงที่ มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์  $\bar{x} = 0$  จากสมการ (จ.6) ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของ  $x(t)$  หาได้จาก

$$\hat{p}(x) = \frac{N_x}{NW} \quad (จ.7)$$

โดยที่  $W$  เป็นช่วงแคบๆที่มีค่ากึ่งกลางที่  $x$   $N_x$  คือจำนวนข้อมูลที่มีค่าอยู่ในช่วง  $x \pm (W/2)$  ดังนั้นค่าประมาณ  $\hat{p}(x)$  จึงสามารถหาได้จากการคำนวณเชิงดิคริตอลโดยแบ่งช่วงทั้งหมดของ  $x$  ตามจำนวนที่เหมาะสมมีความกว้างเท่าๆกัน แล้วจัดแบ่งจำนวนข้อมูลในแต่ละช่วงนำมารวมด้วยผลคูณระหว่างช่วงความกว้าง  $W$  กับจำนวนตัวอย่าง  $N$  ค่าประมาณ  $\hat{p}(x)$  นี้ไม่ใช่ค่าเฉพาะเนื่องจาก  $\hat{p}(x)$  ขึ้นอยู่กับจำนวนช่วงและความกว้างของช่วงที่เลือกไว้สำหรับวิเคราะห์

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น กำหนดให้  $K$  คือจำนวนช่วงที่ได้เลือกไว้ครอบคลุมช่วงค่าข้อมูลทั้งหมดจาก  $a$  ถึง  $b$  ดังนั้นค่าความกว้างของแต่ละช่วงมีค่าดังนี้

$$W = \frac{b-a}{K} \quad (จ.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และจุดสุดท้ายของช่วงที่  $i$  th คือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_i = a + W \quad i = 0, 1, 2, \dots, K \quad (จ.9)$$

โดยที่  $d_0 = a$  และ  $d_k = b$  ค่าลำดับจำนวน  $K+2$  ค่า  $\{N_i\}; i=0, 1, 2, \dots, K+1$  ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 N_0 &= [\text{จำนวนของ } x \text{ ที่ } x \leq d_0] \\
 N_1 &= [\text{จำนวนของ } x \text{ ที่ } d_0 < x \leq d_1] \\
 &\bullet \\
 &\bullet \\
 &\bullet \\
 N_i &= [\text{จำนวนของ } x \text{ ที่ } d_{i-1} < x \leq d_i] \\
 &\bullet \\
 &\bullet \\
 &\bullet \\
 N_K &= [\text{จำนวนของ } x \text{ ที่ } d_{K-1} < x \leq d_K] \\
 N_{K+1} &= [\text{จำนวนของ } x \text{ ที่ } x > d_K]
 \end{aligned} \tag{จ.10}$$

กระบวนการนี้จะทำการเรียงลำดับข้อมูลของ  $x$   $N$  ค่า นั่นคือสามารถหาชุดลำดับของ  $\{N_i\}$  โดย

$$N = \sum_{i=0}^{K+1} N_i \tag{จ.11}$$

อีกวิธีการหนึ่งที่จะทำการเรียงลำดับโดยคำนวณจากดิจิทัลคอมพิวเตอร์ นั่นคือการหาแต่ละค่าของ  $x_n$ ;  $n=1, 2, \dots, N$  ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ถ้า  $x_n \leq a$  ให้เพิ่มค่าจำนวนเต็มหนึ่งค่าแก่  $N_0$
2. ถ้า  $a < x_n \leq b$  คำนวณ  $I = (x_n - a)/W$  เลือกค่า  $i$  ที่เป็นค่าจำนวนเต็มที่ยอดมากที่สุดที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $I$  แล้วเพิ่มค่า  $N_i$  อีกหนึ่งค่า
3. ถ้า  $x_n > b$  เพิ่มค่า  $N_{K+1}$  อีก 1 ค่า

ค่าที่ได้จากลำดับข้อมูล  $\{N_i\}$  มี 4 รูปแบบซึ่งถูกนำมาใช้ แบบแรกคือฮิสโตแกรม ซึ่งนำมาใช้หาลำดับข้อมูล  $\{N_i\}$  ลำดับที่สองคือค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างข้อมูลในแต่ละช่วงสำหรับ  $i=0, 1, 2, \dots, K+1$  โดยที่

$$\hat{P}_i = \text{Prob}[d_{i-1} < x \leq d_i] = \frac{N_i}{N} \tag{จ.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบที่สามคือลำดับความหนาแน่นความน่าจะเป็นของตัวอย่างซึ่งจะทำการประมาณค่า  $\{\hat{p}_i\}$  ที่จุดกึ่งกลางของช่วง  $K$  ที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[a, b]$  โดย

$$\hat{p}_i = \frac{\hat{P}_i}{W} = \left( \frac{N_i}{N} \right) \left( \frac{K}{b-a} \right) \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (\text{จ.13})$$

รูปแบบสุดท้ายคือหาลำดับของตัวอย่างการกระจายความน่าจะเป็นของ  $\hat{P}_i$  ที่จุดสิ้นสุดของช่วง โดยที่  $i = 0, 1, 2, \dots, K+1$  ดังสมการ

$$\hat{P}(i) = \text{Prob}[-\infty < x \leq d_i] = \sum_{j=0}^i \hat{P}_j = W \sum_{j=0}^i \hat{P}_j \quad (\text{จ.14})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

1. สเปกตรัมความหนาแน่นกำลัง

สัญญาณที่เราสนใจนั้นบางสัญญาณมีพลังงานที่ไม่จำกัดแต่เราสามารถหาค่าเฉลี่ยตามเวลาของพลังงานที่จำกัด (Finite Time-Average of Energy) ของสัญญาณ ได้ ค่าเฉลี่ยตามเวลาของพลังงานนี้จะถูกเรียกว่ากำลังเฉลี่ย (Average Power) และสัญญาณนี้จะถูกเรียกว่าสัญญาณกำลัง (Power Signal) ค่ากำลังเฉลี่ยตามเวลาของสัญญาณ (สมมุติให้ความต้านทานเท่ากับ 1 โอห์ม) คือ

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |f(t)|^2 dt \tag{ฉ.1}$$

สมการที่ (ฉ.1) คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณ  $f(t)$  กำลังสอง ดังนั้นค่านี้จึงเรียกว่าค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean-square value) ของสัญญาณ ใช้สัญลักษณ์คือ  $\overline{f^2(t)}$  หรืออาจกล่าวได้ว่าค่ากำลังเฉลี่ยตามเวลาของสัญญาณ (Time-average power) คือค่า mean square value ของสัญญาณนั่นเอง

เพื่อเป็นการง่ายจึงได้มีการกำหนดฟังก์ชันขึ้นมาใหม่ในเชิงความถี่ โดยที่ฟังก์ชันนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ความถี่ต่างๆ ฟังก์ชันนั้นคือสเปกตรัมความหนาแน่นกำลัง  $S_f(\omega)$  (Power Spectral-Density function, PSD) ฟังก์ชันนี้จะมีหน่วยเป็นกำลัง (เช่น วัตต์) ต่อเฮิรตซ์ การอินทิเกรตฟังก์ชันนี้จะได้กำลังงานในสัญญาณ  $f(t)$  โดยอาศัยทฤษฎีปาร์เซอวาล (Parseval ' s theorem) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [23]

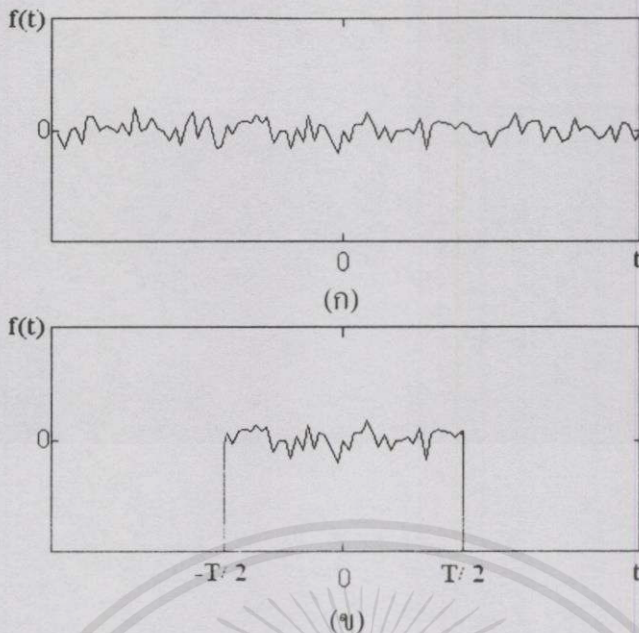
$$P = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_f(\omega) d\omega \tag{ฉ.2}$$

ฟังก์ชันสเปกตรัมความหนาแน่นกำลัง  $S_f(\omega)$  จะบอกถึงการกระจายของกำลังงานในแต่ละความถี่ เราใช้การประมาณต่อไปนี้ในการหาความสัมพันธ์ของ  $S_f(\omega)$  กับ  $f(t)$  โดยสมมุติให้สัญญาณกำลัง  $f(t)$  เป็นดังในรูป ฉ.1(ก) ถ้าเราจะพิจารณาสัญญาณนี้ในช่วง  $(-T/2, T/2)$  เราจะได้สัญญาณใหม่ดังรูป ฉ.1(ข) ซึ่งจะอยู่ในรูปของ  $f(t)rect(t/T)$

เราจะสมมุติให้  $f(t)$  มีค่าจำกัดในช่วง  $(-T/2, T/2)$  ดังนั้นฟังก์ชัน  $f(t)rect(t/T)$  จะมีค่าพลังงานที่จำกัดด้วย และการแปลงฟูริเยร์  $F_T(\omega)$  ของฟังก์ชันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_T(\omega) = \mathcal{F}\{f(t)rect(t/T)\} \tag{ฉ.3}$$



รูปที่ ๑.1 (ก) สัญญาณกำลัง  $f(t)$  (ข) สัญญาณกำลัง  $f(t)$  ที่พิจารณาในช่วง  $(-T/2, T/2)$

ทฤษฎีบทของปาร์เซวาล ของฟังก์ชันคาบนี้คือ

$$\int_{-T/2}^{T/2} |f(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F_T(\omega)|^2 d\omega \tag{๑.4}$$

ดังนั้น ค่ากำลังเฉลี่ย  $P$  ที่ครอบคลุมความถี่ทั้งหมด 1 โห้ห์มจะเป็น

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |f(t)|^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F_T(\omega)|^2 d\omega \tag{๑.5}$$

นำสมการ (๑.2) และ (๑.5) รวมกันจะได้

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_f(\omega) d\omega = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F_T(\omega)|^2 d\omega \tag{๑.6}$$

โดยที่ความสัมพันธ์นี้สามารถเป็นไปได้ในแต่ละความถี่ ดังนั้นสมการ (๑.6) จะเป็น

$$S_f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} |F_T(u)|^2 du \tag{๑.7}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$G_f(\omega)$  คือค่าของกำลังสะสมขององค์ประกอบความถี่ทั้งหมดภายใต้ความถี่ที่กำหนด  $\omega$  ด้วยเหตุนี้  $G_f(\omega)$  จึงถูกเรียกว่าสเปกตรัมกำลังสะสม (Cumulative Power Spectrum) ของ  $f(t)$  และจากสมการ(ฉ.7) จะได้

$$2\pi G_f(\omega) = \int_{-\infty}^{\omega} S_f(u) du = \int_{-\infty}^{\omega} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|F_T(u)|^2}{T} du \quad (\text{ฉ.8})$$

เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าเฉลี่ยกำลังในแต่ละช่วงความถี่  $(\omega_1, \omega_2)$  คือ  $[G_f(\omega_2) - G_f(\omega_1)]$  และจากสมการข้างบนเมื่อเราทำการหาอนุพันธ์จะได้

$$2\pi \frac{dG_f(\omega)}{d\omega} = S_f(\omega) \quad (\text{ฉ.9})$$

ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้สมการ (ฉ.9) จะเป็น

$$S_f(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|F_T(\omega)|^2}{T} \quad (\text{ฉ.10})$$

สมการที่ (ฉ.10) เป็นสมการที่ต้องการสำหรับการหาสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังสัญญาณของ  $f(t)$

## 2. อัตราสหสัมพันธ์ของสัญญาณกำลัง

การหาสหสัมพันธ์ (Correlation) คือกระบวนการการเข้าคู่ (Matching) ดังนั้นอัตราสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) จะหมายถึงการเข้าคู่ของสัญญาณกับสัญญาณของตัวเองที่เวลาเลื่อนไป ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของสัญญาณกำลัง  $f(t)$  จะกำหนดโดยสมการ

$$R_f(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t)f(t+\tau) dt \quad \text{โดย } -\infty < \tau < \infty \quad (\text{ฉ.11})$$

เมื่อสัญญาณกำลัง  $f(t)$  เป็นสัญญาณแบบมีคาบ โดยมีคาบเวลาเท่ากับ  $T_0$  ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของสัญญาณจะเป็นดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการรื้อศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_f(\tau) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} f(t)f(t+\tau) dt \quad \text{โดย } -\infty < \tau < \infty \quad (\text{ผ.12})$$

และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของสัญญาณคาบจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1 มีลักษณะสมมาตรของค่า  $\tau$  รอบๆค่า 0  $R_f(\tau) = R_f(-\tau)$
- 2 ค่ามากที่สุดของฟังก์ชันคือค่าที่  $\tau$  มีค่าเท่ากับศูนย์  $R_f(\tau) \leq R_f(0)$  สำหรับทุกๆค่า  $\tau$
- 3 ฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์และฟังก์ชันสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังจะเป็นคู่ของการแปลงฟูรีเยร์กันและกัน  $R_f(\tau) \leftrightarrow S_f(\omega)$
- 4 ค่าฟังก์ชันที่จุดเริ่มต้นจะเท่ากับค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณ

$$R_f(0) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} f^2(t) dt$$

ในการหาค่าฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation function) ที่คำนวณในเชิงดิจิทัลมีอยู่สองวิธีด้วยกัน วิธีแรกเป็นวิธีมาตรฐานประมาณหาค่าฟังก์ชันโดยคำนวณค่าเฉลี่ยของผลคูณแต่ละค่าข้อมูลโดยตรง ส่วนวิธีที่สองเป็นวิธีทางอ้อมหาค่าสเปกตรัมกำลังสัญญาณก่อนโดยใช้การแปลงแบบฟูรีเยร์แล้วคำนวณหาค่าส่วนกลับของสเปกตรัมกำลังสัญญาณนี้ แต่ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการคำนวณโดยตรง

สำหรับข้อมูล  $N$  ค่าของชุดข้อมูล  $\{x_n\}$  โดยที่  $n = 1, 2, \dots, N$  จากข้อมูล  $x(t)$  ที่ทำการบันทึกซึ่งเป็นค่าคงที่และมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์  $\bar{x} = 0$  ฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง  $rh$  หาได้จากสูตร

$$\hat{R}_r = \hat{R}_x(rh) = \frac{1}{N-r} \sum_{n=1}^{N-r} x_n x_{n+r} \quad r = 0, 1, 2, \dots, m \quad (\text{ผ.13})$$

$r$  คือค่าล่าหลัง (Lag number),  $m$  คือค่าล่าหลังที่มากที่สุด และ  $\hat{R}_r$  คือค่า  $R_r$  ที่หาได้จริงที่ค่าล่าหลัง  $r$  ค่าล่าหลังที่มากที่สุด  $m$  จะสัมพันธ์กับเวลาที่กระจัดออกไปมากที่สุด

$$\tau_{\max} = \tau_m = mh \quad (\text{ผ.14})$$

นอกจากนี้ถ้าค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังสัญญาณคำนวณหาได้โดยการแปลงฟูรีเยร์ของฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ ดังนั้นค่าความกว้างแถบการแยกขีด (Resolution Bandwidth)  $B_r$  ของค่าความหนาแน่นสเปกตรัมจะมีความสัมพันธ์กับค่าล่าหลังที่มากที่สุด  $m$  ดังสมการ

$$B_e = \frac{1}{\tau_m} = \frac{1}{mh} \quad (\text{ฉ.15})$$

ตัวอย่างฟังก์ชันอัตโนมัติที่ค่าด้านหลัง  $r$  มีค่าดังนี้

$$\hat{R}_r = \hat{R}_x(rh) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-r} x_n x_{n+r} \quad r = 0, 1, 2, \dots, m \quad (\text{ฉ.16})$$

การหาค่าคงที่  $N$  จะให้ค่าคงที่ใหม่แทนการหารด้วย  $N-r$  ตามสมการ (ฉ.13) จากสมการนี้สามารถหาค่าฟังก์ชันอัตโนมัติได้ อย่างไรก็ตามหากค่า  $N$  มีค่ามากและ  $m$  มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ  $N$  ค่าที่ได้จากสมการ (ฉ.16) จะแตกต่างจากค่าที่ได้จากสมการ (ฉ.13) น้อยมาก

ค่าฟังก์ชันอัตโนมัติหาจากข้อมูลคำนวณได้ดีเช่นเดียวกับหาจากข้อมูลด้านบวก ค่าออร์เมทัลไลซ์ของฟังก์ชันอัตโนมัติหาจากหาค่า  $\hat{R}_r$  ด้วย  $\hat{R}_0$  โดยที่

$$\hat{R}_0 = \hat{R}_x(0) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n)^2 = \overline{x^2} \quad (\text{ฉ.17})$$

ปริมาณของ  $\hat{R}_0$  คือค่าเฉลี่ยกำลังสองของตัวอย่างข้อมูล โดยปริมาณของ  $\hat{R}_0$  มีความสัมพันธ์กับค่าความแปรปรวน  $s^2$

$$\hat{R}_0 = \left( \frac{N-1}{N} \right) s^2 \quad (\text{ฉ.18})$$

ดังนั้นสำหรับค่า  $N$  ที่มีค่ามาก ค่าความแตกต่างระหว่าง  $\hat{R}_0^2$  และ  $s^2$  สามารถละทิ้งได้เมื่อ  $\hat{R}_r$  ถูกออร์เมทัลไลซ์ ค่า  $\hat{R}_r/\hat{R}_0$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง  $\pm 1$  ตามสมการ

$$-1 \leq \frac{\hat{R}_r}{\hat{R}_0} \leq 1 \quad (\text{ฉ.19})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

### 1. การแจกแจงสะสมแบบไคสแควร์

กำหนดให้  $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$  เป็นตัวแปรสุ่ม  $n$  ค่าที่เป็นอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 เมื่อนำค่า  $z$  มายกกำลังสองและหาผลรวมจะได้ตัวแปรสุ่มใหม่เป็น

$$\chi_n^2 = z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 + \dots + z_n^2 \quad (\text{ข.1})$$

ตัวแปรสุ่ม  $\chi_n^2$  นี้จะมีการแจกแจงแบบไคสแควร์โดยมีดีกรีความเป็นอิสระ (Degree of Freedom) เท่ากับ  $n$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงจำนวนของค่ากำลังสองอิสระที่รวมเข้าไปในสมการ จาก [24] ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของ  $\chi_n^2$  คือ

$$p(\chi^2) = \left[ 2^{n/2} \Gamma(n/2) \right]^{-1} (\chi^2)^{(n/2)-1} e^{-\chi^2/2} \quad \chi^2 \geq 0 \quad (\text{ข.2})$$

โดยที่  $\Gamma(n/2)$  คือค่าแกมมาฟังก์ชัน การแจกแจงสะสมของฟังก์ชัน  $\chi_n^2$  จะหาได้โดยการทำการอินทิเกรตสมการที่ (ข.2) จากค่าลบนันต์ถึงค่า  $\chi_n^2$  ถูกเรียกว่าการแจกแจงสะสมแบบไคสแควร์ที่มีค่าดีกรีความเป็นอิสระ  $n$  ค่าเปอร์เซ็นต์ที่  $100\alpha$  ของการกระจายสะสม  $\chi^2$  จะกำหนดให้เป็น  $\chi_{n;\alpha}^2$  มีค่าเท่ากับ

$$\int_{\chi_{n;\alpha}^2}^{\infty} p(\chi^2) d\chi^2 = \text{Prob}[\chi_n^2 > \chi_{n;\alpha}^2] = \alpha \quad (\text{ข.3})$$

### 2. การทดสอบความพอดีแบบไคสแควร์

วิธีการทดสอบความพอดีที่ใช้ในการทดสอบฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นสมมูล (Equivalent Probability Density Function) ของข้อมูลตัวอย่างกับฟังก์ชันทฤษฎีความน่าจะเป็นคือการทดสอบความพอดีแบบไคสแควร์ (Chi-square Goodness of Fit Test) วิธีการโดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ของค่าสถิติที่ถูกประมาณให้มีการแจกแจงสะสมแบบไคสแควร์ โดยใช้เป็นตัววัดความแตกต่างระหว่างฟังก์ชันความน่าจะเป็นของค่าสังเกต (Observed Probability Density Function) กับฟังก์ชันความน่าจะเป็นตามทฤษฎี (Theoretical Density Function) สมมติฐาน (Hypothesis) ของการสมมูลจะถูกทดสอบโดยการศึกษารูปการแจกแจงของตัวอย่างค่าสถิติ

พิจารณาตัวอย่างประชากร  $N$  ตัวจากตัวแปรสุ่ม  $x$  โดยมีค่า pdf เป็น  $p(x)$  กำหนดให้  $N$  แบ่งเป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มมีช่วง (Class interval) เป็น  $K$  ซึ่ง  $K$  จะเป็นตัวสร้างฮิสโตแกรมความถี่ (Frequency Histogram) จำนวนของค่าสังเกต (ค่าข้อมูล) ที่อยู่ในแต่ละช่วง class interval ที่  $i$  ใดๆ จะเป็นค่าความถี่การสังเกต (Observed Frequency) ของชั้นที่  $i$  นั้น มีสัญลักษณ์เป็น  $f_i$  จำนวนของค่าสังเกตที่ถูกต้องคาดว่าจะอยู่ในช่วงที่  $i$  สำหรับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่แท้จริงของ  $x$ ,  $p_0(x)$  จะถูกเรียกว่าความถี่การคาดหวัง (Expected Frequency) ในช่วงที่  $i$  นั้นๆ ใช้สัญลักษณ์เป็น  $F_i$  ผลต่างระหว่างความถี่ที่สังเกตกับความถี่ที่คาดหวังในแต่ละช่วงอันตรภาคชั้น จะกำหนดให้เป็น  $f_i - F_i$  ในการที่จะทราบถึงความแตกต่างทั้งหมดของทุกๆ ช่วงชั้น ค่ากำลังสองของผลต่างในแต่ละช่วงจะถูกรวมกันเพื่อทำการหาค่าทางสถิติ

$$X^2 = \sum_{i=1}^K (f_i - F_i)^2 \quad (ข.4)$$

การแจกแจงของ  $X^2$  จะประมาณว่ามีค่าเหมือนกับ  $\chi_n^2$  [14] โดยค่าระดับความเป็นอิสระ  $n$  จะมีค่าเท่ากับ  $K - 1 - s$  โดย  $s$  คือจำนวนของพารามิเตอร์ที่หาได้จากตัวอย่างข้อมูล ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติจำนวนพารามิเตอร์จะมี 2 ตัวคือ ค่าเฉลี่ย  $m$  กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma$  ดังนั้นค่าดีกรีความเป็นอิสระของกรณีนี้จะเป็น  $n = K - 1 - 2 = K - 3$

การทดสอบสมมติฐานจะกระทำโดยสมมติค่า  $x$  มีค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็น  $p(x) = p_0(x)$  ทำการแบ่งข้อมูลตัวอย่างเป็น  $K$  ชั้น และคำนวณค่าความถี่การคาดหวังสำหรับแต่ละช่วง หลังจากนั้นคำนวณค่า  $X^2$  ตามสมการที่ (ข.4) ค่า  $p(x)$  ต่างๆ ที่เบี่ยงเบนไปจาก  $p_0(x)$  จะทำให้ค่า  $X^2$  มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเราจะใช้การทดสอบแบบข้างเดียว (One side) โดยใช้พื้นที่ของการยอมรับคือ

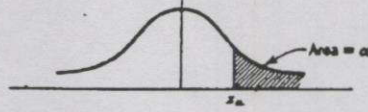
$$X^2 \leq \chi_{n;\alpha}^2 \quad (ข.5)$$

ค่า  $\chi_{n;\alpha}^2$  สามารถหาได้จากตาราง ข.1 ที่ระดับความเชื่อมั่น  $\alpha$  ถ้าค่าตัวอย่าง  $X^2$  มีค่ามากกว่า  $\chi_{n;\alpha}^2$  สมมติฐานที่ว่า  $p(x) = p_0(x)$  จะใช้ไม่ได้ แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากันแล้ว จะสามารถยอมรับสมมติฐานนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 พื้นที่ใต้กราฟฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นปรกติมาตรฐาน

$$\text{Value of } \alpha = \int_{z_\alpha}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-s^2/2} = \text{Prob}[z > z_\alpha]$$



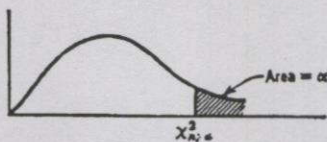
z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
3.5	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002

\*Table entries are the tail probabilities, right-tail from the value of  $z$  to  $+\infty$  and left-tail from  $-\infty$  to the value of  $-z$  for all  $P \leq 0.50$ .  $z$  is the standardized normal variable,  $z = (x - \mu)/\sigma$ . Read down the first column to the correct first decimal value of  $z$  and over to the correct column for the second decimal value. The number at the intersection is the value of  $P$ .

Source: Adapted from Table 1 of Pearson, E. S., and H. O. Hartley, Eds.: *Biometrika Tables for Statisticians*, vol. 1, 3d ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K., 1966. Reprinted by permission of the *Biometrika* Trustees.

ตารางที่ ข.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ตำแหน่งของการแจกแจงแบบไคสแควร์

Value of  $\chi^2_{n;\alpha}$  such that  $\text{Prob}[\chi^2_n > \chi^2_{n;\alpha}] = \alpha$



n	$\alpha$										
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.900	0.500	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.00+	0.00+	0.00+	0.00+	0.02	0.45	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	1.39	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	2.37	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	3.36	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	5.35	10.65	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	6.35	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	7.34	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	8.34	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	9.34	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	10.34	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	11.34	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	12.34	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	13.34	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.27	7.26	8.55	14.34	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	15.34	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	16.34	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.87	17.34	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	18.34	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	19.34	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	20.34	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	21.34	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	22.34	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	23.34	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	24.34	34.28	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	25.34	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	26.34	36.74	40.11	43.19	46.96	49.65
28	12.46	13.57	15.31	16.93	18.94	27.34	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	28.34	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	29.34	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	39.34	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	49.33	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	59.33	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	69.33	85.53	90.53	95.02	100.42	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	79.33	96.58	101.88	106.63	112.33	116.32
90	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	89.33	107.57	113.14	118.14	124.12	128.30
100	67.33	70.06	74.22	77.93	82.36	99.33	118.50	124.34	129.56	135.81	140.17

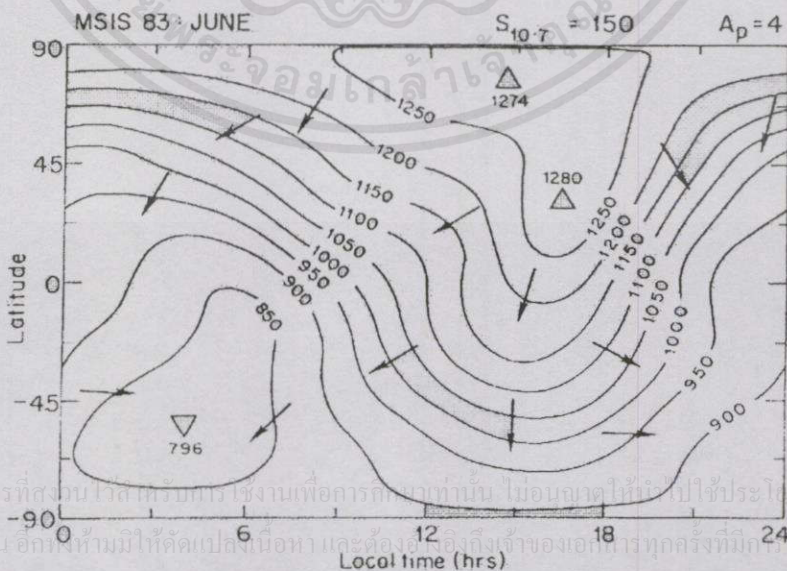
\*n = degrees of freedom.

Source: Adapted from Hines, W. W., and D. C. Montgomery: *Probability and Statistics in Engineering and Management Science*, 2d ed., Wiley, New York, 1980. Reprinted by permission of the publisher.

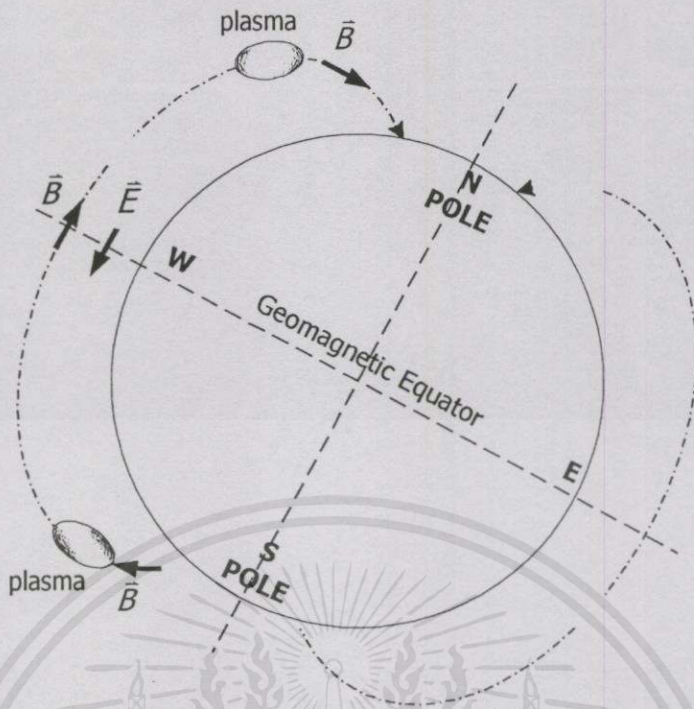
เอกสารนี้เป็นของ... ไม่ทำกรณใด

### ภาคผนวก ข.

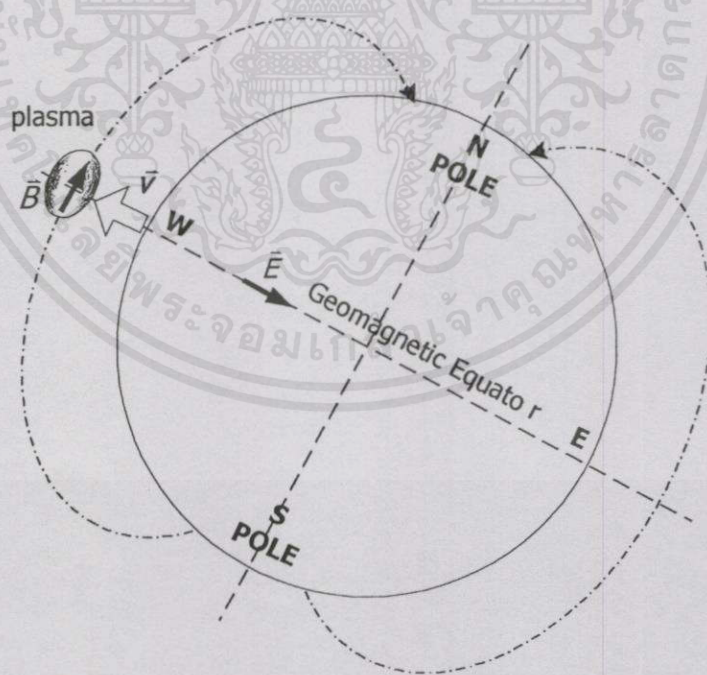
การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในช่วงเดือนอิกวินออกซ์ (เดือนมีนาคมและกันยายนของทุกๆปี) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอน (TEC) และความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศนั้น สืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสลมเทอร์โมสเฟียร์ (Thermospheric Winds) ซึ่งเป็นกระแสการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคนิวตรอนตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กระแสลมเทอร์โมสเฟียร์นี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคนิวตรอนและไอออน รูปที่ ข.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเทอร์โมสเฟียร์ในช่วงเดือน solstice (ช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนธันวาคมของทุกๆปี) นั้นกระแสลมเทอร์โมสเฟียร์มีการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนแปลงในแนวซีกโลกเหนือได้เท่านั้น จากความสัมพันธ์ผลคูณเชิงเวกเตอร์ของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและเวกเตอร์สนามแม่เหล็กโลกทำให้เกิดเวกเตอร์ความเร็วลอยเลื่อนของกลุ่มอิเล็กตรอน (Drift Velocity)  $\vec{V} = \vec{E} \times \vec{B}$  เฉพาะบริเวณขั้วโลกเหนือและใต้เท่านั้นที่เกิดการลอยตัวต่ำลงและสูงขึ้นของกลุ่มอิเล็กตรอนหรือพลาสมาตามลำดับที่ระดับความสูงไม่มากนัก ซึ่งเป็นระดับความสูงที่เกิดการรวมตัวกันของอนุภาค (Recombination) เท่านั้น ทำให้ความหนาแน่นและความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนมีไม่มากนัก สำหรับบริเวณศูนย์สูตรนั้นไม่มีการเคลื่อนที่ของกลุ่มพลาสมาเกิดขึ้นเลยเนื่องจากสนาม  $\vec{E}$  ที่บริเวณนี้ขนานกับสนาม  $\vec{B}$  นั่นคือช่วงเดือน Solstice ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนมีน้อยมากและเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณขั้วโลกเหนือและใต้เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ ข.2 (ก)



รูปที่ ข.1 ผังการเคลื่อนที่ของกระแส Thermospheric Winds ในช่วงเดือน solstice [25]



รูปที่ ๒.๒ (ก) การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มพลาสมาเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกระแส Thermospheric Winds ในช่วงเดือน Solstice (มิถุนายน และ ธันวาคม)



รูปที่ ๒.๒ (ข) การเปลี่ยนแปลงของกลุ่มพลาสมาเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกระแส Thermospheric Winds ในช่วงเดือน Equinox (มีนาคม และ กันยายน)

สำหรับช่วง Equinox เมื่อพิจารณาเฉพาะบริเวณศูนย์สูตรสนามแม่เหล็ก กระแสลมเทอร์โมสเฟียร์จะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกในช่วงเวลากลางวัน และเคลื่อนที่ย้อนกลับไปทางทิศตะวันตกหลังเที่ยงคืน ด้วยสาเหตุนี้การชนกันของอนุภาคนิวตรอนและไอออนทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า  $E$  ตามแนวการเคลื่อนที่ของกระแสเทอร์โมสเฟียร์ไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกตามลำดับ[26] จากผลคูณเชิงเวกเตอร์ เวกเตอร์ความเร็วลอยเลื่อนของกลุ่มพลาสมาจะมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นโลกในทิศทางขึ้น นั่นคือกลุ่มพลาสมามีการเคลื่อนที่ลอยสูงขึ้นจนถึงระดับความสูงที่มีการชนกัน (Collision) และแตกตัวกันของอนุภาคอยู่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดความหนาแน่นและความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนขึ้นในตอนกลางคืนของช่วงเดือนอิควินอกซ์บริเวณศูนย์สูตรสนามแม่เหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ณ.

### บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

- [1] Decharat A., Makaratat K., Hemmakorn N. and Junkrob N. “L band Equatorial Scintillation Measurement.” Proc. Third International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Bangkok, Thailand, vol. 1, Nov. 2000. pp. 569-572.
- [2] Decharat A., Makaratat K., Hemmakorn N. and Junkrob N. “Observation of L band Equatorial Scintillation.” Proc. 2000 Asia-Pacific Symposium on Broadcasting and Communications, Bangkok, Thailand, Dec. 2000. pp. 202-206.

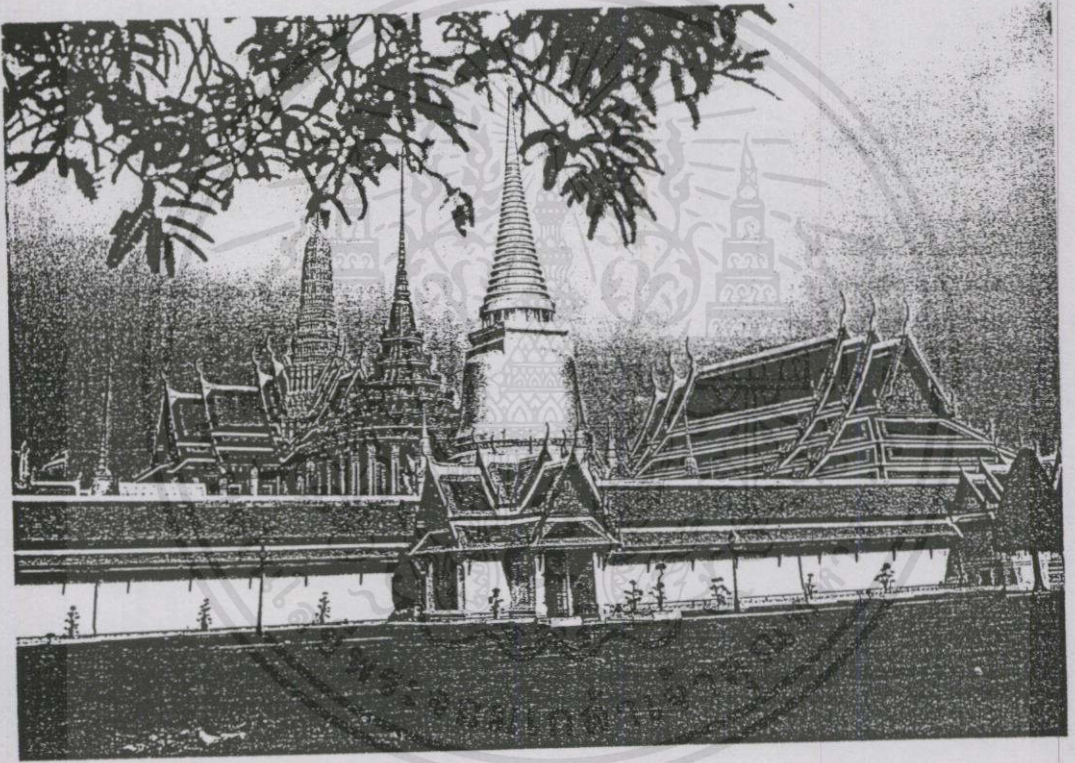


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PROCEEDINGS

## 2000 Asia-Pacific Symposium on Broadcasting and Communications

### APSBC 2000



*December 21-23, 2000*

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Ladkrabang, Bangkok, Thailand**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อัปโหลดเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**NIME**



## Observation of L band equatorial scintillation

Adit Decharat Khajitpan Makaratat Narong Hemmakorn Natth Junkrob\*

Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Tel. +66-2-737-3000 Ext. 3345, Fax. +66-2-326-9086 Email: khnarong@kmitl.ac.th, d\_adit@yahoo.com

Faculty of Engineering, South-East Asia University

19/1 Petchakasem Road, Nongkhaem Bangkok 10160, Thailand

**Abstract** – This paper studies on Ionospheric scintillation at 1.5 GHz. The observed scintillation data received at Bangkok were taken during this solar maximum cycle and covered two ionospheric scintillation locations, POR and IOR. The study includes the cumulative distribution function of the signal and also signal statistics such as the decibel levels of maximum peak, 5% peak, maximum fade and 95 % fade, in addition, compared with scintillation index  $S_4$ . This paper also presents empirical relation between fading level and  $S_4$  and the power spectrum of scintillation event.

**Keywords:** L band scintillation, Ionospheric scintillation, scintillation index  $S_4$

### 1. INTRODUCTION

Satellite radio system has a problem on loss of information in low frequency band during period of intense ionospheric scintillation activity when the received signal undergoes rapid and deep fading. In order to assess this problem and increase the probability of communication through scintillation, information on statistics of signal variability of scintillation is required and also, for spectrum planning and predicting the system performance. The goal of the study of scintillation is to predict the effect of scintillation on communication signals at a given site and for a particular frequency of the operation, antenna diameter and elevation angle. The scintillation data is extremely interesting since it can be used to examine the various statistical properties of the ionospheric scintillation signal, on the other hand, it can reveal physical and dynamical characteristics of small-scale structures that cause the scintillation.

In this paper, L band scintillation observation presents the relation between signal fluctuation levels and scintillation index  $S_4$  every 1 minute. Moreover, the

correlation function of the scintillation index and signal fluctuation level are also examined. The last section of this paper involves power spectrum of fluctuated signal during scintillation effect.

Our observation has been taken in Bangkok (100° 46' E Longitude, 13° 45' N Latitude) near the geomagnetic equator during the 23rd maximum solar cycle. The measurement covers two ionospheric locations, Pacific Ocean Region: POR receiving 1539.68 MHz satellite signal from INM2-F3 satellite at the position of 178° E. Another is Indian Ocean Region : IOR receiving signal from INM2-F1 satellite at the position of 64.5°E with received frequency of 1539.44 MHz. Table I shows the more detail of the measurement system. These two scintillation events from both locations are compared together. In regard to the morphology of the observation, the results described about the scintillation phenomenon and  $S_4$ , the classification of fluctuated amplitude levels in each month and the histogram of fluctuated levels were presented in the recent study [1].

Table 1  
L band scintillation observation system

Satellite	INM2-F3	INM2-F1
Satellite Position	178°E (POR)	64.5°E (IOR)
Frequency	1539.68 MHz	1539.44 MHz
Polarization	RHCP	RHCP
Received Antenna Position	13.45°N, 100.48°E	
Antenna Diameter	1.8 m.	1.2 m.
Antenna Gain	27.38 dB	23.86 dB
Elevation Angle	4°	45°
Azimuth Angle	87°	252°

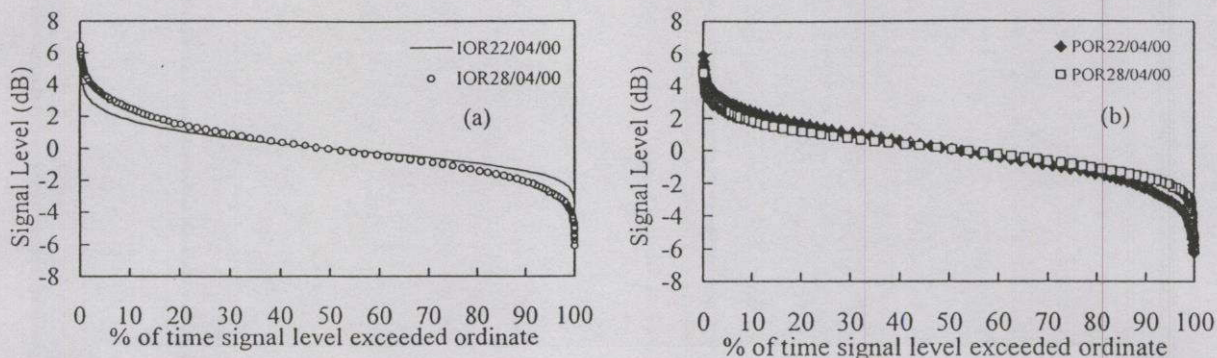


Figure 1 The cumulative distribution function of (a) IOR scintillation and (b) POR scintillation

Table II  
Cumulative Distribution Function Statistics

Scintillation event	S <sub>4</sub> Index	Maximum Peak (dB)	Maximum Fade (dB)	5% Peak (dB)	95% Fade (dB)
IOR22/04/00	1.43	5.7	-3.6	2.3	-1.8
IOR28/04/00	1.87	6.5	-6.1	3.2	-2.8
POR22/04/00	1.83	5.9	-6.2	3	-3.1
POR28/04/00	1.34	4.8	-5.5	2.3	-2.1

## II. DISTRIBUTION AND STATISTIC OF SCINTILLATION SIGNAL

When the scintillation occurred, the fluctuated amplitude signal is analyzed. The cumulative amplitude distribution of both IOR and POR scintillation events are compared together with the scintillation index. These cumulative distribution function can be used for determining the fading margin in each categories of S<sub>4</sub> to overcome the degradation caused by ionospheric scintillation in this region[2]. Figure 1a and 1b show the amplitude cumulative distribution of fluctuated amplitude of IOR and POR scintillation events respectively. The amplitude cumulative distribution shown in this figure is analyzed on 22nd April 2000 and 28th April 2000 using 30 minutes scintillation data. According to the graph, maximum peak, maximum fade, 5% peak and 95 % fade are determined and described in Table II. In comparing the signal statistics obtained from cumulative distribution function curves of scintillation events with the S<sub>4</sub> index, it becomes apparent that there is strong correlation to the depth of fade, or peak enhancement with increasing of scintillation index. The statistics studied, maximum peak and maximum fade, are shown as S<sub>4</sub> index increases.

Moreover, when comparing the S<sub>4</sub> index between the maximum peak and maximum fade, the sets of scintillation data observed during 22-30 April 2000 are considered. The relation of S<sub>4</sub> variation and the maximum peak, maximum fade over 10 minutes time interval is expressed in the best linear regression fit as shown in Figure 2. The results are also summarized in Table III. The regression fit of the correlation between S<sub>4</sub> and both statistics is given in the linear relation [3];

$$y = mx + b \quad (1)$$

where  $y$  is the variable of maximum peak or maximum fade in decibels,  $x$  is the S<sub>4</sub> index,  $m$  is the slope and  $b$  is the intercept. This relation provides the empirical formulae to determine fading levels or peak enhancement when scintillation index S<sub>4</sub> is known, or vice versa, the severity of scintillation, indicated by S<sub>4</sub>, can be predicted when fading level or peak enhancement is known. However, this observation results used just only short-term data, therefore more long-term observation data can present better empirical relation between the statistical signal parameters. This relation can be used to study system performance in the ionospheric communication.

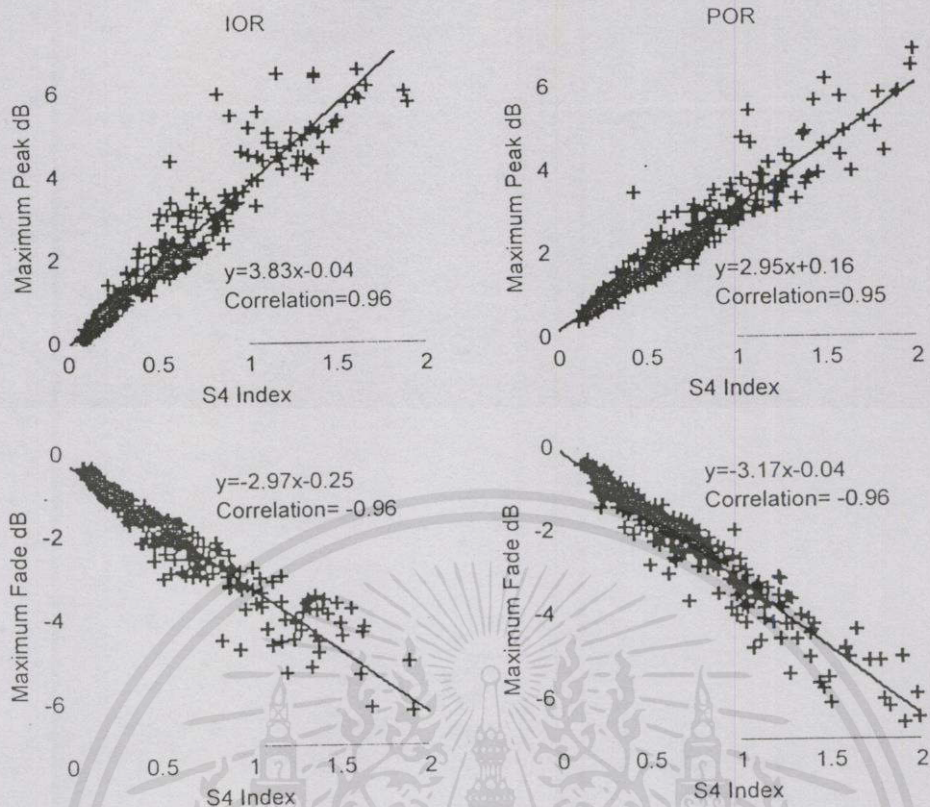


Figure 2. Correlation of  $S_4$  index between maximum peak and maximum fade

Table III.

Summary of data sets and relation detail

	IOR	POR
Scintillation Events	22-30 April 2000	22-30 April 2000
Occurrence time	2030-0300 LT	1930-0020 LT
Occurrence numbers	309	339
$S_4$ range	0.1-1.9	0.11-2.13
Mean scintillation index	0.48	0.67
Maximum peak	1.8	2.16
Maximum fade	-1.69	-2.19
Maximum peak to peak	3.49	4.36
	<u>Maximum Peak Versus <math>S_4</math> Index</u>	
Slope	3.83	2.95
Interception	-0.04	0.16
Correlation coefficient	0.96	0.95
	<u>Maximum Fade Versus <math>S_4</math> Index</u>	
Slope	-2.97	-3.17
Interception	-0.25	-0.04
Correlation coefficient	-0.96	-0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

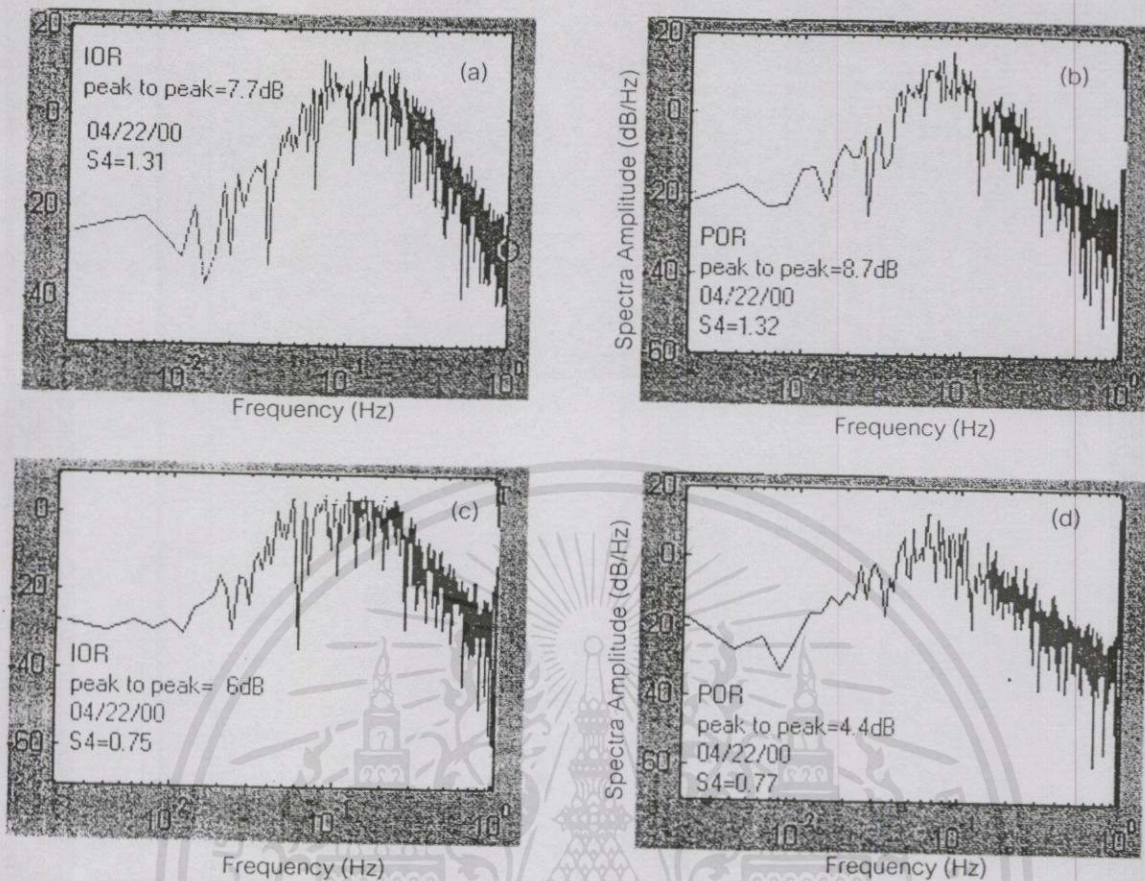


Figure 3. Spectrum of ionospheric scintillation events

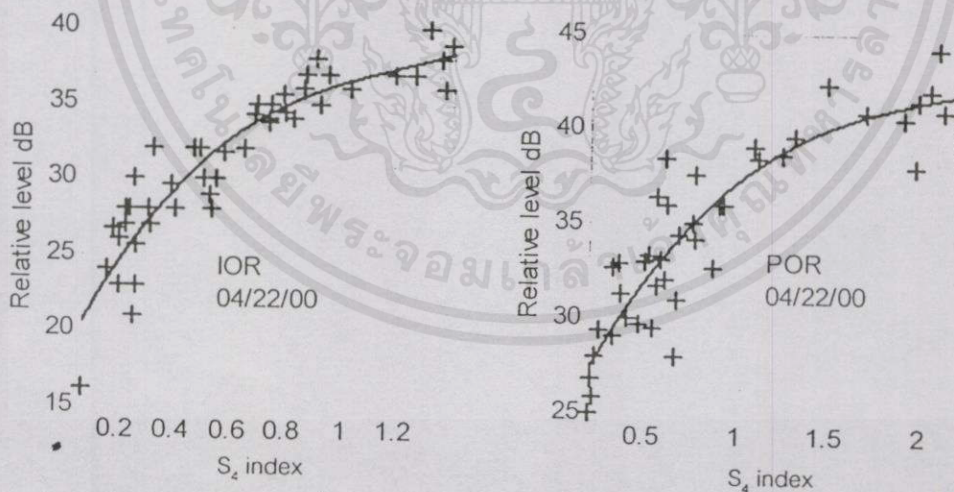


Figure 4. Comparison between spectra amplitude at the roll-off part and  $S_4$  index

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### III. SPECTRAL CHARACTERISTIC OF THE SCINTILLATION SIGNAL

For some scintillation events, Fourier analysis was conducted to reveal the power spectrum of the scintillation. In this way, the frequency components of scintillation signal can be identified and assessed their potential impact on communication channel. The spectrum is the tool for determining the basic physics of the phenomenon [4]. Figure 3. shows the spectrum of scintillation events comparing between IOR and POR occurred on 22nd April 2000 at different  $S_4$  index and fluctuated amplitude. The signal was sampled with sampling frequency 2 Hz over 10 minutes. The transition between the low-frequency and high-frequency slope is quite complex, however, and is called the Fresnel frequency or corner frequency [4]. From Figure 3, at IOR, the corner frequency at both  $S_4$  index values is the same, about 0.1 Hz. On the other hand, the corner frequency of POR is less than IOR with the frequency about 0.07 Hz. In addition, if concentrate on the severity of scintillation, more higher value of  $S_4$  index more higher peak of spectrum is. From Figure 3(a) and 3(b), although, with the same value of  $S_4$ , the maximum level of spectra amplitude of IOR is less than POR and also the same when comparing Figure 3(c) and 3(d). Moreover, the noise floor [2] is rarely observed well in this figure. When considering the value of spectra amplitude between the starting and ending level of the roll-off part and comparing with the  $S_4$  index, the relation between these components is described in Figure 4. The figure is plotted between relative level with variation of  $S_4$  of all scintillation events occurred on 22nd April 2000, as shown by spectrum analysis in Figure 3. during short time periods. For more high level of  $S_4$ , the relative level between 2 levels is so high simultaneously.

### IV. CONCLUSION

In this present study the signal statistics of some scintillation events at L band observed in 23rd maximum solar cycle is estimated. The results are in the form of the cumulative amplitude distribution function, power spectrum and some correlation with  $S_4$  index. From the results we found that;

- According to the cumulative amplitude distribution function, peak enhancement and maximum

fade can be determined. This leads to the estimation of fade margin in the communication system.

- There is strong correlation to the depth of fade, or peak enhancement with increasing scintillation index  $S_4$ . Moreover, the empirical relation between fading levels and scintillation index  $S_4$  expresses in linear relation.

- In frequency domain, some scintillation events are presented in spectrum. The Fresnel frequency or corner frequency of IOR is about 0.1 Hz, on the contrary, the corner frequency of POR is about 0.07 Hz. In addition, the relation between  $S_4$  and relative level of spectrum that growing in the same way is observed.

### V. REFERENCES

- [1] A. Decharat, K. Makaratat, N. Hemmakom and N. Junkrob, "L band equatorial scintillation measurement," in *Proc. 3rd Int. Symp. Wireless Personal Multimedia Communications*, Bangkok, Thailand, Nov. 12-15, 2000.
- [2] P. K. Banerjee, R. S. Dabas, and B. M. Reddy, "C and L band transionospheric scintillation experiment: Some results for applications to satellite radio systems," *Radio Science*, vol. 27, no. 6, pp. 955-969, November-December 1992.
- [3] T. A. Mollen, C. H. Liu and D. J. Fang, "A study of C band equatorial scintillation in the Asian sector," *Radio Science*, vol. 23, no. 3, pp. 337-345, May-June 1988.
- [4] J. E. Allnutt, *Satellite to ground radiowave propagation*, Peter Peregrinus, London, 1989.

## ประวัติผู้เขียน

นายอศิษฐ์ เศษรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2512 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2540 จากนั้นในปีการศึกษา 2541 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในระหว่างการศึกษาปริญญาโท มีบทความตีพิมพ์ทั้งสิ้น 2 บทความ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้