


การปรับปรุงการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับในระบบ  
วิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA



นายเจนจบ วีระพานิชเจริญ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

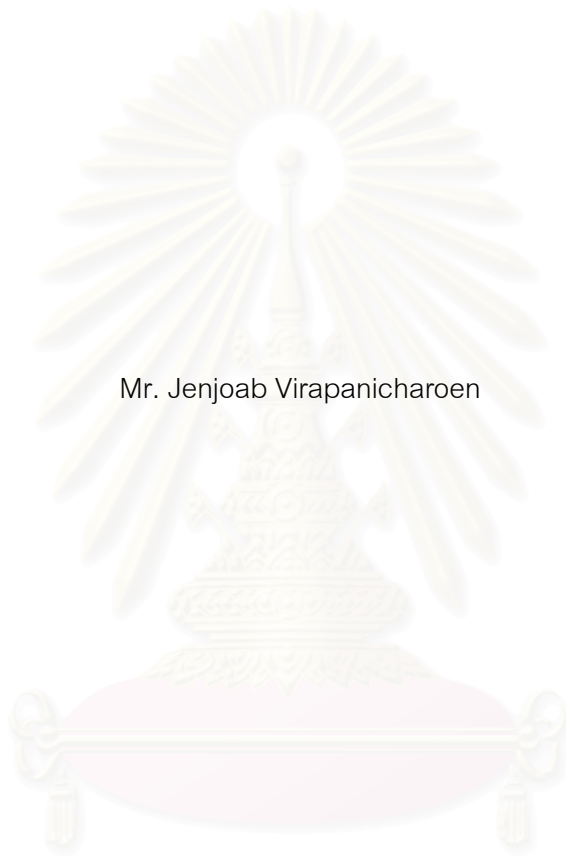
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0123-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF REVERSE-LINK POWER CONTROL IN DS-CDMA  
CELLULAR MOBILE RADIO SYSTEM

Mr. Jenjoab Virapanicharoen



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0123-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมต่อมโยงย้อนกลับในระบบ วิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA
โดย	นายเจนจบ วีระพานิชเจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วาতিต เบญจพลกุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วาติต เบญจพลกุล)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล)

บัณฑิตวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เจเนจบ วีระพานิชเจริญ : การปรับปรุงการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับในระบบวิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA (IMPROVEMENT OF REVERSE-LINK POWER CONTROL IN DS-CDMA CELLULAR MOBILE RADIO SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วาทีต เบญจพลกุล, 133 หน้า.  
ISBN 974-13-0123-5.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับในระบบวิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA โดยปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลัก SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชันและวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ในส่วนของการเปรียบเทียบค่า SIR กับ Desired Level ด้วยการใช้ค่า SIR ที่ได้จากการประมาณค่าแทนค่า SIR ที่วัดได้ตามปกติ ค่า SIR ที่ได้จากการประมาณค่าสามารถคำนวณได้จาก Link gain ที่ได้จากการประมาณโดยใช้สมการกำลังสองและปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงโดยเพิ่มอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้นเข้าไป จุดมุ่งหมายในการปรับปรุงคือเพื่อลดความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย นอกจากนี้วิธีการควบคุมกำลังที่ใช้ SIR ที่ได้จากการประมาณยังสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นได้โดยใช้กำลังของสถานีเคลื่อนที่ในคาบการควบคุมถัดไปในการคำนวณค่า SIR ที่ได้จากการประมาณ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้แบบจำลอง 3 ตัวได้แก่ แบบจำลอง 19 เซลล์ 1 ตัวและแบบจำลอง 1 เซลล์ 2 ตัวที่มีและไม่มีกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ พบว่าผลการจำลองแบบโดยใช้แบบจำลอง 19 เซลล์และแบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อไม่มีกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายโดยรวมในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์มีค่าต่ำกว่ากรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ และผลการจำลองแบบกับแบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อมีและไม่มีกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ที่มีลักษณะคล้ายกัน แต่ในกรณีที่มีการกำหนดขอบเขตของกำลัง พบว่าที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าหนึ่งๆ เมื่อ Desired Level มีค่าสูงเกินค่า Desired Level ที่เหมาะที่สุด ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังได้ทำการจำลองแบบกับแบบจำลอง 1 เซลล์โดยใช้แบบจำลองแบบสุ่มในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีเพื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้แบบจำลองของ Jakes พบว่าได้ผลใกล้เคียงกัน จากผลการจำลองแบบของทุกแบบจำลองพบว่า ในการควบคุมกำลังแบบ Multi-step วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลัก SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน + การประมาณค่า SIR (ปรับปรุง) มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุด โดยใช้โมดการควบคุมน้อยที่สุดและในการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step พบว่าวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + การประมาณค่า SIR (ปรับปรุง) มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุด รองลงมาคือวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + การประมาณค่า SIR ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายใกล้เคียงกับวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

# # 417063421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: Reverse Link Power Control, Link Gain, Adaptive Delta Modulation Power Control

JENJOAB VIRAPANICHAROEN: IMPROVEMENT OF REVERSE-LINK POWER CONTROL IN DS-CDMA CELLULAR MOBILE RADIO SYSTEM. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL. Ph.D. pp. 133 ISBN 974-13-0123-5.

The purpose of this thesis is to improve reverse-link power control in the DS-CDMA cellular mobile radio system. This thesis proposes modified algorithms of Signal-to-Interference Ratio (SIR) - based Pulse Code Modulation (PCM) power control scheme and modified Adaptive Delta Modulation (ADM) power control scheme, by using the estimated SIR instead of the received SIR. Estimated SIR can be calculated from the estimated link gain which is estimated by using a quadratic equation. This thesis also proposes modified algorithm of modified ADM power control scheme by adding Short-term Fading Prediction (SFP) algorithm to its original algorithm. The purpose of the modified algorithms is to reduce the outage probability in the system. Moreover, the modified algorithms that use estimated SIR can further be improved by using mobile station's transmitted power of the next control period in calculation of estimated SIR.

The simulation models in this thesis consist of 3 models as follows: one model of 19 cells and two models of 1 cell with and without limiting transmitted power of mobile stations. It is found that the simulation results for the model of 19 cells and model of 1 cell without limiting transmitted power of mobile stations are almost the same except that the outage probabilities in the models of 1 cell are less than those of the model of 19 cells. The simulation results for the models of 1 cell with and without limiting transmitted power of mobile stations are quite similar. However, when the transmitted power of mobile stations is limited, for a given number of mobile stations, the outage probability dramatically increases if the desired SIR level exceeds the optimum value. Moreover, the model of 1 cell with random model in generating the Rayleigh fading signal is also used in the simulation in order to compare with that of Jakes' model. It is found that the simulation results of both models are similar. From the simulation results of all simulation models, for the multi-step power control schemes, it is found that SIR-based PCM power control scheme + estimated SIR (improved) gives the least outage probability with the least control mode. For the fixed-step power control schemes, it is found that the modified ADM power control scheme + estimated SIR (improved) gives the least outage probability, the modified ADM power control scheme + estimated SIR performs a little better than the modified ADM power control scheme + SFP algorithm and the modified ADM power control scheme, respectively.

Department of Electrical Engineering

Field of Study Electrical Engineering

Academic Year 2543

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยด้วยดีเสมอมา และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัย/วิทยานิพนธ์ จากกองทุนการศึกษาเซลล์ 100 ปี ประจำปีการศึกษา 2543

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณมารดา บิดา และขอขอบคุณน้องสาวซึ่งให้ความสนับสนุนทางการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งเพื่อนๆ ในกลุ่มงานวิจัยเรื่องเดียวกัน ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดที่ดีเสมอมา

เจนจบ วีระพานิชเจริญ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ด
1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	3
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ .....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
2 แนวคิด ผลงานที่ผ่านมา และวิธีการที่เสนอ .....	5
2.1 กล่าวนำ .....	5
2.1.1 การกำหนดบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลังในมาตรฐาน IS-95 .....	6
2.1.2 เฟดดิ้ง .....	8
2.1.3 คุณลักษณะของช่องสัญญาณ .....	8
2.1.4 สัญญาณแทรกสอด .....	12
2.1.5 ค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพ .....	13
2.2 วิธีการควบคุมกำลังที่ผ่านมา .....	14
2.2.1 วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน ...	14

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.2.2	วิธีการควบคุมกำลังที่ใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น ... 16
2.2.3	วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชัน ..... 20
2.2.4	วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ ..... 21
2.2.5	วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง ..... 23
2.2.6	วิธีการควบคุมกำลังวงปิดแบบอัจฉริยะ ..... 24
2.3	วิธีการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับที่นำเสนอ ..... 26
2.3.1	วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน + การประมาณค่า Link gain ..... 26
2.3.2	วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงอย่างเหมาะสม + การประมาณค่า Link gain ..... 27
2.3.3	วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + การเพิ่มอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น ..... 27
2.3.4	วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน + การประมาณค่า Link gain (ปรับปรุง) ..... 28
2.3.5	วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + การประมาณค่า Link gain (ปรับปรุง) ..... 29
3	แบบจำลองและวิธีการจำลองแบบ ..... 31
3.1	ข้อกำหนดของการจำลองแบบ ..... 31
3.2	วิธีจำลองแบบของการควบคุมกำลัง ..... 32
3.3	การนำเสนอผลการจำลองแบบ ..... 34
3.4	การทดสอบความถูกต้องของระบบ ..... 35



**สารบัญ (ต่อ)**

บทที่	หน้า
3.4.1 การทดสอบความถูกต้องของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desire level .....	35
3.4.2 การทดสอบความถูกต้องของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size และโมดการควบคุม .....	38
4 ผลการจำลองแบบและวิเคราะห์ผลการจำลองแบบ .....	40
4.1 อธิบายคำย่อ .....	40
4.2 ผลการจำลองแบบของการควบคุมกำลังโดยใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ .....	41
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม .....	41
4.2.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม .....	48
4.2.3 ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	50
4.2.4 วิเคราะห์ผลของ Desire Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	51
4.2.5 ผลของ Step size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	51
4.2.6 วิเคราะห์ผลของ Step size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	53
4.2.7 ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC .....	54
4.2.8 วิเคราะห์ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC .....	54

**สารบัญ (ต่อ)**

บทที่	หน้า
4.2.9 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	54
4.2.10 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	55
4.2.11 ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC .....	56
4.2.12 วิเคราะห์ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC .....	57
4.2.13 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	57
4.2.14 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	58
4.2.15 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	59
4.2.16 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	61
4.2.17 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	62
4.2.18 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	63
4.3 ผลการจำลองแบบของการควบคุมกำลังโดยใช้แบบจำลอง 1 เซลล์ .....	64
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับจำนวนรอบของการควบคุม .....	64

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3.2	71
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับจำนวนรอบของการควบคุม .....	
4.3.3	73
ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	
4.3.4	73
วิเคราะห์ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	
4.3.5	74
ผลของ Step size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	
4.3.6	75
วิเคราะห์ผลของ Step size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	
4.3.7	76
ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC .....	
4.3.8	76
วิเคราะห์ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC .....	
4.3.9	77
ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	
4.3.10	78
วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	
4.3.11	78
ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี A-MADM PC และวิธี M-MADM PC .....	
4.3.12	79
วิเคราะห์ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี A-MADM PC และวิธี M-MADM PC .....	

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3.13 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	79
4.3.14 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	80
4.3.15 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	81
4.3.16 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	82
4.3.17 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	83
4.3.18 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	84
4.4 ผลการจำลองแบบของการควบคุมกำลังโดยใช้แบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อมีการกำหนดค่ากำลังสูงสุดและต่ำสุดของสถานีเคลื่อนที่ .....	86
4.4.1 การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับจำนวนรอบของการควบคุม ....	86
4.4.2 วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงของค่า SIR , กำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับจำนวนรอบของการควบคุม .....	93
4.4.3 ผลของ Desire Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	95
4.4.4 วิเคราะห์ผลของ Desire Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	96

**สารบัญ (ต่อ)**

บทที่	หน้า
4.4.5 ผลของ Step size และโหมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	97
4.4.6 วิเคราะห์ผลของ Step size และโหมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย .....	98
4.4.7 ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC .....	99
4.4.8 วิเคราะห์ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC .....	99
4.4.9 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	100
4.4.10 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	101
4.4.11 ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี A-MADM PC และวิธี M-MADM PC .....	102
4.4.12 วิเคราะห์ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี A-MADM PC และวิธี M-MADM PC .....	103
4.4.13 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	103
4.4.14 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	105
4.4.15 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	105
4.4.16 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	106

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.4.17 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	107
4.4.18 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	108
5 สรุปผลการจำลองแบบและข้อเสนอแนะ .....	110
5.1 สรุปผลการจำลองแบบ .....	110
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	113
รายการอ้างอิง .....	114
ภาคผนวก .....	116
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว .....	120
ประวัติผู้วิจัย .....	132

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 4.1	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธี SFP PC .....	54
ตารางที่ 4.2	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC .....	55
ตารางที่ 4.3	ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร T ของวิธี A-MADM PC .....	56
ตารางที่ 4.4	ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-MADM PC .....	56
ตารางที่ 4.5	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC .....	58
ตารางที่ 4.6	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC .....	61
ตารางที่ 4.7	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC .....	63
ตารางที่ 4.8	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธี SFP PC .....	76
ตารางที่ 4.9	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC .....	78
ตารางที่ 4.10	ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร T ของวิธี A-MADM PC .....	79
ตารางที่ 4.11	ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-MADM PC .....	79
ตารางที่ 4.12	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC .....	80

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.13	82
เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC .....	
ตารางที่ 4.14	84
เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC .....	
ตารางที่ 4.15	99
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธี SFP PC .....	
ตารางที่ 4.16	101
เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC .....	
ตารางที่ 4.17	102
ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร T ของวิธี A-MADM PC .....	
ตารางที่ 4.18	102
ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-MADM PC .....	
ตารางที่ 4.19	105
เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC .....	
ตารางที่ 4.20	106
เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC .....	
ตารางที่ 4.21	108
เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC .....	



## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 การกำหนดบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลังในช่องสัญญาณโทรฟีกไปหน้า	7
รูปที่ 2.2 แบบจำลองแบบ random ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบ Rayleigh .....	11
รูปที่ 2.3 แบบจำลองของระบบเซลล์ลูลาร์ที่ประกอบด้วย 19 เซลล์ .....	13
รูปที่ 2.4 วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน .....	15
รูปที่ 2.5 การกำหนดค่า cmd (power control command) .....	16
รูปที่ 2.6 วิธีการควบคุมกำลังที่ใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น .....	17
รูปที่ 2.7 หลักการของอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น .....	19
รูปที่ 2.8 Flow chart ของอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น .....	20
รูปที่ 2.9 วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ .....	23
รูปที่ 2.10 วิธีการควบคุมกำลังวงปิดแบบอัจฉริยะ .....	24
รูปที่ 2.11 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 .....	26
รูปที่ 2.12 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 .....	27
รูปที่ 2.13 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 .....	28
รูปที่ 2.14 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง) .....	29
รูปที่ 2.15 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 (ปรับปรุง) .....	30
รูปที่ 3.1 แบบจำลองของระบบเซลล์ลูลาร์ที่ใช้ในการจำลองแบบ มีทั้งหมด 19 เซลล์ .....	32
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน .....	33
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จากการจำลองแบบเทียบกับ Desired Level ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน ..	37

## สารบัญภาพ (ต่อ)

<b>ภาพประกอบ</b>		<b>หน้า</b>
รูปที่ 3.4	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จาก [4] เทียบกับ Desired Level ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน .....	37
รูปที่ 3.5	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จากการจำลองแบบเทียบกับ Step size ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน .....	39
รูปที่ 3.6	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จาก [4] เทียบกับ Step size ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน .....	39
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB .....	42
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB .....	42
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB .....	43
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB .....	43
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB .....	44
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 รอบแรก ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB .....	44

## สารบัญภาพ (ต่อ)

<b>ภาพประกอบ</b>		<b>หน้า</b>
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB	45
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB .....	45
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB	46
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB .....	46
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB .....	47
รูปที่ 4.12	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB .....	47
รูปที่ 4.13	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่เท่ากันในแต่ละเซลล์ค่าต่างๆ กัน .....	50
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step size ของวิธี PCM PC ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน .....	52
รูปที่ 4.15	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step size ของวิธี PCM PC + LE2 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน .....	52

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

<b>ภาพประกอบ</b>		<b>หน้า</b>
รูปที่ 4.16	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	55
รูปที่ 4.17	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	58
รูปที่ 4.18 (ก)	กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	60
รูปที่ 4.18 (ข)	กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับ Desired Level ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์เท่ากับ 8 .....	60
รูปที่ 4.18 (ค)	รูปที่ 4.18 (ค) กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับ Step Size ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์เท่ากับ 8 .....	61
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	63
รูปที่ 4.20	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB	65
รูปที่ 4.21	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB .....	65
รูปที่ 4.22	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB	66

## สารบัญภาพ (ต่อ)

<b>ภาพประกอบ</b>		<b>หน้า</b>
รูปที่ 4.23	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB .....	66
รูปที่ 4.24	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB .....	67
รูปที่ 4.25	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB .....	67
รูปที่ 4.26	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	68
รูปที่ 4.27	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	68
รูปที่ 4.28	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	69
รูปที่ 4.29	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	69
รูปที่ 4.30	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	70
รูปที่ 4.31	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	70

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่เท่ากันในแต่ละเซลล์ค่าต่างๆ กัน .....	73
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step size ของวิธี PCM PC ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน .....	74
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step size ของวิธี PCM PC + LE2 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน .....	75
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	77
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	80
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	82
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	84
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB	87
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB .....	87
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB	88

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

<b>ภาพประกอบ</b>		<b>หน้า</b>
รูปที่ 4.42	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB .....	88
รูปที่ 4.43	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB .....	89
รูปที่ 4.44	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB .....	89
รูปที่ 4.45	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	90
รูปที่ 4.46	กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	90
รูปที่ 4.47	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	91
รูปที่ 4.48	กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	91
รูปที่ 4.49	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	92
รูปที่ 4.50	กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB .....	92

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.51 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่เท่ากันในแต่ละเซลล์มีค่าต่างๆ กัน .....	95
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่เท่ากันในแต่ละเซลล์มีค่าต่างๆ กัน .....	96
รูปที่ 4.53 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step size ของวิธี PCM PC ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน .....	97
รูปที่ 4.54 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step size ของวิธี PCM PC + LE2 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน .....	98
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	101
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ เมื่อไม่ได้ใช้ค่า Desired Level ที่เหมาะสมที่สุด .....	104
รูปที่ 4.57 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ เมื่อใช้ค่า Desired Level ที่เหมาะสมที่สุด .....	104
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ .....	106
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ .....	108



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ ผ1    กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธีการควบคุมกำลังชนิดต่างๆ ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ .....	117
รูปที่ ผ2    กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE1 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ .....	117
รูปที่ ผ3    กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธีการควบคุมกำลังชนิดต่างๆ ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์ .....	118
รูปที่ ผ4    กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE1 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์ .....	118
รูปที่ ผ5    กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธีการควบคุมกำลังชนิดต่างๆ ในกรณีที่มีการจำกัดกำลังของสถานีเคลื่อนที่ (0-100 dB) .....	119
รูปที่ ผ6    กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE1 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน ในกรณีที่มีการจำกัดของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ .....	119

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ โลกได้เปลี่ยนแปลงเข้าสู่ยุคของข้อมูลข่าวสาร การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แพร่หลายมากขึ้น และได้ขยายบทบาทเข้าไปในวงการธุรกิจและอุตสาหกรรมอย่างมาก จนไม่อาจปฏิเสธได้เลยว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีส่วนสำคัญที่ช่วยผลักดันให้เกิดการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในช่วงที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความต้องการในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ประกอบกับความต้องการของผู้ใช้ที่ต้องการจะได้รับบริการช่องสัญญาณที่มีคุณภาพดีขึ้น ทำให้ผู้ให้บริการในประเทศไทยจำเป็นต้องเปลี่ยนระบบแอนะล็อกของตนไปเป็นดิจิทัล

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันเป็นระบบเซลลูลาร์ โดยในระยะแรกของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์นี้เป็นแบบแอนะล็อก หรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อ AMPS (Advanced Mobile Phone Service) ซึ่งใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access หรือ FDMA) ในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานและมีคุณภาพในการให้บริการที่สูงขึ้น จนปัจจุบันนี้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ได้เปลี่ยนมาใช้ระบบดิจิทัล ระบบดังกล่าวนี้ใช้เทคนิคการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access หรือ TDMA) อาทิเช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ GSM (Global System for Mobile) , NA-TDMA (North American - Time Division Multiple Access) และ 1800-DCS (1800 - Digital Cellular System) ซึ่งสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มากยิ่งขึ้น เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ระบบ GSM ที่ 1 ความถี่ของคลื่นพาห้สามารถรองรับผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ 8 คู่สาย

ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบวิทยุเคลื่อนที่ซึ่งสามารถให้บริการทั้งเสียง ข้อมูล และวิดีโอได้ ที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access หรือ CDMA) โดยช่องสัญญาณแต่ละช่องจะถูกแบ่งโดยการมอดูเลตด้วยรหัสแตกต่างกันที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ข้อดีของระบบ CDMA คือมีประสิทธิภาพในการให้บริการช่องสัญญาณสูง (ประมาณ 8-10 เท่าของระบบ AMPS) ในขณะที่ใช้กำลังของคลื่นสัญญาณในการสื่อสารต่ำ (ประมาณ 1/1000 – 1/25 เท่าของระบบ AMPS) ปัจจุบันระบบ CDMA ได้ถูกพัฒนาเป็นมาตรฐาน IS-95 ซึ่งใช้กับระบบวิทยุ

เคลื่อนที่แบบดิจิทัล โดยถูกพัฒนาเพื่อใช้ร่วมกับระบบแอนะล็อก AMPS ในย่านความถี่ 800 MHz ในระยะเริ่มแรกและสามารถใช้แทนได้ทั้งหมดในอนาคต

ในระบบ CDMA ช่องสัญญาณสามารถใช้ช่วงความถี่และช่วงเวลาร่วมกันได้ โดยที่ช่องสัญญาณแต่ละช่องสามารถแยกจากกันโดยใช้รหัสในการมอดูเลต ดังนั้นแทนที่จะควบคุมการใช้ช่วงเวลาและความถี่ตามแบบ TDMA หรือ FDMA ในระบบ CDMA จึงต้องควบคุมระดับกำลังของเครื่องส่งแต่ละเครื่องอย่างถูกต้อง เพราะสัญญาณเหล่านั้นจะปรากฏเป็นสัญญาณแทรกสอดที่ไม่ต้องการในช่องสัญญาณอื่นด้วย การออกแบบระบบควบคุมกำลังที่เหมาะสมจึงเป็นปัญหาสำคัญในการนำระบบ CDMA มาใช้งาน

การควบคุมกำลังสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

1. การควบคุมกำลังแบบวงเปิด (Open Loop Power Control)
2. การควบคุมกำลังแบบวงปิด (Closed Loop Power Control)

**การควบคุมกำลังแบบวงเปิด** เป็นการควบคุมกำลังที่อาศัยสมมติฐานว่าการสูญหายของสัญญาณในทิศทางขาเข้าเชื่อมโยงไปหน้าและขาเข้าเชื่อมโยงย้อนกลับมีค่าเท่ากัน โดยกำหนดให้ผลรวมของกำลังส่งกับกำลังของสัญญาณที่ได้รับมีค่าคงที่ ดังนั้นถ้ากำลังของสัญญาณที่ได้รับมีค่าลดลงก็ต้องส่งสัญญาณด้วยกำลังสูงขึ้น วิธีนี้มีข้อเสียคือไม่สามารถชดเชยผลของเฟดดิ้งพหุ-วิถี (Multipath fading) และในบางกรณีเมื่อสัญญาณที่ได้รับมีกำลังต่ำมากอาจจะทำให้ต้องส่งสัญญาณที่มีกำลังสูงเกินขนาดที่จะสามารถส่งได้

**การควบคุมกำลังแบบวงปิด** สำหรับกรณีการควบคุมกำลังในขาเข้าเชื่อมโยงย้อนกลับคือการที่สถานีฐานวัดกำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีเคลื่อนที่แล้วเปรียบเทียบกับค่ากำลังของสัญญาณหรือค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณแทรกสอด (Signal to Interference Ratio (SIR)) ที่กำหนดไว้ (Desired Level) และส่งคำสั่งกลับไปยังสถานีเคลื่อนที่ให้เพิ่มหรือลดกำลังส่งด้วยขนาดคงที่ (Fixed-step) ประมาณ 0.5-1 dB หรือปรับกำลังส่งด้วยขนาดต่างๆ มากกว่า 2 ระดับ (Multi-step) ทุกๆ 1.25 ms สำหรับมาตรฐาน IS-95

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเน้นถึงผลของการปรับปรุงการควบคุมกำลังแบบวงปิดเป็นหลัก เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถชดเชยผลของเฟดดิ้งพหุ-วิถีได้ โดยจะทำการปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน (SIR-based Pulse-Code-Modulation (PCM) Power Control) ซึ่งเป็นการควบคุมกำลังแบบ Multi-step และวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการตัดแปลง (Modified Adaptive Delta Modulation Power Control) ซึ่งเป็นการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step โดยจะเสนอวิธีการปรับปรุงดังนี้คือ

1. ปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชันในส่วนของการเปรียบเทียบค่า SIR กับ Desired Level โดยใช้ค่า SIR ที่คำนวณได้จาก Link

- gain ในคาบถัดไปซึ่งได้จากการประมาณค่าโดยใช้ quadratic equation แทนค่า SIR ที่วัดได้ตามปกติ เพื่อให้สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของเฟดดิ้งอย่างสั้นได้ถูกต้องยิ่งขึ้นและลดความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย (Outage Probability)
2. ปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังแบบเคลตามอคูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงในส่วนของการเปรียบเทียบค่า SIR กับ Desired Level โดยใช้ค่า SIR ที่คำนวณได้จาก Link gain ในคาบถัดไปซึ่งได้จากการประมาณค่าโดยใช้ quadratic equation แทนค่า SIR ที่วัดได้ตามปกติ เพื่อให้สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของเฟดดิ้งอย่างสั้นได้ถูกต้องยิ่งขึ้นและลดความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย (Outage Probability)
  3. ปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังแบบเคลตามอคูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงโดยเพิ่มอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้นเข้าไป เพื่อให้สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของเฟดดิ้งอย่างสั้นได้ถูกต้องยิ่งขึ้นและลดความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

นอกจากนี้ วิธีการที่เสนอวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 สามารถทำการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นได้โดยการดัดแปลงขั้นตอนการควบคุมกำลังที่สถานีฐาน ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไปในบทที่ 2

รายละเอียดของอัลกอริทึมดั้งเดิมและอัลกอริทึมที่ปรับปรุงใหม่นี้ จะนำเสนอในบทที่ 2 ต่อไป สำหรับบทที่ 3 จะเป็นการเสนอแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองแบบของอัลกอริทึมที่นำเสนอรวมทั้งวิธีการจำลองแบบ และการตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองแบบ ส่วนในบทที่ 4 จะเป็นผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์ และบทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจำลองแบบ

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเสนอวิธีการปรับปรุงการควบคุมกำลังของระบบวิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA มีวัตถุประสงค์เพื่อให้อัตราการเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าลดลง โดยอาศัยทรัพยากรของระบบเดิมและไม่ต้องเปลี่ยนระบบสัญญาณติดต่อทางอากาศ

## 1.3 เป้าหมายและขอบเขตวิทยานิพนธ์

ทำการจำลองแบบตามข้อกำหนดของการจำลองแบบ โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ศึกษาและวิเคราะห์ผลการจำลองแบบโดยพิจารณากราฟแสดงค่า SIR เทียบกับรอบของการควบคุมกราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่และกราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม วิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ Desired Level, Step Size และโมดการควบคุม แล้วทำการเลือกค่าที่เหมาะสมในเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิด

สัญญาณขาดหาย ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองแบบที่ได้จากวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง) กับวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน และทำการเปรียบเทียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 , วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 (ปรับปรุง) กับวิธีการควบคุมกำลังแบบเคลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง โดยจะทำการเปรียบเทียบกราฟแสดงความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในระบบ และทำการวิเคราะห์ความซับซ้อนของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ จากระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของแต่ละวิธี

#### 1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

1. ศึกษาการทำงานพื้นฐานของระบบวิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA
2. ศึกษาวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่เคยมีการนำเสนอแล้ว
3. ออกแบบวิธีและปรับปรุงกระบวนการควบคุมกำลัง
4. เขียนโปรแกรมจำลองแบบ
5. ทดสอบโปรแกรม
6. ประเมินผลและสรุป
7. เขียนวิทยานิพนธ์

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. วิธีที่นำเสนอสามารถปรับปรุงการควบคุมกำลังในระบบวิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
2. เสนอแบบจำลองการควบคุมกำลังที่จะนำไปวิเคราะห์หาวิธีใหม่ๆ ในการควบคุมกำลังของระบบวิทยุเคลื่อนที่
3. สามารถนำอัลกอริทึมการควบคุมกำลังแบบใหม่นี้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

## บทที่ 2

### แนวคิด ผลงานที่ผ่านมา และวิธีการที่เสนอ

#### 2.1 กล่าวนำ

ในระบบวิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA ผู้ใช้สามารถส่งสัญญาณไปบนแบนด์วิดท์เดียวกันในเวลาเดียวกันได้โดยใช้ Pseudo-Noise (PN) code ที่ต่างกัน แต่เนื่องจาก code เหล่านี้ไม่มีคุณสมบัติ orthogonal กันอย่างสมบูรณ์จึงทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ขึ้นทั้งจากผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์เดียวกันและในเซลล์ข้างเคียงซึ่งเป็นตัวจำกัดค่าความจุของระบบ โดยปกติแล้วกำลังของสัญญาณที่มาถึงเครื่องรับที่สถานีฐานของแต่ละช่องสัญญาณจะมีค่าไม่เท่ากันถ้าไม่มีการควบคุมกำลังที่เหมาะสม เนื่องจากเครื่องรับจะได้รับกำลังของสัญญาณจากเครื่องส่งที่อยู่ใกล้สูงกว่ากำลังของสัญญาณจากเครื่องส่งที่อยู่ไกล (Near-Far Effect) นอกจากนี้ยังเกิดจากผลของ Shadowing ซึ่งเกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปจากสภาพแวดล้อมรอบข้าง และผลของเฟดดิ้งพหุวิถี ซึ่งเกิดจากการหักล้างกันของคลื่นที่มาจากหลายทิศทาง โดยเฉพาะเมื่อผู้ใช้กำลังเคลื่อนที่จะยิ่งทำให้ระดับสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณจะทำให้มีสัญญาณแทรกสอดในระบบเพิ่มขึ้นทำให้ความจุของระบบลดลง ดังนั้นการควบคุมกำลังจึงเป็นส่วนสำคัญของระบบวิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA

การควบคุมกำลังในระบบวิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS-CDMA เป็นการจัดการเกี่ยวกับสัญญาณแทรกสอดระหว่างผู้ใช้ โดยจะทำการควบคุมกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่เพื่อให้กำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับอยู่ในระดับคงที่แม้ว่าสถานีเคลื่อนที่จะอยู่ห่างจากสถานีฐานไม่เท่ากัน หรือมีผลกระทบจากเฟดดิ้ง ซึ่งจะทำให้สถานีเคลื่อนที่ที่ใช้กำลังส่งเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

วิธีการควบคุมกำลังในระบบวิทยุเคลื่อนที่แบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ ได้แก่ การควบคุมกำลังแบบวงเปิด (Open Loop Power Control) และการควบคุมกำลังแบบวงปิด (Closed Loop Power Control) ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1

**การควบคุมกำลังแบบวงเปิด** เป็นการควบคุมกำลังที่อาศัยสมมุติฐานว่า “การสูญเสียของสัญญาณในทิศทางของชายเชื่อมต่อโยงไปหน้ามีค่าเท่ากับในทิศทางของชายเชื่อมต่อโยงย้อนกลับ” (ทิศทางของชายเชื่อมต่อโยงไปหน้าคือทิศทางจากสถานีฐานไปยังสถานีเคลื่อนที่ และทิศทางของชายเชื่อมต่อโยงย้อนกลับคือทิศทางจากสถานีเคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน) ในมาตรฐาน IS-95 ผลรวมของกำลังที่ได้รับและกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $-73$  dBm เช่น ถ้ากำลังที่สถานีเคลื่อนที่ได้รับจากสถานีฐานมีค่าเท่ากับ  $-85$  dBm สถานีเคลื่อนที่ก็ต้องส่งสัญญาณด้วยกำลังเท่ากับ  $(-73) - (-85) = 12$  dBm โดยค่ากำลังที่สถานีเคลื่อนที่ได้รับเป็นผลรวมของกำลังทั้ง

จากสถานีฐานที่รับบริการอยู่และสถานีฐานข้างเคียงที่ส่งสัญญาณในย่านความถี่เดียวกัน อัตราการควบคุมกำลังแบบวงเปิดจะต้องมีค่าเท่ากับอัตราการควบคุมกำลังแบบวงปิดเพื่อป้องกันการส่งสัญญาณด้วยกำลังที่มีค่าสูงเกินขีดจำกัดของสถานีเคลื่อนที่เมื่อกำลังของสัญญาณที่ได้รับมีค่าต่ำลงอย่างรวดเร็ว การควบคุมกำลังแบบวงเปิดไม่สามารถชดเชยผลของเฟดดิ้งหลายทิศทางได้เนื่องจากย่านความถี่ที่ใช้ส่งสัญญาณในชายเชื่อมโยงไปหน้าและชายเชื่อมโยงย้อนกลับในระบบ CDMA ตามปกติเป็นคนละย่านกัน และถึงแม้ในระบบ CDMA ที่มีการรับส่งสัญญาณแบบ TDD (Time Division Duplex) ที่ใช้ความถี่เดียวกันในการรับส่งสัญญาณทั้งสองทิศทางก็ไม่สามารถชดเชยผลของ fading ได้สมบูรณ์ เพราะ fading ที่คนละเวลากันมีค่าต่างกัน และทิศทางการรับส่งสัญญาณที่ตรงกันข้ามนั้นก็ไม่สามารถชดเชยกันด้วย

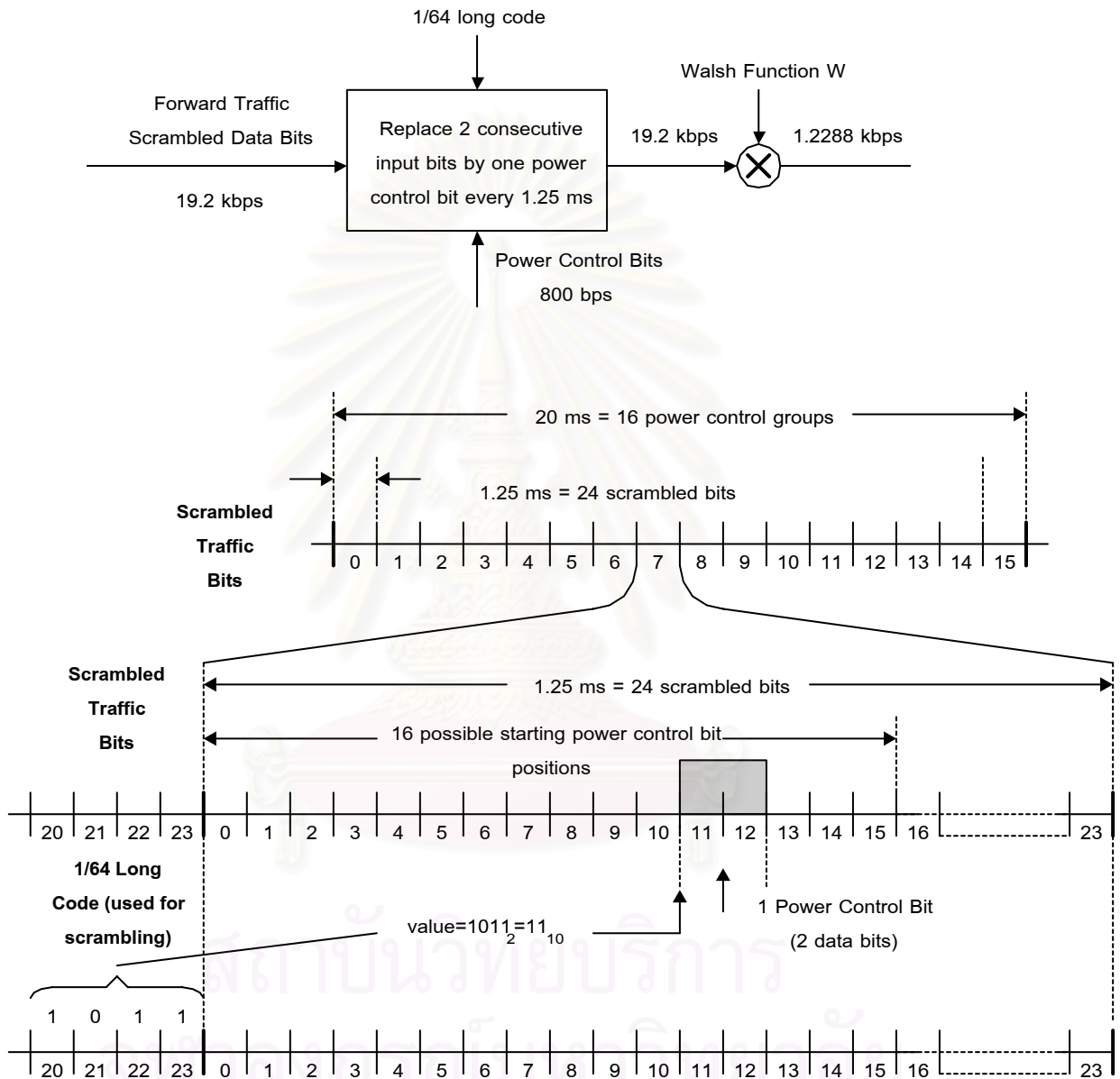
**การควบคุมกำลังแบบวงปิด** สถานีฐานวัดกำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีเคลื่อนที่แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่ากำลังของสัญญาณที่กำหนดไว้ (Desired Level) และส่งคำสั่งกลับไปยังสถานีเคลื่อนที่ให้เพิ่มหรือลดกำลังด้วยขนาดคงที่ (Fixed-step) 1 dB ทุกๆ 1.25 ms สำหรับมาตรฐาน IS-95 หรือปรับกำลังส่งด้วยขนาดต่างๆ มากกว่า 2 ระดับ (Multi-step) โดยสถานีฐานจะ ควบคุมสถานีเคลื่อนที่ให้ใช้กำลังส่งต่ำที่สุดที่ให้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่ยอมรับได้ ดังนั้นในระบบ CDMA สถานีเคลื่อนที่จะใช้กำลังส่งต่ำกว่าในระบบแอนะล็อกมาก ซึ่งมีข้อดีคือสามารถใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กลงและมีอายุการใช้งานยาวนานยิ่งขึ้นรวมทั้งมีผลดีต่อสุขภาพมากขึ้นด้วย

ต่อมา Ariyavisitakul [1] พบว่าวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR (Signal to Interference Ratio) มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของกำลังของสัญญาณเนื่องจาก SIR คือค่าที่ใช้บอกประสิทธิภาพของช่องสัญญาณโดยตรง นอกจากนี้ Ariyavisitakul และ Chang [2] ยังพบว่าการควบคุมกำลังส่งที่สามารถต้านผลกระทบของเฟดดิ้งหลายทิศทางได้จะต้องมีอัตราการปรับกำลังส่งสูงกว่าอัตราการเกิดเฟดดิ้ง 10 เท่าขึ้นไป

### 2.1.1 การกำหนดบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลังในมาตรฐาน IS-95 [3]

รูปที่ 2.1 แสดงการกำหนดบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลังในช่องสัญญาณทราฟฟิกไปหน้าพบว่าบิตข้อมูลของช่องสัญญาณทราฟฟิกไปหน้าที่ผ่านการ scramble แล้วที่อัตรา 19.2 kbps จะต้องผ่านการแทนที่ด้วยบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลัง โดยบิตข้อมูล 2 บิตที่อยู่ติดกันจะต้องถูกแทนที่ด้วยบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลังทุกๆ 1.25 ms แล้วจึงจะทำการ spread spectrum ด้วย Walsh function ดังนั้น ในช่วงเวลา 20 ms บิตข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 16 กลุ่มการควบคุมกำลัง โดยแต่ละกลุ่มจะมีช่วงเวลา 1.25 ms และมีจำนวนบิต 24 บิต ในการหาตำแหน่งของบิตข้อมูลในกลุ่มการควบคุมกำลัง (บิตที่ 0-23) ที่จะถูกแทนที่โดยบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลัง จะพิจารณาจาก

บิตที่ 20-23 ของ 1/64 long code ที่ใช้ในการ scramble บิตข้อมูล (การดึงเอาเฉพาะบิตแรกของทุกๆ 64 บิตจาก long code ทำให้อัตราเร็วบิตลดลงจาก 1.2288 Mbps เหลือ 19.2 kbps) ของกลุ่มการควบคุมกำลังที่อยู่ก่อนหน้า



รูปที่ 2.1 การกำหนดบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลังในช่องสัญญาณโทรภาพฟิกไปหน้า

จากรูปที่ 2.1 พบว่าบิตที่ 20-23 ของ 1/64 long code ที่ใช้ในการ scramble บิตข้อมูลของกลุ่มการควบคุมกำลังที่อยู่ก่อนหน้ามีค่าดังนี้

$$b_{23} b_{22} b_{21} b_{20} = 1011_2 = 11_{10}$$



ดังนั้นบิตข้อมูลบิตที่ 11 และ 12 จะถูกแทนที่โดยบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลัง โดยบิต 0 จะเป็นการร้องขอให้สถานีเคลื่อนที่เพิ่มกำลังขึ้น 1 dB และบิต 1 จะเป็นการร้องขอให้สถานีเคลื่อนที่ลดกำลังลง 1 dB ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงกำลัง สถานีฐานจะร้องขอให้สถานีเคลื่อนที่เพิ่มและลดกำลังครั้งละ 1 dB สลับกันไปเพื่อรักษาระดับกำลังให้คงที่

### 2.1.2 เฟดดิ้ง

ในระบบวิทยุเซลลูลาร์นั้น สัญญาณที่ส่งมาจากสถานีเคลื่อนที่ มักจะไม่ได้เดินทางเป็นเส้นตรงจากสถานีเคลื่อนที่ถึงสถานีฐาน แต่จะเป็นสัญญาณที่มาจากการสะท้อนจากสิ่งก่อสร้าง, ติ๊ก และสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้น โดยสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจะเกิดจากการรวมกันของสัญญาณจากการสะท้อนที่มีเส้นทางต่างๆกัน (Multipath) ซึ่งมีขนาดและเฟสต่างๆกัน ดังนั้นความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจึงมีค่าต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับว่าผลรวมของสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนกับสิ่งก่อสร้าง, ติ๊ก รวมกันแบบเสริมกันหรือหักล้างกัน เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เฟดดิ้ง

เฟดดิ้งสามารถแยกออกเป็น 2 เทอม คือ เฟดดิ้งอย่างยาว (Long-term fading) และเฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term fading) โดยผลต่างของเฟสของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับมีการแปรค่าทั้งหมดในช่วง 0 ถึง 180 องศา เมื่อสถานีเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วอาจจะทำให้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากมีเฟสต่างกัน 180 องศาและสัญญาณเกิดการหักล้างกันหมด หรืออาจจะเพิ่มเป็น 2 เท่า เมื่อผลต่างของเฟสเป็นศูนย์และสัญญาณเกิดการเสริมกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของขนาดความแรงสัญญาณที่ได้รับ (fluctuation) และเกิดปรากฏการณ์ Doppler shift เนื่องจากการเคลื่อนที่ด้วย ซึ่งส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่าเฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term fading) ส่วนค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเรียกว่าเฟดดิ้งอย่างยาว (Long-term fading)

เนื่องจากค่าเฟดดิ้งที่แท้จริงยากต่อการทราบค่าที่เป็นจริง เนื่องจากมีจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ที่จะเกิดเฟดดิ้งได้ไม่จำกัดในสภาวะแวดล้อมหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งก่อสร้างเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการทางสถิติในการหาค่าเฟดดิ้ง

### 2.1.3 คุณลักษณะของช่องสัญญาณ [4] ประกอบด้วย

- เฟดดิ้งอย่างยาว (Long-term fading (L(t))) เป็นการรวมผลของการสูญเสียทางวิถี และผลของ shadowing เข้าด้วยกัน

**การสูญเสียทางวิถี** เมื่อสัญญาณซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านอากาศ จะเกิดการลดทอนสัญญาณลง โดยมีค่าผกผันกับระยะทางยกกำลัง  $\alpha$  โดยค่า  $\alpha$

ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สัญญาณเดินทางผ่าน เช่น  $\alpha = 2$  กรณีเป็นพื้นที่เปิดว่าง,  $\alpha = 2-4$  กรณีเป็นพื้นที่ชานเมือง และ  $\alpha = 4$  กรณีเป็นพื้นที่ในเมือง

**ผลของ shadowing** เกิดจากการบดบังสัญญาณเนื่องจากสิ่งก่อสร้างต่างๆ ระหว่างสถานีฐานและสถานีเคลื่อนที่ ในการหาค่าโดยใช้วิธีการทางสถิตินั้น จะใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ Log-normal distribution ดังนั้นเฟดดิ้งอย่างยาวเป็นตัวแปรสุ่มที่มีรูปแบบดังนี้

$$L(t) = \kappa \cdot r^{-\alpha} 10^{\xi/10} \quad (2.1)$$

โดยที่  $\kappa$  คือค่าคงที่ ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1

$r$  คือระยะทางจากสถานีฐานถึงสถานีเคลื่อนที่

$\alpha$  คือ Path loss exponent ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สัญญาณเดินทางผ่าน ในที่นี้ใช้  $\alpha = 4$

$\xi$  คือตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบ normal ดังนี้

$$p(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(\xi - \xi_m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.2)$$

โดยที่  $\xi_m$  = ค่าเฉลี่ยของกำลังสัญญาณที่ได้รับ ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0

$\sigma$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 8 dB

- **เฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term fading (S(t)))** เกิดจากการสะท้อนของสัญญาณที่มาจากสถานีเคลื่อนที่ โดยสัญญาณที่ได้รับที่สถานีฐานจะเป็นสัญญาณที่มาจากหลายเส้นทางมารวมกัน โดยเฟดดิ้งอย่างสั้นมีการแจกแจงแบบ Nakagami-m ดังนี้

$$f_m(a) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m a^{m-1} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} a\right), \quad a \geq 0 \quad (2.3)$$

โดยที่  $a$  = กำลังของสัญญาณที่ได้รับ

$1/m$  = ขนาดของ fading =  $\text{var}[a]/[E(a)]^2$  โดยมีค่าอยู่ในช่วง (0,2]

$\Gamma(*)$  = แกมมาฟังก์ชัน,  $\Gamma(m) = \int_0^{\infty} t^{m-1} e^{-t} dt, m > 0$

$\Omega$  = ค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณที่ได้รับ =  $E[a]$

ในกรณีที่  $m = 1$  การแจกแจงแบบ Nakagami จะลดรูปลงมาเป็นแบบเรย์ลี

การหาค่าของเฟดดิ้งอย่างสั้น จะใช้แบบจำลองของ Jakes [5] ในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี และจะได้ค่าในอาณาจักรเวลา ( $S(t)$ ) มีค่าดังสมการที่ (2.4), (2.5), (2.6) และ (2.7)

$$|S(t)| = \sqrt{C_I^2(t) + C_Q^2(t)} \quad (2.4)$$

$$S(t) = C_I(t) + jC_Q(t) \quad (2.5)$$

$$C_I(t) = 2 \cdot \sum_{n=1}^N \cos\left(\frac{\pi n}{N}\right) \cos\left\{2\pi f_d t \cos\left(\frac{2\pi n}{N'}\right)\right\} + \sqrt{2} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \cos(2\pi f_d t) \quad (2.6)$$

$$C_Q(t) = 2 \cdot \sum_{n=1}^N \sin\left(\frac{\pi n}{N}\right) \cos\left\{2\pi f_d t \cos\left(\frac{2\pi n}{N'}\right)\right\} + \sqrt{2} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \cos(2\pi f_d t) \quad (2.7)$$

โดยที่  $S(t)$  คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้นในอาณาจักรเวลา

$C_I(t)$  คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้นในส่วนของจริง

$C_Q(t)$  คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้นในส่วนของจินตภาพ

$N$  คือ จำนวนวิถีของสัญญาณที่เกิดการสะท้อนมายังสถานีฐาน ในการจำลองแบบจะใช้ค่า  $N = 8$  เนื่องจากแบบจำลองของ Jakes จะสามารถประมาณการแจกแจงแบบเรย์ลีได้ดีเมื่อ  $N = 8$

$$N' = 2 \cdot ((2 \cdot N) + 1)$$

$$f_d = \frac{F_0 \times V}{C} \quad \text{คือ ความถี่ Doppler ของสัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้น}$$

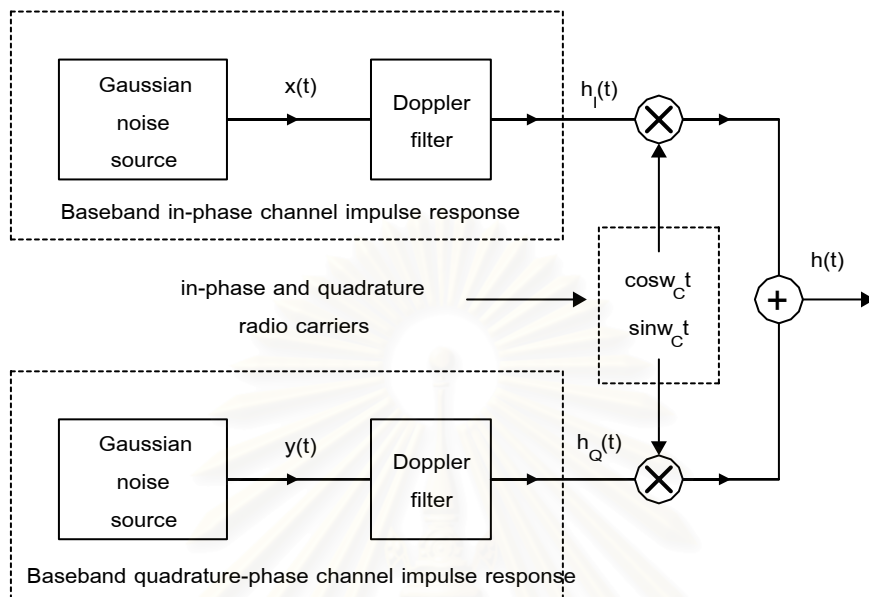
โดยที่  $V$  คือความเร็วของสถานีเคลื่อนที่ กำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 6-60 กม./ชม.

$F_0$  คือความถี่ศูนย์กลางของคลื่นพาห้

$C$  คือความเร็วแสง

แบบจำลองของ Jakes ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีมีลักษณะเป็นแบบ deterministic ดังนั้นจึงมีการใช้แบบจำลองอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นแบบสุ่มในการสร้างสัญญาณสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้แบบจำลองของ Jakes รูปที่ 2.2 แสดงแบบจำลองแบบสุ่มที่ใช้ในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี โดยสัญญาณที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเกาส์เซียนจะถูกส่งผ่านวงจรกรองซึ่งแสดงถึงผลของความถี่ Doppler ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ถ้าพิจารณาสัญญาณที่ส่งจากสถานีเคลื่อนที่มายังสถานีฐาน โดยสัญญาณที่สถานีฐานได้รับสำหรับเส้นทางที่  $i$ -th ทำมุม  $\alpha_i$  กับสถานีฐาน ดังนั้นความถี่ของคลื่นพาห้ของสัญญาณที่มีค่า  $f_c$  จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเป็น  $f_c + f_m \cos \alpha_i$ , โดยที่  $f_m = v / \lambda = v f_c / c$ ,  $v$  คือความเร็วของสถานีเคลื่อนที่,  $\lambda = c / f_c$  คือความยาวคลื่นของ

คลื่นพาห้ของสัญญาณ,  $c$  คือความเร็วของแสง จะสังเกตได้ว่าความถี่ Doppler สามารถมีค่าได้ทั้งบวกและลบขึ้นอยู่กับมุม  $\alpha_i$  และค่าสูงสุดและต่ำสุดของความถี่ Doppler มีค่าเท่ากับ  $\pm f_m$



รูปที่ 2.2 แบบจำลองแบบสุ่มที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพหุเชิงแบบเวกเตอร์

ถ้ากำหนดให้  $\alpha_i$  มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม ความถี่ Doppler จะมีการแจกแจงแบบโคไซน์สุ่ม และจะได้ Doppler power spectral density  $S(f)$  ดังนี้

$$S(f) = \frac{A}{\sqrt{1 - (f/f_m)^2}} \quad (2.8)$$

โดยที่  $A$  คือค่าคงที่

จากรูปที่ 2.2 ถ้ายังไม่พิจารณา Doppler Filter จะได้  $h_I(t) = x(t)$  และ  $h_Q(t) = y(t)$  ดังนั้นจะได้สัญญาณขาออกดังนี้

$$h(t) = x(t) \cos(\omega_c t) - y(t) \sin(\omega_c t) \quad (2.9)$$

โดยที่  $x(t)$  และ  $y(t)$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียน และสามารถเขียน  $h(t)$  ในรูปของ

$$h(t) = R(t) \cos(\omega_c t + \psi(t)) \quad (2.10)$$

โดยที่

$$R(t) = (x^2(t) + y^2(t))^{1/2} \quad (2.11)$$

ซึ่งมีการแจกแจงแบบเรย์ลี

$$\psi(t) = \tan^{-1}\left(\frac{y(t)}{x(t)}\right) \quad (2.12)$$

ซึ่งมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม

และเมื่อพิจารณาผลของ Doppler Filter ด้วย จะพบว่า  $h(t)$  ก็ยังคงมีการแจกแจงแบบเรย์ลี

- Link-gain ( $Z(t)$ ) คือค่าสัดส่วนของกำลังที่สถานีฐานได้รับต่อกำลังที่ส่งจากสถานีเคลื่อนที่โดยมีค่าดังสมการที่ (2.13)

$$Z(t) = L(t) \cdot S(t) \quad (2.13)$$

โดยที่  $L(t)$  คือ เฟดดิ้งอย่างยาว

$S(t)$  คือ เฟดดิ้งอย่างสั้น

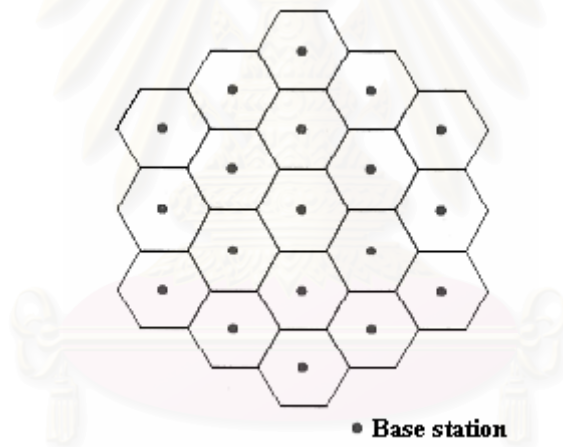
#### 2.1.4 สัญญาณแทรกสอด (Interference)

สำหรับโทรศัพท์เซลลูลาร์ DS-CDMA จะมีการเกิดสัญญาณแทรกสอด 2 แบบคือ การแทรกสอดเนื่องจากสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์เดียวกัน และการแทรกสอดเนื่องจากสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์ประชิด กำหนดให้  $P_{jk}^r(r_{jk})$  คือสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานเนื่องจากการส่งสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่ที่  $k$  ในเซลล์ที่  $j$  ระยะทาง  $r_{jk}$  ในที่นี้ใช้แบบจำลองในระบบเซลลูลาร์ที่ประกอบด้วย 19 เซลล์ดังรูปที่ 2.3 สัญญาณแทรกสอดนิยามเป็น  $I$  (หน่วย watts) คือสัญญาณแทรกสอดซึ่งเกิดจากสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์เดียวกัน และเซลล์ข้างเคียงในรอบวงที่ 1 และ 2 โดยมีค่าดังสมการที่ (2.14)

$$I = \sum_{k=1}^{K_0-1} P_k^r(r_k) + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{K_j^{(1)}} P_{jk}^r(r_{jk}) + \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^{K_j^{(2)}} P_{jk}^r(r_{jk}) \quad (2.14)$$

โดยที่

- $I$  คือ สัญญาณแทรกสอด (watts)
- $K_0$  คือ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่ใช้บริการอยู่ในเซลล์ที่เราสนใจ
- $K_j^{(1)}$  คือ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่ใช้บริการอยู่ในเซลล์ในรอบวงที่ 1
- $K_j^{(2)}$  คือ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่ใช้บริการอยู่ในเซลล์ในรอบวงที่ 2
- $P_k^r(r_k)$  คือ ความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานรับได้จากสถานีเคลื่อนที่อื่นในเซลล์ที่เราสนใจ
- $P_{jk}^r(r_{jk})$  คือ ความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานรับได้จากสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์ในรอบวงที่ 1 และ 2
- $r_k$  คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ที่  $k$  ในเซลล์ที่เราสนใจ
- $r_{jk}$  คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานในเซลล์ที่เราสนใจกับสถานีเคลื่อนที่ที่  $k$  ในเซลล์ที่  $j$  ในเซลล์ในรอบวงที่ 1 และ 2



รูปที่ 2.3 แบบจำลองของระบบเซลล์ลูลาร์ที่ประกอบด้วย 19 เซลล์

### 2.1.5 ค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพ

ค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของระบบคือ Outage Probability ซึ่งนิยามว่า

$$P_{\text{out}} = \text{Probability} [ \text{SIR ที่ได้รับ} < \text{SIR ต่ำสุดที่ยอมรับได้} ]$$

SIR คือค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณแทรกสอด

$$SIR = \frac{P(t) \cdot Z(t)}{I(t)} \quad (2.15)$$

โดยที่  $P(t)$  กำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา,  $Z(t)$  คือ link gain และ  $I(t)$  คือ สัญญาณแทรกสอดจากสถานีเคลื่อนที่อื่นๆ ในระบบ

SIR สามารถเขียนได้ในเทอมของ  $E_b / I_0$  ได้ดังนี้

$$SIR = \frac{E_b}{I_0} \left( \frac{W}{R} \right)^{-1} \quad (2.16)$$

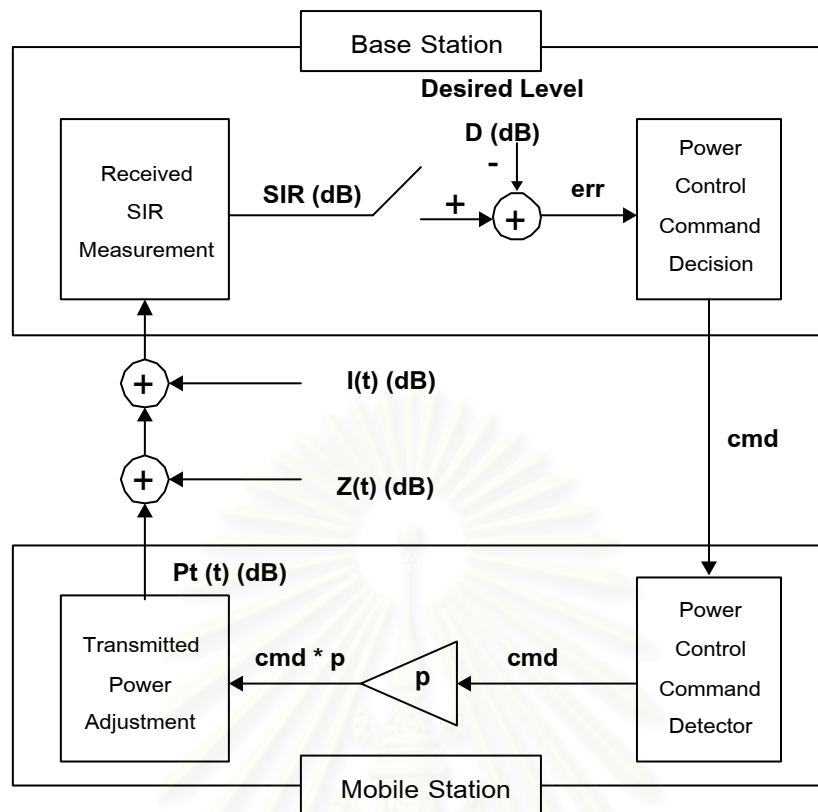
โดยที่  $E_b$  คือพลังงานต่อ 1 บิตข้อมูล,  $I_0$  คือกำลังของสัญญาณแทรกสอดต่อ 1 Hertz,  $R$  คืออัตราเร็วของบิตข้อมูลและ  $W$  คือแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ ในการจำลองแบบ กำหนดให้ Bit error rate มากที่สุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ  $10^{-3}$  ดังนั้น  $E_b / I_0$  จะต้องมีค่ามากกว่า 5 (7 dB) ถ้า spread spectrum processing gain  $W / R = 128$  ดังนั้นจะได้ว่า SIR ต่ำสุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ -14 dB [4]

## 2.2 วิธีการควบคุมกำลังที่ผ่านมา

### 2.2.1 วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน (SIR-based Pulse-Code-Modulation (PCM) Power Control)

ในบทความของ Chung-Ju Chang, Jeh-Ho Lee และ Fang-Ching Ren [4] ได้เสนอวิธี SIR-based Pulse-Code-Modulation (PCM) Power Control ซึ่งเป็นการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับแบบ Multi-step สถานีเคลื่อนที่ทำการปรับกำลังส่งโดยพิจารณาจากค่า SIR ที่สถานีฐานได้รับ รูปที่ 2.4 แสดงวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน [4]

โดยที่  $Pt (t) =$  กำลังของสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีเคลื่อนที่

$Z (t) =$  Link gain

$I (t) =$  สัญญาณแทรกสอดเนื่องจากผู้อื่น

ภายในเซลล์และเซลล์ข้างเคียง

#### ขั้นตอนการทำงาน

1. วิธีการควบคุมกำลังจะถูกโปรแกรมไว้ที่สถานีฐาน คาบเวลาของการควบคุม  $T_d$  เท่ากับผลรวมของคาบเวลาการวัด  $T_p$ , การประวิงเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นและการประวิงเนื่องจากการคำนวณ power control command ( $cmd$ )
2. สถานีฐานวัดค่า SIR ทุกๆ คาบเวลา  $T_d$  แล้วเปรียบเทียบกับ SIR ที่กำหนดไว้ (Desired SIR Level) ผลต่างที่ได้เป็นค่า  $err$  แล้วส่งไปยังส่วน Power control command decision
3. Power control command decision จะแปลงค่า  $err$  เป็นค่า  $cmd$  ตามหลักการของ pulse code modulation แล้วส่งมายังสถานีเคลื่อนที่
4. สถานีเคลื่อนที่ที่ได้รับ  $cmd$  ซึ่งตรวจจับโดย Power control command detector



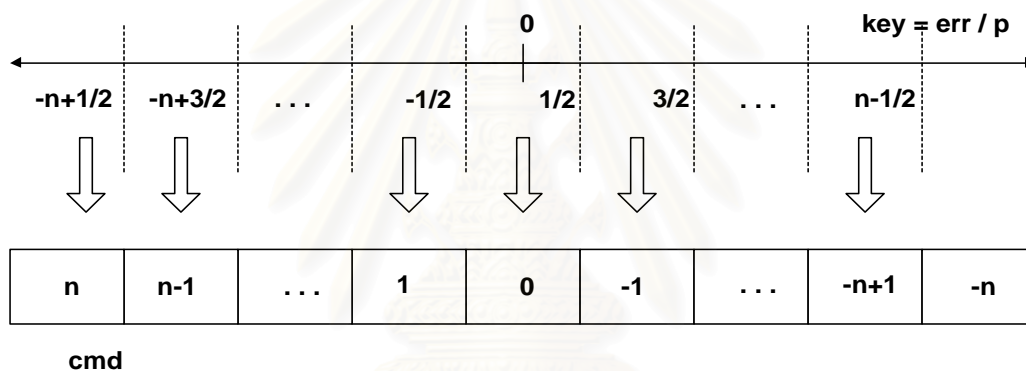
5. สถานะเคลื่อนที่ที่ปรับกำลังส่งไปเท่ากับ  $cmd \cdot p$  โดย  $p$  คือขนาดของ Step Size

### หลักการของวิธีการควบคุมกำลังแบบพัลส์โคดมอดูเลชัน

การควบคุมกำลังแบบพัลส์โคดมอดูเลชันสำหรับโมดการควบคุมที่  $n$  จะมีกลุ่มของค่า  $cmd$  ดังนี้

$$CMD_n = \{-n, -(n-1), \dots, -1, 0, 1, \dots, n-1, n\} \quad (2.17)$$

โดย  $n$  คือเลขจำนวนเต็ม และ  $cmd \in CMD_n$  รูปที่ 2.5 แสดงการกำหนดค่า  $cmd$  (power control command)



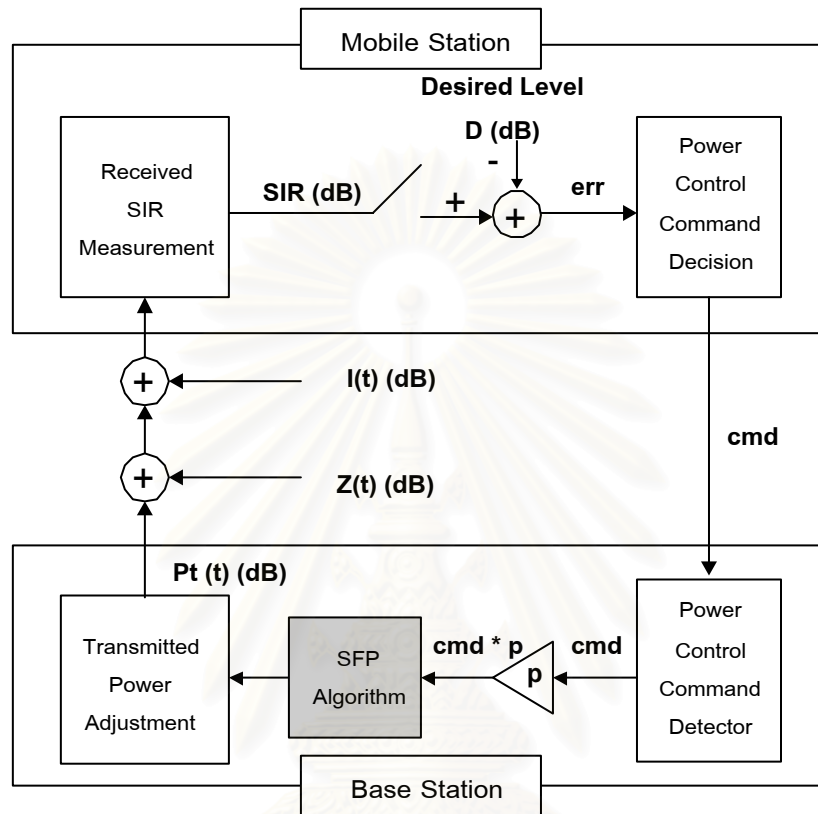
รูปที่ 2.5 การกำหนดค่า  $cmd$  (power control command)

วิธีนี้มีข้อดีคือจะสามารถตามการเปลี่ยนแปลงของกำลังของสัญญาณได้ดีกว่าวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบ Fixed step เนื่องจากสามารถปรับกำลังของสัญญาณได้ละเอียดขึ้น แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้จำนวนบิตในการควบคุมมากกว่า 1 บิต

### 2.2.2 วิธีการควบคุมกำลังที่ใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term Fading Prediction-based Power Control)

Jyh-Hong Wen, Long-Chuyuan Yeh และ Jang-Ren Chiou [6] ได้เสนอวิธี Short-term Fading Prediction-based Power Control ซึ่งเป็นวิธีที่ทำการปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชันสำหรับการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงไปหน้า ให้สามารถตามการเปลี่ยนแปลงของเฟดดิ้งอย่างสั้นได้ถูกต้องยิ่งขึ้น รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการควบคุม

กำลังที่ใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น โดยค่า  $cmd \cdot p$  ที่ได้จากวิธีการควบคุมกำลัง โดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชันจะถูกส่งผ่านอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term Fading Prediction (SFP) Algorithm)



รูปที่ 2.6 วิธีการควบคุมกำลังที่ใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น [6]

ขั้นตอนการทำงาน

1. วิธีการควบคุมกำลังจะถูกโปรแกรมไว้ที่สถานีเคลื่อนที่ คาบเวลาของการควบคุม  $T_d$  เท่ากับผลรวมของคาบเวลาการวัด  $T_p$ , การประวิงเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นและการประวิงเนื่องจากการคำนวณ power control command (cmd)
2. สถานีเคลื่อนที่วัดค่า SIR ทุกๆ คาบเวลา  $T_d$  แล้วเปรียบเทียบกับ SIR ที่กำหนดไว้ (Desired SIR Level) ผลต่างที่ได้เป็นค่า err แล้วส่งไปยังส่วน Power control command decision
3. Power control command decision จะแปลงค่า err เป็นค่า cmd ตามหลักการของ pulse code modulation แล้วส่งมายังสถานีฐาน

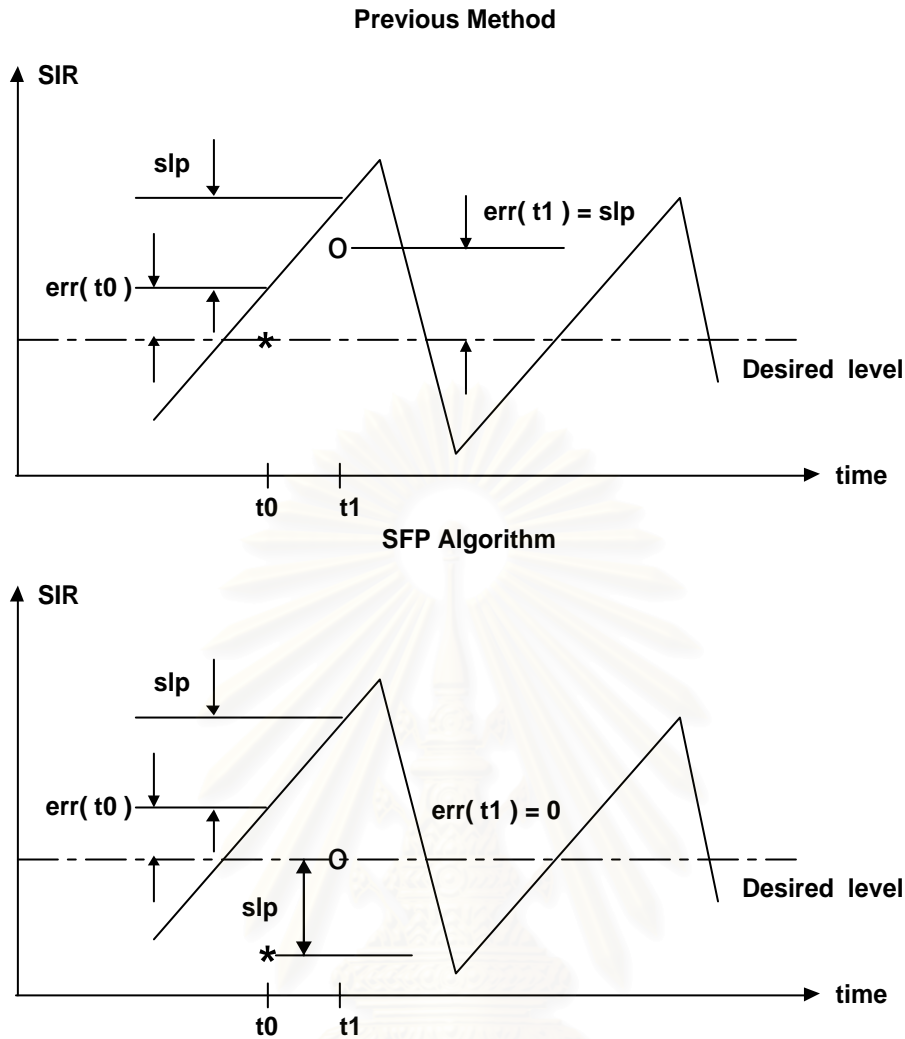
4. สถานีฐานได้รับ cmd ซึ่งตรวจจับโดย Power control command detector แล้วส่งผ่านค่า  $cmd \cdot p$  ไปยังส่วนของอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น
5. สถานีฐานปรับกำลังส่งไปเท่ากับค่าที่คำนวณได้จากอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น

#### หลักการของอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น

สมมติให้ผลของเฟดดิ้งอย่างสั้นทำให้ SIR มีลักษณะเป็นกราฟเส้นตรงและความชันของกราฟมีค่าคงที่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดในแต่ละช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เมื่อใช้การควบคุมกำลังแบบเดิม ที่เวลา  $t_0$  SIR ที่ได้รับมีค่ามากกว่า Desired Level ดังนั้นสถานีฐานลดกำลังส่งลงเท่ากับ  $err(t_0)$  แต่ที่เวลา  $t_1$  ค่า SIR ที่ได้รับก็ยังคงมีค่ามากกว่า Desired Level เนื่องจากผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น ดังนั้น  $err(t_1) > 0$  และพบว่า  $err(t_1) = SIR(t_1) - SIR(t_0) =$  การเปลี่ยนแปลงของค่า SIR เนื่องจากผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น ( $slp$ )

เมื่อใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น จากการพิจารณากรณีที่ใช้การควบคุมกำลังแบบเดิมพบว่า  $err(t_1)$  มีค่าเท่า  $slp$  ดังนั้นถ้าลดกำลังส่งด้วยขนาด  $err(t_i) + slp$  สำหรับ  $t_i$  ที่  $i \geq 1$  จะทำให้ค่า SIR ที่เวลา  $t_{i+1}$  อยู่ที่ Desired Level พอดี



รูปที่ 2.7 หลักการของอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น

— คือกราฟแสดงค่า SIR เมื่อไม่มีการควบคุมกำลัง

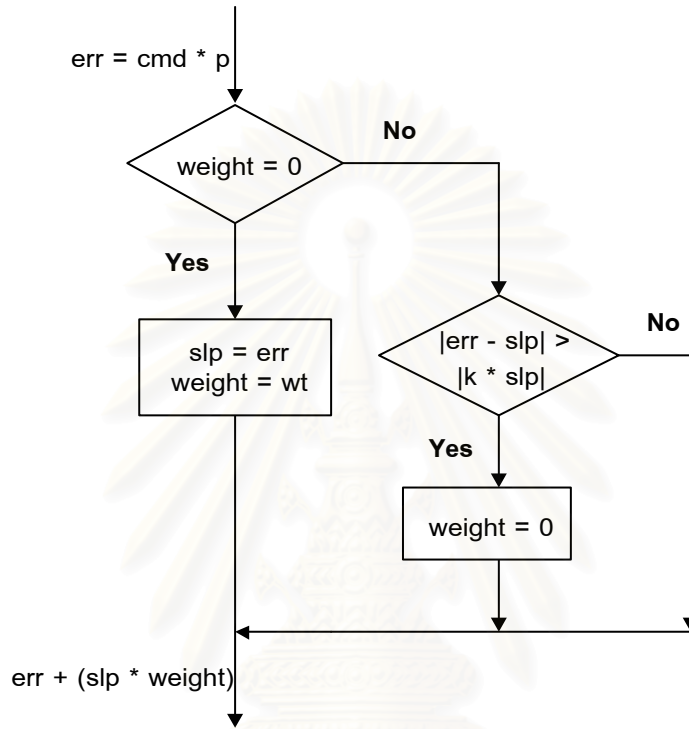
\* คือค่า SIR ที่เวลา  $t_0$  เมื่อทำการปรับค่าแล้ว

o คือค่า SIR ที่เวลา  $t_1$  เมื่อยังไม่ได้ทำการปรับค่า

รูปที่ 2.8 แสดงอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น weight เป็นตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเท่ากับ wt ซึ่งเป็นค่าคงที่ ค่า  $slp * weight$  ใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงของเฟดดิ้งแบบเรย์ลีในแต่ละช่วง จากการสมมติให้ความชันของกราฟของ SIR ซึ่งเกิดจากผลของเฟดดิ้งแบบเรย์ลีมีค่าคงที่ ดังนั้น  $slp$  จึงมีค่าคงที่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดในแต่ละช่วง เมื่อกราฟของ SIR ผ่านค่าสูงสุดหรือต่ำสุดในแต่ละช่วง จะต้องเปลี่ยนค่า  $slp$  สำหรับอัลกอริทึมนี้จะใช้สมการ  $|err - slp| > |k * slp|$  ในการตัดสินใจถึงจุดที่จะต้องทำการเปลี่ยนค่า  $slp$  หรือไม่ โดยเมื่อถึงจุด

นั้น ตัวแปร weight จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 และทำการปรับค่า slp ใหม่ตามอัลกอริทึมทำนายผลของเฟตดิงอย่างสั้น

ในที่นี้สามารถใช้ข้อมูลจาก SIR แทนการใช้ข้อมูลจากเฟตดิงอย่างสั้นโดยตรงเนื่องจากใช้ตัวแปร weight ในการเปลี่ยนความชันของ SIR ไปเป็นความชันของเฟตดิงอย่างสั้น



รูปที่ 2.8 Flow chart ของอัลกอริทึมทำนายผลของเฟตดิงอย่างสั้น

### 2.2.3 วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชัน (Delta Modulation Power Control)

การควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับจะมีทั้งแบบ Fixed-step และ Multi-step เช่นเดียวกับการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงไปหน้า ในมาตรฐาน IS-95 การควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับจะเป็นแบบ Fixed-step ซึ่งใช้จำนวนบิตในการควบคุมเพียง 1 บิตในแต่ละคาบของการควบคุม ซึ่งเรียกว่าวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชัน

สถานะเคลื่อนที่ทำการปรับกำลังโดยพิจารณาจากค่า SIR ที่สถานะฐานได้รับ

1. วิธีการควบคุมกำลังจะถูกโปรแกรมไว้ที่สถานะฐาน คาบเวลาของการควบคุม  $T_d$  เท่ากับผลรวมของคาบเวลาการวัด  $T_p$ , การประวิงเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นและการประวิงเนื่องจากการคำนวณ power control command

2. สถานีฐานวัดค่า SIR ทุกๆ คาบเวลา  $T_d$  แล้วเปรียบเทียบกับ SIR ที่กำหนดไว้ (Desired SIR Level) ผลต่างที่ได้เป็นค่า  $err$
3. เมื่อค่า  $err < 0$ , power control bit จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0 ( $cmd=1$ ) แต่ถ้า  $err > 0$ , power control bit จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 1 ( $cmd=-1$ )
4. สถานีเคลื่อนที่ที่ได้รับ  $cmd$  ซึ่งตรวจจับโดย Power control command detector
5. สถานีเคลื่อนที่ปรับกำลังส่งไปเท่ากับ  $cmd \cdot p$

ต่อมาพบว่า การควบคุมกำลังแบบ Multi-step จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step [7] แต่จะต้องใช้จำนวนบิตในการควบคุมมากกว่า 1 บิตซึ่งจะทำให้คุณภาพของสัญญาณเสื่อมลงเนื่องจากจำนวนบิตข้อมูลจะมีค่าลดลง

#### 2.2.4 วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ (Adaptive Delta Modulation Power Control) [7]

มีหลักการเหมือนการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันแต่ Step Size มีค่าไม่คงที่และถูกควบคุมโดยตัวควบคุม Step Size (Step Size controller) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ การควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้แบบบวก (Additive Adaptive Delta Modulation Power Control Method (AADM-PC)) และการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้แบบคูณ (Multiplicative Adaptive Delta Modulation Power Control Method (MADM-PC)) รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้

##### AADM-PC

มีอัลกอริทึมในการปรับ Step Size ดังนี้

$$g(k) = g(k-1) + T \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) = cmd(k-1) \quad (2.18)$$

$$g(k) = g(k-1) - T \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) \neq cmd(k-1) \quad \text{และ} \quad g(k) \geq T \quad (2.19)$$

$$g(k) = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) \neq cmd(k-1) \quad \text{และ} \quad g(k) < T \quad (2.20)$$

$g(k)$  คือขนาดของ Step Size ที่คาบเวลา  $k$

$T$  เป็นค่าคงที่ที่กำหนด

**MADM-PC**

มีอัลกอริทึมในการปรับ Step Size ดังนี้

$$g(k) = g(k-1) \times K \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) = cmd(k-1) \quad (2.21)$$

$$g(k) = g(k-1) / K \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) \neq cmd(k-1) \quad (2.22)$$

$g(k)$  คือขนาดของ Step Size ที่คาบเวลา  $k$   
 $K$  เป็นค่าคงที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1

แต่จากการจำลองแบบพบว่า วิธี AADM-PC และ MADM-PC แบบดั้งเดิม มีปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของ Step Size ดังนั้นจึงได้ทำการดัดแปลงบางส่วนของวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูละชันปรับค่าได้เป็นดังนี้

**AADM-PC**

มีอัลกอริทึมในการปรับ Step Size ดังนี้

$$g(k) = g(k-1) + T \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) = cmd(k-1) \quad (2.23)$$

$$g(k) = \text{Initial Step Size} \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) \neq cmd(k-1) \quad (2.24)$$

$g(k)$  คือขนาดของ Step Size ที่คาบเวลา  $k$   
 $\text{Initial Step Size}$  คือขนาดของ Step Size ที่คาบเวลาเริ่มต้น  
 $T$  เป็นค่าคงที่ที่กำหนด

**MADM-PC**

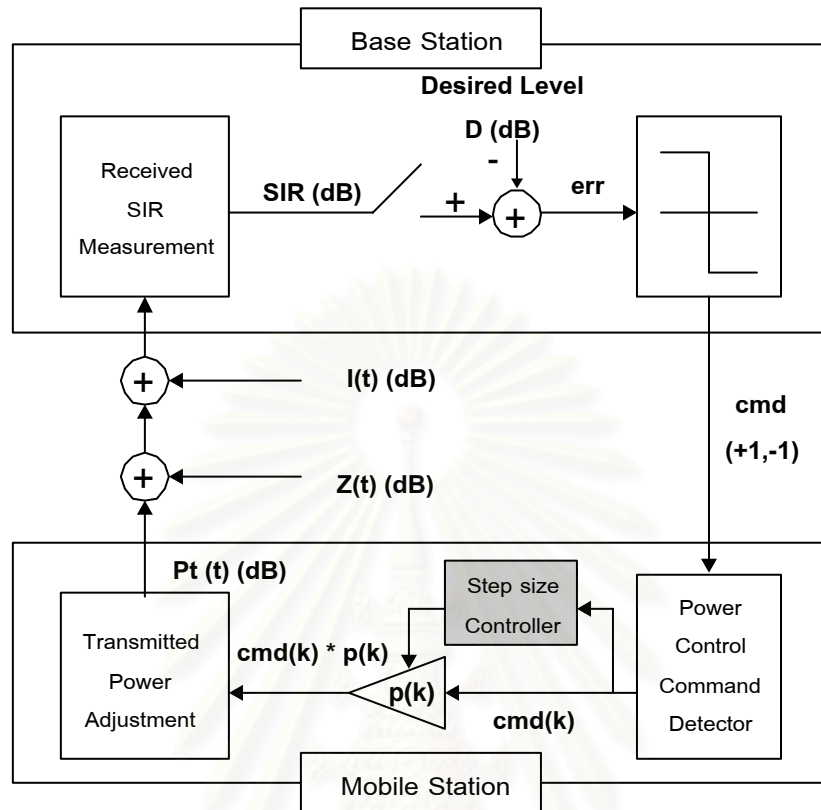
มีอัลกอริทึมในการปรับ Step Size ดังนี้

$$g(k) = g(k-1) \times K \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) = cmd(k-1) \quad (2.25)$$

$$g(k) = \text{Initial Step Size} \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) \neq cmd(k-1) \quad (2.26)$$

$g(k)$  คือขนาดของ Step Size ที่คาบเวลา  $k$   
 $\text{Initial Step Size}$  คือขนาดของ Step Size ที่คาบเวลาเริ่มต้น

K เป็นค่าคงที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1



รูปที่ 2.9 วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ [7]

2.2.5 วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง (Modified Adaptive Delta Modulation Power Control)

Szu-Link Su และ Shinn-Shyue Shieh [7] ได้เสนอวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง ซึ่งปรับปรุงมาจากวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ และพบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชัน คือมีค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำกว่าที่จำนวนผู้ใช้เท่ากัน แต่ใช้จำนวนบิตในการควบคุมเพียง 1 บิตเท่านั้น

ในแต่ละคาบของการควบคุม สถานีเคลื่อนที่จะทำการคำนวณ  $g(k)$  ตามหลักการเดียวกับวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ แต่จะมีหลักการในการปรับ Step Size ดังนี้

$$step\ size = g(k) \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) = 1 \quad \text{และ} \quad g(k) \geq 1.5 \tag{2.27}$$

$$step\ size = 1.5 \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) = 1 \quad \text{และ} \quad g(k) < 1.5 \tag{2.28}$$

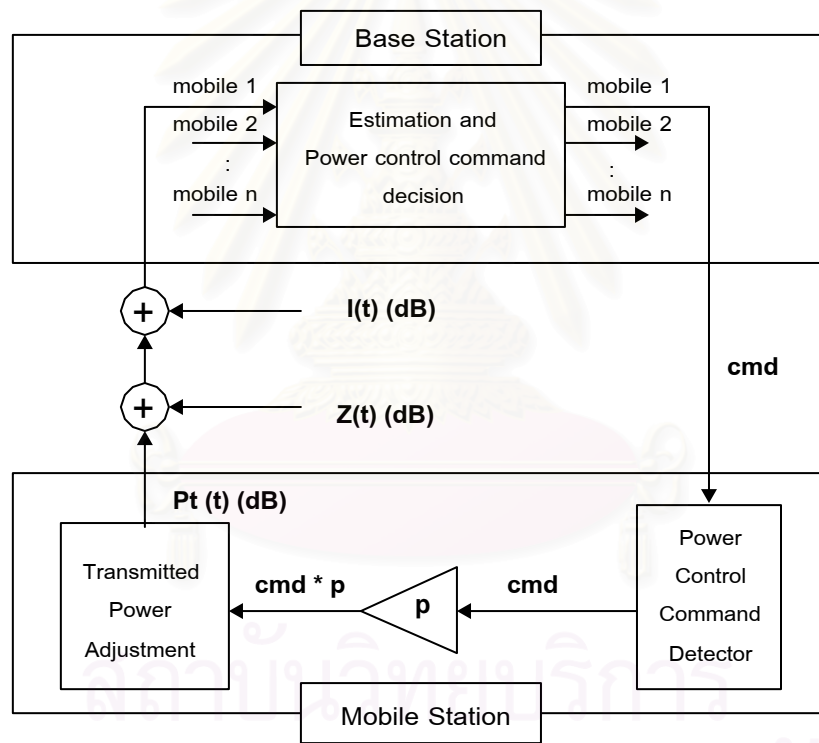


$$step\ size = -1.5 \quad \text{เมื่อ} \quad cmd(k) = -1 \tag{2.29}$$

$g(k)$  คือขนาดของ Step Size ที่คาบเวลา  $k$

2.2.6 วิธีการควบคุมกำลังวงปิดแบบอัจฉริยะ (Intelligent Closed-loop Power Control)

F.C.M. Lau และ W.M. Tam [8] ได้เสนอวิธี Intelligent Closed-loop Power Control ซึ่งเป็นการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับแบบ Fixed-step ที่ไม่ต้องใช้ค่า Desired Level ในการตัดสินใจ แต่จะใช้ข้อมูลของ Link gain ( $G$ ) ในปัจจุบันและคาบที่ผ่านมาในการประมาณค่า Link gain ในคาบถัดไปเพื่อนำไปคำนวณค่า SIR ในคาบถัดไป แล้วใช้กฎในการตัดสินใจในการหาค่า  $cmd$  ที่ใช้ปรับกำลังส่ง รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการควบคุมกำลังวงปิดแบบอัจฉริยะ



รูปที่ 2.10 วิธีการควบคุมกำลังวงปิดแบบอัจฉริยะ [8]

ในการประมาณค่า Link gain ( $G_i$ ) ในคาบถัดไปจะกระทำโดยใช้สมการกำลังสอง

$$G_i^{(n+1)} = a_0 + a_1(k+1) + a_2(k+1)^2 \tag{2.30}$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์  $a_0, a_1, a_2$  สามารถประมาณได้จาก

$$G_i^{(n)} = a_0 + a_1(k) + a_2(k)^2 \quad (2.31)$$

$$G_i^{(n-1)} = a_0 + a_1(k-1) + a_2(k-1)^2 \quad (2.32)$$

: :

$$G_i^{(n-k+1)} = a_0 + a_1(1) + a_2(1)^2 \quad (2.33)$$

$i$  มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3 ...,  $N$  ( $N$  คือจำนวนผู้ใช้ในเซลล์)

$n$  คือคาบเวลาในปัจจุบัน

$k$  คือจำนวนคาบที่ใช้ในการประมาณค่า

เนื่องจากสถานีเคลื่อนที่สามารถเพิ่มหรือลดกำลังได้ครั้งละ 1 dB ดังนั้นจึงมีเซตของ power control command (cmd)  $2^N$  เซตที่เป็นไปได้สำหรับผู้ใช้  $N$  คน สำหรับเซตของ cmd แต่ละเซตจะสามารถคำนวณค่ากำลังของผู้ใช้ทั้ง  $N$  คน  $Pt_i^{(n+1)}$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) สำหรับคาบการควบคุมถัดไปได้ ค่า  $SIR_i^{(n+1)}$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) สามารถคำนวณได้จาก  $Pt_i^{(n+1)}$  และ  $G_i^{(n+1)}$  จากค่า  $SIR_i^{(n+1)}$  สถานีฐานทำการเลือกเซตของ cmd ที่เหมาะสมได้ตามกฎการตัดสินใจดังนี้

Rule 1 : ถ้า  $SIR_i^{(n+1)} \geq SIR_{req}$  for  $i = 1, 2, \dots, N$  แล้วคำนวณค่า

$$d = \sum_{k=1}^N (SIR_k^{(n+1)} - SIR_{req})^2 \text{ เลือกเซตของ cmd ที่มีค่า } d \text{ น้อยที่สุดจาก } 2^N \text{ เซต}$$

Rule 2 : หาค่า  $d = (SIR_i^{(n+1)})_{\max}$  for  $i = 1, 2, \dots, N$  แล้วเลือกเซตของ cmd ที่มีค่า  $d$  น้อยที่สุดจาก  $2^N$  เซต

Rule 3 : หาค่า  $d = (SIR_i^{(n+1)})_{\min}$  for  $i = 1, 2, \dots, N$  แล้วเลือกเซตของ cmd ที่มีค่า  $d$  มากที่สุดจาก  $2^N$  เซต

Rule 4 : หาค่า  $(SIR_i^{(n+1)})_{\max 1}, (SIR_i^{(n+1)})_{\max 2}$  for  $i = 1, 2, \dots, N$  แล้วคำนวณค่า

$$d = (SIR_i^{(n+1)})_{\max 1} + (SIR_i^{(n+1)})_{\max 2} \text{ เลือกเซตของ cmd ที่มีค่า } d \text{ น้อยที่สุดจาก } 2^N \text{ เซต}$$

Rule 5 : หาค่า  $(SIR_i^{(n+1)})_{\min 1}, (SIR_i^{(n+1)})_{\min 2}$  for  $i = 1, 2, \dots, N$  แล้วคำนวณค่า

$$d = (SIR_i^{(n+1)})_{\min 1} + (SIR_i^{(n+1)})_{\min 2} \text{ เลือกเซตของ cmd ที่มีค่า } d \text{ มากที่สุดจาก } 2^N \text{ เซต}$$

- $SIR_{req}$  คือค่า SIR ต่ำสุดที่ยอมรับได้

โดยจากผลการจำลองแบบพบว่า Rule 3 จะให้ผลดีที่สุด [8]

วิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการลดค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายดีกว่า

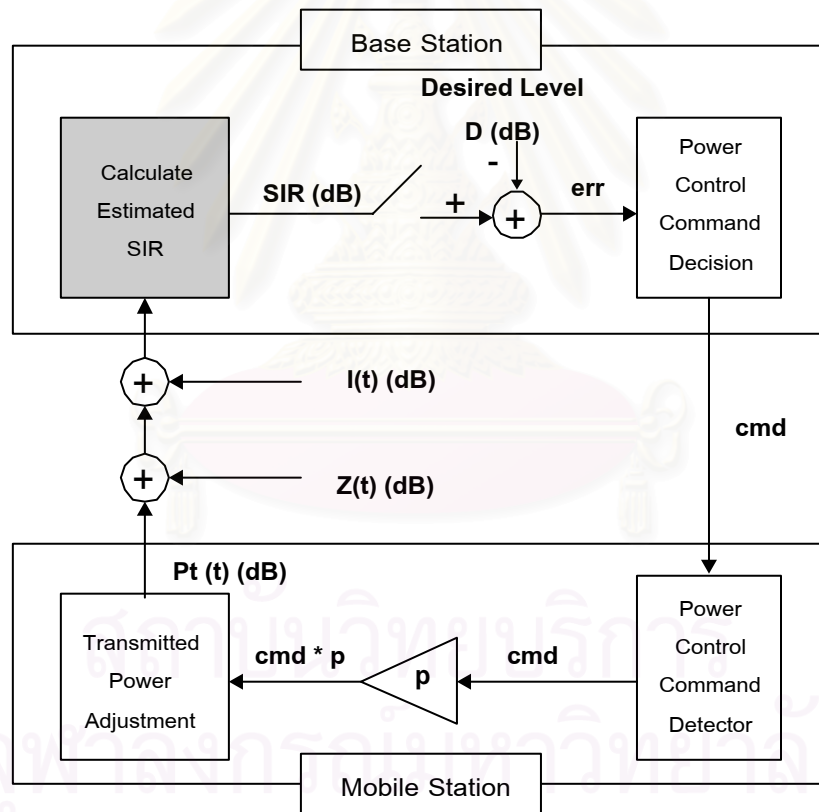
วิธีการควบคุมกำลังแบบเดิมที่ใส่ค่า Desired Level ในการตัดสินใจ แต่มีข้อเสียคือมีการคำนวณ

ที่ยุ่งยากและมากกว่าการควบคุมกำลังแบบเดิม โดยเฉพาะเมื่อมีจำนวนผู้ใช้มากเพราะจะต้องพิจารณาเซตของ cmd จำนวนถึง  $2^N$  เซตเมื่อมีผู้ใช้ N คน

### 2.3 วิธีการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับที่นำเสนอ

#### 2.3.1 วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน + การประมาณค่า Link gain (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1)

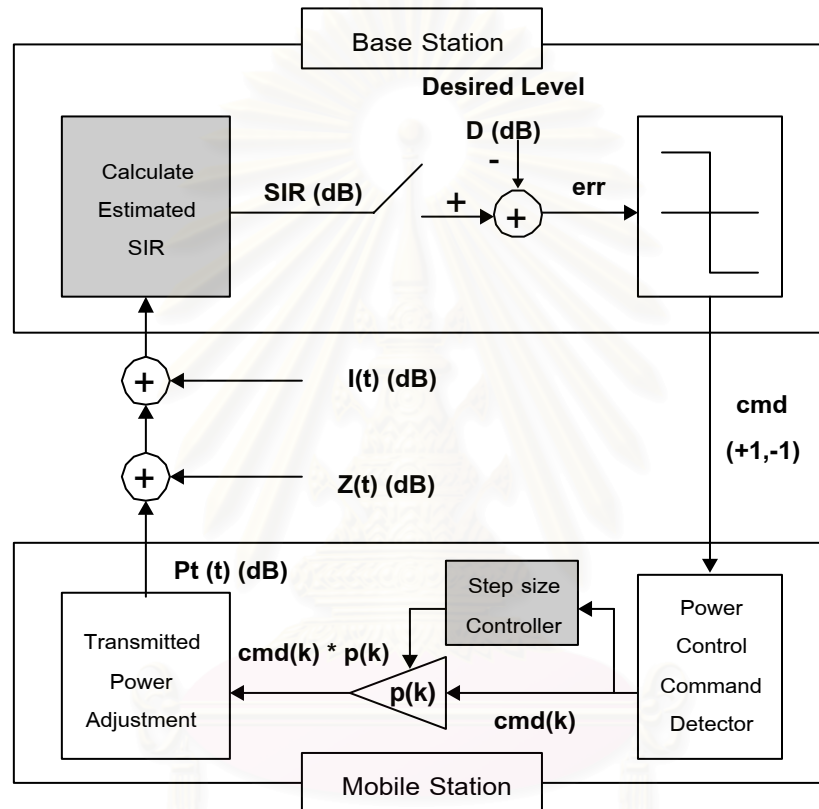
ทำการปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชันในส่วนของการเปรียบเทียบค่า SIR โดยในการเปรียบเทียบค่า SIR กับ Desired Level นั้นจะใช้ค่า SIR ในคาบถัดไปที่คำนวณได้จากค่า Link gain ในคาบถัดไปซึ่งได้จากการประมาณค่าโดยใช้สมการกำลังสองเหมือนวิธีการควบคุมกำลังวงปิดแบบอัจฉริยะ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1

### 2.3.2 วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + การประมาณค่า Link gain (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2)

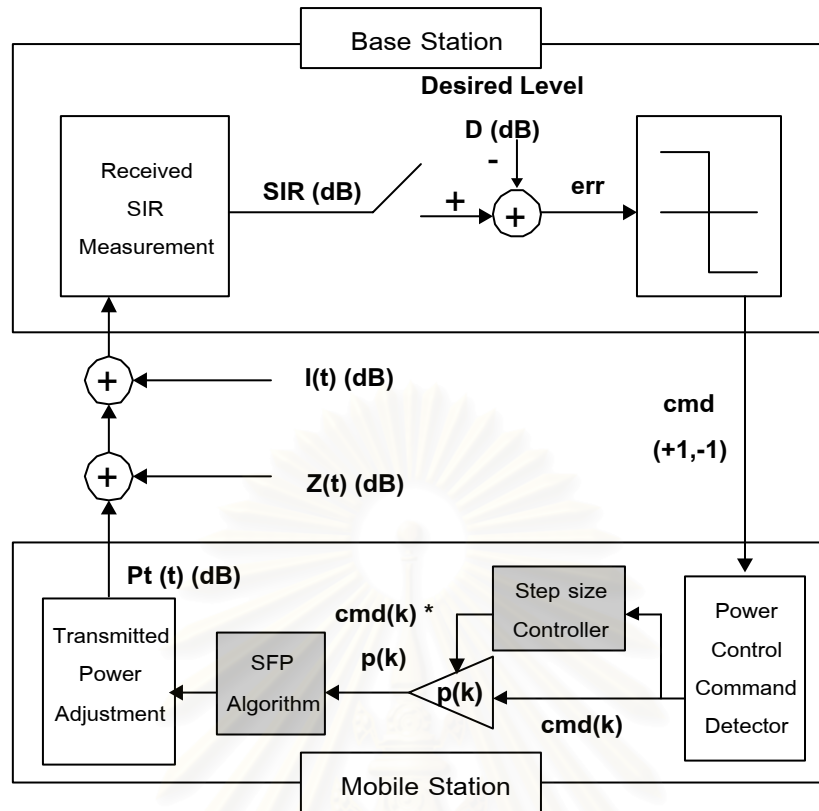
ทำการปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงใน ส่วนของการเปรียบเทียบค่า SIR โดยในการเปรียบเทียบค่า SIR กับ Desired Level นั้นจะใช้ค่า SIR ในคาบถัดไปที่คำนวณได้จากค่า Link gain ในคาบถัดไปซึ่งได้จากการประมาณค่าโดยใช้ สมการกำลังสองเหมือนวิธีการควบคุมกำลังวงปิดแบบอัจฉริยะ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2

### 2.3.3 วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + การเพิ่มอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3)

ทำการปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงโดย นำอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้นของการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงไปหน้ามา ประยุกต์ใช้กับการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

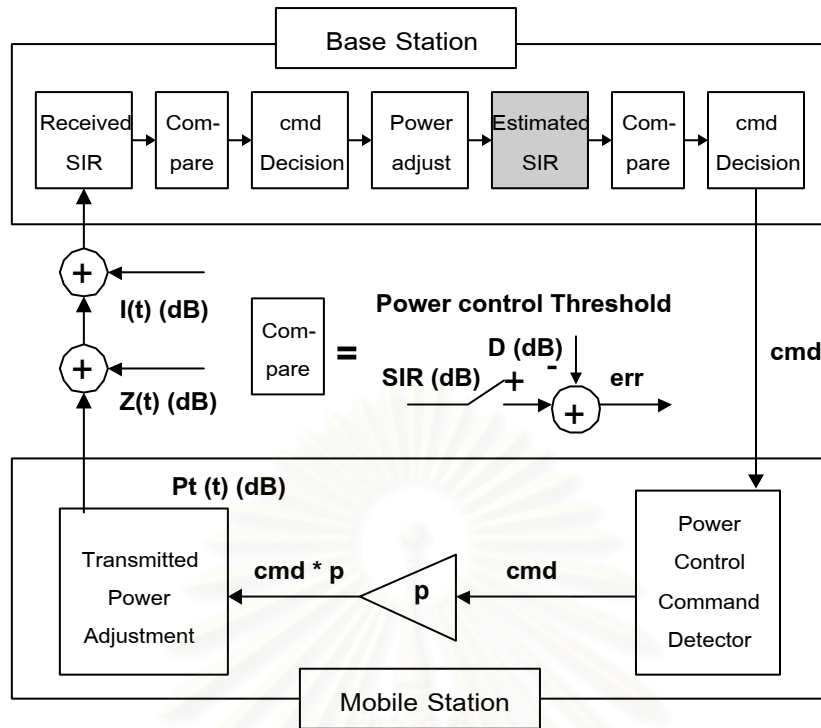


รูปที่ 2.13 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3

2.3.4 วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน + การประมาณค่า Link gain (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง))

วิธีการนี้มาจากแนวคิดที่ว่า ค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ที่นำมาใช้ร่วมกับ Link gain ซึ่งได้จากการประมาณค่าในการคำนวณค่า SIR ในคาบถัดไปควรจะเป็นค่ากำลังส่งในคาบถัดไปด้วยเช่นกัน วิธีการนี้จะทำการปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ในส่วนของการเปรียบเทียบค่า SIR โดยจะทำการเปรียบเทียบค่า SIR กับ Desired Level 2 ครั้ง เริ่มจากทำการเปรียบเทียบค่า SIR ที่วัดได้ตามปกติกับ Desired Level จากนั้นจึงนำค่า cmd ที่ได้มาคำนวณค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ในคาบถัดไป แล้วนำค่ากำลังในคาบถัดไปและค่า Link gain ซึ่งได้จากการประมาณค่ามาทำการคำนวณค่า SIR ในคาบถัดไป แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ Desired Level อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงส่งค่า cmd ที่ได้ไปยังสถานีเคลื่อนที่เพื่อปรับกำลังส่งต่อไป ดังแสดงในรูปที่

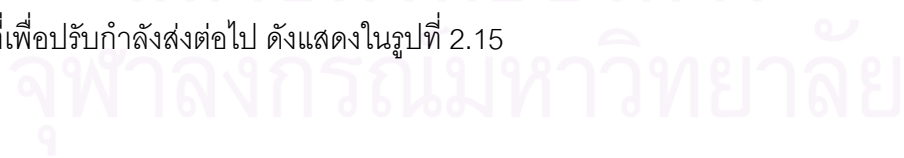
2.14

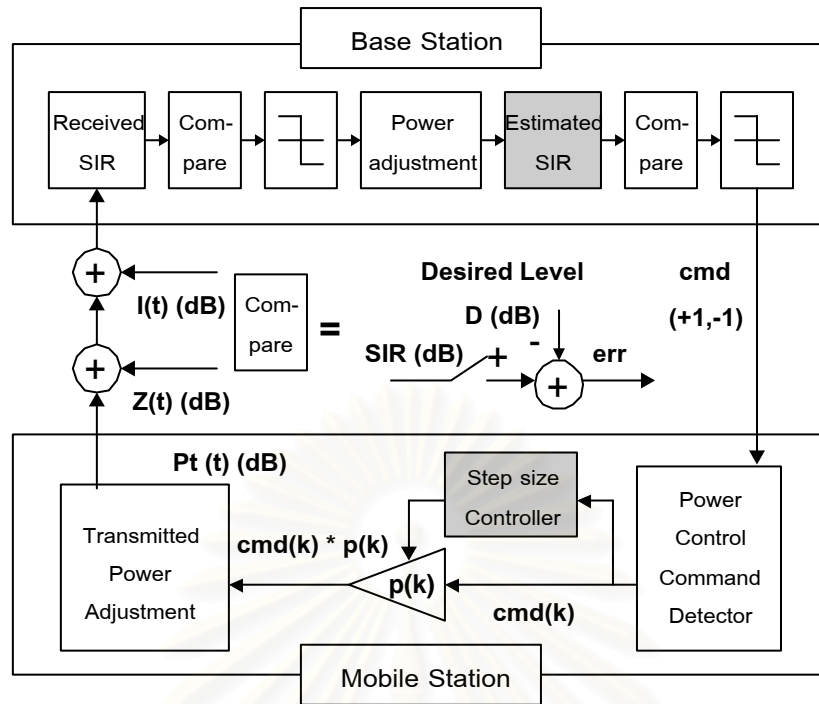


รูปที่ 2.14 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง)

2.3.5 วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการตัดแปลง + การประมาณค่า Link gain (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 (ปรับปรุง))

วิธีการนี้มาจากแนวคิดเช่นเดียวกับวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง) ซึ่งจะปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ในส่วนของการเปรียบเทียบค่า SIR โดยจะเปรียบเทียบค่า SIR กับ Desired Level 2 ครั้ง เริ่มจากเปรียบเทียบค่า SIR ที่วัดได้ตามปกติกับ Desired Level จากนั้นจึงนำค่า cmd ที่ได้มาคำนวณค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ในคาบถัดไป แล้วนำค่ากำลังในคาบถัดไปและค่า Link gain ซึ่งได้จากการประมาณค่ามาคำนวณค่า SIR ในคาบถัดไป แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ Desired Level อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงส่งค่า cmd ที่ได้ไปยังสถานีเคลื่อนที่เพื่อปรับกำลังส่งต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.15





รูปที่ 2.15 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 (ปรับปรุง)

## บทที่ 3

### แบบจำลองและวิธีการจำลองแบบ

#### 3.1 ข้อกำหนดของการจำลองแบบ

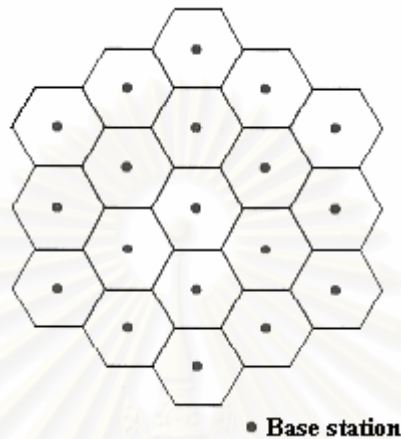
ใช้แบบจำลองที่ประกอบด้วย 19 เซลล์ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยจะพิจารณาเฉพาะในทิศทางของชายเชื่อมโยงย้อนกลับและถือว่าแต่ละเซลล์มีลักษณะเหมือนกันและถูกห่อหุ้มเข้าด้วยกันเพื่อไม่ให้มีปัญหาเรื่องเซลล์ที่ขอบ โดยสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์มีจำนวนเท่ากัน คุณสมบัติของ reverse-link เป็นอิสระต่อกันและเหมือนกันในทุกเซลล์ ดังนั้นการควบคุมและสมรรถนะของทุกเซลล์ถูกพิจารณาให้เหมือนกับเซลล์กลาง (central cell) [4] ได้ มีข้อกำหนดดังนี้

1. ในการจำลองแบบ จะพิจารณาเฉพาะการควบคุมกำลังของเซลล์กลางเท่านั้น
2. สมมติให้กำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง (External interference) มีค่าเท่ากันหมดสำหรับทุกเซลล์ที่พิจารณาและเท่ากันกับกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงในกรณีนี้ที่พิจารณาเซลล์กลาง
3. ในการจำลองแต่ละครั้งจะกำหนดให้ตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ทั้ง 19 เซลล์มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (uniformly distributed) เพื่อทำการหาค่าเริ่มต้นของ Long-term fading สมมติว่าสถานีเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ภายในบริเวณที่เล็กมาก เปรียบเสมือนอยู่กับที่ จึงถือว่า Long-term fading มีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่ทำการจำลองแบบ ให้ความเร็วสถานีเคลื่อนที่ที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 6 ถึง 60 กม./ชม., ความถี่กลางที่ใช้ในการส่งสัญญาณมีค่าเท่ากับ 900 MHz, คาบเวลาของการควบคุม  $T_d = 2$  ms ดังนั้นความถี่ Doppler ที่ถูก normalize ด้วยคาบเวลาของการควบคุม  $f_d T_d = \frac{F_0 \times V}{C} T_d$  จะมีค่าอยู่ในช่วง [0.01, 0.1] [4]
4. ปรับกำลังของสถานีเคลื่อนที่พร้อมๆ กันในแต่ละคาบของการควบคุม กำลังเริ่มต้นของสถานีเคลื่อนที่พิจารณาจาก Long-term fading เมื่อกำหนดให้กำลังที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีค่าเท่ากัน
5. รัศมีเซลล์ 1 กิโลเมตร
6. ไม่พิจารณาผลของ Soft handoff, Voice activity และ Antenna sectorization ในการจำลองแบบ
7. ในการจำลองแบบแต่ละครั้งจะใช้จำนวนรอบในการควบคุม 500 รอบ โดย 100 รอบแรกใช้ในการปรับให้การควบคุมกำลังเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว และจะหา Outage



Probability ใน 400 รอบของการควบคุมถัดไป ทำการจำลองแบบทั้งหมด 50 ครั้ง แล้วหาค่า Outage Probability เฉลี่ย [4]

8. สถานีฐานและสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องใช้สายอากาศส่งสัญญาณแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna)



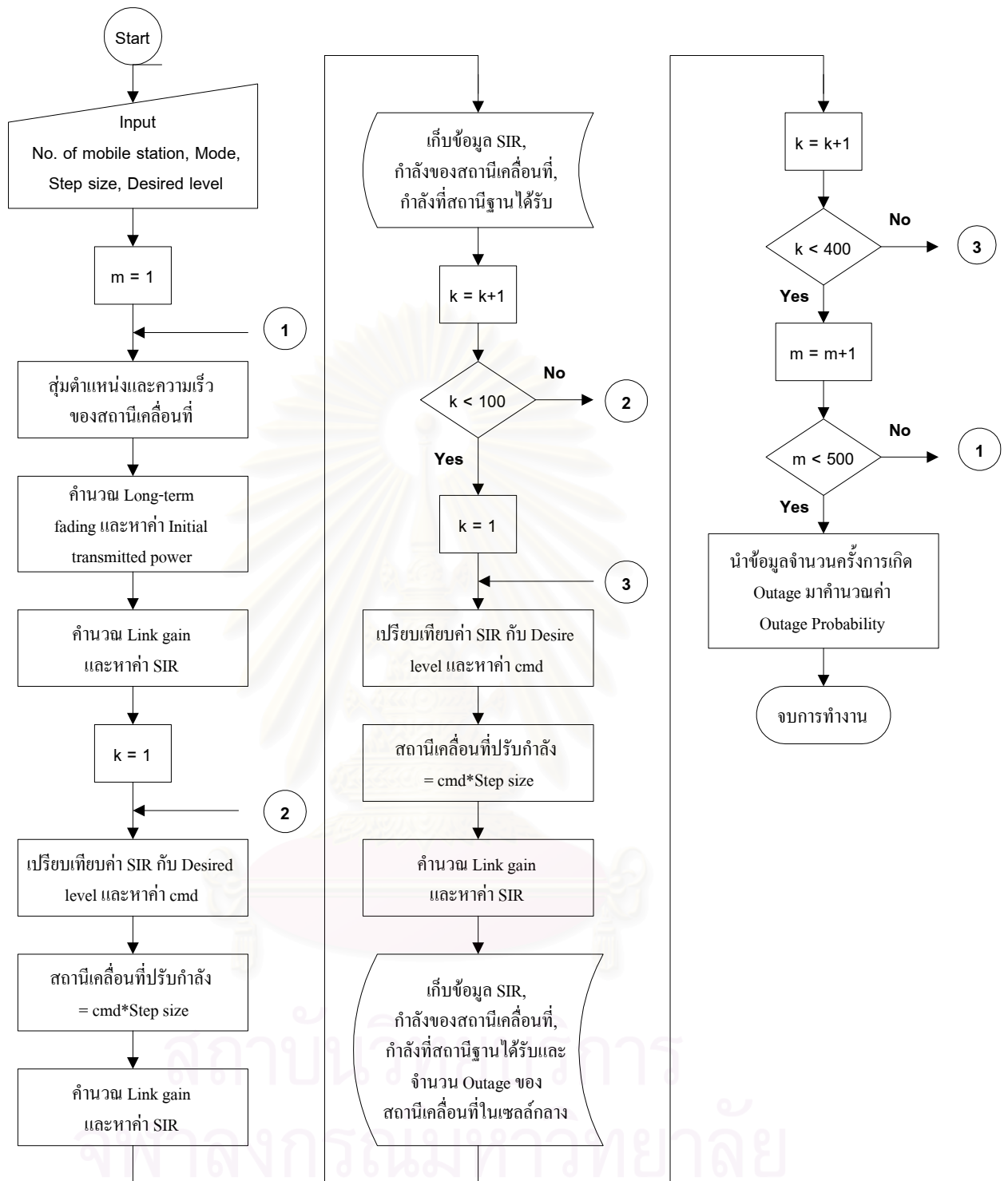
รูปที่ 3.1 แบบจำลองของระบบเซลลูลาร์ที่ใช้ในการจำลองแบบ มีทั้งหมด 19 เซลล์

### 3.2 วิธีจำลองแบบของการควบคุมกำลัง

ในการจำลองแบบโดยคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมภาษา C

ผลที่ได้ในการจำลองแบบนี้มีอยู่ 5 อย่างด้วยกันคือ

1. ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ จำนวนสถานีเคลื่อนที่, Desired Level, Step Size, โมดการควบคุม, ตัวแปร weight ของวิธีการควบคุมกำลังที่ใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น และตัวแปร T, K ของการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงแบบบวกและแบบคูณ
  2. ค่า SIR ที่ทุกๆ รอบของการควบคุม
  3. ค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ที่ทุกๆ รอบของการควบคุม
  4. ค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับที่ทุกๆ รอบของการควบคุม
  5. ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบ
- ผลที่ได้นี้จะนำเสนอในบทที่ 4 ต่อไป



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน

รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน เพื่อเก็บผลการจำลองแบบที่ต้องการ โดยจะจำลองแบบ 50 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะใช้

จำนวนรอบในการควบคุม 500 รอบ โดย 100 รอบแรกใช้ในการปรับให้การควบคุมกำลังเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว และจะทำการหา Outage Probability ใน 400 รอบของการควบคุมถัดไป สำหรับขั้นตอนการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ จะมีขั้นตอนหลักเช่นเดียวกันกับวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงในบางส่วนตามที่แสดงใน Block diagram ของวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ ในบทที่ 2

ในการจำลองแบบนี้จะทำการเปรียบเทียบผลของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง) กับวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์-โคดมอดูเลชัน และทำการเปรียบเทียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2, วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 (ปรับปรุง) กับวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง

### 3.3 การนำเสนอผลการจำลองแบบ

ในการนำเสนอจะนำผลการจำลองแบบมานำเสนอในรูปของกราฟและวิเคราะห์ผล ซึ่งจะแสดงไว้ในบทที่ 4 โดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

1. กราฟแสดงค่า SIR เทียบกับจำนวนรอบของการควบคุม
2. กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่เทียบกับจำนวนรอบของการควบคุม
3. กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับจำนวนรอบของการควบคุม
4. กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level และจำนวนสถานีเคลื่อนที่
5. กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับขนาด Step Size และโมดการควบคุม
6. กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่
7. กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่
8. ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธีการควบคุมกำลังที่ใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น
9. ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC
10. ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC

11. ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร T ของวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงแบบบวก
12. ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงแบบคูณ
13. ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC
14. ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC

ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการจำลองแบบโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือผลการจำลองแบบของแบบจำลอง 19 เซลล์, ผลการจำลองแบบของแบบจำลอง 1 เซลล์และผลการจำลองแบบของแบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อมีการกำหนดขอบเขตของกำลังสูงสุดและต่ำสุดของสถานีเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังทำการจำลองแบบกับแบบจำลอง 1 เซลล์โดยใช้แบบจำลองแบบสุ่มในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้แบบจำลองของ Jakes ในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี

### 3.4 การทดสอบความถูกต้องของการจำลองแบบ

ในการจำลองแบบของการควบคุมกำลัง ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อกำหนดของการจำลองแบบโดยเปรียบเทียบผลการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชันที่ได้กับผลดั้งเดิมที่เสนอใน [4] ก่อน และจะเปรียบเทียบผลความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ จำนวนสถานีเคลื่อนที่, Desired Level, Step Size และโมดการควบคุม

#### 3.4.1 การทดสอบความถูกต้องของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level และจำนวนสถานีเคลื่อนที่

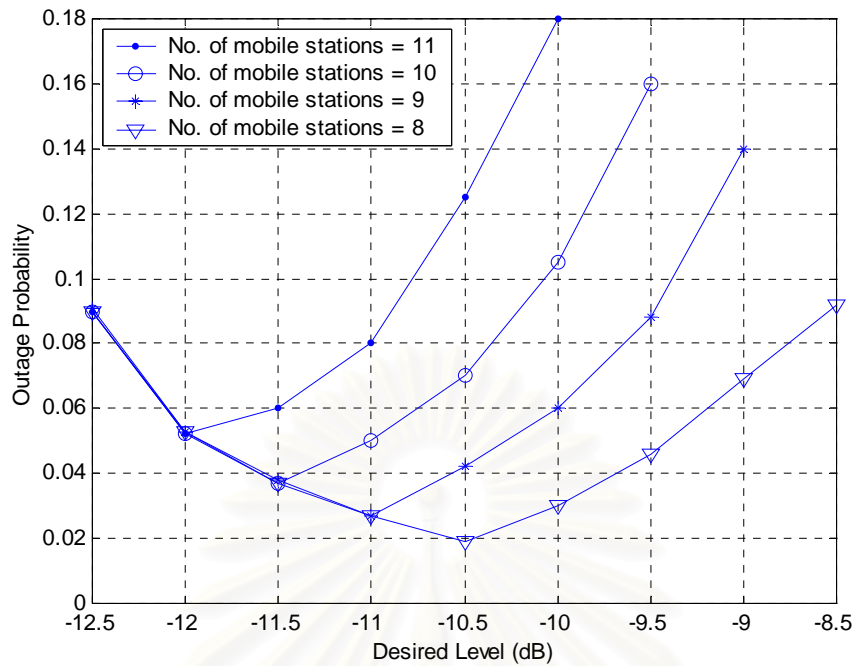
ทำการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชันของแบบจำลอง 19 เซลล์ โดยกำหนดให้ Step Size = 1.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 3$

รูปที่ 3.3 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จากการจำลองแบบเทียบกับ Desired Level ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน และรูปที่ 3.4 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จาก [4] เทียบกับ Desired Level ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน พบว่าผลที่ได้จากการจำลองแบบและผลที่ได้จาก [4] มีแนวโน้มคล้ายกันคือ ความน่าจะเป็นที่จะ

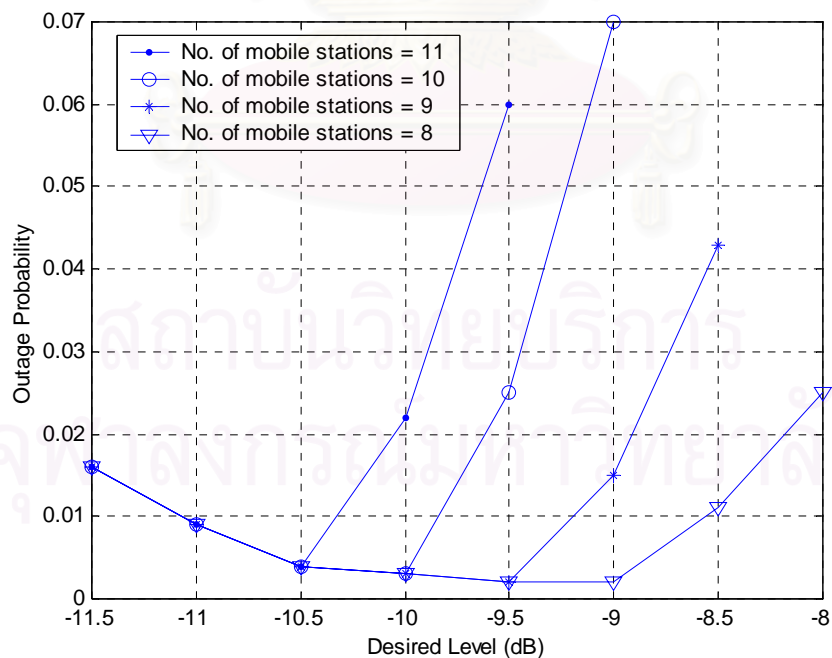
เกิดสัญญาณขาดหายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Desired Level มีค่ามากขึ้นและมีค่าน้อยเกินไป โดยความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ Desired Level มีค่ามากขึ้น และจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ผลที่ได้จากการจำลองแบบมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสูงกว่าผลที่ได้จาก [4] คาดว่าเป็นผลเนื่องจากใน [4] ใช้สายอากาศแบบ 2 branch diversity และกำหนดให้สายอากาศแต่ละตัวรับสัญญาณจาก 2 เส้นทางโดยสัญญาณที่ได้รับจะมีการแจกแจงแบบ Nakagami-2 ( $m=2$ ) แล้วนำมาคำนวณค่า SIR จากนั้นจึงเลือกค่า SIR ที่ดีที่สุดจากสายอากาศแบบ 2 branch diversity แต่ในแบบจำลองที่ใช้จะใช้สายอากาศเพียง 1 ตัว และรับสัญญาณจาก 8 เส้นทางโดยสัญญาณที่ได้รับจะมีการแจกแจงแบบ Nakagami-1 ( $m=1$ , เรย์ลี) จึงทำให้ได้รับผลกระทบจากเฟดดิ้งพหุวิถีมากกว่า นอกจากนี้ยังอาจมีสาเหตุมาจากผลของค่าพารามิเตอร์บางตัวที่ต่างกันซึ่งไม่ได้กำหนดไว้ใน [4] เช่น กำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับ ตอนเริ่มต้นการจำลองแบบหรือรัศมีของเซลล์ ซึ่งอาจมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จากการจำลองแบบเทียบกับ Desired Level ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน



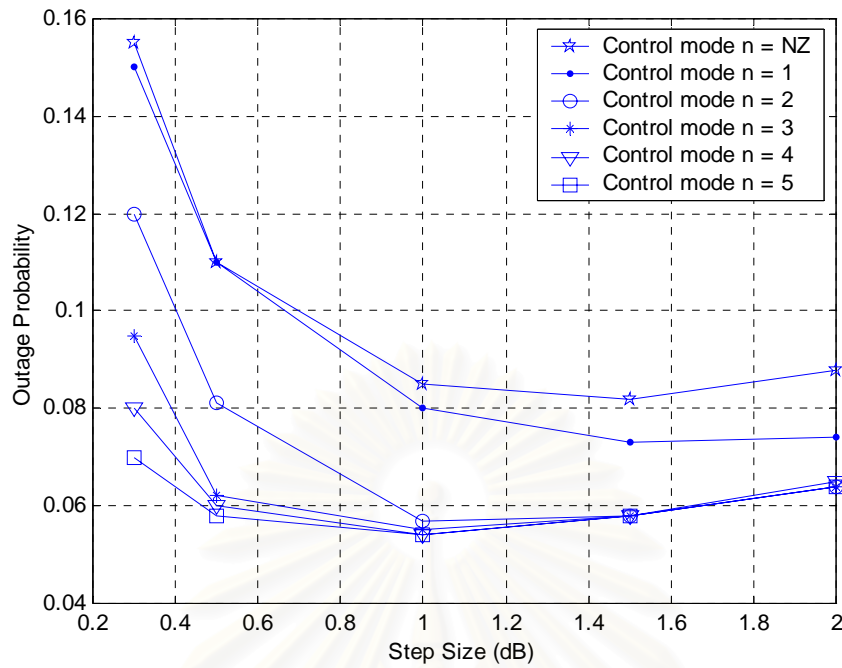
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จาก [4] เทียบกับ Desired Level ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน

### 3.4.2 การทดสอบความถูกต้องของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size และโมดการควบคุม

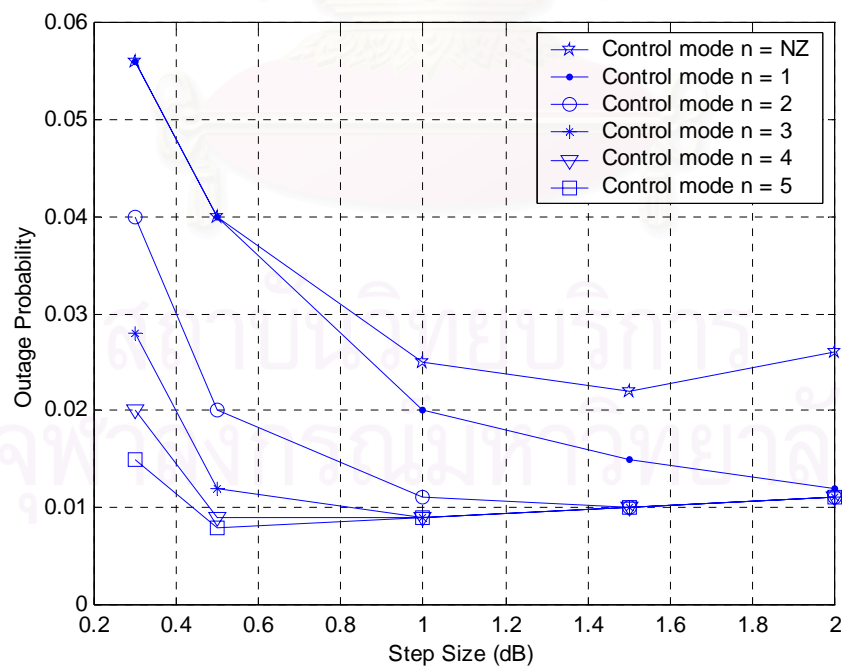
ทำการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน กำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่  $N = 8$  เครื่อง, Desired Level = -11 dB

รูปที่ 3.5 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จากการจำลองแบบเทียบกับ Step Size ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน และรูปที่ 3.6 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จาก [4] เทียบกับ Step Size ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน โดยโมดการควบคุม NZ คือโหมดการควบคุมที่  $cmd = \{+1, -1\}$  ซึ่งก็คือวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชัน พบว่าผลที่ได้จากการจำลองแบบและผลที่ได้จาก [4] มีแนวโน้มคล้ายกันคือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าลดลงเมื่อโมดที่ใช้ในการควบคุม  $n$  มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อโมดการควบคุม  $n$  มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว นั่นคือความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายแทบจะไม่ลดลงอีก และที่โมดการควบคุม  $n$  ค่าหนึ่งๆ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าลดลงเมื่อ Step Size มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกถ้า Step Size มีค่าสูงเกินไป อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการจำลองแบบมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสูงกว่าผลที่ได้จาก [4] คาดว่าเป็นผลเนื่องจากใน [4] ใช้สายอากาศแบบ 2 branch diversity และกำหนดให้สายอากาศแต่ละตัวรับสัญญาณจาก 2 เส้นทางโดยสัญญาณที่ได้รับจะมีการแจกแจงแบบ Nakagami-2 ( $m=2$ ) แล้วนำมาคำนวณค่า SIR จากนั้นจึงเลือกค่า SIR ที่ดีที่สุดจากสายอากาศแบบ 2 branch diversity แต่ในแบบจำลองที่ใช้จะใช้สายอากาศเพียง 1 ตัวและรับสัญญาณจาก 8 เส้นทางโดยสัญญาณที่ได้รับจะมีการแจกแจงแบบ Nakagami-1 ( $m=1$ , เรย์ลี) จึงทำให้ได้รับผลกระทบจากเฟดดิ้งพหุวิถีมากกว่า นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากผลของค่าพารามิเตอร์บางตัวที่ต่างกันซึ่งไม่ได้กำหนดไว้ใน [4] เช่น กำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับตอนเริ่มต้นการจำลองแบบหรือรัศมีของเซลล์ ซึ่งอาจมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จากการจำลองแบบเทียบกับ Step Size ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ได้จาก [4] เทียบกับ Step Size ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน



## บทที่ 4

### ผลการจำลองแบบและวิเคราะห์ผลการจำลองแบบ

#### 4.1 อธิบายคำย่อ

- วิธี PCM PC คือ วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน (SIR-based Pulse-Code-Modulation (PCM) Power Control)
- วิธี SFP PC คือ วิธีการควบคุมกำลังที่ใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term Fading Prediction-based Power Control)
- วิธี DM PC คือ วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชัน (Delta Modulation Power Control)
- วิธี M-ADM PC คือวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง (Modified Adaptive Delta Modulation Power Control)
- วิธี M-AADM PC คือ การควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงแบบบวก (Modified Additive Adaptive Delta Modulation Power Control )
- วิธี M-MADM PC คือ การควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงแบบคูณ (Modified Multiplicative Adaptive Delta Modulation Power Control )
- วิธี PCM PC + LE1 คือ วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน + การประมาณค่า Link gain (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1)
- วิธี M-ADM PC + LE1 คือ วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + การประมาณค่า Link gain (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2)
- วิธี M-ADM PC + SFP คือ วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งระยะสั้น (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3)
- วิธี PCM PC + LE2 คือ วิธีการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR แบบพัลส์โคดมอดูเลชัน + การประมาณค่า Link gain (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง))
- วิธี M-ADM PC + LE2 คือ วิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลง + การประมาณค่า Link gain (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 (ปรับปรุง))
- ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย (Outage Probability) คือ
 
$$\frac{\text{จำนวนรอบที่ SIR ที่ได้รับ} < \text{SIR ต่ำสุดที่ยอมรับได้}}{\text{จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการจำลองแบบ}}$$

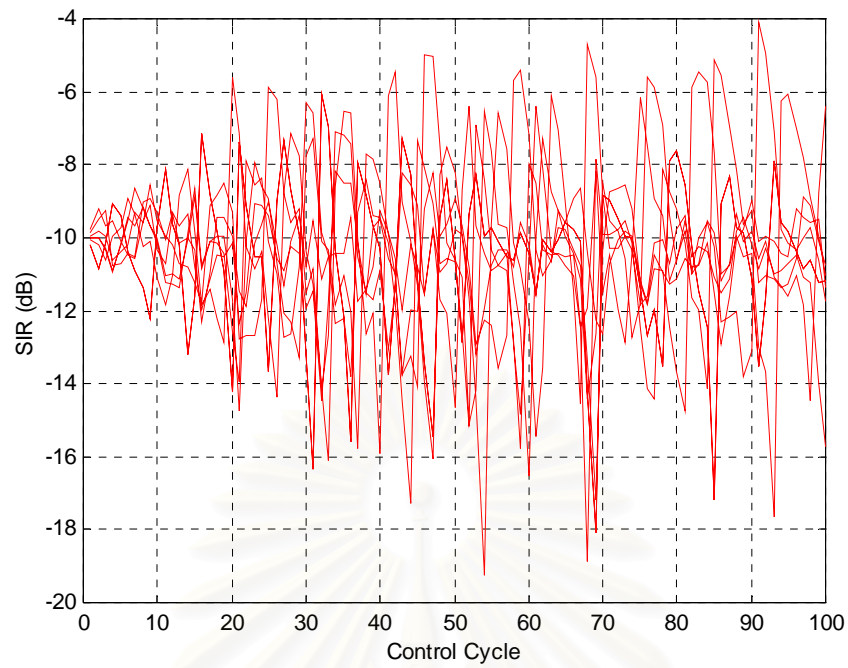
## 4.2 ผลการจำลองแบบของการควบคุมกำลังโดยใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

### 4.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม

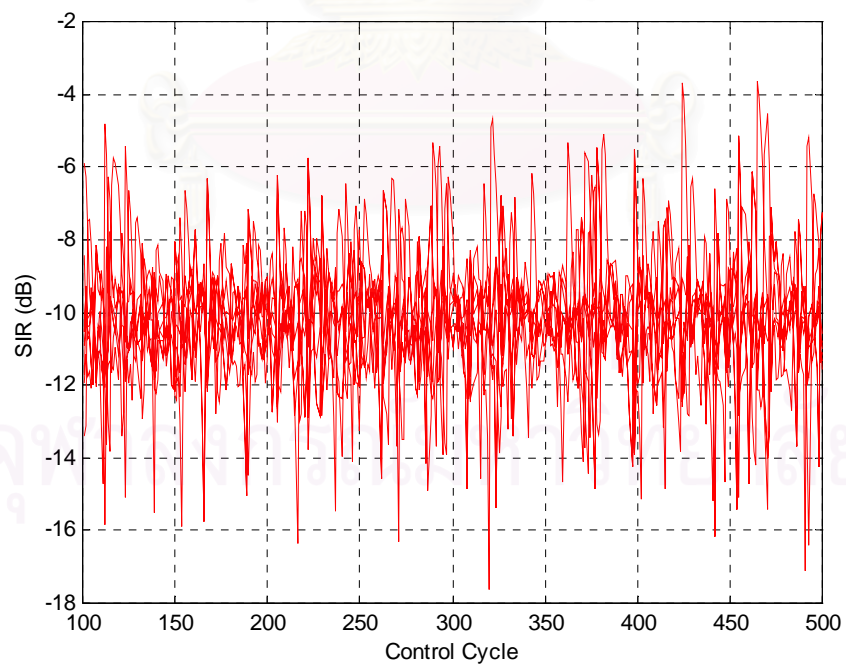
ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์  $N = 8$  สถานี, Desired Level = -11 และ -8 dB, Step Size = 1.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 3$  โดยใช้จำนวนรอบในการควบคุม 100 รอบแรกเพื่อปรับให้การควบคุมกำลังเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว



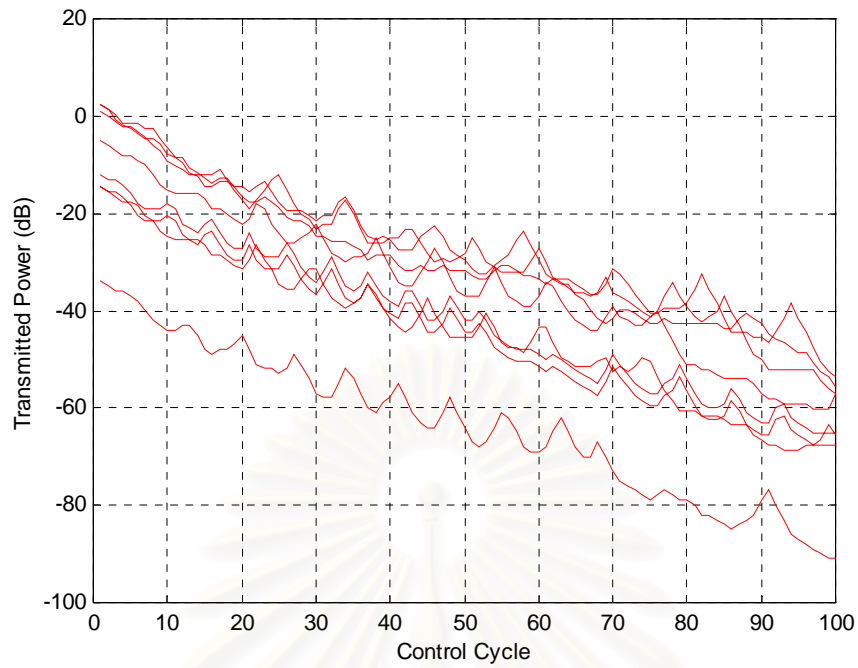
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



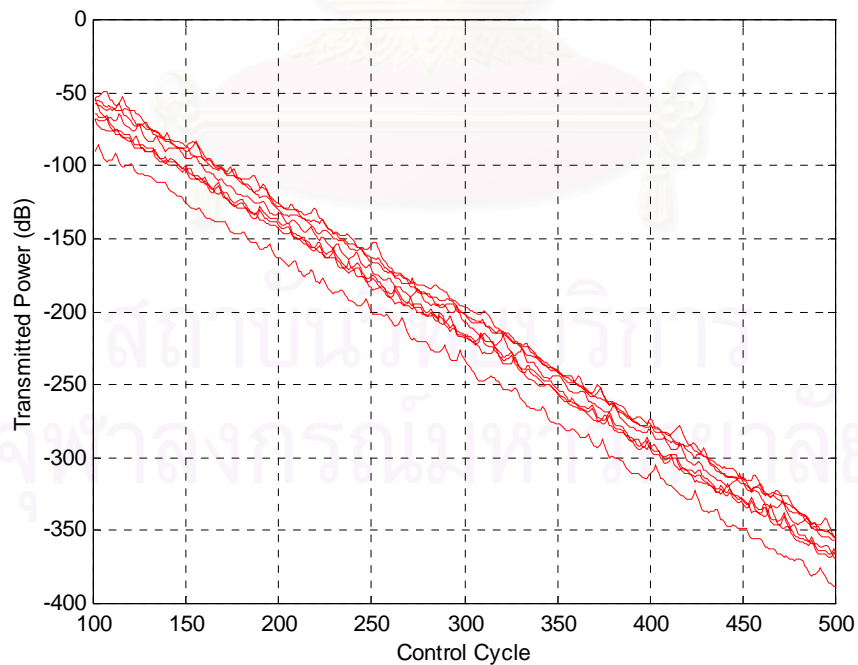
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB



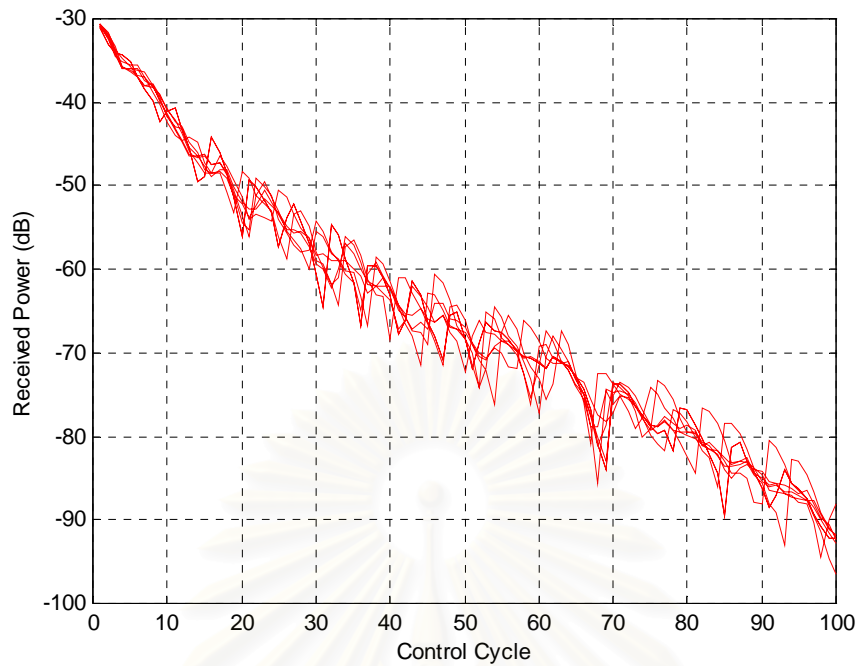
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB



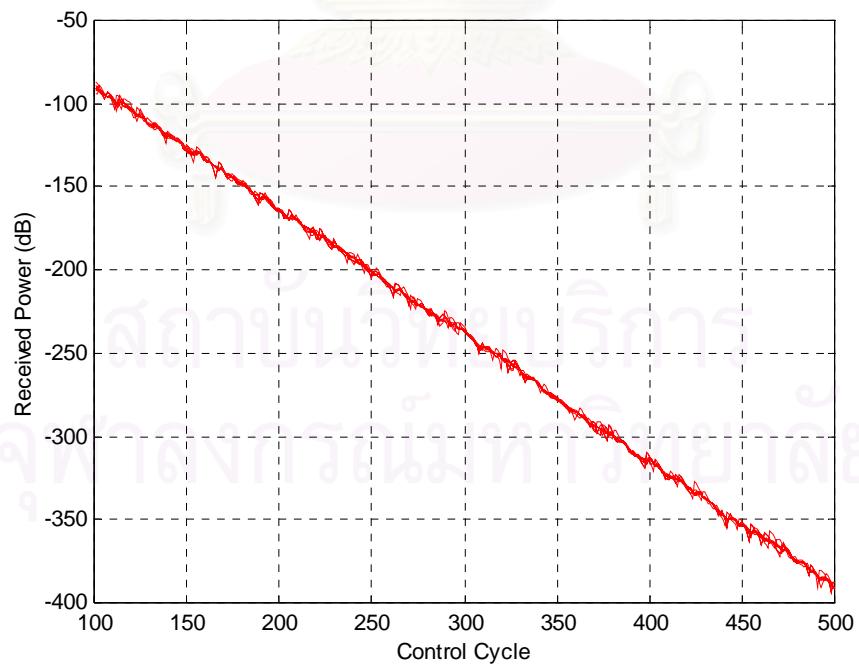
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB



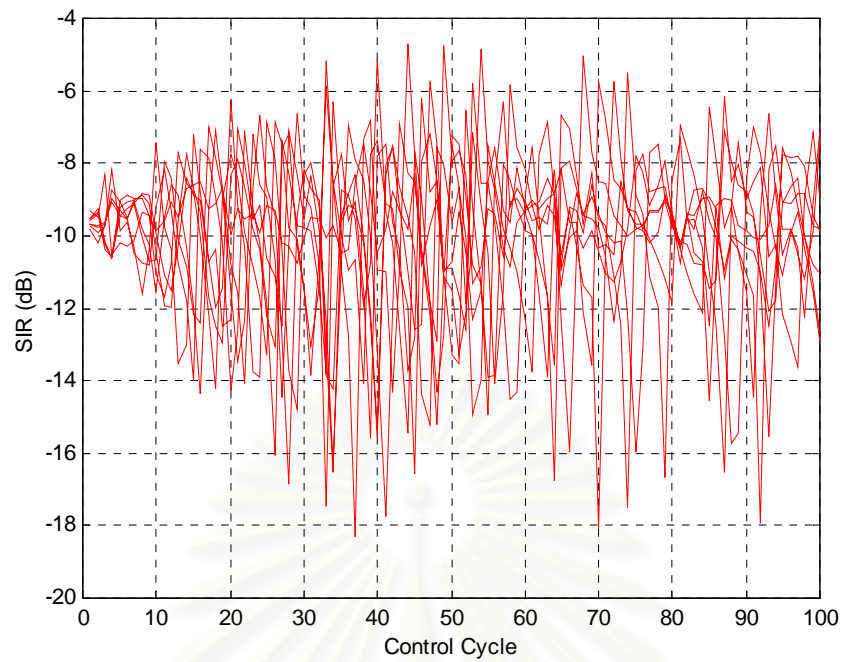
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB



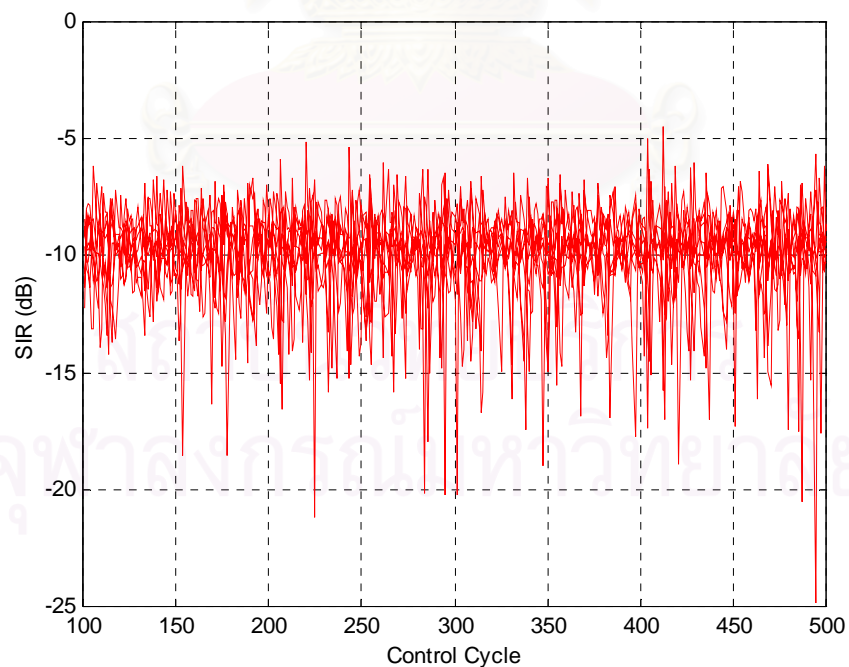
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB



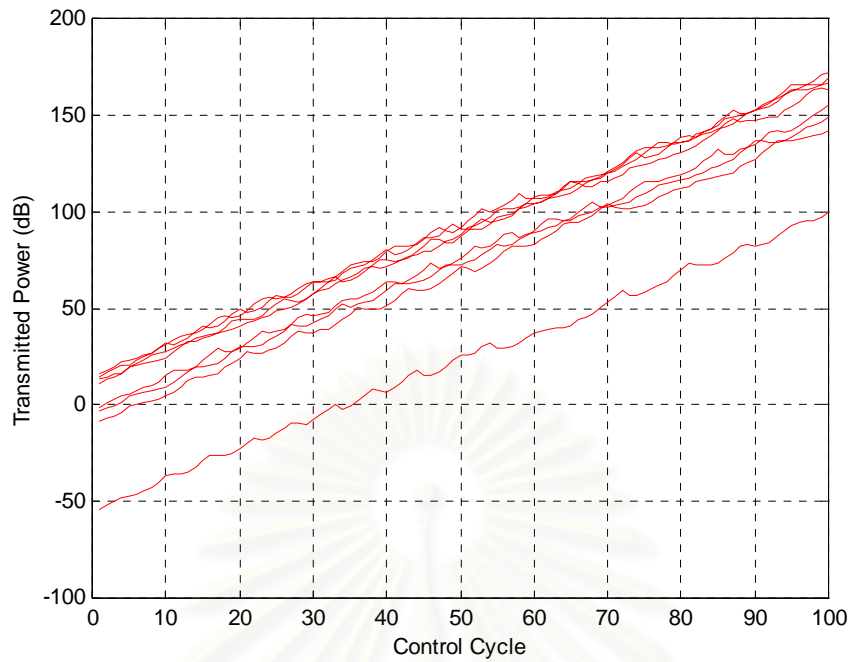
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB



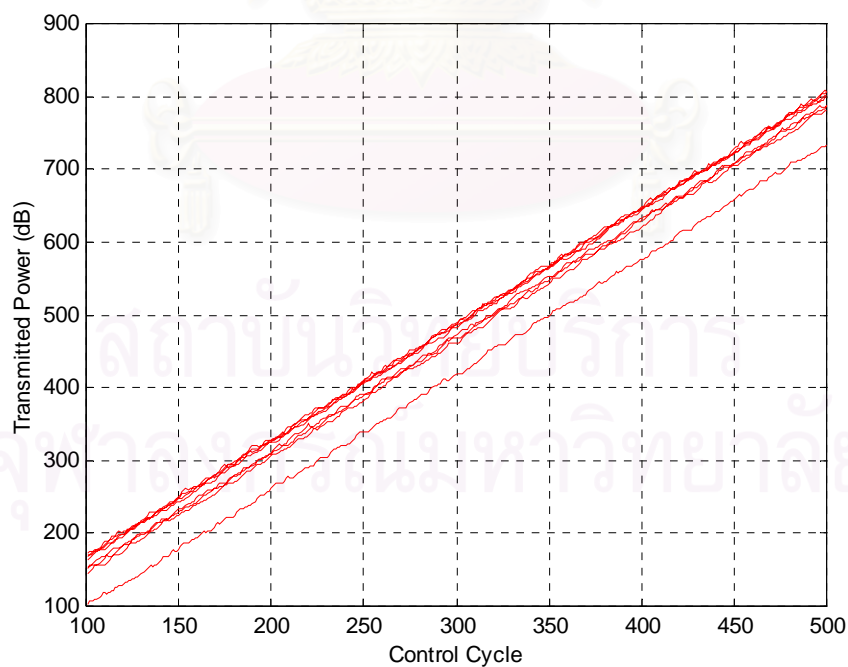
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB



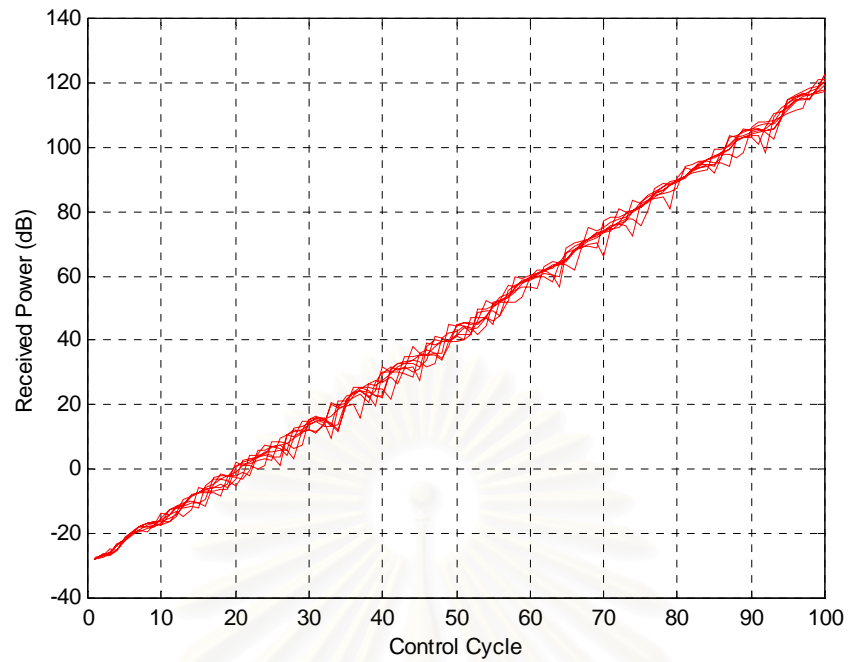
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB



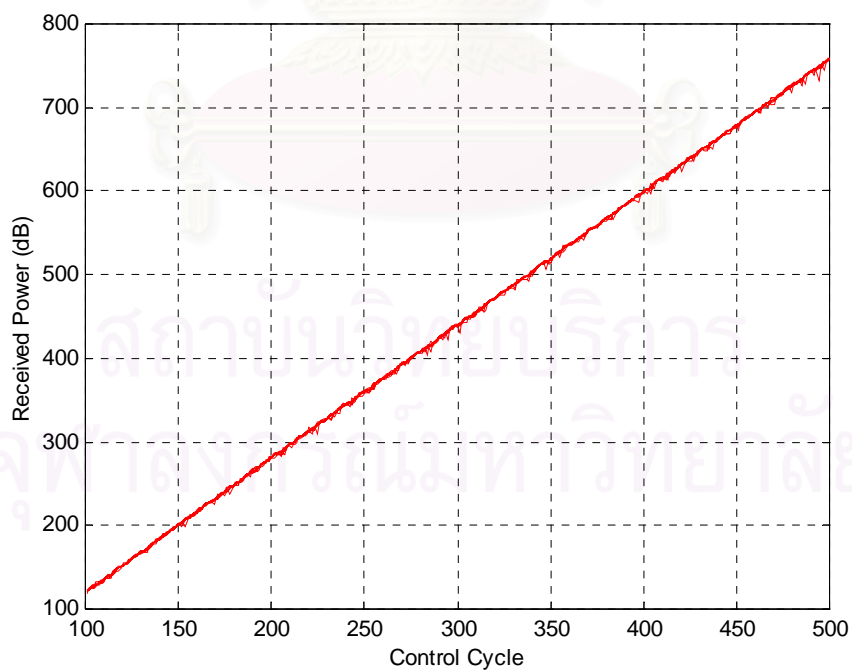
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB



#### 4.2.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม

รูปที่ 4.1 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า -11 dB ซึ่งเป็นค่า Desired Level เนื่องจากผลของสัญญาณแทรกสอดและเฟดดิ้ง โดยในช่วง 20 รอบแรกของการควบคุม ค่า SIR จะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยเนื่องจากมีผลกระทบจากเฟดดิ้งน้อยเพราะสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีย์ที่สร้างจากแบบจำลองของ Jakes จะมีขนาดไม่มากที่เวลาน้อยๆ

รูปที่ 4.2 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า -11 dB ซึ่งเป็นค่า Desired Level อย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุม โดยจะมีบางช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากเฟดดิ้งมาก

รูปที่ 4.3 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB พบว่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ เนื่องจากเมื่อสถานีเคลื่อนที่สถานีหนึ่งลดกำลังลงเพื่อรักษาระดับ SIR ของตนเองที่วัดได้ที่สถานีฐานให้อยู่ที่ Desired Level จะส่งผลให้สัญญาณแทรกสอดที่มีต่อสถานีเคลื่อนที่สถานีอื่นๆ ลดลง สถานีเคลื่อนที่อื่นๆ จึงต้องลดกำลังลงอีกเพื่อรักษาระดับ SIR ของตนเอง ซึ่งก็จะส่งผลย้อนกลับมาทำให้สถานีเคลื่อนที่เดิมต้องลดกำลังลงอีก โดยจะส่งผลกระทบซึ่งกันและกันเป็นวัฏจักรเช่นนี้ จึงเป็นผลให้กำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าลดลงเรื่อยๆ

รูปที่ 4.4 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB พบว่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุม

รูปที่ 4.5 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ซึ่งสอดคล้องกับการที่กำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีค่าลดลงเรื่อยๆ และพบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าเท่ากันในแต่ละรอบของการควบคุม ตามคุณสมบัติของการควบคุมกำลังแต่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากผลของเฟดดิ้ง

รูปที่ 4.6 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -11 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุมและมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากผลของเฟดดิ้ง

รูปที่ 4.7 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า -10 dB ซึ่งไม่สามารถขึ้นไปถึง Desired Level = -8 dB และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงที่รุนแรงกว่าค่า SIR กรณีที่ Desired Level = -11 dB เนื่องจากผลของสัญญาณแทรกสอดในระบบที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสถานีเคลื่อนที่ที่ต้องเพิ่มกำลังขึ้นเพื่อเพิ่มระดับ SIR ของตนเอง

รูปที่ 4.8 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีในรอบที่ 100-500 ของการควบคุมก็ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า -10 dB ต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุมเช่นเดียวกับกรณีที่ Desired Level = -11 dB

รูปที่ 4.9 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB พบว่าจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับในกรณีที่ Desired Level = -11 dB โดยกำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ที่มากกว่าอัตราการลดลงของกำลังของสถานีเคลื่อนที่กรณีที่ Desired Level = -11 dB เนื่องจากเมื่อสถานีเคลื่อนที่สถานีหนึ่งเพิ่มกำลังส่งขึ้นเพื่อเพิ่มระดับ SIR ของตนเองที่วัดได้ที่สถานีฐานให้ขึ้นไปอยู่ที่ Desired Level จะส่งผลให้สัญญาณแทรกสอดที่มีต่อสถานีเคลื่อนที่อื่นๆ เพิ่มขึ้น สถานีเคลื่อนที่อื่นๆ จึงต้องเพิ่มกำลังขึ้นอีกเพื่อเพิ่มระดับ SIR ของตนเอง ซึ่งก็จะส่งผลให้ย้อนกลับมาทำให้สถานีเคลื่อนที่สถานีเดิมต้องเพิ่มกำลังขึ้นอีก แต่เนื่องจาก Desired Level มีค่าสูงเกินไป จึงทำให้สถานีเคลื่อนที่ที่ต้องเพิ่มกำลังด้วยอัตราที่สูงและค่า SIR โดยรวมไม่สามารถขึ้นไปถึง Desired Level ได้

รูปที่ 4.10 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB พบว่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุม

รูปที่ 4.11 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่

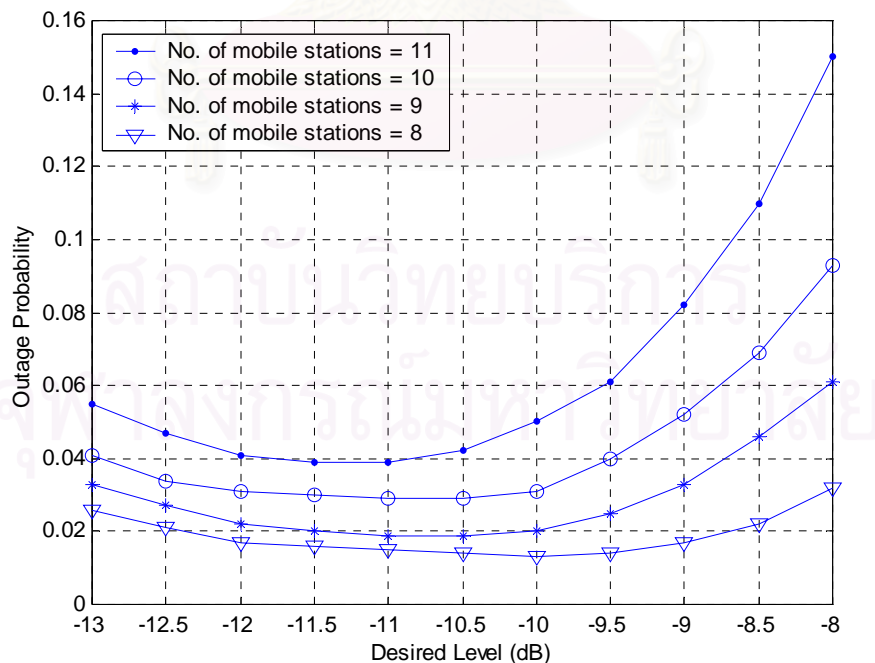
ที่มากกว่าอัตราการลดลงของกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับกรณีที่ Desired Level = -11 dB สอดคล้องกับการที่กำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าเท่ากันในแต่ละรอบของการควบคุม ตามคุณสมบัติของการควบคุมกำลังแต่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากผลของเฟดดิ้ง

รูปที่ 4.12 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -8 dB พบว่า กำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ ต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุมและมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากผลของเฟดดิ้ง

สำหรับวิธีการควบคุมกำลังชนิดอื่นๆ พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า SIR, กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุมมีลักษณะเดียวกับกับวิธี PCM PC โดยวิธีการควบคุมกำลังที่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายน้อยกว่าวิธี PCM PC จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของค่า SIR ที่รุนแรงน้อยกว่าวิธี PCM PC

#### 4.2.3 ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC โดยกำหนดให้ Step Size = 1.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 3$



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่เท่ากันในแต่ละเซลล์ค่าต่างๆ กัน

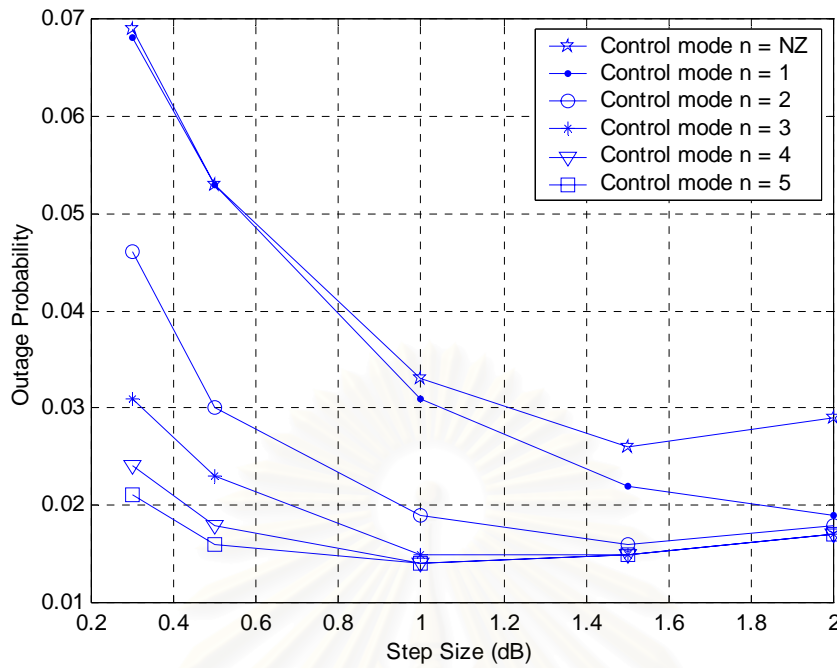
#### 4.2.4 วิเคราะห์ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

รูปที่ 4.13 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน พบว่าเมื่อ Desired Level มีค่าสูงเกินไปหรือมีค่าต่ำเกินไปจะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ Desired Level มีค่าต่ำ ถึงแม้สถานีเคลื่อนที่จะสามารถควบคุมกำลังส่งของตนเองเพื่อให้ค่า SIR อยู่ที่ Desired Level ได้แต่เนื่องจาก Desired Level อยู่ใกล้ค่า SIR ต่ำสุดที่ยอมรับได้ จึงทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับเมื่อ Desired Level มีค่าสูง สถานีเคลื่อนที่ที่จะต้องทำการเพิ่มกำลังเพื่อเพิ่มค่า SIR ของตนเอง ซึ่งจะทำให้สัญญาณแทรกสอดที่มีต่อสถานีเคลื่อนที่อื่นๆ มีค่าเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่า SIR โดยรวมไม่สามารถขึ้นไปถึง Desired Level ได้และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า Desired Level รุนแรงขึ้น จึงทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าหนึ่งๆ จะมี Desired Level ที่เหมาะสมที่สุด ( $D^*$ ) อยู่ค่าหนึ่งซึ่งทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำที่สุด จากรูปที่ 4.13 พบว่าค่า  $D^*$  มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดย  $D^*$  มีแนวโน้มที่จะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ในที่นี้จะทำการเลือก Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดค่าหนึ่งซึ่งสามารถใช้งานได้ดีที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ กัน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย พบว่า Desired Level = -11 dB เป็นค่าที่เหมาะสมเนื่องจากให้ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นๆ ด้วยเช่น คาบเวลาของการควบคุม  $T_d$ , Step Size และโมดการควบคุม  $n$  สำหรับวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ พบว่าผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีลักษณะเดียวกันกับวิธี PCM PC โดยได้มีการแสดงผลไว้ในภาคผนวก

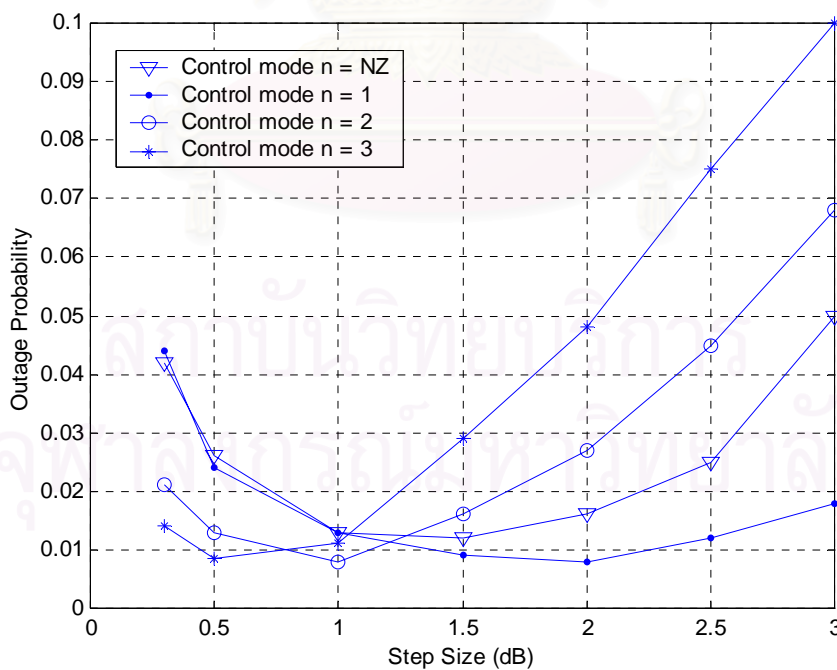
สรุปได้ว่าที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าหนึ่งๆ เมื่อ Desired Level มีค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป จะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าเพิ่มขึ้น โดยความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ Desired Level มีค่าสูงๆ

#### 4.2.5 ผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

ผู้วิจัยได้ทำการจำลองแบบวิธี PCM PC และวิธี PCM PC + LE2 โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์  $N = 8$  สถานี, Desired Level = -11 dB



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE2 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน

#### 4.2.6 วิเคราะห์ผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

รูปที่ 4.14 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน โดยโมดการควบคุม NZ คือโมดการควบคุมที่  $cmd = \{+1, -1\}$  ซึ่งก็คือวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step หรือวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามออดูเลชันนั่นเอง พบว่าเมื่อโมดการควบคุม n มีค่าเพิ่มขึ้น ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าลดลงไม่ว่า Step Size จะมีค่าเท่าไร แต่เมื่อโมดการควบคุม n มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว นั่นคือความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายแทบจะไม่ลดลงอีก และที่โมดการควบคุม n ค่าหนึ่งๆ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าลดลงเมื่อ Step Size มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกถ้า Step Size มีค่าสูงเกินไป และจากรูปที่ 4.14 พบว่า เมื่อโมดการควบคุม  $n \geq 3$  และ Step Size = 1 dB ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายแทบจะมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะทำการเลือกโมดการควบคุม  $n = 3$  และ Step Size = 1 dB เนื่องจากที่โมดการควบคุม n ค่าสูงๆ จะทำให้สิ้นเปลืองความจุของระบบในช่องสัญญาณย้อนกลับมากขึ้นเนื่องจากต้องใช้จำนวนบิตในการควบคุมกำลังเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนบิตข้อมูลมีค่าลดลง

สำหรับวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ ยกเว้นวิธี M-ADM PC + LE2, PCM PC + LE2, M-ADM PC + LE1 และ PCM PC + LE1 พบว่าผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีลักษณะเดียวกันกับวิธี PCM PC โดยได้มีการแสดงตัวอย่างไว้ในภาคผนวก

รูปที่ 4.15 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE2 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน พบว่าผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีลักษณะแตกต่างจากวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ โดยที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน จะมี Step Size ที่เหมาะสมที่สุดค่าหนึ่งซึ่งให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุดค่าต่างๆ กัน เช่น ที่โมดการควบคุม  $n = 3$ , Step Size ที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.5 dB หรือที่โมดการควบคุม  $n = 2$ , Step Size ที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 1 dB แต่เนื่องจากที่โมดการควบคุมค่าสูงๆ จะทำให้สิ้นเปลืองความจุของระบบในช่องสัญญาณย้อนกลับมากขึ้น ดังนั้นในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะทำการเลือกโมดการควบคุม  $n = 1$  และ Step Size = 2 dB

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธี PCM PC + LE2 สามารถใช้โมดการควบคุมที่มีค่าต่ำซึ่งให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำด้วยได้ถ้าเลือก Step Size ที่เหมาะสม ในขณะที่วิธี

PCM PC จะให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำลงเมื่อโมดการควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นเท่านั้น จึงทำให้วิธี PCM PC + LE2 ช่วยประหยัดความจุของระบบได้มากกว่าวิธี PCM PC

#### 4.2.7 ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี SFP PC โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์  $N = 10$  สถานี, Desired Level = -11 dB, โมดการควบคุม  $n=3$ , Step Size = 1.0 dB

ตารางที่ 4.1 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธี SFP PC

Weight	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Outage probability	0.027	0.024	0.026	0.027	0.035	0.038

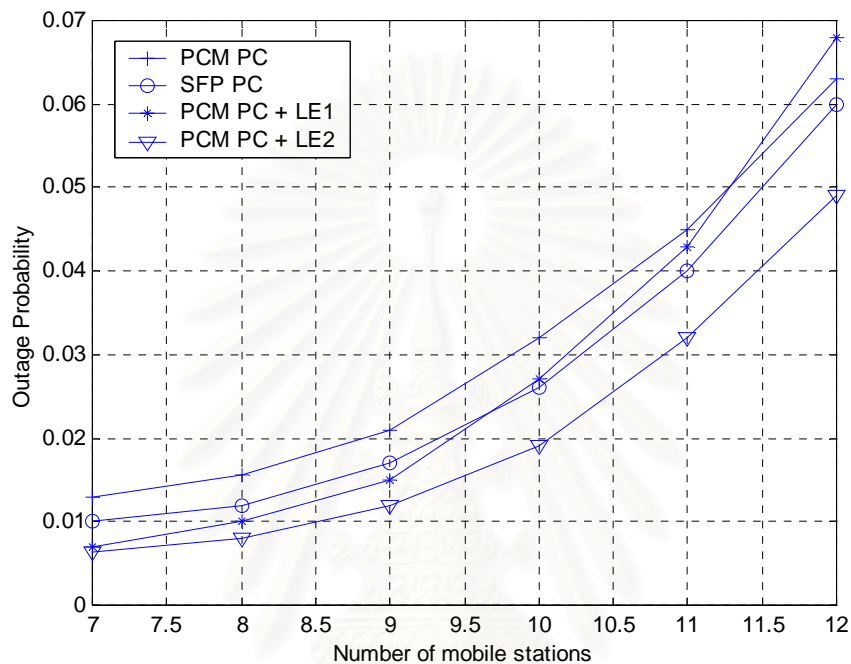
#### 4.2.8 วิเคราะห์ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธี SFP PC พบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร weight มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.8 และความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร weight มีค่าตั้งแต่ 1.0 ขึ้นไปซึ่งผลที่ได้นี้จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง Step Size หรือโมดการควบคุม  $n$  โดยเมื่อ Step Size หรือโมดการควบคุม  $n$  มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร weight ที่เหมาะสมจะมีค่าลดลงเพื่อปรับขนาดของค่าที่จะใช้ในการชดเชยผลของเฟดดิ้งอย่างสิ้นให้เหมาะสม ในที่นี้ในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะเลือกโมดการควบคุม  $n = 3$ , Step Size = 1 dB ตามที่ได้วิเคราะห์มาในหัวข้อที่ 4.2.6 และตัวแปร weight = 0.4 เนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุด

สรุปได้ว่าที่โมดการควบคุมและ Step Size ค่าหนึ่งๆ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร weight มีค่าต่ำๆ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร weight มีค่าสูงขึ้น

#### 4.2.9 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC, SFP PC และ PCM PC + LE1 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 1.0 dB, weight = 0.4 และโมดการควบคุม n = 3 และจำลองแบบวิธี PCM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 2.0 dB และโมดการควบคุม n = 1 โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้มาจากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.2.4, 4.2.6 และ 4.2.8



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

#### 4.2.10 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC

No. of Mobile Stations	7	8	9	10	11	12
PCM PC + LE1	46.15	35.48	28.57	15.63	4.44	-7.94
PCM PC + LE2	50.77	48.39	42.86	40.63	28.89	22.22



รูปที่ 4.16 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ พบว่าวิธี PCM PC + LE2 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง)) มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่โดยใช้จำนวนโมดการควบคุม  $n=1$  ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้การประมาณค่า link gain เพื่อคำนวณค่า SIR ในคาบถัดไปโดยใช้กำลังของสถานีเคลื่อนที่ในคาบถัดไปด้วย และพบว่าวิธี PCM PC ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ตามปกติมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด, วิธี SFP PC มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี PCM PC ที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่เนื่องจากเป็นวิธีที่มีการทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้นและทำการชดเชยผลล่วงหน้า, วิธี PCM PC + LE1 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1) มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี SFP PC เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าน้อยๆ และมีประสิทธิภาพต่ำลงเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากวิธี PCM PC + LE1 นี้เป็นวิธีที่ใช้การประมาณค่า link gain เพื่อทำการคำนวณค่า SIR ในคาบถัดไปโดยใช้กำลังของสถานีเคลื่อนที่ในคาบปัจจุบัน จึงอาจจะทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

ดังนั้นสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step พบว่าวิธี PCM PC + LE2 มีประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุดและใช้โมดการควบคุมที่มีค่าน้อยที่สุด

#### 4.2.11 ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC

ผู้วิจัยได้ทำการจำลองแบบวิธี M-AADM PC และ M-MADM PC โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์  $N = 10$  สถานี, Desired Level = -11 dB และ Step Size = 1.5 dB

ตารางที่ 4.3 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร T ของวิธี M-AADM PC

T	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Outage probability	0.049	0.053	0.053	0.059	0.062	0.065

ตารางที่ 4.4 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-MADM PC

K	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Outage probability	0.049	0.052	0.051	0.075	0.13	0.48

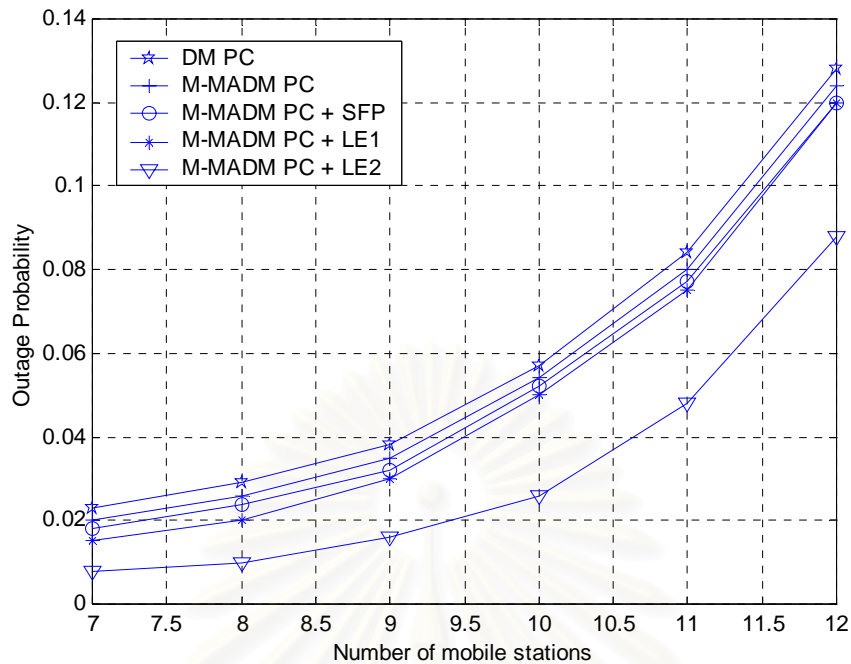
#### 4.2.12 วิเคราะห์ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร T ของวิธี M-AADM PC พบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร T มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.3 และความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร T มีค่าตั้งแต่ 0.4 ขึ้นไป ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-MADM PC พบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-MADM PC มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร K มีค่าอยู่ระหว่าง 1.1-1.3 และความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร K มีค่าตั้งแต่ 1.4 ขึ้นไป และจากตารางที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC ที่ค่าตัวแปร T ระหว่าง 0.1-0.3 และวิธี M-MADM PC ที่ค่าตัวแปร K ระหว่าง 1.1-1.3 มีค่าใกล้เคียงกันมาก

สรุปได้ว่าวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC ที่ค่าตัวแปร T และ K ที่มีค่าน้อยๆ มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถใช้แทนกันได้ ดังนั้นในขั้นนี้การเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะทำการเลือกใช้วิธี M-MADM PC ที่ค่าตัวแปร  $K=1.1$

#### 4.2.13 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี DM PC, M-MADM PC, M-MADM PC + SFP, M-MADM PC + LE1 และ M-MADM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 1.5 dB, weight = 0.4 และ  $K = 1.1$  โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้มาจากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.2.4, 4.2.6, 4.2.8 และ 4.2.12



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

#### 4.2.14 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC

No. of Mobile Stations	7	8	9	10	11	12
M-MADM PC + SFP	21.74	17.24	15.79	8.77	8.33	6.25
M-MADM PC + LE1	34.78	31.03	21.05	12.28	10.71	6.25
M-MADM PC + LE2	65.22	65.52	57.89	54.39	42.86	31.25

รูปที่ 4.17 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ พบว่าวิธี DM PC ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ตามปกติมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด และวิธี M-MADM PC + LE2 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 (ปรับปรุง)) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกค่าของจำนวนสถานี

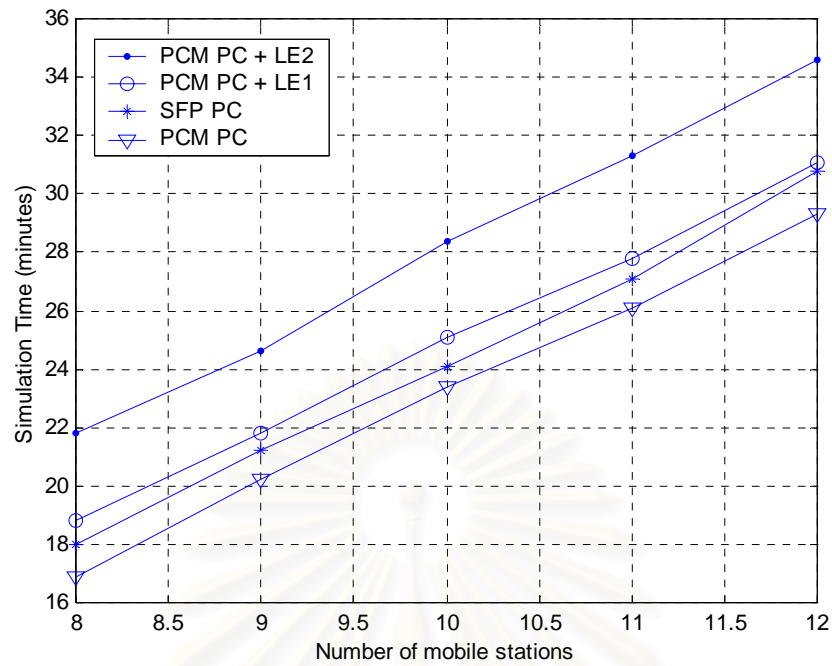
เคลื่อนที่ เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้การประมาณค่า link gain เพื่อทำการคำนวณ SIR ในคาบถัดไปโดยใช้กำลังของสถานีเคลื่อนที่ในคาบถัดไปด้วย และพบว่าวิธี M-MADM PC + SFP (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3) มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี M-MADM PC เพียงเล็กน้อย แสดงว่าอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้นช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ได้ไม่ดีเท่าวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step, วิธี M-MADM PC + LE1 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2) มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี M-MADM PC + SFP เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าน้อยๆ และมีประสิทธิภาพต่ำลงเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับผลที่เกิดขึ้นกับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step

ดังนั้นสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step พบว่าวิธี M-MADM PC + LE2 มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุดและวิธี M-MADM PC + LE1 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธี M-MADM PC + SFP ซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธี M-MADM PC ได้ไม่มากนัก

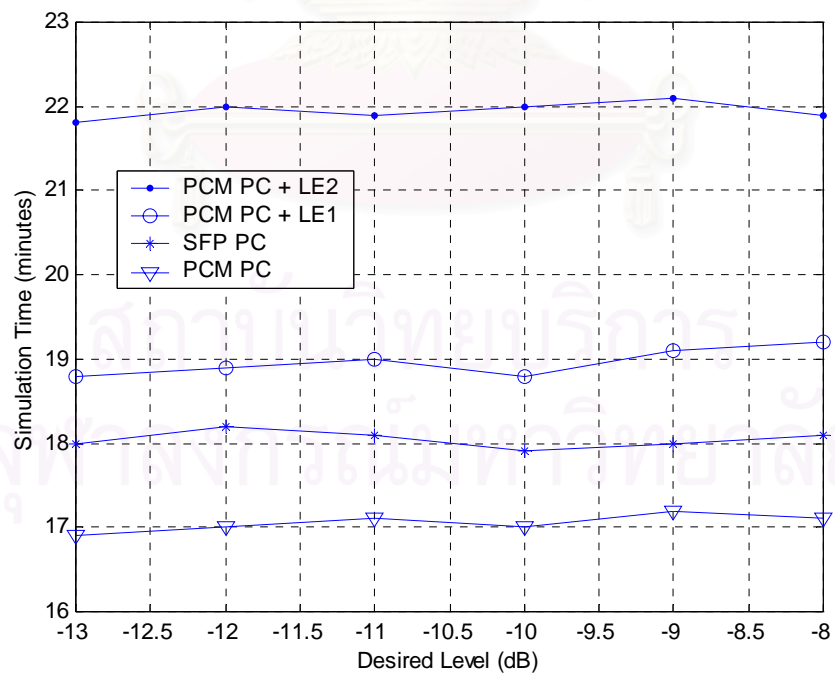
#### 4.2.15 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบคือระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบ 50 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะใช้จำนวนรอบในการควบคุม 500 รอบ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบคือ Pentium 150 MHz, RAM 32 MB

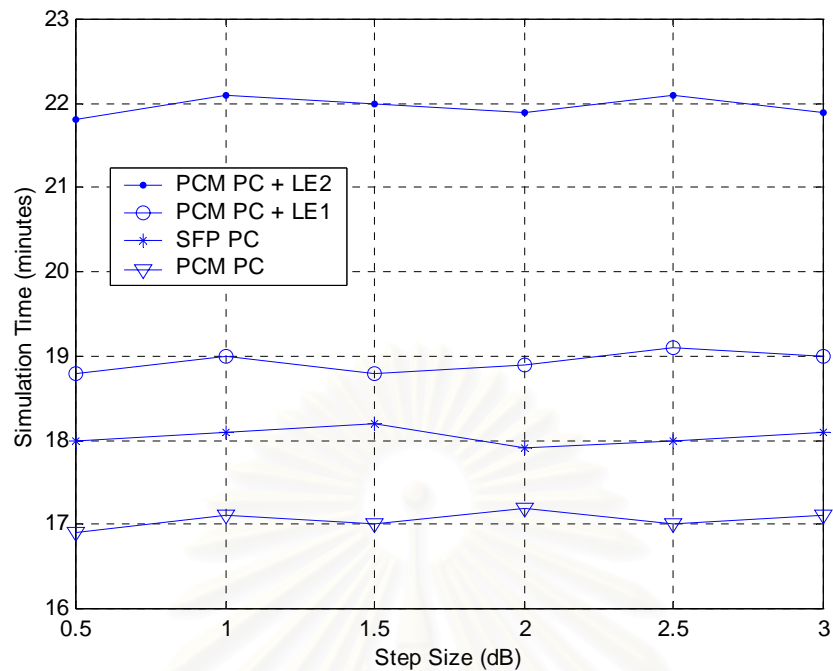
ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC, SFP PC และ PCM PC + LE1 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 1.0 dB, weight = 0.4 และโมดการควบคุม  $n = 3$  และจำลองแบบวิธี PCM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 2.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 1$  โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับกรณีที่เป็นการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย



รูปที่ 4.18 (ก) กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.18 (ข) กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับ Desired Level ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์เท่ากับ 8



รูปที่ 4.18 (ค) กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับ Step Size ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์เท่ากับ 8

#### 4.2.16 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC

No. of Mobile Stations	8	9	10	11	12
PCM PC + LE1	11.24	7.92	7.27	6.51	6.14
PCM PC + LE2	28.99	21.78	21.37	19.92	18.09

รูปที่ 4.18 (ก) แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ พบว่าเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังทุกชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และพบว่าวิธี PCM PC + LE2 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีที่ต้องทำการประมาณค่า link gain และคำนวณค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ในคาบถัดไปเพื่อใช้ในการคำนวณ

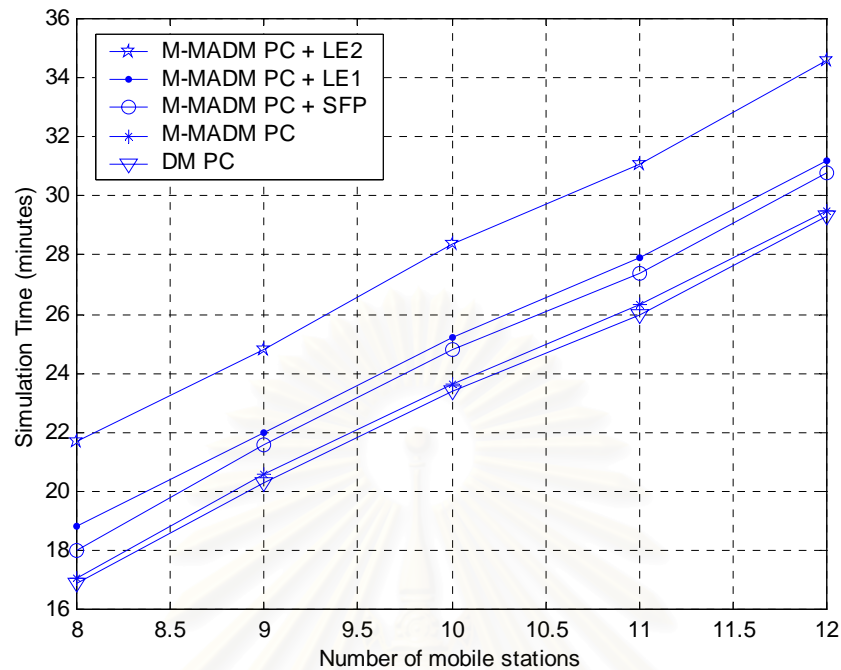
ค่า SIR ในคาบถัดไปซึ่งมีผลทำให้ระบบมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น, วิธี PCM PC + LE1 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากรองลงมาเป็นอันดับที่ 2 เนื่องจากเป็นวิธีที่ต้องประมาณค่า link gain เพื่อใช้ในการคำนวณค่า SIR ในคาบถัดไปแต่ใช้ค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ในคาบปัจจุบันซึ่งทำให้ระบบมีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธี PCM PC + LE2, วิธี SFP PC ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากรองลงมาเป็นอันดับที่ 3 เนื่องจากเป็นวิธีที่มีการทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสิ้นและชัดเจนผลล่วงหน้า และวิธี PCM PC ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ตามปกติซึ่งมีความซับซ้อนน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC พบว่าสำหรับวิธี PCM PC + LE2 เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี PCM PC + LE2 เป็นวิธีที่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับวิธี PCM PC

รูปที่ 4.18 (ข) และรูปที่ 4.19 (ค) แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับ Desired Level และเทียบกับ Step Size ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์เท่ากับ 8 พบว่าเมื่อ Desired Level และ Step Size มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบจะแทบไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเลย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Desired Level และ Step Size ไม่มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบ ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์และกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อมีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ก็พบว่าได้ผลเช่นเดียวกัน

#### 4.2.17 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี DM PC, M-MADM PC, M-MADM PC + SFP, M-MADM PC + LE1 และ M-MADM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 1.5 dB, weight = 0.4 และ K = 1.1 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับกรณีที่เป็นการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

#### 4.2.18 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC

No. of Mobile Stations	8	9	10	11	12
M-MADM PC + SFP	6.51	6.40	5.98	5.39	5.12
M-MADM PC + LE1	11.24	8.37	7.69	7.31	6.48
M-MADM PC + LE2	28.40	22.17	21.37	19.62	18.09

รูปที่ 4.19 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ พบว่าเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังทุกชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และพบว่าวิธี M-



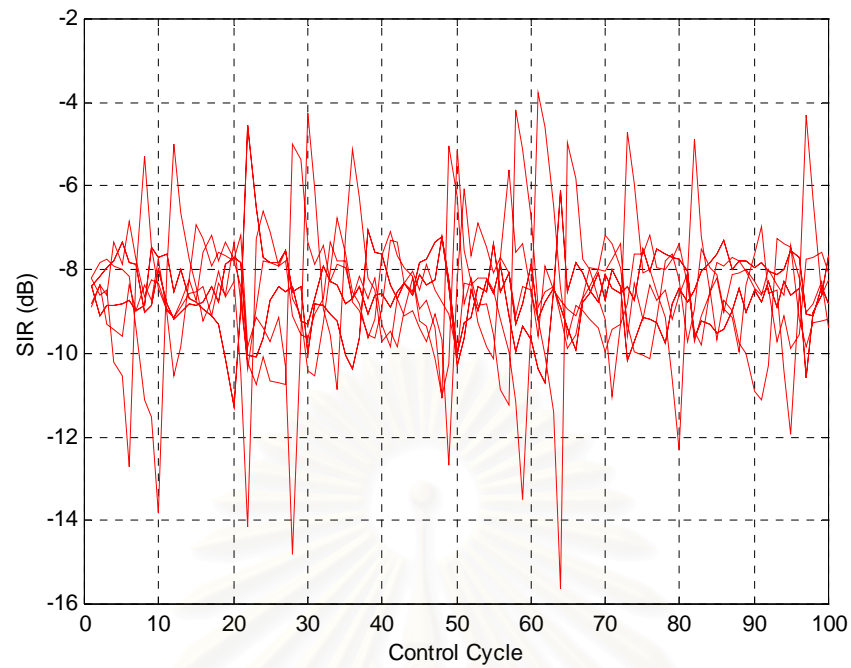
MADM PC + LE2 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากที่สุด, วิธี M-MADM PC + LE1 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากรองลงมาเป็นอันดับที่ 2, วิธี M-MADM PC + SFP ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากรองลงมาเป็นอันดับที่ 3 เนื่องจากผลของความซับซ้อนของแต่ละวิธี เช่นเดียวกันกับกรณีที่เป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step และพบว่าวิธี DM PC ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ตามปกติใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับระยะเวลาในการจำลองแบบของวิธี M-MADM PC

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC พบว่าสำหรับวิธี M-MADM PC + LE2 เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี M-MADM PC + LE2 เป็นวิธีที่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับวิธี DM PC

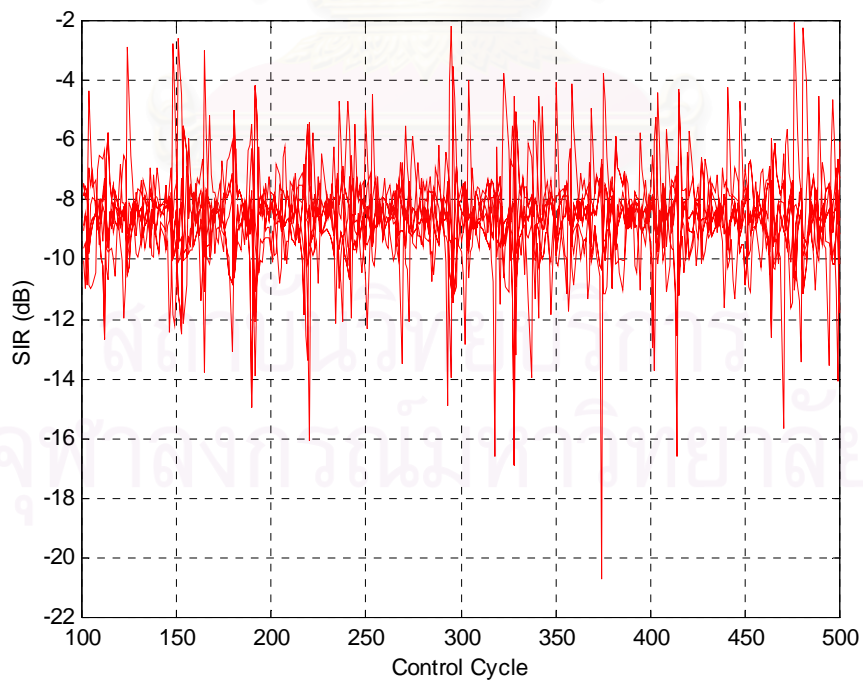
#### 4.3 ผลการจำลองแบบของการควบคุมกำลังโดยใช้แบบจำลอง 1 เซลล์

##### 4.3.1 การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม

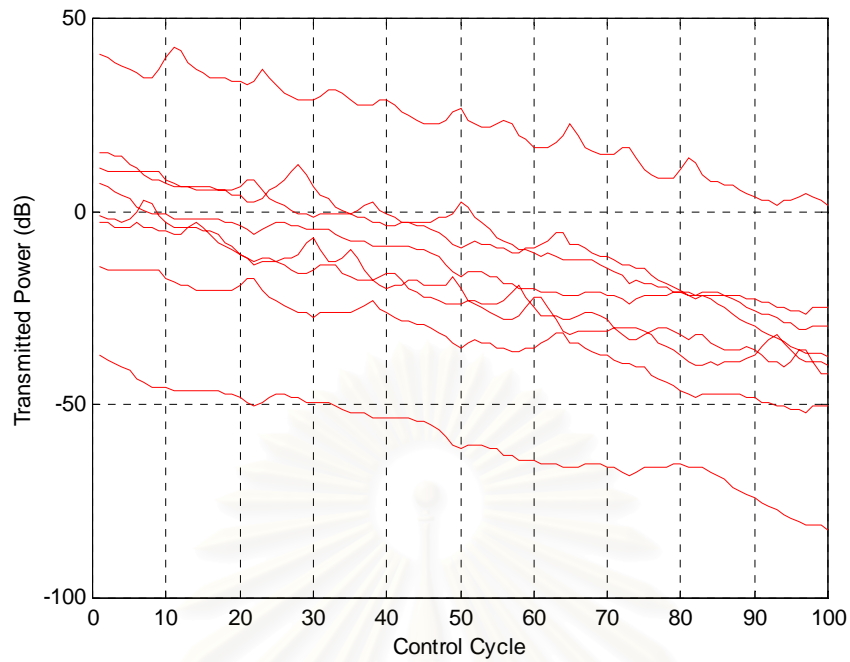
ผู้วิจัยได้จำลองแบบของวิธี PCM PC โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่  $N = 8$  สถานี, Desired Level = -9 และ -6 dB (ซึ่งเป็นค่าที่แตกต่างจากกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ เนื่องจากในแบบจำลอง 1 เซลล์สามารถควบคุมค่า SIR ให้ขึ้นไปอยู่ที่ค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์), Step Size = 1.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 3$  โดยใช้รอบในการควบคุม 100 รอบแรกเพื่อปรับให้การควบคุมกำลังเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว



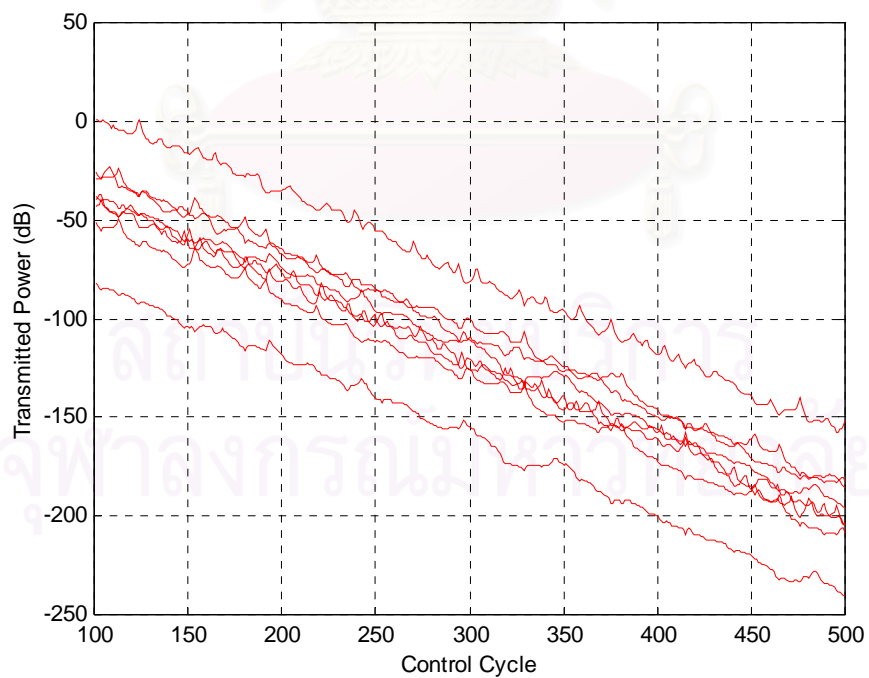
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



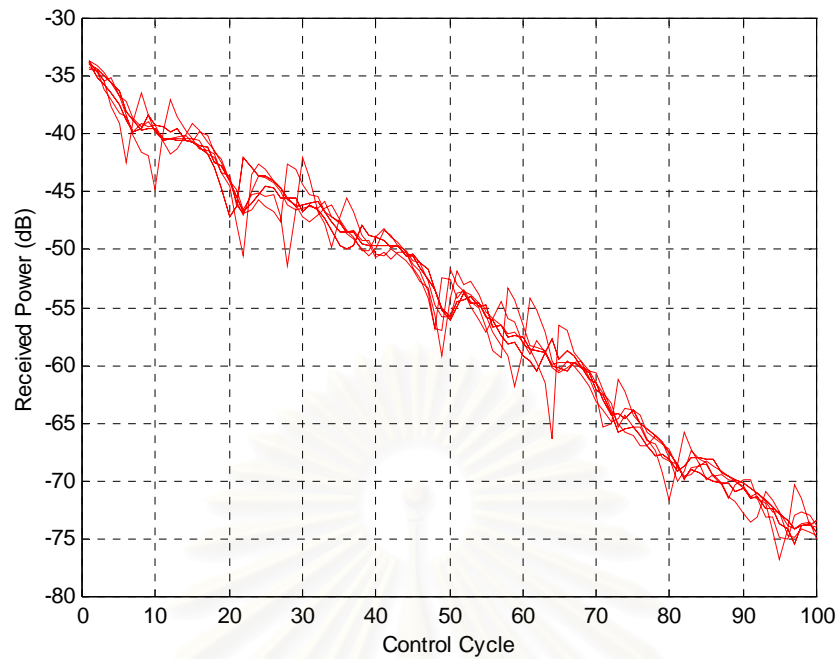
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



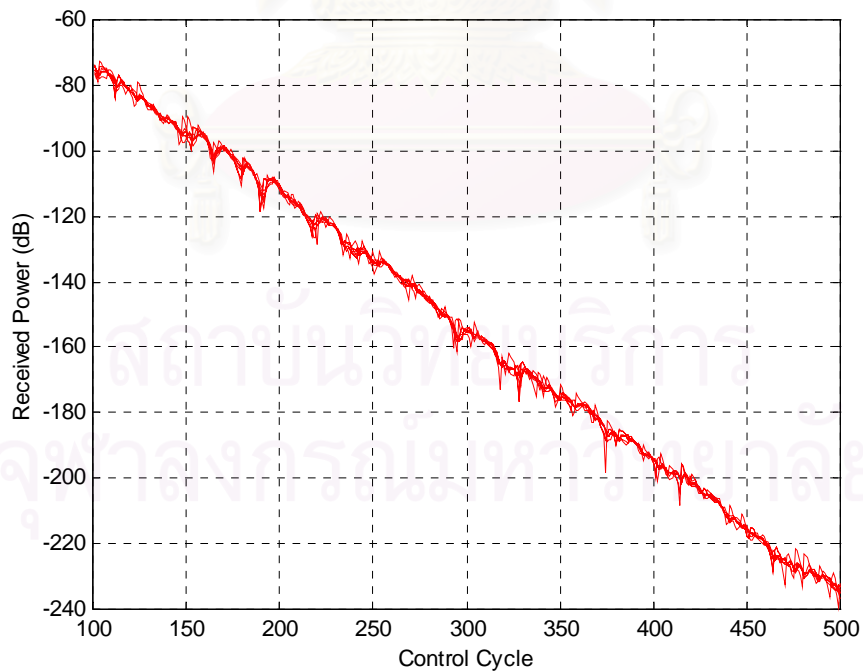
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีที่เทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



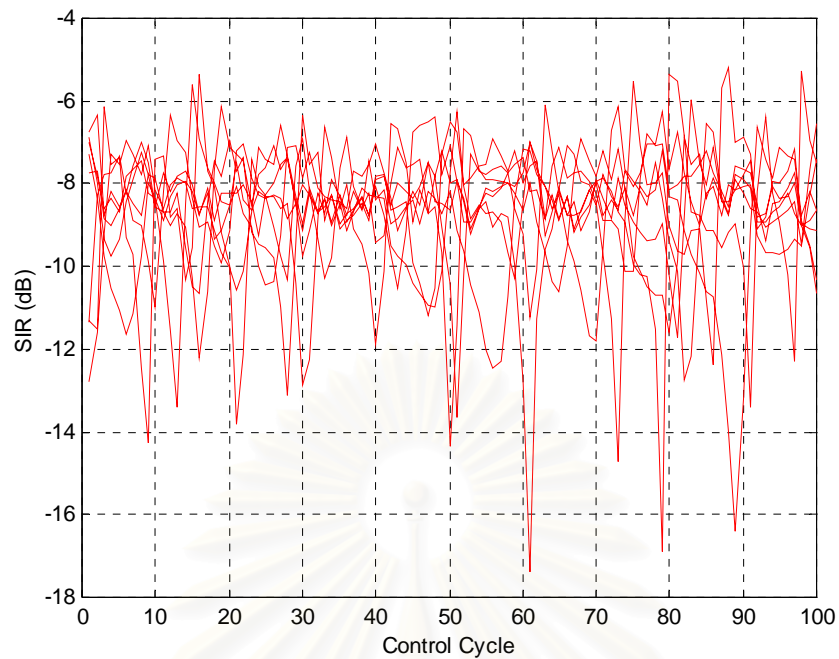
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีที่เทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



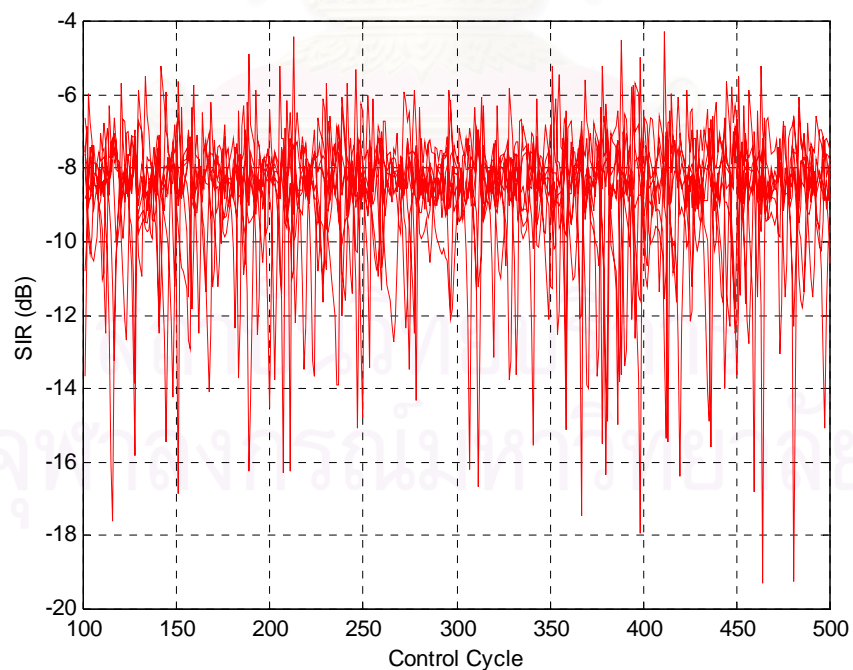
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



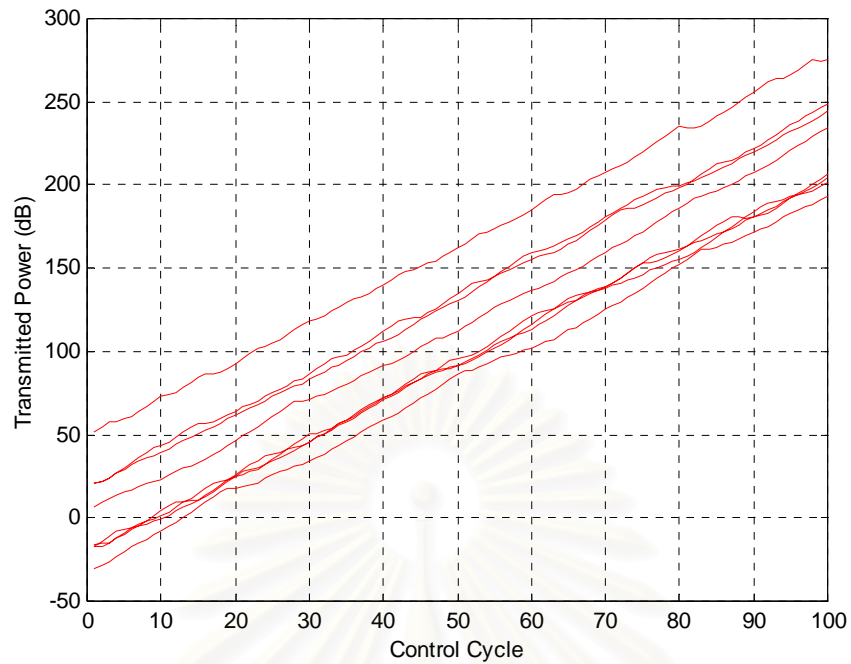
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



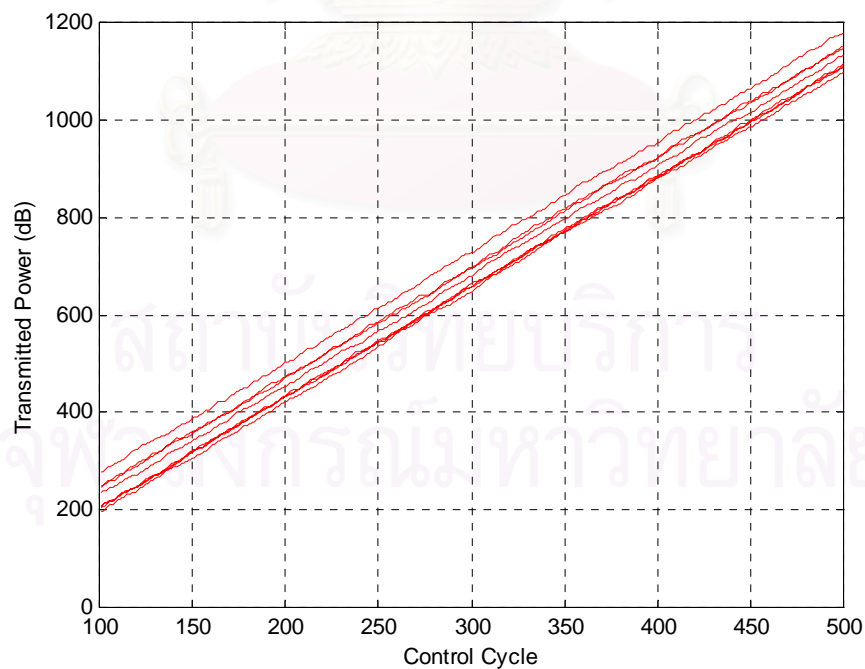
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



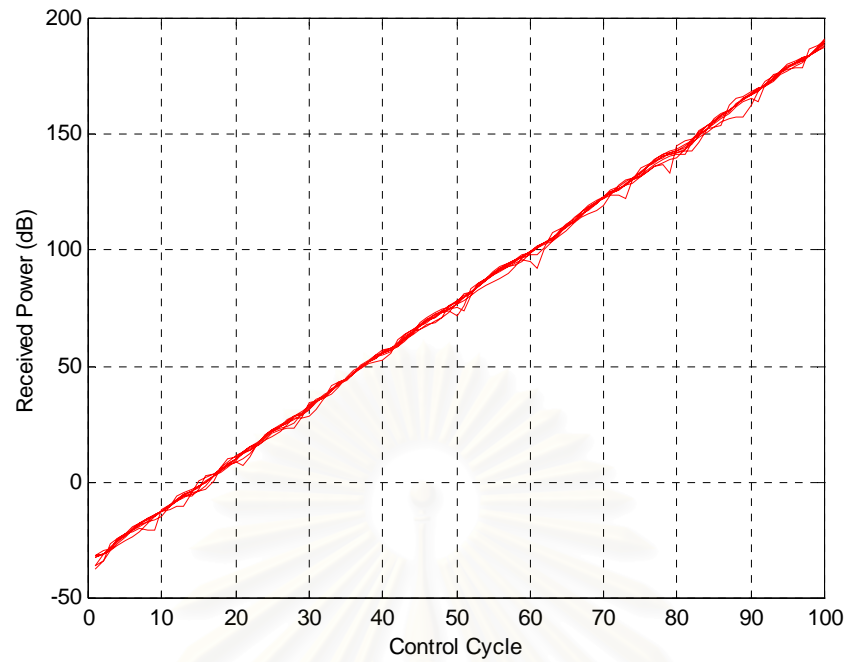
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



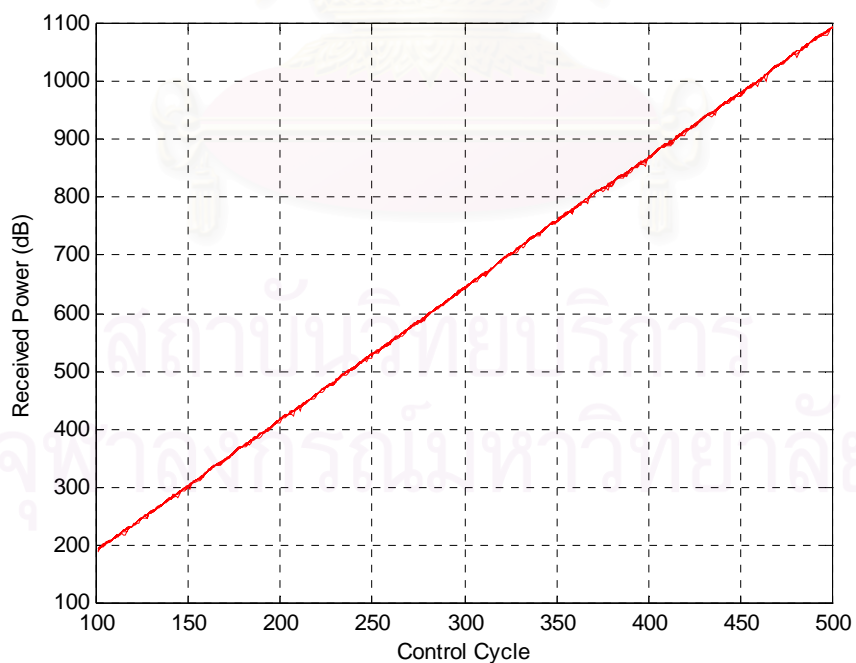
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB

#### 4.3.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม

รูปที่ 4.20 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า -9 dB ซึ่งเป็นค่า Desired Level คล้ายกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์เมื่อ Desired Level = -11 dB การที่ค่า SIR สามารถขึ้นไปถึงค่า Desired Level ที่สูงกว่าและมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงน้อยกว่า เนื่องจากในแบบจำลอง 1 เซลล์จะมีผลของสัญญาณแทรกสอดน้อยกว่าแบบจำลอง 19 เซลล์เพราะมีสัญญาณแทรกสอดจากสถานีเคลื่อนที่ภายในเซลล์เท่านั้น

รูปที่ 4.21 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า Desired Level อย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุมเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

รูปที่ 4.22 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

รูปที่ 4.23 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุมเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

รูปที่ 4.24 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีค่าเท่ากันในแต่ละรอบของการควบคุมตามคุณสมบัติของการควบคุมกำลังแต่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากผลของเฟดดิ้งเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

รูปที่ 4.25 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุมเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์



รูปที่ 4.26 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า -8 dB ซึ่งไม่สามารถขึ้นไปถึง Desired Level = -6 dB เนื่องจาก Desired Level มีค่าสูงเกินไปเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

รูปที่ 4.27 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า Desired Level อย่างสม่ำเสมอเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุมเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

รูปที่ 4.28 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่าจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับในกรณีที่ Desired Level = -9 dB โดยกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

รูปที่ 4.29 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุมเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

รูปที่ 4.30 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 100 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีค่าเท่ากันในแต่ละรอบของการควบคุมตามคุณสมบัติของการควบคุมกำลังแต่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากผลของเฟดดิ้งเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

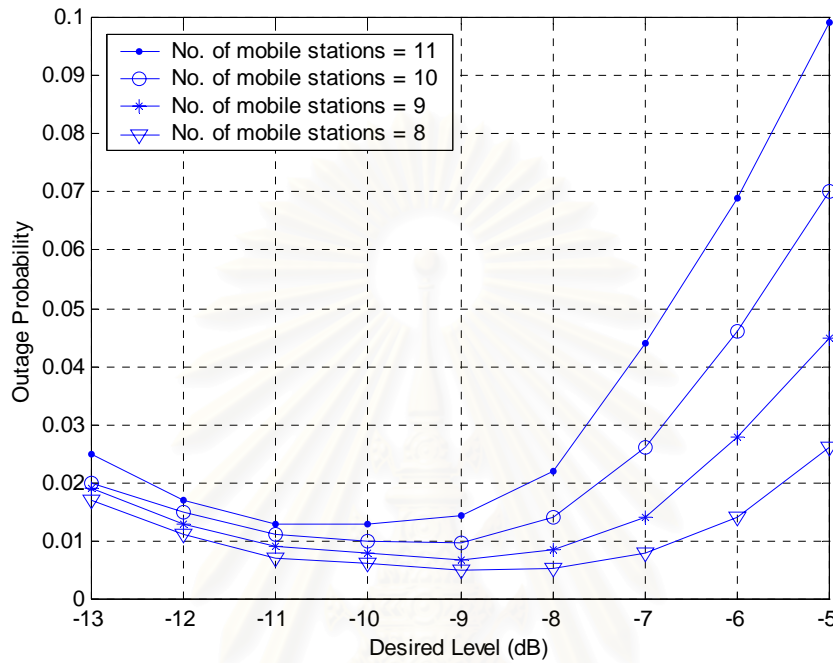
รูปที่ 4.31 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 100-500 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ต่อเนื่องจากช่วง 100 รอบแรกของการควบคุมเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

สำหรับวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับจำนวนรอบของการควบคุมมีลักษณะเดียวกันกับวิธี PCM PC โดยวิธีการควบคุมกำลังที่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายน้อยกว่าวิธี PCM PC จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของค่า SIR ที่รุนแรงน้อยกว่าวิธี PCM PC

#### 4.3.3 ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

ผู้วิจัยได้ทำการจำลองแบบวิธี PCM PC โดยกำหนดให้ Step Size = 1.0 dB และโมดการ

ควบคุม  $n = 3$



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ กัน

#### 4.3.4 วิเคราะห์ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

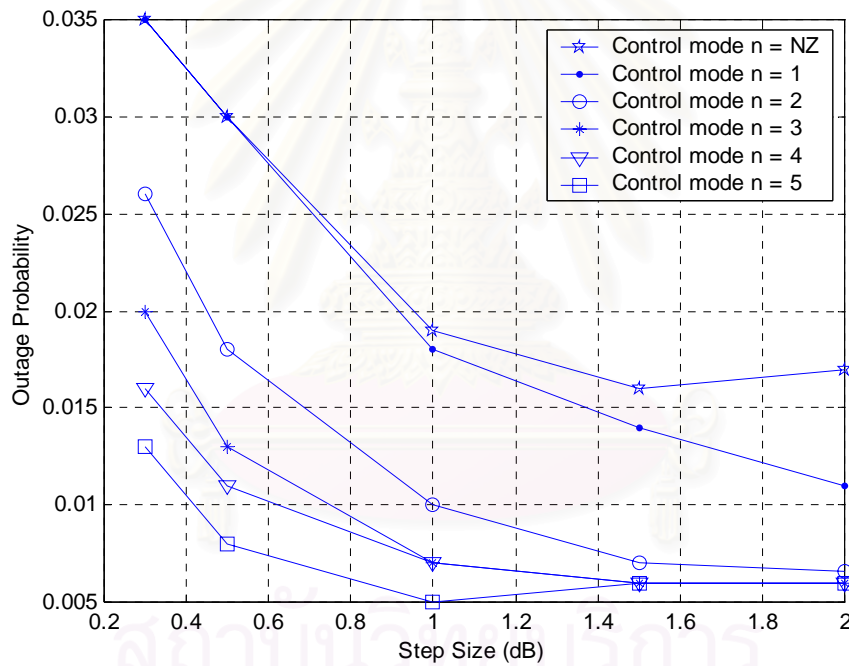
จากรูปที่ 4.32 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน พบว่าเมื่อ Desired Level มีค่าสูงเกินไปหรือมีค่าต่ำเกินไปจะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าเพิ่มขึ้น คล้ายกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ แต่จะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่กว้างกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมค่า SIR ให้ขึ้นไปอยู่ที่ Desired Level ที่สูงกว่ากรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ เพราะมีสัญญาณแทรกสอดเนื่องจากสถานีเคลื่อนที่ภายในเซลล์เท่านั้น ทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายโดยรวมมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ ในที่นี้พบว่า Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถใช้การได้ดีที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายคือ -9 dB สำหรับวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ พบว่าผล

ของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีลักษณะเดียวกันกับวิธี PCM PC โดยได้มีการแสดงผลไว้ในภาคผนวก

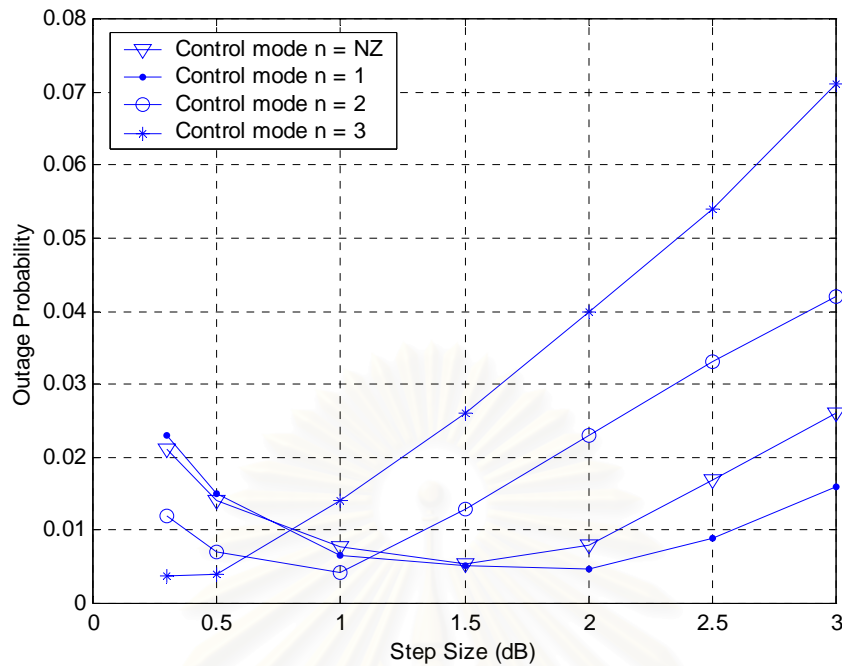
สรุปได้ว่าที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าหนึ่งๆ เมื่อ Desired Level มีค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป จะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าเพิ่มขึ้น โดยความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ Desired Level มีค่าสูงๆ

#### 4.3.5 ผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC และวิธี PCM PC + LE2 โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์  $N = 8$  สถานี, Desired Level = -9 dB



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE2 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ

#### 4.3.6 วิเคราะห์ผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

รูปที่ 4.33 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน พบว่าเมื่อโมดการควบคุม  $n$  มีค่าเพิ่มขึ้น ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าลดลงไม่ว่า Step Size จะมีค่าเท่าไร คล้ายกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์แต่ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายโดยรวมมีค่าลดลง เนื่องจากมีสัญญาณแทรกสอดลดลง และจากรูปที่ 4.33 พบว่า เมื่อโมดการควบคุม  $n \geq 3$  และ Step Size = 1.5 dB ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายแทบจะมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะทำการเลือกโมดการควบคุม  $n = 3$  และ Step Size = 1.5 dB

สำหรับวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ ยกเว้นวิธี M-ADM PC + LE2, PCM PC + LE2, M-ADM PC + LE1 และ PCM PC + LE1 พบว่าผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีลักษณะเดียวกันกับวิธี PCM PC โดยได้มีการแสดงตัวอย่างไว้ในภาคผนวก

รูปที่ 4.34 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE2 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ พบว่าผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีลักษณะแตกต่างจากวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ โดยที่โมดการควบคุม n ค่าต่างๆ กัน จะมีค่า Step Size ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำที่สุดค่าต่างๆ กัน เช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ ดังนั้นในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะทำการเลือกโมดการควบคุม  $n = 1$  และ Step Size = 2 dB

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธี PCM PC + LE2 สามารถใช้โมดการควบคุมที่มีค่าต่ำซึ่งให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำด้วยได้ถ้าเลือก Step Size ที่เหมาะสม ในขณะที่วิธี PCM PC จะให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำลงเมื่อโมดการควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นเท่านั้น จึงทำให้วิธี PCM PC + LE2 ช่วยประหยัดความจุของระบบได้มากกว่าวิธี PCM PC เช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

#### 4.3.7 ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี SFP PC โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์  $N = 10$  สถานี, Desired Level = -9 dB, โมดการควบคุม  $n = 3$ , Step Size = 1.5 dB

ตารางที่ 4.8 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธี SFP PC

Weight	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Outage probability	0.0096	0.0094	0.0098	0.012	0.016	0.021

#### 4.3.8 วิเคราะห์ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC

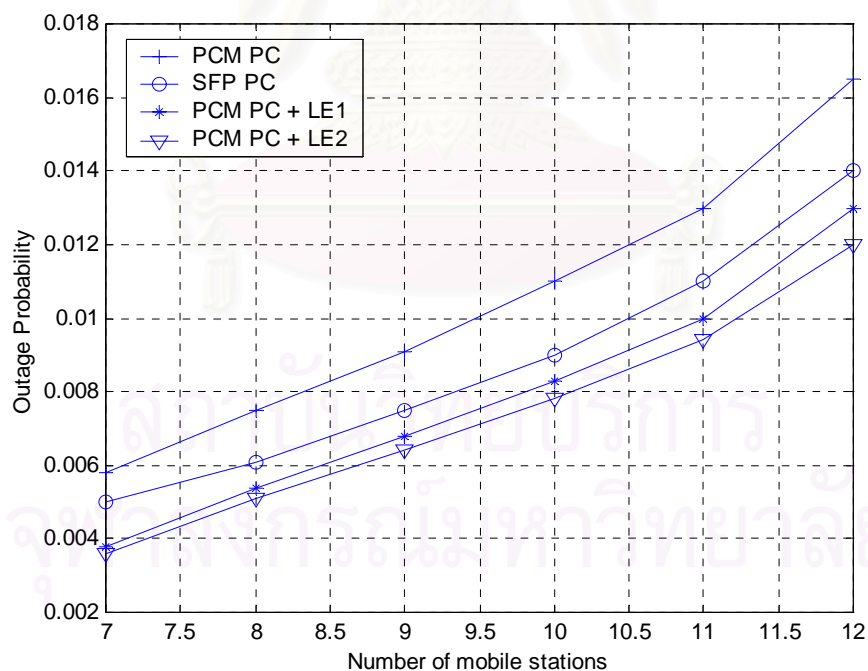
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธี SFP PC พบว่าผลที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร weight มีค่าน้อยๆ และความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร weight มีค่าเพิ่มมากขึ้น ผลที่ได้นี้จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง Step Size หรือโมดการควบคุม n โดยเมื่อ Step Size หรือโมดการควบคุม n มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร weight ที่เหมาะสมจะมีค่าลดลงเพื่อทำการปรับ

ขนาดของค่าที่จะใช้ในการชดเชยผลของเฟดดิ้งอย่างสั้นให้เหมาะสม ในที่นี้ในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะเลือกโมดการควบคุม  $n = 3$ , Step Size = 1.5 dB ตามที่ได้วิเคราะห์มาในหัวข้อที่ 4.3.6 และตัวแปร weight = 0.4 เนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุด

สรุปได้ว่าที่โมดการควบคุมและ Step Size ค่าหนึ่งๆ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร weight มีค่าต่ำๆ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร weight มีค่าสูงขึ้น

#### 4.3.9 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC, SFP PC และ PCM PC + LE1 โดยกำหนดให้ Desired Level = -9 dB, Step Size = 1.5 dB, weight = 0.4 และโมดการควบคุม  $n = 3$  และจำลองแบบวิธี PCM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -9 dB, Step Size = 2.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 1$  โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้มาจากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.3.4, 4.3.6 และ 4.3.8



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

#### 4.3.10 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.9 เปรอ์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC

No. of Mobile Stations	7	8	9	10	11	12
PCM PC + LE1	34.48	28.00	25.27	24.55	23.07	21.21
PCM PC + LE2	37.93	32.00	29.67	29.09	27.69	27.27

รูปที่ 4.35 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีลักษณะคล้ายกันกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ โดยวิธี PCM PC + LE2 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง)) มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่โดยใช้โมดการควบคุม  $n=1$  ซึ่งมีความต่ำที่สุด, วิธี PCM PC มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด, วิธี SFP PC มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี PCM PC ที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ และพบว่าวิธี PCM PC + LE1 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1) มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี SFP PC ที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ ต่างกับในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ซึ่งวิธี PCM PC + LE1 จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธี SFP PC เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น คาดว่าเป็นผลเนื่องจากแบบจำลอง 1 เซลล์มีสัญญาณแทรกสอดน้อยกว่าแบบจำลอง 19 เซลล์จึงทำให้การประมาณค่า SIR ในคาบถัดไปของวิธี PCM PC + LE1 มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

ดังนั้นสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step พบว่าวิธี PCM PC + LE2 มีประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุดและใช้โมดการควบคุมที่มีค่าน้อยที่สุด

#### 4.3.11 ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี M-AADM PC และ M-MADM PC โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่  $N = 10$  สถานี, Desired Level = -9 dB และ Step Size = 1.5 dB

ตารางที่ 4.10 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร T ของวิธี M-AADM PC

T	0.1	0.4	0.8	1.2	1.5	1.8
Outage Probability	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.03

ตารางที่ 4.11 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-MADM PC

K	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
Outage Probability	0.019	0.02	0.021	0.019	0.027	0.32

#### 4.3.12 วิเคราะห์ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC

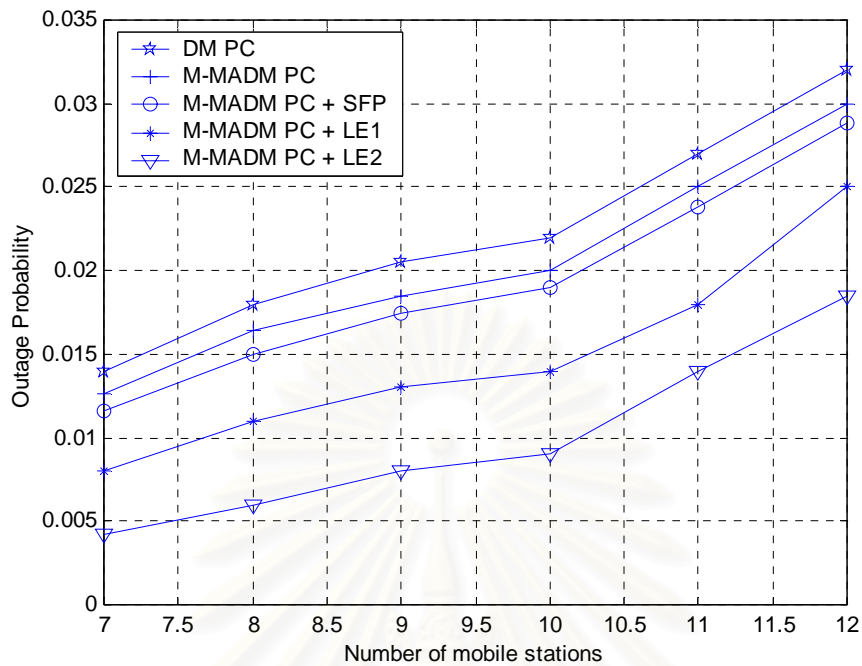
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-AADM PC และตารางที่ 4.6 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-MADM PC พบว่าผลที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร T และ K มีค่าน้อยๆ และความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร T และ K มีค่าเพิ่มมากขึ้น และพบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC ที่ค่าตัวแปร T ระหว่าง 0.1-1.2 และวิธี M-MADM PC ที่ค่าตัวแปร K ระหว่าง 1.1-1.7 มีค่าใกล้เคียงกันมาก

สรุปได้ว่าวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC ที่ค่าตัวแปร T และ K ที่มีค่าน้อยๆ มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถใช้แทนกันได้ ดังนั้นในที่นี้การเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะทำการเลือกใช้วิธี M-MADM PC ที่ค่าตัวแปร K=1.1

#### 4.3.13 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี DM PC, M-MADM PC, M-MADM PC + SFP, M-MADM PC + LE1 และ M-MADM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 1.5 dB, weight = 0.4 และ K = 1.1 โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้มาจากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.3.4, 4.3.6, 4.3.8 และ 4.3.12





รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

#### 4.3.14 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซนต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC

No. of Mobile Stations	7	8	9	10	11	12
M-MADM PC + SFP	17.14	16.67	14.63	13.64	11.85	10.00
M-MADM PC + LE1	42.86	38.89	36.59	36.36	33.33	21.88
M-MADM PC + LE2	70.00	66.67	60.98	59.09	48.15	42.19

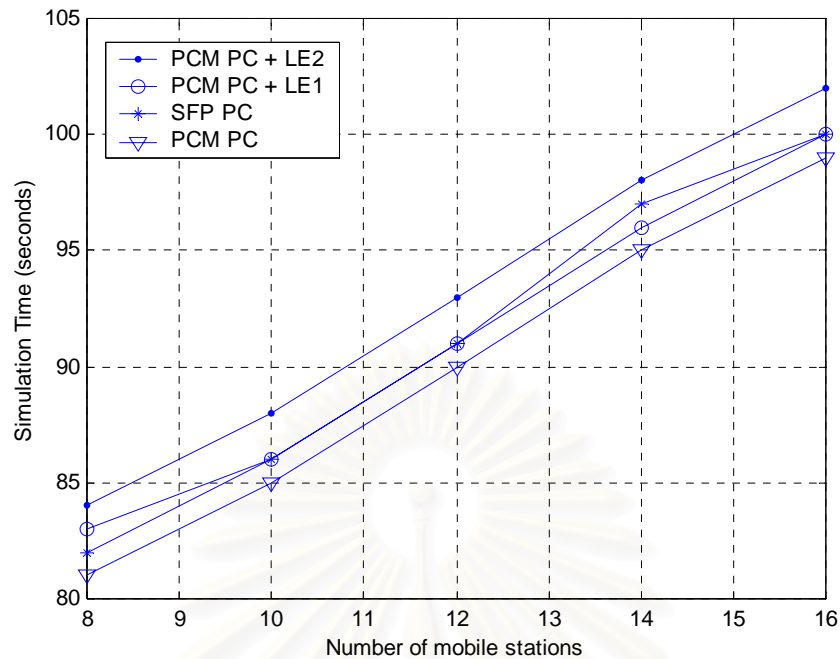
รูปที่ 4.36 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ พบว่าผลที่ได้คล้ายกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ โดยวิธี DM-PC ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ตามปกติมี

ประสิทธิภาพต่ำที่สุด วิธี M-MADM PC + LE2 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 (ปรับปรุง)) มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่, วิธี M-MADM PC + SFP (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3) มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี M-MADM PC เพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ และพบว่าวิธี M-MADM PC + LE1 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2) มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี M-MADM PC + SFP ที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ ต่างกับในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ซึ่งวิธี M-MADM PC + LE1 จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธี M-MADM PC + SFP เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น คาดว่าเป็นผลเนื่องจากแบบจำลอง 1 เซลล์มีสัญญาณแทรกสอดน้อยกว่าแบบจำลอง 19 เซลล์จึงทำให้การประมาณค่า SIR ในคาบถัดไปของวิธี M-MADM PC + LE1 มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง ทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

ดังนั้นสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step พบว่าวิธี M-MADM PC + LE2 มีประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุด รองลงมาคือวิธี M-MADM PC + LE1 ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี M-MADM PC + SFP ที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่

#### 4.3.15 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC, SFP PC และ PCM PC + LE1 โดยกำหนดให้ Desired Level = -9 dB, Step Size = 1.5 dB, weight = 0.4 และโมดการควบคุม  $n = 3$  และจำลองแบบของวิธี PCM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -9 dB, Step Size = 2.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 1$  โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับกรณีที่เป็นการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

#### 4.3.16 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC

No. of Mobile Stations	8	10	12	14	16
PCM PC + LE1	2.47	1.18	1.11	1.05	1.01
PCM PC + LE2	3.70	3.53	3.33	3.16	3.03

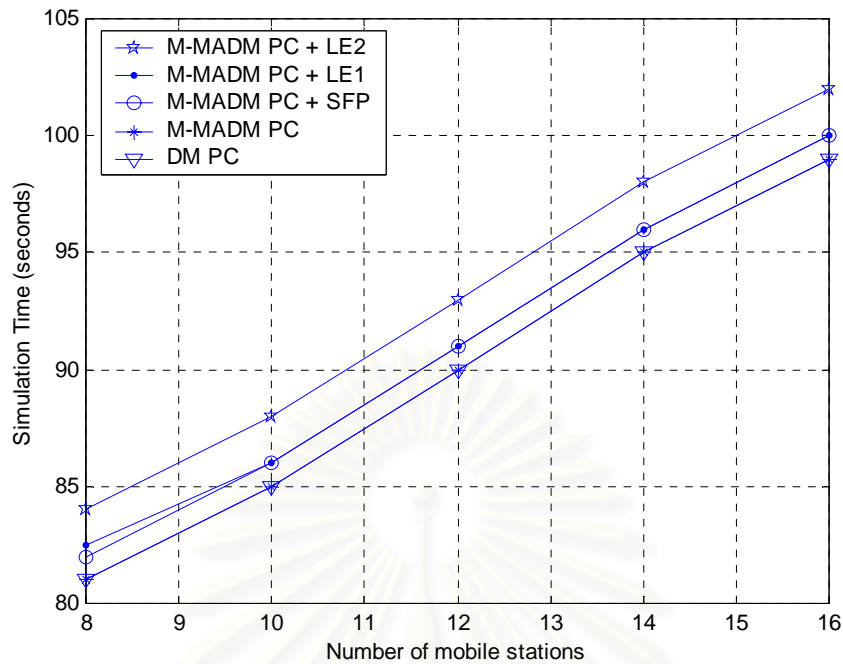
รูปที่ 4.37 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ พบว่าผลที่ได้คล้ายกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ โดยเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังทุกชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย พบว่าวิธี PCM PC + LE2 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนมากที่สุด, วิธี PCM PC + LE1 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบ

มากรองลงมาเป็นอันดับที่ 2 และใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกับวิธี SFP PC และวิธี PCM PC ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ตามปกติซึ่งมีความซับซ้อนน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์เนื่องจากกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์จำนวน link gain ที่จะต้องประมาณค่าจะมีค่าลดลงมากซึ่งจะทำให้ปริมาณการคำนวณและความซับซ้อนมีค่าลดลงด้วย และเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.9 ซึ่งแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC พบว่าสำหรับวิธี PCM PC + LE1 และวิธี PCM PC + LE2 เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี PCM PC + LE1 และวิธี PCM PC + LE2 เป็นวิธีที่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับวิธี PCM PC

#### 4.3.17 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี DM PC, M-MADM PC, M-MADM PC + SFP, M-MADM PC + LE1 และ M-MADM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -9 dB, Step Size = 1.5 dB, weight = 0.4 และ K = 1.1 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับกรณีที่เป็นการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

#### 4.3.18 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC

No. of Mobile Stations	8	10	12	14	16
M-MADM PC + SFP	1.23	1.18	1.11	1.05	1.01
M-MADM PC + LE1	1.85	1.18	1.11	1.05	1.01
M-MADM PC + LE2	3.70	3.53	3.33	3.16	3.03

รูปที่ 4.38 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ พบว่าผลที่ได้คล้ายกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ โดยเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังทุกชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย พบว่าวิธี M-MADM PC + LE2 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบ

มากที่สุด, วิธี M-MADM PC + LE1 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากรองลงมาเป็นอันดับที่ 2 และใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกับวิธี M-MADM PC + SFP เนื่องจากผลของความซับซ้อนของแต่ละวิธี และวิธี M-MADM PC กับวิธี DM PC ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ตามปกติใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบน้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุด

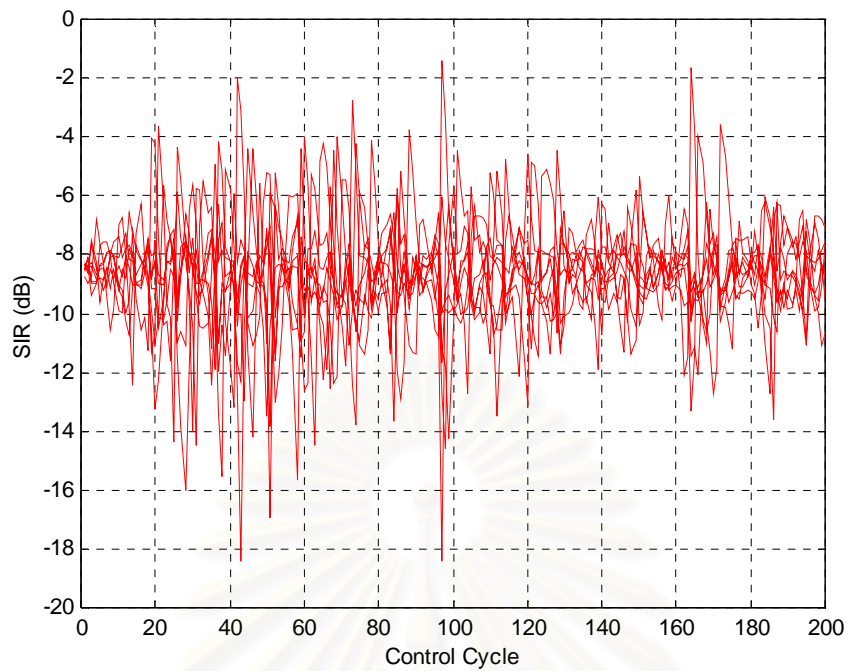
ตารางที่ 4.14 แสดงเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี M-MADM PC พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์เนื่องจากกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์จำนวน link gain ที่จะต้องประมาณค่าจะมีค่าลดลงมากซึ่งจะทำให้ปริมาณการคำนวณและความซับซ้อนมีค่าลดลงด้วย และเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.12 ซึ่งแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC พบว่าสำหรับวิธี M-MADM PC + SFP, วิธี M-MADM PC + LE1 และ วิธี M-MADM PC + LE2 เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี M-MADM PC + SFP, วิธี M-MADM PC + LE1 และ วิธี M-MADM PC + LE2 เป็นวิธีที่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับวิธี DM PC

จากผลการจำลองแบบโดยใช้แบบจำลอง 19 เซลล์และ 1 เซลล์ พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกันเพียงแต่ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์มีค่าต่ำกว่าเนื่องจากมีสัญญาณแทรกสอดลดลง นอกจากนี้ยังได้ทำการจำลองแบบกับแบบจำลอง 1 เซลล์โดยใช้แบบจำลองแบบสุ่มในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีเพื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้แบบจำลองของ Jakes ในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีซึ่งกระทำไปในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 อีกด้วย พบว่าผลที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการจำลองแบบกับแบบจำลอง 1 เซลล์กรณีที่ใช้แบบจำลองของ Jakes ในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีในทุกหัวข้อของการนำเสนอผลและวิเคราะห์ผลการจำลองแบบแต่ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้แบบจำลองของ Jakes แทนแบบจำลองแบบสุ่มในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีได้โดยใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบน้อยกว่าถึงแม้แบบจำลองของ Jakes จะมีคุณสมบัติเป็นแบบ Deterministic ก็ตาม

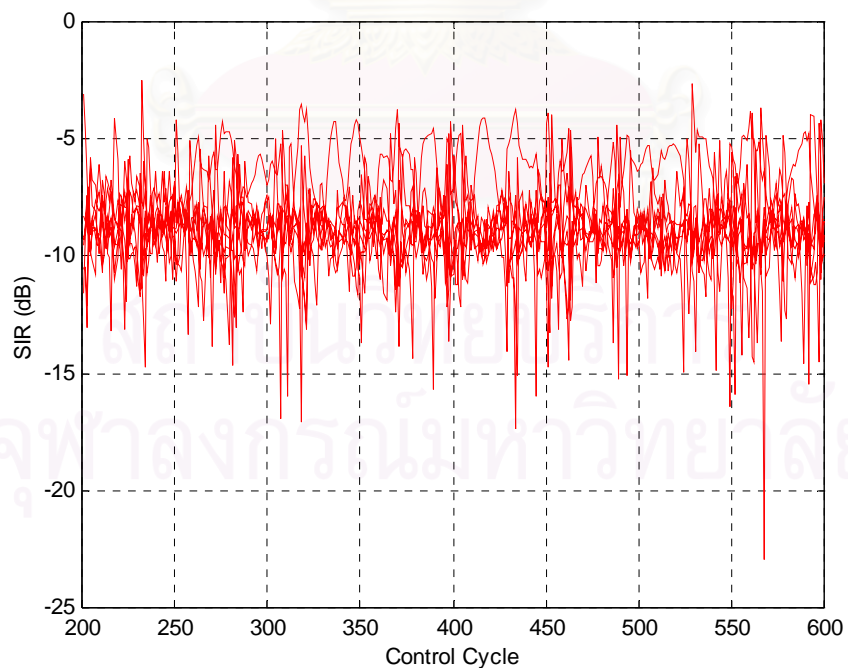
#### 4.4 ผลการจำลองแบบของการควบคุมกำลังโดยใช้แบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อมีการกำหนดค่ากำลังสูงสุดและต่ำสุดของสถานีเคลื่อนที่

##### 4.4.1 การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC โดยกำหนดให้ กำลังสูงสุดของสถานีเคลื่อนที่ = 0 dB, กำลังต่ำสุดของสถานีเคลื่อนที่ = -100 dB [4], จำนวนสถานีเคลื่อนที่  $N = 8$  สถานี, Desired Level = -9 และ -6 dB, Step Size = 1.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 3$  โดยใช้รอบในการควบคุม 200 รอบแรกเพื่อปรับให้การควบคุมกำลังเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวได้ดีกว่ากรณีที่ได้ทำการจำลองแบบที่ผ่านมาซึ่งใช้รอบในการควบคุมเป็น 100 รอบ เนื่องจากต้องการพิจารณาผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายในช่วงที่กำลังของสถานีเคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงรอบค่าต่ำสุดหรือสูงสุดซึ่งอยู่ในช่วงตั้งแต่รอบการควบคุมที่ 200 ขึ้นไป

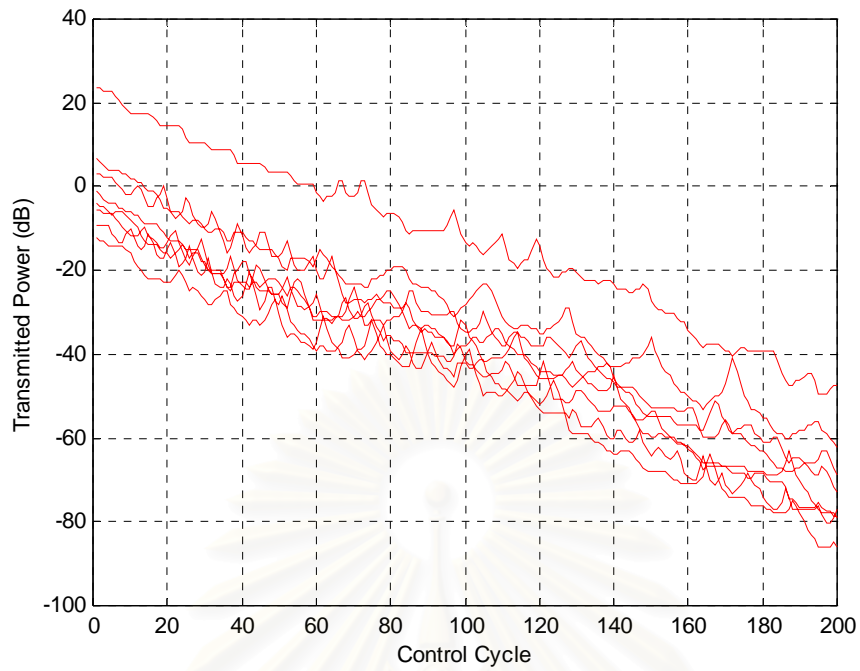


รูปที่ 4.39 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB

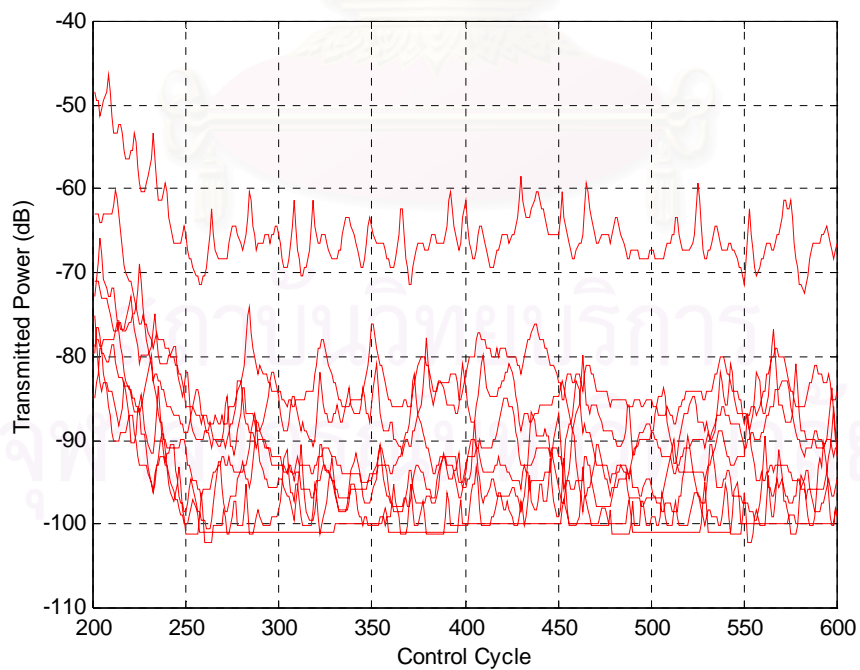


รูปที่ 4.40 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB

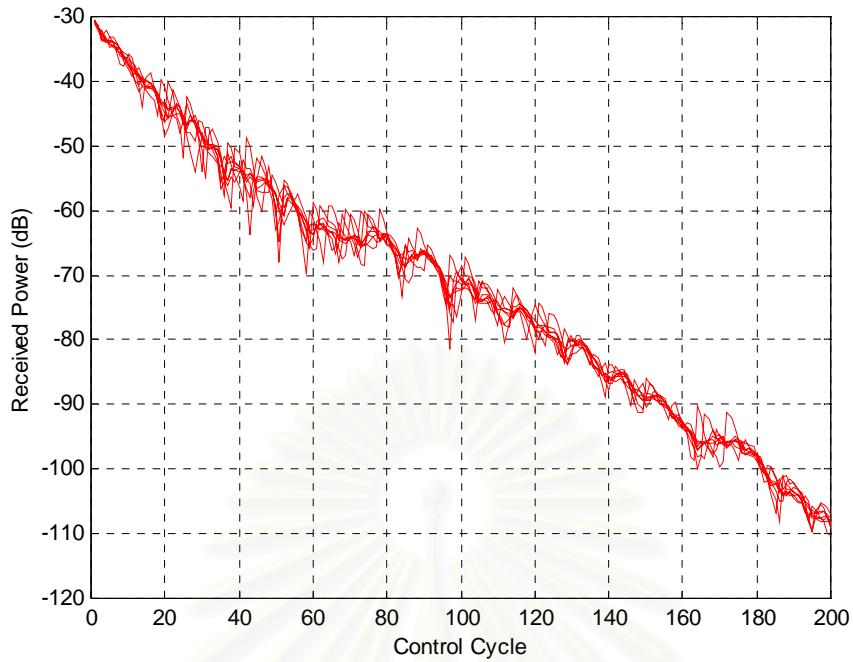




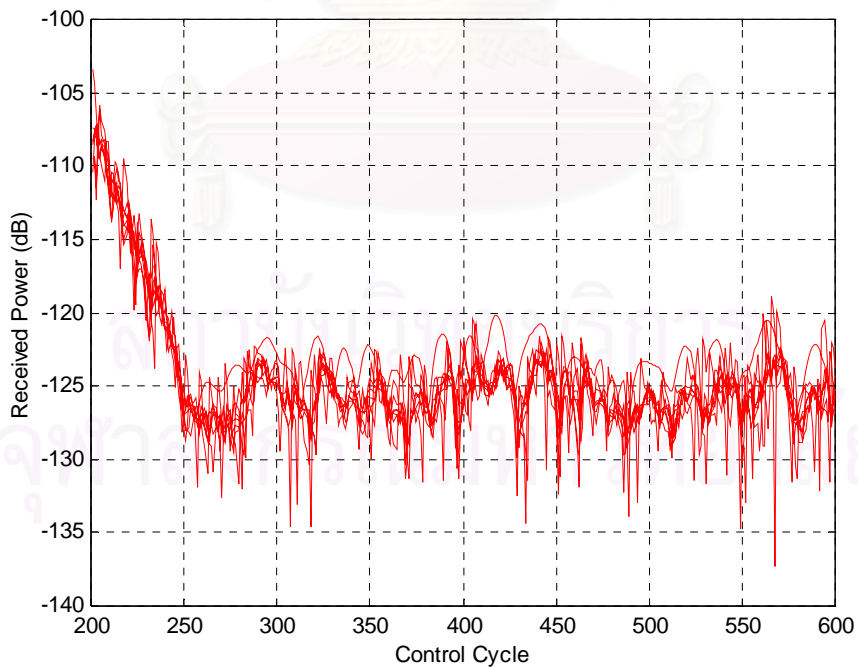
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



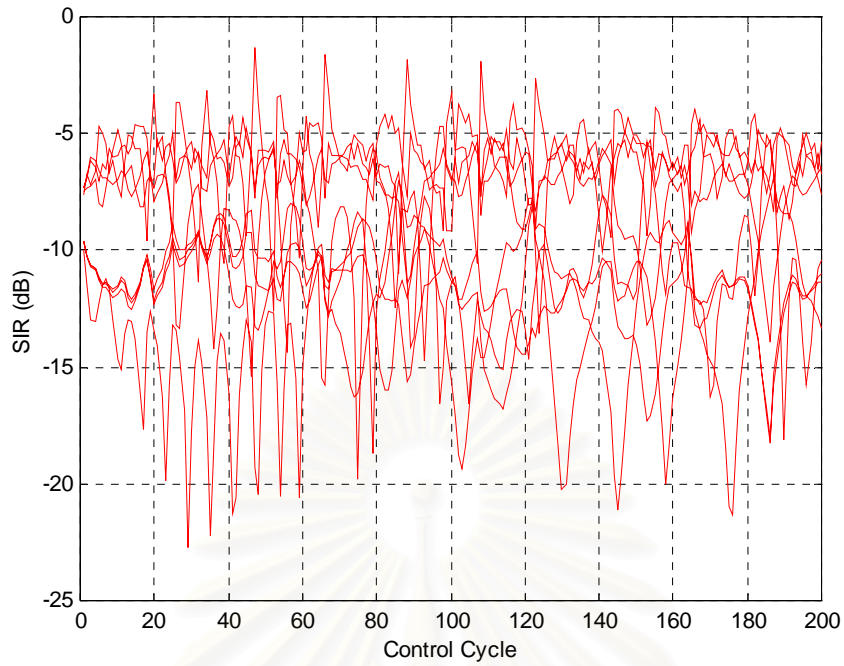
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



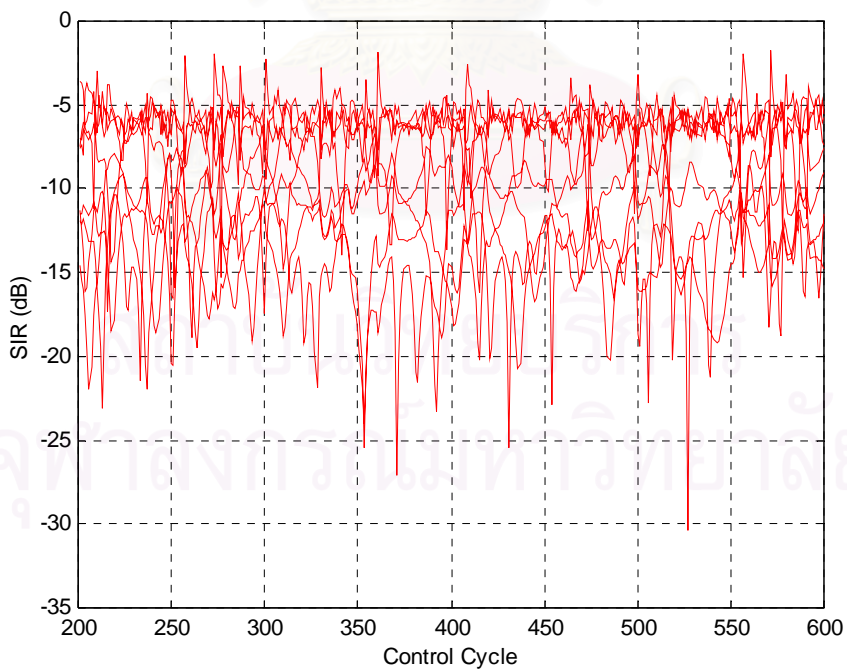
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



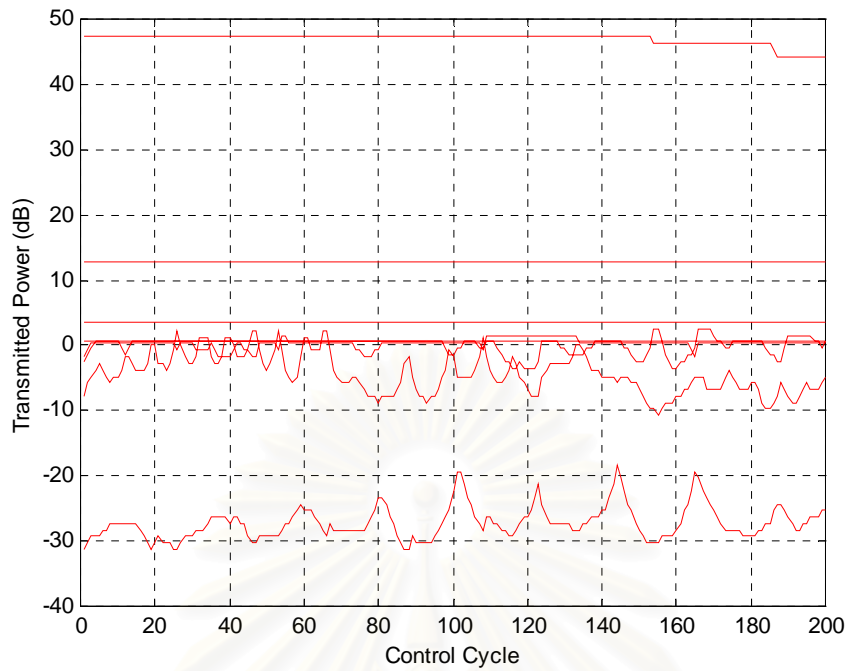
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB



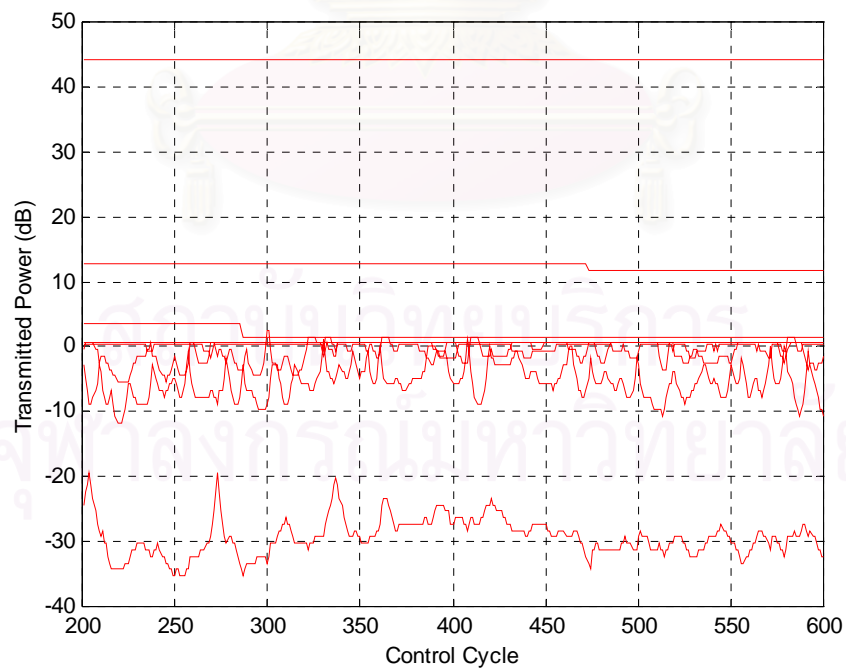
รูปที่ 4.45 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



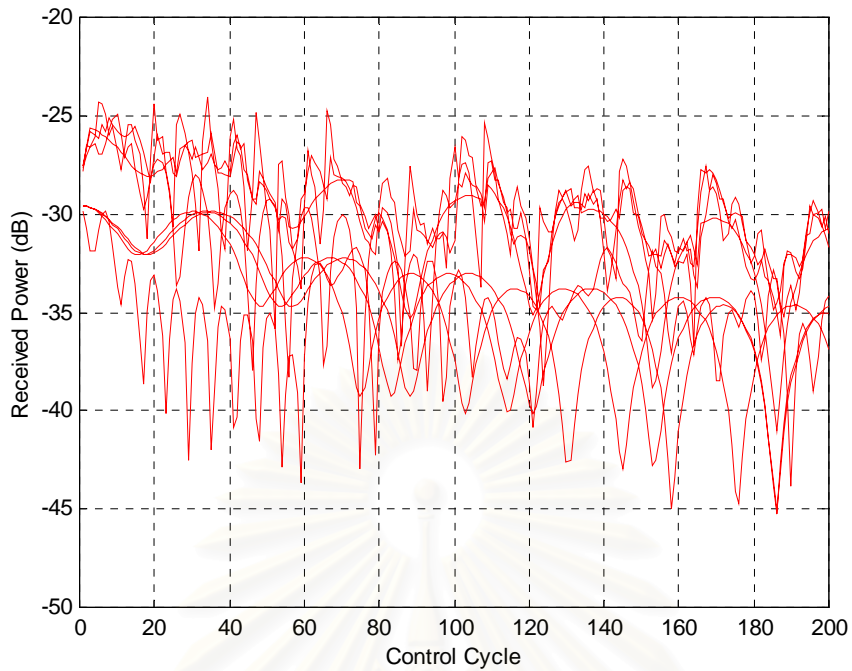
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



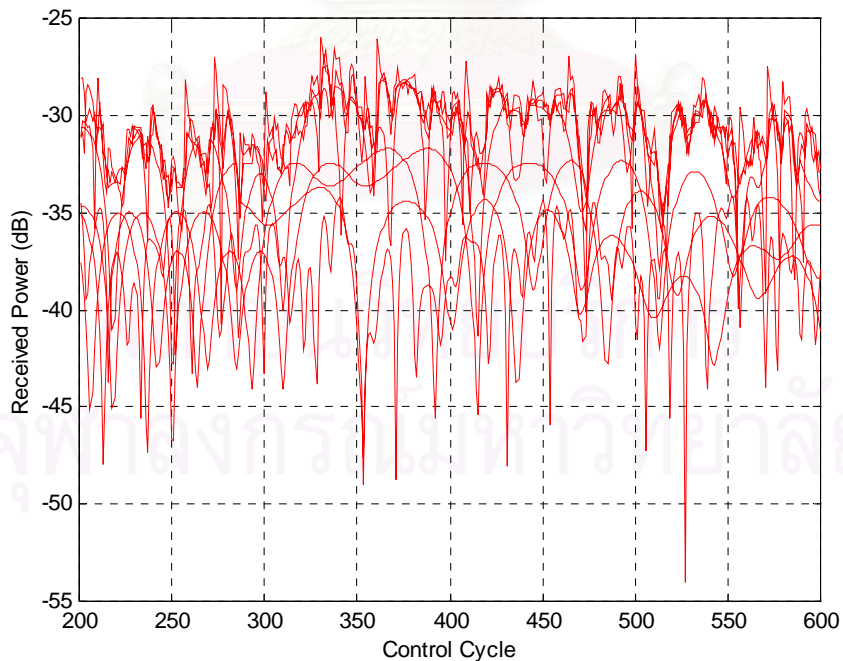
รูปที่ 4.47 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



รูปที่ 4.49 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB



รูปที่ 4.50 กราฟแสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานี เทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB

#### 4.4.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า SIR , กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม

รูปที่ 4.39 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า -9 dB ซึ่งเป็นค่า Desired Level เนื่องจากผลของสัญญาณแทรกสอดและเฟดดิ้งเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่

รูปที่ 4.40 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า -9 dB ซึ่งเป็นค่า Desired Level อย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องจากช่วง 200 รอบแรกของ การควบคุมเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่

รูปที่ 4.41 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่เช่นเดียวกันกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่

รูปที่ 4.42 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่าเมื่อกำลังของสถานีเคลื่อนที่สถานีหนึ่งลดลงจนถึงค่าต่ำสุดและไม่สามารถลดลงไปอีกจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งส่งผลให้กำลังของสถานีเคลื่อนที่สถานีอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่าคงที่ค่าหนึ่งเช่นเดียวกัน

รูปที่ 4.43 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าลดลงเรื่อยๆ ด้วยอัตราคงที่ และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าเท่ากันในแต่ละรอบของการควบคุมตามคุณสมบัติของการควบคุมกำลังแต่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากผลของเฟดดิ้งเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่

รูปที่ 4.44 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -9 dB พบว่าเมื่อกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าลดลงถึงค่าๆ หนึ่งก็จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับการที่กำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีลดลงจนถึงค่าต่ำสุดแล้วก็มี การเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่าคงที่ค่าหนึ่งเช่นเดียวกัน

รูปที่ 4.45 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานีมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า SIR ที่ต่างกัน โดยที่ค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่บางเครื่องมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า SIR = -6 dB ซึ่งเป็นค่า Desired Level แต่ค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ที่เหลือจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงรอบค่า SIR ที่ต่ำกว่า Desired Level และมีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงกว่า เนื่องจาก Desired Level มีค่าสูงเกินไปจึงทำให้ไม่สามารถควบคุมกำลังของสถานีเคลื่อนที่บางสถานีที่มีกำลังเริ่มต้นมากกว่ากำลังสูงสุดได้

รูปที่ 4.46 แสดงค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่าค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีในรอบของการควบคุมรอบที่ 200-600 ของการควบคุมยังคงมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันต่อเนื่องจากช่วง 200 รอบแรกของการควบคุม

รูปที่ 4.47 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่าถ้ากำลังเริ่มต้นของสถานีเคลื่อนที่มีค่ามากกว่าค่ากำลังสูงสุด กำลังของสถานีเคลื่อนที่เครื่องนั้นจะแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดช่วงการควบคุม เนื่องจากถ้า Desired Level มีค่าสูง สถานีเคลื่อนที่ที่จะต้องเพิ่มกำลังเพื่อเพิ่มระดับ SIR ให้ขึ้นไปอยู่ที่ Desired Level ดังนั้นถ้ากำลังของสถานีเคลื่อนที่มีค่ามากกว่าค่ากำลังสูงสุดก็ไม่สามารถเพิ่มขึ้นไปได้อีก จึงทำให้ไม่สามารถควบคุมค่า SIR ของสถานีเคลื่อนที่สถานีนั้นให้อยู่ที่ Desired Level ได้

รูปที่ 4.48 แสดงค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุมรอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันต่อเนื่องจากช่วง 200 รอบแรกของการควบคุม

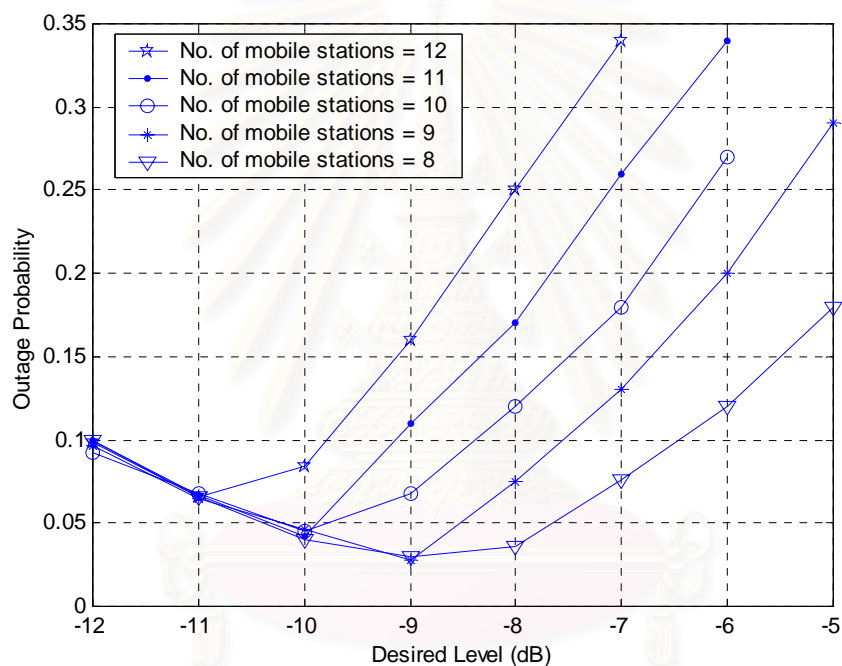
รูปที่ 4.49 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม 200 รอบแรกของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่บางสถานีมีค่าเท่ากันและมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากผลของเฟดดิ้งตามปกติ แต่กำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่บางสถานีมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากการที่ไม่สามารถควบคุมกำลังของสถานีเคลื่อนที่ที่มีกำลังเริ่มต้นมากกว่ากำลังสูงสุด

รูปที่ 4.50 แสดงค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่จำนวน 8 สถานีเทียบกับรอบของการควบคุม รอบที่ 200-600 ของวิธี PCM PC เมื่อ Desired Level = -6 dB พบว่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันต่อเนื่องจากช่วง 200 รอบแรกของการควบคุม

สำหรับวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า SIR, กำลังของสถานีเคลื่อนที่และกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุมมีลักษณะเดียวกับกับวิธี PCM PC โดยวิธีการควบคุมกำลังที่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายน้อยกว่าวิธี PCM PC จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของค่า SIR ที่รุนแรงน้อยกว่าวิธี PCM PC

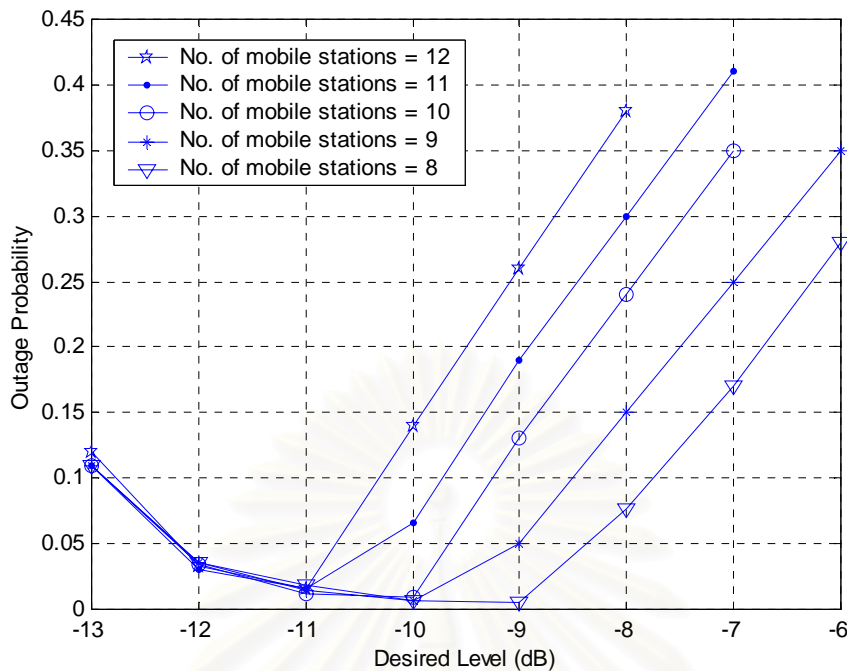
#### 4.4.3 ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC โดยกำหนดให้ Step Size = 1.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 3$  และวิธี PCM PC +LE2 กำหนดให้ Step Size = 2.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 1$



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ กัน





รูปที่ 4.52 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC + LE2 ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ กัน

#### 4.4.4 วิเคราะห์ผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

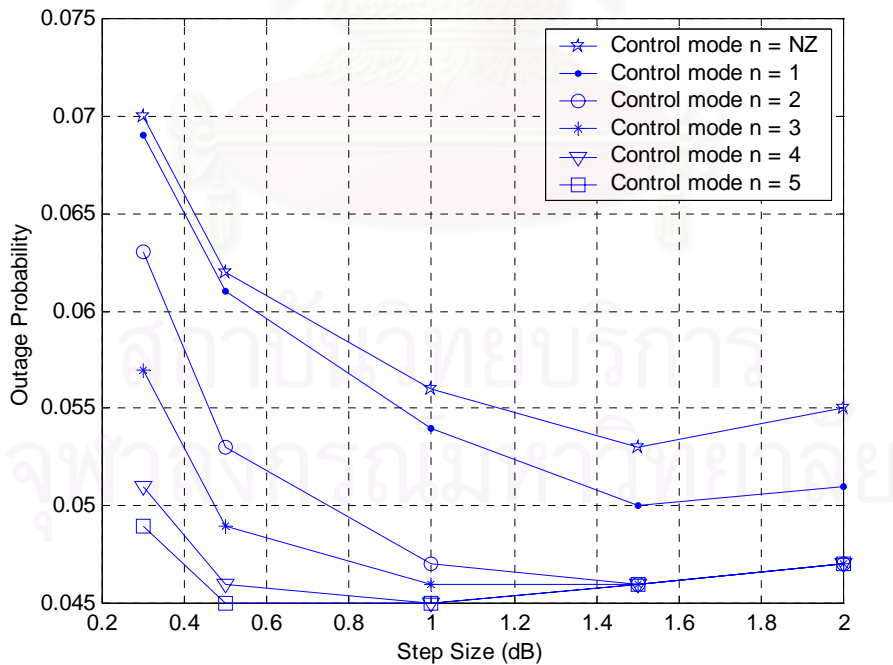
รูปที่ 4.51 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน พบว่าเมื่อ Desired Level มีค่าสูงเกินไปหรือมีค่าต่ำเกินไปจะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าเพิ่มขึ้นคล้ายกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าเนื่องจากในกรณีที่ Desired Level มีค่าสูงๆ จะทำให้ไม่สามารถควบคุมกำลังของสถานีเคลื่อนที่ที่มีกำลังเริ่มต้นมากกว่ากำลังสูงสุดได้และทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และพบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าหนึ่งๆ จะมี Desired Level ที่เหมาะสมที่สุด ( $D^*$ ) อยู่ค่าหนึ่งซึ่งทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำที่สุด โดยค่า  $D^*$  จะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น ในที่นี้พบว่า Desired Level = -11 dB เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถใช้การได้ดีที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ กัน เนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่  $N = 8 - 12$  มีค่าใกล้เคียงกันมาก และมีค่าประมาณ 0.065

รูปที่ 4.52 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธี PCM PC + LE2 ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับวิธี PCM PC พบว่า Desired Level = -11 dB เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถใช้งานได้ดีที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ กัน เนื่องจากความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ N = 8 - 12 มีค่าใกล้เคียงกันมาก และมีค่าประมาณ 0.015 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าวิธี PCM PC

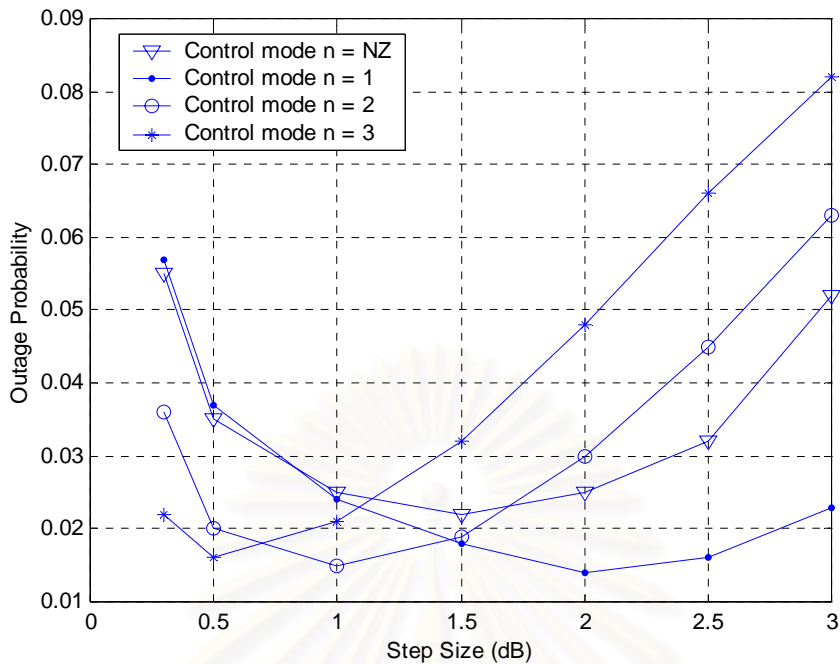
สำหรับวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ พบว่าผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีลักษณะเดียวกันกับวิธี PCM PC และวิธี PCM PC + LE2 แต่อาจจะมีความเหมาะสมที่สุดที่สามารถใช้งานได้ดีที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ แตกต่างกัน โดยได้มีการแสดงผลไว้ในภาคผนวก

**4.4.5 ผลของ Step Size และโหมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย**

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ N = 8 สถานี, Desired Level = -10 dB และวิธี PCM PC + LE2 กำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ N = 8 สถานี, Desired Level = -11 dB



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC ที่โหมดการควบคุมค่าต่างๆ



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE2 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ

#### 4.4.6 วิเคราะห์ผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

รูปที่ 4.53 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ พบว่าเมื่อโมดการควบคุม  $n$  มีค่าเพิ่มขึ้น ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าลดลงไม่ว่า Step Size จะมีค่าเท่าไร คล้ายกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่แต่ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ และพบว่าเมื่อโมดการควบคุม  $n \geq 3$  และ Step Size = 1.0 dB ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายแทบจะมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะเลือกโมดการควบคุม  $n = 3$  และ Step Size = 1.0 dB

สำหรับวิธีการควบคุมกำลังวิธีอื่นๆ ยกเว้นวิธี M-ADM PC + LE2, PCM PC + LE2, M-ADM PC + LE1 และ PCM PC + LE1 พบว่าผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีลักษณะเดียวกันกับวิธี PCM PC โดยได้มีการแสดงตัวอย่างไว้ในภาคผนวก

รูปที่ 4.54 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE2 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ พบว่ามีลักษณะคล้ายกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ โดยที่โมดการควบคุม n ค่าต่างๆ กัน จะมีค่า Step Size ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำที่สุดค่าต่างๆ กัน เนื่องจากที่โมดการควบคุมค่าสูงๆ จะทำให้สิ้นเปลืองความจุของระบบในช่องสัญญาณย้อนกลับมากขึ้น ดังนั้นในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะเลือกโมดการควบคุม  $n = 1$  และ Step Size = 2 dB

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธี PCM PC + LE2 สามารถใช้โมดการควบคุมที่มีค่าต่ำซึ่งให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำด้วยได้ถ้าเลือก Step Size ที่เหมาะสม ในขณะที่วิธี PCM PC จะให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าต่ำลงเมื่อโมดการควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นเท่านั้น จึงทำให้วิธี PCM PC + LE2 ช่วยประหยัดความจุของระบบได้มากกว่าวิธี PCM PC เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่

#### 4.4.7 ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี SFP PC โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่  $N = 10$  สถานี, Desired Level = -11 dB, โมดการควบคุม  $n=3$ , Step Size = 1.0 dB

ตารางที่ 4.15 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธี SFP PC

weight	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
Outage Probability	0.023	0.02	0.021	0.022	0.027	0.03	0.04

#### 4.4.8 วิเคราะห์ผลของตัวแปร weight ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี SFP PC

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร weight ของวิธี SFP PC พบว่าผลที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร weight มีค่าน้อยๆ และความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร weight มีค่าสูงๆ ในที่นี้ในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะเลือก

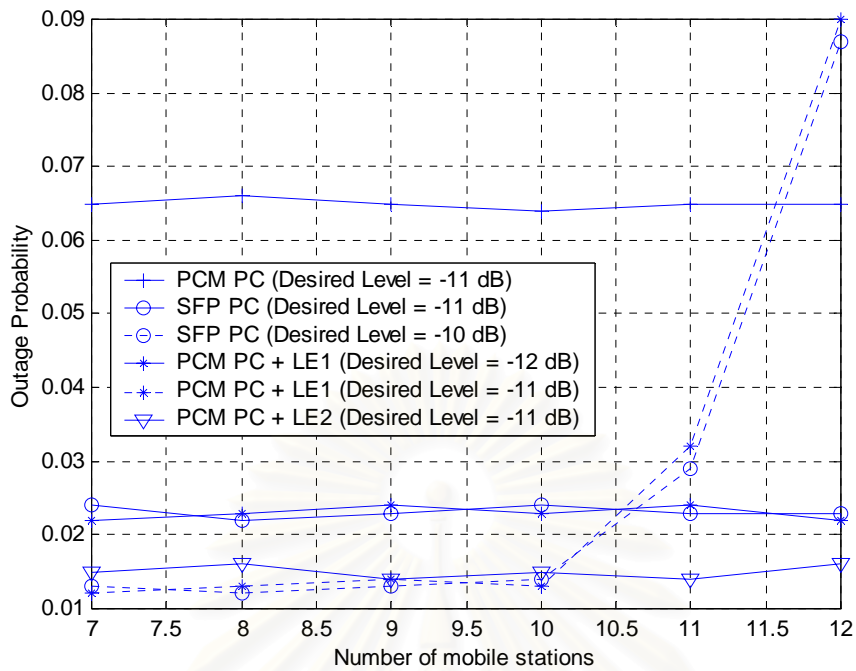
โมดการควบคุม  $n = 3$ , Step Size = 1.0 dB ตามที่ได้วิเคราะห์มาในหัวข้อที่ 4.4.6 และตัวแปร  $weight = 0.4$  เนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุด

สรุปได้ว่าที่โมดการควบคุมและ Step Size ค่าหนึ่งๆ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร  $weight$  มีค่าต่ำๆ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร  $weight$  มีค่าสูงขึ้น

#### 4.4.9 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบดังต่อไปนี้ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์มาในหัวข้อที่ 4.4.4, 4.4.6 และ 4.4.8 ซึ่งเป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่ให้ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ดีที่สุดของแต่ละกรณีมาทำการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

- วิธี PCM PC กำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 1.0 dB, โมดการควบคุม  $n = 3$
- วิธี SFP PC กำหนดให้ Desired Level = -10 และ -11 dB, Step Size = 1.0 dB,  $weight = 0.4$  และโมดการควบคุม  $n = 3$
- วิธี PCM PC + LE1 กำหนดให้ Desired Level = -11 และ -12 dB, Step Size = 1.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 3$
- วิธี PCM PC + LE2 กำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 2.0 dB และโมดการควบคุม  $n = 1$



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

#### 4.4.10 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.16 เปอร์เซนต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC

No. of Mobile Stations	7	8	9	10	11	12
PCM PC + LE1	66.15	65.15	63.08	64.06	63.08	66.15
PCM PC + LE2	76.92	75.76	78.46	76.56	78.46	75.38

จากหัวข้อที่ 4.4.4 ทำให้ทราบว่าวิธีการควบคุมกำลังแต่ละชนิดจะมี Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ค่าหนึ่งซึ่งสามารถใช้งานได้ดีที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ กัน โดยให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าใกล้เคียงกัน และจากหัวข้อที่ 4.4.4 พบว่าวิธี PCM PC และวิธี PCM PC + LE2 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 (ปรับปรุง)) มี Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดคือ  $-11$  dB ดังนั้นในการจำลองแบบในหัวข้อที่ 4.4.9 สำหรับวิธี PCM PC และวิธี PCM PC +

LE2 จึงใช้ Desired Level = -11 dB รูปที่ 4.55 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ พบว่า วิธี SFP PC มี Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดคือ -11 dB และวิธี PCM PC + LE1 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1) มี Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดคือ -12 dB เนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ กันมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น และพบว่าที่ Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละวิธี วิธี PCM PC + LE2 มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือวิธี PCM PC + LE1 และ SFP PC ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน และวิธี PCM PC มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด พบว่าผลที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่

ดังนั้นสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step พบว่าวิธี PCM PC + LE2 มีประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุดและใช้โมเดการควบคุมที่มีค่าน้อยที่สุด

#### 4.4.11 ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC

ผู้วิจัยได้จำลองแบบของวิธี M-AADM PC และ M-MADM PC โดยกำหนดให้ จำนวนสถานีเคลื่อนที่  $N = 8$  สถานี, Desired Level = -11 dB และ Step Size = 1.5 dB

ตารางที่ 4.17 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร T ของวิธี M-AADM PC

T	0.1	0.4	0.8	1.2	1.5	1.8
Outage probability	0.077	0.079	0.078	0.077	0.077	0.097

ตารางที่ 4.18 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-MADM PC

K	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
Outage probability	0.078	0.077	0.078	0.079	0.091	0.13

#### 4.4.12 วิเคราะห์ผลของตัวแปร T, K ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-AADM PC และตารางที่ 4.9 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับตัวแปร K ของวิธี M-MADM PC พบว่าผลที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่ตัวแปร T และ K มีค่าน้อยๆ และความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวแปร T และ K มีค่าเพิ่มมากขึ้น และพบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-AADM PC ที่ค่าตัวแปร T ระหว่าง 0.1-1.5 และวิธี M-MADM PC ที่ค่าตัวแปร K ระหว่าง 1.1-1.7 มีค่าใกล้เคียงกันมาก

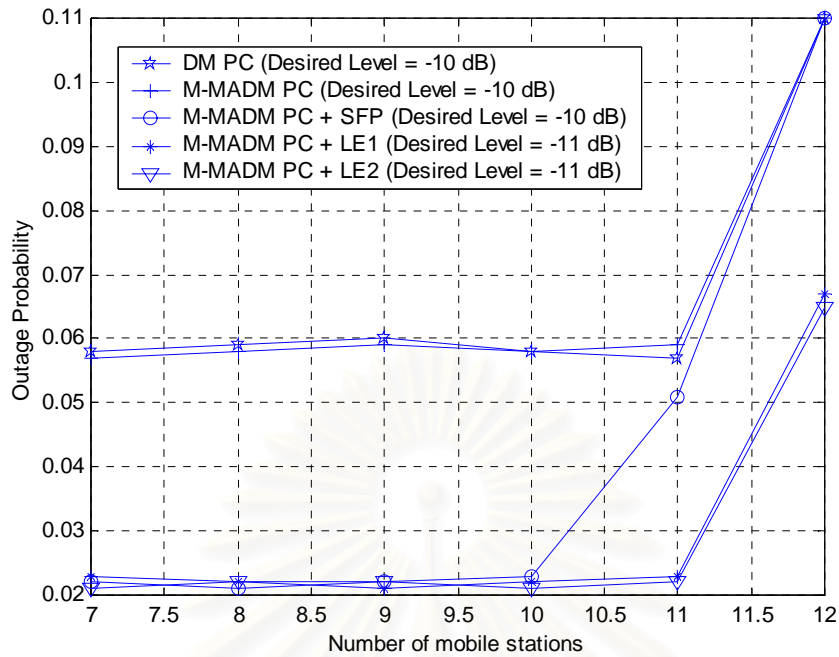
สรุปได้ว่าวิธี M-AADM PC และวิธี M-MADM PC ที่ค่าตัวแปร T และ K ที่มีค่าน้อยๆ มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถใช้แทนกันได้ ดังนั้นในที่นี้การเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะทำการเลือกใช้วิธี M-MADM PC ที่ค่าตัวแปร K = 1.3

#### 4.4.13 ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

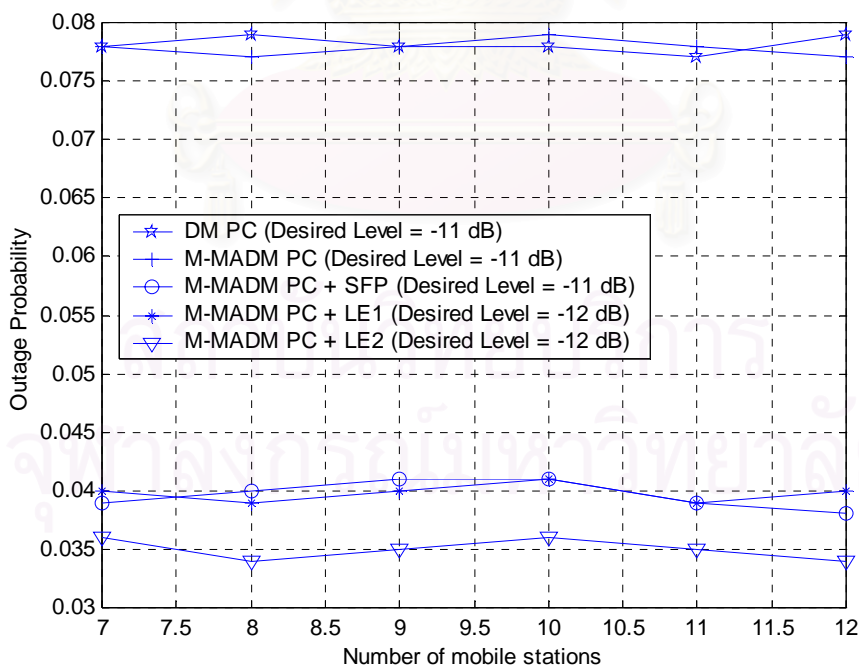
ผู้วิจัยได้จำลองแบบดังต่อไปนี้ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้วิเคราะห์มาในหัวข้อที่ 4.4.4, 4.4.6, 4.4.8 และ 4.4.12 ซึ่งเป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่ให้ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่ดีที่สุดของแต่ละกรณีมาเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย

- วิธี DM PC กำหนดให้ Desired Level = -10 และ -11 dB, Step Size = 1.5 dB
- วิธี M-MADM PC กำหนดให้ Desired Level = -10 และ -11 dB, K = 1.3
- วิธี M-MADM PC + SFP กำหนดให้ Desired Level = -10 และ -11 dB, weight = 0.4, K = 1.3
- วิธี M-MADM PC + LE1 กำหนดให้ Desired Level = -11 และ -12 dB, K = 1.3
- วิธี M-MADM PC + LE2 กำหนดให้ Desired Level = -11 และ -12 dB, K = 1.3





รูปที่ 4.56 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ เมื่อไม่ได้ใช้ค่า Desired Level ที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ เมื่อใช้ค่า Desired Level ที่เหมาะสมที่สุด

#### 4.5.14 วิเคราะห์ผลของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.19 เปอร์เซนต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC

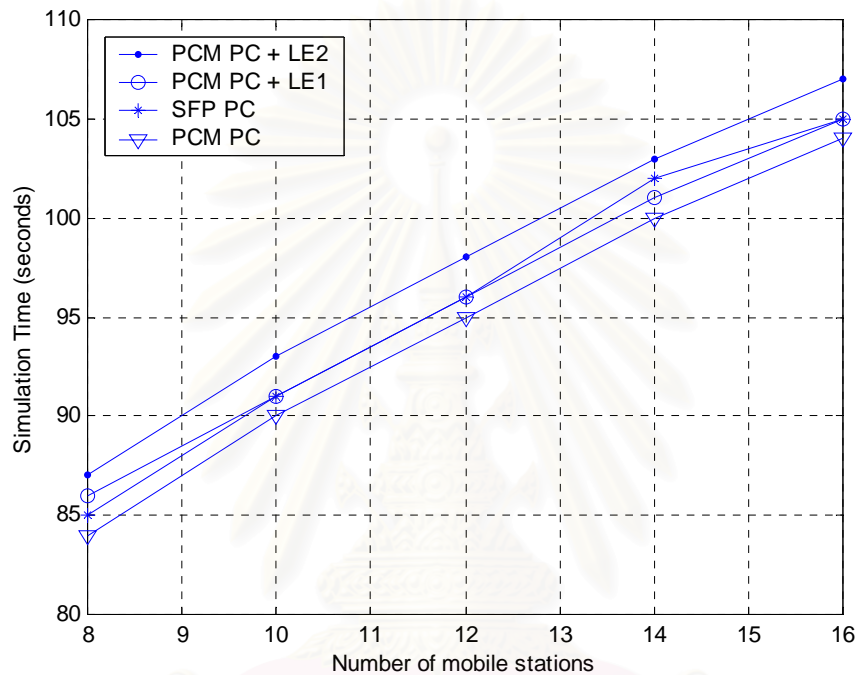
No. of Mobile Stations	7	8	9	10	11	12
M-MADM + SFP	50.00	49.37	47.44	47.44	49.35	51.90
M-MADM + LE1	48.72	50.63	48.72	47.44	49.35	49.37
M-MADM + LE2	53.85	56.96	55.13	53.85	54.55	56.96

รูปที่ 4.56 และรูปที่ 4.57 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ เมื่อไม่ได้ใช้ค่า Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดและเมื่อใช้ค่า Desired Level ที่เหมาะสมที่สุด พบว่า วิธี DM PC, M-MADM PC และ M-MADM PC + SFP (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3) มี Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดคือ  $-11$  dB, วิธี M-MADM PC + LE1 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2) และ M-MADM PC + LE2 (วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 (ปรับปรุง)) มี Desired Level ที่เหมาะสมที่สุดคือ  $-12$  dB เนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างกันมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น พบว่าที่ Desired Level ที่เหมาะสมที่สุด วิธี M-MADM PC + LE2 มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือวิธี M-MADM PC + LE1 และ M-MADM PC + SFP ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน วิธี M-MADM PC และวิธี DM PC มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด พบว่าผลที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่แต่อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งระยะสั้นช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธี M-MADM PC ได้ดีขึ้นมากกว่ากรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่

ดังนั้นสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step พบว่าวิธี M-MADM PC + LE2 มีประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำที่สุด รองลงมาคือวิธี M-MADM PC + LE1 ซึ่งประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธี M-MADM PC + SFP

#### 4.4.15 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี PCM PC, SFP PC และ PCM PC + LE1 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 1.0 dB, weight = 0.4 และโมดการควบคุม n = 3 และจำลองแบบวิธี PCM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 2.0 dB และโมดการควบคุม n = 1 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับกรณีที่เป็นการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

#### 4.4.16 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.20 เปอร์เซนต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC

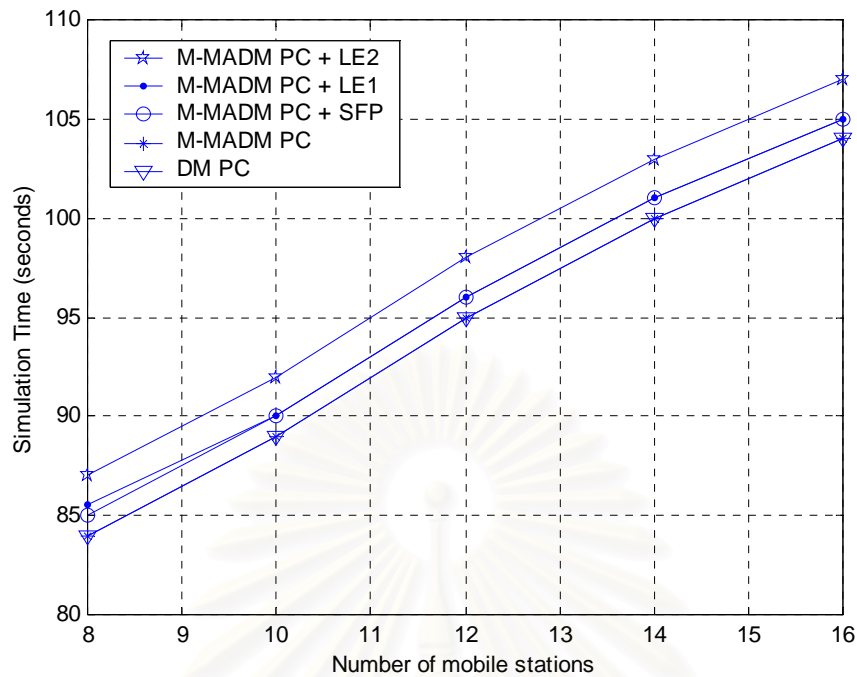
No. of Mobile Stations	8	10	12	14	16
PCM PC + LE1	2.38	1.11	1.05	1.00	0.96
PCM PC + LE2	3.57	3.33	3.16	3.00	2.88

รูปที่ 4.58 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ชนิดต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบโดยรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากในกรณีที่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ใช้อัตรารอบในการควบคุมเพิ่มจาก 100 รอบเป็น 200 รอบในการปรับให้การควบคุมกำลังเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว โดยพบว่าวิธี PCM PC + LE2 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากที่สุด, วิธี PCM PC + LE1 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากรองลงมาเป็นอันดับที่ 2 และใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกับวิธี SFP PC และวิธี PCM PC ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.20 แสดงเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์ และเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.16 ซึ่งแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ที่เสนอเทียบกับวิธี PCM PC พบว่าสำหรับวิธี PCM PC + LE1 และวิธี PCM PC + LE2 เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี PCM PC + LE1 และวิธี PCM PC + LE2 เป็นวิธีที่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับวิธี PCM PC

#### 4.4.17 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ผู้วิจัยได้จำลองแบบวิธี DM PC, M-MADM PC, M-MADM PC + SFP, M-MADM PC + LE1 และ M-MADM PC + LE2 โดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB, Step Size = 1.5 dB, weight = 0.4 และ K = 1.1 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับกรณีที่เป็นการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย



รูปที่ 4.59 กราฟแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

#### 4.4.18 วิเคราะห์ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.21 เปรอ์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC

No. of Mobile Stations	8	10	12	14	16
M-MADM PC + SFP	1.19	1.12	1.05	1.00	0.96
M-MADM PC + LE1	1.79	1.18	1.11	1.05	1.01
M-MADM PC + LE2	3.57	3.37	3.16	3.00	2.88

รูปที่ 4.59 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ชนิดต่างๆ พบว่าผลที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบโดยรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากในกรณีที่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ใช้จำนวนรอบใน

การควบคุมเพิ่มจาก 100 รอบเป็น 200 รอบในการปรับให้การควบคุมกำลังเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว โดยพบว่าวิธี M-MADM PC + LE2 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากที่สุด, วิธี M-MADM PC + LE1 ใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบมากรองลงมาเป็นอันดับที่ 2 และใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกับวิธี M-MADM PC + SFP เนื่องจากผลของความซับซ้อนของแต่ละวิธี และวิธี M-MADM PC กับวิธี DM PC ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ตามปกติใช้ระยะเวลาในการจำลองแบบน้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.21 แสดงเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี M-MADM PC พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์ และเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.19 ซึ่งแสดงเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ที่เสนอเทียบกับวิธี DM PC พบว่าสำหรับวิธี M-MADM PC + SFP, วิธี M-MADM PC + LE1 และ วิธี M-MADM PC + LE2 เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี M-MADM PC + SFP, วิธี M-MADM PC + LE1 และ วิธี M-MADM PC + LE2 เป็นวิธีที่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับวิธี DM PC

## บทที่ 5

### สรุปผลการจำลองแบบและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการจำลองแบบ

จากการจำลองแบบเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลในด้านค่า SIR, ค่ากำลังของสถานีเคลื่อนที่และค่ากำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับเทียบกับรอบของการควบคุม รวมทั้งความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ จำนวนสถานีเคลื่อนที่, Desired Level, Step Size, โมดการควบคุม, ตัวแปร weight ของวิธีการควบคุม กำลังที่ใช้อัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้น และตัวแปร T, K ของวิธีการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชันปรับค่าได้ที่มีการดัดแปลงแบบบวกและแบบคูณ พบว่าทั้งแบบจำลอง 19 เซลล์ และแบบจำลอง 1 เซลล์ให้ผลดังกล่าวในลักษณะใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใช้แบบจำลอง 1 เซลล์ พบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายโดยรวมมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ เนื่องจากแบบจำลอง 1 เซลล์มีผลของสัญญาณแทรกสอดที่มาจากผู้ใช้ภายในเซลล์เดียวกันเท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้สามารถควบคุมค่า SIR ให้ขึ้นไปอยู่ที่ Desired Level ที่สูงกว่ากรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ สำหรับผลการจำลองแบบกับแบบจำลอง 1 เซลล์ที่ใช้แบบจำลองแบบสุ่มในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี มีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้แบบจำลองของ Jakes ในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้แบบจำลองของ Jakes และการใช้แบบจำลองแบบสุ่มในการสร้างสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีให้ผลเหมือนกันถึงแม้ว่าแบบจำลองของ Jakes จะเป็นแบบ Deterministic

จากผลการจำลองแบบโดยใช้แบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อมีการกำหนดค่ากำลังสูงสุดและต่ำสุดของสถานีเคลื่อนที่ พบว่ามีลักษณะแตกต่างจากกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังในส่วนของผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย โดยในกรณีที่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าหนึ่งๆ เมื่อ Desired Level มีค่าสูงเกินค่า Desired Level ที่เหมาะที่สุด ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากไม่สามารถควบคุมกำลังของสถานีเคลื่อนที่ที่มีกำลังเริ่มต้นมากกว่ากำลังสูงสุดได้ และ Desired Level ที่เหมาะที่สุดที่สามารถใช้การได้ดีที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ค่าต่างๆ กันจะให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ของวิธีการควบคุมกำลังชนิดต่างๆ จึงต้องเปรียบเทียบที่ Desired Level ที่เหมาะที่สุดของแต่ละวิธี ซึ่งพบว่าผลที่ได้ใกล้เคียงกันกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่

จากผลการจำลองแบบโดยใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ ในการควบคุมกำลังแบบ Multi-step พบว่าวิธี PCM PC + LE2 มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำกว่าวิธี PCM PC, SFP PC และ PCM PC + LE1 ที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ ซึ่งจะทำให้มีความสามารถในการรองรับจำนวนผู้ใช้วิทยุเคลื่อนที่สูงขึ้น เนื่องจากในระบบ CDMA ความจุของจำนวนผู้ใช้ขึ้นอยู่กับสัญญาณแทรกสอดในระบบ (Soft capacity) ดังนั้นการควบคุมกำลังจึงเปรียบเสมือนการควบคุมความจุของระบบด้วย และพบว่าวิธี PCM PC + LE1 มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำกว่าวิธี PCM PC และ SFP PC แต่จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อมีจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้น และทำให้การประมาณค่า SIR ในคาบถัดไปมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น ซึ่งถ้าใช้แบบจำลอง 1 เซลล์จะพบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี PCM PC + LE1 มีค่าต่ำกว่าวิธี PCM PC และ SFP PC ที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ เนื่องจากมีสัญญาณแทรกสอดในระบบน้อยลง ทำให้ความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าลดลง

นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size และโมดการควบคุม  $n$  ของวิธี PCM PC + LE2 มีลักษณะแตกต่างไปจากวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step วิธีอื่นๆ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของโมดการควบคุมสูงไม่จำเป็นที่จะต้องน้อยกว่าที่โมดการควบคุมต่ำเสมอไป โดยในแต่ละโมดการควบคุม จะมีค่า Step Size ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ค่าหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถเลือกค่า Step Size ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโมดการควบคุมที่มีค่าต่ำๆ ได้ ซึ่งจะช่วยให้เปลี่ยนแปลงความจุของระบบในช่องสัญญาณย้อนกลับน้อยลง โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพลดลง

จากผลการจำลองแบบโดยใช้แบบจำลอง 19 เซลล์ ในการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step พบว่าวิธี M-MADM PC + LE2 มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำกว่าวิธี DM-PC, M-MADM PC, M-MADM PC + SFP และ M-MADM PC + LE1 ที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ ซึ่งก็สอดคล้องกับกรณีที่เป็นการควบคุมกำลังแบบ Multi-step เนื่องจากเป็นการปรับปรุงโดยใช้ อัลกอริทึมเดียวกัน พบว่าวิธี M-MADM PC + SFP มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำกว่าวิธี M-MADM PC เพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งระยะสั้นช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ได้ไม่ด้อยไปกว่าการปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step และพบว่าวิธี M-MADM PC + LE1 มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี M-MADM PC + SFP เมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าน้อยๆ แต่จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อจำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับกรณีที่เป็นการควบคุมกำลังแบบ Multi-step ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์ จะพบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี M-MADM PC + LE1 มีค่าต่ำกว่าวิธี M-MADM PC และ M-MADM PC + SFP ที่ทุกค่าของจำนวนสถานีเคลื่อนที่ เนื่องจากมีสัญญาณแทรกสอดในระบบน้อยลงเช่นเดียวกันกับกรณีที่เป็นการควบคุม



กำลังแบบ Multi-step แต่ในกรณีที่มีกำหนดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ พบว่าอัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งระยะสั้นช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step ได้ดีขึ้นมากเนื่องจากวิธี M-MADM PC + SFP ช่วยลดความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำกว่าของวิธี M-MADM PC ได้มาก

นอกจากนี้ยังได้ทำการเก็บค่าระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีการควบคุมกำลังชนิดต่างๆ พบว่า สำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step วิธี PCM PC + LE2 ใช้ระยะเวลาในการควบคุมกำลังมากที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนมากที่สุด รองลงมาคือวิธี PCM PC + LE1, PCM PC + SFP และ PCM PC สำหรับวิธีการควบคุมกำลังแบบ Fixed-step วิธี M-MADM PC + LE2 ใช้ระยะเวลาในการควบคุมกำลังมากที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนมากที่สุด รองลงมาคือวิธี M-MADM PC + LE1, M-MADM PC + SFP และ M-MADM PC และจากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายและเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีที่เสนอกับวิธี PCM PC และ DM PC พบว่าวิธี PCM PC + LE2 และวิธี M-MADM PC + LE2 เป็นวิธีที่คุ้มค่าสำหรับทุกแบบจำลอง วิธี PCM PC + LE1, M-MADM PC + SFP และ M-MADM PC + LE1 เป็นวิธีที่คุ้มค่ากรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์และแบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อมีการจำกัดขอบเขตของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ นอกจากนี้ถ้าใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองแบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะสามารถลดเวลาในการจำลองแบบได้มากขึ้น

ข้อดีของวิธี PCM PC + LE2 และ M-MADM PC + LE2 คือ มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายต่ำกว่าวิธีการควบคุมกำลังแบบ Multi-step และ Fixed-step ชนิดอื่นๆ โดยที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นไม่มากนัก เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าใกล้เคียงกันกับวิธีการควบคุมกำลังชนิดอื่นๆ

ข้อเสียของวิธี PCM PC + LE2 และ M-MADM PC + LE2 คือ มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นเนื่องจากสถานีฐานต้องมีหน่วยความจำในการเก็บค่า Link gain ของสถานีเคลื่อนที่ของคาบการควบคุมที่ผ่านมา 2 คาบ และต้องคำนวณค่า SIR เพิ่มขึ้น 2 ครั้งเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับ Desired Level และคำนวณค่า cmd ที่จะส่งไปยังสถานีเคลื่อนที่

ในการนำไปใช้ในระบบจริงสามารถกระทำได้โดยทำการเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์การควบคุมกำลังที่สถานีฐานโดยเปลี่ยนจากการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของกำลังของสัญญาณเป็นการควบคุมกำลังโดยยึดหลักของ SIR และเพิ่มเติมอัลกอริทึมการประมาณค่า Link gain หรืออัลกอริทึมทำนายผลของเฟดดิ้งอย่างสั้นเข้าไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยในอนาคตอาจจะใช้อัลกอริทึมใหม่ๆ มาปรับปรุงวิธี PCM PC + LE2 และ M-MADM PC + LE2 โดยใช้แบบจำลองที่เสนอไว้ เพื่อให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายมีค่าลดลง
2. เพิ่มข้อกำหนดของการจำลองแบบ เช่น กำหนดอัตราการเรียกเข้าและระยะเวลาที่ใช้สื่อสารซึ่งจะทำให้จำนวนของสถานีเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลง แล้วศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหาย
3. ทำการประยุกต์วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอเพื่อนำไปใช้ร่วมกับกรณีที่มีการทำซอฟต์แฮนด์-ออฟ (Soft handoff) ซึ่งโดยปกติจะพิจารณาเฉพาะผลของเฟดดิ้งอย่างยาวนาน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- 1 Ariyavisitakul, S. SIR-Based Power Control in a CDMA System. Procs of GLOBECOM'92 Vol. 2: 868-873.
- 2 Ariyavisitakul, S.; and Chang, L. F. Signal and Interference Statistics of a CDMA System with Feedback Power Control. IEEE Transactions on Communications Vol. 41, No. 11, (Nov 1993): 1626-1634.
- 3 The IS-95 CDMA Digital Cellular Communications System For AT&T's Customers., Version1.3, Copyright 1994 AT&T – All Rights Reserved.
- 4 Chang, C. J.; and Ren, F. C. Design of Power Control Mechanisms with PCM Realization for the Uplink of a DS-CDMA Cellular Mobile Radio System. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 45, No. 3, (August 1996): 522-530.
- 5 Jakes, W. C. Microwave Mobile Communication. Wiley, IEEE Press, 1974.
- 6 Wen, J. H.; Yeh L. C.; and Chiou, J. R. Short-term Fading Prediction-based Power Control Method for DS-CDMA Cellular Mobile Radio Networks. The 8<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1997 Vol. 3: 908-912.
- 7 Su, S. L.; and Shieh, S. S. Reverse link Power Control Strategies for CDMA Cellular Network. The 6<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1995 Vol. 3: 908-912.
- 8 Lau, F. C. M.; and Tam, W. M. Intelligent closed-loop power control algorithm in CDMA mobile radio system. IEE Electronics Letters Vol. 35, No. 10, (May 1999): 785-786.
- 9 Chang, C. J.; and Ren, F. C. Downlink Power Control in DS/CDMA Cellular Mobile Radio Network. Third Annual International Conference Universal Personal Communication, San Diego, USA (Oct 1994): 88-93.
- 10 Suda, H.; Kawai, H.; Sasaki, S.; and Adachi, F. A Fast Transmit Power Control Based on Markov Transition for DS-CDMA Mobile Radio. IEEE International Conference on Universal Personal Communications, 1998 Vol. 1: 235-239.

- 11 Sampei, S. Application of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications. Feher/Prentice Hall Wireless and Digital Communications Series, 1997.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

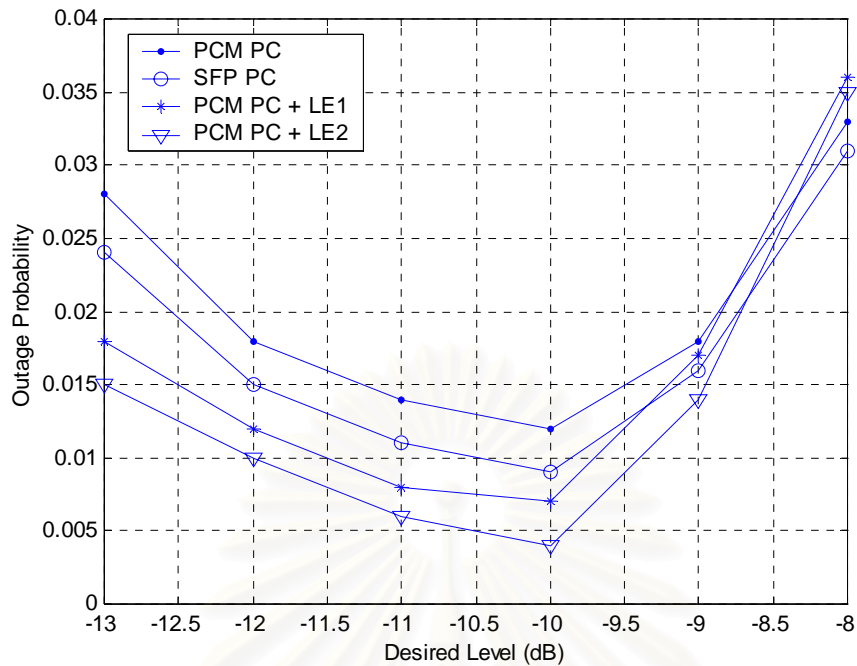
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงผลของ Desired Level ที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี PCM PC, SFP PC, PCM PC + LE1 และ PCM PC + LE2 ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์, กรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์และกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อมีการกำหนดค่ากำลังสูงสุดและต่ำสุดของสถานีเคลื่อนที่ ทำการจำลองแบบโดยกำหนดให้ Step Size = 1.0 dB, โมดการควบคุม  $n = 3$  และจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์ = 8 สถานี

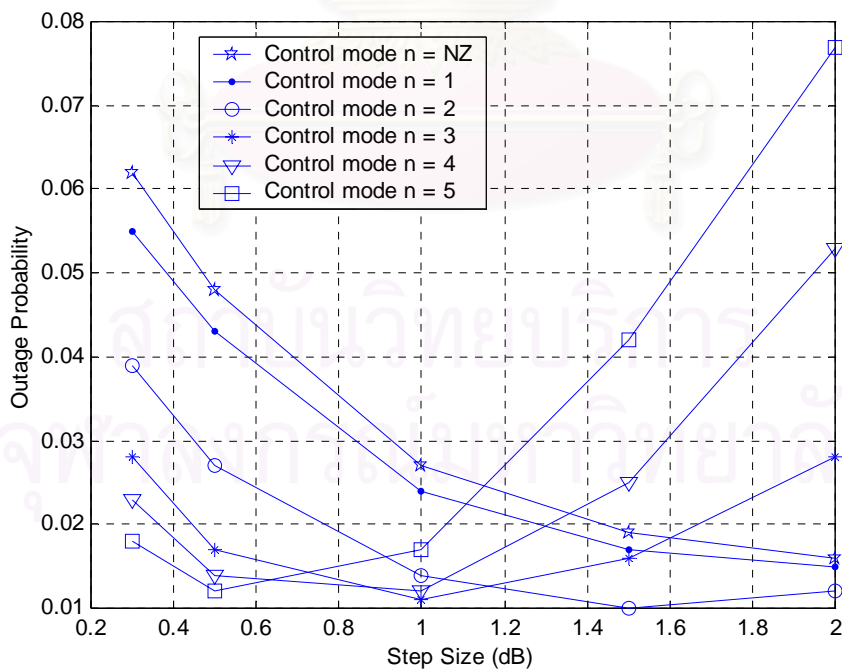
แสดงผลของ Step Size และโมดการควบคุมที่มีต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี PCM PC + LE1 ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์, กรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์และกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์เมื่อมีการกำหนดค่ากำลังสูงสุดและต่ำสุดของสถานีเคลื่อนที่ ทำการจำลองแบบโดยกำหนดให้ Desired Level = -11 dB และจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์ = 8 สถานี



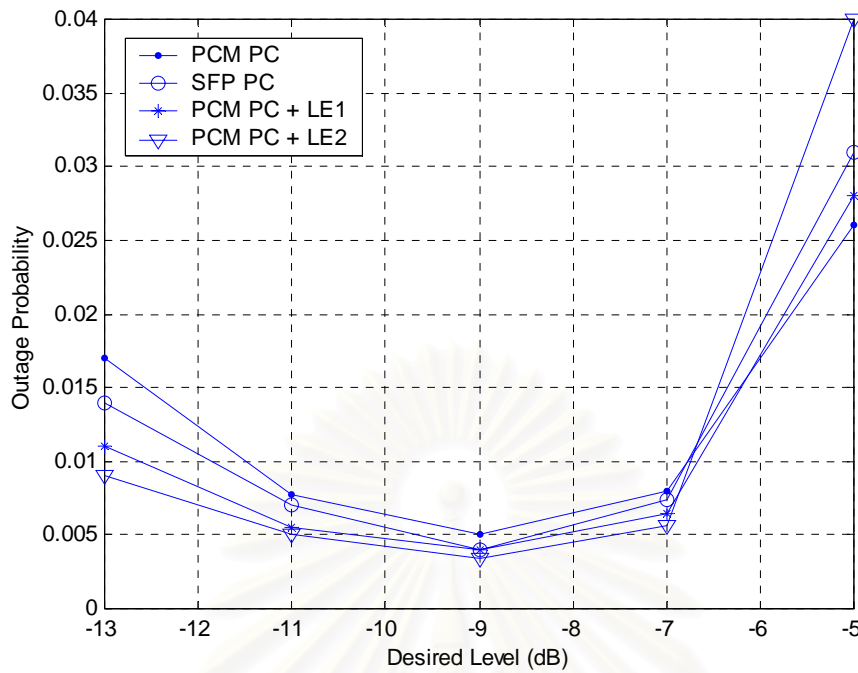
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



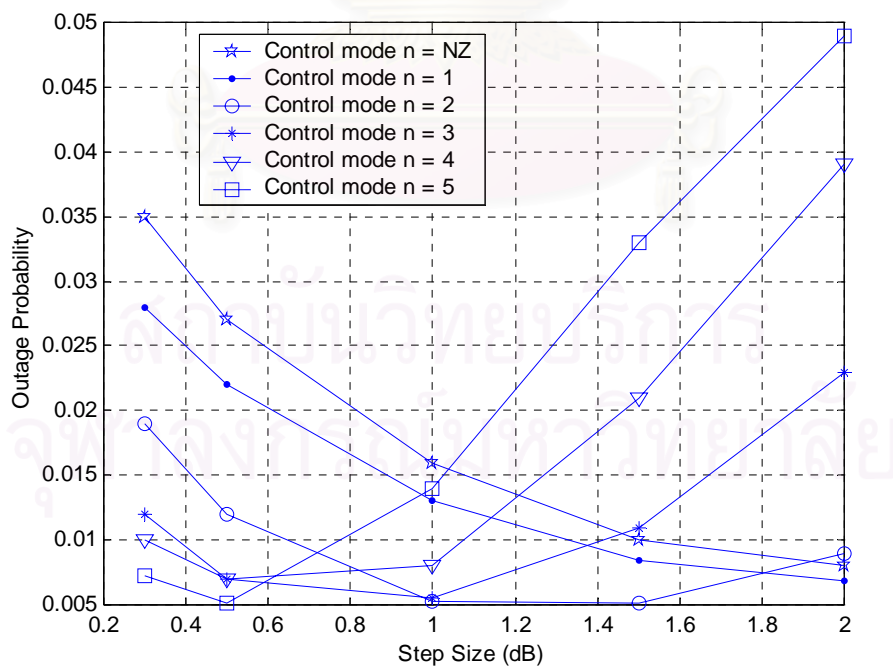
รูปที่ ๑1 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธีการควบคุมกำลังชนิดต่างๆ ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์



รูปที่ ๑2 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธีการ PCM PC + LE1 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 19 เซลล์

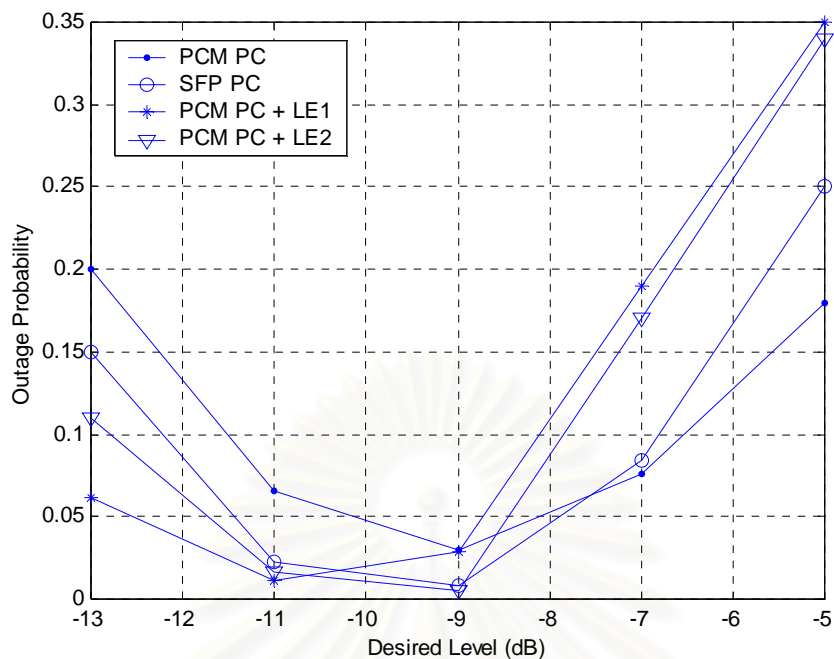


รูปที่ ๓3 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธีการควบคุมกำลังชนิดต่างๆ ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์

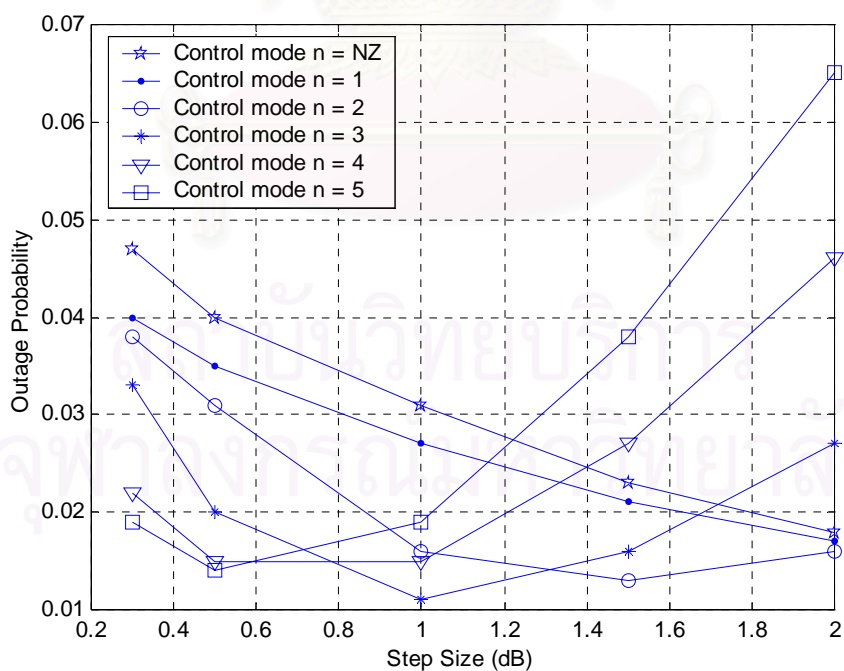


รูปที่ ๓4 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธีการ PCM PC + LE1 ที่โหมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน ในกรณีที่ใช้แบบจำลอง 1 เซลล์





รูปที่ ๕5 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Desired Level ของวิธีการควบคุมกำลังชนิดต่างๆ ในกรณีที่มีการจำกัดกำลังของสถานีเคลื่อนที่ (0-100 dB)



รูปที่ ๕6 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายเทียบกับ Step Size ของวิธี PCM PC + LE1 ที่โมดการควบคุมค่าต่างๆ กัน ในกรณีที่มีการจำกัดของกำลังของสถานีเคลื่อนที่

### บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว

บทความทางวิชาการจากงานประชุมทางวิชาการ The Third International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 12-15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2543 ที่ The Imperial Queen's Park Hotel, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

บทความทางวิชาการจากงานประชุมทางวิชาการ The 5<sup>th</sup> CDMA International Conference & Exhibition "IMT 2000 and Beyond" ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 22-25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2543 ที่ Sheraton Walker Hill Hotel & Tower, กรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Improvement of Reverse Link Power Control in DS-CDMA Cellular Mobile Radio System

Jenjoab Virapanicharoen and Watit Benjapolakul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

Phone: +66-2-218-6482, Fax: +66-2-251-8991, E-mail: [watit@ee.eng.chula.ac.th](mailto:watit@ee.eng.chula.ac.th)

**Abstract** - This paper presents modified algorithms of novel modified Adaptive Delta Modulation (ADM) power control scheme, by adding link gain estimation method or Short-term Fading Prediction (SFP) algorithm to its original algorithm. The purpose of the modified algorithms is to reduce outage probability in DS-CDMA cellular mobile radio system. The simulation results show that the proposed algorithms can improve the system performance compared to the original algorithm. Moreover, the proposed algorithm that uses link gain estimation method added to the original algorithm, can further be improved by modifying the power control block diagram at the base station. The simulation results also show that the improved algorithm dramatically decreases the outage probabilities compared with that of the original algorithm.

**Keywords:** Link gain, Reverse link power control, Adaptive Delta Modulation power control

## I. INTRODUCTION

Cellular mobile radio systems have evolved from the first generation of analog design, e.g., AMPS, to the current second generation of digital architecture, e.g., Global System for Mobile communication (GSM). The third generation, Code Division Multiple Access (CDMA) scheme, has been developed mainly for capacity reasons. Power control is an important issue in a CDMA cellular mobile radio system. A higher system capacity can not be achieved for such a system unless a power control scheme is employed in the system.

In [1], Chang, Lee and Ren proposed Signal to Interference Ratio (SIR) - based Pulse Code Modulation (PCM) power control scheme which is a kind of multi-step power control. This method provides better performance than fixed-step power control. In [2], Wen, Yeh and Chiou proposed SFP power control scheme which is the SIR-based PCM power control scheme combined with an SFP algorithm. This scheme can improve the system performance compared to the SIR-based PCM power control scheme. Intelligent closed-loop power control scheme was proposed by Lau and Tam [3]. This scheme provides a better performance than the conventional power control scheme with optimum threshold but it has to perform large amount of calculation for the whole process of the algorithm.

Su and Shieh [4] proposed the modified ADM power control scheme which gives a better performance with the same number of control bits compared to Delta

Modulation (DM) power control scheme. But the modified ADM power control scheme has a problem about the stability of step size, so the novel modified ADM power control scheme is proposed in this paper. The proposed algorithms in this paper, are the novel modified ADM power control scheme combined with SFP algorithm, and the novel modified ADM power control scheme combined with link gain estimation method which is a part of intelligent closed-loop power control scheme. Moreover, the proposed algorithm that uses link gain estimation method added to their original algorithms, can further be improved by modifying the power control block diagram at the base station, also shown in this paper.

The remainder of the paper is organized as follows. In section 2, the previous algorithms are described. In section 3, the proposed algorithms are described. In section 4, the system model is introduced. The simulation results are presented in section 5, and the conclusion appears in section 6

## II. PREVIOUS ALGORITHMS

### II.1 SIR-based PCM Power Control Scheme [1]

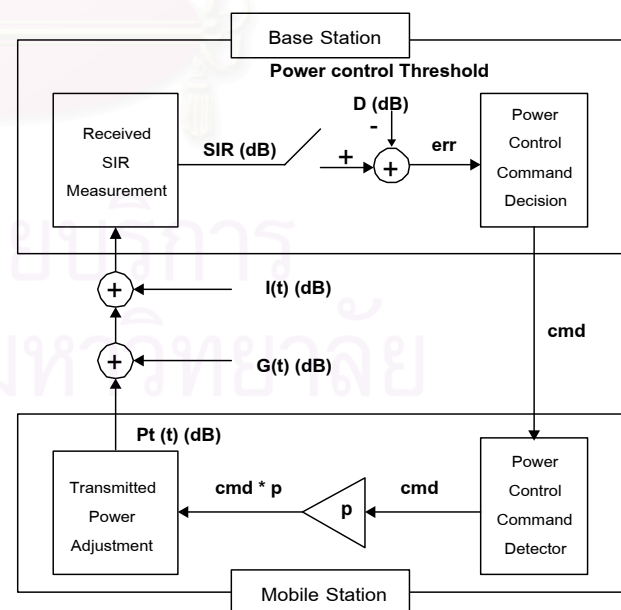


Figure 1. Block diagram of the SIR-based PCM power control scheme.

This scheme is a multi-step power control. From Figure 1,  $P_t(t)$  is the transmitted power of the mobile station,  $G(t)$  is the link gain on the reverse link and  $I(t)$  is the interference power from all the other mobile stations in the system. The base station measures received SIR, denoted by  $SIR$ , over a power measurement period, and compares with a power control threshold  $D$ . The difference between  $SIR$  and  $D$ , denoted by  $err$ , is then fed into a "Power Control Command Decision" block. This block sends a power control command, denoted by  $cmd$ , which is the output from PCM power control scheme, to the mobile station to track the variation in the link gain.

A PCM power control scheme in control mode  $n$  is defined as the following. Given  $n$  is a positive integer,  $q = err/p$  where  $p$  is the step size, then  $cmd$  is given by

$$cmd = \begin{cases} -n, & q > n - 0.5 \\ \lfloor 0.5 - q \rfloor, & -n + 0.5 < q < n - 0.5 \\ n, & q < -n + 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

where  $\lfloor \cdot \rfloor$  is the floor function. If  $\lfloor x \rfloor = k$ ,  $k$  is the largest integer less than or equal to  $x$ .

When mobile station receives  $cmd$ ,  $P_t(t)$  is updated by an amount of  $cmd \cdot p$ . The time period that the mobile station takes for one operation of tracking, denoted by  $T_d$ , is called the loop delay.

## II.2 SFP Power Control Scheme [2]

This scheme is a multi-step power control, which is the same as SIR-based PCM power control scheme except that there is an extra SFP algorithm implemented in each mobile station, as shown in Figure 2.

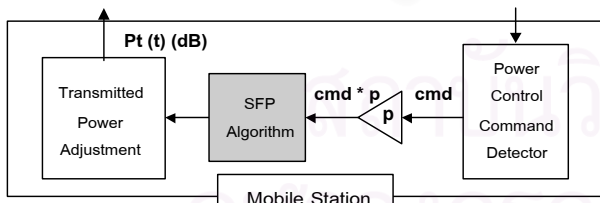


Figure 2. Block diagram of SFP power control scheme at the base station.

In Figure 3, a hollow circle represents an expected location of the received SIR after power control which is the power control threshold, whereas a solid circle represents the real location when using the SIR-based PCM power control scheme and a cross represents the short-term fading effect. At first, the SIR-based PCM power control scheme is considered. At  $t_0$ , the received

SIR is larger than the threshold, thus  $err(t_0) > 0$  and the mobile station decreases the transmitting power by the amount of  $err(t_0)$ . Since the short-term fading is varied during the interval  $[t_0, t_1]$ , the real location at  $t_1$  is larger than the threshold, thus  $err(t_1) > 0$ . Moreover,  $err(t_1)$  is equal to the difference between the cross at  $t_0$  and the cross at  $t_1$ . The real locations at  $t_2, t_3$ , etc., are still larger than the threshold, as explained at  $t_1$ .

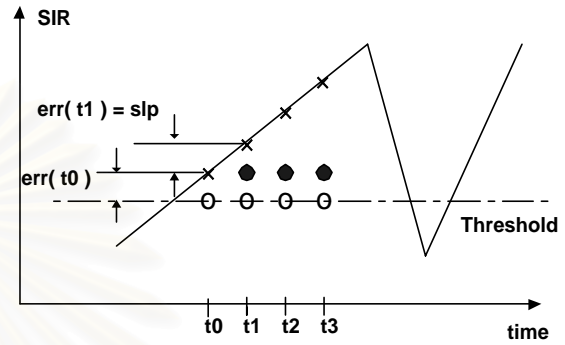


Figure 3. Basic concept of the SFP algorithm.

If the SFP algorithm is considered, the result is different. Let the variation of short-term fading curve between  $t_0$  and  $t_1$  be  $slp$ , from the discussion in the previous scheme,  $err(t_1)$  is equal to  $slp$ . Therefore, if transmitting power is decreased by the amount of  $err(t_i) + slp$  at  $t_i$  for  $i \geq 1$ , then it results that real location at  $t_{i+1}$  is equal to the expected location.

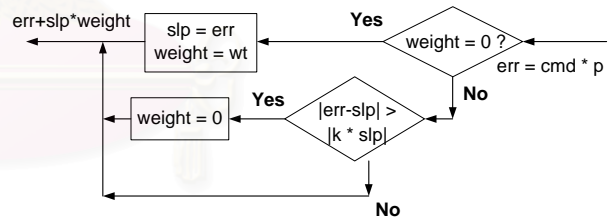


Figure 4. Flow chart of SFP algorithm.

The flow chart of SFP algorithm is shown in Figure 4. In this algorithm,  $weight$  is a variable and  $wt$  is a constant. The quantity  $slp \cdot weight$  is the slope used to predict the variation of short-term fading during this period. The variable  $weight$  is used to convert the received SIR slope into the short-term fading slope. It is assumed that the slope of short-term fading curve is constant during the interval between adjacent local highest and local lowest points. Each time the short-term fading curve passes through a local peak point, the slope should be changed. In the algorithm, the decision rule  $|err - slp| > |k \cdot slp|$  is used to estimate the reverse point of short-term fading curve.

### II.3 Intelligent Closed-loop Power Control Scheme [3]

Intelligent closed-loop power control scheme is a fixed-step power control that does not take power control threshold into account when making its power control decision, and uses link gain estimation method at the base station (Figure 5).

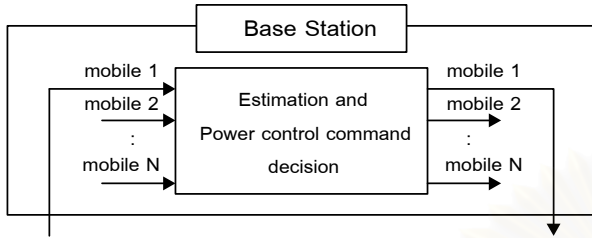


Figure 5. Block diagram of intelligent closed-loop power control scheme at the base station.

$G_i$  is the link gain for user  $i$ . Based on the measured  $G_i$  over the current and past periods,  $G_i$  of the next period can be estimated by using the quadratic equation.

$$G_i^{(m+1)} = a_0^{(m)} + a_1^{(m)}(k+1) + a_2^{(m)}(k+1)^2 \quad (2)$$

where the coefficients  $a_0^m$ ,  $a_1^m$  and  $a_2^m$  are estimated from

$$\begin{aligned} G_i^{(m)} &= a_0^{(m)} + a_1^{(m)}(k) + a_2^{(m)}(k)^2 \\ G_i^{(m-1)} &= a_0^{(m)} + a_1^{(m)}(k-1) + a_2^{(m)}(k-1)^2 \\ &\vdots \\ G_i^{(m-k+1)} &= a_0^{(m)} + a_1^{(m)}(1) + a_2^{(m)}(1)^2 \end{aligned}$$

and  $k$  is the number of power control periods used for estimation. For each user, the mobile station can either increase or decrease the power by one step size (fixed-step). Hence there will be  $2^N$  possible sets of power control command ( $cmd$ ) for  $N$  users in a cell. For each  $cmd$  set, the transmitted power of the mobile station for the next period can be evaluated. Together with the estimated  $G_i^{(m+1)}$ ,  $SIR_i^{(m+1)}$  can be calculated. Based on the  $SIR_i^{(m+1)}$ , the base station can now choose an appropriate  $cmd$  set that satisfies a certain decision rules.

### II.4 Modified ADM Power Control Scheme [4]

At first, the ADM power control scheme is considered. The basic idea of ADM power control scheme is the same as DM power control scheme (fixed-step power control) except that the step size is not fixed but varied and controlled by the step size controller at the mobile station (Figure 6).

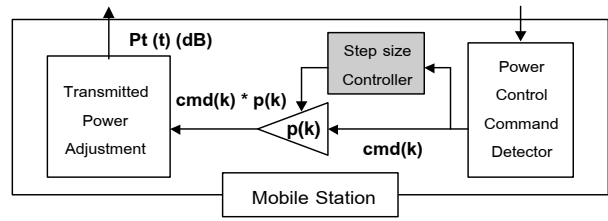


Figure 6. Block diagram of ADM power control scheme at the mobile station.

The step size controller shall carry out the following adjustment algorithm.

$$\begin{aligned} p(k) &= p(k-1) \times K & \text{if } cmd(k) = cmd(k-1) \\ p(k) &= p(k-1) / K & \text{if } cmd(k) \neq cmd(k-1) \end{aligned}$$

where  $K$  is a designed constant larger than 1.

However, the pure ADM power control scheme is not better than DM power control scheme but the modified ADM power control scheme gives a better performance than DM power control scheme.

For the modified ADM power control scheme, the mobile station calculates  $p(k)$  according to the same rule as ADM power control scheme in each update period. However, when the mobile station receives a power-up command, it will increase its transmitting power by  $p(k)$  dB if  $p(k) \geq 1.5$  dB or by 1.5 dB if  $p(k) < 1.5$  dB. When it receives a power-down command, the mobile station shall ignore the value of  $p(k)$  and decrease its transmitted power by a fixed-step size of 1.5 dB.

### II.5 Novel Modified ADM Power Control Scheme

This scheme is proposed in this paper. From the simulation results, it is found that the modified ADM power control scheme has a problem about the stability of step size. Consequently, the novel modified ADM power control scheme is proposed to solve this problem. This scheme differs a little from the modified ADM power control scheme at the adjustment algorithm in step size controller, as follows.

$$\begin{aligned} p(k) &= p(k-1) \times K & \text{if } cmd(k) = cmd(k-1) \\ p(k) &= p(0) & \text{if } cmd(k) \neq cmd(k-1) \end{aligned}$$

where  $K$  is a designed constant larger than 1,  $p(0)$  is the initial step size.

### III. PROPOSED ALGORITHMS

#### III.1 Novel Modified ADM Power Control Scheme Combined with Link Gain Estimation Method (Proposed Algorithm 1)

This scheme is a fixed-step power control (Figure 7), which is the same as the novel modified ADM power control scheme except that SIR used to compare with a power control threshold at the base station, is estimated SIR instead of received SIR. Estimated SIR can be calculated by using link gain of the next period instead of current period. Link gain of the next period can be estimated by using link gain estimation method from intelligent closed-loop power control scheme.

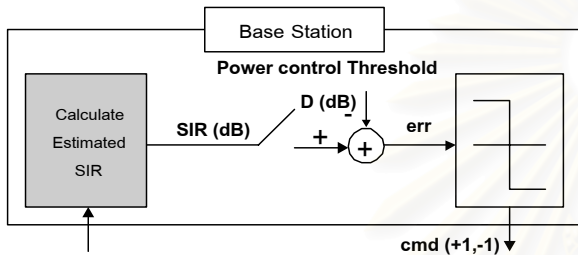


Figure 7. Block diagram of the proposed algorithm 1 at the base station.

#### III.2 Novel Modified ADM Power Control Scheme Combined with SFP Algorithm (Proposed Algorithm 2)

This scheme is a fixed-step power control (Figure 8), which is the same as the novel modified ADM power control scheme except that there is an extra SFP algorithm implemented in each mobile station.

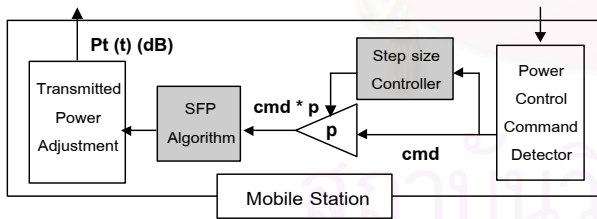


Figure 8. Block diagram of the proposed algorithm 2 at the mobile station.

#### III.3 Improved Algorithm

The proposed algorithms that use link gain estimation method added to their original algorithms, can further be improved by modifying the power control block diagram at the base station as shown in Figure 9. This algorithm came from the idea that the transmitted power used to calculate the estimated SIR of the next period should be the transmitted power of the next period too. Therefore, there are two steps of decision. First, received SIR is

used to compare with the threshold and the transmitted power of the mobile station for the next period can be evaluated from the first *cmd*. By using the transmitted power of the next period together with the estimated link gain, estimated SIR can be calculated. Second, estimated SIR is used to compare with the threshold and then the second *cmd* is sent to the mobile station.

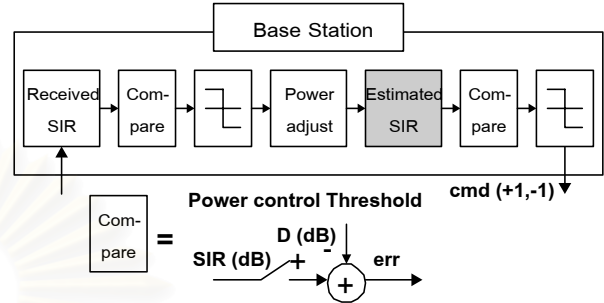


Figure 9. Block diagram of the improved algorithm at the base station.

### IV. SIMULATION MODEL

In simulations, the reverse links of 19 cells in a standard model [1] are considered and the center cell is the cell of interest. The mobile stations in these 19 cells are assumed to be randomly located with uniform density and with the same number of mobile stations  $N_u$  per base station. The radio signal at time  $t$  is assumed to be attenuated by a link gain  $G(t)$  containing long-term fading  $L(t)$ , which describes the local mean signal power, and short-term fading  $S(t)$ , originating from multipath fading. Given a mobile's transmitted power  $P_t(t)$ , the received power in the base station  $B(t)$  can be obtained by

$$B(t) = P_t(t) \cdot G(t) = P_t(t) \cdot L(t) \cdot S(t) \quad (3)$$

The long-term fading  $L(t)$  is a random variable modeled as

$$L(t) = \kappa \cdot r^{-\alpha} 10^{\xi/10} \quad (4)$$

where  $\kappa$  is a constant,  $r$  is the distance between the base station and the mobile station,  $\alpha$  is called the path loss exponent,  $\xi$  is a normal-distributed random variable with zero mean and variance  $\sigma_L^2$ . In simulations, let  $\kappa = 1$ ,  $\alpha = 4$  and  $\sigma_L = 8$ . The short-term fading  $S(t)$  is also a random variable that is assumed to have a Rayleigh distribution. Jakes' model [5] is used to generate the Rayleigh fading, which is given by

$$|S(t)| = \sqrt{C_I^2(t) + C_Q^2(t)} \quad (5)$$

$$S(t) = C_I(t) + jC_Q(t) \quad (6)$$

where

$$C_I(t) = 2 \cdot \sum_{n=1}^R \cos\left(\frac{\pi n}{R}\right) \cos\left\{2\pi f_d t \cos\left(\frac{2\pi n}{N'}\right)\right\} + D(t)$$

$$C_Q(t) = 2 \cdot \sum_{n=1}^R \sin\left(\frac{\pi n}{R}\right) \cos\left\{2\pi f_d t \cos\left(\frac{2\pi n}{N'}\right)\right\} + D(t)$$

$$D(t) = \sqrt{2} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \cos(2\pi f_d t)$$

$$N' = 2 \cdot ((2 \cdot R) + 1)$$

$$f_d = \frac{F_0 \times V}{C}, \text{ where } V \text{ is the speed of mobile station,}$$

$F_0$  is the central frequency of the signal,  $C$  is the speed of light. In simulations, let  $F_0 = 900$  MHz, loop delay  $T_d = 2$  ms,  $V$  ranges from 6 km/h to 60 km/h and  $R = 8$ .

Moreover, over an observation period, each mobile station was assumed to move continuously within a small geographical area. Therefore, the long-term fading on each reverse link, can be considered to be a constant during the observation period [1].

In this paper, outage probability  $P_o$  is used as the performance measure.

$$P_o = \Pr[SIR < SIR_0] \quad (7)$$

where  $SIR_0$  is the minimum required SIR to guarantee an acceptable communication quality. In simulations, given that the required performance in terms of the bit error rate is less than  $10^{-3}$ , if the spread spectrum processing gain of 128 is considered, then the minimum required SIR,  $SIR_0 = -14$  dB [1].

A total of 500 simulation cycles was executed in the study. The number of observation periods in each simulation cycle is 500, where the measured data is collected from the last 400 observation periods to evaluate  $P_o$ .

## V. SIMULATION RESULTS

In the SIR-based PCM power control scheme, the threshold  $D$  is an essential system parameter that must be considered. From Figure 10, it is found that, for a given  $N_u$ , a relatively higher  $D$  and a relatively lower  $D$  cause a higher outage probability. This is a reasonable result [3]. There is an optimum  $D$  that provides the best link performance, which is changed according to the  $N_u$ . Here it is suggested to choose a nearly optimum  $D$  so that SIR-based PCM power

control scheme will operate effectively for a wide range of traffic load. In this case, at  $D = -11$  dB is chosen.

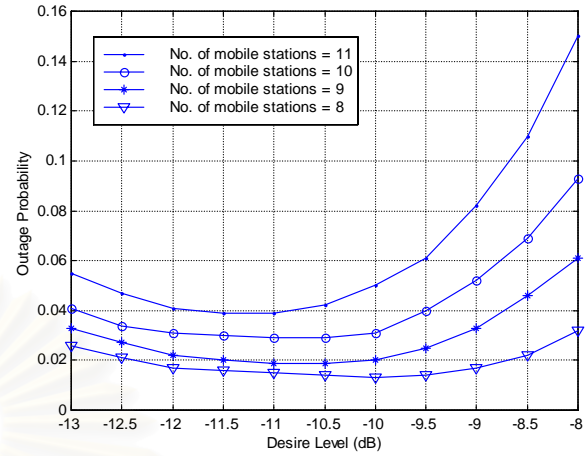


Figure 10. Outage probability of SIR-based PCM power control scheme as functions of the threshold  $D$ , given that  $p = 1.0$  dB,  $N_u = 8, 9, 10, 11$  and control mode  $n = 3$ .

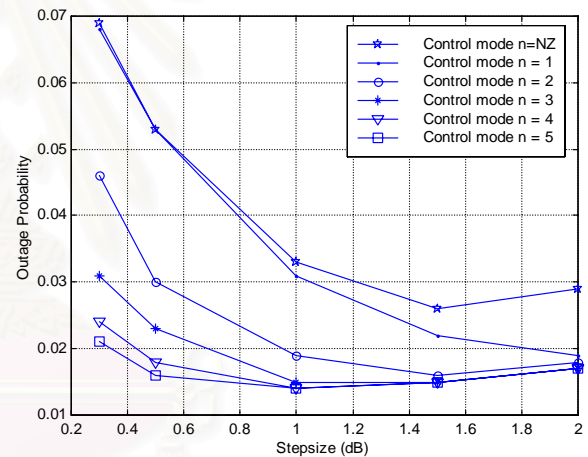


Figure 11. Outage probability of SIR-based PCM power control scheme as functions of the step size  $p$  for control mode  $n \in \{NZ, 1, 2, 3, 4, 5\}$ , given that  $D = -11$  dB,  $N_u = 8$ .

From Figure 11, mode NZ is defined as  $\text{cmd} = \{-1, +1\}$ , which is in fact the DM power control scheme. In Figure 11, it is obvious that the high order control modes improve the system performance more than the lower order control modes. However the performance improvement will become saturated if the mode number is large enough, regardless of the step size  $p$ . There is an optimum  $p$ , in this case  $p = 1.0$  dB is a reasonable choice. Since a higher-order mode wastes more system capacity in the feedback channel, it is suggested adopting control mode  $n = 3$ .

From Figure 12, it is observed that the SFP power control scheme performs better than SIR-based PCM power control scheme since the SFP power control

scheme will predict the variation of Rayleigh fading from the SIR and to compensate it in time.

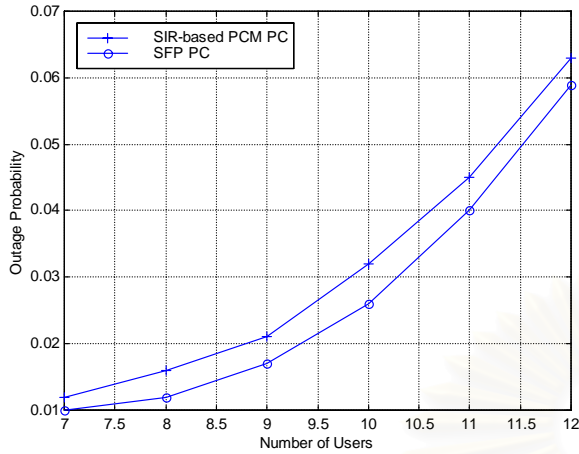


Figure 12. Outage probability of SIR-based PCM power control scheme and SFP power control scheme as functions of the number of mobile stations  $N_u$ , given that  $D = -11$  dB,  $p = 1.0$  dB and control mode  $n = 3$ .

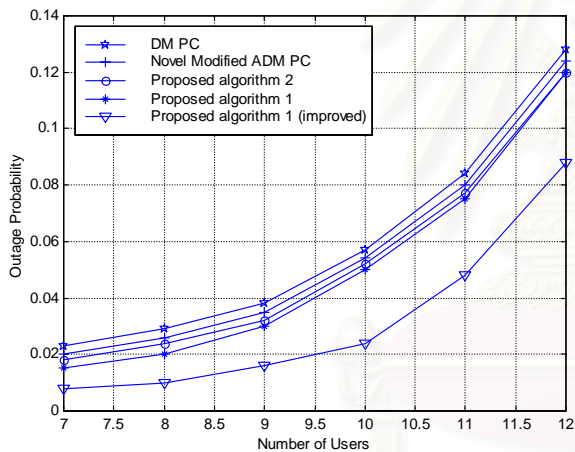


Figure 13. Outage probability of the novel modified ADM power control scheme ( $K = 1.1$ ,  $p(0) = 0.6$ ), the proposed algorithm 1, the proposed algorithm 2 and the proposed algorithm 1 (improved) as functions of the number of mobile stations  $N_u$ , given that  $D = -11$  dB.

From Figure 13, it is observed that the proposed algorithm 1 (improved) performs the best and the DM power control scheme performs the worst. The proposed algorithm 2 performs a little better than the novel modified ADM power control scheme. From Figure 12 and Figure 13, it is compared that SFP algorithm in the proposed algorithm 2, can improve the performance of fixed-step power control less than multi-step power control in the SFP power control scheme. The proposed algorithm 1 performs better than the proposed algorithm 2 but it performs worse when  $N_u$  increases.

## VI. CONCLUSION

This paper presents modified algorithms of novel modified ADM power control scheme, by adding link gain estimation method or SFP algorithm to their original algorithm. The modified algorithm that uses link gain estimation method added to the original algorithms, can further be improved by modifying the power control block diagram at the base station. The proposed algorithms and the original algorithm are compared under different  $N_u$ . The results show that the proposed algorithm 1 (improved) always perform the best, but the pure proposed algorithm 1 performs worse when  $N_u$  increases. Moreover, the proposed algorithm 2 performs better than the novel modified ADM power control scheme. However, the improved algorithms are more complex than original algorithms. For the future work, the complexity should be investigated and compared with that of other algorithms and other performance measures should be considered, such as Root Mean Square (RMS) tracking error and overshoot of SIR.

## VII. REFERENCES

- [1] C.-J. Chang, J.-H. Lee and F.-C. Ren, "Design of power control mechanisms with PCM realization for the uplink of a DS-CDMA cellular mobile radio system," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 45, pp. 522-530, August 1996.
- [2] J.-H. Wen, L.-C. Yeh and J.-R. Chiou, "Short-term fading prediction-based power control method for DS-CDMA cellular mobile radio networks," in *Proc. IEEE PIMRC '97*, vol. 3, pp. 908-912.
- [3] F. C. M. Lau and W. M. Tam, "Intelligent closed-loop power control algorithm in CDMA mobile radio system," *Electronics Letters*, vol. 35, no. 10, pp. 785-786, 13<sup>th</sup> May 1999.
- [4] S.-L. Su and S.-S. Shieh, "Reverse link power control strategies for CDMA cellular network," *IEEE PIMRC '95*, vol. 3, pp. 908-912.
- [5] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communication*, Wiley, IEEE Press, New York, 1974.



# IMPROVEMENT OF FIXED-STEP AND MULTI-STEP REVERSE LINK POWER CONTROL IN DS-CDMA CELLULAR MOBILE RADIO SYSTEM

Jenjoab Virapanicharoen and Watit Benjapolakul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand  
Phone: +66-2-218-6482, Fax: +66-2-251-8991, E-mail: [watit@ee.eng.chula.ac.th](mailto:watit@ee.eng.chula.ac.th)

**Abstract** - This paper presents modified algorithms of Signal-to-Interference Ratio (SIR) - based Pulse Code Modulation (PCM) power control scheme and novel modified Adaptive Delta Modulation (ADM) power control scheme, by adding link gain estimation method or Short-term Fading Prediction (SFP) algorithm to their original algorithms. The purpose of the modified algorithms is to reduce outage probability in DS-CDMA cellular mobile radio system. The simulation results show that the proposed algorithms can improve the system performance compared to the original algorithms. Moreover, the modified algorithms that use link gain estimation method added to their original algorithms, can further be improved by modifying the power control block diagram at the base station. The simulation results also show that the improved algorithms dramatically decreases the outage probabilities compared with those of the original algorithms.

## 1. Introduction

Cellular mobile radio systems have evolved from the first generation of analog design, e.g., AMPS, to the current second generation of digital architecture, e.g., Global System for Mobile communication (GSM). The third generation, Code Division Multiple Access (CDMA) scheme, has been developed mainly for capacity reasons. Power control is an important issue in a CDMA cellular mobile radio system. A higher system capacity can not be achieved for such a system unless a power control scheme is employed in the system.

In [1], Chang, Lee and Ren proposed SIR-based PCM power control scheme which is a kind of multi-step power control. This method provides better performance than fixed-step power control. In [2], Wen, Yeh and Chiou proposed SFP power control scheme which is the SIR-based PCM power control scheme combined with an SFP algorithm. This scheme can improve the system performance compared to the SIR-based PCM power control scheme. Intelligent closed-loop power control scheme was proposed by Lau and Tam [3]. This scheme provides a better performance than power control scheme with optimum threshold but it has to perform large amount of calculation for the whole process of the algorithm.

Su and Shieh [4] proposed the modified ADM power control scheme which gives a better performance with the same number of control bits compared to Delta Modulation power control scheme. But the modified ADM power control scheme has a problem about the stability of step size, so the novel modified ADM power control scheme is

proposed in this paper. The proposed algorithms in this paper, are the novel modified ADM power control scheme combined with SFP algorithm, SIR-based PCM power control scheme and the novel modified ADM power control scheme combined with link gain estimation method which is a part of intelligent closed-loop power control scheme.

Moreover, the modified algorithms that use link gain estimation method added to their original algorithms, can further be improved by modifying the power control block diagram at the base station, also shown in this paper.

The remainder of the paper is organized as follows. In section 2, the previous algorithms are described. In section 3, the proposed algorithms are described. In section 4, the system model is introduced. The simulation results are presented in section 5, and the conclusion appears in section 6

## 2. Previous Algorithms

### 2.1. SIR-based PCM Power Control Scheme [1]

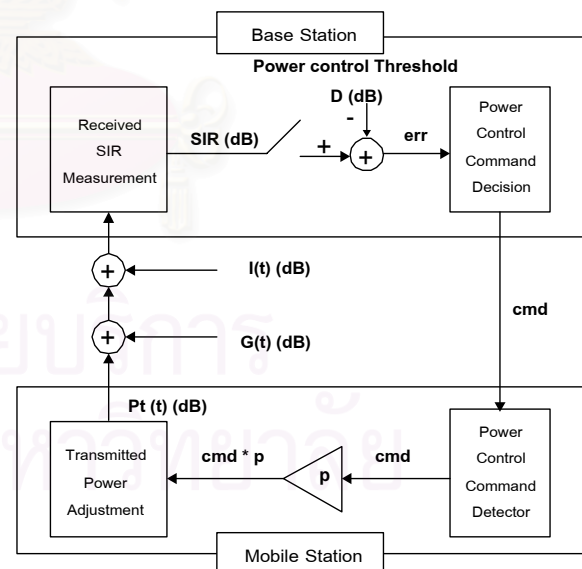


Fig. 1. Block diagram of the SIR-based PCM power control scheme.

This scheme is a multi-step power control. From Fig. 1,  $P_t(t)$  is the transmitted power of the mobile station,  $G(t)$  is the link gain on the reverse link and  $I(t)$  is the interference power from all the other mobile stations in the system. The base station measures received SIR, denoted

by  $SIR$ , over a power measurement period and compares with a power control threshold  $D$ . The difference between  $SIR$  and  $D$ , denoted by  $err$ , is then fed into a “Power Control Command Decision” block. This block sends a power control command, denoted by  $cmd$ , which is the output from PCM power control scheme, to the mobile station to track the variation in the link gain.

A PCM power control scheme in control mode- $n$  is defined as the following. Given  $n$  is a positive integer,  $q = err/p$  where  $p$  is the step size, then  $cmd$  is given by

$$cmd = \begin{cases} -n, & q > n - 0.5 \\ \lfloor 0.5 - q \rfloor, & -n + 0.5 < q < n - 0.5 \\ n, & q < -n + 0.5 \end{cases} \quad (1)$$

where  $\lfloor \cdot \rfloor$  is the floor function. If  $\lfloor x \rfloor = k$ ,  $k$  is the largest integer less than or equal to  $x$ .

When mobile station receives  $cmd$ ,  $P_t(t)$  is updated by an amount of  $cmd \cdot p$ . The time period that the mobile station takes for one operation of tracking, denoted by  $T_d$ , is called the loop delay.

## 2.2. SFP Power Control Scheme [2]

This scheme is a multi-step power control, which is the same as SIR-based PCM power control scheme except that there is an extra SFP algorithm implemented in each mobile station. The amount of  $cmd \cdot p$  is fed into SFP algorithm before it is sent to adjust the transmitted power of mobile station.

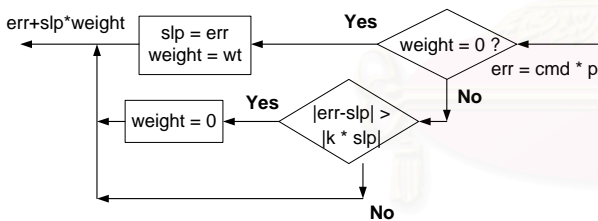


Fig. 2. Flow chart of SFP algorithm.

The flow chart of SFP algorithm is shown in Fig. 2. In this algorithm,  $weight$  is a variable and  $wt$  is a constant. The quantity  $slp \cdot weight$  is the slope used to predict the variation of short-term fading during this period. The variable  $weight$  is used to convert the received SIR slope into the short-term fading slope. It is assumed that the slope of short-term fading curve is constant during the interval between adjacent local highest and local lowest points. Each time the short-term fading curve passes through a local peak point, the slope should be changed. In the algorithm, the decision rule  $|err - slp| > |k \cdot slp|$  is used to estimate the reverse point of short-term fading curve.

## 2.3. Intelligent Closed-loop Power Control Scheme [3]

Intelligent closed-loop power control scheme is a fixed-step power control that does not take power control threshold into account when making its power control decision, and uses link gain estimation method at the base station.

$G_i$  is the link gain for user  $i$ . Based on the measured  $G_i$  over the current and past periods,  $G_i$  of the next period can be estimated by using the quadratic equation.

$$G_i^{(m+1)} = a_0^{(m)} + a_1^{(m)}(k+1) + a_2^{(m)}(k+1)^2 \quad (2)$$

where the coefficients  $a_0^m$ ,  $a_1^m$  and  $a_2^m$  are estimated from

$$\begin{aligned} G_i^{(m)} &= a_0^{(m)} + a_1^{(m)}(k) + a_2^{(m)}(k)^2 \\ G_i^{(m-1)} &= a_0^{(m)} + a_1^{(m)}(k-1) + a_2^{(m)}(k-1)^2 \\ &\vdots \\ G_i^{(m-k+1)} &= a_0^{(m)} + a_1^{(m)}(1) + a_2^{(m)}(1)^2 \end{aligned}$$

and  $k$  is the number of power control periods used for estimation. For each user, the mobile station can either increase or decrease the power by one step size (fixed-step). Hence there will be  $2^N$  possible sets of power control command ( $cmd$ ) for  $N$  users in a cell. For each  $cmd$  set, the transmitted power of the mobile station for the next period can be evaluated. Together with the estimated  $G_i^{(m+1)}$ ,  $SIR_i^{(m+1)}$  can be calculated. Based on the  $SIR_i^{(m+1)}$ , the base station can now choose an appropriate  $cmd$  set that satisfies a certain decision rules.

## 2.4. Modified ADM Power Control Scheme [4]

At first, the ADM power control scheme is considered. The basic idea of ADM power control scheme (fixed-step power control) except that the step size is not fixed but varied and controlled by the step size controller at the mobile station (Fig. 3).

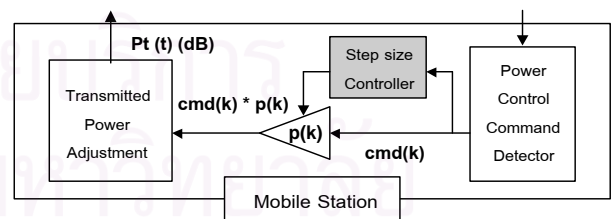


Fig. 3. Block diagram of ADM power control scheme at the mobile station.

The step size controller shall carry out the following adjustment algorithm.

$$\begin{aligned} p(k) &= p(k-1) \times K & \text{if } cmd(k) = cmd(k-1) \\ p(k) &= p(k-1) / K & \text{if } cmd(k) \neq cmd(k-1) \end{aligned}$$

where  $K$  is a designed constant larger than 1.

However, the pure ADM power control scheme is not better than DM power control scheme but the modified

ADM power control scheme gives a better performance than DM power control scheme.

For the modified ADM power control scheme, the mobile station calculates  $p(k)$  according to the same rule as ADM power control scheme in each update period. However, when the mobile station receives a power-up command, it will increase its transmitting power by  $p(k)$  dB if  $p(k) \geq 1.5$  dB or by 1.5 dB if  $p(k) < 1.5$  dB. When it receives a power-down command, the mobile station shall ignore the value of  $p(k)$  and decrease its transmitted power by a fixed-step size of 1.5 dB.

### 2.5. Novel Modified ADM Power Control Scheme

This scheme is proposed in this paper. From the simulation results, it is found that the modified ADM power control scheme has a problem about the stability of step size. Consequently, the novel modified ADM power control scheme is proposed to solve this problem. This scheme differs a little from the modified ADM power control scheme at the adjustment algorithm in step size controller, as follows.

$$\begin{aligned} p(k) &= p(k-1) \times K & \text{if } cmd(k) &= cmd(k-1) \\ p(k) &= p(0) & \text{if } cmd(k) &\neq cmd(k-1) \end{aligned}$$

where  $K$  is a designed constant larger than 1,  $p(0)$  is the initial step size.

## 3. Proposed Algorithms

### 3.1. SIR-based PCM Power Control Scheme combined with Link Gain Estimation Method (Proposed Algorithm 1)

This scheme is a multi-step power control, which is the same as SIR-based PCM power control scheme except that SIR used to compare with a power control threshold at the base station, is estimated SIR instead of received SIR. Estimated SIR can be calculated by using link gain of the next period instead of current period. Link gain of the next period can be estimated by using link gain estimation method from intelligent closed-loop power control scheme.

### 3.2. Novel Modified ADM Power Control Scheme combined with Link Gain Estimation Method (Proposed Algorithm 2)

This scheme is a fixed-step power control, which is the same as the novel modified ADM power control scheme except that SIR used to compare with a power control threshold at the base station is estimated SIR instead of received SIR, by using link gain estimation method from intelligent closed-loop power control scheme.

### 3.3. Novel Modified ADM Power Control Scheme combined with SFP Algorithm (Proposed Algorithm 3)

This scheme is a fixed-step power control, which is the same as the novel modified ADM power control scheme except that there is an extra SFP algorithm implemented in each mobile station.

## 3.4. Improved Algorithm

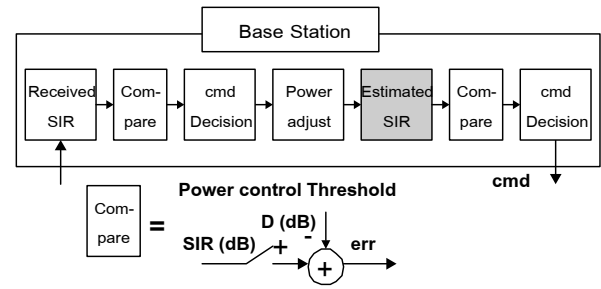


Fig. 4. Block diagram of the improved algorithm at the base station.

The proposed algorithms that use link gain estimation method added to their original algorithms, can further be improved by modifying the power control block diagram at the base station as shown in Fig. 4. This algorithm came from the idea that the transmitted power used to calculate the estimated SIR of the next period should be the transmitted power of the next period too. Therefore, there are two steps of decision. First, received SIR is used to compare with the threshold and the transmitted power of the mobile station for the next period can be evaluated from the first  $cmd$ . By using the transmitted power of the next period together with the estimated link gain, estimated SIR can be calculated. Second, estimated SIR is used to compare with the threshold and then the second  $cmd$  is sent to the mobile station.

## 4. Simulation Model

In simulations, the reverse links of 19 cells in a standard model [1] are considered and the center cell is the cell of interest. The mobile stations in these 19 cells are assumed to be randomly located with uniform density and with the same number of mobile stations  $N_u$  per base station. The radio signal at time  $t$  is assumed to be attenuated by a link gain  $G(t)$  containing long-term fading  $L(t)$ , which describes the local mean signal power, and short-term fading  $S(t)$ , originating from multipath fading. Given a mobile's transmitted power  $P_t(t)$ , the received power in the base station  $B(t)$  can be obtained by

$$B(t) = P_t(t) \cdot G(t) = P_t(t) \cdot L(t) \cdot S(t) \quad (3)$$

The long-term fading  $L(t)$  is a random variable modeled as

$$L(t) = \kappa \cdot r^{-\alpha} 10^{\xi/10} \quad (4)$$

where  $\kappa$  is a constant,  $r$  is the distance between the base station and the mobile station,  $\alpha$  is called the path loss exponent,  $\xi$  is a normal-distributed random variable with zero mean and variance  $\sigma_L^2$ . In simulations, let  $\kappa = 1$ ,  $\alpha = 4$  and  $\sigma_L = 8$ . The short-term fading  $S(t)$  is also a random variable that is assumed to have a Rayleigh

distribution. Jakes' model [5] is used to generate the short-term fading, which is given by

$$|S(t)| = \sqrt{C_I^2(t) + C_Q^2(t)} \quad (5)$$

$$S(t) = C_I(t) + jC_Q(t) \quad (6)$$

where

$$C_I(t) = 2 \cdot \sum_{i=1}^R \cos\left(\frac{\pi i}{R}\right) \cos\left\{2\pi f_d t \cos\left(\frac{2\pi i}{N'}\right)\right\} + E(t)$$

$$C_Q(t) = 2 \cdot \sum_{i=1}^R \sin\left(\frac{\pi i}{R}\right) \cos\left\{2\pi f_d t \cos\left(\frac{2\pi i}{N'}\right)\right\} + E(t)$$

$$E(t) = \sqrt{2} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \cos(2\pi f_d t)$$

$$N' = 2 \cdot ((2 \cdot R) + 1)$$

$$f_d = \frac{F_0 \times V}{C}, \text{ where } V \text{ is the speed of mobile station, } F_0$$

is the central frequency of the signal,  $C$  is the speed of light,  $R$  is the number of paths of the received signal. In simulations, let  $F_0 = 900$  MHz, loop delay  $T_d = 2$  ms,  $V$  ranges from 6 km/h to 60 km/h and  $R = 8$ .

Moreover, over an observation period, each mobile station was assumed to move continuously within a small geographical area. Therefore, the long-term fading on each reverse link, can be considered to be a constant during the observation period [1].

In this paper, outage probability  $P_o$  is used as the performance measure.

$$P_o = \Pr[SIR < SIR_0] \quad (7)$$

where  $SIR_0$  is the minimum required SIR to guarantee an acceptable communication quality. In simulations, given that the required performance in terms of the bit error rate is less than  $10^{-3}$ , if the spread spectrum processing gain of 128 is considered, then the minimum required SIR,  $SIR_0 = -14$  dB [1].

A total of 500 simulation cycles was executed in the study. The number of observation periods in each simulation cycle is 500, where the measured data is collected from the last 400 observation periods to evaluate  $P_o$ .

## 5. Simulation Results

From Fig. 5, it is found that, for all algorithms, a relatively higher  $D$  and a relative lower  $D$  cause a higher outage probability. This is a reasonable result [3]. There is an optimal  $D$  that provides the best link performance. Here it is suggested that optimal  $D$  is  $-11$  dB.

Fig. 6 shows that, for all algorithms, if the step size is either too small or too large the outage probability

increases. There is an optimal  $p$ , in this case  $p = 1.0$  dB is a reasonable choice.

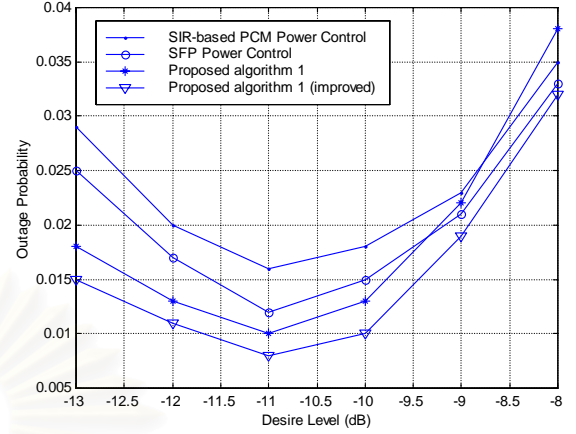


Fig. 5. Outage probability of SIR-based PCM power control scheme, SFP power control scheme (wt=0.6), the proposed algorithm 1 and the proposed algorithm 1 (improved) as functions of the threshold  $D$ , given that  $p = 1.0$  dB,  $N_u = 8$  and control mode  $n = 3$ .

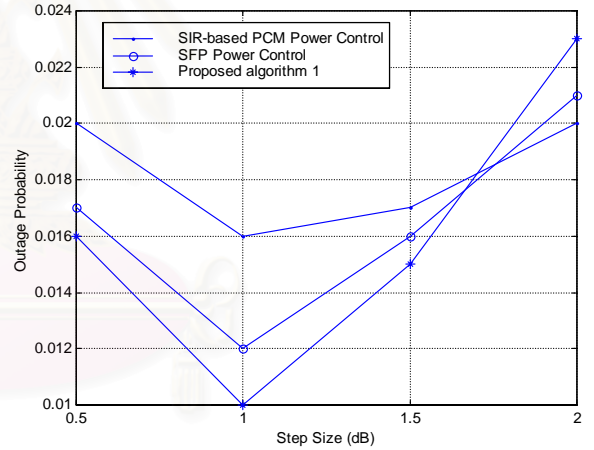


Fig. 6. Outage probability of SIR-based PCM power control scheme, SFP power control scheme, the proposed algorithm 1 as functions of the step size  $p$ , given that  $D = -11$  dB,  $N_u = 8$  and control mode  $n = 3$ .

From Figure 7, mode NZ (Non return to Zero) is defined as  $\text{cmd} = \{-1, +1\}$ , which is in fact the DM power control scheme. It is found that the optimal  $p$  is changed according to the control mode  $n$ . For example, the optimal  $p$  is 0.5 dB if  $n = 3$ . Since a higher-order mode wastes more system capacity in the feedback channel, it is suggested to adopt  $n = 1$  and  $p = 2.0$  dB.

From Fig. 8, it is observed that the proposed algorithm 1 (improved) performs the best with the least control mode  $n = 1$ . SFP power control scheme performs better than SIR-based PCM power control scheme. The proposed algorithm 1 performs better than SFP power control scheme and SIR-

based PCM power control scheme when  $N_u \leq 9$  but performs worse when  $N_u \geq 10$ .

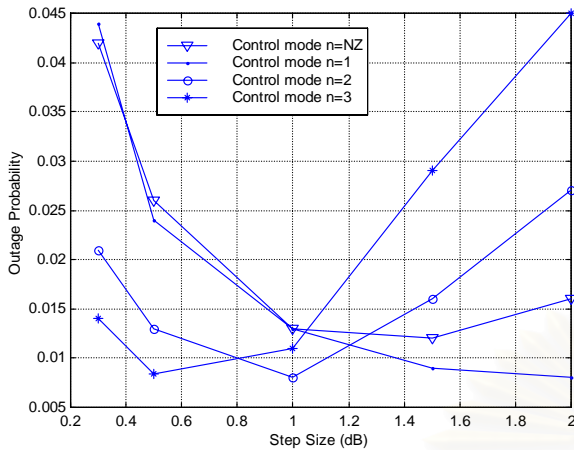


Fig. 7. Outage probability of the proposed algorithm 1 (improved) as functions of the step size  $p$  for control mode  $n \in \{1,2,3\}$ , given that  $D = -11$  dB,  $N_u = 8$ .

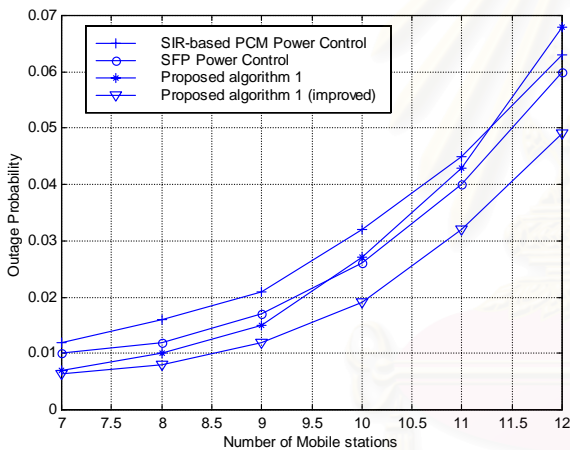


Fig. 8. Outage probability of SIR-based PCM power control scheme, SFP power control scheme, the proposed algorithm 1 and the proposed algorithm 1 (improved) as functions of the number of mobile stations  $N_u$ , given that  $D = -11$  dB,  $p = 2.0$  dB,  $n = 1$  for the proposed algorithm 1 (improved) and  $p = 1.0$  dB,  $n = 3$  for the other algorithms.

From Fig. 9, it is observed that the proposed algorithm 2 (improved) performs the best, the proposed algorithm 3 performs a little better than the novel modified ADM power control scheme. From Fig. 8 and Fig. 9, it is shown that SFP algorithm in the proposed algorithm 3, can improve the performance of fixed-step power control less than multi-step power control in the SFP power control scheme. But the improved algorithm in the proposed algorithm 2, still provides good performance for fixed-step power control. The proposed algorithm 2 performs worse when  $N_u$  increases, which is the same effect as in multi-step power control.

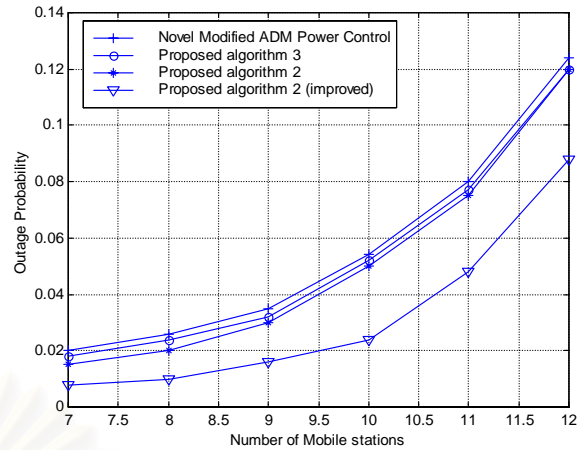


Fig. 9. Outage probability of the novel modified ADM power control scheme ( $K = 1.01$ ,  $p(0) = 0.6$ ), the proposed algorithm 2, the proposed algorithm 3 and the proposed algorithm 2 (improved) as functions of the number of mobile stations  $N_u$ , given that  $D = -11$  dB.

## 6. Conclusion

This paper presents modified algorithms of SIR-based PCM power control scheme and novel modified ADM power control scheme, by adding link gain estimation method or SFP algorithm to their original algorithms. The modified algorithms that use link gain estimation method added to their original algorithms, can further be improved by modifying the power control block diagram at the base station. The proposed algorithms and the original algorithms are compared under different  $N_u$ . The results show that the proposed algorithm 1 and 2 (improved) always perform the best, but the pure proposed algorithm 1 and 2 performs worse when  $N_u$  increases. Moreover, the proposed algorithm 3 performs better than the novel modified ADM power control scheme. However, the improved algorithms are more complex than original algorithms. For the future work, the complexity should be investigated and compared with those of other algorithms.

## References

- [1] C.-J. Chang, J.-H. Lee and F.-C. Ren, "Design of power control mechanisms with PCM realization for the uplink of a DS-CDMA cellular mobile radio system," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 45, pp. 522-530, August 1996.
- [2] J.-H. Wen, L.-C. Yeh and J.-R. Chiou, "Short-term fading prediction-based power control method for DS-CDMA cellular mobile radio networks," in *Proc. IEEE PIMRC '97*, vol. 3, pp. 908-912.
- [3] F. C. M. Lau and W. M. Tam, "Intelligent closed-loop power control algorithm in CDMA mobile radio system," *Electronics Letter* '99, vol. 35, pp. 785-786.
- [4] S.-L. Su and S.-S. Shieh, "Reverse link power control strategies for CDMA cellular network," *IEEE PIMRC '95*, vol. 3, pp. 908-912.
- [5] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communication*, Wiley, IEEE Press, New York, 1974.

## ประวัติผู้วิจัย

เจนจบ วีระพานิชเจริญ เกิดเมื่อ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2519 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเซนต์คาเบรียล แผนกวิทย์-วิศวะ และเข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า และหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย