

การควบคุมกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบ DS/CDMA โดย
ประมาณค่าความผิดพลาด



นายพิสันต์ วงศ์วิเศษกิจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

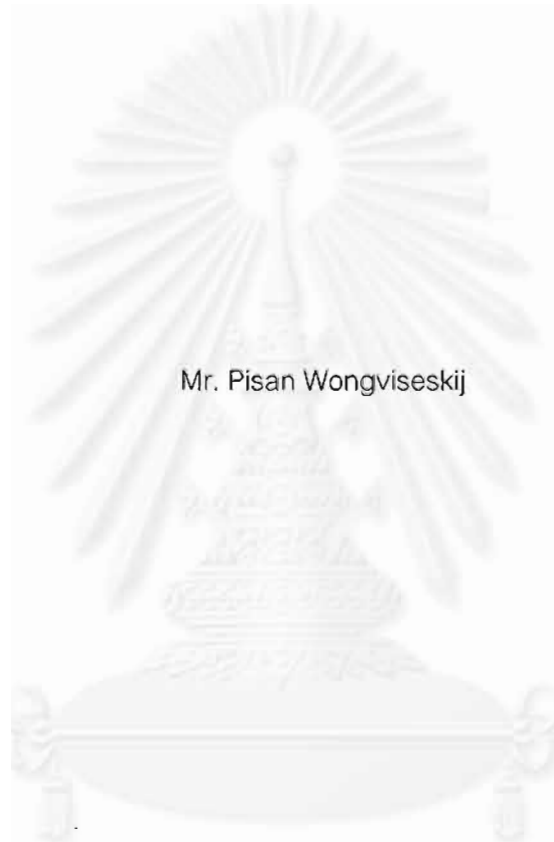
ISBN 974-334-017-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19 ส.ย. 2545

๙๑๒๖๕๖๑๗

MOBILE STATION POWER CONTROL IN DS/CDMA CELLULAR MOBILE TELEPHONE
SYSTEM BY ERROR APPROXIMATION



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

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University


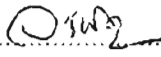
Academic Year 1999

ISBN 974-334-017-3

พิสันต์ วงศ์วิเศษกิจ : การควบคุมกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบ DS/CDMA โดยประมาณค่าความผิดพลาด (MOBILE STATION POWER CONTROL IN DS/CDMA CELLULAR MOBILE TELEPHONE SYSTEM BY ERROR APPROXIMATION) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วาทีต เบญจพหลกุล, 79 หน้า. ISBN 974-334-017-3.

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอวิธีควบคุมกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ โดยใช้เทคนิคควบคุมกำลังส่งแบบการประมาณค่าความผิดพลาด เพื่อลดผลของการแทรกสอดจากสถานีเคลื่อนที่เครื่องอื่น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิทัลแบบเซลลูลาร์ DS/CDMA ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน โดยการปรับปรุงซอฟต์แวร์ที่ควบคุมการทำงานของเซลลูลาร์และทูลสาย ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้แบบจำลองที่อ้างอิงกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิทัลแบบเซลลูลาร์ DS/CDMA การใช้เทคนิคควบคุมกำลังส่งแบบการประมาณค่าความผิดพลาดจะทำให้มีการปรับกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ทุก ๆ ช่วงเวลา ซึ่งจะทำให้ลดกำลังส่งของทุกๆสถานีเคลื่อนที่เป็นการช่วยให้ผลของการแทรกสอดลดลง การนำเสนอผลการจำลองแบบจะเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับเทคนิคควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step และ Fuzzy-step กับใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step ซึ่งเป็นวิธีที่เสนอ และจากผลที่ได้จากการอ่านค่า RMS Error Tracking แสดงว่าวิธีการควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step ให้ผลที่ดีกว่าเทคนิคการควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ และดีกว่าวิธีควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ และจากผลที่ได้โดยการใช้วิธีการควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step จะให้ค่า Outage Probability ดีกว่าวิธีซึ่งใช้เทคนิคการควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step และดีกว่าเทคนิคการควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step แต่มีความซับซ้อนน้อยกว่า และใช้เวลาในการควบคุมต่อรอบน้อยกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 


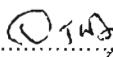
3971234921 :MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: DS/CDMA POWER CONTROL / MOBILE STATION / ERROR APPROXIMATION

PISAN WONGVISESKIJ : MOBILE STATION POWER CONTROL IN DS/CDMA CELLULAR MOBILE TELEPHONE SYSTEM BY ERROR APPROXIMATION. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VATIT BENJAPOLKUL ,Ph.D. 79 pp. ISBN 974-334-017-3.

The objective of this thesis is to propose a Power Control Method for digital cellular mobile telephone system by using Error Approximation Power Control in order to decrease the effect of interference from adjacent mobile stations. This technique can be applied to the present digital cellular mobile telephone system by adding operation control software at base station and at the Mobile Telephone Switching office (MTSO). The proposed method can be used to improve the quality of the signal as well. The simulation study is based on a model of DS/CDMA digital cellular mobile telephone system. By using Power Control Technique to adjust the power of mobile station at an interval time, the effect of interference is decreased. The current technique, Fixed-step method, Fuzzy-step method, and this proposed method, Error-step method, were compared by considering the RMS Tracking Error. Error-step method gives low RMS Tracking Error with an increase of 30-40 percent of compared to that of the fixed-step method and gives low RMS Tracking Error with an increase of 1-2 percent of compared to that of the fuzzy-step method. The obtained outage probability is much smaller than that of the fixed-step method but a little more than that of the fuzzy-step method. But this method is less complexity and use less time per cycle.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิติ 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วาทีต เบญจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าเข้ามาได้รับความรู้ และประสบการณ์ชีวิตที่มีอาจซึมซับได้ ทั้งยัง เสียสละเวลาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางเสมอมา

วิทยานิพนธ์นี้จะไม่สามารถสำเร็จได้ ถ้าไม่ได้รับคำปรึกษา คำแนะนำ และการช่วยเหลือ จาก นาย บงการ หอมนาน นาย วิกรณ์ คุณศรีรักษ์สกุล และนายเจษฎา โลหะวิวัฒน์กุล ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจให้ ข้าพเจ้าอยู่เสมอ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดาและมารดาที่คอยเป็นกำลังใจ โดยเฉพาะบิดาที่ล่วงลับไปแล้ว ซึ่งเมื่อตอนยังมีชีวิตอยู่ท่านคอยเอาใจใส่ข้าพเจ้าอยู่เสมอ แม้ว่าท่านจะทำงานหนักก็ตาม



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การควบคุมกำลังส่งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ DS/CDMA	
2.1 แบบจำลองระบบของเซลล์.....	4
2.2 การสูญเสียทางวิถี	5
2.3 เฟดดิ้ง	5
2.3.1 เฟดดิ้งอย่างยาว (Long-term Fading).....	6
2.3.2 เฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term Fading).....	6
2.4 Link Gain.....	8
2.5 สัญญาณแทรกสอด (Interference).....	8
2.6 Fixed-step Power Control	9
2.7 Adaptive Fuzzy Power Control.....	10
2.8 Error Approximation Power Control (วิธีการที่นำเสนอ)	12
บทที่ 3 แบบจำลองและวิธีการจำลองแบบ	
3.1 รายละเอียดการจำลองแบบ	15
3.2 ขอบเขตและข้อจำกัดของการจำลองแบบ.....	15

	หน้า
3.3 การวัดประสิทธิภาพของระบบ	16
3.3.1 RMS Tracking Error	16
3.3.2 Outage Probability	17
3.4 วิธีการจำลองแบบ	17
3.4.1 วิธีการจำลองแบบจำลองความแรงสัญญาณที่รับได้ที่ สถานีฐาน (p_r'), RMS Tracking Error และ SIR	17
3.4.2 แบบจำลองการคำนวณ Outage probability	21
บทที่ 4 ผลการจำลองแบบ และการวิเคราะห์ผลการจำลองแบบ	
4.1 คำอธิบาย	23
4.2 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการ ปรับค่า $f_D T_p$ เมื่อ $K = 5, N = 2$	25
4.3 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการ ปรับค่า $f_D T_p$ เมื่อ $K = 10, N = 2$	30
4.4 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการ ปรับค่า $f_D T_p$ เมื่อ $K = 15, N = 2$	35
4.5 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการ ปรับค่า $f_D T_p$ เมื่อ $K = 20, N = 2$	40
4.6 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน โดยการปรับค่า $f_D T_p$ เมื่อ $K = 5, 10, 15$ และ $20, N = 2$	44
4.7 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการ ปรับค่า N เมื่อ $K = 5, f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	46
4.8 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการ ปรับค่า N เมื่อ $K = 10, f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	50
4.9 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการ ปรับค่า N เมื่อ $K = 15, f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	54

4.10 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการปรับค่า N เมื่อ $K = 20$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	58
4.11 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการปรับค่า N เมื่อ $K = 5, 10, 15$ และ 20 , $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	61
4.12 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจที่ $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	63
4.13 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจที่ $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	66
4.14 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจที่ $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	69
4.15 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจที่ $N = 2, 3$ และ 4 , $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	71
4.16 ผลการจำลองแบบค่า Outage Probability	73
4.17 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบค่า Outage Probability	74
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	75
5.1 สรุป	75
5.2 ข้อเสนอแนะ	77
รายการอ้างอิง	78
ประวัติผู้เขียน	80

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการปรับค่า $f_D T_p$ ด้วยเทคนิคทั้งสามแบบที่ $K = 5, N = 2$	29
ตารางที่ 4.2	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการปรับค่า $f_D T_p$ ด้วยเทคนิคทั้งสามแบบที่ $K = 10, N = 2$	34
ตารางที่ 4.3	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการปรับค่า $f_D T_p$ ด้วยเทคนิคทั้งสามแบบที่ $K = 15, N = 2$	39
ตารางที่ 4.4	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการปรับค่า $f_D T_p$ ด้วยเทคนิคทั้งสามแบบที่ $K = 20, N = 2$	44
ตารางที่ 4.5	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการปรับค่า N ทั้งสามแบบที่ $K = 5, f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	49
ตารางที่ 4.6	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการปรับค่า N ทั้งสามแบบที่ $K = 10, f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	53
ตารางที่ 4.7	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการปรับค่า N ทั้งสามแบบที่ $K = 15, f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	57
ตารางที่ 4.8	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการปรับค่า N ทั้งสามแบบที่ $K = 20, f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	61
ตารางที่ 4.9	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10, N = 2, f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	64
ตารางที่ 4.10	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10, N = 3, f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	67

ตารางที่ 4.11 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบ ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, f_D T_p แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	70
ตารางที่ 4.12 ค่าระหว่าง Outage probability กับ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ ในการปรับ แบบต่างๆ ที่ $N = 2$, f_D , T_p แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	73



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	รูปลักษณะของเซลล์ที่ใช้ในการจำลองแบบ 4
รูปที่ 2.2	การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step..... 9
รูปที่ 2.3	การควบคุมกำลังส่งแบบ Adaptive Fuzzy Power Control 10
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระบบ Fuzzy (a) error (b) error change และ (c) power increment 11
รูปที่ 2.5	ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการควบคุมกำลังส่งแบบ Error Approximation Power Control ในระบบ DS/CDMA..... 12
รูปที่ 2.6	ค่าของ $ \Delta h $ เทียบกับเวลา (T_p) เมื่อ $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยู นิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05..... 14
รูปที่ 3.1	การคำนวณความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน, ค่า RMS Tracking Error และ SIR 19
รูปที่ 3.1	การคำนวณความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน, ค่า RMS Tracking Error และ SIR (ต่อ)..... 20
รูปที่ 3.1	การคำนวณความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน, ค่า RMS Tracking Error และ SIR (ต่อ)..... 21
รูปที่ 3.2	การคำนวณ Outage probability 22
รูปที่ 4.1	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$ 25
รูปที่ 4.2	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$ 25
รูปที่ 4.3	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$ 26

รูปที่ 4.4	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$ 26	26
รูปที่ 4.5	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$ 27	27
รูปที่ 4.6	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$ 27	27
รูปที่ 4.7	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$ 28	28
รูปที่ 4.8	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$ 28	28
รูปที่ 4.9	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$ 30	30
รูปที่ 4.10	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$ 30	30
รูปที่ 4.11	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$ 31	31
รูปที่ 4.12	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$ 31	31

รูปที่ 4.13	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$	32
รูปที่ 4.14	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$	32
รูปที่ 4.15	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$	33
รูปที่ 4.16	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$	33
รูปที่ 4.17	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$	35
รูปที่ 4.18	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$	35
รูปที่ 4.19	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$	36
รูปที่ 4.20	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$	36
รูปที่ 4.21	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$	37

รูปที่ 4.22	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$	37
รูปที่ 4.23	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$	38
รูปที่ 4.24	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$	38
รูปที่ 4.25	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$	40
รูปที่ 4.26	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$	40
รูปที่ 4.27	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$	41
รูปที่ 4.28	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$	41
รูปที่ 4.29	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$	42
รูปที่ 4.30	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$	42

รูปที่ 4.31	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$	43
รูปที่ 4.32	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$	43
รูปที่ 4.33	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	46
รูปที่ 4.34	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	46
รูปที่ 4.35	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	47
รูปที่ 4.36	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	47
รูปที่ 4.37	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	48
รูปที่ 4.38	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีเหลือง) เมื่อ $K = 5$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	48

รูปที่ 4.39 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05 50

รูปที่ 4.40 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05..... 50

รูปที่ 4.41 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05 51

รูปที่ 4.42 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05..... 51

รูปที่ 4.43 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05 52

รูปที่ 4.44 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05..... 52

รูปที่ 4.45 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05 54

รูปที่ 4.46 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05..... 54

รูปที่ 4.47	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 15$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	55
รูปที่ 4.48	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 15$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	55
รูปที่ 4.49	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 15$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	56
รูปที่ 4.50	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 15$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	56
รูปที่ 4.51	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	57
รูปที่ 4.52	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	57
รูปที่ 4.53	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 20$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	59
รูปที่ 4.54	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 20$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	59

รูปที่ 4.55	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 20$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	60
รูปที่ 4.56	ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สี่เหลี่ยม), Fuzzy-step (สี่น้ำเงิน) และ Error-step (สี่เหลี่ยม) เมื่อ $K = 20$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	60
รูปที่ 4.57	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	63
รูปที่ 4.58	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	63
รูปที่ 4.59	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	64
รูปที่ 4.60	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบ ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	65
รูปที่ 4.61	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	66
รูปที่ 4.62	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	66
รูปที่ 4.63	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	67

รูปที่ 4.64	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, f_D , T_p แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	68
รูปที่ 4.65	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, f_D , T_p แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	69
รูปที่ 4.66	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, f_D , T_p แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	69
รูปที่ 4.67	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, f_D , T_p แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05.....	70
รูปที่ 4.68	ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, f_D , T_p แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05 4	71
รูปที่ 4.69	ค่าระหว่าง Outage probability กับ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ ในการปรับแบบต่างๆที่ $N = 2$, f_D , T_p แจกแจงอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0.01 ถึง 0.05	73



1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของจำนวนการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีมากขึ้น ระบบที่จะรองรับความหนาแน่นของการใช้งานได้ในอนาคต คือระบบ Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS/CDMA) [1], [2] ซึ่งสามารถรองรับความหนาแน่นของการใช้งานได้มากกว่ายี่สิบเท่าเมื่อเทียบกับระบบ Frequency Division Multiple Access (FDMA) [1] ความยากของการนำระบบ DS/CDMA มาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ คือ เฟดดิ้งของสัญญาณ, shadowing effect ซึ่งเกิดจากการบังสัญญาณของสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ และ near-far problem ซึ่งเกิดจากตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่อยู่ใกล้หรือไกลจากสถานีฐานไม่เท่ากัน กล่าวคือสถานีเคลื่อนที่ที่อยู่ใกล้จะมีสัญญาณที่แรงกว่าสถานีเคลื่อนที่ที่อยู่ไกล จากระบบหลายเซลล์ความหนาแน่นของสถานีเคลื่อนที่ในระบบ DS/CDMA ถูกจำกัดด้วยผลรวมของกำลังสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่ทั้งหมดในสถานีฐานที่สนใจและสถานีฐานที่ติดกัน ฉะนั้น Power control จึงเป็นเทคนิคหลักในการออกแบบระบบ DS/CDMA ด้วยเหตุผลสองประการคือ 1) จัดการให้กำลังที่รับได้มีค่าน้อยที่สุดซึ่งขึ้นอยู่กับ fading และ shadowing effect 2) ลดการเกิด near-far problem และ co-channel interference

เทคนิคของ Power control จะลดการเกิด fading, shadowing และ near-far problem เทคนิค average power control [3] จะกำจัดผลของ near-far problem และ shadowing โดยกำหนดให้ความเร็วของการเคลื่อนที่ของสถานีเคลื่อนที่เป็นค่าคงที่และใช้การควบคุมแบบ fixed-step power control ซึ่งมีการจัดการควบคุมกำลังส่งที่อัตราความเร็วที่สูงกว่าการเกิดเฟดดิ้งประมาณสิบเท่า การเพิ่มหรือลดกำลังส่งสัญญาณก็เป็นแบบง่าย ๆ โดยการตรวจสอบเปรียบเทียบกับค่ากำลังสัญญาณระดับ (set point) ที่ต้องการถ้ากำลังสัญญาณที่รับได้มีค่ามากกว่าค่ากำลังสัญญาณระดับ (set point) ที่ต้องการก็จะส่งคำสั่งให้สถานีเคลื่อนที่ลดกำลังสัญญาณส่งลง 1 dB แต่ถ้าค่ากำลังสัญญาณที่รับได้มีค่าน้อยกว่าค่ากำลังสัญญาณระดับ (set point) ที่ต้องการก็จะส่งคำสั่งให้สถานีเคลื่อนที่เพิ่มกำลังสัญญาณส่งขึ้น 1 dB ต่อมา Viterbi [4] ได้คิดเทคนิค power control ซึ่งใช้เทคนิคการควบคุมแบบ bang-bang-like control policy แต่ผลที่ได้ทำให้เกิด overshoot, rise-time และ steady-state error ที่มีค่ามาก ซึ่งเป็นผลมาจาก modeling ของ error noise [5],[6] Sripada [6] เสนอเทคนิคการนำ Fuzzy Logic Control (FLC) [7]-[9] มาใช้ทำให้มีสมรรถนะที่ดี

กว่าเทคนิค bang-bang-like control และ average power control ซึ่ง FLC [7]-[9] แสดงการวัดค่าตัวแปรเพื่อแสดงเป็นตัวแปร fuzzy ส่วนสำคัญของ FLC คือนิยามสองข้อ คือการนำกฎต่างๆของ fuzzy มาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (fuzzy implication) และการเลือกใช้หรือรวมผลต่างๆที่ซ้ำๆกันไปใช้งาน (rule of inference) ในการควบคุมค่าของกำลังโดยใช้ FLC เราจะใช้คุณสมบัติของข้อสัญญาเป็นแบบแผนในการกำหนดค่าการควบคุมโดยในเทคนิคนี้จะใช้ค่าของ error (e) และ error change (Δe) โดยการกำหนดค่ากำลังสัญญาณระดับ (set point) ที่สถานีฐานเพื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังสัญญาณระดับที่รับได้ (e) และค่าของ error ที่เปลี่ยนแปลง (Δe) ป้อนเข้าที่ input ให้กับระบบ FLC เพื่อให้ได้ค่าของการควบคุมกำลังสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

วิทยานิพนธ์นี้เสนอเทคนิค Error Approximation Power Control เป็น reverse power control ซึ่งเป็นเทคนิคที่คิดขึ้นเอง โดยมีหลักการคือค่าของการควบคุมจะใช้ค่าของ error (e) ในการควบคุมค่าของกำลังสัญญาณส่งของสถานีเคลื่อนที่ โดยผลที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้จะนำมาเปรียบเทียบกับสมรรถนะกับเทคนิค Fixed-step Power Control และเทคนิค Adaptive Fuzzy Power Control โดยการจำลองแบบด้วยซอฟต์แวร์

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อแสดงผลการจำลองแบบการควบคุมความแรงสัญญาณส่งของสถานีเคลื่อนที่ด้วยเทคนิคแบบ Error Approximation Power Control เปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมเมื่อเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การควบคุม กับเทคนิค Fixed-step Power Control และเทคนิค Adaptive Fuzzy Power Control

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ในการจำลองแบบจะทำการจำลองแบบเทคนิค Error Approximation Power Control เปรียบเทียบกับเทคนิค Fixed-step Power Control และเทคนิค Adaptive Fuzzy Power Control โดยเปรียบเทียบค่าต่างๆดังนี้

- 1) ค่า RMS Tracking Error
- 2) ค่า Outage probability

โดยจะขึ้นกับค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. จำนวนของสถานีเคลื่อนที่ (K) ในสถานีฐานที่สนใจ
2. จำนวนวิถีของสัญญาณสะท้อนมายังสถานีฐาน (N)
3. ค่า Doppler rate (f_D) ของสัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้น

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ทำการศึกษาาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ DS/CDMA
2. ศึกษาทฤษฎีการแทรกสอดและเฟดดิ้งที่เกิดขึ้นกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เซลลูลาร์
3. ศึกษาแบบจำลองของสัญญาณรบกวนที่นำมาใช้ในการเขียนโปรแกรม
4. ศึกษาเทคนิคการควบคุมกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่
5. เขียนโปรแกรมจำลองแบบผลการควบคุมกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่
6. สรุปผลการจำลองแบบการควบคุมกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่
7. เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

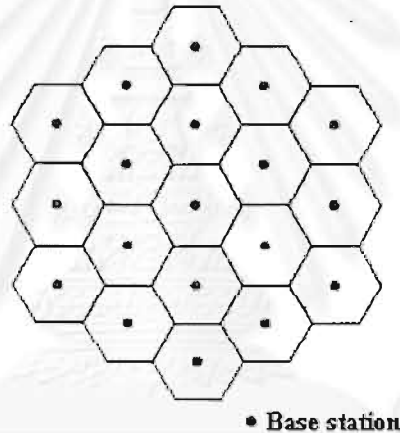
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เสนอเทคนิคการควบคุมกำลังส่งของสัญญาณในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ DS/CDMA ที่มีสมรรถนะและง่ายในการใช้งาน
2. เพิ่มจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์เดิมให้มากขึ้น

บทที่ 2 การควบคุมกำลังส่งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ DS/CDMA

2.1 แบบจำลองระบบของเซลล์

แบบจำลองระบบของเซลล์ [3], [10] ในการจำลองแบบการควบคุมกำลังส่งของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ DS/CDMA เราพิจารณาเซลล์ 19 เซลล์ ดังรูปที่ 2.1 โดยสถานีเคลื่อนที่มีตำแหน่งการกระจายเหมือนกันในแต่ละเซลล์ คุณสมบัติของ reverse-link เป็นอิสระต่อกัน และเหมือนกันในทุกเซลล์ ดังนั้นการควบคุมและสมรรถนะของทุกเซลล์ถูกพิจารณาให้เหมือนกับเซลล์กลาง (central cell) [10] ได้



รูปที่ 2.1 รูปลักษณะของเซลล์ที่ใช้ในการจำลองแบบ

รูปที่ 2.1 พื้นที่การให้บริการในแต่ละเซลล์จะเป็นส่วนของรูปหกเหลี่ยม ในแต่ละเซลล์สถานีฐานจะติดตั้งสายอากาศโดยวางอยู่ที่ศูนย์กลางของเซลล์ และตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่จะกระจายทั่วไปในเซลล์ โดยมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (uniformly distributed) แต่ละเซลล์ประกอบด้วยสถานีเคลื่อนที่ K เครื่อง ซึ่งจะทำงานภายใต้สภาวะของการสูญเสียทางวิถี (Path-loss), เฟดดิ้งอย่างยาว (Long-term fading) และเฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term fading)

2.2 การสูญเสียทางวิถี

เมื่อสัญญาณซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านอากาศจะเกิดการลดทอนสัญญาณลง โดยมีค่าผกผันกับระยะทางยกกำลัง α โดยค่า α ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สัญญาณเดินทางผ่าน เช่น $\alpha = 2$ กรณีเป็นพื้นที่เปิดว่าง, $\alpha = 2-4$ กรณีเป็นพื้นที่ชานเมือง และ $\alpha = 4$ กรณีเป็นพื้นที่ในเมือง ในการจำลองแบบของวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ $\alpha = 4$ [11] โดยมีค่าดังสมการที่ (2.1)

$$P(R) \propto \frac{1}{R^\alpha} \quad (2.1)$$

โดยที่

$P(R)$	คือ ความแรงสัญญาณที่ระยะทาง R
R	คือ ระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่
α	คือ ค่าคงที่การลดทอน

2.3 เฟดดิ้ง

ในระบบโทรศัพท์เซลลูลาร์นั้น สัญญาณที่ส่งมาจากสถานีเคลื่อนที่ มักจะไม่ได้เดินทางเป็นเส้นตรงจากสถานีเคลื่อนที่ถึงสถานีฐาน แต่จะเป็นสัญญาณที่มาจากการสะท้อนจากสิ่งก่อสร้าง, ติ๊ก และสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้น โดยสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจะเกิดจากการรวมกันของสัญญาณจากการสะท้อนที่มีเส้นทางต่างกัน (Multi-path) ซึ่งมีขนาดและเฟสต่างกัน ดังนั้นความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับ จึงมีค่าต่างๆกันขึ้นกับว่าผลรวมของสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนกับสิ่งก่อสร้าง, ติ๊ก รวมกันแบบเสริมกันหรือหักล้างกัน เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าเฟดดิ้ง

เฟดดิ้งสามารถแยกออกเป็น 2 เทอม คือ เฟดดิ้งอย่างยาว (Long-term fading) และเฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term fading) โดยถ้าเฟสผลต่างของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับมีการแปรค่าทั้งหมดในช่วง 0 ถึง 180 องศา เมื่อสถานีเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วอาจจะทำให้ความแรงสัญญาณที่ได้รับเป็นศูนย์เนื่องจากเกิดการหักล้างกันหมด หรืออาจจะเพิ่มเป็น 2 เท่า เมื่อผลต่างของเฟสเป็นศูนย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของขนาดความแรงสัญญาณที่ได้รับ (fluctuation) และเกิดปรากฏการณ์ Doppler shift เนื่องจากการเคลื่อนที่ด้วย ซึ่งส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่าเฟดดิ้ง

อย่างสั้น (Short-term fading) ส่วนค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเรียกว่าเฟดดิ้งอย่างยาว (Long-term fading)

เนื่องจากค่าเฟดดิ้งที่แท้จริงยากต่อการทราบค่าที่เป็นจริง เนื่องจากมีจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ที่จะเกิดเฟดดิ้งได้ไม่จำกัดในสภาวะแวดล้อมหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งก่อสร้างเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการทางสถิติในการหาค่าเฟดดิ้ง

2.3.1 เฟดดิ้งอย่างยาว (Long-term Fading)

เฟดดิ้งอย่างยาวจะเกิดจากสภาพพื้นที่ และสิ่งก่อสร้างต่างๆระหว่างสถานีฐานและสถานีเคลื่อนที่ ในการหาค่าเฟดดิ้งอย่างยาวโดยใช้วิธีการทางสถิตินั้น จะใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ Log-normal distribution โดยมีค่าดังสมการที่ (2.2)

$$p(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_L L} \exp\left(-\frac{(\ln L - \ln \bar{L})^2}{2\delta_L^2}\right) \quad (2.2)$$

โดยที่

$p(L)$	คือ การแจกแจงความน่าจะเป็นของเฟดดิ้งอย่างยาว
L	คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างยาว มีค่าเท่ากับ $Ar^{-\alpha} \cdot 10^{\xi/10}$; r คือ ระยะทาง, A คือ ค่าคงที่, ξ คือ Gaussian random variable มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8 dB
\bar{L}	คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่ระยะทาง r มีค่าเท่ากับ $Ar^{-\alpha}$; A คือ ค่าคงที่
δ_L	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5-12 dB ในที่นี้จะใช้ค่าเท่ากับ 8 dB [10], [11]

2.3.2 เฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term Fading)

เฟดดิ้งอย่างสั้น เกิดจากการสะท้อนของสัญญาณที่มาจากสถานีเคลื่อนที่ โดยสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณหลายๆสัญญาณมารวมกัน ในการหาค่าเฟดดิ้งอย่างสั้น หรือ Multipath fading นั้น จะใช้การแจกแจงแบบ Nakagami-m distribution โดยมีค่าดังสมการที่ (2.3)

$$p(S) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{2m}{\Omega}\right)^m S^{m-1} \exp\left(-\frac{2m}{\Omega} S\right) \quad (2.3)$$

โดยที่

$p(S)$ คือ การแจกแจงความน่าจะเป็นของเฟดดิ้งอย่างสั้น

m คือ Diversity order

S คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้น

$\Gamma(*)$ คือ แกมมาฟังก์ชัน, $\Gamma(x) = x \cdot \Gamma(x - 1)$

$\Omega = E[a^2]$, a ความแรงของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเส้นทางเนื่องจาก Multipath fading

การหาค่าของ S โดยใช้เทคนิค Jakes' model for Rayleigh fading [12] เป็นแบบจำลองในการสร้างค่า เราจะได้ค่าเฟดดิ้งอย่างสั้นใน Time-domain ($S(t)$) โดยมีค่าดังสมการที่ (2.4), (2.5) และ (2.6)

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

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

$$S(t) = \left[2 \sum_{i=1}^N \cos\left(\frac{\pi i}{N+1}\right) \cos\left\{2\pi f_D t \cos\left(\frac{2\pi i}{4N+2}\right)\right\} + \sqrt{2} \cos(2\pi f_D t) \right] + j \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{i=1}^N \sin\left(\frac{\pi i}{N+1}\right) \cos\left\{2\pi f_D t \cos\left(\frac{2\pi i}{4N+2}\right)\right\} \quad (2.6)$$

โดยที่

$S(t)$ คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้นใน Time-domain

$C_I(t)$ คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้นใน ส่วน Real

$C_O(t)$ คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้นใน ส่วน Imaginary

N คือ จำนวนวิถีของสัญญาณสะท้อนมายังสถานีฐาน ซึ่งในแบบจำลองใช้ค่า $N = 2, 3$ และ 4 [3], [12]

f_D คือ Doppler rate ของสัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้น

2.4 Link Gain

Link gain นิยามเป็น G คือ ค่าสัดส่วนของกำลังที่สถานีฐานได้รับกับกำลังที่ส่งจากสถานีเคลื่อนที่ โดยมีค่าดังสมการที่ (2.7)

$$G = L \cdot S \quad (2.7)$$

โดยที่

G คือ อัตราขยายขยายเชื่อมโยง (Link gain)

L คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างยาว (Long-term fading)

S คือ สัญญาณเฟดดิ้งอย่างสั้น (Short-term fading)

2.5 สัญญาณแทรกสอด (Interference)

สำหรับโทรศัพท์เซลลูลาร์ DS/CDMA จะมีการเกิดสัญญาณแทรกสอด 2 แบบคือ การแทรกสอดเนื่องจากสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์เดียวกัน และการแทรกสอดเนื่องจากสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์ประชิด กำหนดให้ $P_{jk}^r(r_{jk})$ คือสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานเนื่องจากการส่งสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่ที่ k ในเซลล์ที่ j ระยะทาง r_{jk} สัญญาณแทรกสอดนิยามเป็น I (หน่วย watts) คือ สัญญาณซึ่งเกิดจากสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์เดียวกัน และเซลล์ข้างเคียงในรอบวงที่ 1 และ 2 โดยมีค่าดังสมการที่ (2.8)

$$I = \sum_{k=1}^{K_0-1} P_k^r(r_k) + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^{K_j^{(1)}} P_{jk}^r(r_{jk}) + \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^{K_j^{(2)}} P_{jk}^r(r_{jk}) \quad (2.8)$$

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 ความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานรับได้จากสถานีเคลื่อนที่อื่นในเซลล์ที่เรา

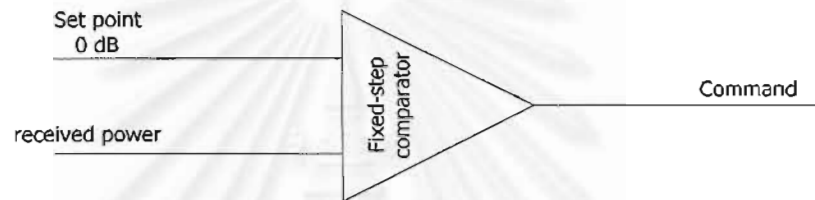
สนใจ

$P'_{jk}(r_{jk})$ คือ ความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานรับได้จากสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์ในรอบวงที่ 1 และ 2

r_k คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ที่ k ในเซลล์ที่เราสนใจ

r_{jk} คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานในเซลล์ที่เราสนใจกับสถานีเคลื่อนที่ที่ k ในเซลล์ที่ j ในเซลล์ในรอบวงที่ 1 และ 2

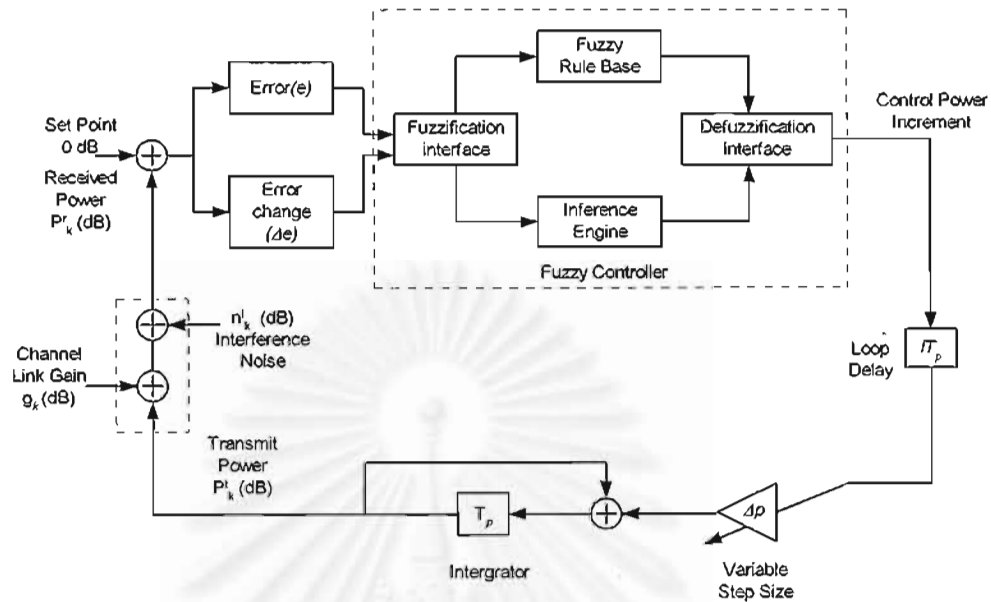
2.6 Fixed-step Power Control



รูปที่ 2.2 การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step

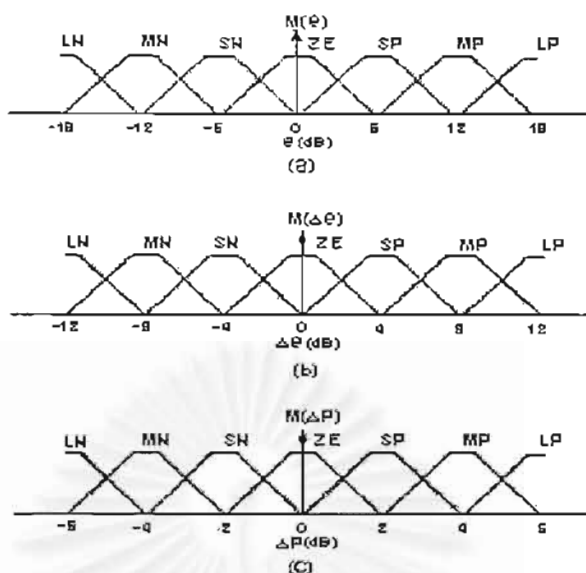
Fixed-step Power Control [3] มีข้อดีคือมีหลักการที่ง่าย แสดงได้โดยรูปที่ 2.2 ซึ่งการทำงานของ Fixed-step Power Control ที่สถานีฐานจะกำหนดค่าสัญญาณระดับ (set point) เมื่อสถานีฐานอ่านค่าสัญญาณที่รับได้จากสถานีเคลื่อนที่ สถานีฐานจะนำค่าที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณระดับ (set point) ที่กำหนด (ดูรูปที่ 2.2) ถ้าค่าสัญญาณที่รับได้มากกว่าค่าสัญญาณระดับ (set point) ก็จะส่งคำสั่งให้สถานีเคลื่อนที่ลดกำลังส่งลง 1 dB แต่ถ้าค่าสัญญาณที่รับได้น้อยกว่าค่าสัญญาณระดับ (set point) ก็จะส่งคำสั่งให้เพิ่มกำลังส่งขึ้น 1 dB โดยการจัดการจะทำทุก ๆ 1.25 ms

2.7 Adaptive Fuzzy Power Control



รูปที่ 2.3 การควบคุมกำลังส่งแบบ Adaptive Fuzzy Power Control

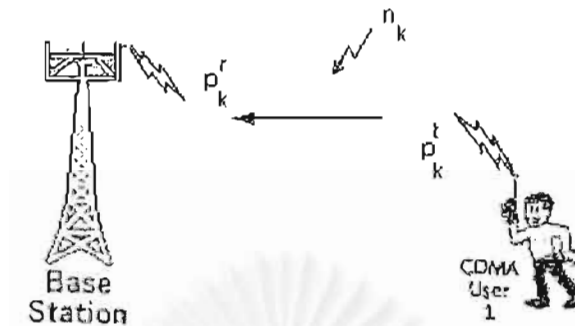
Adaptive Fuzzy Power Control [10] จะใช้ระบบ Fuzzy logic เข้ามาช่วยในการควบคุมกำลังส่งของสัญญาณส่ง แสดงได้โดยรูปที่ 2.3 ที่สถานะพื้นฐานระบบจะอ่านความแรงของสัญญาณที่รับได้ (ผลรวมของ P'_k , Link gain (g_k) และ สัญญาณรบกวน (n'_k)) ที่สถานะพื้นฐานแล้วนำไปคำนวณหา error (e) ซึ่งก็คือค่าของผลต่างของสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานกับค่าสัญญาณระดับ (set point) และ error change (Δe) คือค่าของผลต่างของสัญญาณ error (e) แล้วนำไปป้อนให้กับระบบ FLC (Fuzzy Logic Control) ซึ่งระบบ FLC จะทำการ mapping ค่าทั้งสองค่าเทียบกับกราฟในรูปที่ 2.4 เพื่อคำนวณหาค่าการควบคุม (Δp) ซึ่งใช้ในการควบคุมกำลังส่งสัญญาณส่งในรอบต่อไป (P'_{k+1}) ระบบ FLC ที่ใช้จะเป็นแบบ MISO (Multi Input Single Output) คือมีตัวแปรเข้าหลายตัว ($e, \Delta e$) และมีตัวแปรออกตัวเดียวคือค่าการควบคุม (Δp) โดยการกำหนดค่าจะใช้ความสัมพันธ์ดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระบบ Fuzzy (a) error (b) error change และ (c) power increment

ในรูปที่ 2.4 เมื่อมีการรับค่าของ e และ Δe เข้าไปในระบบ ระบบจะนำไปประมาณผลตามกราฟของ e , Δe (รูปที่ 2.4a, 2.4b) จะทำให้ได้ค่าของระบบแบบ Fuzzy คือ LP (large positive), MP (medium positive), SP (small positive), ZE (zero), SN (small negative), MN (medium negative), LN (large negative) ออกมาซึ่งเป็นค่าตัวแปรในทาง Fuzzy Logic การจะนำไปใช้ต้องนำไปประมาณผลตามกราฟของค่าการควบคุม Δp (รูปที่ 2.4c) เพื่อให้ได้ค่าการควบคุมต้องทำการ mapping ค่าของ e และ Δe ทุกๆค่าทั้งหมดที่เป็นไปได้เพื่อให้ได้ค่าการควบคุม Δp (เรียกรวีส fuzzy implication) ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่าที่ซ้ำๆกัน และค่าที่เป็นไปได้หลายค่า เราจึงต้องนำไปเข้ากฎของ Fuzzy เพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการเพียงค่าเดียว (เรียกรวีส rule of inference) ค่าการควบคุม Δp ที่ได้จะนำไปใช้ควบคุมกำลังส่งของสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่

2.8 Error Approximation Power Control (วิธีที่นำเสนอ)



รูปที่ 2.5 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการควบคุมกำลังส่งแบบ Error Approximation Power Control ในระบบ DS/CDMA

Error Approximation Power Control ใช้เทคนิคการประมาณค่าเข้ามาช่วยในการควบคุมกำลังส่งสัญญาณส่ง แสดงได้โดยรูปที่ 2.5 เทคนิคการควบคุมกำลังส่งแบบ Error Approximation Power Control พิจารณาสัญญาณในช่วงเวลาสั้นๆ โดยการหาค่าประมาณของความแรงสัญญาณที่รับได้ของระบบโดยรวมในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อที่จะใช้หาค่าการควบคุม Δp ครั้งต่อไป แสดงโดยมีวิธีการดังต่อไปนี้ สมการที่ (2.9)

$$p_k^r = p_k' + n_k \quad (2.9)$$

โดยที่

- p_k^r คือ ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานที่เวลา k (dB)
- p_k' คือ ความแรงของสัญญาณที่ส่งออกจากสถานีเคลื่อนที่ที่เวลา k (dB)
- n_k คือ ความแรงของสัญญาณรบกวนทั้งหมดที่เวลา k (dB)

โดยที่

ที่เวลา k	$p_k^r = p_k' + n_k$
ที่เวลา $k+1$	$p_{k+1}^r = p_{k+1}' + n_{k+1}$
(ที่เวลา $k+1$) - (ที่เวลา k)	$p_{k+1}^r - p_k^r = (p_{k+1}' - p_k') + (n_{k+1} - n_k)$

กำหนดค่าความแรงของสัญญาณระดับ (set point) ที่รับได้ที่สถานีฐานเป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0 ค่า e_k (dB) คือค่าความผิดพลาดของสัญญาณที่เวลา k โดยการหาจากค่าสัญญาณระดับ (set point) ลบด้วยค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานที่เวลา k ฉะนั้นสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานที่เวลา k และ $k+1$ บวกด้วยค่า error ของสัญญาณที่เวลา k และ $k+1$ ตามลำดับ จะได้ค่าเท่ากับศูนย์ โดยมีค่าดังสมการที่ (2.10a), (2.10b), (2.10c) และ (2.11)

$$(p'_{k+1} + e_{k+1}) - (p'_k + e_k) = 0 \quad (2.10a)$$

$$(p'_{k+1} + e_{k+1}) - (p'_k + e_k) = (p'_{k+1} - p'_k) + (n_{k+1} - n_k) + (e_{k+1} - e_k) \quad (2.10b)$$

$$0 = (p'_{k+1} - p'_k) + (n_{k+1} - n_k) + (e_{k+1} - e_k) \quad (2.10c)$$

จัดรูปใหม่

$$(p'_{k+1} - p'_k) = (n_k - n_{k+1}) + (e_k - e_{k+1}) \quad (2.11)$$

กำหนดให้

Δp มีค่าเท่ากับ $(p'_{k+1} - p'_k)$

Δn มีค่าเท่ากับ $(n_k - n_{k+1})$

Δe มีค่าเท่ากับ $(e_k - e_{k+1})$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.11) ได้สมการที่ (2.12)

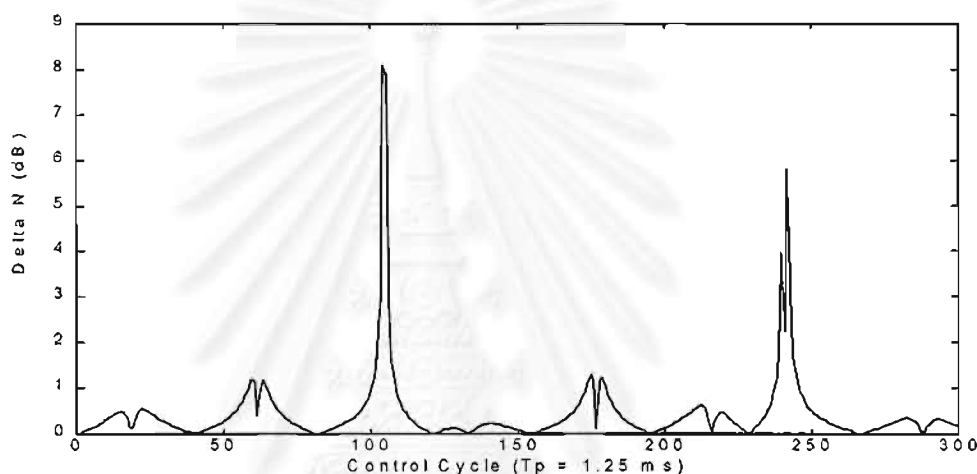
$$\Delta p = \Delta n + \Delta e \quad (2.12)$$

เราจะได้ค่า $\Delta p \approx \Delta e$ ก็ต่อเมื่อ $\Delta n = 0$ หรือ $\Delta n \ll \Delta e$ โดยค่าของ Δn แบ่งเป็นสี่ส่วนคือการสูญเสียทางวิถี $P(R)$, เฟดดิ้งอย่างยาว $L(t)$, เฟดดิ้งอย่างสั้น $S(t)$ และสัญญาณแทรกสอด I ซึ่งพิจารณาแต่ละส่วนได้ดังต่อไปนี้ ค่า $P(R)$, I จะขึ้นอยู่กับระยะทาง (R) ในระยะเวลาสั้นๆ อาจคิดว่าระยะทางเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากอาจตัดทิ้งได้ (หัวข้อ 2.2 และ 2.5) ค่า $L(t)$ จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสิ่งแวดล้อม และระยะทางพิจารณาเช่นเดียวกับข้างบน (หัวข้อ 2.3.1) ค่า $S(t)$ จะขึ้นอยู่กับเวลา แต่มีค่าน้อยเมื่อหาค่าผลต่างของช่วงเวลาใกล้เคียงกัน (หัวข้อ 2.3.2)

ฉะนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าที่เวลา k เข้าใกล้ $k+1$ (ช่วงเวลาสั้นๆ) ค่าของ Δn จะเข้าใกล้ศูนย์ หรือ Δn น้อยกว่า Δe มากๆ จึงอาจสรุปได้โดยมีค่าดังสมการที่ (2.13)

$$\Delta p \approx \Delta e \quad (2.13)$$

สมการที่ (2.13) แสดงให้เห็นว่าค่าความแรงสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม Δp เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า error change (Δe) จากเหตุผลดังกล่าว เราจึงใช้ค่าของ error (e) และ error change (Δe) ในการควบคุมกำลังส่งของสัญญาณส่งเพื่อให้ได้ค่าใกล้ค่า set point ที่ต้องการ โดยเลือกใช้ค่าของ error (e) เมื่อค่าของ Δn มีค่ามากและใช้ error change (Δe) เมื่อค่าของ Δn มีค่าน้อยมากๆ ตัวอย่างหนึ่งของค่าของ $|\Delta n|$ ที่ใช้ทดสอบในบทที่ 4 เทียบกับเวลาในรูปแบบที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนใหญ่ของ Δn จะมีค่าน้อยกว่า 1 dB เมื่อใช้ช่วงเวลาสั้นๆในการพิจารณา



รูปที่ 2.6 ค่าของ $|\Delta n|$ เทียบกับเวลา (T_p) เมื่อ $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ (e และ Δe) จะใช้ค่าใดก็จะคิดจากการเปรียบเทียบค่าของ Δn กับค่าของ Δe และ e โดยถ้า Δn มีค่าน้อยกว่า Δe ประมาณ 10 เท่า และ Δe มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ e ก็จะเลือกใช้ Δe เป็นค่าในการควบคุม แต่ถ้า Δn มีค่ามากหรือน้อยกว่า Δe ไม่ถึง 10 เท่า เราจะเลือกใช้ e เป็นค่าในการควบคุม ตัวอย่างเช่น ค่าของ $\Delta n = 0.2$, $\Delta e = 8$ และ $e = 3$ เราจะเลือกใช้ e เพราะ Δn มีค่าน้อยกว่า Δe มากกว่า 10 เท่าแต่ Δe มากกว่า e จึงเลือก e อีกตัวอย่างเช่น ค่าของ $\Delta n = 0.2$, $\Delta e = 3$ และ $e = 4$ เราจะเลือกใช้ Δe เพราะ Δn มีค่าน้อยกว่า Δe มากกว่า 10 เท่าและ Δe น้อยกว่า e จึงเลือก e แต่ถ้า Δn มีค่ามากกว่า 1 dB ขึ้นไป เราจะเลือกใช้ค่า e ในการควบคุมเสมอ

บทที่ 3

แบบจำลองและวิธีการจำลองแบบ

3.1 รายละเอียดการจำลองแบบ

- 1 เทคนิคการควบคุมกำลังส่งจะถูกโปรแกรมไว้ที่สถานีฐานและการควบคุมจะทำการเป็นซิงโครนัส (Synchronous) และเป็นรายคาบ (Periodic) โดยมีรายคาบในการควบคุมเท่ากับ T_p ซึ่งประกอบด้วยรายคาบที่ใช้ในการวัดค่าความแรงสัญญาณ เวลาที่ใช้เนื่องจาก propagation delay และเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่า Power control command
- 2 สถานีฐานจะอ่านความแรงสัญญาณที่รับได้ในช่วงเวลา T_p และทำการเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณระดับ (set point) ที่กำหนดไว้ ซึ่งจะได้ค่าผลต่างเป็นค่า error (e) และ error change (Δe)
- 3 Power control command decision จะทำการแปลงค่า error (e) และ error change (Δe) เป็นค่าที่ใช้ในการควบคุม (Δp) ซึ่งใช้ในการควบคุมกำลังส่งสัญญาณ และส่งคำสั่งไปยังสถานีเคลื่อนที่
- 4 สถานีเคลื่อนที่ที่ได้รับคำสั่งซึ่งทำการตรวจวัดโดย Power control command detector
- 5 สถานีเคลื่อนที่จะทำการควบคุมกำลังส่งสัญญาณส่งตามค่าคำสั่งที่ได้รับ

3.2 ขอบเขตและข้อจำกัดของการจำลองแบบ [10]

1. ระบบที่ใช้ในการจำลองแบบเป็นระบบเซลลูลาร์แบบ DS/CDMA
2. แต่ละเซลล์ส่งสัญญาณแบบรอบทิศทาง (Omni-directional)
3. พื้นที่การให้บริการอยู่ในเซลล์ทั้งหมด 19 เซลล์ โดยมีเซลล์ที่สนใจอยู่ตรงกลาง และเซลล์รอบ ๆ ที่ติดกัน อีกสองชั้น
4. เซลล์ทั้งหมดมีจำนวนสถานีเคลื่อนที่ที่ใช้งานเท่ากันทุกเซลล์โดยมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniformly distributed) K เครื่องต่อเซลล์
5. ในโปรแกรมการจำลองแบบจะพิจารณาการควบคุมกำลังจากสถานีเคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน (up-link) ที่เซลล์กลางเท่านั้น
6. ตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่มีการแจกแจงแบบสุ่มทั่วเซลล์กลาง (Central cell)
7. กำลังส่งของสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณถูกควบคุมพร้อม ๆ กัน

8. Soft handoff, Voice activity และ Antenna sectorization ไม่นำมาพิจารณาในการจำลองแบบ
9. แต่ละสถานีเคลื่อนที่จะติดต่อกับสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด
10. สำหรับค่าที่นำมาวัดสมรรถนะของระบบคือ ค่าของ RMS Tracking Error และ Outage Probability
11. เซลล์ที่พิจารณาคือเซลล์กลาง โดยมีเซลล์รอบๆ 18 เซลล์ดังรูปที่ 2.1
12. รัศมีเซลล์ 5 กิโลเมตร
13. จำนวนรอบของการควบคุมในการจำลองแบบ แต่ละครั้งคือ 150 รอบ โดย 30 รอบแรกนั้นทำให้ได้ค่าความแรงของสัญญาณเข้าสู่ค่าที่อยู่ตัว และอีก 120 รอบใช้สำหรับดูผลการจำลอง

ค่าคงที่และตัวแปรต่าง ๆ อ้างอิงจากระบบ DS/CDMA [2] คือแบนด์วิดท์ (Bandwidth) มีค่า 1.25 MHz, อัตราส่งข้อมูล 8 kbps, Energy per bit-to-interference spectral density ratio (E_b / I_0) = 7 dB, จุดเริ่มเปลี่ยนของอัตราส่วนความแรงสัญญาณที่รับได้เทียบกับสัญญาณแทรกสอด (SIR_{th}) = -15 dB, เฟดดิ้งอย่างยาวมีค่าคงที่การลดทอนเป็น 4 [8], ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 8 dB [8], เฟดดิ้งอย่างสั้นมีค่าของ $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniformly distributed) ระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

3.3 การวัดสมรรถนะของระบบ

3.3.1 Root Mean Square Tracking Error

RMS Tracking Error คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแรงสัญญาณ error ที่รับได้ที่สถานีฐานตลอดรอบการคำนวณโดยมีค่าดังสมการที่ (3.1)

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{150} (e_k^r)^2}{150}} \quad (3.1)$$

โดยที่

RMS	คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณ error ที่รับได้ที่สถานีฐาน (dB)
e_k^r	คือ สัญญาณ error ที่รับได้ที่สถานีฐานที่เวลา k (เทียบกับ 0 dB set point)
k	คือ เวลาที่ k

3.3.2 Outage Probability

Outage Probability [13], [14] คือ ค่าที่ใช้วัดคุณภาพของสัญญาณโดยการเทียบกับค่า SIR_{th} ที่ต้องการ โดยมีค่าดังสมการที่ (3.2), (3.3)

$$\text{Outage Probability} \equiv P_r \{SIR < SIR_{th}\} \quad (3.2)$$

$$SIR \text{ (in linear units)} = P_r^s / I \quad (3.3)$$

โดยที่

SIR	คือ อัตราส่วนความแรงสัญญาณที่รับได้เทียบกับสัญญาณแทรกสอด
SIR_{th}	คือ จุดเริ่มเปลี่ยนของอัตราส่วนความแรงสัญญาณที่รับได้เทียบกับสัญญาณแทรกสอด
P_r^s	คือ ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานจากสถานีเคลื่อนที่
I	คือ สัญญาณแทรกสอดทั้งหมดที่รับได้ที่สถานีฐาน

3.4 วิธีการจำลองแบบ

3.4.1 วิธีการจำลองความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน (p_k^r), RMS Tracking Error และ SIR

การคำนวณค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน (p_k^r dB) จะทำการคำนวณและควบคุมค่าทุกๆ 1.25 ms (T_p) แสดงได้โดยมีค่าดังสมการที่ (3.4)

$$p_k^r = (p_k' + g_k + n_k')(dB) \quad (3.4)$$

โดยที่

p_k^r	คือ ความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานในหน่วย dB
---------	---

P'_k	คือ ความแรงสัญญาณที่ส่งจากสถานีเคลื่อนที่ในหน่วย dB
G_k	คือ อัตราขยายการเชื่อมโยง (Link gain) ในหน่วย dB
n'_k	คือ ความแรงสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสัญญาณแทรกสอด ในหน่วย dB

และ n'_k แสดงโดยมีค่าดังสมการที่ (3.5)

$$n'_k = \{10 \log(P'_k G_k + I_k) - 10 \log(P'_k G_k)\} (dB) \quad (3.5)$$

โดยที่

P'_k	คือ ความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานในหน่วย watts
G_k	คือ อัตราขยายการเชื่อมโยง (Link gain)
I_k	คือ ความแรงสัญญาณแทรกสอดในหน่วย watts

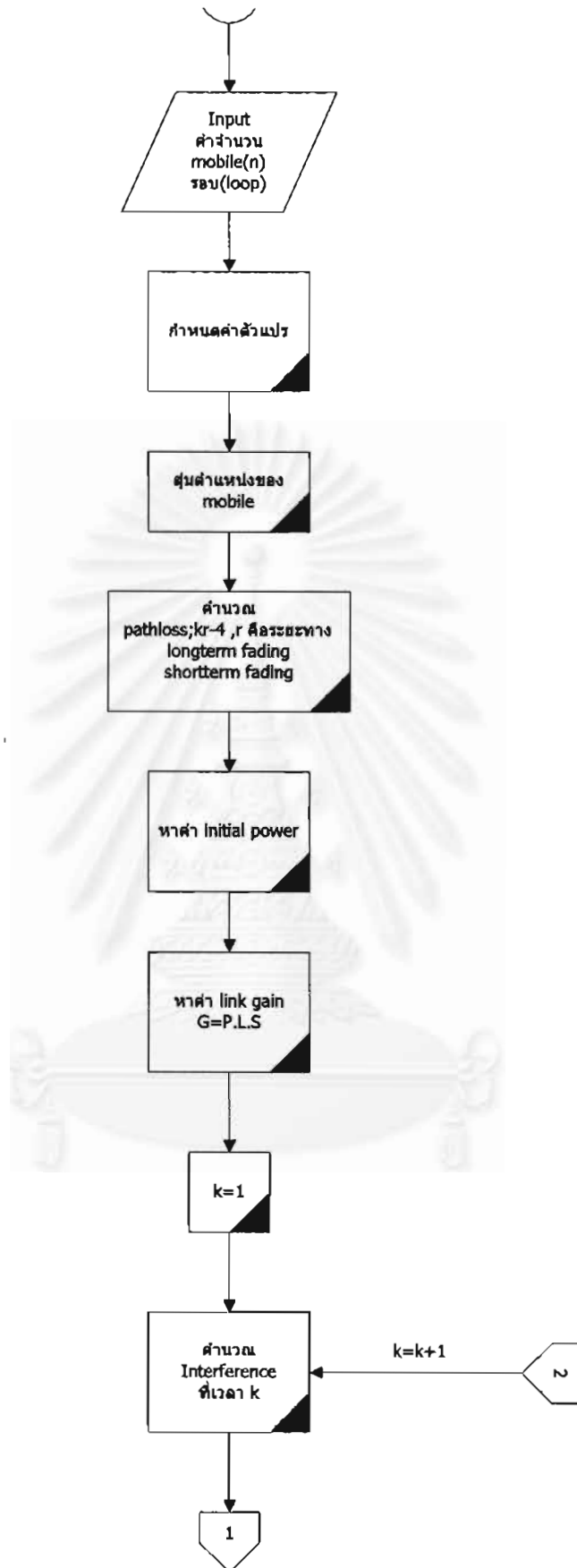
จากสมการที่ (3.5) เราจะได้ สมการที่ (3.6) และ (3.7)

$$n'_k = 10 \log\left(1 + \frac{I_k}{P'_k G_k}\right) (dB) \quad (3.6)$$

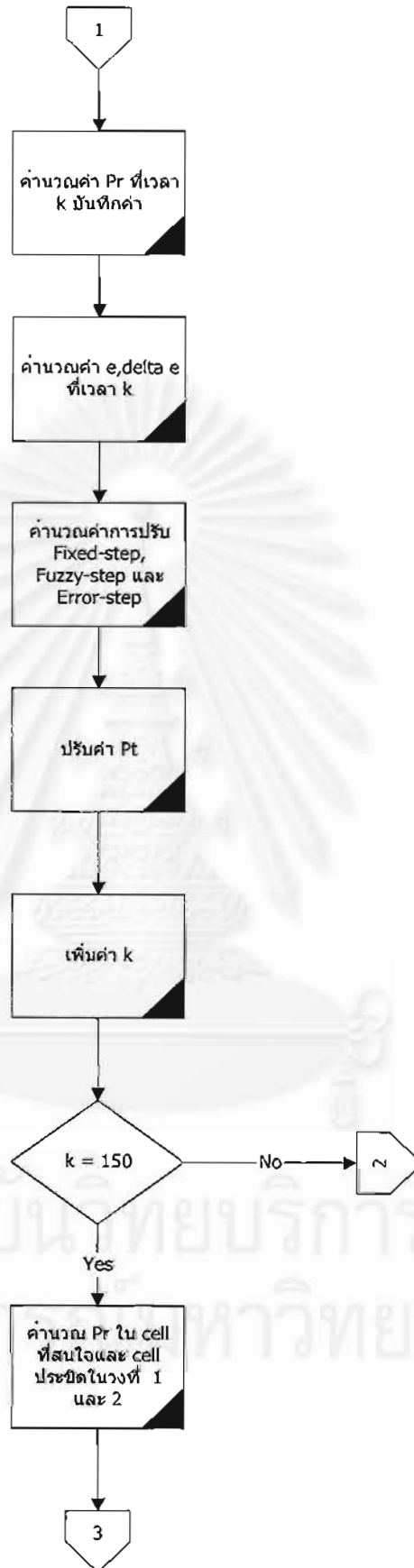
$$n'_k = \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{I_k}{P'_k G_k} (dB) \quad (3.7)$$

หมายเหตุ $\ln\left(1 + \frac{I}{P'_k G_k}\right) \approx \frac{I}{P'_k G_k}$ เมื่อ $\frac{I}{P'_k G_k} \ll 1$

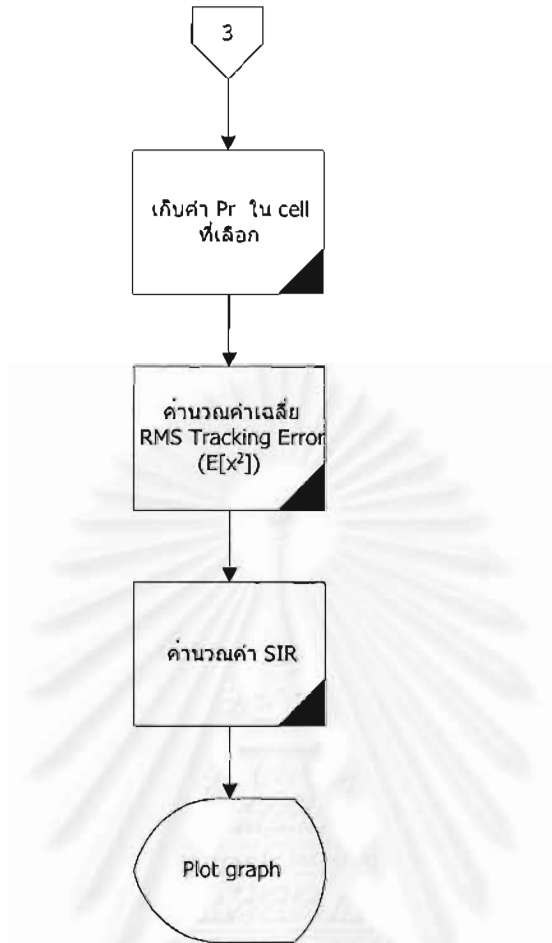
เพื่อให้ได้ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานแบบต่อเนื่อง, ค่า RMS Tracking Error และ ค่า SIR เราจึงทำการคำนวณ 150 รอบโดยแสดงการคำนวณดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การคำนวณความแรงสัญญาณที่รับได้, ค่า RMS Tracking Error และ SIR



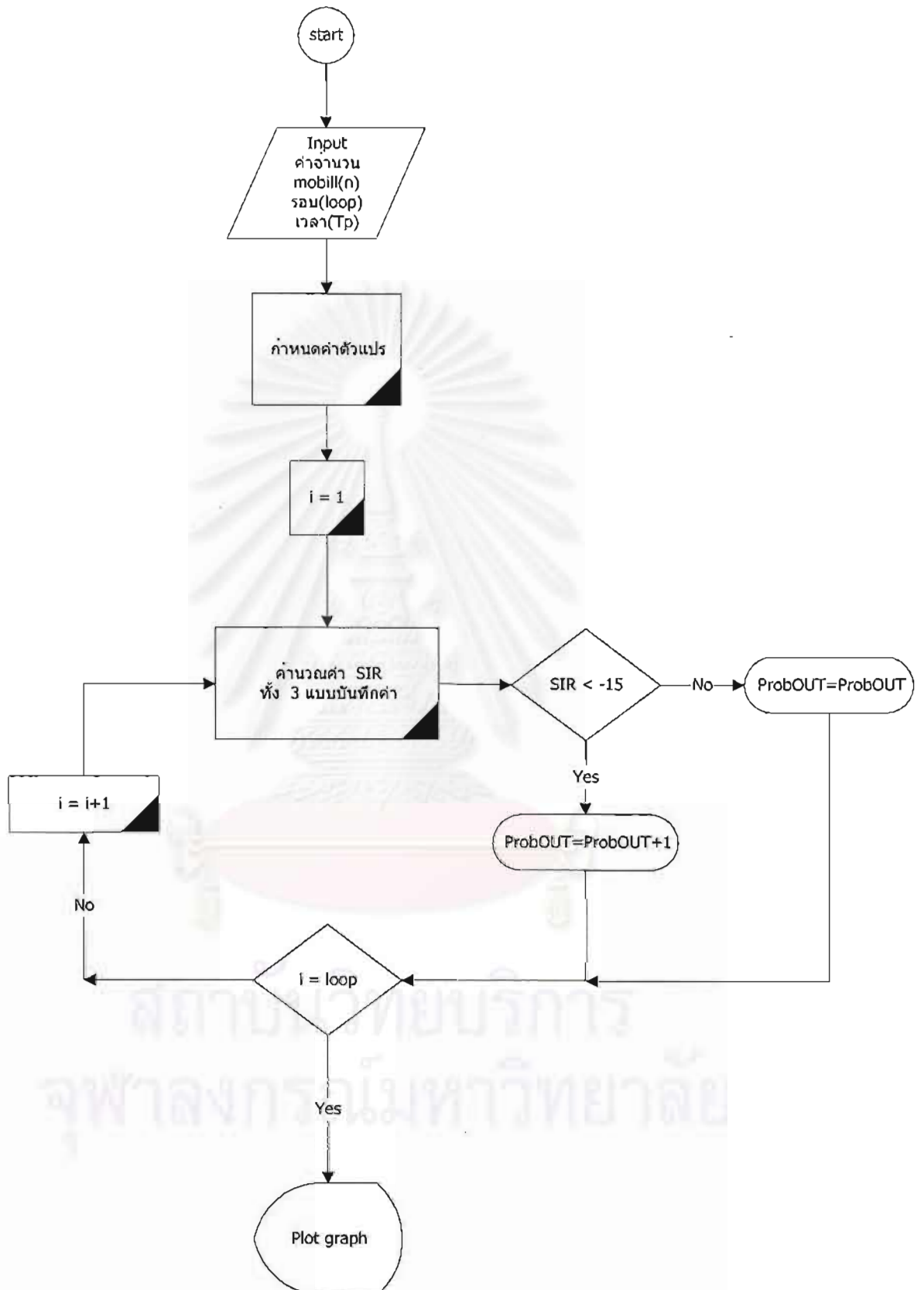
รูปที่ 3.1 การคำนวณความแรงสัญญาณที่รับได้, ค่า RMS Tracking Error และ SIR (ต่อ)



รูปที่ 3.1 การคำนวณความแรงสัญญาณที่ได้รับ, ค่า RMS Tracking Error และ SIR (ต่อ)

3.4.2 แบบจำลองการคำนวณ Outage probability

การคำนวณหา Outage Probability จะทำโดยการคำนวณค่าของ SIR นำไปเทียบกับค่า SIR_m ถ้าค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่า SIR_m เราจะทำการเพิ่มค่าของ Outage แต่ถ้าค่าที่ได้มีค่ามากกว่าก็ไม่ต้องเพิ่มค่าของ Outage การจำลองจะทำการจำลองเป็นจำนวน 500 ครั้งๆละ 150 รอบ เพื่อให้ได้ค่า Outage Probability (รอบ หมายถึง การควบคุมกำลังส่งหนึ่งรอบ T_p มีค่า 1.25 ms , ครั้ง หมายถึง การควบคุมกำลังส่ง 150 รอบ) โดยแสดงการคำนวณดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การคำนวณ Outage probability

บทที่ 4

ผลการจำลองแบบ และการวิเคราะห์ผลการจำลองแบบ

4.1 คำอธิบาย

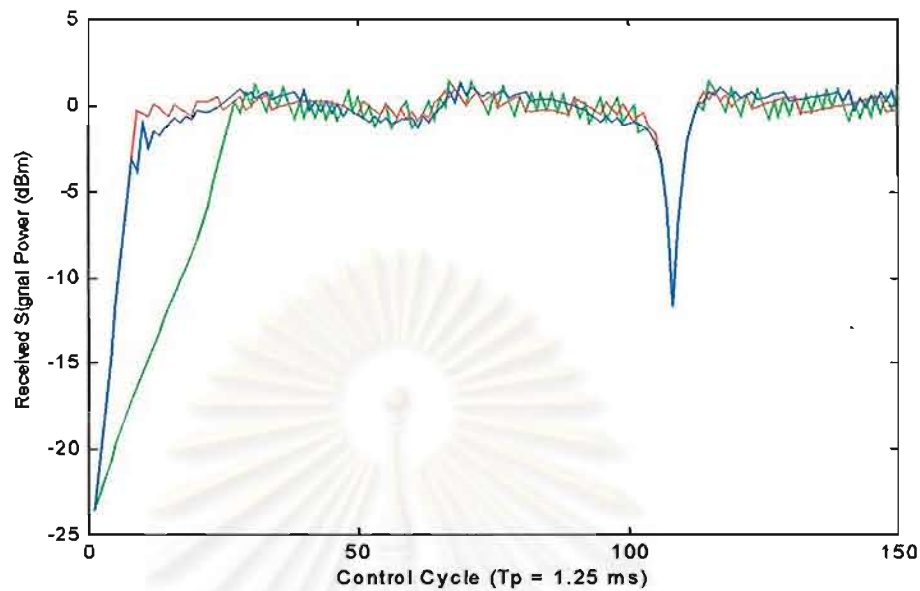
ก่อนที่จะแสดงผลการจำลองแบบ ขอทำความเข้าใจกับค่าบางค่าหรือศัพท์เทคนิคบางคำที่ใช้ในตารางหรือคำอธิบายในบทนี้ก่อน เพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน

Fixed-step Power Control	คือ การควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแรงสัญญาณเป็นค่าคงที่ที่กำหนด และเท่ากันทุกครั้งในการควบคุมสัญญาณ (ในการจำลองแบบใช้ ± 1 dB)
Multi-step Power Control	คือ การควบคุมกำลังส่งสัญญาณ โดยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแรงสัญญาณที่อยู่ในช่วงที่กำหนด และอาจจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ในการควบคุมแต่ละครั้ง
Fuzzy-step Power Control	คือ การควบคุมกำลังส่งของสัญญาณแบบ Multi-step Power Control แบบหนึ่ง โดยใช้เทคนิคของ Fuzzy logic ในการควบคุมค่าของ Step-size
Error Approximation Power Control	คือ การควบคุมกำลังส่งของสัญญาณแบบ Multi-step Power Control ที่เสนอโดยใช้เทคนิคการประมาณค่าจากการเกิด Error ในการควบคุม Step-size (วิธีที่เสนอโดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้)
Step-size	คือ ขนาดของความแรงสัญญาณที่ใช้ควบคุมกำลังส่งสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่
SIR	คือ อัตราส่วนความแรงของสัญญาณรับที่สนใจกับสัญญาณแทรกสอด
SIR_m	คือ ระดับจุดเริ่มเปลี่ยนของ SIR (ในการจำลองแบบใช้ -15 dB) [15]
f_D	คือ Doppler rate ของสัญญาณเฟดดิ้งอย่างสิ้น

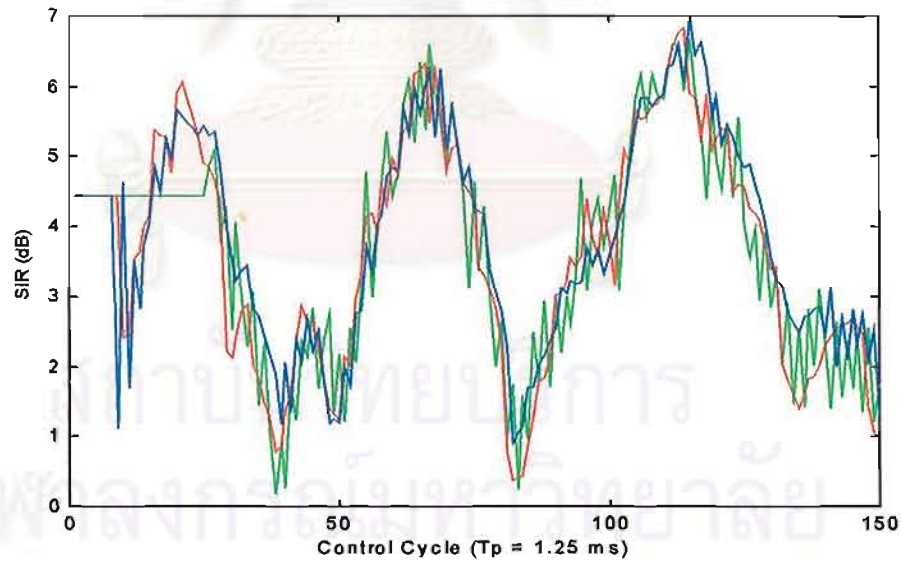
T_p	คือ คาบของเวลาในหนึ่งรอบการคำนวณมีค่า 1.25 ms
$f_D T_p$	คือ Doppler frequency spectrum ของสัญญาณเฟด ดังอย่างสั้น
RMS Tracking Error	คือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยยกกำลังสองของ error สัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน
Outage probability	คือ ค่าความน่าจะเป็นของการ Outage ใช้ในการวัด สมรรถนะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่
Multipath fading	คือ เฟดดิ้งแบบพหุวิถี
K	คือ จำนวนสถานีเคลื่อนที่
N	คือ จำนวนวิถีของสัญญาณซึ่งเดินทางจากสถานีเคลื่อนที่ ไปยังสถานีฐาน



4.2 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการควบคุมค่า $f_0 T_p$ เมื่อ $K = 5, N = 2$

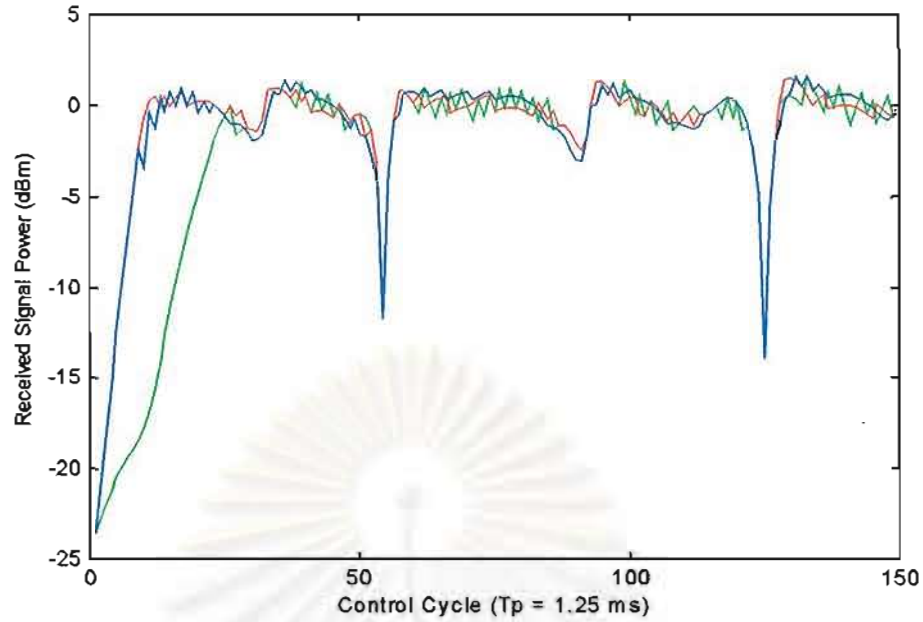


รูปที่ 4.1 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5, N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$

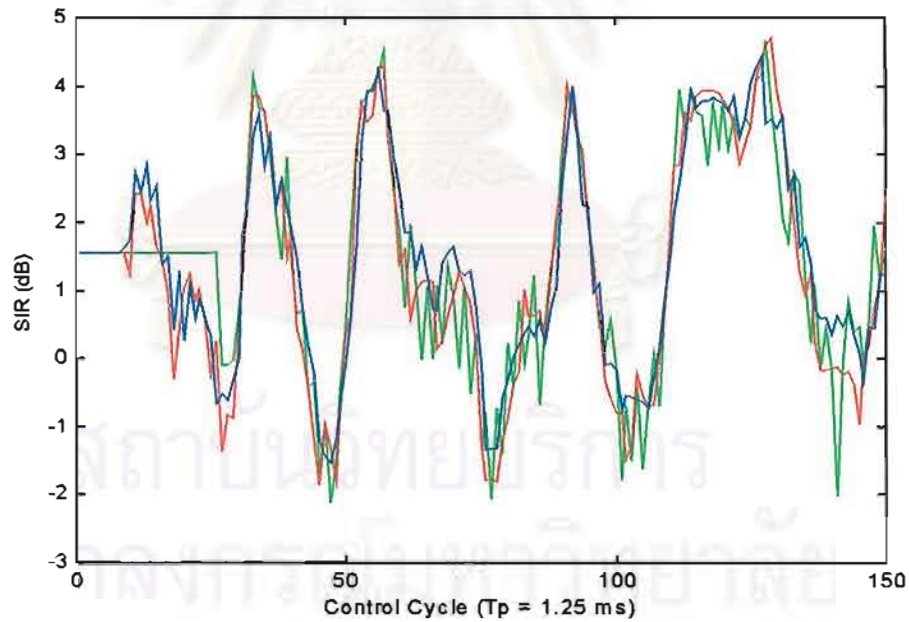


รูปที่ 4.2 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5, N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$

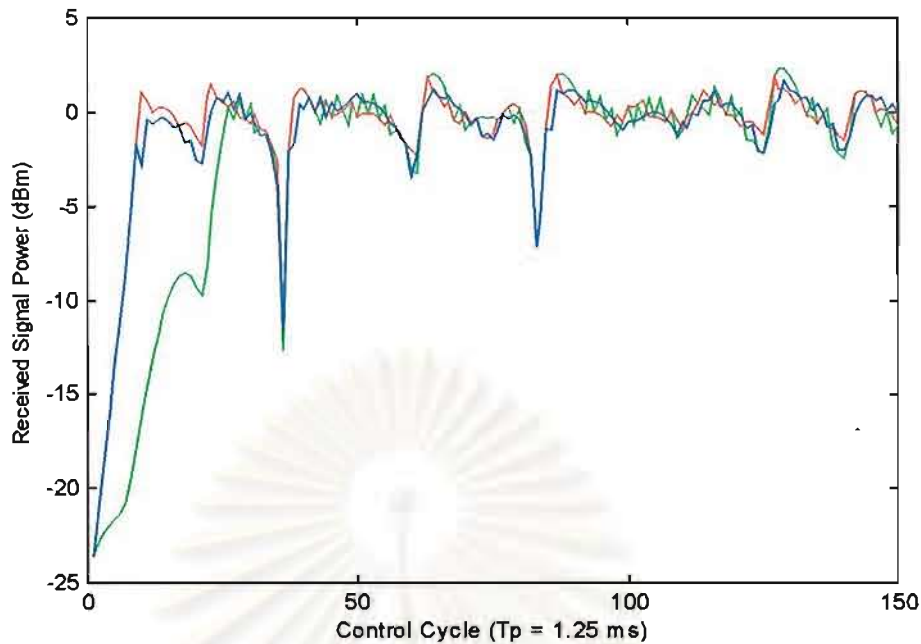




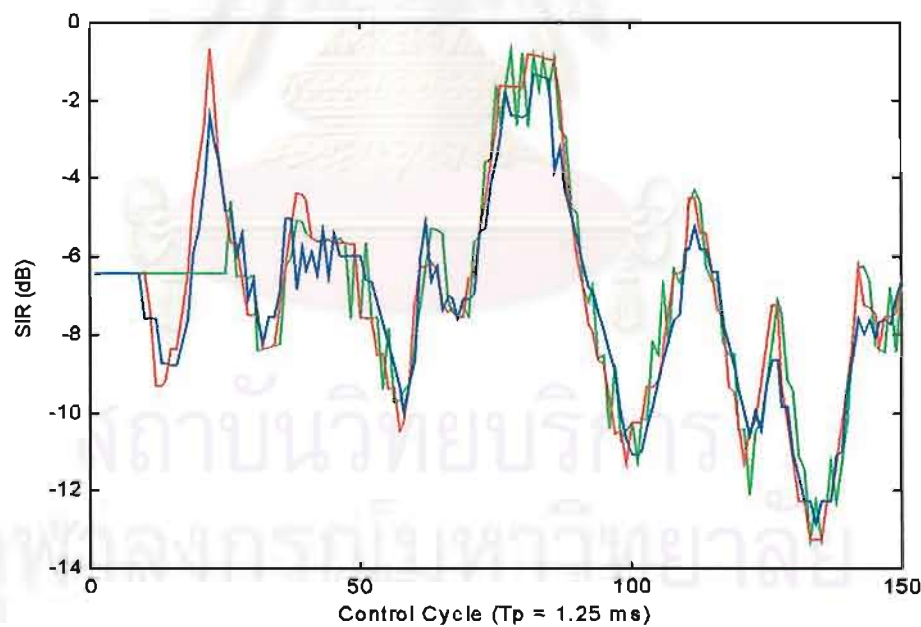
รูปที่ 4.3 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$



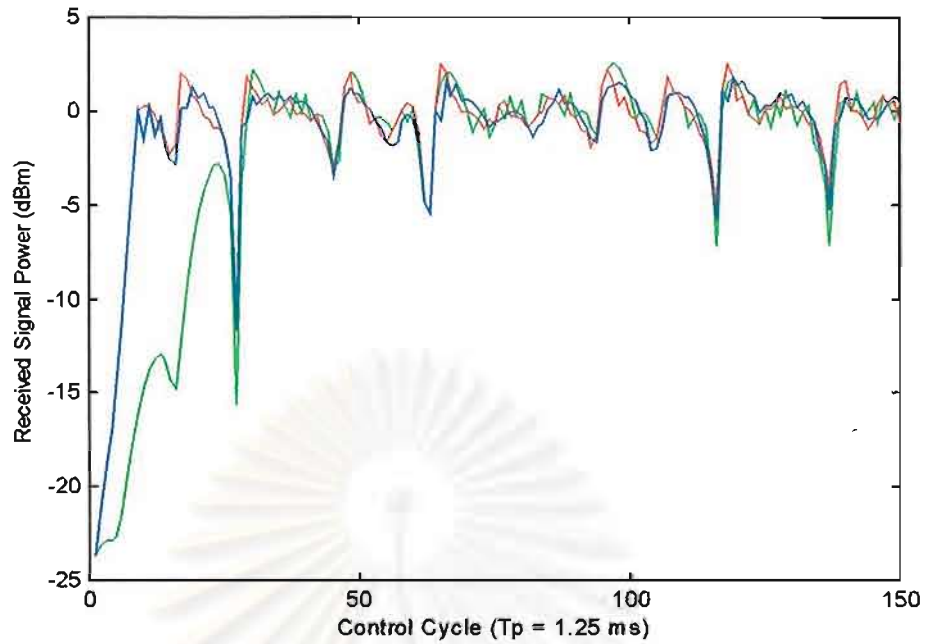
รูปที่ 4.4 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$



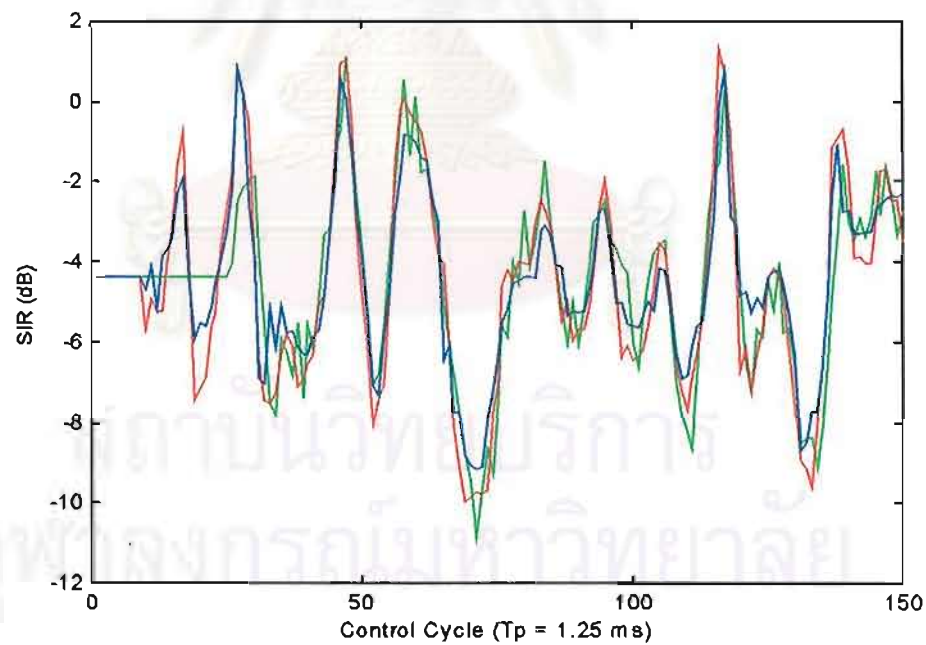
รูปที่ 4.5 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$



รูปที่ 4.6 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$



รูปที่ 4.7 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สภาวะนี้ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$



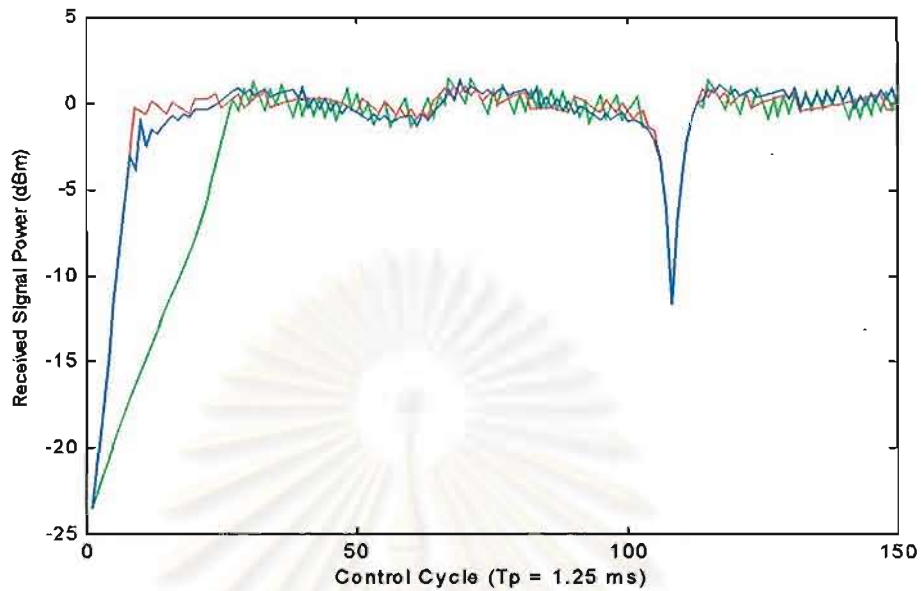
รูปที่ 4.8 ค่า SIR ที่รับได้ที่สภาวะนี้ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$

ตารางที่ 4.1 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังสัญญาณโดยการควบคุมค่า $f_D T_p$ ด้วยเทคนิคทั้งสามแบบที่ $K = 5$, $N = 2$

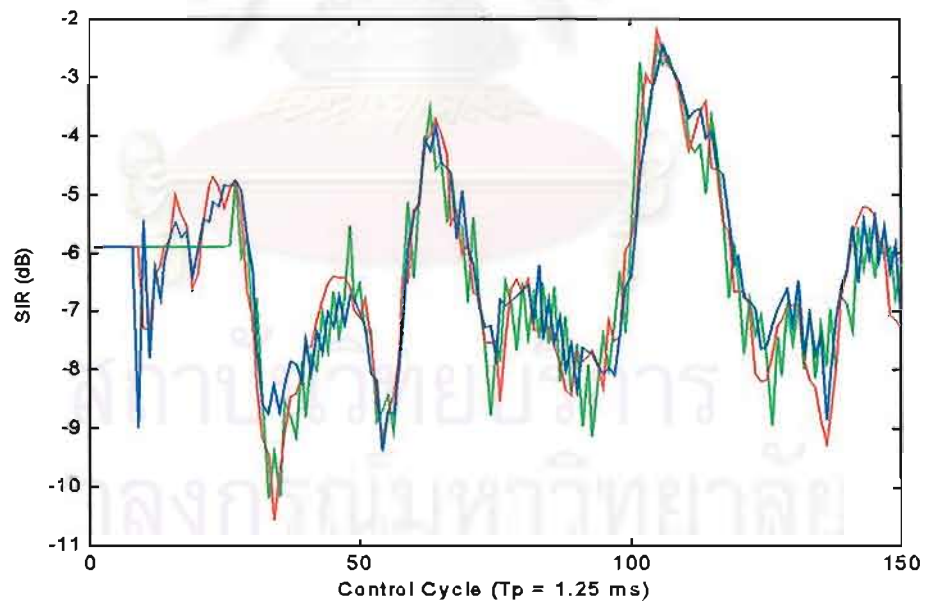
$K=5, N=2$	Fixed-step (dB)	Fuzzy-step (dB)	Error-step (dB)
$f_D T_p=0.0125$	6.09	3.74	3.68
$f_D T_p=0.025$	6.31	4.01	3.95
$f_D T_p=0.0375$	6.38	3.98	3.94
$f_D T_p=0.05$	6.53	4.07	4.06



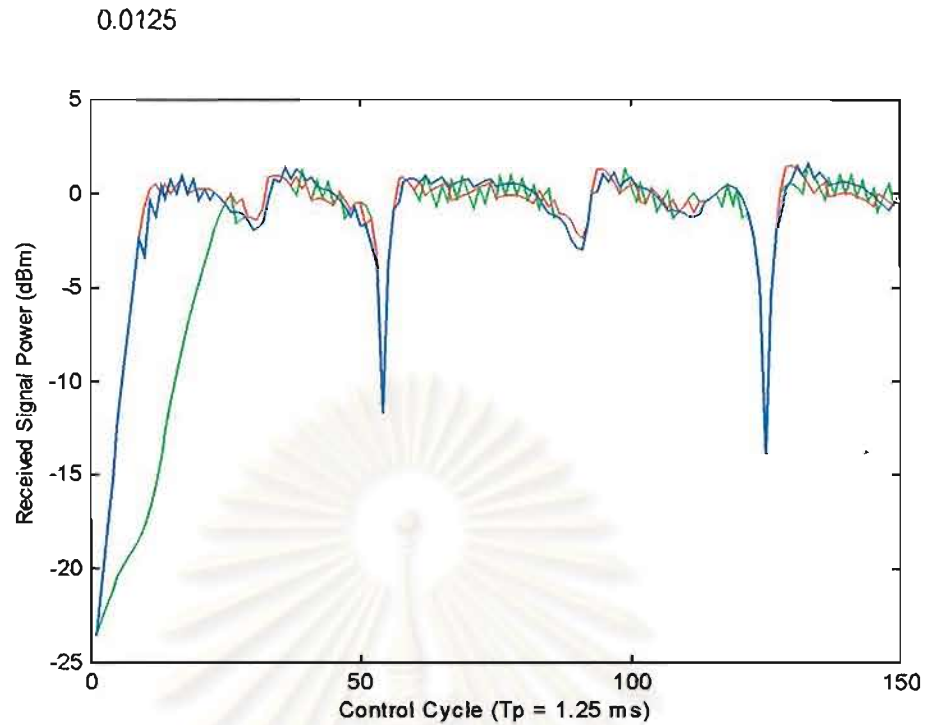
4.3 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการควบคุมค่า $f_D T_p$ เมื่อ $K = 10, N = 2$



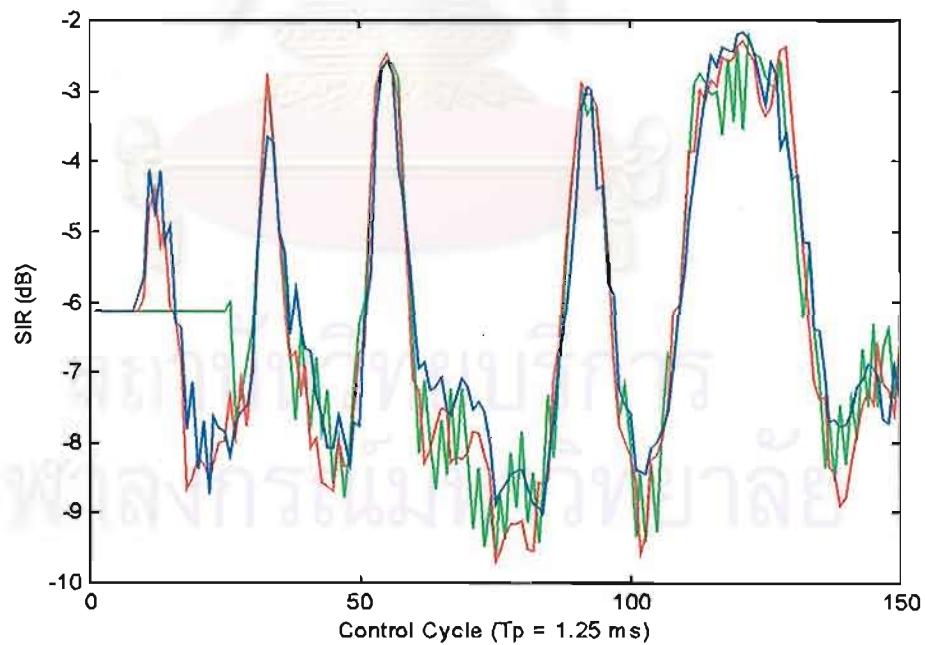
รูปที่ 4.9 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเทียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10, N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$



รูปที่ 4.10 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเทียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10, N = 2$ และ $f_D T_p =$

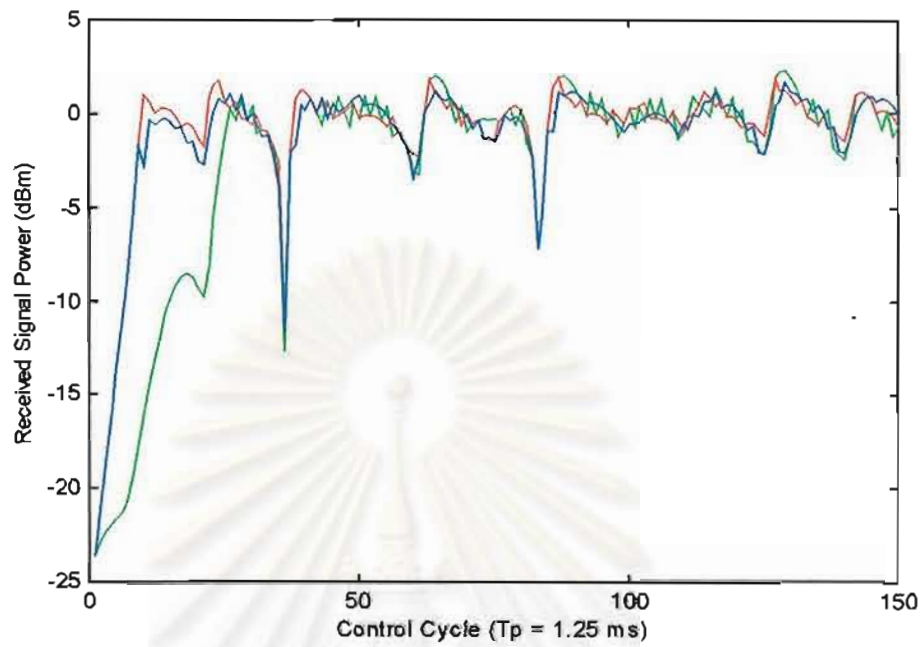


รูปที่ 4.11 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$

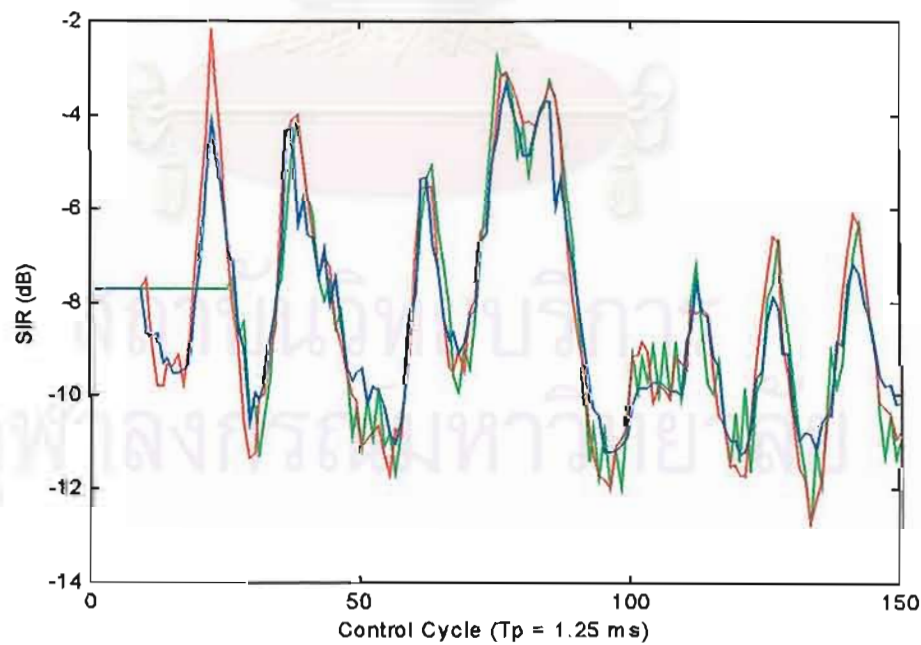


รูปที่ 4.12 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว),

Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$

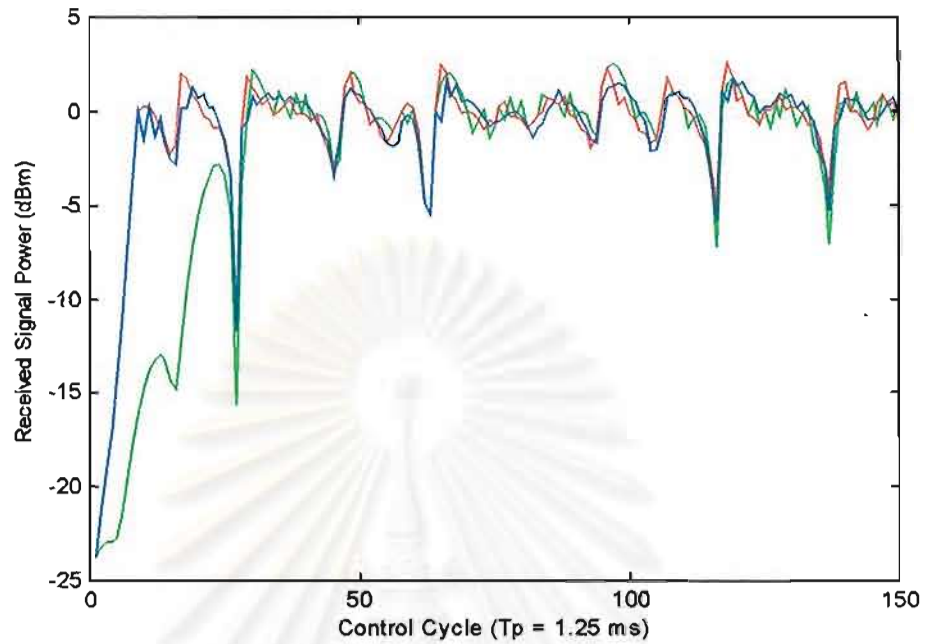


รูปที่ 4.13 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีดำ), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$

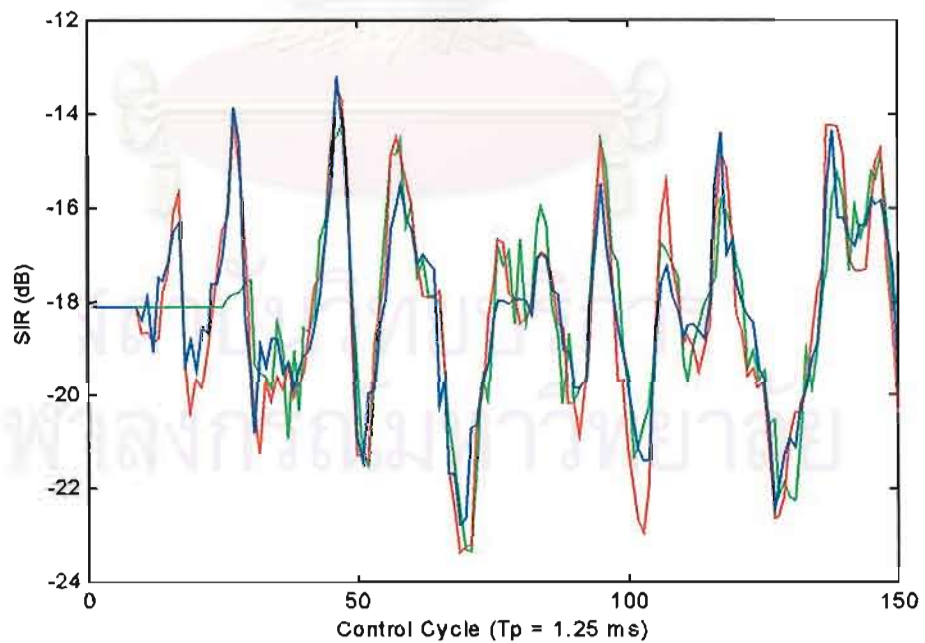


รูปที่ 4.14 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีดำ),

Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$



รูปที่ 4.15 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$

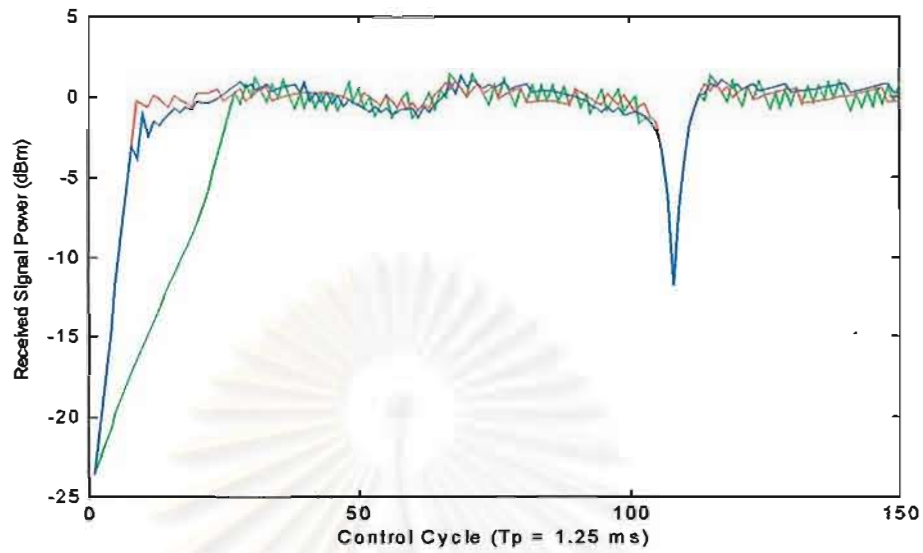


รูปที่ 4.16 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$

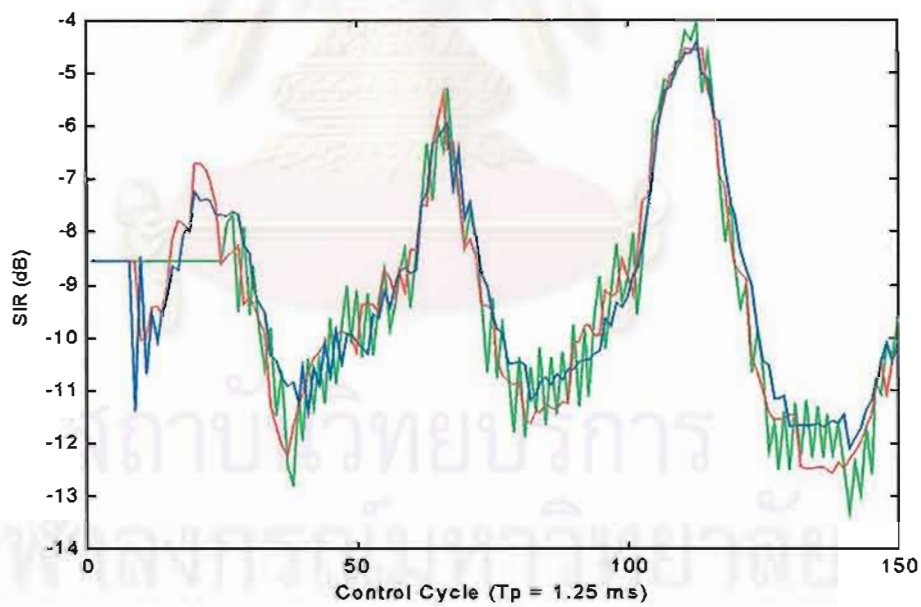
ตารางที่ 4.2 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการควบคุมค่า $f_D T_p$ ด้วยเทคนิคทั้งสามแบบที่ $K = 10$, $N = 2$

$K = 10, N = 2$	Fixed-step (dB)	Fuzzy-step (dB)	Error-step (dB)
$f_D T_p = 0.0125$	6.09	3.74	3.68
$f_D T_p = 0.025$	6.31	4.01	3.95
$f_D T_p = 0.0375$	6.38	3.98	3.94
$f_D T_p = 0.05$	6.52	4.07	4.05

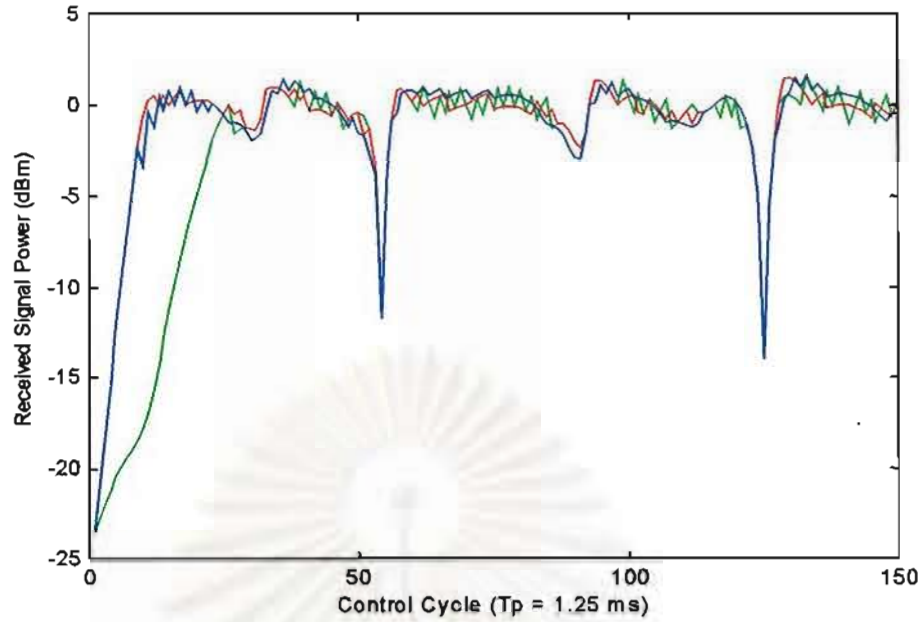
- 4.4 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการควบคุมค่า $f_D T_p$ เมื่อ $K = 15, N = 2$



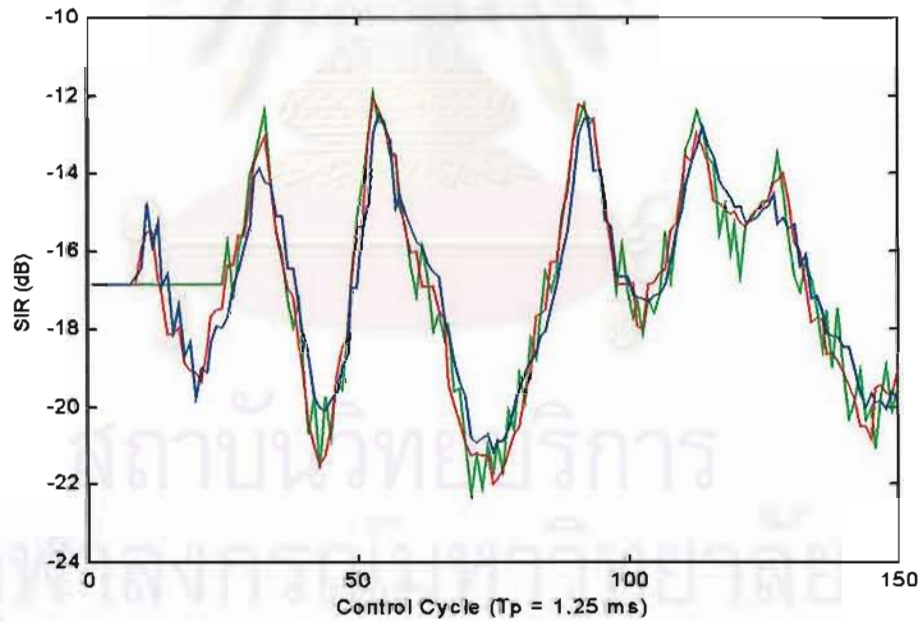
- รูปที่ 4.17 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15, N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$



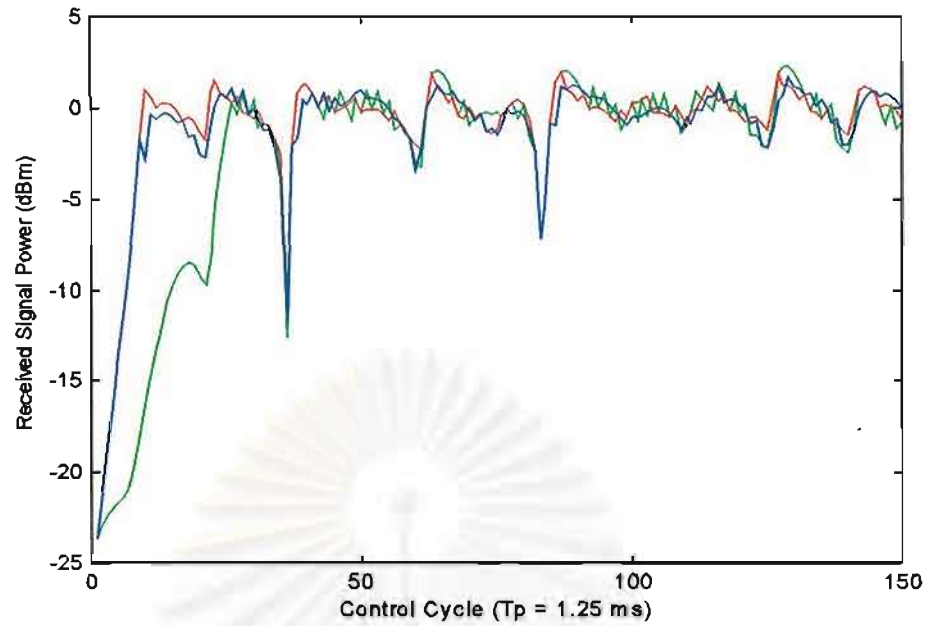
- รูปที่ 4.18 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15, N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$



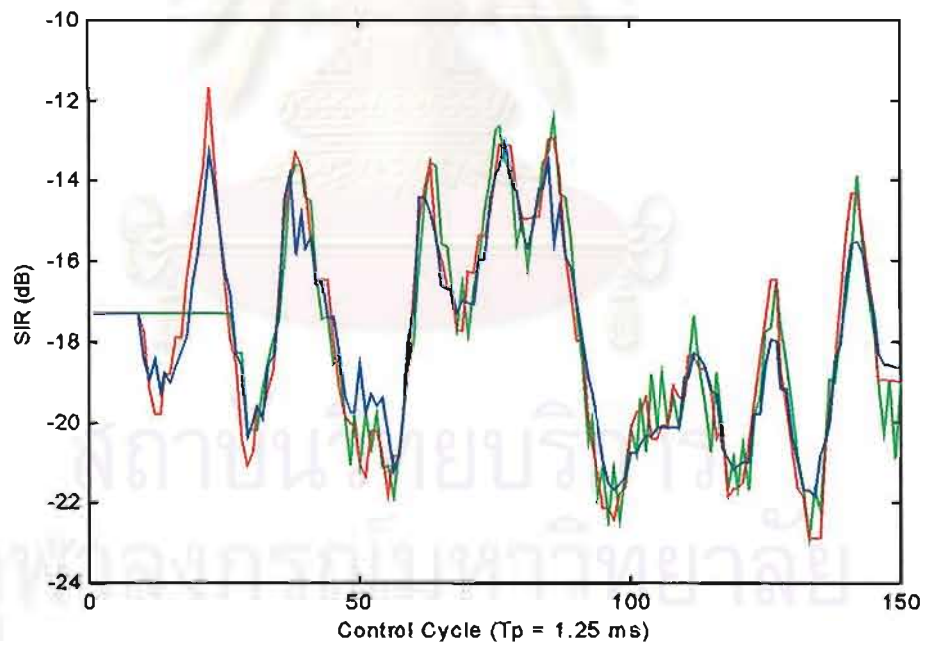
รูปที่ 4.19 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$



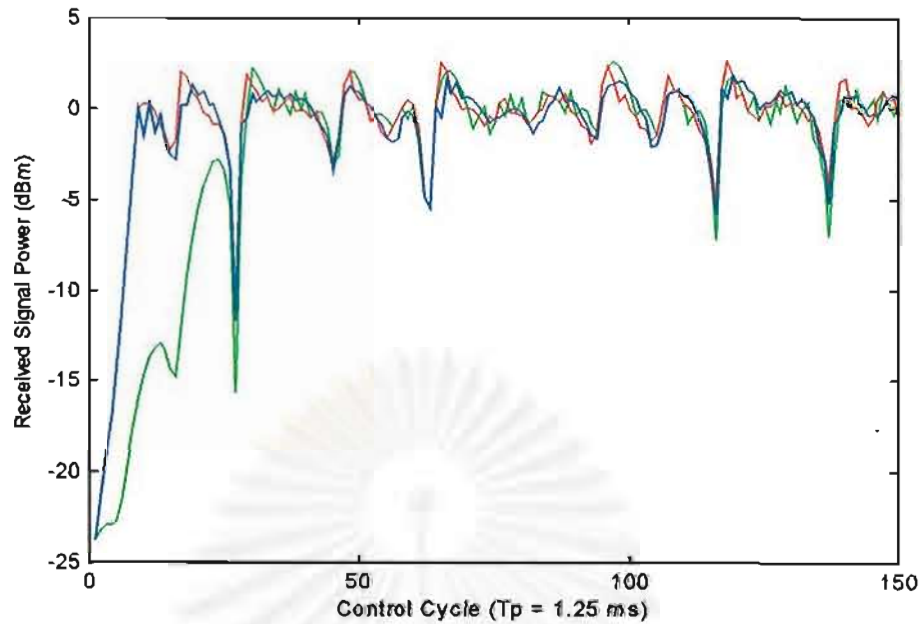
รูปที่ 4.20 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$



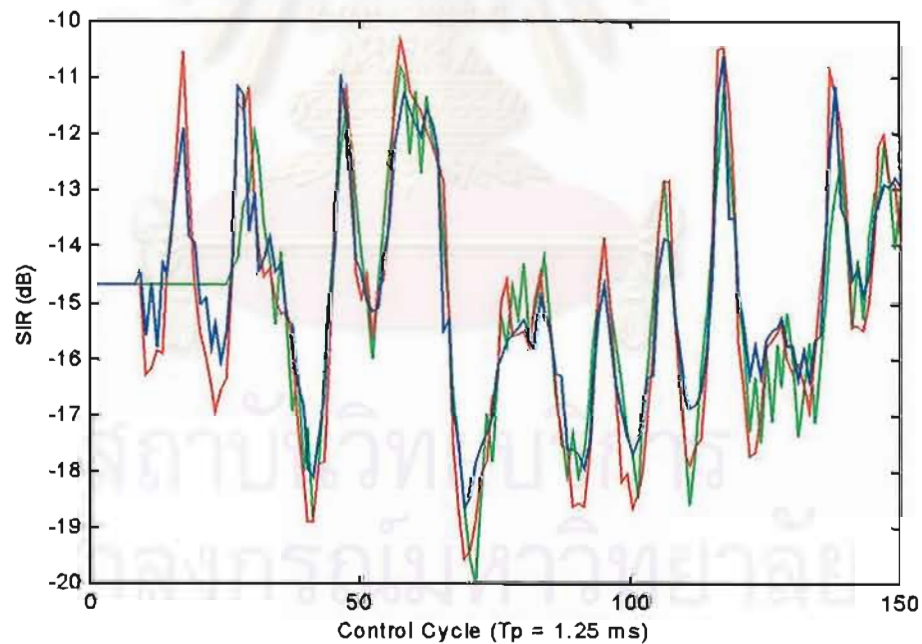
รูปที่ 4.21 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$



รูปที่ 4.22 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$



รูปที่ 4.23 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานการณ์ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$

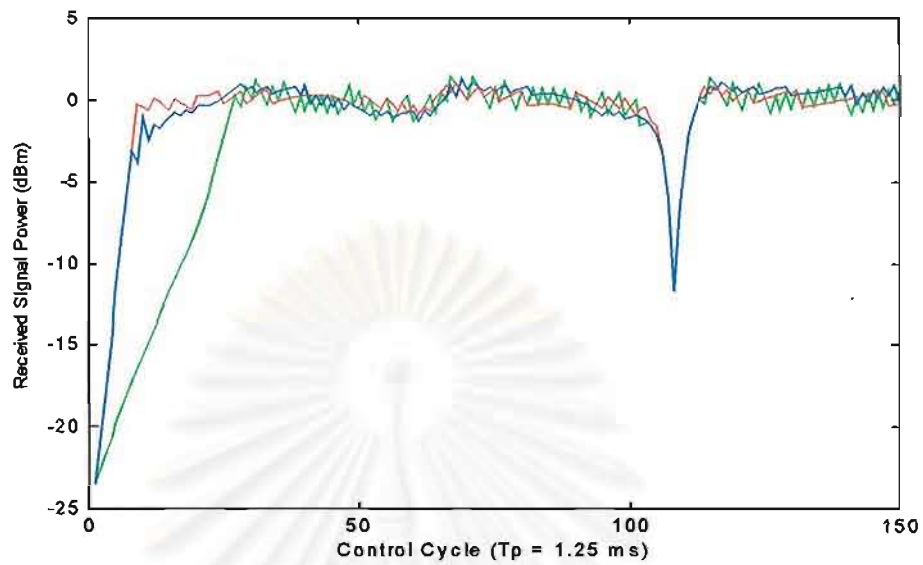


รูปที่ 4.24 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานการณ์ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$

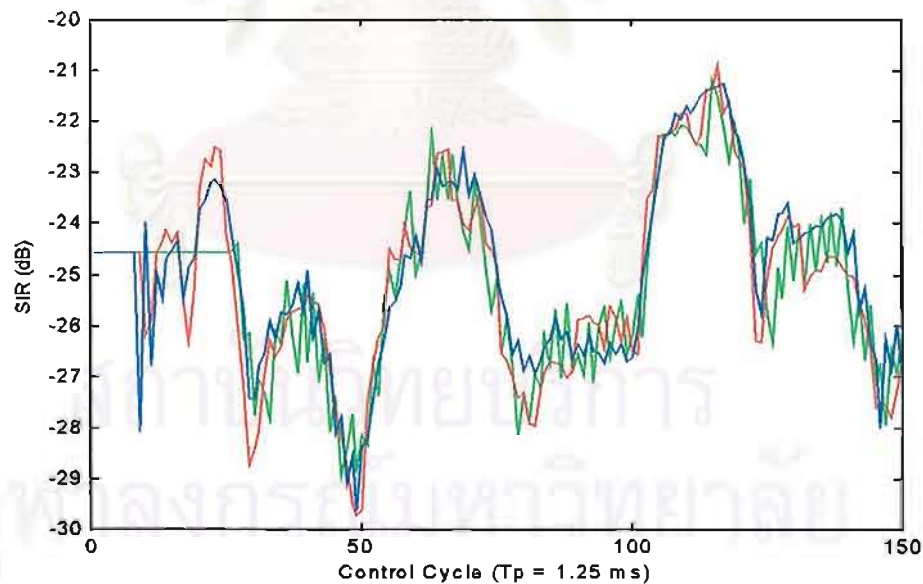
ตารางที่ 4.3 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการควบคุมค่า $f_D T_p$ ด้วยเทคนิคทั้งสามแบบที่ $K = 15$, $N = 2$

$K = 15, N = 2$	Fixed-step (dB)	Fuzzy-step (dB)	Error-step (dB)
$f_D T_p = 0.0125$	6.09	3.74	3.68
$f_D T_p = 0.025$	6.31	4.01	3.95
$f_D T_p = 0.0375$	6.38	3.98	3.94
$f_D T_p = 0.05$	6.53	4.07	4.06

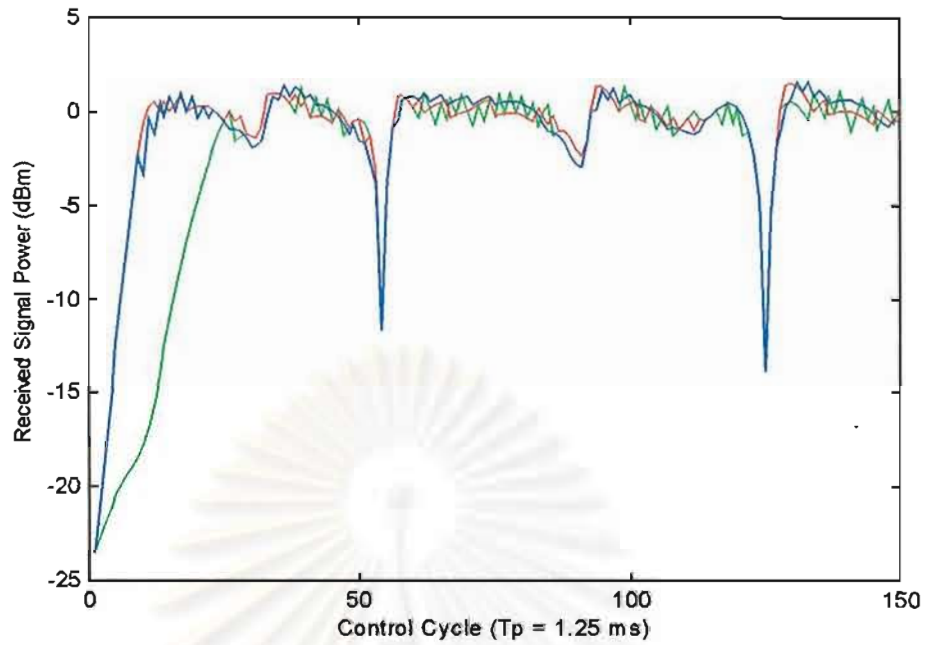
- 4.5 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการควบคุมค่า $f_D T_p$ เมื่อ $K = 20, N = 2$



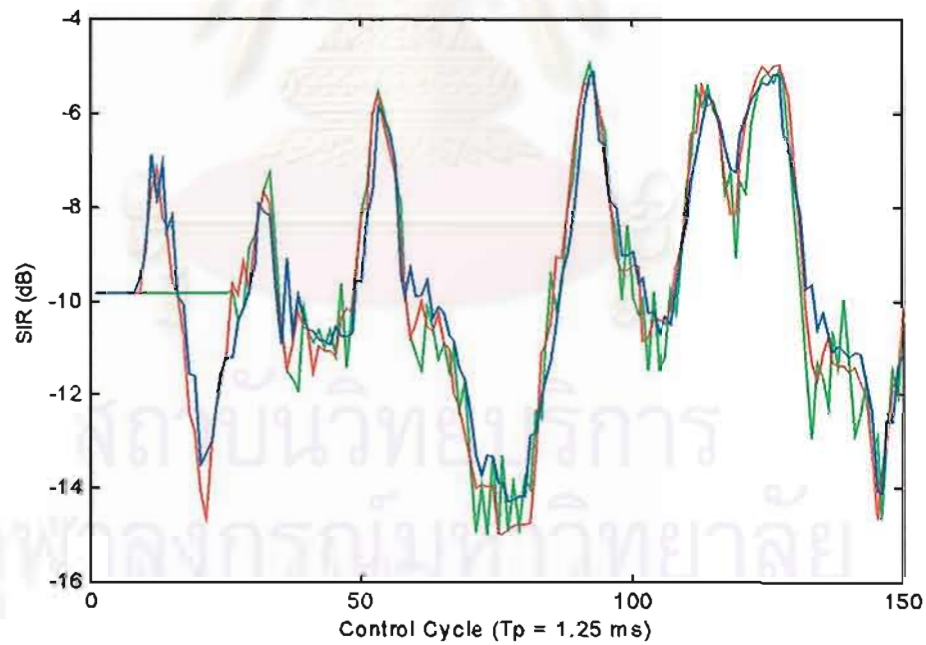
- รูปที่ 4.25 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20, N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$



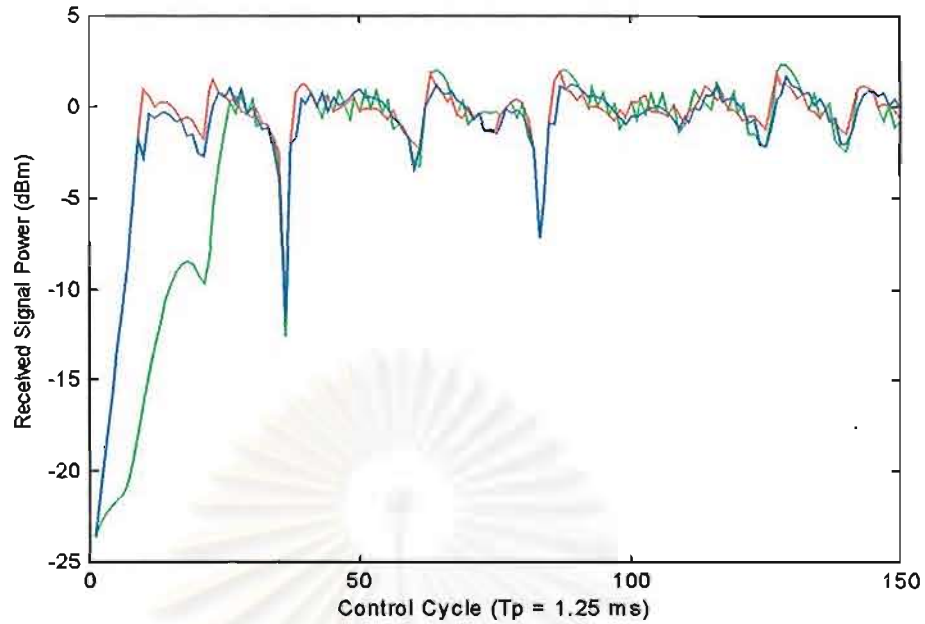
- รูปที่ 4.26 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20, N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0125$



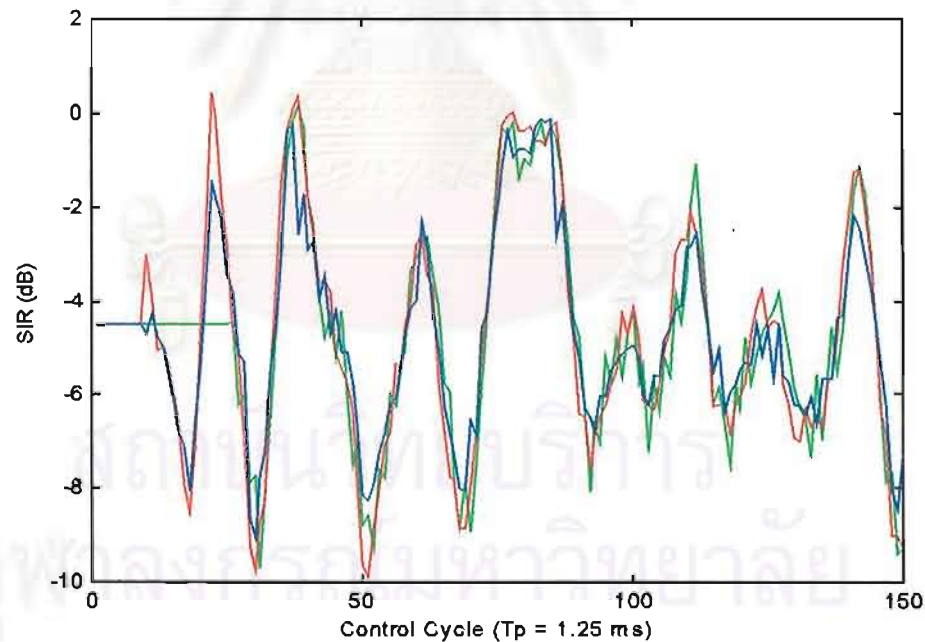
รูปที่ 4.27 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานการณ์ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$



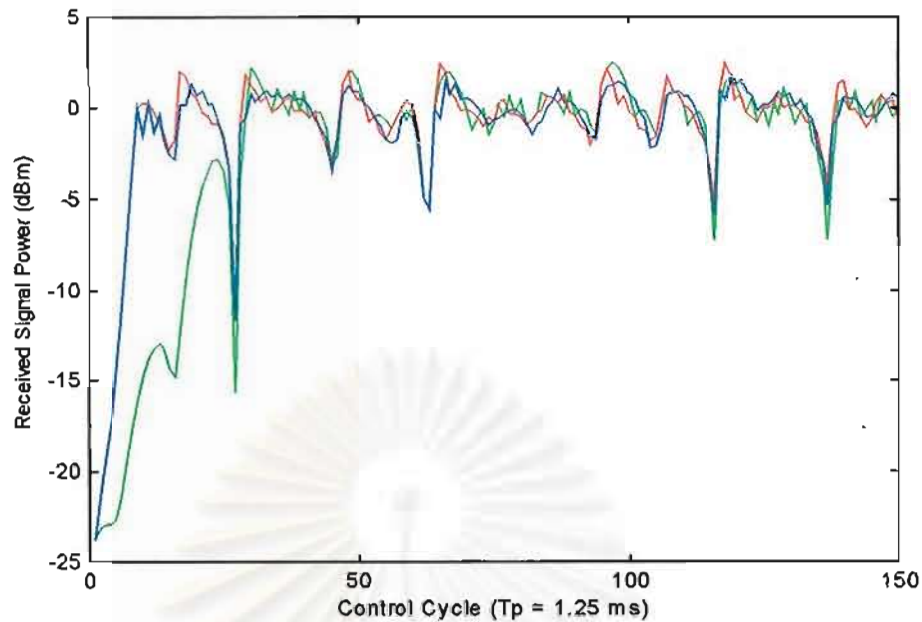
รูปที่ 4.28 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานการณ์ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.025$



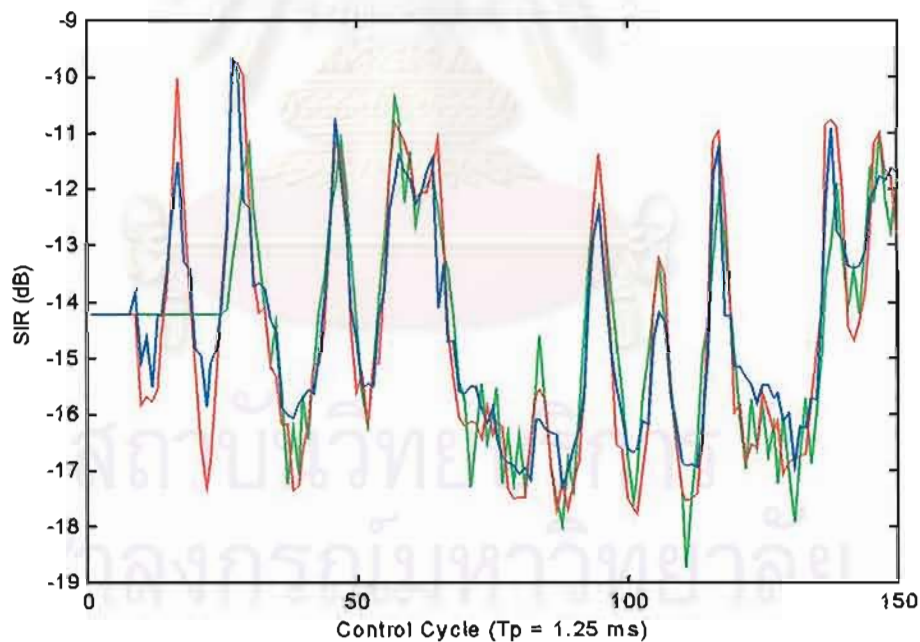
รูปที่ 4.29 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$



รูปที่ 4.30 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$



รูปที่ 4.31 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.05$



รูปที่ 4.32 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$ และ $f_D T_p = 0.0375$

ตารางที่ 4.4 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการควบคุมค่า $f_D T_p$ ด้วยเทคนิคทั้งสามแบบที่ $K = 20$, $N = 2$

$K = 20, N = 2$	Fixed-step (dB)	Fuzzy-step (dB)	Error-step (dB)
$f_D T_p = 0.0125$	6.09	3.74	3.68
$f_D T_p = 0.025$	6.31	4.01	3.95
$f_D T_p = 0.0375$	6.38	3.99	3.94
$f_D T_p = 0.05$	6.53	4.07	4.06

4.6 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการควบคุมค่า $f_D T_p$ เมื่อ $K = 5, 10, 15$ และ 20 เมื่อ $N = 2$

รูปที่ 4.1, 4.3, 4.5 และ 4.7 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 5$ แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าของ $f_D T_p$ เพิ่มขึ้น ค่ากำลังที่รับได้จะมีการแกว่งที่มากขึ้น ซึ่งเกิดจากเฟสของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงมากขึ้นจากเฟดดิ้งอย่างสิ้น จากวิธีการควบคุมกำลังสัญญาณส่งทั้งสามแบบจะเห็นได้ว่า Error-step มีค่าเฉลี่ย RMS Tracking Error โดยรวมต่ำที่สุดและ Over-shoot ที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองแบบ รองลงมาคือ Fuzzy-step และ Fixed-step ตามลำดับ โดยการควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step จะดีกว่าการควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step อยู่ 1.10 % (คำนวณโดยหาค่าเฉลี่ยจากการปรับค่า $f_D T_p$ ทั้งสี่ค่า) และดีกว่าการควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step อยู่ 38.21 % แสดงค่าเปรียบเทียบค่า RMS Tracking Error ไว้ในตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.9, 4.11, 4.13 และ 4.15 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 10$ แสดงให้เห็นแนวโน้มที่เหมือนกับรูปที่ 4.1, 4.3, 4.5 และ 4.7 โดยเมื่อค่าของ $f_D T_p$ เพิ่มขึ้น ค่ากำลังที่รับได้จะมีการแกว่งที่มากขึ้น จากวิธีการควบคุมกำลังสัญญาณส่งทั้งสามแบบค่าเฉลี่ย RMS Tracking Error มีค่าเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้ การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step จะดีกว่าการควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step อยู่ 1.12 % และดีกว่าการควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step อยู่ 38.23 % แสดงค่าเปรียบเทียบค่า RMS Tracking Error ไว้ในตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.17, 4.19, 4.21 และ 4.23 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 15$ ก็มีผลเป็นเช่นเดียวกับข้างต้น โดยมีค่าเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMS Tracking Error ดังต่อไปนี้ การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step

จะดีกว่าการควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step อยู่ 1.12 % และดีกว่าการควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step อยู่ 38.22 % แสดงค่าเปรียบเทียบค่า RMS Tracking Error ไว้ในตารางที่ 4.3

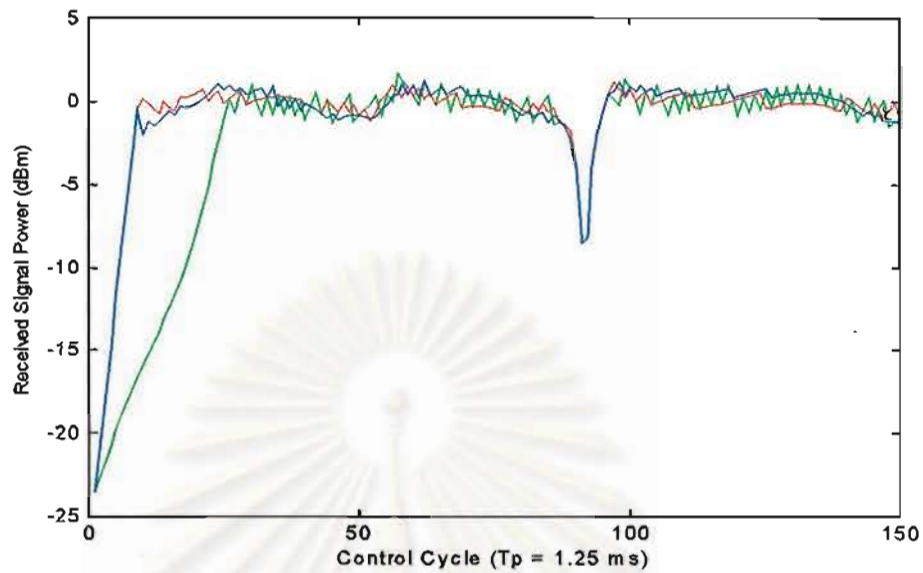
รูปที่ 4.25, 4.27, 4.29 และ 4.31 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 20$ ก็มีผลเป็นเช่นเดียวกันโดยมีค่าเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMS Tracking Error ดังต่อไปนี้ การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step ดีกว่าการควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step อยู่ 1.12 % และดีกว่าการควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step อยู่ 38.22 % แสดงค่าเปรียบเทียบค่า RMS Tracking Error ไว้ในตารางที่ 4.4

รูปที่ 4.2, 4.4, 4.6, และ 4.8 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 5$ แสดงค่า SIR ของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน เมื่อ $f_D T_p$ เพิ่มขึ้นในทุกกราฟ การควบคุมแบบ Error-step จะมี Over-shoot ที่มากกว่าการควบคุมแบบอื่น รองลงมาคือแบบ Fixed-step และที่ดีที่สุดคือแบบ Fuzzy-step เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เพราะการควบคุมแบบ Error-step มี Over-shoot มากทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดมากตามไปด้วย

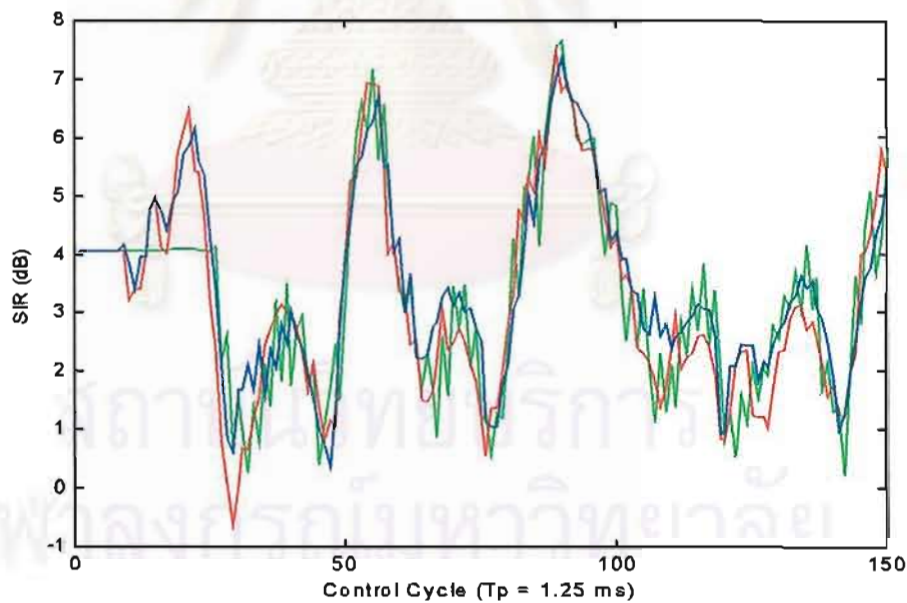
รูปที่ 4.10, 4.12, 4.14, และ 4.16 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 10$ ก็ให้ผลที่เหมือนกันกับที่กล่าวมาแล้ว และเช่นเดียวกับรูปที่ 4.18, 4.20, 4.22, และ 4.24 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 15$ และรูปที่ 4.26, 4.28, 4.30, และ 4.32 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 20$ ก็ให้ผลที่เหมือนกัน

จากค่า K และ $f_D T_p$ ที่เพิ่มขึ้นค่า SIR จะมีการแกว่งที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากสัญญาณแทรกสอดที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนของสถานีเคลื่อนที่และ $f_D T_p$

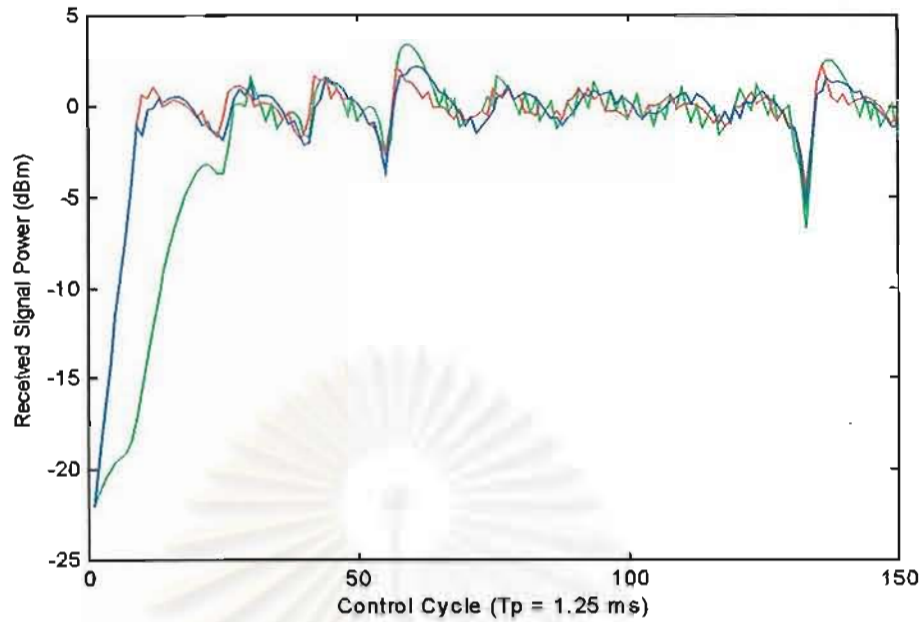
4.7 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการควบคุมค่า N เมื่อ $K = 5$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



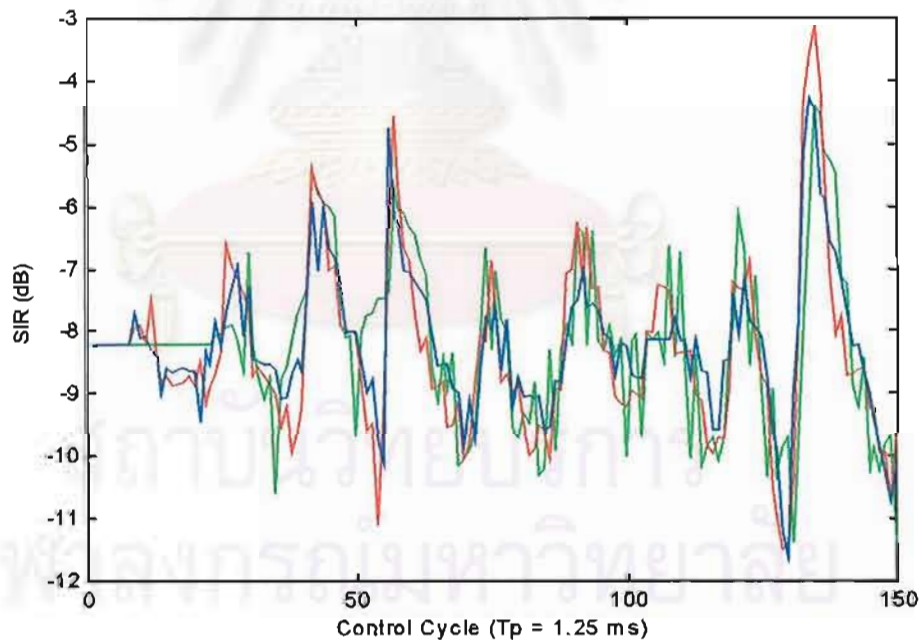
รูปที่ 4.33 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีดำ), Fuzzy-step (สีแดง) และ Error-step (สีน้ำเงิน) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



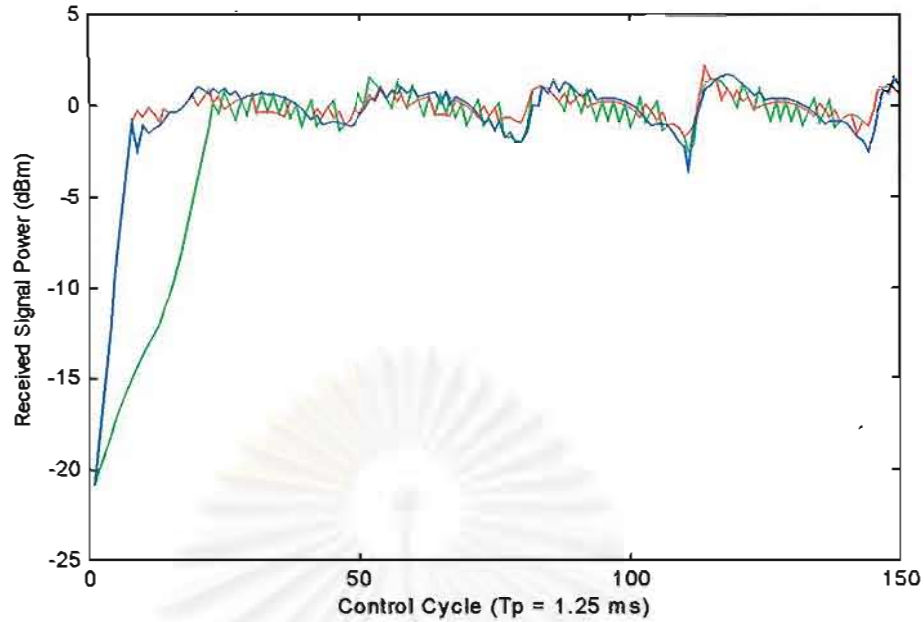
รูปที่ 4.34 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีดำ), Fuzzy-step (สีแดง) และ Error-step (สีน้ำเงิน) เมื่อ $K = 5$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



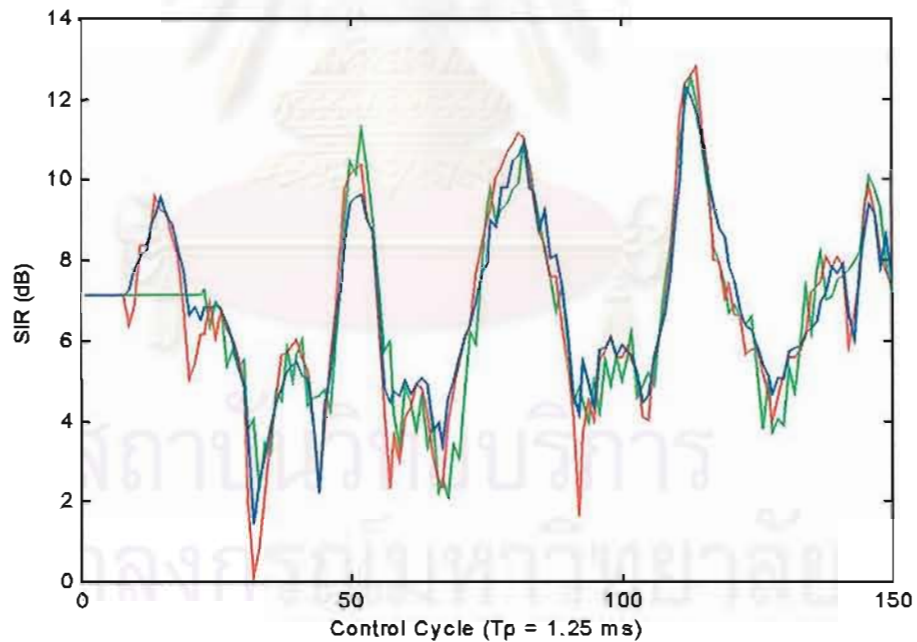
รูปที่ 4.35 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สภาวะนี้ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.36 ค่า SIR ที่รับได้ที่สภาวะนี้ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.37 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



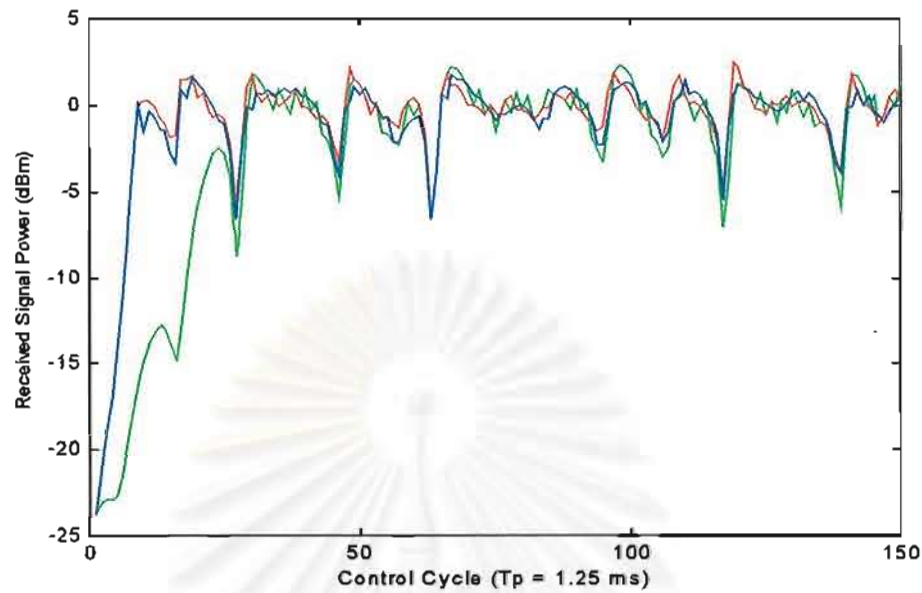
รูปที่ 4.38 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 5$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

ตารางที่ 4.5 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการควบคุมค่า N ทั้งสามแบบที่ $K = 5$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

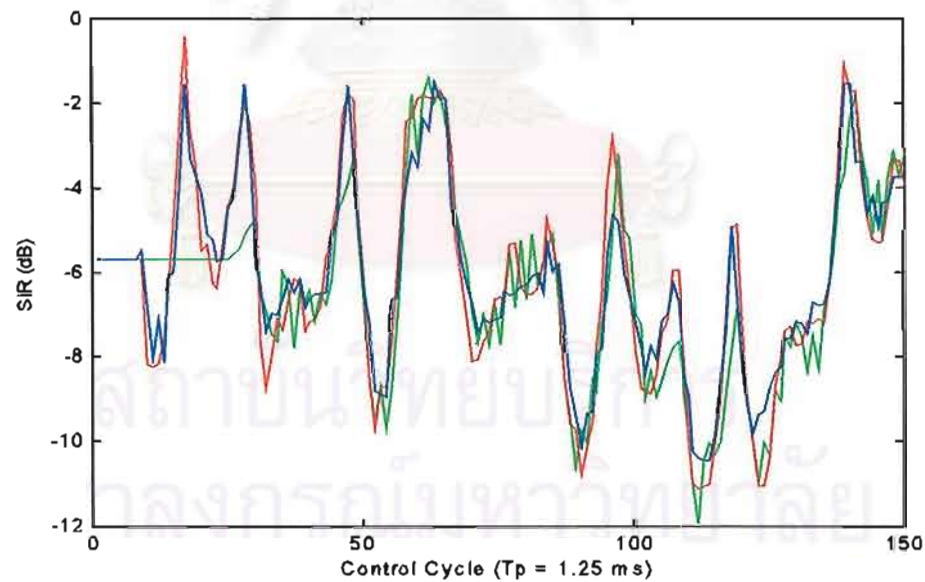
$K = 5$	Fixed-step (dB)	Fuzzy-step (dB)	Error-step (dB)
$N = 2$	6.32	4.04	3.98
$N = 3$	5.84	3.70	3.63
$N = 4$	5.37	3.47	3.38



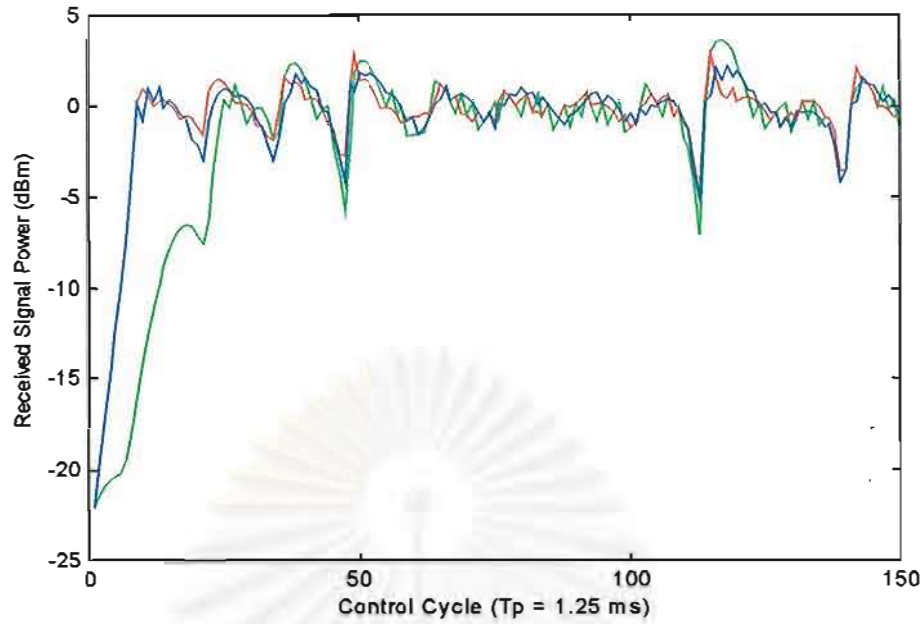
4.8 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการควบคุมค่า N เมื่อ $K = 10$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



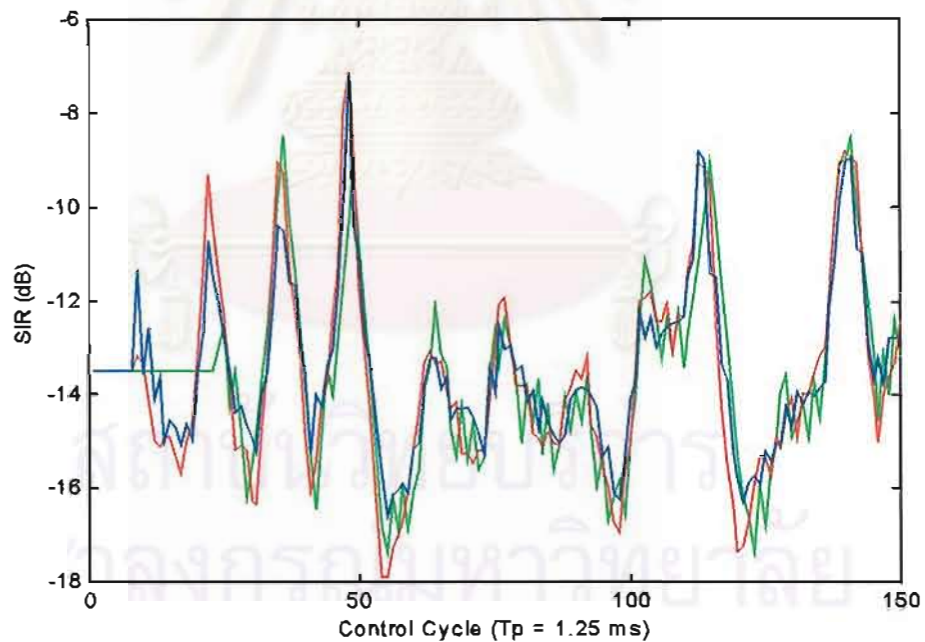
รูปที่ 4.39 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



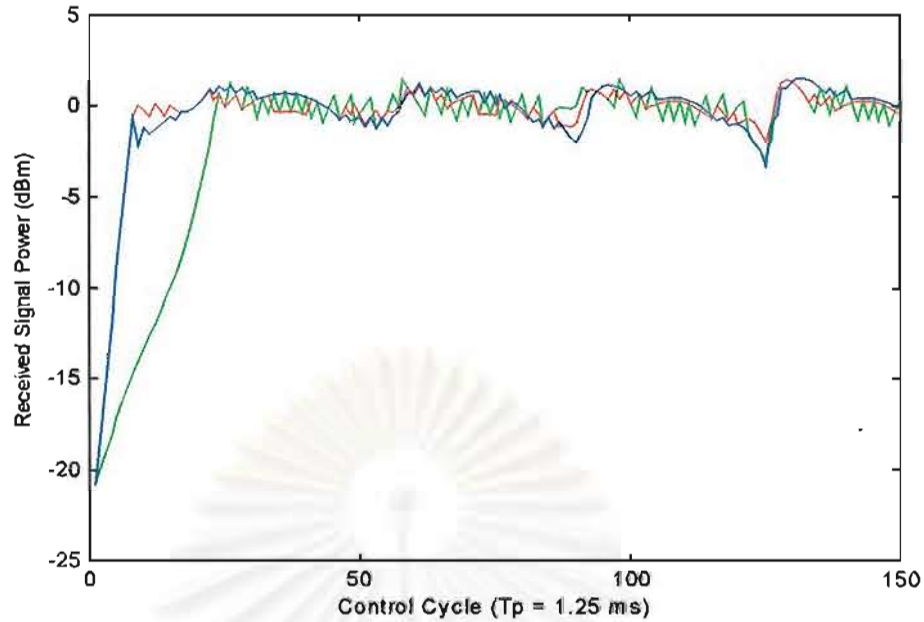
รูปที่ 4.40 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



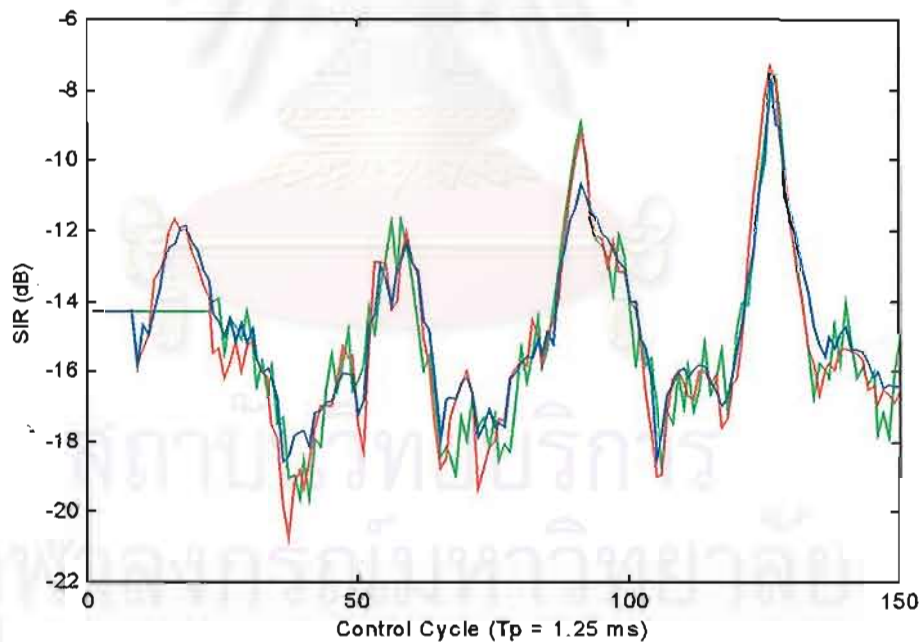
รูปที่ 4.41 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.42 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.43 ค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



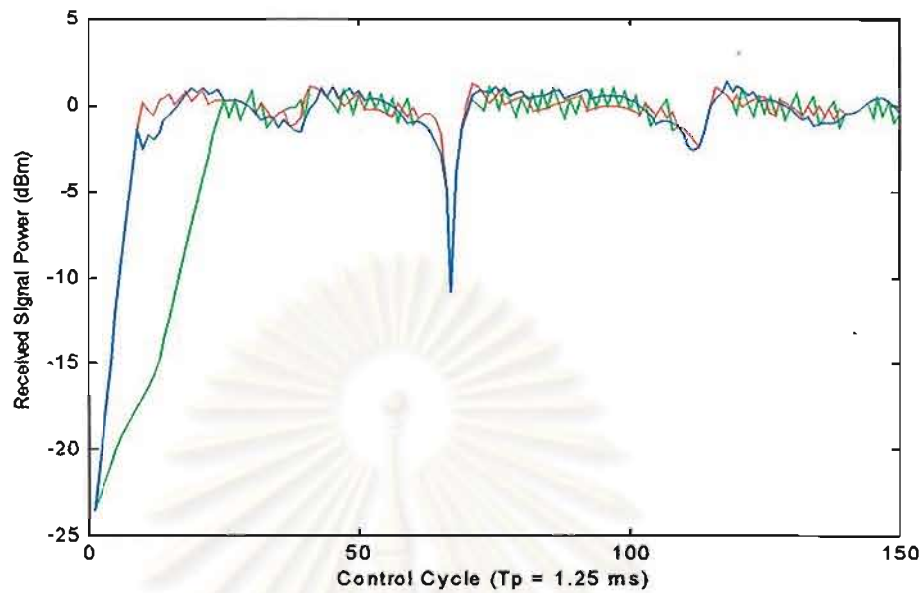
รูปที่ 4.44 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

ตารางที่ 4.6 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการควบคุมค่า N ทั้งสามแบบที่ $K = 10$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

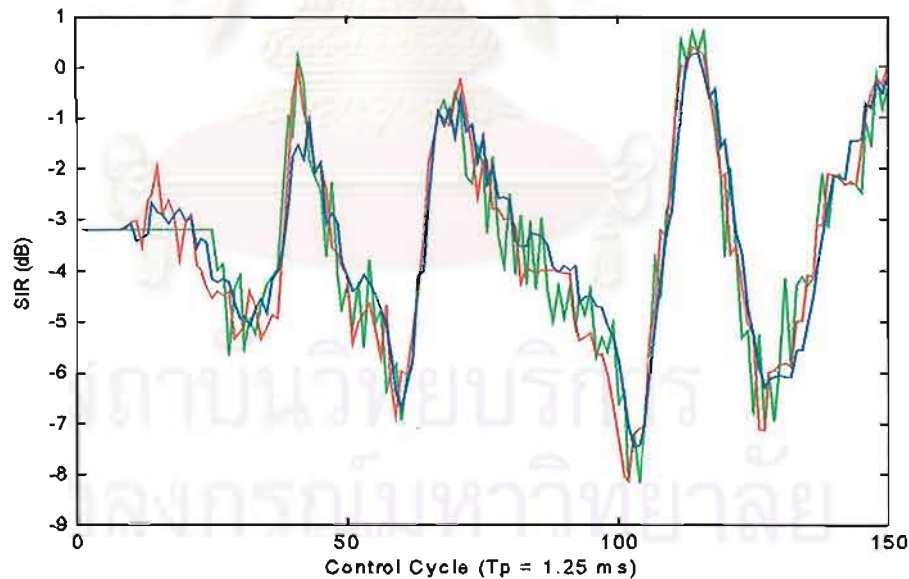
$K = 10$	Fixed-step (dB)	Fuzzy-step (dB)	Error-step (dB)
$N = 2$	6.17	3.72	3.68
$N = 3$	5.74	3.59	3.54
$N = 4$	5.19	3.10	2.99



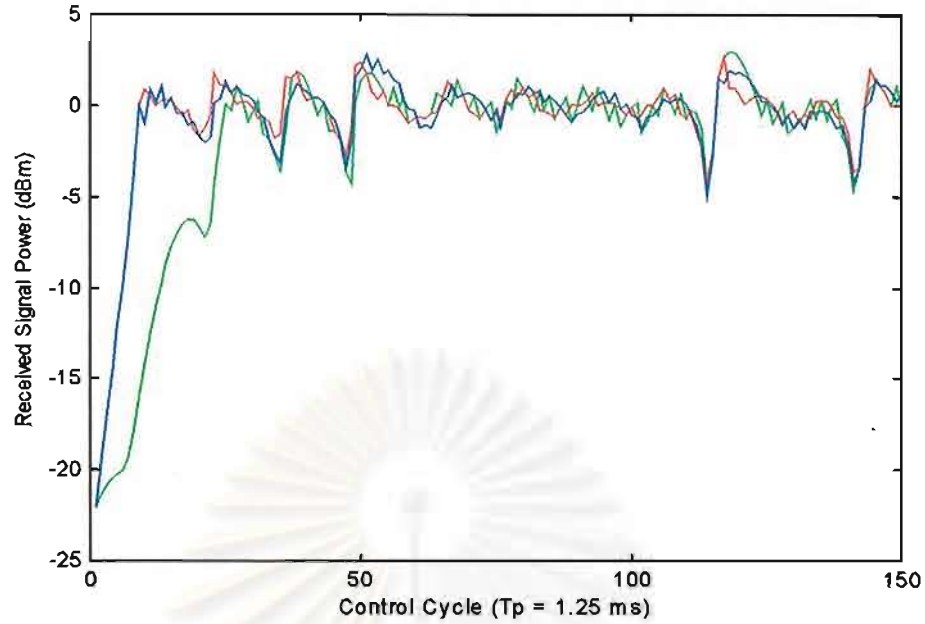
- 4.9 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการควบคุมค่า N เมื่อ $K = 15$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



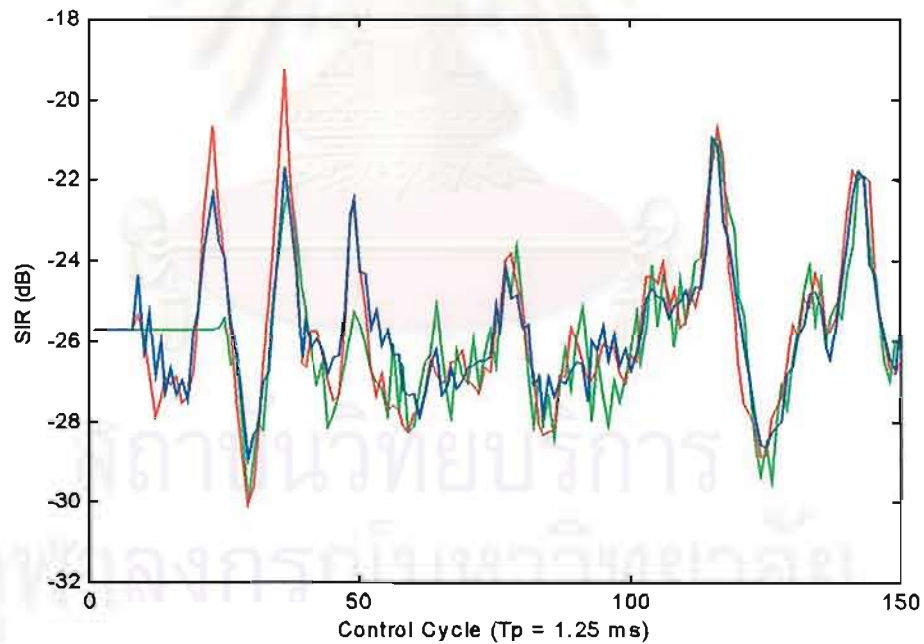
- รูปที่ 4.45 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



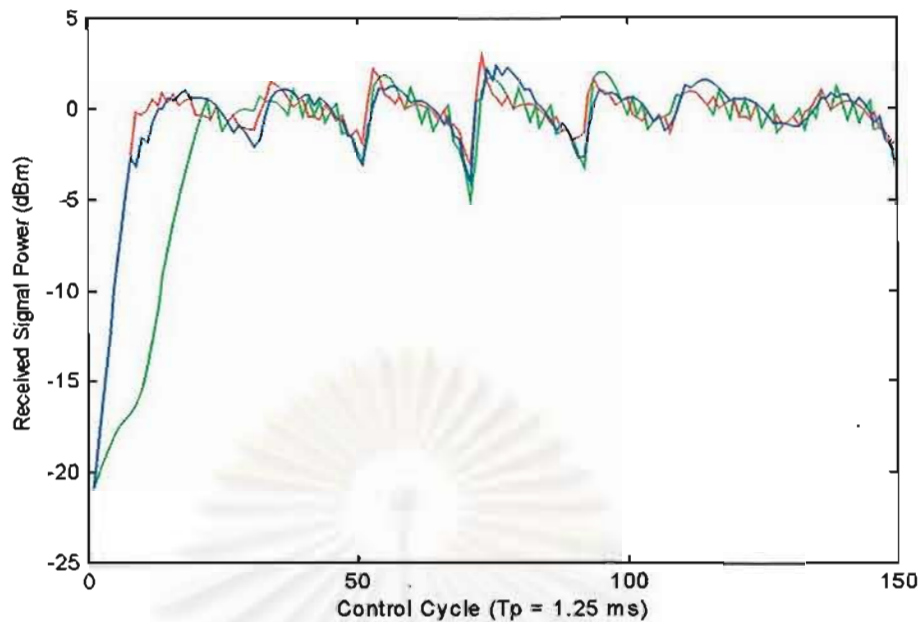
- รูปที่ 4.46 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



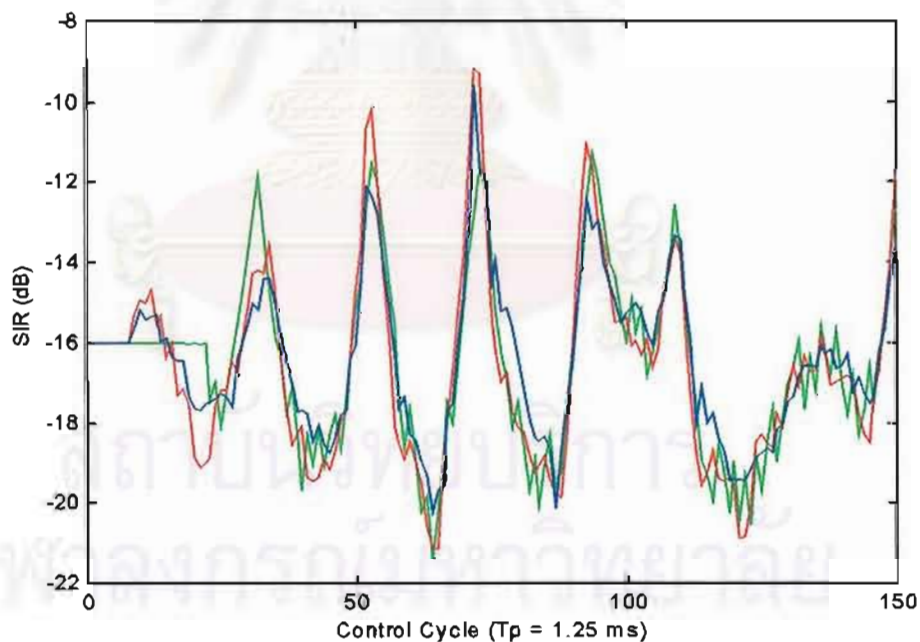
รูปที่ 4.47 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.48 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.49 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สภาวะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



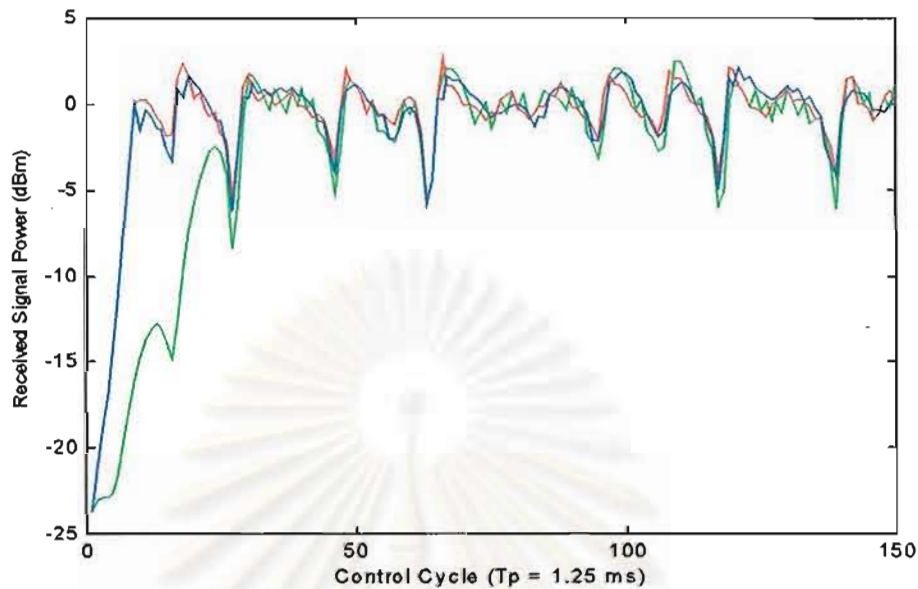
รูปที่ 4.50 ค่า SIR ที่รับได้ที่สภาวะพื้นฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 15$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

ตารางที่ 4.7 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการควบคุมค่า N ทั้งสามแบบที่ $K = 15$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

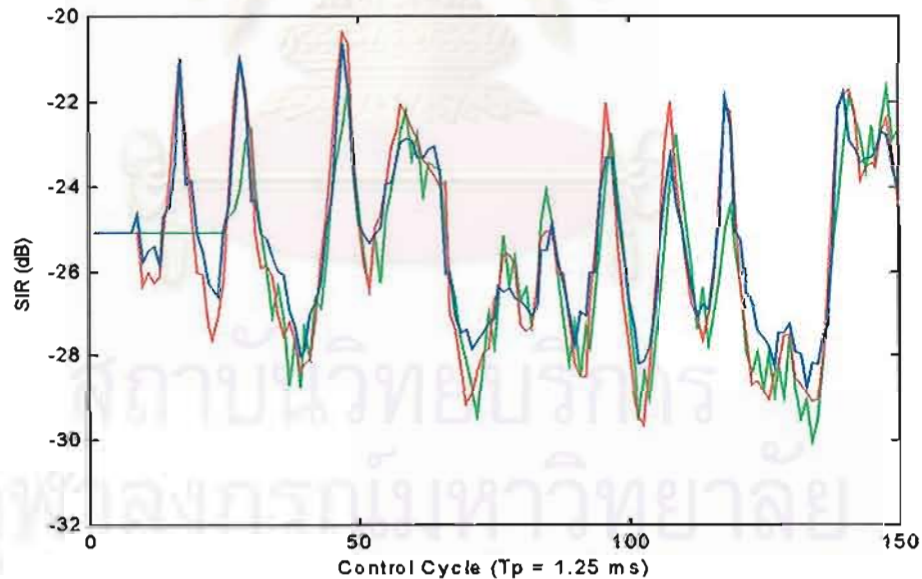
$K = 15$	Fixed-step (dB)	Fuzzy-step (dB)	Error-step (dB)
$N = 2$	6.36	3.93	3.88
$N = 3$	5.61	3.42	3.39
$N = 4$	5.44	3.49	3.41



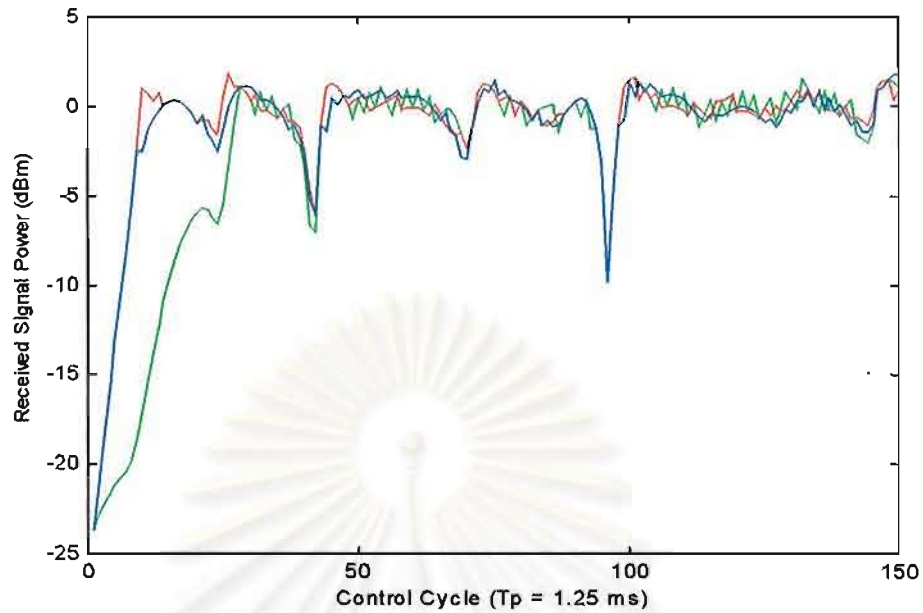
4.10 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานการณ์ฐานโดยการควบคุมค่า N เมื่อ $K = 20$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



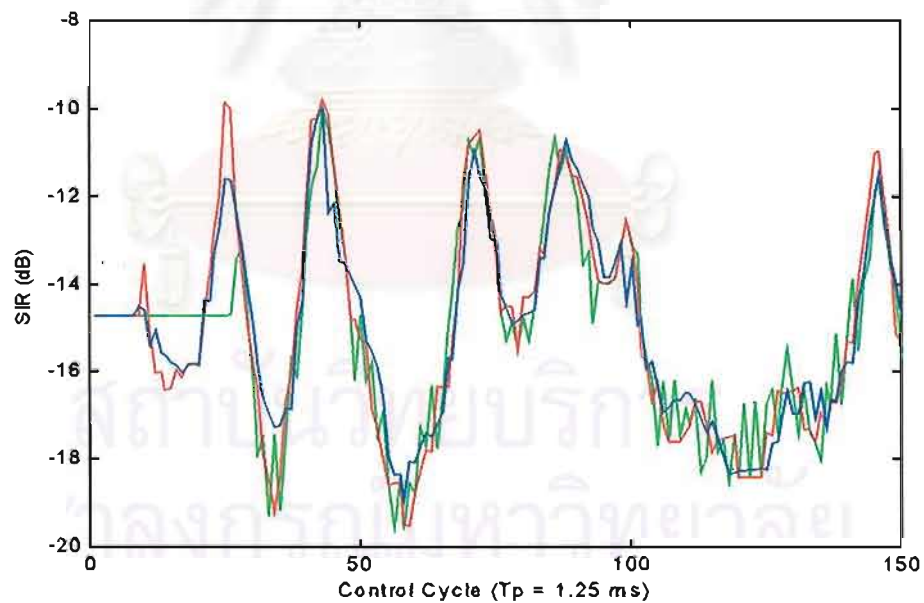
รูปที่ 4.51 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานการณ์ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



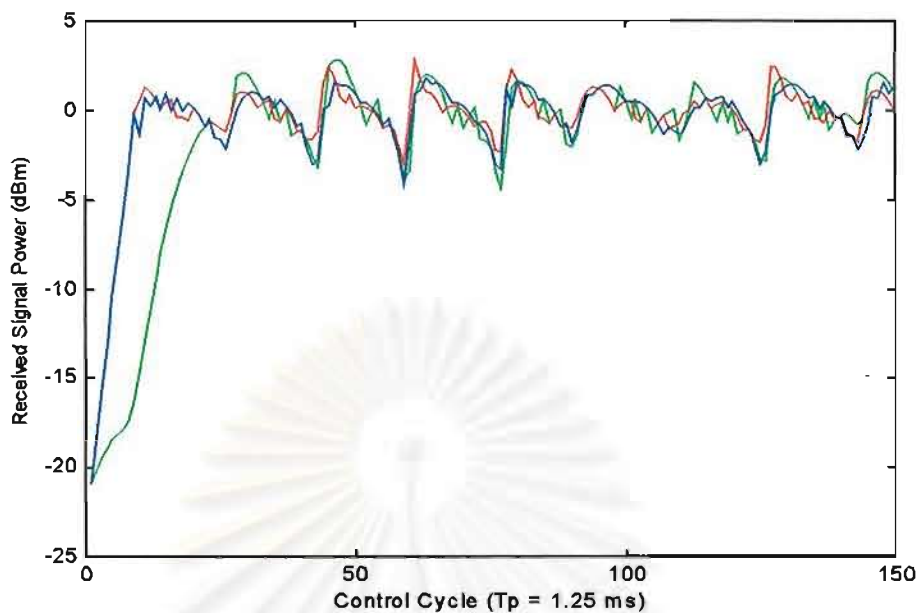
รูปที่ 4.52 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานการณ์ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



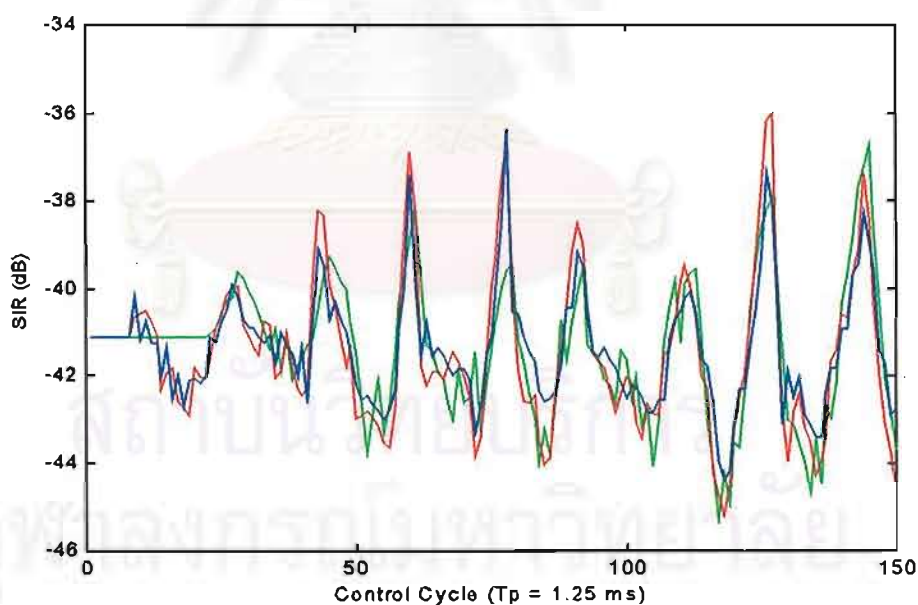
รูปที่ 4.53 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียวย), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.54 ค่า SIR ที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียวย), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.55 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สภาวะนี้ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.56 ค่า SIR ที่รับได้ที่สภาวะนี้ฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step (สีเขียว), Fuzzy-step (สีน้ำเงิน) และ Error-step (สีแดง) เมื่อ $K = 20$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

ตารางที่ 4.8 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณโดยการควบคุมค่า N ทั้งสามแบบที่ $K = 20$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

$K = 20$	Fixed-step (dB)	Fuzzy-step (dB)	Error-step (dB)
$N = 2$	6.22	3.87	3.81
$N = 3$	5.57	3.32	3.24
$N = 4$	4.94	2.98	2.90

4.11 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยการควบคุมค่า N เมื่อ $K = 5, 10, 15$ และ 20 , $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

รูปที่ 4.33, 4.35 และ 4.37 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 5$ เมื่อค่า N เพิ่มขึ้น จะทำให้สัญญาณ Over-shoot น้อยลง เนื่องจากผลรวมของสัญญาณที่ดีขึ้นจากการรวมกันของสัญญาณเฟดดิ้งอย่างสิ้น ค่ากำลังที่รับได้จะมีค่า RMS Tracking Error ที่ลดลงเมื่อ N เพิ่มขึ้น โดยที่ค่าเฉลี่ย RMS Tracking Error ของการควบคุมโดยเทคนิค Error-step จะให้ผลที่ดีกว่าควบคุมโดยเทคนิค Fuzzy-step อยู่ 1.94 % (คำนวณโดยหาค่าเฉลี่ยจากการปรับค่า N ทั้งสามค่า) และดีกว่าการควบคุมโดยเทคนิค Fixed-step อยู่ 37.31 % แสดงได้ในตารางที่ 4.5

รูปที่ 4.40, 4.41 และ 4.43 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 10$ ค่าที่ได้ก็จะมีผลเหมือนกับรูปที่ 4.33, 4.35 และ 4.37 เมื่อค่า N เพิ่มขึ้น จะทำให้สัญญาณ Over-shoot น้อยลง ค่ากำลังที่รับได้จะมีค่า RMS Tracking Error ที่ลดลงเมื่อ N เพิ่มขึ้น โดยที่ค่าเฉลี่ย RMS Tracking Error ของการควบคุมโดยเทคนิค Error-step จะให้ผลที่ดีกว่าควบคุมโดยเทคนิค Fuzzy-step อยู่ 1.94 % และดีกว่าการควบคุมโดยเทคนิค Fixed-step อยู่ 40.38 % แสดงได้ในตารางที่ 4.6

รูปที่ 4.45, 4.47 และ 4.49 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 15$ ค่าที่ได้ก็จะมีผลเหมือนกับข้างต้น โดยที่ค่าเฉลี่ย RMS Tracking Error ของการควบคุมโดยเทคนิค Error-step จะให้ผลที่ดีกว่าควบคุมโดยเทคนิค Fuzzy-step อยู่ 1.61 % และดีกว่าการควบคุมโดยเทคนิค Fixed-step อยู่ 38.71 % แสดงได้ในตารางที่ 4.7

รูปที่ 4.45, 4.47 และ 4.49 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 20$ ค่าที่ได้ก็จะมีผลเหมือนกับข้างต้น โดยที่ค่าเฉลี่ย RMS Tracking Error ของการควบคุมโดยเทคนิค Error-step จะให้ผลที่ดีกว่าควบคุม

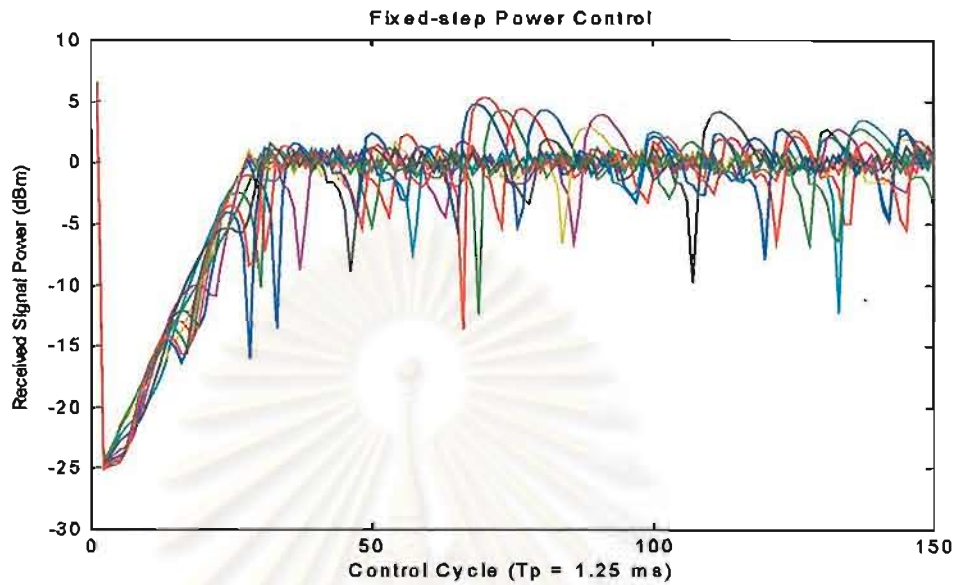
โดยเทคนิค Fuzzy-step อยู่ 2.22 % และดีกว่าการควบคุมโดยเทคนิค Fixed-step อยู่ 40.64 % แสดงได้ในตารางที่ 4.8

รูปที่ 4.34, 4.36 และ 4.38 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 5$ แสดงค่า SIR ของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐาน จากกราฟการควบคุมแบบ Error-step จะมี Over-shoot ที่มากกว่าการควบคุมแบบอื่นในทุก ๆ กรณี รองลงมาคือแบบ Fixed-step และที่ดีที่สุดคือแบบ Fuzzy-step

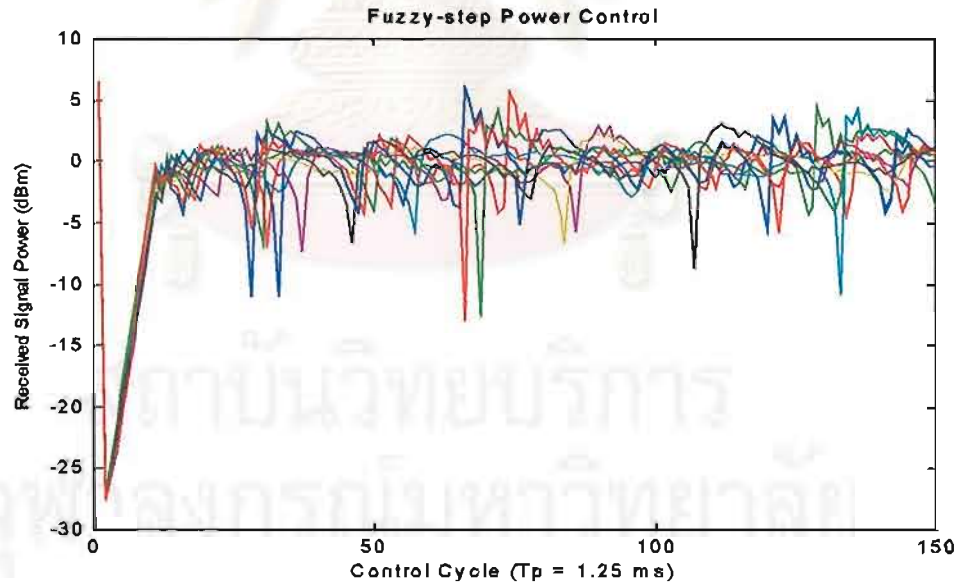
รูปที่ 4.40, 4.42 และ 4.44 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 10$ ผลที่ได้ก็เหมือนกันกับที่กล่าวมาข้างบน และเหมือนกันกับรูปที่ 4.46, 4.48 และ 4.50 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 15$ และรูปที่ 4.52, 4.54 และ 4.56 เปรียบเทียบเมื่อ $K = 20$



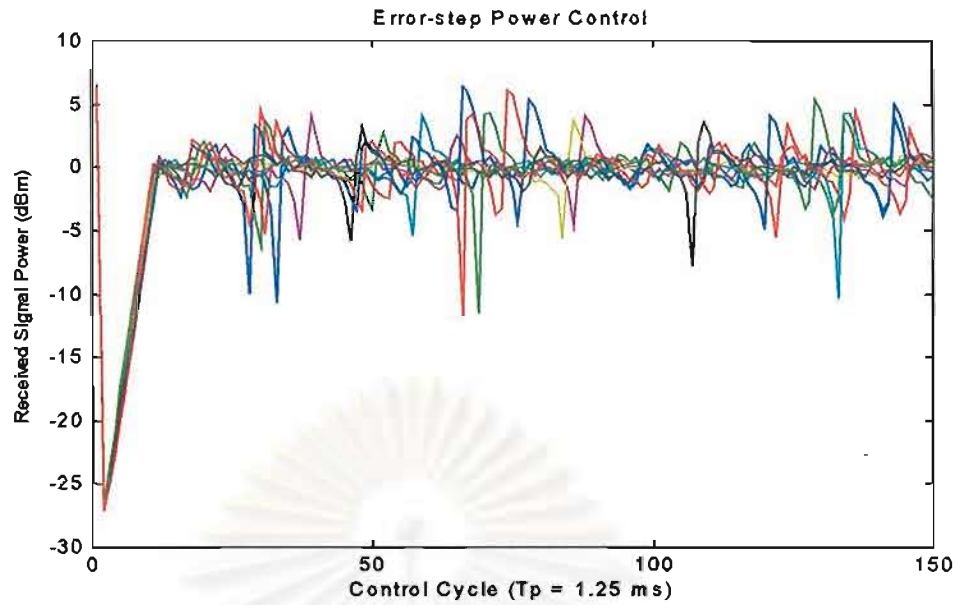
4.12 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจที่ $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.57 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



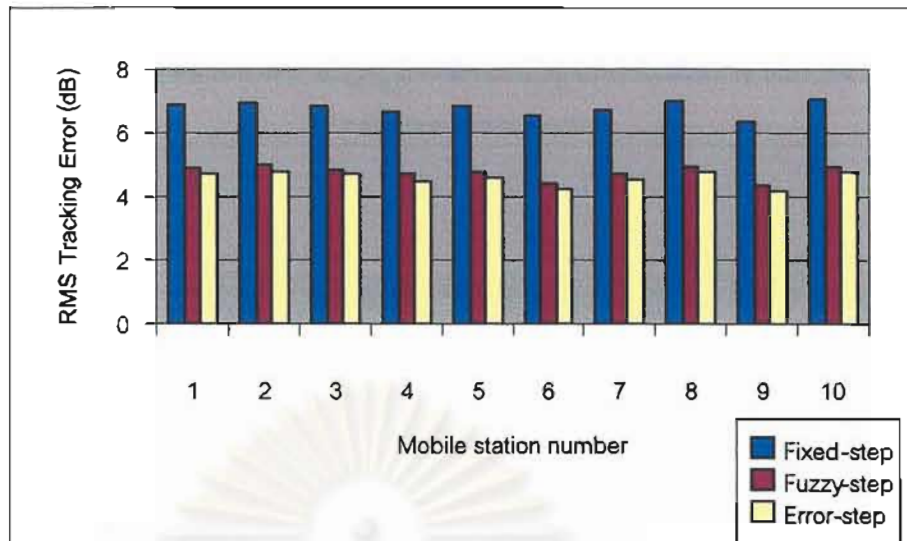
รูปที่ 4.58 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.59 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

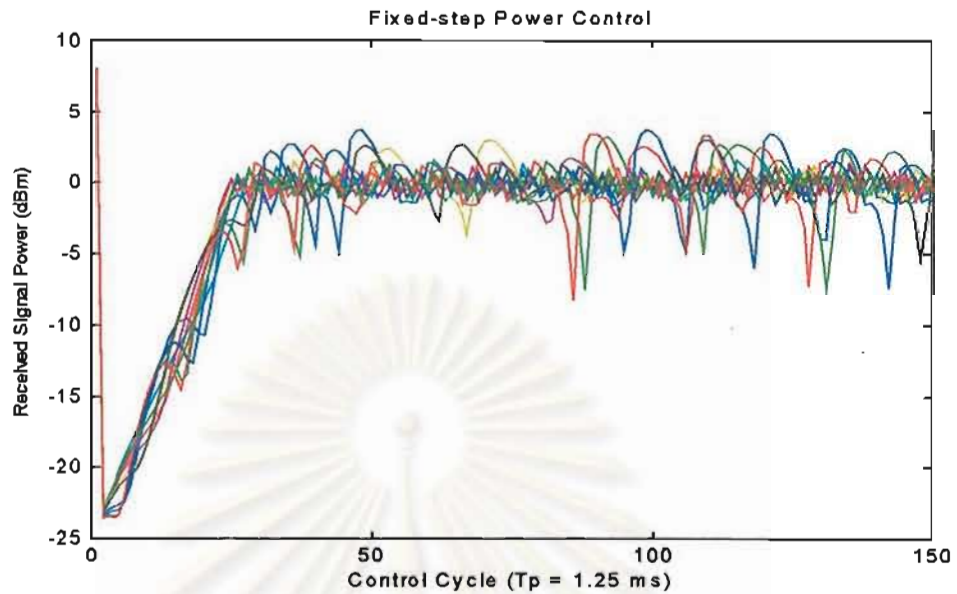
ตารางที่ 4.9 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

Mobile station number/ RMS Tracking Error(<i>dB</i>)											
Control Method	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
Fixed-step	6.87	6.95	6.83	6.67	6.80	6.53	6.72	7.03	6.34	7.03	6.78
Fuzzy-step	4.87	4.97	4.84	4.70	4.76	4.43	4.73	4.96	4.35	4.92	4.75
Error-step	4.73	4.78	4.68	4.48	4.57	4.23	4.51	4.79	4.16	4.77	4.57

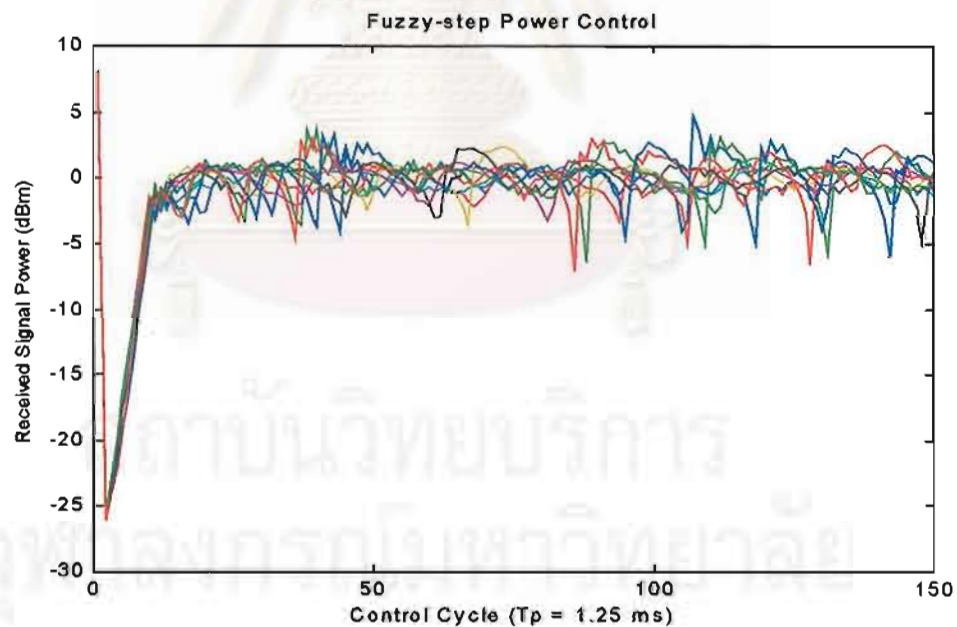


รูปที่ 4.60 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

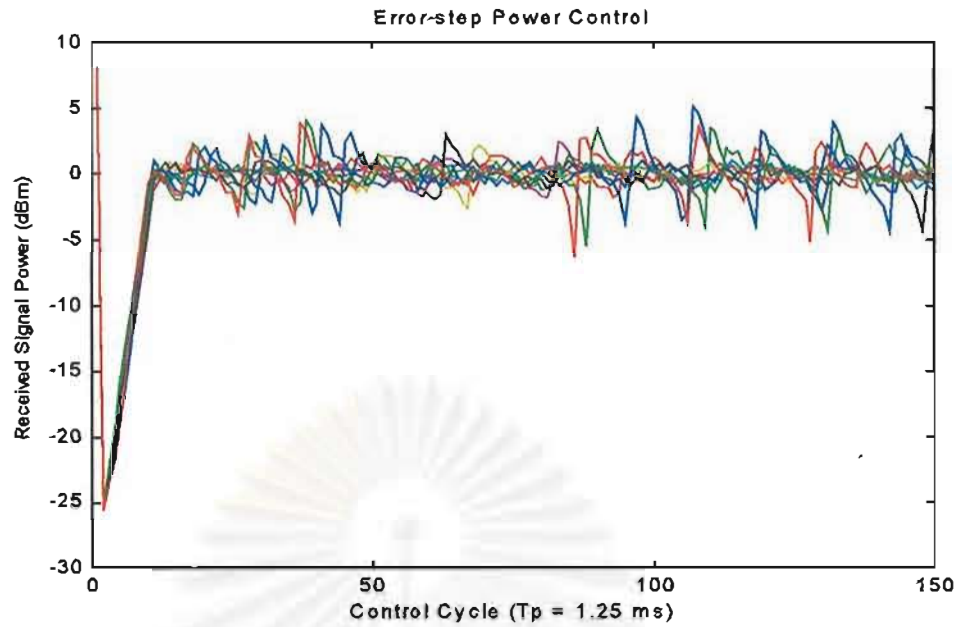
4.13 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจที่ $N = 3$, $f_0 T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.61 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



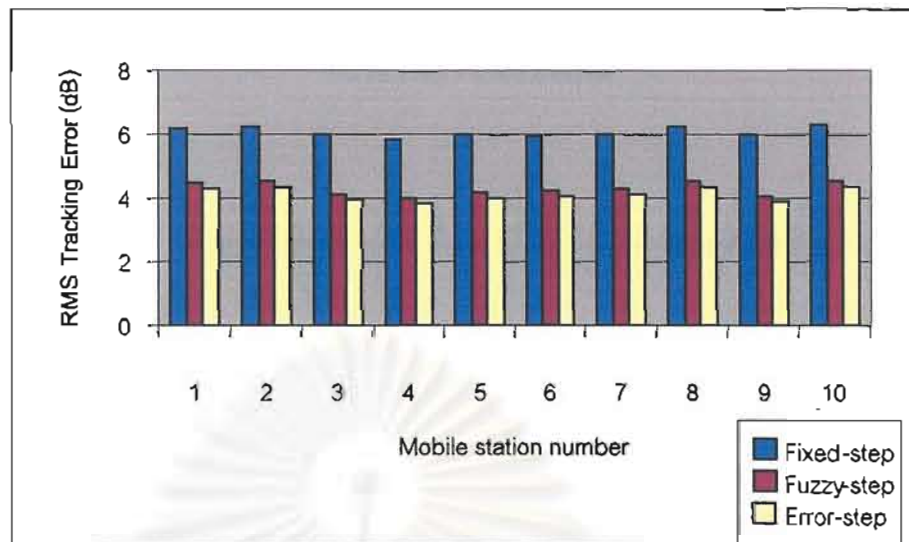
รูปที่ 4.62 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.63 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

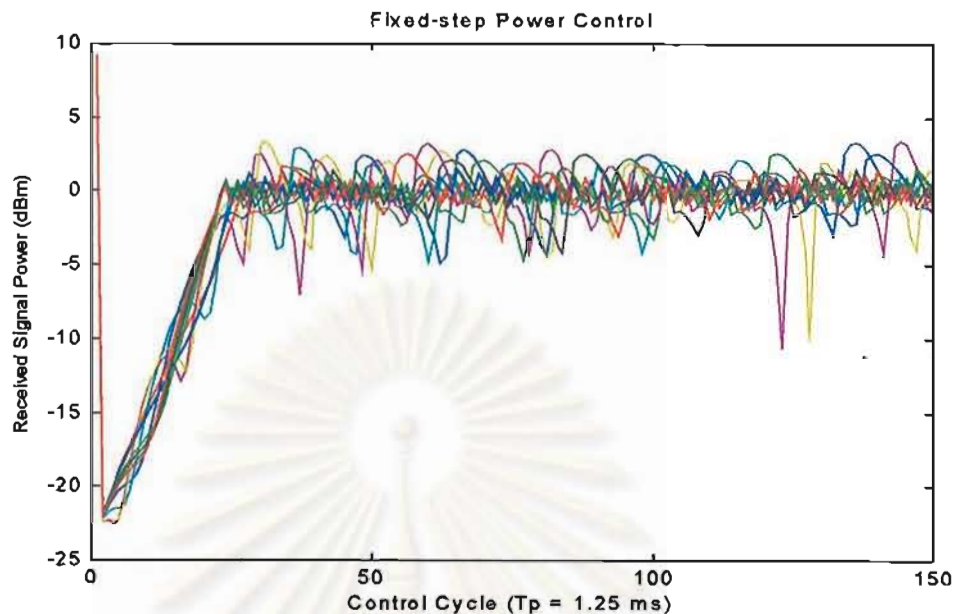
ตารางที่ 4.10 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

Control Method	Mobile station number/ RMS Tracking Error (dB)										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Fixed-step	6.17	6.26	6.00	5.82	5.98	5.97	6.00	6.23	5.97	6.29	6.07
Fuzzy-step	4.49	4.54	4.11	4.00	4.15	4.23	4.30	4.53	4.06	4.55	4.30
Error-step	4.32	4.37	3.92	3.82	3.98	4.06	4.13	4.35	3.88	4.37	4.12

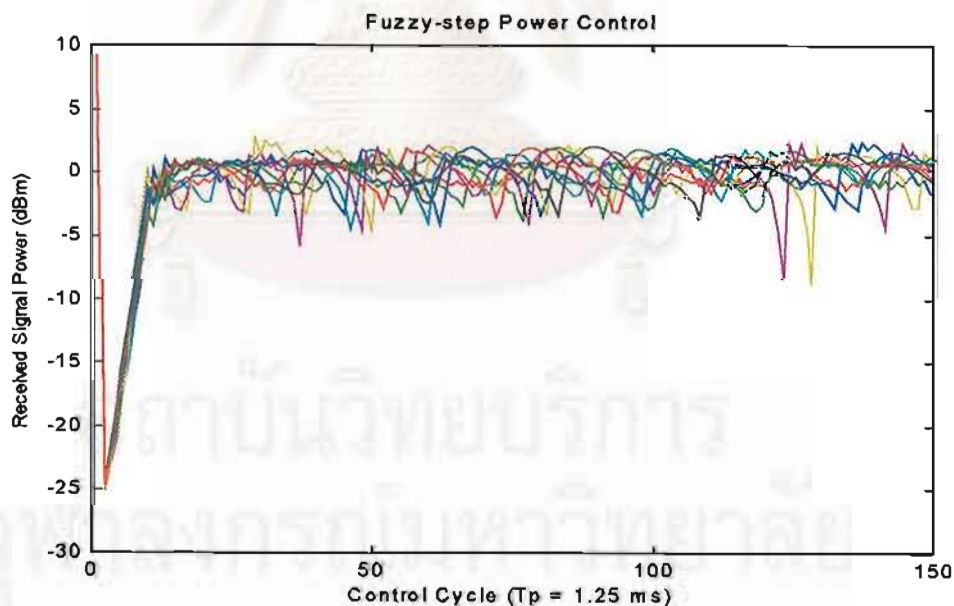


รูปที่ 4.64 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 3$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

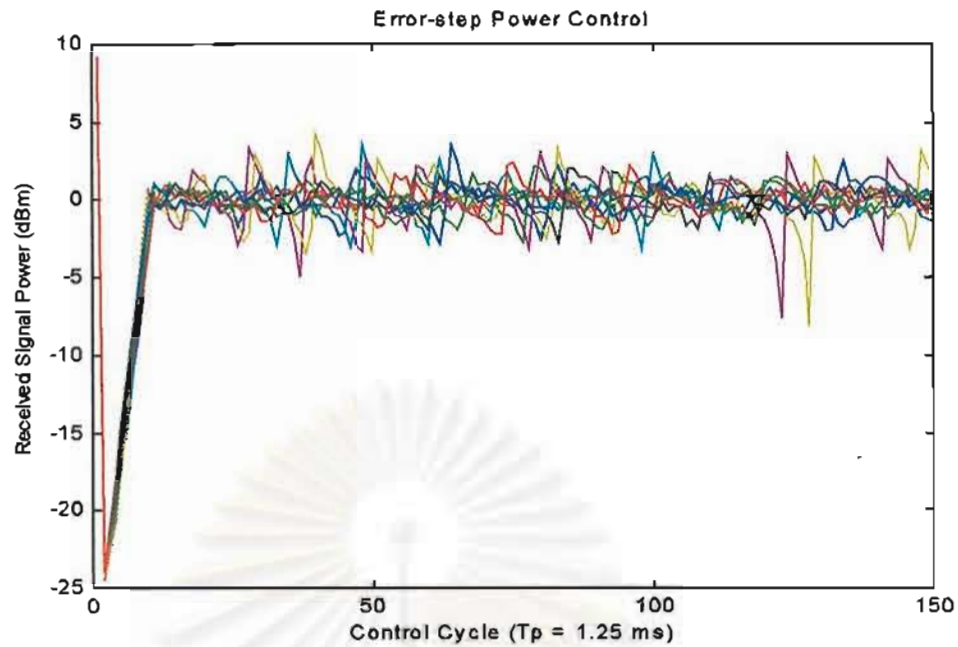
4.14 ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจที่ $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.65 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fixed-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K=10$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



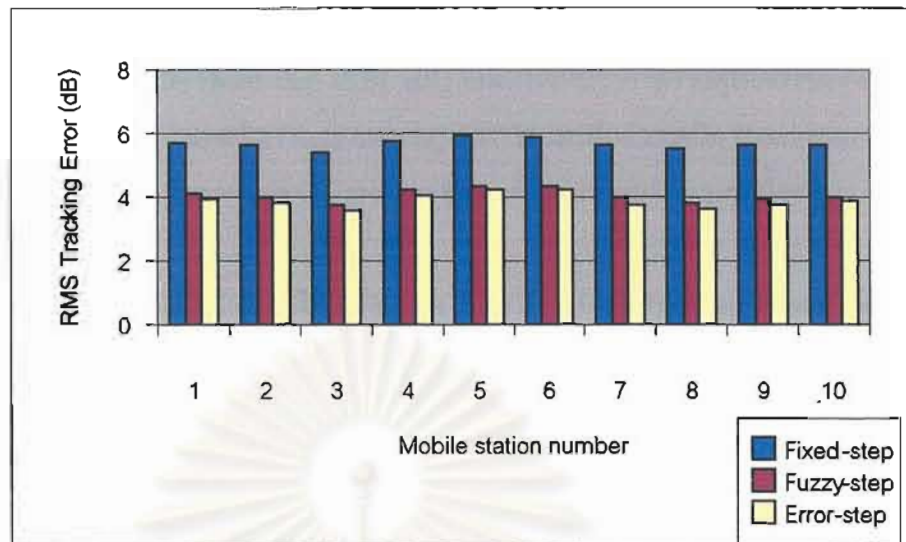
รูปที่ 4.66 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Fuzzy-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05



รูปที่ 4.67 ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Error-step ของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

ตารางที่ 4.11 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

Control Method	Mobile station number/ RMS Tracking Error (dB)										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Fixed-step	5.70	5.65	5.39	5.75	5.93	5.88	5.67	5.54	5.66	5.63	5.68
Fuzzy-step	4.13	4.02	3.76	4.22	4.37	4.36	3.98	3.83	3.95	4.02	4.06
Error-step	3.95	3.81	3.59	4.05	4.21	4.21	3.78	3.64	3.74	3.86	3.88



รูปที่ 4.68 ค่า RMS Tracking Error ของการควบคุมกำลังส่งสัญญาณทั้งสามแบบของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจ เมื่อ $K = 10$, $N = 4$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

4.15 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบความแรงสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานของสถานีเคลื่อนที่ 10 เครื่องในเซลล์ที่สนใจที่ $N = 2, 3$ และ 4 , $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

รูปที่ 4.57, 4.58 และ 4.59 เปรียบเทียบเมื่อ $N = 2$ แสดงให้เห็นว่าการควบคุมกำลังด้วยเทคนิค Error-step จะให้สมรรถนะโดยรวมดีกว่าการควบคุมกำลังด้วยเทคนิค Fuzzy-step และ Fixed-step โดยการเปรียบเทียบค่า RMS Tracking Error ในระบบเซลล์ลาร์ DS/CDMA กำลังสัญญาณแทรกสอดลดลง ระบบจะสามารถเพิ่มจำนวนของสถานีเคลื่อนที่ขึ้นได้ ทำให้รองรับปริมาณทราฟฟิกได้มากขึ้น จากตารางที่ 4.9 ค่า RMS Tracking Error เฉลี่ยของเทคนิค Error-step (4.57 dB) มีค่าน้อยที่สุดรองลงมาคือ เทคนิค Fuzzy-step (4.75 dB) และท้ายสุดคือเทคนิค Fixed-step (6.78 dB) แสดงให้เห็นว่าการควบคุมโดยใช้เทคนิค Error-step จะให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิค Fuzzy-step อยู่ 3.85 % และดีกว่าเทคนิค Fixed-step อยู่ 32.59 % ตามลำดับ รูปที่ 4.60 แสดงค่า RMS Tracking Error ด้วยเทคนิคการควบคุมทั้งสามแบบเมื่อ $N = 2$ ซึ่งเราจะเห็นว่าเทคนิค Error-step จะดีกว่าเทคนิค Fuzzy-step และดีกว่าเทคนิค Fixed-step ตามลำดับ

รูปที่ 4.61, 4.62 และ 4.63 เปรียบเทียบเมื่อ $N = 3$ แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มเป็นไปตามที่

กล่าวมาข้างต้น และมีค่า RMS Tracking Error ลดลงแสดงได้จากตารางที่ 4.10 ค่า RMS Tracking Error เฉลี่ยของเทคนิค Error-step (4.12 *dB*) มีค่าน้อยที่สุดรองลงมาคือ เทคนิค Fuzzy-step (4.30 *dB*) และท้ายสุดคือเทคนิค Fixed-step (6.07 *dB*) แสดงให้เห็นว่าการควบคุมโดยใช้เทคนิค Error-step จะให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิค Fuzzy-step อยู่ 4.17 % และดีกว่าเทคนิค Fixed-step อยู่ 32.11 % ตามลำดับ รูปที่ 4.64 แสดงค่า RMS Tracking Error ด้วยเทคนิคการควบคุมทั้งสามแบบเมื่อ $N = 3$

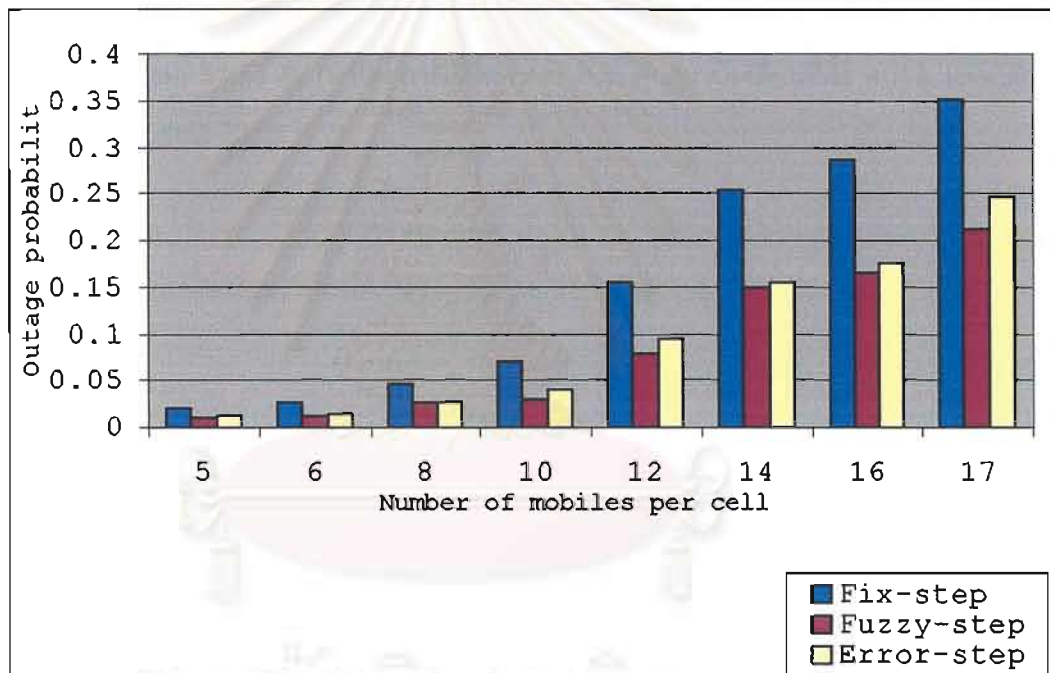
รูปที่ 4.65, 4.66 และ 4.67 เปรียบเทียบเมื่อ $N = 4$ ค่า RMS Tracking Error ที่ได้มีค่าลดลงอีก แสดงได้จากตารางที่ 4.11 ค่า RMS Tracking Error เฉลี่ยของเทคนิค Error-step (3.88 *dB*) มีค่าน้อยที่สุดรองลงมาคือ เทคนิค Fuzzy-step (4.06 *dB*) และท้ายสุดคือเทคนิค Fixed-step (5.68 *dB*) แสดงให้เห็นว่าการควบคุมโดยใช้เทคนิค Error-step จะให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิค Fuzzy-step อยู่ 4.44 % และดีกว่าเทคนิค Fixed-step อยู่ 31.61 % ตามลำดับ รูปที่ 4.68 แสดงค่า RMS Tracking Error ด้วยเทคนิคการควบคุมทั้งสามแบบเมื่อ $N = 4$

จากผลการจำลองแบบแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า N เพิ่มขึ้นค่า RMS Tracking Error จะลดลง เหตุผลได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.11

4.16 ผลการจำลองแบบค่า Outage Probability

ตารางที่ 4.12 ค่าระหว่าง Outage probability กับ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ ในการควบคุมแบบต่างๆ ที่ $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

Control method	Number of mobiles per cell/Outage probability							
	5	6	8	10	12	14	16	17
Fix-step	0.0202	0.0258	0.0455	0.0697	0.1548	0.2548	0.2859	0.3523
Fuzzy-step	0.0098	0.0117	0.0269	0.0308	0.0789	0.1493	0.1648	0.2123
Error-step	0.0113	0.0132	0.0271	0.0412	0.0956	0.1564	0.1756	0.2456



รูปที่ 4.69 ค่าระหว่าง Outage probability กับ จำนวนสถานีเคลื่อนที่ ในการควบคุมแบบต่างๆ ที่ $N = 2$, $f_D T_p$ แจกแจงแบบยูนิฟอร์มระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

4.17 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบค่า Outage Probability

ค่า Outage Probability แสดงความน่าจะเป็นที่สถานีฐานได้รับค่า SIR ต่ำกว่าระดับจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold Level = -15 dB) ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของวิธีการควบคุม รูปที่ 4.69 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Outage Probability กับจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์ค่าต่างๆกัน โดยพบว่ายิ่งจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์มีน้อยก็จะทำให้ค่า Outage Probability มีค่าน้อย และถ้าจำนวนสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์มีค่ามากก็จะทำให้ค่า Outage Probability มีค่ามากขึ้นไปด้วย จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่าค่า Outage Probability ของ Fuzzy-step จะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 วิธี ส่วน Error-step จะดีกว่า Fix-step ที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่เท่ากัน จากผลที่ได้แสดงว่า การควบคุมกำลังส่งโดยเทคนิค Fuzzy-step จะทำให้เกิด Over-shoot ของสัญญาณน้อยทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดน้อยตามไปด้วย จึงทำให้การควบคุมกำลังส่งโดยเทคนิค Fuzzy-step มีค่า Outage Probability ต่ำกว่าการควบคุมกำลังส่งด้วยเทคนิคอื่น เทคนิค Error-step จะให้สมรรถนะที่ด้อยกว่า Fuzzy-step 11.54 % (หาโดยการเฉลี่ยจากการปรับค่าสถานีเคลื่อนที่ทั้ง 8 ค่า) แต่จะดีกว่าเทคนิค Fixed-step 39.99 %

บทที่ 5 สรูปและข้อเสนอแนะ



5.1 สรูป

การควบคุมกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ แบบ Error Approximation Power Control Method นั้นสามารถทำการควบคุมค่ากำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละเครื่องในเซลล์ ได้โดยสามารถทำให้ค่าเฉลี่ยของกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ โดยสามารถชดเชยผลของ Short-term Fading ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสถานีเคลื่อนที่ได้โดย Short-term Fading นั้นทำให้ค่ากำลังส่งมีการแกว่ง แต่อาศัยการควบคุมด้วยเทคนิคดังกล่าวทำการควบคุมกำลังส่งให้ได้ค่ากำลังรับที่ต้องการทำให้สามารถรักษาระดับกำลังรับที่ต้องการไว้ได้ โดยการควบคุมกำลังส่งจะถูกควบคุมโดยคำสั่งที่ส่งมาจากสถานีฐาน หลังจากทำการหาความแตกต่าง error และ error change ระหว่าง ค่ากำลังรับที่ต้องการกับค่ากำลังรับของสถานีเคลื่อนที่ที่รับได้ที่สถานีฐาน เมื่อสถานีเคลื่อนที่ที่สนใจมีค่าความแรงสัญญาณต่ำกว่าระดับค่าความแรงสัญญาณที่ต้องการจะมีการเพิ่มของกำลังส่ง และลดลงเมื่อค่าความแรงสัญญาณสูงกว่าค่าที่ต้องการ แต่การเพิ่มความแรงสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่เครื่องหนึ่งก็จะมีผลทำให้เป็นการเพิ่มสัญญาณแทรกสอดกับสถานีเคลื่อนที่เครื่องอื่นด้วยการควบคุมค่ากำลังส่งจะมีการควบคุมไปจนกระทั่ง สถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องมีระดับกำลังที่ต้องการ

การรักษาระดับของกำลังสัญญาณให้คงที่ด้วยเทคนิค Error Approximation Power Control จะให้สมรรถนะที่ดีกว่าการควบคุมด้วยเทคนิค Fuzzy Power Control การควบคุมเข้าหาจุดสมดุลโดยเทคนิค Error Approximation Power Control จะทำได้รวดเร็วที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองเทคนิค (ดูจากรูป Power received signal) แต่ก็จะมี Overshoot มากที่สุดด้วย เมื่อเทียบกับด้วยค่า RMS Tracking Error ผลที่ได้ก็จะดีกว่าการควบคุมแบบ Fuzzy Power Control และ Fixed-step Power Control เหตุผลที่การรักษาระดับของกำลังสัญญาณให้คงที่ด้วยเทคนิค Error Approximation Power Control ให้สมรรถนะที่ดีกว่าการควบคุมด้วยเทคนิค Fuzzy Power Control คือการควบคุมด้วยเทคนิค Fuzzy Power Control จะใช้การควบคุมเข้าหาค่า set point ที่ต้องการคือการควบคุมจะเพิ่มหรือลดค่าการควบคุมให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการโดยการใช้ Fuzzy logic ในการตัดสินใจ ซึ่งทำให้เกิด Overshoot น้อย แต่การควบคุมด้วยเทคนิค Error Approximation Power Control จะปรับให้ได้เท่ากับค่า set point ที่ต้องการคือ การควบคุมจะเพิ่มหรือลดค่าการควบคุมให้ได้ค่าเท่ากับค่าที่ต้องการ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิด over-shoot มาก การปรับทั้งสองแบบก็จะมีผลดีผลเสียดังที่กล่าวมาข้างต้นและที่จะกล่าวต่อไป

จากการวัดสมรรถนะโดยใช้ Outage Probability ผลที่ได้ทำให้แน่ใจได้ว่าสมรรถนะโดยใช้การควบคุมกำลังส่งแบบ Error Approximation ให้สมรรถนะโดยรวมดีน้อยกว่าการควบคุมด้วยเทคนิค Fuzzy Power Control เล็กน้อยแต่มีความซับซ้อนน้อยกว่า และใช้เวลาในการควบคุมน้อยกว่า โดยมีค่าการใช้เวลาเฉลี่ยในการควบคุมหนึ่งรอบกรณีควบคุมด้วยวิธี Fixed-step ใช้เวลา 0.29 ms วินาที, Error-step ใช้เวลา 0.35 ms และ Fuzzy-step ใช้เวลา 0.61 ms

เทคนิค Error Approximation Power Control จะง่ายต่อการนำไปใช้งานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ DS/CDMA เพราะการใช้งานจะแก้ไขในส่วนของ Software เท่านั้น ไม่ต้องปรับแต่งในส่วนของ Hardware ต่างจากเทคนิค Fuzzy Power Control ที่ต้องปรับปรุงทั้ง Software และ Hardware

จากผลการจำลองแบบแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบ Fuzzy-step จะให้ผลดีในส่วน Outage Probability แต่ในความเป็นจริงระบบโดยทั่วไปจะมีการควบคุมค่าพารามิเตอร์บางอย่างให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เทคนิค Fuzzy-step จะต้องอาศัยคนทำการ Optimize เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมในการควบคุม การเปลี่ยนแปลงอาจทำได้ยากหรือต้องทำใหม่ทั้งระบบทำให้ยุ่งยาก แต่เทคนิค Error-step จะง่ายในการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ส่วนเทคนิค Fixed-step ง่ายแต่ผลที่ได้คือมีสมรรถนะน้อยกว่า

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การควบคุมกำลังส่งด้วยวิธี Power-based Power Control ซึ่งจะให้ผลดีกว่าวิธี SIR-based Power Control คือสถานะที่เคลื่อนที่จะใช้กำลังส่งน้อยเพราะในการควบคุมจะสนใจเฉพาะความแรงของกำลังสัญญาณเท่านั้น ต่างกับวิธี SIR-based Power Control ที่จะต้องปรับกำลังส่งให้มากขึ้นเพื่อให้ได้ SIR ที่ต้องการ ยิ่งถ้าสถานะที่เคลื่อนที่มีจำนวนมากขึ้น การควบคุมกำลังส่งด้วยวิธี Power-based Power Control จะให้ผลที่ดีกว่าวิธี SIR-based Power Control จากที่กล่าวมาข้างต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ครั้งต่อไปอาจเพิ่มการจำลองแบบให้เหมือนระบบจริงมากขึ้น โดยการเพิ่มการจำลองแบบต่างเข้าไปตัวอย่างเช่น

- 1 Time delay โดยกำหนดให้ Time delay มีค่าเป็นจำนวนเท่าของ T_p เพราะในระบบจริงกว่าคำสั่งการควบคุมจะส่งไปถึงสถานีเคลื่อนที่อาจใช้เวลานาน สถานีเคลื่อนที่อาจจะไปอยู่ในสถานะแวดล้อมใหม่แล้ว
- 2 การจำลองการเพิ่มขึ้นลดลงของจำนวนของสถานีเคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์ให้มีค่าไม่เท่ากัน โดยกำหนดให้มีการเพิ่มขึ้นของสถานีเคลื่อนที่เมื่อผู้ใช้ต้องการจะโทรออก และลดลงเมื่อผู้ใช้ต้องการวางสาย
- 3 Diversity โดยคิดผลของ Antenna diversity
- 4 ขนาดเซลล์ไม่เท่ากันโดยเซลล์กลางมีขนาดเล็กและเซลล์รอบนอกมีขนาดใหญ่ เซลล์กลางมีขนาดเล็กหลายเซลล์ใช้ในเมืองที่มีความหนาแน่นของการบริการมาก และเซลล์รอบนอกมีขนาดใหญ่ใช้นอกเมืองมีความหนาแน่นของการบริการน้อย

รายการอ้างอิง

- [1] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, and C. E. Wheatley, "On the capacity of a Cellular CDMA system," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 40, May 1991: pp. 303-312.
- [2] F. Simpson and J. M. Holtzman, "Direct sequence CDMA power control, interleaving and coding," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 11, No. 7, Sept. 1993: pp. 1085-1094.
- [3] S. Ariyavisitakul and L. F. Chang, "Signal and interference statistics of a CDMA system with feedback power control," IEEE Trans. Commun., vol. 41, No 11, Nov. 1993.
- [4] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, and E. Zehavi, "Performance of power controlled wideband terrestrial digital communication," IEEE Trans Commun., vol. 41, 1993: pp.559-569.
- [5] W. L. Brogan, Modern Control Theory, 3rd ed., Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1991.
- [6] N. R. Sripada, D. G. Fisher, and A. J. Morris, "AI application for process regulation and servo control setting," IEE Proc., vol. 134 pt. D, no.4, 1987: pp. 251-259.
- [7] C. C. lee, "Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller-Pt. I and II," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. 20, No. 2, 1990: pp. 404-435.
- [8] P.J.King and E. H. Mamdani, "The application of fuzzy control systems to industrial processes," Automatica, vol. 13, No. 2, pp. 235-242, 1977.
- [9] Y.F. Li and F. C. Lau., "Development of fuzzy algorithm for servo systems," IEEE Contr. Syst. Mag., vol.9, No. 3, 1989: pp. 65-72.
- [10] Po-Rong Chang and Bor-Chin Wang "Adaptive Fuzzy Power Control for CDMA Mobile Radio Systems" IEEE Tran, vol 45, No. 2, May 1996.
- [11] C. J. Chang, F.C. Ren, "Down-link Power Control in DS/CDMA Cellular Mobile Radio Network," IEEE Trans Commun, 1994: pp. 89-93.

- [12] William Turin and Robert van Nobelen, "Hidden Markov Modeling of Fading Channels," AT&T Labs. Research, Florham Park, NJ 07932, 1998: pp. 1234-1238.
- [13] Y.S. Yeh and S.Pupolin, "Outage probability in mobile telephone due to multiple log-normal interferers," IEEE Trans. Comm., vol. 32, Apr. 1994: pp. 380-388.
- [14] M. Zorzi and S. Pupolin, "Outage probability in multiple access packet radio networks in the presence of fading," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 43 No. 3, Aug. 1994: pp. 604-610.
- [15] S. Ariyavisitakul and L. F. Chang, "Signal and Interference Statistics of a CDMA System with Feed-back Power control," IEEE Trans. Comm., vol. COM-41, No. 11, Nov. 1993: pp. 1626-1634.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายพิสันต์ วงศ์วิเศษกิจ

การศึกษา จบมัธยม รร. ชลประทานวิทยา

วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจุบันกำลังศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจุบัน ทำงาน ตำแหน่งวิศวกร บริษัท TAC

