การปรับปรุงการควบคุมกำลังแบบฟัซซีในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอ

นาย วศิมน พาณิชพัฒนกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1913-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF FUZZY POWER CONTROL IN DS-CDMA CELLULAR MOBILE COMMUNICATION SYSTEM

Mr.Wasimon Panichpattanakul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2002
ISBN 974-17-1913-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงการควบคุมกำลังแบบฟัซซีในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอ
โดย	นายวศิมน พาณิชพัฒนกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วศิมน พาณิชพัฒนกุล : การปรับปรุงการควบคุมกำลังแบบฟัซซีในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอ (IMPROVEMENT OF FUZZY POWER CONTROL IN DS-CDMA CELLULAR MOBILE COMMUNICATION SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล, 118 หน้า. ISBN 974-17-1913-2

ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอ การควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด (SIR) ทำหน้าที่รับประกันคุณภาพสัญญาณให้แก่ผู้ใช้ ดังนั้นจึงได้รับความนิยมมากกว่าการควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่าความแรงของสัญญาณ แต่การควบคุมกำลังที่อ้างอิงเฉพาะค่า SIR นั้น จะสร้างปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบแบบกลุ่มในระบบ ทำให้เกิดการปรับเพิ่มกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานีอย่างต่อเนื่อง และนำไปสู่ปัญหาของการควบคุมกำลังที่ไม่สามารถปฏิบัติได้ (Infeasible Power Control) นั่นคือสถานีเคลื่อนที่ไม่สามารถทำให้ค่า SIR มีค่าเท่ากับ SIR ที่กำหนด (SIR_{th}) หรือมีค่ามากกว่า SIR_0 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการรับประกันคุณภาพสัญญาณ แม้สถานีเคลื่อนที่ดังกล่าวจะทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งสูงที่สุดแล้วก็ตาม

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการควบคุมกำลังที่มีการสร้างค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งเป็นฟังก์ชันของกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี (วิธีที่เสนอวิธีที่ 1) และค่าถ่วงน้ำหนักที่เป็นฟังก์ชันของกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี และจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานี (วิธีที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3) ซึ่งใช้ถ่วงน้ำหนักค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งและ SIR_{th} ซึ่งเป็นข้อมูลขาออกของตัวควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอเพื่อลดปัญหาการควบคุมกำลังที่ไม่สามารถปฏิบัติได้ วิทยานิพนธ์นี้ทำการจำลองระบบ 3 กรณีคือ 1) เมื่อจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีมีค่าเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ 2) เมื่อจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีมีค่าเท่ากันแต่จำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ และ 3) เมื่อจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีมีค่าไม่เท่ากันและจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี กับการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอพบว่าในกรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานมีค่าเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ ระบบที่ควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย (P_{Outage}) ต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 66.4%-78.2% และต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ 28.2%-53.5% และระบบที่ควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอทั้ง 3 วิธี มีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเนื่องจากการกำหนด SIR_{th} สูงเกินไป หรือเนื่องจากการปรับเพิ่มกำลังส่งด้วยขนาดขั้นการปรับที่ใหญ่เกินไป ($P_{Infeasible}$) ต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 97.7%-98.9% และต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ 92.1%-93.8%

กรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานมีค่าเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่พบว่า วิธีที่เสนอทั้ง 3 วิธี มีค่า P_{Outage} ต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 61.7%-72.9% และต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ 20.9%-44.2% และวิธีที่เสนอทั้ง 3 วิธี มีค่า $P_{Infeasible}$ ต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 98.0%-99.9% และต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ 87.6%-99.8% และกรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานมีค่าไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ วิธีที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีค่า P_{Outage} ต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 45.6%-47.9% และต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ 16.1%-19.6% และวิธีที่เสนอทั้ง 3 วิธี มีค่า $P_{Infeasible}$ ต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 99.6%-99.9% และต่ำกว่าการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ 98.8%-99.9%

จากผลการจำลองระบบข้างต้นพบว่า วิธีควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี สามารถลด P_{Outage} และ $P_{Infeasible}$ ของสัญญาณในระบบลงได้ นั่นหมายความว่าวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอสามารถทำให้คุณภาพสัญญาณสูงขึ้น ระบบควบคุมกำลังมีเสถียรภาพมากขึ้น และความจุระบบเพิ่มขึ้นได้ โดยวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 มีค่า P_{Outage} และค่า $P_{Infeasible}$ ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 และ 3 นอกจากนี้วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 มิลลิวินาทีซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคาบเวลาของการควบคุมกำลังตามมาตรฐานไอเอส-95 คือ 1.25 มิลลิวินาที ดังนั้นวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอมีแนวโน้มที่จะสามารถนำไปใช้งานจริงในระบบได้ หากนำไปใช้งานจริงโดยสร้างเป็นฮาร์ดแวร์ที่สามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าซอฟต์แวร์มาก

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2545

4370483321: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: FUZZY LOGIC/ POWER CONTROL/ CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS
WASIMON PANICHPATTANAKUL : IMPROVEMENT OF FUZZY POWER CONTROL IN DS-CDMA CELLULAR MOBILE COMMUNICATION SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR.WATIT BENJAPOLAKUL. 118 pp. ISBN 974-17-1913-2

In Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA) communication system, power control based on signal-to-interference ratio (SIR) is more preferable than signal strength-based power control since the former's quality of service (QoS) is guaranteed. However, power control based on SIR alone usually causes party effect, which affects every mobile station (MS) in continuously increasing its transmitted power to achieve SIR threshold (SIR_{th}). Party effect leads to infeasible power control problem, due to which MS transmits with the maximum power but fails to achieve its SIR_{th} and SIR minimum (SIR_0) used to guarantee signal quality.

In this thesis, power and SIR_{th} weighting values generated by transmitted power of each MS ($p_t^{(i)}$) in the 1st proposed algorithm, and which were generated by $p_t^{(i)}$ together with the number of users in each cell ($N_{user}^{(j)}$) in the 2nd and 3rd proposed algorithm, are used to individually weight its SIR-based power control adjusting factors outputted from Fuzzy Proportional-plus-Integral (PI) Controller in order to prevent each MS from infeasible power control problem. In this thesis, three types of $N_{user}^{(j)}$ are assigned in simulated system, i.e. 1) $N_{user}^{(j)}$ is equally fixed 2) $N_{user}^{(j)}$ is equally changed and 3) $N_{user}^{(j)}$ is randomly changed.

According to the simulation results, in case $N_{user}^{(j)}$ is equally fixed, the average outage probability (P_{Outage}) of the proposed algorithms are lower than those of Conventional Power Control and Fuzzy PI Power & SIR_{th} Control for 16.08-52.28%, and 87.63-99.87%, respectively. In addition, the average infeasible outage probability ($P_{Infeasible}$) of the proposed algorithms are lower than those of Conventional Power Control and Fuzzy PI Power & SIR_{th} Control for 16.08-52.28%, and 87.63-99.87%, respectively.

In case $N_{user}^{(j)}$ is equally changed, P_{Outage} of the proposed algorithms are lower than those of Conventional Power Control and Fuzzy PI Power & SIR_{th} Control for 16.08-52.28%, and 87.63-99.87%, respectively. In addition, $P_{Infeasible}$ of the proposed algorithms are lower than those of Conventional Power Control and Fuzzy PI Power & SIR_{th} Control for 16.08-52.28%, and 87.63-99.87%, respectively. In case $N_{user}^{(j)}$ is randomly changed, P_{Outage} of the proposed algorithms are also lower than those of Conventional Power Control and Fuzzy PI Power & SIR_{th} Control for 16.08-52.28%, and 87.63-99.87%, respectively. In addition, $P_{Infeasible}$ of the proposed algorithms are also lower than those of Conventional Power Control and Fuzzy PI Power & SIR_{th} Control for 16.08-52.28%, and 87.63-99.87%, respectively

According to the reduction of P_{Outage} and $P_{Infeasible}$ of the proposed algorithms, it can be concluded that the proposed algorithms can simultaneously enhance QoS, power control stability, and capacity of the system. Comparing to the Conventional Power Control, Fuzzy PI Power & SIR_{th} Control, and the 1st and the 3rd proposed algorithms, the 2nd proposed algorithm has the lowest P_{outage} and $P_{Infeasible}$. When focusing on processing time to control both of power and SIR_{th} of each user in each power control period, less than 2 millisecond are spent by the proposed algorithms which is close to the power control period in IS-95 standard. Consequently, by implementing in high-speed hardware, the proposed algorithms are possibly applied in the existing system.

Department Electrical Engineering Student's signature .....

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature .....

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีมาตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย และทบวงมหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท–เอก ในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ นิสิต สาขาระบบโทรคมนาคมทุกๆ ท่าน ที่ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นและความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอดระยะเวลาของการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นายวศิมน พาณิชพัฒนกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูป..... ฐ

บัญชีคำศัพท์..... ด

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 แนวคิดและเหตุผล..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 4

1.3 ขอบเขตและเป้าหมายของวิทยานิพนธ์..... 5

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 5

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 6

2 ระบบ CDMA, การควบคุมกำลังในระบบ CDMA และการทำงานของฟัซซีลอจิก..... 7

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ CDMA..... 7

2.2 การควบคุมกำลังในระบบ CDMA..... 8

2.3 การควบคุมกำลังในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอตามมาตรฐานไอเอส-95..... 9

2.4 ฟัซซีลอจิกและตัวควบคุมแบบฟัซซี..... 10

2.5 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมแบบฟัซซี..... 11

2.5.1 ฟัซซิฟิเคชันมอดูล..... 11

2.5.2 ฐานความรู้..... 11

2.5.3 เครื่องอนุมาน..... 13

2.5.4 ดีฟัซซิฟิเคชันมอดูล..... 15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 แบบจำลองระบบ..... 17

3.1 แบบจำลองระบบ และข้อกำหนดของการจำลองระบบ..... 17

3.2 การทดสอบความถูกต้องของการจำลองระบบ..... 22

4 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ..... 26

4.1 วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 7 × 7 กฎ และทำงานร่วมกับการถ่วงน้ำหนักด้วยสมการเส้นตรง (วิธีที่เสนอวิธีที่ 1)..... 26

4.1.1 ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ..... 28

4.1.2 การปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคน..... 34

4.1.3 การปรับเพิ่ม-ลด กำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน..... 34

4.1.4 สมการเชิงเส้นสำหรับการถ่วงน้ำหนัก..... 35

4.2 วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 7 × 7 กฎ และทำงานร่วมกับการถ่วงน้ำหนักด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีที่เสนอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 7 × 7 กฎ (วิธีที่เสนอวิธีที่ 2)..... 40

4.2.1 ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ..... 43

4.2.2 ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ..... 43

4.2.3 การปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน..... 50

4.3 วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 5 × 5 กฎ และทำงานร่วมกับการถ่วงน้ำหนักด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีที่เสนอ ที่มีกฎควบคุมการทำงาน 5 × 5 กฎ (วิธีที่เสนอวิธีที่ 3)..... 51

4.3.1 ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ..... 53

4.3.2 ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ..... 58

4.3.3 การปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน..... 65

5 ผลการจำลองระบบ และวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ..... 66

5.1 ผลการจำลองระบบ และ วิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่..... 67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2 ผลการจำลองระบบ และ วิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่..... 71

5.3 ผลการจำลองระบบ และ วิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่..... 74

5.4 การคำนวณความซับซ้อน และการเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์..... 76

5.4.1 วิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม..... 78

5.4.2 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]..... 79

5.4.3 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1..... 80

5.4.4 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2..... 81

5.4.5 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3..... 83

5.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ เมื่อระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่..... 87

5.5.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ..... 89

5.5.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ..... 91

5.5.3 เปรียบเทียบจำนวนบิตที่ใช้ในการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ..... 92

5.6 ผลการจำลองระบบ การวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ และการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ เมื่อระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่..... 93

5.6.1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ..... 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.6.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ……..…….…… 95

5.7 ผลการจำลองระบบ การวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ และการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ เมื่อระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่. 97

5.7.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ…….……... 99

5.7.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ…….……. 100

6 สรุปผลการจำลองระบบ และแนวทางการพัฒนาวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ…….…….. 105

6.1 สรุปผลการจำลองระบบ…… 105

6.2 แนวทางการพัฒนาวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ…….……. 106

6.2.1 การปรับปรุงลักษณะการทำงาน หรือชนิดของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3……... 107

6.2.2 การประยุกต์ใช้งานวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในระบบสื่อสารอื่นๆ….. 107

รายการอ้างอิง……..…. 109

ภาคผนวก…… 112

บทความทางวิชาการที่ได้นำเสนอในที่ประชุมวิชาการระหว่างประเทศ ISCAS 2003 (2003 IEEE International Symposium on Circuits and Systems Proceedings) ซึ่งจัดขึ้นที่ประเทศไทยระหว่างวันที่ 25 - 28 พฤษภาคม 2546…….……... 113

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……... 118

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.1.1.1	(ก) ฐานกฎของ FPIC ตัวที่ 1 (ข) ฐานกฎของ FPIC ตัวที่ 2……..	31
ตารางที่ 4.1.1.2	ตารางการควอนไตซ์ข้อมูลขาเข้าและขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2…….	32
ตารางที่ 4.1.1.3	(ก) ตารางค่าการตัดสินใจของ FPIC ตัวที่ 1 (ข) ตารางค่าการตัดสินใจของ FPIC ตัวที่ 2……..	33
ตารางที่ 4.2.2.1	(ก) ฐานกฎของ Proposed FWC กรณีปรับเพิ่ม SIRth และกำลังส่ง (ข) ฐานกฎของ Proposed FWC กรณีปรับลด SIRth และกำลังส่ง……	45
ตารางที่ 4.2.2.2	ตารางการควอนไตซ์ข้อมูลขาเข้าและขาออกของ Proposed FWC……...	46
ตารางที่ 4.2.2.3	(ก) ตารางค่าการตัดสินใจของ Proposed FWC กรณีการปรับเพิ่ม SIR_{th} และกำลังส่ง (ข) ตารางค่าการตัดสินใจของ Proposed FWC กรณีการปรับลด SIR_{th} และกำลังส่ง…….	47
ตารางที่ 4.3.1.1	(ก) ฐานกฎของ FPIC ตัวที่ 1 (ข) ฐานกฎของ FPIC ตัวที่ 2……..	56
ตารางที่ 4.3.1.2	ตารางการควอนไตซ์ข้อมูลขาเข้าและขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2…….	57
ตารางที่ 4.3.1.3	(ก) ตารางค่าการตัดสินใจของ FPIC ตัวที่ 1 (ข) ตารางค่าการตัดสินใจของ FPIC ตัวที่ 2…….	57
ตารางที่ 4.3.2.1	(ก) ฐานกฎของ Proposed FWC กรณีปรับเพิ่ม SIRth และกำลังส่ง (ข) ฐานกฎของ Proposed FWC กรณีปรับลด SIRth และกำลังส่ง……	60
ตารางที่ 4.3.2.2	ตารางการควอนไตซ์ข้อมูลขาเข้าและขาออกของ Proposed FWC……...	61
ตารางที่ 4.3.2.3	(ก) ตารางค่าการตัดสินใจของ Proposed FWC กรณีการปรับเพิ่ม SIR_{th} และกำลังส่ง (ข) ตารางค่าการตัดสินใจของ Proposed FWC กรณีการปรับลด SIR_{th} และกำลังส่ง…….	62
ตารางที่ 5.4.1	ตารางเปรียบเทียบจำนวนโอเปอร์เรชัน ฐานกฎ และเวลาที่ใช้ในการควบคุมกำลัง ของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ เมื่อใช้งานร่วมกับระบบจำลองที่สร้างขึ้น……...……...	85
ตารางที่ 5.6.1	ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่……..	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 5.7.1	จำนวนผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐานที่แต่ละรอบของการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้ใช้..	99
ตารางที่ 5.7.2	ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่……....	101
ตารางที่ 5.7.3	ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probabilityเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ หลังทำการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 โดยระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานี ไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่	104

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.5.1	โครงสร้างหลักของตัวควบคุมแบบฟัซซี…….……	11
รูปที่ 2.5.2.1	ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม ที่ใช้ในการแปลงค่าจุดของข้อมูลขาเข้าในโดเมน [-2, 2] ให้เป็นตัวแปรเชิงภาษา……	12
รูปที่ 2.5.3.1	วิธีการอนุมานตามระเบียบวิธีการอนุมานแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด……	15
รูปที่ 3.1.1	พื้นที่ให้บริการซึ่งมีสถานีฐาน 19 สถานี……...	17
รูปที่ 3.2.1	ความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กันของระบบจำลองที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังต่างๆ ที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]……	22
รูปที่ 3.2.2	ความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ ในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]……	23
รูปที่ 3.2.3	วงจรควบคุมกำลังในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]……...	24
รูปที่ 4.1.1	วงจรควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1…….	28
รูปที่ 4.1.1.1	(ก) และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 1 (ค) และ (ง) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 2 ...……	30
รูปที่ 4.1.1.2	(ก) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 ($D_{SIR_{th}}$) (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 2 (D_{p_t})……..	31
รูปที่ 4.1.4.1	(ก) และ (ข) สมการเชิงเส้นที่ใช้คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่งและ SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคน……	36
รูปที่ 4.1.4.2	ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]……...	39
รูปที่ 4.1.4.3	ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]……..	39
รูปที่ 4.1.4.4	ค่าเฉลี่ยกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ในระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]……...	40
รูปที่ 4.2.1	วงจรควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2…….	42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2.2.1 (ก)ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของกำลังส่ง และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน…… 44

รูปที่ 4.2.2.2 (ก) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ $WSIR_{th}$ และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Wp_t…….. 45

รูปที่ 4.2.2.3 การทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ เมื่อได้รับการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานแล้ว……... 48

รูปที่ 4.2.2.4 วงจรควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ที่ทำการปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอแล้ว…..……. 50

รูปที่ 4.3.1 วงจรควบคุมกำลังของระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3…… 52

รูปที่ 4.3.1.1 (ก) และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 1
(ค) และ (ง) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 2…… 54

รูปที่ 4.3.1.2 (ก) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 ($DSIR_{th}$)
(ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 2 (Dp_t)…….. 55

รูปที่ 4.3.2.1 (ก)ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของกำลังส่ง และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน…….. 59

รูปที่ 4.3.2.2 (ก) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ $WSIR_{th}$ และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Wp_t…….. 60

รูปที่ 4.3.2.3 การทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ เมื่อได้รับการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานแล้ว……... 63

รูปที่ 4.3.2.4 วงจรควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ที่ทำการปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอแล้ว…..……. 64

รูปที่ 5.1.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]…… 67

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.1.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]..... 68

รูปที่ 5.1.3 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของสัญญาณเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการที่เสนอวิธีที่ 1 โดยค่าความความชันของสมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น $\pm$ 0.02, $\pm$ 0.03 และ $\pm$ 0.04 per dB..... 70

รูปที่ 5.2.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]..... 71

รูปที่ 5.2.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]..... 72

รูปที่ 5.3.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]..... 74

รูปที่ 5.3.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]..... 75

รูปที่ 5.5.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย ที่ค่าต่างๆ ของจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากัน และมีจำนวนผู้ใช้คงที่..... 88

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.5.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ที่ค่าต่างๆ ของจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่.. 88

รูปที่ 5.6.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเมื่อใช้งานวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากัน แต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่……..……... 94

รูปที่ 5.6.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อใช้งานวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากัน แต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่……..……... 94

รูปที่ 5.7.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเมื่อใช้งานวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่……..…… 98

รูปที่ 5.7.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อใช้งานวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่……..…… 98

รูปที่ 5.7.3 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ หลังทำการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 โดยระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานี ไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่…… 103

รูปที่ 5.7.4 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ หลังทำการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 โดยระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานี ไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่…… 103

บัญชีคำศัพท์

กฎการอนุมานผลประกอบ	Compositional rule of inference
การเข้าถึงหลายทิศทางด้วยสเปกตรัมแบบแผ่	Spreading Spectrum Multiple Access ย่อว่า SSMA
การควบคุมกำลังแบบวงนอก	Outer loop power control
การควบคุมกำลังแบบวงใน	Inner loop power control
การควบคุมกำลังแบบวงปิด	Close loop power control ย่อว่า CLPC
การควบคุมกำลังแบบวงเปิด	Open loop power control ย่อว่า OLPC
การควบคุมกำลังที่ใช้ค่ากำลังสัญญาณที่วัดได้ที่สถานีฐานมาเปรียบเทียบกับจุดเริ่มเปลี่ยนของกำลังสัญญาณ	Strength-based power cobtrol
การควบคุมกำลังที่ใช้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่วัดได้ที่สถานีฐาน มาเปรียบเทียบกับจุดเริ่มเปลี่ยนอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด	SIR-based power control
การควบคุมกำลังที่ไม่สามารถปฏิบัติได้	Infeasible power control
การควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชัน	Delta modulation power control
การแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม	Uniform distribution
การบังสัญญาณ	Shadowing
การเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR	SIR error change ย่อว่า Δe
การเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR ที่คำนวณขึ้นใหม่	New SIR error change ย่อว่า Δe_{new}
การแพร่กระจายพหุวิถี	Multipath propagation
การสูญเสียในวิถี	Path loss

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การอนุมานแบบพิจารณาทีละกฎ	Individual rule based inference
การอนุมานแบบพิจารณาทุกกฎพร้อมกัน	Compositional based inference
ข้อมูลขาเข้า	Input
ข้อมูลขาออก	Output
ข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น	Uplink
ข่ายเชื่อมโยงขาลง	Downlink
ความผิดพลาด SIR	SIR error ย่อว่า e
ความผิดพลาด SIR ที่คำนวณขึ้นใหม่	New SIR error ย่อว่า e_{new}
ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย	The average outage probability
ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดสูงเกินไป หรือการปรับเพิ่มกำลังส่งด้วยขั้นการปรับที่มีขนาดใหญ่เกินไป หรือค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability	The average infeasible outage probability
ค่าสนับสนุน	Support value
เครื่องอนุมาน	Inference engine
คำสั่งการปรับเพิ่ม - ลดกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่	Adjusting power command
จุดเริ่มเปลี่ยนอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด	Signal-to-Interference Ratio Threshold ย่อว่า SIR_{th}
ฐานกฎ	Rule base
ฐานข้อมูล	Data base
ดีฟัซซิฟิเคชันมอดูล	Defuzzification module
ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ	Proposed fuzzy weighting controller ย่อว่า Proposed FWC
ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ	Fuzzy proportional-plus-integral controller ย่อว่า FPIC

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางค่าการตัดสินใจ	Decision value table
บิตข้อมูลการควบคุมกำลัง	Power control bit
ปรากฏการณ์ผลกระทบแบบกลุ่ม	Party effect
ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก	Membership function ย่อว่า M
ฟัซซิฟิเคชันมอดูล	Fuzzification module
เฟดดิง	Fading
เฟดดิงแบบพหุวิถี	Multipath fading
เฟดดิงระยะยาว	Long-term fading
เฟดดิงระยะสั้น	Short-term fading
แฟคเตอร์การปรับเพิ่ม - ลดกำลังส่ง	Adjusting power factor ย่อว่า Dp
แฟคเตอร์การปรับเพิ่ม - ลด SIR_{th}	Adjusting SIR_{th} factor ย่อว่า $D_{SIR_{th}}$
รหัสแผ่	Spreading code
วิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม	Conventional power control algorithm
วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ	Proportional-plus-Integral fuzzy power control algorithm
วิธีการอนุมานแบบค่าสูงสุด - ต่ำสุด	Max-Min inference method
วิธีจุดศูนย์ถ่วง	Central of gravity method
วิธีหาค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุด	Mean of maximum method ย่อว่า MOM
สมการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก	Weighting function
สหสัมพันธ์ข้าม	Cross-correlation
สายอากาศแบบส่งสัญญาณรอบทิศทาง	Omnidirectional antenna
อัตราขยายประมวลผล	Processing gain ย่อว่า PG
อัตราบิตข้อมูลผิดพลาด	Bit error rate หรือ BER
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด	Signal-to-Interference Ratio ย่อว่า SIR

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและเหตุผล

การควบคุมกำลังในการส่งสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่ ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอในยุคแรก จะทำการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด (Signal-to-Interference Ratio Threshold: SIR_{th}) ของผู้ใช้แต่ละคนแบบค่าคงตัว งานวิจัยอ้างอิงที่ [1] ก็เป็นตัวอย่างหนึ่งของการควบคุมกำลังที่มีการกำหนดค่า SIR_{th} แบบค่าคงตัว ในยุคต่อมานักวิจัยบางกลุ่มได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมกำลังที่มีการกำหนดค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนเป็นแบบพลวัต เช่นในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2 – 9] โดยมีแนวคิดว่า การกำหนด SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งตลอดเวลา จะมีผลต่อความจุของระบบ, เสถียรภาพการควบคุมกำลัง, ความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และ คุณภาพของสัญญาณดังนี้

- **กรณีกำหนด SIR_{th} ไว้สูงเกินไป**

ผลที่ตามมาคือ ความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดสูงเกินไป หรือการปรับเพิ่มกำลังส่งด้วยขั้นการปรับที่มีขนาดใหญ่เกินไป มีค่าสูง ซึ่งค่าทั้ง 2 มีนิยามดังนี้

o ความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย (Outage Probability) ของข่ายเชื่อมโยง (Link) ที่ i ($P_{Outage}^{(i)}$) คือความน่าจะเป็นที่ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด (SIR) ข่ายเชื่อมโยง (Link) ที่ i ที่วัดได้ที่สถานีฐาน ($SIR^{(i)}$) มีค่าต่ำกว่า SIR_0 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการรับประกันคุณภาพสัญญาณ ซึ่งมีค่าเท่ากับ [1]

$$P_{Outage}^{(i)} = \Pr\{SIR^{(i)} < SIR_0\} \qquad (1.1.1)$$

Pr คือช่วงเวลาที่ค่า SIR ที่ได้รับของข่ายเชื่อมโยงที่ i มีค่าต่ำกว่าค่า SIR_0 หารด้วยช่วงเวลาทั้งหมดที่สถานีเคลื่อนที่นั้นทำการติดต่อกับสถานีฐาน

ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย (The average outage probability) ของข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดในเซลล์ (P_{Outage}) มีค่าดังสมการ (1.1.2) [1]

$$P_{Outage} = \frac{1}{|L_k|} \sum_{i \in L_k} P_{Outage}^{(i)} = \frac{1}{|L_k|} \sum_{i \in L_k} \Pr\left\{SIR^{(i)} < SIR_0\right\} \qquad (1.1.2)$$

L_k คือ เซตของข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดในเซลล์, $|L_k|$ คือขนาดของเซต L

o ความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณแทรกสอดสูงเกินไป หรือเนื่องจากการปรับเพิ่มกำลังส่งด้วยขั้นการปรับที่มีขนาดใหญ่เกินไป (Infeasible outage probability) ของข่ายเชื่อมโยงที่ i ($P_{Infeasible}^{(i)}$) คือความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในรายดังกล่าวมี $SIR^{(i)}$ น้อยกว่า SIR_0 แม้จะทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งสูงที่สุด (p_{max}) แล้วก็ตาม โดย Infeasible outage probability สามารถคำนวณได้จากสมการ (1.1.3)

$$P_{Infeasible}^{(i)} = \Pr\{SIR^{(i)} < SIR_0 : p^{(i)} = p_{max}\} \qquad (1.1.3)$$

Pr คือช่วงเวลาที่ค่า SIR ที่ได้รับของข่ายเชื่อมโยงที่ i มีค่าต่ำกว่าค่า SIR_{th} เมื่อกำลังส่งของผู้ใช้ที่ i ($p_t^{(i)}$) มีค่าเท่ากับ p_{max} หารด้วยช่วงเวลาทั้งหมดที่สถานีเคลื่อนที่นั้นทำการติดต่อกับสถานีฐาน

ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดสูงเกินไป หรือการปรับเพิ่มกำลังส่งด้วยขั้นการปรับที่มีขนาดใหญ่เกินไป (The average infeasible outage probability) ของข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดในเซลล์ ($P_{Infeasible}$) มีค่าดังสมการ (1.1.4)

$$P_{Infeasible} = \frac{1}{|L_k|} \sum_{i \in L_k} P_{Infeasible}^{(i)} = \frac{1}{|L_k|} \sum_{i \in L_k} \Pr\left\{SIR^{(i)} < SIR_0 : p^{(i)} = p_{max}\right\} \qquad (1.1.4)$$

L_k คือ เซตของข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดในเซลล์, $|L_k|$ คือขนาดของเซต L

เมื่อระบบมี $P_{Infeasible}$ สูงแสดงว่าขณะนั้นระบบมีความน่าจะเป็นการเกิดปรากฏการณ์ผลกระทบแบบกลุ่ม (party effect) [10] สูง ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการกำหนดค่า SIR_{th} สูงเกินไป หรือเกิดจากการปรับเพิ่มกำลังส่งด้วยขั้นการปรับที่มีขนาดใหญ่เกินไป จึงทำให้สถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานีทำการปรับเพิ่มกำลังส่งอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำให้ค่า SIR ของตนที่วัดได้ที่สถานีฐานมีค่าเท่ากับ SIR_{th} หรือมีค่ามากกว่า SIR_0 ได้แม้สถานีเคลื่อนที่ดังกล่าวจะทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งสูงที่สุดแล้วก็ตาม หรืออาจเรียกว่าระบบควบคุมกำลังเสียเสถียรภาพ

ในการควบคุมกำลัง (Infeasible power control) ผลที่ตามมาคือ เกิดการดร็อปการเรียก และสถานีเคลื่อนที่ทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงโดยไม่จำเป็น ซึ่งก่อให้เกิดสัญญาณแทรกสอดรบกวนสถานีฐานข้างเคียงเป็นผลให้ความจุระบบลดลง ทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของสถานีเคลื่อนที่

- **กรณีกำหนด SIR_{th} ไว้ต่ำเกินไป**

ผลที่ตามมาคือ คุณภาพสัญญาณจะต่ำ เนื่องจากสัญญาณที่มี SIR ต่ำ จะไม่สามารถทนต่อการเกิดเฟดดิงได้ดีเหมือนกับสัญญาณที่มี SIR สูง ดังนั้นการกำหนด SIR_{th} ไว้ต่ำเกินไป จะทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายสูง ส่งผลให้สัญญาณของระบบนั้นมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดสูง

สาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้การกำหนดค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนด้วยค่าที่เท่ากันเป็นการกระทำที่ไม่เหมาะสมคือ ความไม่เท่ากันของความสามารถในการควบคุมกำลังเพื่อให้ค่า SIR ที่วัดได้ที่สถานีฐานมีค่าตามที่กำหนดของผู้ใช้แต่ละคน ซึ่งเป็นผลจากเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ และสภาพแวดล้อมขณะใช้งาน เช่นความแรงเฟดดิง (fading) การสูญเสียในวิถี (path loss) และการบังสัญญาณ (shadowing) มีค่าไม่เท่ากัน นอกจากนี้เงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของช่องสัญญาณ และสภาพแวดล้อมของผู้ใช้งานในระบบแต่ละคนก็มีการเปลี่ยนแปลงทางเวลา ดังนั้นการกำหนดค่า SIR_{th} จึงควรเป็นแบบพลวัต โดยการกำหนดค่า SIR_{th} ควรขึ้นกับเงื่อนไขของช่องสัญญาณ และสภาพแวดล้อมขณะใช้งานของผู้ใช้รายนั้นๆ รวมทั้งความสามารถในการควบคุมกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน ซึ่งตัวแปรต่างๆ เหล่านี้มีความสัมพันธ์กับจำนวนผู้ใช้ในระบบ หรือจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน

ตัวอย่างของปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ในกรณีที่ขนาดของขั้นการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่ง และ SIR_{th} ไม่เหมาะสมกับจำนวนของผู้ใช้ที่กำลังใช้งานระบบในขณะนั้นๆ เช่น

- กรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีมาก ระบบจะมีความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มสูง ดังนั้นหากการปรับเพิ่มกำลังส่งหรือ SIR_{th} กระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่ใหญ่เกินไป จะยิ่งทำให้ปัญหาผลกระทบแบบกลุ่มรุนแรงขึ้น

- กรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีน้อย และระบบควบคุมกำลังทำการปรับเพิ่มกำลังส่ง หรือ SIR_{th} ด้วยขั้นการปรับที่มีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้ระบบควบคุมกำลังในการส่งสัญญาณไม่สามารถทำการเพิ่มกำลังสัญญาณเพื่อชดเชยกำลังที่สูญเสียเนื่องจากการลดทอนในช่องสัญญาณ การเกิดเฟดดิงและการบังสัญญาณได้ทัน ซึ่งในความเป็นจริงเราสามารถเพิ่มขนาดของขั้นการปรับเพิ่มกำลังส่ง

หรือ SIR_{th} ให้มีขนาดใหญ่กว่าปกติได้ เนื่องจากในขณะที่จำนวนผู้ใช้ในระบบมีน้อยความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มก็จะมีน้อยตามลงไปด้วย

จากข้อเท็จจริงที่งานวิจัยอ้างอิงที่ [2-9] ไม่ได้นำพารามิเตอร์บางตัวที่ควรได้รับการพิจารณาก่อนการตัดสินใจควบคุมกำลังดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น เป็นเหตุจูงใจให้งานวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่ควบคุมกำลังทั้งในส่วนของการควบคุมกำลังแบบวงใน และวงนอก โดยใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซี โดยเพิ่มการพิจารณากำลังส่งของผู้ใช้แต่ละราย และจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน เป็นพารามิเตอร์ร่วมกับค่าความผิดพลาดอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด (e_{SIR}) และการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด (Δe_{SIR}) ของสัญญาณที่ได้รับที่สถานีฐาน เพื่อลดค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย, ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability และอัตราบิตข้อมูลผิดพลาด โดยเปรียบเทียบวิธีที่เสนอกับวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม (Conventional power control algorithm) และวิธีการควบคุมแบบฟัซซีพีไอ (Proportional-plus-Integral fuzzy power control algorithm) ที่มีสัญญาณขาเข้าเป็นความผิดพลาด (e) และการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด (Δe) ของ SIR ที่วัดได้ที่สถานีฐาน ดังในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ เป็นการควบคุมกำลังที่ประมวลผลด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี เพราะฟัซซีลอจิกสามารถออกแบบเป็นระบบควบคุมที่มีความซับซ้อนได้ง่าย เนื่องจากการออกแบบการทำงานระบบควบคุม ไม่จำเป็นต้องสร้างสมการเชิงคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ทั้งหมดของระบบ ดังนั้นการใช้งานฟัซซีลอจิกจึงเป็นทางออกหนึ่งสำหรับการออกแบบการทำงานของระบบควบคุมที่มีความซับซ้อนสูง ระบบควบคุมที่มีค่าพารามิเตอร์บางค่าที่ไม่สามารถหาได้หรือไม่ทราบค่า รวมทั้งระบบควบคุมที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น และสามารถนำระบบควบคุมแบบฟัซซีที่ออกแบบดังกล่าวไปใช้งานได้จริง นอกจากนี้ระบบควบคุมที่ใช้งานฟัซซีลอจิกยังให้ผลลัพธ์ของการควบคุมที่ดีกว่าระบบควบคุมแบบธรรมดา (Conventional Technique) ในกรณีที่ระบบมีความซับซ้อนสูง [11] เพราะระบบควบคุมที่ใช้งานฟัซซีลอจิกสามารถตัดสินปัญหาได้ใกล้เคียงกับการตัดสินใจของมนุษย์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การประยุกต์ใช้งานฟัซซีลอจิกในระบบควบคุมต่างๆ เป็นที่ยอมรับและเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย

1.2 วัตถุประสงค์

1. นำเสนอระเบียบวิธีการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงสัญญาณขาขึ้น ที่มีการควบคุมกำลังแบบวงใน และแบบวงนอก โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี เพื่อลดค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย, ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability และอัตราบิตข้อมูลผิดพลาด

2. เปรียบเทียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ กับวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และวิธีการควบคุมกำลังที่กระทำโดยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ

1.3 ขอบเขต และเป้าหมายของวิทยานิพนธ์

นำเสนอวิธีการควบคุมกำลังโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี ที่พิจารณากำลังของผู้ใช้แต่ละราย และจำนวนผู้ใช้ที่กำลังใช้งานในระบบ หรือจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน ร่วมกับค่าความผิดพลาด SIR (e_{SIR}) ของสัญญาณที่ได้รับที่สถานีฐาน และการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด SIR (Δe_{SIR}) ของสัญญาณที่ได้รับที่สถานีฐาน เพื่อลดค่าความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย, ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability และอัตราบิตข้อมูลผิดพลาด โดยทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอกับวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และวิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ ที่มีสัญญาณขาเข้าเป็นความผิดพลาด และการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด SIR ของสัญญาณที่วัดได้ที่สถานีฐาน ดังในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

1.4 ขั้นตอน และวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาความรู้พื้นฐานและวิธีการในการควบคุมกำลังที่กำหนด SIR_{th} แบบพลวัต
2. ศึกษาและจำลองระบบการทำงานของระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกำลัง
3. ศึกษาความรู้พื้นฐานในการใช้งานและออกแบบฟัซซีลอจิก เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิทยานิพนธ์
4. ออกแบบการทำงานของฟัซซีลอจิกในส่วนต่างๆ เพื่อใช้ในการควบคุมกำลังทั้งแบบวงในและวงนอกของระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอ ตามวิธีการที่เสนอ
5. ทำการจำลองระบบที่มีการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการที่เสนอในงานวิจัยก่อนนี้
6. นำฟัซซีลอจิก ที่ผ่านการออกแบบการทำงานของฟัซซีลอจิกในส่วนต่างๆ มาใช้งานร่วมกับระบบที่จำลองขึ้นเพื่อศึกษาสมรรถนะในการทำงาน และทำการปรับปรุงให้มีสมรรถนะดีขึ้น
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงาน ของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ กับวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และวิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ ที่มีสัญญาณขาเข้าเป็นความผิดพลาด และการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด SIR ของสัญญาณที่วัดได้ที่สถานีฐาน ดังในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]
8. สรุป และรวบรวมผลงานวิจัย พร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ศึกษาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการควบคุมกำลัง ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอ

2. ได้ศึกษาความรู้พื้นฐานในการใช้งาน และการออกแบบฟัซซีลอจิก เพื่อนำฟัซซีลอจิกดังกล่าวไปใช้ในงานควบคุมที่ต้องการ

3. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานฟัซซีลอจิก เพื่อทำการควบคุมกำลังในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบซีดีเอ็มเอแบบหลายอัตรา (Multi-rate CDMA) และระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง (Wideband CDMA: WCDMA) ที่มีชนิดหรือรูปแบบข้อมูลที่หลากหลาย รวมทั้งมีการให้ความสำคัญในการรักษาคุณภาพของสัญญาณและการให้บริการในระดับที่แตกต่างกันไปตามชนิดและลำดับความสำคัญ (priority) ของข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ระบบ CDMA, การควบคุมกำลังในระบบ CDMA และการทำงานของฟัซซีลอจิก

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ CDMA

ในระบบ CDMA ผู้ใช้แต่ละคนจะทำการเข้ารหัสข้อมูลของตนด้วยรหัสแผ่ (Spreading Code) ของตนเอง ดังนั้นในบางครั้งระบบสื่อสารแบบ CDMA จึงถูกเรียกว่า "การเข้าถึงหลายทางด้วยสเปกตรัมแบบแผ่ (Spread Spectrum Multiple Access, SSMA)" การเข้ารหัสสัญญาณด้วยรหัสแผ่ จะทำให้สัญญาณที่เข้ารหัสแล้วมีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นมาก เมื่อเทียบกับแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลเดิม โดยอัตราส่วนระหว่างแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่เข้ารหัสแล้วต่อแบนด์วิดท์ของข้อมูลก่อนเข้ารหัสเรียกว่า อัตราขยายประมวลผล (Processing Gain) เมื่อทำการเข้ารหัสข้อมูลของผู้ใช้ด้วยรหัสแผ่แล้ว สถานีฐานจะทำการส่งสัญญาณที่ผ่านการเข้ารหัสแล้วไปบนคลื่นความถี่เดียวกัน โดยเครื่องรับ (Receiver) จะทราบรหัสของผู้ใช้แต่ละคน และใช้รหัสดังกล่าวในการถอดรหัสเพื่อแยกข้อมูลที่ถูกส่งจากผู้ใช้แต่ละคนออกจากกัน โดยรหัสที่ใช้ในการแบ่งแยกผู้ใช้แต่ละคนออกจากกันจะมีค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross-correlation) ระหว่างรหัสของผู้ใช้รายอื่นๆ น้อยมาก แต่จะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ เนื่องจากระบบสื่อสารที่ใช้งานชุดรหัสแบบอิสระต่อกันหรือชุดรหัสที่มีค่าสหสัมพันธ์ข้ามเท่ากับศูนย์นั้น จะต้องมีความสามารถในการซิงโครไนซ์ระหว่างตัวรับและตัวส่งได้อย่างสมบูรณ์ ตัวรับจึงจะสามารถถอดรหัสเพื่อแยกข้อมูลที่ถูกส่งจากผู้ใช้แต่ละคนออกจากกันได้ ซึ่งในทางปฏิบัติการซิงโครไนซ์ระหว่างตัวรับและตัวส่งอย่างสมบูรณ์นั้นยังไม่สามารถกระทำได้

จากการที่รหัสแผ่ที่ผู้ใช้แต่ละคนใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลไม่ได้เป็นอิสสระต่อกัน ดังนั้นความจุระบบของระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบ CDMA จึงถูกกำหนดด้วยกำลังของสัญญาณแทรกสอดในระบบนั่นเอง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่งและกำลังสัญญาณแทรกสอดพบว่า ในกรณีที่ผู้ใช้ในระบบทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูง กำลังสัญญาณแทรกสอดในระบบก็จะเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ความจุของระบบลดลง ดังนั้นการควบคุมให้ผู้ใช้ทุกคนส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่เหมาะสม โดยระดับกำลังส่งที่เหมาะสมคือ กำลังส่งที่น้อยที่สุดที่ยังคงรักษาคุณภาพของสัญญาณไว้ได้ จะทำให้ความจุของระบบ CDMA ในขณะนั้นมีค่าสูงที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การควบคุมกำลังในระบบ CDMA มีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาสมรรถนะของระบบ CDMA และเป็นงานวิจัยด้านหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากกลุ่มนักวิจัยที่ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบ CDMA

2.2 การควบคุมกำลังในระบบ CDMA

จากข้อเท็จจริงข้างต้นเกี่ยวกับประโยชน์ของการใช้งานระบบควบคุมกำลัง ซึ่งสามารถเพิ่มความจุระบบ และให้การรับประกันด้านคุณภาพสัญญาณแก่ผู้ใช้ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบ CDMA ได้ จึงทำให้นักวิจัยมากมายพยายามพัฒนาวิธีการควบคุมกำลังในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบ CDMA ทั้งที่เป็นการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงขาลง (downlink) และข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (uplink) เพื่อทำให้ระบบควบคุมกำลังมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

วิธีการควบคุมกำลังที่ใช้ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอสามารถกระทำได้หลายวิธี ตัวอย่างของการควบคุมกำลังเมื่อจัดแบ่งตามค่าอ้างอิงที่ใช้ในการควบคุมกำลังและขนาดของขั้นการปรับสามารถแบ่งได้ดังนี้

- เมื่อแบ่งตามค่าอ้างอิงที่ใช้ในการควบคุมกำลังของสถานีเคลื่อนที่ การควบคุมกำลังสามารถแบ่งได้ 2 วิธี

1. การควบคุมกำลังที่ใช้ค่ากำลังสัญญาณที่วัดได้ที่สถานีฐานมาเปรียบเทียบกับจุดเริ่มเปลี่ยนของกำลังสัญญาณ (Strength-based Power Control) เพื่อใช้ในการตัดสินใจปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ เช่นในงานวิจัยอ้างอิงที่ [12-13]

2. การควบคุมกำลังที่ใช้ค่า SIR ของสัญญาณที่วัดได้ที่สถานีฐาน มาเปรียบเทียบกับ SIR_{th} (SIR-based Power Control) เพื่อใช้ในการตัดสินใจปรับเพิ่ม-ลด กำลังของสถานีเคลื่อนที่ เช่นในงานวิจัยอ้างอิงที่ [14-16] ซึ่งการควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR ของสัญญาณที่ได้รับที่สถานีฐานเปรียบเสมือนการรับประกันคุณภาพของสัญญาณ เนื่องจากอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดจะแปรผกผันกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด

แต่ในงานวิจัยบางงานเสนอการควบคุมกำลังที่อ้างอิงทั้งค่ากำลังสัญญาณ และ SIR ที่วัดได้ที่สถานีฐาน ในการควบคุมกำลังเช่นในงานวิจัยอ้างอิงที่ [3, 16] โดยการปรับเพิ่ม-ลดกำลังที่อ้างอิงจากกำลังสัญญาณที่ได้รับเป็นการปรับเพิ่ม-ลดกำลังเพื่อชดเชยการสูญเสียในวิถี และการถูกบังของสัญญาณ ส่วนการปรับเพิ่ม-ลดกำลังที่อ้างอิงค่า SIR เป็นการปรับเพิ่ม-ลดกำลังเพื่อชดเชยผลของเฟดดิง [16]

- **เมื่อแบ่งตามขนาดของขั้นการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่การควบคุมกำลังสามารถแบ่งได้ 2 วิธี**

1. การควบคุมกำลังที่ใช้ขั้นการปรับที่มีขนาดคงที่ วิธีการควบคุมกำลังแบบนี้เป็นระเบียบวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม บางครั้งก็เรียกการควบคุมกำลังแบบนี้ว่า การควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชัน (Delta Modulation Power Control) การควบคุมกำลังดังกล่าวจะมีการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ครั้งละ 1dB ในแต่ละคาบของการควบคุมกำลัง ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้ขั้นการปรับแบบค่าคงที่เช่น งานวิจัยอ้างอิงที่ [12-14 และ 16]

2. การควบคุมกำลังที่ใช้ขั้นการปรับแบบหลายระดับ หรือเปลี่ยนค่าได้ วิธีการควบคุมกำลังแบบนี้สามารถเพิ่มกำลังของสัญญาณเพื่อชดเชยกำลังที่สูญเสียเนื่องจากการลดทอนในช่องสัญญาณ การเกิดเฟดดิง และการถูกบดบังสัญญาณได้ดีกว่าการควบคุมกำลังที่ทำการกำหนดขนาดขั้นการปรับแบบค่าคงที่ ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้ขั้นการปรับแบบปรับเปลี่ยนค่าได้เช่น งานวิจัยอ้างอิงที่ [1, 2, 15 และ 20]

2.3 การควบคุมกำลังในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอตามมาตรฐานไอเอส-95 (IS-95)

ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอตามมาตรฐานไอเอส-95 การควบคุมกำลังในการส่งสัญญาณในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ การควบคุมกำลังแบบวงเปิด (Open Loop Power Control: OLPC) และแบบวงปิด (Closed Loop Power Control: CLPC)

- การควบคุมกำลังแบบวงเปิด เป็นการควบคุมกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ โดยอ้างอิงค่าความแรงของสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่ได้รับในข่ายเชื่อมโยงขาลงในการปรับเพิ่มหรือลดกำลัง การควบคุมกำลังแบบวงเปิดใช้ในการกำหนดค่ากำลังเริ่มต้นของสัญญาณ เพื่อใช้ในการติดต่อระหว่างสถานีเคลื่อนที่ และสถานีฐาน

- การควบคุมกำลังแบบวงปิด เป็นการควบคุมกำลังส่งสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่ โดยสถานีเคลื่อนที่จะทำการปรับเพิ่มหรือลดกำลังส่งตามคำสั่งที่ได้รับจากสถานีฐาน ซึ่งการตัดสินใจในการออกคำสั่งของสถานีฐานจะกระทำโดยอ้างอิงค่า SIR ของสัญญาณที่ได้รับ การควบคุมกำลังแบบวงปิดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน

1. การควบคุมกำลังวงใน (Inner loop power control) ทำหน้าที่เพิ่ม หรือลดกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ เพื่อทำให้สัญญาณที่ได้รับที่สถานีฐานมีค่า SIR เท่ากับ SIR_{th} เช่นในงานวิจัยอ้างอิง [1 และ 12-16]

2. การควบคุมกำลังวงนอก (Outer loop power control) ทำหน้าที่ในการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนเช่นในงานวิจัยอ้างอิง [2-9] เพื่อให้ผู้ใช้ทุกคนสามารถรักษาคุณภาพของสัญญาณไว้ได้ โดยคุณภาพของสัญญาณจะอ้างอิงจากอัตราความผิดพลาดของบิตหรือเฟรมข้อมูล

ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอตามมาตรฐานไอเอส-95 การควบคุมกำลังวงในจะกระทำทุกๆ 1.25 ms และการควบคุมกำลังวงนอกจะกระทำทุกๆ 20 ms หรือทุกๆ เฟรมของข้อมูล

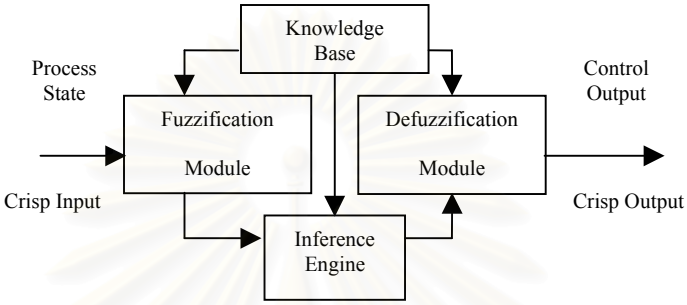
2.4 ฟัซซีลอจิก และตัวควบคุมแบบฟัซซี

ในปี 1965 L.A.Zadeh [17] ได้เสนอบทความเรื่องฟัซซีเซต (Fuzzy Sets) โดยให้เหตุผลว่ามนุษย์ทำการตัดสินใจและแก้ไขปัญหาได้ดีกว่าเครื่องจักร เพราะการตัดสินใจสามารถกระทำอย่างมีประสิทธิภาพบนพื้นฐานของสารสนเทศเชิงบรรยายที่ไม่เที่ยงตรง และการแก้ไขปัญหาก็จะกระทำโดยอาศัยความรู้และประสบการณ์ ซึ่งแนวทางการตัดสินใจและวิเคราะห์ปัญหาจะอยู่ในรูปแบบตรรกที่คลุมเครือ (fuzzy)

ตัวควบคุมแบบฟัซซีถูกตีพิมพ์ครั้งแรกในปี 1974 โดย E.H.Mamdani [18 - 19] แทนการใช้ตัวควบคุมพีไอแบบดั้งเดิม โดยตัวควบคุมแบบฟัซซีจะทำงานบนพื้นฐานของแบบจำลองเชิงตรรกที่แสดงกระบวนการทางความคิดของผู้ปฏิบัติการ และถูกอธิบายเป็นชุดกฎการอนุมานที่อยู่ในรูปของ “ถ้าตัวแปรเชิงพฤติกรรม B (สัญญาณเข้าตัวควบคุม) ถูกสังเกตว่าอยู่ในสถานะ x ดังนั้นเปลี่ยนพารามิเตอร์ควบคุม C (สัญญาณออกจากตัวควบคุม) ด้วยจำนวน y” แบบจำลองดังกล่าวเป็นฟัซซีเนื่องจากมีการกำหนดจำนวน x และ y ให้อยู่ในเทอมของภาษาเช่น ใหญ่บวก ปานกลางบวก เล็กบวก ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เล็กลบ ฯลฯ โดยพจน์แต่ละพจน์เป็นเซตย่อยของฟัซซีโดเมนของการวัดที่เกี่ยวข้อง การควบคุมจะกระทำโดยการนำฐานกฎมาผ่านการอนุมานผลประกอบ (Compositional rule of inference) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นเซตย่อยของฟัซซีเซตของสัญญาณควบคุมในช่วงที่พิจารณา จากนั้นจึงทำการพิจารณาผลที่ได้จากการอนุมานว่าค่าใดสอดคล้องกับกฎการควบคุมที่ตั้งไว้มากที่สุดให้สรุปค่าสัญญาณออกว่าเป็นค่านั้น แต่ถ้ามีค่าสัญญาณออกที่สอดคล้องกับกฎที่กำหนดสูงสุดหลายค่าให้ทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าสัญญาณออกจากตัวควบคุมจะเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งไม่ใช่ค่าฟัซซี ส่วนของการปรับปรุงการทำงานของระบบควบคุมแบบฟัซซีนั้นสามารถกระทำได้โดยการตรวจสอบและปรับปรุงกฎต่างๆ รวมทั้งการจัดการกับกฎที่มีความน่าจะเป็นการเกิดความขัดแย้งกันเองระหว่างกฎที่ตั้งขึ้น

2.5 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมแบบฟัซซี

โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมแบบฟัซซีประกอบด้วย ฟัซซิฟิเคชันมอดูล (Fuzzification Module), ฐานความรู้ (Knowledge Base), เครื่องอนุมาน (Inference Engine) และดีฟัซซิฟิเคชัน-มอดูล (Defuzzification Module) โครงสร้างหลักของตัวควบคุมแบบฟัซซีแสดงในรูปที่ 2.5.1



รูปที่ 2.5.1 โครงสร้างหลักของตัวควบคุมแบบฟัซซี

2.5.1 ฟัซซิฟิเคชันมอดูล (Fuzzification Module) มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. ทำการนอมอลไลซ์ค่าทางกายภาพของตัวแปรสเตตของกระบวนการ ให้อยู่ในช่วงพิจารณา

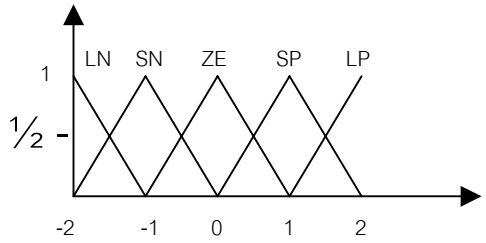
2. แปลงค่าจุด (crisp) แต่ละจุดของข้อมูลขาเข้าที่เป็นตัวแปรสเตตของกระบวนการให้เป็นฟัซซีเซต เพื่อให้เข้ากันได้กับการแสดงฟัซซีเซตของของตัวแปรสเตตของกระบวนการแล้วส่งต่อไปยังเครื่องอนุมาน

2.5.2 ฐานความรู้ (Knowledge Base) ประกอบด้วย

1. ฐานข้อมูล (Data base) เป็นสารสนเทศที่จำเป็นที่ทำให้ฟัซซิฟิเคชันมอดูล, เครื่องอนุมาน และดีฟัซซิฟิเคชันมอดูลทำงานได้ถูกต้อง ในการออกแบบฐานข้อมูลต้องคำนึงถึง

- การเลือกฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership function)

รูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่นิยมมากได้แก่ รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมคางหมู และรูประฆัง เนื่องจากสามารถอธิบายได้ในรูปของฟังก์ชันและพารามิเตอร์ได้ง่าย ทั้งยังใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลและประมวลผลน้อย ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจะถูกใช้ในการแปลงค่าจุดของข้อมูลขาเข้าให้เป็นตัวแปรเชิงภาษาดังรูปที่ 2.5.2.1



รูปที่ 2.5.2.1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม ที่ใช้ในการแปลงค่าจุดของข้อมูลขาเข้าในโดเมน [-2, 2] ให้เป็นตัวแปรเชิงภาษา

- การเลือกตัวประกอบมาตราส่วน

ตัวประกอบมาตราส่วน เป็นตัวกำหนดมาตราส่วนในการแปลงค่าตัวแปรกระบวนการให้อยู่ในนอมอลไลซ์โดเมน และทำการแปลงค่าในนอมอลไลซ์โดเมนของตัวแปรควบคุมเป็นค่าทางกายภาพ นั่นคือทำหน้าที่คล้ายอัตราขยายในเครื่องควบคุมแบบดั้งเดิม ดังนั้นการกำหนดตัวประกอบมาตราส่วนจึงมีความสำคัญต่อสมรรถนะของเครื่องควบคุม และเสถียรภาพของระบบ เพราะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสียเสถียรภาพ การแกว่ง และการหน่วงของระบบควบคุม

การกำหนดตัวประกอบมาตราส่วนสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ การลองผิดลองถูก และการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบมาตราส่วนและพฤติกรรมของกระบวนการ ซึ่งการกำหนดตัวประกอบมาตราส่วนด้วยวิธีหลังในบางกรณีกระทำได้ค่อนข้างยาก

2. ฐานกฎ (Rule base) มีหน้าที่ควบคุมกระบวนการที่เกี่ยวกับความชำนาญในรูปของ Production Rule เช่นกรณีที่ระบบหนึ่งมีฐานกฎ m กฎ ที่กฎที่ k ใดๆ แสดงในรูปของ IF (สภาวะของกระบวนการ)$^{(k)}$ THEN (กริยาควบคุม)$^{(k)}$

โดยในส่วนของสภาวะของกระบวนการแสดงด้วย $x_1^{(k)}$ เป็น $A_1^{(*k)}$ และ . . . และ $x_n^{(k)}$ เป็น $A_n^{(*k)}$ ส่วนของกริยาควบคุมแสดงด้วย $u^{(k)}$ เป็น $B^{(k)}$ โดยที่ $A_1^{(*k)}$ และ $B^{(k)}$ เป็นค่าเชิงภาษาที่กำหนดไว้สำหรับตัวแปรเชิงภาษา $x_i^{(k)}$ และ $u^{(k)}$ ตามลำดับ หรืออาจเขียนกริยาควบคุมในรูปของฟังก์ชัน $u^{(k)} = f^{(k)}(x_1^{(k)}, \ldots, x_n^{(k)})$ และในการสร้างฐานกฎจะต้องทำการเลือกพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อไปนี้

- การเลือกตัวแปรกระบวนการ และตัวแปรควบคุม

ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ (Proportional-plus-Integral Fuzzy Controller) จะมีตัวแปรกระบวนการคือ ความผิดพลาด (Error: e) และการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด (Δe) ตัวแปรควบคุม (u) ที่เป็นข้อมูลขาออกของตัวควบคุม เมื่อ k เป็นเวลาของการชักตัวอย่าง e และ Δe

$e(k)$ = ค่าสัญญาณออกที่ต้องการ – ค่าสัญญาณออกที่วัดได้ (2.5.2.1)

$\Delta e(k)$ = (e ในรอบการชักตัวอย่างที่ k) – (e ในรอบการชักตัวอย่างที่ $(k-1)$) (2.5.2.2)

- การเลือกเนื้อหาของกฎ

ถ้าตัวควบคุมเป็นแบบฟัซซีพีไอ การแสดงกฎจะอยู่ในรูป IF (e เป็น A_i และ Δe เป็น B_i) THEN (u เป็น C_i) โดย A, B และ C เป็นเทอมเซตใดๆ ของฟัซซี

- การเลือกเทอมเซต

เทอมเซตของตัวแปรเชิงภาษา x ประกอบด้วยจำนวนจำกัดของค่าที่แสดงได้ด้วยตัวอักษรซึ่ง x เป็นไปได้ เช่นการกรณีที่ตัวแปรสเตตเป็นค่าความผิดพลาด เทอมเซตที่เลือกใช้มักเป็นเทอมเซตที่แสดงเครื่องหมายบวก-ลบ และขนาดได้ เช่น ใหญ่บวก เล็กบวก ไม่มีความผิดพลาด เล็กลบ ใหญ่ลบ เป็นต้น โดยขนาดของเทอมเซตจะเป็นตัวกำหนดความละเอียดของตัวควบคุมแบบฟัซซี แต่การเพิ่มจำนวนของเทอมเซตก็จะส่งผลให้การออกแบบกฎต้องกระทำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2.5.3 เครื่องอนุมาน (Inference Engine)

เป็นกลไกสำคัญที่นำสภาวะของระบบที่ตรวจวัดได้มาเทียบกับกฎการควบคุมที่กำหนดเพื่อสรุปกริยาควบคุมที่ทำให้กระบวนการดำเนินไปในลักษณะที่ต้องการ เครื่องอนุมานสำหรับฟัซซีแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

1. การอนุมานแบบพิจารณาทุกกฎพร้อมกัน (Compositional based inference) เป็นการอนุมานโดยรวมความสัมพันธ์ของฟัซซีทั้งหมดในแต่ละกฎเข้าไว้ด้วยกัน แล้วทำการหากริยาควบคุมที่เหมาะสมกับสภาวะของกระบวนการจากความสัมพันธ์รวมนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นฟัซซีเซตที่บอกค่าฟัซซีของตัวแปรควบคุมทั้งหมด

2. การอนุมานแบบพิจารณาที่ละกฎ (Individual rule based inference) เป็นการอนุมานกฎทีละกฎเพื่อให้ได้ฟัซซีเซตที่อธิบายความหมายของส่วนกริยาควบคุมของกฎนั้นๆ แล้วนำค่าฟัซซีเซตที่ได้จากแต่ละกฎมาทำการรวมกันเป็นค่าตัวแปรควบคุมทั้งหมด โดยการอนุมานแบบนี้จะมีประสิทธิภาพในการคำนวณดีกว่า และประหยัดหน่วยความจำกว่าวิธีการอนุมานแบบพิจารณาทุกกฎพร้อมกัน

วิธีการอนุมานของตัวควบคุมแบบฟัซซีนั้น ได้มีการวิจัยและสรุปออกมาเป็นวิธีการทำงานหลายรูปแบบดังเช่น วิธีของ Mamdami, Sugeno และ Tsukamoto โดยทั้งสามวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ในการทำงานอย่างแพร่หลาย ในแต่ละวิธีก็จะมีการทำงานที่แตกต่างกัน ในที่นี้จะกล่าวถึงการ

อนุมานตามระเบียบวิธีการอนุมานของ Mamdani ซึ่งมีชื่อเรียกว่าวิธีอนุมานแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min Inference) ซึ่งเป็นวิธีการอนุมานที่เลือกใช้ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ และที่อ้างอิงในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] การทำงานของวิธีอนุมานแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

- Aggregation

ทำหน้าที่ประมวลผลในส่วนของ “If” ในฐานกฎที่อยู่ในรูป If-Then Rule ซึ่งก็คือการหาค่าผลลัพธ์ในส่วนของเงื่อนไข If ที่แทนสภาวะของระบบ ที่อยู่ในฐานกฎข้อเดียวกัน มีวิธีกระทำโดยใช้ตัวดำเนินการ min (Intersection, AND) เขียนได้ในรูปของสมการ (2.5.3)

$$\mu_{A\cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \qquad (2.5.3)$$

โดยที่ A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U และ $u \in U$ (Universe of Discourse)

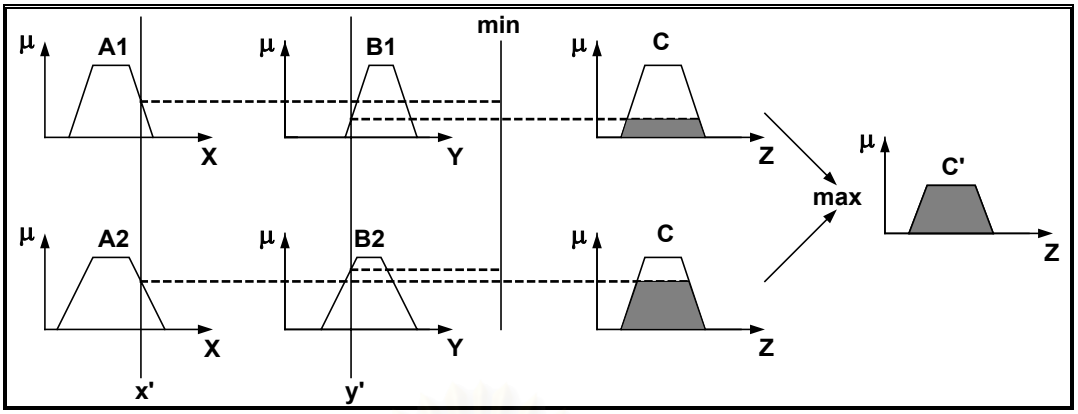
- Composition

ทำหน้าที่ประมวลผลในส่วนของ “Then” ในฐานกฎที่อยู่ในรูป If-Then Rule ซึ่งก็คือการหาค่าผลลัพธ์ในส่วนของเงื่อนไข Then ที่แทนกริยาควบคุม ที่อยู่ในเทอมเซตเดียวกันของตัวแปรภาษาของข้อมูลขาออก มีวิธีกระทำโดยใช้ตัวดำเนินการ max (Union, OR) เขียนได้ในรูปของสมการ (2.5.4)

$$\mu_{A\cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \qquad (2.5.4)$$

โดยที่ A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U และ $u \in U$ (Universe of Discourse)

จากการทำงานของวิธีการอนุมานทั้งสองส่วน จะได้ข้อมูลขาออกที่เป็นค่าทางฟัซซีที่อยู่ในรูปของเทอมเซตต่างๆ ของตัวแปรภาษาของข้อมูลขาออก ซึ่งเครื่องอนุมานจะส่งค่าเหล่านี้ไปยังกระบวนการ Defuzzification เพื่อแปลงค่าทางฟัซซีให้เป็นค่าจริงที่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบได้ รูปที่ 2.5.3.1 แสดงตัวอย่างการอนุมานตามระเบียบวิธีการอนุมานแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด เทียบกับฐานกฎสองข้อ โดยมีค่าจุดของข้อมูลขาเข้าเป็นค่า x’ และ y’ ส่วนข้อมูลขาออกเป็นค่า C’ ที่เป็นค่าทางฟัซซี เมื่อกำหนดให้ A1, A2 และ B1, B2 เป็นเทอมเซตของตัวแปรเชิงภาษาของข้อมูลขาเข้า A และ B ตามลำดับ และ C เป็นเทอมเซตของตัวแปรเชิงภาษาของข้อมูลขาออก



รูปที่ 2.5.3.1 วิธีการอนุมานตามระเบียบวิธีการอนุมานแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด

2.5.4 ดีฟัซซิฟิเคชันมอดูล (Defuzzification Module) มีหน้าที่คือ

1. แปลงฟัซซีเซตของค่าตัวแปรควบคุมที่ได้จากการอนุมานตามกฎต่างๆ ให้เป็นค่าคงตัวค่าหนึ่ง
2. แปลงค่าจุดของตัวแปรควบคุมเป็นค่าทางกายภาพ

ตัวอย่างของวิธีดีฟัซซิฟิเคชันเช่น

- วิธีการหาค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุดของค่าสนับสนุน (Mean of Maximum Method: MOM) กระทำโดยการหาค่าเฉลี่ยของค่าสนับสนุน (Support Value) ที่ทำให้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีค่ามากที่สุดในฟัซซีเซตแต่ละเซตของตัวแปรกริยาหรือข้อมูลขาออกของตัวควบคุม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.5.4.1)

$$u^* = \sum_{i=1}^{r} \frac{u_i}{r} \qquad (2.5.4.1)$$

โดย $\{u_1, \ldots, u_r\}$ เป็นค่าสนับสนุน ที่ทำให้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีค่ามากที่สุดในฟัซซีเซตแต่ละเซตของตัวแปรกริยาหรือข้อมูลขาออกของตัวควบคุม และ r คือจำนวนฟัซซีเซตของตัวแปรกริยาหรือข้อมูลขาออกของตัวควบคุม

- วิธีจุดศูนย์ถ่วง (Central of Gravity) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากเครื่องอนุมานวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่นในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2, 20] โดยคำนวณจากสมการ (2.5.4.2)

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^{r} \mu_i \cdot u_i}{\sum_{i=1}^{r} \mu_i} \qquad (2.5.4.2)$$

โดย μ_i ระดับการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตที่ i และ $\{u_1, \ldots, u_r\}$ เป็นค่าสนับสนุน (Support Value) ที่ทำให้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีค่ามากที่สุดในฟัซซีเซตแต่ละเซตของตัวแปรกริยา หรือข้อมูลขาออกของตัวควบคุม และ r คือจำนวนฟัซซีเซตของตัวแปรกริยา หรือข้อมูลขาออกของตัวควบคุม

ตัวอย่างงานวิจัย ที่เกี่ยวกับการควบคุมกำลังในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอที่ใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซีได้แก่งานวิจัยอ้างอิงที่ [2, 20] ในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] นำตัวควบคุมแบบฟัซซีมาใช้ในการควบคุมกำลังของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานีและใช้ในการปรับ SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคน โดยมีข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมเป็น

ค่าความผิดพลาด SIR = SIR_{th} (หน่วย dB)

- SIR ของสัญญาณที่วัดได้ที่สถานีฐานของผู้ใช้แต่ละราย (หน่วย dB)

และ

ค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR = ค่าความผิดพลาด SIR ในรอบการชักตัวอย่างที่ k

- ค่าความผิดพลาด SIR ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k-1)

ส่วนในงานวิจัยอ้างอิงที่ [20] ได้นำตัวควบคุมแบบฟัซซีมาใช้ในการควบคุมเฉพาะกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี โดยมีข้อมูลขาเข้าเป็น

ค่าความผิดพลาดกำลังสัญญาณ = ค่ากำลังสัญญาณที่กำหนด (dB)

- กำลังสัญญาณที่วัดได้ที่สถานีฐานของผู้ใช้แต่ละราย (dB)

และ

ค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดกำลังสัญญาณ = ค่าความผิดพลาดกำลังสัญญาณ ในรอบการชักตัวอย่างที่ k

- ค่าความผิดพลาดกำลังสัญญาณ ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k-1)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

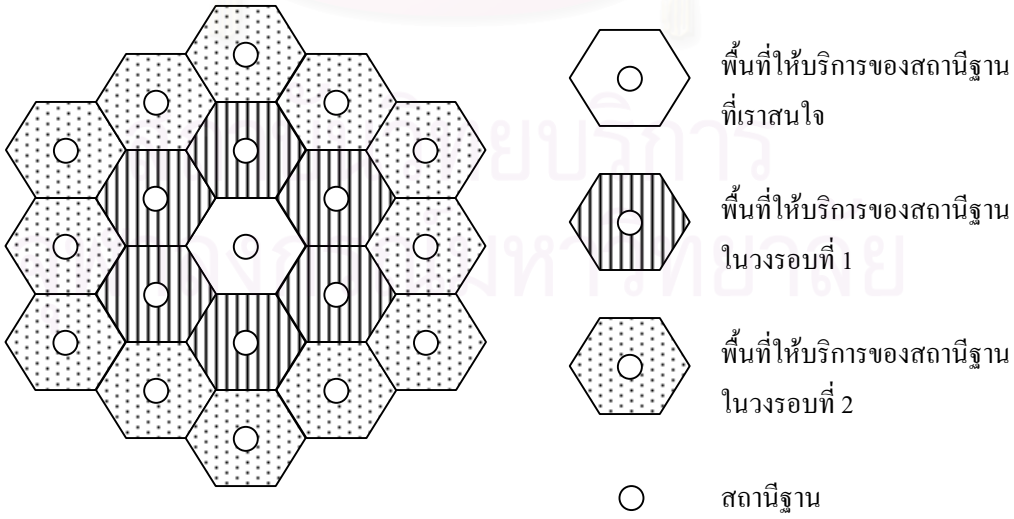
แบบจำลองระบบ

3.1 แบบจำลองระบบ และข้อกำหนดของการจำลองระบบ

ระบบที่จำลองในงานวิทยานิพนธ์นี้ เมื่อแบ่งระบบจำลองออกตามลักษณะการกำหนดจำนวนผู้ใช้ในระบบ สามารถแบ่งระบบที่จำลองออกได้เป็น 3 แบบคือ

1. ระบบจำลองที่กำหนดจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีให้มีค่าเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่
2. ระบบจำลองที่กำหนดจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีให้มีค่าเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่
3. ระบบจำลองที่กำหนดจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีให้มีค่าไม่เท่ากัน และมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

ระบบจำลองทั้ง 3 แบบจะมีข้อกำหนดแตกต่างกันเฉพาะจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน (N_{user} หน่วย คนต่อสถานีฐาน) เท่านั้นส่วนรายละเอียดและข้อกำหนดอื่นๆ จะเหมือนกันคือ แบบจำลองระบบเป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วย 19 สถานีฐาน โดยสถานีฐานแต่ละสถานีมีพื้นที่ในการให้บริการเป็นลักษณะพื้นที่หกเหลี่ยมมีรัศมีเท่ากับ 1 กิโลเมตร และมีสายอากาศแบบส่งสัญญาณรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna) ตั้งอยู่ตรงกลางในแต่ละเซลล์ดังรูปที่ 3.1.1



รูปที่ 3.1.1 พื้นที่ให้บริการ ซึ่งมีสถานีฐาน 19 สถานี

ในระบบจำลอง ผู้ใช้จะทำการติดต่อกับสถานีฐานผ่านช่องสัญญาณที่เกิดการสูญเสียในวิถี (path loss) การบังสัญญาณ (shadowing) แบบ log-normal และเกิดการเฟดดิงแบบพหุวิถี (multipath fading) โดยผู้ใช้แต่ละคนกระจายตัวอยู่ในตำแหน่งต่างๆ ของสถานีฐานอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) โดยปกติสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจะถูกผลกระทบจากเฟดดิง 2 ชนิดคือ

1. เฟดดิงระยะยาว (long-term fading) ที่เกิดจากการบดบังสัญญาณและการสูญเสียทางวิถี

2. เฟดดิงระยะสั้น (short-term fading) ที่เกิดจากการแพร่กระจายพหุวิถี (multipath propagation) ดังนั้นกำลังสัญญาณที่ได้รับที่สถานีฐาน (P_r) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์สามารถแสดงได้ในรูปของสมการ (3.1.1)

$$P_r = G \cdot P_t \tag{3.1.1}$$

โดย P_t คือกำลังส่งของสัญญาณ และ G คืออัตราขยายข่ายเชื่อมโยงสัญญาณ (link gain) ที่ประกอบด้วยเฟดดิงอระยะยาว (L) และเฟดดิงอระยะสั้น (S) ดังแสดงในสมการ (3.1.2)

$$G = L \cdot S \tag{3.1.2}$$

โดย P_t, P_r, G, L และ S มีหน่วยเป็นวัตต์

ถ้าพิจารณาค่า P_t, P_r และ G ในหน่วย dB ซึ่งแทนด้วย p_t, p_r และ g กำลังสัญญาณที่ได้รับที่สถานีฐาน (p_r) สามารถแสดงได้ในรูปของสมการ (3.1.3)

$$p_r = p_t + g \tag{3.1.3}$$

เฟดดิงระยะยาวเกิดจากลักษณะภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น [21] ซึ่งค่าของเฟดดิงอย่างยาวจะเป็นผลคูณระหว่างระยะทางที่ยกกำลังด้วย α กับตัวแปรเชิงสุ่มแบบ log-normal ที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ dB และมีค่าดังสมการ (3.1.4)

$$L = Ar^{-\alpha} \cdot 10^{\xi/10} \tag{3.1.4}$$

โดย A เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นกับพารามิเตอร์ของเครื่องรับและเครื่องส่ง ในงานวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้ A มีค่าเท่ากับ 1, r เป็นระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่, α เป็นเอ็กซ์โป-เนนท์ของการสูญเสียในวิถี และ ξ เป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้ σ เท่ากับ 8 dB และ α เท่ากับ 4 ดังเช่นในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2 และ 20]

ในงานวิจัยอ้างอิงที่ [21] แสดงให้เห็นว่าเฟดดิงระยะสั้น S(t) เกิดจากสัญญาณที่ได้รับมาจากการสะท้อนหลายทิศทางทำให้บางส่วนรวมกันและบางส่วนหักล้างกัน ปัญหานี้จะรุนแรงขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสถานีเคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ปัญหาเนื่องจากเฟดดิงพหุวิถีนี้ทำให้สัญญาณที่ได้รับมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เฟดดิงระยะสั้นมีการแจกแจงแบบนากางามิ (Nakagami-m distribution) ดังสมการ (3.1.5)

$$f_m(a) = \frac{1}{\Gamma(m)}\left(\frac{m}{\Omega}\right)^m a^{m-1}\exp\left(-\frac{m}{\Omega}a\right) \quad , \quad a \geq 0 \qquad (3.1.5)$$

โดยที่ a = กำลังของสัญญาณที่ได้รับ

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

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

Ω = ค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณที่ได้รับ = $E[a]$

t = เวลา

กรณีที่ $m = 1$ การแจกแจงแบบ Nakagami จะลดรูปลงมาเป็นแบบ Rayleigh

การหาค่าของเฟดดิงระยะสั้น จะใช้แบบจำลองของ Samuel C. Yang [22] ในการสร้างสัญญาณเฟดดิงแบบ Rayleigh โดยค่าแอมพลิจูดของสัญญาณเฟดดิงใน Time-Domain (S(t)) จะมีค่าดังสมการ (3.1.6), (3.1.7), (3.1.8) และสมการ (3.1.9)

$$|S(t)| = \sqrt{S_I^2(t) + S_Q^2(t)} \qquad (3.1.6)$$

$$S(t) = S_I(t) + jS_Q(t) \qquad (3.1.7)$$

$$S_I(t) = \sum_{n=1}^{N} S_n \cos 2\pi f_{d,n} t \qquad (3.1.8)$$

$$S_Q(t) = \sum_{n=1}^{N} S_n \sin 2\pi f_{d,n} t \qquad (3.1.9)$$

โดยที่ S(t) คือ สัญญาณเฟดดิงระยะสั้นในโดเมนเวลา

$S_I(t)$ คือ สัญญาณเฟดดิงระยะสั้นในส่วนจริง

$S_Q(t)$ คือ สัญญาณเฟดดิงระยะสั้นในส่วนจินตภาพ

S_n คือ แอมพลิจูดของสัญญาณสะท้อนวิถีที่ n

N คือ จำนวนวิถีของสัญญาณที่เกิดการสะท้อนมายังสถานีฐาน ซึ่งในการจำลองแบบจะกำหนดให้ N มีค่าเท่ากับ 8

$f_{d,n} = \frac{F_0 \times V}{C}$ คือ ความถี่ Doppler ของสัญญาณเฟดดิงระยะสั้นในวิถีที่ n

โดยที่ V คือ ความเร็วของสถานีเคลื่อนที่ กำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 6-60 กม./ชม.

F_0 คือ ความถี่กลาง (Central Frequency) ของคลื่นพาห์

C คือ ความเร็วแสง

ระบบควบคุมกำลังที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นระบบควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR โดยค่า SIR คำนวณได้จากสมการ (3.1.10) หรือสมการ (3.1.11)

$$SIR = \frac{P_r^s}{I} \qquad (3.1.10)$$

หรือ

$$SIR = p_r^s - i \qquad (3.1.11)$$

โดยที่ P_r^s และ p_r^s เป็นกำลังของสัญญาณจากสถานีเคลื่อนที่ที่สนใจซึ่งวัดได้ที่สถานีฐาน โดย P_r^s มีหน่วยเป็นวัตต์และ p_r^s มีหน่วยเป็น dB

ส่วน I และ i เป็นกำลังของสัญญาณแทรกสอดรวมที่สถานีฐานได้รับ ซึ่งเกิดจากการส่งสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่ในระบบทั้งหมด โดย I มีหน่วยเป็นวัตต์และ i มีหน่วยเป็น dB ซึ่ง I หาได้จากสมการ (3.1.12)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$I = \sum_{k=1}^{K_0 - 1} P_k^r(r_k) + \sum_{j=1}^{6} \sum_{k=1}^{K_j^{(1)}} P_{jk}^r(r_{jk}) + \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^{K_j^{(2)}} P_{jk}^r(r_{jk}) \qquad (3.1.12)$$

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 กำลังของสัญญาณที่สถานีฐานรับได้จากสถานีเคลื่อนที่อื่นในเซลล์ที่เราสนใจ (*watts*)

$P_{jk}^r(r_{jk})$ คือ กำลังของสัญญาณที่สถานีฐานรับได้จากสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์ที่อยู่ในวงรอบที่ 1 และ 2 (*watts*)

r_k คือ ระยะห่างระหว่างสถานีฐานในเซลล์ที่เราสนใจกับสถานีเคลื่อนที่ที่ k ซึ่งอยู่ในเซลล์ที่เราสนใจ

r_{jk} คือ ระยะห่างระหว่างสถานีฐานในเซลล์ที่เราสนใจกับสถานีเคลื่อนที่ที่ k ซึ่งอยู่ในเซลล์ที่ j ในเซลล์ในวงรอบที่ 1 และ 2

SIR สามารถเขียนในเทอมของ E_b / I_0 ได้ดังนี้ [1]

$$SIR = \frac{E_b}{I_0}\left(\frac{W}{R}\right)^{-1} \qquad (3.1.13)$$

โดยที่ E_b คือพลังงานเฉลี่ยต่อบิตข้อมูล 1 บิต, I_0 คือกำลังของสัญญาณแทรกสอดต่อ 1 เฮิรตซ์, R คืออัตราข้อมูลและ W คือแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ

ข้อกำหนดอื่นๆ ของการจำลองระบบได้แก่

1. กำหนดให้สถานีเคลื่อนที่ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ภายในบริเวณที่เล็กมากเสมือนอยู่กับที่ จึงถือว่าเฟดดิงระยะยาวมีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่ทำการจำลองแบบ, ความเร็วสถานีเคลื่อนที่ (V) มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มในช่วง 6-60 กม. /ชม., ความถี่คลื่นพาห์ (F_0) เท่ากับ 900 MHz, คาบเวลาของการควบคุม (T_d) เท่ากับ 2 ms ดังนั้นความถี่ Doppler (f_d) ที่ถูกนอร์มอลไลซ์ด้วยคาบเวลาของการควบคุม $f_d T_d = \frac{F_0 \times V}{C} T_d$ จึงมีค่าอยู่ในช่วง [0.01,0.1] [2] เมื่อ C คือความเร็วของแสง

($3x10^8$ m/s) ในการจำลองแบบกำหนดให้อัตราบิตข้อมูลผิดพลาดมากที่สุดที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 10^{-3} ดังนั้น E_b / I_0 จะต้องมีค่ามากกว่า 7 dB นั่นคือ ถ้าอัตราขยายประมวลผลสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum Processing Gain) เท่ากับ 128 ค่า SIR_0 จะต้องมีค่าเท่ากับ –14 dB [23]

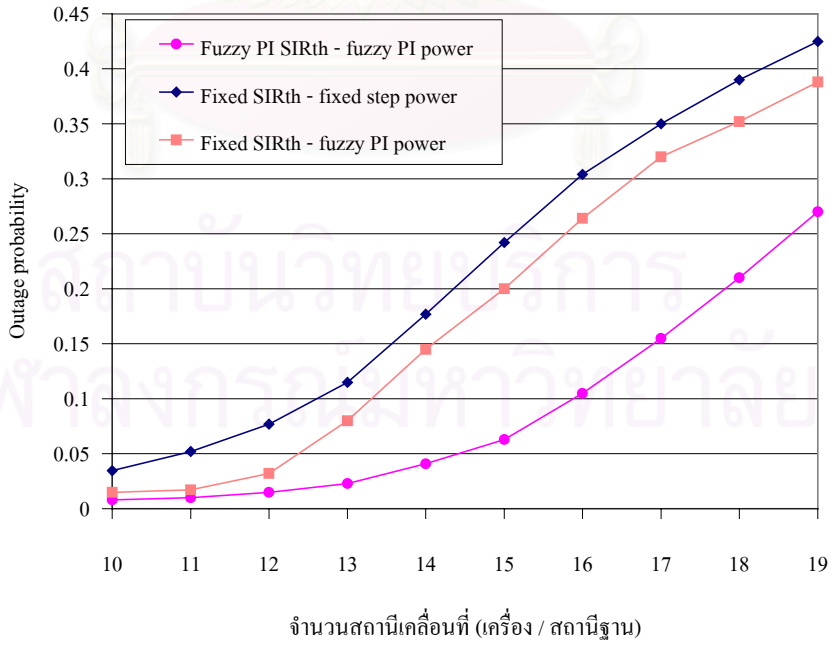
2. การปรับกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานี จะกระทำพร้อมกันในแต่ละคาบของการควบคุมกำลัง โดยสถานีเคลื่อนที่จะเริ่มทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งเท่ากับ 10 mW

3. ไม่พิจารณาผลของ Soft Handoff, Voice Activity และ Antenna Sectorization ในการจำลองแบบ

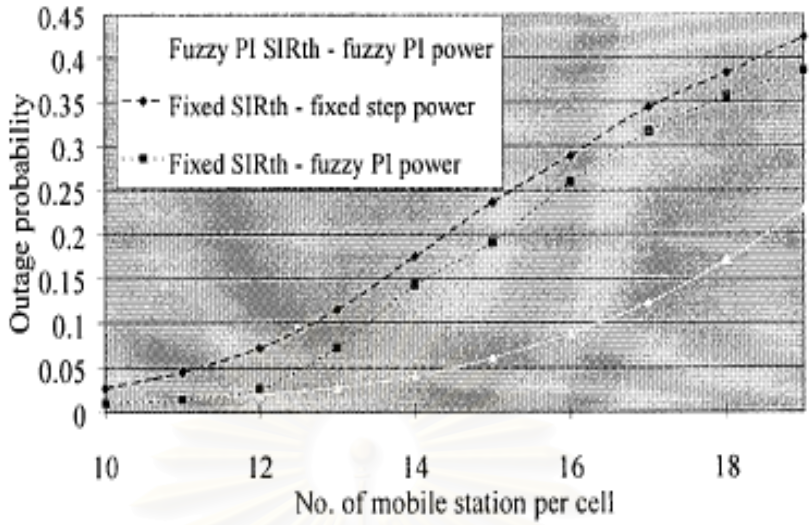
4. ทำการควบคุมกำลัง 900 รอบ โดย 200 รอบแรกใช้ในการปรับให้ระบบควบคุมกำลังเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว แล้วทำการคำนวณค่า Outage Probability ใน 700 รอบของการควบคุมถัดไป ทำการจำลองแบบทั้งหมด 50 ครั้ง แล้วหาค่า Outage Probability เฉลี่ย

3.2 การทดสอบความถูกต้องของการจำลองระบบ

ในการจำลองแบบของการควบคุมกำลัง ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อกำหนดของการจำลองแบบ โดยทำการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน ของระบบจำลองที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 3.2.1 ส่วนรูปที่ 3.2.2 เป็นกราฟที่นำมาจากงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ซึ่งแสดงความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน



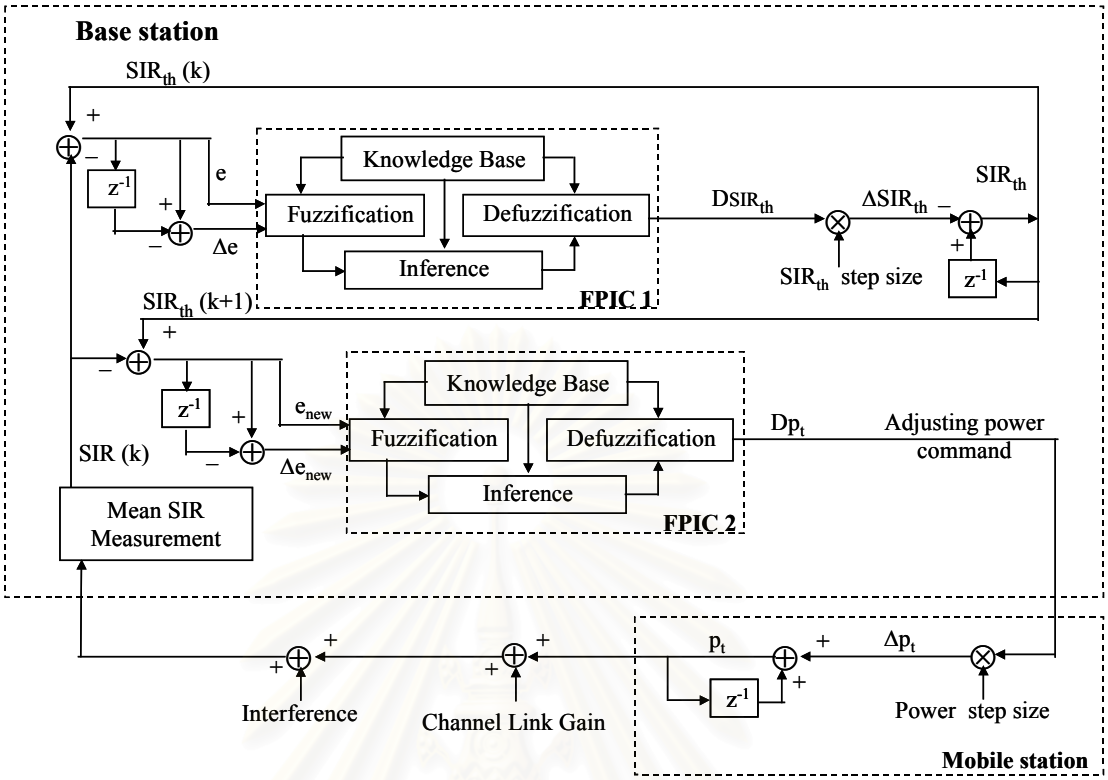
รูปที่ 3.2.1 ความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ กัน ของระบบจำลองที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังต่างๆ ที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]



รูปที่ 3.2.2 ความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่ต่างๆ ในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

ในรูปที่ 3.2.1 และ 3.2.2 วิธีการควบคุมกำลังแบบ Fuzzy PI SIR_{th} – fuzzy PI power คือ ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เป็นวิธีการควบคุมกำลังแบบวงปิดด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ (Proportional-plus-Integral Fuzzy Power Control) ที่มีสัญญาณขาเข้าเป็นความผิดพลาด (e) และการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด (Δe) SIR ของสัญญาณที่วัดได้ที่สถานีฐาน ในการควบคุมกำลังจะทำการควบคุมกำลังทั้งในส่วนของการควบคุมกำลังวงในและวงนอกในทุกๆ คาบของการควบคุมกำลังนั่นคือ การควบคุมกำลังจะทำการควบคุมทั้งกำลังส่งและ SIR_{th} ผู้ใช้แต่ละคน ($p_t^{(i)}$ และ $SIR_{th}^{(i)}$) ดังรูปที่ 3.2.3 โดยกำหนดให้การปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนสามารถกระทำได้ในช่วง [-3.6 dB, +3.6 dB] ซึ่งมีขนาดของขั้นการปรับเท่ากับ ± 0.6 dB และ SIR_{th} สามารถปรับได้ในช่วง [-11dB, -14dB] โดยมีขนาดของขั้นการปรับเท่ากับ ± 0.025 dB

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2.3 วงจรควบคุมกำลังในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

การควบคุมกำลังแบบ Fixed SIR_{th} – fixed step power เป็นการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม (Conventional power control) หรืออาจเรียกว่าการควบคุมกำลังแบบเดลตามอดูเลชัน (Delta modulation power control) ในการควบคุมกำลังจะทำการกำหนดค่า SIR_{th} ของผู้ใช้ทุกคนให้เป็นค่าคงที่ที่เท่ากัน โดยในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ –11 dB และกำหนดให้ขนาดขั้นการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่งของผู้ใช้ทุกคนก็เป็นค่าคงที่เช่นกันคือมีค่าเท่ากับ ± 1 dB

การควบคุมกำลังแบบ Fixed SIR_{th} – fuzzy PI power เป็นการควบคุมกำลังโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอในการปรับเพิ่ม – ลดเฉพาะกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน โดยขนาดของขั้นการปรับมีค่าเท่ากับ ± 0.6 dB และการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่งสามารถกระทำได้ในช่วง [-3.6 dB, +3.6 dB] แต่ค่า SIR_{th} ของผู้ใช้ทุกคนจะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ โดยในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ –11 dB

เมื่อทำการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายในรูปที่ 3.2.1 ซึ่งได้จากการจำลองระบบ และในรูปที่ 3.2.2 ซึ่งได้จากงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] พบว่าความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของการควบคุมกำลังทั้ง 3 วิธีที่แสดงในรูปทั้งสอง มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันนั่นคือ การควบคุมกำลังทั้ง 3 วิธี มีความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้ต่อ

สถานีฐานเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความนาจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของการควบคุมกำลังทั้ง 3 วิธี ในรูปที่ 3.2.2 พบว่าที่จำนวนผู้ใช้ในระบบเท่ากัน การควบคุมกำลังแบบ Fixed SIR_{th} – fixed step power หรือการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม จะมีความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายสูงกว่าการควบคุมกำลังแบบ Fixed SIR_{th} – fuzzy PI power และแบบ Fuzzy PI SIR_{th} – fuzzy PI power และการควบคุมกำลังแบบ Fuzzy PI SIR_{th} – fuzzy PI power ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] จะมีความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยที่สุด ซึ่งผลการจำลองระบบที่แสดงในรูปที่ 3.2.1 ก็มีแนวโน้มเป็นเช่นนั้นเช่นกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องพอสมควร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ

การปรับปรุงระเบียบวิธีการควบคุมกำลัง ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอที่เสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า "*การนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน และจำนวนผู้ใช้ในระบบ หรือ จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานนั้นๆ มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR (SIR-based power control) จะช่วยให้คำสั่งของการควบคุมกำลัง (power commands) มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้น*" ซึ่งจะยังผลให้ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย, ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability และอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดของสัญญาณในระบบลดลง งานวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการควบคุมกำลังทั้งหมด 3 วิธีได้แก่

1. วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ ที่มีกฎควบคุมการทำงาน 7 × 7 กฎ และทำงานร่วมกับการถ่วงน้ำหนักด้วยสมการเส้นตรง (วิธีที่เสนอวิธีที่ 1)
2. วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ ที่มีกฎควบคุมการทำงาน 7 × 7 กฎ และทำงานร่วมกับตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ที่มีกฎควบคุมการทำงาน 7 × 7 กฎ (วิธีที่เสนอวิธีที่ 2)
3. วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอ ที่มีกฎควบคุมการทำงาน 5 × 5 กฎ และทำงานร่วมกับตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ที่มีกฎควบคุมการทำงาน 5 × 5 กฎ (วิธีที่เสนอวิธีที่ 3)

4.1 วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 7 × 7 กฎ และทำงานร่วมกับการถ่วงน้ำหนักด้วยสมการเส้นตรง (วิธีที่เสนอวิธีที่ 1)

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 เป็นวิธีการควบคุมกำลังที่พัฒนาจากงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ออกแบบเพื่อทดสอบสมมุติฐานบางส่วนของงานวิทยานิพนธ์ที่ว่า "*การนำกำลังส่ง (p_i) ของผู้ใช้แต่ละคน มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้รายนั้นๆ ในระบบควบคุมกำลังแบบอ้างอิงค่า SIR (SIR-based power control) จะช่วยให้การควบคุมกำลังสามารถกระทำได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้น*" โดยผลดีที่ตามมาคือ ระบบจะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นสัญญาณขาดหาย, ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability และอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดลดลง หรือกล่าวได้ว่าคุณภาพของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ลักษณะการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 เป็นดังนี้

1. การปรับลดกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูง จะต้องกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่ใหญ่กว่าปกติ

2. การปรับเพิ่มกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูง จะต้องกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่เล็กกว่าปกติ

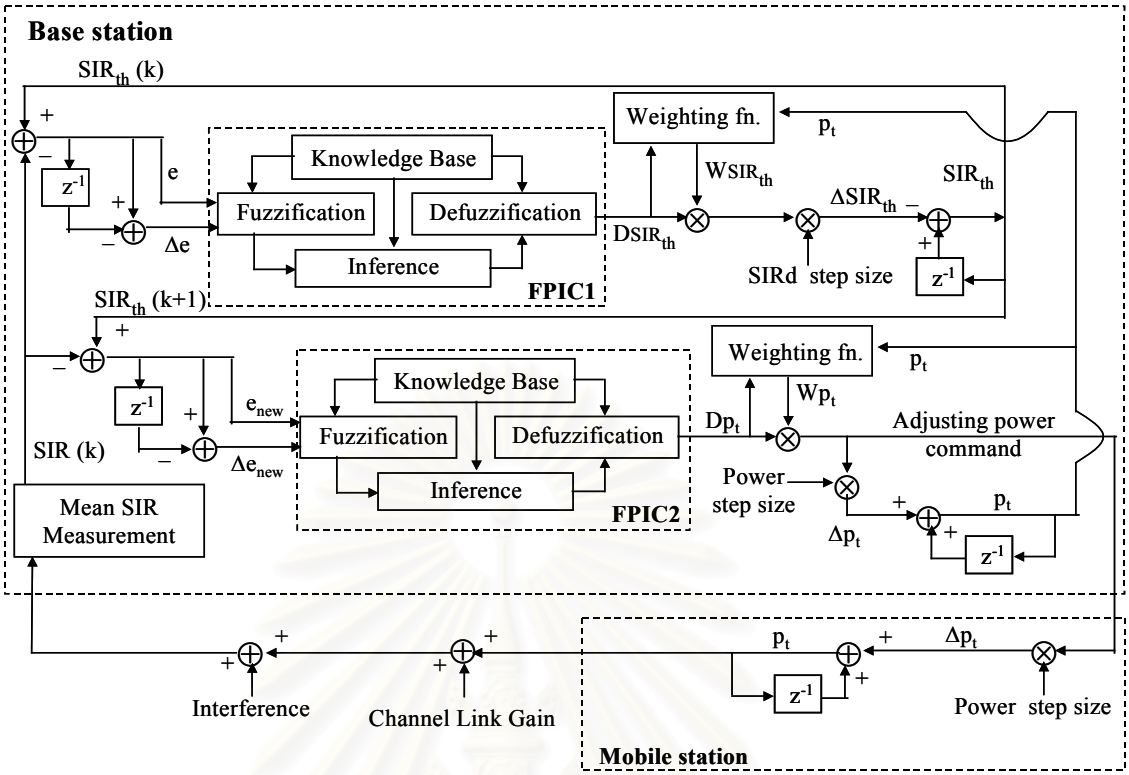
การออกแบบการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ให้มีลักษณะการทำงานดังข้างต้น กระทำเพื่อลดโอกาสการเกิดผลกระทบแบบกลุ่ม ซึ่งเกิดจากการตั้งค่า SIR_{th} และการปรับเพิ่มกำลังส่งของผู้ใช้บางคนมีค่าสูงเกินไป ผลกระทบแบบกลุ่มจะส่งผลเสียต่อระบบคือ ผู้ใช้รายอื่นต้องทำการปรับเพิ่มกำลังส่งโดยไม่จำเป็นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้กำลังสัญญาณแทรกสอดในระบบสูงขึ้นเรื่อยๆ, ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเพิ่มขึ้น, ความจุระบบลดลง, และคุณภาพสัญญาณต่ำลง ดังนั้นหากเราสามารถลดความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มได้ ผลดีที่ตามมาคือ

1. คุณภาพสัญญาณสูงขึ้น เพราะค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายลดลง และเป็นผลให้อัตราบิตข้อมูลผิดพลาดของสัญญาณในระบบลดลง

2. ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ลดลง ทำให้โอกาสเกิดผลกระทบแบบกลุ่มน้อย เป็นผลให้การเพิ่มกำลังโดยไม่จำเป็นลดลง จึงทำให้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของสถานีเคลื่อนที่สามารถใช้ได้นานมากขึ้น และระบบควบคุมกำลังมีเสถียรภาพมากขึ้น

3. ความจุระบบสูงขึ้น เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดในระบบลดลง ซึ่งเป็นผลจากการลดการเพิ่มกำลังโดยไม่จำเป็นลง

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 มีวงจรการทำงานดังรูปที่ 4.1.1 โดยในรูปที่ 4.1.1 $D_{SIR_{th}}$ และ Dp_t คือแฟคเตอร์การปรับเพิ่ม–ลดSIR_{th} และกำลังส่ง (Adjusting SIR_{th} & power factors) ซึ่งเป็นข้อมูลขาออกของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ (Fuzzy Proportional-plus-Integral Controller: FPIC) ตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ, Weighting function คือสมการที่ใช้คำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับถ่วงน้ำหนัก $D_{SIR_{th}}$และ Dp_t ซึ่งข้อมูลขาออกของ FPIC โดยสมการของค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้เป็นสมการเชิงเส้น (Linear function), $W_{SIR_{th}}$ และ Wp_t คือค่าถ่วงน้ำหนักแฟคเตอร์การปรับเพิ่ม–ลด SIR_{th} และกำลังส่ง, ΔSIR_{th}และ Δp_t คือค่าการปรับเพิ่ม–ลด SIR_{th} และกำลังส่ง และ Adjusting power command คือคำสั่งการควบคุมกำลังที่ส่งจากสถานีฐานไปยังสถานีเคลื่อนที่ เพื่อสั่งให้สถานีเคลื่อนที่ของผู้ใช้แต่ละคนทำการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่งของตน



รูปที่ 4.1.1 วงจรควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1

4.1.1 ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ

ลักษณะการทำงาน, ข้อมูลขาเข้า / ข้อมูลขาออก และรายละเอียดต่างๆ ของ FPIC ทั้ง 2 ตัว จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ FPIC ที่ใช้ในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] การกำหนดให้รายละเอียดต่างๆ ของ FPIC ที่ใช้ในการจำลองระบบให้มีลักษณะเช่นเดียวกับ FPIC ที่ใช้ในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] กระทำเพื่อต้องการให้ผลการจำลองระบบสามารถยืนยันได้ว่า สมรรถนะของระบบที่ดีขึ้นเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 เป็นผลจากการนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนมาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบจริงๆ ไม่ใช่เป็นผลจากการปรับปรุงกฎการทำงานของ FPIC

ลักษณะการทำงาน, ข้อมูลขาเข้า / ข้อมูลขาออก และรายละเอียดต่างๆ ของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 เป็นดังนี้

- **ฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification)**

ทำการแปลงค่าจุด (Crisp value) แต่ละจุดของข้อมูลขาเข้าที่เป็นตัวแปรสเตตของกระบวนการให้เป็นฟัซซีเซต แล้วส่งต่อไปยังเครื่องอนุมาน โดยฟัซซีเซตของข้อมูลขาเข้าของ

FPIC ตัวที่ 1 คือ ความผิดพลาด SIR และการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR (SIR error และ SIR error change แทนด้วย e และ Δe) ส่วนฟัซซีเซตของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 2 คือ ความผิดพลาด SIR ที่คำนวณขึ้นใหม่ และการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR ที่คำนวณขึ้นใหม่ (new SIR error และ new SIR error change แทนด้วย e_{new} และ Δe_{new}) โดยมีสมาชิกในเซตดังนี้

e $\in$ {Large Negative (LN), Medium Negative (MN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Medium Positive (MP), Large Positive (LP)}

แทนด้วย {A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17}

Δe $\in$ {Large Negative (LN), Medium Negative (MN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Medium Positive (MP), Large Positive (LP)}

แทนด้วย {A21, A22, A23, A24, A25, A26, A27}

e_{new} $\in$ {Large Negative (LN), Medium Negative (MN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Medium Positive (MP), Large Positive (LP)}

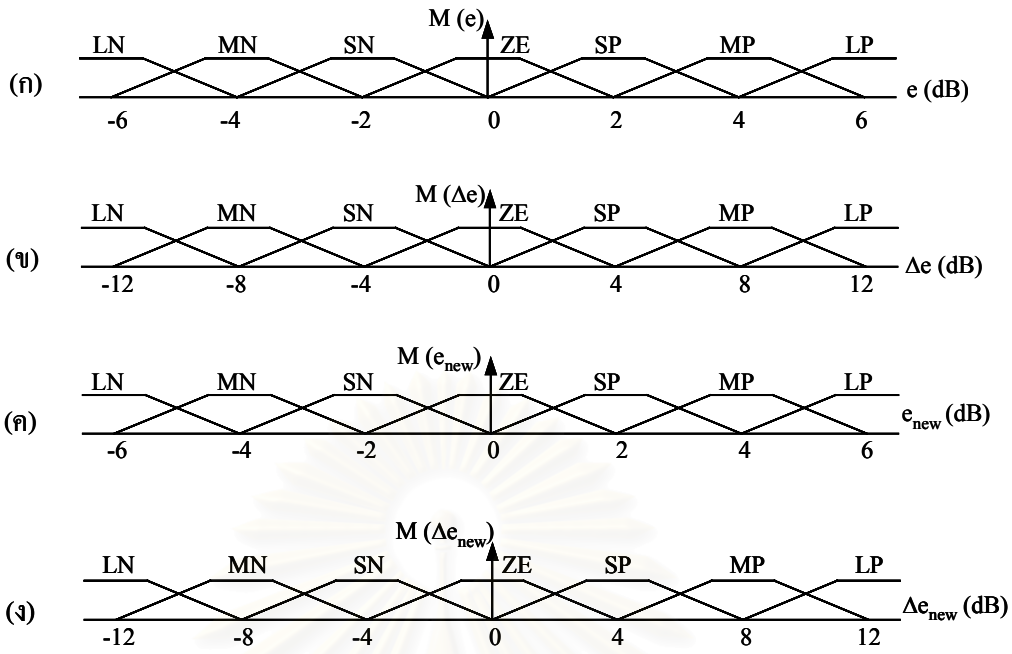
แทนด้วย {A31, A32, A33, A34, A35, A36, A37}

Δe_{new} $\in$ {Large Negative (LN), Medium Negative (MN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Medium Positive (MP), Large Positive (LP)}

แทนด้วย {A41, A42, A43, A44, A45, A46, A47}

การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function: M) จะกระทำดังรูปที่ 4.1.1.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1.1.1 (ก) และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 1 (e และ Δe)
(ค) และ (ง) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 2 (e_{new} และ Δe_{new})

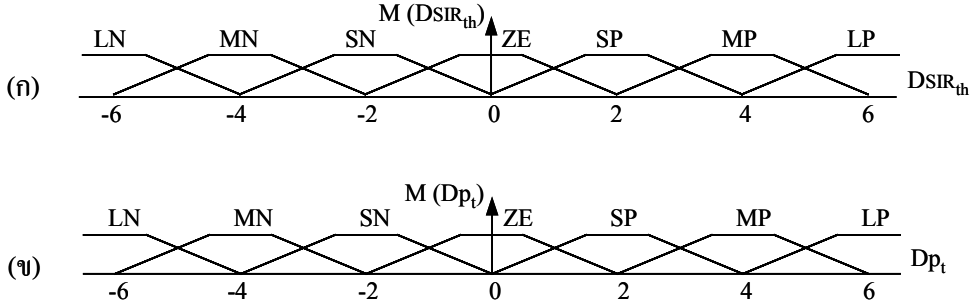
- **ฐานกฎ (Knowledge Base)**

เป็นกฎควบคุมเชิงภาษา (Linguistic control rule) ที่ทำให้ผลตอบสนองทางเวลาของระบบควบคุมแบบวงปิดลู่เข้าสู่ผลเฉลยหรือค่าที่กำหนด [11] ลักษณะของฐานกฎจะเป็นการกำหนดเงื่อนไขด้วยนิพจน์ “ถ้า e เป็น A1 และ Δe เป็น A2 แล้ว $D_{SIR_{th}}$ เป็น B1” และนิพจน์ “ถ้า e_{new} เป็น A3 และ Δe_{new} เป็น A4 แล้ว Dp_t เป็น B2” โดย $D_{SIR_{th}}$ เป็นข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ Dp_t เป็นข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 2 ซึ่งค่าทั้งสองมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

$D_{SIR_{th}} \in$ {Large Negative (LN), Medium Negative (MN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Medium Positive (MP), Large Positive (LP)}
แทนด้วย {B11, B12, B13, B14, B15, B16, B17}

$Dp_t \in$ {Large Negative (LN), Medium Negative (MN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Medium Positive (MP), Large Positive (LP)}
แทนด้วย {B21, B22, B23, B24, B25, B26, B27}

ข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังรูปที่ 4.1.1.2



รูปที่ 4.1.1.2 (ก) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 ($DSIR_{th}$)
(ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 2 (Dp_t)

และฐานกฎที่ใช้ควบคุมการทำงานของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 เป็นดังตารางที่ 4.1.1.1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1.1.1 (ก) ฐานกฎของ FPIC ตัวที่ 1 (ข) ฐานกฎของ FPIC ตัวที่ 2

(ก)

Δe \ e	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	LN	LN	MN	MN	SN	SN	ZE
MN	LN	MN	MN	SN	SN	ZE	SP
SN	MN	MN	SN	SN	ZE	SP	SP
ZE	MN	SN	SN	ZE	SP	SP	MP
SP	SN	SN	ZE	SP	SP	MP	MP
MP	SN	ZE	SP	SP	MP	MP	LP
LP	ZE	SP	SP	MP	MP	LP	LP

(ข)

Δe_{new} \ e_{new}	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	LN	LN	MN	MN	SN	SN	ZE
MN	LN	MN	MN	SN	SN	ZE	SP
SN	MN	MN	SN	SN	ZE	SP	SP
ZE	MN	SN	SN	ZE	SP	SP	MP
SP	SN	SN	ZE	SP	SP	MP	MP
MP	SN	ZE	SP	SP	MP	MP	LP
LP	ZE	SP	SP	MP	MP	LP	LP

- **การอนุมาน (Inference)**

เป็นการนำข้อมูลขาเข้าของ FPIC ที่อยู่ในรูปของฟัซซีเซต มาเปรียบเทียบกับกฎควบคุมการทำงานที่ได้ออกแบบไว้ โดยวิธีการอนุมานที่ใช้เป็นการอนุมานแบบค่าสูงสุด–ค่าต่ำสุด (Max-Min Inference) ซึ่งมีวิธีการทำงานดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 2 ของวิทยานิพนธ์

- **ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)**

ดีฟัซซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนค่าข้อมูลขาออกของ FPIC เป็นค่าทางกายภาพที่ใช้ในการควบคุมระบบ ดีฟัซซิฟิเคชันที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะกระทำโดยการใช้วิธีจุดศูนย์ถ่วงดังสมการ (2.5.4.2) ซึ่งเหมือนกันกับดีฟัซซิฟิเคชันที่ใช้ในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

- **ตารางค่าการตัดสินใจ (Decision Value Table)**

ตารางค่าการตัดสินใจ เป็นตารางที่สร้างจากการควอนไตซ์ข้อมูลแบบจุดของข้อมูลขาเข้าแล้วนำข้อมูลขาเข้าเหล่านี้มาป้อนสู่ FPIC ที่ออกแบบเพื่อคำนวณหาข้อมูลขาออก โดยการคำนวณจะกระทำโดยอ้างอิงจากฐานกฎของ FPIC ที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นนำข้อมูลขาเข้าและขาออกเหล่านี้มาสร้างเป็นตารางค่าการตัดสินใจเพื่อทำให้การประมวลผลของ FPIC เร็วขึ้น [20] โดยการควอนไตซ์ข้อมูลแบบจุดของข้อมูลขาเข้าและขาออกจะกระทำดังตารางที่ 4.1.1.2 ส่วนตารางค่าการตัดสินใจจะเป็นดังตารางที่ 4.1.1.3

ตารางที่ 4.1.1.2 ตารางการควอนไตซ์ข้อมูลขาเข้าและขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2

e (dB)	Δ e (dB)	e_{new} (dB)	Δe_{new} (dB)	D_{SIRth}	Dp	Quantization Level
-6	-12	-6	-12	-6	-6	-6
-5	-10	-5	-10	-5	-5	-5
-4	-8	-4	-8	-4	-4	-4
-3	-6	-3	-6	-3	-3	-3
-2	-4	-2	-4	-2	-2	-2
-1	-2	-1	-2	-1	-1	-1
0	0	0	0	0	0	0
1	2	1	2	1	1	1
2	4	2	4	2	2	2
3	6	3	6	3	3	3
4	8	4	8	4	4	4
5	10	5	10	5	5	5
6	12	6	12	6	6	6

ตารางที่ 4.1.1.3 (ก) ตารางค่าการตัดสินใจของ FPIC ตัวที่ 1

(ข) ตารางค่าการตัดสินใจของ FPIC ตัวที่ 2

(ก)

Δe \ e	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6	-6	-6	-5	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0
-5	-6	-6	-5	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1
-4	-6	-5	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2
-3	-5	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2
-2	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2
-1	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3
0	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4
1	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4
2	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4
3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5
4	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6
5	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6
6	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6	6

(ข)

Δe_{new} \ e_{new}	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6	-6	-6	-5	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0
-5	-6	-6	-5	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1
-4	-6	-5	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2
-3	-5	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2
-2	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2
-1	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3
0	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4
1	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4
2	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4
3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5
4	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6
5	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6
6	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6	6

4.1.2 การปรับเพิ่ม–ลด SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคน

ค่า SIR_{th} ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k+1) ($SIR_{th}^{(i)}(k+1)$) มาจาก

$$SIR_{th}^{(i)}(k+1) = SIR_{th}^{(i)}(k) - (\Delta SIR_{th}^{(i)}(k+1)) \quad (4.1.2.1)$$

โดย $$\Delta SIR_{th}^{(i)}(k+1) = W_{SIR_{th}}^{(i)}(k) \times D_{SIR_{th}}^{(i)}(k+1) \times (SIR_{th} \text{ step size}) \quad (4.1.2.2)$$

ซึ่ง $SIR_{th}^{(i)}(k)$ คือ SIR_{th} ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k

$\Delta SIR_{th}^{(i)}(k+1)$ คือขนาดการปรับเพิ่ม–ลด SIR_{th} ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k+1)

$W_{SIR_{th}}^{(i)}(k)$ คือค่าถ่วงน้ำหนัก $D_{SIR_{th}}$ ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k)

$D_{SIR_{th}}^{(i)}(k+1)$ คือค่าการปรับเพิ่ม–ลด SIR_{th} ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k+1) ซึ่งเป็นข้อมูลด้านออกของ FPIC ตัวที่ 1

และ SIR_{th} step size คือขนาดของขั้นการปรับเพิ่ม–ลด SIR_{th} ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเป็น 0.025 dB

โดยข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 1 คือค่าความผิดพลาด SIR (แทนด้วย e) และค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR (แทนด้วย Δe) ค่า e และ Δe ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k คำนวณได้จาก

$$e^{(i)}(k) = SIR_{th}^{(i)}(k) - SIR^{(i)}(k) \quad (4.1.2.3)$$

และ

$$\Delta e^{(i)}(k) = e^{(i)}(k) - e^{(i)}(k-1) \quad (4.1.2.4)$$

4.1.3 การปรับเพิ่ม–ลด กำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน

$Dp_t^{(i)}(k+1)$ คือคำสั่งการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่งของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k+1) ซึ่งเป็นข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 2 โดย FPIC นี้จะประมวลผลเพื่อหาค่า $Dp_t^{(i)}(k+1)$ หลังจากที่ FPIC ตัวที่ 1 ได้ทำการคำนวณ $SIR_{th}^{(i)}(k+1)$ แล้ว โดยนำค่า SIR ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k ($SIR^{(i)}(k)$) ที่วัดได้ที่สถานีฐานมาเปรียบเทียบกับ SIR_{th} ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k+1) ($SIR_{th}^{(i)}(k+1)$) เพื่อใช้เป็นข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 2 ดังสมการ

$$e_{new}^{(i)}(k) = SIR_{th}^{(i)}(k+1) - SIR^{(i)}(k) \quad (4.1.3.1)$$

$$\Delta e_{new}^{(i)}(k) = e_{new}^{(i)}(k) - e_{new}^{(i)}(k-1) \quad (4.1.3.2)$$

โดย $e_{new}^{(i)}(k)$ คือความผิดพลาด หรือความต่างระหว่าง $SIR^{(i)}(k)$ กับ $SIR_{th}^{(i)}(k+1)$ ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k

$\Delta e_{new}^{(i)}(k)$ คือการเปลี่ยนแปลงของ e_{new} ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k กับ (k-1)

จากนั้นนำ $e_{new}^{(i)}(k)$ และ $\Delta e_{new}^{(i)}(k)$ ไปใช้เป็นข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 2 เพื่อประมวลผลหาค่า $Dp_t^{(i)}(k+1)$ แล้วนำค่า $Dp_t^{(i)}(k+1)$ ดังกล่าว มาหาค่ากำลังส่งของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k+1) ซึ่งแทนด้วย ($p_t^{(i)}(k+1)$) และคำนวณได้จาก

$$p_t^{(i)}(k+1) = p_t^{(i)}(k) + (\Delta p_t^{(i)}(k+1)) \quad (4.1.3.3)$$

โดย $$\Delta p_t^{(i)}(k+1) = Wp_t^{(i)}(k) \times Dp_t^{(i)}(k+1) \times (\text{Power step size}) \quad (4.1.3.4)$$

ซึ่ง $p_t^{(i)}(k)$ คือกำลังส่งของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k

$\Delta p_t^{(i)}(k+1)$ คือขนาดการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่งของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k+1)

Power step size คือขนาดของขั้นการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่ง ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 0.6 dB

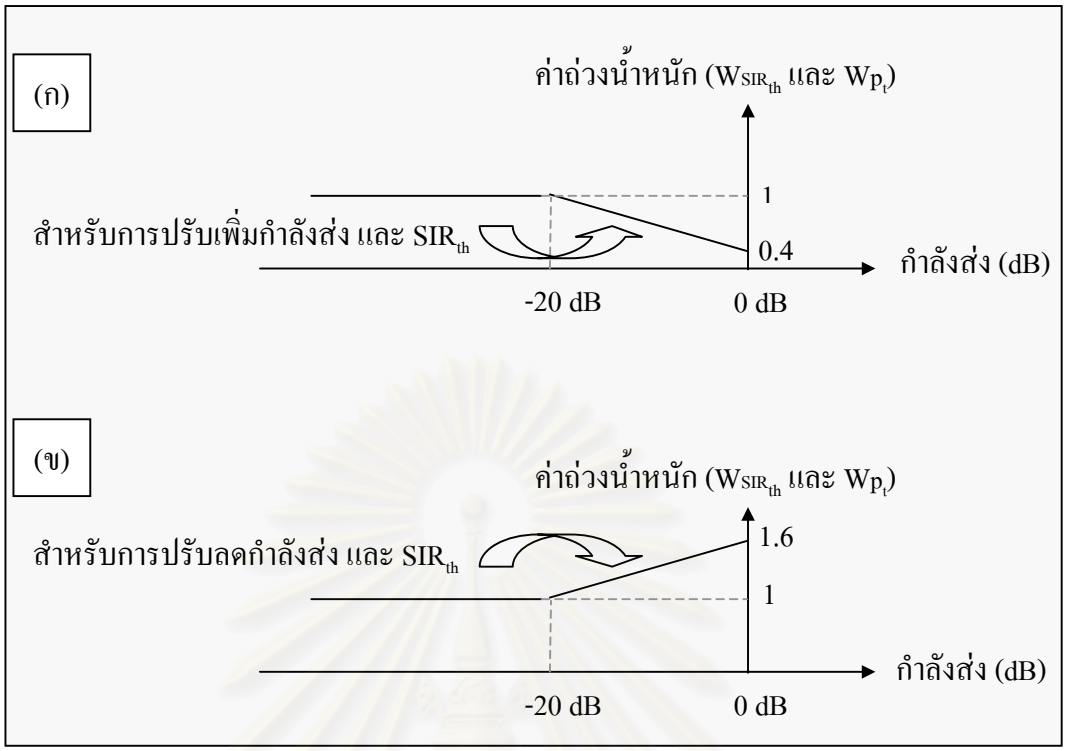
$Wp_t^{(i)}(k) \times Dp_t^{(i)}(k+1)$ คือค่าการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่งของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k+1) ที่ถูกถ่วงน้ำหนักแล้ว หรืออาจเรียกว่าคำสั่งการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ (Adjusting Power Command) ซึ่งสถานีฐานจะส่ง Adjusting Power Command นี้ไปยังสถานีเคลื่อนที่เพื่อสั่งให้สถานีเคลื่อนที่นั้นๆ ทำการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่งตามคำสั่ง

$Wp_t^{(i)}(k)$ คือค่าถ่วงน้ำหนักกำลังส่งของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k)

และ $Dp_t^{(i)}(k+1)$ คือค่าการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่งของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ (k+1) ซึ่งเป็นข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 2 ซึ่งมี $e_{new}^{(i)}(k)$ และ $\Delta e_{new}^{(i)}(k)$ เป็นข้อมูลขาเข้า

4.1.4 สมการเชิงเส้นสำหรับการถ่วงน้ำหนัก

จากรูปวงจรการทำงานที่ 4.1.1 และรูปที่ 3.2.3 จะเห็นว่า ส่วนที่เพิ่มขึ้นมาในวงจรควบคุมกำลังตามรูปที่ 4.1.1 คือ การถ่วงน้ำหนักข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 ด้วยสมการเชิงเส้นซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.1.4.1



รูปที่ 4.1.4.1 (ก) และ (ข) สมการเชิงเส้นที่ใช้คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่งและ SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคน

จากรูป 4.1.4.1 จะเห็นว่าในงานวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้ความชันของสมการถ่วงน้ำหนักที่ใช้มีค่าเท่ากับ $\pm$ 0.03 per dB และกำลังส่งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0 dB ส่วนค่าน้ำหนักที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักข้อมูลด้านออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 นั้นสามารถแสดงในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ถ้า $p_t^{(i)}$ มีค่าน้อยกว่า –20 dB

$$W_{SIR_{th}}^{(i)}(k) \text{ และ } Wp_t^{(i)}(k) = 1 \qquad (4.1.4.1)$$

ถ้า $p_t^{(i)}$ มีค่ามากกว่า –20 dB

$$W_{SIR_{th}}^{(i)}(k) \text{ หรือ } Wp_t^{(i)}(k) = (\text{Slope} \times p_t^{(i)}(k)) + 0.4 \qquad (4.1.4.2)$$

และ

$$Wp_t^{(i)}(k) \text{ หรือ } W_{SIR_{th}}^{(i)}(k) = (\text{Slope} \times p_t^{(i)}(k)) + 1.6 \qquad (4.1.4.3)$$

$W_{SIR_{th}}^{(i)}(k)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k

$Wp_t^{(i)}(k)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k

Slope คือความชันของสมการถ่วงน้ำหนัก ในงานวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ $\pm$ 0.03 per dB

$p_t^{(i)}(k)$ คือกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ของผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k ซึ่งสถานีฐานสามารถทราบกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ของ ผู้ใช้คนที่ i ในรอบการชักตัวอย่างที่ k ใดๆ ได้โดยไม่จำเป็นต้องมีการส่งข้อมูลระหว่างสถานีเคลื่อนที่และสถานีฐาน เนื่องจากในระบบจำลองเรากำหนดให้สถานีเคลื่อนที่เริ่มทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่มีขนาดเท่ากับ –20 dB แล้วค่อยทำการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งเรื่อยๆ ตามคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งที่ส่งมาจากสถานีฐาน ดังนั้นเมื่อสถานีฐานเป็นตัวส่งคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานีเอง สถานีฐานจึงสามารถนำคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่เหล่านั้น มาปรับข้อมูลเกี่ยวกับกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละเครื่องที่เก็บไว้ในสถานีฐานได้

จากรูปที่ 4.1.4.1 จะเห็นว่าในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักจะทำการตรวจสอบก่อนว่าระบบควบคุมกำลังจะทำการปรับเพิ่มหรือลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} การตรวจสอบดังกล่าวสามารถกระทำได้โดย

1. ถ้า $D_{SIR_{th}}^{(i)}$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ แสดงว่า FPIC ตัวที่ 1 จะทำการสั่งให้สถานีฐานปรับลดค่า SIR_{th} ของผู้ใช้คนที่ i ลง ถ้า $D_{SIR_{th}}^{(i)}$ มีค่าน้อยศูนย์ แสดงว่า FPIC ตัวที่ 1 จะทำการสั่งให้สถานีฐานปรับเพิ่มค่า SIR_{th} ของผู้ใช้คนที่ i ขึ้น

2. ถ้า $Dp_t^{(i)}$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ แสดงว่า FPIC ตัวที่ 2 จะทำการสั่งให้สถานีเคลื่อนที่ทำการปรับเพิ่มกำลังส่งขึ้น ถ้า $Dp_t^{(i)}$ มีค่าน้อยศูนย์ แสดงว่า FPIC ตัวที่ 2 จะทำการสั่งให้สถานีเคลื่อนที่ทำการปรับลดกำลังส่งลง

$W_{SIR_{th}}$ และ Wp_t คือค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting Values) ของ $D_{SIR_{th}}$ และ Dp_t ซึ่งเป็นข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากข้างต้นเราได้ทราบแล้วว่า คำสั่งการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่ง และ SIR_{th} มักจะเป็นคำสั่งที่ตรงข้ามกันคือ ถ้าระบบควบคุมกำลังออกคำสั่งให้สถานีเคลื่อนที่เครื่องใดทำการปรับเพิ่มกำลังส่ง สถานีฐานก็มักจะทำการปรับลด SIR_{th} ของผู้ใช้รายนั้นลง การถ่วงน้ำหนักค่าการปรับเพิ่ม–ลด SIR_{th} และกำลังส่งก็มักจะกระทำแบบตรงกันข้ามด้วยเช่นเดียวกันนั่นคือ ในกรณีที่สถานีเคลื่อนที่ทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงและสถานีฐานทำการปรับลด

SIR_{th} ของสถานีเคลื่อนที่เครื่องนั้นลง สถานีฐานจะทำการถ่วงน้ำหนักค่าการปรับลด SIR_{th} ($D_{SIR_{th}}$) ด้วย $W_{SIR_{th}}$ ที่มีค่ามากกว่า 1 ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (4.1.4.3) เพื่อทำให้ค่าการปรับลด SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูงมีค่ามากกว่าปกติ จากนั้นสถานีฐานก็จะออกคำสั่งให้สถานีเคลื่อนที่เครื่องนั้นทำการปรับเพิ่มกำลังส่ง โดยสถานีฐานจะทำการถ่วงน้ำหนักค่าการปรับเพิ่มกำลังส่ง (D_{p_t}) ด้วย W_{p_t} ที่มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (4.1.4.2) เพื่อทำให้ค่าการปรับเพิ่มกำลังส่งของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูงมีค่าน้อยกว่าปกติ

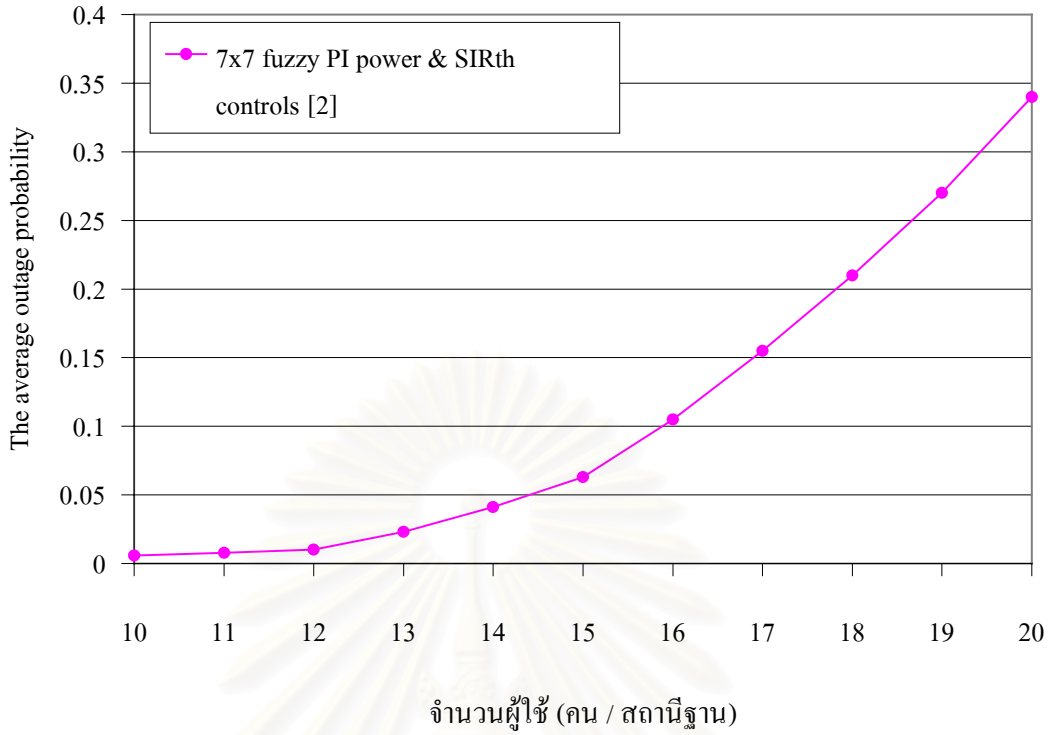
แต่การใช้งานค่าถ่วงน้ำหนักดังกล่าวอาจไม่สามารถนำมาใช้งานได้จริง เนื่องจากการใช้งานค่าถ่วงน้ำหนักโดยไม่ทำการควอนไตซ์ ระบบควบคุมกำลังจะต้องใช้งานบิตข้อมูลการควบคุมกำลัง (Power control bit) จำนวนหลายบิตมากในการส่งคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งจากสถานีฐานไปยังสถานีเคลื่อนที่ ทำให้สิ้นเปลืองบิตที่ใช้ในการส่งข้อมูล ดังนั้นค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 นี้ จะใช้งานค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ (4.1.4.2) และสมการ (4.1.4.3) แล้วทำการควอนไตซ์ให้มีค่าการถ่วงน้ำหนักทั้งหมด 13 ระดับได้แก่ (0.4, 0.3, 0.2, …, 1, …, 1.4, 1.5 และ 1.6)

หลักการทำงานของตัวถ่วงน้ำหนักแบบเชิงเส้นสามารถสรุปได้ดังนี้

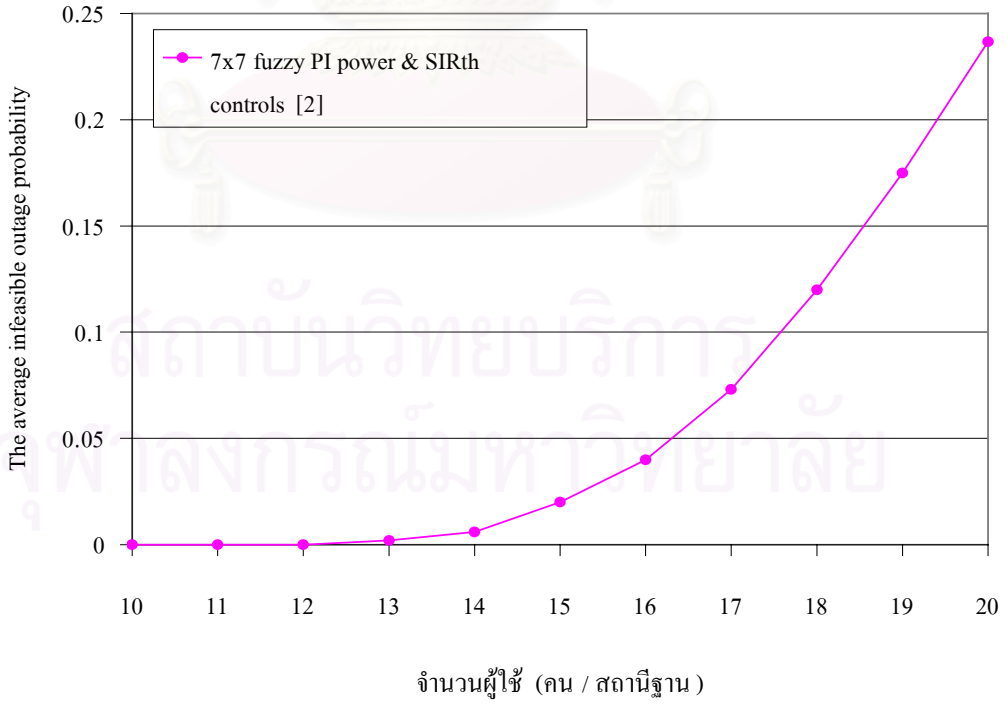
1. การถ่วงน้ำหนัก $D_{SIR_{th}}$ และ D_{p_t} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งต่ำ (คือมีกำลังส่ง < –20 dB) ค่าถ่วงน้ำหนักจะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ

2. การถ่วงน้ำหนัก $D_{SIR_{th}}$ และ D_{p_t} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูง (คือมีกำลังส่ง ≥ –20 dB) ค่าถ่วงน้ำหนักสามารถคำนวณได้จากสมการ (4.1.4.2) และสมการ (4.1.4.3) แล้วทำการควอนไตซ์ให้มีค่าการถ่วงน้ำหนักทั้งหมด 13 ระดับ

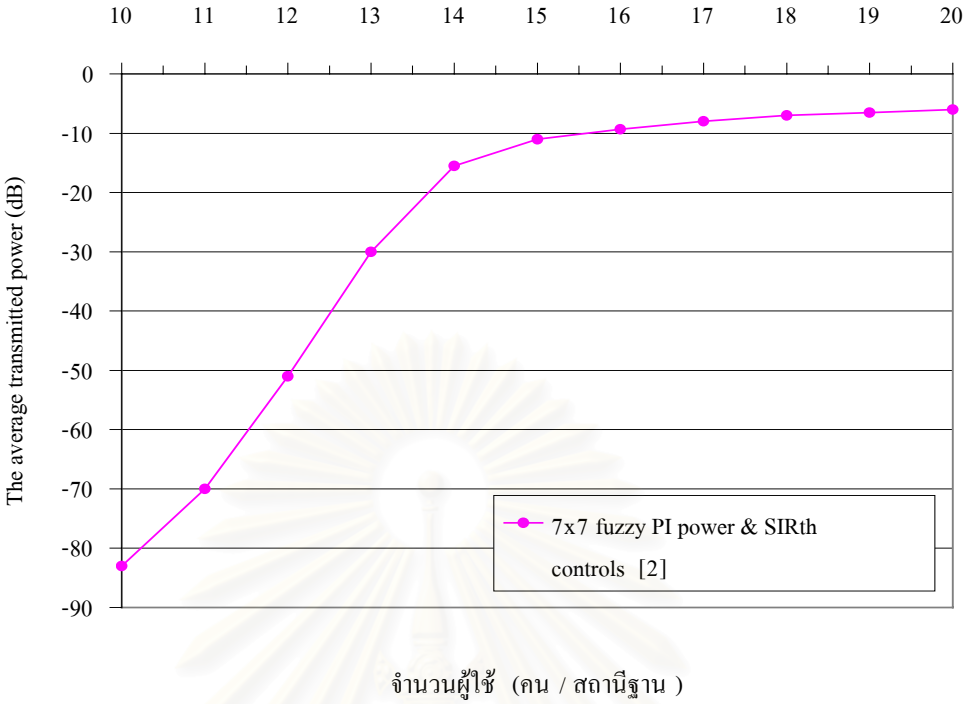
ค่ากำลังส่ง –20 dB ที่ใช้เป็นเกณฑ์การแบ่งกลุ่มผู้ใช้ออกเป็นกลุ่มผู้ใช้ที่มีกำลังส่งต่ำและกลุ่มผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูง ได้มาจากการจำลองระบบตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] แล้วพิจารณาผลการจำลองระบบดังกล่าว จากรูปที่ 4.1.4.2 และ 4.1.4.3 จะเห็นว่าระเบียบวิธีการควบคุมกำลังอ้างอิง [2] เริ่มมีค่าเฉลี่ย Outage probability และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability สูงขึ้นเมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้ 13–14 คนต่อสถานีฐาน เมื่อพิจารณากำลังส่งเฉลี่ยที่แสดงในรูปที่ 4.1.4.4 ที่จำนวนผู้ใช้ดังกล่าว ระบบมีกำลังส่งเฉลี่ยเท่ากับ –30 dB และ –15.5 dB ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกกำลังส่งที่มีค่าเท่ากับ –20 dB ซึ่งเป็นค่าในช่วง [-30 dB, -15.5 dB] เป็นค่ากำลังส่งที่ใช้แยกผู้ใช้ที่ส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งสูงและต่ำออกจากกัน โดยกำหนดให้ผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูงกว่า –20 dB เป็นผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูง



รูปที่ 4.1.4.2 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]



รูปที่ 4.1.4.3 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]



รูปที่ 4.1.4.4 ค่าเฉลี่ยกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ในระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

4.2 วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 7 × 7 กฎ และทำงานร่วมกับการถ่วงน้ำหนักด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีที่เสนอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 7 × 7 กฎ (วิธีที่เสนอวิธีที่ 2)

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 เป็นวิธีการควบคุมกำลังที่พัฒนาจากงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ออกแบบเพื่อยืนยันสมมุติฐานของงานวิทยานิพนธ์ที่ว่า "*การนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน และจำนวนผู้ใช้ในระบบ หรือจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานนั้นๆ มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่งและค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR จะช่วยทำให้คำสั่งของการควบคุมกำลัง มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้น*" ว่าเป็นจริง โดยผลดีที่ตามมาเมื่อคำสั่งการควบคุมกำลังมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากขึ้นคือ ระบบจะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นสัญญาณขาดหายและค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ลดลง ซึ่งเป็นผลให้คุณภาพสัญญาณสูงขึ้น ระบบควบคุมกำลังมีเสถียรภาพมากขึ้น และความจุระบบเพิ่มขึ้น

ลักษณะการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 เป็นดังนี้

1. การปรับลดกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูง จะกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่ใหญ่กว่าปกติ

2. การปรับเพิ่มกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูง จะกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่เล็กกว่าปกติ

3. กรณีที่ระบบมีจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานน้อย การปรับลดกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งต่ำ สามารถกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่เล็กกว่าปกติได้

4. กรณีที่ระบบมีจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานน้อย การปรับเพิ่มกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งต่ำ สามารถกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่ใหญ่กว่าปกติได้

การออกแบบการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ให้มีลักษณะการทำงานดังข้อที่ 1 และ 2 นั้น มีจุดประสงค์เช่นเดียวกับการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 คือจะกระทำเพื่อลดความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่ม ส่วนลักษณะการทำงานดังข้อที่ 3 และ 4 นั้น มีจุดประสงค์คือการทำให้ค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคน และค่า SIR ที่วัดได้ที่สถานีฐานในกรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานน้อย มีค่ามากกว่าปกติ เพื่อทำให้สัญญาณสามารถทนต่อเฟดดิงได้ดีขึ้น

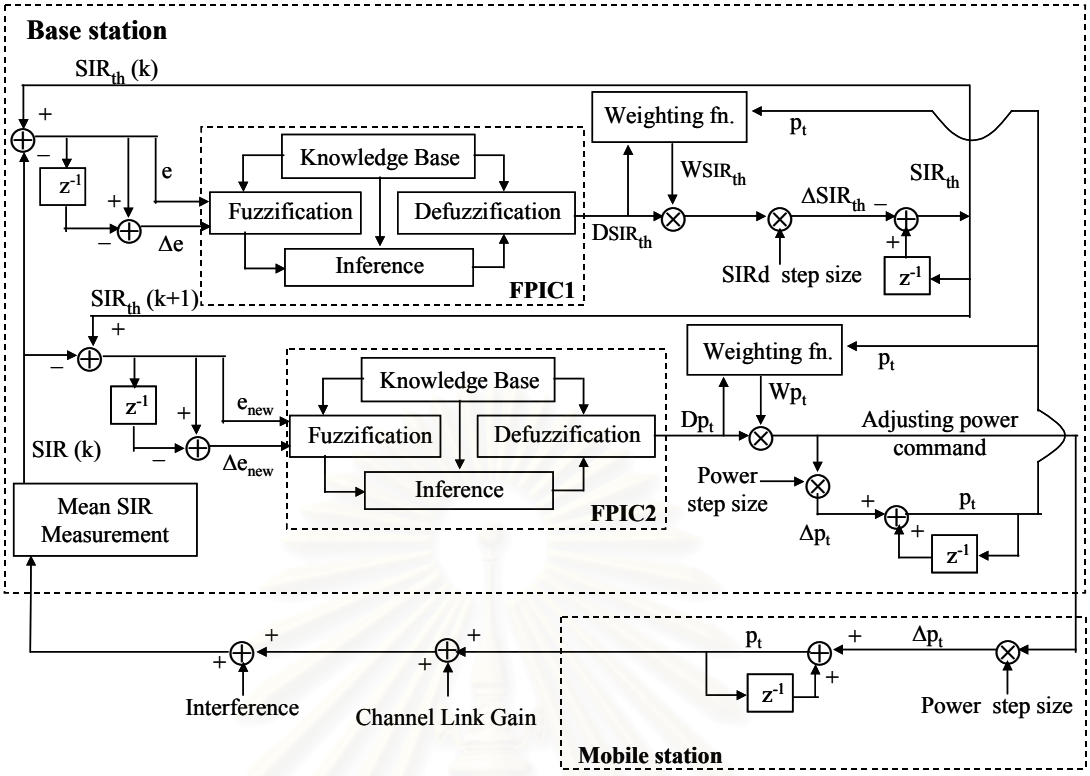
เราสามารถออกแบบลักษณะการทำงานดังข้อที่ 3 และ 4 ในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานน้อยได้ เนื่องจากในกรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานน้อย ความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มในระบบมีน้อยกว่ากรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานมีค่ามาก จากลักษณะการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังข้างต้น หากวิธีการควบคุมกำลังที่ออกแบบนี้สามารถบรรลุเป้าหมายข้างต้นได้ ผลดีที่จะตามมาคือ

1. คุณภาพสัญญาณสูงขึ้น เพราะค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายลดลง และเป็นผลให้อัตราบิตข้อมูลผิดพลาดของสัญญาณในระบบลดลง

2. ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ลดลง ทำให้โอกาสเกิดผลกระทบแบบกลุ่มน้อย เป็นผลให้การเพิ่มกำลังโดยไม่จำเป็นลดลง จึงทำให้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของสถานีเคลื่อนที่สามารถใช้ได้นานมากขึ้น และระบบควบคุมกำลังมีเสถียรภาพมากขึ้น

3. ความจุระบบสูงขึ้น เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดในระบบลดลง ซึ่งเป็นผลจากการลดการเพิ่มกำลังโดยไม่จำเป็นลง

ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 มีวงจรการทำงานดังรูปที่ 4.2.1



รูปที่ 4.2.1 วงจรควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2

ในวงจรควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 สามารถแบ่งประเภทตัวควบคุมแบบฟัซซีตามหน้าที่และลักษณะการใช้งานออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ (Fuzzy Proportional-to-Integral Controller: FPIC) ที่มีข้อมูลขาเข้าเป็นค่าความผิดพลาดใดๆ และค่าเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดใดๆ โดยในที่นี้ข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 คือค่าความผิดพลาด SIR และค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR ซึ่งมีค่าดังสมการ (4.1.2.3) และสมการ (4.1.2.4) มีหน้าที่นำข้อมูลขาเข้ามาคำนวณข้อมูลขาออกเพื่อปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคน ส่วนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 คือค่าความผิดพลาด และค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดของ SIR ใหม่ซึ่งมีค่าดังสมการ (4.1.3.1) และสมการ (4.1.3.2) มีหน้าที่นำข้อมูลขาเข้ามาคำนวณข้อมูลขาออกเพื่อออกคำสั่งให้สถานีเคลื่อนที่ทำการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งด้วยค่าที่เหมาะสม เพื่อทำให้ข้อมูลขาเข้าในคาบของการควบคุมกำลังคาบถัดไปมีค่าเท่ากับศูนย์

2. ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ (Proposed Fuzzy Weighting Controller: Proposed FWC) ที่มีข้อมูลขาเข้าเป็นกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี (p_t) และจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานของแต่ละสถานีฐาน (N_{user}) มีหน้าที่ในการถ่วงน้ำหนักข้อมูลขาออกของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอให้มีค่าเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม และความสามารถของระบบควบคุมกำลังในขณะ

นั้น เพื่อลดความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่ม ซึ่งเป็นผลจากการปรับเพิ่ม SIR_{th} และกำลังส่งมากเกินไป (หรือเป็นผลจากการปรับลด SIR_{th} และกำลังส่งน้อยเกินไป)

4.2.1 ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ

ลักษณะการทำงาน, ข้อมูลขาเข้า / ข้อมูลขาออก และรายละเอียดต่างๆ ของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 ที่ใช้ในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] และในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.1 ของวิทยานิพนธ์

การกำหนดให้รายละเอียดต่างๆ ของ FPIC ที่ใช้ในการจำลองระบบมีลักษณะเช่นเดียวกับ FPIC ที่ใช้ในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] กระทำเพื่อต้องการให้ผลการจำลองระบบสามารถยืนยันได้ว่า สมรรถนะของระบบที่ดีขึ้นเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 นี้ เป็นผลจากการนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน และจำนวนผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐาน มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบจริงๆ ไม่ใช่เป็นผลจากการปรับปรุงกฎการทำงานของ FPIC

4.2.2 ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ (Proposed FWC)

ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ มีข้อมูลขาเข้าเป็นกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี (p_t) และจำนวนผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐาน (N_{user}) และมีข้อมูลขาออกเป็นค่าถ่วงน้ำหนักค่าปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} แทนด้วย $W_{SIR_{th}}$ และค่าถ่วงน้ำหนักค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่ง แทนด้วย Wp_t ซึ่งรายละเอียดของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอมีดังนี้

- **ฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification)**

ทำการแปลงค่าจุดแต่ละจุดของข้อมูลขาเข้า ที่เป็นตัวแปรสเตตของกระบวนการให้เป็นฟัซซีเซต แล้วส่งต่อไปยังเครื่องอนุมาน โดยฟัซซีเซตของข้อมูลขาเข้าคือ กำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี (p_t) และจำนวนผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐาน (N_{user}) มีสมาชิกในเซตดังนี้

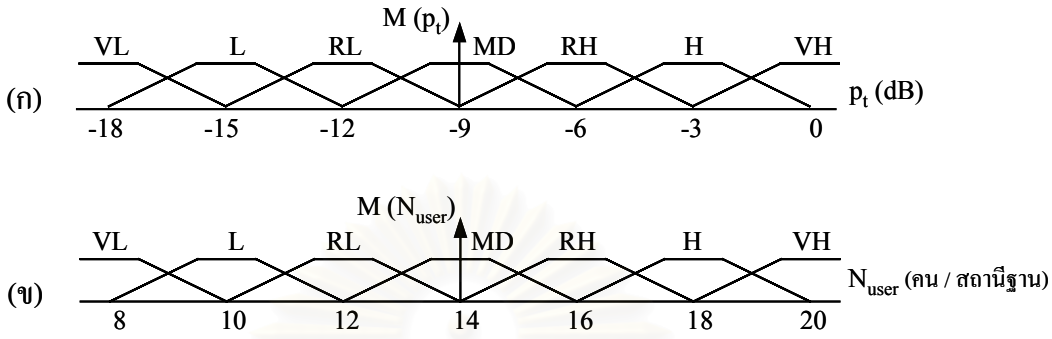
p_t $\in$ {Very Low (VL), Low (L), Relatively Low (RL), Moderate (MD), Relatively High (RH), High (H), Very High (VH)}

แทนด้วย {A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17}

N_{user} $\in$ {Very Low (VL), Low (L), Relatively Low (RL), Moderate (MD), Relatively High (RH), High (H), Very High (VH)}

แทนด้วย {A21, A22, A23, A24, A25, A26, A27}

การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function: M) ของข้อมูลขาเข้า Proposed FWC จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.2.2.1



รูปที่ 4.2.2.1 (ก)ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของกำลังส่ง และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน

- **ฐานกฎ (Knowledge Base)**

เป็นกฎควบคุมเชิงภาษาที่ทำให้ผลตอบสนองทางเวลาของระบบควบคุมแบบวงปิดลู่เข้าสู่ผลเฉลย หรือค่าที่กำหนด [11] ลักษณะของฐานกฎจะเป็นการกำหนดเงื่อนไขด้วยนิพจน์ “ถ้า p_t เป็น A1 และ N_{user} เป็น A2 แล้ว $W_{SIR_{th}}$ เป็น B1 และ Wp_t เป็น B2” โดย $W_{SIR_{th}}$ และ Wp_t เป็นข้อมูลขาออกของ Proposed FWC ซึ่งค่าทั้งสอง มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

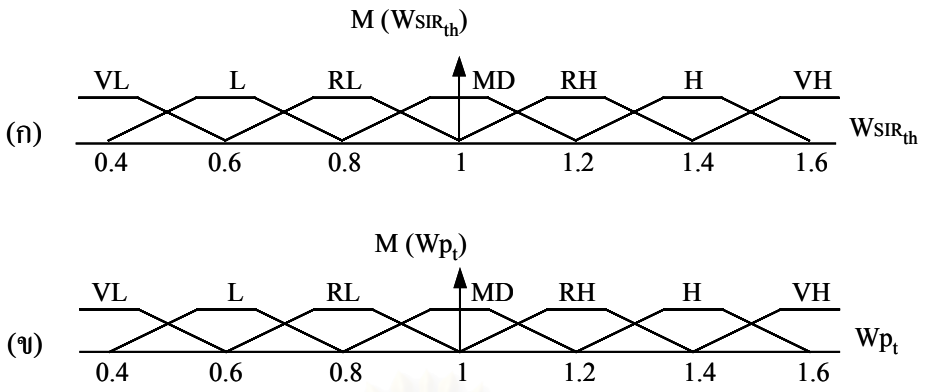
$W_{SIR_{th}} \in$ {Very Low (VL), Low (L), Relatively Low (RL), Moderate (MD), Relatively High (RH), High (H), Very High (VH)}

แทนด้วย {B11, B12, B13, B14, B15, B16, B17}

$Wp_t \in$ {Very Low (VL), Low (L), Relatively Low (RL), Moderate (MD), Relatively High (RH), High (H), Very High (VH)}

แทนด้วย {B21, B22, B23, B24, B25, B26, B27}

ข้อมูลขาออกของ Proposed FWC มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังรูปที่ 4.2.2.2 และฐานกฎที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Proposed FWC เป็นดังตารางที่ 4.2.2.1



รูปที่ 4.2.2.2 (ก) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ $W_{SIR_{th}}$ และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ Wp_t

ตารางที่ 4.2.2.1 (ก) ฐานกฎของ Proposed FWC กรณีปรับเพิ่ม SIRth และกำลังส่ง (ข) ฐานกฎของ Proposed FWC กรณีปรับลด SIRth และกำลังส่ง

(ก)

N_{user} \ p_t	VL	L	RL	MD	RH	H	VH
VL	VH	H	RH	MD	MD	RL	L
L	H	RH	MD	MD	RL	L	VL
RL	RH	MD	MD	RL	L	VL	VL
MD	MD	MD	RL	L	VL	VL	VL
RH	MD	RL	RL	L	L	VL	VL
H	MD	MD	RL	RL	L	L	VL
VH	MD	MD	MD	MD	RL	RL	RL

(ข)

N_{user} \ p_t	VL	L	RL	MD	RH	H	VH
VL	VL	L	RL	MD	MD	RH	H
L	L	RL	MD	MD	RH	H	VH
RL	RL	MD	MD	RH	H	VH	VH
MD	MD	MD	RH	H	VH	VH	VH
RH	MD	RH	RH	H	H	VH	VH
H	MD	MD	RH	RH	H	H	VH
VH	MD	MD	MD	MD	RH	RH	RH

- **การอนุมาน (Inference)**

เป็นการนำข้อมูลขาเข้าของ Proposed FWC ที่อยู่ในรูปของฟัซซีเซต มาเปรียบเทียบกับกฎควบคุมการทำงานที่ออกแบบไว้ โดยวิธีการอนุมานที่ใช้เป็นการอนุมานแบบค่าสูงสุด–ค่าต่ำสุด (Max-Min Inference) ซึ่งมีวิธีการทำงานดังที่ได้แสดงในบทที่ 2 ของวิทยานิพนธ์

- **ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)**

ดีฟัซซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนค่าข้อมูลออกของ Proposed FWC เป็นค่าทางกายภาพที่ใช้ในการควบคุมระบบ โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้ ดีฟัซซิฟิเคชันกระทำโดยการใช้วิธีการแบบจุดศูนย์ถ่วงดังที่ได้แสดงในบทที่ 2 ของวิทยานิพนธ์แล้วเช่นกัน

- **ตารางค่าการตัดสินใจ (Decision Value Table)**

ตารางค่าการตัดสินใจ เป็นตารางที่สร้างจากการควอนไตซ์ข้อมูลแบบจุดของข้อมูลขาเข้า แล้วนำข้อมูลขาเข้าเหล่านี้มาป้อนสู่ Proposed FWC ที่ออกแบบเพื่อคำนวณหาข้อมูลขาออก โดยการคำนวณจะกระทำโดยอ้างอิงจากฐานกฎของ Proposed FWC ที่ออกแบบไว้ จากนั้นนำข้อมูลขาเข้าและขาออกเหล่านี้มาสร้างเป็นตารางค่าการตัดสินใจ เพื่อทำให้การประมวลผลของ Proposed FWC เร็วขึ้น โดยการควอนไตซ์ข้อมูลแบบจุดของข้อมูลขาเข้าและขาออกจะกระทำดังตารางที่ 4.2.2.2 และตารางค่าการตัดสินใจเป็นดังตารางที่ 4.2.2.3

ตารางที่ 4.2.2.2 ตารางการควอนไตซ์ข้อมูลขาเข้าและขาออกของ Proposed FWC

p_t (dB)	N_{user} (คน / สถานีฐาน)	$WSIR_{th}$	Wp_t	Quantization Level
-18.0	8	0.4	0.4	-6
-16.5	9	0.5	0.5	-5
-15.0	10	0.6	0.6	-4
-13.5	11	0.7	0.7	-3
-12.0	12	0.8	0.8	-2
-10.5	13	0.9	0.9	-1
-9.0	14	1	1	0
-7.5	15	1.1	1.1	1
-6.0	16	1.2	1.2	2
-4.5	17	1.3	1.3	3
-3.0	18	1.4	1.4	4
-1.5	19	1.5	1.5	5
0.0	20	1.6	1.6	6

ตารางที่ 4.2.2.3 (ก) ตารางค่าการตัดสินใจของ Proposed FWC กรณีการปรับเพิ่ม SIR_{th} และกำลังส่ง (ข) ตารางค่าการตัดสินใจของ Proposed FWC กรณีการปรับลด SIR_{th} และกำลังส่ง

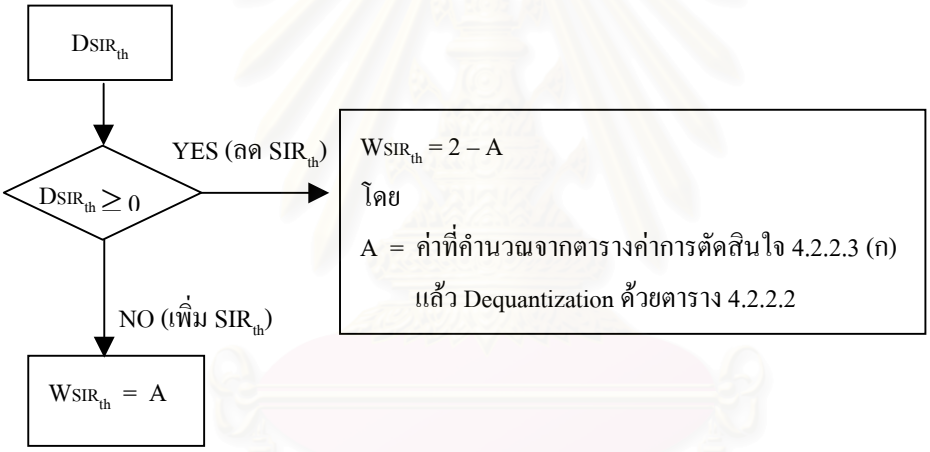
(ก)

N_{user} \ p_t	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	6	5	4	3	2	1	0	0	0	-1	-2	-3	-4
-5	5	4	3	2	1	0	0	0	-1	-2	-3	-4	-5
-4	4	3	2	1	0	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
-3	3	2	1	0	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6
-2	2	1	0	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-6
-1	1	0	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-6	-6
0	0	0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-6	-6	-6
1	0	0	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-6	-6	-6	-6
2	0	-1	-2	-2	-2	-3	-4	-4	-4	-5	-6	-6	-6
3	0	0	-1	-2	-2	-2	-3	-4	-4	-4	-5	-6	-6
4	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-3	-4	-4	-4	-5	-6
5	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-3	-3	-3	-4	-4
6	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-2	-2

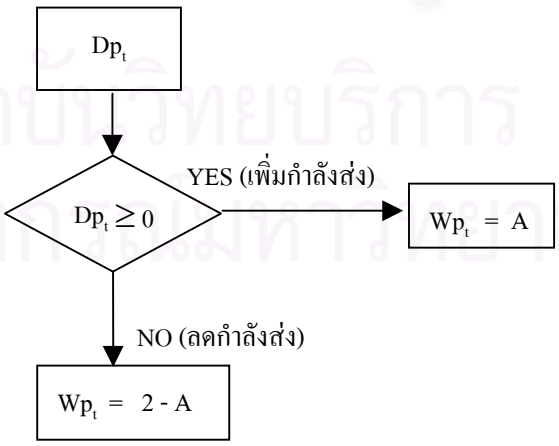
(ข)

N_{user} \ p_t	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	0	0	1	2	3	4
-5	-5	-4	-3	-2	-1	0	0	0	1	2	3	4	5
-4	-4	-3	-2	-1	0	0	0	1	2	3	4	5	6
-3	-3	-2	-1	0	0	0	1	2	3	4	5	6	6
-2	-2	-1	0	0	0	1	2	3	4	5	6	6	6
-1	-1	0	0	0	1	2	3	4	5	6	6	6	6
0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	6	6	6	6
1	0	0	1	2	2	3	4	4	5	6	6	6	6
2	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6	6
3	0	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6
4	0	0	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6
5	0	0	0	0	1	1	1	2	3	3	3	4	4
6	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2

จากตารางค่าการตัดสินใจตารางที่ 4.2.2.3 (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นค่าการตัดสินใจที่คำนวณจากการอ้างอิงฐานกฎที่แสดงดังตารางที่ 4.2.2.1 (ก) และ (ข) เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าการตัดสินใจตารางที่ 4.2.2.3 (ก) และ (ข) มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกัน ทั้งนี้เป็นผลจากความตั้งใจในการออกแบบฐานกฎที่ใช้ในการประมวลผลค่าถ่วงน้ำหนัก สำหรับถ่วงน้ำหนักการปรับเพิ่ม SIR_{th} และกำลังส่ง หรือการปรับลด SIR_{th} และกำลังส่งให้มีลักษณะคำสั่งที่ตรงข้ามกัน เพื่อให้การปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอสามารถกระทำได้ง่ายขึ้น การปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ กระทำเพื่อลดการใช้งานตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอให้เหลือเพียง 1 ตัว และเพื่อเป็นการประหยัดเวลาการประมวลผลในการหาค่าข้อมูลขาออกของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอด้วย โดยการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ จะได้รับการปรับปรุงการทำงานให้มีลักษณะดังรูปที่ 4.2.2.3



และ



รูปที่ 4.2.2.3 การทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ เมื่อได้รับการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานแล้ว

ในรูปที่ 4.2.2.3 ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะทำการตรวจสอบค่า $D_{SIR_{th}}$ ว่ามีค่าเท่าไร ถ้ามีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าระบบควบคุมจะทำการปรับเพิ่ม SIR_{th} ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าตัดสิน A จากตารางค่าการตัดสินใจตารางที่ 4.2.2.3 (ก) และกำหนดให้ $W_{SIR_{th}}$ มีค่าเท่ากับ A แต่ถ้า $D_{SIR_{th}}$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์แสดงว่าระบบควบคุมจะทำการปรับเพิ่ม SIR_{th} การกำหนดค่า $W_{SIR_{th}}$ จะกระทำดังสมการ (4.2.2.1)

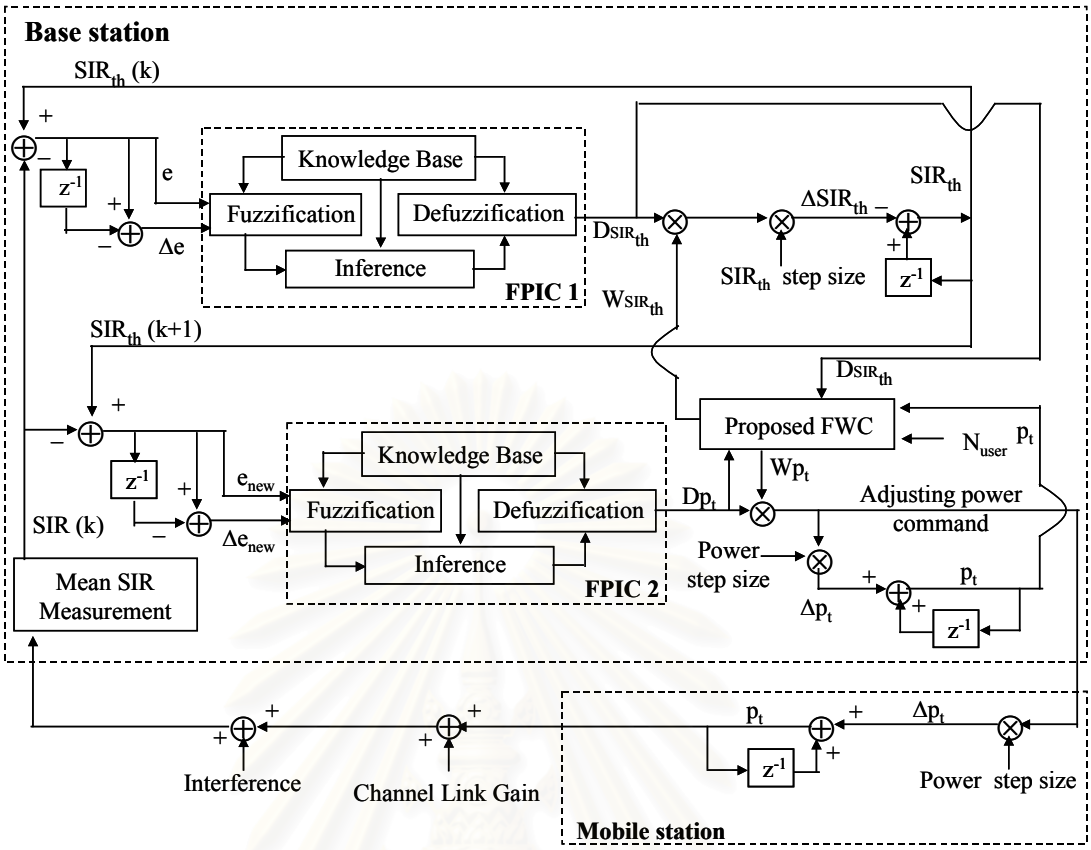
$$W_{SIR_{th}} = 2 - A \qquad (4.2.2.1)$$

ส่วนการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t จากรูป 4.2.2.3 จะเห็นว่าตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่าค่า Dp_t มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์หรือไม่ ถ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์แสดงว่าระบบควบคุมจะทำการปรับเพิ่มกำลังส่ง ดังนั้นตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะทำการกำหนดค่า Wp_t ให้มีค่าเท่ากับ A ซึ่งมาจากตารางค่าการตัดสินใจตารางที่ 4.2.2.3 (ก) และได้คำนวณไว้แล้วในขั้นตอนของการหาค่าถ่วงน้ำหนัก $W_{SIR_{th}}$ แต่ถ้า Dp_t มีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าระบบควบคุมจะทำการปรับลดกำลังส่ง ซึ่งการกำหนดค่า Wp_t จะกระทำดังสมการ (4.2.2.2)

$$Wp_t = 2 - A \qquad (4.2.2.2)$$

เมื่อตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ได้รับการปรับปรุงการทำงานให้มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 4.2.2.3 แล้ว เราก็สามารถลดการใช้งานตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอให้เหลือเพียง 1 ตัวเพื่อใช้ในการคำนวณหาทั้งค่า $W_{SIR_{th}}$ และ Wp_t ได้ ไม่ว่าระบบจะทำการปรับเพิ่มหรือลด SIR_{th} และกำลังส่ง โดยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ที่ได้รับการปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอแล้ว จะมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 4.2.2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2.2.4 วงจรควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ที่ทำการปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอแล้ว

4.2.3 การปรับเพิ่ม–ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน

การปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะกระทำเช่นเดียวกับการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 เพียงแต่ค่าถ่วงน้ำหนักของการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 ได้มาจากการประมวลผลของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอแทนที่จะมาจากการคำนวณด้วยสมการเส้นตรงดังเช่นวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1

4.3 วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 5 × 5 กฎ และทำงานร่วมกับตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 5 × 5 กฎ (วิธีที่เสนอวิธีที่ 3)

วิธีการควบคุมกำลังแบบฟัซซีพีไอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 5 × 5 กฎ และทำงานร่วมกับตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอที่มีกฎควบคุมการทำงาน 5 × 5 กฎ เป็นวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ของงานวิทยานิพนธ์นี้ วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 นี้จะมีลักษณะการทำงาน, การปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน เช่นเดียวกับวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ที่ทำการปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอแล้ว แต่รายละเอียดของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ และตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะต่างกัน โดยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอและตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะมีจำนวนของฐานกฎเท่ากับ 5×5 กฎ ทั้งนี้เพื่อลดความซับซ้อนของการควบคุมลง โดยวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีลักษณะการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ดังนี้

1. การปรับลดกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูง จะกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่ใหญ่กว่าปกติ
2. การปรับเพิ่มกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งสูง จะกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่เล็กกว่าปกติ
3. กรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานมีค่าน้อย การปรับลดกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งต่ำ สามารถกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่เล็กกว่าปกติได้
4. กรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานมีค่าน้อย การปรับเพิ่มกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งต่ำ สามารถกระทำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่ใหญ่กว่าปกติได้

การออกแบบการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ให้มีลักษณะการทำงานดังข้อที่ 1 และ 2 นั้น มีจุดประสงค์เช่นเดียวกับการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 และ 2 นั่นคือ จะกระทำเพื่อลดความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่ม ส่วนลักษณะการทำงานดังข้อที่ 3 และ 4 นั้น มีจุดประสงค์เช่นเดียวกับวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 นั่นคือ การทำให้ค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคน และค่า SIR ที่วัดได้ที่สถานีฐานในกรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานน้อย มีค่ามากกว่าปกติ เพื่อทำให้สัญญาณสามารถทนต่อเฟดดิงได้ดีขึ้น

เราสามารถออกแบบลักษณะการทำงานดังข้อที่ 3 และ 4 ได้ในกรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานน้อยได้เนื่องจาก ในกรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานน้อย ความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มในระบบมีน้อยกว่ากรณีที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานมีค่ามาก จากลักษณะการทำงานของ

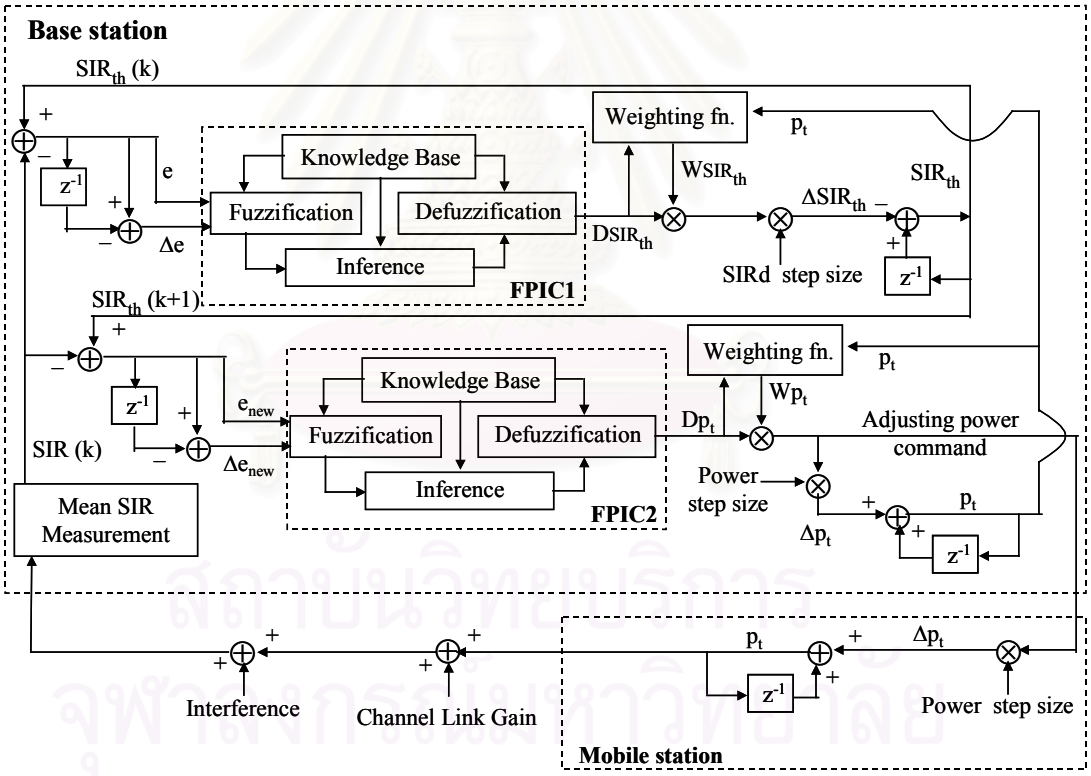
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังข้างต้น หากระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่ออกแบบนี้สามารถบรรลุเป้าหมายข้างต้นได้ ผลดีที่จะตามมาคือ

1. คุณภาพสัญญาณสูงขึ้น เพราะค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายลดลง และเป็นผลให้อัตราบิตข้อมูลผิดพลาดของสัญญาณในระบบลดลง

2. ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ลดลง ทำให้โอกาสเกิดผลกระทบแบบกลุ่มน้อย เป็นผลให้การเพิ่มกำลังโดยไม่จำเป็นลดลง จึงทำให้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของสถานีเคลื่อนที่สามารถใช้ได้นานมากขึ้น และระบบควบคุมกำลังมีเสถียรภาพมากขึ้น

3. ความจุระบบสูงขึ้น เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดในระบบลดลง ซึ่งเป็นผลจากการลดการเพิ่มกำลังโดยไม่จำเป็นลง

ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 มีวงจรการทำงานดังรูปที่ 4.3.1



รูปที่ 4.3.1 วงจรควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3

ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ตัวควบคุมแบบฟัซซีเมื่อแบ่งตามหน้าที่และลักษณะการใช้งานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ (Fuzzy Proportional-to-Integral Controller: FPIC) ที่มีข้อมูลขาเข้าเป็นค่าความผิดพลาดใดๆ และค่าเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดใดๆ โดยในที่นี้ข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 คือค่าความผิดพลาด SIR และค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR ซึ่งมีค่าดังสมการ (4.1.2.3) และสมการ (4.1.2.4) มีหน้าที่นำข้อมูลขาเข้ามาคำนวณข้อมูลขาออกเพื่อปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคน ส่วนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 คือค่าความผิดพลาด และค่าการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดของ SIR ใหม่ซึ่งมีค่าดังสมการ (4.1.3.1) และ (4.1.3.2) มีหน้าที่นำข้อมูลขาเข้ามาคำนวณข้อมูลขาออกเพื่อออกคำสั่งให้สถานีเคลื่อนที่ทำการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งด้วยค่าที่เหมาะสม เพื่อทำให้ข้อมูลขาเข้าในคาบของการควบคุมกำลังคาบถัดไปมีค่าเท่ากับศูนย์

2. ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ (Proposed Fuzzy Weighting Controller: Proposed FWC) ที่มีข้อมูลขาเข้าเป็นกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี (p_t) และจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานของแต่ละสถานีฐาน (N_{user}) มีหน้าที่ในการถ่วงน้ำหนักข้อมูลขาออกของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอให้มีค่าเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม และความสามารถของระบบควบคุมกำลังในขณะนั้น เพื่อลดความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่ม ซึ่งเป็นผลจากการปรับเพิ่ม SIR_{th} และกำลังส่งมากเกินไป (หรือเป็นผลจากการปรับลด SIR_{th} และกำลังส่งน้อยเกินไป)

4.3.1 ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอ

- **ฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification)**

ทำการแปลงค่าจุดแต่ละจุดของข้อมูลขาเข้า ที่เป็นตัวแปรสเตตของกระบวนการให้เป็นฟัซซีเซตแล้วส่งต่อไปยังเครื่องอนุมาน โดยฟัซซีเซตของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 1 คือ ความผิดพลาด SIR และการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR (SIR error และ SIR error change แทนด้วย e และ Δe) ส่วนฟัซซีเซตของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 2 คือ ความผิดพลาด SIR ที่คำนวณขึ้นใหม่ และการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด SIR ที่คำนวณขึ้นใหม่ (new SIR error และ new SIR error change แทนด้วย e_{new} และ Δe_{new}) โดยมีสมาชิกในเซตดังนี้

e $\in$ {Large Negative (LN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Large Positive (LP)}

แทนด้วย {A11, A12, A13, A14, A15}

Δe $\in$ {Large Negative (LN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Large Positive (LP)}

แทนด้วย {A21, A22, A23, A24, A25}

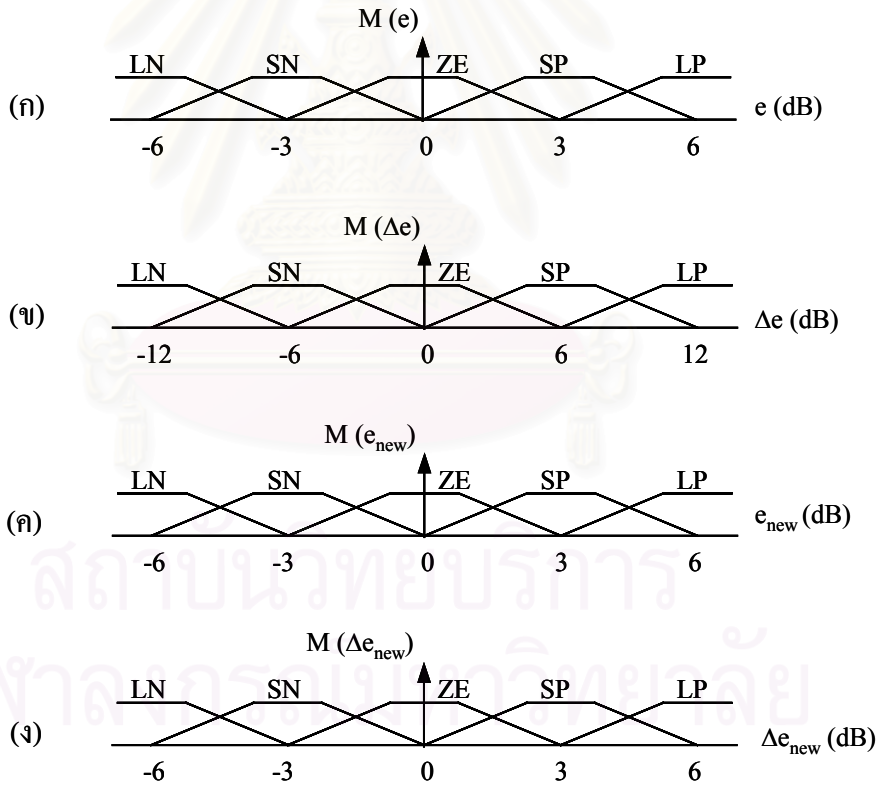
e_{new} $\in$ {Large Negative (LN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Large Positive (LP)}

แทนด้วย {A31, A32, A33, A34, A35}

Δe_{new} $\in$ {Large Negative (LN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Large Positive (LP)}

แทนด้วย {A41, A42, A43, A44, A45}

โดยกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function: M) ดังนี้



รูปที่ 4.3.1.1 (ก) และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 1 (e และ Δe)
(ค) และ (ง) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาเข้าของ FPIC ตัวที่ 2 (e_{new} และ Δe_{new})

- **ฐานกฎ (Knowledge Base)**

เป็นกฎควบคุมเชิงภาษาที่ทำให้ผลตอบสนองทางเวลา ของระบบควบคุมแบบวงปิดลู่เข้าสู่ผลเฉลยหรือค่าที่กำหนด [11] ลักษณะของฐานกฎจะกำหนดเงื่อนไขด้วยนิพจน์ “ถ้า e เป็น A1 และ Δe เป็น A2 แล้ว $DSIR_{th}$ เป็น B1” และนิพจน์ “ถ้า e_{new} เป็น A3 และ Δe_{new} เป็น A4 แล้ว Dp_t เป็น B2” โดย $DSIR_{th}$ เป็นข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ Dp_t เป็นข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 2 ซึ่งค่าทั้งสองมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

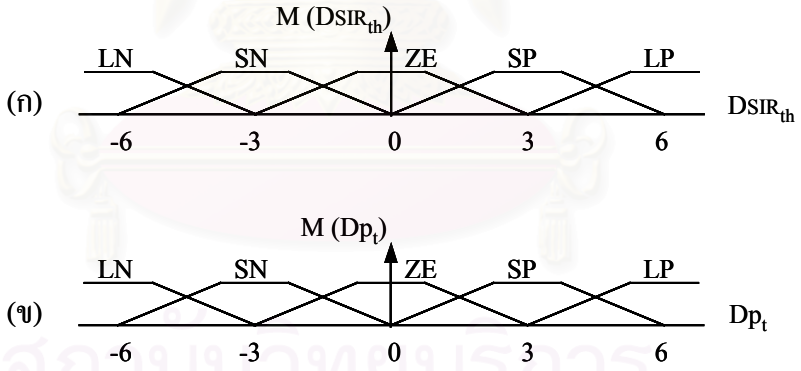
$DSIR_{th} \in$ {Large Negative (LN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Large Positive (LP)}

แทนด้วย {B11, B12, B13, B14, B15}

$Dp_t \in$ {Large Negative (LN), Small Negative (SN), Zero (ZE), Small Positive (SP), Large Positive (LP)}

แทนด้วย {B21, B22, B23, B24, B25}

ข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังรูปที่ 4.3.1.2



รูปที่ 4.3.1.2 (ก) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 ($DSIR_{th}$)
(ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของข้อมูลขาออกของ FPIC ตัวที่ 2 (Dp_t)

และฐานกฎที่ใช้ควบคุมการทำงานของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2 เป็นดังตารางที่ 4.3.1.1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3.1.1 (ก) ฐานกฎของ FPIC ตัวที่ 1 (ข) ฐานกฎของ FPIC ตัวที่ 2

(ก)

Δe \ e	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LN	LN	SN	SN	ZE
SN	LN	SN	SN	ZE	SP
ZE	SN	SN	ZE	SP	SP
SP	SN	ZE	SP	SP	LP
LP	SZE	SP	SP	LP	LP

(ข)

Δe_{new} \ e_{new}	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LN	LN	SN	SN	ZE
SN	LN	SN	SN	ZE	SP
ZE	SN	SN	ZE	SP	SP
SP	SN	ZE	SP	SP	LP
LP	SZE	SP	SP	LP	LP

- **การอนุมาน (Inference)**

เป็นการนำข้อมูลขาเข้าของ FPIC ที่อยู่ในรูปของฟัซซีเซต มาเปรียบเทียบกับกฎการควบคุมที่ได้ออกแบบไว้ โดยวิธีการอนุมานที่ใช้เป็นการอนุมานแบบค่าสูงสุด–ค่าต่ำสุด (Max-Min Inference) ซึ่งมีวิธีการทำงานดังที่ได้แสดงในบทที่ 2 ของวิทยานิพนธ์

- **ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)**

ดีฟัซซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนค่าข้อมูลออกของ FPIC เป็นค่าทางกายภาพที่ใช้ในการควบคุมระบบ โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้ ดีฟัซซิฟิเคชันจะใช้วิธีการแบบจุดศูนย์ถ่วง ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังรายละเอียดในบทที่ 2 ของวิทยานิพนธ์

- **ตารางค่าการตัดสินใจ (Decision Value Table)**

ตารางค่าการตัดสินใจ เป็นตารางที่สร้างจากการควอนไตซ์ข้อมูลแบบจุดของข้อมูลขาเข้า แล้วนำข้อมูลขาเข้าเหล่านี้มาป้อนสู่ FPIC ที่ออกแบบเพื่อคำนวณหาข้อมูลขาออก โดยการคำนวณจะกระทำโดยอ้างอิงจากฐานกฎของ FPIC ที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นนำข้อมูลขาเข้าและขาออกเหล่านี้มาสร้างเป็นตารางค่าการตัดสินใจเพื่อทำให้การประมวลผลของ FPIC เร็วขึ้น [20]

โดยการควอนไตซ์ข้อมูลแบบจุดของข้อมูลขาเข้าและขาออกจะกระทำดังตารางที่ 4.3.1.2 แล้วสร้างเป็นตารางค่าการตัดสินใจดังตารางที่ 4.3.1.3

ตารางที่ 4.3.1.2 ตารางการควอนไตซ์ข้อมูลขาเข้าและขาออกของ FPIC ตัวที่ 1 และ 2

e (dB)	Δ e (dB)	e_{new} (dB)	Δ e_{new} (dB)	D_{SIRth}	Dp	Quantization Level
-6.0	-12	-6.0	-12	-4	-4	-4
-4.5	-9	-4.5	-9	-3	-3	-3
-3.0	-6	-3.0	-6	-2	-2	-2
-1.5	-3	-1.5	-3	-1	-1	-1
0.0	0	0	0	0	0	0
1.5	3	1.5	3	1	1	1
3.0	6	3.0	6	2	2	2
4.5	9	4.5	9	3	3	3
6.0	12	6.0	12	4	4	4

ตารางที่ 4.3.1.3 (ก) ตารางค่าการตัดสินใจของ FPIC ตัวที่ 1
(ข) ตารางค่าการตัดสินใจของ FPIC ตัวที่ 2

(ก)

Δe \ e	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
-4	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0
-3	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1
-2	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2
-1	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2
0	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2
1	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3
2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4
3	-1	0	1	2	2	2	3	4	4
4	0	1	2	2	2	3	4	4	4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ข)

Δe_{new} \ e_{new}	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
-4	-4	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0
-3	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1
-2	-4	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2
-1	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2
0	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2
1	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3
2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4
3	-1	0	1	2	2	2	3	4	4
4	0	1	2	2	2	3	4	4	4

4.3.2 ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ (Proposed FWC)

ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ มีข้อมูลขาเข้าเป็นกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี (p_t) และจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานของแต่ละสถานีฐาน (N_{user}) และมีข้อมูลขาออกเป็นค่าถ่วงน้ำหนักการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} แทนด้วย $WSIR_{th}$ และค่าถ่วงน้ำหนักการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่ง Wp_t ซึ่งรายละเอียดของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอมีดังนี้

- **ฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification)**

ทำการแปลงค่าจุดแต่ละจุดของข้อมูลขาเข้า ที่เป็นตัวแปรสเตตของกระบวนการให้เป็นฟัซซีเซต แล้วส่งต่อไปยังเครื่องอนุมาน โดยฟัซซีเซตของข้อมูลขาเข้าคือ กำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี (p_t) และจำนวนผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐาน (N_{user}) มีสมาชิกในเซตดังนี้

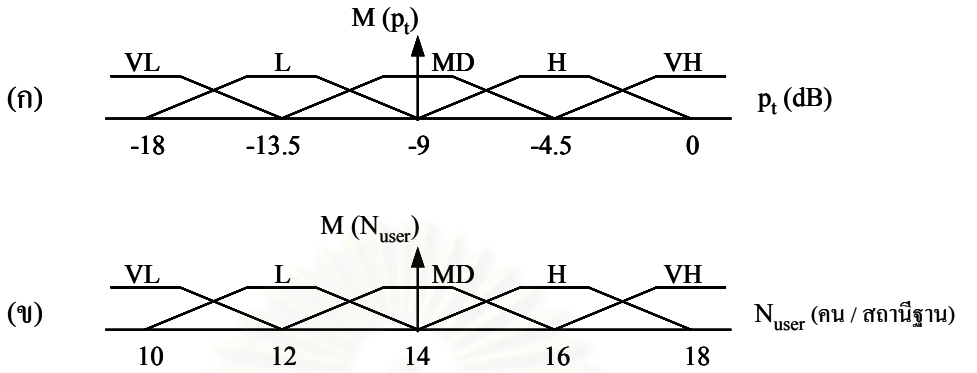
p_t $\in$ {Very Low (VL), Low (L), Moderate (MD), High (H), Very High (VH)}

แทนด้วย {A11, A12, A13, A14, A15}

N_{user} $\in$ {Very Low (VL), Low (L), Moderate (MD), High (H), Very High (VH)}

แทนด้วย {A21, A22, A23, A24, A25}

การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function: M) จะกระทำดังรูปที่ 4.3.2.1



รูปที่ 4.3.2.1 (ก)ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของกำลังส่ง และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน

- **ฐานกฎ (Knowledge Base)**

เป็นกฎควบคุมเชิงภาษา ที่ทำให้ผลตอบสนองทางเวลาของระบบควบคุมแบบวงปิดลู่เข้าสู่ผลเฉลยหรือค่าที่กำหนด [11] ลักษณะของฐานกฎจะเป็นการกำหนดเงื่อนไขด้วยนิพจน์ “ถ้า p_t เป็น A1 และ N_{user} เป็น A2 แล้ว $W_{SIR_{th}}$ เป็น B1 และ Wp_t เป็น B2” โดย $W_{SIR_{th}}$ และ Wp_t เป็นข้อมูลขาออกของ Proposed FWC ซึ่งค่าทั้งสองมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

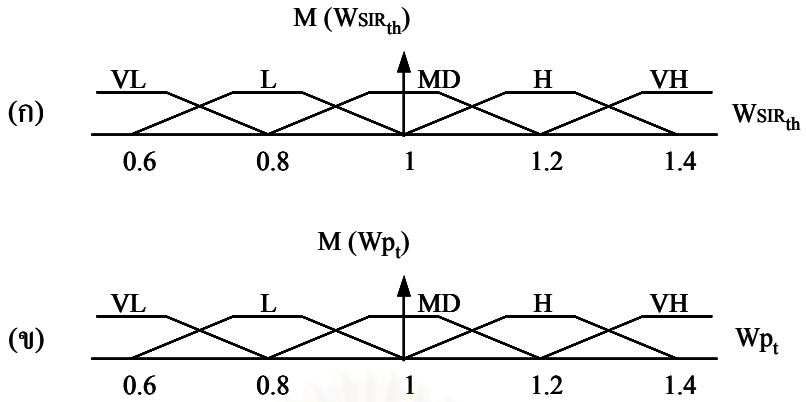
$W_{SIR_{th}} \in$ {Very Low (VL), Low (L), Moderate (MD), High (RH), Very High (VH)}

แทนด้วย {B11, B12, B13, B14, B15}

$Wp_t \in$ {Very Low (VL), Low (L), Moderate (MD), High (H), Very High (VH)}

แทนด้วย {B21, B22, B23, B24, B25}

ข้อมูลขาออกของ Proposed FWC มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังรูปที่ 4.3.2.2 และฐานกฎที่ใช้ควบคุมการทำงานของ Proposed FWC เป็นดังตารางที่ 4.3.2.1



รูปที่ 4.3.2.2 (ก) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ $W_{SIR_{th}}$ และ (ข) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของWp_t

ตารางที่ 4.3.2.1 (ก) ฐานกฎของ Proposed FWC กรณีปรับเพิ่ม SIRth และกำลังส่ง (ข) ฐานกฎของ Proposed FWC กรณีปรับลด SIRth และกำลังส่ง

(ก)

N_{user} \ p_t	VL	L	MD	H	VH
VL	VH	H	MD	MD	L
L	H	MD	MD	L	L
MD	MD	MD	L	L	VL
H	MD	L	L	VL	VL
VH	MD	MD	MD	L	VL

(ข)

N_{user} \ p_t	VL	L	MD	H	VH
VL	VL	L	MD	MD	H
L	L	MD	MD	H	H
MD	MD	MD	H	H	VH
H	MD	H	H	VH	VH
VH	MD	MD	MD	H	VH

- **การอนุมาน (Inference)**

เป็นการนำข้อมูลขาเข้าของ Proposed FWC ที่อยู่ในรูปของฟัซซีเซต มาเปรียบเทียบกับกฎการควบคุมที่ออกแบบไว้ โดยวิธีการอนุมานที่ใช้เป็นการอนุมานแบบค่าสูงสุด–ค่าต่ำสุด (Max-Min Inference) ซึ่งมีวิธีการทำงานดังที่ได้แสดงในบทที่ 2 ของงานวิทยานิพนธ์

- **ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)**

ดีฟัซซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนค่าข้อมูลออกของ Proposed FWC เป็นค่าทางกายภาพที่ใช้ในการควบคุมระบบ โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้ ดีฟัซซิฟิเคชันกระทำโดยการใช้วิธีการแบบจุดศูนย์ถ่วงดังที่ได้แสดงไว้แล้วเช่นกันในบทที่ 2 ของวิทยานิพนธ์

- **ตารางค่าการตัดสินใจ (Decision Value Table)**

ตารางค่าการตัดสินใจ เป็นตารางที่สร้างจากการควอนไตซ์ข้อมูลแบบจุดของข้อมูลขาเข้า แล้วนำข้อมูลขาเข้าเหล่านี้มาป้อนสู่ Proposed FWC ที่ออกแบบเพื่อคำนวณหาข้อมูลขาออก โดยการคำนวณจะกระทำโดยอ้างอิงจากฐานกฎของ Proposed FWC ที่ออกแบบไว้ จากนั้นนำข้อมูลขาเข้าและขาออกเหล่านี้มาสร้างเป็นตารางค่าการตัดสินใจ เพื่อทำให้การประมวลผลของ Proposed FWC เร็วขึ้น การควอนไตซ์ข้อมูลแบบจุดของข้อมูลขาเข้าและขาออกจะกระทำดังตารางที่ 4.3.2.2 และตารางค่าการตัดสินใจจะมีลักษณะดังตารางที่ 4.3.2.3

ตารางที่ 4.3.2.2 ตารางการควอนไตซ์ข้อมูลขาเข้าและขาออกของ Proposed FWC

p_t (dB)	N_{user} (คน / สถานีฐาน)	$WSIR_{th}$	Wp_t	Quantization Level
-18.00	10	0.6	0.6	-4
-15.75	11	0.7	0.7	-3
-13.50	12	0.8	0.8	-2
-11.25	13	0.9	0.9	-1
-9.00	14	1	1	0
-6.75	15	1.1	1.1	1
-4.50	16	1.2	1.2	2
-2.25	17	1.3	1.3	3
0.00	18	1.4	1.4	4

ตารางที่ 4.3.2.3 (ก) ตารางค่าการตัดสินใจของ Proposed FWC กรณีการปรับเพิ่ม SIR_{th} และกำลังส่ง (ข) ตารางค่าการตัดสินใจของ Proposed FWC กรณีการปรับลด SIR_{th} และกำลังส่ง

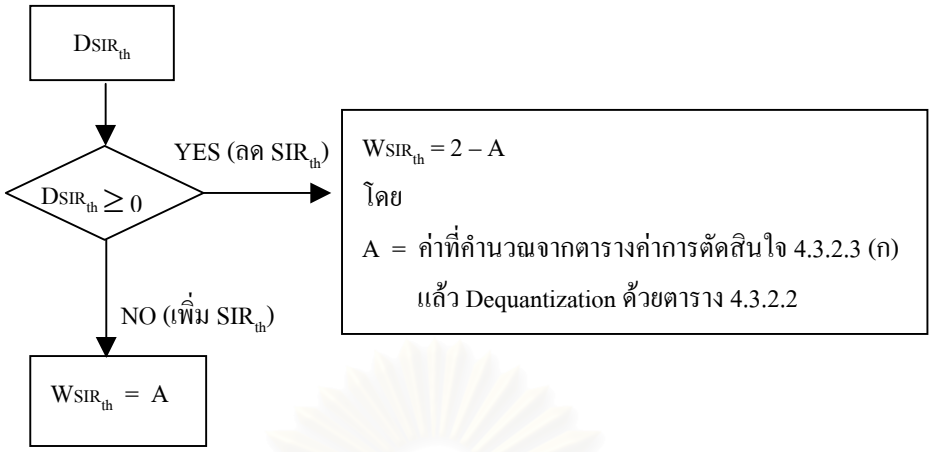
(ก)

N_{user} \ p_t	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
-4	4	3	2	1	0	0	0	-1	-2
-3	3	2	1	0	0	0	-1	-2	-2
-2	2	1	0	0	0	-1	-2	-2	-2
-1	1	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-3
0	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-3	-4
1	0	0	-1	-2	-2	-2	-3	-4	-4
2	0	-1	-2	-2	-2	-3	-4	-4	-4
3	0	0	-1	-1	-1	-2	-3	-4	-4
4	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	-4

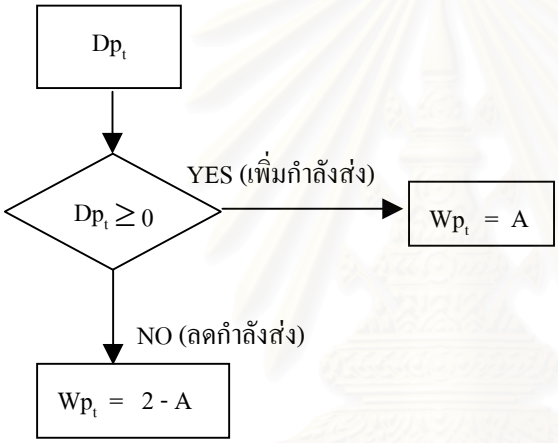
(ข)

N_{user} \ p_t	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
-4	-4	-3	-2	-1	0	0	0	1	2
-3	-3	-2	-1	0	0	0	1	2	2
-2	-2	-1	0	0	0	1	2	2	2
-1	-1	0	0	0	1	2	2	2	3
0	0	0	0	1	2	2	2	3	4
1	0	0	1	2	2	2	3	4	4
2	0	1	2	2	2	3	4	4	4
3	0	0	1	1	1	2	3	4	4
4	0	0	0	0	0	1	2	3	4

จากตารางค่าการตัดสินใจตารางที่ 4.3.2.3 (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นค่าการตัดสินใจที่คำนวณจากการอ้างอิงฐานกฎที่แสดงดังตารางที่ 4.3.2.1 (ก) และ (ข) เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่าการตัดสินใจตารางที่ 4.3.2.3 (ก) และ (ข) มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกัน ทั้งนี้เป็นผลจากความตั้งใจในการออกแบบฐานกฎที่ใช้ในการประมวลผลค่าถ่วงน้ำหนัก สำหรับถ่วงน้ำหนักการปรับเพิ่ม SIR_{th} และกำลังส่ง หรือการปรับลด SIR_{th} และกำลังส่งให้มีลักษณะคำสั่งที่ตรงข้ามกัน เพื่อลดการใช้งานตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอให้เหลือเพียง 1 ตัว และเพื่อประหยัดเวลาการประมวลผลในการหาข้อมูลขาออกของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ การทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะได้รับการปรับปรุงการทำงานให้มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 4.3.2.3



และ



รูปที่ 4.3.2.3 การทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอเมื่อปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอแล้ว

ในรูปที่ 4.3.2.3 ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ จะทำการตรวจสอบค่า $D_{SIR_{th}}$ ว่ามีค่าเท่าไร ถ้ามีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าระบบควบคุมจะทำการปรับเพิ่ม SIR_{th} ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าตัดสิน A จากตารางค่าการตัดสินใจตารางที่ 4.3.2.3 (ก) และให้ $W_{SIR_{th}}$ มีค่าเท่ากับ A แต่ถ้า $D_{SIR_{th}}$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์แสดงว่าระบบควบคุมจะทำการปรับเพิ่ม SIR_{th} การกำหนดค่า $W_{SIR_{th}}$ จะกระทำดังสมการ (4.3.2.1)

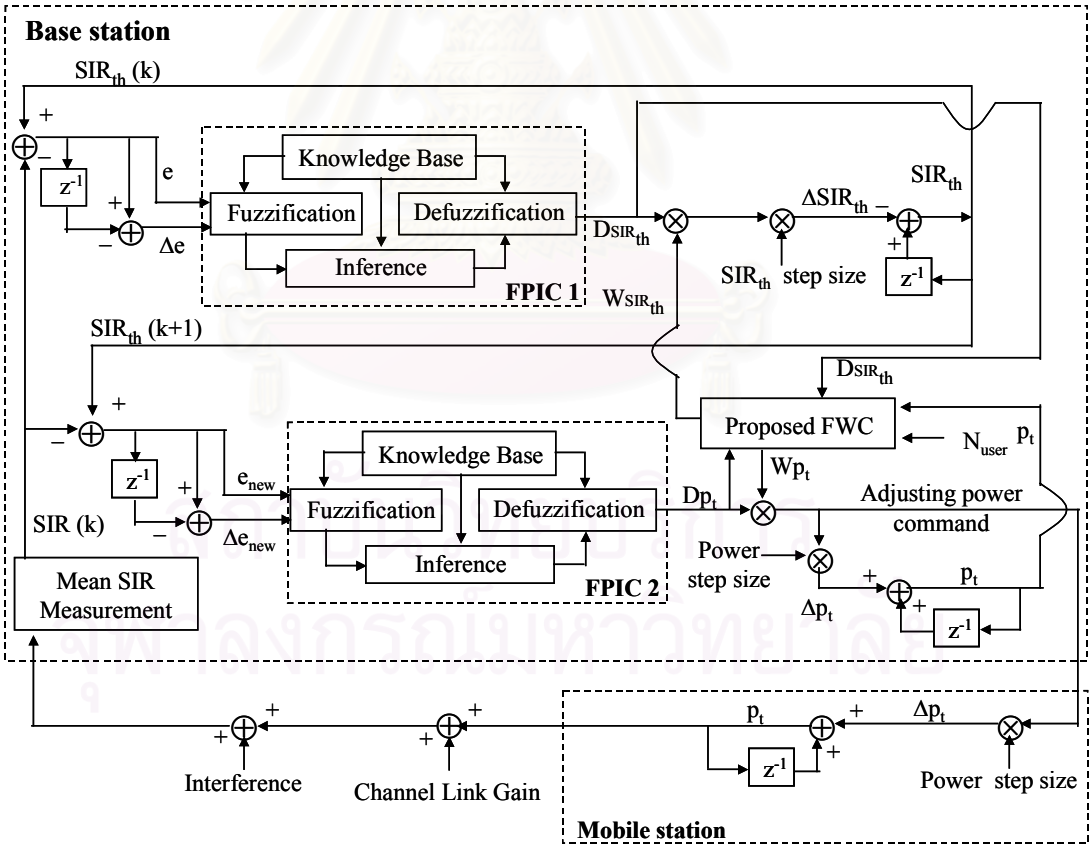
$$W_{SIR_{th}} = 2 - A \qquad (4.3.2.1)$$

ส่วนการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่าค่า Dp_t มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์หรือไม่ ถ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่า

กับศูนย์แสดงว่าระบบควบคุมจะทำการปรับเพิ่มกำลังส่ง ดังนั้นตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะทำการกำหนดค่า Wp_t ให้มีค่าเท่ากับ A ซึ่งมาจากตารางค่าการตัดสินใจตารางที่ 4.3.2.3 (ก) และได้คำนวณไว้แล้วในขั้นตอนของการหาค่าถ่วงน้ำหนัก $W_{SIR_{th}}$ แต่ถ้า Dp_t มีค่าน้อยกว่าศูนย์แสดงว่าระบบควบคุมจะทำการปรับลดกำลังส่ง ซึ่งการกำหนดค่า Wp_t จะกระทำดังสมการ (4.3.2.2)

$$Wp_t = 2 - A \qquad (4.3.2.2)$$

เมื่อตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ได้รับการปรับปรุงการทำงานให้มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 4.3.2.3 แล้ว เราสามารถใช้ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอเพียง 1 ตัวในการคำนวณหาทั้งค่า $W_{SIR_{th}}$ และ Wp_t ได้ ไม่ว่าระบบจะทำการปรับเพิ่มหรือลด SIR_{th} และกำลังส่ง โดยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ที่ได้รับการปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอแล้ว จะมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 4.3.2.4



รูปที่ 4.3.2.4 วงจรควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ที่ทำการปรับปรุงการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอแล้ว

4.3.3 การปรับเพิ่ม–ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน

การปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จะกระทำเช่นเดียวกับการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 เพียงแต่ค่าการถ่วงน้ำหนักค่าการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 ได้มาจากการประมวลผลของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ แทนที่จะมาจากการคำนวณสมการเส้นตรงดังเช่นวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ส่วน Power step size และ SIR_{th} step size ของวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.9 dB และเท่ากับ 0.0375 dB ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการจำลองระบบ และวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ

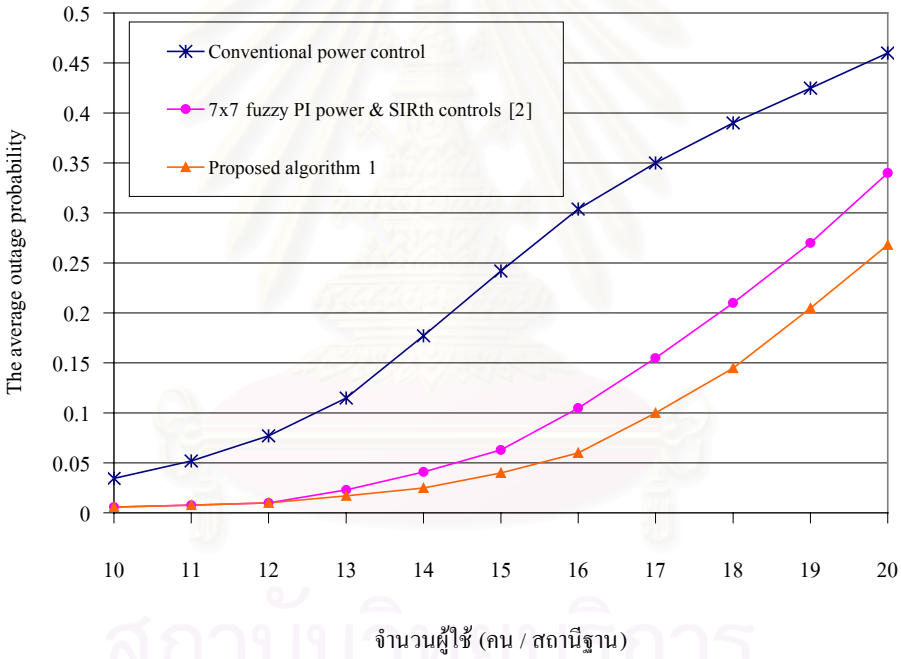
สมรรถนะของระบบจำลอง ที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสมรรถนะของระบบจำลอง ที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของระเบียบวิธีการควบคุมกำลังต่างๆ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ดังสมการ (1.1.2) และสมการ (1.1.4) ตามลำดับ

เนื้อหาของงานวิทยานิพนธ์ในบทที่ 5 นี้แบ่งได้เป็น 7 หัวข้อย่อยได้แก่

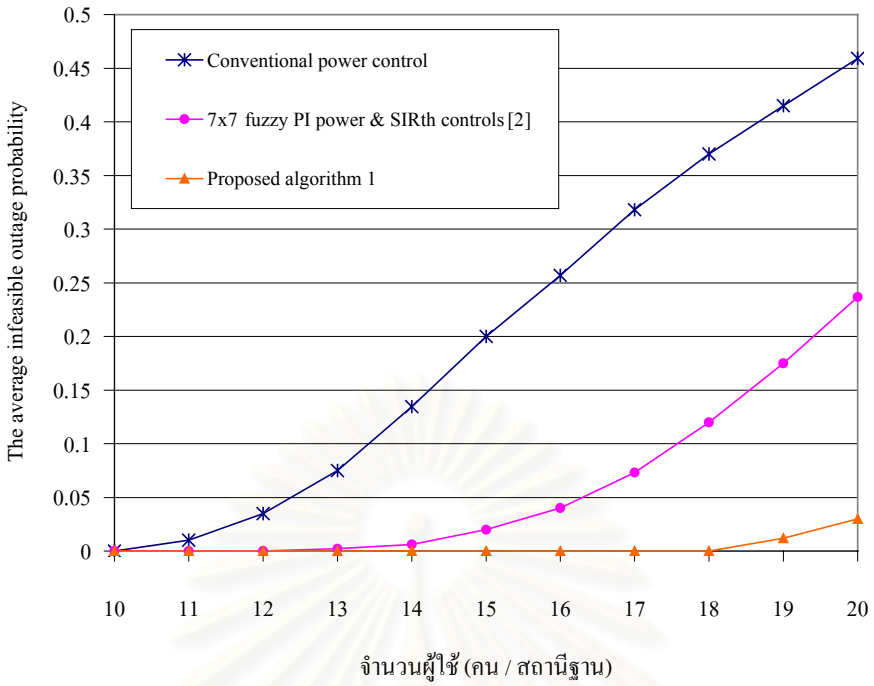
1. ผลการจำลองระบบ และวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่
2. ผลการจำลองระบบ และวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่
3. ผลการจำลองระบบ และวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่
4. การคำนวณความซับซ้อน และการเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้
5. การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้เมื่อระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่
6. ผลการจำลองระบบ วิเคราะห์ผลการจำลองระบบ และการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ เมื่อระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่
7. ผลการจำลองระบบ วิเคราะห์ผลการจำลองระบบ และการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ เมื่อระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

5.1 ผลการจำลองระบบ และวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่

เมื่อทำการจำลองระบบตามเงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ของวิทยานิพนธ์นี้ โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานมีค่าเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ แล้วทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 เพื่อวัดและทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมกำลังดังกล่าวกับ สมรรถนะของระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.1.1 และ 5.1.2



รูปที่ 5.1.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]



รูปที่ 5.1.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของสัญญาณในระบบเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 กับวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ดังแสดงในรูปที่ 5.1.1 และ 5.1.2 พบว่า ในทุกๆ จำนวนของผู้ใช้ต่อสถานีฐาน ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จะมีค่าต่างๆ ดังกล่าวน้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และระบบที่ทำการการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] จากผลการจำลองระบบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า

1. คุณภาพของสัญญาณ ในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จะดีกว่าคุณภาพของสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] โดยอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดจะแปรตามค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของสัญญาณในระบบ

2. ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จะมีความจุระบบสูงกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะเมื่อพิจารณาระเบียบวิธีการควบคุมกำลังทั้ง 3 วิธี ที่ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายใดๆ ซึ่งใช้ในการรับประกันคุณภาพสัญญาณพบว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

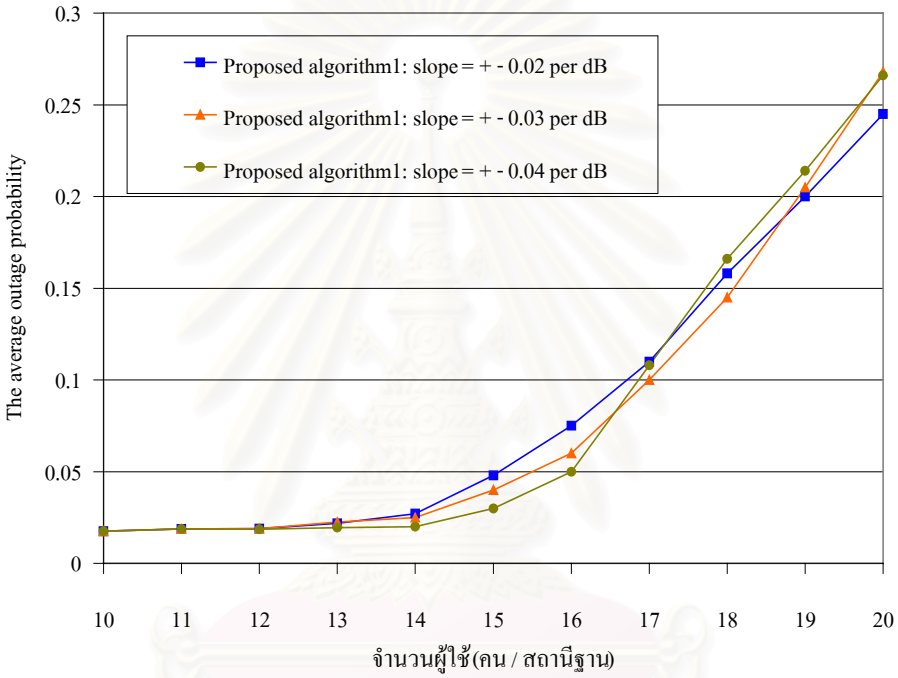
3. การควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มน้อยกว่า ระบบที่ทำการควบคุมด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะจากผลการจำลองระบบ ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เมื่อมีความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มลดลง ระบบควบคุมกำลังก็จะมีเสถียรภาพมากขึ้นและเป็นผลให้การเพิ่มกำลังโดยไม่จำเป็นของสถานีเคลื่อนที่ลดลง จึงทำให้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของสถานีเคลื่อนที่สามารถใช้ได้นานมากขึ้น

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.1.1 และ 5.1.2 ที่จำนวนผู้ใช้น้อยกว่า 13 คนต่อสถานีฐานจะเห็นว่า ที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานดังกล่าว ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ใกล้เคียงกับระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ทั้งนี้เป็นผลจากการออกแบบการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างจากวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เมื่อตัวถ่วงน้ำหนักทำงาน หรืออีกนัยหนึ่งคือเมื่อมีผู้ใช้ที่มีกำลังส่งมากกว่า –20 dB ในระบบ ซึ่งหากพิจารณากำลังส่งเฉลี่ยในรูปที่ 4.1.4.4 จะเห็นว่า ที่จำนวนผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐานมีค่าน้อยกว่า 13 คน กำลังส่งเฉลี่ยของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มีค่าต่ำกว่า –20 dB มาก นั่นหมายความว่าผู้ใช้ในระบบส่วนใหญ่จะทำการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่ต่ำกว่า –20dB เป็นผลให้ตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักของระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ไม่ค่อยได้ทำงาน จึงทำให้ระบบควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 มีลักษณะการทำงานส่วนใหญ่คล้ายกับระบบควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เมื่อจำนวนผู้ใช้น้อยกว่า 13 คนต่อสถานีฐาน

จากผลการจำลองระบบที่แสดงในรูปที่ 5.1.1 และ 5.1.2 แสดงให้เห็นว่า สมมุติฐานบางส่วนของวิทยานิพนธ์ที่กล่าวว่า “*การนำกำลังส่ง (p_j) ของผู้ใช้แต่ละคน มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้รายนั้นๆ ในระบบควบคุมกำลังแบบอ้างอิง*

ค่า SIR (SIR-based power control) จะช่วยให้การควบคุมกำลังสามารถกระทำได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากขึ้น" เป็นจริง

เมื่อทำการจำลองระบบตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 โดยทำการเปลี่ยนค่าความชันของสมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักจาก $\pm$ 0.03 per dB เป็น $\pm$ 0.02 และ $\pm$ 0.04 per dB เพื่อพิสูจน์ว่าจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานมีผลต่อการกำหนดและการปรับค่าถ่วงน้ำหนักดังสมมุติฐานของวิทยานิพนธ์จริงหรือไม่ ผลที่ได้จากการจำลองระบบเป็นดังรูปที่ 5.1.3



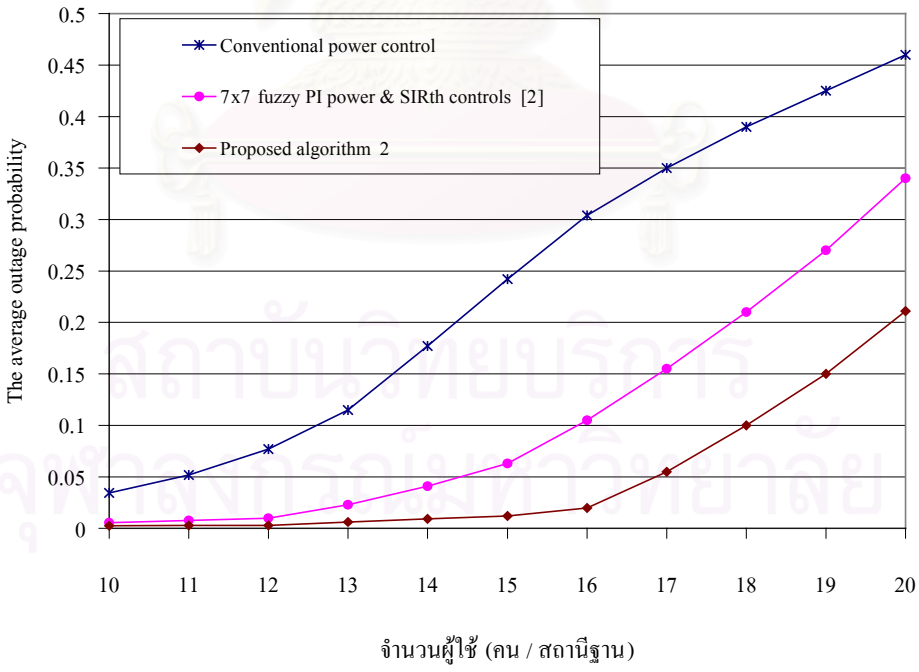
รูปที่ 5.1.3 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของสัญญาณเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 โดยค่าความความชันของสมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น $\pm$ 0.02, $\pm$ 0.03 และ $\pm$ 0.04 per dB

จากรูปที่ 5.1.3 จะเห็นว่าเส้นกราฟที่แสดงค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของสัญญาณเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวธีที่ 1 ที่มีการกำหนดค่าความชันของสมการเชิงเส้นที่ใช้คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักต่างกันจะตัดกันไปมา นั่นแสดงให้เห็นว่าที่จำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานต่างกัน ความชันของสมการเชิงเส้นที่ใช้ถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมก็จะมีค่าต่างกัน ดังนั้นคำสั่งของการควบคุมกำลังจะมีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้นหากเรานำจำนวนผู้ใช้ในระบบ หรือจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม–ลดค่า SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในระบบควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR จากผลการจำลอง

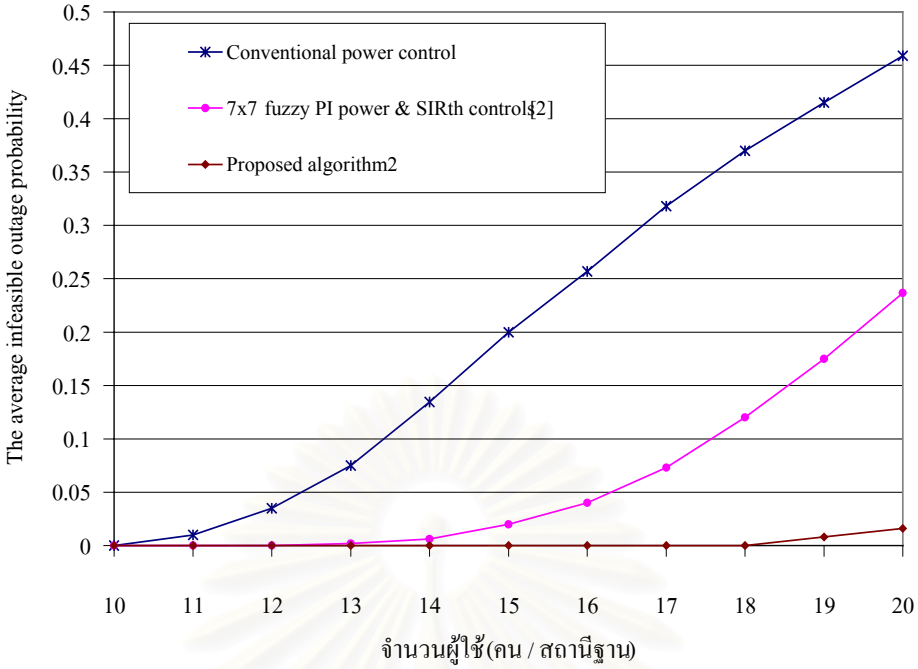
ระบบข้างต้นเราจึงสามารถสรุปได้ว่า สมมุติฐานทั้งหมดของงานวิทยานิพนธ์ที่ว่า *"การนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน และจำนวนผู้ใช้ในระบบ หรือ จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานนั้นๆ มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR (SIR-based power control) จะช่วยทำให้คำสั่งของการควบคุมกำลัง (power command) มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้น"* เป็นจริง

5.2 ผลการจำลองระบบ และวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่

เมื่อทำการจำลองระบบตามเงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ของวิทยานิพนธ์นี้ โดยกำหนดระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ แล้วทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 เพื่อวัดและทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมกำลังดังกล่าวกับ สมรรถนะของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.2.1 และ 5.2.2



รูปที่ 5.2.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]



รูปที่ 5.2.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2, ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 กับระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ดังแสดงในรูปที่ 5.2.1 และ 5.2.2 พบว่า ในทุกๆ จำนวนของผู้ใช้ในสถานีฐาน ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีค่าต่างๆ ดังกล่าวน้อยกว่าระบบที่ทำการการควบคุมกำลังด้วยระเบียบวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] นั่นหมายความว่า

1. ระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีคุณภาพของสัญญาณดีกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยกว่าระบบควบคุมกำลังอ้างอิงทั้งสอง ซึ่งอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดจะแปรตามค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของสัญญาณในระบบ

2. ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีความจุระบบสูงกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะเมื่อ

พิจารณาระเบียบวิธีการควบคุมกำลังทั้ง 3 วิธี ที่ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายใดๆ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการรับประกันคุณภาพสัญญาณ พบว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

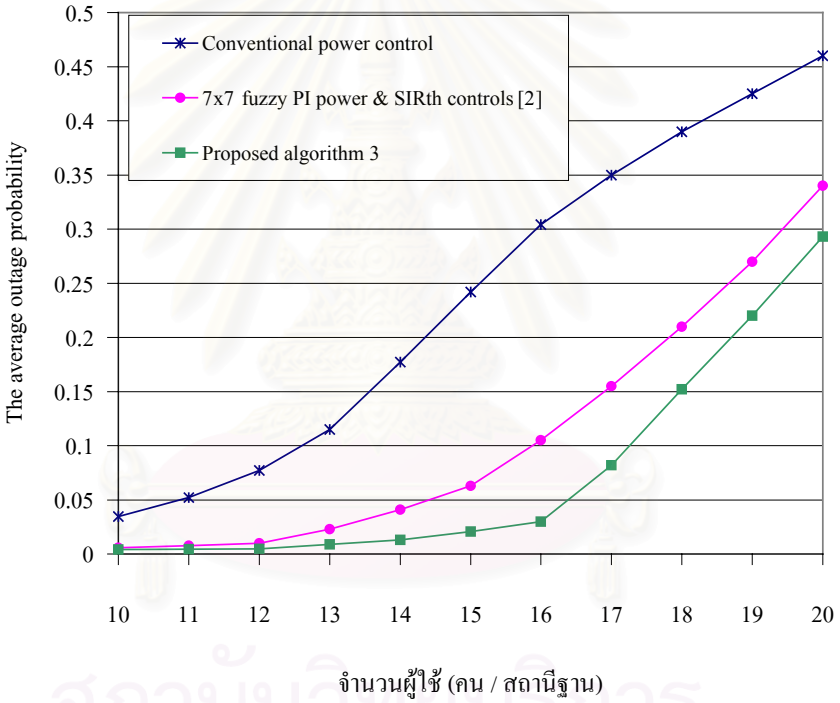
3. การควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มน้อยกว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะจากผลการจำลองระบบ ระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มาก นอกจากนี้เมื่อความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มน้อยลง ระบบควบคุมกำลังก็จะมีเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้การเพิ่มกำลังส่งโดยไม่จำเป็นของสถานีเคลื่อนที่ลดลง ส่งผลให้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของสถานีเคลื่อนที่สามารถใช้งานได้นานมากขึ้น

ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายที่ลดลงที่จำนวนผู้ใช้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 13 คนต่อสถานีฐานของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 เป็นผลจากการออกแบบลักษณะการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ให้ทำการปรับลดกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งต่ำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่เล็กกว่าปกติ และทำการปรับเพิ่มกำลังส่งและ SIR_{th} ของผู้ใช้ที่มีกำลังส่งต่ำด้วยขนาดของขั้นการปรับที่ใหญ่กว่าปกติเมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานน้อย เพื่อทำให้สัญญาณในระบบสามารถทนต่อเฟดดิงได้ดีขึ้น ซึ่งผลที่ได้ก็เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยสังเกตได้จากรูปที่ 5.2.1 ที่จำนวนผู้ใช้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 13 คนต่อสถานีฐาน ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย น้อยกว่าค่าดังกล่าวของระบบเมื่อทำการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

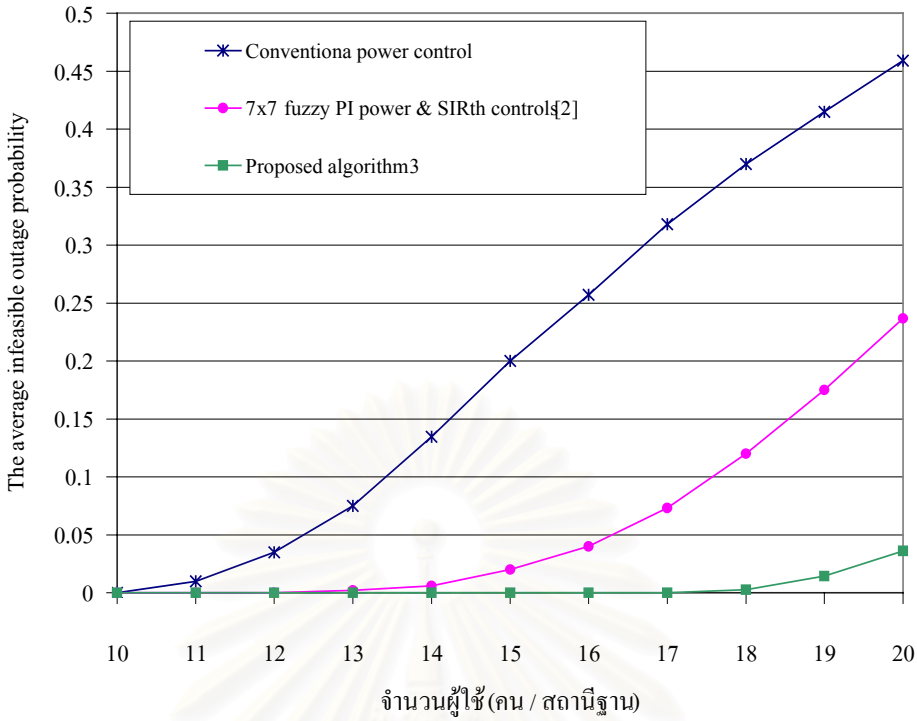
จากผลการจำลองระบบที่แสดงในรูปที่ 5.2.1 และ 5.2.2 แสดงให้เห็นว่า สมมุติฐานของวิทยานิพนธ์ที่กล่าวว่า "*การนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน และจำนวนผู้ใช้ในระบบ หรือ จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานนั้นๆ มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR จะช่วยทำให้คำสั่งที่ใช้การควบคุมกำลัง มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้น*" เป็นจริง

5.3 ผลการจำลองระบบ และวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่

เมื่อทำการจำลองระบบตามเงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ของวิทยานิพนธ์ โดยระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ แล้วทำการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 เพื่อวัดและทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมกำลังดังกล่าวกับ สมรรถนะของระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.3.1 และ 5.3.2



รูปที่ 5.3.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย เมื่อทำการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3, ทำการควบคุมกำลังด้วยระเบียบวิธีการแบบดั้งเดิม และ ทำการควบคุมกำลังด้วยระเบียบวิธีการที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]



รูปที่ 5.3.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3, ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และ ทำการควบคุมกำลังด้วยระเบียบวิธีการที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ในระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 กับค่าต่างๆ ดังกล่าวในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ดังแสดงในรูปที่ 5.3.1 และ 5.3.2 พบว่าในทุกๆ จำนวนของผู้ใช้ต่อสถานีฐานระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีค่าต่างๆ ดังกล่าวน้อยกว่าระบบที่ทำการการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] จากผลการจำลองระบบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า

1. คุณภาพของสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 จะดีกว่าคุณภาพของสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะจากผลการจำลองระบบดังรูปที่ 5.3.1 ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ซึ่งอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดจะแปรตามค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของสัญญาณในระบบ

2. ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีความจุระบบสูงกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะเมื่อพิจารณาระเบียบวิธีการควบคุมกำลังทั้ง 3 วิธี ที่ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายใดๆ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการรับประกันคุณภาพสัญญาณ พบว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

3. การควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มน้อยกว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะจากผลการจำลองระบบ ระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มาก นอกจากนี้เมื่อความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มน้อยลง ระบบควบคุมกำลังก็จะมีเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้การเพิ่มกำลังส่งโดยไม่จำเป็นของสถานีเคลื่อนที่ลดลง เป็นผลให้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของสถานีเคลื่อนที่สามารถใช้งานได้นานมากขึ้น

5.4 การคำนวณความซับซ้อน และการเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์

ในงานวิทยานิพนธ์นี้การคำนวณความซับซ้อน และการเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ จะกระทำด้วยกัน 3 วิธีคือ

1. การนับจำนวนโอเปอร์เรชันที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำงานในส่วนของการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ
2. การนับจำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ
3. การจับเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ

- **การนับจำนวนโอเปอร์เรชัน**

การนับจำนวนโอเปอร์เรชันที่ใช้ในการทำงานของระบบควบคุมใดๆ เป็นวิธีการวัดและเปรียบเทียบความซับซ้อนของระบบควบคุมวิธีหนึ่ง ถ้าระบบควบคุมใดมีจำนวนโอเปอร์เรชันที่ใช้งานมากแสดงว่าระบบควบคุมนั้นมีความซับซ้อนสูง ในทางตรงข้ามถ้าระบบควบคุมใดมีจำนวนโอเปอร์เรชันที่ใช้งานน้อยแสดงว่าระบบควบคุมนั้นมีความซับซ้อนต่ำ

โอเปอร์เรชันที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ทำงานในส่วนของการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. โอเปอร์เรชันที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์เช่น โอเปอร์เรชันการบวก โอเปอร์เรชันการลบ โอเปอร์เรชันการคูณ และโอเปอร์เรชันการหาร

2. โอเปอร์เรชันที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบและการทำตามเงื่อนไขนิพจน์ ซึ่งเงื่อนไขนิพจน์จะอยู่ในรูปของ “ถ้า…. แล้ว….”

เงื่อนไขนิพจน์ “ถ้า…. แล้ว….” เมื่อเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรมจะทำงาน 2 ขั้นตอนคือ

1. ทำการตรวจสอบข้อมูลขาเข้าว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ โดยในที่นี้กำหนดให้การทำงานลักษณะดังกล่าวแทนด้วยการใช้งานโอเปอร์เรชัน If

2. ทำตามคำสั่งที่กำหนดหลังทำตรวจสอบข้อมูลขาเข้ากับเงื่อนไขที่กำหนด โดยในที่นี้กำหนดให้การทำงานลักษณะดังกล่าวแทนด้วยการใช้งานโอเปอร์เรชัน Then

- **การนับจำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซี**

การนับจำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้ในระบบควบคุมต่างๆ แล้วนำจำนวนของฐานกฎเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกัน เป็นวิธีการเปรียบเทียบความซับซ้อนแบบหนึ่งของระบบควบคุมที่มีการใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซี ถ้าตัวควบคุมแบบฟัซซีของระบบควบคุมใดมีจำนวนฐานกฎมากนั่นหมายความว่าระบบควบคุมนั้นมีความซับซ้อนสูง ในทางตรงข้ามถ้าตัวควบคุมแบบฟัซซีของระบบควบคุมใดมีจำนวนฐานกฎน้อยนั่นหมายความว่า ระบบควบคุมนั้นมีความซับซ้อนต่ำ

- **การจับเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ**

การจับเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบควบคุมใดๆ เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการวัดและเปรียบเทียบความซับซ้อนของระบบควบคุมได้ ถ้าระบบควบคุมใดใช้เวลาในการจำลองระบบมากนั่นหมายความว่าระบบควบคุมนั้นมีความซับซ้อนในสูง ในทางตรงข้ามถ้าระบบควบคุมใดใช้เวลาในการจำลองระบบน้อยนั่นหมายความว่าระบบควบคุมนั้นมีความซับซ้อนในต่ำ

นอกจากนี้การจับเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ สามารถบอกเราได้ว่าวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ เหล่านั้น ที่ใช้และเสนอใน

งานวิทยานิพนธ์นี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือไม่ ถ้าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อทำการควบคุมกำลังที่รอบการชักตัวอย่างใดๆ มีค่าน้อยกว่าคาบของการชักตัวอย่างแสดงว่าวิธีการควบคุมกำลังนั้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่หากเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อทำการควบคุมกำลังที่รอบการชักตัวอย่างใดๆ มีค่ามากกว่าคาบของการชักตัวอย่างแสดงว่าวิธีการควบคุมกำลังนั้นยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในขณะนี้ และต้องพิจารณาว่ามีแนวโน้มที่จะนำไปใช้งานได้มากน้อยเพียงใด โดยเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ สามารถลดลงได้ หากการจำลองระบบและการควบคุมกำลังกระทำบนหน่วยประมวลผลที่มีความเร็วสูงขึ้น

เมื่อทำการนับจำนวนโอเปอร์เรชันต่างๆ และจำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีในแต่ละขั้นตอนการทำงานของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการจับเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบและทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ของผู้ใช้แต่ละคนในแต่ละรอบการชักตัวอย่างได้ผลดังนี้

5.4.1วิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม

วิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม มีขั้นตอนการประมวลผลเพื่อหาคำสั่งที่ใช้ในการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ดังนี้

1. ทำการตรวจสอบว่า SIR ที่วัดได้ที่สถานีฐานมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า SIR_{th} ด้วยโอเปอร์เรชัน If

2. ทำการกำหนดค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีฐานในรอบการชักตัวอย่างถัดไปด้วยค่าการปรับเท่ากับ $\pm$ 1 dB โดยใช้งานโอเปอร์เรชัน Then

จากขั้นตอนการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมข้างต้น เมื่อพิจารณาถึงจำนวนโอเปอร์เรชันและฐานกฎ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังดังกล่าวพบว่า

- **จำนวนโอเปร์เรชันที่ใช้**
  1. โอเปอร์เรชัน If จำนวน 1 โอเปอร์เรชัน
  2. โอเปอร์เรชัน Then จำนวน 1 โอเปอร์เรชัน

- **จำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้**

จำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีเท่ากับศูนย์ เนื่องจากการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม ไม่มีการใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซี

- **เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ**

เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบเมื่อมีจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 20 คนต่อสถานีฐาน และทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมจำนวน 900 รอบการชักตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 10 นาที 43 วินาที หรือใช้เวลาเท่ากับ 1.88×10^{-3} วินาที / คน / รอบการชักตัวอย่าง

5.4.2วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มีขั้นตอนการประมวลผลเพื่อหาคำสั่งที่ใช้ในการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ดังนี้

1. ทำการคำนวณหาค่าของข้อมูลขาเข้าเพื่อป้อนแก่ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 ดังสมการ (4.1.2.3) และสมการ (4.1.2.4) ซึ่งมีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 2 โอเปอร์เรชัน
2. ประมวลผลเพื่อหาค่าการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ในรอบการชักตัวอย่างถัดไปด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 ดังในรูปที่ 3.2.3 ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 49 กฎ (7×7 กฎ)
3. ทำการคำนวณหาค่าของข้อมูลขาเข้าเพื่อป้อนแก่ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 ดังสมการ (4.1.3.1) และสมการ (4.1.3.2) ซึ่งมีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 2 โอเปอร์เรชัน
4. ประมวลผลเพื่อหาค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีฐาน ในรอบการชักตัวอย่างถัดไปด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 ดังในรูปที่ 3.2.3 ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 49 กฎ (7×7 กฎ)

- **จำนวนโอเปอร์เรชันที่ใช้**

โอเปอร์เรชันที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เป็นโอเปอร์เรชันการคำนวณ ที่ใช้หาค่าของข้อมูลขาเข้าเพื่อป้อนแก่ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 และ 2 โดยโอเปอร์เรชันที่ใช้เป็นโอเปอร์เรชันลบจำนวน 4 โอเปอร์เรชัน

- **จำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้**

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มีการใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอที่มีขนาดของฐานกฎเท่ากับ 7×7 กฎ 2 ตัว เพราะฉะนั้นจำนวนฐานกฎที่ใช้ในการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพื่อทำการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในแต่ละรอบของการชักตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 98 กฎ

- **เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ**

เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบเมื่อมีจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 20 คนต่อสถานีฐาน และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] จำนวน 900 รอบการชัก

ตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 11 นาที 1 วินาที หรือใช้เวลาเท่ากับ 1.93×10^{-3} วินาที / คน / รอบการชักตัวอย่าง

5.4.3วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 มีขั้นตอนการประมวลผลเพื่อกำหนดคำสั่งที่ใช้ในการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ดังนี้

1. ทำการคำนวณเพื่อหาค่าของข้อมูลขาเข้า ที่ใช้ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 ดังสมการ (4.1.2.3) และสมการ (4.1.2.4) ซึ่งใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 2 โอเปอร์เรชัน

2. ทำการประมวลผลเพื่อหาค่าการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ในรอบการชักตัวอย่างถัดไปด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 ดังในรูปที่ 4.1.1 ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 49 กฎ (7×7 กฎ)

3. ตรวจสอบค่า $DSIR_{th}$ ว่ามีค่ามากกว่า (หรือเท่ากับ) หรือน้อยกว่าศูนย์ โดยใช้งานโอเปอร์เรชัน If 1 โอเปอร์เรชัน ถ้าค่า $DSIR_{th}$ มีค่ามากกว่า (หรือเท่ากับ) ศูนย์ ระบบควบคุมจะใช้งานโอเปอร์เรชัน Then 1 โอเปอร์เรชันในการสั่งให้โปรแกรมควบคุมกำลังทำการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก $WSIR_{th}$ ด้วยสมการ (4.1.4.3) แต่ถ้าค่า $DSIR_{th}$ มีค่าน้อยกว่าศูนย์ ระบบควบคุมจะใช้งาน โอเปอร์เรชัน Then สั่งให้โปรแกรมควบคุมกำลังทำการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก $WSIR_{th}$ ด้วยสมการ (4.1.4.2) โดยสมการ (4.1.4.2) และสมการ (4.1.4.3) มีการใช้งานโอเปอร์เรชัน + และ × สมการละ 1 โอเปอร์เรชัน

4. ระบบควบคุมทำการคูณค่าการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $WSIR_{th}$

5. ทำการคำนวณเพื่อหาค่าของข้อมูลขาเข้า ที่ใช้ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 ดังสมการ (4.1.3.1) และสมการ (4.1.3.2) ซึ่งต้องใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 2 โอเปอร์เรชัน

6. ทำการประมวลผลเพื่อหาค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีฐาน ในรอบการชักตัวอย่างถัดไปด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 ดังในรูปที่ 4.1.1 ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 49 กฎ (7×7 กฎ)

7. ตรวจสอบค่า Dp_t ว่ามีค่ามากกว่า (หรือเท่ากับ) หรือน้อยกว่าศูนย์ โดยใช้งานโอเปอร์เรชัน If 1 โอเปอร์เรชัน ถ้าค่า Dp_t มีค่ามากกว่า (หรือเท่ากับ) ศูนย์ ระบบควบคุมจะใช้งานโอเปอร์เรชัน Then 1 โอเปอร์เรชัน ในการสั่งให้โปรแกรมควบคุมกำลังทำการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t ด้วยสมการ (4.1.4.2) แต่ถ้าค่า Dp_t มีค่าน้อยกว่าศูนย์ ระบบควบคุมจะใช้งานโอเปอร์-เรชัน Then สั่งให้โปรแกรมควบคุมกำลังทำการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t ด้วยสมการ (4.1.4.3) โดยสมการ (4.1.4.2) และสมการ (4.1.4.3) ใช้งานโอเปอร์เรชัน + และ × สมการละ 1 โอเปอร์เรชัน

8. ระบบควบคุมทำการคูณค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t

- **จำนวนโอเปร์เรชันที่ใช้**

1. โอเปอร์เรชันการบวกมีจำนวน 2 โอเปอร์เรชัน
2. โอเปอร์เรชันการลบมีจำนวน 4 โอเปอร์เรชัน
3. โอเปอร์เรชันการคูณมีจำนวน 4 โอเปอร์เรชัน
4. โอเปอร์เรชัน If มีจำนวน 2 โอเปอร์เรชัน
5. โอเปอร์เรชัน Then มีจำนวน 2 โอเปอร์เรชัน

- **จำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้**

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 มีการใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอที่มีขนาดของฐานกฎเท่ากับ 7×7 กฎ 2 ตัว เพราะฉะนั้นจำนวนฐานกฎที่ใช้ในการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 เพื่อประมวลคำสั่งสำหรับการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในแต่ละรอบของการชักตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 98 กฎ

- **เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ**

เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบเมื่อมีจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 20 คนต่อสถานีฐาน และทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จำนวน 900 รอบการชักตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 11 นาที 14 วินาที หรือใช้เวลาเท่ากับ 1.97×10^{-3} วินาที / คน / รอบการชักตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 กับเวลาที่ใช้ในการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงายวิจัยอ้างอิงที่ [2] พบว่า การควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ใช้เวลาประมวลผลมากกว่าการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 4.79 % และใช้เวลาประมวลผลมากกว่าการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 2.07 %

5.4.4วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 มีขั้นตอนการประมวลผลเพื่อกำหนดคำสั่งที่ใช้ในการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ดังนี้

1. ทำการคำนวณเพื่อหาค่าของข้อมูลขาเข้าที่ใช้ป้อนแก่ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 ดังสมการ (4.1.2.3) และ (4.1.2.4) ที่มีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 2 โอเปอร์เรชัน

2. ทำการประมวลผลเพื่อนหาค่าการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ในรอบการชักตัวอย่างถัดไปด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 ดังในรูปที่ 4.2.1 ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 49 กฎ (7×7 กฎ)

3. ตรวจสอบค่า $D_{SIR_{th}}$ ว่ามีค่ามากกว่า (หรือเท่ากับ) หรือน้อยกว่าศูนย์ โดยใช้งานโอเปอร์เรชัน If 1 โอเปอร์เรชัน จากนั้นระบบควบคุมจะใช้งานโอเปอร์เรชัน Then 1 โอเปอร์เรชัน

ในการสั่งให้โปรแกรมควบคุมกำลังทำการประมวลผลเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก $W_{SIR_{th}}$ ด้วยตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอด้วยฐานกฎที่แสดงดังตารางที่ 5.2.1 (ก) ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 49 กฎ (7×7 กฎ) และอาจต้องทำการคำนวณ $W_{SIR_{th}}$ อีกครั้งด้วยสมการ (4.2.2.1) ซึ่งในสมการ (4.2.2.1) จะมีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 1 โอเปอร์เรชัน

4. ระบบควบคุมทำการคูณค่าการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $W_{SIR_{th}}$

5. ทำการคำนวณ เพื่อหาค่าของข้อมูลขาเข้าที่ใช้ป้อนแก่ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 ดังสมการ (4.1.3.1) และสมการ (4.1.3.2) ซึ่งมีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 2 โอเปอร์เรชัน

6. ทำการประมวลผลเพื่อหาค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีฐาน ในรอบการชักตัวอย่างถัดไปด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 ดังในรูปที่ 4.2.1 ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 49 กฎ (7×7 กฎ)

7. ตรวจสอบค่า Dp_t ว่ามีค่ามากกว่า (หรือเท่ากับ) หรือน้อยกว่าศูนย์ โดยใช้งานโอเปอร์เรชัน If 1 โอเปอร์เรชัน จากนั้นระบบควบคุมจะใช้งานโอเปอร์เรชัน Then 1 โอเปอร์เรชันในการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t โดยอ้างอิงถ่วงน้ำหนัก $W_{SIR_{th}}$ ที่ได้คำนวณไว้แล้ว และการกำหนดค่า Wp_t อาจต้องทำการคำนวณผ่านสมการ (4.2.2.2) อีกครั้งหนึ่งซึ่งในสมการ (4.2.2.2) จะมีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 1 โอเปอร์เรชัน

8. ระบบควบคุมทำการคูณค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t

จำนวนโอเปร์เรชันที่ใช้

1. โอเปอร์เรชันการลบมีจำนวน 6 โอเปอร์เรชัน
2. โอเปอร์เรชันการคูณมีจำนวน 2 โอเปอร์เรชัน
3. โอเปอร์เรชัน If มีจำนวน 2 โอเปอร์เรชัน
4. โอเปอร์เรชัน Then มีจำนวน 2 โอเปอร์เรชัน

จำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 มีการใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอที่มีขนาดของฐานกฎเท่ากับ 7×7 กฎ 2 ตัว และตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอที่มีขนาดของฐานกฎเท่ากับ 7×7 กฎ 1 ตัวเพราะฉะนั้นจำนวนฐานกฎที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ซึ่งใช้ในการประมวลคำสั่งสำหรับการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในแต่ละรอบการชักตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 147 กฎ

เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ

เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบเมื่อมีจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 20 คนต่อสถานีฐาน และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จำนวน 900 รอบการชักตัวอย่างมีค่าเท่ากับ

11 นาที 23 วินาที หรือใช้เวลาเท่ากับ 2.00×10^{-3} วินาที / คน / รอบการชักตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 กับเวลาที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงายวิจัยอ้างอิงที่ [2] พบว่า การควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 6.38 % และใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 3.63 %

5.4.5 วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 มีขั้นตอนการประมวลผลเพื่อกำหนดคำสั่งที่ใช้ในการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของสถานีเคลื่อนที่ดังนี้

1. ทำการคำนวณหาค่าของข้อมูลขาเข้า เพื่อป้อนแก่ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 ดังสมการ (4.1.2.3) และสมการ (4.1.2.4) ซึ่งมีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 2 โอเปอร์เรชัน

2. ทำการประมวลผลเพื่อหาค่าการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ในรอบการชักตัวอย่างถัดไปด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 1 ดังในรูปที่ 4.3.1 ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 25 กฎ (5×5 กฎ)

3. ตรวจสอบค่า $DSIR_{th}$ ว่ามีค่ามากกว่า (หรือเท่ากับ) หรือน้อยกว่าศูนย์ โดยใช้งานโอเปอร์เรชัน If 1 โอเปอร์เรชัน จากนั้นระบบควบคุมจะใช้งานโอเปอร์เรชัน Then 1 โอเปอร์เรชันในการสั่งให้โปรแกรมควบคุมกำลังทำการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก $WSIR_{th}$ ด้วยตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอที่มีฐานกฎดังตารางที่ 5.3.1 (ก) ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 25 กฎ (5×5 กฎ) และอาจต้องทำการคำนวณ $WSIR_{th}$ ด้วยสมการ (4.3.2.1) อีกครั้งหนึ่งซึ่งในสมการ (4.3.2.1) จะมีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 1 โอเปอร์เรชัน

4. ระบบควบคุมทำการคูณค่าการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $WSIR_{th}$

5. ทำการคำนวณหาค่าของข้อมูลขาเข้า เพื่อป้อนแก่ตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 ดังสมการ (4.1.3.1) และสมการ (4.1.3.2) ซึ่งมีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 2 โอเปอร์เรชัน

6. ทำการประมวลผลเพื่อหาค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของสถานีฐาน ในรอบการชักตัวอย่างถัดไปด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 ดังในรูปที่ 4.3.1 ซึ่งมีจำนวนฐานกฎเท่ากับ 25 กฎ (5×5 กฎ)

7. ตรวจสอบค่า Dp_t ว่ามีค่ามากกว่า (หรือเท่ากับ) หรือน้อยกว่าศูนย์ โดยใช้งานโอเปอร์เรชัน If 1 โอเปอร์เรชัน จากนั้นระบบควบคุมจะใช้งานโอเปอร์เรชัน Then 1 โอเปอร์เรชันในการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t โดยอ้างอิงถ่วงน้ำหนัก $WSIR_{th}$ ที่ได้คำนวณไว้แล้ว และการกำหนดค่า Wp_t อาจต้องทำการคำนวณผ่านสมการ (4.3.2.2) อีกครั้งหนึ่งซึ่งในสมการ (4.3.2.2) จะมีการใช้งานโอเปอร์เรชันการลบ 1 โอเปอร์เรชัน

8. ระบบควบคุมทำการคูณค่าการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t

- **จำนวนโอเปร์เรชันที่ใช้**
  1. โอเปอร์เรชันการลบมีจำนวน 6 โอเปอร์เรชัน
  2. โอเปอร์เรชันการคูณมีจำนวน 2 โอเปอร์เรชัน
  3. โอเปอร์เรชัน If มีจำนวน 2 โอเปอร์เรชัน
  4. โอเปอร์เรชัน Then มีจำนวน 2 โอเปอร์เรชัน

- **จำนวนฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้**

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 มีการใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอที่มีขนาดของฐานกฎเท่ากับ 5×5 กฎ 2 ตัว และตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอที่มีขนาดของฐานกฎเท่ากับ 5×5 กฎ 1 ตัวเพราะฉะนั้นจำนวนฐานกฎที่ใช้ในการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 เพื่อประมวลคำสั่งสำหรับการปรับเพิ่ม-ลด SIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคนในแต่ละรอบของการชักตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 75 กฎ

- **เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ**

เวลาที่ใช้ในการจำลองระบบเมื่อมีจำนวนผู้ใช้เท่ากับ 20 คนต่อสถานีฐาน และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จำนวน 900 รอบการชักตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 10 นาที 59 วินาที หรือใช้เวลาเท่ากับ 1.93×10^{-3} วินาที / คน / รอบการชักตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการควบคุมกำลังตามวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 กับเวลาที่ใช้ในการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงายวิจัยอ้างอิงที่ [2] พบว่า การควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 2.66 % แต่ใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

ตารางที่ 5.4.1 เป็นตารางที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนโอเปอร์เรชัน จำนวนฐานกฎ และเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบหรือเวลาที่ใช้ในการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีการควบคุมกำลังแต่ละวิธี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.4.1 ตารางเปรียบเทียบจำนวนโอเปอร์เรชัน ฐานกฎ และเวลาที่ใช้ในการควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ เมื่อใช้งานร่วมกับระบบจำลองที่สร้างขึ้น

ระเบียบวิธีการควบคุมกำลัง	โอเปอร์เรชัน (โอเปอร์เรชัน)					ฐานกฎรวม (กฎ)	เวลาที่ใช้ (ms / คน / รอบการชักตัวอย่าง)
	If	Then	+	-			
แบบดั้งเดิม	1	1	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	1.88
แบบงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	4	ไม่มี	98	1.93
แบบที่เสนอวิธีที่ 1	2	2	2	4	4	98	1.97
แบบที่เสนอวิธีที่ 2	2	2	ไม่มี	6	2	147	2.00
แบบที่เสนอวิธีที่ 3	2	2	ไม่มี	6	2	75	1.93

จากตาราง 5.4.1 เมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนโอเปอร์เรชัน จำนวนฐานกฎ และเวลาที่ใช้ในการควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ เมื่อใช้งานร่วมกับระบบจำลองที่สร้างขึ้น สามารถสรุปได้ดังนี้

- **เมื่อเปรียบเทียบจำนวนโอเปอร์เรชันที่ใช้งาน**

1. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 มีการใช้งานโอเปอร์เรชันมากที่สุด
2. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 มีการใช้งานโอเปอร์เรชันเท่ากัน และมีการใช้งานโอเปอร์เรชันมากเป็นลำดับที่ 2
3. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มีการใช้งานโอเปอร์เรชันมากเป็นลำดับที่ 3
4. วิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม มีการใช้งานโอเปอร์เรชันมากเป็นลำดับที่ 4 นั่นคือมีการใช้งานโอเปอร์เรชันน้อยที่สุด

- **เมื่อเปรียบเทียบจำนวนจำนวนฐานกฎที่ตัวควบคุมแบบฟัซซีต่างๆ ใช้งาน**

1. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 มีการใช้งานฐานกฎของตัวควบคุมต่างๆ ที่ทำงานแบบฟัซซีมากที่สุด
2. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มีการใช้งานฐานกฎของตัวควบคุมต่างๆ ที่ทำงานแบบฟัซซีเท่ากัน และมีการใช้งานฐานกฎของตัวควบคุมแบบฟัซซีมากเป็นลำดับที่ 2
3. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 มีการใช้งานฐานกฎของตัวควบคุมต่างๆ ที่ทำงานแบบฟัซซีมากเป็นลำดับที่ 3
4. วิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม ไม่มีการใช้งานฐานกฎเพราะการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการดังกล่าวไม่มีการใช้งานตัวควบคุมแบบฟัซซี

- **เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบ**

1. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ใช้เวลาในการจำลองระบบและทำการควบคุมกำลังนานที่สุดเพราะมีการใช้งานโอเปอร์เรชันและฐานกฎมากที่สุด นั่นคือใช้เวลาเท่ากับ 2.00×10^{-3} วินาที / คน / รอบการชักตัวอย่าง

2. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ใช้เวลาในการจำลองระบบและทำการควบคุมกำลังนานเป็นลำดับที่ 2 นั่นคือใช้เวลาเท่ากับ 1.97×10^{-3} วินาที / คน / รอบการชักตัวอย่าง

3. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ใช้เวลาในการจำลองระบบและทำการควบคุมกำลังเท่ากัน โดยการควบคุมกำลังทั้งสองแบบนี้ใช้เวลาในการจำลองระบบ และทำการควบคุมกำลังนานเป็นลำดับที่ 3 นั่นคือใช้เวลาเท่ากับ 1.93×10^{-3} วินาที / คน / รอบการชักตัวอย่าง

4. วิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม ใช้เวลาในการจำลองระบบและทำการควบคุมกำลังน้อยที่สุด นั่นคือใช้เวลาเท่ากับ 1.88×10^{-3} วินาที / คน / รอบการชักตัวอย่าง

เนื่องจากเวลาในการทำงานของคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ใช้ในการคำนวณหาค่า SIR ซึ่งเป็นการหาอินเวอร์สของเมตริกซ์ที่มีขนาดเท่ากับจำนวนผู้ใช้ในระบบ คูณด้วยจำนวนผู้ใช้ในระบบ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่มีขนาดใหญ่จึงต้องใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก และการหาอินเวอร์สของเมตริกซ์นี้วิธีการควบคุมกำลังที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ทุกวิธีจะต้องกระทำ ส่วนการประมวลผลตามโอเปอร์เรชันและฐานกฎที่กำหนดนั้น คอมพิวเตอร์สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว นี่เองจึงเป็นสาเหตุให้การควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังต่างๆ ใช้เวลาในการจำลองระบบและควบคุมกำลังใกล้เคียงกันมาก แม้จำนวนโอเปอร์เรชันและฐานกฎที่ใช้ในระเบียบวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ จะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

ในระบบจำลอง การควบคุมกำลังจะกระทำทุกๆ 2 มิลลิวินาที ดังนั้นเมื่อพิจารณาเวลาในการจำลองระบบและการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ดังที่ได้แสดงในตาราง 5.4.1 จะเห็นว่าที่จำนวนผู้ใช้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 คนต่อสถานีฐาน ถ้าไม่พิจารณาเวลาที่ใช้ในการส่งบิตข้อมูลการควบคุมกำลัง (Power Control Bit) ระหว่างสถานีฐานและสถานีเคลื่อนที่ วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี ใช้เวลาในการประมวลผลเพื่อทำการควบคุมกำลังของผู้ใช้ 1 คน ใน 1 รอบการชักตัวอย่างน้อยกว่าหรือเท่ากับคาบของการชักตัวอย่าง นั่นแสดงว่าวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี สามารถนำไปใช้งานในระบบควบคุมกำลังจริงได้ แต่การควบคุมกำลังของผู้ใช้ทุกคนในสถานีฐานจะต้องกระทำไปพร้อมๆ กัน และหากระบบมีจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานมากกว่า 20 คนต่อสถานีฐาน หรือมีการพิจารณาเวลาที่ใช้ในการส่งบิตข้อมูลการควบคุมกำลังระหว่างสถานี

ฐานและสถานีเคลื่อนที่ วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี ก็ยังสามารถใช้งานในระบบควบคุมกำลังจริงได้ ถ้ามีการปรับเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลให้ทำงานได้รวดเร็วขึ้น

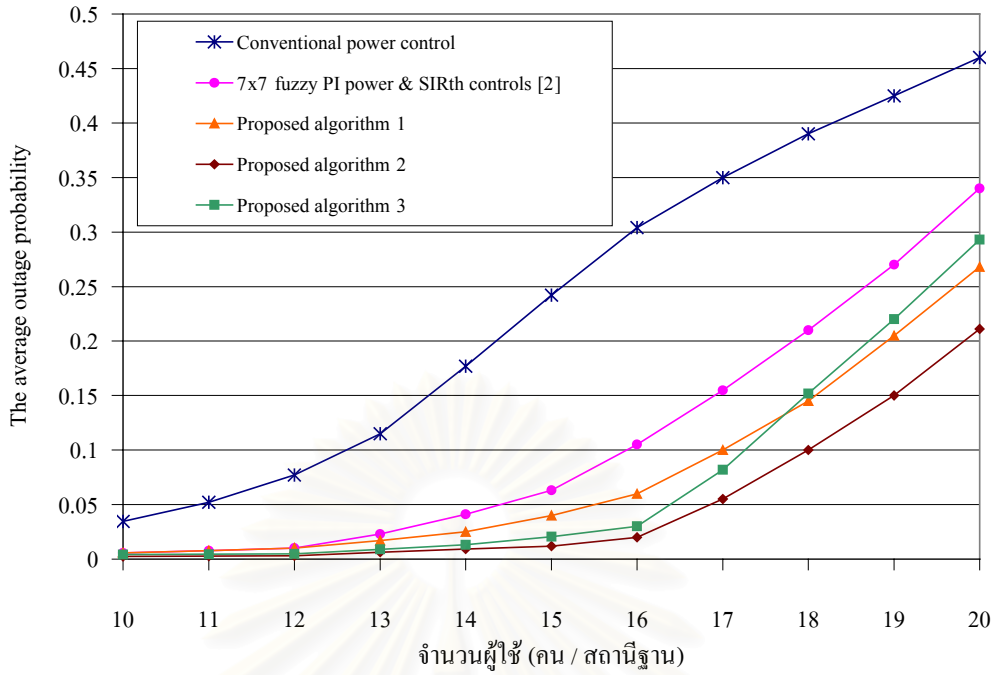
เมื่อพิจารณาภาพโดยรวมของความซับซ้อนในวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้พบว่า

1. วิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมมีความซับซ้อนน้อยที่สุด
2. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มีความซับซ้อนเท่ากัน (หรือใกล้เคียงกันมาก) และมีความซับซ้อนน้อยเป็นลำดับที่ 2
3. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 มีความซับซ้อนน้อยเป็นลำดับที่ 3
4. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 มีความซับซ้อนน้อยเป็นลำดับที่ 4 นั่นคือมีความซับซ้อนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมกำลังแบบอื่นๆ ที่ใช้งานในวิทยานิพนธ์นี้

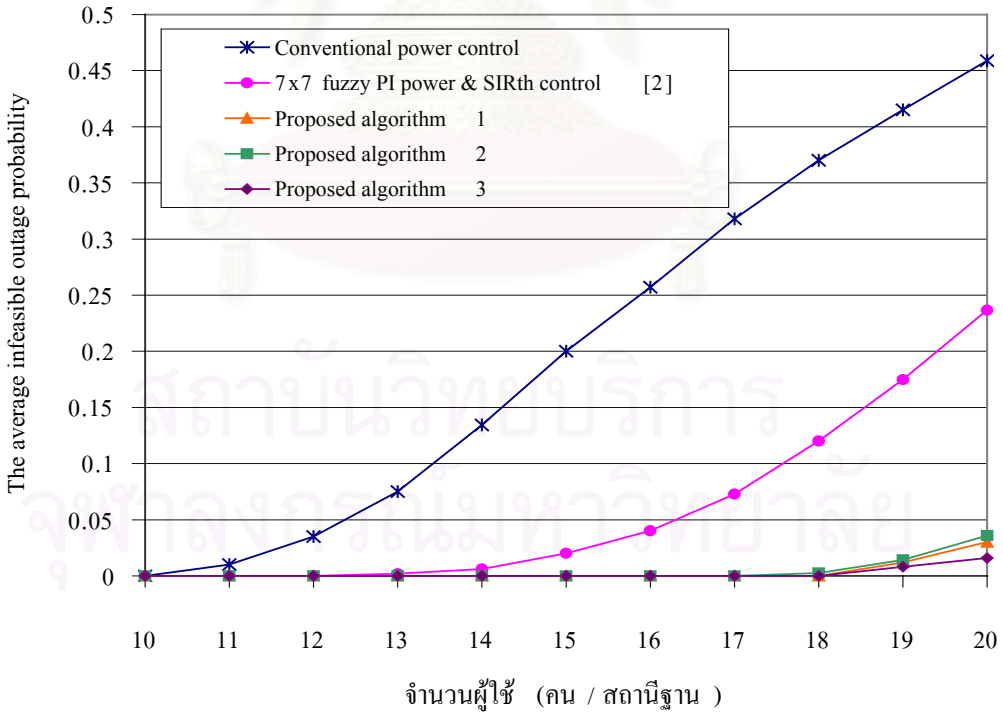
5.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้เมื่อระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่

เมื่อทำการจำลองระบบตามเงื่อนไขและข้อกำหนดต่างๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ของวิทยานิพนธ์นี้ โดยกำหนดให้ระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ แล้วทำการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย การควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม การควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] และระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี จากนั้นทำการวัดสมรรถนะของระบบควบคุมกำลังเพื่อทำการเปรียบเทียบกับสมรรถนะของระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการต่างๆ ดังกล่าว ผลที่ได้จากการจำลองระบบเป็นดังรูปที่ 5.5.1 และ 5.5.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย ที่ค่าต่างๆ ของจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน เมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่



รูปที่ 5.5.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ที่ค่าต่างๆ ของจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่

5.5.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.5.1 ที่แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าดังกล่าว ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐาน พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐาน เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมมีค่าเท่ากับ 0.239 และมีค่าเท่ากับ 0.112 เมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าดังกล่าวกับค่าที่ได้จากการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธีพบว่า

1. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐานน้อยที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.053 หรือคิดเป็น 22.36 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และคิดเป็น 47.72 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

นั่นแสดงว่า สัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีคุณภาพดีกว่าสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 77.64 % และจะดีกว่าคุณภาพของสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 52.28 %

2. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จะทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐานน้อยเป็นลำดับที่ 2 คือมีค่าเท่ากับ 0.076 หรือคิดเป็น 31.94 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และคิดเป็น 68.17 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

นั่นแสดงว่า สัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีคุณภาพดีกว่าสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 68.06 % และจะดีกว่าคุณภาพของสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 31.83 %

3. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จะทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐานน้อย

เป็นลำดับที่ 3 คือมีค่าเท่ากับ 0.080 หรือคิดเป็น 33.63 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และคิดเป็น 71.80 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

นั่นแสดงว่า สัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีคุณภาพดีกว่าสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 66.37 % และจะดีกว่าคุณภาพของสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 28.20 %

จากผลการจำลองระบบในรูปที่ 5.5.1 และการวิเคราะห์ผลการจำลองระบบข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า จากแนวทางการปรับปรุงระเบียบวิธีการควบคุมกำลัง ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบซีดีเอ็มเอที่เสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า "*การนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน และจำนวนผู้ใช้ในระบบ หรือ จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานนั้นๆ มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR จะช่วยให้คำสั่งของการควบคุมกำลัง มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้น*" สามารถทำให้คำสั่งของการควบคุมกำลัง มีความเหมาะสม และการควบคุมกำลังมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้จริง โดยสังเกตได้จากค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ในระบบลดลง เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี ซึ่งการลดลงของค่าดังกล่าวทั้งสองจะให้เกิดผลดีต่อระบบดังนี้

1. ระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น เพราะการลดลงของค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายจะยังผลให้อัตราบิตข้อมูลผิดพลาดของสัญญาณในระบบลดลงตามไปด้วย

2. ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีความจุระบบสูงกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะเมื่อพิจารณาวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี ที่ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายใดๆ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการรับประกันคุณภาพสัญญาณ พบว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี สามารถรองรับผู้ใช้ได้มากกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมและแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

5.5.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.5.2 ที่แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าดังกล่าว ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐานพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐาน เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมมีค่าเท่ากับ 0.207 และเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มีค่าเท่ากับ 0.061 หากทำการเปรียบเทียบค่าดังกล่าว กับค่าดังที่ได้เมื่อใช้งานวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบวิธีการที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีค่าลดลงมากและมีค่าดังนี้

1. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะทำให้ระบบจำลองมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐานน้อยที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.002 หรือคิดเป็น 1.06 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และคิดเป็น 3.57 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

นั่นแสดงว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีความน่าจะเป็นการเกิดปรากฏการณ์ผลกระทบแบบกลุ่มน้อยกว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 98.94 % และน้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 96.43 %

2. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จะทำให้ระบบจำลองมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐานน้อยเป็นลำดับที่ 2 คือมีค่าเท่ากับ 0.004 หรือคิดเป็น 1.85 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และคิดเป็น 6.24 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

นั่นแสดงว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 จะมีความน่าจะเป็นการเกิดปรากฏการณ์ผลกระทบแบบกลุ่มน้อยกว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 98.15 % และน้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 93.76 %

3. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จะทำให้ระบบจำลองมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ในช่วงจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานเท่ากับ 10 ถึง 20 คนต่อสถานีฐานน้อยเป็นลำดับที่ 3 คือมีค่าเท่ากับ 0.005 หรือคิดเป็น 2.34 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และคิดเป็น 7.89 % ของค่าดังกล่าวเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

นั่นแสดงว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีความน่าจะเป็นการเกิดปรากฏการณ์ผลกระทบแบบกลุ่มน้อยกว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 97.66 % และน้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 92.11 %

จากผลการจำลองระบบในรูปที่ 5.5.2 และการวิเคราะห์ผลการจำลองระบบข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า แนวทางในการปรับปรุงระเบียบวิธีการควบคุมกำลัง ของระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบซีดีเอ็มเอที่เสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ซึ่งตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า *"การนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน และจำนวนผู้ใช้ในระบบ หรือ จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานนั้นๆ มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR จะช่วยให้คำสั่งของการควบคุมกำลัง มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้น"* สามารถทำให้คำสั่งของการควบคุมกำลัง มีความเหมาะสม และการควบคุมกำลังมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้จริง โดยสังเกตได้จากค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบจำลองเมื่อทำการควบคุมกำลังตามระเบียบวิธีการที่เสนอมีค่าลดลง ซึ่งจะยังผลให้ความน่าจะเป็นการเกิดปรากฏการณ์ผลกระทบแบบกลุ่มลดลงตามไปด้วย และเมื่อระบบมีความน่าจะเป็นการเกิดปรากฏการณ์ผลกระทบแบบกลุ่มลดลง นั่นหมายความว่าระบบควบคุมกำลังมีเสถียรภาพมากขึ้น

5.5.3 เปรียบเทียบจำนวนบิตที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังแบบต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาจำนวนรูปแบบของคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่ง ที่สถานีฐานต้องทำการส่งผ่านช่องสัญญาณไปยังสถานีเคลื่อนที่ของการควบคุมกำลังแต่ละวิธีพบว่า

1. วิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม มีรูปแบบคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งน้อยที่สุดคือ 2 รูปแบบ ได้แก่ เพิ่มกำลังส่ง 1 dB และลดกำลังส่ง 1 dB ซึ่งสามารถกระทำได้โดยใช้บิตข้อมูลการควบคุมกำลัง (Power control bit) เพียง 1 บิตเท่านั้น

2. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] มีรูปแบบคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่ง 13 รูปแบบ ตามระดับการควอนไตซ์ของข้อมูลขาออกที่ได้จากการประมวลผลของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 ในรูปที่ 3.2.3 ดังนั้นการส่งคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งจะต้องใช้บิตข้อมูลการควบคุมกำลังจำนวน 4 บิต

3. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 มีรูปแบบคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งทั้งหมด 101 รูปแบบ ซึ่งคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 ได้มาจากการคูณข้อมูลขาออกของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 กับค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t ที่

คำนวณจากสมการเส้นตรงและผ่านการควอนไตซ์แล้วดังในรูปที่ 4.1.1 ดังนั้นการส่งคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งจะต้องใช้บิตข้อมูลการควบคุมกำลังจำนวน 7 บิต

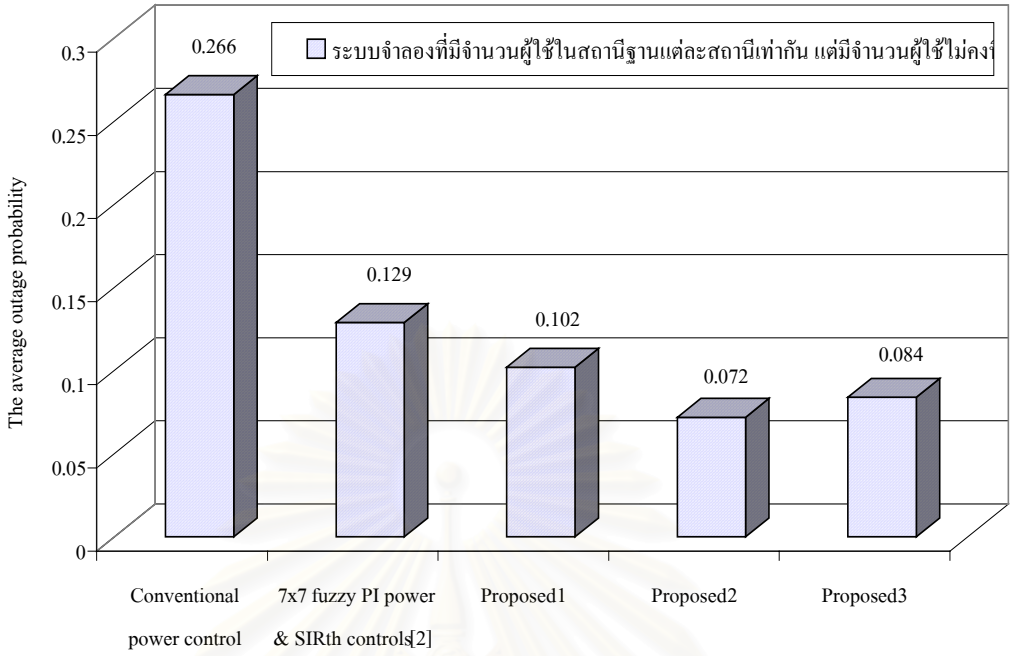
4. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ก็มีรูปแบบคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งทั้งหมด 101 รูปแบบเช่นกัน ซึ่งคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 ได้มาจากการคูณข้อมูลขาออกของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 กับค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t ที่เป็นข้อมูลขาออกของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ดังในรูปที่ 4.2.1 ดังนั้นการส่งคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งจะต้องใช้งานบิตข้อมูลการควบคุมกำลังจำนวน 7 บิต

5. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 มีรูปแบบคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งทั้งหมด 30 รูปแบบ ซึ่งคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งของระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ได้มาจากการคูณข้อมูลขาออกของตัวควบคุมแบบฟัซซีพีไอตัวที่ 2 กับค่าถ่วงน้ำหนัก Wp_t ที่เป็นข้อมูลขาออกของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ดังในรูปที่ 4.3.1 ดังนั้นการส่งคำสั่งการปรับเพิ่ม-ลดกำลังส่งจะต้องใช้งานบิตข้อมูลการควบคุมกำลังจำนวน 5 บิต

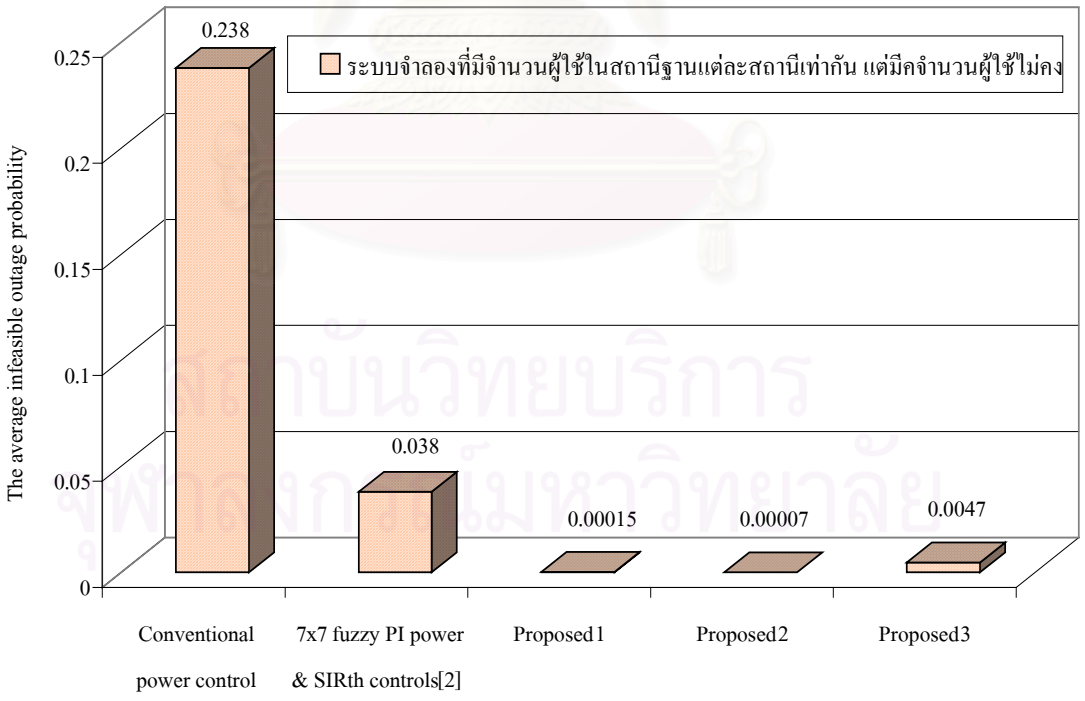
5.6 ผลการจำลองระบบ วิเคราะห์ผลการจำลองระบบ และการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ เมื่อระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

เมื่อทำการจำลองระบบตามข้อกำหนดต่างๆ ของการจำลองระบบดังรายละเอียดในบทที่ 3 ของงานวิทยานิพนธ์ แต่เปลี่ยนการกำหนดจำนวนผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐานจากการกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีมีค่าเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ เป็นระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ โดยจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีจะมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยค่าสุ่มที่มีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Uniformly distribution) ทุกๆ 600 รอบของการชักตัวอย่าง

ผลการจำลองระบบที่แสดงในรูปที่ 5.6.1 และ 5.6.2 เป็นการจำลองระบบตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ของสถานีฐานทั้ง 19 สถานี มีการเปลี่ยนทั้งหมด 20 ครั้ง (15, 16, 14, 18, 16, 19, 17, 10, 15, 14, 16, 11, 14, 18, 18, 18, 14, 20, 19, 15 คนต่อสถานีฐาน) และทำการจำลองระบบด้วยชุดข้อมูล 20 ชุด



รูปที่ 5.6.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเมื่อใช้งานวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่



รูปที่ 5.6.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อใช้งานวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

5.6.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่าง ๆ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย โดยพิจารณาผลการจำลองระบบดังแสดงในรูปที่ 5.6.1 พบว่า

- วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยที่สุดคือ 0.072 นั่นคือมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย หรือ BER ลดลง จากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมซึ่งมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเท่ากับ 0.266 อยู่ 72.93 % และมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย หรือ BER ลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเท่ากับ 0.129 อยู่ 44.19 %

- วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 จะทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยเป็นลำดับที่ 2 คือ 0.084 นั่นคือมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย หรือ BER ลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 68.42 % และลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 34.88 %

- วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 จะทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยเป็นลำดับที่ 3 คือ 0.102 นั่นคือมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย หรือ BER ลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 61.65 % และลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 20.93 %

5.6.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังวิธีการควบคุมกำลังแบบต่าง ๆ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ โดยพิจารณาผลการจำลองระบบดังแสดงในรูปที่ 5.6.2 พบว่า

- วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 จะทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยที่สุดคือ 0.00007 ซึ่งหมายความว่าค่าเฉลี่ยดังกล่าวจะลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมซึ่งมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เท่ากับ 0.238 อยู่ 99.97 % และจะลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ซึ่งมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เท่ากับ 0.038 อยู่ 99.82 %

- ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยเป็นลำดับที่ 2 คือ 0.00015 โดยค่าเฉลี่ยดังกล่าวลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 99.94 % และลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 99.61 %

- ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยเป็นลำดับที่ 3 คือ 0.0047 โดยค่าเฉลี่ยดังกล่าวลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 98.03 % และลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 87.63 %

ตาราง 5.6.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

ระเบียบวิธีการควบคุมกำลัง	**ค่าเฉลี่ย**	
	Outage probability	**Infeasible outage probability**
การควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม	0.266	0.23800
การควบคุมกำลังแบบงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]	0.129	0.03800
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1	0.102	0.00015
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2	0.072	0.00007
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3	0.084	0.00470

จากตาราง 5.6.1 ซึ่งแสดงค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และ ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของสัญญาณในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ตามเงื่อนไขการจำลองระบบข้างต้นพบว่า ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ คือจำนวนผู้ใช้มีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 600 รอบของการชักตัวอย่าง วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี ยังคงทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยกว่าค่าต่างๆ ดังกล่าวของระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] นั่นแสดงว่า

- วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี เมื่อนำมาใช้งานในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ ก็ยังคงทำให้คุณภาพของสัญญาณเพิ่มขึ้นและมีอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดต่ำ สังเกตได้จากผลการจำลองระบบซึ่งแสดงให้เห็นแล้วว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

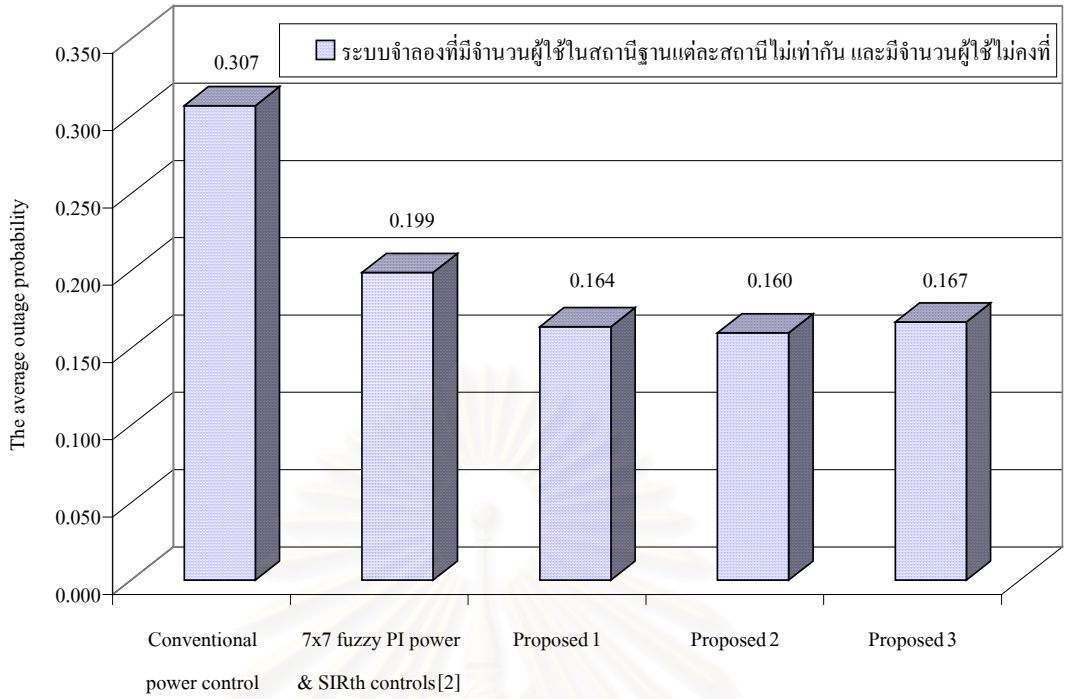
- วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มลดลง สังเกตได้จากผลการจำลองระบบซึ่งแสดงให้เห็นแล้วว่า ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอทั้ง 3 วิธีจะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

จากข้อสรุปข้างต้นแสดงให้เห็นว่า แม้ระบบที่จำลองจะมีการกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีมีค่าเท่ากันแต่มีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี ก็ยังคงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุมกำลังในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอได้

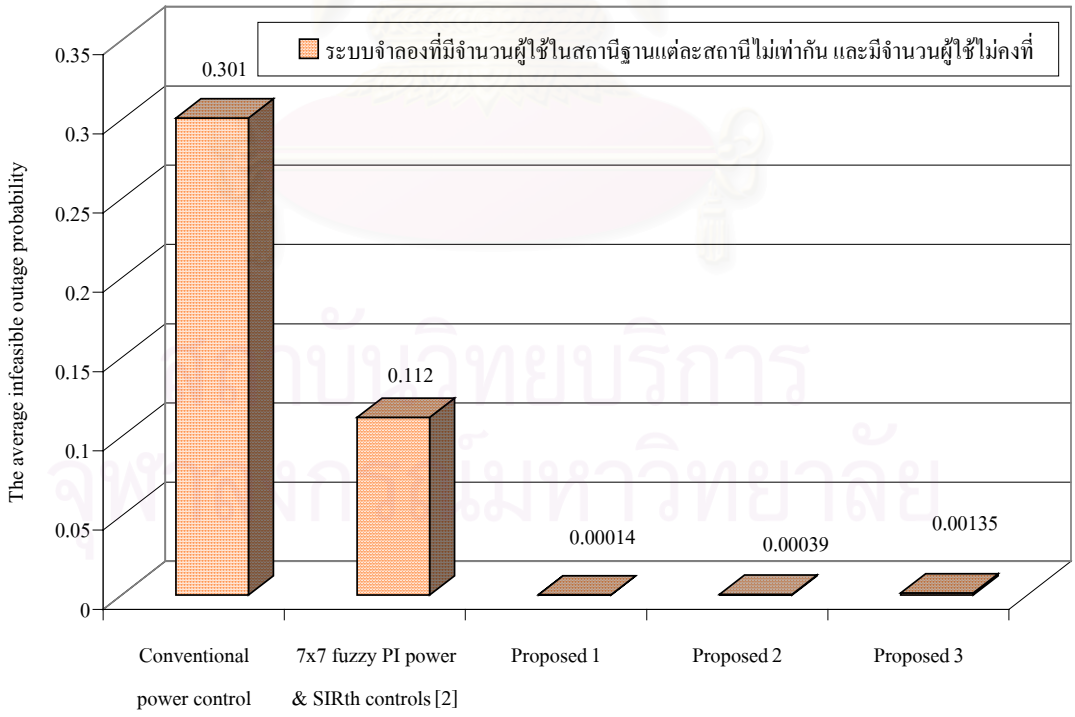
5.7 ผลการจำลองระบบ วิเคราะห์ผลการจำลองระบบ และการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ เมื่อระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

เมื่อทำการจำลองระบบตามข้อกำหนดต่างๆ ของการจำลองระบบดังรายละเอียดในบทที่ 3 ของงานวิทยานิพนธ์ แต่เปลี่ยนการกำหนดจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีฐานจากการกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีมีค่าเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ เป็นแบบจำลองระบบที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ โดยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานี จะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะค่าสุ่มที่มีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอในทุกๆ 600 รอบของการชักตัวอย่าง

ผลการจำลองระบบที่แสดงในรูปที่ 5.7.1 และ 5.7.2 เป็นการจำลองระบบตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานทั้ง 19 สถานี มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด 20 ครั้ง และทำการจำลองระบบด้วยชุดข้อมูลจำนวน 20 ชุด โดยจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีที่แต่ละรอบของการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้ใช้นั้นเป็นดังตารางที่ 5.7.1



รูปที่ 5.7.1 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่



รูปที่ 5.7.2 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

ตารางที่ 5.7.1 จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีที่แต่ละรอบของการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้ใช้

การเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้ใช้	จำนวนผู้ใช้ (คน / สถานีฐาน) ในสถานีฐานที่																		
ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	17	11	20	10	15	17	10	16	16	16	11	10	16	19	13	18	10	14	14
2	15	15	15	14	10	17	18	18	20	20	19	13	20	11	16	14	10	10	15
3	18	11	16	13	20	19	19	14	11	13	14	14	19	12	10	18	15	19	11
4	12	11	11	15	20	19	11	12	12	20	19	19	20	14	13	10	18	13	19
5	19	16	14	19	20	18	15	12	19	15	12	15	20	11	12	19	16	14	15
6	19	14	15	20	14	18	17	15	18	12	16	18	19	15	11	19	14	12	20
7	15	12	11	18	18	19	12	18	11	12	17	15	15	12	12	13	18	16	12
8	11	15	18	19	11	10	10	19	15	19	15	13	15	16	15	11	17	20	14
9	18	11	16	13	11	13	11	14	18	13	12	17	18	10	19	20	13	19	15
10	19	16	15	19	17	19	11	13	10	14	11	16	15	12	15	15	18	19	18
11	18	14	14	15	12	14	15	12	19	10	20	11	12	15	15	11	11	18	15
12	12	17	18	15	18	19	17	14	15	18	17	10	11	14	12	11	13	17	10
13	12	13	13	14	18	17	14	19	10	15	18	17	15	19	14	20	13	12	18
14	17	18	13	17	14	17	14	14	17	18	18	18	15	10	16	15	14	12	18
15	20	16	11	13	17	19	17	16	12	13	20	10	13	16	19	19	18	19	11
16	12	15	15	12	12	20	14	12	10	15	20	19	14	20	15	14	10	16	14
17	12	19	20	17	17	19	15	13	13	19	10	14	10	16	13	18	19	11	12
18	20	18	12	14	18	15	12	17	17	13	13	11	18	13	13	10	18	12	11
19	16	19	18	12	15	18	12	12	14	15	10	19	20	18	16	14	10	14	16
20	17	19	14	15	15	11	14	15	16	18	16	19	15	10	14	14	11	14	15

5.7.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่าง ๆ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย โดยพิจารณาผลการจำลองระบบดังแสดงในรูปที่ 5.7.1 พบว่า

- ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยที่สุดคือ 0.160 นั่นคือมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย หรือ BER ลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมซึ่งมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเท่ากับ 0.307 อยู่ 47.88 % และมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย หรือ BER ลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเท่ากับ 0.199 อยู่ 19.60 %

- ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยเป็นลำดับที่ 2 คือ 0.164 นั่นคือมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย หรือ BER ลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 46.58 % และลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 17.59 %

- ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยเป็นลำดับที่ 3 คือ 0.167 นั่นคือมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย หรือ BER ลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 45.60 % และลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 16.08 %

5.7.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่าง ๆ

เมื่อทำการเปรียบค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ดังแสดงในรูปที่ 5.7.2 ของระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ พบว่า

- ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยที่สุดคือ 0.00014 นั่นคือค่าเฉลี่ยดังกล่าวจะลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิมซึ่ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เท่ากับ 0.301 อยู่ 99.95 % และจะลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ซึ่งมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เท่ากับ 0.112 อยู่ 99.87 %

- ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยเป็นลำดับที่ 2 คือ 0.00039 นั่นคือค่าเฉลี่ยดังกล่าวจะลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 99.87 % จะลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 99.65 %

- ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 3 จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยเป็นลำดับที่ 3 คือ 0.00135 นั่นคือค่าเฉลี่ยดังกล่าวจะลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม 99.55 % และจะลดลงจากระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] 98.79 %

เมื่อนำผลการจำลองระบบต่างๆ ข้างต้นมาเขียนรวมกันเป็นตารางข้อมูล แล้วทำการสรุปการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านต่างๆ ของระบบจะมีลักษณะดังเช่นตารางที่ 5.7.2

ตาราง 5.7.2 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

ระเบียบวิธีการควบคุมกำลัง	ค่าเฉลี่ย	
	Outage probability	Infeasible outage probability
การควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม	0.307	0.30100
การควบคุมกำลังแบบงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]	0.199	0.11200
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1	0.164	0.00014
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2	0.16	0.00039
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3	0.167	0.00135

จากตาราง 5.7.2 ซึ่งแสดงค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ในระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังต่างๆ ตามเงื่อนไขการจำลองระบบข้างต้นพบว่าในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่คือมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้ใช้ในทุกๆ 600 รอบของการชักตัวอย่าง วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธีก็ยังคงมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยกว่าค่าต่างๆ ดังกล่าวของระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] นั่นแสดงว่า

- วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี เมื่อนำมาใช้งานในระบบจำลองดังกล่าวก็ยังคงทำให้คุณภาพของสัญญาณเพิ่มขึ้น เพราะสัญญาณในระบบมีอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดต่ำ ซึ่งยืนยันได้จากผลการจำลองระบบ โดยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธีจะทำให้ระบบมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยกว่าระบบที่มีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

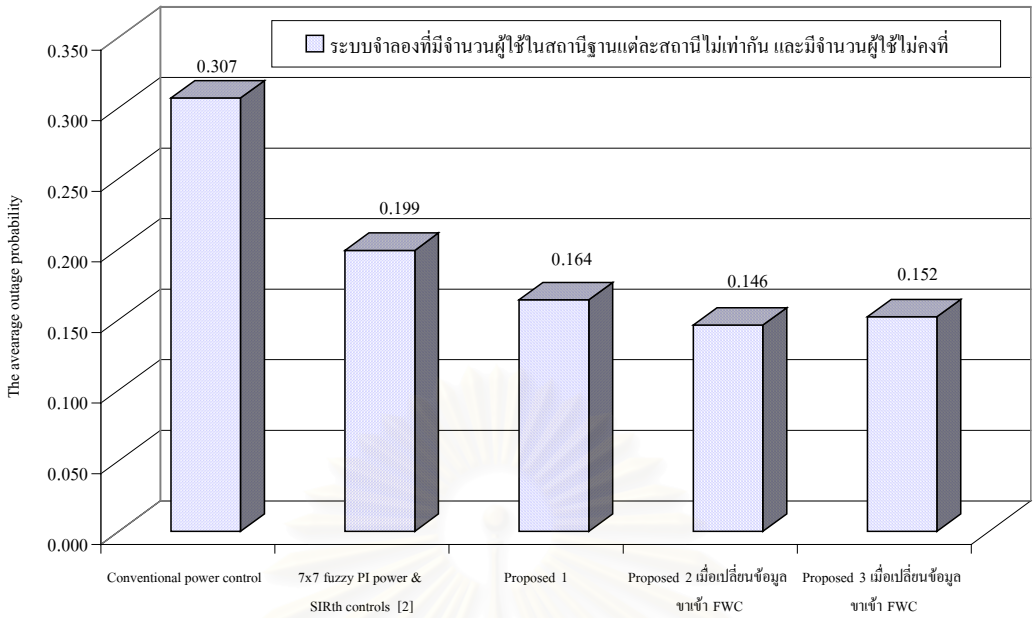
- วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี ทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มลดลง ซึ่งสังเกตได้จากผลการจำลองระบบที่แสดงให้เห็นแล้วว่า ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยกว่าระบบที่มีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

จากข้อสรุปข้างต้นจะเห็นว่าการใช้งานวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี ในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ ก็ยังคงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุมกำลังในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอได้

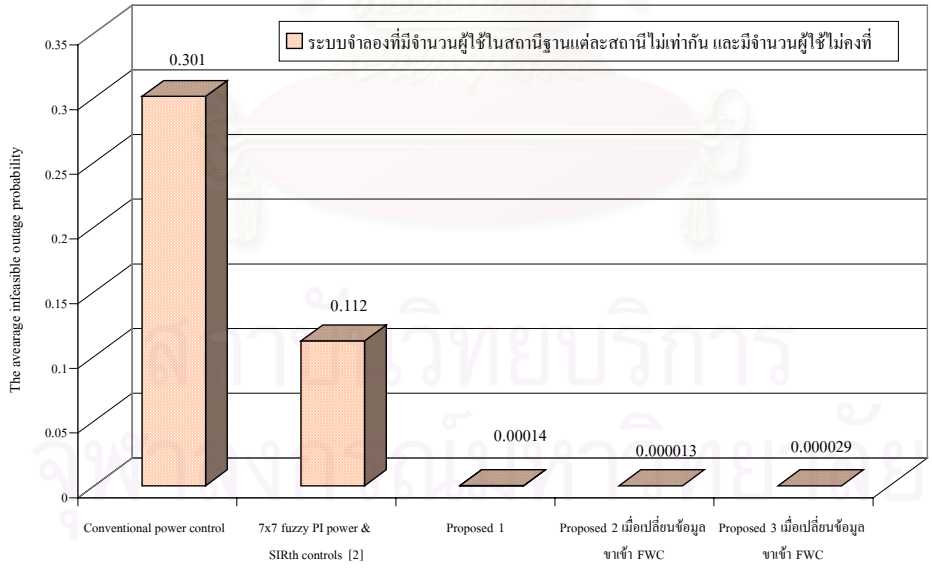
แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายด้วยกัน ระหว่างวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี พบว่าในตาราง ที่ 5.7.2 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบค่าดังกล่าวในตารางที่ 5.6.1 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการออกแบบฐานกฎของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นฐานกฎที่ถูกออกแบบเพื่อใช้งานในระบบจำลอง ที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ ดังนั้นเมื่อนำมาใช้งานในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ซึ่งมีสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมกำลังลดลง

สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้การใช้งานฐานกฎของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 ไม่สามารถคงประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมกำลังได้เมื่อนำมาใช้งานในระบบจำลอง ที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ คือการใช้งานชุดฐานกฎของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอของผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐานจะเป็นการใช้งานชุดของฐานกฎคนละชุดกัน จึงทำให้การปรับเพิ่ม-ลดSIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐานไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งไม่เหมือนกับการใช้งานชุดฐานกฎในระบบจำลองที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีเท่ากัน การใช้งานชุดฐานกฎของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอของผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐาน จะใช้งานชุดฐานกฎชุดเดียวกัน ทำให้การปรับเพิ่ม-ลดSIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐานเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาข้างต้น เราจึงทำการปรับปรุงวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 ในการเลือกใช้งานชุดของฐานกฎของสถานีฐานแต่ละสถานี ให้ทำการเลือกชุดฐานกฎชุดเดียวกันในการถ่วงน้ำหนักเพื่อทำให้การปรับเพิ่ม-ลดSIR_{th} และกำลังส่งของผู้ใช้ในแต่ละสถานีฐานเป็นไปในทิศทางเดียวกัน การแก้ไขปัญหาดังกล่าวกระทำโดยการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ จากการใช้จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีมาเป็นการใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานทั้ง 19 สถานี ผลที่ได้จากการจำลองระบบเมื่อใช้งานวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 ที่มีการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักเป็นดังรูปที่ 5.7.3 และ 5.7.4



รูปที่ 5.7.3 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ หลังทำการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 โดยระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่



รูปที่ 5.7.4 ค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ หลังทำการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 โดยระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานี ไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

เมื่อนำผลการจำลองระบบต่างๆ ข้างต้นมาเขียนรวมกันเป็นตารางข้อมูล แล้วทำการสรุปการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านต่างๆ ของระบบจะมีลักษณะดังเช่นตารางที่ 5.7.3

ตาราง 5.7.3 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probabilityเมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ หลังทำการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 โดยระบบจำลองมีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานี ไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่

ระเบียบวิธีการควบคุมกำลัง	**ค่าเฉลี่ย**	
	Outage probability	**Infeasible outage probability**
การควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม	0.307	0.30100
การควบคุมกำลังแบบงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]	0.199	0.11200
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1	0.164	0.00014
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2	0.146	0.00001
ระเบียบวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3	0.152	0.00029

จากผลการจำลองระบบเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของระบบที่ใช้งานวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 ที่เปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 5.7.3 และ 5.7.4 กับผลการจำลองระบบก่อนการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 5.7.1 และ 5.7.2 พบว่าค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 เมื่อทำการเปลี่ยนข้อมูลขาเข้าของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักจะมีค่าลดลง และมีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 1 มากขึ้น นั่นหมายความว่าหากเราต้องการให้วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 สามารถคงประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมกำลังไว้ได้ หรือมีประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดีขึ้น เมื่อใช้งานในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ เราจะต้องทำการออกแบบฐานกฎของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ให้มีความเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมและขีดความสามารถของระบบควบคุมกำลังมากขึ้น รวมทั้งทำให้ฐานกฎสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะแวดล้อมและขีดความสามารถของระบบควบคุมกำลังที่เปลี่ยนไปในขณะนั้นๆ

บทที่ 6

สรุปผลการจำลองระบบ และแนวทางการพัฒนาวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ

6.1 สรุปผลการจำลองระบบ

วิทยานิพนธ์นี้ทำการพัฒนาวิธีการควบคุมกำลัง ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอ โดยมีแนวคิดว่า "*การนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน และจำนวนผู้ใช้ในระบบ หรือจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน มาร่วมพิจารณาเพื่อออกคำสั่งในการปรับเพิ่ม – ลดกำลังส่ง และค่า SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบควบคุมกำลังที่อ้างอิงค่า SIR สามารถทำให้คำสั่งของการควบคุมกำลังมีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้*" เมื่อพิจารณาผลการจำลองระบบที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการที่เสนอ ซึ่งมีลักษณะการทำงานของระบบควบคุมเป็นดังแนวคิดข้างต้นพบว่าแนวคิดข้างต้นเป็นจริงนั่นคือการนำกำลังส่งของผู้ใช้แต่ละคน และจำนวนผู้ใช้ในระบบหรือจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐาน มาร่วมพิจารณาในการออกคำสั่งการปรับเพิ่ม–ลดกำลังส่ง และ SIR_{th} ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดีเอส-ซีดีเอ็มเอ ที่มีการควบคุมกำลังแบบอ้างอิงค่า SIR จะทำให้สมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบควบคุมกำลังดังกล่าวดีขึ้น

การกล่าวว่า สมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบควบคุมกำลังที่ทำการควบคุมกำลังตามวิธีการที่เสนอดีขึ้นนั้น สามารถอ้างอิงได้จากผลการจำลองระบบดังแสดงในบทที่ 5 ของวิทยานิพนธ์ โดยระบบจำลองที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหาย และค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability ของสัญญาณในระบบต่ำกว่าค่าดังกล่าวที่ได้จากการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] จากผลการจำลองระบบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า

1. วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ จะทำให้คุณภาพของสัญญาณเพิ่มขึ้น เพราะสัญญาณในระบบมีอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดต่ำ ซึ่งสังเกตได้จากผลการจำลองระบบที่แสดงให้เห็นว่าระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายน้อยกว่าทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

2. ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ จะมีความจุระบบสูงกว่าระบบที่ทำการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และแบบที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] เพราะเมื่อพิจารณา

ที่ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สัญญาณขาดหายใดๆ ของวิธีการควบคุมกำลังต่างๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการรับประกันคุณภาพสัญญาณ พบว่าวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่าวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2]

3. ความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่ม ของระบบจำลองที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอลดลง ซึ่งสังเกตได้จากผลการจำลองระบบ ที่แสดงให้เห็นว่า ระบบที่ทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธี จะมีค่าเฉลี่ย Infeasible outage probability น้อยกว่า ระบบที่มีการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และทำการควบคุมกำลังด้วยวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] นอกจากนี้การลดลงของความน่าจะเป็นการเกิดผลกระทบแบบกลุ่มยังทำให้ระบบควบคุมกำลังมีเสถียรภาพมากขึ้น

จากแนวคิดของวิทยานิพนธ์ข้างต้น ที่มีการนำตัวแปรอื่นๆ มาร่วมพิจารณากับตัวแปรดั้งเดิมของวิธีการควบคุมกำลังแบบดั้งเดิม และวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] ดังนั้นจึงเป็นธรรมดาที่วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอจะต้องมีความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาในรายละเอียดต่างๆ ของการคำนวณความซับซ้อนดังในหัวข้อที่ 5.4 ของงานวิทยานิพนธ์พบว่า วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอมีความซับซ้อนมากกว่าวิธีการควบคุมกำลังที่ใช้อ้างอิงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 3 ที่มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิจัยอ้างอิงที่ [2] แต่มีความซับซ้อนใกล้เคียง หรือเท่ากันกับวิธีการควบคุมกำลังดังกล่าว

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลบนแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอทั้ง 3 วิธีพบว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 มิลลิวินาทีซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคาบเวลาของการควบคุมกำลังตามมาตรฐานไอเอส-95 คือ 1.25 มิลลิวินาที ดังนั้นวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอจึงมีแนวโน้มที่จะสามารถนำไปใช้ในระบบใช้งานจริงได้ โดยการนำไปประยุกต์ใช้งานบนฮาร์ดแวร์ที่สามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าซอฟต์แวร์มาก

6.2 แนวทางการพัฒนาวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ

จากการวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ เมื่อทำการควบคุมกำลังตามวิธีการควบคุมกำลังแบบต่างๆ บนระบบจำลองที่มีการกำหนดรูปแบบของจำนวนผู้ใช้ต่อสถานีฐานที่หลากหลายพบว่า วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอยังสามารถพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมกำลัง หรือเพื่อขยายขอบเขตการใช้งานไปยังระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบอื่นได้ ตัวอย่างของแนวทางการพัฒนาวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอได้แก่

6.2.1 การปรับปรุงลักษณะการทำงาน หรือชนิดของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3

จากผลการจำลองระบบ เมื่อทำการกำหนดจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีให้มีค่าไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่พบว่า ประสิทธิภาพการควบคุมกำลังของวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานวิธีการควบคุมกำลังดังกล่าว ในระบบจำลองที่ทำการกำหนดจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีให้มีค่าเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ (หรือไม่คงที่)

สาเหตุของปัญหาดังกล่าว เกิดจากการออกแบบและการปรับปรุงฐานกฎของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอที่ใช้ในวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 กระทำบนระบบจำลอง ที่มีการกำหนดจำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานแต่ละสถานีให้มีค่าเท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้คงที่ ดังนั้นเมื่อนำฐานกฎดังกล่าวมาใช้งานในระบบจำลองที่มีการกำหนดจำนวนของผู้ใช้ในสถานีฐานในอีกรูปแบบหนึ่งคือ การกำหนดให้จำนวนผู้ใช้ในสถานีฐานมีแต่ละสถานีมีค่าไม่เท่ากันและมีจำนวนผู้ใช้ไม่คงที่ ย่อมเป็นธรรมดาที่ประสิทธิภาพการทำงานของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอจะลดลงและส่งผลให้ประสิทธิภาพของตัวควบคุมกำลังโดยรวมลดลงตามไปด้วย

ดังนั้นในการพัฒนาประสิทธิภาพการควบคุมกำลังของวิธีที่เสนอวิธีที่ 2 และ 3 ต้องทำให้ฐานกฎของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอ ซึ่งใช้งานในวิธีการควบคุมกำลังดังกล่าว ให้สามารถเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงฐานกฎให้มีความเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมและขีดความสามารถของระบบควบคุมกำลังในขณะนั้นได้ การปรับปรุงตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอให้มีลักษณะการทำงานแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีนิวรอน ก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อทำให้วิธีการควบคุมกำลังมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อนำไปใช้ในระบบใช้งานจริง หรือเมื่อนำไปใช้งานในระบบจำลอง ที่มีการกำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับจำนวนของผู้ใช้ที่ใกล้เคียงกับระบบใช้งานจริง

6.2.2 การประยุกต์ใช้งานวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในระบบสื่อสารอื่นๆ

วิธีการควบคุมกำลังที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นวิธีการควบคุมกำลังโดยใช้งานตัวควบคุมกำลังและตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซี ซึ่งมีจุดเด่นคือความง่ายในการออกแบบการทำงานของระบบควบคุม ที่ไม่จำเป็นต้องหาสมการเชิงคณิตศาสตร์ที่อธิบายความสัมพันธ์ทั้งหมดของระบบ ดังนั้นการประยุกต์ใช้งานวิธีการควบคุมกำลังดังกล่าว ในการควบคุมกำลังของระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอแบบหลายอัตรา (Multi-rate CDMA) และระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอแถบกว้าง (Wideband CDMA: WCDMA) ที่มีชนิดหรือรูปแบบข้อมูลที่หลากหลาย มีการให้ความสำคัญในการรักษาคุณ

ภาพของสัญญาณ และการให้บริการในระดับที่แตกต่างกันไปตามชนิดและลำดับความสำคัญ (priority) ของข้อมูล จึงสามารถกระทำได้โดยง่ายและมีความน่าสนใจ เพราะการออกแบบการทำงานของระบบควบคุมกำลังในระบบสื่อสารดังกล่าวต้องคำนึงถึงการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุม และการจัดสรรทรัพยากรในระบบไปพร้อมๆ กัน

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวิธีการควบคุมกำลังที่เสนอ ในระบบสื่อสารอื่นๆ ข้างต้นเช่น การนำระดับของการให้บริการ หรือลำดับความสำคัญของข้อมูลมาเป็นข้อมูลขาเข้าร่วมกับข้อมูลขาเข้าอื่นๆ ของตัวควบคุมการถ่วงน้ำหนักแบบฟัซซีที่เสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] C. J. Chang, J. H. Lee and F. C. Ren. Design of Power Control Mechanisms with PCM Realization for the Uplink of a DS-CDMA Mobile Radio System. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 45 (August 1996): 522 – 530.

[2] Y. M. Siu and K. K. Soo. CDMA Mobile Systems with Tailor made Power Control to Each Mobile Station. 3G Mobile Communication Technologies (2000): 46 – 50.

[3] D. Zhang, Q. T. Zhang and C. C. Ko. A Novel Joint Strength and SIR Based CDMA Reverse Link Power Control with Variable Target SIR. IEEE International Conference on Communications Vol. 3 (2000.): 1502 – 1505.

[4] S. H. Won, W. W. Kim, D. H. An and I. M. Jeong. Capacity Enhancement by Using Optimum Step Sizes of Controlling Target SIR in CDMA System. IEEE Vehicular Technology Conference Vol. 3 (1998): 1859- 1863.

[5] S. H. Won, W. W. Kim, Y. I. Oh and I. M. Jeong. An Analytic Approach for Finding Optimum Parameter in Controlling Target SIR in CDMA System. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications (1997): 219 – 222.

[6] S. H. Won, W. W. Kim, Y. I. Oh and I. M. Jeong. Effect of Controlling Target SIR on Capacity Enhancement in a CDMA System. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications (1997): 223 – 226.

[7] A. Sampath, P. S. Kumar and J. M. Holtzman. On Setting Reverse Link Target SIR in a CDMA System. IEEE Vehicular Technology Conference Vol. 2 (1997): 929 – 933.

[8] S. Gupta, R. D. Yates and C. Rose. Soft Dropping Power Control – a Power Control Backoff Strategy. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications (1997): 210 – 214.

[9] R. D. Yates, S. Gupta, C. Rose and S. Sohn. Soft Dropping Power Control. IEEE Vehicular Technology Conference Vol. 3 (1997): 1694 – 1698.

[10] R. Prasad, W. Mohr and W. K. Auser. Third generation mobile communication systems. Boston, London: Artech House, 2000.

[11] H. X. Li and H. B. Gatland. A New Methodology for Designing a Fuzzy Logic Controller. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics Vol. 25. (March 1995): 505 – 512.

[12] S. Ariyavisitakul and L. F. Chang. Signal and Interference Statistics of a CDMA System with Feedback Power Control. IEEE Transactions on Communications Vol. 41 (November 1992): 1626 – 1634.

[13] L. F. Chang and S. Ariyavisitakul. Performance of Power Control Method for CDMA Radio Communications System. IEEE Electronics Letter Vol. 27 (May 1991): 920 – 922.

[14] S. Ariyavisitakul. SIR-based Power Control in a CDMA System. IEEE Global Telecommunications Conference (1992): 868 – 873.

[15] J. -H. Wen, L. -C. Yeh and J. -R. Chiou. Short-term Fading Prediction-based Power Control Method for DS-CDMA Cellular Mobile Radio Networks. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Vol. 3 (1997): 908 – 912.

[16] Y. J. Yang and J. F. Chang. A Strength and SIR Combined Adaptive Power Control for CDMA Mobile Radio Channels. IEEE 4th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications Proceedings Vol. 3 (September 1996): 1167 – 1171.

[17] L. A. Zadeh. Fuzzy sets. Information Control. Vol. 8 (1965) 338 – 353.

[18] E. H. Mamdani. Applications of Fuzzy Algorithms for Simple Dynamics Plant. IEEE Proceedings Vol. 121, No. 12 (1974): 1585 – 1588.

[19] E. H. Mamdani. Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Syntheses. IEEE Transactions on Computer Vol. C-26, No. 12 (1977): 1182 – 1191.

[20] P. Chang and B. Wang. Adaptive Fuzzy Power Control for CDMA Mobile Radio Systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 45, No. 2 (May 1996): 225 – 236.

[21] Y.-D. Yao and A. U. H. Sheikh. Investigations into Cochannel Interference in Micro Cellular Mobile Radio Systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 41, No. 2 (May 1992): 114 – 123.

[22] S. C. Yangs. CDMA RF System Engineering Massachusetts: Artech House, 1998.

[23] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, A. J. Viterbi, L. A. Weaver and C. E. Wheatly. On the Capacity of a Cellular CDMA System. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 40 (May 1991): 303 – 312.

[24] R. M. Tong. Synthesis of Fuzzy Model for Industrial Processes. Intelligent Genesis Systems Vol. 4 (1978): 143 – 162.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้นำเสนอในที่งานประชุมวิชาการระหว่างประเทศ

ISCAS 2003 (2003 IEEE International Symposium on Circuits and Systems)

ซึ่งจัดขึ้นที่ประเทศไทยระหว่างวันที่ 25 - 28 พฤษภาคม 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FUZZY POWER CONTROL WITH WEIGHTING FUNCTION IN DS-CDMA CELLULAR MOBILE COMMUNICATION SYSTEM

Wasimon Panichpattanakul and Watit Benjapolakul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
Tel. 66-2218-6902, Fax. 66-2218-6912, E-mail: watit@ee.eng.chula.ac.th

ABSTRACT

Power control based on signal-to-interference ratio (SIR) is more preferable than signal strength-based power control since the former's quality of service (QoS) is guaranteed. However, power control based on SIR alone usually causes the vicious circle problem, due to which every mobile station (MS) continuously increases its transmitted power (Tx_power) to achieve the desired SIR (SIRd). Vicious circle problem leads to infeasible power control problem, due to which MS transmits with the maximum power but fails to achieve the desired SIR. In this paper, power transmitted by each MS is used to individually weight its SIR-based power control adjusting factors outputted from Fuzzy Proportional-plus-Integral Controller (FPIC) in order to prevent each MS from infeasible power control problem. In Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA) cellular system, QoS enhancement basically reduces the system capacity. By solving the infeasible power control problem by the proposed algorithm, the average outage probability, the average infeasible outage probability, and the average transmitted power of each mobile station, as shown in simulation results, are reduced. These show that the proposed power control algorithm can simultaneously enhance QoS and the capacity of the system.

1. INTRODUCTION

Power control is essential in DS-CDMA cellular system because it can increase the capacity of DS-CDMA cellular system, which is mainly limited by the interference generated by the MSs and the fading in radio channel.

Basically, power control can be categorized into 2 categories: signal strength-based [1] and SIR-based [2] power controls. SIR-based power control is preferable because it can guarantee QoS. SIR is the ratio of signal and interference; thus, when an MS increases its Tx_power to meet its SIRd, it simultaneously increases the interference to the other MSs. This causes the other MSs to increase their Tx_power and leads to vicious circle and infeasible power control problems. These problems degrade the QoS of system by increasing the average outage probability and reduce system capacity by ordering unnecessary up-power command to MS.

Individually adjustable SIRd, as in [3] and [4], was introduced to overcome the vicious circle and the infeasible power control problems. Thus, the chosen power control algorithm in this paper is SIR-based power control, which can individually adjusts SIRd of each MS. The power and SIRd adjusting factors were outputted by FPIC, as in [3], which is inherently suitable for non-linear and time-variant characteristics of cellular system [5]. In the proposed power control algorithm, weighting power commands by Tx_power is added to weight FPIC's outputs, Tx_power and SIRd adjusting factors, in order to make power and SIRd control decisions to be more suitable and able to alleviate the vicious circle and the infeasible power control problems.

2. THE PROPOSED POWER CONTROLLER

Close-loop power control in which Tx_power and SIRd are individually adjustable is shown in Figure 1. Tx_power and SIRd are individually adjusted by the weighted FPIC outputs.

2.1 Fuzzy Proportional-plus-Integral Controller

• **Fuzzification** converts the crisp input values into fuzzy values. The membership functions of inputs (SIR error and error change; e and Δe) and outputs (SIRd adjusting factor; D_{SIRd}) of FPIC1 and the membership functions of inputs (new SIR error and error change; e_{new} and Δe_{new}) and outputs (power adjusting factor; D_p) of FPIC2 are shown in Figure 2. They are fuzzified and defuzzified by 7 fuzzy variable mapping. {Large Positive (LP), Medium Positive (MP), Small Positive (SP), Zero (ZE), Small Negative (SN), Medium Negative (MN) and Large Negative (LN)}.

• **Knowledge Base** was defined the linguistic control rules and functioned the converging closed-loop time step responses of FPIC by IF-THEN statement [6]. In this paper, similar to those in [3], 7 x 7 Fuzzy Control Rules for controlling both D_{SIRd} and Dp are shown in Table 1.

• **Inference Engine** is the decision-making logic in FPIC. It infers fuzzy control action by employing fuzzy implication and fuzzy control rules.

• **Defuzzification** is processed by the Center of Area Method (COA), which yields superior result comparing with other defuzzification methods [7]. COA strategy generates the center of gravity of the probability distribution of a control action.

$$Dp = D_{SIRd} = \left(\sum_{j=1}^{NF} u_j \times U_j\right) / \left(\sum_{j=1}^{NF} u_j\right) \qquad (1)$$

where NF is the number of fuzzy sets, U_i is the centered support value of the j^{th} fuzzy set and u_j is the membership value of the j^{th} fuzzy set.

• **Decision Value Table**, which relates quantized measurements (Table 2) to crisp control actions by using fuzzy control rules, can be generated offline in order to shorten the running time [5].

The decision value table (Table 3) is used to formulate both D_{SIRd} for each pair of e and Δe, and Dp for each pair of e_{new} and Δe_{new}.

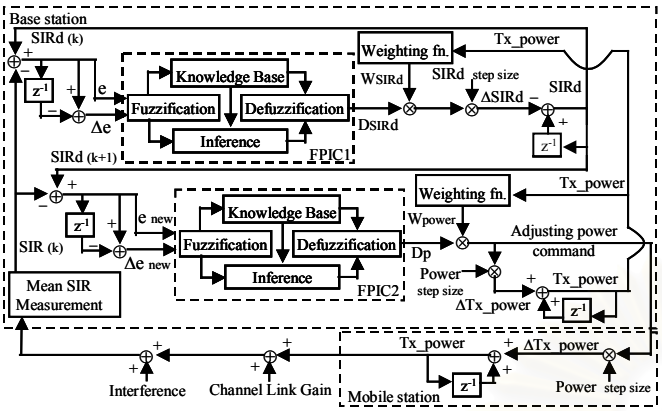


Figure 1. The proposed power controller.

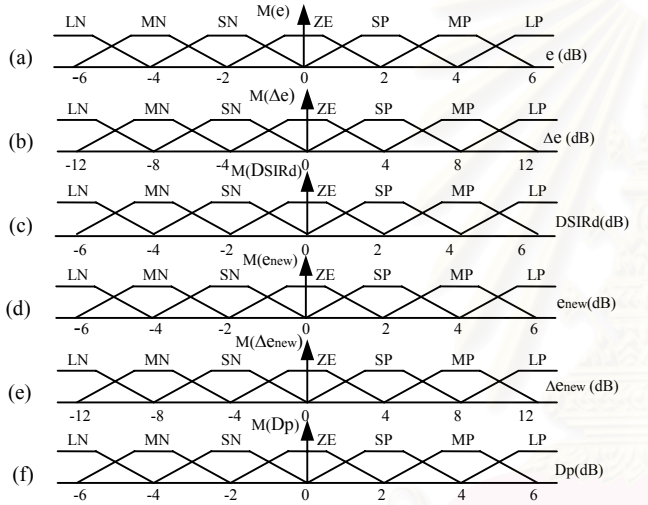


Figure 2. Membership functions for (a) SIR error, (b) error change, (c) SIRd adjusting factor, (d) new SIR error, (e) new SIR error change and (f) power adjusting factor.

Table 1 (a) and (b) – Fuzzy control rules of FPIC1 and FPIC2.

(a)

Δe \ e	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	LN	LN	MN	MN	SN	SN	ZE
MN	LN	MN	MN	SN	SN	ZE	SP
SN	MN	MN	SN	SN	ZE	SP	SP
ZE	MN	SN	SN	ZE	SP	SP	MP
SP	SN	SN	ZE	SP	SP	MP	MP
MP	SN	ZE	SP	SP	MP	MP	LP
LP	ZE	SP	SP	MP	MP	LP	LP

(b)

Δe_{new} \ e_{new}	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	LN	LN	MN	MN	SN	SN	ZE
MN	LN	MN	MN	SN	SN	ZE	SP
SN	MN	MN	SN	SN	ZE	SP	SP
ZE	MN	SN	SN	ZE	SP	SP	MP
SP	SN	SN	ZE	SP	SP	MP	MP
MP	SN	ZE	SP	SP	MP	MP	LP
LP	ZE	SP	SP	MP	MP	LP	LP

Table 2 – Relation among quantized error, error change, power and SIRd adjusting factors.

e (dB)	Δe (dB)	enew (dB)	Δenew (dB)	DSIRd	Dp	Quantization Level
-6	-12	-6	-12	-6	-6	-6
-5	-10	-5	-10	-5	-5	-5
-4	-8	-4	-8	-4	-4	-4
-3	-6	-3	-6	-3	-3	-3
-2	-4	-2	-4	-2	-2	-2
-1	-2	-1	-2	-1	-1	-1
0	0	0	0	0	0	0
1	2	1	2	1	1	1
2	4	2	4	2	2	2
3	6	3	6	3	3	3
4	8	4	8	4	4	4
5	10	5	10	5	5	5
6	12	6	12	6	6	6

Table 3 (a) and (b) – Decision value table of FPIC1 and FPIC2.

(a)

Δe \ e	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6	-6	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0
-5	-6	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1
-4	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2
-3	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2
-2	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2
-1	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3
0	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4
1	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4
2	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4
3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5
4	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6
5	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6
6	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6	6

(b)

Δe_{new} \ e_{new}	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6	-6	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0
-5	-6	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1
-4	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2
-3	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2
-2	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2
-1	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3
0	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4
1	-3	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4
2	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4
3	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5
4	-2	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6
5	-1	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6
6	0	1	2	2	2	3	4	4	4	5	6	6	6

2.2 Weighting Function

Refer to Figure 1, unlike [4], this paper introduces the use of power transmitted by MS instead of received power at base station (BS) sent by MS (Rx_power). Since, Rx_power is attenuated and distorted by link gain and fading in radio channel, Tx_power can give more accurate information of MS's transmitting status than Rx_power. BS knows Tx_power of MSs by fixing an initial Tx_power and updating Tx_power of all MSs by using power command outputted from base station itself.

High power transmission is the consequence of high link gain attenuation in radio channel and the vicious circle problem. MS having high Tx_power has high risk to get infeasible power control problem and tends to cause the vicious circle problem in system. Thus, by weighting function, for high Tx_power mobile station, increasing Tx_power or SIRd should be done by smaller step size but reducing Tx_power or SIRd should be done by larger step size than usual. These strategies make power control decision and SIRd control decision to be more suitable and be able to mitigate the vicious circle and the infeasible power control problems.

In the simulation, MS transmits its power in range of [-100 dB, 0 dB]. High Tx_power is considered to be in range of [-20 dB, 0 dB]. In this paper, FPIC adjusting factors for high Tx_power MS are weighted by weighting functions, which are linear function of Tx_power of each MS. As shown in Figure 3, weighting function has slope = -0.03 per dB for stepping up Tx_power and SIRd commands and slope = 0.03 per dB for stepping down those commands.

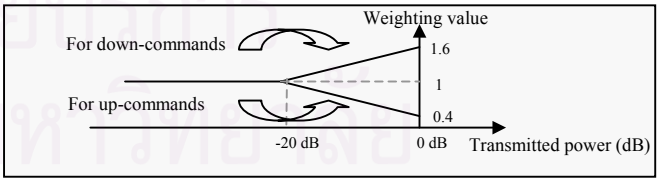


Figure 3. Weighting function.

Refer to Figure 3, for high Tx_power users having Tx_power or SIRd up-command, weighting values of Tx_power and SIRd commands for the i^{th} user ($W_{power}^{(i)}$ and $W_{SIRd}^{(i)}$) can be calculated by

$$W_{power}^{(i)} = W_{SIRd}^{(i)} = (-0.03 \times Tx_power^{(i)}) + 0.4 \qquad (2)$$

For high Tx_power users having Tx_power or SIRd down-command, $W_{power}^{(i)}$ and $W_{SIRd}^{(i)}$ can be calculated by

$$W_{power}^{(i)} = W_{SIRd}^{(i)} = (+0.03 \times Tx_power^{(i)}) + 1.6 \quad (3)$$

For low Tx_power users, $W_{power}^{(i)}$ and $W_{SIRd}^{(i)}$ equals 1 in all cases.

2.3 Desired SIR and Power Controls

• **Desired SIR Control** of each user is done by Fuzzy PI Controller. Based on e and Δe at the k^{th} sampling period of each user and weighted by weighting function, an SIRd adjusting value (ΔSIRd) at the $(k+1)^{th}$ sampling period of the i^{th} user is

$$\Delta SIRd^{(i)}(k+1) = DSIRd^{(i)}(k) \times W_{SIRd}^{(i)}(k) \times SIRd_{step\ size} \quad (4)$$

$$DSIRd^{(i)}(k) = F\{e^{(i)}(k), \Delta e^{(i)}(k)\} \quad (5)$$

$$e^{(i)}(k) = SIRd^{(i)}(k) - SIR^{(i)}(k) \quad (6)$$

$$\Delta e^{(i)}(k) = e^{(i)}(k) - e^{(i)}(k-1) \quad (7)$$

where $DSIRd^{(i)}(k)$, $W_{SIRd}^{(i)}(k)$, $SIRd^{(i)}(k)$ and $SIR^{(i)}(k)$ are the SIRd adjusting factor, SIRd weighting value, desired SIR and SIR received at BS at the k^{th} sampling period of the i^{th} user. Step size of SIRd ($SIRd_{step\ size}$) is 0.025 dB. F is the fuzzy inference function. The SIRd at the $(k+1)^{th}$ sampling period of the i^{th} user is

$$SIRd^{(i)}(k+1) = SIRd^{(i)}(k) - \Delta SIRd^{(i)}(k+1) \quad (8)$$

In this paper, SIRd is bounded in range of [-14 dB, -11 dB], where –14 dB used in unfavorable radio condition is the minimum required SIR corresponding to bit error rate of 10^{-3} required for acceptable quality digital voice communication [8], and –11 dB used in favorable radio condition is nearly optimum for SIR-based power control at low level of average interference [9].

• **Power Control** is performed once after SIRd adjustment in each sampling period. Tx_power is calculated with new adjusted SIRd. Hence,

$$e_{new}^{(i)}(k) = SIRd^{(i)}(k+1) - SIR^{(i)}(k) \quad (9)$$

$$\Delta e_{new}^{(i)}(k) = e_{new}^{(i)}(k) - e_{new}^{(i)}(k-1) \quad (10)$$

where $e_{new}^{(i)}(k)$ and $\Delta e_{new}^{(i)}(k)$ are new SIR error and SIR error change at the k^{th} sampling period of the i^{th} user respectively. Based on $e_{new}^{(i)}(k)$ and $\Delta e_{new}^{(i)}(k)$, an Tx_power adjusting value (Δ Tx_power) is defined by

$$\Delta Tx_power^{(i)}(k+1) = Dp^{(i)}(k) \times W_{power}^{(i)}(k) \times Power_{step\ size} \quad (11)$$

$$Dp^{(i)}(k) = F\{e_{new}^{(i)}(k), \Delta e_{new}^{(i)}(k)\} \quad (12)$$

where W_{power} is Tx_power weighting value. Transmitted power of the mobile station at the $(k+1)^{th}$ sampling period of i^{th} user is

$$Tx_power^{(i)}(k+1) = Tx_power^{(i)}(k) + \Delta Tx_power^{(i)}(k+1) \quad (13)$$

Note that, in (8) and (13), the signs of ΔSIRd and ΔTx_power are opposite because the contrary adjustment of both values lead received SIR to reach the SIRd.

3. SYSTEM MODEL

19 hexagonal cells with 1km cell radius were simulated. Two tiers of interfering cells surround the center cell of interest. All cells have carrier frequency of 900 MHz and are equipped with an Omni-directional antenna. All cells have the same number of MSs, which were uniformly located in each cell.

Two types of fading, long-term fading [8] and short-term fading [10] attenuate the radio signal. Vehicular speed is uniformly distributed in range of [6 km/hr, 60 km/hr] and mobile station moves in small area. Power control sampling period (T_p) is 2 ms; thus, Doppler frequency normalized by power sampling period (f_dT_p) is uniformly distributed in range of [0.01, 0.1].

The average values of outage probability, infeasible outage probability, and transmitted power of every mobile station measure the performance criterion. Outage probability is the probability of failing to achieve a minimum required SIR (SIR_{min}), which should be –14 dB [8] when processing gain is 128 and required bit error rate is less than 10^{-3}. Outage probability of the i^{th} mobile station ($P_{out}^{(i)}$) and the average outage probability (P_{out_ave}) are defined as

$$P_{out}^{(i)} = Pr\{SIR^{(i)} < SIR_{min}\} \quad (14)$$

$$P_{out_ave} = (\sum_{i=1}^{N} P_{out}^{(i)}) / N \quad (15)$$

where N is the number of mobile stations. Infeasible outage probability is the probability that mobile station transmits with maximum power (p_{max}= 0 dB) but fails to achieve SIR_{min}. Infeasible outage probability of the i^{th} mobile station ($P_{inf}^{(i)}$) and the average infeasible outage probability (P_{inf_ave}) are defined as

$$P_{inf}^{(i)} = Pr\{SIR^{(i)} < SIR_{min} \mid Tx_power = p_{max}\} \quad (16)$$

$$P_{inf_ave} = (\sum_{i=1}^{N} P_{inf}^{(i)}) / N \quad (17)$$

The average transmitted power (Tx_power_{ave}) is defined as

$$Tx_power_{ave} = (\sum_{i=1}^{N} Tx_power^{(i)}) / N \quad (18)$$

Where $Tx_power^{(i)}$ is the transmitted power of the i^{th} mobile station

4. RESULTS

In Figures 4 - 7, three types of SIR-based power control are referred as 1) conventional power control having 1-dB fixed-step power control and its SIRd is fixed at –11dB, 2) Fuzzy power-SIRd control without weighting function, and 3) proposed algorithm, Fuzzy power-SIRd control with weighting function (slope= ± 0.03 per dB). In Figure 4, the average outage probability of three-type SIR-based power control against the number of mobile stations per cell is plotted. Comparing among those three power control algorithms, the proposed algorithm gives the lowest average outage probability. This implies that QoS of the proposed algorithm is better than QoS of the others.

Figure 5 shows the average outage probability of the proposed algorithm when the slope of weighting function is changed to be 0.02, 0.03, and 0.04 per dB. Simulation results show that the slope of weighting function affects the average outage probability. However, intersections of lines are obtained. This implies that, to improve the power control performance, the slope value of weighting function should be adaptable by some input variables affecting the amount of system interference, such as the number of users per cell or the average number of users in all cells.

As mentioned above that the weighting function proposed in power control algorithm can make power and SIRd control decisions more suitable, and able to mitigate the infeasible power control and

the vicious circle problems, these were confirmed by simulation results in Figures 6 and 7

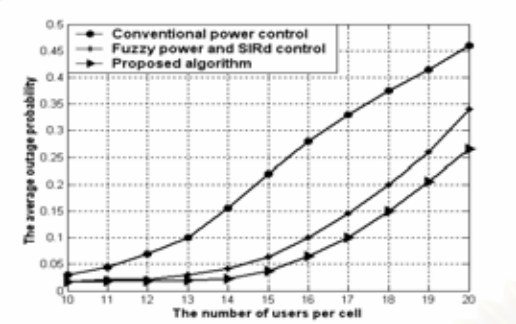


Figure 4. Comparison of the average outage probability among three types of SIR-based power control

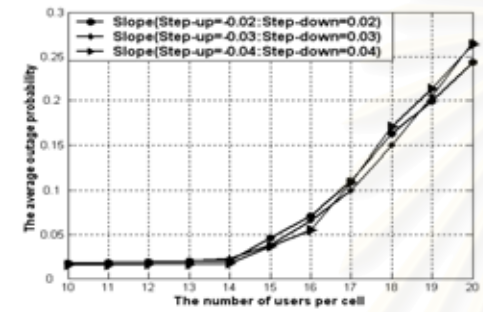


Figure 5. The average outage probability of the proposed algorithm when the slope of weighting function was changed

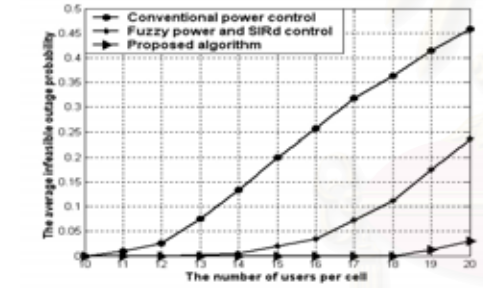


Figure 6. Comparison of the average infeasible outage probability among three types of SIR-based power control.

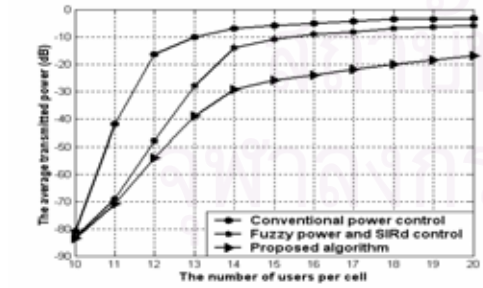


Figure 7. Comparison of the average transmitted power among three types of SIR-based power control.

In Figure 6, comparing among those three types of SIR-based power control algorithms, the proposed algorithm gives the lowest average infeasible outage probability for all number of users per cell. In addition, in Figure 7, the average power transmitted by mobile station of the proposed algorithm is also less than that transmitted by mobile station of the others. In SIR-based power control system, if the vicious circle problem occurs, the unnecessary transmitted power is basically transmitted and causes the infeasible power control problem. Thus, as simulation results, the proposed algorithm can mitigate the average infeasible outage probability and the average transmitted power, these can be presumable that the proposed algorithm can mitigate the occurrence probability of vicious circle problem.

5. SUMMARY

In this paper, power transmitted by each MS is used to individually and linearly weight its SIR-based power and SIRd adjusting factors outputted from FPIC in order to prevent each MS from infeasible power control problem, to mitigate the occurrence probability of vicious circle problem and to reduce both of the average outage probability and the average Tx_power. From simulation results, the proposed algorithm can achieve all suppositions above. Furthermore, as the proposed algorithm can reduce the average outage probability and the average Tx_power, it can be concluded that the proposed power control algorithm can simultaneously enhance QoS and the capacity of system.

6. REFERENCES

[1] Ariyavisitakul S. and Chang L. F. “Signal and interference statistics of a CDMA system with feedback power control”. *IEEE Trans. On Communications,* Vol. 41, Nov. 1993, pages 1626-1634.

[2] Ariyavisitakul S. “SIR-based power control in a CDMA system”, in *Proc. GLOBECOM’92*, pages 868-873.

[3] Sui Y. M. and Soo K. K. “CDMA mobile systems with tailor made power control to each mobile station”. *3G Mobile Communication Technologies,* 2000. pages 46-50.

[4] Zhang D., Zhang Q. T., and Ko C. C. “A novel joint strength and SIR based CDMA reverse link power control with variable target SIR”. *IEEE International Conference on Communications,* Vol. 3, 2000. pages 1502-1505.

[5] Chang P. and Wang B. “Adaptive fuzzy power control for CDMA mobile radio systems”. *IEEE Trans. Veh. Technol,* Vol. 45, No.2, May 1996, pages 225-236.

[6] Li X. H. and Gatland H. B. “A new methodology for designing a fuzzy logic controller”. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.,* Vol. 25, March 1995. pages 505-512.

[7] Cheun C. L. “Fuzzy logic in control system: fuzzy logic controller”. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.,* Vol. 20, March 1990. pages 404-435.

[8] Gilhousen K. S., Jacobs I. M., Padovini R., Viterbi A. J., Weaver L. A., and Wheatley C. E. “On the capacity of a cellular CDMA system”. *IEEE Trans. Veh. Technol.,* Vol. 40, May. 1991, pages 302-312.

[9] Chang C. J., Lee J. H., and Ren F. C. “Design of power control mechanisms with PCM realisation for the uplink of a DS-CDMA cellular mobile radio system”. *IEEE Trans. Veh. Technol.,* Vol. 45, August. 1996, pages 522-530

[10] Jakes W. C., and Edward J. *Microwave mobile communications.* New York: Wiley, 1974.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย วศิมน พาณิชพัฒนกุล เกิดเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2522 ที่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เข้ารับการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2542 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย