

การประยุกต์พีชชีลอจิกสำหรับปรับค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ



นายวิกรณ์ คุณศรีรักษสกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

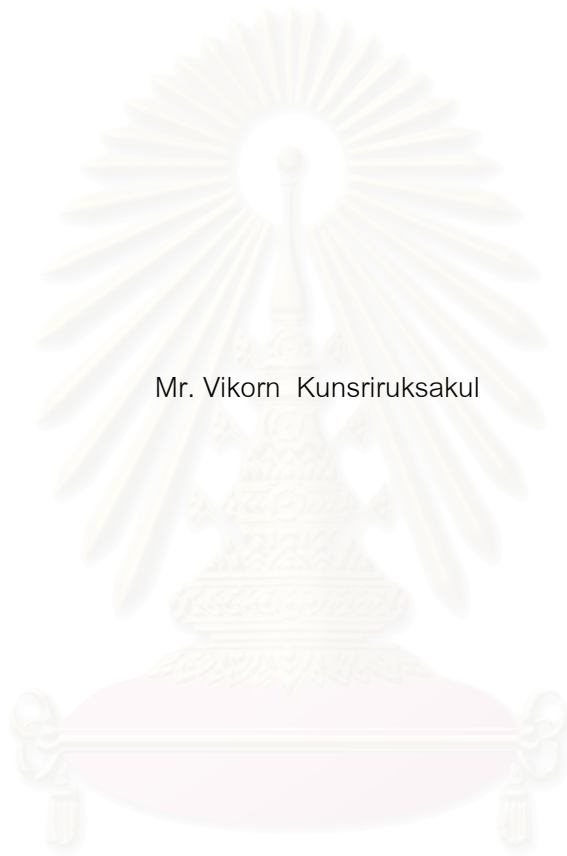
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1005-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR ADAPTING SOFT HANDOFF THRESHOLDS IN CDMA MOBILE
COMMUNICATION SYSTEM



Mr. Vikorn Kunsriruksakul

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1005-2

วิกิรณม์ คุณศรีรักษัสกุล : การประยุกต์ฟuzzyลอจิกสำหรับปรับค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟใน
ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ (APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR ADAPTING SOFT
HANDOFF THRESHOLDS IN CDMA MOBILE COMMUNICATION SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา :
รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล, 107 หน้า. ISBN 974-03-1005-2.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการประยุกต์ฟuzzyลอจิกสำหรับปรับค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟใน
ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของสายเชื่อมโยงไปหน้า (Forward Link) ให้ดีขึ้น
โดยวัดจากประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์ (TRE: Trunk Resource Efficiency) ความน่าจะเป็นของ
การติดขัดทั้งสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ โดยอินพุตของฟuzzy
ลอจิกคือจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือของสถานีฐาน ระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ ส่วน
เอาต์พุตของฟuzzyลอจิกคือค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ T_ADD และ T_DROP และนำผลการจำลอง
แบบของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับของวิธีซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-A และผลงานที่มีผู้ที่นำ
เสนอไว้ก่อนหน้านี้

จากผลการจำลองแบบพบว่า วิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์ที่ดีกว่าวิธีการอื่นๆ
และลดความน่าจะเป็นของการติดขัดทั้งสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการ
แฮนด์ออฟลงมากกว่าวิธีการอื่นๆ โดยสามารถรองรับทราฟฟิกได้สูงกว่า โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกเข้าสู่ระบบ
สูงเท่ากับ 50 เฮอร์แลง วิธีที่นำเสนอรองรับโหลดทราฟฟิกได้สูงกว่าของวิธีซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน
IS95-A อยู่ 33% ด้วยความน่าจะเป็นของการติดขัดทั้งสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่
เกิดจากการแฮนด์ออฟน้อยกว่าของวิธีซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-A อยู่ 28% และ 47% ตาม
ลำดับ ขณะที่คุณภาพของการต่อยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
ปีการศึกษา.....2544.....

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

4170697121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : SOFT HANDOFF / CDMA / FUZZY LOGIC

VIKORN KUNSRIRUKSAKUL : APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR ADAPTING SOFT
HANDOFF THRESHOLDS IN CDMA MOBILE COMMUNICATION SYSTEM. THESIS
ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. WATIT BENJAPOLAKUL, 107 pp. ISBN 974-03-1005-2.

This thesis proposes an application of fuzzy logic for adapting soft handoff thresholds in CDMA Mobile Communication System to improve forward link performance. Evaluation indicators are TRE (Trunk Resource Efficiency), new call blocking probability and handoff call blocking probability. The inputs to fuzzy inference system are the number of remaining channels and distance between base station and mobile station while the outputs are the soft handoff thresholds of T_ADD and T_DROP. The proposed method is compared to conventional soft handoff (IS95-A) and other methods that were previously proposed.

From simulation results, TRE, new call blocking probability and handoff call blocking probability of the proposed method are better and carried traffic load is higher than those of the other methods. At the offered traffic load of 50 Erlang, the carried traffic of the proposed method is 33% higher than that of the IS95-A and new call blocking probability and handoff call blocking probability of the proposed method are 28% and 47% less than those of the IS95-A, respectively, while the communication quality is still acceptable.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DepartmentElectrical Engineering.....

Student's signature.....

Field of studyElectrical Engineering.....

Advisor's signature

Academic year.....2001.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด ขอขอบคุณคุณบงการ หอมานานที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียน โปรแกรมและแนะนำเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัวิทยานิพนธ์ ตลอดจนน้องๆ ที่ห้องปฏิบัติการวิจัย ระบบโทรคมนาคมที่ร่วมสัมนาและถกปัญหา

นอกจากนี้ขอขอบคุณโครงการศิษย์กัณภูมิที่สนับสนุนค่าลงทะเบียนและค่าเดินทางในการ นำเสนอบทความในการประชุมวิชาการ IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference, Spring, 2001 ที่ประเทศกรีซ และขอขอบคุณทบวงมหาวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท – เอก ในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

นายวิกรณ์ คุณศรีรักษ์สกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บัญชีคำศัพท์.....	ด
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอและแนวคิดที่ผ่านมา.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ (Soft Handoff).....	4
2.3 กระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ (Soft Handoff Process) ตามมาตรฐาน IS95-A.....	7
2.4 ข้อดีและข้อเสียของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ.....	10
2.4.1 ข้อดีของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ.....	10
2.4.2 ข้อเสียของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ.....	10
2.5 กระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-B.....	10
2.6 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยการปรับเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP.....	13
2.7 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยการปรับทั้งพารามิเตอร์ T_ADD และ T_DROP.....	17
3 วิธีการที่เสนอและแบบจำลองที่ใช้.....	20
3.1 อัลกอริทึมซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยใช้ระบบวินิจัยพีซี (วิธีที่นำเสนอ).....	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า	
3.2	ฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification).....	23
3.2.1	MF ของระยะห่างระหว่าง BS และ MS.....	23
3.2.2	MF ของจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือของสถานีฐาน (CH_{m}).....	26
3.3	การวินิจฉัยฟัซซี (Fuzzy Inference).....	27
3.3.1	ฐานกฎ (Rule Base).....	27
3.3.2	การประกอบแบบมากที่สุด-น้อยที่สุด (Max-Min Composition: MMC).....	29
3.3.2.1	การสรุปกฎ (Aggregation).....	29
3.3.2.2	การประกอบผลลัพธ์ของกฎ (Composition).....	29
3.4	ดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification).....	29
3.5	แบบจำลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	30
3.5.1	พื้นที่ครอบคลุม (Coverage Area).....	30
3.5.2	แบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณ (Propagation Model).....	31
3.5.3	แบบจำลองทราฟฟิก (Traffic Model).....	33
3.5.4	แบบจำลองการเคลื่อนที่ (Mobility Model).....	33
3.5.5	ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ใช้ในการจำลองแบบ.....	33
3.6	การประเมินสมรรถนะ.....	34
3.6.1	โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (Carried Traffic: T_c).....	34
3.6.2	ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่.....	34
3.6.3	ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ.....	35
3.6.4	จำนวนไฟล็ดเฉลี่ยในแอกทีฟเซต (NO_{BS}).....	35
3.6.5	ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์ (Trunk Resource Efficiency: TRE).....	35
3.6.6	E_b/N_0	35
3.6.7	ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย (Outage Probability).....	36
4	ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์ผลการจำลองแบบ.....	37
4.1	สัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการแสดงผลการจำลองแบบ.....	37
4.2	ผลการจำลองแบบของวิธี FIS ที่นำเสนอ.....	37
4.2.1	การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี FIS ที่ใช้ฐานกฎแตกต่างกัน.....	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี FIS กับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B.....	42
4.2.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี FIS กับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เมื่อเปลี่ยนค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบ.....	48
4.2.4 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS.....	52
4.3 ผลการจำลองแบบของวิธีการปรับค่าเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP.....	68
4.3.1 การทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นเทียบของกับบทความที่มีผู้นำเสนอไว้.....	68
4.3.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธีตามมาตรฐาน IS95-A, วิธีการปรับค่าเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP และวิธี FIS.....	69
4.4 ผลการจำลองแบบของวิธีการปรับทั้งพารามิเตอร์ T_ADD และ T_DROP.....	73
4.4.1 การทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นเทียบกับของบทความที่มีผู้นำเสนอไว้.....	73
4.4.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธีตามมาตรฐาน IS95-A, วิธี VTSH และวิธี FIS.....	74
4.4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี VTSH กับวิธี FIS เมื่อเปลี่ยนค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบ.....	78
4.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ.....	82
4.6 การเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีต่างๆ.....	86
5 สรุปผลการจำลองแบบ.....	88
5.1 สรุปผลการจำลองแบบ.....	88
5.2 การนำวิธีที่เสนอไปประยุกต์ใช้.....	90
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	91
รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	94
ภาคผนวก ก.....	95
ภาคผนวก ข.....	99
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว.....	101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	107

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 กฎสำหรับการปรับค่า T_ADD.....	27
ตารางที่ 3.2 กฎสำหรับการปรับค่า T_DROP.....	27
ตารางที่ 3.3 กฎสำหรับการปรับค่า T_DROP ใหม่.....	28
ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการจำลองแบบ.....	33
ตารางที่ 3.5 สัดส่วนของกำลังของช่องสัญญาณแต่ละชนิดที่ BS ส่ง.....	34
ตารางที่ 4.1 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของระบบและค่า T_Ad และ T_Dr ที่กำหนดให้กับ ตัวแปร linguistic เอกลักษณ์ของวิธี FIS ในการเปรียบเทียบสมรรถนะกับวิธี ตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B.....	42
ตารางที่ 4.2 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของระบบและค่า T_Ad และ T_Dr ที่กำหนดให้กับ ตัวแปร linguistic เอกลักษณ์ของวิธี FIS ในการเปรียบเทียบสมรรถนะกับวิธี ตามมาตรฐาน IS95-A.....	48
ตารางที่ 4.3 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของระบบและค่าใหม่ของพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้จาก วิธี VTSH เมื่อโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูง.....	74
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง.....	85
ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของ วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบค่าต่างๆ.....	86
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของ ซอฟต์แวร์แอสซอสเฟทวิธีต่างๆ.....	88
ตารางที่ ข.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 เฮอร์แลง.....	99
ตารางที่ ข.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 20 เฮอร์แลง.....	99
ตารางที่ ข.3 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 30 เฮอร์แลง.....	100
ตารางที่ ข.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 40 เฮอร์แลง.....	100

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟระหว่างสถานีเคลื่อนที่กับสถานีฐาน 2 สถานีในข่ายเชื่อมต่อโยง ไปหน้า.....	5
รูปที่ 2.2 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟระหว่างสถานีเคลื่อนที่กับสถานีฐาน 2 สถานีในข่ายเชื่อมต่อโยง ย้อนกลับ.....	5
รูปที่ 2.3 ช่องสัญญาณในข่ายเชื่อมต่อโยงไปหน้า.....	6
รูปที่ 2.4 กระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-A.....	8
รูปที่ 2.5 อัลกอริทึมซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-A.....	9
รูปที่ 2.6 กระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-B.....	12
รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟของ BS1 เมื่อปรับค่า T_DROP.....	13
รูปที่ 2.8 อัลกอริทึมการปรับค่าพารามิเตอร์ T_DROP ในกระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ.....	16
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟของ BS1 เมื่อใช้วิธี VTSH.....	17
รูปที่ 2.10 อัลกอริทึม VTSH ในการปรับทั้งค่า T_ADD _j และ T_DROP _j	19
รูปที่ 3.1 (a) อัลกอริทึมซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-A.....	21
.. (b) อัลกอริทึมซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟเมื่อเพิ่มระบบวินิจัยพีซีซีที่ใช้ปรับค่าเริ่มเปลี่ยน ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ.....	21
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของระบบวินิจัยพีซีซีสำหรับซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ.....	21
รูปที่ 3.3 แบบจำลองพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานจำนวน 19 สถานี.....	23
รูปที่ 3.4 การแจกแจงเฉลี่ยของระยะห่างระหว่าง BS กับ MS.....	24
รูปที่ 3.5 การแจกแจงของระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของ MS ที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานี.....	25
รูปที่ 3.6 MF ของระยะห่างระหว่าง BS และ MS.....	25
รูปที่ 3.7 MF ของจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือในเซลล์.....	26
รูปที่ 3.8 ตัวแปร linguistic ของพารามิเตอร์ T_ADD.....	30
รูปที่ 3.9 ตัวแปร linguistic ของพารามิเตอร์ T_DROP.....	30
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T _c) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	38
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับ โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	38

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	39
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนไฟลิตเฉลี่ยใน AS (NO_{BS}) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	39
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังค์กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	40
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	40
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน (E_b/N_0) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	41
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ T_ADD และ T_DROP กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	41
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_C) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	43
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	43
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	44
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนไฟลิตเฉลี่ยใน AS (NO_{BS}) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	45
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังค์กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	45
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	46
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_b/N_0 กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	46
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ T_ADD และ T_DROP กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	47
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_C) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	49
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจาก การแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	49
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	50
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	50
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลด ทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	51
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_p/N_0 กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	51
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ T_ADD และ T_DROP กับโหลดทราฟฟิกที่ เข้าสู่ระบบ	52
รูปที่ 4.25 การแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 10 เฮอร์แลง ของ (a) วิธี FIS(-14,-14) และ (b) วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15).....	53
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และ ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 10 เฮอร์แลง	
(a) กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ	54
(b) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี	54
(c) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี	55
(d) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี	55
รูปที่ 4.27 การแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 20 เฮอร์แลง ของ (a) วิธี FIS(-14,-14) และ (b) วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15).....	56
รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และ ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 20 เฮอร์แลง	
(a) กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ	57
(b) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี	57
(c) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี	58
(d) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี	58

สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.29 การแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 30 เฮอร์แลง ของ (a) วิธี FIS(-14,-14) และ (b) วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15).....	59
รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และ ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 30 เฮอร์แลง	
(a) กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ.....	60
(b) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี.....	60
(c) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี.....	61
(d) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี.....	61
รูปที่ 4.31 การแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 40 เฮอร์แลง ของ (a) วิธี FIS(-14,-14) และ (b) วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15).....	62
รูปที่ 4.32 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และ ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 40 เฮอร์แลง	
(a) กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ.....	63
(b) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี.....	63
(c) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี.....	64
(d) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี.....	64
รูปที่ 4.33 การแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 50 เฮอร์แลง ของ (a) วิธี FIS(-14,-14) และ (b) วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15).....	65
รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และ ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 50 เฮอร์แลง	
(a) กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ.....	66
(b) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี.....	66
(c) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี.....	67
(d) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี.....	67
รูปที่ 4.35 การเปรียบเทียบระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดที่แสดงในบทความ [1] กับผลที่ได้จากการจำลองแบบ.....	68
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดกราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ ..	70

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	70
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจาก การแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	71
รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	71
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	72
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลด ทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	72
รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_p/N_0 กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	73
รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลด ทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 4.3	74
รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ ..	75
รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	75
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจาก การแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	76
รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	76
รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	77
รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลด ทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	77
รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_p/N_0 กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	78
รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ ..	78
รูปที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	79
รูปที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจาก การแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	79
รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	80
รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ	80

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับ โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	81
รูปที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_p/N_0 กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	81
รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ..	82
รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	82
รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจาก การแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	83
รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	83
รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	83
รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลด ทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	84
รูปที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_p/N_0 กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	84
รูปที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	86
รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ..	95
รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับ โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	95
รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจาก การแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	96
รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโพลิตเฉลี่ยใน AS (NO_{BS}) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้า สู่ระบบ.....	96
รูปที่ ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรฟังก์กับโหลดทราฟฟิกที่เข้า สู่ระบบ.....	97
รูปที่ ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลด ทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	97
รูปที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_p/N_0 กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ.....	97
รูปที่ ก.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ T_ADD และ T_DROP กับโหลดทราฟฟิกที่เข้า สู่ระบบ.....	98

บัญชีคำศัพท์

การควบคุมกำลังในสายเชื่อมโยงไปหน้า	Forward-Link Power Control
การควบคุมกำลังในสายเชื่อมโยงย้อนกลับ	Reverse-Link Power Control
การชักเหตุผล	Reasoning
การแทรกสอด	Interference
การบัง	Shadowing
การประกอบแบบมากที่สุด-น้อยที่สุด	Max-Min Composition ย่อว่า MMC
การประกอบผลลัพธ์ของกฎ	Composition
การแพร่กระจายสัญญาณ	Propagation
การวินิจฉัยด้วยฟuzzy	Fuzzy Inference
การสรุปกฎ	Aggregation
กำลังแผ่ประสิทธิผล	Effective Radiated Power
สายเชื่อมโยงไปหน้า	Forward Link
สายเชื่อมโยงย้อนกลับ	Reverse Link
ข่าวสารการทำแฮนด์ออฟสำเร็จ	Handoff Completion Message
ข่าวสารการวัดความแรงของไพล๊อต	Pilot Strength Measurement Message
ข่าวสารสั่งการแฮนด์ออฟ	Handoff Direction Message
ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย	Outage Probability
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่ เกิดขึ้นใหม่	New Call Blocking Probability
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่ เกิดจากการแฮนด์ออฟ	Handoff Call Blocking Probability
ความหนาแน่นทราฟฟิก	Traffic Density
ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบ	Thermal Noise Power Spectrum Density
กวนเชิงความร้อน	Density
ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบ	The Ambient Noise Spectral Density
กวนแวลด์ล้อม	Density
ค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ	Soft Handoff Threshold

บัญชีคำศัพท์ (ต่อ)

เครื่องรับเรด	Rake Receiver
ช่องสัญญาณซิงโครไนซ์	Synchronization Channel
ช่องสัญญาณทราฟฟิก	Traffic Channel
ช่องสัญญาณเพจจิง	Paging Channel
ช่องสัญญาณไพล๊อต	Pilot Channel
ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ	Soft Handoff
ฐานกฎ	Rule Base
ดีฟัซซีฟิเคชัน	Defuzzification
ตัวแปรเชิงสุ่มแบบเกาส์เซียน	Gaussian Random Variable
แบบจำลองการเคลื่อนที่	Mobility Model
แบบจำลองทราฟฟิก	Traffic Model
ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์	Trunk Resource Efficiency ย่อว่า TRE
ปรากฏการณ์ปิงปอง	Ping-Pong Effect
ปัจจัยตั้งฉาก	Orthogonal Factor
ปัจจัยแยกที่ฟของเสียงพูด	Voice Activity Factor
พื้นที่ครอบคลุม	Coverage Area
ไพล๊อต	Pilot
ฟัซซีฟิเคชัน	Fuzzification
ฟัซซีลอจิก	Fuzzy Logic
เฟดดิ้งแบบเรย์ลี	Rayleigh Fading
รหัสวอลซ์	Walsh Code
รหัสสัญญาณรบกวนเทียมแบบสั้น	Short Pseudo Noise (PN) Code
ระบบวินิจฉัยฟัซซี	Fuzzy Inference System ย่อว่า FIS
ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ	CDMA Mobile Communication System
สถานีเคลื่อนที่	Mobile Station ย่อว่า MS
สถานีฐาน	Base Station ย่อว่า BS
ส่วนประกอบกำลังการสูญเสียตามวิถี	Path Loss Exponent

บัญชีคำศัพท์ (ต่อ)

สายอากาศแบบรอบทิศทาง	Omni-Directional Antenna
โหลดทราฟฟิก	Traffic Load
โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้	Carried Traffic
อัตราขยายการประมวลผล	Processing Gain
อัตราบิต	Bit Rate
ฮาร์ดแฮนด์ออฟ	Hard Handoff



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้งานระบบสื่อสารเคลื่อนที่ที่เป็นที่แพร่หลายอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบดิจิทัลทั้งแบบ TDMA (Time Division Multiple Access) และ CDMA (Code Division Multiple Access) โดยในระบบ TDMA มีข้อจำกัดในเรื่องผู้ใช้ต่อช่องสัญญาณความถี่ (frequency channel) ส่วนในระบบ CDMA นั้นข้อจำกัดในเรื่องผู้ใช้ต่อช่องสัญญาณความถี่นั้นไม่มี แต่สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือสัญญาณแทรกสอด (interference) ทั้งจากภายในและภายนอกเซลล์ที่สนใจ เนื่องจากใช้สเปกตรัมหรือแถบความถี่เดียวกัน (frequency band) ที่มีแบนด์วิดท์ 1.25 MHz แต่แบ่งแยกกันที่รหัสของผู้ใช้และสถานีฐาน

กระบวนการที่ทำให้การสื่อสารระหว่างผู้ใช้หรือสถานีเคลื่อนที่ (MS: Mobile Station) เป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อเคลื่อนที่จากพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์หรือสถานีฐาน (BS: Base Station) เริ่มต้นไปยังเซลล์ใหม่ โดยในระบบ TDMA จะใช้วิธีฮาร์ดแฮนด์ออฟ (Hard Handoff) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนช่องสัญญาณจากเซลล์เริ่มต้นไปยังช่องสัญญาณของเซลล์ใหม่ ส่วนระบบ CDMA จะใช้วิธีซอฟต์แฮนด์ออฟ (Soft Handoff) ซึ่งจะมีการใช้ช่องสัญญาณของทั้งเซลล์เริ่มต้นและเซลล์ใหม่ร่วมกัน เพื่อเพิ่มคุณภาพของการสื่อสารเมื่อสถานีเคลื่อนที่อยู่ที่ขอบเซลล์ ก่อนที่จะแน่ใจว่าเมื่อเหลือเพียงช่องสัญญาณเดียวแล้ว คุณภาพของสัญญาณนั้นจะไม่ทำให้เกิดการดรอป (Dropped call) ขึ้น

ถึงแม้ว่ากระบวนการซอฟต์แฮนด์ออฟจะช่วยเพิ่มคุณภาพของการสื่อสาร แต่มีข้อด้อยคือซอฟต์แฮนด์ออฟจะมีการใช้ช่องสัญญาณทราฟฟิกจากเซลล์ข้างเคียงร่วมด้วย ถ้าในเซลล์นั้นมีปริมาณโหลดทราฟฟิกมากแล้ว ซอฟต์แฮนด์ออฟก็จะทำให้สูญเสียช่องสัญญาณทราฟฟิกที่จะรองรับการเรียกใหม่ที่เข้ามาทำให้เกิดการเรียกติดขัดขึ้น

ปี ค.ศ. 1994 มีผู้เสนอการปรับค่าพารามิเตอร์ของซอฟต์แฮนด์ออฟ [1] โดยนำค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกำลังของสถานีเคลื่อนที่ไปคำนวณความน่าจะเป็นของการติดขัดของการเรียก เมื่อสถานีฐานเกิดการติดขัดของการเรียกก็จะปรับค่าพารามิเตอร์ตัวหนึ่งของซอฟต์แฮนด์ออฟคือ T_DROP เพื่อให้ลดการแฮนด์ออฟที่ไม่จำเป็นและเหลือช่องสัญญาณสำหรับรองรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือต้องใช้เวลาในการเก็บค่าสถิติและนำมาประมวลผลก่อนแล้วจึงปรับค่า T_DROP ในขณะที่ระบบจริงต้องการการตอบสนองทันที

หลังจากนั้นปี ค.ศ. 1997 ได้มีผู้เสนอการปรับค่าพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยคิดจากอัตราส่วนของกำลังรวมของสถานีฐานที่ใช้อยู่ต่อกำลังสูงสุดของสถานีฐานที่จะส่งในขณะนั้นว่าเกินค่าเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดหรือไม่ ถ้าเกินก็จะปรับค่าพารามิเตอร์ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ เพื่อเพิ่มคุณภาพของสัญญาณให้ดีขึ้น [2] แต่บทความนี้ไม่มีการแสดงสมรรถนะอื่นๆ ได้แก่ความน่าจะเป็นของการติดขัดของการเรียก โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้และประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังก์ (TRE: Trunk Resource Efficiency) เป็นต้นว่าดีขึ้นหรือไม่อย่างไร

จากวิธีที่มีผู้เสนอมา [1,2] เป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟแบบตายตัวคือค่าของพารามิเตอร์ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟใหม่ได้ถูกกำหนดไว้แล้ว ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามโหลดทราฟฟิกที่เกิดขึ้น ณ ขณะนั้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามโหลดทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในขณะนั้น โดยเลือกฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นวิธีที่ใช้ตัดสินใจปรับค่าพารามิเตอร์ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ เนื่องจากเป็นวิธีที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายแล้วว่า สามารถกำหนดจุดแบ่งที่ไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นวิธีที่ง่ายในทางปฏิบัติ [3] โดยใช้ระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่และจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือของสถานีฐานเป็นอินพุตสำหรับฟัซซีลอจิก ส่วนพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่เป็นเอาต์พุตของฟัซซีลอจิกคือ T_ADD และ T_DROP เพื่อลดความน่าจะเป็นของการติดขัดของการเรียกให้แก่ระบบ โดยที่คุณภาพของการต่อยังคงยอมรับได้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของข่ายเชื่อมโยงไปหน้า (Forward Link) ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอให้ดีขึ้นคือมีประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังก์สูงขึ้นและความน่าจะเป็นของการติดขัดของการเรียก (Call Blocking Probability) ลดลง ขณะที่ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย (Outage Probability) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้คือน้อยกว่า 0.1 [4] โดยใช้ฟัซซีลอจิกควบคุมการเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบจริงได้

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ฟัซซีลอจิกมาใช้ในการควบคุมค่าพารามิเตอร์ค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟนี้คาดว่าจะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังก์และความน่าจะเป็นของการติดขัดของการเรียก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟปกติตามมาตรฐาน IS95-A [5] และวิธีการอื่นที่มีผู้นำเสนอก่อนหน้านี้ [1,2] และนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สายในยุคที่ 3 ได้

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาองค์ประกอบต่างๆ และกระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอตามมาตรฐาน IS95-A
2. ศึกษาข้อดีและข้อเสียของวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มีผู้เสนอไว้
3. ศึกษาการประยุกต์ใช้งานพีซีลอจิกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่
4. เขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบแบบจำลองของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอตามมาตรฐาน IS95-A และวิธีการใน [1,2] แล้วเก็บค่าทางสถิติเพื่อใช้อ้างอิงกับวิธีการที่เสนอ
5. เขียนโปรแกรมตามวิธีการที่เสนอ
6. ตรวจสอบและปรับปรุงวิธีการที่เสนอ
7. ประเมินและสรุปผลการวิจัย
8. เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถปรับปรุงสมรรถนะระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอให้สูงขึ้นและสามารถนำวิธีการที่เสนอไปประยุกต์ใช้ในระบบจริงได้ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการนำพีซีลอจิกไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอและแนวคิดที่ผ่านมา

2.1 กล่าวนำ

การแฮนด์ออฟเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ โดยการเคลื่อนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานรับได้และระดับของสัญญาณแทรกสอด ซึ่งส่งผลถึงคุณภาพของการติดต่อ เมื่อสถานีเคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสถานีฐานที่ติดต่อยู่ โดยการเปลี่ยนสถานีฐานที่ติดต่อยู่นี้เรียกว่า การแฮนด์ออฟ (Handoff) ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ FDMA และ TDMA ได้แก่ระบบ AMPS (Advanced Mobile Phone System) และ GSM (Global System for Mobile Communications) จะใช้วิธีการแฮนด์ออฟแบบฮาร์ดแฮนด์ออฟ (Hard Handoff) โดยการเปลี่ยนสถานีฐานที่ติดต่อยู่นั้นจะเปลี่ยนจากสถานีฐานหนึ่งไปยังสถานีฐานอีกสถานีหนึ่งอย่างเด็ดขาด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือในเวลาเดียวกันสถานีเคลื่อนที่จะติดต่อกับสถานีฐานเพียงหนึ่งสถานีเท่านั้น ส่วนระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ นั้น จะมีการใช้ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟแทนการใช้ฮาร์ดแฮนด์ออฟ

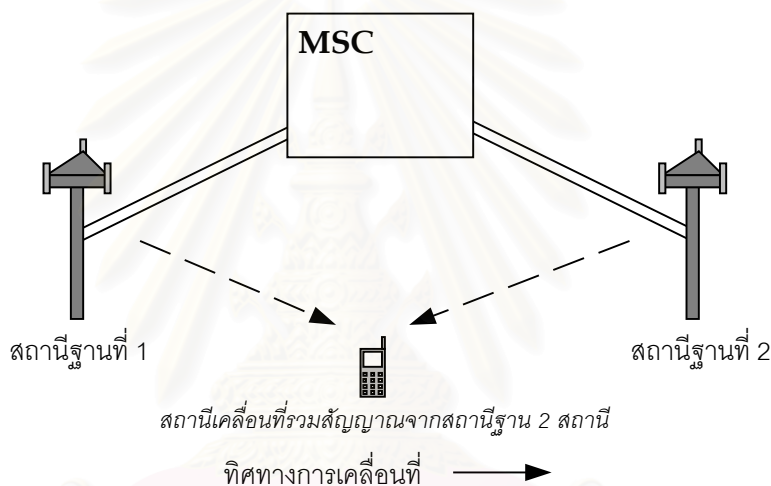
ในบทนี้จะได้กล่าวถึงซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่ใช้ในระบบเคลื่อนที่สื่อสารซีดีเอ็มเอ และแนวคิดที่ได้มีผู้เสนอไว้ในงานวิจัยเพื่อลดการเรียกที่ติดขัด เนื่องจากซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟทำให้สถานีเคลื่อนที่ 1 สถานีติดต่อกับสถานีฐานมากกว่า 1 สถานี ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียช่องสัญญาณไปบางส่วน

2.2 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ (Soft Handoff)

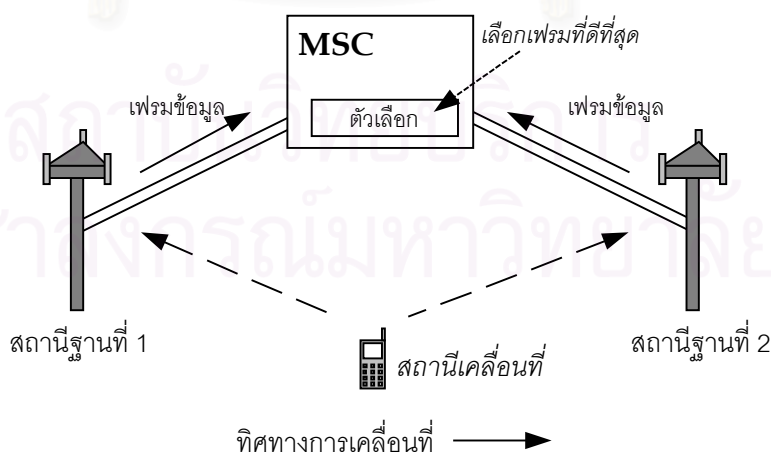
ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟมีลักษณะแตกต่างจากฮาร์ดแฮนด์ออฟโดยสิ้นเชิง โดยในฮาร์ดแฮนด์ออฟนั้น จะมีการตัดสินใจให้ติดต่อกับสถานีฐานใด และสถานีเคลื่อนที่ 1 สถานีจะติดต่อกับสถานีฐานเพียง 1 สถานีเท่านั้น ส่วนการตัดสินใจทำซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟนั้นขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของความแรงของไพลอต (Pilot) จากสถานีฐานมากกว่า 2 สถานีขึ้นไป เมื่อความแรงของไพลอตจากสถานีฐานใดสูงกว่าค่าเริ่มเปลี่ยนที่กำหนด สถานีเคลื่อนที่นั้นจะสื่อสารกับสถานีฐานนั้นๆ

ความแตกต่างของฮาร์ดแฮนด์ออฟและซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟสามารถอธิบายได้โดยเปรียบเทียบที่ฟ้า 2 ประเภทคือ การว่ายน้ำผลัดและการวิ่งผลัด โดยฮาร์ดแฮนด์ออฟเหมือนกับการว่ายน้ำผลัด เมื่อนักว่ายน้ำคนแรกมาถึงขอบสระว่ายน้ำแล้วนักว่ายน้ำคนต่อไปก็จะกระโดดลงสระและว่ายน้ำต่อไป ส่วนซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟนั้นเหมือนกับการวิ่งผลัดคือ เมื่อนักวิ่งคนแรกมาถึงจุดที่ต้องส่งไม้ให้กับนักวิ่งคนต่อไป จะมีช่วงเวลาหนึ่งที่นักวิ่งทั้งสองคนจะวิ่งไปพร้อมกัน ซึ่งช่วงเวลาที่ทั้งสองคนวิ่งไปพร้อมกันนั้นเหมือนกับการที่สถานีเคลื่อนที่ติดต่อกับสถานีฐาน 2 สถานีพร้อมกันนั่นเอง

รูปที่ 2.1 แสดงการสื่อสารระหว่างสถานีเคลื่อนที่กับสถานีฐาน 2 สถานีพร้อมกันในข่ายเชื่อมโยงไปหน้า (Forward link) ในระหว่างเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ โดยสถานีเคลื่อนที่จะใช้เครื่องรับเรด (rake receiver) เพื่อตีโมดูเลตสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานทั้ง 2 สถานีและทำการรวมสัญญาณทั้ง 2 ให้เหลือเพียง 1 สัญญาณ ซึ่งเห็นได้ว่าการที่สถานีเคลื่อนที่รวมสัญญาณทั้ง 2 นี้เป็นการเพิ่มคุณภาพของสัญญาณให้ดีขึ้น สำหรับรูปที่ 2.2 แสดงการสื่อสารระหว่างสถานีเคลื่อนที่กับสถานีฐาน 2 สถานีพร้อมกันในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับ (Reverse link) โดยสถานีเคลื่อนที่จะส่งสัญญาณกลับยังสถานีฐานทั้ง 2 สถานีพร้อมกัน และสถานีฐานแต่ละสถานีจะตีโมดูเลตสัญญาณและส่งเฟรมข้อมูลที่ไต่กลับยัง MSC (Mobile Switching Center) ซึ่งจะมีตัวเลือก (Selector) ทำหน้าที่เลือกสัญญาณจากสถานีฐานที่ดีที่สุด



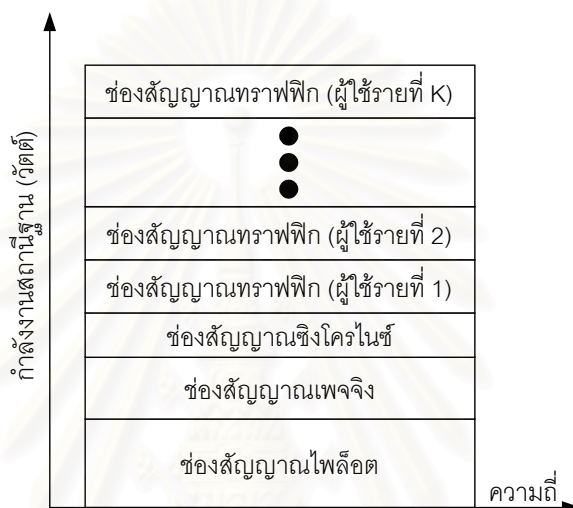
รูปที่ 2.1 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟระหว่างสถานีเคลื่อนที่กับสถานีฐาน 2 สถานีในข่ายเชื่อมโยงไปหน้า



รูปที่ 2.2 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟระหว่างสถานีเคลื่อนที่กับสถานีฐาน 2 สถานีในข่ายเชื่อมโยงย้อนกลับ

ช่องสัญญาณในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ ซึ่งทำหน้าที่แบ่งแยกผู้ใช้หรือสถานีเคลื่อนที่แต่ละราย และแบ่งแยกสถานีฐานแต่ละสถานีมีดังนี้

1. ช่องสัญญาณไพล๊อต (Pilot Channel)
2. ช่องสัญญาณเพจจิง (Paging Channel)
3. ช่องสัญญาณซิงโครไนซ์ (Synchronization Channel)
4. ช่องสัญญาณทราฟฟิก (Traffic Channel)



รูปที่ 2.3 ช่องสัญญาณในข่ายเชื่อมโยงไปหน้า

รูปที่ 2.3 แสดงถึงช่องสัญญาณต่างๆ ในข่ายเชื่อมโยงโดยไปหน้า โดยช่องสัญญาณไพล๊อตเป็นรหัสวอลช์ (Walsh Code) ที่ 0 ประกอบด้วยรหัสสัญญาณรบกวนเทียมแบบสั้น (Short PN (Pseudo Noise) Code) และค่าออฟเซตเฉพาะ [6] ซึ่งจะทำให้สถานีเคลื่อนที่แยกแยะได้ว่ากำลังสื่อสารกับสถานีฐานโดยอยู่ และช่องสัญญาณเพจจิงทำหน้าที่ตามหาสถานีเคลื่อนที่ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานนั้น ส่วนช่องสัญญาณซิงโครไนซ์จะส่งข่าวสารการซิงโครไนซ์และพารามิเตอร์ของระบบให้สถานีเคลื่อนที่ได้ทราบ และช่องสัญญาณทราฟฟิกเป็นส่วนข้อมูลของผู้ใช้แต่ละราย

ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ นั้น สถานีเคลื่อนที่เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการชอฟต์แฮนด์ออฟ โดยสถานีเคลื่อนที่ที่ต้องวัดความแรงของไพล๊อตจากสถานีฐานต่างๆ และส่งผลการวัดกลับไปยังสถานีฐาน เพื่อทำการตัดสินใจแฮนด์ออฟ ในการแฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-A [6] มีการกำหนดกลุ่มของสถานีฐานในระบบเป็นเซตต่างๆ ดังนี้ คือ

1. Active Set (AS) เป็นเซตของสถานีฐานที่สถานีเคลื่อนที่ติดต่อยู่พร้อมๆ กันในระหว่างการเกิดชอฟต์แฮนด์ออฟ โดยมีความแรงของไพล๊อตหรือค่าอัตราส่วนพลัง

งานคลื่นพาห้ต่อพลังงานสัญญาณแทรกสอด (E_c/I_0) ที่สถานีเคลื่อนที่รับได้มากกว่าค่า T_ADD (add threshold) เป็น 6 อันดับแรกตามมาตรฐาน IS95-A และ 3 อันดับแรกในทางปฏิบัติ

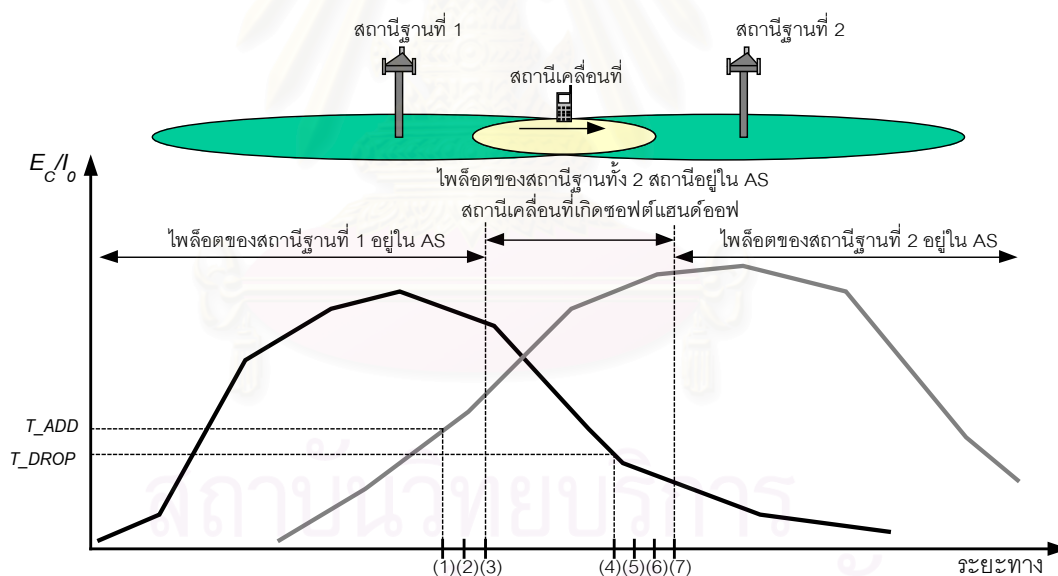
2. Candidate Set (CS) เป็นเซตของสถานีฐานที่มีความแรงของไพล๊อตที่สถานีเคลื่อนที่รับได้มากกว่าค่า T_ADD (add threshold) แต่เป็นอันดับถัดมาจาก AS ซึ่งมีได้ถึง 5 สถานี
3. Neighbor Set (NS) เป็นเซตของสถานีฐานอื่นๆ ในระบบ แต่ไม่อยู่ใน AS และ CS และมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟดังนี้
 1. T_ADD (add threshold) เป็นค่าเริ่มเปลี่ยนสำหรับเพิ่มสถานีฐานใหม่ใน AS
 2. T_DROP (drop threshold) เป็นค่าเริ่มเปลี่ยนสำหรับลดสถานีฐานใน AS
 3. T_TDROP (drop threshold timer) เป็นช่วงเวลาที่หน่วงไว้ก่อนที่จะตัดลิงก์ลดสถานีฐานใน AS เมื่อสถานีเคลื่อนที่วัดความแรงของไพล๊อตของสถานีฐานใดได้น้อยกว่า T_DROP นานกว่าช่วงเวลา T_TDROP สถานีเคลื่อนที่นั้นจะตัดการต่อกับสถานีฐานนั้นออกจาก AS
 4. T_COMP (comparison threshold) เป็นค่าเริ่มเปลี่ยนสำหรับย้ายไพล๊อตที่อยู่ใน CS ไปยัง AS หากความแรงของไพล๊อตใดใน CS สูงกว่าของไพล๊อตใน AS เกินกว่าค่าเริ่มเปลี่ยนนี้ ไพล๊อตใน CS นั้นจะถูกย้ายไปแทนไพล๊อตใน AS นั้น

2.3 กระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ (Soft Handoff Process) ตามมาตรฐาน IS95-A

หัวข้อนี้กล่าวถึงกระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟจากสถานีฐานที่ 1 ไปยังสถานีฐานที่ 2 ในรูปที่ 2.4 สถานีเคลื่อนที่เคลื่อนที่จากพื้นที่ครอบคลุม (Coverage) ของสถานีฐานที่ 1 ไปยังพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานที่ 2 โดยจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นดังนี้

1. สถานีเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานที่ 1 และใน AS จะมีเพียงไพล๊อตของสถานีฐานที่ 1 เท่านั้น ขณะเดียวกันสถานีเคลื่อนที่ก็วัดความแรงของไพล๊อตของสถานีฐานที่ 2 และเมื่อพบว่ามีความแรงสูงกว่าค่า T_ADD สถานีเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารการวัดความแรงของไพล๊อต (pilot strength measurement message) ไปยังสถานีฐานที่ 1 และสถานีฐานที่ 1 ส่งข่าวสารการวัดความแรงของไพล๊อตไปยัง BSC (Base Station Controller) เพื่อทำการประมวลผลและย้ายไพล๊อตของสถานีฐานที่ 2 จาก NS ไปอยู่ใน CS
2. เมื่อสถานีเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารสั่งการแฮนด์ออฟ (handoff direction message) จากสถานีฐานที่ 1 สถานีเคลื่อนที่จะเริ่มการติดต่อกับสถานีฐานที่ 2

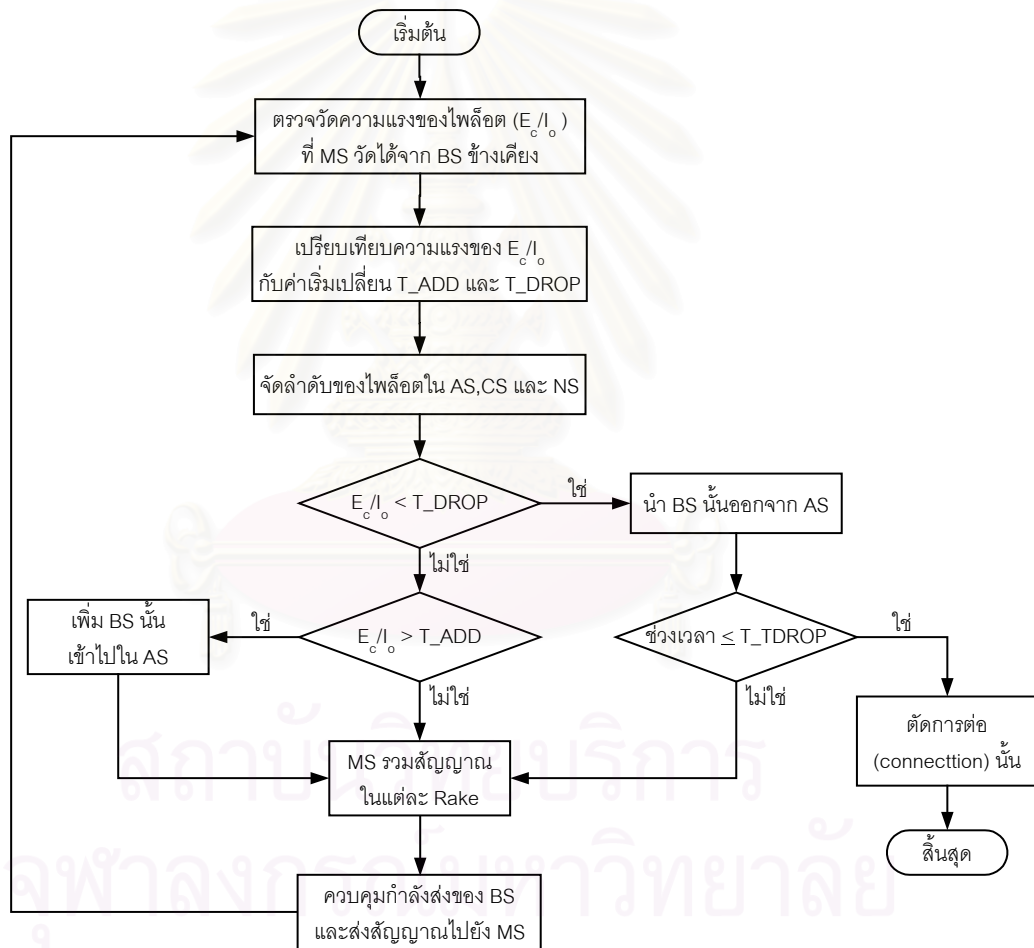
3. สถานีเคลื่อนที่ย้ายไฟลิตของสถานีฐานที่ 2 จาก CS ไปอยู่ใน AS หลังจากเข้ายึดช่องสัญญาณทราฟฟิกไปหน้าได้แล้ว หลังจากนั้นสถานีเคลื่อนที่ที่จะส่งข่าวสารการทำแฮนด์ออฟสำเร็จ (handoff completion message) ไปยัง BSC ในขณะนี้ใน AS จะมีไฟลิตของสถานีฐานทั้ง 2 สถานีอยู่
4. เมื่อสถานีเคลื่อนที่ตรวจพบว่าความแรงของไฟลิตของสถานีที่ 1 น้อยกว่าค่า T_DROP แล้วตัวนับสำหรับการดริอป (drop timer) จะเริ่มนับ
5. เมื่อตัวนับนับถึงค่า T_TDROP สถานีเคลื่อนที่ที่จะส่งข่าวสารการวัดความแรงของไฟลิตกลับไปยัง BSC
6. เมื่อสถานีเคลื่อนที่ที่ได้รับข่าวสารสั่งการแฮนด์ออฟ จะไม่พบข่าวสารซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับสถานีฐานที่ 1 อีกต่อไป ซึ่งหมายถึงสถานีเคลื่อนที่ที่ได้รับคำสั่งให้ตัดการติดต่อกับสถานีฐานที่ 1
7. สถานีเคลื่อนที่ที่จะย้ายไฟลิตของสถานีฐานที่ 1 จาก AS ไปอยู่ใน NS แล้วสถานีเคลื่อนที่ที่จะส่งข่าวสารการทำแฮนด์ออฟสำเร็จกลับไปยัง BSC



รูปที่ 2.4 กระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-A

นอกจากกลไกที่กล่าวมายังมีกลไกอื่นอีก 1 กลไกคือ หลังจากสถานีเคลื่อนที่ส่งข่าวสารการวัดความแรงของไฟลิตไปยัง BSC (เหตุการณ์ที่ 1 ในรูปที่ 2.4) แล้ว BSC พบว่าความแรงของไฟลิตหนึ่งไฟลิตใดใน CS สูงกว่าความแรงของไฟลิตใดๆ ใน AS อยู่เท่ากับ $T_COMP \times 0.5$ dB แล้วก็จะสั่งสถานีเคลื่อนที่ให้เริ่มการติดต่อกับสถานีฐานที่ 2 (เหตุการณ์ที่ 2 ในรูปที่ 2.4)

จากกระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟข้างต้น เมื่อนำมาเขียนเป็นอัลกอริทึมซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS-95A จะได้ดังรูปที่ 2.5 โดยเริ่มจากการตรวจวัดความแรงของไฟลิต (E_c/I_o) ที่สถานีเคลื่อนที่รับได้จากสถานีฐานข้างเคียง แล้วตรวจสอบว่าความแรงของไฟลิตโตมากกว่าหรือน้อยกว่าค่า T_ADD และ T_DROP ตามลำดับและจัดว่าไฟลิตใดเป็นสมาชิกในเซตใด เมื่อพบว่ามีจำนวนสมาชิกใน AS มากกว่า 1 แสดงว่าสามารถเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟขึ้นได้ โดยสถานีเคลื่อนที่จะมีเครื่องรับแบบเรค ในการรวมสัญญาณจากสถานีฐานที่เป็นสมาชิกของ AS เพื่อเพิ่มคุณภาพของสัญญาณในข่ายเชื่อมโยงไปหน้า หากพบว่าสมาชิกเดิมใน AS มีความแรงของไฟลิตน้อยกว่าค่า T_DROP นานเกินช่วงเวลา T_TDROP ข่ายเชื่อมโยงนั้นก็จะถูกนำออกจาก AS กระบวนการนี้จะกระทำซ้ำทุกๆ $1.25 \times 16 = 20$ มิลลิวินาที



รูปที่ 2.5 อัลกอริทึมซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-A

2.4 ข้อดีและข้อเสียของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ

2.4.1 ข้อดีของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ

1. ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟช่วยลดและแก้ปัญหาปรากฏการณ์ปิงปอง (ping-pong effect) ที่เกิดกับฮาร์ดแวร์แฮนด์ออฟ โดยการลดการเกิดปรากฏการณ์ปิงปองนี้ทำให้เกิด
 - โหลดที่เกิดจากซิกแนลลิงของการแฮนด์ออฟ (handoff signaling) ลดลง
 - การติดต่อที่ราบเรียบกว่า ไม่มีเสียงคลิก (click) เหมือนกับฮาร์ดแวร์แฮนด์ออฟ คือไม่รู้สึกรู้ว่ามีการเปลี่ยนการติดต่อกับสถานีฐานหนึ่งไปยังสถานีฐานอีกสถานีหนึ่ง
2. ขณะที่สถานีเคลื่อนที่เคลื่อนที่ห่างจากสถานีฐาน สถานีเคลื่อนที่ที่ต้องใช้กำลังส่งเพิ่มขึ้น เพื่อรักษา E_c/I_0 ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ หากเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟขึ้นสถานีเคลื่อนที่อาจไม่ต้องเพิ่มกำลังส่งได้ เพราะ MSC จะเลือกสัญญาณจากสถานีฐานที่ดีที่สุดในช่วงเชื่อมต่อโยนกลับ ดังนั้นซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟทำให้สัญญาณแทรกสอดรวมลดลง และระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้น
3. ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟช่วยลดการทรอปของการเรียกได้ ซึ่งต่างจากฮาร์ดแวร์แฮนด์ออฟที่มีโอกาสทรอปสูงกว่า เพราะสถานีเคลื่อนที่เปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณของสถานีฐานใหม่แล้วคุณภาพไม่ดีและพยายามแฮนด์ออฟกลับมาสถานีฐานเดิม หากไม่ได้รับการเรียกนั้นอาจทรอปได้ แต่ในซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟยังคงรักษาการติดต่อระหว่างสถานีฐานเดิมและสถานีฐานใหม่จนกว่าไฟลิตของสถานีฐานเดิมจะไม่อยู่ใน AS

2.4.2 ข้อเสียของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ

1. ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟมีความซับซ้อนกว่าฮาร์ดแวร์แฮนด์ออฟ
2. สัญญาณแทรกสอดของข่ายเชื่อมต่อไปหน้าที่เพิ่มขึ้นขณะเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ เนื่องจากสัญญาณจากสถานีฐานหนึ่งจะแทรกสอดกับอีกสถานีฐานหนึ่งได้
3. เมื่อโหลดทราฟฟิกของระบบเพิ่มสูงขึ้น โอกาสที่การเรียกใหม่หรือการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟนั้นอาจถูกบล็อกได้ เนื่องจากซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟจะมีการใช้ช่องสัญญาณมากกว่า 1 ช่องสัญญาณ

2.5 กระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-B

ในมาตรฐาน IS95-B สำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอแบนด์วิดท์แคบหรือมาตรฐาน cdma2000 สำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอแบนด์วิดท์กว้าง มีการเพิ่มพารามิเตอร์หลักอีก 3 พารามิเตอร์ได้แก่ SOFT_SLOPE, ADD_INTERCEPT และ DROP_INTERCEPT เพื่อทำการ

ปรับค่าเริ่มเปลี่ยนในแบบพลวัต ในมาตรฐาน IS95-B กำหนดให้จำนวนของไฟล็ดใน AS มีได้สูงที่สุด 6 ไฟล็ดและใน CS มีได้สูงที่สุด 10 ไฟล็ด

เมื่อไฟล็ดใดๆ ใน NS มีความแรงของไฟล็ดสอดคล้องกับสมการที่ (2.1) MS จะเริ่มส่งข่าวสารการวัดความแรงของไฟล็ดสำหรับอัปเดตเซตต่างๆ โดยจะย้ายไฟล็ดนั้นจาก NS ไปยัง AS

$$10 \times \log_{10} PS > \max \left(\frac{\text{SOFT_SLOPE}}{8} \times 10 \times \log_{10} \sum_{i \in \text{AS}} PS_i + \frac{\text{ADD_INTERCEPT}}{2}, \frac{T_ADD}{2} \right) \quad (2.1)$$

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, N_{\text{AS}}-1$

PS = ความแรงของไฟล็ด

N_{AS} = จำนวนไฟล็ดใน AS

ถ้าไฟล็ดใน NS ไม่สอดคล้องกับสมการที่ (2.1) แต่มีค่ามากกว่า T_ADD ไฟล็ดดังกล่าวจะถูกย้ายไปยัง CS และถ้าไฟล็ดใดๆ ใน CS มีความแรงของไฟล็ดสอดคล้องกับสมการที่ (2.2) MS จะเริ่มส่งข่าวสารการวัดความแรงของไฟล็ดกลับไปยัง BS

$$10 \times \log_{10} PS > \frac{\text{SOFT_SLOPE}}{8} \times 10 \times \log_{10} \sum_{i \in \text{AS}} PS_i + \frac{\text{ADD_INTERCEPT}}{2} \quad (2.2)$$

เมื่อความแรงของไฟล็ดใน CS เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการที่ (2.2) และมีค่ามากกว่าของไฟล็ดใน AS เท่ากับ $0.5 \times T_COMP$ dB ไฟล็ดนั้นจะถูกย้ายไปยัง AS

เมื่อพิจารณาไฟล็ดที่อยู่ใน AS เมื่อ MS เรียงลำดับความแรงของไฟล็ดใน AS จากน้อยไปมาก ตัวนับสำหรับการรีเซ็ตของ MS จะเริ่มนับ เมื่อความแรงของไฟล็ดใน AS สอดคล้องกับสมการที่ (2.3)

$$10 \times \log_{10} PS_i < \max \left(\frac{\text{SOFT_SLOPE}}{8} \times 10 \times \log_{10} \sum_{j>i} PS_j + \frac{\text{DROP_INTERCEPT}}{2}, \frac{T_DROP}{2} \right) \quad (2.3)$$

เมื่อตัวนับถึงค่า T_TDROP แล้ว MS จะย้ายไฟล็ดนั้นจาก AS ไปยัง CS โดยตัวนับสำหรับการรีเซ็ตของ MS จะรีเซ็ต (Reset) เวลา เมื่อความแรงของไฟล็ดไม่สอดคล้องกับสมการที่ (2.3)

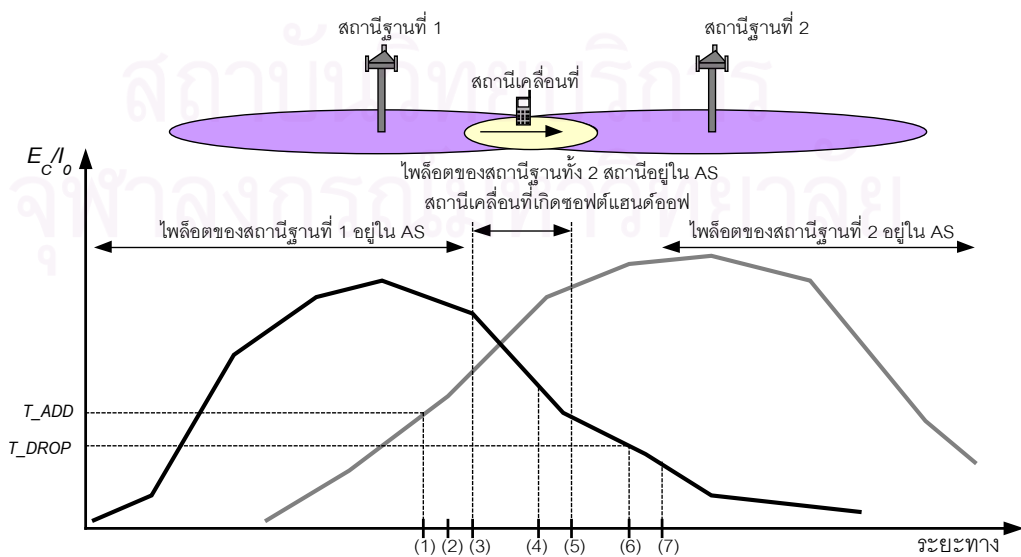
เพื่อความเข้าใจง่ายขึ้นจึงขอยกตัวอย่างในรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นตัวอย่างของขั้นตอนซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-B โดยสามารถอธิบายดังต่อไปนี้

1. สถานีเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานที่ 1 และใน AS จะมีเพียงไฟล็ดของสถานีฐานที่ 1 (PS_1) เท่านั้น ขณะเดียวกันสถานีเคลื่อนที่ก็วัดความแรงของไฟล็ดของสถานีฐานที่ 2 (PS_2) และเมื่อพบว่ามีความแรงสูงกว่าค่า T_ADD สถานีเคลื่อนที่จะย้ายไฟล็ดของสถานีฐานที่ 2 จาก NS ไปอยู่ใน CS

2. เมื่อความแรงของไฟลิตของสถานีฐานที่ 2 มีค่ามากกว่า

$$[(SOFT_SLOPE/8)*10*10\log_{10}(PS_1)+ADD_INTERCEPT/2]$$
 สถานีเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารการวัดความแรงของไฟลิตไปยัง BSC
3. เมื่อสถานีเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารสั่งการแฮนด์ออฟจากสถานีฐานที่ 1 ข่าวสารนั้นจะสั่งให้สถานีเคลื่อนที่ย้ายไฟลิตของสถานีฐานที่ 2 จาก CS ไปอยู่ใน AS หลังจากเข้ายึดช่องสัญญาณทราฟฟิกไปหน้าได้แล้ว หลังจากนั้นสถานีเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารการทำแฮนด์ออฟสำเร็จไปยัง BSC ในขณะที่ใน AS จะมีไฟลิตของสถานีฐานทั้ง 2 สถานีอยู่
4. เมื่อสถานีเคลื่อนที่ตรวจพบว่าความแรงของไฟลิตของสถานีที่ 1 น้อยกว่า

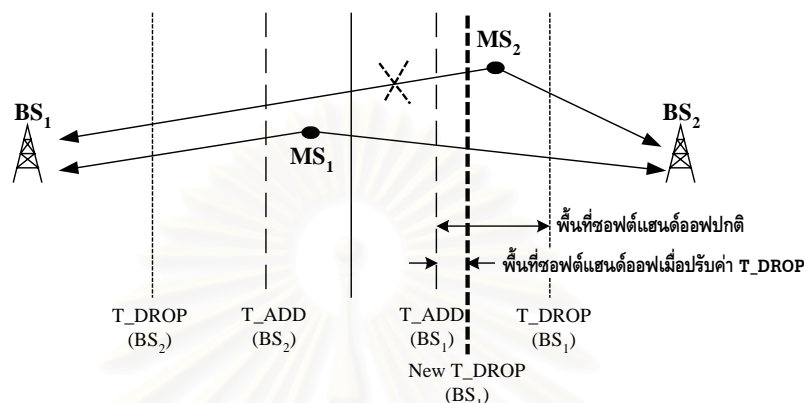
$$[(SOFT_SLOPE/8)*10*10\log_{10}(PS_2)+DROP_INTERCEPT/2]$$
 แล้วตัวนับสำหรับการทรอปจะเริ่มนับ
5. เมื่อตัวนับนับถึงค่า T_TDROP สถานีเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารการวัดความแรงของไฟลิตกลับไปยัง BSC
6. เมื่อสถานีเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารสั่งการแฮนด์ออฟ จะไม่พบข่าวสารซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับสถานีฐานที่ 1 อีกต่อไป ซึ่งหมายถึงสถานีเคลื่อนที่ได้รับความสั่งให้ตัดการติดต่อกับสถานีฐานที่ 1 ด้วยการย้ายไฟลิตของสถานีฐานที่ 1 จาก AS ไปอยู่ใน CS แล้วส่งข่าวสารการทำแฮนด์ออฟสำเร็จไปยัง BSC
7. เมื่อไฟลิตของสถานีฐานที่ 1 น้อยกว่า T_DROP แล้วตัวนับสำหรับการทรอปจะเริ่มนับ
8. เมื่อตัวนับนับถึงค่า T_TDROP สถานีเคลื่อนที่จะย้ายไฟลิตของสถานีฐานที่ 1 จาก CS ไปอยู่ใน NS



รูปที่ 2.6 กระบวนการขอพต์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-B

2.6 ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยการปรับเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP

จุดประสงค์ของการปรับค่าพารามิเตอร์ T_DROP ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ [1] คือเพื่อลดอัตราการติดขัดในสภาวะโหลดมาก รูปที่ 2.7 แสดงถึงพื้นที่ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟปกติ เมื่อค่าพารามิเตอร์ T_DROP คงที่และเปลี่ยนแปลง จะพบว่าเมื่อ T_DROP มีค่าสูงขึ้นจะทำให้พื้นที่ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟใหม่นั้นเล็กลง



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟของ BS₁ เมื่อปรับค่า T_DROP

ในรูปที่ 2.7 MS₂ จะทำซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟระหว่าง BS₁ และ BS₂ ในสภาวะปกติ เมื่อมีปริมาณโหลดของ BS₁ เพิ่มขึ้น อาจทำให้ช่องสัญญาณไม่เพียงพอและเกิดการติดขัดขึ้นได้ แต่ถ้า BS₁ ปรับค่า T_DROP ให้สูงขึ้น จะทำให้ MS₂ อยู่นอกพื้นที่ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟของ BS₁ และการต่อระหว่าง MS₂ และ BS₁ จะถูกยกเลิก จากนั้นก็จะมีช่องสัญญาณเหลือเพื่อรองรับการเรียกใหม่ที่เข้ามา

อัลกอริทึมของการตัดสินใจที่จะเพิ่มค่า T_DROP นั้นแสดงในรูปที่ 2.8 โดยมีการคำนวณค่ากำลังที่รับได้และความน่าจะเป็นของการติดขัด เพื่อใช้ในการตัดสินใจดังแสดงในสมการที่ (2.4), (2.5) และ (2.6)

1. กำลังที่รับได้ที่ BS

$$P_r = \sum_{i=1}^k v_i E_{bi} R + \sum_j^{\text{other cells}} \sum_{i=1}^k v_{i(j)} E_{bi(j)} R + N_0 W \quad (2.4)$$

โดยที่ P_r คือกำลังที่รับได้ที่ BS

v_i คือปัจจัยแยกที่ฟของเสียงพูด (Voice Activity Factor) ของผู้ใช้คนที่ i ที่เราสนใจ

$v_{i(j)}$ คือปัจจัยแยกที่ฟของเสียงพูดของผู้ใช้คนที่ i ในเซลล์ที่ j

E_{bi} คือพลังงานเฉลี่ยต่อบิตของผู้ใช้คนที่ i ที่เราสนใจ

$E_{bi(j)}$ คือพลังงานเฉลี่ยต่อบิตของผู้ใช้คนที่ i ในเซลล์ที่ j

R คืออัตราบิต (bit rate)

- N_0 คือความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal noise power spectrum density)
- W คือแบนด์วิดท์
- k คือจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในเซลล์ที่เราสนใจ

2. ความน่าจะเป็นของการติดขัด

$$P_{\text{blocking}} = Q\left(\frac{I_{\text{accept}}W - E[P_r]}{\sqrt{\text{Var}[P_r]}}\right) \quad (2.5)$$

โดยที่

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2/2} du \quad (2.6)$$

$E[P_r]$ และ $\text{Var}[P_r]$ คือค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ P_r

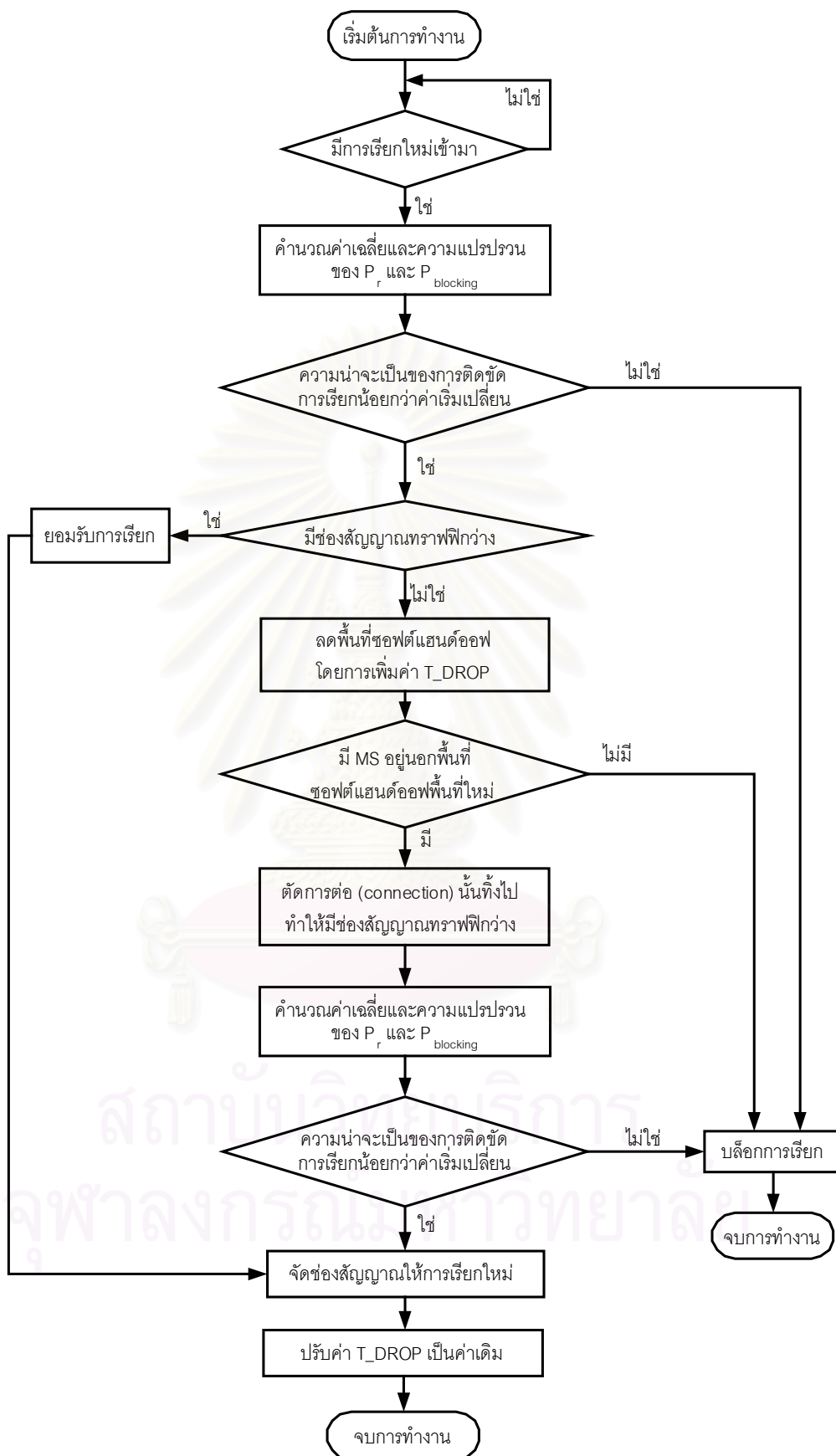
I_{accept} คือความแรงของสัญญาณแทรกสอดที่ยอมรับได้

ค่าในสมการที่ (2.4) จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ย (mean) และความแปรปรวน (variance) เพื่อตัดสินใจในอัลกอริทึมดังรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในเซลล์จะมีการคำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ P_r และตรวจสอบว่าความน่าจะเป็นของการติดขัดเกินค่าเริ่มเปลี่ยนของการติดขัดซึ่งเท่ากับ 0.01 [1] หรือไม่ ถ้ามากกว่าการเรียกใหม่นั้นก็จะถูกบล็อกไป หากน้อยกว่าก็จะตรวจสอบว่ามีช่องสัญญาณเพียงพอที่จะจัดสรรให้กับการเรียกนั้นหรือไม่ ถ้าเพียงพอก็จะจัดสรรช่องสัญญาณให้กับการเรียกนั้น แต่ถ้าไม่เพียงพอ นั่นก็หมายถึงมีโหลดในเซลล์นี้สูง ก็จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ T_DROP ให้สูงขึ้น เพื่อให้พื้นที่ซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์ลดลงและอาจมีการเรียกบางครั้งที่เกิดซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์พื้นที่ซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์พื้นที่ใหม่ ก็จะทำให้การต่อที่สิ้นสุดลง และเหลือช่องสัญญาณว่างเพิ่มขึ้น จากนั้นทำการคำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ P_r และตรวจสอบว่าความน่าจะเป็นของการติดขัดใหม่ว่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าเริ่มเปลี่ยนของการติดขัดหรือไม่ ถ้ามากกว่าการเรียกใหม่ก็จะถูกบล็อก หากน้อยกว่าการเรียกนั้นก็จะสามารถทำการเรียกได้ และหากปริมาณทรัพยากรในเซลล์ลดลงแล้ว ค่า T_DROP ก็จะถูกปรับให้เป็นค่าปกติ

จากอัลกอริทึมในรูปที่ 2.8 จะเห็นว่ากลไกที่จะทำให้ค่าเริ่มเปลี่ยน T_DROP เปลี่ยนแปลงมีเวลาของการตอบสนองนานกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A พิจารณาตัวอย่างของวิธีซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์ตามมาตรฐาน IS95-A ในรูปที่ 2.4 ก่อนที่ MS จะมีการตัดการต่อหรือย้ายไฟลิตออกจาก AS จะต้องกระทำสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้

1. BSC ต้องคำนวณความน่าจะเป็นของการติดขัดตามสมการที่ (2.4) ครั้งที่ 1 เพื่อตัดสินใจปรับค่า T_DROP เป็นค่าใหม่
2. BS แจ้งให้ MS ทราบค่า T_DROP ใหม่
3. MS ตรวจสอบความแรงของไฟลิตใดๆ ใน AS ว่ามีค่าน้อยกว่า T_DROP ใหม่ นานเกินกว่าช่วงเวลา T_TDROP หรือไม่ ถ้าเงื่อนไขนี้เป็นจริง MS จะส่งข่าวสารการวัดความแรงของไฟลิตกลับไปยัง BSC
4. เมื่อ MS ได้รับข่าวสารสั่งการแฮนด์ออฟจาก BSC เพื่อให้ตัดการต่อที่นั่นทิ้ง โดยย้ายไฟลิตนั้นไปยัง NS แล้ว MS ต้องส่งข่าวสารการทำแฮนด์ออฟสำเร็จกลับไปยัง BSC
5. BSC ต้องคำนวณความน่าจะเป็นของการติดขัดตามสมการที่ (2.5) ครั้งที่ 2 เพื่อตรวจสอบว่าสามารถยอมรับการเรียกที่เข้ามาใหม่นี้หรือไม่

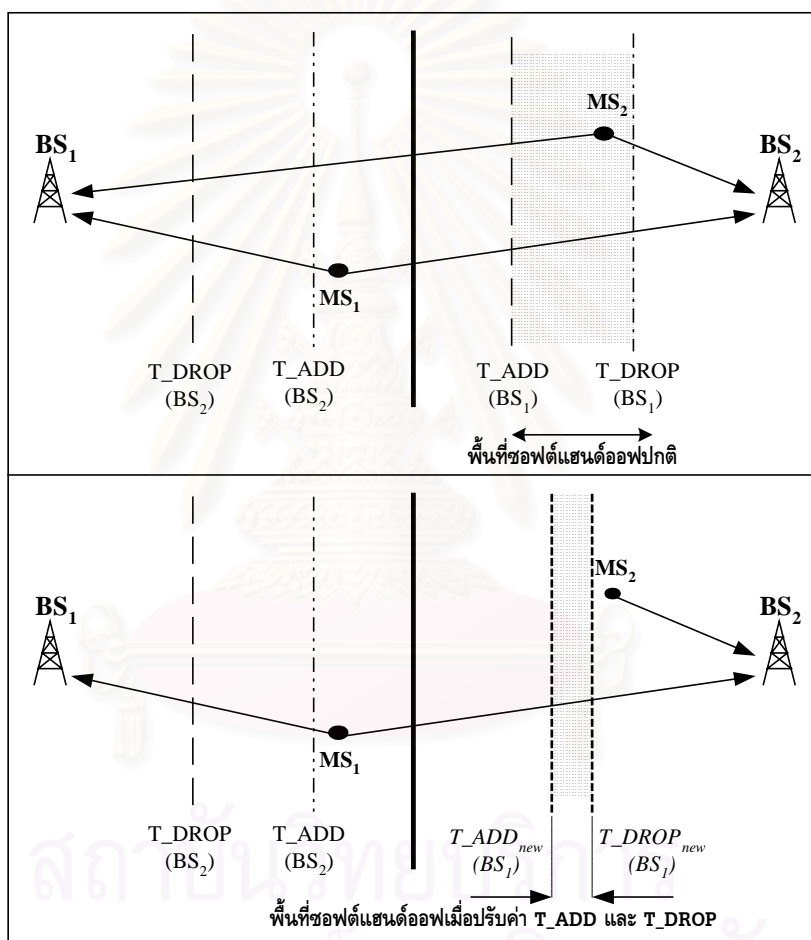
กระบวนการที่กล่าวมาต้องเสียเวลาในการรับและส่งข่าวสารระหว่าง BSC กับ MS, ช่วงเวลา T_TDROP และเวลาที่ใช้ในการคำนวณความน่าจะเป็นของการติดขัดตามสมการที่ (2.5) ถึง 2 ครั้ง (โดยค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ P_r ที่ BS รับผิดชอบที่ใช้ในสมการที่ (2.5) จำเป็นต้องมีการเก็บตัวอย่างทางสถิติก่อนอีกด้วย) จึงจะสามารถตอบรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ได้ ซึ่งในระบบจริงต้องการการตอบสนองทันที [7]



รูปที่ 2.8 อัลกอริทึมการปรับค่าพารามิเตอร์ T_DROP ในกระบวนการซอฟต์แวร์ออฟ

2.7 ซอฟต์แฮนด์ออฟโดยการปรับทั้งพารามิเตอร์ T_ADD และ T_DROP

วิธีการนี้คล้ายกับการปรับเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP เพียงตัวเดียวในหัวข้อที่ 2.6 จุดประสงค์คือต้องการลดพื้นที่ซอฟต์แฮนด์ออฟและลดโอกาสการเกิดซอฟต์แฮนด์ออฟ เพื่อให้ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์มากขึ้นและเพิ่มคุณภาพของการต่อด้วยการลดค่า T_ADD โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 2.9 ว่าพื้นที่ซอฟต์แฮนด์ออฟของ BS_1 ที่ลดลง เมื่อค่า T_ADD ลดลงและ T_DROP เพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้มีช่องสัญญาณเหลือไว้รองรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่หรือการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟต่อไป โดยใน [2] เรียกวิธีการนี้ว่า VTSH (Variable Threshold Soft Handoff)



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ซอฟต์แฮนด์ออฟของ BS_1 เมื่อใช้วิธี VTSH

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัดสินใจรับค่า T_ADD และ T_DROP คือ ความหนาแน่นทราฟฟิก (Traffic Density) ที่อยู่ในรูปของอัตราส่วนระหว่างกำลังที่ใช้ในช่องสัญญาณทราฟฟิกของเซลล์ที่ j ต่อกำลังที่ใช้ในช่องสัญญาณทั้งหมดของ BS ในเซลล์ที่ j (γ_j) ดังนี้

$$\gamma_j = \frac{P_{j-used}}{P_{j-total}} \quad (2.7)$$

โดยที่ P_{j-used} เป็นกำลังที่ใช้จริงสำหรับการติดต่อระหว่าง BS กับ MS ทุกสถานีในขณะนั้น และ $P_{j-total}$ เป็นกำลังสูงสุดของ BS ในเซลล์ที่ j ที่ถูกจัดให้กับช่องสัญญาณทราฟฟิก โดยจะเปรียบเทียบอัตราส่วน γ_j นี้กับอัตราส่วน γ^* ดังแสดงในสมการที่ (2.8)

$$\gamma^* = \frac{P_a}{P_{max}} \quad (2.8)$$

โดยที่ P_a เป็นกำลังของช่องสัญญาณทราฟฟิกและ P_{max} เป็นกำลังสูงสุดของช่องสัญญาณทราฟฟิกทั้งหมดใน BS โดยอัตราส่วน γ^* เป็นค่าคงที่และควรมีค่าน้อยกว่า 1 เพราะถ้าอัตราส่วน γ^* มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีปริมาณทราฟฟิกหรือโหลดสูงนั่นเองและใช้เปรียบเทียบกับค่าในสมการที่ (2.7) เพื่อตัดสินใจปรับค่า T_ADD และ T_DROP ใหม่ตามอัลกอริทึมในรูปที่ 2.10

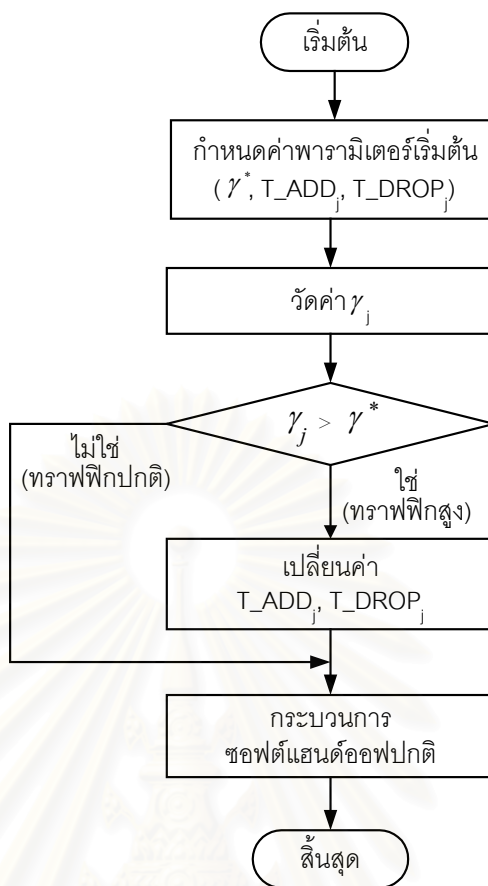
ค่าพารามิเตอร์จะถูกกำหนดดังนี้

$$\text{และ} \quad T_{ADD_j} = \begin{cases} \alpha_1 & \text{กรณี } \gamma_j < \gamma^* \text{ (โหลดทราฟฟิกปกติ)} \\ \alpha_2 & \text{กรณีอื่น ๆ (โหลดทราฟฟิกสูง)} \end{cases}$$

$$T_{DROP_j} = \begin{cases} \beta_1 & \text{กรณี } \gamma_j < \gamma^* \text{ (โหลดทราฟฟิกปกติ)} \\ \beta_2 & \text{กรณีอื่น ๆ (โหลดทราฟฟิกสูง)} \end{cases} \quad (2.9)$$

เมื่อ α_1 และ β_1 เป็นค่า T_ADD และ T_DROP ในสภาวะทราฟฟิกปกติ แต่ α_2 และ β_2 เป็นค่า T_ADD และ T_DROP ในสภาวะทราฟฟิกสูง

จาก [2] ได้แสดงการวัดสมรรถนะของวิธีการนี้เพียงความน่าจะเป็นที่จะเกิดสัญญาณขาดหายที่อัตราการมาถึงของการเรียกต่างๆ กันแต่การวัดสมรรถนะของระบบนั้นต้องนำพารามิเตอร์อื่นมาพิจารณาร่วมด้วย [4] เช่น ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทราฟฟิกและความน่าจะเป็นของการติดขัดเป็นต้น ซึ่งความหมายของพารามิเตอร์ที่วัดสมรรถนะของระบบจะได้อธิบายไว้ในบทที่ 3



รูปที่ 2.10 อัลกอริทึม VTSH ในการปรับทั้งค่า T_ADD_j และ T_DROP_j

บทที่ 3

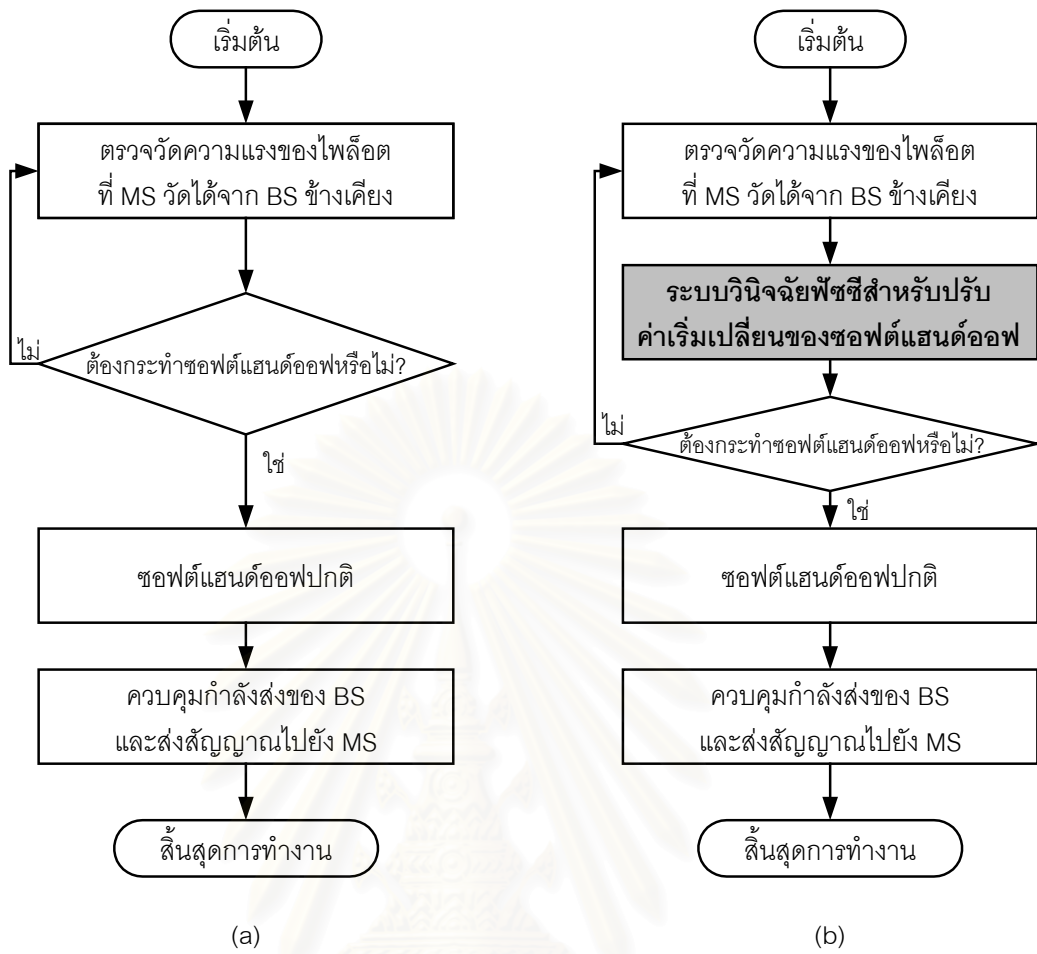
วิธีการที่เสนอและแบบจำลองที่ใช้

วิธีการในหัวข้อที่ 2.6 และ 2.7 เป็นการปรับพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์ของสถานีฐานทำให้กระทบกับซอฟต์แวร์ของสถานีเคลื่อนที่ทั้งหมดในเซลล์นั้นๆ ด้วย สำหรับวิธีการที่นำเสนอจะแตกต่างจากวิธีสองวิธีข้างต้นคือจะปรับค่าพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์ของ MS แต่ละสถานีแทน จึงไม่กระทบต่อซอฟต์แวร์ของสถานีเคลื่อนที่อื่นและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีการ 2 วิธีข้างต้นก็เป็นค่าคงที่สองค่าที่สลับกันเมื่อโหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมากหรือน้อยตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ของวิธีนั้นๆ ซึ่งในทางปฏิบัติการที่จะบอกว่าเท่าไรมากหรือน้อยนั้นไม่สามารถที่จะบอกได้อย่างชัดเจนขึ้นอยู่กับการคะเนของผู้ที่กำหนดและค่าพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์ของสถานีใหม่ที่กำหนดนั้นก็อาจไม่เหมาะที่สุด ณ เวลานั้นได้ ดังนั้นวิธีการที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงเป็นหลายค่าได้ และวิธีที่นำมาควบคุมคือฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เนื่องจากเป็นวิธีที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายแล้วว่า สามารถกำหนดจุดแบ่งที่ไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นวิธีที่ง่ายในทางปฏิบัติ [3] โดยเรียกวิธีนี้ว่า ระบบวินิจฉัยฟัซซี (Fuzzy Inference System หรือ FIS)

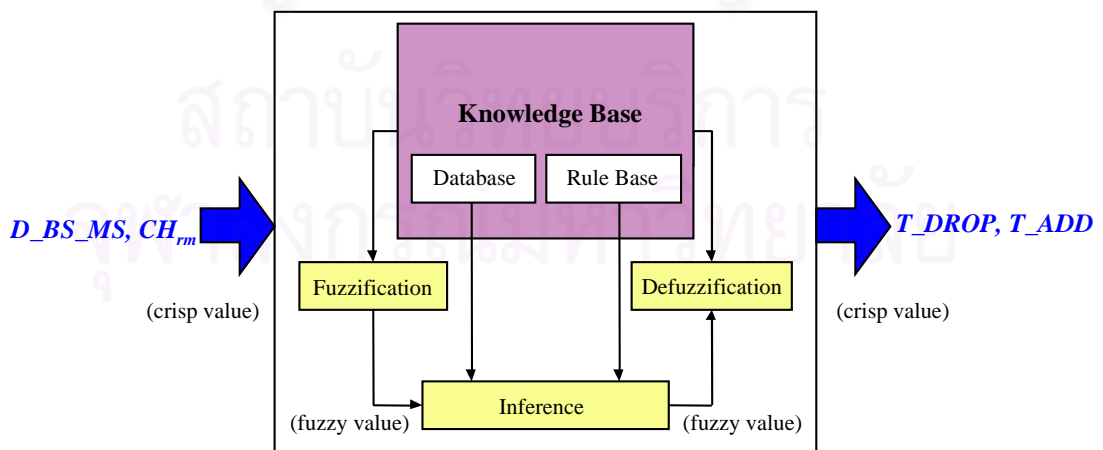
3.1 อัลกอริทึมซอฟต์แวร์ของสถานีเคลื่อนที่โดยใช้ระบบวินิจฉัยฟัซซี (วิธีที่นำเสนอ)

รูปที่ 3.1(a) แสดงอัลกอริทึมซอฟต์แวร์ของสถานีเคลื่อนที่ตามมาตรฐาน IS95-A และรูปที่ 3.1(b) แสดงถึงอัลกอริทึมที่เสนอซึ่งจะแทรกอยู่ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการซอฟต์แวร์ของสถานีเคลื่อนที่รูปที่ 3.1(a) โดยอัลกอริทึมที่เพิ่มเข้ามาจะนำค่าอินพุตคือ ระยะห่างระหว่าง BS กับ MS (D_{BS_MS}) และจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือของสถานีฐาน (Remaining Channels หรือ CH_m) มาพิจารณา ค่าเอาต์พุตพารามิเตอร์ T_ADD และ T_DROP ใหม่โดยใช้ระบบวินิจฉัยฟัซซี เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมพื้นที่ซอฟต์แวร์ของสถานีต่อไป โดยระบบวินิจฉัยฟัซซีที่ใช้ปรับค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์ของสถานีแสดงในรูปที่ 3.2

ระบบวินิจฉัยของซอฟต์แวร์ของสถานีเคลื่อนที่มีขั้นตอนย่อยที่สำคัญ 3 ขั้นตอนคือ ฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification) การวินิจฉัยฟัซซี (Fuzzy Inference) และดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เช่นกัน



รูปที่ 3.1 (a) อัลกอริทึมซอฟต์แวร์ตามมาตรฐาน IS95-A และ (b) อัลกอริทึมซอฟต์แวร์เมื่อเพิ่มระบบวินิจฉัยฟัซซีที่ใช้ปรับค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของระบบวินิจฉัยฟัซซีสำหรับซอฟต์แวร์

เหตุผลที่เลือกใช้ระยะห่างระหว่าง BS กับ MS เป็นอินพุตของ FIS คือ เมื่อ MS เคลื่อนที่ออกจาก BS หนึ่งและเข้าสู่ช่วงรอยต่อระหว่าง BS มากกว่า 2 สถานีแล้วก็ควรเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ (เนื่องจากความแรงของไฟลิตของ BS ใหม่สูงกว่าค่า T_ADD) เมื่อเข้าใกล้ BS ใหม่ก็ควรต่อกับ BS ใหม่ที่เพียงสถานีเดียว (เนื่องจากความแรงของไฟลิตของ BS เก่าน้อยกว่าค่า T_DROP) เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองช่องสัญญาณใน BS แรก แต่ในบางกรณี MS อาจจะมีการทำซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS ที่อยู่ไกลมาก ทำให้มีการใช้ช่องสัญญาณเกินจำเป็น หากขณะนั้นมีปริมาณโหลดทราฟฟิกสูงก็จะทำให้เกิดการติดขัดขึ้นได้ ดังนั้นระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงมีผลกระทบต่อข้อกำหนดค่า T_ADD และ T_DROP เพื่อเพิ่มสมรรถนะการทำงานของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ โดยข้อมูลระยะห่างระหว่าง BS กับ MS เป็นข้อมูลที่ระบบทราบอยู่แล้วและเนื่องจากระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ็มแบนด์วิดท์ที่มากจึงสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าเมื่อเทียบกับระบบอื่น ดังนั้นข้อมูลที่ส่งเช่นระยะห่างจึงสามารถบอกความละเอียดได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับของระบบ GSM โดยระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบซีดีเอ็มเอ็มสามารถบอกความละเอียดได้ไม่เกิน 125 เมตร [8] ดังนั้นเราจึงใช้ 125 เมตรเป็นความละเอียดของระยะทางที่ใช้ในการจำลองแบบในวิทยานิพนธ์นี้

เหตุผลที่เลือกใช้ CH_m เป็นอินพุตของ FIS คือ

1. เป็นพารามิเตอร์ที่วัดจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือของ BS โดยตรงซึ่งควรจะเหมาะสมในการกำหนดค่าให้กับ T_DROP เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต
2. เป็นตัวแทนของปริมาณทราฟฟิกที่ BS ให้บริการในขณะใดขณะหนึ่ง
3. เป็นตัวแทนของการแทรกสอด (Interference) เนื่องจากในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ็มนั้นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การแทรกสอดมากขึ้น ขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้ เพราะฉะนั้น CH_m จึงใช้เป็นพารามิเตอร์ที่คาดถึงการแทรกสอดที่มีอยู่ในเวลานั้นๆ ได้

เหตุผลที่เลือก T_DROP เป็นเอาต์พุตของ FIS คือ เป็นค่าเริ่มเปลี่ยนที่ใช้ยกเลิกการต่อระหว่าง BS กับ MS เพื่อตัดการติดต่อช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็นต้องเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟและนำช่องสัญญาณที่เหลือมารองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่

เหตุผลที่เลือก T_ADD เป็นเอาต์พุตของ FIS คือ เป็นค่าเริ่มเปลี่ยนที่ทำให้เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ โดยการเพิ่มค่า T_ADD นั้นจะช่วยลดโอกาสการเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่ไม่จำเป็นและเหลือช่องสัญญาณมารองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ได้ แต่การลดค่า T_ADD เป็นการเพิ่มโอกาสการเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟให้มากขึ้น ทำให้คุณภาพของการติดต่อดีขึ้นด้วย

ตัวแปร linguistic เป็นตัวแปรที่แสดงความรู้สึกและฟัซซีซับเซต (Fuzzy Subsets) ของของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตดังนี้

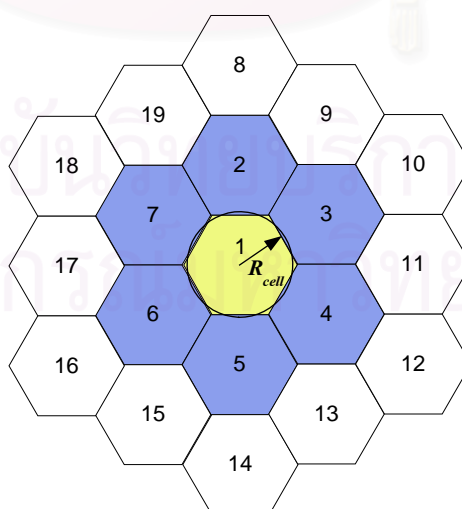
ตัวแปร linguistic	ฟัซซีเซต
D_BS_MS	\in {ใกล้, ปานกลาง, ไกล }
CH _m	\in {น้อย, ปานกลาง, มาก }
T_DROP	\in {ต่ำ, ปานกลาง, สูง }
T_ADD	\in {ต่ำ, ปานกลาง, สูง }

3.2 ฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification)

ฟัซซีฟิเคชันเป็นขั้นตอนที่แปลงค่าอินพุตซึ่งเป็นค่า crisp ให้เป็นค่าฟัซซีดังรูปที่ 3.2 ค่า crisp แตกต่างจากค่าฟัซซีคือค่า crisp จะมีเพียงสองค่าคือ “0” หรือ “1” หรือคิดได้อีกความหมายหนึ่งคือ “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” ในขณะที่ค่าฟัซซีมีได้ตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 คือในเหตุการณ์หนึ่งๆ การคิดโดยใช้ค่าแบบฟัซซีสามารถบอกได้ว่า “ใช่” “ค่อนข้างใช่” “น่าจะใช่” หรือ “ไม่ใช่” ได้ ดังนั้นจึงมีความยืดหยุ่นกว่าการใช้ค่า crisp โดยขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของฟัซซีส์เซตที่กำหนดหรือ Membership Function (MF) ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของฐานข้อมูล (Database) ตามรูปที่ 3.2

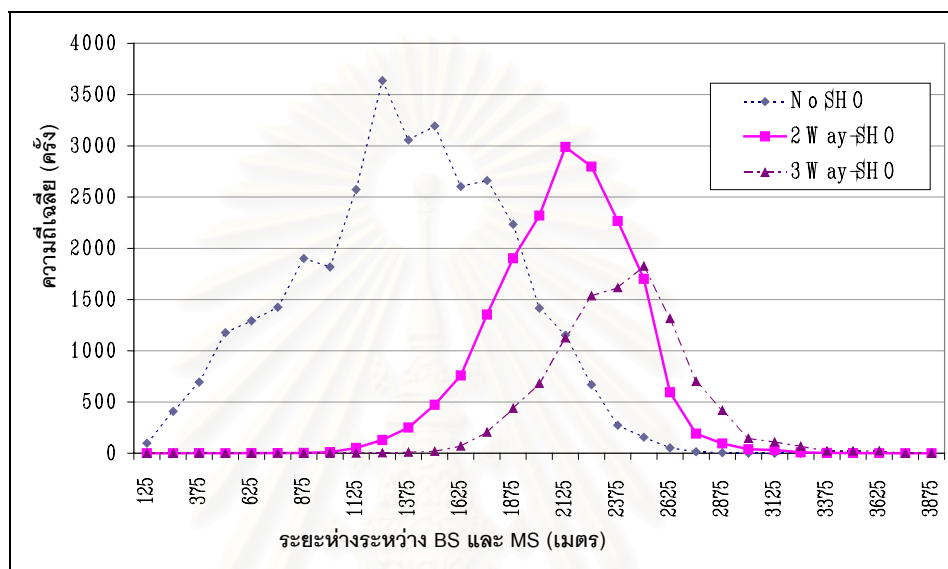
3.2.1 MF ของระยะห่างระหว่าง BS และ MS

ทำการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้แบบจำลองที่จะกล่าวในหัวข้อที่ 3.5 ต่อไป สำหรับวิธีการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟตามมาตรฐาน IS95-A ที่มีค่า T_ADD และ T_DROP ของระบบเท่ากับ -13 และ -15 dB ตามลำดับ โดยเก็บค่าทางสถิติของระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของ MS ทุกสถานีที่ติดต่อกับสถานีฐานที่ 1-7 ตามรูปที่ 3.3 กรณีไหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 เฮอร์แลงตามลำดับ



รูปที่ 3.3 แบบจำลองพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานจำนวน 19 สถานี

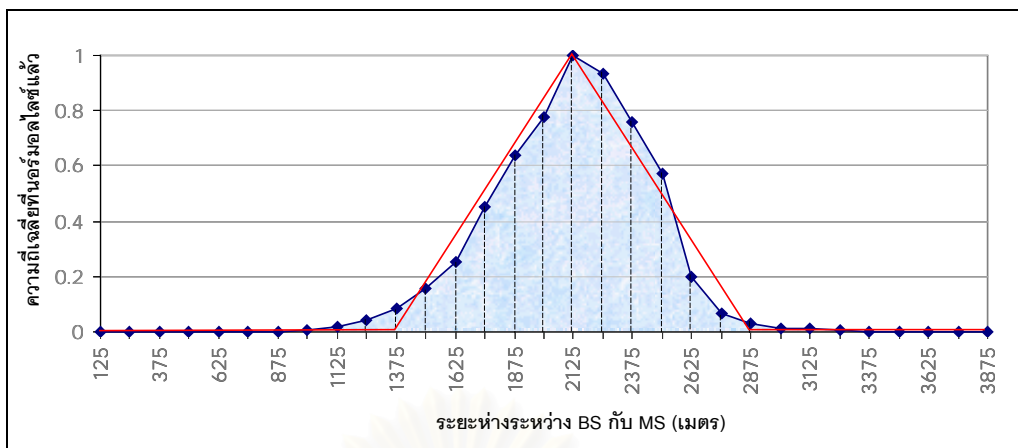
จากการจำลองแบบเมื่อนำการแจกแจงของระยะห่างแต่ละระยะกรณีโหนดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบทุกค่ามาเฉลี่ย จะได้ผลของการแจกแจงเฉลี่ยของระยะห่างดังรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ระยะใดไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟและเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 และ 3 สถานี (2-Way and 3-Way Soft Handoffs) ตามลำดับ ส่วนซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 4 สถานี 5 สถานี และ 6 สถานีนั้นมีสัดส่วนน้อยมาก จึงไม่นำมาพิจารณา



รูปที่ 3.4 การแจกแจงเฉลี่ยของระยะห่างระหว่าง BS กับ MS

จากการแจกแจงของระยะห่างระหว่าง BS และ MS ในรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าพื้นที่ที่ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟอยู่ในช่วงระหว่าง 0-2875 เมตร โดย MS ที่อยู่ในช่วงระยะห่าง 0-1000 เมตรจะไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟและในช่วงระยะห่าง 1125-2875 เมตรจะมีทั้งกรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟและเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานีและ 3 สถานี ส่วนช่วงระยะห่างซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานี จะอยู่ที่ระยะ 1125-3125 เมตร และช่วงระยะห่างซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 3 สถานี จะอยู่ที่ระยะ 1500-3375 เมตร โดยรัศมีของเซลล์ (R_{cell}) เท่ากับ 3000 เมตร

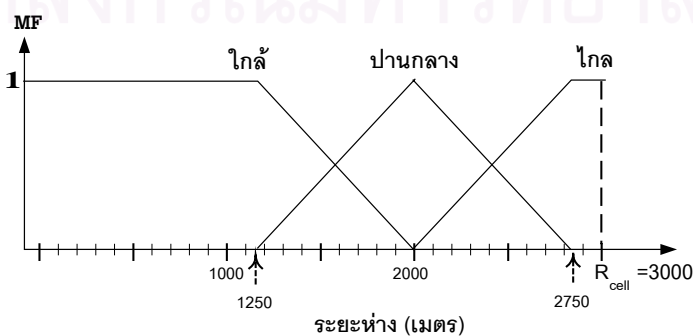
จากรูปที่ 3.4 เมื่อเขียนรูป MF ของระยะห่างระหว่าง BS กับ MS โดยให้ระยะห่างที่มีความถี่สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1 ที่ระยะห่างเท่ากับ 2125 เมตร จะได้รูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การแจกแจงของระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของ MS ที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ ที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานี

ในรูปที่ 3.5 เมื่อหาพื้นที่ใต้กราฟของการแจกแจงของระยะห่างระหว่าง BS และ MS ของ MS ที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานี จะใกล้เคียงกับพื้นที่ใต้กราฟของรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่มีฐานกว้างเท่ากับ 1500 เมตรดังแสดงในรูปที่ 3.5

จากรูปที่ 3.5 เราสามารถแทนการแจกแจงของระยะห่างระหว่าง BS และ MS สำหรับระยะห่างที่ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟและเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 และ 3 สถานีในรูปของ MF ของระยะห่างระหว่าง BS และ MS ได้ดังรูปที่ 3.6 โดยปรับค่าแกนกลางจาก 2125 เมตรเป็น 2000 เมตรเพื่อให้เป็นตัวเลขที่ลงตัว ส่วนจุดหักมุมที่ระยะใกล้และไกลเท่ากับ 1250 และ 2750 เมตรตามลำดับ เพื่อรักษาให้เป็น MF แบบสามเหลี่ยมที่สมมาตร ซึ่งเป็น MF ที่ง่ายที่สุดและเหมาะกับการเริ่มต้นในการออกแบบระบบ เพราะสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างของ MF ต่อไปได้ง่าย อย่างไรก็ตามความแตกต่างของสมรรถนะเมื่อปรับค่าแกนกลางจาก 2125 เมตรเป็น 2000 เมตร มีไม่มากนักดังแสดงในภาคผนวก ก เช่น โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้และประสิทธิภาพการใช้งานทรัพยากรทรังก์เป็นต้น ส่วนความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟนั้นของค่าแกนกลางเท่ากับ 2000 เมตรจะน้อยกว่าของค่าแกนกลางเท่ากับ 2125 เมตรเล็กน้อยที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูง



รูปที่ 3.6 MF ของระยะห่างระหว่าง BS และ MS

MF แบบสามเหลี่ยมประกอบด้วยพารามิเตอร์ $\{a,b,c\}$ [9] ดังแสดงในสมการที่ (3.1) พารามิเตอร์ $\{a,b,c\}$ จะมีเงื่อนไขดังนี้

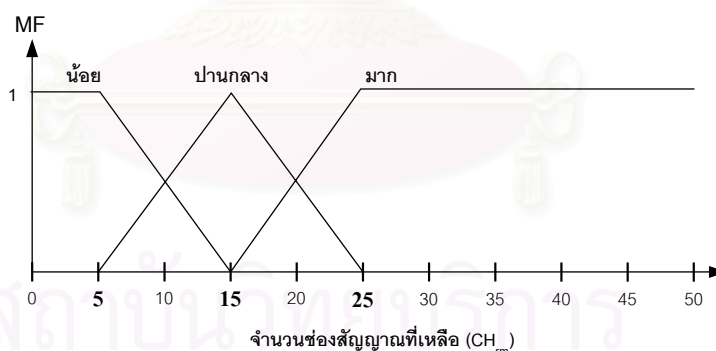
$$\text{triangle}(x;a,b,c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (3.1)$$

โดยที่ $a < b < c$ ซึ่งเป็นตัวกำหนดจุดทั้ง 3 ของ MF แบบสามเหลี่ยม จากรูปที่ 3.6 ค่า $a=1250$ $b=2000$ และ $c=2750$ ตามลำดับ

การที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ MF แบบสามเหลี่ยมเป็นดังรูปที่ 3.6 เพื่อให้ MS ที่ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟมีระยะไม่เกิน 2000 เมตร และมีซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานีมากขึ้นเมื่อระยะห่างมากกว่า 1250 เมตร เพื่อคุณภาพของการต่อที่ดีขึ้น ส่วนซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 3 สถานี จะเริ่มตั้งแต่ระยะห่าง 2000 เมตรเป็นต้นไป โดยตั้งแต่ระยะห่างตั้งแต่ 2750 เมตรนั้นจะเป็นซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 3 สถานีเท่านั้น เพื่อเพิ่มคุณภาพของการต่อเพราะ MS นั้นอยู่ที่ขอบเซลล์ที่ BS นั้นให้บริการอยู่

3.2.2 MF ของจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือของสถานีฐาน (CH_m)

สำหรับ MF ของจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือของสถานีฐานเป็นแบบสามเหลี่ยมดังรูปที่ 3.7 โดยที่ค่า a, b และ c ในสมการที่ (3.1) มีค่าเท่ากับ 5, 15 และ 25 ช่องสัญญาณตามลำดับ



รูปที่ 3.7 MF ของจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือในเซลล์

ในกรณีของ CH_m ช่องสัญญาณช่วง 0 ถึง 15 ช่องได้ถูกกำหนดให้กับพีซีซีดับเซต “ต่ำ” โดยมีจุดหักมุมที่ $a=5$ ช่อง (โดยประมาณจาก BS 7 สถานีคูณกับช่องสัญญาณ 1 ช่อง กรณีที่ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ) และค่า $b=15$ ช่อง (ประมาณจาก BS 7 สถานีคูณกับช่องสัญญาณ 2 ช่อง กรณีที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานี) และได้กำหนดให้กับพีซีซีดับเซต “ปานกลาง” ซึ่งครอบคลุมช่วง 5 ถึง 25 ช่อง และช่วง 15 ถึง 50 ช่องได้กำหนดให้กับพีซีซีดับเซต “สูง” ซึ่งมีจุดหักมุมที่ 25 ช่อง (ประมาณจาก BS 7 สถานีคูณกับช่องสัญญาณ 3 ช่อง กรณีที่เกิด

ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 3 สถานี) ในการประมาณตัวเลขด้วยเลข 5 หารลงตัว เพื่อจะได้ง่ายต่อการออกแบบหรือปรับเปลี่ยนในลำดับต่อไป

3.3 การวินิจฉัยฟัซซี (Fuzzy Inference)

ในขั้นตอนนี้เกี่ยวกับการกำหนดเงื่อนไข “ถ้า – แล้ว” ให้สอดคล้องกับความรู้สึก เหตุผล และความเป็นจริงของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่ต้องการให้เกิดในงานวิจัยให้มากที่สุด โดยวัตถุประสงค์คือการปรับค่า T_DROP ให้สูงขึ้น เพื่อลดการใช้ช่องสัญญาณที่ไม่จำเป็น และการปรับค่า T_ADD ให้สูงขึ้น เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟให้ต่ำลง เพื่อให้มีช่องสัญญาณเหลือสามารถรองรับโหลดทราฟฟิกได้สูงขึ้น รูปแบบของกฎ “ถ้า – แล้ว” สามารถแสดงได้ดังรูปแบบตัวอย่างต่อไปนี้

“ ถ้า D_BS_MS มีค่าเป็น A และ CH_m มีค่าเป็น B แล้ว T_DROP จะมีค่าเป็น C”

โดยที่ A B และ C เป็นฟัซซีสับเซตที่ได้กำหนดข้างต้น กฎทั้งหมดจะรวมอยู่ในฐานกฎที่แสดงเป็นส่วนประกอบหนึ่งในรูปที่ 3.2

3.3.1 ฐานกฎ (Rule Base)

ฐานกฎหลักประกอบด้วยกฎ “ถ้า – แล้ว” 9 กฎ ซึ่งมาจากฟัซซีสับเซตทั้ง 3 ของตัวแปร linguistic ของอินพุต ($3^2=9$) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 กฎสำหรับการปรับค่า T_ADD

D_BS_MS \ CH _m	น้อย	ปานกลาง	มาก
ใกล้	T_ADD: สูง	T_ADD: ปานกลาง	T_ADD: ต่ำ
ปานกลาง	T_ADD: สูง	T_ADD: ปานกลาง	T_ADD: ต่ำ
ไกล	T_ADD: สูง	T_ADD: สูง	T_ADD: ปานกลาง

ตารางที่ 3.2 กฎสำหรับการปรับค่า T_DROP

D_BS_MS \ CH _m	น้อย	ปานกลาง	มาก
ใกล้	T_DROP: สูง	T_DROP: ปานกลาง	T_DROP: ต่ำ
ปานกลาง	T_DROP: สูง	T_DROP: ปานกลาง	T_DROP: ต่ำ
ไกล	T_DROP: สูง	T_DROP: สูง	T_DROP: ปานกลาง

ตารางที่ 3.1 เป็นกฎสำหรับการปรับค่า T_ADD ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ เมื่อจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือของ BS มีน้อยไม่ว่า MS จะอยู่ที่ระยะใดก็ตามควรปรับค่า T_ADD ให้สูงขึ้น เพื่อลดโอกาสการเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS อื่น จะได้มีจำนวนช่องสัญญาณเหลือให้แก่ MS อื่นที่ต้องการใช้ได้มากขึ้น หากจำนวนช่องสัญญาณที่เหลือของ BS อยู่ในช่วงปานกลางก็ปรับค่า T_ADD ให้สูงขึ้นสำหรับ MS ที่อยู่ระยะไกล แต่ที่ระยะอื่นๆ ก็ให้ปรับค่า T_ADD ที่ระดับปานกลาง หากจำนวนช่องสัญญาณมีเหลือมากก็ควรปรับค่า T_ADD ให้น้อยลง เพื่อเพิ่มโอกาสให้ MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟมากขึ้น ซึ่งทำให้คุณภาพของการต่อสูงขึ้น โดยที่ระยะไกลค่า T_ADD ควรมีค่าปานกลาง เพื่อมิให้เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟเกินความจำเป็น

ตารางที่ 3.2 เป็นกฎสำหรับการปรับค่า T_DROP ซึ่งมีแนวคิดเหมือนกับ T_ADD จึงกำหนดให้เหมือนกับของ T_DROP

จากแนวคิดของกฎในตารางที่ 3.1 และ 3.2 นั้นเมื่อจำลองแบบแล้ว จะได้ค่า T_ADD และ T_DROP ที่มีส่วนต่างของ T_ADD และ T_DROP เท่ากันตลอด ซึ่งไม่แตกต่างจากการปรับเพียงค่า T_ADD หรือ T_DROP เพียงค่าเดียว ดังนั้นจึงได้เสนอกฎสำหรับการปรับค่า T_DROP ใหม่ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 กฎสำหรับการปรับค่า T_DROP ใหม่

D_{BS_MS} \ CH_m	น้อย	ปานกลาง	มาก
ใกล้	T_DROP: สูง	T_DROP: ปานกลาง	T_DROP: ต่ำ
ปานกลาง	T_DROP: สูง	T_DROP: ปานกลาง	T_DROP: ต่ำ
ไกล	T_DROP: สูง	T_DROP: สูง	T_DROP: ต่ำ

ตารางที่ 3.3 เป็นกฎสำหรับการปรับค่า T_DROP ใหม่ ซึ่งมีแนวคิดเหมือนกับของตารางที่ 3.2 แต่ต่างกันที่เมื่อจำนวนช่องสัญญาณของ BS เหลือมาก ไม่ว่า MS จะอยู่ที่ระยะใดก็ตามควรปรับค่า T_DROP ให้ต่ำลง เพื่อรักษาคุณภาพของการต่อให้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง MS ที่อยู่ระยะไกล

การจัดการผลลัพธ์ที่ได้จากกฎแต่ละกฎในฐานกฎเรียกว่า การสรุปกฎ (Aggregation) และการนำผลลัพธ์ที่ได้จากกฎแต่ละกฎมาหาผลลัพธ์ของพีชชีส์บเซตของเอาต์พุตเรียกว่า การประกอบผลลัพธ์ของกฎ (Composition) [10] ซึ่งวิธีทั้งสองส่วนนี้เรียกรวมกันว่า การชักเหตุผล (Reasoning) [9] การชักเหตุผลที่นิยมได้แก่ การประกอบแบบมากที่สุด-น้อยที่สุด (Max-Min Composition: MMC)

3.3.2 การประกอบแบบมากที่สุด-น้อยที่สุด (Max-Min Composition: MMC)

3.3.2.1 การสรุปกฎ (Aggregation)

ทำการพิจารณากฎแต่ละกฎด้วยเงื่อนไข “ถ้า - แล้ว” ในฐานกฎทั้งหมด โดยมีหลักการดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้ } (D_BS_MS = \text{ไกล}) & : P \\ (CH_m = \text{น้อย}) & : Q \\ (T_DROP = \text{สูง}) & : R \\ \text{และเกรด (Grade) ของ MF} & : \mu \end{aligned}$$

เมื่อรวมนิพจน์ต่างๆ ข้างต้นจะได้ว่า

$$\text{ถ้า } (D_BS_MS = \text{ไกล}) \text{ และ } (CH_m = \text{น้อย}) \text{ แล้ว } (T_DROP = \text{สูง})$$

หรือเขียนในรูปสัญลักษณ์ได้ดังนี้คือ $P \wedge Q \rightarrow R$

และ

$$\mu_R = \min(\mu_P, \mu_Q) = \text{ค่าฟัซซีของ } (T_DROP = \text{สูง}) \quad (3.2)$$

หมายเหตุ ตัวปฏิบัติการ (Operator) min หมายถึงการเลือกค่าที่น้อยที่สุด (Minimum)

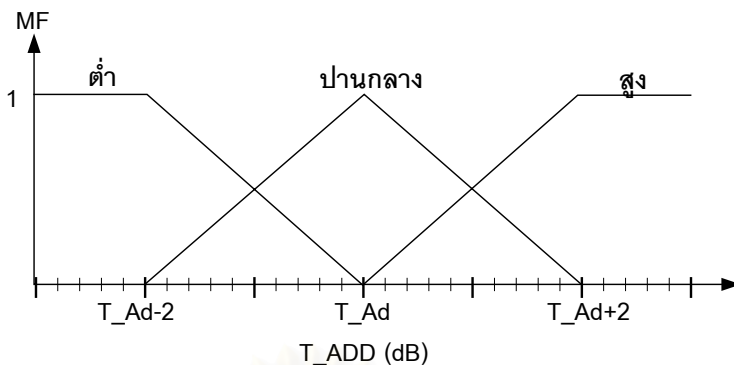
3.3.2.2 การประกอบผลลัพธ์ของกฎ (Composition)

วิธีการนี้ใช้ผลลัพธ์จากส่วนของการสรุปกฎ เพื่อหาตัวแทนค่าฟัซซีของฟัซซีสับเซตแต่ละสับเซตของตัวแปร linguistic ของ T_DROP (ให้ T_DROP เป็นเอาต์พุตค่าเดียว) ยกตัวอย่างเช่น พิจารณาเฉพาะฟัซซีสับเซตของ “สูง” ของตัวแปร linguistic ของ T_DROP ในตารางที่ 3.3 มีทั้งหมด 4 กรณี เพื่อที่จะหาตัวแทนของฟัซซีสับเซตดังกล่าว จะใช้ตัวปฏิบัติการ max ซึ่งหมายถึงการเลือกค่าที่มากที่สุด (Maximum) [9,11] เนื่องมาจากการยูเนียน (Union) ของฟัซซีสับเซตของผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนของการสรุปกฎซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (3.3)

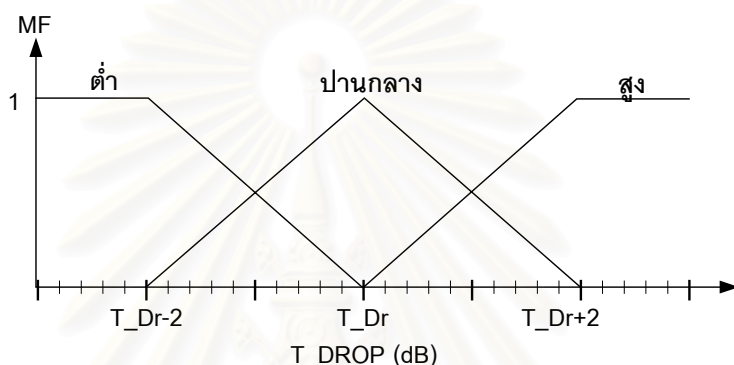
$$\text{ตัวแทนของ } (T_DROP = \text{สูง}) = \max(\mu_{R1}, \mu_{R2}, \mu_{R3}, \dots, \mu_{Rn}) \quad (3.3)$$

3.4 ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)

ขั้นตอนดีฟัซซิฟิเคชันเป็นการแปลงค่าฟัซซีจากขั้นตอนวินิจฉัยฟัซซีให้เป็นค่า crisp โดยวิธีที่เลือกใช้ได้แก่ WAF (Weighed Average Formula) เนื่องจากมีการให้น้ำหนักค่าที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุด [10] โดยเอาต์พุตพารามิเตอร์คือ T_ADD และ T_DROP ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ โดยค่า T_Ad และ T_Dr ในรูปที่ 3.8 และ 3.9 เป็นค่าแกนกลาง (Core) ของตัวแปร linguistic ของพารามิเตอร์ T_ADD และ T_DROP ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 ตัวแปร linguistic ของพารามิเตอร์ T_ADD



รูปที่ 3.9 ตัวแปร linguistic ของพารามิเตอร์ T_DROP

3.5 แบบจำลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

3.5.1 พื้นที่ครอบคลุม (Coverage Area)

ระบบที่ใช้ในการจำลองแบบประกอบด้วย BS ที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional antenna) จำนวน 19 สถานี [12] และกำหนดให้รัศมีของเซลล์ (R_{cell}) เท่ากับ 3000 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3

กำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกของ BS แต่ละสถานีเท่ากับ 50 ช่อง เนื่องจากรหัสวอลซ์สำหรับข่ายเชื่อมโยงไปหน้ามีทั้งสิ้น 64 รหัส แต่นำไปใช้สำหรับช่องสัญญาณไฟลิตต์หนึ่งช่อง (รหัสวอลซ์ 0) ช่องสัญญาณชิงโครโนสหนึ่งช่อง (รหัสวอลซ์ 32) และช่องสัญญาณเพจจิงซึ่งสามารถมีได้มากที่สุด 7 ช่อง (รหัสวอลซ์ 1-7) ดังนั้นจึงมีรหัสวอลซ์เหลือสำหรับช่องสัญญาณทราฟฟิกอยู่ระหว่าง 51-55 ช่อง [13] ในวิทยานิพนธ์จึงกำหนดให้จำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกของ BS แต่ละสถานีเท่ากับ 50 ช่อง เพื่อละเลยจำนวนสัญญาณเพจจิงที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้หลายค่า

ส่วนการควบคุมกำลังในข่ายเชื่อมโยงไปหน้า BS มีการกระทำซ้ำทุกๆ 1.25 มิลลิวินาที และมีลำดับขั้นการปรับความแรงครั้งละ 1 เดซิเบลและสมมติให้

1. MS ทุกสถานีมีการควบคุมกำลังในขาเข้าเชื่อมโยงย้อนกลับ (reverse-link power control) แบบสมบูรณ
2. ไม่คิดเฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh Fading) [5,7] เนื่องจากช่วงเวลาในการอัปเดตเซตของโพสิตของการแฮนด์ออฟมีค่าเท่ากับ 16 เท่าของช่วงเวลาในการการควบคุมกำลัง (16x1.25 มิลลิวินาที) [14] ดังนั้นระบบได้ทำการควบคุมกำลังเรียบร้อยแล้ว นอกจากนี้ไม่มีการเฉลี่ย E_c/I_0 เพื่อชดเชยผลจากการไม่คิดเฟดดิ้งแบบเรย์ลีในงานวิจัยนี้

3.5.2 แบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณ (Propagation Model)

เมื่อ MS อยู่ห่างจาก BS เป็นระยะทาง r เมตร การลดทอนในวิถีเป็น α [15] คำนวณได้จากสมการที่ (3.4)

$$\alpha(r, \zeta) = r^{-\mu} 10^{\zeta/10} \quad (3.4)$$

โดยที่ ζ เป็นการลดทอนเนื่องจากการบัง (shadowing) หน่วยเป็นเดซิเบล และมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 0 และ 8 เดซิเบลตามลำดับ [4,16] และส่วนประกอบกำลังการสูญเสียตามวิถี (path loss exponent: μ) มีค่าเท่ากับ 4 [4,16] ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นชานเมือง (suburban) โดยการลดทอนเนื่องจากการบังระหว่างเซลล์มีความสัมพันธ์กัน (correlation) 50 เปอร์เซ็นต์ [4]

สัญญาณโพสิต E_c/I_0 ที่ MS รับได้จาก BS ที่ j แสดงได้ดังสมการที่ (3.5) [12]

$$\left(\frac{E_c}{I_0} \right)_j = \frac{\beta_{P_j} P_j \alpha(r, \zeta)_j}{\sum_{k=1}^S \left\{ \left(\beta_{pps_k} + \sum_{i=1}^{N_k} v_{ki} \beta_{ki} \right) P_k \alpha(r, \zeta)_k \right\} + N_{om} W} \quad (3.5)$$

โดยที่ P_j คือกำลังแผ่ประสิทธิภาพ (Effective Radiated Power) จาก BS ที่ j

β_{P_j} คือเปอร์เซ็นต์ของกำลังของช่องสัญญาณโพสิตสำหรับ BS ที่ j

β_{ki} คือเปอร์เซ็นต์ของกำลังของช่องสัญญาณกราฟฟิกของผู้ใช้คนที่ i ที่ติดต่อกับ BS ที่ k

β_{pps_k} คือเปอร์เซ็นต์ของกำลังของโอเวอร์เฮด (Overhead) ได้แก่ช่องสัญญาณโพสิต ช่องสัญญาณเพจจิงและช่องสัญญาณซิงโครไนส์สำหรับ BS ที่ k

S คือจำนวนเซกเตอร์หรือเซลล์ของ BS (ในที่นี้เท่ากับ 1)

N_k คือจำนวนผู้ใช้ใน BS ที่ k

v_{ki} คือปัจจัยแยกที่ฟของเสียงพูดของผู้ใช้คนที่ i ที่เราสนใจที่ติดต่อกับ BS ที่ k

N_{om} คือความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนรอบวงแวดล้อม (The Ambient Noise Spectral Density) ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณรบกวนเชิงความร้อนที่ MS และการแทรกสอดจากแหล่งกำเนิดวิทยุอื่นๆ ในข่ายเชื่อมโยงไปหน้า

W คือแบนด์วิดท์

ค่า E_b/N_0 ที่ MS รับผิดชอบเป็นตัวกำหนดพื้นที่ครอบคลุมของ BS ในข่ายเชื่อมโยงไปหน้าและพื้นที่ชอฟต์แฮนด์ออฟ โดยที่ขอบเซลล์มักเป็นพื้นที่ชอฟต์แฮนด์ออฟเพราะบริเวณนั้นมีความแรงสัญญาณจาก BS อื่นๆ เข้ามา

พื้นที่ครอบคลุมถูกควบคุมด้วยช่องสัญญาณทราฟฟิกในข่ายเชื่อมโยงไปหน้าที่สามารถให้บริการได้ โดยสมรรถนะของช่องสัญญาณทราฟฟิกในข่ายเชื่อมโยงไปหน้าสามารถวัดได้จาก E_b/N_0 ของข่ายเชื่อมโยงไปหน้าจาก BS ที่ j (FL_j) ซึ่งสามารถแสดงในสมการที่ (3.6)

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{FL_j} = \frac{\beta_{\max} P_j \alpha(r, \zeta)_j (W/R)}{(1 - \text{orth}) \left(\beta_{pps_j} + \sum_{i=1, i \neq j}^{N_j} v_{ji} \beta_{ji} \right) P_j \alpha(r, \zeta)_k + I_{\text{outer}} + N_{om} W} \quad (3.6)$$

โดยที่

$$I_{\text{outer}} = \sum_{k=1, k \neq j}^S \left\{ \left(\beta_{pps_k} + \sum_{i=1}^{N_k} v_{ki} \beta_{ki} \right) P_k \alpha(r, \zeta)_k \right\} \quad (3.7)$$

และ β_{\max} คือเปอร์เซ็นต์ของกำลังของช่องสัญญาณทราฟฟิกที่มากที่สุด

R คืออัตราข้อมูลของเสียงและข้อมูล

orth คือปัจจัยตั้งฉาก (Orthogonal Factor) ของช่องสัญญาณสำหรับข่ายเชื่อมโยงไปหน้าจาก BS เดียวกัน

คุณภาพของการต่อที่ MS รับผิดชอบคือค่าที่ได้จากการรวม E_b/N_0 ที่มากที่สุดของ BS ทุกสถานี [5, 17] ที่เกี่ยวข้องกับการเรียกนั้น โดยสมมติว่าข่ายเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องนั้นอิสระจากเฟดดิ้งแบบเรย์ลี ซึ่งจะได้ค่า E_b/N_0 ของข่ายเชื่อมโยงไปหน้าดังนี้

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{FL} = \sum_{j=1}^{no_{BS}} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{FL_j} \quad (3.8)$$

โดยที่ no_{BS} คือจำนวนโพลิตที่อยู่ใน AS ของ MS นั้นเมื่อเกิดชอฟต์แฮนด์ออฟ ในวิทยานิพนธ์นี้ no_{BS} สามารถมีได้สูงสุด 6 สถานี [14]

3.5.3 แบบจำลองทราฟฟิก (Traffic Model)

1. สมมติให้การมาถึงของการเรียกมีการแจกแจงแบบปัวซอง (Poisson) และมีการแจกแจงของตำแหน่งที่อยู่แบบยูนิฟอร์มในพื้นที่ครอบคลุม [1,5]
2. เวลาคืนช่องสัญญาณ (Holding time) มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 120 วินาที [1,5]

3.5.4 แบบจำลองการเคลื่อนที่ (Mobility Model)

MS มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอในทุกทิศทาง (0-360 องศา) [1,2] โดยมีความเร็วเริ่มต้นเป็นตัวแปรเชิงสุ่มแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ย 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [7] และเลือกความเร็วเฉพาะในช่วง 0-60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสมมติว่า MS เปลี่ยนความเร็วเป็นช่วงๆ โดยช่วงเวลานี้มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล [1,2] และมีค่าเฉลี่ยเป็น 30 วินาที ความเร็วค่าเก่าและค่าใหม่มีความสัมพันธ์กัน 30% สำหรับทิศทางเก่าและทิศทางใหม่มีความสัมพันธ์กัน 30% เช่นกัน และมุมของการเคลื่อนที่ครั้งใหม่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ

3.5.5 ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ใช้ในการจำลองแบบ

สำหรับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการจำลองแบบแสดงในตารางที่ 3.4 และสัดส่วนของกำลังของช่องสัญญาณแต่ละช่องที่ BS ส่ง แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการจำลองแบบ

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่ใช้
1) ค่า T_ADD และ T_DROP เริ่มต้นของระบบ (T_ADD, T_DROP) [5,13,17]	dB	(-12,-14) (-13,-15) (-14,-16)
2) T_TDROD [2,13]	วินาที	5
3) T_COMP*0.5 [5]	dB	1
4) SOFT_SLOPE/8 [5]	-	2.25
5) ADD_INTERCEPT/2 [5]	dB	3
6) DROP_INTERCEPT/2 [5]	dB	3
7) ปัจจัยแยกที่พของเสียงพูด [5]	-	0.4
8) ปัจจัยตั้งฉาก [17]	-	0.8
9) อัตราขยายการประมวลผล (Processing Gain) [17]	-	128
10) กำลัง BS สูงสุด [17]	วัตต์	5
11) อัตราข้อมูล [17]	บิตต่อวินาที	9600
12) E_b/N_0 ที่ต้องการ [16]	dB	7

ตารางที่ 3.5 สัดส่วนของกำลังของช่องสัญญาณแต่ละชนิดที่ BS ส่ง

ชนิดช่องสัญญาณ		หน่วย	ค่าที่ใช้
1)	ไพลอต (Pilot) [17]	เปอร์เซ็นต์	15
2)	เพจจิง (Paging) [17]	เปอร์เซ็นต์	12
3)	ซิงโครไนซ์ (Synchronization) [17]	เปอร์เซ็นต์	1.5

เวลาในการจำลองแบบที่ใช้เท่ากับ 600 วินาทีสำหรับ BS ทุกๆ สถานี ซึ่ง BS แต่ละสถานี กระทำการควบคุมกำลังทั้งหมดเท่ากับ $600/(1.25 \times 10^{-3}) = 480,000$ ครั้งและมีกระบวนการซอฟต์แวร์ แชนด์ออฟที่เกิดขึ้น 30,000 ครั้งต่อ MS 1 สถานีที่มีการติดต่อกับ BS 1 สถานีตลอดเวลา

3.6 การประเมินสมรรถนะ

การประเมินสมรรถนะของวิธีการที่เสนอกระทำโดยนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตั้งแต่วินาทีที่ 200-600 มาประเมินโดยการหาค่าเฉลี่ย (เนื่องจาก 200 วินาทีแรกเป็นการเริ่มต้นการจำลองแบบ) ซึ่ง BS ที่นำมาประเมินคือ BS ที่ 1-7 ตามรูปที่ 3.3 สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่นำมาประเมินได้แก่ โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้, ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่, ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแชนด์ออฟ, NO_{BS} , ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรฟังก์ชัน, ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายและ E_p/N_0 เทียบกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบค่าต่างๆ

3.6.1 โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (Carried Traffic: T_c)

โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้เป็นค่าที่วัดจำนวนผู้ใช้ที่เข้ายึดช่องสัญญาณในเซลล์แต่ละเซลล์ เมื่อโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีค่าเพิ่มขึ้น หากโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ของระบบใดมีค่าสูงกว่า โดยที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบนั้นเท่ากันแสดงว่า ระบบนั้นมีความสามารถรองรับทราฟฟิกได้สูงกว่าระบบอื่นหรือให้บริการผู้ใช้ได้มากกว่า

3.6.2 ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่

ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่แสดงถึงจำนวนของการมาถึงของการเรียกใหม่ที่เข้ามาสู่ระบบแล้วไม่ได้รับการตอบสนอง โดยปกติค่านี้นี้ควรมีค่าน้อยที่สุดหรือเท่ากับศูนย์ หากค่าความน่าจะเป็นนี้มีค่าสูงหมายถึงมีการเรียกจำนวนมากที่เรียกไม่สำเร็จซึ่งทำให้สมรรถนะของระบบนั้นต่ำลง

3.6.3 ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟแสดงถึงจำนวนการเรียกที่อยู่ที่ยอมรับและต้องการร้องขอซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับเซลล์อื่น เพื่อเพิ่มคุณภาพของการต่อแต่ไม่สำเร็จ หากค่าความน่าจะเป็นนี้มีค่าสูงหมายถึงมีการเรียกจำนวนมากที่ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟไม่สำเร็จ ซึ่งทำให้คุณภาพของการต่อกับ BS นั้นแย่งและอาจทำให้การเรียกนั้นถูกตัดขาดไปได้

3.6.4 จำนวนโพลิตเดเลียในแอกทีฟเซต (NO_{BS})

NO_{BS} เป็นจำนวนโพลิตเดเลียใน AS โดยมีค่าระหว่าง 1 (ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ) ถึง 6 (ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 6 สถานี) ซึ่งได้จากการเฉลี่ยจำนวนโพลิตเดเลียใน AS ของ MS ทุกสถานี ถ้าค่า NO_{BS} มีค่าสูงหมายถึงปริมาณซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่เกิดขึ้นสูง หากโพลิตเดเลียที่เข้าสู่ระบบ ณ ขณะนั้นมีค่าสูง อาจทำให้ไม่มีช่องสัญญาณเหลือเพื่อรองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ได้

3.6.5 ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังก์ (Trunk Resource Efficiency: TRE)

ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังก์เป็นค่าคาดหวังของประสิทธิภาพของระบบ โดย TRE หาได้จาก

$$TRE = 100\% \times (1 / NO_{BS}) \quad (3.9)$$

โดยในกรณีฮาร์ดแฮนด์ออฟ ค่า NO_{BS} มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งทำให้ค่า TRE เท่ากับ 100% เมื่อค่า TRE น้อยลงหมายถึงมีการเรียกที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟเป็นจำนวนมากขึ้น หากโพลิตเดเลียที่เข้าสู่ระบบ ณ ขณะนั้นมีค่าสูงและ TRE มีค่าน้อยอาจทำให้ไม่มีช่องสัญญาณเหลือเพื่อรองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ได้ แต่ในทางตรงข้ามโพลิตเดเลียที่เข้าสู่ระบบ ณ ขณะนั้นมีค่าน้อยและค่า TRE มีค่าน้อยแสดงว่ามีการเรียกที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟมาก ทำให้คุณภาพของการต่อนั้นสูงขึ้น

3.6.6 E_b/N_0

ค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานเฉลี่ยต่อบิตกับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน (E_b/N_0) แสดงถึงคุณภาพของการต่อที่ MS รับผิดชอบคือค่าที่ได้จากการรวม E_b/N_0 ที่มากที่สุดของ BS ทุกสถานี [5,17] ที่เกี่ยวข้องกับการเรียกนั้น ซึ่งค่า E_b/N_0 ต่ำที่สุดที่ยอมรับได้คือ 6.5 dB [17]

3.6.7 ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย (Outage Probability)

ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายเป็นตัวแทนของคุณภาพของการต่ออีกค่าหนึ่ง โดยวัดจากค่า E_b/N_0 ที่น้อยกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้เท่ากับ 5 dB [18]

สำหรับผลการจำลองแบบของวิธีการต่างๆ ที่ได้กล่าวมาในบทนี้จะแสดงในบทที่ 4



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์ผลการจำลองแบบ

4.1 สัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการแสดงผลการจำลองแบบ

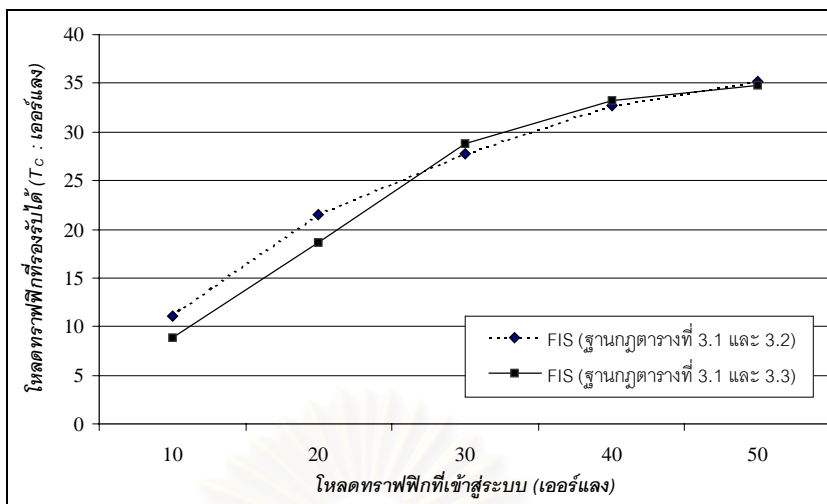
สัญลักษณ์ในการอ้างอิงวิธีการซอฟต์แวร์ไฮดรอลิกทั้งหมดทั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ในกราฟผลการจำลองแบบแบ่งได้ดังนี้

1. วิธีที่นำเสนอโดยใช้ระบบวินิจจัยพีซีตามที่กล่าวในบทที่ 3 จะเขียนในรูปแบบดังนี้ FIS(T_Ad,T_Dr) โดยค่า T_Ad และ T_Dr เป็นค่าแกนกลาง (core) ของตัวแปร linguistic สำหรับเอาต์พุตของ T_ADD และ T_DROP ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9
2. วิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B จะเขียนในรูปแบบดังนี้ IS95-A(x,y) หรือ IS95-B(x,y) ซึ่ง x และ y เป็นค่า T_ADD และ T_DROP เริ่มต้นของระบบตามลำดับ
3. วิธีปรับเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP ตามหัวข้อที่ 2.6 จะเขียนในรูปแบบของ T_DROP(Z) โดยที่ Z เป็นค่า T_DROP ใหม่ที่ได้จากการปรับค่า เมื่อไหลลดทราฟฟิกของระบบ ณ ขณะนั้นสูง
4. วิธีการปรับทั้งพารามิเตอร์ T_ADD และ T_DROP ตามหัวข้อที่ 2.7 จะเขียนในรูปแบบของ VTSH(α_2, β_2) โดยที่ค่า α_2 และ β_2 เป็น T_ADD และ T_DROP ใหม่ที่ได้จากการปรับค่า เมื่อไหลลดทราฟฟิกของระบบ ณ ขณะนั้นสูงตามสมการที่ (2.9)

4.2 ผลการจำลองแบบของวิธี FIS ที่นำเสนอ

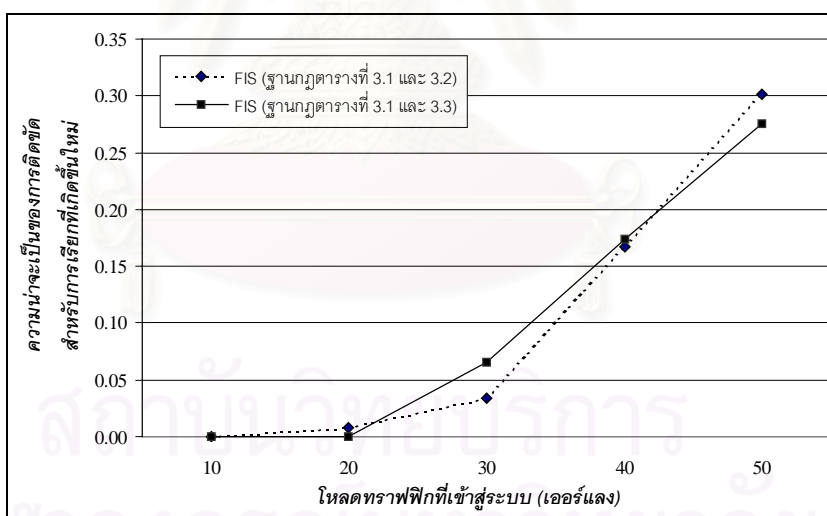
4.2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี FIS ที่ใช้ฐานกฎแตกต่างกัน

จากหัวข้อที่ 3.3.1 ได้มีการกำหนดกฎสำหรับปรับค่า T_DROP ที่ต่างกัน ในหัวข้อนี้เป็น การแสดงผลการจำลองแบบของ FIS ที่ใช้ฐานกฎต่างกัน โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบเท่ากับ -13 และ -15 dB ตามลำดับและค่าแกนกลางของตัวแปร linguistic สำหรับเอาต์พุตของ T_ADD (T_Ad) และ T_DROP (T_Dr) เท่ากับ -13 และ -15 dB ตามลำดับได้ผลการจำลองแบบดังนี้



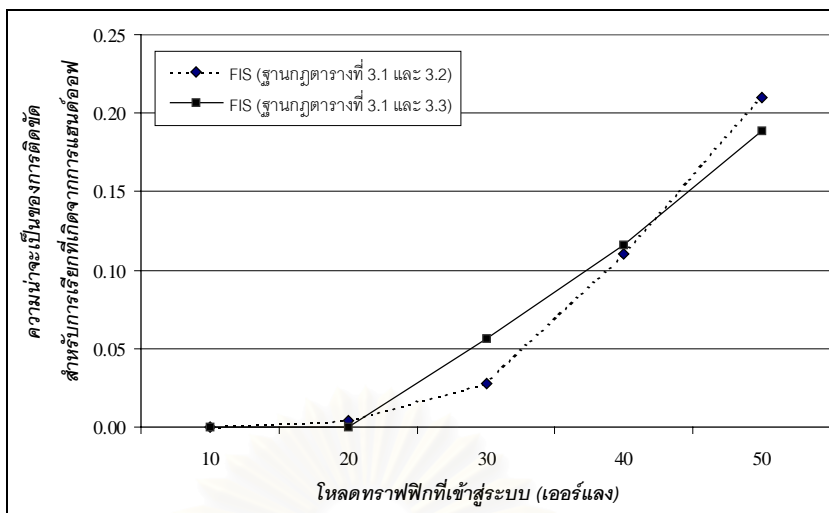
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ของ FIS ที่ใช้กฎในตารางที่ 3.2 สำหรับปรับค่า T_{DROP} ให้โหลดทราฟฟิกที่รองรับสูงกว่าของตารางที่ 3.3 อยู่ 25% และ 15% ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 และ 20 เออร์แลงตามลำดับ ส่วนที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูงกว่านั้นได้ผลที่ใกล้เคียงกัน

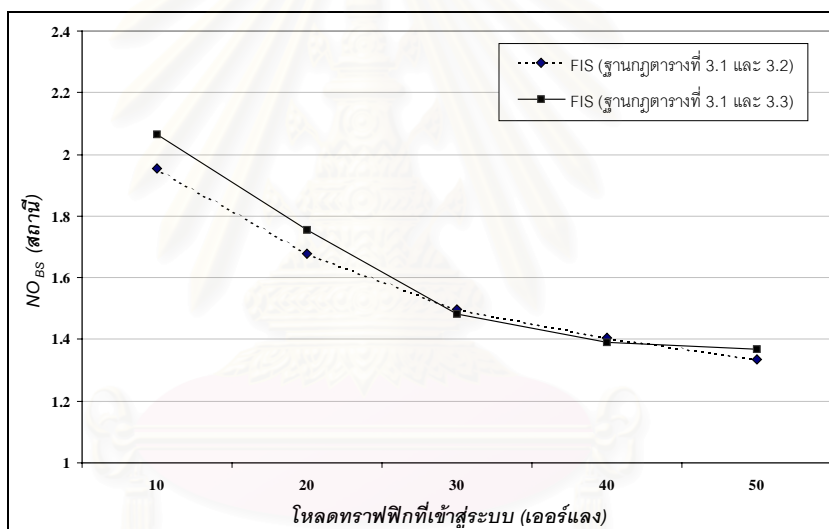


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดต่อสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่าทั้งความน่าจะเป็นของการติดต่อสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมีแนวโน้มเหมือนกัน โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เออร์แลงนั้น ความน่าจะเป็นของการติดต่อสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของ FIS ที่ใช้กฎในตารางที่ 3.2 สำหรับปรับค่า T_{DROP} ให้ค่าน้อยกว่าของตารางที่ 3.3 อยู่ 9% และ 11% ตามลำดับ

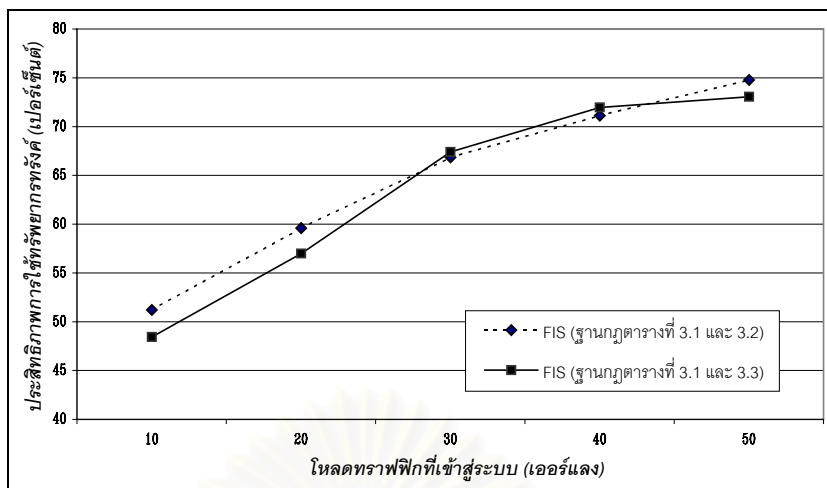


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับไหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ



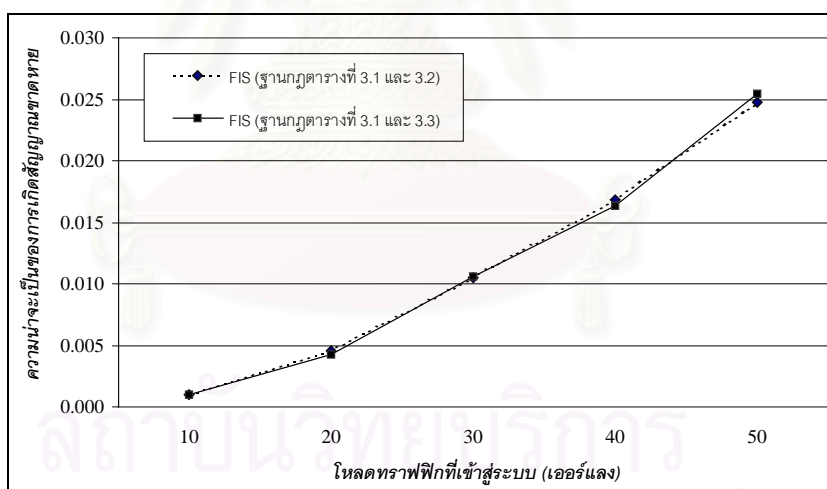
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนไฟลิตเฉลี่ยใน AS (NO_{BS}) กับไหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าจำนวนไฟลิตเฉลี่ยใน AS (NO_{BS}) ของ FIS ที่ใช้กฎในตารางที่ 3.2 สำหรับปรับค่า T_DROP ให้ค่าน้อยกว่าของตารางที่ 3.3 อยู่ 5% และ 4% ที่ไหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 และ 20 เฮอร์แลงตามลำดับ ส่วนที่ไหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูงกว่านั้นได้ผลที่ใกล้เคียงกัน



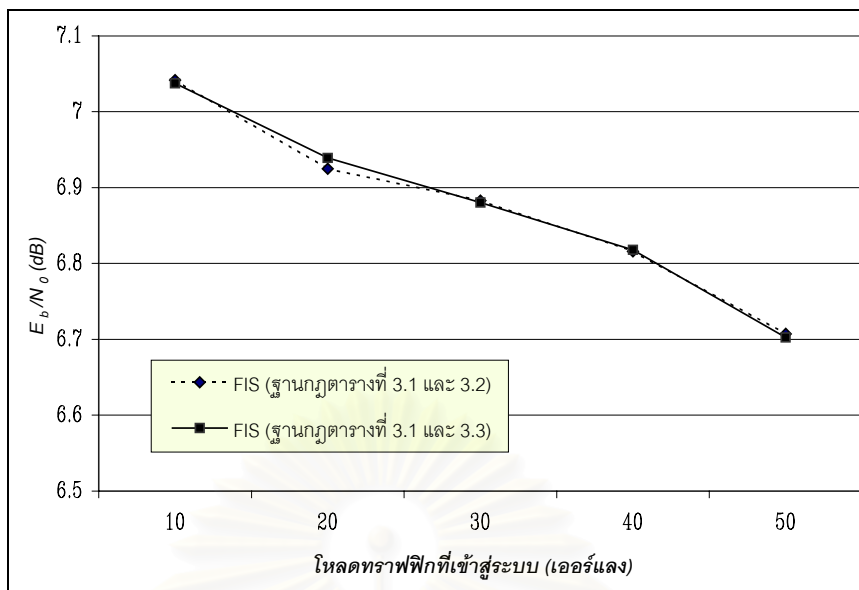
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังค์กับโหลดทราฟฟิีกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังค์ (TRE) ที่โหลดทราฟฟิีกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 และ 20 เออร์แลง ค่า TRE ของ FIS ที่ใช้กฎในตารางที่ 3.2 สำหรับปรับค่า T_DROP ให้ค่าน้อยกว่าของตารางที่ 3.3 อยู่ 2.7% และ 2.6% ตามลำดับ ส่วนที่โหลดทราฟฟิีกที่เข้าสู่ระบบสูงกว่านั้น ได้ผลที่ใกล้เคียงกัน



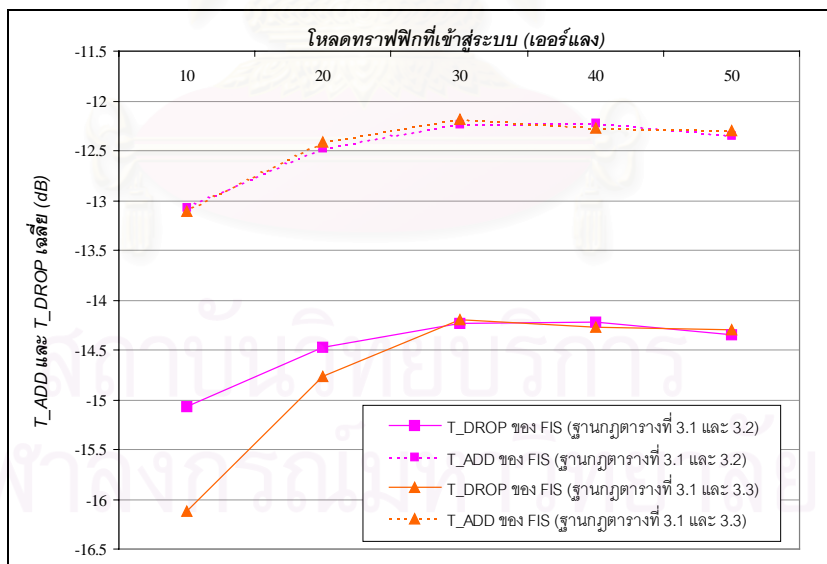
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลดทราฟฟิีกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.6 ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายของ FIS ที่ใช้กฎในตารางที่ 3.2 สำหรับปรับค่า T_DROP ให้ค่าใกล้เคียงกับของตารางที่ 3.3 ในทุกๆ ค่าของโหลดทราฟฟิีกที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน (E_b/N_0) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.7 ค่าอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนของ FIS ที่ใช้กฎในตารางที่ 3.2 สำหรับปรับค่า T_DROP ให้ค่าใกล้เคียงกับของตารางที่ 3.3 ในทุกๆ ค่าของโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ T_ADD และ T_DROP กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยของ T_ADD และ T_DROP ในการจำลองแบบ โดยค่าเฉลี่ยของ T_ADD ของ FIS ที่ใช้กฎในตารางที่ 3.2 สำหรับปรับค่า T_DROP ให้ค่าใกล้เคียงกับของตารางที่ 3.3 ส่วนที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบน้อยคือ 10 ถึง 20 เฮอ์แรง ค่า T_DROP เฉลี่ย

ของ FIS ที่ใช้กฎในตารางที่ 3.3 สำหรับปรับค่า T_DROP น้อยกว่าของตารางที่ 3.2 เนื่องจากกฎที่กำหนดในตารางที่ 3.3 นั้นถ้า CH_m มากและ MS อยู่ในระยะไกลจะให้ค่า T_DROP ค่าน้อย

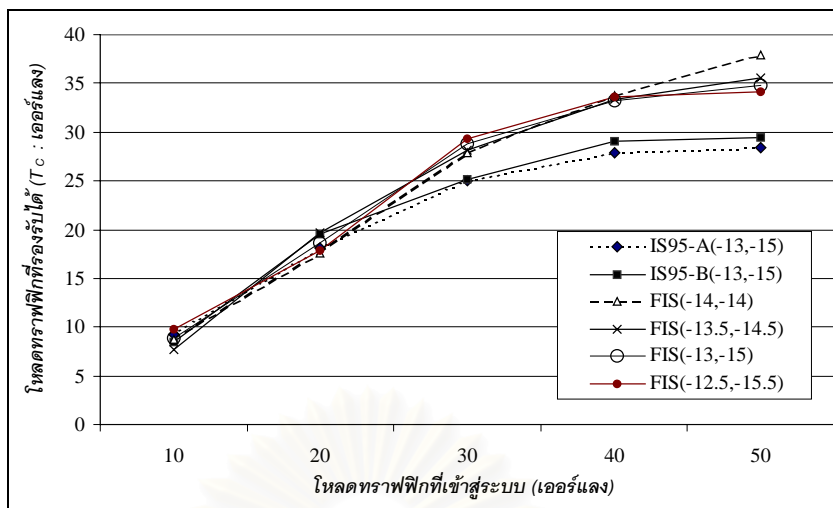
รูปที่ 4.1 ถึง 4.8 แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของกฎสำหรับปรับค่า T_DROP ทั้ง 2 แบบนั้นไม่แตกต่างกันที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูงคือตั้งแต่ 30 ถึง 50 เฮอร์แลง แต่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบน้อยคือ 10 และ 20 เฮอร์แลง FIS ที่ใช้กฎในตารางที่ 3.3 สำหรับปรับค่า T_DROP นั้นมีความยืดหยุ่นสูงกว่าในตารางที่ 3.2 ดูจากรูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของ T_DROP มีค่าน้อยกว่า ทำให้ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟสิ้นสุดช้ากว่าและลดโอกาสที่จะเกิดรีโอบการเรียกได้ดีกว่า ดังนั้น FIS ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์จึงเลือกใช้กฎในตารางที่ 3.3 สำหรับปรับค่า T_DROP

4.2.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี FIS กับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B

การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี FIS กับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B นั้นกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของทุกๆ วิธีเท่ากับ -13 และ -15 dB [5] ตามลำดับ โดย FIS ที่นำมาเปรียบเทียบมีการกำหนดค่าแกนกลางของตัวแปร linguistic สำหรับแฮนด์ออฟของ T_ADD และ T_DROP ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และได้ผลการจำลองแบบดังต่อไปนี้

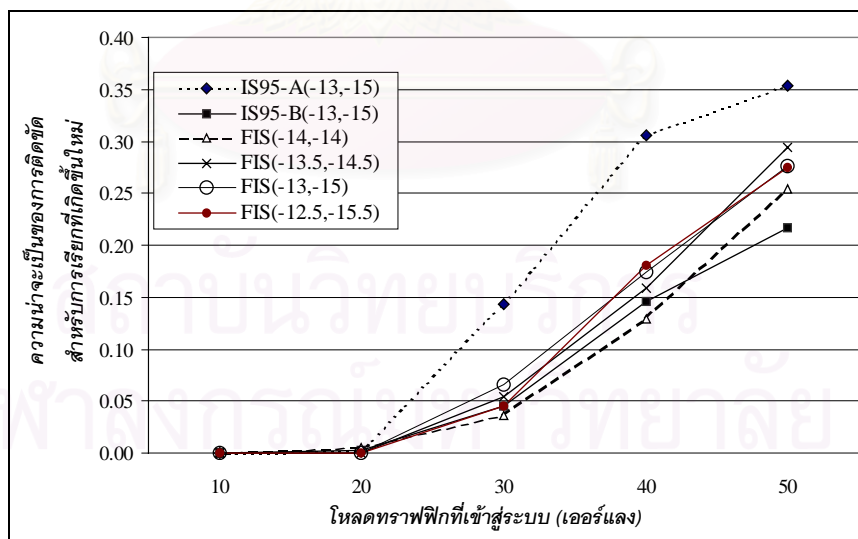
ตารางที่ 4.1 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของระบบและค่า T_Ad และ T_Dr ที่กำหนดให้กับตัวแปร linguistic แฮนด์ออฟของวิธี FIS ในการเปรียบเทียบสมรรถนะกับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B

ค่าเริ่มต้นของระบบ (dB)		ค่าแกนกลางของตัวแปร linguistic (dB)		ชื่ออ้างอิงในผลการจำลองแบบ
T_ADD	T_DROP	T_Ad	T_Dr	
-13	-15	-	-	IS95-A(-13,-15)
		-	-	IS95-B(-13,-15)
		-12.5	-15.5	FIS(-12.5,-15.5)
		-13	-15	FIS(-13,-15)
		-13.5	-14.5	FIS(-13.5,-14.5)
		-14	-14	FIS(-14,-14)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

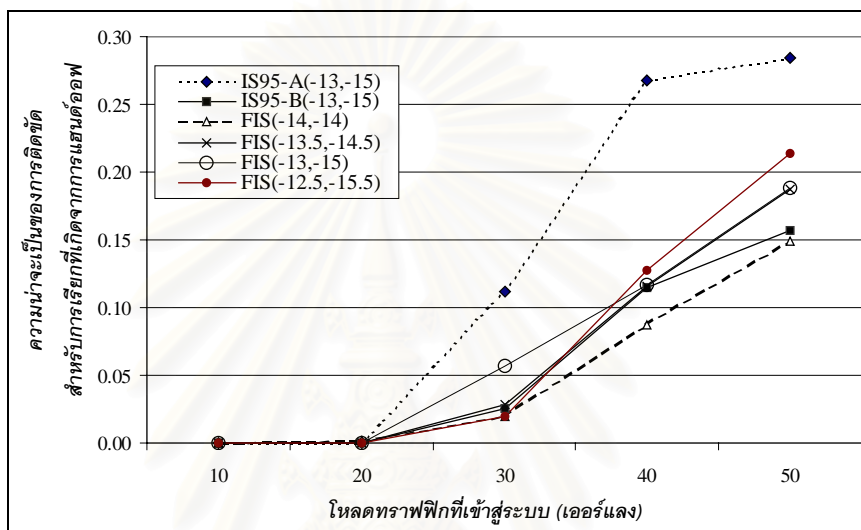
รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าปริมาณโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ของวิธี FIS ในการปรับค่าพารามิเตอร์ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟนั้น มีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B ที่มีค่าพารามิเตอร์แบบตายตัว โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เออร์แลง ค่า T_c ของวิธี FIS(-14,-14), FIS(-13.5,-14.5), FIS(-13,-15) และ FIS(-12.5,-15.5) มากกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A อยู่ 33.24%, 25.13%, 22.08% และ 20.13% ตามลำดับ ส่วน T_c ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-B มากกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A อยู่ 3.42%



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดต่อสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

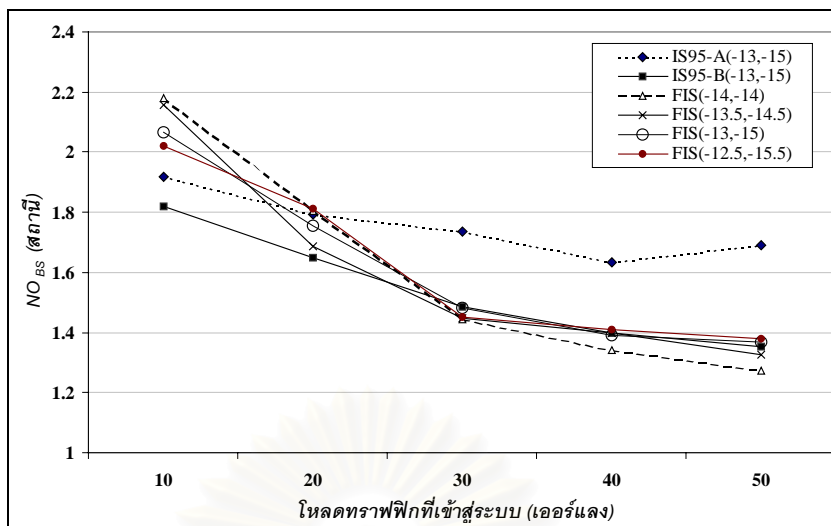
รูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นของการติดต่อสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A มีค่าสูงกว่าของที่ได้จากวิธีตามมาตรฐาน IS95-B และวิธี FIS เมื่อ

โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-B และของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าน้อยกว่าที่ได้จากวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 38.58% และ 28.15% ตามลำดับ โดยในช่วงที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 40 เฮอร์แลง ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าน้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-B อยู่เล็กน้อยโดยที่โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้สูงกว่าดังที่แสดงในรูปที่ 4.9



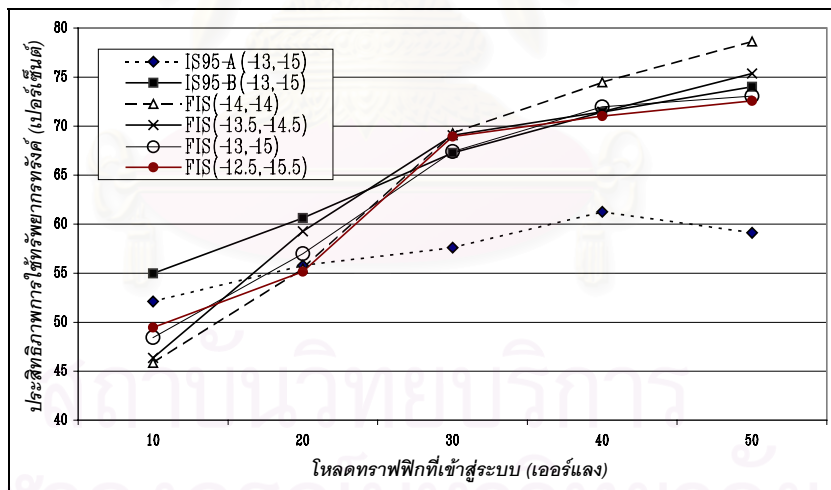
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A นั้นมีค่าสูงกว่าของที่ได้จากวิธีตามมาตรฐาน IS95-B และของวิธี FIS ที่ใช้ในสถานะที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธีตามมาตรฐาน IS95-B น้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 47.75% และ 44.66% ตามลำดับ โดยโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้สูงกว่าดังที่แสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนไฟลิตเฉลี่ยใน AS (NO_{BS}) กับโหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ

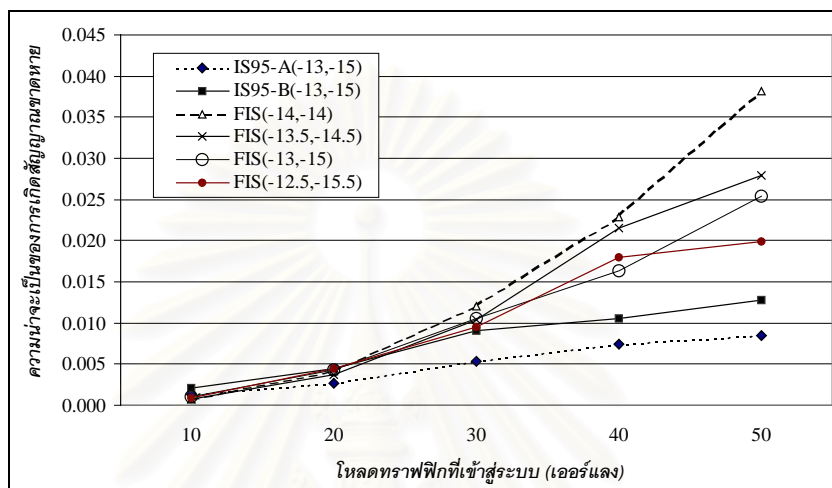
รูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าจำนวนไฟลิตเฉลี่ยใน AS โดยที่ที่โหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 เฮอร์แลงของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 13.68% โดยที่ที่โหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง NO_{BS} ของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธีตามมาตรฐาน IS95-B จะมีค่าน้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 24.82% และ 20.13% ตามลำดับ ซึ่งทำให้ผลของ TRE เป็นดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังค์กับโหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ

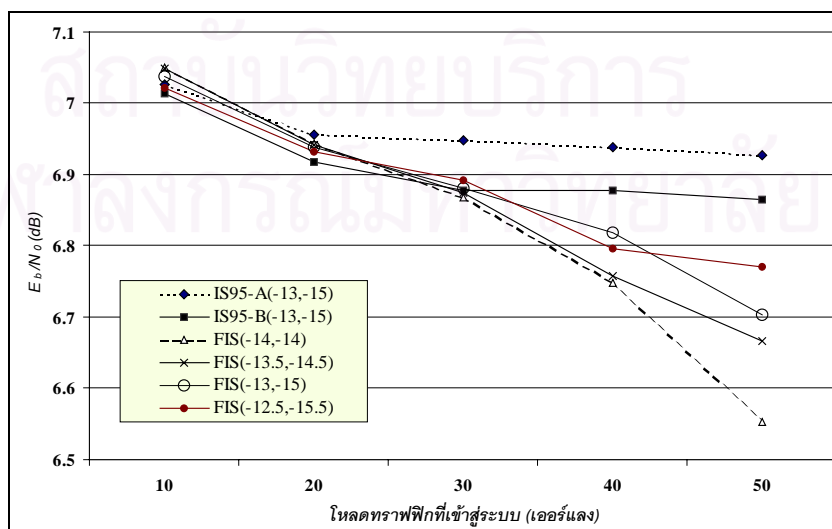
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทังค์ (TRE) ที่โหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ 30 ถึง 50 เฮอร์แลง ค่า TRE ของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B นั้นแสดงว่าวิธี FIS นั้นสามารถลดปริมาณซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์ที่ไม่จำเป็นลงได้และทำให้มีทังค์ไปรองรับการเรียกที่เพิ่มเข้ามาได้ โดยสามารถรองรับโหลดทราฟฟิที่สูงกว่าดังแสดงในรูปที่ 4.9 และมีค่าความน่าจะเป็นของการติดขัดน้อยกว่าดังแสดงใน

รูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ โดยที่ที่โหนดกราฟฟิกร์ที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง TRE ของวิธี FIS(-14,-14) จะมีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B อยู่ 19.5% และ 4.6% ตามลำดับ ส่วนในทางกลับกันที่โหนดกราฟฟิกร์ที่เข้าสู่ระบบน้อยคือในช่วง 10 ถึง 20 เฮอร์แลง ค่า TRE ของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าน้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B หมายความว่าวิธี FIS พยายามใช้ทรัพยากรที่ว่างมาเพิ่มคุณภาพของการต่อ โดยทำให้เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟมากขึ้น



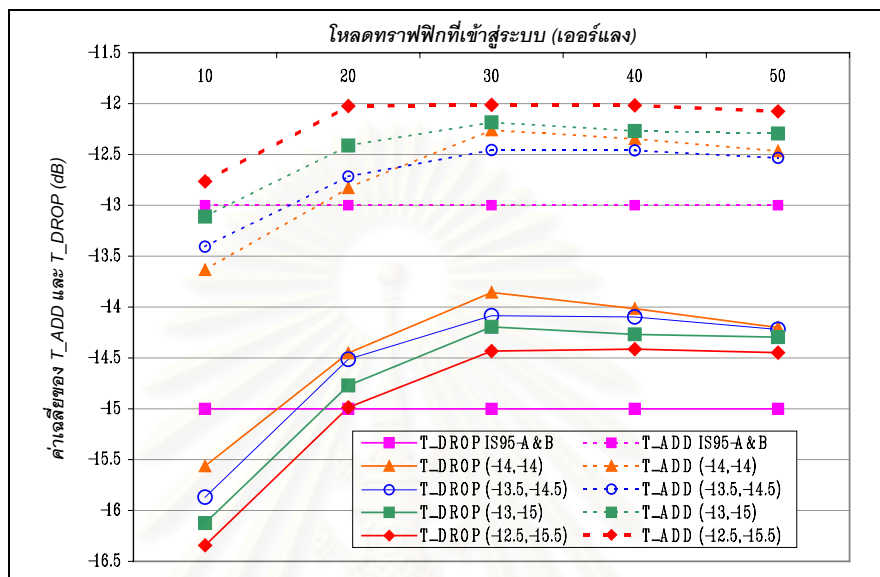
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหนดกราฟฟิกร์ที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.14 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี FIS ที่สูงกว่าที่ได้จากวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B โดยที่ที่โหนดกราฟฟิกร์ที่เข้าสู่ระบบในช่วง 20 ถึง 50 เฮอร์แลง เนื่องจากค่า TRE และโหนดกราฟฟิกร์ที่รองรับได้ของวิธี FIS สูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.9 ตามลำดับ ทำให้คุณภาพของการต่อด้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B แต่ค่าที่ได้ยังคงยอมรับได้เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า 0.1 [4]



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_b/N_0 กับโหนดกราฟฟิกร์ที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าเมื่อโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น ค่า E_b/N_0 ของวิธี FIS ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B แต่ค่าของ E_b/N_0 ยังไม่ต่ำกว่า 6.5 dB ดังนั้นยังคงมีคุณภาพที่ดีเพียงพอ [17] โดยมีเหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ T_{ADD} และ T_{DROP} กับ โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.16 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของ T_{ADD} และ T_{DROP} ในการจำลองแบบ โดยค่า T_{ADD} และ T_{DROP} ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และ IS95-B คงที่ ส่วนของวิธี FIS จะมีการเปลี่ยนแปลงตามโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 เออร์แลง T_{ADD} และ T_{DROP} ของวิธี FIS จะลดลงต่ำกว่า T_{ADD} และ T_{DROP} เริ่มต้นคือ -13 และ -15 dB ตามลำดับ เพื่อให้การเรียกมีโอกาสดูฟต์แฮนด์ออฟได้มากขึ้น แต่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูงขึ้น ค่า T_{ADD} และ T_{DROP} เฉลี่ยจะสูงกว่า T_{ADD} และ T_{DROP} เริ่มต้นเพื่อลดโอกาสการเกิดดูฟต์แฮนด์ออฟให้น้อยลง และทำให้มีทรัพยากรไปรองรับทราฟฟิกที่เข้ามาใหม่ได้มากขึ้น

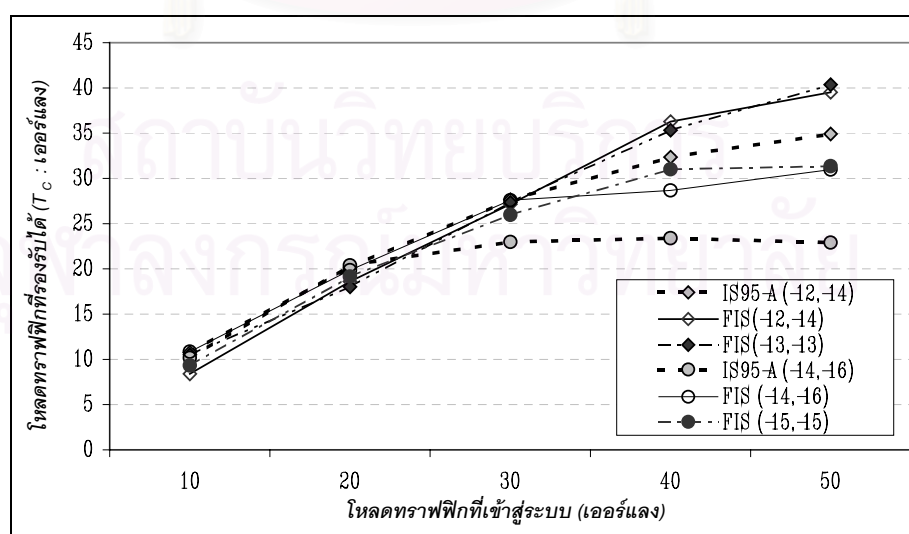
วิธี FIS ต่างๆ ที่มีการปรับค่า T_{Ad} และ T_{Dr} ต่างๆ กันดังแสดงตารางที่ 4.1 จากผลการจำลองแบบสมรรถนะของทุกๆ วิธีมีค่าใกล้เคียง แต่ที่เห็นเด่นชัดที่สุดคือวิธี FIS(-14,-14) ที่สามารถรองรับโหลดทราฟฟิกได้สูงที่สุด ดังรูปที่ 4.9 และมีความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับวิธี FIS อื่นๆ ดังนั้นการเปรียบเทียบสมรรถนะกับวิธีการอื่นๆ จึงเลือกวิธี FIS(-14,-14) ไปใช้

4.2.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี FIS กับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เมื่อเปลี่ยนค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบ

หัวข้อที่ 4.2.2 ได้แสดงถึงผลการจำลองแบบของวิธี FIS ที่มีค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบเท่ากับ -13 และ -15 dB ตามลำดับ ในหัวข้อนี้จะเป็นผลการจำลองแบบที่แสดงสมรรถนะของวิธี FIS ที่มีค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบเป็นค่าอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยเปรียบเทียบสมรรถนะกับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A ซึ่งได้ผลการจำลองแบบดังนี้

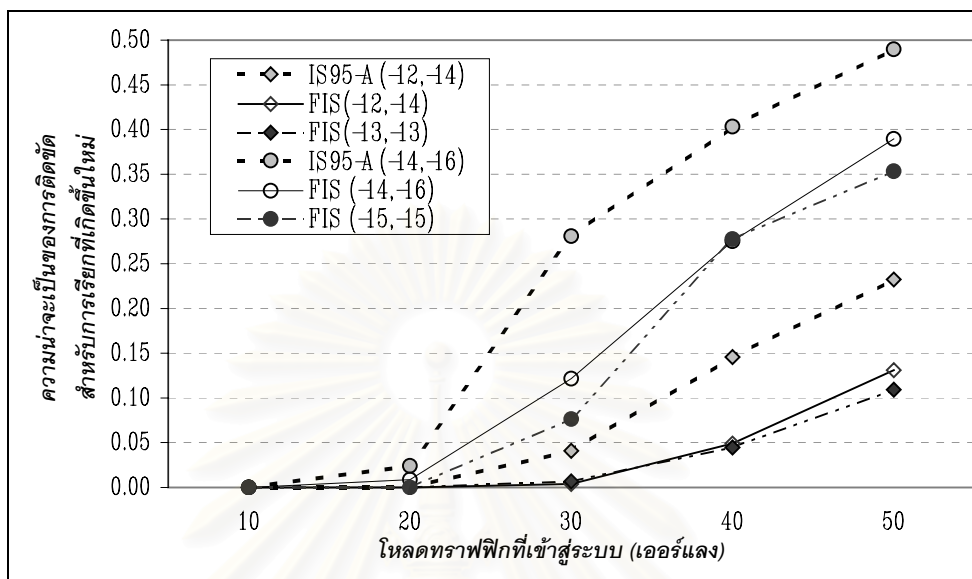
ตารางที่ 4.2 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของระบบและค่า T_Ad และ T_Dr ที่กำหนดให้กับตัวแปร linguistic เาต์พุตของวิธี FIS ในการเปรียบเทียบสมรรถนะกับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A

ค่าเริ่มต้นของระบบ (dB)		ค่าแกนกลางของตัวแปร linguistic (dB)		ชื่ออ้างอิงในผลการจำลองแบบ
T_ADD	T_DROP	T_Ad	T_Dr	
-12	-14	-	-	IS95-A(-12,-14)
		-12	-14	FIS(-12,-14)
		-13	-13	FIS(-13,-13)
-14	-16	-	-	IS95-A(-14,-16)
		-14	-16	FIS(-14,-16)
		-15	-15	FIS(-15,-15)



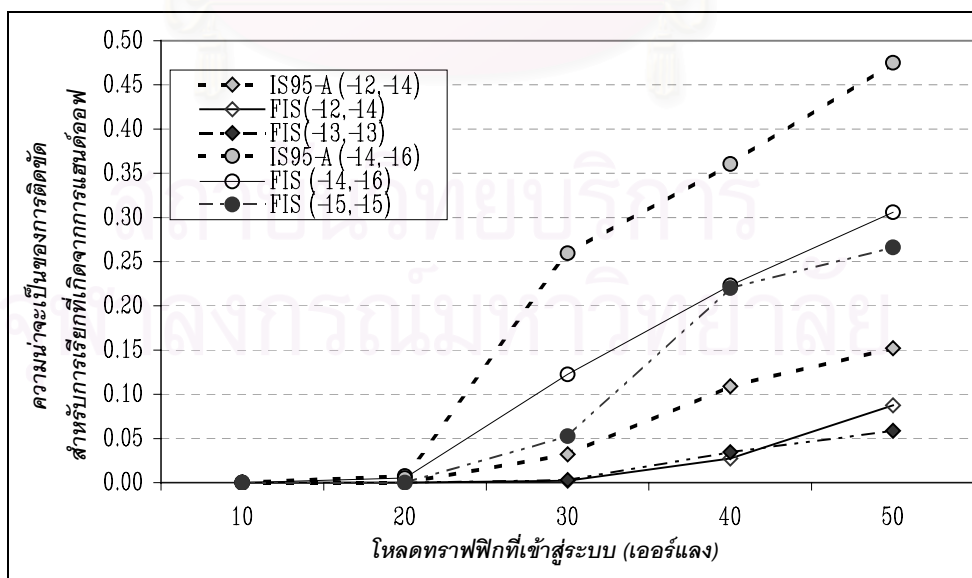
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัญญาณที่รองรับได้ (T_c) กับอัตราส่วนสัญญาณที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.17 แสดงโพลทกราฟฟีกที่รองรับได้ของวิธี FIS ที่มีค่า T_Ad และ T_Dr ต่างกัน โดยที่โพลทกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบสูงจะสามารถรองรับกราฟฟีกใกล้เคียงกันทั้งในกรณีนี้ (T_ADD, T_DROP) เริ่มต้นของระบบเท่ากับ (-12,-14) dB และ (-14,-16) dB



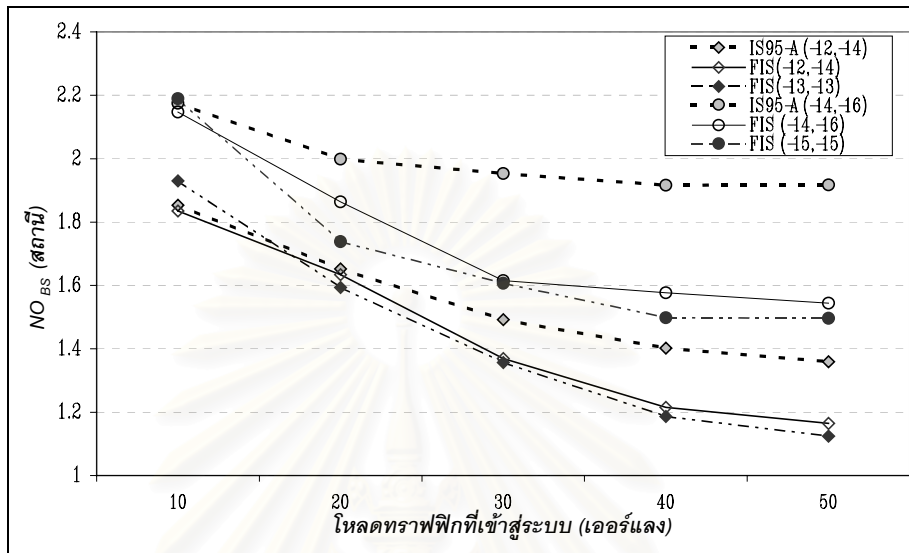
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับโพลทกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบ

ในรูปที่ 4.18 ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ของวิธี FIS(-13,-13) และ FIS(-15,-15) นั้นมีค่าน้อยกว่าของวิธี FIS(-12,-14) และ FIS(-14,-16) เล็กน้อยที่โพลทกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบ 50 เออร์แลง ซึ่งสอดคล้องกับผลในรูปที่ 4.2 ซึ่งวิธี FIS(-14,-14) ให้ค่าความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่น้อยกว่าของวิธี FIS อื่นๆ



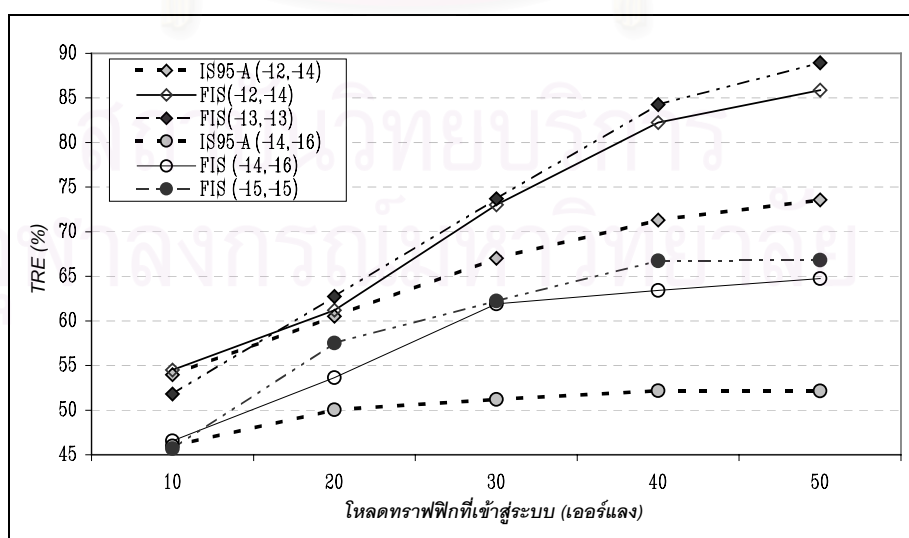
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแชนด์ออฟกับโพลทกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบ

ในรูปที่ 4.19 ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของวิธี FIS(-13,-13) และ FIS(-15,-15) นั้นมีค่าน้อยกว่าของวิธี FIS(-12,-14) และ FIS(-14,-16) เล็กน้อยที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แรง ในลักษณะเดียวกับรูปที่ 4.18



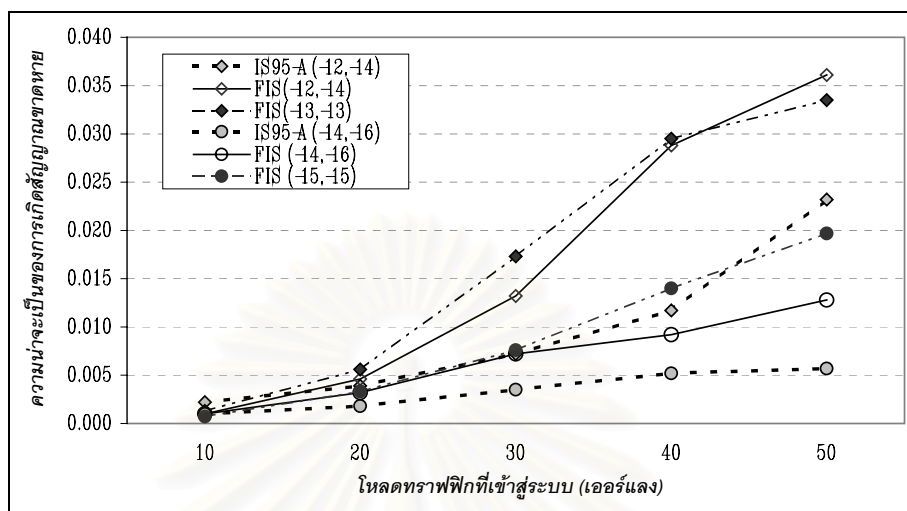
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

ในรูปที่ 4.20 ค่า NO_{BS} ของวิธี FIS(-13,-13) และ FIS(-15,-15) มีค่าน้อยกว่า NO_{BS} ของวิธีอื่นที่มีค่าเริ่มต้น T_ADD และ T_DROP เดียวกัน ซึ่งจะทำให้มีทรัพยากรเหลือสำหรับรองรับโหลดกราฟฟิกที่เข้ามาใหม่และทำให้ความน่าจะเป็นของการติดขัดน้อยกว่าของวิธีอื่น ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19



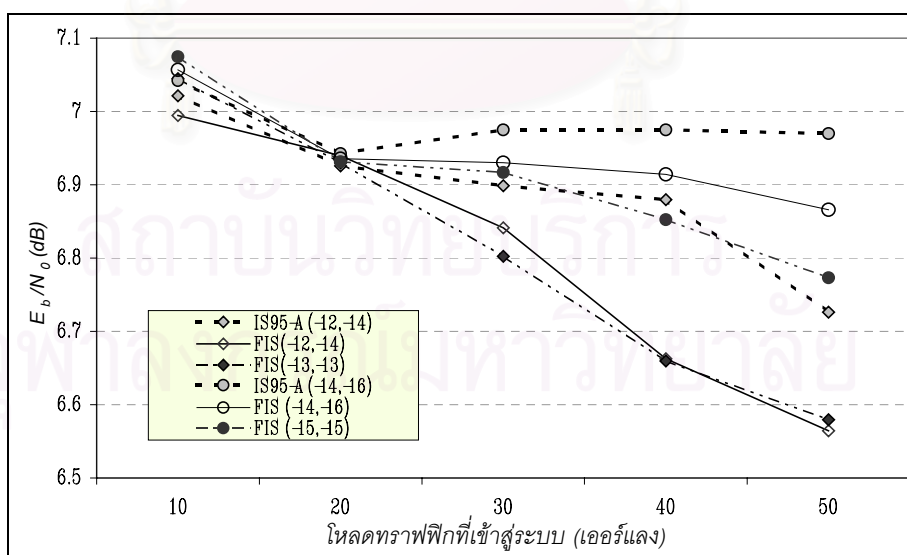
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

ด้วยเหตุผลเดียวกับกรณี NO_{BS} ค่าวิธี TRE ของวิธี FIS(-13,-13) และ FIS(-15,-15) มีค่าสูงกว่าของวิธีอื่นที่มีค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP เดียวกัน ดังรูปที่ 4.21



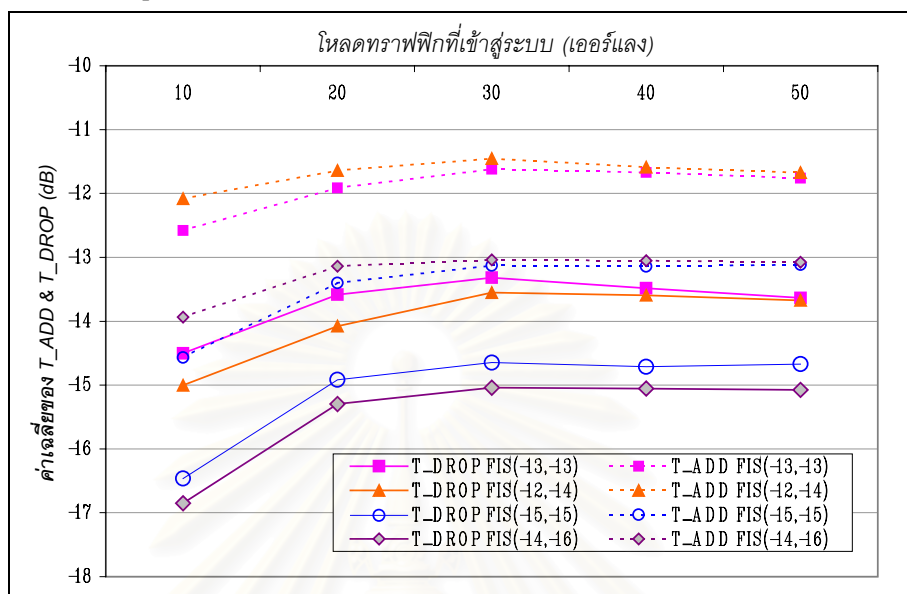
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับ โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 4.22 ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี FIS(-13,-13) และ FIS(-15,-15) มีค่ามากกว่าของวิธีอื่นที่มีค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP เท่ากัน แต่ยังคงยอมรับได้ เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า 0.1 [4]



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_b/N_0 กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 4.23 ค่า E_b/N_0 ของวิธี FIS(-13,-13) และ FIS(-15,-15) มีค่ามากที่สุดที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบน้อยและ E_b/N_0 ของวิธี FIS(-13,-13) และ FIS(-15,-15) จะมีค่าน้อยที่สุดที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมาก แต่ยังคงยอมรับได้ เนื่องจากไม่น้อยกว่า 6.5 dB [17]

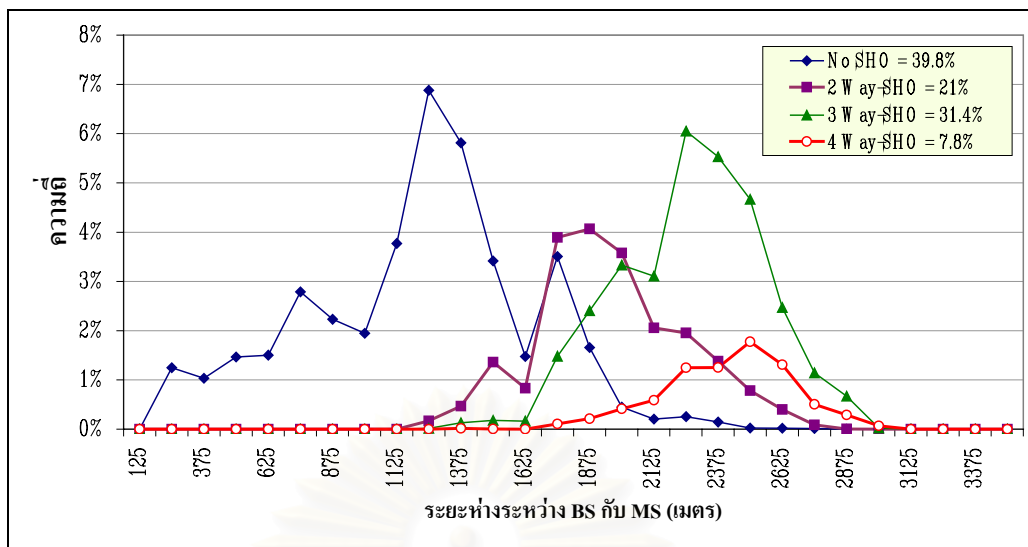


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ T_ADD และ T_DROP กับ โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

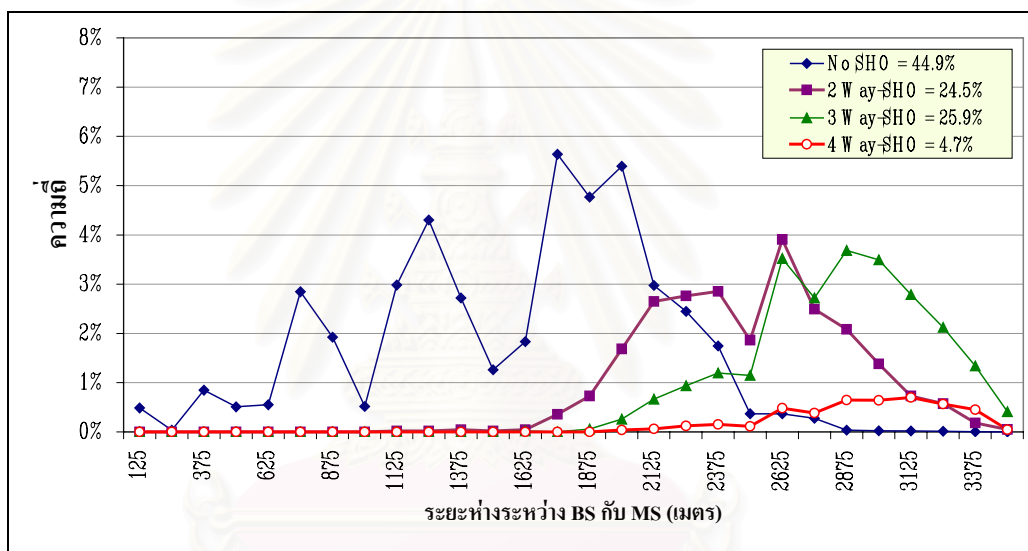
รูปที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยของ T_ADD และ T_DROP ในการจำลองแบบ จะเห็นได้ว่าที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบต่ำคือที่ 10 เออร์แลง ค่า T_ADD และ T_DROP ของวิธี FIS แบบต่างๆ มีค่าน้อยกว่าค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบ เพื่อเพิ่มโอกาสให้ MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟได้ง่ายขึ้น เมื่อโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูงขึ้นคือตั้งแต่ 20 ถึง 50 เออร์แลง ค่า T_ADD และ T_DROP ของวิธี FIS แบบต่างๆ จะมีค่าที่สูงกว่าค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบ เพื่อลดจำนวนซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่ไม่จำเป็นลง และนำทรัพยากรที่เหลือไปรองรับโหลดทราฟฟิกที่เข้ามาใหม่

4.2.4 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS

จากที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.3 อินพุตของวิธี FIS ที่ใช้เป็นระยะห่างระหว่าง BS กับ MS และจำนวนทรัพยากรที่เหลือของ BS ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงความแตกต่างของการแจกแจงระยะห่างระหว่างของวิธี FIS กับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A โดยเลือกของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) มาเปรียบเทียบกัน ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบต่างๆ



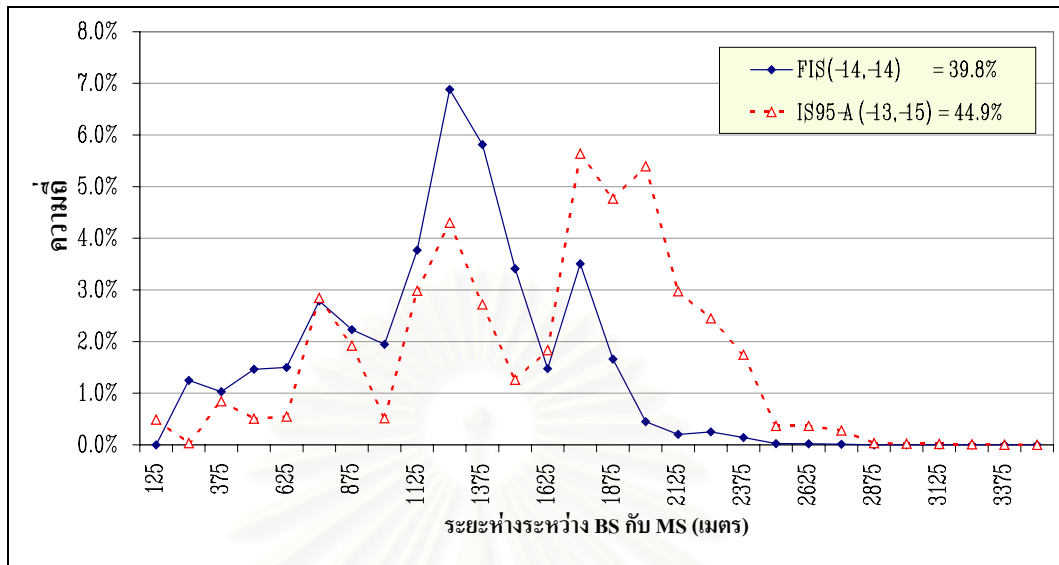
(a)



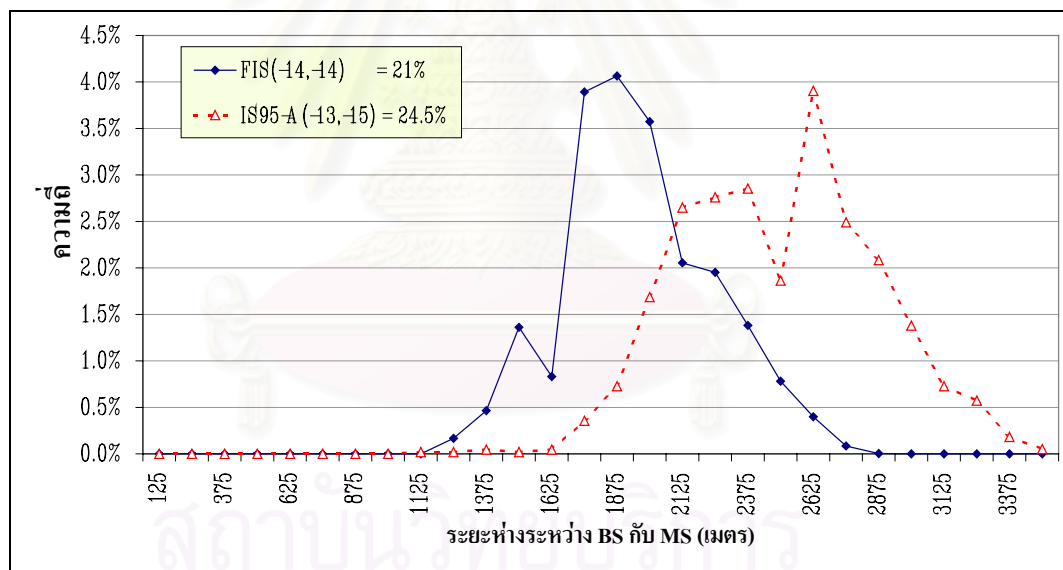
(b)

รูปที่ 4.25 การแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่โหนดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 10 เฮอร์แลง ของ (a) วิธี FIS(-14,-14) และ (b) วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15)

จากรูปที่ 4.25 (a) และ (b) จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวน MS ที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ โดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 3 และ 4 สถานีของวิธี FIS(-14,-14) มากกว่าและเกิดขึ้นที่ระยะที่ใกล้ BS มากกว่ากรณีของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-14,-14) ดังแสดงในรูปที่ 4.26 (c) และ (d) ตามลำดับ ซึ่งวิธี FIS(-14,-14) ทำให้มีการใช้ทรัพยากรที่วางอยู่ให้มีประโยชน์ด้วยการเพิ่มคุณภาพของการต่อดังแสดงในรูปที่ 4.15 สำหรับระยะห่างของ MS ที่ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟและเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ โดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานีของวิธี FIS(-14,-14) เกิดขึ้นที่ระยะที่ใกล้ BS มากกว่ากรณีของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-14,-14) ดังแสดงในรูปที่ 4.26 (a) และ (b) ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้ค่า E_b/N_0 ของวิธี FIS(-14,-14) ใกล้เคียงกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15)

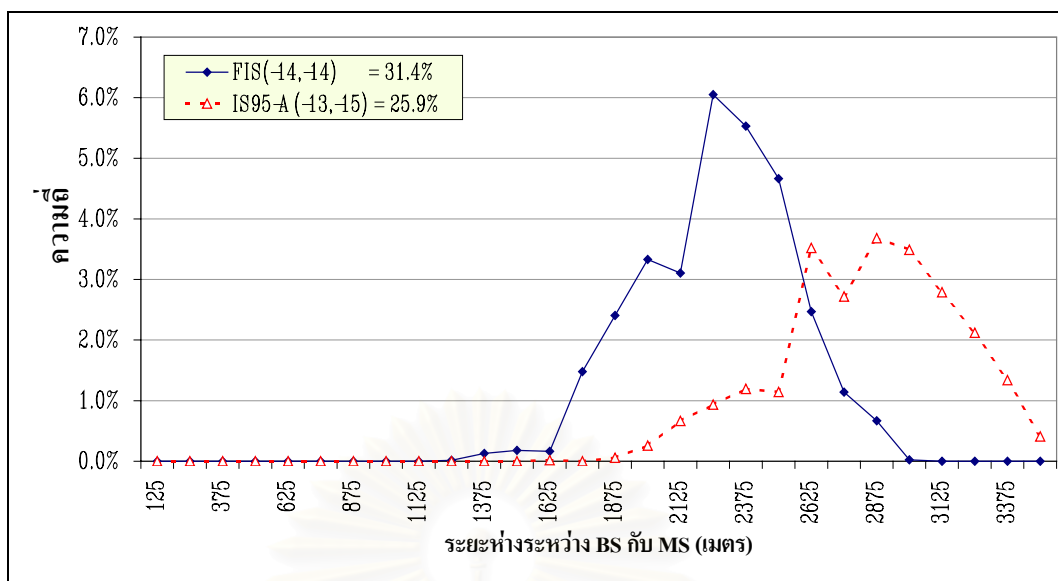


(a)

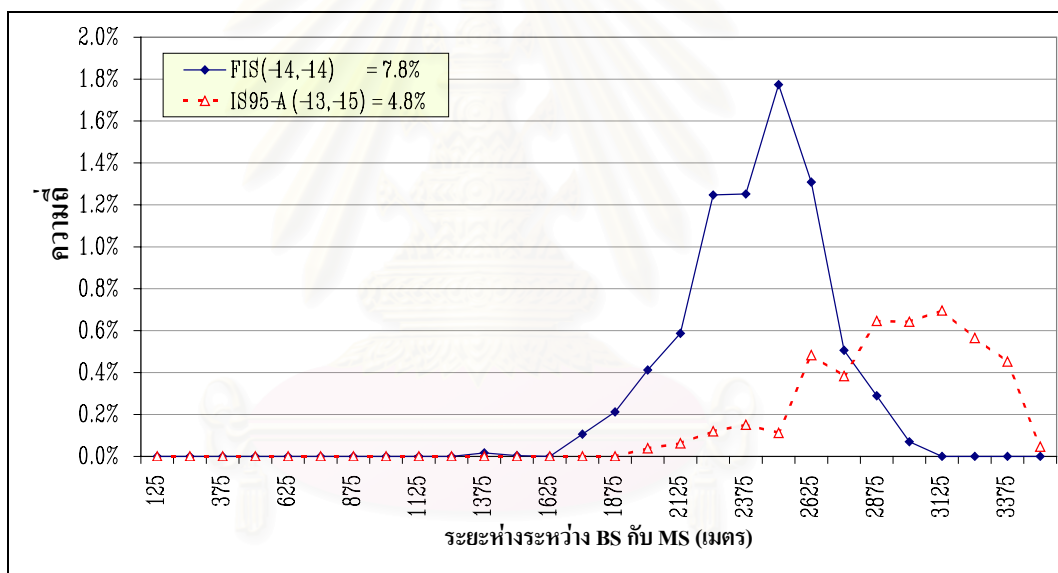


(b)

สถาบันวิทยสิริเมธี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



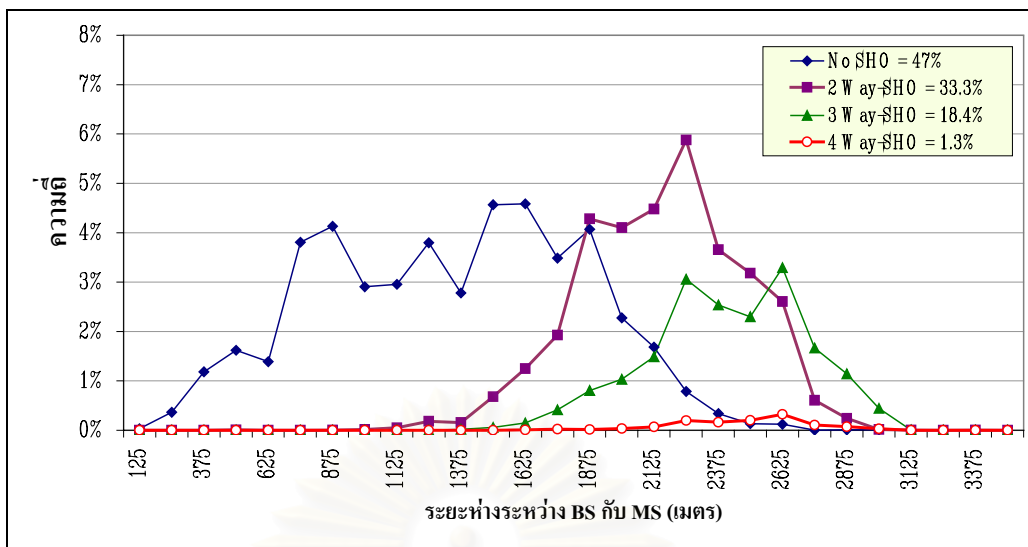
(c)



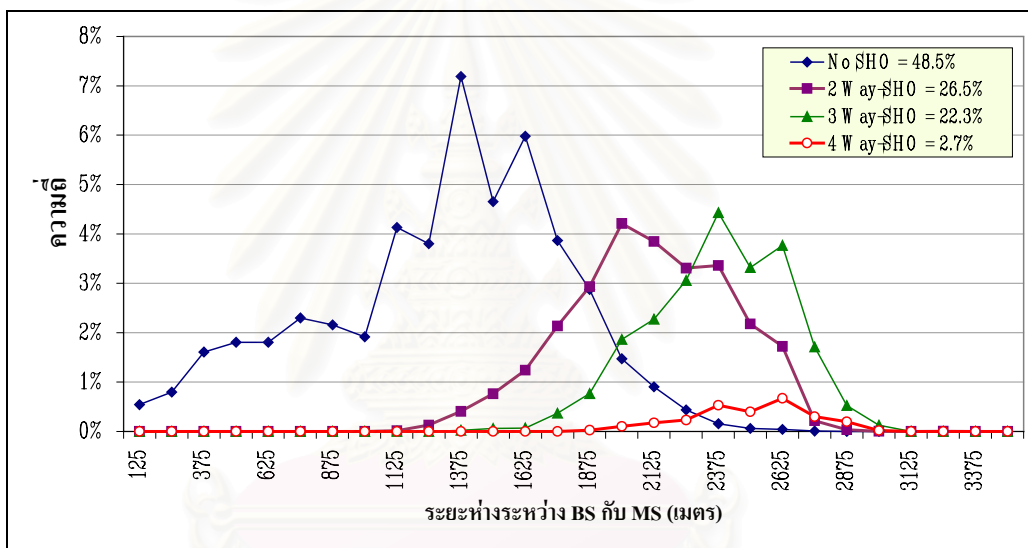
(d)

รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 10 เออร์แดง

- (a) กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ
- (b) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี
- (c) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี
- (d) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี



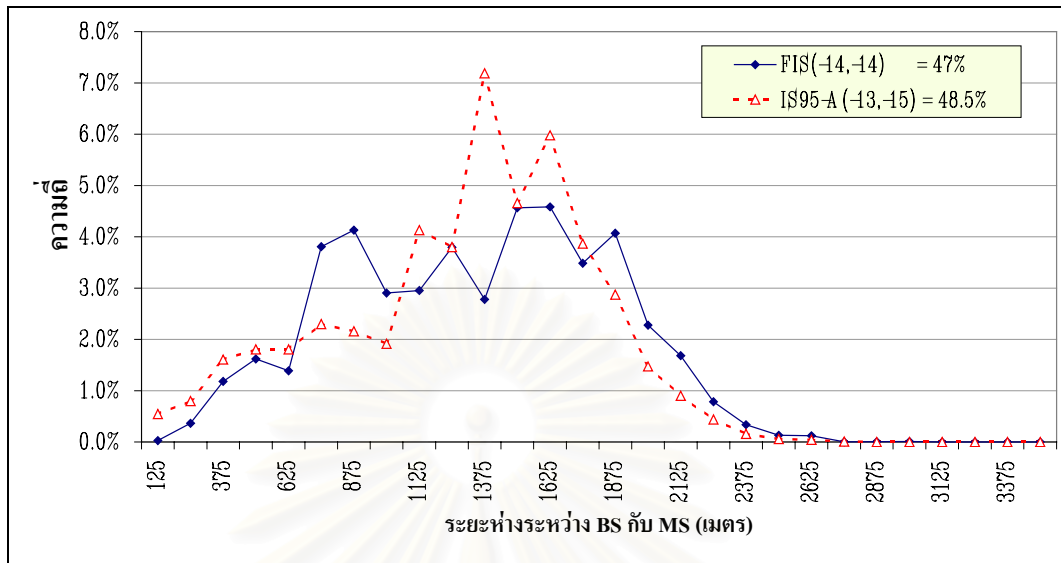
(a)



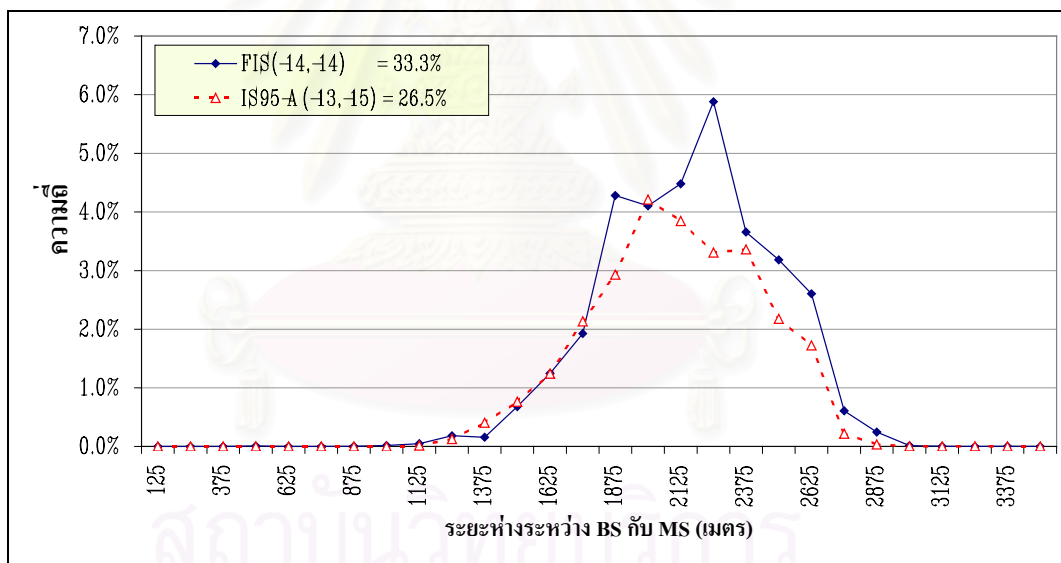
(b)

รูปที่ 4.27 การแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 20 เฮอร์แลง ของ (a) วิธี FIS(-14,-14) และ (b) วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15)

จากรูปที่ 4.27 (a) และ (b) จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวน MS ที่ไม่เกิดชอฟต์แฮนด์ออฟใกล้เคียงกัน โดยที่ระยะห่างใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.28 (a) และเปอร์เซ็นต์ของจำนวน MS ที่เกิดชอฟต์แฮนด์ออฟ โดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานีของวิธี FIS(-14,-14) มากกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-14,-14) ส่วนเปอร์เซ็นต์ของชอฟต์แฮนด์ออฟที่มี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 3 และ 4 สถานีของวิธี FIS(-14,-14) น้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-14,-14) ที่ระยะห่างเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.28 (c) และ (d) ตามลำดับ

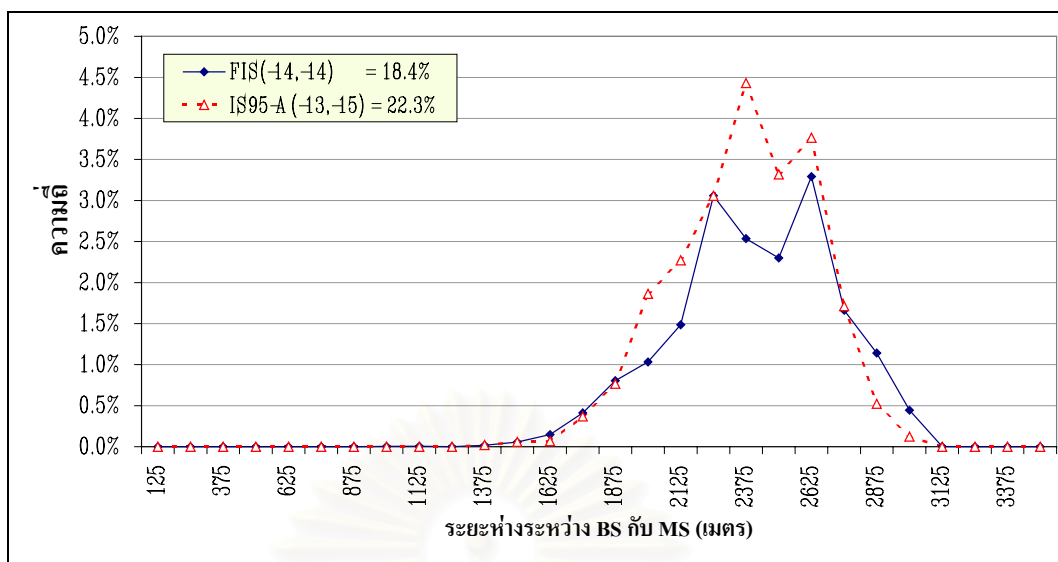


(a)

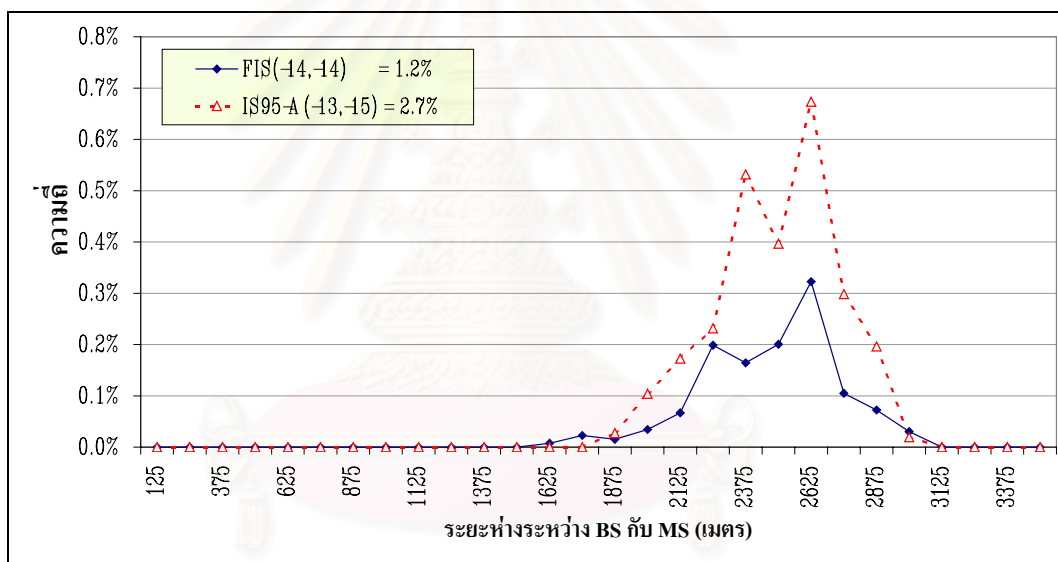


(b)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



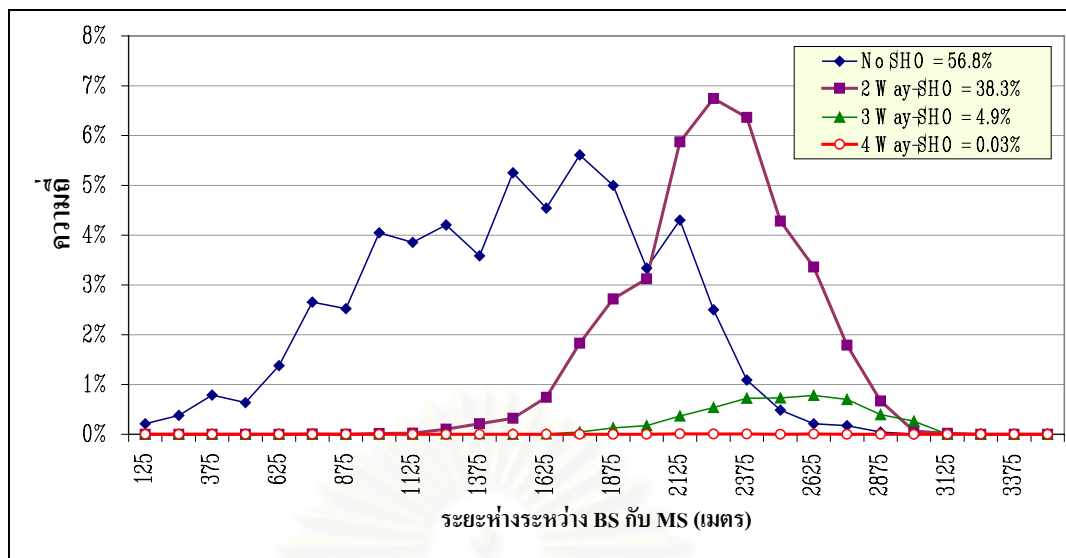
(c)



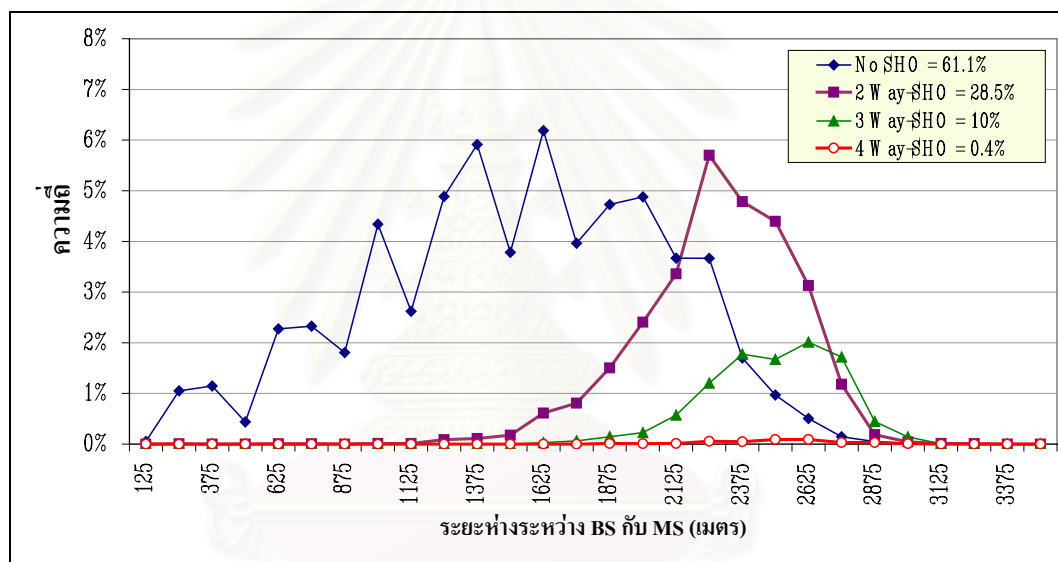
(d)

รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 20 เออร์แดง

- (a) กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ
- (b) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี
- (c) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี
- (d) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี



(a)

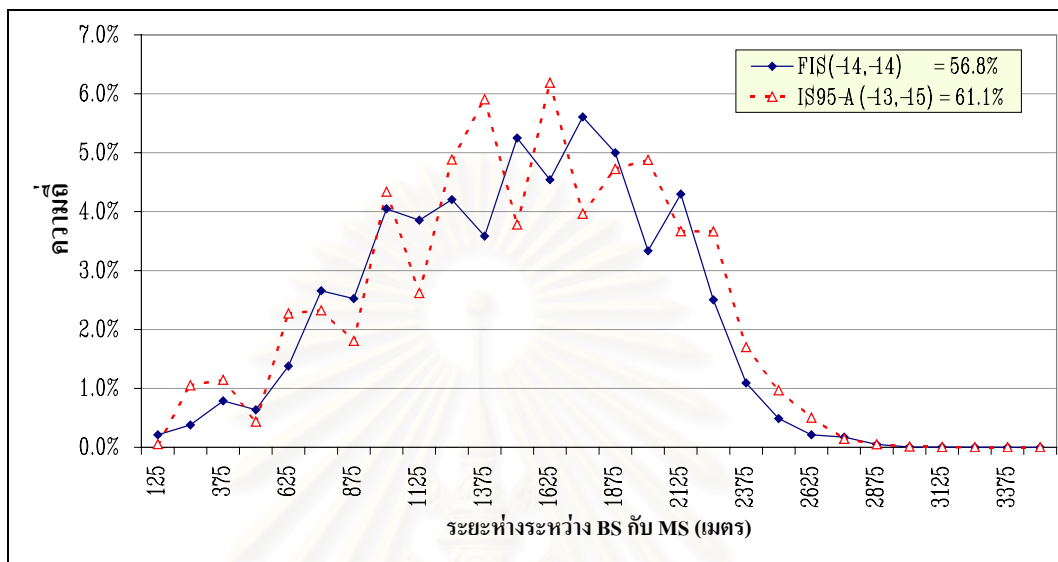


(b)

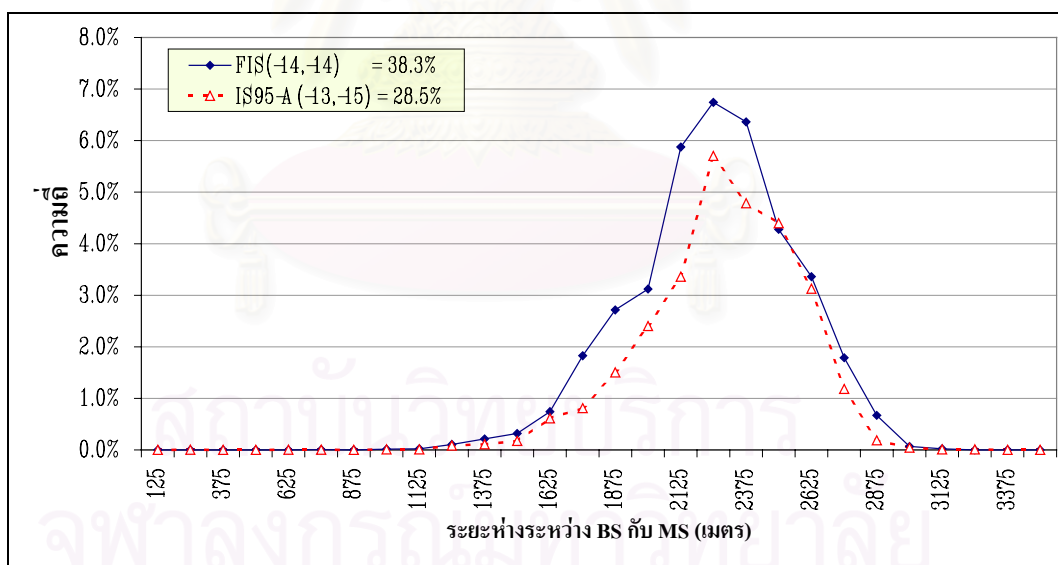
รูปที่ 4.29 การแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 30 เฮอร์แลง ของ (a) วิธี FIS(-14,-14) และ (b) วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15)

จากรูปที่ 4.29 (a) และ (b) จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวน MS ที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ โดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 3 และ 4 สถานีของวิธี FIS(-14,-14) น้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-14,-14) โดยที่ที่ระยะห่างเท่ากันเปอร์เซ็นต์ของจำนวน MS ที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ โดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 ถึง 4 สถานีของวิธี FIS(-14,-14) นั้นน้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-14,-14) ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (b), (c) และ (d) ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้วิธี FIS(-14,-14) สามารถลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น และรองรับโหลดกราฟฟิกที่เข้ามาใหม่ได้ โดยความน่าจะเป็น

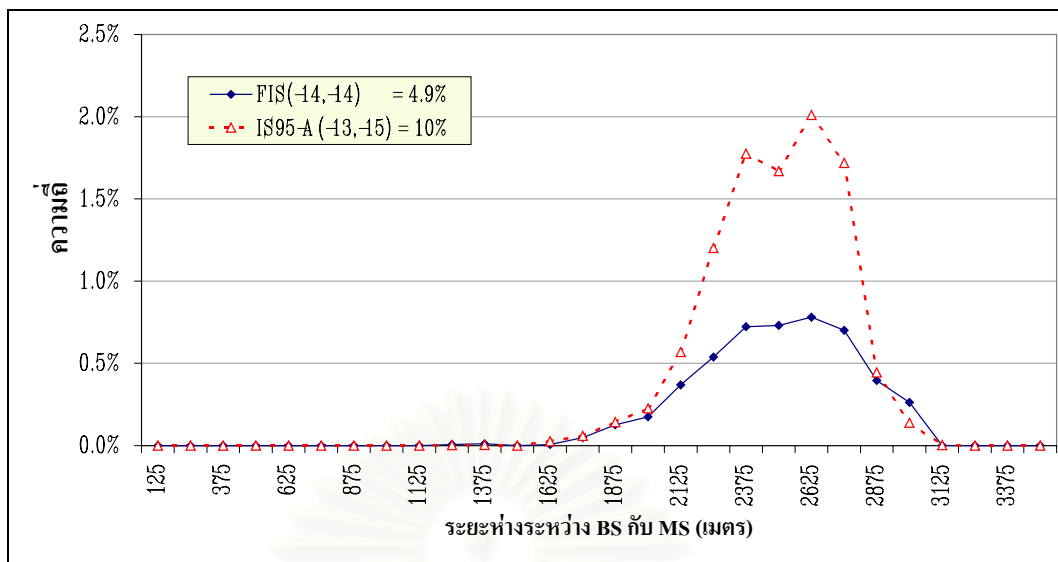
ของการติดตั้งสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



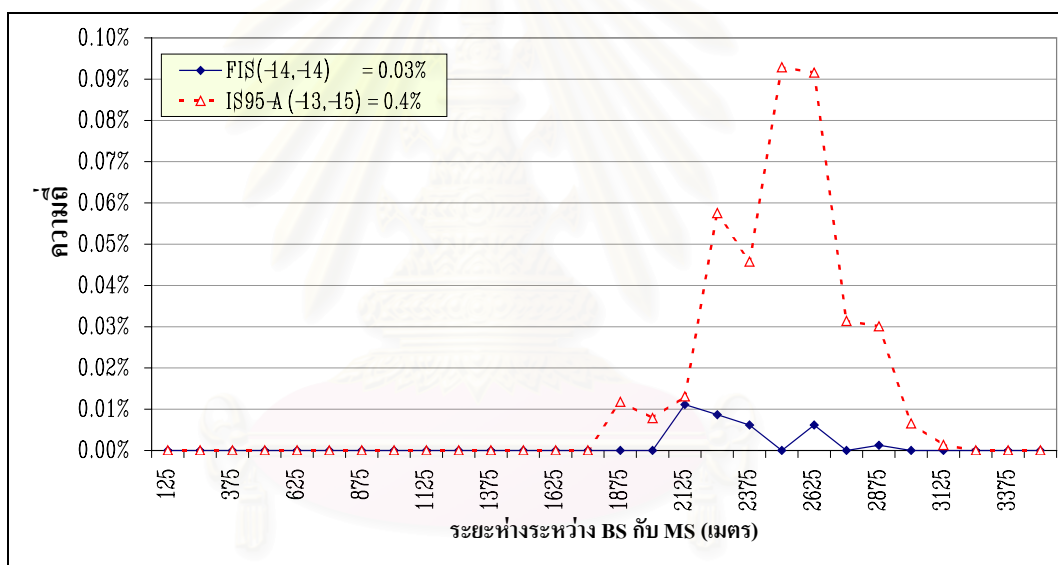
(a)



(b)



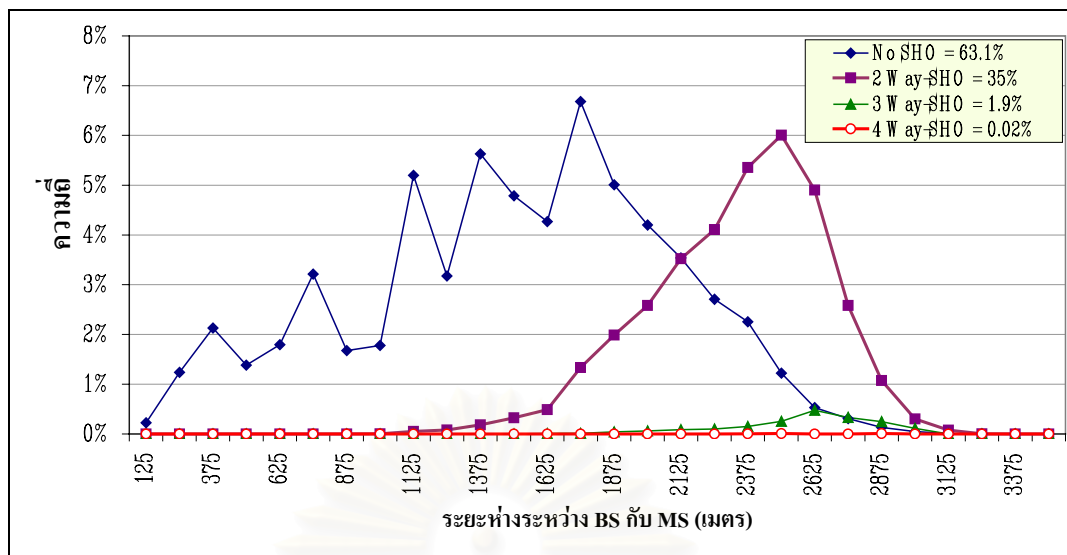
(c)



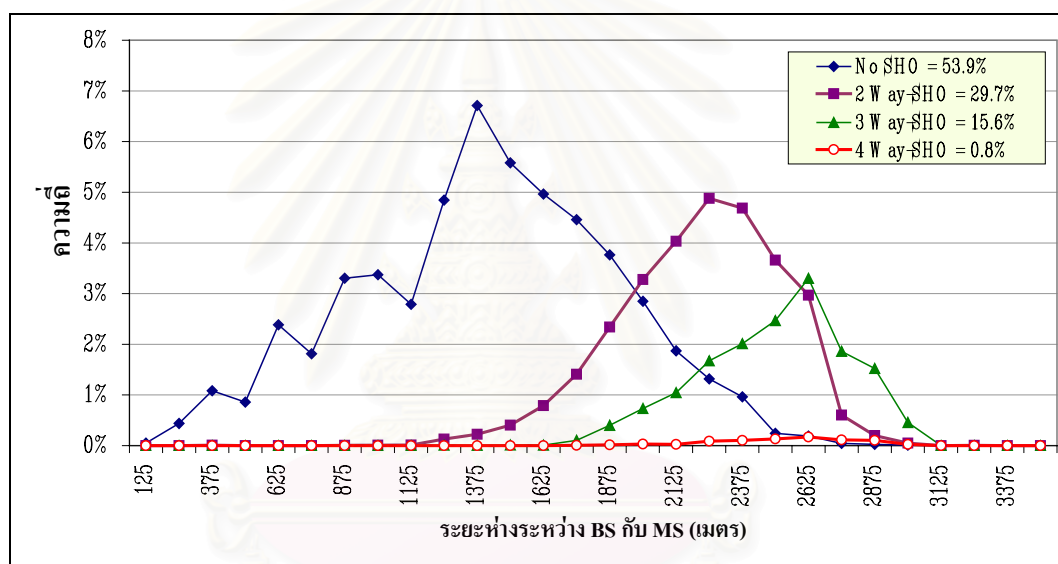
(d)

รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 30 เฮอร์แดง

- (a) กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ
- (b) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี
- (c) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี
- (d) กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี



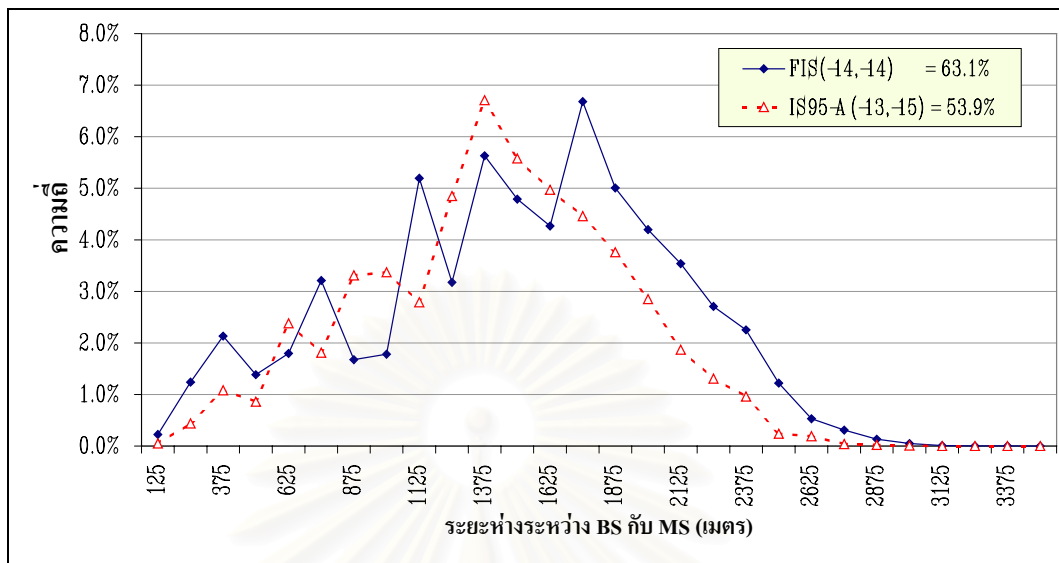
(a)



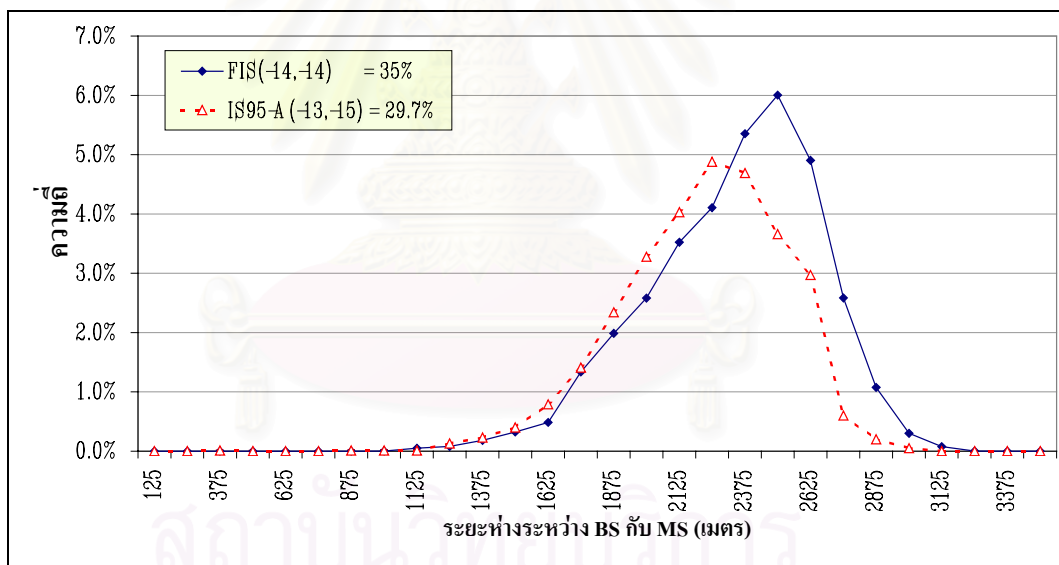
(b)

รูปที่ 4.31 การแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ที่ไหลตรวจพบที่เข้าสู่ระบบ 40 เฮอร์แลง ของ (a) วิธี FIS(-14,-14) และ (b) วิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15)

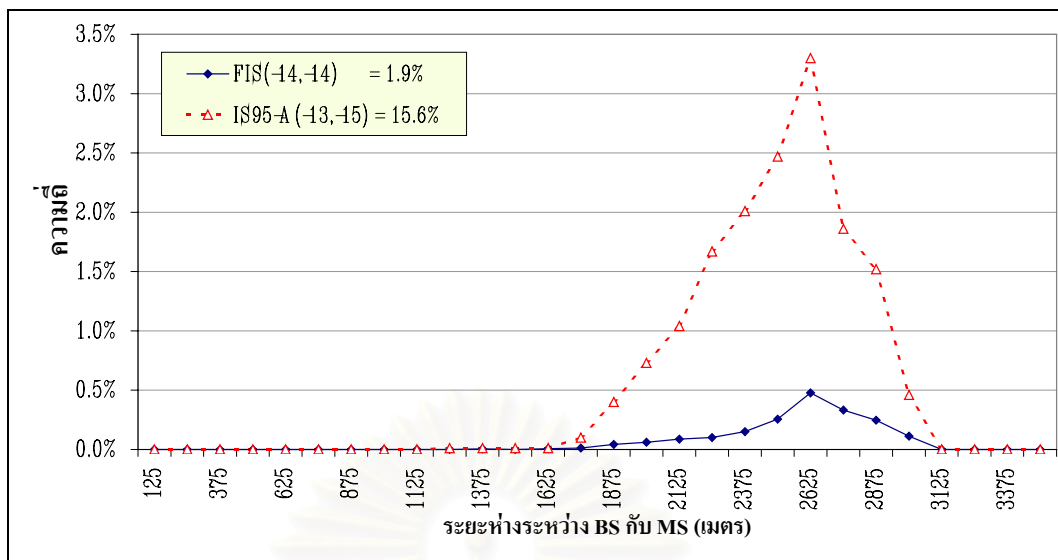
จากรูปที่ 4.31 (a) และ (b) จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวน MS ที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ โดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 3 และ 4 สถานีของวิธี FIS(-14,-14) น้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-14,-14) มาก เมื่อดูจากรูปที่ 4.32 (a) และ (b) จำนวน MS ที่ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟและ MS ที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟโดยมี BS เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 สถานีของ วิธี FIS(-14,-14) อยู่ทีระยะไกลกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-14,-14) มาก ด้วยเหตุนี้วิธี FIS(-14,-14) ลดการเกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่ไม่จำเป็นได้ โดยความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



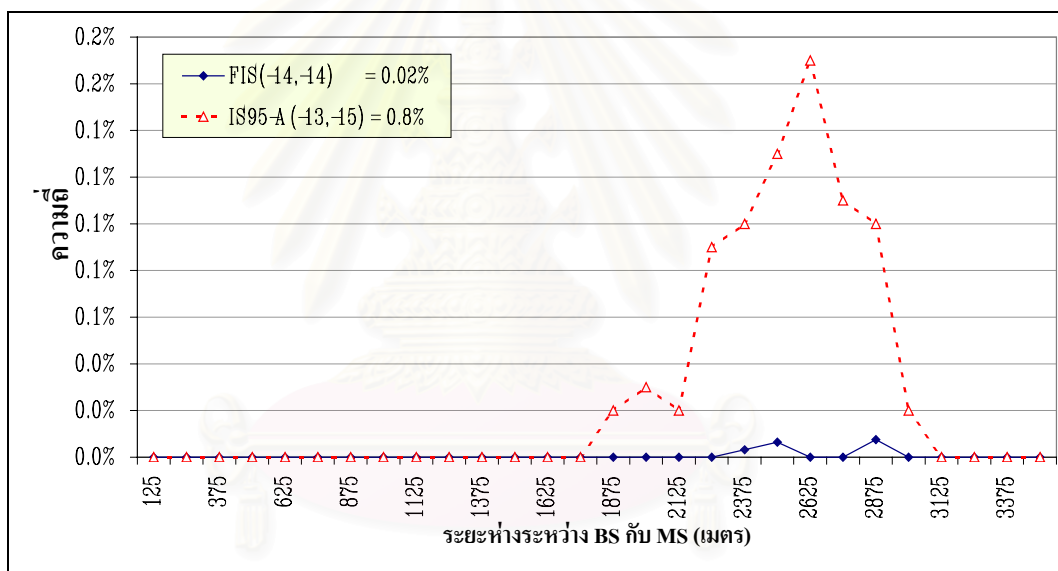
(a)



(b)

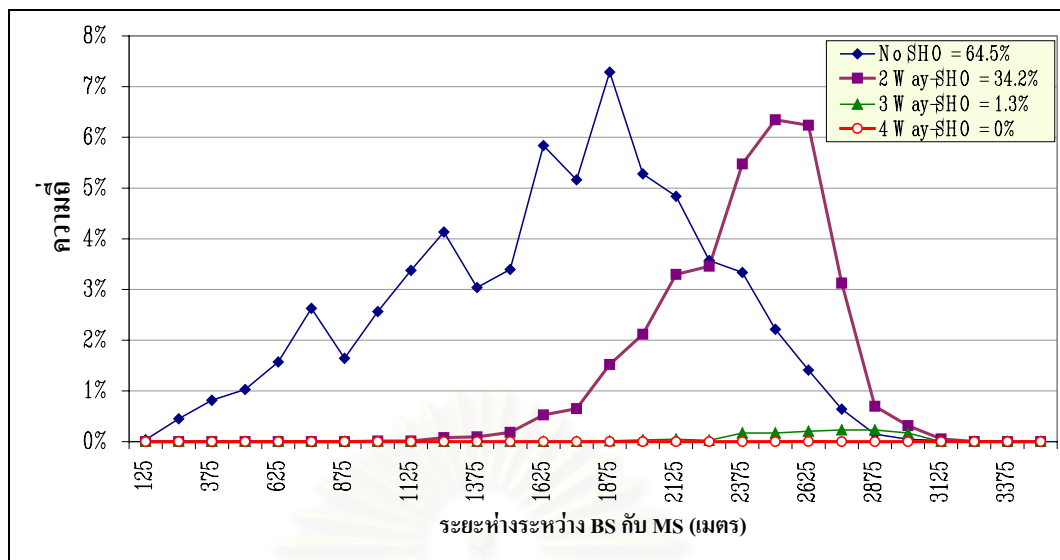


(c)

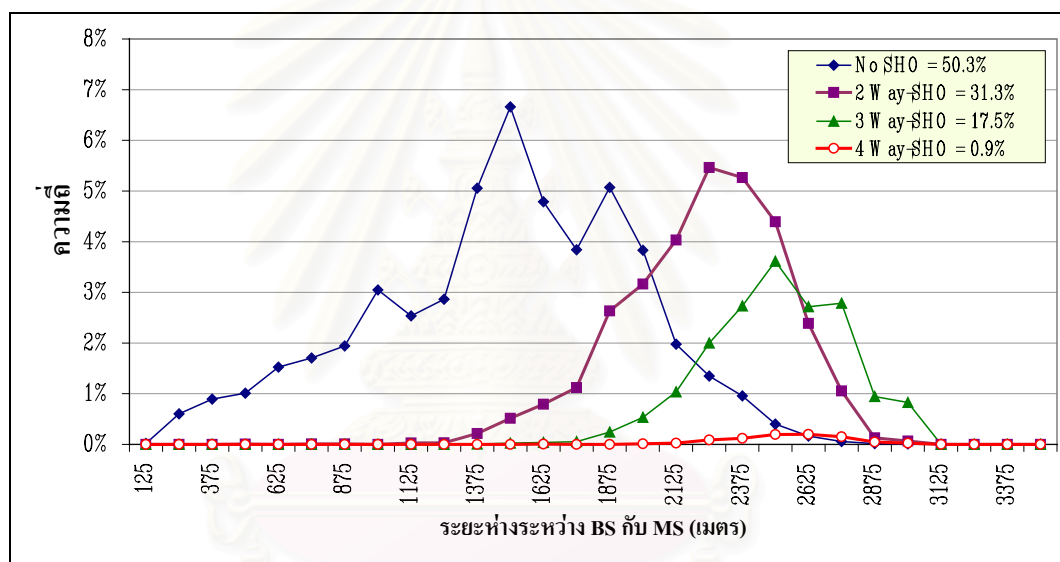


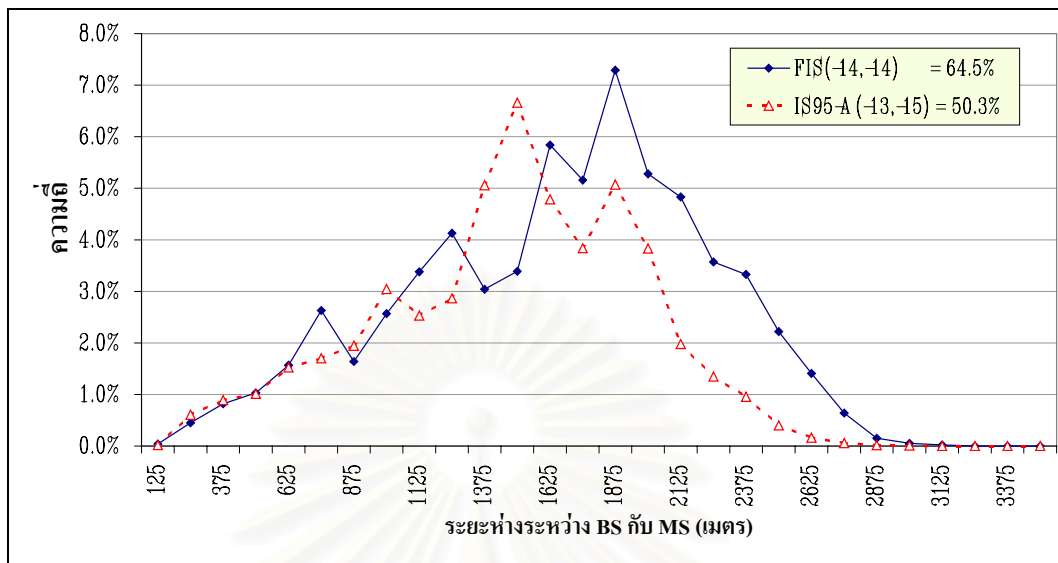
(d)

- รูปที่ 4.32 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 40 เฮอร์แดง
- กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ
 - กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี
 - กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี
 - กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี

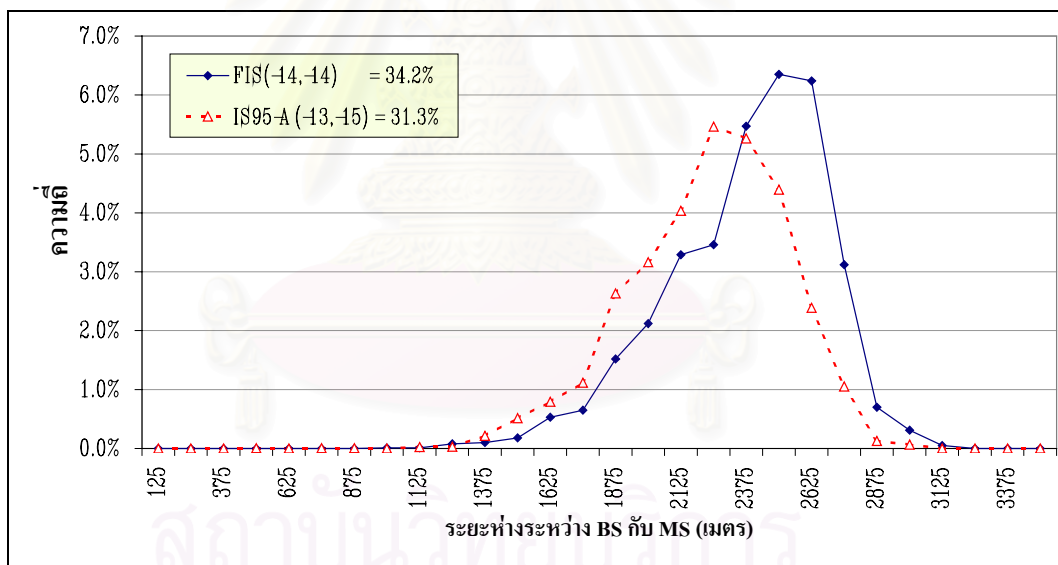


(a)

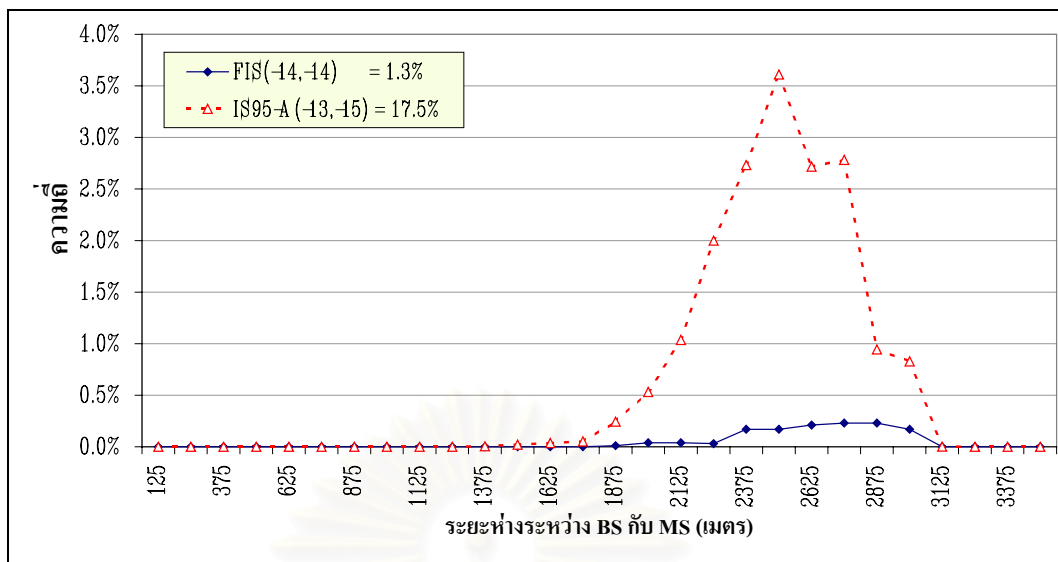




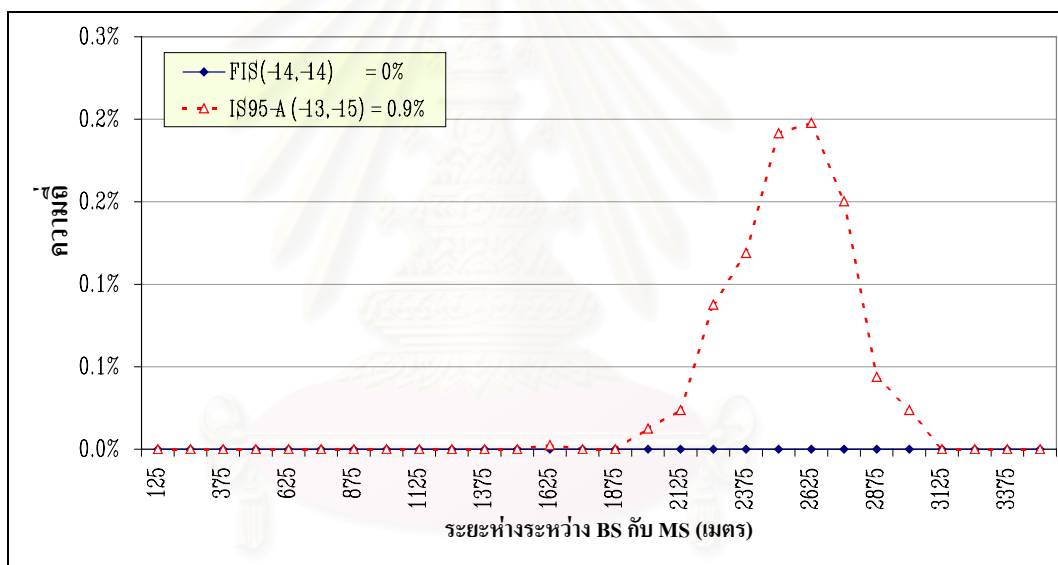
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS กับ MS ของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 50 เออร์แลง

- กรณี MS ไม่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ
- กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 2 สถานี
- กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 3 สถานี
- กรณี MS เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟกับ BS 4 สถานี

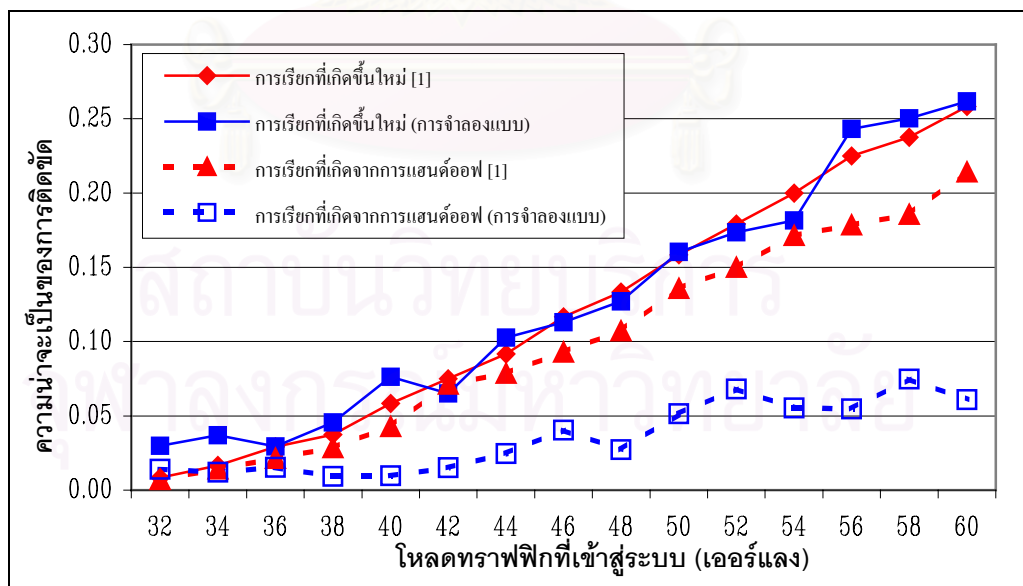
จากผลการแจกแจงระยะห่างระหว่าง BS และ MS ที่แสดงในหัวข้อนี้แสดงให้เห็นว่า วิธี FIS มีความยืดหยุ่นตามโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบคือ เมื่อโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีน้อยวิธี FIS ก็ปรับค่าเริ่มเปลี่ยน T_ADD และ T_DROP ให้น้อยลง เพื่อให้เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟได้มากขึ้น และเมื่อโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีมากวิธี FIS ก็ปรับค่าเริ่มเปลี่ยน T_ADD และ T_DROP สูงขึ้น เพื่อให้เกิดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟได้น้อยลงและมีท่วงศ์เหลือไว้รองรับทราฟฟิกที่เข้ามาใหม่

4.3 ผลการจำลองแบบของวิธีการปรับค่าเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP

4.3.1 การทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นเทียบของกับบทความที่มีผู้นำเสนอไว้

จากวิธีการปรับเฉพาะค่าพารามิเตอร์ T_DROP ที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.6 นั้น สมรรถนะของวิธีการที่แสดงไว้ในบทความ [1] มีเพียงความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ โดยค่าที่อ่านได้แสดงในรูปที่ 4.35

เพื่อทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เท่าที่จะกล่าวไว้ในบทความ [1] มาทำการทดสอบวิธีการปรับค่าเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP ซึ่งผลการจำลองแบบแสดงในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 การเปรียบเทียบระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดที่แสดงในบทความ [1]

กับผลที่ได้จากการจำลองแบบ

รูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับของค่าที่อ่านได้จากบทความ [1] ที่นำเสนอไว้ ส่วนความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าของค่าที่อ่านได้จากบทความ [1] ที่นำเสนอไว้ ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ 60 เออร์แลง ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมากกว่าของค่าที่อ่านได้จากบทความ [1] ที่นำเสนอไว้เท่ากับ 1% และความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของค่าที่อ่านได้จากบทความ [1] สูงกว่าของค่าจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นเท่ากับ 350%

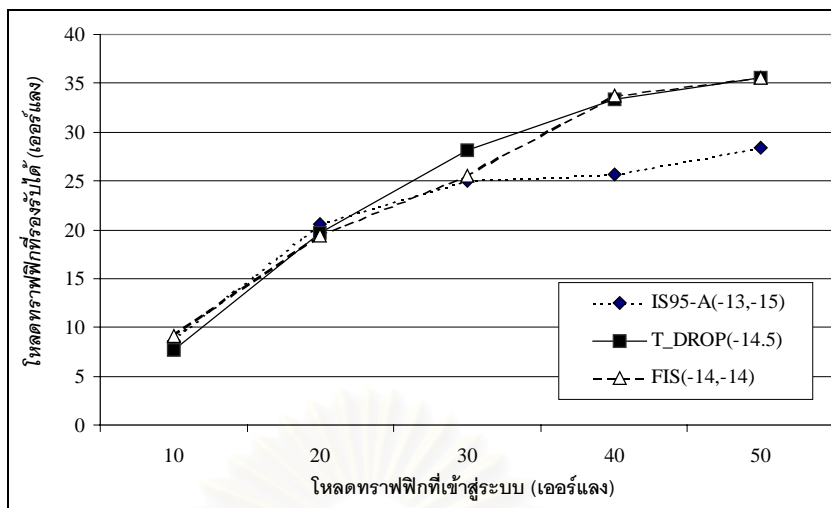
จากผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.35 นั้น แสดงว่าแบบจำลองและอัลกอริทึมซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟที่สร้างขึ้นนั้นให้ผลการจำลองแบบที่ดีกว่าในบทความ [1] ซึ่งจะได้นำอัลกอริทึมดังกล่าวมาใช้กับแบบจำลองของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.5 เพื่อเปรียบเทียบกับของวิธี IS95-A และของวิธี FIS ที่นำเสนอต่อไป

4.3.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธีตามมาตรฐาน IS95-A, วิธีการปรับค่าเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP และวิธี FIS

ในการจำลองแบบตามแบบจำลองที่ได้เสนอในหัวข้อที่ 2.6 นั้น จะใช้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบเท่ากับ -13 และ -15 dB ตามลำดับ [5] เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธีตามมาตรฐาน IS95-A, วิธีการปรับเฉพาะค่าพารามิเตอร์ T_DROP และวิธี FIS ที่นำเสนอ โดยวิธีการปรับเฉพาะค่าพารามิเตอร์ T_DROP จะเลือก T_DROP(-14.5) ซึ่งค่า T_DROP ใหม่เท่ากับ -14.5 dB (T_DROP+0.5 [1]) เมื่อโหลดทราฟฟิกของระบบ ณ ขณะนั้นสูงตามอัลกอริทึมในรูปที่ 2.9 และสำหรับวิธี FIS ที่นำเสนอเลือก FIS(-14,-14) จากหัวข้อที่

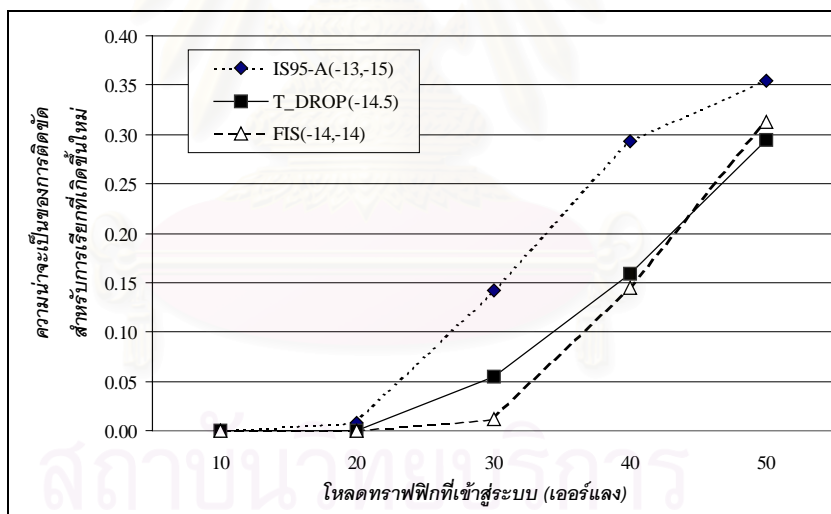
4.2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



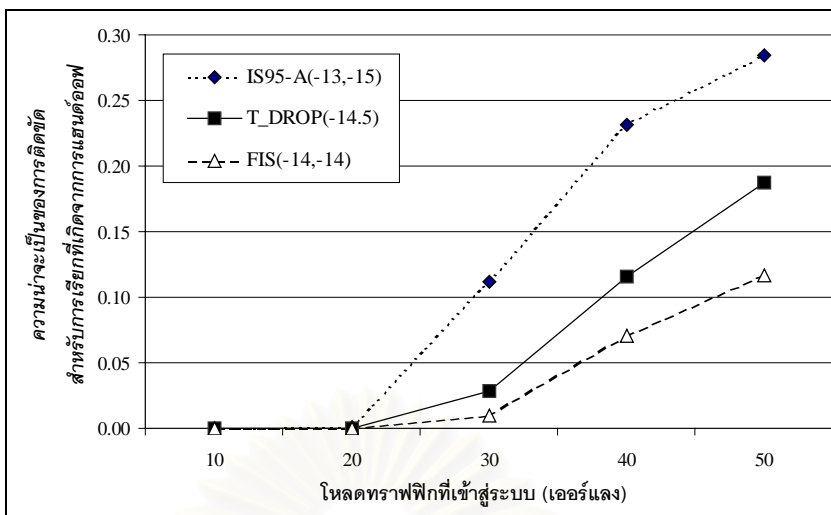
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_C) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 4.36 เป็นปริมาณโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ในสภาวะทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบต่างๆ จะเห็นว่าวิธี FIS(-14,-14) และวิธี T_DROP(-14.5) สามารถรองรับโหลดทราฟฟิกได้ใกล้เคียงกัน และสูงกว่าวิธีตามมาตรฐาน IS95-A ที่มีค่าพารามิเตอร์แบบตายตัว โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง T_C ของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธี T_DROP(-14.5) สูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A อยู่ 25%



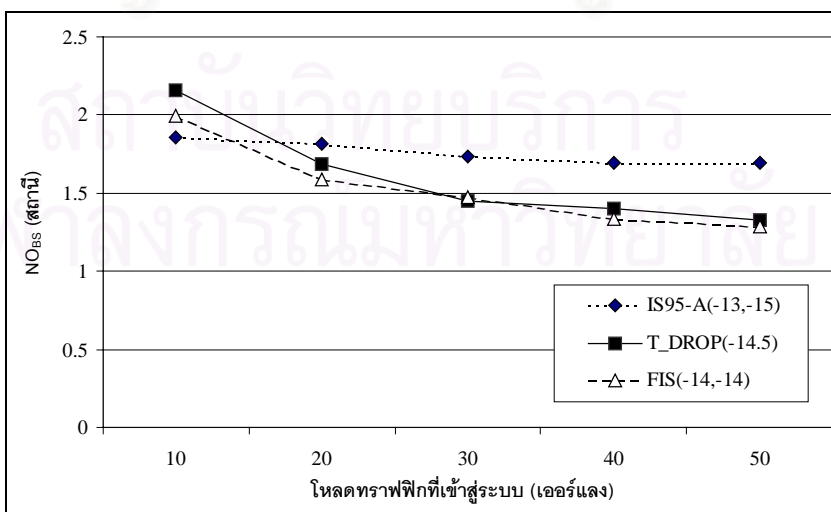
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 4.37 ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธี FIS(-14,-14) และวิธี T_DROP(-14.5) ขณะที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ของวิธี FIS(-14,14) และวิธี T_DROP(-14.5) มีค่าน้อยกว่าที่ได้จากวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 16.68% และ 11.48% ตามลำดับ ขณะที่โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้สูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A ดังแสดงรูปที่ 4.36



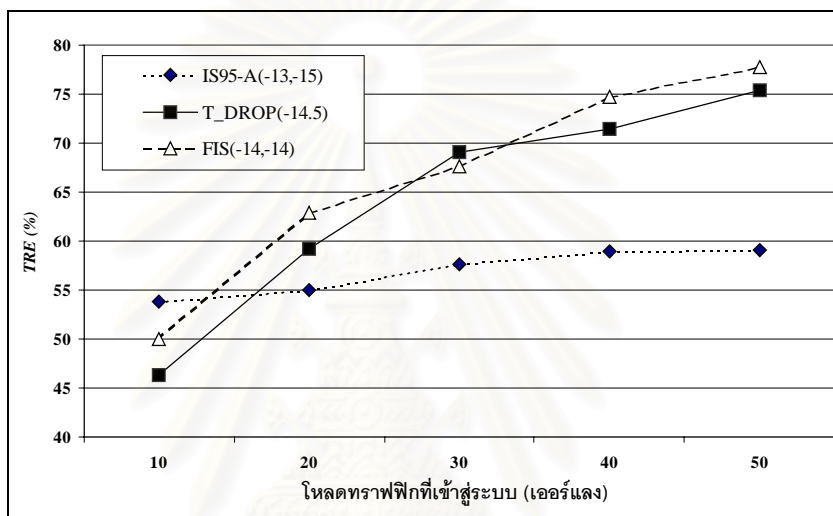
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 4.38 ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A นั้นมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธี FIS(-14,-14) และวิธี T_DROP(-14.5) ขณะที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น โดยมีเหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ โดยมีความแตกต่างจากกรณีของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่คือวิธี FIS(-14,-14) จะให้ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟน้อยกว่าของวิธี T_DROP(-14.5) โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เออร์แลง ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของวิธี FIS(-14,14) และของวิธี T_DROP(-14.5) มีค่าน้อยกว่าที่ได้จากวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 58.85% และ 33.89% ตามลำดับ

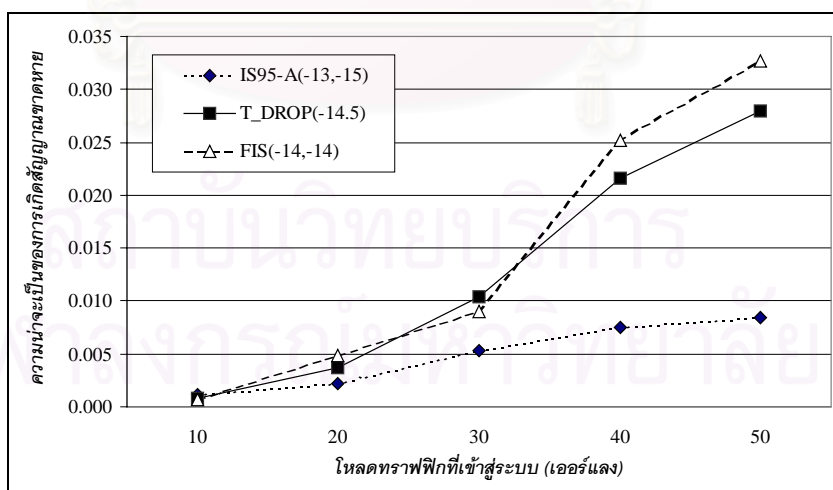


รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

ในรูปที่ 4.39 NO_{BS} ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A จะมีค่าสูงกว่าของวิธี T_DROP(-14.5) และวิธี FIS(-14,-14) ซึ่งส่งผลให้ค่า TRE ของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับของวิธีทั้ง 2 วิธี ดังแสดงในรูปที่ 4.40 โดยที่ที่โหลดกราฟฟิคที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แดง NO_{BS} ของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธี T_DROP(-14.5) จะมีค่าน้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 23.94% และ 21.57% ตามลำดับและ TRE ของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธี T_DROP(-14.5) จะมีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 18.61% และ 16.27% ตามลำดับ



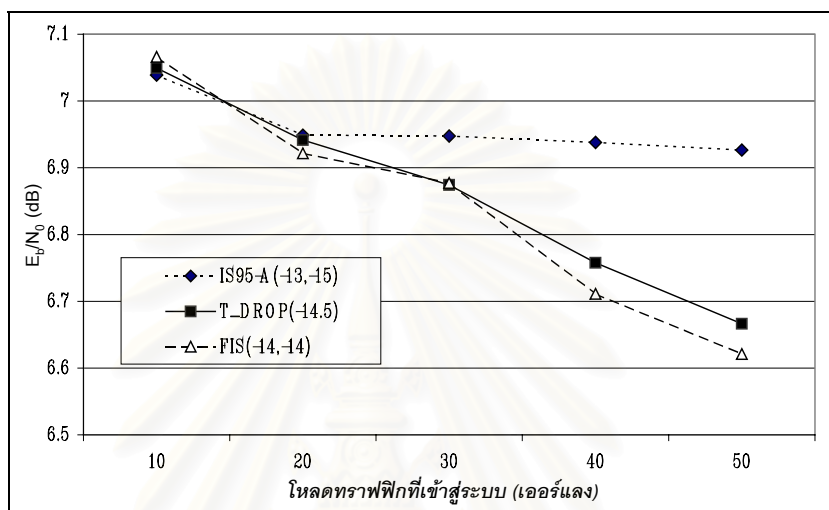
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดกราฟฟิคที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลดกราฟฟิคที่เข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 4.41 ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายของทั้งวิธี FIS(-14,-14) และวิธี T_DROP(-14.5) สูงกว่าค่าได้จากวิธีตามมาตรฐาน IS95-A ที่โหลดกราฟฟิคที่เข้าสู่ระบบตั้งแต่

20 ถึง 50 เฮอร์แลง เนื่องจากโพลทกราฟฟีกที่รองรับได้และ TRE ของวิธีทั้ง 2 วิธีนั้นสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A ดังแสดงในรูปที่ 4.36 และ 4.40 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธี FIS(-14,-14) กับวิธี T_DROP(-14.5) โดยที่โพลทกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบตั้งแต่ 40 ถึง 50 เฮอร์แลง จะมีความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี FIS(-14,-14) สูงกว่าของวิธี T_DROP(-14.5) แต่ค่าของวิธีทั้งสองวิธีที่ยอมรับได้คือไม่เกิน 0.1 [4]



รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_b/N_0 กับโพลทกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.42 แสดงค่า E_b/N_0 เมื่อปริมาณทราฟฟีกโพลทที่เข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น ค่า E_b/N_0 ของวิธี FIS(-14,-14) ที่ได้มีค่าต่ำกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และของวิธี T_DROP(-14.5) แต่ค่าของ E_b/N_0 ยังไม่ต่ำกว่า 6.5 dB ดังนั้นจึงมีคุณภาพที่ดีเพียงพอ [17]

4.4 ผลการจำลองแบบของวิธีการปรับทั้งพารามิเตอร์ T_ADD และ T_DROP

4.4.1 การทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นเทียบกับของบทความที่มีผู้นำเสนอไว้

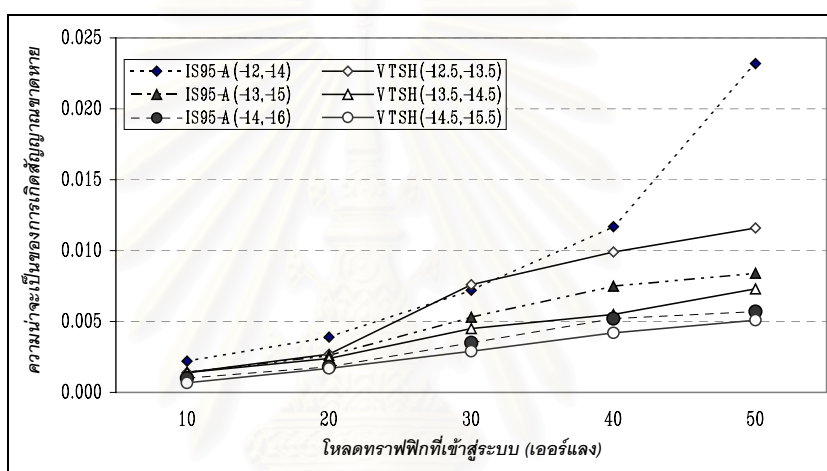
วิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง T_ADD และ T_DROP ด้วยวิธี VTSH ในหัวข้อที่ 2.7 มีการแสดงผลเพียงความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายเพียงอย่างเดียว แบบจำลองและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในบทความ [2] ไม่แจกแจงละเอียดเท่าที่ควรและค่าพารามิเตอร์ตัวหนึ่งคือการเข้ามาของการเรียกได้กำหนดให้เท่ากับ 3-6 การเรียกต่อเซลล์ต่อวินาที เมื่อพิจารณาแล้วไม่มีระบบใดที่มีทราฟฟีกตามที่ [2] กล่าวมา

หัวข้อนี้จะได้นำแนวคิดของอัลกอริทึม VTSH ใน [2] มาใช้ โดยประยุกต์กับแบบจำลองในหัวข้อที่ 3.4 และกำหนดค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบและค่าใหม่ของ T_ADD และ T_DROP เมื่อโพลทกราฟฟีกสูงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของระบบและค่าใหม่ของพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้จากวิธี

VTSH เมื่อโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูง

ค่าเริ่มต้นของระบบ (dB)		ค่าใหม่เมื่อทราฟฟิกสูง (dB)		ชื่ออ้างอิงใน ผลการจำลองแบบ
T_ADD	T_DROP	T_ADD	T_DROP	
-12	-14	-12.5	-13.5	VTSH(-12.5,-13.5)
-13	-15	-13.5	-14.5	VTSH(-13.5,-14.5)
-14	-16	-14.5	-15.5	VTSH(-14.5,-15.5)

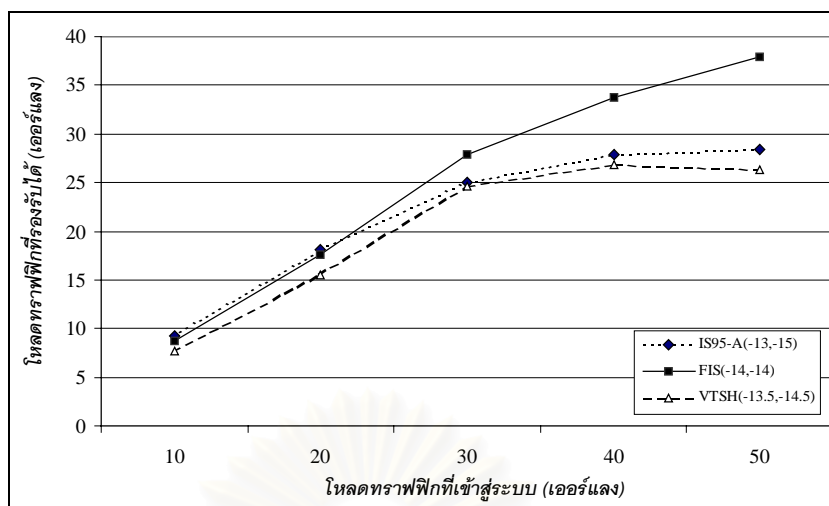


รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ในการจำลองแบบด้วยแบบจำลองที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ที่ค่าของ T_ADD และ T_DROP ตามตารางที่ 4.3 โดยความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี VTSH สำหรับค่าเริ่มต้นต่างๆ ค่าของ T_ADD และ T_DROP ของระบบต่างๆ น้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A ที่ค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP เท่ากัน ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับบทความ [2] ดังแสดงในรูปที่ 4.43

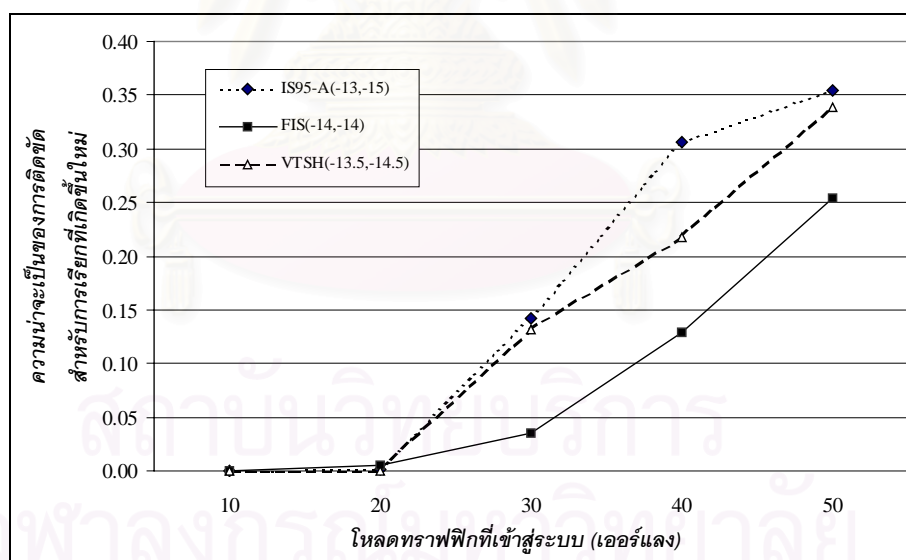
4.4.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธีตามมาตรฐาน IS95-A, วิธี VTSH และวิธี FIS

พิจารณาค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP เท่ากับ -13 และ -15 dB และค่า T_ADD ใหม่และ T_DROP ใหม่ของวิธี VTSH เท่ากับ -13.5 และ -14.5 dB ตามลำดับ เมื่อโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูง จะได้ผลการจำลองแบบซึ่งเปรียบเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และวิธี FIS ดังต่อไปนี้

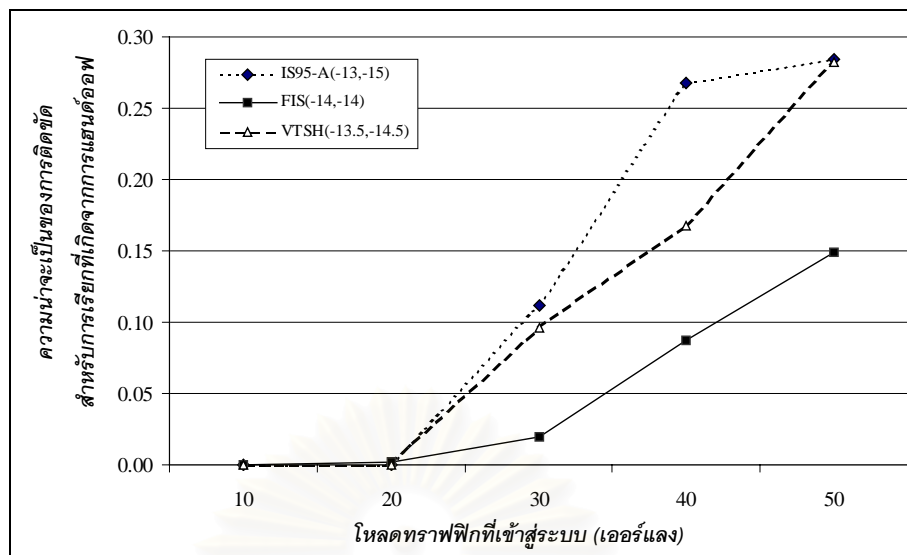


รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 4.44 T_c ของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) มีค่าน้อยกว่าของวิธี FIS(-14,-14) และของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง T_c ของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) น้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A ถึง 7.27% ขณะที่ของวิธี FIS(-14,-14) สูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A อยู่ 33.24%

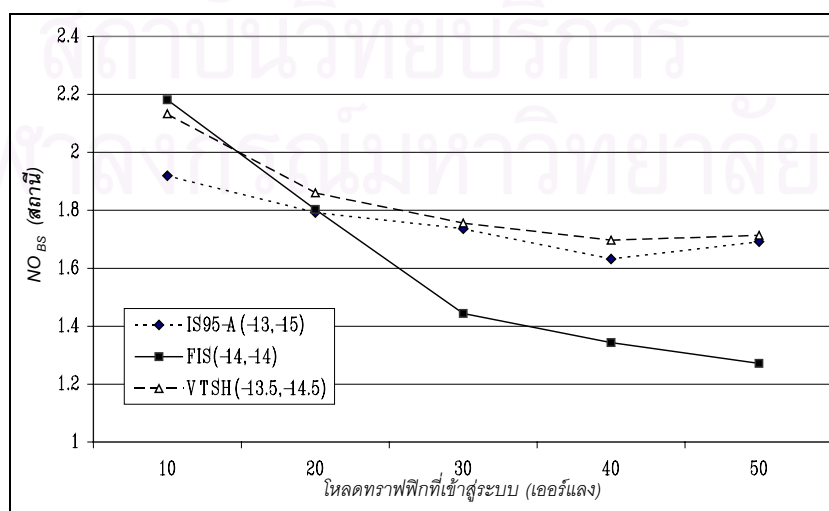


รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ



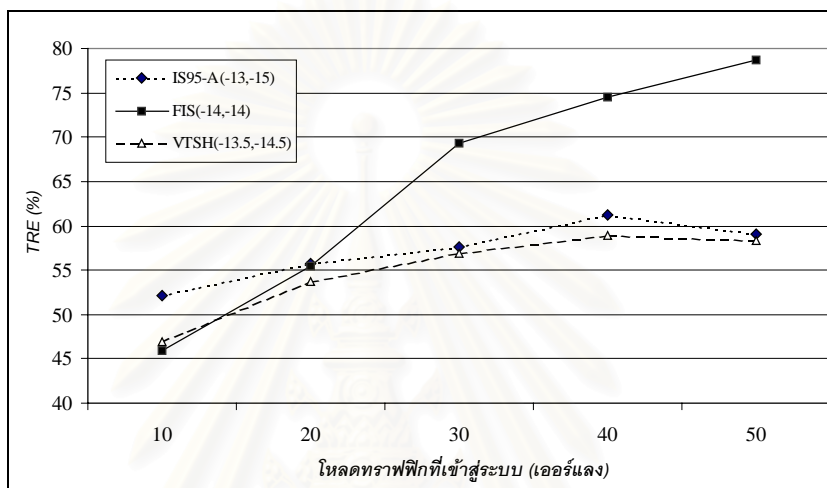
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และการแชนด์ออฟที่เฝ้าจากการแชนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

เมื่อเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการติดขัดทั้งสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแชนด์ออฟ ตามรูปที่ 4.45 และ 4.46 พบว่าของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) มีค่าน้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A แต่สูงกว่าของ FIS(-14,-14) ทั้งๆ ที่วิธี VTSH(-13.5,-14.5) สามารถรองรับโหลดทราฟฟิกได้น้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 4.44 โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เออร์แลง ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) และของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าน้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 4.15% และ 28.15% ตามลำดับและความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ที่เกิดจากการแชนด์ออฟของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) และของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าน้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 47.45% และ 0.39% ตามลำดับ



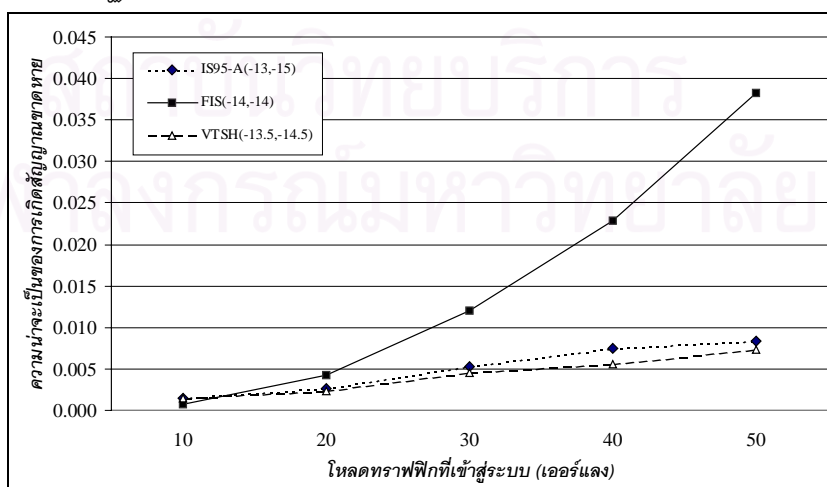
รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.47 ค่า NO_{BS} ของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) มีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และของวิธี FIS(-14,-14) ที่โหลดกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเรียกที่เกิดซอฟต์แวร์แฮนด้ออฟมากกว่าของวิธีอื่น และทำให้รองรับโหลดกราฟฟีกได้น้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 4.44 โดยที่ที่โหลดกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง NO_{BS} ของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) มีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 1.30% ส่วน NO_{BS} ของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 24.82%



รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบ

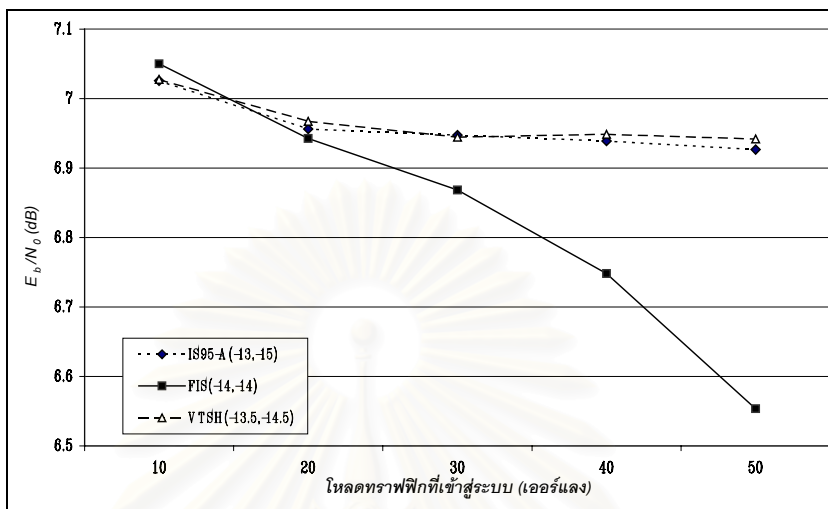
TRE ของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) น้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A และวิธี FIS(-14,-14) ที่โหลดกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบสูงดังแสดงในรูปที่ 4.48 โดยมีเหตุผลเช่นเดียวกับกรณี NO_{BS} โดยที่ที่โหลดกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง NO_{BS} ของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) มีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 0.76% ส่วน NO_{BS} ของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เท่ากับ 19.52%



รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับ

โหลดกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบ

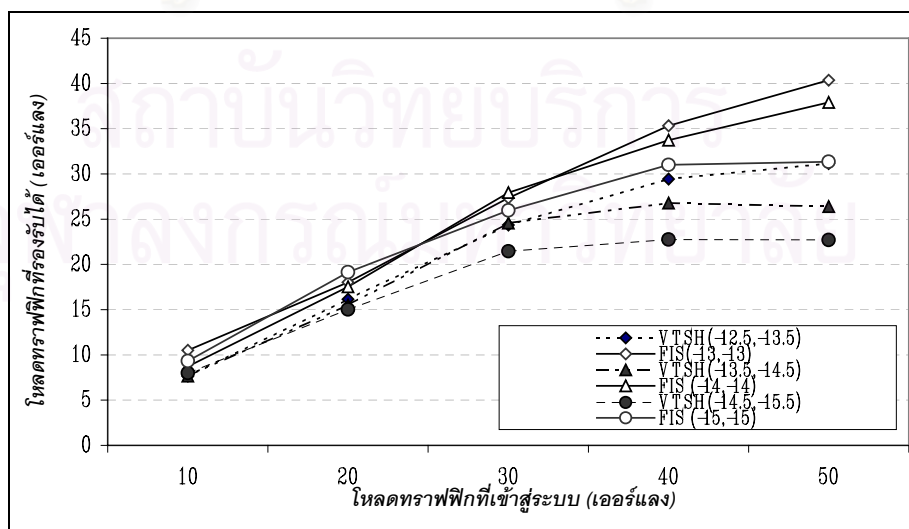
รูปที่ 4.49 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) น้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เล็กน้อย ขณะที่ของวิธี FIS(-14,-14) มีค่าสูงกว่าของวิธีการอื่นที่สภาวะโหลดกราฟฟิกสูงขึ้น ซึ่งก็ยังคงยอมรับได้คือน้อยกว่า 0.1 [4]



รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_b/N_0 กับโหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

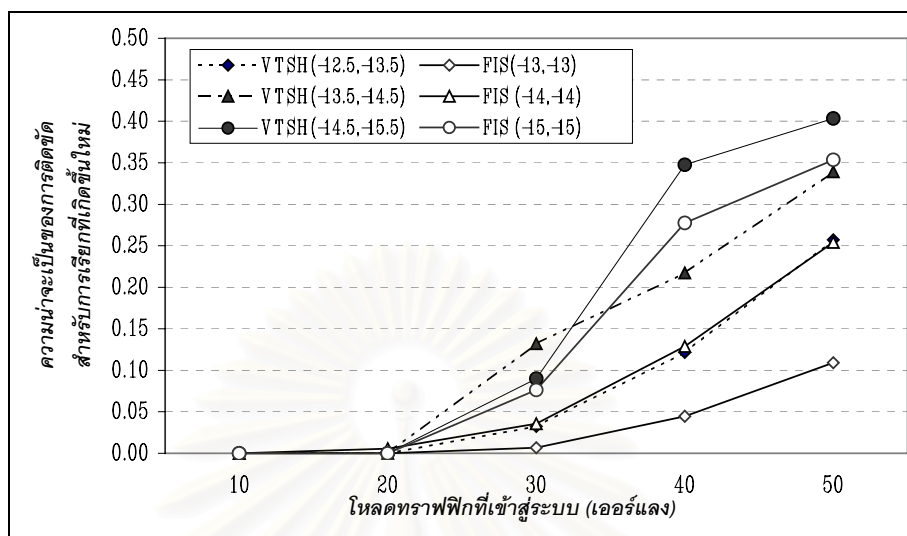
จากรูปที่ 4.50 ค่า E_b/N_0 ของวิธี VTSH(-13.5,-14.5) สูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เล็กน้อย ขณะที่วิธี FIS(-14,-14) ให้ค่า E_b/N_0 น้อยกว่าวิธีการอื่นที่สภาวะโหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูงขึ้น แต่ยังมีค่าสูงกว่า 6.5 dB ซึ่งยังคงมีคุณภาพที่ยอมรับได้ [17]

4.4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี VTSH กับวิธี FIS เมื่อเปลี่ยนค่าเริ่มต้นของ T_{ADD} และ T_{DROP} ของระบบ

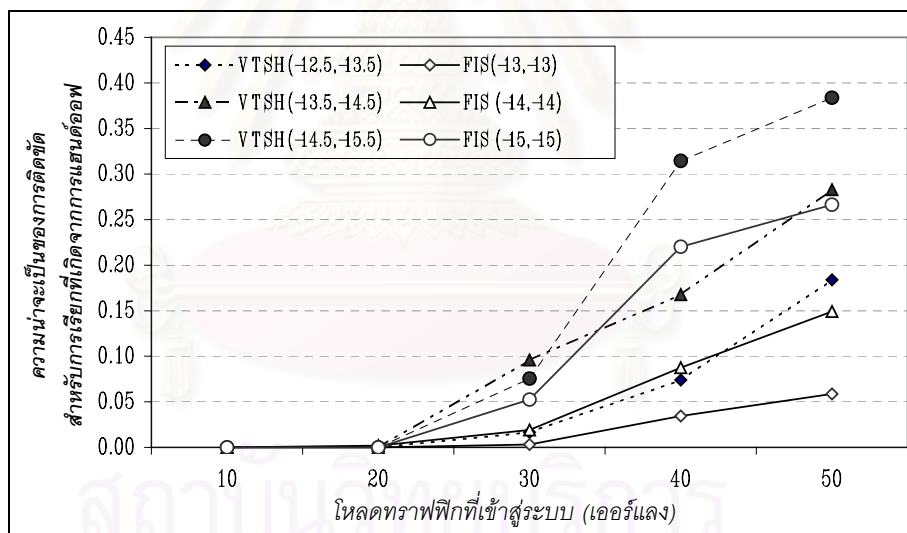


รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดกราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

โพลทกราฟฟีกที่รองรับได้ของวิธี FIS ทั้งหมดมีค่าสูงกว่าของวิธี VTSH สำหรับค่าเริ่มต้น
ทุกๆ ค่าของ T_ADD และ T_DROP ของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.51

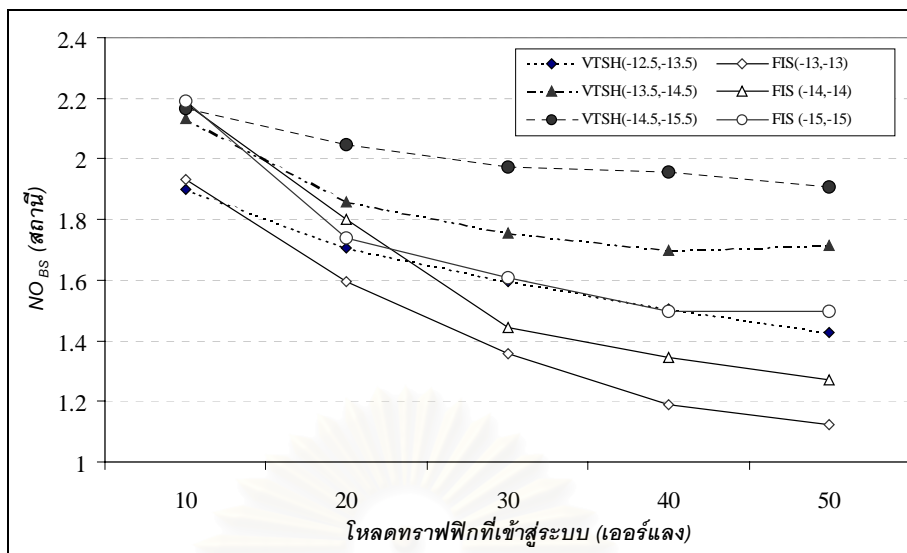


รูปที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับ
โพลทกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบ



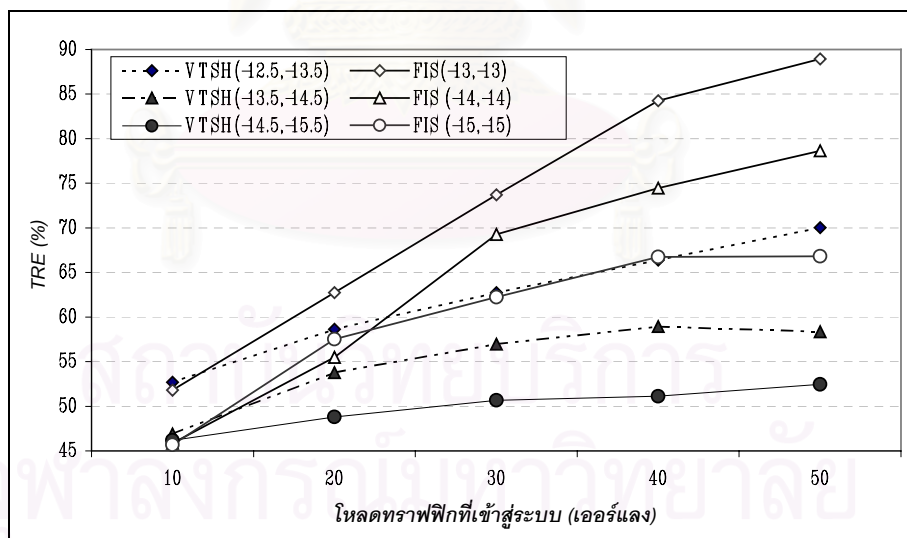
รูปที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจาก
การแชนด์ออฟกับโพลทกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบ

สำหรับความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแชนด์ออฟนั้น ค่าที่ได้จากวิธี FIS จะมีค่าน้อยกว่าของที่ได้จากวิธี VTSH ที่ค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบเท่ากัน ที่โพลทกราฟฟีกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 30 ถึง 50 เออร์แลงดังแสดงในรูปที่ 4.52 และ 4.53 ตามลำดับ



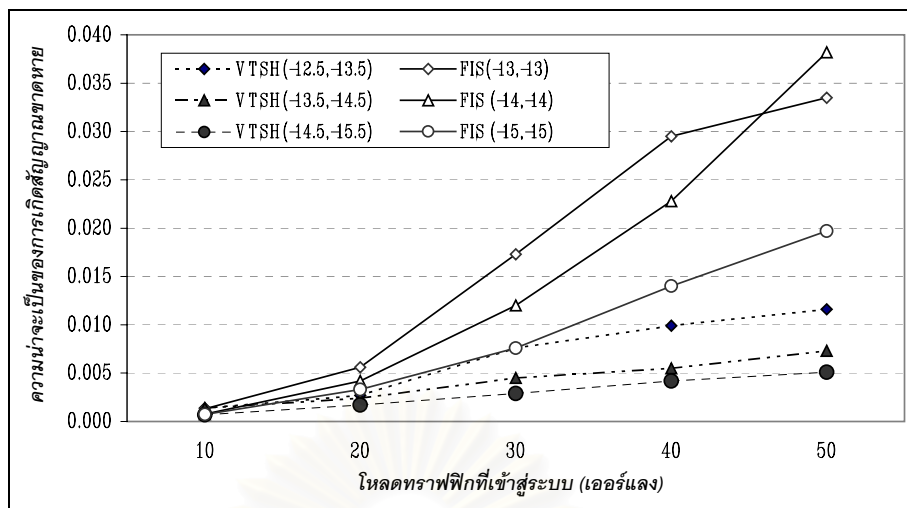
รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.54 แสดงให้เห็นว่าวิธี FIS สามารถลดการแฮนด์ออฟที่ไม่จำเป็นได้โดยค่า NO_{BS} ขณะที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูงมีค่าน้อยกว่าของวิธี VTSH ที่ค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบเท่ากัน เป็นผลให้โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้สูงกว่าและความน่าจะเป็นของการติดขัดทั้ง 2 ชนิดน้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.51 ถึง 4.53



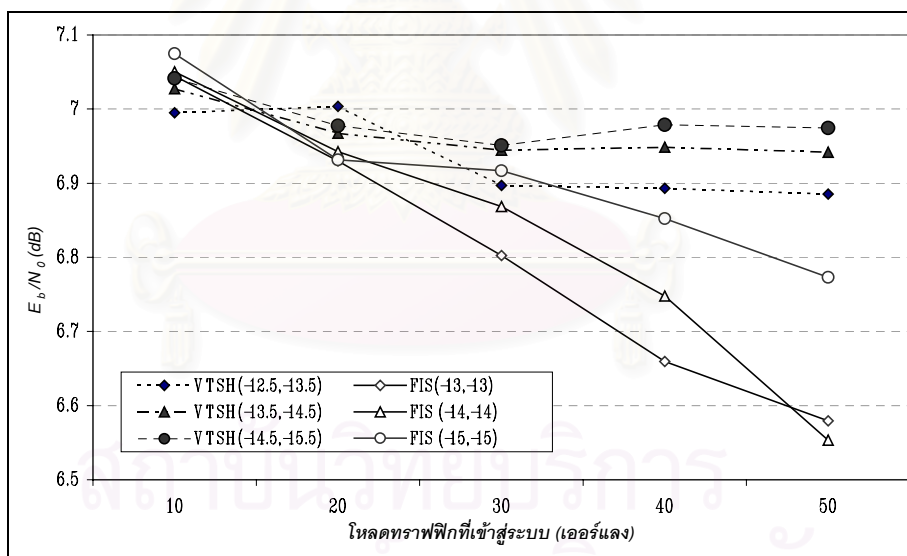
รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.55 สอดคล้องกับผลในรูปที่ 4.54 โดยค่า TRE ของวิธี FIS มีค่าสูงกว่าของวิธี VTSH ที่ค่าเริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบเท่ากันเมื่อโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีค่าสูง



รูปที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับ โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.56 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี FIS สูงกว่าของวิธี VTSH เนื่องจากวิธี FIS สามารถรองรับโหลดทราฟฟิกได้สูงกว่า แต่ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายนั้นยังอยู่ในค่าที่ยอมรับได้คือน้อยกว่า 0.1 [4]

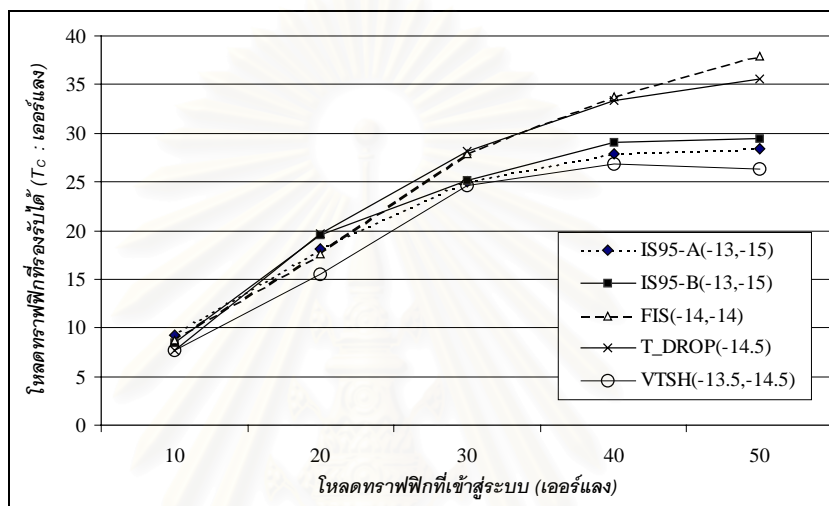


รูปที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_b/N_0 กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

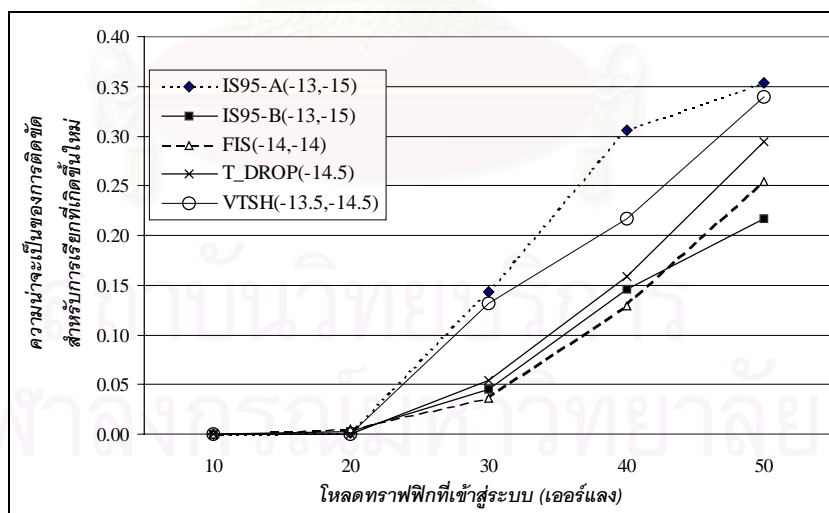
รูปที่ 4.57 แสดงให้เห็นว่าค่า E_b/N_0 ของวิธี FIS น้อยกว่าของวิธี VTSH แต่ยังคงสูงกว่า 6.5 dB ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ [17] ด้วยเหตุผลเดียวกับกรณีของความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย

4.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ

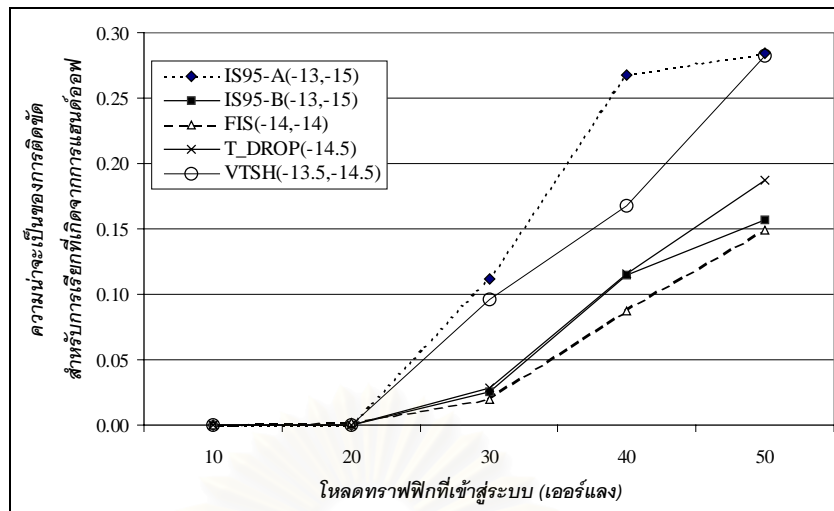
หัวข้อที่ 4.2 ถึง 4.4 เป็นการแสดงสมรรถนะของการจำลองแบบในวิธีต่างๆ แยกจากกัน ส่วนในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงสมรรถนะของวิธีต่างๆ วิธีที่แสดงในหัวข้อที่ผ่านมา โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบเท่ากับ -13 และ -15 dB ตามลำดับ ซึ่งมีผลดังแสดงในรูปที่ 4.58 ถึง 4.64



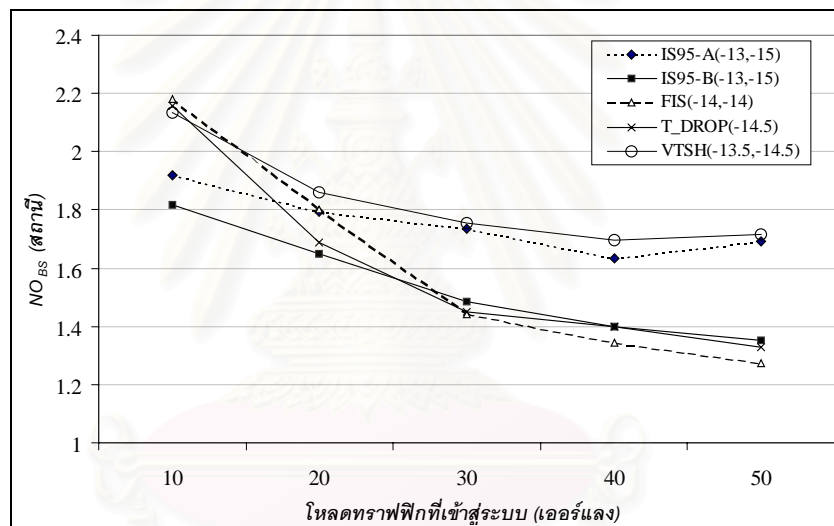
รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (T_c) กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ



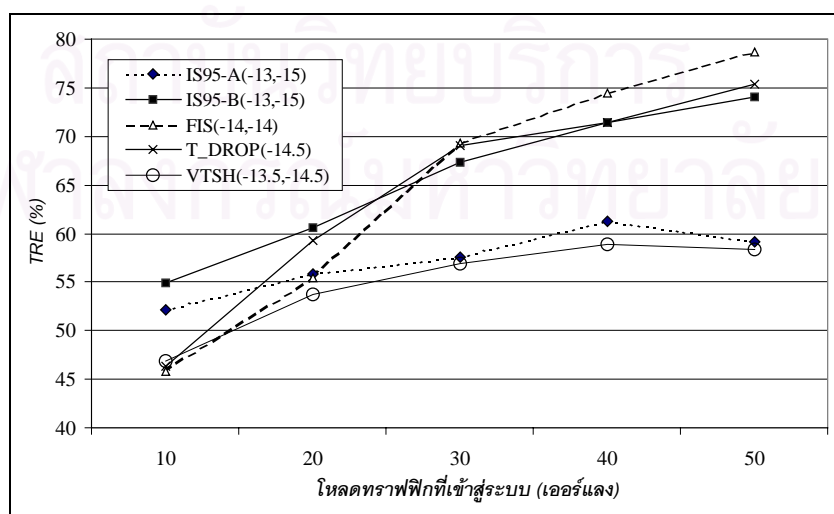
รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ



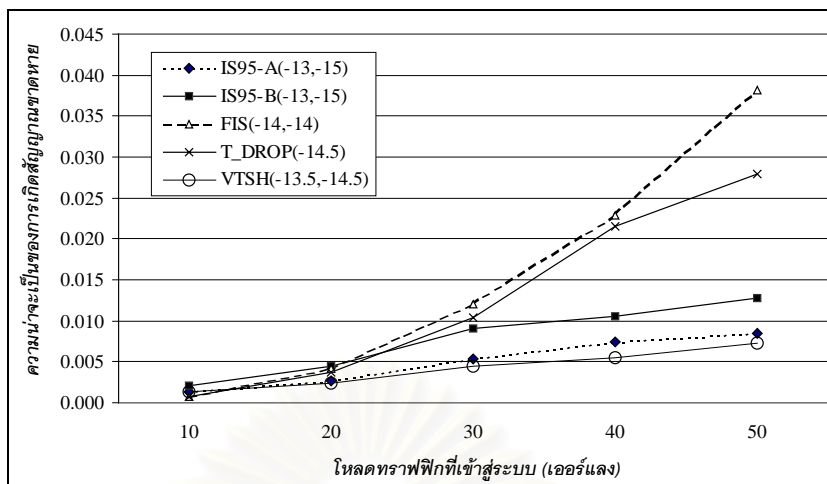
รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแชนด้อฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ



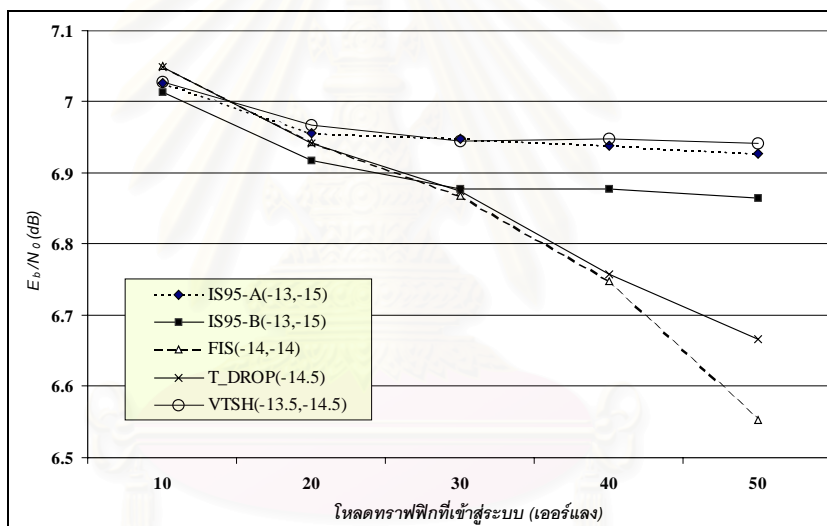
รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่าง TRE กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับ
โหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_b/N_0 กับโหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 4.58 ถึง 4.64 แสดงถึงสมรรถนะของระบบโดยใช้วิธีซอฟต์แวร์ที่ต่างกัน เมื่อ
ทราฟฟิเข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 ถึง 50 เออร์แลง ส่วนตารางที่ 4.4 เป็นการสรุปผลการจำลองแบบ
ของวิธีต่างๆ ด้วยการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหลดทราฟ
ฟิที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เออร์แลง เนื่องจากเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนกว่าที่โหลดทราฟ
ฟิที่ต่ำ

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหนดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง

ตัววัดสมรรถนะ	ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับค่าของ IS95-A(-13,-15)				
	IS95-A(-13,-15)	IS95-B(-13,-15)	FIS(-14,-14)	T_DROP(-14.5)	VTSH(-13.5,-14.5)
โหนดกราฟฟิกที่รองรับได้ (เฮอร์แลง)	28.45 -	29.42 สูงกว่า 3%	37.90 สูงกว่า 33%	35.60 สูงกว่า 25%	26.38 น้อยกว่า 7%
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่	0.3538 -	0.2173 น้อยกว่า 39%	0.2542 น้อยกว่า 28%	0.2948 น้อยกว่า 17%	0.3391 น้อยกว่า 4%
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ	0.2839 -	0.1571 น้อยกว่า 45%	0.1492 น้อยกว่า 47%	0.1877 น้อยกว่า 34%	0.2828 น้อยกว่า 0.39%
NO _{BS} (สถานี)	1.69 -	1.35 น้อยกว่า 20%	1.27 น้อยกว่า 25%	1.33 น้อยกว่า 22%	1.71 สูงกว่า 1%
TRE (%)	59.11 -	74.01 สูงกว่า 15%	78.63 สูงกว่า 20%	75.38 สูงกว่า 16%	58.35 น้อยกว่า 1%
ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย	0.0084 -	0.0127 สูงกว่า 51%	0.0382 สูงกว่า 355%	0.0279 สูงกว่า 232%	0.0073 น้อยกว่า 13%
E _b /N ₀ (dB)	6.93 -	6.86 น้อยกว่า 1%	6.55 น้อยกว่า 5%	6.67 น้อยกว่า 4%	6.94 สูงกว่า 0.22%
เวลาที่ใช้ในการจำลองแบบ (ชั่วโมง)	11.52 -	14.81 สูงกว่า 29%	12.54 สูงกว่า 9%	15.27 สูงกว่า 33%	13.68 สูงกว่า 19%

ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าวิธี FIS(-14,-14) มีสมรรถนะโหนดกราฟฟิกที่รองรับได้, ความน่าจะเป็นของการติดขัดทั้งสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ, NO_{BS} และ TRE ที่ดีกว่าของวิธีอื่นๆ ส่วนสมรรถนะความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายและ E_b/N₀ นั้นด้อยกว่าของวิธีอื่นๆ แต่ยังคงยอมรับได้คืออย่างน้อยน้อยกว่า 0.1 และสูงกว่า 6.5 dB ตามลำดับที่โหนดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง

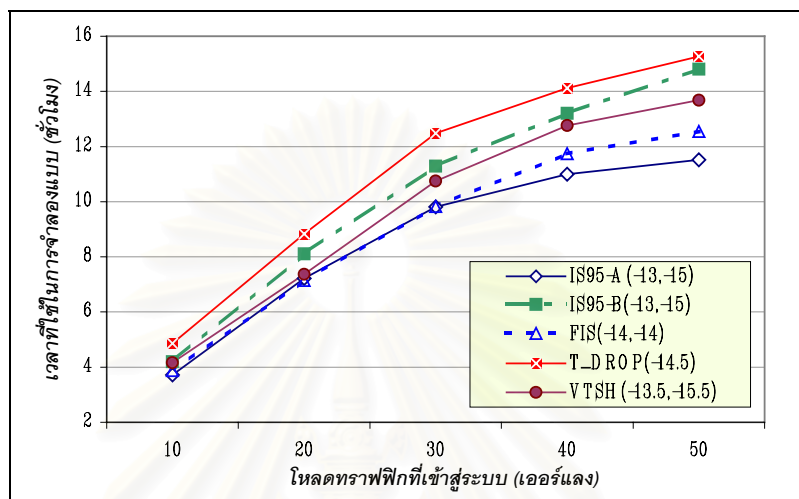
ตารางที่ ข.1 และ ข.2 แสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ ที่โหนดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 และ 20 เฮอร์แลงตามลำดับ จะเห็นว่าผลการเปรียบเทียบของวิธีต่างๆ นั้นมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่วนที่โหนดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 30 และ 40 เฮอร์แลงที่แสดงในตารางที่ ข.3 และ ข.4 นั้นมีแนวโน้มเหมือนกับที่โหนดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลงในตารางที่ 4.4

จะเห็นว่าที่โหนดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบค่าสูง วิธี FIS สามารถรองรับโหนดกราฟฟิกได้สูงกว่าและประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์ดีกว่าของวิธีอื่นๆ โดยความน่าจะเป็นของการติดขัดทั้งสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟน้อยกว่าของวิธีอื่นๆ ส่วนคุณภาพของการต่อด้อยกว่าของวิธีการอื่นๆ แต่ยังคงยอมรับได้

4.6 การเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีต่างๆ

ความซับซ้อนของวิธีการที่ใช้นั้นแสดงได้โดยเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบดังแสดงในรูปที่

4.65



รูปที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบกับโหนดกราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) ที่โหนดกราฟฟิที่เข้าสู่ระบบค่าต่างๆ

โหนดกราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ	ผลการเปรียบเทียบเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับค่าของ IS95-A(-13,-15)				
	IS95-A(-13,-15)	IS95-B(-13,-15)	FIS(-14,-14)	T_DROP(-14.5)	VTSH(-13.5,-14.5)
50 เออร์แลง	11.52	14.81	12.54	15.27	13.68
	-	สูงกว่า 29%	สูงกว่า 9%	สูงกว่า 33%	สูงกว่า 19%
40 เออร์แลง	11.00	13.21	11.74	14.12	12.76
	-	สูงกว่า 20%	สูงกว่า 7%	สูงกว่า 28%	สูงกว่า 16%
30 เออร์แลง	9.81	11.29	9.82	12.48	10.75
	-	สูงกว่า 15%	สูงกว่า 0.14%	สูงกว่า 27%	สูงกว่า 10%
20 เออร์แลง	7.22	8.10	7.15	8.83	7.37
	-	สูงกว่า 12%	น้อยกว่า 1%	สูงกว่า 22%	สูงกว่า 2%
10 เออร์แลง	3.72	4.19	3.88	4.86	4.16
	-	สูงกว่า 13%	สูงกว่า 4%	สูงกว่า 31%	สูงกว่า 12%

เวลาที่ใช้ในการจำลองที่แสดงในตารางที่ 4.5 ได้จากการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางเป็น PentiumIII ที่มีความเร็ว 500 MHz โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองแบบ ซึ่งเวลาที่ได้แสดงถึงแนวโน้มของเวลาที่ใช้เมื่อนำวิธีแต่ละวิธีไปประยุกต์กับระบบจริง

จากรูปที่ 4.65 และตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธี FIS(-14,-14) มากกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) เพียงวิธีเดียวที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูงคือ 40 และ 50 เฮอร์แลง แต่จะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับของวิธีอื่นๆ ที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบทุกๆ ค่า และเหตุที่วิธี T_DROP(-14.5) ใช้เวลานานที่สุดเพราะต้องทำการคำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกำลังที่ BS รับได้ก่อนที่จะปรับค่า T_DROP ตามอัลกอริทึมดังรูปที่ 2.8 ส่วนที่ใช้เวลานานรองลงมาคือวิธีตามมาตรฐาน IS95-B(-13,-15) เพราะต้องตรวจสอบเงื่อนไขในการย้ายไฟล์อัตโนมัติตามสมการที่ (2.1)-(2.3)

ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลงวิธี FIS(-14,-14) ใช้เวลาในการจำลองแบบมากกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) อยู่ 9% แต่โหลดกราฟฟิกที่รองรับได้และ TRE ของวิธี FIS(-14,-14) สูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) อยู่ 33% และ 20% และความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของวิธี FIS(-14,-14) น้อยกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) อยู่ 28% และ 47% ตามลำดับ ส่วนวิธีอื่นๆ ใช้เวลาในการจำลองแบบมากกว่าวิธี FIS(-14,-14) แต่สมรรถนะต่างๆ ที่ได้้น้อยกว่าเวลาที่ใช้ไป

ตารางที่ ข.3 และ ข.4 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟวิธีต่างๆ ที่โหลดกราฟฟิกเข้าสู่ระบบเท่ากับ 30 และ 40 เฮอร์แลง จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการจำลองแบบของวิธี FIS น้อยกว่าของวิธีอื่นๆ โดยสมรรถนะต่างๆ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีที่โหลดกราฟฟิกเข้าสู่ระบบเท่ากับ 50 เฮอร์แลง

จะเห็นว่า FIS สามารถปรับปรุงสมรรถนะของระบบให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ได้แก่ โหลดกราฟฟิกที่รองรับได้, ความน่าจะเป็นของการติดขัดทั้งสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทั่วๆ ไป โดยใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าของวิธีอื่นๆ และคุณภาพของการต่อยังคงยอมรับได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการจำลองแบบ

5.1 สรุปผลการจำลองแบบ

เนื่องจากซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอมีข้อด้อยในเรื่องของการใช้ทรัพยากรที่เปลือง ดังนั้นในสภาวะโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูงจะทำให้ไม่มีทรัพยากรเหลือรองรับโหลดทราฟฟิกที่เข้ามาใหม่ได้ ส่งผลให้เกิดการติดขัดของการเรียกขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการเสนอวิธีการใหม่ที่จะปรับค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ T_ADD และ T_DROP เพื่อปรับปรุงสมรรถนะให้แก่ระบบ โดยวิธีการแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อด้อยต่างๆ กันไปดังนี้

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟวิธีต่างๆ

วิธีการ	ข้อดี	ข้อด้อย
IS95-A	<ol style="list-style-type: none"> 1. ความซับซ้อนน้อยที่สุด เนื่องจากใช้เวลาในการจำลองแบบน้อยที่สุด 2. คุณภาพการต่อดี 3. เป็นมาตรฐานเริ่มต้นของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรัพยากรที่ต่ำ 2. พารามิเตอร์เป็นแบบตายตัว
ปรับเฉพาะ T_DROP	<ol style="list-style-type: none"> 1. รองรับโหลดทราฟฟิกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A 2. ความน่าจะเป็นของการติดขัดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A 3. ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรัพยากรที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีตามมาตรฐาน IS95-A 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้เวลาประมวลผลนาน เนื่องจากต้องหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกำลังที่ BS รับได้
VTSH	<ol style="list-style-type: none"> 1. ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายน้อยที่สุด 	<ol style="list-style-type: none"> 1. โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้มีค่าน้อยที่สุด 2. ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรัพยากรที่ต่ำใกล้เคียงกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A

วิธีการ	ข้อดี	ข้อด้อย
FIS	<ol style="list-style-type: none"> 1. โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้มีค่าสูงที่สุด 2. ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์สูงที่สุด 3. ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีทั้ง 3 วิธีข้างต้น 4. ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่น้อยที่สุด 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายสูง แต่ยังคงยอมรับได้ 2. E_b/N_0 ต่ำ แต่ยังคงยอมรับได้ 3. เวลาที่ใช้ในการประมวลผลสูงกว่าของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A เล็กน้อย แต่น้อยกว่าของวิธีปรับเฉพาะ T_DROP และของวิธี VTSH

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อดีและข้อด้อยของวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ โดยจะเห็นได้ว่าวิธี VTSH ที่มีการปรับค่าเริ่มเปลี่ยนทั้ง T_ADD และ T_DROP [2] มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเพิ่มคุณภาพของการต่อให้สูงกว่าของ IS95-A เพียงอย่างเดียว ซึ่งเมื่อดูจากผลการจำลองแบบแล้ว ผลที่ได้ก็เป็นไปตามแนวคิดของผู้ที่นำเสนอ แต่ตัววัดสมรรถนะอื่นๆ ที่มีผลต่อระบบโดยรวม ได้แก่ โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้น้อยกว่าวิธีอื่นๆ ส่วนความน่าจะเป็นของการติดขัด และประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์นั้นใกล้เคียงกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A

วิธีปรับเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP [1] และวิธี FIS นั้นมีวัตถุประสงค์คล้ายกันคือพยายามที่จะลดความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ โดยผลการจำลองแบบของวิธีการปรับเฉพาะพารามิเตอร์ T_DROP ที่ได้ก็เป็นตามแนวคิดของผู้ที่นำเสนอ และวิธี FIS ก็เป็นเช่นกัน หากต่างกันตรงที่วิธี FIS ที่นำเสนอนั้นให้สมรรถนะด้านอื่นๆ ที่ดีกว่า ได้แก่ โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้, NO_{BS} และประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์

ผลการจำลองแบบในบทที่ 4 ได้แสดงให้เห็นว่า วิธี FIS ที่นำเสนอมีสสมรรถนะโดยรวมดีกว่า และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ที่มีผู้เสนอไว้ โดยที่วิธีที่นำเสนอสามารถรองรับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบได้สูงกว่าและให้ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ต่ำกว่าวิธีอื่นๆ ในสภาวะโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีค่าสูง สำหรับประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์นั้นวิธี FIS จะสูงกว่าวิธีอื่น ในสภาวะโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีค่าสูง แต่ในสภาวะโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีค่าต่ำ วิธี FIS จะมีประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรทรังก์ต่ำกว่าของวิธีอื่น เนื่องจากในสภาวะโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีค่าต่ำจะมีทรังก์เหลือมาก วิธี FIS จะทำการปรับค่าเริ่มเปลี่ยนเพื่อสร้างโอกาสในการเกิด

ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟให้สูงขึ้น เพื่อเพิ่มคุณภาพของการต่อให้สูงขึ้น ถือว่าเป็นการใช้ทรัพยากรที่เหลืออยู่ให้เกิดประโยชน์

สำหรับคุณภาพของการต่อ ซึ่งวัดด้วยความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายและ E_b/N_0 นั้น สรุปได้ว่าที่สภาวะโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบสูง ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายของวิธี FIS มีค่าสูงกว่าของวิธีอื่นๆ เนื่องจากวิธี FIS นั้นรองรับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบได้สูงกว่าและความน่าจะเป็นของการติดขัดที่น้อยกว่าของวิธีการอื่นๆ แต่ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายยังคงมีค่าที่สามารถยอมรับได้คือน้อยกว่า 0.1 [4] ส่วนค่า E_b/N_0 วิธี FIS จะให้ค่าน้อยกว่าวิธีการอื่นแต่ค่ายังคงมีค่าสูงกว่า 6.5 dB [17] ซึ่งยังคงยอมรับได้เช่นกัน

5.2 การนำวิธีที่เสนอไปประยุกต์ใช้

การนำพีซีซีลอจิกไปประยุกต์ใช้กับซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟทำให้สามารถเพิ่มสมรรถนะโดยรวมของระบบได้ดังแสดงในผลการจำลองแบบในบทที่ 4 อย่างไรก็ตามในการใช้จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าตัวแปรอินพุตของ FIS ทั้งระยะห่างระหว่าง BS กับ MS และจำนวนทรัพยากรที่เหลือของ BS และกฎของการวินิจฉัยพีซีซีที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมของเซลล์หรือ BS นั้น เนื่องจากในสิ่งแวดล้อมจริง มีตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบมากมาย ดังนั้นจึงต้องอาศัยการเก็บค่าสถิติต่างๆ จากระบบทั้งค่าระยะห่างระหว่าง BS กับ MS และปริมาณโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบที่เกิดขึ้นมาก่อน และนำมาวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมกับเซลล์นั้นๆ ต่อไป

จากผลการจำลองแบบในบทที่ 4 แสดงให้เห็นถึง FIS จะปรับค่าเริ่มเปลี่ยนของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟให้เหมาะสมกับโหลดทราฟฟิกที่เข้ามาตั้งแต่โหลดทราฟฟิกต่ำจนถึงสูงและค่า T_ADD และ T_DROP ที่ได้จาก FIS เป็นของสถานีเคลื่อนที่แต่ละสถานี ดังนั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของสถานีเคลื่อนที่สถานีอื่นๆ

การนำ FIS ไปประยุกต์ใช้งานกับระบบจริงสามารถทำได้โดยติดตั้งซอฟต์แวร์ของระบบวินิจฉัยพีซีซีที่ BSC (Base Station Controller) เพื่อทำการประมวลผลกับรายงานที่ MS ส่งกลับมายังระบบ ได้แก่ระยะห่างระหว่าง BS กับ MS และความแรงของสัญญาณไฟลีดที่ MS วัดได้ เป็นต้น และคำนวณค่าพารามิเตอร์ T_ADD และ T_DROP ใหม่ที่ได้จาก FIS และสั่งให้ MS เริ่มหรือสิ้นสุดซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

งานที่ควรได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไปจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ

1. พัฒนาวีธีที่นำเสนอ เพื่อลดความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายและเพิ่ม E_b/N_0 โดยที่พยายามคงสมรรถนะอื่นๆ ให้ดีอยู่
2. ศึกษาผลที่มีต่อสมรรถนะของระบบเมื่อเพิ่มเติมกฎของระบบวินิจฉัยพัชชี จาก 9 กฎ เป็น 12 และ 15 กฎเป็นต้น
3. นำวิธีที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองสถานีฐานที่มีการแบ่งเป็นเซกเตอร์
4. นำวิธีที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 3



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. H. G. Jeon, S. H. Hwang and S. K. Kwon. A Channel Assignment Scheme for Reducing Call Blocking Rate in a DS-CDMA Cellular System. IEEE 6th International Conference on Personal Communications Record. (1997): 637-641.
2. S. H. Hwang, S. L. Kim, H. S. Oh, C. E. Kang and J. Y. Son. Soft Handoff Algorithm with Variable Thresholds in CDMA Cellular Systems. Electronics Letters. 33, 19 (September 1997): 1602 –1603.
3. P. K. Dash, S. K. Panda, T. H. Lee, J. X. Xu and A. Routray. Fuzzy and Neural Controller for Dynamic Systems: an Overview. International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Proceedings. 2 (1997): 810-816.
4. A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, K. S. Gilhousen and E. Zehavi, Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increases Reverse Link Capacity. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 12, 8 (October 1994): 1281-1288.
5. A. Chheda. A Performance Comparison of the CDMA IS-95B and IS-95A Soft Handoff Algorithms. IEEE Vehicular Technology Conference '99. 49, 2 (1999): 1407-1412.
6. S. C. Yang. CDMA RF System Engineering. Norwood: Artech House, 1998.
7. B. Worley and F. Takawira. Handoff Scheme in CDMA Cellular System. Communications and Signal Processing, COMSIG '98. (1998): 255 -260.
8. J. J. Caffery and G. L. Stuber. Overview of Radiolocation in CDMA Cellular Systems. IEEE Communications Magazine. 36, 4 (April 1998): 38 –45.
9. J. -S. R. Jang, C. -T. Sun, and E. Mizutani. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. New York: Prentice Hall, 1997
10. C. V. Altrock. Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Applications Explained. New York: Prentice Hall, 1995.

11. G. J. Klir and B. Yuan. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic; Theory and Application. New York: Prentice Hall, 1995.
12. J. Yang and W. C. Y. Lee. Design Aspects and System Evaluations of IS-95 based CDMA Systems. IEEE Universal Personal Communication Record. 2 (1997): 381-385.
13. Qualcomm. The CDMA Network Engineering Handbook. 1992.
14. TIA/EIA/IS-95A. Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Spread Spectrum Systems. 1993.
15. W. C. Y. Lee. Mobile Cellular Telecommunications Systems. New York: McGraw-Hill, 1989.
16. A. M. Viterbi and A. J. Viterbi. Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA system. IEEE Journal on Selected Area in Communications. 11, 6 (1993): 892-899.
17. K. S. Gilhousen. On the Capacity of a Cellular CDMA System. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 40, 2 (May 1991): 303-311.
18. W. C. Y. Lee. Overview of Cellular CDMA. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 40, 2 (May 1991): 291-302.

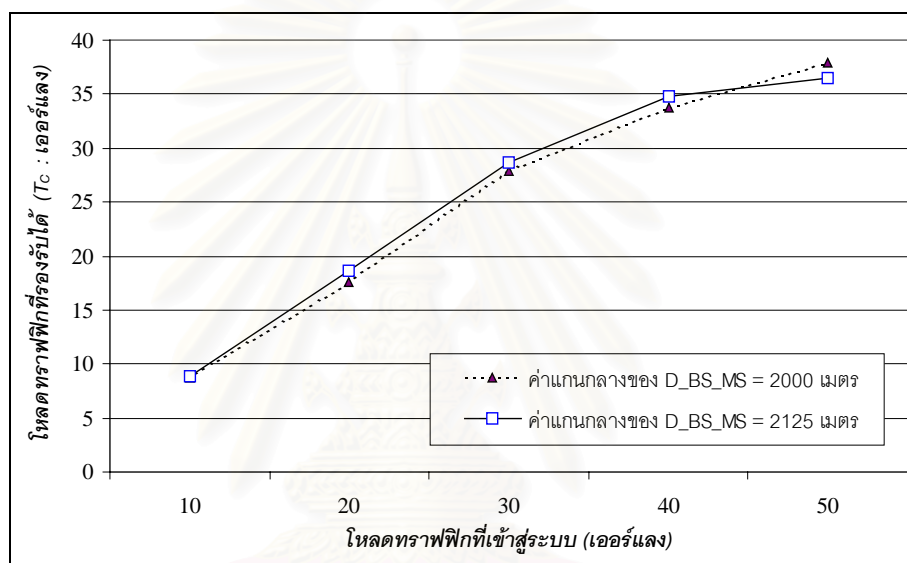


ภาคผนวก

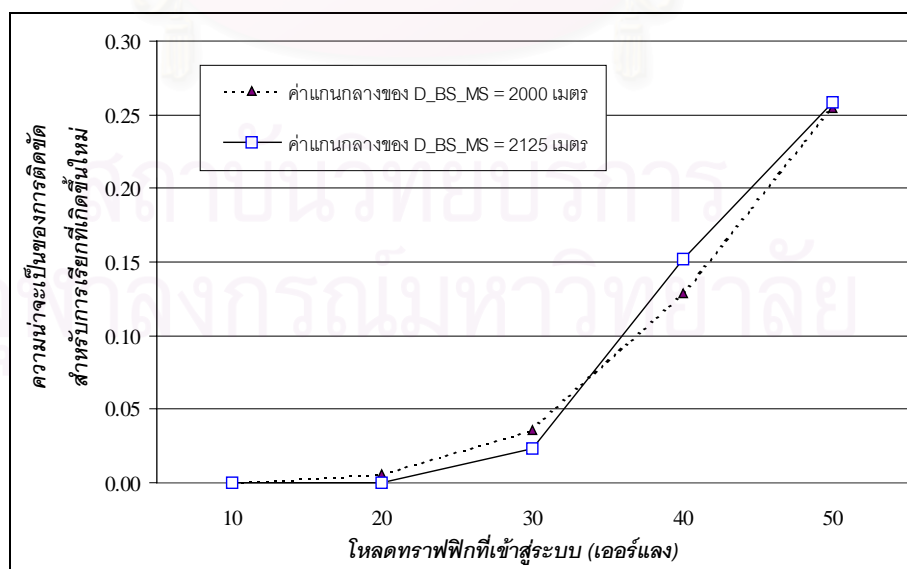
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

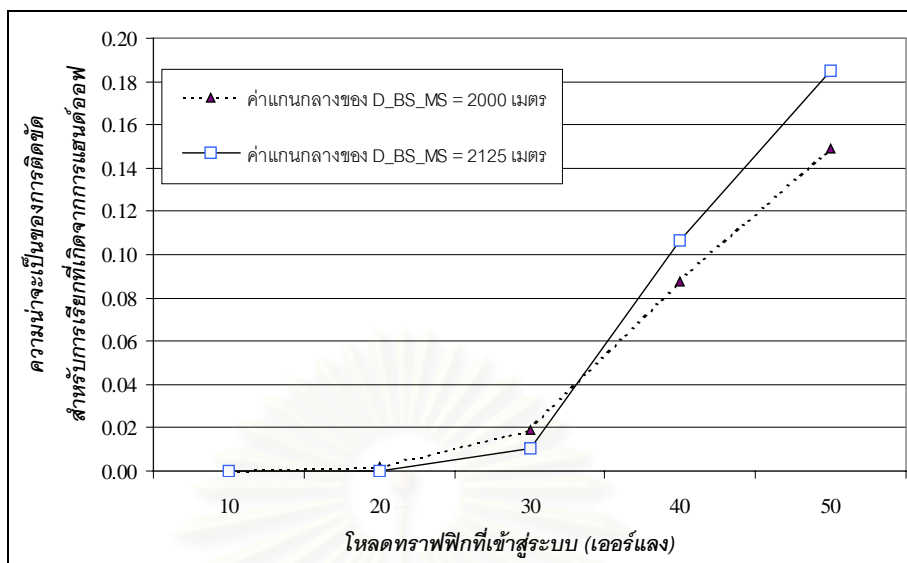
การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิธี FIS เมื่อปรับค่าแกนกลางของ MF ของระยะห่างระหว่าง BS และ MS จาก 2125 เมตรเป็น 2000 เมตร ที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.2.1 โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของ T_ADD และ T_DROP ของระบบเท่ากับ -13 และ -15 dB ตามลำดับและค่าแกนกลางของตัวแปร linguistic สำหรับเอาต์พุตของ T_ADD (T_Ad) และ T_DROP (T_Dr) เท่ากับ -13 และ -15 dB ตามลำดับได้ผลการจำลองแบบดังนี้



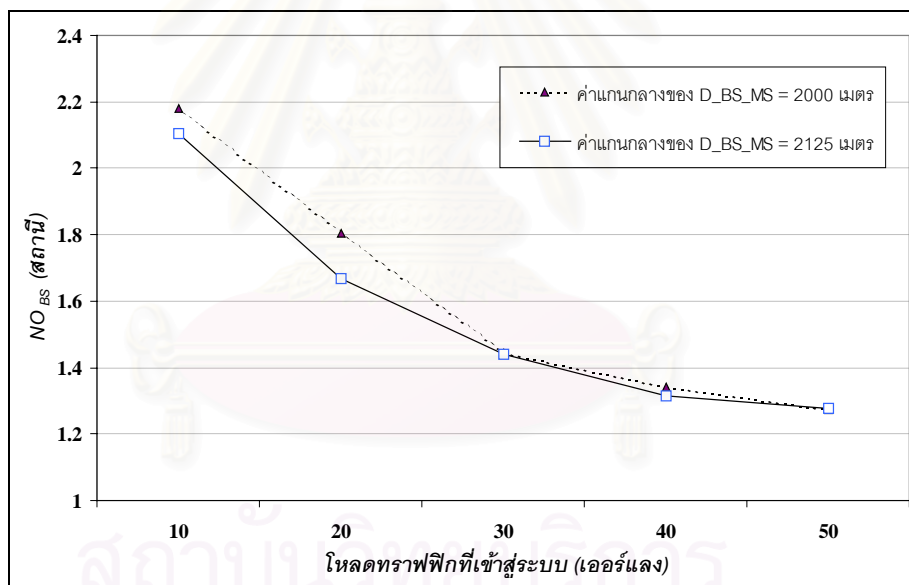
รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโหนดกราฟฟิที่รองรับได้ (T_c) กับโหนดกราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดต่อสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่กับโหนดกราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ

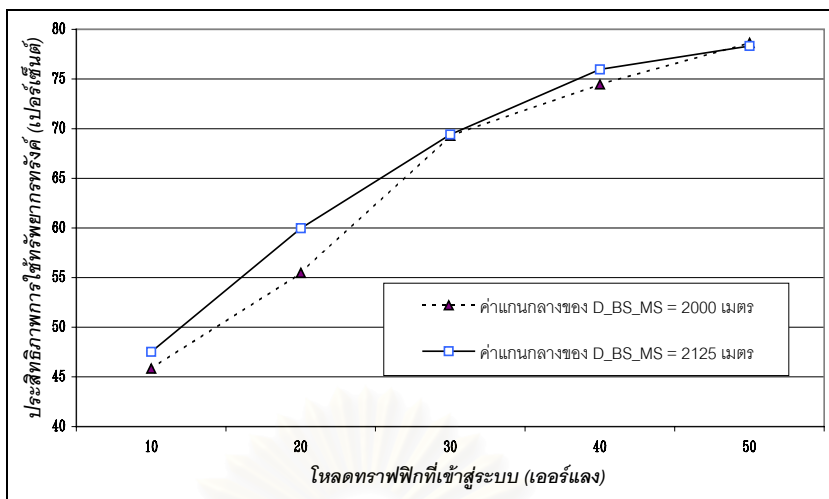


รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

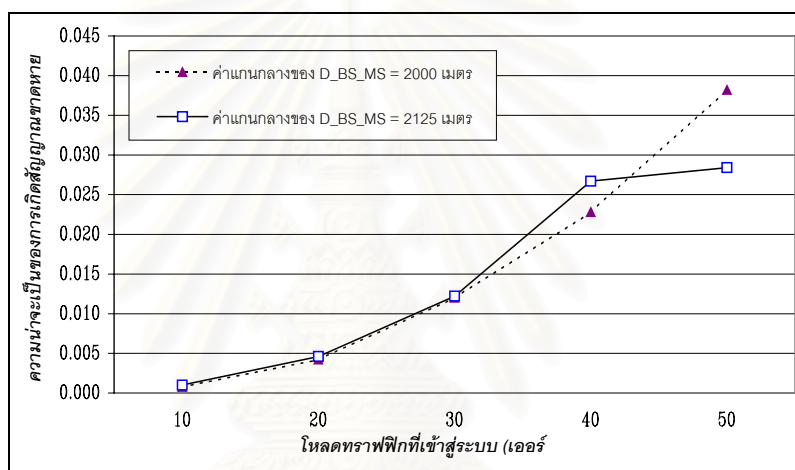


รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_{BS} กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

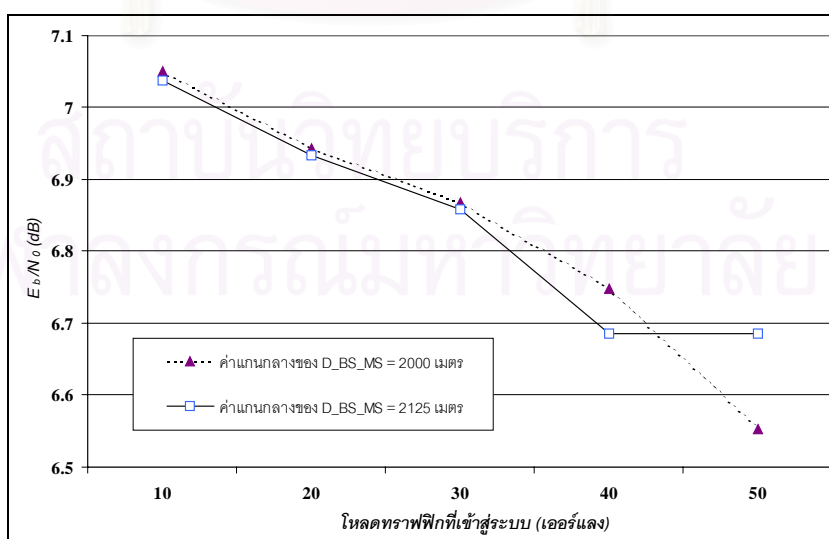
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



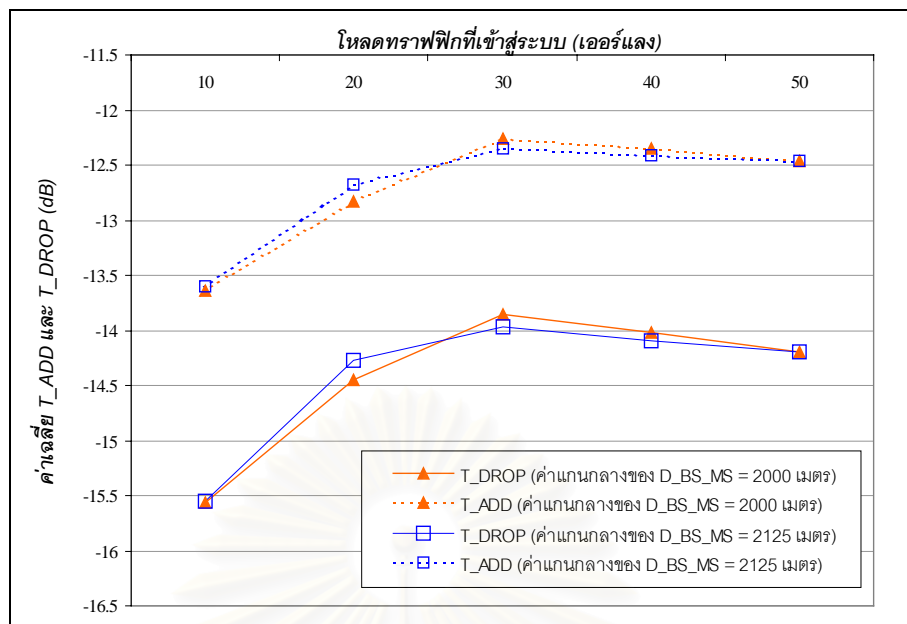
รูปที่ ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรท่วงศ์กับโหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายกับโหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_b/N_0 กับโหลดทราฟฟิที่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 8.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของ T_ADD และ T_DROP กับโหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบ

รูปที่ ก.1 ถึง ก.8 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเมื่อใช้ค่าแกนกลางของ D_BS_MS เท่ากับ 2000 กับ 2125 เมตร จะเห็นได้ว่าที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบค่าต่างๆ สมรรถนะของระบบทั้ง 2 ระบบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ที่โหลดทราฟฟิกเข้าสู่ระบบสูงเท่ากับ 50 เออร์แลง วิธี FIS ที่ใช้ค่าแกนกลางของ D_BS_MS เท่ากับ 2000 เมตรสามารถรองรับโหลดทราฟฟิกได้สูงกว่าของวิธี FIS ที่ใช้ค่าแกนกลางของ D_BS_MS เท่ากับ 2125 เมตรเล็กน้อย โดยความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เข้ามาใหม่และสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของวิธี FIS ที่ใช้ค่าแกนกลางของ D_BS_MS เท่ากับ 2000 เมตรน้อยกว่าของวิธี FIS ที่ใช้ค่าแกนกลางของ D_BS_MS เท่ากับ 2125 เมตรเล็กน้อย แต่ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหายและ E_b/N_0 ของวิธี FIS ที่ใช้ค่าแกนกลางของ D_BS_MS เท่ากับ 2000 เมตรจะดีกว่าของวิธี FIS ที่ใช้ค่าแกนกลางของ D_BS_MS เท่ากับ 2125 เมตรเล็กน้อย

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 เฮอร์แรง

ตัววัดสมรรถนะ	ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับค่าของ IS95-A(-13,-15)				
	IS95-A(-13,-15)	IS95-B(-13,-15)	FIS(-14,-14)	T_DROP(-14.5)	VTSH(-13.5,-14.5)
โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (เฮอร์แรง)	9.24 -	8.41 น้อยกว่า 9%	8.72 น้อยกว่า 6%	7.75 น้อยกว่า 16%	7.66 น้อยกว่า 17%
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่	0 -	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ	0 -	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน
NO _{BS} (สถานี)	1.92 -	1.82 น้อยกว่า 5%	2.18 สูงกว่า 14%	2.16 สูงกว่า 12%	2.13 สูงกว่า 11%
TRE (%)	52.11 -	54.98 สูงกว่า 3%	45.85 น้อยกว่า 6%	46.36 น้อยกว่า 6%	46.89 น้อยกว่า 5%
ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย	0.00140 -	0.00210 สูงกว่า 50%	0.00075 น้อยกว่า 46%	0.00078 น้อยกว่า 44%	0.00140 เท่ากัน
E _p /N ₀ (dB)	7.03 -	7.01 น้อยกว่า 0.17%	7.05 สูงกว่า 0.34%	7.05 สูงกว่า 0.34%	7.03 สูงกว่า 0.02%
เวลาที่ใช้ในการจำลองแบบ (ชั่วโมง)	3.72 -	4.19 สูงกว่า 13%	3.88 สูงกว่า 4%	4.86 สูงกว่า 31%	4.16 สูงกว่า 12%

ตารางที่ ข.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหลดทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 20 เฮอร์แรง

ตัววัดสมรรถนะ	ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับค่าของ IS95-A(-13,-15)				
	IS95-A(-13,-15)	IS95-B(-13,-15)	FIS(-14,-14)	T_DROP(-14.5)	VTSH(-13.5,-14.5)
โหลดทราฟฟิกที่รองรับได้ (เฮอร์แรง)	18.17 -	19.56 สูงกว่า 8%	17.53 น้อยกว่า 4%	19.62 สูงกว่า 8%	15.52 น้อยกว่า 15%
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่	0 -	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ	0 -	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน	0 เท่ากัน
NO _{BS} (สถานี)	1.79 -	1.65 น้อยกว่า 8%	1.80 สูงกว่า 1%	1.69 น้อยกว่า 6%	1.86 สูงกว่า 4%
TRE (%)	55.80 -	60.64 สูงกว่า 5%	55.48 น้อยกว่า 0.32%	59.26 สูงกว่า 3%	53.77 น้อยกว่า 2%
ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย	0.0026 -	0.0044 สูงกว่า 69%	0.0042 สูงกว่า 62%	0.0037 สูงกว่า 42%	0.0024 น้อยกว่า 8%
E _p /N ₀ (dB)	6.96 -	6.92 น้อยกว่า 1%	6.94 น้อยกว่า 0.2%	6.94 น้อยกว่า 0.2%	6.97 สูงกว่า 0.16%
เวลาที่ใช้ในการจำลองแบบ (ชั่วโมง)	7.22 -	8.10 สูงกว่า 12%	7.15 น้อยกว่า 1%	8.83 สูงกว่า 22%	7.37 สูงกว่า 2%

ตารางที่ ข.3 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 30 เฮอร์แรง

ตัววัดสมรรถนะ	ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับค่าของ IS95-A(-13,-15)				
	IS95-A(-13,-15)	IS95-B(-13,-15)	FIS(-14,-14)	T_DROP(-14.5)	VTSH(-13.5,-14.5)
โหลดกราฟฟิกที่รองรับได้ (เฮอร์แรง)	25.05	25.15	27.94	28.20	24.59
	-	สูงกว่า 0.4%	สูงกว่า 12%	สูงกว่า 13%	น้อยกว่า 2%
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่	0.1426	0.0448	0.0356	0.0544	0.1320
	-	น้อยกว่า 69%	น้อยกว่า 75%	น้อยกว่า 62%	น้อยกว่า 7%
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ	0.1114	0.0253	0.0192	0.0286	0.0959
	-	น้อยกว่า 77%	น้อยกว่า 83%	น้อยกว่า 74%	น้อยกว่า 14%
NO _{BS} (สถานี)	1.74	1.49	1.44	1.45	1.76
	-	น้อยกว่า 14%	น้อยกว่า 17%	น้อยกว่า 17%	สูงกว่า 1%
TRE (%)	57.60	67.28	69.27	69.06	56.96
	-	สูงกว่า 10%	สูงกว่า 12%	สูงกว่า 11%	น้อยกว่า 1%
ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย	0.0053	0.0091	0.0120	0.0104	0.0045
	-	สูงกว่า 72%	สูงกว่า 126%	สูงกว่า 96%	น้อยกว่า 15%
E _p /N ₀ (dB)	6.95	6.88	6.87	6.87	6.95
	-	น้อยกว่า 1%	น้อยกว่า 1%	น้อยกว่า 1%	เท่ากัน
เวลาที่ใช้ในการจำลองแบบ (ชั่วโมง)	9.81	11.29	9.82	12.48	10.75
	-	สูงกว่า 15%	สูงกว่า 0.14%	สูงกว่า 27%	สูงกว่า 10%

ตารางที่ ข.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับของวิธีตามมาตรฐาน IS95-A(-13,-15) โดยที่โหลดกราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบเท่ากับ 40 เฮอร์แรง

ตัววัดสมรรถนะ	ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีต่างๆ เมื่อเทียบกับค่าของ IS95-A(-13,-15)				
	IS95-A(-13,-15)	IS95-B(-13,-15)	FIS(-14,-14)	T_DROP(-14.5)	VTSH(-13.5,-14.5)
โหลดกราฟฟิกที่รองรับได้ (เฮอร์แรง)	27.95	29.02	33.73	33.35	26.78
	-	สูงกว่า 4%	สูงกว่า 21%	สูงกว่า 19%	น้อยกว่า 4%
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่	0.3061	0.1461	0.1289	0.1588	0.2174
	-	น้อยกว่า 52%	น้อยกว่า 58%	น้อยกว่า 48%	น้อยกว่า 29%
ความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ	0.2672	0.1151	0.0876	0.1155	0.1676
	-	น้อยกว่า 57%	น้อยกว่า 67%	น้อยกว่า 57%	น้อยกว่า 37%
NO _{BS} (สถานี)	1.63	1.40	1.34	1.40	1.70
	-	น้อยกว่า 14%	น้อยกว่า 18%	น้อยกว่า 14%	สูงกว่า 4%
TRE (%)	61.27	71.45	74.46	71.47	58.94
	-	สูงกว่า 10%	สูงกว่า 13%	สูงกว่า 10%	น้อยกว่า 2%
ความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย	0.0075	0.0105	0.0228	0.0216	0.0055
	-	สูงกว่า 40%	สูงกว่า 204%	สูงกว่า 188%	น้อยกว่า 27%
E _p /N ₀ (dB)	6.94	6.88	6.75	6.76	6.94
	-	น้อยกว่า 1%	น้อยกว่า 3%	น้อยกว่า 3%	สูงกว่า 0.14%
เวลาที่ใช้ในการจำลองแบบ (ชั่วโมง)	11.00	13.21	11.74	14.12	12.76
	-	สูงกว่า 20%	สูงกว่า 7%	สูงกว่า 28%	สูงกว่า 16%

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว

บทความทางวิชาการจากงานประชุมวิชาการ IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference, Spring, 2001 ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 6-9 พฤษภาคม พ.ศ. 2544 ที่เกาะ Rhodes ประเทศกรีซ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Comparative Evaluation of Fixed and Adaptive Soft Handoff Parameters using Fuzzy Inference Systems in CDMA Mobile Communication Systems

Vikorn Kunsriuksakul, Bongkarn Homnan and Watit Benjapolakul

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

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

Abstract

Two presented Soft HandOff (SHO) algorithms based on Fuzzy Inference System (FIS) aim to increase the values of T_DROP and SHO Window (SHW), and T_ADD, in the first and second proposed algorithms, respectively in order to release the traffic channel at high traffic loads for increasing the carried traffic, and to decrease those values in proposed algorithms in order to add the traffic channel in active set at low traffic loads for increasing the quality of traffic channel. These proposed FIS SHO algorithms can reduce new call blocking probability (P_B) and handoff call blocking probability (P_{HO}) when compared with IS-95A, IS-95B/cdma2000 SHO and FIS SHO with various fixed SHW and adapted T_DROP while still keeping acceptable low outage probability.

1. Introduction

Hard handoff is a mechanism to maintain quality of service for mobile communication system. SHO is used for CDMA mobile communication system. It is a diversity handoff scheme that user attempts to have simultaneous traffic communication channels with more than one Base Stations (BSs). On the other hand, Mobile Stations (MSs) obviously use more resources than those of hard handoff. Some SHO algorithms have already been proposed for higher system performance.

Chen [1] proposed the Adaptive Traffic Load Shedding (ATLS) for reducing call blocking rate at high traffic load. This scheme allows heavily loaded cells to dynamically shrink their coverage, while less load adjacent BSs increase their coverage areas to get the extra traffic by transmitting power to only those handoff MSs. The disadvantage is that the BS has to request the adjacent cells to increase their coverage area before it can reduce its service area. The BS cannot reduce its pilot strength independently and it is not easy to rapid react to the variations of traffic load.

Hwang, *et. al.* [2] allows the handoff thresholds (T_ADD and T_DROP) to vary dynamically according to the traffic density of each cell. Only 2 fixed values for each threshold are assigned. The comparison of system performance with the conventional IS-95A SHO [3] observes only outage probability, thus it may not be sufficient in comparing all aspects of system performance which can be described by many indicators.

Jeon, *et. al.* [4] proposed a new channel scheme for reducing call blocking rate in BS by increasing the value of T_DROP when the traffic channel is not available for forcing MS out of SHO algorithm. There are also 2 fixed values for assigning T_DROP. The disadvantage of this method is that the BS must calculate mean and variance of the total received signal power. This may be impractical in real system.

Worley and Takawira (1998) [5] proposed upper and lower thresholds of MS transmitted power for defining the conditions of handoff. Because the frequency ranges used in forward link and reverse link are different; thus, the quality of forward Traffic Channel (TCH) and reverse TCH are not equal. This situation leads to be inefficiency in using the system resource.

In IS-95B/cdma2000 SHO [6,7], there are 3 new parameters : SOFT_SLOPE, ADD_INTERCEPT and DROP_INTERCEPT for adjusting threshold dynamically. IS-95B/cdma2000 SHO will be compared with the proposed method. Note that the conditions of IS-95B/cdma2000 SHO algorithm in this paper are partly different from those used in [8] but conform to TIA/EIA/IS-95B [6] and TIA/EIA/IS-2000-5 [7]. In addition, in this paper, SHO algorithms are based on statistical modeling with Poisson arrival process and exponential holding time process while Chheda's proposed simulations [8] are not. Therefore, a better view of SHO performance comparison between IS-95A and IS-95B/cdma2000 can be expected [9].

There are some researchers applying fuzzy logic theory in handoff process such as Kinoshita, *et. al.* (1992) [10]. They applied fuzzy inference for learning cell boundary [9] but emphasizing on hard handoff in indoor

area. Homnan and Benjapolakul (1998) [11] proposed FIS by using the signal strength MS receives and the distance between MS and BS for inputs while output is the defined value for deciding handoff. This work is also applied for hard handoff. Homnan and Benjapolakul (2000) [12] proposed a new soft SHO algorithm based on FIS. The results show that it gives better performance than the conventional SHO.

In this paper, the adaptive SHW extending from [12] which uses fixed value, is investigated. SHW of each MS is dynamically adjusted in the range from 1 dB to 4 dB depending on the remaining channels (representing the traffic load) of BS and the number of active set's pilots of any MS served by that BS.

The paper is divided into 5 sections. Section 2 describes FIS based SHO algorithm. Section 3 describes the system model. Section 4 describes computer simulation and results. Conclusion is presented in the last section.

2. FIS SHO algorithm

The fundamental structure of FIS consists of three conceptual components [13]: *a rule base*, which contains a selection of fuzzy rules; *a database* which defines the Membership Functions (MFs) used in the fuzzy rules; and *a reasoning mechanism*, which performs the inference procedure upon the rules and gives facts to derive a reasonable output or conclusion.

2.1 Database for SHO

The inputs of the first proposed SHO algorithm are the number of active set's pilots for each MS (no_{BS}) and the number of remaining channels of BS (CH_m). For the second proposed SHO algorithm, the inputs are distance between MS and serving BS and CH_m . All of crisp inputs are changed to be fuzzy inputs before using in a rule base by the MFs (Fig. 1). The MFs are designed as simple models of triangular MFs.

A triangular MF is specified by three parameter $\{a,b,c\}$ [12] as follows:

$$triangle(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (1)$$

The parameters $\{a,b,c\}$ with $a < b < c$ determine the x coordinates of the three corners of the triangular MF.

The outputs in the first algorithm are new T_DROP and new SHW. T_DROP and SHW fuzzy values are changed to be T_DROP and SHW crisp values after passing *reasoning mechanism* procedure by the MFs in Fig. 2(a) and Fig. 2(b), respectively. In the algorithm, T_ADD for each MS is assigned as T_DROP+SHW.

The outputs in the second algorithm are new T_DROP and new T_ADD. T_DROP and T_ADD fuzzy values are changed to be T_DROP and T_ADD crisp values after passing *reasoning mechanism* procedure by the MFs in Fig. 2(c) and Fig. 2(d), respectively. The two MFs of the second algorithm are represented by (b of T_ADD, b of T_DROP) with $a = b-2$ and $c = b+2$. For example, Fig. 2 (c) and 2(d) are written by (-13,-15).

2.2 Rule base

The fuzzy if-then rules are in the following form.

If $input_1$ is A and $input_2$ is B then $output$ is C .

A , B , and C are the fuzzy sets defined in the Table 1, 2, 3 and 4.

For the first algorithm, there are 9 rules from 3 fuzzy sets of 2 inputs ($3^2=9$) shown in Table 1 and 9 rules in Table 2. For rules as shown in Table 1, the outputs are based on CH_m which informs the status of the capacity of each BS including traffic load and interference, and no_{BS} which infers the pilot strength, the distance from BS, SHO area and E_b/N_0 MS receives. Normally, increasing T_DROP will decrease the size of SHO region. Any MS which are in the the old SHO area but are out of the new SHO area will be forced out of SHO region but this new proposed procedure adjusts properly T_DROP and SHW for each mobile by considering each MS 's environment, so SHO region of any MS is different.

The condition behind the rules is that MS which has only one pilot in active set will not use the rules in Table 1 but it will use the initial assignment T_ADD and T_DROP values.

For the second algorithm, there are 9 rules from 3 fuzzy sets of 2 inputs ($3^2=9$) shown in Table 3 and 9 rules in Table 4 like the first algorithm. For rules as shown in Table 3, the outputs are based on CH_m , and distance of each MS to serving BSs which infers possibility to disconnect some long-distance BSs with the same idea as the first algorithm.

The condition behind the rules is that MS that has only one pilot in active set and is less than one kilometer far from BS will not use the rules in Table 3 and 4 but it will continue using the initial assignment T_ADD and T_DROP values.

2.3 Reasoning mechanism

Fuzzy reasoning is an inference procedure that derives conclusions from a set of fuzzy if-then rules and known facts. The proposed algorithms use *max-min composition* as reasoning mechanism.

Crisp value that best represents a fuzzy set can be extracted by the *defuzzification*. In this paper, The

selected defuzzification strategy is Weight Average Formula (WAF), as shown in equation (2), which rapidly responds to this kind of decision problem.

$$Z_{WAF} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i Z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (2)$$

where Z : a universe of discourse, $z = \{z | z \in Z\}$, $\mu(z)$: the aggregated MF, μ^* : the maximum value of MF, $Z^* = \{z | \mu_A(z) = \mu^*\}$.

3. System model [9,12]

3.1 Assumptions

The MSs in the system are perfectly reverse power controlled and Rayleigh fading is neglected.

3.2 Service area

There are 19 hexagonal cells. The radius of each cell is 3000 m. of equal size with an omni-directional antenna.

4. Computer simulation and results

4.1 Simulations

All parameters values for simulation are referred to [9,12]. The initial SHO thresholds will be used for any new or handoff call and the call that has the number of pilots not more than one as noted previously. The parameter values shown in the figures or the tables are the averaged ones by using data from center and first tier cells. The E_b/N_0 in each cell is re-calculated every 0.1 second.

4.2 Results

For the first algorithm, Carried traffic (T_C) is the expected number of users occupied in each cell. For fixed SHW cases of FIS SHOs, when the fixed SHW is set higher, the system gives more T_C than those of lower fixed SHW, while the adaptive SHW gives T_C of each MFs set nearly around the case of fixed SHW at 2 dB [12] as shown in Fig. 3. However, outage probability should be considered for each T_C as described in Fig.4.

From Fig. 4, outage probability of higher fixed SHWs are higher than those of the lower SHWs, especially at high traffic load but the adaptive SHWs tend to have lower outage probability for higher value of MFs sets and the values of outage probability are around that of fixed SHW at 2 dB.

New call blocking probability (P_B) of higher fixed SHWs are lower than those of the lower SHWs, especially at high traffic load. The adaptive SHWs give nearly value of P_B for each MFs set as shown in Fig. 5 except the case of MFs set of (1,3,4) which gives the lowest of all FIS SHOs while keeps low P_B as shown in Fig. 4.

The characteristics of handoff call blocking probability (P_{HO}) are relevant to those of P_B as shown in Fig. 6.

From these results of SHW and T_DROP , T_ADD of fixed SHW cases are high, then the system can carry more traffics, lower P_B , lower P_{HO} but higher outage probability compared with that of the case of fixed SHW 2 dB (Figs. 3-6). In contrast, T_ADDs of adaptive SHW cases are in range of MFs sets which are not above the upper bound (-12dB) thus still keep the outage probability and P_B around or lower than those of the case of fixed SHW 2 dB while keep T_C around that of the case of fixed SHW 2 dB as shown in Fig. 3.

T_C of the second FIS SHO algorithm shown in Fig. 7 is higher than that of conventional SHO algorithm, and is very close to that of the first algorithm. However, outage probability shown in Fig. 8 is worse than that of conventional SHO algorithm but its values are closed to that of the first FIS SHO algorithm.

P_B and P_{HO} of the second algorithm are close to the P_B and P_{HO} of the first algorithm but still less than those of the conventional SHO algorithm as shown in Figs. 9 and 10.

5. Conclusions

Both of the proposed adaptive FIS SHO algorithms can reduce P_B and P_{HO} with appropriate range of universe of discourse when compared with those of the case of 2 dB SHW of FIS SHO [12] still while keep low outage probability.

References

- [1] X. H. Chen. A Novel Adaptive Load Shedding Scheme for CDMA Cellular Mobile System. Proc. SINGAPORE ICC' 94: 566-570, 1994.
- [2] S. H. Hwang, S. L. Kim, H. S. Oh, C. E. Kang and J. Y. Son. Soft Handoff Algorithm with Variable Thresholds in the CDMA Cellular Systems. IEEE Electronics Letters, 33 (19): 1602-1603, September 1997.
- [3] TIA/EIA/IS-95A. Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Spread Spectrum Systems, July 1993.
- [4] H. G. Jeon, S. H. Hwang, and S. K. Kwon. A Channel Assignment Scheme for Reducing Call Blocking Rate in a DS-CDMA Cellular System. IEEE 6th International Conference on Personal Comm. Record, 2:637-641, October 1997.
- [5] B. Worley and F. Takawira. Handoff Scheme in CDMA Cellular Systems. IEEE COMSIG '98: 255-260, 1998.

[6] TR45 TIA/EIA/IS-95B. Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Spread Spectrum Systems, October 1998.

[7] TIA/EIA/IS-2000-5. Upper Layer (Layer 3) Signaling Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, August 1999.

[8] A. Chheda. A Performance Comparison of the CDMA IS-95B and IS-95A Soft Handoff Algorithms. IEEE VTC'99. 2: 1407-1412, 1999.

[9] B. Homnan, V. Kunsrirsakul and W. Benjapolakul. The Evaluation of Soft Handoff Performance Between IS-95A and IS-95B/cdma2000. IASTED SPC2000: 38-42, September 2000.

[10] Y. Kinoshita and Y. Omata. Advanced Handoff Control Using Fuzzy Inference for Indoor Radio Systems. IEEE 4second VTC, 2: 649-653, 1992.

[11] B. Homnan and W. Benjapolakul. A handover Decision Procedure for Mobile Telephone Systems using Fuzzy Logic. IEEE APCCAS '98: 503-506, November 1998.

[12] B. Homnan, V. Kunsrirsakul and W. Benjapolakul. Adaptation of CDMA Soft Handoff Thresholds using Fuzzy Inference System. IEEE ICPWC2000: 259-263, December 2000.

[13] C. V. Altrock. Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Applications Explained. Prentice Hall, 1995.

Table 1. Rules for T_DROP Adaptation.

CH _{rm} \ no _{BS}	Low	Medium	High
Low	T DROP: High	T DROP: Medium	T DROP: Low
Medium	T DROP: High	T DROP: Medium	T DROP: Low
High	T DROP: High	T DROP: High	T DROP: Medium

Table 2. Rules for Soft Handoff Window Adaptation.

CH _{rm} \ no _{BS}	Low	Medium	High
Low	SHW: High	SHW: Medium	SHW: Low
Medium	SHW: High	SHW: Medium	SHW: Low
High	SHW: High	SHW: High	SHW: Medium

Table 3. Rules for T_DROP Adaptation.

CH _{rm} \ Distance	Low	Medium	High
Low	T DROP: High	T DROP: Medium	T DROP: Low
Medium	T DROP: High	T DROP: Medium	T DROP: Low
High	T DROP: High	T DROP: High	T DROP: Low

Table 4. Rules for T_ADD Adaptation.

CH _{rm} \ Distance	Low	Medium	High
Low	T ADD: High	T ADD: Medium	T ADD: Low
Medium	T ADD: High	T ADD: Medium	T ADD: Low
High	T ADD: High	T ADD: High	T ADD: Medium

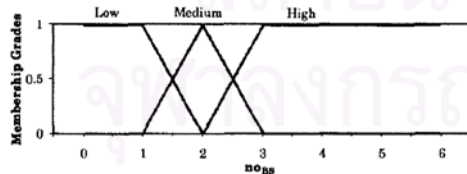


Fig. 1(a) The input triangular MFs of no_{BS}

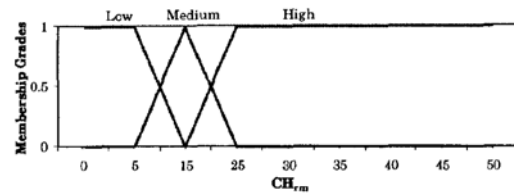


Fig. 1(b) The input triangular MFs of CH_{rm}

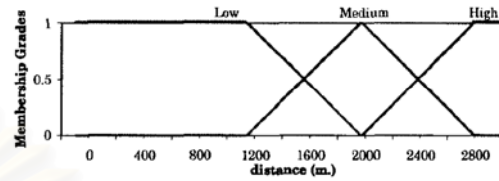


Fig. 1(c) The input triangular MFs of distance

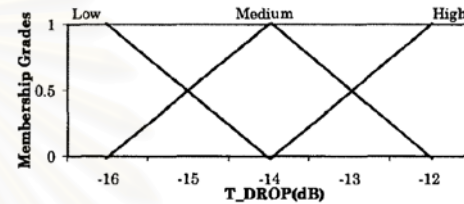


Fig. 2(a) The first algorithm triangular MFs of T_DROP

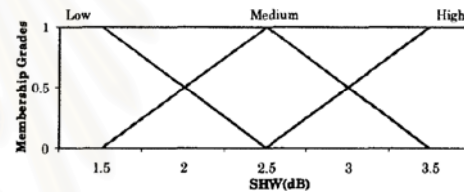


Fig. 2(b) An example of the first algorithm triangular MFs of SHW in range of 1.5 to 3.5 dB which represented by MFs set of (1.5,2.5,3.5).

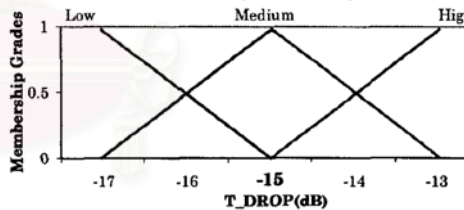


Fig. 2(c) An example of the second algorithm triangular MFs for T_DROP

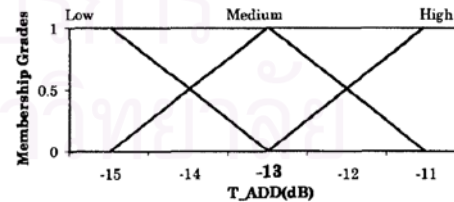


Fig. 2(d) An example of the second algorithm triangular MFs for T_ADD

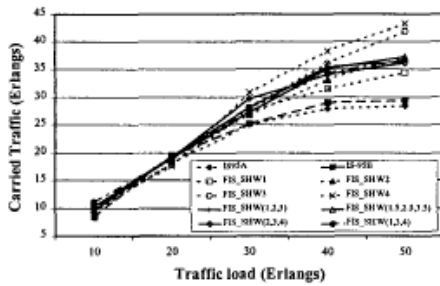


Fig. 3. T_C as a function of traffic load.

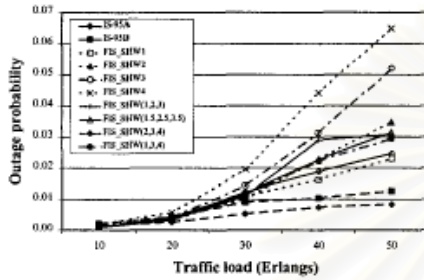


Fig. 4. Outage probability as a function of traffic load.

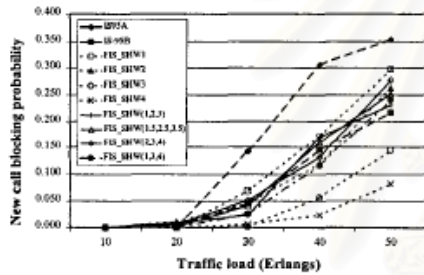


Fig. 5. P_B as a function of traffic load.

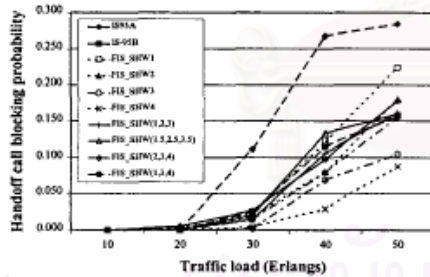


Fig. 6. P_{Ho} as a function of traffic load.

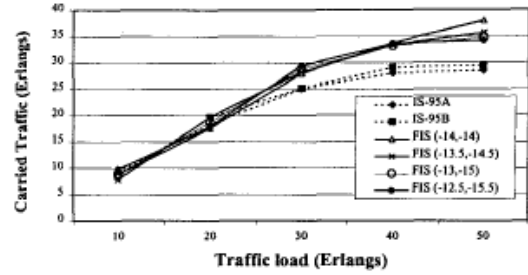


Fig. 7. T_C as a function of traffic load.

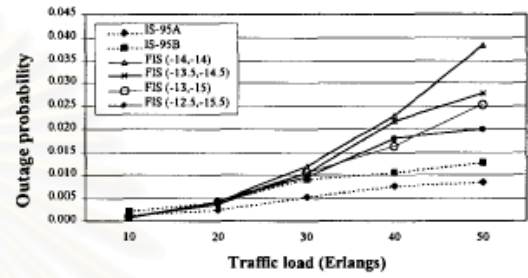


Fig. 8. Outage probability as a function of traffic load

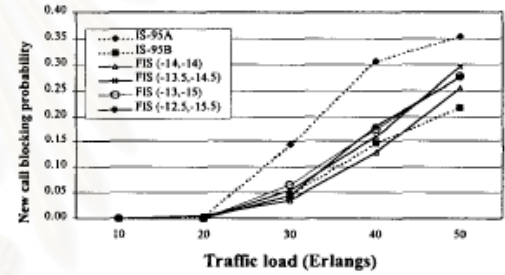


Fig. 9. P_B as a function of traffic load.

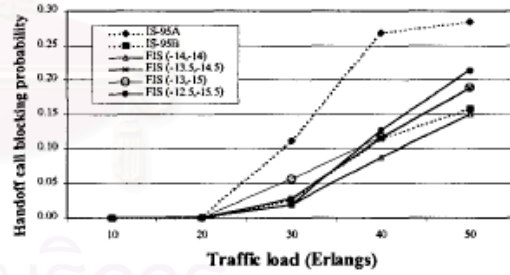


Fig. 10. P_{Ho} as a function of traffic load.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิกรณ์ คุณศรีรักษสกุล เกิดวันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2517 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2538 และได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรแผนก RF System Design ของระบบ WorldPhone1800 (DTAC) บมจ. โทเทิล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (ระบบโทรคมนาคม) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย