การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน

นายสิงหา ประพจนาภรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

Performance Evaluation of Heterogeneous Wireless Network with Migration of User Equipment

Mr.Singha Prapojjanaporn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน
โดย	นายสิงหา ประพจนาภรณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภูมิพัฒ แสงอุดมเลิศ)

สิงหา ประพจนาภรณ์ : การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน. (Performance Evaluation of Heterogeneous Wireless Network with Migration of User Equipment) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. เชาวน์ดิศ อัศวกุล, 54 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งมีเทคโนโลยีระบบใหม่และระบบเดิมอยู่ในพื้นที่ให้บริการบริเวณเดียวกัน เมื่อมีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ โดยพิจารณาการปรับค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ เทียบกับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (ปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้รวมกับปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ตามลำดับ

โดยตรรกะแล้ว การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ คือการเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิก ควรจะส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายเดิมดีขึ้น โดยเฉพาะจุดที่มีการโอนถ่ายอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นจุดที่อุปกรณ์ผู้ใช้งานทั้งหมดสามารถเข้าถึงโครงข่ายไร้สายทั้งหมดที่มีให้บริการได้ นั่นคือสามารถใช้ประโยชน์ของทรัพยากรทั้งหมดที่มีในโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่ให้บริการได้สูงสุด แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะแสดงบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ รวมถึงแสดงเงื่อนไขเพียงพอที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว และสามารถกำหนดช่วงที่สามารถปรับปรุงโครงข่ายใหม่ได้เสมอ และช่วงเข้าสู่ภาวะที่ไม่สามารถคาดเดาการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของโครงข่ายเดิม เมื่อมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานได้ โดยบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดนั้น ตั้งอยู่บนข้อสมมติฐานของคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จริงในสถานการณ์ทางปฏิบัติ นั่นคือคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการเมื่อมีการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการหรือในบางพื้นที่เท่านั้น (hotspot) นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์ได้แสดงผลลัพธ์เชิงตัวเลขและผลการจำลองระบบ พบว่าการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ อาจจะส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลงได้ หากปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการใช้บริการในเซกเตอร์แต่ละเซกเตอร์มีค่าแตกต่างกันสูง แต่อย่างไรก็ตาม จากผลลัพธ์เชิงตัวเลขเพิ่มเติมพบว่า การโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานจะทำให้สมรรถนะโดยรวมของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ปรับปรุงดีขึ้นเสมอ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ..... **ลายมือชื่อนิสิต** .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ..... **ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก** .....

ปีการศึกษา 2555 .....

5570415121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS/ LOAD BALANCING/ MIGRATION OF USER EQUIPMENT.

SINGHA PRAPOJJANAPORN : PERFORMANCE EVALUATION OF HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORK WITH MIGRATION OF USER EQUIPMENT. ADVISOR: ASST. PROF. CHAODIT ASWAKUL, Ph.D., 54 pp.

This thesis presents a performance evaluation of heterogeneous wireless networks based on overlays of new/existing radio access technologies, while old equipments which are compatible with only the existing but not the new networks are gradually replaced by those new user equipments that work with both the existing and new networks. The thesis uses an average probability for call blocking of new network and an average probability for call blocking of the existing network as the main QoS parameter, and varies the percentage of traffic intensity generated from new user equipments to analyze affects from the migration of user equipment.

Logically, the migration of user equipment should increase the flexibility of a load balancing in the heterogeneous wireless networks and give an improved QoS on the existing network especially at the full migration point of user equipment which should be the optimum point since all user equipments could access to all available networks and give the best resource utilisation in the heterogeneous wireless networks. But, in this thesis, we will present the mathematical derivation to prove that the efficiency of existing network at the full migration point of user equipment is worse than the efficiency of existing network at the non-full migration point based on the assumptions of the operating sector which accords to the practical situation e.g. hotspot installation type of the new network. And from those mathematical derivations, we could give the sufficient conditions of the occurring paradox phenomenon, and define the guarantee part of the improved QoS on the existing network and the unpredictable part of the QoS on the existing network during the migration of user equipment. Moreover, this thesis also provides numerical and simulation results which show that the migration of user equipment may lead to degraded QoS on both the new and existing networks if the traffic intensity in each sector is largely different. By the way, our additional numerical results show that the migration of user equipment always improves the overall QoS on the heterogeneous wireless networks.

Department : Electrical Engineering	**Student's Signature** .....
Field of Study : Electrical Engineering	**Advisor's Signature** .....
Academic Year : 2012	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำอันมีค่ายิ่งต่อผู้วิจัย อีกทั้งตรวจทานงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยโครงข่าย (Network Research Group, NRG) ซึ่งดูแลโดย ผศ.ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล และ ผศ.ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร ที่จัดกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และการทำงานของผู้วิจัยให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสะดวกราบรื่น

ขอขอบคุณ ทุนศิษย์ก้นกุฏิ ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนค่าเล่าเรียนและค่าใช้จ่ายรายเดือนตลอดการศึกษา

ขอบคุณเพื่อนพี่น้องนักวิจัยทุกคน รวมถึงเจ้าหน้าที่ บุคลากรที่อยู่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาไฟฟ้าสื่อสาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ และเป็นกำลังใจที่ดียิ่งต่อผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ซึ่งได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . . ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . . จ
กิตติกรรมประกาศ . . . . . ฉ
สารบัญ . . . . . ช
สารบัญตาราง . . . . . ฌ
สารบัญรูป . . . . . ญ
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ 2
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์ 2
2 หลักการและทฤษฎี 4
2.1 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k 4
2.2 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k 5
3 การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข 6
3.1 แนวทางที่เสนอ 6
3.2 นิยามของตัวแปรในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข 8
3.3 ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกทั้งหมดสองประเภท 9
3.4 ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข 10
3.5 ผลลัพธ์เชิงตัวเลข 11
3.6 สรุป 19
4 การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ 21
4.1 แนวทางที่เสนอ 21
4.2 นิยามของตัวแปรในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ 22
4.3 ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาเฉพาะทราฟฟิกประเภทข้อมูล 22

4.4 ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ 23
4.5 ผลการจำลองระบบแบบสโทแคสติก 24
4.6 ผลการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด 28
4.7 สรุป 32
5 การพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ 33
5.1 แนวทางที่เสนอ 33
5.2 นิยามของตัวแปรในการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ 34
5.3 ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกเพียงหนึ่งประเภท 35
5.4 ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายในการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ 36
5.5 บทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ 36
5.5.1 ทฤษฎีบทที่ 1 37
5.5.2 ทฤษฎีบทที่ 2 38
5.5.3 ทฤษฎีบทที่ 3 39
5.5.4 ทฤษฎีบทที่ 4 41
5.6 เงื่อนไขเพียงพอที่จะทำให้สมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ ด้อยลงกว่าสมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ 42
5.7 การติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ 43
5.8 ตัวอย่างผลลัพธ์เชิงตัวเลขจากการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ 44
5.9 สรุป 48
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 49
6.1 บทสรุป 49
6.2 ข้อเสนอแนะ 50
รายการอ้างอิง 52
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 54

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข 12
ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 จากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด 29
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 จากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด 30
ตารางที่ 4.3 ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ จากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด 30
ตารางที่ 4.4 ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม จากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด 31

สารบัญรูป

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกทั้งหมดสองประเภท 9
รูปที่ 3.2 ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม 13
รูปที่ 3.3 ปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม และปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อ n = 100 14
รูปที่ 3.4 ปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม และปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อ n = 400 15
รูปที่ 3.5 ปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม และปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อ n = 700 16
รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของ N 17
รูปที่ 3.7 ปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงโดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมและปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงโดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม . . 17
รูปที่ 3.8 ปริมาณทราฟฟิกประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมและปริมาณทราฟฟิกประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม . . 18
รูปที่ 3.9 ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากจากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ 19
รูปที่ 4.1 การแบ่งเซกเตอร์ในไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ 21
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาเฉพาะทราฟฟิกประเภทข้อมูล 23
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์แบบตารางสม่ำเสมอ 25
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่อง 25
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกติ 26
รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ ด้วยระดับความเชื่อมั่นที่ 95% . 27
รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ด้วยระดับความเชื่อมั่นที่ 95% . 28

รูปที่ 5.1 ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมเมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกเพียงหนึ่งประเภท 35
รูปที่ 5.2 ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าคงที่เท่ากับ 20 เออร์แลงและปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 40 เออร์แลง 45
รูปที่ 5.3 ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าคงที่เท่ากับ 20 เออร์แลงและปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 25 เออร์แลง 46
รูปที่ 5.4 ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าคงที่เท่ากับ 20 เออร์แลงและปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 20 เออร์แลง 46
รูปที่ 5.5 ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าคงที่เท่ากับ 20 เออร์แลงและปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 10 เออร์แลง 47
รูปที่ 5.6 ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ 48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากผู้ใช้งานโครงข่ายสื่อสารไร้สายมีความต้องการด้านบริการมากขึ้น ผู้ประกอบการสื่อสารคมนาคมเคลื่อนที่จึงหาวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้บริการคุณภาพที่ดีที่สุดแก่ผู้ใช้งาน สำหรับผู้ประกอบการสื่อสารคมนาคมเคลื่อนที่ซึ่งให้บริการโครงข่ายไร้สายระบบเดิมอยู่แล้วนั้น (เช่นระบบ 2G หรือ 3G) การซ้อนทับ (overlay) โครงข่ายไร้สายซึ่งมีเทคโนโลยีระบบใหม่ (เช่นระบบ 4G) บนโครงข่ายไร้สายซึ่งมีเทคโนโลยีระบบเดิม เป็นวิธีในทางปฏิบัติซึ่งทำให้เกิดเป็นระบบในลักษณะของ "โครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์" (heterogeneous wireless network) เนื่องจากเทคโนโลยีแต่ละรุ่นของโครงข่ายสื่อสารไร้สายนั้นมีข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไป ดังนั้นการให้บริการโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์จะช่วยเติมเต็มความสามารถในการให้บริการของโครงข่ายแต่ละโครงข่ายและเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการได้ [1]

โครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์นั้น ประกอบด้วยโครงข่ายไร้สายหลาย ๆ โครงข่าย หากการจัดการปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายแต่ละโครงข่ายไร้สายไม่เหมาะสม อาจจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการให้บริการโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์นั้นไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิก (load balancing) ในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์จึงเป็นเรื่องจำเป็น ในอดีต มีนักวิจัยที่เสนอขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้า (call admission control algorithm) เพื่อจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์อย่างมากมาย ใน [2] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้า เมื่อติดตั้งโครงข่ายไร้สายด้วยเทคโนโลยีระบบ LTE ซ้อนทับบนโครงข่ายไร้สายด้วยเทคโนโลยีระบบ GSM และระบบ WCDMA เดิมที่มีอยู่แล้ว โดยวิธีจัดการที่ใช้ขึ้นกับประเภททราฟฟิกของผู้ขอใช้บริการ, ปริมาณทราฟฟิกที่อยู่ในโครงข่ายแต่ละโครงข่าย และเทคโนโลยีของโครงข่ายแต่ละโครงข่าย โดยอาศัยการแฮนด์ออฟแนวดิ่ง (vertical handoff) ระหว่างโครงข่ายต่างเทคโนโลยี นั่นคือการข้ามระบบของอุปกรณ์ไร้สาย เมื่ออุปกรณ์นั้นอยู่ในพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมด้วยเทคโนโลยีหลายระบบและมีความสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีเหล่านั้นได้ [3]

ใน [4] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้า เมื่อมีการร่วมมือกันของโครงข่ายไร้สายซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยีหลาย ๆ ระบบ เช่น GSM, UMTS และ WLAN เป็นต้น โดยวิธีจัดการที่ใช้นั้น ได้เพิ่มการต่อรอง (renegotiation) ด้านคุณภาพที่ผู้ใช้งานได้รับเข้าไปด้วย ใน [5] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าสำหรับโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ซึ่งมีเทคโนโลยีระบบเซลลูลาร์ และระบบ WLAN โดยใช้ความน่าจะเป็นที่ปริมาณทราฟฟิกจะถูกส่งไปให้โครงข่ายไร้สายแต่ละโครงข่าย นอกจากนี้ ใน [6] ได้พิจารณาการซ้อนทับของไมโครเซลล์ (microcell) บนแมโครเซลล์ (macrocell) ด้วยการกระจายปริมาณทราฟฟิกแบบไม่เอกรูป (non-uniform)

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามาข้างต้นพบว่า งานวิจัยเหล่านี้มีจุดมุ่งหมายที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการให้บริการโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ โดยใช้ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าเพื่อจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ แต่งานวิจัยเหล่านั้นได้กำหนดข้อสมมติฐานว่า อุปกรณ์ผู้ใช้งานทั้งหมดสามารถเข้าถึงโครงข่ายไร้สายที่มีให้บริการทั้งหมดได้ นั่นคือไม่ได้พิจารณาถึงความสามารถที่แท้จริงในการเข้าถึงโครงข่ายไร้สายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน ดังนั้นขั้นตอนวิธีดังกล่าวจึงอาจจะไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้อย่างเหมาะสม เพราะในทาง

ปฏิบัตินั้น อุปกรณ์ผู้ใช้งานอาจจะเข้าถึงโครงข่ายไร้สายเพียงบางโครงข่ายเท่านั้น ขึ้นอยู่กับรุ่นของอุปกรณ์ที่ใช้งาน กล่าวคืออุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นที่ทันสมัยกว่าจะสามารถเข้าถึงจำนวนโครงข่ายไร้สายได้มากกว่าอุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นเก่า หากผู้ใช้งานเปลี่ยนอุปกรณ์ใช้งานจากรุ่นเก่าเป็นรุ่นที่ทันสมัยมากขึ้น จะสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรทั้งหมดในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์และเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ได้ [2]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

เพื่อประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งมีเทคโนโลยีระบบใหม่และระบบเดิมอยู่ในพื้นที่ให้บริการบริเวณเดียวกัน เมื่อมีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีโครงข่ายสองระบบคือโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม
2. ประเมินสมรรถนะของระบบจากการคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่าย สำหรับโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม
3. ศึกษาเซกเตอร์สองเซกเตอร์ที่ให้บริการโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ด้วยการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งมีเทคโนโลยีระบบใหม่และระบบเดิมอยู่ในพื้นที่ให้บริการบริเวณเดียวกัน เมื่อมีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้

1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ: กล่าวถึง ความสำคัญของการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ และวิธีการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิกจากงานวิจัยในอดีต

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี: กล่าวถึง หลักการและทฤษฎีในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายและการคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่าย

บทที่ 3 การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข: กล่าวถึง การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้

สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบใหม่และโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบเดิม เมื่อมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน ด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข

บทที่ 4 การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ: กล่าวถึง การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบใหม่และโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบเดิม เมื่อมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน ด้วยการจำลองระบบแบบสโทแคสติกและแบบเชิงกำหนด

บทที่ 5 การพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์: กล่าวถึง การพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ว่า สมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ มีค่าด้อยลงจริงเมื่อเปรียบเทียบกับสมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ รวมถึงได้แสดงเงื่อนไขเพียงพอที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ: สรุปงานวิจัยทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

งานวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้นโยบายการอนุญาตให้เข้าถึงช่องสัญญาณในโครงข่ายใด ๆ เป็นนโยบายการแบ่งปันทั้งหมด (complete sharing) [7] และใช้ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม เมื่อนิยามให้ j เป็นดัชนีประเภททราฟฟิกและ k เป็นดัชนีประเภทระบบของโครงข่าย

ดังนั้น เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายหลักการและทฤษฎีในการคำนวณค่าความน่าจะเป็น $B_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k และการคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k

2.1 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k

ค่าความน่าจะเป็น $B_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k สามารถคำนวณได้ หากทราบค่าปริมาณทราฟฟิก $O_{k,j}$ สำหรับทราฟฟิกทุกประเภท j ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k และทราบค่าความจุ C_k ของโครงข่ายระบบ k ดังนี้ [8]

พิจารณาโครงข่ายระบบ k ซึ่งมีค่าความจุ C_k และมีจำนวนประเภททราฟฟิกทั้งหมด a ประเภทที่เข้ามาขอใช้บริการ กำหนดให้ j ดัชนีประเภทของทราฟฟิก ($j = 1, \ldots, a$) โดยอัตราการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k ของทราฟฟิกประเภท j นั้นเป็นกระบวนการปัวซง (Poisson) ที่เป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ย $\lambda_{k,j}$ และระยะเวลาที่ขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k จากการเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภท j แต่ละการเรียกเข้า เป็นอิสระและมีการแจกแจงเหมือนกัน (independent and identically distributed) ด้วยค่าเฉลี่ย $(\mu_{k,j})^{-1}$ กำหนดให้ $\underline{t}_k = (t_{k,1}, \ldots, t_{k,a})$ แทนเวกเตอร์สถานะของโครงข่ายระบบ k เมื่อ $t_{k,j}$ คือจำนวนการเชื่อมต่อของทราฟฟิกประเภท j ในโครงข่ายระบบ k และกำหนดให้ $\underline{b} = (b_1, \ldots, b_a)$ แทนเวกเตอร์แบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกต้องการ เมื่อ b_j คือแบนด์วิดท์ที่การเชื่อมต่อแต่ละอันของทราฟฟิกประเภท j ต้องการ

จากนโยบายการอนุญาตให้เข้าถึงช่องสัญญาณแบบนโยบายการแบ่งปันทั้งหมด การร้องขอการเชื่อมต่อใหม่ในโครงข่ายระบบ k จะได้รับอนุญาตเมื่อ $\underline{t}_k$ (รวมการเชื่อมต่อใหม่) ยังคงอยู่ในปริภูมิสถานะ S_k :

$$S_k = \{\underline{t}_k \in I^a | \underline{t}_k \cdot \underline{b} \leq C_k\} \tag{2.1}$$

เมื่อ I แทนเซตของจำนวนเต็มที่มีค่าไม่ติดลบ

นิยาม $\pi(\underline{t}_k) = \pi(t_{k,1}, \ldots, t_{k,a})$ แทนการแจกแจงสถานะของโครงข่ายระบบ k เมื่อเข้าสู่สถานะอิ่มตัว มีสูตรคำนวนดังนี้

$$\pi(\underline{t}_k) = \begin{cases} \dfrac{\prod_{j=1}^{a} \dfrac{O_{k,j}^{t_{k,j}}}{t_{k,j}!}}{\sum_{\underline{\tau}_k \in S_k} [\prod_{j=1}^{a} \dfrac{O_{k,j}^{\tau_{k,j}}}{\tau_{k,j}!}]}, & \underline{t}_k \in S_k \\ 0, & \underline{t}_k \notin S_k \end{cases} \tag{2.2}$$

เมื่อ $O_{k,j} = \frac{\lambda_{k,j}}{\mu_{k,j}}$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภท j ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k

ค่าความน่าจะเป็น $B_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธจากโครงข่ายระบบ k สามารถคำนวณจาก

$$B_{k,j} = \sum_{\{\underline{t}_k \in S_k | \underline{t}_k + \underline{e}_j \notin S_k\}} \pi(\underline{t}_k), j = 1, \ldots, a \tag{2.3}$$

เมื่อ $\underline{e}_j$ คือเวกเตอร์ขนาด a มิติ ซึ่งทุกตำแหน่งประกอบไปด้วยค่า 0 ทั้งหมด ยกเว้นตำแหน่งที่ j จะมีค่าเท่ากับ 1

2.2 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k

สำหรับการคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ คำนวณจากผลรวมของปริมาณทราฟฟิกประเภท j ที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่าย k ของทุกเซกเตอร์ให้บริการ หารด้วยผลรวมของปริมาณทราฟฟิกประเภท j ที่ต้องการเข้ามาใช้บริการโครงข่ายระบบ k ของทุกเซกเตอร์ให้บริการ ดังในสมการที่ (2.4)

$$\bar{B}_{k,j} = \frac{\sum_{r=1}^{m} L_{k,j}^{(r)}}{\sum_{r=1}^{m} O_{k,j}^{(r)}} \tag{2.4}$$

เมื่อ m คือจำนวนเซกเตอร์ทั้งหมดที่ให้บริการ

$O_{k,j}^{(r)}$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภท j ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k ของเซกเตอร์ที่ r

$L_{k,j}^{(r)}$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภท j ที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ของเซกเตอร์ที่ r โดย $L_{k,j}^{(r)} = B_{k,j}^{(r)} O_{k,j}^{(r)}$ และ

$B_{k,j}^{(r)}$ คือความน่าจะเป็นที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธจากโครงข่ายระบบ k ของเซกเตอร์ที่ r เมื่อมีปริมาณทราฟฟิก $O_{k,j}^{(r)}$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการ

บทที่ 3

การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข

ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาประสิทธิภาพของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบใหม่และโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบเดิม เมื่อมีอุปกรณ์ผู้ใช้งานสองรุ่น ได้แก่รุ่นใหม่และรุ่นเดิม โดยกำหนดให้ทราฟฟิกที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นใหม่สามารถเข้าถึงโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบใหม่และโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบเดิมได้ ส่วนทราฟฟิกที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นเดิมจะสามารถเข้าถึงโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ประเภทของทราฟฟิกที่พิจารณาในบทนี้มีสองประเภท ได้แก่ประเภทเสียงและประเภทข้อมูล เพื่อความง่ายต่อการอ้างอิง ในงานวิทยานิพนธ์นี้ขอเรียกโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบใหม่ว่า โครงข่ายใหม่ และโครงข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีระบบเดิมว่า โครงข่ายเดิม

3.1 แนวทางที่เสนอ

พิจารณาเซกเตอร์ (sector) ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์หนึ่ง ๆ โดยโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์นั้น มีโครงสร้างการซ้อนทับโครงข่ายใหม่บนโครงข่ายเดิม โดยกำหนดให้สายอากาศของเซกเตอร์นั้น ๆ ส่งกำลังสัญญาณของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้วยกำลังที่เท่ากัน และกำหนดให้จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์นั้นเป็นตัวแปรสุ่มสังยุต N ซึ่งมีฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น $P_N(n) = P(N = n)$

กำหนดให้อุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการนั้นกำเนิดทราฟฟิกสองประเภท ได้แก่ ประเภทเสียงและประเภทข้อมูล โดยมีอัตราการเข้ามาขอใช้บริการของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลเป็นกระบวนการปัวซง ด้วยค่าเฉลี่ย λ_v และ λ_d ตามลำดับ หากในเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ ครอบคลุมจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์ ($N = n$) อัตราการเข้ามาขอใช้บริการของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลในเซกเตอร์ให้บริการนั้น ๆ จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $n\lambda_v$ และ $n\lambda_d$ ตามลำดับ โดยใช้ทฤษฎีการรวมกัน (superposition theorem) ของกระบวนการปัวซงที่เป็นอิสระกัน [9] นอกจากนี้ กำหนดให้ระยะเวลาที่ขอใช้บริการจากการเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภทเสียงแต่ละการเรียกเข้า มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (exponential) โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น $(\mu_v)^{-1}$ สำหรับทราฟฟิกประเภทข้อมูลนั้น กำหนดให้ขนาดของปริมาณข้อมูลที่จะรับส่งผ่านโครงข่ายต่อการเรียกเข้าหนึ่ง ๆ มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง ด้วยค่าเฉลี่ย $(\mu_d)^{-1}$ ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลาที่ขอใช้บริการจากการเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภทข้อมูลแต่ละการเรียกเข้านั้น มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น $(\mu_d)^{-1}$ เช่นกัน [10] กำหนดให้การเชื่อมต่อของทราฟฟิกแบบเสียงแต่ละการเชื่อมต่อ ต้องการแบนด์วิดท์คงที่ b_v และการเชื่อมต่อของทราฟฟิกแบบข้อมูลแต่ละการเชื่อมต่อ ต้องการแบนด์วิดท์ขั้นต่ำ b_d

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดให้นโยบายการอนุญาตให้เข้าถึงช่องสัญญาณในโครงข่ายใด ๆ เป็นนโยบายการแบ่งปันทั้งหมด [7] นั่นหมายความว่า หากมีการร้องขอการเชื่อมต่อใหม่ของทราฟฟิกประเภทเสียงหรือประเภทข้อมูลในโครงข่ายใด ๆ และความจุที่เหลืออยู่ในโครงข่ายนั้น ๆ มีค่าน้อยกว่า

b_v หรือ b_d ตามลำดับ การร้องขอการเชื่อมต่อของทราฟฟิกประเภทเสียงหรือประเภทข้อมูลนั้นจะถูกปฏิเสธ (block) ออกจากระบบทันที

หากจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับ n อุปกรณ์ ($N = n$) ปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ในเซกเตอร์ให้บริการนั้น ๆ จึงมีค่าเท่ากับ $\rho(n) = \rho_v(n) + \rho_d(n) = \frac{n\lambda_v}{\mu_v} + \frac{n\lambda_d}{\mu_d}$ เออร์แลง ทั้งนี้ ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น งานวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานสองรุ่น ได้แก่รุ่นใหม่และรุ่นเดิม ซึ่งมีความสามารถในการเข้าถึงโครงข่ายต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถจำแนกปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการ ออกเป็นทั้งหมด 4 ประเภทดังนี้

1. ทราฟฟิกประเภทเสียงซึ่งสามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ มีปริมาณทราฟฟิก $\beta\gamma\rho(n)$ เออร์แลง

2. ทราฟฟิกประเภทข้อมูลซึ่งสามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ มีปริมาณทราฟฟิก $\beta(1-\gamma)\rho(n)$ เออร์แลง

3. ทราฟฟิกประเภทเสียงซึ่งสามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว มีปริมาณทราฟฟิก $(1-\beta)\gamma\rho(n)$ เออร์แลง

4. ทราฟฟิกประเภทข้อมูลซึ่งสามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว มีปริมาณทราฟฟิก $(1-\beta)(1-\gamma)\rho(n)$ เออร์แลง

เมื่อ β แทนอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด และ γ แทนอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกแบบเสียง ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด

3.2 นิยามของตัวแปรในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข

i	ดัชนีสถานะของความสามารถของทราฟฟิกในการเข้าถึงโครงข่าย เป็นได้สองค่าดังนี้ $i = 1$ แทนสถานะทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ และ $i = 2$ แทนสถานะทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว
j	ดัชนีประเภททราฟฟิก เป็นได้สองค่าดังนี้ $j = 1$ แทนทราฟฟิกประเภทเสียง และ $j = 2$ แทนทราฟฟิกประเภทข้อมูล
k	ดัชนีประเภทระบบของโครงข่าย เป็นได้สองค่าดังนี้ $k = 1$ แทนโครงข่ายใหม่ และ $k = 2$ แทนโครงข่ายเดิม
$\rho_{i,j}(n)$	ปริมาณทราฟฟิกประเภท j ที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์ และมีสถานะของความสามารถในการเข้าถึงโครงข่าย i
$O_{k,j}(n)$	ปริมาณทราฟฟิกประเภท j ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์
$B_{k,j}(n)$	ความน่าจะเป็นที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์
$L_{k,j}(n)$	ปริมาณทราฟฟิกประเภท j ที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์ โดย $L_{k,j}(n) = B_{k,j}(n)O_{k,j}(n)$
C_k	ความจุของโครงข่ายระบบ k
$E[O_{k,j}(N)]$	ปริมาณทราฟฟิกประเภท j โดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k ของเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ โดยเฉลี่ยจากค่าของ $O_{k,j}(n)$ ทั้งหมดที่เป็นไปได้ของ n และถ่วงน้ำหนักด้วยฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น $P_N(n)$ ของค่า n นั้น ๆ
$E[L_{k,j}(N)]$	ปริมาณทราฟฟิกประเภท j โดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ของเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ โดยเฉลี่ยจากค่าของ $L_{k,j}(n)$ ทั้งหมดที่เป็นไปได้ของ n และถ่วงน้ำหนักด้วยฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น $P_N(n)$ ของค่า n นั้น ๆ
$\bar{B}_{k,j}$	ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k โดยคำนวณจากปริมาณทราฟฟิก $E[O_{k,j}(N)]$ ประเภท j โดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k และปริมาณทราฟฟิก $E[L_{k,j}(N)]$ ประเภท j โดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k
$\hat{B}_j$	ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

ปริมาณทราฟฟิก $\rho_{i,j}(n)$ ประเภท j ที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n

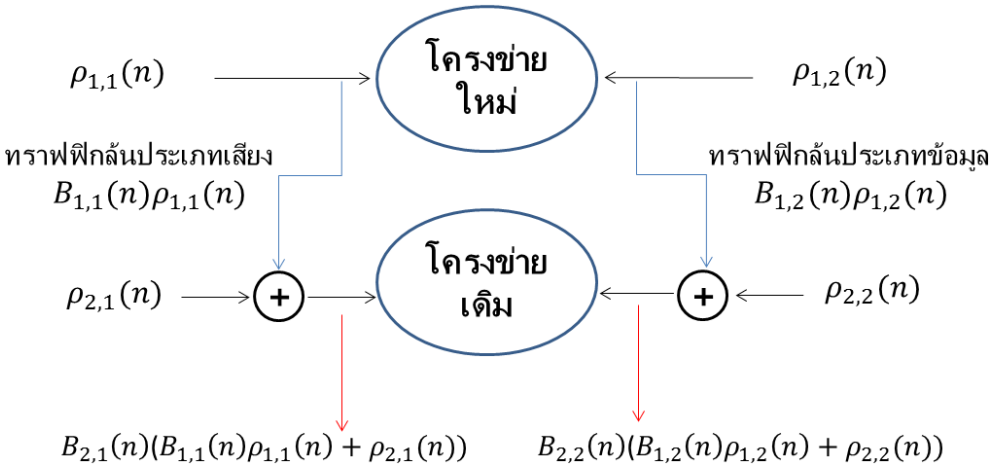
อุปกรณ์ และมีสถานะของความสามารถในการเข้าถึงโครงข่าย i จึงเขียนได้เป็น

$\rho_{1,1}(n) = \beta\gamma\rho(n)$
$\rho_{1,2}(n) = \beta(1-\gamma)\rho(n)$
$\rho_{2,1}(n) = (1-\beta)\gamma\rho(n)$
$\rho_{2,2}(n) = (1-\beta)(1-\gamma)\rho(n)$

3.3 ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกทั้งหมดสองประเภท

ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าโครงข่ายต่าง ๆ ในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่ใช้ในบทที่ 3 นี้ กำหนดให้ทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ ($\rho_{1,1}(n)$ และ $\rho_{1,2}(n)$) จะถูกส่งไปขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ก่อนเป็นอันดับแรก เมื่อโครงข่ายใหม่อยู่ในสถานะอิ่มตัว ทราฟฟิกทุกประเภทที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ ($B_{1,1}(n)\rho_{1,1}(n)$ และ $B_{1,2}(n)\rho_{1,2}(n)$) จะล้นมาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม เพื่อความง่ายต่อการอ้างอิงในงานวิจัยนี้ จะขอเรียกทราฟฟิกกลุ่มนี้ว่า ทราฟฟิกล้น (overflow traffic) โดยกำหนดให้กระบวนการเข้ามาขอใช้บริการของทราฟฟิกล้นทุกประเภทเป็นกระบวนการปัวซง

สำหรับทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ($\rho_{2,1}(n)$ และ $\rho_{2,2}(n)$) ทราฟฟิกกลุ่มนี้จะเข้าถึงโครงข่ายเดิมโดยตรง โดยไม่สามารถขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ก่อนได้ ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกทั้งหมดสองประเภทแสดงอยู่ในรูปที่ 3.1 ทั้งนี้ กำหนดให้โครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมในทุกเซกเตอร์ที่ให้บริการ มีความจุเท่ากับ C_1 และ C_2 เท่ากันตามลำดับ



รูปที่ 3.1: ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกทั้งหมดสองประเภท

ดังนั้นจากขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้า ทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ จะประกอบด้วยทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ ส่วนทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม จะประกอบด้วยทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว และทราฟฟิกล้นทุกประเภท

ปริมาณทราฟฟิก $O_{k,j}(n)$ ประเภท j ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k จึงเขียนได้เป็น

$O_{1,1}(n) = \rho_{1,1}(n)$

$O_{1,2}(n) = \rho_{1,2}(n)$

$O_{2,1}(n) = \rho_{2,1}(n) + B_{1,1}(n)\rho_{1,1}(n)$

$O_{2,2}(n) = \rho_{2,2}(n) + B_{1,2}(n)\rho_{1,2}(n)$

ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น งานวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้นโยบายการอนุญาตให้เข้าถึงช่องสัญญาณในโครงข่ายใด ๆ เป็นนโยบายการแบ่งปันทั้งหมด ดังนั้นค่าความน่าจะเป็น $B_{k,j}(n)$ ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์ จึงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) โดยการแทนค่าปริมาณทราฟฟิก $O_{k,j}$ ในสมการที่ (2.2) ด้วยปริมาณทราฟฟิก $O_{k,j}(n)$ หากทราบค่าปริมาณทราฟฟิก $O_{k,j}(n)$ สำหรับทราฟฟิกทุกประเภท j ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์ และทราบค่าความจุ C_k ของโครงข่ายระบบ k

3.4 ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข

ดังที่ได้กำหนดไปข้างต้นว่า งานวิทยานิพนธ์นี้ใช้ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) แต่เนื่องจากในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลขนั้น ปริมาณทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ให้บริการแต่ละเซกเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์ผู้ใช้งาน n ที่ต้องการใช้บริการในเซกเตอร์นั้น ๆ ดังนั้นในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลขนี้จึงจะขอปรับสมการ (2.4) เพื่อการคำนวณค่าความน่าจะเป็น $\bar{B}_{k,j}$ ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของจำนวนอุปกรณ์ผู้ใช้งาน n แทน ดังนี้

$$\bar{B}_{k,j} = \frac{\sum_{r=1}^{m} L_{k,j}^{(r)}}{\sum_{r=1}^{m} O_{k,j}^{(r)}} = \frac{\sum\limits_{\forall n} b(n) L_{k,j}(n)}{\sum\limits_{\forall n} b(n) O_{k,j}(n)} = \frac{\sum\limits_{\forall n} \frac{b(n)}{m} L_{k,j}(n)}{\sum\limits_{\forall n} \frac{b(n)}{m} O_{k,j}(n)} \tag{3.1}$$

เมื่อ $b(n)$ คือจำนวนของเซกเตอร์ให้บริการที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการ n อุปกรณ์

ตัวแปร $\frac{b(n)}{m}$ ในสมการที่ (3.1) นั้นคืออัตราส่วนจำนวนของเซกเตอร์ให้บริการที่มีอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการ n อุปกรณ์ต่อจำนวนเซกเตอร์ทั้งหมด ซึ่งมีความหมายตรงกับฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น $P_N(n)$ ที่หมายถึงความน่าจะเป็นที่เซกเตอร์ให้บริการใด ๆ จะครอบคลุมจำนวนอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการ n อุปกรณ์

เมื่อแทนที่อัตราส่วน $\frac{b(n)}{m}$ ด้วยฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น $P_N(n)$ แล้วค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k จึงสามารถจัดอยู่ในรูปของปริมาณทราฟฟิก $E[O_{k,j}(N)]$ ประเภท j โดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k และปริมาณทราฟฟิก $E[L_{k,j}(N)]$ ประเภท j โดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ได้ตามสมการที่ (3.2)

$$\bar{B}_{k,j} = \frac{\sum_{\forall n} L_{k,j}(n) P_N(n)}{\sum_{\forall n} O_{k,j}(n) P_N(n)} = \frac{E[L_{k,j}(N)]}{E[O_{k,j}(N)]} \tag{3.2}$$

เมื่อ $E[O_{k,j}(N)]$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภท j โดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k ของเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ

$E[L_{k,j}(N)]$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภท j โดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ของเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ

3.5 ผลลัพธ์เชิงตัวเลข

ใน [11] ได้เสนอไว้ว่าจำนวนการเรียกเข้าของโทรศัพท์ในโครงข่ายที่ให้บริการนั้น มีการแจกแจงแบบเลขยกกำลัง (Power law distribution) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานทั้งหมด N ที่ต้องการใช้บริการในเซกเตอร์ใด ๆ เป็นตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบเลขยกกำลังด้วยพารามิเตอร์ s ซึ่งมีฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นดังนี้

$$P_N(n) = \frac{n^{-s}}{\sum_{e=1}^{\infty} e^{-s}} \tag{3.3}$$

ดังนั้นจึงสามารถแทนที่ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น $P_N(n)$ จากสมการที่ (3.3) ลงในสมการที่ (3.2) ได้

เพื่อประเมินสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม เมื่อมีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ คือการเพิ่มปริมาณทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ เมื่อยังคงค่าปริมาณทราฟฟิกรวมทั้งหมดไว้ (ปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้รวมกับปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว) งานวิจัยนี้จึงปรับค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) จาก 0 % ถึง 100 % สำหรับอัตราส่วน β แต่ละค่านั้น งานวิทยานิพนธ์นี้คำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k จากสมการที่ (3.2) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 และใช้ค่าอัตราส่วน β ตามที่พิจารณาอยู่ โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน N ที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์หนึ่ง ๆ มีค่าเป็นไปได้ตั้งแต่ 1 ถึง 700 อุปกรณ์ ($N \in \{1, 2, 3, \ldots, 700\}$) และกำหนดให้ปริมาณทราฟฟิก $\rho(1)$ ที่กำเนิดจากอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน 1 อุปกรณ์มีค่าเท่ากับ 1 เออร์แลง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข โดยค่าของ

พารามิเตอร์เหล่านั้น งานวิจัยนี้กำหนดขึ้นมาเพื่อจะแสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสมรรถนะที่ไม่คาดคิดของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จริงเมื่อมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน ดังนั้นผู้ประกอบการสื่อสารคมนาคมจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างรอบคอบ

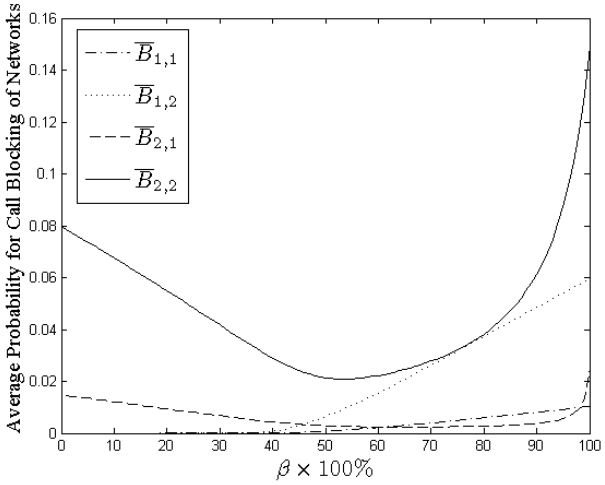
ตารางที่ 3.1: การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข

พารามิเตอร์	ค่า	พารามิเตอร์	ค่า
$\rho(1)$	1 เออร์แลง	γ	75 %
b_v	0.064 Mb/s	b_d	0.512 Mb/s
C_1	50 Mb/s	C_2	42 Mb/s
s	2	N	$\in$ {1,2,3,...,700}

ผลลัพธ์เชิงตัวเลข แสดงอยู่ในรูปที่ 3.2 พบว่าการเพิ่มค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) ตั้งแต่ 0 % จนถึง 100 % เมื่อคงค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดไว้ ตามตารางที่ 3.1 จะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ ($\bar{B}_{1,1}$ และ $\bar{B}_{1,2}$ ตามลำดับ) มีค่าสูงขึ้น เพราะการเพิ่มค่าอัตราส่วน β นั้น จะทำให้ปริมาณทราฟฟิก $E[O_{1,1}(N)]$ ประเภทเสียงโดยเฉลี่ย และปริมาณทราฟฟิก $E[O_{1,2}(N)]$ ประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ มีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มค่าอัตราส่วน β ตั้งแต่ 0 % จนถึง 100 % จะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{2,1}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม มีค่าลดลงเมื่อ $\beta \leq 65$ % และมีค่าสูงขึ้นเมื่อ $\beta \geq 65$ % และการเพิ่มค่าอัตราส่วน β จะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{2,2}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม มีค่าลดลงเมื่อ $\beta \leq 55$ % และมีค่าสูงขึ้นเมื่อ $\beta \geq 55$ %

โดยตรรกะแล้ว การเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) คือการเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิก โดยเพิ่มปริมาณทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ และลดปริมาณทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ดังนั้นเมื่ออัตราส่วน β มีค่ามากขึ้น สมรรถนะของโครงข่ายใหม่ควรจะด้อยลง เพราะมีปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายใหม่มากขึ้น และสมรรถนะของโครงข่ายเดิมควรจะดีขึ้น เพราะไม่ต้องรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดที่ขอใช้บริการ เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ จะไปขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ก่อน แล้วจึงล้นมาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมเมื่อโครงข่ายใหม่อยู่ในสถานะอิ่มตัว แต่จากผลลัพธ์เชิงตัวเลขพบว่า เมื่อ $\beta \geq 65$ % จะทำให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลง ซึ่งสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายใหม่นั้นเป็นสิ่งที่คาดการณ์ไว้แล้ว แต่สมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิมนั้นตรงกันข้ามกับที่คาดการณ์ไว้ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{2,1}$ และ $\bar{B}_{2,2}$ (สมรรถนะของโครงข่ายเดิมด้อยลง) เมื่ออัตราส่วน β มีค่ามากขึ้น จึงน่าสนใจอย่างยิ่ง

จากสมการที่ (3.2) พบว่า ความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้การเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ใด ๆ นั้น คำนวณจากปริมาณทราฟฟิก



รูปที่ 3.2: ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม

$O_{k,j}(n)$ ประเภท j ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์ และปริมาณทราฟฟิก $L_{k,j}(n)$ ที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์ ของทุกเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ของ n ($N \in \{1, \ldots, 700\}$) และถ่วงน้ำหนักของเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์ด้วยฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น $P_N(n)$ เพื่อหาเหตุผลว่าทำไมการเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) จึงทำให้ความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{2,1}$ และ $\bar{B}_{2,2}$ มีค่าสูงขึ้น งานวิทยานิพนธ์จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาค่าของปริมาณทราฟฟิก $O_{2,1}(n)$, $L_{2,1}(n)$, $O_{2,2}(n)$ และ $L_{2,2}(n)$ ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะขอแสดงตัวอย่างค่าของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเท่านั้น

รูปที่ 3.3 – 3.5 แสดงค่าของปริมาณทราฟฟิก $O_{2,1}(n)$, $L_{2,1}(n)$, $O_{2,2}(n)$ และ $L_{2,2}(n)$ หาก $n = 100, 400$ และ 700 ตามลำดับ เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) มีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อ $O_{2,1}(n)$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์

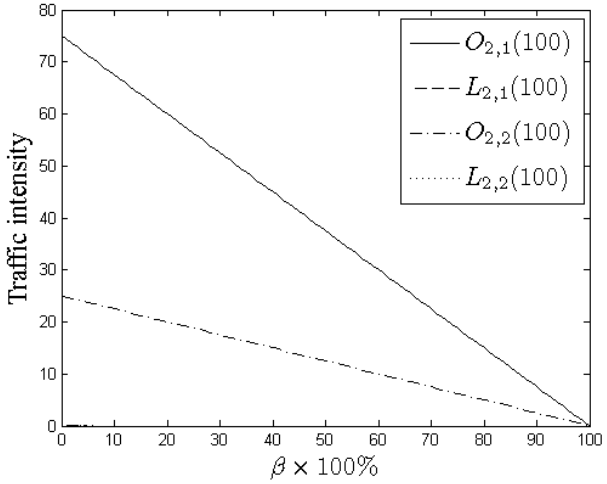
$L_{2,1}(n)$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์

$O_{2,2}(n)$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์

$L_{2,2}(n)$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อมีจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด n อุปกรณ์

จากรูปที่ 3.3 พบว่า หากจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานในเซกเตอร์ให้บริการใด ๆ มีค่าน้อย หรือ

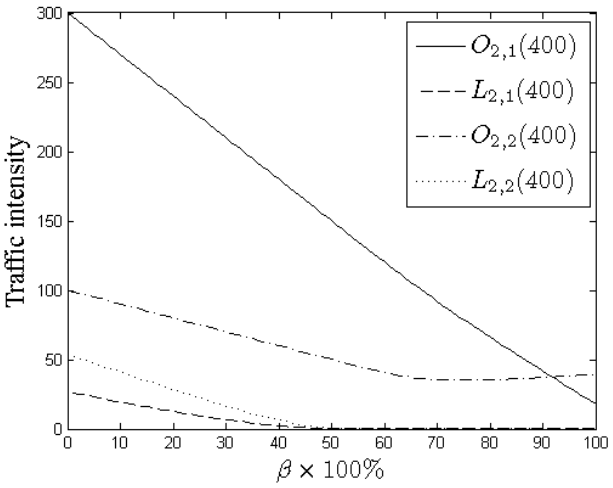
อธิบายอีกทางหนึ่งคือ หากปริมาณทราฟฟิกรวมที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ให้บริการใด ๆ มีค่าน้อย ในกรณีนี้คือจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์หนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับ 100 อุปกรณ์ ($n = 100$) การเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) จะไม่ทำให้เกิดทราฟฟิกล้นจากโครงข่ายใหม่มายังโครงข่ายเดิมของทราฟฟิกทุกประเภท สำหรับทุกค่าอัตราส่วน β เพราะว่าโครงข่ายใหม่สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกที่เพิ่มขึ้นได้ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วน β จึงส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิก $O_{2,1}(100)$ ประเภทเสียงและปริมาณทราฟฟิก $O_{2,2}(100)$ ประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง สำหรับค่าของปริมาณทราฟฟิก $L_{2,1}(100)$ ประเภทเสียงและปริมาณทราฟฟิก $L_{2,2}(100)$ ประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมนั้น ค่าทั้งสองแปรผันตามค่าของปริมาณทราฟฟิก $O_{2,1}(100)$ ประเภทเสียงและปริมาณทราฟฟิก $O_{2,2}(100)$ ประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกรวมในเซกเตอร์ให้บริการมีค่าน้อย จึงส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิก $O_{2,1}(100)$ ประเภทเสียงและปริมาณทราฟฟิก $O_{2,2}(100)$ ประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม มีค่าน้อย ดังนั้นค่าของปริมาณทราฟฟิก $L_{2,1}(100)$ ประเภทเสียงและปริมาณทราฟฟิก $L_{2,2}(100)$ ประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม จึงไม่ปรากฏ สำหรับทุกค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β)



รูปที่ 3.3: ปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม และปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อ n = 100

จากรูปที่ 3.4 พบว่า หากจำนวนของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานในเซกเตอร์ให้บริการใด ๆ มีค่าไม่สูงนัก หรืออธิบายอีกทางหนึ่งคือ หากปริมาณทราฟฟิกรวมที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ให้บริการใด ๆ มีค่าไม่สูงนัก ในกรณีนี้คือจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์หนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับ 400 อุปกรณ์ ($n = 400$) การเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) จะทำให้เกิดทราฟฟิกล้นจากโครงข่ายใหม่มายังโครงข่ายเดิมของทราฟฟิกทุกประเภท ในบางช่วงของอัตราส่วน β (เมื่อ $\beta \geq 70$ % ในกรณีที่ $n = 400$) และส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิก $O_{2,1}(400)$ ประเภทเสียงที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อ $\beta \leq 70$ % และมีค่าลดลงด้วยอัตราที่ช้าลง เมื่อ $\beta \geq 70$

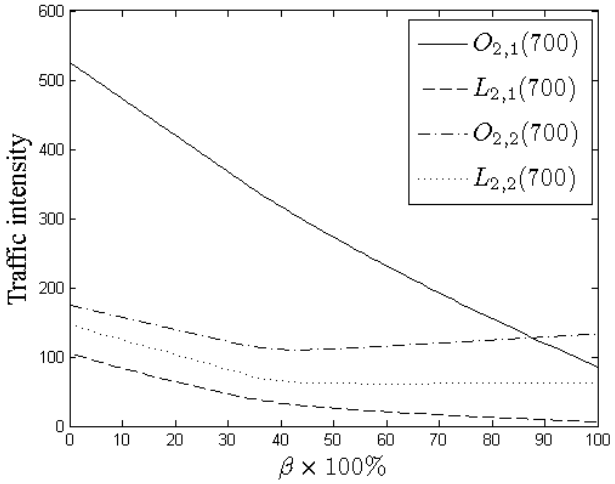
% และปริมาณทราฟฟิก $O_{2,2}(400)$ ประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อ $\beta \leq 70$ % และมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อ $\beta \geq 70$ % นอกจากนี้ เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกรวมในเซกเตอร์ให้บริการมีค่ามากขึ้น จึงทำให้ปริมาณทราฟฟิก $O_{2,1}(400)$ ประเภทเสียงและปริมาณทราฟฟิก $O_{2,2}(400)$ ประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม มีค่าสูง และส่งผลให้ค่าของปริมาณทราฟฟิก $L_{2,1}(400)$ ประเภทเสียงและปริมาณทราฟฟิก $L_{2,2}(400)$ ประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ปรากฏค่า เมื่อ $\beta \leq 50$ %



รูปที่ 3.4: ปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม และปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อ n = 400

จากรูปที่ 3.5 พบว่า หากจำนวนของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานในเซกเตอร์ให้บริการใด ๆ มีค่าสูง หรืออธิบายอีกทางหนึ่งคือ หากปริมาณทราฟฟิกรวมที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ให้บริการใด ๆ มีค่าสูง ในกรณีนี้คือจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์หนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับ 700 อุปกรณ์ ($n = 700$) การเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) จะทำให้เกิดทราฟฟิกล้นจากโครงข่ายใหม่มายังโครงข่ายเดิมของทราฟฟิกทุกประเภท ในบางช่วงของอัตราส่วน β (เมื่อ $\beta \geq 40$ % ในกรณีที่ $n = 700$) ในช่วงของอัตราส่วน β ที่มีทราฟฟิกล้นจากโครงข่ายใหม่มายังโครงข่ายเดิม ($\beta \geq 40$ %) จะพบว่าอัตราการลดลงของปริมาณทราฟฟิก $O_{2,1}(700)$ ประเภทเสียงที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมจะมีค่าช้าลง และค่าของปริมาณทราฟฟิก $O_{2,2}(700)$ ประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมจะมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังพบอีกว่าค่าของปริมาณทราฟฟิก $L_{2,1}(700)$ ประเภทเสียงและปริมาณทราฟฟิก $L_{2,2}(700)$ ประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมนั้น ปรากฏค่าสำหรับทุกค่าอัตราส่วน β เพราะปริมาณทราฟฟิกรวมในเซกเตอร์ให้บริการมีค่าสูง ดังนั้นโครงข่ายเดิมจึงไม่สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดได้ แม้ว่าจะมีโครงข่ายใหม่มาช่วยรองรับปริมาณทราฟฟิกแล้วก็ตาม

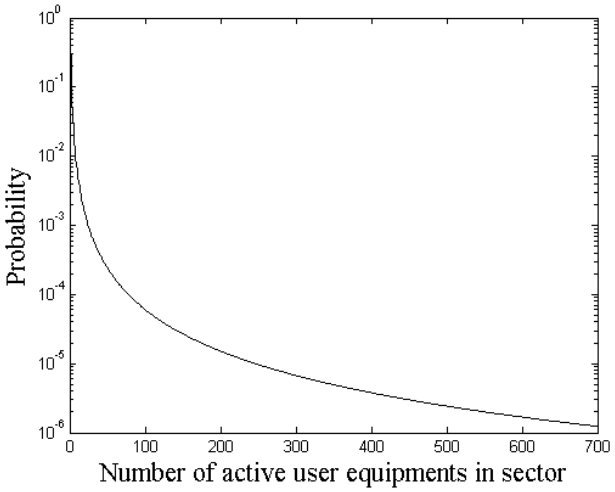
ดังนั้น เมื่อรวมค่าของปริมาณทราฟฟิก $O_{2,1}(n)$, $L_{2,1}(n)$, $O_{2,2}(n)$ และ $L_{2,2}(n)$ จากทุกเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ของจำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน n อุปกรณ์ที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์หนึ่ง ๆ และถ่วงน้ำหนักของเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์ด้วยฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น $P_N(n)$ จากสมการที่ (3.3) เพื่อความง่าย งานวิทยานิพนธ์ได้แสดงค่าถ่วงน้ำหนัก ($P_N(n)$) ของ



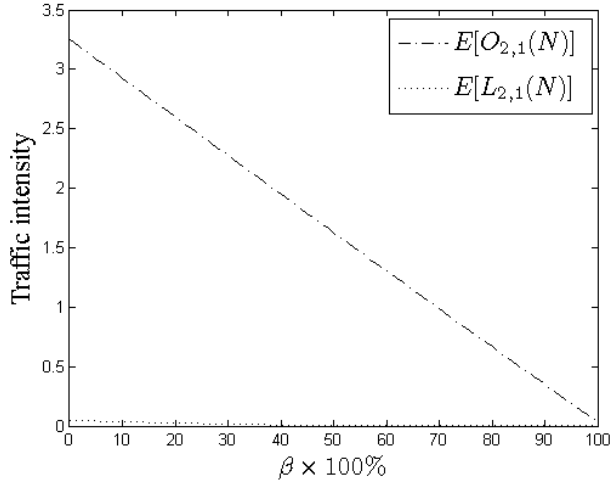
รูปที่ 3.5: ปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม และปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อ n = 700

แต่ละค่า n เมื่อ $s = 2$ ดังในรูปที่ 3.6 แล้วจึงคำนวณค่าของปริมาณทราฟฟิกโดยเฉลี่ย $E[O_{2,1}(N)]$, $E[L_{2,1}(N)]$, $E[O_{2,2}(N)]$ และ $E[L_{2,2}(N)]$ จากสมการที่ (3.2) แสดงอยู่ในรูปที่ 3.7 และ 3.8

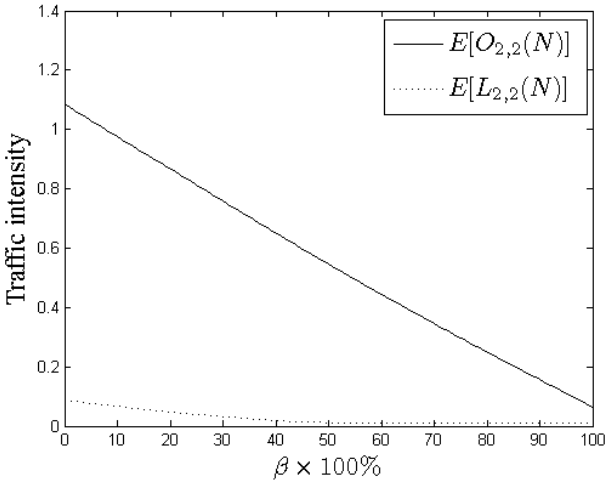
รูปที่ 3.7 แสดงค่าของปริมาณทราฟฟิก $E[O_{2,1}(N)]$ ประเภทเสียงโดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมและค่าของปริมาณทราฟฟิก $E[L_{2,1}(N)]$ ประเภทเสียงโดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปรับอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) และรูปที่ 3.8 แสดงค่าของปริมาณทราฟฟิก $E[O_{2,2}(N)]$ ประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมและค่าของปริมาณทราฟฟิก $E[L_{2,2}(N)]$ ประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปรับอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) จากทั้งสองรูปพบว่าปริมาณทราฟฟิก $E[O_{2,1}(N)]$ ประเภทเสียงโดยเฉลี่ยและปริมาณทราฟฟิก $E[O_{2,2}(N)]$ ประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่ออัตราส่วน β มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณทราฟฟิก $E[L_{2,1}(N)]$ ประเภทเสียงโดยเฉลี่ย และปริมาณทราฟฟิก $E[L_{2,2}(N)]$ ประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม มีค่าลดลงเช่นกัน แต่มีอัตราการลดลงที่ช้ากว่าปริมาณทราฟฟิก $E[O_{2,1}(N)]$ ประเภทเสียงโดยเฉลี่ย และปริมาณทราฟฟิก $E[O_{2,2}(N)]$ ประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ตามลำดับ ซึ่งค่าของปริมาณทราฟฟิก $E[L_{2,1}(N)]$ ประเภทเสียงโดยเฉลี่ยและปริมาณทราฟฟิก $E[L_{2,2}(N)]$ ประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมได้นั้น มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ๆ เมื่อ $\beta \geq 65$ % หรืออธิบายอีกทางหนึ่งคือ ปริมาณทราฟฟิกโดยเฉลี่ยที่เข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมมีค่าลดลง แต่ปริมาณทราฟฟิกโดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมมีค่าคงเดิม ดังนั้นจากสมการที่ (3.2) จึงพบว่าเมื่ออัตราส่วน β มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{2,1}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{2,2}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จ ากโครงข่ายเดิมมีค่าสูงขึ้นได้



รูปที่ 3.6: ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของ N



รูปที่ 3.7: ปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงโดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม และปริมาณทราฟฟิกประเภทเสียงโดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม



รูปที่ 3.8: ปริมาณทราฟฟิกประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม และปริมาณทราฟฟิกประเภทข้อมูลโดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม

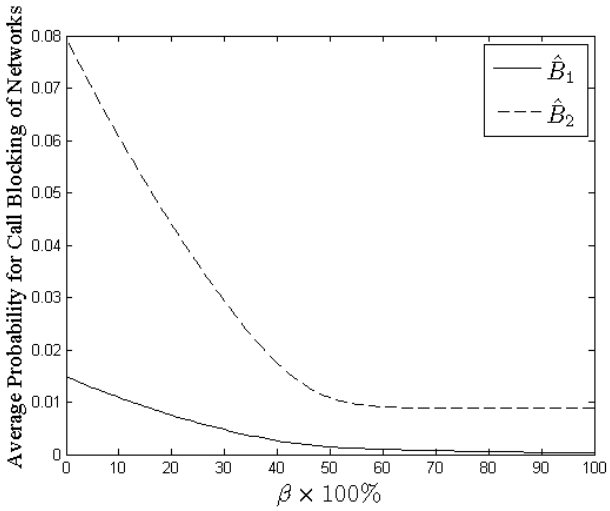
นอกจากนี้ งานวิทยานิพนธ์ได้แสดงผลของความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ และความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากจากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ โดยกำหนดให้ $\hat{B}_j$ แทนความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งคำนวณมาจากปริมาณทราฟฟิกประเภท j โดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ของเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ และปริมาณทราฟฟิกประเภท j โดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ของเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณทราฟฟิก $E[L_{2,j}(N)]$ ประเภท j โดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมของเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ ตามสมการที่ (3.4)

$$\hat{B}_j = \frac{\sum_{\forall n} L_{2,j}(n) P_N(n)}{\sum_{\forall n} (\rho_{1,j}(n) + \rho_{2,j}(n)) P_N(n)} = \frac{E[L_{2,j}(N)]}{E[\rho_{1,j}(N)] + E[\rho_{2,j}(N)]} \tag{3.4}$$

เมื่อ $E[\rho_{1,j}(N)] + E[\rho_{2,j}(N)]$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภท j โดยเฉลี่ยที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ของเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ

$E[L_{2,j}(N)]$ คือปริมาณทราฟฟิกประเภท j โดยเฉลี่ยที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมของเซกเตอร์ให้บริการหนึ่ง ๆ

ผลลัพธ์เชิงเลข แสดงอยู่ในรูปที่ 3.9 พบว่าการเพิ่มค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) ตั้งแต่ 0 % จนถึง 100 % เมื่อคงค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดไว้ ตามตารางที่ 3.1 จะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\hat{B}_1$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\hat{B}_2$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากจากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ มีค่าลดลงเสมอ เพราะการเพิ่มค่าอัตราส่วน β นั้น ทำให้



รูปที่ 3.9: ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากจากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

ปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายทั้งหมดที่มีให้บริการได้มีค่าเพิ่มขึ้น เปรียบเสมือนสามารถใช้ประโยชน์ทรัพยากรทั้งหมดของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีให้บริการได้มากขึ้น ดังนั้น การเพิ่มค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) ตั้งแต่ 0 % จนถึง 100 % จึงทำให้สมรรถนะโดยรวมของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ปรับปรุงดีขึ้น

3.6 สรุป

ในบทนี้ได้ประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข โดยการตั้งปัญหาเกี่ยวกับการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งมีเทคโนโลยีระบบใหม่และระบบเดิมอยู่ในพื้นที่ให้บริการบริเวณเดียวกัน โดยกำหนดให้จำนวนอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์ใด ๆ นั้นเป็นตัวแปรสุ่มสังยุตแบบเลขยกกำลัง และคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ซึ่งจากผลลัพธ์เชิงตัวเลข พบว่าการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้นั้น สามารถส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลงได้ แต่จะทำให้สมรรถนะโดยรวมของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ปรับปรุงดีขึ้น

เพื่อให้เห็นภาพในเชิงปฏิบัติมากขึ้น ในบทต่อไป งานวิทยานิพนธ์จะแสดงการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบแบบสโทแคสติก (stochastic) และแบบเชิงกำหนด (deterministic) โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น

ระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่อง ซึ่งเชื่อมโยงไปถึงพฤติกรรมการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการแบบสม่ำเสมอ (uniform) ยกตัวอย่างเช่นในบริเวณชานเมือง และการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกติ ซึ่งเชื่อมโยงไปถึงพฤติกรรมการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการแบบไม่สม่ำเสมอ (non-uniform) ยกตัวอย่างเช่นในบริเวณพื้นที่เมือง [12] โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่แตกต่างกันทั้งสองแบบนั้น อาศัยการจำลองระบบบนไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการกระจายตัวแบบตารางสม่ำเสมอเหมือนกัน อีกทั้งได้แสดงผลการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด เพื่อยืนยันผลที่เกิดจากการจำลองระบบแบบสโทแคสติกอีกด้วย

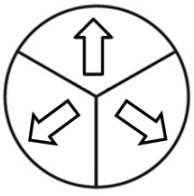
บทที่ 4

การประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ

ในบทนี้ จะแสดงการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบแบบสโทแคสติกและแบบเชิงกำหนด โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่อง ซึ่งเชื่อมโยงไปถึงพฤติกรรมการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการแบบสม่ำเสมอ ยกตัวอย่างเช่นในบริเวณชานเมือง และการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกติ ซึ่งเชื่อมโยงไปถึงพฤติกรรมการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการแบบไม่สม่ำเสมอ ยกตัวอย่างเช่นในบริเวณพื้นที่เมือง [12] โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่แตกต่างกันทั้งสองแบบนั้น อาศัยการจำลองระบบบนไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการกระจายตัวแบบตารางสม่ำเสมอเหมือนกัน อีกทั้งได้แสดงผลการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด เพื่อยืนยันผลที่เกิดจากการจำลองระบบแบบสโทแคสติกอีกด้วย

4.1 แนวทางที่เสนอ

พิจารณาโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์หนึ่ง ๆ ซึ่งมีโครงสร้างการซ้อนทับโครงข่ายใหม่บนโครงข่ายเดิม โดยกำหนดให้สายอากาศของเซกเตอร์นั้น ๆ ส่งกำลังสัญญาณของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้วยกำลังที่เท่ากัน ในบทนี้ งานวิทยานิพนธ์จะพิจารณาเฉพาะทราฟฟิกประเภทข้อมูลที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานสองรุ่น ได้แก่รุ่นใหม่และรุ่นเดิม ซึ่งมีความสามารถในการเข้าถึงโครงข่ายต่างกัน โดยกำหนดให้ทราฟฟิกที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นใหม่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ ส่วนทราฟฟิกที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นเดิมจะสามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว และกำหนดให้ไซต์ที่ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์นั้น สามารถแบ่งออกเป็นเซกเตอร์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ได้ 3 เซกเตอร์ย่อย ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1: การแบ่งเซกเตอร์ในไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

นิยามให้ $\rho^{(r)}$ แทนปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์ให้บริการที่ r และ $\rho_i^{(r)}$ แทนปริมาณทราฟฟิกที่มีสถานะของความสามารถในการเข้าถึงโครงข่าย i ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r เมื่อกำหนดให้ i เป็นดัชนีสถานะของความสามารถของทราฟฟิกในการเข้าถึงโครงข่าย เป็นได้สองค่าดังนี้ $i = 1$ แทนสถานะทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่

และโครงข่ายเดิมได้ และ $i = 2$ แทนสถานะทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว โดยปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(r)}$ และ $\rho_i^{(r)}$ มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\rho^{(r)} = \rho_1^{(r)} + \rho_2^{(r)} \tag{4.1}$$

4.2 นิยามของตัวแปรในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ

i ดัชนีสถานะของความสามารถของทราฟฟิกในการเข้าถึงโครงข่าย เป็นได้สองค่าดังนี้ $i = 1$ แทนสถานะทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ และ $i = 2$ แทนสถานะทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว

r ดัชนีของเซกเตอร์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

k ดัชนีประเภทระบบของโครงข่าย เป็นได้สองค่าดังนี้ $k = 1$ แทนโครงข่ายใหม่ และ $k = 2$ แทนโครงข่ายเดิม

$\rho^{(r)}$ ปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์ให้บริการที่ r

$\rho_i^{(r)}$ ปริมาณทราฟฟิกที่มีสถานะของความสามารถในการเข้าถึงโครงข่าย i ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r

$O_k^{(r)}$ ปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r

$L_k^{(r)}$ ปริมาณทราฟฟิกที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r

C_k ความจุของโครงข่ายระบบ k

$\bar{B}_k$ ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k

$\bar{B}_k(z)$ ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ณ ช่องเวลาที่ z

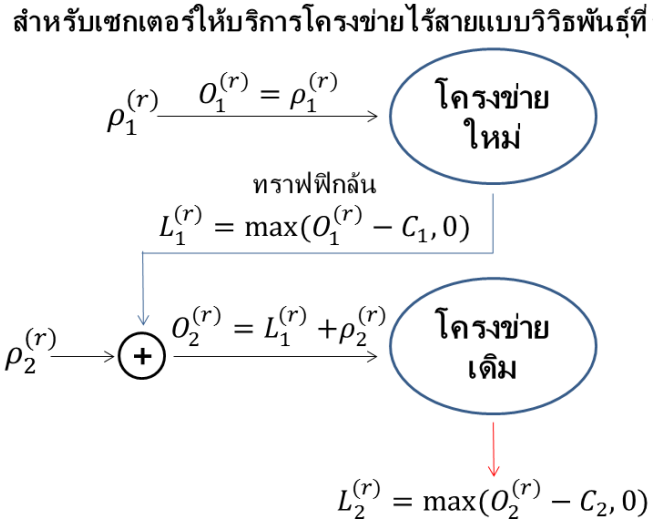
$\ddot{B}_k$ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k

4.3 ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาเฉพาะทราฟฟิกประเภทข้อมูล

เนื่องจากในบทที่ 4 นี้ พิจารณาทราฟฟิกเฉพาะประเภทข้อมูลเพียงประเภทเดียว โดยการสมมติความสามารถในการแบ่งปริมาณทราฟฟิก (splitting ability) ของทราฟฟิกประเภทข้อมูล ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าโครงข่ายต่าง ๆ ในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่ใช้ในบทนี้ จึงกำหนดให้ทราฟฟิกในเซกเตอร์ให้บริการที่ r ที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ $(\rho_1^{(r)})$ จะถูกส่งไปขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ก่อนเป็นอันดับแรก เมื่อโครงข่ายใหม่อยู่ในสถานะอิ่มตัว ทรา

ฟฟิกที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r ($L_1^{(r)}$) จะล้นมาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ r นั้น ๆ สำหรับทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ($\rho_2^{(r)}$) จะเข้าถึงโครงข่ายเดิมโดยตรง โดยไม่สามารถขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ก่อนได้ เมื่อโครงข่ายเดิมอยู่ในสถานะอิ่มตัว จะเกิดปริมาณทราฟฟิกที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ r ด้วยปริมาณทราฟฟิก $L_2^{(r)}$

ดังนั้นทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r จะประกอบด้วยทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ รวมเป็นปริมาณทราฟฟิก $O_1^{(r)}$ ส่วนทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ r จะประกอบด้วยทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว และทราฟฟิกล้นจากโครงข่ายใหม่ รวมเป็นปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(r)}$ ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาเฉพาะทราฟฟิกประเภทข้อมูล แสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 ทั้งนี้ กำหนดให้โครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมในทุกเซกเตอร์ที่ให้บริการ มีความจุเท่ากับ C_1 และ C_2 เท่ากันตามลำดับ



รูปที่ 4.2: ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาเฉพาะทราฟฟิกประเภทข้อมูล

4.4 ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ

ดังที่ได้กำหนดไปข้างต้นว่า งานวิทยานิพนธ์นี้ใช้ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) แต่เนื่องจากในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบนั้น พิจารณาเฉพาะทราฟฟิกประเภทข้อมูลเพียงประเภทเดียว และสมมติความสามารถในการ

แบ่งปริมาณทราฟฟิกของทราฟฟิกประเภทข้อมูล ดังนั้นในการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบนี้ จึงจะขอปรับสมการ (2.4) เพื่อการคำนวณค่าความน่าจะเป็น $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เป็นค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_k$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k แทน ดังนี้

$$\bar{B}_k = \frac{\sum_{r=1}^{m} L_k^{(r)}}{\sum_{r=1}^{m} O_k^{(r)}} \tag{4.2}$$

เมื่อ m คือจำนวนเซกเตอร์ทั้งหมดที่ให้บริการ และ

$$O_1^{(r)} = \rho_1^{(r)}, \tag{4.3}$$

$$L_1^{(r)} = max(O_1^{(r)} - C_1, 0), \tag{4.4}$$

$$O_2^{(r)} = L_1^{(r)} + \rho_2^{(r)}, \tag{4.5}$$

$$L_2^{(r)} = max(O_2^{(r)} - C_2, 0) \tag{4.6}$$

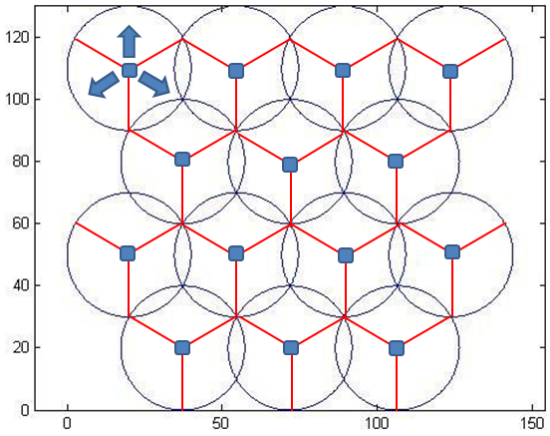
4.5 ผลการจำลองระบบแบบสโทแคสติก

พิจารณาไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์จำนวนทั้งหมด 14 ไซต์ (42 เซกเตอร์) ซึ่งกระจายตัวแบบตารางสม่ำเสมอครอบคลุมพื้นที่ที่พิจารณา (143 $\times$ 130 ตารางหน่วย) แสดงในรูปที่ 4.3 เมื่อกำหนดให้เครื่องหมายสี่เหลี่ยมและวงกลมแสดงตำแหน่งที่ตั้งของไซต์ให้บริการและพื้นที่ที่ไซต์ให้บริการครอบคลุม โดยในบทนี้กำหนดให้ความจุ C_1 ของโครงข่ายใหม่มีค่าเท่ากับ 9.2 Mb/s และความจุ C_2 ของโครงข่ายเดิมมีค่าเท่ากับ 6.9376 Mb/s เท่ากันในทุกเซกเตอร์ที่ให้บริการ ซึ่งเป็นความจุของระบบ 3G และระบบ 2G ในทางปฏิบัติ ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้กำหนดขึ้นมาเพื่อจะแสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสมรรถนะที่ไม่คาดคิดของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จริงเมื่อมีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ ดังนั้นผู้ประกอบการสื่อสารคมนาคมจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างรอบคอบ

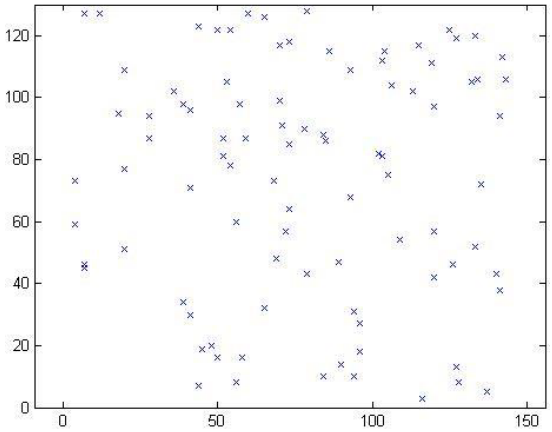
กำหนดให้อัตราการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ในพื้นที่ที่พิจารณาเป็นกระบวนการปัวซงด้วยค่าเฉลี่ย N การเรียกเข้าต่อช่องเวลา (time slot) ดังนั้นจำนวนของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์โดยเฉลี่ยต่อหนึ่งช่องเวลาจึงมีค่าเท่ากับ N อุปกรณ์ ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นว่า ในบทนี้ งานวิทยานิพนธ์จะแสดงการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ ซึ่งจะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่องและการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกติ (เช่นเดียวกับ [12]) โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่แตกต่างกันทั้งสองแบบนั้น อาศัยการจำลองระบบบนไซต์

ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการกระจายตัวแบบตารางสม่ำเสมอเหมือนกัน และใช้จำนวนของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์โดยเฉลี่ยต่อหนึ่งช่องเวลาเท่ากัน

ตัวอย่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่อง แสดงอยู่ในรูปที่ 4.4 โดยตำแหน่งของอุปกรณ์ผู้ใช้งานแต่ละอุปกรณ์นั้น จะถูกสุ่มด้วยตัวแปรสุ่มแบบเอกรูปต่อเนื่องในพื้นที่ที่พิจารณา สำหรับตัวอย่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกตินั้น แสดงอยู่ในรูปที่ 4.5 โดยตำแหน่งของอุปกรณ์ผู้ใช้งานแต่ละอุปกรณ์นั้น จะถูกสุ่มด้วยตัวแปรสุ่มแบบปรกติ ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.5 และ 64 หน่วยในแกนนอนและแกนตั้ง ตามลำดับ และด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 24 หน่วยในทั้งสองแกน

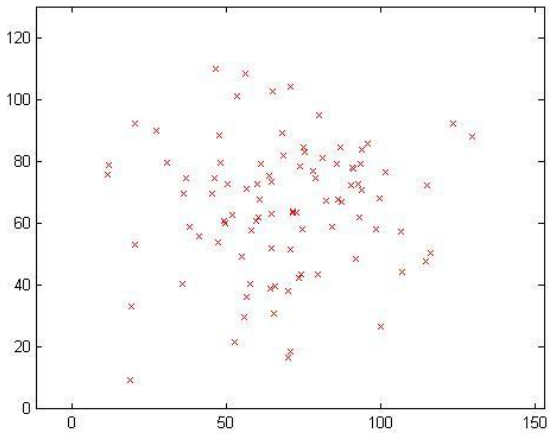


รูปที่ 4.3: การกระจายตัวของไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์แบบตารางสม่ำเสมอ



รูปที่ 4.4: ตัวอย่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่อง

ในบทนี้ งานวิจัยแบ่งคุณลักษณะความต้องการของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการออกเป็นทั้งหมด 7 ประเภท ซึ่งเป็นค่าที่ใช้คำนวณจริงในการออกแบบโครงข่ายสื่อสารไร้สาย ได้แก่



รูปที่ 4.5: ตัวอย่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกติ

1. เข้าถึงเว็ปไซต์ทั่วไป ด้วยปริมาณทราฟฟิก 80 Mb/ชั่วโมง โดยมีระยะเวลาที่ขอใช้บริการ 5 นาที
2. รับ-ส่งอีเมล์ (แบบไม่มีไฟล์แนบ) ด้วยปริมาณทราฟฟิก 0.24 Mb/ฉบับ
3. อัพโหลดรูปภาพขึ้นเว็ปไซต์ทั่วไป ด้วยปริมาณทราฟฟิก 1.2 Mb/รูป
4. แชท ด้วยปริมาณทราฟฟิก 4 Mb/ชั่วโมง โดยมีระยะเวลาที่ขอใช้บริการ 2 นาที
5. ดูวีดิทัศน์ออนไลน์ ด้วยปริมาณทราฟฟิก 12 Mb/นาที โดยมีระยะเวลาที่ขอใช้บริการ 6 นาที
6. รับ-ส่งอีเมล์ (แบบมีไฟล์แนบ) ด้วยปริมาณทราฟฟิก 8 Mb/ฉบับ
7. โพสต์ความเห็นขึ้นเว็ปไซต์ทั่วไป ด้วยปริมาณทราฟฟิก 0.008 Mb/ความเห็น

ในบทนี้ งานวิทยานิพนธ์ประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ เมื่อมีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ โดยกำหนดให้จำนวนของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์โดยเฉลี่ยต่อหนึ่งช่องเวลามีค่าเท่ากับ 80 อุปกรณ์ ($N = 80$) และปรับค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดจาก 0% ถึง 100% กล่าวคือจำนวนของอุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นใหม่ที่ต้องการใช้บริการจะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0, 8, 16,. . . , 80 อุปกรณ์ (จำนวนของอุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นเดิมที่ต้องการใช้บริการจะมีค่าลดลงตั้งแต่ 80, 72, 64,. . . , 0 อุปกรณ์)

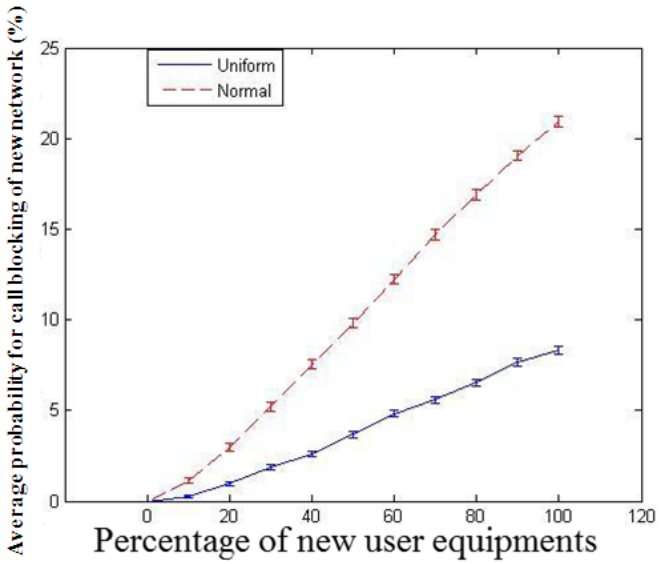
สำหรับค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดแต่ละค่านั้น งานวิจัยจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเวลาเต็มหน่วยเพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (sample mean) ของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_k$ แทนด้วย $\ddot{B}_k$ ดังในสมการที่ (4.7)

$$\ddot{B}_k = \frac{\sum_{z=1}^{v} \bar{B}_k(z)}{v} \tag{4.7}$$

เมื่อ v คือจำนวนของช่องเวลาทั้งหมดที่พิจารณา และ $\bar{B}_k(z)$ คือค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ณ ช่องเวลาที่ z

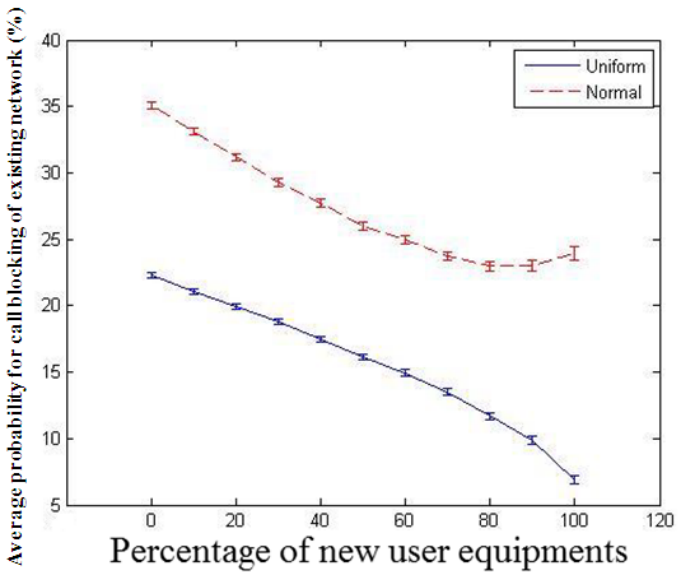
ในบทนี้ งานวิทยานิพนธ์กำหนดให้ความยาวของหนึ่งช่องเวลามีค่าเท่ากับระยะเวลาที่ขอใช้บริการที่นานที่สุดจากคุณลักษณะความต้องการทั้ง 7 ประเภท (ประมาณ 6 นาที) ซึ่งส่งผลให้งาน

วิทยานิพนธ์สามารถจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างช่องเวลาที่ติดกันได้อย่างเป็นอิสระ โดยงานวิทยานิพนธ์นี้จำลองทั้งหมด 5000 ช่องเวลา ($z = 5000$) ในทุก ๆ ช่องเวลา z งานวิทยานิพนธ์จะสุ่มจำนวนของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ต่อหนึ่งช่องเวลาด้วยตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปัวซงด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80 อุปกรณ์ และแบ่งจำนวนของอุปกรณ์ผู้ใช้งานนี้ออกเป็นจำนวนของอุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นใหม่และจำนวนของอุปกรณ์ผู้ใช้งานรุ่นเดิม ขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดที่พิจารณาอยู่ จากนั้นจึงสุ่มตำแหน่งของอุปกรณ์ผู้ใช้งานแต่ละอุปกรณ์ตามการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (แจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่องหรือแจกแจงแบบปรกติ) และสุ่มประเภทของทราฟฟิกที่ต้องการใช้บริการ จากคุณลักษณะความต้องการทั้ง 7 ประเภทด้วยตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูป หลังจากนั้นจึงคำนวณผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ให้บริการแต่ละเซกเตอร์จากสมการที่ (4.3) – (4.6) และนำผลลัพธ์เหล่านั้นมาคำนวณหาความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_1(z)$ และ $\bar{B}_2(z)$ จากสมการที่ (4.2) และรวมผลของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_1(z)$ และ $\bar{B}_2(z)$ ที่คำนวณได้จากทุกช่องเวลาเพื่อมาคำนวณค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\ddot{B}_1$ และ $\ddot{B}_2$ จากสมการที่ (4.7) ด้วยระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากการจำลองระบบแบบสโทแคสติกที่เปรียบเทียบสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่องและแบบปรกติ เมื่อมีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6: ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ ด้วยระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะพบว่าค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\ddot{B}_1$ และ $\ddot{B}_2$ เมื่อการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการมีการแจกแจงแบบปรกตินั้นมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\ddot{B}_1$ และ $\ddot{B}_2$ เมื่อการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการมีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่อง สำหรับทุกค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด เพราะการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่อง ส่งผล



รูปที่ 4.7: ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ด้วยระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ให้ปริมาณทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ให้บริการแต่ละเซกเตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งถือว่าเป็นจุดเด่นในการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิก

นอกจากนี้ จากผลการจำลองระบบแบบสโทแคสติกยังพบอีกว่า หากการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการมีการแจกแจงแบบปรกติ ซึ่งส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ที่ให้บริการแต่ละเซกเตอร์มีค่าแตกต่างกันสูงแล้ว ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\ddot{B}_2$ จะมีค่าต่ำสุด เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 80% และค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\ddot{B}_2$ จะมีค่าเพิ่มขึ้น 5.21% เมื่อเทียบกับจุดต่ำสุดดังกล่าว ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\ddot{B}_2$ นี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจเพราะว่าการเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ เป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้มีค่าเพิ่มขึ้น สมรรถนะของโครงข่ายเดิมควรจะดีขึ้น ไม่ใช่ด้อยลง ดังนั้นในหัวข้อถัดไป งานวิทยานิพนธ์จะจำลองระบบแบบเชิงกำหนดเพื่อแสดงให้เห็นว่า หากปริมาณทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ที่ให้บริการแต่ละเซกเตอร์มีค่าแตกต่างกันมากแล้ว (เช่นในกรณีที่การกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการมีการแจกแจงแบบปรกติและไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์มีการกระจายตัวแบบตารางสม่ำเสมอ) การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ จะส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลง

4.6 ผลการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด

ในหัวข้อนี้ งานวิทยานิพนธ์จะจำลองระบบแบบเชิงกำหนดเพื่อแสดงให้เห็นว่า หากปริมาณทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ให้บริการแต่ละเซกเตอร์มีค่าแตกต่างกันมากแล้ว การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้

ตารางที่ 4.1: ผลลัพธ์ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 จากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด

β (%)	$\rho_1^{(1)}$	$\rho_2^{(1)}$	$L_1^{(1)}$	$O_2^{(1)}$	$L_2^{(1)}$
0	0	18	0	18	11.0624
10	1.8	16.2	0	16.2	9.2624
20	3.6	14.4	0	14.4	7.4624
30	5.4	12.6	0	12.6	5.6624
40	7.2	10.8	0	10.8	3.8624
50	9	9	0	9	2.0624
60	10.8	7.2	1.6	8.8	1.8624
70	12.6	5.4	3.4	8.8	1.8624
80	14.4	3.6	5.2	8.8	1.8624
90	16.2	1.8	7	8.8	1.8624
100	18	0	8.8	8.8	1.8624

งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ จะส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลง โดยจำลองระบบแบบเชิงกำหนดบนเซกเตอร์จำนวนสองเซกเตอร์ กำหนดให้ปริมาณทราฟฟิกรวม $\rho^{(1)}$ ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 มีค่าเท่ากับ 18 Mb/s และปริมาณทราฟฟิกรวม $\rho^{(2)}$ ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 มีค่าเท่ากับ 8 Mb/s โดยในการจำลองระบบแบบเชิงกำหนดนี้ งานวิทยานิพนธ์ใช้ค่าความจุของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมเดียวกันกับค่าที่ใช้ในการจำลองระบบแบบสโทแคสติก (C_1 = 9.2 Mb/s และ C_2 = 6.9376 Mb/s)

นิยามให้ β แทนอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (ปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ รวมกับปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว) ดังนั้นปริมาณทราฟฟิก $\rho_i^{(r)}$ ที่มีสถานะของความสามารถในการเข้าถึงโครงข่าย i ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r จึงเขียนได้เป็น

$$\rho_1^{(r)} = \beta\rho^{(r)}$$
$$\rho_2^{(r)} = (1-\beta)\rho^{(r)}$$

เพื่อประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ งานวิทยานิพนธ์จึงปรับค่าอัตราส่วน β โดยกำหนดให้ปริมาณทราฟฟิกรวมในเซกเตอร์ให้บริการทั้งสองเซกเตอร์เป็นค่าคงที่ แล้วจึงคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_1$ และ $\bar{B}_2$ เพื่อชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ตามลำดับ

ผลลัพธ์จากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนดในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 และในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 (คำนวณจากสมการที่ (4.3) – (4.6)) แสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับและนำผลลัพธ์ทั้งหมดไปใช้คำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_1$ และ $\bar{B}_2$ จากสมการที่ (4.2) โดยผลความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_1$ และ $\bar{B}_2$ เมื่อปรับค่าอัตราส่วน β แสดงอยู่ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.1 พบว่าความจุของโครงข่ายใหม่ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 ไม่เพียงพอต่อปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการและทำให้เกิดทราฟฟิกล้นไปยังโครงข่ายเดิม เมื่ออัตราส่วน β มีค่ามากกว่า 60% ดังนั้นเมื่อมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน ปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(1)}$ ที่ต้องการเข้า

ตารางที่ 4.2: ผลลัพธ์ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 จากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด

β (%)	$\rho_1^{(2)}$	$\rho_2^{(2)}$	$L_1^{(2)}$	$O_2^{(2)}$	$L_2^{(2)}$
0	0	8	0	8	1.064
10	0.8	7.2	0	7.2	0.264
20	1.6	6.4	0	6.4	0
30	2.4	5.6	0	5.6	0
40	3.2	4.8	0	4.8	0
50	4	4	0	4	0
60	4.8	3.2	0	3.2	0
70	5.6	2.4	0	2.4	0
80	6.4	1.6	0	1.6	0
90	7.2	0.8	0	0.8	0
100	8	0	0	0	0

ตารางที่ 4.3: ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ จากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด

β (%)	$O_1^{(1)} + O_1^{(2)}$	$L_1^{(1)} + L_1^{(2)}$	$\bar{B}_1$ (%)
0	0	0	0
10	2.6	0	0
20	5.2	0	0
30	7.8	0	0
40	10.4	0	0
50	13	0	0
60	15.6	1.6	10.26
70	18.2	3.4	18.68
80	20.8	5.2	25
90	23.4	7	29.91
100	26	8.8	33.85

ตารางที่ 4.4: ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม จากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนด

β (%)	$O_2^{(1)} + O_2^{(2)}$	$L_2^{(1)} + L_2^{(2)}$	$\bar{B}_2$ (%)
0	26	12.1248	46.63
10	23.4	9.5248	40.7
20	20.8	7.4624	35.88
30	18.2	5.6624	37.11
40	15.6	3.8624	24.76
50	13	2.0624	15.86
60	12	1.8624	15.52
70	11.2	1.8624	16.63
80	10.4	1.8624	17.91
90	9.6	1.8624	19.4
100	8.8	1.8624	21.6

มาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ที่ 1 จึงมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วน β มีค่าน้อยกว่า 60% (นั่นคือโครงข่ายใหม่ในเซกเตอร์ที่ 1 ยังสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดได้อยู่) และค่าปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(1)}$ จะลู่เข้าสู่ค่าคงที่เมื่ออัตราส่วน β มีค่ามากกว่า 60% (นั่นคือโครงข่ายใหม่ในเซกเตอร์ที่ 1 เข้าสู่สถานะอิ่มตัว และเกิดทราฟฟิกล้นไปยังโครงข่ายเดิม) ในทางตรงข้ามกัน จากตารางที่ 4.2 พบว่าโครงข่ายใหม่ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดได้และไม่ทำให้เกิดทราฟฟิกล้นไปยังโครงข่ายเดิม สำหรับทุกค่าอัตราส่วน β ดังนั้นเมื่อมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ที่ 2 จึงมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง

จากการนำผลลัพธ์ของทั้งสองเซกเตอร์มารวมกันเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_1$ และ $\bar{B}_2$ ในตารางที่ 4.3 พบว่าการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ (อัตราส่วน β มีค่าเพิ่มขึ้น) จะส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของ $L_1^{(1)}+L_1^{(2)}$ มีค่ามากกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของ $O_1^{(1)}+O_1^{(2)}$ ซึ่งความต่างของอัตราการเพิ่มขึ้นนี้ ส่งผลให้ความน่าจะเป็น $\bar{B}_1$ มีค่าเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน ในตารางที่ 4.4 พบว่า หากอัตราส่วน β มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อัตราการลดลงของ $O_2^{(1)}+O_2^{(2)}$ มีค่ามากกว่าอัตราการลดลงของ $L_2^{(1)} + L_2^{(2)}$ ซึ่งเป็นผลมาจากสถานะที่ไม่อิ่มตัวของโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 (ปริมาณทราฟฟิก $L_2^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 0 สำหรับทุกค่าอัตราส่วน β) ดังนั้นหากโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดที่ต้องการเข้ามาใช้บริการได้แล้ว ความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2$ จะมีค่าลดลง เมื่อโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 ยังไม่เข้าสู่สถานะอิ่มตัว และความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2$ จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 เข้าสู่สถานะอิ่มตัว

ดังนั้น ผลจากการจำลองระบบแบบเชิงกำหนดนี้ จึงเป็นการยืนยันผลที่เกิดจากการจำลองระบบแบบสโทแคสติกว่า หากปริมาณทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ให้บริการแต่ละเซกเตอร์มีค่าแตกต่างกันมากแล้ว (เช่นในกรณีที่การกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการมีการแจกแจงแบบปรกติและไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์มีการกระจายตัวแบบตารางสม่ำเสมอ) การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ จะส่งผลให้

สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลง

4.7 สรุป

ในบทนี้ งานวิทยานิพนธ์ได้แสดงการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่องและการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกติ ซึ่งการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่แตกต่างกันทั้งสองแบบนั้น อาศัยการจำลองระบบบนไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการกระจายตัวแบบตารางสม่ำเสมอเหมือนกัน ผลจากการจำลองระบบแบบสโทแคสติกพบว่าการกระจายตัวของไซต์ให้บริการแบบตารางสม่ำเสมอนั้น เหมาะสมกับการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่องมากกว่าการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกติ เพราะให้ผลค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของปริมาณทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของปริมาณทราฟฟิกประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมต่ำกว่า นอกจากนี้ ผลจากการจำลองระบบแบบสโทแคสติกยังพบอีกว่า หากการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการ มีการแจกแจงแบบปรกติแล้ว การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่จะส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของปริมาณทราฟฟิกที่เกิดขึ้นในเซกเตอร์ให้บริการแต่ละเซกเตอร์ โดยงานวิทยานิพนธ์ได้แสดงการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยแบบจำลองเชิงกำหนด เพื่อเป็นการยืนยันผลที่เกิดจากการจำลองระบบแบบสโทแคสติก

โดยตรรกะแล้ว การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ คือการเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดสมดุลย์ของปริมาณทราฟฟิก ควรจะส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่ด้อยลงและสมรรถนะของโครงข่ายเดิมดีขึ้น โดยเฉพาะจุดที่มีการโอนถ่ายอย่างสมบูรณ์ เพราะเป็นจุดที่อุปกรณ์ผู้ใช้งานทั้งหมดสามารถเข้าถึงโครงข่ายไร้สายที่มีให้บริการทั้งหมดได้ นั่นคือสามารถใช้ประโยชน์ของทรัพยากรทั้งหมดที่มีในโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมที่ให้บริการได้สูงสุด แต่จากผลลัพธ์เชิงตัวเลขและผลการจำลองระบบนั้น พบว่าการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่นั้น อาจจะส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลงได้ ซึ่งสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิมนี้ตรงกันข้ามกับที่คาดการณ์ไว้ ดังนั้นในบทต่อไป งานวิทยานิพนธ์จะเสนอการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้จริงในสถานการณ์ทางปฏิบัติ

บทที่ 5

การพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์

ในบทนี้ จะเสนอการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ มีจุดมุ่งหมายเพื่อพิสูจน์ว่าสมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ มีค่าด้อยลงจริงเมื่อเปรียบเทียบกับสมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ รวมถึงได้แสดงเงื่อนไขเพียงพอที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว

5.1 แนวทางที่เสนอ

พิจารณาโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์หนึ่ง ๆ ซึ่งมีโครงสร้างการซ้อนทับโครงข่ายใหม่บนโครงข่ายเดิม โดยในบทนี้ งานวิทยานิพนธ์เจาะจงศึกษาเฉพาะค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เพื่อความชัดเจนถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ การพิสูจน์นี้จึงคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม จากเซกเตอร์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์จำนวนสองเซกเตอร์ และพิจารณาทราฟฟิกเพียงหนึ่งประเภทเท่านั้น

กำหนดให้ปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r มีค่าเท่ากับ $\rho^{(r)}$ ทั้งนี้ ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น งานวิจัยพิจารณาทราฟฟิกที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานสองรุ่น ได้แก่รุ่นใหม่และรุ่นเดิม ซึ่งมีความสามารถในการเข้าถึงโครงข่ายต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถจำแนกปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r ออกเป็นทั้งหมด 2 ประเภทดังนี้

1. ทราฟฟิกซึ่งสามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ มีปริมาณทราฟฟิก $\beta\rho^{(r)}$ เออร์แลง

2. ทราฟฟิกซึ่งสามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว มีปริมาณทราฟฟิก $(1-\beta)\rho^{(r)}$ เออร์แลง

เมื่อ β แทนอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด

5.2 นิยามของตัวแปรในการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์

β อัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด

r ดัชนีของเซกเตอร์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

k ดัชนีประเภทระบบของโครงข่าย เป็นได้สองค่าดังนี้ $k = 1$ แทนโครงข่ายใหม่ และ $k = 2$ แทนโครงข่ายเดิม

$\rho^{(r)}$ ปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมดในเซกเตอร์ให้บริการที่ r

$O_k^{(r)}(\beta)$ ปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β

$B_k^{(r)}(\beta)$ ความน่าจะเป็นที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β

$L_k^{(r)}(\beta)$ ปริมาณทราฟฟิกที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β โดย $L_k^{(r)}(\beta) = B_k^{(r)}(\beta)O_k^{(r)}(\beta)$

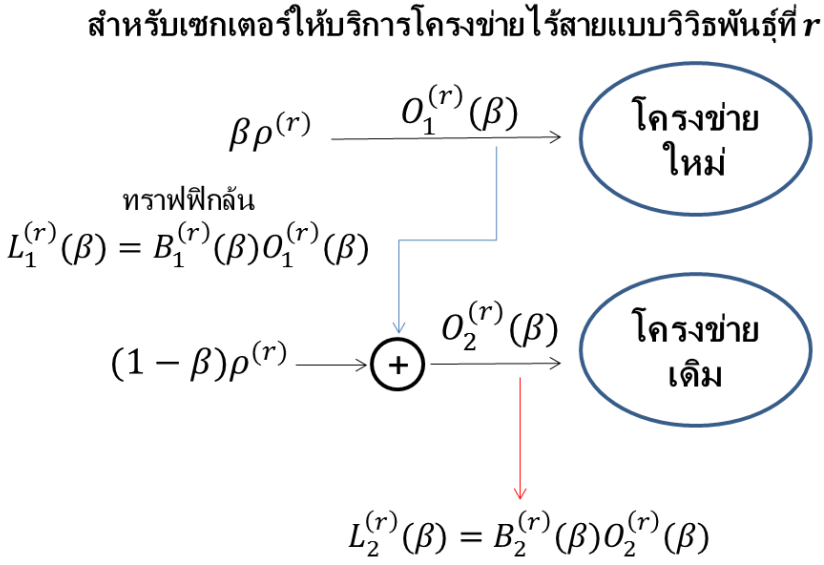
$C_k^{(r)}$ ความจุของโครงข่ายระบบ k ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r

$\bar{B}_k(\beta)$ ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β โดยคำนวณจากผลรวมของปริมาณทราฟฟิก $O_k^{(r)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k และผลรวมของปริมาณทราฟฟิก $L_k^{(r)}(\beta)$ ที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k ของทุกเซกเตอร์ให้บริการ

$\hat{B}(\beta)$ ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β

5.3 ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกเพียงหนึ่งประเภท

ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าโครงข่ายต่าง ๆ ในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่ใช้ในบทนี้ กำหนดให้ทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ จะถูกส่งไปขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ก่อนเป็นอันดับแรก ด้วยปริมาณทราฟฟิก $\beta\rho^{(r)}$ เมื่อโครงข่ายใหม่อยู่ในสถานะอิ่มตัว ทราฟฟิกที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ จะล้นมาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ด้วยปริมาณทราฟฟิก $B_1^{(r)}(\beta)\beta\rho^{(r)}$ โดยกำหนดให้อัตราการเข้ามาขอใช้บริการของทราฟฟิกล้นเป็นกระบวนการปัวซง สำหรับทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ทราฟฟิกกลุ่มนี้จะเข้าถึงโครงข่ายเดิมโดยตรง ด้วยปริมาณทราฟฟิก $(1-\beta)\rho^{(r)}$ โดยไม่สามารถขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ก่อน ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าในโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์เมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกเพียงหนึ่งประเภท แสดงในรูปที่ 5.1 ทั้งนี้ กำหนดให้โครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ r มีความจุเท่ากับ $C_1^{(r)}$ และ $C_2^{(r)}$ ตามลำดับ



รูปที่ 5.1: ขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้าโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมเมื่อพิจารณาประเภททราฟฟิกเพียงหนึ่งประเภท

ดังนั้นจากขั้นตอนวิธีการควบคุมการรับการเรียกเข้า ทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายใหม่ จะประกอบด้วยทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ ส่วนทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม จะประกอบด้วยทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว และทราฟฟิกล้น

ปริมาณทราฟฟิก $O_k^{(r)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายระบบ k ในเซกเตอร์ให้บริการที่ r จึงเขียนได้เป็น

$O_1^{(r)}(\beta) = \beta\rho^{(r)}$

$O_2^{(r)}(\beta) = B_1^{(r)}(\beta)O_1^{(r)}(\beta) + (1-\beta)\rho^{(r)}$

5.4 ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายในการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์

ดังที่ได้กำหนดไปข้างต้นว่า งานวิทยานิพนธ์นี้ใช้ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) แต่เนื่องจากในการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์นั้น พิจารณาทราฟฟิกเพียงประเภทเดียว และพิจารณาเซกเตอร์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์จำนวนสองเซกเตอร์เท่านั้น ดังนั้นเพื่อความง่าย ในบทนี้จึงขอปรับการคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภท j จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เป็นค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_k(\beta)$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายระบบ k เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β แทน โดยการคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_k(\beta)$ นี้จะคำนวณคล้ายกับค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_{k,j}$ ในสมการที่ (2.4) แต่แทนจำนวนเซกเตอร์ทั้งหมดที่ให้บริการด้วยสองเซกเตอร์ ($m = 2$) และแทนปริมาณทราฟฟิก $O_{k,j}^{(r)}$ และ $L_{k,j}^{(r)}$ ในสมการที่ (2.4) ด้วย $O_k^{(r)}(\beta)$ และ $L_k^{(r)}(\beta)$ ตามลำดับ และแทนความน่าจะเป็น $B_{k,j}^{(r)}$ ด้วย $B_k^{(r)}(\beta)$ ดังนี้

$$\bar{B}_k(\beta) = \frac{\sum_{r=1}^{2} L_k^{(r)}(\beta)}{\sum_{r=1}^{2} O_k^{(r)}(\beta)} = \frac{B_k^{(1)}(\beta)O_k^{(1)}(\beta) + B_k^{(2)}(\beta)O_k^{(2)}(\beta)}{O_k^{(1)}(\beta) + O_k^{(2)}(\beta)} \tag{5.1}$$

5.5 บทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์

ในหัวข้อนี้ จะแสดงบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ โดยกำหนดให้คุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการตั้งอยู่บนข้อสมมติฐาน 3 ข้อ ดังนี้

เงื่อนไข 1 $O_2^{(1)}(\beta) = c$

เงื่อนไข 2 $O_2^{(2)}(\beta) = (1-\beta)\rho^{(2)}$

เงื่อนไข 3 $C_2^{(1)} = C_2^{(2)}$

เงื่อนไข 1 กำหนดให้ปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 เป็นค่าคงที่ c ตลอดการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด เงื่อนไข 2 กำหนดให้

ปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 มีค่าลดลงแบบเชิงเส้นของปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ตลอดการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด เงื่อนไข 3 กำหนดให้ค่าความจุของโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ที่ให้บริการทั้งสองเซกเตอร์มีค่าเท่ากัน

เนื่องจาก งานวิทยานิพนธ์กำหนดให้ปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(1)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 เป็นค่าคงที่เท่ากับ c ไม่ขึ้นกับค่าอัตราส่วน β ใด ๆ จึงส่งผลให้ความน่าจะเป็น $B_2^{(1)}(\beta)$ เป็นค่าคงที่ สำหรับทุกค่าอัตราส่วน β ด้วย ดังนั้นเพื่อความง่ายต่อการอ้างอิง งานวิทยานิพนธ์จึงขอกำหนดให้ความน่าจะเป็น $B_2^{(1)}(\beta)$ มีค่าเท่ากับ B' สำหรับทุกค่าอัตราส่วน β

5.5.1 ทฤษฎีบทที่ 1

$\bar{B}_2(\beta) = \bar{B}_2(1)$ เมื่อ $\beta = \beta^* = 1 - \frac{c}{\rho^{(2)}} \geq 0$

พิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 1

แทนค่าปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(1)}(\beta) = c$ และ $O_2^{(2)}(\beta) = (1-\beta)\rho^{(2)}$ และแทนค่าความน่าจะเป็น $B_2^{(1)}(\beta) = B'$ ในสมการ (5.1) เพื่อหาความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta)$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β แสดงในสมการที่ (5.2)

$$\bar{B}_2(\beta) = \frac{cB' + (1-\beta)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta)}{c + (1-\beta)\rho^{(2)}} \tag{5.2}$$

จากสมการที่ (5.2) จึงคำนวณความน่าจะเป็นเฉลี่ย ($\bar{B}_2(\beta)$) ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ (เมื่อ $\beta = 1$) ได้ตามสมการที่ (5.3)

$$\bar{B}_2(1) = \frac{cB' + 0}{c + 0} = B' \tag{5.3}$$

และสามารถหาความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β^* จากสมการที่ (5.2) ได้ตามสมการที่ (5.4)

$$\begin{aligned}\bar{B}_2(\beta^*) = \bar{B}_2(1 - \frac{c}{\rho^{(2)}}) &= \frac{cB' + (1-(1-\frac{c}{\rho^{(2)}}))\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta^*)}{c + (1-(1-\frac{c}{\rho^{(2)}}))\rho^{(2)}} \\ &= \frac{cB' + cB_2^{(2)}(\beta^*)}{c+c}\end{aligned} \tag{5.4}$$

จากข้อกำหนดข้างต้นที่กำหนดให้ปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(1)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 เป็นค่าคงที่เท่ากับ c และส่งผลให้ความน่าจะเป็น $B_2^{(1)}(\beta)$

ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 เป็นค่าคงที่เท่ากับ B' เสมอ เนื่องจากปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 เมื่ออัตราส่วน β มีค่าเท่ากับ β^* นั้นมีค่าเท่ากับ c เท่ากับปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(1)}(\beta)$ และจากเงื่อนไขความจุ $C_2^{(1)} = C_2^{(2)}$ ดังนั้น ความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta^*)$ ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 จึงมีค่าเท่ากับ B' เช่นกัน หาก $\beta^* \geq 0$

จากการแทน $B_2^{(2)}(\beta^*) = B'$ ในสมการที่ (5.4) พบว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta^*)$ มีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(1)$ ในสมการที่ (5.3) ดังนี้

$$\bar{B}_2(\beta^*) = B' = \bar{B}_2(1) \tag{5.5}$$

จากสมการที่ (5.5) จึงเป็นการพิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 1 ว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β^* จะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ $\bar{B}_2(\beta) = \bar{B}_2(1)$ เมื่อ $\beta = \beta^* = 1 - \frac{c}{\rho^{(2)}} \geq 0$

จากทฤษฎีบทที่ 1 เพื่อความง่ายต่อการอ้างอิงในวิทยานิพนธ์นี้ จึงขอนิยามให้ β^* แทนอัตราส่วนที่ทำให้ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ โดย

$$\beta^* = 1 - \frac{c}{\rho^{(2)}} \tag{5.6}$$

เมื่อ β^* มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

5.5.2 ทฤษฎีบทที่ 2

$\bar{B}_2(1) > \bar{B}_2(\beta)$ เมื่อ $\beta^* < \beta < 1$

พิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 2

จัดรูปความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(1)$ ในสมการที่ (5.3) ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta)$ (จากสมการ (5.2)) ดังนี้

$$\bar{B}_2(1) = B' = [\frac{c + (1-\beta)\rho^{(2)}}{c + (1-\beta)\rho^{(2)}}]B' = \frac{cB' + (1-\beta)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta) + (1-\beta)\rho^{(2)}[B' - B_2^{(2)}(\beta)]}{c + (1-\beta)\rho^{(2)}}$$

$$= \bar{B}_2(\beta) + \frac{(1-\beta)\rho^{(2)}}{c + (1-\beta)\rho^{(2)}}(B' - B_2^{(2)}(\beta)) \tag{5.7}$$

เนื่องจากค่าความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 แปรผันตามปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอ

ใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 เมื่อ $O_2^{(2)}(\beta) = (1-\beta)\rho^{(2)}$ ซึ่งจะพบว่า หากอัตราส่วน β มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ และความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ มีค่าลดลงเสมอ

จากที่ได้อธิบายไปในการพิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 1 ว่าปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 เมื่ออัตราส่วน β มีค่าเท่ากับ β^* นั้นมีค่าเท่ากับ c ซึ่งเท่ากับปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(1)}(\beta)$ ที่ส่งผลให้ความน่าจะเป็น $B_2^{(1)}(\beta)$ เป็นค่าคงที่เท่ากับ B' ดังที่ได้กำหนดไปข้างต้น และจากเงื่อนไขความจุ $C_2^{(1)} = C_2^{(2)}$ ดังนั้น ความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta^*)$ ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 จึงมีค่าเท่ากับ B' เช่นกัน ถ้า β^* มีค่ามากกว่า 0

จากการลดลงของความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ เมื่ออัตราส่วน β มีค่าเพิ่มขึ้น และทราบว่าความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ เมื่อ $\beta = \beta^*$ จะมีค่าเท่ากับ B' จะพบว่า ถ้าอัตราส่วน β มีค่ามากกว่า β^* แล้วความน่าจะเป็น B' จะมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ เสมอ และส่งผลให้พจน์ $B' - B_2^{(2)}(\beta)$ ในสมการที่ (5.7) มีค่ามากกว่า 0 ดังนั้น ความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(1)$ ในสมการที่ (5.7) จึงมีค่ามากกว่า $\bar{B}_2(\beta)$ เสมอ ซึ่งเป็นการพิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 2 ว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ จะมีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่างอัตราส่วน β^* และ 1 กล่าวคือ $\bar{B}_2(1) > \bar{B}_2(\beta)$ เมื่อ $\beta^* < \beta < 1$

5.5.3 ทฤษฎีบทที่ 3

$\bar{B}_2(\beta)$ จะเป็นฟังก์ชันลดของอัตราส่วน β เมื่อ $0 \leq \beta < \beta^*$

พิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 3

เพื่อพิสูจน์ว่าทฤษฎีบทที่ 3 เป็นจริง งานวิทยานิพนธ์จึงขอพิสูจน์ว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta)$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่ออัตราส่วน β มีค่าเท่ากับ β_1 มีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta)$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่ออัตราส่วน β มีค่าเท่ากับ β_2 โดย β_1 มีค่าน้อยกว่า β_2 และ β_2 มีค่าน้อยกว่า β^* นั่นคือต้องพิสูจน์ว่า $\bar{B}_2(\beta_1) > \bar{B}_2(\beta_2)$ เมื่อ $\beta_1 < \beta_2 < \beta^*$

เงื่อนไข $\bar{B}_2(\beta_1) > \bar{B}_2(\beta_2)$ นั้นสมมูลกับ $\bar{B}_2(\beta_1) - \bar{B}_2(\beta_2) > 0$ โดยความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta_1)$ และ $\bar{B}_2(\beta_2)$ นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ (5.2) โดยการแทนอัตราส่วน β ด้วย β_1 และ β_2 ตามลำดับ ดังนี้

$$\begin{aligned} &\bar{B}_2(\beta_1) - \bar{B}_2(\beta_2) \\ &= \frac{cB' + (1-\beta_1)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_1)}{c + (1-\beta_1)\rho^{(2)}} - \frac{cB' + (1-\beta_2)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_2)}{c + (1-\beta_2)\rho^{(2)}} \end{aligned} \tag{5.8}$$

เนื่องจากในการพิสูจน์ว่า $\bar{B}_2(\beta_1) - \bar{B}_2(\beta_2) > 0$ นี้ พิจารณาเพียงเครื่องหมายของ $\bar{B}_2(\beta_1) - \bar{B}_2(\beta_2)$ เท่านั้น ซึ่งตัวส่วนของ $\bar{B}_2(\beta_1) - \bar{B}_2(\beta_2)$ ในสมการที่ (5.8) นั้นมีค่ามากกว่า 0 อยู่แล้ว การพิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 3 นี้จึงขอพิจารณาเพียงเครื่องหมายตัวเศษของ $\bar{B}_2(\beta_1) - \bar{B}_2(\beta_2)$ ในสมการ

ที่ (5.8) เท่านั้น โดยการทำให้ตัวส่วนในสมการที่ (5.8) มีค่าเท่ากัน และพิจารณาเฉพาะตัวเศษเทอมด้านขวาของสมการ (5.8) ดังนี้

$$\begin{aligned}&[c+(1-\beta_2)\rho^{(2)}][cB'+(1-\beta_1)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_1)]\\&-[c+(1-\beta_1)\rho^{(2)}][cB'+(1-\beta_2)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_2)]\end{aligned} \tag{5.9}$$

จากการจัดพจน์ต่าง ๆ ในสมการที่ (5.9) จึงได้

$$\begin{aligned}&-[\beta_2-\beta_1]c\rho^{(2)}B'+[c+(1-\beta_2)\rho^{(2)}][(1-\beta_1)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_1)]\\&-[c+(1-\beta_1)\rho^{(2)}][(1-\beta_2)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_2)]\end{aligned} \tag{5.10}$$

จะพบว่าพจน์ $-[c+(1-\beta_1)\rho^{(2)}][(1-\beta_2)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_2)]$ ในสมการที่ (5.10) นั้น สมมูลกับสมการที่ (5.11) ดังนี้

$$\begin{aligned}&-[c+(1-\beta_1)\rho^{(2)}][(1-\beta_2)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_2)]\\&= -[c+(1-\beta_2)\rho^{(2)}][(1-\beta_1)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_2)]+[\beta_2-\beta_1]c\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_2)\end{aligned} \tag{5.11}$$

แทนพจน์ $-[c+(1-\beta_1)\rho^{(2)}][(1-\beta_2)\rho^{(2)}B_2^{(2)}(\beta_2)]$ จากสมการ (5.11) ลงในสมการที่ (5.10) และจัดพจน์ต่าง ๆ ในสมการที่ (5.10) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}&[\beta_2-\beta_1]c\rho^{(2)}[B_2^{(2)}(\beta_2)-B']\\&+[c+(1-\beta_2)\rho^{(2)}][(1-\beta_1)\rho^{(2)}][B_2^{(2)}(\beta_1)-B_2^{(2)}(\beta_2)]\end{aligned} \tag{5.12}$$

จากที่ได้อธิบายไปในการพิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 1 และการพิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 2 ว่าค่าความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 แปรผันตามปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 เมื่อ $O_2^{(2)}(\beta)=(1-\beta)\rho^{(2)}$ ซึ่งจะพบว่า หากอัตราส่วน β มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ และความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ มีค่าลดลง และจากเงื่อนไขความจุ $C_2^{(1)}=C_2^{(2)}$ ซึ่งทำให้ความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ มีค่าเท่ากับ B' ถ้า $\beta=\beta^*\geq 0$

ดังนั้น หากพิจารณาค่าของความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ เมื่ออัตราส่วน β มีค่าเท่ากับ β_1,β_2 และ β^* เมื่อ $\beta_1<\beta_2<\beta^*$ จะพบว่าความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta_1)$ จะมีค่ามากกว่าความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta_2)$ เสมอเพราะอัตราส่วน β_1 มีค่าน้อยกว่า β_2 และ $B_2^{(2)}(\beta_2)$ จะมีค่าน้อยกว่าความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta^*)$ เสมอเพราะอัตราส่วน β_2 มีค่ามากกว่า β^* ดังนี้

$$B_2^{(2)}(\beta_1)>B_2^{(2)}(\beta_2)>B' \tag{5.13}$$

จากเงื่อนไขในอสมการที่ (5.13) จึงทำให้พจน์ $[B_2^{(2)}(\beta_2)-B']$ และ $[B_2^{(2)}(\beta_1)-B_2^{(2)}(\beta_2)]$ ในสมการที่ (5.12) มีค่ามากกว่า 0 และส่งผลให้เครื่องหมายของสมการที่ (5.12) เป็นบวกอยู่เสมอ

ดังนั้น $\bar{B}_2(\beta_1) > \bar{B}_2(\beta_2)$ จึงเป็นเงื่อนไขที่เป็นจริง เมื่อ $\beta_1 < \beta_2 < \beta^*$ และเป็นการพิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 3 ว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta)$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม จะเป็นฟังก์ชันลดของอัตราส่วน β เมื่อ $\beta < \beta^*$

5.5.4 ทฤษฎีบทที่ 4

ถ้า $c > \rho^{(2)} > 0$ (หรือ $\beta^* < 0$) แล้ว $\bar{B}_2(1) > \bar{B}_2(\beta)$ สำหรับทุกค่าอัตราส่วน β

พิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 4

จากการจัดรูปของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(1)$ ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta)$ ในสมการที่ (5.7) ดังนี้

$$\bar{B}_2(1) = \bar{B}_2(\beta) + \frac{(1-\beta)\rho^{(2)}}{c + (1-\beta)\rho^{(2)}}(B' - B_2^{(2)}(\beta)) \tag{5.14}$$

เนื่องจาก $c > \rho^{(2)}$ ทำให้ได้ว่า

$$c > (1-\beta)\rho^{(2)} \tag{5.15}$$

เมื่อ $0 \leq \beta \leq 1$

จากอสมการที่ (5.15) จะพบว่า $(1-\beta)\rho^{(2)}$ คือปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ดังนั้นจึงสามารถแทนที่พจน์ $(1-\beta)\rho^{(2)}$ ในอสมการที่ (5.15) ด้วยปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ ได้ดังนี้

$$c > O_2^{(2)}(\beta) \tag{5.16}$$

ตามที่กำหนดไปข้างต้นว่า ค่าคงที่ c คือปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(1)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 และส่งผลให้ความน่าจะเป็น $B_2^{(1)}(\beta)$ ที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 เป็นค่าคงที่เท่ากับ B' เสมอ และค่า $O_2^{(2)}(\beta)$ คือปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ซึ่งส่งผลให้ความน่าจะเป็นที่การเรียกเข้าของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 มีค่าเท่ากับ $B_2^{(2)}(\beta)$

จากอสมการที่ (5.16) จะพบว่า ค่าคงที่ c มีค่ามากกว่าปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ เสมอ และจากเงื่อนไขความจุ $C_2^{(1)} = C_2^{(2)}$ จึงส่งผลให้ความน่าจะเป็น B' มีค่ามากกว่าความน่าจะเป็น $B_2^{(2)}(\beta)$ ด้วย อสมการที่ (5.16) จึงสมมูลกับอสมการที่ (5.17) ดังนี้

$$B' > B_2^{(2)}(\beta) \tag{5.17}$$

จากอสมการที่ (5.17) จึงส่งผลให้ความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(1)$ ในสมการที่ (5.14) มีค่ามากกว่า $\bar{B}_2(\beta)$ เสมอ ซึ่งเป็นการพิสูจน์ทฤษฎีบทที่ 4 ว่าถ้าค่าคงที่ c มีค่ามากกว่าปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$

แล้วความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ จะมีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β เสมอ กล่าวคือ $\bar{B}_2(1) > \bar{B}_2(\beta)$ เมื่อ $0 \leq \beta < 1$

จากทฤษฎีบททั้งหมดนั้น จะพบว่าทฤษฎีบทที่ 2 และทฤษฎีบทที่ 4 นั้นเป็นการพิสูจน์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ ($\beta = 1$) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ ($\beta < 1$) ซึ่งตั้งอยู่บนเงื่อนไขที่ต่างกัน โดยทฤษฎีบทที่ 1 และทฤษฎีบทที่ 3 นั้นจะเป็นการอธิบายเพิ่มเติมถึงสมรรถนะของโครงข่ายเดิม เมื่อมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน

5.6 เงื่อนไขเพียงพอที่จะทำให้สมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ ด้อยลงกว่าสมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์

จากทฤษฎีบททั้งหมดนั้น จึงทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขเพียงพอที่จะทำให้สมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ ($\beta = 1$) ด้อยลงกว่าสมรรถนะของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ ($\beta < 1$) ได้แก่

1. $C_2^{(1)} = C_2^{(2)}$
2. $O_2^{(1)}(\beta) = c$ และ $O_2^{(2)}(\beta) = (1-\beta)\rho^{(2)}$
3. $\beta^* < 1$ เมื่อ $\beta^* = 1 - \dfrac{c}{\rho^{(2)}}$

นั่นคือ

1. ค่าความจุของโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ที่ให้บริการทั้งสองเซกเตอร์นั้นมีค่าเท่ากัน
2. ปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 เป็นค่าคงที่ c ตลอดการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด และปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 มีค่าลดลงแบบเชิงเส้นของปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ตลอดการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด
3. อัตราส่วน β^* ที่ทำให้ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม มีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์มีค่าน้อยกว่า 1

นอกจากนี้ จากทฤษฎีบททั้งหมดนั้น จึงทำให้สามารถกำหนดช่วงที่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้เสมอ (ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิมมีค่าลดลงเสมอ) เมื่อมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน ได้แก่ช่วงที่อัตราส่วน

β มีค่าน้อยกว่า $max(0, \beta^*)$ และช่วงเข้าสู่ภาวะที่ไม่สามารถคาดเดาการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้ เมื่อมีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งาน ได้แก่ช่วงที่อัตราส่วน β มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $max(0, \beta^*)$ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ในช่วงเข้าสู่ภาวะที่ไม่สามารถคาดเดาการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้นี้ จะค่าขอบเขตบนเท่ากับความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์

5.7 การติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ

จากข้อสมมติฐานของคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการที่ได้ตั้งไว้ทั้ง 3 ข้อในการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์นั้น มีตัวอย่างเหตุการณ์ในทางปฏิบัติที่เกิดขึ้นจริงที่ทำให้คุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการมีความใกล้เคียงกับข้อสมมติฐานเหล่านั้น คือการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการหรือในบางพื้นที่ (hotspot) สำหรับเซกเตอร์ที่ได้รับการติดตั้งโครงข่ายใหม่หากกำหนดให้ไม่เกิดปริมาณทราฟฟิกล้นจากโครงข่ายใหม่มาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมแล้ว การโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานจะส่งผลต่อระบบเสมือนการโอนถ่ายปริมาณทราฟฟิกจากโครงข่ายเดิมไปยังโครงข่ายใหม่ ดังนั้นปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ที่ได้รับการติดตั้งโครงข่ายใหม่จึงมีค่าลดลงจากปริมาณทราฟฟิกรวม $\rho^{(r)}$ จนเหลือ 0 เออร์แลง เมื่อมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน

สำหรับเซกเตอร์ที่ไม่ได้รับการติดตั้งโครงข่ายใหม่ การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจะไม่ส่งผลใด ๆ ในการโอนถ่ายปริมาณทราฟฟิกจากโครงข่ายเดิมไปยังโครงข่ายใหม่ ดังนั้นปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ที่ไม่ได้รับการติดตั้งโครงข่ายใหม่จึงมีค่าเท่ากับปริมาณทราฟฟิกรวม $\rho^{(r)}$ เออร์แลงเสมอ

โดยข้อสมมติฐานของคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการ ในตัวอย่างเหตุการณ์การติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการหรือในบางพื้นที่ จะดัดแปลงมาจากข้อสมมติฐานของคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการที่ใช้ในการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ โดยการแทน $O_2^{(1)}(\beta) = \rho^{(1)}$ และ $O_2^{(2)}(\beta) = (1-\beta)\rho^{(2)}$ สำหรับทุกค่าอัตราส่วน β ดังนี้

1. $O_2^{(1)}(\beta) = \rho^{(1)}, \forall\beta$
2. $O_2^{(2)}(\beta) = (1-\beta)\rho^{(2)}, \forall\beta$
3. $C_2^{(1)} = C_2^{(2)}$

นั่นคือกำหนดให้เซกเตอร์ให้บริการที่ 1 ไม่ได้รับการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิม ซึ่งส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 เป็นค่าคงที่เท่ากับปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 สำหรับทุกค่าอัตราส่วน β และกำหนดให้เซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ได้รับการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิม ซึ่งส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิก $O_2^{(2)}(\beta)$ ที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 มีค่าลดลงแบบเชิงเส้นของปริมาณทราฟฟิกรวมที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ตลอดการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด สำหรับทุกค่าอัตราส่วน β และกำหนดให้ค่าความจุของโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ที่ให้บริการทั้งสองเซกเตอร์มีค่าเท่ากัน

ดังนั้น จากข้อสมมติฐานของคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการที่กำหนดไว้และทฤษฎีบท

ทั้งหมดจะพบว่า หากปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าน้อยกว่าปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ แล้ว การติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 เป็นการติดตั้งบนเซกเตอร์ให้บริการที่ถูกต้องเพราะเป็นเซกเตอร์ที่มีปริมาณทราฟฟิกมาก การโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานจะสามารถลดปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ที่มีค่าสูงได้ ดังนั้นประสิทธิภาพของการโอนถ่ายปริมาณทราฟฟิกจากโครงข่ายเดิมไปยังโครงข่ายใหม่จึงมีค่าสูง และส่งผลให้อัตราส่วน β^* มีค่ามากกว่า 0 นั่นคือมีช่วงที่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้เสมอ โดยความกว้างของช่วงที่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้เสมอนั้น จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ และปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ หากมีความแตกต่างกันมาก (น้อย) ก็จะส่งผลให้ช่วงที่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้เสมอมีความกว้างมาก (น้อย)

หากปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าเท่ากับปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ แล้วจะพบว่าการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ให้ผลเหมือนกันกับการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 เพราะการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานจะสามารถลดปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์นั้น ๆ ได้เท่ากัน และส่งผลให้อัตราส่วน β^* มีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือไม่เกิดช่วงที่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้ การโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานจะเข้าสู่ช่วงที่ไม่สามารถคาดเดาการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมทันที

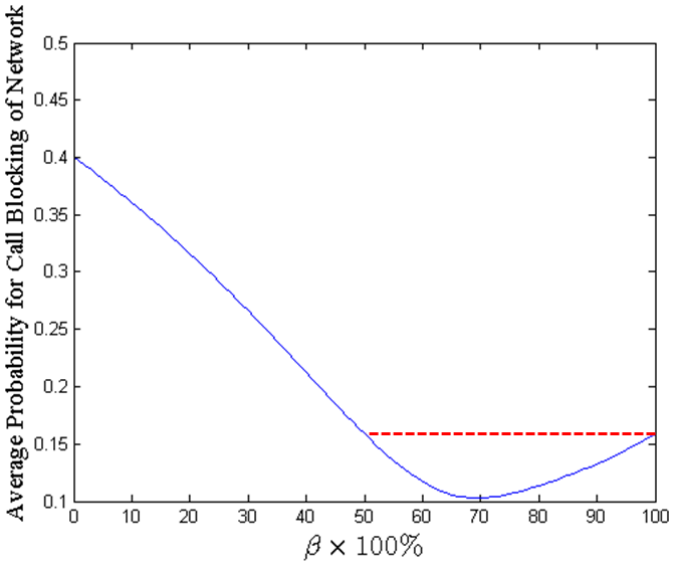
หากปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่ามากกว่าปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ แล้วจะพบว่า การติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 นั้น เป็นการติดตั้งบนเซกเตอร์ให้บริการที่ไม่ถูกต้องเพราะเป็นเซกเตอร์ที่มีปริมาณทราฟฟิกน้อย แม้ว่าการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานจะสามารถลดปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ที่มีค่าน้อยได้ แต่ปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 ซึ่งมีค่าสูงกว่า ยังคงมีค่าเท่าเดิมเพราะเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 ยังไม่ได้รับการติดตั้งโครงข่ายใหม่ ดังนั้นประสิทธิภาพของการโอนถ่ายปริมาณทราฟฟิกจากโครงข่ายเดิมไปยังโครงข่ายใหม่จึงมีค่าต่ำ และส่งผลให้อัตราส่วน β^* มีค่าน้อยกว่า 0 นั่นคือไม่เกิดช่วงที่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้ การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจะเข้าสู่ช่วงที่ไม่สามารถคาดเดาการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมทันที เช่นเดียวกันกับในกรณีที่ปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าเท่ากับปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$

เพื่อให้เห็นภาพของผลลัพธ์ที่ชัดเจนมากขึ้น ในหัวข้อถัดไป งานวิทยานิพนธ์จะแสดงผลลัพธ์เชิงตัวเลขชี้ให้เห็นถึงสมรรถนะของโครงข่ายเดิม หากมีการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ แล้วมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน

5.8 ตัวอย่างผลลัพธ์เชิงตัวเลขจากการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ

ในหัวข้อนี้ จะแสดงผลลัพธ์เชิงตัวเลขของความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม หากมีการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ แล้วมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน โดยติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 เพียงเซกเตอร์เดียว การคำนวณผลลัพธ์เชิงตัวเลขทั้งหมดในหัวข้อนี้ ตั้งอยู่บนข้อสมมติฐานของคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการ ในตัวอย่างเหตุการณ์การติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ

งานวิทยานิพนธ์จะแสดงผลลัพธ์เชิงตัวเลข เมื่อคงค่าปริมาณทราฟฟิกรวม $\rho^{(1)}$ ที่กำเนิดจาก



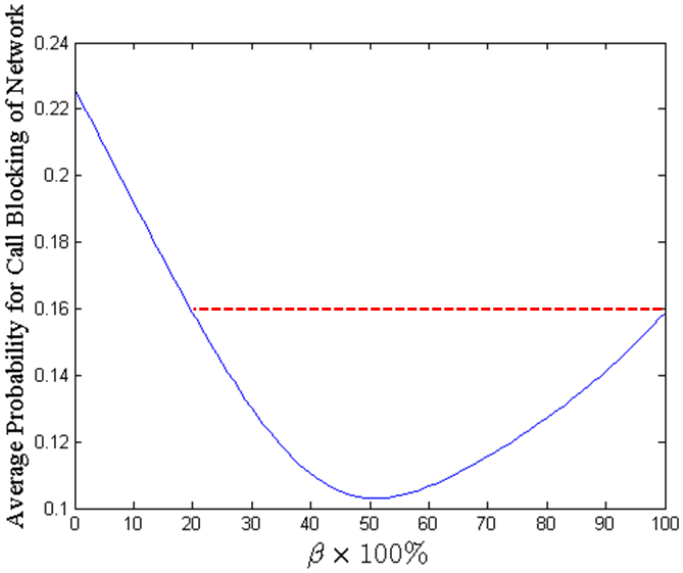
รูปที่ 5.2: ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าคงที่เท่ากับ 20 เออร์แลงและปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 40 เออร์แลง

อุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 1 ไว้เท่ากับ 20 เออร์แลง และกำหนดให้ค่าความจุของโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ที่ให้บริการทั้งสองเซกเตอร์มีค่าเท่ากัน $C_2^{(1)} = C_2^{(2)} = 20$ และปรับค่าปริมาณทราฟฟิกรวม $\rho^{(2)}$ ที่กำเนิดจากอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด ในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 กรณีดังนี้ 40, 25, 20 และ 10 เออร์แลง แสดงผลลัพธ์เชิงตัวเลขในรูปที่ 5.2 – 5.5 ตามลำดับ ดังนี้

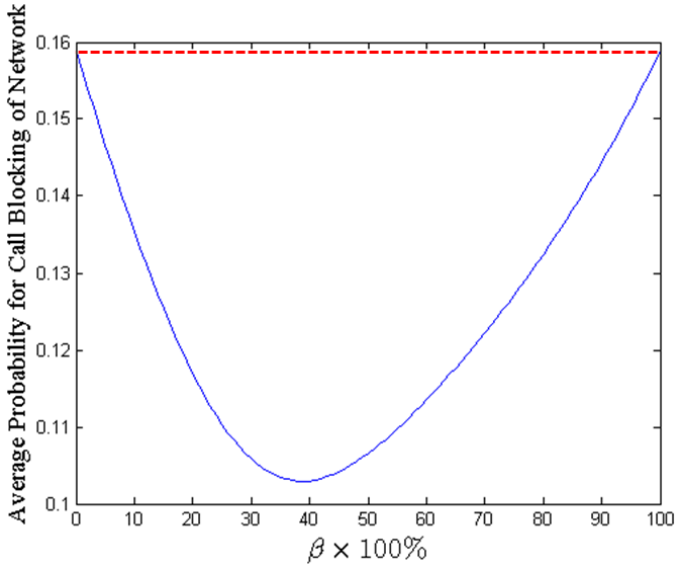
จากรูปที่ 5.2 และ 5.3 จะพบว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta)$ จะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(1)$ เมื่อ $\beta = 50\%$ และ $\beta = 20\%$ ตามลำดับ ซึ่งตรงกับอัตราส่วน β^* ที่สามารถคำนวณได้จาก (5.6) โดยช่วงที่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้เสมอ ($\beta < max(0, \beta^*)$) ในกรณีที่ปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 40 เออร์แลงนั้นจะกว้างกว่าในกรณีที่ปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 20 เออร์แลง เพราะการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานสามารถลดปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 ได้มากกว่า

จากรูปที่ 5.4 จะพบว่าความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(\beta)$ จะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\bar{B}_2(1)$ ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ ($\beta = 1$) เมื่อ $\beta = \beta^* = 0\%$ นั่นคือไม่เกิดช่วงที่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้ การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจะเข้าสู่ช่วงที่ไม่สามารถคาดเดาการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของโครงข่ายเดิมได้ ($\beta \geq \beta^*$) ทันทีเช่นเดียวกับผลลัพธ์เชิงตัวเลขในกรณีที่ปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 10 เออร์แลง ดังแสดงในรูปที่ 5.5

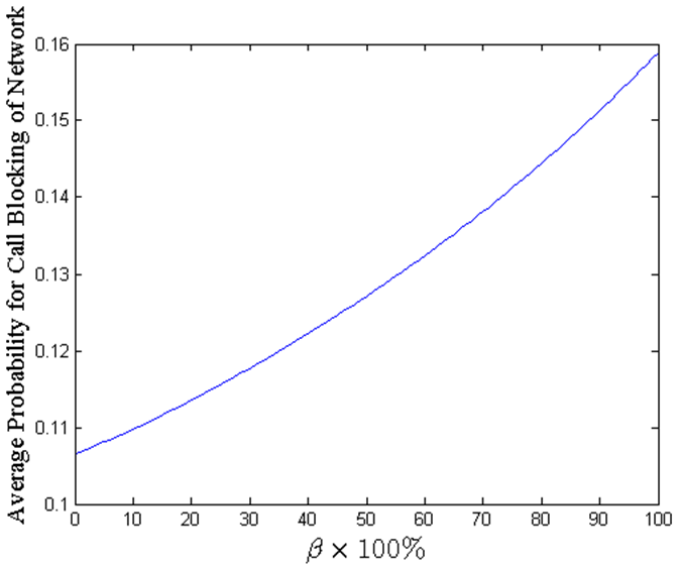
นอกจากนี้ งานวิทยานิพนธ์ได้แสดงผลของความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\hat{B}(\beta)$ ที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β โดยคำนวณจากผลรวมของปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์และผลรวมของปริมาณทราฟฟิกที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของปริมาณทราฟฟิกที่ถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่ออัตราส่วนของปริมาณทรา



รูปที่ 5.3: ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าคงที่เท่ากับ 20 เออร์แลงและปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 25 เออร์แลง



รูปที่ 5.4: ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าคงที่เท่ากับ 20 เออร์แลงและปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 20 เออร์แลง



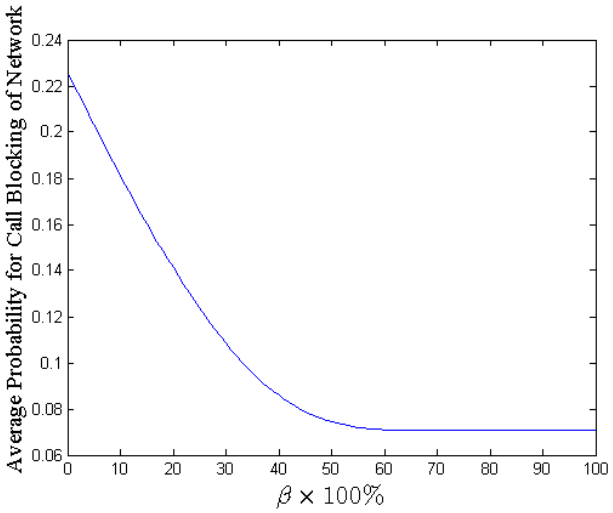
รูปที่ 5.5: ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เมื่อปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าคงที่เท่ากับ 20 เออร์แลงและปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 10 เออร์แลง

ฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ β ตามสมการที่ (5.18)

$$\hat{B}(\beta) = \frac{\sum_{r=1}^{2} L_2^{(r)}(\beta)}{\sum_{r=1}^{2} \rho^{(r)}} = \frac{B_2^{(1)}(\beta)O_2^{(1)}(\beta) + B_2^{(2)}(\beta)O_2^{(2)}(\beta)}{\rho^{(1)} + \rho^{(2)}} \tag{5.18}$$

รูปที่ 5.6 แสดงผลลัพธ์เชิงตัวเลขของความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ หากมีการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ให้บริการที่ 2 เพียงเซกเตอร์เดียว โดยการคำนวณผลลัพธ์นั้น ตั้งอยู่บนข้อสมมติฐานของคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการ ในตัวอย่างเหตุการณ์การติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ เมื่อปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ มีค่าเท่ากับ 20 เออร์แลง และปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ มีค่าเท่ากับ 25 เออร์แลง และกำหนดให้ค่าความจุของโครงข่ายเดิมในเซกเตอร์ที่ให้บริการทั้งสองเซกเตอร์มีค่าเท่ากัน $C_2^{(1)} = C_2^{(2)} = 20$

จากรูปที่ 5.6 พบว่าการเพิ่มค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ ต่อปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (β) ตั้งแต่ 0 % จนถึง 100 % จะส่งผลให้ความน่าจะเป็นเฉลี่ย $\hat{B}(\beta)$ มีค่าลดลงเสมอ แม้ว่าค่าของปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(1)}$ และปริมาณทราฟฟิก $\rho^{(2)}$ จะมีค่าแตกต่างจากพารามิเตอร์ที่ตั้งค่าไว้ก็ตาม นั่นคือนั่นคือสมรรถนะโดยรวมของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์จะปรับปรุงดีขึ้นเสมอ เมื่อมีการติดตั้งโครงข่ายใหม่และมีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน



รูปที่ 5.6: ค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

5.9 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ รวมถึงแสดงเงื่อนไขเพียงพอที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดนั้น ตั้งอยู่บนข้อสมมติฐานของคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จริงในทางปฏิบัติ นั่นคือคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการที่มีการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ โดยงานวิทยานิพนธ์ได้แสดงตัวอย่างผลลัพธ์เชิงตัวเลขจากการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ เพื่อให้เห็นภาพของผลลัพธ์ที่เกิดมากขึ้น

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งมีเทคโนโลยีระบบใหม่และระบบเดิมอยู่ในพื้นที่ให้บริการบริเวณเดียวกัน เมื่อมีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว ไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ โดยพิจารณาการปรับค่าอัตราส่วนของปริมาณทราฟฟิกทุกประเภทที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้ เทียบกับปริมาณทราฟฟิกทั้งหมด (ปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงทั้งโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมได้รวมกับปริมาณทราฟฟิกที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายเดิมได้เพียงโครงข่ายเดียว) โดยคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยผลลัพธ์เชิงตัวเลข โดยคำนวณค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกประเภทเสียงและประเภทข้อมูลจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม ซึ่งจากผลลัพธ์เชิงตัวเลข พบว่าการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่ อาจจะส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลงได้ แต่จะทำให้สมรรถนะโดยรวมของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ปรับปรุงดีขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยการจำลองระบบ โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่องและการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกติ ซึ่งการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่แตกต่างกันทั้งสองแบบนั้น อาศัยการจำลองระบบบนไซต์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการกระจายตัวแบบตารางสม่ำเสมอเหมือนกัน ซึ่งผลจากการจำลองระบบแบบสโทแคสติกพบว่าการกระจายตัวของไซต์ให้บริการแบบตารางสม่ำเสมอนั้น เหมาะสมกับการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปต่อเนื่องมากกว่าการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการที่มีการแจกแจงแบบปรกติ นอกจากนี้จากการจำลองระบบแบบสโทแคสติกยังพบอีกว่า หากการกระจายตัวของอุปกรณ์ผู้ใช้งานที่ต้องการขอใช้บริการ มีการแจกแจงแบบปรกติแล้ว การโอนถ่ายอุปกรณ์ผู้ใช้งานจากอุปกรณ์รุ่นเดิมไปเป็นอุปกรณ์รุ่นใหม่จะส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิมด้อยลง ทั้งนี้ งานวิทยานิพนธ์ได้แสดงการประเมินสมรรถนะของโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานด้วยแบบจำลองเชิงกำหนด เพื่อเป็นการยืนยันผลที่เกิดจากการจำลองระบบแบบสโทแคสติก

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ รวมถึงแสดงเงื่อนไขเพียงพอที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดนั้น ตั้งอยู่บนข้อสมมติฐานของคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จริงในทางปฏิบัติ นั่นคือคุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการที่มีการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ โดยงานวิทยานิพนธ์ได้แสดงตัวอย่างผลลัพธ์เชิงตัวเลขจากการติดตั้งโครงข่ายใหม่ซ้อนทับโครงข่ายเดิมในบางเซกเตอร์ให้บริการ เพื่อให้เห็นภาพของผลลัพธ์ที่เกิดมากขึ้นอีกด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่ควรศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคตคือ

1. การเพิ่มประเภทของทราฟฟิกที่พิจารณา เพิ่มจำนวนของเซกเตอร์ที่ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

   ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม ณ จุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดที่มีการโอนถ่ายของอุปกรณ์ผู้ใช้งานอย่างไม่สมบูรณ์ โดยพิจารณาทราฟฟิกเพียงหนึ่งประเภท และพิจารณาเซกเตอร์ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์จำนวนสองเซกเตอร์เท่านั้น หากมีการเพิ่มประเภทของทราฟฟิกที่พิจารณาหรือการเพิ่มจำนวนของเซกเตอร์ที่ให้บริการโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ จะทำให้บทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์นี้มีความใกล้เคียงกับสถานการณ์ในทางปฏิบัติมากยิ่งขึ้น

2. การเพิ่มประเภทของโครงข่ายไร้สาย

   ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้โครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ประกอบด้วยโครงข่ายไร้สาย 2 โครงข่าย ได้แก่โครงข่ายใหม่ และโครงข่ายเดิม แต่ในทางปฏิบัติ อาจจะมีโครงสร้างการซ้อนทับของโครงข่ายไร้สายที่มากกว่า 2 โครงข่าย เช่นการซ้อนทับของโครงข่ายไร้สายระบบ 4G บนโครงข่ายไร้สายระบบ 3G บนโครงข่ายไร้สายระบบ 2G ดังนั้นการเพิ่มประเภทของโครงข่ายไร้สาย น่าจะทำให้งานวิจัยมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

3. การเพิ่มประเภทของตัวชี้วัดสมรรถนะของระบบ

   ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้ตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายใหม่และโครงข่ายเดิม คือค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายใหม่ และค่าความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่การเรียกเข้าใด ๆ ของทราฟฟิกจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้จากโครงข่ายเดิม ซึ่งการเพิ่มประเภทของตัวชี้วัดสมรรถนะของระบบเช่น เวลาในการประวิง (delay) ค่ากำลังต่อสัญญาณรบกวน จะทำให้การวัดสมรรถนะของระบบมีความสมบูรณ์แบบมากขึ้น

4. การจำลองระบบโดยไม่กำหนดให้กระบวนการเข้ามาขอใช้บริการของทราฟฟิกล้นเป็นกระบวนการปัวซง

   ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้กระบวนการเข้ามาขอใช้บริการของทราฟฟิกล้นทุกประเภทจากโครงข่ายใหม่ที่มาขอใช้บริการโครงข่ายเดิม เมื่อโครงข่ายใหม่อยู่ในสถานะอิ่มตัว เป็น

กระบวนการปั่วซง หากมีการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเหตุการณ์เต็มหน่วย จะทำให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้ มีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่เกิดในทางปฏิบัติมากยิ่งขึ้น

5. การจำลองระบบเพื่อยืนยันบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ถึงสมรรถนะที่ด้อยลงของโครงข่ายเดิม และแสดงผลลัพธ์เชิงตัวเลขเพื่อให้เห็นภาพของผลลัพธ์ที่เกิดมากขึ้น หากมีการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบเหตุการณ์เต็มหน่วยเพื่อยืนยันบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ โดยใช้คุณสมบัติของเซกเตอร์ที่ให้บริการ ตามข้อสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้ในบทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ จะทำให้บทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดนั้นมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] Hui, S. Y., and Yeung, K. H. Challenges in the migration to 4G mobile systems. IEEE Communication Magazine 41 (2003) : 54–59.

[2] AbuHaija, B., and AlBegain, K. LTE capacity and service continuity in multi radio environment. Proceeding of the 4th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (2010) : 131–136.

[3] McNair, J., and Zhu, F. Vertical handoffs in fourth-generation multinetwork environment. IEEE Wireless Communications 11 (2004) : 8–15.

[4] Tragos, E. Z., Tsiropoulos, G., and Kyriazakos, S. A. Admission control for QoS support in heterogeneous 4G wireless networks. IEEE Network Magazine 22 (2008) : 30–37.

[5] Song, W., Cheng, Y., and Zhuang, W. Load balancing for cellular/WLAN integrated networks. IEEE Network Magazine 21 (2007) : 27–33.

[6] Ahn, B., Yoon, H., and Cho, J. Joint deployment of macrocells and microcells over urban areas with spatially non-uniform traffic distributions. Proceeding of the 52nd Vehicular Technology Conference 6 (2000) : 2634–2641.

[7] Erlang, A. K., G. Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges. Elektrotkeknikeren 13 (1917) : 138–155.

[8] Roberts, J. W. A service system with heterogeneous user requirement. In G.Pujolle (ed.), Performance of Data Communications Systems and Their Applications, pp.423–431. Amsterdam : North-Holland Publishing Company, 1987.

[9] Cinlar, E., and Agnew, R. A. On the superposition of point processes. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological) 30 (1968) : 576–581.

[10] Song, W., Jiang, H., and Zhuang, W. Performance anaylsis of the WLAN-first scheme in cellular/WLAN interworking. IEEE Transactions On Wireless Communication 6 (2007) : 1932–1952.

[11] Aiello, W., Chung, F., and Lu, L. A random graph model for massive graphs. Proceedings of the 32nd annual ACM symposium on Theory of computing (2000) : 171–180.

[12] Al-Kanj, L., Dawy, Z., and Turkiyyah, G. A mathematical optimization approach for radio network planning of GSM/UMTS co-siting. Proceeding of the IEEE International Confernece on Communications (2009) : 1-5.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

สิงหา ประพจนาภรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2533 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาในปี พ.ศ. 2551 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตในปี พ.ศ. 2555 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2556

บทความทางวิชาการจากวิทยานิพนธ์

[1] Prapojjanaporn, S., Kittiwaytang, K., and Aswakul, C. Performance evaluation of heterogeneous wireless networks with location distribution and migration of user equipments. Proceeding of the 4th International Conference on Intelligent Systems Modelling & Simulation (2013) : 584-588.