

แบบจำลองการประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์
ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค

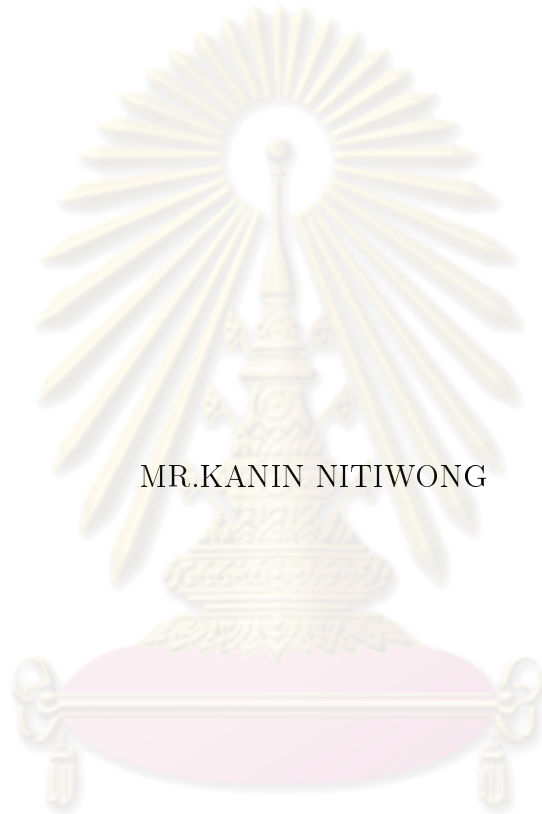


นายคณิน นิติวังค์

ศูนย์วิทยพัทยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE EVALUATION MODEL OF HETEROGENEOUS
WIRELESS NETWORK SELECTION STRATEGY WITH MACROSCOPIC
USER MOBILITY



MR.KANIN NITIWONG

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2009
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แบบจำลองการประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สาย
แบบวิวิธพันธุ์ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค

โดย

นายคณิน นิตวงค์

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนิตศ อัสวกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารเทคโนโลยี

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนิตศ อัสวกุล)

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

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. จตุพร ชินรุ่งเรือง)

ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณิน นิติวังค์ : แบบจำลองการประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค (PERFORMANCE EVALUATION MODEL OF HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORK SELECTION STRATEGY WITH MACROSCOPIC USER MOBILITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. เซวณัดิต อัสวกุล, 62 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอกรอบการวิเคราะห์สำหรับการประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ การวิเคราะห์นี้พัฒนามาจากแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาคที่เป็นที่รู้จักกันดี คือ แบบจำลองการส่งผ่านเซลล์ (cell transmission model : CTM) โดยแหล่งกำเนิดกราฟฟิกจำลองมาจากการเคลื่อนที่แบบของไหลของยานพาหนะบนถนนตรงกันข้ามกับแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบจุลภาคซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในงานวิจัยอดีต ที่กรอบการวิเคราะห์จะซ่อนพฤติกรรมของผู้ใช้แต่ละคนไว้

กรอบการวิเคราะห์ที่เสนอนี้มีความได้เปรียบในเรื่องความสามารถในการคำนวณ จึงเหมาะสมกับการพัฒนาต่อยอดในอนาคตที่กลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ต้องเป็นค่าเหมาะสมที่สุดซึ่งปรับตัวได้ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอผลการคำนวณเชิงตัวเลขบนโครงข่ายท้องถนน 1 มิติ โดยตั้งค่าให้ผู้ใช้มีตัวเลือกในการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไร้สายผ่านทางไมโครเซลล์และแมโครเซลล์ ในแบบทิศทางตรงและแบบแอดฮอก

ผลการทดลองจากแบบจำลองที่เสนอ แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายแมโครเซลล์ก่อนไม่ได้มีสมรรถนะดีกว่ากลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเองในทุกกรณี ขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น แบนด์วิดท์ของโครงข่าย นักวิชาการเลือกเข้าใช้โครงข่ายในกลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเอง หรือการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ ผลการวิเคราะห์สามารถปรับปรุงกลยุทธ์การเลือกใช้โครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ได้ในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต.....คณิน นิติวังค์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

4970241321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: NETWORK SELECTION/ HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS/
MACROSCOPIC MOBILITY MODEL.

KANIN NITIWONG : PERFORMANCE EVALUATION MODEL OF
HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORK SELECTION STRATEGY WITH
MACROSCOPIC USER MOBILITY . THESIS ADVISOR: ASST. PROF.
CHAODIT ASWAKUL, Ph.D., 62 pp.

In this thesis, an analytical framework has been proposed for performance evaluation of heterogeneous wireless network selection strategy. Its analysability is herein derived from the basis of a well established macroscopic model, called cell transmission model (CTM). With this approach, traffic sources have been modelled as deterministic fluid flow of moving users travelling on their vehicles along a road. In contrast to the approaches with microscopic user mobility model often used in the past, user individuality has been well hidden by the proposed framework.

The proposed framework has consequently its inherent advantage of computability. Therefore, it is well suited for further extension towards the adaptive optimisation of heterogeneous wireless network selection strategies. In this regard, numerical results have been given on a simple 1-dimensional road network settings with choices of moving users in making their connections via micro and macro cells in both direct and ad hoc modes.

The results from the proposed model show that the performance of the micro cell network first strategy is not always better than the user preference strategy in every case. It depends on factors such as network bandwidth, chosen network weight in the user preference strategy, or user mobility. The analytical results can improve heterogeneous wireless network selection strategy in the future.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Electrical Engineering

Field of Study : Electrical Engineering

Academic Year : 2009

Student's Signature..... คณิน นิติวงค์.....

Advisor's Signature ... Chodit Aswakul.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ สำเร็จ ลุล่วง ไป ได้ ด้วย ความ ช่วยเหลือ อย่าง ดี ยิ่ง จาก อาจารย์ ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ผศ. ดร.เชาวน์ดิศ อัครกุล ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำอันมีค่ายิ่งต่อผู้วิจัย อีกทั้งตรวจทานงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยโครงข่าย (Network Reserch Group) ซึ่งดูแลโดย ผศ. ดร. เชาวน์ดิศ อัครกุล และ ผศ. ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร ที่จัดกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และการทำงานของผู้วิจัยให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น รวมถึงให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือในการทำงานแก่ผู้วิจัย ทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสะดวกราบรื่น

ขอขอบคุณอาจารย์ภัทรชาติ โกมลภิติ ผู้คอยให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อ งานวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีเสมอมา

ขอบคุณเพื่อน พี่น้องนักวิจัยทุกคน รวมถึงเจ้าหน้าที่ บุคลากรที่อยู่ในภาควิชาไฟฟ้า สาขา วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ และเป็นกำลังใจที่ดียิ่ง ต่อผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ซึ่งได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บัญชีสัญลักษณ์	ฎ
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์	4
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์	4
2 แบบจำลองมหภาค Cell Transmission Model (CTM)	6
2.1 หลักการเบื้องต้นของแบบจำลอง CTM	6
2.2 ความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างความหนาแน่นและอัตราการไหล	8
2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์ในแบบจำลอง CTM	8
2.4 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง CTM	10
2.4.1 ความสามารถในการส่ง	11
2.4.2 ความสามารถในการรับ	11
2.4.3 จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนระหว่างเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ในการเชื่อมต่อ ของเซลล์แบบตามลำดับ	12
2.4.4 จำนวนยานพาหนะในเซลล์ตามกฎการอนุรักษ์การไหล	12
3 การประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบ วิธีพันธุด้วยแบบจำลองการ เคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค	14
3.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้และโครงข่ายไร้สายแบบวิธีพันธุ	14
3.2 ขั้นตอนการติดต่อระหว่างผู้ใช้อุปกรณ์กับโครงข่ายไร้สาย	15
3.3 กลยุทธ์ในการเลือกโครงข่าย	18
3.3.1 กลยุทธ์เลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน	21
3.3.2 กลยุทธ์ผู้ใช้อำนาจตนเอง	21
3.4 แบบจำลองกราฟฟิคสำหรับกลยุทธ์การเลือกโครงข่าย	22
3.4.1 ช่วงก่อนจะมีการเรียกเข้ามาในโครงข่าย	22
3.4.2 ช่วงการเรียกแฮนด์ออฟเข้ามาในโครงข่าย	23
3.4.3 ช่วงการเรียกเข้าใหม่ในโครงข่าย	29
3.4.4 ช่วงเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย	33
3.5 การคำนวณสมรรถนะของกลยุทธ์แต่ละประเภท	34

3.5.1	ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่	34
3.5.2	ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟ	34
3.6	สรุป	35
4	ผลการทดสอบ	36
4.1	ตัวอย่างการเปลี่ยนสถานะตามเวลาของระบบ	36
4.2	ผลของการปรับค่าน้ำหนักในการตัดสินใจเลือกโครงข่ายของกลยุทธ์ U	45
4.3	การพิจารณาสมรรถนะในแต่ละเซลล์ของ CTM ในกลยุทธ์ MI และ กลยุทธ์ U	49
4.4	การพิจารณาสมรรถนะของระบบที่สภาพการจราจรต่างๆ	52
4.5	สรุป	56
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	57
5.1	บทสรุป	57
5.2	ข้อเสนอแนะ	58
	รายการอ้างอิง	60
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	62



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	ความแตกต่างของแบบจำลองจุลภาคและแบบจำลองมหภาค	6
ตารางที่ 3.1	กรณีต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ของจำนวนผู้ใช้ที่เรียกแฮนด์ออฟได้สำเร็จ	18



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1	รูปแบบการแฮนด์ออฟทั้งสองประเภทในโครงข่ายไร้สาย	1
รูปที่ 1.2	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจแฮนด์ออฟระหว่างโครงข่ายต่างเทคโนโลยี . .	3
รูปที่ 2.1	การแบ่งถนนให้อยู่ในรูปเซลล์ของแบบจำลอง CTM	7
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างความหนาแน่นและอัตราการใช้	8
รูปที่ 2.3	การเชื่อมต่อแบบตามลำดับ	9
รูปที่ 2.4	การเชื่อมต่อแบบรวม	9
รูปที่ 2.5	การเชื่อมต่อแบบแยก	10
รูปที่ 3.1	แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้และโครงข่ายไร้สายแบบวิถีพันธุในกรณีทั่วไป . . .	15
รูปที่ 3.2	แบบจำลองลำดับการเกิดของเหตุการณ์ต่าง ๆ ในการเรียกเข้าใช้โครงข่ายไร้สายใน แต่ละช่วงเวลา	16
รูปที่ 3.3	ลำดับการเรียกเข้าใช้โครงข่ายต่าง ๆ ตามกลยุทธ์ micro cell network first : MI ในแต่ละช่วงเวลา	19
รูปที่ 3.4	ลำดับการเรียกเข้าใช้โครงข่ายต่าง ๆ ตามกลยุทธ์ user preference : U ในแต่ละช่อง เวลา	20
รูปที่ 4.1	รูปแบบการเชื่อมต่อของเซลล์ของ CTM จำนวน 3 เซลล์กับโครงข่าย	36
รูปที่ 4.2	จำนวนผู้ใช้บริการในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ	37
รูปที่ 4.3	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 1 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI	38
รูปที่ 4.4	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 2 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI	38
รูปที่ 4.5	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 3 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI	39
รูปที่ 4.6	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1 ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI	39
รูปที่ 4.7	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 3 ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI	40
รูปที่ 4.8	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายไมโครเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI	40
รูปที่ 4.9	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 1 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U	42
รูปที่ 4.10	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 2 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U	42
รูปที่ 4.11	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 3 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U	43
รูปที่ 4.12	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1 ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U	43

รูปที่ 4.13 จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 3 ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U	44
รูปที่ 4.14 จำนวน ผู้ใช้ที่อยู่ใน สถานะ ทำงาน ใน โครงข่าย แมโครเซลล์ ใน ช่วง เวลา ต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U	44
รูปที่ 4.15 รูปแบบการเชื่อมต่อของเซลล์ของ CTM จำนวน 5 เซลล์กับโครงข่าย	46
รูปที่ 4.16 จำนวนผู้ใช้บริการในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ	46
รูปที่ 4.17 ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในแต่ละค่า w^μ ของกลยุทธ์ U	47
รูปที่ 4.18 สมรรถนะของระบบในแต่ละค่า w^μ ของกลยุทธ์ U	49
รูปที่ 4.19 ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในแต่ละค่า w^μ ในเวลาที่ 300 ของกลยุทธ์ U	50
รูปที่ 4.20 ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในแต่ละค่า w^μ ในเวลาที่ 300 ของกลยุทธ์ MI	51
รูปที่ 4.21 จำนวนผู้ใช้บริการในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ	52
รูปที่ 4.22 สมรรถนะของระบบที่จำนวนยานพาหนะในระบบต่าง ๆ ของกลยุทธ์ MI	53
รูปที่ 4.23 สมรรถนะของระบบที่จำนวนยานพาหนะในระบบต่าง ๆ ของกลยุทธ์ U	54
รูปที่ 4.24 จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธที่จำนวนยานพาหนะในระบบต่าง ๆ ของกลยุทธ์ MI	54
รูปที่ 4.25 จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธที่จำนวนยานพาหนะในระบบต่าง ๆ ของกลยุทธ์ U	55
รูปที่ 4.26 จำนวน ผู้ใช้ ที่ พยายาม ติดต่อ กับ โครงข่าย ที่ จำนวน ยานพาหนะ ใน ระบบ ต่าง ๆ ของกลยุทธ์ MI	55
รูปที่ 4.27 จำนวน ผู้ใช้ ที่ พยายาม ติดต่อ กับ โครงข่าย ที่ จำนวน ยานพาหนะ ใน ระบบ ต่าง ๆ ของกลยุทธ์ U	56

บัญชีสัญลักษณ์

i	ดัชนีของเซลล์ของ CTM โดย $i \in \{1, 2, \dots, N\}$
k, l	ดัชนีของโครงข่ายไร้สาย โดย $k, l \in \{0, 1, N\}$
$n_i(t)$	จำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่องเวลา t
$y_i(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่เคลื่อนที่เข้าไปที่เซลล์ที่ i ของ CTM ในช่องเวลา t
$d_i^k(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่องเวลา t ภายหลังจากที่มีการแฮนด์ออฟออกไปของผู้ใช้
$\bar{d}_i^k(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่องเวลา t ภายหลังจากที่มีการแฮนด์ออฟเข้ามาของผู้ใช้
$\bar{d}_i^k(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่องเวลา t ภายหลังจากที่มีการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ของ CTM
$d_i^k(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่องเวลา t ภายหลังจากที่มีผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM เสร็จสิ้นการติดต่อโครงข่าย
$P^k(t)$	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้จะเลือกแอดฮอกไปที่โครงข่าย k ในช่องเวลา t
w^μ	น้ำหนักในการเลือกเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์
w^M	น้ำหนักในการเลือกเข้าใช้โครงข่ายแมโครเซลล์
B_{max}^k	แบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่าย k
$Bh^k(t)$	แบนด์วิดท์ของโครงข่าย k ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟ ในช่องเวลา t
$BA^k(t)$	แบนด์วิดท์ของโครงข่าย k ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายในช่องเวลา t
$BD^k(t)$	แบนด์วิดท์ของโครงข่าย k ที่เหลืออยู่ก่อนช่วงเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่ายในช่องเวลา t
$z_i^k(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่องเวลา t และเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ที่ i ของ CTM
$\hat{f}_i^k(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่องเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM
$\bar{f}_i(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่ายต่าง ๆ ในช่องเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM
$of_i^k(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่องเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM แต่ไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ใด ๆ จึงล้นไปสู่โครงข่ายแมโครเซลล์ สำหรับตัวแปรนี้ใช้กับเฉพาะกลยุทธ์ MI

$h_i^{k \rightarrow l}(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่สามารถแฮนด์ออฟได้สำเร็จจากโครงข่าย k เข้าไปในโครงข่าย l ในช่วงเวลา t
$\tilde{h}_i^l(t)$	จำนวนผู้ใช้ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่สามารถแฮนด์ออฟเข้าโครงข่าย k ได้สำเร็จ ในช่วงเวลา t
$r_i(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานแล้วพยายามที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t
$or_i(t)$	จำนวนผู้ใช้ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายแม่โครเซลล์ เนื่องจากล้นออกมาจากการเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายไมโครเซลล์ สำหรับตัวแปรนี้ใช้กับเฉพาะกลยุทธ์ MI
P_A	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะไม่ทำงานจะเรียกเข้าใหม่มาในระบบในแต่ละช่วงเวลา
P_D	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะทำงานจะเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่ายในแต่ละช่วงเวลา
$A_i^k(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานแล้วสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะทำงานได้สำเร็จในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยได้ติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t
$D_i^k(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานแล้วเปลี่ยนเป็นสถานะไม่ทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t
$Dr_i(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t
$Bk_i(t)$	จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t
P_{Dr}	ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟ
P_{Bk}	ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่

บทที่ 1

บทนำ

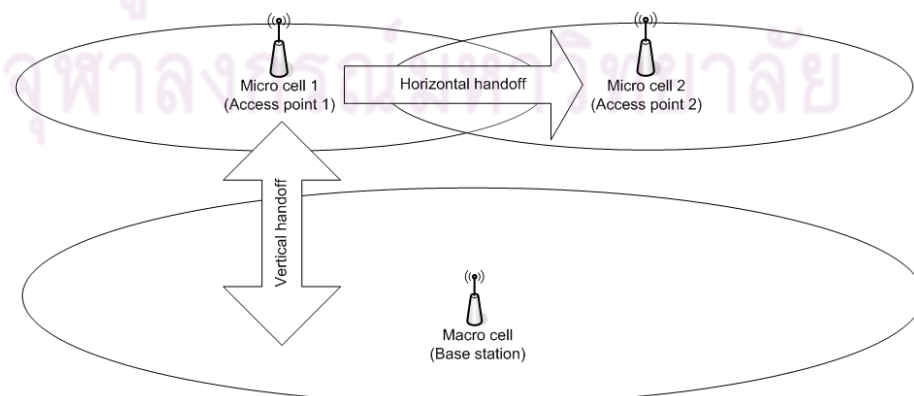
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายได้พัฒนาอย่างต่อเนื่องหลายระบบ เช่น เซลลูลาร์ (cellular), IEEE 802.11 (Wi-Fi), บลูทูธ (bluetooth), ไวแมกซ์ (WiMAX) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายแต่ละชนิดก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ทำให้เทคโนโลยีเพียงประเภทเดียวไม่สามารถรองรับบริการทุกประเภทซึ่งมีความต้องการที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านการครอบคลุมพื้นที่รับสัญญาณ หรือ ความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่มีแบนด์วิดท์สูง จึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่สามารถติดต่อผ่านระบบได้หลายระบบในอุปกรณ์เดียว (multi-mode terminal) ภายในโครงข่ายที่ประกอบด้วยเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายหลายระบบ หรือเรียกว่า โครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ (heterogeneous wireless network)

ความสามารถในการใช้งานของหลายระบบในอุปกรณ์เดียว ทำให้ต้องมีการตัดสินใจเลือกว่าจะใช้ระบบใด (network selection) เมื่อต้องการเชื่อมต่อสัญญาณ โดยขึ้นอยู่กับกลยุทธ์ที่เราเลือกใช้ นอกจากนี้ยังมีกรณีการเปลี่ยนระบบในขณะที่เชื่อมต่อสัญญาณจากระบบที่ใช้อยู่ปัจจุบันไปเป็นอีกระบบหนึ่ง ซึ่งนิยามการเปลี่ยนระบบลักษณะนี้ว่า การแฮนด์ออฟระหว่างโครงข่ายต่างเทคโนโลยี (vertical handoff) ในการแฮนด์ออฟของระบบโครงข่ายไร้สาย สามารถพิจารณาได้เป็น 2 รูปแบบคือ การแฮนด์ออฟภายในโครงข่ายเทคโนโลยีเดียว (horizontal handoff) และ การแฮนด์ออฟระหว่างโครงข่ายต่างเทคโนโลยี ดังรูปที่ 1.1

การแฮนด์ออฟภายในโครงข่ายเทคโนโลยีเดียว คือการข้ามระบบของอุปกรณ์ไร้สาย เมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่จากพื้นที่หนึ่งไปอีกพื้นที่หนึ่ง ในวิทยานิพนธ์กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้ ยกตัวอย่างเช่น ในระบบ Wi-Fi เมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่ข้ามจุดให้บริการโครงข่ายไร้สาย (wireless access point) หรือในระบบเซลลูลาร์ เมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่ข้ามสถานีฐาน (base station)

การแฮนด์ออฟระหว่างโครงข่ายต่างเทคโนโลยี คือการข้ามระบบของอุปกรณ์ไร้สาย เมื่ออุปกรณ์อยู่ในพื้นที่ ๆ ถูกครอบคลุมด้วยเทคโนโลยีทั้งสองระบบ และอุปกรณ์ต้องการเปลี่ยนเทคโนโลยีที่ใช้



รูปที่ 1.1: รูปแบบการแฮนด์ออฟทั้งสองประเภทในโครงข่ายไร้สาย

ในปัจจุบัน ซึ่งการตัดสินใจว่าจะใช้เทคโนโลยีใด ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ใช้ตัดสินใจ ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาในการเสนอต่อลักษณะนี้ โดยเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับค่าสถิติแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน

กระบวนการเสนอต่อระหว่างโครงข่ายต่างเทคโนโลยี สามารถแบ่งได้เป็นสามขั้นตอน [1, 2] ประกอบด้วย การค้นหาระบบโครงข่าย (system discovery) การตัดสินใจเสนอต่อระหว่างโครงข่าย (vertical handoff decision) และการเสนอต่อระหว่างโครงข่าย (vertical handoff execution)

ในช่วงที่อยู่ในขั้นตอนค้นหาระบบโครงข่าย อุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่สามารถติดต่อได้หลายระบบจะตัดสินใจว่าระบบใดสามารถใช้งานได้ และพิจารณารูปแบบการบริการที่ระบบแต่ละชนิดเสนอว่าควรให้บริการใด [2]

ในช่วงการตัดสินใจเสนอต่อระหว่างโครงข่าย อุปกรณ์จะตัดสินใจว่าควรเลือกระบบใดในกรณีที่มีหลายระบบสามารถใช้งานได้พร้อมกัน การตัดสินใจขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลายอย่าง เช่น แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้ การหน่วงเวลา จิตเตอร์ ค่าใช้จ่ายในการเข้าใช้ การใช้พลังงาน สถานะแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ในขณะนั้น รวมไปถึงการตัดสินใจเลือกของผู้ใช้งาน [2]

ในช่วงการเสนอต่อระหว่างโครงข่าย การเชื่อมต่อต้องเปลี่ยนเส้นทางการติดต่อในปัจจุบัน เป็นเส้นทางใหม่สำหรับระบบที่ตัดสินใจเลือกเสนอต่อพ ในขั้นตอนนี้รวมไปถึงกระบวนการลงทะเบียนและการยืนยันผู้ใช้งานด้วย [2]

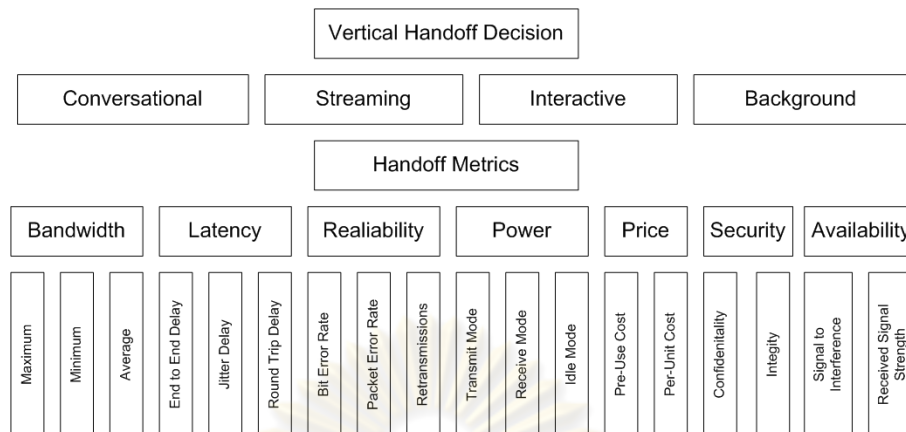
กระบวนการตัดสินใจว่าจะเลือกใช้เทคโนโลยีสื่อสารระบบใดขณะเริ่มการเชื่อมต่อโครงข่าย และการตัดสินใจเลือกระบบขณะเสนอต่อระหว่างโครงข่ายต่างเทคโนโลยี เป็นปัจจัยสำคัญในแนวคิดการรวมเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายต่าง ๆ บนอุปกรณ์สื่อสารพกพาเดียว ทำให้มีการทำมาตรฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับแนวคิดนี้ในปัจจุบัน เช่น 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [3] 3GPP2 [4] และ IEEE 802.21 [5] อย่างไรก็ตาม ในมาตรฐานเหล่านี้เปิดโอกาสให้ผู้ประยุกต์ใช้มาตรฐานเป็นผู้ตัดสินใจเองว่าจะเลือกใช้เทคโนโลยีใด

งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต ได้มีการเสนอขั้นตอนวิธีในการตัดสินใจเลือกการเสนอต่อพด้วยวิธีต่าง ๆ ใน [6] ผู้ใช้จะตัดสินใจเลือกโครงข่ายที่มีแบนด์วิดท์เหลืออยู่สูงสุดเพียงอย่างเดียว ใน [7] การตัดสินใจจะขึ้นอยู่กับประเภทของบริการ คือ ถ้าเป็นบริการประเภทข้อมูล (data call) ผู้ใช้จะเลือกโครงข่ายที่มีแบนด์วิดท์เหลืออยู่สูงสุด ถ้าเป็นบริการประเภทเสียง (voice call) ผู้ใช้จะเลือกโครงข่ายที่มีการหน่วงเวลาน้อยที่สุด ใน [8] ได้มีการคำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงาน โดยผู้ใช้จะเลือกโครงข่ายที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่น้อยที่สุด ใน [9] ได้เสนอการตัดสินใจเลือกโดยใช้วิธีตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic) กับเกณฑ์หลายประเภท โดยมี 2 วิธีคือ SAW (simple additive weighting) และ TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) ใน [10] ได้เสนอวิธีการตัดสินใจเลือกระบบ 2 วิธี คือ AHP (analytic hierarchy process) และ GRA (grey relational analysis) ใน [1] ได้พิจารณาการตัดสินใจ เป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization problem)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ในขั้นตอนวิธีแต่ละชนิดมีการพิจารณาพารามิเตอร์แตกต่างกัน โดยแนวทางในการตัดสินใจเสนอต่อระหว่างโครงข่าย สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1.2 จาก [11]

ใน [12] เสนอการคำนวณหาความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียก (call blocking probability) ของการโทรที่เข้ามาและการขอเสนอต่อพด้วยวิธีวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจคือ ค่าแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่และค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (RSS : received signal strength) และมองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้เป็น 2 แบบจำลองการไหลของของไหล (fluid flow model) บนโครงข่ายสองประเภท

เมื่อพิจารณางานวิจัยต่าง ๆ ที่เสนอมาข้างต้น การประเมินสมรรถนะของระบบจะอยู่ในรูป



รูปที่ 1.2: พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจแฮนด์ออฟระหว่างโครงข่ายต่างเทคโนโลยี

ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียก ซึ่งเป็นค่าประมาณที่เกิดขึ้นเมื่อพิจารณาระบบในระยะยาว แต่ในสภาพความเป็นจริง การเคลื่อนที่ของผู้ใช้และการติดต่อสื่อสารเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ จึงควรประเมินผลด้วยวิธีคำนวณจำนวนการปฏิเสธการเรียก ที่ช่วงเวลาใด ๆ นอกจากนี้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในงานวิจัยข้างต้น เป็นแบบจำลองการเคลื่อนที่อย่างง่ายที่อาจไม่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จริง เช่น แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบพิกัดสุ่ม (random waypoint model) [12] แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบเพริโอดิก (periodic motion) [10] จึงทำให้ผลการประเมินมีความคลาดเคลื่อนจากสภาพความเป็นจริง

เพื่อปรับปรุงให้การเคลื่อนที่ของผู้ใช้ให้ตรงกับผู้ใช้จริง ในงานที่เสนอจึงได้นำแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ที่สามารถจำลองได้ที่เวลาใด ๆ และมีการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับโครงข่ายถนนจริงมาแล้วในอดีต เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนางานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

สำหรับงานวิจัยที่เสนอแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ซึ่งสามารถจำลองได้ที่เวลาใด ๆ ใน [13] ได้เสนอแบบจำลองผู้ใช้แบบมหภาค CTM (cell transmission model) ซึ่งเป็นแบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์บนถนน โดยแบ่งถนนออกเป็นเซลล์ ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณรถในช่วงเวลาใด ๆ ได้ รายละเอียดของแบบจำลองผู้ใช้แบบมหภาค CTM จะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 2

ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ [14] ได้พัฒนาแบบจำลอง CTM ให้คำนึงถึงประเภทของรถที่แตกต่างกัน รวมถึงทดสอบความถูกต้องโดยจำลองกับถนนจริงคือ ถนนพญาไทและถนนสาทร เทียบกับข้อมูลจริงและข้อมูลจากโปรแกรมจำลองสภาพถนน MITSIM [15] ซึ่งผลการทดสอบสามารถใช้แบบจำลอง CTM ที่พัฒนาขึ้นจำลองสภาพถนนจริงได้อย่างถูกต้อง

ดังนั้น ในงานวิจัยที่เสนอนี้จึงนำเอาแบบจำลอง CTM ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนผู้ใช้บนถนนที่ช่วงเวลาใด ๆ ได้และมีการเปรียบเทียบความถูกต้องกับข้อมูลจริง มาเป็นแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บนถนน ที่มีโครงข่ายไร้สายหลายประเภท เพื่อคำนวณสมรรถนะของระบบในกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายต่าง ๆ กัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

เพื่อ พัฒนา แบบจำลอง ทาง คณิต ศาสตร์ ที่ ใช้ ประเมิน สมรรถนะ ของ กลยุทธ์ การ ตัดสินใจ เลือก โครงข่ายและแฮนด์ออฟของโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ซึ่งประกอบด้วยโครงข่ายสองชนิดคือ แบบครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็ก หรือ ไมโครเซลล์ เช่น IEEE 802.11 (Wi-Fi), 3G, LTE เป็นต้น และ แบบครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือ แมโครเซลล์ เช่น ระบบสื่อสารเซลลูลาร์ โดยใช้พื้นฐานการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จากแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบมหภาค

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีโครงข่ายสองชนิดในระบบคือ แมโครเซลล์ 1 โครงข่ายที่ครอบคลุมทั้งระบบและ ไมโครเซลล์หลายโครงข่ายย่อย
2. พิจารณากระบวนการตัดสินใจเลือกโครงข่ายระหว่างโครงข่ายแบบ 1) แมโครเซลล์ กับ ไมโครเซลล์ 2) แมโครเซลล์ กับ แอดฮอค (ad-hoc) 3) ระหว่างแอดฮอکت่างโครงข่าย คือ โครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้ากับโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหลัง
3. ประเมิน สมรรถนะ ของระบบจากการคำนวณจำนวนการปฏิเสธการเข้าใหม่ และจำนวนการปฏิเสธการแฮนด์ออฟ ในสมการรูปทั่วไปสำหรับโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่มีโครงข่ายสองชนิด
4. แบบจำลองการเคลื่อนที่ผู้ใช้แบบมหภาคที่ใช้คือแบบจำลอง CTM ที่จำลองถนนเส้นเดียวที่เชื่อมต่อเซลล์แบบตามลำดับ (cascading) โดยไม่คำนึงถึงประเภทยานพาหนะที่แตกต่างกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

องค์ความรู้ในการประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การตัดสินใจเลือกโครงข่ายและแฮนด์ออฟระหว่างโครงข่ายไร้สายแบบต่าง ๆ ทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ให้ดีขึ้นได้

1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ: กล่าวถึง งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ปัญหาที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยในอดีต พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายด้วยแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี: กล่าวถึง หลักการของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค CTM และวิธีการคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 การประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ด้วยแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค: กล่าวถึง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เสนอในวิทยานิพนธ์เพื่อใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ โดยนำเอาพารามิเตอร์ที่ถูกคำนวณได้จากแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาคมาใช้

บทที่ 4 ผลการทดสอบ: แสดงผลการทดสอบประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ: สรุปงานวิจัยทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และเสนอแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แบบจำลองมหภาค Cell Transmission Model (CTM)

ในการจำลองผู้ใช้งานจราจรบนท้องถนน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) แบบจำลองจุลภาค (microscopic model) 2) แบบจำลองมหภาค (macroscopic model) ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองจุลภาค จะพิจารณาผู้ใช้งานโครงข่ายจราจรแยกเป็นยานพาหนะแต่ละคัน ซึ่งผู้ขับขี่มีการตัดสินใจแตกต่างกันไป และการเคลื่อนไหวของยานพาหนะมีความสัมพันธ์กัน ตัวอย่างแบบจำลองจุลภาค เช่น แบบจำลองการขับรถตามกัน (car following model) [16]
2. แบบจำลองมหภาค จะพิจารณาผู้ใช้งานโครงข่ายจราจรเป็นแบบองค์รวม กล่าวคือ จะพิจารณาเป็นกลุ่มของยานพาหนะ และกระแสนการเคลื่อนที่ของกลุ่มยานพาหนะนั้นแทน เช่น แบบจำลอง LWR [17, 18], แบบจำลอง CTM [13]

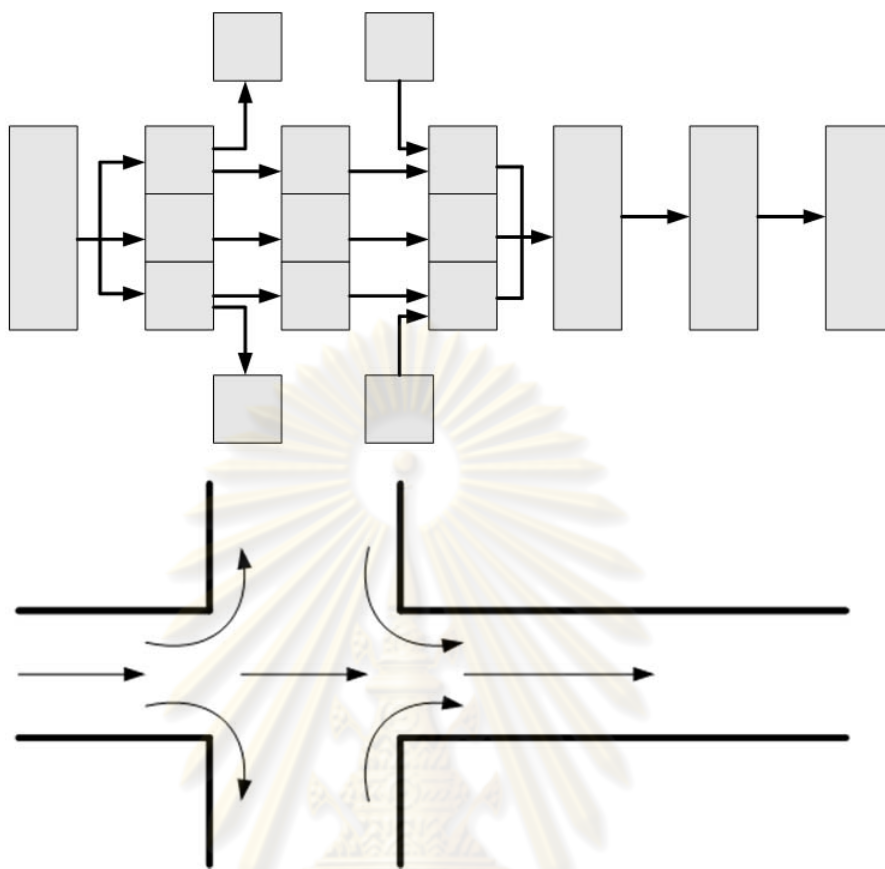
ตารางที่ 2.1: ความแตกต่างของแบบจำลองจุลภาคและแบบจำลองมหภาค

ข้อเปรียบเทียบ	แบบจำลองจุลภาค	แบบจำลองมหภาค
การหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง	ยาก	ง่าย
ผลเฉลยทั่วไป	ไม่มี	มี
เวลาที่ใช้ในการประมวลผล	มาก	น้อย
ความถูกต้องในการจำลอง	มาก	น้อย
ความสามารถในการสร้างรูปทั่วไป	ทำได้ง่าย	ต้องอาศัยการทำงานเล็กน้อย

ตารางที่ 2.1 [14] แสดงความแตกต่างของแบบจำลองจุลภาคและแบบจำลองมหภาค เมื่อพิจารณาในด้านของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าแบบจำลองมหภาคใช้เวลาน้อยกว่าแบบจำลองจุลภาค ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการสร้างแบบจำลองการพิจารณาตัดสินใจเลือกโครงข่ายไร้สาย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะบนท้องถนนมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาอย่างรวดเร็ว ทำให้ในการตัดสินใจเลือกโครงข่ายของผู้ใช้แต่ละครั้งจำเป็นต้องพิจารณาจากสถานการณ์ในปัจจุบัน วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเอาแบบจำลองมหภาค CTM มาเป็นเครื่องมือในการคำนวณจำนวนยานพาหนะบนถนนในแต่ละช่วงเพื่อใช้พิจารณาการตัดสินใจเลือกโครงข่าย ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองมหภาค CTM มีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าแบบจำลองมหภาคอื่นๆ

2.1 หลักการเบื้องต้นของแบบจำลอง CTM

แบบจำลองมหภาค Cell Transmission Model (CTM) พัฒนามาจากแบบจำลองที่เป็นที่รู้จักโดยทั่วไป คือ แบบจำลองมหภาค LWR ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้พื้นฐานกฎอนุรักษ์การไหล (flow conservation law) โดยแบบจำลอง CTM ได้ปรับปรุงให้มีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าแบบจำลอง LWR จึงทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้และปรับปรุงต่อไปได้ง่ายกว่า



รูปที่ 2.1: การแบ่งถนนให้อยู่ในรูปเซลล์ของแบบจำลอง CTM

แบบจำลอง CTM จะพิจารณาถนนเป็นส่วนย่อย ๆ โดยเรียกว่า เซลล์ (cell) ดังนั้นรูปแบบถนนจึงมีลักษณะเป็นเซลล์มาเชื่อมต่อกัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.1 และมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบในแกนเวลาแบบวิยุต (discrete) ซึ่งแบ่งเป็น ช่องเวลา (time slot)

หลักการเบื้องต้นของการแบ่งถนนเป็นเซลล์ในแบบจำลอง CTM [13] มีดังนี้

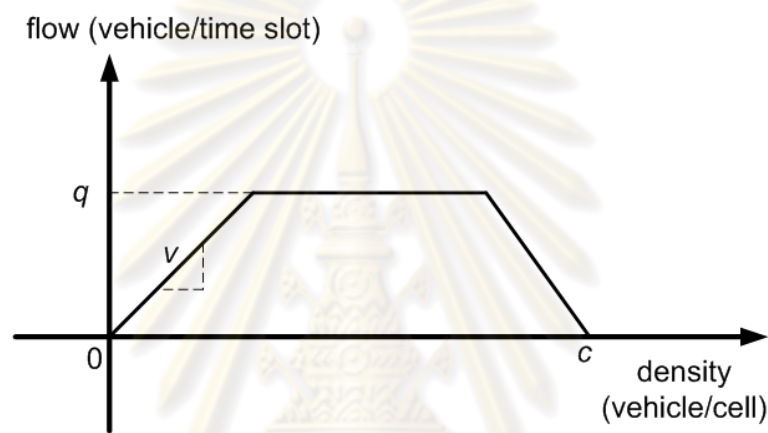
1. หากมีเซลล์ของ CTM 3 เซลล์อยู่ติดกันและยานพาหนะต้องการเคลื่อนที่ในทิศทางจากเซลล์ที่ 1 ไปยังเซลล์ที่ 3 แล้ว ยานพาหนะไม่สามารถเคลื่อนที่จากเซลล์ที่ 1 ไปยังเซลล์ที่ 3 ภายในเวลา 1 ช่องเวลาได้ กล่าวคือ ความยาวของเซลล์จะต้องไม่สั้นเกินจนทำให้ยานพาหนะสามารถกระโดดข้ามผ่านเซลล์ได้ใน 1 ช่องเวลา ดังนั้น ความยาวของเซลล์ จึงคำนวณจาก ผลคูณระหว่างความเร็วเฉลี่ยเมื่อไม่มีการติดขัดของยานพาหนะ (free flow speed) กับ ระยะเวลา 1 ช่องเวลา
2. ระยะเวลา 1 ช่องเวลา พิจารณาตามอัตราการเปลี่ยนแปลงสภาพจราจร เช่น ในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรที่ค่อนข้างเร็ว ก็ควรกำหนดให้ค่า ระยะเวลา 1 ช่องเวลามีค่าน้อย ๆ เพื่อที่แบบจำลองจะได้เปลี่ยนแปลงทันตามการเปลี่ยนแปลงสภาพจราจรที่รวดเร็ว

การแบ่งถนนออกเป็นเซลล์นั้นในรูปแบบทั่วไปแล้ว ความยาวเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากัน [19] อย่างไรก็ตามสำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดให้เซลล์ในแบบจำลอง CTM มี

ความยาวที่เท่ากันตามข้อกำหนดเบื้องต้นที่ได้มีนำเสนอไว้โดยผู้คิดค้นแบบจำลองนี้ [13] เมื่อสามารถกำหนดความยาวของเซลล์ได้ ขึ้นต่อไปคือการพิจารณาลักษณะการเชื่อมต่อของเซลล์

2.2 ความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างความหนาแน่นและอัตราการไหล

ก่อนจะพิจารณาลักษณะการเชื่อมต่อของเซลล์ จำเป็นต้องเข้าใจความสัมพันธ์พื้นฐาน (fundamental diagram) ระหว่างอัตราการไหล (flow), ความเร็วเมื่อไม่เกิดการติดขัด (free flow speed) (v) และ ความหนาแน่นของยานพาหนะบนถนน (density) ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับสมการคำนวณค่าอัตราการไหล ดังรูปที่ 2.2 [13]



รูปที่ 2.2: ความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างความหนาแน่นและอัตราการไหล

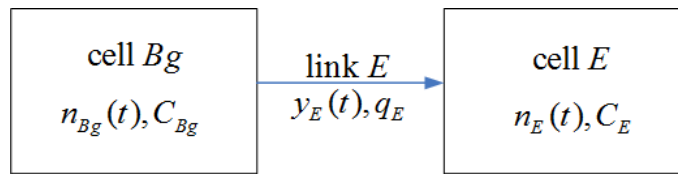
จากรูปที่ 2.2 ในช่วงเริ่มต้นที่ความหนาแน่นของยานพาหนะบนถนนมีค่าน้อย ยานพาหนะจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเมื่อไม่เกิดการติดขัด (v) (free flow speed) ทำให้ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและความหนาแน่นของยานพาหนะบนถนนเป็นแบบเชิงเส้นที่มีความชันเป็น v ในช่วงถัดมาอัตราการไหล q จะเริ่มเข้าสู่ช่วงอัตราการไหลคงที่ที่อัตราการไหลสูงสุด จากนั้นถ้าปริมาณยานพาหนะหนาแน่นขึ้นอีกจะเข้าสู่ช่วงสุดท้ายที่ยานพาหนะจะเริ่มเกิดการติดขัดทำให้อัตราการไหลจะลดลง จนเมื่อความหนาแน่นของยานพาหนะมีค่าเท่ากับความจุของถนน (c) อัตราการไหลจะมีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือเกิดการติดขัดจนเคลื่อนที่ไม่ได้เลย

2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์ในแบบจำลอง CTM

ถนนในสภาพตามความเป็นจริง มีลักษณะแตกต่างกันหลายแบบ บ้างเป็นทางตรง บ้างเป็นทางโค้ง บ้างเป็นทางเลี้ยว แบบจำลอง CTM จึงแบ่งลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์พื้นฐานออกเป็นรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

- การเชื่อมต่อแบบตามลำดับ (cascading)

จากรูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อลักษณะนี้คือการเชื่อมต่อของเซลล์ที่อยู่ติดกันและมีการเชื่อมต่อในทิศทางเดียว โดยยานพาหนะจะเคลื่อนที่จากเซลล์ต้นทางเซลล์เดียว (cell Bg) ไปยังเซลล์ปลายทางเซลล์เดียว (cell E) โดยผ่านเส้นทางเชื่อมอันเดียวคือลิงก์ E (การกำหนดชื่อลิงก์



รูปที่ 2.3: การเชื่อมต่อแบบตามลำดับ

จะเป็นชื่อเดียวกับชื่อเซลล์ปลายทางของลิงก์นั้น) การเชื่อมต่อนี้เปรียบเทียบกับทางตรงของถนนเส้นหนึ่งซึ่งไม่มีการแบ่งช่องทางจราจรเข้ามาหรือออกไปในเส้นทางวงนี้

พารามิเตอร์ของเซลล์ได้แก่

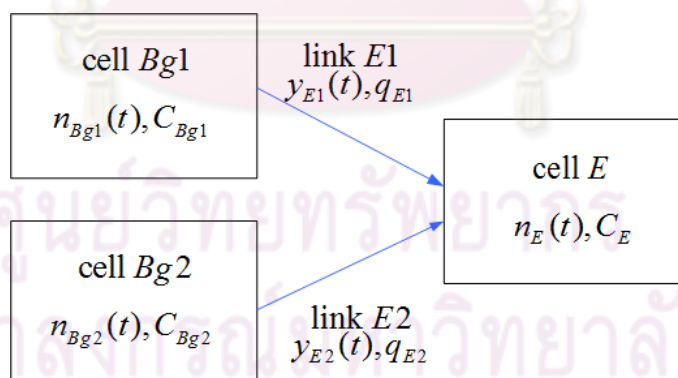
1. $n_{Bg}(t)$, $n_E(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะที่เซลล์ Bg และเซลล์ E ตามลำดับ ในช่องเวลา t
2. C_{Bg} , C_E คือ จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่เซลล์ Bg และเซลล์ E สามารถรับได้

พารามิเตอร์ของลิงก์ได้แก่

1. $y_E(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะที่ผ่านลิงก์ E ในช่องเวลา t
2. q_E คือ จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่ลิงก์ E สามารถส่งผ่านได้สูงสุดในแต่ละช่องเวลา

การคำนวณค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะอธิบายในหัวข้อ 2.4

- การเชื่อมต่อแบบรวม (merging)

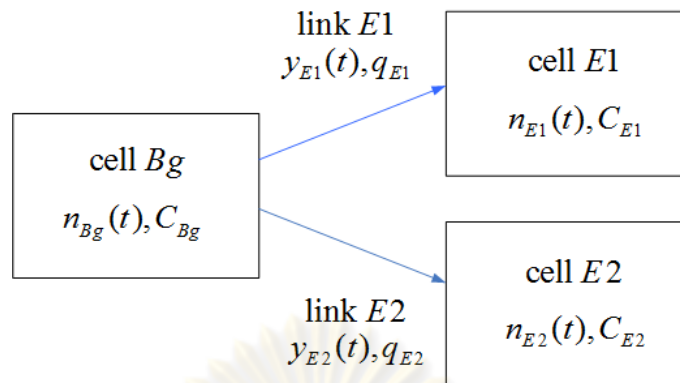


รูปที่ 2.4: การเชื่อมต่อแบบรวม

จากรูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อลักษณะนี้คือการเชื่อมต่อของเซลล์ 3 เซลล์ โดยมีเซลล์ต้นทาง 2 เซลล์และเซลล์ปลายทาง 1 เซลล์

การคำนวณการเชื่อมต่อลักษณะนี้จะต้องพิจารณาที่ว่างของเซลล์ปลายทางและความสัมพันธ์ระหว่างการแย่งที่ว่างจากเซลล์ต้นทาง

- การเชื่อมต่อแบบแยก (diverging)



รูปที่ 2.5: การเชื่อมต่อแบบแยก

จากรูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อลักษณะนี้คือการเชื่อมต่อของเซลล์ 3 เซลล์ โดยมีเซลล์ต้นทาง 1 เซลล์และเซลล์ปลายทาง 2 เซลล์

การคำนวณ การเชื่อมต่อ ลักษณะ นี้ จะ ต้อง พิจารณา สัดส่วน การ แบ่ง ยานพาหนะ จาก เซลล์ ต้นทาง ไปยังเซลล์ปลายทางทั้งสอง นอกจากนี้ หากเซลล์ปลายทางเซลล์หนึ่งรับยานพาหนะ เต็มความจุ ยานพาหนะจากเซลล์ต้นทางที่ต้องการไปเซลล์ปลายทางที่เต็ม จะเกิดการติดขัด จนไปขัดขวางการเข้าใช้ที่ว่างของเซลล์ปลายทางอีกเซลล์ด้วย ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การถูก ขัดขวางจากยานพาหนะที่อยู่หัวแถว (head-line-blocking)

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขอบเขตพิจารณาเฉพาะกับถนนเส้นทางตรงเท่านั้น ดังนั้นการเชื่อมต่อ ของเซลล์ที่จะนำมาคำนวณจึงเป็นการเชื่อมต่อแบบตามลำดับเท่านั้น

2.4 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง CTM

จากสมมุติฐานในวิทยานิพนธ์ที่พิจารณารูปแบบการเชื่อมต่อของแบบจำลอง CTM เฉพาะการ เชื่อมต่อแบบตามลำดับ ในที่นี้จึงกำหนดให้ถนนช่วงที่พิจารณาประกอบด้วยเซลล์ของ CTM ที่มีลำดับ เรียงจากต้นทางไปปลายทางโดยเรียงตามลำดับเซลล์ที่ 1, 2, 3, ... ดังนั้นในดัชนีของเซลล์ที่เชื่อมต่อ แบบตามลำดับในรูปที่ 2.3 จึงสามารถพิจารณาเซลล์ต้นทาง Bg ไปยังเซลล์ปลายทาง E ให้แทนด้วย ตัวแปรเดียวเพื่อความสะดวก คือ เป็นเซลล์ต้นทาง $i - 1$ ไปยังเซลล์ปลายทาง i

เป้าหมายในการใช้แบบจำลอง CTM ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ การหาจำนวนยานพาหนะใน เซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ในช่องเวลาต่าง ๆ ซึ่งแทนด้วยตัวแปร $n_i(t)$ โดยตัวแปรนี้หมายถึง จำนวนยานพาหนะที่เซลล์ i ในช่องเวลา t และการหาจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนระหว่างเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ในช่องเวลาต่าง ๆ ซึ่งแทนด้วยตัวแปร $y_i(t)$ โดยตัวแปรนี้หมายถึง จำนวน ยานพาหนะที่เคลื่อนจากเซลล์ต้นทาง $i - 1$ ไปยังเซลล์ปลายทาง i ในช่องเวลา t

ในการคำนวณหาตัวแปรข้างต้นทั้ง 2 ค่านี้ จำเป็นต้องทราบพารามิเตอร์พื้นฐาน 2 ค่า ได้แก่ ความ สามารถในการส่ง (sending capability) ยานพาหนะของเซลล์ต้นทาง และความสามารถในการรับ (receiving capability) ยานพาหนะของเซลล์ปลายทาง ซึ่ง 2 ค่านี้เปรียบเทียบกับ อุปสงค์และ อุปทานในการส่งรับยานพาหนะ

2.4.1 ความสามารถในการส่ง

ความสามารถในการส่ง คือ ความต้องการของเซลล์ต้นทางที่จะเคลื่อนยานพาหนะไปสู่เซลล์ปลายทาง โดยขึ้นอยู่กับจำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์ต้นทางในชองเวลานั้น กับจำนวนยานพาหนะสูงสุดที่สามารถเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ต้นทางใน 1 ชองเวลา สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$s_{Bg}(t) = \min\{n_{Bg}(t), q_{Bg}(t)\} \quad (2.1)$$

โดย

$s_{Bg}(t)$ คือ ความสามารถในการส่งของเซลล์ต้นทาง Bg ในชองเวลา t

$n_{Bg}(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะของเซลล์ต้นทาง Bg ในช่วงเริ่มต้นของชองเวลา t

$q_{Bg}(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่สามารถเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ต้นทาง Bg ไปยังเซลล์ปลายทางได้ ในชองเวลา t

ค่า $q_{Bg}(t)$ เป็นคุณสมบัติเฉพาะของเซลล์ โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น จำนวนชองทางจราจร ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ หรืออาจใช้จำลองการเคลื่อนที่โดยสัญญาณไฟจราจร เพื่อความสะดวกในการคำนวณ ในวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดให้ค่านี้เป็นค่าคงที่ไม่ขึ้นกับชองเวลา จึงแทนด้วยตัวแปร q_{Bg}

2.4.2 ความสามารถในการรับ

ความสามารถในการรับ คือ ความสามารถของเซลล์ปลายทางที่จะรองรับยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้ามาได้ โดยขึ้นอยู่กับจำนวนยานพาหนะสูงสุดที่สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ปลายทางใน 1 ชองเวลา กับพื้นที่ว่างของเซลล์ปลายทางในชองเวลานั้น สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$r_E(t) = \min\{q_E(t), \delta_E(C_E - n_E(t))\} \quad (2.2)$$

โดย

$r_E(t)$ คือ ความสามารถในการรับของเซลล์ปลายทาง E ในชองเวลา t

$q_E(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่สามารถเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ต้นทาง ไปยังเซลล์ปลายทาง E ได้ ในชองเวลา t

δ_E คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของยานพาหนะของเซลล์ปลายทาง E

C_E คือ จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่สามารถจุในเซลล์ปลายทาง E ได้

$n_E(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะของเซลล์ปลายทาง E ในช่วงเริ่มต้นของชองเวลา t

หลังจากคำนวณค่าความสามารถในการส่งของเซลล์ต้นทางและความสามารถในการรับของเซลล์ปลายทางได้แล้ว ก็สามารถคำนวณค่าจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนระหว่างเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ในชองเวลาต่าง ๆ ได้ โดยการคำนวณจะแตกต่างกันไปตามลักษณะการเชื่อมต่อของเซลล์ ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเฉพาะการเชื่อมต่อของเซลล์แบบตามลำดับดังนี้

2.4.3 จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนระหว่างเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ในการเชื่อมต่อของเซลล์แบบตามลำดับ

การคำนวณจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนระหว่างเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ในการเชื่อมต่อของเซลล์แบบตามลำดับ จากรูปที่ 2.3 เริ่มต้นจากการคำนวณหาความสามารถในการส่งของเซลล์ต้นทางและความสามารถในการรับของเซลล์ปลายทาง จากนั้นจึงพิจารณาค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง 2 ค่านี้ สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$y_E(t) = \min\{s_{Bg}(t), r_E\} \quad (2.3)$$

โดย

$y_E(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่จากเซลล์ต้นทาง Bg เข้าสู่เซลล์ปลายทาง E ในช่องเวลา t

จากสมการ (2.1) (2.2) และ (2.3) เมื่อกำหนดให้ $q_{Bg}(t) = q_E(t) = q_E$ สามารถยุบรวมเพื่อเป็นสูตรการคำนวณจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนระหว่างเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ในการเชื่อมต่อของเซลล์แบบตามลำดับได้ดังนี้

$$y_E(t) = \min\{n_{Bg}(t), q_E, \delta_E(C_E - n_E(t))\} \quad (2.4)$$

เมื่อพิจารณาลูกข่ายที่ประกอบด้วยเซลล์ที่ $1, 2, \dots, N$ ของ CTM ในทิศทางตามการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจะทำให้เขียนสมการ (2.4) ได้เป็น

$$y_i(t) = \min\{n_{i-1}(t), q_i, \delta_i(C_i - n_i(t))\} \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (2.5)$$

หลังจากคำนวณหา จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนระหว่างเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ในช่องเวลา t ได้แล้ว สามารถนำไปคำนวณหาจำนวนยานพาหนะที่อยู่ในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ในช่องเวลา $t + 1$ ตามกฎการอนุรักษ์การไหลในขั้นต่อไป

2.4.4 จำนวนยานพาหนะในเซลล์ตามกฎการอนุรักษ์การไหล

กฎการอนุรักษ์การไหล เป็นสมการที่ใช้คำนวณความหนาแน่นของเซลล์ เมื่อคำนวณอัตราการไหลและทราบความหนาแน่นของเซลล์ในช่องเวลาก่อนหน้า

เมื่อประยุกต์เทียบกับจำนวนยานพาหนะจะได้ว่าอัตราการไหล คือ จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนระหว่างเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ และความหนาแน่น คือ จำนวนยานพาหนะในเซลล์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$n_i(t+1) = n_i(t) + \sum_{j \in \{\text{input link of } i\}} y_j(t) - \sum_{k \in \{\text{output link of } i\}} y_k(t) \quad (2.6)$$

โดย

$n_i(t+1)$ คือ จำนวนยานพาหนะที่อยู่ในเซลล์ i ในช่วงเริ่มต้นของช่องเวลา $t+1$

$y_j(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ i ผ่านลิงก์ j ในช่องเวลา t

$y_k(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ i ผ่านลิงก์ k ในช่องเวลา t

พิจารณาสมการ (2.6) เป็นกรณีเฉพาะของการเชื่อมต่อแบบตามลำดับ โดยให้ดัชนีของเซลล์จากต้นทางไปปลายทางเป็น $i - 1, i, i + 1$ ตามลำดับ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$n_i(t + 1) = n_i(t) + y_i(t) - y_{i+1}(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (2.7)$$

โดย

$y_i(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ $i - 1$ เข้าสู่เซลล์ i ในช่วงเวลา t

$y_{i+1}(t)$ คือ จำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ i เข้าสู่เซลล์ $i + 1$ ในช่วงเวลา t

จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมหภาค CTM ทำให้สามารถทราบจำนวนยานพาหนะที่อยู่บนถนนในเวลาต่าง ๆ ได้ ยานพาหนะเหล่านี้ก็คือ ผู้ใช้งานในระบบโครงข่ายไร้สายแบบวิริพันธ์ ซึ่งจำนวนผู้ใช้ในเวลาต่าง ๆ จะถูกนำไปใช้คำนวณการตัดสินใจเลือกโครงข่ายไร้สายต่อไปในบทที่ 3



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

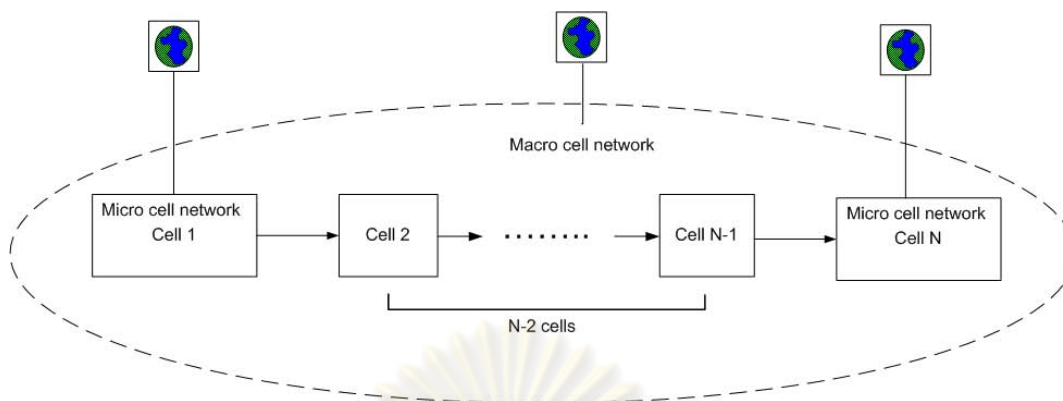
การประเมินสมรรถนะกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบ วิวิธพันธุ์ด้วยแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค

ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบและแบบจำลองของการใช้งานโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงวิธีการคำนวณพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะของกลยุทธ์แบบต่าง ๆ ในการเข้าใช้โครงข่าย

3.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้และโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

เมื่อพิจารณาถึงระบบทั้งหมด จะสามารถแบ่งระบบออกเป็น 2 ระบบย่อย ได้แก่ ระบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเอาแบบจำลองการเคลื่อนที่ CTM กรณีเชื่อมต่อแบบตามลำดับ มาใช้ และระบบของโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ โดยมีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1. ยานพาหนะ 1 คันในแบบจำลองการเคลื่อนที่ CTM เทียบเท่ากับผู้ใช้ 1 คนในระบบโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์
2. โครงข่ายไร้สายมี 2 ประเภท คือ 1) โครงข่ายแมโครเซลล์มีพื้นที่ครอบคลุมผู้ใช้ทุกคนหรือเซลล์ของ CTM ทุกเซลล์ ในระบบจะมีโครงข่ายแมโครเซลล์เพียงโครงข่ายเดียวเท่านั้น 2) โครงข่ายไมโครเซลล์มีพื้นที่ครอบคลุมเท่ากับพื้นที่ของเซลล์ของ CTM โดยเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์จะมีจำนวนโครงข่ายไมโครเซลล์ครอบคลุมสูงสุดได้โครงข่ายเดียว อย่างไรก็ตามอาจมีเซลล์ของ CTM บางเซลล์ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์ครอบคลุม
3. ผู้ใช้ในระบบมีจุดมุ่งหมายในการออกสู่ระบบอินเทอร์เน็ต ไม่ใช่ต้องการติดต่อสื่อสารระดับเดียวกันภายในระบบ (peer-to-peer) จึงเสมือนว่าโครงข่ายแต่ละประเภทเป็นเกตเวย์ในการออกสู่อินเทอร์เน็ต จำนวนเกตเวย์จึงเท่ากับจำนวนโครงข่ายโดยโครงข่ายแต่ละประเภทจะมีขีดจำกัดสูงสุดในการรับผู้ใช้ที่เข้ามา
4. การเชื่อมต่อสู่ระบบอินเทอร์เน็ตเป็นการติดต่อในลักษณะกำหนดการเชื่อมต่อ (connection oriented) ซึ่งเป็นการจองทรัพยากรโครงข่ายตลอดจนกว่าจะสิ้นสุดการติดต่อสื่อสาร ไม่ใช่ลักษณะที่ไม่ต้องกำหนดการเชื่อมต่อ (connectionless) ที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องจองทรัพยากรโครงข่ายตลอดจนสิ้นสุดการติดต่อสื่อสาร
5. ผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์สามารถติดต่อสู่อินเทอร์เน็ตได้ 2 ทางคือ 1) ผ่านโครงข่ายแมโครเซลล์ 2) ผ่านโครงข่ายไมโครเซลล์ของตนเอง
6. ผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์สามารถติดต่อสู่อินเทอร์เน็ตได้ 2 ทางคือ 1) ผ่านโครงข่ายแมโครเซลล์ 2) ผ่านโครงข่ายไมโครเซลล์ของเซลล์ของ CTM ที่อยู่ข้างหน้า หรืออยู่ข้างหลังด้วยกระบวนการแอตฮอก



รูปที่ 3.1: แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้และโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ในกรณีทั่วไป

จากลักษณะของผู้ใช้และโครงข่ายไร้สายที่กล่าวมาข้างต้น สามารถนำเสนอเป็นแบบจำลองในกรณีทั่วไปได้โดยมองว่ามีเซลล์ของ CTM ทั้งหมด 2 ประเภท คือ เซลล์ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์ครอบคลุม กับเซลล์ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์

วิทยานิพนธ์นี้แนะนำแบบจำลองพื้นฐานสำหรับเป็นองค์ประกอบหลักที่สามารถขยายขอบเขตการพิจารณาในกรณีทั่วไปได้ โดยพิจารณาระบบเป็นดังรูปที่ 3.1 มีเซลล์ของ CTM ทั้งหมด N เซลล์ มีเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์ จำนวน $N - 2$ เซลล์อยู่ระหว่างเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์ 2 เซลล์ ได้แก่โครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1 และโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ N นอกจากนี้เซลล์ของ CTM ทุกเซลล์สามารถติดต่อกับโครงข่ายแมโครเซลล์ได้

3.2 ขั้นตอนการติดต่อกันระหว่างผู้ใช้กับโครงข่ายไร้สาย

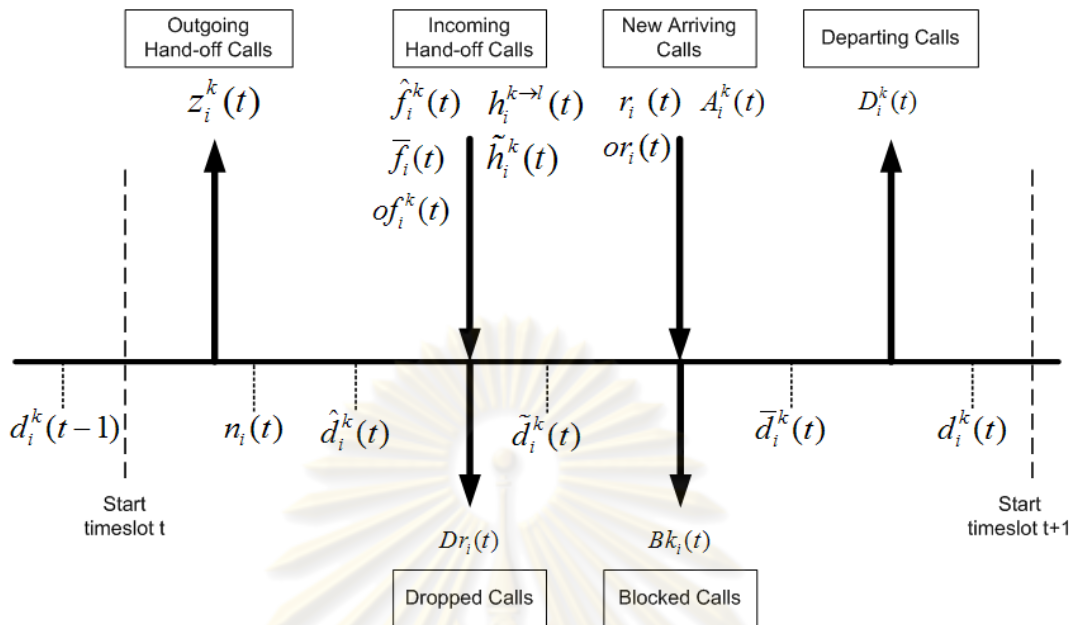
สถานะของผู้ใช้ในระบบแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) สถานะไม่ทำงาน (idle) เป็นสถานะที่ผู้ใช้ยังไม่ได้ติดต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต 2) สถานะทำงาน (active) เป็นสถานะที่ผู้ใช้กำลังติดต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต

เมื่อผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนจากสถานะไม่ทำงานเป็นสถานะทำงาน ผู้ใช้นั้นจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของโครงข่ายไร้สายคือ *แบนด์วิดท์* ความหมายของแบนด์วิดท์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ จำนวนผู้ใช้ที่โครงข่ายสามารถรองรับได้สูงสุด เช่น ถ้าโครงข่ายแมโครเซลล์มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 100 หมายความว่า โครงข่ายแมโครเซลล์สามารถรองรับผู้ใช้งานไม่ว่าจะมาจากการเรียกแฮนด์ออฟหรือการเรียกเข้าใหม่รวมกันได้สูงสุด 100 คน

เนื่องจากโครงข่ายไร้สายมีแบนด์วิดท์จำกัด ดังนั้นหากโครงข่ายไร้สายใด ๆ ถูกใช้แบนด์วิดท์จนหมด แล้วมีการเรียกเกิดขึ้น โครงข่ายจะไม่สามารถรองรับการเรียกนั้นได้ ทำให้การเรียกจะถูกปฏิเสธ โดยเรียกว่า การปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ (block) สำหรับการเรียกเข้าใหม่ (new arriving call) และการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟ (drop) สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟเข้า (incoming hand-off call)

เห็นได้ว่าผู้ใช้อาจจะมีการตัดสินใจเลือกโครงข่ายเมื่อเกิดเหตุการณ์ 2 อย่างคือ การเรียกแฮนด์ออฟ และการเรียกเข้าใหม่ ซึ่งโครงข่ายแต่ละประเภทก็ต้องมีแบนด์วิดท์สำหรับผู้ใช้ที่เข้ามาจากเหตุการณ์ทั้ง 2 กรณี

ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟและการเรียกเข้าใหม่เพียงวิธีเดียว คือจะจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกแฮนด์ออฟที่เข้ามาในระบบก่อนการเรียกเข้า



รูปที่ 3.2: แบบจำลองลำดับการเกิดของเหตุการณ์ต่าง ๆ ในการเรียกเข้าใช้โครงข่ายไร้สายในแต่ละช่วงเวลา

ใหม่ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน จากนั้นจึงค่อยจัดสรรแบนด์วิดท์ที่เหลือให้กับการเรียกเข้าใหม่

วิทยานิพนธ์นี้จำลองการเปลี่ยนสถานะของระบบแบบวิยุตเชิงเวลา (discrete time) โดยใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้และโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ในกรณีทั่วไป ตามรูปที่ 3.1 มีแบบจำลองลำดับการเกิดของเหตุการณ์ต่าง ๆ ในการเรียกเข้าใช้โครงข่ายไร้สายในแต่ละช่วงเวลาดังรูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.2 ลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในหนึ่งช่วงเวลาเป็นดังนี้

1. เมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาใหม่ t ผู้ใช้จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าสู่เซลล์ของ CTM ใหม่ ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่เคลื่อนที่ตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หากผู้ใช้ที่เคลื่อนที่อยู่ในสถานะทำงานจะพิจารณาได้ว่าการเรียกแฮนด์ออฟออก (outgoing hand-off call) จากโครงข่ายที่ใช้งานอยู่
2. การเรียกแฮนด์ออฟออกจะกลายเป็นการเรียกแฮนด์ออฟเข้าโครงข่ายที่อยู่ครอบคลุมเซลล์ของ CTM ข้างหน้า หากโครงข่ายที่ถูกตัดสนใจเลือกไม่สามารถรองรับการเรียกแฮนด์ออฟเข้านั้นได้ จะเกิดการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟ
3. ผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานในช่องเวลาก่อนหน้า และต้องการเปลี่ยนเป็นสถานะทำงานในช่องเวลาปัจจุบันจะนับว่าเกิดเป็นการเรียกเข้าใหม่ หากโครงข่ายที่ถูกตัดสนใจเลือกไม่สามารถรองรับการเรียกเข้าใหม่นั้นได้จะเกิดการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ สาเหตุที่พิจารณาการเรียกแฮนด์ออฟก่อนการเรียกเข้าใหม่ เพราะต้องการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกแฮนด์ออฟที่เข้ามาในระบบก่อน ซึ่งตรงกับแนวปฏิบัติของการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารแบบเซลล์ลูลาร์ที่จะให้ลำดับความสำคัญของการเรียกแฮนด์ออฟสูงกว่าการเรียกเข้าใหม่เสมอ
4. ผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในช่องเวลาก่อนหน้า และจะเสร็จสิ้นการติดต่อโครงข่ายในช่องเวลาปัจจุบันจะนับเป็นการเปลี่ยนจากสถานะทำงานเป็นสถานะไม่ทำงาน

เนื่องจากการพิจารณาเป็นระบบแบบวิฤตเชิงเวลาตามระบบที่ใช้คำนวณในแบบจำลอง CTM ทำให้ต้องแบ่งแยกลำดับการเกิดเหตุการณ์ก่อนหลัง แต่ในความเป็นจริงเหตุการณ์ต่าง ๆ สามารถเกิดขึ้นได้ในเวลาใดก็ได้ ดังนั้นหากนำไปประยุกต์ใช้จริง แล้วกำหนดให้ค่าช่วงเวลาในหนึ่งช่องเวลามีค่ายาวนานเกินไป จะทำให้การคำนวณมีความผิดพลาดมากขึ้นตามไปด้วย

กระบวนการที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยพารามิเตอร์หลักของระบบดังต่อไปนี้ ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์หลักจะได้นำเสนอในยามในช่วงของการหาความสัมพันธ์ดังกล่าวต่อไป

ดัชนีระบุตำแหน่งของตัวแปร

i คือ ดัชนีของเซลล์ของ CTM เป็นได้ตั้งแต่ $i = 1$ แทนเซลล์ที่ 1 ของ CTM จนถึง $i = N$ แทนเซลล์ที่ N ของ CTM

k, l คือ ดัชนีของโครงข่ายไร้สาย เป็นได้ 3 ค่าดังนี้ 0 แทนโครงข่ายแมโครเซลล์, 1 แทนโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ครอบคลุมเซลล์ที่ 1 ของ CTM และ N แทนโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ครอบคลุมเซลล์ที่ N ของ CTM

ตัวแปรสถานะของระบบ เป็นตัวแปรที่ต้องเขียนความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันออกมาเพื่อใช้ในการทำนายผลการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบตามเวลา

$n_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t

$\hat{d}_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีการแฮนด์ออฟออกไปของผู้ใช้

$\bar{d}_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีการแฮนด์ออฟเข้ามาของผู้ใช้

$\bar{d}_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีการเรียกเข้าใหม่ของผู้ใช้

$d_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM เสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย

ตัวแปรระบุปริมาณกราฟฟิกของระบบ ซึ่งมีผลไปปรับเปลี่ยนตัวแปรสถานะของระบบ

$z_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ที่ i ของ CTM (จำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์ออฟออกไป)

$f_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM (จำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์ออฟเข้ามา)

$\bar{f}_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่ายต่าง ๆ ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM

$of_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM แต่ไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ใด ๆ จึงล้นไปสู่โครงข่ายแมโครเซลล์ สำหรับตัวแปรนี้ใช้กับเฉพาะกลยุทธ์ MI

$h_i^{k \rightarrow l}(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่สามารถแฮนด์ออฟได้สำเร็จจากโครงข่าย k เข้าไปในโครงข่าย l ในช่วงเวลา t (จำนวนผู้ใช้ที่เรียกแฮนด์ออฟสำเร็จ) ค่าของตัวแปรนี้จะหมายถึงจำนวนผู้ใช้ที่เรียกแฮนด์ออฟโดยมีกรณีต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ดังแสดงในตาราง 3.1

$\tilde{h}_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่สามารถแฮนด์ออฟเข้าโครงข่าย k ได้สำเร็จ ในช่วงเวลา t

$r_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานแล้วพยายามที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t (จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่)

$or_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายแมโครเซลล์ เนื่องจากกลั่นออกมาจากการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายไมโครเซลล์

$A_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานแล้วสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะทำงานได้สำเร็จในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยได้ติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t (จำนวนผู้ใช้ที่เรียกเข้าใหม่สำเร็จ)

$D_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานแล้วเปลี่ยนเป็นสถานะไม่ทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t (จำนวนผู้ใช้ที่เสร็จสิ้นการติดต่อโครงข่าย)

ตัวแปรดัชนีวัดสมรรถนะของระบบ ซึ่งเป็นผลสรุปการประเมินสมรรถนะของระบบที่สนใจ

$Dr_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t

$Bk_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t

ตารางที่ 3.1: กรณีต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ของจำนวนผู้ใช้ที่เรียกแฮนด์ออฟได้สำเร็จ

ตำแหน่งของเซลล์ของ CTM	ขอบเขตของโครงข่ายที่เป็นไปได้
$i = 1$	$k \in \{0\}, l \in \{0, 1\}$
$i = 2$	$k \in \{0, 1\}, l \in \{0, 1, N\}$
$i = 3, \dots, N - 1$	$k \in \{0, 1, N\}, l \in \{0, 1, N\}$
$i = N$	$k \in \{0, 1, N\}, l \in \{0, N\}$

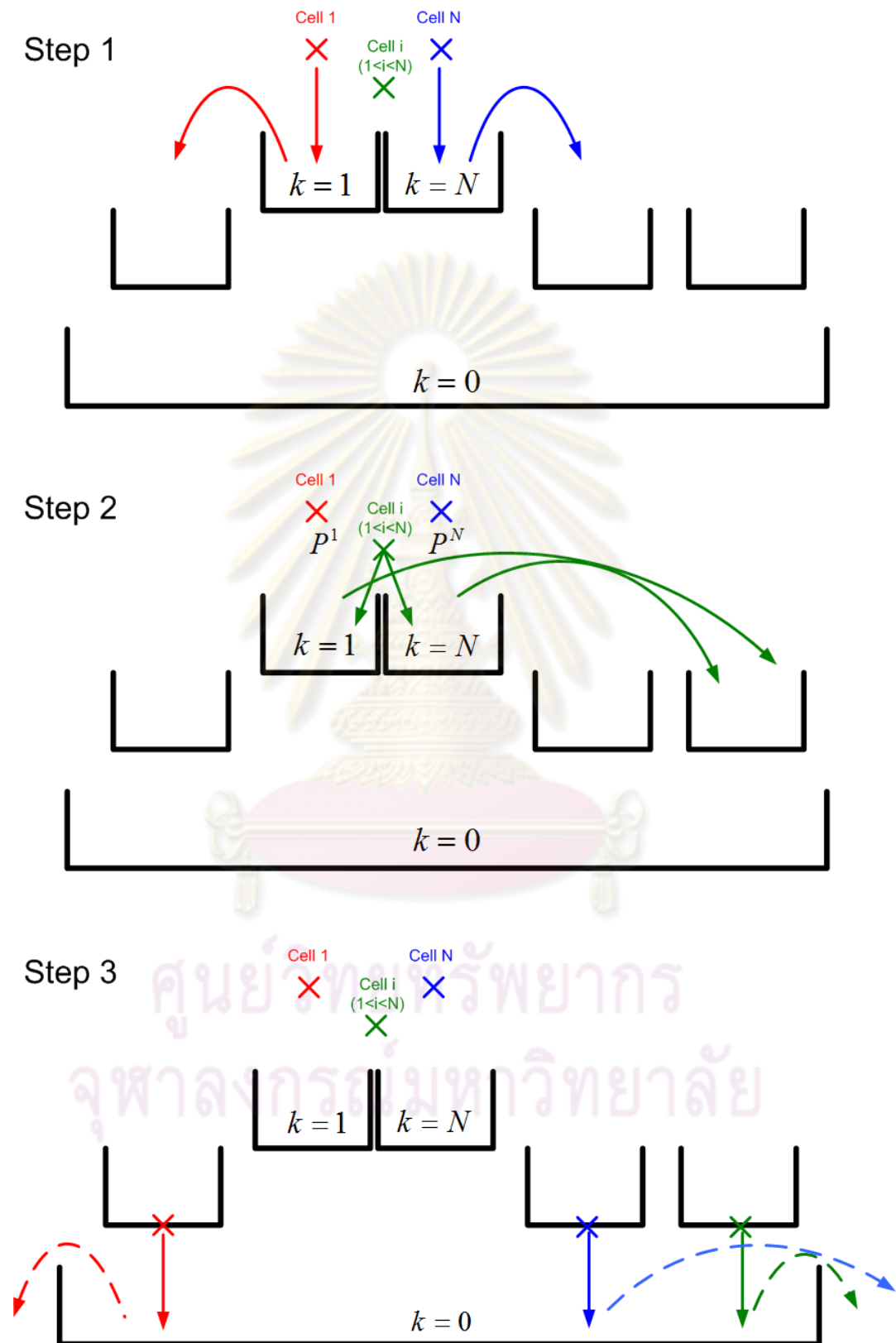
3.3 กลยุทธ์ในการเลือกโครงข่าย

กลยุทธ์ในการเลือกโครงข่ายที่นำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีทั้งหมด 2 กลยุทธ์ คือ 1) เลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน (micro cell network first : MI) 2) ผู้ใช้กำหนดเอง (user preference : U) ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

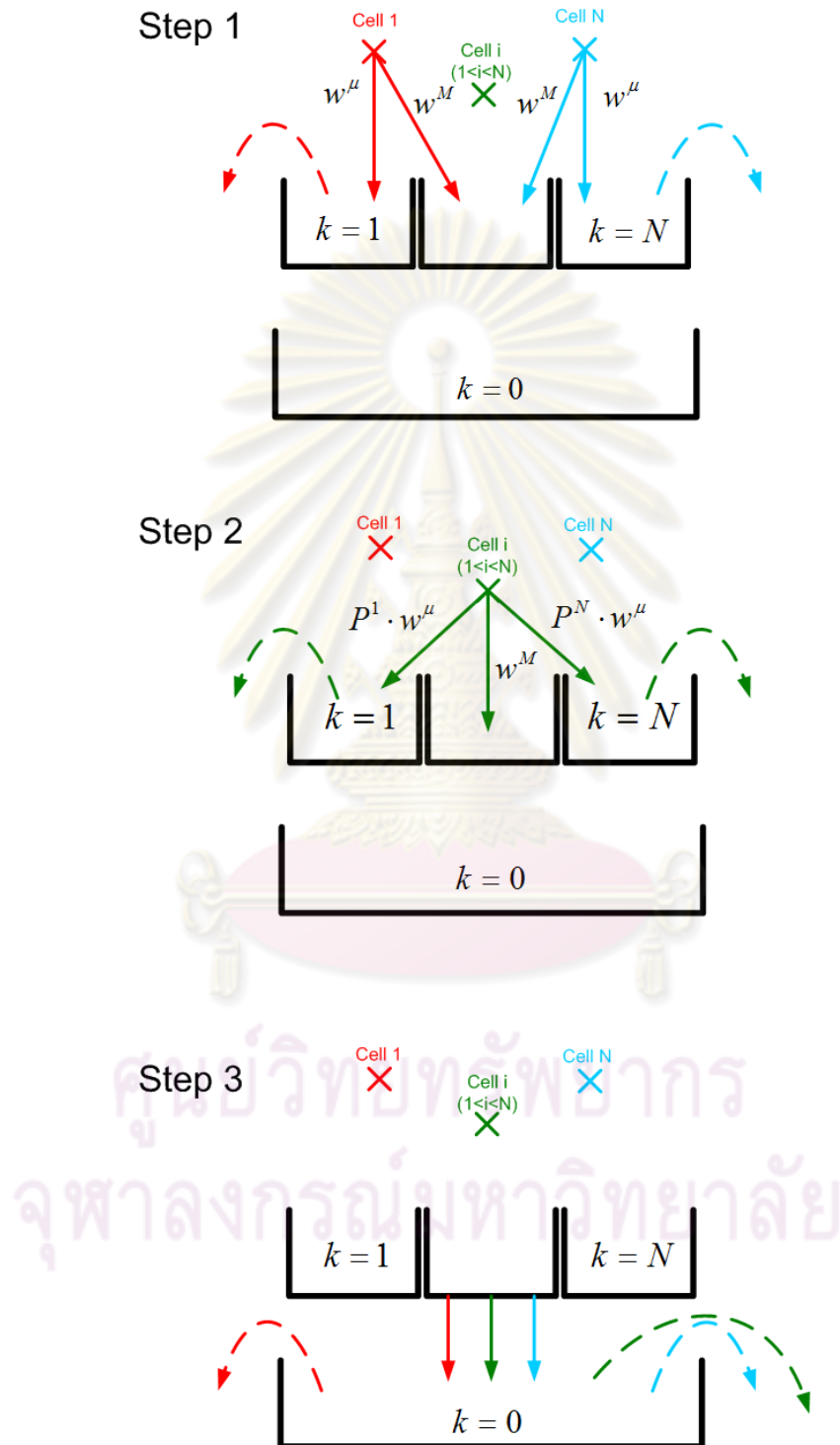
การตัดสินใจในการเลือกโครงข่ายจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุการณ์ดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานที่เคลื่อนที่เข้าไปในเซลล์ของ CTM อื่น และพยายามจะติดต่อกับโครงข่าย เรียกกรณีนี้ว่า ผู้ใช้ที่พยายามเรียกแฮนด์ออฟ
2. ผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานแล้วพยายามที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะทำงาน เรียกกรณีนี้ว่า ผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่

กลยุทธ์ทั้ง 2 ประเภทมีกฎเกณฑ์ที่เหมือนกันอยู่ประการหนึ่ง คือ ลำดับความสำคัญ (priority) ระหว่างผู้ใช้ที่ติดต่อโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ของตนเอง กับผู้ใช้ที่ติดต่อโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM อื่นด้วยวิธีการแฮนด์ออฟ กล่าวคือ ผู้ใช้ที่ติดต่อโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ของตนเองจะมีสิทธิ์เข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์นั้นก่อนที่จะให้ผู้ใช้ที่อยู่จากเซลล์ของ CTM อื่นแฮนด์ออฟเข้ามาใช้



รูปที่ 3.3: ลำดับการเรียกเข้าใช้โครงข่ายต่าง ๆ ตามกลยุทธ์ micro cell network first : MI ในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 3.4: ลำดับการเรียกเข้าใช้โครงข่ายต่าง ๆ ตามกลยุทธ์ user preference : U ในแต่ละช่วงเวลา

ผู้ใช้ที่ติดต่อโครงข่ายไมโครเซลล์แบบแอตฮอกสามารถเลือกใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ได้ 2 โครงข่าย คือ โครงข่ายไมโครเซลล์ที่ใกล้ที่สุดที่อยู่ข้างหน้า ($k = N$) และที่ใกล้ที่สุดที่อยู่ข้างหลัง ($k = 1$) โดยมีความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้จะเลือกแอตฮอกไปที่โครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้าในช่องเวลา t เป็น $P^N(t)$ และ ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้จะเลือกแอตฮอกไปที่โครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหลังในช่องเวลา t เป็น $P^1(t)$

ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นทั้ง 2 ค่านี้คือ $P^1(t) + P^N(t) = 1$ และสมมุติฐานในวิทยานิพนธ์นี้ให้เป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับเซลล์ของ CTM ซึ่งเป็นตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ แต่จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา t โดยขึ้นอยู่กับค่าแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ในโครงข่ายไมโครเซลล์สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟ

3.3.1 กลยุทธ์เลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน

กลยุทธ์นี้มีหลักการเบื้องต้นสรุปเป็นลำดับการเรียกเข้าใช้โครงข่ายต่าง ๆ ในแต่ละช่องเวลาได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3 กล่าวคือทุกครั้งที่ใช้ต้องตัดสินใจว่าจะติดต่อกับโครงข่ายไหนผู้ใช้ต้องเลือกติดต่อกับโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อนทุกครั้ง หากผู้ใช้อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองแล้วผู้ใช้จะติดต่อกับโครงข่ายไมโครเซลล์นั้น แต่ถ้าหากผู้ใช้อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองแล้วผู้ใช้จะติดต่อกับโครงข่ายไมโครเซลล์ของเซลล์ของ CTM อื่นด้วยวิธีการแอตฮอกโดยมีความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้จะเลือกแอตฮอกไปที่โครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้า $k = N$ หรือโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหลัง $k = 1$ ในช่องเวลา t เป็น $P^N(t)$ และ $P^1(t)$ ตามลำดับ

ในกรณีที่โครงข่ายไมโครเซลล์มีจำนวนผู้ใช้เท่ากับจำนวนผู้ใช้สูงสุดที่โครงข่ายรับได้ การเรียกจากผู้ใช้ที่ต้องการติดต่อจะล้นไปที่โครงข่ายแม่โครเซลล์แทน และหากโครงข่ายแม่โครเซลล์มีจำนวนผู้ใช้เท่ากับจำนวนผู้ใช้สูงสุดที่โครงข่ายรับได้แล้วการเรียกที่ผู้ใช้ต้องการติดต่อทั้งกรณีเรียกแฮนด์ออฟและเรียกเข้าใหม่จะถูกปฏิเสธ

3.3.2 กลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเอง

กลยุทธ์นี้มีหลักการเบื้องต้นสรุปเป็นลำดับการเรียกเข้าใช้โครงข่ายต่าง ๆ ในแต่ละช่องเวลาได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4 กล่าวคือผู้ใช้เป็นคนกำหนดค่าน้ำหนัก w^M และ w^m ในการเลือกเข้าใช้โครงข่าย 2 ประเภท คือ โครงข่ายไมโครเซลล์ และโครงข่ายแม่โครเซลล์ ตามลำดับ โดยที่ $w^m + w^M = 1$ และสมมุติฐานในวิทยานิพนธ์นี้ให้เป็นค่าคงที่โดยไม่ขึ้นกับเซลล์ของ CTM ที่เป็นตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ และไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกติดต่อโครงข่ายไมโครเซลล์แบบแอตฮอกผู้ใช้จะมีความน่าจะเป็นในการเลือกแอตฮอกไปที่โครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้าหรืออยู่ข้างหลังเป็น $P^N(t)$ และ $P^1(t)$ ตามลำดับ เหมือนกับกลยุทธ์เลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน หากผู้ใช้ตัดสินใจเลือกติดต่อโครงข่ายที่มีผู้ใช้เต็มแบนด์วิดท์สูงสุดที่โครงข่ายสามารถรองรับได้แล้วการเรียกจากผู้ใช้ที่ต้องการติดต่อไปที่โครงข่ายนั้นทั้งกรณีเรียกแฮนด์ออฟและเรียกเข้าใหม่จะถูกปฏิเสธ

3.4 แบบจำลองทราฟฟิกสำหรับกลยุทธ์การเลือกโครงข่าย

จากรูปที่ 3.2 สามารถคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็นช่วงเหตุการณ์ทั้งหมด 4 ช่วง ดังนี้

3.4.1 ช่วงก่อนจะมีการเรียกเข้ามาในโครงข่าย

ก่อนที่จะมีการเรียกเข้ามาในโครงข่ายในแต่ละช่วงเวลา ต้องพิจารณาการเรียกแฮนด์ออฟออกจากโครงข่ายดังสมการ

$$z_i^k(t) = \frac{d_i^k(t-1)}{n_i(t-1)} y_{i+1}(t-1) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, 2, \dots, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.1)$$

$y_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่เคลื่อนที่เข้าไปในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t

สมการ (3.1) ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าผู้ใช้ในสถานะทำงานกระจายตัวอยู่ในกลุ่มยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ในเซลล์ของ CTM อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้ในสถานะทำงานในเซลล์ของ CTM ต่อจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในเซลล์ของ CTM จึงเป็นค่าเดียวกับ สัดส่วนของจำนวนผู้ใช้ในสถานะทำงานที่เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ของ CTM ต่อจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ของ CTM

ในวิทยานิพนธ์ กำหนดขอบเขตระบบที่พิจารณาเป็นโครงข่ายของเซลล์แบบเป็นลำดับ ดังนั้นจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ที่ $i-1$ ของ CTM : $z_{i-1}^k(t)$ จึงเป็นจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM : $\hat{f}_i^k(t)$ ดังสมการ

$$\hat{f}_i^k(t) = z_{i-1}^k(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{2, \dots, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.2)$$

$$\hat{f}_i^k(t) = 0 \quad \text{โดยที่ } i = 1, k = 0 \quad (3.3)$$

จากสมการที่ (3.3) แสดงให้เห็นสมมติฐานว่า จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาที่เซลล์ที่ 1 ของ CTM มีค่าเป็น 0 ซึ่งโครงข่าย k ที่ผู้ใช้สามารถติดต่อได้ก่อนเคลื่อนที่เข้ามาในระบบที่พิจารณาคือโครงข่ายแม่โครเซลล์

จำนวนผู้ใช้จากทุกโครงข่ายที่พยายามเรียกแฮนด์ออฟ คำนวณได้จากสมการ

$$\bar{f}_i(t) = \sum_k \hat{f}_i^k(t) \quad (3.4)$$

$\bar{f}_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่ายต่าง ๆ ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM

สำหรับผู้ใช้ที่เดิมอยู่ในสถานะทำงานและเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM นั้น ในวิทยานิพนธ์นี้สมมติว่าผู้ใช้เหล่านั้นจะได้รับโอกาสให้หาโครงข่ายที่จะติดต่อใหม่เสมอ

จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีการแฮนด์ออฟออกไปของผู้ใช้ : $\hat{d}_i^k(t)$ คำนวณจากจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา $t-1$ ภายหลังจากที่มีผู้ใช้ในเซลล์ของ

CTM เสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย ลบด้วยจำนวนของผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ที่ i ของ CTM ดังสมการ

$$\dot{d}_i^k(t) = d_i^k(t-1) - z_i^k(t) \quad (3.5)$$

3.4.2 ช่วงการเรียกแฮนด์ออฟเข้ามาในโครงข่าย

ในช่วงนี้จะพิจารณาว่าผู้ใช้ที่พยายามเรียกแฮนด์ออฟสามารถแฮนด์ออฟได้สำเร็จเป็นจำนวนเท่าใด โดยพิจารณาจากความต้องการเรียกแฮนด์ออฟกับค่าแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ โดยกลยุทธทั้ง 2 ประเภทมีการคำนวณแตกต่างกัน

ในขั้นตอนแรกของกลยุทธทั้ง 2 ประเภท ต้องคำนวณว่ามีค่าแบนด์วิดท์เหลือภายหลังจากการเรียกแฮนด์ออฟออกจากโครงข่ายในช่วงต้นของช่วงเวลาตั้งสมการ

$$Bh^k(t) = Bmax^k - \sum_i \dot{d}_i^k(t) \quad (3.6)$$

$Bh^k(t)$ คือ แบนด์วิดท์ของโครงข่าย k ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟ (available handoff bandwidth) ในช่วงเวลา t

$Bmax^k$ คือ แบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่าย k

ในวิทยานิพนธ์นี้แบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ในโครงข่ายไมโครเซลล์สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟจะถูกนำไปคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการเลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ ดังสมการ

$$\frac{P^N(t)}{P^1(t)} = \frac{Bh^N(t)}{Bh^1(t)} \quad (3.7)$$

การเรียกแฮนด์ออฟด้วยกลยุทธ MI

ในกลยุทธนี้ความต้องการเรียกแฮนด์ออฟจะมุ่งไปสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ก่อนโครงข่ายแมโครเซลล์ โดยผู้ใช้จะสามารถเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ได้สำเร็จใน 2 กรณี คือ 1) กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองและโครงข่ายนั้นมีแบนด์วิดท์เหลือเพียงพอ 2) กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง แต่ยังสามารถเข้าใช้แบนด์วิดท์ของโครงข่ายไมโครเซลล์ในเซลล์ของ CTM อื่นด้วยวิธีการแอดฮอก เพื่อหาจำนวนผู้ใช้แฮนด์ออฟที่สามารถเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ได้สำเร็จจะต้องคำนวณกรณีที่ 1 ก่อน เพื่อนำค่าที่คำนวณได้จากกรณีที่ 1 มาใช้ในการคำนวณกรณีที่ 2

การแบ่งออกเป็น 2 กรณีข้างต้น แสดงในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของรูปที่ 3.3 ตามลำดับ

1. กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

หลักการคำนวณคือจำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์ออฟสำเร็จมาจากค่าน้อยสุดระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแฮนด์ออฟ กับ แบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟ ดังสมการ

$$\tilde{h}_i^k(t) = \min(\bar{f}_i(t), Bh^k(t)) \quad \text{โดยที่ } i = k \in \{1, N\} \quad (3.8)$$

$\tilde{h}_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่สามารถแฮนด์ออฟเข้าโครงข่าย k ได้สำเร็จ ในช่วงเวลา t

2. กรณีที่ผู้ใช้แชนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

หลักการคำนวณคือจำนวนผู้ใช้ที่เรียกแชนด์ออฟสำเร็จมาจากค่าน้อยสุดระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแชนด์ออฟ กับแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกแชนด์ออฟ โดยแบนด์วิดท์ที่เหลือสำหรับการเรียกแชนด์ออฟเข้าสู่เซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง ต้องหักการใช้แบนด์วิดท์ของการเรียกแชนด์ออฟที่เคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองก่อน และแบ่งเป็นอัตราส่วนตามจำนวนผู้ใช้แชนด์ออฟที่เคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง ทั้งนี้จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแชนด์ออฟเข้าไปในโครงข่าย k คำนวณจากผลคูณระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแชนด์ออฟ กับความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ที่พยายามเรียกแชนด์ออฟนั้นจะเลือกแอดฮอกไปที่โครงข่าย k โดยมีสมมุติฐานว่า เมื่อตัดสินใจเลือกแอดฮอกเข้าโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้า ($k = 1$) หรืออยู่ข้างหลัง ($k = N$) แล้วจะไม่สามารถย้อนกลับทิศทางการตัดสินใจได้หากโครงข่ายไมโครเซลล์ที่เลือกไม่มีแบนด์วิดท์เหลือ ดังสมการ

$$\tilde{h}_i^k(t) = \min(\bar{f}_i(t)P^k(t), [Bh^k(t) - \tilde{h}_k^k(t)] \frac{\bar{f}_i(t)P^k(t)}{\sum_{n=2}^{N-1} \bar{f}_n(t)P^k(t)}) \quad (3.9)$$

โดยที่ $i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, k \in \{1, N\}$

สมการ (3.9) สามารถกำจัดค่า $P^k(t)$ ได้เหลือเป็นสมการ

$$\tilde{h}_i^k(t) = \min(\bar{f}_i(t)P^k(t), [Bh^k(t) - \tilde{h}_k^k(t)] \frac{\bar{f}_i(t)}{\sum_{n=2}^{N-1} \bar{f}_n(t)}) \quad (3.10)$$

โดยที่ $i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, k \in \{1, N\}$

หลังจากคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่เรียกแชนด์ออฟสำเร็จในการเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ได้ ก็สามารถคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่สามารถแชนด์ออฟได้สำเร็จจากโครงข่าย k เข้าไปในโครงข่าย l ในช่องทางเวลา t โดยหลักในการคำนวณคือ จำนวนผู้ใช้ที่เรียกแชนด์ออฟสำเร็จจากโครงข่าย k เข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ l มาจากการแบ่งจำนวนผู้ใช้ที่แชนด์ออฟสำเร็จในการเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ l ออกตามสัดส่วนของจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแชนด์ออฟออกจากโครงข่าย k ใด ๆ กับจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแชนด์ออฟออกจากโครงข่ายทุกโครงข่าย ดังนี้

1. กรณีที่ผู้ใช้แชนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t)}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t)} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i = l \in \{1, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.11)$$

$h_i^{k \rightarrow l}(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่สามารถแชนด์ออฟได้สำเร็จจากโครงข่าย k เข้าไปในโครงข่าย l ในช่องทางเวลา t

2. กรณีที่ผู้ใช้แชนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t)P^l(t)}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t)P^l(t)} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, l \in \{1, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.12)$$

สมการ (3.12) สามารถกำจัดค่า $P^l(t)$ ได้เหลือเป็นสมการ

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t)}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t)} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, l \in \{1, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.13)$$

จากสมการ (3.11) และสมการ (3.13) มีรูปแบบเหมือนกัน ดังนั้นสำหรับกรณีที่ $P^l(t)$ ไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเซลล์ของ CTM จะได้สมการรวมดังนี้

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t)}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t)} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, 2, 3, \dots, N\}, l \in \{1, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.14)$$

หลังจากที่ผู้ใช้เรียกแฮนด์ออฟเข้าไปที่โครงข่ายไมโครเซลล์อาจเกิดกรณีที่โครงข่ายไมโครเซลล์ไม่สามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้ได้ทั้งหมด ดังนั้นการเรียกแฮนด์ออฟที่ไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ได้จะล้น (overflow) ไปยังโครงข่ายแมโครเซลล์ จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแฮนด์ออฟเข้าไปที่โครงข่ายแมโครเซลล์ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$of_i^k(t) = \hat{f}_i^k(t) - h_i^{k \rightarrow 1}(t) - h_i^{k \rightarrow N}(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, 2, 3, \dots, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.15)$$

$of_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM แต่ไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ใด ๆ จึงล้นไปสู่โครงข่ายแมโครเซลล์

การล้นไปยังโครงข่ายแมโครเซลล์แสดงในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของรูปที่ 3.3

จำนวนผู้ใช้ที่สามารถเรียกแฮนด์ออฟเข้าสู่โครงข่ายแมโครเซลล์สำเร็จคิดเหมือนกันทั้งกรณีผู้ใช้แฮนด์ออฟในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง และกรณีที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง เพราะถือว่ากรณีทั้ง 2 กรณีนี้มีลำดับความสำคัญที่จะเข้าสู่โครงข่ายแมโครเซลล์เท่ากัน ดังสมการ

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \min(of_i^k(t), Bh^l(t) \frac{of_i^k(t)}{\sum_{n \in \{1,2,\dots,N\}} \sum_{m \in \{0,1,N\}} of_n^m(t)}) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\}, l = 0 \quad (3.16)$$

การเข้าสู่โครงข่ายแมโครเซลล์แสดงในขั้นตอนที่ 3 ของรูปที่ 3.3

หลังจากที่ผู้ใช้พยายามเรียกแฮนด์ออฟเข้าไปที่โครงข่ายแมโครเซลล์ อาจเกิดกรณีที่โครงข่ายแมโครเซลล์ไม่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแฮนด์ออฟได้ทั้งหมด ดังนั้นการเรียกแฮนด์ออฟเข้าโครงข่ายแมโครเซลล์ในขณะนั้นจะถูกปฏิเสธ ดังสมการ

$$\tilde{h}_i^l(t) = \sum_k h_i^{k \rightarrow l}(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\}, l = 0 \quad (3.17)$$

$$Dr_i(t) = \sum_k of_i^k(t) - \tilde{h}_i^0(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\} \quad (3.18)$$

$Dr_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t การปฏิเสธการเข้าโครงข่ายแม่โครเซลล์แสดงในขั้นตอนที่ 3 ของรูปที่ 3.3

การเรียกแฮนด์ออฟด้วยกลยุทธ์ U

จำนวนผู้ใช้ที่สามารถเรียกแฮนด์ออฟเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ใด ๆ สำเร็จ แบ่งได้เป็น 2 กรณี เหมือนกลยุทธ์ MI คือ 1) กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองและโครงข่ายนั้นมีแบนด์วิธที่เหลือเพียงพอ 2) กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองแต่ยังสามารถเข้าใช้แบนด์วิธของโครงข่ายไมโครเซลล์ในเซลล์ของ CTM อื่นด้วยวิธีการแอตสอก ดังนี้

การแบ่งออกเป็น 2 กรณีข้างต้น แสดงในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของรูปที่ 3.4 ตามลำดับ

1. กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$\tilde{h}_i^k(t) = \min(\bar{f}_i(t)w^\mu, Bh^k(t)) \quad \text{โดยที่ } i = k \in \{1, N\} \quad (3.19)$$

2. กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$\tilde{h}_i^k(t) = \min(\bar{f}_i(t)w^\mu P^k(t), [Bh^k(t) - \tilde{h}_k^k(t)] \frac{\bar{f}_i(t)w^\mu P^k(t)}{\sum_{n=2}^{N-1} \bar{f}_n(t)w^\mu P^k(t)}) \quad (3.20)$$

$$\text{โดยที่ } i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, k \in \{1, N\}$$

สมการ (3.20) สามารถตัดค่า $P^k(t)$ เหลือเป็นสมการ (3.21) ดังนี้

$$\tilde{h}_i^k(t) = \min(\bar{f}_i(t)w^\mu P^k(t), [Bh^k(t) - \tilde{h}_k^k(t)] \frac{\bar{f}_i(t)w^\mu}{\sum_{n=2}^{N-1} \bar{f}_n(t)w^\mu}) \quad (3.21)$$

$$\text{โดยที่ } i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, k \in \{1, N\}$$

สังเกตว่าสมการ (3.19) – (3.21) ที่ได้ในกลยุทธ์ U นี้เป็นรูปทั่วไปของสมการ (3.8) – (3.10) ในกลยุทธ์ MI เมื่อ w^μ ของกลยุทธ์ MI มีค่าเท่ากับ 1 ตามลำดับ

หลังจากคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่เรียกแฮนด์ออฟสำเร็จในการเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ได้ ก็สามารถคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่เรียกแฮนด์ออฟสำเร็จในการเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์จากโครงข่าย k ใด ๆ ดังนี้

1. กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t)w^\mu}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t)w^\mu} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i = l \in \{1, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.22)$$

สังเกตว่าสมการ (3.22) สามารถกำจัดค่า w^μ ได้เหลือเป็นสมการ

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t)}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t)} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i = l \in \{1, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.23)$$

สังเกตว่าสมการ (3.23) ในกลยุทธ์ U เหมือนกับสมการ (3.11) ในกลยุทธ์ MI

2. กรณีที่ผู้ใช้แอสต์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t) w^\mu P^l(t)}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t) w^\mu P^l(t)} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, l \in \{1, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.24)$$

สมการ (3.24) สามารถกำจัดค่า w^μ และ $P^l(t)$ ได้เหลือเป็นสมการ

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t)}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t)} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, l \in \{1, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.25)$$

สมการ (3.24) และ (3.25) ในกลยุทธ์ U เหมือนกับสมการ (3.12) และ (3.13) ในกลยุทธ์ MI และดังนั้นจึงได้สมการ (3.14) เช่นเดียวกันกับกลยุทธ์ MI

การคำนวณการเรียกแอสต์ออฟเข้าสู่แมโครเซลล์ในกลยุทธ์ U จะแตกต่างจากการคำนวณการเรียกแอสต์ออฟเข้าสู่แมโครเซลล์ในกลยุทธ์ MI โดยจำนวนผู้ใช้ที่สามารถแอสต์ออฟเข้าสู่แมโครเซลล์สำเร็จคิดเหมือนกันทั้งกรณีที่ผู้ใช้แอสต์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองและกรณีที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองเพราะถือว่ากรณีทั้ง 2 กรณีนี้มีลำดับความสำคัญที่จะเข้าสู่โครงข่ายแมโครเซลล์เท่ากัน หลักการคำนวณคือจำนวนผู้ใช้ที่เรียกแอสต์ออฟเข้าสู่โครงข่ายแมโครเซลล์สำเร็จมาจากค่าน้อยที่สุดระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแอสต์ออฟโดยเข้าไปในโครงข่ายแมโครเซลล์ กับแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกแอสต์ออฟสู่โครงข่ายแมโครเซลล์ จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแอสต์ออฟโดยเข้าไปในโครงข่ายแมโครเซลล์คำนวณจากผลคูณระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่ายต่าง ๆ ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM กับน้ำหนักในการเลือกโครงข่ายแมโครเซลล์ ดังสมการ

$$\tilde{h}_i^l(t) = \min(\bar{f}_i(t) w^M, B h^l(t) \frac{\bar{f}_i(t) w^M}{\sum_{n=1}^N \bar{f}_n(t) w^M}) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\}, l = 0 \quad (3.26)$$

จากรูปที่ 3.4 การเข้าใช้แบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกแอสต์ออฟสู่โครงข่ายแมโครเซลล์ในกลยุทธ์ U ตามสมการ (3.26) แตกต่างจากในกลยุทธ์ MI ที่คำนวณได้ตามสมการ (3.17) เพราะในกลยุทธ์ U แบนด์วิดท์ที่เหลือนี้จะไม่สามารถนำไปใช้รองรับการเรียกที่สั้นจากการเรียกที่ไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ได้ ในขณะที่กลยุทธ์ MI สามารถรองรับการเรียกที่สั้นนี้ได้ ในทางกลับกันในกลยุทธ์ U แบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกแอสต์ออฟสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ไม่สามารถนำไปใช้รองรับการเรียกที่สั้นจากการเรียกที่ไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายแมโครเซลล์ได้ ส่วนกลยุทธ์ MI ที่การ

เรียกต้องเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน ดังนั้นเมื่อเกิดการล้นจากการเรียกที่ไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ได้ แสดงว่าต้องเกิดการล้นจากการเรียกที่ไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์แล้ว

ในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาเฉพาะกรณีที่แบนด์วิดท์ถูกแบ่งอย่างเด็ดขาดให้กราฟฟิกแต่ละประเภท ซึ่งได้แก่กราฟฟิกของการเรียกแฮนด์ออฟและกราฟฟิกของการเรียกเข้าใหม่ ไม่สามารถโยกย้ายแบนด์วิดท์ที่ใช้ไม่หมดให้กันและกันได้ เรียกกรณีเช่นนี้ว่า นโยบายไม่อนุรักษ์ (non-conserving policy) อย่างไรก็ตามกรอบของแบบจำลองคณิตศาสตร์ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นพื้นฐานสำหรับงานวิจัยในอนาคตที่ศึกษากรณี นโยบายอนุรักษ์ (conserving policy) เพิ่มเติมได้

หลังจากคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์ออฟสำเร็จในการเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ได้ ก็สามารถคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์ออฟสำเร็จในการเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์จากโครงข่าย k ได้ ๆ

โดยหลักในการคำนวณคือ จำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์ออฟสำเร็จจากโครงข่าย k เข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ มาจากการแบ่งจำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์ออฟสำเร็จในการเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ออกตามสัดส่วนของความต้องการที่จะแฮนด์ออฟออกจากโครงข่าย k เข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ กับความต้องการที่จะแฮนด์ออฟออกจากโครงข่ายทุกโครงข่ายเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ ซึ่งในกลยุทธ์ U ความต้องการที่จะแฮนด์ออฟออกจากโครงข่าย k เข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ เป็นผลคูณระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแฮนด์ออฟในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t กับน้ำหนักการเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ ได้เป็นสมการดังนี้

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t)w^M}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t)w^M} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\}, k \in \{0, 1, N\}, l = 0 \quad (3.27)$$

สมการ (3.27) สามารถกำจัดค่า w^M ได้เหลือเป็นสมการ

$$h_i^{k \rightarrow l}(t) = \frac{\hat{f}_i^k(t)}{\sum_{m \in \{0,1,N\}} \hat{f}_i^m(t)} \tilde{h}_i^l(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\}, k \in \{0, 1, N\}, l = 0 \quad (3.28)$$

สังเกตว่าการคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์ออฟสำเร็จในการเข้าสู่โครงข่ายไมโครเซลล์ จากสมการ (3.28) ในกลยุทธ์ U เมื่อแทนค่า $\tilde{h}_i^l(t)$ จากสมการ (3.26) จะคล้ายกับสมการ (3.16) ในกลยุทธ์ MI แตกต่างกันตรงจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกแฮนด์ออฟเข้าไปที่โครงข่ายไมโครเซลล์ในกลยุทธ์ MI จะเป็น $of_i^k(t)$ ซึ่งเป็นการเรียกแฮนด์ออฟที่ล้นไปยังโครงข่ายไมโครเซลล์เนื่องจากไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ที่แบนด์วิดท์หมดได้ แต่ในกลยุทธ์ U จะเป็น $\hat{f}_i(t)w^M$ ซึ่งเป็นการเรียกแฮนด์ออฟที่ไปยังโครงข่ายไมโครเซลล์ตามการแบ่งความต้องการที่จะแฮนด์ออฟด้วยน้ำหนักการเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์

สำหรับกลยุทธ์ U จะคำนวณพารามิเตอร์ จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t : $Dr_i(t)$ แตกต่างจากกลยุทธ์ MI โดยในกลยุทธ์ MI การปฏิเสธจะเกิดเฉพาะเมื่อโครงข่ายไมโครเซลล์ ไม่สามารถรับการเรียกได้เท่านั้น ต่างกับกลยุทธ์ U ที่การปฏิเสธจะเกิดขึ้นเมื่อโครงข่ายไมโครเซลล์ หรือ โครงข่ายไมโครเซลล์ ไม่สามารถรับการเรียกได้

การปฏิเสธการเข้าโครงข่ายไมโครเซลล์แสดงในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของรูปที่ 3.4 และการปฏิเสธการเข้าโครงข่ายไมโครเซลล์แสดงในขั้นตอนที่ 3 ของรูปที่ 3.4

1. กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$Dr_i(t) = \sum_{k \in \{0,1,N\}} [(f_i^k(t)w^\mu - h_i^{k \rightarrow 1}(t) - h_i^{k \rightarrow N}(t)) + (f_i^k(t)w^M - h_i^{k \rightarrow 0}(t))] \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, N\} \quad (3.29)$$

2. กรณีที่ผู้ใช้แฮนด์ออฟเคลื่อนเข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$Dr_i(t) = \sum_{k \in \{0,1,N\}} [(f_i^k(t)w^\mu P^1 - h_i^{k \rightarrow 1}(t)) + (f_i^k(t)w^\mu P^N - h_i^{k \rightarrow N}(t)) + (f_i^k(t)w^M - h_i^{k \rightarrow 0}(t))] \quad \text{โดยที่ } i \in \{2, 3, \dots, N-1\} \quad (3.30)$$

3.4.3 ช่วงการเรียกเข้าใหม่ในโครงข่าย

การพิจารณาเรื่องการเรียกที่เข้ามาในโครงข่ายของช่วงนี้จะเกิดขึ้นหลังรับการเรียกแฮนด์ออฟไปแล้ว ดังนั้น แบนด์วิดท์เหลืออยู่สำหรับรับการเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$BA^k(t) = Bmax^k - \sum_i \tilde{d}_i^k(t) \quad (3.31)$$

$BA^k(t)$ คือ แบนด์วิดท์ของโครงข่าย k ที่เหลืออยู่สำหรับรับการเรียกเข้าใหม่ในโครงข่าย (available new-call bandwidth) ในช่วงเวลา t

$\tilde{d}_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีการแฮนด์ออฟเข้ามาของผู้ใช้

สำหรับ $\tilde{d}_i^k(t)$ คำนวณได้จากจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานภายหลังจากที่มีผู้ใช้แฮนด์ออฟออก รวมกับผู้ใช้ที่สามารถเรียกแฮนด์ออฟสำเร็จทั้งหมด ดังสมการ

$$\tilde{d}_i^k(t) = \hat{d}_i^k(t) + \sum_{l \in \{0,1,N\}} h_i^{l \rightarrow k}(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\}, k \in \{0, 1, N\} \quad (3.32)$$

ในวิทยานิพนธ์นี้สมมติให้ผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานจะพยายามเรียกเข้าใหม่เพื่อขอติดต่อกับโครงข่าย และ เปลี่ยนเป็นสถานะทำงานอย่างเป็นอิสระต่อกัน และผู้ใช้แต่ละคนมีความน่าจะเป็น P_A ในการเปลี่ยนสถานะดังกล่าวในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานแล้วพยายามที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะทำงาน หรือจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ (request call) สามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$$r_i(t) = (n_i(t) - \sum_k \tilde{d}_i^k(t))P_A \quad (3.33)$$

$r_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงาน แล้วพยายามที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะทำงาน ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t (จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่)

P_A คือ ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะไม่ทำงานจะเรียกเข้าใหม่มาในระบบ ในแต่ละช่วงเวลา

การเรียกเข้าใหม่ด้วยกลยุทธ์ MI

การคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่สามารถเรียกเข้าใหม่สำเร็จ ในกลยุทธ์ MI แบ่งพิจารณาเป็น 2 กรณี เช่นเดียวกับการคิดการเรียกแฮนด์ออฟ โดยจะพยายามเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน ดังนี้

1. กรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

หลักการคำนวณคือ จำนวนผู้ใช้ที่สามารถเรียกเข้าใหม่สำเร็จมาจากค่าน้อยสุดระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ กับแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกเข้าใหม่ ดังสมการ

$$A_i^k(t) = \min(r_i(t), BA^k(t)) \quad \text{โดยที่ } i = k \in \{1, N\} \quad (3.34)$$

$A_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานแล้วสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะทำงานได้สำเร็จ ในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t (จำนวนผู้ใช้ที่เรียกเข้าใหม่สำเร็จ)

2. กรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

หลักการคำนวณคือ จำนวนผู้ใช้ที่สามารถเรียกเข้าใหม่สำเร็จมาจากค่าน้อยสุดระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ กับแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกเข้าใหม่ โดยแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกเข้าใหม่ ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง ต้องหักการใช้แบนด์วิดท์ของการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองก่อน และแบ่งเป็นอัตราส่วนตามจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองโดยติดต่อกับโครงข่าย k กับจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ของ CTM ทุกเซลล์ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองโดยติดต่อกับโครงข่าย k ทั้งนี้จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k คำนวณได้จากผลคูณระหว่าง จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM กับความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้จะเลือกแอตสอกไปที่โครงข่าย k โดยมีสมมติฐานว่า เมื่อตัดสินใจเลือก แอตสอกเข้าโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้าหรืออยู่ข้างหลังแล้ว ไม่สามารถย้อนกลับทิศทาง การตัดสินใจได้หากโครงข่ายไมโครเซลล์ที่เลือกไม่มีแบนด์วิดท์เหลือ ดังสมการ

$$A_i^k(t) = \min(r_i(t)P^k(t), [BA^k(t) - A_k^k(t)] \frac{r_i(t)P^k(t)}{\sum_{n=2}^{N-1} r_n(t)P^k(t)}) \quad (3.35)$$

โดยที่ $i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, k \in \{1, N\}$

การเรียกเข้าใหม่ที่ไม่สามารถเข้าโครงข่ายไมโครเซลล์ได้ เนื่องจากโครงข่ายไมโครเซลล์มีแบนด์วิดท์ที่ถูกใช้เต็มความจุสูงสุด จะล้นไปเป็นความต้องการที่จะใช้โครงข่ายแมโครเซลล์ (overflow of request call) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$or_i(t) = r_i(t) - \sum_{k \in \{1, N\}} A_i^k(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\} \quad (3.36)$$

$or_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายแมโครเซลล์ เนื่องจากล้นออกมาจากการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายไมโครเซลล์

จำนวนผู้ใช้ที่สามารถติดต่อกับโครงข่ายแมโครเซลล์ได้สำเร็จคิดเหมือนกันทั้งกรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง และกรณีที่ผู้ใช้

มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง เพราะถือว่าการนี้ทั้ง 2 กรณีนี้มีลำดับความสำคัญที่จะเข้าสู่โครงข่ายแม่โครเซลล์เท่ากัน ดังสมการ

$$A_i^k(t) = \min(or_i(t), BA^k(t) \frac{or_i(t)}{\sum_{n=1}^N or_n(t)}) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\}, k = 0 \quad (3.37)$$

หลังจากที่ผู้ใช้พยายามเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายแม่โครเซลล์อาจเกิดกรณีที่โครงข่ายแม่โครเซลล์ไม่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ได้ทั้งหมด ดังนั้นการพยายามเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายแม่โครเซลล์จะถูกปฏิเสธออกจากกระบบ ดังสมการ

$$Bk_i(t) = or_i(t) - A_i^0(t) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\} \quad (3.38)$$

$Bk_i(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t

การเรียกเข้าใหม่ด้วยกลยุทธ์ U

สำหรับกลยุทธ์ U ใช้หลักพิจารณาการรับการเรียกเข้าใหม่เช่นเดียวกับการเรียกแฮนด์ออฟ คือจำนวนผู้ใช้ที่สามารถเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายไมโครเซลล์ใด ๆ สำเร็จ แบ่งได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

1. กรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

หลักการคำนวณคือ จำนวนผู้ใช้ที่เรียกเข้าใหม่สำเร็จในโครงข่ายไมโครเซลล์มาจากค่าน้อยสุดระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายไมโครเซลล์ กับแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกเข้าใหม่ ซึ่งในกลยุทธ์ U ในกรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายไมโครเซลล์สามารถคำนวณได้จากการคูณจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ กับน้ำหนักในการเข้าใช้ของโครงข่ายไมโครเซลล์ ดังสมการ

$$A_i^k(t) = \min(r_i(t)w^i, BA^k(t)) \quad \text{โดยที่ } i = k \in \{1, N\} \quad (3.39)$$

2. กรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

หลักการคำนวณคือ จำนวนผู้ใช้ที่เรียกเข้าใหม่สำเร็จในโครงข่ายไมโครเซลล์มาจากค่าน้อยสุดระหว่างจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายไมโครเซลล์ กับแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่สำหรับการเรียกเข้าใหม่

ซึ่งในกลยุทธ์ U กรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายไมโครเซลล์ k เป็นผลคูณของจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่, น้ำหนักในการเลือกเข้าใช้ของโครงข่ายไมโครเซลล์และความน่าจะเป็นที่เลือกแอตท็อกไปที่โครงข่ายไมโครเซลล์ k

ในขณะที่แบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ในโครงข่ายสำหรับการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง ต้องหักการใช้แบนด์วิดท์ของการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองก่อน และแบ่งเป็นอัตราส่วนตามจำนวนผู้ใช้ที่

พยายามเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองโดยติดต่อขอเข้าไปในโครงข่าย k กับจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ของ CTM ทุกเซลล์ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองโดยติดต่อขอเข้าไปในโครงข่าย k ทั้งนี้จำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อขอเข้าไปในโครงข่าย k คำนวณได้จากผลคูณของจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM, น้ำหนักในการเลือกเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์และความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้จะเลือกแอดฮอกไปที่โครงข่าย k โดยมีสมมติฐานว่า เมื่อตัดสินใจเลือกแอดฮอกเข้าโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้าหรืออยู่ข้างหลังแล้ว ไม่สามารถย้อนกลับทิศทางการตัดสินใจได้หากโครงข่ายไมโครเซลล์ที่เลือกไม่มีแบนด์วิดท์เหลือ ดังสมการ

$$A_i^k(t) = \min(r_i(t)w^\mu P^k(t), [BA^k(t) - A_k^k(t)] \frac{r_i(t)w^\mu P^k(t)}{\sum_{n=2}^{N-1} r_n(t)w^\mu P^k(t)}) \quad (3.40)$$

โดยที่ $i \in \{2, 3, \dots, N-1\}, k \in \{1, N\}$

สังเกตว่าสมการ (3.40) จะมีรูปแบบเหมือนกับสมการ (3.35) ในกรณีที่น้ำหนักในการเลือกเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์เท่ากับ 1 ($w^\mu = 1$)

จำนวนผู้ใช้ที่สามารถเรียกเข้าใหม่ในโครงข่ายแม่โครเซลล์สำเร็จ คิดเหมือนกันทั้งกรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง และกรณีที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง เพราะถือว่ากรณีทั้ง 2 กรณีนี้มีลำดับความสำคัญที่จะเข้าสู่โครงข่ายแม่โครเซลล์เท่ากัน ดังสมการ

$$A_i^k(t) = \min(r_i(t)w^M, BA^k(t) \frac{r_i(t)w^M}{\sum_{n=1}^N r_n(t)w^M}) \quad \text{โดยที่ } i \in \{1, \dots, N\}, k = 0 \quad (3.41)$$

สำหรับกลยุทธ์ U จะคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t : $Bk(t)$ แตกต่างจากกลยุทธ์ MI โดยในกลยุทธ์ MI นั้นการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่จะเกิดเฉพาะเมื่อโครงข่ายแม่โครเซลล์ ไม่สามารถรับการเรียกได้เท่านั้น ต่างกับกลยุทธ์ U ที่การปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่จะเกิดขึ้นเมื่อทั้งโครงข่ายไมโครเซลล์ หรือ แม่โครเซลล์ ไม่สามารถรับการเรียกได้ ดังสมการ

1. กรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$Bk_i(t) = (r_i(t)w^\mu - A_i^k(t)) + (r_i(t)w^M - A_i^0(t)) \quad \text{โดยที่ } i = k \in \{1, N\} \quad (3.42)$$

2. กรณีผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่อยู่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

$$Bk_i(t) = (r_i(t)w^\mu P^1(t) - A_i^1(t)) + (r_i(t)w^\mu P^N(t) - A_i^N(t)) + (r_i(t)w^M - A_i^0(t)) \quad (3.43)$$

โดยที่ $i \in \{2, 3, \dots, N-1\}$

3.4.4 ช่วงเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย

การพิจารณาจำนวนผู้ใช้ที่เสร็จสิ้นการติดต่อโครงข่ายของช่วงนี้จะเกิดขึ้นหลังช่วงการเรียกเข้าใหม่ในโครงข่าย ดังนั้น จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM ได้เริ่มการติดต่อกับโครงข่าย สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\bar{d}_i^k(t) = \bar{d}_i^k(t) + A_i^k(t) \quad (3.44)$$

$\bar{d}_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีการเรียกเข้าใหม่ของผู้ใช้

$\bar{d}_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีการแฮนด์ออฟเข้ามาของผู้ใช้

$A_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานแล้วสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นสถานะทำงานได้สำเร็จในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t (จำนวนผู้ใช้ที่สามารถเรียกเข้าใหม่สำเร็จ)

จากสมการ (3.44) ทำให้สามารถคำนวณแบนด์วิดท์ของโครงข่าย k ที่เหลืออยู่ ก่อนช่วงเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่ายได้ดังสมการ

$$BD^k(t) = Bmax^k - \sum_i \bar{d}_i^k(t) \quad (3.45)$$

$BD^k(t)$ คือ แบนด์วิดท์ของโครงข่าย k ที่เหลืออยู่ก่อนช่วงเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย ในช่วงเวลา t

ในวิทยานิพนธ์นี้สมมติให้ผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานจะเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่ายและเปลี่ยนเป็นสถานะไม่ทำงานอย่างเป็นอิสระต่อกัน (หากไม่ถูกบังคับให้ต้องยกเลิกการติดต่อกับโครงข่ายเนื่องจากการปฏิเสธการแฮนด์ออฟ) และผู้ใช้แต่ละคนมีความน่าจะเป็น P_D ในการเปลี่ยนสถานะดังกล่าวในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นจำนวนผู้ใช้ที่เสร็จสิ้นการติดต่อโครงข่ายจึงคำนวณได้จากจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ภายหลังจากที่มีผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM ได้เริ่มติดต่อกับโครงข่ายคูณด้วยความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$D_i^k(t) = \bar{d}_i^k(t)P_D \quad (3.46)$$

$D_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานแล้วเปลี่ยนเป็นสถานะไม่ทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t (จำนวนผู้ใช้ที่เสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย)

P_D คือ ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานจะเสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่ายในแต่ละช่วงเวลา

เมื่อถึงช่วงท้ายของช่วงเวลา t สามารถคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานภายหลังจากที่มีผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM เสร็จสิ้นการติดต่อโครงข่าย ดังสมการ

$$d_i^k(t) = \bar{d}_i^k(t) - D_i^k(t) \quad (3.47)$$

$d_i^k(t)$ คือ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ i ของ CTM โดยติดต่อกับโครงข่าย k ในช่วงเวลา t ภายหลังจากที่มีผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM เสร็จสิ้นการติดต่อกับโครงข่าย

3.5 การคำนวณสมรรถนะของกลยุทธิ์แต่ละประเภท

ในการคำนวณสมรรถนะของกลยุทธิ์แต่ละประเภท สามารถพิจารณาจากพารามิเตอร์ 2 ชนิด ดังนี้

1. ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ (probability of blocking : P_{Bk})
2. ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟ (probability of dropping : P_{Dr})

ตัวชี้วัดทั้ง 2 ตัว มีหลักการคำนวณเหมือนกัน คือ เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่ถูกปฏิเสธ (จากการเรียกเข้าใหม่ หรือการเรียกแฮนด์ออฟ) กับจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่ต้องการเข้าสู่ระบบ (จากการเรียกเข้าใหม่ หรือการเรียกแฮนด์ออฟ) ในช่วงเวลาทั้งหมดที่พิจารณา

3.5.1 ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่

ความน่าจะเป็นการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่สามารถคำนวณจากอัตราส่วนของผลรวมจำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t : $Bk_i(t)$ ในทุกเซลล์ของ CTM ในทุกช่วงเวลา ซึ่งหาได้จากสมการ (3.38) ในกลยุทธิ์ MI หรือสมการ (3.42) และ (3.43) ในกลยุทธิ์ U กับ ผลรวมจำนวนผู้ใช้ที่พยายามเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t : $r_i(t)$ ในทุกเซลล์ของ CTM ในทุกช่วงเวลา ซึ่งหาได้จากสมการ (3.33) สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$P_{Bk} = \frac{\sum_i \sum_t Bk_i(t)}{\sum_i \sum_t r_i(t)} \quad (3.48)$$

3.5.2 ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟ

ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟสามารถคำนวณจากอัตราส่วนของผลรวมจำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟในเซลล์ที่ i ของ CTM ในช่วงเวลา t : $Dr_i(t)$ ในทุกเซลล์ CTM ในทุกช่วงเวลา ซึ่งหาได้จากสมการ (3.18) ในกลยุทธิ์ MI หรือสมการ (3.29) และ (3.30) ในกลยุทธิ์ U กับ ผลรวมจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานซึ่งกำลังติดต่อกับโครงข่ายต่าง ๆ ในช่วงเวลา t และเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์ที่ i ของ CTM : $\bar{f}_i(t)$ ในทุกเซลล์ของ CTM ในทุกช่วงเวลา ซึ่งหาได้จากสมการ (3.4) สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$P_{Dr} = \frac{\sum_i \sum_t Dr_i(t)}{\sum_i \sum_t \bar{f}_i(t)} \quad (3.49)$$

3.6 สรุป

ในบทนี้ได้เสนอขั้นตอนการคำนวณตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานโครงข่าย โดยนำเอาพารามิเตอร์จำนวนยานพาหนะในระบบ ที่คำนวณจากแบบจำลองมหภาค CTM มาประยุกต์ใช้ ทำให้สามารถทราบจำนวนผู้ใช้งานโครงข่ายในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้

การคำนวณจำนวนผู้ใช้งานโครงข่ายมีความแตกต่างกันตามกลยุทธ์การตัดสินใจเลือกโครงข่าย ในวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาโครงข่ายที่ต้องตัดสินใจเลือก 2 ประเภท คือ โครงข่ายแม่โครเซลล์ และโครงข่ายไมโครเซลล์ โดยมีกลยุทธ์การตัดสินใจเลือก 2 กลยุทธ์ คือ กลยุทธ์ MI ที่ผู้ใช้ต้องเลือกติดต่อกับโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อนทุกครั้ง กับกลยุทธ์ U ที่ผู้ใช้เป็นคนกำหนดค่าน้ำหนักในการเข้าใช้โครงข่ายทั้ง 2 ประเภท

เมื่อทราบจำนวนผู้ใช้งานโครงข่ายในช่วงเวลาต่าง ๆ ทำให้สามารถคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะของกลยุทธ์แต่ละประเภทในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะแสดงผลการทดลองในบทที่ 4



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

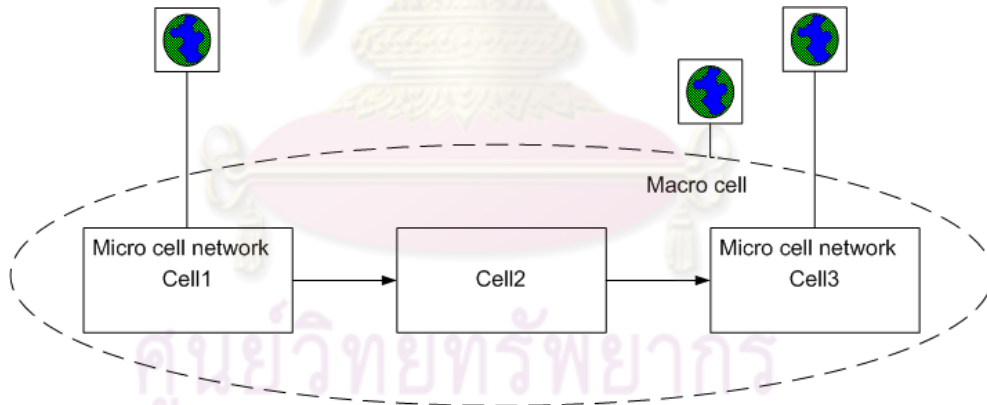
ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินสมรรถนะของกลยุทธ์การเข้าใช้ทั้ง 2 รูปแบบคือ กลยุทธ์เลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน (micro cell network first : MI) และกลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเอง (user preference : U) โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ว่ามีผลอย่างไรกับสมรรถนะในกลยุทธ์แต่ละประเภทที่คำนวณได้

4.1 ตัวอย่างการเปลี่ยนสถานะตามเวลาของระบบ

จุดมุ่งหมาย ของ การ ทดสอบ ใน วิทยานิพนธ์ ฉบับ นี้ เพื่อ เป็น การ แสดง ให้ เห็น การ ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 โดยทดสอบกับกลยุทธ์ MI และกลยุทธ์ U ซึ่งสามารถศึกษาตัวอย่างการเปลี่ยนสถานะตามเวลาของระบบโดยพิจารณารูปแบบการเชื่อมต่อของถนนกับโครงข่ายดังนี้

การเชื่อมต่อประกอบไปด้วยเซลล์ของ CTM จำนวน 3 เซลล์ มีโครงข่ายไมโครเซลล์ ครอบคลุมทั้งระบบ และมีโครงข่ายไมโครเซลล์ 2 จุด อยู่ที่เซลล์ที่ 1 และ 3 ของ CTM ยานพาหนะเคลื่อนที่จากเซลล์ที่ 1 ของ CTM ไปยังเซลล์ที่ 3 ของ CTM มีลักษณะดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1: รูปแบบการเชื่อมต่อของเซลล์ของ CTM จำนวน 3 เซลล์กับโครงข่าย

กำหนดให้ในแต่ละเซลล์ที่ i ของ CTM โดย $i \in \{1, 2, 3\}$ มีพารามิเตอร์ดังนี้

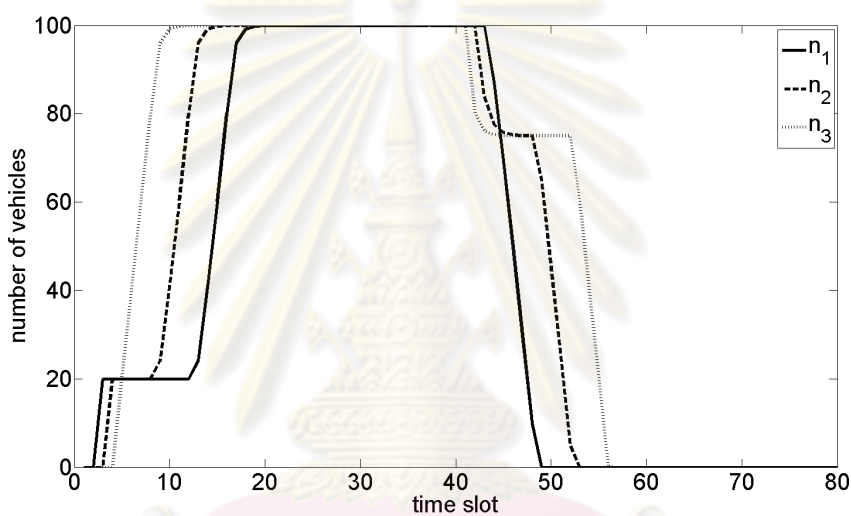
- จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่เซลล์ที่ i ของ CTM สามารถรับได้ : C_i 100 คัน
- จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่สามารถส่งผ่านเข้าสู่เซลล์ที่ i ของ CTM : q_i 20 คัน/ช่องเวลา
- ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของยานพาหนะของเซลล์ที่ i ของ CTM : δ_i 0.8

ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้กำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ดังนี้ (ยานพาหนะ 1 คัน คือ ผู้ใช้บริการ 1 คน)

- จำนวนผู้ให้บริการที่เข้ามาในระบบทั้งหมด 300 คน ในช่วง 80 ช่องเวลา

- ในสถานะเริ่มต้น ไม่มีผู้ให้บริการอยู่ในระบบ
- ผู้ให้บริการเข้ามาในระบบ(เข้ามาในเซลล์ที่ 1 ของ CTM) ตั้งแต่ช่องเวลาที่ 1 จนกระทั่งหมด 300 คน
- ในช่องเวลา ที่ 1-40 ไม่มีผู้ให้บริการออกจากระบบ(ออกไปในเซลล์ที่ 5 ของ CTM) เทียบเท่ากับสัญญาณไฟจราจรสีแดง
- ในช่องเวลา ที่ 41-80 ผู้ให้บริการออกจากระบบ เทียบเท่ากับสัญญาณไฟจราจรสีเขียว

จำนวนผู้ให้บริการในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ ในช่องเวลาต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2: จำนวนผู้ให้บริการในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ ในช่องเวลาต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงช่องเวลาแรก จำนวนผู้ใช้จะเพิ่มขึ้นจาก 0 ไปจนถึงความจุสูงสุดของเซลล์ คือ 100 คน เนื่องจากในสถานะเริ่มต้นยังไม่มีผู้ใช้ในระบบ เมื่อผู้ใช้เข้ามาและไม่สามารถออกจากระบบได้เนื่องจากติดสัญญาณไฟจราจรสีแดง จำนวนผู้ใช้จึงเพิ่มขึ้นจนเต็มความจุเซลล์ หลังจากนั้นจำนวนผู้ใช้จะคงที่ที่ความจุสูงสุดชั่วคราว และจะเริ่มลดลงจนจำนวนผู้ใช้คงที่ที่ประมาณ 75 คน เนื่องจากในช่องเวลาที่ 41 สัญญาณไฟจราจรสีเขียวผู้ใช้สามารถออกจากระบบได้ จำนวนผู้ใช้จึงลดลงจากความจุสูงสุด แต่ในขณะเดียวกันก็ยังมีผู้ใช้เข้ามาในระบบด้วย จำนวนผู้ใช้จึงลดลงจนเข้าสู่สภาวะสมดุลในช่วงที่มีผู้ใช้เข้าและออกในระบบเท่ากัน จนในช่องเวลาที่ประมาณ 50 จำนวนผู้ใช้จะเริ่มลดลงจนเป็น 0 เนื่องจากที่ช่องเวลานั้น ไม่มีผู้ใช้ที่เข้ามาในระบบแล้ว (จำนวนผู้ให้บริการเข้ามาในระบบทั้งหมด 300 คน) จึงเหลือแต่ผู้ใช้ที่ออกจากระบบ ทำให้จำนวนผู้ใช้ลดลงเรื่อย ๆ จนเป็น 0

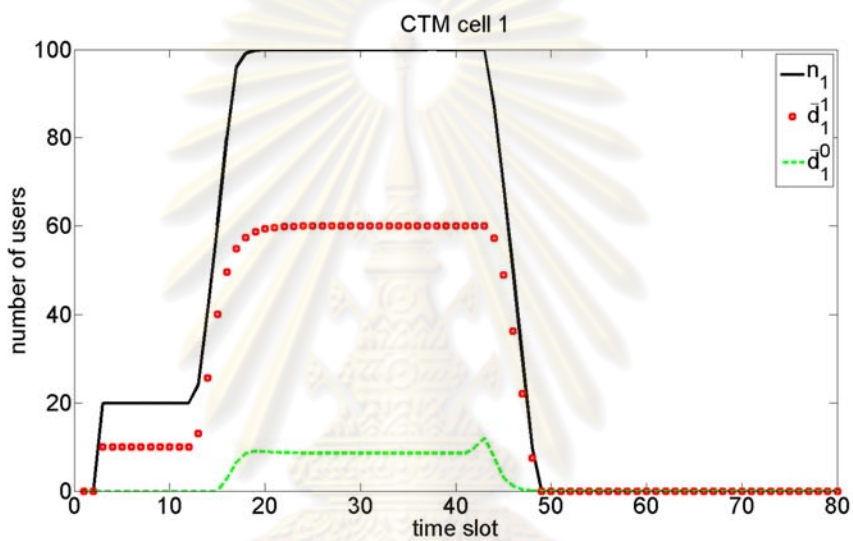
ตัวอย่างการเปลี่ยนสถานะตามเวลาของระบบ กลยุทธ์ MI

กำหนดให้

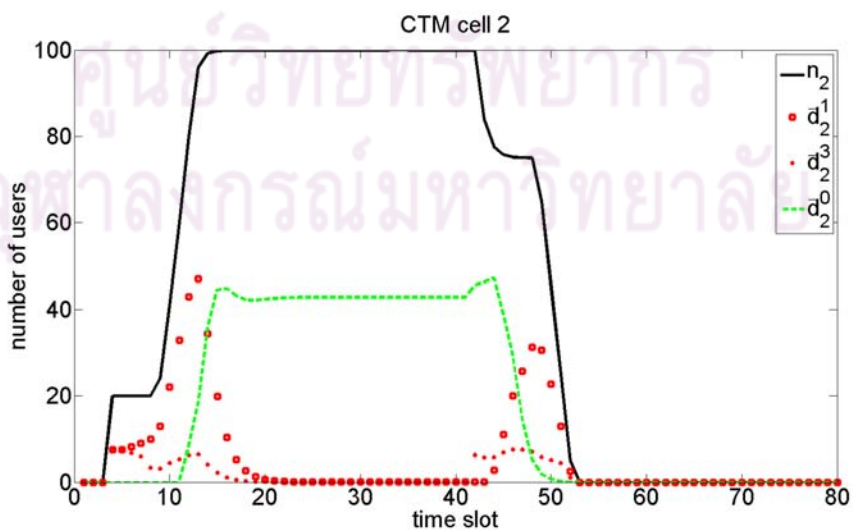
- แบนด์วิดท์สูงสุดทุกโครงข่ายเท่ากับ 60 ($B_{max}^0 = B_{max}^1 = B_{max}^5 = 60$)

- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะไม่ทำงานจะเรียกเข้าใหม่มาในระบบ P_A เป็น 0.5
- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะทำงานจะเสร็จสิ้นการติดต่อสื่อสาร P_D เป็น 0.5
- กลยุทธ์ที่พิจารณาคือ กลยุทธ์ U และกลยุทธ์ MI

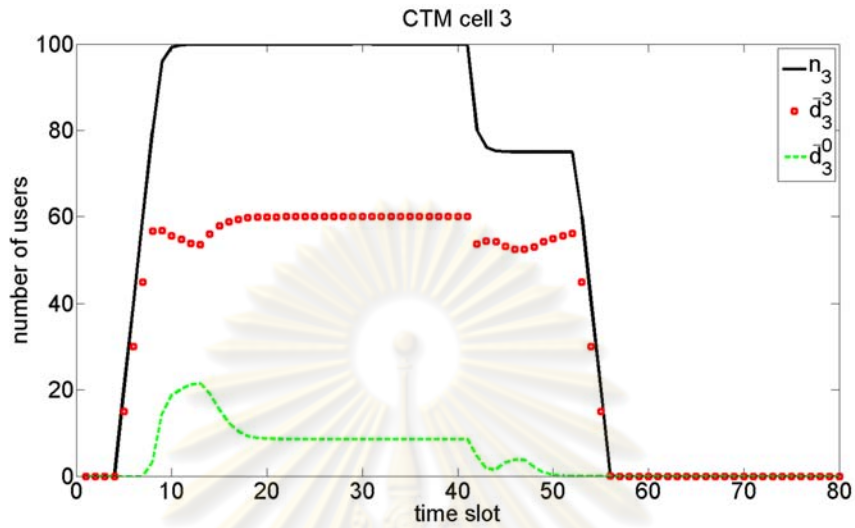
ผลการทดลองแสดงจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานภายหลังจากมีการเรียกเข้าใหม่ในระบบของเซลล์ที่ 1, 2, 3 ของ CTM ในช่วงเวลา t เป็นดังรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานภายหลังจากมีการเรียกเข้าใหม่ในระบบของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1, โครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 3 และโครงข่ายแมโครเซลล์ ในช่วงเวลา t เป็นดังรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 ตามลำดับ



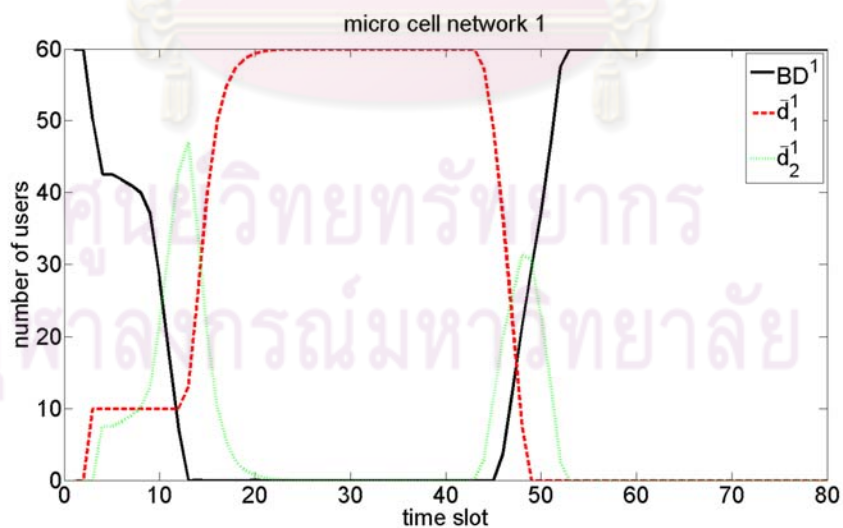
รูปที่ 4.3: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 1 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI



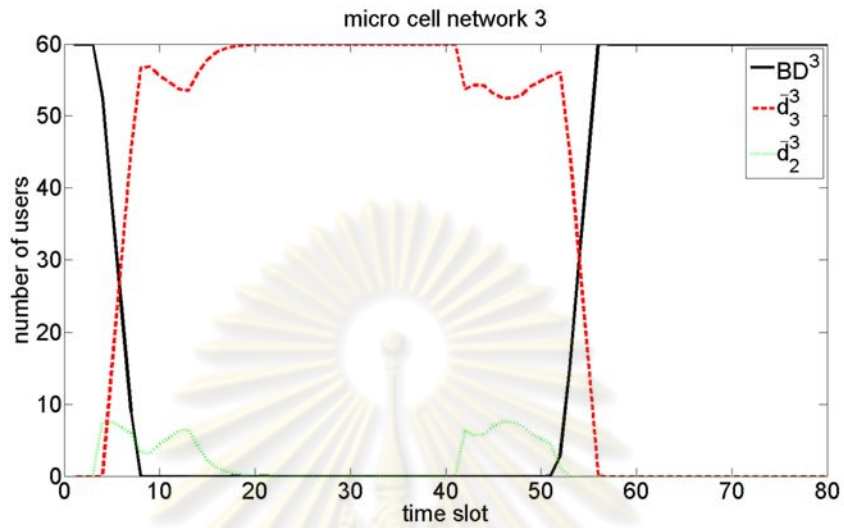
รูปที่ 4.4: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 2 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI



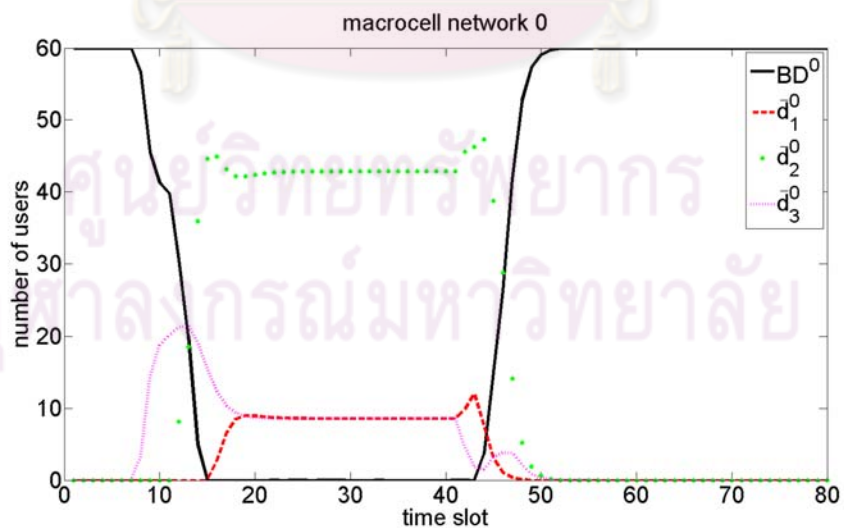
รูปที่ 4.5: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 3 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI



รูปที่ 4.6: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1 ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI



รูปที่ 4.7: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 3 ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI



รูปที่ 4.8: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายแมโครเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ MI

ในช่วงเวลาเริ่มต้น จากรูปที่ 4.4 การเข้าใช้โครงข่ายในเซลล์ที่ 2 ของ CTM จะเลือกไปที่โครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน ในช่วงเวลานั้นทั้งโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1 และ 3 จะมีแบนด์วิดท์เหลือเพียงพอสำหรับการแอตสอกเข้าใช้จากเซลล์ที่ 2 ของ CTM หลังจากนั้นเมื่อมีการเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ 1 และ 3 จากผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายเป็นของตนเองมากขึ้น จะทำให้การเรียกจากเซลล์ที่ 2 ของ CTM ไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ได้ ดังนั้นการเรียกจากเซลล์ที่ 2 ของ CTM จึงล้นไปยังโครงข่ายแมโครเซลล์ เป็นเหตุผลที่อยู่ในรูปที่ 4.8 จำนวนผู้ใช้โครงข่ายแมโครเซลล์เป็นผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ที่ 2 ของ CTM มากกว่าจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ที่ 1 และ 3 ของ CTM ที่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ของตนเองและโครงข่ายแมโครเซลล์ได้

ในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาเริ่มต้น จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานจากเซลล์ที่ 3 ของ CTM มีมากกว่าจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานจากเซลล์ที่ 2 และ 1 ของ CTM ตามลำดับ เนื่องจากกำหนดให้ในช่วงเวลาเริ่มต้น สัญญาณไฟจราจรเป็นสีแดง จึงไม่อนุญาตให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ที่ 3 ของ CTM ทำให้จำนวนยานพาหนะเพิ่มขึ้นโดยเริ่มจากเซลล์ที่ 3 ของ CTM สะสมต่อเนื่องไปยังเซลล์ที่ 2 และ 1 ของ CTM ตามลำดับ หลังจากนั้น เมื่อจำนวนแบนด์วิดท์ที่เหลือของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1 และ 3 ถูกใช้โดยผู้ใช้จากเซลล์ที่ 1 และ 3 ของ CTM ซึ่งมีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองจนหมด ทำให้ผู้ใช้จากเซลล์ของ CTM ทุกเซลล์ เลือกใช้โครงข่ายไมโครเซลล์

เมื่อพิจารณาช่วงเวลาท้าย จำนวนผู้ใช้จากเซลล์ที่ 3 ของ CTM เริ่มลดลง ตามด้วยเซลล์ที่ 2 และ 1 ของ CTM ตามลำดับ เนื่องจากยานพาหนะในระบบมีน้อยลง ทำให้โครงข่ายไมโครเซลล์เริ่มมีแบนด์วิดท์เหลือเพียงพอให้ผู้ใช้จากเซลล์ที่ 2 ของ CTM แอตสอกเข้าใช้ จึงเห็นได้ในรูปที่ 4.6 ที่จำนวนผู้ใช้จากเซลล์ที่ 2 ของ CTM ที่เข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1 เพิ่มขึ้นเป็นช่วงเวลานั้นๆ ก่อนที่จะลดลงเนื่องจากการลดลงของยานพาหนะในเซลล์ที่ 2 ของ CTM

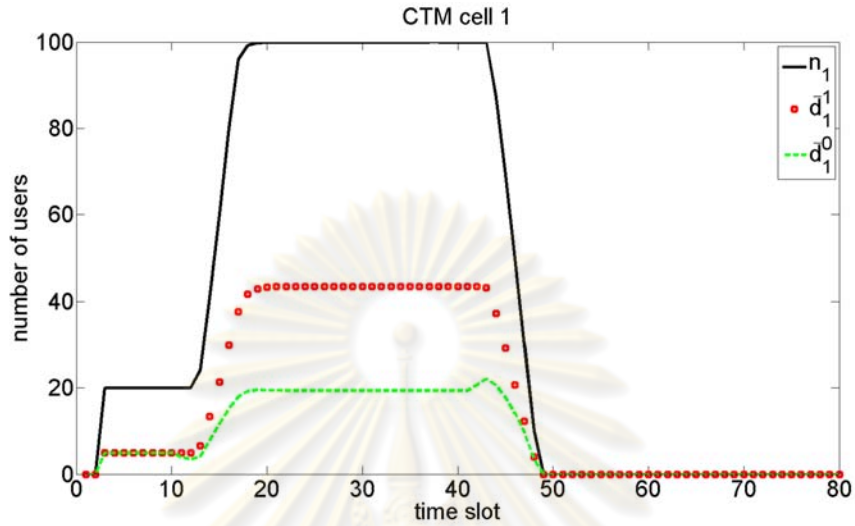
ตัวอย่างการเปลี่ยนสถานะตามเวลาของระบบ กลยุทธ์ U

กำหนดให้

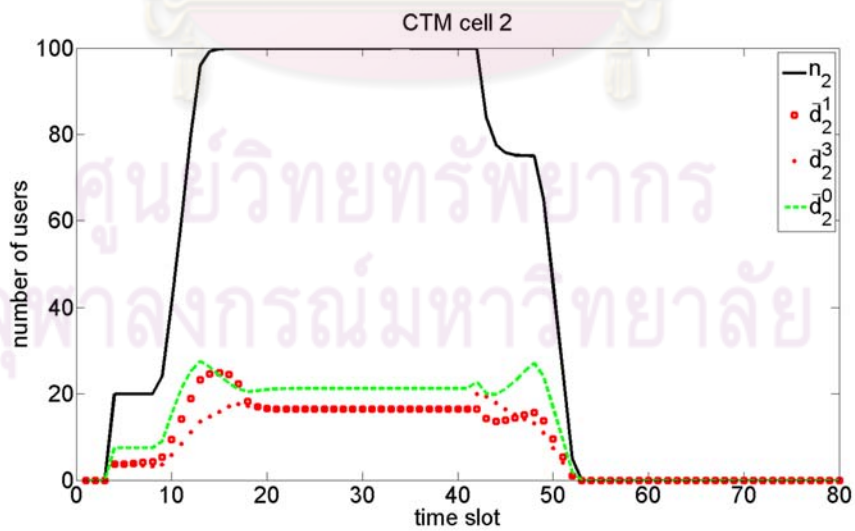
- แบนด์วิดท์สูงสุดทุกโครงข่ายเท่ากับ 60 ($B_{max}^0 = B_{max}^1 = B_{max}^5 = 60$)
- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะไม่ทำงานจะเรียกเข้าใหม่มาในระบบ P_A เป็น 0.5
- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะทำงานจะเสร็จสิ้นการติดต่อสื่อสาร P_D เป็น 0.5
- น้ำหนักในการเลือกในโครงข่ายไมโครเซลล์ (w^{μ}) เป็น 0.5

ผลการทดลองแสดงจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานภายหลังจากมีการเรียกเข้าใหม่ในระบบของเซลล์ที่ 1, 2, 3 ของ CTM ในช่วงเวลา t เป็นดังรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานภายหลังจากมีการเรียกเข้าใหม่ในระบบของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1, โครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 3 และโครงข่ายแมโครเซลล์ ในช่วงเวลา t เป็นดังรูปที่ 4.12, 4.13, 4.14 ตามลำดับ

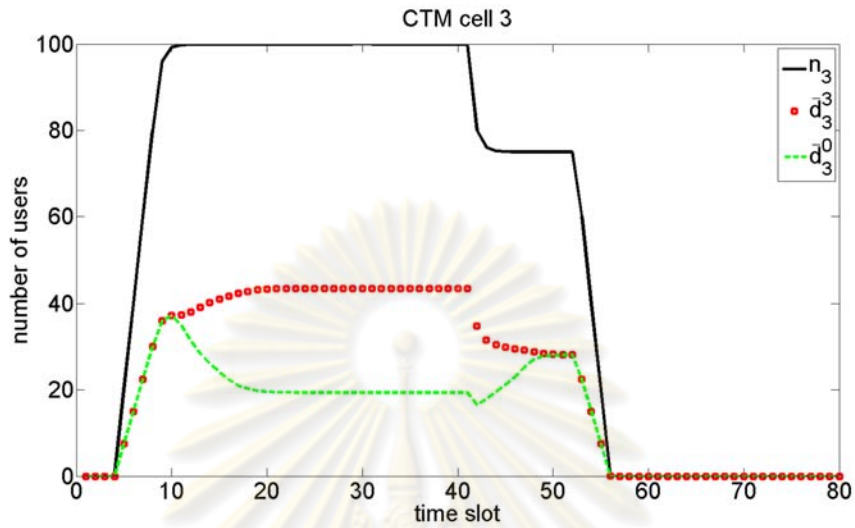
จากรูปที่ 4.9 เห็นได้ว่าจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ในช่วงเวลาเริ่มต้น ของกลยุทธ์ U แตกต่างจากรูปที่ 4.3 ของกลยุทธ์ MI โดยในกลยุทธ์ MI นั้นผู้ใช้จะมุ่งเข้าใช้ในโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อนโครงข่ายแมโครเซลล์ จึงทำให้ในช่วงเริ่มต้นไม่มีผู้ใช้ที่อยู่ในโครงข่ายแมโครเซลล์ ในขณะที่กลยุทธ์ U ซึ่งกำหนดให้น้ำหนักในการเลือกเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์เท่ากับ 0.5 ทำให้ผู้ใช้มุ่งไปที่โครงข่ายไมโครเซลล์และโครงข่ายแมโครเซลล์ในน้ำหนักที่เท่ากัน จึงทำให้ในช่วงเริ่มต้น จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในโครงข่ายไมโครเซลล์เท่ากับจำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในโครงข่ายแมโครเซลล์ อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปจะมีผู้ใช้ในระบบเพิ่มมากขึ้นจากการติดสัญญาณไฟแดง ในกลยุทธ์ MI ผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM



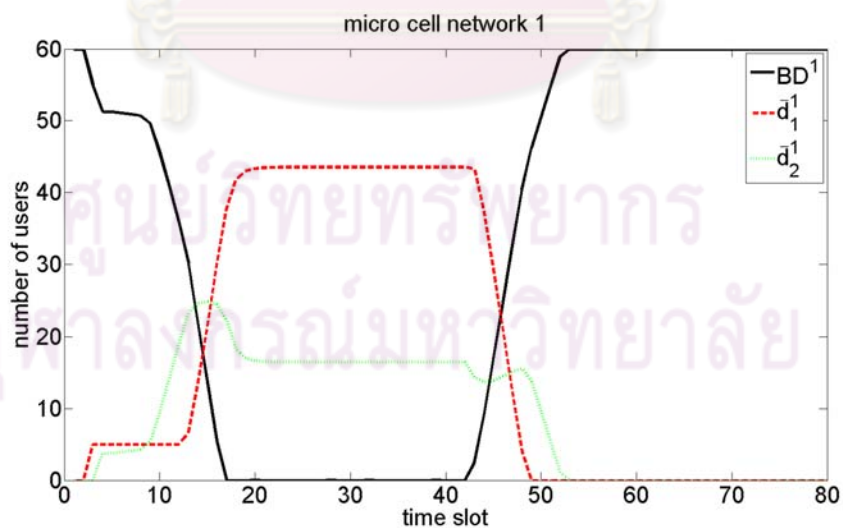
รูปที่ 4.9: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 1 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U



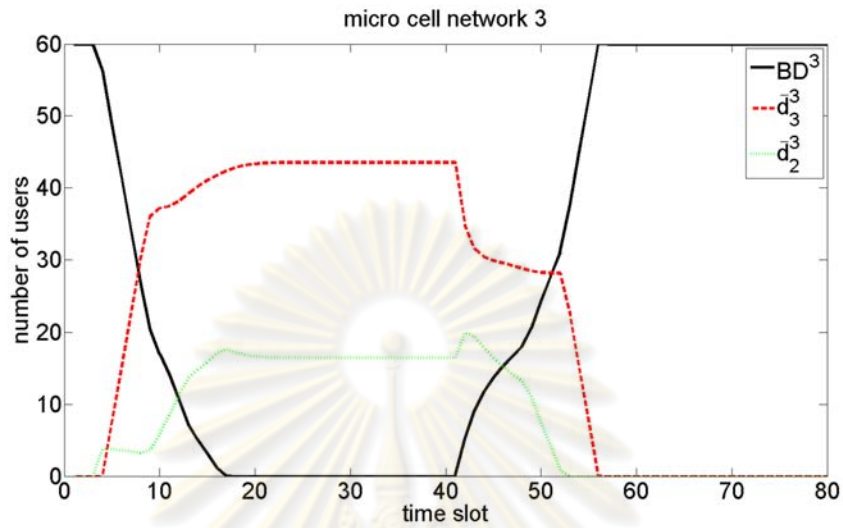
รูปที่ 4.10: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 2 ของ CTM ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U



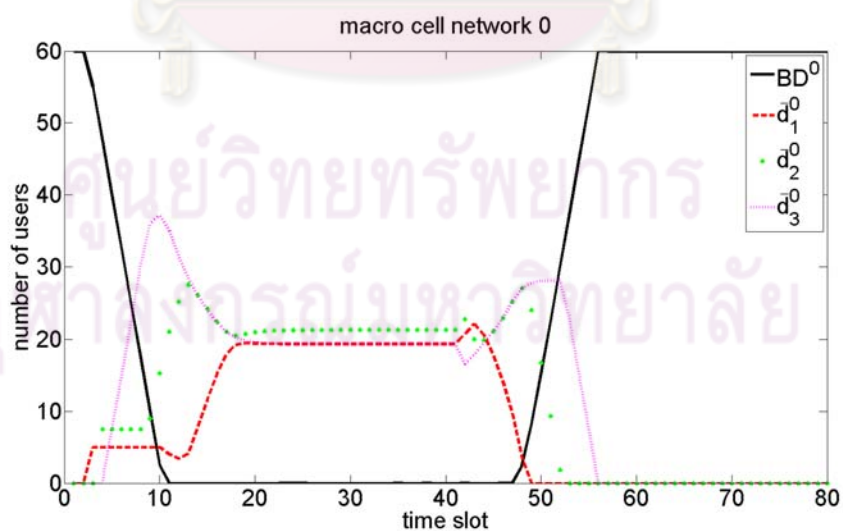
รูปที่ 4.11: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในเซลล์ที่ 3 ของ CTM ในช่องเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U



รูปที่ 4.12: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1 ในช่องเวลาต่าง ๆ ในกลยุทธ์ U



รูปที่ 4.13: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 3 ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลุยุทธ์ U



รูปที่ 4.14: จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานในโครงข่ายแมโครเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในกลุยุทธ์ U

ที่มีโครงข่ายเป็นของตนเองจึงต้องเข้าใช้ทั้งโครงข่ายไมโครเซลล์และโครงข่ายแมโครเซลล์เนื่องจากโครงข่ายไมโครเซลล์ของตนเองไม่สามารถรองรับผู้ใช้ได้ ทำให้ล้นไปเข้าใช้ที่โครงข่ายแมโครเซลล์ ส่วนในกลยุทธ์ U ผู้ใช้ต้องเข้าใช้ทั้งโครงข่ายไมโครเซลล์และโครงข่ายแมโครเซลล์ตามน้ำหนักที่กำหนด ซึ่งทั้งสองกลยุทธ์มีจำนวนผู้ใช้ที่อยู่โครงข่ายไมโครเซลล์มากกว่าโครงข่ายแมโครเซลล์ เพราะในการเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ ผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายเป็นของตนเองมีสิทธิได้เข้าใช้ก่อนผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเอง แต่ในการเข้าใช้โครงข่ายแมโครเซลล์ ผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายเป็นของตนเองมีสิทธิได้เข้าใช้เท่ากับผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเอง

ในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาที่มีผู้ใช้ในระบบจำนวนมาก ในกลยุทธ์ U ผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเองยังสามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ได้ ในขณะที่กลยุทธ์ MI จากรูปที่ 4.4 ผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเองไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ได้ เนื่องจากในกลยุทธ์ MI ผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเองซึ่งมีสิทธิได้เข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ก่อนผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเอง จะเลือกเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ก่อนตามหลักการของกลยุทธ์ MI จนทำให้โครงข่ายไมโครเซลล์ไม่มีแบนด์วิดท์เหลือสำหรับการแอตสอกเข้าใช้ของผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเอง แต่สาเหตุที่ในกลยุทธ์ U ผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเองยังสามารถเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ได้เป็นเพราะ ผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายเป็นของตนเองไม่ได้มุ่งเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ก่อนเหมือนกลยุทธ์ MI ดังรูปที่ 4.6 แต่จะเลือกเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์ด้วยน้ำหนัก 0.5 ตามที่กำหนด ดังรูปที่ 4.12 จึงทำให้โครงข่ายไมโครเซลล์มีแบนด์วิดท์เหลือสำหรับการแอตสอกเข้าใช้ของผู้ใช้ที่อยู่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเอง

4.2 ผลของการปรับค่าน้ำหนักในการตัดสินใจเลือกโครงข่ายของกลยุทธ์ U

ในการทดลองนี้จะใช้รูปแบบการเชื่อมต่อของถนนกับโครงข่ายและรูปแบบการเคลื่อนที่ดังนี้ การเชื่อมต่อประกอบไปด้วยเซลล์ของ CTM จำนวน 5 เซลล์ มีโครงข่ายแมโครเซลล์ ครอบคลุมทั้งระบบ และมีโครงข่ายไมโครเซลล์ 2 จุด อยู่ที่เซลล์ที่ 1 และ 5 ของ CTM ยานพาหนะเคลื่อนที่จากเซลล์ที่ 1 ของ CTM ไปยังเซลล์ที่ 5 ของ CTM มีลักษณะดังรูปที่ 4.15

กำหนดให้ในแต่ละเซลล์ที่ i ของ CTM โดย $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ มีพารามิเตอร์ดังนี้

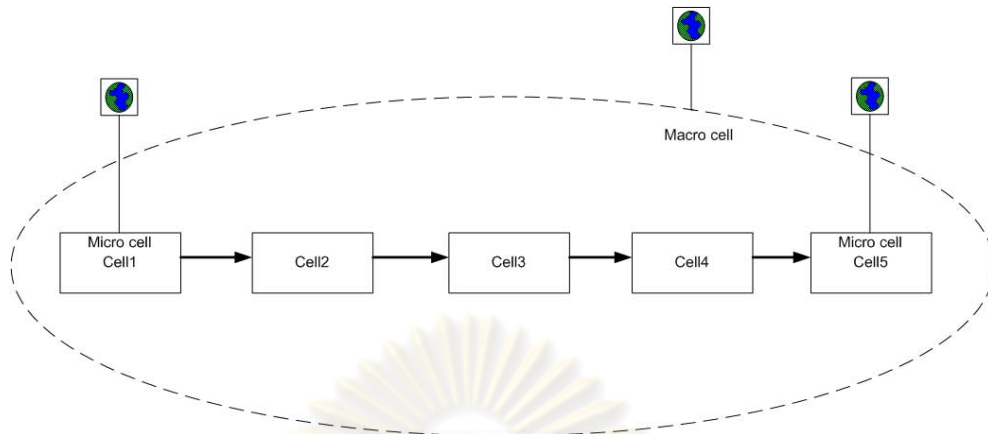
จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่เซลล์ที่ i ของ CTM สามารถรับได้ : C_i 100 คัน

จำนวนยานพาหนะสูงสุดที่สามารถส่งผ่านเข้าสู่เซลล์ที่ i ของ CTM : q_i 20 คัน/ช่องเวลา

ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของยานพาหนะของเซลล์ที่ i ของ CTM : δ_i 0.8

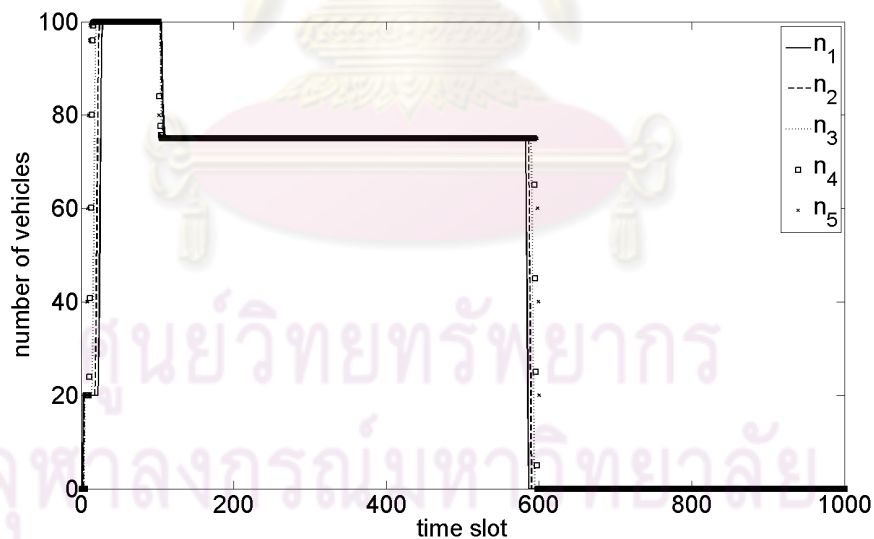
กำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ดังนี้ (ยานพาหนะ 1 คัน คือ ผู้ใช้บริการ 1 คน)

- จำนวนผู้ให้บริการที่เข้ามาในระบบทั้งหมด 10,000 คน ในช่วง 1,000 ช่องเวลา
- ในสถานะเริ่มต้น ไม่มีผู้ให้บริการอยู่ในระบบ
- ผู้ใช้บริการเข้ามาในระบบ(เข้ามาในเซลล์ที่ 1 ของ CTM) ตั้งแต่ช่องเวลาที่ 1 จนกระทั่งหมด 10,000 คน



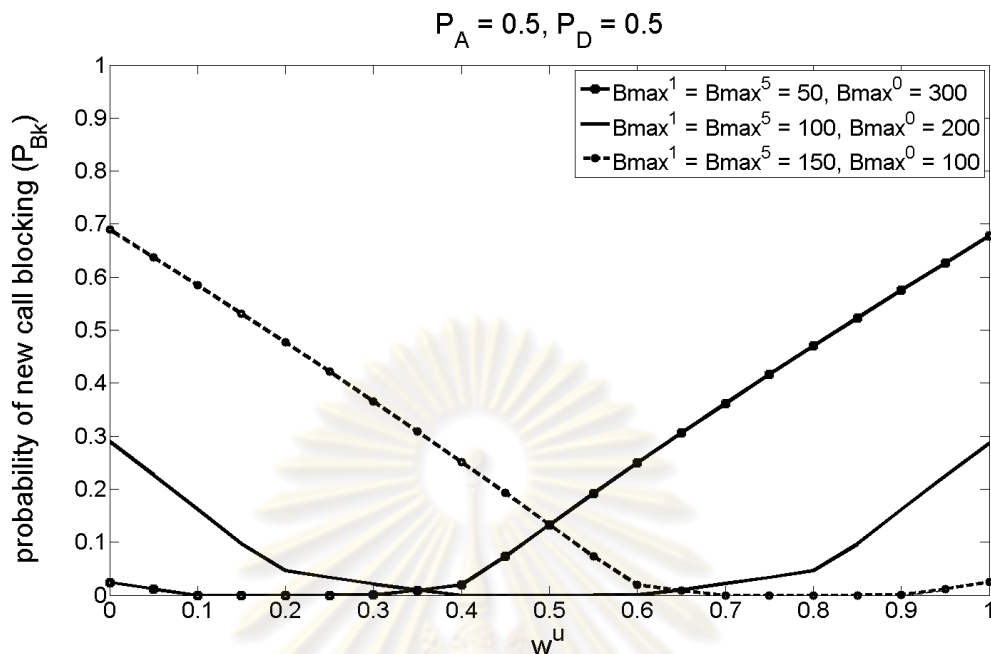
รูปที่ 4.15: รูปแบบการเชื่อมต่อของเซลล์ของ CTM จำนวน 5 เซลล์กับโครงข่าย

- ในช่วงเวลา ที่ 1-100 ไม่มีผู้ให้บริการออกจากระบบ(ออกไปในเซลล์ที่ 5 ของ CTM) เทียบเท่ากับสัญญาณไฟจราจรสีแดง
 - ในช่วงเวลา ที่ 101-1,000 ผู้ให้บริการออกจากระบบ เทียบเท่ากับสัญญาณไฟจราจรสีเขียว
- จำนวนผู้ให้บริการในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16: จำนวนผู้ให้บริการในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ

ค่า w^M และ w^μ เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้เฉพาะในกลยุทธ์ U (user preference) ซึ่งเป็นน้ำหนักในการตัดสินใจเลือกระหว่างโครงข่ายแมโครเซลล์ กับ โครงข่ายไมโครเซลล์ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายแมโครเซลล์กับโครงข่ายไมโครเซลล์ ดังนั้น การทดลองนี้จึงมุ่งพิจารณาค่า w^M และ w^μ ที่ทำให้สมรรถนะของกลยุทธ์มีค่าสูงสุดในแต่ละสถานการณ์ที่มีค่าแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายแตกต่างกันไป



รูปที่ 4.17: ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในแต่ละค่า w^u ของกลยุทธ์ U

ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี โดยค่าแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายแม่โครเซลล์ (B_{max}^0) กับ โครงข่ายไมโครเซลล์ (B_{max}^1 และ B_{max}^5) จะเปลี่ยนแปลงตาม อัตราส่วนระหว่างผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ ต่อ ผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายทุกโครงข่าย ดังนี้

1. กรณีอัตราส่วน 0.25 โดย $B_{max}^1, B_{max}^5 = 50$ และ $B_{max}^0 = 300$
2. กรณีอัตราส่วน 0.5 โดย $B_{max}^1, B_{max}^5 = 100$ และ $B_{max}^0 = 200$
3. กรณีอัตราส่วน 0.75 โดย $B_{max}^1, B_{max}^5 = 150$ และ $B_{max}^0 = 100$

กำหนดให้

- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะไม่ทำงานจะเรียกเข้าใหม่มาในระบบ P_A เป็น 0.5
- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะทำงานจะเสร็จสิ้นการติดต่อสื่อสาร P_D เป็น 0.5
- กลยุทธ์ที่พิจารณาคือ กลยุทธ์ U

ผลการทดลองเป็นดังนี้

รูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักในการเลือกในโครงข่ายไมโครเซลล์ (w^u) ที่ทำให้สมรรถนะของระบบสูงสุด ในที่นี้คือความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ (เนื่องจากความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในการทดลองนี้เป็นศูนย์ทุกค่า w^u) มีค่าต่ำสุด ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ต่อผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายทุกโครงข่าย เช่น กรณีอัตราส่วนเป็น 0.5 หากใช้ค่า w^u ต่ำกว่า 0.5 หมายความว่าผู้ใช้เลือกใช้โครงข่าย

แมโครเซลล์ มากกว่าโครงข่ายไมโครเซลล์ ผู้ใช้ที่เลือกโครงข่ายไมโครเซลล์จะมีโอกาสถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่จากระบบสูงขึ้น เพราะไม่สอดคล้องกับสภาพที่มีแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายแมโครเซลล์และโครงข่ายไมโครเซลล์เท่ากัน ในขณะที่เดียวกันหากใช้ค่า w^μ สูงกว่า 0.5 หมายความว่า ผู้ใช้เลือกใช้โครงข่ายไมโครเซลล์มากกว่าโครงข่ายไมโครเซลล์ ผู้ใช้ที่เลือกโครงข่ายไมโครเซลล์จะมีโอกาสถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่จากระบบสูงขึ้น เพราะไม่สอดคล้องกับสภาพที่มีแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายแมโครเซลล์และโครงข่ายไมโครเซลล์เท่ากัน ดังนั้นค่า w^μ ที่ทำให้ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ต่ำสุดจึงควรเท่ากับ 0.5

กรณีอัตราส่วนระหว่างผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ต่อผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายทุกโครงข่ายเป็น 0.25 หมายความว่า โครงข่ายไมโครเซลล์มีแบนด์วิดท์น้อยกว่าโครงข่ายแมโครเซลล์ ผู้ใช้จึงควรเลือกโครงข่ายแมโครเซลล์มากกว่าโครงข่ายไมโครเซลล์นั่นคือค่า w^μ ควรต่ำกว่า 0.5 ถึงจะทำให้ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ต่ำสุด

กรณีอัตราส่วนระหว่างผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ต่อผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายทุกโครงข่ายเป็น 0.75 หมายความว่า โครงข่ายไมโครเซลล์มีแบนด์วิดท์มากกว่าโครงข่ายแมโครเซลล์ ผู้ใช้จึงควรเลือกโครงข่ายไมโครเซลล์มากกว่าโครงข่ายแมโครเซลล์นั่นคือค่า w^μ ควรสูงกว่า 0.5 ถึงจะทำให้ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ต่ำสุด

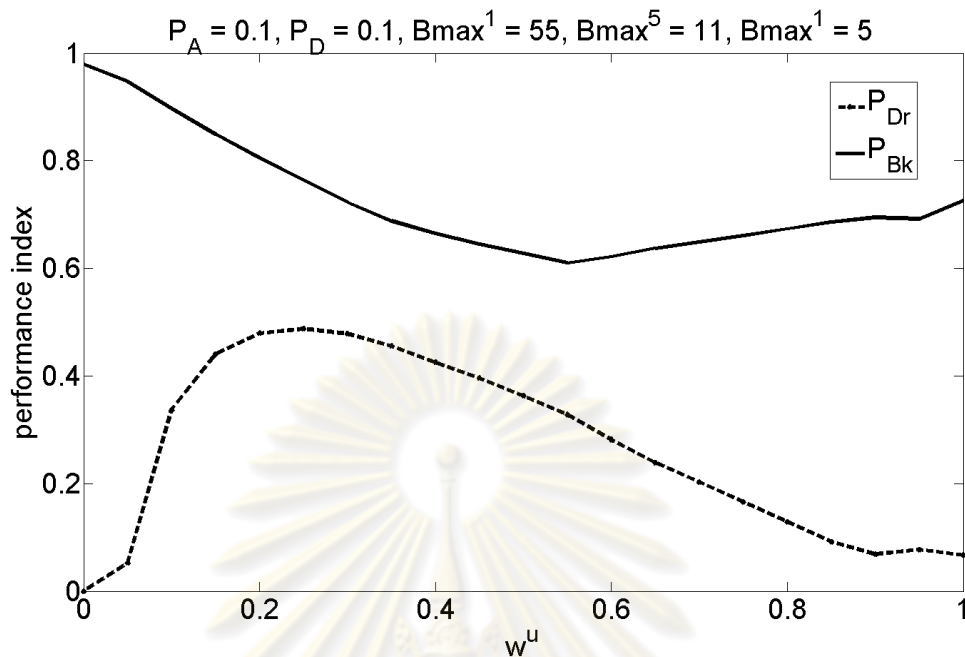
อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้อยู่บนเงื่อนไขว่าแบนด์วิดท์ของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหลังเท่ากับโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้า ($B_{max}^1 = B_{max}^5$) ซึ่งทำให้สมรรถนะของกลยุทธ์สามารถหาค่าได้เพียงประเภทเดียวคือ ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ ในขณะที่ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากเป็นศูนย์ทุกกรณี จึงทำการทดลองที่กำหนดเงื่อนไขให้แบนด์วิดท์ของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหลังมากกว่าโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้า ($B_{max}^1 > B_{max}^5$) เพื่อให้สามารถเห็นผลของสมรรถนะของกลยุทธ์ทั้งสองประเภทคือ ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่และความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟ

กำหนดให้

- $B_{max}^1 = 55$, $B_{max}^5 = 11$ และ $B_{max}^0 = 5$
- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะไม่ทำงานจะเรียกเข้าใหม่มาในระบบ P_A เป็น 0.1
- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะทำงานจะเสร็จสิ้นการติดต่อสื่อสาร P_D เป็น 0.1
- กลยุทธ์ที่พิจารณาคือ กลยุทธ์ U

ผลการทดลองเป็นดังนี้

รูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่า น้ำหนักในการเลือกในโครงข่ายไมโครเซลล์ (w^μ) ที่ทำให้ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่มีค่าต่ำที่สุด ไม่ได้เป็นจุดเดียวกับน้ำหนักที่ทำให้ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟมีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้ น้ำหนักที่ทำให้ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่มีค่าต่ำที่สุดก็ไม่ได้สอดคล้องกับ อัตราส่วนระหว่างผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ต่อผลรวมแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายทุกโครงข่าย ตามผลการทดลองในเงื่อนไขว่าแบนด์วิดท์ของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหลังเท่ากับโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้า



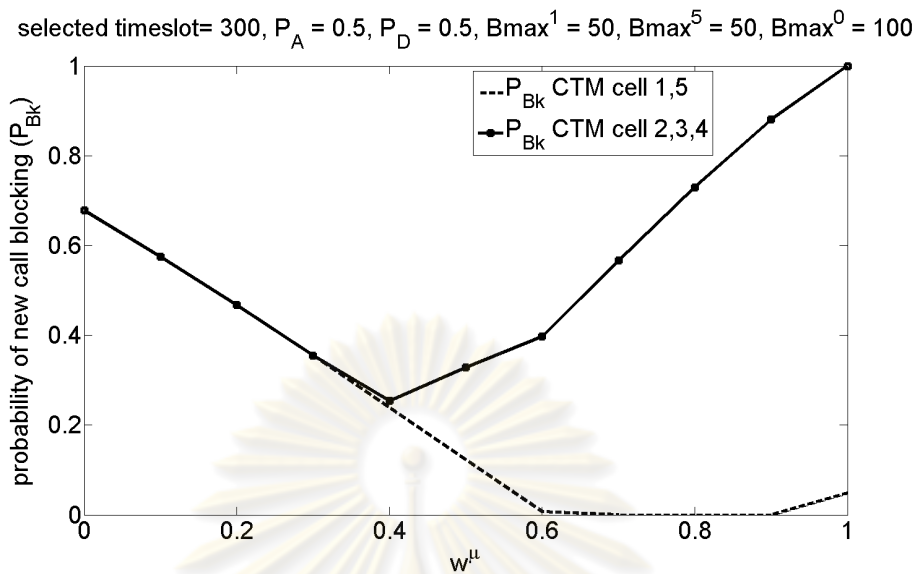
รูปที่ 4.18: สมรรถนะของระบบในแต่ละค่า w^u ของกลยุทธ์ U

ดังนั้นสำหรับกลยุทธ์ U การปรับค่าน้ำหนักในการเลือกในโครงข่ายให้เหมาะสมที่สุด จำเป็นต้องพิจารณาทั้งความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟและความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ และเงื่อนไขอื่นๆ เช่น แบนด์วิดท์ของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหลังเท่ากับโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้าหรือไม่ ซึ่งการศึกษาเรื่องการปรับค่าน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับกลยุทธ์ U สามารถเป็นประเด็นศึกษาต่อของงานวิจัยในอนาคตได้

4.3 การพิจารณาสมรรถนะในแต่ละเซลล์ของ CTM ในกลยุทธ์ MI และกลยุทธ์ U

การทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา เป็นการพิจารณาผลของสมรรถนะโดยรวมทุกเซลล์ของ CTM ตลอดช่วงเวลา ในการทดลองนี้จะพิจารณาเจาะจงขึ้นคือจะพิจารณาแยกในแต่ละเซลล์ของ CTM และพิจารณาเฉพาะจุดของช่องเวลาที่สนใจ โดยกำหนดให้

- กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อของเซลล์กับโครงข่ายดังรูปที่ 4.15
- กำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะดังรูปที่ 4.16
- แบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายแมโครเซลล์ B_{max}^0 เป็น 100
- แบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหลัง B_{max}^1 และแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้า B_{max}^5 เท่ากับ 50 ($B_{max}^1 = B_{max}^5 = 50$)
- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะไม่ทำงานจะเรียกเข้าใหม่มาในระบบ P_A เป็น 0.5



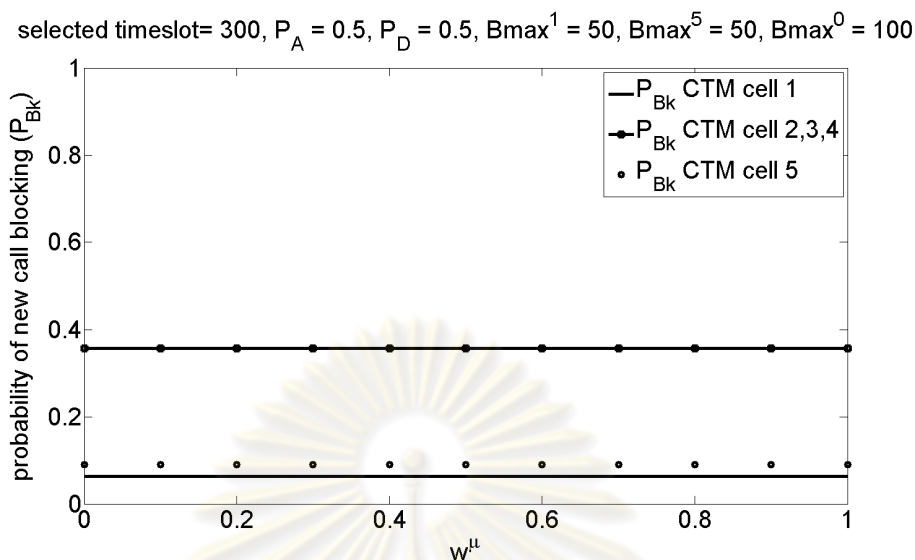
รูปที่ 4.19: ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในแต่ละค่า w^μ ในช่วงเวลาที่ 300 ของกลยุทธ์ U

- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะทำงานจะเสร็จสิ้นการติดต่อสื่อสาร P_D เป็น 0.5
- ช่วงเวลาที่พิจารณา คือ ช่วงเวลาที่ 300 ซึ่งเป็นจุดที่เป็นสัญญาณไฟจราจรสีเขียว ยานพาหนะกำลังเคลื่อนที่ผ่านระบบในสภาวะสมดุล
- กลยุทธ์ที่พิจารณาคือ กลยุทธ์ U และกลยุทธ์ MI

เมื่อทดลองที่น้ำหนักในการตัดสินใจเลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ w^μ ต่าง ๆ ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 สำหรับกลยุทธ์ U และ MI ตามลำดับดังนี้

จากรูปที่ 4.19 เมื่อพิจารณากลยุทธ์ U แสดงให้เห็นว่า ที่ค่า $w^\mu = 0$ ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ของ CTM ทุกเซลล์จะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากน้ำหนักที่กำหนดทำให้ผู้ใช้ต้องตัดสินใจเลือกโครงข่ายไมโครเซลล์เพียงประเภทเดียว ซึ่งโครงข่ายไมโครเซลล์มีสิทธิการเข้าใช้เท่ากันทั้งกรณีเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง (เซลล์ที่ 1,5) และเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายเป็นของตนเอง (เซลล์ที่ 2,3,4) อย่างไรก็ตามโครงข่ายไมโครเซลล์ไม่สามารถรองรับการเข้าใช้ได้ทั้งหมด ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่จึงมีค่าสูง

เมื่อเพิ่มค่า w^μ ให้มากขึ้น การเข้าใช้จากเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองจะเริ่มเลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ซึ่งที่ค่า w^μ ช่วง 0-0.3 โครงข่ายไมโครเซลล์ยังสามารถรองรับการเข้าใช้ได้ทุกเซลล์ของ CTM การปฏิเสธที่เกิดขึ้นจึงมาจากเฉพาะโครงข่ายไมโครเซลล์เท่านั้น ทำให้ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ของ CTM ทุกเซลล์จะมีค่าเท่ากัน ที่ค่า w^μ ตั้งแต่ 0.3 น้ำหนักการเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์เพิ่มมากขึ้นจนทำให้โครงข่ายไมโครเซลล์ไม่สามารถรองรับการเข้าใช้ได้ทุกเซลล์ของ CTM จึงต้องให้สิทธิผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองเข้าใช้ก่อนผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง ส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองมีค่าต่ำกว่าเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง



รูปที่ 4.20: ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในแต่ละค่า w^μ ในช่วงเวลาที่ 300 ของกลยุทธิ์ MI

ที่ค่า w^μ ในช่วง 0.9-1 ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองจะเริ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำหนักที่กำหนดทำให้การเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์มีมากขึ้นจนโครงข่ายไมโครเซลล์ไม่สามารถรองรับได้ ในขณะที่ $w^\mu = 1$ ความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองจะเป็น 1 เนื่องจากถูกกำหนดน้ำหนักให้ต้องเข้าใช้เฉพาะโครงข่ายไมโครเซลล์และมีสิทธิการเข้าใช้หลังเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองที่ใช้โครงข่ายไมโครเซลล์จนเต็มแล้ว

จากรูปที่ 4.20 เมื่อพิจารณาจากกลยุทธิ์ MI แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่มีค่าคงที่ เนื่องจากกลยุทธิ์ MI ไม่ได้พิจารณาพารามิเตอร์ w^μ สาเหตุที่เซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองมีความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่สูงกว่าเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง เพราะแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่กำหนดไม่สามารถรองรับการเข้าใช้ได้ทุกเซลล์ของ CTM จึงต้องให้สิทธิผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองเข้าใช้ก่อนผู้ใช้ในเซลล์ของ CTM ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง

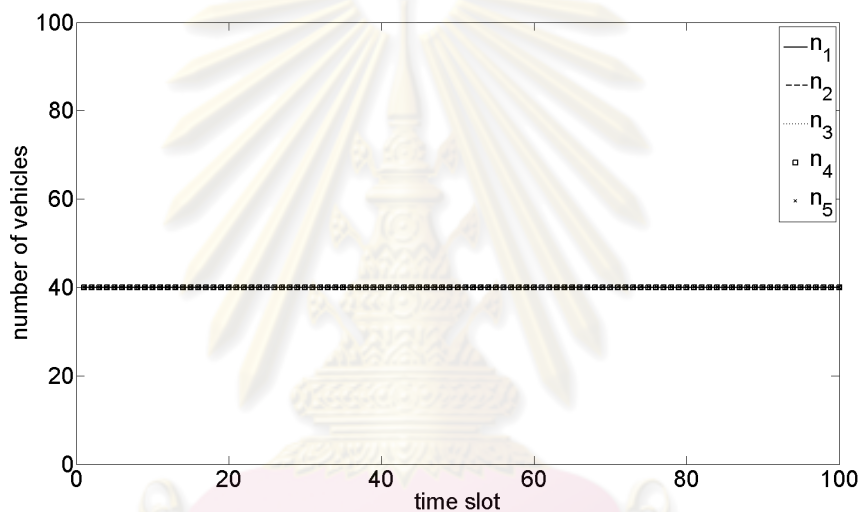
เมื่อพิจารณาเฉพาะเซลล์ของ CTM ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเอง พบว่าเซลล์ที่ 1 ของ CTM มีความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ต่ำกว่าเซลล์ที่ 5 ของ CTM เพราะเซลล์ที่ 1 ของ CTM มีจำนวนผู้พยายามเรียกแฮนด์ออฟเข้าโครงข่ายน้อยกว่าเซลล์ที่ 5 ของ CTM โดยเซลล์ที่ 1 ของ CTM จะยังไม่มีกรพยายามแฮนด์ออฟเข้าเกิดขึ้นเนื่องจากเป็นเซลล์ของ CTM แรกที่ผู้ใช้มาถึง ในขณะที่เซลล์ที่ 5 ของ CTM จะมีการพยายามแฮนด์ออฟเข้าทั้งจากโครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 1, โครงข่ายไมโครเซลล์ที่ 5 และโครงข่ายแมโครเซลล์

จากการทดลองนี้ เห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาแยกในแต่ละเซลล์ของ CTM จะพบว่ากลยุทธิ์ U มีช่วงของ w^μ ที่ทำให้สมรรถนะของทุกเซลล์ของ CTM ซึ่งในที่นี้คือความน่าจะเป็นในการถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่เท่ากันทุกเซลล์ ในขณะที่เดียวกันก็มีช่วงของ w^μ ที่ทำให้สมรรถนะในเซลล์ของ CTM แต่ละประเภทคือเซลล์ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองกับไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของ

ตนเองแตกต่างกันมาก ในขณะที่กลยุทธ์ MI ซึ่งไม่สามารถปรับค่า w^μ ได้มีสมรรถนะในเซลล์ของ CTM แต่ละประเภทแตกต่างกัน ทำให้เห็นความยืดหยุ่นของกลยุทธ์ U ที่สามารถปรับให้สมรรถนะในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ให้เหมือนหรือแตกต่างกัน

4.4 การพิจารณาสมรรถนะของระบบที่สภาพการจราจรต่างๆ

ในการทดลองนี้จะพิจารณาผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพจราจรของผู้ใช้ในแบบจำลองมหภาค CTM โดยลักษณะการจราจรที่กำหนดจะมีจำนวนยานพาหนะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time invariant) และจำนวนยานพาหนะเท่ากันในทุกเซลล์ของ CTM (homogeneous traffic) ดังในรูปที่ 4.21 ที่กำหนดให้มีจำนวนยานพาหนะคงที่ที่ $n = 40$



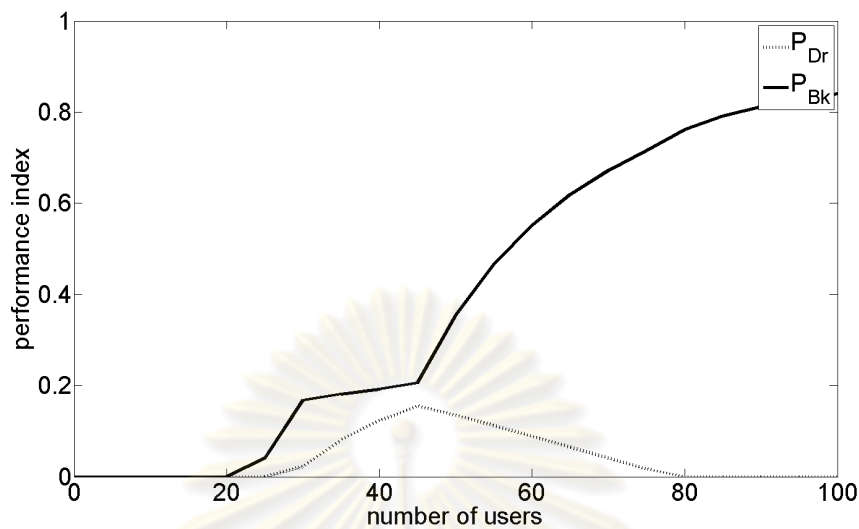
รูปที่ 4.21: จำนวนผู้ใช้บริการในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ

สามารถกำหนดให้จำนวนผู้ใช้บริการในเซลล์ของ CTM แต่ละเซลล์ ในช่วงเวลาต่าง ๆ ให้เป็นดังรูปที่ 4.21 ด้วยรูปแบบการเคลื่อนที่ดังนี้

- พิจารณาในช่วง 100 ช่องเวลา
- ในสถานะเริ่มต้น มีผู้ใช้บริการอยู่ในระบบเป็นจำนวน n คน
- ผู้ใช้บริการเข้ามาในระบบ(เข้ามาในเซลล์ที่ 1 ของ CTM) ตั้งแต่ช่องเวลาที่ 1 จนหมด 100 ช่องเวลา
- ในช่องเวลาที่ 1-100 ผู้ใช้บริการออกจากระบบ(ออกจากเซลล์ที่ 5 ของ CTM) เทียบเท่ากับสัญญาณไฟจราจรสีเขียว

กำหนดให้

- แบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายแมโครเซลล์ B_{max}^0 เป็น 5

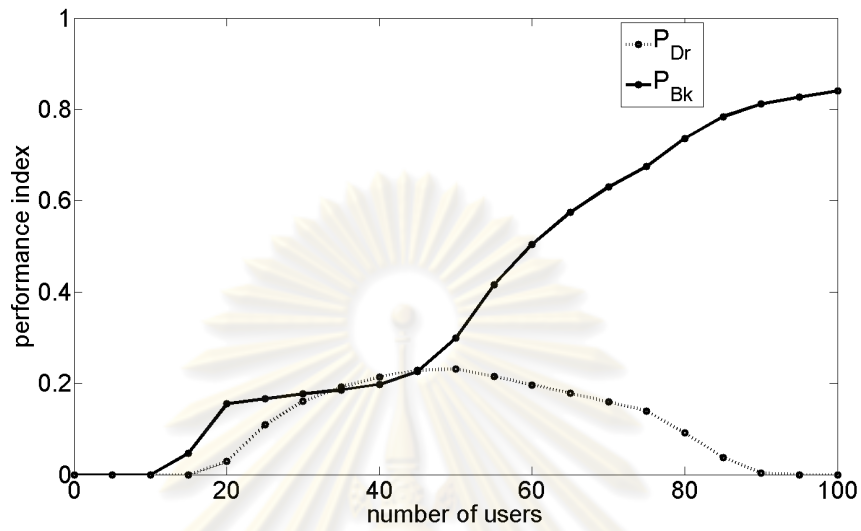


รูปที่ 4.22: สมรรถนะของระบบที่จำนวนยานพาหนะในระบบต่าง ๆ ของกลยุทธ์ MI

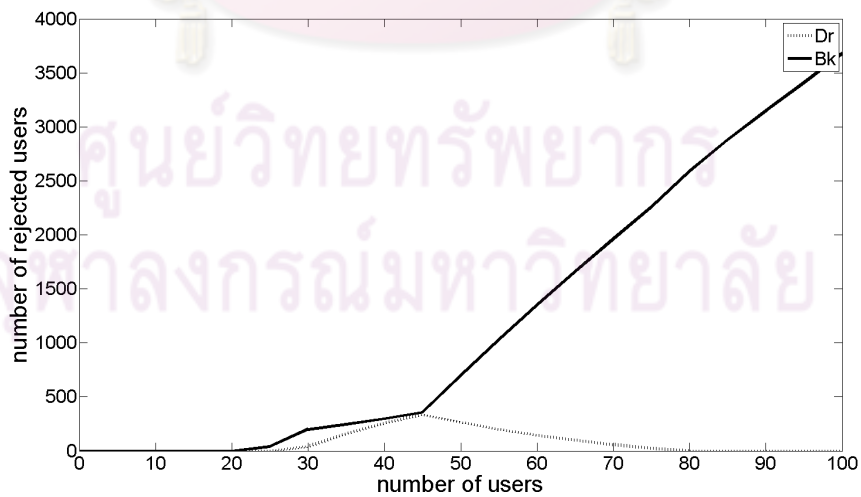
- แบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหลัง B_{max}^1 เป็น 55 แบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้า B_{max}^5 เป็น 5
- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะไม่ทำงานจะเรียกเข้าใหม่มาในระบบ P_A เป็น 0.1
- ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในสถานะทำงานจะเสร็จสิ้นการติดต่อสื่อสาร P_D เป็น 0.1
- กลยุทธ์ที่พิจารณา คือ กลยุทธ์ MI และกลยุทธ์ U ที่มีน้ำหนักในการเลือกในโครงข่ายไมโครเซลล์ (w^u) เป็น 0.923 ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายไมโครเซลล์รวมทั้งสองโครงข่ายกับแบนด์วิดท์สูงสุดของโครงข่ายทั้งหมด

เมื่อทดลองกับสภาพจราจรที่แตกต่างกัน กำหนดจากจำนวนยานพาหนะที่คงที่ n สมรรถนะของกลยุทธ์ MI และ กลยุทธ์ U เป็นดังรูปที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธของกลยุทธ์ MI และ กลยุทธ์ U เป็นดังรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ จำนวนผู้ใช้ที่พยายามติดต่อกับโครงข่ายของกลยุทธ์ MI และ กลยุทธ์ U เป็นดังรูปที่ 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ

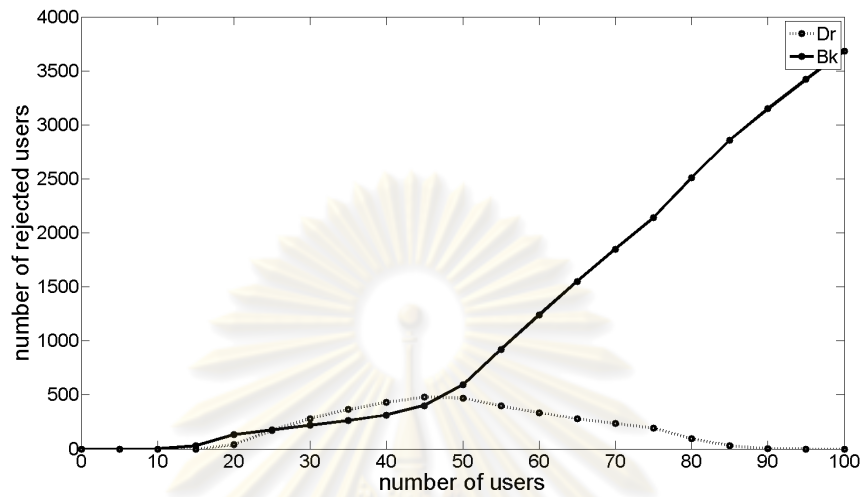
จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นในการปฏิเสธ การเรียกเข้าใหม่ และความน่าจะเป็นในการปฏิเสธ การเรียก แอนด์ออฟ มีความสัมพันธ์ กับจำนวนและอัตรา การไหลยานพาหนะในระบบ โดยที่จำนวนยานพาหนะมีน้อย ๆ ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่และการแอนด์ออฟจะมีค่าน้อย เนื่องจากจำนวนผู้ใช้และอัตราการไหลของผู้ใช้มีค่าน้อยตามลำดับ เมื่อจำนวนยานพาหนะเพิ่มขึ้น ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่และการแอนด์ออฟจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้และอัตราการไหลของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่จำนวนยานพาหนะในระบบเริ่มมีจำนวนมากพอที่จะทำให้เกิดการติดขัดของจราจร ส่งผลให้อัตราการไหลของยานพาหนะมีค่าน้อยลงเมื่อจำนวนยานพาหนะเพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ใช้จะสามารถแอนด์ออฟได้มากขึ้น จึงทำให้ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการแอนด์ออฟจะมีค่าน้อย ในขณะที่เดียวกันผู้ใช้ที่ต้องการเรียกเข้าใหม่ซึ่งมีสิทธิในการใช้โครงข่ายที่หลังผู้ที่ต้องการแอนด์ออฟ จะถูกปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่มากขึ้นเนื่องจากแบนด์วิดท์ของโครงข่ายถูกใช้งานโดยผู้ใช้ที่แอนด์ออฟไปแล้ว



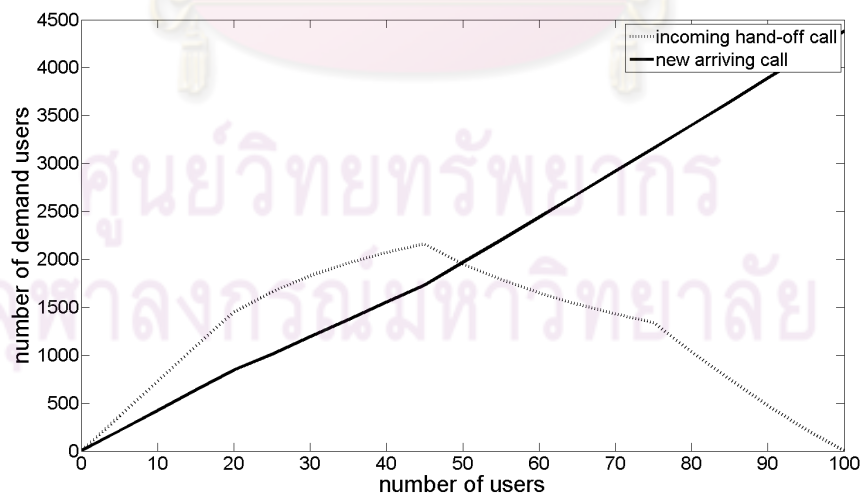
รูปที่ 4.23: สมรรถนะของระบบที่จำนวนยานพาหนะในระบบต่าง ๆ ของกลยุทธ์ U



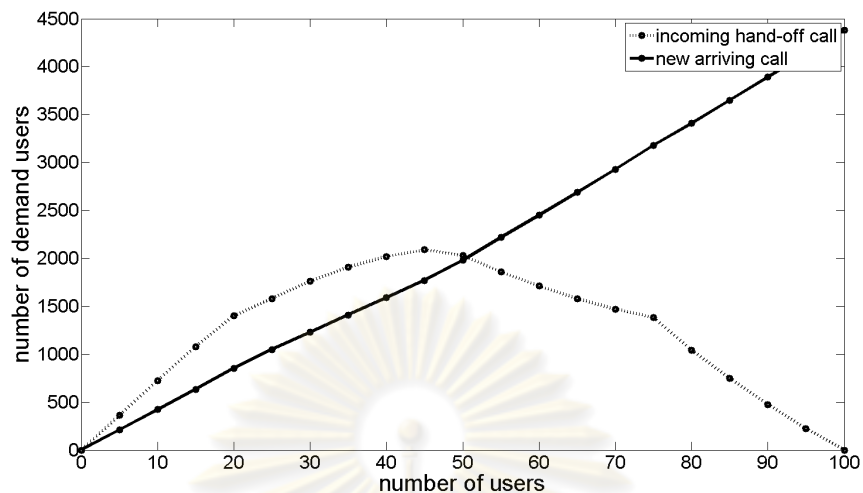
รูปที่ 4.24: จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธที่จำนวนยานพาหนะในระบบต่าง ๆ ของกลยุทธ์ MI



รูปที่ 4.25: จำนวนผู้ใช้ที่ถูกปฏิเสธที่จำนวนยานพาหนะในระบบต่าง ๆ ของกลยุทธ์ U



รูปที่ 4.26: จำนวนผู้ใช้ที่พยายามติดต่อกับโครงข่ายที่จำนวนยานพาหนะในระบบต่าง ๆ ของกลยุทธ์ MI



รูปที่ 4.27: จำนวน ผู้ใช้ ที่ พยายาม ติดต่อกับ โครงข่าย ที่ จำนวน ยานพาหนะ ใน ระบบ ต่าง ๆ ของกลุ่ม U

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ที่สภาพการจราจรแตกต่างกัน ส่งผลให้การเคลื่อนที่หรืออัตราการไหลของผู้ใช้มีการเปลี่ยนแปลง และยังส่งผลในเรื่องปริมาณของผู้ใช้ในระบบด้วย สิ่งเหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของการตัดสินใจเลือกโครงข่ายในกลุ่มต่าง ๆ

4.5 สรุป

จากผลการทดลองทั้งหมด เห็นได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินสมรรถนะกลุ่มผู้ใช้ การเลือกโครงข่ายไร้สาย แบบวิธี พันธุ์ ที่ เสนอ สามารถช่วย ในการ ทำความ เข้าใจ กับ สภาพ การเปลี่ยนแปลงของการเข้าใช้โครงข่าย นอกจากนี้เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เสนอนี้อยู่บนพื้นฐานของแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค จึงทำให้สามารถคำนวณผลค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จึงมีประโยชน์กับงานวิจัยที่ต้องการควบคุมการเลือกใช้โครงข่ายด้วยระเบียบวิธีที่ปรับตัวได้ ซึ่งสามารถตอบสนองกับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ศึกษาระบบการตัดสินใจเลือกโครงข่ายและแฮนด์ออฟของโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์ ซึ่งประกอบไปด้วยโครงข่ายสองชนิดคือ แบบครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็กหรือโครงข่ายไมโครเซลล์ และแบบครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่หรือโครงข่ายแมโครเซลล์ โดยผู้ใช้อยู่บนถนนที่มีการเชื่อมต่อแบบตามลำดับในทิศทางเดียว

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการนำแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้แบบมหภาค CTM ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนผู้ใช้นบนถนนในช่วงเวลาใด ๆ ได้และมีการเปรียบเทียบความถูกต้องกับข้อมูลจริง [13, 14] มาพัฒนาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ประเมินสมรรถนะของระบบการตัดสินใจเลือกโครงข่ายเพื่อการเรียกเข้าใหม่และการเรียกแฮนด์ออฟของโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประเมินสมรรถนะของกลยุทธ์การเลือกโครงข่ายไร้สายแบบวิวิธพันธุ์โดยศึกษากลยุทธ์สองกลยุทธ์คือกลยุทธ์เลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน ที่ผู้ใช้ต้องเลือกติดต่อโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อนเมื่อไม่สามารถเข้าใช้ได้จึงจะเลือกติดต่อโครงข่ายแมโครเซลล์ และกลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเองที่การเลือกติดต่อกับโครงข่ายไมโครเซลล์หรือแมโครเซลล์ขึ้นอยู่กับน้ำหนักการเลือกเข้าใช้โครงข่ายที่ผู้ใช้กำหนดเอง โดยผู้ใช้ที่อยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองจะมีสิทธิการแอตฮอกเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์หลังจากที่ผู้ใช้ที่อยู่ในพื้นที่ที่มีโครงข่ายไมโครเซลล์เป็นของตนเองเข้าใช้โครงข่ายไมโครเซลล์แล้ว ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่ากลยุทธ์การตัดสินใจเลือกโครงข่ายแบบเลือกโครงข่ายไมโครเซลล์ก่อน ไม่จำเป็นต้องดีกว่ากลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเองทุกกรณีเสมอไป ขึ้นอยู่กับโครงข่ายมีแบนด์วิดท์ของไมโครเซลล์ที่อยู่ข้างหน้ากับที่อยู่ข้างหลังเท่ากันหรือไม่ และขึ้นอยู่กับการปรับน้ำหนักการเลือกใช้โครงข่ายในกลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเองด้วย ว่าปรับน้ำหนักการเข้าใช้โครงข่ายเหมาะสมกับจำนวนแบนด์วิดท์สูงสุดของแต่ละโครงข่ายหรือไม่ นอกจากนี้จากการปรับน้ำหนักเพื่อให้ได้สมรรถนะของการเลือกโครงข่ายที่ดีที่สุดพบว่า ค่าน้ำหนักที่ทำให้ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ต่ำที่สุด ไม่จำเป็นต้องเท่ากับน้ำหนักที่ทำให้ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการแฮนด์ออฟต่ำที่สุด ประเด็นเรื่องการปรับน้ำหนักเพื่อให้ได้สมรรถนะของตัวชี้วัดทั้งสองที่เหมาะสมที่สุดสามารถเป็นงานวิจัยต่อยอดจากวิทยานิพนธ์นี้ได้

ในการศึกษาสมรรถนะการเลือกโครงข่ายด้วยแบบจำลองที่นำเสนอที่สภาพจราจรต่างๆ พบว่าความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่ขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้ในระบบ โดยเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้นความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่จะเพิ่มขึ้นตาม ในขณะที่ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของผู้ใช้ในระบบ โดยเมื่ออัตราการไหลของผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้นความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟจะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งอัตราการไหลของผู้ใช้จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นในสภาพจราจรที่มีความหนาแน่นของผู้ใช้น้อย และอัตราการไหลจะลดลงเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นในสภาพจราจรที่มีความหนาแน่นของผู้ใช้สูง

จากการประเมินสมรรถนะ ได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อตัวชี้วัดทั้ง 2 ตัวคือความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่และความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟ

ซึ่งปัจจัยที่วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาในเบื้องต้น ได้แก่ การปรับค่าน้ำหนักในการตัดสินใจเลือกโครงข่ายของกลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเอง ตำแหน่งเซลล์ของ CTM ที่ผู้ใช้อยู่ สภาพการจราจรที่แตกต่างกัน ซึ่งงานวิจัยในอนาคตสามารถศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบเหล่านี้ได้อย่างละเอียด ด้วยแบบจำลองที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่ควรศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคตคือ

1. การประยุกต์ใช้ค่าน้ำหนักการเข้าใช้โครงข่ายต่าง ๆ ในกลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเอง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ค่าน้ำหนักการเข้าใช้โครงข่ายต่าง ๆ ในกลยุทธ์ผู้ใช้กำหนดเองเป็นค่าคงที่ ไม่ขึ้นกับเวลาและตำแหน่ง อย่างไรก็ตามก็พิจารณาการประยุกต์แบบจำลองเพื่อใช้ประเมินสมรรถนะในกลยุทธ์อื่นเพิ่มเติม สามารถแก้ไขได้โดยปรับค่าน้ำหนักการเข้าใช้โครงข่ายต่าง ๆ ให้เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับพารามิเตอร์อื่นซึ่งจะทำให้การประเมินสมรรถนะมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น

2. การเพิ่มวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟและการเรียกเข้าใหม่

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้การจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟและการเรียกเข้าใหม่มีเพียงวิธีเดียว คือจะจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกแฮนด์ออฟก่อนการเรียกเข้าใหม่ที่เกิดขึ้นในช่องเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตามก็นำไปใช้ในโครงข่ายจริงมีการจัดสรรแบนด์วิดท์ด้วยวิธีอื่นอีกหลายวิธี เช่น การแบ่งแยกแบบสมบูรณ์ (complete partitioning) ดังนั้นการเพิ่มวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับการเรียกแฮนด์ออฟและการเรียกเข้าใหม่ด้วยวิธีอื่น จะทำให้งานวิจัยนี้มีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในโครงข่ายจริงมากยิ่งขึ้น

3. การศึกษาตัวชี้วัดประเมินสมรรถนะเพิ่มเติมในประเด็นอื่น ๆ

การผลการทดลอง เห็นได้ว่าตัวชี้วัดสมรรถนะ การปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่และการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟไม่จำเป็นต้องมีค่าต่ำพร้อมกันสุด ทั้งคู่ในสภาวะแวดล้อมแวดล้อมเดียวกัน ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตสามารถศึกษาประเด็นในเรื่องหาสภาวะแวดล้อมของระบบที่เหมาะสมที่สุดเมื่อประเมินด้วยตัวชี้วัดทั้งสองตัวนี้

อนึ่ง การประเมินสมรรถนะที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พิจารณาเฉพาะการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่และการปฏิเสธการเรียกแฮนด์ออฟเท่านั้น ดังนั้นแนวทางหนึ่งสำหรับการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคตคือ การนำตัวชี้วัดอื่นมาใช้ประเมินสมรรถนะ เช่น เรื่องคุณภาพการให้บริการ ในกรณีที่โครงข่ายมีการปฏิเสธการเรียกเข้าใหม่หรือการเรียกแฮนด์ออฟน้อยไม่ได้แสดงว่ากลยุทธ์ที่ใช้มีสมรรถนะที่ดีเสมอไป โครงข่ายที่รับผู้ใช้ได้มากอาจส่งผลให้คุณภาพการให้บริการมีค่าน้อยลง ซึ่งการพิจารณาตัวชี้วัดอื่นจะช่วยสะท้อนการประเมินสมรรถนะให้ครอบคลุมทุกด้านมากยิ่งขึ้น

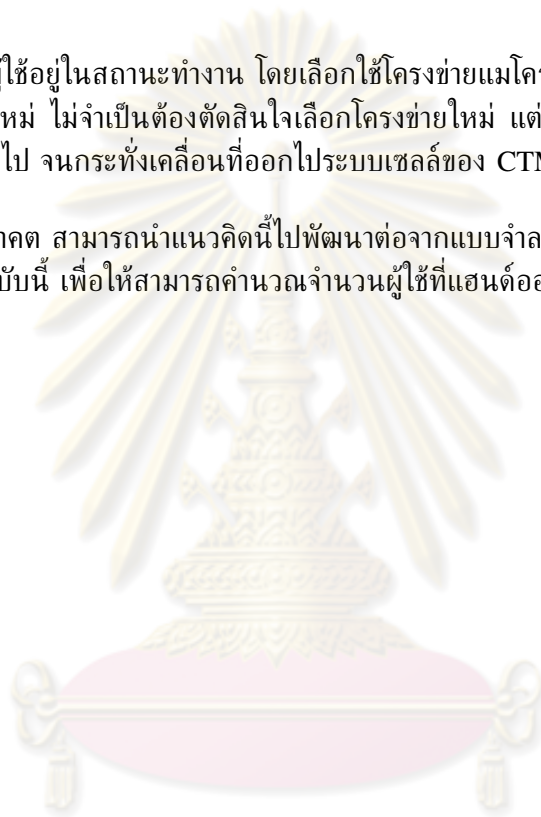
4. การพิจารณาวิธีการเรียกแฮนด์ออฟแบบยังคงการใช้โครงข่ายแม่โครเซลล์

สมมุติฐานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ การเรียกแฮนด์ออฟจะเกิดเมื่อผู้ใช้เข้าไปในเซลล์ของ CTM ใหม่ โดยจะต้องตัดสินใจเลือกโครงข่ายใหม่ทุกครั้งที่เปลี่ยนเซลล์ของ CTM เรียกการเรียกแฮนด์ออฟนี้ว่า การเรียกแฮนด์ออฟแบบไม่คงการใช้โครงข่ายแม่โครเซลล์ อย่างไรก็ตาม

ในสภาพที่โครงข่ายแม่โครเซลล์ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของระบบ อาจพิจารณาเป็นอีกสมมุติฐานคือ การเรียกแฮนด์ออฟแบบคงการใช้โครงข่ายแม่โครเซลล์เป็นแนวทางของการวิจัยในอนาคต ซึ่งอาจจะกำหนดเงื่อนไขของวิธีเรียกแฮนด์ออฟแบบยังคงการใช้โครงข่ายแม่โครเซลล์ดังนี้

- (a) กรณีที่ผู้ใช้อยู่ในสถานะทำงาน โดยเลือกใช้โครงข่ายแม่โครเซลล์ เมื่อเข้าไปในเซลล์ของ CTM ใหม่ จะต้องตัดสินใจเลือกโครงข่ายใหม่
- (b) กรณีที่ผู้ใช้อยู่ในสถานะทำงาน โดยเลือกใช้โครงข่ายแม่โครเซลล์ เมื่อเข้าไปในเซลล์ของ CTM ใหม่ ไม่จำเป็นต้องตัดสินใจเลือกโครงข่ายใหม่ แต่ยังคงใช้โครงข่ายแม่โครเซลล์ต่อเนื่องไป จนกระทั่งเคลื่อนที่ออกไประบบเซลล์ของ CTM ที่พิจารณา

งานวิจัยในอนาคต สามารถนำแนวคิดนี้ไปพัฒนาต่อจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อให้สามารถคำนวณจำนวนผู้ใช้ที่แฮนด์ออฟด้วยวิธีการนี้ได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] McNair, J., and Zhu, F. Vertical handoffs in fourth-generation multinetwork environments. IEEE Wireless Communications, 11(3):8–15, June 2004.
- [2] Chen, W., Liu, J., and Huang H. An adaptive scheme for vertical handoff in wireless overlay networks. in Proc. of ICPADS'04, Newport Beach, CA, July 2004.
- [3] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), <http://www.3gpp.org>
- [4] 3rd Generation Partnership Project 2 (3GPP2), <http://www.3gpp2.org>
- [5] IEEE 802.21 Media Independent Handover Working Group, <http://www.ieee802.org/21>
- [6] Stemm, M., and Katz, R. H. Vertical handoffs in overlay wireless networks. ACM Mobile Networking (MONET), Special Issue on Mobile Networking in the Internet, pages 335–350, 1997.
- [7] Zhang, Q., Guo, C., and Zhu, W. Efficient mobility management for vertical hand-off between wwan and wlan. IEEE Communications Magazine, 41(11):102–108, November 2003.
- [8] Nam, M., Choi, N., Seok, Y., and Wise, Y. C. Energy-efficient interface selection on vertical handoff between 3g networks and wlans. IEEE PIMRC 2004, pages 692–698, 2004.
- [9] Zhang, W. Handover decision using fuzzy MADM in heterogeneous networks. IEEE WCNC'04, March 2004.
- [10] Song, Q., and Jamalipour, A. A network selection mechanism for next generation networks. IEEE ICC'05, May 2005.
- [11] Stevens-Navarro, E., and Wong, V. Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks. in Proc. of IEEE VTC'06-Spring, Melbourne, Australia, May 2006.
- [12] Shen, W., and Zeng, Q. A. A novel decision strategy of vertical handoff in overlay wireless networks. pages 227–230. NCA 2006, 2006.
- [13] Daganzo, C. F. The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. Transportation Research, 28(4 PartB):269–287, 1994.
- [14] Tuerprasert, K., and Aswakul, C. Multiclass cell transmission model for heterogeneous mobility in general topology of road network. Journal of Intelligent Transportation Systems, 14(2): 1-15, 2010.

- [15] Yang, Q. A simulation laboratory for evaluation of dynamic traffic management systems. Doctoral dissertation, Department of Transportation Massachusetts Institute of technology, 1997.
- [16] Yang, Q., and Koutsopoulos, H. N. A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems. Transportation Research Part C, 4 (1996) :1-3.
- [17] Lighthill, M. J., and Whitham, G.B. On kinematic waves: II. a theory of traffic flow on long crowded roads. Proceedings of the Royal Society Series A 229 (1955) :317-345.
- [18] Richards, P. J. Shock waves on the highway. Operations Research 4, 1 (1956) :42-51.
- [19] Munoz, L., Sun, X., Horowitz, R., and Alvarez, L. Traffic density estimation with cell transmission model. Proceedings of the American Control Conference 5 (2003) :3750-3755.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

คุณิน นิติวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนยุพราชวิทยาลัยเชียงใหม่ในปี พ.ศ. 2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตในปี พ.ศ. 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2552

บทความทางวิชาการจากวิทยานิพนธ์

[1] K. Nitiwong, P. Komolkiti, and C. Aswakul. Performance evaluation model of heterogeneous wireless network selection strategy with macroscopic user mobility model. National Telecommunications Commission International Conference (NTC-CON) 2009.

[2] K. Nitiwong, P. Komolkiti, and C. Aswakul. CTM-based evaluation for heterogeneous wireless network selection strategy. Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology International Conference (ECTI-CON) 2009.

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย