

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสาร
เคลื่อนที่แบบวีริพันธุ์



นายรุ่งรัฐ วิติกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

APPLICATION OF GAME THEORY TO VERTICAL HANDOFF DECISION SCHEME WITHIN
HETEROGENEOUS MOBILE COMMUNICATION NETWORK



Mr. Rungrat Viratikul

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับแบบแผนการตัดสินใจการ
แฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบ
วีวีพาร์

โดย

นายรุ่งรัฐ วิติกุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสีทธิกุลกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์นิต อัสกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.บงการ หอมาน)

รุ่งรัฐ วิรติกุล : การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์ออฟ
แนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์. (APPLICATION OF GAME
THEORY TO VERTICAL HANDOFF DECISION SCHEME WITHIN
HETEROGENEOUS MOBILE COMMUNICATION NETWORK) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล, 57 หน้า.

ปัจจุบันการสื่อสารไร้สายมีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ได้แก่ 3G, WiMax
และ Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) เป็นต้น โดยที่เทคโนโลยี
เหล่านี้ได้มีการพัฒนาให้สามารถรองรับการทำงานร่วมกันให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง
บทความนี้จึงได้มีการนำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์
ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์ แก่ผู้ใช้บริการประเภทต่าง ๆ พร้อมทั้ง
จัดสรรทรัพยากรที่ใช้ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพของการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่าย
สื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์และพิจารณาขณะมีพื้นที่ทับซ้อนของสัญญาณ (Overlaid area)
โดยคุณภาพของบริการอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5370672921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: VERTICAL HANDOFF / HETEROGENEOUS / GAME THEORY

RUNGRAT VIRATIKUL: APPLICATION OF GAME THEORY TO VERTICAL HANDOFF DECISION SCHEME WITHIN HETEROGENEOUS MOBILE COMMUNICATION NETWORK. ADVISOR: ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL, Ph.D., 57 pp.

Wireless communication has a crucial role in everyday life such as 3G, WiMax, and Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), etc. These technologies have been developed to support collaboration. In this paper, we proposes Application of Game Theory to Vertical Handoff Decision Scheme within Heterogeneous Mobile Communication Network. Performance of proposed scheme is evaluated by comparison to the Best Response Price.



Department: Electrical Engineering

Student's Signature

Field of Study: Electrical Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันมีค่ายิ่ง รวมถึงหนังสือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อีกทั้งตรวจทานงานวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา ตลอดจนอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์กับงานวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ รศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้และ ผศ. ดร.เชาวนดิศ อิศวกุล และ รศ. ดร.บงการ หอมนาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาอันมีค่าตลอดจนให้คำแนะนำและแนวทางในการปรับปรุงงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ตลอดจน พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคมทุก ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวที่ให้ความรัก ความเข้าใจ และแรงสนับสนุนที่ดีมาตลอดจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	5
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	6
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.6 ประมวลวิทยานิพนธ์.....	7
บทที่ 2	9
หลักการและทฤษฎี.....	9
2.1 คุณสมบัติเทคโนโลยี	9
2.1.1 เทคโนโลยี 3G	9
2.1.2 เทคโนโลยี Wi-Fi	10
2.1.3 เทคโนโลยี WiMax	10
2.2 ข้อเปรียบเทียบเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย.....	11
2.2.1 คุณภาพการบริการ (Quality of services).....	11
2.2.2 อัตราการส่งข้อมูล (Data Rate).....	13
2.2.3 รูปแบบการรองรับการเคลื่อนที่ (Mobility type).....	15
2.2.4 ค่าบริการ (Monetary Cost).....	16
2.2.5 รัศมีครอบคลุมการทำงาน (Coverage Area).....	19
บทที่ 3	21

วิธีการที่นำเสนอและแบบจำลองที่ใช้.....	21
3.1 วิธีการที่นำเสนอ	21
3.1.1 การพิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่จะแฮนด์ออฟ	21
3.1.2 การพิจารณาระบบปลายทางของการแฮนด์ออฟ	25
3.2 Parameter offset ratio	26
3.3 ปริมาณคุณภาพของการบริการทางด้านโครงข่าย	27
3.3 ทฤษฎีเกม.....	27
3.3.1 เกมไม่ร่วมมือ (Non-cooperative games).....	27
3.3.1.1 ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function)	30
3.3.1.2 สมดุลของแนช (Nash Equilibrium)	31
3.3.2 เกมร่วมมือ (Cooperative games).....	32
3.4 แบบจำลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	33
3.4.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ (Mobility Model).....	33
3.4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบ	33
ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการจำลองแบบแสดงไว้ดังตารางที่ 6.....	33
3.4.3 VERTICAL HANDOFF PROCEDURE.....	34
3.4.4 แบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณ (Propagation Model).....	35
3.5 การประเมินสมรรถนะ	36
3.5.1 จำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ (Number of Handoff).....	36
3.5.2 ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟ (Dropping Probability).....	36
บทที่ 4	37
ผลการทดสอบ.....	37
4.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์.....	38
4.2 ผลการทดสอบ.....	38
4.2.1 ผลการจำลองแบบคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่าย.....	38
4.2.2 ผลลัพธ์ของแต่ละผู้ให้บริการเมื่อนำเสนอราคาที่แตกต่างกัน.....	43
4.2.3 เปรียบเทียบค่า BRP และจุดสมดุลของแนช เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า <i>ei</i> และ ρ ใน รูปแบบของเกมไม่ร่วมมือ	44

4.2.4 เปรียบเทียบค่าที่จุดสมดุลของแนชในเกมไม่ร่วมมือกับค่า Coalition Price ของเกม ร่วมมือ	45
4.2.5 ผลการจำลองแบบและวิเคราะห์จำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ	46
4.2.5.1 จำนวนครั้งการแฮนด์ออฟกรณีการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง	46
4.2.5.2 จำนวนครั้งการแฮนด์ออฟกรณีการเคลื่อนที่แบบอิสระที่มีการแจกแจงแบบ สมมาตร	47
4.2.6 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบจากจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ.....	49
4.2.7 ผลการทดสอบความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟ (Dropping Probability)	50
4.2.8 วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟ	52
บทที่ 5	53
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	53
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
รายการอ้างอิง	55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	57

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ความต้องการของเครือข่ายในแต่ละประเภท	13
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลแต่ละเทคโนโลยี.....	15
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบวิธีคุ้มครองการทำงานระหว่างเทคโนโลยี	20
ตารางที่ 4 องค์ประกอบของรูปแบบของเกมไม่ร่วมมือ	28
ตารางที่ 5 องค์ประกอบของรูปแบบของเกมร่วมมือ.....	32
ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบ	33
ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยการแฮนด์ออฟของแบบแผนการตัดสินใจทั้งหมดในการเคลื่อนที่ทั้งสองกรณี	48
ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟที่สถานะคงที่.....	52

สารบัญญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 Relative RSS in handover mode.....	3
ภาพที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง 3 เทคโนโลยี (Network Comparison)	12
ภาพที่ 3 อัตราการส่งข้อมูลในระบบเทคโนโลยีไร้สาย	14
ภาพที่ 4 การรองรับรูปแบบการเคลื่อนที่ของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย	16
ภาพที่ 5 การพิจารณาค่าคาดหวังเวลา.....	18
ภาพที่ 6 วัฏจักรรอบคอกการทำงานในระบบเทคโนโลยีไร้สาย	19
ภาพที่ 7 การพิจารณาตำแหน่งและความเร็วเทียบฐานสัญญาณ	22
ภาพที่ 8 แผนภูมิการพิจารณาช่วงเวลาในการแฮนด์ออฟ.....	24
ภาพที่ 9 แบบแผนการตัดสินใจที่นำเสนอ.....	34
ภาพที่ 10 โครงข่ายที่ใช้ในการจำลองแบบ.....	37
ภาพที่ 11 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $w_i=0.5$	38
ภาพที่ 12 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $w_i=0.3$	39
ภาพที่ 13 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $w_i=0.8$	39
ภาพที่ 14 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $T_i=0.6$	40
ภาพที่ 15 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $T_i=0.3$	40
ภาพที่ 16 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $T_i=0.8$	41
ภาพที่ 17 เปรียบเทียบค่าคุณภาพของการให้บริการเมื่อมีการเปลี่ยนค่า w_i	41
ภาพที่ 18 เปรียบเทียบค่าคุณภาพของการให้บริการเมื่อมีการเปลี่ยนค่า T_i	42
ภาพที่ 19 ผลลัพธ์รายได้ของผู้ให้บริการที่ 1.....	43
ภาพที่ 20 ผลลัพธ์รายได้ของผู้ให้บริการที่ 2.....	43
ภาพที่ 21 การตอบสนองที่ดีที่สุดทางด้านราคา (Best Response Price, BRP) และจุดสมดุลของแนชในรูปแบบของเกมไม่ร่วมมือ	44
ภาพที่ 22 ราคาที่จุดสมดุลของแนชกับ Coalition Price	45
ภาพที่ 23 เปรียบเทียบจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีดั้งเดิม 3 วิธีในกรณีการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง	46
ภาพที่ 24 เปรียบเทียบจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีดั้งเดิม 3 วิธีในกรณีการเคลื่อนที่แบบอิสระที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ	47

ภาพที่ 25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงการแฮนด์ออฟของแต่ละแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์ออฟ
เมื่อเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่..... 48

ภาพที่ 26 เปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟกรณีเคลื่อนที่ในแนว
เส้นตรง..... 50

ภาพที่ 27 เปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟกรณีที่เคลื่อนที่แบบอิสระ
มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ..... 51

ภาพที่ 28 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงการปฏิเสธการแฮนด์ออฟที่สถานะคงที่เมื่อเปลี่ยนรูปแบบการ
เคลื่อนที่โดยจำแนกตามแบบแผนการตัดสินใจ..... 52



บทที่ 1

บทนำ

การสื่อสารไร้สายในโลกยุคปัจจุบันเป็นส่วนสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากเป็นอันดับต้น ๆ การใช้อุปกรณ์ไร้สายในยุคสมัยปัจจุบันได้ถูกพัฒนาระบบให้ซับซ้อนและสามารถรองรับการใช้งานได้อย่างหลากหลายมากยิ่งขึ้น เป็นเหตุให้ผู้ให้บริการทางด้านโครงข่ายต้องปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ทันต่อยุคสมัยและตอบสนองความต้องการต่อผู้ใช้บริการได้มากที่สุด การปรับปรุงและพัฒนาทางด้านโครงข่ายนี้จะมุ่งเน้นด้านคุณภาพ ราคา ความครอบคลุมและความถูกต้องของการให้บริการ ซึ่งหนึ่งในแนวทางการพัฒนาของผู้ให้บริการ คือ เทคนิคการแฮนด์ออฟ ด้วยเหตุผลที่ว่าผู้ใช้งานในระบบโครงข่ายไร้สายต้องมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งที่ใช้งานของผู้ใช้บริการซึ่งการเปลี่ยนตำแหน่งของผู้ใช้งานนี้อาจเกิดการแฮนด์ออฟของสัญญาณเกิดขึ้น ผู้ให้บริการจึงต้องพัฒนาเทคนิคการแฮนด์ออฟให้สามารถแฮนด์ออฟสัญญาณได้ดีมากขึ้นเพื่อที่ผู้ใช้บริการสามารถใช้บริการได้อย่างต่อเนื่อง งานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยจะมุ่งเน้นที่การแฮนด์ออฟแนวตั้ง โดยที่การแฮนด์ออฟแนวตั้งหมายถึงการที่ผู้ใช้งานเคลื่อนที่เข้าเขตบริเวณกระจายสัญญาณของโครงข่ายเทคโนโลยีแบบอื่นแล้วเกิดการเปลี่ยนระบบของอุปกรณ์ไร้สาย เช่น การเปลี่ยน platform ของโครงข่าย WiMax ไปยัง โครงข่าย Wifi หรือการเปลี่ยน platform จาก โครงข่าย 3G ไปยัง Wifi เป็นต้น โดยเนื้อหาบทนี้จะมีการกล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของปัญหาที่นำมาศึกษาค้นคว้าและวิจัย จากนั้นได้เสนอแนวทางของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน รวมไปถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และประมวลวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารไร้สายในปัจจุบันได้ถูกพัฒนามากขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถใช้บริการได้อย่างหลากหลายและบรรลุวัตถุประสงค์ตามความต้องการของผู้ใช้บริการ ผู้ให้บริการจึงต้องมีการพัฒนาโครงข่ายให้มีประสิทธิภาพสามารถรองรับการใช้งานร่วมกันโดยสามารถเปลี่ยน platform ขณะมีติดต่อสื่อสารหรือมีการโอนถ่ายข้อมูลให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนาระบบ 3G และ Wifi เป็นต้น อีกทั้งผู้ให้บริการยังต้องพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ให้มีรูปลักษณะที่ทันสมัยตลอดจนสามารถรองรับการใช้งานได้ในระดับที่สูงขึ้น และพัฒนาในด้านของการให้บริการในแต่ละเทคโนโลยี เพื่อให้เกิดความหลากหลาย สะดวกสบาย และตอบสนองต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการไม่ว่าผู้ใช้บริการจะติดต่อสื่อสารโดยใช้เทคโนโลยีใดก็ตามในเวลานั้น

เช่น Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE), Global Positioning System (GPS) หรือ Video Call เป็นต้น

จากการพัฒนาระบบโครงข่ายผู้ให้บริการนั้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางการสื่อสารแบบไร้สายขึ้นโดยที่ผู้ใช้งานสามารถใช้งานเทคโนโลยีได้อย่างสะดวกสบายและแพร่หลายมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังได้รับความสะดวกสบายในการใช้งานอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สาย จนกระทั่งปัจจุบันได้กลายมาเป็นการสื่อสารประเภทหลักที่ผู้คนนิยมใช้งานกัน เมื่อมีการใช้งานที่แพร่หลายมากขึ้นผู้ให้บริการจำเป็นต้องพัฒนาโครงข่ายการให้บริการให้สามารถรองรับการใช้งานและผู้ให้บริการสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องไม่เกิดการติดขัดไม่ว่าผู้ให้บริการจะใช้งานที่ตำแหน่งใดหรือบริเวณใดก็ตาม ซึ่งหนึ่งในวิธีที่ผู้ให้บริการได้ทำการพัฒนาคือการใช้เทคนิคการแฮนด์ออฟ ด้วยเหตุผลที่ว่าผู้ให้บริการในระบบโครงข่ายการสื่อสารแบบไร้สายนั้นจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานหรือมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ผู้ให้บริการจึงจำเป็นต้องพัฒนาเทคนิคการแฮนด์ออฟให้สามารถแฮนด์ออฟได้ดีมากขึ้น ซึ่งประเภทการแฮนด์ออฟนั้น เราสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Horizontal Handoff หมายถึง การที่ผู้ใช้งานอุปกรณ์ไร้สายได้เคลื่อนที่ออกมานอกเขตบริเวณที่กระจายสัญญาณจากสถานีฐานที่ผู้ใช้งานกำลังใช้งานอยู่แล้วได้มีการเคลื่อนที่เข้าสู่เขตกระจายสัญญาณของสถานีฐานสถานีอื่นภายใต้โครงข่ายเทคโนโลยีเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนสถานีฐานของ Wimax หรือการเปลี่ยนจุดเชื่อมต่อของ WiFi เป็นต้น

2. Vertical Handoff หมายถึง การที่ผู้ใช้งานอุปกรณ์ไร้สายได้เคลื่อนที่เข้าสู่เขตกระจายสัญญาณของเทคโนโลยีอื่น ก่อให้เกิดการเปลี่ยนระบบโครงข่ายของอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ยกตัวอย่างเช่น ผู้ใช้งานเคลื่อนที่ออกจากเขตกระจายสัญญาณจากเดิมเป็นเทคโนโลยี WiMax มายังเขตกระจายสัญญาณ Wifi ทำให้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณ WiMax ให้มาเป็น สัญญาณ Wifi เป็นต้น

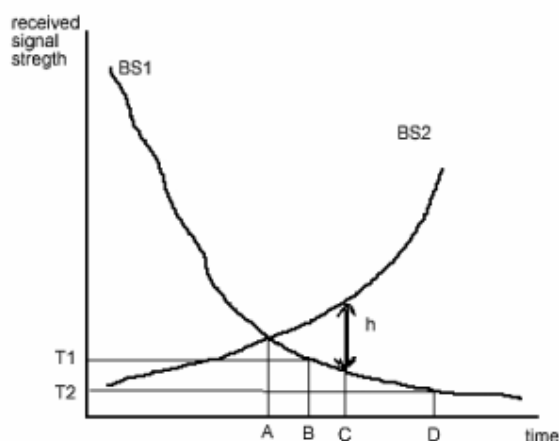
Vertical Handoff แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้ [1],[2]

1. System Discovery คือ ระบบค้นหาสัญญาณที่สามารถรองรับการใช้งานขณะนั้นได้
2. Vertical Handoff Decision คือ การตัดสินใจการแฮนด์ออฟโดยเปรียบเทียบจากระบบที่ค้นหาเจอและสามารถรองรับการใช้งานได้ในขณะนั้น
3. Vertical Handoff Execution คือ การเปลี่ยนระบบโครงข่ายจากระบบเดิมไปยังระบบใหม่

การแฮนด์ออฟสามารถเกิดขึ้นได้ในหลาย ๆ ปัจจัยทำให้มีผู้ให้ความสนใจในการเสนอแนว

ทางการตัดสินใจหลากหลาย ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 แนวทางดังต่อไปนี้

แนวทางที่ 1. การพิจารณาจากความแรงของสัญญาณ (Receive Signal Strength, RSS) ซึ่งเราสามารถแบ่งย่อยได้อีกเป็น 4 แบบจากค่าตัวแปรอื่นเพิ่มเติม [3],[4]



ภาพที่ 1 Relative RSS in handover mode

- 1.1 Relative Signal Strength โดยพิจารณาจากค่าความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์ไร้สายได้รับจากสถานีฐาน (RSS) จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเลยจุด A ไปเราจะสังเกตเห็นว่าค่า RSS ของสถานีฐานที่ 1 (BS1) ลดลงเกินกว่าค่า RSS ของสถานีฐานที่ 2 (BS2) ระบบจะเกิดการแฮนด์ออฟขึ้น แต่เนื่องจากเทคนิค Relative Signal Strength ไม่นิยมนำมาใช้งานได้จริงในระบบสื่อสารไร้สายอันเนื่องมาจาก ความแรงของ RSS ที่มีค่าไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของระดับสัญญาณอย่างทันทีทันใดจากการแทรกสอดระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนที่มาถึงโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแบบเสริมหรือหักล้างกัน เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า multipath fading โดยลักษณะสัญญาณที่เกิดจาก multipath fading จะขึ้นอยู่กับระยะทาง เวลา และความถี่ของสัญญาณ เมื่อค่า RSS มีความไม่คงที่ ผลที่ตามมาคือเกิดการแฮนด์ออฟสลับไปมาระหว่างสถานีฐาน หรือที่เรารู้จักกันในชื่อ ping-pong effect
- 1.2 Relative Signal Strength with Threshold เนื่องจากการทำ Relative Signal Strength ในวิธีที่ (1.1) เกิดปัญหา ping-pong effect ขึ้น เราจึงแก้ปัญหาโดยการกำหนดค่า threshold ขึ้นมาเพื่อพิจารณาค่าขั้นต่ำของ RSS ที่ยังสามารถทำการสื่อสารต่อไปได้ ดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า RSS ที่สถานีฐานที่ 1 มีค่าต่ำกว่าค่า Threshold (T1) และค่า RSS ที่สถานีฐานที่ 2 มีค่ามากกว่า RSS ที่สถานีฐานที่ 1 จะเกิดการแฮนด์ออฟขึ้น (จุด B ในภาพที่ 1)
- 1.3 Relative Signal Strength with Hysteresis ในเทคนิคนี้ได้กำหนดค่าตัวแปร hysteresis (h ในภาพที่ 1) ขึ้นมา โดยการแฮนด์ออฟจะเกิดขึ้นเมื่อนำค่า RSS ของ

สถานีฐานที่ 2 มาเปรียบเทียบกับค่า RSS ของสถานีฐานที่ 1 แล้วพบว่าค่าที่เปรียบเทียบได้นั้นมีค่าเกินกว่า hysteresis (h) ดังแสดงที่จุด C ในภาพที่ 1

- 1.4 Relative Signal Strength with Hysteresis and Threshold เป็นเทคนิคสุดท้ายที่นำวิธี Relative Signal Strength with Threshold และวิธี Relative Signal Strength with Hysteresis มาผสมกัน การแฮนด์ออฟจะเกิดขึ้นเมื่อ RSS ของสถานีฐานที่ 1 มีค่าต่ำกว่า threshold (T_1 ในภาพที่ 1) และนำค่า RSS ของสถานีฐานที่ 2 มาเปรียบเทียบกับ RSS ของสถานีฐานที่ 1 แล้วพบว่าค่าที่เปรียบเทียบได้นั้นมีค่ามากกว่า hysteresis (h ที่จุด C ในภาพที่ 1) ในขณะเดียวกัน ถ้าเราเลือกช่วง threshold ที่มีค่าต่ำกว่า T_1 (แต่มากกว่า T_2) การแฮนด์ออฟจะเกิดขึ้นที่ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ที่อยู่ทางขวาของจุด C แต่ไม่เกิดจุด D ดังภาพที่ 1

แนวทางที่ 2. การพิจารณาสร้างความสัมพันธ์ต้นทุนของตัวแปร (Cost Function) โดยมีการนำค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ พลังงานที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูล (Power Consumption) ช่องสัญญาณที่สามารถรองรับได้ (Available bandwidth) มาพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกัน แล้วเลือกกระบวนการที่ค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุด ในงานวิจัย [5]และ[6] ได้เสนอแนวทางการแฮนด์ออฟโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ในด้านราคาต้นทุนการแฮนด์ออฟ (Cost function) และคุณภาพบริการ Quality of Service (QoS) ระหว่าง UMTS กับ WiMax แต่เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟที่ได้ด้วยวิธีนี้ยังถือว่าสูงเกินไปเนื่องจากการเกิดการแฮนด์ออฟที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้น ซึ่งจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟที่สูงมีผลทำให้ Handoff failure rate สูงเช่นกัน

แนวทางที่ 3. การพิจารณาเทคนิคคำนวณความสัมพันธ์ผ่านกระบวนการประมวลผลพิเศษ โดยต้องอาศัยคอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องมือในการคำนวณ อาทิ Neural Networks หรือ Fuzzy Logic [7] โดยการวัดค่าตัวแปรแล้วแปลงเป็นค่า fuzzy เพื่อใช้ในการตัดสินใจการแฮนด์ออฟ ซึ่งแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์ออฟโดยอาศัย เทคนิค Fuzzy logic system, Neural network หรือ Neuro Fuzzy สามารถให้ผลการตัดสินใจที่เชื่อถือและยอมรับได้ แต่ข้อเสียของระบบ Fuzzy คือ โครงสร้างของระบบนั้นจะถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญและไม่มีกระบวนการเรียนรู้ในด้านการปรับแต่งโครงสร้างของกฎและตัวแปรต่าง ๆ ในตัวระบบเอง ทำให้ผลที่ได้คงตัวขาดการเรียนรู้ข้อมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ อีกทั้งยังมีความซับซ้อนอีกด้วย

แนวทางที่ 4. การพิจารณาจากค่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบร่วมกันหลายค่าและมีการนำวิธีการทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการตัดสินใจร่วมกัน ได้แก่ Grey Relational Analysis (GRA) และ Analytic Hierarchy Process (AHP)

ใน [8] ได้ใช้ differential prediction algorithm มาพิจารณาถึงค่าความแรงของสัญญาณคาดหมาย เพื่อใช้ตัดสินใจช่วงเวลาการแฮนด์ออฟที่เหมาะสมจากนั้นใช้วิธี Fuzzy logic theory based Normalized Quantitative Decision (FNQD) เปรียบเทียบสถานีปลายทางและเลือกสถานีฐานปลายทางที่เหมาะสมในการแฮนด์ออฟ

ข้อดีของ Fuzzy logic theory based Normalized Quantitative Decision (FNQD) นั้น จะช่วยในการลดจำนวนหน่วยความจำที่ใช้สำหรับ rule base และระยะเวลาที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลกับ rule base ส่วน differential prediction algorithm จะช่วยในการลดปัญหาการเกิด Ping-Pong effect แต่ข้อจำกัดของ differential prediction algorithm คือ เมื่อพิจารณาในสภาวะ fast fading แล้วยังคงขาดความแม่นยำและจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ และ handoff failure rate ยังคงสูงอยู่เช่นกัน

ใน [9] ได้ใช้ Fuzzy Logic Theory Based Quantitative ร่วมกับ Grey Prediction Algorithm (GPA) มาทำนายระดับความแรงของสัญญาณ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์พิจารณาขั้นต่ำ เพื่อลดจำนวนของ call-dropping probability

ข้อได้เปรียบของแบบแผนนี้คล้ายกับดังที่กล่าวมาใน [8] แต่มีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามาคือ GPA ซึ่งสามารถใช้ค่าจากข้อมูลเพียงบางส่วนเพื่อคำนวณค่าความแรงสัญญาณล่วงหน้า ซึ่งสามารถให้ผลการทำนายที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้แม้มีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม (random noise) ก็ตาม แต่เนื่องจากวิธีนี้ผลที่ได้รับจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ และ handoff failure rate ก็ยังคงสูงอยู่เช่นกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมเพื่อปรับปรุงแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าวิธีแบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและสุ่มเลือกเทคโนโลยีปลายทางใหม่ (RSS-Threshold Random Based Selection: RSS-TH-RDB), แบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและพิจารณาเลือกเทคโนโลยีปลายทางจากค่าความแรงสัญญาณ (RSS-Threshold RSS Based Selection : RSS-TH-RSS) และแบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและพิจารณาเลือกเทคโนโลยีปลายทางจากกระบวนการ FQDA (RSS-Threshold FQDA Based Selection: RSS-TH-FQB) แก่ผู้ใช้บริการประเภทต่าง ๆ พร้อมทั้งจัดสรรทรัพยากรที่ใช้ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายใน

โครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์และพิจารณาขณะมีพื้นที่ทับซ้อนของสัญญาณ (Overlaid area) โดยคุณภาพของบริการอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

2. ศึกษาแบบแผนและมาตรฐานในการแฮนด์ออฟแนวตั้งในแบบต่าง ๆ และศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานในโครงข่าย เพื่อเข้าใจแนวทาง และวิเคราะห์ปัญหาในการแฮนด์ออฟแนวตั้ง

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์ ระหว่าง WiMax UMTS และ WLAN
2. พิจารณาแบบแผนการตัดสินใจในการแฮนด์ออฟแนวตั้งที่มีการนำเสนอ เพื่อเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสีย
3. ประเมินสมรรถนะของระบบจากค่าจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ
4. เปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการตัดสินใจที่ศึกษา ได้แก่ จำนวนครั้งการแฮนด์ออฟ โดยเปรียบเทียบกับแนวทางอื่นที่ศึกษา

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ศึกษาแบบแผนการตัดสินใจเลือกโครงข่ายและแฮนด์ออฟระหว่างโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ได้แก่ แบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและสุ่มเลือกเทคโนโลยีปลายทางใหม่ (RSS-Threshold Random Based Selection: RSS-TH-RDB), แบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและพิจารณาเลือกเทคโนโลยีปลายทางจากค่าความแรงสัญญาณ (RSS-Threshold RSS Based Selection : RSS-TH-RSS) และแบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและพิจารณาเลือกเทคโนโลยีปลายทางจากกระบวนการ FQDA (RSS-Threshold FQDA Based Selection: RSS-TH-FQB)
2. ศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ
3. ศึกษาเทคนิคที่ใช้ในการคาดการณ์ทำนายการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ
4. ศึกษาทฤษฎีเกมเพื่อใช้ในแบบแผนการตัดสินใจที่ทดสอบ
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองสถานการณ์ การตัดสินใจแฮนด์ออฟแล้วนำผลที่ได้มาประเมินสมรรถนะ

6. เขียนโปรแกรม simulation ทดสอบสมรรถนะของแบบแผนการตัดสินใจแฮนด์ออฟ
7. ประเมินสมรรถนะของแบบแผนการตัดสินใจแฮนด์ออฟแล้วเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ
8. สรุป วิเคราะห์ เผยแพร่ผลการวิจัยในที่ประชุมวิชาการหรือวารสารทางวิชาการ และจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เรียนรู้แบบจำลองในแบบต่าง ๆ รู้ถึงข้อดีและข้อเสียในแต่ละแบบจำลองที่ศึกษาวิจัย
2. องค์กรความรู้และวิธีการประเมินสมรรถนะของระบบและแบบจำลองแบบต่าง ๆ รวมถึงแบบจำลองการตัดสินใจการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์ที่ได้นำเสนอ

1.6 ประมวลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ : กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยในอดีต

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี : กล่าวถึงแนวคิดพื้นฐานที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งประกอบไปด้วยโครงข่ายไร้สาย UMTS WLAN และ WiMax รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่นำมาพิจารณาในการตัดสินใจในงานวิจัยที่ได้เสนอ

บทที่ 3 แบบจำลองการตัดสินใจการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์ : พิจารณาช่วงค่าพารามิเตอร์ เทคนิคและรายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลอง รวมถึงวิธีการประเมินสมรรถนะเพื่อนำมาพิจารณาและเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

บทที่ 4 ผลการทดสอบ : แสดงผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะของแบบจำลองเสนอและแบบจำลองของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ: สรุปงานวิจัยทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และเสนอ
แนวทางปรับแต่งแก้ไขและพัฒนาในงานวิจัยต่อไปในอนาคต



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ถึงแม้ว่าระบบโครงข่ายไร้สายในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาจะมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว แต่การพัฒนาที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถตอบสนองความต้องการของมนุษย์ซึ่งเป็นผู้ใช้งานอุปกรณ์ไร้สายในการติดต่อสื่อสารได้ ได้แก่ การเลือกใช้งานเทคโนโลยีที่มีความสอดคล้องกับผู้ใช้งานที่มีการเคลื่อนที่ ให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องไม่ติดขัด ดังนั้นจึงได้นำเสนอแบบแผนการตัดสินใจขณะผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีได้อย่างเหมาะสมและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน อีกทั้งผู้ใช้งานยังสามารถใช้งานได้อย่างเต็มที่และมีความต่อเนื่องในระดับของคุณภาพที่ผู้ใช้งานสามารถยอมรับได้

2.1 คุณสมบัติเทคโนโลยี

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแบบแผนการตัดสินใจทั้งสิ้น 3 แบบแผนเพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ ซึ่ง เทคโนโลยีที่นำมาพิจารณาด้วยกัน ได้แก่ 3G WiMax และ Wi-Fi ซึ่งทั้ง 3 เทคโนโลยีนี้ แต่ละเทคโนโลยีล้วนแต่มีมาตรฐานและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยการพิจารณาในด้านคุณสมบัติและความสามารถในแต่ละเทคโนโลยีจะสามารถทำให้ผู้ใช้งานเลือกใช้งานเทคโนโลยีที่ให้กับตัวเองได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

2.1.1 เทคโนโลยี 3G

3G เป็นเทคโนโลยีของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากยุค 2G เช่น CDMA หรือ GSM และได้กำหนดมาตรฐานใหม่ ที่รองรับการสื่อสารข้อมูลในอัตราเร็วที่สูงขึ้น อีกทั้งขีดความสามารถยังเพิ่มขึ้นเพื่อสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายมัลติมีเดียภายในโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงได้กลายเป็นยุคของเทคโนโลยี 3G (Third Generation Mobile) อัตราความเร็วในการส่งข้อมูลตามมาตรฐาน IMT-2000 นั้นได้กำหนดค่าอัตราความเร็วดังนี้

ในสถานะที่ผู้ใช้งานอยู่กับที่หรือขณะเดินจะมีความเร็วขั้นต่ำที่สุดคือ 2 เมกะบิตต่อวินาที ในสถานะที่ผู้ใช้เคลื่อนที่โดยใช้ยานพาหนะ จะมีความเร็วขั้นต่ำที่สุดคือ 384 กิโลบิตต่อวินาที และจะมีความเร็วขั้นสูงที่สุดคือ 14.4 เมกะบิตต่อวินาที ในทุกสถานะตามหลักมาตรฐานของ Universal

Mobile Telecommunications Services (UMTS) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ถูกออกแบบมาสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบการพัฒนาตามมาตรฐานโดยองค์กร 3GPP และปัจจุบันได้มีมาตรฐานเทคโนโลยีที่เป็นที่ยอมรับและใช้งานอย่างกว้างขวางทั่วโลก ได้แก่ มาตรฐาน High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) ซึ่งเป็นมาตรฐาน Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) และสามารถรองรับอัตราเร็วในการสื่อสารสูงสุดได้ถึง 14 เมกะบิตต่อวินาที

2.1.2 เทคโนโลยี Wi-Fi

Wireless Fidelity หรือเรารู้จักกันในนามของคำย่อว่า Wi-Fi นั้นได้ถูกพัฒนามาจากเครือข่าย Local Area Network (LAN) ได้กลายเป็นการสื่อสารไร้สายในปัจจุบัน ซึ่งตั้งอยู่บนมาตรฐานของ IEEE 802.11 โดยมี Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE) ทำหน้าที่ออกแบบและวางข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าซึ่งเป็นองค์กรในสหรัฐอเมริกา ซึ่ง Wi-Fi นั้นถูกจัดให้เป็นเทคโนโลยีประเภท WLAN (Wireless LAN) ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในลักษณะของเครือข่ายเฉพาะพื้นที่

Wi-Fi ได้ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้การกำกับดูแลของ WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) เริ่มจากข้อกำหนดมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งกำหนดให้ใช้คลื่นวิทยุที่มีความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารกับจุดเชื่อมต่อ (Access Point) ต่อมาได้กำหนดให้มีมาตรฐาน IEEE 802.11a (อัตราเร็ว 54 เมกะบิตต่อวินาที) ซึ่งใช้คลื่นวิทยุความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ และ IEEE 802.11b (อัตราเร็ว 11 เมกะบิตต่อวินาที)) ซึ่งใช้คลื่นวิทยุความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นมาตรฐานสำหรับใช้งานสากล และได้พัฒนามาตรฐาน Wi-Fi ต่อเนื่องไปอีกเป็น IEEE 802.11g (อัตราเร็ว 54 เมกะบิตต่อวินาที) ทำให้ปัจจุบันการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายแบบ Wi-Fi สามารถทำได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดถึง 54 เมกะบิตต่อวินาที ทั้ง 2 ความถี่เทียบเท่ากัน

2.1.3 เทคโนโลยี WiMax

การสื่อสารโดยใช้เทคโนโลยี WiMAX เป็นการสื่อสารบรอดแบนด์แบบไร้สายที่สามารถรอบรับการสื่อสารในระยะไกลได้ ตามมาตรฐาน IEEE 802.16a/d สำหรับ WiMax แบบประจำที่ และ IEEE 802.16e สำหรับขณะที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งเทคโนโลยี WiMax ได้ถูกออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานที่ต้องการใช้งานข้อมูลในปริมาณมากในการสื่อสารผ่านความถี่คลื่นวิทยุ

มาตรฐาน IEEE 802.16a ได้ถูกแก้ไขปรับปรุงจาก IEEE 802.16 ซึ่งสามารถรองรับการทำงานในกรณีที่ไม่มีสายตา (Non-Line of Sight) อีกทั้งยังสามารถทำงานได้ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางมาขวาง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการขยายระบบเครือข่ายเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สายให้มีรัศมีกว้างขึ้นประมาณ 48 กิโลเมตร และมีอัตราเร็วสูงสุดในการรับส่งข้อมูลถึง 75 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)

มาตรฐาน IEEE 802.16e ถูกออกแบบมาเพื่อสนับสนุนการใช้งานอุปกรณ์พกพาประเภทต่างๆ ร่วมกัน โดยมีรัศมีครอบคลุมที่ 1.6 - 4.8 กิโลเมตรโดยประมาณ และการใช้งานสามารถอยู่ภายใต้การสื่อสารที่มีคุณภาพและเสถียรภาพขณะผู้ใช้ได้ใช้งาน ถึงแม้ว่าผู้ใช้งานนั้นได้มีการเคลื่อนที่ไปมาอยู่ตลอดเวลา

2.2 ข้อเปรียบเทียบเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย

เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายแต่ละชนิดนั้นต่างมีคุณสมบัติที่เป็นได้ทั้งข้อเด่นและข้อด้อย หากเราสามารถพิจารณาเปรียบเทียบในด้านต่างของแต่ละเทคโนโลยีได้แล้วนั้น ย่อมสามารถทำให้เราเลือกใช้เทคโนโลยีในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมมากที่สุดและยังสอดคล้องกับการบริการและความต้องการได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ซึ่งเราได้นำคุณสมบัติต่าง ๆ มาพิจารณาคร่าว ๆ เช่น คุณภาพการบริการ (QoS) อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Rate) รูปแบบรองรับการเคลื่อนที่ (Mobility Type) ค่าบริการ (Monetary Cost) นอกจากนี้ยังมีรัศมีครอบคลุมการทำงาน (Coverage Area) ซึ่งเราได้สรุปคุณสมบัติและแสดงข้อเปรียบเทียบไว้ดังนี้

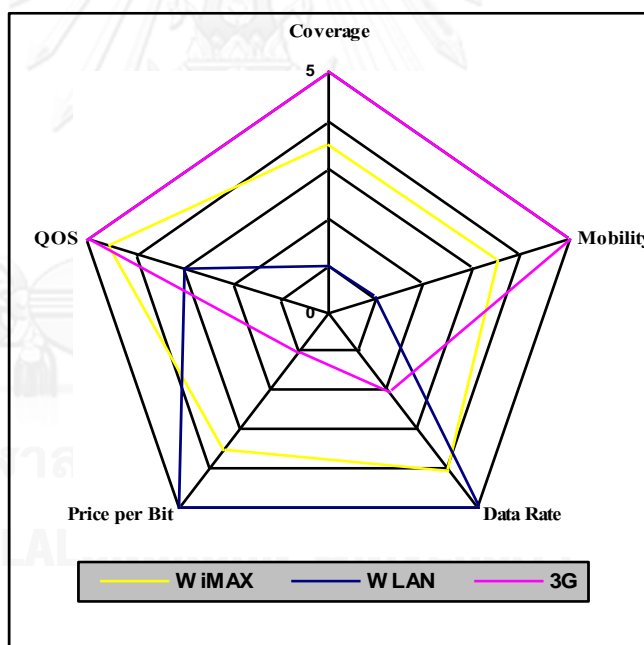
2.2.1 คุณภาพการบริการ (Quality of services)

คุณภาพการบริการ (QOS) เป็นมาตราที่ใช้ในการวัดการรับส่งข้อมูล ซึ่งแสดงถึงระดับความสามารถในการให้บริการของระบบ โดยสามารถพิจารณาวัดได้ด้วยค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการให้บริการที่สามารถรองรับการใช้งานของระบบ (Availability)
2. อัตราการผ่านของข้อมูล (Throughput) ซึ่งเราสามารถวัดได้จาก ค่ารับประกันอัตราการผ่านของข้อมูลของช่องสัญญาณน้อยที่สุดที่ส่งได้ (minimum throughput guarantee)
3. ค่าแพ็คเก็ตสูญหาย (Packet loss) คือค่าแสดงจำนวนสูญหายของข้อมูลในระหว่างที่มีการรับส่งข้อมูล เมื่อข้อมูลมีการสูญหายไปก็ต้องทำการส่งข้อมูลมาใหม่ ทำให้จำนวนข้อมูลที่ใช้งานเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีโอกาสเกิดการสูญหายของข้อมูลมากขึ้น

4. ค่าประวิงเวลา (Latency) หรือ (Delay) เป็นค่าเวลาที่เกิดจากการเดินทางจากต้นทางของข้อมูลไปยังปลายทางของข้อมูล ซึ่งค่านี้จะขึ้นกับวิธีการที่เลือกใช้เทคโนโลยี อีกทั้งยังรวมไปถึงจำนวนเวลาที่สูญเสียดังกล่าวของช่วงเวลาของอุปกรณ์สวิตชิงและเราเตอร์
5. เวลาจิตเตอร์ (Jitter) คือประเด็นด้านคุณภาพของระบบเครือข่ายที่วัดจากความแปรปรวนของค่าประวิงเวลาของข้อมูลในส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะมีผลในด้านของการรับข้อมูล เช่น การรอข้อมูลเดินทางมาให้ครบเพื่อจะประมวลผลและประกอบข้อมูลที่รับมาทั้งหมดเข้าด้วยกัน

ในการบริการแต่ละชนิดจะมีความต้องการค่าพารามิเตอร์ในเครือข่ายที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งแสดงในตารางที่ 1 จากข้อเปรียบเทียบข้างต้นเราได้สรุปและเปรียบเทียบเทคโนโลยีทั้ง 3 ประเภทที่เราสนใจและสร้างเป็นแผนภูมิกราฟห้าเหลี่ยมดังภาพที่ 2 ซึ่งจากรูปเราจะเห็นถึงมุมมองในการเปรียบเทียบจากคุณสมบัติที่กล่าวมาทั้ง 5 ข้อข้างต้น โดยนำมาเปรียบเทียบร่วมกัน



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง 3 เทคโนโลยี (Network Comparison)

ตารางที่ 1 ความต้องการของเครือข่ายในแต่ละประเภท

Parameter	Data	Voice	Video	Streaming Media
Data Rate	0.01-100 Mbps	4-64 kbps	>1 Mbps	5-384 kbps
Example applications	Web browsing, e-mail, IM, telnet	VoIP	IPTV	Music, speech
Traffic Flow	Non-realtime, bursty	Real-time continuous	Continuous	Continuous, bursty
Packet loss	Zero	<1%	<10 ⁻⁸	<1% for audio, <2% for video
Delay variation	Not applicable	< 20ms	< 2 sec	< 2 sec
Delay	Flexible	< 100 ms	< 100 ms	< 250 ms

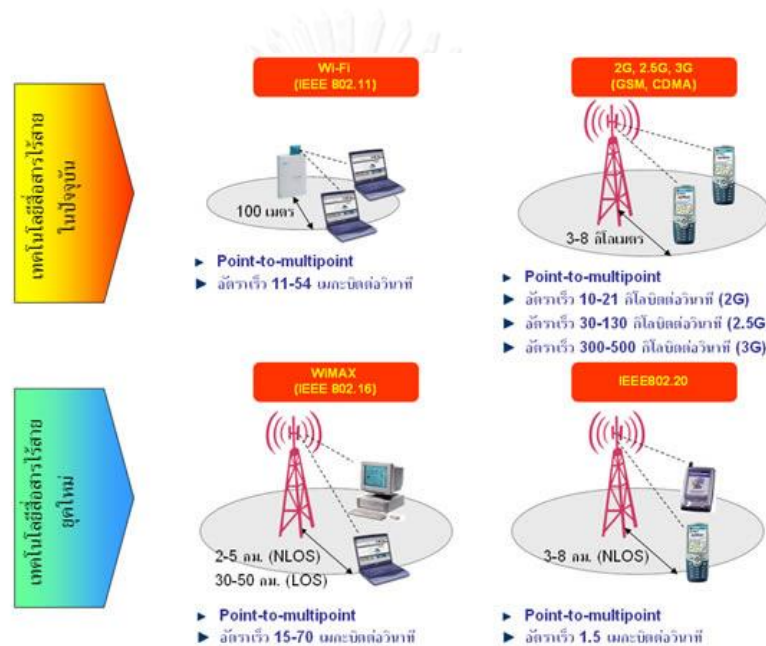
2.2.2 อัตราการส่งข้อมูล (Data Rate)

ในงานบริการแต่ละประเภทจะมีการใช้เทคโนโลยีที่มีอัตราเร็วต่างกัน ขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการว่าต้องการใช้งานในประเภทใด ซึ่งปัจจุบันเราจำแนกประเภทของการบริการได้เป็น 4 แบบได้แก่

1. Constant Bit Rate (CBR) เป็นอัตราบิตที่มีความเร็วคงที่และต่อเนื่องในการส่ง ใช้ในการจัดประชุมทางวิดีโอ และการสนทนาทางโทรศัพท์เพื่อให้ได้เสียงและภาพที่คงที่ที่ไม่เกิดการกระตุก เป็นต้น
2. Real-Time Variable Bit Rate (RT-VBR) เป็นการส่งข้อมูลในอัตราเร็วที่ต่างกันที่ในเวลาต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ใช้งานข้อมูล ทำให้ระบบสามารถใช้งานทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ซึ่งการส่งข้อมูลประเภทนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความหน่วง เช่นการส่งสัญญาณภาพและการตรวจจับข้อมูลเสียงในวงจรการสื่อสาร

3. Non-Real-Time Variable Bit Rate (NRT-VBR) มีลักษณะเหมือนกับ (RT-VBR) คือเป็นการส่งข้อมูลในอัตราเร็วที่ต่างกันที่ในเวลาต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ใช้งานข้อมูล แต่ไม่ได้ถูกออกแบบมาใช้ในงานที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความหน่วง เช่น การใช้ในจดหมายอิเล็กทรอนิกส์และการใช้งานทางด้านสื่อผสม เป็นต้น

4. Unspecified Bit Rate (UBR) เป็นการส่งข้อมูลโดยใช้ทรัพยากรที่เหลือจากประเภทบริการข้างต้นที่กล่าวมาเท่านั้น ซึ่งการส่งข้อมูลประเภทนี้จะไม่มีการระบุอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล เช่น การการส่งข้อความ (messaging) เป็นต้น



ภาพที่ 3 อัตราการส่งข้อมูลในระบบเทคโนโลยีไร้สาย

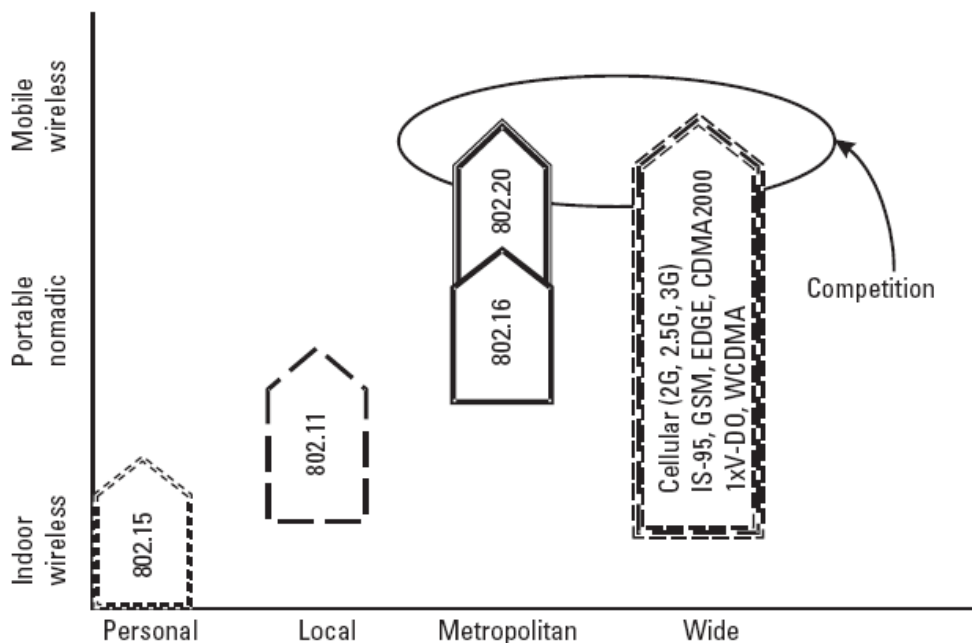
การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีครอบคลุมการทำงานกับอัตราการส่งข้อมูลเราสามารถทราบได้จากภาพที่ 3 ซึ่งเราเห็นว่า WLAN ให้อัตราการส่งที่สูงแต่มีข้อจำกัดคือมีรัศมีครอบคลุมการทำงานที่เล็ก ทำให้มีการจำกัดการรองรับผู้ใช้บริการภายในระบบ ซึ่งสิ่งทีกล่าวมานั้นเป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของระบบทำให้เราเข้าใจจุดเด่นและจุดด้อยของระบบได้มากขึ้น ซึ่งหากเราพิจารณาร่วมกันถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของแต่ละเทคโนโลยีจะทำให้เราเข้าใจระบบมากขึ้น โดยเราได้ทำการเปรียบเทียบค่าอัตราการส่งข้อมูลของเทคโนโลยีต่าง ๆ ไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลแต่ละเทคโนโลยี

เทคโนโลยี	เครือข่าย	มาตรฐาน	อัตราความเร็ว
Wi-Fi	WLAN	IEEE 802.11a	สูงสุด 54Mbps
Wi-Fi	WLAN	IEEE 802.11b	สูงสุด 11Mbps
Wi-Fi	WLAN	IEEE 802.11g	สูงสุด 54Mbps
WiMAX	WMAN	IEEE 802.16d	สูงสุด 75Mbps (20MHz BW)
WiMAX	Mobile WMAN	IEEE 802.16e	สูงสุด 30Mbps (10MHz BW)
WCDMA/UMTS	WWAN	3G	สูงสุด 2Mbps/10Mbps (HSDPA)
CDMA2000 1x EV-DO	WWAN	3G	สูงสุด 2.4Mbps

2.2.3 รูปแบบการรองรับการเคลื่อนที่ (Mobility type)

การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ จะทำให้ผู้ใช้สามารถได้รับการบริการอย่างเต็มที่และมีประสิทธิภาพสูงอีกทั้งค่าใช้จ่ายก็ไม่สูงมาก สาเหตุมาจากระบบที่รองรับการเคลื่อนที่ความเร็วต่ำจะมีราคาถูกกว่าระบบที่สามารถรองรับการเคลื่อนที่แบบเต็มรูปแบบซึ่งมักมีราคาที่สูงกว่า ระดับความสามารถในการรองรับการเคลื่อนที่ (Mobility type) สามารถแบ่งได้ 3 ระดับ รองรับการเคลื่อนที่ในความเร็ว ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การรองรับรูปแบบการเคลื่อนที่ของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย

2.2.4 ค่าบริการ (Monetary Cost)

ในปัจจุบัน WLAN สามารถสร้างเครือข่ายที่รองรับการใช้งานได้อย่างกว้างขวางและแพร่หลายในราคาค่าบริการที่ไม่แพงเกินไป เหมาะสำหรับผู้ใช้งานแบบประจำที่ ในส่วนของราคาค่าบริการ WiMAX นั้นจะอยู่ในระดับที่สูงขึ้นมาหน่อยเมื่อเทียบกับ WLAN เนื่องจาก ต้องทำการสร้างเครือข่ายใหม่ แต่เพราะมีโครงสร้างการเชื่อมต่อที่ไม่ซับซ้อน ประกอบกับรัศมีครอบคลุมการทำงานที่กว้าง มีการจัดการโครงข่ายบนพื้นฐานของเครือข่าย IP ซึ่งง่ายกว่า ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการลงทุนสร้างเครือข่ายนั้นมีราคาที่ไม่สูงมากผลที่ตามมาก็คือราคาค่าบริการก็จะไม่แพง เมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมต่อเครือข่าย 3G ที่ต้องใช้งบลงทุนสูงกว่า เนื่องจากระบบมีความซับซ้อนแต่ระบบ 3G นั้นมีข้อที่ได้เปรียบกว่าคือสามารถรองรับผู้ใช้งานขณะที่ผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ได้เป็นอย่างดี

การเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อระบบเพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบเพื่อการตัดสินใจ ให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำมาใช้ในการพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยี ได้แก่

1. ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Receive Signal Strength, RSS)

ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับนั้นแสดงถึงระดับกำลังของสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐาน เมื่อค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับที่มีค่าสูงแสดงว่าระดับความแรงของสัญญาณและควมมีเสถียรภาพนั้นมีความน่าเชื่อถือสูง ในเทคโนโลยีที่มีค่าความแรงของสัญญาณต่ำนั้นแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์มีระยะห่างจากสถานีฐานมากหรืออาจเกิดจากการติดต่อกับที่ติดขัดจากสิ่งกีดขวาง ผลที่ตามมาอาจทำให้ไม่สามารถรับการพิจารณาในการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีดังกล่าว

2. ค่าบริการ (Cost of service: C)

ค่าบริการ เป็นอัตราค่าบริการการใช้เทคโนโลยี ผู้ใช้งานย่อมมีความต้องการที่จะใช้บริการเทคโนโลยีในราคาที่ถูกลง ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยี หากอัตราค่าในแต่ละเทคโนโลยีมีความแตกต่างกันอย่างมากจะส่งผลให้ เทคโนโลยีที่มีอัตราค่าบริการที่ต่ำกว่า ได้รับการเลือกมากขึ้น

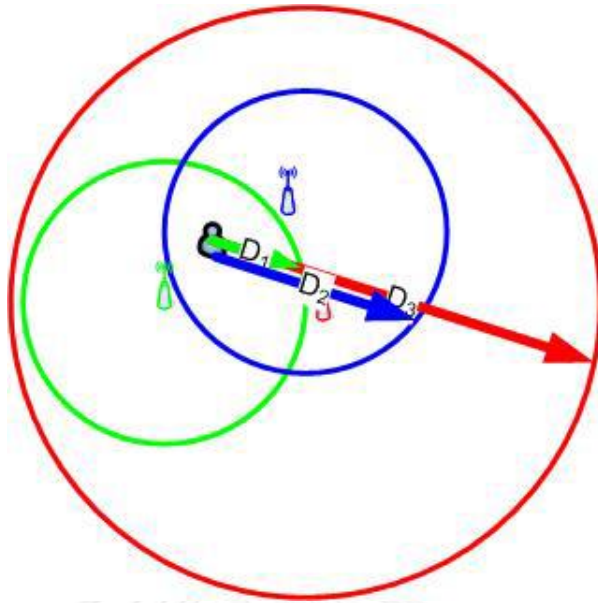
3. จำนวนช่องสัญญาณที่ระบบสามารถรองรับได้ (Available Bandwidth: AB)

จำนวนช่องสัญญาณที่ระบบสามารถใช้งานได้ คือ ค่าปริมาณช่องสัญญาณที่ระบบสามารถรองรับได้ โดยหากระบบใดมีจำนวนช่องสัญญาณที่ระบบสามารถรองรับได้ต่ำแสดงว่าระบบมีการใช้งานทรัพยากรในปริมาณที่สูง ทำให้ส่งผลต่อความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

4. ค่าคาดหวังเวลาในระบบ (Residual Time: RT)

เวลาที่ระบบคาดการณ์ก่อนที่ระบบจะแฮนด์ออฟไปยังระบบถัดไปว่าผู้ใช้งานจะยังคงเคลื่อนที่อยู่ เทคโนโลยีดังกล่าว เราเรียกว่าค่าคาดหวังเวลาในระบบ ซึ่งค่าคาดหวังเวลาในระบบที่มีค่าสูงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้งานของระบบ วิธีการคำนวณหาค่าคาดหวังเวลาสามารถคำนวณหาได้ดังตัวอย่างในภาพที่ 5

เราสามารถคำนวณค่าคาดหวังเวลา ภายในระบบโดยพิจารณาจากข้อมูลพิกัดตำแหน่งและความเร็วที่ได้จากระบบ GPS เทียบกับข้อมูลตำแหน่งและรัศมีครอบคลุมการทำงานของ BS ร่วมกันแล้วนำมาคำนวณค่าคาดหวังเวลาดังสมการที่ (2.1)



ภาพที่ 5 การพิจารณาค่าคาดหวังทางเวลา

$$RT_n = \frac{D_n}{V}$$

(2.1)

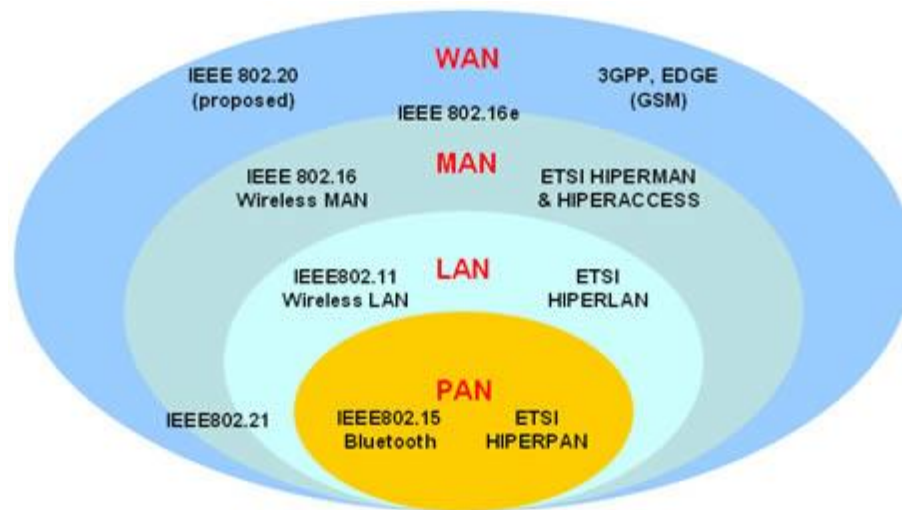
กำหนดให้

RT_n คือ ค่า Residual Time

D_n คือ ระยะทางที่วัด ณ จุดที่พิจารณาการแฮนด์ออฟไปยังของเซลล์แต่ละตัว

V คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานโครงข่าย

2.2.5 รัศมีครอบคลุมการทำงาน (Coverage Area)



ภาพที่ 6 รัศมีครอบคลุมการทำงานในระบบเทคโนโลยีไร้สาย

เราสามารถจำแนกเทคโนโลยีโดยคร่าว ๆ ได้เป็น 2 กลุ่มดังภาพที่ 6 ได้แก่กลุ่มที่มีรัศมีครอบคลุมการทำงานในระยะที่กว้าง (macro cell) ได้แก่ UMTS และ WiMax เป็นต้น และกลุ่มที่มีรัศมีครอบคลุมการทำงานในระยะที่สั้น (micro cell) ได้แก่ PAN และ WLAN เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้งานงานแบบประจำที่นั้นจะเหมาะกับกลุ่มที่มีรัศมีครอบคลุมการทำงานในระยะที่สั้นเนื่องจาก ระบบจะเกิดการแฮนด์ออฟบ่อยเมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่และผลที่ตามมาคือจะเกิดอัตราการแฮนด์ออฟล้มเหลวที่สูง ซึ่งเราได้ทำการสรุปค่ารัศมีครอบคลุมการทำงานของเทคโนโลยีดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบรัศมีครอบคลุมการทำงานระหว่างเทคโนโลยี

เทคโนโลยี	เครือข่าย	มาตรฐาน	ระยะทาง
Wi-Fi	WLAN	IEEE 802.11a	100 เมตร
Wi-Fi	WLAN	IEEE 802.11b	100 เมตร
Wi-Fi	WLAN	IEEE 802.11g	100 เมตร
WiMAX	WMAN	IEEE 802.16d	ปกติ 6.4 – 10 กิโลเมตร
WiMAX	Mobile WMAN	IEEE 802.16e	ปกติ 1.6 – 5 กิโลเมตร
WCDMA/UMTS	WWAN	3G	ปกติ 1.6 – 8 กิโลเมตร
CDMA2000 1x EV-DO	WWAN	3G	ปกติ 1.6 – 8 กิโลเมตร



บทที่ 3

วิธีการที่นำเสนอและแบบจำลองที่ใช้

เมื่อได้เรียนรู้ถึงคุณสมบัติของระบบสื่อสารไร้สายในแต่ละเทคโนโลยี รวมถึงแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของแบบแผนการตัดสินใจแฮนด์ออฟ ในรูปแบบต่างๆที่ได้มีผู้เสนอไว้แล้ว ดังที่กล่าวในบทก่อนหน้านี้ เนื้อหาในบทที่ 3 นี้จะเป็นการนำความรู้รวมถึงแนวคิดในการพัฒนาต่างๆ มาประยุกต์ใช้ให้ได้ระบบที่มีสมรรถนะการทำงานที่ดี ดังแสดงในวิธีการที่นำเสนอ สำหรับผลการจำลองการทำงานและเปรียบเทียบของวิธีการที่นำเสนอมีการกล่าวถึงในบทถัดไป

3.1 วิธีการที่นำเสนอ

จากแนวทางการศึกษาเบื้องต้น เราจึงต้องการเสนอแบบแผนการตัดสินใจที่นำข้อมูลทางตำแหน่งและความเร็วมาประกอบการพิจารณาควบคู่กับการใช้ทฤษฎีเกมโดยแนวทางที่นำเสนอสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

แนวทางที่นำมาเสนอสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. การพิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมจะแฮนด์ออฟ
2. การพิจารณาระบบปลายทางการแฮนด์ออฟ

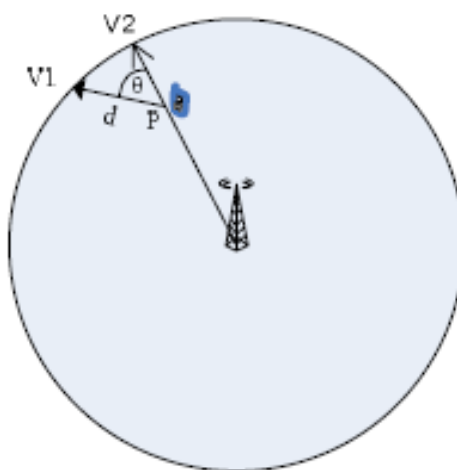
3.1.1 การพิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่จะแฮนด์ออฟ

จากการที่เราเปรียบเทียบและพิจารณาเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมที่จะแฮนด์ออฟ ในส่วนแรกได้นั้นจะช่วยลดความน่าจะเป็นการแฮนด์ออฟล้มเหลว ซึ่งการแฮนด์ออฟจะเกิดจากผู้ใช้งานอุปกรณ์สื่อสารได้มีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่เขตกระจายสัญญาณก่อนที่การแฮนด์ออฟจะเสร็จสิ้น ในงานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณี ของ Slow fading เนื่องจากความแรงของสัญญาณจะไม่แปรผกผันกับระยะห่างระหว่างผู้ใช้และสถานีฐานอย่างแท้จริง

การพิจารณาตำแหน่งของผู้ใช้เราจะไม่พิจารณาจากวิธีการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณเพื่อหลีกเลี่ยงผลที่เกิดจากความไม่คงที่ของสัญญาณแต่เราจะทำการพิจารณาค่าตำแหน่งจาก GPS แทน ซึ่งมีข้อมูลการพิจารณาเบื้องต้นดังนี้

1. ข้อมูลตำแหน่งของสถานีฐาน และบริเวณครอบคลุมของสถานีฐาน จะถูกดาวน์โหลดในอุปกรณ์สื่อสารไร้สายของผู้ใช้ ข้อมูลเหล่านี้ทางผู้ให้บริการ ได้มีการเผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์อย่างเป็นทางการ
2. ข้อมูลตำแหน่งของสถานีฐาน และบริเวณครอบคลุมของสถานีฐาน จะมีการกระจายสัญญาณแลกเปลี่ยนข้อมูลกับสถานีฐานข้างเคียง
3. การทำงานของ GPS จะถูกออกแบบให้ทำงาน เมื่อมีการโทร หรือส่งถ่ายข้อมูล เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์สื่อสาร และจากการพัฒนาของเทคโนโลยี GPS เองทำให้เวลาที่ใช้ในการได้รับข้อมูลลดลงเหลือเพียง 5 วินาทีซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณได้จริง
4. ในส่วนของความคลาดเคลื่อนของข้อมูล GPS สามารถทำการวัดค่าตำแหน่งของผู้ใช้ที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 15 เมตร และความเร็วไม่เกิน 0.1 เมตรต่อวินาทีซึ่งจาก [10] ได้มีการนำค่าตำแหน่งและความเร็วจาก GPS มาใช้พิจารณาการปิดและเปิดตัวรับสัญญาณของระบบ WLAN ในอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย เมื่อมีการเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากพื้นที่กระจายสัญญาณของ WLAN ใน [3] มีการนำค่าตำแหน่งและความเร็วจาก GPS เพื่อใช้ในการคำนวณช่วงเวลาที่ยกนออกฐานสัญญาณปัจจุบัน เพื่อกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการแฮนด์ออฟ แต่ยังไม่มีการนำมาใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบช่วงเวลาที่จะอยู่ในสัญญาณฐานปลายทาง ประกอบการตัดสินใจในการแฮนด์ออฟไปยังสัญญาณฐานปลายทาง

Decision Algorithm [11]



ภาพที่ 7 การพิจารณาตำแหน่งและความเร็วเทียบฐานสัญญาณ

เราสามารถอธิบายรูปแบบการตัดสินใจได้จากตัวอย่างภาพต้น ดังนี้

P คือ ตำแหน่งที่เราจะทำการตัดสินใจแฮนด์ออฟ โดยสามารถได้พิกัดจาก GPS

V_1 คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ที่จุด P โดยเราสามารถได้ค่าจาก GPS เช่นกัน

V_2 คือ ทิศทางอ้างอิงจากตำแหน่งของสถานีฐาน

θ คือ มุมระหว่าง V_1 และ V_2

d คือ ระยะจากจุด P จนถึงพื้นที่พื้นที่เขตการกระจายสัญญาณ

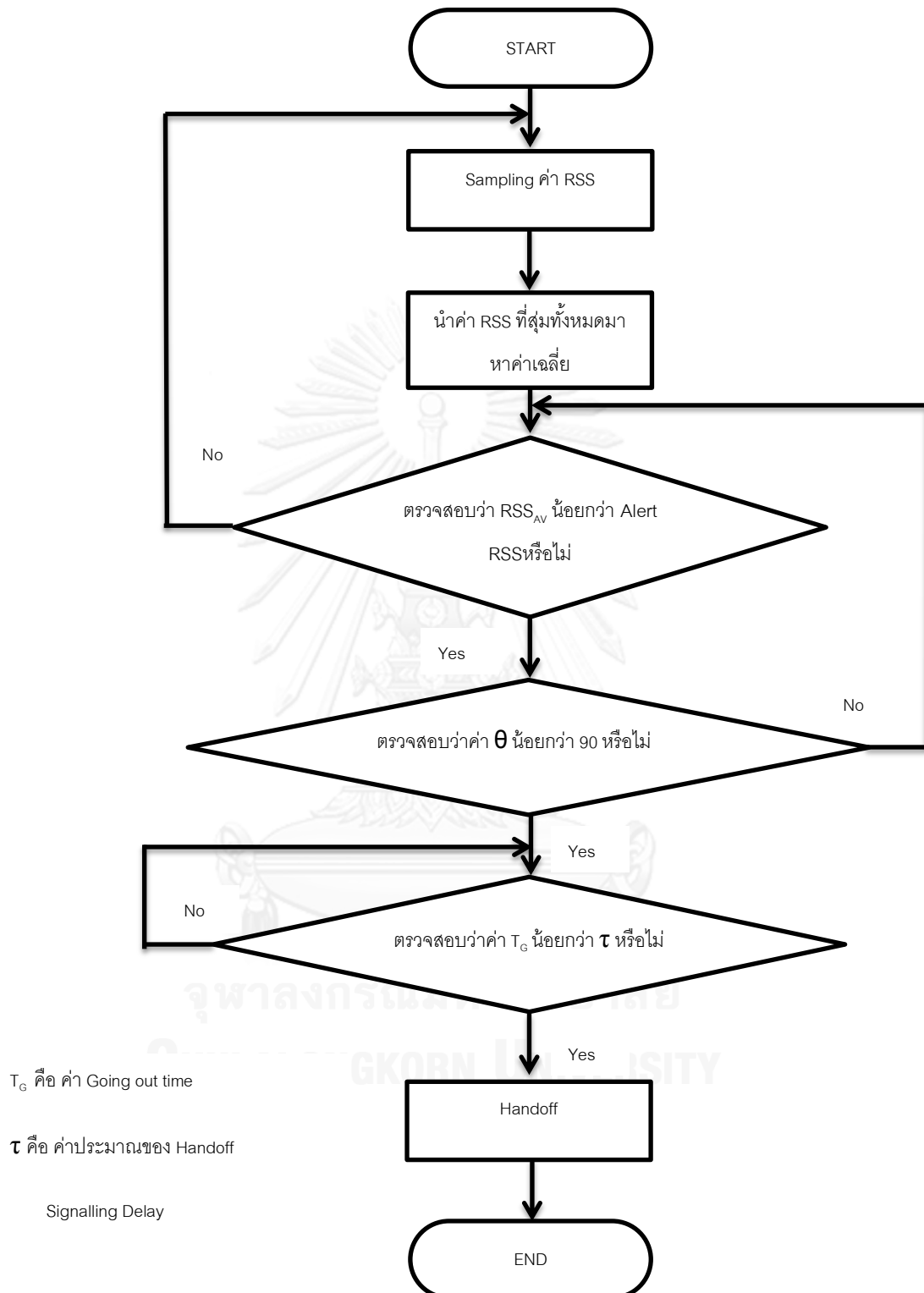
v คือ อัตราการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ขณะที่จุด P

Alert RSS คือเกณฑ์ขั้นต่ำที่จะทำการเริ่มพิจารณาแฮนด์ออฟ

Margin คือค่ารองรับช่วงเวลาที่ทำการตรวจสอบและความผิดพลาดจากการแจ้งตำแหน่งของ GPS ซึ่งค่า margin ที่เหมาะสมยอมส่งผลต่อ Handoff failure rate ที่ลดลงตาม

โดยที่เราสามารถคำนวณเวลาที่เคลื่อนที่พ้นจากพื้นที่กระจายสัญญาณได้จาก $(d-margin)/v$

เมื่อมีการสื่อสารหรือถ่ายโอนข้อมูล ขั้นตอนการพิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมจะถูกคำนวณอย่างต่อเนื่อง ในส่วนของช่วงการพิจารณาสัญญาณ ณ บริเวณใช้งานก็ควรเป็นแบบแปรผันสัมพันธ์กับค่าความเร็วของผู้ใช้เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการพิจารณาช่วงที่เหมาะสมมีดังนี้



ภาพที่ 8 แผนภูมิการพิจารณาช่วงเวลาในการแฮนด์ออฟ

การเฉลี่ยระดับความแรงสัญญาณ

การเฉลี่ยระดับความแรงสัญญาณเป็นการนำระดับความแรงสัญญาณที่ได้รับในช่วงเวลา ณ ขณะพิจารณาค่าสัญญาณ ร่วมกับค่าย้อนหลังมาเฉลี่ยดังสมการที่ (3.1)

$$RSS_{AV} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RSS_i \quad (3.1)$$

การเฉลี่ยระดับความแรงสัญญาณจะช่วยให้การลดผลของความแปรปรวนของระดับความแรงสัญญาณได้ส่วนหนึ่ง แต่การเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างมากเกินไปจะทำให้เกิดการดีรอปเนื่องจากการแฮนด์ออฟช้าเกินไป (Delayed Handoff) ซึ่งเราจะใช้จำนวนตัวอย่างในการเฉลี่ยที่ 10 ตัวอย่าง (N=10)

3.1.2 การพิจารณาระบบปลายทางของการแฮนด์ออฟ

ในส่วนที่สองเราจะพิจารณาระบบที่จะแฮนด์ออฟไปหา โดยการนำค่าตัวแปรที่ได้จากการวัดของระบบที่คาดว่าจะแฮนด์ออฟมาเปรียบเทียบกับกัน เพื่อตัดสินใจเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุด จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าทฤษฎีเกม [12] เป็นแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียม ดังนั้นจึงได้เสนอการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวีริคัล ซึ่งทฤษฎีเกมแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ เกมร่วมมือและเกมไม่ร่วมมือ ข้อดีของการนำทฤษฎีเกมมาใช้มีดังต่อไปนี้ [11],[12]

1. ทฤษฎีเกมสามารถให้ค่าที่บอกถึงความน่าจะเป็นที่ระบบนั้น จะกลายเป็นระบบปลายทางของการแฮนด์ออฟ ที่มีความน่าเชื่อถือจากระบบที่คาดว่าจะแฮนด์ออฟ โดยไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บค่าฐานข้อมูลจำนวนมาก เพื่อใช้เป็นกฎอ้างอิงพื้นฐาน (Handoff Rule Bases) [11] ซึ่งต้องใช้หน่วยความจำของอุปกรณ์ไร้สายจำนวนมาก เช่น ถ้ามีการพิจารณาตัวแปรเปรียบเทียบ 3 ค่าโดยแต่ละค่าแยกพิจารณาได้ 5 ระดับจะต้องเก็บค่ามากถึง $5^3 = 125$ ค่า
2. ผลการตัดสินใจในการแฮนด์ออฟ ได้จากการเปรียบเทียบค่าระบบที่คาดว่าจะทำการแฮนด์ออฟ โดยไม่จำเป็นต้องพิจารณาค้นหาเทียบกับ Handoff Rule Bases ซึ่งต้องใช้เวลามากขึ้น
3. ทฤษฎีเกมสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบได้ง่ายกว่า ในกรณีที่มีความหลากหลายของระบบที่มากขึ้น เนื่องจากมีความซับซ้อนน้อย

3.2 Parameter offset ratio

เนื่องจากโครงข่ายมีเป็นจำนวนมากซึ่งแต่ละโครงข่ายมีลักษณะที่แตกต่างกันไปและพารามิเตอร์ของผู้ใช้งานอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเลือก access network ที่ดีที่สุดแตกต่างกันไปในระบบไร้สาย ดังนั้นเป้าหมายการเลือกโครงข่ายที่ดีที่สุด เราควรพิจารณาที่ประสิทธิภาพ โดยการเปรียบเทียบโครงข่ายแต่ละโครงข่าย เนื่องจากโครงข่ายมีโครงสร้างและคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ยากต่อการประเมินประสิทธิภาพของโครงข่าย ดังนั้นจึงเสนอวิธี Parameter offset ratio เพื่อประเมินประสิทธิภาพโครงข่ายได้อย่างเท่าเทียมกัน

เราสามารถแบ่งประเภทของการประเมินค่า QoS ของโครงข่ายได้เป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

1. Reward Parameter หมายถึง ค่าพารามิเตอร์ที่มีปริมาณยิ่งมากในระบบจะส่งผลให้ค่า QoS ที่ได้นั้นมีค่าสูงขึ้น เช่น Bandwidth, RSS และ Residual Time เป็นต้น
2. Cost Parameter หมายถึง ค่าพารามิเตอร์ที่มีปริมาณยิ่งน้อยในระบบจะส่งผลให้ค่า QoS ที่ได้นั้นมีค่าสูงขึ้น เช่น ราคา, system connection delay เป็นต้น

เราสามารถหาค่า parameter offset ratio ได้ดังสมการที่ (3.2)

$$V_k = \begin{cases} \frac{p_{max}^k - p_c^k}{p_{max}^k - p_{min}^k}, & \text{which } p_c^i \in \text{reward parameter} \\ \frac{p_c^k - p_{min}^k}{p_{max}^k - p_{min}^k}, & \text{which } p_c^i \in \text{cost parameter} \end{cases} \quad (3.2)$$

V_k คือ ค่า parameter offset ratio ของตัวที่ใช้วัดทดสอบ

p_c^k คือ ค่า parameter ที่วัดได้ในโครงข่ายที่ใช้ทดสอบ

p_{max}^k คือ ค่าสูงสุดของ parameter ที่กำหนดของระบบโครงข่ายที่ i

p_{min}^k คือ ค่าต่ำสุดของ parameter ที่กำหนดของระบบโครงข่ายที่ i

จากสมการจะเห็นว่า $0 \leq V_k \leq 1$ ซึ่งค่า V_i ยิ่งน้อยจะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพที่ดี ยกตัวอย่างเช่นใน reward parameter เราสมมติให้ค่า RSS ที่ถูกกำหนดโดยโครงข่ายมีค่ามากเข้าใกล้ค่า RSS_{max} ผลลัพธ์ที่ได้คือ V_i จะมีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบ ในทางกลับกันใน cost parameter เราสมมติให้ค่าราคาที่ถูกกำหนดโดยโครงข่าย (C) มีค่าน้อย เข้าใกล้ค่า C_{min} ผลลัพธ์ที่ได้คือ V_i จะมีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบเดียวกัน

เราจะนำค่าที่ได้จากการวัด 3 ค่าต่อไปนี้มาผ่านกระบวนการข้างต้น

- 1) ค่าความแรงของสัญญาณ (Receive Signal Strength, RSS) คือค่าความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์ไร้สายได้รับจากสถานีฐานทั้งสถานีปัจจุบันและสถานีที่จะพิจารณาว่าจะแฮนด์ออฟไปหาหรือไม่
- 2) ปริมาณแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้ (Available Bandwidth, AB)

3) เวลาที่คาดว่าจะอยู่ในระบบ (Residual Time, RT)

3.3 ปริมาณคุณภาพของการบริการทางด้านโครงข่าย

จากการ normalize ค่าของ parameter offset ratio ในสมการที่ 3.2 เราสามารถนำไปหาค่าของคุณภาพการให้บริการทางด้านโครงข่าย (Quality of Service , QoS) ภายใต้การสื่อสารเคลื่อนที่แบบบิวรีวิธพันธุโดยหาได้จากการอ้างถึงของฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) ซึ่งฟังก์ชันซิกมอยด์ คือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปตัวเอส (“S” Shape) หรือ Sigmoid Curve ซึ่งเราประยุกต์ใช้งานจาก [13] ซึ่งรูปแบบในการหาค่าปริมาณคุณภาพการให้บริการจะมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของ QoS โดยพิจารณาพารามิเตอร์ของ Sensitivity Factor และ ค่าการเปลี่ยนแปลงของ Parameter offset ratio ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 3.3

$$Q = \frac{L}{(1 + \exp(-s \sum_{k=1}^N \omega_k (T_k - V_k))} \quad (3.3)$$

กำหนดให้

ω_k คือ ค่า Sensitivity factor ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง ($0 < \omega_k < 1$)

T_k คือ ค่า การเปลี่ยนแปลงของ Parameter offset ratio ของพารามิเตอร์ตัวที่ k

L และ S คือ ค่าคงที่ของสเกล (Scale constant)

3.3 ทฤษฎีเกม

การจำลองปัญหาโดยใช้ทฤษฎีเกมมาควบคุมการเสนอต่อออฟแชนด์ตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบบิวรีวิธพันธุประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) การกำหนดฟังก์ชันอรรถประโยชน์
- 2) การกำหนดเขตกลยุทธ์ของผู้เล่น
- 3) หาผลเฉลยของเกม

3.3.1 เกมไม่ร่วมมือ (Non-cooperative games)

ผู้เล่นจะไม่สามารถติดต่อสื่อสารหรือตกลงผลประโยชน์ร่วมกันได้ ดังนั้นผู้เล่นแต่ละคนจะเลือกกลยุทธ์ที่เหมาะสมกับตนเองได้อย่างอิสระเต็มที่โดยที่ไม่ต้องคำนึงถึงข้อตกลงใด ๆ ทั้งสิ้น โดย

สามารถใช้สมดุลของแนช (Nash equilibrium) มาช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกทางที่ดีที่สุด

$$\Omega = (N, (A_i)_{i \in N}, (u_i)_{i \in N}) \quad (3.4)$$

เมื่อ Ω คือ รูปแบบเชิงกลยุทธ์, N เป็นเซตของผู้เล่นทั้งหมด และ A_i คือเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ i , u_i คือฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i

ในส่วนนี้เราสมมติให้ไม่มีค่าการสูญเสียทั่วไป โดยผู้ให้บริการแต่ละส่วนได้กำหนดราคาค่าบริการ รูปแบบของเกมที่จะเลือกรจะเข้าถึงเครือข่ายและผู้ใช้ที่สอดคล้องกับกลยุทธ์ของผู้ให้บริการและผู้ให้บริการ คำนึงถึงค่า QoS ราคา และการเลือกเครือข่ายแอนด์ออฟที่ดีที่สุดตามลำดับชั้นองค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้เราสมมติให้มีผู้เล่นจำนวน 2 ผู้เล่น เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาเบื้องต้น และสามารถขยายขอบเขตต่อไปในอนาคต เราสามารถกำหนดองค์ประกอบพื้นฐานของเกมได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของรูปแบบของเกมไม่ร่วมมือ

ผู้เล่น (Player)	กลยุทธ์ (Strategy)	ผลตอบแทน (Payoff)
โครงข่าย i	เสนอราคา QoS ที่กำหนดโดยโครงข่าย (P_i)	$R_i(P)$
ผู้ใช้งาน (N)	เลือกโครงข่ายที่ดีที่สุด	อัตราส่วนของประสิทธิภาพด้านราคา (PCR)

กำหนดให้ค่าผลตอบแทนของผู้เล่นจากทางเลือกทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในเกม (payoff) เป็นดังสมการที่ (3.5)

$$R_i(P) = n_i(P_i D_i - c_i e_i D_i + a_i) \quad (3.5)$$

โดย

$R_i(P)$ คือ ผลลัพธ์ของผู้เล่นจากทางเลือกทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในเกม (payoff)

n_i คือ จำนวนผู้ใช้งานในโครงข่าย

P_i คือ ราคาของ QoS ที่ถูกกำหนดโดยโครงข่าย

D_i คือ ฟังก์ชันอุปสงค์ (Demand Function)

c_i คือ ค่า cost factor of access network

e_i คือ ค่า efficiency factor ของ D_i ใน access network i

a_i คือ network rental fee ของการแฮนด์ออฟแนวตั้ง

จาก [14] กำหนดค่า efficiency factor (e_i) ได้เป็น

$$e_i = E \left(1 - \frac{\sum_{k=1}^N V_k w_k}{\sum_{k=1}^N w_k} \right) \quad (3.6)$$

โดย

E คือ ค่า scale constant

w_k คือ ค่า sensitivity factor โดยมีค่าเป็น $0 < w_k \leq 1$

V_k คือ ค่า parameter offset ของ QoS Parameter แต่ละตัว

จากนั้นนำไปหาค่าอัตราส่วนของประสิทธิภาพด้านราคา (PCR) ได้ดังสมการที่ (3.7)

$$PCR = \frac{D_i e_i}{P_i} \quad (3.7)$$

3.3.1.1 ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function)

ได้มีการนิยามขึ้นมาเพื่อแทนปริมาณความพึงพอใจของผู้เล่นแต่ละคนในรูปแบบทางคณิตศาสตร์โดยใช้สมการ quadratic utility function [15] ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ตามเงื่อนไข เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ได้ดังสมการที่ (3.8)

$$U(D) = \sum_{i=1}^M D_i e_i - \frac{1}{2} (\sum_{i=1}^M D_i^2 + 2\rho \sum_{j \neq i} D_i D_j) - \sum_{i=1}^M P_i D_i \quad (3.8)$$

กำหนดให้

$U(D)$ คือ ผลรวมฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้ให้บริการทั้งหมด

$D = \{D_1, \dots, D_i, \dots, D_M\}$ คือ เซ็ตที่ประกอบไปด้วยปริมาณอุปสงค์จากโครงข่ายทั้งหมด

ρ คือ ค่าปัจจัยในการแข่งขันมีค่า $0 \leq \rho \leq 1$ จะสังเกตเห็นว่าเมื่อ $\rho = 0$ หมายถึง โครงข่ายผู้ให้บริการโครงข่ายหนึ่งไม่มีคู่แข่ง และ $\rho = 1$ หมายถึง คุณภาพของโครงข่ายทั้งสองโครงข่ายมีค่าเท่ากัน

เราจะ optimize ค่า d_i เพื่อจะหาจุดวิกฤติในการทำ maximize ค่า $U(D)$ โดยการหาอนุพันธ์ของ $U(D)$ เทียบกับ d_i แล้วกำหนดค่าเป็นศูนย์ดังสมการที่ (3.9)

$$\frac{\partial U(D)}{\partial d_i} = 0 = e_i - D_i - \rho \sum_{j \neq i} D_j - P_i \quad (3.9)$$

จาก (3.9) สำหรับ D_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, M$ เราจะได้ optimal demand function ดังสมการที่ (3.10)

$$D_i(P) = \frac{(e_i - P_i)[\rho(M-2)+1] - \rho \sum_{j \neq i} (e_j - P_j)}{(1-\rho)[\rho(M-1)+1]} \quad (3.10)$$

เนื่องจากในงานวิจัยนี้เราสมมติให้มีโครงข่ายจำนวน 2 โครงข่าย ($M = 2$) จากสมการที่ (3.10) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นดังสมการที่ (3.11)

$$D_i(P) = \frac{(e_i - P_i) - \rho \sum_{j \neq i} (e_j - P_j)}{(1 - \rho^2)} \quad (3.11)$$

3.3.1.2 สมดุลของแนช (Nash Equilibrium)

สมดุลของแนชคือผลเฉลยของความไม่ร่วมมือที่ทำให้ผู้เล่นทุกคนพึงพอใจในผลลัพธ์พิจารณาเกมในรูปแบบ strategic form $\Omega = (N, (A_i)_{i \in N}, (u_i)_{i \in N})$ กำหนดให้กลยุทธ์แบบสุ่ม (randomized strategy) สำหรับผู้เล่นคนที่ i เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นบน A_i และแทนเซตของกลยุทธ์แบบสุ่มทั้งหมดของผู้เล่นคนที่ i ด้วย ΔA_i เพื่อให้เห็นความแตกต่าง จึงเรียกกลยุทธ์ภายในเซต A_i ว่ากลยุทธ์แท้ (pure strategic) จากสมการที่ (3.5) เมื่อนำค่า demand function ในสมการที่ (3.11) มาแทน จะเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (3.12)

$$R_i(P) = n_i a_i + n_i (P_i - c_i e_i) \left[\frac{1}{(1 - \rho^2)} (e_i - P_i) - \frac{\rho}{(1 - \rho^2)} \sum_{j \neq i} (e_j - P_j) \right] \quad (3.12)$$

จากสมการที่ (3.12) สามารถหาค่า Best Response Price (BRP) ได้ดังสมการที่ (3.13)

$$\frac{\partial R_i(P)}{\partial P_i} = 0 = P^* = \frac{1}{2} (e_i + c_i e_i) - \frac{\rho}{2} \sum_{j \neq i} (e_j - P_j) \quad (3.13)$$

จากนั้นก็นำค่าที่ได้จากสมการข้างต้น มาเปรียบเทียบโดยเลือกค่าที่สูงที่สุดดังสมการที่ (3.14)

$$i^* = \max_{i \in [1, M]} \left(\frac{D_i e_i}{P_i^*} \right) \quad (3.14)$$

กำหนดให้ M คือ จำนวนโครงข่ายทั้งหมดที่เข้าถึง, i^* คือ ค่า PCR สูงสุดของจำนวนโครงข่ายที่มีทั้งหมด M โครงข่าย

3.3.2 เกมร่วมมือ (Cooperative games)

ผู้เล่นสามารถติดต่อสื่อสารและตกลงร่วมกันได้ก่อนเล่นเกม สามารถต่อรองหรือสร้างข้อตกลงร่วมกันได้ เพื่อให้ต่างฝ่ายต่างได้รับประโยชน์ร่วมกันอย่างสูงสุด หรือถ้าเสียเปรียบก็เสียเปรียบน้อยที่สุด โดยใช้หลักสัจพจน์ของความเท่าเทียม เนื่องจากโดยทั่วไปผู้ให้บริการแต่ละฝ่ายต่างแข่งขันกันด้านคุณภาพการบริการและทางด้านราคาเพื่อดึงดูดผู้ใช้งานมากขึ้นและเพื่อเพิ่มรายได้ของผู้ให้บริการ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการแข่งขันที่รุนแรง ผลที่ตามมาคือทำให้ราคาลดลงและผลกำไรหดตัว ผู้ให้บริการจึงต้องหันหน้าเข้ามามีมือร่วมกันในบางส่วน ซึ่งองค์ประกอบของรูปแบบเกมร่วมมือแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบของรูปแบบของเกมร่วมมือ

ผู้เล่น (Player)	กลยุทธ์ (Strategy)	ผลตอบแทน (Payoff)
โครงข่าย i	การกำหนดราคาแบบตัดเทียมกัน	$R_{i(c)}(P)$
ผู้ใช้งาน (N)	เลือกโครงข่ายที่ดีที่สุด	อัตราส่วนของประสิทธิภาพด้านราคา (PCR)

ในทำนองเดียวกับสมการที่ (3.5) ผลลัพธ์ของผู้เล่นจากทางเลือกทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในเกม (payoff) เป็นดังสมการที่ (3.15)

$$R_{i(c)}(P) = n_i(P_{i(c)}D_{i(c)} - c_i e_i D_{i(c)} + a_i) \quad (3.15)$$

จาก [14] เราสามารถหาค่าฟังก์ชันอุปสงค์ (Demand function) ได้จาก

$$D_{i(c)}(P) = \frac{e_i - P_{i(c)}}{\rho(M-1)+1} \quad (3.16)$$

เนื่องจากในงานวิจัยนี้สมมติให้มีโครงข่ายจำนวน 2 โครงข่าย ($M = 2$) จากสมการที่ (3.16) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นดังสมการที่ (3.17)

$$D_{i(c)}(P) = \frac{e_i - P_{i(c)}}{\rho + 1} \quad (3.17)$$

ค่า Best Response Price (BRP) ที่เกิดจากการร่วมมือกันของผู้เล่นเราเรียกว่า Coalition Price หาได้ดังสมการที่ (3.18)

$$\frac{\partial R_{i(c)}(P)}{\partial P_{i(c)}} = 0 \Rightarrow P_{i(c)}^* = \frac{1}{2}(e_i + c_i e_i) \quad (3.18)$$

จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการข้างต้น มาเปรียบเทียบกับโดยเลือกค่าที่สูงที่สุดดังสมการที่ (3.14)

3.4 แบบจำลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

3.4.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ (Mobility Model)

ผู้ใช้มีความเร็วเริ่มต้นเป็นตัวแปรเชิงสุ่มแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ย 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเลือกความเร็วในช่วง 0 – 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภายใต้การเคลื่อนที่ 2 รูปแบบคือ การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และการเคลื่อนที่แบบอิสระที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ

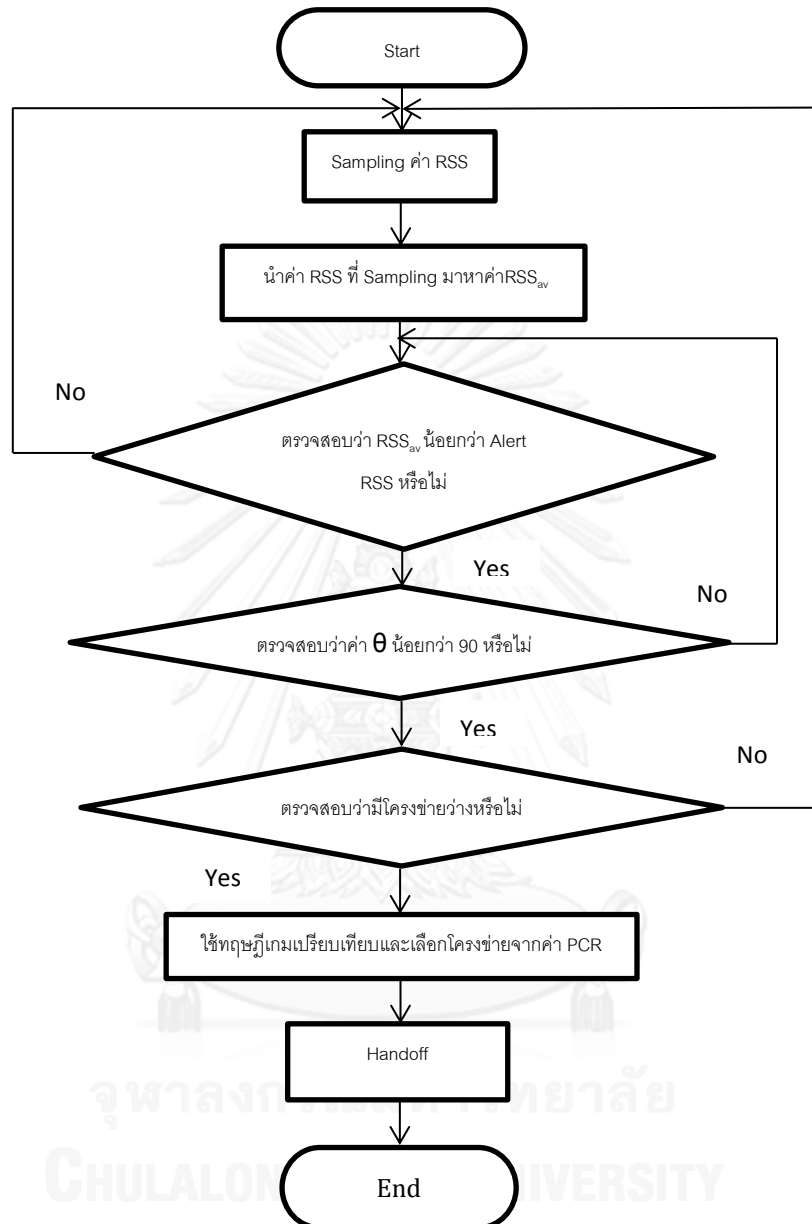
3.4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบ

ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการจำลองแบบแสดงไว้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบ

Parameter	WiMAX	UMTS
Radius of Coverage Area (m)	5,000	3,000
RSS _{min} , RSS _{max} (dBm)	-118,-98	-116,-96
Maximum Bandwidth	30	15

3.4.3 VERTICAL HANDOFF PROCEDURE



ภาพที่ 9 แบบแผนการตัดสินใจที่นำเสนอ

แบบแผนการตัดสินใจในการแฮนด์ออฟ พิจารณาจากตำแหน่ง และความเร็วของผู้ใช้ที่ได้จาก GPS โดยจะนำค่าตำแหน่งมาพิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มการแฮนด์ออฟดังภาพที่ 9 ระบบจะทำการ sampling ค่า RSS แล้วนำค่า RSS ที่นำมาเฉลี่ยแล้ว เปรียบเทียบกับตัว Alert RSS ระบบจะมีการเตือนเกิดขึ้นเมื่อ RSS ที่เรานำมาเปรียบเทียบกับนั้นมีค่าน้อยกว่า Alert RSS จากนั้นจะทำการวัดมุมการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ เมื่อทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้ใช้มีค่าน้อยกว่า 90 องศา นั้นหมายความว่า ผู้ใช้จะมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่มีลักษณะออกจากเซลล์ หลังจากนั้นเมื่อระบบ

ตรวจสอบแล้วพบว่าผู้ใช้กำลังเคลื่อนที่ออกจากเซลล์จริง ๆ แล้วได้ตกอยู่ในเขตโครงข่ายสัญญาณทับซ้อน ระบบก็จะนำสัญญาณที่ทับซ้อนนั้นมาเปรียบเทียบโดยใช้ทฤษฎีเกมแลกเปลี่ยนโครงข่ายที่ดีที่สุดที่จะทำการแฮนด์ออฟ

3.4.4 แบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณ (Propagation Model)

การแพร่กระจายสัญญาณของคลื่นสำหรับ WLAN [16], UMTS [17] และ WiMAX [16] แสดงในสมการที่ (3.19) – (3.21) ตามลำดับ

$$R_{ss}(d)_{dBm} = 10 \log \left(\frac{100}{(39.37d)^\gamma} \right) + \chi_\sigma \quad (3.19)$$

$$R_{ss}(d) = P_{tran} - [S + 10n \log(d) + \chi_\sigma] \quad (3.20)$$

$$R_{ss}(d) = P_{tran} - \left[20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + \chi_\sigma \right] \quad (3.21)$$

เมื่อ $R_{ss}(d)$ คือ ระดับความแรงสัญญาณที่ระยะห่าง d จากจุดอ้างอิง d_0

d_0 คือ ระยะทางอ้างอิง

P_{tran} คือ กำลังของสัญญาณส่ง

γ คือ ค่าคงตัวการส่งสัญญาณที่ขึ้นกับสภาพแวดล้อม (Environmental factors of transmissions)

χ_σ คือ ค่าคงตัวแจกแจงแบบปกติที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ ใช้แทนผลของการลดทอนสัญญาณจากสิ่งกีดขวาง (Shadow fading)

S คือ ค่าคงที่การแพร่กระจาย (path loss constant)

n คือ ค่า path loss exponent

λ คือ ค่าความยาวคลื่น

3.5 การประเมินสมรรถนะ

การประเมินสมรรถนะของวิธีการที่เสนอนจะนำมาทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ได้มีการเสนอก่อนหน้า โดยค่าตัวชี้วัด ที่จะนำมาเปรียบเทียบ ได้แก่

3.5.1 จำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ (Number of Handoff)

ซึ่งเป็นค่าที่วัดจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟรวมทั้งหมดของผู้ใช้ในระบบโดยที่จำนวนครั้งการแฮนด์ออฟใดมีค่าน้อยเมื่อพิจารณาที่จำนวนผู้ใช้เท่ากัน แสดงให้เห็นถึงระบบดังกล่าวมีโอกาสเกิดอัตราการแฮนด์ออฟล้มเหลว (Handoff failure rate) จากกระบวนการแฮนด์ออฟต่ำ

3.5.2 ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟ (Dropping Probability)

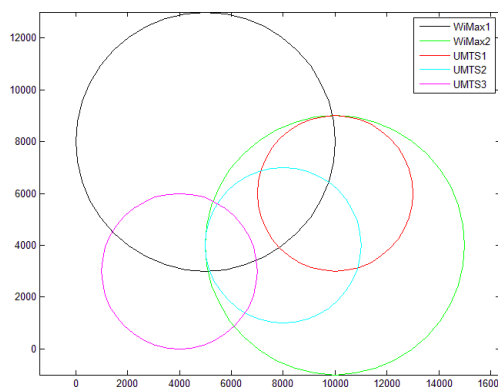
ซึ่งเป็นค่าที่วัดจากความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นจากจำนวนการเรียกที่ไม่สำเร็จของผู้ใช้งานที่อยู่บริเวณขอบเซลล์ที่ต้องมีการตัดสินใจการแฮนด์ออฟ และมีการร้องขอการแฮนด์ออฟไปยังสถานีฐานอื่น เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานโครงข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีคุณภาพ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นของการติดขัดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟนั้นถ้ามีค่าสูง จะส่งผลให้ผู้ใช้งานมีความสามารถในการติดต่อกับสถานีฐานได้แยลง แล้วอาจส่งผลให้เกิดการหลุดการเชื่อมต่อของสัญญาณเกิดขึ้น

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ในบทที่ผ่านมาเราได้เสนอแบบแผนการตัดสินใจในการแฮนด์ออฟในแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์ โดยการพิจารณาข้อมูลทางพิกัดตำแหน่ง และความเร็วที่ได้จากระบบ GPS ร่วมกับกระบวนการตัดสินใจโดยใช้ทฤษฎีเกมมาเกี่ยวข้อง ซึ่งในการจำลองการทำงานเราได้ใช้โครงข่ายการจำลองแบบดังภาพที่ 10 และเราจะทดสอบประสิทธิภาพของแบบแผนการตัดสินใจเพื่อเปรียบเทียบกับแบบแผนที่ได้มีการเสนอก่อนหน้าดังนี้

1. แบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและสุ่มเลือกเทคโนโลยีปลายทางใหม่ (RSS-Threshold Random Based Selection: RSS-TH-RDB)
2. แบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและพิจารณาเลือกเทคโนโลยีปลายทางจากค่าความแรงสัญญาณ (RSS-Threshold RSS Based Selection: RSS-TH-RSS)
3. แบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและพิจารณาเลือกเทคโนโลยีปลายทางจากกระบวนการ FQDA (RSS-Threshold FQDA Based Selection: RSS-TH-FQB)



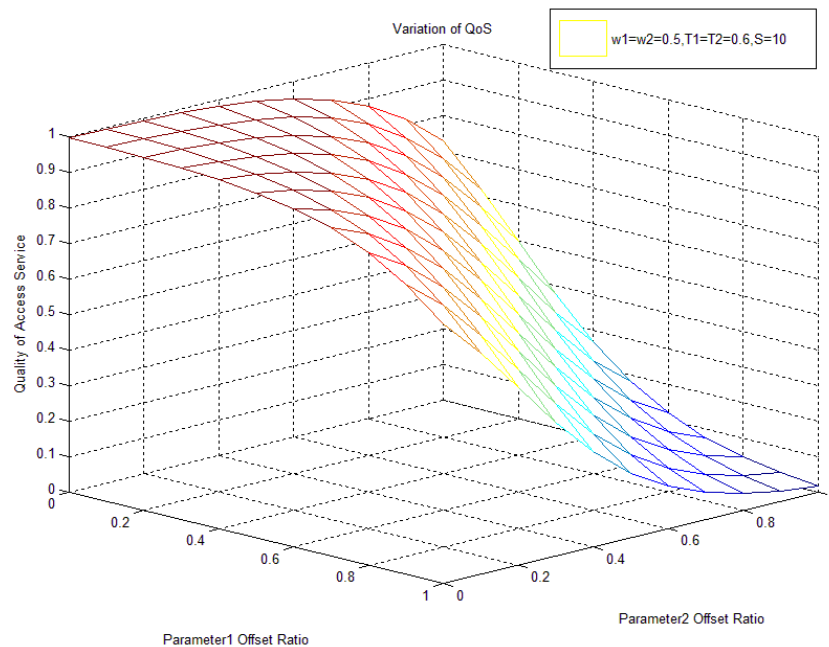
ภาพที่ 10 โครงข่ายที่ใช้ในการจำลองแบบ

4.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์

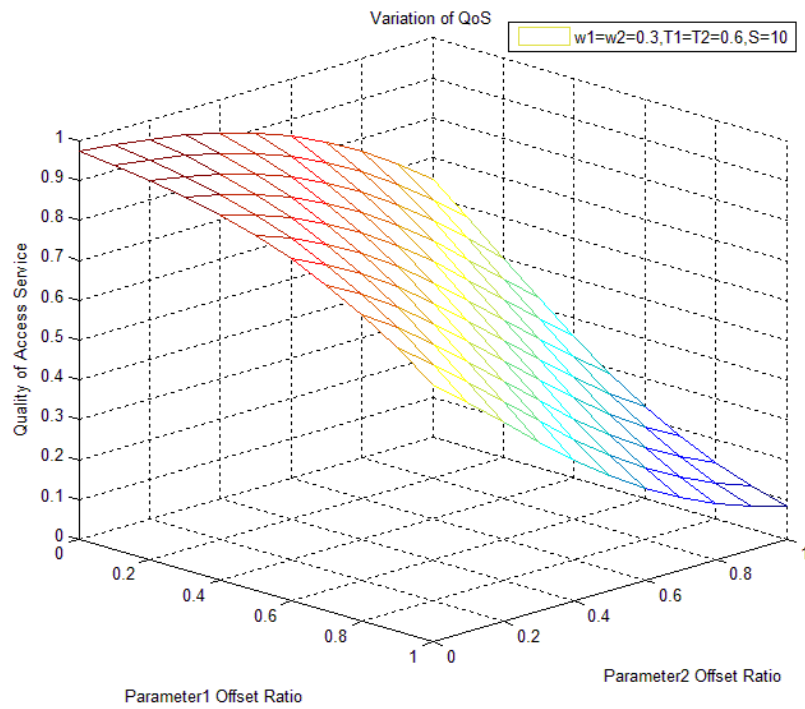
เราได้ทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ของทฤษฎีเกมร่วมมือและทฤษฎีเกมไม่ร่วมมือ โดยการสมมติค่าพารามิเตอร์ดังนี้ $c_i = c_1 = c_2 = 0.1$, $e_i = e_1 = e_2 = 0.6$, $a_1 = a_2 = 0.5$ ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์เท่ากับงานวิจัยก่อนหน้า [14] เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขโครงข่ายเดียวกัน

4.2 ผลการทดสอบ

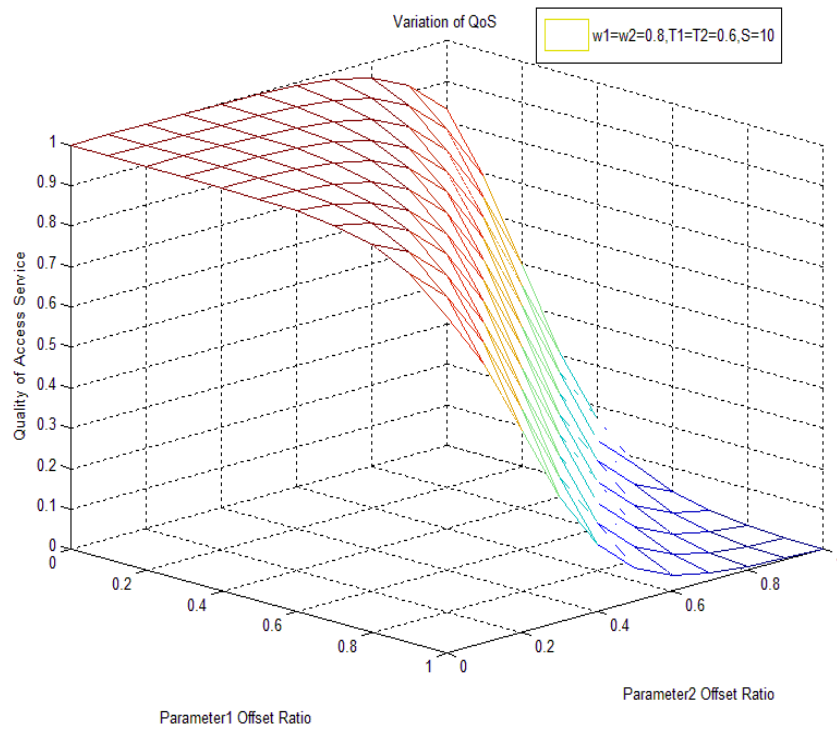
4.2.1 ผลการจำลองแบบคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่าย



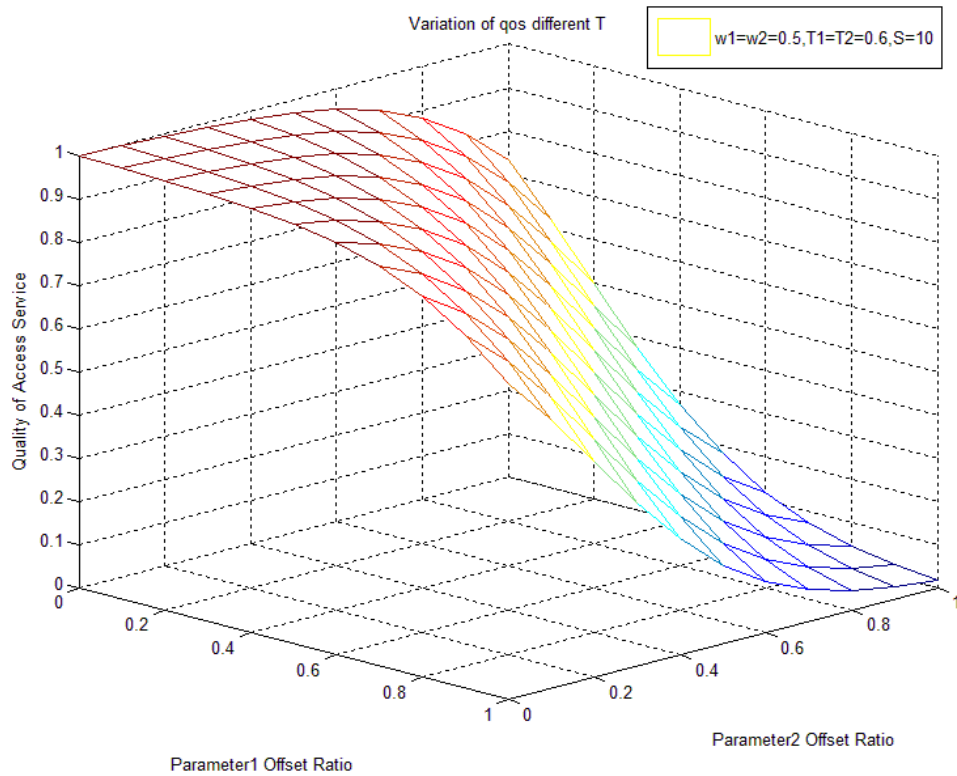
ภาพที่ 11 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $w_i=0.5$



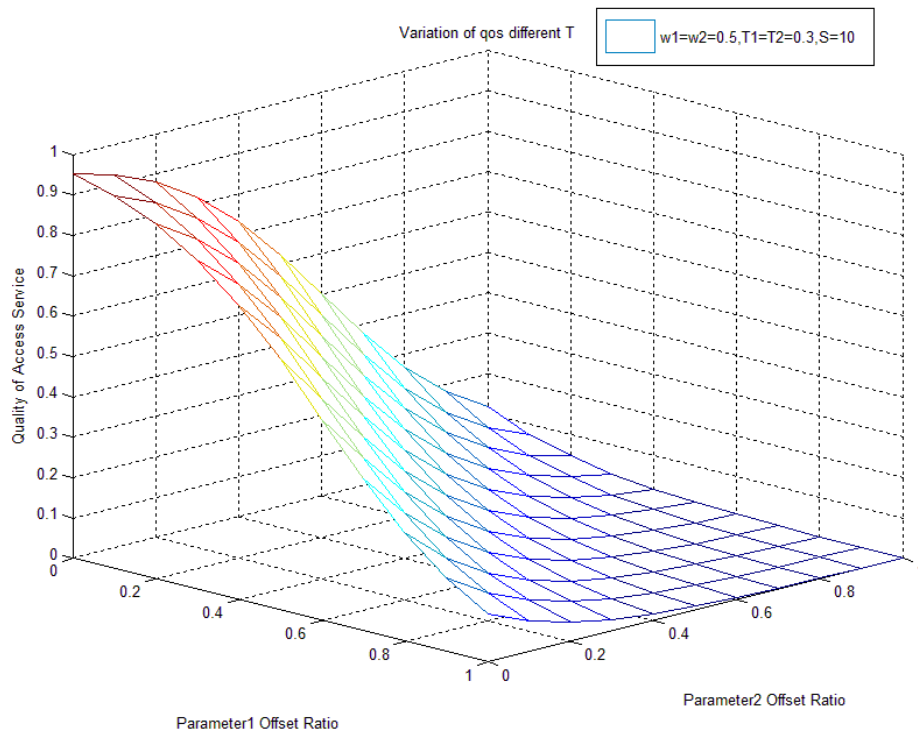
ภาพที่ 12 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $w_i=0.3$



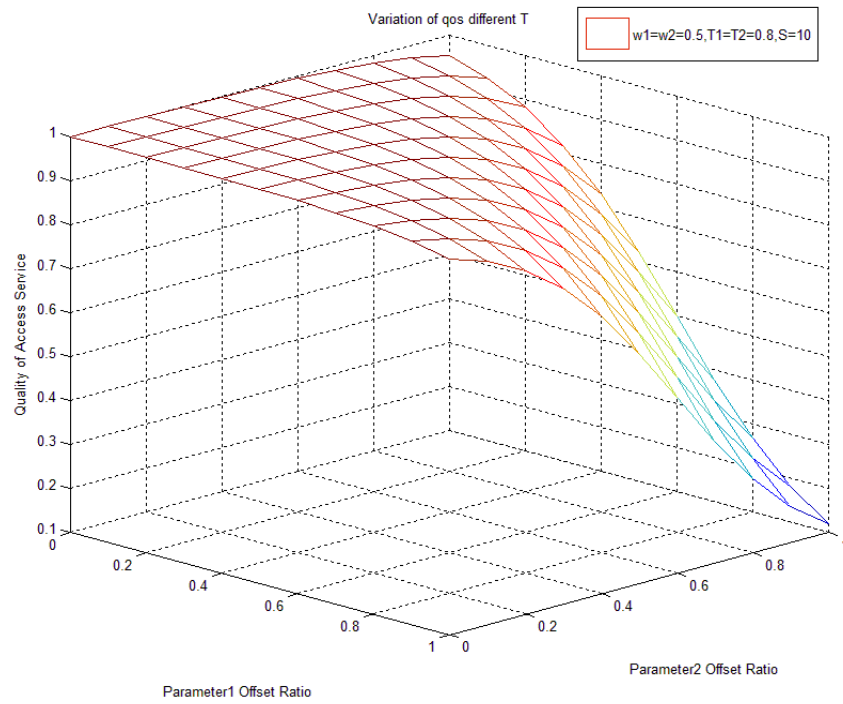
ภาพที่ 13 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $w_i=0.8$



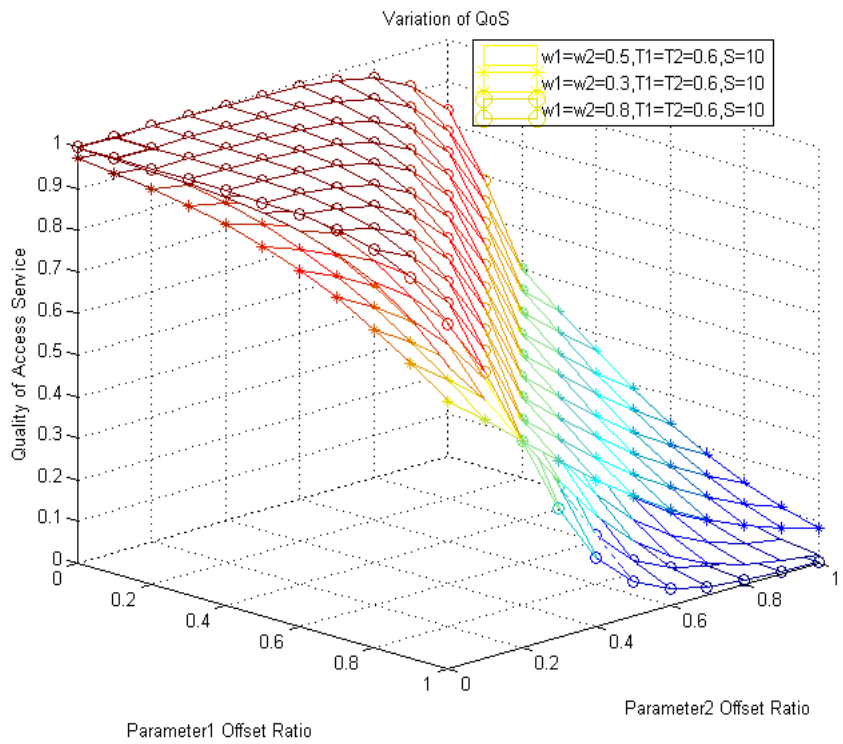
ภาพที่ 14 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $T_i=0.6$



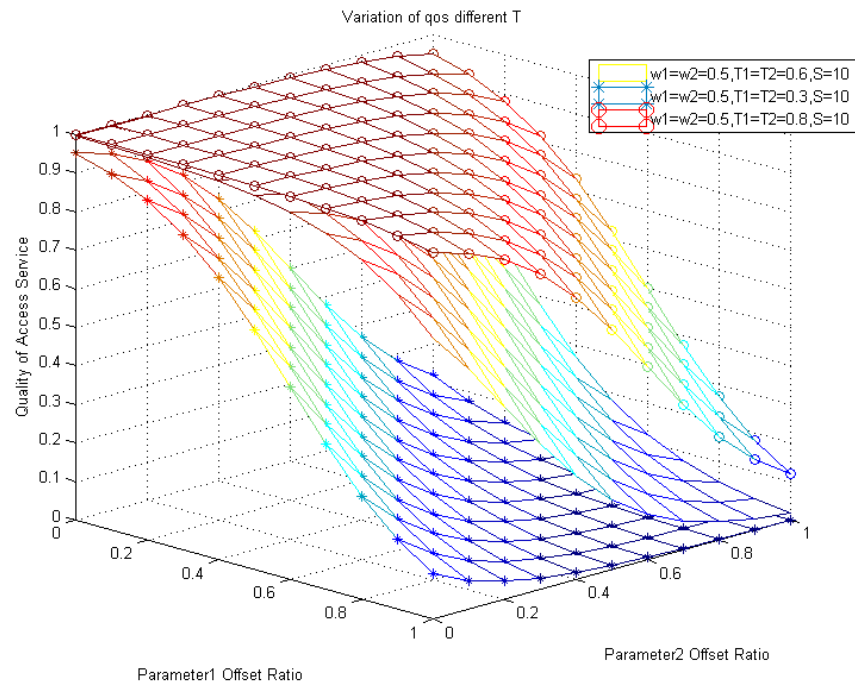
ภาพที่ 15 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $T_i = 0.3$



ภาพที่ 16 คุณภาพของการให้บริการเมื่อกำหนดให้ $T_i=0.8$



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบค่าคุณภาพของการให้บริการเมื่อมีการเปลี่ยนค่า w_i



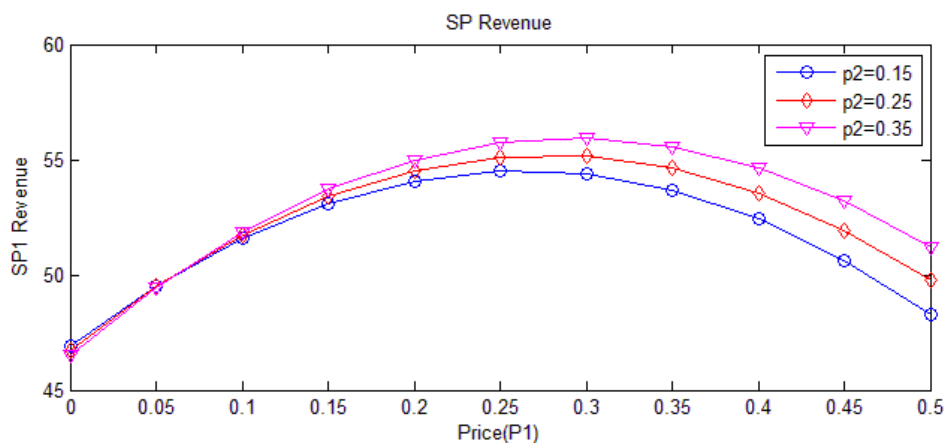
ภาพที่ 18 เปรียบเทียบค่าคุณภาพของการให้บริการเมื่อมีการเปลี่ยนค่า T_i

จากการทดสอบพบว่าผลการจำลองแบบคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่าย จะมีค่าแปรผกผันกลับค่า Parameter Offset Ratio ดังภาพที่ 11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า Parameter Offset Ratio มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่ายมีค่าลดลง เมื่อทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนค่า w_i โดยกำหนดให้ค่า w_i มีค่าลดลงเป็น 0.3 จากภาพที่ 12 พบว่าเมื่อค่า Parameter Offset Ratio มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่ายมีค่าลดลงเช่นกัน แต่อัตราการลดลงของค่าคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่ายมีค่าลดลงที่ได้นั้นมีค่าช้ากว่าเมื่อกำหนดให้ $w_i=0.5$ เมื่อเราทดสอบโดยเปลี่ยนค่า $w_i = 0.8$ เราพบว่าเมื่อค่า Parameter Offset Ratio มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่ายมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน แต่จากภาพที่ 13 เราพบว่า การลดลงของค่าคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่ายนั้น มีอัตราการลดลงที่เร็วกว่าในภาพที่ 11 และ 12 ดังนั้นเราจึงสรุปได้ว่า ค่า w_i มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่ายดังรูปที่ 17 โดยที่ค่า w_i ยิ่งมีค่ามากจะส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่ายนั้นเปลี่ยนแปลงไวยิ่งขึ้นเมื่อ Parameter Offset Ratio มีการเปลี่ยนแปลง

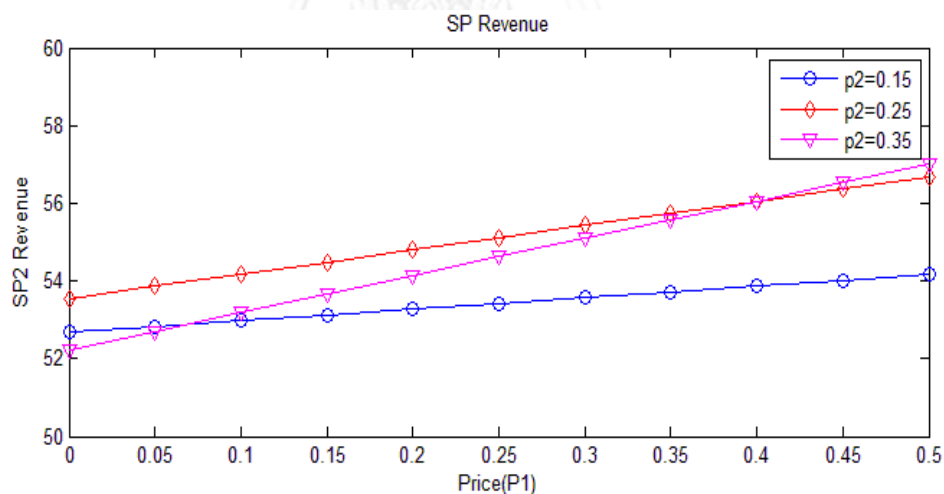
จากนั้นทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงค่า T_i จากการทดสอบพบว่าค่าคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่ายมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกันตรงที่รูปร่างของกราฟและจุดเปลี่ยนว่า

(inflection) ทำให้ส่งผลกระทบต่อความสูงชันของกราฟซึ่งทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณภาพการให้บริการที่เข้าถึงโดยโครงข่ายดังแสดงในภาพที่ 14, 15 และ 16

4.2.2 ผลลัพธ์ของแต่ละผู้ให้บริการเมื่อนำเสนอราคาที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 19 ผลลัพธ์รายได้ของผู้ให้บริการที่ 1

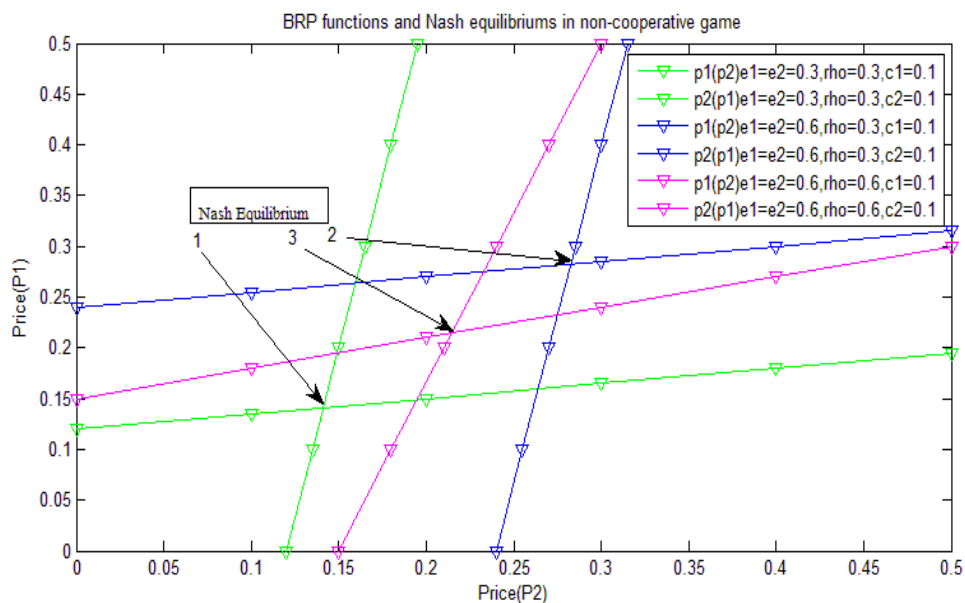


ภาพที่ 20 ผลลัพธ์รายได้ของผู้ให้บริการที่ 2

ภาพที่ 19 แสดงผลลัพธ์รายได้ของผู้ให้บริการที่ 1 (SP1 Revenue) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าบริการและคุณภาพที่ถูกกำหนดโดยโครงข่ายที่ 1 จากผลการทดสอบพบว่าค่าของ SP1 Revenue จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนถึงค่าค่าหนึ่งแล้วหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเนื่องจากในช่วงแรกนั้นผู้ใช้งานเลือกใช้งานกับผู้ให้บริการรายที่ 1 เนื่องจากราคาถูกกว่าแล้วคุณภาพสมเหตุสมผล แต่เมื่อผู้ให้บริการรายที่ 1 ได้เพิ่มอัตราค่าบริการขึ้นไปเรื่อย ๆ จะพบว่ารายได้ของผู้ให้บริการที่ 1 (SP1

Revenue) มีค่าลดลงเนื่องจากราคาที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้ผู้ให้บริการเปลี่ยนไปใช้กับผู้ให้บริการรายที่ 2 นั้นเอง ดังภาพที่ 20 จะพบว่า ผู้ให้บริการที่ 2 จะมีรายรับมากยิ่งขึ้น เมื่ออัตราค่าบริการของผู้ให้บริการรายที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อที่ทั้งสองฝ่ายจะได้กำไร ไม่มีฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งได้กำไรเกินไป หรืออีกฝ่ายขาดทุนมากเกินไปเราจึงต้องหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อจะทำให้ทั้งสองฝ่ายต่างได้กำไรทั้งคู่ จากภาพที่ 19 เราจะเห็นว่า ตำแหน่งที่สูงที่สุดของกราฟ คือจุดที่ผู้ให้บริการรายที่ 1 นั้นได้กำไรที่ดีที่สุดซึ่งผู้ให้บริการรายที่ 2 ยังคงได้กำไรอยู่เช่นกัน เราจึงต้องทำการหาค่าตำแหน่งที่ผู้ให้บริการทั้งสองฝ่ายยังได้กำไรอยู่ซึ่งเราเรียกจุดนี้ว่าสมดุลของแนช (Nash Equilibrium)

4.2.3 เปรียบเทียบค่า BRP และจุดสมดุลของแนช เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า e_i และ ρ ในรูปแบบของเกมไม่ร่วมมือ

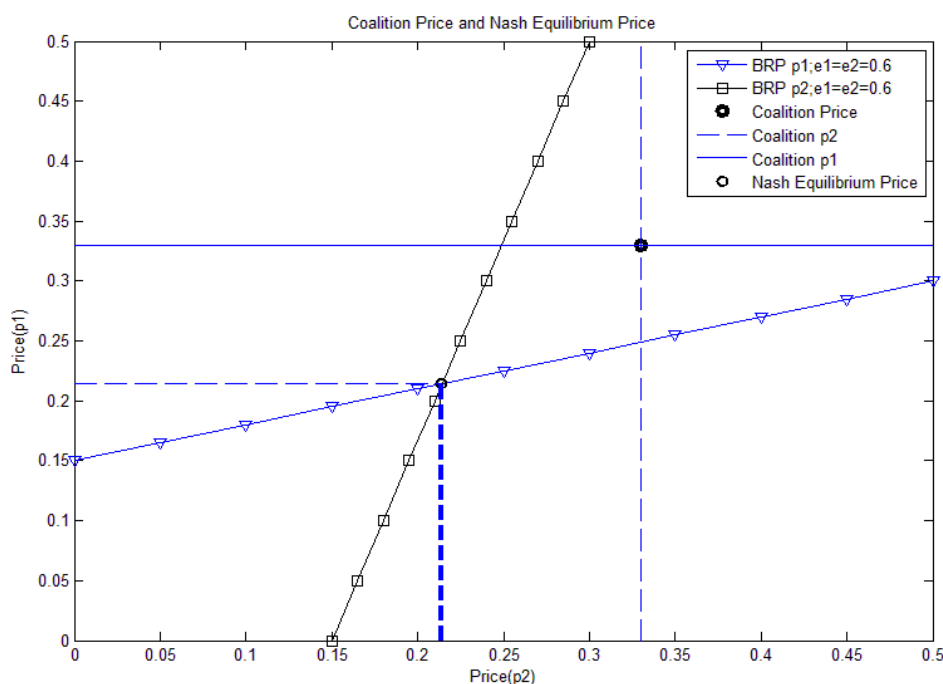


ภาพที่ 21 การตอบสนองที่ดีที่สุดทางด้านราคา (Best Response Price, BRP) และจุดสมดุลของแนชในรูปแบบของเกมไม่ร่วมมือ

ภาพที่ 21 แสดงผลตอบสนองที่ดีที่สุดทางด้านราคา (Best Response Price, BRP) และ สมดุลของแนชในรูปแบบของเกมไม่ร่วมมือในโครงข่าย 2 โครงข่าย จากการทดสอบในกรณีที่ 1 และ 2 เป็นการเปรียบเทียบตำแหน่งของสมดุลของแนชเมื่อกำหนดให้ค่า efficiency factor (e_i) มีค่าที่ต่างกัน จากการทดสอบพบว่า เมื่อ e_i มีค่าเพิ่มขึ้นจุดสมดุลของแนชจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องมาจาก e_i ที่มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า QoS ดีกว่า e_i ที่มีค่าเพิ่มน้อย แล้วเมื่อค่า QoS ดีทำให้เราสามารถต่อรอง

เพิ่มอัตราค่าบริการได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนในกรณีที่ 2 และ 3 เปรียบเทียบตำแหน่งของสมดุลของแนชเมื่อกำหนดให้ค่าปัจจัยในการแข่งขัน (ρ) ที่ต่างกัน จากการทดสอบพบว่าเมื่อมีปัจจัยในการแข่งขันที่สูงขึ้น ตำแหน่งสมดุลของแนชจะมีค่าลดลงเนื่องมาจากผู้ให้บริการมีการแข่งขันกันด้านราคาทำให้ต่างฝ่ายต่างปรับลดราคาลงมา ราคาที่ถูกกว่าจะสามารถดึงดูดจำนวนผู้ใช้งานได้มากขึ้น

4.2.4 เปรียบเทียบค่าที่จุดสมดุลของแนชในเกมไม่ร่วมมือกับค่า Coalition Price ของเกมร่วมมือ

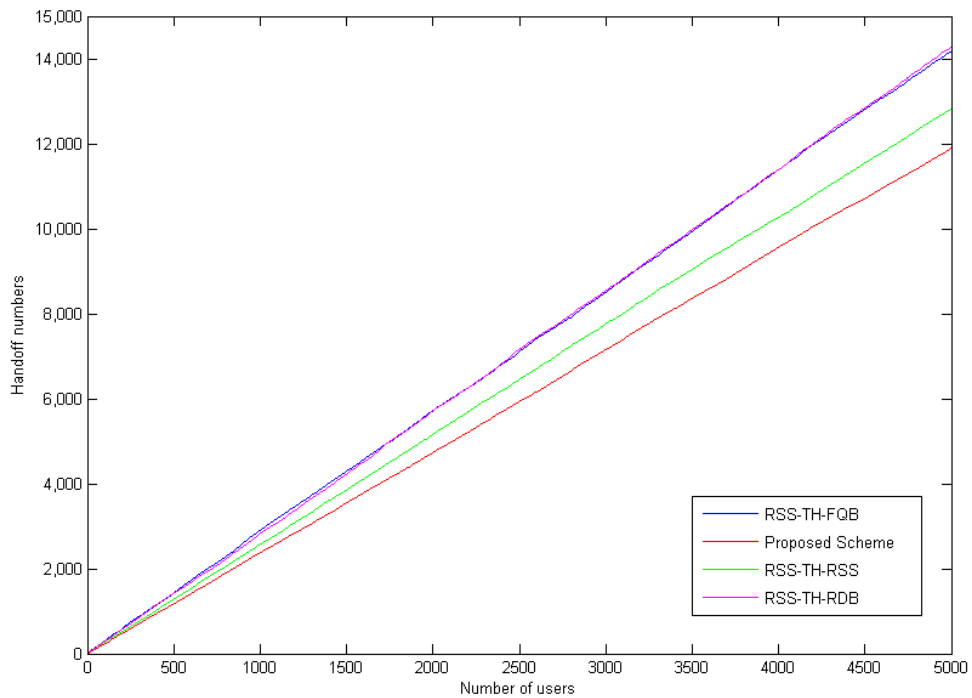


ภาพที่ 22 ราคาที่จุดสมดุลของแนชกับ Coalition Price

จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าที่จุดสมดุลของแนชในเกมไม่ร่วมมือกับค่า Coalition Price ของเกมร่วมมือภายใต้โครงข่ายเดียวกัน จากภาพที่ 22 เราพบว่าค่า Coalition Price ของเกมร่วมมือนั้น ได้ราคาดีกว่าราคาจุดสมดุลของแนชในเกมร่วมมือ เนื่องจากในเกมร่วมมือนั้น ผู้ให้บริการแต่ละฝ่ายต่างร่วมมือกันกำหนดราคาที่ดีที่สุด เพื่อที่จะได้รับผลกำไรทั้งสองฝ่ายได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้นั่นเอง

4.2.5 ผลการจำลองแบบและวิเคราะห์จำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ

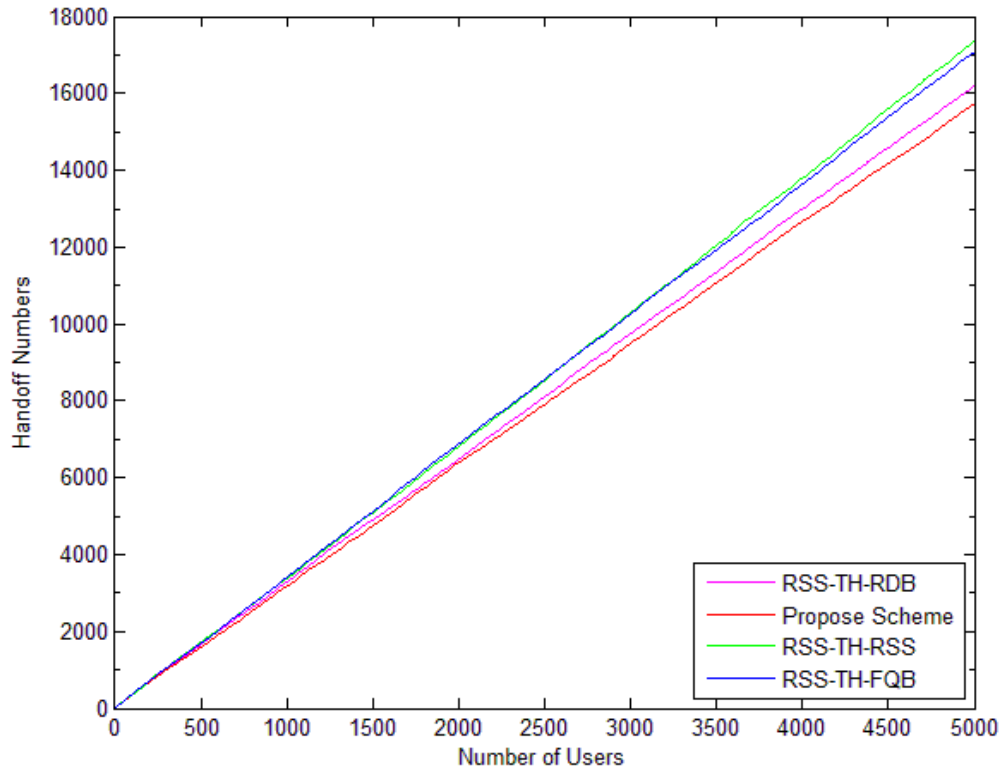
4.2.5.1 จำนวนครั้งการแฮนด์ออฟกรณีการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีดั้งเดิม 3 วิธีในกรณีการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

จากผลการทดสอบดังภาพที่ 23 แสดงให้เห็นว่าจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟของแบบแผนที่นำเสนอให้ค่าต่ำสุดที่ค่า 11993 ครั้ง โดยที่จำนวนครั้งของ แบบแผน RSS-TH-RSS, RSS-TH-FQB และ RSS-TH-RDB ให้ค่าต่ำรองลงมาตามลำดับที่ค่า 12872, 14178 และ 14227 โดยทั้ง 3 ลำดับให้ค่าสูงกว่าแบบแผนที่นำเสนอคิดเป็นร้อยละ 7.3293, 18.2189 และ 18.6275

4.2.5.2 จำนวนครั้งการแฮนด์ออฟกรณีการเคลื่อนที่แบบอิสระที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีดั้งเดิม 3 วิธีในกรณีการเคลื่อนที่แบบอิสระที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ

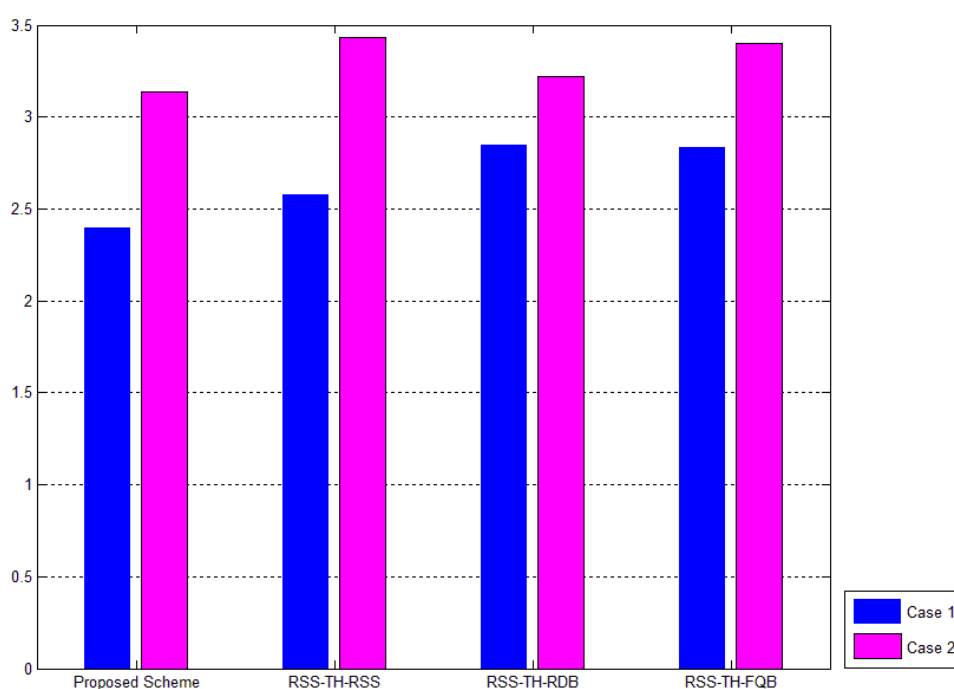
จากผลการทดสอบดังภาพที่ 24 แสดงให้เห็นว่าจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟของแบบแผนที่นำเสนอให้ค่าต่ำสุดที่ค่า 15672 ครั้ง โดยที่จำนวนครั้งของ แบบแผน RSS-TH-RDB, RSS-TH-FQB และ RSS-TH-RSS ให้ค่าต่ำรองลงมาตามลำดับที่ค่า 16098, 17009 และ 17150 โดยทั้ง 3 ลำดับให้ค่าสูงกว่าแบบแผนที่นำเสนอคิดเป็นร้อยละ 2.7182, 8.5311 และ 9.4308

จากการทดสอบและเปรียบเทียบจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟของแบบแผนการตัดสินใจที่ได้ นำเสนอกับ แบบแผน RSS-TH-RDB, RSS-TH-FQB และ RSS-TH-RSS ในรูปแบบการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบ มาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยการแฮนด์ออฟของแบบแผนการตัดสินใจทั้งหมดในการเคลื่อนที่ทั้งสองกรณี

รูปแบบการเคลื่อนที่	แบบแผนที่เสนอ	RSS-TH-RSS	RSS-TH-RDB	RSS-TH-FQB
เส้นตรง	2.3986	2.5744	2.8454	2.8356
แบบอิสระ	3.1344	3.43	3.2196	3.4018

เมื่อนำมา plot graph เพื่อศึกษาแนวโน้มค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงการแฮนด์ออฟโดยจำแนกตามแบบแผนการตัดสินใจทั้ง 4 ประเภท จะได้ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงการแฮนด์ออฟของแต่ละแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์ออฟเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่

จากภาพที่ 25 จะเห็นว่าในทุกแบบแผน เมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่จากเส้นตรงเป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระนั้นจะมีค่าเฉลี่ยการตัดสินใจการแฮนด์ออฟที่สูงขึ้น โดยแบบแผน RSS-TH-RDB จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง คิดเป็นอัตราร้อยละ 13.1511 และแบบแผน RSS-TH-RSS จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง คิดเป็นอัตราร้อยละ 33.2349

4.2.6 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบจากจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ

1. RSS-TH-RSS จากการทดสอบจะเห็นว่าแบบแผน RSS-TH-RSS ให้ผลของจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟน้อยเป็นลำดับที่ 2 ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ซึ่งเป็นผลมาจากการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณ เนื่องจากระยะห่างของผู้ใช้งานกับสถานีฐานจะมีผลต่อค่าความแรงของสัญญาณ ดังนั้นการเลือกสัญญาณฐานที่ให้ค่าความแรงของสัญญาณสูง ย่อมส่งผลให้ผู้ใช้งานมีโอกาสที่จะอยู่ในระบบได้อีกนาน เนื่องจากถือว่าเริ่มเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับเสาสัญญาณ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่ เราจะพบว่าแบบแผนนี้จะมีจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟที่สูงขึ้นมากอย่างชัดเจน เนื่องจากระบบพิจารณาจากค่าความแรงของสัญญาณเพียงอย่างเดียว ในกรณีที่ผู้ใช้งานมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากที่มีการแฮนด์ออฟไปยังสถานีฐานใหม่แล้วมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่มากกว่า 90 องศา เช่นในกรณีเลี้ยว หรือ กลับรถแสดงว่าผู้ใช้งานจะเคลื่อนที่กลับมายังสถานีฐานเดิมก่อนการแฮนด์ออฟเนื่องจากระบบพิจารณาจากความแรงของสถานีฐานอย่างเดียวทำให้เกิดการแฮนด์ออฟขึ้นอีกครั้ง ผลที่ตามมาคือ จำนวนครั้งการแฮนด์ออฟที่สูงขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแบบแผนประเภทอื่น จะเห็นว่าแบบแผนประเภทนี้มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงการรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานน้อย

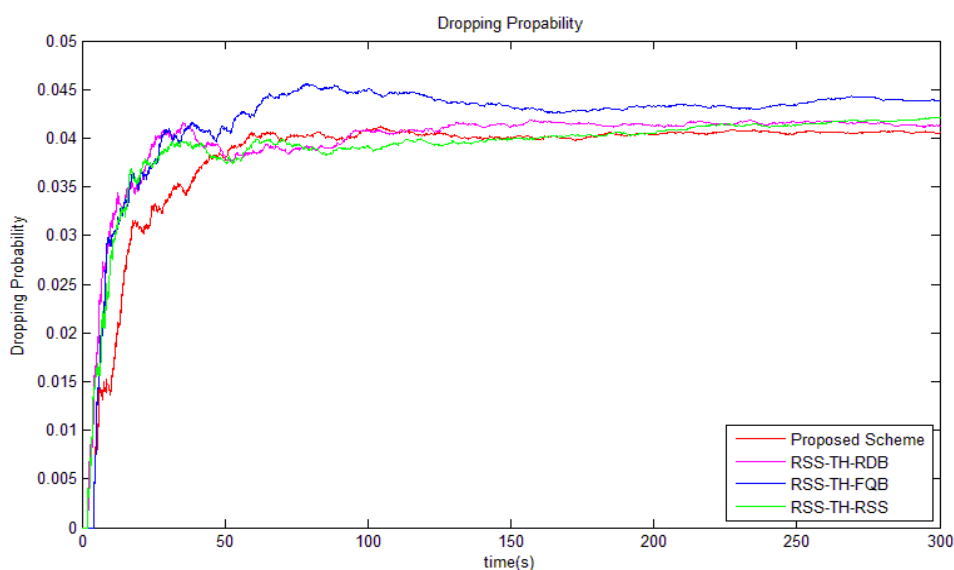
2. RSS-TH-RDB จากผลการทดสอบจะเห็นว่าแบบแผน RSS-TH-RDB ให้ผลของจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟที่สูงที่สุดในกรณีการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงซึ่งเป็นผลมาจากการพิจารณาเลือกสถานีฐานแบบสุ่มซึ่งเป็นการที่ไม่ได้ใช้ข้อมูลใด ๆ มาช่วยในการตัดสินใจเลย แต่เมื่อเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่เป็นแบบอิสระซึ่งหมายถึงผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนที่ในทิศทางใดก็ได้ ไม่มีทิศทางเคลื่อนที่อย่างแน่นอนจึงทำให้จำนวนครั้งการแฮนด์ออฟมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแบบแผนประเภทอื่นเราพบว่าแบบแผนนี้ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยต่ำที่สุดเนื่องจากรูปแบบการตัดสินใจแบบสุ่ม ดังนั้นจึงถือว่าแบบแผน RSS-TH-RDB มีความยืดหยุ่นต่อรูปแบบการเคลื่อนที่สูงเพราะไม่ได้ใช้ข้อมูลใด ๆ ที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับตำแหน่งนั้น ๆ เช่น ความแรงของสถานีฐาน ระบบใช้เพียงสุ่มเพียงอย่างเดียว

3. RSS-TH-FQB จากผลการทดสอบจะเห็นว่าแบบแผน RSS-TH-FQB ให้ค่าจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟที่สูงเป็นลำดับที่ 3 ทั้งในกรณีที่มีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงและการเคลื่อนที่แบบอิสระ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบแผนการตัดสินใจทั้งหมด ซึ่งเป็นผลมาจากการพิจารณาค่าพารามิเตอร์อื่นร่วมกันในการตัดสินใจการแฮนด์ออฟ เพื่อให้ได้ประโยชน์กับผู้ใช้ในมุมมองของตัวชี้วัดอื่น ๆ ทำให้ค่าจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟมีค่าค่อนข้างสูง และมีค่าสูงชันกว่าเดิมเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่เป็นแบบอิสระ

4. Proposed Scheme จากผลการทดสอบจะเห็นว่าจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟ ของแบบแผนที่นำเสนอให้ค่าต่ำที่สุดทั้งในรูปแบบการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและแบบอิสระ ซึ่งจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟที่ต่ำมีผลมาจาก 3 ส่วน ได้แก่ส่วนที่ 1 ส่วนของการพิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการแฮนด์ออฟ ส่วนที่ 2 ผลจากการพิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ทฤษฎีเกมในการช่วยตัดสินใจ ส่วนที่ 3 คือผลจากการพิจารณาค่าคาดหวังทางเวลา ซึ่งจะช่วยในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ เช่น การตรวจสอบการเลี้ยวและการกลับรถ เป็นต้น ซึ่งระบบนี้ช่วยลดผลของ ping pong effect ทำให้ผลที่ตามมาคือจำนวนครั้งในการแฮนด์ออฟมีค่าลดลงเพราะได้ตัดการแฮนด์ออฟที่ไม่จำเป็นออกไป ซึ่งเราจะเห็นว่า ในส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 นั้นระบบจะใช้ทฤษฎีเกมในการเลือกสถานีฐานปลายทางที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด

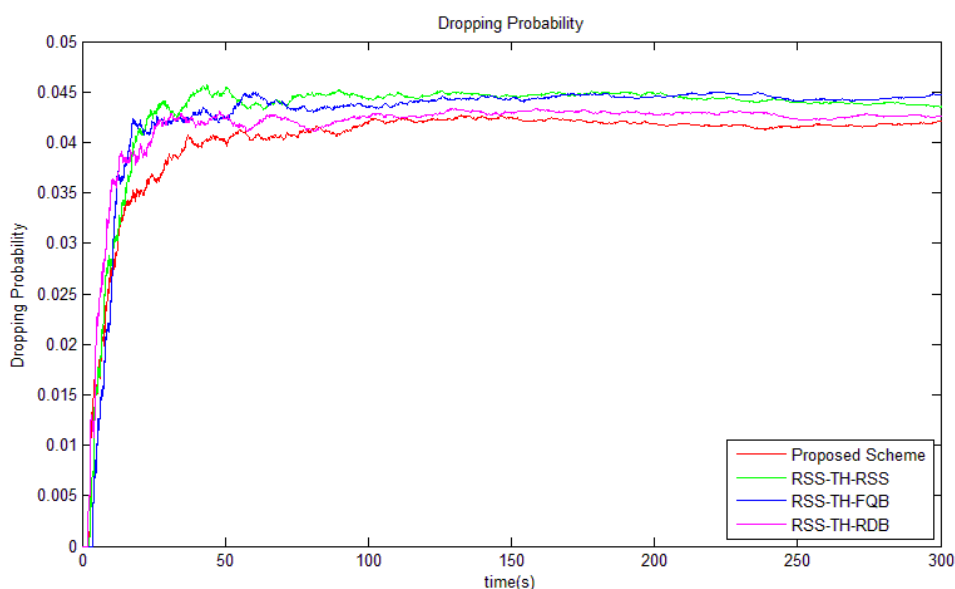
4.2.7 ผลการทดสอบความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟ (Dropping Probability)

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลทดสอบและการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟ ซึ่งเป็นค่าที่วัดจากความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นจากจำนวนการเรียกที่ไม่สำเร็จของผู้ใช้งานที่อยู่บริเวณขอบเซลล์ที่ต้องมีการตัดสินใจการแฮนด์ออฟ และมีการร้องขอการแฮนด์ออฟไปยังสถานีฐานอื่น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานโครงข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีคุณภาพ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นของการตัดขาดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟนั้นถ้ามีค่าสูง จะส่งผลให้ผู้ใช้มีความสามารถในการติดต่อกับสถานีฐานได้แย่งลง แล้วอาจส่งผลให้เกิดการหลุดการเชื่อมต่อของสัญญาณเกิดขึ้น



ภาพที่ 26 เปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟกรณีที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

จากผลการทดสอบในภาพที่ 26 พบว่าค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟกรณี
ที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงพบว่า แบบแผนที่น่าเสนอให้ค่าเฉลี่ยที่สถานะคงที่ต่ำที่สุดคือ 0.0405 ซึ่ง
แบบแผนที่เราทดสอบเปรียบเทียบคือ RSS-TH-RDB, RSS-TH-RSS และ RSS-TH-FQB ให้ค่าต่ำ
รองลงมา คือ 0.0413, 0.0421 และ 0.0438 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 แบบแผนที่น่ามาเปรียบเทียบนั้นให้
ค่าสูงกว่าแบบแผนที่น่าเสนอคิดเป็นร้อยละ 1.9753, 3.951 และ 8.1481



ภาพที่ 27 เปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์
ออฟกรณีที่เคลื่อนที่แบบอิสระมีการแจกแจงแบบสมมาตร

จากผลการทดสอบในภาพที่ 27 พบว่าค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟกรณี
ที่เคลื่อนที่แบบอิสระมีการแจกแจงแบบสมมาตรพบว่า แบบแผนที่น่าเสนอให้ค่าเฉลี่ยที่สถานะคงที่
ต่ำที่สุดคือ 0.0421 ซึ่งแบบแผนที่เราทดสอบเปรียบเทียบคือ RSS-TH-RDB, RSS-TH-RSS และ RSS-
TH-FQB ให้ค่าต่ำรองลงมา คือ 0.0426, 0.0436 และ 0.0447 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 แบบแผนที่น่ามา
เปรียบเทียบนั้นให้ค่าสูงกว่าแบบแผนที่น่าเสนอคิดเป็นร้อยละ 1.1876, 3.5629 และ 6.1758

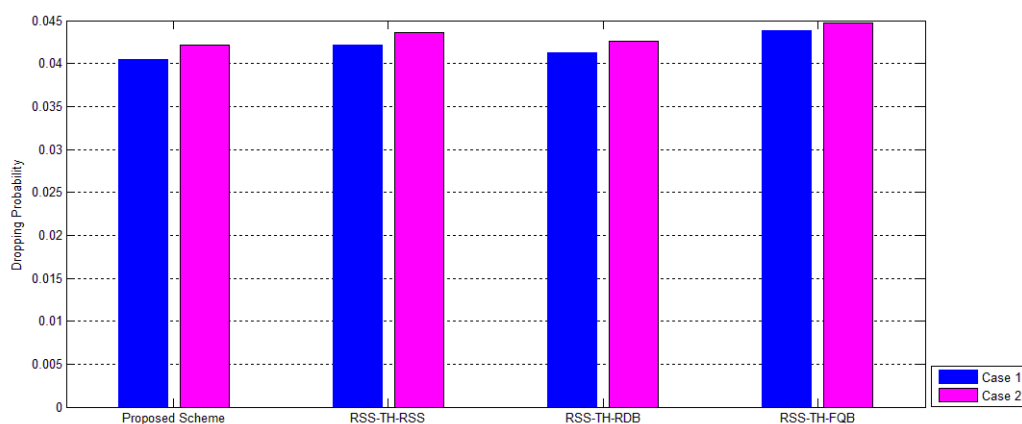
4.2.8 วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟ

จากผลการจำลองแบบทดสอบความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟของการตัดสินใจทั้ง 4 แบบ มาพิจารณาหาค่าเฉลี่ยที่สถานะคงที่จะแสดงได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟที่สถานะคงที่

รูปแบบการเคลื่อนที่	แบบแผนที่เสนอ	RSS-TH-RSS	RSS-TH-RDB	RSS-TH-FQB
เส้นตรง	0.0405	0.0421	0.0413	0.0438
แบบอิสระ	0.0421	0.0436	0.0426	0.0447

เมื่อนำมา plot graph เพื่อศึกษาแนวโน้มค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงการปฏิเสธการแฮนด์ออฟโดยจำแนกตามแบบแผนการตัดสินใจทั้ง 4 ประเภทจะได้ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงการปฏิเสธการแฮนด์ออฟที่สถานะคงที่เมื่อเปลี่ยนรูปแบบการเคลื่อนที่โดยจำแนกตามแบบแผนการตัดสินใจ

จากผลการทดสอบพบว่าแบบแผนที่น่าเสนอนั้นให้ค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการแฮนด์ออฟน้อยที่สุด ซึ่งหมายความว่าแบบแผนที่น่าเสนอนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแบบแผนทั้ง 3 แบบแผนที่น่าเสนอทั้งในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ในแบบเส้นตรงและแบบอิสระซึ่งส่งผลให้เห็นว่าแบบแผนที่น่าเสนอนั้น มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า แบบแผนที่น่ามาพิจารณาทดสอบด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์โดยนำเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายมาออกแบบให้สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพแก่ผู้ใช้บริการประเภทต่าง ๆ พร้อมทั้งจัดสรรทรัพยากรที่ใช้ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์และพิจารณาขณะมีพื้นที่ทับซ้อนของสัญญาณ (Overlaid area)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอให้มีการนำข้อมูลทางพิกัดและความเร็วจากระบบ GPS (Global Positioning System) มาใช้พิจารณาร่วมในแบบแผนการตัดสินใจในการแฮนด์ออฟ เพื่อตรวจสอบพิจารณาช่วงการแฮนด์ออฟที่เหมาะสม เพื่อลดจำนวนครั้งของการแฮนด์ออฟที่ไม่จำเป็นซึ่งเกิดจากความแปรปรวนของค่าความแรงสัญญาณ และการเปลี่ยนแปลงทิศทางของผู้ใช้งานในขณะที่เคลื่อนที่

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จำลองปัญหาให้เป็นไปตามหลักของทฤษฎีเกม เนื่องจากทฤษฎีเกมสามารถหาค่าที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดในการตัดสินใจในกรณีต่าง ๆ โดยพิจารณาให้โครงข่ายผู้ให้บริการ และผู้ใช้งานเป็นผู้เล่น แล้วกำหนดกลยุทธ์ของแต่ละโครงข่ายคือการกำหนดราคาและคุณภาพการให้บริการเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกโครงข่ายที่ดีที่สุดได้ ซึ่งทฤษฎีเกมนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ เกมแบบไม่ร่วมมือ (Non-cooperative games) และเกมแบบร่วมมือ (Cooperative games) ซึ่งข้อแตกต่างของเกม 2 ประเภทนี้คือ เกมไม่ร่วมมือนั้น ผู้เล่นจะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ในช่วงการเล่นเกม ซึ่งต่างจากเกมร่วมมือที่ผู้เล่นสามารถพูดคุยตกลงกันเพื่อรับทราบกลยุทธ์ของกันและกันเพื่อที่แต่ละฝ่ายจะได้ผลประโยชน์ร่วมกันมากที่สุด จากการทดสอบเราสามารถยืนยันได้ว่า เกมร่วมมือนั้นให้ค่าที่ดีกว่าเกมไม่ร่วมมือ โดยอ้างอิงจากผลการทดสอบการเปรียบเทียบค่า Nash Equilibrium Price ของเกมไม่ร่วมมือ กับค่า Coalition Price ของเกมร่วมมือ

เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบบแผนที่นำเสนอโดยวัดจากจำนวนครั้งการตัดสินใจการแฮนด์ออฟเปรียบเทียบกับแบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและสุ่มเลือกเทคโนโลยีปลายทางใหม่ (RSS-Threshold Random Based Selection: RSS-TH-RDB), แบบ

แผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและพิจารณาเลือกเทคโนโลยีปลายทางจากค่าความแรงสัญญาณ (RSS-Threshold RSS Based Selection : RSS-TH-RSS) และแบบแผนการตัดสินใจที่พิจารณาจุดแฮนด์ออฟจากค่าความแรงและพิจารณาเลือกเทคโนโลยีปลายทางจากกระบวนการ FQDA (RSS-Threshold FQDA Based Selection: RSS-TH-FQB) ซึ่งผลที่ได้คือจำนวนครั้งการแฮนด์ออฟของแบบแผนที่นำเสนอให้จำนวนครั้งการแฮนด์ออฟที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบอีก 3 แบบที่เรานำมาเปรียบเทียบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับแบบแผนการตัดสินใจการแฮนด์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวิวิธพันธุ์ที่มีผู้เล่นมากกว่า 2 คนขึ้นไป จำลองปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและสามารถหาผลเฉลยได้ แต่เนื่องจากจำนวนผู้เล่นที่มากขึ้นความซับซ้อนในการคำนวณค่าที่ใช้วัดสมรรถนะก็จะเพิ่มมากขึ้นตาม ดังนั้นจึงควรหาวิธีที่เหมาะสมเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณด้วย เช่น การกำหนดพารามิเตอร์ชุดใหม่ในการจำลองระบบเพื่อลดขนาด state space
2. ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับปัญหาเรื่องประสิทธิภาพแบบอื่น ๆ เช่นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับการควบคุมกำลังในโครงข่ายสื่อสารไร้สาย
3. ศึกษาตัวชี้วัดสมรรถนะเพิ่มเติมในกรณีอื่น ๆ เช่น Carried Traffic, Trunk Resource Distribution เป็นต้น

รายการอ้างอิง

1. Shyam, L. and Panwar, D.K., *Coverage Analysis of Handoff Algorithm with Adaptive Hysteresis Margin*. Information Technology, 2007. **10th International Conference**: p. 133 – 138.
2. McNair, J. and Zhu, F., *Vertical Handoffs in Fourth-generation Multi-network Environment*. IEEE Wireless Communications, 2004: p. 8-15.
3. Feng, H. and Furong, W., *Position Aware Vertical Handoff Decision Algorithm in Heterogeneous Wireless Networks*. WiCOM, 2008: p. 1-5.
4. Kwong, C., Lee, S., and Sim, M., *Mobility Management Incorporating Pattern Recognition in the Handoff Decision*, *Advanced Computer Control*. ICACC, 2009: p. 737-741.
5. Yu, L. and Chi, Z., *A Vertical Handoff Decision Algorithm (VHDA) and a Call Admission Control (CAC) policy in integrated network between WiMax and UMTS*. CHINACOM, 2007: p. 1063 – 1068.
6. Nay, P. and Chi, Z., *Vertical Handoff Decision Algorithm for Integrated UMTS and LEO Satellite Networks*. CMC, 2009: p. 180-184.
7. Nkansah-Gyekye, Y. and Agbinya, J., *Vertical Handoff Decision Algorithm for UMTS-WLAN, Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications*. AusWireless 2007, 2007: p. 37-38.
8. Liu, X., Ling-ge, J., and Chen, H., *A Novel Fuzzy Logic Vertical Handoff Algorithm with Aid of Differential Prediction and Pre-Decision Method Communications*. ICC, 2007: p. 5665-5670.
9. Liu, X., et al., *An intelligent vertical handoff Algorithm in heterogeneous wireless networks*. 2008: p. 550-555.
10. Ylianttila, M., Makela, J., and Pahlavan, K., *Analysis of handoff in a location-aware vertical multi-access network*. 2005: p. 185-201.
11. Nuttakorn, J. and Watit, B., *Vertical Handoff Decision Scheme within Heterogeneous mobile communication networks*. ICT CSCC, 2010: p. 118-122.
12. Jenjoab, V. and Watit, B., *A Game Theoretic Approach Call Admission Control in Mobile Multimedia Communications*. ICC, 2004: p. 160-163.
13. Tom, M., *Machine learning*. McGraw-Hill, 1997.
14. Chen, Q., et al., *Game-theoretic approach for pricing strategy and network selection in heterogeneous wireless networks*. IET Communications, 2010.
15. Singh, N. and Vives, X., *Price and quantity competition in a differentiated duopoly*. 1984: p. 546-554.

16. Chang, B. and Chen, J., *Cross-Layer-Based Adaptive Vertical Handoff with Predictive RSS in Heterogeneous Wireless Networks*. 2008: p. 3679-3692.
17. Betancur, L., Hincapié, R., and Bustamante, R., *WiMAX Channel-PHY Model in Network Simulator*. 2007: p. 1-8.



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรุ่งรัฐ วิรติกุล เกิดเมื่อวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ.2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2552 เกียรตินิยมอันดับ 2 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553 แล้วได้ศึกษางานวิจัยทางการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับแบบแผนการตัดสินใจการแอนดอ์ออฟแนวตั้งภายในโครงข่ายสื่อสารเคลื่อนที่แบบวีวีธพันธุ์ ซึ่งบทความวิจัยได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ดังนี้

บทความทางวิชาการจากการประชุม ICSEC (International Computer Science and Engineering Conference) ซึ่งได้จัดขึ้นในวันที่ 4-6 กันยายน 2556 ณ โรงแรม Hotel Windsor Suites Bangkok จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY