



วิทยานิพนธ์

แบบจำลองการตัดสินใจเปลี่ยนข้ามเครือข่ายไร้สายระหว่างเทคโนโลยีที่
ไม่ขึ้นต่อกัน

**TECHNOLOGY INDEPENDENT HANDOVER DECISION
MODEL FOR WIRELESS NETWORKS**

นายจตุพร ชูช่วย

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง แบบจำลองการตัดสินใจเปลี่ยนข้ามเครือข่ายไร้สายระหว่างเทคโนโลยีที่ไม่ขึ้นต่อกัน

Technology Independent Handover Decision Model for Wireless Networks

นามผู้วิจัย นายจตุพร ชูช่วย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รongศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีรวัฒน์ วัฒนพงษ์, Ph.D.)

กรรมการ

(รongศาสตราจารย์พันธุ์ปิติ เปี่ยมสง่า, D.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เข็มะทัต วิภาตะวานิช, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รongศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

แบบจำลองการตัดสินใจเปลี่ยนข้ามเครือข่ายไร้สายระหว่างเทคโนโลยีที่ไม่ขึ้นต่อกัน

Technology Independent Handover Decision Model for Wireless Networks

โดย

นายจตุพร ชูช่วย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2551

จตุพร ชูช่วย 2551: แบบจำลองการตัดสินใจเปลี่ยนข้ามเครือข่ายไร้สายระหว่างเทคโนโลยีที่ไม่ขึ้นต่อกัน วิทยุวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ประชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D. 84 หน้า

การใช้งานเครือข่ายแลนไร้สายในปัจจุบันเป็นที่แพร่หลายและมีให้เลือกใช้งานหลากหลายด้วยเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน เช่น ไวไฟ, ไวแม็กซ์ และ จีพีอาร์เอส รวมถึงอุปกรณ์สื่อสารในปัจจุบันสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไร้สายได้ง่ายขึ้นและหลากหลายรูปแบบมากขึ้น ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกปรับเปลี่ยนการใช้งานเครือข่ายได้ตามความต้องการ โดยปกติวิธีการเลือกใช้เครือข่ายอาจจะมาจากการเลือกของผู้ใช้งานเอง หรืออาจเลือกใช้ตามความต้องการเฉพาะอย่าง เช่น ความแรงสัญญาณ, ความเร็วในการเชื่อมต่อ, ความปลอดภัย ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ถ้าผู้ใช้งานและผู้ให้บริการไม่ได้รับการเลือกที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ อาจทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งทางด้านเทคนิคและค่าใช้จ่ายในด้านของจำนวนเงินสูงเกินความจำเป็น

งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้นำเสนอวิธีการพิจารณาการตัดสินใจเปลี่ยนข้ามเครือข่าย ในเครือข่ายไร้สายที่แตกต่างกัน โดยทำการตรวจสอบสัญญาณในบริเวณที่ใช้งานและนำมาเปรียบเทียบเพื่อตัดสินใจในการเลือก โดยมุ่งเน้นในการลดค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ โดยพิจารณาจากความต้องการของผู้ใช้งานเป็นหลักรวมทั้งได้เพิ่มเติมในส่วนของการป้องกันการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา และวิธีการกำหนดช่วงเวลาในการพิจารณาการข้ามเครือข่ายจากพฤติกรรมของผู้ใช้งาน เพื่อให้การพิจารณาการข้ามเครือข่ายมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากการทดสอบโดยการจำลองการทำงานของระบบพบว่าผู้ใช้สามารถระบุความต้องการ โดยสามารถปรับเปลี่ยนน้ำหนักความต้องการของแต่ละปัจจัยได้ แม้บางกรณีจะทำให้ค่าใช้จ่ายของบางปัจจัยไม่ถูกที่สุด แต่ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้และยังสามารถพิจารณาปัจจัยได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งแบบปัจจัยเดี่ยวและปัจจัยร่วม ทั้งยังช่วยลดการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา และการตัดสินใจที่ถี่จนเกินไป ทำให้พบว่าระบบที่นำเสนอสามารถตัดสินใจเลือกเครือข่ายได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพกว่าแบบปกติ

Jatuporn Chuchuy 2008: Technology Independent Handover Decision Model for Wireless Networks. Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 84 pages.

Wireless networks are very popular and be available with various technologies such as Wi-Fi, Wi-Max and GPRS. Nowadays handheld devices are built with high wireless capabilities which easily swap among technologies. Users can make their own decision to connect with any wireless network that works for them. The section is based on signal strength, commit bit rate, security. If decision with user and provider selection not good performance. Cost will become too much from technical implement and payment.

In this research, a decision model for choosing suitable wireless technologies for a user has been proposed. We will monitoring signal from any networks in area and pass performance metric to decision model. The decision algorithm focuses on awareness of cost-optimizing and user is requirements. Moreover, by enhancing with ping-pong effect protection and predication hold-down timer, the decision algorithm becomes more suitable. From simulation user can required one factor or more than one factor. Some factor, average cost not minimize but user can use from requirement and user can choose in one or more factor to complex requirement . Finally this research can protect ping-pong effect and number of decision. So that we can choose suitable network and performance more than old decision.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ทำให้ได้ลืมตาขึ้นมาดูโลก เพื่อพบสิ่งดี ๆ ในชีวิต และให้กำลังใจในการเรียนเสมอมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ประธานกรรมการที่ใช้ความช่วยเหลือ คอยชี้แนะ และช่วยตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.ดร.พีรวัฒน์ วัฒนพงศ์ กรรมการวิชาเอก อาจารย์ รศ.ดร.พันธุ์ปิติ เปี่ยมสง่า กรรมการวิชาการ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับการนำเสนองานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ สำหรับคำปรึกษา ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่ดีเสมอมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

จตุพร ชูช่วย
กรกฎาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	33
ผล	33
วิจารณ์	80
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	82
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางแสดงการแบ่งจีฟิอาร์เอส Multi-Slot Class	9
2	ตารางแสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีเลนไร้สายแบบต่าง ๆ	12
3	ค่าพารามิเตอร์ของเทคโนโลยีเลนไร้สายแบบต่าง ๆ	34
4	ตารางผลการทดลองเรื่องค่าใช้จ่ายและการเลือกใช้เครือข่ายโดยพิจารณาจากค่าใช้จ่าย	72

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขอบเขตการทำงานของแลนไร้สาย เมื่อเปรียบเทียบกับ โอเอสไอเลเยอร์	5
2	ผังงานของวิธีการใช้งานสื่อแบบ CSMA/CA	6
3	รูปแบบโครงสร้าง TDMA	8
4	การใช้งานร่วมกันระหว่างระบบเซลลูลาร์และระบบเครือข่ายแลนไร้สาย	13
5	แสดงโครงสร้างการทำงานร่วมกันระหว่างเครือข่ายบนเครื่องลูกข่าย	15
6	แสดงโครงสร้างการทำงานร่วมกันระหว่างเครือข่ายบนเครื่องเกตเวย์	15
7	แสดงโครงสร้างของมาตรฐาน ไออีอีอี 802.21	16
8	แบบจำลองโครงสร้างของระบบข้ามเครือข่ายที่นำเสนอ	21
9	แผนผังกระบวนการทำงานของระบบการเคลื่อนที่ข้ามเครือข่าย	23
10	แสดงกระบวนการประเมินการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย	30
11	แสดงกระบวนการตรวจประวัติการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย	31
12	แสดงกระบวนการหน่วงเวลาการตัดสินใจ	32
13	แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	38
14	แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	39
15	แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	39
16	แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	39
17	แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	40
18	แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	41

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	41
20	แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	42
21	แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	42
22	แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	43
23	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	43
24	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	44
25	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	44
26	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	44
27	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	45
28	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นดีบีเอ็มของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	45
29	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นดีบีเอ็มของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	45
30	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นดีบีเอ็มของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	46

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
31	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นดีบีเอ็มของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	46
32	แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นดีบีเอ็มของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	46
33	แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	47
34	แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	47
35	แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	48
36	แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	48
37	แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	48
38	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	49
39	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	49
40	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	50
41	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	50
42	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	50

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
43	แสดงกราฟการเข้าใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	51
44	แสดงกราฟการเข้าใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	51
45	แสดงกราฟการเข้าใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	51
46	แสดงกราฟการเข้าใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	52
47	แสดงกราฟการเข้าใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	52
48	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	53
49	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	53
50	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	54
51	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	54

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
52	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	54
53	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย = 0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	55
54	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย = 0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	55
55	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย = 0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	55
56	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย = 0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	56
57	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1, ค่าใช้จ่าย = 0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	56
58	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.75, ค่าใช้จ่าย =0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	57
59	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.75, ค่าใช้จ่าย =0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	57

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
76	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.5, ค่าใช้จ่าย =0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	63
77	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.5, ค่าใช้จ่าย =0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	63
78	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	64
79	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	64
80	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	65
81	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	65
82	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	65
83	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	66

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
84	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	66
85	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	66
86	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	67
87	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25, ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	67
88	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	68
89	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	68
90	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	68
91	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	69

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
92	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	69
93	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%	69
94	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%	70
95	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%	70
96	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%	70
97	แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0, ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%	71
98	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายเฉลี่ยจากการทดลองทุกช่วงเวลาเมื่อเทียบกับการให้น้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณ และราคา โดยมีการซ้อนทับของเครือข่ายตั้งแต่ 0-100%	73
99	แสดงกราฟความแรงสัญญาณเฉลี่ยจากการทดลองทุกช่วงเวลาเมื่อเทียบกับการให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณ และราคา โดยมีการซ้อนทับของเครือข่ายตั้งแต่ 0-100%	73

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
100	แสดงกราฟราคาเฉลี่ยจากการทดลองทุกช่วงเวลาเมื่อเทียบกับการให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณ และราคา โดยมีการซ้อนทับของเครือข่ายตั้งแต่ 0-100%	73
101	แสดงกราฟจำนวนครั้งในการข้ามเครือข่ายจากการทดลองทุกช่วงเวลาเมื่อเทียบกับการให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณ และราคา โดยมีการซ้อนทับของเครือข่ายตั้งแต่ 0-100%	74
102	แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย 3 เครือข่ายในรูปแบบที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองบน โปรแกรม NS2	75
103	แสดงกราฟค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคาแยกตามการหน่วงเวลา	76
104	แสดงกราฟความแรงสัญญาณเฉลี่ยเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและแยกตามการหน่วงเวลา	76
105	แสดงกราฟราคาเฉลี่ยเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคาแยกตามการหน่วงเวลา	76
106	แสดงกราฟจำนวนการข้ามเครือข่ายเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคา แยกระหว่างการใช้การหน่วงเวลา และไม่ใช้การหน่วงเวลา	77
107	แสดงกราฟจำนวนการตรวจพบการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมาเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคา แยกระหว่างการใช้การหน่วงเวลา และไม่ใช้การหน่วงเวลา	77
108	แสดงกราฟจำนวนการตัดสินใจเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคา แยกตามการหน่วงเวลาต่าง ๆ	77

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ISM	=	Industrial, Scientific and Medical
Wi-Fi	=	Wireless Fidelity
WiMAX	=	Worldwide Interoperability for Microwave Access
GPRS	=	General Packet Radio Service
FHSS	=	Frequency Hopping Spread Spectrum
DSSS	=	Direct Sequence Spread Spectrum
OSI	=	Open Systems Interconnection Basic Reference Model
MAC	=	Medium Access Control Protocol
TCP/IP	=	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
VoIP	=	Voice over Internet Protocol
IEEE	=	Institute for Electrical and Electronic Engineers
DCF	=	Distributed Coordination Function
PCF	=	Point Coordination Function
QoS	=	Quality of Service
CSMA/CA	=	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
NAV	=	Network Allocation Vector
PIFS	=	Point Coordination Function Interframe Space
WEP	=	Wired Equivalent Privacy
WPA	=	Wi-Fi Protected Access
TDMA	=	Time Division Multiple Access
GSM	=	Global System for Mobile communications
ETSI	=	European Telecommunications Standards Institute
TIA	=	Telecommunications Industry Association
EDGE	=	Enhanced GPRS
USB	=	Universal Serial Bus
PCMCIA	=	Personal Computer Memory Card International Association
AAA	=	Authentication, Authorization, Accounting
RADIUS	=	Remote Authentication Dial In User Service

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

MIH	=	Media Independent Handover
UMTS	=	Universal Mobile Telecommunications System
CBR	=	Commit Bit Rate

แบบจำลองการตัดสินใจเปลี่ยนข้ามเครือข่ายไร้สายระหว่างเทคโนโลยีที่ไม่ขึ้นต่อกัน

Technology Independent Handover Decision Model for Wireless Networks

คำนำ

เทคโนโลยีเครือข่ายแลนไร้สายปัจจุบันได้มีการพัฒนาในหลากหลายรูปแบบเพิ่มมากขึ้น ทั้งในรูปแบบเครือข่ายแลนไร้สายความเร็วสูง เครือข่ายแลนไร้สายระยะไกล และเครือข่ายแลนไร้สายสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งล้วนแต่ออกแบบมาเพื่อรองรับความต้องการที่หลากหลาย และสามารถอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานเพิ่มมากขึ้น

เครือข่ายแลนไร้สายในปัจจุบันมีหลากหลายเทคโนโลยี เทคโนโลยีที่รู้จักกันแพร่หลายมีด้วยกัน 2 เทคโนโลยี เทคโนโลยีแรกคือ วิทยุ (Wi-Fi) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นด้านการรับส่งข้อมูลเป็นหลัก และไม่นิยมใช้งานกับอุปกรณ์เคลื่อนที่ อีกทั้งมีระยะเวลาการใช้งานอยู่ในพื้นที่แคบ ๆ และสัญญาณถูกรบกวนได้ง่าย อีกเทคโนโลยีคือ จีพีอาร์เอส (GPRS) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นด้านการส่งสัญญาณเสียง และนิยมใช้กับอุปกรณ์เคลื่อนที่ มีระยะเวลาใช้งานกว้างกว่าเทคโนโลยี วิทยุค่อนข้างมาก และสัญญาณขาดการรบกวน ทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่า วิทยุแมกซ์ซ์ (WiMAX) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นทั้งการใช้งานทั้งในด้านของการรับส่งข้อมูล โดยถือว่าสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าเทคโนโลยีวิทยุค่อนข้างมาก และมีระยะเวลาใช้งานกว้างเกือบเทียบเท่าเทคโนโลยี จีพีอาร์เอส และสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ แม้จะไม่ได้มุ่งเน้นการส่งสัญญาณเสียง แต่ถือเป็นเทคโนโลยีที่มาแรงพอสมควร ดังที่กล่าวมาแต่ละเทคโนโลยีล้วนแต่มีประสิทธิภาพการใช้งานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการคุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละเทคโนโลยี, สภาพแวดล้อมของผู้ใช้งาน และจำนวนผู้ใช้งานในเวลานั้น ๆ ในกรณีที่หลาย ๆ เครือข่ายใช้เทคโนโลยีเดียวกันก็ไม่ได้หมายความว่าประสิทธิภาพเหมือนกันทุกอย่าง ทำให้การเลือกที่จะใช้เครือข่ายใดที่ทำให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ในเวลานั้น เป็นสิ่งที่กระทำได้อย่างยิ่งนัก

สำหรับการเลือกใช้เครือข่ายโดยปกติผู้ใช้อาจจะเลือกก่อนว่าจะใช้เทคโนโลยีแบบใด หลังจากนั้นตัวอุปกรณ์จะค้นหาสัญญาณว่ามีเครือข่ายใดที่ให้บริการเทคโนโลยีดังกล่าวอยู่บ้าง ซึ่งการเลือกโดยปกติด้วยตัวอุปกรณ์มักจะเลือกความแรงสัญญาณเป็นหลัก ทำให้บางครั้งทำให้ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ สูงเกินความจำเป็น ยกตัวอย่าง ในกรณีที่สองเครือข่ายให้ความแรงสัญญาณเท่ากัน

แต่ราคาของแต่ละเครือข่ายไม่เท่ากัน โดยความแรงสัญญาณของเครือข่ายที่แพงกว่ามากกว่า เครือข่ายที่ถูกกว่า ซึ่งแม้สัญญาณจะต่ำกว่า แต่การอัตราการรับส่งข้อมูล หรือ ประสิทธิภาพในด้านอื่น ๆ อาจจะไม่ได้อดลงตามความแรงสัญญาณ ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านราคาสูงกว่าปกติ

วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการออกแบบการตัดสินใจการใช้งานเครือข่ายแลนไร้สายที่ใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน โดยผู้ใช้ไม่ต้องเลือกว่าจะใช้เทคโนโลยีใด ระบบจะทำการตัดสินใจโดยไม่สนใจว่าเครือข่ายที่ใช้อยู่จะเป็นเทคโนโลยีใด อีกทั้งผู้ใช้สามารถเลือกได้ด้วยตัวเองว่าจะใช้ปัจจัยใดในการตัดสินใจเลือกใช้เครือข่าย และยังมีส่วนในการป้องกันเครือข่ายกลับไปกลับมา และการกำหนดช่วงเวลาในการตัดสินใจข้ามเครือข่าย ทำให้การเลือกใช้เครือข่ายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและตรงกับความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งจากการทดสอบโดยการจำลองการทำงานของระบบที่ได้นำเสนอ จะได้ว่าทำให้ค่าใช้จ่ายของปัจจัยที่ผู้ใช้เลือกลดน้อยลง แม้จะทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมสูงขึ้น แต่สามารถเลือกใช้เครือข่ายที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ อีกทั้งยังช่วยลดการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา และการตัดสินใจที่ถี่จนเกินไป ทำให้พบว่าระบบที่นำเสนอสามารถตัดสินใจเลือกเครือข่ายได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพกว่าการเลือกใช้เครือข่ายแบบปกติ

วัตถุประสงค์

พัฒนากระบวนการเลือกใช้เครือข่ายแลนไร้สายที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการข้ามเครือข่าย โดย

1. พัฒนาการคิดค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ โดยผู้ใช้สามารถกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจได้
2. พัฒนาระบบการเลือกใช้เครือข่ายโดยพิจารณาค่าใช้จ่ายในด้านนั้น ๆ ให้น้อยที่สุด
3. พัฒนาระบบการป้องกันการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา
4. พัฒนาระบบการพิจารณาเวลาหน่วงในการตัดสินใจข้ามเครือข่าย

การตรวจเอกสาร

1. เครือข่ายแลนไร้สาย

เครือข่ายแลนไร้สาย (Wireless LAN) (อักรพล คุณพิสุทธิ, 2546) คือเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ติดต่อกันในระยะใกล้ โดยใช้อากาศเป็นสื่อในการส่งสัญญาณ ดังนั้นจึงมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูงกว่าเครือข่ายแบบเดินที่ใช้สายสัญญาณ เช่นผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนที่ได้ขณะใช้งาน การติดตั้งไม่ยุ่งยาก และสามารถขยายเครือข่ายได้ง่ายกว่าแลนใช้สาย

คลื่นสัญญาณที่ใช้งานในแลนไร้สายมีหลายแบบ เช่น คลื่นแสงอินฟราเรดและคลื่นสัญญาณวิทยุ ย่านความถี่ของคลื่นวิทยุที่นิยมใช้งาน คือ ในช่วง ISM (Industrial, Scientific and Medical) ซึ่งสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องขออนุญาตจากองค์กรที่ทำหน้าที่จัดสรรการใช้งานคลื่นสัญญาณวิทยุ ความนิยมใช้งานคลื่นสัญญาณวิทยุมีมากกว่าคลื่นแสงอินฟราเรด เนื่องจากคลื่นสัญญาณวิทยุมีความคล่องตัวในการใช้งานของผู้ใช้มากกว่า สามารถกระจายสัญญาณไปได้ทุกทิศทาง และสามารถส่งสัญญาณทะลุสิ่งกีดขวางได้ แต่ข้อเสียของการใช้งานคลื่นวิทยุคือ มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและจากเครือข่ายแลนไร้สายด้วยกันเองที่ใช้งานคลื่นความถี่ในช่วงเวลาเดียวกัน

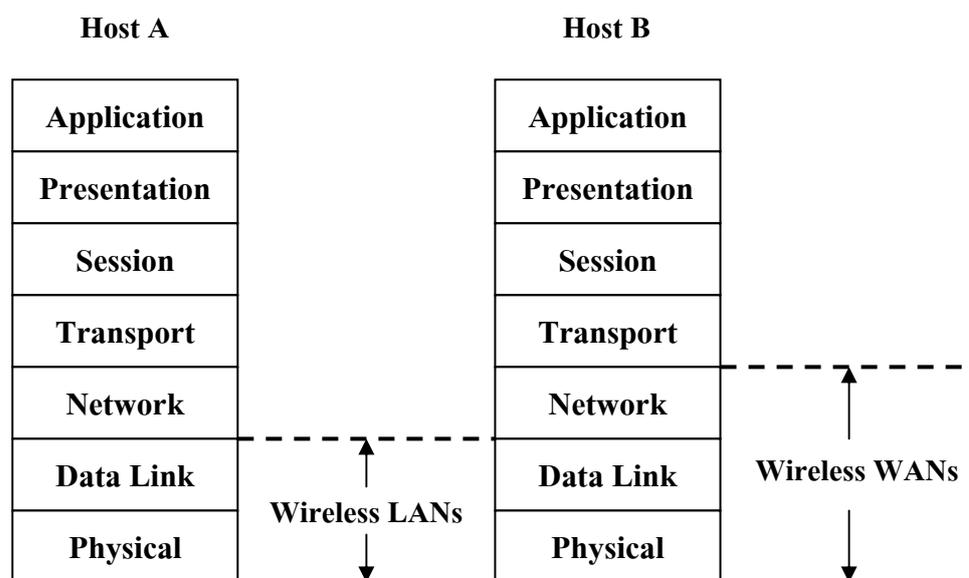
การพัฒนาแลนไร้สายในระดับชั้นฟิสิกัลเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนสัญญาณในช่องสัญญาณใดช่องสัญญาณหนึ่งด้วยวิธีการที่เรียกว่า การกระจายระยะสัญญาณ (spread spectrum)

การกระจายระยะสัญญาณแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1.1 การกระจายระยะสัญญาณแบบสลับความถี่ (Frequency Hopping Spread Spectrum) โดยสลับความถี่ในการรับส่งของฝ่ายรับและฝ่ายส่งให้เปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ โดยตกลงรูปแบบการใช้งานช่องสัญญาณที่จะรับส่งกันไว้ก่อน ปัญหาของวิธีการนี้คือ มีอัตราการรับส่งข้อมูลน้อย เนื่องจากทั้งฝ่ายรับและฝ่ายส่งต้องมีการเข้าจังหวะให้ตรงกัน ดังนั้นการกระจายความถี่อีกแบบหนึ่งจึงนิยมใช้งานมากกว่าในปัจจุบัน

1.2 การกระจายระยะสัญญาณแบบลำดับตรง (Direct Sequence Spread Spectrum) เป็นวิธีที่นิยมกว่าวิธีแรก โดยให้การเข้ารหัสข้อมูลก่อนที่จะกระจายส่งข้อมูลที่เข้ารหัสแล้วไปให้ฝ่ายรับที่ทุกช่องความถี่ที่ใช้งาน เมื่อฝั่งรับรับข้อมูลได้แล้วสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับและนำข้อมูลในช่องความถี่ที่ไม่ถูกรบกวนไปใช้งานได้ทันที

จากแบบจำลองของโอเอสไอ (OSI model) ดังภาพที่ 1 แลนไร้สายจะมีการทำงานในระดับล่าง 2 ระดับชั้น คือ ระดับชั้นดาต้าลิงก์ และระดับฟิสิกัล ซึ่งหน้าที่ของระดับชั้นฟิสิกัลคือ การแปลงสัญญาณข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าหรือสัญญาณวิทยุแล้วส่งออกไป ส่วนในระดับชั้นดาต้าลิงก์ ซึ่งมีสองหน้าที่คือ ควบคุมความถูกต้องในการรับส่งข้อมูล และควบคุมการใช้สื่อ



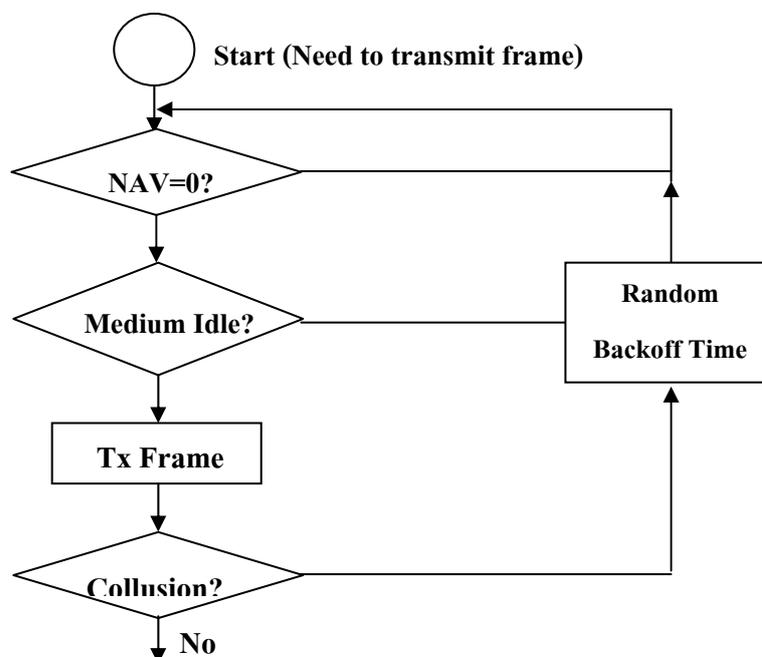
ภาพที่ 1 ขอบเขตการทำงานของแลนไร้สาย เมื่อเปรียบเทียบกับโอเอสไอเลเยอร์
ที่มา: อัครพล (2546)

จะเห็นได้ว่าการทำงานของแลนไร้สายจะไม่ทำในชั้นเน็ตเวิร์ค จึงใช้ MAC Protocol (Medium Access Control Protocol) เป็นตัวควบคุมการเข้าใช้สื่อ ซึ่งมีหน้าที่ในการจัดการสถานีไร้สายทุกเครื่องในเครือข่ายเดียวกัน ต่างจากเครือข่ายแวนไร้สายที่ใช้ได้ทั้ง MAC Protocol และ TCP/IP Protocol (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) ในการควบคุมการเข้าใช้สื่อ

2. เครือข่ายวายไฟ

เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายแลนไร้สายที่ Wi-Fi Alliance เป็นกลุ่มที่ก่อตั้งขึ้นมา โดยเน้นเทคโนโลยีทางด้านอินเทอร์เน็ต, วิทยุโอเวอร์ไอพี (VoIP), เกมส์ และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของลูกค้าผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์, ดีวีดี, กล้องถ่ายรูป ซึ่งทั้งหมดพัฒนาภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 โดย IEEE (Institute for Electrical and Electronic Engineers) เป็นองค์กรที่ตั้งมาโดยไม่หวังผลกำไร โดยแบ่งการพัฒนาเป็นหลายกลุ่มการทำงานเช่น IEEE 802.11a, IEEE 802.11b หรือ IEEE 802.11g เป็นต้น จึงกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ Wi-Fi ก็คืออุปกรณ์ IEEE 802.11 นั่นเอง ทำให้ปัจจุบันการเรียกชื่อของเทคโนโลยีนี้เรียกได้ทั้ง IEEE 802.11 และ Wi-Fi แต่นิยมเรียกอย่างหลังมากกว่า

ในมาตรฐาน IEEE 802.11 มีการรองรับการทำงานทั้งแบบที่ให้มีการแย่งกันใช้งานช่องสัญญาณเมื่อต้องการใช้งาน หรือเรียกว่า Distributed Coordination Function (DCF) และแบบมีตัวกลางในการควบคุมการใช้งานหรือที่เรียกว่า Point Coordination Function (PCF) ซึ่งวิธีที่สองจะเหมาะสมสำหรับ โปรแกรมประยุกต์ที่ต้องการการรับรองคุณภาพของการใช้งาน (Quality of Service)



ภาพที่ 2 ผังงานของวิธีการใช้งานสื่อแบบ CSMA/CA

ที่มา: อัครพล (2546)

ในโหมดการใช้งานแบบ DCF ทุกสถานีจะแย่งกันใช้สัญญาณ ซึ่งวิธีการพื้นฐานที่ใช้ในการจองใช้ช่องสัญญาณคือ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) ดังภาพที่ 2 ร่วมกับวิธีแบ็คออฟแบบไบนารีเอ็กซ์โปเนนเชียล (binary exponential back off) วิธีการนี้ก็คือ เมื่อสถานีใดต้องการส่งข้อมูล จะต้องตรวจสอบการใช้งานของช่องสัญญาณก่อนที่จะส่งข้อมูลทุกครั้ง เมื่อช่องสัญญาณว่างจึงจะสามารถส่งข้อมูลของตัวเองออกไปได้ แต่เมื่อช่องสัญญาณไม่ว่าง จะทำการแบ็คออฟโดยสุ่มเลือกกว่าเวลาที่จะต้องรอซึ่งมีค่าเป็นอัตราส่วนยกกำลังสองของช่องเวลา (slot time) เมื่อครบกำหนดจึงตรวจสอบช่องสัญญาณอีกครั้ง ถ้าช่องสัญญาณว่างจะสุ่มเลือกช่องเวลาที่ส่งข้อมูลอีกครั้งเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล เมื่อช่องสัญญาณยังว่างอีกจึงจะสามารถส่งข้อมูลได้ แต่ถ้าไม่ว่างก็ต้องทำการแบ็คออฟโดยเพิ่มเวลาที่เฝ้ารอขึ้นไปจนกว่าช่องสัญญาณจะว่าง

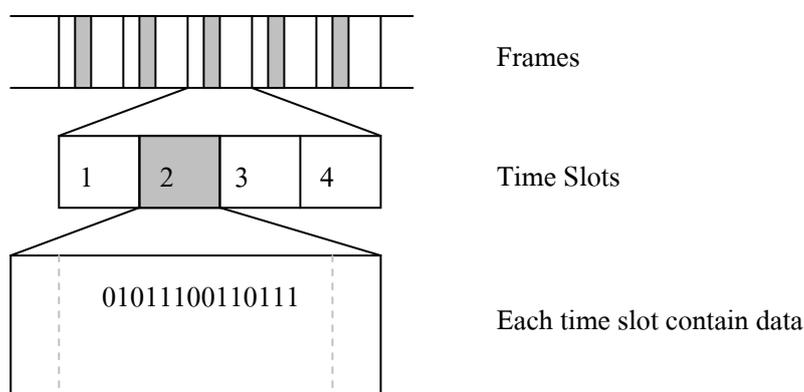
ส่วนในโหมดการใช้งานแบบ PCF เป็นการกำหนดช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลในเครือข่ายโดยไม่มีการแย่งกันใช้งาน แอ็กเซสพอยต์จะทำหน้าที่เฝ้าควบคุมการใช้งานสื่อ โดยส่งเฟรมบีคอน (Beacon Frame) ออกไปให้ทุกสถานีในเครือข่าย โดยใช้ช่องห่างระหว่างเวลาแบบ PIFS เพื่อที่จะสามารถแย่งใช้งานได้ก่อนสถานีอื่นในช่วงการแข่งขัน (Contention Period) การควบคุมการใช้งานสื่อของแอ็กเซสพอยต์จะทำโดยการโพลลอนุญาตให้สถานีลูกข่ายได้ส่งข้อมูล ด้วยกฎการเข้าใช้สื่อที่สถานีลูกข่ายจะกำหนดค่า Network Allocation Vector (NAV) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกถึงเวลาที่ต้องรอทั้งหมดก่อนที่ช่องสัญญาณจะว่างใช้งาน โดยจะกำหนดค่า NAV ตามเวลาที่ส่งมากับเฟรมบีคอน ดังนั้นในช่วงที่ไม่มีการแข่งขัน (Contention Free Period) สถานีลูกข่ายทุกสถานีจะสามารถส่งข้อมูลได้ก็ต่อเมื่อได้รับโพลจากแอ็กเซสพอยต์

ในส่วนของความปลอดภัยของเครือข่ายวายไฟจะมีการกำหนดแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ กลไกการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้อื่นสามารถดักจับข้อมูลเพื่อนำเอาไปใช้งานในทางที่ผิด และอีกส่วนคือกระบวนการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) เพื่อยืนยันตัวตนของผู้ใช้งาน โดยในส่วนของกระบวนการเข้ารหัสข้อมูลโดยหลัก ๆ จะมีการเข้ารหัสแบบ WEP (WEP Encryption) และการเข้ารหัสแบบ WPA (WPA Encryption) และในส่วนของกระบวนการตรวจสอบผู้ใช้จะมี 2 ระบบหลัก ๆ คือการตรวจสอบแบบ Open System Authentication ซึ่งเป็นการตรวจสอบผู้ใช้โดยไม่มีการตรวจสอบรหัสลับจากผู้ใช้งานก่อนการรับส่งสัญญาณเปรียบได้ว่างไม่มีการใช้รหัสก่อนเข้าใช้เครือข่าย แต่สำหรับอีกระบบที่เรียกว่า Shared Key Authentication ต้องมีการร้องขอรหัสเพื่อเข้าใช้เครือข่าย โดยสามารถเลือกเข้ารหัสได้ดังที่กล่าวในส่วนของการเข้ารหัสข้อมูล

โดยปัญหาหลักของระบบวิทยุคือระยะเวลาการครอบคลุมของสัญญาณที่ค่อนข้างแคบและไวต่อการถูกรบกวนสัญญาณ อีกทั้งการตั้งความถี่ของสัญญาณที่ซ้ำซ้อนกันอาจทำให้เกิดการรบกวนกันเองทั้งที่อาจจะเป็นเครือข่ายเดียวกัน หรืออาจจะคนละเครือข่าย ทำให้การกำหนดจุดวางและกำหนดความถี่ของสัญญาณของสถานีบริการเครือข่ายวิทยุเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง

3. เครือข่ายจีพีอาร์เอส

จีพีอาร์เอส หรือ GPRS (General Packet Radio Service) เป็นการบริการส่งข้อมูลสำหรับโทรศัพท์มือถือแบบจีเอสเอ็ม (GSM) โดยเทคโนโลยีจีพีอาร์เอสเป็นเทคโนโลยีที่เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือจะได้ว่าเป็นเทคโนโลยียุค 2.5G ซึ่งได้รับการรับรองจาก ETSI (European Telecommunications Standards Institute) นอกจากนี้ยังได้รับการรับรองจาก TTA (Telecommunications Industry Association) โดยเป็นมาตรฐานการจัดเรียงข้อมูลสำหรับระบบการส่งสัญญาณแบบ TDMA (Time division multiple access) โดยจะทำการแบ่งข้อมูลเป็นเฟรม ในแต่ละเฟรมก็จะแบ่งออกเป็นช่องเวลา (time slot) โดยผู้ใช้แต่ละคนก็จะเข้าทำการจองช่องเวลาเพื่อทำการส่งข้อมูลต่อไปซึ่งมีการกันช่องสำหรับสัญญาณเสียงอย่างน้อย 1 ช่องเสมอ ดังภาพที่ 3 โดยการทำงานของระบบจีพีอาร์เอสเป็นแบบ Packet Switching ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันทั่วไปในอินเทอร์เน็ตและระบบเน็ตเวิร์กในปัจจุบัน การนำคุณสมบัตินี้เข้ามาใช้ จะทำให้บริการโทรศัพท์มือถือมีหลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะบริการอยู่บนพื้นฐานของการให้บริการข้อมูล (Packet-based Data Service)



ภาพที่ 3 รูปแบบโครงสร้าง TDMA

การทำงานของ Packet Switching บนโทรศัพท์มือถือ จะคล้ายคลึงกับระบบที่ใช้อยู่บน อินเทอร์เน็ตกล่าวได้ว่าการแยกออกเป็นข้อมูลย่อย ๆ ก่อนที่จะทำการส่ง โดยแต่ละแพ็คเกจ (Packet) จะถูกนำมารวมอีกครั้งที่ปลายทาง ทำให้ในปัจจุบันสามารถคิดค่าบริการของจีพีอาร์เอสได้จากจำนวนการส่งข้อมูลจริง ต่างจากเดิมที่คิดจากช่วงเวลาในการใช้งานในระบบเก่าที่ใช้เทคโนโลยี Circuit Switching ที่ทำการกำหนดช่องสัญญาณไว้เฉพาะสำหรับการเชื่อมต่อจากต้นทางไปยังปลายทาง

เมื่อก้าวถึงรายละเอียดของช่องทางการสื่อสารบนเครือข่ายจีพีอาร์เอสนั้นจะถูกแบ่งเป็น 8 ช่องเวลา โดยที่แต่ละช่องเวลาจะมีความเร็วการส่งข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 13.4 กิโลบิตต่อวินาที (Kbps) แต่เราไม่สามารถใช้ช่องทางได้ทั้งหมดเนื่องจากต้องเสียช่องทางสำหรับเสียง 1 ช่องและอีก 1 ช่องทางใช้สำหรับการควบคุมการทำงาน จึงทำให้สามารถใช้งานจีพีอาร์เอสได้สูงสุด 5 ช่องเท่านั้น ซึ่งความเร็วของจีพีอาร์เอสขึ้นอยู่กับวิธีการเข้ารหัสสัญญาณด้วย โดยการเข้ารหัสสัญญาณมีผลต่อความเร็วและความปลอดภัยของข้อมูลซึ่งมีการแบ่งออกเป็น Multi-Slot Class ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการแบ่งจีพีอาร์เอส Multi-Slot Class

รหัสการเข้ารหัสสัญญาณ	ความเร็ว (กิโลบิตต่อวินาที)/ความปลอดภัย
CS-1	8 / 98%
CS-2	12.0 / 75%
CS-3	14.4 / 50%
CS-4	20 / 25%

ซึ่งการเข้ารหัสสัญญาณที่นิยมในปัจจุบันมักเป็นแบบ CS-4 เนื่องจากความเร็วที่ได้เยอะที่สุด แม้จะมีความปลอดภัยน้อยก็ตาม ตามทฤษฎีถ้าใช้เต็ม 8 ช่องเวลาก็จะได้ความเร็ว 160 กิโลบิตต่อวินาที แต่ในความเป็นจริงใช้ได้แค่ 5 ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ทั้งยังสามารถดาวน์โหลดได้สูงสุดแค่ 4 ช่อง และอัปโหลด 1 ช่อง ดังนั้นจะได้ความเร็วในการดาวน์โหลดแค่ 80 กิโลบิตต่อวินาทีเท่านั้น โดยในปัจจุบันได้นำเอาระบบ EDGE (Enhanced GPRS) มาใช้แทน จีพีอาร์เอสมากขึ้นเพื่อเพิ่มการรับส่งข้อมูลให้มากขึ้นกว่าเดิม โดยสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้สูงสุดถึง 236.8 กิโลบิตต่อวินาทีเลยทีเดียว แต่ก็ยังไม่ถือเป็นเทคโนโลยียุค 3G

โดยการใช้งานจีพีอาร์เอสในปัจจุบันแบ่งออกเป็นคลาสต่าง ๆ ดังนี้

3.1 คลาส A เป็นระบบจีพีอาร์เอสที่รองรับทั้งการบริการจีพีอาร์เอส และ จีเอสเอ็ม (เสียง, เอสเอ็มเอส) ซึ่งสามารถใช้งานทั้งสองอย่างได้พร้อม ๆ กัน

3.2 คลาส B เป็นระบบจีพีอาร์เอสที่รองรับทั้งการบริการจีพีอาร์เอส และ จีเอสเอ็ม (เสียง, เอสเอ็มเอส) แต่ในช่วงเดียวกันจะสามารถใช้งานได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง โดยระบบจะปรับเปลี่ยนในทันที เช่นกำลังใช้งานจีพีอาร์เอสแต่ต้องการส่งเอสเอ็มเอส ระบบจะทำการจัดส่งเอสเอ็มเอสให้หลังจากปิดการใช้งานจีพีอาร์เอส

3.3 คลาส C เป็นระบบจีพีอาร์เอสที่รองรับทั้งการบริการจีพีอาร์เอส หรือ จีเอสเอ็ม (เสียง, เอสเอ็มเอส) ซึ่งต้องเลือกใช้งานเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง

ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีจีพีอาร์เอสมีให้บริการทั้งในรูปแบบมือถือ และในรูปแบบที่เป็นการ์ดพีซีเอ็มไอเอ (PCMCIA) ที่ใช้งานบนคอมพิวเตอร์พกพา หรือในรูปแบบยูเอสบี (USB) ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในคอมพิวเตอร์พกพาและตั้งโต๊ะ แต่โดยทั่วไปนิยมใช้งานในรูปแบบคอมพิวเตอร์พกพาหรือมือถือมากกว่า

จุดด้อยหลักของเครือข่ายจีพีอาร์เอสคือความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่น้อย และความปลอดภัยที่มีไม่มากนัก ทำให้มักจะถูกเลือกใช้งานเครือข่ายนี้เมื่อต้องการใช้งานอินเทอร์เน็ตในที่ที่ไม่มีการให้บริการเครือข่ายที่มีความเร็วสูงกว่าอย่างวายฟาย ซึ่งด้วยข้อจำกัดของวายฟายที่มีพื้นที่บริการที่แคบ ต่างจากพื้นที่บริการมือถือที่มีอยู่เกือบทุกที่ในประเทศ ทำให้การใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่ายจีพีอาร์เอสจึงยังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน

4. เครือข่ายวายแมกซ์

วายแมกซ์ หรือ WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) เป็นเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายความเร็วสูงที่ถูกพัฒนาขึ้นมาบนมาตรฐาน IEEE 802.16 ซึ่งก็ได้พัฒนามาตรฐาน IEEE 802.16a โดยมีรัศมีครอบคลุม 30 ไมล์ (ประมาณ 50 กิโลเมตร) ทำให้สามารถให้บริการได้กว้างกว่าระบบเครือข่ายจีพีอาร์เอสมากถึง 10 เท่าโดยประมาณ และมีความเร็ว

สูงสุดถึง 75 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) ซึ่งเร็วกว่าถึง 10 เท่าโดยประมาณ ทั้งนี้ยังถือว่าเร็วกว่าเครือข่ายสายไฟที่มีความเร็วแค่ 54 เมกะบิตต่อวินาทีเท่านั้น

สำหรับเครือข่ายไวแม็กซ์ถือเป็นเครือข่ายแลนไร้สายแบบชุมชนเมือง (WirelessMAN) ซึ่งมุ่งเน้นการใช้งานทางด้านเครือข่ายความเร็วสูงเป็นหลัก ซึ่งได้มีพัฒนาการจาก IEEE 802.11a มาเป็น IEEE 802.11d แต่อาจจะไม่ถือเป็นมาตรฐานเนื่องจากการได้มีการปรับเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจนกลายมาเป็นมาตรฐานปัจจุบัน IEEE 802.16e โดยได้มีการพัฒนาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งต่างมาตรฐานก่อนหน้านี้ที่ยังไม่สามารถรองรับการใช้งานในขณะที่เคลื่อนที่ได้ โดยลักษณะของการออกแบบสัญญาณ และการเข้ารหัสมีลักษณะคล้าย ๆ วิทยุแต่โดยรายละเอียดค่อนข้างแตกต่างกันพอสมควร โดยในเครือข่ายไวแม็กซ์เริ่มมีการเน้นในการรับประกันการให้บริการ (Quality of Service) เพิ่มมากขึ้น โดยสามารถรองรับการใช้งานวอยโอเวอร์ไอพี ทำให้การใช้งานด้านเสียงมีประสิทธิภาพพอที่จะเข้ามาทดแทนระบบเครือข่ายมือถือในปัจจุบันได้

ในด้านความปลอดภัยเมื่อเทียบกับสายไฟและจีพีอาร์เอสถือว่ามีความปลอดภัยสูงกว่าพอสมควร เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่เกิดหลังสุด จึงเน้นในเรื่องของความปลอดภัยเป็นพิเศษ เนื่องจากปัจจุบันสามารถดักจับข้อมูลที่ผ่านเครือข่ายแลนไร้สายได้ง่ายขึ้น และเพื่อป้องกันการบุกรุกเครือข่าย ซึ่งจะมีผลกระทบในวงกว้างเนื่องจากแต่ละเทคโนโลยีก็มีผู้ใช้เป็นจำนวนมาก จากคุณสมบัติข้างต้นถือได้ว่าไวแม็กซ์เป็นเทคโนโลยีทางด้านมือถือในยุค 3G ก็ว่าได้ และถือได้ว่าไวแม็กซ์เป็นเทคโนโลยีที่มีความเร็วสูงที่สุดในกลุ่มเทคโนโลยี 3G ด้วยกัน

ข้อด้อยของไวแม็กซ์ เกิดจากการที่ต้องลงทุนค่อนข้างสูงในการตั้งเสาสัญญาณ และการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน แม้ว่าปัจจุบันผู้ผลิตอุปกรณ์เริ่มมีการรองรับเทคโนโลยีนี้ แต่ยังคงถือว่าไม่มากนัก เนื่องจากมีอีกหลายเทคโนโลยีที่เป็นทางเลือกในการใช้งานเช่น เทคโนโลยีที่ใช้สายไฟฟ้าเป็นตัวรับส่งข้อมูล หรือ เทคโนโลยีมือถือที่ยังมีอีกหลากหลายเทคโนโลยีที่น่าจับตามอง

5. ความเหมือนความแตกต่างของแต่ละเครือข่าย

เราสามารถเปรียบเทียบขอบเขตการใช้งานและความเร็วในการใช้งานแต่ละเครือข่ายได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีแลนไร้สายแบบต่าง ๆ

เทคโนโลยี	มาตรฐาน	เครือข่าย	ความเร็ว	ระยะทาง	ความถี่
Wi-Fi	IEEE 802.11a	WLAN	54 Mbps	100 M	5 Ghz
Wi-Fi	IEEE 802.11b	WLAN	11 Mbps	100 M	2.4 GHz
Wi-Fi	IEEE 802.11g	WLAN	54 Mbps	100M	2.4 GHz
WiMAX	IEEE 802.16d	WMAN	75 Mbps	6.4 – 10 KM	11 GHz
WiMAX	IEEE 802.16e	Mobile	30 Mbps	1.6-5 KM	2-6 GHz
GPRS	2.5G	WWAN	80 Kbps	1.6-8 KM	1900 MHz
EDGE	2.5G	WWAN	237 Kbps	1.6-8 KM	1900 MHz

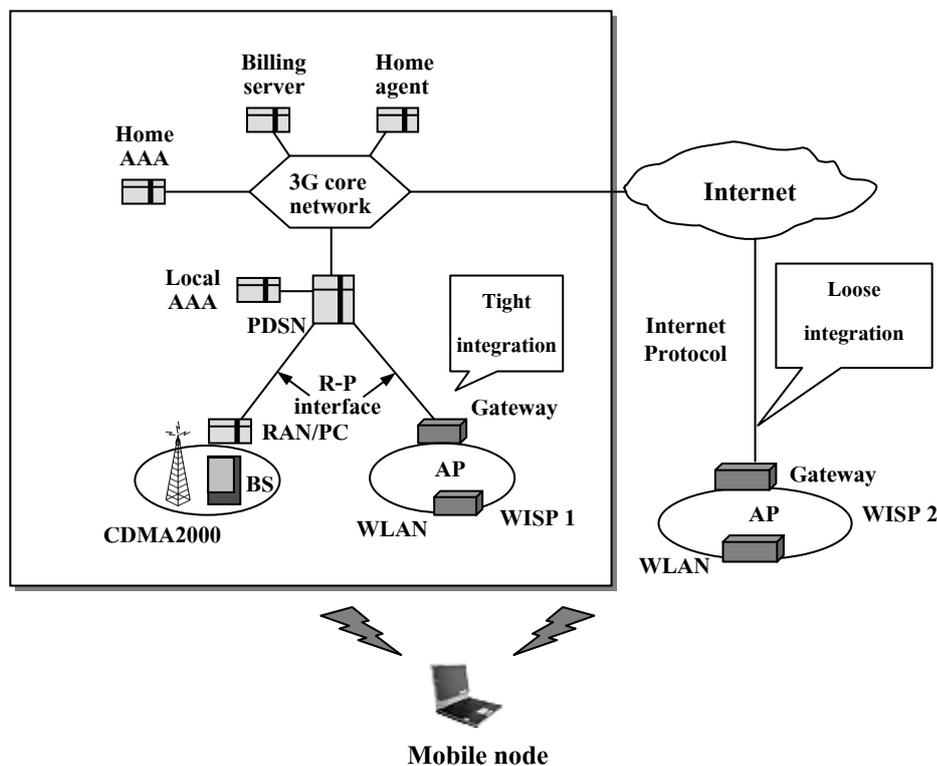
จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีที่มีความเร็วสูงสุดและระยะทางสูงสุดคือวายแม็กซ์ แต่เมื่อก้าวถึงด้านราคาในการลงทุน อาจเป็นเทคโนโลยีที่ลงทุนสูงสุดด้วยเช่นกัน ทำให้การตัดสินใจเลือกเครือข่ายมีปัจจัยอีกหลายประการที่ต้องคำนึง โดยเฉพาะความแรงสัญญาณ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัจจัยอื่นทั้งด้านความเร็ว และระยะทาง ซึ่งความแรงสัญญาณมักขึ้นกับสิ่งแวดล้อมและการถูกรบกวนจากเครือข่ายเดียวกัน หรือต่างเครือข่าย ทำให้ต้องมีการเลือกใช้เครือข่ายที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

6. การออกแบบโครงสร้างการทำงานร่วมกันระหว่างเครือข่าย

โครงสร้างการข้ามเครือข่ายในปัจจุบันมีทั้งในรูปแบบของการวิจัยและมาตรฐานสากล ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน แต่มีจุดประสงค์เดียวกันคือต้องการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน ทำให้การส่งข้อมูลขณะข้ามเครือข่ายเป็นไปได้อย่างรวดเร็วไม่ติดขัด ซึ่งจะนำเสนอการออกแบบโครงสร้างทั้งในรูปแบบงานวิจัยและรูปแบบของมาตรฐานดังนี้

ในการออกแบบโครงสร้างระบบเครือข่ายแลนไร้สายที่ทำงานร่วมกันสามารถออกแบบได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งจะขออภิปรายการออกแบบโครงสร้างระบบจากงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้งานร่วมกันระหว่างระบบเซลลูลาร์ (Cellular) และระบบเครือข่ายแลนไร้สาย (Buddhikot *et al.*, 2003) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ การเชื่อมต่อแบบหนาแน่น (Tightly-coupled

Internetwork) และ การเชื่อมต่อแบบหลวม(Loosely-coupled Internetwork) ซึ่งสามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 4 (Buddhikot *et al.*, 2003)



PDSN: Packet data serving node
 WISP: Wireless internet service provider
 RAN: Radio access network
 PCF: Packet control function
 R-P interface: RAN-PDSN interface
 BS: Base station
 AP: Access point

ภาพที่ 4 การใช้งานร่วมกันระหว่างระบบเซลลูล่า และ ระบบเครือข่ายแลนไร้สาย
 ที่มา: Buddhikot *et al.* (2003)

6.1 การเชื่อมต่อแบบหนาแน่น

เป็นลักษณะการออกแบบโครงสร้างโดยที่ทำให้ระบบเซลลูล่าเป็นระบบหลักแล้ว นำเอาระบบเครือข่ายแลนไร้สายเข้ามาเชื่อมต่อทำให้เป็นเสมือนระบบเดียวกัน โดยในส่วนของเกตเวย์ของระบบเครือข่ายแลนไร้สาย จะปิดกั้นการทำงานภายในเครือข่ายไม่ให้ปะปนกับการทำงานของระบบเซลลูล่า และทำการปรับเพิ่มในส่วนของโปรโตคอลต่าง ๆ ทั้งในเรื่องของการเคลื่อนที่ภายในเครือข่าย, การยืนยันสิทธิ์ในการเข้าใช้งาน และอื่น ๆ ซึ่งเป็นข้อตกลงทั่วไปในการใช้งาน

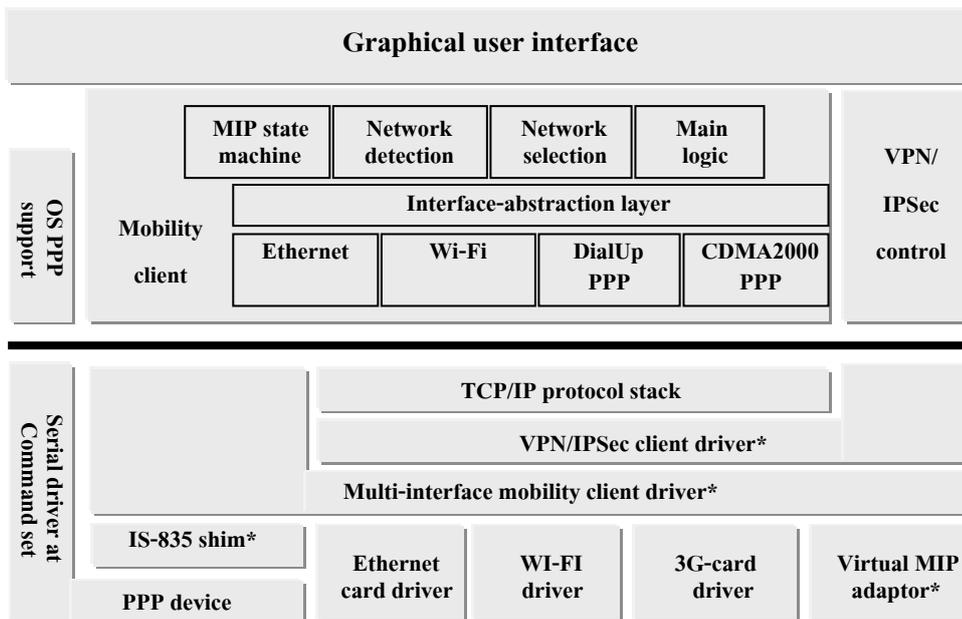
ของระบบเซลลูล่า ทั้งนี้ตัวการ์ดเครือข่ายแลนไร้สายเองต้องใส่โปรโตคอลเหล่านี้ลงบนตัวการ์ดด้วยเช่นกันเพื่อให้สามารถเลือกใช้งานสลับไปสลับมาระหว่างสองระบบได้

ข้อเสียของระบบนี้คือการที่ตัวอุปกรณ์ไม่สามารถติดต่อไปยังเครือข่ายต่างเครือข่ายได้โดยตรงทำให้ต้องทำการปรับปรุงทั้งตัวเกตเวย์, แกนเครือข่าย (Core network) และการ์ดเครือข่ายให้สามารถรับส่งข้อมูลกันได้ทำให้ต้องใช้งบลงทุนและความซับซ้อนของระบบที่สูง ทำให้ผู้ใช้บริการเซลลูล่าบางรายเท่านั้นที่นำเอาวิธีการนี้ไปใช้

6.2 การเชื่อมต่อแบบหลวม

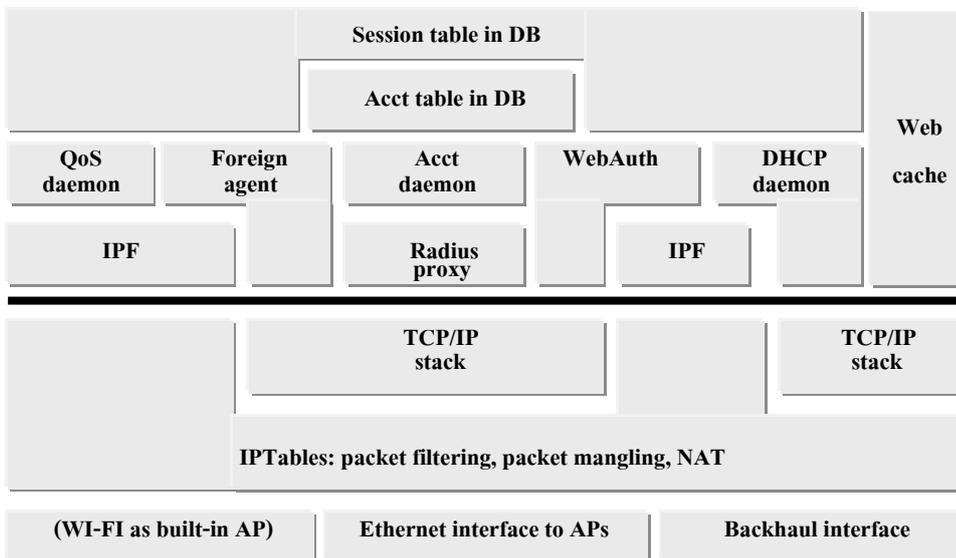
โดยโครงสร้างแบบนี้มีลักษณะคล้าย ๆ กับการเชื่อมต่อแบบหนาแน่น โดยโครงสร้างแบบนี้จะต่างกันที่จะมีการแยกเส้นทางการส่งข้อมูลอย่างชัดเจน โดยรับประกันว่าข้อมูลที่รับส่งอยู่ขณะอยู่ในเครือข่ายแลนไร้สาย จะไม่ถูกยกเลิกเมื่อเข้าไปใช้เครือข่ายเซลลูล่า โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องทำอะไรกับตัวอุปกรณ์ขณะส่งข้อมูล โดยในตัวเกตเวย์ของเครือข่ายแลนไร้สาย จะมีการนำเอาโมบายไอพี (Mobile IP) (Pakins *et al.*, 2002) มาใช้ในการตรวจจับการข้ามเครือข่ายให้สามารถส่งข้อมูลได้ต่อเนื่องไม่ถูกตัดขาด และมีการเพิ่มในส่วนของการบริการ (Service) AAA คือ กำหนดสิทธิ์, ยืนยันตัวตน, บัญชีผู้ใช้งาน (AAA : Authentication, Authorization, Accounting) ในส่วนของเกตเวย์ เพื่อช่วยเก็บการใช้งานในเครือข่ายแลนไร้สาย ในเรื่องของบัญชีผู้ใช้, เวลาการใช้งาน เพื่อส่งให้เซอเวคิตค่าบริการ (Billing server) ในระบบเซลลูล่าคิดค่าบริการและยังสามารถนำไปใช้ในการกำหนดสิทธิการใช้งานของผู้ใช้แต่ละคนได้ด้วย โดยระบบตัวอย่างบริการที่นำมาใช้คือเรเดียส (RADIUS) (Rigney *et al.*, 2000)

โดยข้อดีข้างต้น จะพบว่าตัวเกตเวย์และเครื่องลูกข่ายสามารถพัฒนาศักยภาพ โดยการเพิ่มระบบอื่น ๆ เข้าไปได้อีกมากมาย โดยสามารถแสดงโครงสร้างการทำงานร่วมกันของระบบเครือข่ายได้ดังภาพที่ 5 และ 6 (Buddhikot *et al.*, 2003)



*Application to Windows platforms only

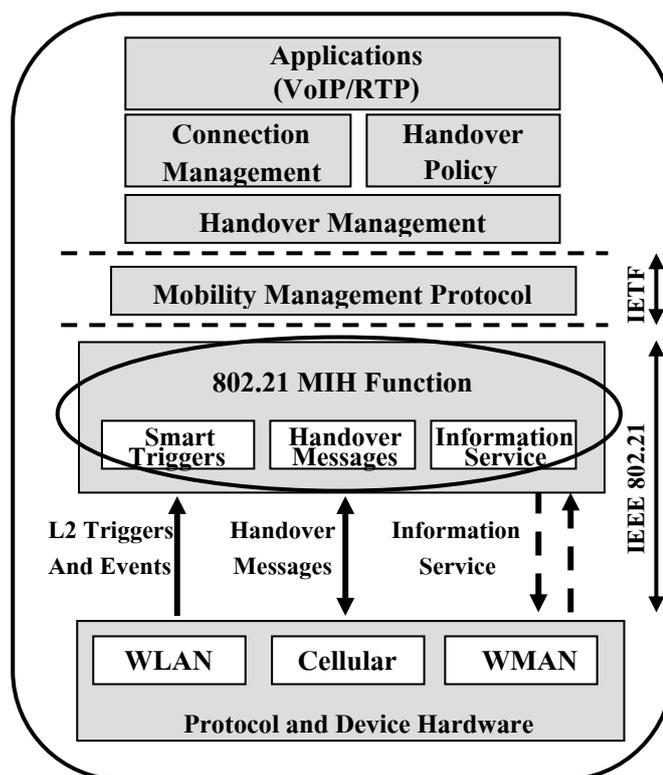
ภาพที่ 5 แสดงโครงสร้างการทำงานร่วมกันระหว่างเครือข่ายบนเครื่องลูกข่าย
ที่มา: Buddhikot *et al.* (2003)



ภาพที่ 6 แสดงโครงสร้างการทำงานร่วมกันระหว่างเครือข่ายบนเครื่องเกตเวย์
ที่มา: Buddhikot *et al.* (2003)

7. มาตรฐานการข้ามเครือข่าย IEEE 802.21

การออกแบบโครงสร้างตามมาตรฐานไออีอีอี (IEEE) 802.21 การให้บริการข้ามเครือข่ายที่ไม่ขึ้นต่อกัน(Media Independent Handover Services) นั้น ได้พัฒนาอยู่บนพื้นฐานการทำงานร่วมกันระหว่างมาตรฐานไออีอีอี 802 ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยกตัวอย่างการทำงานร่วมกันระหว่าง 802.16 (วายแม็กซ์) ซึ่งใช้สำหรับการทำงานนอกสถานที่ ที่ยังรองรับการเคลื่อนที่ในขณะที่ใช้งานเมื่อเข้าใช้งานภายในที่แคบก็ทำการปรับเปลี่ยนมาใช้งาน 802.11 (วายฟาย) ซึ่งก็รองรับการเคลื่อนที่เช่นกัน สุดท้ายเมื่อเข้ามาทำงานที่โต๊ะทำงานก็ปรับเปลี่ยนมาใช้ 802.3 (อีเทอร์เน็ต) จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ชัดเจนว่าจำเป็นต้องมีระบบ โครงสร้างที่ออกแบบให้มีการทำงานร่วมกันระหว่างระบบเครือข่ายแลนไร้สาย ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนต่อไป



ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างของมาตรฐานไออีอีอี 802.21

ที่มา: Institute for Electrical and Electronic Engineers (2005)

จากภาพที่ 7 (IEEE, 2005) แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของมาตรฐาน 802.21 โดยลักษณะการออกแบบโครงสร้างในฟังก์ชันเอ็มไอเอส (MIHF : Media Independent Handover Function) สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

7.1 Smart Trigger

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบพฤติกรรมของการใช้งานของผู้ใช้งาน และทำการวิเคราะห์เพื่อสั่งการไปยังอุปกรณ์ ยกตัวอย่างเช่น การเชื่อมต่อว่าง, การเชื่อมต่อล้มเหลว, การเชื่อมต่อปกติ เป็นต้น

7.2 Handover Messages

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ส่งคำสั่งไปยังผู้ใช้งานเพื่อใช้ในการควบคุมการข้ามเครือข่าย ยกตัวอย่างเช่น ทำการเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูล, ทำการตั้งค่าเส้นทางการส่งข้อมูล, ดำเนินการทำการเชื่อมต่อไปยังเส้นทางที่เลือกใช้งาน เป็นต้น

7.3 Information Service

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลของเครือข่ายแต่ละเครือข่ายที่ใช้งาน เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจ ยกตัวอย่างเช่น ระบบเครือข่ายที่เปิดให้บริการ, ไอพีแอดเดรส เป็นต้น

นอกจากโครงสร้างที่ได้นำมาแสดงให้เห็นแล้วยังมีวิธีการออกแบบโครงสร้างอีกหลายแบบ เช่น RAMON (Re-Configurable Access Module for Mobile Computing Application) (Roveri *et al.*, 2003) และ MIRAI (Wu *et al.*, 2002) ซึ่งเป็นการออกแบบโมดูลเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานระหว่างเครือข่ายที่แตกต่างกัน โดยบางงานวิจัยจะออกแบบให้ใช้งานระหว่าง 2 เท่านั้น เช่น โครงสร้างที่ออกแบบโครงสร้างระหว่างเครือข่าย 3PP และ เครือข่ายแลนไร้สาย (Ahmavaara *et al.*, 2003)

8. งานวิจัยเกี่ยวกับการข้ามเครือข่าย

จากการออกแบบโครงสร้างการใช้งานข้ามเครือข่าย ยังต้องมีส่วนสำคัญคือส่วนที่จะทำการนำเอาข้อมูลของแต่ละเครือข่ายเพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าจะเลือกใช้เครือข่ายใด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน

8.1 Interface Selection Algorithm

Buddhikot *et al.* (2003) เป็นงานวิจัยที่กล่าวถึงกระบวนการเลือกใช้เครือข่าย โดยพิจารณาสถานะการใช้งานของอุปกรณ์เครือข่ายเป็นหลัก โดยมีลักษณะโครงสร้างการวางระบบเป็นแบบ การเชื่อมต่อแบบหลวม โดยปัจจัยที่พิจารณามี 2 ปัจจัย คือ ความแรงสัญญาณ, ลำดับความสำคัญ โดยพิจารณาจากอุปกรณ์ไหนมีน้ำหนักมากที่สุดก็จะปรับเปลี่ยนไปใช้งานยังการ์ดอุปกรณ์นั้น ๆ

ดังนั้นอุปกรณ์เครือข่ายที่ใช้งานอยู่จะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่าอุปกรณ์ที่ไม่ถูกใช้งาน ทำให้การที่จะปรับเปลี่ยนการใช้งานไปยังเครือข่ายใหม่เป็นไปได้ยากขึ้น ทำให้ช่วยในการลดจำนวนการข้ามเครือข่ายลงในกรณีที่ผู้ใช้งานไม่เคลื่อนที่ในระยะไกล ๆ และยังมีค่าลำดับความสำคัญเพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งที่น่ามาตัดสินใจข้ามเครือข่าย แต่ข้อเสียของกระบวนการนี้ก็จะทำการพิจารณาเฉพาะความแรงสัญญาณ ซึ่งบางอุปกรณ์ความแรงสัญญาณสูง แต่อาจจะมีการจ่ายสูงตามไปด้วย

8.2 Handover Algorithm

Bianchi *et al.* (2003) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องอีกชิ้นหนึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการข้ามเครือข่ายที่แตกต่างกันโดยลักษณะของการออกแบบวงจรควบคุมที่ไม่ยึดติดกับรูปแบบของระบบ โดย Handover Algorithm จะแบ่งย่อยออกเป็น 2 กระบวนการคือกระบวนการเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ เพื่อใช้ในการตัดสินใจข้ามเครือข่าย และกระบวนการบ่งบอกข้อมูลผู้ใช้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการอนุญาตในการข้ามเครือข่าย ซึ่งจากลักษณะโครงสร้างการวางระบบเป็นแบบการเชื่อมต่อแบบหลวมเช่นเดียวกัน โดยจะมีการนำเอาโมดูลที่เรียกว่าการควบคุมการข้ามเครือข่าย (HandOver Control) เข้ามาควบคุมทั้ง 2 กระบวนการที่กล่าวไว้ข้างต้น และมีการนำเอา Handover Algorithm

ซึ่งนำมาใช้ในการเปรียบเทียบในด้านของประสิทธิภาพของแต่ละระบบทั้งในขณะเริ่มต้นใช้ และเมื่อใช้งานไปแล้ว โดยมีการพิจารณาปัจจัย 3 ปัจจัยคือค่าแบนวิธ (Bandwidth), ระยะทางจากสถานีให้บริการ และค่าใช้จ่ายในรูปแบบของเงิน

โดยวิธีการนี้มีข้อดีที่มีหลากหลายปัจจัยเพื่อช่วยในการพิจารณาเลือกเครือข่ายและมีการให้คำแนะนำทำให้การตัดสินใจตรงกับความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น แต่ข้อเสียคืองานวิจัยนี้ทดสอบเฉพาะสองระบบเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครือข่ายอื่น ๆ เนื่องจากคำแนะนำแต่ละค่ามีความสัมพันธ์กันตายตัว ทำให้การนำไปใช้กับเครือข่ายอื่นต้องทำการหาค่าแนะนำที่เหมาะสมทุกครั้ง

ยกตัวอย่างการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Bianchi *et al.*, 2003) ทำการจำลองการทดลอง (Simulation) โดยใช้ NS2 เป็นเครื่องมือในการทดลอง ซึ่งทำการจำลองการทำงานของ Handover algorithm ระหว่างยูเอ็มทีเอส-ทีดีดี (UMTS-TDD) (4G) และ 802.11 จะได้ว่าคำแนะนำต่าง ๆ มีผลทำให้เกิดลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนทั้งในเรื่องของการเลือกใช้เครือข่ายและแบนวิธของระบบ และเวลาในการส่งข้อมูลสามารถปรับเปลี่ยนได้แปรผกผันกับราคาที่ต้องใช้ไปกับการส่งข้อมูล

นอกจากที่กล่าวมายังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอีกมากมายทั้งในเรื่องของการข้ามเครือข่ายอย่างไรให้สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง (Timmirello *et al.*, 2003), กระบวนการตัดสินใจข้ามเครือข่ายแบบเหมาะสม (Zhu *et al.*, 2004) และกระบวนการตัดสินใจข้ามเครือข่ายแบบชาญฉลาด (Chen *et al.*, 2004)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค Pentium M 1.4 GHz RAM 760 MB Hard disk 80GB
2. โปรแกรมจำลองระบบปฏิบัติการลินุกซ์บนวินโดวส์ Cygwin
3. โปรแกรมจำลองการใช้งานเครือข่าย Network Simulation 2 (NS2)
4. โปรแกรมพัฒนาภาษา Visual Basic ของไมโครซอฟต์เวอร์ชัน 6

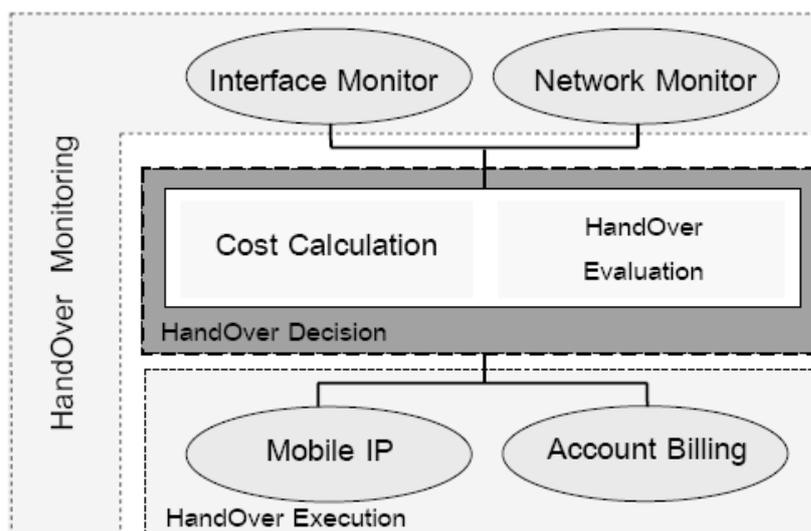
วิธีการ

จากงานวิจัยส่วนหน้านี้ กระบวนการวิธีการข้ามเครือข่ายที่ผ่านมานั้น ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยมุ่งเน้นการใช้งานเฉพาะอย่าง ไม่ได้พิจารณาถึงข้อมูลอื่น ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นปัจจัยในการพิจารณาในการข้ามเครือข่าย ทั้งพฤติกรรมของผู้ใช้ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานโดยรวมมีค่าใช้จ่ายมากกว่าที่ควรจะเป็น ทั้งในด้านแบนวิธ, ค่าใช้จ่าย, หรือความแรงสัญญาณ แม้กระทั่งค่าใช้จ่ายด้านความปลอดภัย งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองการข้ามเครือข่ายที่จะแสดงให้เห็นกระบวนการทำงานตั้งแต่ต้นจนจบ ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการการตัดสินใจที่มุ่งลดค่าใช้จ่ายรวมทั้งวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้งานเพื่อใช้ในการลดค่าใช้จ่าย โดยค่าใช้จ่ายที่ทำการลดสามารถวิเคราะห์ได้จากหลากหลายปัจจัย ซึ่งสามารถพัฒนาให้รองรับปัจจัยนอกเหนือจากงานวิจัยได้เรื่อย ๆ โดยไม่มีขีดจำกัด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในปัจจุบันและอนาคต

1. ระบบการตัดสินใจ พร้อมทั้งปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา

สำหรับระบบการตัดสินใจเป็นกระบวนการในการพิจารณาว่าควรมีการเปลี่ยนข้ามเครือข่ายหรือไม่อย่างเหมาะสม ตามปัจจัยที่ผู้ใช้งานต้องการ โดยสามารถปรับเพิ่มหรือลดได้ โดยจะออกแบบระบบการตัดสินใจเป็นแบบจำลองการทำงาน โดยทำการแบ่งส่วนการทำงานอย่างชัดเจน และจะกล่าวถึงปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อนำมาคำนวณหาค่าใช้จ่าย เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าจะข้ามเครือข่ายหรือไม่ในขั้นตอนต่อไป

1.1 แบบจำลองโครงสร้างของระบบข้ามเครือข่าย(จตุพร และคณะ, 2550) : โดยสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนตามภาพที่ 8 ดังนี้



ภาพที่ 8 แบบจำลองโครงสร้างของระบบข้ามเครือข่ายที่นำเสนอ
ที่มา: จตุพร และคณะ (2550)

1.1.1 ส่วนการตรวจสอบ (Handover Monitor) เป็นส่วนที่ใช้ในการตรวจจับสถานะของเครือข่ายแต่ละเครือข่าย โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ก. การตรวจจับอุปกรณ์ (Interface Monitor) เป็นการตรวจจับสัญญาณในแต่ละอุปกรณ์ว่าในบริเวณที่ใช้งานมีเครือข่ายใดให้บริการอยู่บ้าง

ข. การตรวจวัดเครือข่าย (Network Monitor) เป็นการตรวจวัดประสิทธิภาพของแต่ละเครือข่าย โดยส่งต่อให้ในส่วนตัดสินใจในรูปค่าของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งในส่วนนี้มีการกรองเครือข่ายไปในตัว โดยพิจารณาว่าเครือข่ายใดมีค่าปัจจัยน้อยกว่าค่าที่สามารถรับได้หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าจะไม่ส่งต่อไปยังส่วนการตัดสินใจ

1.1.2 ส่วนการตัดสินใจ (Handover Decision) เป็นส่วนที่นำเอาข้อมูลที่ได้จากส่วนการตรวจสอบเพื่อใช้ในการตัดสินใจ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ก. กระบวนการคำนวณหาค่าใช้จ่าย (Cost Calculation) เป็นส่วนที่นำเอาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่วนการตรวจสอบส่งมาเพื่อทำการคำนวณค่าใช้จ่ายของแต่ละเครือข่ายเพื่อส่งให้ส่วนต่อไปพิจารณา

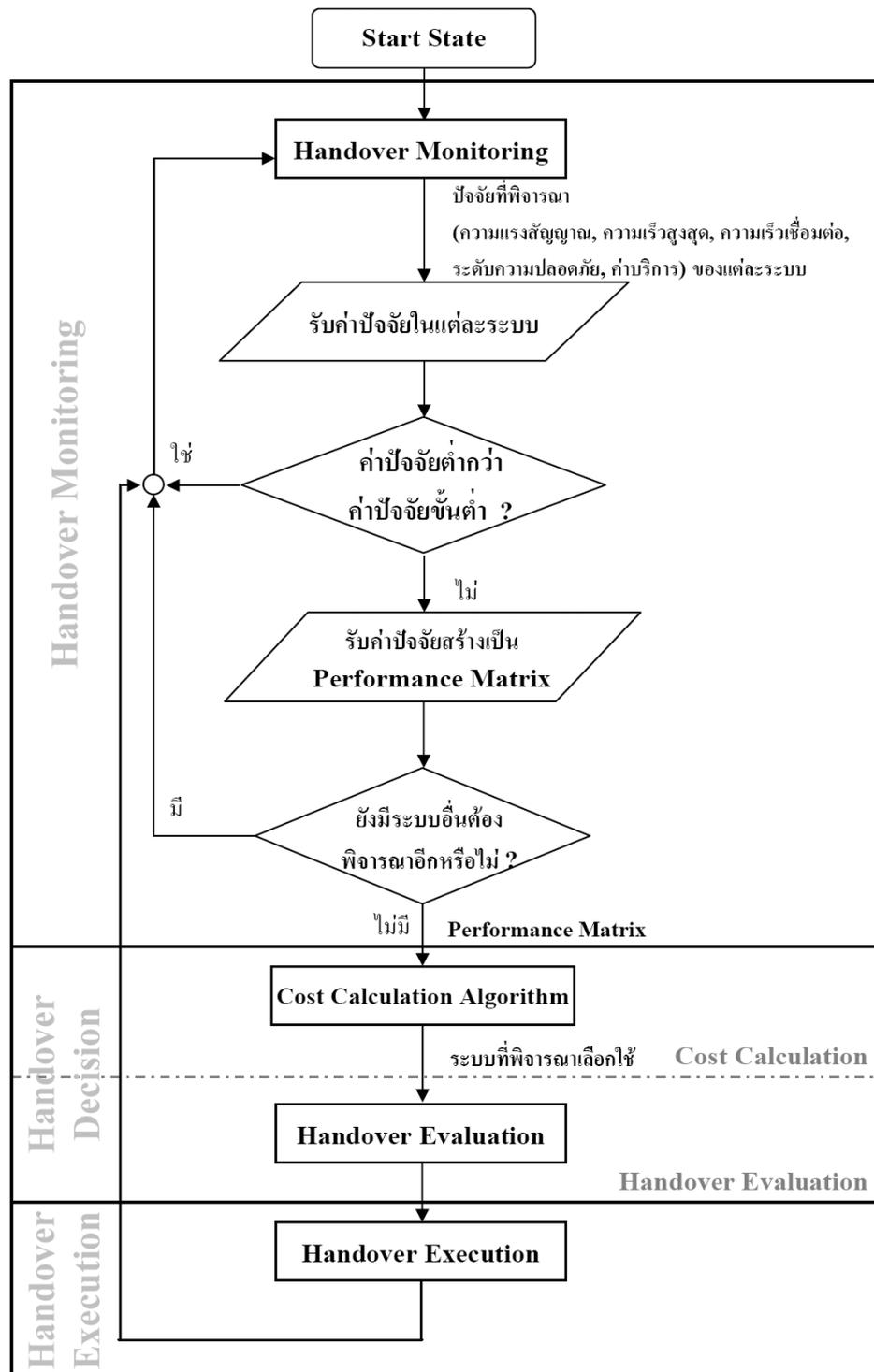
ข. กระบวนการประเมินเพื่อตัดสินใจ (Handover Evaluation) เป็นส่วนที่ใช้ในการประเมินว่าจะทำการเปลี่ยนข้ามเครือข่ายหรือไม่จากข้อมูลระบบและค่าใช้จ่ายที่ได้จากการคำนวณ

1.1.3 ส่วนการทำการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย (Handover Execution) เป็นส่วนที่ปรับเปลี่ยนระบบให้หลุดจากเครือข่ายเดิม และทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายใหม่ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ก. ระบบปรับเปลี่ยนไอพี (Mobile IP) เป็นระบบที่ใช้ในการบันทึกไอพีแอดเดรส (IP Address) ที่ใช้งานในครั้งแรก เมื่อผู้ใช้อย้ายไปใช้เครือข่ายใหม่จะทำการปรับเปลี่ยนเครือข่ายโดยยังสามารถใช้งานในไอพีแอดเดรสเดิม เพื่อให้การใช้งานไม่สะดุดในกรณีที่ระหว่างการย้ายไปเครือข่ายใหม่กำลังมีการส่งข้อมูลอยู่

ข. ระบบบันทึกการใช้งาน (Account Billing) เป็นระบบเก็บสถิติการใช้งานในแต่ละเครือข่ายเพื่อนำมาใช้ในการคิดเงิน หรือกำหนดสิทธิการใช้งาน

ดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถอธิบายการทำงานของระบบได้ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนผังกระบวนการทำงานของระบบการเคลื่อนที่ข้ามเครือข่าย
ที่มา: จตุพร และคณะ (2550)

1.2 ส่วนคำนวณค่าใช้จ่ายรวมของระบบ (Cost Calculation) : สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนย่อย ๆ ได้ดังนี้

1.2.1 ปัจจัยในการพิจารณา : ในการตัดสินใจเปลี่ยนข้ามเครือข่ายหรือไม่นั้น ผู้ใช้งานน่าจะมีความสามารถในการกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อผู้ใช้งานได้ตามต้องการ จึงได้นำเสนอแบบจำลองการตัดสินใจ ที่ผู้ใช้สามารถ ลดหรือเพิ่มปัจจัยหรือทำการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยได้โดยง่าย โดยสามารถยกตัวอย่างปัจจัยที่ต้องการพิจารณาได้ 5 ปัจจัย ดังนี้

ก. ความแรงสัญญาณ (Signal) คือความแรงของสัญญาณที่ส่งออกจากสถานีฐานไปยังปลายทาง โดยความแรงสัญญาณที่วัดจะเป็นความแรงสัญญาณที่ตัวอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน ซึ่งความแรงสัญญาณจะขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย ทั้งระยะห่าง สิ่งกีดขวาง หรือแม้กระทั่งสภาพอากาศ โดยความแรงสัญญาณจะมีหน่วยวัดเป็น dB หรือ watt

ข. ความเร็วสูงสุดของระบบ (Commit Bit Rate) คือความเร็วสูงสุดที่วัดหลังจากทำการเชื่อมต่อ ซึ่งมักจะเป็นความเร็วสูงสุดของระบบเครือข่ายนั้น ๆ ที่สามารถรองรับได้ ซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี หรือจำนวนช่องสัญญาณที่ได้รับการจัดสรร โดยผู้ให้บริการเอง โดยความเร็วสูงสุดจะมีหน่วยวัดเป็น Kbps หรือ Mbps

ค. ความเร็วในการรับส่งข้อมูลของระบบ (Data Rate) คือความเร็วในการส่งข้อมูล ณ เวลานั้น ๆ ซึ่งเป็นความเร็วในการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้งาน เป็นความเร็วที่ไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับความแรงสัญญาณ หรือจำนวนแบนวิซที่เหลือ โดยในกรณีที่ผู้ใช้มีจำนวนมาก มักจะมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลลดลง

ง. ระดับความปลอดภัยของระบบ (Security Level) คือระดับของความปลอดภัยในระบบเครือข่ายนั้น ๆ โดยจะแบ่งออกเป็น Level โดย 0 แทน ไม่มีการเข้ารหัส, 1 แทนมีการเข้ารหัสระดับต่ำ และ 2 แทนมีการเข้ารหัสระดับสูง ในกรณีของเครือข่ายที่มีเฉพาะการเข้ารหัสและไม่เข้ารหัส จะใช้ค่าเป็น 0 หรือ 2 เท่านั้น โดยระดับความปลอดภัยของระบบจะมีหน่วยเป็น Level

จ. ค่าบริการของระบบ (Payment) คือค่าใช้จ่ายในรูปแบบของตัวเงินที่ต้องเสียให้กับผู้ให้บริการแต่ละเครือข่ายโดยคิดเป็นจำนวนแพ็คเกจ เช่น 5 กิโลไบต์ต่อ 1 บาท ซึ่งถ้าผู้ใช้งานใช้จำนวนแพ็คเกจเยอะเท่าไรก็จะเสียค่าบริการเยอะเท่านั้น

จากปัจจัยที่ข้างต้นสามารถนำมาเขียนเป็นสมการการคิดค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

กำหนดให้	i	แทน	ลำดับข้อมูลระบบเครือข่ายที่นำมาเปรียบเทียบ
	j	แทน	ลำดับข้อมูลปัจจัยที่พิจารณา
	F	แทน	เวกเตอร์ค่าใช้จ่ายรวมของระบบมีขนาด $i \times 1$
	M	แทน	เวกเตอร์ค่าใช้จ่ายของระบบมีขนาด $i \times j$
	C	แทน	ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยมีขนาด $i \times 1$

จะได้ว่า
$$F = M \times C \quad (1)$$

วิธีหาค่า M

กำหนดให้	i	เป็น	ลำดับข้อมูลระบบเครือข่ายที่นำมาเปรียบเทียบ
	j	เป็น	ลำดับข้อมูลปัจจัยที่พิจารณา
	k	เป็น	เครือข่ายที่กำลังพิจารณา
	n	เป็น	เครือข่ายทั้งหมดที่พิจารณา
	m_{k1}	เป็น	ความแรงของสัญญาณ (dB)
	m_{k2}	เป็น	ความเร็วสูงสุดของระบบ (Kbps)
	m_{k3}	เป็น	ความเร็วในการเชื่อมต่อกับระบบ (Kbps)
	m_{k4}	เป็น	ระดับความปลอดภัยของระบบ (Level)
	m_{k5}	เป็น	ค่าบริการของระบบ (Bahts/Kb)
	โดยที่ $m_{ij} \geq 0$ และ $m_{kj} \geq 0$		

ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัย 5 ปัจจัยข้างต้นจะได้ว่า

$$M = \begin{bmatrix} 1 - \frac{m_{11}}{m_{11} + m_{21} + m_{31} + m_{41} + m_{51}} & 1 - \frac{m_{12}}{m_{12} + m_{22} + m_{32} + m_{42} + m_{52}} & \dots & 1 - \frac{m_{15}}{m_{15} + m_{25} + m_{35} + m_{45} + m_{55}} \\ 1 - \frac{m_{21}}{m_{11} + m_{21} + m_{31} + m_{41} + m_{51}} & 1 - \frac{m_{22}}{m_{12} + m_{22} + m_{32} + m_{42} + m_{52}} & \dots & 1 - \frac{m_{25}}{m_{15} + m_{25} + m_{35} + m_{45} + m_{55}} \\ 1 - \frac{m_{31}}{m_{11} + m_{21} + m_{31} + m_{41} + m_{51}} & 1 - \frac{m_{32}}{m_{12} + m_{22} + m_{32} + m_{42} + m_{52}} & \dots & 1 - \frac{m_{35}}{m_{15} + m_{25} + m_{35} + m_{45} + m_{55}} \\ 1 - \frac{m_{41}}{m_{11} + m_{21} + m_{31} + m_{41} + m_{51}} & 1 - \frac{m_{42}}{m_{12} + m_{22} + m_{32} + m_{42} + m_{52}} & \dots & 1 - \frac{m_{45}}{m_{15} + m_{25} + m_{35} + m_{45} + m_{55}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 - \frac{m_{i1}}{m_{11} + m_{21} + m_{31} + \dots + m_{i1}} & 1 - \frac{m_{i2}}{m_{12} + m_{22} + m_{32} + \dots + m_{i2}} & \dots & 1 - \frac{m_{i5}}{m_{15} + m_{25} + m_{35} + \dots + m_{i5}} \end{bmatrix}_{i \times 5} \quad (2)$$

โดยสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้เป็น

$$M_{ij} = 1 - \frac{m_{ij}}{\sum_{k=1}^n m_{kj}} \quad \forall i, j \quad (3)$$

จะได้ว่า

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & \dots & M_{1j} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & \dots & M_{2j} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & \dots & M_{3j} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & \dots & M_{4j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{i1} & M_{i2} & M_{i3} & M_{i4} & M_{ij} \end{bmatrix}_{i \times j} \quad (4)$$

วิธีหาค่า C

กำหนดให้ j เป็น ลำดับข้อมูลปัจจัยที่พิจารณา
 C_1 เป็น ค่าน้ำหนักความแรงของสัญญาณ
 C_2 เป็น ค่าน้ำหนักความเร็วสูงสุดของระบบ
 C_3 เป็น ค่าน้ำหนักความเร็วในการเชื่อมต่อกับระบบ
 C_4 เป็น ค่าน้ำหนักระดับความปลอดภัยของระบบ
 C_5 เป็น ค่าน้ำหนักค่าบริการของระบบ
 โดย $C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 = 1$ และ
 $0 \leq C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 \leq 1$

ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัย 5 ปัจจัยข้างต้นจะได้ว่า

$$C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \end{bmatrix}_{5 \times 1} \quad (5)$$

โดยสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้เป็น

$$C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_j \end{bmatrix}_{j \times 1} \quad (6)$$

ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะปัจจัย 5 ปัจจัยข้างต้นจะได้ว่า

$$F = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} & M_{15} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} & M_{25} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} & M_{35} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} & M_{45} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{i1} & M_{i2} & M_{i3} & M_{i4} & M_{i5} \end{bmatrix}_{i \times 5} \times \begin{bmatrix} C_{11} \\ C_{21} \\ C_{31} \\ C_{41} \\ \vdots \\ C_{51} \end{bmatrix}_{5 \times 1} \quad (7)$$

โดยสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้เป็น

$$F = \sum_{i=1}^n M_{ij} C_j \quad (8)$$

จะได้ว่า

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ \vdots \\ F_5 \end{bmatrix}_{i \times 1} \quad (9)$$

ดังนั้นกำหนดให้ A คือค่าตอบของระบบ มีความหมายถึงเครือข่ายที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (10)

$$A = \min(F_i) \quad \forall i \quad (10)$$

1.2.2 การให้น้ำหนักความสำคัญของปัจจัย : การเลือกว่าปัจจัยใดบ้างควรมีผล และควรมีผลมากน้อยแค่ไหนต่อการตัดสินใจ ผู้ใช้สามารถกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยค่า 0 แปลว่าไม่ต้องการให้ปัจจัยนั้นมีผลต่อการตัดสินใจ ในขณะที่ค่า 1 แสดงว่าต้องการพิจารณาปัจจัยนั้นเพียงปัจจัยเดียว

ยกตัวอย่างกรณีให้ความสำคัญเฉพาะปัจจัยที่ 1 และ 5 เท่านั้นในกรณีที่พิจารณาปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัย สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (11) และ (12) โดยสมการที่ (11) จะใช้ค่าน้ำหนักนี้ในการพิจารณาปัจจัยที่ 1 และสมการที่ (12) จะใช้ค่าน้ำหนักนี้ในการพิจารณาปัจจัยที่ 5

$$C = [10000]^T \quad (11)$$

$$C = [00001]^T \quad (12)$$

ซึ่งจากค่าน้ำหนักที่ยกตัวอย่างข้างต้น แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องทำการคำนวณเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมเป็นจำนวนครั้งเท่ากับปัจจัยที่ต้องการพิจารณา กล่าวได้ว่าต้องทำการหาค่าใช้จ่ายแยกตามปัจจัยที่พิจารณา เมื่อได้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของแต่ละปัจจัยได้แล้วก็จะนำมาเปรียบเทียบอีกครั้งเพื่อหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของปัจจัยที่พิจารณาทั้งหมด แล้วจึงมาหารายละเอียดอีกครั้งว่าเครือข่ายไหนเป็นเครือข่ายที่ถูกเลือกใช้งาน โดยวิธีดังกล่าวเป็นวิธีหาค่าใช้จ่ายกรณีที่ดีที่สุด เรายังสามารถหาค่าน้ำหนักจากการให้น้ำหนักของแต่ละปัจจัยได้ด้วย แต่ค่าใช้จ่ายโดยรวมจะสูงกว่าแบบกรณีที่ดีที่สุด แต่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้มากกว่า และใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากกว่าในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการหลากหลายปัจจัยแต่ไม่ต้องการปรับเปลี่ยนการพิจารณากลับไปกลับมา วิธีการให้น้ำหนักจึงเหมาะกับผู้ใช้งานที่ต้องการความยืดหยุ่น ไม่ได้ระบุต้องการว่าค่าใช้จ่ายรวมต้องถูกที่สุดแต่จะพิจารณาเมื่อปัจจัยหลักใกล้เคียงกันจึงจะนำปัจจัยรองมาพิจารณาต่อไปว่าควรเลือกใช้เครือข่ายใด

1.3 ส่วนการประเมินการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย (Handover Evaluation)

เนื่องจากการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จากคำตอบตามหัวข้อที่ 3.2 เป็นการพิจารณาในช่วงเวลาหนึ่ง ถ้าผู้ใช้ทำการเปลี่ยนข้ามเครือข่ายโดยทันทีตามคำตอบที่ได้รับ อาจทำให้เกิดปัญหาเนื่องจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่าการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมาได้

ในการแก้ปัญหานี้ จึงต้องมีการเพิ่มการพิจารณาในส่วนการประเมินได้ดังภาพที่ 10

การประเมินการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย()

- 1 { อ่านประวัติการเลือกใช้เครือข่ายจากบัพเฟอร์;
- 2 ตรวจสอบประวัติการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย ();
- 3 เก็บค่าการเครือข่ายที่เลือกใช้ไปยังบัพเฟอร์;
- 4 การหน่วงเวลาการตัดสินใจ (); }

ภาพที่ 10 แสดงกระบวนการประเมินการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย

จากอัลกอริทึมข้างต้นยังสามารถอธิบายส่วนย่อยอีก 2 ส่วนได้ดังนี้

1.3.1 การตรวจประวัติการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย : เป็นกระบวนการป้องกันการเกิดปัญหาการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา โดยนำค่าประวัติการเลือกใช้เครือข่ายที่เก็บในบัพเฟอร์ มาพิจารณาย้อนหลัง 3 ครั้ง เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าจะข้ามไปใช้เครือข่ายใหม่หรือไม่ โดยสาเหตุที่ต้องทำการพิจารณาย้อนหลัง 3 ครั้งเนื่องจากเราสามารถเห็น โอกาสที่จะเกิดการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมาในการข้ามเครือข่ายครั้งที่ 4 ยกตัวอย่างเช่น x คือเครือข่ายที่ 1 และ y คือเครือข่ายที่ 2 จะเกิดการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมาที่ต่อเมื่อมีลักษณะเป็น xyxy หรือ yxyx ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการเลือกครั้งที่ 1 จะเหมือนกับการเลือกครั้งที่ 3 และการเลือกครั้งที่ 2 จะเหมือนกับการเลือกครั้งที่ 4 โดยสามารถอธิบายด้วยภาพที่ 11

การตรวจประวัติการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย ()

- 1 { อ่านค่าประวัติการใช้งานย้อนหลัง 3 ครั้ง;
- 2 อ่านค่าเครือข่ายที่ตัดสินใจเลือกใช้งาน;
- 3 ถ้าระบบที่ตัดสินใจเลือกใช้งานต่างจากเครือข่ายที่เคยใช้งานย้อนหลัง 1 ครั้ง
- 4 { ถ้าระบบที่ตัดสินใจเลือกใช้งานเหมือนกับเครือข่ายที่เคยใช้งานย้อนหลัง 2 ครั้ง
- 5 { ถ้าระบบที่ตัดสินใจเลือกใช้งานต่างกับเครือข่ายที่เคยใช้งานย้อนหลัง 3 ครั้ง
- 6 { เลือกใช้งานเครือข่ายที่เคยใช้งานย้อนหลัง 1 ครั้ง; } }
- 7 } ในกรณีอื่น ๆ
- 8 { เลือกใช้เครือข่ายที่ตัดสินใจเลือกใช้งาน; } }

ภาพที่ 11 แสดงกระบวนการตรวจประวัติการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย

โดยที่หลังจากใช้อัลกอริทึมดังกล่าวจะทำให้ลักษณะของการข้ามเครือข่าย
ข้างต้นจาก $xyxy$ จะเปลี่ยนเป็น $xyxx$ และ $yxyx$ จะเปลี่ยนเป็น $yxyy$

1.3.2 การหน่วงเวลาการตัดสินใจ : ในการตัดสินใจนั้นไม่ควรรีบทำในทันที ตาม
เหตุผลข้างต้น ดังนั้นจึงควรมีการหน่วงเวลาการตัดสินใจอย่างเหมาะสมตามกระบวนการดังภาพที่

การหนดเวลาการตัดสินใจ ()

- 1 { อ่านค่าเวลาหนดล่ำสุด , ค่ำใช้จ่ำยล่ำสุด และค่ำใช้จ่ำยของเครื่องข่ำยใหม่;
- 2 กำนหนดช่วงเวลาการหนดสูงสุด X วินาที
- 3 กำนหนดช่วงเวลาการหนดเป็น 3 ระดับ [1,X/2,X] วินาที
- 4 ถ้าค่ำใช้จ่ำยของเครื่องข่ำยใหม่น้อยกว่ำค่ำใช้จ่ำยล่ำสุดและช่วงเวลาการหนดไม่ใช้ระดับสูงสุด
- 5 { เพิ่มเวลำนหนดขึ้นไปอีก 1 ระดับ; }
- 6 ในกรณีอื่นที่ค่ำใช้จ่ำยของเครื่องข่ำยใหม่มากกว่ำค่ำใช้จ่ำยล่ำสุดและช่วงเวลาการหนดไม่ใช้ระดับต่ำสุด
- 7 { ลดเวลำนหนดลงไปอีก 1 ระดับ; }
- 8 ในกรณีนอกเหนือจากข่งต้น
- 9 { ใช้เวลำนหนดระดับเดิม; }
- 10 รอเท่ำกับช่วงเวลาทีหนดง; }

ภำพที่ 12 แสดงกระบวนการหนดเวลาการตัดสินใจ

จากกระบวนการข่งต้นสามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาหนดงจาก 1 วินาทีถึง 5 วินาทีเป็นค่ำอื่น ๆ ได้ โดยค่ำของช่วงเวลาหนดงทีเหมาะสมขึ้นอยู่กัหลายสำเหตุ ประกอบด้วยจำนวนเครื่องข่ำยทีมีให้เลือกใช้ พื้นที่ของสัญญาณทีซ้อนทับกัน และการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน ทั้งนี้วิธีการนี้จะช่วยลดจำนวนการตัดสินใจลงจากปกติทีมีการตัดสินใจทุก ๆ ช่วงเวลำนหนึ่ง ซึ่งถ้าทำการตัดสินใจถี่เกินไปก็จะทำให้อุปกรณ์ทำงานหนักและสิ้นเปลืองพลังงาน และถ้าตัดสินใจห่างเกินไปอาจทำให้อำใช้จ่ำยสูงเกินไป ทั้งทีควรปรับเปลี่ยนเครื่องข่ำยไปใช้เครื่องข่ำยทีมีค่ำใช้จ่ำยต่ำกว่ำ

ผลและวิจารณ์

ผล

งานวิจัยนี้ใช้การทดสอบโดยใช้โปรแกรมซิมูเลชันชื่อว่า NS2 (Network Simulation 2) ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมภาษา C++ เป็นแกนกลางในการทำงาน โดยผ่านการสร้างสภาพแวดล้อมด้วยโปรแกรมภาษา Tcl ซึ่งจะทำหน้าที่แปลคำสั่งส่งให้โปรแกรมภาษา C++ ดำเนินการต่อไป โดยทำการทดลองจำลองการทำงานของเครือข่าย 3 เทคโนโลยีคือ วิทยุ, วิทยุแมกซ์ และจีพีอาร์เอส โดยในเบื้องต้นเนื่องจาก NS2 ไม่รองรับการใช้งานวิทยุแมกซ์ และจีพีอาร์เอส จึงได้ทดสอบโดยนำเอาระบบวิทยุมาปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ให้เทียบเท่าเทคโนโลยีอื่น ๆ โดยใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับเทคโนโลยีนั้น ๆ ให้มากที่สุด และทำการจำลองผลการทดลองที่ละเครือข่าย แล้วจึงนำเอาความแรงสัญญาณของแต่ละเครือข่ายที่โอบายโหนด (Mobile Node) ได้รับนำไปเข้าโปรแกรมมิชวลเบสิกเวอร์ชัน 6 เพื่อสร้างกระบวนการปรับเปลี่ยนเครือข่ายตามที่นำเสนอไปข้างต้น

สำหรับการกำหนดสภาพแวดล้อมทั่วไปของการซิมูเลชัน กำหนดให้มีการเชื่อมต่อแบบโครงสร้างโดยสถานีแลนไร้สายต่อกับสถานีแลนไร้สาย และให้โอบายโหนดเชื่อมต่อกับสถานีแลนไร้สาย และกำหนดให้สถานีแลนไร้สายทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านข้อมูลให้กับสถานีไร้สาย และสถานีไร้สายส่งต่อข้อมูลไปยังโอบายโหนด โดยสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองแยกตามเทคโนโลยีได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของเทคโนโลยีแลนไร้สายแบบต่าง ๆ

เครือข่าย	ความถี่ (Ghz)	ความเร็ว สูงสุด (Mb/s)	ความแรง สัญญาณที่ สถานีส่ง (dBm)	ระยะที่ เครือข่าย ครอบคลุม (m)	ความสูง เสา สัญญาณ (m)	ความแรงสัญญาณต่ำสุด ที่โมบายโหนดสามารถ รับส่งข้อมูลโดยหาค่าได้ จากการคำนวณ (dBm)
วายฟาย	2.4	54	20	200	2	-66
จีพีอาร์เอส	1.9	0.08	30	2000	20	-74
วายแม็กซ์	3.5	75	35	4000	20	-80

โดยจากตารางที่ 3 เครือข่ายวายฟายอ้างอิงจากผลิตภัณฑ์ Cisco Aironet 1100 ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11g ส่วนเครือข่ายจีพีอาร์เอสและเครือข่ายวายแม็กซ์เลือกใช้เสาสัญญาณแบบสลิงซิ่ง (Guyed Mast Tower) ซึ่งมีระดับความสูง 16-80 ทั้งนี้ในการทดลองให้มีความสูงเสาสัญญาณ 20 เมตร เท่ากัน ในส่วนของระยะที่เครือข่ายครอบคลุมเนื่องจากขอบเขตระยะน้อยสุดและมากที่สุดค่อนข้างกว้างจึงระบุให้เครือข่ายจีพีอาร์เอสเป็น 2 กิโลเมตร และเครือข่ายวายแม็กซ์เป็น 4 กิโลเมตร ด้านความแรงสัญญาณและความถี่ก็เช่นเดียวกัน จึงทำให้กล่าวได้ว่าสำหรับเครือข่ายจีพีอาร์เอสและวายแม็กซ์ เป็นเครือข่ายที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ค่อนข้างหลากหลาย ในการทดลองจึงทำการกำหนดค่าใดค่าหนึ่งเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งอาจไม่ตรงกับความเป็นจริงที่ขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการว่าจะเลือกใช้ค่าใด โดยระยะทางมักขึ้นกับความถี่และความแรงสัญญาณที่สถานีเครือข่ายแลนไร้สายส่งไปยังโมบายโหนด รวมทั้งความไวต่อสัญญาณของโมบายโหนด (ความแรงสัญญาณต่ำสุดที่สามารถรับส่งข้อมูลได้)

โดยวิธีการคำนวณหาความแรงของโมบายโหนดที่ได้รับจากสัญญาณทั้งสามเครือข่ายจะใช้วิธีการคำนวณแบบ Two Ray Ground โดยเมื่อระยะทางระหว่างโมบายโหนดกับสถานีแลนไร้สายน้อยกว่าระยะทางที่คำนวณได้จากสมการ (12) จะทำการคำนวณหาความแรงสัญญาณของโมบายโหนดที่รับได้โดยใช้สมการ Free-Space (Friss, 1946) ถ้าระยะทางมากกว่าจะใช้สมการ Two Ray Ground (Rappaport, 1996) ในการคำนวณ

กำหนดให้ π แทนค่า 3.142

h_r แทนค่า ความสูงของเสาสัญญาณรับ (m)

h_t แทนค่า ความสูงของเสาสัญญาณส่ง (m)

G_t แทนค่า อัตราการขยายของสัญญาณสถานีแลนไร้สาย

G_r แทนค่า อัตราการขยายของโมบายโฟน

λ แทนค่า ความยาวคลื่นซึ่งหาได้จากความเร็วแสง/ความถี่ของสัญญาณ

d แทนค่า ระยะทาง (m)

L แทนค่า การสูญเสียพลังงานของสัญญาณ

$$d = \frac{4 * \pi * h_r * h_t}{\lambda} \quad (12)$$

กรณีที่เป็นคำนวณหาค่าพลังงานที่โมบายโฟนได้รับด้วยสมการ Free-Space

$$Power\ Receiver = \frac{P_t * G_t * G_r * \lambda^2}{(4\pi d)^2 * L} \quad (13)$$

กรณีที่เป็นคำนวณหาค่าพลังงานที่โมบายโฟนได้รับด้วยสมการ Two Ray Ground

$$Power\ Receiver = \frac{P_t * G_t * G_r * (h_r^2 * h_t^2)}{d^4 * L} \quad (14)$$

โดยเราสามารถหาค่าพลังงานที่โมบายโฟนได้รับจากแต่ละเครือข่าย โดยกำหนดให้ความสูงของเสาสัญญาณรับเป็น 1.5 เมตรเสมอไม่ว่าใช้เครือข่ายใด และไม่มีการสูญเสียพลังงานของสัญญาณ ได้ดังนี้

ค่าพลังงานที่โมบายโหนดได้รับจากเครือข่ายสายฟ้า

$$d = \frac{4 * 3.142 * 1.5 * 2}{\left(\frac{3 * 10^8}{2.4 * 10^9} \right)} = 301.632 \text{ m} \quad (15)$$

จากสมการ (15) พบว่าระยะทางระหว่างโมบายโหนดกับสถานีแลนไร้สายน้อยกว่าระยะทางที่คำนวณ จึงใช้สมการ Free-Space ในการหาค่าความแรงสัญญาณของโมบายโหนดที่ได้รับ

$$Power \text{ Receiver} = \frac{\left(10^{\left(\frac{20}{10} \right)} * 10^{-3} \right) * 1 * 1 * \left(\frac{3 * 10^8}{2.4 * 10^9} \right)^2}{(4 * 3.142 * 200)^2 * 1} = 2.473 * 10^{-10} \text{ W} \quad (16)$$

$$Power \text{ Receiver} = 10 * \left(\frac{\log 2.473 * 10^{-10}}{\log 10} \right) + 30 \approx -66 \text{ dBm} \quad (17)$$

ค่าพลังงานที่โมบายโหนดได้รับจากเครือข่ายจีพีอาร์เอส

$$d = \frac{4 * 3.142 * 1.5 * 20}{\left(\frac{3 * 10^8}{1.9 * 10^9} \right)} = 2387.92 \text{ m} \quad (18)$$

จากสมการ (18) พบว่าระยะทางระหว่างโมบายโหนดกับสถานีแลนไร้สายน้อยกว่าระยะทางที่คำนวณ จึงใช้สมการ Free-Space ในการหาค่าความแรงสัญญาณของโมบายโหนดที่ได้รับ

$$Power \text{ Receiver} = \frac{\left(10^{\left(\frac{30}{10} \right)} * 10^{-3} \right) * 1 * 1 * \left(\frac{3 * 10^8}{1.9 * 10^9} \right)^2}{(4 * 3.142 * 2000)^2 * 1} = 3.946 * 10^{-11} \text{ W} \quad (19)$$

$$Power \text{ Receiver} = 10 * \left(\frac{\log 3.946 * 10^{-11}}{\log 10} \right) + 30 \approx -74 \text{ dBm} \quad (20)$$

ค่าพลังงานที่โมบายโหนดได้รับจากเครือข่ายไวแมกซ์

$$d = \frac{4 * 3.142 * 1.5 * 20}{\left(\frac{3 * 10^8}{3.5 * 10^9} \right)} = 4398.8 \text{ m} \quad (21)$$

จากสมการ (21) พบว่าระยะทางระหว่างโมบายโหนดกับสถานีแลนไร้สายน้อยกว่าระยะทางที่คำนวณ จึงใช้สมการ Free-Space ในการหาค่าความแรงสัญญาณของโมบายโหนดที่ได้รับ

$$Power \text{ Receiver} = \frac{(10^{\left(\frac{35}{10}\right)} * 10^{-3}) * 1 * 1 * \left(\frac{3 * 10^8}{3.5 * 10^9}\right)^2}{(4 * 3.142 * 4000)^2 * 1} = 9.192 * 10^{-12} \text{ W} \quad (22)$$

$$Power \text{ Receiver} = 10 * \left(\frac{\log 9.192 * 10^{-12}}{\log 10} \right) + 30 \approx -80 \text{ dBm} \quad (23)$$

และกำหนดค่าอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการส่งข้อมูลดังนี้

ช่องสัญญาณเครือข่ายแลนไร้สายขนาด 100 เมกะบิตต่อวินาที (Mb/s)

ส่งข้อมูลแบบยูดีพี (UDP) โดยไม่มีการสร้างการเชื่อมต่อจากเครือข่ายแลนไร้สายไปโมบายโหนด โดยผ่านเครือข่ายแลนไร้สาย ด้วยความเร็วคงที่ 10 กิโลไบต์ต่อวินาที (KB/s) หรือ 80 กิโลบิตต่อวินาที (Kb/s)

ในการวิจัยนี้จะทำการทดลองเลือกใช้เครือข่ายโดย 2 ปัจจัยคือความแรงสัญญาณและราคา โดยความแรงสัญญาณได้จากการจำลองผลการทดลองโปรแกรม NS2 ในส่วนราคากำหนดให้คิดราคาจากจำนวนข้อมูลที่ส่งได้จริง ซึ่งทำการสมมุติราคาของแต่ละเครือข่ายเป็น เครือข่ายวายไฟ 0.1 บาทต่อเมกะไบต์ เครือข่ายจีพีอาร์เอส 0.3 บาทต่อเมกะไบต์ และเครือข่ายไวแมกซ์ 0.2 บาทต่อเมกะไบต์ ยกตัวอย่างสามารถคำนวณราคาในการใช้งานจริงของเครือข่ายวายไฟได้ว่า ถ้าความเร็วการใช้งานคงที่ 10 กิโลไบต์ต่อวินาทีต้องเสียค่าใช้จ่ายในเวลา 1 นาทีเป็น

$$10 * 60 * \frac{0.1}{1000} = 0.06 \text{ บาท, ในเวลา 1 ชม. เป็น } 10 * 3600 * \frac{0.1}{1000} = 3.6 \text{ บาท, ในเวลา 24 ชม.}$$

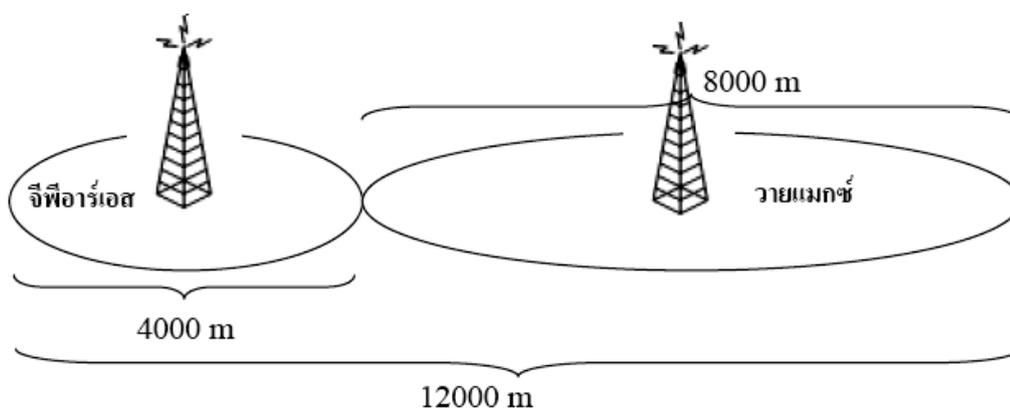
$$\text{เป็น } 10 * 86400 * \frac{0.1}{1000} = 86.4 \text{ บาท}$$

แต่เนื่องจากกระบวนการที่ใช้ตัดสินใจไม่ได้นำเอาค่าปัจจัยในอดีตมารวมกับค่าปัจจัยในปัจจุบันในการทดลองนี้จึงจำเป็นต้องกำหนดให้ปัจจัยด้านราคาเป็นค่าคงที่สำหรับแต่ละเครือข่ายนั้น ๆ เช่นในการคิดค่าใช้จ่ายของปัจจัยด้านราคาจะคิดจากค่า 0.2 บาทต่อเมกะไบต์เสมอ โดยไม่สนว่าจะส่งข้อมูลมาแล้วเท่าไร ซึ่งกล่าวได้ว่าถ้ามีการตัดสินใจเลือกเครือข่ายนี้โดยพิจารณาเฉพาะราคา เครือข่ายนี้มีค่า 0.2 หน่วย ถ้าอีกเครือข่ายมีค่า 0.3 หน่วย ก็ถือได้ว่าเครือข่ายนี้ถูกกว่าอีกเครือข่ายที่มีราคา 0.3 บาทต่อเมกะไบต์

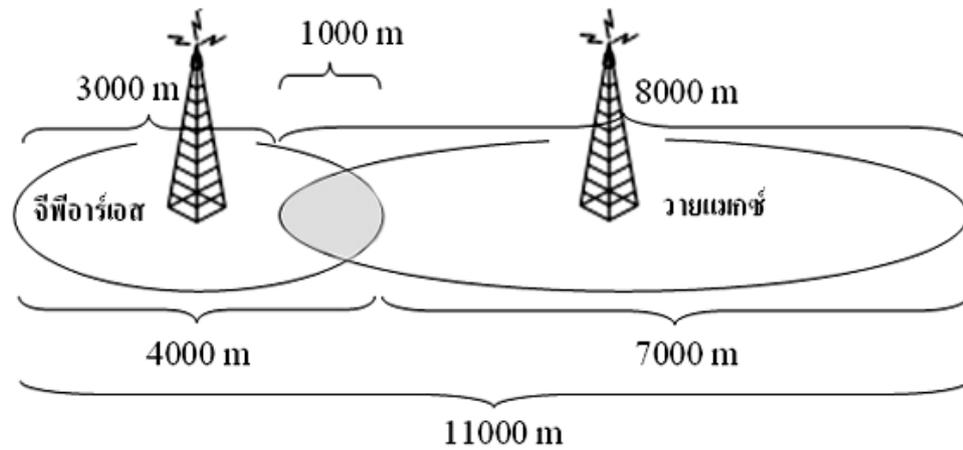
การทดลองจะแบ่งเป็นหัวข้อไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการทดสอบ แล้วสรุปผลการทดลองของแต่ละหัวข้อ และสรุปผลการทดลองทั้งหมดในส่วนสุดท้าย

1. การทดลองที่ 1 เพื่อหาผลต่อการตัดสินใจในการเคลื่อนที่ของโบบายโหนดบนพื้นที่สัญญาณ 2 เครือข่ายที่ซ้อนทับกัน

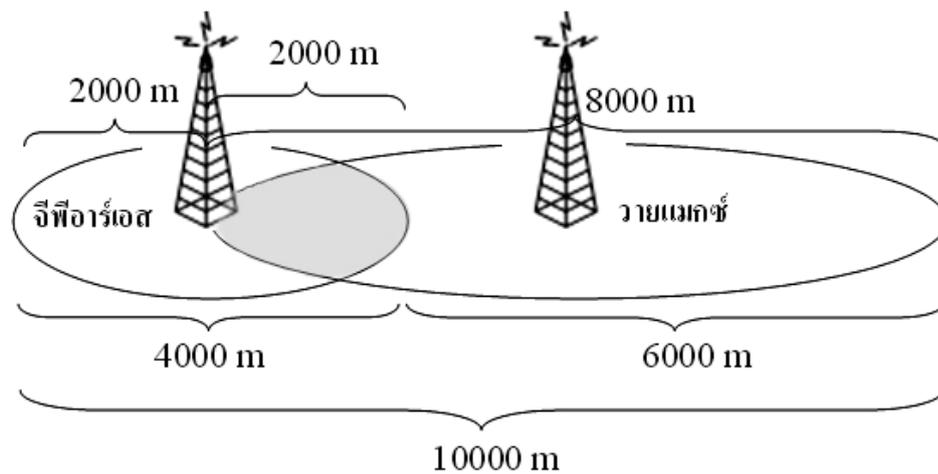
ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลต่อการตัดสินใจบนเครือข่ายที่พื้นที่สัญญาณ 2 เครือข่ายซ้อนทับกัน โดยกำหนดให้มีการซ้อนทับของเครือข่ายในลักษณะที่มากน้อยต่างกัน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความแรงสัญญาณและราคาโดยเฉลี่ย รวมทั้งจำนวนการข้ามเครือข่าย โดยเลือกจำลองเครือข่าย 2 เครือข่ายคือ เครือข่ายจีพีอาร์เอส และเครือข่ายวายแมกซ์ โดยสามารถหาเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่ายจากระยะที่ครอบคลุมทั้งหมดหักออกด้วยระยะที่ไม่ถูกซ้อนทับ โดยในการทดลอง ดังภาพที่ 13, 14, 15, 16 และ 17



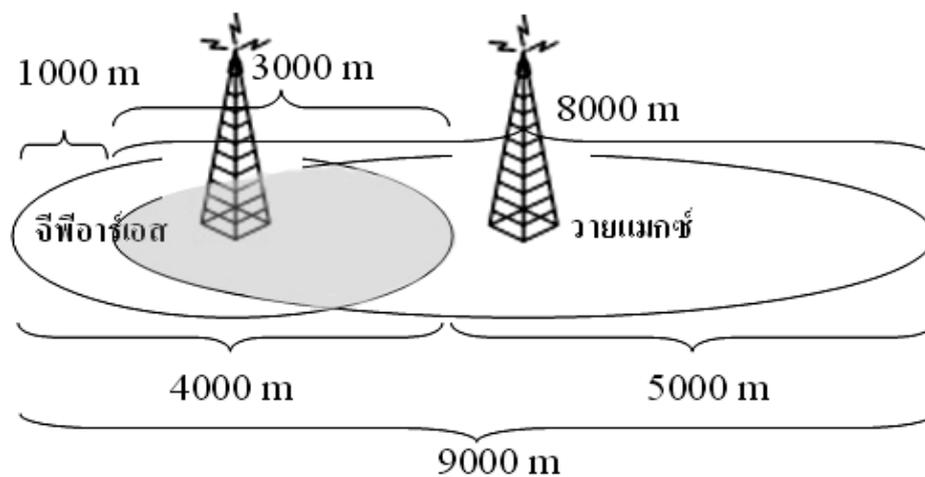
ภาพที่ 13 แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



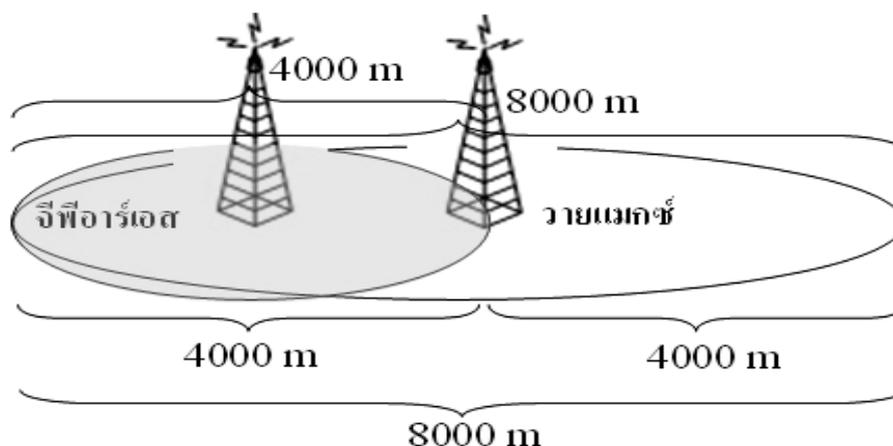
ภาพที่ 14 แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 15 แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%

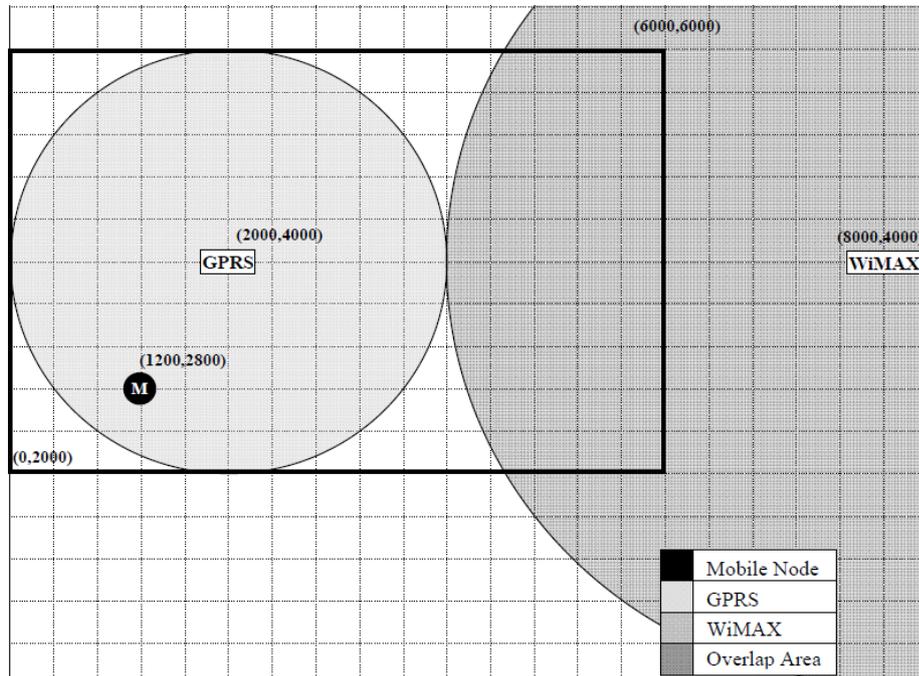


ภาพที่ 16 แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%

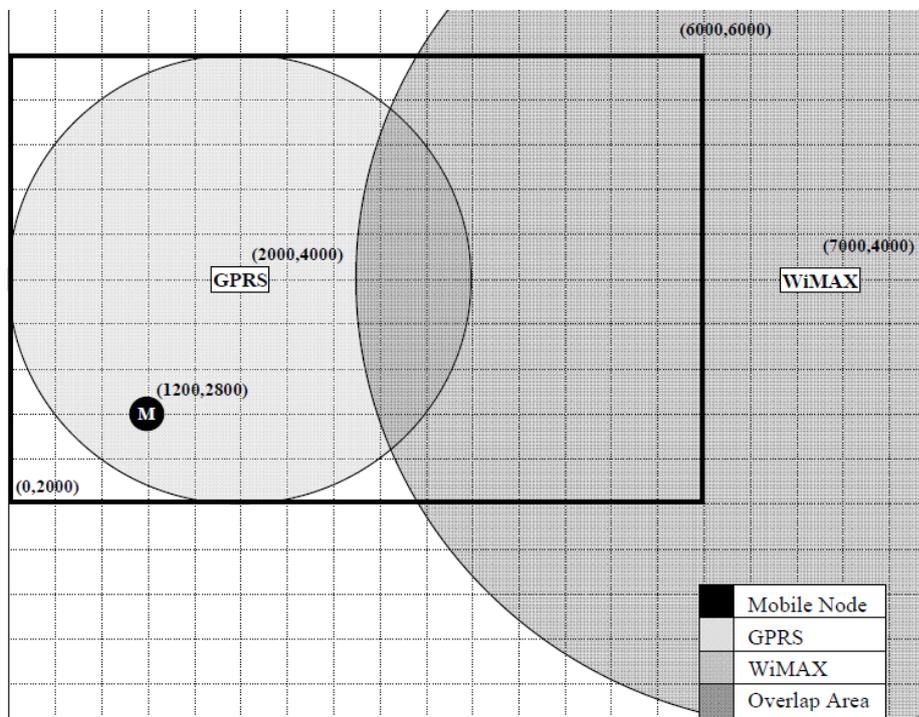


ภาพที่ 17 แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

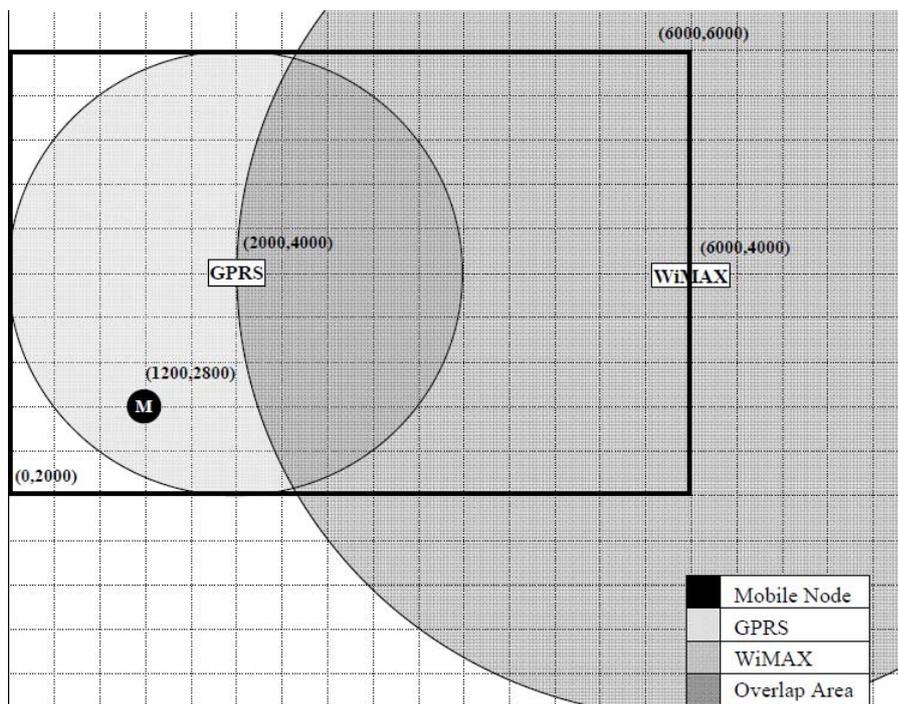
การทดลองนี้จะทำการกำหนดพื้นที่การทำงานในโปรแกรมจำลองการทำงานเป็น 8000x8000 ตารางเมตร ใช้เวลาในการทดลอง เวลาที่กำหนดในการซิมูเลชัน 32000 วินาที (533 นาที, 8.89 ชม.) กำหนดให้โมบายโหนดเริ่มต้นอยู่ที่พิกัด 1200,2800 และเคลื่อนที่สุ่มภายในกรอบพิกัด (0,2000),(0,6000),(6000,6000),(6000,0) ด้วยความเร็วเทียบเท่าการเดินด้วยเท้า 1 เมตรต่อวินาที โดยจากโปรแกรมเสริม NS2 ชื่อโปรแกรม setdest สามารถสุ่มจุดเดินของโมบายโหนดไปยังพิกัดต่าง ๆ โดยการทดลองนี้กำหนดให้สถานีไร้สายเครือข่ายจีพีอาร์เอสเริ่มต้นอยู่ที่พิกัด 2000,4000 และเครือข่ายวายแมกซ์อยู่ที่พิกัด 8000,4000 และทำการลดพิกัดแกน X เครือข่ายวายแมกซ์ทีละ 1000 เพื่อให้เกิดเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยสามารถแสดงลักษณะพิกัดการทดลองได้ดังภาพที่ 18, 19, 20, 21 และ 22



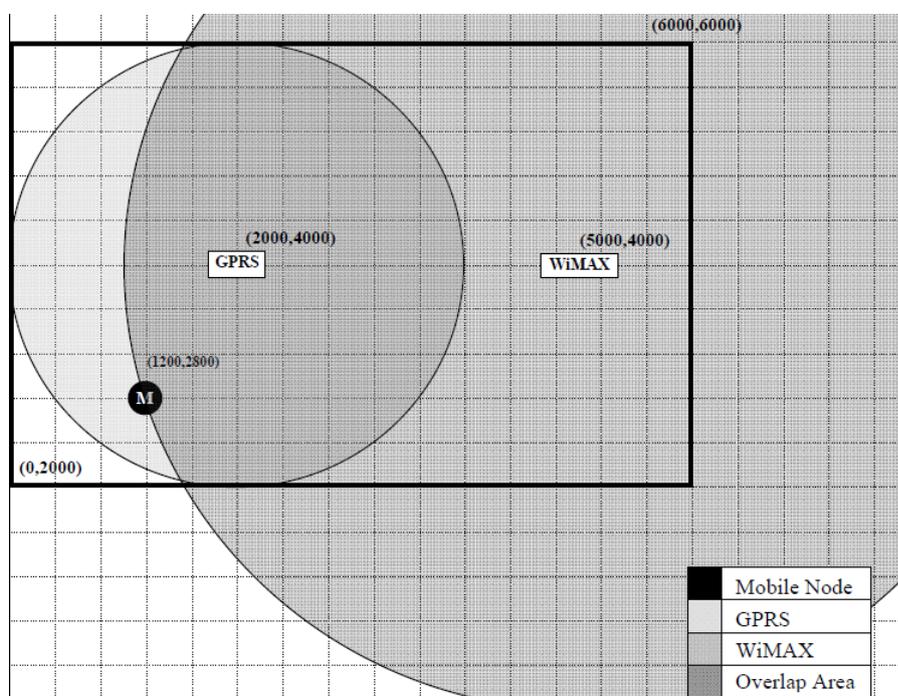
ภาพที่ 18 แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



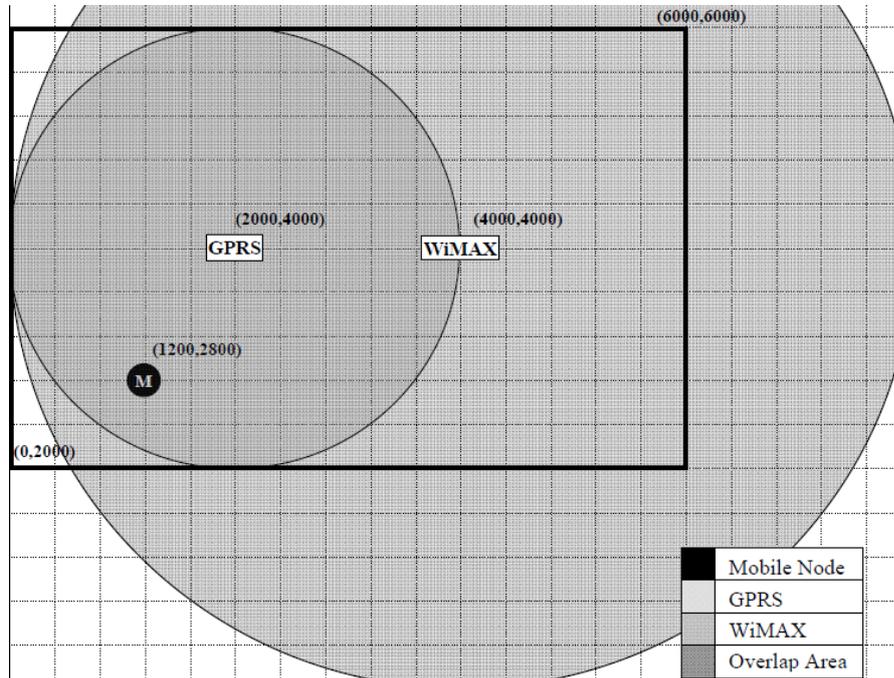
ภาพที่ 19 แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 20 แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%

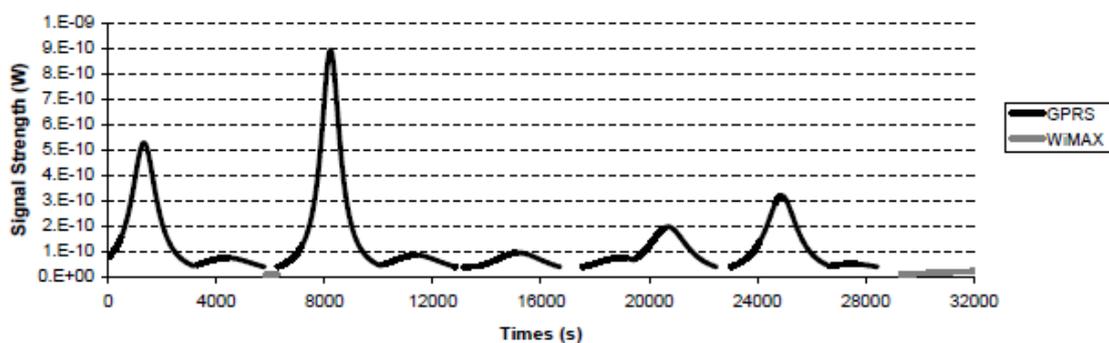


ภาพที่ 21 แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%

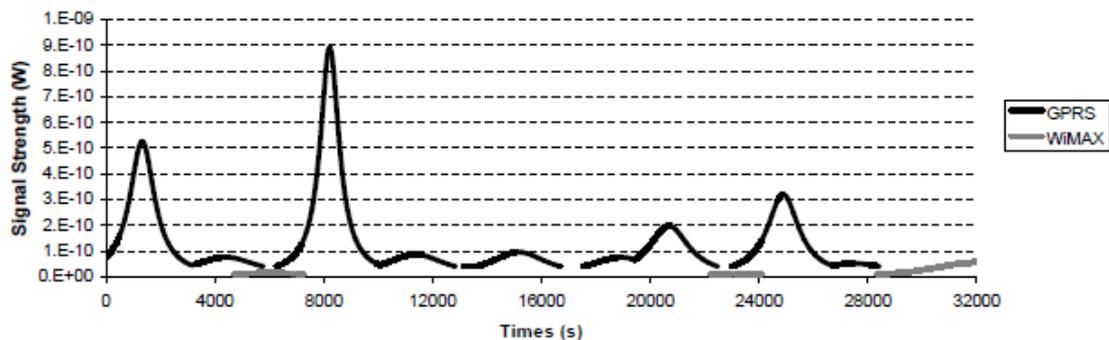


ภาพที่ 22 แสดงพิกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

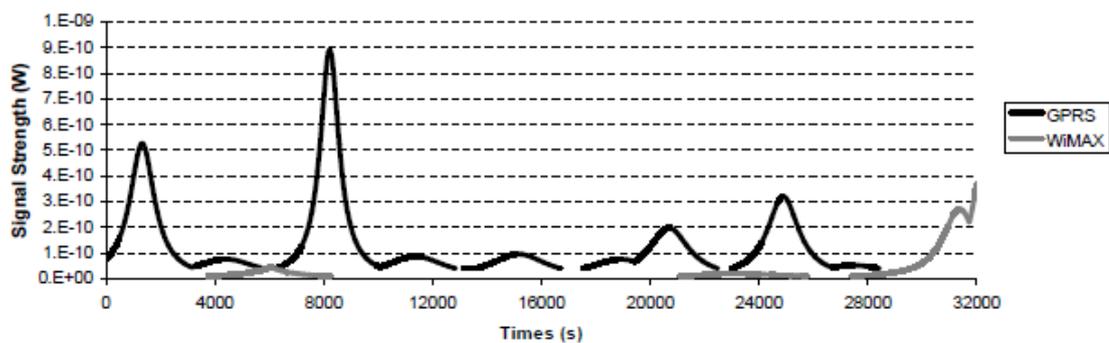
1.1 การทดลองเรื่องความแรงสัญญาณ โดย จากการจำลองผลการทดลองสามารถแสดงกราฟความแรงสัญญาณของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย โดยแสดงกราฟความแรงสัญญาณในหน่วยเป็นวัตต์ได้ดังภาพที่ 23, 24, 25, 26, 27 และกราฟความแรงสัญญาณในหน่วยเป็นดีบีเอ็มได้ดังภาพที่ 28, 29, 30, 31, 32



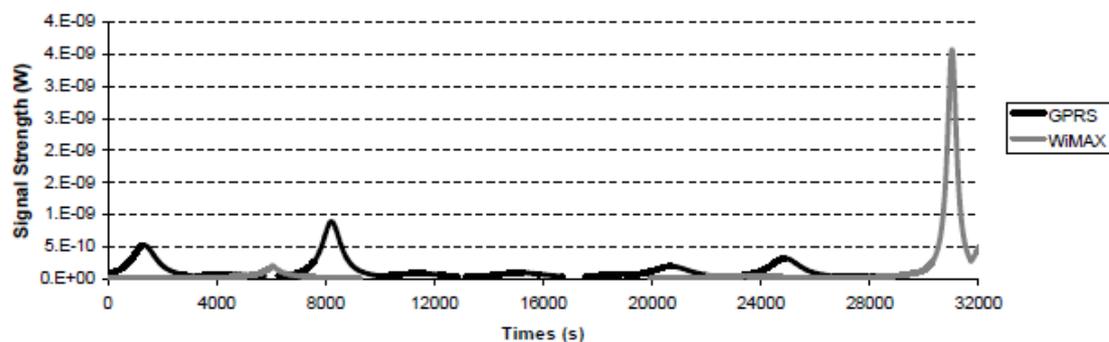
ภาพที่ 23 แสดงกราฟความแรงสัญญาณโดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



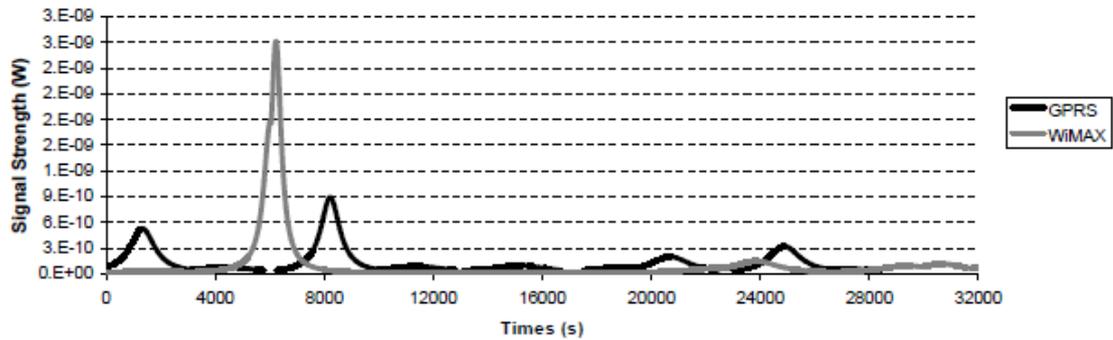
ภาพที่ 24 แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมี การซ้อนทับของเครือข่าย 25%



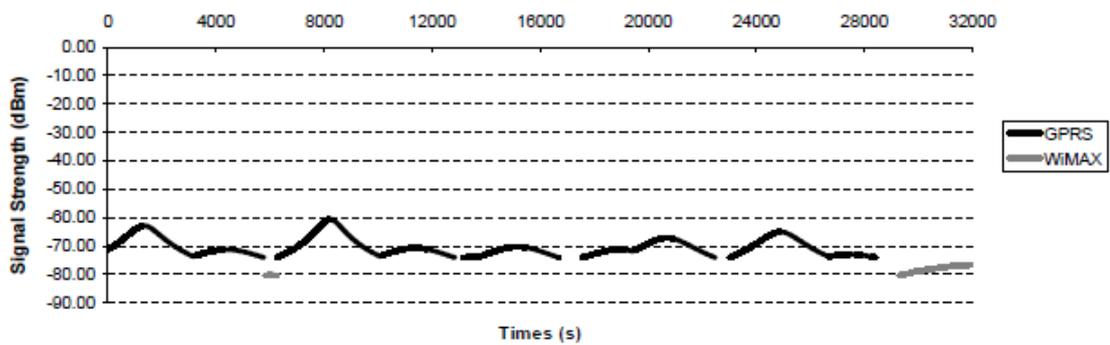
ภาพที่ 25 แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมี การซ้อนทับของเครือข่าย 50%



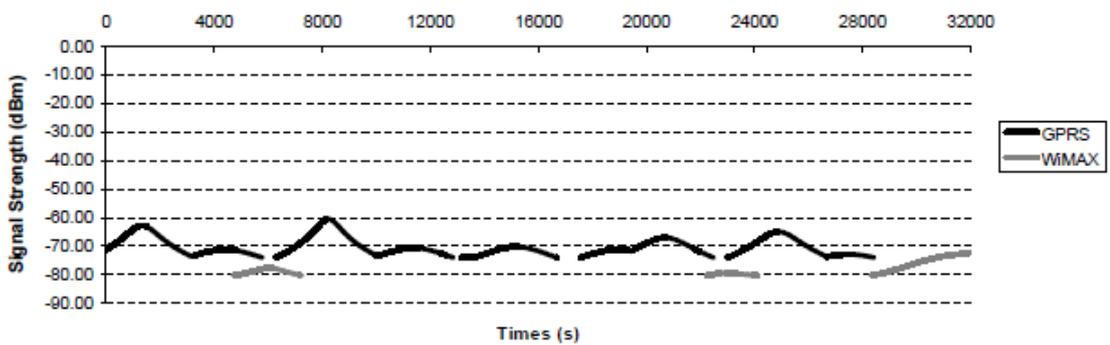
ภาพที่ 26 แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมี การซ้อนทับของเครือข่าย 75%



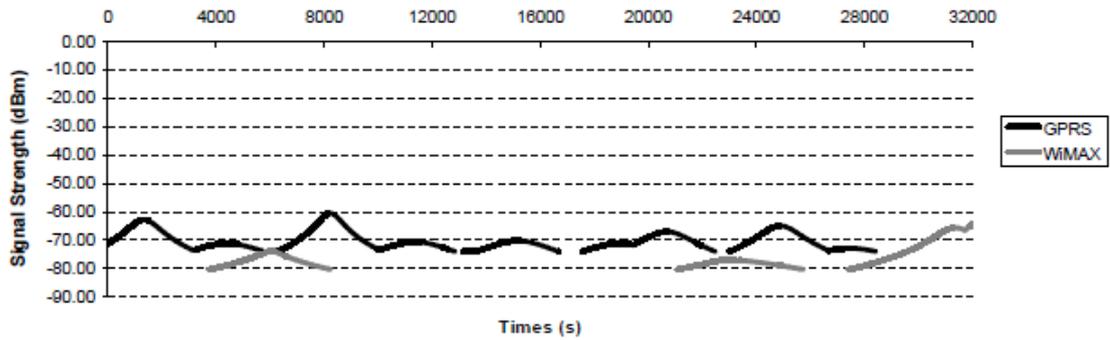
ภาพที่ 27 แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมี การซ้อนทับของเครือข่าย 100%



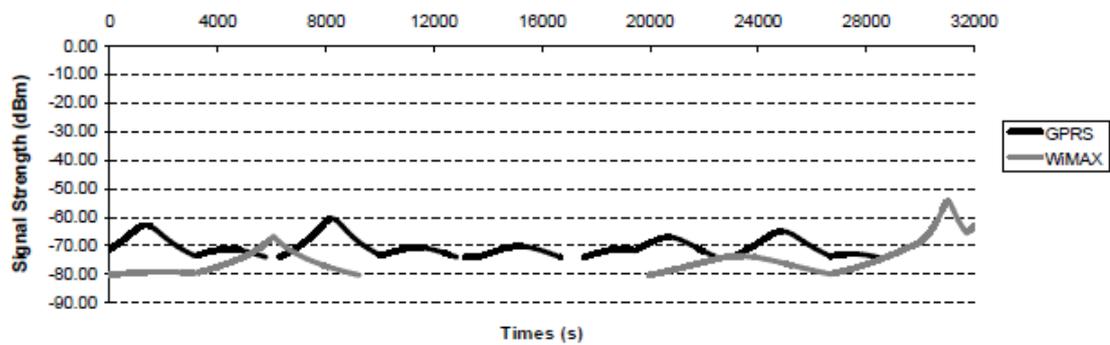
ภาพที่ 28 แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นดีบีเอ็มของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมี การซ้อนทับของเครือข่าย 0%



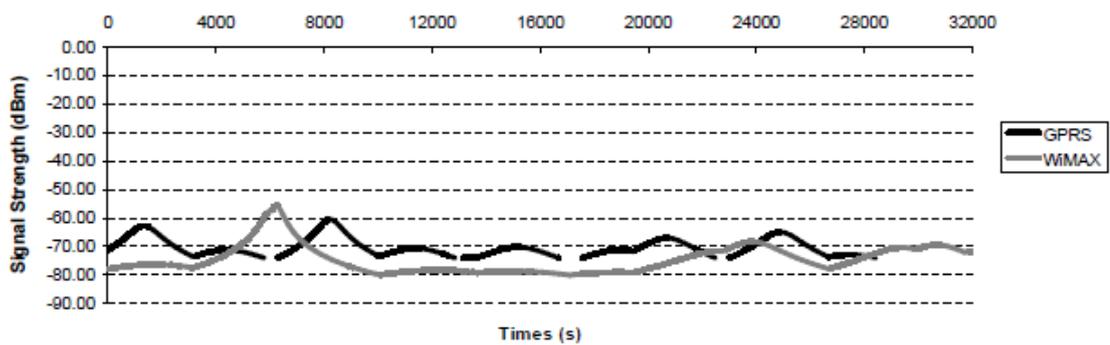
ภาพที่ 29 แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นดีบีเอ็มของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมี การซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 30 แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นดีบีเอ็มของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%



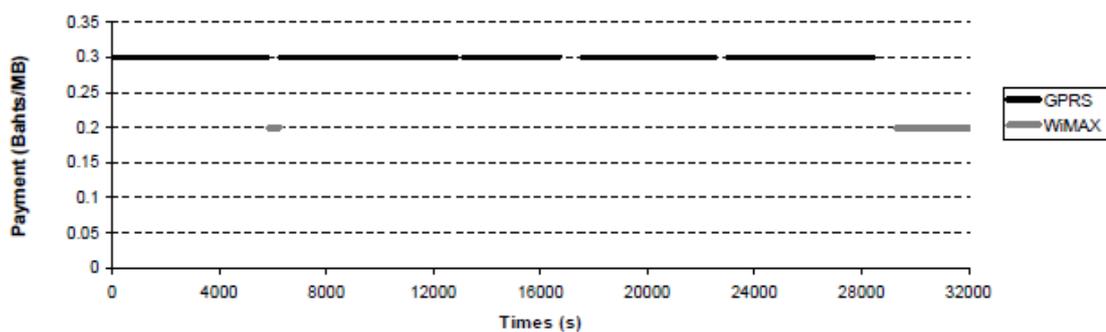
ภาพที่ 31 แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%



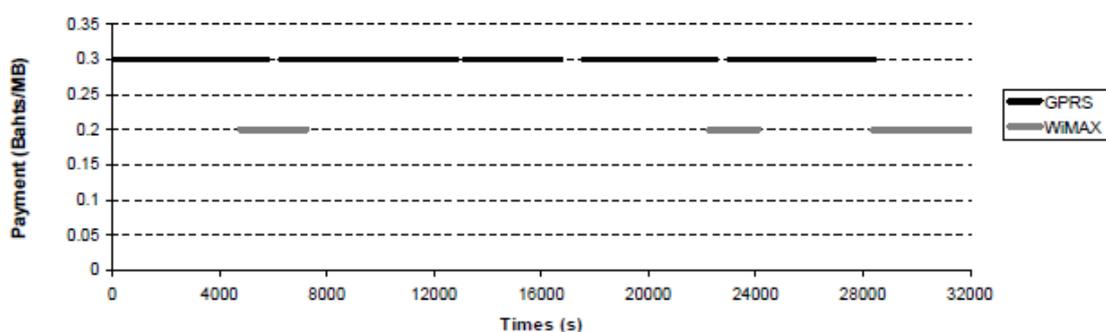
ภาพที่ 32 แสดงกราฟความแรงสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นดีบีเอ็มของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

จากการจำลองผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าความแรงสัญญาณสำหรับเครือข่ายจีพีอาร์เอสจะใกล้เคียงกันเสมอเนื่องจากในทุกการทดลองมีลักษณะการเคลื่อนที่ของโมบาย โหนด เหมือนกัน และเครือข่ายจีพีอาร์เอสเป็นเครือข่ายที่อยู่กับที่ทุกการทดลอง ส่วนในกรณีเครือข่ายวายแม็กซ์จะเห็นได้ว่าเริ่มแรกเมื่อยังไม่มีการซ้อนทับของเครือข่ายดังภาพที่ 23 และ 28 จะไม่มีช่วงเวลาใดเลยที่พบความแรงสัญญาณสองเครือข่ายพร้อมกัน เมื่อเริ่มมีการขยับเครือข่ายวายแม็กซ์เข้าใกล้เครือข่ายจีพีอาร์เอส จะเริ่มมีการซ้อนทับกันของสัญญาณ ซึ่งเริ่มรับสัญญาณได้มากขึ้นเรื่อย ๆ ตามพื้นที่การซ้อนทับที่เพิ่มมากขึ้น

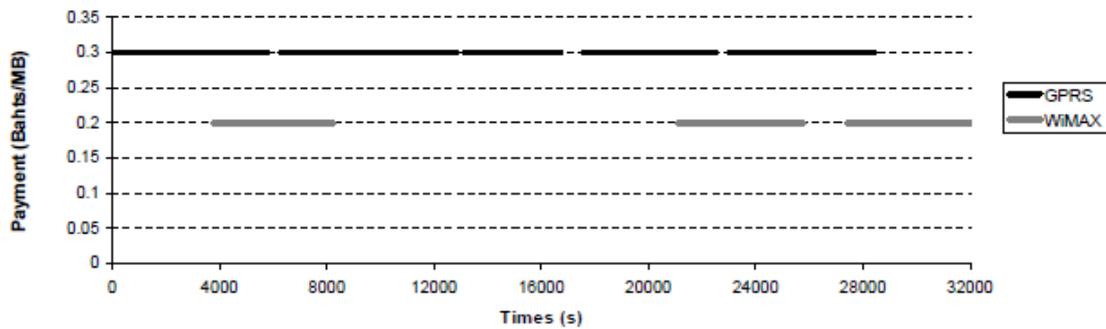
1.2 การทดลองเรื่องราคา โดยจากการจำลองผลการทดลองสามารถแสดงกราฟราคาของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ได้ดังภาพที่ 33, 34, 35, 36, 37



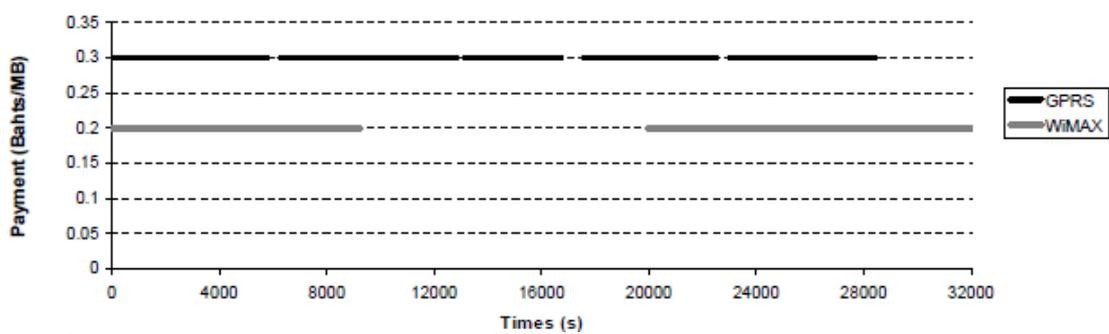
ภาพที่ 33 แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



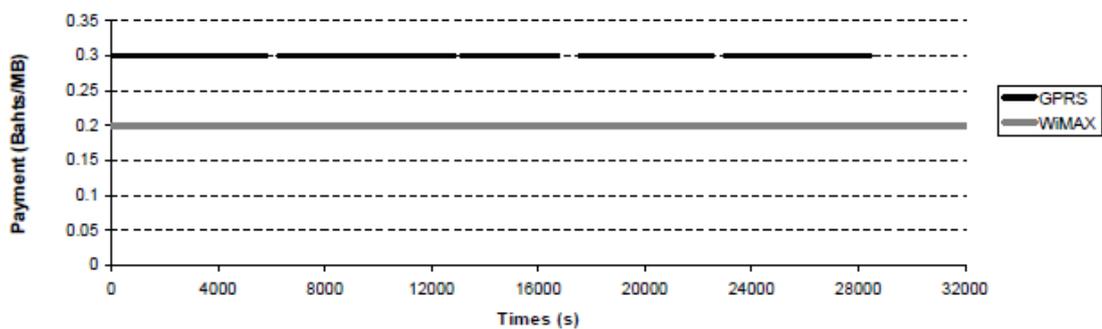
ภาพที่ 34 แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 35 แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%



ภาพที่ 36 แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%

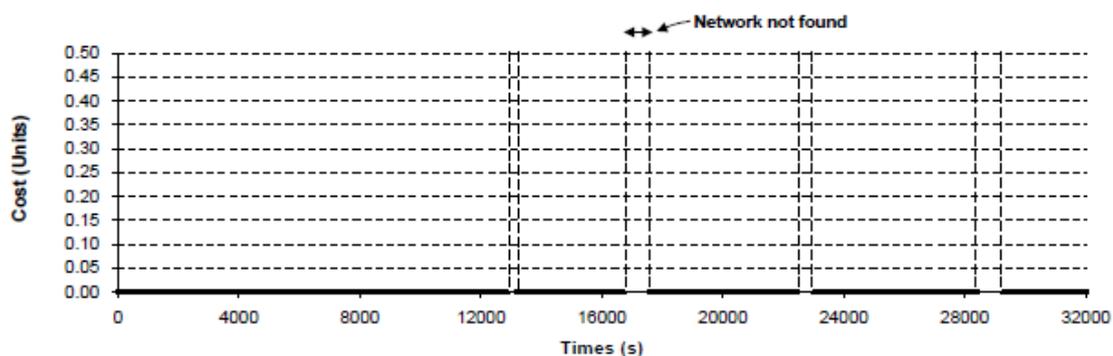


ภาพที่ 37 แสดงกราฟราคาของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

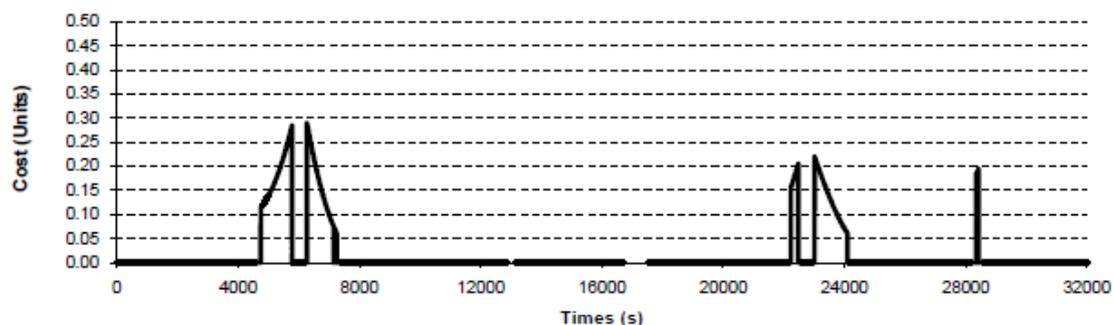
จากการจำลองผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าราคาของแต่ละเครือข่ายจะนำเอามาคิดก็ต่อเมื่อความแรงสัญญาณอยู่ในขอบเขตที่สามารถรับส่งข้อมูล อาจกล่าวได้ว่าทุกปัจจัยจะนำมาคิดก็ต่อเมื่อยืนยันได้ว่ามีเครือข่ายนั้นอยู่ในบริเวณที่โมบายโหนดเคลื่อนที่ผ่าน โดยวิธีการตรวจสอบมาจากความแรงสัญญาณนั่นเอง และยังจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการซ้อนทับกันของพื้นที่มากขึ้น จะทำให้มีส่วนที่ต้องเอาราคามาเป็นตัวตัดสินใจมากขึ้นเช่นเดียวกับความแรงสัญญาณ

1.3 การทดลองเรื่องค่าใช้จ่ายและเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด โดยจากการจำลองผลการทดลองสามารถแสดงกราฟค่าใช้จ่ายของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ได้ดังภาพที่ 38, 39, 40, 41, 42 และสามารถแสดงกราฟการเข้าใช้งานของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ดังภาพที่ 43, 44, 45, 46,

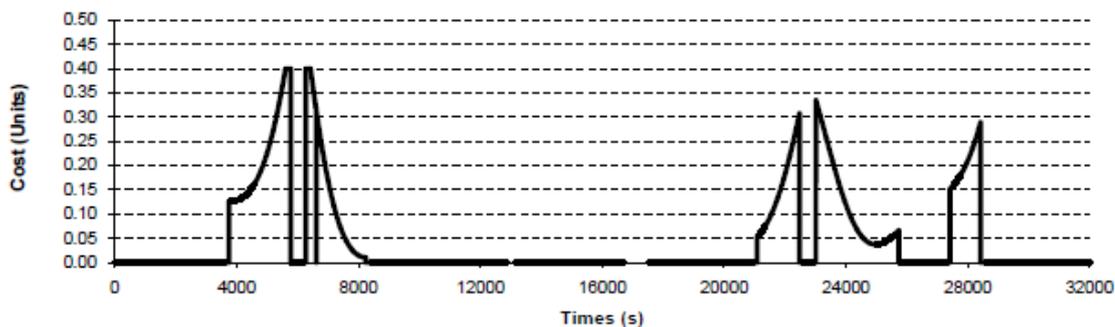
47



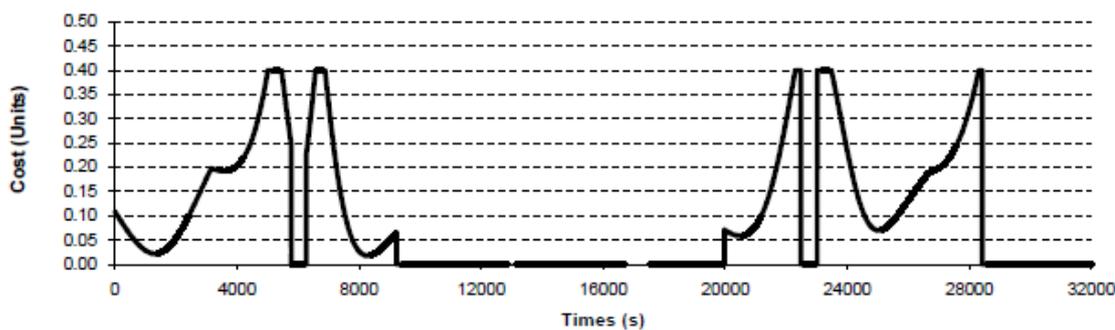
ภาพที่ 38 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



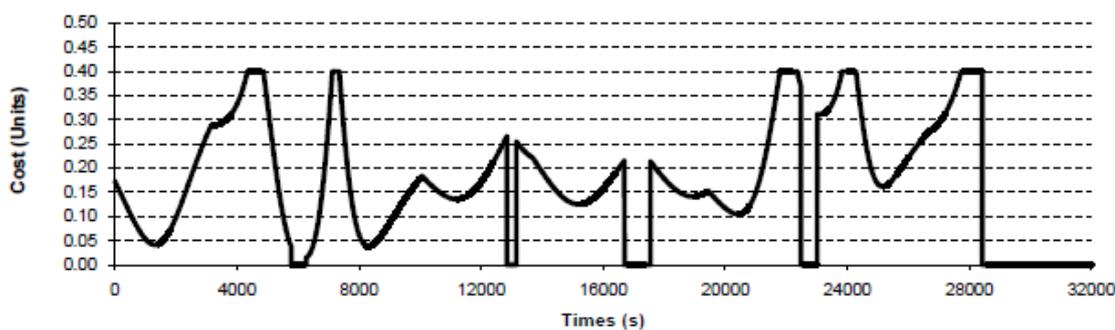
ภาพที่ 39 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



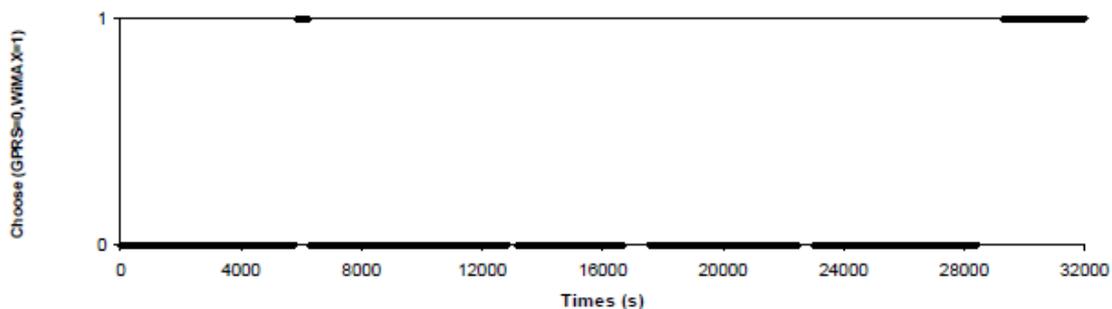
ภาพที่ 40 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%



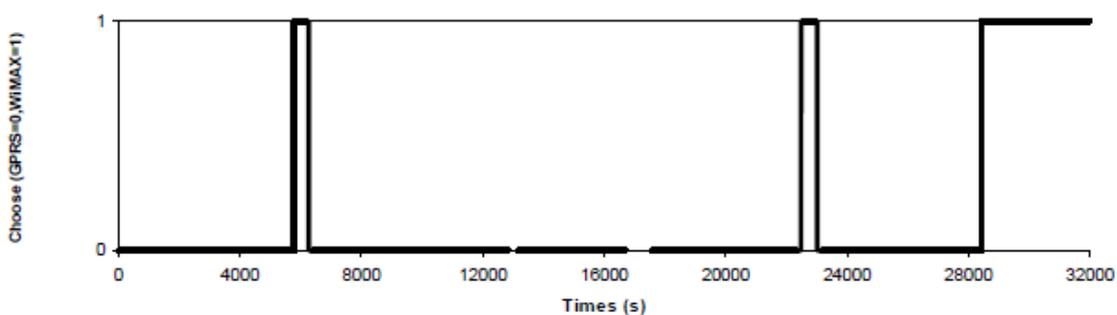
ภาพที่ 41 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%



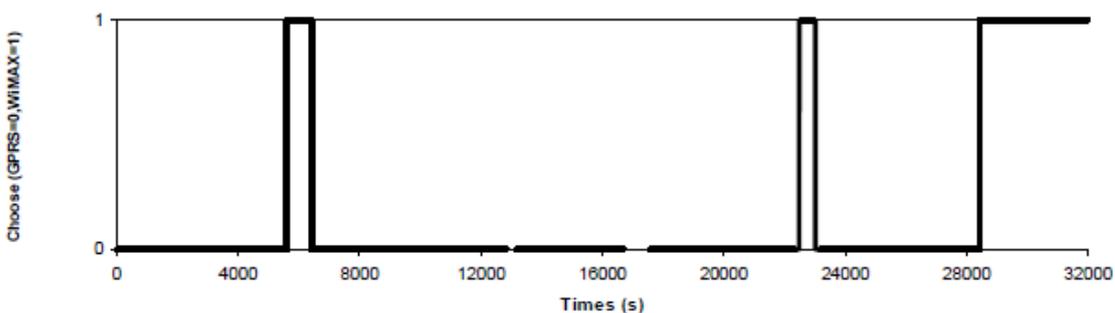
ภาพที่ 42 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%



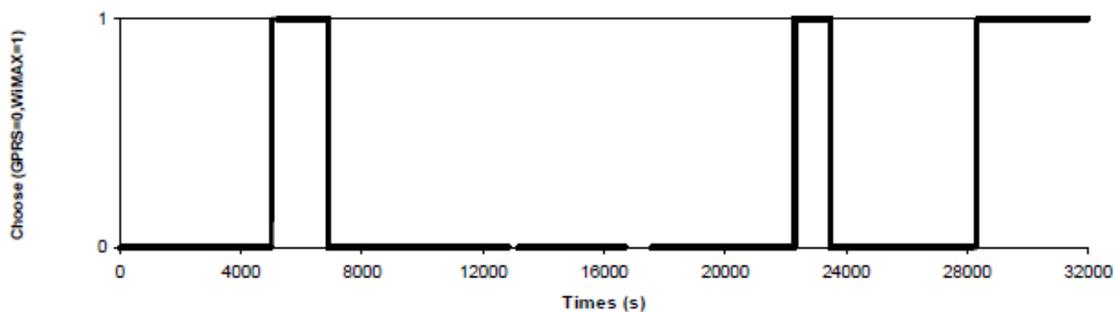
ภาพที่ 43 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



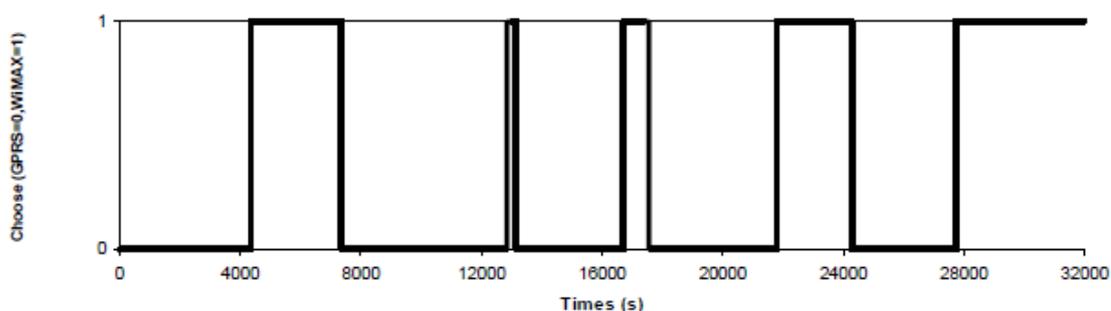
ภาพที่ 44 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 45 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%



ภาพที่ 46 แสดงกราฟการเข้าใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%

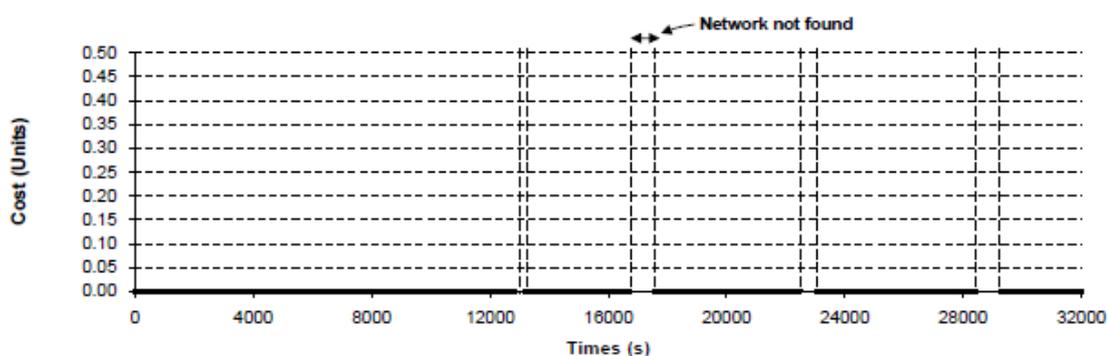


ภาพที่ 47 แสดงกราฟการเข้าใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

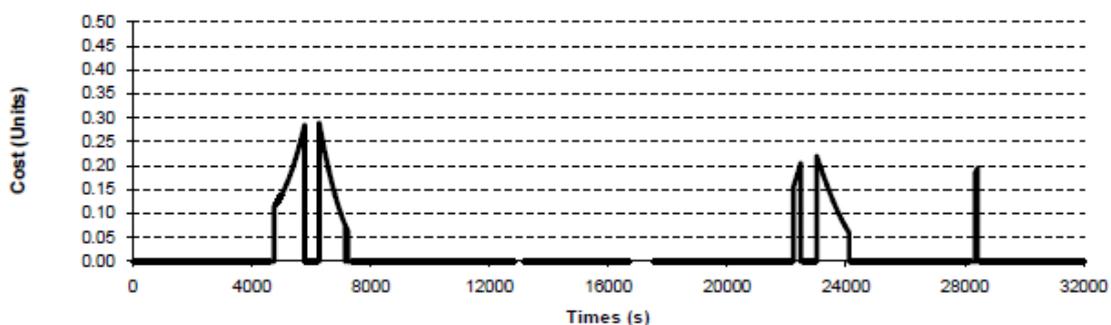
จากการจำลองผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าการนำเอาวิธีหาค่าใช้จ่ายที่สุด โดยไม่ใช้วิธีให้ค่าน้ำหนัก หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นวิธีการหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดแบบพิจารณาค่าใช้จ่ายทั้งสองปัจจัยมาเทียบกัน ค่าใช้จ่ายปัจจัยไหนถูกกว่า จะทำการเลือกปัจจัยนั้น ในกรณีที่ไม่มี การซ้อนทับของสัญญาณจะได้ว่าไม่ว่าจะเลือกเครือข่ายใดค่าใช้จ่ายเป็น 0 เสมอ เนื่องจากการที่ไม่มี การซ้อนทับกันของเครือข่ายทำให้ไม่มีการตัดสินใจเลือกเครือข่าย โดยกรณีที่พบเครือข่ายใดเครือข่าย หนึ่งเครือข่ายนั้นจะมีค่าใช้จ่ายเป็น 0 เสมอ หรืออาจกล่าวได้ว่าถูกที่สุด ในส่วนของการเลือกใช้ เครือข่ายมักจะเป็นแบบปรับเปลี่ยนจากไม่ได้เลือกเครือข่ายใด ไปยังเลือกเครือข่ายใดเครือข่ายหนึ่ง จะไม่มีช่วงเวลาที่ให้ตัดสินใจเลือกเครือข่าย และเมื่อมีการซ้อนทับของเครือข่ายมากขึ้น จะเริ่มมี การตัดสินใจมากขึ้น และค่าใช้จ่ายโดยรวมจะมากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะ โอกาสที่จะเลือกค่าใช้จ่ายที่เป็น 0 น้อยหรืออาจกล่าวได้ว่า โอกาสที่จะพบเครือข่ายเดียวน้อยลง

1.4 การทดลองเรื่องค่าใช้จ่ายและการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายจากการให้ค่าน้ำหนัก

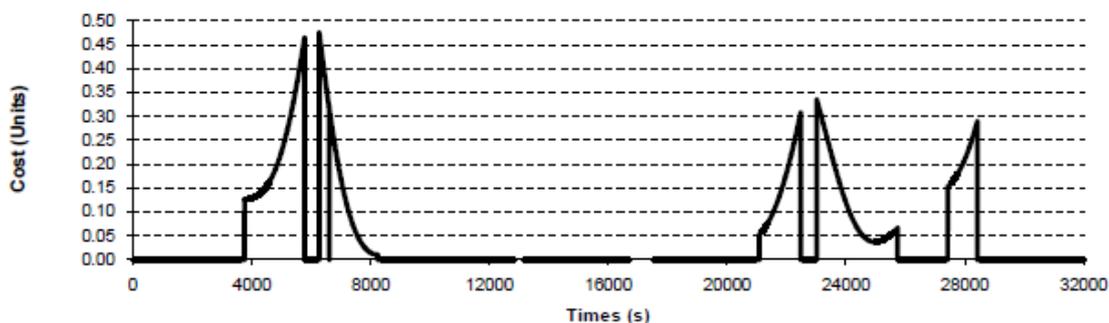
1.4.1 เมื่อให้ค่าน้ำหนักของความแรงสัญญาณเป็น 1 และราคาเป็น 0 (พิจารณาเฉพาะความแรงสัญญาณ) โดยจากการจำลองผลการทดลองสามารถแสดงกราฟค่าใช้จ่ายของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ได้ดังภาพที่ 48, 49, 50, 51, 52 และสามารถแสดงกราฟการเข้าใช้งานของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ดังภาพที่ 53, 54, 55, 56, 57



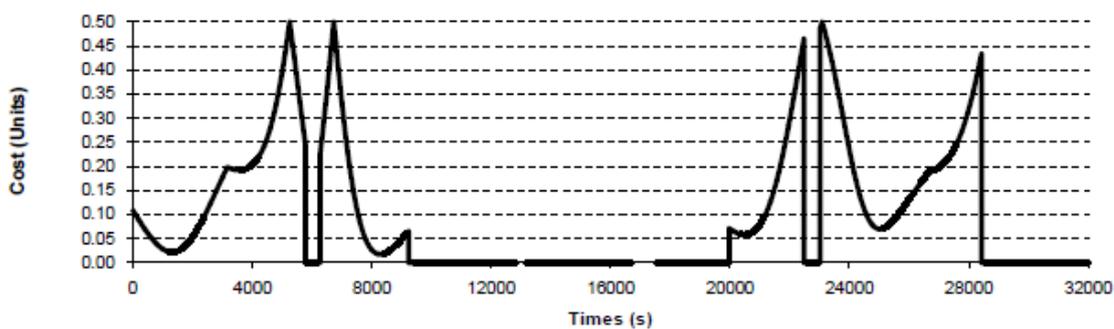
ภาพที่ 48 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1 ,ค่าใช้จ่าย=0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



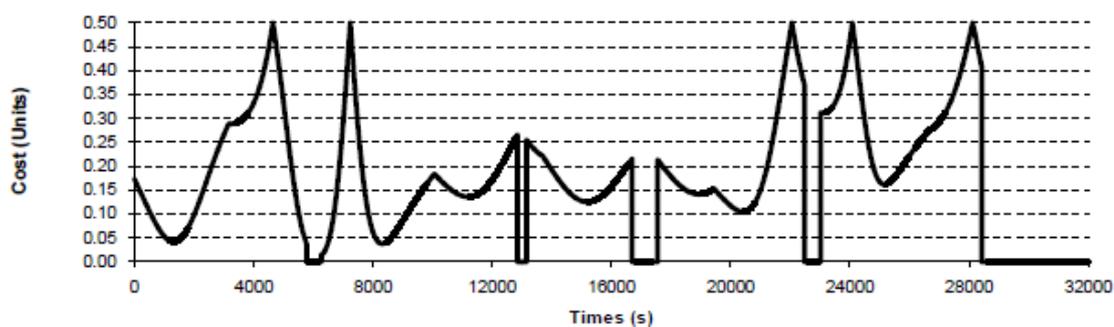
ภาพที่ 49 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1 ,ค่าใช้จ่าย=0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



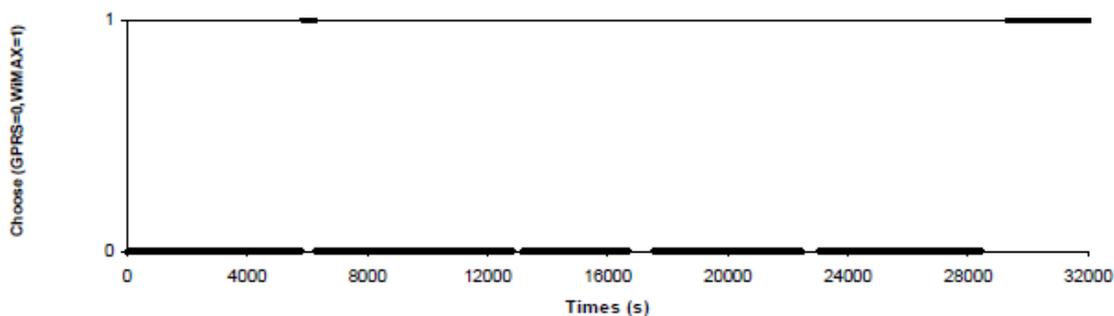
ภาพที่ 50 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =1 ,ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการช้อนทับของเครือข่าย 50%



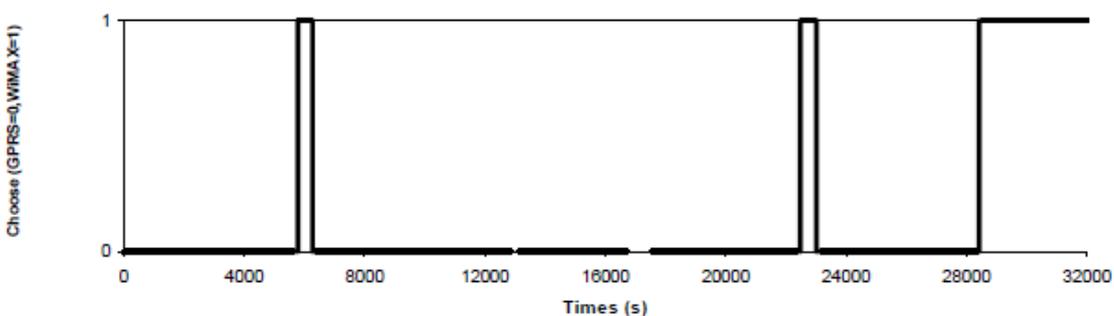
ภาพที่ 51 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =1 ,ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการช้อนทับของเครือข่าย 75%



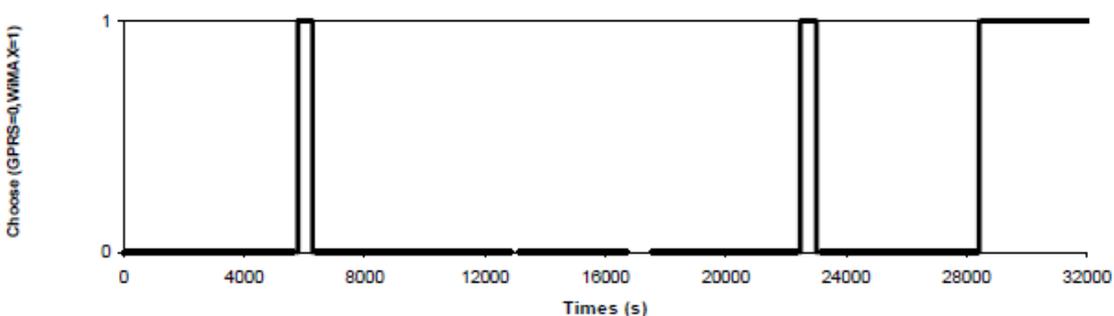
ภาพที่ 52 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =1 ,ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการช้อนทับของเครือข่าย 100%



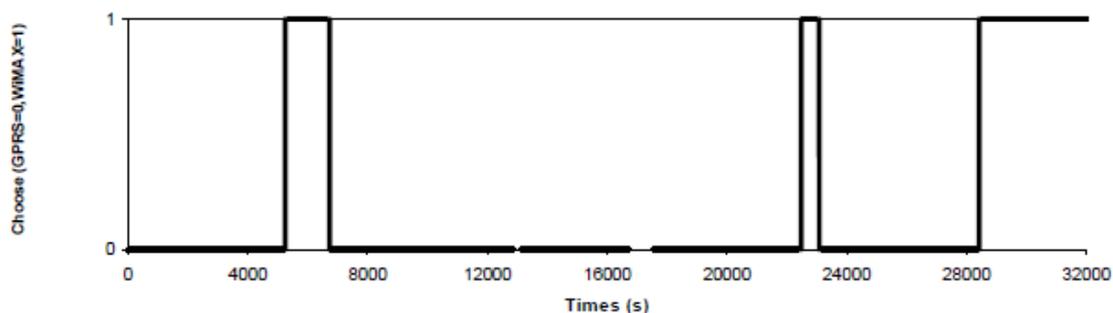
ภาพที่ 53 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1 ,ค่าใช้จ่าย=0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



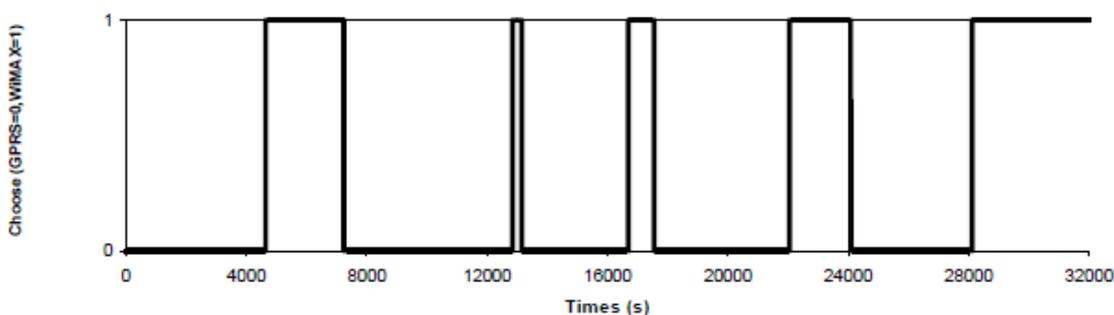
ภาพที่ 54 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1 ,ค่าใช้จ่าย=0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 55 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1 ,ค่าใช้จ่าย=0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%

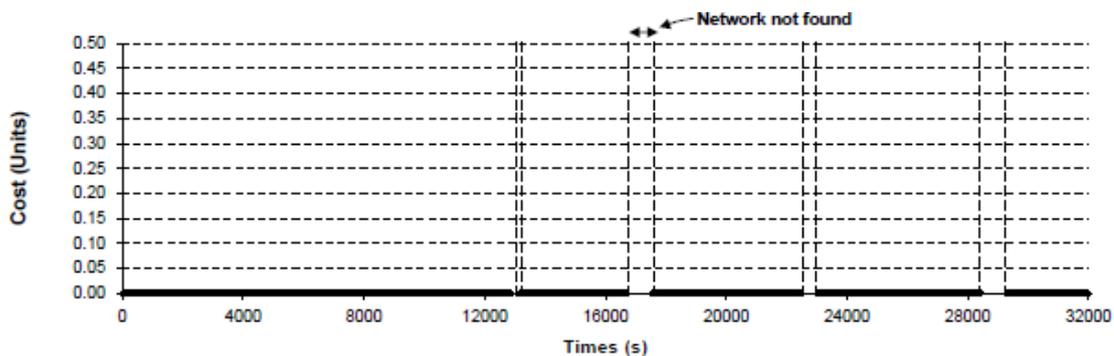


ภาพที่ 56 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1 ,ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%

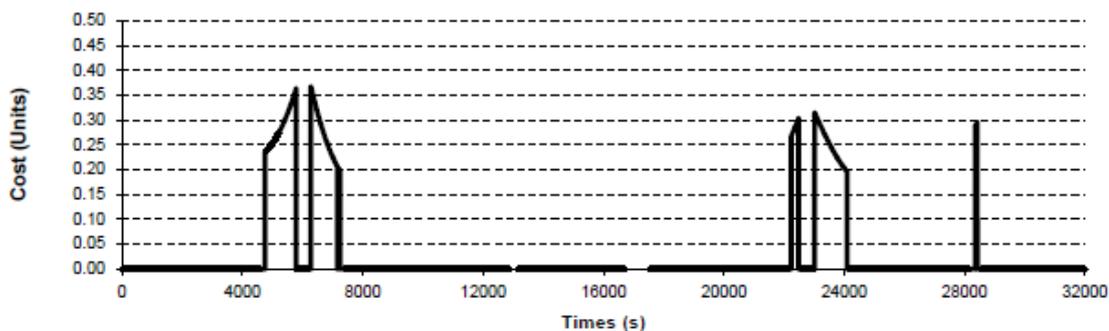


ภาพที่ 57 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=1 ,ค่าใช้จ่าย =0) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

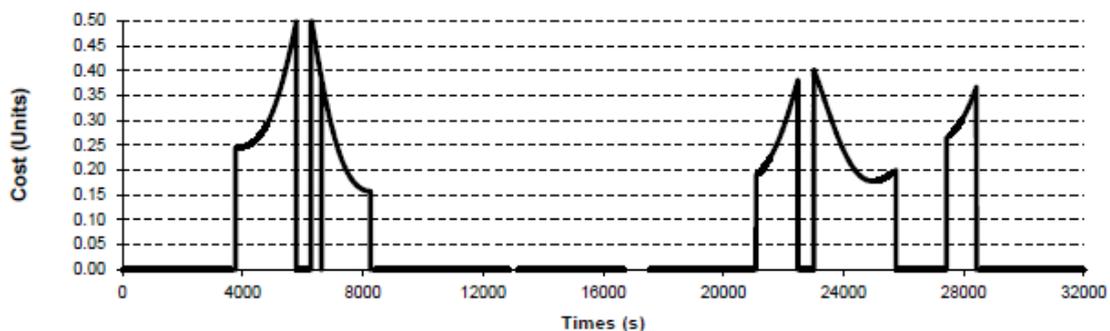
1.4.2 เมื่อให้ค่าน้ำหนักของความแรงสัญญาณเป็น 0.75 และราคาเป็น 0.25 (พิจารณาความแรงสัญญาณ 75% และราคา 25%) โดยจากการจำลองผลการทดลองสามารถแสดงกราฟค่าใช้จ่ายของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ได้ดังภาพที่ 58, 59, 60, 61, 62 และสามารถแสดงกราฟการเข้าใช้งานของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ดังภาพที่ 63, 64, 65, 66, 67



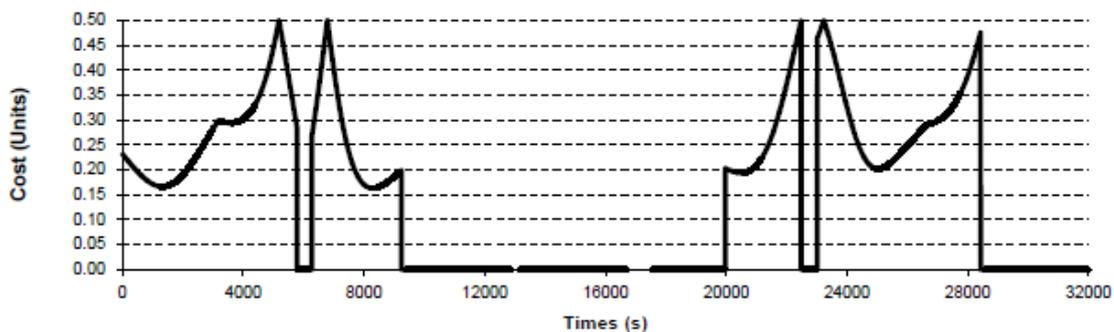
ภาพที่ 58 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.75 , ค่าใช้จ่าย = 0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



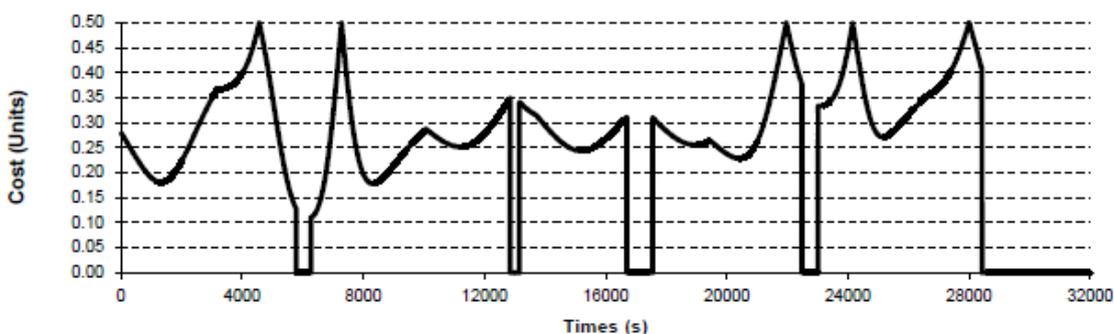
ภาพที่ 59 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.75 , ค่าใช้จ่าย = 0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



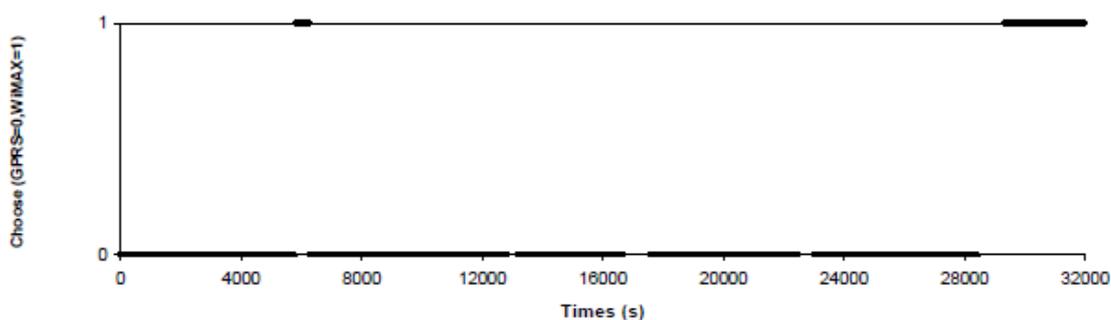
ภาพที่ 60 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.75 , ค่าใช้จ่าย = 0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%



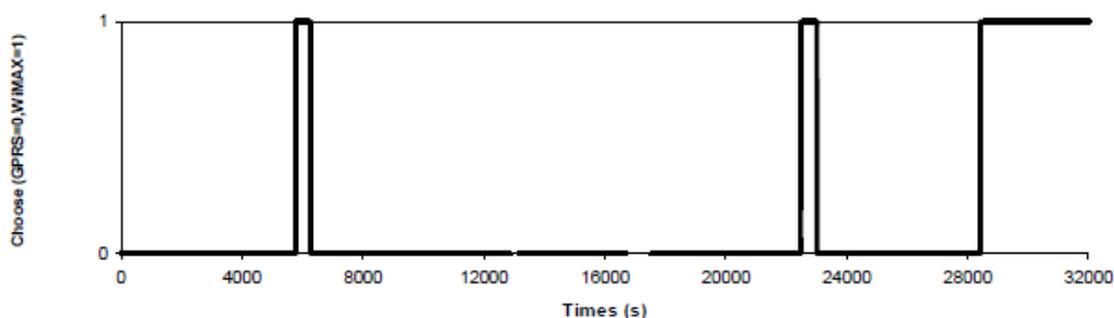
ภาพที่ 61 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.75 , ค่าใช้จ่าย = 0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%



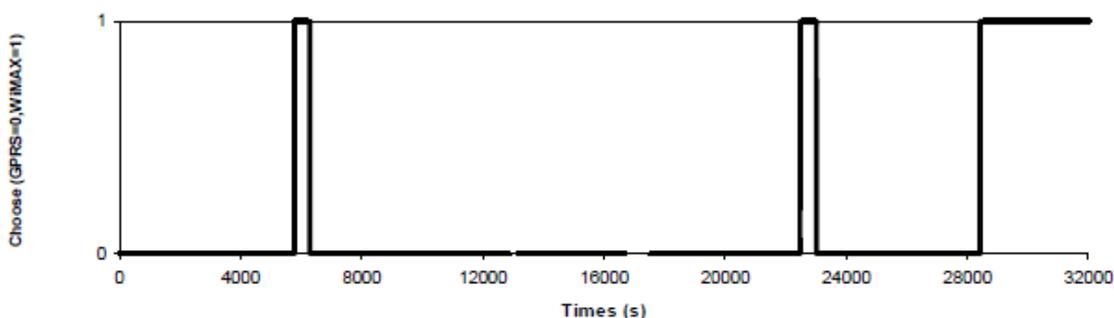
ภาพที่ 62 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.75 , ค่าใช้จ่าย = 0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%



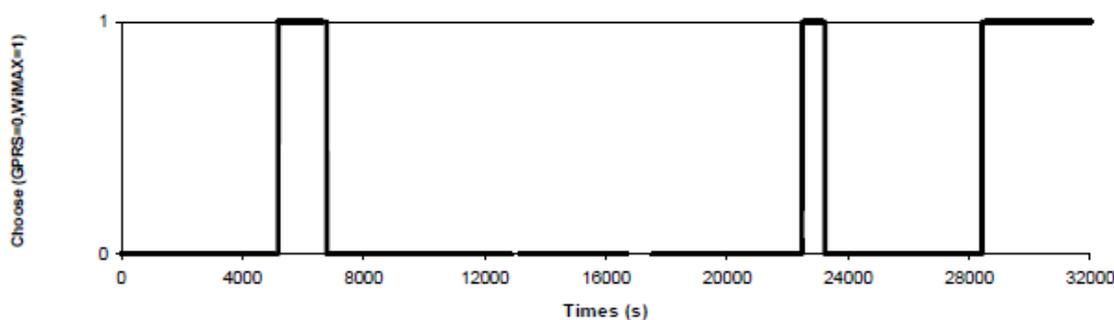
ภาพที่ 63 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.75 , ค่าใช้จ่าย = 0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



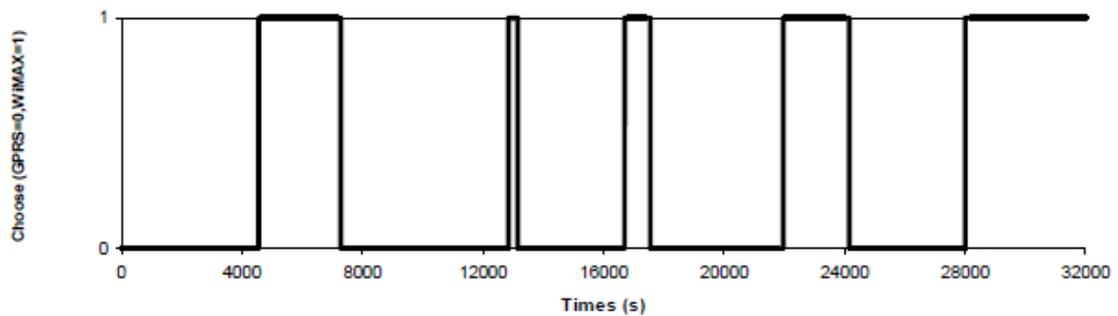
ภาพที่ 64 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.75 ,ค่าใช้จ่าย =0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 65 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.75 ,ค่าใช้จ่าย =0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%

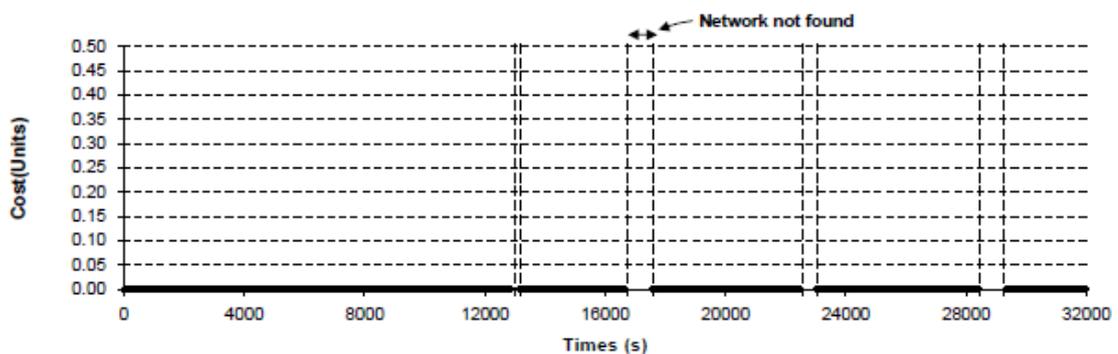


ภาพที่ 66 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.75 ,ค่าใช้จ่าย =0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%

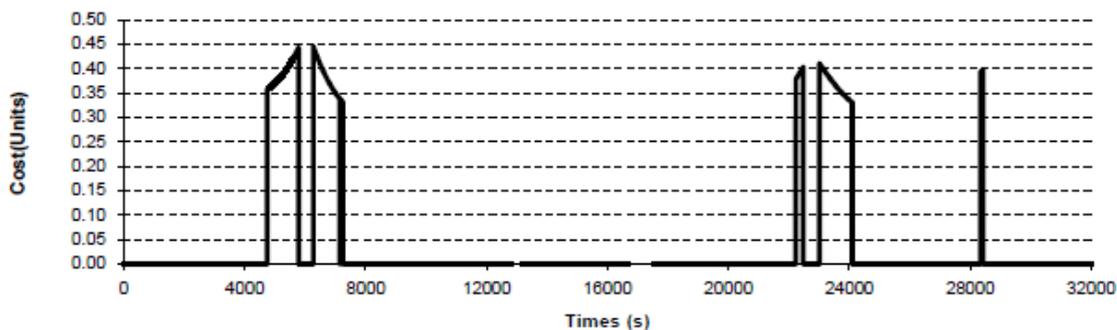


ภาพที่ 67 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.75 ,ค่าใช้จ่าย =0.25) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

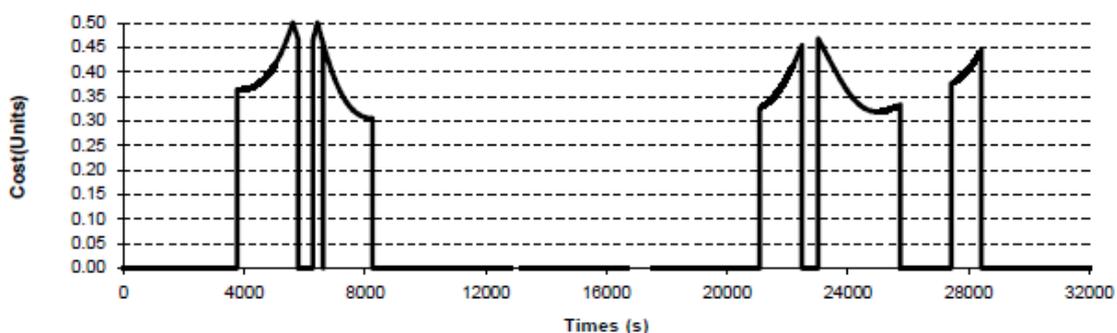
1.4.3 เมื่อให้ค่าน้ำหนักของความแรงสัญญาณเป็น 0.75 และราคาเป็น 0.25 (พิจารณาความแรงสัญญาณ 50% และราคา 50%) โดยจากการจำลองผลการทดลองสามารถแสดงกราฟค่าใช้จ่ายของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ได้ดังภาพที่ 68, 69, 70, 71, 72 และสามารถแสดงกราฟการเข้าใช้งานของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ดังภาพที่ 73, 74, 75, 76, 77



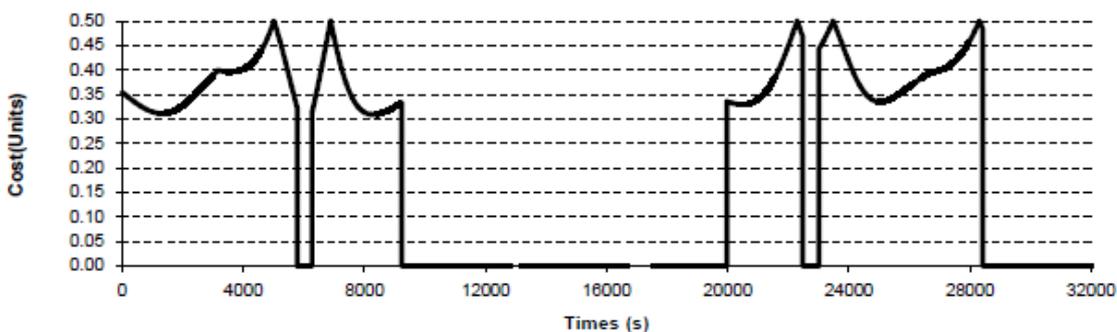
ภาพที่ 68 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =0.5 ,ค่าใช้จ่าย =0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



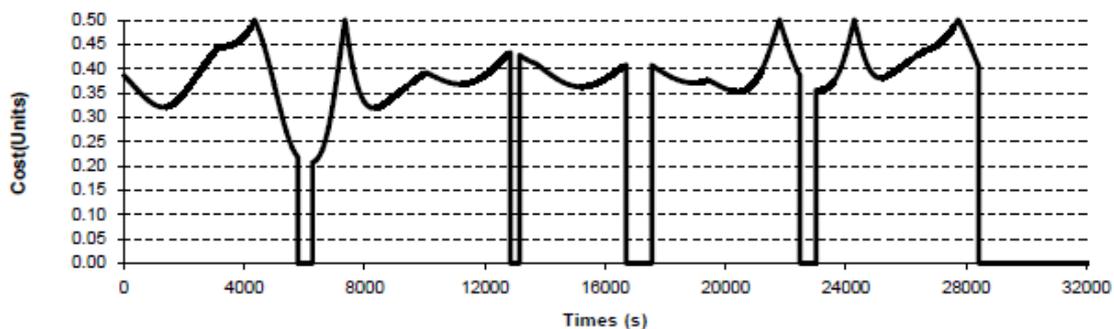
ภาพที่ 69 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.5 , ค่าใช้จ่าย = 0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการรื้อถอนของเครือข่าย 25%



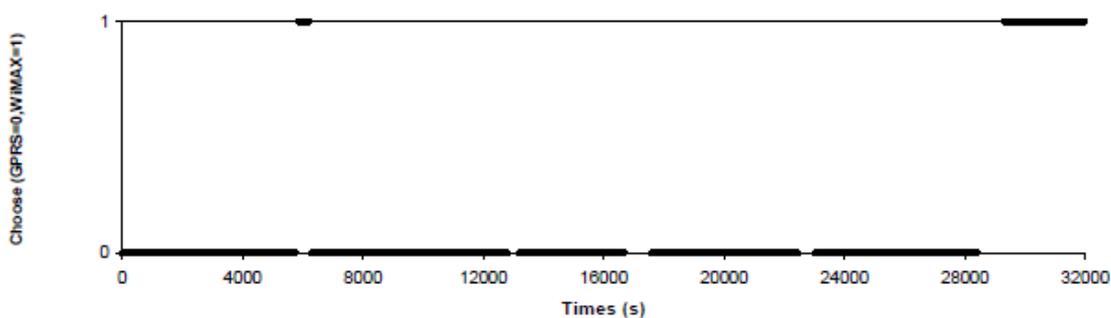
ภาพที่ 70 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.5 , ค่าใช้จ่าย = 0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการรื้อถอนของเครือข่าย 50%



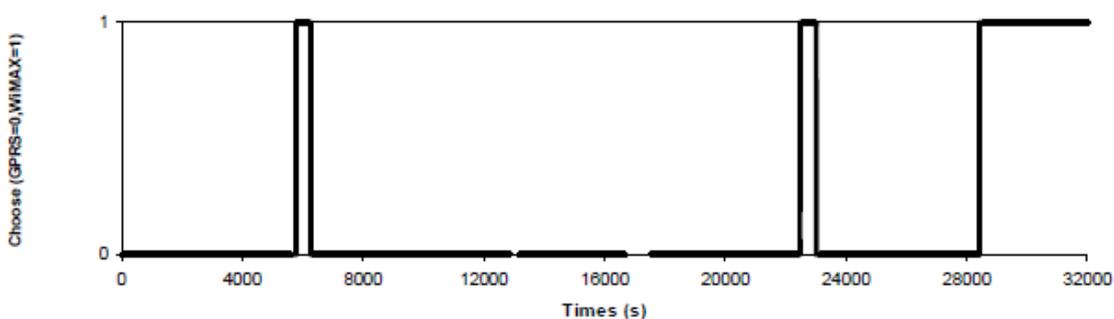
ภาพที่ 71 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.5 , ค่าใช้จ่าย = 0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการรื้อถอนของเครือข่าย 75%



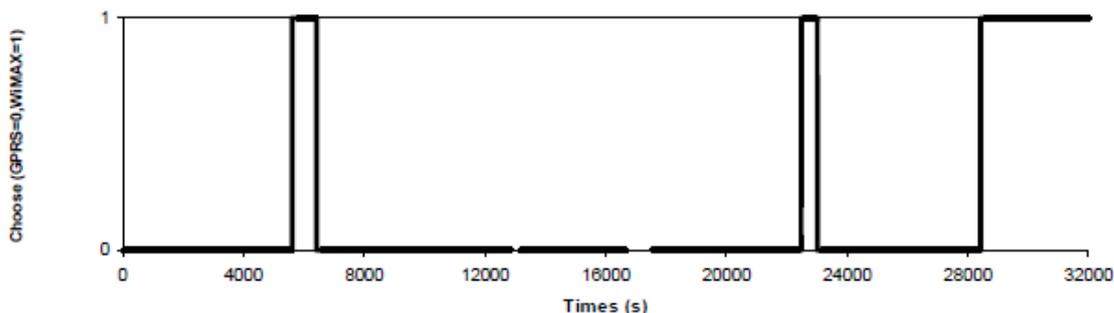
ภาพที่ 72 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.5 , ค่าใช้จ่าย = 0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%



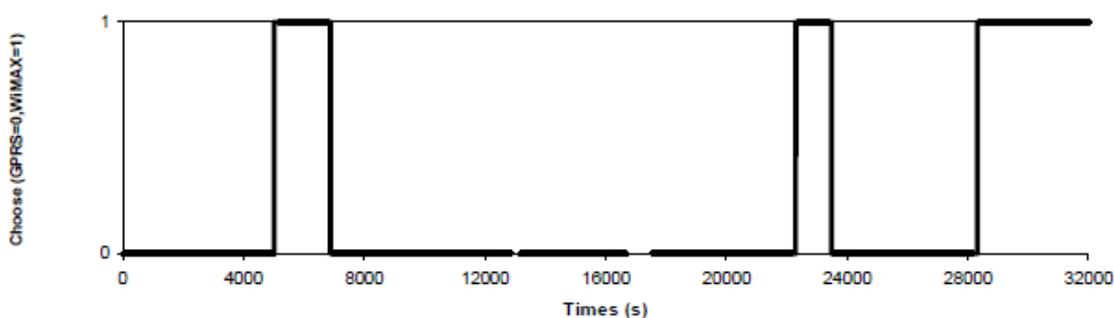
ภาพที่ 73 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.5 , ค่าใช้จ่าย = 0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



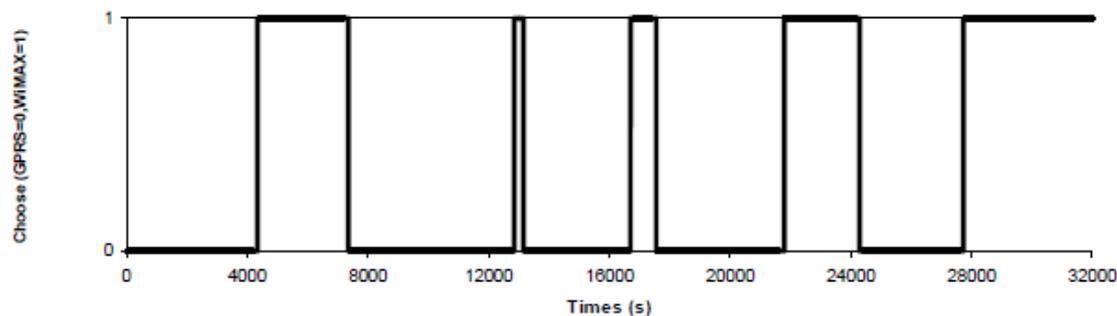
ภาพที่ 74 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0.5 , ค่าใช้จ่าย = 0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 75 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.5 , ค่าใช้จ่าย =0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%

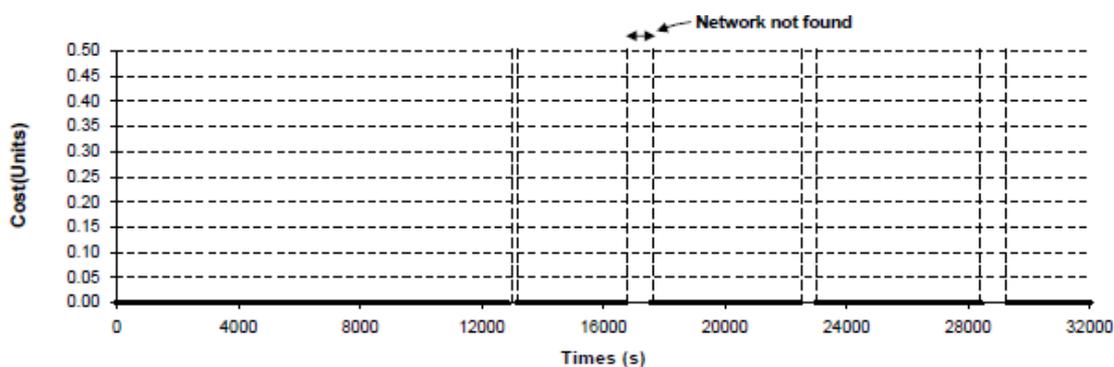


ภาพที่ 76 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.5 , ค่าใช้จ่าย =0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%

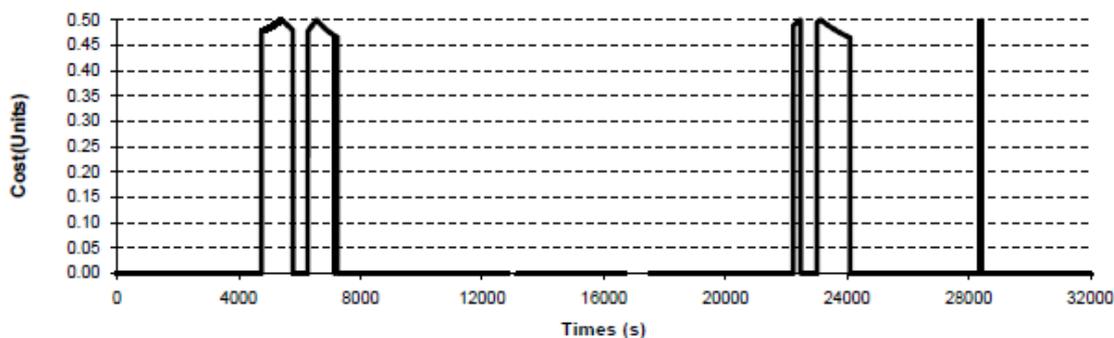


ภาพที่ 77 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.5 , ค่าใช้จ่าย =0.5) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

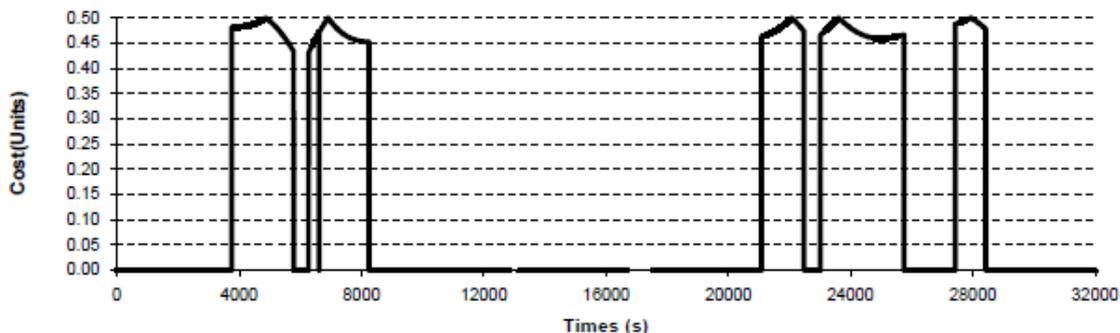
1.4.4 เมื่อให้ค่าน้ำหนักของความแรงสัญญาณเป็น 0.25 และราคาเป็น 0.75 (พิจารณาความแรงสัญญาณ 25% และราคา 75%) โดยจากการจำลองผลการทดลองสามารถแสดงกราฟค่าใช้จ่ายของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ได้ดังภาพที่ 78, 79, 80, 81, 82 และสามารถแสดงกราฟการเข้าใช้งานของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ดังภาพที่ 83, 84, 85, 86, 87



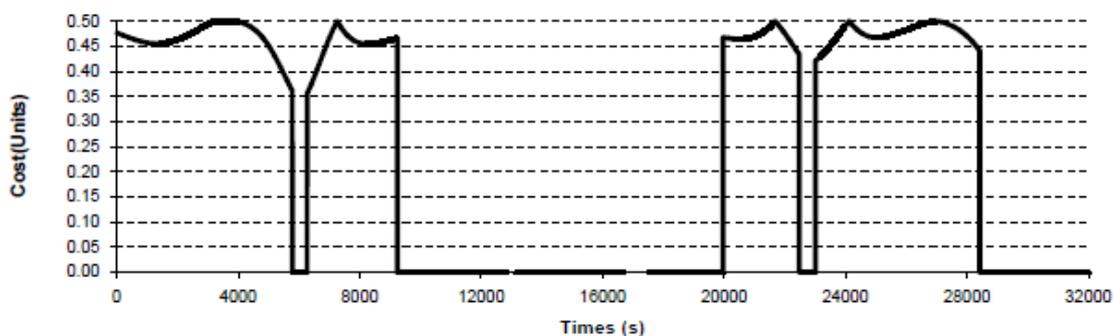
ภาพที่ 78 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



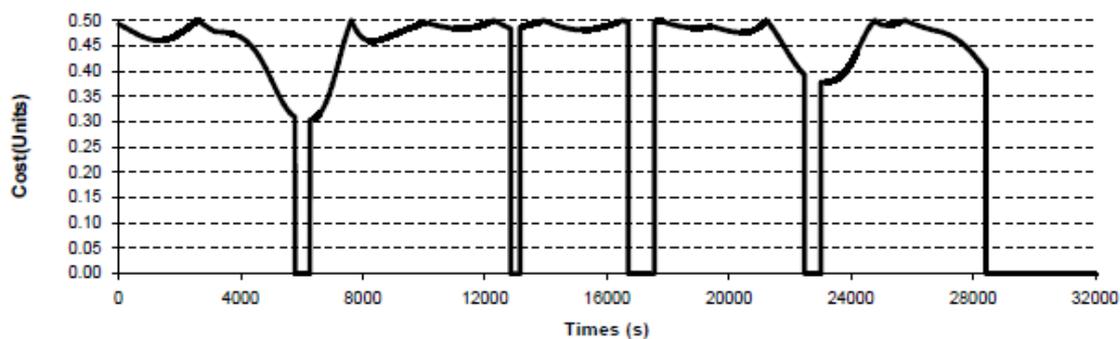
ภาพที่ 79 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



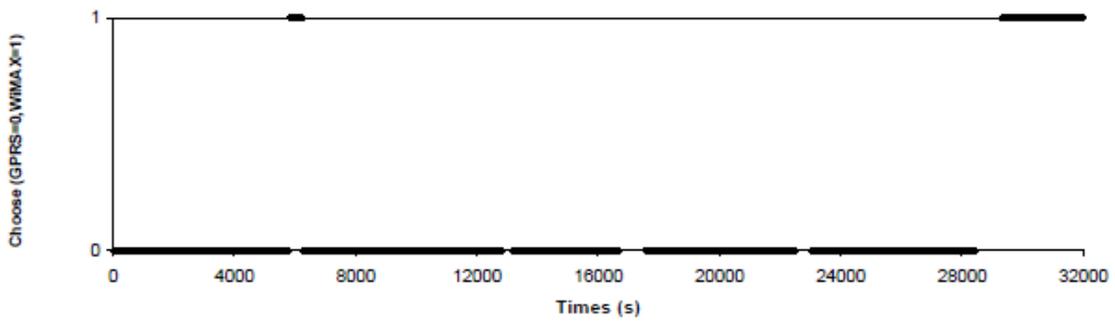
ภาพที่ 80 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%



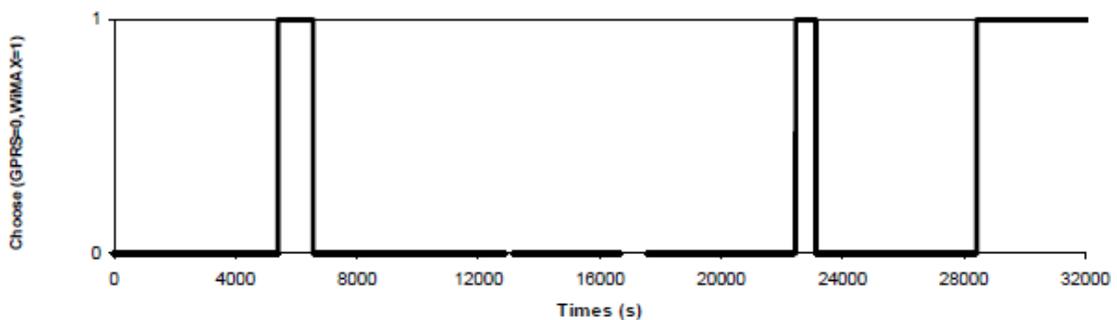
ภาพที่ 81 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%



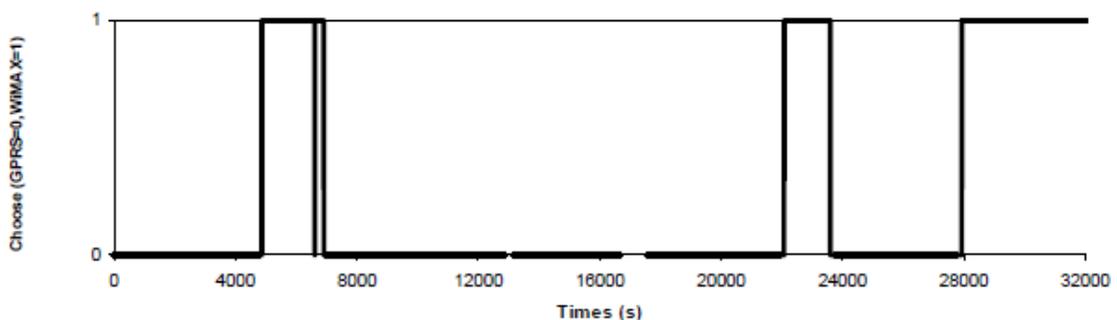
ภาพที่ 82 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%



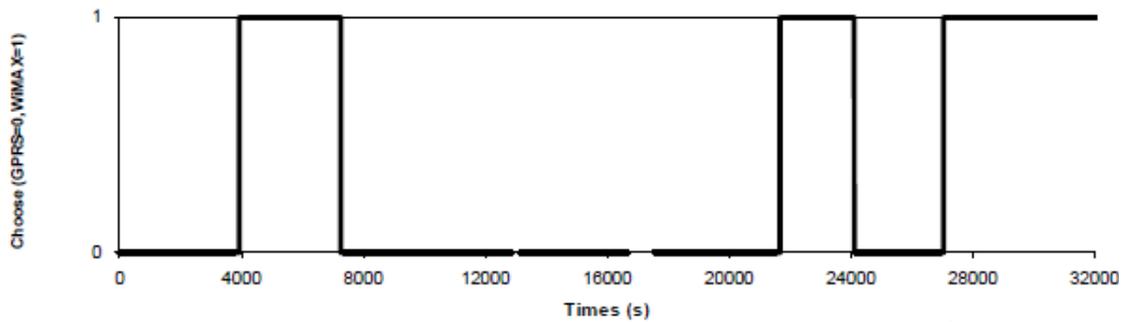
ภาพที่ 83 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



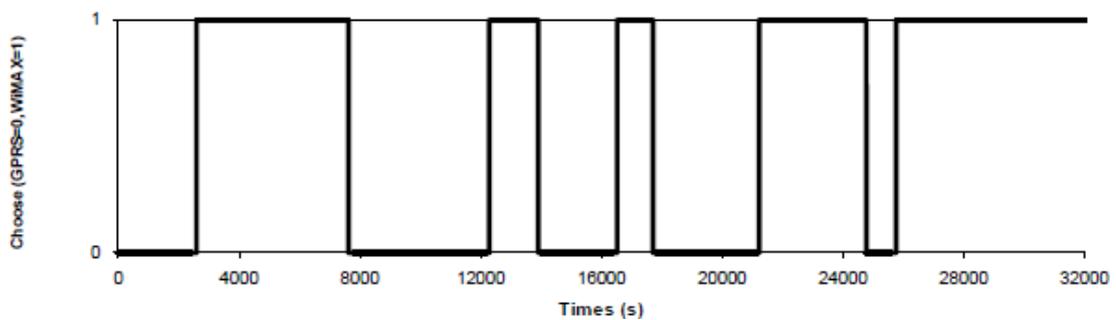
ภาพที่ 84 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 85 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%

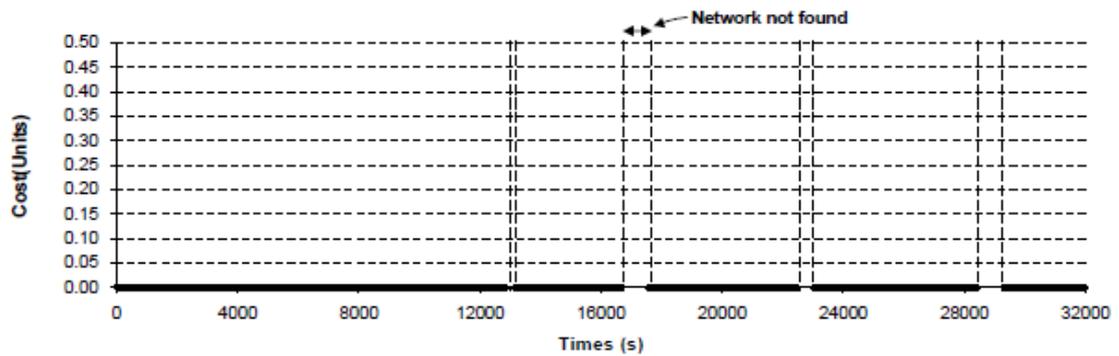


ภาพที่ 86 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%

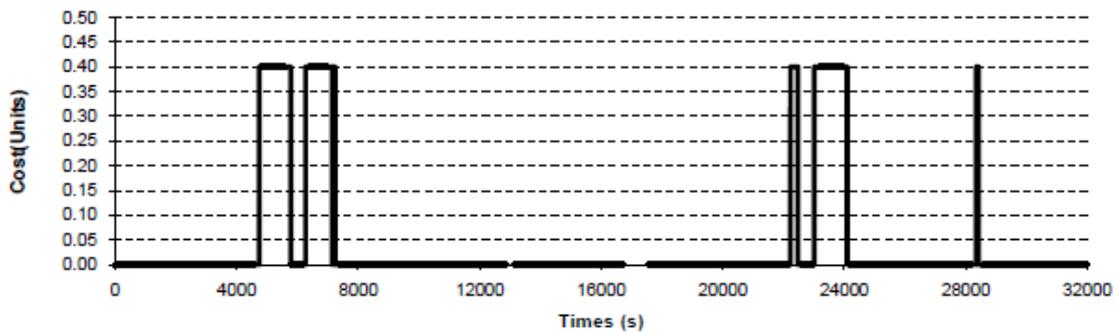


ภาพที่ 87 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0.25 ,ค่าใช้จ่าย =0.75) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

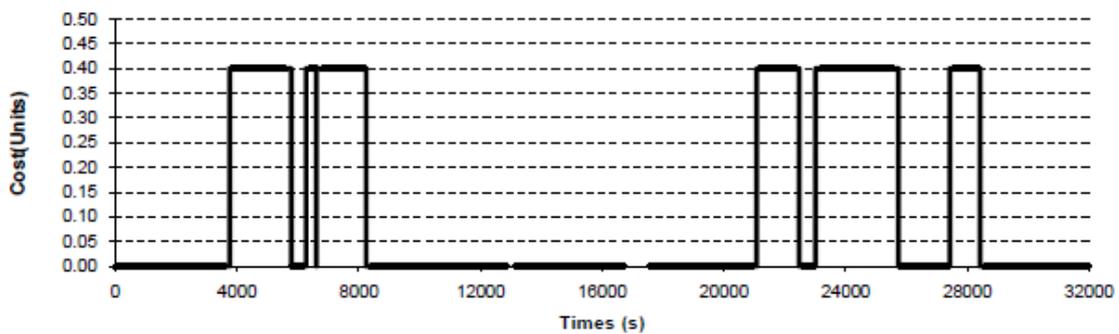
1.4.5 เมื่อให้ค่าน้ำหนักของความแรงสัญญาณเป็น 0 และราคาเป็น 1 (พิจารณาเฉพาะราคา) โดยจากการจำลองผลการทดลองสามารถแสดงกราฟค่าใช้จ่ายของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ได้ดังภาพที่ 88, 89, 90, 91, 92 และสามารถแสดงกราฟการเข้าใช้งานของทั้งสองเครือข่ายตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันของเครือข่าย ดังภาพที่ 93, 94, 95, 96,



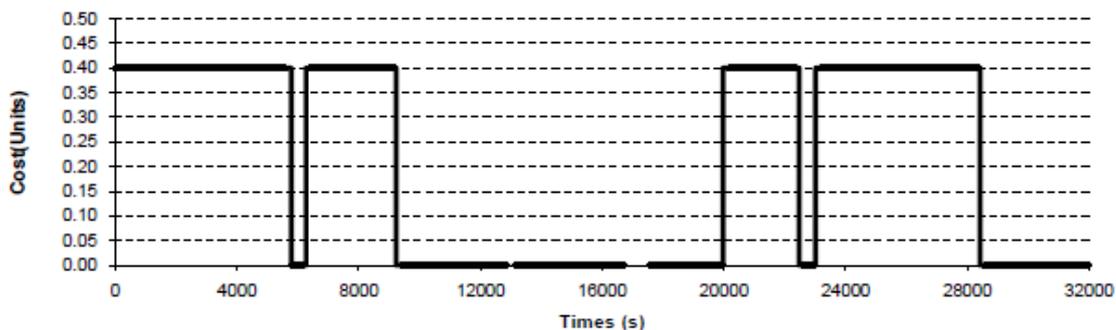
ภาพที่ 88 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =0 ,ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



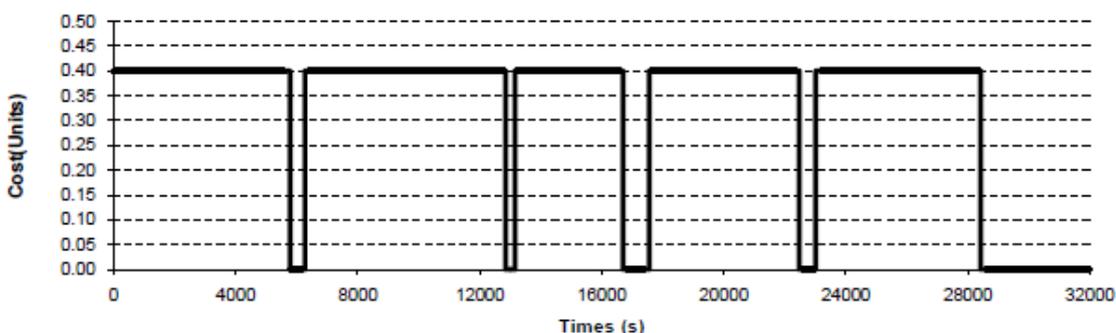
ภาพที่ 89 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =0 ,ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



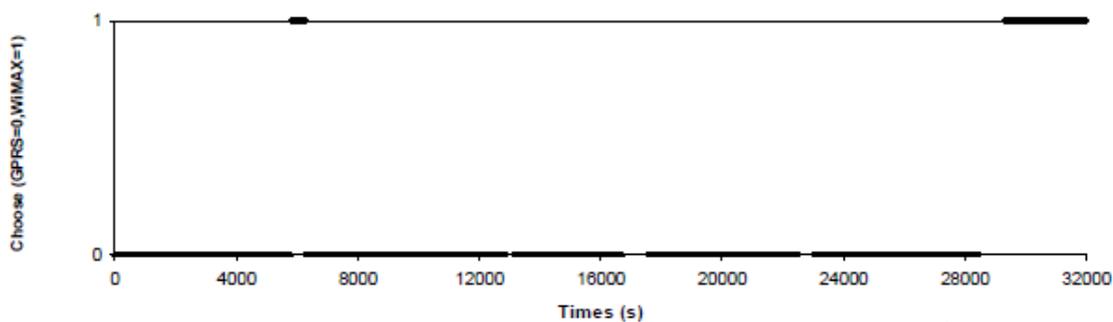
ภาพที่ 90 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ =0 ,ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%



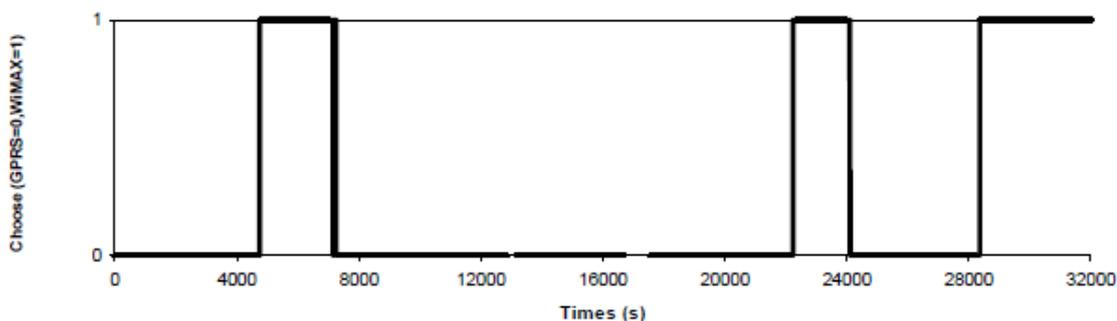
ภาพที่ 91 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0 , ค่าใช้จ่าย = 1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%



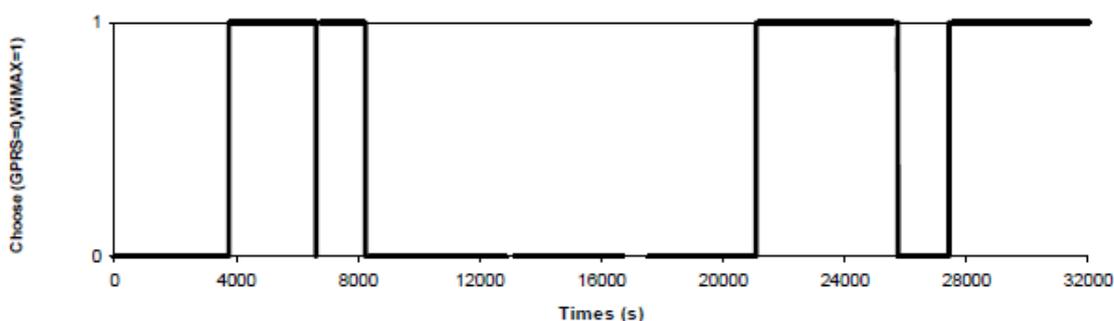
ภาพที่ 92 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0 , ค่าใช้จ่าย = 1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%



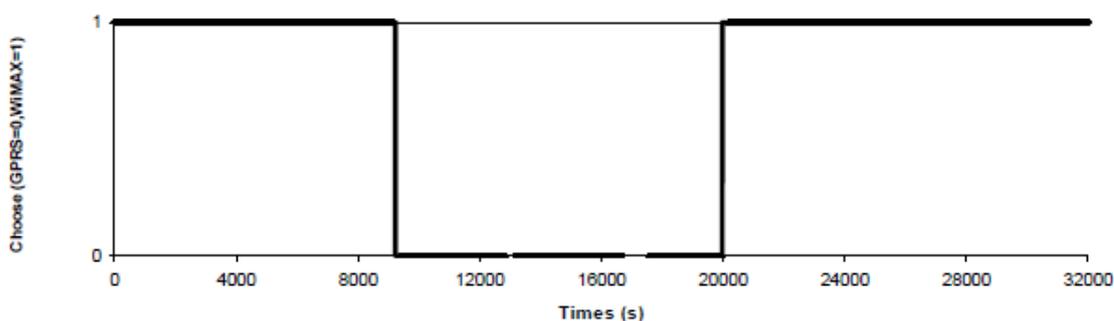
ภาพที่ 93 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ = 0 , ค่าใช้จ่าย = 1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 0%



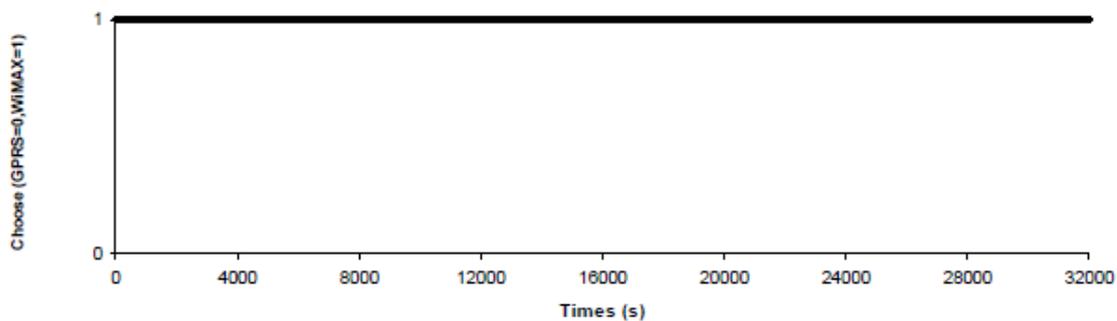
ภาพที่ 94 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0 ,ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 25%



ภาพที่ 95 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0 ,ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 50%



ภาพที่ 96 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0 ,ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 75%

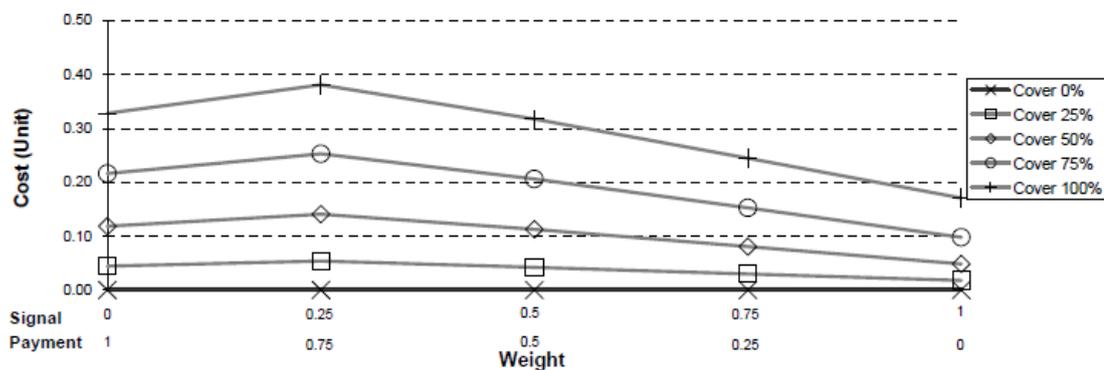


ภาพที่ 97 แสดงกราฟการเลือกใช้เครือข่ายในกรณีที่พิจารณาใช้วิธีหาค่าใช้จ่ายตามน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ=0 ,ค่าใช้จ่าย =1) ของสถานีเครือข่ายไร้สาย โดยมีการซ้อนทับของเครือข่าย 100%

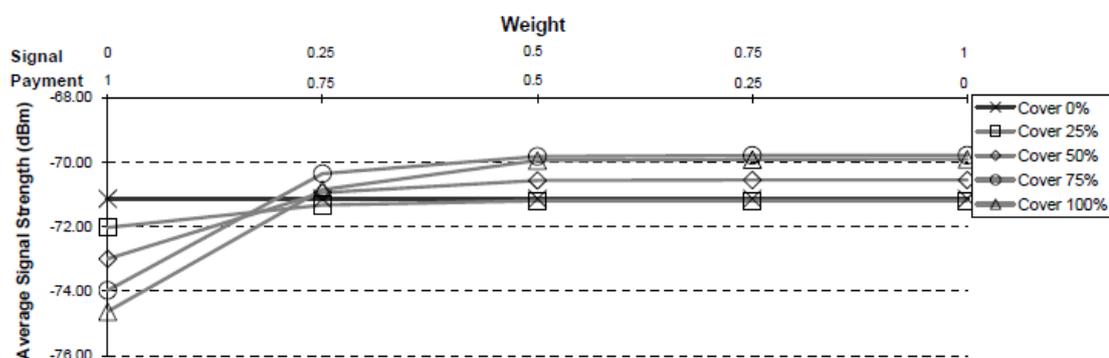
โดยสามารถสรุปผลการทดลองในส่วนของกรเข้าใช้เครือข่ายโดยพิจารณาค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำหนักได้ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 98, 99, 100, 101

ตารางที่ 4 ตารางผลการทดลองเรื่องค่าใช้จ่ายและการเลือกใช้เครือข่ายโดยพิจารณาจากค่าใช้จ่าย

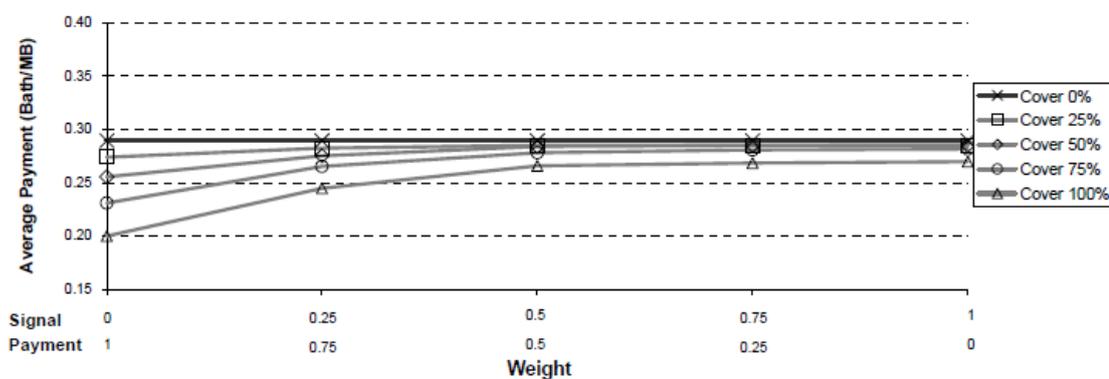
การซ้อนทับกัน ของเครือข่าย	ค่าน้ำหนัก (ความแรงสัญญาณ: ราคา)	ค่าใช้จ่าย เฉลี่ย	ความแรง สัญญาณเฉลี่ย	ราคา เฉลี่ย	จำนวนครั้ง ในการข้าม เครือข่าย
0	1:0	0	-69.8239	0.282171	6
	0.75:0.25	0	-69.8239	0.282171	6
	0.5:0.5	0	-69.8239	0.282171	6
	0.25:0.75	0	-69.8239	0.282171	6
	0:1	0	-69.8239	0.282171	6
25	1:0	7.97E-03	-69.9544	0.276513	5
	0.75:0.25	1.56E-02	-69.9544	0.276513	5
	0.5:0.5	2.32E-02	-69.9544	0.276513	5
	0.25:0.75	3.06E-02	-70	0.27559	5
	0:1	2.56E-02	-70.5223	0.270103	7
50	1:0	3.65E-02	-69.1341	0.275129	5
	0.75:0.25	7.25E-02	-69.1344	0.275063	5
	0.5:0.5	1.08E-01	-69.1394	0.274633	5
	0.25:0.75	1.43E-01	-69.3035	0.271199	7
	0:1	1.20E-01	-72.1518	0.245004	9
75	1:0	8.78E-02	-68.4365	0.273677	5
	0.75:0.25	0.167449	-68.4369	0.273517	5
	0.5:0.5	0.246896	-68.4442	0.272977	7
	0.25:0.75	0.321708	-68.9716	0.260901	9
	0:1	0.27293	-75.4399	0.206896	6
100	1:0	0.143704	-68.5951	0.336796	8
	0.75:0.25	0.226281	-68.6054	0.332552	8
	0.5:0.5	0.304713	-68.7596	0.318609	10
	0.25:0.75	0.330598	-73.9778	0.2	1
	0:1	0.249544	-73.9778	0.2	1



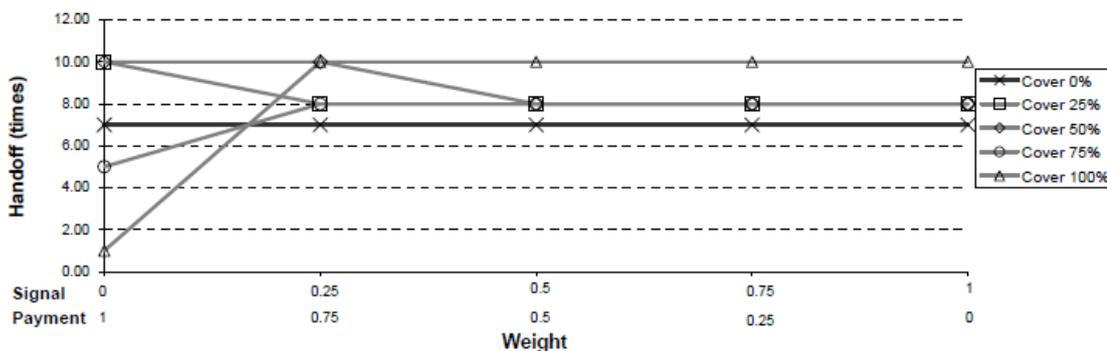
ภาพที่ 98 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายเฉลี่ยจากการทดลองทุกช่วงเวลาเมื่อเทียบกับการให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณ และราคา โดยมีการซ้อนทับของเครือข่ายตั้งแต่ 0-100%



ภาพที่ 99 แสดงกราฟความแรงสัญญาณเฉลี่ยจากการทดลองทุกช่วงเวลาเมื่อเทียบกับการให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณ และราคา โดยมีการซ้อนทับของเครือข่ายตั้งแต่ 0-100%



ภาพที่ 100 แสดงกราฟราคาเฉลี่ยจากการทดลองทุกช่วงเวลาเมื่อเทียบกับการให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณ และราคา โดยมีการซ้อนทับของเครือข่ายตั้งแต่ 0-100%



ภาพที่ 101 แสดงกราฟจำนวนครั้งในการข้ามเครือข่ายจากการทดลองทุกช่วงเวลาเมื่อเทียบกับการให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณ และราคา โดยมีการซ้อนทับของเครือข่ายตั้งแต่ 0-100%

จากภาพที่ 98 ในกรณีที่พื้นที่ซ้อนทับเป็น 0% กราฟจะเป็นเส้นตรงเนื่องจากไม่มีการเปรียบเทียบราคาระหว่างสองเครือข่าย จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาให้ค่าน้ำหนักของปัจจัยอย่างใดอย่างหนึ่ง จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของความแรงสัญญาณถูกกว่าราคา เนื่องจากความแรงสัญญาณมีความแตกต่างที่ไม่คงที่และบางช่วงเวลามีโอกาสที่ความแรงสัญญาณคำนวณมาแล้วจะมีค่าใช้จ่ายที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เป็นค่าคงที่ ซึ่งให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณ 25% และค่าใช้จ่าย 75% จะเห็นได้ว่ามีค่าใช้จ่ายมากกว่าจุดอื่น เนื่องจากค่าใช้จ่ายระหว่างเครือข่ายไม่แตกต่างกันมาก ทำให้โอกาสที่จะเลือกเครือข่ายที่ถูกมาก ๆ มีน้อยลง

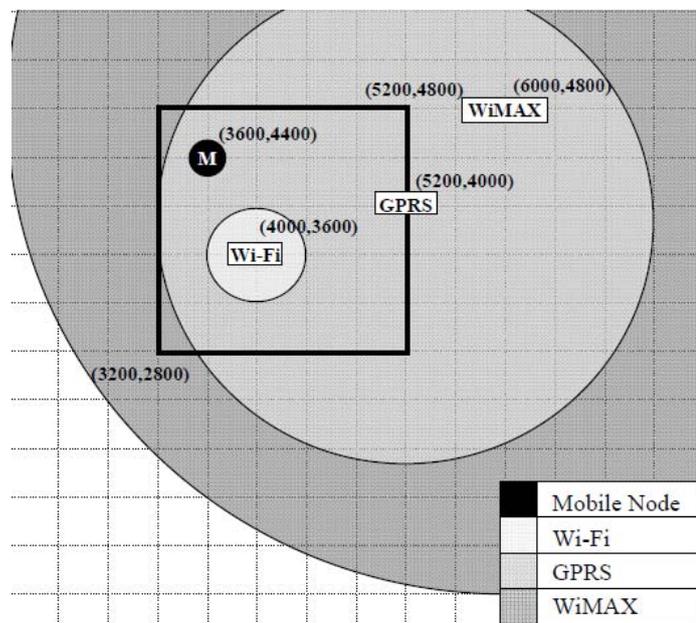
จากภาพที่ 99 ในกรณีที่พื้นที่ซ้อนทับเป็น 0% กราฟจะเป็นเส้นตรงเนื่องจากไม่มีการเปรียบเทียบราคาระหว่างสองเครือข่าย จะเห็นได้ว่าถ้าพิจารณาให้น้ำหนักของราคาเป็นหลักจะทำให้ความแรงสัญญาณเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับการให้น้ำหนักของความแรงสัญญาณอย่างเดียว แต่เมื่อพิจารณาน้ำหนักของความแรงสัญญาณสูงขึ้นจะทำให้ความแรงสัญญาณเฉลี่ยสูงขึ้นด้วย แต่ความแรงสัญญาณเฉลี่ยจะสูงขึ้นและจะไม่มีผลต่อการตัดสินใจเมื่อให้ค่าน้ำหนักความแรงสัญญาณเท่ากับราคาจนถึงไม่ให้ค่าน้ำหนักราคาเลย

จากภาพที่ 100 ในกรณีที่พื้นที่ซ้อนทับเป็น 0% กราฟจะเป็นเส้นตรงเนื่องจากไม่มีการเปรียบเทียบราคาระหว่างสองเครือข่าย จะเห็นได้ว่าถ้าพิจารณาให้น้ำหนักของราคาเป็นหลักจะทำให้ราคาเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับการให้น้ำหนักของความแรงสัญญาณอย่างเดียว แต่เมื่อพิจารณาน้ำหนักของความแรงสัญญาณสูงขึ้นจะทำให้ราคาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นด้วย แต่ราคาเฉลี่ยจะสูงขึ้นและจะ

ไม่มีผลต่อการตัดสินใจเมื่อให้ค่าน้ำหนักความแรงสัญญาณเท่ากับราคาจนถึงไม่ให้ค่าน้ำหนักราคาเลย

จากภาพที่ 101 ในกรณีที่พื้นที่ซ้มนับเป็น 0% กราฟจะเป็นเส้นตรงเนื่องจากการเปรียบเทียบราคาระหว่างสองเครือข่าย จะเห็นได้ว่าถ้าให้ค่าน้ำหนักราคาอย่างเดียวในช่วงพื้นที่ซ้มนับ 25-50% จะทำให้จำนวนการข้ามเครือข่ายมากกว่าการให้ค่าน้ำหนักความแรงสัญญาณอย่างเดียว เนื่องมาจาก เมื่อการซ้มนับน้อย ๆ จะทำให้การเลือกเครือข่ายจะบ่อยกว่าถ้าพิจารณาเฉพาะราคา เพราะถ้าพิจารณาเฉพาะความแรงสัญญาณ แม้จะมีการซ้มนับ แต่ยังคงถือว่าความแรงสัญญาณมากกว่าหรือไม่ ต่างจากราคาที่เมื่อมีการซ้มนับกัน จะมีการตัดสินใจแบบเดิมเสมอ ทำให้โอกาสที่จะตัดสินใจข้ามเครือข่ายเมื่อพิจารณาเฉพาะราคาจะสูงกว่า เช่นเดียวกับช่วงพื้นที่ซ้มนับ 75-100% ที่จะพิจารณาราคาจะทำให้การข้ามเครือข่ายน้อยกว่า การพิจารณาความแรงสัญญาณ เพราะเมื่อซ้มนับกันมากกว่าครึ่ง จะทำให้โอกาสที่จะข้ามเครือข่ายอื่นน้อยลง เมื่อเทียบกับความแรงสัญญาณที่แม้จะซ้มนับกันมากกว่าครึ่ง แต่ต้องดูว่าความแรงสัญญาณมากกว่าหรือไม่

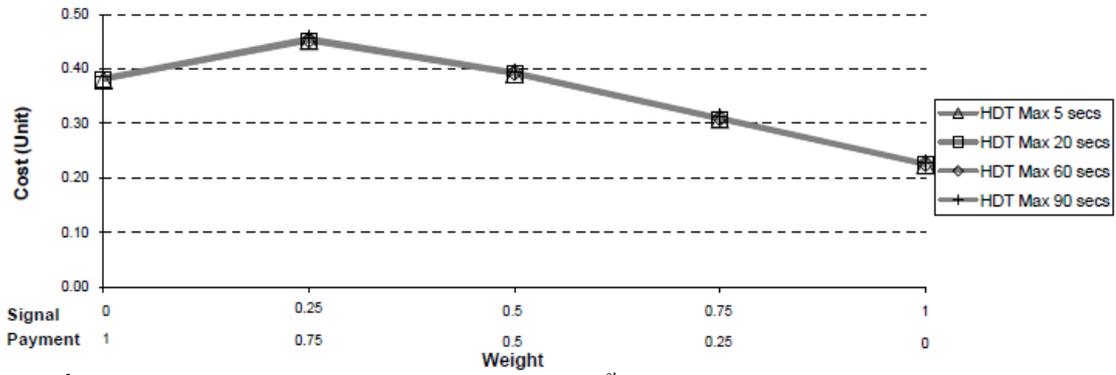
2. การทดลองที่ 2 เพื่อหาผลต่อการตัดสินใจในการเคลื่อนที่ของโบายโหนดบนพื้นที่สัญญาณ 3 เครือข่ายที่ซ้มนับกัน



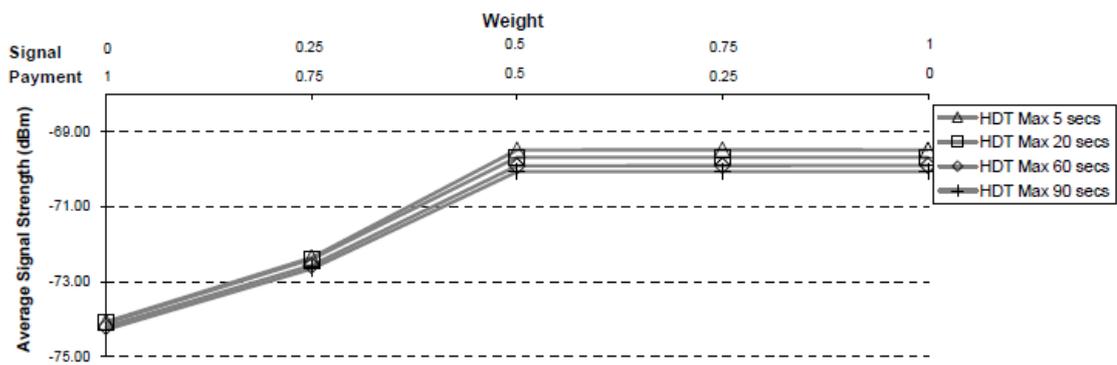
ภาพที่ 102 แสดงการวางตำแหน่งของสถานีเครือข่ายไร้สาย 3 เครือข่ายในรูปแบบที่ใช้ในการจำลองผลการทดลองบนโปรแกรม NS2

จากผลการทดลองสามารถแสดงกราฟสรุปผลการทดลองได้ดังรูปที่ 100, 101, 102, 103,

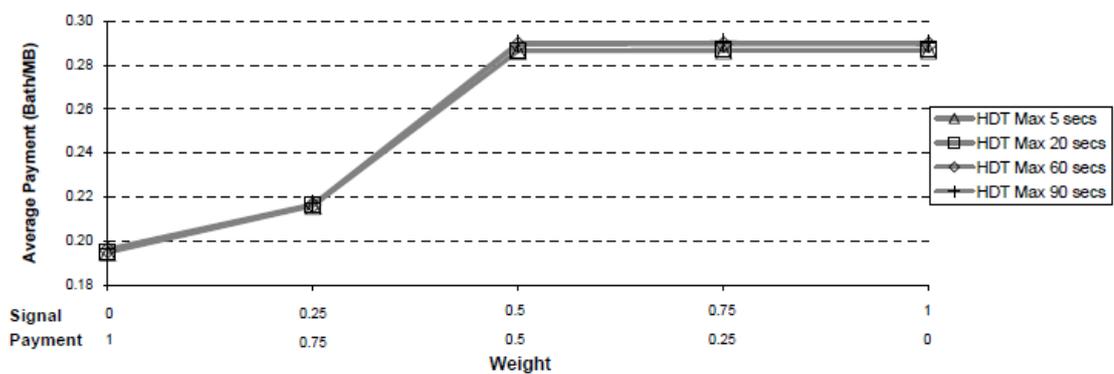
104 และ 105



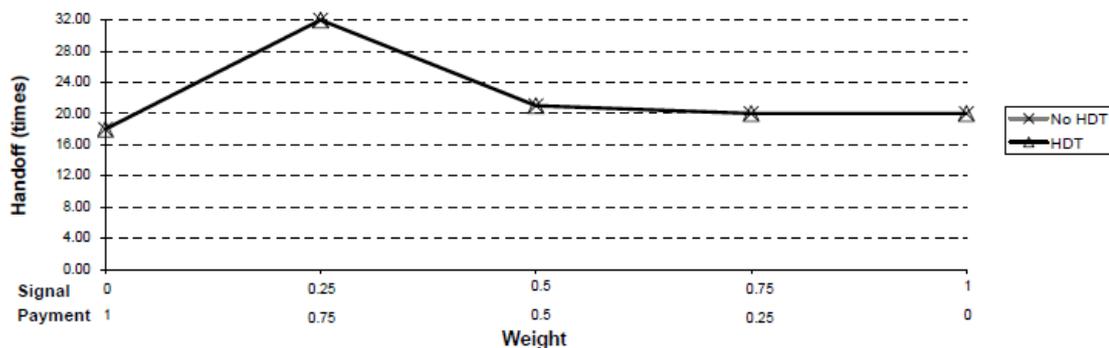
ภาพที่ 103 แสดงกราฟค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคาแยกตามการหน่วงเวลา



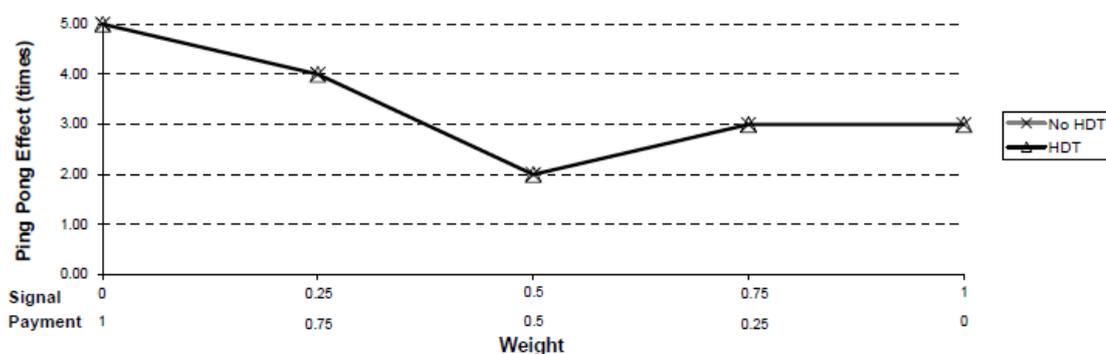
ภาพที่ 104 แสดงกราฟความแรงสัญญาณเฉลี่ยเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคาแยกตามการหน่วงเวลา



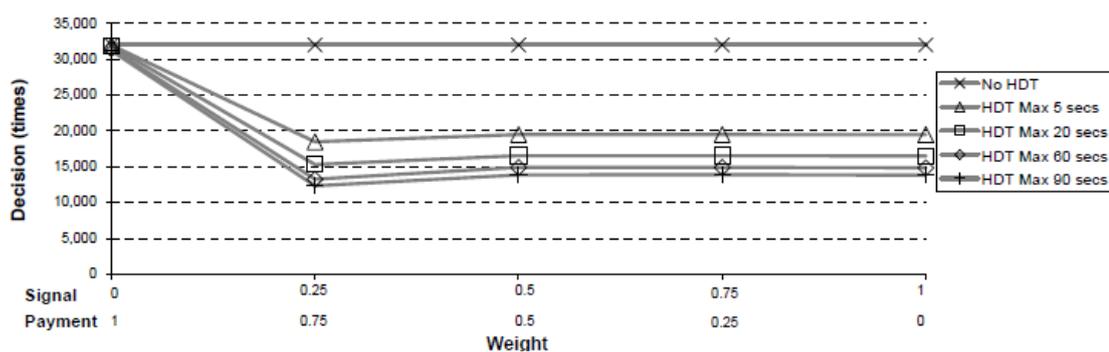
ภาพที่ 105 แสดงกราฟราคาเฉลี่ยเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคาแยกตามการหน่วงเวลา



ภาพที่ 106 แสดงกราฟจำนวนการข้ามเครือข่ายเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคา แยกระหว่างการใช้การหน่วงเวลา และไม่ใช้การหน่วงเวลา



ภาพที่ 107 แสดงกราฟจำนวนการตรวจพบการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมาเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคา แยกระหว่างการใช้การหน่วงเวลา และไม่ใช้การหน่วงเวลา



ภาพที่ 108 แสดงกราฟจำนวนการตัดสินใจเมื่อเทียบกับค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคา แยกตามการหน่วงเวลาต่าง ๆ

ในการทดลองนี้จะต่างกับการทดลองที่ 1 โดยจะมุ่งเน้นในการพิจารณาเกี่ยวกับการป้องกันเลือกใช้เครือข่ายกลับไปกลับมาและการกำหนดเวลาหน่วงในการพิจารณา โดยภาพที่ 103 แสดงการ

เปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายกับค่าน้ำหนักระหว่าง 2 ปีจจัย คือราคาและความแรงสัญญาณ สรุปได้ว่าค่าใช้จ่ายที่พิจารณาเฉพาะราคามากกว่าค่าใช้จ่ายที่พิจารณาเฉพาะความแรงสัญญาณ เนื่องจากความแรงสัญญาณมีความต่างมากกว่าราคาทำให้โอกาสที่จะเลือกค่าของค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่ามีมากกว่าราคา เมื่อมีการให้ค่าน้ำหนักต่าง ๆ กันจะได้ว่า เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่าย 25% ความแรงสัญญาณ 75% จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายมากที่สุด เนื่องจากอาจเป็นน้ำหนักที่ทำให้ค่าใช้จ่ายแต่ละเครือข่ายใกล้เคียงกัน ทำให้ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายลดลง โอกาสที่จะเลือกเครือข่ายที่ค่าของค่าใช้จ่ายต่ำก็ลดลงไปด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อให้ค่าน้ำหนักของความแรงสัญญาณสูงขึ้นเรื่อย ๆ ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลง เนื่องจากความต่างของราคาเป็นค่าคงที่ โอกาสที่จะเลือกค่าของค่าใช้จ่ายที่ต่ำจึงขึ้นอยู่กับความแรงสัญญาณมากขึ้น ทั้งนี้ในส่วนของกราฟหนึ่งเวลาจะเห็นได้ว่าแทบไม่มีผลต่อค่าใช้จ่าย เนื่องจากการหนึ่งเวลาเป็นค่าปรับช่วงเวลาในการตัดสินใจเท่านั้น เมื่อหาค่าใช้จ่ายออกมาจึงไม่แตกต่างจากเดิม

ในภาพที่ 104 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความแรงสัญญาณกับค่าน้ำหนักระหว่าง 2 ปีจจัย จะเห็นได้ว่ายิ่งให้น้ำหนักในการพิจารณาความแรงสัญญาณมากขึ้น ยิ่งทำให้ความแรงสัญญาณเฉลี่ยมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากปัจจัยด้านราคามีผลน้อยลงทำให้โอกาสที่จะเลือกเครือข่ายที่ความแรงสัญญาณสูงกว่ามีมากกว่าเดิม โดยในส่วนของกราฟหนึ่งเวลา ช่วงเวลาน้อยจะทำให้ได้ความแรงสัญญาณที่สูงกว่า เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนไปใช้เครือข่ายที่ให้ความแรงสัญญาณสูงกว่าในรอบเวลาน้อยที่ต่ำกว่า แทนที่จะต้องรอให้ถึงรอบเวลาที่ยาวนานกว่า จะสังเกตได้ว่าความแรงสัญญาณเฉลี่ยจะเริ่มไม่มีผลเมื่อให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคาเท่ากัน จนให้ความสำคัญเฉพาะความแรงสัญญาณอย่างเดียว

ในภาพที่ 105 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างราคากับค่าน้ำหนักระหว่าง 2 ปีจจัย จะเห็นได้ว่ายิ่งให้น้ำหนักในการพิจารณาราคาน้อยลง ยิ่งทำให้ราคาเฉลี่ยสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อพิจารณาด้านราคาน้อยลงทำให้โอกาสเลือกเครือข่ายที่ราคาต่ำกว่ามีน้อยกว่าเดิม โดยในส่วนของกราฟหนึ่งเวลาเช่นเดียวกับการพิจารณาความแรงสัญญาณคือ ช่วงเวลาน้อยจะทำให้ได้ราคาที่ต่ำกว่าด้วยเห็นผลเดียวกับความแรงสัญญาณ คือรอบเวลาน้อยที่ต่ำกว่าทำให้สามารถเลือกราคาที่ต่ำกว่าได้รวดเร็วกว่า จะสังเกตได้ว่าราคาเฉลี่ยจะเริ่มไม่มีผลเมื่อให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคาเท่ากันจนให้ความสำคัญเฉพาะความแรงสัญญาณอย่างเดียว

ในภาพที่ 106 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนการปรับเปลี่ยนเครือข่ายกับค่าน้ำหนัก ระหว่างสองปัจจัย จะได้ว่า การพิจารณาเฉพาะราคาจะมีการปรับเปลี่ยนเครือข่ายมากกว่า การพิจารณาเฉพาะความแรงสัญญาณ เนื่องจากการเลือกใช้เครือข่ายด้วยราคาจะทำได้ง่ายกว่าการเลือก โดยใช้ความแรงสัญญาณ เนื่องจากราคาเป็นค่าคงที่ โอกาสที่แต่ละเครือข่ายมีค่าใช้จ่ายที่ใกล้เคียงกัน ไม่มี ต่างจากความแรงสัญญาณที่มีโอกาสใกล้เคียงกันทำให้อาจมีการเลือกใช้เครือข่ายได้บ่อยกว่า การพิจารณาเฉพาะราคา ในส่วนของการห้วงเวลาเมื่อเทียบระหว่างมีการห้วงเวลาและไม่มี การห้วงเวลาจะเห็นได้ว่าแทบไม่มีผลจำนวนการปรับเปลี่ยนเครือข่าย อาจเพราะแม้การห้วงเวลาจะ ทำให้มีการคงอยู่ในเครือข่ายเดิมระยะหนึ่ง แต่เมื่อครบรอบเวลาห้วงอีกครั้งก็ทำให้ปรับเปลี่ยน เครือข่ายอยู่ดี หรืออาจจะบอกได้ว่าไม่มีการปรับเปลี่ยนเครือข่าย 2 ครั้งในรอบเวลา 90 วินาที จะ สังเกตได้ว่าจำนวนครั้งในการข้ามเครือข่ายจะเริ่มไม่มีผลเมื่อให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรง สัญญาณและราคาเท่ากันจนให้ความสำคัญเฉพาะความแรงสัญญาณอย่างเดียว

ในภาพที่ 107 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนครั้งในการเกิดการข้ามเครือข่ายกลับไป กลับมากับค่าน้ำหนักระหว่างสองปัจจัย จะได้ว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะราคาจะมีการข้ามเครือข่าย กลับไปกลับมามากกว่าการพิจารณาเฉพาะความแรงสัญญาณ เหตุที่มีโอกาสเกิดการข้ามเครือข่าย กลับไปกลับมามากกว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะด้านราคาอาจเพราะราคาเป็นค่าคงที่ เมื่อมีเครือข่ายใด เครือข่ายหนึ่งหายไป โอกาสที่จะเลือกเครือข่ายเดิม ๆ มีสูง แต่ในส่วนของ การพิจารณาเฉพาะความ แรงสัญญาณจะมีโอกาสเลือกเครือข่ายอื่นที่ไม่ใช่เครือข่ายเดิมได้มากกว่า ซึ่งถ้าทำในการทดลอง ระหว่าง 2 เครือข่ายอาจจะได้ผลต่างจากการทดลองในเครือข่ายที่มากกว่า ซึ่งจำนวนเครือข่ายมีผล ต่อการเกิดการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา เนื่องจากโอกาสที่จะข้ามกลับไปกลับมา ระหว่าง 2 เครือข่ายจะน้อยลง ในส่วนของการห้วงเวลาก็ไม่มีผลต่อการเกิดการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา เช่นเดียวกับการจำนวนการข้ามเครือข่าย

ในภาพที่ 108 จะเห็นได้ชัดเจนเกี่ยวกับการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนการตัดสินใจกับค่า น้ำหนักระหว่างสองปัจจัย เมื่อไม่มีการห้วงเวลาการตัดสินใจ จำนวนการตัดสินใจก็จะเท่ากันหมดไม่ว่าค่าน้ำหนักจะเป็นเช่นไร จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะราคาจำนวนการตัดสินใจจะ เท่ากันทุกช่วงเวลาหนึ่ง เนื่องจากค่าตั้งต้นเป็น 1 วินาที เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากราคาเป็นค่าคงที่ เพื่อพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายแล้วมีค่าเท่าเดิมทำให้ค่าเวลาหนึ่งเป็น 1 วินาทีตลอด แม้มีการ เปลี่ยนบ้างก็จะค่าไม่ต่างกันนัก ยกตัวอย่าง ในการห้วงเวลาสูงสุด 90 วินาทีจะมีจำนวนการ

ตัดสินใจ 31204 ครั้ง ในการหน่วงเวลาสูงสุด 5 วินาทีจะมีจำนวนการตัดสินใจ 31965 ครั้ง ซึ่งจะต่างกันเล็กน้อย เมื่อมีการพิจารณาถึงความแรงสัญญาณมากขึ้น จำนวนการตัดสินใจจึงลดลง เมื่อเทียบช่วงเวลากการหน่วงจะได้ว่า ยิ่งมากการหน่วงมากก็จะทำให้การลดจำนวนการตัดสินใจลดลงมากขึ้นด้วย จะสังเกตได้ว่าจำนวนครั้งในการตัดสินใจจะเริ่มไม่มีผลเมื่อให้ค่าน้ำหนักระหว่างความแรงสัญญาณและราคาเท่ากันจนให้ความสำคัญเฉพาะความแรงสัญญาณอย่างเดียว

วิจารณ์

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อระบบ โดยทั่วไปเพียงปัจจัยเดียว เช่นพิจารณาเฉพาะปัจจัยความแรงของสัญญาณ หรือเฉพาะปัจจัยด้านค่าบริการ อาจทำให้ไม่ได้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดหรือเหมาะสม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพิจารณาทั้งสองปัจจัยพร้อมกัน จะพบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเปลี่ยนข้ามเครือข่ายในกรณีที่พิจารณาเฉพาะความแรงสัญญาณจะสูงกว่าการพิจารณาเฉพาะราคา หรือพิจารณาทั้งสองอยู่อย่างมาก เนื่องจากความแรงสัญญาณเป็นปัจจัยที่ผันผวนเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ

นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าในกรณีที่พิจารณาปัจจัยทั้งในด้านความแรงสัญญาณและค่าบริการ รวมทั้งเพิ่มการป้องกันการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา และการพิจารณาหน่วงเวลาในการตัดสินใจ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายทั้งในด้านจำนวนครั้งในการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา จำนวนค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย และจำนวนครั้งในการตัดสินใจ ซึ่งแม้ว่าค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกันในแต่ละด้าน อาจจะไม่ถูกที่สุด แต่น่าจะเป็นค่าใช้จ่ายที่คุ้มค่าในด้านของความพึงพอใจของผู้ใช้และคุ้มค่าต่อผู้ให้บริการที่จะลงทุนวางระบบเครือข่าย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอระบบการตัดสินใจ เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนข้ามเครือข่ายในระหว่างการใช้งานที่ผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ โดยผู้ใช้สามารถพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ตามความต้องการ พร้อมทั้งลดปัญหาที่อาจเกิดจากการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา จากผลการทดลองพบว่าการพิจารณาปัจจัยหลากหลายปัจจัยพร้อมกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแต่ละปัจจัย และเลือกเอาเครือข่ายที่ใช้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของระบบลดลง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่พิจารณารวมไปถึงปัจจัยภายนอกเช่น การใช้พลังงานในการข้ามเครือข่าย การลงทุนวางระบบ ในขณะที่เดียวกันเมื่อเพิ่มการป้องกันการกลับไปกลับมา และพิจารณาการรอ ส่งผลให้การตัดสินใจเปลี่ยนข้ามเครือข่ายเหมาะสมมากขึ้น และสามารถลดการเปลี่ยนข้ามเครือข่ายที่ไม่จำเป็น

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการให้ค่าน้ำหนักในแต่ละปัจจัยจะยังมีผลเฉพาะช่วง ๆ หนึ่งเท่านั้น เนื่องจากวิธีการกำหนดช่วงของปัจจัยแต่ละปัจจัย ยังแตกต่างกันอยู่มาก ทำให้บางปัจจัยมีน้ำหนักสูงกว่าอีกปัจจัยอยู่มาก โดยสามารถแก้ไขโดยการเพิ่มกระบวนการก่อนนำค่าปัจจัยมาคำนวณหาค่าใช้จ่าย ให้มีช่วงของปัจจัยที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจเหมาะสมและตรงกับความต้องการมากขึ้นด้วย

การตัดสินใจตามกระบวนการที่นำเสนอนี้ อาจไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด ทั้งนี้ปัจจัยบางปัจจัยมีความซับซ้อนมาก เช่นรูปแบบค่าบริการที่หลากหลาย ทำให้การคำนวณค่อนข้างซับซ้อน อีกทั้งปัจจัยในเรื่องของความเร็วที่ไม่แน่นอนขึ้นกับจำนวนผู้ใช้ สัญญาณรบกวน หรือแม้กระทั่งจำนวนช่องสัญญาณที่ยังเหลือให้บริการ

งานวิจัยต่อไปที่ควรมีการศึกษาต่อเนื่องคือ จำนวนปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อระบบ การแปลงค่าปัจจัยต่าง ๆ เป็นค่าใช้จ่ายในการพิจารณา และการทดลองประยุกต์ใช้งานจริงกับระบบเครือข่ายที่มีใช้งานจริง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จตุพร ชูช่วย และ รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม. 2550. แบบจำลองการตัดสินใจเปลี่ยนข้ามเครือข่ายไร้สายที่แตกต่างกัน. น. 363-371. **National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC2007)**.

อักรพล คุณพิสุทธิ. 2546. โพรโทคอลการรักษาการติดต่อระยะใกล้ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบรวมศูนย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ahmavaara, H. Haverinen and R. Pichna. 2003. Internetworking Architecture Between 3GPP and WLAN systems. **IEEE Communications Magazine**. 41(11): 74-81

Bianchi, G., I. Tinnirello and L. Scalia. 2003. Hand over across heterogeneous wireless systems: a platform-independent control design. **The 6th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communication (WPMC 2003)**.

Buddhikot M., G. Chandranmenon and S. Han. 2003. Integration of 802.11 and third-generation wireless data networks. **IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2003)**. 1: 503-512.

Chen L.J., T. Sun, B. Chen, V. Rajendran and M. Gerla. 2004. A Smart Decision Model for Vertical Handoff. **The 4th ANWIRE International Workshop on Wireless Internet and Reconfigurability**.

Friss H.T. 1946. A note on a simple transmission formula. pp. 254-256. **Proceedings of the I.R.E. and Waves and Electrons**.

Institute for Electrical and Electronic Engineers. 2005. **Draft IEEE standard for Local and metropolitan area networks - Media Independent Handover Services**. Available Source: <http://www.ieee802.org/21>, March 21, 2008.

Pakins C., B. Patil and P. Roberts. 2002. IP Mobility Support for IPv4. **IETF RFC 3344**.

Rappaport T.S. 1996. **Wireless communications, principles and practice**. Prentice Hall
Communications Engineering and Emerging Technologies Series.

Rigney C., A. Rubens, W. Simpson and S. Willens. 2000. Remote Authentication Dial In User
Service (RADIUS). **IETF RFC 2865**.

Roveri, A., C.F. Chiasserini, M. Femminella, T. Melodia, G. Morabito, M. Rossi and I. Tinnirello.
2003. The RAMON Module: Architecture Framework and Performance Results.
QoSIP 2003.

Tinnirello, I. and L. Scalia. 2003. Seamless Handover Across Heterogeneous Wireless
Networks: a Programmable Metric Approach. **The 7th World Multi Conference on
Systemics, Cybermetrics and Informatics (SCI 2003)**.

Wu, G., M. Mizuno and P.J.M. Havinga. 2002. MIRAI architecture for heterogeneous
Network. **IEEE Personal Communications Magazine**.

Zhu, F. and J. McNair. 2004. Optimizations for vertical Communications and Networking
Conference. **WCNC 2004**. 2: 867-872.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายจตุพร ชูช่วย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 21 มิถุนายน 2523
สถานที่เกิด	พัทลุง
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ลูกจ้างชั่วคราว
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักบริการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	