



วิทยานิพนธ์

การปรับความเร็วในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ของเครือข่ายไร้สายที่
ใช้แอกเซสพอยท์

TRANSMISSION RATE ADAPTATION FOR MULTICAST
FRAME ON INFRASTRUCTURE WLAN

นายอภิวัฒน์ วิทยารัฐ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา

ภาควิชา

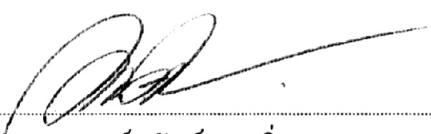
เรื่อง การปรับความเร็วในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ของเครือข่ายไร้สายที่ใช้แอกเซสพอยท์

Transmission Rate Adaptation for Multicast Frame on Infrastructure WLAN

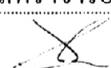
นามผู้วิจัย นายอภิวัฒน์ วิทยารัฐ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( รongศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph. D.)

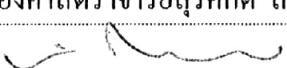
กรรมการ

( อาจารย์ชัยพร ใจแก้ว, Ph. D.)

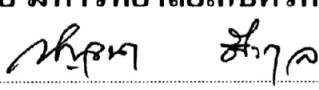
กรรมการ

( รองศาสตราจารย์สุรศักดิ์ สงวนพงษ์, M.A.)

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจมะทัต วิภาตะวนิช, Ph. D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๐ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๑

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับความเร็วในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ของเครือข่ายไร้สายที่ใช้แอกเซสพอยท์

Transmission Rate Adaptation for Multicast Frame on Infrastructure WLAN

โดย

นายอภิวัฒน์ วิทยารัฐ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

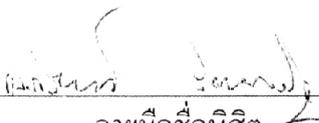
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

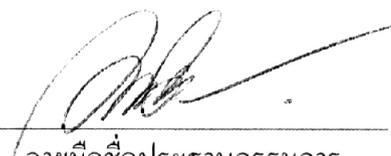
พ.ศ. 2551

อภิวัฒน์ วิทยารัฐ 2551: การปรับความเร็วในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ของเครือข่าย
ไร้สายที่ใช้แอกเซสพอยท์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph. D. 139 หน้า

การส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์บนเครือข่ายไร้สายแบบใช้แอกเซสพอยท์ตามมาตรฐาน
IEEE 802.11 ตามปกติจะเลือกโหมดในการส่งข้อมูลเป็นโหมดใดโหมดหนึ่ง ซึ่งทำให้การใช้งาน
เครือข่ายเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้
สายแบบใช้แอกเซสพอยท์ทั้งหมดจะเป็นการส่งจากแอกเซสพอยท์ไปยังโมบายโฮสต์ ดังนั้นเมื่อ
ทราบข้อมูลของโมบายโฮสต์ที่เป็นสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ ได้แก่ความสามารถในการรับ
ข้อมูลของโหมดการส่งของแอกเซสพอยท์ ความต้องการแบนด์วิธและความน่าเชื่อถือของการ
ส่งมัลติคาสต์ แอกเซสพอยท์จะสามารถปรับความเร็วในการส่งข้อมูลให้เป็นไปอย่างเหมาะสม

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการใช้ข้อมูลของโมบายโฮสต์ที่รับข้อมูลมัลติคาสต์สามตัวแปร
หลักได้แก่ ข้อมูลความสามารถในการรับโหมดการส่งของกลุ่มมัลติคาสต์, ความต้องการใช้งาน
แบนด์วิธ และความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล เพื่อนำไปใช้ในการเลือกโหมดการส่งมัลติคาสต์ที่
เหมาะสม และนำเสนอวิธีเลือกโหมดการส่งโดยใช้วิธีการสังเคราะห์ค่าแบบฟัชชี ซึ่งเมื่อนำ
วิธีการดังกล่าวไปตัดสินใจเลือกโหมดการส่งมัลติคาสต์ และนำมาวิเคราะห์โดยการคำนวณ
ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่ง เปรียบเทียบกับการเลือกโหมด
การส่งแบบคงที่ค่าใดๆ ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g พบว่ามีประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย
ดีกว่าในขณะที่ยังคงสามารถรักษาความน่าเชื่อถือในการส่งไว้ได้อยู่ แสดงให้เห็นว่าการปรับ
ความเร็วโหมดการส่งมัลติคาสต์โดยวิธีการสังเคราะห์ค่าแบบฟัชชีนั้นมีความเหมาะสมในการ
นำมาประยุกต์ใช้งาน


ลายมือชื่อนิติสด

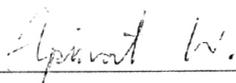

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

12 / พค / 2551

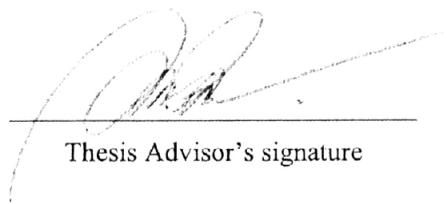
Apiwat Witayarat 2008: Transmission Rate Adaptation for Multicast Frame on Infrastructure WLAN. Master of Engineering (Computer Engineering),
Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering.
Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 139 pages.

Multicast data transmission on IEEE 802.11 infrastructure wireless network usually transmits in a fixed transmission mode which causes inefficient network utilization. Normally the direction of multicast data transmission on infrastructure wireless network is transmitted from access point to mobile host. Therefore, from receiving capability of mobile host in multicast group information, bandwidth and reliability requirement of multicasting, access point can adjust the suitable mode to make system more efficient.

In this thesis, three factors multicast group receiving capability, bandwidth requirement, and reliability requirement are used to select the suitable transmission mode based on fuzzy synthetic evaluation method. The numerical analysis was used for analyze network utilization and transmission reliability. The result has revealed the better network utilization compare with the regular fix transmission modes of IEEE 802.11g standard. While the decreasing reliability of multicast transmission is acceptable. This analysis supports the suitable of using the transmission mode selection based on fuzzy synthetic evaluation in transmission rate adaptation for multicast frame on infrastructure WLAN.



Student's signature



Thesis Advisor's signature

12 / May / 08

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาทั้งทางวิชาการ แนวคิดในการทำงาน การสนับสนุนและให้โอกาสทั้งในด้านการศึกษา และการประสบผลสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ ดร.ชัยพร ใจแก้ว กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รศ.สุรศักดิ์ สงวนพงษ์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ และ กรรมการบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการวิจัยตลอดจนตรวจแก้วิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุนทุนด้านการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาสาขา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์จากมหาวิทยาลัยนเรศวรวิทยาเขตสารสนเทศพะเยา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมห้องปฏิบัติการวิจัย ดร. สุชัยศรี ไลออน และ อ.อภิรักษ์ จันทร์สร้าง ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือเสมอมา และสุดท้ายขอขอบคุณกำลังใจและการสนับสนุนจากครอบครัวของข้าพเจ้าที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จในการศึกษา

อภิวัฒน์ วิทยารัฐ

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	65
ผล	65
วิจารณ์	114
สรุปและข้อเสนอแนะ	124
สรุป	124
ข้อเสนอแนะ	125
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	126
ภาคผนวก	128
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	140

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การมอดูเลทและความเร็วของมาตรฐาน IEEE 801.11 a/b/g	17
2	ตัวอย่างตารางข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์	37
3	ตารางแสดงข้อมูลของโหนดการส่งและความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล	38
4	ตารางแสดงทฤษฎีสูงสุดของโหนดการส่งต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง	40
5	ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลจำนวนโบายไฮสปีดในโหนดความเร็วต่างๆ	41
6	ตารางแสดงหมายเลขโหนดความเร็วและตัวแปรทฤษฎีสูงสุดของโหนดความเร็ว	42
7	ตารางแสดงจำนวนโบายไฮสปีดจำแนกตามทฤษฎีสูงสุดที่สามารถรับข้อมูลได้	49
8	ตารางแสดงทฤษฎีสูงสุดรวมของกลุ่มมัลติคาสต์เมื่อมีการส่งที่โหนดความเร็วต่างๆ	50
9	ตารางแสดงค่าความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย	50
10	ตารางแสดงค่าความเป็นสมาชิกของความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธของโหนดความเร็วต่างๆ	52
11	ตารางแสดงจำนวนโบายไฮสปีดที่รับข้อมูลได้เมื่อมีการส่งที่โหนดความเร็วต่างๆ	53
12	ตารางแสดงค่าความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล	54
13	ตารางแสดงจำนวนกรณีของความสามารถในการรับสัญญาณของโบายไฮสปีด ในกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีจำนวนโบายไฮสปีด 1 ถึง 10 ตัว	60

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	หมายเลขแม่คัมมูลติศาสตร์ของอีเทอร์เน็ตตามมาตรฐาน IEEE 802	5
2	หมายเลขไอพีมัลติศาสตร์	6
3	การเทียบหมายเลขไอพีและ แม่คัมมูลติศาสตร์	7
4	การส่งข้อมูลมัลติศาสตร์ข้ามมัลติศาสตร์เราเตอร์	8
5	โครงสร้างข้อความไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 1	10
6	โครงสร้างข้อความไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 2	11
7	โครงสร้างข้อความสอบถามสมาชิกของไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 3	13
8	โครงสร้างข้อความรายงานสมาชิกของไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 3	14
9	โครงสร้างรายการกลุ่มในข้อความรายงานสมาชิกของไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 3	15
10	การเข้าใช้สื่อร่วมกันของแบบ PCF และ DCF	20
11	แบบจำลองกรณีเลือกใช้โหมดการส่งที่น้อยที่สุดไม่เหมาะสม	28
12	แผนภาพแสดงส่วนประกอบและการทำงานของระบบ	34
13	แผนภาพแสดงขั้นตอนการหาโหมดความเร็วที่น้อยที่สุดที่จะสามารถส่งข้อมูลตามความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธในสภาวะที่เครือข่ายมีภาระการใช้งาน	37
14	ภาพการกระจายของ โมบายโฮสต์ตามระดับความสามารถในการรับสัญญาณสำหรับใช้เป็นตัวอย่างการคำนวณ	48
15	กราฟแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย	51
16	กราฟแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสามารถในการรองรับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธ	52
17	กราฟแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล	54
18	กราฟแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของโหมดความเร็วที่เป็นคำตอบ	56
19	การเลือกโหมดความเร็วโดยใช้ค่ามากที่สุดเป็นคำตอบ	56
20	แผนภาพแสดงขั้นตอนการหาค่าทรูพุทสูงสุดเฉลี่ยและอัตราส่วนความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของกลุ่มมัลติศาสตร์ที่มีสมาชิกจำนวน n	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 0 และความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 0	66
22	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 0 และความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 0	67
23	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็วแบบพีซีซึ่งที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	68
24	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็วแบบพีซีซึ่งที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	68
25	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็ว 6 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	69
26	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็ว 6 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	69
27	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็ว 9 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	70
28	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็ว 9 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	70
29	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็ว 18 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	71
30	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็ว 18 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	71
31	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็ว 36 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	72
32	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็ว 36 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
45	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือก โหมดความเร็ว 54 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps	79
46	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดย การเลือกโหมดความเร็ว 54 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps	79
47	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์จำแนก โดย การเลือกโหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 5	80
48	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์จำแนก โดย การเลือกโหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 10	81
49	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์จำแนก โดย การเลือกโหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 15	81
50	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งจำแนกโดยการ เลือกโหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 5	82
51	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งจำแนกโดยการ เลือกโหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 10	82
52	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งจำแนกโดยการ เลือกโหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 15	83
53	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี	84
54	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี	85
55	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
56	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps	86
57	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps	86
58	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps	87
59	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps	87
60	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps	88
61	61 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps	88
62	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps	89
63	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps	89
64	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps	90
65	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และใช้การเลือกโหมดแบบพีชชี	90
66	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และใช้การเลือกโหมดแบบพีชชี	91
67	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
68	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps	92
69	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps	92
70	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps	93
71	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps	93
72	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps	94
73	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps	94
74	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps	95
75	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps	95
76	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps	96
77	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และใช้การเลือกโหมดแบบพีชชี	96
78	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และใช้การเลือกโหมดแบบพีชชี	97
79	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
80	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps	98
81	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps	98
82	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps	99
83	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps	99
84	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps	100
85	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps	100
86	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps	101
87	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps	101
88	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระ เครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps	102
89	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ จำแนกตาม การเลือกโหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
90	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัดติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัดติคาสต์เท่ากับ 10	103
91	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัดติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัดติคาสต์เท่ากับ 15	104
92	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัดติคาสต์เท่ากับ 5	104
93	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัดติคาสต์เท่ากับ 10	105
94	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัดติคาสต์เท่ากับ 15	105
95	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัดติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และใช้การเลือกโหนดแบบพีชชี	106
96	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และใช้การเลือกโหนดแบบพีชชี	107
97	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัดติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัดติคาสต์เท่ากับ 5	108
98	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัดติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัดติคาสต์เท่ากับ 10	108
99	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัดติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัดติคาสต์เท่ากับ 15	109

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
100	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือกโหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5	109
101	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือกโหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 10	110
102	ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือกโหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 15	110
103	ภาพกราฟแสดงจำนวนกรณีจำแนกตามโหมดที่เลือก แปรผันตามความต้องการแบนด์วิธ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5	111
104	ภาพกราฟแสดงจำนวนกรณีจำแนกตามโหมดที่เลือก แปรผันตามความต้องการแบนด์วิธ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 10	112
105	ภาพกราฟแสดงจำนวนกรณีจำแนกตามโหมดที่เลือก แปรผันตามความต้องการแบนด์วิธ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 15	112
106	ภาพกราฟแสดงค่าดัชนีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือตามจำนวนสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เปรียบเทียบตามการเลือกโหมดการส่ง	113

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Ack	=	Acknowledge
ARF	=	Automatic Rate Fallback
BPSK	=	Binary Phase-Shift Keying
CCK	=	Complementary Code Keying
CP	=	Contention Period
CPF	=	Contention Free Period
CSMA/CA	=	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CTS	=	Clear to Send
DCF	=	Distributed Coordination Function
FCC	=	Federal Communication Corporation
IEEE	=	The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
IETF	=	Internet Engineering Task Force
IGMP	=	Internet Group Management Protocol
IP	=	Internet Protocol
IPv4	=	Internet Protocol version 4
ISM band	=	Industrial, Scientific and Medical frequency band
kbps	=	kilobit per second
LAN	=	Local Area Network
LLC	=	Logical Link Control
MAC	=	Media Access Control
Mbps	=	Megabit per second
MH	=	Mobile Host
OFDM	=	Orthogonal frequency-division multiplexing
OSI	=	Open Systems Interconnection
PCF	=	Point Coordination Function
QAM	=	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	=	Quadrature Phase-Shift Keying
RFC	=	Request for Comment

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

RTS	=	Request to Send
SNR	=	Signal to Noise Ratio
SSID	=	Service Set Identification
SSM	=	Source Specific Multicast
WEP	=	Wired Equivalent Privacy
WLAN	=	Wireless Local Area Network

การปรับความเร็วในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ของเครือข่ายไร้สายที่ใช้แอกเซสพอยท์

Transmission Rate Adaptation for Multicast Frame on Infrastructure WLAN

คำนำ

การส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายแบบใช้แอกเซสพอยท์ตามมาตรฐาน IEEE802.11 นั้นทำให้ลดการส่งข้อมูลซ้ำซ้อนกันในเครือข่าย ซึ่งเป็นไปในการทำงานเดียวกันกับบนเครือข่ายแบบใช้สายตามปกติ แต่ว่าข้อแตกต่างที่สำคัญประการหนึ่งคือการส่งข้อมูลบนเครือข่ายแลนไร้สายนั้น โหนดที่อยู่บนเครือข่ายจะมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลได้ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความแรงของสัญญาณ และระดับสัญญาณรบกวนซึ่งแต่ละโหนดที่อยู่บนเครือข่ายจะได้รับแตกต่างกัน และจะส่งผลถึงความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะเกิดการสูญหายระหว่างการส่ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายคือความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลไปยังโหนดหลายๆ โหนดที่รับข้อมูลมัลติคาสต์ ซึ่งโดยทั่วไปจะแก้ปัญหาโดยการส่งที่โหนดการส่งที่ความเร็วต่ำที่สุดเพื่อลดโอกาสในการสูญหายของข้อมูล และทุกโหนดที่อยู่บนเครือข่ายจะได้รับข้อมูลโดยมีการสูญหายน้อยที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าในความเป็นจริงแล้วโหนดที่รับข้อมูลมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายที่ใช้แอกเซสพอยท์หนึ่งๆ นั้น อาจไม่มีโหนดใดเลยที่มีระดับความแรงสัญญาณน้อยที่สุดและมีระดับสัญญาณรบกวนมากเสมอไป หรือเรียกได้ว่ามีคุณภาพสัญญาณที่ได้รับจากแอกเซสพอยท์ต่ำที่สุด ดังนั้นการส่งข้อมูลที่โหนดการส่งที่ความเร็วต่ำที่สุดอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากทำให้การใช้งานเครือข่ายเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และอาจกล่าวได้อีกประเด็นหนึ่งคือทำให้การส่งมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายนั้นถูกจำกัดแบนด์วิธอยู่ที่โหนดการส่งที่ความเร็วต่ำสุด

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการเลือกโหนดการส่งที่เหมาะสมสำหรับการส่งข้อมูลมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายที่ใช้แอกเซสพอยท์ โดยที่จะใช้ข้อมูลความสามารถในการรับสัญญาณของกลุ่มมัลติคาสต์มาตัดสินใจเลือกโหนดในการส่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเครือข่าย โดยที่ยังคงความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลอยู่ นอกจากนั้นแล้วยังคำนึงถึงการรองรับความต้องการในการส่งข้อมูลโดยพิจารณาถึงสถานะการใช้งานของเครือข่ายแลนไร้สาย และอีกปัจจัยหนึ่งคือความต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ด้วย สำหรับการตัดสินใจเลือกโหนดการส่งจากข้อมูลข้างต้นนั้นได้นำเสนอวิธีการตัดสินใจเลือกโหนดการส่งมัลติคาสต์ของ

การส่งข้อมูลในแต่ละกลุ่มมัลติคาสต์โดยเลือกใช้วิธีการส่งเคราะห์ค่าแบบพีซีซีมาใช้ โดยมีการนำข้อมูลปัจจัยต่างๆ นำมาเข้าสู่กระบวนการการส่งเคราะห์ค่าแบบพีซีซีซึ่งซึ่งจะให้ผลเป็นค่าตอลในการตัดสินใจเลือกโหมดการส่งสำหรับแต่ละกลุ่มมัลติคาสต์

สำหรับวิธีการที่นำเสนอนี้มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและข้อจำกัดของการตัดสินใจเลือกโหมดการส่งโดยการคำนวณตามกรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมดของความสามารถในการรับของกลุ่มมัลติคาสต์ โดยมีประเด็นที่ต้องการวิเคราะห์คือประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งแบบมัลติคาสต์ ซึ่งจะวิเคราะห์ผลการคำนวณเปรียบเทียบกับวิธีการเลือกโหมดการส่งเป็นโหมคใดโหมคหนึ่งคงที่โดยจะใช้โหมคการส่งเปรียบเทียบทั้งหมดในการเลือกโหมคที่เลือกใช้ได้ตามมาตรฐานการของเครือข่ายแลนไร้สายแบบ IEEE 802.11g ซึ่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบพบว่าการส่งมัลติคาสต์โดยใช้วิธีการเลือกโหมคการส่งแบบพีซีซีนั้นมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของทุกกรณีของความสามารถในการรับของกลุ่มมัลติคาสต์มากกว่าการเลือกโหมคความเร็วใดๆ ในการส่ง โดยยังคงสามารถรักษาความน่าเชื่อถือในการส่งได้อยู่ และนอกจากนั้นยังพบข้อจำกัดในการใช้งานของการเลือกโหมคซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไปในส่วนของการวิเคราะห์ผลอย่างไรก็ดีจากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การใช้วิธีการเลือกโหมคการส่งมัลติคาสต์โดยใช้วิธีการส่งเคราะห์ค่าแบบพีซีซีนั้นเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานในการปรับความเร็วการส่งมัลติคาสต์ของเครือข่ายแลนไร้สายแบบใช้แอกเซสพอยต์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. นำเสนอวิธีการปรับ โหมคความเร็วในการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ของแอกเซสพอยต์เพื่อให้ได้ทราฟฟิคสูงสุดที่ทำได้มากที่สุดเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่าย และต้องคำนึงถึงความน่าเชื่อถือในการส่ง
2. วิธีการที่นำเสนอจะมุ่งใช้ข้อมูลสถานะของเครือข่ายและ ความสามารถในการรับสัญญาณ โมบายโฮสต์ของแต่ละกลุ่มมัลติคาสต์ในการทำงาน
3. การปรับการเพิ่มการทำงานของแอกเซสพอยต์และการวิเคราะห์นั้นจะอ้างอิงตามมาตรฐาน เครือข่ายแลนไร้สาย IEEE 802.11g

การตรวจเอกสาร

การส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์

1. หลักการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์

การส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์เป็นรูปแบบการส่งข้อมูลที่ลดการส่งข้อมูลแบบซ้ำซ้อนบนเครือข่าย ซึ่งจะนำมาใช้ส่งข้อมูลชุดเดียวกันจากผู้ส่ง ไปยังผู้รับหลายๆ คนในการส่งครั้งเดียว แทนการส่งหนึ่งครั้งสำหรับผู้รับแต่ละคน สำหรับเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อที่ต้องผ่านจุดเชื่อมต่อหลายๆ จุดจากต้นทางไปยังปลายทาง การส่งแบบมัลติคาสต์นั้นก็จะเป็นการลดการใช้เส้นทางซ้ำๆ กัน โดยไม่จำเป็น ส่วนการส่งข้อมูลในเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อโดยตรงจะเป็นการลดการใช้งานสื่อที่มีการใช้งานร่วมกันอยู่สำหรับรูปแบบเครือข่ายบางประเภท เช่น อีเทอร์เน็ตและ เครือข่ายแลนไร้สายแบบอีเทอร์เน็ต เป็นต้น

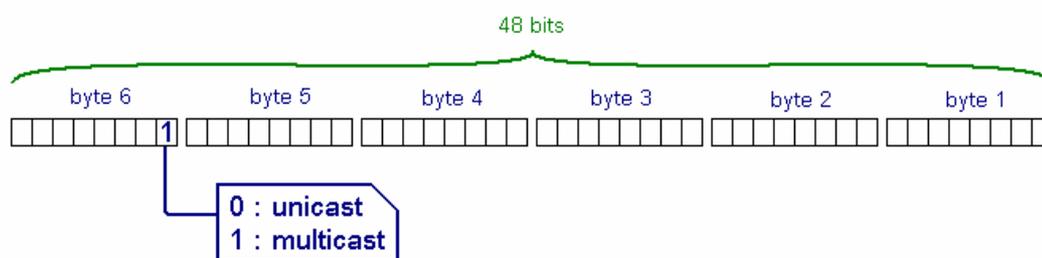
สำหรับเครือข่ายที่มีพื้นฐานจากอีเทอร์เน็ตทั้งแบบมีสายและไร้สาย ซึ่งมีรูปแบบการส่งข้อมูลที่อ้างอิงถึงหมายเลขของอุปกรณ์เครือข่ายที่เรียกว่าหมายเลขแม็ค (MAC address : Media Access Control address) ซึ่งไม่ซ้ำกันเป็นสำคัญ โดยจะมีการใช้สื่อร่วมกันในการส่งข้อมูล ในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ของเครือข่ายทั้งสองนั้นจะมีการใช้หมายเลขแม็คพิเศษในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ ซึ่งจะมีการสำรองไว้ให้ผู้ส่งเป็นผู้กำหนดใช้งาน และผู้รับจะระบุหมายเลขตามที่ได้รับส่งกำหนดหากต้องการรับข้อมูล ซึ่งเมื่อผู้ส่งส่งข้อมูลผ่านสื่อที่มีการใช้งานร่วมกัน โดยระบุหมายเลขเป็นหมายเลขแม็คมัลติคาสต์ (Multicast MAC address) ตามที่ได้กำหนด เมื่อผู้รับได้รับข้อมูลในสื่อที่ใช้ร่วมกันอยู่แล้วพิจารณาหมายเลขปลายทางว่าเป็นหมายเลขแม็คมัลติคาสต์ที่ต้องการรับก็จะรับข้อมูลได้เลย จะเห็นได้ว่าการส่งในรูปแบบนี้ผู้ส่งจะไม่มีกรนำหมายเลขแม็คของผู้รับมาใช้ ทำให้ในการส่งครั้งเดียวนั้นสามารถส่งไปยังผู้รับหลายๆ คนได้โดยอ้างอิงถึงหมายเลขกลางที่เรียกว่าหมายเลขแม็คมัลติคาสต์เป็นสำคัญ

ในการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ข้ามสื่อของเครือข่ายที่มีพื้นฐานจากอีเทอร์เน็ตนั้น ก็จะสามารถส่งได้โดยใช้หมายเลขแม็คมัลติคาสต์ตามปกติ เพียงแต่ในโหนดที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างสื่อซึ่งเรียกว่าบริดจ์ (bridge) นั้นจะต้องทราบว่าในแต่ละสื่อนั้นมีผู้ที่ต้องการรับข้อมูลมัลติคาสต์ที่หมายเลขปลายทางนั้นอยู่หรือไม่เพื่อนำมาพิจารณาส่งต่อข้อมูลระหว่างสื่อที่เชื่อมต่อกันอยู่ ทั้งนี้

เพื่อที่จะให้เกิดการส่งข้อมูลจากเครือข่ายหนึ่งไปยังอีกเครือข่ายหนึ่งได้ และไม่ให้มีการส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายโดยไม่จำเป็น โดยที่ไม่มีผู้รับอยู่ ซึ่งโหนดที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายที่สนับสนุนการส่งแบบมัลติคาสต์นั้นจำเป็นต้องมีวิธีการทำงานเพื่อตรวจสอบผู้รับมัลติคาสต์แต่ละเครือข่ายว่ามีหรือไม่และมีหมายเลขอะไรบ้าง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อที่ไม่สนับสนุนการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์นั้น โดยทั่วไปจะส่งต่อข้อมูลนั้นไปอีกยังอีกสื่อหนึ่งเพื่อให้การส่งข้อมูลนั้นข้ามสื่อไปยังปลายทางได้ เพียงแต่จะมีข้อเสียคือมีการใช้งานเครือข่ายโดยไม่จำเป็น

1.1 การส่งข้อมูลมัลติคาสต์บนเครือข่ายพื้นฐานอีเทอร์เน็ต (Ethernet)

การส่งข้อมูลมัลติคาสต์บนเครือข่ายอีเทอร์เน็ตนั้นจะมีการอ้างอิงถึงหมายเลขแอดเดรสมัลติคาสต์เป็นสำคัญ โดยมีการกันหมายเลขแอดเดรสไว้สำหรับใช้ในการส่งแบบมัลติคาสต์บนเครือข่ายอีเทอร์เน็ตหมายเลขแอดเดรสนั้นจะเป็นตัวเลข 48 บิต หรือ 6 ไบต์ที่ใช้ระบุถึงอุปกรณ์เครือข่ายซึ่งไม่ซ้ำกันเลย สำหรับหมายเลขแอดเดรสมัลติคาสต์ของอีเทอร์เน็ตจะมีการระบุไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802 MAC Address (IEEE 802.3) โดยกำหนดให้เป็นหมายเลขที่บิตแรกของไบต์สุดท้ายเป็น “1” ดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หมายเลขแอดเดรสมัลติคาสต์ของอีเทอร์เน็ตตามมาตรฐาน IEEE 802

นอกจากนั้นตามมาตรฐาน IEEE 802.3 ยังกำหนดหมายเลขแอดเดรสมัลติคาสต์ให้ใช้อยู่ระหว่าง 0100 5E00 000016 ถึง 0100 5E7F FFFF16 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการแปลงหมายเลขอินเทอร์เน็ตมัลติคาสต์ (Multicast IP) มาเป็น หมายเลขแอดเดรสมัลติคาสต์ซึ่งในส่วนนี้จะป็นหมายเลขมัลติคาสต์ที่กันไว้สำหรับไอพีเวอร์ชัน 4 ดังจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

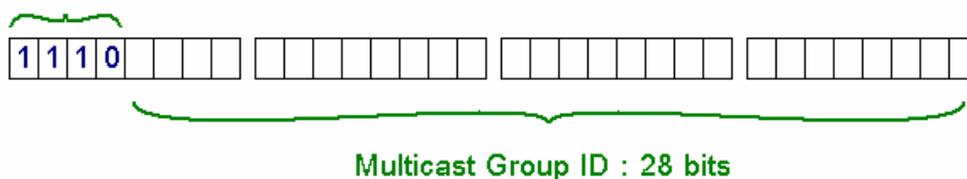
หมายเลขมัลติคาสต์นั้นจะถูกกำหนดโดยผู้ส่งซึ่งจะกำหนดไว้ที่หมายเลขปลายทางในส่วนหัวของเฟรมข้อมูล เมื่อส่งเฟรมข้อมูลผ่านสื่อ ผู้รับข้อมูลมัลติคาสต์นั้นจะคอยรับแพคเกจที่มี

หมายเลขแม่คัมมัลติคาสต์ปลายทางตรงกับต้องการ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อผู้รับที่ใช้สื่อเดียวกันจะสามารถรับเฟรมข้อมูลได้พร้อมกันในการส่งคราวเดียวเพราะการส่งนั้นเป็นการอ้างอิงถึงหมายเลขกลางคือหมายเลขแม่คัมมัลติคาสต์เดียวกัน

1.2 การส่งข้อมูลมัลติคาสต์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet)

การส่งข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันจะใช้โพรโทคอลในชั้นเครือข่ายเป็นอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลเกือบทั้งหมด ซึ่งโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตนั้นจะใช้หมายเลขอ้างอิงซึ่งเรียกว่า หมายเลขอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol address) หรือ หมายเลขไอพี (IP address) ซึ่งเป็นเลข 32 บิต ในทำนองเดียวกันกับเครือข่ายในชั้นอินเทอร์เน็ต เครือข่ายไอพี (IP network : Internet Protocol network) นั้นก็มีการระบุหมายเลขไอพีที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ โดยได้กำหนดหมายเลขสี่บิตซ้าย หรือ สี่บิตแรก เป็น 1110 ดังในภาพที่ 2

Class D : Multicast Group IP Address



ภาพที่ 2 หมายเลขไอพีมัลติคาสต์

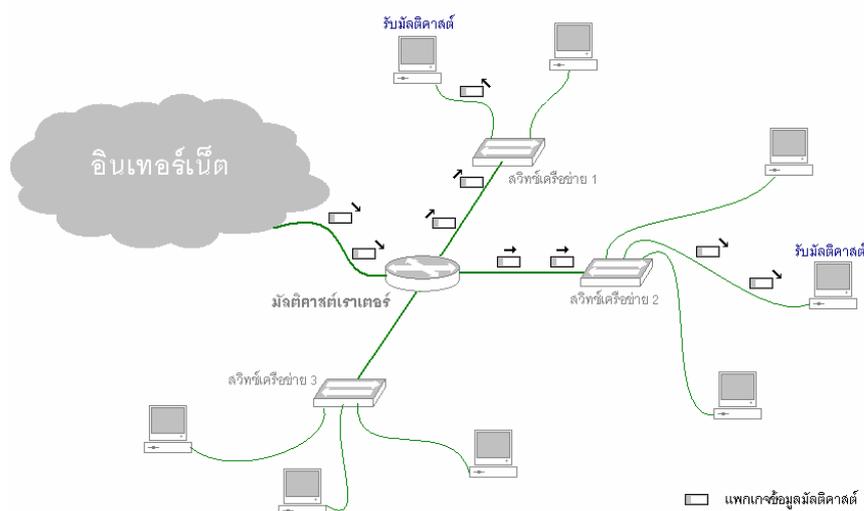
หมายเลขไอพีที่ใช้สำหรับการส่งมัลติคาสต์จะเรียกว่าหมายเลขไอพีมัลติคาสต์ (Multicast IP address) จากการกำหนดข้างต้น จะเห็นว่าหมายเลขไอพีมัลติคาสต์นั้นจะอยู่ระหว่าง 224.0.0.0 ถึง 239.255.255.255 แล้วเรียกกลุ่มของหมายเลขไอพีที่กันไว้นี้ว่าเป็น หมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์ (Multicast Group Address) และกำหนดให้เป็นหมายเลขไอพีคลาส D (Class D) จะเห็นได้ว่าจะมีหมายเลขที่ใช้ระบุสำหรับการส่งแบบมัลติคาสต์ได้ต่างกันทั้งหมด 28 บิตซึ่งเป็นจำนวน 228 หมายเลข

การส่งข้อมูลมัลติคาสต์บนเครือข่ายไอพินั้นหมายเลขไอพีมัลติคาสต์นั้นจะถูกระบุโดยผู้ส่งไว้ในส่วนของหมายเลขไอพีปลายทางในส่วนหัวของแพ็กเก็ตข้อมูล โดยเมื่อส่งข้อมูลไปบนเครือข่ายไอพีผู้รับข้อมูลมัลติคาสต์ปลายทางจะคอยรับแพ็กเก็ตที่มีหมายเลขไอพีปลายทางเป็น

1.4 การทำไอพีมัลติคาสต์ข้ามเครือข่าย

การส่งข้อมูลมัลติคาสต์โดยทั่วๆไปจะกำหนดให้ใช้หมายเลขไอพีมัลติคาสต์เป็นหลัก เนื่องจากความแพร่หลายในการใช้งานของ โพรโทคอลอินเทอร์เน็ต ซึ่งเราจะเรียกการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ที่กำหนดบนชั้นเครือข่ายนี้ว่าการทำไอพีมัลติคาสต์ (IP Multicast) การส่งแพ็กเก็ตไอพีมัลติคาสต์ข้ามระหว่างเครือข่ายสองเครือข่ายหรือหลาย ๆ เครือข่ายของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้น ในบางกรณีจำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการหมายเลขไอพีมัลติคาสต์ หรือหมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์ (Multicast Group address) เนื่องจากในการส่งมัลติคาสต์ข้ามเครือข่ายนั้นจำเป็นที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายจะต้องพิจารณาได้ว่าเมื่อได้รับเฟรมที่เป็นมัลติคาสต์เข้ามาแล้วจำเป็นที่จะต้องส่งต่อไปยังอีกเครือข่ายหนึ่งหรือไม่โดยที่จะพิจารณาจากในเครือข่ายที่จะส่งไปนั้นมีผู้ที่ต้องการรับข้อมูลที่ตรงกับหมายเลขไอพีมัลติคาสต์ที่รับเข้ามานั้นหรือไม่ ถ้ามีก็จะส่งต่อไปยังเครือข่ายนั้น

สำหรับเครือข่ายไอพีนั้น จะมีการจัดการหมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์ที่อุปกรณ์เราเตอร์ โดยเราเตอร์ที่สนับสนุนการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์จะเรียกว่ามัลติคาสต์เราเตอร์ ซึ่งมีวิธีการจัดการหมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์โดยทำตามโพรโทคอลไอจีเอ็มพี (IGMP : Internet Group Management Protocol) ซึ่งจะทำให้เราเตอร์ทราบว่าที่เครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่มีผู้รับหมายเลขไอพีมัลติคาสต์อยู่หรือไม่ และมีกลุ่มอะไรอยู่บ้างซึ่งจะทำให้สามารถส่งข้อมูลมัลติคาสต์ข้ามเครือข่ายได้และป้องกันไม่ให้เกิดการส่งข้ามเครือข่ายมาโดยไม่จำเป็นดังในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การส่งข้อมูลมัลติคาสต์ข้ามมัลติคาสต์เราเตอร์

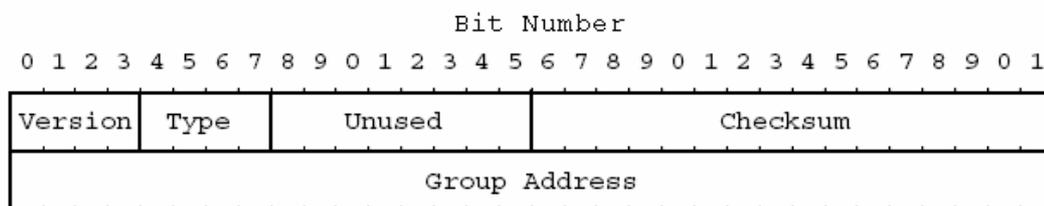
สำหรับอุปกรณ์อื่นที่เชื่อมต่อระหว่างสื่อได้แก่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นบริดจ์และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์นั้น โดยทั่วไปจะทำงานอยู่ที่ชั้นดาต้าลิงก์ ซึ่งถ้าหากไม่สนับสนุนไอพีมัลติคาสต์โดยปกติก็จะส่งต่อเฟรมที่เป็นมัลติคาสต์ไปยังอีกเครือข่ายหนึ่ง หรือทุกๆ พอร์ต ซึ่งอาจทำให้เกิดการใช้งานเครือข่ายโดยไม่จำเป็นในกรณีที่ไม่มีผู้รับหมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์นั้นอยู่ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวอุปกรณ์บริดจ์และสวิตช์จำเป็นต้องรู้การทำงานของโปรโตคอลที่อยู่ชั้นเครือข่ายด้วยซึ่งโดยทั่วไปก็จะใช้วิธีเพิ่มความสามารถในการเข้าไปพิจารณาส่วนหัวของโปรโตคอล (Protocol Header) ชั้นเครือข่ายเพื่อคอยรับทราบว่ามีเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ ณที่มีผู้รับหมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์อยู่หรือไม่ ทั้งนี้โดยอาศัยการคัดจับการทำงานของโปรโตคอลไอจีเอ็มพี

1.5 การทำงานของโปรโตคอลไอจีเอ็มพี

การทำงานของโปรโตคอลไอจีเอ็มพีนั้น จะนำหลักการกลุ่มมัลติคาสต์ (Multicast group) มาใช้ โดยจะมองหมายเลขไอพีมัลติคาสต์เป็นกลุ่มของผู้รับ โดยหลักจะเป็นการนำวิธีคิดแบบที่มองผู้รับข้อมูลมัลติคาสต์เป็นกลุ่ม การทำงานของโปรโตคอลจะทำหน้าที่ในการจัดการการส่งต่อข้อมูลมัลติคาสต์ผ่านเราเตอร์ ซึ่งจุดประสงค์ของโปรโตคอลนั้นคือการทำให้เราเตอร์ทราบว่ามัลติคาสต์อยู่หรือไม่และมีกลุ่มใดบ้างเพื่อใช้ในการตัดสินใจส่งต่อข้อมูลมัลติคาสต์ไปยังเครือข่ายนั้นๆ

ส่วนการทำงานหลักของโปรโตคอลไอจีเอ็มพี ก็คือการจัดการข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์ของเครือข่าย ซึ่งในการทำงานนั้นจะประกอบไปด้วยข้อความ (Message) ที่ใช้ในการติดต่อกันเพื่อจัดการข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์ระหว่างเราเตอร์และผู้ที่ต้องการรับมัลติคาสต์ในเครือข่าย โดยข้อความของโปรโตคอลนั้นจะใช้งานแตกต่างกันตามแต่ละเวอร์ชัน สำหรับไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 1 (IETF RFC 1112) (Deering, 1989) นั้นจะมีข้อความอยู่สองชนิดคือสอบถามสมาชิก (membership query) และ รายงานสมาชิก (membership report) ในการทำงานนั้น หากในเครือข่ายมีผู้ต้องการรับมัลติคาสต์ก็จะส่งข้อความรายงานสมาชิกไปยัง มัลติคาสต์เราเตอร์โดยใช้หมายเลขมัลติคาสต์ไอพีของกลุ่มมัลติคาสต์เป็นหมายเลขอ้างอิงระบุถึงกลุ่มมัลติคาสต์ที่ต้องการรับ เมื่อเราเตอร์ได้รับข้อความรายงานสมาชิกแล้วหากมีแพกเก็ตข้อมูลมัลติคาสต์กลุ่มนั้นวิ่งเข้ามายังเราเตอร์อยู่ก็จะสำเนาแพกเก็ตนั้น ไปยังเครือข่ายที่มีผู้ต้องการรับต่อไป นอกจากนั้นเราเตอร์จะต้องสอบถามไปภายในเครือข่ายโดยการส่งข้อความสอบถามสมาชิกไปเป็นระยะทุกช่วงเวลาเพื่อตรวจสอบว่ามีกร

รับข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์นั้นอยู่หรือไม่ โดยจะทำที่ละกลุ่มทุกกลุ่มมัลติคาสต์สำหรับแต่ละทางเชื่อมต่อของแต่ละเครือข่าย การตอบกลับนั้นจะตอบด้วยผู้รับข้อมูลมัลติคาสต์โดยจะตอบด้วยข้อความรายงานสมาชิกโดยที่จะมีการสุ่มเวลารอโดยมีค่ามากที่สุด 10 วินาที และมีการรอฟังแพ็คเกจรายงานสมาชิก หากครบเวลาที่สุ่มแล้วไม่มีการส่งแพ็คเกจรายงานสมาชิก ผู้รับนั้นก็จะส่งแพ็คเกจออกมาเอง สำหรับกลไกการทำงานแบบนี้เพื่อป้องกันไม่ให้มีชนกันของการตอบกลับของผู้รับมัลติคาสต์กลุ่มเดียวกัน เมื่อเราเตอร์ได้รับแพ็คเกจรายงานสมาชิกแล้วก็จะส่งข้อมูลมัลติคาสต์ต่อไป แต่ถ้าหากว่าอยู่ที่แสดงว่ายังมีผู้รับอยู่ แต่หากไม่มีการตอบกลับเราเตอร์จะรอเป็นช่วงเวลา 2 ถึง 3 รอบของการสอบถาม ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นเวลาประมาณ 2 ถึง 3 นาทีโดยที่ยังส่งข้อมูลมัลติคาสต์อยู่ หากว่ายังไม่มีความรายงานสมาชิกอยู่ก็จะลบข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์นั้นออกจากทางเชื่อมต่อเครือข่ายนั้นและเลิกส่งข้อมูลไปยังเครือข่าย สำหรับข้อความในการสอบถามและรายงานสมาชิกรุ่นนั้นจะมีโครงสร้างเหมือนกัน โดยจะต่างกันเฉพาะส่วนที่บอกประเภทข้อความ (บิตที่ 4 ถึง 7) ส่วนบิตที่เหลือจะเหมือนกันดังในภาพที่ 5



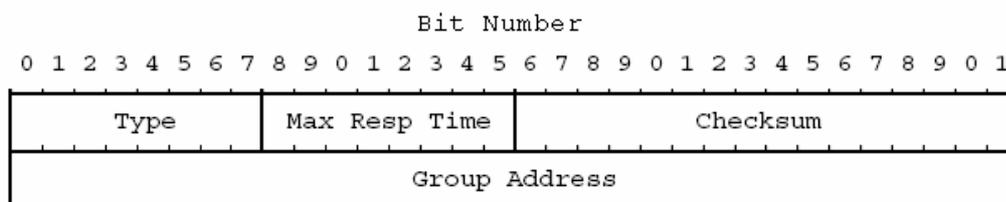
ภาพที่ 5 โครงสร้างข้อความไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 1

ไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 2 (IETF RFC 2236) (Fenner, 1997) นั้นจะมีการเพิ่มข้อความออกจาก กลุ่มมัลติคาสต์ (leave group) เพื่อแก้ปัญหาที่ว่าเมื่อมีการเลิกรับมัลติคาสต์กลุ่มใดแล้วไม่จำเป็นที่จะต้องรอให้ครบรอบการส่งข้อความสอบถามสมาชิกในรอบถัดไปซึ่งระหว่างการรอ นั้นจะมีการส่งข้อมูลมัลติคาสต์จากเราเตอร์จากทางเชื่อมต่อนั้นกับเครือข่ายอยู่ตลอดเวลาซึ่งเป็นการใช้งานเครือข่ายโดยเปล่าประโยชน์ สำหรับการทำงานนั้นก็จะคล้ายกับไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 1 แต่ในฝั่งเราเตอร์นั้นจะแบ่งประเภทการสอบถามสมาชิกเป็นสองแบบคือการสอบถามประเภทสมาชิกแบบทั่วไป (General membership query) โดยจะเป็นการสอบถามมัลติคาสต์ทุกๆ หมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์ตามรอบเวลาการสอบถาม เมื่อผู้รับได้รับข้อความสอบถามแล้วก็จะมีการสุ่มเวลาการตอบกลับสำหรับหมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์ในแต่ละกลุ่มเพื่อป้องกันการส่งข้อความซ้ำในแต่ละกลุ่ม

เมื่อผู้รับได้รับข้อความตอบรายงานสมาชิกของกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งแล้วก็จะยกเลิกการตอบรายงานสมาชิกของกลุ่มนั้น สำหรับกลุ่มที่ไม่มีการตอบกลับ เราเตอร์ก็จะส่งข้อความสอบถามสมาชิกอีกแบบหนึ่งซึ่งก็คือข้อความสอบถามสมาชิกแบบระบุกลุ่ม (Group-Specific query) ซึ่งจะระบุหมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์แทนหมายเลข 224.0.0.1 ซึ่งใช้ในข้อความสอบถามสมาชิกแบบทั่วไป และจะสอบถามซ้ำภายในระยะเวลาที่กำหนดซึ่งโดยทั่วไปจะเป็น 1 วินาที หากไม่มีการตอบรับแล้วถ้าไม่มีการตอบรับภายหลังการสอบถามซ้ำอีกก็จะลบข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์สำหรับทางเชื่อมต่อเครือข่ายของเราเตอร์นั้นออก

สำหรับผู้รับนั้นนอกจากข้อความรายงานสมาชิกซึ่งมีการทำงานเหมือนกับไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 1 แล้ว ในเวอร์ชัน 2 ยังเพิ่มข้อความออกกลุ่มมัลติคาสต์มาอีกซึ่งมีการทำงานโดยเมื่อผู้ตอบข้อความรายงานสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ของรอบการสอบถามครั้งล่าสุดจะเลิกรับมัลติคาสต์กลุ่มนั้นก็จะต้องส่งข้อความออกกลุ่มมัลติคาสต์ไปยังมัลติคาสต์เราเตอร์ และเราเตอร์ก็จะส่งข้อความสอบถามสมาชิกแบบระบุกลุ่มโดยจะเป็นขั้นตอนเดียวกันกับกรณีที่ไม่มีการตอบรับข้อความรายงานสมาชิกเมื่อส่งข้อความสอบถามสมาชิกแบบทั่วไปแล้วไม่มีการตอบกลับสำหรับกลุ่มมัลติคาสต์กลุ่มนั้น เพื่อป้องกันการที่มีสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์นั้นค้างอยู่ในเครือข่าย จะเห็นว่ากระบวนการดังกล่าวจะทำให้ลดเวลาในการยกเลิกการส่งมัลติคาสต์เมื่อมีการเลิกรับข้อมูลมัลติคาสต์ของผู้รับ โดยไม่ต้องรอถึงรอบการสอบถามสมาชิกของเราเตอร์รอบถัดไป

สำหรับข้อความของ ไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 2 นั้นจะคล้ายกับเวอร์ชัน 1 ซึ่งจะมีรูปแบบเดียว แต่ข้อความทั้งสามประเภทคือข้อความสอบถามสมาชิก ข้อความรายงานสมาชิก และข้อความออกจากรวมมัลติคาสต์นั้นจะต่างกันที่ไบนารีแรกคือถ้าเป็นข้อความสอบถามสมาชิกจะกำหนดให้เป็น 0x11 ซึ่งจะเหมือนกันกับเวอร์ชัน 1 ส่วนข้อความรายงานสมาชิกจะเป็น 0x16 ซึ่งจะต่างกับเวอร์ชัน 1 ที่เป็น 0x12 และข้อความออกกลุ่มมัลติคาสต์จะเป็น 0x17 โดยจะมีโครงสร้างดังในภาพที่ 6

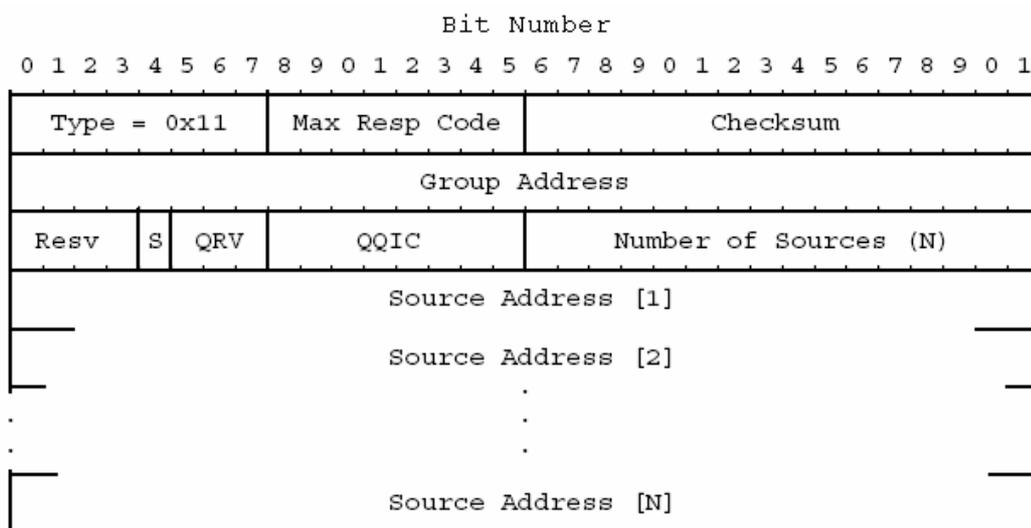


ภาพที่ 6 โครงสร้างข้อความ ไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 2

โพรโทคอลไอจีเอ็มพีเอน์เวอร์ชันหนึ่งที่มีการใช้งานในปัจจุบันคือเอน์เวอร์ชัน 3 (IETF RFC3376) (Cain, 2002) ซึ่งมีการทำงานซับซ้อนกว่าสองเอน์เวอร์ชันข้างต้น ซึ่งไอจีเอ็มพีเอน์เวอร์ชันนี้จะถูกออกแบบมาให้สนับสนุนการทำมัลติคาสต์แบบระบุแหล่งที่มาของผู้ส่ง (Source Specific Multicast : SSM) (หมายเลขแหล่งที่มาจะเป็นไอพีของผู้ส่งข้อมูลมัลติคาสต์ไม่ใช่หมายเลขไอพีมัลติคาสต์) ซึ่งมัลติคาสต์เราเตอร์จะต้องสนับสนุนการทำงานของการทำงานการทำมัลติคาสต์แบบระบุแหล่งที่มาของผู้ส่งด้วย ซึ่งในการทำมัลติคาสต์แบบดังกล่าวจะถูกเรียกใช้งานโดยระบุหมายเลขไอพีของแหล่งที่มาของข้อมูลในระดับโปรแกรมประยุกต์ของผู้รับข้อมูล ซึ่งเราเตอร์จำเป็นที่จะต้องสนับสนุนการทำงานดังกล่าวด้วย โดยที่ข้อมูลสำหรับเราเตอร์ที่จำเป็นจะต้องระบุก็จะประกอบไปด้วย หมายเลขซ็อกเกต (Socket #) ของโปรแกรม, ทางเชื่อมต่อของเราเตอร์, หมายเลขมัลติคาสต์, ประเภทของการคัดกรอง (filter-mode) ของแหล่งที่มา และรายการของแหล่งที่มา สำหรับประเภทของแหล่งคัดกรองนั้นจะเป็นคุณลักษณะของรายการของแหล่งที่มาที่ต่อท้ายโดยมีสองประเภทคือแบบ “ประกอบด้วย” (Include) และแบบ “ยกเว้น” (Exclude) ซึ่งจะใช้ในการคัดกรองในการยอมหรือไม่ยอมให้ข้อมูลมัลติคาสต์นั้นผ่านไปยังทางเชื่อมต่อของเราเตอร์ ซึ่งข้อมูลที่ประกอบกันเป็นชุดข้างต้นนี้จะถูกเก็บไว้ในแต่ละทางเชื่อมต่อของเราเตอร์ซึ่งจะถูกปรับปรุงโดยข้อความรายงานสมาชิกของโพรโทคอลไอจีเอ็มพีเอน์เวอร์ชัน 3 ซึ่งภายในข้อความจะมีส่วนประกอบที่เป็นรายการกลุ่ม (Group record) ซึ่งจะต้องระบุข้อมูลดังกล่าวให้ครบถ้วนสำหรับเราเตอร์ จะเห็นได้ว่าเมื่อเทียบการทำงานของเราเตอร์ที่ทำงานโดยโพรโทคอลไอจีเอ็มพีเอน์เวอร์ชัน 1 และ 2 นั้น ในการรายงานสมาชิกเพื่อรับข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์นั้น ในเอน์เวอร์ชัน 3 จะต้องระบุประเภทการคัดกรองเป็น “ยกเว้น” และระบุรายการแหล่งที่มาเป็นรายการว่าง ส่วนการยกเลิกการส่งมัลติคาสต์กลุ่มนั้นแบบเอน์เวอร์ชัน 2 จะต้องระบุประเภทการคัดกรองเป็น “ประกอบด้วย” และรายการแหล่งที่มาเป็นรายการว่าง ก็จะเป็นการยกเลิกการส่งมัลติคาสต์กลุ่มนั้น

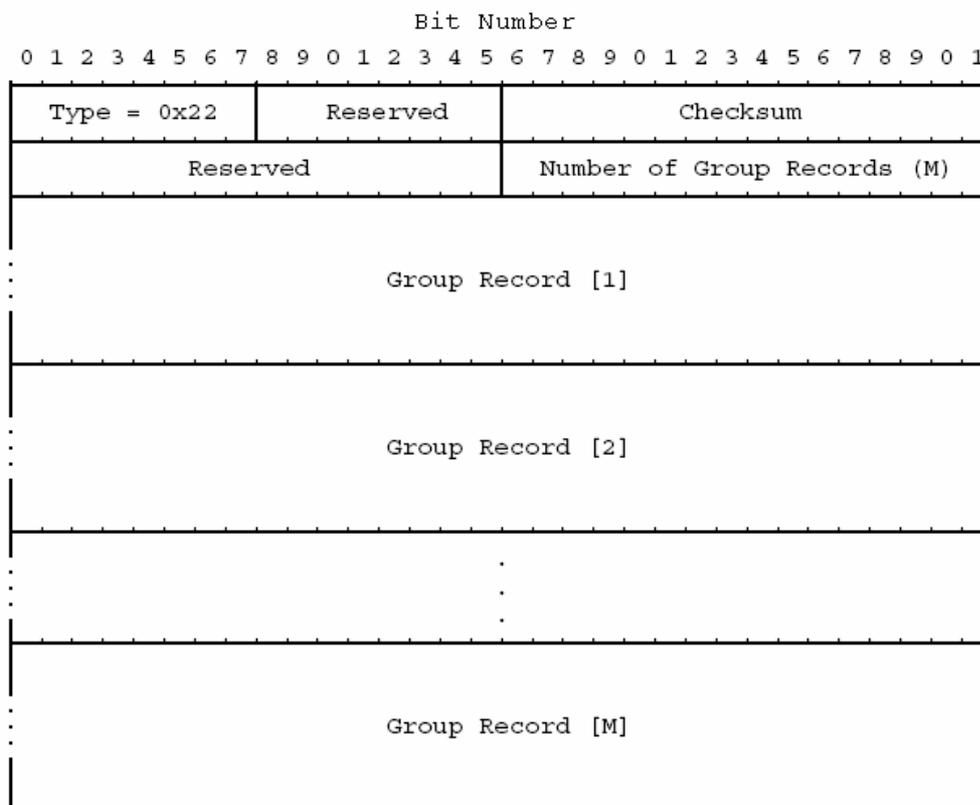
สำหรับการทำงานของไอจีเอ็มพีเอน์เวอร์ชัน 3 นั้นจะประกอบไปด้วยข้อความสองประเภทเท่านั้นคือข้อความสอบถามสมาชิกซึ่งจะมีการสอบถามโดยเราเตอร์ในทางเชื่อมต่อแต่ละอันเป็นรอบตามเวลาที่กำหนด และอีกประเภทหนึ่งคือการตอบกลับโดยผู้รับข้อมูลซึ่งจะมีสองกรณีคือการตอบการสอบถาม และความต้องการเปลี่ยนสถานะของรายการกลุ่มที่ทางเชื่อมต่อของเราเตอร์โดยการทำงานระดับชั้นโปรแกรมประยุกต์

ข้อความสอบถามสมาชิกของไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 3 นั้นจะประกอบไปด้วยส่วนเพิ่มเติมจากสองเวอร์ชันที่แล้วที่สำคัญคือหมายเลขแหล่งที่มาซึ่งจะเป็นหมายเลขไอพีของผู้ส่งมัลติคาสต์ ในส่วนของไบต์แรกนั้นจะใช้เหมือนกับสองเวอร์ชันก่อนหน้าคือเป็น 0x11 แต่ส่วนที่ตามมาจะต่างกัน โดยข้อความสอบถามสมาชิคนั้นก็จะมีสามประเภทคือ ข้อความสอบถามสมาชิกแบบทั่วไป ซึ่งระบุหมายเลขกลุ่มเป็น 224.0.0.1 ข้อความสอบถามสมาชิกแบบระบุกลุ่มมัลติคาสต์ และข้อความสอบถามสมาชิกแบบระบุกลุ่มและหมายเลขแหล่งที่มา ซึ่งเป็นประเภทที่เพิ่มเติมขึ้นมา อีกส่วนหนึ่งที่เพิ่มเติมขึ้นมาคือส่วนที่ต่อท้ายจากหมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลหมายเลขไอพีของแหล่งที่มาเป็นสำคัญ ซึ่งจะสามารถระบุหมายเลขของแหล่งที่มาได้หลายไอพีที่ต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับหมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์, ทางเชื่อมต่อของเราเตอร์ โดยจะเป็นข้อมูลที่ทางเชื่อมต่อของเราเตอร์ที่เก็บไว้ สำหรับโครงสร้างของข้อความสอบถามสมาชิกแสดงดังในภาพที่ 7



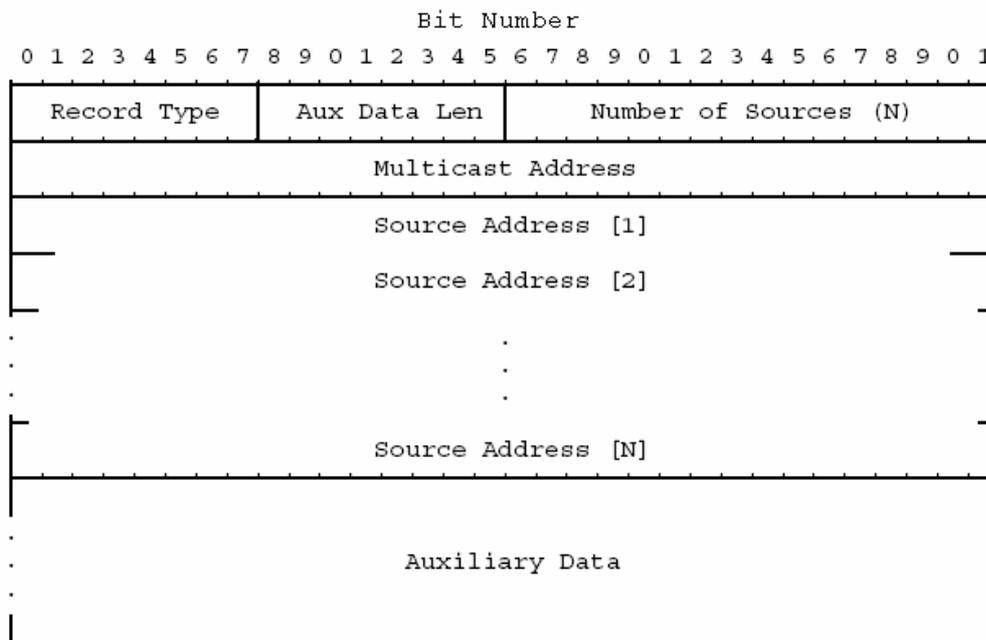
ภาพที่ 7 โครงสร้างข้อความสอบถามสมาชิกของไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 3

ข้อความรายงานสมาชิคนั้นจะมีรายละเอียดต่างจากอีกสองเวอร์ชันก่อนหน้าค่อนข้างมาก ซึ่งข้อความรายงานสมาชิคนั้นผู้รับจะตอบกลับในสองกรณีดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น โดยจะระบุประเภทของข้อความในไบต์แรกเป็น 0x22 ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญคือส่วนของจำนวนกลุ่ม (Number of Group Record) และรายการกลุ่ม (Group Record) ดังในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โครงสร้างข้อความรายงานสมาชิกของไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 3

รายละเอียดในส่วนของรายการสมาชิคนั้นจะเป็นข้อมูลที่จะเอาไปปรับข้อมูลรายการกลุ่มมัลติคาสต์ของทางเชื่อมต่อของเราเตอร์ โดยประกอบไปด้วยประเภทของรายการซึ่งจะเป็นส่วนที่บอกถึงรายการที่ตามมาว่าเป็นรายการปัจจุบันประเภท “ประกอบด้วย” หรือ “ยกเว้น” หรือเป็นการปรับปรุงประเภทรายการไปเป็นประเภท “ประกอบด้วย” หรือ “ยกเว้น” และเป็นประเภทการปรับปรุงรายการหมายเลขไอพีของแหล่งที่มาซึ่งประกอบไปด้วยแบบอนุญาตแหล่งที่มาใหม่หรือห้ามแหล่งที่มาเก่า อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญก็คือรายการที่ตามมาโดยจะเป็นรายการหมายเลขไอพีของแหล่งที่มา ซึ่งจะมีโครงสร้างตามภาพที่ 9



ภาพที่ 9 โครงสร้างรายการกลุ่มในข้อความรายงานสมาชิกของไอจีเอ็มพีเวอร์ชัน 3

โดยสรุปแล้วการทำงานของโปรโตคอลไอจีเอ็มพีนั้นจะเป็นการส่งข้อความโต้ตอบกันระหว่างผู้รับข้อมูลมัลติคาสต์กับมัลติคาสต์เราเตอร์ในเครือข่ายที่จุดเชื่อมต่อของมัลติคาสต์เราเตอร์นั้นเชื่อมต่ออยู่โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้การทำมัลติคาสต์ในระดับชั้นเครือข่ายสามารถทำข้ามเครือข่ายได้โดยที่ในขณะเดียวกันก็ไม่ทำให้มีการส่งข้ามเครือข่ายโดยไม่จำเป็น ซึ่งข้อความที่ส่งทั้งหมดเป็นข้อความที่ทำงานในระดับชั้นเครือข่าย

2. การส่งมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

2.1 เครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

เครือข่ายคอมพิวเตอร์มีส่วนในการใช้งานในด้านต่างๆ อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน การเข้ามาของเครือข่ายแบบอีเทอร์เน็ตและเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในระยะต่อมาทำให้การเชื่อมต่อเป็นสิ่งจำเป็นในการใช้งาน เนื่องจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มีขนาดเล็กลงและเอื้อต่อการเคลื่อนย้ายมากขึ้น ทำให้เกิดแนวคิดในการเข้าถึงเครือข่ายโดยที่ใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อในการเชื่อมต่อ และได้พัฒนามาเป็นเครือข่ายแลนไร้สายที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ซึ่งสามารถใช้เชื่อมต่อและทดแทน

เครือข่ายระบบแลน (LAN : Local Area Network) ในบางส่วนได้เลย เนื่องจากการพัฒนานั้นใช้พื้นฐานการทำงานแบบเดียวกันกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งมีการทำงานในลักษณะใช้สื่อร่วมกัน แต่จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของการเข้าใช้สื่อซึ่งเป็นคลื่นวิทยุ นอกจากนั้นการทำงานในชั้นเครือข่ายที่เคยใช้งานอยู่บนอินเทอร์เน็ตนั้นก็สามารถทำงานได้เลยบนเครือข่ายแลนไร้สาย ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในรายละเอียดของหลักการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย และการส่งมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

2.2 หลักการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สาย

เครือข่ายแลนไร้สายเป็นเครือข่ายที่ได้รับความนิยมใช้งานอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งการทำงานนั้นจะเป็นเครือข่ายที่มีพื้นฐานมาจากอินเทอร์เน็ต โดยจะมีการทำงานคล้ายกันคือเป็นเครือข่ายที่มีการใช้งานสื่อในการส่งข้อมูลร่วมกัน แต่สื่อที่ใช้ในการส่งข้อมูลของเครือข่ายแลนไร้สายเป็นคลื่นวิทยุ โดยมีการใช้คลื่นพาหะที่ย่านความถี่ ที่เป็นสาธารณะที่อนุญาตให้ใช้งานได้ทั่วไปโดยไม่ต้องขออนุญาตตามที่องค์กรสากลคือเอฟซีซี (FCC : Federal Communication Corporation) กำหนดไว้และเป็นที่ยอมรับกันโดยเรียกว่าย่านความถี่ไอเอสเอ็ม (ISM band : Industrial, Scientific and Medical frequency band) ซึ่งได้กำหนดความถี่ให้ใช้งานอยู่สามย่านคือ 902 – 928 MHz 2.4000 – 2.4835 GHz และ 5.725 – 5.850 GHz ซึ่งเครือข่ายแลนไร้สายจะเลือกใช้ตามมาตรฐานอยู่สองย่านหลัง

มาตรฐาน IEEE 802.11 ของเครือข่ายแลนไร้สายที่พัฒนาขึ้นมาขึ้นมานั้นมีหลักการเดียวกับอินเทอร์เน็ต โดยเมื่อพิจารณาตามแบบของโอเอสไอ (OSI model) แล้วเครือข่ายแลนไร้สายจะแทนที่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตในระดับชั้นกายภาพและชั้นดาต้าลิงก์ในส่วนของชั้นแม็ค (MAC : Media Access Control) ซึ่งเป็นส่วนที่ควบคุมการเข้าใช้สื่อ และนอกจากนั้นการทำงานในชั้นตั้งแต่ส่วนควบคุมการเชื่อมต่อแบบตรรกะ (LLC : Logical Link Control) ในระดับชั้นดาต้าลิงก์ และชั้นที่อยู่เหนือกว่าได้แก่ชั้นเครือข่ายเป็นต้นไปก็จะใช้เหมือนกันกับเครือข่ายใช้สาย ซึ่งหากจะกล่าวถึงการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ก็จะประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ว่าจะต้องกล่าวถึง คือการทำงานในชั้นกายภาพ และการทำงานในชั้นแม็ค

2.3 การทำงานในชั้นกายภาพ

ในชั้นกายภาพของเครือข่ายแลนไร้สายนั้นตามมาตรฐาน IEEE 802.11 จะกล่าวถึงวิธีในการใช้คลื่นวิทยุในการส่งข้อมูล ซึ่งการส่งข้อมูลในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่เป็นข้อมูลดิจิทัลนั้นจะต้องมอดูเลทข้อมูลเข้ากับความถี่พาหะ สำหรับเครือข่ายแลนไร้สายนั้นจะมีการใช้คลื่นความถี่ตามกลุ่มมาตรฐานย่อย คือ IEEE 802.11a นั้นจะใช้คลื่นความถี่ที่ 5.725 – 5.850 GHz และกลุ่มมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g นั้นจะใช้คลื่นความถี่ที่ 2.4000 – 2.4835 GHz ซึ่งเป็นความถี่หนึ่งในย่านไอเอสเอ็มซึ่งมีการใช้งานกันได้ทั่วไปโดยไม่ต้องขออนุญาต ทั้งนี้จะมีการใช้งานของอุปกรณ์อื่นได้อีกในย่านความถี่เดียวกัน ดังนั้นการใช้งานย่านความถี่นี้ของเครือข่ายแลนไร้สายจึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดการมอดูเลทของข้อมูลกับสัญญาณเพื่อป้องกันหรือหลีกเลี่ยงการรบกวนกัน ซึ่งในการส่งสัญญาณของเครือข่ายแลนไร้สายนั้นได้มีการกำหนดการเข้ารหัสสัญญาณและการมอดูเลทหลายแบบซึ่งมีความเร็วในการส่งต่างกัน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การมอดูเลทและความเร็วของมาตรฐาน IEEE 801.11 a/b/g

มาตรฐาน	ความเร็ว (Mbps)	การมอดูเลท	การเข้ารหัส	บิตต่อสัญลักษณ์
IEEE 802.11a	6	OFDM	½ BPSK	24
	9	OFDM	¾ BPSK	36
	12	OFDM	½ QPSK	48
	18	OFDM	¾ QPSK	72
	24	OFDM	½ 16-QAM	96
	36	OFDM	¾ 16-QAM	144
	48	OFDM	2/3 16-QAM	192
	54	OFDM	¾ 16-QAM	216
IEEE 802.11b	1	DSSS	BPSK	1
	2	DSSS	QPSK	2
	5.5	DSSS	8CCK QPSK	4
	11	DSSS	8CCK QPSK	8

ตารางที่ 1 (ต่อ)

มาตรฐาน	ความเร็ว (Mbps)	การมอดูเลท	การเข้ารหัส	บิตต่อสัญลักษณ์
IEEE 802.11g	6	OFDM	½ BPSK	24
	9	OFDM	¾ BPSK	36
	12	OFDM	½ QPSK	48
	18	OFDM	¾ QPSK	72
	24	OFDM	½ 16-QAM	96
	36	OFDM	¾ 16-QAM	144
	48	OFDM	2/3 64-QAM	192
	54	OFDM	¾ 64-QAM	216

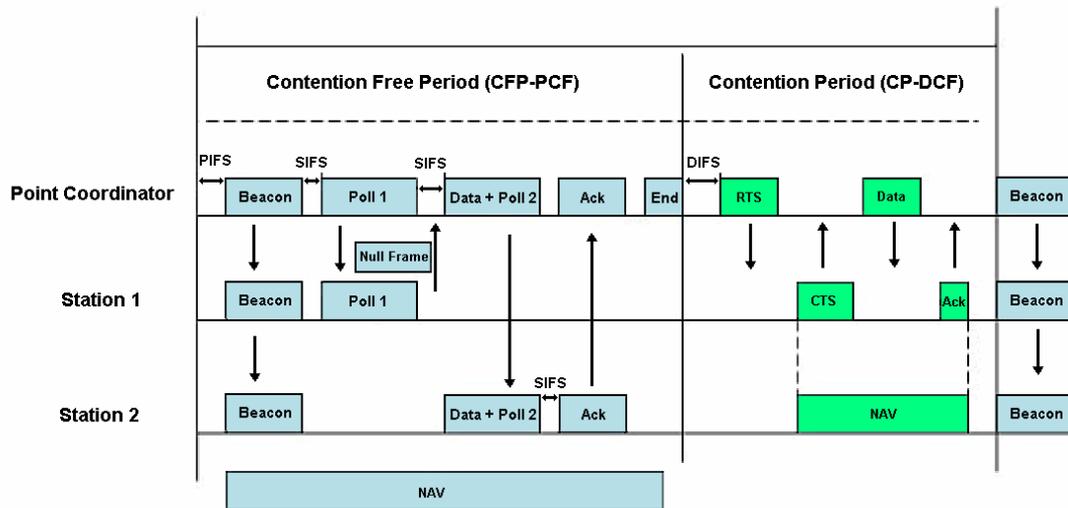
สำหรับการมอดูเลทที่ให้ทรูพุทของการส่งต่างๆ นั้นจะเรียกว่าโหมดความเร็วในการส่ง ซึ่งตามมาตรฐาน IEEE 802.11a/b/g นั้น ได้มีการกำหนดให้มีโหมดความเร็วที่สนับสนุนมีให้เลือกใช้งานได้หลายโหมดความเร็ว ซึ่งหากเป็นโหมดความเร็วที่สนับสนุนตามมาตรฐาน IEEE 802.11g นั้นจะมีโหมดความเร็วที่สนับสนุนอยู่ 8 โหมดความเร็วตามตารางที่ 1 ข้างต้น

การกำหนดให้มีโหมดความเร็วที่สนับสนุนหลายโหมดความเร็วเนื่องจากในการใช้งานนั้นการส่งที่โหมดความเร็วที่มีการมอดูเลทที่ให้ความเร็วทรูพุทสูงๆ นั้นจะมีความทนต่อสัญญาณรบกวนน้อยกว่าที่โหมดความเร็วที่มีทรูพุทน้อยกว่า โดยที่จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเป็นสำคัญ การที่มีโหมดความเร็วให้เลือกใช้หลายโหมดความเร็วนั้นเนื่องจากทำให้สามารถเลือกใช้โหมดความเร็วที่เหมาะสมได้ทั้งในสถานะการณ์ที่ระดับความแรงของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่ามากและมีค่าน้อยแตกต่างกันได้ตามความเหมาะสม เช่นหากระดับความแรงสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีน้อยก็จะส่งที่โหมดความเร็วที่น้อยๆ เพื่อลดการสูญเสียข้อมูลในการส่งซึ่งจะเป็นผลให้ความน่าเชื่อถือในการส่งลดลงได้

2.4 การทำงานในชั้นแม็ค

การทำงานในชั้นแม็คของเครือข่ายแลนไร้สายนั้นจะเป็นส่วนของการทำงานที่จะเป็นข้อกำหนดในการเข้าถึงและใช้งานสื่อที่ใช้ในการส่งข้อมูล ซึ่งสื่อของเครือข่ายแลนไร้สายนั้นจะเป็นสื่อประเภทที่มีการใช้งานร่วมกันคือการส่งข้อมูลของเครือข่ายแลนไร้สายนั้นจะเป็นการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสื่อที่ใช้งานร่วมกันคืออากาศหรือที่ว่าง ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้งานร่วมกัน ดังนั้นในการรับส่งในเครือข่ายแลนไร้สายซึ่งมีการส่งข้อมูลและรับข้อมูลกันของผู้รับและผู้ส่งมากกว่าหนึ่งคู่เข้าใช้งานนั้นจะต้องมีการกำหนดการเข้าใช้งานเพื่อที่จะทำให้ไม่มีการส่งพร้อมๆ กันที่ความถี่ใช้งานเดียวกันในบริเวณเดียวกันซึ่งจะก่อให้เกิดการรบกวนในการส่งซึ่งกันและกันได้ ดังนั้นการทำงานในชั้นแม็คจึงประกอบไปด้วย การเข้าใช้สื่อ การตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับ การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล และการเข้าถึงใช้งานเครือข่าย

การเข้าใช้สื่อของเครือข่ายแลนไร้สายนั้นจะมีวิธีการเข้าใช้สองแบบคือการเข้าใช้แบบกระจาย (DCF : Distributed Coordination Function) และการเข้าถึงแบบรวมศูนย์ (PCF : Point Coordination Function) ซึ่งการเข้าใช้สื่อทั้งสองแบบจะมีความแตกต่างกันคือการเข้าถึงแบบกระจายนั้นจะเป็นการเข้าใช้สื่อโดยมีการใช้กลไกการเข้าถึงที่ผู้ที่ต้องการส่งข้อมูลมีการทำงานด้วยตนเองด้วยการตรวจสอบสถานะของเครือข่ายก่อนการส่งและมีวิธีการหลีกเลี่ยงการส่งพร้อมกันกับผู้ส่งอื่นซึ่งเรียกว่าโพรโทคอล CSMA/CA ส่วนการเข้าถึงแบบรวมศูนย์นั้นจะเป็นการเข้าใช้สื่อโดยมีการควบคุมจากศูนย์กลางคือจะมีผู้ควบคุมการเข้าใช้สื่อซึ่งเรียกว่า Point Coordinator เป็นผู้คอยสอบถามถึงผู้ที่ต้องการส่งและจัดให้มีการส่งโดยการอนุญาตให้ผู้ที่ต้องการส่งที่ต้องการในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการทำงานโดยทั่วไปนั้นการเข้าใช้สื่อทั้งสองแบบสามารถทำงานร่วมกันได้ โดยจะมีการแบ่งช่วงเวลาในการทำงานเป็นช่วงเวลาของการส่งแบบรวมศูนย์และการส่งแบบกระจายซึ่งจะมีข้อตกลงในการเข้าถึงสื่อด้วยช่วงเวลาในการตรวจสอบและเข้าใช้งานที่สั้นยาวต่างกันเรียกว่าเป็นอินเตอร์เฟรมสเปซซึ่งมีขนาดต่างกันและมีผลต่อการเข้าถึงและใช้งานสื่อ โดยที่ถ้าขนาดของอินเตอร์เฟรมสเปซสั้นก็จะมีระดับความสำคัญมากกว่าและสามารถเข้าใช้สื่อได้ก่อนสำหรับการทำงานร่วมกันของการเข้าใช้สื่อทั้งสองแบบสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การเข้าใช้สื่อร่วมกันของแบบ PCF และ DCF

การตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดจากการส่งเนื่องจากการชนกันของการส่งหรือสัญญาณรบกวนนั้นจะมีการทำงานโดยให้มีการส่งคำร้องขอในการส่งก่อน (Request to Send : RTS) แล้วให้ผู้รับตอบกลับพร้อมสำหรับการส่ง (Clear to Send : CTS) การส่งข้อมูลโดยมีการเพิ่มส่วนของการตรวจสอบความผิดพลาด และให้มีการตอบกลับในการส่ง (Acknowledge : Ack) เพื่อให้สามารถตรวจทราบได้ว่าเกิดความผิดพลาดในการส่งและสามารถส่งใหม่เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดจากการส่งครั้งก่อนได้

การทำงานในส่วนของความปลอดภัยของข้อมูลนั้นก็จะมีการระบุไว้ในการทำงานของชั้นแม็คนี้ โดยตามมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นได้กำหนดให้มีการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อเป็นตัวเลือกในการรักษาความลับของข้อมูล ซึ่งมีหลายวิธีการให้เป็นตัวเลือกเช่นการใช้วิธีการเข้ารหัสแบบ WEP (Wired Equivalent Privacy) เป็นต้น ซึ่งเป็นการให้มีการเข้ารหัสข้อมูลที่ส่งผ่านอากาศซึ่งทุกคนสามารถรับได้ให้มีความเป็นส่วนตัวระหว่างการส่งข้อมูลนั้นแบบไร้สาย

การทำงานอีกส่วนหนึ่งคือการกำหนดวิธีการเข้าถึงเครือข่ายซึ่งเครือข่ายแลนไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นกำหนดให้มีการขั้นตอนการเข้าถึงและใช้งานเครือข่ายนั้นเป็นไปตามลำดับคือเริ่มจากเมื่อมีการเปิดการทำงานของการทำงานของการเชื่อมต่อไร้สายก็จะขั้นตอนการค้นหาเครือข่ายซึ่งเครือข่ายนั้นจะถูกระบุโดยอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายนั้นอยู่แล้วโดยใช้ค่าที่ระบุเครือข่ายที่เรียกว่า SSID (Service Set Identification) และนอกจากนั้นยังจะได้ค่าของการเทียบและ

ปรับตั้งเวลา รวมถึงการปรับตั้งค่าทางกายภาพในการส่งข้อมูล ก่อนที่จะส่งได้ เมื่อได้ค่าต่างๆ ก็พร้อมที่จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายโดยจะเริ่มจากการตรวจสอบตัวตน (Authentication) ก่อนเพื่อให้ทราบว่าไม่มีการปลอมแปลงมาเชื่อมต่อ และเพื่อเป็นการกำหนดสิทธิในการเข้าถึงใช้งานเครือข่าย เมื่อตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว ก็จะมีการให้เชื่อมต่อและเข้ามาใช้งานเครือข่าย (Association) ซึ่งจะได้มีการกำหนดอนุญาตตามตัวตนที่พิสูจน์ตรวจสอบตัวตนข้างต้น

2.5 การส่งข้อมูลยุคของเครือข่ายแลนไร้สายแบบ โครงสร้างพื้นฐาน

เนื่องจากเครือข่ายแลนไร้สายนั้นมีการเชื่อมต่ออยู่สองรูปแบบคือแบบเครือข่ายที่เป็นแบบ ad-hoc และอีกแบบหนึ่งคือเครือข่ายแลนไร้สายแบบ โครงสร้างพื้นฐาน (Wireless Infrastructure Network) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการทำงานบนเครือข่ายแลนไร้สายเฉพาะแบบ โครงสร้างพื้นฐานเท่านั้น ในการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายแบบ โครงสร้างพื้นฐานนั้นในการรับส่งข้อมูลทั้งหมดจะกระทำผ่านตัวกลางคือแอคเซสพอยต์ โดยการเชื่อมต่อกับเครือข่ายแลนไร้สายพื้นฐานนั้นอุปกรณ์ที่จะเข้ามาเชื่อมต่อหรือเรียกว่า โมบายโฮสต์นั้นจะต้องเชื่อมต่อกับเครือข่ายกับแอคเซสพอยต์ก่อน โดยที่การรับหรือส่งข้อมูลใดๆ ที่กระทำบนเครือข่ายแลนไร้สายจะต้องกระทำผ่านแอคเซสพอยต์ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นการส่งกันระหว่างโมบายโฮสต์ หรือการส่งจากโมบายโฮสต์ไปยังเครือข่ายแลนแบบไร้สายที่เชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์

2.6 การส่งข้อมูลมัลติคาสต์บนแอคเซสพอยต์

การส่งข้อมูลมัลติคาสต์ของเครือข่ายแลนไร้สายแบบ โครงสร้างพื้นฐานทั้งหมดนั้นจะต้องกระทำผ่านแอคเซสพอยต์ เนื่องจากข้อกำหนดของเครือข่าย ไม่ว่าจะเป็นการส่งจากต้นทางที่มาจากเครือข่ายไร้สายที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายแลนไร้สายแบบ โครงสร้างพื้นฐานที่มีการเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์ หรือจะเป็นการส่งมัลติคาสต์ที่มีต้นทางมาจากโมบายโฮสต์ที่ต่ออยู่กับแอคเซสพอยต์นั้น ซึ่งในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ โมบายโฮสต์ที่เป็นต้นทางจะต้องส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ไปยังแอคเซสพอยต์ก่อนแล้วขั้นต่อไปแอคเซสพอยต์นั้นจะเป็นผู้ส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ให้หากว่ามีโมบายโฮสต์อื่นที่เชื่อมต่ออยู่กับแอคเซสพอยต์นั้นต้องการรับข้อมูลมัลติคาสต์จะเห็นได้ว่าการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ทั้งหมดของเครือข่ายแลนไร้สายแบบ โครงสร้างพื้นฐานนั้นจะเป็นการส่งจากแอคเซสพอยต์เท่านั้น และไม่มีโมบายโฮสต์ตัวใดจะส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ได้ด้วยตัวเองโดยที่ไม่ผ่านแอคเซสพอยต์ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบ โครงสร้างพื้นฐาน

3. การตัดสินใจเลือกโดยวิธีการสังเคราะห์ค่าแบบฟuzzy

วิธีการสังเคราะห์ค่าแบบฟuzzyนั้นได้มีการใช้ในการนำมาใช้ในการตัดสินใจในการเลือกค่าที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดตามปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัยในขณะเดียวกัน ทั้งนี้จะเห็นได้จากงานวิจัยที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการเลือกตัดสินใจเพื่อให้ได้ผลกำไรสูงสุดในงานวิจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ดังในงานของ Wang และ Peng (Wang and Peng, 2003) หรืองานที่ใช้ระบุค่าหรือระดับของปัจจัยที่คลุมเครือหลายปัจจัยเช่นงานของ Chang (Chang et al., 2001)

โดยหลักการแล้ววิธีการสังเคราะห์ค่าแบบฟuzzyนั้นจะมีการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ให้เป็นค่าแบบฟuzzy โดยให้มีการนำมาพิจารณาปัจจัยด้านต่างๆ ร่วมกัน โดยใช้การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้านต่างๆ ตามความต้องการหรือตามความสำคัญในการพิจารณา แล้วจึงนำค่าน้ำหนักของปัจจัยและปัจจัยต่างๆ มาคำนวณแบบคอตโตปรดักส์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นค่าฟuzzyซึ่งต้องนำมาแปลงค่ากลับให้เป็นค่าแบบเซตธรรมดาโดยการเลือกตามเงื่อนไขที่ต้องการ เช่นหากต้องการให้ได้ค่าที่มีประสิทธิภาพ หรือกำไรสูงสุดก็ต้องแปลงค่ากลับโดยใช้วิธีเลือกค่าสูงสุด หรือหากต้องการให้ได้ค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวแทนกลุ่มก็อาจแปลงค่าแบบใช้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก

วิธีการในการสังเคราะห์ค่าแบบฟuzzyนั้นจะได้กล่าวถึงต่อไปโดยละเอียดในส่วนของขั้นตอนวิธีการต่อไป ซึ่งจะ เป็นวิธีการเลือกค่าโหมดความเร็วในการส่งมัลติคาสต์ของ แอ็กเซสพอยต์บนเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐานที่งานวิจัยนี้นำเสนอ

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการปรับเลือกโหมดความเร็วในการส่งนั้นสวนใหญ่ที่มีการใช้งานกันโดยแพร่หลายก็จะเป็นการปรับโหมดความเร็วในการส่งแบบยูนิคาสต์ ซึ่งจะนำมาเป็นแนวทางในการปรับโหมดในการส่งแบบมัลติคาสต์ได้

4.1 การปรับโหมดความเร็วในการส่งแบบยูนิคาสต์

การปรับโหมดการส่งข้อมูลของการส่งแบบยูนิคาสต์นั้นสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางสำหรับการส่งแบบมัลติคาสต์ได้ ซึ่งโดยทั่วไปการส่งข้อมูลบนเครือข่ายแลนไร้สายแบบใช้

แอกเซสพอยท์นั้น โมบายโฮสต์แต่ละตัวจะมีคุณภาพสัญญาณที่ได้รับจากแอกเซสพอยท์ที่ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากแอกเซสพอยท์ซึ่งสัมพันธ์กับระดับความแรงของสัญญาณ และระดับสัญญาณรบกวน สำหรับการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสจะมีโหมดการส่งตามมาตรฐาน IEEE 802.11g อยู่ 8 โหมดซึ่งมีความเร็วในการส่งข้อมูลต่างกันหากมีการเลือกใช้โหมดการส่งที่มีความเร็วสูง ก็จะทำให้โอกาสที่การส่งสำเร็จนั้นน้อยลงทำให้ความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลต่ำลงด้วย และเมื่อประสิทธิภาพโดยรวมต่ำมาก ก็จะปรับไปใช้โหมดการส่งที่ลดต่ำลงมา ซึ่งเป็นที่มาของการปรับโหมดการส่งข้อมูลแบบยูนิคาส

การส่งข้อมูลแบบยูนิคาสนั้นจะมีการปรับเลือกใช้โหมดในการส่งอยู่สองแนวทางคือ การใช้ข้อมูลทางสถิติของความสำเร็จในการส่งข้อมูลและการใช้ค่าอัตราส่วนระดับความแรงของสัญญาณต่อระดับของสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) ที่ฝั่งรับ การปรับความเร็วในการส่งโดยใช้ข้อมูลทางสถิตินั้นเป็นการใช้การตอบกลับ (Acknowledge : ACK) จากโมบายโฮสต์ที่รับข้อมูล ซึ่งได้มีการเสนอแนวทางการปรับความเร็วในการส่งแบบ Automatic Rate Fallback (ARF) ของ Karmerman และ Motenban (Karmeman and Motenban, 1997) และงานอื่นที่พัฒนาต่อมาเช่นของ Lacage และ คณะ (Lacage et al., 2004) ซึ่งเป็นตัวอย่างงานวิจัยโดยที่ผู้ส่งพยายามส่งที่ความเร็วสูงก่อน และจะปรับมาส่งที่ความเร็วต่ำกว่าหลังจากส่งไม่สำเร็จเป็นจำนวนครั้งที่ตั้งค่าไว้ ซึ่งในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์นั้นจะไม่มีกรตอบ ACK ทำให้ไม่สามารถนำวิธีการนี้มาใช้ในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ได้

การปรับเลือกใช้โหมดการส่งข้อมูลแบบใช้ค่า SNR จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณ โดยจะใช้ค่า SNR เป็นตัวบอกความสามารถในการใช้โหมดในการส่ง ซึ่งจากงานวิจัยของ Grilo และ Nunes (Grilo and Nunes, 2003) ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างทรูพุทสูงสุดที่ทำได้กับโหมดที่ใช้ในการส่งแปรตามค่า SNR ซึ่งพบว่าที่แต่ละโหมดจะมีค่า SNR ต่ำที่สุดที่จะส่งได้ซึ่งค่า SNR นั้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงต่อความเร็วในการส่งข้อมูลในแต่ละโหมดและมีค่าทรูพุทสูงสุดที่แต่ละโหมดการส่งทำได้ ซึ่งจะเป็นค่าที่ใช้บอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ซึ่งค่าสูงแสดงว่ามีการใช้งานเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นนั้นนำมาจากประยุกต์ใช้งานในการปรับโหมดความเร็วโดยงานวิจัยของ Holland และคณะ (Holland et al., 2000) ซึ่งได้นำเสนอการปรับโหมดความเร็วในการส่งยูนิคาสต์ด้วยค่า SNR

4.2 การปรับความเร็วในการส่งแบบมัลติคาสต์

มีงานวิจัยของ Grilo และ Nunes (Grilo and Nunes, 2003) ซึ่งเป็นการปรับความเร็วโดยใช้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) เป็นหลักโดยนำเสนอโพรโทคอล ในการรับค่า SNR ของแต่ละโมบายโฮสต์มาพิจารณาซึ่งวัตถุประสงค์คือต้องการให้มีการปรับความเร็วในการส่งที่เหมาะสมทั้งในด้านประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายโดยวัดจากทรูพุทสูงสุดที่ทำได้ และการใช้พลังงานในการส่ง ทั้งนี้ในส่วนของการปรับความเร็วในการส่งมัลติคาสต์นั้น เป็นเพียงเฉพาะกรณีพิเศษกรณีหนึ่ง โดยจะมีการใช้ค่า SNR ของทุกโมบายโฮสต์นำไปคำนวณเพื่อเลือกโหนดในการส่งตามปกติ แต่จะนำค่า SNR ที่ได้ นั้นมาคำนวณค่าทรูพุทของกลุ่มโดยที่จะเลือกใช้การส่งโดยใช้ตัวแทน SNR ที่มีการตอบกลับของโพรโทคอลเท่านั้น และคำนวณค่าทรูพุทตามประเภทของข้อมูลมัลติคาสต์ที่มีลักษณะการส่งแบบระดับชั้นของการบีบอัดสัญญาณ คือหากเป็นข้อมูลที่มีการบีบอัด 4 ระดับชั้น ชั้นที่มีความหยาบที่สุดก็จะเลือกส่งที่ความเร็วที่เหมาะสมกับ SNR ที่ต่ำที่สุด ส่วนการบีบอัดอื่นๆ ก็จะเลือกส่งที่ความเร็วที่มากขึ้นไปตามลำดับ ซึ่งจะเป็นกรณีเฉพาะสำหรับการส่งมัลติคาสต์ข้อมูลบางประเภทเท่านั้น

สำหรับงานวิจัยที่เป็นการปรับความเร็วแบบมัลติคาสต์ที่ใช้ได้ในกรณีทั่วไปนั้นได้มีการนำเสนอวิธีการปรับเลือกโหนดโหนดในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสบนเครือข่ายไร้สายแบบ 802.11g โดยใช้วิธีการส่งเคราะห์ค่าแบบพีซีซี (อภิววัฒน์ และ อนันต์, 2550) ซึ่งได้นำมาใช้เป็นวิธีการเลือกโหนดความเร็วในการส่งมัลติคาสต์ที่ได้นำเสนอ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับทำการคำนวณ 1 ชุด

2. ซอฟต์แวร์

2.1 ระบบปฏิบัติการ Windows XP service pack 2

2.2 โปรแกรมแปลภาษาซี Turbo C++ version 3.0

วิธีการ

1. การเลือกโหมดการส่งที่เหมาะสมสำหรับมัลติคาสต์

ในการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ของแอกเซสพอยต์นั้นเดิมจะใช้โหมดการส่งที่ความเร็วต่ำที่สุดเป็นค่าปกติ เนื่องจากในการทำงานนั้น โหมดการส่งที่เชื่อมต่อกับแอกเซสพอยต์นั้นสามารถเชื่อมต่อได้โดยมีการใช้โหมดการรับส่งข้อมูลที่ต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับข้อมูลขอโหมดการส่งนั้นๆ ดังจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างโหมดในการส่งกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ระดับความแรงของสัญญาณ และระดับของสัญญาณรบกวน (Grilo and Nunes, 2003) ซึ่งในการเชื่อมต่อกับแอกเซสพอยต์นั้นจำเป็นต้องมีความสามารถในการรับข้อมูลที่ค่าความเร็วต่ำที่สุดเป็นอย่างน้อย ดังนั้นโดยทั่วไปแล้ว หากต้องการให้โหมดการส่งที่เชื่อมต่อกับทุกโหนดรับข้อมูลได้ก็จะต้องส่งที่โหมดความเร็วต่ำที่สุด

เนื่องจากความนิยมในการใช้งานเครือข่ายแลนไร้สายมีมากขึ้นทั้งยังมีการพัฒนาในแง่ของความเร็วในการส่งข้อมูล จึงมีความต้องการส่งมัลติคาสต์ของข้อมูลในรูปแบบหลายสื่อมากขึ้น ซึ่งมีรูปแบบการส่งเป็นกระแสของข้อมูลอย่างต่อเนื่องและมีขนาดข้อมูลขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังมี

ความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น ทำให้การส่งข้อมูลมัลติคาสต์ด้วยโหนดความเร็วต่ำที่สุดเป็นการลดอัตราการส่งข้อมูลโดยรวมของเครือข่ายลงไป เนื่องจากในการส่งข้อมูลปริมาณเท่ากันบนเครือข่ายแลนไร้สายที่เลือกได้หลายโหนดความเร็วสูงนั้นหากมีการเลือกใช้ความเร็วในการส่งน้อยๆ จะทำให้ใช้เวลาในการส่งมากขึ้นซึ่งจะทำให้อัตราการส่งข้อมูลโดยรวมของเครือข่ายลดลง ดังนั้นในการทำงานของแอกเซสพอยต์จึงได้มีการอนุญาตให้กำหนดความเร็วของการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ได้ในอุปกรณ์บางรุ่น ซึ่งในการกำหนดค่านั้นจะเป็นค่าตายตัวที่ได้จากการปรับตั้งของผู้ดูแลเครือข่าย ทั้งนี้จะมีข้อควรพิจารณาคือ หากว่าต้องการให้อัตราการส่งข้อมูลโดยรวมของเครือข่ายมีค่าสูงขึ้น ก็จะใช้ค่าโหนดการส่งมัลติคาสต์ที่โหนดความเร็วสูงขึ้นไป ทั้งนี้ผลที่ตามมาคือหากโหนดที่มัลติคาสต์ที่มีความต้องการรับข้อมูลมัลติคาสต์บางโหนดไม่มีความสามารถในการรับข้อมูลที่โหนดความเร็วสูงเท่าจะไม่สามารถรับข้อมูลได้เป็นผลให้ความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ลดลง

1.1 ปัญหาการส่งมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายที่ใช้แอกเซสพอยต์

ในการส่งมัลติคาสต์นั้นโดยปกติเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายวิธีหนึ่ง เมื่อพิจารณาวิธีการส่งแบบนี้ในเครือข่ายแลนไร้สายจะมีข้อควรคำนึงถึงซึ่งทำให้การส่งแบบมัลติคาสต์ยังมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ หรือเป็นปัญหาอุปสรรคซึ่งเมื่อแก้ไขแล้วทำให้ประสิทธิภาพในการส่งทำได้ดีขึ้น

1.1.1 ปัญหาความสามารถในการรับสัญญาณที่แตกต่างกัน

เครือข่ายแลนไร้สายนั้นมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันจากเครือข่ายใช้สายที่ความสามารถในการรับสัญญาณของแต่ละโหนดบนเครือข่ายจะมีไม่เท่ากันโดยจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโหนดเมื่อเทียบกับแอกเซสพอยต์ซึ่งจะทำให้แต่ละโหนดได้รับความแรงของสัญญาณไม่เท่ากัน และยังมีระดับสัญญาณรบกวนไม่เท่ากัน ทำให้แต่ละโหนดนั้นมีความสามารถรับข้อมูลที่โหนดการส่งต่างๆ ได้ไม่เท่ากัน โดยโหนดที่มีระดับความแรงของสัญญาณต่ำหรือมีระดับสัญญาณรบกวนสูง ก็จะไม่สามารถรับสัญญาณที่ใช้โหนดการส่งที่ความเร็วสูงได้

เนื่องจากการส่งแบบมัลติคาสต์นั้นเป็นการส่งข้อมูลไปยังหลายโหนดในคราวเดียวกัน ดังนั้นบนเครือข่ายแลนไร้สายจึงจำเป็นต้องส่งที่โหนดความเร็วใดความเร็วหนึ่ง ดังนั้นจึง

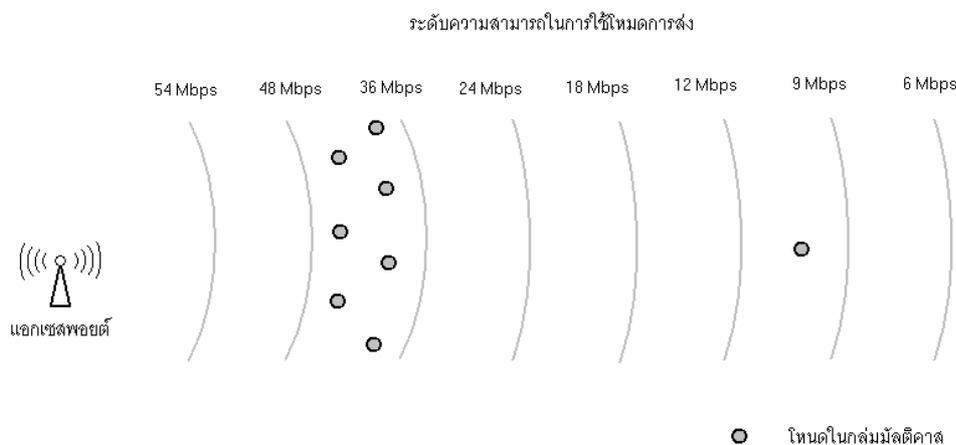
เป็นข้อปัญหาว่าในการส่งนั้นควรส่งที่โหนดความเร็วใดจึงจะเหมาะสม โดยที่ทุกโหนดที่อยู่ในกลุ่มมัลติคาสต์ต้องได้รับข้อมูล และการส่งนั้นต้องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ คือใช้แบนด์วิธของเครือข่ายน้อยที่สุด คือใช้โหนดความเร็วสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้สำหรับการส่งไปยังกลุ่มมัลติคาสต์

จะเห็นว่าในการส่งมัลติคาสต์นั้นหากเอกเซพอยต์นั้นทราบว่ากลุ่มมัลติคาสต์นั้นมีโหนดใดบ้าง และความสามารถในการใช้โหนดการส่งของแต่ละโหนดในกลุ่มมัลติคาสต์นั้นเป็นอย่างไร เอกเซพอยต์ก็จะสามารถตัดสินใจเลือกโหนดการส่งที่เหมาะสมได้สำหรับกลุ่มมัลติคาสต์นั้นๆ

1.1.2 การเลือกโหนดการส่งที่เหมาะสม

โหนดการส่งที่ความเร็วที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มมัลติคาสต์นั้นหากทราบว่าความสามารถในการใช้โหนดการส่งของแต่ละโหนดในกลุ่มเป็นอย่างไร เราก็จะสามารถเลือกโหนดการส่งที่เหมาะสมได้ โดยการเลือกนั้นจะต้องเป็นโหนดความเร็วที่ทุกโหนดสามารถได้รับข้อมูล และเป็นความเร็วที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ ซึ่งคือการพิจารณาถึง ความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล และ ประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลนั่นเอง

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเพียงแค่สองประเด็นข้างต้น จะเห็นว่าโหนดการส่งที่ใช้้นั้นควรเป็นโหนดการส่งที่เป็นโหนดความเร็วการส่งที่โหนดที่มีความสามารถในการใช้ความเร็วในการส่งน้อยที่สุดในกลุ่มสามารถทำได้ คือเป็นการใช้ค่าน้อยที่สุดของกลุ่มเป็นตัวแทนในการเลือก ดังนั้นวิธีการเลือกแบบนี้จะทำให้มีความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลสูง แต่หากพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลนั้นในบางกรณีอาจค่อนข้างน้อยหากพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งกลุ่ม ตัวอย่างเช่น หากสมาชิกส่วนใหญ่ของกลุ่มมัลติคาสต์มีความสามารถในการใช้โหนดการส่งที่ความเร็วสูง แต่มีเพียงโหนดส่วนน้อยมากในกลุ่มที่มีความสามารถในการใช้โหนดการส่งที่ต่ำมาก การส่งที่โหนดการส่งต่ำที่สุดนั้นอาจทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลดลงมาก ซึ่งหมายถึงการใช้งานแบนด์วิธของเครือข่ายมากและอาจทำให้เกิดความคับคั่งของเครือข่ายได้ หากเครือข่ายมีความต้องการในการใช้งานสูงดังเช่นในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แบบจำลองกรณีเลือกใช้โหมดการส่งที่น้อยที่สุดไม่เหมาะสม

นอกจากนั้นในการพิจารณาโหมดความเร็วในการส่งยังมีประเด็นที่เกี่ยวข้องอีก คือ ภาระหรือความคับคั่งของเครือข่ายกับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธของการส่ง มัลติคาสต์ และความต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ ซึ่งจะมีผลต่อการตัดสินใจเลือกโหมดในการส่งของสถานะการใช้งานเครือข่ายในช่วงขณะนั้น

1.1.3 ภาระการใช้งานเครือข่าย

ภาระการใช้งานเครือข่ายแลนไร้สายนั้นมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับความ ต้องการในการใช้งานแบนด์วิธของเครือข่าย สำหรับการส่งที่โหมดความเร็วต่างๆ นั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อมีความต้องการส่งข้อมูลในปริมาณเท่ากันนั้นจะสามารถเลือกใช้งานโหมดการส่งที่ความเร็ว ต่างๆ กันได้ ทั้งนี้ หากเป็นการส่งแบบยูนิคาสต์นั้น โหนดที่จะรับข้อมูลนั้นจะมีความสามารถในการ ใช้โหมดการส่งที่ถูกจำกัดอยู่ด้วยระดับความแรงสัญญาณและระดับสัญญาณรบกวนในขณะนั้น ซึ่งจะมีความสามารถในการใช้โหมดการส่งที่ความเร็วสูงสุดที่จะทำได้โดยไม่มีการสูญหายของ ข้อมูล จนถึงระดับความเร็วต่ำสุดตามมาตรฐานของเครือข่ายแลนไร้สาย หากเลือกใช้โหมดในการ ส่งที่ความเร็วสูงที่สุดก็จะใช้เวลาในการส่งน้อยที่สุดจะทำให้ใช้แบนด์วิธของเครือข่ายน้อยที่สุด และทำให้ทรูพูทของการส่งมีมากขึ้น

จะเห็นได้ว่า หากภาระในการใช้งานเครือข่ายมีมากจะทำให้เวลาว่างที่จะใช้ สำหรับการส่งข้อมูลมีน้อยลง ดังนั้นหากยังมีการใช้โหมดความเร็วในการส่งน้อยก็จะกินเวลาใน

การส่งมากขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้ทรูพทของเครือข่ายลดลงตามไปด้วย และนอกจากนั้นหากในขณะนั้นเครือข่ายมีภาระในการใช้งานมากหรือมีความคับคั่งในการใช้งานเครือข่าย หากว่าเลือกใช้โหมดการส่งที่น้อยๆ ก็จะกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของภาระในการใช้งานเครือข่ายมากกว่าในขณะที่เครือข่ายมีภาระการใช้งานน้อย

นอกจากนั้นแล้วปกติในการส่งข้อมูลมัลติคาสต์นั้นข้อมูลส่วนหนึ่งโดยเฉพาะการส่งข้อมูลแบบหลายสื่อจะเป็นการส่งข้อมูลแบบเป็นกระแสของข้อมูลซึ่งจะมีความต้องการในการใช้งานเครือข่ายอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา ในกรณีที่เป็นการส่งแบบอัตราเร็ววิกฤตที่ก็จะมีความต้องการแบนด์วิธของเครือข่ายเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะมีหากภาระในการใช้งานเครือข่ายมีมากอาจทำให้แบนด์วิธที่เหลือไม่เพียงพอต่อการส่งกระแสข้อมูลอย่างต่อเนื่องได้หากว่าใช้โหมดความเร็วในการส่งที่น้อยและแบนด์วิธที่เหลืออยู่ไม่เพียงพอต่อการส่งที่ความเร็วโหมคนั้น แต่ถ้าหากใช้โหมดความเร็วสูงกว่าก็อาจทำให้แบนด์วิธที่เหลืออยู่เพียงพอต่อการส่งกระแสข้อมูลในขณะนั้นได้

จะเห็นได้ว่าภาระการใช้งานเครือข่ายนั้นมีผลต่อการตัดสินใจเลือกโหมดการส่งสองประเด็นคือในแง่ผลกระทบในการใช้งานแบนด์วิธของเครือข่าย และความเพียงพอต่อความต้องการในการส่งข้อมูลโดยเฉพาะการส่งข้อมูลแบบเป็นกระแสต่อเนื่อง

1.1.4 ความต้องการความน่าเชื่อถือของการส่ง

ข้อมูลที่มีการส่งแบบมัลติคาสต์นั้นมีหลายประเภทเช่น ข้อมูลแบบหลายสื่อซึ่งมีความต้องการส่งในแบบกระแสของข้อมูล ข้อมูลแบบข้อความซึ่งมีความต้องการในการส่งเป็นครั้งๆ ทั้งนี้ข้อมูลแต่ละแบบก็จะมีมีความน่าเชื่อถือในการส่งต่างกัน ในกรณีของข้อมูลแบบหลายสื่อที่เป็นข้อมูลภาพเคลื่อนไหวพร้อมเสียงก็อาจไม่ต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลมากนักเช่น อาจยอมให้มีการสูญหายของข้อมูลระหว่างการส่งได้บางส่วนซึ่งจะมีผลกระทบเพียงคุณภาพของภาพหรือเสียง ในขณะที่เมื่อเทียบกับข้อมูลแบบข้อความซึ่งต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลอย่างมากในการส่งถ้าหากมีการสูญหายของข้อมูลระหว่างการส่งแล้วอาจทำให้มีการตีความหมายและเกิดการดำเนินงานที่ผิดพลาดได้ แม้แต่กระทั่งการส่งข้อมูลแบบหลายสื่อด้วยกันเองแล้ว หากการใช้งานมีวัตถุประสงค์ของการส่งแตกต่างกันก็อาจมีความต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลต่างกันได้

ดังที่กล่าวไปข้างต้นแล้วว่าโหมคความเร็วในการส่งมีผลต่อความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลมัลติศาสตร์บนเครือข่ายแลนไร้สาย ดังนั้นความต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลก็จะมีผลต่อการตัดสินใจเลือกโหมคการส่งไปยังกลุ่มมัลติศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์ในการเลือกโหมคการส่ง

การเลือกโหมคในการส่งนั้นก็เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและการส่งข้อมูลมัลติศาสตร์ของแอกเซสพอยต์ ในงานวิจัยนี้กำหนดวัตถุประสงค์ในการทำงานไว้คือ

1.2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล โดยทำให้ทรูพุทรวมของระบบมีค่าสูงที่สุดหรือเป็นการทำให้การส่งมัลติศาสตร์นั้นใช้งานเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.2 รักษาความน่าเชื่อถืออย่างเหมาะสมในการส่งข้อมูลมัลติศาสตร์จากแอกเซสพอยต์ไปยังโมบายโฮสต์โดยเลือกโหมคการส่งที่เหมาะสม

1.2.3 ให้การใช้โหมคการส่งสามารถรองรับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธของการส่ง มัลติศาสตร์ได้อย่างพอเพียง

1.2.4 ปรับเลือกโหมคการส่งข้อมูลอย่างเหมาะสมกับสถานะการใช้งานเครือข่าย และความต้องการรับข้อมูลมัลติศาสตร์ของโมบายโฮสต์ของแอกเซสพอยต์ในขณะนั้น

1.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตัดสินใจเลือกโหมคการส่ง

การเลือกโหมคการส่งมัลติศาสตร์ของแอกเซสพอยต์นั้นมีปัจจัยที่จะต้องพิจารณาอยู่สามประเด็นหลักคือสถานะของผู้รับในกลุ่มมัลติศาสตร์ สถานะและความต้องการการใช้งานเครือข่าย และค่าความน่าเชื่อถือในการส่ง

1.3.1 สถานะของผู้รับในกลุ่มมัลติคาสต์

การรับข้อมูลมัลติคาสต์ของโบบายโฮสต์ที่เชื่อมต่อกับแอกเซสพอยต์นั้นเราจะนำข้อมูลที่สำคัญมาพิจารณาคือความสามารถในการรับข้อมูลของโบบายโฮสต์ที่อยู่ในกลุ่มมัลติคาสต์ คือต้องทราบว่าคุณมัลติคาสต์แต่ละกลุ่มที่จะส่งนั้นประกอบไปด้วยโบบายโฮสต์ใดบ้างที่รับข้อมูล และแต่ละโบบายโฮสต์ที่รับข้อมูลนั้นสามารถใช้โหมคการส่งใดได้บ้าง

ข้อมูลสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์นั้นเราจะทราบได้โดยอาศัยการทำงานของโพรโทคอลไอจีเอ็มพี แอกเซสพอยต์มีสองวิธีที่จะทราบข้อมูลนี้ได้โดยยากแรกคือใช้การตรวจจับการทำงานของโพรโทคอลไอจีเอ็มพีที่ส่งผ่านแอกเซสพอยต์โดยคอยตรวจสอบข้อความของโพรโทคอลที่ส่งผ่านแอกเซสพอยต์เอง ไปยังมัลติคาสต์เราเตอร์ อีกวิธีหนึ่งคือการสอบถามไปยังเราเตอร์ข้อมูลของแต่ละกลุ่มมัลติคาสต์มีหมายเลขแม็คไคบั้งและนำมาเปรียบเทียบหมายเลขแม็คที่เชื่อมต่อกับแอกเซสพอยต์ ทั้งสองแนวทางนั้นมีข้อแตกต่างกันคือวิธีแรกนั้นแอกเซสพอยต์ต้องมีการตรวจสอบข้อความอยู่ตลอดเวลาทำให้ต้องกินพลังการประมวลผลของแอกเซสพอยต์เองหรืออาจต้องมีการเพิ่มเติมส่วนที่ทำหน้าที่เฉพาะในการตรวจจับข้อความไอจีเอ็มพี และรวบรวมข้อมูล แต่ข้อดีคือข้อมูลที่ได้มีความทันสมัยตรงกับสถานะในตอนนั้นมากกว่า สำหรับวิธีที่สองนั้นแอกเซสพอยต์ต้องไปถามข้อมูลจากมัลติคาสต์เราเตอร์ซึ่งจะไม่ต้องอาศัยการทำงานมากนักบนแอกเซสพอยต์แต่จะต้องเพิ่มและแก้ไขการทำงานของมัลติคาสต์เราเตอร์ให้มีการตอบข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์กับแอกเซสพอยต์และนอกจากนั้นจะต้องมีการกำหนดช่วงระยะเวลาที่ต้องมีการปรับปรุงข้อมูลระหว่างมัลติคาสต์เราเตอร์กับแอกเซสพอยต์ให้ข้อมูลตรงกับความเป็นจริงอยู่เสมอ ซึ่งอาจทำให้ความทันสมัยของข้อมูลนั้นตรงกับเวลาจริงน้อยกว่าแบบแรก

นอกจากจะต้องทราบว่ากลุ่มมัลติคาสต์ที่เชื่อมต่อกับแอกเซสพอยต์มีโบบายโฮสต์ใดบ้างแล้วยังต้องทราบอีกว่าแต่ละโบบายโฮสต์นั้นมีความสามารถในการรับข้อมูลเป็นอย่างไรด้วย คือต้องทราบว่าโบบายโฮสต์นั้นสามารถใช้โหมคการส่งใดได้บ้างหรือใช้โหมคการส่งที่ความเร็วสูงสุดเป็นเท่าใด ซึ่งในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับ โหมคในการส่งแบบยูนิคาสต์นั้นพบว่าหลายแนวทางแต่แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจคือการทราบว่าคุณภาพของสัญญาณที่รับได้เป็นอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Karmeman and Motenbun, 1997) ซึ่งค่าดังกล่าวนี้สามารถนำมาเทียบกับการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างทรูพุทที่ทำได้กับอัตราส่วนสัญญาณต่อ

สัญญาณรบกวนเพื่อนำไปตัดสินใจเลือกโหมคการส่งได้อย่างเหมาะสม (Grilo and Nunes, 2003) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพิจารณาเลือกโหมคการส่งนั้นค่าที่จะนำมาพิจารณานั้นจะมีข้อมูลว่ากลุ่มมัลติคาสต์นั้นมีโหมบายโฮสต์ใดบ้าง และโหมบายโฮสต์แต่ละอันนั้นสามารถใช้โหมคการส่งได้ที่มีความเร็วสูงสุดเป็นเท่าใดนั่นเอง

จะเห็นได้ว่าค่าความสามารถในการรับข้อมูลของโหมบายโฮสต์นั้นอาจมีอีกแนวทางหนึ่งที่เอกเซพอยต์จะทราบได้คือ การดูจากโหมคที่ใช้ในการส่งแบบยูนิคาสต์ครั้งล่าสุดที่ได้ส่งไปเป็นโหมคการส่งที่เร็วที่สุดที่โหมบายโฮสต์นั้นจะรับข้อมูลได้ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้นี้อาจขึ้นอยู่กับวิธีในการปรับเลือกโหมคในการส่งแบบยูนิคาสต์ซึ่งเอกเซพอยต์สามารถนำมาใช้กับการส่งมัลติคาสต์ได้เลยแต่ก็มีข้อด้อยอย่างหนึ่งคือความทันสมัยของข้อมูล ทั้งนี้หากว่าโหมบายโฮสต์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่รับได้หรือมีระดับสัญญาณรบกวนที่เปลี่ยนแปลงอยู่บ่อยๆ และไม่คอยได้มีการรับข้อมูลยูนิคาสต์เลยก็อาจทำให้ค่าที่นำมาใช้ไม่ตรงกับความเป็นจริงได้ ทั้งนี้หากเครือข่ายแลนไร้สายแบบที่ใช้เอกเซพอยต์ทั่วไปที่ไม่มีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงของโหมบายโฮสต์บ่อยๆ ก็อาจใช้ค่าของยูนิคาสต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3.2 สถานะการใช้งานเครือข่ายและความต้องการในการใช้แบนด์วิธของการส่ง

สถานะการใช้งานเครือข่ายในที่นี้หมายถึงภาระกรรมบนเครือข่ายในช่วงขณะใดขณะหนึ่ง เนื่องจากเครือข่ายแลนไร้สายเป็นเครือข่ายแบบที่มีการใช้งานสื่อร่วมกัน ดังนั้นภาระในการใช้งานเครือข่ายจึงมีผลต่อการส่งข้อมูลบนเครือข่ายของโหมบายโฮสต์ที่ร่วมใช้เครือข่ายอยู่ทั้งหมด การที่มีภาระบนเครือข่ายมากในช่วงขณะใดขณะหนึ่งแสดงว่าเครือข่ายนั้นจะมีแบนด์วิธเหลือให้ใช้งานในการส่งข้อมูลน้อยลง โดยเฉพาะในเครือข่ายแลนไร้สาย การที่มีภาระกรรมบนเครือข่ายมากแสดงว่าจะมีเวลาว่างที่จะใช้สำหรับส่งข้อมูลน้อยลง ในทางกลับกัน เนื่องจากเครือข่ายแลนไร้สายนั้นสามารถเลือกโหมคในการส่งได้หลายโหมคตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (IEEE, 2007) ซึ่งมีความเร็วในการส่งแตกต่างกัน ถ้าหากเราเลือกโหมคการส่งที่ความเร็วสูงในการส่งข้อมูลปริมาณเท่ากันย่อมใช้เวลาในการส่งน้อยกว่าการส่งที่โหมคความเร็วต่ำกว่า หมายถึงจะใช้แบนด์วิธของเครือข่ายไปน้อยกว่าและมีภาระกรรมต่อเครือข่ายแลนไร้สายน้อยกว่าตามไปด้วย

นอกจากภาระกรรมของเครือข่ายแล้วประเด็นที่เกี่ยวข้องอีกอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือ ความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธของการส่งข้อมูลมัลติคาสต์ประเภทมัลติมีเดีย

ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธของเครือข่ายอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลาจนกระทั่งยกเลิกการรับส่งข้อมูล และลักษณะของข้อมูลประเภทนี้ก็จะมีความต้องการแบนด์วิธอยู่อย่างคงที่ตลอดเวลาหรือว่ามีการกำหนดว่ามีความต้องการขั้นต่ำที่สุดเป็นเท่าใด ความต้องการแบนด์วิธนี้จะมีผลสำคัญในแง่ที่ว่าหากภาระกรรมของเครือข่ายมีมากจนทำให้เหลือแบนด์วิธที่จะใช้ในการส่งข้อมูลมัลติคาสต์แบบมัลติมีเดียบ่อยลงจนทำให้เมื่อส่งที่โหนดความเร็วต่ำแล้วอาจทำให้แบนด์วิธที่ได้มีไม่เพียงพอได้ จะเห็นได้ว่าภาระกรรมของเครือข่ายและความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธของการส่งข้อมูลมัลติมีเดียแบบมัลติคาสต์นั้นเป็นประเด็นที่จะต้องนำมาพิจารณาในการตัดสินใจเลือกโหนดการส่ง

1.3.3 ความน่าเชื่อถือในการส่ง

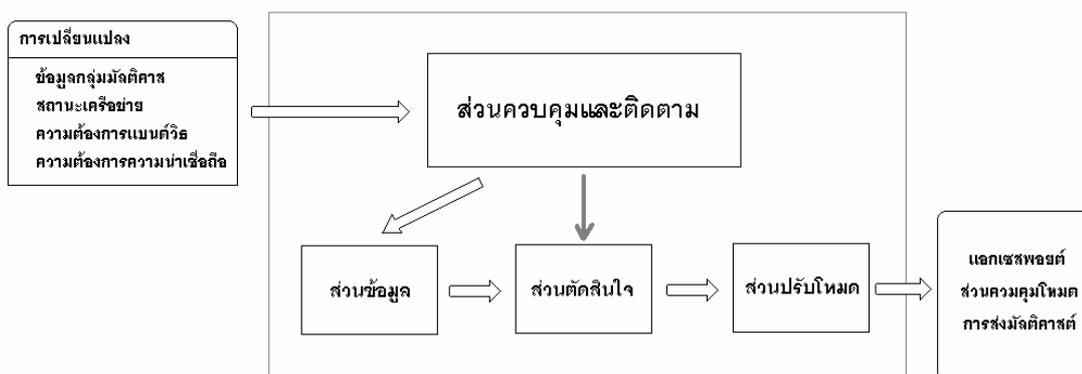
โหนดการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์บนเครือข่ายแลนไร้สายนั้นจะมีผลต่อการรับข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์ที่อยู่ในเครือข่ายโดยตรงคือ หากว่าโหนดที่ใช้ส่งนั้นมีความเร็วมากกว่าโหนดที่โอบายโฮสต์ตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัวในกลุ่มมัลติคาสต์นั้นรับได้ก็จะทำให้ความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นลดลง ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับกับการสูญหายของข้อมูลเมื่อมีการส่งที่โหนดต่างๆ แต่เนื่องจากในความเป็นจริงแล้ว ข้อมูลที่ใช้การส่งแบบมัลติคาสต์นั้นมีหลายประเภทตามความต้องการในการใช้งาน ซึ่งอาจมีความต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งแตกต่างกันไป เช่นหากเป็นข้อมูลประเภทมัลติมีเดียที่ไม่ต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งมากนักเช่นเป็นข้อมูลวิดีโอคุณภาพต่ำ ก็อาจมีความต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งน้อยกว่าข้อมูลประเภทที่เป็นข้อความที่ใช้ควบคุมการทำงานของโปรแกรมประยุกต์บางประเภทที่ต้องการให้มีการส่งไปยังทุกโหนดที่รับข้อมูลแบบมัลติคาสต์

ในการตัดสินใจเลือกโหนดในการส่งจึงมีประเด็นของความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่นหากว่าข้อมูลที่จะส่งนั้นมีความต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งสูงที่สุด ก็อาจต้องเลือกโหนดการส่งที่ความเร็วต่ำสุดที่โอบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์นั้นสามารถรับได้เป็นต้น หรือหากว่าเป็นข้อมูลที่ไม่ต้องการความน่าเชื่อถือของการส่งมากนักก็อาจยอมตัดสินใจเลือกส่งที่โหนดความเร็วสูงกว่าโดยที่จะทำให้ற்றுทุกโดยรวมของทั้งหมดดีกว่าโดยอาจยอมที่จะมีบางโอบายโฮสต์บางตัวที่ไม่สามารถรับข้อมูลได้

2. การทำงานของระบบ

2.1 โครงสร้างการทำงาน

การส่งข้อมูลมัลติคาสต์ของเครือข่ายแลนไร้สายแบบใช้แอกเซสพอยต์นั้นจะกระทำโดยแอกเซสพอยต์ทั้งหมด ดังนั้นการปรับโหมดการส่งจะเป็นการทำงานของแอกเซสพอยต์เพียงแห่งเดียวเท่านั้น ในการปรับโหมดการส่งนั้นจะประกอบด้วยส่วนการทำงานหลักสี่ส่วนคือ ส่วนของการรับข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจ, ส่วนตัดสินใจเลือกโหมดการส่ง, ส่วนในการทำงานปรับเลือกโหมด และส่วนควบคุมการทำงานและติดตามการเปลี่ยนแปลง ในการทำงานนั้น ส่วนรับข้อมูลจะทำหน้าที่รับข้อมูลที่จำเป็นในการตัดสินใจเลือกโหมดการส่งโดยจะเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโมบายโฮสต์ที่ต้องการรับข้อมูลมัลติคาสต์ที่เชื่อมต่อกับแอกเซสพอยต์, ความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธของข้อมูลมัลติคาสต์, สถานะการใช้งานเครือข่าย และข้อมูลอื่นที่จะนำมาประกอบการตัดสินใจ โดยเมื่อส่วนควบคุมและติดตามการเปลี่ยนแปลงมีการทำงานตามเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของการส่งข้อมูลตามที่ได้กำหนดไว้ เช่นเมื่อมีการบอกขอรับข้อมูลมัลติคาสต์เพิ่มเติมจากโมบายโฮสต์ หรือสถานะของความสามารถในการรับสัญญาณของโมบายโฮสต์ที่รับข้อมูลอยู่เปลี่ยนไปเป็นต้น ส่วนควบคุมก็จะนำข้อมูลที่มีอยู่ไปตัดสินใจเลือกโหมดการส่งที่เหมาะสมและนำผลที่ได้ไปใช้ในการส่งของแอกเซสพอยต์ ซึ่งจะเห็นได้จากภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แผนภาพแสดงส่วนประกอบและการทำงานของระบบ

หน้าที่ของส่วนควบคุมและติดตามจะมีหน้าที่ในการคอยตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของสถานะต่างๆ อยู่สี่ส่วน ส่วนแรกได้แก่ข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์ คือข้อมูลของโมบายโฮสต์ที่

เชื่อมต่ออยู่กับแอกเซสพอยต์นั้นว่ามีตัวใดบ้างที่อยู่ในกลุ่มมัลติคาสต์และได้มีการเข้าร่วมกลุ่ม หรือ ออกจากกลุ่ม ไปหรือไม่ ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงก็จะต้องแก้ไขหรือเพิ่มข้อมูลในส่วนของคุณสมบัติ และนอกจากนั้นข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์จะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลของความสามารถในการรับ ข้อมูลด้วยว่าแอกเซสพอยต์สามารถส่งข้อมูลมายัง โมบาย โฮสต์นั้นด้วยโหมดการส่งข้อมูลใดได้ บ้าง ซึ่งจะเก็บเฉพาะโหมดที่เร็วที่สุดเท่านั้น โดยโหมดที่ความเร็วช้ากว่านั้นก็ยังสามารถส่งได้ทำ ให้ไม่ต้องมีการจัดเก็บข้อมูลที่ไม่จำเป็น ทั้งนี้หากมีการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการรับข้อมูล ของโมบาย โฮสต์ จำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลในส่วนนี้ด้วยเช่นเดียวกัน

ข้อมูลส่วนที่สองได้แก่ข้อมูลของสถานะเครือข่าย คือข้อมูลของภาระการใช้งานของ เครือข่ายซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอยู่ตลอดเวลาจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดช่วงระยะเวลาที่ ตรวจสอบและหาค่าเฉลี่ยโดยจะเป็นค่าของอัตราส่วนของช่วงเวลาที่เครือข่ายถูกใช้งานต่อช่วงเวลา ที่ตรวจสอบ ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงเกินกว่าค่าที่กำหนดก็จะปรับปรุงข้อมูลในส่วนของการภาระ การใช้งานเครือข่าย ทั้งนี้ควรกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมไว้เพื่อป้องกันปัญหาที่ระบบจะมี การทำงานแบบเปลี่ยนกลับไปกลับมาบ่อยเกินไป

ข้อมูลส่วนที่สามได้แก่ความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธ คือข้อมูลของความ ต้องการแบนด์วิธที่จะใช้งานในการส่งข้อมูลไปยังกลุ่มมัลติคาสต์นั้นๆ ซึ่งหากเป็นข้อมูลบาง ประเภทอาจมีการระบุมาตั้งแต่ต้นว่ามีความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธเป็นเท่าใด สำหรับข้อมูล บางประเภทที่ไม่มีการระบุนั้นอาจกำหนดให้มีการใช้งานที่ค่าน้อยๆไว้ก่อนเป็นค่าเริ่มต้น ซึ่งจะทำ ให้ระบบคำนวณค่าเพื่อการตัดสินใจเลือกโหมดการส่งได้ จะเห็นได้ว่าข้อมูลส่วนนี้นั้น แอกเซสพอยต์นั้นจำเป็นต้องทราบรายละเอียดของข้อมูลที่ส่งมัลติคาสต์ซึ่งจะมีที่มาได้สองทาง คือแอกเซสพอยต์จะต้องตรวจจับและวิเคราะห์แบ่งแยกประเภทของข้อมูลและเก็บค่าทางสถิติของ ข้อมูลที่ส่งเองแล้วกำหนดค่าที่เหมาะสมเพื่อนำไปตัดสินใจ หรืออีกทางหนึ่งคือผู้ใช้งานกำหนดค่า ต่างๆ ให้เป็นค่าในการใช้งานตามความต้องการซึ่งเป็นการง่ายแต่อาจไม่เหมาะสมสำหรับการใช้ งานที่มีความหลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยๆ

ข้อมูลส่วนที่สี่ได้แก่ความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล คือข้อมูลของการส่งมัลติคาสต์ว่า มีความน่าเชื่อถือเป็นเท่าใด ทั้งนี้จะคิดเป็นอัตราส่วนเทียบกับมีโมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์นั้น ได้รับข้อมูลเป็นอัตราส่วนที่เท่าไร โดยอาจคิดเทียบเป็นร้อยละ ทั้งนี้ค่าของความน่าเชื่อถือในการ

ส่งข้อมูลจะมีผลต่อการใช้งานจริงต่อความต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลประเภทต่างๆ และการกำหนดโดยผู้ใช้งานเอง

ในส่วนข้อมูลนั้นก็จักเก็บข้อมูลที่ส่วนควบคุมและติดตามสังเกตการเปลี่ยนแปลง และเข้ามาแก้ไข รวมถึงข้อมูลอื่นที่มีการกำหนดค่าไว้โดยผู้ใช้เพื่อให้ส่วนการตัดสินใจนำไปใช้ในกระบวนการการตัดสินใจเลือกโหมดการส่ง ซึ่งส่วนของการตัดสินใจก็จะตัดสินใจเมื่อส่วนควบคุมและติดตามสั่งให้มีการทำงาน ซึ่งหากมีการตัดสินใจเลือกโหมดที่ใช้ในการส่งแล้วก็จะส่งผลที่ได้ไปยังส่วนของการปรับโหมดการส่ง ซึ่งส่วนนี้จะตรวจสอบว่าโหมดการส่งที่ตัดสินใจได้นั้นมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ หากมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมก็จะปรับปรุงแก้ไขโหมดการส่งของกลุ่มมัลติคาสต์ของแอกเซสพอยต์ต่อไป

2.2 ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการตัดสินใจ

ข้อมูลที่จะนำมาตัดสินใจในการเลือกโหมดการส่งนั้นประกอบด้วยสามส่วนคือข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณ ข้อมูลความต้องการการใช้งานเครือข่าย และภาระของเครือข่าย และข้อมูลความต้องการความน่าเชื่อถือของการส่งมัลติคาสต์

2.2.1 ข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณ

ประกอบไปด้วยข้อมูลของโบบายโฮสต์ของของแต่ละกลุ่มมัลติคาสต์ ซึ่งแต่ละอันจะมีค่าความสามารถในการรับสัญญาณ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้หากดูตามแหล่งที่มาที่อาจเป็นค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน หรือค่าความโหมดความเร็วที่ใช้ในการส่งยูนิตครั้งล่าสุด หากว่าเป็นค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนก็ต้องหาก่อนว่าค่านั้นควรจะส่งได้ที่โหมดความเร็วสูงสุดเป็นเท่าใด ส่วนโหมดความเร็วของยูนิตนั้นก็จะใช้เป็นค่าโหมดความเร็วสูงสุดโดยสุดท้ายค่าที่จะนำมาใช้จะเป็นโหมดความเร็วสูงสุดที่โบบายโฮสต์นั้นจะสามารถรับข้อมูลได้จากแอกเซสพอยต์ดังแสดงได้ตามตารางที่ 2

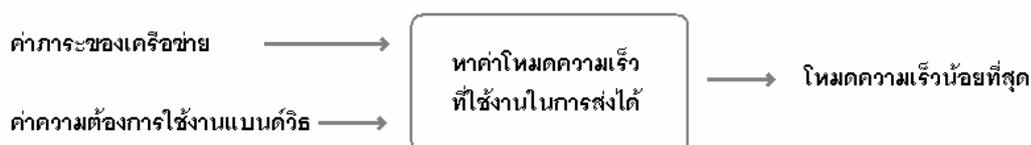
ตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์

หมายเลขกลุ่มมัลติคาสต์	หมายเลขแม็คของโมบายโฮสต์	ค่าโหมคความเร็วสูงสุด
224.0.0.1	00:13:D5:30:AF:2D	12 Mbps
224.0.0.1	00:11:A2:5E:CD:2B	36 Mbps
224.0.0.2	00:13:D5:30:AF:2D	12 Mbps

2.2.2 ข้อมูลภาระเครือข่ายและความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธ

ภาระการใช้งานเครือข่ายและความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธนั้นจะต้องนำไปหาค่าโหมคความเร็วที่จะใช้ส่งข้อมูลได้ ทั้งนี้ค่าภาระในการใช้งานเครือข่ายนั้นจะเป็นค่าสถานะของเครือข่ายโดยเฉลี่ย โดยจะบอกว่าช่วงเวลาที่มีการใช้งานของเครือข่ายนั้นเป็นเท่าใดซึ่งจะบอกเป็นอัตราส่วนของเวลาที่ใช้งานต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่สังเกต เมื่อได้ค่าดังกล่าวแล้วเราสามารถนำไปคำนวณได้ว่าเครือข่ายนั้นจะมีเวลาว่างที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลอื่นได้อีกเป็นเท่าใด โดยจะแบ่งเป็นสองกรณีคือ เมื่อจะเริ่มส่งมัลติคาสต์แล้วมีการระบุค่าความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธแล้ว ค่าของเวลาว่างที่เหลือก็จะคำนวณจากภาระของเครือข่ายได้เลย แต่หากข้อมูลนั้นมีการส่งข้อมูลอยู่แล้ว เมื่อรู้ค่าแบนด์วิธที่ต้องการใช้งานอยู่ ก็จะต้องนำไปหักลบออกก่อนโดยคิดเวลาที่ใช้ไปจากโหมคความเร็วที่ใช้งานในการส่งอยู่ ก็จะได้ค่าเวลาว่างที่เหลืออยู่ที่จะใช้งาน

ต่อไปก็จะหาว่าเวลาที่เหลืออยู่นั้นสามารถใช้โหมคการส่งที่ความเร็วเท่าใดได้บ้างจึงจะเพียงพอต่อความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธที่ภาระของเครือข่ายเท่านี้ ซึ่งจะบอกเป็นค่าที่ความเร็วที่น้อยที่สุดที่สามารถส่งข้อมูลที่ความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธตามที่ระบุมา ซึ่งแสดงว่าโหมคความเร็วที่จะใช้ในการส่งข้อมูลได้จะต้องเท่ากับหรือมากกว่านั้น ขั้นตอนการหาดังกล่าวแสดงไว้ดังภาพ 13



ภาพที่ 13 แผนภาพแสดงขั้นตอนการหาโหมคความเร็วน้อยที่สุดที่สามารถส่งข้อมูลตามความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธในสถานะที่เครือข่ายมีภาระการใช้งาน

2.2.3 ข้อมูลความน่าเชื่อถือในการส่ง

ความน่าเชื่อถือในการส่งสามารถบอกระดับได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนโบบายโฮสต์ที่สามารถรับข้อมูลได้กับจำนวน โบบายโฮสต์ทั้งหมดที่อยู่ในกลุ่มมัลติคาสต์ ซึ่งหากพิจารณาในส่วนข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณแล้ว จะเห็นได้ว่า หากเราเลือกส่งข้อมูลมัลติคาสต์ที่โหมคความเร็วใดความเร็วหนึ่งเราจะสามารถทราบได้เลยว่าจะมีผู้ที่สามารถรับข้อมูลได้และไม่ได้เป็นจำนวนเท่าใด ซึ่งจะเป็นค่าที่บอกถึงความน่าเชื่อถือในการส่ง ซึ่งในทางตรงข้ามกันเราสามารถบอกได้ว่าความน่าเชื่อถือในการส่งเป็นระดับอัตราส่วนเท่าใดเมื่อมีการส่งที่โหมคความเร็วโหมคใดโหมคหนึ่ง จากข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณจะทำให้เราสามารถบอกค่าความน่าเชื่อถือในโหมคการส่งต่างๆ ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงข้อมูลความของโหมคการส่งและความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล

โหมคความเร็ว	จำนวน โบบายโฮสต์ที่รับข้อมูลได้	ความน่าเชื่อถือในการส่ง
M_1	n_1	n_1 / N
M_2	n_2	n_2 / N
M_n	n_n	n_n / N

มีข้อสังเกตว่าโหมคความเร็วจะเป็นไปในทางตรงกันข้ามกันกับข้อมูลภาระการใช้งานเครือข่ายและความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธ ซึ่งโหมคความเร็วที่มีความน่าเชื่อถือสูงที่สุดจะเป็น โหมคความเร็วที่มากที่สุดที่ทุกโหนดสามารถรับข้อมูลได้และโหมคที่มีความเร็วต่ำกว่านั้นก็จะมีความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลเท่ากัน ซึ่งต่างจากข้อมูลความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธซึ่งเป็นโหมคความเร็วที่มีค่าน้อยเป็นค่าหนึ่งและโหมคความเร็วที่มีค่ามากกว่าก็จะยังสามารถส่งข้อมูลที่ความต้องการแบนด์วิธนั้นได้อยู่ จะเห็นได้ว่าปัจจัยในการเลือกโหมคการส่งของทั้งสองประเด็นนี้มีความขัดแย้งกัน

2.3 ขั้นตอนการตัดสินใจโดยใช้พีชคณิตลอจิก

การตัดสินใจเลือกโหมดการส่งที่เหมาะสมนั้นจะเป็นการนำข้อมูลปัจจัยในการตัดสินใจต่างๆ มาตัดสินใจโดยใช้กระบวนการการสังเคราะห์ค่าแบบพีชคณิตมาใช้งาน ซึ่งจะมีขั้นตอนการหาคำตอบตามวิธีการตรรกแบบพีชคณิตและได้คำตอบมาเป็นโหมดที่เหมาะสมสำหรับการส่งโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขปัจจัยที่ถูกกำหนดโดยข้อมูลของปัจจัยด้านต่างๆ และกำหนดน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้านต่างๆ ตามที่ต้องการ สำหรับขั้นตอนต่างๆ และการหาคำตอบจะมีดังต่อไปนี้

2.3.1 การหาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูลปัจจัยด้านต่างๆ

การพิจารณาตัดสินใจ โดยการสังเคราะห์ค่าแบบพีชคณิตนั้นจะต้องสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อมูลด้านต่างๆ ที่จะใช้ในการตัดสินใจก่อน สำหรับข้อมูลในการตัดสินใจเลือกโหมดนั้นจะมีอยู่สามประเด็นคือ ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ความสามารถในการรองรับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธ และ ความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล ซึ่งทั้งสามประเด็นนั้นจะถูกนำมาสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยใช้ข้อมูลปัจจัยด้านต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วมาใช้ ซึ่งจะนำมาหาความเป็นสมาชิกของโหมดการส่งในประเด็นที่ใช้ในการตัดสินใจทั้งสามประเด็น

ก. การหาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย

ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายนั้นสามารถบอกได้หลายวิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การวัดจากความสามารถในการส่งในโหมดความเร็วต่างๆ นั้นจะให้ค่าทรูพุทสูงสุดเป็นเท่าใดตามงานวิจัยของ Grilo และ Nunes (Grilo and Nunes, 2003) ซึ่งค่าทรูพุทนี้จะได้จากการทดลองโดยที่เมื่อเลือกโหมดการส่งหนึ่งในการส่งข้อมูลแล้วจะสามารถส่งข้อมูลที่ให้ค่าทรูพุทสูงสุดที่สุดได้เป็นเท่าใด ซึ่งในการส่งแบบยูนิคาสต์นั้นสามารถวัดออกมาได้เป็นค่าที่แสดงทรูพุทของการส่งจากผู้ส่งไปยังผู้รับเพียงคู่เดียว ซึ่งเมื่อนำหลักการนี้มาใช้วัดทรูพุทของการส่งแบบมัลติคาสต์นั้นจะวัดจากทรูพุทที่ผู้รับได้รับรวมกัน สำหรับงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ผลรวมของทรูพุทนั้นคิดคำนวณจากข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณ โดยจะนำค่าที่ได้จากการทดลองวัดค่าทรูพุทสูงสุดของการส่งแบบยูนิคาสต์มาเป็นหลักในการคำนวณโดยที่จะหาได้ว่าเมื่อมี

การส่งที่โหมคความเร็วหนึ่งๆ แล้วจะมีกี่โหมบายโฮสต์ที่สามารถรับข้อมูลมัลติคาสต์ได้ ซึ่งจะหาได้จากโหมคความเร็วสูงสุดที่โหมบายโฮสต์มีความสามารถในการรับข้อมูลเอามาเทียบกับโหมคการส่งที่พิจารณาว่ามากกว่าหรือไม่ หากมากกว่าก็จะสามารถรับได้ ผลการหาทรูพุทสูงสุดรวมของโหมคการส่งก็จะหาได้จากผลรวมของทรูพุทสูงสุดตามจำนวนของโหมบายโฮสต์ที่สามารถรับข้อมูลได้ที่โหมคความเร็วในการส่งนั้น สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกโหมคการส่งตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ซึ่งมีโหมคการส่งที่สามารถใช้งานได้ 8 โหมคความเร็ว ซึ่งจะได้อ่าทรูพุทสูงสุดจากการทดลองซึ่งนำมาใช้งานการคำนวณเป็นค่าโดยประมาณดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแสดงทรูพุทสูงสุดของโหมคการส่งต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง

โหมคการส่ง	ความเร็วในการส่ง (Mbps)	ทรูพุทสูงสุดที่ทำได้อ (kbps)
BPSK $\frac{1}{2}$	6	5,120
BPSK $\frac{3}{4}$	9	8,000
QPSK $\frac{1}{2}$	12	10,400
QPSK $\frac{3}{4}$	18	16,000
16-QAM $\frac{1}{2}$	24	22,000
16-QAM $\frac{3}{4}$	36	30,100
64-QAM $\frac{2}{3}$	48	38,200
64-QAM $\frac{3}{4}$	54	43,000

ค่าที่ได้จากการทดลองนี้จะนำไปใช้อ้างอิงในการคำนวณทรูพุทค่าต่างๆ โดยจะนำข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณมาคิดคำนวณ โดยเมื่อเราทราบว่าความสามารถในการรับสัญญาณของแต่ละโหมบายโฮสต์นั้นมีความสามารถในการรับโหมคความเร็วสูงสุดได้เป็นเท่าใด เมื่อมีการส่งที่โหมคความเร็วหนึ่งก็จะทราบได้ว่าในกลุ่มมัลติคาสต์นั้นมีโหมบายโฮสต์ที่สามารถรับข้อมูลได้เป็นจำนวนเท่าใด และเมื่อทราบจำนวนก็จะนำมาหาค่าผลรวมทรูพุทสูงสุดโดยคิดจากค่าทรูพุทสูงสุดของการส่งแบบ ยูนิคาสต์ที่ทดลองได้

เพื่อความสะดวกในการคำนวณจะจัดข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณ โดยแบ่งโหมบายโฮสต์ให้อยู่ที่ระดับของความสามารถในการรับ

โหมคความเร็วการส่งสูงสุดต่างๆ โดยจะได้ว่าแต่ละโหมคความเร็วสูงสุดนั้นจะมีจำนวน โมบายโฮสต์ ในกลุ่มมัลติคาสต์เป็นจำนวนเท่าใด หากกำหนด n_j เป็นจำนวน โมบายโฮสต์ที่มีความสามารถในการรับโหมคการส่งสูงสุด โดยที่ j แทนหมายเลขโหมคในการส่ง ทำให้สามารถจำแนกข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลจำนวนโมบายโฮสต์ในโหมคความเร็วต่างๆ

โหมคการส่งที่ความเร็วสูงสุด	หมายเลขโหมค	จำนวน โมบายโฮสต์
BPSK $\frac{1}{2}$	1	n_1
BPSK $\frac{3}{4}$	2	n_2
QPSK $\frac{1}{2}$	3	n_3
QPSK $\frac{3}{4}$	4	n_4
16-QAM $\frac{1}{2}$	5	n_5
16-QAM $\frac{3}{4}$	6	n_6
64-QAM $\frac{2}{3}$	7	n_7
64-QAM $\frac{3}{4}$	8	n_8

หากเรากำหนดให้ s_i แทนทรูพุทสูงสุดของโหมคความเร็วต่างๆ โดยที่ i เป็นหมายเลขโหมคในการส่งจากความเร็วที่น้อยที่สุดไปหามากที่สุด โดยข้อมูลจากการทดลองทรูพุทสูงสุดของแต่ละโหมคการส่ง จะได้ข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการคำนวณดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางแสดงหมายเลขโหมดความเร็วและตัวแปรทรูพุทสูงสุดของโหมดความเร็ว

โหมดความเร็วการส่ง	หมายเลขโหมด	ทรูพุทสูงสุด	ทรูพุทที่ได้จากการทดลอง (kbps)
BPSK ½	1	S ₁	5,120
BPSK ¾	2	S ₂	8,000
QPSK ½	3	S ₃	10,400
QPSK ¾	4	S ₄	16,000
16-QAM ½	5	S ₅	22,000
16-QAM ¾	6	S ₆	30,100
64-QAM 2/3	7	S ₇	38,200
64-QAM ¾	8	S ₈	43,000

เมื่อกำหนดให้ T_i เป็นผลรวมของทรูพุทสูงสุดที่โหมด i จะได้ว่าแต่ละโหมดการส่งเมื่อส่งไปยังกลุ่มมัลติคาสต์นั้นจะมีผลรวมทรูพุทสูงสุดดังสมการ (1)

$$T_i = s_i \sum_{j=i}^8 n_j \quad (1)$$

จากค่าผลรวมทรูพุท T_i ของแต่ละโหมดการส่งข้างต้น จะนำไปคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย โดยค่าที่ได้จะแสดงว่าถ้าค่าความเป็นสมาชิกมีมากก็จะแสดงว่าประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายโดยดูจากค่าทรูพุทนั้นดี โดยจะต้องปรับค่าความเป็นสมาชิกของทั้ง 8 โหมดให้ค่าทั้งหมดรวมกันได้เท่ากับ 1 เมื่อกำหนดให้ Membership Function T_i , MFT_i เป็นค่าความเป็นสมาชิกของโหมดความเร็ว i ทำให้สามารถหาค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละโหมดความเร็วได้ดังสมการ (2)

$$MFT_i = \frac{T_i}{\sum_{j=1}^8 T_j} \quad (2)$$

จากค่าความเป็นสมาชิกของโหนดความเร็วทั้ง 8 โหนดก็จะได้เป็นพีชชีเซตหรือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ซึ่งหาได้จากข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณกับค่าคงที่ของทรูพุทสูงสุดของโหนดการส่งที่ได้จากการทดลอง

ข. การหาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกความสามารถรองรับความต้องการแบนด์วิธ

ความสามารถในการรองรับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธนั้นจะเป็นค่าที่บอกว่าโหนดการส่งนั้นสามารถรองรับการใช้งานแบนด์วิธได้ดีเท่าไร ซึ่งจะต้องพิจารณาภาระของเครือข่ายด้วย ค่าความเป็นสมาชิกของความสามารถในการรองรับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธนั้นจะแปรไปตามที่ว่าหากเมื่อมีการส่งที่โหนดความเร็วนั้นจะสามารถส่งข้อมูลที่มีความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธได้อย่างพอเพียงหรือไม่ ยิ่งค่าความเป็นสมาชิกยิ่งมากก็จะแสดงได้ว่าเมื่อส่งข้อมูลที่โหนดความเร็วนั้นก็ยิ่งพอเพียงต่อการส่งข้อมูล

ในการหาค่าความเป็นสมาชิกของความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธนั้นจะใช้ปัจจัยข้อมูลภาระเครือข่ายและความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธ ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นจะทราบข้อมูลว่าที่ความต้องการใช้งานแบนด์วิธเท่านี้ และเครือข่ายที่มีภาระการใช้งานเท่านี้ จะต้องส่งข้อมูลที่โหนดความเร็วอย่างน้อยเป็นเท่าใดถึงจะพอเพียงต่อความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธ เมื่อเรากำหนดให้ Membership Function B_i , MFB_i เป็นค่าความเป็นสมาชิกของความสามารถรองรับความต้องการแบนด์วิธของโหนดความเร็ว i ในการหาค่าความเป็นสมาชิกนั้น โหนดที่สามารถใช้ส่งได้จะมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากันทั้งหมด และโหนดที่ใช้ส่งไม่ได้จะมีค่าเป็น 0 ซึ่งในการหาค่าความเป็นสมาชิกนั้นอยู่ในเงื่อนไขของการปรับค่าให้ค่าความเป็นสมาชิกของทุกโหนดรวมกันแล้วเท่ากับ 1 ดังนั้นเราจะสามารถคำนวณค่าความเป็นสมาชิกนี้ดังสมการ (3)

$$MFB_i = \begin{cases} \frac{1}{\text{จำนวนโหนดที่ใช้ส่งได้}} & , \text{ โหนดที่ใช้ส่งได้} \\ 0 & , \text{ โหนดที่ใช้ส่งไม่ได้} \end{cases} \quad (3)$$

เมื่อหาค่าความเป็นสมาชิกของโหนดความเร็วทั้งหมดได้ก็จะได้พีชชีเซตหรือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธของโหนด

ความเร็วซึ่งค่านี้จะบอกว่าโหนดความเร็วนั้นสามารถรองรับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธตามค่าที่ความต้องการที่ภาระของเครือข่ายที่ได้กำหนดมาได้หรือไม่ และนำไปใช้ในการสร้างความสัมพันธ์แบบฟัซซี่เพื่อนำไปตัดสินใจในขั้นตอนต่อไป

ค. การหาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล

ความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลของโหนดการส่งต่างๆ จะสามารถทราบได้จากข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณ ทั้งนี้เมื่อเราพิจารณาว่าหากมีการส่งที่โหนดความเร็วโหนดหนึ่งแล้วโบบายโฮสต์จะสามารถรับข้อมูลนั้นได้หรือไม่ โดยดูได้จากโหนดที่พิจารณานั้นมีค่ามากกว่าโหนดความเร็วสูงสุดที่โบบายโฮสต์จะสามารถรับข้อมูลได้หรือไม่ ซึ่งค่าความน่าเชื่อถือในการส่งของโหนดความเร็วจะบอกได้เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนโบบายโฮสต์ที่รับข้อมูลได้ กับจำนวนโบบายโฮสต์ทั้งหมดของกลุ่มมัลติคาสต์ เมื่อกำหนด Q_i เป็นอัตราส่วนจำนวนโบบายโฮสต์ที่รับข้อมูลได้ต่อโบบายโฮสต์ทั้งหมดในกลุ่มมัลติคาสต์เมื่อใช้การส่งในโหนด i และเมื่อใช้ข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์ตามตารางที่ 5 โดยที่ n_j และ n_k เป็นจำนวนโบบายโฮสต์จำแนกตามโหนดความเร็วสูงสุดของการส่งโหนด i และ k ตามตาราง จะได้ดังสมการ (4)

$$Q_i = \frac{\sum_{j=i}^8 n_j}{\sum_{k=1}^8 n_k} \quad (4)$$

ซึ่งอัตราส่วน Q_i ของแต่ละโหนด i เมื่อนำไปหาค่าความเป็นสมาชิกจำเป็นที่จะต้องมีการปรับข้อมูลให้ผลรวมค่าความเป็นสมาชิกของทุกโหนดเท่ากับ 1 ก่อน ดังนั้น เมื่อกำหนดให้ Membership Function R_i , MFR_i เป็นค่าความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลของโหนดความเร็ว i จะได้ดังสมการ (5)

$$MFR_i = \frac{Q_i}{\sum_{j=1}^8 Q_j} \quad (5)$$

เมื่อได้ค่าความเป็นสมาชิกของโหนดความเร็วทั้งหมดได้ก็จะได้เป็นฟัซซี่เซตหรือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกนี้จะแสดงว่าหากมีค่าความเป็นสมาชิกมากก็จะมีค่าน่าเชื่อถือในการส่งมาก

หลังจากที่ได้สร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของประเด็นที่ใช้ในการตัดสินใจทั้ง 3 ประเด็นจากปัจจัยข้อมูลด้านต่างๆ แล้ว ก็จะนำไปหาความสัมพันธ์แบบฟัซซี่เพื่อใช้ในการตัดสินใจในขั้นตอนต่อไป

2.3.2 การสร้างความสัมพันธ์แบบฟัซซี่

การสร้างความสัมพันธ์แบบฟัซซี่ของประเด็นที่ใช้ในการตัดสินใจนั้นจะนำฟัซซี่เซตของประเด็นที่ใช้ในการตัดสินใจมาสร้างเป็นเมทริกซ์ความสัมพันธ์ เพื่อความสะดวกในการคำนวณจะกำหนดให้ R เป็นเมทริกซ์ของความสัมพันธ์ดังกล่าว ซึ่งเมื่อนำฟัซซี่เซตของประเด็นในการตัดสินใจทั้ง 3 มาเขียนโดยให้แต่ละแถวเป็นประเด็นในการตัดสินใจ และแต่ละหลักเป็นโหนดความเร็ว จะสามารถเขียนเมทริกซ์ความสัมพันธ์ R ได้ดังสมการ (6)

$$R = \begin{matrix} \text{โหนดความเร็ว} & & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \text{ประสิทธิภาพ} & & MFT_1 & MFT_2 & MFT_3 & MFT_4 & MFT_5 & MFT_6 & MFT_7 & MFT_8 \\ \text{การรองรับแบนด์วิธ} & & MFB_1 & MFB_2 & MFB_3 & MFB_4 & MFB_5 & MFB_6 & MFB_7 & MFB_8 \\ \text{ความน่าเชื่อถือ} & & MFR_1 & MFR_2 & MFR_3 & MFR_4 & MFR_5 & MFR_6 & MFR_7 & MFR_8 \end{matrix} \quad (6)$$

จากความสัมพันธ์ R นี้จะนำไปใช้ในการตัดสินใจโดยวิธีการสังเคราะห์ค่าแบบฟัซซี่ในขั้นตอนต่อไป

2.3.3 การกำหนดค่าเวกเตอร์การประเมินฟัซซี่

ในกระบวนการสังเคราะห์ค่าแบบฟัซซี่จะต้องมีการกำหนดค่าเวกเตอร์การประเมินฟัซซี่ (fuzzy evaluation vector) โดยค่านี้จะบอกถึงความสำคัญหรือน้ำหนักของประเด็นที่ใช้ในการตัดสินใจ ซึ่งจะบอกว่าการตัดสินใจนั้นจะให้ความสำคัญในประเด็นไหนมากหรือน้อย สำหรับการกำหนดค่านี้สามารถกำหนดได้ที่เอกเซสพอยต์โดยมีผู้ดูแลเครือข่ายเป็นผู้ปรับตั้ง ซึ่งจะมีเงื่อนไขในการกำหนดฟัซซี่เวกเตอร์คือค่าของน้ำหนักความสำคัญต้องรวมกันเท่ากับหนึ่ง เมื่อ

กำหนดให้ w_T เป็นน้ำหนักของประเด็นประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย w_B เป็นน้ำหนักของประเด็นความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธ w_R เป็นน้ำหนักของประเด็นความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล และ w เป็นเวกเตอร์การประเมินฟัซซี่ที่สามารถเขียนเวกเตอร์และเงื่อนไขได้ดังสมการ (7)

$$w = \{w_T, w_B, w_R\}; w_T + w_B + w_R = 1 \quad (7)$$

สำหรับในการใช้งานจริงอาจให้ผู้ใช้กำหนดค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละให้เป็นน้ำหนักในการให้ความสำคัญของประเด็นในการตัดสินใจทั้งสามได้ แล้วให้ระบบคำนวณหาค่าน้ำหนักให้เป็นไปตามเงื่อนไขเพื่อความสะดวกในการปรับตั้งค่าในการใช้งานของผู้ใช้ เช่นอาจมีการกำหนดให้เป็น w_T, w_B และ w_R เป็นเปอร์เซ็นต์ของการให้น้ำหนักการตัดสินใจของประเด็นประสิทธิภาพของการใช้งานเครือข่าย ความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธ และความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลตามลำดับ เราสามารถจะนำมาคำนวณค่า w_T, w_B และ w_R เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจได้ดังสมการ (8), (9) และ (10)

$$w_T = \frac{W_T}{W_T + W_B + W_R} \quad (8)$$

$$w_B = \frac{W_B}{W_T + W_B + W_R} \quad (9)$$

$$w_R = \frac{W_R}{W_T + W_B + W_R} \quad (10)$$

ค่าน้ำหนักความสำคัญนี้จะให้ความสำคัญในประเด็นของการตัดสินใจ เช่นถ้าผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลเครือข่ายให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพในการทำงานของเครือข่ายมากก็จะกำหนดค่าความสำคัญสูงๆ หรือหากเครือข่ายนั้นมีความต้องการให้ความน่าเชื่อถือในการส่งสูง ข้อมูลที่ส่งส่วนใหญ่ต้องการให้ทุกโหนดของทุกกลุ่มมัลติคาสต์ได้รับข้อมูลก็จะกำหนดค่าความสำคัญของความน่าเชื่อถือในการส่งสูงและน้ำหนักของอีกสองประเด็นน้อยๆ เป็นต้น การกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญนี้มีผลต่อผู้ดูแลเครือข่ายทำให้สามารถปรับตั้งการทำงานของ

แอกเซสพอยต์ให้ตรงตามความต้องการในการใช้งานจริงให้เหมาะสมได้ตามสถานะการณ์ ซึ่งเป็นข้อดีของการตัดสินใจเลือกโหมดการส่งโดยใช้วิธีการสังเคราะห์ค่าแบบฟuzzy เมื่อกำหนดค่าเวกเตอร์การประเมินฟuzzy ได้แล้วก็จะนำเวกเตอร์นี้ไปใช้ในการสังเคราะห์ค่าแบบฟuzzy เพื่อหาคำตอบได้ในขั้นตอนต่อไป

2.3.4 การหาคำตอบโหมดการส่ง

เมื่อได้ความสัมพันธ์ฟuzzy ของประเด็นที่ใช้ในการตัดสินใจและเวกเตอร์การประเมินฟuzzy แล้วก็จะนำมาหาเวกเตอร์ของคำตอบของโหมดที่จะเลือก โดยขั้นตอนของการสังเคราะห์ค่าแบบฟuzzy นั้นค่าเวกเตอร์คำตอบที่ได้จะได้ออกจากการคูณแบบจุด (dot product) ของเวกเตอร์การประเมินฟuzzy กับความสัมพันธ์ฟuzzy ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ e เป็นเวกเตอร์คำตอบ จะสามารถหาเวกเตอร์นี้ได้ดังสมการ (11)

$$e = w \circ R \quad (11)$$

เมื่อ w คือเวกเตอร์การประเมิน และ R คือความสัมพันธ์ฟuzzy ของประเด็นที่ใช้ในการตัดสินใจ และถ้ากำหนดให้ e_i เป็นสมาชิกของเวกเตอร์ e ของโหมดความเร็ว i จะสามารถเขียนค่าของคำตอบ e_i ได้ดังสมการ (12)

$$e_i = w_T \cdot MFT_i + w_B \cdot MFB_i + w_R \cdot MFR_i \quad (12)$$

โดยที่เวกเตอร์ e เป็นดังสมการ (13)

$$e = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8\} \quad (13)$$

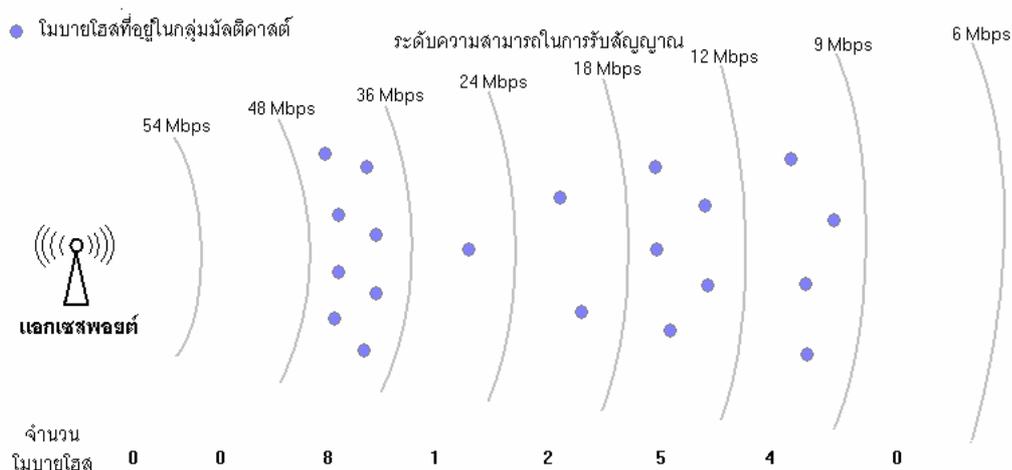
จะเห็นได้ว่า ค่า e ที่ได้นั้นจะเป็นค่าฟuzzyเวกเตอร์ คือได้คำตอบมาเป็นฟuzzyเซต ซึ่งเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของโหมดความเร็วต่างๆ ที่จะเป็นผลคำตอบของการตัดสินใจเลือก ดังนั้นในการทำงานจริงจะต้องมีการนำคำตอบที่เป็นฟuzzyนี้มาแปลงกลับให้เป็นค่าปกติเพื่อให้ได้คำตอบเป็นโหมดที่จะตัดสินใจเลือกในขั้นตอนต่อไป

2.3.5 การแปลงคำตอบแบบฟัซซี่

การแปลงคำตอบ (defuzzification) ของฟัซซี่เวกเตอร์ e มาเป็นคำตอบแบบค่าปกติที่จะตัดสินใจเลือกนั้น จะเลือกค่าโหมคความเร็วมาใช้โดยวิธีการเลือกค่าที่มีค่าความเป็นสมาชิกมากที่สุด (max-value defuzzification) ซึ่งการใช้วิธีการแปลงค่าแบบนี้เนื่องจากการตัดสินใจเลือกโหมคความเร็วนั้นต้องการให้โหมคความเร็วที่ได้มีความสอดคล้องกับประเด็นในการตัดสินใจมากที่สุด โดยได้มีการให้นำน้ำหนักความสำคัญของแต่ละประเด็นที่ใช้ในการตัดสินใจไปแล้ว ซึ่งจากเวกเตอร์คำตอบ e ซึ่งจะเป็นฟัซซี่เซตประกอบไปด้วยค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละโหมคความเร็วก็จะได้ว่า โหมคความเร็วใดที่มีค่าความเป็นสมาชิกของเวกเตอร์คำตอบ e สูงที่สุดก็จะได้โหมคความเร็วนั้นเป็นคำตอบ

2.3.6 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อเลือกโหมคการส่ง

ตัวอย่างนี้จะเป็นการคำนวณเพื่อเลือกโหมคการส่งสำหรับกลุ่มมัลติคาสต์หนึ่งกลุ่ม โดยที่จะมีโมบายโฮสต์ 20 ตัวกระจายกันอยู่ตามระดับความสามารถในการรับสัญญาณในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ภาพการกระจายของโมบายโฮสต์ตามระดับความสามารถในการรับสัญญาณสำหรับใช้
เป็นตัวอย่างการคำนวณ

จากภาพจะกำหนดให้มีความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธที่ 8,000 kbps โดยที่เครือข่ายนั้นไม่มีภาระการใช้งานเลย และกำหนดให้ระดับความสำคัญของแต่ละต้นในการตัดสินใจคือประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่าย ความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธ และความน่าเชื่อถือในการส่งเท่ากันทั้งสามประเด็น

จากข้อมูลที่กำหนดให้จะนำมาคำนวณ โดยข้อมูลของการกระจายของโมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์ เราจะสามารถนำมาจัดข้อมูลเป็นตารางแสดงจำนวนโมบายโฮสต์จำแนกตามทรูพุทสูงสุดที่สามารถรับข้อมูลได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางแสดงจำนวนโมบายโฮสต์จำแนกตามทรูพุทสูงสุดที่สามารถรับข้อมูลได้

โหมดการส่งที่ความเร็วสูงสุด	หมายเลขโหมด	จำนวนโมบายโฮสต์
BPSK 1/2	1	0
BPSK 3/4	2	4
QPSK 1/2	3	5
QPSK 3/4	4	2
16-QAM 1/2	5	1
16-QAM 3/4	6	8
64-QAM 2/3	7	0
64-QAM 3/4	8	0

ก. การหาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย

จากตารางแสดงจำนวนโมบายโฮสต์จำแนกตามทรูพุทสูงสุดของโหมดความเร็วที่สามารถรับข้อมูลได้ กับข้อมูลที่ได้จากการทดลองทรูพุทสูงสุดที่ได้จากการทดลองเราสามารถนำมาคำนวณทรูพุทสูงสุดรวมของการส่งที่โหมดความเร็วต่างๆ ได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตารางแสดงทรูพุทสูงสุดรวมของกลุ่มมัลติคาสต์เมื่อมีการส่งที่โหนดความเร็วต่างๆ

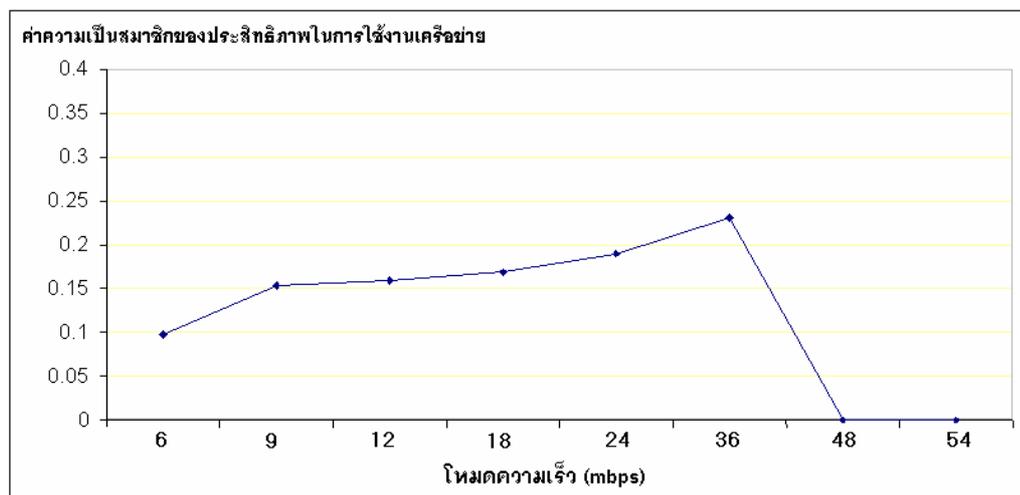
โหนดการส่ง	หมายเลขโหนด	จำนวนโบบายโฮสต์ ที่รับข้อมูลได้	ทรูพุทสูงสุดของ โหนดการส่ง (kbps)	ทรูพุทรวม (kbps)
BPSK ½	1	20	5,120	102,400
BPSK ¾	2	20	8,000	160,000
QPSK ½	3	16	10,400	166,400
QPSK ¾	4	11	16,000	176,000
16-QAM 1/2	5	9	22,000	198,000
16-QAM 3/4	6	8	30,100	240,800
64-QAM 2/3	7	0	38,200	0
64-QAM 3/4	8	0	43,000	0

จากทรูพุทรวมที่หาได้จะนำไปปรับค่าเพื่อหาค่าความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายโดยนำค่ารวมของทรูพุทสูงสุดรวมของทุกโหนดไปหารค่าทรูพุทของโหนดนั้นๆ ซึ่งจะได้ค่าความเป็นสมาชิกของโหนดการส่งความเร็วดังในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตารางแสดงค่าความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย

โหนดความเร็ว (Mbps)	หมายเลขโหนด	ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ ประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่าย
6	1	0.098
9	2	0.153
12	3	0.159
18	4	0.169
24	5	0.190
36	6	0.231
48	7	0
54	8	0

ซึ่งจากรายงเราสามารถนำมาเขียนกราฟฟังก์ชันค่าความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายได้ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 กราฟแสดงฟังก์ชันค่าความเป็นสมาชิกของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย

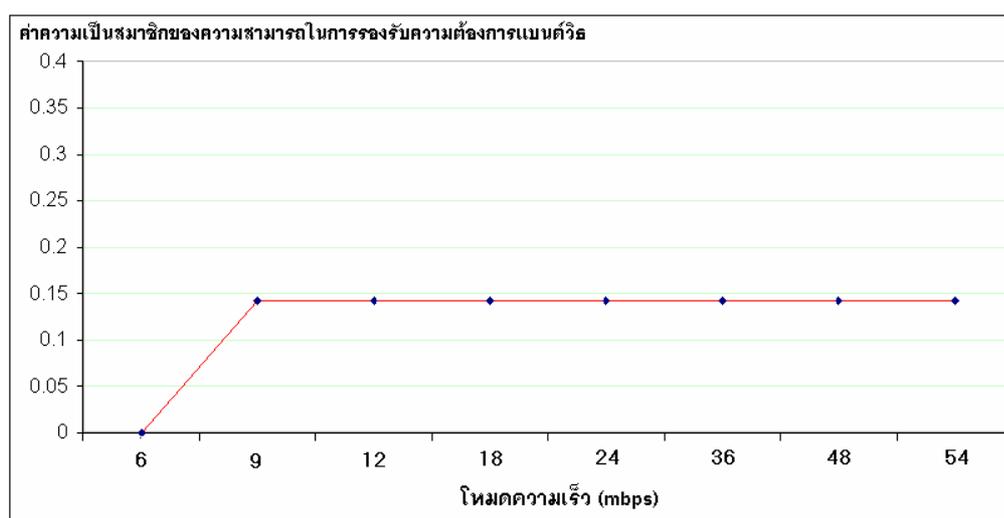
ข. การหาฟังก์ชันค่าความเป็นสมาชิกความสามารถรองรับความต้องการแบนด์วิธ

จากตัวอย่างมีการกำหนดให้มีความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธที่ 8,000 kbps และเครือข่ายไม่มีภาระการใช้งานอยู่เลย ดังนั้นสามารถเทียบโหมคความเร็วที่สามารถรองรับความต้องการได้จากข้อมูลทฤษฎีสูงสุดที่โหมคความเร็วทำได้จากการทดลอง ซึ่งจะได้โหมคความเร็วที่สามารถรองรับความต้องการดังกล่าวได้เป็นโหมคความเร็วในการส่ง 9 Mbps เป็นต้นไป หรือใช้ได้ตั้งแต่โหมคการส่งหมายเลข 2 ถึง 8 จะได้จำนวนโหมคที่ใช้ส่งได้อยู่ 7 โหมคความเร็ว เมื่อนำไปหาค่าฟังก์ชันค่าความเป็นสมาชิกแล้วปรับค่าจะได้ค่าความเป็นสมาชิกของโหมคความเร็วต่างๆ ดังในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่าความเป็นสมาชิกของความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธของโหมคความเร็วต่างๆ

โหมคความเร็ว (Mbps)	หมายเลขโหมค	ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของการรองรับความต้องการแบนด์วิธ
6	1	0
9	2	1/7
12	3	1/7
18	4	1/7
24	5	1/7
36	6	1/7
48	7	1/7
54	8	1/7

จากตารางข้อมูลเราสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสามารถในการรองรับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธได้ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กราฟแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความสามารถในการรองรับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธ

ค. การหาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล

ความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลของโหนดความเร็วต่างๆ สามารถทราบได้จากข้อมูลจำนวน โมบาย โฮสต์แยกตามทรูพุทสูงสุดของ โหนดความเร็วที่สามารถรับข้อมูลได้ ซึ่งจะ สามารถหาจำนวน โมบาย โฮสต์ที่ได้รับข้อมูลเมื่อมีการส่งที่โหนดความเร็วต่างๆ ได้ และนำมาหา อัตราส่วนของจำนวน โมบาย โฮสต์ที่รับข้อมูลได้กับจำนวน โมบาย โฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์ทั้งหมด ซึ่งจากตารางที่ 8 สามารถเขียนจำนวน โมบาย โฮสต์ที่รับข้อมูลได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ตารางแสดงจำนวน โมบาย โฮสต์ที่รับข้อมูลได้เมื่อมีการส่งที่โหนดความเร็วต่างๆ

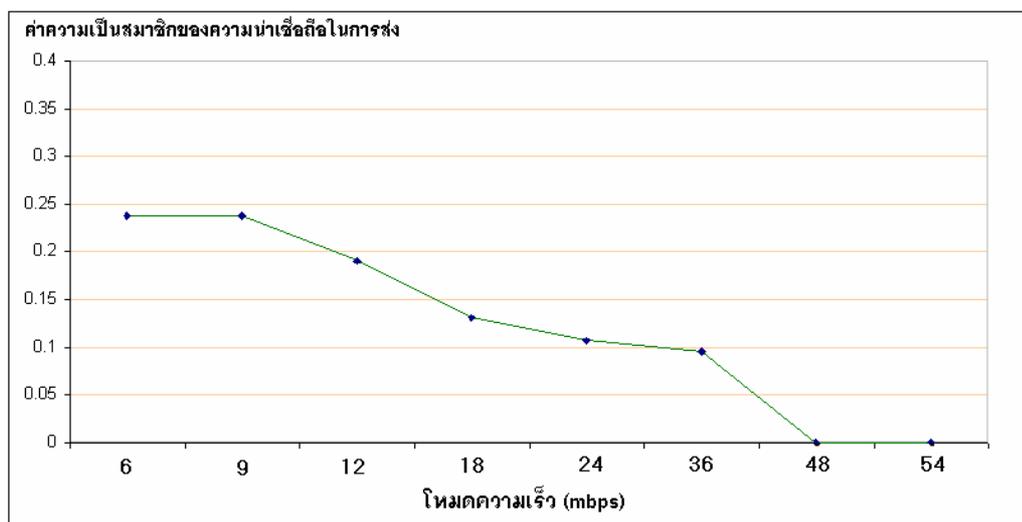
โหนดความเร็ว (Mbps)	หมายเลขโหนด	จำนวนโมบายโฮสต์ที่ รับข้อมูลได้	อัตราส่วนโมบายโฮสต์ที่ รับข้อมูลได้
6	1	20	1
9	2	20	1
12	3	16	0.8
18	4	11	0.55
24	5	9	0.45
36	6	8	0.4
48	7	0	0
54	8	0	0

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาปรับค่าเพื่อหาค่าความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งจะต้องมีการปรับค่าก็จะเท่ากับการนำผลรวมของค่าอัตราส่วนของโมบาย โฮสต์ที่รับข้อมูลได้ของทุกโหนดความเร็วนำไปหารค่าอัตราส่วนของโหนดความเร็วนั้นจะได้ข้อมูลดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ตารางแสดงค่าความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล

โหมคความเร็ว (Mbps)	หมายเลขโหมค	ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความ น่าเชื่อถือในการส่ง
6	1	0.238
9	2	0.238
12	3	0.191
18	4	0.131
24	5	0.107
36	6	0.095
48	7	0
54	8	0

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาเขียนกราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งของโหมคความเร็วต่างๆ ได้ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 กราฟแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล

ง. การสร้างความสัมพันธ์แบบฟิชชี

จากข้อมูลฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของโหนดความเร็วกับประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธ และความน่าเชื่อถือในการส่ง สามารถนำมาสร้างเป็นความสัมพันธ์แบบฟิชชี R เพื่อใช้ในการตัดสินใจในรูปของเมทริกซ์ความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (14)

$$R = \begin{bmatrix} 0.098 & 0.153 & 0.159 & 0.169 & 0.190 & 0.231 & 0 & 0 \\ 0 & 0.143 & 0.143 & 0.143 & 0.143 & 0.143 & 0.143 & 0.143 \\ 0.238 & 0.238 & 0.191 & 0.131 & 0.107 & 0.095 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

จ. การกำหนดค่าเวกเตอร์การประเมินแบบฟิชชี

ตัวอย่างนี้จะกำหนดให้ความสำคัญของประเด็นในการตัดสินใจทั้งสามประเด็นคือประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธ และความน่าเชื่อถือในการส่งมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจะได้ว่าค่าของ w_T , w_B และ w_R จะมีค่าเท่ากันและรวมกันได้เท่ากับ 1 ดังนั้นจะได้ค่าแต่ละค่าจะเท่ากับ $1/3$ ซึ่งเมื่อนำมาเขียนได้เวกเตอร์การประเมินแบบฟิชชี w จะได้ดังสมการ (15)

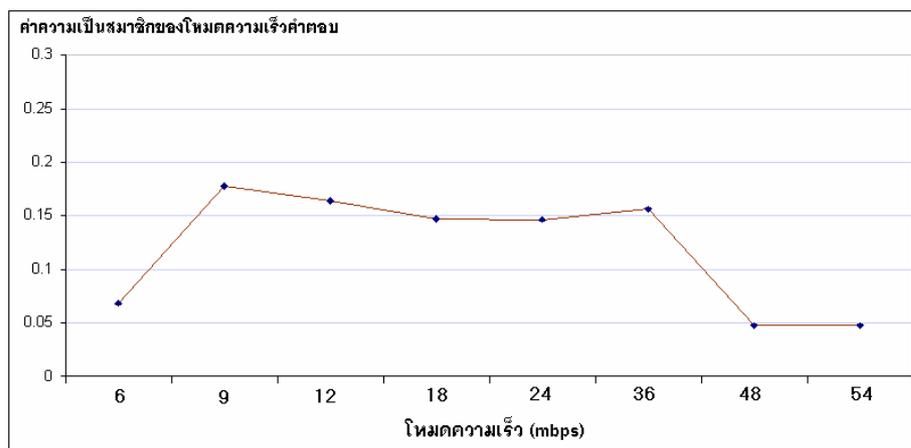
$$w = [1/3 \quad 1/3 \quad 1/3] \quad (15)$$

ฉ. การหาคำตอบโหมดการส่ง

เมื่อได้ความสัมพันธ์แบบฟิชชี R และเวกเตอร์การประเมินแบบฟิชชี w เราสามารถนำมาหาคำตอบแบบฟิชชีของโหมดการส่งได้เป็น e โดยคำตอบจะเกิดจากผลการคูณแบบจุดของ w และ R ซึ่งจะได้คำตอบ e เป็นดังสมการ (16)

$$e = [0.068 \quad 0.178 \quad 0.164 \quad 0.147 \quad 0.146 \quad 0.156 \quad 0.048 \quad 0.048] \quad (16)$$

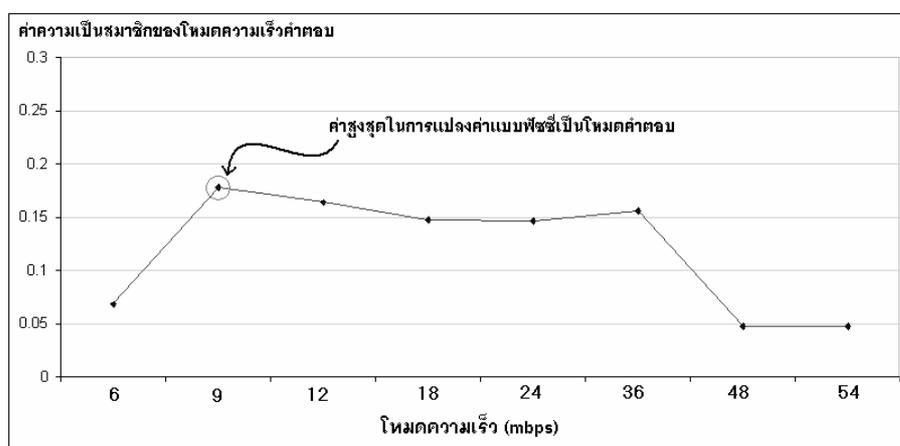
จากคำตอบ e สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงค่าความเป็นสมาชิกของโหมดความเร็วที่เป็นคำตอบได้ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 กราฟแสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ โหนดความเร็วที่เป็นค่าตอบ

ช. การแปลงค่าตอบพีซซีเป็น โหนดความเร็วที่เลือก

จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ โหนดความเร็วที่เป็นค่าตอบสามารถนำมาให้ค่าโหนดความเร็วที่เป็นค่าตอบได้โดยโหนดความเร็วที่เป็นค่าตอบนั้นจะมีค่าความเป็นสมาชิกมากที่สุด ซึ่งค่าตอบตามตัวอย่างนี้ได้แก่โหนดความเร็วที่ 9 Mbps ซึ่งมีค่าความเป็นสมาชิกมากที่สุดคือ 0.178 ซึ่งโหนดความเร็วที่ได้เป็นค่าตอบนี้เมื่อใช้ส่งมัลติคาสต์ก็จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดตามประเด็นที่พิจารณาได้แก่ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ความสามารถในการรองรับความต้องการในการใช้งานแบนด์วิดท์ที่ 8,000 kbps โดยที่เครือข่ายไม่มีภาระการใช้งาน และมีค่านำเชื่อถือในการส่งมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การเลือกโหนดความเร็วโดยใช้ค่ามากที่สุดเป็นค่าตอบ

3. การวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

ประสิทธิภาพการทำงานของระบบจะพิจารณาจากการเลือกโหมดที่ใช้ส่งและค่าตามวัตถุประสงค์ของการเลือกโหมด ซึ่งการวัดประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นวัดประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งเป็นสำคัญ โดยจะวัดประสิทธิภาพในการตัดสินใจเลือกโหมดการส่งเทียบกับแอกเซสพอยต์ที่ยังไม่มีการทำงานคือมีการปรับตั้งค่าโหมดสำหรับการส่งมัลติคาสต์ไว้เป็นความเร็วคงที่โหมดความเร็วหนึ่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกเปรียบเทียบเฉพาะโหมดความเร็วที่เป็นโหมดความเร็วในการส่งของมาตรฐาน IEEE 802.11g OFDM เท่านั้นไม่รวมไปถึงโหมดความเร็วที่เป็นของ IEEE 802.11 b/g คือเป็น IEEE 802.11g CCK ซึ่งเป็นการใช้งานตามปกติ ซึ่งจะเลือกโหมดการส่งตามมาตรฐานคือที่โหมดความเร็ว 2 Mbps เพื่อให้โมบายโฮสต์ที่เป็น IEEE 802.11b เดิมสามารถรับข้อมูลได้ แต่ในงานวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะโมบายโฮสต์ที่เป็น IEEE 802.11g เท่านั้น เนื่องจากต้องการวัดประสิทธิภาพในส่วนของการตัดสินใจก่อนจะนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

3.1 การวัดประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย

ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายนั้นจะดูจากทรูพุทสูงสุดที่โหมดความเร็วที่เลือกทำได้ในเฉพาะในการส่งมัลติคาสต์ โดยจะพิจารณาแยกส่วนจากทรูพุทของทั้งเครือข่าย ดังนั้นในการพิจารณาทรูพุทรวมของการส่งมัลติคาสต์นั้นจะดูได้จากโหมดความเร็วที่ใช้ในการส่ง ทรูพุทสูงสุดที่ได้จากการทดลอง และจำนวนโมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์ที่สามารถรับข้อมูลที่โหมดความเร็วที่ถูกเลือกนั้นได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์นั้นๆ และข้อมูลของความสามารถในการรับของโมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์นั้น

ในการคำนวณทรูพุทสูงสุดที่ทำได้นั้นนอกจากจะคำนึงถึงข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์แล้วยังต้องพิจารณาถึงภาระของเครือข่ายและความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธด้วย เนื่องจากหากมีความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธแล้วภาระของเครือข่ายมีค่ามากจนไม่พอเพียงต่อความต้องการใช้ส่งข้อมูลทำให้การส่งโดยรวมนั้นไม่สามารถส่งข้อมูลได้ทั้งหมด ดังนั้นในการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบหากเกิดกรณีที่ภาระของเครือข่ายไม่พอเพียงต่อการส่งตามความต้องการแบนด์วิธของการส่งจึงต้องคิดทรูพุทสูงสุดเทียบอัตราส่วนของข้อมูลที่ส่งได้จริงกับที่ต้องการส่งเพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบในการเลือกโหมดความเร็วในการส่งแบบคงที่กับแบบที่งานวิจัยนี้นำเสนอ ซึ่ง

ภาระเครือข่ายที่ใช้ในการคำนวณนี้จะกำหนดให้เป็นภาระเครือข่ายที่ไม่รวมกับการส่งมัลติคาสต์ที่นำมาพิจารณาหาประสิทธิภาพ สำหรับการคำนวณเพื่อหาทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์จะแสดงได้ดังสมการ (17)

$$\text{ทรูพุทสูงสุดกลุ่มมัลติคาสต์} = \text{ทรูพุทสูงสุดของโหนดความเร็วที่เลือก} \times \text{จำนวนโหนดที่รับข้อมูลได้} \quad (17)$$

สำหรับกรณีที่ภาระของเครือข่ายทำให้แบนด์วิธที่เหลือไม่พอต่อความต้องการแบนด์วิธจะได้ค่าทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ดังสมการ (18)

$$\text{ทรูพุทสูงสุดกลุ่มมัลติคาสต์} = \frac{\text{ทรูพุทสูงสุดของโหนดความเร็วที่เลือก} \times \text{จำนวนโหนดที่รับข้อมูลได้} \times \text{ทรูพุทสูงสุดของแบนด์วิธที่เหลือ}}{\text{แบนด์วิธที่ต้องการส่ง}} \quad (18)$$

3.2 การวัดความน่าเชื่อถือในการส่ง

การหาค่าความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นจะใช้ค่าอัตราส่วนของจำนวนโหนดที่รับข้อมูลกับจำนวนโหนดทั้งหมดในกลุ่มมัลติคาสต์ ซึ่งโหนดที่รับข้อมูลได้นั้นคือโหนดที่รับข้อมูลที่มีโหนดความเร็วที่เอกเซสพอยต์ใช้ในการส่งตามโหนดความเร็วที่เลือก ดังนั้นในการหาค่าความน่าเชื่อถือในการส่งเพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบในการเลือกโหนดการส่งนั้นจะสามารถคำนวณได้จากข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณ ซึ่งเมื่อมีการเลือกใช้โหนดการส่งแล้วจะสามารถหาค่าอัตราส่วนดังกล่าวได้

เช่นเดียวกันกับการวัดประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายซึ่งใช้ค่าทรูพุทสูงสุดรวมของโหนดที่รับข้อมูลได้ ค่าความน่าเชื่อถือของการส่งนั้นก็ขึ้นอยู่กับภาระของเครือข่ายและความต้องการแบนด์วิธในการส่งเช่นกัน ในกรณีที่ภาระของเครือข่ายนั้นมีมากจนไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งแล้ว ก็จะทำให้ข้อมูลนั้นไม่อาจส่งไปได้ทั้งหมด โดยจะเกิดการทิ้งข้อมูลที่ไม่ได้ส่งซึ่งเป็นการสูญหายของข้อมูล ดังนั้นในการวัดความน่าเชื่อถือในการส่งจึงต้องคิดอัตราส่วนความน่าเชื่อถือเทียบกับอัตราส่วนของข้อมูลที่ส่งได้จริงเทียบกับแบนด์วิธที่ต้องการใช้ในการส่ง ซึ่งจะเป็นค่าอัตราส่วนที่สามารถส่งได้จริงเมื่อภาระของเครือข่ายทำให้เครือข่ายไม่สามารถส่งข้อมูลได้ครบตามความต้องการแบนด์วิธ ซึ่งค่าที่ได้ก็จะสามารถนำไปเปรียบเทียบในการเลือกโหนดการส่งแบบต่างๆ ตามวิธีการต่อไป สำหรับการคำนวณค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งแสดงได้ดังสมการ (19)

$$\text{อัตราส่วนความน่าเชื่อถือ} = \frac{\text{จำนวนโมบายโฮสต์ที่รับข้อมูลได้}}{\text{จำนวนโมบายโฮสต์ของกลุ่มมัลติคาสต์}} \quad (19)$$

ส่วนกรณีที่ภาระของเครือข่ายทำให้แบนด์วิธที่เหลือไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธที่โหนดการส่งที่เลือกสามารถหาค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือได้ดังสมการ (20)

$$\text{อัตราส่วนความน่าเชื่อถือ} = \frac{\text{จำนวนโมบายโฮสต์ที่รับข้อมูลได้} \times \text{ทรูพุทสูงสุดของแบนด์วิธที่เหลือ}}{\text{จำนวนโมบายโฮสต์ของกลุ่มมัลติคาสต์} \times \text{แบนด์วิธที่ต้องการส่ง}} \quad (20)$$

3.3 การเปรียบเทียบเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงาน

ค่าทรูพุทสูงสุด และค่าอัตราส่วนจำนวนโมบายโฮสต์ที่รับข้อมูลได้กับจำนวนโมบายโฮสต์ทั้งหมดในกลุ่มมัลติคาสต์นั้นจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่ง ซึ่งในการทำงานของระบบจริงๆ นั้นการเลือกโหนดการส่งที่นำเสนอขึ้นจะมีการปรับเปลี่ยนไปตามภาระของเครือข่าย ความต้องการแบนด์วิธในการส่ง ข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์ และความสามารถในการรับสัญญาณของกลุ่มมัลติคาสต์ ซึ่งในการทำงานแบบเดิมที่จะนำมาเปรียบเทียบนั้นจะมีการเลือกใช้โหนดความเร็วในการส่งมัลติคาสต์เป็นค่าคงที่ โหนดความเร็วใดความเร็วหนึ่ง ซึ่งเมื่อจะนำมาเปรียบเทียบนั้นจะต้องมีการแปรค่าปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกโหนดความเร็วเพื่อดูผลของการเลือกแล้วนำมาคำนวณค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่ง ซึ่งค่าที่จะแปรผันเพื่อดูความแตกต่างของระบบในการเลือกโหนดความเร็วในการส่งที่นำเสนอในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ ข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณ และอีกกลุ่มหนึ่งคือภาระของเครือข่ายและความต้องการแบนด์วิธ

3.3.1 ข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณ

ข้อมูลนี้สามารถกำหนดให้เป็นรูปแบบสำหรับการเลือกโหนดความเร็วได้ โดยในการคำนวณสามารถหารูปแบบของกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีจำนวนโมบายโฮสต์จำนวนหนึ่งจะมีความสามารถในการรับสัญญาณแบบใดๆ ได้ครบทุกกรณี โดยในโหนดความเร็วในการส่งตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ที่ใช้อ้างอิงในการวิจัยนี้มีอยู่ 8 โหนดความเร็ว ซึ่งสามารถจำแนกความสามารถในการรับสัญญาณของโมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์ตามความสามารถในการรับ

ข้อมูลจากเอกเซพอยต์ที่โหมคความเร็วสูงสุดต่างๆ ได้เป็น 8 กลุ่มโหมคความเร็ว ซึ่งเมื่อหารูปแบบของความสามารถในการรับสัญญาณของโหมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์จะได้จำนวนรูปแบบแบ่งตามจำนวนโหมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์ได้ดังตัวอย่างตามตารางที่ 13 สำหรับรูปแบบข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณนั้นจะหาได้จากการใช้โปรแกรมสร้างรูปแบบดังแสดงไว้ในภาคผนวก

ตารางที่ 13 ตารางแสดงจำนวนกรณีของความสามารถในการรับสัญญาณของโหมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีจำนวนโหมบายโฮสต์ 1 ถึง 10 ตัว

จำนวนโหมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์	จำนวนกรณีของความสามารถในการรับสัญญาณของโหมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์
1	8
2	36
3	120
4	330
5	792
6	1,716
7	3,432
8	6,435
9	11,440
10	19,448

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลของวิธีการเลือกโหมคการส่งที่นำเสนอของงานวิจัยนี้กับการเลือกโหมคการส่งมัลติคาสต์แบบเดิมซึ่งเป็นค่าคงที่นั้นจะใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรูพุทสูงสุดกลุ่มมัลติคาสต์และค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งสำหรับกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีจำนวนสมาชิกจำนวนเท่ากันของวิธีการเลือกแบบที่นำเสนอกับการเลือกโหมคแบบคงที่ทุกโหมคความเร็ว โดยค่าเฉลี่ยที่หาได้นั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากกรณีของความสามารถในการรับสัญญาณของโหมบายโฮสต์ของกลุ่มมัลติคาสต์จำนวนดังกล่าวทุกกรณี ซึ่งจะได้ค่าที่จะนำมาเปรียบเทียบจากการคำนวณโดยมีการควบคุมค่าภาระของเครือข่ายและความต้องการแบนด์วิธ

3.3.2 ข้อมูลกลุ่มภาระของเครือข่ายและความต้องการแบนด์วิธ

ข้อมูลภาระของเครือข่ายและความต้องการแบนด์วิธในการส่งนั้นจะบอกสถานะของเครือข่ายว่ามีแบนด์วิธเหลือเพียงพอต่อการส่งตามความต้องการการใช้งานแบนด์วิธนั้นหรือไม่ ในการวัดประสิทธิภาพของการเลือกโหมดการส่งนั้นจะมีค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือค่าทรูพุทสูงสุดกลุ่มมัลติคาสต์ และค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือ ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ยของทุกกรณีของข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณของกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีสมาชิกจำนวนใดจำนวนหนึ่งทุกกรณี หากพิจารณาถึงภาระของเครือข่ายและความต้องการแบนด์วิธแล้วจะแบ่งเป็นกรณีต่างๆ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้ดังนี้

ก. กรณีที่ภาระเครือข่ายเพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ

เป็นกรณีปกติที่เกิดขึ้นในการใช้งานทั่วไป โดยความต้องการแบนด์วิธนั้นจะมีค่าน้อยกว่าโหมดความเร็วที่น้อยที่สุดและภาระเครือข่ายก็มีค่าน้อยพอที่จะทำให้การส่งที่โหมดความเร็วที่น้อยที่สุดเพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ ซึ่งกรณีนี้ก็จะเป็นการทำงานเปรียบเทียบในกรณีปกติที่ระบบมีการทำงานในการเลือกโหมดการส่งมัลติคาสต์

ข. กรณีความต้องการแบนด์วิธมีมากกว่าทรูพุทสูงสุดของโหมดความเร็ว

เป็นการทดสอบการเลือกโหมดความเร็วในการส่งเมื่อความต้องการแบนด์วิธมีค่ามากกว่าทรูพุทสูงสุดที่โหมดความเร็วนั้นทำได้ในขณะที่ภาระของเครือข่ายมีน้อยโดยไม่มีผลต่อการเลือกโหมดความเร็ว ซึ่งการคำนวณหาค่าเปรียบเทียบทั้งค่าทรูพุทสูงสุดกลุ่มมัลติคาสต์และค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของทุกกรณีของข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณนั้นจะทดลองหาค่าเปรียบเทียบในความต้องการแบนด์วิธที่มากกว่าทรูพุทสูงสุดของแต่ละโหมดความเร็ว

ง. กรณีภาระเครือข่ายทำให้ทรูพุดไม่พอต่อความต้องการแบนด์วิธ

เป็นกรณีที่เครือข่ายมีภาระมาก ทำให้แบนด์วิธที่เหลือไม่เพียงพอต่อการส่งข้อมูลตามความต้องการแบนด์วิธในโหมดความเร็วที่มีค่าทรูพุดมากที่สุดน้อยกว่าโหมดความเร็วใดความเร็วหนึ่ง ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดขึ้นเมื่อเครือข่ายมีภาระในการใช้งานสูงๆ และจะต้องสังเกตผลของการเลือกโหมดการส่งในสถานะของเครือข่ายแบบนี้ ซึ่งในการคำนวณเปรียบเทียบจะใช้กรณีที่เครือข่ายมีภาระมากขึ้นจนทรูพุดสูงสุดของโหมดความเร็วไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในโหมดความเร็วต่างๆ

3.4 การใช้ค่าดัชนีเพื่อทำการเปรียบเทียบ

ค่าดัชนีที่จะนำมาเปรียบเทียบนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้สามารถทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและค่าความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลได้ด้วยค่าเดียว ทั้งนี้ค่าดัชนีที่ใช้ในการเปรียบเทียบนี้จะเป็ผลคูณระหว่างค่าที่แสดงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและค่าความน่าเชื่อถือในการส่ง ซึ่งผลที่ได้้นั้นค่าดัชนีที่มีค่าสูงจะแสดงว่ามีประสิทธิภาพดีทั้งในแง่การใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล

เนื่องจากค่าที่ใช้แสดงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายนั้นเป็นค่าของค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุดสูงสุดที่ได้ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ ในขณะที่ค่าความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนสมาชิกดังกล่าวและมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1 ดังนั้นในการนำมาหาค่าดัชนี ค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุดสูงสุดจึงต้องนำมาทำการปรับค่าก่อน โดยจะให้มีการคำนวณจากอัตราส่วนทรูพุดที่ได้ต่อทรูพุดสูงสุดที่มีการส่งที่โหมดความเร็วสูงสุด โดยที่สมาชิกทุกตัวของกลุ่มมัลติคาสต์นั้นสามารถรับข้อมูลได้ ซึ่งเป็นทรูพุดสูงสุดที่เป็นไปได้ในการส่ง ดังสมการ (21)

$$\text{ดัชนีทรูพุดสูงสุด} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยทรูพุดสูงสุด}}{\text{จำนวนสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์} \times \text{ทรูพุดสูงสุดของโหมดความเร็วสูงสุด}} \quad (21)$$

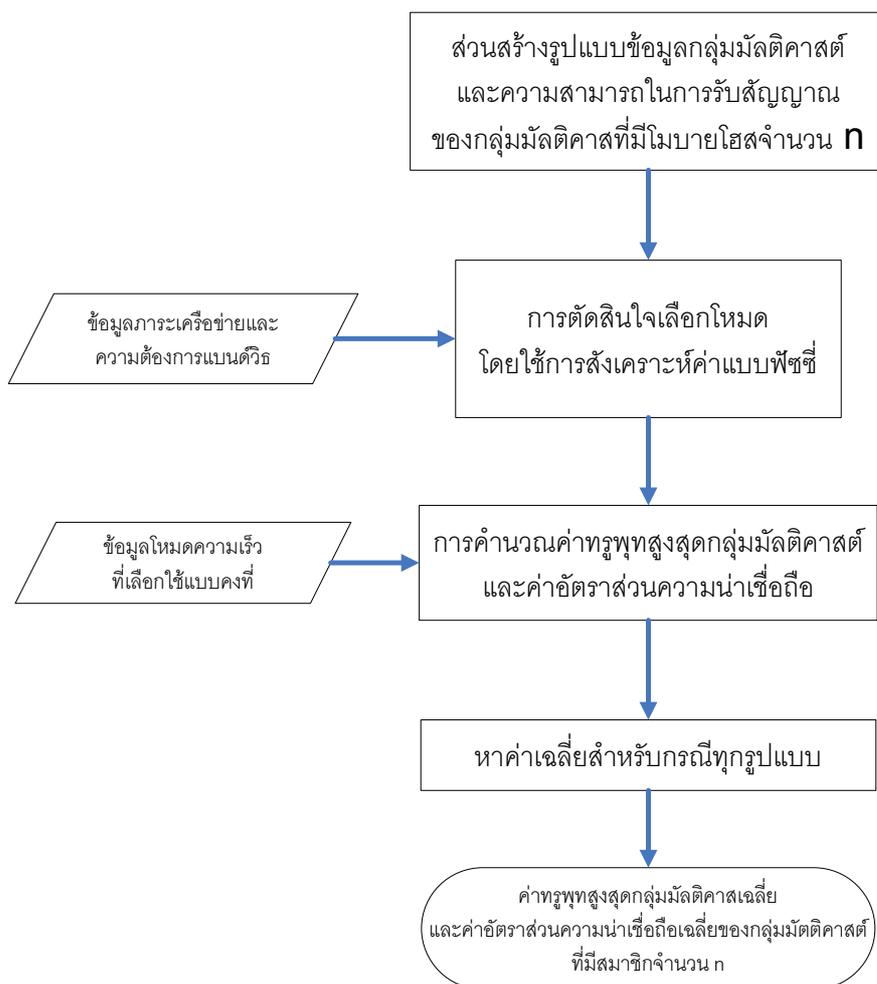
เมื่อได้ค่าดัชนีทรูพุดสูงสุดก็จะนำไปคำนวณค่าดัชนีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือโดยค่าที่ได้เป็นผลคูณระหว่างค่าดัชนีทรูพุดสูงสุดกับความน่าเชื่อถือในการส่งซึ่งค่าที่ได้จะ

นำไปใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายพร้อมกับความน่าเชื่อถือในการส่งได้ด้วย
ค่าเดียว

3.5 การคำนวณค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

การคำนวณเพื่อหาค่าทรูพุดสูงสุดกลุ่มมัลติคาสต์เฉลี่ยกับค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งของกลุ่มมัลติคาสต์เฉลี่ยของทุกกรณีข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณนั้นจะทำโดยใช้โปรแกรมในการคำนวณ โดยจะมีส่วนการสร้างกรณีของข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับสัญญาณของกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีโมบายโฮสต์จำนวนใดจำนวนหนึ่งแต่ละจำนวน ซึ่งรูปแบบทั้งหมดจะถูกนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกโหมดความเร็วในการส่งมัลติคาสต์รวมทั้งข้อมูลของภาระเครือข่ายและความต้องการแบนด์วิธตามกรณีต่างๆข้างต้น โดยจะมีส่วนของการตัดสินใจซึ่งเป็นการหาค่าโหมดความเร็วที่งานวิจัยนี้นำเสนอซึ่งจะให้ผลลัพธ์เป็นค่าโหมดความเร็วที่เลือกโดยการใช้วิธีการสังเคราะห์ค่าแบบฟิชซี จากนั้นผลที่ได้ก็จะนำไปคำนวณเพื่อหาค่าทรูพุดสูงสุดกลุ่มมัลติคาสต์และอัตราส่วนความน่าเชื่อถือของกรณีข้อมูลความสามารถในการรับสัญญาณของกลุ่มมัลติคาสต์นั้นๆ ซึ่งจะนำมาค่าของทุกกรณีมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบในแต่ละกรณีของภาระเครือข่ายและความต้องการแบนด์วิธ ซึ่งขั้นตอนต่างๆ สามารถแสดงได้ตามแผนภาพขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 20

สำหรับการคำนวณค่าในในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมโดยใช้ภาษาซีซึ่งคอมไพล์และทำงานการคำนวณเพื่อหาค่าทรูพุดสูงสุดกลุ่มมัลติคาสต์เฉลี่ยและค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือเฉลี่ยของกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีจำนวนสมาชิกเป็นโมบายโฮสต์จำนวน n ตัว โดยแยกเป็นกรณีต่างๆ ตามภาระของเครือข่ายและความต้องการแบนด์วิธในการส่งมัลติคาสต์ของกลุ่มมัลติคาสต์นั้น ซึ่งส่วนของโปรแกรมจะแสดงไว้ในภาคผนวก



ภาพที่ 20 แผนภาพแสดงขั้นตอนการหาค่าทฤษฎีสูงสุดเฉลี่ยและอัตราส่วนความน่าเชื่อถือเฉลี่ย
ของกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีสมาชิกจำนวน n

ผลและวิจารณ์

ผล

ผลที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างการเลือกโหมดแบบที่ใช้เป็น โหมดความเร็ว การส่งคงที่ กับแบบที่ใช้การตัดสินใจแบบพีซีซึ่งงานวิจัยนี้นำเสนอ นั้นจะเป็นผลที่แสดงถึงค่า ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งเป็นสำคัญ โดยที่ค่าทั้งสองนั้นจะ แสดงการเปรียบเทียบโดยที่ ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายนั้นจะใช้งาน ผลรวมของทรูพุท สูงสุดที่กลุ่มมัลติคาสต์รับข้อมูลได้ โดยค่าที่ใช้นามาเปรียบเทียบนั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยทุกกรณีของ ความสามารถในการรับของกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีสมาชิกจำนวนหนึ่งเท่ากัน และค่าความน่าเชื่อถือใน การส่งนั้นจะใช้ค่าอัตราส่วนของจำนวน โหมดไฮสปีดที่ได้รับข้อมูลต่อจำนวน โหมดไฮสปีดที่อยู่ใน กลุ่มมัลติคาสต์ โดยค่าที่ใช้นามาเปรียบเทียบนั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยทุกกรณีของความสามารถในการรับ ของกลุ่มมัลติคาสต์เช่นเดียวกัน

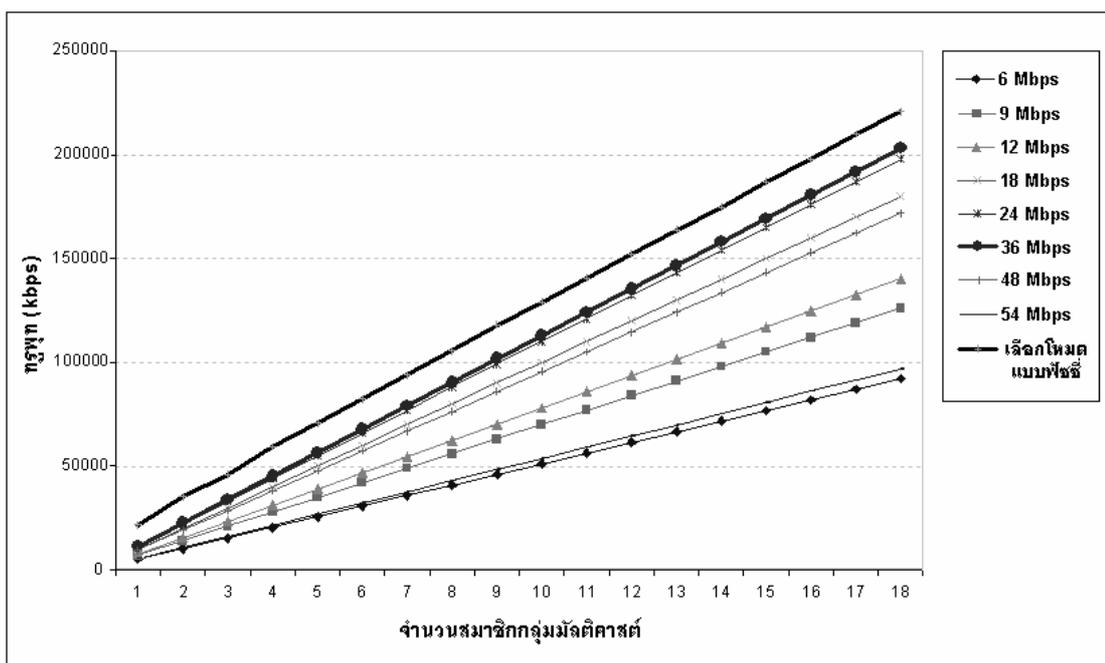
สำหรับผลการทดลองที่ได้นั้นจะแบ่งเป็น 3 กรณีตามเงื่อนไขตามความต้องการใช้งาน แบบดิวซ์ในการส่งและภาระของเครือข่าย ซึ่งได้แก่กรณีที่ภาระเครือข่ายมีน้อยทำให้เพียงพอต่อ ความต้องการในการใช้งานแบบดิวซ์ กรณีการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายทำให้ไม่เพียงพอในการส่ง ในแต่ละโหมดความเร็ว และกรณีการเพิ่มของความต้องการใช้งานแบบดิวซ์ทำให้ไม่เพียงพอใน การส่งในแต่ละโหมดความเร็ว

1. กรณีภาระเครือข่ายน้อยเพียงพอต่อความต้องการในการใช้งานแบบดิวซ์

กรณีนี้จะเป็นการเปรียบเทียบตามสภาพการทำงานทั่วไปที่ภาระของเครือข่ายมีน้อยและ เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งานแบบดิวซ์ในการส่งมัลติคาสต์ ซึ่งในการทดลองนั้นจะ กำหนดให้เครือข่ายไม่มีภาระในการใช้งาน และความต้องการในการใช้งานแบบดิวซ์มีน้อยมากคือ เท่ากับ 0 kbps ซึ่งผลที่ได้นั้นจะเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดที่ทำได้ของ กลุ่มมัลติคาสต์ และค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งของกลุ่มมัลติคาสต์ ซึ่งจะเป็น ผลของกรณีที่กลุ่มมัลติคาสต์มีสมาชิกตั้งแต่ 1 ถึง 18 โหนด

1.1 ผลประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย

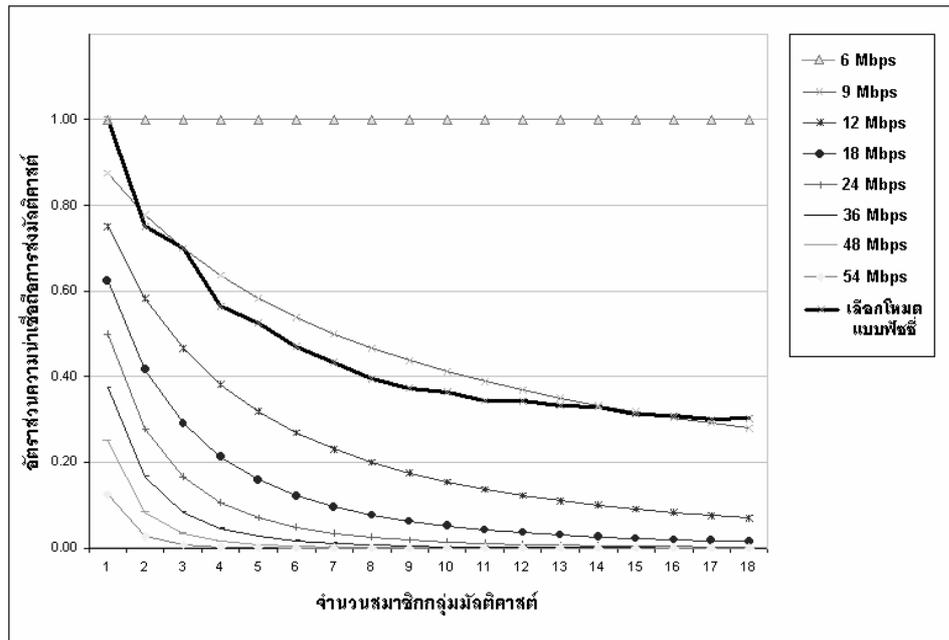
ค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดที่ทำได้ของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่มีสมาชิกตั้งแต่ 1 ถึง 18 โหนด โดยที่ไม่มีภาระการใช้งานเครือข่าย และความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธของการส่งมัลติคาสต์เท่ากับ 0 แสดงผลการคำนวณได้ดังกราฟในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 0 และความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 0

1.2 ผลความน่าเชื่อถือในการส่ง

ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์ซึ่งได้จากอัตราส่วนของจำนวน โมบายโฮสต์ในกลุ่มมัลติคาสต์ที่สามารถรับข้อมูลของโหนดความเร็วในการส่งที่เลือกใช้ได้ ต่อจำนวน โมบายโฮสต์ทั้งหมดในกลุ่มมัลติคาสต์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์และความสามารถในการรับข้อมูล โดยค่าเฉลี่ยที่ได้นั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยของทุกกรณีของทุกข้อมูลกลุ่มมัลติคาสต์ของจำนวนโมบายโฮสต์ในกลุ่มตั้งแต่ 1 ถึง 18 โมบายโฮสต์ และกำหนดให้ภาระเครือข่ายเท่ากับ 0 และความต้องการใช้งานแบนด์วิธในการส่งเท่ากับ 0 โดยค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นแสดงไว้ดังกราฟในภาพที่ 22



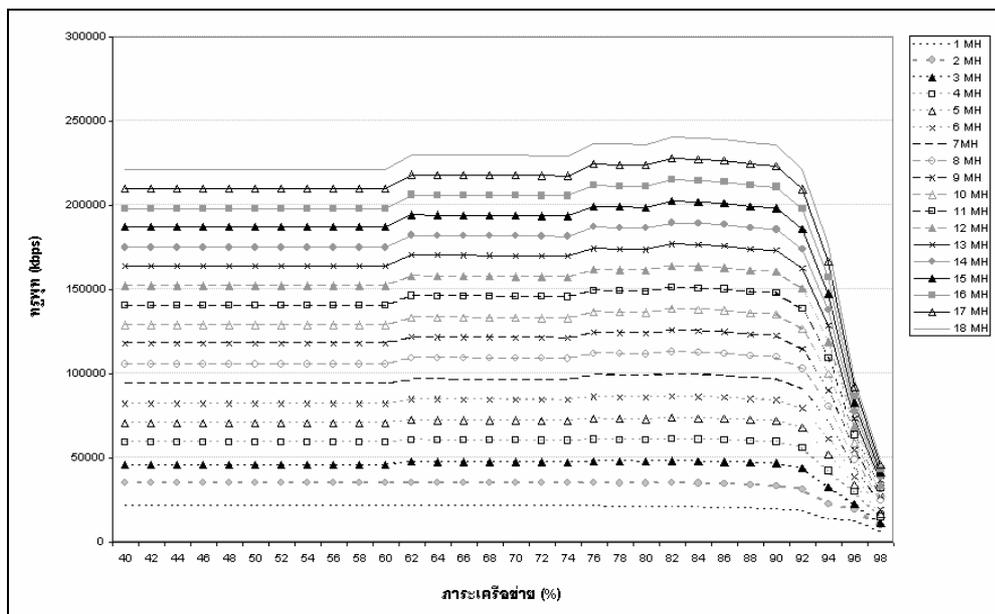
ภาพที่ 22 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 0 และความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 0

2. กรณีของการเพิ่มภาระเครือข่ายทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่ง

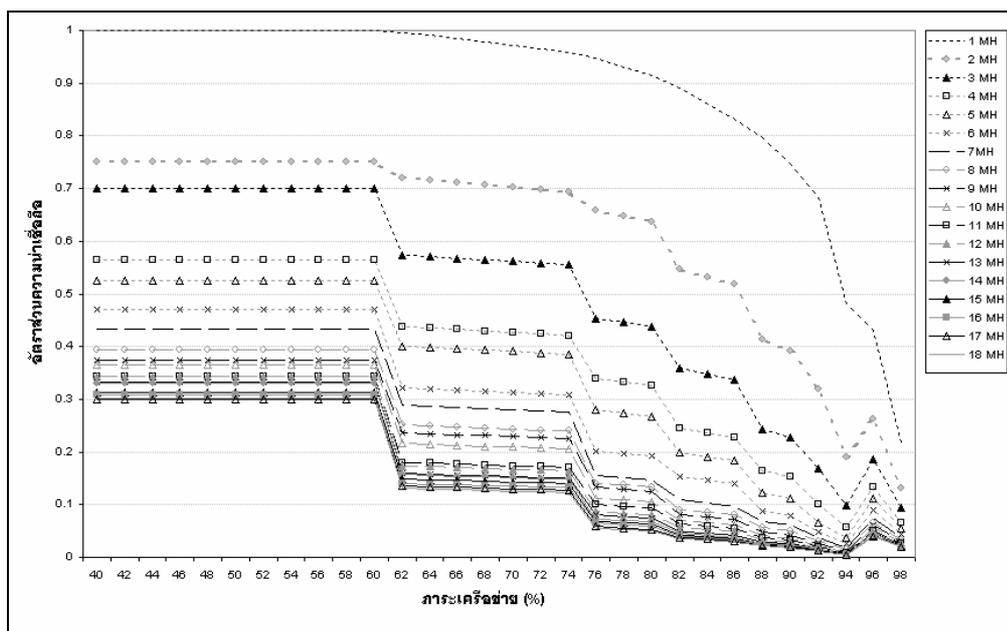
เป็นสถานการณ์ที่ภาระการใช้งานของเครือข่ายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้หากมีการส่งที่โหมคความเร็วใดความเร็วหนึ่งแล้วทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งมัลติคาสต์ ผลการคำนวณดังกล่าวจะแสดงค่าเฉลี่ยของทราฟฟิคสูงสุดรวมของกลุ่มมัลติคาสต์และอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์ในกรณีที่มีการใช้การเลือกโหมคการส่งแบบพีซีซีและการเลือกโหมคการส่งเป็นโหมคความเร็วหนึ่งๆ ได้แก่ที่โหมคความเร็ว 6, 9, 18, 36 และ 54 Mbps โดยจะแสดงแยกเป็นกรณี และกำหนดให้ความต้องการแบนด์วิธเป็นที่ 2,000 และ 3,000 kbps และกำหนดให้ภาระของเครือข่ายมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 40 ถึงร้อยละ 98 การใช้งาน โดยค่าที่ใช้จะจะมีการเพิ่มค่าภาระของเครือข่ายครั้งละร้อยละ 2 ซึ่งผลของการคำนวณแสดงได้ดังกราฟดังภาพซึ่งจะได้แบ่งตามกรณีต่อไปนี้

2.1 กรณีค่าความต้องการใช้งานเครือข่ายเท่ากับ 2000 kbps

กรณีใช้การเลือกโหนดความเร็วการส่งแบบพีชชี ได้ผลดังภาพที่ 23 และ 24

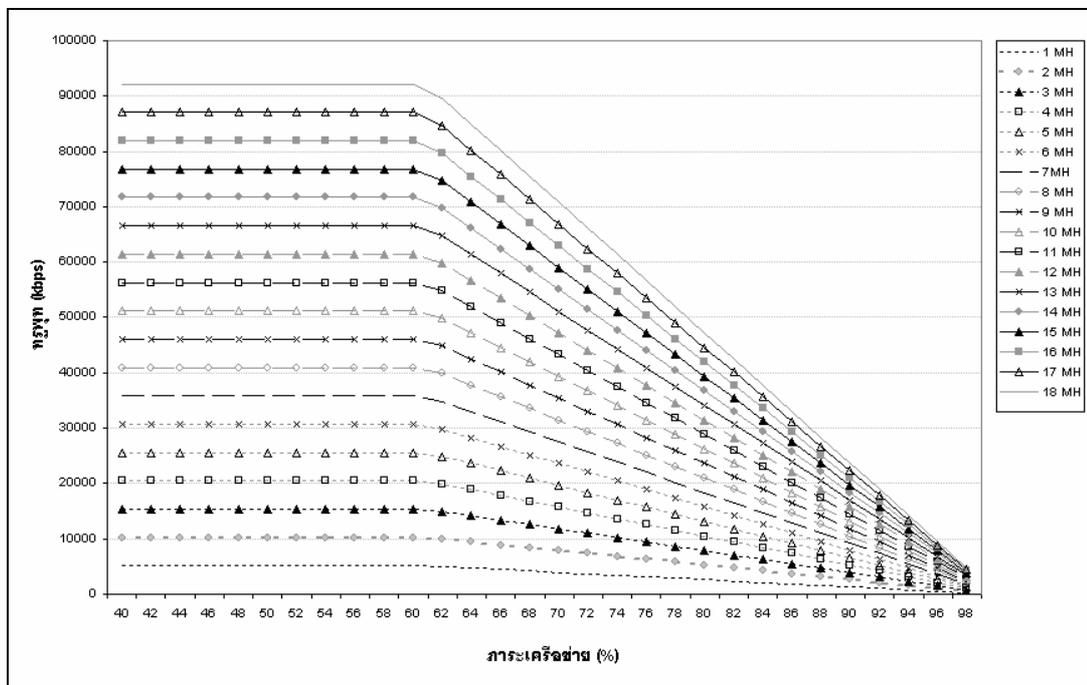


ภาพที่ 23 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็วแบบพีชชีที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

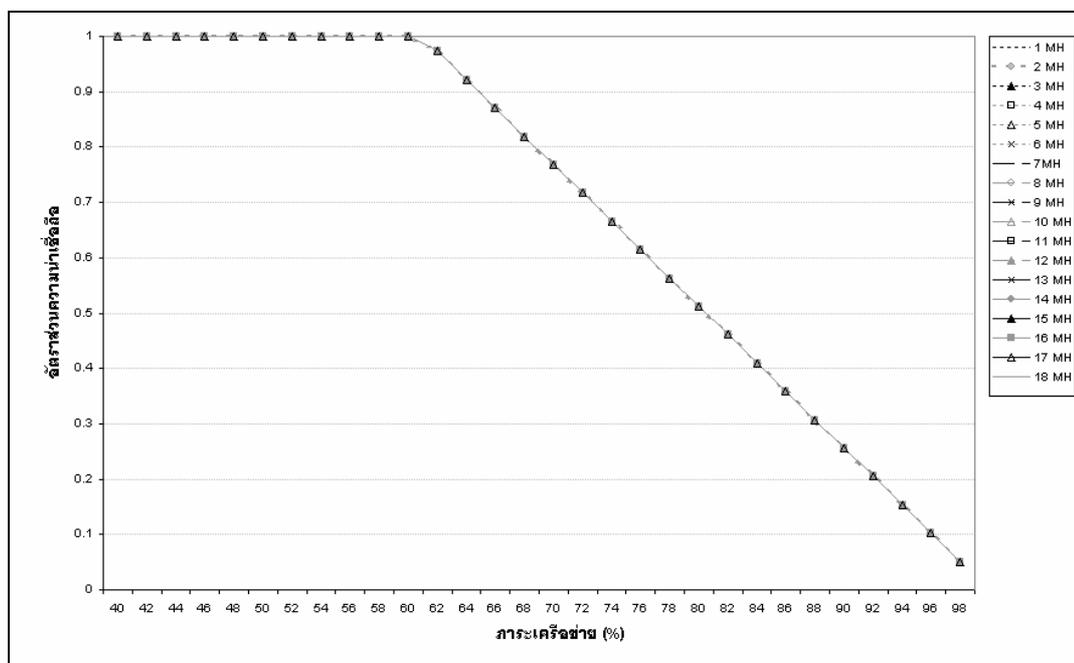


ภาพที่ 24 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความสำเร็จในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหนดความเร็วแบบพีชชีที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 6 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 25 และ 26

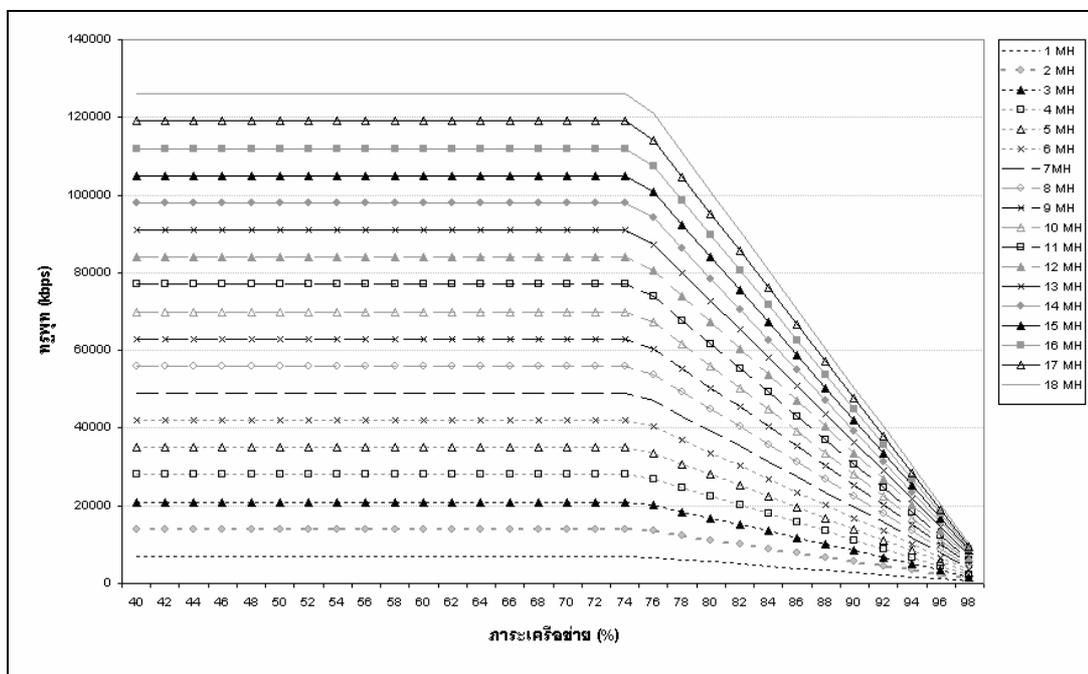


ภาพที่ 25 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 6 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

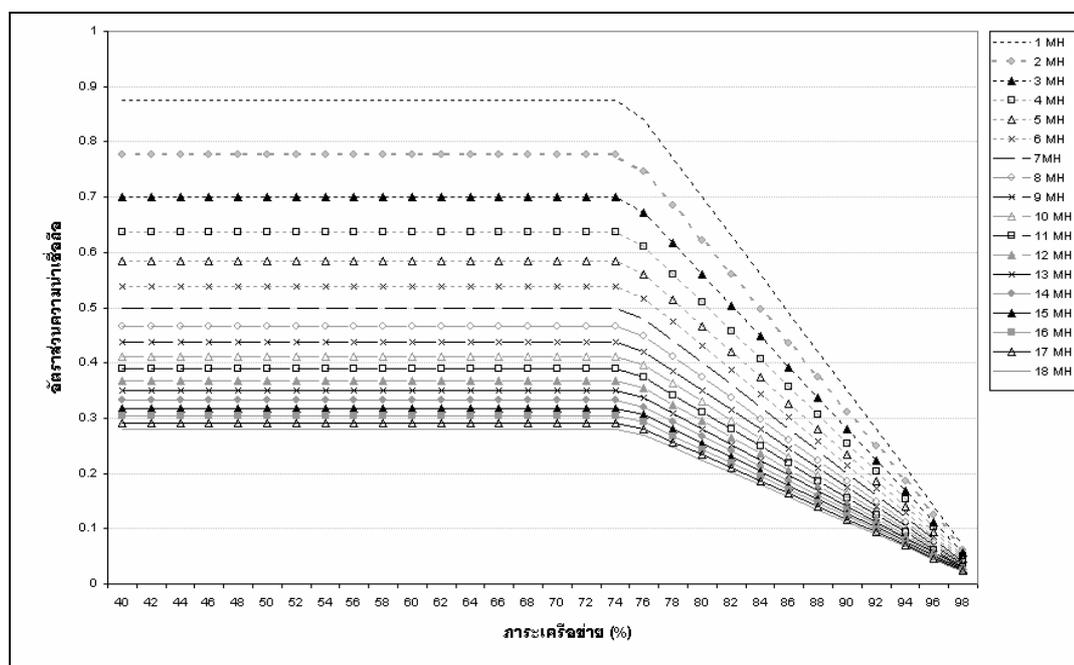


ภาพที่ 26 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความสำเร็จในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 6 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 9 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 27 และ 28

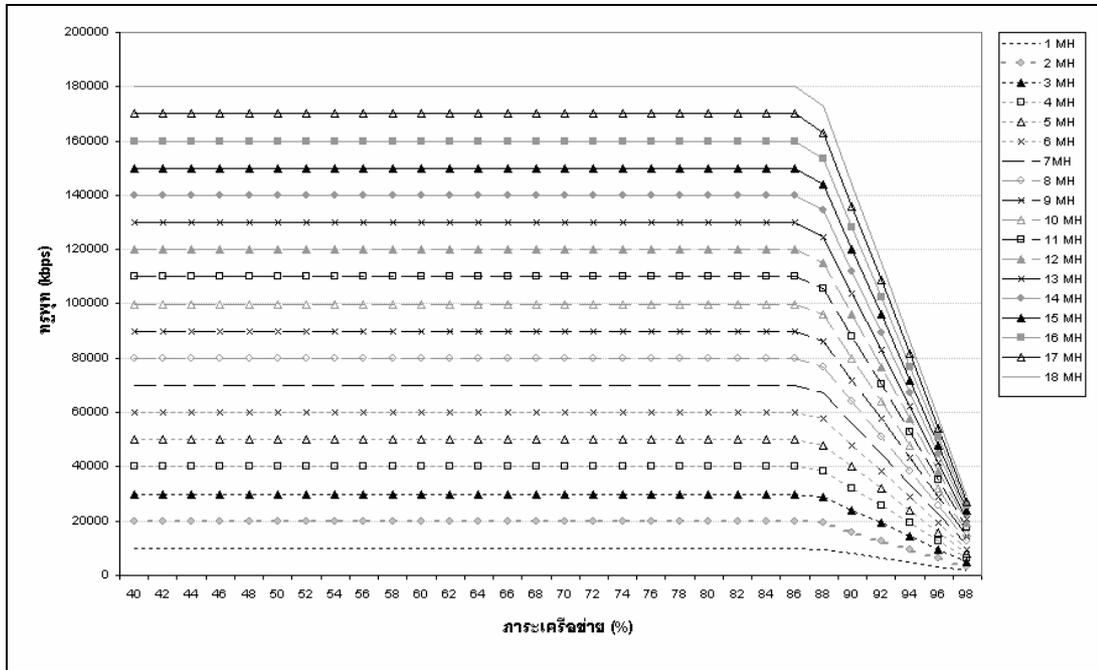


ภาพที่ 27 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 9 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

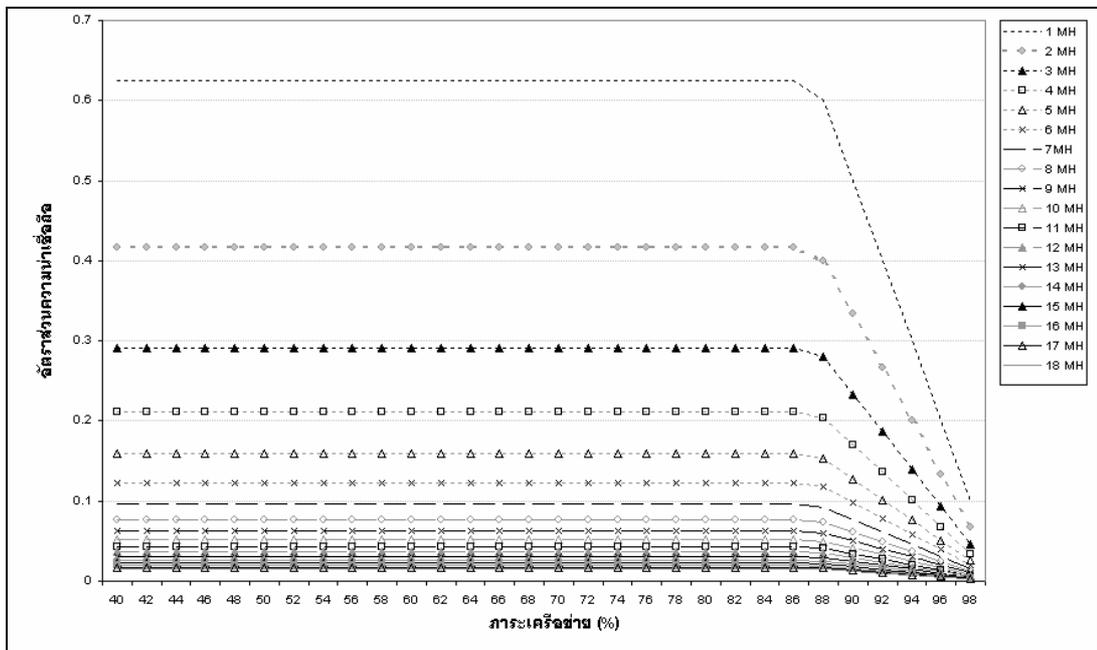


ภาพที่ 28 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 9 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 18 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 29 และ 30

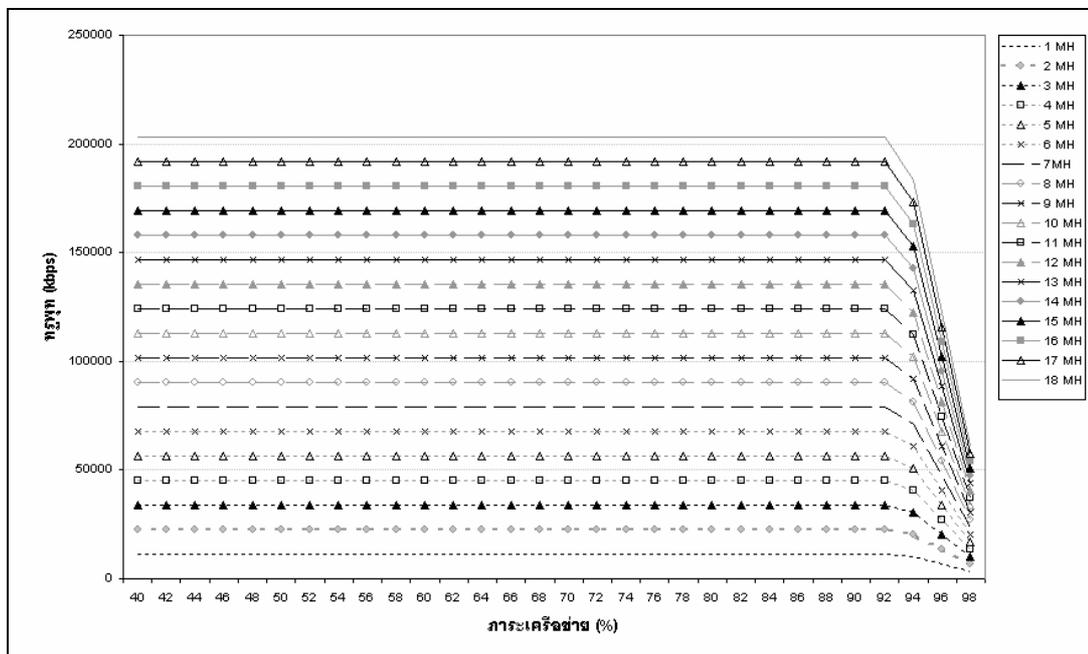


ภาพที่ 29 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคลาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 18 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

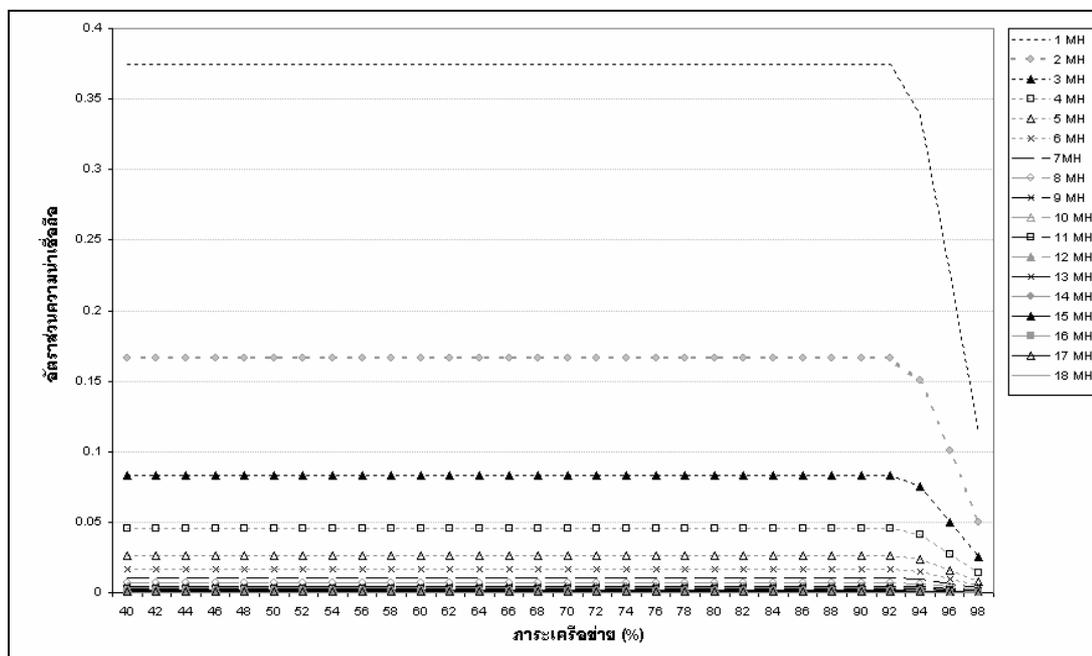


ภาพที่ 30 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคลาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 18 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 36 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 31 และ 32

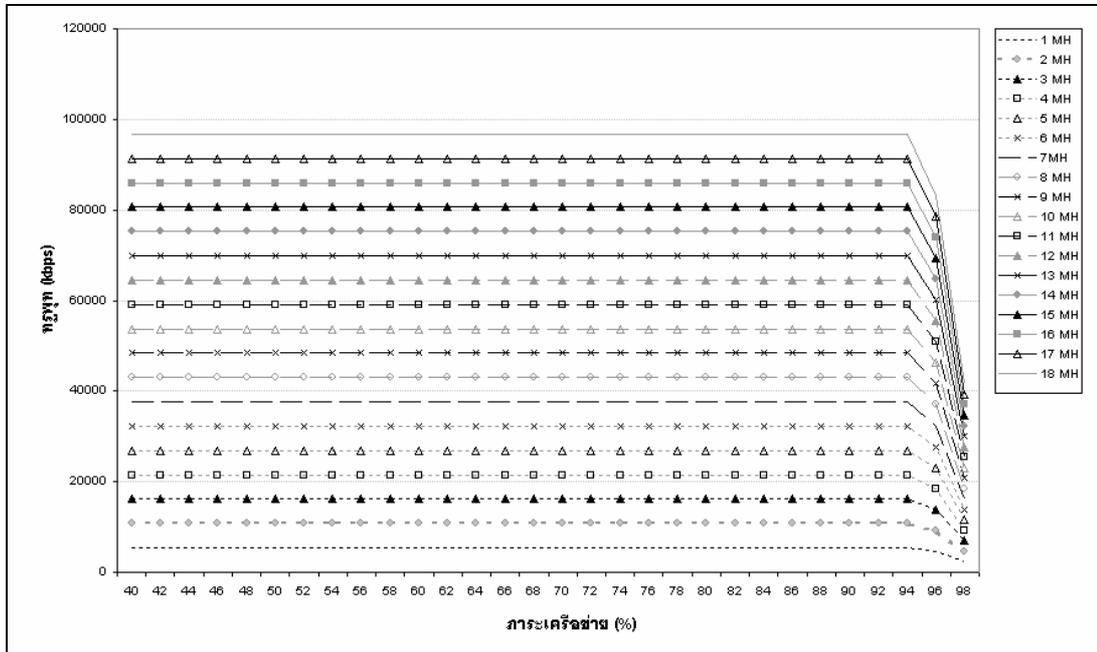


ภาพที่ 31 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคลาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 36 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

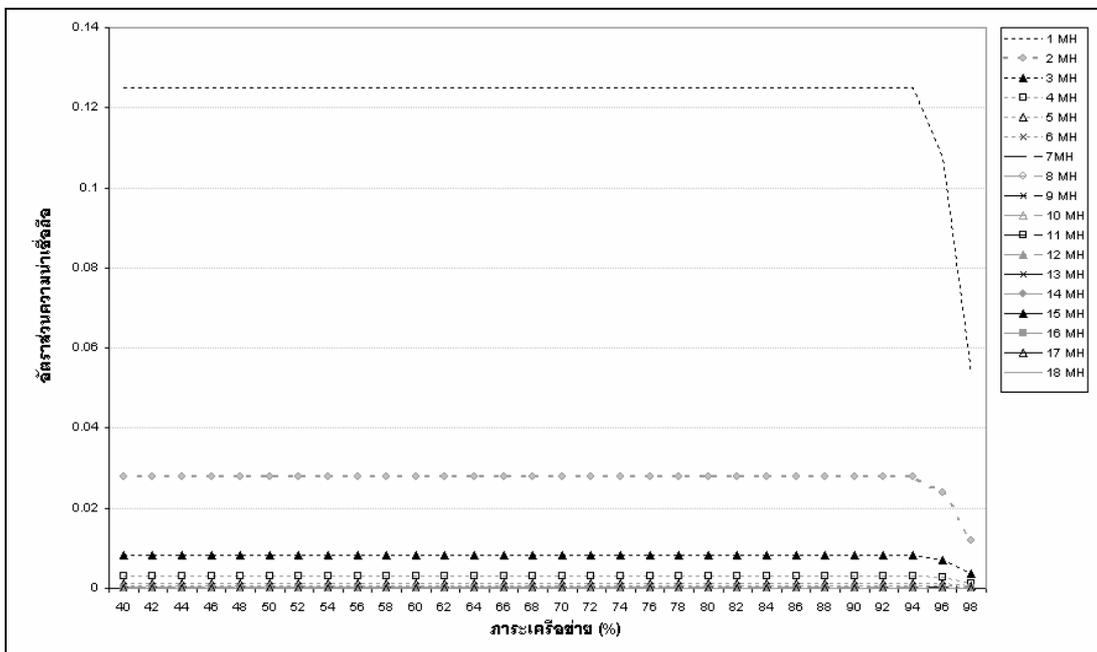


ภาพที่ 32 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคลาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 36 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 54 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 33 และ 34



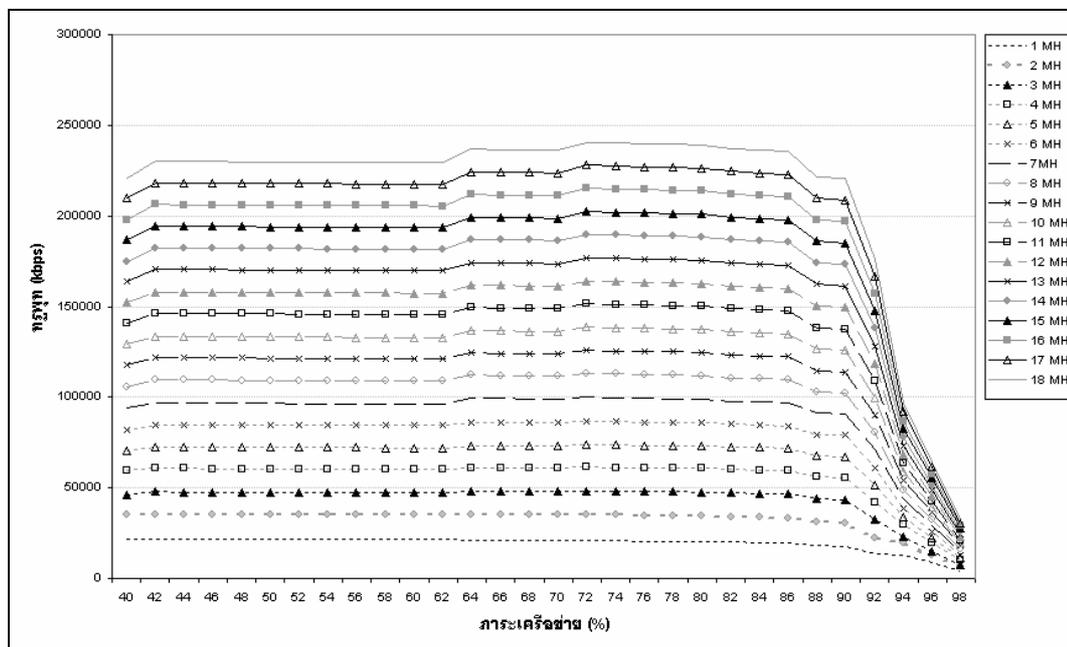
ภาพที่ 33 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 54 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps



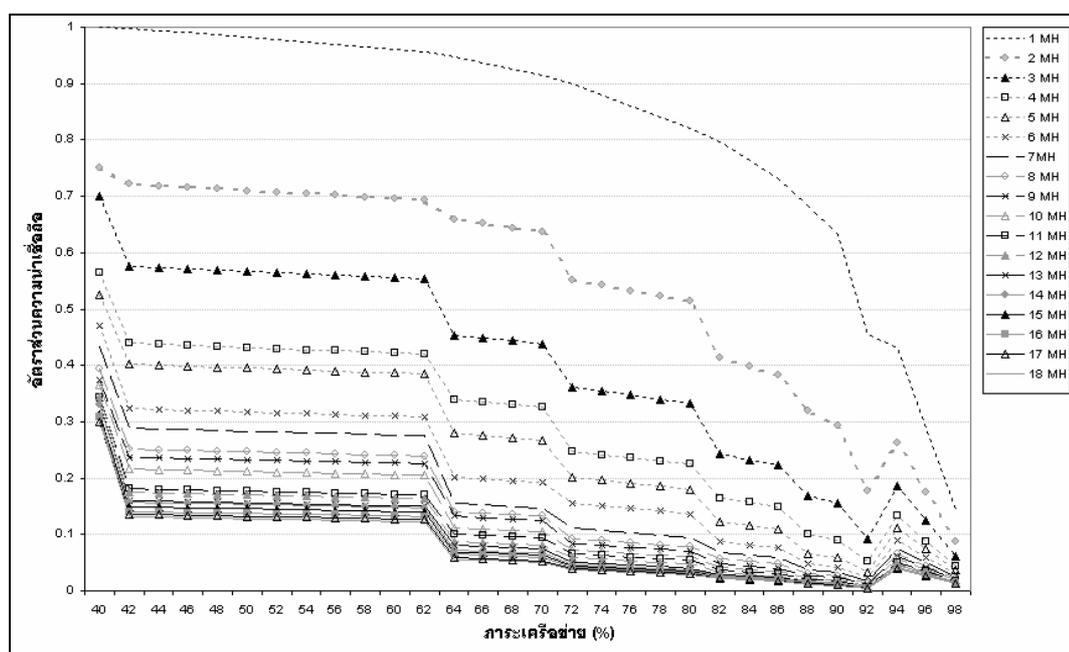
ภาพที่ 34 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 54 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps

2.2 กรณีค่าความต้องการใช้งานเครือข่ายเท่ากับ 3000 kbps

เลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็วการส่งแบบพีซีซี ได้ผลดังภาพที่ 35 และ 36

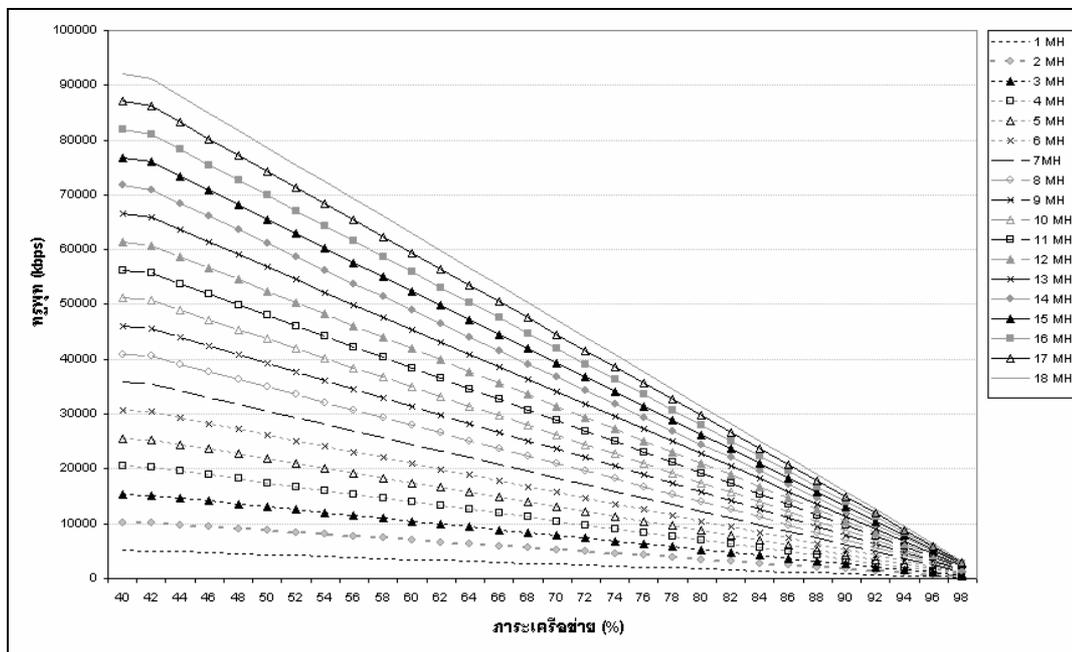


ภาพที่ 35 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็วแบบพีซีซีที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

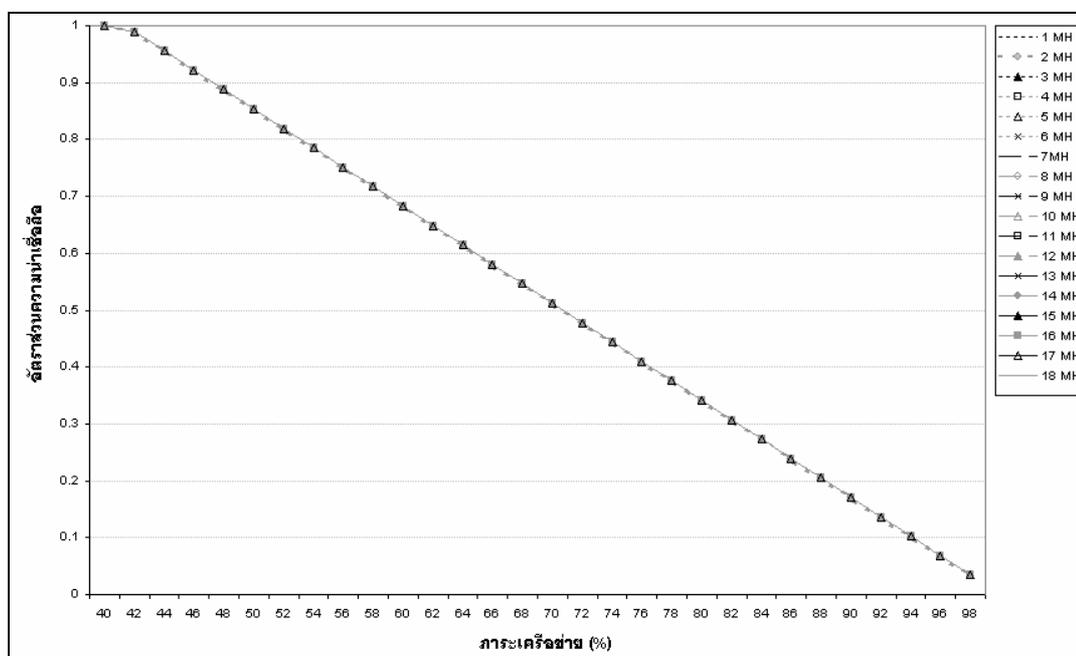


ภาพที่ 36 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็วแบบพีซีซีที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 6 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 37 และ 38

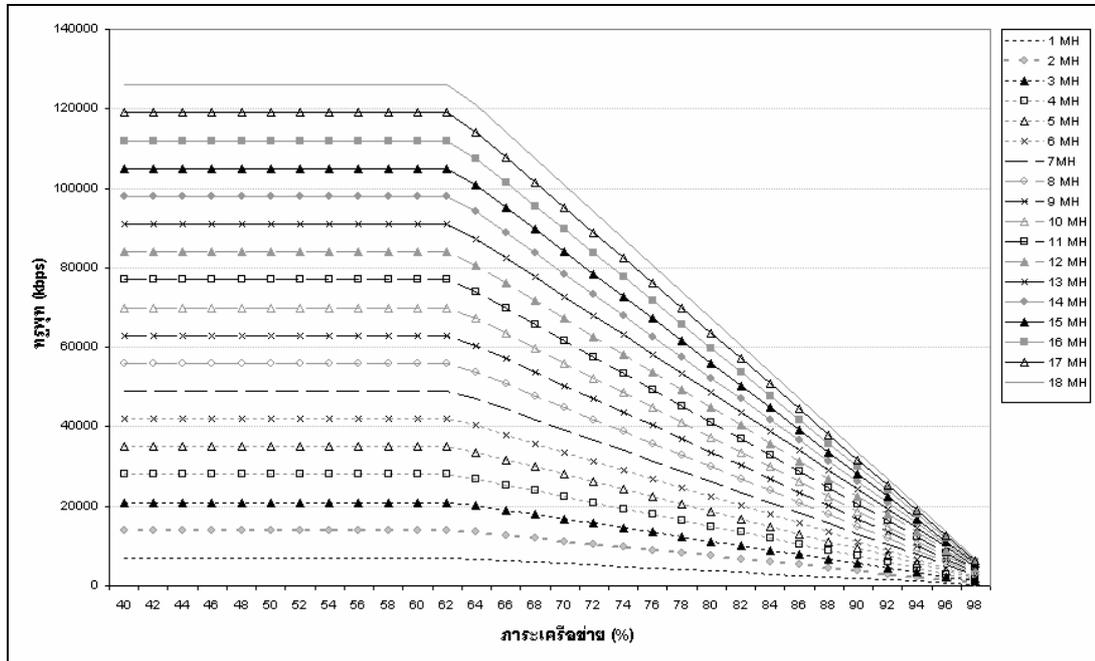


ภาพที่ 37 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 6 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

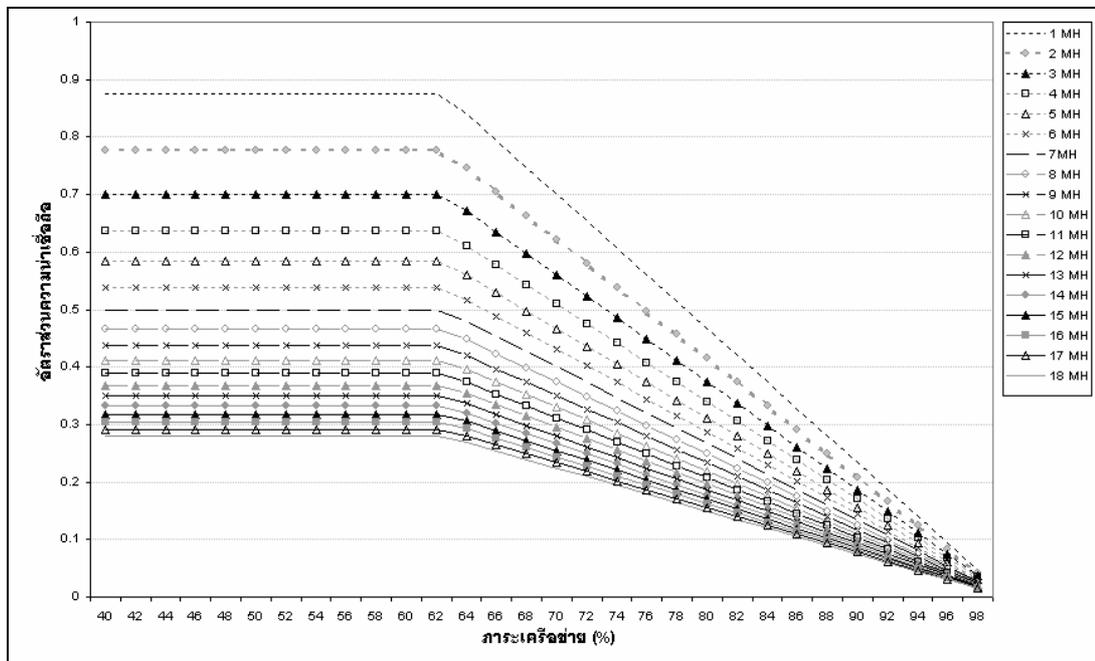


ภาพที่ 38 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความสำเร็จในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 6 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 9 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 39 และ 40

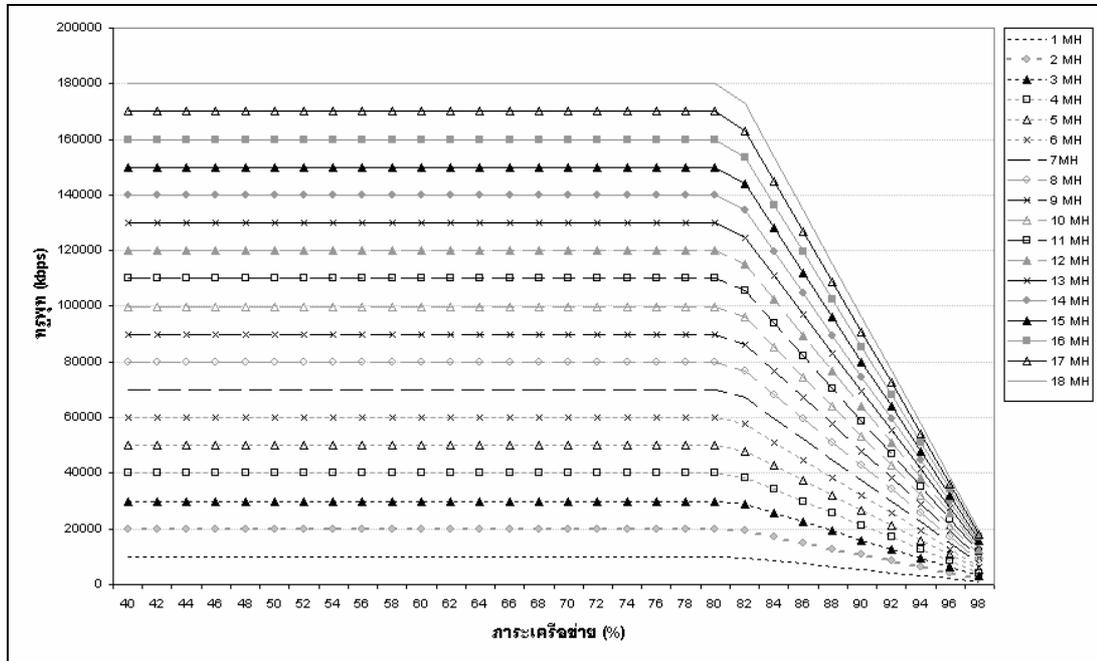


ภาพที่ 39 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 9 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

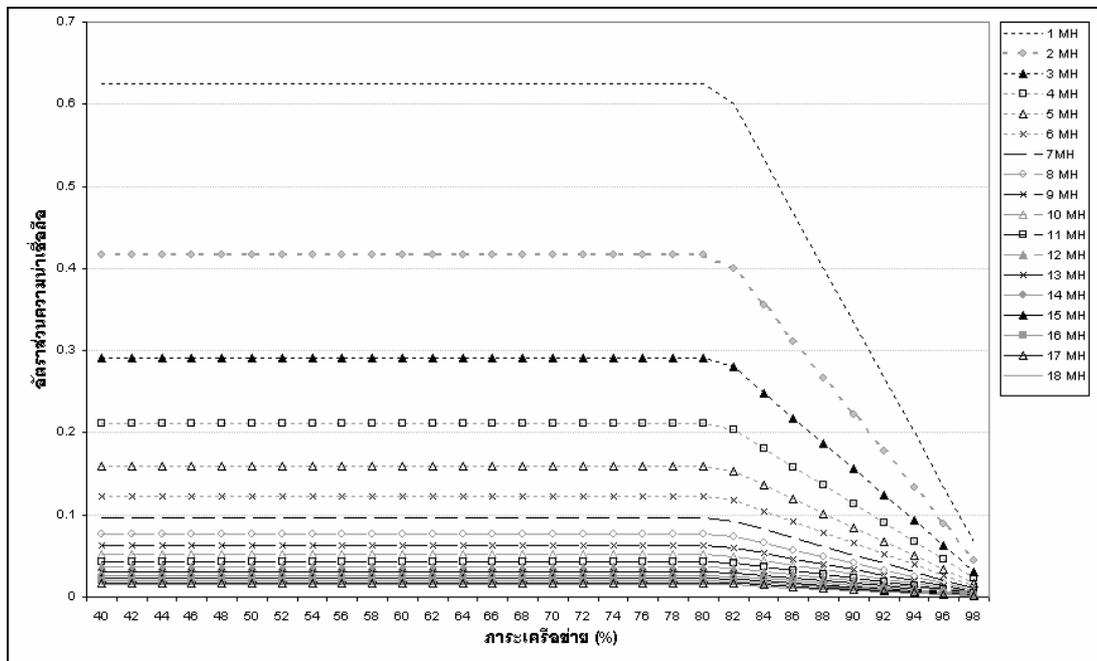


ภาพที่ 40 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 9 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 18 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 41 และ 42

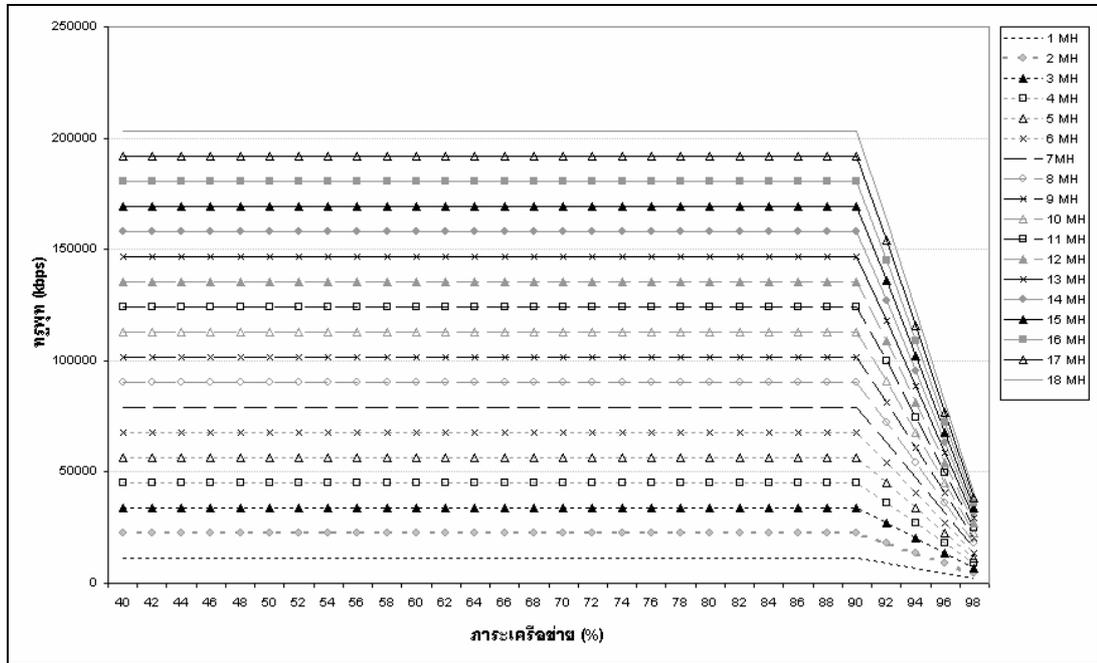


ภาพที่ 41 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคลาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 18 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

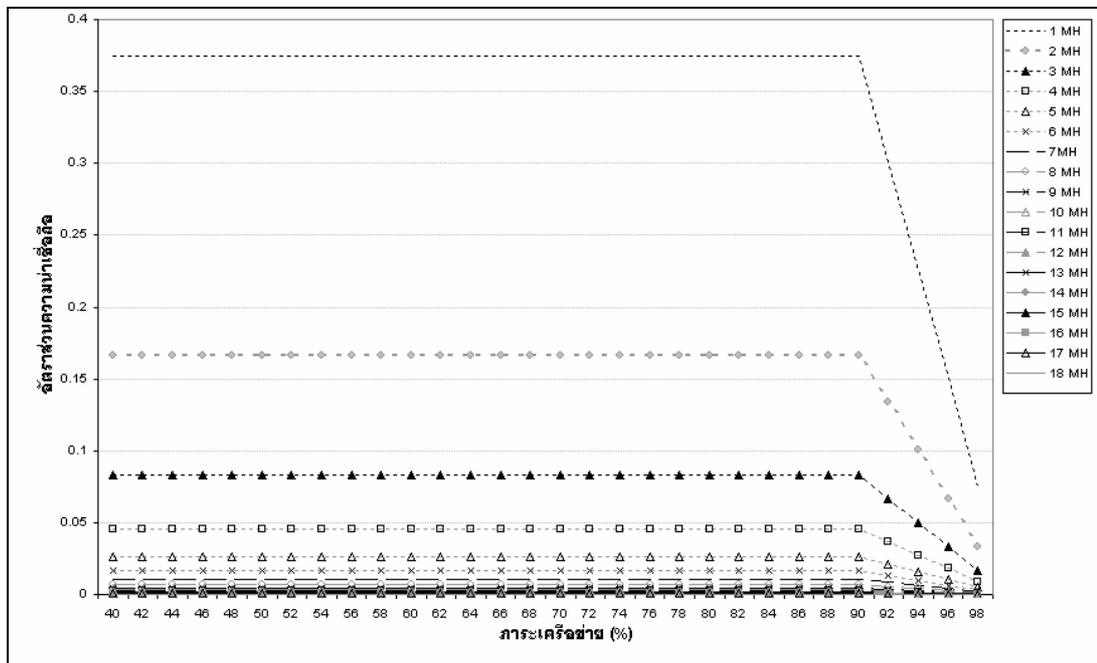


ภาพที่ 42 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคลาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 18 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 36 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 43 และ 44

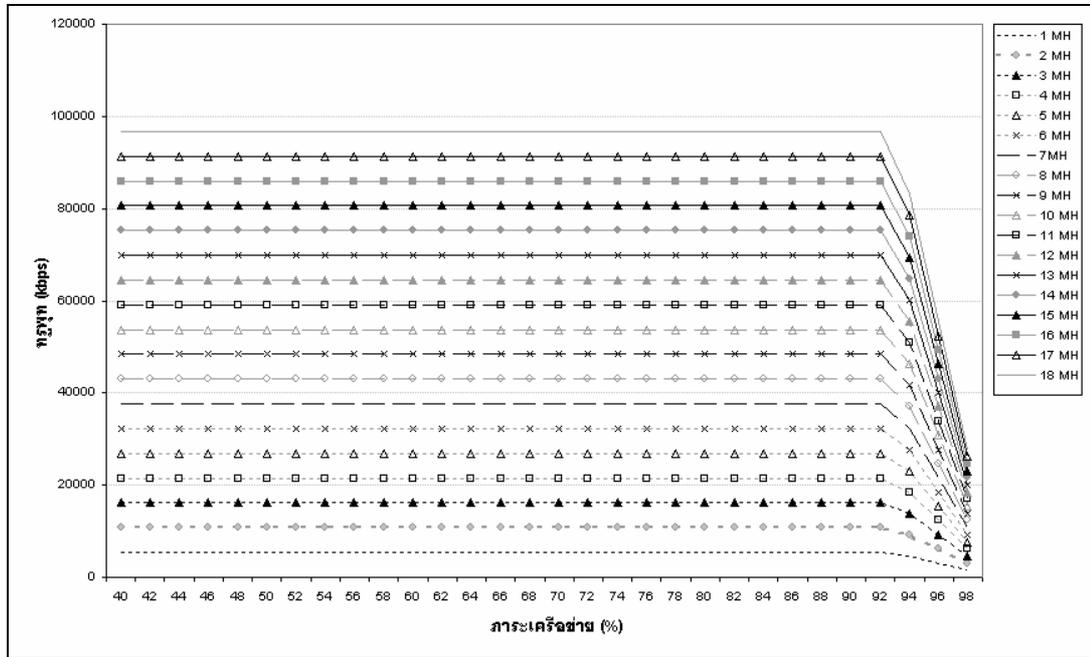


ภาพที่ 43 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 36 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

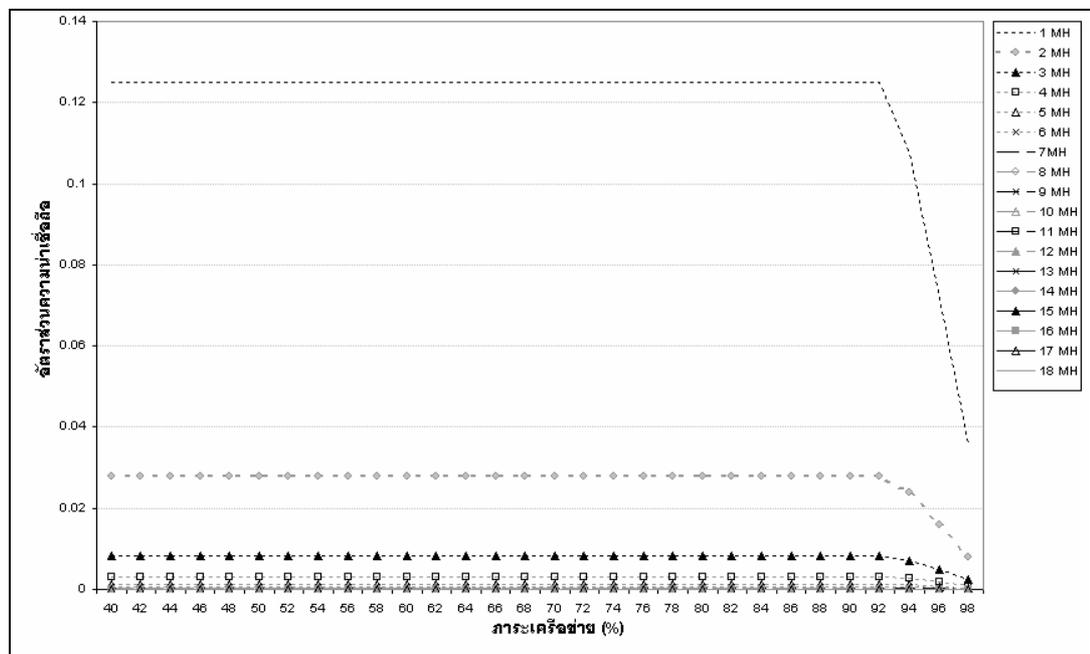


ภาพที่ 44 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 36 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

กรณีเลือกโหมดการส่งที่โหมดความเร็ว 54 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 45 และ 46



ภาพที่ 45 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 54 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

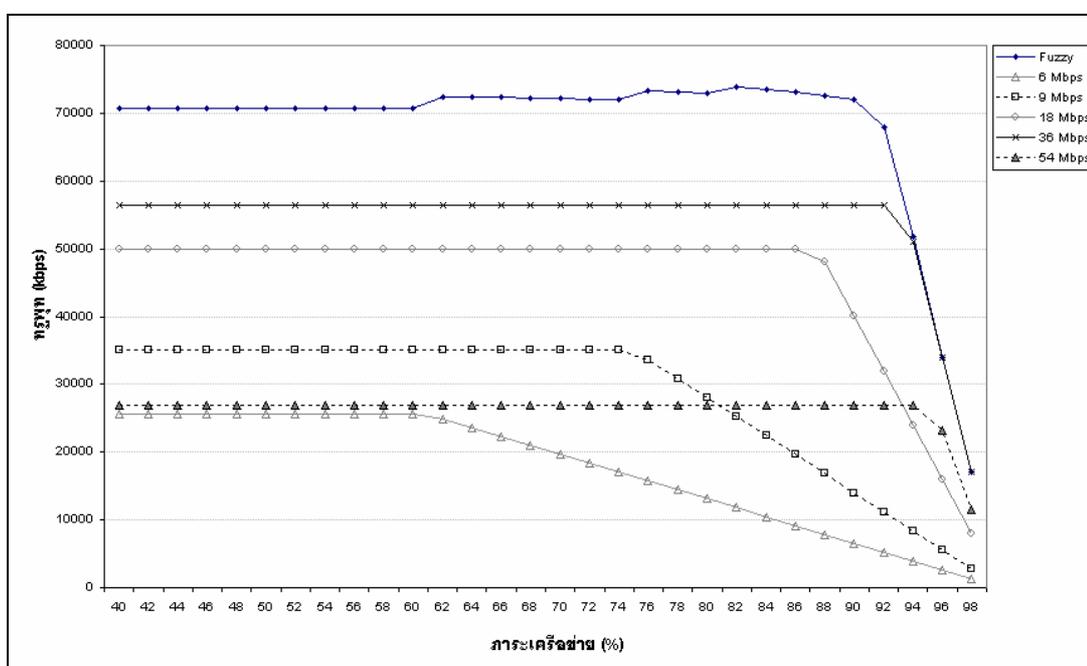


ภาพที่ 46 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์โดยการเลือกโหมดความเร็ว 54 Mbps ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 3000 kbps

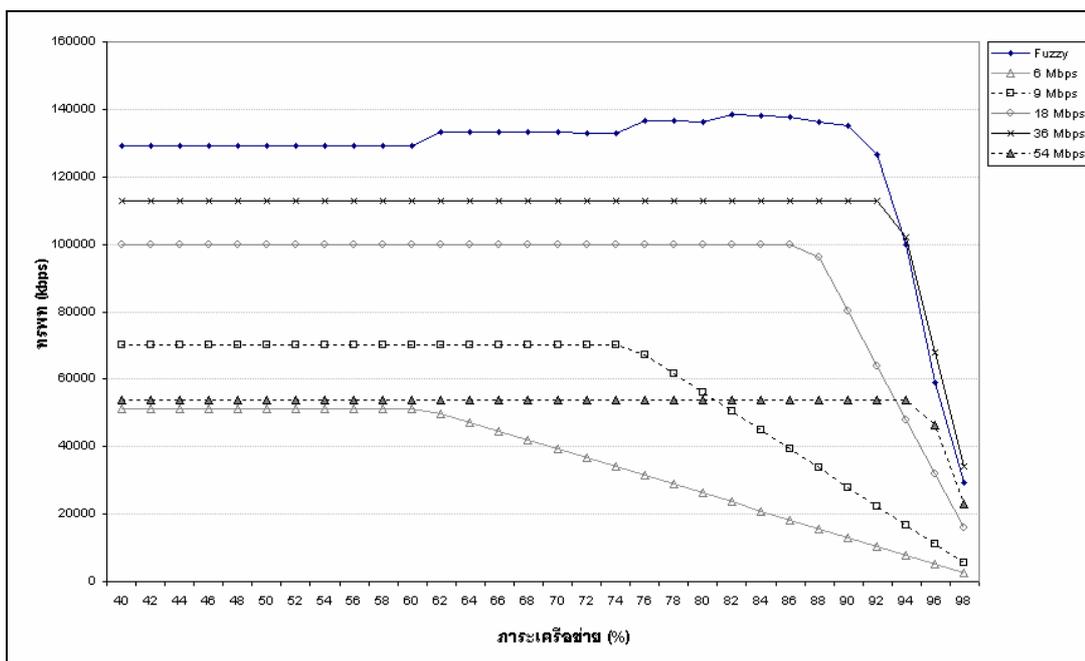
2.3 การเปรียบเทียบระหว่างการเลือกโหมด

จากเงื่อนไขผลที่ได้จากการคำนวณข้างต้น สามารถนำมาแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งระหว่างโหมดการเลือกโหมดต่างๆ โดยจะนำมาแสดงโดยจำแนกไปตามจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ โดยในที่นี้จะใช้ข้อมูลของกรณีที่มีความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps และจำแนกตามจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5, 10 และ 15 โบบายโฮสต์ตามลำดับ

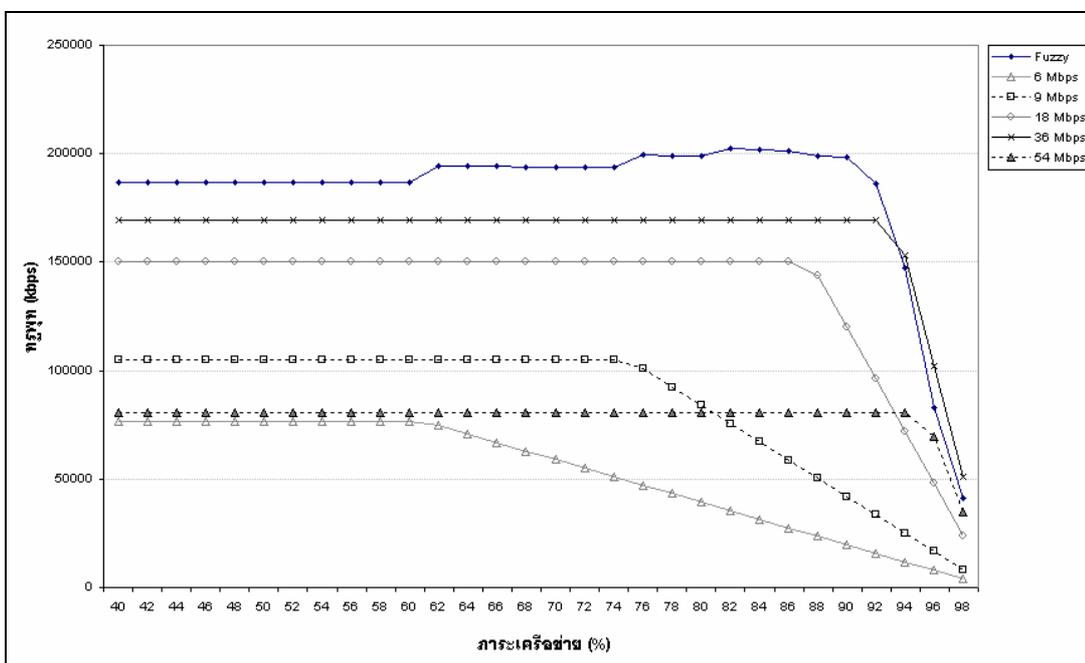
2.3.1 ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ได้ผลดังภาพที่ 47, 48 และ 49



ภาพที่ 47 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์จำแนกโดยการเลือกโหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 5

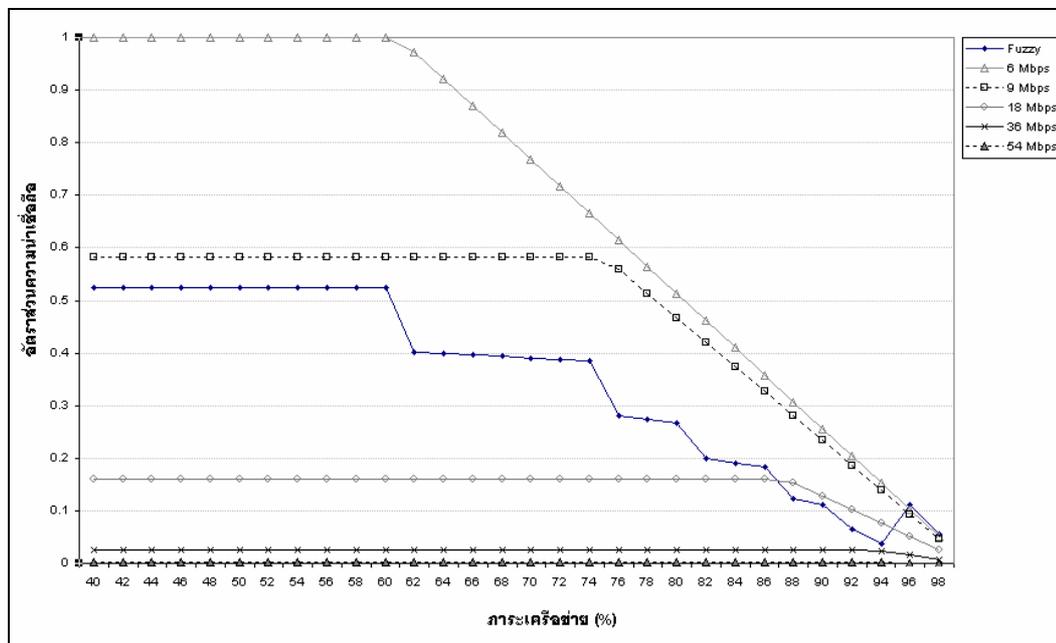


ภาพที่ 48 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์จำแนกโดยการเลือก โหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 10

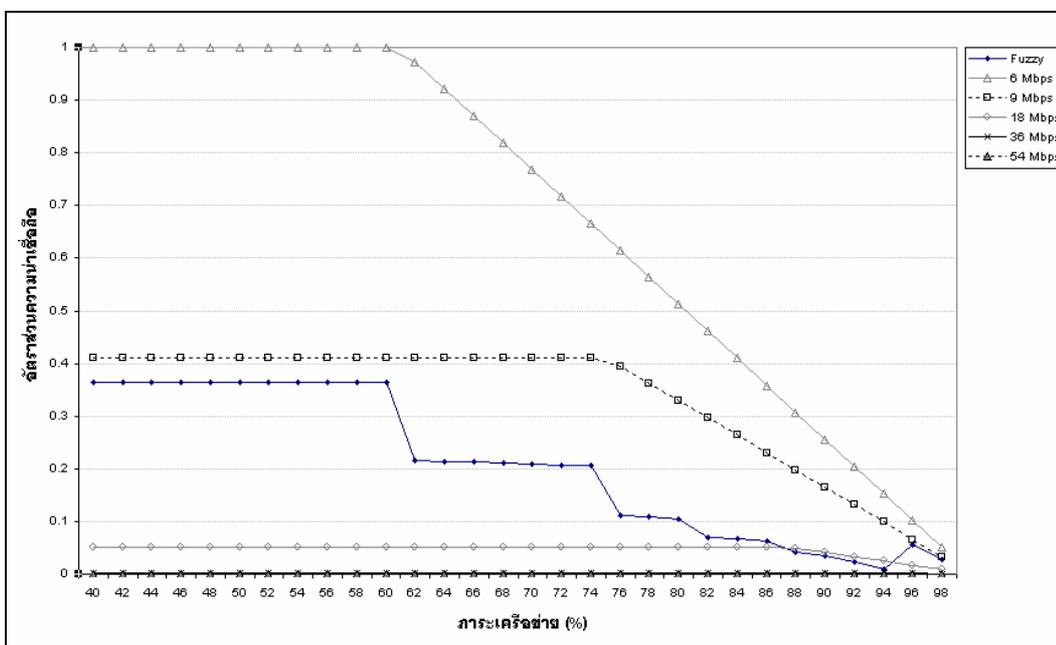


ภาพที่ 49 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์จำแนกโดยการเลือก โหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 15

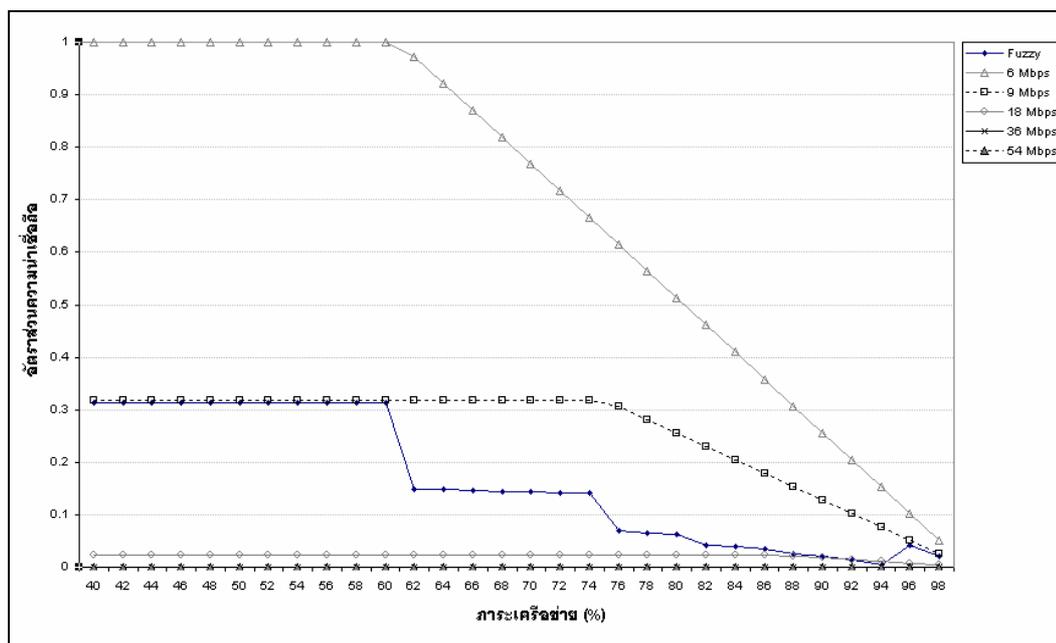
2.3.2 ความน่าเชื่อถือในการส่ง ได้ผลดังภาพที่ 50, 51 และ 52



ภาพที่ 50 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งจำแนกโดยการเลือก โหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 5



ภาพที่ 51 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งจำแนกโดยการเลือก โหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 10



ภาพที่ 52 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความสำเร็จในการส่งจำแนกโดยการเลือก โหมด ที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2000 kbps จำนวนสมาชิกเท่ากับ 15

3. กรณีของการเพิ่มความต้องการแบนด์วิธทำให้ไม่เพียงพอต่อการส่ง

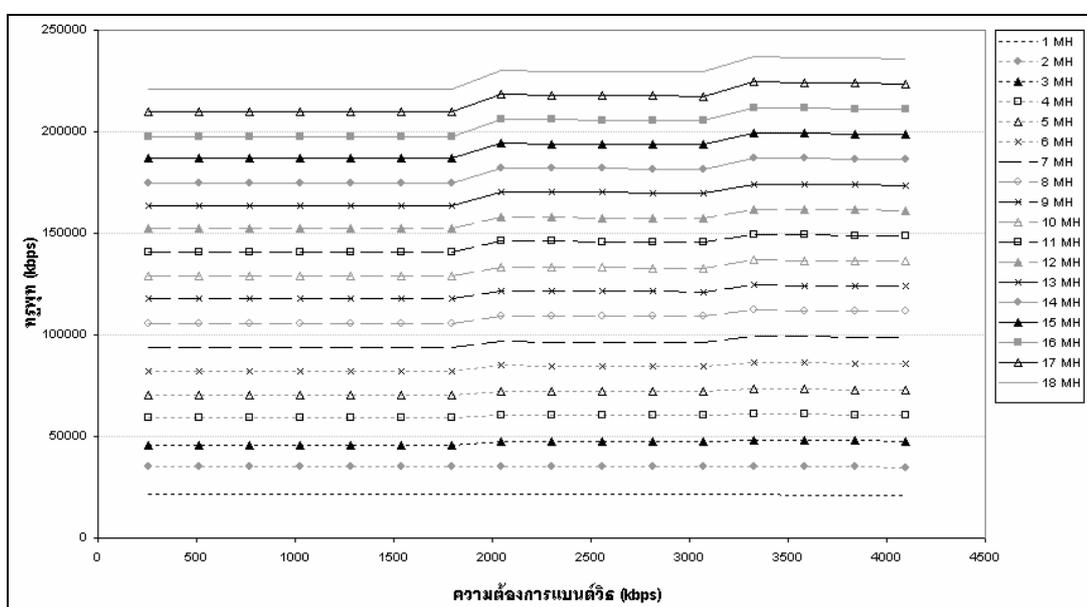
เป็นกรณีที่ความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธมีค่ามากจนทำให้แบนด์วิธที่เหลือไม่เพียงพอต่อการส่งที่โหนดความเร็วต่างๆ ในสถานะของเครือข่ายที่มีภาระเป็นค่าๆ หนึ่ง ทั้งนี้ในการคำนวณค่าเพื่อดูประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นจะกำหนดให้มีการเพิ่มค่าแบนด์วิธที่ต้องการขึ้นไปเรื่อยๆ ที่ภาระของเครือข่ายเท่ากับร้อยละ 60, 80 และ 90 โดยจะให้มีการเพิ่มค่าตั้งแต่ 256 kbps ไปจนถึง 4,096 kbps โดยที่จะให้มีการเพิ่มค่าทีละ 256 kbps ซึ่งเป็นการจำลองการทำงานในภาวะของเครือข่ายตามปกติเพื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างการเลือกโหมดแบบค่าคงที่ กับวิธีการเลือกโหมดแบบฟัซซีที่งานวิจัยนี้นำเสนอ

อีกกรณีหนึ่งที่มีการคำนวณค่าคือกรณีที่มีการเพิ่มค่าความต้องการแบนด์วิธไปเรื่อยๆ จนทำให้แม้แต่การเลือกโหมดความเร็วที่สูงที่สุดก็ไม่เพียงพอต่อการส่ง ซึ่งจะเป็นการดูข้อจำกัดของวิธีการเลือกโหมดความเร็วในการส่งที่นำเสนอว่าจะมีข้อจำกัดต่อการกำหนดค่าความต้องการแบนด์วิธอย่างไร โดยจะคำนวณเพื่อดูประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งโดยกำหนดให้ภาระในการใช้งานเครือข่ายเท่ากับร้อยละ 80 และค่าความต้องการใช้งานแบนด์วิธเริ่มต้นที่ 512 kbps ไปจนถึง 12,288 kbps โดยเพิ่มค่าทีละ 512 kbps เพื่อดูค่าที่ได้ ทั้งนี้ค่า

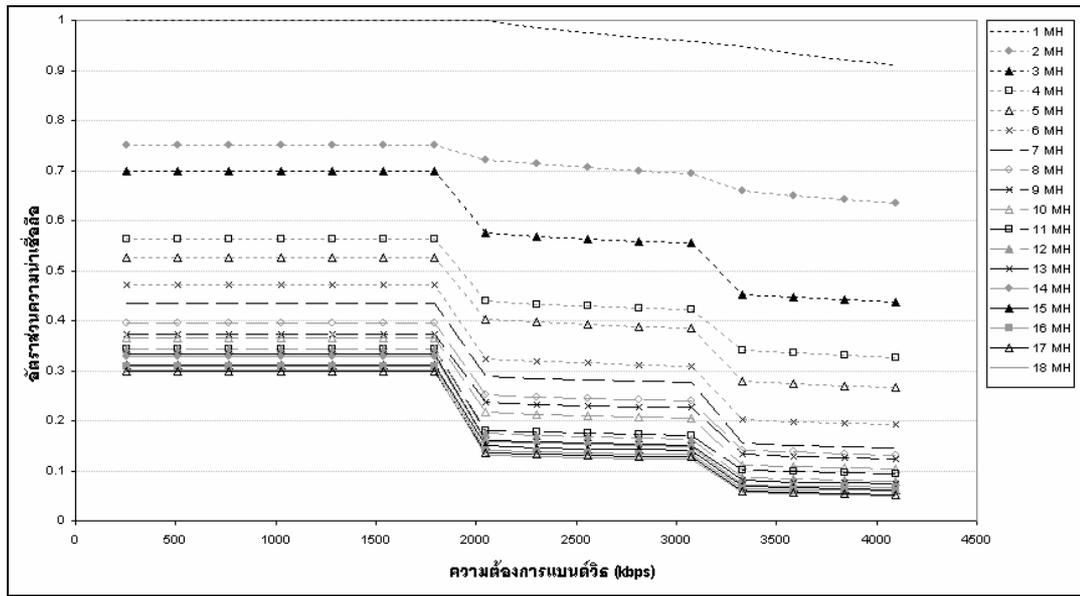
ความต้องการแบนด์วิธตั้งแต่ 11,264 kbps ขึ้นไปนั้น แม้ว่าจะเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธที่จะต้องใช้ในการส่งสำหรับเครือข่ายที่มีภาระการใช้งานที่ร้อยละ 80 ทั้งนี้ผลการคำนวณที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบระหว่างการเลือกโหมดการส่งเป็นแบบคงที่ และการเลือกโหมดแบบใช้พีซีซีที่งานวิจัยนี้นำเสนอ

3.1 ผลการคำนวณที่ภาระเครือข่าย 60%

กรณีใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี ได้ผลดังภาพที่ 53 และ 54

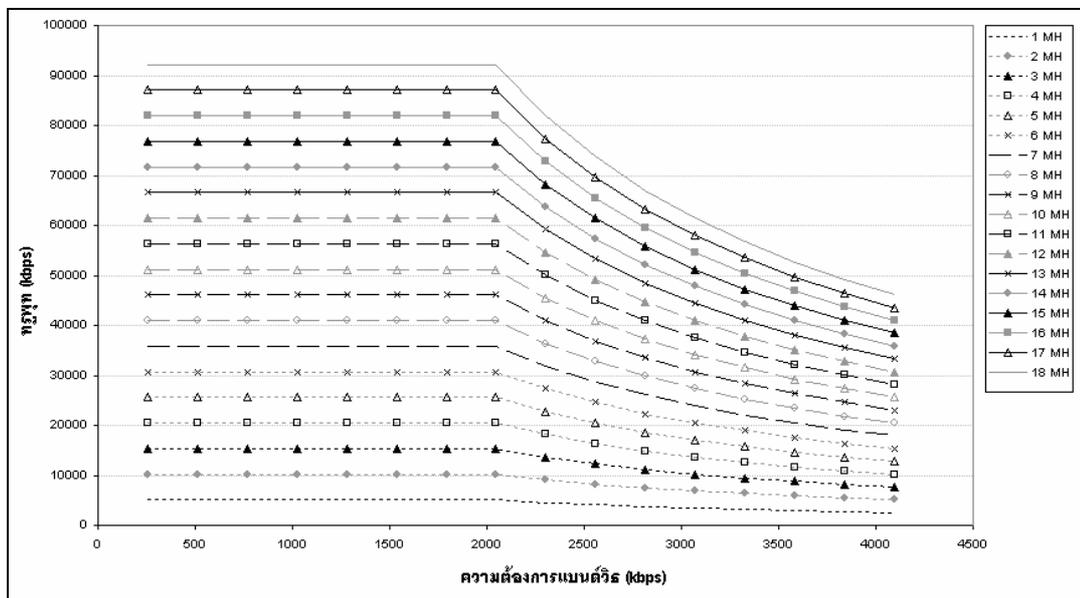


ภาพที่ 53 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี

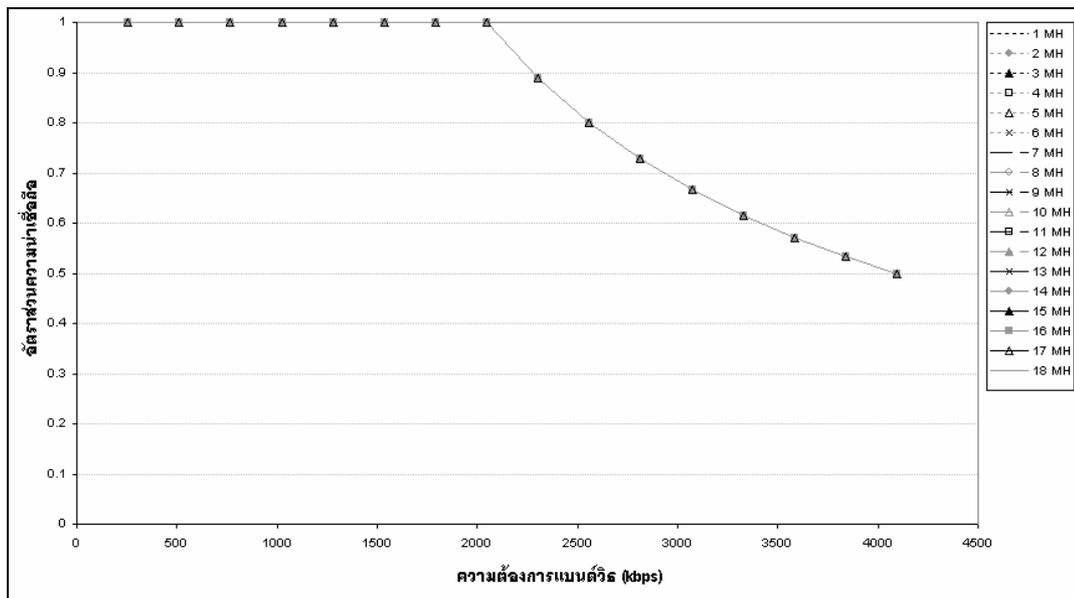


ภาพที่ 54 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และใช้การเลือกโหมดแบบฟิชชี

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 6 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 55 และ 56

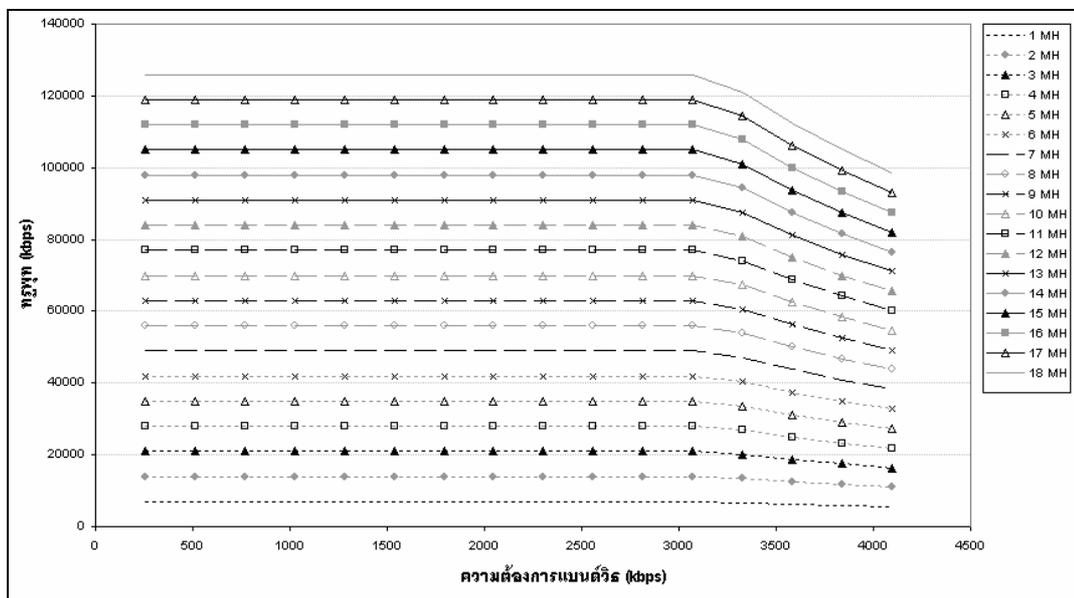


ภาพที่ 55 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps

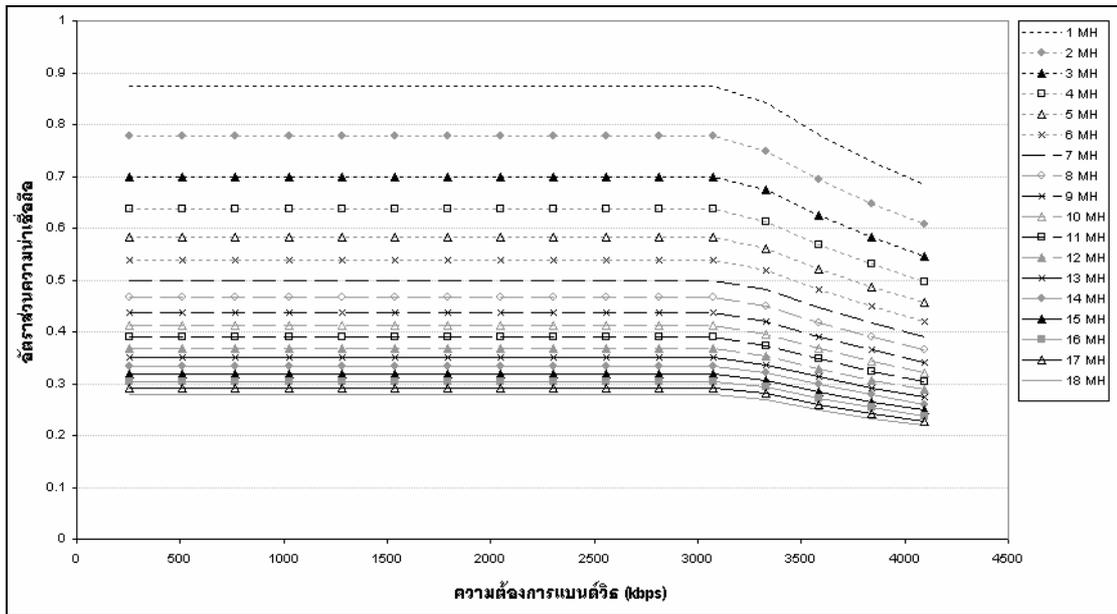


ภาพที่ 56 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 9 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 57 และ 58

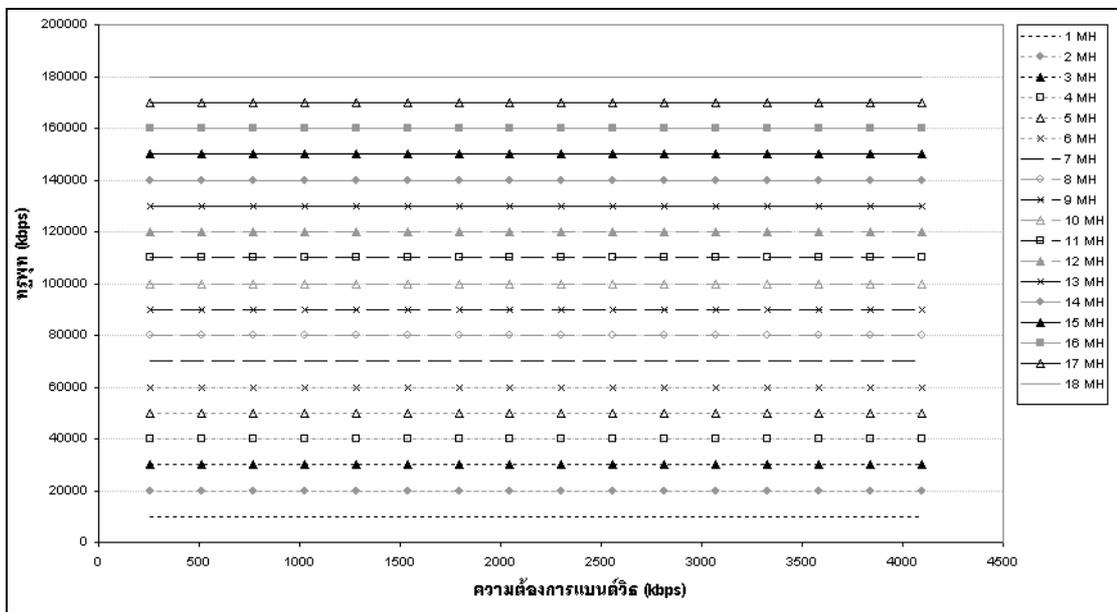


ภาพที่ 57 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps

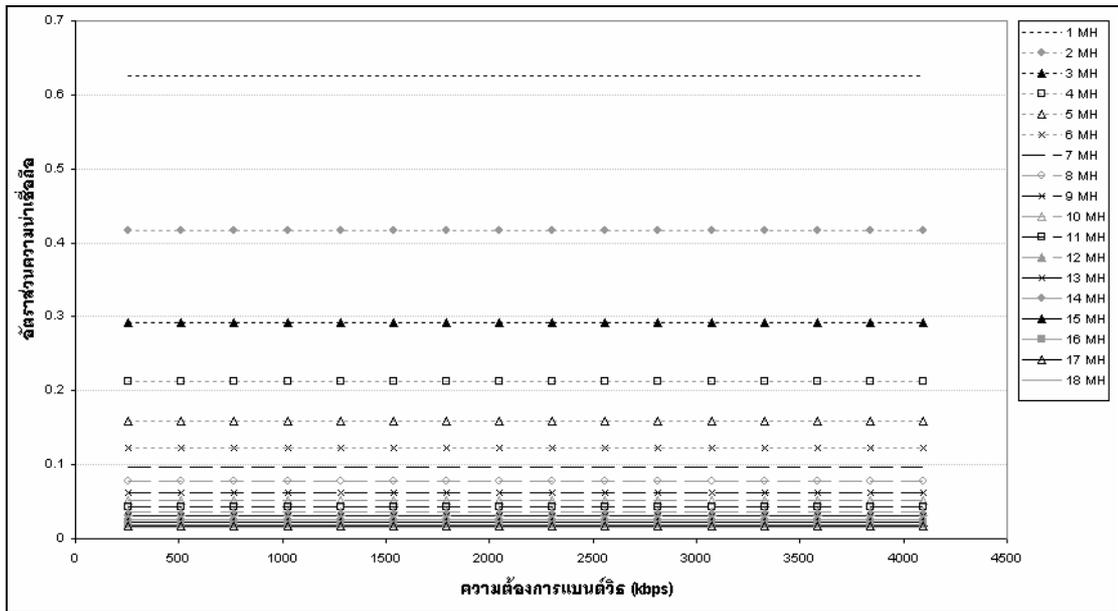


ภาพที่ 58 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 18 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 59 และ 60

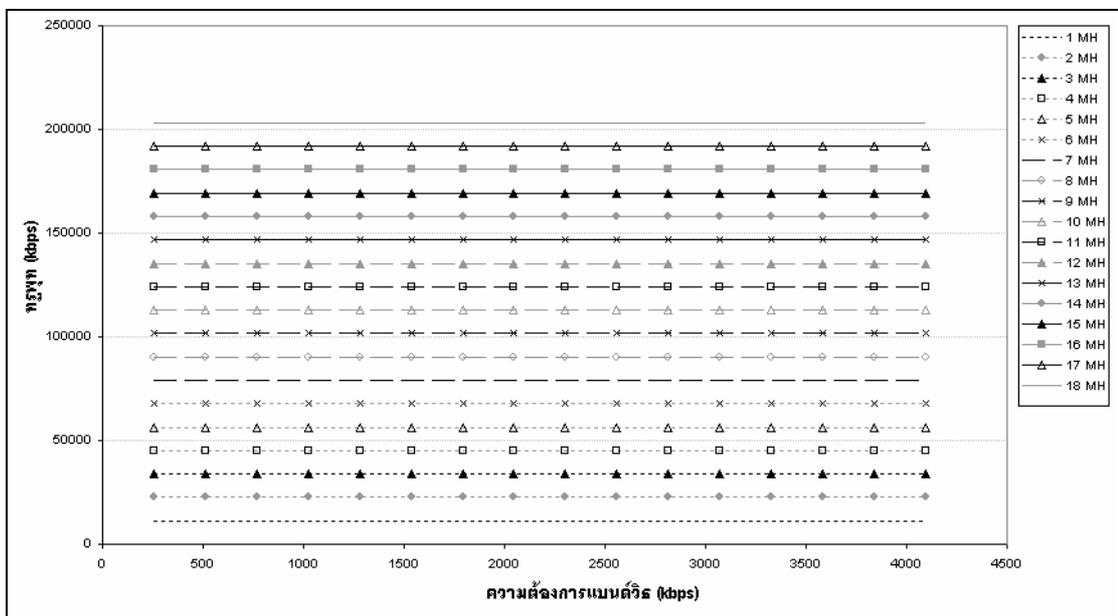


ภาพที่ 59 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps

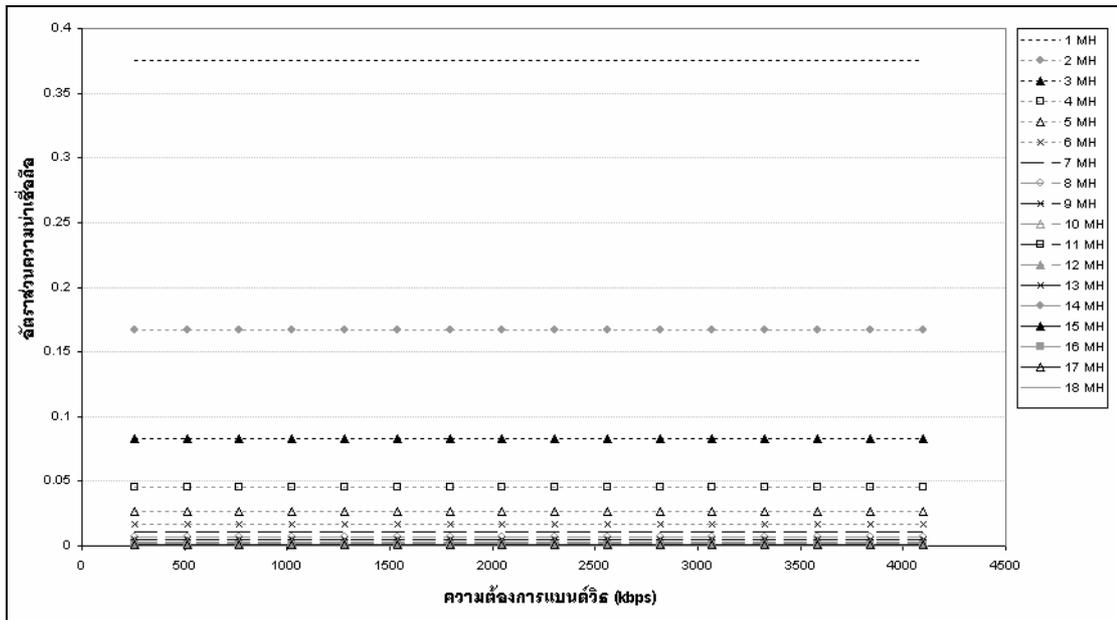


ภาพที่ 60 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 36 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 61 และ 62

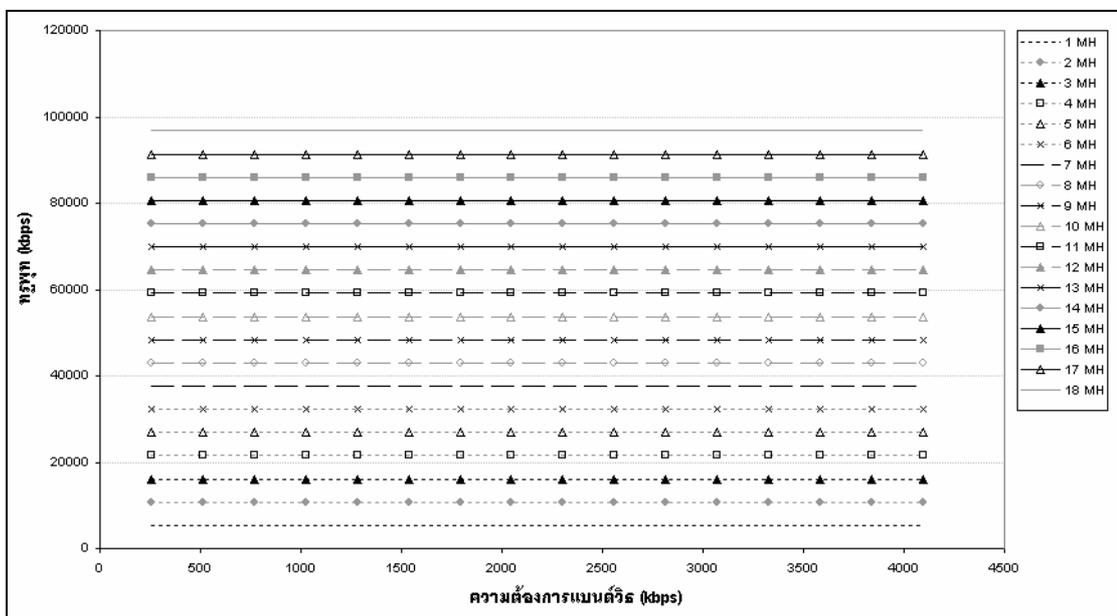


ภาพที่ 61 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุกสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps

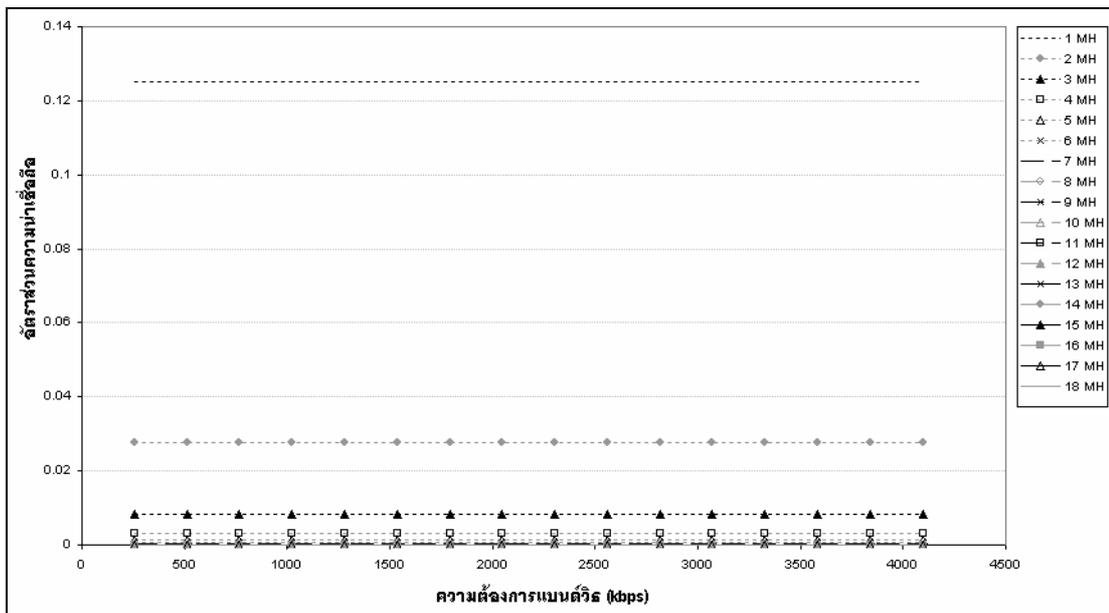


ภาพที่ 62 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความนำเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 54 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 63 และ 64



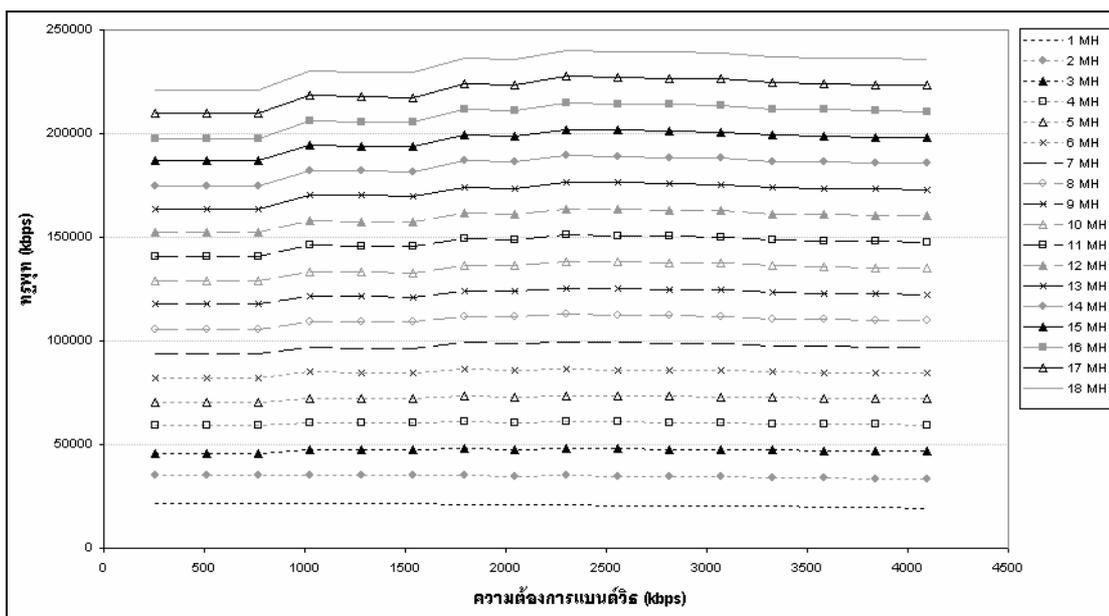
ภาพที่ 63 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps



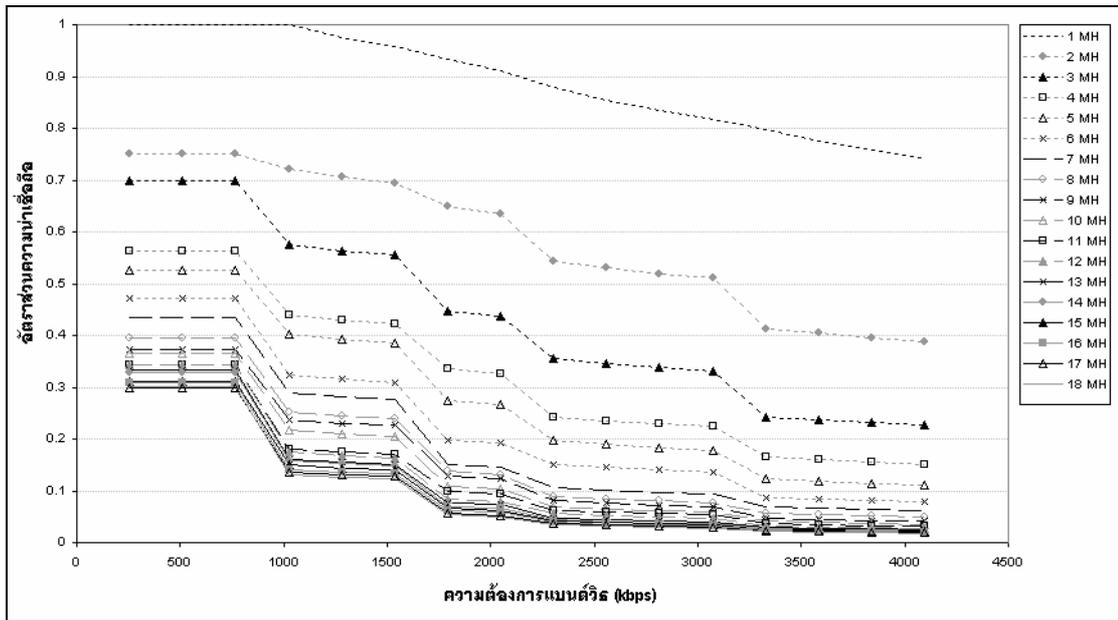
ภาพที่ 64 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 60% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps

3.2 ผลการคำนวณที่ภาระเครือข่าย 80%

กรณีใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี ได้ผลดังภาพที่ 65 และ 66

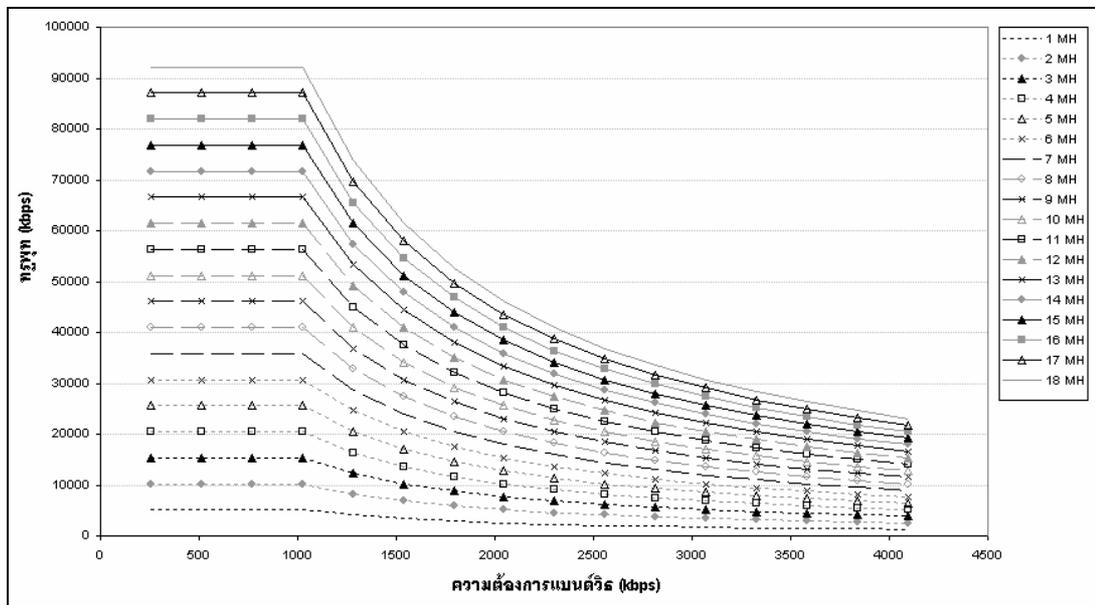


ภาพที่ 65 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี

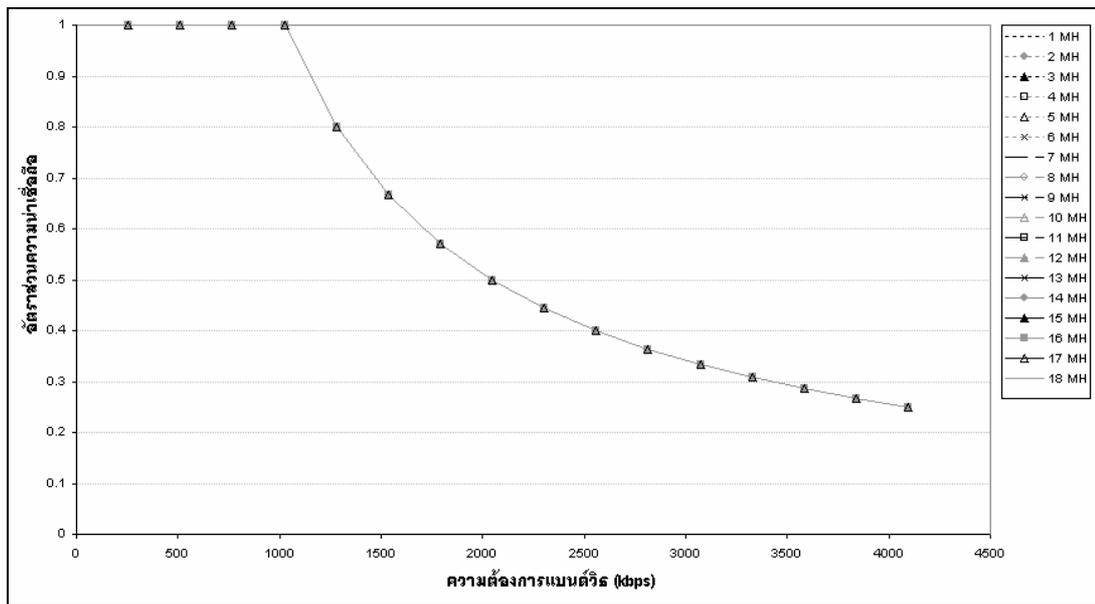


ภาพที่ 66 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความสำเร็จในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และใช้การเลือกโหมดแบบฟิชชี

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 6 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 67 และ 68

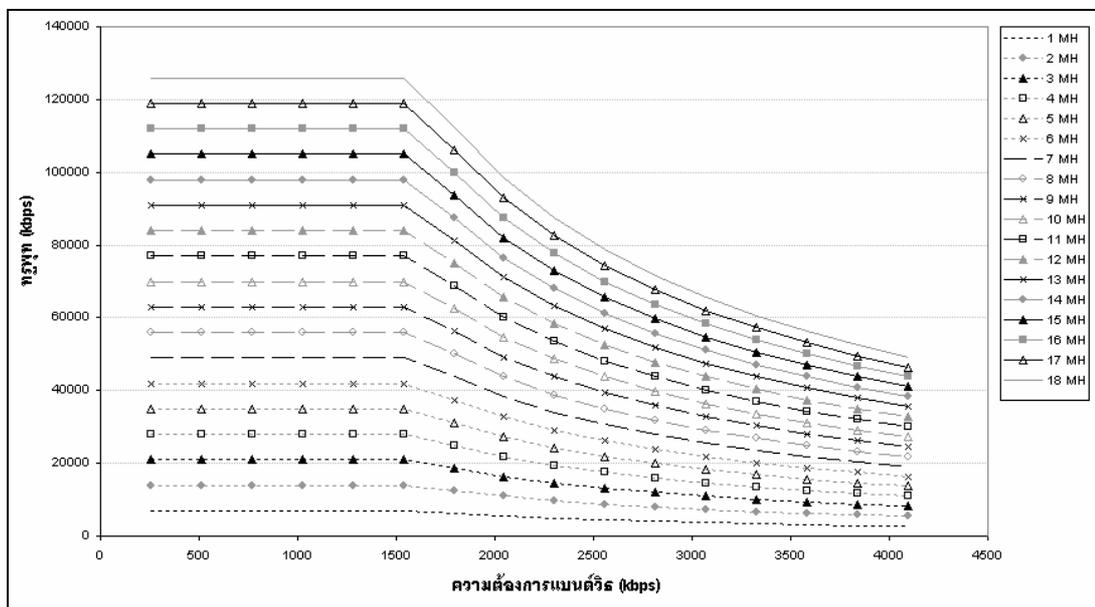


ภาพที่ 67 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps

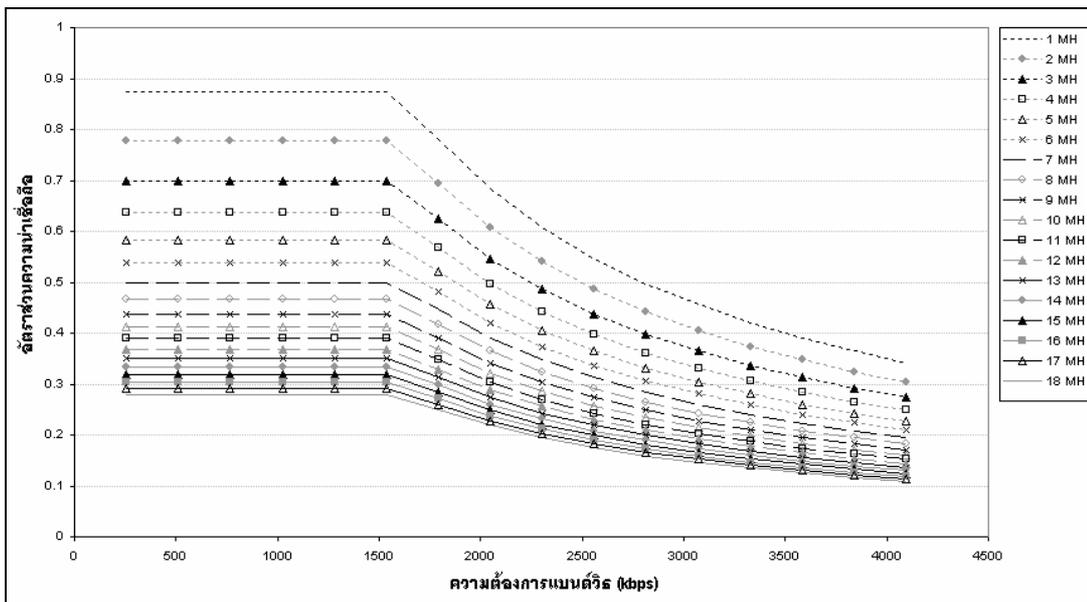


ภาพที่ 68 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 9 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 69 และ 70

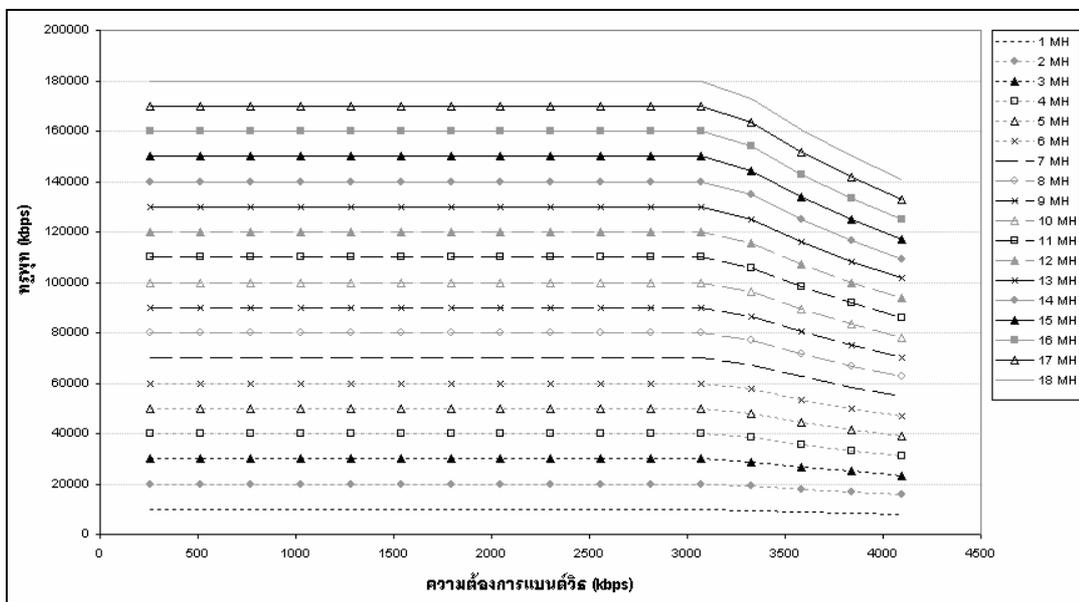


ภาพที่ 69 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps

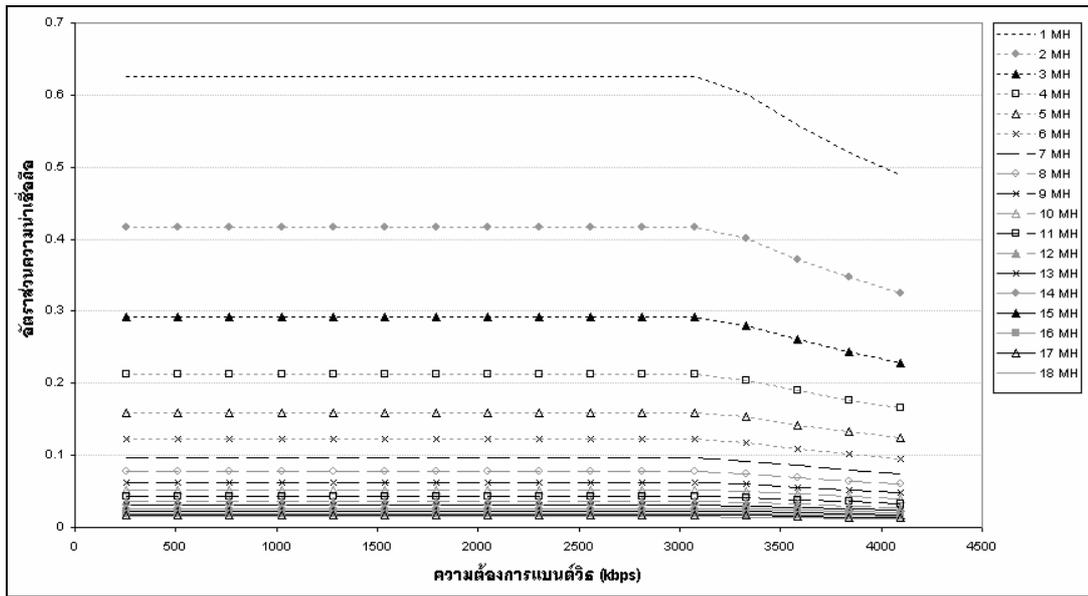


ภาพที่ 70 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 18 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 71 และ 72

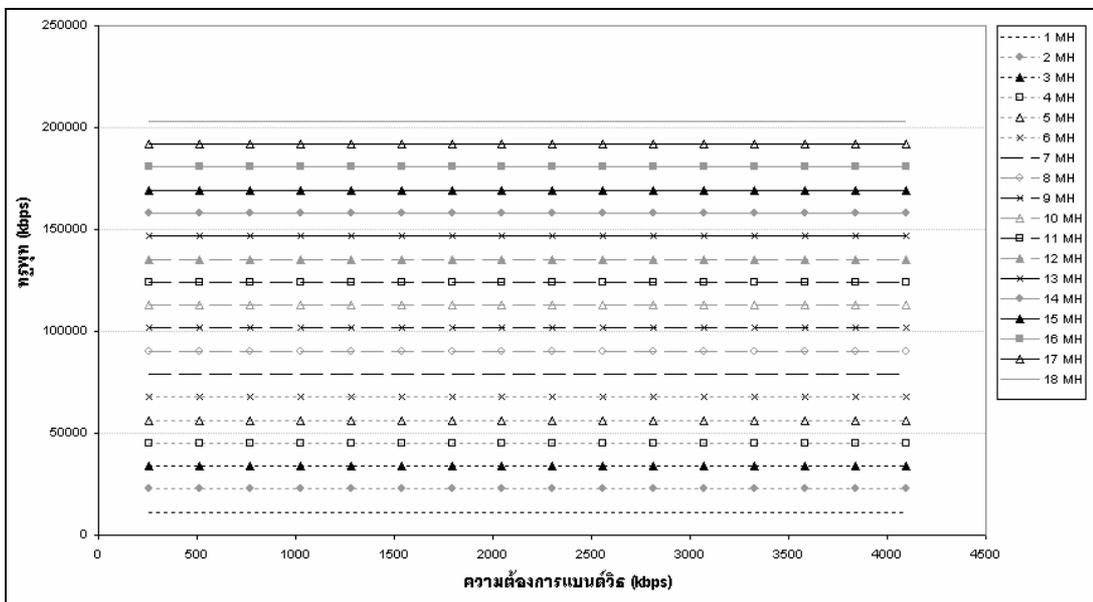


ภาพที่ 71 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps

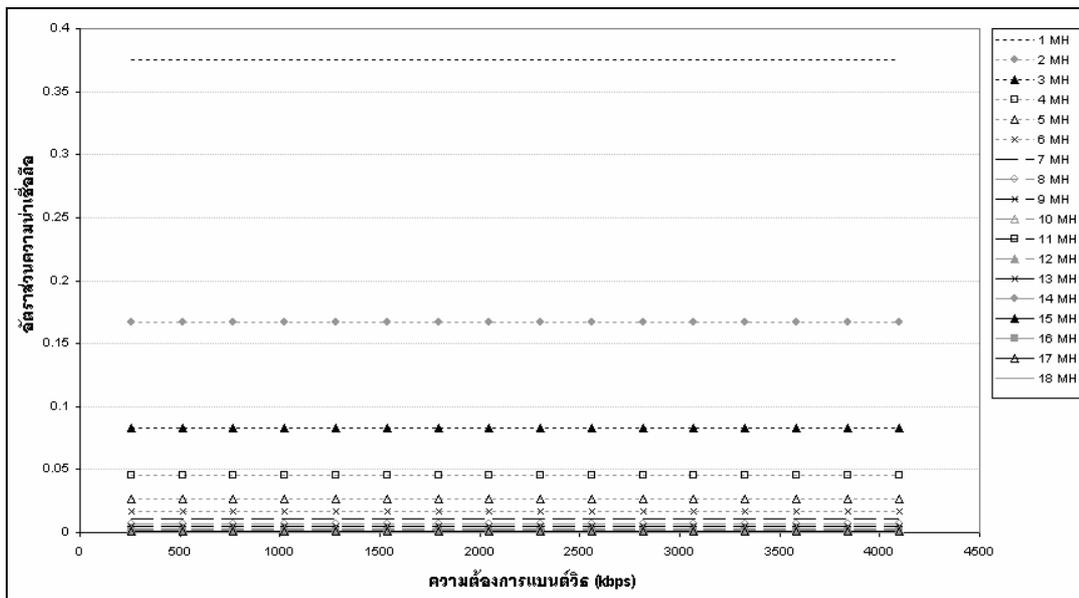


ภาพที่ 72 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 36 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 74 และ 73

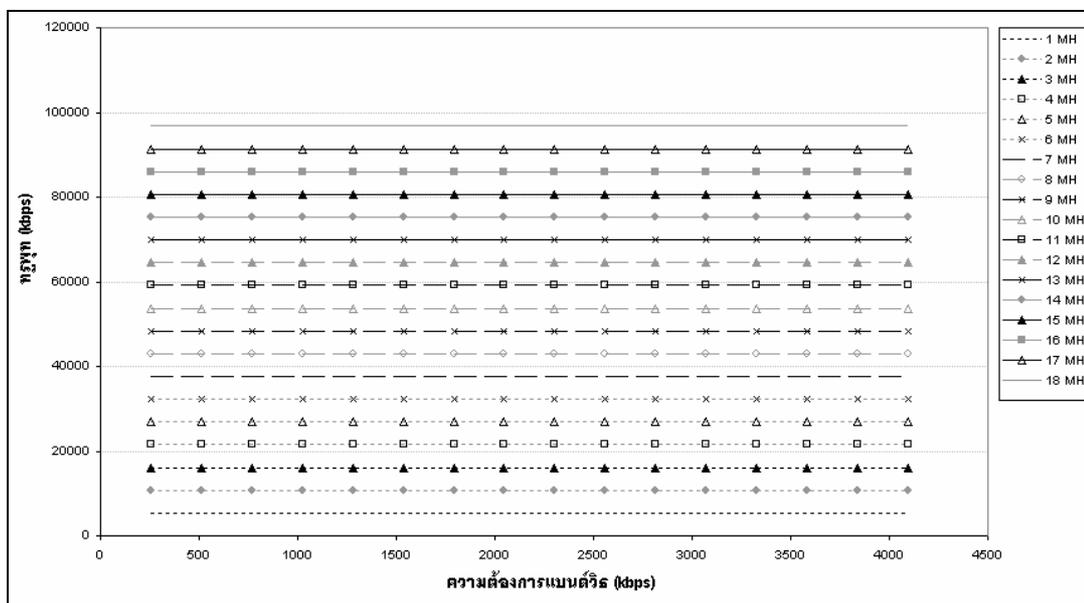


ภาพที่ 73 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps

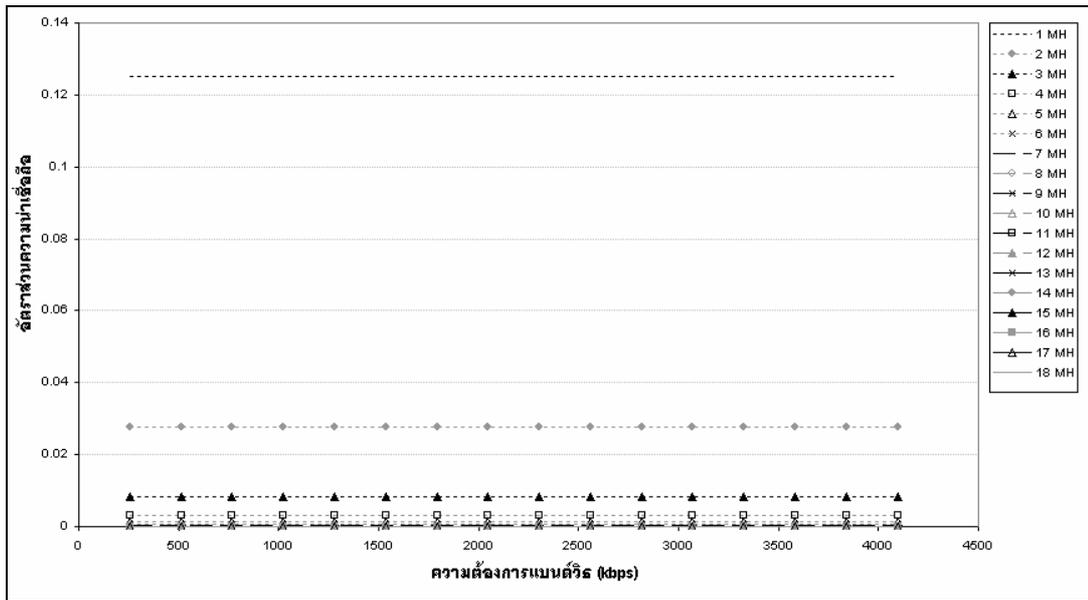


ภาพที่ 74 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความสำเร็จถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 54 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 75 และ 76



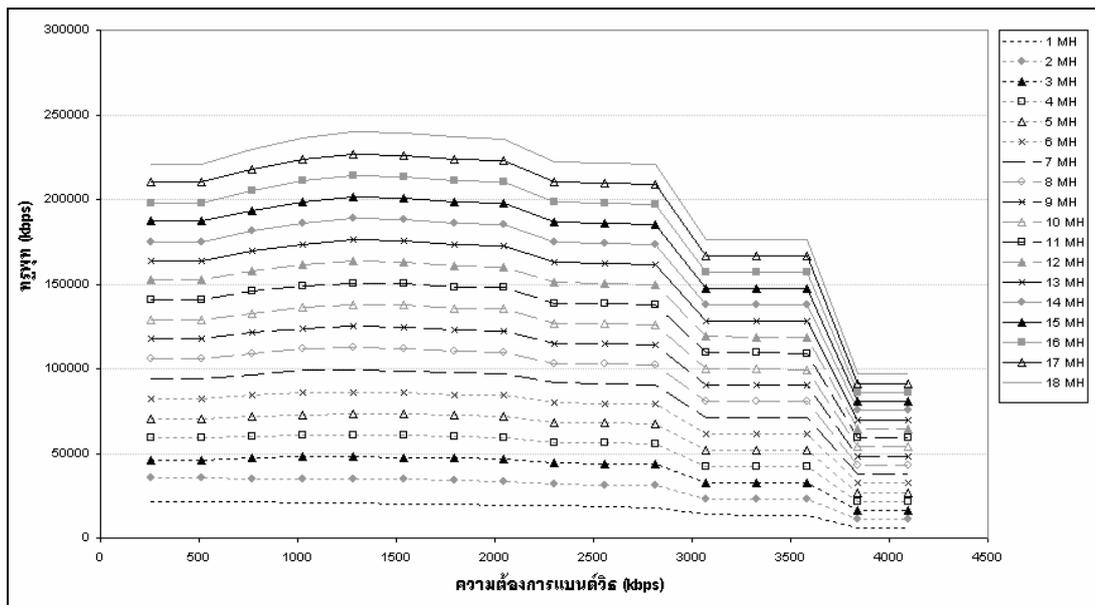
ภาพที่ 75 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps



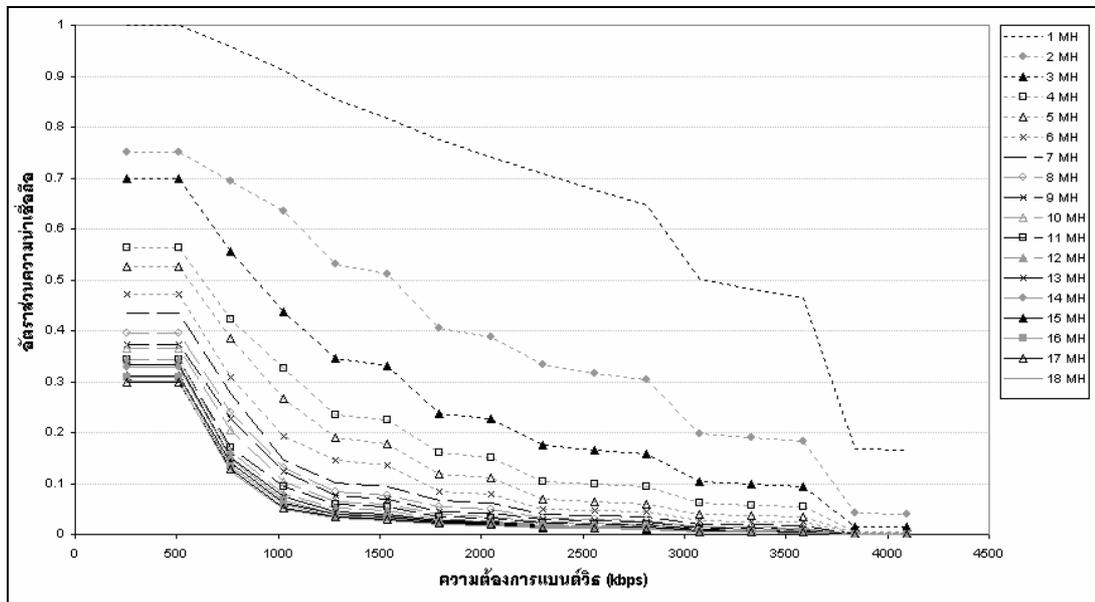
ภาพที่ 76 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความสำเร็จในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps

3.3 ผลการคำนวณที่ภาระเครือข่าย 90%

กรณีใช้การเลือกโหมดแบบพีชชี ได้ผลดังภาพที่ 77 และ 78

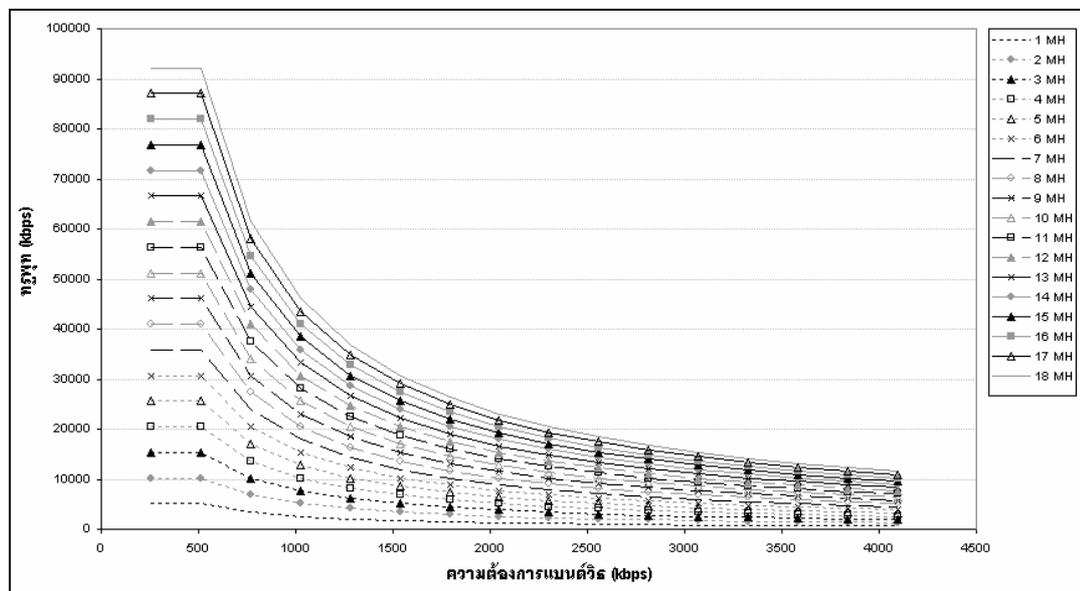


ภาพที่ 77 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และใช้การเลือกโหมดแบบพีชชี

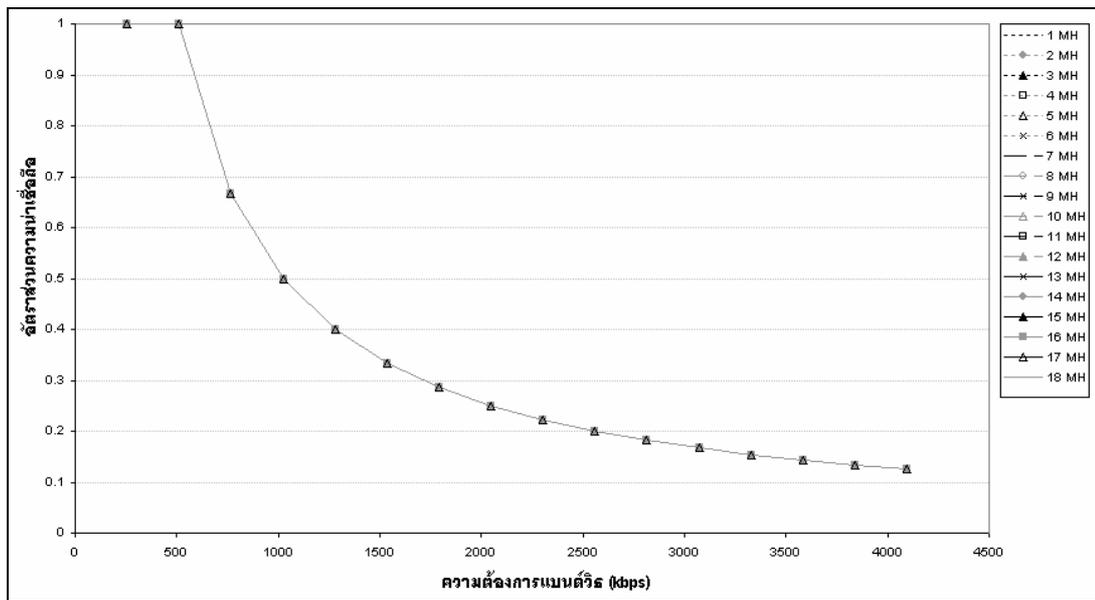


ภาพที่ 78 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 6 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 79 และ 80

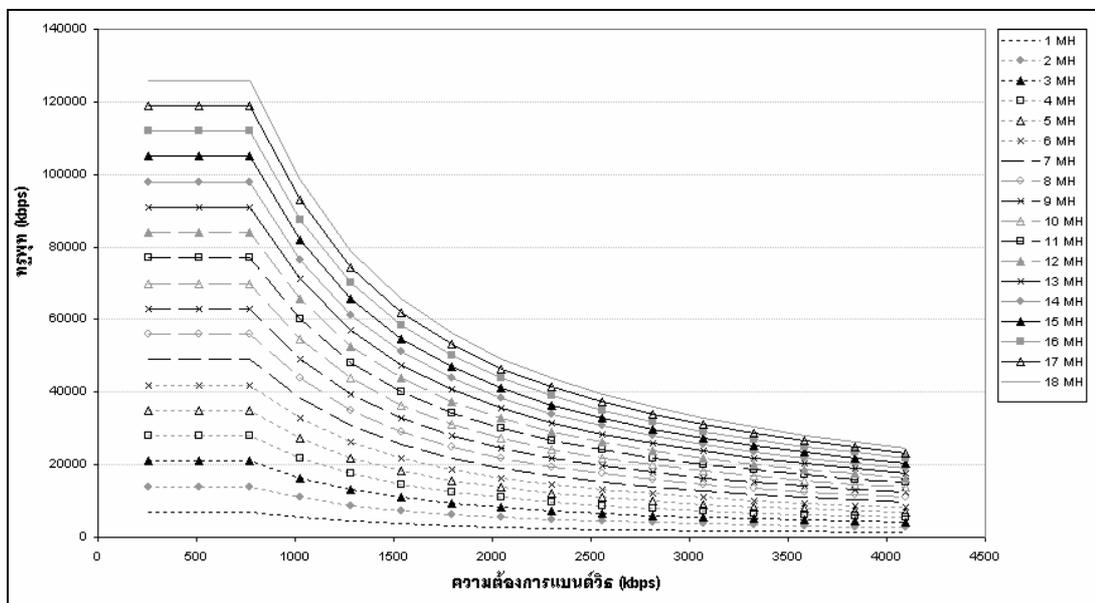


ภาพที่ 79 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps

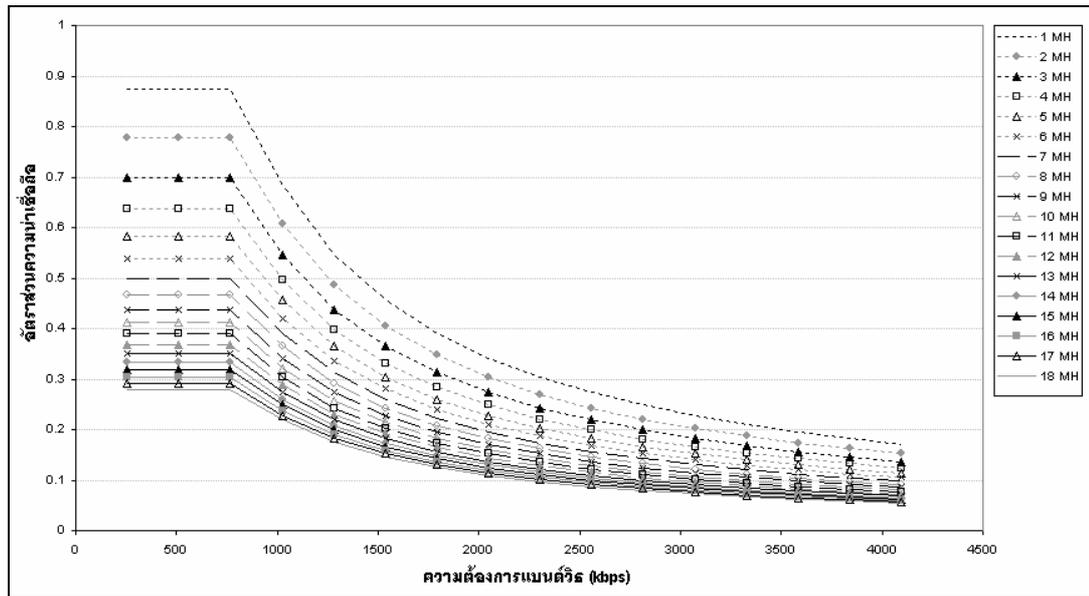


ภาพที่ 80 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 6 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 9 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 81 และ 82

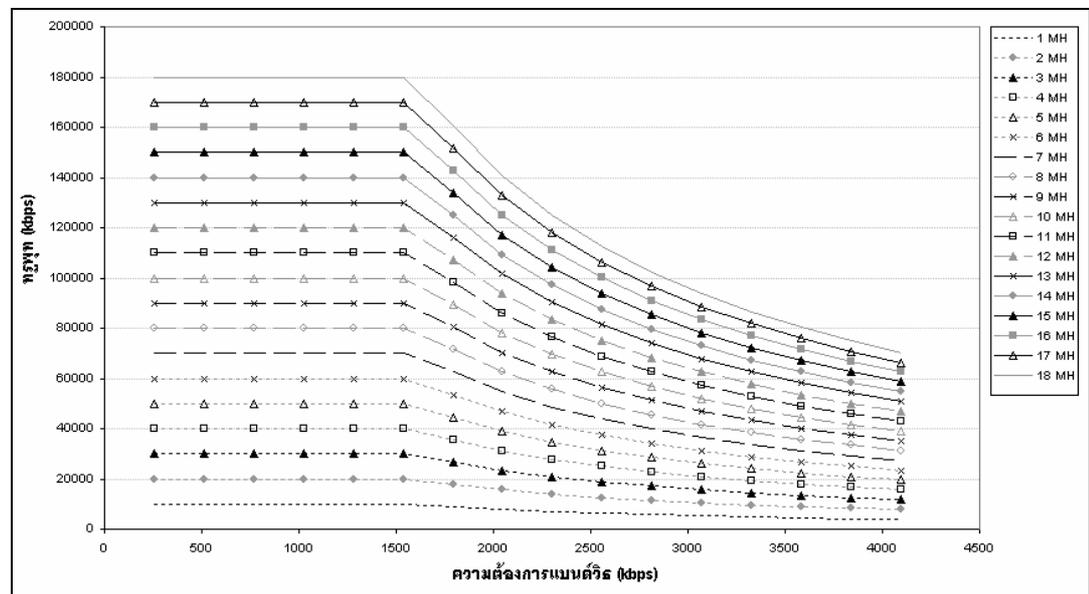


ภาพที่ 81 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps

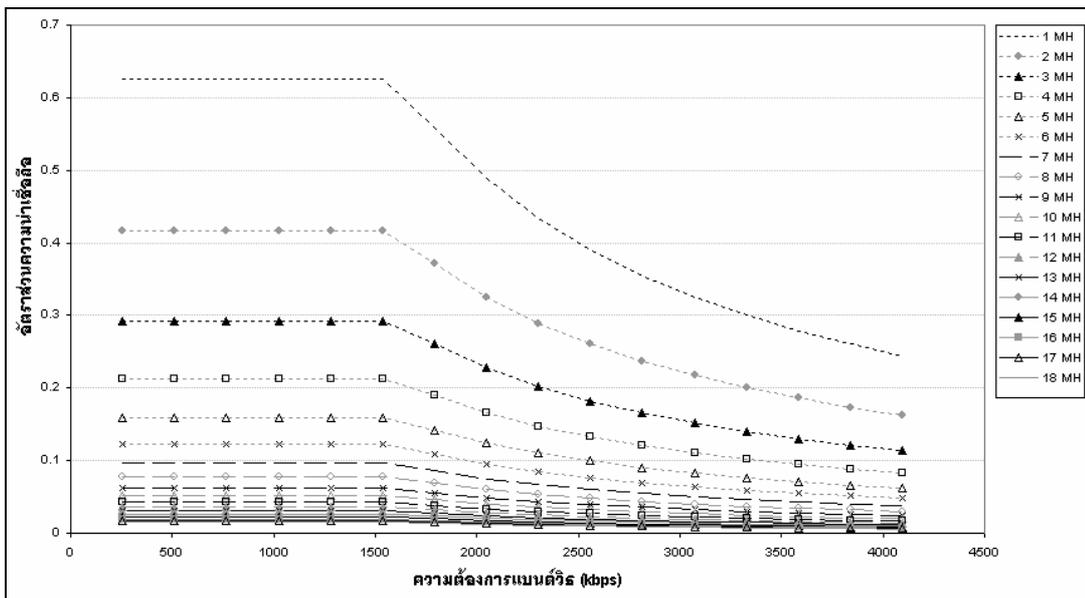


ภาพที่ 82 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 9 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 18 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 83 และ 84

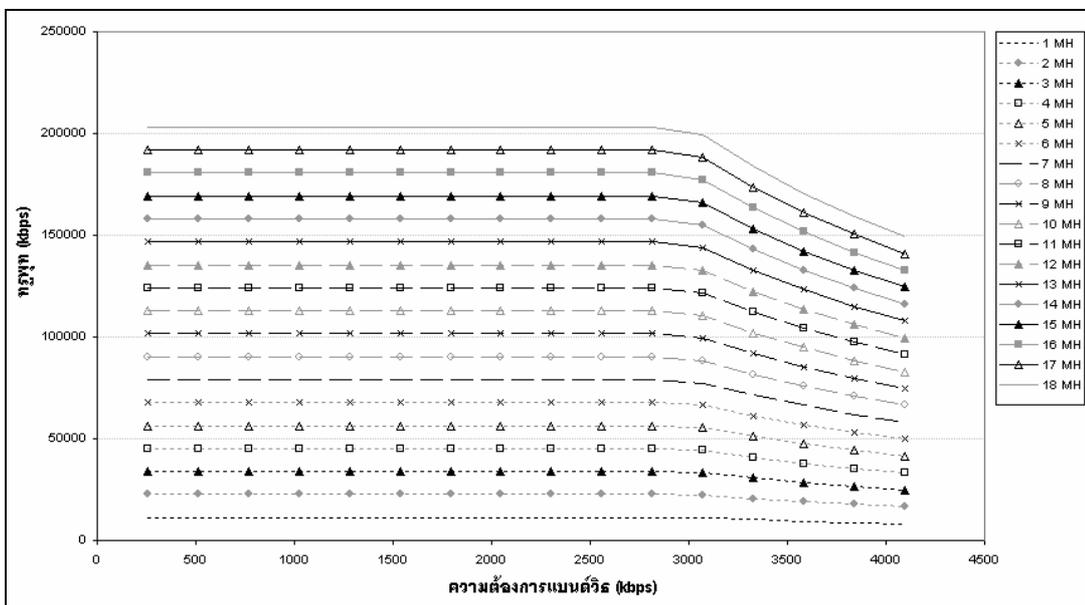


ภาพที่ 83 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps

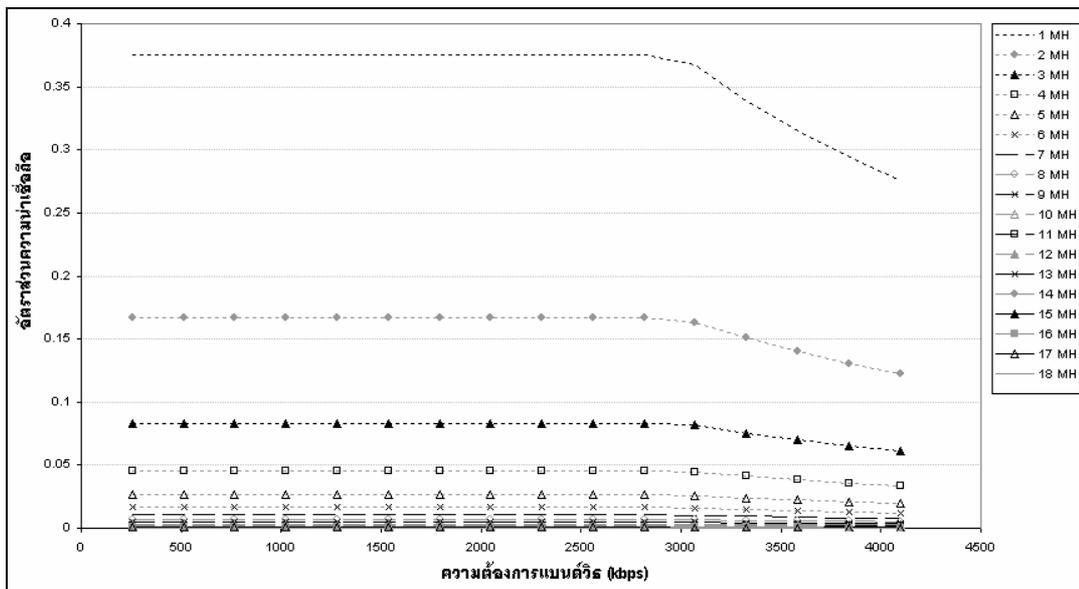


ภาพที่ 84 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 18 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 36 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 85 และ 86

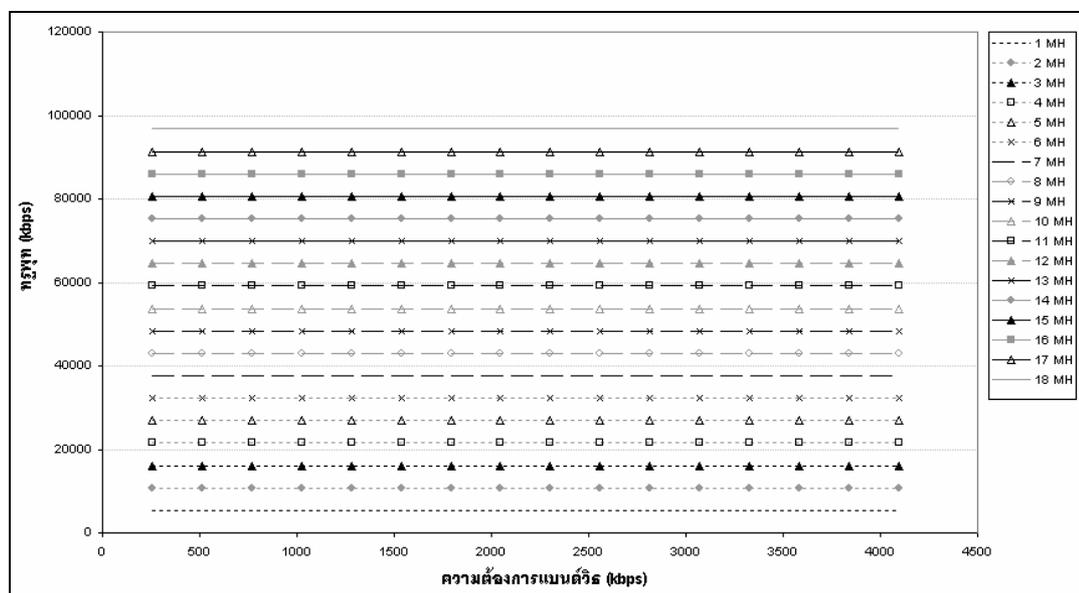


ภาพที่ 85 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps

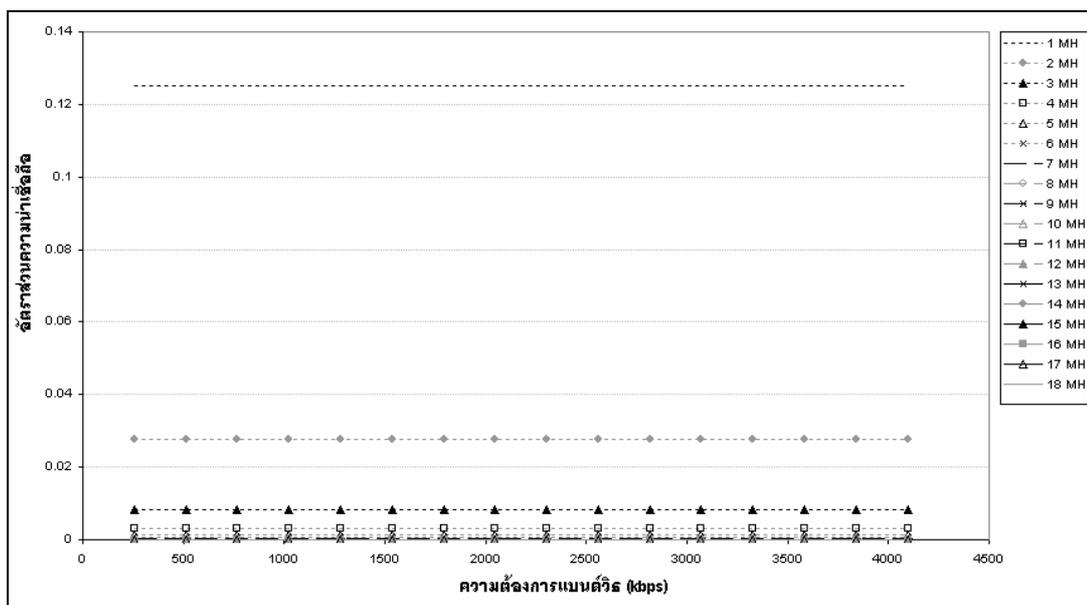


ภาพที่ 86 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความสำเร็จถือในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 36 Mbps

กรณีการเลือกโหมดความเร็วที่ 54 Mbps ได้ผลดังภาพที่ 87 และ 88



ภาพที่ 87 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps

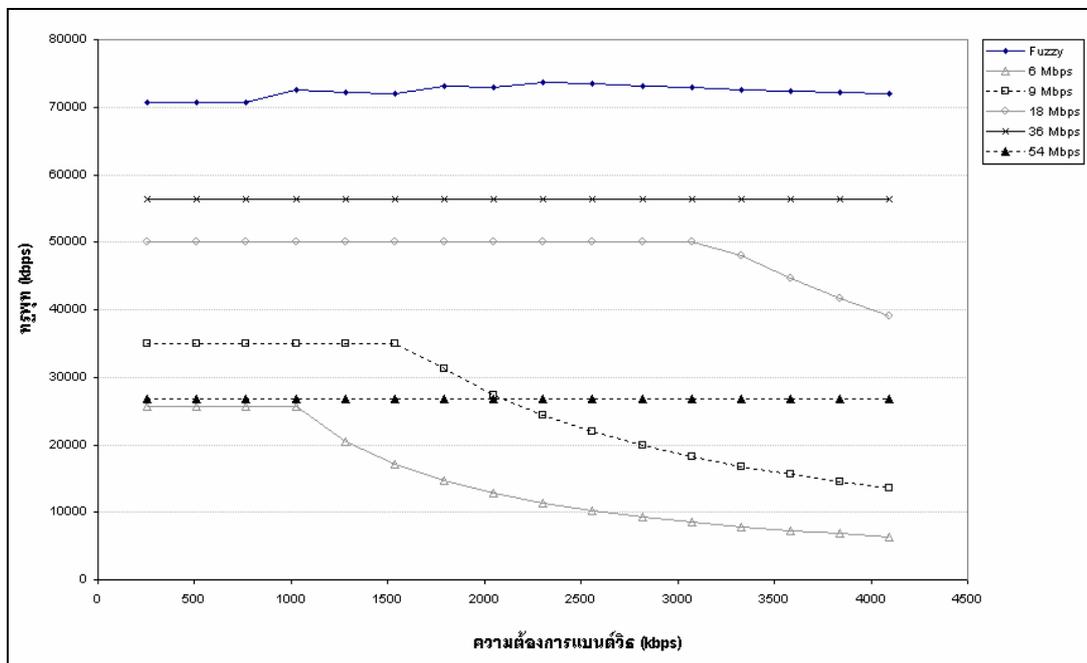


ภาพที่ 88 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความสำเร็จในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 90% และเลือกโหมดการส่งที่ 54 Mbps

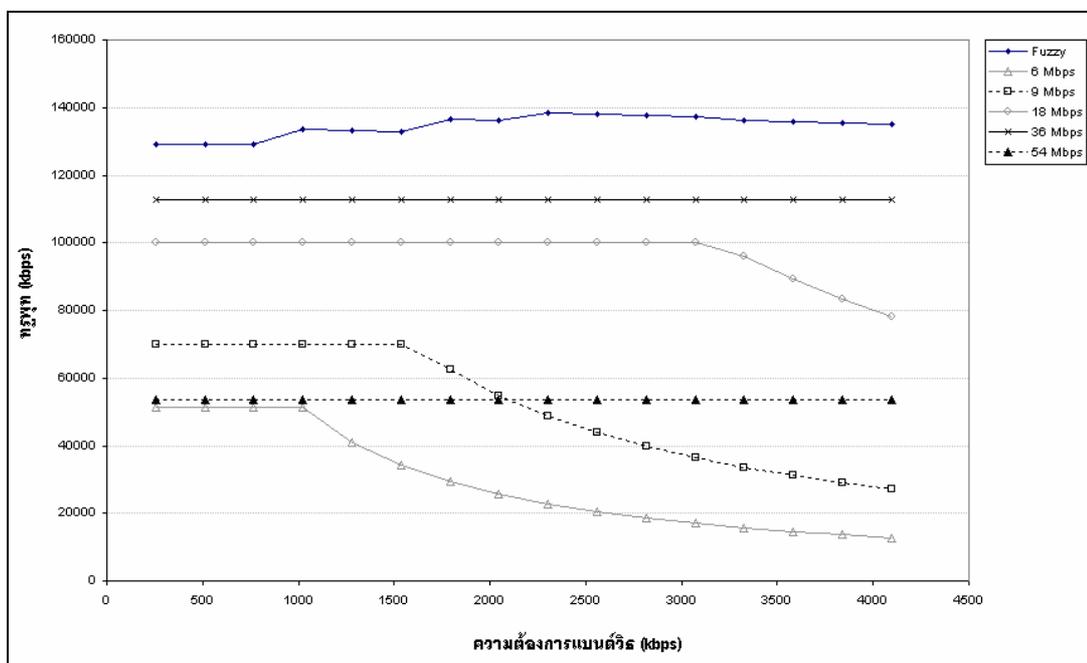
3.4 การเปรียบเทียบระหว่างการเลือกโหมด

จากข้อมูลที่ได้จะนำมาแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งระหว่างการเลือกโหมดต่างๆ กับการเลือกโหมดแบบพีซีซี โดยจะนำมาแสดงโดยจำแนกไปตามจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ โดยในที่นี้จะใช้ข้อมูลของกรณีภาระของเครือข่ายเท่ากับ 80% และจำแนกตามจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5, 10 และ 15 โบบายโฮสต์ตามลำดับ

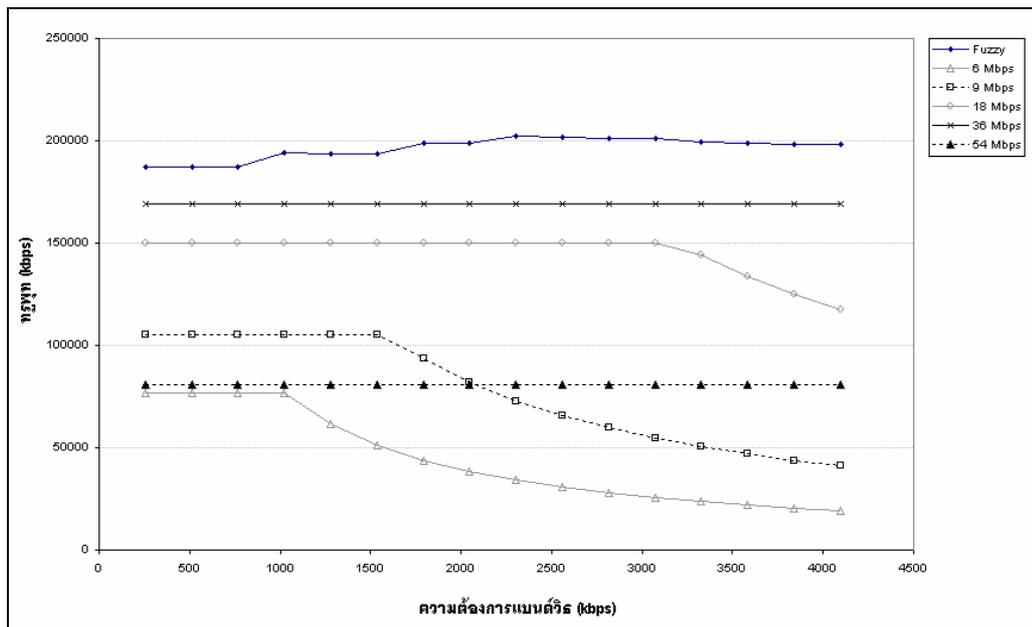
3.4.1 ประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่าย ได้ผลดังภาพที่ 89, 90 และ 91



ภาพที่ 89 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5

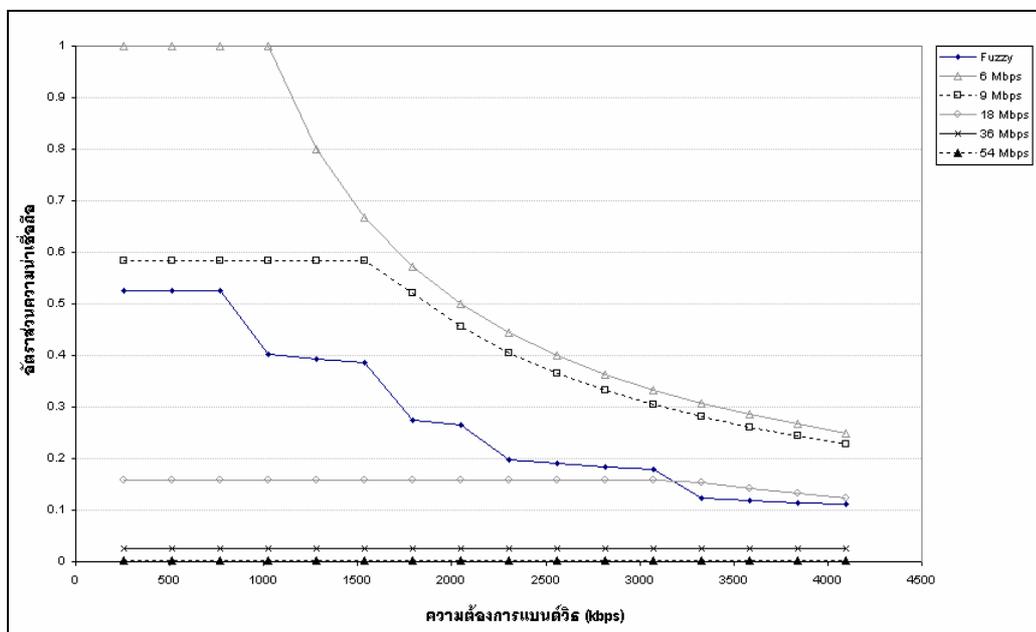


ภาพที่ 90 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 10

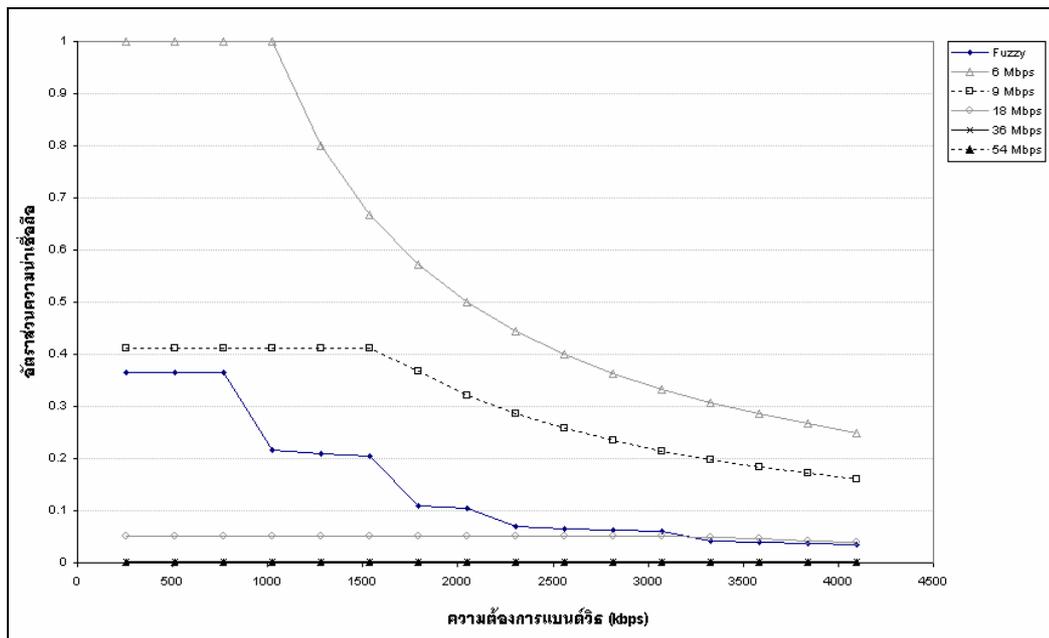


ภาพที่ 91 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ จำแนกตามการเลือก โหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 15

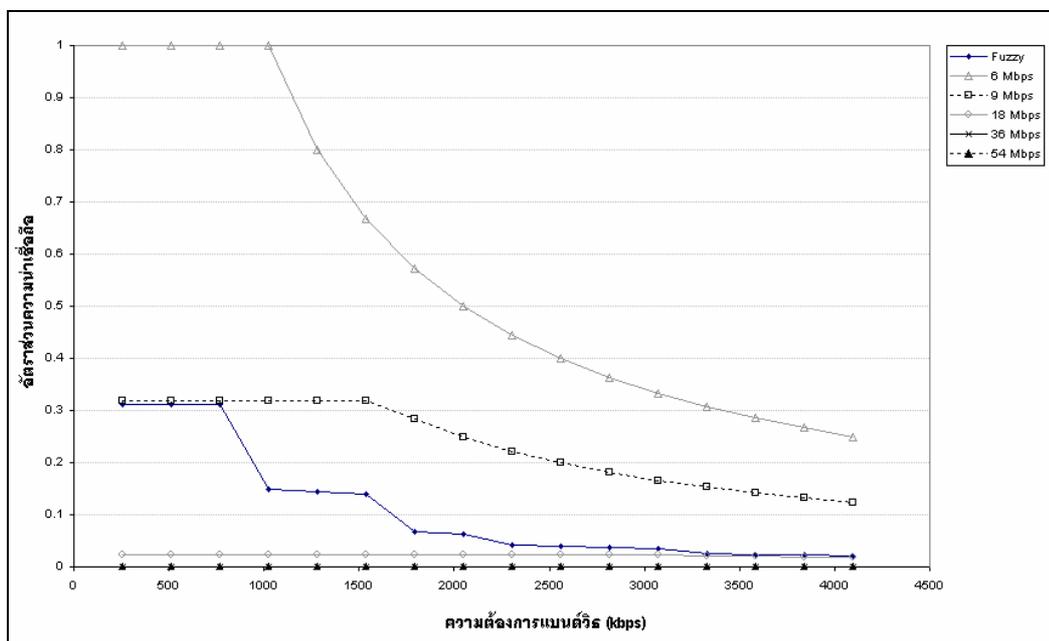
3.4.2 ความน่าเชื่อถือในการส่ง ได้ผลดังภาพที่ 92, 93 และ 94



ภาพที่ 92 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือก โหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5



ภาพที่ 93 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือก โหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 10

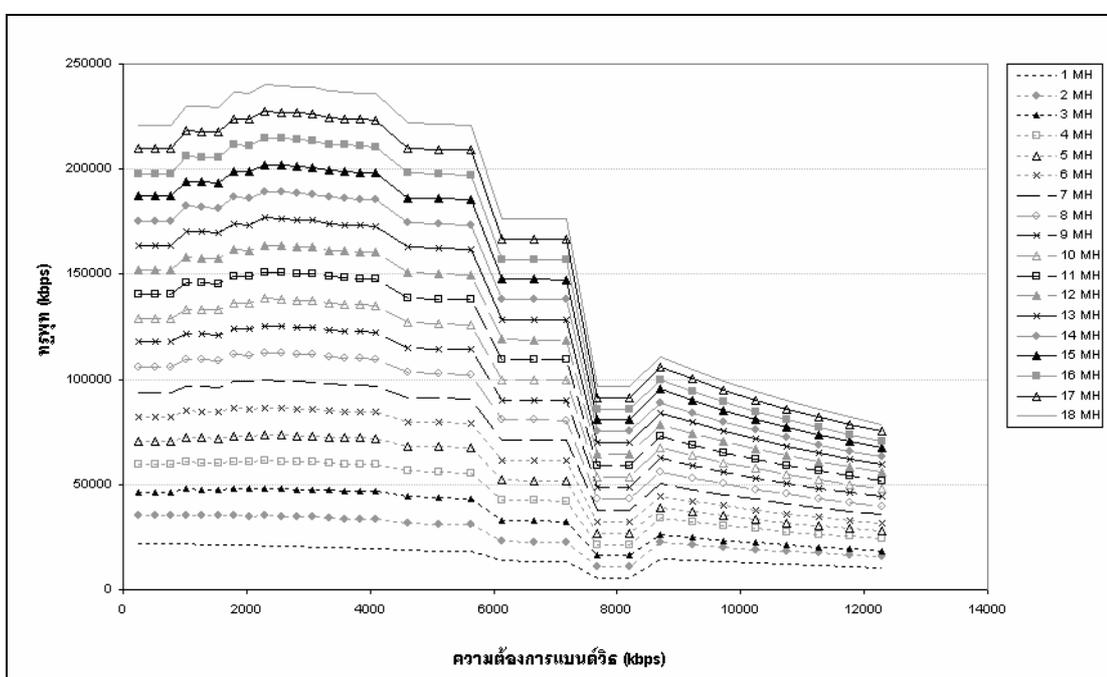


ภาพที่ 94 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือก โหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 15

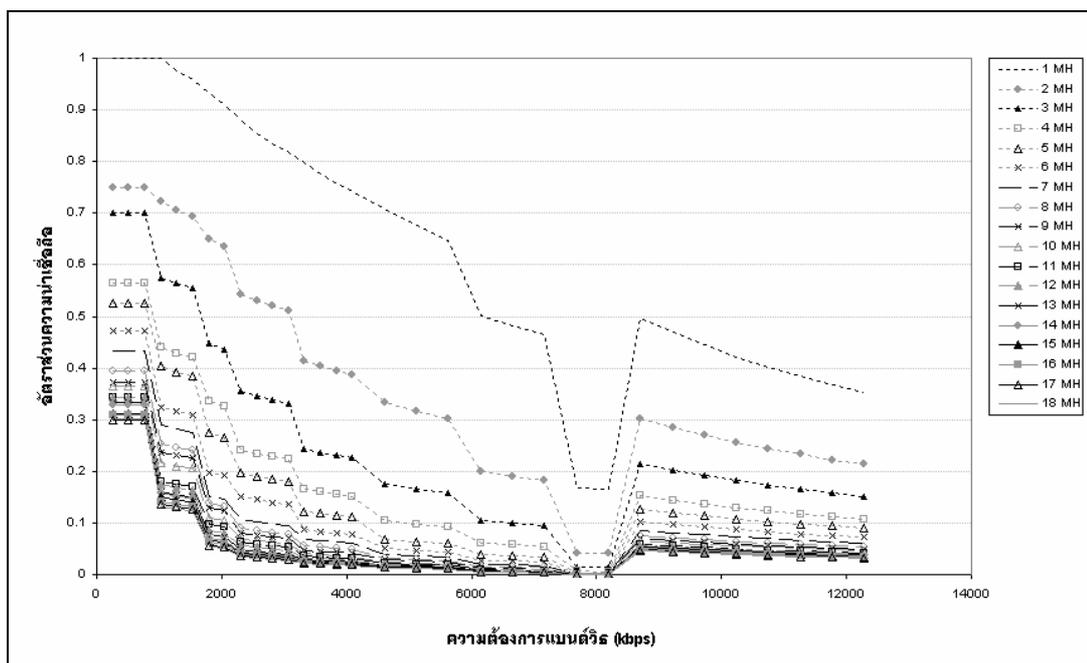
4. กรณีความต้องการแบนด์วิธมีค่าเพิ่มขึ้นจนไม่เพียงพอต่อการส่งที่โหมดความเร็วสูงสุด

เป็นการคำนวณเพื่อดูข้อจำกัดของการเลือกโหมด โดยกำหนดให้จำนวนที่ภาระของเครือข่ายเท่ากับ 80% และเพิ่มค่าความต้องการแบนด์วิธตั้งแต่ 512 kbps จนถึง 12,288 kbps และคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่ง เพื่อดูข้อจำกัดในการเลือกโหมดการส่งแบบพีซีซีและการเลือกโหมดแบบค่าคงที่ปกติ

4.1 กรณีใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี ได้ผลดังภาพที่ 95 และ 96



ภาพที่ 95 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุทสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี

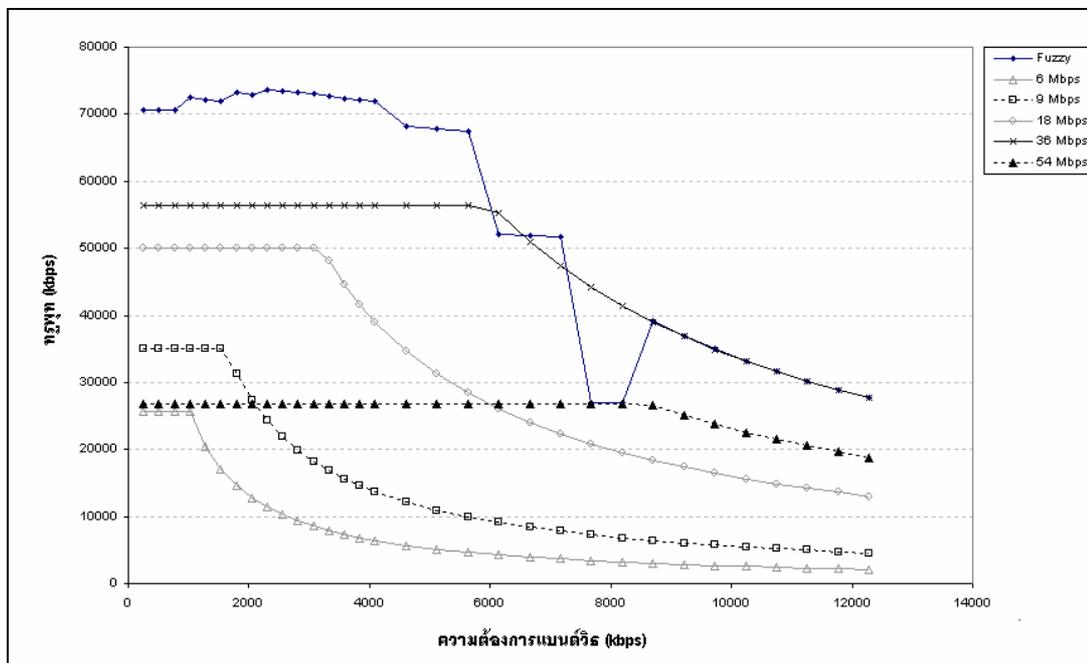


ภาพที่ 96 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของของอัตราส่วนความสำเร็จในการส่ง ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% และใช้การเลือกโหมดแบบพีซีซี

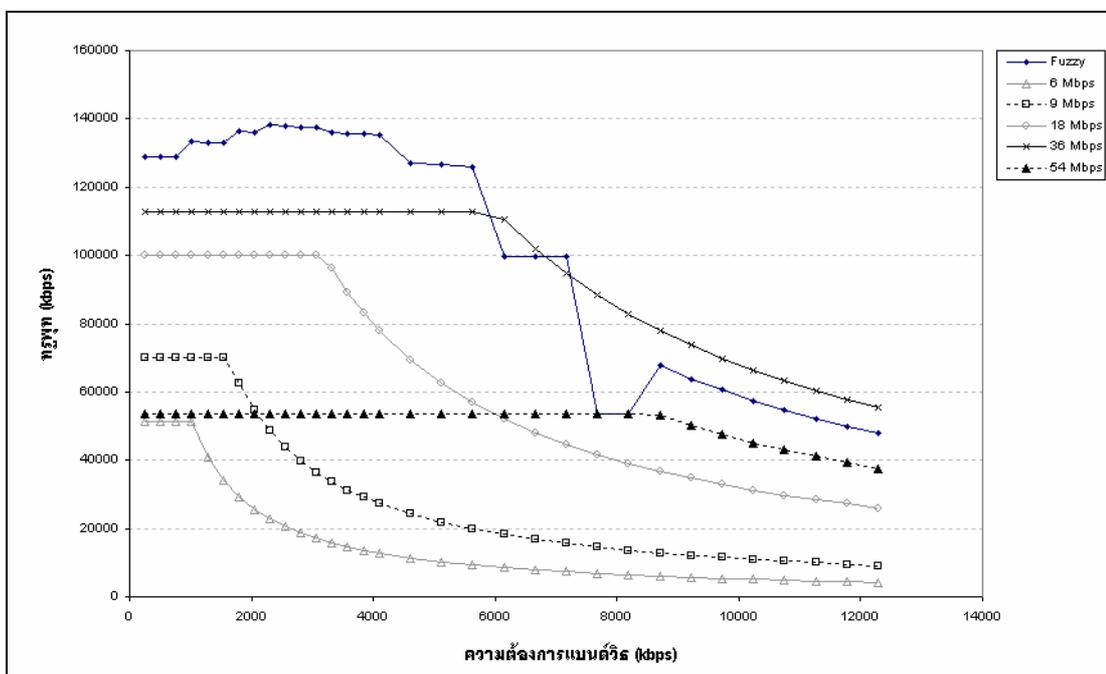
4.2 การคำนวณเปรียบเทียบระหว่างการเลือกโหมด

เป็นการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการเลือกโหมดคงที่ปกติที่สภาวะความต้องการแบนด์วิธมีค่าเพิ่มขึ้นจนไม่เพียงพอต่อการส่งที่โหมดความเร็วสูงสุด โดยในกรณีนี้จะเปรียบเทียบในการส่งกรณีที่เครือข่ายมีภาระ 80% โดยเปรียบเทียบการเลือกโหมดแบบพีซีซีกับการเลือกโหมดการส่งที่ความเร็ว 6,9,18,36 และ 54 Mbps โดยกำหนดให้คำนวณเพื่อเปรียบเทียบในกรณีที่มีย่านสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5,10 และ 15 โมบายโฮสต์ ซึ่งจะได้ผลการคำนวณดังกราฟในภาพที่ 97, 98, 99, 100, 101 และ 102

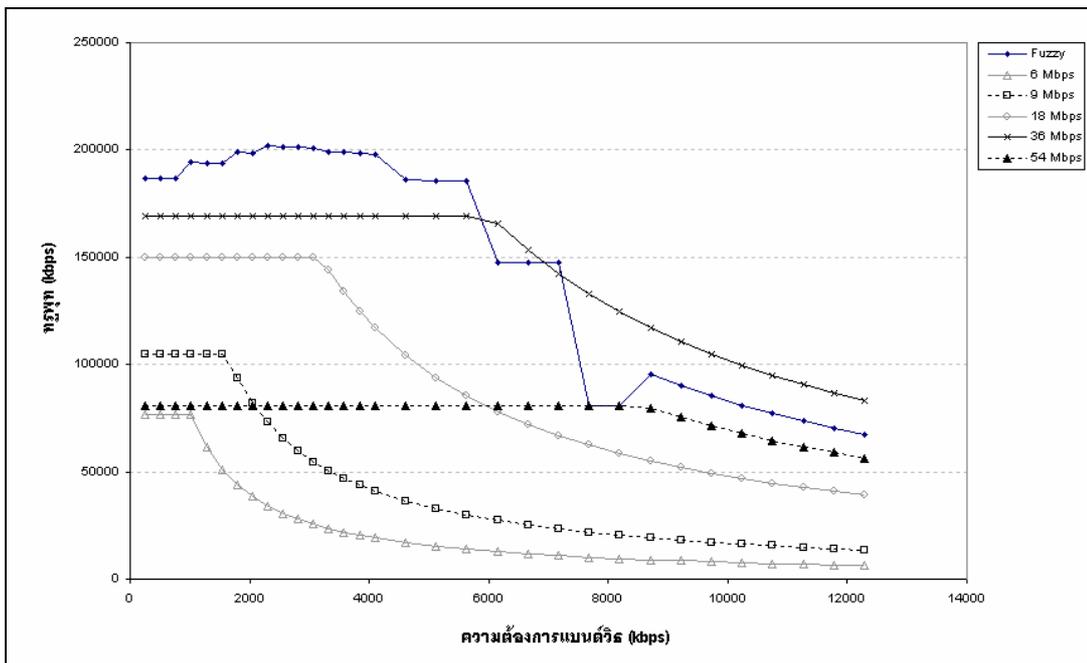
4.2.1 ประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่าย



ภาพที่ 97 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5

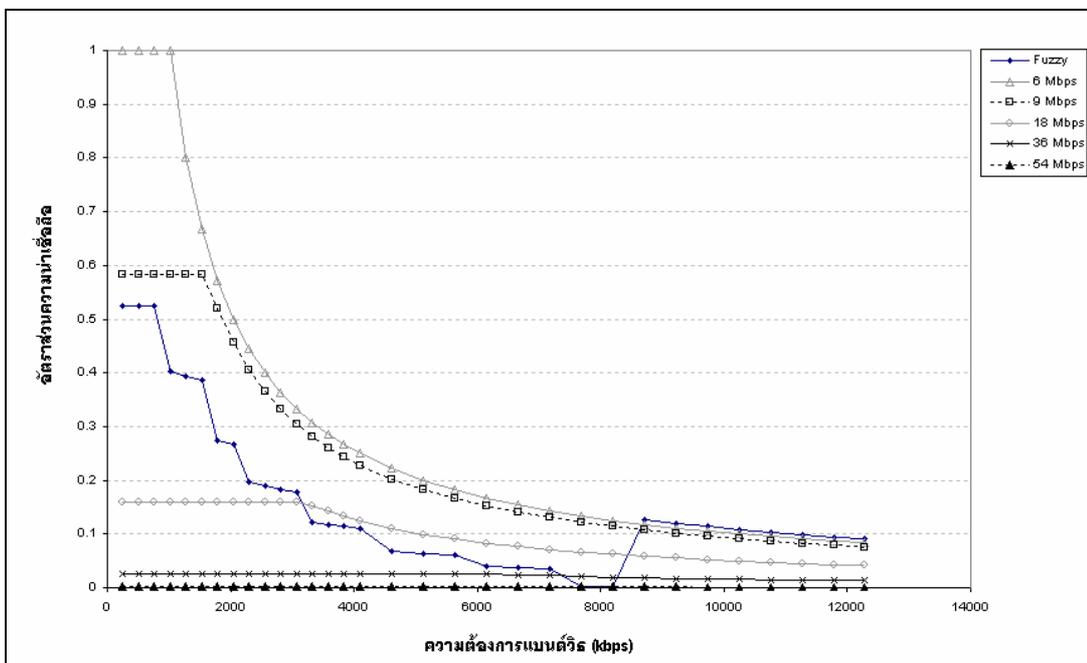


ภาพที่ 98 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหมด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 10

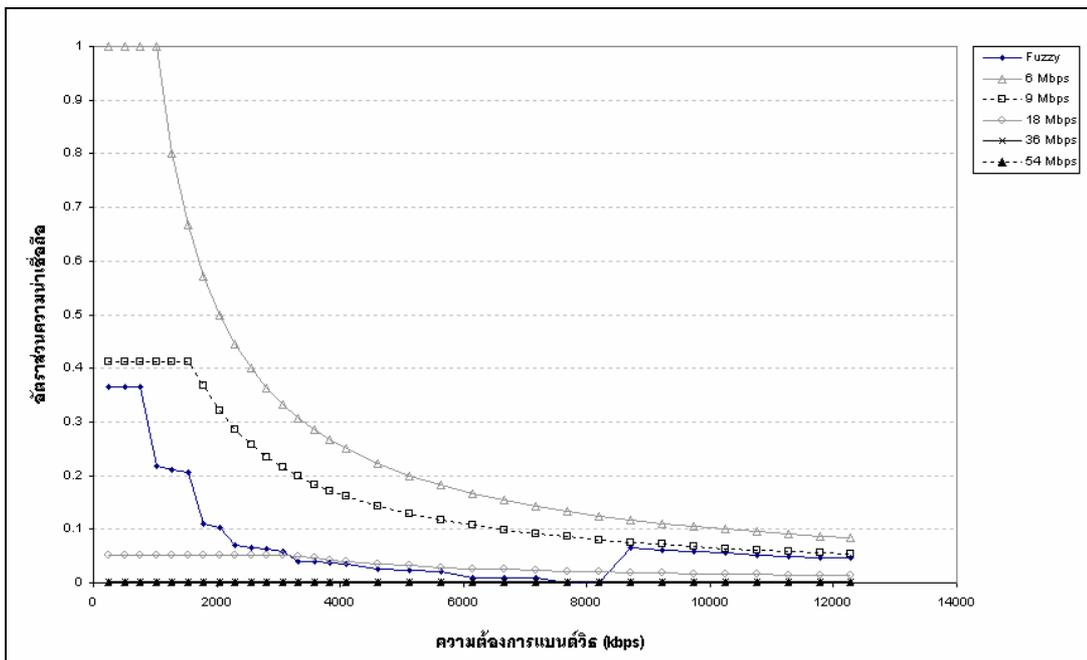


ภาพที่ 99 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวมทราฟฟิคสูงสุดของกลุ่มมัลติคาสต์ จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 15

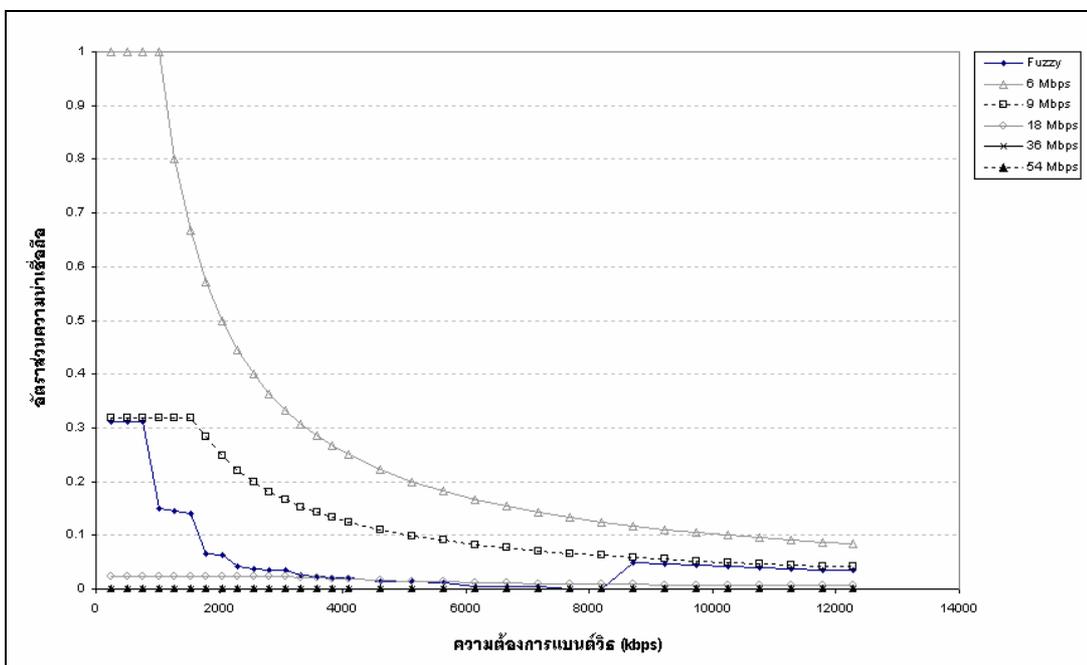
4.2.2 ความน่าเชื่อถือในการส่งมัลติคาสต์



ภาพที่ 100 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือกโหนด ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5



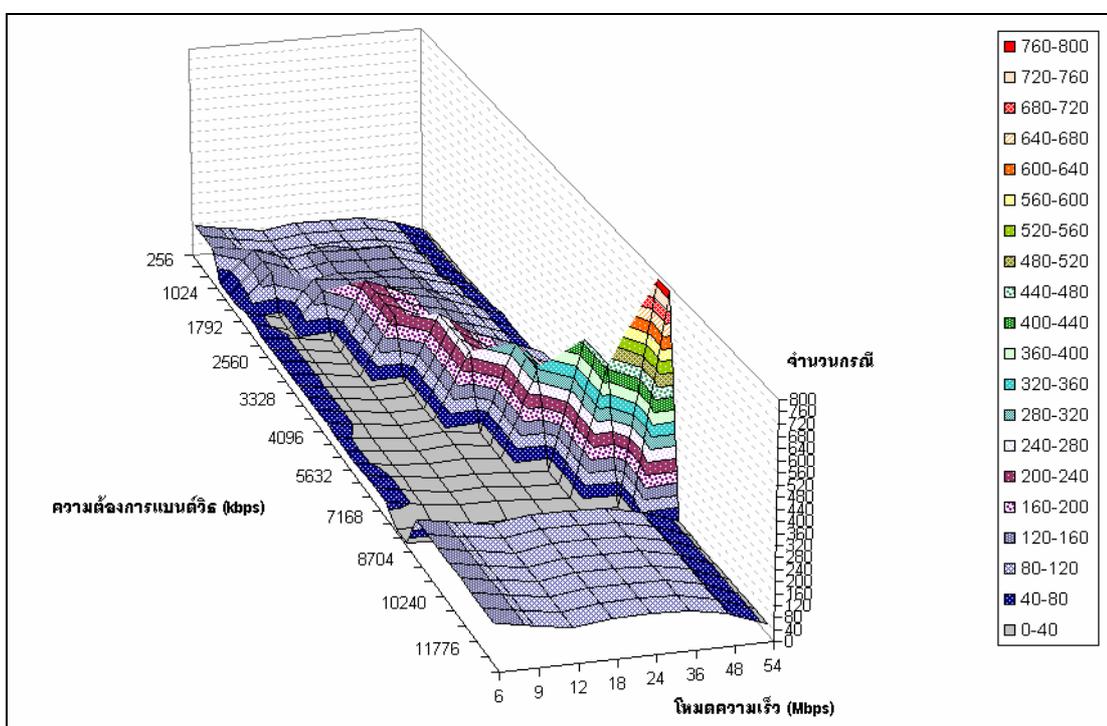
ภาพที่ 101 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือกโมดูล ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 10



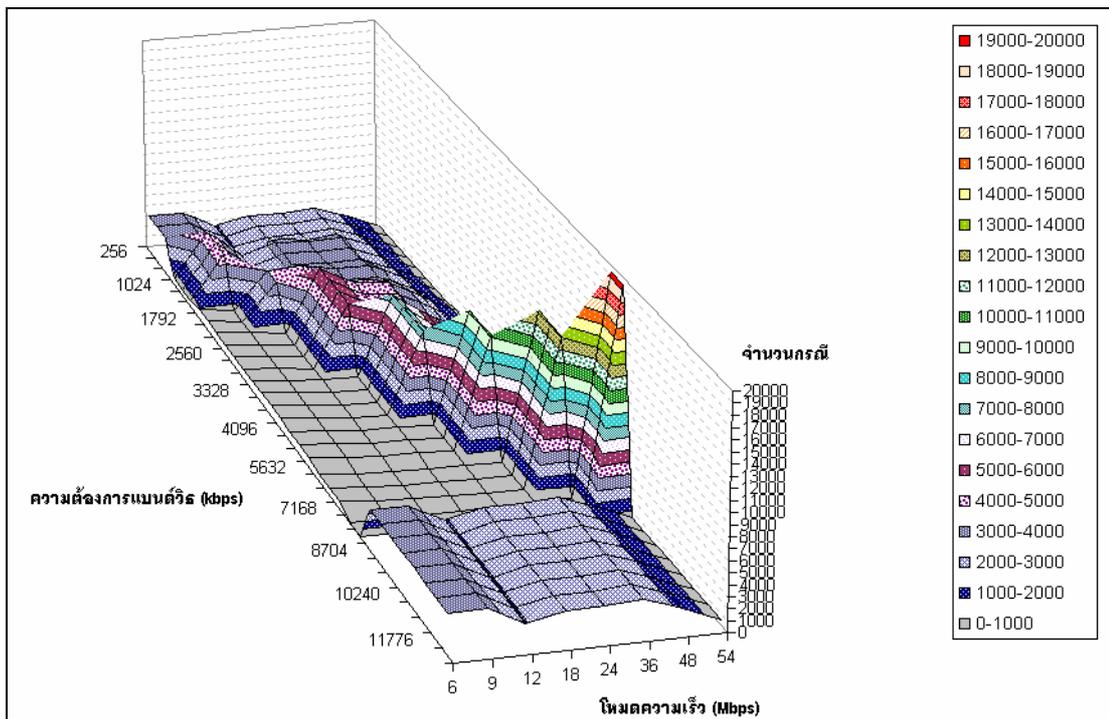
ภาพที่ 102 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่ง จำแนกตามการเลือกโมดูล ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 15

4.3 ผลการคำนวณจำนวนกรณีที่เลือกโหมดโดยการเลือกแบบพีชชี

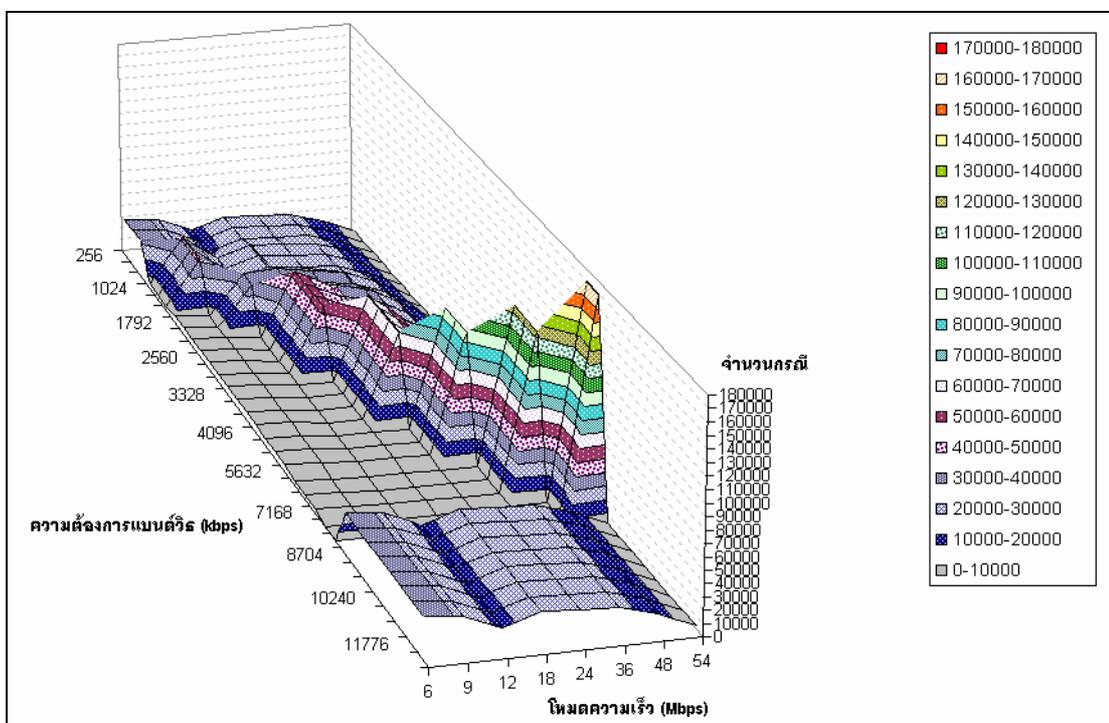
จำนวนกรณีที่เลือกแยกตามโหมดต่างๆ ที่เลือกโดยการเลือกแบบพีชชีซึ่งจะนำไปวิเคราะห์การเลือกโหมดในกรณีที่สถานะความต้องการแบนด์วิธมีค่าเพิ่มขึ้นจนไม่เพียงพอต่อการส่งที่โหมดความเร็วสูงสุด โดยในกรณีนี้จะเปรียบเทียบในการส่งกรณีที่เครือข่ายมีภาระ 80% และแยกตามจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์โดยกำหนดให้เท่ากับ 5, 10 และ 15 โหมบยไฮสต์ แปรผันตามความต้องการแบนด์วิธ ซึ่งจะได้ผลแสดงดังกราฟในภาพที่ 103, 104 และ 105



ภาพที่ 103 ภาพกราฟแสดงจำนวนกรณีจำแนกตาม โหมดที่เลือก แปรผันตามความต้องการแบนด์วิธ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5



ภาพที่ 104 ภาพกราฟแสดงจำนวนกรณีจำแนกตามโหนดที่เลือก แปรผันตามความต้องการแบนด์วิธ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 10

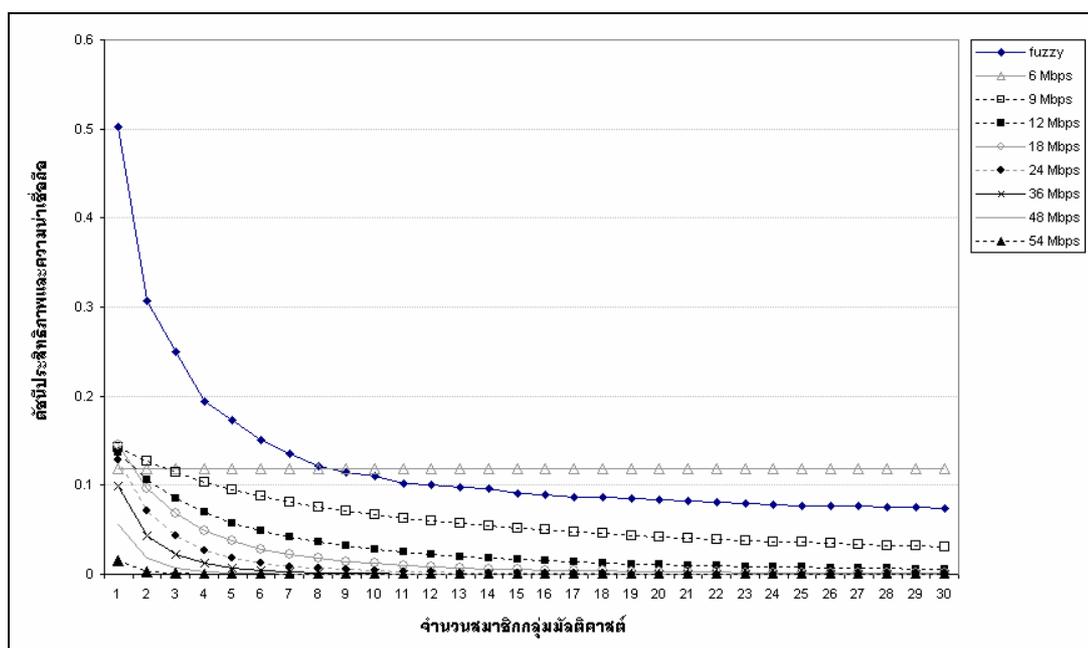


ภาพที่ 105 ภาพกราฟแสดงจำนวนกรณีจำแนกตามโหนดที่เลือก แปรผันตามความต้องการแบนด์วิธ ที่ภาระเครือข่ายเท่ากับ 80% โดยมีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 15

5. การเปรียบเทียบโดยใช้ค่าดัชนีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือ

การคำนวณเพื่อหาค่าดัชนีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือนั้นก็ทำการคำนวณเช่นเดียวกันกับกรณีอื่นและจะนำค่าทั้งค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดนำไปหาค่าดัชนีทรูพุทสูงสุดเพื่อนำมาหาค่าดัชนีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือซึ่งจะเป็นผลคูณระหว่างค่าดัชนีทรูพุทสูงสุดและค่าเฉลี่ยความน่าเชื่อถือ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะในกรณีภาระเครือข่ายน้อยเพียงพอต่อความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธซึ่งเป็นกรณีทั่วไปในการส่งมัลติมีเดีย

สำหรับการคำนวณเพื่อทำการเปรียบเทียบนั้นก็ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีของการเลือกโหมดแบบพีซีซีและแบบที่มีการเลือกโหมดที่ความเร็วคงที่ โดยจะทำการคำนวณโดยกำหนดให้มีจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติมีเดียตั้งแต่ 1 ถึง 30 และกำหนดให้ความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธเป็น 0 kbps และไม่มีภาระการใช้งานเครือข่ายซึ่งได้ผลการคำนวณดังในภาพที่ 106



ภาพที่ 106 ภาพกราฟแสดงค่าดัชนีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือตามจำนวนสมาชิกกลุ่มมัลติมีเดียเปรียบเทียบตามการเลือกโหมดการส่ง

วิจารณ์

จากผลการทดลองจะนำมาวิเคราะห์ถึงการเลือกโหมดแบบพีชซึ่งเปรียบเทียบกับกรเลือกโหมดความเร็วใดความเร็วหนึ่งตามปกติ ซึ่งในการวิเคราะห์นั้นจะแยกเป็นกรณีตามผลการทดลอง โดยจะแบ่งเป็น 3 กรณีคือ กรณีภาระเครือข่ายน้อยเพียงพอต่อความต้องการในการใช้งานแบนด์วิธ, กรณีภาระเครือข่ายมากทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งที่แต่ละโหมดความเร็ว และกรณีที่ความต้องการแบนด์วิธมากที่ภาระของเครือข่ายหนึ่งทำให้ไม่เพียงพอต่อการส่ง

6. กรณีภาระเครือข่ายน้อยเพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ

เป็นกรณีในการส่งปกติที่ภาระของเครือข่ายมีน้อย และแบนด์วิธที่เหลือมีเพียงพอต่อการส่งตามความต้องการแบนด์วิธในการส่งมัลติคาสต์โดยใช้โหมดความเร็วใดก็ได้ จากผลการทดลองตามภาพที่ 21 ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยผลรวมของทรูพุตสูงสุดที่ทำได้ของการส่งมัลติคาสต์นั้นจะสูงกว่าการเลือกโหมดการส่งคงที่โหมดใดโหมดหนึ่งในทุกกรณีของจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ ซึ่งเป็นผลจากการเลือกแบบใช้การส่งเคราะห์ค่าแบบพีชซึ่งจะเลือกจากปัจจัยการตัดสินใจทั้งสามประเด็น โดยประเด็นหนึ่งก็คือประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย

จะสังเกตเห็นว่าโหมดความเร็วที่มีค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพุตสูงสุดที่มีค่ามารองลงมาก็คือที่การส่งที่โหมดความเร็ว 36 Mbps และ 12 Mbps ตามลำดับ ซึ่ง โหมดความเร็วในการส่งทั้งสองนั้นหากพิจารณาจากกราฟค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือจากภาพที่ 22 แล้วพบว่าที่การส่งที่โหมดความเร็ว 36 Mbps นั้นมีค่าน้อยกว่าการเลือกโหมดการส่งแบบพีช อยู่ 4 อันดับ และสำหรับโหมดการส่งที่ความเร็ว 12 Mbps นั้นก็มีค่าน้อยกว่าการเลือกโหมดการส่งแบบพีช ซึ่งอยู่ในอันดับถัดกัน

หากพิจารณากราฟค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือจากภาพที่ 22 นั้นจะเห็นได้ว่าความน่าเชื่อถือของการส่งแบบที่ใช้การเลือกโหมดแบบพีชซึ่งนั้นจะสามารถทำได้ใกล้เคียงกันกับการส่งที่โหมดความเร็ว 9 Mbps ซึ่งเป็นโหมดที่มีความน่าเชื่อถือในการส่งรองลงมาจากโหมดการส่งที่ 6 Mbps ซึ่งจะมีค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือเท่ากับ 1 ตลอดเพราะสมาชิกทุกตัวของกลุ่มมัลติคาสต์ที่

เชื่อมต่อกับแอกเซสพอยต์โดยใช้โหมดตามมาตรฐาน 802.11g นั้นจะสามารถรับส่งได้ที่โหมดความเร็วต่ำที่สุดได้อยู่แล้ว

ในทางกลับกันหากพิจารณาโหมดที่มีความน่าเชื่อถือในการส่งสองอันดับแรกซึ่งก็คือที่โหมดความเร็ว 6 Mbps และ 9 Mbps นั้นจะพบว่าจากกราฟค่าเฉลี่ยผลรวมของทรูพุทสูงสุดที่ทำให้จากภาพที่ 21 จะเห็นว่าที่โหมดความเร็ว 6 Mbps นั้นมีค่าต่ำที่สุด และที่ 9 Mbps นั้นจะมีค่ามากกว่าที่ 6 Mbps อยู่สองอันดับ ซึ่งมีค่าต่ำเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าโหมดความเร็วที่มีความน่าเชื่อถือในการส่งสูงนั้นจะมีข้อดีคือประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายจะมีค่าน้อยตามไปด้วย นอกจากนี้ที่โหมดความเร็วที่มีค่ามากที่สุดคือโหมดความเร็วที่ 54 Mbps นั้นพบว่าค่าเฉลี่ยผลรวมของทรูพุทสูงสุดที่ทำได้นั้นจะมีค่าน้อยรองลงมาจากที่โหมดความเร็ว 6 Mbps ทั้งนี้เนื่องมาจากความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นมีค่าต่ำ ทำให้ทรูพุทที่ทำได้นั้นน้อยตามไปด้วย

จะเห็นได้ว่าในกรณีปกติที่ภาระของเครือข่ายน้อยเพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งทุกโหมดความเร็วนั้น การเลือกโหมดความเร็วการส่งแบบพีซีซีนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายนั้นมีค่าสูงที่สุด ในทุกกรณีของจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ตั้งแต่ 1 ถึง 18 โมบายโฮสต์ตามค่าที่ได้จากการคำนวณ และความน่าเชื่อถือในการส่งก็จะทำได้ใกล้เคียงกันกับโหมดการส่งที่มีความน่าเชื่อถือในการส่งเป็นอันดับที่ 2 คือที่โหมดการส่งที่ความเร็ว 9 Mbps ซึ่งเป็นโหมดการส่งที่มีความเร็วมากกว่าโหมดการส่งที่มีความเร็วต่ำที่สุดคือ 6 Mbps ซึ่งมีความน่าเชื่อถือในการส่งมากที่สุดคือมีค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งเท่ากับ 1 ในทุกกรณีหากภาระของเครือข่ายเพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งที่โหมดความเร็ว 6 Mbps ซึ่งผลที่ได้แสดงว่าการเลือกโหมดการส่งแบบพีซีซีนั้นทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายมีค่ามากที่สุด ในขณะที่ความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อพิจารณาในกรณีที่ภาระของเครือข่ายน้อยเพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งทุกโหมดความเร็ว

7. กรณีของการเพิ่มภาระเครือข่ายทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ

ในกรณีนี้การเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายนั้นจะทำให้แบนด์วิธที่เหลือไม่สามารถส่งได้เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธที่การส่งโดยโหมดความเร็วใดความเร็วหนึ่ง ซึ่งหากภาระเครือข่ายนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ก็จะทำให้โหมดการส่งที่ความเร็วต่ำที่สุดนั้นไม่สามารถส่งข้อมูลได้เพียงพอต่อแบนด์วิธที่ต้องการส่งได้ ซึ่งหากมีการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายมากขึ้นไปอีก

ก็จะทำให้โหมคความเร็วที่มีความเร็วในการส่งมากขึ้นถัดไปไม่สามารถส่งข้อมูลได้ตามความต้องการแบนด์วิธไปเรื่อยๆ ซึ่งหากมีการเลือกโหมคการส่งที่ความเร็วที่ไม่พอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งนั้นก็จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายคือทำให้ทรูพทในการส่งลดลงเนื่องจากไม่สามารถส่งข้อมูลได้ทั้งหมดตามความต้องการแบนด์วิธ และนอกจากนั้นค่าความน่าเชื่อถือในการส่งยังลดลงอีกด้วย

7.1 ผลการคำนวณของการเลือกโหมคแบบพีซีซี

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้การเลือกโหมคการส่งแบบพีซีซี ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายซึ่งพิจารณาได้จากกราฟค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพทสูงสุดแปรผันตามค่าภาระเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นที่ความต้องการแบนด์วิธที่กำหนดคือ 2,000 และ 3,000 kbps ตามลำดับดังในภาพที่ 23 และ 35 พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นขั้นๆ และจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วที่ภาระเครือข่ายมีค่ามากคือที่ตั้งแต่ร้อยละ 90 และร้อยละ 86 ตามความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2,000 และ 3,000 kbps ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาโดยละเอียดจะเห็นว่า ตามลำดับขั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของทรูพทสูงสุดนั้นจะเป็นค่าภาระของเครือข่ายที่โหมคความเร็วในการส่งโหมคใดโหมคหนึ่งไม่เพียงพอต่อการส่งตามความต้องการแบนด์วิธ เช่นที่ความต้องการแบนด์วิธ 2,000 kbps นั้นจะพบว่ามีค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพทสูงสุดนั้นจะมีค่าคงที่จนมาถึงที่ภาระของเครือข่ายเท่ากับร้อยละ 62 ซึ่งหากพิจารณาจากกราฟค่าเฉลี่ยทรูพทสูงสุดของการส่งที่โหมค 6 Mbps ตามภาพที่ 25 และกราฟค่าเฉลี่ยอัตราส่วนความน่าเชื่อถือของโหมคการส่งที่ความเร็วเดียวกัน จะพบว่าค่าเริ่มลดลงที่ร้อยละ 62 เช่นกัน ซึ่งแสดงว่าการส่งที่โหมคความเร็ว 6 Mbps เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ ซึ่งหากพิจารณาค่าเฉลี่ยทรูพทของการเลือกโหมคการส่งแบบพีซีซีจะพบว่าค่าทรูพทกลับเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าการเลือกโหมคการส่งที่จะได้ผลเป็นโหมคการส่งที่ 6 Mbps นั้นน้อยลง เนื่องจากปัจจัยการตัดสินใจนั้นจะพิจารณาจากปัจจัยความน่าเชื่อถือในการส่งประกอบกับทรูพทที่ได้ ซึ่งการที่ไม่เลือกโหมคการส่งที่ 6 Mbps นั้นจะเกิดขึ้นในกรณีที่ค่าความเป็นสมาชิกของพีซีซีเซ็คค่าตอบนั้นลดลงเนื่องจากทั้งทรูพทในการส่งและความน่าเชื่อถือในการส่งลดลงเพราะที่โหมคความเร็ว 6 Mbps นั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ

จะสังเกตได้ว่าทุกการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของผลรวมทรูพทสูงสุดนั้นจะมีโหมคใดโหมคหนึ่งเริ่มไม่เพียงพอต่อการส่งเสมอ และการเปลี่ยนแปลงเมื่อพิจารณาตามค่าภาระของเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นนั้นก็เริ่มจากโหมคความเร็วที่มีค่าน้อยก่อนไปจนถึงโหมคความเร็วที่มีค่ามาก

โดยที่หากการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดจากโหมคความเร็วที่มีค่าน้อยเช่นในผลการคำนวณของกรณีที่ต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 2,000 kbps นั้นจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงที่โหมคความเร็ว 6,9,12 และ 24 kbps นั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และที่โหมคความเร็ว 36, 48 และ 54 kbps นั้นกลับทำให้ค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว ที่เป็นเช่นนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงของการส่งที่โหมคเร็วขึ้นเรื่อยๆ นั้นเมื่อเปลี่ยนไปเลือกโหมคที่ความเร็วสูงกว่า หากยังมีโหมคการส่งที่สูงกว่าเป็นจำนวนมากอยู่ความน่าเชื่อถือของโหมคความเร็วที่สูงกว่านั้นยังมีค่าลดลงไม่มากนัก แต่หากเป็นการเปลี่ยนแปลงที่โหมคความเร็วสูงๆ ไม่เพียงพอต่อการส่งค่าความน่าเชื่อถือของโหมคความเร็วที่มากขึ้นถัดไปก็จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากค่าอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งของโหมคการส่งที่ความเร็วสูงนั้นมีค่าน้อย และภาระของเครือข่ายไม่พอเพียงต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งที่โหมคความเร็วที่มีค่าต่ำกว่า ซึ่งจะสังเกตเห็นได้จากกราฟอัตราส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นมีค่าลดลงที่ภาระเครือข่ายสูงๆ ตามภาพที่ 24 และ 36

นอกจากนั้นหากเปรียบเทียบกันระหว่างความต้องการแบนด์วิธที่ 2,000 และ 3,000 kbps นั้นพบว่าความต้องการแบนด์วิธที่ต่างกันนั้นมีผลทำให้จุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดและค่าเฉลี่ยอัตราส่วนความน่าเชื่อถือนั้นต่างกันไป โดยที่ถ้าหากค่าความต้องการแบนด์วิธมีค่ามากก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของภาระเครือข่ายที่น้อยกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการที่โหมคการส่งไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธที่มีค่ามากกว่าที่ภาระเครือข่ายน้อยกว่านั่นเอง

7.2 ผลการคำนวณเปรียบเทียบตามการเลือกโหมคการส่ง

สำหรับผลการคำนวณเปรียบเทียบตามการเลือกโหมคการส่งโดยจะเทียบการเลือกโหมคการส่งแบบพีซีซีกับโหมคการส่งที่ความเร็ว 6,9,18,36 และ 54 Mbps นั้น โดยจะเปรียบเทียบกันในกรณีที่จำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5, 10 และ 15 โมบายโฮสต์ตามลำดับ โดยจะพิจารณาประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายโดยแสดงไว้ในกราฟจากภาพที่ 47, 48 และ 49 ส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นจะแสดงผลไว้ในกราฟจากภาพที่ 50, 51 และ 52 ตามลำดับ จะพบว่ากรณีของจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ที่ต่างกันนั้นผลที่ได้ก็จะ เป็นไปในทำนองเดียวกัน

จากผลที่ได้จะเห็นว่าหากพิจารณาประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายซึ่งเป็นกราฟของค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดของการเลือกโหมคการส่งนั้นจะพบว่ายังมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ

การเลือกโหมดการส่งที่โหมคความเร็วคงที่โหมคใดโหมคหนึ่งทีภาระของเครือข่ายที่มีค่าน้อยๆ และมีการลดลงอย่างรวดเร็วทีภาระของเครือข่ายมีค่ามากขึ้นซึ่งจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันกับค่าเฉลี่ยผลรวม ทฤษฎีโหมคทีมีความเร็วสูงเริ่มลดลงเช่นกัน จะสังเกตได้จากโหมคความเร็วทีมีค่าเฉลี่ยผลรวมของทฤษฎีสูงสุดรองลงมาซึ่งได้แก่ทีโหมคความเร็ว 36 Mbps ก็จะมีการลดลงอย่างรวดเร็วทีภาระเครือข่ายใกล้เคียงกัน แต่หากพิจารณาทีโหมคความเร็วอื่นๆ เช่นทีโหมคความเร็วทีมีค่าน้อยๆ เช่นที 6 และ 9 Mbps พบว่านอกจากค่าเฉลี่ยผลรวมทฤษฎีสูงสุดจะน้อยกว่าแล้วยังเริ่มมีการลดค่าทีค่าภาระของเครือข่ายน้อยกว่าอีกด้วย

ความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นก็เป็นที่ไปในการทำนองเดียวกันกับในกรณีทีภาระของเครือข่ายน้อยเพียงพอดต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งทุกโหมคความเร็ว คือมีค่าใกล้เคียงกันกับโหมคการส่งทีมีความเร็ว น้อยรองลงมาจากโหมคการส่งทีความเร็ว น้อยที่สุด คือการส่งทีโหมคความเร็ว 9 Mbps แต่จะมีความแตกต่างกันคือค่าความน่าเชื่อถือจะเริ่มลดลงทีภาระเครือข่ายทีเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของโหมคความเร็วทีเริ่มไม่เพียงพอต่อการส่งตามความต้องการแบนด์วิธไปตามลำดับชั้น ซึ่งการเลือกโหมคการส่งแบบพีชชีนั้นจะเริ่มลดลงเมื่อโหมคการส่งที 6 Mbps เริ่มไม่เพียงพอต่อการความต้องการแบนด์วิธ และจะลดลงอีกหากโหมคการส่งทีความเร็วถัดไปเริ่มไม่เพียงพอต่อการส่ง ไปตามลำดับการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่าย ซึ่งหากเปรียบเทียบกับ การส่งทีโหมคความเร็วคงที่อื่นๆ ก็จะมีการลดลงเช่นเดียวกัน

การเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อโหมคการส่งเริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ ซึ่งในการตัดสินใจเลือกโหมคการส่งแบบพีชชีนั้นประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายนั้นจะมีค่าเฉลี่ยผลรวมทฤษฎีสูงสุดลดลงเมื่อโหมคความเร็วสูงๆ เริ่มไม่เพียงพอต่อการส่งตามภาระเครือข่ายทีเพิ่มขึ้น โดยที่ยังคงมีค่ามากกว่าค่าของทุกโหมคการส่งอยู่ที่โหมคการส่งความเร็วต่ำไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธทีภาระเครือข่ายหนึ่งๆ ซึ่งจากการทดลองทีความต้องการแบนด์วิธ 2,000 kbps นั้นจะมีค่ามากกว่าจนกระทั่งทีโหมคความเร็ว 36 Mbps เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ และมีการลดลงในอัตราทีใกล้เคียงกัน ส่วนอัตราส่วนความน่าเชื่อถือนั้นก็จะมีค่าลดลงตั้งแต่โหมคความเร็วที 6 Mbps เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธตามการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายแต่ก็ยังคงมีค่าใกล้เคียงกันกับทีโหมคความเร็วที 9 Mbps หากแต่ว่ามีการลดลงทุกครั้งที่ทีโหมคความเร็วเริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่ง จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายจนไม่เพียงพอต่อการส่งทีโหมคความเร็ว นั้นจะมีผลต่อความน่าเชื่อถือใน

การส่งของการเลือกโหมดการส่งแบบพีซีซีซึ่งจะมีค่าลดลงมากกว่าการส่งในกรณีที่ภาระเครือข่ายนั้นเพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธสำหรับการส่งในทุกโหมดความเร็ว

8. กรณีการเพิ่มค่าของแบนด์วิธทำให้ไม่เพียงพอต่อการส่ง

นอกจากการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายแล้ว การเพิ่มขึ้นของความต้องการแบนด์วิธที่ใช้ในการส่งก็มีผลทำให้ไม่สามารถส่งได้พอเพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธที่โหมดความเร็วใดความเร็วหนึ่งได้เช่นกัน จากผลการคำนวณที่ได้จากการเพิ่มความถี่ความต้องการแบนด์วิธขึ้นไปเรื่อยๆ ที่ภาระของเครือข่ายคงที่ค่าใดค่าหนึ่งซึ่งกำหนดให้ค่าความต้องการแบนด์วิธเพิ่มขึ้นจาก 256 kbps ขึ้นไปที่ละ 256 kbps ไปจนถึง 4,096 kbps ที่ภาระของเครือข่ายเท่ากับร้อยละ 60, 80 และ 90 ตามลำดับ เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งของการเลือกโหมดแบบพีซีซีเปรียบเทียบกับเลือกโหมดการส่งแบบปกติ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความต้องการแบนด์วิธนี้จะทำให้โหมดการส่งไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ โดยจะเริ่มที่โหมดการส่งที่ความเร็วต่ำสุดก่อนเรียงกันไปเรื่อยๆ ตามการเพิ่มขึ้นของความต้องการแบนด์วิธ

8.1 ผลการคำนวณของการเลือกโหมดแบบพีซีซี

จากผลของค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดของการเลือกโหมดการส่งแบบพีซีซีที่ภาระของเครือข่ายร้อยละ 60, 80 และ 90 แปรผันตามการเพิ่มขึ้นของความต้องการแบนด์วิธตามกราฟในภาพที่ 53, 65 และ 77 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าในทำนองเดียวกันกับผลของการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายโดยที่ให้ความต้องการแบนด์วิธมีค่าคงที่ ซึ่งหากสังเกตเปรียบเทียบในผลของค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดของการเลือกโหมดแบบคงที่โหมดใดโหมดหนึ่งซึ่งได้แก่การเลือกโหมดความเร็วที่ 6, 9, 18, 36 และ 54 Mbps จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดนั้นผลของค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดของการเลือกโหมดแบบพีซีซีก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในจุดที่โหมดความเร็วใดความเร็วหนึ่งเริ่มไม่เพียงพอต่อการส่งตามความต้องการแบนด์วิธ

นอกจากนั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของการเลือกโหมดแบบพีซีซีนั้นก็จะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลของการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่าย โดยที่หากโหมดการส่งที่ความเร็วน้อยๆ นั้นเริ่มไม่เพียงพอจะพบว่าค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีแนวโน้มที่จะเลือกโหมดการส่งที่เร็วกว่ามากขึ้น โดยที่จะยอมให้ความน่าเชื่อถือของการส่งลดลงแต่ได้ทรูพุทที่สูงกว่า

ส่วนการเปลี่ยนแปลงของโหมดการส่งที่ความเร็วสูงๆ ก็จะทำให้ค่าลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน ซึ่งจะสังเกตได้จากผลจากกราฟในภาพที่ 77 ซึ่งมีภาระของเครือข่ายร้อยละ 90 ทำให้โหมดการส่งที่ความเร็วสูงๆ เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ

สำหรับผลของภาระของเครือข่ายที่ต่างกันนั้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเกิดที่ค่าความต้องการแบนด์วิธต่างกัน โดยหากภาระของเครือข่ายมีค่าสูงก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ค่าความต้องการแบนด์วิธน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากแบนด์วิธที่เหลือน้อยทำให้การเพิ่มของความต้องการแบนด์วิธในค่าที่น้อยมีผลทำให้โหมดความเร็วเริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ

สำหรับความน่าเชื่อถือก็จะมีผลเช่นเดียวกันกับประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย คือเกิดการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่มีการเพิ่มขึ้นของความต้องการแบนด์วิธเริ่มทำให้โหมดการส่งใดโหมดหนึ่งเริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ เพียงแต่จะแตกต่างกันกับค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดที่ค่าความน่าเชื่อถือจะมีค่าลดลงทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลของการเลือกโหมดที่ความเร็วครั้งที่ 6, 9, 18, 36 และ 54 Mbps ตามลำดับ

ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของความต้องการแบนด์วิธก็จะทำให้เกิดผลคือทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของการใช้งานเครือข่าย และความน่าเชื่อถือในการส่ง โดยประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายนั้นจะมีค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดลดลงเมื่อโหมดความเร็วสูงๆ เริ่มไม่เพียงพอต่อการส่งตามภาระเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่โหมดความเร็วต่ำๆ ไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ ส่วนความน่าเชื่อถือในการส่งนั้นจะมีค่าลดลงตลอดเมื่อโหมดความเร็วใดโหมดหนึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ

8.2 ผลการคำนวณเปรียบเทียบตามการเลือกโหมดการส่ง

จากผลการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างการเลือกโหมดการส่งแบบพีชชีและการใช้โหมดความเร็วครั้งที่ 6, 9, 18, 36 และ 54 Mbps ในการส่งโดยกำหนดให้ภาระการใช้งานเครือข่ายเท่ากับร้อยละ 80 และคิดในกรณีที่มีจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5, 10 และ 15 โหมบายไฮสปีดจะได้ผลของประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายและอัตราส่วนความน่าเชื่อถือตามผลในกราฟดังภาพที่ 89, 90, 91, 92, 93 และ 94 ตามลำดับ

จากการพิจารณาผลของประสิทธิภาพในการใช้งานพบว่า ค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดของการเลือกโหมดการส่งแบบพีซีซีนั้น มีค่าสูงกว่าทุกโหมดการส่งจนกระทั่งเมื่อโหมดความเร็วค่าสูงๆ เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่ง โดยค่าที่ได้ก็จะขึ้นไปในทำนองเดียวกันเมื่อเทียบกันระหว่างจำนวนสมาชิก 5, 10 และ 15 โมบายโฮสต์ โดยค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุดของการเลือกโหมดแบบพีซีซีจะมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกโหมดการส่ง และจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อโหมดการส่งโหมดใดโหมดหนึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ

ส่วนค่าความน่าเชื่อถือของการส่งนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันกับโหมดการส่งที่มีความน่าเชื่อถือมากเป็นอันดับรองลงมาจากโหมดการส่งที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ซึ่งจะใกล้เคียงกันกับที่โหมดการส่งที่ 9 Mbps โดยจะมีค่าน้อยกว่าและแตกต่างกันที่มีค่าลดลงเมื่อมีโหมดการส่งใดโหมดการส่งหนึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ

จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความต้องการแบนด์วิธที่ภาระของเครือข่ายคงที่นั้นจะมีผลเช่นเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายที่ความต้องการแบนด์วิธคงที่ ก็จะมีผลเช่นเดียวกันคือทำให้โหมดการส่งใดโหมดหนึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเริ่มจากโหมดการส่งที่ความเร็วที่น้อยที่สุดก่อนแล้วมากขึ้นไปตามลำดับ ซึ่งหากมีการเพิ่มค่าของภาระเครือข่ายหรือความต้องการแบนด์วิธมากขึ้นไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพซึ่งหากมีการเพิ่มค่าของภาระเครือข่ายหรือความต้องการแบนด์วิธมากขึ้นไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งลดลงไปตามลำดับไม่ว่าจะเป็นการเลือกโหมดแบบพีซีซีหรือการเลือกโหมดการส่งคงที่โหมดใดโหมดหนึ่ง

9. กรณีความต้องการแบนด์วิธเพิ่มขึ้นจนไม่เพียงพอต่อการส่งที่โหมดสูงที่สุด

เป็นการคำนวณเพื่อดูค่าว่าหากมีการเพิ่มขึ้นของแบนด์วิธไปเรื่อยๆ จนแม้แต่ที่โหมดการส่งที่ความเร็วสูงสุดก็ไม่เพียงพอการส่งตามความต้องการแบนด์วิธว่าจะมีผลต่อการตัดสินใจเลือกโหมดการส่งแบบพีซีซีอย่างไรทั้งประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่ง ซึ่งการคำนวณกำหนดให้ภาระเครือข่ายเท่ากับร้อยละ 80 และเพิ่มค่าความต้องการแบนด์วิธไปตั้งแต่ 256 kbps ไปจนถึง 12,288 kbps เพื่อดูค่าเฉลี่ยผลรวมทรูพุทสูงสุด ซึ่งได้ผลตามกราฟในภาพที่ 95 พบว่าที่ความต้องการแบนด์วิธที่ 7,680 และ 8,192 kbps มีค่าลดลงอย่างผิดปกติ โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับโหมดการส่งอื่นๆ ดังผลตามกราฟในภาพที่ 97, 98 และ 99 สำหรับกรณีสมาชิก

กลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5, 10 และ 15 โมบายโฮสต์ พบว่าค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่าการส่งที่โหมดความเร็ว 36 Mbps และกลับมาเพิ่มขึ้นจนมากกว่าอีกครั้งเมื่อเพิ่มความต้องการแบนด์วิธไปอีก ซึ่งเมื่อพิจารณาประกอบกับจำนวนกรณีแยกตามโหมดการส่งที่เลือกของการเลือกโหมดการส่งแบบพีชชีตามกราฟในภาพที่ 97, 98 และ 99 สำหรับกรณีสมาชิกกลุ่มมัลติคาสต์เท่ากับ 5, 10 และ 15 โมบายโฮสต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อโหมดการส่งที่ความเร็วต่ำไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธก็จะทำให้การเลือกโหมดแบบพีชชีเปลี่ยนไปเลือกที่โหมดเร็วกว่ามากขึ้นเรื่อยๆ จนที่ความต้องการแบนด์วิธเท่ากับ 7,680 และ 8,192 นั้นจะพบว่าจะเลือกแต่โหมดความเร็วที่สูงที่สุดเกือบทั้งหมด ซึ่งจะทำให้ความน่าเชื่อถือในการส่งมีต่ำมาก ซึ่งจะทำให้ค่าตกต่ำลงอย่างฉับพลัน จนเมื่อที่ความต้องการแบนด์วิธเพิ่มมากขึ้นไปอีกทำให้ไม่มีโหมดใดที่เพียงพอต่อการส่งตามความต้องการแบนด์วิธนั้นอีก ซึ่งจะทำให้ปัจจัยของความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธไม่มีผลต่อการตัดสินใจคือมีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากันหมดในทุกโหมดการส่ง ซึ่งทำให้การตัดสินใจมีผลเหมือนกันกับการส่งที่ภาระเครือข่ายน้อยและเพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธในการส่งสำหรับทุกโหมดความเร็ว ดังจะเห็นได้จากจำนวนกรณีของกราฟในภาพที่ 103, 104 และ 105 ที่ค่าความต้องการแบนด์วิธตั้งแต่ 8,704 kbps ขึ้นไปจะใกล้เคียงกันกับที่ความต้องการแบนด์วิธตั้งแต่ 768 kbps ลงมาซึ่งมีค่าภาระและความต้องการแบนด์วิธเพียงพอสำหรับทุกโหมดความเร็วที่ส่ง

สำหรับความน่าเชื่อถือก็จะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายซึ่งก็จะอธิบายได้ในแบบเดียวกัน โดยดูจากผลของจำนวนกรณีแยกตามโหมดที่เลือกโดยการเลือกโหมดแบบพีชชี

ดังนั้นผลของการที่แบนด์วิธไม่เพียงพอต่อความต้องการในการส่งไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มขึ้นของภาระเครือข่ายหรือความต้องการแบนด์วิธเองนั้นก็จะมีผลต่อการตัดสินใจเลือกโหมดโดยที่จะทำให้ค่ามีการลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดที่โหมดความเร็วสูงสุดไม่เพียงพอต่อการส่งตามความต้องการแบนด์วิธต่อไป จนทำให้ปัจจัยของความสามารถในการรองรับความต้องการแบนด์วิธไม่มีผลต่อการตัดสินใจต่อไป ซึ่งกรณีนี้จะเกิดขึ้นที่ภาระเครือข่ายสูงๆ และความต้องการแบนด์วิธมีค่ามากๆ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการตัดสินใจเลือกโหมดแบบพีชชีตามที่งานวิจัยนี้นำเสนอ

10. การเปรียบเทียบค่าดัชนีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือ

จากผลการคำนวณที่ได้ดังภาพที่ 106 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการเลือกโหมดการส่งแบบต่างๆ พบว่า ในการเลือกโหมดการส่งที่เป็นค่าคงที่นั้นจะมีค่าดัชนีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือลดลงเรื่อยๆ ยกเว้นที่การส่งที่โหมดความเร็วต่ำที่สุดคือที่ 6 Mbps นั้นจะพบว่ามีความคงที่ และเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าการเลือกโหมดการส่งแบบพีซีซีนั้นจะมีค่าดัชนีสูงกว่าการส่งที่ 6 Mbps จำนวนสมาชิกมีไม่เกิน 8 และนอกจากนั้นหากเป็นการเลือกส่งที่โหมดความเร็วคงที่อื่นๆ ก็จะมีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีของการเลือกโหมดความเร็วการส่งแบบพีซีซีทั้งหมด

จากผลที่ได้จะสรุปได้ว่าหากพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลจะได้ว่าหากมีการกำหนดความสำคัญในการตัดสินใจของปัจจัยทั้งสามคือประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ความสามารถในการรองรับการส่งตามความต้องการแบบตัวชี้ และความน่าเชื่อถือในการส่ง พบว่าการตัดสินใจแบบพีซีซีที่นำเสนอขึ้นจะให้ผลการทำงานที่ดีสำหรับจำนวนสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์ที่มีไม่เกิน 8 โมบายโฮสต์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในการนำเสนอวิธีการปรับความเร็วในการส่งมัลติคาสต์ของเครือข่ายแลนไร้สายแบบใช้ แอ็กเซสพอยต์ในงานวิจัยนี้ ได้มีการนำเสนอแนวทางในการปรับเลือกใช้ความเร็วโดยการนำ วิธีการส่งเคราะห์ค่าแบบพีชชีเข้ามาใช้ตัดสินใจเลือกโหมดการส่งที่เหมาะสมโดยข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์ ความสามารถในการใช้โหมดความเร็วในการรับสัญญาณ โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการในการส่งมัลติคาสต์ได้แก่ความต้องการแบนด์วิธที่ใช้ในการส่ง และภาระของเครือข่าย จากผลการคำนวณพบว่าวิธีการเลือกโหมดของการส่งมัลติคาสต์นั้นให้ผลในแง่ของการเพิ่ม ประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายและยังคงรักษาความน่าเชื่อถือในการส่งได้อยู่ในกรณีทั่วไป ทั้งนี้พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของผลรวมทฤษฎีสูงสุดที่ทำได้ของกลุ่มมัลติคาสต์ และค่าเฉลี่ยอัตราส่วน ความน่าเชื่อถือในการส่ง โดยคิดทุกกรณีที่เป็นไปได้ของการจัดข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์ เมื่อ เปรียบเทียบกับการเลือกโหมดความเร็วในการส่งเป็นโหมดคงที่ใดๆ ตามมาตรฐานการส่งของ เครือข่ายแลนไร้สาย IEEE 802.11g

และนอกจากนั้นวิธีการตัดสินใจเลือกโหมดความเร็วในการส่งนี้ยังคงมีข้อจำกัดที่การทำงานในการตัดสินใจเลือกในสถานะที่ภาระของเครือข่ายทำให้การส่งที่โหมดความเร็วสูงสุดนั้น ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการแบนด์วิธ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบทำได้ด้อยกว่าปกติ ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดขึ้นที่ความต้องการแบนด์วิธสูงมากแต่ก็ยังคงไม่เป็นการตัดสินใจเลือกโหมดที่มี ประสิทธิภาพต่ำที่สุด ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้งาน

ซึ่งการนำมาใช้งานจริงนั้นสามารถปรับค่านำหนักความสำคัญเพื่อเน้นประสิทธิภาพด้านใดด้านหนึ่งให้มากขึ้นได้อีก ซึ่งส่งผลให้สะดวกและมีความยืดหยุ่นในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

ในการนำวิธีการตัดสินใจเลือกโหมดแบบที่ใช้การสังเคราะห์ค่าแบบฟuzzyไปประยุกต์ใช้ งานนั้นมีข้อควรคำนึงดังนี้

1. ต้องออกแบบเพิ่มในส่วนของการรับข้อมูลของกลุ่มมัลติคาสต์ ซึ่งไม่ได้กำหนดไว้ในงานวิจัยนี้
2. ในการทำงานจริงต้องมีการกำหนดวงรอบการทำงานของการตัดสินใจเลือกและปรับตั้งค่าและตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลส่วนต่างๆ อย่างเหมาะสมเพื่อให้ระบบนั้นตัดสินใจเลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด
3. ข้อจำกัดในเรื่องของการตัดสินใจที่ภาระของเครือข่ายทำให้ไม่พอเพียงต่อความต้องการแบนด์วิธนั้นต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มเติม
4. ควรมีการศึกษาต่อถึงผลของการปรับค่าเวกเตอร์การประเมินที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกโหมดการส่งและประสิทธิภาพของระบบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อภิวัฒน์ วิทยารัฐ และ อนันต์ ผลเพิ่ม. 2550. การปรับโหมดในการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์บนเครือข่ายไร้สายแบบ 802.11g โดยใช้วิธีการส่งเคราะห์ค่าแบบพีชชี, 180-186. **งานประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 3**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

Cain, B. 2002. **Internet Group Management Protocol, Version 3**. Network Working Group Request for Comments: 3376. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3376.txt>, November 4, 2007.

Chang, N.-B., H.W. Chen and S.K. Ning. 2001. Identification of river water quality using the Fuzzy Synthetic Evaluation approach. **Journal of Environmental Management (2001)** (63): 293-305.

Deering, S. 1989. **Host Extensions for IP Multicasting**. Network Working Group Request for Comments: 1112. <http://www.ietf.org/rfc/rfc1112.txt>, November 4, 2007.

Fenner, W. 1997. **Internet Group Management Protocol, Version 2**. Network Working Group Request for Comments: 2236. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2236.txt>, November 4, 2007.

Grilo, A. and M. Nunes. 2003. Link-adaptation and Transmit Power Control For Unicast and Multicast in IEEE 802.11 a/h/e WLAN., 334-345. In **Proceedings of Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN'03) 28th**. IEEE Computer Society, United States of America.

Holland, G., N. Vaidya and P. Bahl. 2000. **A Rate-Adaptive MAC Protocol for Wireless Network Technical Report TR00-019 Texas A&M University**. 13.

Karmerman, A. and L. Motenban. 1997. WaveLAN-II A High-performance wireless LAN for the unlicensed band. **Bell Lab Technical Journal** 2: 118-133.

Lacage, M., H. Manshaei and T. Turetli. 2004. IEEE 801.11 Rate Adaptation: A Practical Approach., 126-134. In **MSWiM'04**. Association for Computing Machinery, United States of America.

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2007. **Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications**. IEEE 802.11-2007

Wang, X. and G. Peng. 2003. Fuzzy Synthetic Evaluation of Economic Benefit of Enterprise Base on Neural Network., 620-623. In **IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation**. IEEE, Kobe Japan.

ภาคผนวก

1. Code ภาษา C ที่ใช้ในการคำนวณค่าคำตอบของทรูพุท

```

#include <stdio.h>

/*define Max Goodput of Tx-mode 802.11G
{
BPSK1/2(6Mbps),
BPSK3/4(9Mbps),
QPSK1/2(12Mbps),
QPSK3/4(18Mbps),
16-QAM1/2(24Mbps),
16-QAM3/4(36Mbps),
64-QAM2/3(48Mbps),
64-QAM3/4(54Mbps),
}
constant unit : kbps
*/

float TX_TP_Max[8] = { 5120,8000,10400,16000, 22000,30100,38200,43000 };

/* Multicast stream size : kbps */

float stream_size = 200;

/* Net Utilize : percentage */
float net_load = 0;

/* Alpha cut-off (limit usage of multicast stream) : percentage */
float mul_lim = 100;
float NL,ML;

/* Fuzzy Evaluation Vector : percentage
GP = Goodput
BW = Bandwidth
RL = Reliable
*/

float GP_ev = 100;
float BW_ev = 100;
float RL_ev = 100;

float GP,BW,RL;

void init_const_value(void)
{
/* Network Load and Multicast Limit */
NL=net_load/100;
ML=mul_lim/100;

/* Fuzzy Evaluation Vector */
if((GP_ev+BW_ev+RL_ev)!=0)
{
GP=(GP_ev/(GP_ev+BW_ev+RL_ev));
BW=(BW_ev/(GP_ev+BW_ev+RL_ev));
RL=(RL_ev/(GP_ev+BW_ev+RL_ev));
}else
{
GP=0;
BW=0;
RL=0;
};
};

```

```

}

int fuzz_tx_select(int node_pat[8])
{
    /* commulative node in Tx zone*/
    int commu_node[8];

    /* Goodput,Bandwidth,Reliable Membership Function */
    float GP_MF[8];
    float BW_MF[8];
    float RL_MF[8];
    float SM_MF[8];

    float available_bw[8];
    float sumf,s;

    int i,j,sum;

    /* calculate node commulative */
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        sum=0;
        for(j=i;j<8;j++)
        {sum=sum+node_pat[j];};
        commu_node[i]=sum;
    };

    /* Calculate Goodput Membership function */
    sumf=0;
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        GP_MF[i]=commu_node[i]*TX_TP_Max[i];
        sumf=sumf+GP_MF[i];
    };
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(sumf!=0){
            GP_MF[i]=GP_MF[i]/sumf;}
        else { GP_MF[i]=0;};
    };

    /* Calculate Bandwidth Membership function */
    sum=0;
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        available_bw[i]=TX_TP_Max[i]*(1-NL)*(ML);
        if(available_bw[i]>=stream_size) BW_MF[i]=1; else BW_MF[i]=0;
        sum=sum+BW_MF[i];
    };
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(sum!=0){
            BW_MF[i]=BW_MF[i]/sum;}
        else {BW_MF[i]=0;};
    };

    /* Calculate Reliable Membership function */
    sumf=0;
    s=commu_node[0];
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(commu_node[0]!=0){
            RL_MF[i]=commu_node[i]/s;}
        else {RL_MF[i]=0;};
        sumf=sumf+RL_MF[i];
    };
}

```

```

};
for(i=0;i<8;i++)
{
    if(sumf!=0){
        RL_MF[i]=RL_MF[i]/sumf;}
    else{RL_MF[i]=0;};
};

/* multiply GP BW RL - Tx relation with evaluation vector and Sum to MF*/

for(i=0;i<8;i++)
{
    SM_MF[i]=(GP_MF[i]*GP)+(BW_MF[i]*BW)+(RL_MF[i]*RL);
};

/* select max sum membership function */
sumf=0;
sum=0;
for(i=0;i<8;i++)
{
    if(sumf<SM_MF[i])
    {
        sumf=SM_MF[i];
        sum=i;
    };
};

return(sum);
}

float sum_TP_TX(int pat[8],int select_tx)
{
    int i,sum;
    float sumf;
    sum=0;
    for(i=select_tx;i<8;i++)
    {
        sum=sum+pat[i];
    };
    sumf=sum*TX_TP_Max[select_tx];
    return(sumf);
}

float avg_TP_TX(int pat[8],int select_tx)
{
    int i,sum,sum_node;
    float sumf,avBW;
    sum=0;
    for(i=select_tx;i<8;i++)
    {
        sum=sum+pat[i];
    };

    sum_node=0;
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        sum_node=sum_node+pat[i];
    };

    sumf=sum*TX_TP_Max[select_tx];
    //sumf=sumf/sum_node;

    avBW=TX_TP_Max[select_tx]*(i-NL)*(ML);

    if((avBW<stream_size)&&(stream_size>0)){
        sumf=sumf*avBW/stream_size;};
}

```

```

        return(sumf);
    }

void TP_avg(int node_n)
{
    int sel_tx,pat[8],i[8],n,sumi,j;
    long case_count;
    double sum_avg_tp[9],tx_avg_tp[9],casef;
    //init_const_value();

    /* n --> Node Number */
    n=node_n;

    case_count=0;
    sum_avg_tp[0]=0;
    sum_avg_tp[1]=0;
    sum_avg_tp[2]=0;
    sum_avg_tp[3]=0;
    sum_avg_tp[4]=0;
    sum_avg_tp[5]=0;
    sum_avg_tp[6]=0;
    sum_avg_tp[7]=0;
    sum_avg_tp[8]=0;

    for(i[0]=0;i[0]<=n;i[0]++)
    {
        for(i[1]=0;i[1]<=n;i[1]++)
        {
            for(i[2]=0;i[2]<=n;i[2]++)
            {
                for(i[3]=0;i[3]<=n;i[3]++)
                {
                    for(i[4]=0;i[4]<=n;i[4]++)
                    {
                        for(i[5]=0;i[5]<=n;i[5]++)
                        {
                            for(i[6]=0;i[6]<=n;i[6]++)
                            {
                                for(i[7]=0;i[7]<=n;i[7]++)
                                {
                                    sumi=i[0]+i[1]+i[2]+i[3]+i[4]+i[5]+i[6]+i[7];
                                    if(sumi==n)
                                    {
                                        case_count=case_count++;

                                        pat[0]=i[0];
                                        pat[1]=i[1];
                                        pat[2]=i[2];
                                        pat[3]=i[3];
                                        pat[4]=i[4];
                                        pat[5]=i[5];
                                        pat[6]=i[6];
                                        pat[7]=i[7];

                                        sum_avg_tp[0]=sum_avg_tp[0]+avg_TP_TX(pat,0);

                                        sum_avg_tp[1]=sum_avg_tp[1]+avg_TP_TX(pat,1);

                                        sum_avg_tp[2]=sum_avg_tp[2]+avg_TP_TX(pat,2);

                                        sum_avg_tp[3]=sum_avg_tp[3]+avg_TP_TX(pat,3);

```



```

    for(k=1;k<=12;k++)
    {
        TP_avg(k);
    };
    printf("_____");
    printf("\nPress return");
    scanf("%c");
};

```

2. Code ภาษา C ที่ใช้ในการคำนวณค่าคำตอบของอัตราส่วนความน่าเชื่อถือ

```

include <stdio.h>

/*define Max Goodput of Tx-mode 802.11G
{
BPSK1/2(6Mbps),
BPSK3/4(9Mbps),
QPSK1/2(12Mbps),
QPSK3/4(18Mbps),
16-QAM1/2(24Mbps),
16-QAM3/4(36Mbps),
64-QAM2/3(48Mbps),
64-QAM3/4(54Mbps),
}
constant unit : kbps
*/

float TX_TP_Max[8] = { 5120,8000,10400,16000, 22000,30100,38200,43000 };

/* Multicast stream size : kbps */

float stream_size = 200;

/* Net Utilize : percentage */
float net_load = 0;

/* Alpha cut-off (limit usage of multicast stream) : percentage */
float mul_lim = 100;
float NL,ML;

/* Fuzzy Evaluation Vector : percentage
GP = Goodput
BW = Bandwidth
RL = Reliable
*/

float GP_ev = 100;
float BW_ev = 100;
float RL_ev = 100;

float GP,BW,RL;

void init_const_value(void)
{
/* Network Load and Multicast Limit */
NL=net_load/100;
ML=mul_lim/100;

/* Fuzzy Evaluation Vector */

```

```

if((GP_ev+BW_ev+RL_ev)!=0)
{
    GP=(GP_ev/(GP_ev+BW_ev+RL_ev));
    BW=(BW_ev/(GP_ev+BW_ev+RL_ev));
    RL=(RL_ev/(GP_ev+BW_ev+RL_ev));
}else
{
    GP=0;
    BW=0;
    RL=0;
};
}

int fuzz_tx_select(int node_pat[8])
{
    /* commulative node in Tx zone*/
    int commu_node[8];

    /* Goodput,Bandwidth,Reliable Membership Function */
    float GP_MF[8];
    float BW_MF[8];
    float RL_MF[8];
    float SM_MF[8];

    float available_bw[8];
    float sumf,s;

    int i,j,sum;

    /* calculate node commulative */
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        sum=0;
        for(j=i;j<8;j++)
        {sum=sum+node_pat[j];};
        commu_node[i]=sum;
    };

    /* Calculate Goodput Membership function */
    sumf=0;
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        GP_MF[i]=commu_node[i]*TX_TP_Max[i];
        sumf=sumf+GP_MF[i];
    };
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(sumf!=0){
            GP_MF[i]=GP_MF[i]/sumf;}
        else{ GP_MF[i]=0;};
    };

    /* Calculate Bandwidth Membership function */
    sum=0;
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        available_bw[i]=TX_TP_Max[i]*(1-NL)*(ML);
        if(available_bw[i]>=stream_size) BW_MF[i]=1; else BW_MF[i]=0;
        sum=sum+BW_MF[i];
    };
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(sum!=0){
            BW_MF[i]=BW_MF[i]/sum;}
        else {BW_MF[i]=0;};
    };
};

```

```

/* Calculate Reliable Membership function */

sumf=0;
s=commu_node[0];
for(i=0;i<8;i++)
{
    if(commu_node[0]!=0{
        RL_MF[i]=commu_node[i]/s;}
    else {RL_MF[i]=0;};
    sumf=sumf+RL_MF[i];
};
for(i=0;i<8;i++)
{
    if(sumf!=0){
        RL_MF[i]=RL_MF[i]/sumf;}
    else{RL_MF[i]=0;};
};

/* multiply GP BW RL - Tx relation with evaluation vector and Sum to MF*/

for(i=0;i<8;i++)
{
    SM_MF[i]=(GP_MF[i]*GP)+(BW_MF[i]*BW)+(RL_MF[i]*RL);
};

/* select max sum membership function */
sumf=0;
sum=0;
for(i=0;i<8;i++)
{
    if(sumf<SM_MF[i])
    {
        sumf=SM_MF[i];
        sum=i;
    };
};

return(sum);
}

float sum_TP_TX(int pat[8],int select_tx)
{
    int i,sum;
    float sumf;
    sum=0;
    for(i=select_tx;i<8;i++)
    {
        sum=sum+pat[i];
    };
    sumf=sum*TX_TP_Max[select_tx];
    return(sumf);
}

float avg_TP_TX(int pat[8],int select_tx)
{
    int i,sum,sum_node;
    float sumf,avBW;
    sum=0;
    for(i=select_tx;i<8;i++)
    {
        sum=sum+pat[i];
    };

    sum_node=0;
    for(i=0;i<8;i++)

```

```

        {
            sum_node=sum_node+pat[i];
        };

    sumf=sum*TX_TP_Max[select_tx];
    sumf=sumf/sum_node;

    avBW=TX_TP_Max[select_tx]*(i-NL)*(ML);

    if((avBW<stream_size)&&(stream_size>0)){
        sumf=sumf*avBW/stream_size;};

    return(sumf);
}

float percent_rcv_node(int pat[8],int select_tx,int total_node)
{
    int i,sum;
    float rcv,avBW;

    sum=0;
    for(i=select_tx;i<8;i++)
    {
        sum=sum+pat[i];
    };

    rcv=sum/total_node;

    avBW=TX_TP_Max[select_tx]*(i-NL)*(ML);

    if((avBW<stream_size)&&(stream_size>0)){
        rcv=rcv*avBW/stream_size;};

    return(rcv);
}

void RL_avg(int node_n)
{
    int sel_tx,pat[8],i[8],n,sumi,j;
    long case_count;
    double sum_avg_tp[9],tx_avg_tp[9],casef;
    //init_const_value();

    /* n --> Node Number */
    n=node_n;

    case_count=0;
    sum_avg_tp[0]=0;
    sum_avg_tp[1]=0;
    sum_avg_tp[2]=0;
    sum_avg_tp[3]=0;
    sum_avg_tp[4]=0;
    sum_avg_tp[5]=0;
    sum_avg_tp[6]=0;
    sum_avg_tp[7]=0;
    sum_avg_tp[8]=0;

    //printf("\n-----\n");
    //printf("Member :%u Network Load :%f Bandwidth Req.:%f kbps\n",n,net_load,stream_size);

    for(i[0]=0;i[0]<=n;i[0]++)
    {
        for(i[1]=0;i[1]<=n;i[1]++)
        {
            for(i[2]=0;i[2]<=n;i[2]++)

```

```

    {
        for(i[3]=0;i[3]<=n;i[3]++)
        {
            for(i[4]=0;i[4]<=n;i[4]++)
            {
                for(i[5]=0;i[5]<=n;i[5]++)
                {
                    for(i[6]=0;i[6]<=n;i[6]++)
                    {
                        for(i[7]=0;i[7]<=n;i[7]++)
                        {
                            sumi=i[0]+i[1]+i[2]+i[3]+i[4]+i[5]+i[6]+i[7];
                            if(sumi==n)
                            {
                                case_count=case_count++;

                                pat[0]=i[0];
                                pat[1]=i[1];
                                pat[2]=i[2];
                                pat[3]=i[3];
                                pat[4]=i[4];
                                pat[5]=i[5];
                                pat[6]=i[6];
                                pat[7]=i[7];

sum_avg_tp[0]=sum_avg_tp[0]+percent_recv_node(pat,0,n);

sum_avg_tp[1]=sum_avg_tp[1]+percent_recv_node(pat,1,n);

sum_avg_tp[2]=sum_avg_tp[2]+percent_recv_node(pat,2,n);

sum_avg_tp[3]=sum_avg_tp[3]+percent_recv_node(pat,3,n);

sum_avg_tp[4]=sum_avg_tp[4]+percent_recv_node(pat,4,n);

sum_avg_tp[5]=sum_avg_tp[5]+percent_recv_node(pat,5,n);

sum_avg_tp[6]=sum_avg_tp[6]+percent_recv_node(pat,6,n);

sum_avg_tp[7]=sum_avg_tp[7]+percent_recv_node(pat,7,n);

/*

sum_avg_tp[1]=sum_avg_tp[1]+avg_TP_TX(pat,1);

sum_avg_tp[2]=sum_avg_tp[2]+avg_TP_TX(pat,2);

sum_avg_tp[3]=sum_avg_tp[3]+avg_TP_TX(pat,3);

sum_avg_tp[4]=sum_avg_tp[4]+avg_TP_TX(pat,4);

sum_avg_tp[5]=sum_avg_tp[5]+avg_TP_TX(pat,5);

sum_avg_tp[6]=sum_avg_tp[6]+avg_TP_TX(pat,6);

sum_avg_tp[7]=sum_avg_tp[7]+avg_TP_TX(pat,7);

*/

sel_tx=fuzz_tx_select(pat);

sum_avg_tp[8]=sum_avg_tp[8]+percent_recv_node(pat,sel_tx,n);

```


ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายอภิวัฒน์ วิทยารัฐ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 30 สิงหาคม 2520
สถานที่เกิด	ลำปาง
ประวัติการศึกษา	2541 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	นักเรียนทุนมหาวิทยาลัยนเรศวรวิทยาเขตสารสนเทศ พะเยา